

成大先 主编

机械设计手册

第五版

第 4 卷

畅销 1,200,000 套

HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN



化学工业出版社

权威实用 内容齐全 简明便查

这是一部机械设计史上的功勋图书

历时四十载，是我国机械工业的编年史，它对我国机械工业发展的贡献已超过手册本身。

这是一部引起轰动的工具书

1969年的第一版是新中国第一部大型机械设计工具书。目前修订至第五版，受到无数机械设计和工程技术人员的称颂。

这是一部四十年与读者共同成长的图书

很多读者从学生时代就开始使用它，如今看到新版面世，仍然爱不释手，因为它是一生事业中最亲密、最忠诚的伙伴。

这更是我们一生追求的事业

从第一版开始，作者和编辑们就四十年如一日，孜孜以求，不敢有丝毫的马虎和懈怠，把它作为毕生追求的事业。

HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN

ISBN 978-7-122-01411-5



9 787122 014115 >

销售分类建议：机械/机械设计

机械设计手册

第五版

第  卷

主编单位 中国有色工程设计研究总院
主 编 成大先
副主编 王德夫 姬奎生 韩学铨
姜 勇 李长顺 王雄耀

HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN



化学工业出版社

北京

《机械设计手册》第五版共5卷,涵盖了机械常规设计的所有内容。其中第1卷包括一般设计资料,机械制图、极限与配合、形状和位置公差及表面结构,常用机械工程材料,机构;第2卷包括连接与紧固,轴及其连接,轴承,起重运输机械零部件,操作件、小五金及管件;第3卷包括润滑与密封,弹簧,螺旋传动、摩擦轮传动,带、链传动,齿轮传动;第4卷包括多点啮合柔性传动,减速器、变速器,常用电机、电器及电动(液)推杆与升降机,机械振动的控制及利用,机架设计,塑料制品与塑料注射成型模具设计;第5卷包括液压传动,液压控制,气压传动等。

《机械设计手册》第五版是在总结前四版的成功经验,考虑广大读者的使用习惯及对《机械设计手册》提出新要求的基础上进行编写的。《机械设计手册》保持了前四版的风格、特色和品位:突出实用性,从机械设计人员的角度考虑,合理安排内容取舍和编排体系;强调准确性,数据、资料主要来自标准、规范和其他权威资料,设计方法、公式、参数选用经过长期实践检验,设计举例来自工程实践;反映先进性,增加了许多适合我国国情、具有广阔应用前景的新材料、新方法、新技术、新工艺,采用了最新的标准、规范,广泛收集了具有先进水平并实现标准化的新产品;突出了实用、便查的特点。

《机械设计手册》可作为机械设计人员和有关工程技术人员工具书,也可供高等院校有关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册.第4卷/成大先主编.—5版.—北京:
化学工业出版社,2008.1
ISBN 978-7-122-01411-5

I.机… II.成… III.机械设计-技术手册
IV.TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第199084号

责任编辑:周国庆 张兴辉 王 焯 贾 娜 文字编辑:闫 敏 张燕文 项 激
责任校对:陈 静 吴 静 装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张82½ 字数2978千字

1969年6月第1版 2008年4月北京第5版第28次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:130.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2008-12号

撰稿人员

- 成大先 中国有色工程设计研究总院
王德夫 中国有色工程设计研究总院
刘世参 《中国表面工程》杂志、装甲兵工程学院
姬奎生 中国有色工程设计研究总院
韩学铨 北京石油化工工程公司
余梦生 北京科技大学
高淑之 北京化工大学
柯蕊珍 中国有色工程设计研究总院
王欣玲 机械科学研究院
陶兆荣 中国有色工程设计研究总院
孙东辉 中国有色工程设计研究总院
李福君 中国有色工程设计研究总院
阮忠唐 西安理工大学
熊绮华 西安理工大学
雷淑存 西安理工大学
田惠民 西安理工大学
殷鸿樑 上海工业大学
齐维浩 西安理工大学
曹惟庆 西安理工大学
关天池 中国有色工程设计研究总院
房庆久 中国有色工程设计研究总院
李建平 北京航空航天大学
李安民 机械科学研究院
李维荣 机械科学研究院
丁宝平 机械科学研究院
梁全贵 中国有色工程设计研究总院
王淑兰 中国有色工程设计研究总院
林基明 中国有色工程设计研究总院
王孝先 中国有色工程设计研究总院
董祖楹 上海交通大学
刘清廉 中国有色工程设计研究总院
许文元 天津工程机械研究所
孔庆堂 北京新兴超越离合器有限公司
孙永旭 北京古德机电技术研究所
丘大谋 西安交通大学
诸文俊 西安交通大学
- 徐 华 西安交通大学
陈立群 西北轻工业学院
谢振宇 南京航空航天大学
陈应斗 中国有色工程设计研究总院
张奇芳 沈阳铝镁设计研究院
肖治彭 中国有色工程设计研究总院
邹舜卿 中国有色工程设计研究总院
邓述慈 西安理工大学
秦 毅 中国有色工程设计研究总院
周凤香 中国有色工程设计研究总院
朴树寰 中国有色工程设计研究总院
杜子英 中国有色工程设计研究总院
汪德涛 广州机床研究所
朱 炎 中国航宇救生装置公司
王鸿翔 中国有色工程设计研究总院
郭 永 山西省自动化研究所
厉始忠 机械科学研究院
厉海洋 武汉理工大学
欧阳志喜 宁波双林汽车部件股份有限公司
段慧文 中国有色工程设计研究总院
姜 勇 中国有色工程设计研究总院
徐永年 郑州机械研究所
梁桂明 河南科技大学
张光辉 重庆大学
罗文军 重庆大学
沙树明 中国有色工程设计研究总院
谢佩娟 太原理工大学
余 铭 无锡市万向轴厂
陈祖元 广东工业大学
陈仕贤 北京航空航天大学
郑自求 四川理工学院
贺元成 泸州职业技术学院
季泉生 济南钢铁集团
方 正 中国重型机械研究院
马敬勋 济南钢铁集团
冯彦宾 四川理工学院

袁 林	四川理工学院	周 琦	中冶京城工程技术有限公司
王春和	北方工业大学	崔桂芝	北方工业大学
周朗晴	中国有色工程设计研究总院	张若青	北方工业大学
孙夏明	北方工业大学	王 侃	北方工业大学
黄吉平	宁波市镇海减变速机制造有限公司	张常年	北方工业大学
陈宗源	中冶集团重庆钢铁设计研究院	朱宏军	北方工业大学
张 翌	北京太富力传动机器有限责任公司	佟 新	中国有色工程设计研究总院
蔡学熙	连云港化工矿山设计研究院	禚有雄	天津大学
姚光义	连云港化工矿山设计研究院	林少芬	集美大学
沈益新	连云港化工矿山设计研究院	卢长耿	集美大学
钱亦清	连云港化工矿山设计研究院	吴根茂	浙江大学
于 琴	连云港化工矿山设计研究院	魏建华	浙江大学
蔡学坚	邢台地区经济委员会	钟荣龙	厦门海特液压机械工程有限公司
虞培清	浙江长城减速机有限公司	黄 番	北京科技大学
项建忠	浙江通力减速机有限公司	王雄耀	费斯托 (FESTO) (中国) 有限公司
阮劲松	宝鸡市广环机床责任有限公司	彭光正	北京理工大学
纪盛青	东北大学	张百海	北京理工大学
付宏生	北京电子科技职业学院设计与工艺学院	王 涛	北京理工大学
张海臣	深圳海翔铭公司	陈金兵	北京理工大学
黄效国	北京科技大学	包 钢	哈尔滨工业大学
陈新华	北京科技大学	蒋友谅	北京理工大学
李长顺	中国有色工程设计研究总院	刘福祐	中国有色工程设计研究总院
刘秀丽	中国有色工程设计研究总院	史习先	中国有色工程设计研究总院
宋天民	北京钢铁设计研究总院		

审 稿 人 员

余梦生	成大先	王德夫	强 毅	房庆久	李福君	钟云杰	郭可谦
姬奎生	王春九	韩学铨	段慧文	邹舜卿	汪德涛	陈应斗	刘清廉
李继和	徐 智	郭长生	吴宗泽	李长顺	陈湛闻	饶振纲	季泉生
林 鹤	黄靖远	武其俭	洪允楣	蔡学熙	张红兵	朱天仕	唐铁城
卢长耿	宋京其	姜 勇	吴 筠	徐文灿	史习先		

编 辑 人 员

周国庆	张兴辉	王 辉	贾 娜	张红兵	郭长生	任文斗	黄 滢
周 红	李军亮	辛 田	张燕文	闫 敏	项 激		

第五版前言

《机械设计手册》自1969年第一版出版发行以来,已经修订至第五版,累计销售量超过120万套,成为新中国成立以来,在国内影响力最强、销售量最大的机械设计工具书。作为国家级的重点科技图书,《机械设计手册》多次获得国家和省部级奖励。其中,1978年获全国科学大会科技成果奖,1983年获化工部优秀科技图书奖,1995年获全国优秀科技图书二等奖,1999年获全国化工科技进步二等奖,2002年获石油和化学工业优秀科技图书一等奖,2003年获中国石油和化学工业科技进步二等奖。1986~2002年,连续被评为全国优秀畅销书。

与时俱进、开拓创新,实现实用性、可靠性和创新性的最佳结合,协助广大机械设计人员开发出更好更新的产品,适应市场和生产需要,提高市场竞争力和国际竞争力,这是《机械设计手册》一贯坚持、不懈努力的最高宗旨。

《机械设计手册》第四版出版发行至今已有6年多的时间,在这期间,我们进行了广泛的调查研究,多次邀请了机械方面的专家、学者座谈,倾听他们对第五版修订的建议,并深入设计院所、工厂和矿山的第一线,向广大设计工作者了解《手册》的应用情况和意见,及时发现、收集生产实践中出现的新经验和新问题,多方位、多渠道跟踪、收集国内外涌现出来的新技术、新产品,改进和丰富《手册》的内容,使《手册》更具鲜活力,以最大限度地快速提高广大机械设计人员自主创新的能力,适应建设创新型国家的需要。

《手册》第五版的具体修订情况如下。

一、在提高产品开发、创新设计方面

1. 开辟了“塑料制品与塑料注射成型模具设计”篇:介绍了塑料产品和模具设计的相关基础资料、注塑成型的常见缺陷和对策。

2. 机械传动部分:增加了点线啮合传动设计;增加了符合ISO国际最新标准的渐开线圆柱齿轮的设计;补充并完善了非零变位锥齿轮设计;对多点啮合柔性传动的柔性支撑做了重新分类;增加了塑料齿轮设计。

3. “气压传动”篇全面更新:强调更新、更全、更实用,尽可能把当今国际上已有的新技术、新产品反映出来。汇集的新技术、新产品有:用于抓取和卸放的模块化导向驱动器、气动肌肉、高速阀、阀岛、气动比例伺服阀、压电比例阀、气动软停止、气动的比例气爪、双倍行程无杆气缸、无接触真空吸盘、智能三联件等。第一次把气动驱动器分成两大类型,即普通类气缸和导向驱动装置。普通类气缸实质上是不带导向机构的传统气缸及新型开发的各种气缸,如低摩擦气缸、低速气缸、耐高温气缸、不含铜和四氟乙烷的气缸等。所谓导向驱动装置是让读者根据产品技术参数直接选用,不必再另行设计导轨系统。它将成为今后的发展趋势,强调模块化,即插即用。另外还增补了与气动应用密切相关的其他行业标准、技术的基础性介绍,如气动技术中静电的产生与防止、各国对净化车间压缩空气的分类等级标准;气动元件的防爆等级分类;食品行业对设备气动元件等的卫生要求;在电子行业不含铜和四氟乙烷产品等。

4. 收集了钢丝绳振动的分析资料。

二、在促进新产品设计和加工制造的新工艺设计方面

1. 进一步扩充了表面技术,在介绍多种单一表面技术基础上又新增了复合表面技术的基本原理、适用场合、选用原则和应用实例等内容。

2. 推荐了快速原型制造技术。该技术解决了单件或小批量铸件的制造问题,大大缩短了产品的设计开发周期,可以预见,它必将受到普遍的重视,得到迅速的发展。

3. 节能的形变热处理。如铸造余热淬火,它是利用锻造的余热淬火,既节省了热处理的重新加热,而且得到了较好的力学性能的组合,使淬火钢的强度和冲击值同时提高。

三、为新产品开发、老产品改造创新,提供新型元器件和新材料方面

1. 左右螺纹防松螺栓:生产实践证明防松效果良好,而且结构简单,操作方便,是防松设计的一种新的、好的设计思路。

2. 集成式新型零部件:包括一些新型的联轴器、离合器、制动器、带减速器的电机等,这种集成式零部件增加了产品功能,减少了零件数,既节材又省工。

3. 节能产品:介绍了节能电机。

4. 新型材料:在零部件设计工艺性部分和材料篇分别阐述了“蠕墨铸铁”和“镁合金”的工艺特性和主要技术参数。“蠕墨铸铁”具有介于灰铸铁和球墨铸铁之间的良好性能。其抗拉强度、屈服强度高于高强度灰铸铁,而低于球墨铸铁,热传导性、耐热疲劳性、切削加工性和减振性又近似于一般灰铸铁;它的疲劳极限和冲击韧度虽不如球墨铸铁,但明显优于灰铸铁;它的铸造性能接近于灰铸铁,制造工艺简单,成品率高,因而具有广泛的条件,如:(1)由于强度高,对于断面的敏感性小,铸造性好,因而可用来制造复杂的大型零件;(2)由于具有较高的力学性能,并具有较好的导热性,因而常用来制造在热交换以及有较大温度梯度下工作的零件,如汽车制动盘、钢锭模等;(3)由于强度较高、致密性好,可用来代替孕育铸铁件,不仅节约了废钢,减轻了铸件重量(碳当量较高,强度却比灰铸铁高),而且成品率也大幅度提高,特别是铸件气密性增加,特别适用于液压件的生产等。“镁合金”的主要特点是密度低、比刚度和比强度高。铸造镁合金还有高的减振性,因此能承受较大的冲击振动载荷,而且在受冲击及摩擦时不会起火花。镁的体积热容比其他所有金属都低,因此,镁及其合金的另一个主要特性是加热升温与散热降温都比其他金属快;所有金属成形工艺一般都可以用于镁合金的成形加工,其中,压铸(高压铸造)工艺最为常用,镁压铸件精度高、组织细小、均匀、致密,具有良好的性能,因此,镁合金广泛应用于航天、航空、交通运输、计算机、通信器材和消费类电子产品、纺织和印刷等工业。镁合金由于它的优良的力学性能、物理性能等以及材料回收率高,符合环保要求,被称为21世纪最具开发应用前景的“绿色材料”。

四、在贯彻推广标准化工作方面

1. 所有产品、材料和工艺方面的标准均全部采用2006年和2007年公布的最新标准资料。

2. 在产品设计资料的编写方面,对许多生产厂家(如气动产品厂家)进行了标准化工作的调查研究,将标准化好的产品作为入选首要条件。应广大读者的要求,在介绍产品时,在备注中增加了产品生产厂名。由于市场经济的实际变化较快,读者必须结合当时的实际情况,进一步作深入调查,了解产品实际生产品种、规格及尺寸,以及产品质量和用户的实际反映,再作选择。

借《机械设计手册》第五版出版之际,再次向参加每版编写的单位和个人表示衷心的感谢!同时也感谢给我们提供大力支持和热忱帮助的单位 and 各界朋友们!特别感谢长沙有色冶金设计研究院的袁学敏、刘金庭、陈雨田,武汉钢铁设计研究总院的刘美珑、刘翔等同志给我们提供帮助!

由于水平有限,调研工作不够全面,修订中难免存在疏漏和不足,恳请广大读者继续给予批评指正。

主 编

目 录

15

多点啮合柔性传动

第1章 概述	15-3
1 原理和特征	15-3
1.1 原理	15-3
1.2 特征	15-3
2 基本类型	15-3
2.1 分类	15-3
2.2 悬挂形式与其他特征的组合	15-4
3 结构和性能	15-4
4 优越性及应用	15-11
4.1 优越性	15-11
4.2 应用	15-11
5 有关结构实例的说明	15-11
第2章 悬挂安装结构	15-12
1 整体外壳式	15-12
1.1 初级减速器固定式安装结构	15-12
1.2 初级减速器悬挂式安装结构	15-12
1.2.1 初级减速器串接柔性支承为拉压杆(或弹簧)	15-12
1.2.2 初级减速器串接柔性支承为弯曲杆	15-13
2 固定滚轮式(BF型)	15-15
3 推杆式(BFP型)	15-16
4 拉杆式(BFT型)	15-16
5 偏心滚轮式(TSP型)	15-18
第3章 悬挂装置的设计计算	15-19
1 整体外壳式	15-19
1.1 全悬挂、自平衡扭力杆装置	15-19
1.2 全悬挂、扭力杆串接弯曲杆装置	15-19
1.3 全悬挂、弹簧串接拉压杆装置	15-20
1.4 全悬挂、弹簧液压串接弹簧装置	15-21
1.5 全悬挂、单作用式拉压杆装置	15-21
2 固定滚轮式(BF型)	15-21
3 推杆式(BFP型)	15-23
4 拉杆式(BFT型)	15-24
5 偏心滚轮式(TSP型)	15-28
第4章 柔性支承的结构形式和设计计算	15-31
1 单作用式	15-31
2 自平衡式	15-34
3 并接式(双作用式)	15-35
4 串接式	15-37
5 调整式	15-40
6 液压阻尼器	15-41
第5章 专业技术特点	15-42
1 均载技术	15-42
1.1 单台电动机驱动多个啮合点时	15-42
1.2 多台电动机驱动多个啮合点时	15-42
1.2.1 自动控制方法	15-42
1.2.2 机电控制方法	15-43
2 安全保护技术	15-44
2.1 扭力杆保护装置	15-44
2.2 过载保护装置	15-45
3 中心距可变与侧隙调整	15-46
3.1 辘子的外形尺寸和性能	15-46

3.1.1	辊子的外形尺寸	15-46
3.1.2	辊子的性能	15-47
3.2	侧隙调整和控制	15-47
3.2.1	齿轮侧隙在传动中的重要性	15-47
3.2.2	传动最小侧隙的保证	15-48
4	设计与结构特点	15-49
4.1	合理确定末级传动副的形式和结构参数	15-49
4.1.1	销齿传动等新型传动应逐步推广和发展	15-49
4.1.2	目前末级减速宜采用高度变位渐开线直齿齿轮	15-50
4.2	啮合点数的选择	15-50
4.3	各种悬挂安装形式的特点及适用性	15-50
4.3.1	整体外壳式 (PGC 型等)	15-51
4.3.2	固定滚轮式 (BF 型)	15-51
4.3.3	推杆式 (BFP 型)	15-51
4.3.4	拉杆式 (BFT 型)	15-51
4.3.5	偏心滚轮式 (TSP 型)	15-51
4.4	柔性支承的特性和结构要求	15-51
4.4.1	单作用式	15-51
4.4.2	自平衡式	15-52
4.4.3	并接式 (双作用式)	15-52
4.4.4	串接式	15-52
4.4.5	调整式	15-52
第6章 整体结构的技术性能、尺寸系列和选型方法 15-53		
1	国内多柔传动装置的结构、性能和尺寸系列	15-53
1.1	整体外壳式之一 (PGC 型, 四点啮合, 自平衡扭力杆)	15-53
1.2	整体外壳式之二 (四点啮合, 自平衡扭力杆串接弯曲杆)	15-54
1.3	整体外壳式之三 (四点啮合, 单作用弹簧缓冲装置串接拉压杆, 有均载调节机构)	15-55
1.4	整体外壳式之四 (两点啮合, 自平衡扭力杆串接弯曲杆)	15-57

1.5	固定滚轮式 (BF 型)	15-58
1.6	拉杆式 (BFT 型, 两点啮合, 自平衡扭力杆串接弹簧)	15-59
2	国外多柔传动装置的尺寸系列及选型	15-62
2.1	日本椿本公司 BFT 型尺寸系列及选型	15-62
2.1.1	拉杆式 (BFT 型) 多柔传动装置末级齿轮模数的选定	15-63
2.1.2	固定滚轮式 (BF 型) 和推杆式 (BFP 型) 多柔传动装置末级齿轮模数的选定	15-64
2.2	德国克虏伯公司 BFT 型尺寸系列	15-66
2.3	法国迪朗齿轮公司 BFT 型尺寸系列及选型	15-67

第7章 多点啮合柔性传动动力学计算

1	全悬挂多点啮合柔性传动扭振动力学计算 (以氧气转炉为例)	15-71
1.1	系统力学模型	15-71
1.2	建立运动微分方程 (三质量系统, 按非零度区预张紧启动工况)	15-73
1.3	运动微分方程求解	15-73
1.3.1	固有振动解 (按模态分析法)	15-73
1.3.2	强迫振动解	15-75
1.4	扭振力矩	15-79
2	半悬挂多点啮合柔性传动扭振动力学计算 (以烧结机为例)	15-79
2.1	系统力学模型	15-79
2.2	建立运动微分方程 (四质量系统)	15-81
2.3	运动微分方程求解 (初始条件为零)	15-81
2.4	系统扭振力矩的计算	15-88
3	分析说明	15-88
4	结论	15-88
	附录	15-89
	参考文献	15-92

第1章 减速器设计一般资料 16-3

- 1 常用减速器的分类、型式及其应用范围 16-3
- 2 圆柱齿轮减速器标准中心距 (摘自 GB/T 10090—1988) 16-5
- 3 减速器传动比的分配及计算 16-6
- 4 减速器的结构尺寸 16-10
 - 4.1 减速器的基本结构 16-10
 - 4.2 齿轮减速器、蜗杆减速器箱体尺寸 16-11
 - 4.3 减速器附件 16-14
- 5 减速器轴承的选择 16-18
- 6 减速器主要零件的配合 16-19
- 7 齿轮与蜗杆传动的效率和散热计算 16-19
 - 7.1 齿轮与蜗杆传动的效率计算 16-19
 - 7.2 齿轮与蜗杆传动的散热计算 16-21
- 8 齿轮与蜗杆传动的润滑 16-23
 - 8.1 齿轮与蜗杆传动的润滑方法 16-23
 - 8.2 齿轮与蜗杆传动的润滑油选择 16-26
- 9 减速器技术要求 16-27
- 10 减速器典型结构示例 16-28
 - 10.1 圆柱齿轮减速器 16-28
 - 10.2 圆锥齿轮减速器 16-32
 - 10.3 圆锥-圆柱齿轮减速器 16-33
 - 10.4 蜗杆减速器 16-34
 - 10.5 齿轮-蜗杆减速器 16-38

第2章 标准减速器及产品 16-39

- 1 ZDY、ZLY、ZSY 型硬齿面圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 8853—2001) 16-39
 - 1.1 适用范围和代号 16-39
 - 1.2 外形、安装尺寸及装配型式 16-39
 - 1.3 承载能力 16-43
 - 1.4 减速器的选用 16-47
- 2 QJ 型起重机三支点减速器 (摘自 JB/T 8905.1—1999)、QJ-D 型起重机底座式减速器 (摘自

- JB/T 8905.2—1999) 和 DQJ 型、DQJD 型点线啮合齿轮减速器 (摘自 JB/T 10468—2004) 16-49
 - 2.1 适用范围、安装方式和代号 16-49
 - 2.2 外形、安装尺寸 16-51
 - 2.3 承载能力 16-58
 - 2.4 实际传动比 16-64
 - 2.5 减速器的选用 16-64
- 3 DB、DC 型圆锥、圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 9002—1999) 16-65
 - 3.1 适用范围和代号 16-65
 - 3.2 外形、安装尺寸和装配型式 16-66
 - 3.3 承载能力 16-73
 - 3.4 实际传动比 16-77
 - 3.5 减速器的选用 16-77
- 4 CW 型圆弧圆柱蜗杆减速器 (摘自 JB/T 7935—1999) 16-79
 - 4.1 适用范围和标记 16-79
 - 4.2 外形、安装尺寸 16-80
 - 4.3 承载能力和效率 16-81
 - 4.4 润滑油牌号 (黏度等级) 16-84
 - 4.5 减速器的选用 16-85
- 5 TP 型平面包络环面蜗轮减速器 (摘自 JB/T 9051—1999) 16-86
 - 5.1 适用范围和标记 16-86
 - 5.2 外形、安装尺寸 16-87
 - 5.3 承载能力 16-90
 - 5.4 减速器的总效率 16-92
 - 5.5 减速器的选用 16-93
- 6 HWT、HWB 型直廓环面蜗杆减速器 (摘自 JB/T 7936—1999) 16-94
 - 6.1 适用范围和标记 16-94
 - 6.2 外形、安装尺寸 16-95
 - 6.3 承载能力及总传动效率 16-97
 - 6.4 减速器的选用 16-104
- 7 行星齿轮减速器 16-105
 - 7.1 NGW 型行星齿轮减速器 (摘自 JB/T 6502—1993) 16-105

7.1.1	适用范围、标记及相关 技术参数	16-105	(摘自 HG/T 3139.2—2001)	16-227	
7.1.2	外形、安装尺寸	16-108	11.1.1	外形、安装尺寸	16-228
7.1.3	承载能力	16-122	11.1.2	承载能力	16-231
7.1.4	减速器的选用	16-131	11.2	LC 型立式两级硬齿面圆柱齿轮 减速器 (摘自 HG/T 3139.3—2001)	16-235
7.2	NGW-S 型行星齿轮减速器	16-133	11.2.1	外形、安装尺寸	16-235
7.2.1	适用范围和标记	16-133	11.2.2	承载能力	16-236
7.2.2	外形、安装尺寸	16-134	11.3	FJ 型硬齿面圆柱、圆锥齿轮 减速器 (摘自 HG/T 3139.5—2001)	16-237
7.2.3	承载能力	16-136	11.3.1	外形、安装尺寸	16-237
7.2.4	减速器的选用	16-138	11.3.2	承载能力	16-239
7.3	HZW、HZA、HZL、HZY 型垂直出 轴混合少齿差星轮减速器 (摘自 JB/T 7344—1994)	16-139	11.4	LPJ、LPB、LPP 型平行轴硬齿 面圆柱齿轮减速器 (摘自 HG/T 3139.4—2001)	16-240
7.3.1	适用范围及标记	16-139	11.4.1	外形、安装尺寸	16-240
7.3.2	外形、安装尺寸	16-140	11.4.2	承载能力	16-242
7.3.3	承载能力	16-143	11.5	FP 型中功率窄 V 带及高强度 V 带 传动减速器 (摘自 HG/T 3139.10—2001)	16-244
7.3.4	减速器的选用	16-144	11.5.1	外形、安装尺寸	16-244
8	摆线针轮减速器	16-146	11.5.2	承载能力	16-245
8.1	概述	16-146	11.6	YP 型带传动减速器 (摘自 HG/T 3139.11—2001)	16-246
8.2	摆线针轮减速器	16-148	11.6.1	外形、安装尺寸	16-246
8.2.1	标记方法及使用条件	16-148	11.6.2	承载能力	16-248
8.2.2	外形、安装尺寸	16-149	11.7	釜用减速器附件	16-249
8.2.3	承载能力	16-172	11.7.1	XD 型单支点机架	16-249
8.2.4	减速器的选用	16-203	11.7.2	XS 型双支点机架	16-252
9	谐波传动减速器	16-203	11.7.3	FZ 型双支点方底板机架	16-255
9.1	工作原理与特点	16-203	11.7.4	JQ 型夹壳联轴器	16-257
9.2	XB、XBZ 型谐波传动减速器 (摘自 GB/T 14118—1993)	16-205	11.7.5	GT、DF 型刚性凸缘联 轴器	16-258
9.2.1	外形、安装尺寸	16-205	11.7.6	SF 型三分式联轴器	16-260
9.2.2	承载能力	16-208	11.7.7	TK 型弹性块式联轴器	16-261
9.2.3	使用条件及主要技术指标	16-210	12	同轴式圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 7000—1993)	16-262
9.2.4	减速器的选用	16-210	12.1	适用范围	16-262
10	三环减速器	16-211	12.2	代号与标记示例	16-263
10.1	工作原理、特点及适用范围	16-211	12.3	外形、安装尺寸	16-263
10.2	结构型式与特征	16-212	12.4	实际传动比及承载能力	16-267
10.3	装配型式	16-213			
10.4	外形、安装尺寸 (摘自 YB/T 079—1995)	16-215			
10.5	承载能力	16-221			
10.6	减速器的选用	16-227			
11	釜用立式减速器	16-227			
11.1	X 系列釜用立式摆线针轮减速器				

13 TH、TB 型硬齿面齿轮减速器	16-273	4 环锥行星无级变速器	16-382
13.1 适用范围及代号示例	16-273	4.1 概述	16-382
13.2 装配布置型式	16-273	4.2 环锥行星无级变速器	16-382
13.3 外形、安装尺寸	16-274	4.2.1 适用范围及标记示例	16-382
13.4 承载能力	16-297	4.2.2 技术参数、外形及安装 尺寸	16-383
13.5 减速器的选用	16-312	4.2.3 选型方法	16-385
14 模块化系列斜齿轮减速电机	16-315	5 带式无级变速器	16-385
14.1 斜齿轮减速电机装配型式及主 要技术特性	16-316	5.1 概述	16-385
14.2 SEW R 系列斜齿轮减速电机 外形、安装尺寸	16-319	5.2 V 形宽带无级变速器	16-386
14.3 SEW R 系列斜齿轮减速电机承载 能力	16-328	6 齿链式无级变速器	16-388
14.4 SEW R 系列斜齿轮减速电机的 选用及型号标记	16-358	6.1 概述	16-388
第3章 机械无级变速器及产品	16-360	6.1.1 特点及用途	16-388
1 机械无级变速器的基本知识、类型和 选用	16-360	6.1.2 变速原理	16-388
1.1 传动原理	16-360	6.1.3 调速范围	16-389
1.2 特点和应用	16-362	6.2 P 型齿链式无级变速器	16-389
1.3 机械特性	16-362	6.2.1 适用范围及标记示例	16-389
1.4 类型、特性和应用示例	16-363	6.2.2 技术参数、外形及安装 尺寸	16-390
1.5 选用的一般方法	16-367	7 三相并列连杆脉动无级变速器	16-391
1.5.1 类型选择	16-367	7.1 概述	16-391
1.5.2 容量选择	16-367	7.2 三相并列连杆脉动无级 变速器	16-392
2 锥盘环盘无级变速器	16-368	7.2.1 适用范围及标记示例	16-392
2.1 概述	16-368	7.2.2 外形、安装尺寸	16-393
2.2 SPT 系列减变速机的型号、技术 参数及基本尺寸	16-368	7.2.3 性能参数	16-394
2.3 ZH 系列减变速机的型号、技术 参数及基本尺寸	16-370	8 四相并列连杆脉动无级变速器	16-394
3 行星锥盘无级变速器	16-375	9 多盘式无级变速器	16-396
3.1 概述	16-375	9.1 概述	16-396
3.2 行星锥盘无级变速器	16-376	9.2 特点、工作特性和选用	16-397
		9.3 型号标记、技术参数和外形、 安装尺寸	16-397
		参考文献	16-400

17

常用电机、电器及电动(液)推杆与升降机

第1章 常用电机	17-3	温升	17-3
1 电动机的特性、工作状态及其发热与		2 电动机的选择	17-8
		2.1 选择电动机应综合考虑的问题	17-8

2.2	电动机选择顺序	17-8	4.4.9	YEJ 系列 (IP44) 电磁制动 三相异步电动机 (摘自 JB/T 6456—1992)	17-85
2.3	电动机类型选择	17-8	4.5	变速和减速异步电动机	17-90
2.4	电动机电压和转速的选择	17-10	4.5.1	YD 系列 (IP44) 变极多速三 相异步电动机 (摘自 JB/T 7127—1993)	17-90
2.5	异步电动机的调速运行	17-11	4.5.2	YCT (摘自 JB/T 7123—1993)、 YCTD (摘自 JB/T 6450—1992) 系列电磁调速三相异步 电动机	17-96
2.6	电动机功率计算	17-12	4.5.3	YCJ 系列齿轮减速三相异步电 动机 (摘自 JB/T 6447—1992)	17-100
2.7	电动机功率计算与选用举例	17-21	4.5.4	YVP (IP44) 系列变频调速三相异 步电动机	17-109
3	异步电动机常见故障	17-28	4.5.5	YTSZ 系列冶金及起重用变频调速 三相异步电动机	17-113
4	常用电动机规格	17-29	4.6	YZ (摘自 JB/T 10104—1999)、 YZR (摘自 JB/T 10105—1999) 系列起重及冶金用三相异步 电动机	17-116
4.1	旋转电动机外壳的防护分级 (摘自 GB/T 4942.1—2001)	17-29	4.6.1	YZ、YZR 系列起重及冶金用 三相异步电动机技术数据	17-116
4.2	旋转电动机结构及安装型式 (IM 代号) (摘自 GB/T 997—2003)	17-30	4.6.2	YZ、YZR 系列起重及冶金用 电动机的安装尺寸与外形 尺寸	17-118
4.3	常用电动机的特点及用途	17-37	4.7	防爆异步电动机	17-121
4.4	一般异步电动机	17-41	4.7.1	YB2 系列隔爆型三相异步电动机 (摘自 JB/T 7565.1—2004、 JB/T 7565.2—2002、 JB/T 7565.3—2004、 JB/T 7565.4—2004)	17-122
4.4.1	Y2 系列 (IP54) (摘自 JB/T 8680.1—1998、JB/T 8680.2— 1998)、Y3 系列 (IP55) (摘自 JB/T 10447—2004) 三相异步电动机	17-41	4.7.2	YA 系列增安型三相异步电动机 (摘自 JB/T 9595—1999、 JB/T 8972—1999)	17-132
4.4.2	Y 系列 (IP44) 三相异步 电动机 (摘自 JB/T 9616—1999)	17-53	4.8	小功率电动机	17-140
4.4.3	Y 系列 (IP23) 三相异步 电动机 (摘自 JB/T 5271—1991、 JB/T 5272—1991)	17-62	4.9	YZO 系列振动异步电动机	17-145
4.4.4	YR 系列 (IP44) 三相异步 电动机 (摘自 JB/T 7119—1993)	17-65	4.10	小型盘式制动电动机	17-147
4.4.5	YR 系列 (IP23) 三相异步 电动机 (摘自 JB/T 5269—1991)	17-68	4.10.1	YPE 三相异步盘式制动	
4.4.6	Y、YR 系列中型三相异步 电动机 (660V)	17-70			
4.4.7	YX 系列高效率三相异步 电动机	17-73			
4.4.8	YH 系列 (IP44) 高转差率 三相异步电动机 (摘自 JB/T 6449—1992)	17-76			

电动机	17-147	6.7 JGX1, 2, 3 型及 JGJ1, 2, 3 型	
4.10.2 YHHPY 起重用盘式制动		管状电加热元件	17-226
电动机	17-149	6.8 JGM 型管状电加热元件	17-227
4.11 直流电机	17-150	第3章 电动、电液推杆与升降机 ...	17-229
4.11.1 Z4 系列直流电动机 (摘自		1 电动推杆	17-229
JB/T 6316—1992)	17-151	1.1 ZHN 系列电动推杆	17-229
4.11.2 测速发电机	17-166	1.2 DG 型电动推杆	17-231
4.12 电动机滑轨	17-172	1.3 DGT 型电动推杆	17-236
第2章 常用电器	17-175	1.4 DGW 型电动推杆	17-237
1 电磁铁	17-175	1.5 TDT 双联同步电动推杆	17-238
1.1 MQD1 系列牵引电磁铁	17-175	1.6 应用示例	17-239
1.2 直流牵引电磁铁	17-176	1.7 DTT 型电动推杆	17-239
2 行程开关	17-178	2 电液推杆	17-242
2.1 LXP1 (3SE3) 系列行程		2.1 电动液压缸	17-242
开关	17-178	2.1.1 UE 系列电动液压缸与系列	
2.2 LX19 系列行程开关	17-181	液压泵技术参数	17-242
2.3 LXZ1 系列精密组合行程		2.1.2 UEC 系列直列式电动液压缸	
开关	17-183	选型方法	17-245
2.4 LXW6 系列微动开关	17-184	2.1.3 UEG 系列并列式电动液压缸	
2.5 WL 型双回路行程开关	17-186	选型方法	17-247
3 接近开关	17-197	2.2 电液推杆及电液转角器	17-253
3.1 LXJ6 系列接近开关	17-197	2.2.1 DYT (B) 电液推杆	17-253
3.2 LXJ7 系列接近开关	17-198	2.2.2 ZDY 电液转角器	17-259
3.3 LXJ8 (3SG) 系列接近开关	17-198	2.2.3 有关说明	17-260
3.4 E2 系列接近开关	17-205	3 升降机	17-261
4 光电开关	17-210	3.1 SWL 蜗轮螺杆升降机 (摘自	
5 光电编码器	17-216	JB/T 8809—1998)	17-261
5.1 LEC 系列增量式光电编码器	17-216	3.1.1 型式及尺寸	17-261
5.2 JXW 系列绝对式光电编码器	17-217	3.1.2 性能参数	17-265
6 管状电加热元件 (摘自		3.1.3 驱动功率的计算	17-269
JB/T 2379—1993)	17-220	3.1.4 蜗杆轴伸的许用径向力	17-269
6.1 管状电加热元件的型号与		3.1.5 螺杆长度与极限载荷的	
用途	17-220	关系	17-270
6.2 管状电加热元件的结构及使用		3.1.6 螺杆许用侧向力 F_s 和轴向力	
说明	17-220	F_a 与行程的关系	17-271
6.3 管状电加热元件的常用设计、		3.1.7 工作持续率与环境温度的	
计算公式和参考数据	17-221	关系	17-272
6.4 JGQ 型管状电加热元件	17-222	3.2 其他升降机	17-272
6.5 JGY 型管状电加热元件	17-224	参考文献	17-273
6.6 JGS 型管状电加热元件	17-225		

本篇主要符号	18-3	响应	18-39
第1章 概述	18-5	3 直线运动振系与定轴转动振系的 参数类比	18-40
1 机械振动的分类及机械工程中的振动 问题	18-5	4 共振关系	18-41
1.1 机械振动的分类	18-5	5 回转机械在启动和停机过程中的 振动	18-42
1.2 机械工程中常遇到的振动问题	18-6	5.1 启动过程的振动	18-42
2 有关振动的部分标准	18-7	5.2 停机过程的振动	18-42
2.1 有关振动的部分国家标准	18-7	6 多自由度系统	18-43
2.2 国际振动标准简介	18-10	6.1 多自由度系统自由振动模型参数 及其特性	18-43
3 机械振动等级的评定	18-11	6.2 二自由度系统受迫振动的振幅和 相位差角计算公式	18-45
3.1 振动烈度的确定	18-12	7 机械系统的力学模型	18-45
3.2 泵的振动烈度的评定举例	18-13	7.1 力学模型的简化原则	18-46
第2章 机械振动的基础资料	18-15	7.2 等效参数的转换计算	18-46
1 机械振动表示方法	18-15	第4章 非线性振动与随机振动	18-49
1.1 简谐振动表示方法	18-15	1 非线性振动	18-49
1.2 周期振动幅值表示法	18-16	1.1 机械工程中的非线性振动问题	18-49
1.3 振动频谱表示法	18-16	1.2 非线性力的特征曲线	18-50
2 弹性构件的刚度	18-17	1.3 非线性系统的物理性质	18-53
3 阻尼系数	18-20	1.4 分析非线性振动的常用方法	18-56
3.1 线性阻尼系数	18-20	1.5 等效线性化近似解法	18-56
3.2 非线性阻尼的等效线性阻尼 系数	18-21	1.6 示例	18-57
4 振动系统的固有角频率	18-22	1.7 非线性振动的稳定性	18-58
4.1 单自由度系统的固有角频率	18-22	2 自激振动	18-59
4.2 二自由度系统的固有角频率	18-26	2.1 自激振动和自振系统的特性	18-59
4.3 各种构件的固有角频率	18-28	2.2 机械工程中常见的自激振动 现象	18-59
5 同向简谐振动合成	18-33	2.3 单自由度系统相平面及稳定性	18-61
6 各种机械产生振动的扰动频率	18-34	3 随机振动	18-64
第3章 线性振动	18-35	3.1 平稳随机振动描述	18-65
1 单自由度系统自由振动模型参数及 响应	18-35	3.2 单自由度线性系统的传递函数	18-66
2 单自由度系统的受迫振动	18-37	3.3 单自由度线性系统的随机响应	18-67
2.1 简谐受迫振动的模型参数及 响应	18-37	第5章 振动的控制	18-68
2.2 非简谐受迫振动的模型参数及 响应	18-39	1 隔振与减振方法	18-68

2 隔振设计.....	18-68	4.2 加阻尼的动力吸振器	18-101
2.1 隔振原理及一次隔振的动力 参数设计	18-68	4.2.1 设计思想	18-101
2.2 一次隔振动力参数设计示例	18-70	4.2.2 减振吸振器的最佳参数	18-102
2.3 二次隔振动力参数设计	18-71	4.2.3 减振吸振器的设计步骤	18-103
2.4 二次隔振动力参数设计示例	18-73	4.3 二次减振隔振器设计	18-104
2.5 隔振设计的几个问题	18-75	4.3.1 设计思想	18-104
2.5.1 隔振设计步骤	18-75	4.3.2 二次减振隔振器动力参数 设计	18-104
2.5.2 隔振设计要点	18-76	4.4 摆式减振器	18-105
2.5.3 圆柱螺旋弹簧的刚度	18-76	4.5 冲击减振器	18-106
2.5.4 隔振器的阻尼	18-77	5 缓冲器设计	18-108
2.6 隔振器的材料与类型	18-77	5.1 设计思想	18-108
2.7 橡胶隔振器	18-78	5.1.1 冲击现象及冲击传递 系数	18-108
2.8 橡胶隔振器设计	18-81	5.1.2 速度阶跃激励	18-109
2.8.1 橡胶材料的主要性能参数	18-81	5.1.3 缓冲弹簧的储能特性	18-110
2.8.2 橡胶隔振器刚度计算	18-82	5.1.4 阻尼参数选择	18-110
2.8.3 橡胶隔振器设计要点	18-83	5.2 一次缓冲器设计	18-111
2.9 不锈钢钢丝绳减振器	18-84	5.2.1 缓冲器的设计原则	18-111
2.9.1 主要特点	18-84	5.2.2 设计要求	18-112
2.9.2 选型原则与方法	18-85	5.2.3 一次缓冲器动力参数 设计	18-112
3 阻尼减振.....	18-88	5.2.4 加速度脉冲激励波形影响 提示	18-112
3.1 阻尼减振原理	18-88	5.3 二次缓冲器的设计	18-112
3.2 材料的损耗因子与阻尼层结构	18-89	6 平衡法	18-113
3.2.1 橡胶阻尼层结构	18-90	6.1 结构的设计	18-113
3.2.2 干摩擦阻尼减振器例	18-91	6.2 转子的平衡	18-113
3.3 线性阻尼隔振器	18-92	6.3 往复机械的平衡	18-115
3.3.1 减振隔振器系统主要参数	18-92	第6章 机械振动的利用	18-116
3.3.2 最佳参数选择	18-93	1 概述	18-116
3.3.3 设计示例	18-94	1.1 振动机械的用途及工艺特性	18-116
3.4 非线性阻尼系统的隔振	18-95	1.2 振动机械的组成	18-117
3.4.1 刚性连接非线性阻尼系统 隔振	18-95	1.3 振动机械的频率特性及结构 特征	18-117
3.4.2 弹性连接干摩擦阻尼减振 隔振器动力参数设计	18-96	1.4 有关振动机械的部门标准	18-118
3.4.3 减振器设计	18-97	2 振动输送类振动机的运动参数	18-119
4 动力吸振器.....	18-98	2.1 机械振动指数	18-119
4.1 动力吸振器设计	18-99	2.2 物料的滑行运动	18-119
4.1.1 动力吸振器工作原理	18-99	2.3 物料抛掷指数	18-120
4.1.2 动力吸振器的设计	18-99		
4.1.3 动力吸振器附连点设计	18-100		
4.1.4 设计示例	18-100		

2.4	常用振动机的振动参数	18-121	设计示例	18-138
2.5	物料平均速度	18-121	6.2 惯性共振式振动机动力参数	
2.6	输送能力与输送槽体尺寸的		设计示例	18-140
	确定	18-122	6.3 弹性连杆式振动机动力参数	
2.7	物料的等效参振质量和等效		设计示例	18-141
	阻尼系数	18-122	7 主要零部件	18-143
2.8	振动系统的计算质量	18-123	7.1 振动源电机	18-143
2.9	激振力和功率	18-123	7.2 仓壁式振动器	18-149
3	单轴惯性激振器设计	18-124	7.3 复合弹簧	18-150
3.1	平面运动单轴惯性激振器	18-124	8 振动给料机	18-152
3.2	空间运动单轴惯性激振器	18-125	9 利用振动来监测缆索拉力	18-155
3.3	单轴惯性激振器动力参数		9.1 测量弦振动计算索拉力	18-156
	(远超共振类)	18-126	9.1.1 弦振动测量原理	18-156
3.4	激振力的调整及滚动轴承	18-127	9.1.2 MGH 型锚索测力仪	18-156
4	双轴惯性激振器	18-127	9.2 按两端受拉梁的振动测量索	
4.1	产生单向激振力的双轴惯性激		拉力	18-157
	振器	18-127	9.2.1 两端受拉梁的振动测量	
4.2	空间运动双轴惯性激振器	18-128	原理	18-157
4.2.1	交叉轴式双轴惯性激		9.2.2 高屏溪桥斜张钢缆检测部分	
	振器	18-129	简介	18-157
4.2.2	平行轴式双轴惯性激		9.3 索拉力振动检测的最新方法	18-159
	振器	18-129	9.3.1 考虑索的垂度和弹性	
4.3	双轴惯性激振器动力参数		伸长 λ	18-159
	(远超共振类)	18-130	9.3.2 频差法	18-160
4.4	自同步条件及激振器位置	18-131	9.3.3 拉索基频识别工具箱	18-160
5	近共振类振动机	18-132	第7章 机械振动测量技术	18-161
5.1	惯性共振式	18-132	1 概述	18-161
5.1.1	主振系统的动力参数	18-132	1.1 测量在机械振动系统设计中的	
5.1.2	激振器动力参数设计	18-133	作用	18-161
5.2	弹性连杆式	18-134	1.2 振动的测量方法	18-161
5.2.1	主振系统的动力参数	18-134	1.2.1 振动测量的主要内容	18-161
5.2.2	激振器动力参数设计	18-134	1.2.2 振动测量的类别	18-161
5.3	主振系统的动力平衡	18-135	1.3 测振原理	18-163
5.4	导向杆和橡胶铰链	18-136	1.3.1 线性系统振动量时间历程	
5.5	振动输送类振动机整体刚度和		曲线的测量	18-163
	局部刚度的计算	18-137	1.3.2 测振原理	18-163
5.6	近共振类振动机工作点的		1.4 振动测量系统图示例	18-164
	调试	18-138	2 数据采集与处理	18-164
5.7	间隙非线性弹簧设计	18-138	2.1 信号	18-164
6	振动机械动力参数设计示例	18-138	2.1.1 信号的类别	18-164
6.1	远超共振惯性振动机动力参数			

2.1.2	振动波形因素与波形图	18-164
2.2	信号的频谱分析	18-165
2.3	数据采集系统	18-166
2.3.1	信号采集	18-166
2.3.2	力锤及应用	18-167
2.4	数据处理	18-167
2.4.1	数据处理方法	18-167
2.4.2	数字处理系统	18-168
2.5	智能化数据采集与分析处理、 监测系统	18-168
3	振动幅值测量	18-169
3.1	光测位移幅值法	18-169
3.2	电测振动幅值法	18-170
3.3	激光干涉测量振动法	18-170
3.3.1	光学多普勒干涉原理测量 物体的振动	18-170
3.3.2	低频激光测振仪	18-170
4	振动频率与相位的测量	18-171
4.1	李沙育图形法	18-171
4.2	标准时间法	18-171
4.3	闪光测频法	18-172
4.4	数字频率计测频法	18-172
4.5	振动频率测量分析仪	18-172
4.6	相位的测量	18-172
5	系统固有频率与振型的测定	18-173
5.1	自由衰减振动法	18-173
5.2	共振法	18-173
5.3	频谱分析法	18-173
5.4	振型的测定	18-174
6	阻尼参数的测定	18-174

6.1	自由衰减振动法	18-174
6.2	带宽法	18-175

第8章 轴和轴系的临界转速 18-176

1	概述	18-176
2	简单转子的临界转速	18-176
2.1	力学模型	18-176
2.2	两支承轴的临界转速	18-177
2.3	两支承单盘转子的临界转速	18-178
3	两支承多盘转子临界转速的近似 计算	18-179
3.1	带多个圆盘轴的一阶临界 转速	18-179
3.2	力学模型	18-179
3.3	临界转速计算公式	18-179
3.4	计算示例	18-181
4	轴系的模型与参数	18-182
4.1	力学模型	18-182
4.2	滚动轴承支承刚度	18-182
4.3	滑动轴承支承刚度	18-184
4.4	支承阻尼	18-188
5	轴系的临界转速计算	18-188
5.1	轴系的特征值问题	18-188
5.2	特征值数值计算实例	18-189
6	轴系临界转速设计	18-190
6.1	轴系临界转速修改设计	18-190
6.2	轴系临界转速组合设计	18-192
7	影响轴系临界转速的因素	18-193

参考文献	18-195
------	--------

19

机架设计

第1章 机架结构概论 19-3

1	机架结构类型	19-3
1.1	按机架外形分类	19-3
1.2	按机架的材料和制造方法分类	19-3
1.3	按力学模型分类	19-4
1.4	机架杆系结构类型	19-5

2	机架杆系的几何不变性	19-5
2.1	平面杆系的组成规则	19-6
2.2	平面杆系的自由度计算	19-6
2.2.1	平面杆系的约束类型	19-6
2.2.2	平面杆系自由度的计算	19-7
2.3	杆系几何特性与静定特性的 关系	19-7

3 机架设计计算的准则和要求	19-8	4 机架结构的简化方法	19-48
3.1 机架设计的准则	19-8	4.1 选取力学模型的原则	19-48
3.2 机架设计的一般要求	19-9	4.2 支座的简化	19-48
3.3 设计步骤	19-9	4.3 结点的简化	19-49
4 机架结构的选择	19-9	4.4 构件的简化	19-49
4.1 一般规则	19-9	4.5 简化综述及举例	19-50
4.2 静定结构与超静定结构的比较	19-10	5 杆系结构的支座形式	19-51
4.3 静定桁架与刚架的比较	19-11	5.1 用于梁和刚架的支座	19-51
4.4 几种杆系结构力学性能的比较	19-11	5.2 用于柱和刚架的支座	19-52
4.5 几种桁架结构力学性能的比较	19-13	5.3 用于桁架的支座	19-53
5 几种典型机架结构形式	19-15	6 技术要求	19-53
5.1 汽车车架	19-15		
5.1.1 梁式车架	19-15		
5.1.2 承载式车身车架	19-16		
5.1.3 各种新型车架形式	19-17		
5.2 摩托车车架和拖拉机架	19-18		
5.3 起重运输机械机架	19-20		
5.4 挖掘机机架	19-23		
5.5 管架与管子支吊架	19-25		
5.6 标准容器支座	19-31		
5.7 大型容器支架	19-34		
第2章 机架设计的一般规定	19-35	第3章 梁的设计与计算	19-56
1 载荷	19-35	1 梁的设计	19-56
1.1 载荷分类	19-35	1.1 纵梁的结构设计	19-56
1.2 组合载荷	19-36	1.1.1 纵梁的结构	19-56
1.3 雪载荷和冰载荷	19-36	1.1.2 梁的连接	19-59
1.4 风载荷	19-37	1.1.3 梁截面的有关数据	19-59
1.5 地震载荷	19-40	1.2 主梁的上拱高度	19-62
2 刚度要求	19-42	1.3 端梁的结构设计	19-62
2.1 《钢结构设计规范》的规定	19-42	1.4 梁的整体稳定性	19-63
2.2 《起重机设计规范》的规定	19-43	1.5 梁的局部稳定性	19-65
2.3 提高刚度的方法	19-43	1.6 举例	19-66
3 强度要求	19-44	2 梁的计算	19-68
3.1 许用应力	19-44	2.1 梁的强度计算	19-68
3.1.1 基本许用应力	19-44	2.2 连续梁计算用表	19-69
3.1.2 折减系数 K	19-44	2.3 举例	19-73
3.1.3 基本许用应力表	19-45	2.4 弹性支座上的连续梁	19-75
3.2 起重机钢架的安全系数和许用应力	19-46		
3.3 铆焊连接基本许用应力	19-47	第4章 柱和立架的设计与计算	19-80
		1 柱和立架的形状	19-80
		1.1 柱的外形	19-80
		1.2 柱的截面形状	19-81
		1.3 立柱的外形与影响刚度的因素	19-82
		1.3.1 起重机龙门架外形	19-82
		1.3.2 机床立柱及其他	19-83
		1.3.3 各种立柱类构件的刚度比较	19-86
		1.3.4 螺钉及外肋条数量对立柱连接处刚度的影响	19-86
		2 柱的连接及柱和梁的连接	19-86

2.1 柱的拼接	19-86	分析法	19-127
2.2 柱脚的设计与连接	19-87	6.2 圆形容器的支承桁架	19-128
2.3 梁和柱的连接	19-89	第6章 框架的设计与计算	19-133
3 稳定性计算	19-91	1 刚架的结点设计	19-134
3.1 不作稳定性计算的条件	19-91	2 刚架内力分析方法	19-135
3.2 轴心受压构件的稳定性验算 公式	19-91	2.1 力法计算刚架	19-136
3.3 结构件长细比的计算	19-92	2.1.1 力法的基本概念	19-136
3.4 结构件的计算长度	19-93	2.1.2 计算步骤	19-136
3.4.1 等截面柱	19-93	2.1.3 简化计算的处理	19-137
3.4.2 变截面受压构件	19-94	2.2 位移法	19-139
3.4.3 桁架构件的计算长度	19-96	2.2.1 角变位移方程	19-139
3.4.4 特殊情况	19-97	2.2.2 应用基本体系及典型方程 计算刚架的步骤	19-140
3.5 偏心受压构件	19-97	2.2.3 应用结点及截面平衡方程 计算刚架的步骤	19-141
3.6 板的局部稳定性计算	19-98	2.3 简化计算举例	19-142
3.7 圆柱壳的局部稳定性计算	19-101	3 框架的位移	19-143
4 柱的计算用表	19-101	3.1 位移的计算公式	19-143
第5章 桁架的设计与计算	19-108	3.1.1 由载荷作用产生的位移	19-143
1 静定梁式平面桁架的分类	19-108	3.1.2 由温度改变所引起的 位移	19-144
2 桁架的结构	19-109	3.1.3 由支座移动所引起的 位移	19-145
2.1 桁架结点	19-109	3.2 图乘法	19-145
2.2 管子桁架	19-110	3.3 空腹框架的计算公式	19-148
2.3 几种桁架的结构形式和参数	19-111	4 等截面刚架内力计算公式	19-149
2.3.1 结构形式	19-111	4.1 等截面单跨刚架计算公式	19-149
2.3.2 尺寸参数	19-112	4.2 均布载荷等截面等跨排架计算 公式	19-157
2.4 桁架的起拱度	19-115	第7章 其他形式的机架	19-159
3 静定平面桁架的内力分析	19-115	1 整体式机架	19-159
3.1 截面法(用力矩平衡法 计算)	19-116	1.1 概述	19-159
3.2 截面法(用力平衡法计算)	19-116	1.2 有加强肋的整体式机架的肋板 布置	19-160
3.3 结点法	19-117	1.3 布肋形式对刚度影响	19-161
3.4 混合法	19-117	1.4 肋板的刚度计算	19-162
3.5 代替法	19-118	2 箱形机架	19-165
4 桁架的位移计算	19-119	2.1 箱体结构参数的选择	19-165
4.1 桁架的位移计算公式	19-119	2.1.1 壁厚的选择	19-165
4.2 几种桁架的挠度计算公式	19-120		
4.3 举例	19-123		
5 超静定桁架的计算	19-126		
6 空间桁架	19-127		
6.1 平面桁架组成的空间桁架的受力			

2.1.2	加强肋	19-166	应力	19-181	
2.1.3	孔和凸台	19-166	3.3.4	闭口式机架的变形(延伸) 计算	19-182
2.1.4	箱体的热处理	19-166	3.4	开式机架的计算	19-183
2.2	壁板的布肋形式	19-167	4	桅杆缆绳结构	19-184
2.3	箱体刚度	19-167	5	柔性机架	19-185
2.3.1	箱体刚度的计算	19-167	5.1	钢丝绳机架	19-185
2.3.2	箱体刚度的影响因素	19-168	5.1.1	概述	19-185
2.4	齿轮箱箱体刚度计算举例	19-172	5.1.2	输送机钢丝绳机架的静力 计算	19-185
2.4.1	齿轮箱箱体的计算	19-172	5.1.3	钢丝绳的拉力	19-186
2.4.2	车床主轴箱刚度计算 举例	19-175	5.1.4	钢丝绳的预张力	19-186
3	轧钢机类机架设计与计算方法	19-176	5.1.5	钢丝绳鞍座尺寸	19-186
3.1	轧钢机机架形式与结构	19-176	5.2	浓密机机座柔性底板(托盘)的 设计	19-187
3.2	短应力线轧机	19-177	参考文献	19-190	
3.3	闭式机架强度与变形的计算	19-178			
3.3.1	计算原理	19-178			
3.3.2	计算结果举例	19-180			
3.3.3	机架内的应力与许用				

20

塑料制品与塑料注射成型模具设计

第1章	塑料制品设计	20-3	2.2.4	塑料件的尺寸公差	20-14
1	塑料制品材料选择	20-3	2.2.5	塑件的壁厚	20-16
1.1	塑料的一般特性	20-3	2.2.6	塑件的圆角和圆角半径	20-16
1.2	塑料分类	20-4	2.2.7	塑件的加强筋和凸台	20-17
1.3	热塑性塑料的性能与应用	20-4	2.2.8	塑件的角撑	20-19
1.4	热固性塑料的性能及应用	20-8	2.2.9	塑件的脱模斜度	20-19
2	塑料制品的设计	20-9	2.2.10	塑件的顶出部位	20-20
2.1	塑料制品设计原则和方法	20-9	3	塑件的结构设计	20-20
2.1.1	拟定设计方案	20-9	3.1	塑件孔和凹凸设计	20-20
2.1.2	塑件的结构设计	20-10	3.2	塑件凸凹设计	20-21
2.1.3	生产准备和定型	20-10	3.3	嵌件模塑制品	20-22
2.1.4	热塑性塑料注射成型	20-10	3.3.1	金属嵌件的形式	20-22
2.1.5	热固性塑料的加工	20-11	3.3.2	嵌件与塑件的设计	20-23
2.1.6	塑料件的失效分析	20-11	3.3.3	塑件中嵌件的位置	20-24
2.2	注塑制品的细部设计	20-12	3.3.4	嵌件周围塑料裂纹	20-25
2.2.1	分模线位置的确定	20-12	3.3.5	热插嵌件	20-26
2.2.2	制件口缘设计	20-12	第2章	塑料注射成型工艺	20-27
2.2.3	塑件的尺寸精度	20-13	1	成型前的准备工作	20-27

2 注射成型过程	20-29	设计	20-80
2.1 塑化与流动	20-29	3.2.2 型芯的结构设计	20-82
2.1.1 热均匀性	20-29	3.3 成型零件工作尺寸计算方法	20-84
2.1.2 塑化量	20-30	3.4 成型零件工作尺寸计算实例	20-84
2.2 注射	20-30	4 导向机构设计	20-86
2.3 模塑	20-31	4.1 导向零件的作用	20-86
3 制件的后处理	20-32	4.1.1 导向作用	20-86
4 注射成型工艺条件	20-33	4.1.2 定位作用	20-86
4.1 温度	20-33	4.1.3 承受一定的侧向压力	20-86
4.2 压力	20-36	4.2 导向零件设计原则	20-87
4.3 成型周期(时间、速度)	20-37	4.3 导柱的结构、形式及应用	20-88
5 典型塑件的塑料注塑工艺参数	20-38	4.4 导套和导向孔的结构、固定方法 及应用	20-90
6 注塑成型常见缺陷及对策	20-43	5 推出机构设计	20-91
第3章 塑料注射成型模具设计	20-48	5.1 推杆结构设计	20-91
1 塑料成型模具设计概论	20-48	5.1.1 推出机构的分类	20-91
1.1 塑料成型模具的分类方法	20-48	5.1.2 推出机构的设计原则	20-91
1.2 塑料注射成型模具的分类和 结构	20-49	5.1.3 推杆推出机构	20-92
1.3 注射模具与注射机的关系	20-52	5.2 推管推出机构	20-93
1.4 注射机有关工艺参数的校核	20-54	5.3 推板推出机构	20-94
2 浇注系统设计	20-59	5.4 推出机构的导向与复位	20-95
2.1 浇注系统设计的基本要点	20-59	5.4.1 复位零件	20-95
2.2 主流道与分流道设计	20-59	5.4.2 导向零件	20-96
2.2.1 浇注系统的组成	20-59	6 抽芯机构设计	20-96
2.2.2 浇注系统的设计	20-60	6.1 侧向分型抽芯机构	20-96
2.3 浇口设计	20-63	6.1.1 侧向分型与抽芯机构工作 过程	20-96
2.3.1 浇口的作用	20-63	6.1.2 侧向分型与抽芯机构的 分类	20-97
2.3.2 浇口类型	20-64	6.1.3 抽芯距与抽芯力的计算	20-98
2.3.3 浇口截面形状及尺寸	20-67	6.2 斜导柱分型与抽芯机构	20-99
2.3.4 浇口位置选择原则	20-68	6.2.1 斜导柱分型抽芯原理	20-99
2.3.5 浇口位置选择实例	20-72	6.2.2 斜导柱、滑块、锁紧块的 设计	20-99
2.4 冷料穴设计	20-74	6.2.3 斜导柱分型与抽芯机构的 结构形式	20-104
2.4.1 冷料穴	20-74	6.3 斜滑块分型与抽芯机构	20-106
2.4.2 拉料杆	20-74	6.3.1 滑块导滑的斜滑块分型与 抽芯机构	20-106
3 成型零件结构设计	20-76	6.3.2 斜滑块侧向分型抽芯机构 的设计要点	20-107
3.1 模具分型面	20-76		
3.1.1 模具分型面及类型	20-76		
3.1.2 分型面的选择	20-77		
3.2 成型零件的结构形式及设计	20-80		
3.2.1 凹模(型腔)的结构			

6.4 其他形式的侧向分型与抽芯机构	20-108	2.6 电视机外壳后盖塑料注射成形模具	20-127
7 加热和冷却装置的设计	20-109	2.7 电视机前罩塑料注射成型模具	20-128
7.1 对模具温度控制系统设计的基本要求	20-110	第6章 塑料注射成型模具	
7.2 冷却装置设计原则	20-110	标准模架	20-129
第4章 热固性塑料注射成型模具		1 中小型模架	20-129
1 概述	20-112	1.1 中小型模架的标记方法	20-129
2 热固性塑料注射模塑对注射机的要求	20-113	1.2 中小型模架的结构形式(品种)	20-129
3 热固性塑料注射模设计要点	20-113	1.3 中小型模架的尺寸组合	20-131
第5章 塑料注射成型模具实例		1.4 模架的规格系列	20-131
1 一般结构的注射成型模具实例	20-117	2 大型模架	20-133
1.1 单分型面注射成型模具	20-117	2.1 大型模架的标记方法	20-133
1.2 侧向分型抽芯注射成型模具	20-117	2.2 大型模架的结构形式	20-134
1.3 定模设置推出机构的注射模	20-117	2.3 大型模架的尺寸组合	20-134
1.4 双分型面注射成型模具	20-118	第7章 塑料注射成型模具设计	
1.5 潜伏式浇口全自动塑料注射成型模具	20-121	程序与 CAD	20-136
1.6 具有自动卸螺纹结构的注射成型模具	20-121	1 塑料模具设计程序	20-136
1.7 气动脱模注射成型	20-122	2 塑料注射成型模具 CAD	20-137
2 结构较为复杂的注射成型模具实例	20-123	2.1 塑料注射成型模具 CAD 的内容与特点	20-137
2.1 洗衣机搅水轮塑料注射成型模具	20-123	2.1.1 塑料注射成型模具 CAD 的主要内容	20-138
2.2 电话机机身底座注射成型模具	20-124	2.1.2 塑料注射成型模具 CAD 的特点	20-138
2.3 电话机外壳注射成型模具	20-124	2.2 塑料注射成型模具 CAD 中的几何造型	20-139
2.4 电话机手柄注射成型模具	20-125	2.3 塑料注射成型模具设计与结构图的绘制	20-140
2.5 按键注射成型模具	20-126	参考文献	20-143



第 15 篇 多点啮合柔性传动



主要撰稿 郑自求 贺元成 季泉生
方正 冯彦宾 袁林

审 稿 方正 季泉生

第 1 章 概 述

1 原理和特征

1.1 原理

末级减速装置由多个主动件同时驱动主轴，并把全部或部分低速级传动装置悬挂安装于主轴或从动件，再将悬挂的主传动装置架体通过柔性支承与地基连接的传动方式称为多点啮合柔性传动，可简称为“多柔传动”。

1.2 特征

末级减速装置有多点啮合、悬挂安装和柔性支承是“多柔传动”的主要特性。多柔传动和以前的初级或中间减速装置或有多点啮合、或有悬挂安装、或有柔性支承的特点是不同的，它具有如下性能特征。

多柔传动适用于重载低速的大型设备主传动，重载低速传动需要解决传递大转矩，具有很大冲击和振动，以及末级偏载较严重等问题。该偏载产生的主要原因：其一为安装误差，两轴心线相互位置偏差；其二为在工作载荷作用下轴心线的挠曲、温度变化及基础沉降等引起的末级从动件位置的偏移；其三为保证最小侧隙，人为地将中心距拉开而导致的接触面积的减少。这些误差的积累将导致末级齿轮不能正确啮合而致载荷在轮齿上分布不均。针对大转矩采用多点啮合，其末级从动件由多个主动件同时驱动以减少单点传动力；为解决末级偏载，它将全部或部分低速级传动装置悬挂在主轴或末级从动件上，使末级主动件能适应从动件位置的变化而同步变化，从而使末级传动保持良好的传动状态；为缓和冲击和减振，在相关传动链上设置了具有“柔性”的零部件或装置，如通过柔性支承将悬挂在主轴或末级从动件上的架体与地基相连等。这些具体设计构思的有机结合就形成了性能优良的多柔传动。

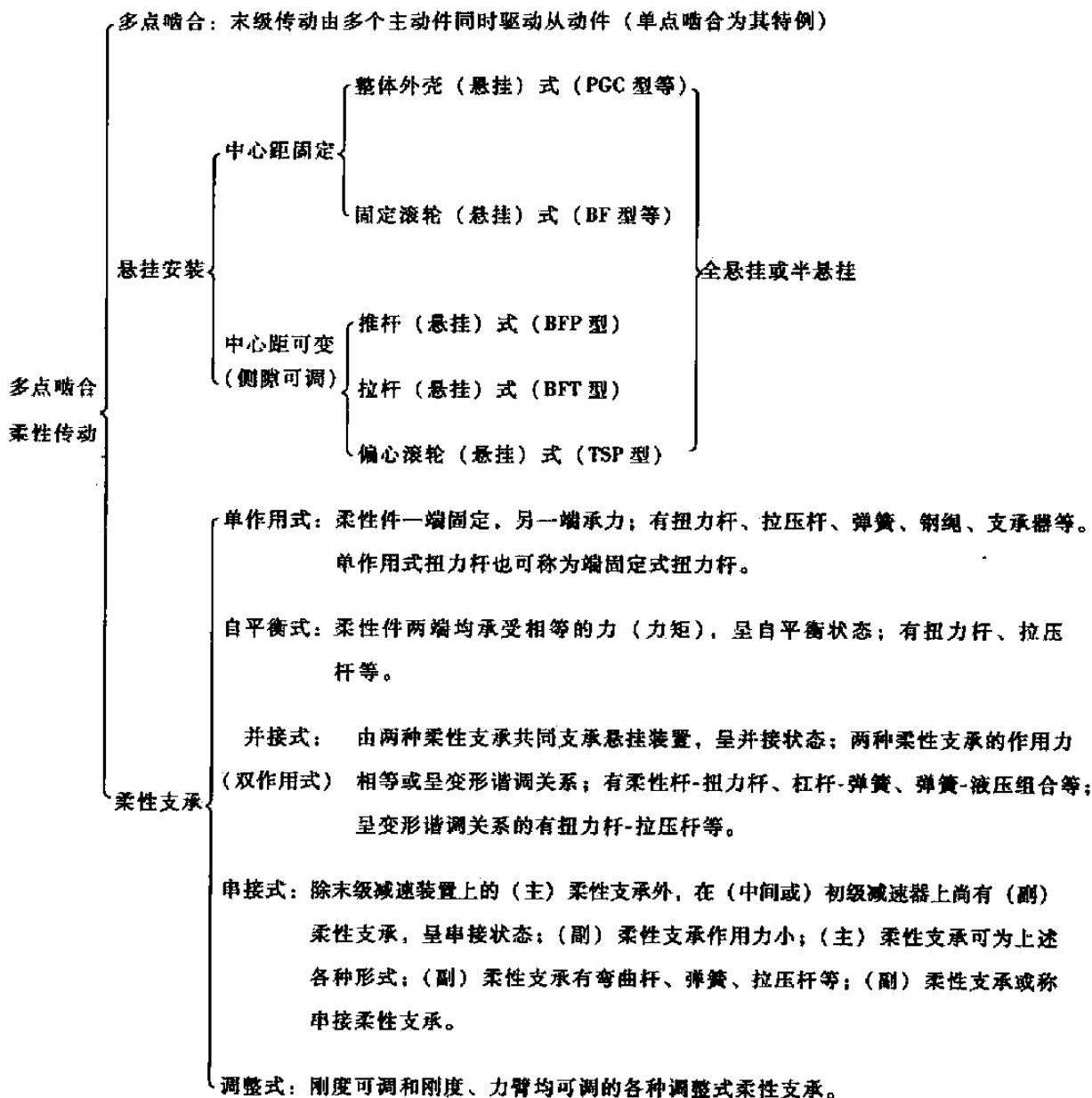
2 基本类型

2.1 分类

主要根据多柔传动的特征——多点啮合、悬挂安装、柔性支承的作用原理和结构来分类；悬挂安装结构是“多柔传动”的主要特征和区别，是划分类型的依据；柔性支承使悬挂结构和基础之间获得“柔性”连接，保证各种悬挂安装结构的性能得以完美实现；啮合点数是由多少个主动件分担总转矩所决定。除悬挂安装结构形式外，根据传动装置是全部或部分安装在悬挂壳体上还可分为：

- ① 全悬挂 全部传动装置（包括原动机，如电机）都悬挂安装在主轴上；

② 半悬挂 部分低速级传动装置悬挂安装于主轴或末级从动件上，而其高速级传动装置则仍安装在地基。
“多柔传动”的结构分类形式如下。



2.2 悬挂形式与其他特征的组合

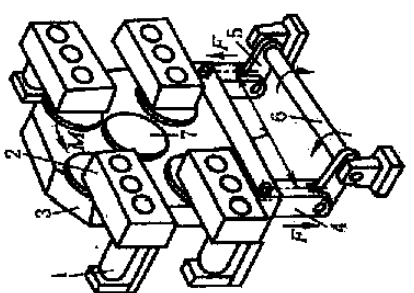
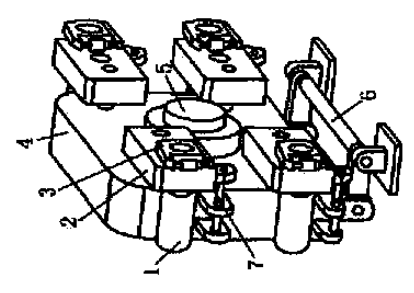
可根据大型设备主传动要求，如传递总转矩、转速、设备结构，如从动件装于主轴或筒体、传动装置处于中部或端部、设备长度和大小、传动端预留位置和空间大小、均载要求、载荷性质等选定悬挂形式后再确定几点啮合，全部或部分悬挂安装（全悬挂或半悬挂）、适用的柔性支承形式，从而形成结构形式各不相同的上述各种悬挂形式与其他特征组合的各种多柔传动装置。

3 结构和性能

现就五种悬挂安装形式中较常用的实例汇总在表 15-1-1 中，从中可见各种形式实例的结构和性能，可供选型确定结构作参数。

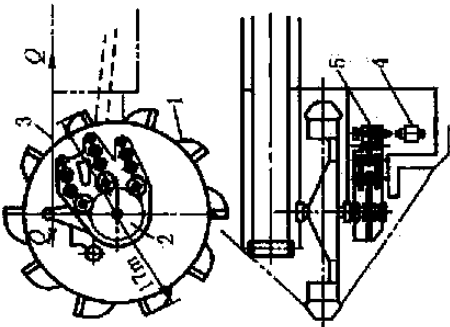
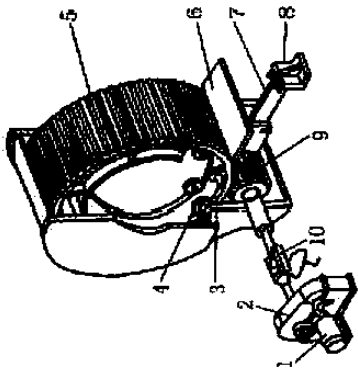
结构和性能

表 15-1-1

序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
1	整体外壳式之一 (PGC型)	 <p>1—电机;2—初级减速器; 3—末级减速器(整体外壳);4—直杆; 5—曲柄;6—扭力杆;7—输出主轴</p>	<p>以一个末级减速装置(整体外壳)悬挂于主轴,初级减速器出轴与末级小齿轮轴连接,初级减速器箱体固定于末级减速装置壳体上,因此,中心距固定,末级齿轮传动侧隙不能调整</p> <p>四点负荷均由电机特性及电器控制系统确定</p> <p>用于转炉倾动机构等</p>	4	全悬挂	自平衡扭力杆	啮合点数可在 2 ~ 12 之间	<p>① 可设有限制扭力杆过载的限制器;</p> <p>② 基础简单;</p> <p>③ 1~2 点传动损坏,仍可维持操作;</p> <p>④ 主轴承载重量大</p>
2	整体外壳式之二	 <p>1—电机;2—初级减速器;3—制动器; 4—末级减速器(整体外壳);5—主轴; 6—扭力杆;7—串接弯曲杆</p>	<p>主要结构和上面相似,不同者为初级减速器并不固定于末级壳体上,而是悬挂于末级输入轴上,并以弯曲杆作为初级减速器的(副)柔性支承,与末级减速装置的(主)柔性支承扭力杆组成串接式柔性支承</p> <p>用于转炉和烧结机的主传动</p>	4	全悬挂	自平衡扭力杆串接弯曲杆	啮合点数可在 2 ~ 8 之间。初级减速器也采用悬挂安装	<p>① 可设有限制扭力杆过载的限制器;</p> <p>② 基础简单;</p> <p>③ 1~2 点传动损坏,仍可维持操作;</p> <p>④ 主轴承载重量大</p>

序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
3	整体外壳式之三	<p>1—电机;2—制动器;3—初级减速器; 4—串接拉压杆;5—同速轴;6—末级减速器; 7—均载装置;8—弹簧缓冲装置</p>	主要结构和整体外壳式之二相似,但它以拉压杆(副)柔性支承;以弹簧作为(主)柔性支承,组成串接式柔性支承装置。初级减速器的高速轴通过上面两个减速器的同速轴与下面两个减速器的同速轴相联,经从动圆锥齿轮和齿柄摇杆机构,并采用机电控制均载技术实现均载功能。 电机底座和初级减速器壳体固接,以保证和末级减速器整体外壳相对运动的一致性。	4	全悬挂	弹簧串接拉压杆	有均载机构,采用各点载荷比较均匀;初级减速器也采用悬挂安装。	①各点负荷比较均匀; ②1-2点传动损坏,仍可维持操作,保证安全; ③基础简单; ④结构比较复杂; ⑤主轴承载重量大
4	整体外壳式之四	<p>1—支座;2—弹簧减压组合器;3—壳体横梁; 4—初级减速器;5—支撑;6—串接弹簧; 7—末级减速器</p>	为主轴两端驱动结构,每端均有同样6点啮合的整体悬挂末级减速器,两个末级减速器壳体及其横梁均悬挂于主轴承架则支承在(主)柔性支承壳液压组合器上;末级减速器的6个输入轴上都悬挂着初级减速器,其壳体则支承在(副)柔性支承即6个弹簧缓冲器上。应适用于转炉倾动机等。	6x2	全悬挂	弹簧液压串接弹簧	两端同驱动,双边有可达16点初级减速器也采用悬挂安装。	①啮合点数多,传动装置尺寸小; ②1-4点传动损坏,仍可维持操作; ③主轴只承受重力,传动负荷为纯扭,无传动附加力; ④基础简单; ⑤两端必须同时驱动

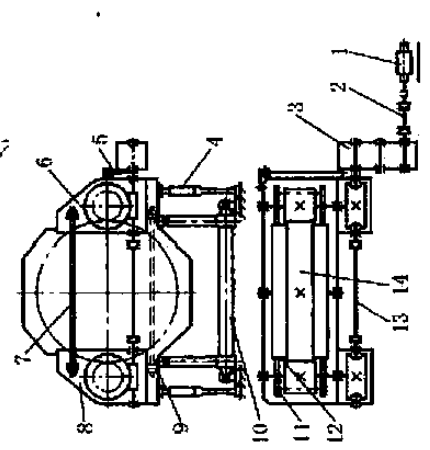
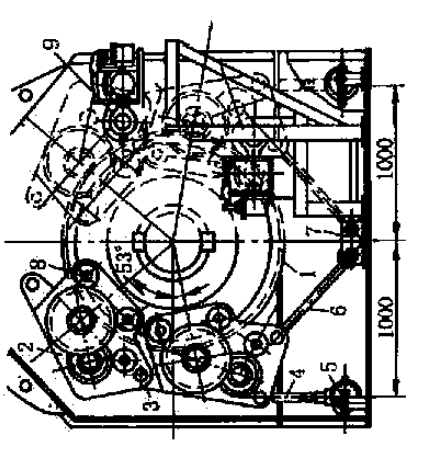
续表

序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
5	整体外壳式之五	 <p>1—斗轮;2—末级大齿轮;3—拉压杆; 4—电机;5—减速器</p>	<p>三台电机,通过各自的减速器输出轴带动末级减速器的三个小齿轮驱动主轴大齿轮,三台减速器在同一个非对称布置的壳体内,并悬挂安装于主轴,从而带动回转直径达17m的斗轮挖掘机工作</p> <p>柔性支承为单作用式拉压杆,一端固定在悬挂壳体的凸缘上,一端则固定于机体上</p> <p>用于斗轮式挖掘机主传动</p>	3	全悬挂	单作用拉压杆	<p>非对称布置传动。啮合点数不能太多,3点左右</p> <p>初级减速器是和末级减速器壳体为一体的,都悬挂安装于主</p>	<p>① 主轴还承受非对称布置的附加集中作用力;</p> <p>② 基础简单;</p> <p>③ 拉压杆最好承受拉力,否则要作稳定校核</p>
6	固定薄轮式之一(BF型)	 <p>1—电机;2—初级减速器;3—内轨道; 4—滚轮;5—末级大齿轮;6—悬挂架体; 7—拉压杆;8—支座;9—小齿轮; 10—万向联轴器</p>	<p>具有固定滚轮的小车悬挂在大齿轮内轨道上,支持并定位;小车通过拉压杆和地基连接</p> <p>维持传动的必要条件为前后滚轮都必须有轮压(至少三个轮子要有轮压),此时中心距是固定的</p> <p>此结构悬挂小车上无其他减速装置,悬挂小车重量较小</p> <p>用于圆筒液合机、回转窑等</p>	1	半悬挂	单作用拉压杆	<p>悬挂小车可以是1~4个,即啮合点为1~4</p>	<p>① 悬挂重量小,悬挂小车上无减速装置,结构简单;</p> <p>② 啮合点数少时,主轴承集中力大;</p> <p>③ 初级减速器置于地基,当速比大时,体积较大;</p> <p>④ 末级非整体外壳,润滑条件较差</p>

序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
7	固定液轮式之二(特殊BF型)	<p>1—电机;2—初级减速器;3—万向联轴轴器; 4—内轨道;5—液轮;6—末级大齿轮; 7—悬挂架体;8—销轴;9—拉压杆; 10—小齿轮;11—重力平衡器</p>	和上面BF型不同点: ①从主轴轴线方向看的双液轮(对称布置时可变为四轮)变为单轮(对称布置为两轮),所以改称为“单轮BF型”更能突出其特征;②有重力平衡器,可平衡悬挂装置重量。应用于回转窑、干燥机等	1	半悬挂	单作用拉压杆	小车型样可以是1~4个,啮合点为1~4点;为单轮定位,并有重量平衡器	① 悬挂重量小,悬挂小车上无减速装置,结构简单; ② 不能丧失轮压; ③ 轮压受小车位置及拉压杆等部件相对位置影响;多个小车时必须都有轮压
8	推杆式之一(BFP型)	<p>1—大齿轮;2—悬挂架体;3—辊子; 4—小齿轮;5—小齿轮轴;6—弹簧推杆; 7—支杆</p>	没有液轮支持定位,依靠推杆将包含末级小齿轮在内的架体有压悬挂在大齿轮(主轴)上,以悬挂架体上小齿轮两侧侧的辊子接触大齿轮轮缘两侧的外轨道来保持齿侧副的最小传动侧隙。调整弹性推杆中弹簧的预压缩量,可以改变中心距,从而调整齿侧副的啮合侧隙。应用于造球机、水泥窑等	1	半悬挂	单作用弹簧	架体可以为1~4套,啮合点为1~4点;齿轮径向力为柔性支承的作用载荷	① 辊子和外轨道间作用力较小,可以人为设定; ② 侧隙变大或磨损时,可以修配辊子来维持原啮合侧隙

序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
9	推杆式之二 (BFP型)	<p>1—大齿轮; 2—悬挂架体; 3—辘子; 4—小齿轮; 5—弹簧推杆; 6—传动轴; 7—销轴; 8—支杆; 9—外轨道</p>	与推杆式 (BFT型) 之一相同。柔性支撑为承受径向力的弹簧推杆	1	半悬挂	单作用弹簧	啮合点可为 1~4 点, 即传动架体可以为 1~4 套	<p>① 柔性支承固定点的位置应在齿轮连心线方向;</p> <p>② 辘子和外轨道间需要保持一定压力, 以保证架体的悬挂可靠;</p> <p>③ 侧隙变大或磨损时可修配辘子, 获得理想侧隙</p>
10	拉杆式之一 (BFT型)	<p>1—悬挂架体; 2—大齿轮; 3—前拉杆; 4—后拉杆; 5—万向接轴; 6—输入轴; 7—曲柄; 8—扭力杆</p>	借前后拉杆将左右传动架体悬挂于大齿轮上, 这种最初应用的拉杆式 (BFT型) 悬挂架体无重力平衡器; 两点负荷不均, 因此小齿轮两侧需设两个辘子, 负荷小侧辘子和大齿轮上外轨道接触, 从而保证负荷较小侧齿轮能保持啮合的最小侧隙 应用于烧结机车传动、混铁水车倾翻机构、矿井提升机、闸门启闭机等	2	半悬挂	自平衡扭力杆	输入轴未悬挂初级减速器, 属于左右对称的 BFT 型	<p>① 只能用于端部传动;</p> <p>② 大齿轮直接和主轴连接输出转矩;</p> <p>③ 必须两侧即两点同时工作, 一侧损坏就不能维持传动;</p> <p>④ 两点负荷不均</p>



序号	形式	结构简图	简述	结构特征				优缺点
				啮合点数	全部或部分悬挂安装	柔性支承	其他特征	
11	拉杆式之二 (BFT型)	 <p>1—电机;2—万向接轴;3—悬挂减速器; 4—重力平衡器;5—串接拉压杆;6—右传动架; 7—前拉杆;8—左传动架;9—后拉杆; 10—扭力杆;11—辊子;12—外轨道; 13—万向接轴;14—大齿轮</p>	<p>有重力平衡器,若按BFT型理论分析确定其位置和弹簧的预压缩量,可做到两点负荷均衡;右悬挂传动架输入端还悬挂(用拉压杆作柔性支承)有初级减速器,因此左右两悬挂传动架体安装后重量不相等,为非对称结构</p>	2	半悬挂	<p>自平衡扭力杆串接拉压杆</p>	<p>输入轴悬挂初级减速器,属于左右不对称的BFT型有重力平衡器</p>	<p>① 只能用于端部传动; ② 大齿轮直接和主轴连接输出转矩; ③ 必须两侧即两点同时工作,一侧损坏就不能维持传动; ④ 能做到两点负荷均衡; ⑤ 扭力杆(自平衡式)的传力直杆若做成弹性杆,则自平衡式扭力杆就变成并联式柔性支承(弹性杆-扭力杆)</p>
12	偏心滚轮式 (TSP型)	 <p>1—大齿轮;2—悬挂小车;3—连接销; 4—直杆;5—扭力杆;6—拉压杆; 7—支座;8—偏心滚轮;9—初级减速器</p>	<p>四台电机通过非悬挂的初级减速器和悬挂小车上轴上的大齿轮上面的两个小车通过连接销和下面小车连接,下面的小车再通过并接式柔性支承(扭力杆-拉压杆)和地基连接偏心滚轮在大齿轮内轨道上定位;用偏心机构可调整侧隙(中心距可变),如只要有一个小车失去轮压,在末级小齿轮两侧需设辊子与大齿轮外轨道接触,以保证传动最小侧隙用于转炉倾动机构等</p>	4	半悬挂	<p>并接式(扭力杆-拉压杆)</p>	<p>可无级调整侧隙并接式的两个柔性件受力不等,受力的按两个柔性件的变形潜能调关确定啮合点一般在4间</p>	<p>① 一般用于端部传动; ② 扭力杆直径和长度可随变,支承刚度变化范围大; ③ 偏心滚轮也可用固定滚轮式小车代替,但此时中心距固定,侧隙也不能调整</p>

4 优越性及应用

4.1 优越性

(1) 传动性能好

多柔传动采用悬挂安装, 无论什么原因引起的末级从动件偏移都不会影响末级传动副的良好啮合, 采用的柔性支承可缓和冲击和吸收振动, 使传动比较平稳。

(2) 承载能力高

多点啮合不但使单点啮合力锐减, 且对主轴的集中力减少, 接近纯扭; 同中心距及主轴直径承载能力可成倍提高; 悬挂安装可避免低速级偏载, 使齿宽基本不受限制; 若同中心距, 采用两点啮合, 齿宽加大一倍时, 与单点啮合相比, 普通传动能提高承载能力 5.6~14.7 倍。

(3) 体积小、重量轻

采用多点啮合, 末级承载能力以接近啮合点数的倍数增加。若为 8 点啮合, 末级中心距可减少近一半, 重量减轻 3/4。鞍钢 180t 转炉所用多柔传动与 150t 转炉所用普通传动相比, 占地面积由 84m² 减小到 30m², 重量减轻了 56t。对于固定于筒体的大齿轮, 因结构已定不必减小者, 可增大末级传动比以减小前置传动装置尺寸, 重量进一步减轻。

(4) 制造和使用方便

一般可减小中心距使体积变小, 对末级大齿轮固定于筒体而不必减小中心距和大齿轮尺寸者, 因单齿啮合力减小, 也可减小齿轮模数以便于制造。若采用末级中心距可调形式 (推杆式、拉杆式、偏心滚轮式), 就不会产生因齿厚超差而产生的废品, 而且如果在使用中因磨损而侧隙增大时, 可调小侧隙继续使用, 十分方便。

(5) 运转安全可靠

若为两点以上啮合, 当其中一套传动系统出现故障时, 仍可维持运转。此外, 采用的柔性支承除可降低动载荷外, 在该支承上还便于设置过载保护装置, 可减少断轴和螺栓剪断等事故, 确保传动系统主要零部件的安全。

(6) 安装维护方便, 基础简单

多柔传动的大部分部件成组安装及更换, 减少了定位找正操作, 故安装维护方便。若为半悬挂安装, 低速级大转矩传动部分还是悬挂安装的并不安装在基础上, 仅有高速级传动装置和柔性支承安装在基础上, 基础上受力及动载荷均小; 若为全悬挂结构基础上只安装柔性支承, 基础简单, 作用的动载荷更小, 多点啮合对称布置时, 主轴为纯扭, 无集中力作用于基础。

(7) 易于实现通用化、系列化

对于不同的输出转矩, 只需在原有装置的大齿轮上配置不同的啮合点数即可。

4.2 应用

20 世纪 70 年代中期, 世界上已有千余台多柔传动装置, 先后用于大型烧结机、破碎机、矿井提升机、水泥磨机、氧气转炉、链算机、回转窑、圆筒混合机、球磨机、棒磨机、斗轮挖掘机、混铁水车、搅拌机、闸门启闭机、港口起重机、雷达、制糖机和造纸机等设备上。在水泥磨上, 电动机功率已达到数万千瓦; 在一些低速传动装置上, 主轴转矩可达千万牛·米级, 速比达数千。目前氧气转炉倾动机构和大部分大型烧结机的台车驱动装置都已采用这种先进的传动装置, 其理论研究和实践至今方兴未艾。

5 有关结构实例的说明

为了阐明多柔传动的原理、结构和性能等, 本篇采用了部分现场实际使用的减速装置等结构图样, 但因实例受现场具体情况限制, 采用时并未筛选。转载时又未加评述, 故有关参数、数据和结构仅供参考, 一般不宜照搬。

实际设计选用时应根据使用现场实际, 从结构及装置涉及的变位齿轮原理、减速装置设计规范、设计结构合理性和标准化要求等方面确定减速装置的技术参数和结构。

第2章 悬挂安装结构

悬挂安装结构是多柔传动的主要特征和划分形式的主要依据。悬挂安装的目的：一是使末级主动件能适应从动件位置的变化而随动，从而使末级传动保持良好的状态；二是为柔性支承连接创造条件，实现传动装置良好的缓冲减振性能。

对悬挂安装结构的要求是：结构简单；制造方便；自调位性能好且能满足工作中稳定的定位；传动可靠；安装和维护方便。

各种形式的悬挂安装结构分述如下。

1 整体外壳式

1.1 初级减速器固定式安装结构

悬挂安装结构示意图如图 15-2-1 所示，初级减速器通过法兰用螺栓 4 和定位销与末级减速器整体外壳 6 连为一体，整体外壳上还有固定支座 2，用于安装电机 1 和制动器，这样就成为全部传动装置都悬挂安装在主轴上的全悬挂方法。这种安装结构重量对整体外壳的偏心较大。

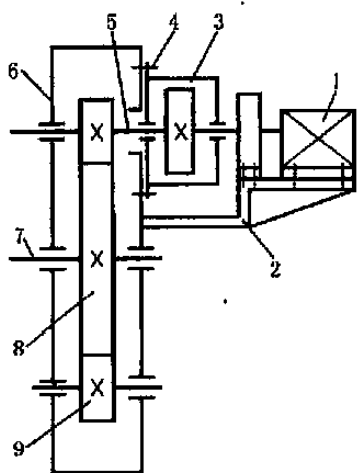


图 15-2-1 初级减速器固定式

- 1—电机；2—固定支座；3—初级减速器；
- 4—螺栓；5—初级减速器输出轴；
- 6—悬挂整体外壳；7—主轴；
- 8—末级大齿轮（从动件）；
- 9—主动件小齿轮

另一种结构为电动机和初级减速器输出轴处于异侧，此时重量对整体外壳的偏心较小，初级减速器结构见图 15-2-2，它的低速轴伸出端安装的就是末级减速器的小齿轮，用它直接传动主轴的大齿轮，小齿轮另一端的滚动轴承被安装在整体外壳的镗孔内，这样初级减速器的输出轴为三支点静不定结构。类似的整体结构形式见表 15-1-1 序号 1，但初级减速器输出轴的具体结构也可能有所不同。图 15-2-3 就是和这种初级减速器固定式安装结构连接的末级减速器。

1.2 初级减速器悬挂式安装结构

这种结构除了在悬挂的末级减速装置已有（主）柔性支承外，初级减速器也悬挂于末级减速装置的输入轴上，并又采用拉压杆为（副）柔性支承，即形成了串接式的柔性支承形式。

与前者主要差别是它的初级减速器也是套（悬挂）在末级减速器的输入轴上的，这种串接式柔性支承在氧气炼钢转炉和烧结机等设备上

都有采用，目前初级减速器的（副）柔性支承即串接柔性支承有两种基本形式。

1.2.1 初级减速器串接柔性支承为拉压杆（或弹簧）

图 15-2-4 所示为这种结构。其中上图为初级减速器通过拉压杆支承在整体外壳上的结构，下图为悬挂轴结

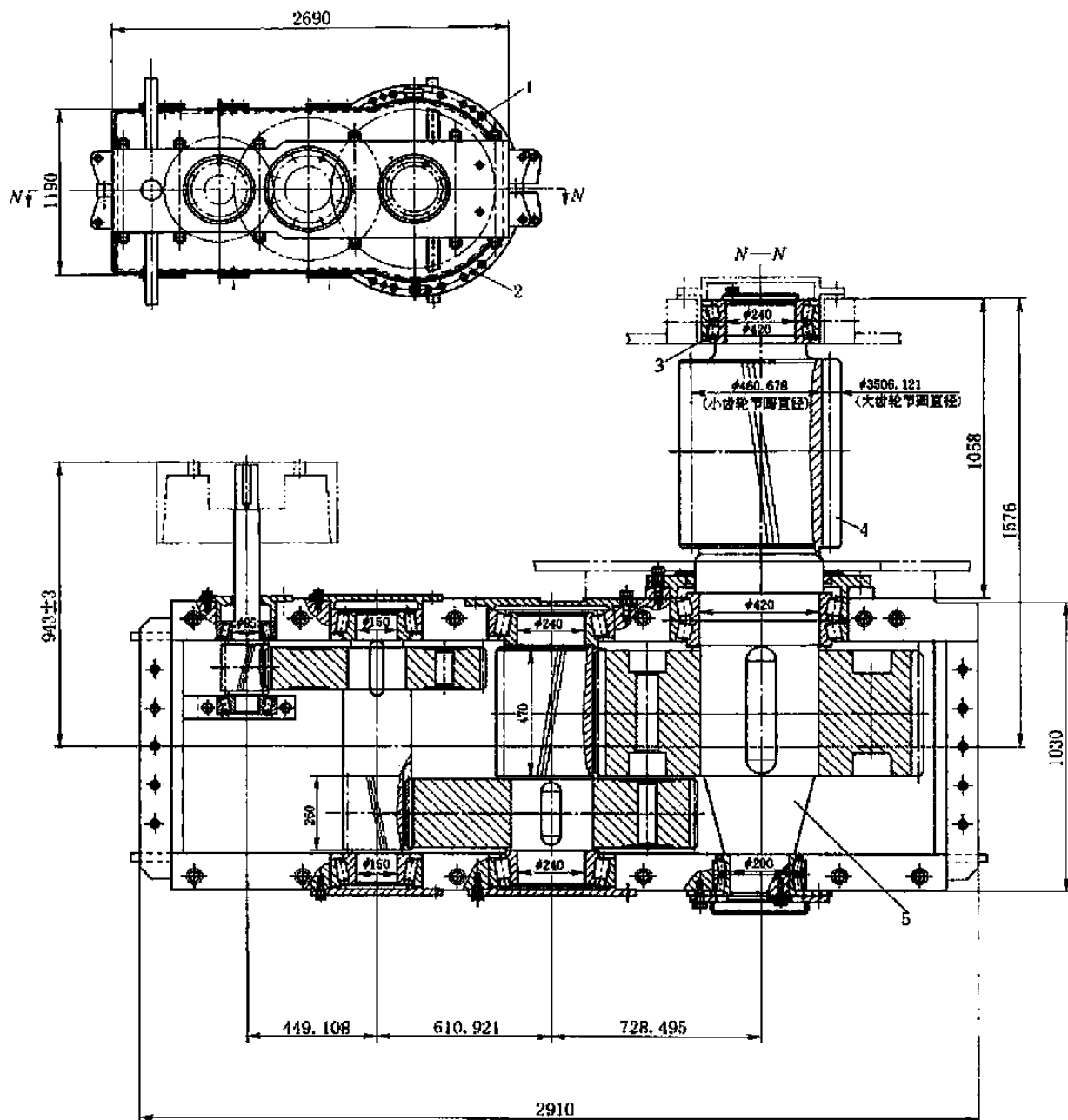


图 15-2-2 固定式安装的初级减速器结构

- 1—初级和末级减速器连接的螺栓孔；2—定位销孔；3—安装在末级减速器整体外壳腔孔内的轴承；
4—末级减速器的小齿轮；5—初级减速器输出轴

构的剖面图；初级减速器的输出轴孔套（悬挂）装在末级减速器的输入轴轴伸6上的，并通过拉压杆4来防止初级减速器3的转动，拉压杆两端分别铰接于初级和末级减速器5的壳体上，从初级减速器伸出的支架安装电动机1和制动器2（柔性支承为弹簧时结构原理相似）。

1.2.2 初级减速器串接柔性支承为弯曲杆

整体总图结构见表 15-1-1 序号 2，它的初级减速器的悬挂安装结构见图 15-2-5。其中，左图所示为外部结构，由弯曲杆作柔性支承来防止初级减速器转动，电动机 1 和制动器 3 都位于初级减速器 2 的高速轴一直线上，弯曲杆 4 的两个支点固定于末级减速器 5 的整体外壳上，弯曲杆头部（可变形微移）则和初级减速器的铰接点相连，可围绕末级减速器输入轴线作微小角位移；右图为悬挂轴结构的剖面图，初级减速器的输出轴孔套（悬挂）装在末级减速器的输入轴轴伸上。

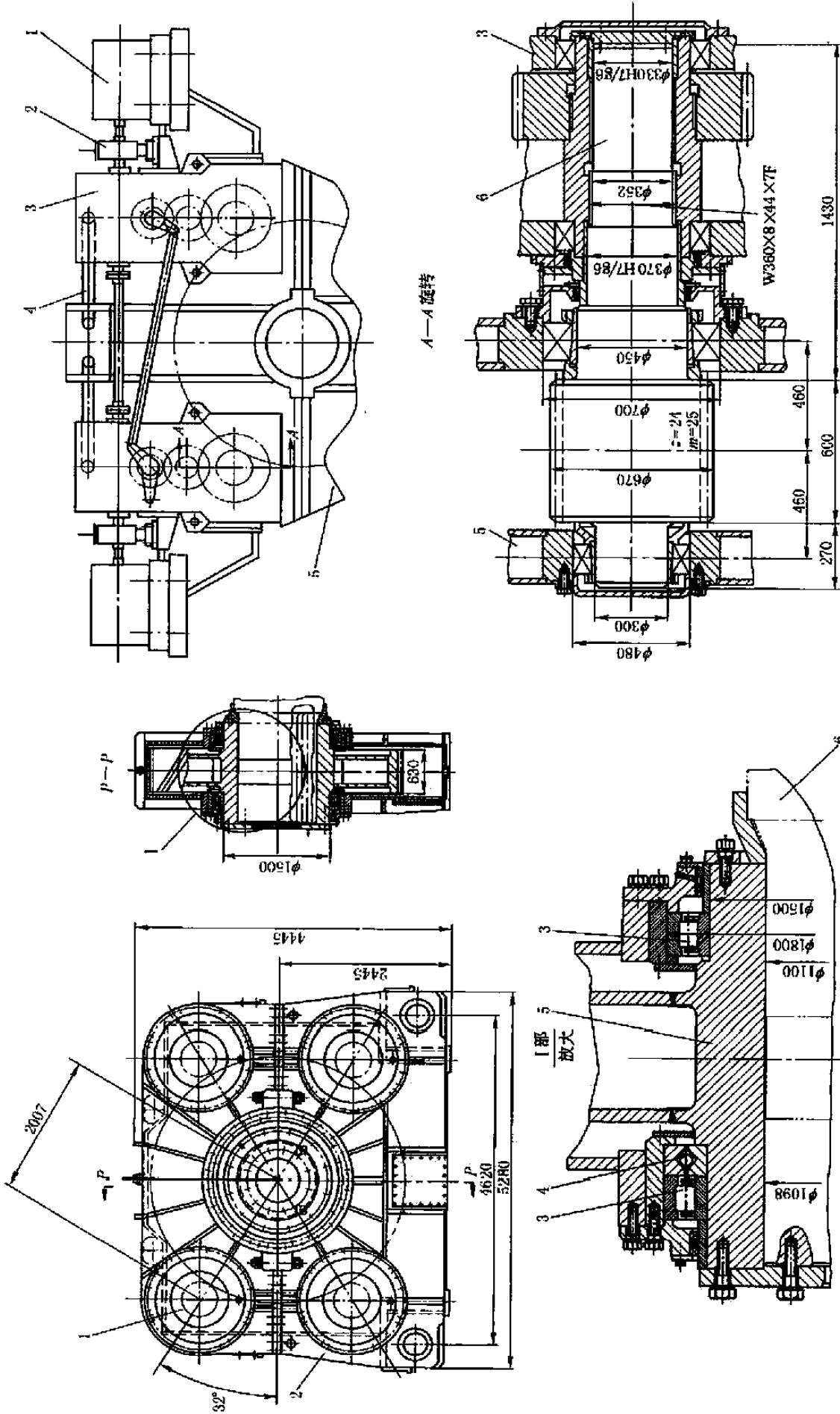


图 15-2-3 和固定式安装的初级减速器连接的末级减速器结构

1—上壳体；2—下壳体；3,4—滚动轴承；5—大齿轮；6—主轴

图 15-2-4 悬挂式安装的初级减速器结构之一（串联拉压杆）

1—电动机；2—制动器；3—初级减速器；4—拉压杆；
5—末级减速器；6—末级减速器的输入轴

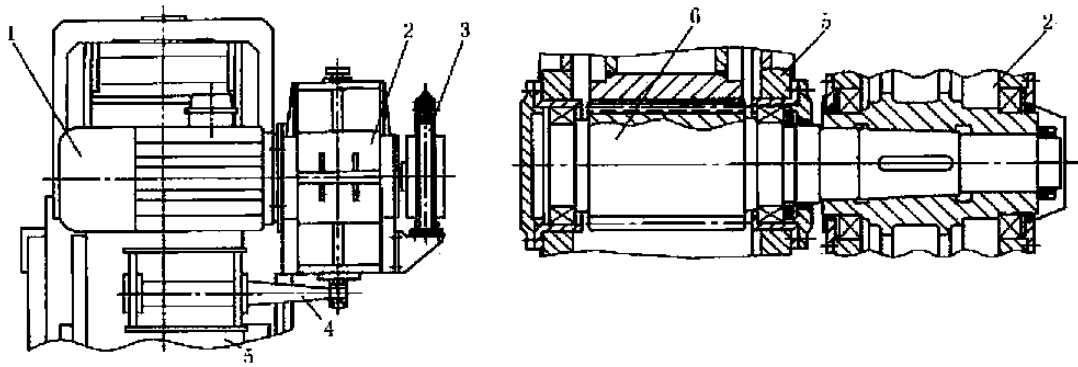


图 15-2-5 悬挂式安装的初级减速器结构之二（串接弯曲杆）

1—电动机；2—初级减速器；3—制动器；4—弯曲杆；5—末级减速器整体外壳；6—末级减速器的小齿轮

2 固定滚轮式（BF 型）

悬挂安装结构如图 15-2-6 所示，悬挂小车是靠滚轮 5 支持并定位在大齿轮内轨道 6 上的。若单点啮合，悬挂小车又处于铅垂线附近，此时除齿轮啮合力的部分分力产生轮压外，重力有助于增加轮压，因此有轮压就可以实现支持和定位作用，从而达到可靠的传动；但若为多点啮合，当数台悬挂小车同时工作，相似于 TSP 形式的多台连接形式时，每台悬挂小车的轮压将受小车位置和杆件结构参数的影响，轮压就各不相同，此时就不能保证所有滚轮都不丧失轮压，若失去轮压，意味着小齿轮的定位也将丧失。当不能保证末级齿轮副啮合的最小侧隙时，传动将不能保证，因此为考虑所有情况均能正常工作以及出于安全考虑，在小齿轮 1 的两侧设置了两个滚子 3（结构见图 15-2-6），设置两个滚子的唯一作用是当滚轮丧失轮压时，保证齿轮传动的最小侧隙，即有轮压时，滚子和末级大齿轮的外轨道 7 并不接触，也不存在作用力，只有当轮压丧失时，滚子和外轨道才接触，接触时的作用力可以通过受力分析求得。

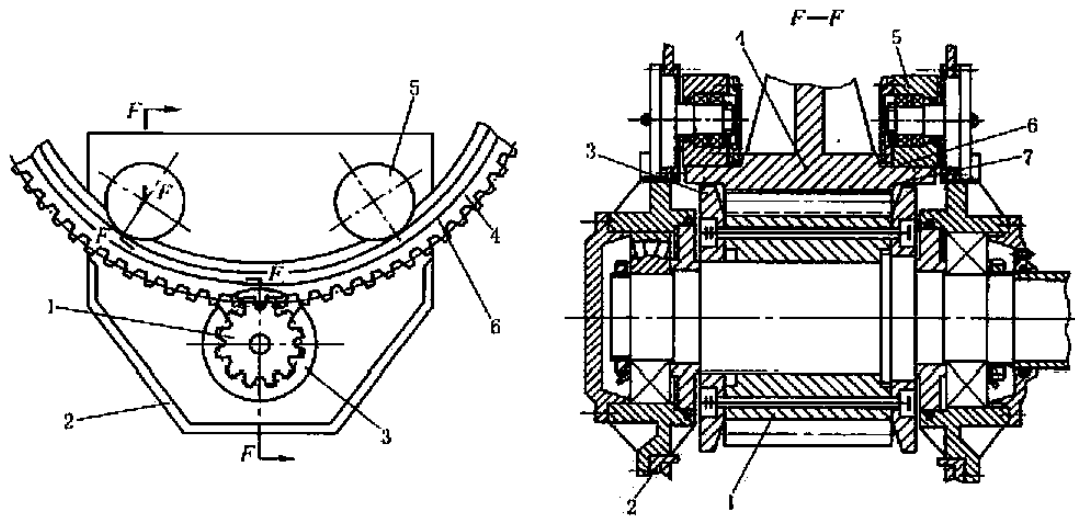


图 15-2-6 固定滚轮式（BF 型）的悬挂安装结构

1—小齿轮；2—传动架体；3—滚子；4—大齿轮；5—滚轮；6—内轨道；7—外轨道

图 15-2-6 的结构在传动架体 2 中仅有一个末级小齿轮 1，传动架体质量较小，是最常用、最简单的结构。传动架体也可以带中间传动副，如图 15-2-7 所示，左图为附带一级齿轮副减速的传动架体结构；右图为附带一级齿轮副和一级蜗杆副的传动架体，它的输入轴还改成了主轴轴线的垂直方向，但因这两种带中间传动副的结构形式一般是开式传动，工作条件较差，且增加悬挂小车的偏心质量，实际采用得少一些。

这种滚轮式小车结构设计的主要问题是怎样保证轮压，有了轮压不但保证了传动可靠稳定，且可减少滚子和外轨道接触的作用力（二者相对运动时很难做到纯滚动），以提高传动效率和减少有效接触宽度较小的滚子与外轨道的磨损。保证轮压较难，减少轮压的方法很简单，只要使柔性支承的面接中心和末级小齿轮中心的连线尽量和末级

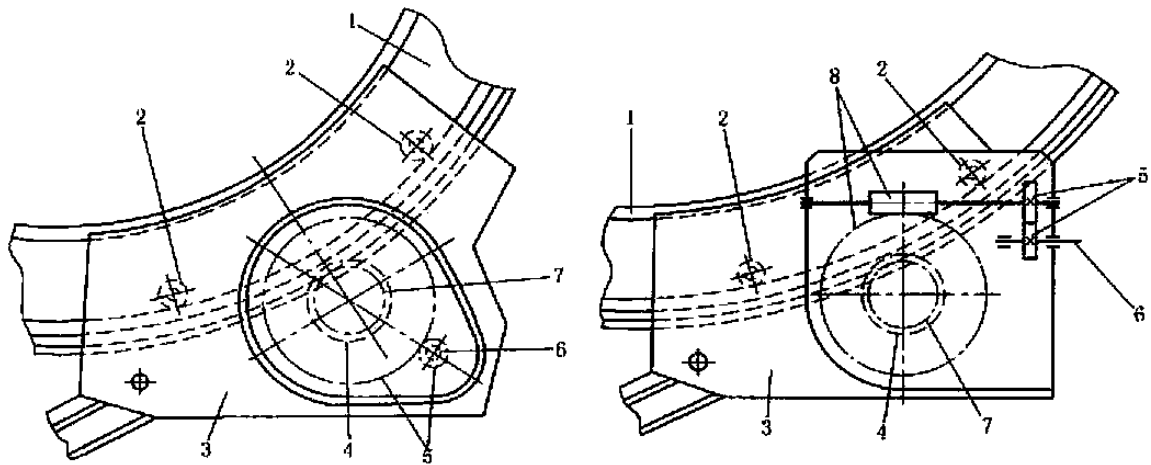


图 15-2-7 带中间传动副的悬挂小车传动架结构简图

1—大齿轮；2—滚轮；3—传动架体；4—辊子；5—中间齿轮副；6—输入轴；7—末级小齿轮；8—中间蜗轮副

齿轮副的啮合接触线平行就可以了。但仍要注意轮压不要丧失且有一个较小的数值，因为理论分析也总有误差。

3 推杆式 (BFP 型)

推杆式 (BFP 型) 和固定滚轮式 (BF 型) 的主要区别是它没有用以支持和定位 (末级小齿轮) 的滚轮；它的悬挂架体的其他结构和 BF 型却有相似之处，其总体结构见表 15-1-1 序号 8 和 9。

推杆式 (BFP 型) 的悬挂安装结构如图 15-2-8 所示，装有预压缩弹簧的推杆将悬挂架体 3 上的末级小齿轮 2 推向末级大齿轮 5，到小齿轮 2 两侧的辊子 6 与大齿轮两侧的外轨道 7 接触时，此时的中心距对应为齿轮副啮合的最小侧隙 (尚为非工作状态即安装位置)；待运行时，啮合法向力的径向分力有将小齿轮推开增大中心距的趋向，当其作用于弹簧推杆时，若作用力不大于预压缩量相当的压力时，齿轮副的中心距不会增加，侧隙也就保持不变，使传动保持正常状态；若作用于弹簧推杆的力大于与预压缩量相当的压力时，弹簧就被继续压缩，此时中心距也会相应增加，同时齿轮副啮合侧隙也增加；因此调整弹簧推杆的预压缩量也就是调整中心距的可变量，推杆式 (BFP 型) 就成为中心距可变 (侧隙可调) 的第一种悬挂安装形式。

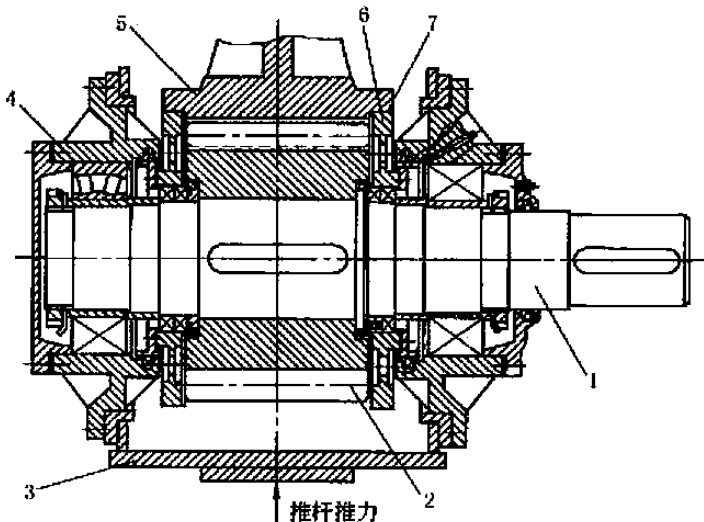


图 15-2-8 推杆式 (BFP 型) 的悬挂安装结构

1—末级输入轴；2—末级小齿轮；3—悬挂架体；
4—轴承盒；5—末级大齿轮；6—辊子；7—外轨道

一种悬挂安装形式。

因为推杆式 (BFP 型) 悬挂安装没有滚轮定位，它是靠辊子和外轨道间的有压接触维持悬挂安装的可靠性，而滚轮式在未工作前辊子和外轨道间肯定是无压的 (不论工作后滚轮是不是有轮压)，也存在性能上的区别，所以看似结构相同的辊子和外轨道，实际作用还是不相同的。

4 拉杆式 (BFT 型)

拉杆式 (BFT 型) 结构是第二种没有滚轮的装置，如图 15-2-9 所示。它是借上下拉杆 4 和 8 将左右传动架 2 和 6 (上有末级小齿轮 12) 悬挂安装在大齿轮 3 上的。由于即使应用了均载技术参数和结构，因实际和理论总有

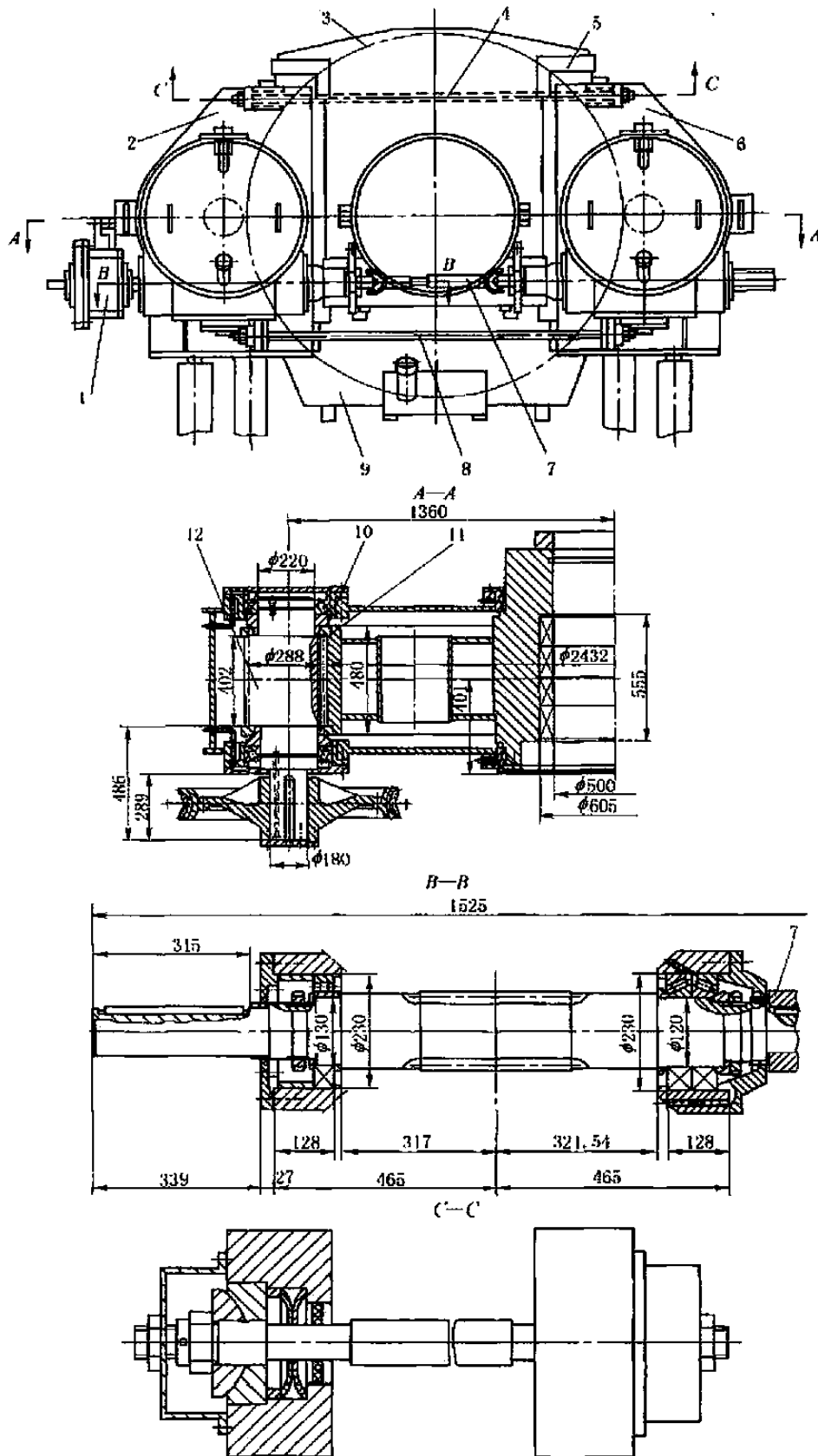


图 15-2-9 拉杆式 (BFT 型) 装置的结构

1—悬挂初级减速器；2—左传动架体；3—末级大齿轮；4—上拉杆；5—上壳体；6—右传动架体；7—万向接轴；
8—下拉杆；9—下壳体；10—辘子；11—外轨道；12—末级小齿轮

差距，基于安全考虑，即为了防止运行全过程左右传递转矩稍有不同时小齿轮 12 会被拉杆带动靠向大齿轮 3，使原来的啮合侧隙丧失，故在小齿轮 12 两侧设有辘子 10，此时辘子靠在大齿轮轮缘的外轨道 11 上，这样保持齿

轮最小侧隙；而另一边，即转矩稍大边的中心距稍变大，侧隙也增加，所以 BFT 型传动只要稍有不均载，左右两边的传动侧隙就会不相等。

上下壳体 5 和 9 用螺栓连接后套装在大齿轮轮毂上，左右传动架和上下壳体间留有间隙（允许左右传动架做微小平移），其间衬有密封材料以组成封闭外壳，输入的蜗杆轴上悬挂有初级减速器，使左右传动架成为非对称型结构。蜗杆轴见 B—B 剖面，蜗杆带动 A—A 剖面中的蜗轮，再带动末级小齿轮；若悬挂的初级减速器用弹性杆为（副）柔性支承，和末级减速装置的（主）柔性支承自平衡式扭力杆形成串接式柔性支承。

安装时用调整上、下拉杆原始长度来改变中心距，使原始侧隙发生变化；用调整拉杆组件内的碟形弹簧的预压缩量可决定受力后侧隙是否变化。

5 偏心滚轮式（TSP 型）

总体结构见表 15-1-1 序号 12，这种形式的单个悬挂小车与固定滚轮式的单点啮合悬挂小车的原理、结构和受力分析都是相似的，唯一的区别是偏心滚轮式的滚轮中心是以小车架体某定点为回转中心，在偏心距为半径的圆周上变动的，因此滚轮中心和末级小齿轮中心的距离是可变的，当两个滚轮在内轨道上支持并定位时，末级齿轮副的中心距也随之可变，即可以人为地调整齿轮的啮合侧隙，成为第三种中心距可变、侧隙可调的多柔传动装置。

应该说明：单个悬挂小车的受力分析和固定滚轮式（BF 型）的单车受力分析没有太大区别，可参照考虑。以下重点介绍当 TSP 型的悬挂小车为多点（4 点）啮合时的总体结构和分析，用固定滚轮式（BF 型）的单车组成多点（如 4 点）传动时同样也可应用这种结构原理和分析方法。选用何种形式（不论啮合点数多少）的关键是运转中齿轮副的侧隙是否要求调整？要调整就得选用偏心滚轮式，如不要求变化和调整当然选用固定滚轮式，因为它比前者的结构和调试都更为简单。

四点啮合的偏心滚轮式（TSP 型）装置的一种结构如表 15-1-1 序号 12 所示，四台电动机通过非悬挂的初级减速器和悬挂小车上的开式减速器再驱动主轴上的大齿轮，上面的两个小车通过连接销和下面小车连接，下面的小车再通过并接式柔性支承（单作用式扭力杆-拉压杆）和地基连接；但这两种柔性支承的作用力不相等而呈变形谐调关系，力的关系式见本篇第 3 章表 15-3-4。

第 3 章 悬挂装置的设计计算

悬挂装置设计计算是其他设计计算的基础,其任务是:①求得各种悬挂安装形式对柔性支承的作用力,以便确定各种柔性支承的结构,满足弹性杆和零部件的强度条件;对细长拉压杆有可能需进行受压者的压杆稳定性校核;②滚轮式的除满足上述要求外,还应求得处于各种不同位置的悬挂小车滚轮的轮压,希望所有滚轮轮压大于等于0,且有一定的数值,如轮压丧失或数值接近0,则应在末级小齿轮两侧加辘子,大齿轮轮缘上加外轨道,以保持齿轮副要求的最小侧隙;③对可以从理论上求得均载系数的,希望求得满足均载要求的各种传动参数和杆件的理想位置、重力平衡器的合理结构和位置、安装时柔性件中弹簧的预压缩量等,用理论指导实际操作;④能为动力学分析计算创造条件,求得各种系统,各种悬挂装置在不同质量、转速分布状态下,各种不同柔性支承中柔性件的合理刚度和加载力臂(当主轴承受变载、冲击、振动载荷时)。

1 整体外壳式

1.1 全悬挂、自平衡扭力杆装置

见表 15-1-1 序号 1 的简图及图 15-3-1。

$$F = \frac{M_2}{L} \quad (15-3-1)$$

$$F = \frac{M}{S} \quad (15-3-2)$$

式中 F ——扭力杆作用力, N;
 M_2 ——主轴转矩, N·mm;
 L ——扭力杆有效作用长度, mm;
 M ——扭力杆承载转矩, N·mm;
 S ——扭力杆偏心力臂, mm。

1.2 全悬挂、扭力杆串接弯曲杆装置

见表 15-1-1 序号 2 的简图及图 15-3-2。

扭力杆作用力用式(15-3-1)计算。

弯曲杆

$$P = \frac{M_2}{ni\eta R} \quad (15-3-3)$$

式中 P ——作用于弯曲杆铰接点的悬臂力, N;
 n ——啮合点数, 图中 $n=4$;
 i ——末级齿轮副传动比;
 η ——末级传动效率;
 R ——末级减速器输入轴中心线到弯曲杆铰接点的距离, mm。

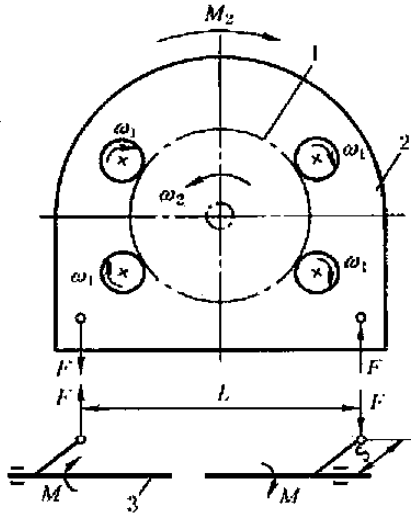


图 15-3-1 全悬挂、自平衡扭力杆装置
1—末级大齿轮；2—悬挂整体外壳；3—扭力杆

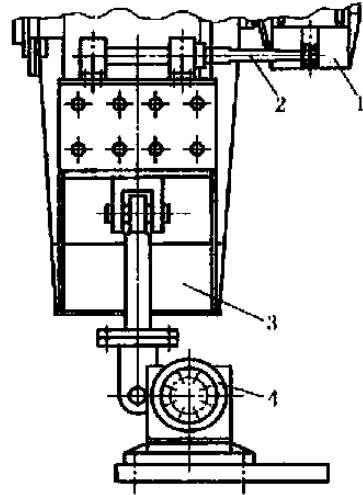


图 15-3-2 全悬挂、扭力杆串接弯曲杆装置
1—初级减速器；2—弯曲杆；3—悬挂整体外壳；4—扭力杆

1.3 全悬挂、弹簧串接拉压杆装置

见表 15-1-1 序号 3 的简图及图 15-3-3。

弹簧

$$F_1 = \frac{M_2}{H} \quad (15-3-4)$$

式中 F_1 ——悬挂整体外壳作用于弹簧的力，N；
 H ——主轴中心到弹簧轴线垂直距离，mm。

拉压杆

$$P_1 = \frac{M_2}{n\eta H_1} \quad (15-3-5)$$

式中 P_1 ——作用于拉压杆轴线的力，N；
 n ——同上，啮合点数为 4；
 H_1 ——末级减速器输入轴中心到拉压杆轴线的垂直距离，mm。

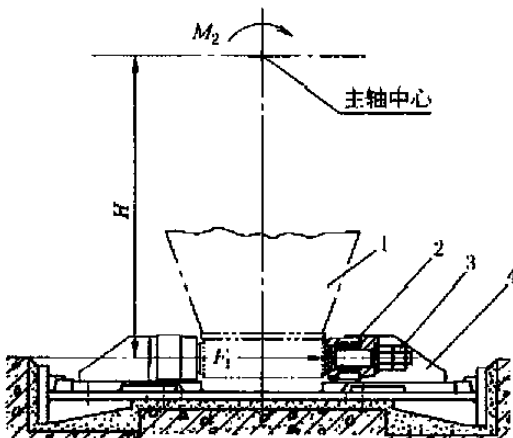


图 15-3-3 全悬挂、弹簧串接拉压杆装置
1—悬挂整体外壳；2—碟形弹簧；3—预紧螺栓；4—支架

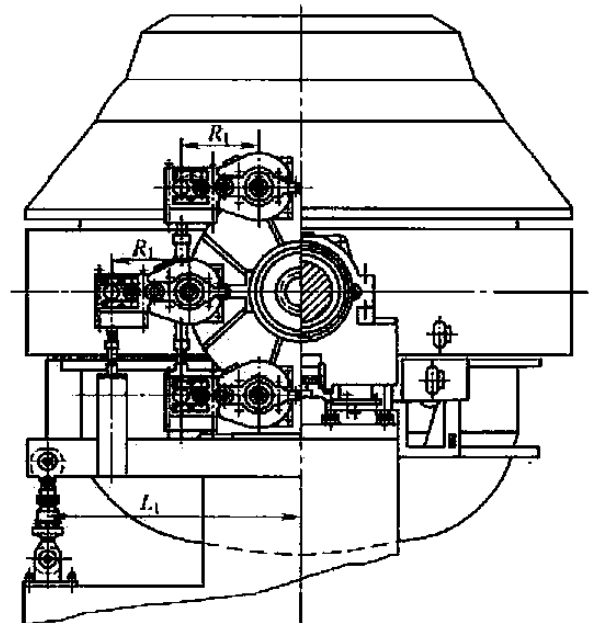


图 15-3-4 全悬挂、弹簧液压串接弹簧装置

1.4 全悬挂、弹簧液压串接弹簧装置

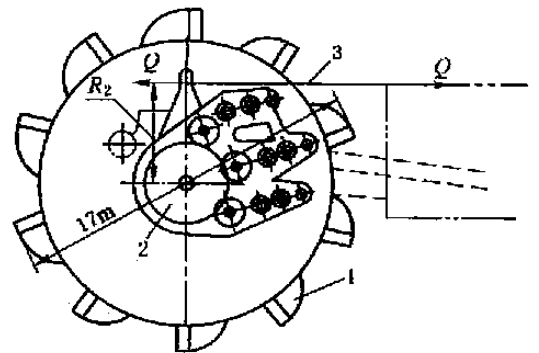
见表 15-1-1 序号 4 的简图及图 15-3-4。
弹簧液压组合器

$$F_2 = \frac{M_2}{mL_1} \tag{15-3-6}$$

式中 F_2 ——对弹簧液压组合器作用力, N;
 m ——传动端数, 令双端传动 $m=2$;
 L_1 ——主轴中心到弹簧液压组合器轴线垂直距离, mm。
弹簧缓冲器

$$P_2 = \frac{M_2}{mni\eta R_1} \tag{15-3-7}$$

式中 P_2 ——对弹簧缓冲器的作用力, N;
 n ——啮合点数 (单端), 令 $n=6$;
 R_1 ——末级减速器输入轴中心到弹簧缓冲器轴线的垂直距离, mm。



1.5 全悬挂、单作用式拉压杆装置

见表 15-1-1 序号 5 的简图及图 15-3-5。
拉压杆

$$Q = \frac{M_2}{R_2} \tag{15-3-8}$$

式中 Q ——拉压杆作用力, N;
 R_2 ——主轴中心到拉压杆轴线的垂直距离, mm。

图 15-3-5 全悬挂、单作用式拉压杆装置
1—斗轮; 2—主轴大街轮; 3—拉压杆

2 固定滚轮式 (BF 型)

固定滚轮式 (BF 型) 结构比较简单, 能适应 1~4 点啮合的要求; 在干燥机、圆筒搅拌机、回转窑等主轴为

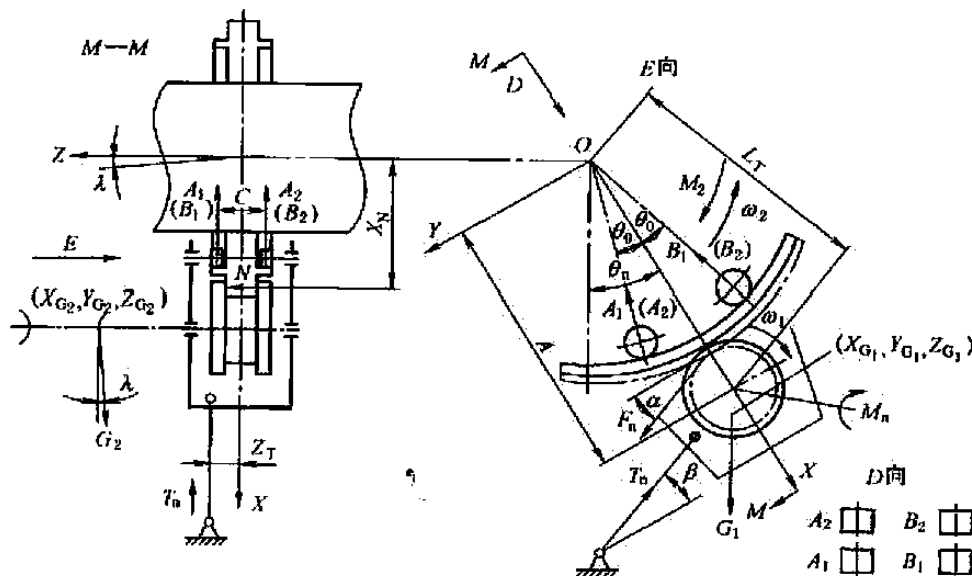


图 15-3-6 固定滚轮式 (BF 型) 受力分析

低速运行的圆筒形主体设备中应用较多。为便于物料的运动，回转窑多数倾斜一个小角度安装；考虑到滚轮在大齿轮轮缘上呈对称布置时应为4个滚轮；有时因结构原因，有的杆件位置可能偏离中间平面，因此左右滚轮一般情况下轮压还不相等，构成了空间力系；此处还考虑了重力的影响，以更适应普遍情况；若实际情况比较简单，则公式可以根据实际情况简化；现将考虑以上情况后的受力分析示于图15-3-6中；计算公式及符号说明见表15-3-1。

表 15-3-1

	平衡方程及计算公式	符号说明
平衡方程	$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_n \sin \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \cos \theta_n - T_n \sin \beta - \\ &(A_1 + A_2 + B_1 + B_2) \cos \theta_0 = 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \\ F_n \cos \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \sin \theta_n - T_n \cos \beta - \\ &(A_1 + A_2 - B_1 - B_2) \sin \theta_0 = 0 \\ \Sigma F_z &= 0 \\ N - (G_1 + G_2) \sin \lambda &= 0 \\ \Sigma M_x &= 0 \\ (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n + (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \sin \lambda - \\ T_n \cos \beta Z_T + (-A_1 + A_2 + B_1 - B_2) \sin \theta_0 \frac{C}{2} &= 0 \\ \Sigma M_y &= 0 \\ (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \cos \theta_n + (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \sin \lambda - \\ NX_N - T_n \sin \beta Z_T + (-A_1 + A_2 - B_1 + B_2) \frac{C}{2} \cos \theta_0 &= 0 \\ \Sigma M_z &= 0 \\ (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n - (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \cos \lambda \cos \theta_n + \\ (M_n + M/n) - T_n L_T &= 0 \end{aligned}$	λ ——主轴轴线倾角, ($^\circ$) M_n ——主轴转矩, N·mm α ——啮合角, ($^\circ$) F_n ——齿轮法向力, N $F_n = \frac{2M_n}{nmZ_2 \cos \alpha}$ n ——悬挂小车数 m ——齿轮模数, mm Z_2 ——大齿轮齿数 M_n ——悬挂小车输入转矩, N·mm $M_n = \frac{M_1}{n i \eta}$ i, η ——悬挂小车输入轴到主轴的传动比, 效率 T_n ——支点反力, N
计算公式	<p>联解平衡方程得空间力系的通用计算公式</p> $N = (G_1 + G_2) \sin \lambda \quad (15-3-9)$ $T_n = \left[(G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n - \right. \\ \left. G_1 Y_{G_1} \cos \lambda \cos \theta_n + \frac{M}{n} \left(1 + \frac{1}{i \eta} \right) \right] / L_T \quad (15-3-10)$ $A_1 = (D_1 + D_2 - D_3 - D_4) / 4 \quad (15-3-11)$ $A_2 = (D_1 + D_2 + D_3 + D_4) / 4 \quad (15-3-12)$ $B_1 = (D_1 - D_2 + D_3 - D_4) / 4 \quad (15-3-13)$ $B_2 = (D_1 - D_2 - D_3 + D_4) / 4 \quad (15-3-14)$ <p>式中</p> $D_1 = [F_n \sin \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \cos \theta_n - T_n \sin \beta] / \cos \theta_0$ $D_2 = [F_n \cos \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \sin \theta_n - T_n \cos \beta] / \sin \theta_0$ $D_3 = [T_n \cos \beta Z_T - (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \sin \lambda - (G_1 Z_{G_1} + \\ G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n] / (C \sin \theta_0 / 2)$ $D_4 = [T_n \sin \beta Z_T + NX_N - (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \sin \lambda - \\ (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \cos \theta_n] / (C \cos \theta_0 / 2)$	A_1, A_2, B_1, B_2 ——滚轮轮压, N β —— T_n 作用线与Y坐标轴间夹角, ($^\circ$) L_T —— T_n 作用线与Z坐标轴间的垂直距离, mm N ——作用到小车齿轮侧边辊子上的力, N X_N —— N 作用点到Z轴距离, mm θ_n ——悬挂小车倾斜 λ 角安装前, 第 n 个悬挂小车的齿轮连心线与铅垂线的夹角, ($^\circ$) C ——两滚轮中间平面的距离, mm G_1 ——悬挂小车重力, N $X_{G_1}, Y_{G_1}, Z_{G_1}$ —— G_1 作用点的坐标值, mm G_2 ——万向联轴器自重作用到悬挂小车上的力, 可近似认为是该联轴器重力的一半, N $X_{G_2}, Y_{G_2}, Z_{G_2}$ —— G_2 作用点的坐标值, mm A ——末级齿轮安装中心距, mm
	<p>按平面力系考虑 $Z_T = 0$ (略去重力及末级效率) 的简化计算公式</p> $A_1 = A_2 = (D_1 + D_2) / 4 \quad (15-3-15)$ $B_1 = B_2 = (D_1 - D_2) / 4 \quad (15-3-16)$	

前已述及，保证滚轮式悬挂装置正常工作的条件为至少有3个轮子有轮压（当小车对称布置，小车为4轮时），否则小齿轮两侧需增设“辘子”和大齿轮轮缘上需有外轨道，让二者接触时保证齿轮啮合的最小侧隙，因此轮压必须保证。若万一出现轮压较大的情况，只要改变图15-3-6中 T_n 的方向，即其固定铰接点的位置，令 T_n 的方向和齿轮副的啮合接触线尽量平行就可以了。为安全计，不但不能使轮压为零，且应维持一个较小的值，当实际情况和理论计算有误差时，也不能出现轮压丧失的情况。有轮压若不设辘子，在小车倾斜角较大时，应注意小车能否下滑。

3 推杆式（BFP型）

推杆式（BFP型）的整体结构见表15-1-1序号8和9。由简图可知，推杆式和滚轮式结构的主要区别是没有滚轮，它是靠小齿轮两侧的辘子紧贴大齿轮上的外轨道而实现悬挂安装的，因此设计计算的目的任务也大不相同，它不但没有轮压问题，而且滚轮式中无轮压时才需要的辘子和外轨道成了任何时候都必须接触且有压紧力。

由于推杆式无固定中心距，是靠推杆弹簧压紧，因此它的初始安装中心距和受力后的中心距（靠推杆中调整弹簧的预压缩量）都是可变的，即齿轮侧隙是可调的。

由于这种推杆式（BFP型）结构的传动装置也可用于主轴轴线倾斜的圆筒体工作中，考虑到有些杆件不一定位于中间平面，故也按空间力系来考虑，现将考虑以上情况后的受力分析示于图15-3-7中，符号说明及计算公式见表15-3-2。

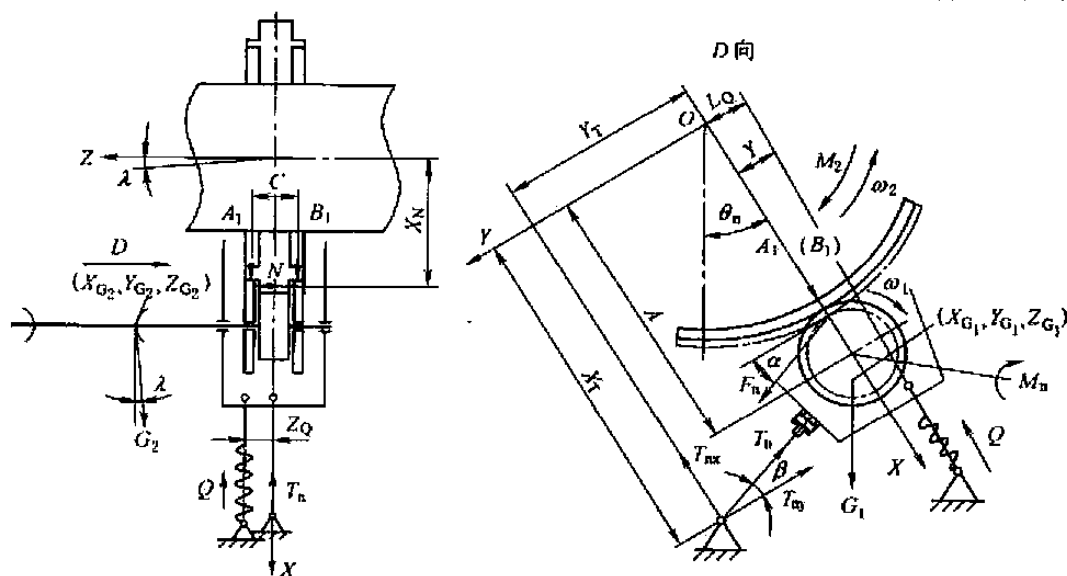


图 15-3-7 推杆式（BFP型）受力分析

表 15-3-2

平衡方程及计算公式		符号说明
平衡方程	取悬挂架体为分离体	A_1, B_1 ——外轨道对两辘子作用力, N A ——末级齿轮安装中心距, mm T_{nx}, T_{ny} ——支点反力 T_n 在 X, Y 轴上的投影, N X_T, Y_T ——支座铰点的坐标值, mm Q ——推杆推力, N L_Q —— Q 作用线与 Z 坐标轴间的距离, mm Z_Q —— Q 作用点的 Z 坐标值, mm γ —— Q 作用线与 X 坐标轴间夹角, ($^\circ$) M_2 ——主轴转矩, N·mm α ——啮合角, ($^\circ$) F_n ——齿轮法向力, N $F_n = \frac{2M_2}{nmZ_2 \cos\alpha}$ n ——悬挂架体数 m ——齿轮模数, mm Z_2 ——大齿轮齿数 M_n ——悬挂架体输入转矩, N·mm
	$\sum F_x = 0$	
	$F_n \sin\alpha - Q \cos\gamma - T_{nx} + (G_1 + G_2) \cos\lambda \cos\theta_n + A_1 + B_1 = 0$	
	$\sum F_y = 0$	
	$F_n \cos\alpha - Q \sin\gamma - T_{ny} + (G_1 + G_2) \cos\lambda \sin\theta_n = 0$	
	$\sum F_z = 0$	
	$N - (G_1 + G_2) \sin\lambda = 0$	
	$\sum M_x = 0$	
	$(G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos\lambda \sin\theta_n + (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \sin\lambda - Q \sin\gamma \cdot Z_Q = 0$	
	$\sum M_y = 0$	
$A_1 \frac{C}{2} - B_1 \frac{C}{2} - NX_N - Q \cos\gamma \cdot Z_Q + (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \sin\lambda + (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos\lambda \cos\theta_n = 0$		
$\sum M_z = 0$		
$T_{nx} Y_T - T_{ny} X_T - QL_Q + (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \cos\lambda \sin\theta_n - (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \cos\lambda \cos\theta_n + \left(M_n + \frac{M_2}{n} \right) = 0$		

平衡方程及计算公式	符号说明
联解平衡方程,得	
$N = C_3$ (15-3-17)	
$T_{nx} = [Q(L_Q - X_T \sin \gamma) + C_2 X_T - C_6] / Y_T$ (15-3-18)	
$T_{ny} = C_2 - Q \sin \gamma$ (15-3-19)	$M_n = \frac{M_2}{ni\eta}$
$Q = C_4 / (Z_Q \sin \gamma)$ (15-3-20)	i, η ——悬挂架体输入轴到主轴的传动比、效率
$A_1 = [Q \cos \gamma (C + 2Z_Q) + T_{nx} C + 2NX_N - CC_1 - 2C_5] / 2C$ (15-3-21)	T_n ——支点反力, N
$B_1 = [Q \cos \gamma (C - 2Z_Q) + T_{nx} C - 2NX_N - CC_1 + 2C_5] / 2C$ (15-3-22)	β —— T_n 作用线与Y坐标轴间夹角, ($^\circ$)
计算 公式 式中	N ——作用到辘子侧边的力, N
$T_n = \sqrt{T_{nx}^2 + T_{ny}^2}$ (15-3-23)	X_N ——N作用点到Z轴距离, mm
$\beta = \arctan(T_{nx} / T_{ny})$ (15-3-24)	θ_n ——悬挂架体倾斜 λ 角安装前,第n个悬挂架体的齿轮连心线与铅垂线的夹角, ($^\circ$)
$C_1 = F_n \sin \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \cos \theta_n$	λ ——主轴轴线倾角, ($^\circ$)
$C_2 = F_n \cos \alpha + (G_1 + G_2) \cos \lambda \sin \theta_n$	C ——两辘子中间平面的距离, mm
$C_3 = (G_1 + G_2) \sin \lambda$	G_1 ——悬挂架体重力, N
$C_4 = (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n + (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \sin \lambda$	$X_{G_1}, Y_{G_1}, Z_{G_1}$ —— G_1 作用点的坐标值, mm
$C_5 = (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \sin \lambda + (G_1 Z_{G_1} + G_2 Z_{G_2}) \cos \lambda \cos \theta_n$	G_2 ——万向联轴器自重作用到悬挂架体上的力, 可认为该联轴器重力的一半, N
$C_6 = \frac{M_2}{n} \left(1 + \frac{1}{i\eta} \right) + (G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n - (G_1 Y_{G_1} + G_2 Y_{G_2}) \cos \lambda \cos \theta_n$	$X_{G_2}, Y_{G_2}, Z_{G_2}$ —— G_2 作用点的坐标值, mm

推杆式 (BFP型) 虽无滚轮, 没有滚轮式需保持轮压的问题, 但其悬挂架体定位在大齿轮上靠的是推杆力通过辘子对大齿轮的压紧, 所以此处即使安装时推杆力很小, 运转时辘子和外轨道间也必须保持一定的压紧力, 以维持悬挂安装的可靠性。

4 拉杆式 (BFT型)

拉杆式 (BFT型) 的整体结构形式见表 15-1-1 序号 10 和 11, 序号 10 为无重力平衡器的装置。从以下理论分析可知, 它左右两传动架存在较大的不平衡性, 均载系数偏离 1 较大, 是 BFT 型的初始结构形式, 左右传动架两边对称 (左右传动架重量相等) 的结构, 一般采用自平衡式的扭力杆 (或拉压杆) 作柔性支承, 结构和分析相对较简单。序号 11 为有重力平衡器的装置, 从以下理论分析可知, 若左右传动架的重力平衡器对称设置且不考虑两边的具体升降情况, 不平衡虽比序号 10 有所改进, 但仍存在。序号 11 在右传动架悬挂有初级减速器, 它用弹性杆作 (副) 柔性支承, 而未级 (主) 减速器是采用扭力杆作为 (主) 柔性支承, 故组成了串接式 (扭力杆和弹性杆) 的柔性支承。

下面的分析计算为寻求左右传动架均衡传递转矩的结构参数和调整方法, 也即重力平衡器的坐标位置和其中弹簧预压缩量的调整; 和其他形式相同, 也要求计算出传动参数的相互关系和各部件的作用力, 包括作用于柔性支承的力。

序号 11 为拉杆式 (BFT型) 的非对称结构, 代表一般情况, 即左右传动架结构不同 (右传动架悬挂有初级减速器, 左传动架没有) 现对这种一般情况作受力分析并进行理论计算, 这种拉杆式 (BFT型) 的一般情况的受力分析见图 15-3-8。

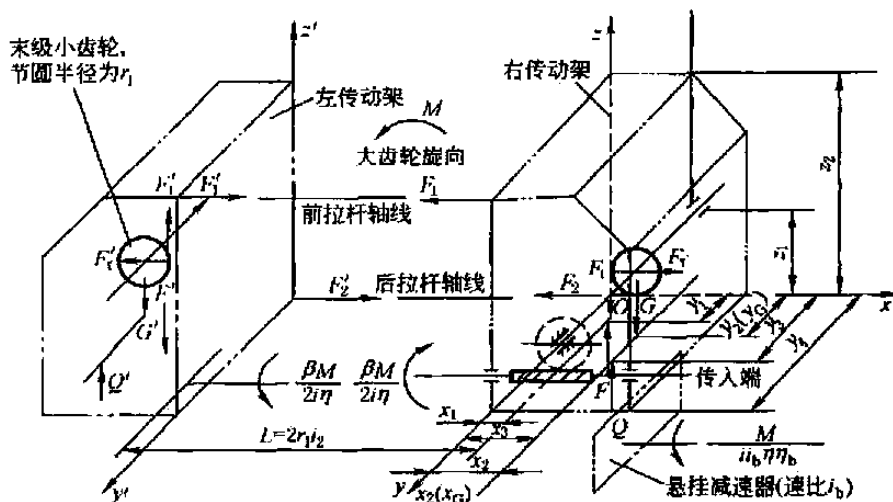


图 15-3-8 拉杆式 (BFT 型) 受力分析

表 15-3-3

	平衡方程及计算公式	符号说明
平衡方程	设:① 扭力杆和悬挂架体连接直杆轴线和末级齿轮副圆周力在同一铅垂线上; ② 悬挂架体在运转后在垂直方向作平移,即受力后架体任何点在 Z 方向位移相等	F, F' ——柔性支承的直杆对右、左传动架的作用力, N F_1, F_1' ——末级齿轮的圆周力, N F_r, F_r' ——末级齿轮的径向力, N F_1, F_2 ——右传动架前、后拉杆的作用力, N F_1', F_2' ——左传动架前、后拉杆的作用力, N G, G' ——右、左传动架的重力, N Q, Q' ——右、左重力平衡器对传动架的作用力, N K ——重力平衡器弹簧刚度, N/mm $\Delta h_0, \Delta h_0'$ ——右、左重力平衡器弹簧的预压缩量, mm Δh_1 ——扭力杆的变形使弹簧变形增加或减小的变动量, mm Δh_2 ——柔性直杆的变形使弹簧变形增加或减小的变动量, mm S ——扭力杆曲柄力臂长度, mm G_s ——扭力杆材料的扭转弹性模量, N/mm ² d ——扭力杆直径, mm K_2 ——直杆刚度, N/mm x_1, y_1 ——右传动架末级齿轮啮合节点的坐标, mm x_1', y_1' ——左传动架末级齿轮啮合节点的坐标, mm $x_2(x_G), y_2(y_G)$ ——右传动架的重心坐标, mm $x_2'(x_G'), y_2'(y_G')$ ——左传动架的重心坐标, mm x_3, y_3 ——重力平衡器在右传动架上的支点坐标, mm x_3', y_3' ——重力平衡器在左传动架上的支点坐标, mm y_4, y_4' ——右、左传动架沿前后方向的长度, mm
	(1) 对右传动架 $\Sigma F_x = 0 \quad F_1 + F_2 - F_r = 0$ $\Sigma F_z = 0 \quad F - F_1 - G + Q = 0$ $\Sigma M_x = 0 \quad \frac{M}{i_b \eta \eta_b} - \frac{\beta M}{2i\eta} + (F_1 - F_2)y_1 + G y_G - Q y_3 = 0$ $\Sigma M_y = 0 \quad F_1 x_2 + (F - F_1)x_1 + Q x_3 - G x_G - F x_1 = 0$ $\Sigma M_z = 0 \quad F_1 y_1 - F_2 y_4 = 0$	
	(2) 对左传动架 $\Sigma F_x = 0 \quad F_1' + F_2' - F_r' = 0$ $\Sigma F_z = 0 \quad F' - F_1' - G' + Q' = 0$ $\Sigma M_x = 0 \quad \frac{\beta M}{2i\eta} + (F' - F_1')y_1' + G' y_G' - Q' y_3' = 0$ $\Sigma M_y = 0 \quad F_1' x_2' + (F_1' - F_2')x_1' + Q' x_3' - G' x_G' - F_1' x_1' = 0$ $\Sigma M_z = 0 \quad F_1' y_1' - F_2' y_4' = 0$	
	(3) 对扭力杆 $F S - F' S = 0$	
	(4) 对主轴 $M = (F_1 + F_1') r_1 i_2$	
(5) 对重力平衡器 $Q = K(\Delta h_0 + \Delta h_1 + \Delta h_2)$ (大齿轮逆时针旋转时) $Q' = K(\Delta h_0' - \Delta h_1' - \Delta h_2')$ (大齿轮逆时针旋转时) $\Delta h_1 = \frac{16 M S^2}{G_s \pi d^4}$ (扭力杆变形) $\Delta h_2 = F / K_2$ (直杆变形)		
(6) 不均衡系数 δ $\delta = \frac{F_1'}{F_1}$		

平衡方程及计算公式	符号说明
(一) 普通情况计算公式	
(1) 重力平衡器的作用力	
$Q = K \left(\Delta h_0 + \frac{16MS^2}{G_r \pi d^4} + \frac{F}{K_2} \right) \quad (15-3-25)$	
$Q' = K \left(\Delta h_0' - \frac{16MS^2}{G_r \pi d^4} - \frac{F'}{K_2} \right) \quad (15-3-26)$	
(2) 扭力杆两端作用力	z_1, z_1' ——小齿轮中心在 z 方向的坐标, mm
$F = F' \quad (15-3-27)$	z_2, z_2' ——传动架的高度, mm
(3) 齿轮圆周力	$x_F(x_F'), y_F(y_F')$ ——柔性支承(扭力杆)直杆在传动架上
因 $F_1 = F(1 - \mu) + Q \quad (15-3-28)$	连接点坐标, mm
因 $F_1' = \frac{M}{L}(1 - \mu) + K \left(\Delta h_0 + \frac{16MS^2}{G_r \pi d^4} + \frac{M}{LK_2} \right) \quad (15-3-28)$	M ——主轴转矩, N·mm
因 $F_1' = F'(1 + \mu') - Q' \quad (15-3-29)$	β ——传递系数, 即考虑左右传动架传递力不同的系数, $\beta = 1 + \mu' - \frac{Q'}{F'}$
(4) 齿轮径向力	L ——扭力杆有效作用长度, mm
$F_r = F_1 \tan \alpha \quad (15-3-30)$	μ, μ' ——右、左传动架重力与柔性支承的直杆
$F_r' = F_1' \tan \alpha \quad (15-3-31)$	作用力的比值, $\mu = \frac{G}{F} = \frac{GL}{M}$,
(5) 前、后拉杆作用力	$\mu' = \frac{G'}{F'} = \frac{G'L}{M}$ (式中运用 $F = \frac{M}{L}$, 适用于对称型, 用于非对称型有一定误差)
$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} F_1 \tan \alpha \quad (15-3-32)$	i_1, i_1' ——蜗轮蜗杆减速比
$F_1' = F_2' = \frac{1}{2} F_1' \tan \alpha \quad (15-3-33)$	i_2, i_2' ——末级齿轮传动比
(6) 重力平衡器坐标位置	i, i' ——传动架输入轴到主轴的传动比, $i = i_1 i_2, i' = i_1' i_2'$
$x_3 = \frac{1}{Q} \left[F_r z_1 + G x_c - \left(\frac{M}{L} - F_1 \right) x_1 - F_1 z_2 \right] \quad (15-3-34)$	η_1, η_1' ——蜗轮蜗杆效率
$y_3 = \frac{1}{Q} \left[\frac{M}{i_b \eta \eta_b} - \frac{\beta M}{2i\eta} - \left(\frac{M}{L} - F_1 \right) y_1 + G y_c \right] \quad (15-3-35)$	η_2, η_2' ——末级齿轮效率
$x_3' = \frac{1}{Q'} \left[F_r' z_1' + G' x_c' + \left(\frac{M}{L} - F_1' \right) x_1' - F_1' z_2' \right] \quad (15-3-36)$	η, η' ——蜗轮副和末级齿轮副总效率, $\eta = \eta_1 \eta_2, \eta' = \eta_1' \eta_2'$
$y_3' = \frac{1}{Q'} \left[\frac{\beta M}{2i\eta} + \left(\frac{M}{L} - F_1' \right) y_1' + G' y_c' \right] \quad (15-3-37)$	$i_b, i_b', \eta_b, \eta_b'$ ——悬挂的初级减速器速比和效率
(7) 不平衡时的附加载荷	r_1, r_1' ——末级小齿轮节圆半径, mm
附加径向力	α ——末级齿轮啮合角
$\Delta F_r = F_r' - F_r = (F_1' - F_1) \tan \alpha \quad (15-3-38)$	说明: 若为 BFT 型的对称型, 有如下关系
附加摩擦力矩	$i_b = 1; \eta_b = 1$
$\Delta M_r = [(F_1' - F_1) f d_p \tan \alpha] / 2 \quad (15-3-39)$	$G = G'; \mu = \mu'$
(二) BFT 型的初始结构形式	$x_c = x_c'; y_c = y_c'$
初始结构形式无重力平衡器, 如表 15-1-1 序号 10 (为对称型), 此时	公式可以简化
$Q = Q' = 0$	
(1) 不平衡系数 δ	
① 非对称型	
$\delta = \frac{F_1'}{F_1} = \frac{2 + \mu + \mu'}{2 - \mu - \mu'} \quad (15-3-40)$	
② 对称型	
$G = G' \quad \mu = \mu'$	
$\delta = \frac{F_1'}{F_1} = \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \quad (15-3-41)$	

平衡方程及计算公式	符号说明
(2)附加径向力及摩擦力矩	
① 非对称型	
右传动架径向力 $F_r = \frac{M}{L}(1-\mu)\tan\alpha$	ΔF_r ——蜗子和外轨道间产生的附加径向力, N
左传动架径向力 $F'_r = \frac{M}{L}(1+\mu')\tan\alpha$	ΔM_r ——由 ΔF_r 增加的附加摩擦力矩, N·mm
附加径向力 $\Delta F_r = F'_r - F_r = \frac{M}{L}(\mu' + \mu)\tan\alpha$ (15-3-42)	附加径向力作用于蜗子和外轨道间, 用以平衡 ($F'_r - F_r$) 之差值, 使径向力小者则齿轮侧隙减小, 而径向力大者则齿轮侧隙加大
附加摩擦力矩 ΔM_r	f ——蜗子和外轨道间的摩擦系数
$\Delta M_r = \Delta F_r f \frac{d_p}{2} = \frac{M(\mu' + \mu)\tan\alpha}{2L} d_p$ (15-3-43)	d_p ——大齿轮外轨道的直径, mm
② 对称型	
$\mu' = \mu$	由式(15-3-46)及式(15-3-47)可知:
附加径向力 $\Delta F_r = \frac{2M\mu}{L}\tan\alpha$ (15-3-44)	为保持均衡, 右、左重力平衡器上弹簧的预压缩量 Δh_0 及 $\Delta h'_0$ 是不相等的, 即当系统传递额定转矩 M 时, 就能保证在扭力杆和直杆均有变形时正好平衡左右传动架重量, 从而保证两点啮合的圆周力相等
附加摩擦力矩 $\Delta M_r = \frac{M\mu f d_p}{L}\tan\alpha$ (15-3-45)	
(三) 要求均衡的条件	
当左右传动架负荷均衡时, 各传递总转矩的一半, 此时	
$F_1 = F'_1 = F = F'; G = Q; G' = Q'; \beta = 1$	
$\delta = \frac{F'_1}{F_1} = 1$	若
$F_r = F'_r = F_1 \tan\alpha$	$2x_1 = x_2; F_1 = 2F_2$
$F_1 = F'_1 = F_2 = F'_2 = \frac{F_1 \tan\alpha}{2} = \frac{F_1}{2} = \frac{F'_1}{2}$	可得
因此 $G = Q = \mu F = K \left(\Delta h_0 + \frac{16MS^2}{G_1 \pi d^4} + \frac{F}{K_2} \right)$	$x_3 = x_c$
$G' = Q' = \mu' F' = K \left(\Delta h'_0 - \frac{16MS^2}{G_1 \pi d^4} - \frac{F}{K_2} \right)$	即右重力平衡器 x 方向和重力的 x 方向坐标一致
右、左重力平衡器上安装时弹簧的预压缩量应为	若
$\Delta h_0 = \frac{M}{L} \left(\frac{\mu}{K} - \frac{16LS^2}{G_1 \pi d^4} - \frac{1}{K_2} \right)$ (15-3-46)	可得
$\Delta h'_0 = \frac{M}{L} \left(\frac{\mu'}{K} + \frac{16LS^2}{G_1 \pi d^4} + \frac{1}{K_2} \right)$ (15-3-47)	$2x'_1 = x'_2$
右、左重力平衡器且应位于下列坐标位置	可得
右 $x_3 = \frac{1}{Q} (F_1 z_1 - F_2 z_2 + G x_c)$ (15-3-48)	$x'_3 = x'_c$
$y_3 = y_c + \frac{L}{\mu i \eta} \left(\frac{1}{i_b \eta_b} - \frac{1}{2} \right)$ (15-3-49)	即左重力平衡器 x 方向和重力的 x 方向坐标一致
左 $x'_3 = x'_c + \frac{\tan\alpha}{\mu'} \left(x'_1 - \frac{x'_2}{2} \right)$ (15-3-50)	说明:
$y'_3 = y'_c + \frac{L}{2\mu' i \eta}$ (15-3-51)	左右重力平衡器支座中心坐标偏移时的影响:
结论: 重力平衡器上弹簧的预压缩量满足式(15-3-46)及式(15-3-47), 且其支座中心坐标分别满足式(15-3-48) - 式(15-3-51)时(左右重力平衡器位置也不对称); 主轴输出额定转矩时, 左右传动架传递的载荷达到均衡	当重力平衡器上弹簧预压缩量满足要求数值, 但因结构原因只要有 1 个(或 2 个同时)不能满足它规定的坐标位置时, 此时齿轮圆周力的数值即使不变, 它的作用点就不一定在原来假定的齿宽中点[坐标 $x_1(x'_1)$]不变, 但 $y_1(y'_1)$ 可能发生变化而变成 $y_2(y'_2)$ 从而偏离 $y_1(y'_1)$, 造成合力作用点由齿宽中点(合力在此位置说明载荷在齿宽上分布均匀)偏离, 造成齿宽上载荷分布不均匀。可在确定其他力和位置后, 把 $y_1(y'_1)$ 变成待求数 $y_2(y'_2)$, 通过普通情况计算公式求得

5 偏心滚轮式 (TSP 型)

偏心滚轮式 (TSP 型) 的整体结构见表 15-1-1 序号 12, 它由 4 台悬挂小车组成, 实际上这种装置是一种通用的滚轮式 4 点啮合柔性传动装置。若不调整侧隙, 每个悬挂小车也可以用固定滚轮式 (BF 型) 代替, 除偏心滚轮式可以改变中心距 (侧隙可调) 外, 其他没有什么差别; 反之, 固定滚轮式 (BF 型) 的单车也可以用偏心滚轮式代替。若为水平安装时, 只要将固定滚轮式 (BF 型) 的平衡方程及计算公式中的倾斜安装角 λ 设为零即可, 因为这种 4 组合的装置, 采用每边相同的并接式 (扭力杆-拉压杆) 柔性支承, 左右对称, 因此单边两点也可以独立工作, 所以这种装置也可以看作是 2-4 点啮合的滚轮式组合装置的通用形式和装置。现将 4 点啮合多柔传动装置的分析计算叙述于下, 受力分析见图 15-3-9, 柔性支承变形谐调关系见图 15-3-10。

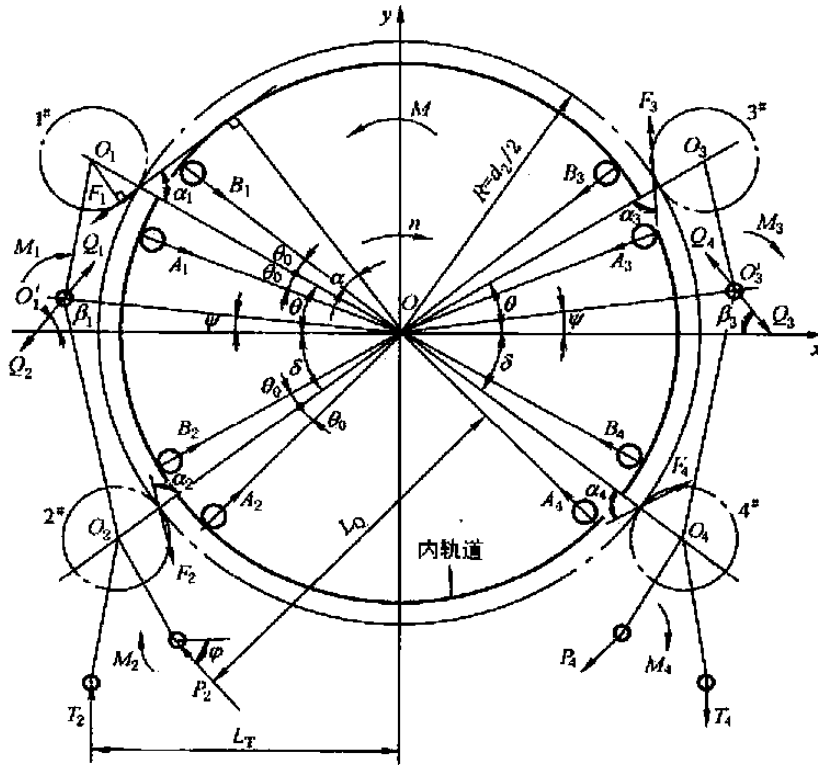


图 15-3-9 4 点啮合滚轮式多柔传动受力分析

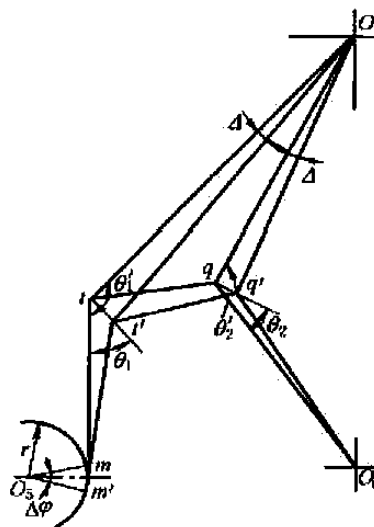
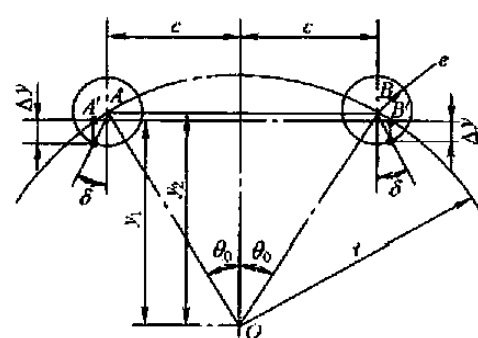


图 15-3-10 并接式 (扭力杆-拉压杆) 柔性支承变形谐调关系

表 15-3-4

	平衡方程及计算公式	符号说明
平衡方程	<p>取 1[#]悬挂小车为分离体可得</p> $\begin{cases} A_1 \cos(\theta - \theta_0) + B_1 \cos(\theta + \theta_0) - F_1 \cos(\alpha_1 - \theta) + Q_1 \cos\beta_1 = 0 \\ A_1 \sin(\theta - \theta_0) + B_1 \sin(\theta + \theta_0) + F_1 \sin(\alpha_1 - \theta) - Q_1 \sin\beta_1 = 0 \\ Q_1 \cdot \overline{OO'_1} \cdot \sin(\beta_1 + \psi) - F_1 \cdot \frac{d_2}{2} \sin\alpha_1 + M_1 = 0 \end{cases}$ <p>取 2[#]悬挂小车为分离体可得</p> $\begin{cases} A_2 \cos(\delta + \theta_0) + B_2 \cos(\delta - \theta_0) - F_2 \cos(\delta + \alpha_2) - Q_2 \cos\beta_1 - P_2 \cos\varphi = 0 \\ A_2 \sin(\delta + \theta_0) + B_2 \sin(\delta - \theta_0) - F_2 \sin(\delta + \alpha_2) - Q_2 \sin\beta_1 + P_2 \sin\varphi + T_2 = 0 \\ Q_2 \cdot \overline{OO'_2} \cdot \sin(\beta_1 + \psi) + F_2 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \sin\alpha_2 - T_2 L_T - P_2 L_Q - M_2 = 0 \end{cases}$ <p>3[#]、4[#]悬挂小车平衡方程相似可求得</p>	<p>F_1——1[#]小车齿轮副啮合法向力, N A_1, B_1——内轨道对 1[#]小车滚轮的作用力即轮压, N α_1——齿轮副 1[#]小车啮合角的余角, (°) Q_1——销轴 O'_1 对 1[#]小车作用力, N M_1——1[#]小车输入转矩, N·mm $\theta_0, \theta, \delta, \psi$——结构的位置角, (°) d_2——大齿轮节圆直径, mm A_2, B_2——内轨道对 2[#]小车滚轮的作用力, N Q_2——销轴 O'_2 对 2[#]小车的作用力, N P_2——左拉压杆对 2[#]小车的作用力, N T_2——左扭力杆上直杆对 2[#]小车的作用力, N M_2——2[#]小车输入转矩, N·mm F_2——2[#]小车齿轮副啮合法向力, N α_2——齿轮副 2[#]小车啮合角的余角, (°) β_1——销轴 O'_1 对 1[#]、2[#]小车作用力方向和 X 轴的夹角, (°)</p>
计算公式	<p>齿轮副啮合角 α 和各悬挂小车 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 有如下关系: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 90^\circ - \alpha$</p> <p>当四点载荷均衡时</p> $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \frac{2M}{nd_2 \cos\alpha}$ <p>1[#]悬挂小车</p> $A_1 = \frac{F_1 \sin(\alpha_1 + \theta_0) - Q_1 \sin(\theta + \theta_0 + \beta_1)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-52)$ $B_1 = \frac{Q_1 \sin(\theta - \theta_0 + \beta_1) - F_1 \sin(\alpha_1 - \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-53)$ $Q_1 = \frac{F_1 d_2 \cos\alpha - 2M_1}{2 \overline{OO'_1} \sin(\beta_1 + \psi)} \quad (15-3-54)$ <p>2[#]悬挂小车</p> $A_2 = \frac{F_2 \sin(\theta_0 + \alpha_2) - Q_2 \sin(\delta - \theta_0 - \beta_1)}{\sin 2\theta_0} - \frac{P_2 \sin(\delta - \theta_0 + \psi) + T_2 \cos(\delta - \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-55)$ $B_2 = \frac{F_2 \sin(\theta_0 - \alpha_2) + Q_2 \sin(\delta + \theta_0 - \beta_1)}{\sin 2\theta_0} + \frac{P_2 \sin(\delta + \theta_0 + \psi) + T_2 \cos(\delta + \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-56)$ <p>$Q_2 = -Q_1$</p> <p>3[#]悬挂小车</p> $A_3 = \frac{Q_3 \sin(\theta + \theta_0 + \beta_3) - F_3 \sin(\alpha_3 - \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-57)$ $B_3 = \frac{F_3 \sin(\alpha_3 + \theta_0) - Q_3 \sin(\theta - \theta_0 + \beta_3)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-58)$ $Q_3 = \frac{F_3 d_2 \cos\alpha - 2M_3}{2 \overline{OO'_3} \sin(\beta_3 + \psi)} \quad (15-3-59)$ <p>4[#]悬挂小车</p> $A_4 = \frac{-F_4 \sin(\alpha_4 - \theta_0) + Q_4 \sin(\delta - \theta_0 - \beta_3)}{\sin 2\theta_0} + \frac{P_4 \sin(\delta - \theta_0 + \psi) + T_4 \cos(\delta - \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-60)$ $B_4 = \frac{F_4 \sin(\alpha_4 + \theta_0) - Q_4 \sin(\delta + \theta_0 - \beta_3)}{\sin 2\theta_0} - \frac{P_4 \sin(\delta + \theta_0 + \psi) + T_4 \cos(\delta + \theta_0)}{\sin 2\theta_0} \quad (15-3-61)$ <p>$Q_4 = -Q_3$</p>	<p>α——末级齿轮副的啮合角, (°) M——主轴输出总转矩, N·mm n——悬挂小车总数 A_3, B_3, A_4, B_4——内轨道对 3[#]、4[#]小车滚轮的作用力, N Q_3, Q_4——销轴 O'_3 对 3[#]、4[#]小车的作用力, N M_3, M_4——3[#]、4[#]悬挂小车入轴转矩, N·mm P_4——右拉压杆对 4[#]小车的作用力, N T_4——右扭力杆上直杆对 4[#]小车的作用力, N F_3, F_4——3[#]、4[#]小车齿轮副啮合法向力, N β_3——销轴 O'_3 对 3[#]、4[#]小车作用力方向和 X 轴的夹角, (°) α_3, α_4——齿轮副 3[#]、4[#]小车啮合角的余角, (°)</p>

平衡方程及计算公式	符号说明
<p>保证轮压 A_n, B_n 大于零的条件 (β_1, β_3 范围)</p> $\arctan \frac{\sin(\theta - \theta_0 - \psi)}{\Delta \sin(\alpha_1 - \theta_0) - \cos(\theta - \theta_0 - \psi)} - \psi$ $\geq \beta_1 \geq \arctan \frac{\sin(\theta + \theta_0 - \psi)}{\Delta \sin(\alpha_1 + \theta_0) - \cos(\theta + \theta_0 - \psi)} - \psi \quad (15-3-62)$ $\arctan \frac{\sin(\theta + \theta_0 - \psi)}{\Delta \sin(\alpha_3 - \theta_0) - \cos(\theta + \theta_0 - \psi)} - \psi$ $\geq \beta_3 \geq \arctan \frac{\sin(\theta - \theta_0 - \psi)}{\Delta \sin(\alpha_3 + \theta_0) - \cos(\theta - \theta_0 - \psi)} - \psi \quad (15-3-63)$ <p>求出 $A_1, B_1, \dots, A_4, B_4$ 后按其中最大值设计计算偏心滚轮机构的零部件,若其中出现负值,说明此滚轮和内轨道不接触,必须在小齿轮两侧加辮子,在大齿轮轮缘外表设外轨道,此时为辮子和外轨道在齿轮啮合节点接触,需变负值轮压处为节点接触后,重新计算另一滚轮外轮压及节点处作用力(压力)</p>	<p>其中</p> $\Delta = \frac{2 \overline{OO}_1}{d_2 \cos \alpha \left(1 - \frac{1}{i}\right)}$ <p>式中 i——悬挂小车输入轴到主轴的传动比</p>
<p>并接式(扭力杆-拉压杆)柔性支承的变形谐调关系如下</p> <p>由 2° 悬挂小车分离体平衡方程可知三个方程式,却有 A_2, B_2, P_2 和 T_2 4 个未知数,要解必须有第 4 个关系公式。当扭力杆和拉压杆同时受力时,设小车架体为刚性不变形,左端两种柔性件(扭力杆-拉压杆)变形成下列变形谐调关系</p> $\frac{T_2 r^2 L}{G J_1 \cos \theta_1} \times \frac{\overline{Og}}{O_t} = \frac{P_2 L_2}{E F_0 \cos \theta_2} \quad (15-3-64)$ <p>代入 2° 悬挂小车分离体平衡方程便可求所有 4 个未知数 A_2, B_2, P_2 和 T_2; 也可代入式(15-3-55)和式(15-3-56)求得 2° 悬挂小车的轮压;用 T_2 和 r 的值便可设计计算扭力杆,用 P_2 可设计拉压杆(简单拉伸);若为较长压杆尚要进行压杆的稳定校核</p>	<p>r——扭力杆作用力臂, mm</p> <p>L——扭力杆的有效作用长度, mm</p> <p>G——扭力杆材料的扭转弹性模量, N/mm^2</p> <p>J_1——扭力杆断面极惯性矩, mm^4</p> <p>θ_1——扭力杆直杆轴线和其上铰接点位移圆切线的夹角, ($^\circ$)</p> <p>$\overline{O_t}$——扭力杆直杆上铰接点到主轴中心距离, mm</p> <p>\overline{Og}——拉压杆和小车架体铰接点到主轴中心距离, mm</p> <p>L_2——拉压杆长度, mm</p> <p>E——拉压杆拉压弹性模量, N/mm^2</p> <p>F_0——拉压杆断面积, mm^2</p> <p>θ_2——拉压杆轴线和其上铰接点位移圆切线的夹角, ($^\circ$)</p>
<p>侧隙计算</p> $\Delta C_n = 2 \Delta y \tan \delta \quad (15-3-65)$ <p>式中 $\Delta y = \sqrt{r^2 - (c + e \sin \delta)^2} + e \cos \delta - \frac{c}{\tan \theta_0} \quad (15-3-66)$</p>  <p style="text-align: center;">侧隙调整原理</p> <p>A, B——偏心滚轮回转中心; O——大齿轮中心</p> <p>①调整侧隙时滚轮转动方向为:左滚轮顺时针方向转,右滚轮逆时针方向转。②使用侧隙计算公式时注意:若 Δy 为负值,相当于侧隙值减小。③δ 值变化和 Δy 的变化是非线性关系。④调整 δ 角时,侧隙的变化用公式计算确定</p>	<p>ΔC_n——齿轮啮合侧隙增值, mm</p> <p>Δy——偏心调整时中心距增值, mm</p> <p>δ——末级齿轮副啮合角, ($^\circ$)</p> <p>r——滚轮安装中心轨迹半径等于内轨道半径减滚轮半径, mm</p> <p>c——两滚轮中心至齿轮中心线的横向距离, mm</p> <p>e——滚轮偏心距, mm</p> <p>说明:滚轮实际中心在小车架体安装中心 A, B 为圆心,以 e 为半径的两个圆上反向同 δ 角变动</p>

计算公式

第 4 章 柔性支承的结构形式和设计计算

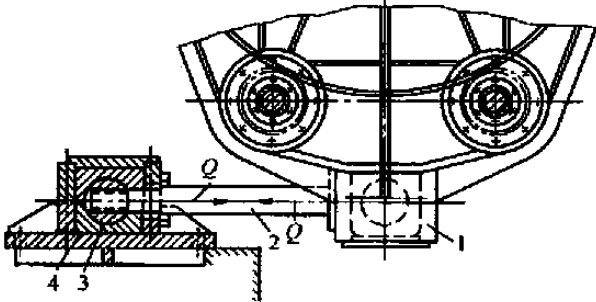
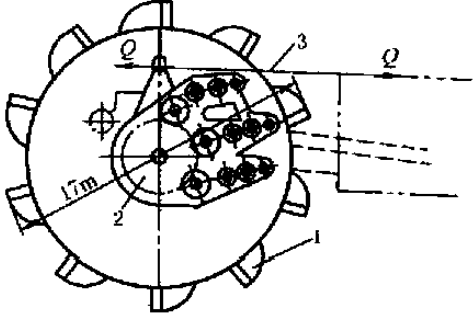
多点啮合柔性传动的主要特征除多点啮合外，便是悬挂安装和柔性支承，即将末级多个主动件及其减速装置悬挂安装在从动件（及主轴）上，使主动件可随从动件的变移而随之变化，保持末级传动正确和良好的接触或啮合，因此要求末级主动件及其减速装置随之在空间移位变化。柔性支承的作用一方面承接这种空间位置的变化，另一方面便是将支承悬挂装置的作用力传递给地基，使传动装置稳定的支持着。

柔性支承的弹性还起到对整个装置的缓冲和减振作用，使传动平稳可靠。根据悬挂结构形式及空间位置的不同，柔性支承的形式和组合是多种多样的，它的关键是选择合理组合形式及确定柔性支承的刚度和加载力臂（根据传动系统的载荷特征、质量和速度分布状态等）。现将柔性支承的结构形式和设计计算表述于下。

1 单作用式

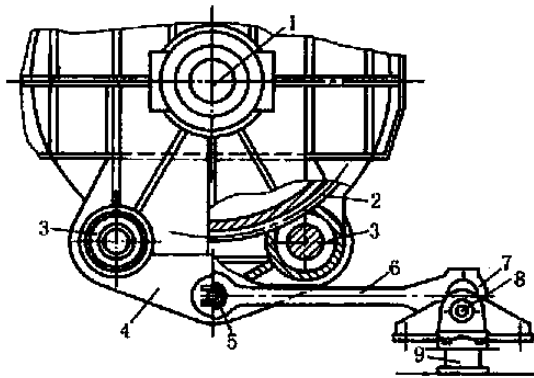
单作用式柔性支承的结构为一端固定，另一端承力，是一种结构比较简单、应用较多的柔性支承，有拉压杆、扭力杆、弹簧、钢绳支承器等。

表 15.4.1

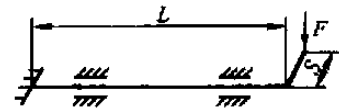
形式	(1) 单作用拉压杆	
简图	 <p>1—悬挂外壳的方向铰座；2—拉压杆； 3—水平圆柱销；4—垂直圆柱销</p>	 <p>1—斗轮；2—主轴大齿轮；3—拉压杆</p>
计算与说明	由第3章 1.3节 相似原理 $Q = \frac{M_2}{H}$ <p>M_2——主轴输出转矩； H——主轴中心到拉压杆轴线的垂直距离</p>	由第3章 1.5节 $Q = \frac{M_2}{R_2}$ <p>M_2——主轴输出转矩； R_2——主轴中心到拉压杆轴线的垂直距离</p>
	$d \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma_p]}} \text{ (mm)}$ <p>若拉压杆细长而受压力时需进行压杆稳定性校核（按两端铰接的压杆） 式中 d——拉压杆的直径，mm； Q——拉压杆的作用力，N； $[\sigma_p]$——拉压杆材料的许用应力，N/mm²</p>	

形式 (2) 单作用扭力杆

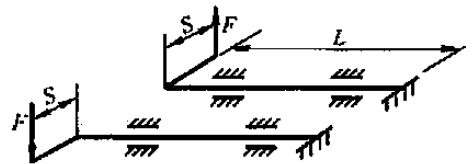
简图



1—主轴;2—大齿轮;3—小齿轮;4—悬挂壳体;5—连接轴;6—连杆;7—连杆盖;8—偏心扭力杆;9—固定座



(a) 单作用单扭力杆(应用于左图形式)



(b) 单作用双扭力杆(应用于TSP型)

强度计算

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi[\sigma_p]} \sqrt{M_G^2 + 0.75M_T^2}} \quad (\text{mm})$$

式中 d ——扭力杆直径, mm;
 $[\sigma_p]$ ——扭力杆材料的许用应力, N/mm²;
 M_G ——扭力杆危险断面的弯矩; N·mm;
 M_T ——扭力杆危险断面的转矩, N·mm

说明:

- ① 扭力杆材质可选 42CrMo, 30Cr₂MoV, 40CrNiMo, 34CrNi₃Mo 等, 并需经热处理(调质);
- ② 应力按脉动循环考虑

刚度校核

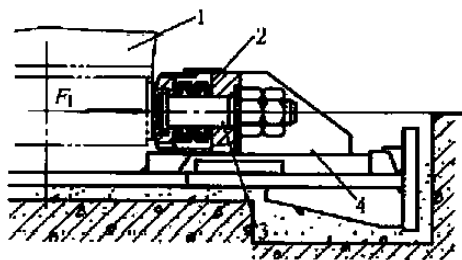
$$\phi = \frac{M_T L 180^\circ}{G_r J_p \pi} \leq [\phi]$$

式中 ϕ ——扭力杆扭转变形角位移, (°);
 L ——扭力杆有效作用长度, mm;
 G_r ——扭力杆材料的剪切弹性模量, N/mm²;
 J_p ——扭力杆抗扭惯性矩, mm⁴;
 $[\phi]$ ——扭力杆许用扭转角位移, (°), 一般取 2°/mm

计算与说明

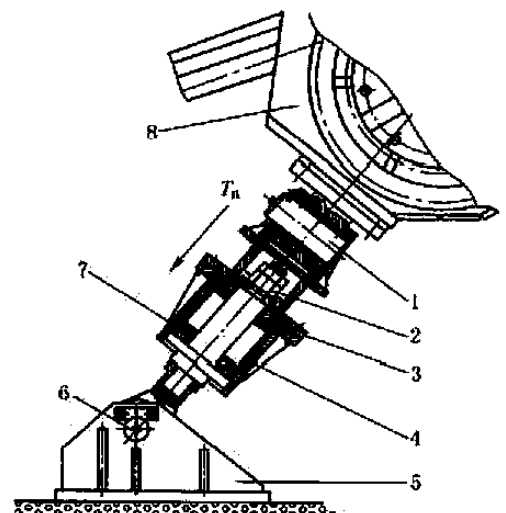
形式 (3) 单作用弹簧

简图



(a) 水平式弹簧

1—悬挂整体外壳;2—碟形弹簧;
3—预紧螺栓;4—支架



(b) 倾斜式弹簧

1—柱铰;2—预紧螺栓;3—上套筒;4—下套筒;
5—支架;6—球铰;7—碟形弹簧;8—悬挂架体

形式	(3) 单作用弹簧
简图	<p style="text-align: center;">(c) 垂直式弹簧</p> <p style="text-align: center;">1—悬挂减速器; 2—弹簧; 3—主轴; 4—液压阻尼器</p>
计算与说明	<p>(a) 水平式弹簧: 参见第 3 章 1.3 节</p> <p>全悬挂 $P = \frac{F_1}{n_1} = \frac{M_2}{n_1 H}$</p> <p>半悬挂 $P = \frac{F_1}{n_1} = \frac{M_2 \pm \sum m}{n_1 H}$</p> <p>(b) 倾斜式弹簧: 可用于 BF 型、BFP 型的铰接支点作柔性支承</p> <p>a) 若为固定滚轮式 (BF 型): 见表 15-3-1 第 n 个悬挂小车对支点弹簧的作用力</p> $T_n = \left[(G_1 X_{G_1} + G_2 X_{G_2}) \cos \lambda \sin \theta_n - G_1 Y_{G_1} \cos \lambda \cos \theta_n + \frac{M}{n} \left(1 + \frac{1}{i\eta} \right) \right] / L_T$ <p>符号说明同样见表 15-3-1</p> <p>b) 若为推杆式 (BFP 型): 见表 15-3-2 第 n 个推杆架体对支点弹簧的作用力</p> $T_n = \sqrt{T_{nx}^2 + T_{ny}^2}$ <p>符号说明同样见表 15-3-2</p> <p>(c) 垂直式弹簧</p> $P = \frac{F}{n_1} = \frac{M_2 \pm M_1}{n_1 R}$ <p>式中 P——作用于每组弹簧的力, N; F_1——悬挂整体外壳作用于弹簧的合力, N; n_1——平衡壳体力矩有效的受载弹簧数量; M_2——主轴转矩, N·mm; H——主轴中心到弹簧轴线的垂直距离, mm; $\sum m$——作用于壳体的其他力矩代数和 (包括如果重心偏离主轴中心形成的力矩), 和 M_2 方向相反的取“-”号, N·mm; T_n——BF 型、BFP 型的传动架体对铰接支点的作用力, N; M_1——输入减速器的转矩 (和 M_2 同向为“+”, 反向为“-”), N·mm; R——主轴中心到弹簧轴线的垂直距离, mm</p> <p>说明: 根据 P 和 T_n 设计计算弹簧; 根据壳体允许角位移来确定弹簧预压缩量</p>
形式	(4) 单作用钢绳支承器
简图	<p style="text-align: center;">1—全悬挂减速器; 2—钢绳支承器; 3—限位安全座</p>

形式	(4) 单作用钢绳支承器
计算与说明	<p>钢绳承受的拉力</p> $P = \frac{M}{L}$ <p>式中 M——主轴转矩, $N \cdot mm$; L——主轴中心到钢绳轴线距离, mm</p> <p>说明: 钢绳不能承受压力, 只能承受拉力; 根据 P 的数值设计钢绳结构(直径或断面); 只能用于受空间限制的小型设备, 它结构简单, 体积小</p>

2 自平衡式

自平衡式柔性支承的结构为两端均受相等的力(或力矩), 呈自平衡状态。自平衡的扭力杆是应用得相当广泛的柔性支承, 有拉压杆、扭力杆等。

表 15-4-2

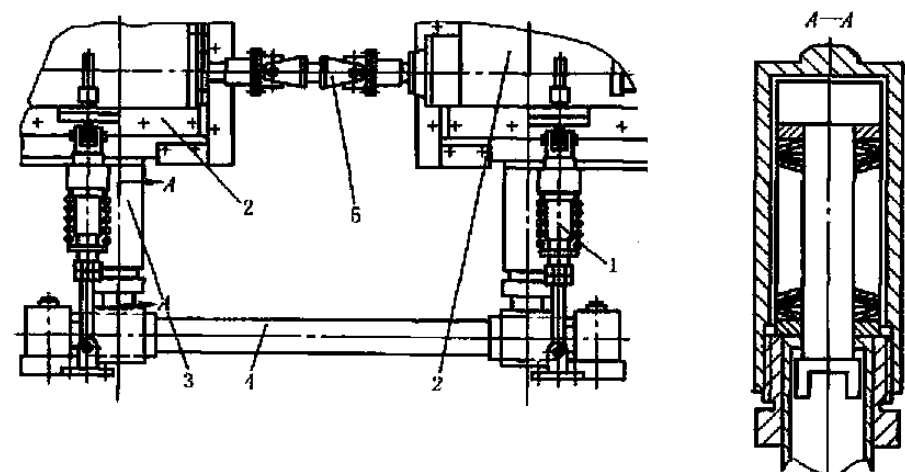
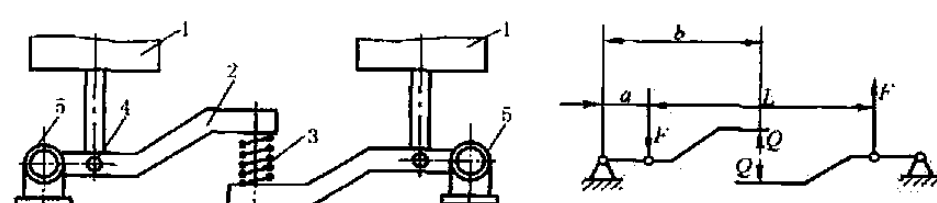
形式	(1) 自平衡扭力杆
简图	<p>1—悬挂减速装置; 2—曲柄; 3—扭力杆; 4—支座</p>
计算与说明	<p>强度计算</p> $d \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi[\sigma_p]} \sqrt{M_G^2 + 0.75M_T^2}} \text{ (mm)}$ <p>刚度校核</p> $\phi = \frac{M_T L 180^\circ}{G_T J_p \pi} \leq [\phi]$ <p>公式中符号说明、扭力杆材质及许用应力的选择请见单作用扭力杆“计算与说明”部分</p>
形式	(2) 自平衡拉压杆
简图	<p>1—连接直杆; 2—曲柄; 3—曲柄销轴; 4—拉压杆; 5—支座; 6—悬挂架体</p>

形式	(2)自平衡拉压杆
计算与说明	<p>强度计算</p> $d \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma_p]}} \text{ (mm)}$ <p>其中</p> $Q = \frac{Fr}{e}$ <p>公式中符号说明请见单作用拉压杆“计算与说明”部分；若拉压杆细长而受压力时需进行压杆稳定性校核（按两端铰接的压杆）</p>

3 并接式（双作用式）

并接式柔性支承由两种柔性支承共同支承悬挂装置呈并接状态，也即双作用式柔性支承，两种柔性支承的作用力相等或呈变形谐调关系；有柔性杆-扭力杆、弹簧-杠杆、弹簧-液压组合等；呈变形谐调关系的有 TSP 型下面悬挂小车连接的扭力杆-拉压杆等。

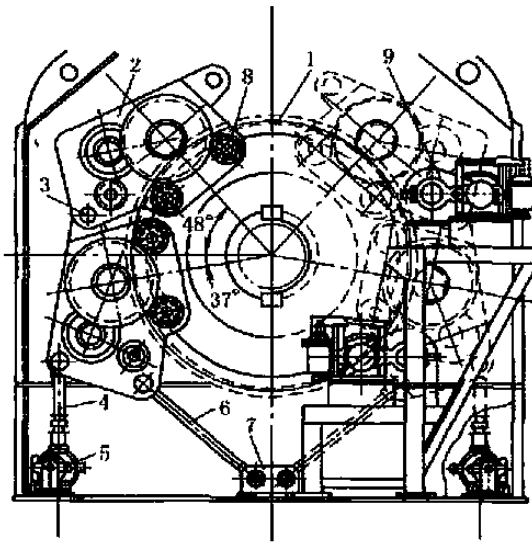
表 15-4-3

形式	(1)并接(柔性杆-扭力杆)
简图	 <p>1—重力平衡器；2—悬挂架体；3—柔性杆；4—扭力杆；5—万向接轴</p>
计算与说明	<p>扭力杆为自平衡扭力杆，计算与说明按自平衡式扭力杆的计算与说明的要求进行</p> <p>柔性杆大部分为内装双向压缩弹簧的弹性件，确定其受力为 F 后可按作用力来设计计算弹簧；若为碟形弹簧可按其叠合形式及数量确定弹簧的总刚度</p> <p>并接式柔性支承在同样载荷下变形增加，呈现支承刚度减小的情况。要求支承刚度减小者可选择此种形式柔性支承，并可结合扭力杆的直径、有效作用长度、加载力臂和材质综合考虑后确定</p>
形式	(2)并接(弹簧-杠杆)
简图	 <p>1—悬挂架体；2—杠杆；3—弹簧；4—铰接销；5—支座</p>

形式	(2) 并接(弹簧-杠杆)
计算与说明	$Q = F \frac{a}{b}$ $\sigma_c = \frac{Q(b-a)}{W}$ $= \frac{Fa \left(1 - \frac{a}{b}\right)}{W}$ <p>要求: $\sigma_c \leq [\sigma_c]$</p> <p>式中 Q——弹簧上的作用力, N; F——悬挂架体对杠杆连接销的作用力, N; a, b——弹簧轴线, 铰接销中心到支座的垂直距离, mm; W——杠杆和铰接销连接净断面的抗弯截面系数, mm³; σ_c——杠杆危险断面弯曲应力, N/mm²; $[\sigma_c]$——杠杆材料的许用弯曲应力, N/mm²</p> <p>根据 Q 设计计算弹簧; 根据许用弯曲应力决定杠杆的安全断面; 根据杠杆在弹簧轴线处的挠度确定杠杆的附加变形量; 同样增加了总的变形量</p>
形式	(3) 并接(弹簧-液压)
简图	<p>(a) 总体结构</p> <p>(b) 柔性支承构件</p> <p>1—整体外壳底部横梁; 2, 3—球铰; 4—活塞杆; 5, 6—螺母; 7—碟形弹簧; 8—导杆; 9—柔性支承壳体; 10—液压缸; 11—活塞; 12—固定梁</p>
计算与说明	<p>述及的仅指悬挂整体外壳通过底部横梁支承的这种并接式(弹簧-液压)柔性支承构件</p> $F = \frac{M}{L'}$ <p>式中 F——作用于柔性支承的作用力, N; M——主轴输出转矩, N·mm; L'——柔性支承轴线到主轴回转中心的距离, mm</p> <p>柔性支承的活塞杆 4 同时克服液压阻力及碟形弹簧的变形阻力, 故其总变形尚比单个弹性件小; 呈现总刚度增加的情况</p>

形式 (4) 并接(扭力杆-拉压杆 两种呈变形谐调关系的并接式柔性支承)

简
图



1—大齿轮;2—悬挂小车;3—连接销;4—直杆;5—扭力杆;
6—拉压杆;7—支座;8—偏心滚轮;9—初级减速器

这一类并接式柔性支承,也是由两种柔性支承共同支承(双作用式)悬挂装置呈并接状态,但两种柔性支承的作用力不相等,而呈变形谐调关系

偏心滚轮式(TSP型)的左右两边各由两个用铰销连接的悬挂小车组成,下面的悬挂小车就分别由单作用式双扭力杆和双拉压杆支承(见上面简图)。由偏心滚轮式(TSP型)的平衡方程所求得的作用于扭力杆和拉压杆的作用力,呈下列变形谐调关系,即同式(15-3-64)

$$\frac{T_2 r^2 L}{G_1 J_1 \cos \theta_1} \times \frac{\overline{Oq}}{O_i} = \frac{P_2 L_2}{EF_0 \cos \theta_2}$$

从公式可知 T_2 和 P_2 (作用于扭力杆的力和作用于拉压杆的力)并不相等,而呈下式关系(符号说明见表 15-3-4)

$$\frac{T_2}{P_2} = \left(\frac{\overline{Oq}}{O_i} \times \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right) \left(\frac{\frac{L_2}{EF_0}}{\frac{r^2 L}{G_1 J_1}} \right)$$

可知 $\left(\frac{\overline{Oq}}{O_i} \times \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)$ 为结构位置几何关系; $\frac{L_2}{EF_0}$ 和 $\frac{r^2}{G_1} \times \frac{L}{J_1}$ 分别为拉压杆和扭力杆的柔度系数,即结构位置几何关系确定后,扭力杆和拉压杆作用力和其本身的柔度系数成反比,即刚度大者受力也大

计算
与
说明

4 串 接 式

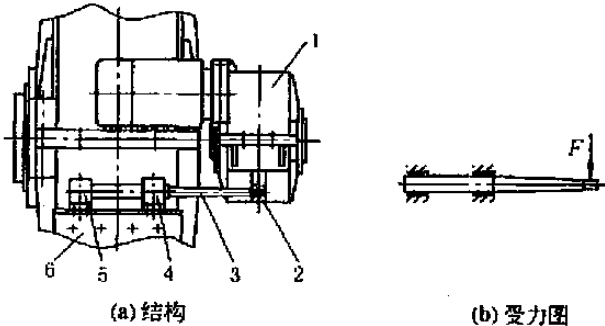
串接式是除末级减速装置上的(主)柔性支承外,在初级(或中间)减速器上尚有(副)柔性支承,呈串接状态。(主)柔性支承可为上述各种形式,(副)柔性支承(或称串接柔性支承)的作用力较小,有弯曲杆、拉压杆、弹簧等。(主)柔性支承和串接柔性支承的结构性能有如下不同。

表 15-4-4

结构性能项目	类别		符号说明
	(主)柔性支承	(副)柔性支承(或称串接柔性支承)	
支承的部件	悬挂的末级减速装置	悬挂的初级(或中间)减速装置	M ——主轴总转矩, $N \cdot mm$ i ——末级减速器速比 η ——末级减速器传动效率 n ——啮合点数,功率分流时应被分流数量除
计算输出转矩	M	$M/i \cdot \eta \cdot n$ (全悬挂时)	
柔性支承固定点	静止的地基	随同主轴变移的末级减速装置壳体	
应用柔性支承形式	所有各种形式均可选用	结构简单的单作用式拉压杆、弹簧和弯曲杆等	
柔性支承数量(套)	1(并接式为2)	一般和啮合点数相同,功率分流时为啮合点数除以分流数量	
结构特点	整体外壳(悬挂)式的采用全悬挂结构较多; 其他(悬挂)式的采用半悬挂结构较多		

现将应用较多的以弯曲杆、拉压杆、弹簧为串接柔性支承的结构和技术性能分述于下。

表 15-4-5

形式	(1)串接弯曲杆
简图	 <p>(a) 结构 (b) 受力图</p> <p>1—悬挂初级减速器;2—连接铰销;3—串接弯曲杆;4,5—支座;6—末级减速器整体外壳</p>
计算与说明	<p>串接弯曲杆和初级减速器连接铰销处的作用力</p> <p>全悬挂(如图)</p> $F = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum G_n R_n \right) \frac{1}{R}$ <p>半悬挂时(电机安装于地基)</p> $F = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum m \right) \frac{1}{R}$ <p>式中 F——初级减速器和弯曲杆连接处的作用力, N; M, i, η, n——符号说明见上表; $\sum G_n R_n$——全悬挂时分别为电动机、初级减速器重力和其重心到悬挂轴线距离的乘积,和 $\frac{M}{ni\eta}$ 同向为“+”,反向为“-”, $N \cdot m$; $\sum m$——半悬挂时其他作用于初级减速器的力矩和后者重力对悬挂轴的不平衡力矩,和 $\frac{M}{ni\eta}$ 同向为“+”,反向为“-”, $N \cdot mm$; R——悬挂轴中心到弯曲杆铰接点的距离, mm</p>

形式	(2) 串接拉压杆	
<p>简图</p>	<p>(a) 全悬挂形式</p>	<p>(b) 半悬挂形式</p>
<p>计算与说明</p>	<p>全悬挂形式</p> $F_1 = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum G_n R_n \right) \frac{1}{R_1}$ <p>式中 F_1——拉压杆作用力, N; M——主轴输出转矩, N·mm; n——啮合点数, 功率分流时应被除分流数量; i——末级减速器速比; η——末级减速器传动效率; $\sum G_n R_n$——见串接弯曲杆计算与说明, N·mm; R_1——拉压杆轴线到悬挂输入轴距离, mm</p>	<p>半悬挂形式</p> $F_2 = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum m \right) \frac{1}{R_2}$ <p>式中 F_2——拉压杆作用力, N; M, i, η——同左; $\sum m$——包括: 初级减速器输入转矩, 初级减速器重力对输入悬挂轴的转矩; 和 $\frac{M}{ni\eta}$ 同向时取“+”号, 反向取“-”号, N·mm; R_2——拉压杆轴线到悬挂输入轴距离, mm</p>
形式	(3) 串接弹簧	
<p>简图</p>	<p>(a) 全悬挂形式</p>	<p>(b) 半悬挂形式</p>
	<p>1—悬挂初级减速器; 2—串接弹簧; 3—悬挂末级减速器; 4—和悬挂壳体连接横梁; 5—弹簧-液压组合支承; 6—固定横梁</p>	<p>1—串接弹簧; 2—扭力杆; 3—悬挂初级减速器; 4—悬挂末级减速器</p>

形式	(3) 串接弹簧	
计算与说明	全悬挂形式	半悬挂形式
	$F_3 = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum G_n R_n \right) \frac{1}{R_3}$ <p>式中 F_3——弹簧作用力, N; R_3——弹簧轴线到悬挂输入轴距离, mm; $M, n, i, \eta, \sum G_n \cdot R_n$ 见上页全悬挂形式串接拉压杆计算与说明</p>	$F_4 = \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \sum m \right) \frac{1}{R_4}$ <p>式中 F_4——弹簧作用力, N; R_4——弹簧轴线到悬挂输入轴距离, mm; $M, \sum m, n, i, \eta$ 见上页全悬挂形式串接拉压杆计算与说明</p>

5 调整式

针对大转矩、低转速设备的载荷特性(变载、冲击、振动等)、负载质量、速度特性及多柔传动装置的各种不同结构形式,如何从动力学范畴正确确定多种多样的柔性支承的刚度和加载力矩是一个十分重大而艰巨的任务。

因此,对多柔传动的柔性支承刚度和加载力臂在实际中能予以调整,在现阶段还是一种实际可行的技术方案。

目前,在现场采取的措施为改变、更换扭力杆、拉压杆、弹簧等,如改变柔性件的直径、长度、断面形状;弹簧的直径、结构、圈数或层数;热处理硬度等。下面介绍扭力杆调整刚度和加载力臂的方案。

表 15-4-6

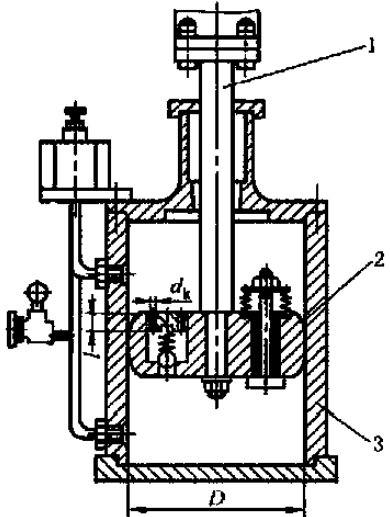
形式	(1) 调整刚度式
简图	<p>(a) 结构简图 (b) 受力图</p> <p>1—轴承;2—曲柄轴;3—连杆头;4—球轴瓦;5—花键;6—扭力杆;7—槽形平台;8—调整支座</p>
计算与说明	<p>调整用扭力杆的最小直径设为 d_{\min} (按花键内径) 要求</p> $d_{\min} \geq 2 \sqrt[3]{\frac{2FS}{\pi[\tau_p]}} = 2 \sqrt[3]{\frac{2M_t}{\pi[\tau_p]}} \text{ (mm)}$ <p>其变形角位移</p> $\phi = \frac{M_t L 180^\circ}{G J_p \pi} \leq [\phi]$ <p>说明:扭力杆材质及许用应力的选择请见单作用扭力杆“计算与说明”部分, $[\tau_p]$ 为扭力杆所用材质的抗剪许用应力 (N/mm^2);要考虑花键的应力集中系数而适当减小;“ϕ”式中 J_p 按 d_{\min} 计算</p>
形式	(2) 调整刚度和力臂式
简图	<p>(a) 结构简图 (b) 受力图</p> <p>1—轴承;2—框架;3—可移连杆头;4—支持心轴;5—调节螺母;6—双扭力杆;7—夹紧调整支座;8—槽形平台</p>

形式	(2) 调整刚度和力臂式
计算与说明	调整扭力杆的最小直径设为 d_{\min}
	$d_{\min} \geq 2 \sqrt[3]{\frac{FS_{\max}}{\pi[\tau_p]}} = 2 \sqrt[3]{\frac{M\tau_{\max}}{\pi[\tau_p]}} \text{ (mm)}$
	每边变形角位移 $\phi = \frac{M\tau_{\max}L180^\circ}{4G_r J_p \pi} \leq [\phi]$
说明: ① 框架 2 两边各为半扭力杆长度(效果相当扭力杆长为 L), 另外光扭力杆用夹紧调整支座以摩擦力矩锁紧, 有安全作用。此结构不但能改变扭力杆直径和长度, 还可以移动连杆头 3 改变加载力臂 S 的大小 ② 公式中符号说明: 扭力杆材质及许用应力的选择请见单作用扭力杆“计算与说明”部分; 但其中 M , 要按调整力臂最大值 S_{\max} 计算; 而它为双边 $\frac{L}{2}$, 所以每边角位移按 $\frac{L}{2}$ 计算	

6 液压阻尼器

液压阻尼器和柔性支承有所不同, 它的作用是使扭振快速衰减, 并防止共振; 它的活塞与缸体为线接触; 液压缸被活塞分隔为上下两腔, 在非工作状态下活塞处于液压缸的中间位置, 当活塞下降时, 下腔的油克服弹簧阻力并通过活塞的阻尼孔 d_k 流入上腔, 因阻尼孔较小使活塞运动受阻而起到阻尼作用; 反之活塞上升时, 油从上腔经回油孔返回下腔, 同样也受到阻尼作用, 使振动衰减。

表 15-4-7

形式	液压阻尼器	
简图	 <p style="text-align: right;">1—活塞杆(与悬挂装置相连); 2—活塞; 3—液压缸</p>	
计算与说明	<p>将传动系统视为具有黏滞阻尼的强迫振动, 近似为单自由度系统使其共振放大减至最小时的阻尼系数(临界阻尼)为</p> $C_{cr} = \frac{2\omega_n J}{R^2}$ <p>阻尼系数与液压阻尼器结构参数的关系</p> $C_{cr} = \frac{8\pi\mu l}{m} \left(\frac{D}{d_k}\right)^4$ <p>由以上二式可得</p> $\frac{2\omega_n J}{R^2} = \frac{8\pi\mu l}{m} \left(\frac{D}{d_k}\right)^4$	<p>上式可确定液压阻尼器有关结构尺寸</p> <p>式中 ω_n——系统的固有频率, rad/s;</p> <p>J——转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{mm}^2$;</p> <p>$R$——主轴中心到液压阻尼器间的距离, mm;</p> <p>μ——动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;</p> <p>l——阻尼小孔长度, mm;</p> <p>m——阻尼小孔数量;</p> <p>D——活塞直径, mm;</p> <p>d_k——阻尼小孔直径, mm</p>

第 5 章 专业技术特点

多柔传动是一门新兴的技术学科，除符合一般传动技术的发展规律外，还有根据它本身技术特征而形成的专业技术特点，现叙述于下。

1 均载技术

多柔传动装置的设计计算中，啮合点之间的载荷均衡是一个十分重要的问题。为使各点载荷均衡，应采用必要的均载技术措施。所谓均载是指一台或多台原动机以多个主动件同时驱动主轴，要求多个啮合点传递的转矩尽量相等；根据多柔传动结构形式的不同，采取从确定传动参数到具体结构的技术措施以实现均载的目标，实现这些措施的方法就是均载技术。

1.1 单台电动机驱动多个啮合点时

在多柔传动领域涉及到的典型结构是拉杆式（BFT 型）装置，该传动为两点啮合，它通过结构参数的合理选择可以尽可能的实现均载。国外最早应用的 BFT 型初始形式（见表 15-1-1 序号 10）就存在较大的不平衡问题，原因是左右啮合两点的切向力和左右传动架的重力方向一致或相反。在工作平衡状态，扭力杆两端作用力一定是大小相等、方向相反，因而当扭力杆平衡时，导致齿轮啮合切向力（决定每点传递转矩值）不可能相等，即转矩不相等而造成不均载，为此，均载技术采取的措施是在左右传动架下增加左右弹性重力平衡器，使其中的弹簧预压缩量和坐标位置正好能抵消左右传动架的重力和力矩平衡，从而保证左右两齿轮的啮合切向力相等而得以保持均载。

关于拉杆式（BFT 型）装置的平衡方程和均载技术措施见图 15-3-8 和表 15-3-3。式（15-3-46）和式（15-3-47）给出了均载时左右重力平衡器上安装时弹簧的预压缩量，可知左右重力平衡器上弹簧的预压缩量是不相等的，公式中已考虑了扭力杆系统变形的影响；均载还同时必须满足式（15-3-48）~式（15-3-51）给出的左右重力平衡器的坐标位置，不但抵消重力的影响，且力矩也要平衡，这样不但左右传递转矩相等且齿面上也不发生偏载。因此，要均载，不要偏载，则左右重力平衡器的坐标位置是特定的且左右是不对称的。

1.2 多台电动机驱动多个啮合点时

1.2.1 自动控制方法

① 如采用交流异步电动机，可利用该类电动机固有的转差特性——负荷增加转速下降、负荷减少则转速提高的规律，使同一传动装置中每台电动机自动保持功率相对均衡。

在传动中，有的采用交流变频电动机，为此可采用主从控制系统，即确定系统中的一台逆变器为主动装置，它将力矩输出值信号传递到其他从动逆变器。从动逆变器据此提供输出力矩，使各台电动机的输出力矩相近。每台电动机都配置增量型编码器以便形成闭环控制，这对于全悬挂的整体外壳式装置（如 PGC 型）的均载效果更好，负荷不平衡小于等于 3%。

② 如采用直流电动机，通过电气控制，使每台电动机的电流维持在一定范围内，以实现各点的均载。

③ 若为较大功率传动装置（1000kW 左右）和大功率传动装置，采用同步电动机可提高功率因数，从而提高效率。在传动系统可设置液体黏滞型负荷分配离合器，用改变摩擦片间的夹紧力来控制相对滑动（两边传动比稍有不同）达到均载目的，其转速和电动机负荷变化的反应时间小于 10ms，负荷不均衡小于等于 3%。

1.2.2 机电控制方法

参考表 15-1-1 序号 3 及图 15-6-3。该传动采用机电控制方法获得均载效果，从图中可看出，它的 4 个初级减速器置于不同高度的上、下两层。其机械控制部分的均载装置由两构件组成：一是上、下两层的左、右两个初级减速器输入轴之间都采用传动轴相连，使同一高度的两啮合点同速运转；二是在上、下两层都设置了使同一高度两啮合点均载的调节机构。该机构如图 15-5-1 所示，它由同一高度的两个初级减速器内的行星差动齿轮包与减速器外的曲柄连杆组合而成，行星差动齿轮包置于第二级传动的从动圆锥齿轮内，该齿轮包由太阳轮，具有内、外齿的中心轮，三个行星轮及支承它的行星架组成，锥齿轮的内齿与中心轮的外齿啮合，行星架轴上固定有第三级传动的小齿轮。太阳轮轴伸出到减速器外，在该轴端上固定有与连杆铰接的曲柄，连杆与另一同一高度的初级减速器上相应位置的曲柄相连。

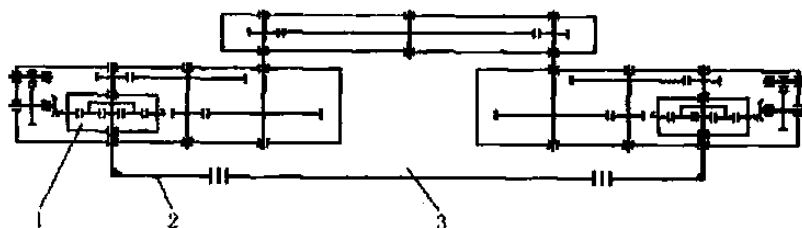


图 15-5-1 均载调节机构示意图

1—行星差动齿轮包；2—曲柄；3—连杆

均载原理如图 15-5-2 所示。图 a 为中心轮转速 n_b 所示转向均载时的传动系统的运动分析图，若同一高度的左、右两啮合点上的载荷相等，那么左、右侧的太阳轮承受的力矩相等，则作用到连杆两端的力大小相等，方向相反，图中所示的 $P_1 = P_2$ ，故太阳轮不动。假定图 a 中所示左啮合点因齿间有间隙等原因未能啮合或载荷较小时，则有 $P_2 > P_1$ ，此时，左侧太阳轮在连杆两端差值力的推动下将产生 n_s 并与 n_b 同向，处于这一不均载状态的左侧行星差动齿轮包的运动分析见图 b。从图 b 可知，由于太阳轮转速 n_s 与中心轮转速 n_b 同向，通过行星差动运动，左侧啮合点小齿轮将增速转动，从而消除齿间间隙而增载。同理，右侧行星差动齿轮包的太阳轮产生的 n_s 则与 n_b 反向，该侧小齿轮将减速而卸载，直至两啮合点上载荷相等时为止。反之，若左侧啮合点的载荷较大，其均载分析过程与前者相反。通过均载调节机构可使两啮合点载荷始终处于动态均载工况。

通过传动轴把同一高度的两初级减速器的输入轴连接起来，可使相应两啮合点同速，若不同速则肯定不均载。这样可进一步提高仅设置均载调节机构的均载水平。

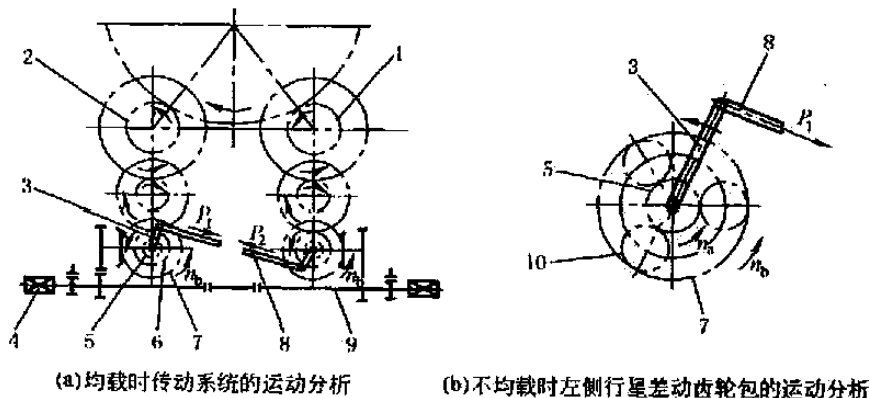


图 15-5-2 均载原理

1—右末级小齿轮；2—左末级小齿轮；3—曲柄；4—电动机；5—太阳轮；
6—第三级主动齿轮；7—中心轮；8—连杆；9—传动轴；10—行星轮

通过该均载装置只能实现上、下两层同一高度的两个啮合点的均载。而上、下两层间的均载，则通过前述的自动控制方法来解决，这就是说它应用了机、电两种均载技术，效果良好，即使在同一高度的两台电动机中的一台发生故障时也能实现各啮合点均载（但工作电动机处于超载运行，只能维持短时运行）。

2 安全保护技术

由于多柔传动考虑了柔性支承的“弹性”，遵循了物体受力后产生变形的客观规律，不但使设计可以接近传动装置的“实际”，充分地发挥多柔传动的优越性，而且利用其“柔性”，使多柔传动的运行安全也更有保障。下面介绍的几种方法就是利用受力构件的“弹性变形”，达到对装置进行有效保护的目的。

2.1 扭力杆保护装置

为保证超载时扭力杆不被破坏，设置了扭力杆保护装置。此装置是在整体外壳式壳体的下底面左右各设一个在受载时能绕主轴回转微小角位移的活动平面，在达到规定过载系数相应负载时，此活动平面和地基上的止动座接靠（在止动座上面衬以硬质橡胶板，因外壳底部活动平面和止动座接靠时会稍有倾斜），此时即使负载再增加，扭力杆不再增加载荷，超过部分由止动座承接，这样就可靠地保证了扭力杆和装置的安全。装置受载时，整体外壳和止动座间相对位置的变化见图 15-5-3。

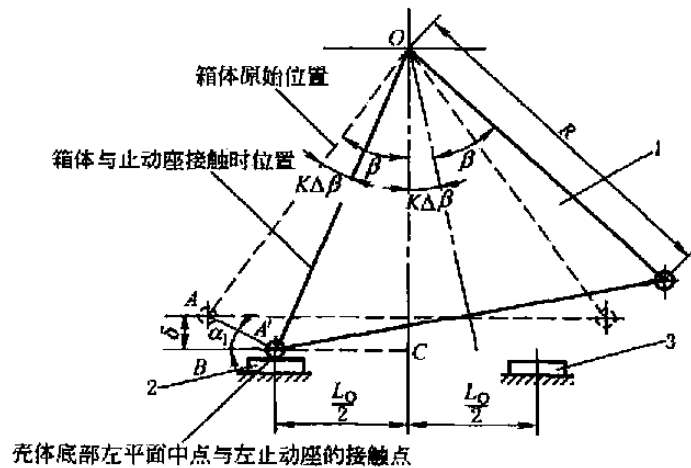


图 15-5-3 受载时外壳和止动座间相对位置

O—主轴回转中心；1—整体外壳刚性架；2—左止动座；3—右止动座

图中 β ——整体外壳刚性（三角）架的半顶角， $(^\circ)$ ；

$\Delta\beta$ ——在额定载荷下，壳体的微小角位移， $(^\circ)$ ；

Δh ——在额定载荷下，壳体左下平面中点的垂直方向位移，mm；

δ ——在超载 K 倍时，壳体左下平面中点的垂直方向总位移，mm；

$$\delta = K\Delta h$$

K ——设计过载系数

$$K = \frac{M_{\max}}{M}$$

M_{\max} ——设计允许的主轴最大输出转矩，N·mm；

M ——额定负载下主轴的输出转矩，N·mm；

L_0 ——两止动座间距离，mm；

R ——主轴中心到壳体下平面中点的距离，也即刚性（三角）架腰的长度，mm。

在图 15-5-3 中，在下面二个直角三角形中有下列几何关系

$\triangle ABA'$ 中

$$\sin\alpha_1 = \frac{AB}{AA'} = \frac{K\Delta h}{AA'}$$

$$\triangle OA'C \text{ 中} \quad \sin(\beta - K\Delta\beta) = \frac{A'C}{OA'} = \frac{L_0/2}{R}$$

若 $K\Delta\beta$ (过载 K 时壳体转角) 很小时, $\angle OA'A \approx 90^\circ$, 则有下列关系

$$(\beta - K \cdot \Delta\beta) \approx \alpha_1$$

$$\text{而} \quad AA' = 2R \sin\left(\frac{K\Delta\beta}{2}\right)$$

$$\text{所以} \quad \frac{K\Delta h}{2R \sin\left(\frac{K\Delta\beta}{2}\right)} = \frac{L_0/2}{R}$$

$$\text{故} \quad \delta = K\Delta h = L_0 \sin \frac{K\Delta\beta}{2} \quad (15-5-1)$$

从上式可求得壳体下平面和止动座之间的距离 δ 。

2.2 过载保护装置

过载保护是利用弹簧或拉压杆在受载时的变形和负荷成正比的关系, 若实际载荷超过额定载荷下变形的若干倍时, 凸块接触限位开关令电机和电源脱开且制动器产生制动使惯性运转迅速停止的保护措施, 其结构及载荷-变形图见图 15-5-4, 结构及受力图见 a, 载荷-变形图见 b。装置上端铰接在悬挂的末级减速器外壳上, 其下端与悬挂的初级减速器铰接点相连接。

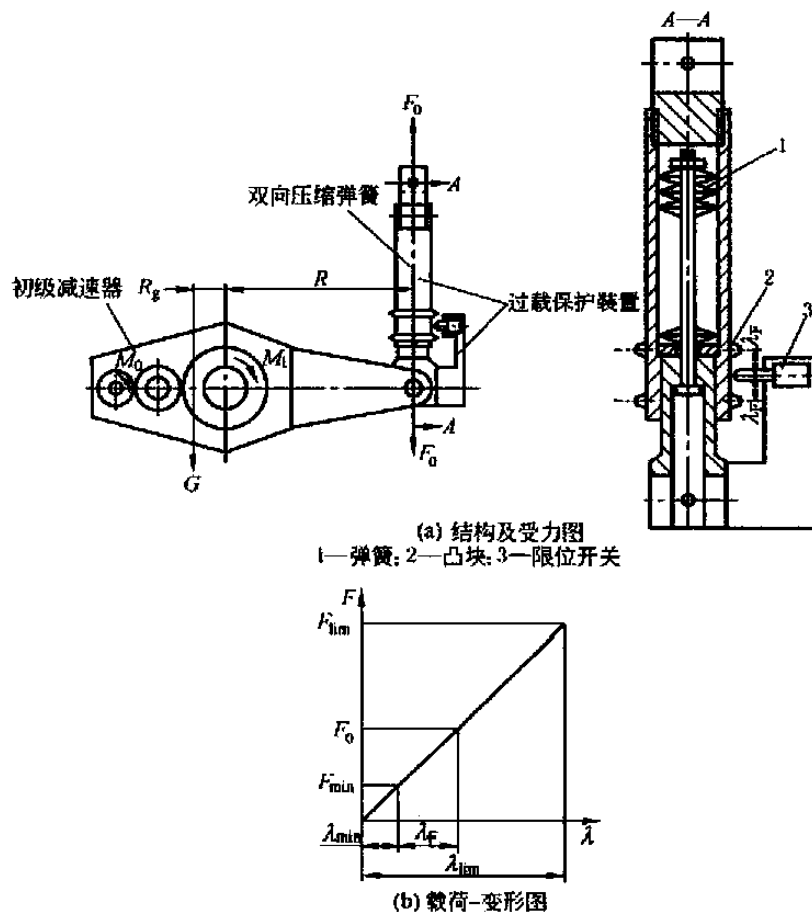


图 15-5-4 过载保护装置

若为半悬挂

$$\begin{aligned} F_0 &= \left(\frac{M}{ni\eta} \pm \Sigma m \right) \frac{1}{R} \\ &= (M_1 - M_0 - GR_g) \frac{1}{R} \end{aligned} \quad (15-5-2)$$

若为全悬挂 ($M_0 = 0$, 但有电机装于输入轴)

$$F_0 = (M_1 - G_m R_m - G R_g) \frac{1}{R} \quad (15-5-3)$$

式中 F_0 ——串接弹簧作用力, N;
 M_1 ——初级减速器输出轴转矩, N·mm;
 M_0 ——初级减速器输入轴转矩, N·mm;
 G ——初级减速器重量, N;
 R_g ——初级减速器重心到悬挂轴距离, mm;
 R ——串接弹簧轴线到悬挂轴距离, mm;
 G_m ——电机重量, N;
 R_m ——电机重心到悬挂轴线距离, mm。

在图 15-5-4b 弹簧的载荷 (F)-变形 (λ) 中

$$\lambda = \lambda_{\min} + \lambda_F \quad (15-5-4)$$

式中 λ ——弹簧承受 F_0 时的变形, mm;
 λ_F ——限位开关与凸块间的距离, mm;
 F_{\min} ——弹簧预紧力, N;
 λ_{\min} ——弹簧预压缩量, mm;
 F_{\lim} ——弹簧的极限载荷, N;
 λ_{\lim} ——弹簧的极限变形, mm。

3 中心距可变与侧隙调整

除整体外壳式外, 多柔传动具有中心距可变, 侧隙可调的特点, 这样可以充分利用渐开线变位齿轮的优越性, 提高传动装置的性能和灵活性, 更能适应在高温、多尘环境下运行。

中心距变化的原因有二。一是由于零件受力变形而产生的中心距增加, 这取决于零件的刚度。因此改变中心距的办法是变更零件的断面形状、长度和改变材质及其热处理方法, 如拉杆式 (BFT 型) 装置利用拉杆直径的变化或在拉杆中串接弹簧来改变拉杆悬挂系统的刚度; 推杆式 (BFP 型) 则改变推杆中弹簧的刚度等。利用变形改变中心距, 一般在设计时就要确定, 设备建成后再改变就比较费事。

二是通过改变结构和零件的尺寸来改变中心距, 如将固定滚轮式 (BF 型) 的滚轮改为单个偏心滚轮式 (TSP 型) 的偏心可调的滚轮, 这样中心距可大可小; 而且改变偏心滚轮的调整偏心值更扩大了中心距的可变范围。

最简单的方法是通过改变末级小齿轮两侧的辮子的直径来改变中心距。辮子的结构形状可见图 15-2-6 (BF 型)、图 15-2-8 (BFP 型) 和图 15-2-9 (BFT 型); 偏心滚轮式 (TSP 型) 中的辮子结构形状和图 15-2-6 (BF 型) 中是一致的。

3.1 辮子的外形尺寸和性能

3.1.1 辮子的外形尺寸

任何多柔传动装置的辮子直径的普遍公式为

$$d_B = m [z_1 + 2(h_a^* + C^* + x_1)] + 2e \quad (\text{mm}) \quad (15-5-5)$$

式中 d_B ——辮子直径, mm;
 m ——齿轮模数, mm;
 z_1 ——末级小齿轮齿数;
 h_a^* ——齿顶高系数;
 C^* ——顶隙系数;
 x_1 ——小齿轮的法向变位系数;

e ——结构余量, $e=2, 2.5$ 或 3mm 。

当采用渐开线圆柱齿轮基本齿廓 (GB/T 1356—1988) 标准时

$$h_a^* = 1, C^* = 0.25$$

若小齿轮未变位

$$x_1 = 0$$

公式可简化为

$$d_B = m(z_1 + 2.5) + 2e \quad (\text{mm}) \quad (15-5-6)$$

辊子宽度: 因为 $b_{\Sigma} \geq b + 2B$

$$\text{所以} \quad B \leq \frac{b_{\Sigma} - b}{2} \quad (\text{mm}) \quad (15-5-7)$$

式中 B ——辊子宽度, mm;

b_{Σ} ——大齿轮轮缘总宽度或结构需要的实际大齿轮轮缘宽度, mm;

b ——末级大小齿轮中取齿宽大的宽度, mm。

因为若大齿轮宽度增加, 整个装置的重置将接近成比例增加, 故 B 一般不宜大, 所以辊子往往做成圆片形状, 因此其所需轮压与滚轮相反 (滚轮希望有足够轮压)。从设计上尽量减少辊压才是理想工作状态。

3.1.2 辊子的性能

辊子不但在外形上和滚轮不同, 其作用和性能也存在很大差异, 辊子和外轨道组合主要用以保证齿轮传动的最小侧隙, 也可以用以改变中心距。辊子和滚轮在结构性能上的差别见表 15-5-1。

表 15-5-1

结构性能对比	滚 轮	辊 子
作用	悬挂定位和支持传动装置	保持齿轮传动最小侧隙, 改直径为中心距
外形尺寸	由轮压及接触应力决定直径和宽度, 宽径比大, 呈轮状	直径由式 (15-5-5) 决定, 宽度由式 (15-5-7) 决定, 宽径比小, 呈片状
相对摩擦性质	在任何情况均为纯滚动, 与传动结构参数、滚轮直径等无关	辊子直径一定比小齿轮节圆直径大, 和轨道间不是纯滚动, 一定有滑动
理想工作状态	要求轮压大于零; 轮压小于等于零不能正常工作	辊压等于零时无偏载, 传动效率高
相互关系及特点	保持轮压或均载时就可以不要辊子, 轮压和均载无关	有可能丧失轮压或不均载时, 必须有辊子保持最小侧隙, 希望辊压小
轨道形式与尺寸	凹面内轨道, 轨道半径由结构任意确定	凸面外轨道, 轨道曲率半径由式 (15-5-8) 确定
和大齿轮轮缘宽度关系	无关	辊子宽度使轮缘宽度相应增大
和中心距变化的关系	一般限制最大中心距, 但偏心滚轮式调整时中心距可大可小	限制最小中心距, 如加大辊子直径可使中心距加大

但推杆式 (BFP 型) 和其他形式尚有一定差别, 因为推杆式装置是利用推杆压力通过辊子才得以悬挂于大齿轮上的, 所以在这种情况下, 辊压是始终存在的。相对其他形式而言, 辊压还较大, 所以辊子宽度应大些, 以减小接触应力。如有可能, 不要将辊子固接在小齿轮上, 而应和小齿轮分开, 且辊子中心加滚珠轴承 (见图 15-2-8), 此时辊子和小齿轮转速就无关, 这样, 就有可能变滑动摩擦为滚动摩擦, 以减少辊子和外轨道的磨损。

3.2 侧隙调整和控制

3.2.1 齿轮侧隙在传动中的重要性

大转矩、低转速的重载传动往往工作条件恶劣, 处于高温多尘的环境, 如转炉倾动机构普通传动装置未采用多柔传动前, 小齿轮单独支持于轴承座之间, 当末级大齿轮随主轴变动移位时, 传动轴线的不平行和温度使零件膨胀, 很容易造成局部传动侧隙消失而导致“咬死”, 不能正常传动。为此, 有的甚至人为地将中心距加大 $5 \sim 10\text{mm}$, 用未工作前 (安装时) 过大的侧隙来防止工作时侧隙的消失, 但这种大侧隙更造成传动性能下降, 在启制动和变速时发生更大的冲击和振动, 使动载荷增加, 承力件极易损坏。

采用多柔传动后情况有了极大的改善。因为悬挂安装的特点,使传动侧隙沿齿宽均匀且可以得到控制,但因制造原因产生的齿厚不合格和使用磨损后侧隙的变大,都需要及时调整或采取措施延长大型传动设备昂贵的齿轮装置的使用寿命,不至于使用后侧隙加大造成动载荷的增加。所以,不论制造、安装和使用后都需要利用变位齿轮的优越性,来及时调整齿轮侧隙就变成一个十分必要的技术课题。多柔传动的中心距可变、侧隙可调的各种悬挂安装结构形式(BFP型、BFT型和TSP型)为此创造了调整和控制传动侧隙的良好条件。

3.2.2 传动最小侧隙的保证

当采用各种多柔传动形式时,要全面考虑所有情况;考虑各点载荷不均衡、处于不同位置 and 不同转向时,同样都应保持齿轮正常传动所必须具有的最小侧隙。因此对除整体外壳式外的各种形式的结构又有了新的要求,这也是多柔传动的专业技术特点之一。前面3.1.1节已求出了辊子直径的普遍公式,因此外轨道的曲率半径的普遍公式也可相应求得

$$\begin{aligned}\rho &= a' - \frac{d_B}{2} \\ &= m \left[\frac{z_2}{2} + y - (h_a^* + C^* + x_1) \right] - e \quad (\text{mm})\end{aligned} \quad (15-5-8)$$

式中 ρ ——外轨道的曲率半径, mm;
 a' ——变位齿轮中心距, mm;
 d_B ——辊子直径, mm;
 z_2 ——末级大齿轮齿数;
 y ——中心距变动系数;

m, h_a^*, C^*, x_1, e ——见本章3.1.1节。

若是标准中心距,小齿轮也未变位,又符合GB/T 1356—1988标准,则公式可简化为

$$\rho = m \left(\frac{z_2}{2} - 1.25 \right) - e \quad (\text{mm}) \quad (15-5-9)$$

现将各种多柔传动形式保证最小传动侧隙的技术措施分述于下。

(1) 整体外壳式(PGC型等)

这种形式和普通减速器一样,齿轮副位于机壳的镗孔中心内,它由传动中心距的正偏差和大小齿轮的齿厚最小减薄量来保证传动的最小侧隙。工作时齿轮中心距是固定的,因而不会产生侧隙变化的情况,所以它是最简单也是最可靠地保证最小侧隙的一种形式。

(2) 固定滚轮式(BF型及其派生形式)

只要滚轮轮压存在,它和整体外壳式保持中心距的原理是一致的,可以保证传动的最小侧隙。但固定滚轮式若采用多个悬挂小车,多个小车位置不同时,因内轨道是单面凹形,如轮压小于等于零,滚轮就会离开内轨道,齿轮传动侧隙就将丧失,此时就需在小齿轮两侧设置辊子(见图15-2-6),辊子就紧靠外轨道而保持最小侧隙;条件是:

外轨道曲率半径公称尺寸 + 辊子半径公称尺寸 = 实际中心距公称尺寸

外轨道曲率半径的正偏差 + 辊子半径的正偏差 = 实际中心距的正偏差

图纸上实际标注辊子偏差是在直径上,故半径的正偏差应乘2后标在辊子直径的上偏差上。

这种形式的大小齿轮设计参数和齿厚的最小减薄量等和整体外壳式的完全一样。

(3) 推杆式(BFP型)

推杆式(BFP型)装置没有滚轮定位支持,故也没有内轨道,它就是靠推杆将辊子压紧在外轨道上而实现悬挂安装的(见图15-2-8),它的压紧力取决于推杆的设计安装压紧力。这种形式必然使辊子和外轨道接触。辊子和外轨道的公称尺寸和偏差可仿照固定滚轮式(BF型)的方法求得,但压紧力一般比固定滚轮式(BF型)要大,这由受力分析(见表15-3-2)求得辊子和外轨道间的压紧力 Q 来确定。

(4) 拉杆式(BFT型)

拉杆式的特点为靠上下两根拉杆的作用将传动架体悬挂于大齿轮上。若两点负荷均衡时,即齿轮径向力也完全相等,理论上两边可保持相等侧隙;若两点负荷不均衡,则上下拉杆两边作用力不相等,径向力相对较小一边

的啮合侧隙将会消失而不能保证最小侧隙。即使采用均载技术抵消重力的影响，但因计算和实际终有一定误差，实际上很难做到两边负荷完全相等，只要两边径向力稍有不同，轻载边侧隙消失是很难避免的，因此其最小侧隙还将有赖于辊子和外轨道的接触来保证。所以拉杆式（BFT型）也应和上面固定滚轮式（BF型）一样，具有计算确定的辊子和外轨道的公称尺寸和偏差。应该说采用均载技术后辊压是很小的，辊子和外轨道间磨损也就很少。

还有一种拉杆式（BFT型）装置的拉杆中部装有一固定突出装置，它和机壳间留有很小的间隙，当拉杆两端受力不等向一边移动时，这个间隙先行消失，因而使不平衡力作用于机壳（见图15-6-7），这样就减轻或消除了左右的不平衡。

（5）偏心滚轮式（TSP型）

这种装置和固定滚轮式（BF型）不同的是采用多个悬挂小车，其单点啮合力可降低很多。单个悬挂小车和固定滚轮式的悬挂小车差别不大，只是偏心滚轮式的滚轮中心可以在小车架体的铰孔中心以偏心距为半径作 360° 的旋转变换。当两个偏心滚轮分别作顺时针和逆时针调整（二者调整角 δ 应保持相反同步相等，见表15-3-4最后“侧隙计算”），两个滚轮和内轨道间会产生间隙（正值时中心距增加，负值时减少，即侧隙相应增加或减少），从而达到调整传动侧隙保证正常啮合的条件。应该说明，以上是在有轮压时的情况，若无轮压，仍需如固定滚轮式的方法，用辊子和外轨道来维持最小侧隙，从而保证齿轮的啮合传动，外轨道和辊子的尺寸和偏差仍按固定滚轮式（BF型）的方法求得。

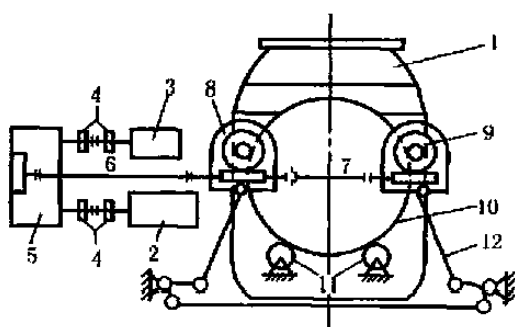
4 设计与结构特点

整体外壳式（PGC型等）和固定滚轮式（BF型）由于中心距固定，末级传动原则上可任选各种传动装置（对中心距敏感的传动副都可以选用）；对中心距可变的各种多柔传动（如BFP型、BFT型和TSP型），不论是受力变形或结构零件变化，都不宜采用对中心距敏感的传动（如摆线齿轮传动），应广泛采用渐开线变位齿轮。在中心距增加时，只要齿轮传动重合度大于1，即可连续正确啮合。还要注意，采用各种不同形式、不同转向、载荷不均衡、处于不同位置时，同样都要保持齿轮正常啮合的侧隙。

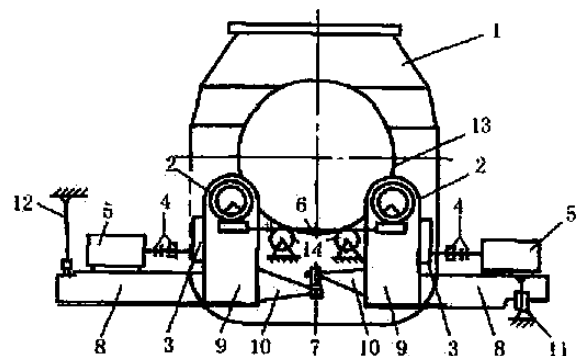
4.1 合理确定末级传动副的形式和结构参数

4.1.1 销齿传动等新型传动应逐步推广和发展

由于多柔传动受力变形或结构、零件变化导致中心距的变化，使渐开线变位齿轮传动成为目前末级传动副的主流；另一方面，由于多柔传动技术的发展，也为其他传动副的应用创造了良好的条件。图15-5-5所示为国



1—转炉；2—电机（快速，250kW）；3—电机（慢速，30kW）；4—制动器和联轴器；5—行星减速器；6—鼓形齿联轴器；7—联轴器及张紧轴；8、9—蜗轮减速器；10—倾动用销齿传动；11—支承辊；12—自平衡式拉杆



1—转炉；2—蜗轮减速器；3—圆柱齿轮减速器；4—制动器和联轴器；5—电机（122kW）；6—联轴器；7—限位开关；8—电机托架；9—壳体；10—扭力杆；11—压力过载保护装置；12—张力过载保护装置；13—销齿传动；14—支承辊

图 15-5-5 国外 200t 转炉的两种倾动机构的传动系统图

外 200t 转炉的两种倾动机构的传动系统图。这两种装置都采用销齿传动（以前称钝齿传动）。销齿传动是齿轮传动的一种特殊形式，从动件是具有圆销齿的销轮，主动件仍是齿轮。由于销轮的轮齿呈圆销形，故与一般齿轮相比，具有结构简单、制造加工容易、重量轻、造价低、拆修方便等优点，故以销轮代替大型渐开线齿轮将有很大的经济效益，特别适用于低速、重载、粉尘多、润滑条件差、工作环境恶劣的场合，效率可达 0.9~0.95，因而非常适合用于冶金、矿山等场合。多柔传动采用多点啮合、悬挂安装和柔性支承后，其他更多新型传动将会应运而生。

4.1.2 目前末级减速宜采用高度变位渐开线直齿齿轮

末级减速目前用一般齿轮传动较多，有直齿也有斜齿，采用标准齿轮较多。末级减速采用斜齿的意图为平衡轴向力提高轮齿的强度，但若应用于频繁正反转启制动场合，末级减速器齿轮受到的双向轴向力冲击会传递到减速器的连接螺栓上，一旦螺栓松动，末级减速器就不能正常工作。实际上末级减速器输出轴的轴向力平衡完全可在减速器内部加止推轴承解决，而末级低速，单齿啮合力又降低很多，用直齿是完全合适的。主要因大型斜齿轮不能用指形铣刀和在机床上分度的小型简单制造设备加工，直齿时就可以用这种小型设备（单齿铣）来加工。另外，大齿轮有时在很大的筒体上，且末级速比大，可使中速、高速级转矩很快降低，末级的速比一般均大于 5~6。大小齿轮对比，小齿轮仍是薄弱环节，尤其小齿轮齿数若接近不根切的最小齿数时，小齿轮齿根部位有较大的滑动率 η_{1max} 和几何压力系数 ψ_{1max} ，也即齿根部位极易磨损。采用高度变位时，小齿轮变位系数 $x_1 = -x_2$ （大齿轮变位系数），此时中心距、啮合角、节圆直径等均不变，不但计算不复杂，而且可以接近达到 $\eta_{1max} = \eta_{2max}$ 、 $\psi_{1max} = \psi_{2max}$ ，可使小齿轮和大齿轮的啮合指标接近，起到提高小齿轮啮合指标又不降低大齿轮啮合指标的作用，不增加开支而且可以有效提高齿轮寿命。说明用一般标准齿轮是没有道理的，速比越大，进行高度变位的必要性更加显著，用标准齿轮就更没有道理。

4.2 啮合点数的选择

啮合点数选择的主要根据是末级传动副的强度和寿命，并和装置的体积和重量大小有关。如果转矩很大，多点啮合分流就可以降低单点啮合力（为总力除以啮合点数）。因为渐开线齿轮副计算传动中心距的公式中，中心距大小和单齿传递的转矩的立方根成反比，8 点啮合时，中心距可减少为原来的一半，此时设备重量降低远比二分之一还多。从表 15-1-1 序号 4 可看出，该设备用单端 6 点，两端共 12 点传动时末级减速器就很小，所以只要多个主动件及其减速悬挂装置能布置得下也不影响操作维修，应尽量选多点为好，啮合点数多，传动中心距小，配置空间同样也小，反过来会影响啮合点数的增加。表 15-1-1 序号 4 改为双端传动的原因为单端肯定放不下 12 点。对各种形式也存在各种具体问题，一般应综合考虑决定。

对整体外壳式比较单纯，应该只受配置空间的限制，点数多，悬挂上去的装置因中心距减少反而会变少，总之只要空间配置合适就行。

对固定滚轮式（BF 型）和偏心滚轮式（TSP 型）存在轮压问题，1~2 点啮合且布置在垂线附近时，一般能保持轮压，可以正常传动；若啮合点增加，悬挂小车位置可能会到大齿轮的上半部，此时小车重量可能反而使轮压减少，如果轮压保持不了，就需设辘子来保证传动的最小侧隙，辘子和外轨道就加大了装置的体积和重量，所以 1~2 点以上就要认真研究其可行性。

对推杆式（BFP 型）来说，它除了推杆架体的支承点外，还有一个推杆的支承点，这个推杆的支点高架体的支承点较远，且接近垂直位置。在 1~2 点以上时，还是要考虑其支承点位置设置的问题，另外它肯定有辘子，且辘压还较大，这样大齿轮的轮宽度还会增加，重量肯定也会相应的增加。

对拉杆式（BFT 型）来说，因结构决定，一般都是两点啮合，即使应用了均载技术还是要考虑辘子的设置来防止偶有不均载时侧隙的丧失可能。拉杆式两点啮合时，必须两点同时工作，一个损坏时，整个装置就不能工作，这和其他形式显然是不同的。

4.3 各种悬挂安装形式的特点及适用性

多柔传动的悬挂安装形式基本上可归纳为中心距固定和中心距可变的两大类。其中包含的各种悬挂形式共 5 类。现将各种形式的特点作如下分析，供选用时参考。

4.3.1 整体外壳式 (PGC 型等)

用整体外壳包容末级一般是一级减速装置;其他前置级减速装置则采用全悬挂或半悬挂安装在壳体上或地基上,这种装置重量较大,但悬挂壳体刚性大,其中心距受键孔决定不能改变,在传动原理上比其他形式都简单清晰。如全悬挂没有受力大的部件基础而仅有柔性支承的基础,传动计算和普通传动计算没有什么差别,对从事普通传动者易理解接受,只是采用串接式柔性支承时,还要将初级减速器用串接柔性支承连接,且整套传动机构均被整体外壳封闭,没有开式传动,工作条件较好,重量虽大但结构原理和普通传动相同,所以目前应用比较广泛。但因它有整体外壳故不能用于大齿轮装在筒体上的设备,而只能用于端部传动;全悬挂方式一般都用于此种整体外壳式,因为此种整体外壳刚性大,悬挂结构可靠,末级减速装置重量大的还可以用重力平衡器或液压缸托起。

4.3.2 固定滚轮式 (BF 型)

用固定滚轮悬挂末级减速器的小齿轮(有的带前置级减速装置)及其轴承安装架体,重量可比整体外壳式轻,但这种悬挂小车架体的刚性显然比整体外壳式要差,所以一般其前置级的一部分或全部放在地基上,即采用半悬挂形式。因为若全悬挂电机等偏心质量较大,滚轮更易失去轮压;若要增设辊子保证侧隙也会造成结构比较复杂;但如果装于筒体上的大齿轮轮缘内径和筒体外径之间能容纳悬挂小车的滚轮装置,则它可以应用于中部传动,一般用于单点啮合力不很大的场合,多个滚轮小车时,轮压有丧失可能,要用辊子来保证末级传动的最小侧隙。

4.3.3 推杆式 (BFP 型)

借推杆推力将悬挂传动装置壳体通过辊子压靠在大齿轮外轨道上实现悬挂安装,悬挂刚性相对较小,且辊子和外轨道间一般有较大滑动摩擦(采取技术措施也可解决),其他和固定滚轮式相似,一般都采用半悬挂式。这种形式只要能布置好,中部和端部都可采用,由于啮合点数少,也用于单点啮合力不大的场合,用改变辊子直径可改变安装中心距。

4.3.4 拉杆式 (BFT 型)

拉杆式是能用合理结构和位置参数来保证两点负荷均衡的一种悬挂安装形式。悬挂架体刚性也不大,所以一般也采用半悬挂形式。因其结构为初级减速器由主轴的径向接入,所以在末级小齿轮前有一级蜗轮减速装置,其效率稍低。现在的结构都限于两点啮合,单点啮合力最多降到二分之一,因有拉杆穿过径向部位,故这种形式只能用于端部传动,即使负荷均衡也得有辊子,也可用改变辊子直径来改变安装中心距。

4.3.5 偏心滚轮式 (TSP 型)

总体上和固定滚轮式 (BF 型) 是相似的,二者可互相改变应用。优缺点和适用性相同,但它和固定滚轮式的最大差别是通过调整滚轮偏心距可使中心距变大或变小,灵活性比较大。还有一个特点(固定滚轮式若是4个悬挂小车也可以有)是改变并接式柔性支承(成变形谐调关系的并接式柔性支承)的两种柔性支承的刚度可改变两种柔性支承的受力关系,也即可改变对扭力杆的作用转矩,这是它的独有特点,其他形式很难做到。

4.4 柔性支承的特性和结构要求

4.4.1 单作用式

是最简单、应用较多的一种柔性支承,常用的有拉压杆、弹簧和扭力杆等。

(1) 单作用拉压杆

图 15-5-5 为拉压杆受力几何关系, O_1D 即为拉压杆

全悬挂时

$$Q = \frac{M}{\sin\beta \cdot OD} \quad (15-5-10)$$

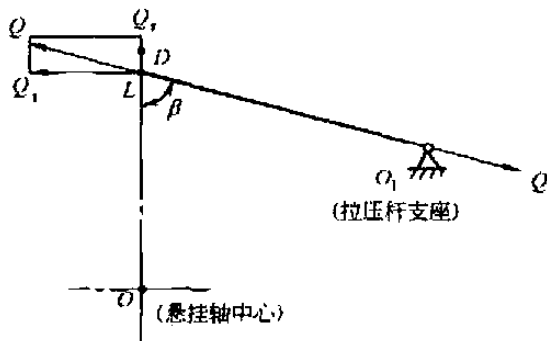


图 15-5-5 拉压杆受力几何关系

式中 Q ——拉压杆受力, N;

M ——悬挂轴的输出转矩, N·mm;

β ——拉压杆轴线和铰接点与悬挂轴心连线的夹角, ($^\circ$)。

$$\beta = 90^\circ, \quad Q = Q_{\min} = Q_1$$

所以拉压杆和铰接半径 OD 的夹角为 90° 时, 拉压杆受力最小, 故要求拉压杆轴线应和铰接半径尽量垂直, 这是结构要求; 如不垂直, Q_1 还会增加对悬挂轴的作用力。

这一原理也适用于串接拉压杆时。

(2) 单作用扭力杆

$$M_1 = FS$$

式中 M_1 ——扭力杆的作用力矩, N·mm;

F ——对扭力杆的作用力, N;

S ——扭力杆偏心距, mm。

可见偏心距 S 对扭力杆强度的影响很大, 因 F 已定时, 只要 $S=0$, M_1 也等于 0。但偏心距 (扭力杆加载力臂) 的数值究竟选多少? 即使扭力杆直径长度已定, S 的选择仍是一个动力学方面的研究课题。

这种单作用扭力杆要向传动装置的主轴轴向延伸其长度, 即在装置轴向需有空间允许布置这种单作用扭力杆。

4.4.2 自平衡式

柔性件两端均受相等的力 (或力矩), 呈自平衡状态, 主要有自平衡扭力杆和自平衡拉压杆, 前者是一种应用很广泛的柔性支承。

两种柔性支承完全能互相代替。扭力杆是两端加载力臂相同, 拉压杆是两个曲拐同位相等。扭力杆偏心距 (加载力臂) 若大时, 直径较粗, 但拉压杆较细, 加粗后刚度将很大; 拉压杆若细长且受压时要校核稳定性, 所以根据转向, 应让拉压杆受拉较好。

自平衡式柔性支承一般布置在传动装置的下方, 结构比较紧凑; 自平衡扭力杆除直径可变外, 加载力臂也可变, 灵活性大; 而自平衡拉压杆加载力的变化范围小 [见第 4 章 2; 自平衡式的 (2) 自平衡拉压杆]。

4.4.3 并接式 (双作用式)

对作用力 (或力矩) 相等的并接式柔性支承, 大部分结构可使柔性支承的变形增加, 合成刚度减小, 如要求减小支承刚度而扭力杆 (或其他柔性件) 直径或断面又不能减小者可以采用, 但对弹簧-液压组成的并接式系统, 合成刚度反而增加。对两种呈变形谐调关系的并接式柔性支承如偏心滚轮式 (TSP 型) 的扭力杆和拉压杆则通过变形谐调 (即变形符合结构几何关系) 可改变对另一种柔性支承的作用力 (如可改变对扭力杆的作用力矩, 从而可改变扭力杆的刚度)。

4.4.4 串接式

利用拉压杆或弹簧作串接柔性支承时, 其结构原理与悬挂于末级减速器上的 (主) 柔性支承基本相同, 只是串接式是悬挂于末级减速器的输入轴上而非输出轴 (主轴) 上, 计算输出转矩应为此输入轴的转矩, 而支承点为末级减速器的壳体而不是地基。

弯曲杆是另一种串接的柔性支承, 用于不便设置拉压杆或弹簧的串接场合, 它用两个支座固定悬臂的弯曲杆 (见图 15-3-2), 弯曲杆的头部和悬挂的初级减速器铰接点相连接, 以弯曲杆的弹性变形挠度 (柔性) 来支承初级减速器。

4.4.5 调整式

调整式是一种能改变柔性支承结构参数而在现场调整或改变柔性支承的刚度和加载力臂的方法, 要求它调整更换快捷, 改变结构参数容易, 调整时安全可靠, 拆装简单方便, 调整时替换零件少而调整范围却尽量大。

第 6 章 整体结构的技术性能、尺寸系列和选型方法

根据设备运行现场的实际要求，将各种悬挂安装形式和柔性支承有机地结合成许多种整体多柔传动装置，就能产生性能尺寸各异的多柔传动装置。本章将其整体结构的技术性能和尺寸系列等作如下叙述，同时也介绍国内外部分工厂的产品系列和选型方法，作为选型决定结构的参考。

1 国内多柔传动装置的结构、性能和尺寸系列

目前国内多柔传动装置的系列尺寸都是针对专业产品（例如转炉、烧结机、回转窑等）形成的，还没有适合各种低速、大转矩设备的普遍多柔传动装置系列。为此，可以根据按工作机械的主要规格（如转炉公称容量/ t 、烧结机有效台车面积/ m^2 等）确定的多柔传动装置的技术性能和尺寸系列，来确定其他机械可否选用。其方法是根据输出转矩、由输出转矩和主轴转速确定的电机功率是否满足传动要求，并根据实际要求转速来调整改变已有系列的总传动比。

1.1 整体外壳式之一（PGC 型，四点啮合，自平衡扭力杆）

采用刚性的整体外壳悬挂在主轴上，初级减速器非悬挂而固接在整体外壳上。整体外壳的柔性支承采用自平衡扭力杆，壳体下有两个平面和止动座间留有 δ 间隙，待超载时，其余负荷就由止动座承受，扭力杆负荷不再增加。因采用全悬挂，故地基上只有柔性支承的基础，其结构见图 15-6-1，它由壳体上的键孔决定中心距，故末级中心距不变和侧隙不能调整，它的技术性能和尺寸系列由工作机械的规格（如转炉公称容量/ t ）来决定，参见表 15-6-1。

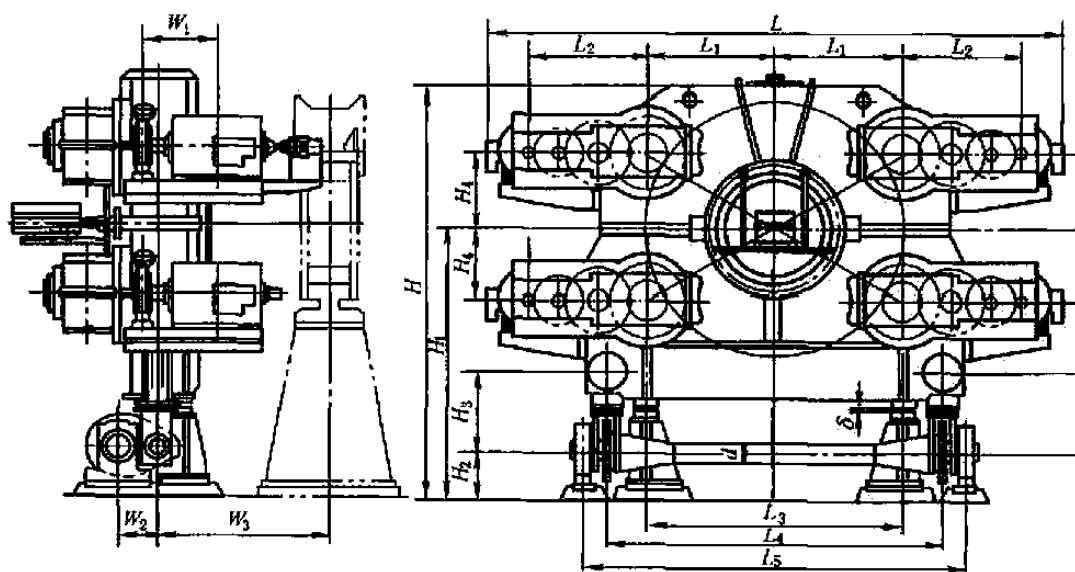


图 15-6-1

表 15-6-1

转炉公称容量/t	30	50	120	150	180	300	
最大工作转矩/kN·m	720	1500	3500	4120	5350	6500	
最大事故转矩/kN·m	1800	3750	8750	10300	13375	19110	
转速/r·min ⁻¹	0.96	0.99	1.35	1.36	1.5	0.15~1.5	
总传动比	741.318	564.678	740	721.92	650	638.245	
总效率	0.88	0.88	0.91	0.91	0.91	0.902	
电动机	型号	YZP250M-8	ZZJ-814	YZP3555-6	YZP355M2-6	YZP400M2-6	配置直流电机
	功率/kW	4×30	4×63.5	4×160	4×220	4×290	4×150/300
	转速/r·min ⁻¹	712	560	985	980	980	96~960
制动器	型号	YWZ5-315/80	YDWZ500/100ZA	YW500-2000	YW500-D2000	YW630-D3000	
	制动力矩/N·m	600	1270	3300	1500~5400	2300~8200	
初级 减速器	类型	圆柱齿轮					
	传动比	101.634	77.598	109	116.882	85.255	87.051
末级减速 器(圆柱 齿轮)	传动比	7.294	7.277	6.8	6.177	7.625	7.294
	模数/mm	18	22	25	32	28	28
	大齿轮材料	—	—	35CrMo	30Cr ₂ Ni ₂ MoA	40CrNiMoA	40CrNi ₂ Mo
扭力杆	直径 d/mm	φ230	φ280	φ320	φ320	φ365	φ380
	材料	40CrNi ₂ Mo					
总体尺寸 /mm	L	~5730	~7360	~8836	~9350	~8005	~8205
	L ₁	1094.34	1416.39	1601.854	1601.854	1601.854	1702.083
	L ₂	1234.78	1557.487	1920	2177	1400	1778.524
	L ₃	2200	2890	3300	3300	3300	3450
	L ₄	3000	3900	4800	4800	4800	4620
	L ₅	3500	4550	5800	5800	5800	5330
	H	3772	4779	5639	5639	6063	6200
	H ₁	2415	3130	3480	3480	3839	3850
	H ₂	335	540	560	560	560	735
	H ₃	660	900	900	900	900	1165
	H ₄	683.82	885.06	1163.81	1163.81	1163.81	1063.579
	W ₁	487.5	714	762	769	854.5	1005
	W ₂	380	450	450	450	500	560
W ₃		2100	2000	2160	2160	2500	
δ	4.5~5.1	8.5~10	10.4~12	10.5~12	10.5~12	13.4	

1.2 整体外壳式之二（四点啮合，自平衡扭力杆串接弯曲杆）

除整体外壳悬挂在主轴上，用自平衡扭力杆作（主）柔性支承外，初级减速器也悬挂于末级减速器的输入轴上；用弯曲杆作（副）柔性支承，呈串接状态；其他和上面（PGC型）相似，见图 15-6-2。

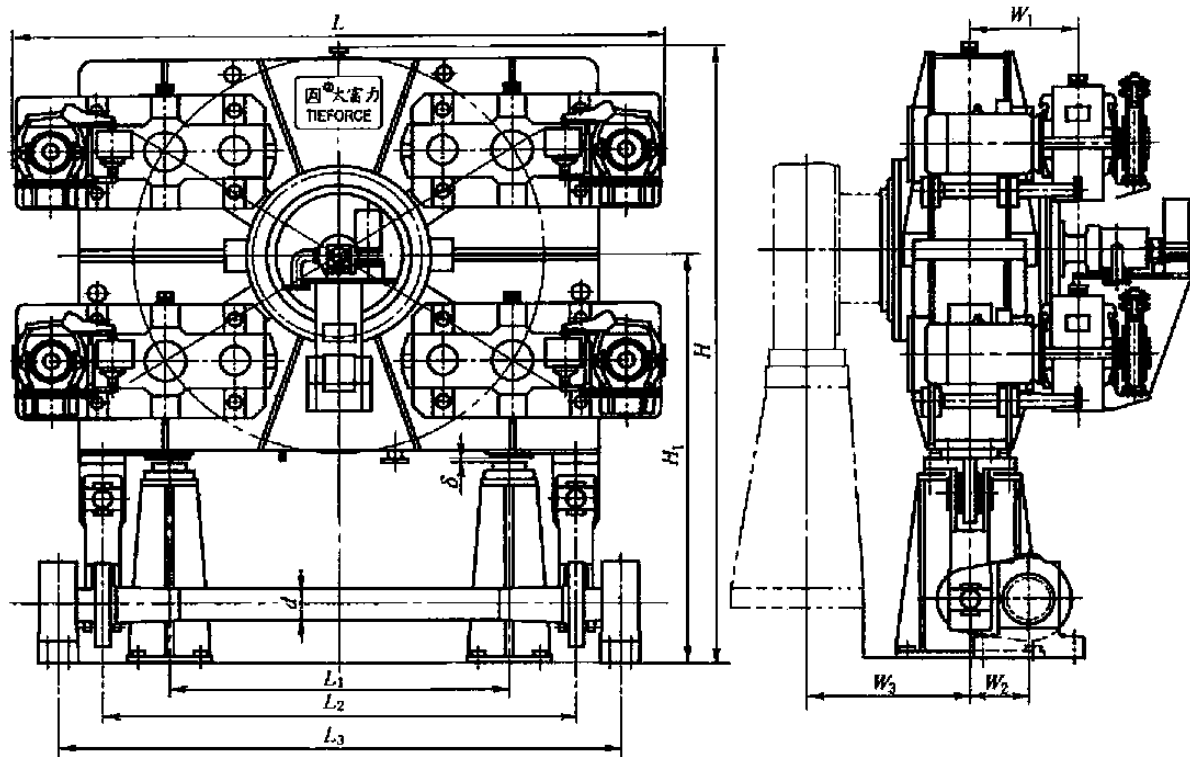


图 15-6-2

1.3 整体外壳式之三（四点啮合，单作用弹簧缓冲装置串接拉压杆，有均载调节机构）

除整体外壳悬挂在主轴上，用弹簧缓冲装置作（主）柔性支承外，初级减速器也悬挂于末级减速器的输入轴上，用拉压杆作串接式柔性支承。它的最大特点为上下有两套均载调节机构，各点负荷比较均衡。公称容量 250t 转炉的总体结构及尺寸见图 15-6-3，其技术性能见表 15-6-2。

表 15-6-2

转炉公称容量/t	40	50	65	80	100	120	150	180	250	
最大操作转矩/kN·m	802	975	1180	1610	1940	2370	2850	3450	~6250	
转矩过载倍数	3.00	3.00	2.90	2.90	2.63	2.62	2.62	2.72	~2.24	
倾动转速/r·min ⁻¹	0.1~1.0								0.1~1.5	
总传动比	985	985	975	975	735	735	735	735	600	
总效率	~0.9								0.9	
电动机	型号	YTSZ225 M-6	YTSZ250 M-6	YTSZ280 S-6	YTSZ280 M-6	YTSZ315 M ₁ -8	YTSZ315 M ₂ -8	YTSZ315 L-8	YTSZ355 M ₁ -8	配置直流电机
	功率/kW	4×37	4×45	4×55	4×75	4×90	4×110	4×132	4×160	4×315
	调速范围 /r·min ⁻¹	98~980		97~970		73~730			60~90	
制动器	型号	YWZ9- 300/E80	YWZ9- 315/E80	YWZ9- 400/E80	YWZ9- 400/E121	YWZ9- 500/E201	YWZ9- 500/E201	YWZ9- 500/E201	YWZ9- 600/E201	
	制动力矩 /N·m	630~ 1000	630~ 1000	630~ 1250	1000~ 2000	2000~ 4000	2000~ 4000	2000~ 4000	2500~ 4500	8800
初级 减速器	类型	三环传动				三环或圆柱齿轮传动			圆柱齿轮传动	
	传动比	113.35	115.47	117.33	117.33	86.78	84.58	83.33	81.13	90.35

末级 减速器	传动比	8.69	8.53	8.31	8.31	8.47	8.69	8.82	9.06	6.67
	模数/mm	18	20	20	22	22	25	25	25	25
	大齿轮材料	30CrMo				34CrNi ₂ Mo				34CrNiMo ₆
扭力杆	直径 d /mm	$\phi 220$	$\phi 230$	$\phi 245$	$\phi 260$	$\phi 280$	$\phi 300$	$\phi 330$	$\phi 340$	
	扭转角/ $^{\circ}$	1.24	1.33	1.31	1.48	1.38	1.36	1.19	1.3	
	单位扭转角 $/(^{\circ}) \cdot m^{-1}$	0.39	0.39	0.37	0.38	0.33	0.31	0.25	0.27	
总体 尺寸 /mm	材料	42CrMo				40CrNiMo				
	L	4580	4800	5200	5664	5900	6360	6790	7110	转炉公称容量 250t 的规格结构和 表中其他公称容量 转炉的结构不同。 此装置末级减速器 的柔性支承为弹簧 缓冲装置, 初级减 速器的柔性支承为 串接拉压杆。结构 尺寸见图 15-6-3
	L_1	2340	2420	2520	2890	3020	3310	3610	3620	
	L_2	3200	3400	3530	3900	4130	4420	4720	4900	
	L_3	3800	4050	4180	4550	4830	5120	5420	5600	
	H	4230	4400	4580	4830	5180	5560	5950	6020	
	H_1	2760	2860	2980	3160	3350	3550	3765	3800	
	W_1	764	780	810	896	930	980	1000	1110	
	W_2	390	410	430	450	470	500	530	540	
	W_3	1260	1280	1500	1650	1680	1710	1750	2160	
δ	7.0/8.5	7.1/8.6	8/9.6	8.5/10	8.5/10	8.7/11	8.9/12	9.8/12		

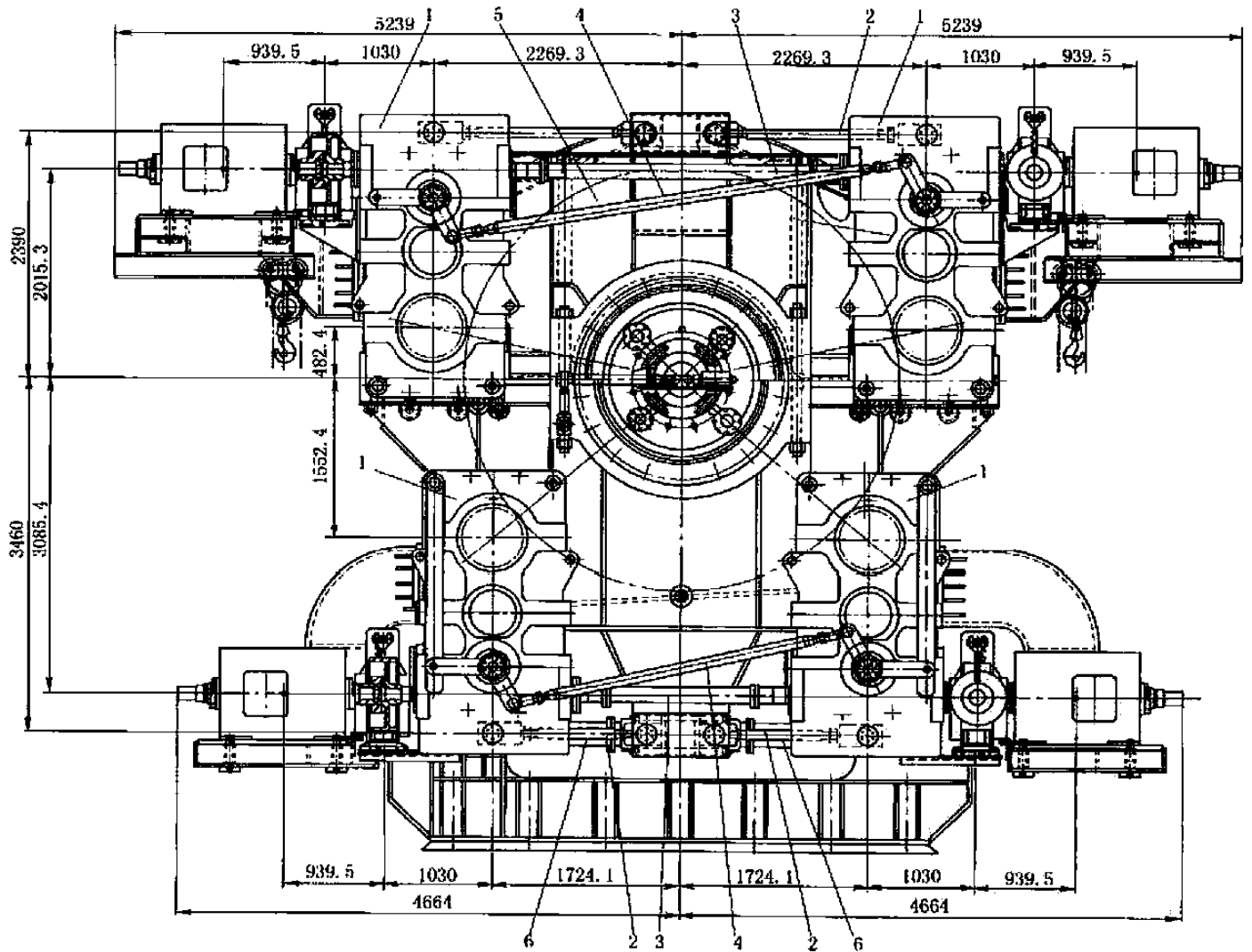


图 15-6-3 整体外壳式之三总体结构

1—初级减速器；2—串接拉压杆；3—同速轴；4—均载调节机构；5—末级减速器；6—弹簧缓冲装置

1.4 整体外壳式之四（两点啮合，自平衡扭力杆串接弯曲杆）

和本章 1.2 节结构性能相似，仅是四点啮合变成两点啮合，结构简化很明显。总体结构见图 15-6-4，技术性能及尺寸系列见表 15-6-3。

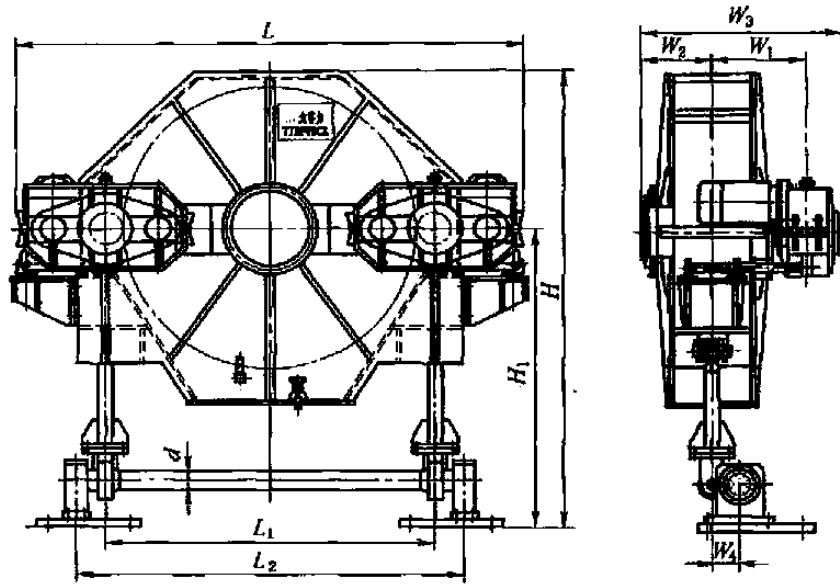


图 15-6-4

表 15-6-3

机械类别		烧 结 机								带冷机 (倾角 6°)	带冷机 (倾角 3.54°)
规格/m ²		60	75	132	180	240	275	360	400	120	204
输出转矩/kN·m		350	400	350	450	687	660	800	950	500	1600
总传动比		4788	5670	2949	5297	3555	3227	4825	3283	11676	7733
电动机	型号	YTSP160 L-6	YTSP160 M-6	YTSP180 L-8	YTSP180 L-6	YTSP200 L ₂ -6	YTSP200 L-8	YTSP225 M-4	YTSP225 M-6	YTSP160 L-6	YTSP200 L ₁ -6
	功率/kW	2×11	2×7.5	2×11	2×15	2×22	2×15	2×30	2×30	2×11	2×18.5
	调速范围 /r·min ⁻¹	300 ~ 970	300 ~ 970	230 ~ 735	317 ~ 980	317 ~ 980	230 ~ 735	490 ~ 1470	319 ~ 980	300 ~ 970	317 ~ 980
初级减速器 (三环传动)	中心距/mm	350	400	350	450	450	450	450	550	500	590
	传动比	72.5	660	307.2	603.3	405	440	503.3	395	1344	954.7
末级减速器	类型	三环传动		圆柱传动							
	中心距/mm	900	1000	1100	1250	1408	1350	1450	1500	1250	1600
	传动比	66	8.59	9.6	8.78	8.78	7.33	9.59	8.31	8.69	8.1
扭力杆	直径 d/mm	150	150	150	190	180	180	200	210	180	240
总体尺寸 /mm	L	2920	3680	3370	4180	4336	4160	4340	5020	4550	5740
	L ₁	2496	2000	2200	2496	2816	2700	2900	3000	2500	3200
	L ₂	2966	2500	2700	2996	3316	3200	3400	3500	3000	3700
	H	2915	3395	3600	4040	4175	4180	4180	4300	3940	4590
	H ₁	2005	3350	2205	2750	2750	2750	2750	2780	2650	3000
	W ₁	580	652.5	630	750	810	780	849	840	840	1009
	W ₂	410	405	410	535	588	470	585	625	475	700
	W ₃	782	820	820	1211	1271	1145	1934	2125	1790	1720
W ₄	240	350	240	240	240	240	240	240	350	350	

1.5 固定滚轮式 (BF 型)

结构见图 15-6-5, 技术性能及尺寸系列见表 15-6-4。

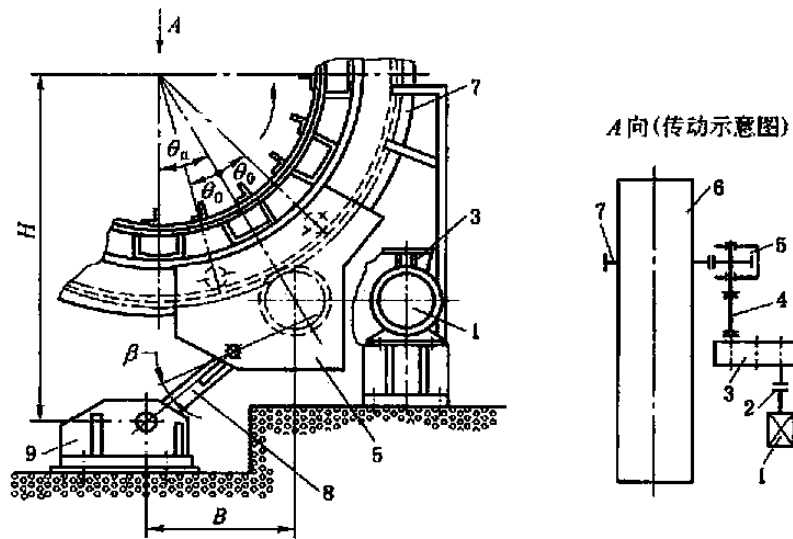


图 15-6-5

1—电动机; 2—联轴器 (或液力耦合器); 3—初级减速器; 4—万向接轴;
5—悬挂小车; 6—筒体; 7—大齿轮圈; 8—拉压杆; 9—支座

表 15-6-4

设备名称及规格		$\phi 2.4\text{m} \times 32\text{m}$ 回转窑	$\phi 3\text{m} \times 10\text{m}$ 圆筒冷却机	$\phi 3\text{m} \times 12\text{m}$ 圆筒混合机	
筒体倾角/ $^{\circ}$		3	1.432	3	
技术性能	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	正常	—	65980	
		最大	239900	122510	
	转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		1.28	4.82	6.5
	电动机	型号	Z2-81	Y315M-6	Y315M3-6
		功率/ kW	30	90	132
		转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	1500	990	980
	初级减速器	型号	Z2-125-9-II	ZLZ400-400-20-I	ZLY400-16-I
		传动比	125.6	20	16
	末级传动	啮合点数	1	1	1
		传动比	10.27	11.94	10.27
模数/ mm		20	20	20	
尺寸	$\beta/(^{\circ})$	16	0	13	
	$\theta_0/(^{\circ})$	15	15	15	
	$\theta_n/(^{\circ})$	30	30	40	
	A/mm				
	H/mm	2447	3449	3232	
	B/mm	1404	1137	856	

1.6 拉杆式 (BFT 型, 两点啮合, 自平衡扭力杆串接弹簧)

整体结构见图 15-6-6。利用拉杆将左右传动架悬挂安装于大齿轮上, 一端经初级减速器后再传给蜗杆减速器, 故均为非对称型。左右传动架的柔性支承为自平衡扭力杆, 悬挂在蜗杆轴上的初级减速器用串接弹簧为柔性支承, 在小齿轮两侧应有辊子保证齿轮传动的最小侧隙, 但此结构中如确有图 15-6-7 中 $E-E$ 和 $F-F$ 剖面所示结构, 当一端齿轮径向力稍小被拉向另一端时, 就会被 $E-E$ 剖面中 (预留的空隙消失后) 壳体上的角钢所挡住, 不会继续被拉向另一端, 从而保住齿轮径向力小侧的齿轮侧隙。如有上述结构, 则可不要辊子仍可保证齿轮侧隙。

装置为半悬挂, 在地基上的电机通过万向接轴和初级减速器输入轴连接, 左右传动架有左右重力平衡器以平衡传动架的重量, 如果符合均载要求的条件就可以达到负荷均衡的目的。它的技术性能及尺寸系列由工作机械的主要规格 (如烧结机的有效台车面积/ m^2) 所确定, 见表 15-6-5。

图 15-6-5 右视图中上拉杆中部的小圆圈中即是上面述及的 $E-E$ 和 $F-F$ 剖面, 详见图 15-6-7。

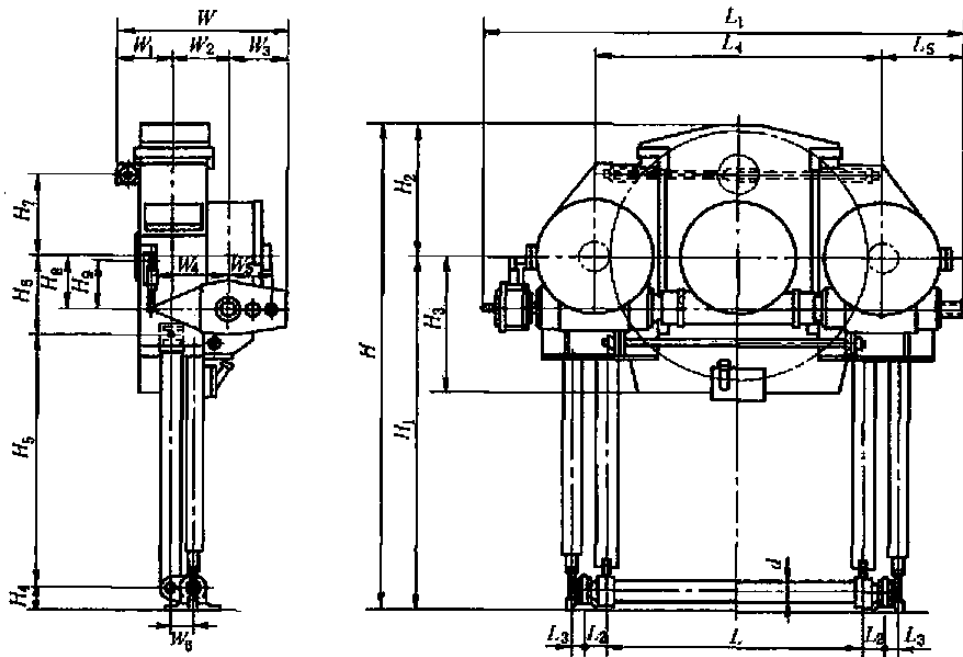


图 15-6-6

表 15-6-5

机械名称		烧 结 机					带冷机
规格/ m^2		42	60	110	180	450	105
布置形式		有重力平衡器, 对称型布置				有重力平衡器非对称型	有弹簧重力平衡器非对称型
输出转矩 $\text{N} \cdot \text{m}$	最大				1.127×10^6	1.029×10^6	5.9×10^5
	常用	4.13×10^5	6.05×10^5	6.66×10^5	3.753×10^5	5.586×10^5	
极限转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$					—	1.078×10^6	
转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		0.216	0.182	0.182	0.065 ~ 0.197	0.183 ~ 0.551	
总传动比		$20 \times 31.5 \times 8.444 \approx 5320$	$20 \times 31.5 \times 8.4 = 5292$	$20 \times 24.5 \times 9.125 \approx 4471.25$	$12.64 \times 31.5 \times 6.6 \approx 2655.73$	$7.63 \times 25.333 \times 8.444 \approx 1632$	$11.701 \times 31.5 \times 8.444 \approx 3112.42$
总效率					0.56 (正常工作时)	0.77 (600 r/min 时)	0.66

电动机	型号	YJTG180L-b	YJTG200L2-b	YJTG225M-b			
	功率 /kW	15	22	30			
	转速 /r·min ⁻¹	980-300	980-300	970-300	173-523	300-900	
初级 减速器	型号	SZNB160- 120-VII-CW	ZLY180- 20-VII	HJW35B- 20-6-F	JZQ650	悬挂型 HELICAL	非标圆柱齿轮
	传动比	20	20	20	12.64	7.63	11.701
中间 减速器	类型	平面二次 包络蜗轮副	平面二次 包络蜗轮副	平面二次 包络蜗轮副	平面二次 包络蜗轮副	WORM	平面二次 包络蜗轮副
	传动比	31.5	31.5	24.5	31.5	76/3≈25.333	31.5
末级 减速器	传动比	8.444	8.4	9.125	120/18≈6.67	152/18=8.444	152/18≈8.444
	模数 /mm	14	14	20	22	16	14
总体 尺寸 /mm	L	2128	2128	2920	2696	2432	2528
	L ₁	—	—	—	3670	4488.5	4210
	L ₂	140	140	160	300	200	140
	L ₃	200	200	250	62	140	200
	L ₄	2380	2380	3240	3100	2720	2380
	L ₅	630	630	970	—	822	910
	H	—	—	—	4880	4645	3870
	H ₁	2650	2650	—	3380	3360	2700
	H ₂	1170	—	1550	1500	1290	1170
	H ₃	1170	—	1770	1520	1330	1170
	H ₄	180	—	220	160	180	180
	H ₅	1790	1790	1080	2110	2480	1790
	H ₆	680	680	1020	1110	700	730
	H ₇	790	790	800	765	795	790
	H ₈	—	—	—	—	500	500
	H ₉	—	—	—	—	445	445
	W	—	—	—	—	1590	
	W ₁	355	405	450	690	510	
	W ₂	465	515	652	—	525	515
W ₃	—	—	—	—	555		
W ₄	—	—	—	—	785	700	
W ₅	—	—	—	—	410	430	
W ₆	240	240	242	200	240	240	
d	φ140	φ140	φ140	φ165	φ175	φ140	

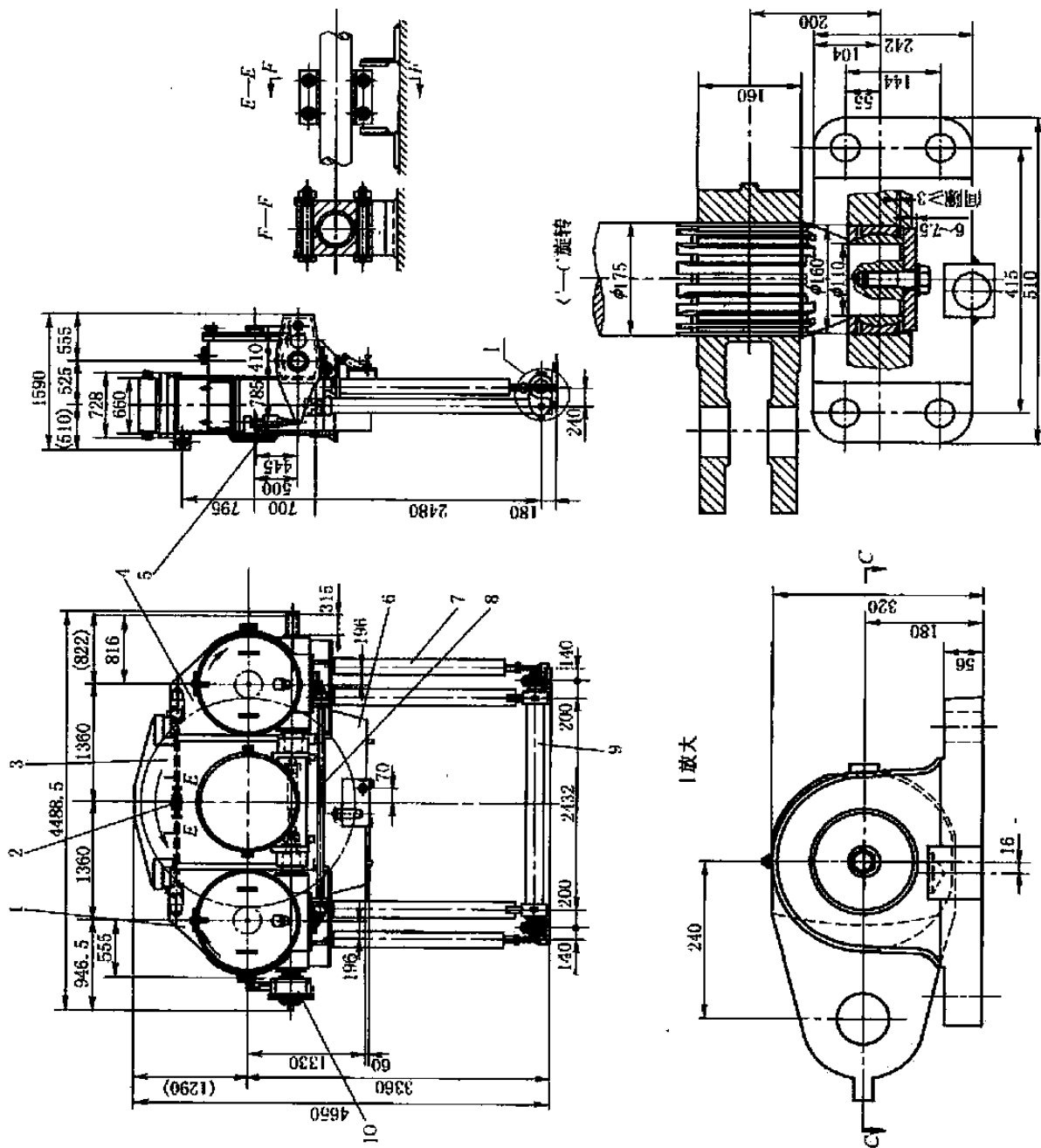
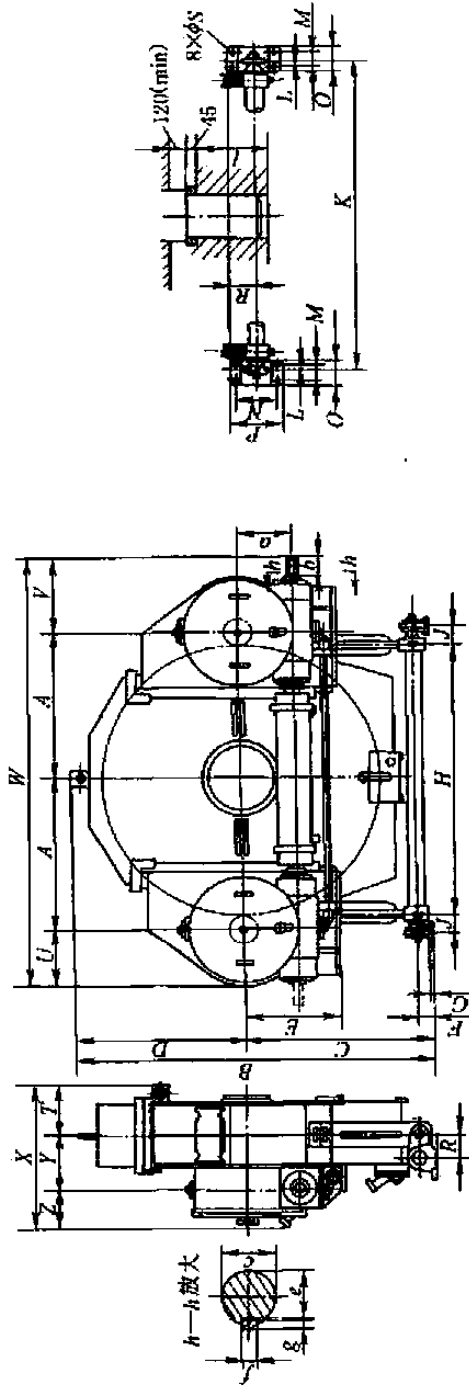


图 15-6-7 450m² 烧结机多柔传动装置结构及尺寸 (技术性能见表 15-6-5)
 1—左传动架; 2—上拉杆; 3—末级大齿轮; 4—右传动架; 5—串接弹簧; 6—末级大齿轮壳体;
 7—重力平衡器; 8—下拉杆; 9—自平衡扭力杆; 10—悬挂初级减速器

2 国外多柔传动装置的尺寸系列及选型

2.1 日本椿本公司 BFT 型尺寸系列及选型



日本椿本公司 BFT 型尺寸系列

表 15-6-6

齿数比	模数	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	I	初級蜗輪減速器中心距 α	U	V	W	X	Y	Z	b	c	e	f	g
152/18	8	680	1970	200	770	520	90	28	1216	100	1416	25	72	220	126	270	120	27	310	350	200	285	345	1990	855	295	250	110	50	44.5	14	9
	10	850	2330	380	950	625	130	40	1520	150	1820	40	108	315	184	390	180	39	390	445	250	305	425	2090	885	315	260	140	60	53	18	11
	12	1020	2620	520	1100	740	130	40	1824	150	2124	40	108	315	184	390	180	39	430	560	400	360	480	2540	1045	365	290	140	70	62.5	20	12
	14	1190	2910	660	1250	920	180	56	2128	200	2528	55	144	415	242	510	240	52	505	685	500	450	590	3080	1185	445	310	170	90	81	25	14
	16	1360	3230	790	1440	920	180	56	2432	200	2832	55	144	415	242	510	240	52	550	750	500	550	710	3640	1350	515	330	210	110	100	28	16
	8	784	2070	200	870	520	90	28	1424	100	1624	25	72	220	126	270	120	27	310	350	200	285	345	2198	855	295	250	110	50	44.5	14	9
178/18	10	980	2490	410	1080	625	130	40	1780	150	2080	40	108	315	184	390	130	39	390	445	250	305	425	2690	1015	365	260	140	60	53	18	11
	12	1176	2850	590	1260	740	130	40	2136	150	2436	40	108	315	184	390	180	39	430	560	400	360	480	2800	1045	365	290	140	70	62.5	20	12
	14	1372	3260	820	1440	920	180	56	2492	200	2892	55	144	415	242	510	240	52	505	685	500	450	590	3392	1185	445	310	170	90	81	25	14
	16	1568	3650	2000	1650	920	180	56	2848	200	3248	55	144	415	242	510	240	52	550	750	500	550	710	4004	1350	515	330	210	110	100	28	16
	8	784	2070	200	870	520	90	28	1424	100	1624	25	72	220	126	270	120	27	310	350	200	285	345	2198	855	295	250	110	50	44.5	14	9
	10	980	2490	410	1080	625	130	40	1780	150	2080	40	108	315	184	390	130	39	390	445	250	305	425	2690	1015	365	260	140	60	53	18	11

选型方法

2.1.1 拉杆式 (BFT 型) 多柔传动装置末级齿轮模数的选定

(1) 计算公式

$$M_{c2} = \frac{M_2 K_h}{K_A} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (15-6-1)$$

式中 M_{c2} ——主轴输出计算转矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

M_2 ——主轴正常输出转矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

K_h ——寿命系数;

K_A ——工作系数。

(2) 系数选定

① 寿命系数 K_h : 根据设计寿命 (H) 由图 15-6-8 查出, 或用公式 $K_h = \left(\frac{H}{25000}\right)^{1/6}$ 计算, 式中 H 为设计寿命小时数。

② 工作系数 K_A : 根据每天工作小时数和工作载荷变化情况用表 15-6-7 确定。

表 15-6-7 工作系数选定

项目	原动机分类	载荷等级	载荷状态	工作时间 (每天)	
				<12h	>12h
K_A	电动机	I	载荷很少变化	1.0	0.95
		II	载荷有变化	0.80	0.70
	涡轮机	III	载荷有很大变化	0.67	0.57
		I	载荷很少变化	0.80	0.70
	多缸	II	载荷有变化	0.67	0.57
		III	载荷有很大变化	0.57	0.45
发动机					

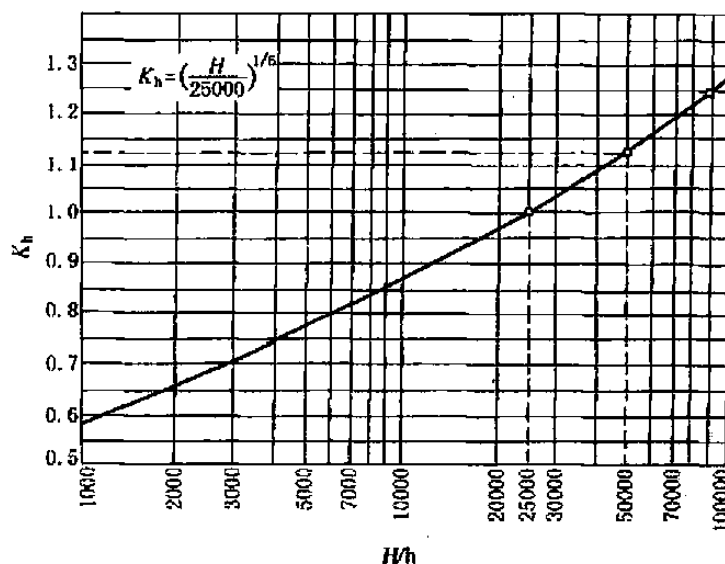


图 15-6-8 寿命系数选定图

(3) 选择步骤

- ① 根据选定的系数 K_h 、 K_A 以及给定的 M_2 求出 M_{c2} 。
- ② 用 M_{c2} 和主轴的输出转速 n_2 , 由图 15-6-9 中找出低速级大齿轮的模数 m 和齿数 z_2 。
- ③ 确定小齿轮齿数 z_1 , 一般可取 $z_1 = 18$ 。
- ④ 由表 15-6-6 选出 BFT 型系列尺寸。

(4) 选型举例

例1 试计算一挖泥船的运输机 BFT 型驱动装置, 原动机为电动机, 承载主轴正常工作转矩 $M_2 = 400 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 转速 n_2 为 5 r/min , 设计寿命为 25000 h , 工作时间每天 8 h , 且载荷变动很大。

解 由图 15-6-8 得寿命系数 $K_h = 1.0$, 由表 15-6-7 选定工作系数 $K_A = 0.67$, 则主轴输出计算转矩

$$M_{c2} = \frac{M_2 K_h}{K_A} = \frac{400 \times 1.0}{0.67} = 597.02 \approx 600 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

由图 15-6-9 查出 $n_2 = 5 \text{ r/min}$ 和 $M_{c2} = 600 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的交点, 把该交点上方的曲线导向右侧得出末级大齿轮模数 $m = 14 \text{ mm}$, 齿数 $z_2 = 178$, z_1 确定为 18。

由表 15-6-6 选出对应于 $178/18$ 齿数比和模数为 14 mm 的 BFT 型装置的尺寸系列。

例2 试计算一台铁水罐车倾动机构的驱动装置, 原动机为电动机, 承载主轴正常工作转矩 $M_2 = 203 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 转速 n_2 为 0.05 r/min , 设计寿命为 50000 h , 每天工作 8 h 。

解 由于这种设备的载荷变化很大, 由表 15-6-7 确定工作系数 $K_A = 0.67$, 由图 15-6-8 查得寿命系数 $K_h = 1.125$, 故主轴输出计算转矩

$$M_{c2} = \frac{M_2 K_h}{K_A} = \frac{203 \times 1.125}{0.67} \approx 350 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

由图 15-6-9 查得大齿轮齿数 $z_2 = 152$, 模数 $m = 10 \text{ mm}$, 并选 $z_1 = 18$ 。

由表 15-6-6 即可选出对应于齿数比 $152/18$ 和模数 $m = 10 \text{ mm}$ 的 BFT 型装置的系列尺寸。

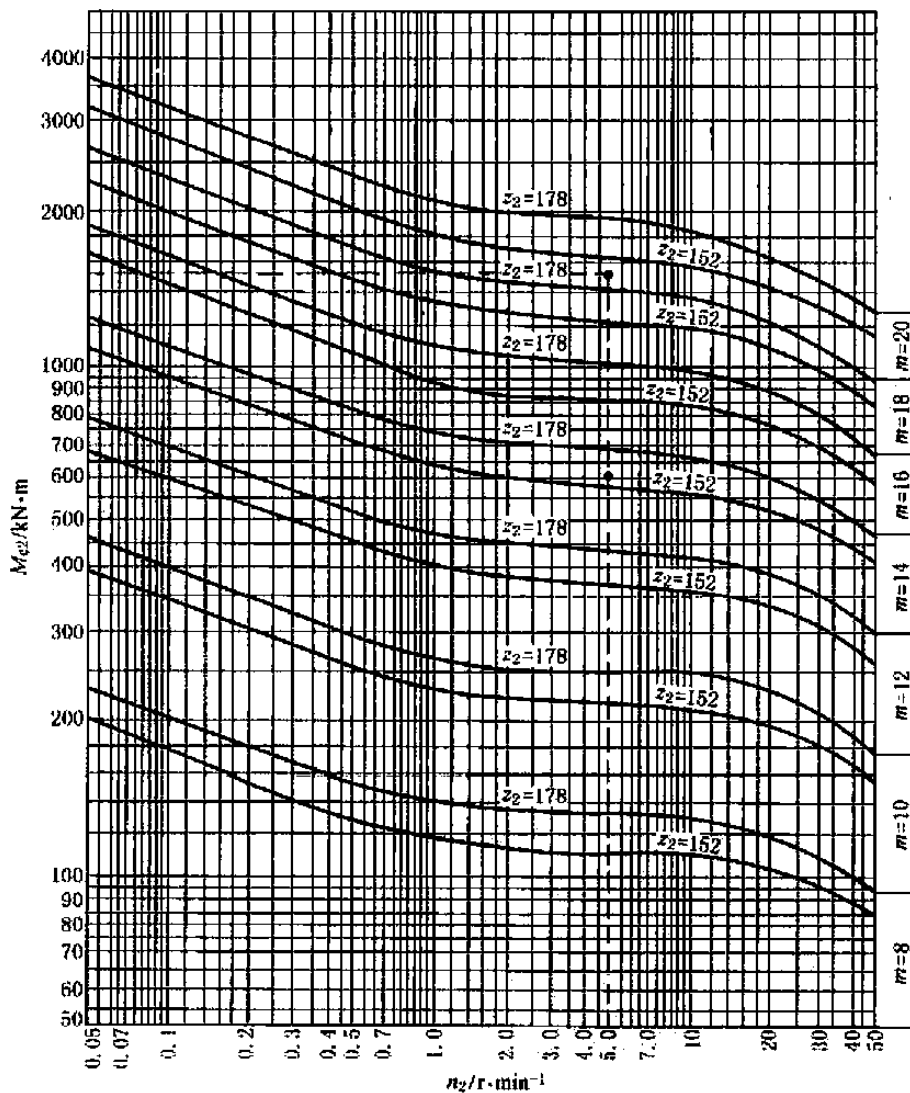


图 15-6-9 低速级大齿轮齿数, 模数确定

2.1.2 固定滚轮式 (BF 型) 和推杆式 (BFP 型) 多柔传动装置末级齿轮模数的选定

(1) 计算公式

低速级末级小齿轮轴上的计算转矩

$$M_{c1} = M_2 \frac{z_1}{z_2} \times \frac{1}{q} \times \frac{K_h}{K_A K_2} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (15-6-2)$$

式中 M_2 ——主轴正常输出转矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

z_2, z_1 ——低速级末级大小齿轮齿数;

q ——啮合点数;

K_h ——寿命系数;

K_A ——工作系数;

K_2 ——齿轮修正系数。

(2) 选择步骤

① 根据已知条件从表 15-6-7 和图 15-6-8 中查出工作系数 K_A 和寿命系数 K_h 。

② 根据所定齿数 z_2 和 z_1 由图 15-6-10 确定齿轮修正系数 K_2 。一般小齿轮齿数可取 $z_1 = 21$ 或 $z_1 = 18$, 大齿轮齿数 z_2 应根据具体条件 (末级速比分配合理、安装现场的具体情况) 决定。

③ 求出小齿轮转速 n_1

$$n_1 = n_2 \frac{z_2}{z_1}$$

式中 n_2 ——大齿轮转速, r/min 。

④ 计算 M_{c1} 。

⑤ 用图 15-6-11 或图 15-6-12 确定末级齿轮模数。

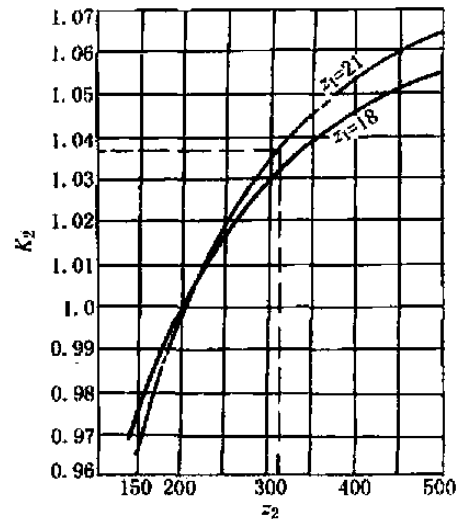


图 15-6-10 系数 K_2 曲线

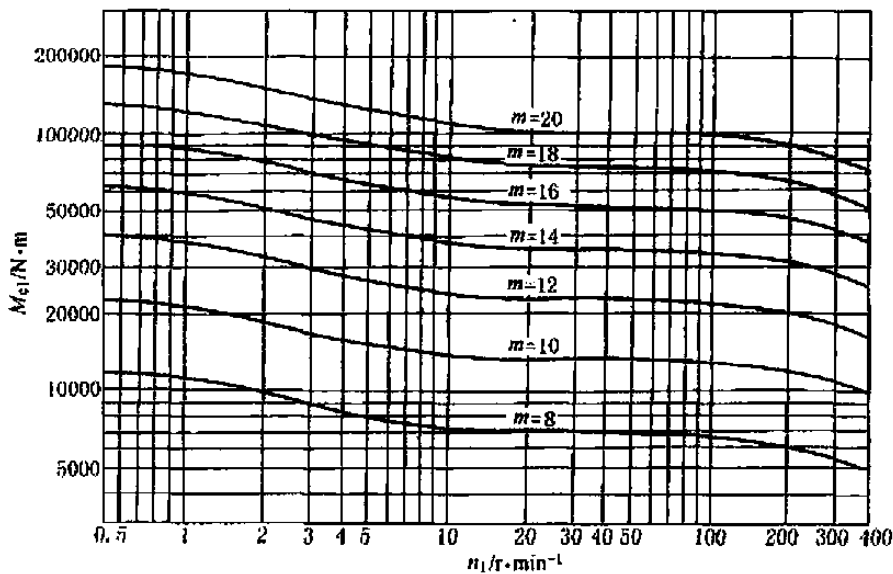


图 15-6-11 小齿轮模数选定 ($z_1 = 18$)

(3) 选型举例

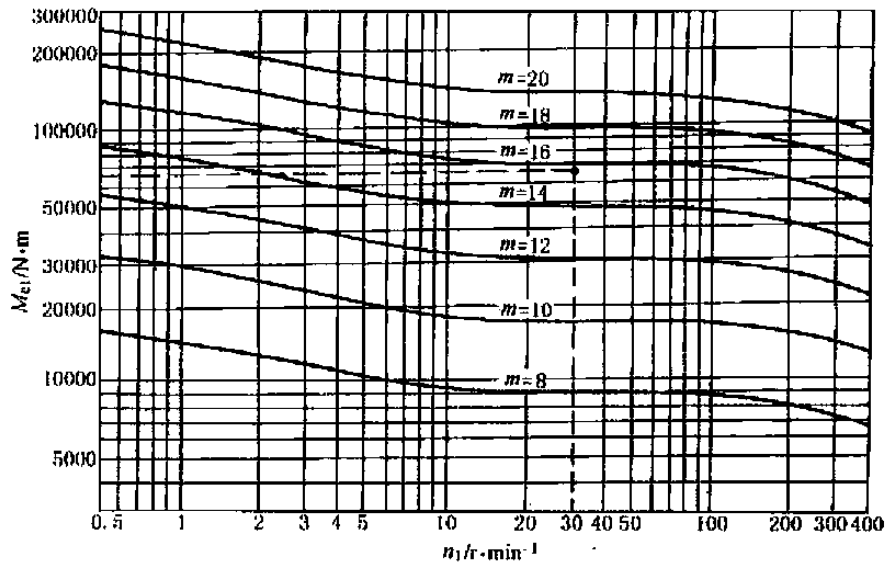
试计算一回转窑传动装置。窑正常输出转矩 $M_2 = 650 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 转速为 $2 \text{ r}/\text{min}$, 单点啮合, 末级小齿轮 $z_1 = 21$, 末级大齿轮 $z_2 = 312$, 昼夜工作, 设计寿命 50000 h , 原动机为电动机。

解 回转窑在连续工作中属于有载荷变化的类型, 从表 15-6-7 查得 $K_A = 0.7$, 又由图 15-6-8 和图 15-6-10 查出寿命系数 $K_h = 1.12$ 和齿轮修正系数 $K_2 = 1.036$ 。

$$\text{小齿轮转速 } n_1 = n_2 \frac{z_2}{z_1} = 2 \times \frac{312}{21} \approx 30 \quad \text{r}/\text{min}$$

$$\text{小齿轮轴上的计算转矩 } M_{c1} = M_2 \frac{z_1}{z_2} \times \frac{1}{q} \times \frac{K_h}{K_A K_2} = 650000 \times \frac{21}{312} \times \frac{1.12}{0.7 \times 1.036} \approx 67560 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

根据 M_{c1} 和 n_1 值由图 15-6-12 中得出低速级大小齿轮模数 $m = 16 \text{ mm}$ 。

图 15-6-12 小齿轮模数选定 ($z_1 = 21$)

2.2 德国克虏伯公司 BFT 型尺寸系列

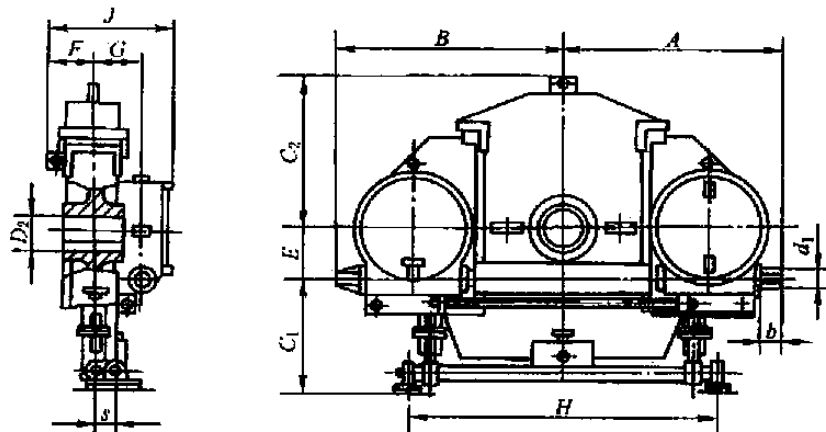


表 15-6-8

德国克虏伯公司 BFT 型尺寸系列

mm

模数	A	B	C ₁	C ₂	D ₂	E	F	G	H	J	M	s	d ₁	b	转矩/N·m		质量/kg
															正常	最大	
8	950	964	980	700	250	200	272	275	1288	675	M24	120	50	110	60500	109000	2600
10	1195	1202	1252	850	320	250	340	340	1660	900	M36	180	60	140	117500	215000	4000
12	1405	1414	1492	1000	400	315	370	400	1932	1020	M36	180	70	140	203000	376000	5100
14	1668	1678	1650	1220	450	400	455	450	2304	1212	M48	240	90	170	320000	598000	7500
16	1942	1957	1900	1450	500	500	480	525	2576	1365	M48	240	110	210	477000	880000	12200
18	2095	2111	2250	1600	600	500	530	550	2948	1390	M56	300	110	210	675000	1260000	16300
20	2375	2380	2500	1770	800	560	580	610	3270	1585	M56	300	110	210	923000	1740000	20500

2.3 法国迪朗齿轮公司 BFT 型尺寸系列及选型

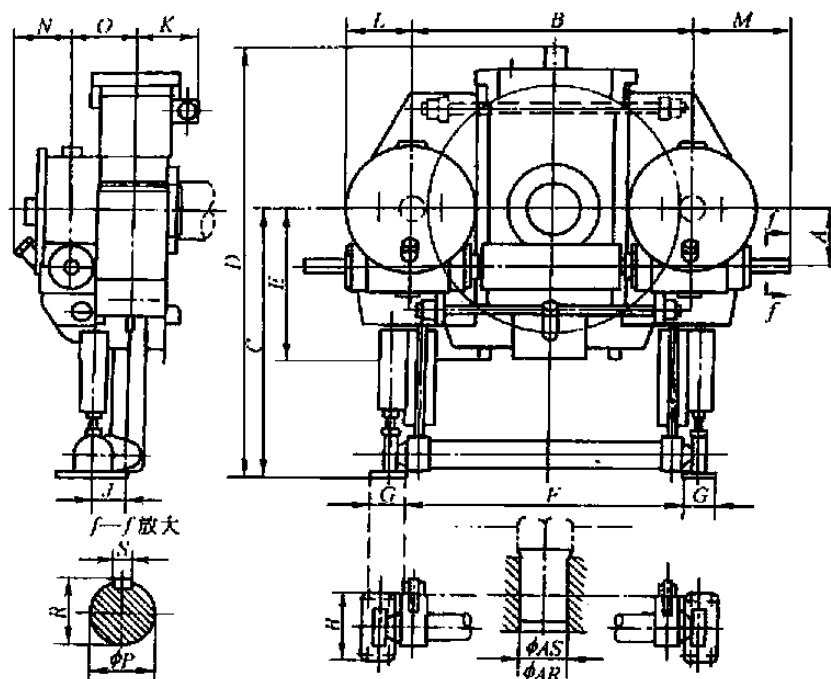


表 15-6-9

法国迪朗齿轮公司 BFT 型尺寸系列

mm

AS	AR	型号	传动比	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	质量/kg	
200	250	8	9.3	200	1152			650	1136					235	345	255	260	50	53.5	14	3100	
			9.3	250	1152	1300	2080	650	1136	126	270	120	271	285	425	270	275	60	64	18	3200	
			10.7	200	1312			730	1296						235	345	255	260	50	53.5	14	3200
			10.7	250	1312			730	1296						285	425	270	275	60	64	18	3400
250	315	10	9.2	250	1530		2380	830	1524					285	425	275	315	60	64	18	4300	
			9.2	315	1530	1480	2380	830	1524	184	390	180	346	355	480	300	330	70	74.5	20	4600	
			10.8	250	1770		2460	950	1764						285	425	275	315	60	64	18	4600
			10.8	315	1770		2460	950	1764						355	480	300	330	70	74.5	20	5000
315	400	12	9.2	315	1836		2665	990	1800					355	480	300	375	70	74.5	20	7500	
			9.2	400	1836	1650	2665	990	1800	184	390	180	391	435	590	320	395	90	95	25	8000	
			10.8	315	2124		2810	1130	2088						355	480	300	375	70	74.5	20	8000
			10.8	400	2124		2810	1130	2088						435	590	320	395	90	95	25	8500
355	450	16	9.3	400	2304	1890	3130	1230	2272					435	590	305	435	90	95	25	14000	
			9.3	500	2304	1890	3130	1230	2272	242	510	240	476	535	710	337	455	110	116	28	14000	
			10.7	400	2624	1950	3350	1390	2592						435	590	305	435	90	95	25	14000
			10.7	500	2624	1950	3350	1390	2592						535	710	337	455	110	116	28	15000
400	500	18	9.3	500	2592	2130	3540	1380	2580					535	710	327	495				20000	
			9.3	560	2592	2130	3540	1380	2580	290	610	300	526	590	870	357	515	110	116	28	20000	
			10.7	500	2952	2200	3790	1560	2940						535	710	327	495				20000
			10.7	560	2952	2200	3790	1560	2940						590	870	357	515				22000
450	630	20	9.3	560	2880	2200	3750	1520	2840					590	870	367					26000	
			9.3	630	2880	2200	3750	1520	2840	290	610	300	561	670	940	383	560	110	116	28	26000	
			10.7	560	3280	2360	4110	1720	3240						590	870	367					27000
			10.7	630	3280	2360	4110	1720	3240						670	940	383					28000

选型方法

1) 根据已知主轴正常输出转矩 M_2 求出等效输出转矩 M

$$M = K_B M_2 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

式中 K_B ——等效系数, 其值可由表 15-6-10 和表 15-6-11 确定。

表 15-6-10

一般设备的等效系数 K_B

电动机驱动每日 工作时间/h	工作类型		
	均匀载荷	中等冲击	剧烈冲击
	K_B		
3	0.80	1.00	1.50
10	1.00	1.25	1.75
24	1.25	1.50	2.00

表 15-6-11

专用设备的等效系数 K_B

设备名称	K_B	设备名称	K_B	设备名称	K_B
伐木机械:		挖土机	1.40	滚轧机	1.75
卸载深筒	1.5	起重机	1.25	轧制机械	2.0
粗加工车床	1.75	载物升降机	1.00	拔丝装置	1.5
摩擦传动机械:		卷扬机(固定式)	1.25	浸提器	1.25
压延机、搅拌机	1.25	卷扬机(可移动式)	1.40	回转干燥窑	1.00
水泥、炼焦设备:		钢铁机械:		其他机械:	
球磨机和棒磨机	1.75	转炉倾动机械	1.40	雷达天线	1.00
窑或炉	1.50	钢包倾动机械	1.25	滚筒搅拌机	1.25
装卸机械:		鱼雷形铁水车倾动机械	0.80	块状冲压机	1.50
杓轮	1.25	辊压轧制设备:		架空索道	1.25
回转装置	1.25	破碎机	2.0		

2) 从表 15-6-12 ~ 表 15-6-15 可查出与设计寿命 H 和主轴输出转速 n_2 相对应的允许传递转矩 M_p , (M_p 与等效输出转矩 M 相等或相近), 及其相应机型。各机型尺寸见表 15-6-9。

表 15-6-12

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h														
	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000
	$M_p/\text{kN} \cdot \text{m}$														
0.1	220000	190000	170000	160000	150000	530000	460000	420000	390000	370000	920000	800000	720000	670000	640000
0.5	170000	150000	130000	120000	120000	420000	360000	330000	300000	290000	720000	630000	560000	520000	510000
1	150000	130000	120000	110000	110000	380000	330000	290000	270000	260000	650000	570000	510000	470000	460000
5	120000	100000	98000	90000	90000	290000	260000	230000	220000	210000	490000	440000	390000	370000	360000
10	110000	95000	90000	90000	90000	260000	230000	210000	210000	210000	430000	390000	360000	360000	360000
30	90000	85000	85000	85000	85000	210000	200000	200000	200000	200000	360000	340000	340000	340000	340000
50	80000	80000	80000	80000	80000	195000	195000	195000	195000	195000	340000	340000	340000	340000	340000
	BT8/9.3					BT10/9.2					BT12/9.2				

表 15-6-13

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h							
	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000
	$M_p/kN \cdot m$							
0.1	1740000	1510000	1360000	1270000	1230000	2470000	2150000	1940000
0.5	1360000	1190000	1070000	1000000	970000	1920000	1690000	1520000
1	1210000	1070000	970000	900000	870000	1690000	1510000	1360000
5	900000	810000	730000	680000	670000	1260000	1120000	1010000
10	800000	710000	650000	650000	650000	1140000	1000000	920000
30	680000	650000	650000	650000	650000	960000	920000	920000
50	640000	640000	640000	640000	640000	900000	900000	900000
	BT16/9.3					BT18/9.3		

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h							
	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000	
	$M_p/kN \cdot m$							
0.1	1800000	1740000	3380000	2940000	2650000	2460000	2380000	
0.5	1420000	1370000	2600000	2300000	2070000	1930000	1860000	
1	1270000	1220000	2280000	2050000	1840000	1720000	1660000	
5	940000	940000	1730000	1500000	1350000	1260000	1250000	
10	920000	1560000	1560000	1360000	1260000	1260000	1250000	
30	920000	920000	1320000	1250000	1250000	1250000	1250000	
50	900000	900000	1230000	1230000	1230000	1230000	1230000	
	BT18/9.3				BT20/9.3			

表 15-6-14

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h														
	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000
	$M_p/kN \cdot m$														
0.1	260000	230000	200000	190000	180000	640000	560000	500000	470000	450000	1110000	960000	870000	810000	780000
0.5	200000	180000	160000	150000	140000	510000	440000	400000	370000	360000	870000	750000	680000	630000	610000
1	180000	160000	140000	130000	130000	460000	390000	350000	330000	320000	780000	670000	600000	560000	540000
5	140000	120000	110000	100000	100000	350000	290000	260000	250000	240000	590000	490000	440000	410000	410000
10	130000	110000	100000	100000	100000	310000	260000	240000	240000	240000	510000	440000	410000	410000	410000
30	100000	100000	100000	100000	100000	250000	240000	240000	240000	240000	430000	410000	410000	410000	410000
50	100000	95000	95000	95000	95000	230000	230000	230000	230000	230000	400000	400000	400000	400000	400000
	BT8/10.7					BT10/10.8					BT12/10.8				

表 15-6-15

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h							
	10000	25000	50000	80000	100000	10000	25000	50000
	$M_p/kN \cdot m$							
0.1	2060000	1790000	1610000	1500000	1450000	2920000	2550000	2290000
0.5	1610000	1410000	1270000	1180000	1140000	2250000	2000000	1800000
1	1420000	1260000	1140000	1060000	1020000	1980000	1770000	1600000
5	1050000	940000	850000	790000	790000	1500000	1310000	1180000
10	950000	830000	770000	770000	770000	1350000	1180000	1090000
30	800000	760000	760000	760000	760000	1140000	1080000	1080000
50	750000	750000	750000	750000	750000	1060000	1060000	1060000
	BT16/10.7					BT18/10.7		

$n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	H/h						
	80000	100000	10000	25000	50000	80000	100000
	$M_p/kN \cdot m$						
0.1	2130000	2060000	4000000	3480000	3130000	2920000	2820000
0.5	1670000	1620000	3150000	2700000	2430000	2260000	2190000
1	1490000	1440000	2850000	2380000	2140000	2000000	1930000
5	1100000	1090000	2230000	1780000	1600000	1490000	1480000
10	1090000	1090000	1960000	1610000	1490000	1490000	1490000
30	1080000	1080000	1550000	1470000	1470000	1470000	1470000
50	1060000	1060000	1440000	1440000	1440000	1440000	1440000
	BT18/10.7			BT20/10.7			

注：表 15-6-12 ~ 表 15-6-15 中 BT a/b 表示机型， a 代表型号， b 代表传动比。

3) 举例

试从迪朗齿轮公司系列中选择一专用卷扬机 BFT 型传动装置，已知正常工作时主轴输出转矩及转速分别为 $M_2 = 340000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ， $n_2 = 10 \text{ r/min}$ ，设计寿命 $H = 10000 \text{ h}$ 。

由表 15-6-11 中查出等效系数 $K_B = 1.25$

等效转矩 $M = K_B M_2 = 1.25 \times 340000 = 425000 \text{ kN} \cdot \text{m}$

在表 15-6-12 中查出对应于 $H = 10000 \text{ h}$ ， $n_2 = 10 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的允许传递转矩 $M_p = 430000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，与等效转矩 $425000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 相近，该允许传递转矩所对应的机型为 BT12/9.2。

第7章

多点啮合柔性传动动力学计算

多点啮合柔性传动动力学计算求得传动系统的固有频率（相应求出临界转速）、扭矩放大系数（一般为轴段扭振力矩与折算负载力矩之比）TAF，这对系统设计、运行操作都是非常必要的。

本章介绍多点啮合柔性传动扭振动力学模型的构建及求解方法，其基本要点如下。

① 多质量复杂扭振系统采用拉格朗日方程来进行扭振动力学计算，忽略系统的阻尼。考虑系统关键轴段（如扭力杆、负载主轴等）扭矩放大系数及全悬挂、半悬挂柔性支承特点等，本章两个实例分别简化为三质量模型和四质量模型。其中动能计算时，将各级传动齿轮均作为刚性连接，其运动关系由相关的传动比来考虑，而势能计算时，考虑了各轴段弹性的影响。

② 运动微分方程组的求解，可以采用数值解法，也可采用解析解法。下面介绍的模态分析法是一种数值解法，它要求质量矩阵、刚度矩阵对称的条件。它不能反映系统各参数对扭振动态响应的影响；新微分算子法和拉氏变换法是解析解法，它们不要求质量矩阵、刚度矩阵对称的条件，并且可得到显式解，比较容易反映系统各参数对扭振动态响应的影响，便于研究优化对策。新微分算子法仅需普通的高等数学知识，拉氏变换法需复变函数、积分变换等较深的数学知识。

③ 在多点啮合柔性传动设计计算过程中，一般可先按本篇前几章介绍的方法选取工作载荷系数，进行基本的初步设计计算，然后按本章介绍的方法进行动力学校核，并进行相应的调整。

本章以 25t 氧气转炉倾动机械和 90m² 烧结机驱动装置两个实例，说明动力学计算方法。

1 全悬挂多点啮合柔性传动扭振动力学计算（以氧气转炉为例）

氧气转炉全悬挂多柔传动是国内外广泛采用的新技术，具有对耳轴变形良好适应性，大大降低扭振动载荷，运转安全可靠，尺寸小，重量轻，降低基建投资，便于系列化、通用化等优点。但是，氧气转炉倾动机械经常处于频繁启动、制动以及吊渣、顶渣等操作，会产生强烈扭振，加速疲劳损坏。

1.1 系统力学模型

图 15-7-1 为某厂 25t 氧气转炉倾动机械全悬挂四点啮合柔性传动结构简图。系统可简化为四分支十三质量系统，如图 15-7-2 所示（注：图中仅表示一个分支的情况）。其扭振动力学计算资料见本章附录（1）。

支承减速箱壳体的各旋转体 $J_4 \sim J_{13}$ 对应的质量为 $m_4 \sim m_{13}$ ，各旋转体回转中心至减速箱壳体的回转中心的距离分别为 R_1, R_2, R_3, R_4 。设 $J_1 \sim J_{13}$ 的角位移分别用 $\varphi_1 \sim \varphi_{13}$ 表示，其中 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ 为绝对角位移， $\varphi_4 \sim \varphi_{13}$ 为相对角位移。

系统动能为

$$T = \frac{1}{2} [J_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 \dot{\varphi}_3^2 + 4J_4 (\dot{\varphi}_4 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_5 (\dot{\varphi}_5 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_6 (\dot{\varphi}_6 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_7 (\dot{\varphi}_7 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_8 (\dot{\varphi}_8 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_9 (\dot{\varphi}_9 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_{10} (\dot{\varphi}_{10} + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_{11} (\dot{\varphi}_{11} + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_{12} (\dot{\varphi}_{12} + \dot{\varphi}_1)^2 + 4J_{13} (\dot{\varphi}_{13} + \dot{\varphi}_1)^2 + 4(m_4 + m_5)R_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + 4(m_6 + m_7)R_2^2 \dot{\varphi}_1^2 + 4(m_8 + m_9)R_3^2 \dot{\varphi}_1^2 + 4(m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13})R_4^2 \dot{\varphi}_1^2]$$

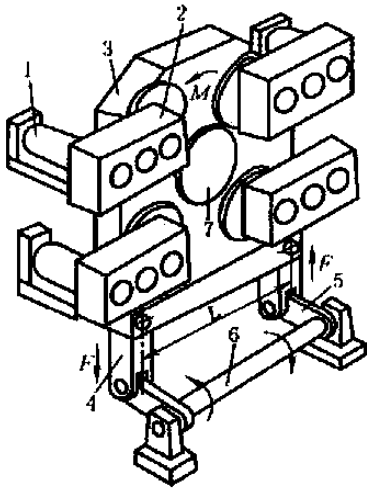


图 15-7-1 25t 氧气转炉倾动机械结构简图

- 1—电机；2—初级减速器；
3—末级减速装置；4—直杆；
5—曲柄；6—扭力杆；7—转炉耳轴

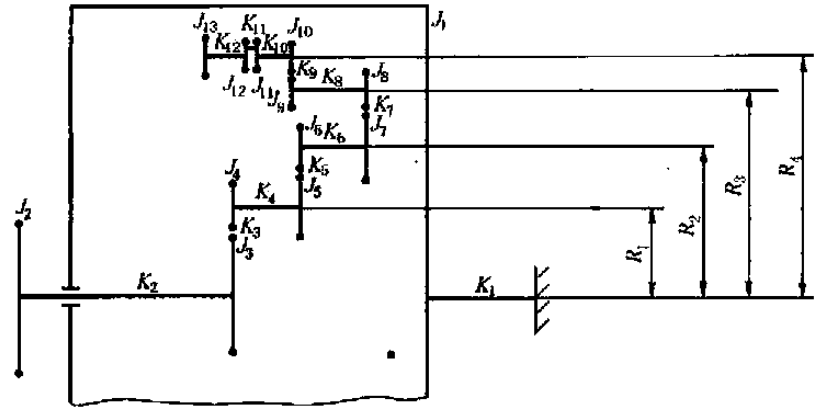


图 15-7-2 四分支十三质量系统力学模型

简化为

$$T = \frac{1}{2} [J'_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 \dot{\varphi}_3^2 + 4 \sum_{j=4}^{13} J_j (\dot{\varphi}_j + \dot{\varphi}_1)^2]$$

其中

$$J'_1 = J_1 + 4(m_4 + m_5)R_1^2 + 4(m_6 + m_7)R_2^2 + 4(m_8 + m_9)R_3^2 + 4 \sum_{j=10}^{13} m_j R_4^2$$

系统势能为

$$V = \frac{1}{2} \{ K_1 \varphi_1^2 + K_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 + 4K_3 [\varphi_4 (-1/i_1) + \varphi_1 - \varphi_3]^2 + 4K_4 (\varphi_5 - \varphi_4)^2 + 4K_5 [\varphi_6 (-1/i_2) - \varphi_5]^2 + 4K_6 (\varphi_7 - \varphi_6)^2 + 4K_7 [\varphi_8 (-1/i_3) - \varphi_7]^2 + 4K_8 (\varphi_9 - \varphi_8)^2 + 4K_9 [\varphi_{10} (-1/i_4) - \varphi_9]^2 + 4K_{10} (\varphi_{11} - \varphi_{10})^2 + 4K_{11} (\varphi_{12} - \varphi_{11})^2 + 4K_{12} (\varphi_{13} - \varphi_{12})^2 \}$$

系统进一步简化为三质量系统力学模型（即三自由度系统力学模型），如图 15-7-3 所示。设 φ_1 、 φ_2 为绝对角位移， φ_3 为相对角位移。严格地说应为三自由度系统力学模型。

系统动能为

$$T = \frac{1}{2} [J'_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 (\dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4(J_4 + J_5) (\dot{\varphi}_4 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4(J_6 + J_7) (\dot{\varphi}_6 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4(J_8 + J_9) (\dot{\varphi}_8 + \dot{\varphi}_1)^2 + 4(J_{10} + J_{11} + J_{12} + J_{13}) (\dot{\varphi}_{10} + \dot{\varphi}_1)^2]$$

其中 $\varphi_4 = -i_1 \varphi_3$ ， $\varphi_6 = i_1 i_2 \varphi_3$ ， $\varphi_8 = -i_1 i_2 i_3 \varphi_3$ ， $\varphi_{10} = i_1 i_2 i_3 i_4 \varphi_3$

$$\text{令 } J_1'' = J_1' + J_3 + 4 \sum_{j=4}^{13} J_j$$

$$J_3' = J_3 + 4i_1^2 (J_4 + J_5) + 4i_1^2 i_2^2 (J_6 + J_7) + 4i_1^2 i_2^2 i_3^2 (J_8 + J_9) + 4i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2 (J_{10} + J_{11} + J_{12} + J_{13})$$

$$J_3'' = J_3 - 4i_1 (J_4 + J_5) + 4i_1 i_2 (J_6 + J_7) - 4i_1 i_2 i_3 (J_8 + J_9) + 4i_1 i_2 i_3 i_4 (J_{10} + J_{11} + J_{12} + J_{13})$$

$$T = \frac{1}{2} (J_1'' \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + 2J_3'' \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_3 + J_3' \dot{\varphi}_3^2) \quad (15-7-1)$$

系统势能为

$$V = \frac{1}{2} \{ K_1 \varphi_1^2 + K_2 [(\varphi_3 + \varphi_1) - \varphi_2]^2 + K_2' (\varphi_3 - \varphi_2)^2 - K_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 \} \quad (15-7-2)$$

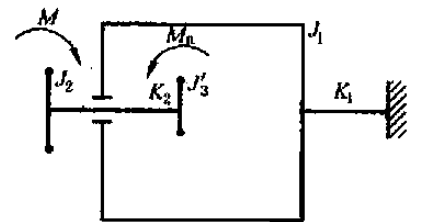


图 15-7-3 三质量系统力学模型

$$\text{式中 } \frac{1}{K_2'} = \frac{1}{K_2} + \frac{1}{4K_3} + \frac{1}{4i_1^2 K_4} + \frac{1}{4i_1^2 K_5} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 K_6} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 K_7} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 i_3^2 K_8} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 i_3^2 K_9} +$$

$$\frac{1}{4i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2 K_{10}} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2 K_{11}} + \frac{1}{4i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2 K_{12}}$$

1.2 建立运动微分方程 (三质量系统, 按非零度区预张紧启动工况)

由拉格朗日方程 $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial V}{\partial \varphi_i} = Q_i$

$$\begin{cases} J_1'' \ddot{\varphi}_1 + J_3'' \ddot{\varphi}_3 + (K_1 + K_2) \varphi_1 - K_2 \varphi_2 + K_2 \varphi_3 = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - K_2 \varphi_1 + K_2' \varphi_2 - K_2' \varphi_3 = -M \\ J_3'' \ddot{\varphi}_1 + J_3' \ddot{\varphi}_3 + K_2 \varphi_1 - K_2' \varphi_2 + K_2' \varphi_3 = M_n \end{cases} \quad (15-7-3)$$

式中, M 为负载力矩 (转炉最大倾动力矩); M_n 为全部电机折算到 J_3' (转炉耳轴上) 的启动力矩。式(15-7-3) 的矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} J_1'' & 0 & J_3'' \\ 0 & J_2 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' \\ K_2 & -K_2' & K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ M_n \end{bmatrix} \quad (15-7-3a)$$

1.3 运动微分方程求解

分两部分: 初始条件决定的固有振动解和外载激振零状态强迫振动解。

1.3.1 固有振动解 (按模态分析法)

初始条件 $t=0$, $\varphi_{1(0)} = -\frac{M}{K_1}$, $\varphi_{2(0)} = -M \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right)$, $\varphi_{3(0)} = 0$, 初速均为零。

固有振动

$$\begin{cases} J_1'' \ddot{\varphi}_1 + J_3'' \ddot{\varphi}_3 + (K_1 + K_2) \varphi_1 - K_2 \varphi_2 + K_2 \varphi_3 = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - K_2 \varphi_1 + K_2' \varphi_2 - K_2' \varphi_3 = 0 \\ J_3'' \ddot{\varphi}_1 + J_3' \ddot{\varphi}_3 + K_2 \varphi_1 - K_2' \varphi_2 + K_2' \varphi_3 = 0 \end{cases} \quad (15-7-4)$$

设 $\varphi_i = \phi_i \sin(pt + \psi)$, $\ddot{\varphi}_i = -\phi_i p^2 \sin(pt + \psi)$, 代入上式

$$\begin{cases} -J_1'' \phi_1 p^2 - J_3'' \phi_3 p^2 + (K_1 + K_2) \phi_1 - K_2 \phi_2 + K_2 \phi_3 = 0 \\ -J_2 \phi_2 p^2 - K_2 \phi_1 + K_2' \phi_2 - K_2' \phi_3 = 0 \\ -J_3'' \phi_1 p^2 - J_3' \phi_3 p^2 + K_2 \phi_1 - K_2' \phi_2 + K_2' \phi_3 = 0 \end{cases} \quad (15-7-5)$$

$$\begin{bmatrix} -J_1'' p^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & -J_3'' p^2 + K_2 \\ -K_2 & -J_2 p^2 + K_2' & -K_2' \\ -J_3'' p^2 + K_2 & -K_2' & -J_3' p^2 + K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15-7-5a)$$

令其系数矩阵的行列式为 Δ , 根据固有振动有非零解的条件, 行列式 $\Delta = 0$ 。

$$\begin{aligned} \Delta &= J_2 (J_3'' - J_1'' J_3') p^6 + [K_1 J_2 J_3' + K_2 J_2 (J_3' - 2J_3'') + K_2' [J_1'' (J_2 + J_3') - J_3''^2]] p^4 - \\ &\quad (J_2 + J_3') [K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2] p^2 \\ &= -J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2) p^2 (p^2 - p_2^2) (p^2 - p_3^2) = 0 \end{aligned}$$

将有关数据代入, 解得 $p_1 = 0$, $p_2 = 15.69 \text{ rad/s}$, $p_3 = 94.66 \text{ rad/s}$ 。

将 $p_1 = 0$ 代入式(15-7-5) 得

$$\begin{cases} (K_1 + K_2)\phi_1 - K_2\phi_2 + K_2\phi_3 = 0 \\ -K_2\phi_1 + K_2'\phi_2 - K_2'\phi_3 = 0 \\ K_2\phi_1 - K_2'\phi_2 + K_2'\phi_3 = 0 \end{cases}$$

解得 $\phi_1 = 0$ 。令 $\phi_3 = 1$ ，解得 $\phi_2 = 1$ 。即振型 $\phi_{11} = 0$ 、 $\phi_{21} = 1$ 、 $\phi_{31} = 1$ 。

以 p_2 值代入式(15-7-5)，令 $\phi_{32} = 1$ ，可得 ϕ_{12} 、 ϕ_{22}

以 p_3 值代入式(15-7-5)，令 $\phi_{33} = 1$ ，可得 ϕ_{13} 、 ϕ_{23}

振型矩阵

$$\phi = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

设 $\varphi = \phi \theta$

式中 φ ——自然坐标列阵；

θ ——主坐标列阵；

ϕ ——振型矩阵。

由坐标变换 $\phi^T J \phi \ddot{\theta} + \phi^T K \phi \theta = 0$

$$J = \begin{bmatrix} J_1'' & 0 & J_3'' \\ 0 & J_2 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3'' \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' \\ K_2 & -K_2' & K_2' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1'' & 0 & J_3'' \\ 0 & J_2 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' \\ K_2 & -K_2' & K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

由运算得 $K_{j1} = 0$

$$\begin{bmatrix} J_{j1} & 0 & 0 \\ 0 & J_{j2} & 0 \\ 0 & 0 & J_{j3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{j2} & 0 \\ 0 & 0 & K_{j3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15-7-6)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_1 = 0 \\ \ddot{\theta}_2 + p_2^2 \theta_2 = 0 \\ \ddot{\theta}_3 + p_3^2 \theta_3 = 0 \end{cases} \quad (15-7-6a)$$

$$p_1^2 = 0, \quad p_2^2 = \frac{K_{j2}}{J_{j2}}, \quad p_3^2 = \frac{K_{j3}}{J_{j3}}$$

解出解耦微分方程组：

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_{1(0)} + \dot{\theta}_{1(0)} t \\ \theta_2 = \theta_{2(0)} \cos p_2 t + \frac{\dot{\theta}_{2(0)}}{p_2} \sin p_2 t \\ \theta_3 = \theta_{3(0)} \cos p_3 t + \frac{\dot{\theta}_{3(0)}}{p_3} \sin p_3 t \end{cases} \quad (15-7-7)$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}_{t=0} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}_{t=0}$$

根据初始条件: $\varphi_{1(0)} = -\frac{M}{K_1}$, $\varphi_{2(0)} = -M\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}\right)$, $\varphi_{3(0)} = 0$, $\dot{\varphi}_{1(0)} = \dot{\varphi}_{2(0)} = \dot{\varphi}_{3(0)} = 0$

$$\begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{1(0)} \\ \theta_{2(0)} \\ \theta_{3(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_{1(0)} \\ \varphi_{2(0)} \\ \varphi_{3(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{M}{K_1} \\ -M\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

可解出 $\theta_{1(0)} = \frac{\frac{M}{K_1}(\phi_{12} - \phi_{22} - \phi_{13} + \phi_{23}) + \frac{M}{K_2}(\phi_{12} - \phi_{13})}{-\phi_{22}\phi_{13} + \phi_{12}\phi_{23} + \phi_{13} - \phi_{12}}$

$$\theta_{2(0)} = \frac{\frac{M}{K_1}(1 + \phi_{13} - \phi_{23}) + \frac{M}{K_2}\phi_{13}}{-\phi_{22}\phi_{13} + \phi_{12}\phi_{23} + \phi_{13} - \phi_{12}}$$

$$\theta_{3(0)} = \frac{\frac{M}{K_1}(\phi_{22} - \phi_{12} - 1) - \frac{M}{K_2}\phi_{12}}{-\phi_{22}\phi_{13} + \phi_{12}\phi_{23} + \phi_{13} - \phi_{12}}$$

因 $\dot{\varphi}_{1(0)} = \dot{\varphi}_{2(0)} = \dot{\varphi}_{3(0)} = 0$, 故 $\dot{\theta}_{1(0)} = \dot{\theta}_{2(0)} = \dot{\theta}_{3(0)} = 0$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{1(0)} \\ \theta_{2(0)} \cos p_2 t \\ \theta_{3(0)} \cos p_3 t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{12}\theta_{2(0)} \cos p_2 t + \phi_{13}\theta_{3(0)} \cos p_3 t \\ \theta_{1(0)} + \phi_{22}\theta_{2(0)} \cos p_2 t + \phi_{23}\theta_{3(0)} \cos p_3 t \\ \theta_{1(0)} + \theta_{2(0)} \cos p_2 t + \theta_{3(0)} \cos p_3 t \end{bmatrix}$$

(15-7-8)

为使固有振动解与强迫振动解符号不混淆, 固有振动解中, 记为 $\bar{\varphi}_1$ 、 $\bar{\varphi}_2$ 、 $\bar{\varphi}_3$ 、 $\bar{\theta}_{1(0)}$ 、 $\bar{\theta}_{2(0)}$ 、 $\bar{\theta}_{3(0)}$ 。

$$\begin{bmatrix} \bar{\varphi}_1 \\ \bar{\varphi}_2 \\ \bar{\varphi}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{12}\bar{\theta}_{2(0)} \cos p_2 t + \phi_{13}\bar{\theta}_{3(0)} \cos p_3 t \\ \bar{\theta}_{1(0)} + \phi_{22}\bar{\theta}_{2(0)} \cos p_2 t + \phi_{23}\bar{\theta}_{3(0)} \cos p_3 t \\ \bar{\theta}_{1(0)} + \bar{\theta}_{2(0)} \cos p_2 t + \bar{\theta}_{3(0)} \cos p_3 t \end{bmatrix}$$

(15-7-9)

1.3.2 强迫振动解

(1) 模态分析法求解

$$\begin{bmatrix} J_1'' & 0 & J_3'' \\ 0 & J_2 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' \\ K_2 & -K_2' & K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ M_n \end{bmatrix}$$

设 $\varphi = \phi \theta$, 由坐标变换 $\phi^T J \phi \ddot{\theta} + \phi^T K \phi \theta = \phi^T Q$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1'' & 0 & J_3'' \\ 0 & J_2 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' \\ K_2 & -K_2' & K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ M_n \end{bmatrix}$$

(15-7-10)

由运算得 $K_{j1} = 0$

$$\begin{bmatrix} J_{j1} & 0 & 0 \\ 0 & J_{j2} & 0 \\ 0 & 0 & J_{j3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{j2} & 0 \\ 0 & 0 & K_{j3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -M + M_n \\ -\phi_{22}M + M_n \\ -\phi_{23}M + M_n \end{bmatrix}$$

(15-7-11)

得解耦微分方程组

$$\begin{cases} J_{j1} \ddot{\theta}_1 = -M + M_n \\ J_{j2} \ddot{\theta}_2 + K_{j2} \theta_2 = -\phi_{22} M + M_n \\ J_{j3} \ddot{\theta}_3 + K_{j3} \theta_3 = -\phi_{23} M + M_n \end{cases} \quad (15-7-12)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_1 = \frac{-M + M_n}{J_{j1}} & \begin{cases} p_1^2 = 0 \\ p_2^2 = \frac{K_{j2}}{J_{j2}} \\ p_3^2 = \frac{K_{j3}}{J_{j3}} \end{cases} \\ \ddot{\theta}_2 + p_2^2 \theta_2 = \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2}} \\ \ddot{\theta}_3 + p_3^2 \theta_3 = \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3}} \end{cases} \quad (15-7-12a)$$

解得

$$\begin{cases} \theta_1 = \frac{-M + M_n t^2}{2J_{j1}} \\ \theta_2 = \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) \\ \theta_3 = \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} \\ 1 & \phi_{22} & \phi_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{-M + M_n t^2}{2J_{j1}} \\ \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) \\ \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \end{bmatrix}$$

为使固有振动解与强迫振动解符号不混淆，强迫振动解中，记为 $\tilde{\varphi}_1$ 、 $\tilde{\varphi}_2$ 、 $\tilde{\varphi}_3$ 。

$$\begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_1 \\ \tilde{\varphi}_2 \\ \tilde{\varphi}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-\phi_{12} \phi_{22} M + \phi_{12} M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{13} \phi_{23} M + \phi_{13} M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \\ \frac{-M + M_n t^2}{2J_{j1}} + \frac{-\phi_{22}^2 M + \phi_{22} M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{23}^2 M + \phi_{23} M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \\ \frac{-M + M_n t^2}{2J_{j1}} + \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \end{bmatrix} \quad (15-7-13)$$

(2) 新微分算子法求解^[7,9,10]

引入微分算子 D 代替 $\frac{d}{dt}$ ， D^2 代替 $\frac{d^2}{dt^2}$ ，运动微分方程的矩阵形式简化为

$$\begin{bmatrix} J_1'' D^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & J_3'' D^2 + K_2 \\ -K_2 & J_2 D^2 + K_2' & -K_2' \\ J_3'' D^2 + K_2 & -K_2' & J_3' D^2 + K_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ M_n \end{bmatrix} \quad (15-7-14)$$

可以看出上式是关于 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 的一个线性方程组，令其系数矩阵的行列式为 Δ ，容易看出 Δ 是一个关于 D^2 的三次多项式，经过运算，可得

$$\Delta = (J_1'' J_2 J_3' - J_2 J_3''^2) D^2 \left\{ D^4 + \frac{K_1 J_2 J_3' + K_2 J_2 (J_3' - 2J_3'') + K_2' [J_1'' (J_2 + J_3') - J_3''^2]}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} D^2 + \frac{(J_2 + J_3') [K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2]}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \right\}$$

$$= J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2) D^2 (D^2 + p_2^2) (D^2 + p_3^2) \quad (15-7-14a)$$

式中, p_2 、 p_3 为系统第二、三阶扭振固有频率。将有关数据代入, 可求得 $p_1 = 0$, $p_2 = 15.69 \text{ rad/s}$, $p_3 = 94.66 \text{ rad/s}$ 。

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -K_2 & J_3'' D^2 + K_2 \\ -M & J_2 D^2 + K_2' & -K_2' \\ M_n & -K_2' & J_3' D^2 + K_2' \end{vmatrix} \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} J_1'' D^2 + (K_1 + K_2) & 0 & J_3'' D^2 + K_2 \\ -K_2 & -M & -K_2' \\ J_3'' D^2 + K_2 & M_n & J_3' D^2 + K_2' \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} J_1'' D^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & 0 \\ -K_2 & J_2 D^2 + K_2' & -M \\ J_3'' D^2 + K_2 & -K_2' & M_n \end{vmatrix}$$

设 $M(\tau)$ 、 $M_n(\tau)$ 为阶跃函数, 由克莱姆法则可得 (同理, 强迫振动解中, 记为 $\bar{\varphi}_1$ 、 $\bar{\varphi}_2$ 、 $\bar{\varphi}_3$)

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}_1 &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{MD^2(K_2' J_3'' - K_2 J_3') - M_n D^2 (J_2 J_3'' D^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2) D^2 (D^2 + p_2^2) (D^2 + p_3^2)} \\ &= \frac{M(K_2' J_3'' - K_2 J_3') - M_n (J_2 J_3'' D^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2) (D^2 + p_2^2) (D^2 + p_3^2)} \\ &= \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3')}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left[\frac{M}{(D^2 + p_2^2)(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{M}{(D^2 + p_3^2)(p_2^2 - p_3^2)} \right] - \frac{1}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \times \\ &\quad \left[\frac{M_n (-J_2 J_3'' p_2^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{(D^2 + p_2^2)(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{M_n (-J_2 J_3'' p_3^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{(D^2 + p_3^2)(p_2^2 - p_3^2)} \right] \\ &= \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3')}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left[\frac{\int_0^t M(\tau) \sin p_2(t - \tau) d\tau}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{\int_0^t M(\tau) \sin p_3(t - \tau) d\tau}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right] - \frac{1}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \times \\ &\quad \left[\frac{(-J_2 J_3'' p_2^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'') \int_0^t M_n(\tau) \sin p_2(t - \tau) d\tau}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{(-J_2 J_3'' p_3^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'') \int_0^t M_n(\tau) \sin p_3(t - \tau) d\tau}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right] \\ &= \frac{M(K_2' J_3'' - K_2 J_3')}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \sum_{i=2}^3 \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)} - \frac{M_n}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \sum_{i=2}^3 \frac{(-J_2 J_3'' p_i^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)} \times \\ &\quad (1 - \cos p_i t) \end{aligned} \quad (15-7-15)$$

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}_2 &= \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-M}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left\{ \frac{K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2}{p_2^2 p_3^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \\ &\quad \left. \sum_{i=2}^3 \frac{(J_1'' J_3' - J_3''^2) p_i^4 - [(K_1 + K_2) J_3' + K_2' J_1'' - 2K_2 J_3''] p_i^2 + K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)} \left(\frac{1 - \cos p_i t}{p_i^2} \right) \right\} - \\ &\quad \frac{M_n}{J_2 (J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left[\frac{K_2^2 - K_2' (K_1 + K_2)}{p_2^2 p_3^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \\ &\quad \left. \sum_{i=2}^3 \frac{-(K_2 J_3'' - K_2' J_1'') p_i^2 + K_2^2 - K_2' (K_1 + K_2)}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)} \left(\frac{1 - \cos p_i t}{p_i^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (15-7-16)$$

$$\bar{\varphi}_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{M}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left[\frac{K_2^2 - K_2'(K_1 + K_2)}{p_2^2 p_3^2} \times \frac{t^2}{2} + \sum_{i=2}^3 \frac{K_2^2 - K_2'(K_1 + K_2) - (K_2 J_3'' - K_2' J_1'') p_i^2}{-p_i^2(p_j^2 - p_i^2)} \left(\frac{1 - \cos p_i t}{p_i^2} \right) \right] + \frac{M_n}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left[\frac{K_2'(K_1 + K_2) - K_2^2}{p_2^2 p_3^2} \times \frac{t^2}{2} + \sum_{i=2}^3 \frac{J_1'' J_2 p_i^4 - [(K_1 + K_2) J_2 + K_2' J_1''] p_i^2 + K_2'(K_1 + K_2) - K_2^2}{-p_i^2(p_j^2 - p_i^2)} \left(\frac{1 - \cos p_i t}{p_i^2} \right) \right] \quad (15-7-17)$$

式中, $i=2, j=i+1=3; i=3, j=i-1=2$ 。

(3) 拉氏变换法求解

式(15-7-3)取拉氏变换并写成矩阵形式

$$\begin{cases} J_1'' S^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & J_3'' S^2 + K_2 \\ -K_2 & J_2 S^2 + K_2' & -K_2' \\ J_3'' S^2 + K_2 & -K_2' & J_3' S^2 + K_2' \end{cases} \begin{bmatrix} L[\varphi_1] \\ L[\varphi_2] \\ L[\varphi_3] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -L[M] \\ L[M_n] \end{bmatrix} \quad (15-7-18)$$

可以看出上式是关于 $L[\varphi_1]$ 、 $L[\varphi_2]$ 、 $L[\varphi_3]$ 的一个线性方程组, 令其系数矩阵的行列式为 Δ , 容易看出 Δ 是一个关于 S^2 的三次多项式。经过运算可得

$$\Delta = J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2) S^2 \left\{ S^4 + \frac{K_1 J_2 J_3' + K_2 J_2 (J_3' - 2J_3'') + K_2' [J_1'' (J_2 + J_3') - J_3''^2]}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} S^2 + \frac{(J_2 + J_3') [K_2'(K_1 + K_2) - K_2^2]}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} \right\} = J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2) S^2 (S^2 + p_2^2) (S^2 + p_3^2) \quad (15-7-18a)$$

式中, $p_1=0$; p_2, p_3 为系统第二、三阶扭振固有频率。

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -K_2 & J_3'' S^2 + K_2 \\ -L[M] & J_2 S^2 + K_2' & -K_2' \\ L[M_n] & -K_2' & J_3' S^2 + K_2' \end{vmatrix} \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} J_1'' S^2 + (K_1 + K_2) & 0 & J_3'' S^2 + K_2 \\ -K_2 & -L[M] & -K_2' \\ J_3'' S^2 + K_2 & L[M_n] & J_3' S^2 + K_2' \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} J_1'' S^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & 0 \\ -K_2 & J_2 S^2 + K_2' & -L[M] \\ J_3'' S^2 + K_2 & -K_2' & L[M_n] \end{vmatrix}$$

由克莱姆法则, 可得

$$L[\varphi_1] = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3')}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left\{ \frac{L[M]}{(S^2 + p_2^2)(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{L[M]}{(S^2 + p_3^2)(p_2^2 - p_3^2)} \right\} - \frac{1}{J_2(J_1'' J_3' - J_3''^2)} \left\{ \frac{L[M_n](-J_2 J_3'' p_2^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{(S^2 + p_2^2)(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{L[M_n](-J_2 J_3'' p_3^2 + K_2 J_2 + K_2' J_3'')}{(S^2 + p_3^2)(p_2^2 - p_3^2)} \right\}$$

$$= \frac{(K_2'J_3'' - K_2J_3')}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)} \left\{ \frac{L[M]L[\sin p_2 t]}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{L[M]L[\sin p_3 t]}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right\} - \frac{1}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)}$$

$$\left\{ \frac{(-J_2J_3''p_2^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'')L[M_n]L[\sin p_2 t]}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{(-J_2J_3''p_3^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'')L[M_n]L[\sin p_3 t]}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right\} \quad (15-7-19)$$

同理，强迫振动解中，记为 $\bar{\varphi}_1$ 、 $\bar{\varphi}_2$ 、 $\bar{\varphi}_3$ 。设 $M(\tau)$ 、 $M_n(\tau)$ 为阶跃函数。

$$\bar{\varphi}_1 = \frac{(K_2'J_3'' - K_2J_3')}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)} \left[\frac{M * \sin p_2 t}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{M * \sin p_3 t}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right] - \frac{1}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)}$$

$$\left[\frac{(-J_2J_3''p_2^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'')(M_n * \sin p_2 t)}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{(-J_2J_3''p_3^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'')(M_n * \sin p_3 t)}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right]$$

$$= \frac{(K_2'J_3'' - K_2J_3')}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)} \left[\frac{\int_0^t M(\tau) \sin p_2(t - \tau) d\tau}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{\int_0^t M(\tau) \sin p_3(t - \tau) d\tau}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right] - \frac{1}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)}$$

$$\left[\frac{(-J_2J_3''p_2^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'') \int_0^t M_n(\tau) \sin p_2(t - \tau) d\tau}{p_2(p_3^2 - p_2^2)} + \frac{(-J_2J_3''p_3^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'') \int_0^t M_n(\tau) \sin p_3(t - \tau) d\tau}{p_3(p_2^2 - p_3^2)} \right]$$

$$= \frac{M(K_2'J_3'' - K_2J_3')}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)} \sum_{i=2}^3 \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2(p_j^2 - p_i^2)} - \frac{M_n}{J_2(J_1'J_3' - J_3'^2)} \sum_{i=2}^3 \frac{(-J_2J_3''p_i^2 + K_2J_2 + K_2'J_3'')}{p_i^2(p_j^2 - p_i^2)} \times$$

$$(1 - \cos p_i t) \quad (15-7-20)$$

式中， $i=2, j=i+1=3; i=3, j=i-1=2$ 。

同理，可得 $\bar{\varphi}_2$ 、 $\bar{\varphi}_3$ 表达式同前。

$$\varphi_1 = \bar{\varphi}_1 + \bar{\varphi}_1, \varphi_2 = \bar{\varphi}_2 + \bar{\varphi}_2, \varphi_3 = \bar{\varphi}_3 + \bar{\varphi}_3$$

1.4 扭振力矩

$$M_1 = K_1 \varphi_1 \quad M_2 = K_2 (\varphi_3 + \varphi_1 - \varphi_2)$$

将有关数据代入，求得 $M_{1\max} = 1.8M$ ， $M_{2\max} = 1.6M$ 。

转矩放大系数 TAF

$$TAF_1 = \frac{M_{1\max}}{M} = 1.8, TAF_2 = \frac{M_{2\max}}{M} = 1.6$$

(注：最大倾动力矩 $M = 8.5 \times 10^4 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 8.33 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，一台电机启动力矩 $M_n = 9.8 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}$)

2 半悬挂多点啮合柔性传动扭振动力学计算（以烧结机为例）

目前，国内外大型烧结机大都采用了多点啮合柔性传动的驱动方式，简称多柔传动，其主要特点：柔性支承、多点啮合、悬挂安装（全悬挂、半悬挂）。可改善传动啮合性能、降低动载荷，并可在运行中调偏（台车跑偏）等。

参考文献 [8]，根据生产中出现的共振和台车爬行等问题，要求对烧结机多柔传动进行动力学分析研究。

2.1 系统力学模型

图 15-7-4 所示为某厂 90m^2 烧结机驱动装置简图，该系统属于半悬挂两点啮合自平衡扭力杆式非对称柔性传动。可将系统抽象为图 15-7-5 所示的二十质量系统力学模型。其扭振动力学计算资料见本章附录 (2)。

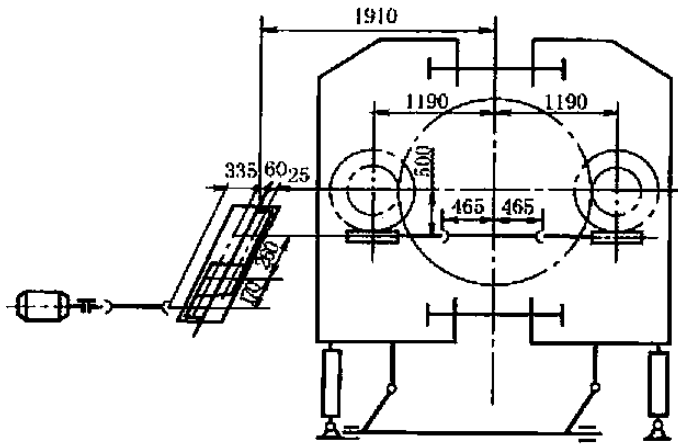


图 15-7-4 90m² 烧结机驱动装置简图

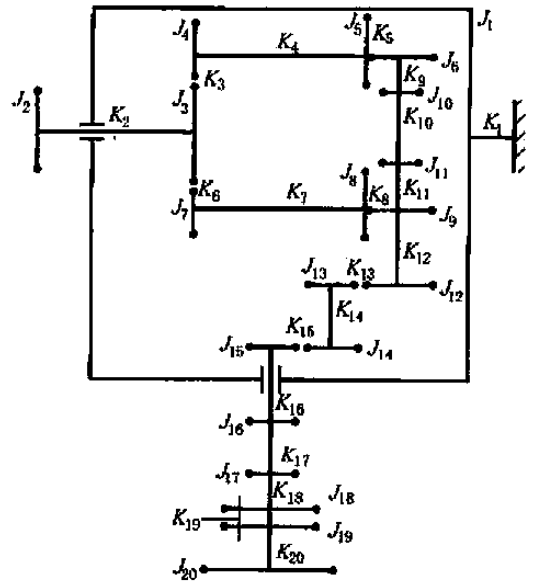


图 15-7-5 二十质量系统力学模型

设件 6、9~16 绕质心轴（平行Ⅱ级减速箱壳体回转中心轴）的转动惯量分别为 J_{6a} 、 $J_{9a} \sim J_{16a}$ 。设 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 和 $\varphi_{17} \sim \varphi_{20}$ 为绝对角位移， $\varphi_4 \sim \varphi_{16}$ 为相对角位移。计算系统动能 T 、势能 V 如下

$$T = \frac{1}{2} [J_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 \dot{\varphi}_3^2 + J_4 (\dot{\varphi}_4 + \dot{\varphi}_1)^2 + m_4 R_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + J_5 (\dot{\varphi}_5 + \dot{\varphi}_1)^2 + m_5 R_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + J_6 \dot{\varphi}_6^2 + J_{6a} \dot{\varphi}_1^2 + m_6 R_2^2 \dot{\varphi}_1^2 + J_7 (\dot{\varphi}_7 + \dot{\varphi}_1)^2 + m_7 R_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + J_8 (\dot{\varphi}_8 + \dot{\varphi}_1)^2 + m_8 R_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + \sum_{j=9}^{16} (J_j \dot{\varphi}_j^2 + J_{ja} \dot{\varphi}_1^2) + m_9 R_2^2 \dot{\varphi}_1^2 + (m_{10} + m_{11}) R_3^2 \dot{\varphi}_1^2 + (m_{12} + m_{13}) R_4^2 \dot{\varphi}_1^2 + (m_{14} + m_{15}) R_5^2 \dot{\varphi}_1^2 + m_{16} R_6^2 \dot{\varphi}_1^2 + \sum_{j=17}^{20} J_j \dot{\varphi}_j^2]$$

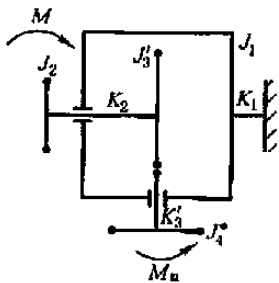


图 15-7-6 四质量系统力学模型

$$V = \frac{1}{2} \left\{ K_1 \varphi_1^2 + K_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 + K_3 \left[\varphi_4 \left(\frac{-1}{i_1} \right) + \varphi_1 - \varphi_3 \right]^2 + K_4 (\varphi_5 - \varphi_4)^2 + K_5 \left[\varphi_6 \left(\frac{-1}{i_2} \right) - \varphi_5 \right]^2 + K_6 \left[\varphi_7 \left(\frac{-1}{i_1} \right) + \varphi_1 - \varphi_3 \right]^2 + K_7 (\varphi_8 - \varphi_7)^2 + K_8 \left[\varphi_9 \left(\frac{-1}{i_2} \right) - \varphi_8 \right]^2 + K_9 (\varphi_{10} - \varphi_6)^2 + K_{10} (\varphi_{11} - \varphi_{10})^2 + K_{11} (\varphi_9 - \varphi_{11})^2 + K_{12} (\varphi_{12} - \varphi_9)^2 + K_{13} \left[\varphi_{12} \left(\frac{-1}{i_3} \right) - \varphi_{13} \right]^2 + K_{14} (\varphi_{14} - \varphi_{13})^2 + K_{15} \left[\varphi_{14} \left(\frac{-1}{i_4} \right) - \varphi_{15} \right]^2 + K_{16} (\varphi_{16} - \varphi_{15})^2 + \sum_{j=17}^{20} K_j (\varphi_j - \varphi_{j-1})^2 \right\}$$

系统进一步简化为四质量系统力学模型（严格地说应为四自由度系统力学模型），如图 15-7-6 所示。设 φ_1 、 φ_2 、 φ_4 为绝对角位移， φ_3 为相对角位移。

将原件 4~16 上的动能换算到件 3 上，将件 17~19 上的动能换算到件 20 上。

令 $J'_4 = J_4 + J_5 + J_7 + J_8$ ； $J'_6 = J_6 + J_9 + J_{10} + J_{11} + J_{12}$ ； $m'_4 = m_4 + m_5 + m_7 + m_8$

$$J'_{6a} = J_{6a} + \sum_{j=9}^{16} J_{ja} \quad J_4^* = \sum_{j=17}^{20} J_j$$

$$\text{再令 } J'_1 = J_1 + J_3 + J'_4 + J'_{6a} + m'_4 R_1^2 + (m_6 + m_9) R_2^2 + (m_{10} + m_{11}) R_3^2 + (m_{12} + m_{13}) R_4^2 + (m_{14} + m_{15}) R_5^2 + m_{16} R_6^2$$

$$J'_3 = J_3 + J'_4 i_1^2 + J'_6 i_1^2 i_2^2 + (J_{13} + J_{14}) i_1^2 i_2^2 i_3^2 + (J_{15} + J_{16}) i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2$$

$$J_3^* = J_3 - J'_4 i_1$$

$$\text{则 } T = \frac{1}{2} (J'_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J'_3 \dot{\varphi}_3^2 + 2J'_3 \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_3 + J_4^* \dot{\varphi}_4^2) \quad (15-7-21)$$

为简化计算，将前 $K_4 \sim K_{16}$ 换算到 K_2 轴上，且不计齿轮、蜗轮蜗杆间的啮合刚度。换算后的各刚度合并为 K'_2 ，将 $K_{17} \sim K_{20}$ 合并为 K'_3

$$\frac{1}{K'_2} = \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_a + K_b} + \frac{1}{i_1^2 i_2^2 K_{12}} + \frac{1}{i_1^2 i_2^2 i_3^2 K_{14}} + \frac{1}{i_1^2 i_2^2 i_3^2 i_4^2 K_{16}}$$

$$\text{式中, } \frac{1}{K_a} = \frac{1}{i_1^2 K_4} + \frac{1}{i_1^2 i_2^2} \left(\frac{1}{K_9} + \frac{1}{K_{10}} + \frac{1}{K_{11}} \right); \frac{1}{K_b} = \frac{1}{i_1^2 K_7}; \frac{1}{K'_3} = \frac{1}{K_{17}} + \frac{1}{K_{18}} + \frac{1}{K_{19}} + \frac{1}{K_{20}}$$

则系统势能为

$$V = \frac{1}{2} [K_1 \varphi_1^2 + K_2 [(\varphi_3 + \varphi_1) - \varphi_2]^2 + K'_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 - K_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 + K'_3 (i_\Sigma \varphi_3 - \varphi_4^*)^2] \quad (15-7-22)$$

式中， $i_\Sigma = i_1 i_2 i_3 i_4$ 。

2.2 建立运动微分方程（四质量系统）

由拉格朗日方程： $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial V}{\partial \varphi_i} = Q_i$

并设： $K_{3a} = K'_3 i_\Sigma^2$ ， $K_{3b} = K'_3 i_\Sigma$ ，则有

$$\begin{cases} J'_1 \ddot{\varphi}_1 + J'_3 \ddot{\varphi}_3 + (K_1 + K_2) \varphi_1 - K_2 \varphi_2 + K_2 \varphi_3 = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - K_2 \varphi_1 + K'_2 \varphi_2 - K'_2 \varphi_3 = -M \\ J''_3 \ddot{\varphi}_1 + J''_3 \ddot{\varphi}_3 + K_2 \varphi_1 - K'_2 \varphi_2 + K'_2 \varphi_3 + K_{3a} \varphi_3 - K_{3b} \varphi_4^* = 0 \\ J_4^* \ddot{\varphi}_4^* - K_{3b} \varphi_3 + K'_3 \varphi_4^* = M_n \end{cases} \quad (15-7-23)$$

式中， M 为负载力矩（烧结机运行阻力矩和台车速度变化引起的惯性力矩）； M_n 为电机启动力矩。

2.3 运动微分方程求解（初始条件为零）

(1) 模态分析法求解

$$\begin{cases} J'_1 \ddot{\varphi}_1 + J'_3 \ddot{\varphi}_3 + (K_1 + K_2) \varphi_1 - K_2 \varphi_2 + K_2 \varphi_3 = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - K_2 \varphi_1 + K'_2 \varphi_2 - K'_2 \varphi_3 = -M \\ J''_3 \ddot{\varphi}_1 + J''_3 \ddot{\varphi}_3 + K_2 \varphi_1 - K'_2 \varphi_2 + K'_2 \varphi_3 + K_{3a} \varphi_3 - K_{3b} \varphi_4^* = 0 \\ J_4^* \ddot{\varphi}_4^* - K_{3b} \varphi_3 + K'_3 \varphi_4^* = M_n \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} J'_1 & 0 & J'_3 & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & 0 \\ J''_3 & 0 & J''_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_4^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_3 \\ \ddot{\varphi}_4^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 & 0 \\ -K_2 & K'_2 & -K'_2 & 0 \\ K_2 & -K'_2 & (K'_2 + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & K'_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ 0 \\ M_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ 0 \\ M_n \end{bmatrix}$$

固有振动

$$\begin{cases} J_1' \ddot{\varphi}_1 + J_3'' \ddot{\varphi}_3 + (K_1 + K_2) \varphi_1 - K_2 \varphi_2 + K_2 \varphi_3 = 0 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - K_2 \varphi_1 + K_2' \varphi_2 - K_2' \varphi_3 = 0 \\ J_3'' \ddot{\varphi}_1 + J_3'' \ddot{\varphi}_3 + K_2 \varphi_1 - K_2' \varphi_2 + K_2' \varphi_3 + K_{3a} \varphi_3 - K_{3b} \varphi_4 = 0 \\ J_4'' \ddot{\varphi}_4 - K_{3b} \varphi_3 + K_3' \varphi_4 = 0 \end{cases} \quad (15-7-24)$$

设 $\varphi_i = \phi_i \sin(pt + \psi)$, 则 $\ddot{\varphi}_i = -\phi_i p^2 \sin(pt + \psi)$, 代入式(15-7-24)

$$\begin{cases} -J_1' \phi_1 p^2 - J_3'' \phi_3 p^2 + (K_1 + K_2) \phi_1 - K_2 \phi_2 + K_2 \phi_3 = 0 \\ -J_2 \phi_2 p^2 - K_2 \phi_1 + K_2' \phi_2 - K_2' \phi_3 = 0 \\ -J_3'' \phi_1 p^2 - J_3'' \phi_3 p^2 + K_2 \phi_1 - K_2' \phi_2 + K_2' \phi_3 + K_{3a} \phi_3 - K_{3b} \phi_4 = 0 \\ -J_4'' \phi_4 p^2 - K_{3b} \phi_3 + K_3' \phi_4 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} -J_1' p^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & -J_3'' p^2 + K_2 & 0 \\ -K_2 & -J_2 p^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ -J_3'' p^2 + K_2 & -K_2' & -J_3'' p^2 + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & -J_4'' p^2 + K_3' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

令其系数矩阵的行列式为 Δ , 根据自由振动有非零解的条件, 系数矩阵行列式 $\Delta = 0$ 。

$$\Delta = \begin{vmatrix} -J_1' p^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & -J_3'' p^2 + K_2 & 0 \\ -K_2 & -J_2 p^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ -J_3'' p^2 + K_2 & -K_2' & -J_3'' p^2 + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & -J_4'' p^2 + K_3' \end{vmatrix} = 0$$

经运算可得 (运算时注意: $K_3' K_{3a} = K_{3b}^2$, 常数项为 0)

$$\begin{aligned} \Delta &= J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4'' p^2 (p^2 - p_2^2) (p^2 - p_3^2) (p^2 - p_4^2) \\ &= J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4'' (p^2 - p_1^2) (p^2 - p_2^2) (p^2 - p_3^2) (p^2 - p_4^2) = 0 \end{aligned}$$

式中, p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 为系统第一、二、三、四阶固有频率, 可代入有关数据求得 $p_1 = 0$, $p_2 = 18.7 \text{ rad/s}$, $p_3 = 144.607 \text{ rad/s}$, $p_4 = 649.045 \text{ rad/s}$ 。将 $p_1 = 0$ 代入

$$\begin{cases} (K_1 + K_2) \phi_1 - K_2 \phi_2 + K_2 \phi_3 = 0 \\ -K_2 \phi_1 + K_2' \phi_2 - K_2' \phi_3 = 0 \\ K_2 \phi_1 - K_2' \phi_2 + K_2' \phi_3 + K_{3a} \phi_3 - K_{3b} \phi_4 = 0 \\ -K_{3b} \phi_3 + K_3' \phi_4 = 0 \end{cases}$$

解得 $\phi_1 = 0$ 。令 $\phi_4 = 1$, 解得 $\phi_2 = \frac{1}{i_\Sigma}$, $\phi_3 = \frac{1}{i_\Sigma}$ 。即振型 $\phi_{11} = 0$, $\phi_{21} = \frac{1}{i_\Sigma}$, $\phi_{31} = \frac{1}{i_\Sigma}$, $\phi_{41} = 1$ 。

以 p_2 值代入, 令 $\phi_{42} = 1$, 求得 ϕ_{12} 、 ϕ_{22} 、 ϕ_{32} ; 以 p_3 值代入, 令 $\phi_{43} = 1$, 求得 ϕ_{13} 、 ϕ_{23} 、 ϕ_{33} ; 以 p_4 值代入, 令 $\phi_{44} = 1$, 求得 ϕ_{14} 、 ϕ_{24} 、 ϕ_{34} 。

振型矩阵

$$\phi = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

设 $\varphi = \phi \theta$ 式中 φ ——自然坐标列阵； θ ——主坐标列阵； ϕ ——振型矩阵。由坐标变换 $\phi^T J \phi \ddot{\theta} + \phi^T K \phi \theta = \phi^T Q$

$$J = \begin{bmatrix} J_1' & 0 & J_3'' & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_4^* \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 & 0 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' & 0 \\ K_2 & -K_2' & (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & K_3' \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ 0 \\ M_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{i_{\Sigma}} & \frac{1}{i_{\Sigma}} & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & \phi_{32} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & \phi_{33} & 1 \\ \phi_{14} & \phi_{24} & \phi_{34} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1' & 0 & J_3'' & 0 \\ 0 & J_2 & 0 & 0 \\ J_3'' & 0 & J_3' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_4^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{i_{\Sigma}} & \frac{1}{i_{\Sigma}} & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & \phi_{32} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & \phi_{33} & 1 \\ \phi_{14} & \phi_{24} & \phi_{34} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & K_2 & 0 \\ -K_2 & K_2' & -K_2' & 0 \\ K_2 & -K_2' & (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & K_3' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{i_{\Sigma}} & \frac{1}{i_{\Sigma}} & 1 \\ \phi_{12} & \phi_{22} & \phi_{32} & 1 \\ \phi_{13} & \phi_{23} & \phi_{33} & 1 \\ \phi_{14} & \phi_{24} & \phi_{34} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ 0 \\ M_n \end{bmatrix}$$

由运算得 $K_{j1} = 0$

$$\begin{bmatrix} J_{j1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{j2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{j3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{j4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{j2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{j3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{j4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-M}{i_{\Sigma}} + M_n \\ -\phi_{22}M + M_n \\ -\phi_{23}M + M_n \\ -\phi_{24}M + M_n \end{bmatrix} \quad (15-7-25)$$

得解耦微分方程组

$$\begin{cases} J_{j1} \ddot{\theta}_1 = \frac{-M}{i_{\Sigma}} + M_n \\ J_{j2} \ddot{\theta}_1 + K_{j2} \theta_2 = -\phi_{22} M + M_n \\ J_{j3} \ddot{\theta}_3 + K_{j3} \theta_3 = -\phi_{23} M + M_n \\ J_{j4} \ddot{\theta}_4 + K_{j4} \theta_4 = -\phi_{24} M + M_n \end{cases} \quad (15-7-26)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_1 = \frac{-M/i_{\Sigma} + M_n}{J_{j1}} & \begin{cases} p_1^2 = 0 \\ p_2^2 = \frac{K_{j2}}{J_{j2}} \\ p_3^2 = \frac{K_{j3}}{J_{j3}} \\ p_4^2 = \frac{K_{j4}}{J_{j4}} \end{cases} \\ \ddot{\theta}_2 + p_2^2 \theta_2 = \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2}} \\ \ddot{\theta}_3 + p_3^2 \theta_3 = \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3}} \\ \ddot{\theta}_4 + p_4^2 \theta_4 = \frac{-\phi_{24} M + M_n}{J_{j4}} \end{cases} \quad (15-7-26a)$$

解得

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-M/i_{\Sigma} + M_n}{2J_{j1}} t^2 \\ \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) \\ \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \\ \frac{-\phi_{24} M + M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \end{bmatrix} \quad (15-7-27)$$

 $\varphi = \phi \theta$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \frac{1}{i_{\Sigma}} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{-M/i_{\Sigma} + M_n}{2J_{j1}} t^2 \\ \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) \\ \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) \\ \frac{-\phi_{24} M + M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{-\phi_{12} \phi_{22} M + \phi_{12} M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{13} \phi_{23} M + \phi_{13} M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) + \frac{-\phi_{14} \phi_{24} M + \phi_{14} M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \\ \frac{-M/i_{\Sigma}^2 + M_n/i_{\Sigma}}{2J_{j1}} t^2 + \frac{-\phi_{22}^2 M + \phi_{22} M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{23}^2 M + \phi_{23} M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) + \frac{-\phi_{24}^2 M + \phi_{24} M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \\ \frac{-M/i_{\Sigma}^2 + M_n/i_{\Sigma}}{2J_{j1}} t^2 + \frac{-\phi_{32} \phi_{22} M + \phi_{32} M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{33} \phi_{23} M + \phi_{33} M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) + \frac{-\phi_{34} \phi_{24} M + \phi_{34} M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \\ \frac{-M/i_{\Sigma} + M_n}{2J_{j1}} t^2 + \frac{-\phi_{22} M + M_n}{J_{j2} p_2^2} (1 - \cos p_2 t) + \frac{-\phi_{23} M + M_n}{J_{j3} p_3^2} (1 - \cos p_3 t) + \frac{-\phi_{24} M + M_n}{J_{j4} p_4^2} (1 - \cos p_4 t) \end{bmatrix} \quad (15-7-28)$$

(2) 新微分算子法求解

引入微分算子 D 代替 $\frac{d}{dt}$, D^2 代替 $\frac{d^2}{dt^2}$, 运动微分方程组可写成下列矩阵形式

$$\begin{bmatrix} J_1' D^2 + (K_1 + K_2) & -K_2' & J_3'' D^2 + K_2 & 0 \\ -K_2 & J_2 D^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ J_3'' D^2 + K_2 & -K_2' & J_3' D + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & 0 & -K_{3b} J_4^* D^2 + K_3' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -M \\ 0 \\ M_n \end{bmatrix} \quad (15-7-29)$$

可以看出, 上式是关于 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 、 φ_4^* 的一个线性方程组。其系数矩阵行列式 Δ 为

$$\Delta = \begin{vmatrix} J_1' D^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & J_3'' D^2 + K_2 & 0 \\ -K_2 & J_2 D^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ J_3'' D^2 + K_2 & -K_2' & J_3' D + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & J_4^* D^2 + K_3' \end{vmatrix}$$

经运算可得

$$\Delta = J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^* D^2 (D^2 + p_2^2) (D^2 + p_3^2) (D^2 + p_4^2) \quad (15-7-29a)$$

式中, p_2 、 p_3 、 p_4 为系统第二、三、四阶固有频率, 可代入有关数据求得: $p_1 = 0$, $p_2 = 18.7 \text{ rad/s}$, $p_3 = 144.607 \text{ rad/s}$, $p_4 = 649.045 \text{ rad/s}$ 。

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -K_2 & J_3'' D^2 + K_2 & 0 \\ -M & J_2 D^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ 0 & -K_2' & J_3' D + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ M_n & 0 & -K_{3b} & J_4^* D^2 + K_3' \end{vmatrix}$$

$$= MD^2 [(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* D^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'] + M_n K_{3b} D^2 [-J_2 J_3'' D^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3')] \quad (15-7-29b)$$

Δ_2 、 Δ_3 、 Δ_4 相应可解出。

设 $M(\tau)$ 、 $M_n(\tau)$ 为阶跃函数, 由克莱姆法则可得

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{MD^2 [(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* D^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'] + M_n K_{3b} D^2 [-J_2 J_3'' D^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3')]}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^* D^2 (D^2 + p_2^2) (D^2 + p_3^2) (D^2 + p_4^2)} \\ &= \frac{1}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{M}{(D^2 + p_i^2)} \times \frac{-(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* p_i^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'}{(p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} + \\ &\quad \frac{K_{3b}}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{M_n}{(D^2 + p_i^2)} \frac{[J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3')]}{(p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \\ &= \frac{1}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3') K_3' - [K_2 K_{3a} + (K_2' J_3'' - K_2 J_3') p_i^2] J_4^*}{p_i (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \int_0^t M(\tau) \sin p_i (t - \tau) d\tau + \\ &\quad \frac{K_{3b}}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3')}{p_i (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \int_0^t M_n(\tau) \sin p_i (t - \tau) d\tau \\ &= \frac{M}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3') K_3' - [K_2 K_{3a} + (K_2' J_3'' - K_2 J_3') p_i^2] J_4^*}{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} (1 - \cos p_i t) + \\ &\quad \frac{K_{3b} M_n}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3')}{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} (1 - \cos p_i t) \end{aligned} \quad (15-7-30)$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-M}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \left[\frac{(K_1 + K_2) K_2' - K_2^2}{p_2^2 p_3^2 p_4^2} K_3' \right] \times \frac{t^2}{2} + \right.$$

$$\sum_{i=2}^4 \left\{ \frac{(J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^* p_i^6 + [(J_1' J_3' - J_3''^2) K_3' + [(K_1 + K_2) J_3' + (K_2' + K_{3a}) J_1' - 2K_2 J_3''] J_4^* | p_i^4}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} + \right. \\ \left. - \frac{[(K_1 + K_2) J_3' + K_2' J_1' - 2J_3'' K_2] K_3' + [(K_1 + K_2) (K_2' + K_{3a}) - K_2^2] J_4^* | p_i^2 + [(K_1 + K_2) K_2' - K_2^2] K_3'}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \right\} \times \\ \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \left. \right\} - \frac{K_{3b} M_n}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \frac{[K_2^2 - K_2' (K_1 + K_2)]}{-p_2^2 p_3^2 p_4^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \\ \left. \sum_{i=2}^4 \frac{-(K_2 J_3'' - K_2' J_1') p_i^2 + K_2^2 - K_2' (K_1 + K_2)}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \times \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \right\} \quad (15-7-31)$$

$$\varphi_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{M}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \left\{ \frac{[K_2^2 - (K_1 + K_2) K_2'] K_3'}{p_2^2 p_3^2 p_4^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \right. \\ \left. \sum_{i=2}^4 \left\{ \frac{(J_3'' K_2 - J_1' K_2') J_4^* p_i^4 - [K_3' (J_3'' K_2 - J_1' K_2') + [K_2^2 - (K_1 + K_2) K_2'] J_4^* | p_i^2 + [K_2^2 - (K_1 + K_2) K_2'] K_3'}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \right\} \times \right. \\ \left. \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \right\} + \frac{K_{3b} M_n}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \left\{ \frac{[K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2]}{-p_2^2 p_3^2 p_4^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \right. \\ \left. \sum_{i=2}^4 \left\{ \frac{J_1' J_2 p_i^4 - [(K_1 + K_2) J_2 + K_2' J_1'] p_i^2 + [K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2]}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \right\} \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \right\} \right\} \quad (15-7-32)$$

$$\varphi_4^* = \frac{\Delta_4}{\Delta} = \frac{M}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \left\{ \frac{[K_2^2 - (K_1 + K_2) K_2'] K_{3b}}{p_2^2 p_3^2 p_4^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \right. \\ \left. \sum_{i=2}^4 \left\{ \frac{-(J_3'' K_2 - J_1' K_2') K_{3b} p_i^2 + [K_2^2 - (K_1 + K_2) K_2'] K_{3b}}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \right\} \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \right\} + \\ \frac{M_n}{J_2 (J_1' J_3' - J_3''^2) J_4^*} \left\{ \left\{ \frac{K_{3a} [K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2]}{-p_2^2 p_3^2 p_4^2} \times \frac{t^2}{2} + \right. \right. \\ \left. \sum_{i=2}^4 \left\{ \frac{-[J_3' (J_1' J_2 - J_3''^2)] p_i^6 + [K_2' J_1' J_3' + (K_1 + K_2) J_2 J_3' + (K_2' + K_{3a}) J_1' J_2 - 2K_2 J_2 J_3''] p_i^4}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} + \right. \right. \\ \left. \left. \frac{[-K_2^2 J_3' + K_2' (K_1 + K_2) J_3' + K_2' K_{3a} J_1' + (K_1 + K_2) (K_2' + K_{3a}) J_2] p_i^2 + K_{3a} [K_2' (K_1 + K_2) - K_2^2]}{-p_i^2 (p_j^2 - p_i^2) (p_k^2 - p_i^2)} \right\} \times \right. \\ \left. \frac{(1 - \cos p_i t)}{p_i^2} \right\} \right\} \quad (15-7-33)$$

式中, $i=2, j=3, K=4; i=3, j=2, K=4; i=4, j=2, K=3$ 。

(3) 拉氏变换法求解

式(15-7-23)取拉氏变换,并写成矩阵形式

$$\begin{bmatrix} J_1' S^2 + (K_1 + K_2) & -K_2 & J_3'' S^2 + K_2 & 0 \\ -K_2 & J_2 S^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ J_3'' S^2 + K_2 & -K_2' & J_3' S^2 + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ 0 & 0 & -K_{3b} & J_4^* S^2 + K_3' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L[\varphi_1] \\ L[\varphi_2] \\ L[\varphi_3] \\ L[\varphi_4^*] \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ -L[M] \\ 0 \\ L[M_n] \end{bmatrix} \quad (15-7-34)$$

可以看出式 (15-7-34) 是关于 $L[\varphi_1]$ 、 $L[\varphi_2]$ 、 $L[\varphi_3]$ 、 $L[\varphi_4^*]$ 的一个线性方程组，令其系数矩阵行列式为 Δ ，容易看出 Δ 是一个关于 S^2 的四次多项式。经过运算可得

$$\Delta = J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^* S^2 (S^2 + p_2^2) (S^2 + p_3^2) (S^2 + p_4^2)$$

式中， p_2 、 p_3 、 p_4 为系统第二、三、四阶固有频率，可代入有关数据计算求得： $p_1 = 0$ ， $p_2 = 18.7 \text{ rad/s}$ ， $p_3 = 144.607 \text{ rad/s}$ ， $p_4 = 649.045 \text{ rad/s}$ 。

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -K_2 & J_3'' S^2 + K_2 & 0 \\ -L[M] & J_2 S^2 + K_2' & -K_2' & 0 \\ 0 & -K_2' & J_3' S^2 + (K_2' + K_{3a}) & -K_{3b} \\ L[M_n] & 0 & -K_{3b} & J_4^* S^2 + K_3' \end{vmatrix}$$

$$= L[M] S^2 [(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* S^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'] + L[M_n] K_{3b} S^2 [-J_2 J_3'' S^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')]]$$

Δ_2 、 Δ_3 、 Δ_4 相应可解出。

设 $M(\tau)$ 、 $M_n(\tau)$ 为阶跃函数，由克莱姆法则可得

$$L[\varphi_1] = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{L[M] S^2 [(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* S^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'] + L[M_n] K_{3b} S^2 [-J_2 J_3'' S^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')]]}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^* S^2 (S^2 + p_2^2) (S^2 + p_3^2) (S^2 + p_4^2)}$$

$$= \frac{1}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{L[M]}{(S^2 + p_i^2)} \times \frac{-(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* p_i^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'}{(p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} +$$

$$\frac{K_{3b}}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{L[M_n] [J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')]}{(S^2 + p_i^2)(p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)}$$

$$= \frac{1}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{L[M] L[\sin p_i t] [-(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* p_i^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3']}{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} +$$

$$\frac{K_{3b}}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{L[M_n] L[\sin p_i t] [J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')]}{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} \quad (15-7-35)$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{[-(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* p_i^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3'] (M \sin p_i t)}{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} +$$

$$\frac{K_{3b}}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{[J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')] (M_n \sin p_i t)}{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)}$$

$$= \frac{1}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{[-(K_2' J_3'' - K_2 J_3') J_4^* p_i^2 + K_2' K_3' J_3'' - K_2 K_{3a} J_4^* - K_2 K_3' J_3']}{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} \int_0^t M(\tau) \sin p_i (t - \tau) d\tau +$$

$$\frac{K_{3b}}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{[J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')] }{p_i (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} \int_0^t M_n(\tau) \sin (t - \tau) d\tau$$

$$= \frac{M}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{(K_2' J_3'' - K_2 J_3') K_3' - [K_2 K_{3a} + (K_2' J_3'' - K_2 J_3') p_i^2] J_4^*}{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} (1 - \cos p_i t) +$$

$$\frac{K_{3b} M_n}{J_2 (J_1 J_3' - J_3'^2) J_4^*} \sum_{i=2}^4 \frac{[J_2 J_3'' p_i^2 - (K_2 J_2 + K_2' J_3'')] }{p_i^2 (p_j^2 - p_i^2)(p_k^2 - p_i^2)} (1 - \cos p_i t) \quad (15-7-36)$$

式中, $i=2, j=3, K=4$; $i=3, j=2, K=4$; $i=4, j=2, K=3$ 。

同理, $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ 可相应求得表达式。

2.4 系统扭振力矩的计算

$$M_1 = K_1 \varphi_1$$

$$M_2 = K_2 (\varphi_3 + \varphi_1 - \varphi_2)$$

$$M_3 = K_3 (\varphi_4 - \varphi_3 i_\Sigma)$$

将有关数据代入, 并使 $M_n = \frac{1.3M}{i_\Sigma}$ (1.3 为原定转矩联轴器设定值)

求得 $M_{1\max} = 2M$, $M_{2\max} = 1.9M$, $M_{3\max} = 4.54 \times 10^{-4}M$ 。

扭矩放大系数 TAF

$$TAF_1 = \frac{M_{1\max}}{M} = 2$$

$$TAF_2 = \frac{M_{2\max}}{M} = 1.9$$

$$TAF_3 = \frac{M_{3\max}}{M/i_\Sigma} = \frac{4.54 \times 10^{-4}M}{M} \times 3112.3 = 1.4$$

3 分析说明

① 悬挂多柔传动中, 悬挂减速箱的扭振角速度 (即各级齿轮的扭振牵连速度) φ_1 在低频时与大齿轮本身的扭振相对角速度的数量级相当, 不能忽略, 且若略去扭振牵连速度 φ_1 , 就意味着不考虑大齿轮的箱体为悬挂这一特点, 也就失去了柔性传动的意义, 所以必须采用差动力学模型。

② 悬挂减速箱扭振角位移 φ_1 没有刚体转动项 (因其有固定端), 其余均有刚体转动项 (因其没有固定端), 但扭振力矩只有相对转动才能出现, 故 M_2, M_3 的表达式中, i^2 项系数正好抵消, 仅有振动成分。

③ 扭力杆的刚度选取很重要, 不宜过高或过低, 应综合考虑扭振扭矩放大系数 (可取 TAF_1) 和强度等, 进行优化设计。 $M_{\text{扭}\max} \neq M_{1\max}$, 需另计算。

④ 本章转炉扭振动力学计算时, 为了简化, 固有振动 (由初始条件决定) 应用了模态分析法, 强迫振动应用了模态分析法、新微分算子法、拉氏变换法。当然固有振动也可应用新微分算子法, 拉氏变换法可直接求出固有振动和强迫振动合成的全解。

⑤ 进一步应用 Mathematics、Maple 等软件解常微方程组和模态分析法求固有频率、振型等程序可大大提高计算速度。

4 结 论

① 系统临界转速与固有频率有关, 如 90m² 烧碱机, $p_1 = 0$ (即 $n_1 = 0$), $p_2 = 18.7\text{rad/s}$ (即 $n_2 = 178.6\text{r/min}$), $p_3 = 144.607\text{rad/s}$ (即 $n_3 = 1380.9\text{r/min}$), $p_4 = 649.045\text{rad/s}$ (即 $n_4 = 6197.9\text{r/min}$)。系统各级转速应避免各阶临界转速, 设备启动时要注意避免发生共振现象。

② 系统扭振固有频率一般较零部件的工作转速频率大得多。有关零部件的疲劳计算, 不能简单按工作转速来考虑, 应按扭振固有频率来考虑。

③ 一般来说, 半悬挂系统的扭矩放大系数比全悬挂系统要大, 但比普通传动系统的动载荷系数要小, 由此看出柔性传动的优越性。工作载荷应按扭振扭矩放大系数来考虑。

附 录

(1) 25t 氧气转炉倾动机械扭振动力学计算资料

1) 转动惯量

- ① J_1 (悬挂减速箱转动惯量) $J_1 = 1.45415721 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ② J_2 (转炉及托圈转动惯量) $J_2 = 1.06161788 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ③ J_3 (大齿轮转动惯量) $J_3 = 1.1099 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ④ J_4 (末级减速机小齿轮转动惯量) $J_4 = 3.0422 \times 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_4 = 480.69 \text{ kg}$
- ⑤ J_5 (初级减速机Ⅲ级大齿轮转动惯量) $J_5 = 1.7867 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_5 = 1168.11 \text{ kg}$
- ⑥ J_6 (初级减速机Ⅲ级小齿轮转动惯量) $J_6 = 7.959 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_6 = 127.64 \text{ kg}$
- ⑦ J_7 (初级减速机Ⅱ级大齿轮转动惯量) $J_7 = 1.2007 \times 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_7 = 219 \text{ kg}$
- ⑧ J_8 (初级减速机Ⅱ级小齿轮转动惯量) $J_8 = 2.2232 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_8 = 30.85 \text{ kg}$
- ⑨ J_9 (初级减速机Ⅰ级大齿轮转动惯量) $J_9 = 1.18043 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_9 = 54.9 \text{ kg}$
- ⑩ J_{10} (初级减速机Ⅰ级小齿轮转动惯量) $J_{10} = 5.762 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_{10} = 7.76 \text{ kg}$
- ⑪ J_{11} (弹性联轴器半联轴器转动惯量) $J_{11} = 1.9705 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_{11} = 7 \text{ kg}$
- ⑫ J_{12} (弹性联轴器半联轴器转动惯量) $J_{12} = 1.9705 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_{12} = 7 \text{ kg}$
- ⑬ J_{13} (电机转子转动惯量) $J_{13} = 5.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_{13} = 238 \text{ kg}$

2) 扭转刚度

- ① K_1 (扭力杆折算刚度) $K_1 = 3.527059418 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ② K_2 (耳轴刚度) $K_2 = 1.157868117 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ③ K_3 (末级减速机大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ④ K_4 (初级减速机Ⅳ轴扭转刚度) $K_4 = 3.664169158 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑤ K_5 (初级减速机Ⅲ级大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑥ K_6 (初级减速机Ⅲ轴扭转刚度) $K_6 = 2.280286899 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑦ K_7 (初级减速机Ⅱ级大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑧ K_8 (初级减速机Ⅱ轴扭转刚度) $K_8 = 1.94032786 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑨ K_9 (初级减速机Ⅰ级大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑩ K_{10} (初级减速机Ⅰ轴扭转刚度) $K_{10} = 5.5899372 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑪ K_{11} (弹性联轴器的扭转刚度) $K_{11} = 8.7944 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑫ K_{12} (电机轴扭转刚度) $K_{12} = 6.783781272 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$

3) 速比

- ① 末级减速机 $i_1 = 8.118$
- ② 初级减速机 $i_2 = 4.944$; $i_3 = 4.471$; $i_4 = 4.471$
- ③ 总速比 $i_{\Sigma} = i_1 i_2 i_3 i_4 = 802.3$

4) 回转半径

$$R_1 = 1.575 \text{ m}, R_2 = 2.091 \text{ m}, R_3 = 2.428 \text{ m}, R_4 = 2.645 \text{ m}$$

(2) 90m² 烧结机驱动装置扭振动力学计算资料

1) 转动惯量

- ① J_1 (悬挂减速箱包括辅助减速器箱体转动惯量) $J_1 = 7.633 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ② J_2 (首尾星轮、卷筒、烧结机台车、烧结料等转化转动惯量) $J_2 = 1.04016 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ③ J_3 (大齿轮转动惯量) $J_3 = 2.353 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ④ J_4 (右小齿轮转动惯量) $J_4 = 1.64 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_4 = 250 \text{ kg}$
- ⑤ J_5 (右蜗轮转动惯量) $J_5 = 33.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_5 = 313 \text{ kg}$

- ⑥ J_6 (右蜗杆转动惯量) $J_6 = 0.37 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_6 = 83 \text{ kg}$ $J_{6a} = \frac{m}{12}(3r^2 + L^2) = 1.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑦ J_7 (左小齿轮转动惯量) $J_7 = 1.64 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_7 = 250 \text{ kg}$
- ⑧ J_8 (左蜗轮转动惯量) $J_8 = 33.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $m_8 = 313 \text{ kg}$
- ⑨ J_9 (左蜗杆转动惯量) $J_9 = 0.37 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_9 = 83 \text{ kg}$ $J_{9a} = J_{6a} = 1.21 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑩ J_{10} (半万向接手 SWP180 × 1120 转动惯量) $J_{10} = 1.34 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{10} = 38.1 \text{ kg}$ $J_{10a} = 2.2 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑪ J_{11} (半万向接手 SWP180 × 1120 转动惯量) $J_{11} = 1.34 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{11} = 38.1 \text{ kg}$ $J_{11a} = 2.2 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑫ J_{12} (辅助减速器末级大齿轮转动惯量) $J_{12} = 1.068 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{12} = 45.343 \text{ kg}$ $J_{12a} = 5.34 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑬ J_{13} (辅助减速器末级小齿轮转动惯量) $J_{13} = 1.965 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{13} = 9.596 \text{ kg}$ $J_{13a} = 1.704 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑭ J_{14} (辅助减速器首级大齿轮转动惯量) $J_{14} = 0.1485 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{14} = 15.41 \text{ kg}$ $J_{14a} = 7.425 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑮ J_{15} (辅助减速器首级小齿轮转动惯量) $J_{15} = 1.76 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{15} = 2.37 \text{ kg}$ $J_{15a} = 1.71 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑯ J_{16} (半万向接手 SWP160 × 610 转动惯量) $J_{16} = 8.378 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $m_{16} = 33 \text{ kg}$ $J_{16a} = 2.05 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑰ J_{17} (半万向接手 SWP160 × 610 转动惯量) $J_{17} = 8.22 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑱ J_{18} (半尼龙柱销联轴器转动惯量) $J_{18} = 5.88 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑲ J_{19} (半尼龙柱销联轴器转动惯量) $J_{19} = 5.56 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- ⑳ J_{20} (电机转子转动惯量) $J_{20} = 3.15 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

2) 扭转刚度

- ① K_1 (扭力杆、重力弹簧平衡器折算扭转刚度) $K_1 = 1.1774 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ② K_2 (卷筒轴扭转刚度) $K_2 = 1.402 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ③ K_3 (Ⅱ级减速机右大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ④ K_4 (Ⅱ级减速机右小齿轮轴扭转刚度) $K_4 = 2.06 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑤ K_5 (右蜗杆、蜗轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑥ K_6 (Ⅱ级减速机左大小齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑦ K_7 (Ⅱ级减速机左小齿轮轴扭转刚度) $K_7 = 2.06 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑧ K_8 (左蜗杆、蜗轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑨ K_9 (蜗杆轴Ⅱ右扭转刚度) $K_9 = 3.28 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑩ K_{10} (SWP180 × 1120 万向接手扭转刚度) $K_{10} = 5.16 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑪ K_{11} (蜗杆轴Ⅱ左扭转刚度) $K_{11} = 3.28 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑫ K_{12} (蜗杆轴Ⅰ扭转刚度) $K_{12} = 3.34 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑬ K_{13} (辅助减速器末级齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑭ K_{14} (辅助减速器中间齿轮轴扭转刚度) $K_{14} = 5.20 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑮ K_{15} (辅助减速器首级齿轮啮合刚度, 不予计算)
- ⑯ K_{16} (辅助减速器小齿轮轴扭转刚度) $K_{16} = 3.33 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑰ K_{17} (SWP160 × 610 万向接手扭转刚度) $K_{17} = 1.48 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑱ K_{18} (中间轴扭转刚度) $K_{18} = 5.034 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$
- ⑲ K_{19} (尼龙柱销联轴器扭转刚度) $K_{19} = 1.82 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$

⑩ K_{20} (电机轴扭转刚度) $K_{20} = 6.87 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$

3) 速比

Ⅱ级减速机速比 $i_1 = 8.444$

蜗杆蜗轮速比 $i_2 = 31.5$

辅助减速器速比 $i_3 = 3.4737; i_4 = 3.3684$

总速比 $i_{\Sigma} = 3112.3$

4) 回转半径

$R_1 = 1.190\text{m}, R_2 = 1.291\text{m}, R_3 = 0.683\text{m}, R_4 = 1.950\text{m}, R_5 = 2.032\text{m}, R_6 = 2.359\text{m}$

参 考 文 献

- 1 成大先主编. 机械设计手册. 第4版. 北京: 化学工业出版社, 2002
- 2 方正. 齿轮手册. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 方正. BFT型多柔传动装置的理论分析. 重型机械, 1985, (9)
- 4 重型机械研究所转炉组. 多点啮合柔性传动静力学分析. 重型机械, 1978, (3)
- 5 王春和. 回转窑多柔传动系统的设计研究. 有色设备, 1988, (2)
- 6 王春和. 多柔传动系统中解决齿轮同步问题的一种方法. 北方工业大学学报, 1988, (1)
- 7 黄振青等. 氧气转炉柔性传动的扭转振动. 冶金设备, 1985, (1)
- 8 Chuan-Sheng Ji. A New Solution Of Constant Differential Equation Group By Differential Operator And Application In Calculation Rolling-Mill Torsional Vibrationed Proceedings Of The 6th International Model Analysis Conference. U. S. A. 1988
- 9 苗水温. 多柔传动装置在刚性滑道烧结机上的应用. 工程设计与研究, 1996, (9)
- 10 林鹤. 机械振动理论及应用. 北京: 冶金工业出版社, 1990
- 11 曲新江. 鞍钢180T转炉弹性缓冲装置设计与研究. 冶金设备, 1997, (6)
- 12 潘均智等. 鞍钢180吨转炉的全悬挂、四点啮合、柔性缓冲倾动机构的设计研究. 重型机械, 1987, (8)
- 13 王太辰. 宝钢减速机图册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 14 郑自求等. BF型多柔传动的静力学分析. 重型机械, 1998, (5)
- 15 郑自求, 张孝先等. 浮动小齿轮单向驱动大齿轮的传动装置. CN 94227343, 4. 1995-02-12
- 16 陈宗源等. 多啮全悬柔传动装置. CN ZL02239975. 5. 2003-05-21
- 17 机械传动装置选用手册编委会. 机械传动装置选用手册. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 18 郑自求, 王敬东等. BFP型多柔传动的静力学分析及优化设计. 重型机械, 1998, (5)
- 19 郑自求, 贺元成等. BFP型多点啮合柔性传动的研究. 机械设计, 1999, (6)
- 20 贺元成等. 特殊BF型多柔传动的静力学分析及设计要求. 机械, 1999 增刊
- 21 郑自求, 贺元成等. 一种BFP型多柔传动装置. 现代制造工程, 2003, (10)
- 22 刘翔, 刘美珑. 同步均载的转炉倾动机. 重型机械, 2000, (1)
- 23 季泉生. 多柔传动动力学建模及新微分算子法研究. 第二届全国基础件产品技术开发应用交流研讨会论文集. 2005
- 24 张立华. 柔性传动在回转圆筒类设备设计中的实践和应用. 中国机械工程, 1998, (7)
- 25 孙夏明等. 两种柔性传动的设计和使用. 冶金设备, 2003, (2)
- 26 焉永刚等. 转炉倾动装置的改进. 冶金设备, 2003, (6)
- 27 郑自求, 贺元成等. 多点啮合柔性传动的发展及应用. 第二届全国传动基础件产品技术开发及应用交流研讨会论文集. 2005
- 28 贺元成, 罗旭东, 冯彦宾等. 一种重载低速传动末级小齿轮自调位装置的设计研究. 2005 中国机械工程年会论文集. 北京: 机械工业出版社, 2005
- 29 贺元成等. 双点啮合单驱动BF型多柔传动的探讨. 工程设计学报, 2005 增刊
- 30 Fu Chunhua, He Yuancheng. Study of BFP Type Flexible Driving with Multicannel Engaging with Double-Point Gear-Meshing and Single Driving. The International Conference on Mechanical Transmissions. Chongqing. 2006. Science Press, 2006



第 16 篇 减速器、变速器



主要撰稿 房庆久 阮忠唐

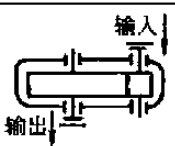
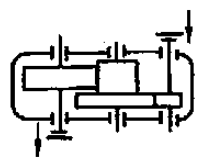
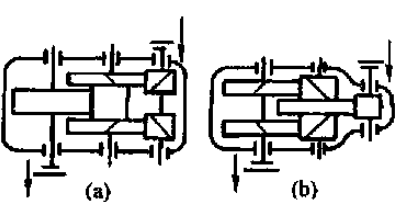
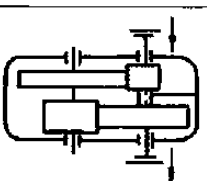
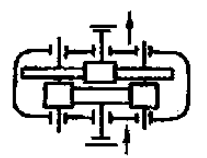
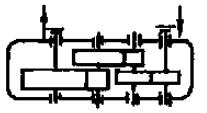
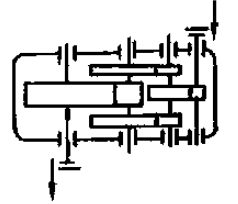
审 稿 王德夫

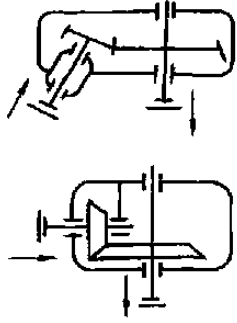
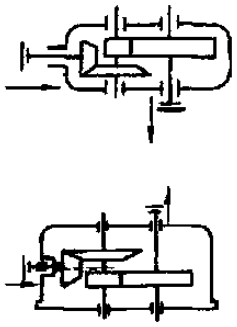
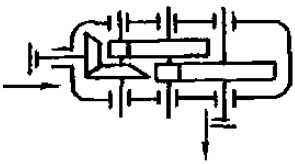
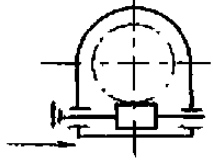
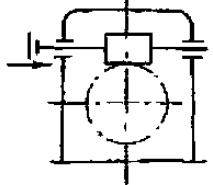
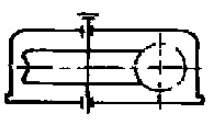
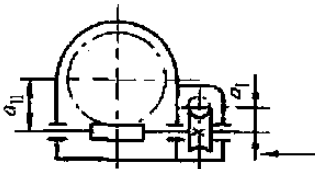
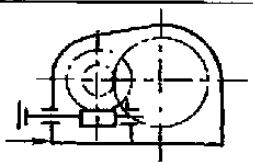
HANDBOOK

第 1 章 减速器设计一般资料

1 常用减速器的分类、型式及其应用范围

表 16-1-1

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用	
圆柱齿轮减速器	单级		调质齿轮 $i \leq 7.1$ 淬硬齿轮 $i \leq 6.3$ (较好 $i \leq 5.6$)	轮齿可制成直齿、斜齿和人字齿。传动轴线平行。结构简单,精度容易保证。应用较广。直齿一般用在圆周速度 $v \leq 8\text{m/s}$ 、轻载荷场合;斜齿、人字齿用在圆周速度 $v = 25 \sim 50\text{m/s}$ 、重载场合,也用于重载低速	
	两级	展开式		调质齿轮 $i = 7.1 \sim 50$ 淬硬齿轮 $i = 7.1 \sim 31.5$ (较好 $i = 6.3 \sim 20$)	是两级减速器中最简单的一种。齿轮相对于轴承位置不对称,当轴产生弯曲变形时,载荷在齿宽上分布不均匀,因此,轴应设计得具有较大的刚度,并尽量使高速级齿轮远离输入端。高速级可制成斜齿,低速级可制成直齿。相对于分流式讲,用于载荷较平稳的场合
		分流式		$i = 7.1 \sim 50$	与展开式相比,齿轮与轴承对称布置,因此载荷沿齿宽分布均匀,轴承受载也平均分配,中间轴危险截面上的转矩相当于轴所传递转矩之半 图 a 高速级采用人字齿,低速级可制成人字齿或直齿。结构较复杂,用于变载荷场合 图 b 高速级采用人字齿,低速级采用两对斜齿,但转矩较大的低速级其载荷分布不如图 a 的均匀,因此不宜在变载荷下工作。使用不多
		同轴式		调质齿轮 $i = 7.1 \sim 50$ 淬硬齿轮 $i = 7.1 \sim 31.5$	箱体长度较小,当速比分配适当时,两对齿轮浸入油中深度大致相同。减速器轴向尺寸和重量较大,高速级齿轮的承载能力难于充分利用。中间轴承润滑困难。中间轴较长,刚性差,载荷沿齿宽分布不均匀。由于两伸出轴在同一轴线上,在很多场合能使设备布置更为方便
		同轴分流式		$i = 7.1 \sim 50$	啮合轮齿仅传递全部载荷的一半,输入和输出轴只受转矩。中间轴只受全部载荷的一半,故与传递同样功率的其他减速器相比,轴径尺寸可缩小
	三级	展开式		调质齿轮 $i = 28 \sim 315$ 淬硬齿轮 $i = 28 \sim 180$ (较好 $i = 22.5 \sim 100$)	同两级展开式
		分流式		$i = 28 \sim 315$	同两级分流式

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用
圆锥、圆锥-圆柱齿轮减速器	单级		直齿轮 $i \leq 5$ 曲线齿轮、斜齿轮 $i \leq 8$ (淬硬齿轮 $i \leq 5$ 较好)	轮齿可制成直齿、斜齿、螺旋齿。两轴线垂直相交或成一定角度相交。制造安装较复杂,成本高,所以仅在设备布置上必要时才应用
	两级		直齿轮 $i = 6.3 \sim 31.5$ 曲线齿轮、斜齿轮 $i = 8 \sim 40$ (淬硬齿轮 $i = 5 \sim 16$ 较好)	圆锥-圆柱齿轮减速器特点同单级圆锥齿轮减速器。圆锥齿轮应在高速级,使齿轮尺寸不宜太大,否则加工困难。圆柱齿轮可制成直齿或斜齿
	三级		$i = 35.5 \sim 160$ (淬硬齿轮 $i = 18 \sim 90$ 较好)	同两级圆锥-圆柱齿轮减速器
蜗杆、齿轮、蜗杆减速器	单级	蜗杆下置式 	$i = 8 \sim 80$, 传递功率较大时 $i \leq 30$	蜗杆在蜗轮下边,啮合处冷却和润滑都较好,蜗杆轴承润滑也方便,但当蜗杆圆周速度太大时,搅油损耗较大。一般用于蜗杆圆周速度 $v < 5\text{m/s}$
		蜗杆上置式 		蜗杆在蜗轮上边,装卸方便,蜗杆圆周速度可高些,而且金属屑等杂物掉入啮合处机会少。当蜗杆圆周速度 $v > 4 \sim 5\text{m/s}$ 时,最好采用此型式
		蜗杆侧置式 		蜗杆在旁边,且蜗轮轴是垂直的,一般用于水平旋转机构的传动(如旋转起重机)
	两级	蜗杆-蜗杆 	$i = 43 \sim 3600$	传动比大,结构紧凑,但效率较低。为使高速级和低速级传动浸入油中深度大致相等,应使高速级中心距 a_1 约为低速级中心距 a_2 的 $1/2$ 左右
		齿轮-蜗杆 	$i = 15 \sim 480$	有齿轮传动在高速级和蜗轮传动在高速级两种型式。前者结构紧凑,后者效率较高

续表

类别	级数	传动简图	推荐传动比范围	特点及应用
行星齿轮减速器	单级		$i = 2 \sim 12$	<p>传动效率可以很高,单级达 96% - 99%; 传动比范围宽; 传动功率从 12W 至 50000kW; 承载能力大; 工作平稳; 体积和重量比普通齿轮、蜗杆减速器小得多。结构较复杂, 制造精度较高, 广泛用于要求结构紧凑的动力传动中</p>
	两级		$i = 25 \sim 2500$	
	三级		$i = 100 \sim 1000$	
摆线针轮减速器	单级		$i = 11 \sim 87$	<p>传动比大; 传动效率较高; 结构紧凑, 相对体积小, 重量轻; 通用于中、小功率, 适用性广, 运转平稳, 噪声低。结构复杂, 制造精度较高, 广泛用于动力传动中</p>
	两级		$i = 121 \sim 7569$	
谐波齿轮减速器	单级		$i = 50 \sim 500$ 刚轮固定	<p>传动比大, 范围宽; 在相同条件下可比一般齿轮减速器的元件少一半, 体积和重量可减少 20% - 50%; 承载能力大; 运动精度高; 可采用调整波发生器达到无侧隙啮合; 运转平稳, 噪声低; 可通过密封壁传递运动; 传动效率高且传动比大时, 效率并不显著下降。主要零件柔轮的制造工艺较复杂。主要用于小功率、大传动比或仪表及控制系统中</p>
			$i = 50 \sim 500$ 柔轮固定	
三环减速器	单级 或组合多级		<p>单级 $i = 11 \sim 99$ 两级 $i_{max} = 9801$</p>	<p>结构紧凑、体积小、重量轻; 传动比大; 效率高, 单级为 92% - 98%; 噪声低, 过载能力强; 承载能力高, 输出转矩高达 400kN·m; 不用输出机构, 轴承直径不受空间限制, 使用寿命长; 零件种类少, 齿轮精度要求不高, 无特殊材料且不采用特殊加工方法就能制造, 造价低、适应性强、派生系列多</p>

2 圆柱齿轮减速器标准中心距 (摘自 GB/T 10090—1988)

表 16-1-2

单级减速器和两级同轴式减速器														mm
63	(67)	71	(75)	80	(85)	90	(95)	100	(106)	112	(118)	125	(132)	140
(150)	160	(170)	180	(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)	315	(335)
355	(375)	400	(425)	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630	(670)	710	(750)	800
(850)	900	(950)	1000	(1060)	1120	(1180)	1250	(1320)	1400	(1500)				

两级减速器

低速级 a_{II}	100	(106)	112	(118)	125	(132)	140	(150)	160	(170)	180	(190)	200
高速级 a_I	71	(75)	80	(85)	90	(95)	100	(106)	112	(118)	125	(132)	140
总中心距 a	171	(181)	192	(203)	215	(227)	240	(256)	272	(288)	305	(322)	340
低速级 a_{II}	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)	315	(335)	355	(375)	400	(425)
高速级 a_I	(150)	160	(170)	180	(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)
总中心距 a	(362)	384	(406)	430	(455)	480	(512)	539	(571)	605	(640)	680	(725)
低速级 a_{II}	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630	(670)	710	(750)	800	(850)	900
高速级 a_I	315	(335)	355	(375)	400	(425)	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630
总中心距 a	765	(810)	855	(905)	960	(1025)	1080	(1145)	1210	(1280)	1360	(1450)	1530
低速级 a_{II}	(950)	1000	(1060)	1120	(1180)	1250	(1320)	1400					
高速级 a_I	(670)	710	(750)	800	(850)	900	(950)	1000					
总中心距 a	(1620)	1710	(1810)	1920	(2030)	2150	(2270)	2400					

三级减速器

低速级 a_{III}	140	(150)	160	(170)	180	(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	
中速级 a_{II}	100	(106)	112	(118)	125	(132)	140	(150)	160	(170)	180	(190)	
高速级 a_I	71	(75)	80	(85)	90	(95)	100	(106)	112	(118)	125	(132)	
总中心距 a	311	(331)	352	(373)	395	(417)	440	(468)	496	(524)	555	(587)	
低速级 a_{III}	280	(300)	315	(335)	355	(375)	400	(425)	450	(475)	500	(530)	
中速级 a_{II}	200	(212)	224	(236)	250	(265)	280	(300)	315	(335)	355	(375)	
高速级 a_I	140	(150)	160	(170)	180	(190)	200	(212)	224	(236)	250	(265)	
总中心距 a	620	(662)	699	(741)	785	(830)	880	(937)	989	(1046)	1105	(1170)	
低速级 a_{III}	560	(600)	630	(670)	710	(750)	800	(850)	900	(950)	1000	(1060)	
中速级 a_{II}	400	(425)	450	(475)	500	(530)	560	(600)	630	(670)	710	(750)	
高速级 a_I	280	(300)	315	(335)	355	(375)	400	(425)	450	(475)	500	(530)	
总中心距 a	1240	(1325)	1395	(1480)	1565	(1655)	1760	(1875)	1980	(2095)	2210	(2340)	
低速级 a_{III}	1120	(1180)	1250	(1320)	1400								
中速级 a_{II}	800	(850)	900	(950)	1000								
高速级 a_I	560	(600)	630	(670)	710								
总中心距 a	2480	(2630)	2780	(2940)	3110								

注：无括号的数值为第1系列，括号中数值为第2系列，应优先选用第1系列。

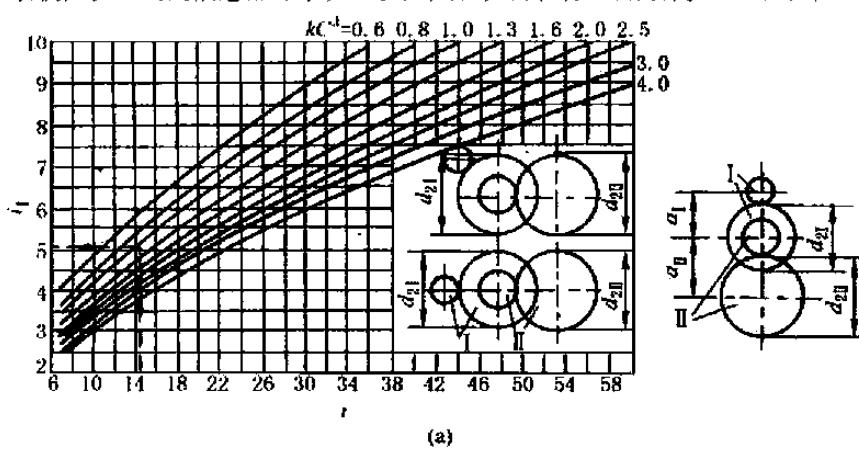
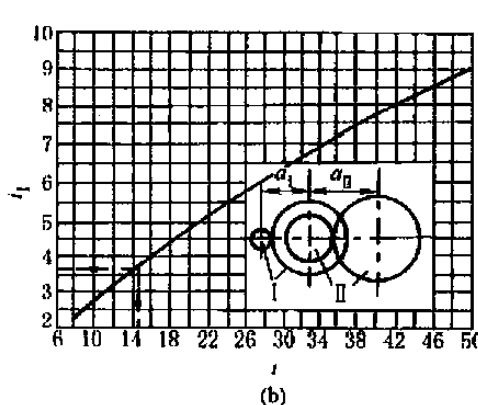
3 减速器传动比的分配及计算

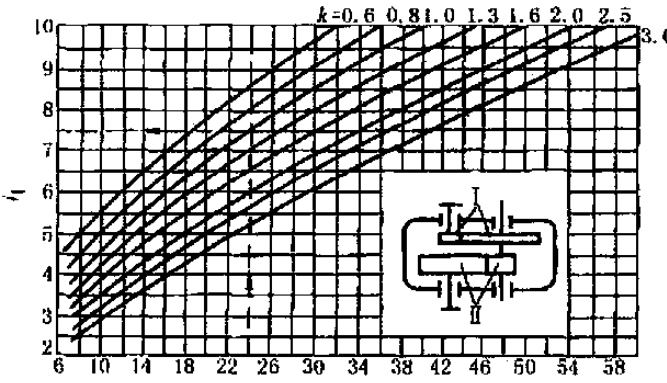
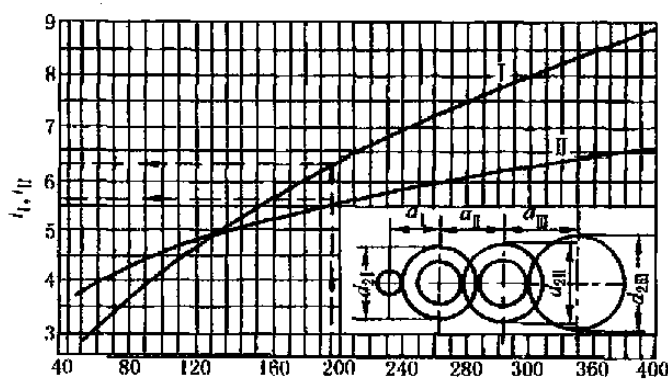
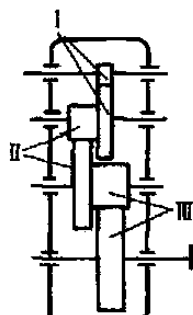
分配原则：使各级传动的承载能力大致相等（齿面接触强度大致相等）；使减速器能获得最小外形尺寸和重量；使各级传动中大齿轮的浸油深度大致相等，润滑最为简便。

根据此原则，不同类型减速器传动比的分配见表 16-1-3。

表 16-1-3

传动比分配计算

减速器类型	计算公式	说明
圆柱齿轮减速器 展开式与分流式	<p>① 按齿面接触强度相等、减速器具有最小的外形尺寸和较有利的润滑条件的原则,总传动比 i 与高速级传动比 i_1 由下式计算或按图 a 确定</p> $kC^3 \frac{(i_1 + 1)i_1^4}{(i + i_1)^2} = 1$ <p>式中</p> $k = \frac{\varphi_{d2}}{\varphi_{d1}} \times \frac{\sigma_{Hlim II}^2}{\sigma_{Hlim I}^2}; C = \frac{d_{2II}}{d_{2I}}$ <p>(一般取 $C = 1 \sim 1.3$; $C > 1$, 高速级大齿轮不接触油面, 则可减少润滑油的搅动损失; $C = 1$, 则减速器的外形尺寸最小, 两大齿轮将以相同深度浸入油池)</p>  <p>(a)</p>	<p>i——总传动比 i_1——高速级传动比 i_{II}——低速级传动比 $\varphi_{d1}, \varphi_{d2}$——高、低速级齿宽系数(减速器具有最小外形时), $\varphi_d = \frac{b}{d_1}$ d_1——小齿轮直径 $\varphi_{d1}, \varphi_{d2}$——高、低速级齿宽系数(减速器具有标准中心距时), $\varphi_d = \frac{b}{a}$ b——齿宽 a——中心距 $\sigma_{Hlim I}, \sigma_{Hlim II}$——高、低速级齿轮的接触疲劳极限 d_{2I}, d_{2II}——高、低速级大齿轮分度圆直径</p>
	<p>② 按齿面接触强度相等、减速器具有标准中心距系列时, 减速器传动比的分配按下列公式计算</p> $i_1 = \frac{i - \frac{a_{II} \sqrt[3]{k}}{a_I}}{\frac{a_{II} \sqrt[3]{k}}{a_I} - 1}$ <p>式中</p> $k = \frac{\varphi_{d2}}{\varphi_{d1}} \times \frac{\sigma_{Hlim II}^2}{\sigma_{Hlim I}^2}$ <p>推荐 $\frac{a_{II}}{a_I} = 1.56 \sim 1.6$; 当 $\frac{a_{II}}{a_I} = 1.58, k = 1$ 时, 传动比分配可由图 b 查得</p>  <p>(b)</p>	
	<p>③ 按齿面接触强度相等, 并具有最小传动中心距 a_{min} 时, 减速器传动比的分配按下式计算</p> $i_{II} = 2 \frac{\sqrt[3]{i^2 + i^3 k}}{\sqrt[3]{i^2} + \sqrt[3]{k}}$ <p>式中</p> $k = \frac{\varphi_{d2}}{\varphi_{d1}} \times \frac{\sigma_{Hlim II}^2}{\sigma_{Hlim I}^2}$	

减速器类型	计算公式	说明
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">圆柱齿轮减速器</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">两级 同轴式</p>	<p>① 要求齿面接触强度相等总传动比 i 与高速级传动比 i_1 按下式计算或按图选取</p> $k \left(\frac{i_1 + 1}{i + i_1} \right)^4 i i_1 = 1$ <p>式中</p> $k = \frac{\varphi_{a2}}{\varphi_{a1}} \times \frac{\sigma_{Hlim II}^2}{\sigma_{Hlim I}^2}$  <p>② 要求高、低速级的大齿轮浸入油中深度大致相近时, 则推荐按下式计算</p> $i_1 = \sqrt{i} - (0.01 \sim 0.05) i$	<p>i——总传动比 i_1——高速级传动比 i_{II}——中速级传动比 i_{III}——低速级传动比</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">三级</p>	<p>按等强度条件, 并获得较小的外形尺寸和重量时, 传动比分配可按图选取</p>   <p>例 试分配 $i = 196$ 的三级圆柱齿轮减速器的传动比。由图查得 $i_1 = 6.3, i_{II} = 5.6$, 则低速级传动比 i_{III} 为</p> $i_{III} = \frac{i}{i_1 i_{II}} = \frac{196}{6.3 \times 5.6} = 5.56$	

续表

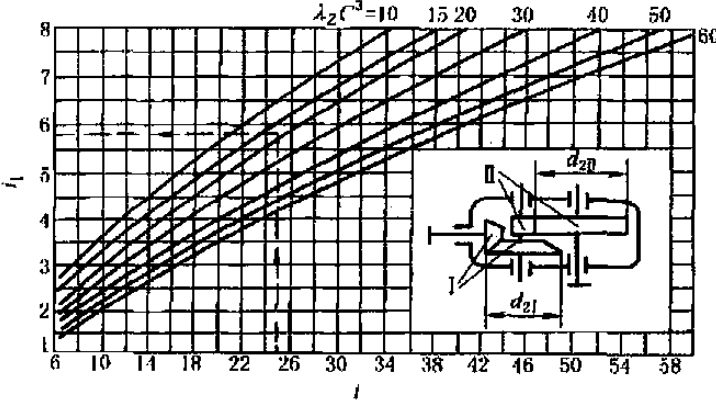
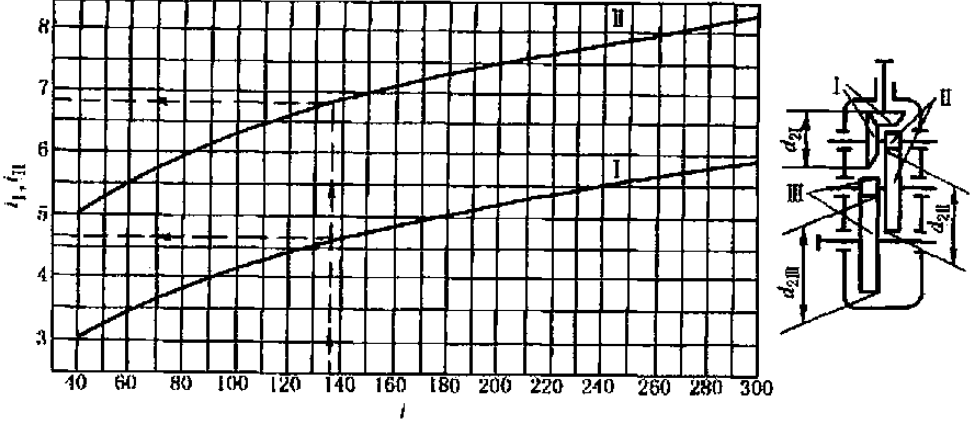
减速器类型	计算公式	说明
圆锥、圆柱齿轮减速器 两级	<p>① 按等强度条件,并获得最小的外形尺寸,传动比分配按下式计算或按图选取</p> $\lambda_z C^3 \frac{i_1^4}{i^2(i+i_1)} = 1$ <p>式中</p> $\lambda_z = \frac{2.25 \varphi_a \sigma_{Hlim II}^2}{(1-\varphi_R) \varphi_R \sigma_{Hlim I}^2} \quad (\lambda_z \text{ 值必须给定})$ $C = \frac{d_{2II}}{d_{2I}} \quad (\text{一般取 } C=1 \sim 1.4, \text{为使减速器尺寸最小,取 } C=1 \sim 1.1)$  <p>② 为了避免圆锥齿轮过大,制造困难,推荐 $i_1 \approx 0.25i$, 且 $i_1 \leq 3$; 当要求浸入油池中的深度相近时,可取 $i_1 \approx 3.5 \sim 4$</p>	<p>φ_a——圆柱齿轮齿宽系数, $\varphi_a = \frac{b}{a}$</p> <p>φ_R——圆锥齿轮齿宽系数, $\varphi_R = \frac{b}{R}$</p> <p>b——齿宽</p> <p>R——锥距</p> <p>d_{2I}, d_{2II}——圆锥、圆柱齿轮副中大齿轮直径</p>
	三级	<p>按等强度条件,并获得最小外形尺寸和重量,传动比分配可按图选取</p>  <p>例 分配 $i=135$ 减速器的传动比。由图 $i_I = 4.6, i_{II} = 6.8$, 则</p> $i_{III} = \frac{i}{i_I i_{II}} = \frac{135}{4.6 \times 6.8} = 4.32$
蜗杆减速器	<p>两级</p> <p>为满足两级中心距符合 $a_1 = \frac{a_{II}}{2}$ 的关系,通常取</p> $i_I = i_{II} = \sqrt{i}$	
齿轮-蜗杆减速器	<p>两级</p> <p>因齿轮传动布置在高速级,为获得紧凑的箱体结构和便于润滑,通常取齿轮传动比 $i_I \leq 2 \sim 2.5$,如要求 $i_I > 2.5$ 时,则齿轮副应采用淬硬齿轮, $i_{II} = 8 \sim 80$</p>	
蜗杆-齿轮减速器	<p>两级</p> <p>因齿轮传动布置在低速级,为使蜗杆传动有较高的效率,应取</p> $i_{II} = (0.03 \sim 0.06) i$	

表 16-1-4

公称传动比 (摘自 GB 10090—1988)

单级减速器	1.25	1.4	1.6	1.8	2	2.24	2.5	2.8	3.15	3.55	4	4.5
	5	5.6	6.3	7.1								
两级减速器	6.3	7.1	8	9	10	11.2	12.5	14	16	18	20	22.4
	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56				
三级减速器	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56	63	71	80
	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315

注: 减速器的实际传动比与公称传动比的相对偏差 Δi , 单级减速器 $|\Delta i| \leq 3\%$, 两级减速器 $|\Delta i| \leq 4\%$, 三级减速器 $|\Delta i| \leq 5\%$ 。

4 减速器的结构尺寸

4.1 减速器的基本结构

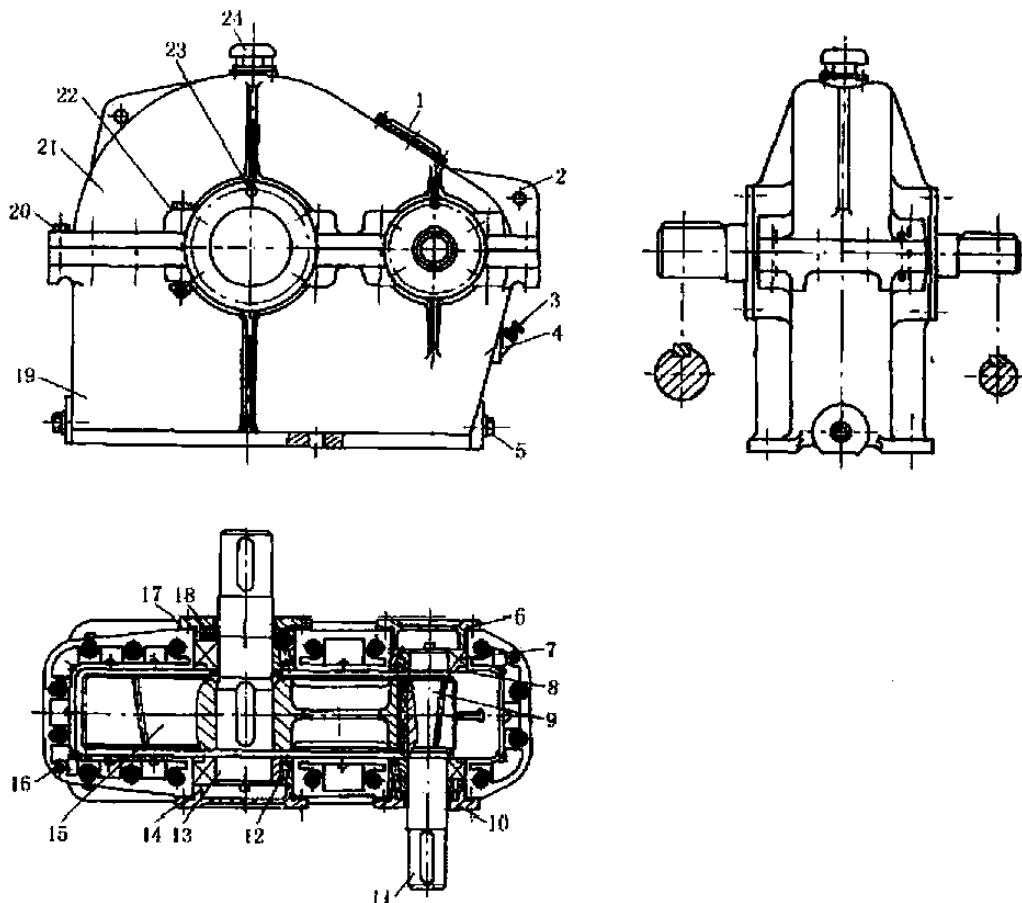
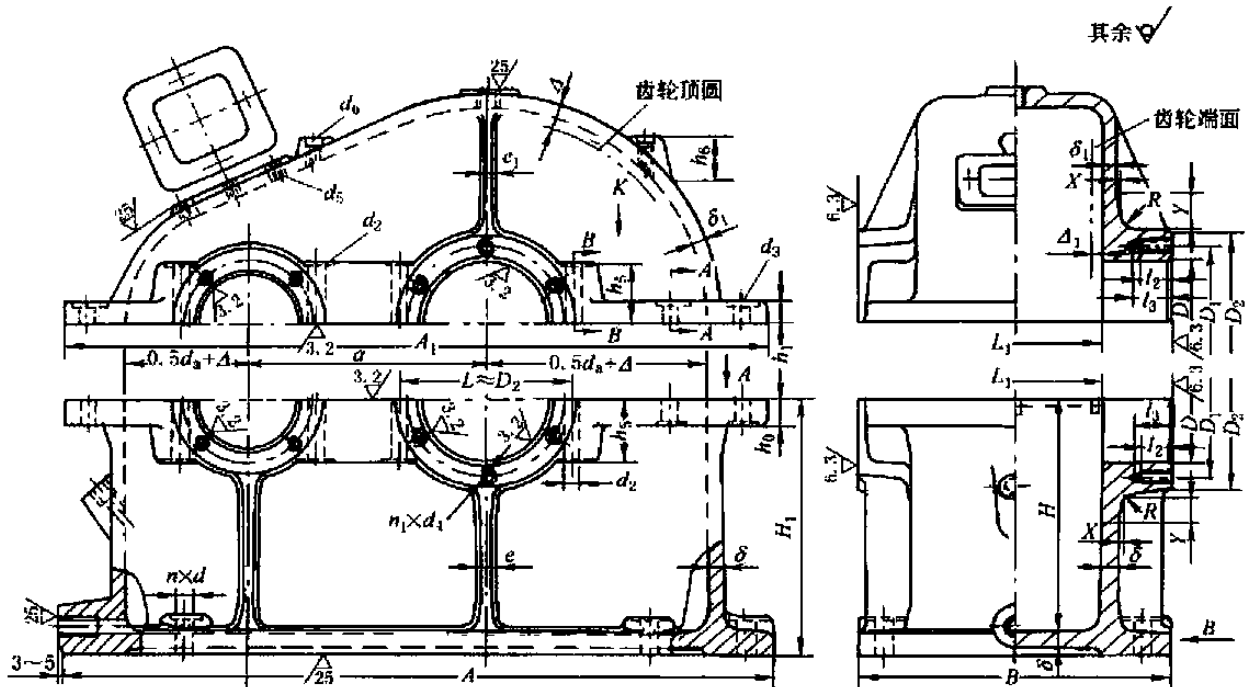


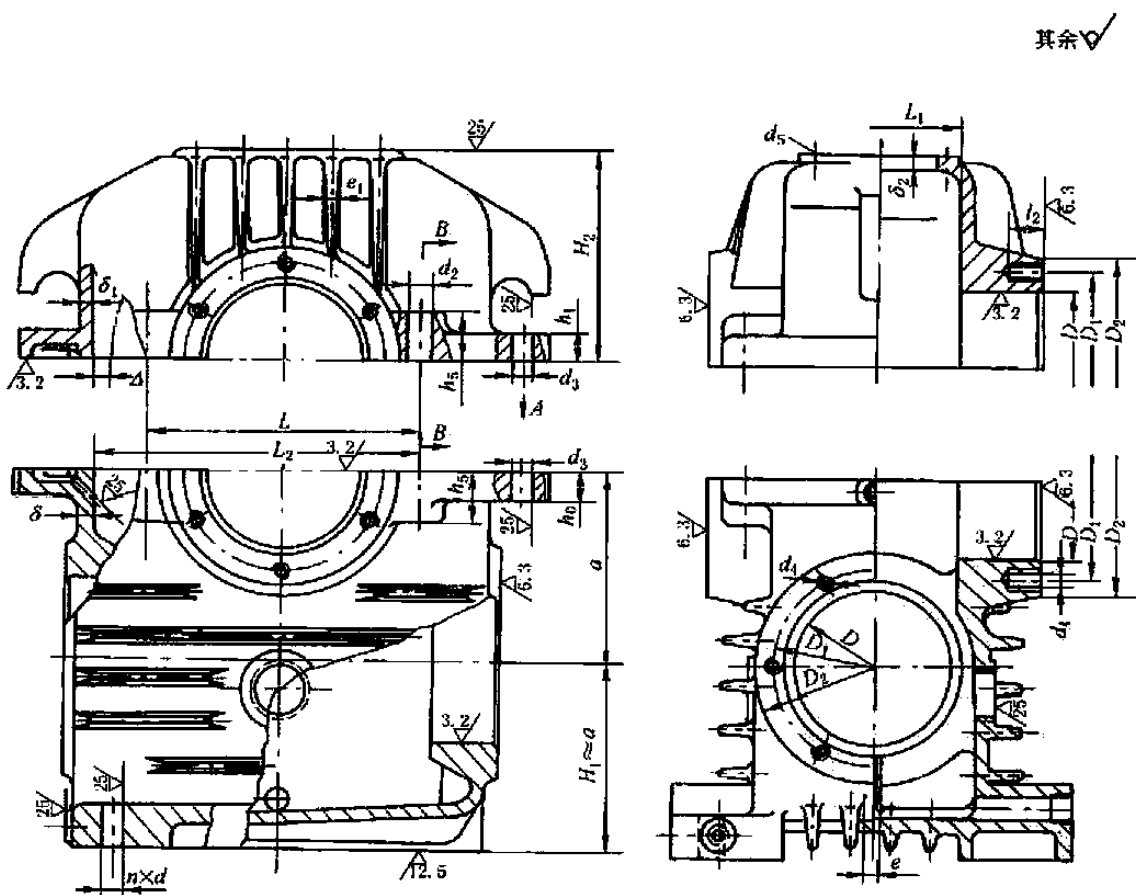
图 16-1-1 减速器的结构

- 1—视孔盖; 2—吊环; 3—油尺; 4—油尺套; 5—螺塞; 6, 10, 14, 17—端盖;
 7, 12—轴承; 8—挡油环; 9—高速级齿轮; 11—高速轴; 13—低速轴;
 15—低速级齿轮; 16—定位销; 18—甩油盘; 19—底座;
 20—底座与箱盖连接螺栓; 21—箱盖; 22—轴承座连接螺栓;
 23—轴承盖螺钉; 24—通气罩

4.2 齿轮减速器、蜗杆减速器箱体尺寸



齿轮减速器



蜗杆减速器

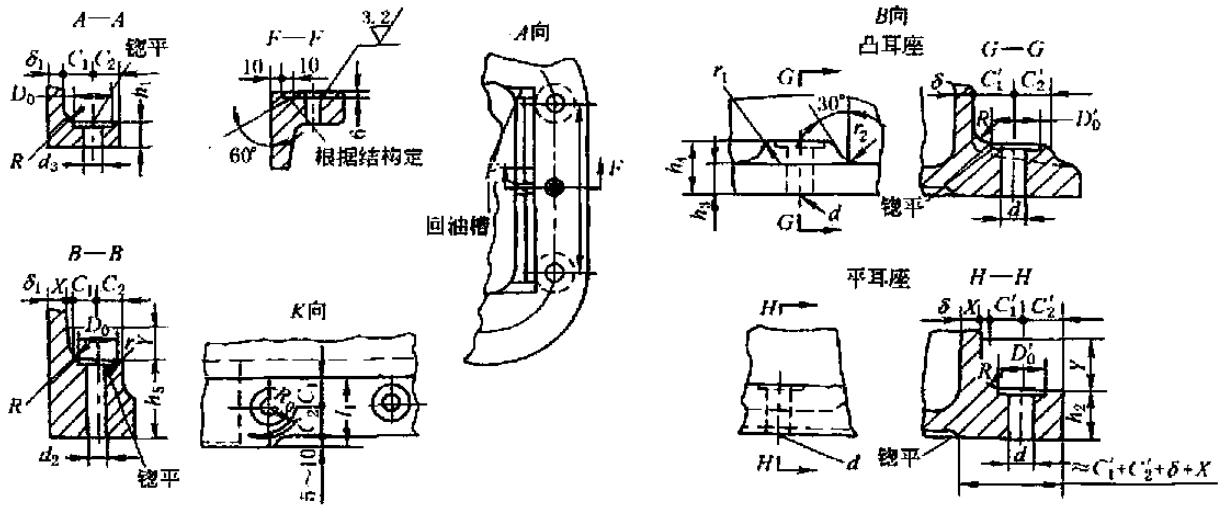


表 16-1-5

名称	尺寸/mm										
	齿轮减速器箱体	蜗杆减速器箱体									
底座壁厚 δ	<table border="1"> <tr> <td>级数</td> <td>1</td> <td>$0.025a + 1 \geq 7.5$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>$0.025a + 3 \geq 8$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>$0.025a + 5$</td> </tr> </table>	级数	1	$0.025a + 1 \geq 7.5$		2	$0.025a + 3 \geq 8$		3	$0.025a + 5$	$0.04a + (2-3) \geq 8$ a 值对圆柱齿轮传动为低速级中心距; 对圆锥齿轮传动为大小齿轮平均节圆半径之和;对蜗轮为中心距
级数	1	$0.025a + 1 \geq 7.5$									
	2	$0.025a + 3 \geq 8$									
	3	$0.025a + 5$									
箱盖壁厚 δ_1	$(0.8 - 0.85)\delta \geq 8$	蜗杆上置式 $\delta_1 = \delta$ 蜗杆下置式 $(0.8 - 0.85)\delta \geq 8$									
底座上部凸缘厚度 h_0	$(1.5 - 1.75)\delta$										
箱盖凸缘厚度 h_1	$(1.5 - 1.75)\delta_1$	$(1.5 - 1.75)\delta$									
底座下部凸缘厚度 h_2, h_3, h_4	平耳座	$(2.25 - 2.75)\delta$									
	凸耳座	1.5δ $(1.75 - 2)h_3$									
轴承座连接螺栓凸缘厚度 h_5	$(3 - 4)d_2$ 根据结构确定										
吊环螺栓座凸缘高度 h_6	吊环螺栓孔深 + (10 - 15)										
底座加强筋厚度 e	$(0.8 - 1)\delta$										
箱盖加强筋厚度 e_1	$(0.8 - 0.85)\delta_1$	$(0.8 - 0.85)\delta$									
地脚螺栓直径 d	$(1.5 - 2)\delta$ 或按表 16-1-9 选取										
地脚螺栓数目 n	按表 16-1-9 选取										
轴承座连接螺栓直径 d_2	0.75d										
底座与箱盖连接螺栓直径 d_3	$(0.5 - 0.6)d$										
轴承盖固定螺栓直径 d_4	按表 16-1-10 选取										
视孔盖固定螺栓直径 d_5	$(0.3 - 0.4)d$										
吊环螺栓直径 d_6	0.8d 或按减速器重量确定										
轴承盖螺栓分布圆直径 D_1	$D + 2.5d_4$ 或按表 16-1-10 选取										
轴承座凸缘端面直径 D_2	$D_1 + 2.5d_4$ 或按表 16-1-10 选取										
螺栓孔凸缘的配置尺寸 C_1, C_2, r, D_0	按表 16-1-6 选取										
地脚螺栓孔凸缘的配置尺寸 C_1', C_2', D_0'	按表 16-1-7 选取										
铸造壁相交部分的尺寸 X, Y, R	按表 16-1-8 选取										
箱体内壁和齿顶的间隙 Δ	$\geq 1.2\delta$										
箱体内壁与齿轮端面的间隙 Δ_1	最小值一般可取为 10 - 15										
底座深度 H	$0.5d_2 + (30 - 50)$ (d_2 为齿顶圆直径)										
底座高度 H_1	$H_1 = a$, 多级减速器 $H_1 = a_{max}$										
箱盖高度 H_2	$\geq \frac{d_2}{2} + \Delta + \delta_2$ (d_{a2} 为蜗轮最大直径)										

续表

名称	尺寸/mm	
	齿轮减速器箱体	蜗杆减速器箱体
箱盖和箱盖凸缘宽度 l_1	$C_1 + C_2 + (5 \sim 10)$	
轴承盖固定螺栓孔深度 l_2, l_3	查表 5-1-46	
轴承座连接螺栓间的距离 L	$L = D_2$	
箱体内壁横向宽度 L_1	按结构确定	$L_1 = D$
其他圆角 R_0, r_1, r_2	$R_0 = C_2, r_1 = 0.25h_3, r_2 = h_3$	

注：1. 箱体材料为灰铸铁。

2. 对于焊接的减速器箱体，其参数可参考本表，但壁厚可减少 30% - 40%。

3. 本表所列尺寸关系同样适合于带有散热片的蜗杆减速器。散热片的尺寸按下列经验公式确定

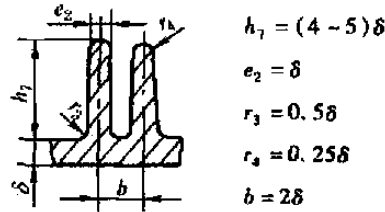


表 16-1-6

凸缘螺栓的配置尺寸

mm

代号	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M22 M24	M27	M30
C_{1min}	12	15	18	22	26	30	36	40	42
C_{2min}	10	13	14	18	21	26	30	34	36
D_0	15	20	25	30	40	45	48	55	60
r_{max}	3	3	4	4	5	5	8	8	8

表 16-1-7

底座凸缘螺栓的配置尺寸

mm

代号	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
C'_{1min}	25	30	35	50	55	60	70	95
C'_{2min}	22	25	30	50	58	60	70	95
D'_0	45	48	60	85	100	110	130	170

表 16-1-8

铸件交接处尺寸

mm

壁厚 δ	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35
X	3	4	5	6	7
Y	15	20	25	30	35
R	5	5	5	8	≥ 8

注：表中所列过渡处的尺寸适用于 $h = (2 \sim 3)\delta$ 。当 $h > 3\delta$ 时，应加大表中数值；当 $h < 2\delta$ 时，过渡处的尺寸由设计者自行考虑。

表 16-1-9

地脚螺栓尺寸

mm

单 级			两 级			三 级		
中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n	总中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n	总中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n
100	M16	4	250	M20	6	500	M20	8
150	M16	6	350	M20	6	650	M24	8

单 级			两 级			三 级		
中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n	总中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n	总中心距 a	螺栓直径 d	螺栓数目 n
200	M16	6	425	M20	6	750	M24	10
250	M20	6	500	M24	8	825	M30	10
300	M24	6	600	M24	8	950	M30	10
350	M24	6	650	M30	8	1100	M36	10
400	M30	6	750	M30	8	1250	M36	10
450	M30	6	850	M36	8	1450	M42	10
500	M36	6	1000	M36	8	1650	M42	10
600	M36	6	1150	M42	8	1900	M48	10
700	M42	6	1300	M42	8	2150	M48	10
800	M42	6	1500	M48	10			
900	M48	6	1700	M48	10			
1000	M48	6	2000	M56	10			

表 16-1-10

轴承座凸缘端面尺寸

mm

代 号	尺 寸																		
	47	52	62	72	80	85	90	100	110	120	125	130	140	150	160	170	180	190	200
D	47	52	62	72	80	85	90	100	110	120	125	130	140	150	160	170	180	190	200
D_1	68	72	85	95	105	110	115	125	140	150	155	160	170	185	195	205	215	225	235
D_2	85	90	105	115	125	130	135	145	165	175	180	185	200	215	230	240	255	265	275
d_4	M8	M8	M8	M10	M10	M10	M10	M10	M12	M12	M12	M12	M12	M16	M16	M16	M16	M16	M16
d_4 数目 n_1	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

4.3 减速器附件

表 16-1-11

减速器附件及其用途

名 称	用 途	
油标和油尺	油标可随时方便地观察油面高度。油标有圆形、长形、管状,均有国家标准(见第3卷第10篇)。油尺构造简单,但在工作时不能随时观察油面高度,不如油标方便	
透气塞和通气罩	减速器工作时温度升高,使箱内空气膨胀,为防止箱体的剖分面和轴的密封处漏油,必须使箱内热空气能由透气塞或通气罩排出箱外,相反也可使冷空气进入箱内。透气塞一般适用于小尺寸及发热较小的减速器,并且环境比较干净。通气罩一般用于较大型的减速器	
螺塞	螺塞用于底座下部放油孔。此油孔专为排放减速器内润滑油用(螺塞尺寸见表16-1-15)	
视孔	为检查齿轮啮合情况及向箱内注入润滑油之用,所以位置应在两齿轮啮合处的上方。平时视孔用视孔盖盖严	
甩油盘和甩油环	起密封作用。防止轴承中的油从轴孔泄漏。设置在低速轴上为甩油盘,在高速轴上为甩油环	
挡油环	为防止过多的润滑油(由轴承附近的斜齿小齿轮啮合时排挤出来的多余油)流入高速轴轴承中,以免因轴承中油过量而从轴孔泄漏。对油脂润滑轴承,可防止油脂向机体内泄漏及机体内润滑油进入轴承内将油脂带走	
润滑附件	油嘴	在润滑油压力循环系统中,用油嘴将油喷向齿轮的啮合处。油嘴的结构应能使油沿齿宽均匀地分配(油嘴尺寸见表16-1-14)
	惰轮和油环	在多级和混合式的减速器中,有时不能做到所有的齿轮都浸入油中,在这种情况下,可采用辅助的惰轮或油环来润滑

油尺和油尺套

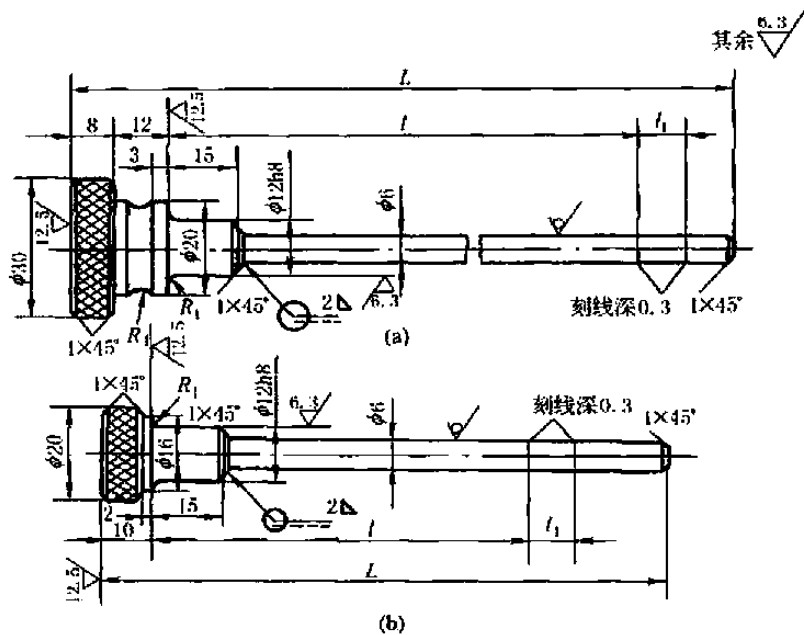


图 16-1-2 油尺

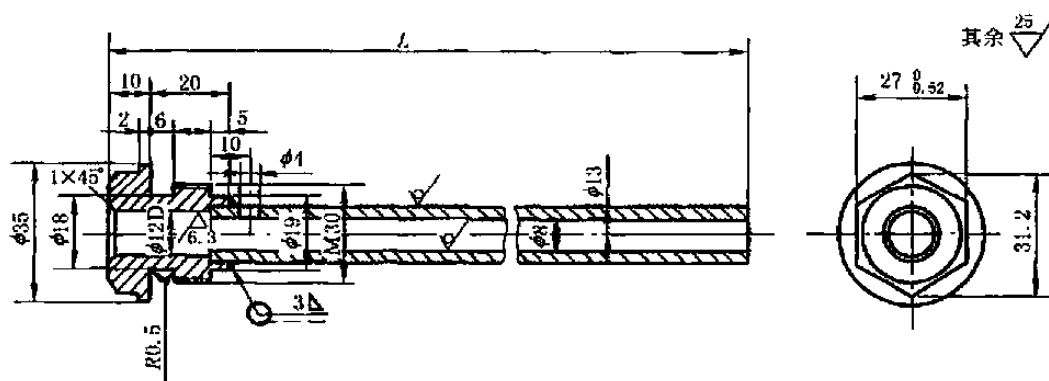


图 16-1-3 油尺套

注：1. 长度由设计者根据结构决定。
2. 材料为 Q235A · F。

表 16-1-12

透气塞

mm

	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>d</i> ₁	<i>a</i>	<i>S</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>d</i> ₁	<i>a</i>	<i>S</i>
	M10 × 1	13	16	8	3	2	14	M27 × 2	38	34	18	7	4	27
M12 × 1.25	16	19	10	4	2	17	M30 × 2	42	36	18	8	4	32	
M16 × 1.5	22	23	12	5	2	22	M33 × 2	45	38	20	8	4	32	
M20 × 1.5	30	28	15	6	4	22	M36 × 3	50	46	25	8	5	36	
M22 × 1.5	32	29	15	7	4	22								

注：材料为 Q235A · F。

通气罩

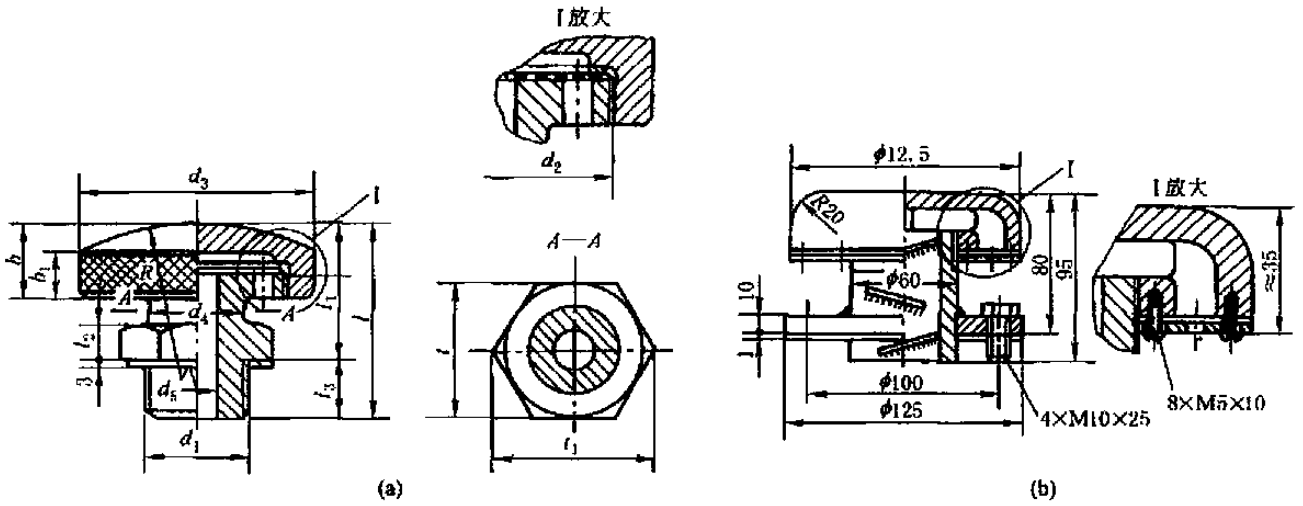
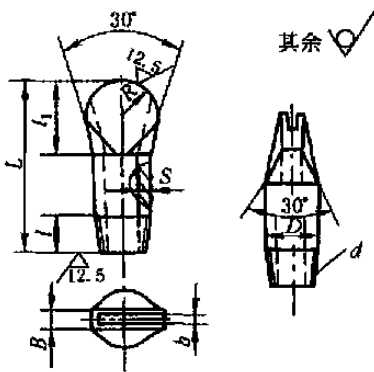


表 16-1-13

型式	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l	l_1	l_2	l_3	b	b_1	t_1	t	R	质量/kg
图 a	M24	M48 × 1.5	55	22	12	55	40	8	15	20	16	41.6	36	85	0.45
	M36	M64 × 2	75	30	20	60	40	12	20	20	16	57.7	50	160	0.9
图 b	尺寸见图														2.6

表 16-1-14

扁槽油嘴



标记示例:扁槽油嘴 DN8

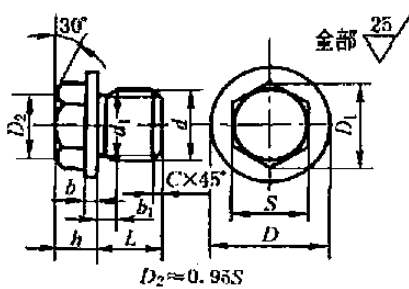
公称直径 DN	d	尺寸/mm								质量 /kg
		L	l_1	l	D	S	B	b	R	
8	R1/4"	60	22	13	14	2.5	5	0.4	10	0.04
10	R3/8"	60	25	14	18	2.5	5	0.5	12	0.06
15	R1/2"	90	33	17.5	22	2.5	5	0.7	18	0.10
20	R3/4"	90	40	19.5	28	3	6	0.8	22	0.17
25	R1"	90	50	22	34	3	6	1	28	0.25

注:材料为无缝钢管 20。

表 16-1-15

螺塞

mm



$D_2 \approx 0.95S$

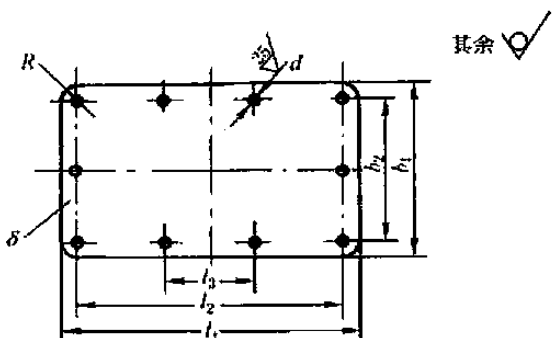
材料: Q235A · F

d	D	D_1	S		h	L	b	b_1	C	d_1	质量 /kg
			公称 尺寸	允差							
G1/2"	30	25.4	22	-0.52	13	15	4	4	0.5	18	0.086
G1"	45	36.9	32	-1.0	17	20	4	5	1.5	29.5	0.272
G1 1/4"	55	47.3	41	-1.0	23	25	5	5	1.5	38	0.553
G1 3/4"	68	57.7	50	-1.0	27	30	5	5	1.5	50	1.013

表 16-1-16

视孔盖

mm



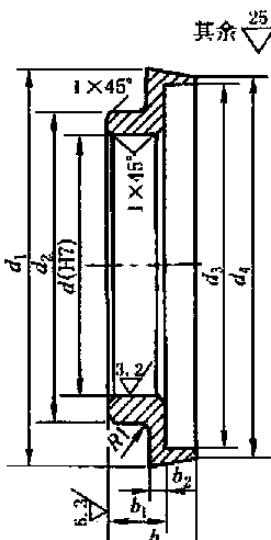
	l_1	l_2	l_3	b_1	b_2	d		δ	R	质量 /kg
						直径	孔数			
	90	75	—	70	55	7	4	4	5	0.2
	120	105	—	90	75	7	4	4	5	0.34
	140	125	—	120	105	7	8	4	5	0.53
	180	165	—	140	125	7	8	4	5	0.79
	200	180	—	180	160	11	8	4	10	1.13
	220	190	—	160	130	11	8	4	15	1.1
	220	200	—	200	180	11	8	4	10	1.38
	270	240	—	180	150	11	8	6	15	2.2
	270	240	—	220	190	11	8	6	15	2.8
	350	320	—	220	190	11	8	10	15	6
	420	390	130	260	230	13	10	10	15	8.6
	500	460	150	300	260	13	10	10	20	11.8

材料: Q235A · F

表 16-1-17

甩油盘

mm



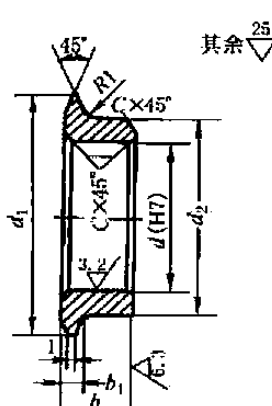
	d	d_1	d_2	d_3	d_4	δ	b_1	b_2	质量 /kg
	45	82	55	70	74	32	18	5	0.26
	60	105	72	90	92	42	2	7	0.63
	75	130	90	115	118	38	25		0.86
	95	142	115	135	138	30	15	5	0.65
	110	160	125	150	155	32	18		0.96
	120	180	135	165	170	38	24	7	1.4
	140	210	155	190	195		22		20
	150	225	168	215	220	35	20		
	180	275	200	240	245	40	25	7	3.5
	220	285	240	275	280	50	32		3.5
	240	305	260	295	300				50	32	4.2

材料: Q235A · F

表 16-1-18

甩油环

mm



	d	d_1	d_2	b	b_1	C	质量 /kg	d	d_1	d_2	b	b_1	C	质量 /kg				
	30	48	36	12	4	0.5	0.067	40	75	50	12	5	0.5	0.16				
	35	55	42				7	1	0.07	55	100	65	35	7	1	0.72		
		65							65	115	80	40	0.83					
	50	90	60				15	5	1	0.22	80	140	95	45	10	1	1.2	
	55	100	65	7	2	0.3				90	150	108	50	7			1	1.7
	65	115	80			37				7	0.41	100	175					120	60	7	1	2.5
	80	140	95	30	7						0.94	110	160	125			55	7	1			2.2
	90	150	108			35	7	2	1.3	30	48	36	20	4	0.5	0.094		
	100	175	120	37	7				2	1.7	35	65	42	20	5	0.5	0.17	
	110	180	125			30	7	2		1.8	40	75	50	25	7	1	0.27	
	130	190	145	30	7				2	2.2								50	90	60	30	7	1	0.4
	150	225	168			30	7	2		2.7	50	90	60	30	7	1	0.4	

材料: Q235A · F

5 减速器轴承的选择

表 16-1-19

齿轮支座轴承的选择

传动类型	轴承类型				附注
	第一支座		第二支座		
直齿圆柱齿轮传动 (无轴向载荷)	固定 支座	深沟球轴承, 类型 0000	活 动 支 座	同左	广泛采用
		同上		圆柱滚子轴承, 类型 2000 或 32000	
		圆柱滚子轴承, 类型 42000 或 32000		同上	
		调心球轴承或调心滚子轴 承, 类型 1000 或 53000		同左	
	深沟球轴承, 类型 0000		同左		
	圆锥滚子轴承, 类型 7000		同左		
	圆柱滚子轴承, 类型 42000		同左		
	调心球轴承, 类型 1000		同左		只用于速度不大的传动
斜齿圆柱齿轮传动, 蜗 杆传动中的蜗轮轴	深沟球轴承, 类型 0000		同左		用于轴向载荷(小于 径向载荷的 1/3)不大的 场合
	同上		圆柱滚子轴承, 类型 2000 或 32000		
轴向载荷为径向载荷的 1/10 ~ 2/3	角接触球轴承, 类型 36000		同左		
	圆锥滚子轴承, 类型 7000		同左		
	两个角接触球轴承(类型 36000)或 两个圆锥滚子轴承(类型 7000)		圆柱滚子轴承, 类型 2000 或 32000(活动支座)		用于大功率减速器
人字齿圆柱齿轮传动	主 动 轴	深沟球轴承, 类型 0000	同左		双活动支座
		圆柱滚子轴承, 类型 2000 或 32000	同左		
	从 动 轴	深沟球轴承, 类型 0000	同左		
		同上, 但装为固定支座	圆柱滚子轴承, 类型 2000 或 32000(活动支座)		
		圆柱滚子轴承, 类型 42000 或 32000	同左		
角接触球轴承(类型 36000) 或圆锥滚子轴承(类型 7000)		同左			
圆锥齿轮传动	悬 臂 式 圆 锥 齿 轮 轴	深沟球轴承, 类型 0000	深沟球轴承(类型 0000)或圆 柱滚子轴承(类型 42000)		用于轴向载荷不大时
		圆柱滚子轴承(类型 32000) 与深沟球轴承(类型 0000)的 组合(后者不受径向载荷)	圆柱滚子轴承, 类型 20000 或 32000		
		圆锥滚子轴承, 类型 7000	同左		
		角接触球轴承, 类型 36000 或 46000	同左		
		两个圆锥滚子轴承, 类型 7000	单列调心滚子轴承, 或双列调 心滚子轴承		
	筒 支 式 圆 锥 齿 轮 轴	深沟球轴承, 类型 0000(固定 支座)	深沟球轴承, 或双列调心滚子 轴承		用于轴向载荷不大时
		圆锥滚子轴承或角接触球 轴承	同左		

表 16-1-20

蜗杆支座轴承的选择

方案	第一支座		第二支座		工作范围	
	轴承的数目	轴承的类型	轴承的数目	轴承的类型	载 荷	每分钟转数
I	1	36000 或 46000	1	36000 或 46000	轻	中和高
II	1	7000 或 27000	1	7000 或 27000	轻和中	低和中
III	2	46000	1	根据载荷的 轻重可为 0000、 2000 或 32000	轻和中	高 ($n > 750r/min$)
IV	2	27000	1		中	中 ($n \leq 1000r/min$)
V	2	7000	1		轻和中	中
VI	1	38000, 0000	1		中	低
VII	1	38000, 2000	1		重和中	低
VIII	1	38000, 1000	1	重和中	中	

注: 1. 方案 I、II 只在支座距离不大 ($L \leq 200mm$) 时采用。

2. 当没有 38000 类型的轴承时, 可成对地安装 8000 类型轴承。

6 减速器主要零件的配合

表 16-1-21

配合代号	应用举例	装配和拆卸条件	配合代号	应用举例	装配和拆卸条件
H7/s6	重载荷并有冲击载荷时的齿轮与轴的配合, 轴向力较大并且无辅助固定	压力机装配和拆卸	H7/h7	滚动轴承外圈与减速器箱体的配合	徒手
H7/r6	蜗轮轮缘与轮体的配合, 齿轮和齿式联轴器与轴的配合, 中等的轴向力但无辅助固定装置	压力机	H8/h9	滚动轴承组合中的端盖	
H7/n6	电机轴上的小齿轮, 摩擦离合器和爪式离合器, 蜗轮轮缘。承受轴向力时必须要有辅助固定	压力机、拆卸器、木锤		止退环、填料压盖、带锥形紧固套的轴承与轴	
H7/m6	经常拆卸的圆锥齿轮(为了减少配合处的磨损)	压力机、拆卸器、木锤	H8/D9	滑动轴承与轴、填料压盖	

7 齿轮与蜗杆传动的效率和散热计算

7.1 齿轮与蜗杆传动的效率计算

表 16-1-22

项 目	计 算 公 式 和 说 明	
	齿 轮 传 动	蜗 杆 传 动
啮合效率 η_1	$\eta_1 = 1 - \psi_1$ $\psi_1 = 0.01/\Delta n$ <p>式中 f——轮齿间的滑动摩擦因数, 其值随着齿面粗糙度值的增加、润滑油黏度的降低和滑动速度的减小而增大。一般 $f = 0.05 \sim 0.10$ (齿面跑合较好时取较小值)</p> <p>Δn——根据齿数由图 16-1-4 确定。对角变位直齿轮按图求出的数值应乘上 $\frac{0.643}{\sin 2\alpha_v}$; 对斜齿轮应乘上 $0.8 \cos \beta$; 对锥齿轮应当量齿数选取 Δn 值</p>	$\eta_1 = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \rho')} \quad (\text{蜗杆主动时})$ $\eta_1 = \frac{\tan(\gamma - \rho')}{\tan \gamma} \quad (\text{蜗杆从动时})$ <p>式中 γ——蜗杆分度圆上的导角(对圆弧面蜗杆为喉部节圆上的导角)</p> <p>ρ'——当量摩擦角, 可取 $\rho' = \rho = \arctan f$</p> <p>f——滑动摩擦因数, f 或 ρ 根据蜗轮副材料和滑动速度 v_h 的大小由表 16-1-23 选取</p> $v_h = \frac{d_1 n_1}{1910 \cos \gamma} \quad (\text{m/s})$ <p>d_1——蜗杆分度圆直径, cm</p> <p>n_1——蜗杆转速, r/min, 对于滚动轴承装置的圆柱蜗杆传动, η_1 可按图 16-1-5 选取, 该图已计入了滚动轴承摩擦损耗, 不用再计算 ψ_2 值</p>

项 目	计 算 公 式 和 说 明	
	齿 轮 传 动	蜗 杆 传 动
轴承摩擦损耗的效率 η_2 $\eta_2 = 1 - \psi_2$	对于滚动轴承和液体摩擦滑动轴承 $\psi_2 = 0.005$ 对半液体摩擦滑动轴承 $\psi_2 = 0.01$	对于滚动轴承 $\psi_2 = 0.01$ 对于滑动轴承 $\psi_2 = 0.02$
润滑油飞溅和搅动损耗的效率 η_3 $\eta_3 = 1 - \psi_3$	齿轮浸入油池中的深度不大于两倍齿高时, 一个齿轮的 ψ_3 值为 $\psi_3 = \frac{0.75vb \sqrt{v \nu_i \frac{200}{z_\Sigma}}}{10^5 P_1}$ 式中 P_1 ——传动功率, kW v ——齿轮节圆圆周速度, m/s b ——浸入油中的齿轮宽度(对锥齿轮应根据结构和浸油深度按图纸确定), mm ν_i ——润滑油在其工作温度下的运动黏度, m^2/s $z_\Sigma = z_1 + z_2$ 在喷油润滑的情况下, 上式中的系数 0.75 应以 0.5 代替 在高速传动中, 齿轮与箱体之间的间隙愈小时, 润滑油飞溅和搅动的功率损耗愈急剧增加	齿轮浸入油池中的深度不大于两倍齿高(或螺牙高)时 $\psi_3 = \frac{0.75vB \sqrt{v \nu_i}}{10^5 P_1}$ 式中 P_1 ——传动功率, kW v ——浸入油中物体(蜗杆或蜗轮)的圆周速度, m/s B ——浸入油中物体的宽度(对蜗杆来说, 则为其长度), 在蜗轮轴为垂直位置时, 应以齿顶圆直径 d_a 代替 B 值, mm ν_i ——润滑油在其工作温度下的运动黏度, m^2/s 在喷油润滑及用叶轮溅油润滑的情况下, 上式中的系数 0.75 应以 0.5 代替 如果蜗杆的圆周速度很大时($v > 4 \sim 5 m/s$), 建议将蜗杆放在蜗轮的上面
总效率	$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$	

注: 1. 对高速的齿轮传动及圆弧面蜗杆传动, 用风扇冷却时, 传动总效率还要计入效率 $\eta_4 = 1 - \frac{\Delta P_s}{P_1}$ (ΔP_s 为驱动风扇需要的功率), 其中 $\Delta P_s = \frac{1.5v_s^3}{10^5}$ (kW), 而 $v_s = \frac{\pi D_s n}{60 \times 1000}$ (m/s), 其中, v_s 为风扇工作轮边缘的圆周速度, D_s 为工作叶轮直径。在散热计算时, 不计入 η_4 。

2. 总效率 η 值还可参照表 1-1-3 选取。

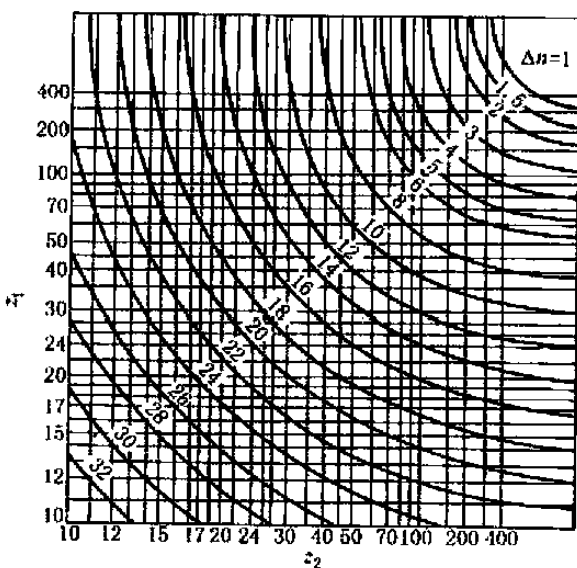


图 16-1-4 确定系数 Δn

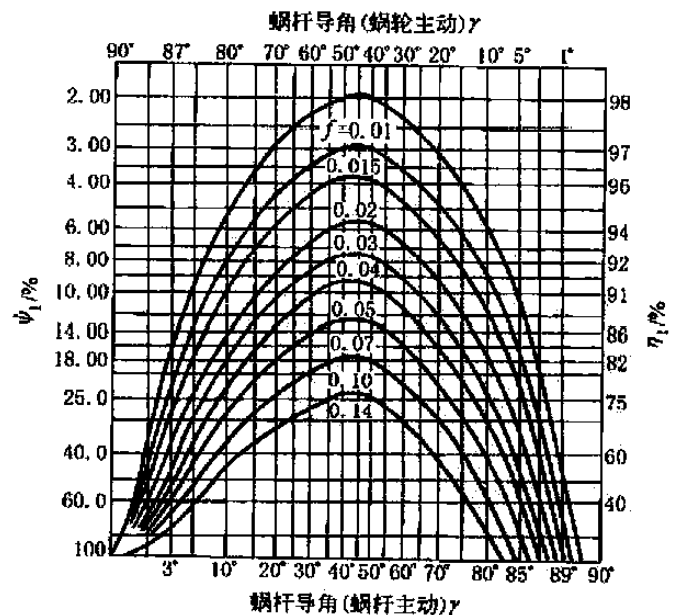


图 16-1-5 蜗杆导角

表 16-1-23

摩擦因数 f 和摩擦角 ρ 的值

蜗轮齿圈材料种类	锡青铜合金				无锡青铜合金		灰 铸 铁			
	$\geq 45\text{HRC}$		其他情况		$\geq 45\text{HRC}$		$\geq 45\text{HRC}$		其他情况	
滑动速度 $v_{\text{滑}}/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	f	ρ	f	ρ	f	ρ	f	ρ	f	ρ
0.01	0.110	6°17'	0.120	6°51'	0.180	10°12'	0.180	10°12'	0.190	10°45'
0.05	0.090	5°09'	0.100	5°43'	0.140	7°58'	0.140	7°58'	0.160	9°05'
0.1	0.080	4°34'	0.090	5°09'	0.130	7°24'	0.130	7°24'	0.140	7°58'
0.25	0.065	3°43'	0.075	4°17'	0.100	5°43'	0.100	5°43'	0.120	6°51'
0.5	0.055	3°09'	0.065	3°43'	0.090	5°09'	0.090	5°09'	0.100	5°43'
1	0.045	2°35'	0.055	3°09'	0.070	4°00'	0.070	4°00'	0.090	5°09'
1.5	0.040	2°17'	0.050	2°52'	0.065	3°43'	0.065	3°43'	0.080	4°34'
2	0.035	2°00'	0.045	2°35'	0.055	3°09'	0.055	3°09'	0.070	4°00'
2.5	0.030	1°43'	0.040	2°17'	0.050	2°52'				
3	0.028	1°36'	0.035	2°00'	0.045	2°35'				
4	0.024	1°22'	0.031	1°47'	0.040	2°17'				
5	0.022	1°16'	0.029	1°40'	0.035	2°00'				
8	0.018	1°02'	0.026	1°29'	0.030	1°43'				
10	0.016	0°55'	0.024	1°22'						
15	0.014	0°48'	0.020	1°09'						
24	0.013	0°45'								

注：蜗杆螺牙表面粗糙度为 $R_a = 0.4 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。

7.2 齿轮与蜗杆传动的散热计算^①

表 16-1-24

自然冷却的传动装置散热计算

项 目	计 算 公 式 和 说 明	
连续工作中产生的热量 Q_1	$Q_1 = 1000(1 - \eta)P_1 (\text{W})$ 式中 η ——传动效率,见表 16-1-22 P_1 ——输入轴的传动功率, kW	
箱体表面排出的最大热量 $Q_{2\text{max}}$	$Q_{2\text{max}} = KS(\theta_{\text{ymax}} - \theta_0) (\text{W})$ 式中 K ——传热系数,一般 $K = 8.7 \sim 17.5 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。传动装置箱体散热及油池中油的循环条件良好时(如有较好的自然通风,外壳上无灰尘杂物,箱体内也无筋板阻碍油的循环,油的运动速度快以及油的运动黏度小等)可取较大值,反之则取较小值。在自然通风良好的地方, $K = 14 \sim 17.5 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。在自然通风不好的地方, $K = 8.7 \sim 10.5 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ S ——散热的计算面积, m^2 , 是内表面能被油浸或飞溅到,而它所对应的外表面又能被空气冷却的箱体外表面面积,而其中凸缘、箱底及散热片的散热面积仅按实有面积的一半计算 θ_{ymax} ——油温的最大许用值, $^\circ\text{C}$, 对齿轮传动允许到 $60 \sim 70^\circ\text{C}$, 对蜗杆传动允许到 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ θ_0 ——周围空气的温度,由减速器所放置的地点而定,一般取室温为 20°C	

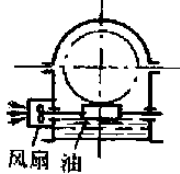
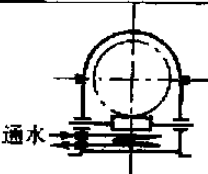
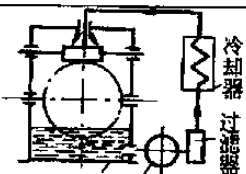
若 $Q_1 < Q_{2\text{max}}$, 则传动装置散热情况良好
 若 $Q_1 > Q_{2\text{max}}$, 则传动装置只能间断工作, 若需连续工作时, 必须加以人工冷却(风扇吹风或通水冷却等)

① 一般的渐开线齿轮传动装置不必计算。

项 目	计 算 公 式 和 说 明
按散热条件所允许的最大热功率 P_0	连续工作 $P_0 = \frac{Q_{2max}}{1000(1-\eta)} \geq P_1 \text{ (kW)}$
	间断工作 $P_0 = \frac{Q_{2max}}{1000(1-\eta)} \geq \frac{\sum P_i t_i}{\sum t_i} \text{ (kW)}$
式中 P_i 和 t_i ——任一加载阶段的功率和时间	
油温 θ	连续工作 $\theta_y = \frac{1000(1-\eta)P_1}{KS} + \theta_0 \leq \theta_{y,max} \text{ (}^\circ\text{C)}$
	若 $P_0 < P_1$ 或 $\theta_y > \theta_{y,max}$, 则减速器允许连续运转时间 t 为 $t = \frac{(G_q C_q + G_y C_y)(\theta_y - \theta_0)}{Q_1 - 0.5KS(\theta_y - \theta_0)} \text{ (h)}$
	冷却所需的停转时间 t' 为 $t' = \frac{G_q C_q + G_y C_y}{0.5KS} \text{ (h)}$
	间断工作 $\theta_y = \frac{e^\beta(e^\alpha - 1)}{e^\alpha e^\beta - 1} \times \frac{Q_1}{KS} + \theta_0 \leq \theta_{y,max} \text{ (}^\circ\text{C)}$
其中	$\alpha = \frac{KS t_x}{G_q C_q + G_y C_y}; \beta = \frac{1.25KS(t_x - t_g)}{G_q C_q + G_y C_y}; e = 2.718$
式中 G_q, G_y ——减速器的质量和润滑油的质量, kg C_q ——减速器金属零件的平均比热容, $C_q \approx 502 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ C_y ——润滑油的平均比热容, $C_y \approx 1674 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ t_x, t_g ——每一循环总时间和每一循环工作时间, h	

表 16-1-25

强制冷却的传动装置散热计算

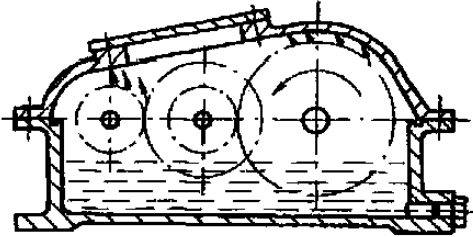

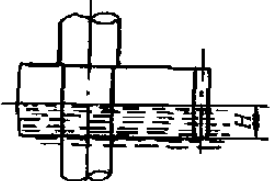
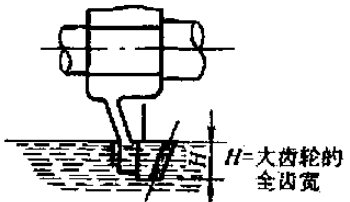
项 目	冷 却 方 法																																					
	 风扇油 风扇吹风冷却	 通水 水管冷却	 润滑油 油泵 冷却器 过滤器 润滑油循环冷却																																			
强制冷却时传动装置排出的最大热量 Q_{2max}	$Q_{2max} = (KS'' + K'S')(\theta_{y,max} - \theta_0)$																																					
	式中 $K, \theta_{y,max}, \theta_0$ ——见表 16-1-24 K' ——风吹表面传热系数, 一般可在 $21 - 41 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ 的范围内选取 (风速较大时取上限值), 也可按 $K' = 13.8 \sqrt{v_f}$ 关系确定, 式中 v_f 为冷却箱壳的风速, 其概略值如下:																																					
	<table border="1"> <tr> <th>蜗杆转速 n_1 /r · min⁻¹</th> <th>风速 v_f /m · s⁻¹</th> </tr> <tr> <td>750</td> <td>3.75</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>7.5</td> </tr> </table>	蜗杆转速 n_1 /r · min ⁻¹	风速 v_f /m · s ⁻¹	750	3.75	1000	5	1500	7.5	<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">齿轮或蜗杆 的周速/m · s⁻¹</th> <th colspan="3">冷却水的流速/m · s⁻¹</th> </tr> <tr> <th>0.1</th> <th>0.2</th> <th>≥0.4</th> </tr> <tr> <td>≤4</td> <td>126</td> <td>135</td> <td>142</td> </tr> <tr> <td>4~6</td> <td>132</td> <td>140</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>6~8</td> <td>139</td> <td>150</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>8~10</td> <td>145</td> <td>155</td> <td>168</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>150</td> <td>160</td> <td>175</td> </tr> </table>	齿轮或蜗杆 的周速/m · s ⁻¹	冷却水的流速/m · s ⁻¹			0.1	0.2	≥0.4	≤4	126	135	142	4~6	132	140	150	6~8	139	150	160	8~10	145	155	168	12	150	160	175	$Q_{2max} = KS(\theta_{y,max} - \theta_0) + K'S_g[\theta_{y,max} - 0.5(\theta_{1y} + \theta_{2y})]$
	蜗杆转速 n_1 /r · min ⁻¹	风速 v_f /m · s ⁻¹																																				
750	3.75																																					
1000	5																																					
1500	7.5																																					
齿轮或蜗杆 的周速/m · s ⁻¹	冷却水的流速/m · s ⁻¹																																					
	0.1	0.2	≥0.4																																			
≤4	126	135	142																																			
4~6	132	140	150																																			
6~8	139	150	160																																			
8~10	145	155	168																																			
12	150	160	175																																			
式中 $K, S, \theta_{y,max}$ ——见表 16-1-24 K' ——蛇形管的传热系数, $\text{W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, 对紫铜管或黄铜管按下列数值选取: θ_{1y}, θ_{2y} ——循环油排出的温度, $^\circ\text{C}$ θ_{2y} ——循环油进入的温度, $^\circ\text{C}$ $\theta_{1y} = \theta_{2y} + (5 - 8)^\circ\text{C}$ η_y ——循环油的利用参数, 取 $\eta_y \approx 0.5 - 0.7$																																						
$Q_{2max} = KS(\theta_{y,max} - \theta_0) + q_y \rho_y C_y (\theta_{1y} - \theta_{2y}) \eta_y$																																						
式中 $K, S, \theta_{y,max}$ ——见表 16-1-24 θ_0, C_y ——见表 16-1-24 q_y ——循环润滑油量, m^3/s ρ_y ——润滑油的密度, $\rho_y = 900 \text{ kg/m}^3$ θ_{1y} ——循环油排出的温度, $^\circ\text{C}$ θ_{2y} ——循环油进入的温度, $^\circ\text{C}$ $\theta_{1y} = \theta_{2y} + (5 - 8)^\circ\text{C}$ η_y ——循环油的利用参数, 取 $\eta_y \approx 0.5 - 0.7$																																						
S' ——箱体受风吹的表面积, m^2 S'' ——箱体不受风吹的表面积, m^2																																						
对壁厚 1-3mm 的钢管, 表中的值应降低 5% - 15% S_g ——蛇形管的外表面积, m^2 θ_{1y} ——蛇形管出水温度, $^\circ\text{C}$ θ_{2y} ——蛇形管进水温度, $^\circ\text{C}$ $\theta_{1y} \approx \theta_{2y} + (5 - 10)^\circ\text{C}$																																						

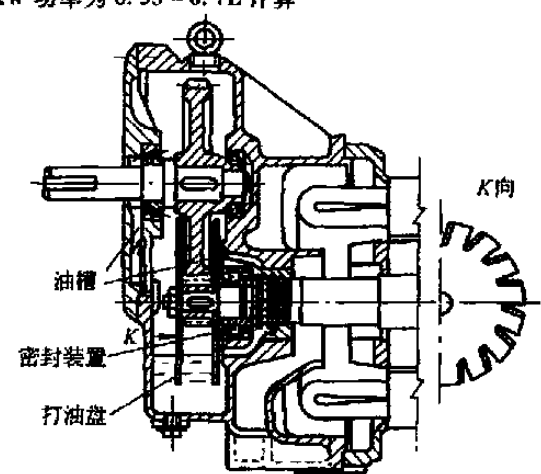
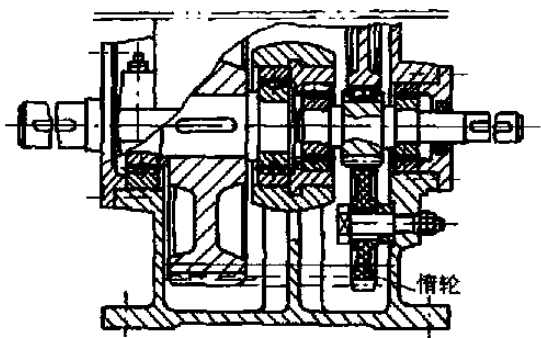
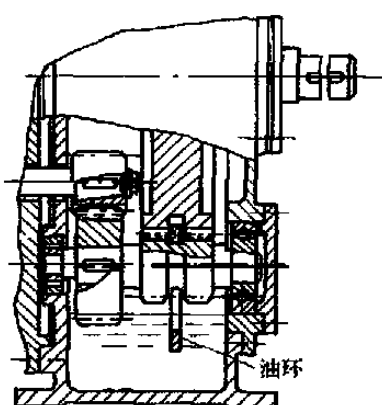
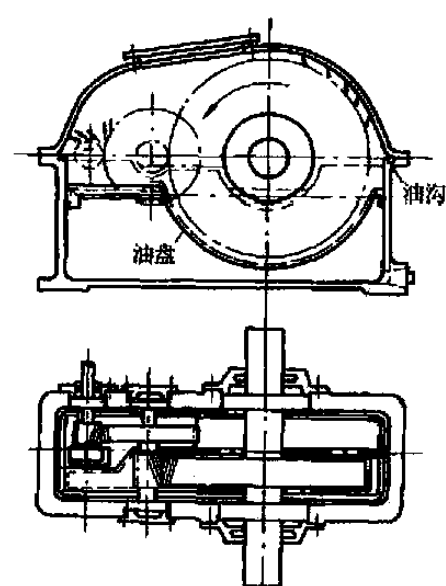
项 目	冷 却 方 法		
冷却所需的风扇风量 q_f 、循环水量 q_w 、循环油量 q_o	$q_f = \frac{K'S'(\theta_{y\max} - \theta_0)}{\rho_f C_f (\theta_{1f} - \theta_0) \eta_f} \quad (\text{m}^3/\text{s})$ <p>式中 θ_{1f}——风吹到箱体后推出的温度, $\theta_{1f} \approx \theta_0 + (3 \sim 6)^\circ\text{C}$</p> <p>$\rho_f$——干空气密度, $\rho_f = 1.29\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>$C_f$——空气比定压热容, $C_f = 1004\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$</p> <p>$\eta_f$——吹风的利用系数, 取 $\eta_f \approx 0.8$</p>	$q_w = \frac{K'S_g[\theta_{y\max} - 0.5(\theta_{1s} + \theta_{2s})]}{1000(\theta_{1s} - \theta_{2s})} \quad (\text{m}^3/\text{s})$ <p>式中 S_g——所需的蛇形管外表面积, m^2</p> $S_g = \frac{Q_{2\max} - KS(\theta_{y\max} - \theta_0)}{K'[\theta_{y\max} - 0.5(\theta_{1s} - \theta_{2s})]}$	$q_o = \frac{Q_{2\max} - KS(\theta_{y\max} - \theta_0)}{\rho_o C_o (\theta_{1o} - \theta_{2o}) \eta_o} \quad (\text{m}^3/\text{s})$

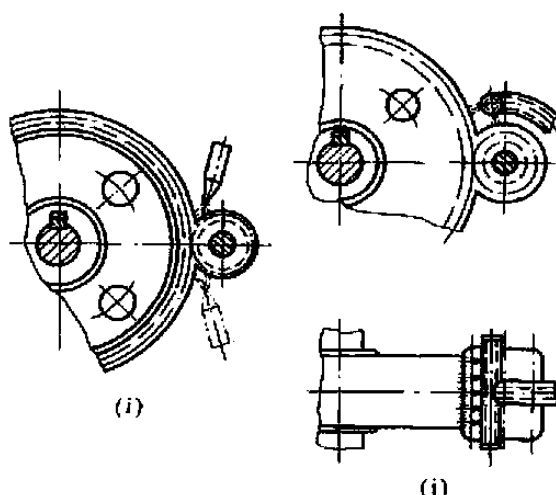
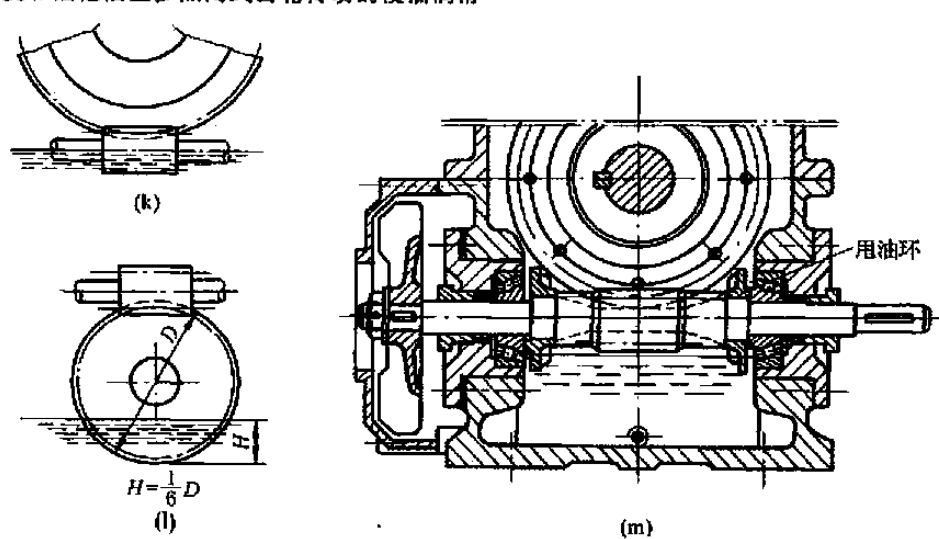
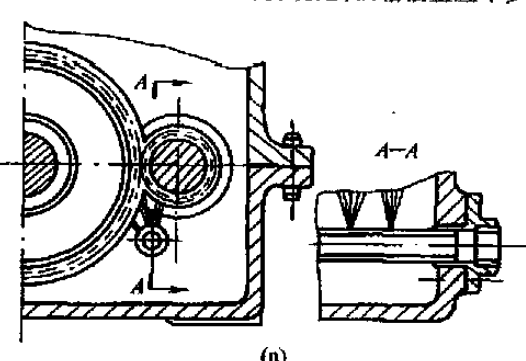
8 齿轮与蜗杆传动的润滑

8.1 齿轮与蜗杆传动的润滑方法

表 16-1-26

类别	润滑方式	特 点 及 应 用	
开式齿轮传动	涂抹润滑	用润滑脂或高黏度的润滑油(100℃时的运动黏度在 $53 \times 10^{-6} - 150 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 以上)涂抹在齿轮表面上,适用圆周速度 $v \leq 4\text{m}/\text{s}$ 。涂抹间隔时间根据实际情况给定	
	油盘润滑	在齿轮下方用一个浅油盘,使轮齿浸在油中,把油带入啮合面,一般适用圆周速度 $v \leq 1.5\text{m}/\text{s}$ 。换油期视周围环境而定,在没有灰尘的地方,约6个月换油一次,在多尘土与有潮气时,要2-4个月换一次	
	固体润滑	用二硫化钼在齿面上形成干膜,靠这层薄膜进行润滑,适用于要求不污染周围环境的轻载、小型齿轮及圆周速度 $v \leq 0.5\text{m}/\text{s}$ 。它的成膜方法有喷涂与挤压两种。在成膜后,要经常加二硫化钼润滑脂进行保膜	
闭式齿轮传动	浸油润滑	当齿轮圆周速度 $v < 12\text{m}/\text{s}$ 时,采用浸油润滑(图a)。即将齿轮或其他辅助零件浸于减速器油池内,当其转动时,将润滑油带到啮合处,同时也将油甩到箱壁上借以散热,而部分油又落入箱内的油沟中去润滑轴承 齿轮浸入油中的深度见图b-d	
		 <p>(a) 浸油润滑</p>	 <p>$H = (1 \sim 3)$ 齿高</p> <p>(b) 直齿轮与斜齿轮(水平轴)</p>
		 <p>$H = (\frac{1}{3} \sim 1)$ 齿宽</p> <p>(c) 直齿轮与斜齿轮(垂直轴)</p>	 <p>$H =$ 大齿轮的全齿宽</p> <p>(d) 圆锥齿轮</p>

类别	润滑方式	特点及应用
闭 式 齿 轮 传 动	浸油润滑	<p> 在多级减速器中,应尽量使各级齿轮浸入油中的深度近于相等。若发生低速级齿轮浸油太深的情况,可采用图 e-h 所示的打油盘、惰轮、油环和齿轮下装设油盘等方式润滑 油池深度一般是齿顶圆到油池底面的距离,不应小于 30-50mm,太浅时易搅动起沉积在箱底的油泥 油池的油量可按传递 1kW 功率为 0.35-0.7L 计算 </p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p>(e) 打油盘润滑</p>  <p>(f) 惰轮润滑</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">   </div> <p>(g) 油环润滑</p> <p>(h) 装设油盘</p> </div>

类别	润滑方式	特点及应用
闭式齿轮传动	油泵循环喷油润滑	<p>当齿轮速度超过 $12 \sim 15 \text{ m/s}$ 时,由于温度升高,需用油泵向齿面喷油(见图 i, j),它不但起润滑的作用,而且也起冷却的作用</p>  <p>喷油压力采用 $0.049 \sim 0.147 \text{ MPa}$。低速时,油嘴可以朝切线方向,但在高速时,油嘴最好用两组,分别向着两个轮子的中心,在斜齿轮传动中,油嘴最好从侧面喷射</p> <p>每分钟的循环油量应根据散热要求按表 16-1-25 计算确定。经验数据为:周速 10 m/s 时为 $(0.06 \sim 0.12) b (\text{L/min})$;周速 40 m/s 时为 $0.2b (\text{L/min})$ (b 为齿宽, mm)</p> <p>油箱油量应不少于 $3 \sim 5 \text{ min}$ 的用量</p>
蜗杆传动	浸油润滑	<p>适用于蜗杆圆周速度 $v < 10 \text{ m/s}$。当 $v \leq 4 \sim 5 \text{ m/s}$ 时,建议蜗杆装在蜗轮的下面,浸入油中深度见图 k;当 $v > 5 \text{ m/s}$ 时,建议蜗杆装在蜗轮的上方,浸油深度见图 l;蜗轮轴垂直,浸入油中的深度不小于蜗杆下方的齿高,当蜗杆浸不到油中时,可在蜗杆轴上安装甩油环,将油溅于蜗轮上(见图 m),通常设有两个甩油环,以便在传动方向改变时保证得到润滑</p> <p>油池深度和油池油量参照闭式齿轮传动的浸油润滑</p>  <p>油池深度和油池油量参照闭式齿轮传动的浸油润滑</p>
闭式齿轮传动	油泵循环喷油润滑	<p>适用于蜗杆圆周速度 $v > 10 \sim 12 \text{ m/s}$,喷油压力为 0.07 MPa。当 $v > 15 \sim 25 \text{ m/s}$ 时,喷油压力为 0.147 MPa。每分钟的循环油量应根据散热要求按表 16-1-25 计算确定,油箱油量应不少于 $3 \sim 5 \text{ min}$ 的用量</p> 

8.2 齿轮与蜗杆传动的润滑油选择

润滑油的黏度是选择齿轮传动和蜗杆传动用油的主要指标。首先按表 16-1-27 查得黏度后,再确定润滑油的牌号。一般减速器常用工业齿轮油,润滑油性能见第 3 卷第 10 篇。

表 16-1-27 闭式齿轮传动润滑油黏度选用

齿轮材料	齿面硬度	圆周速度/ $m \cdot s^{-1}$						
		<0.5	0.5~1	1~2.5	2.5~5	5~12.5	12.5~25	>25
调质钢	<280HB	$\frac{296}{36}$ (32) (4.5)	$\frac{177}{24}$ (21) (3)	$\frac{118}{16}$ (11) (2)	$\frac{82}{11}$	$\frac{59}{8}$	$\frac{44}{6}$	$\frac{32}{4.5}$
	280~350HB	$\frac{266}{36}$ (32) (4.5)	$\frac{266}{36}$ (32) (4.5)	$\frac{177}{24}$ (21) (3)	$\frac{118}{16}$ (11) (2)	$\frac{82}{11}$	$\frac{59}{8}$	$\frac{44}{6}$
渗碳或表面淬火钢	$\geq 40\text{HRC}$	$\frac{444}{60}$ (52) (7)	$\frac{266}{36}$ (32) (4.5)	$\frac{266}{36}$ (32) (4.5)	$\frac{177}{24}$ (21) (3)	$\frac{118}{16}$ (11) (2)	$\frac{82}{11}$	$\frac{59}{8}$

注: 1. 多级减速器按各级所选润滑油黏度的平均值来确定。

2. 对于齿面硬度 >230HB 的镀铬钢齿轮(不渗碳)的润滑油黏度应取较高一级。

3. 表中分子为运动黏度, $10^{-6}m^2/s$, 分母为恩氏黏度 $^{\circ}E$, 带括号者为 $100^{\circ}C$ 时的黏度, 不带括号者为 $50^{\circ}C$ 时的黏度。

表 16-1-28 闭式齿轮传动用含铅皂极压油的黏度选用 $10^{-6}m^2/s$

减 速 器		一般载荷		重载荷		减 速 器		一般载荷		重载荷	
类型	大齿轮 直径/mm	环境温度/ $^{\circ}C$				类型	大齿轮 直径/mm	环境温度/ $^{\circ}C$			
		-10~15	10~50	-10~15	10~50			-10~15	10~50	-10~15	10~50
单级减速	200 以内	30~50	60~80	35~50	80~110	带电机 减速机		30~50	60~80	35~50	80~110
	200~500	40~60	80~100	35~50	80~110						
	500 以上	50~80	90~110	80~110	80~110						
两级减速	200 以内	30~50	60~80	35~50	80~110	高速减 速器		20~30	30~50		
	200~500	50~80	80~110	70~100	80~110						
	500 以上	50~80	80~110	80~110	80~110						
三级减速	200 以内	30~50	50~80	35~50	80~110	锥齿轮 减速机	锥距 $R \leq 300$	30~50	80~110	35~50	80~110
	200~500	50~80	80~110	80~110	80~110						
	500 以上	80~110	10~20 ($100^{\circ}C$)	80~110 ($100^{\circ}C$)	15~20 ($100^{\circ}C$)						

注: 除特殊注明外, 表中均为 $50^{\circ}C$ 时的运动黏度。

表 16-1-29 开式齿轮传动润滑油黏度推荐值 $10^{-6}m^2/s$

环境温度/ $^{\circ}C$	带活性添加剂的润滑油	不带活性添加剂的润滑油
-10~15	110~125 180~220	220~660
5~40		660~2200
20~50		660~2200

注: 1. 表中所列黏度均为 $100^{\circ}C$ 时运动黏度。

2. 本表适用于定期加油。

表 16-1-30 蜗杆传动润滑油黏度选用 $10^{-6}m^2/s$

蜗杆传动的滑动速度 $v_h/m \cdot s^{-1}$	≤ 1	1~2.5	2.5~5	5~10	10~15	15~25	>25
工作条件	重型	重型	中型	—	—	—	—
润滑油黏度	444 (52)	266 (32.4)	177 (20.5)	118 (11.4)	81.5	59	44
给油方法	浸油润滑			浸油润滑	压力喷油		
					0.0686MPa	0.147MPa	

注: 表中所列黏度均为运动黏度, 不带括号者为 $50^{\circ}C$ 时运动黏度, 带括号者为 $100^{\circ}C$ 时运动黏度。

9 减速器技术要求

表 16-1-31

项 目	内 容																
箱体技 术要求	<p>①铸造箱体必须经时效处理</p> <p>②底座与箱盖合箱后,边缘应平齐。总长 < 1200mm 时,相互错位每边不大于 2mm;总长 ≥ 1200mm 时,相互错位每边不大于 3mm</p> <p>③底座与箱盖合箱后,未紧固螺栓时,用 0.05mm 塞尺检查剖分面接触的密合性,塞尺塞入深度不得大于剖分面宽度的 1/3</p> <p>④轴承孔的轴线与剖分面的不重合度不大于 0.2 ~ 0.3mm</p> <p>⑤轴承孔的圆度与圆柱度按 7 级公差 GB/T 1184—1996</p> <p>⑥轴承孔端面与其轴线的垂直度按 7 级公差 GB/T 1184—1996</p> <p>⑦轴承孔中心线平行度公差、轴承孔中心距的极限偏差(圆柱齿轮传动),轴承孔中心线不相交性公差、中心线夹角的极限偏差(圆锥齿轮传动),轴承孔中心距的极限偏差(蜗杆传动)应符合设计要求(见有关章节)</p>																
装配技 术要求	<p>①轮齿侧隙,接触斑点应符合设计要求(见有关章节)</p> <p>②轴承内圈必须紧贴轴肩或定距环;用 0.05mm 塞尺检查不得通过</p> <p>③圆锥滚子轴承允许的轴向游隙应符合规定</p> <p>④底座、箱盖及其他零件未加工的内表面和齿轮(蜗轮)未加工表面应涂底漆并涂以红色耐油漆,底座、箱盖及其他零件未加工的外表面涂底漆并涂以浅灰色油漆(按主机要求配色)</p> <p>⑤机体、机盖分合面螺栓应按规定的预紧力拧紧。预紧力与螺栓的关系如下:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">螺栓直径 d/mm</th> <th style="text-align: center;">M10</th> <th style="text-align: center;">M12</th> <th style="text-align: center;">M16</th> <th style="text-align: center;">M20</th> <th style="text-align: center;">M24</th> <th style="text-align: center;">M30</th> <th style="text-align: center;">M36</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">用扭力扳手加预紧力矩 $M/N \cdot m$</td> <td style="text-align: center;">35</td> <td style="text-align: center;">61</td> <td style="text-align: center;">149</td> <td style="text-align: center;">290</td> <td style="text-align: center;">500</td> <td style="text-align: center;">1004</td> <td style="text-align: center;">1749</td> </tr> </tbody> </table> <p>表中螺栓强度级别为 8.8,当螺栓强度级别为 5.6 时,表中数值应乘以 0.47;当强度级别为 10.9 时,则乘以 1.41;强度级别为 12.9 时,则应乘以 1.69</p>	螺栓直径 d/mm	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	用扭力扳手加预紧力矩 $M/N \cdot m$	35	61	149	290	500	1004	1749
螺栓直径 d/mm	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36										
用扭力扳手加预紧力矩 $M/N \cdot m$	35	61	149	290	500	1004	1749										
润 滑 要求	<p>①注明润滑油黏度或牌号</p> <p>②润滑油应定期更换,一般新减速器第一次使用时,运转 7 ~ 14 天后需换新油,以后可根据情况 3 ~ 6 个月换一次</p>																
试 运 转 要求	<p>①空载试运转:在额定转速下正、反向运转时间不得少于 1h</p> <p>②承载试运转:在额定转速、额定载荷下进行,根据要求可单向或双向运转,加载要求及运转时间详见 JB/T 9050.3—1999</p> <p>③全部运转过程中,运转应平稳、无冲击、无异常振动和噪声,各密封处、接合处不得渗油、漏油</p> <p>④承载运转时,对于齿轮减速器油池温升不得超过 35℃,轴承温升不得超过 45℃,对于蜗杆减速器不得超过 60℃</p> <p>⑤超载试验:在额定转速下,以 120%、150%、180% 额定载荷运转,其相应运转时间分别为 1min、1min、0.5min</p> <p>⑥其他试验规定详见 JB/T 9050.3—1999</p>																

注:圆柱齿轮减速器通用技术条件见 JB/T 9050.1—1999。

10 减速器典型结构示例

10.1 圆柱齿轮减速器

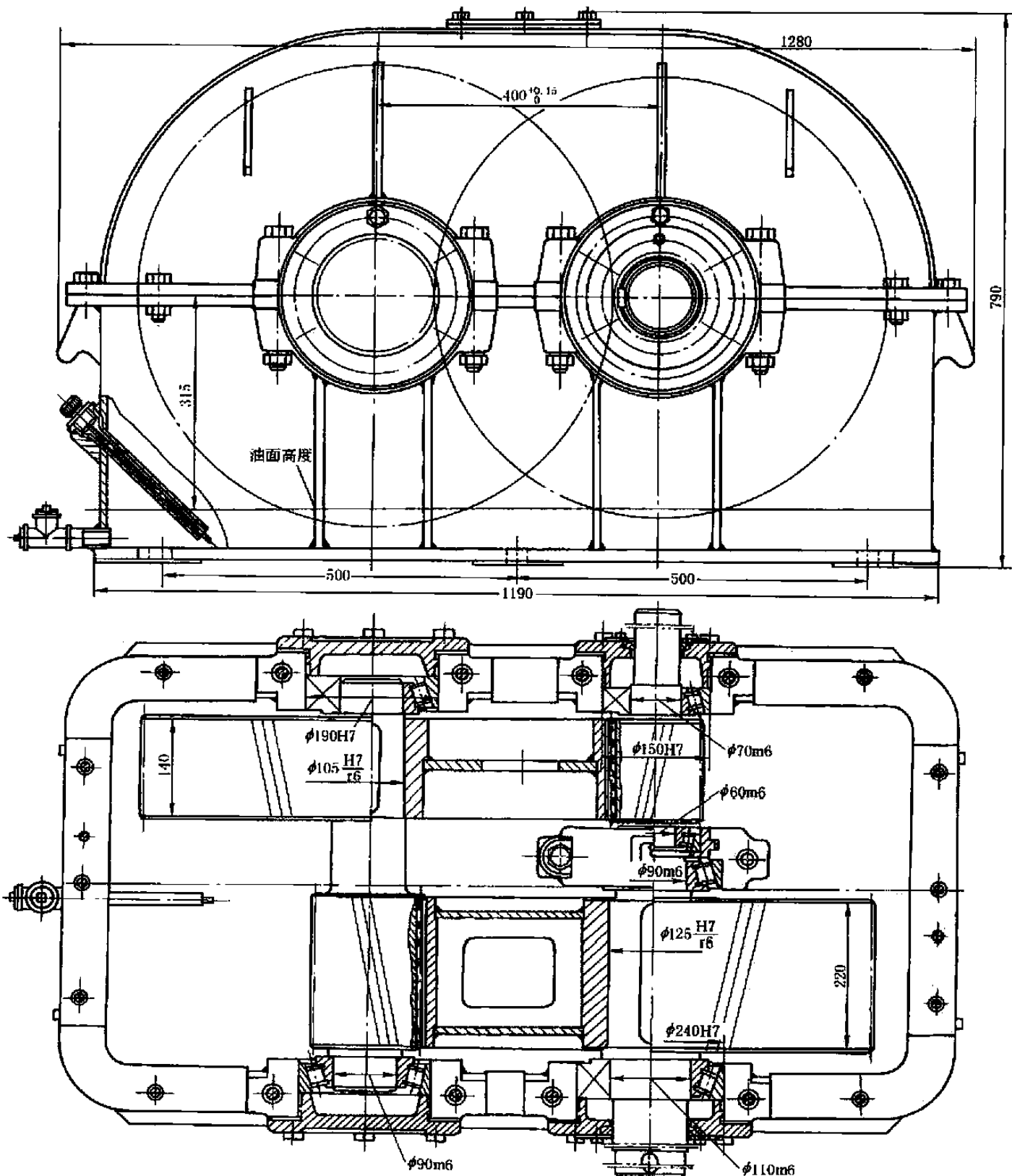


图 16-1-6 两级同轴式圆柱齿轮减速器 (焊接箱体和大齿轮)

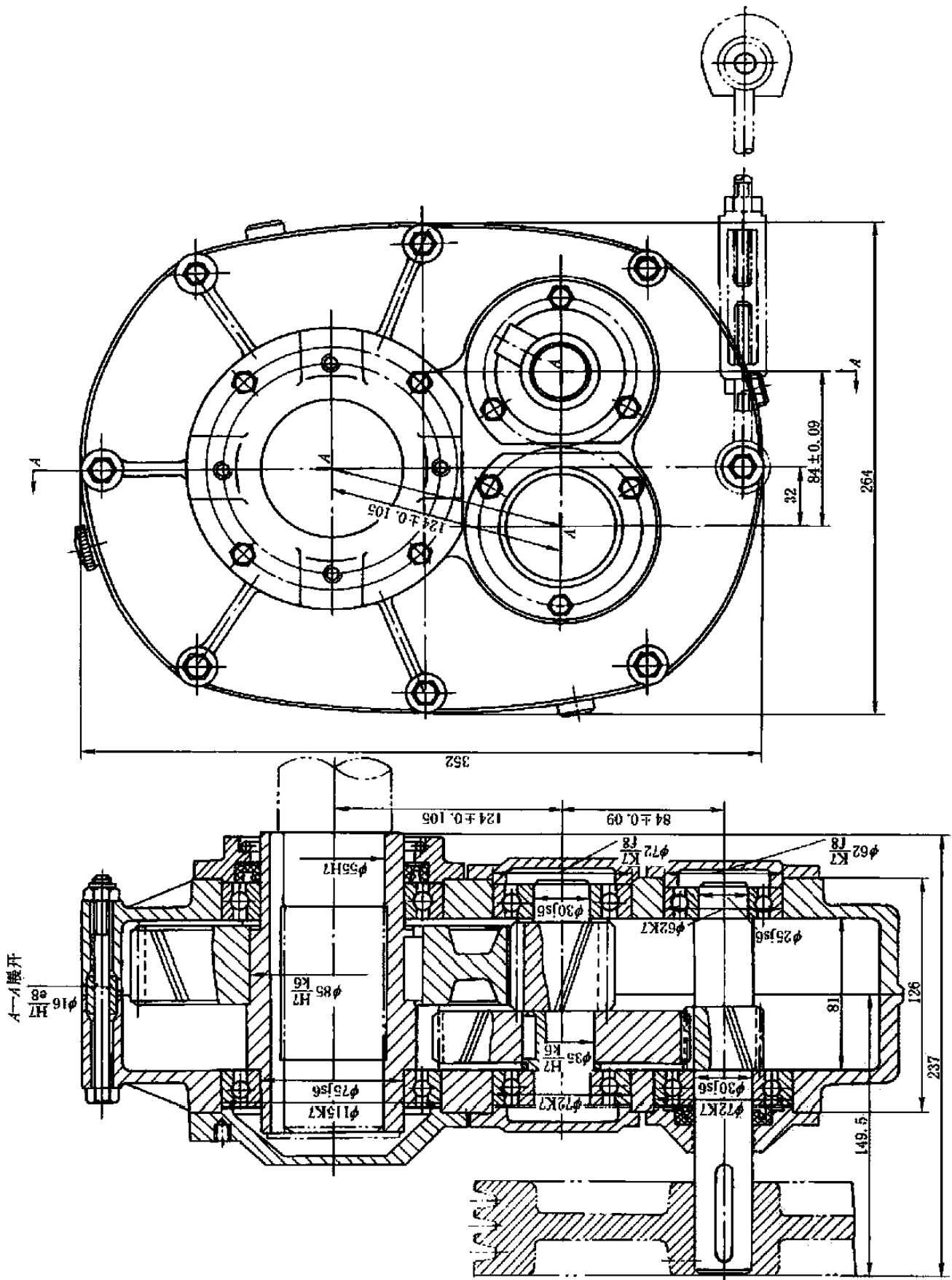


图 16-1-7 悬挂式减速器

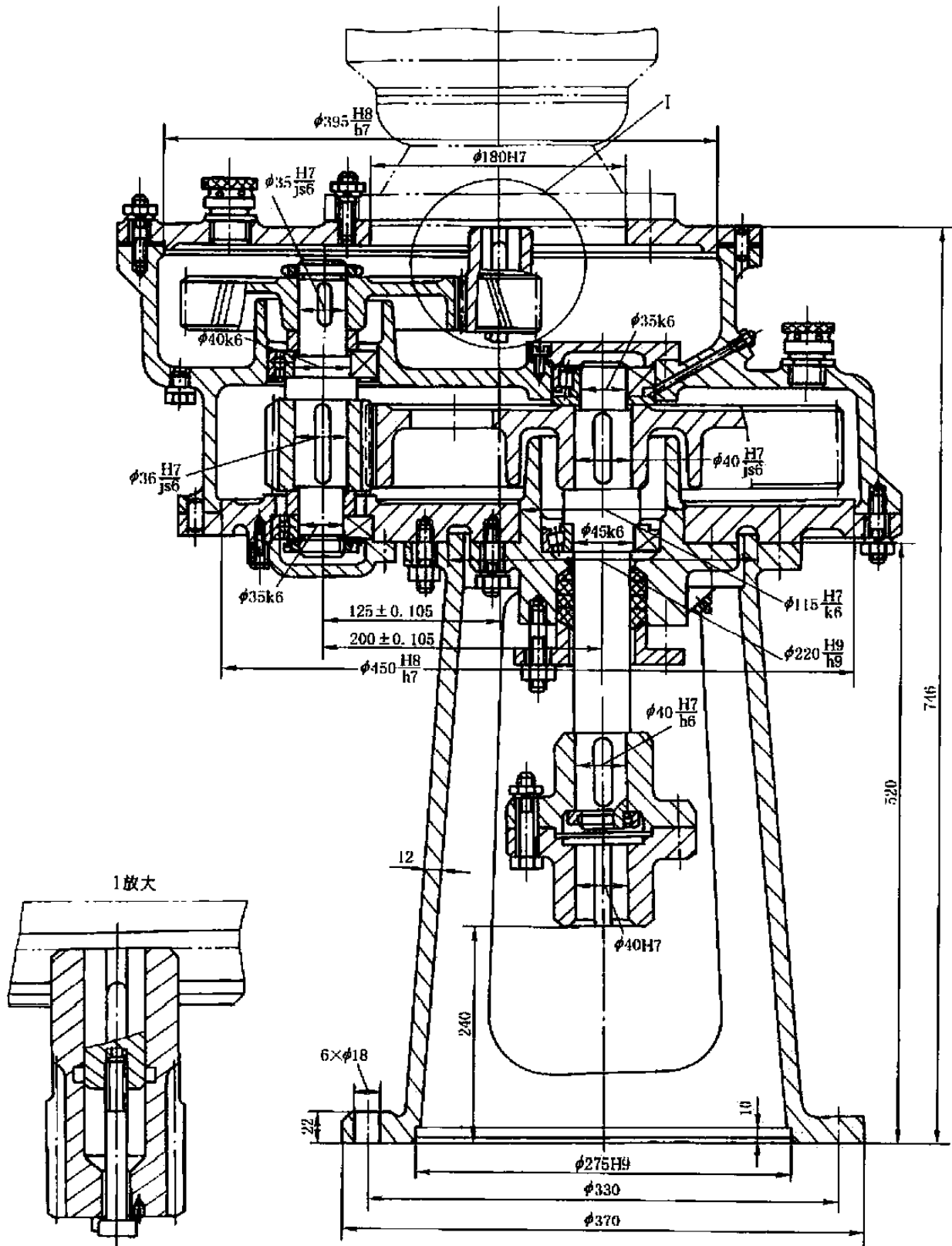


图 16-1-8 立式减速器

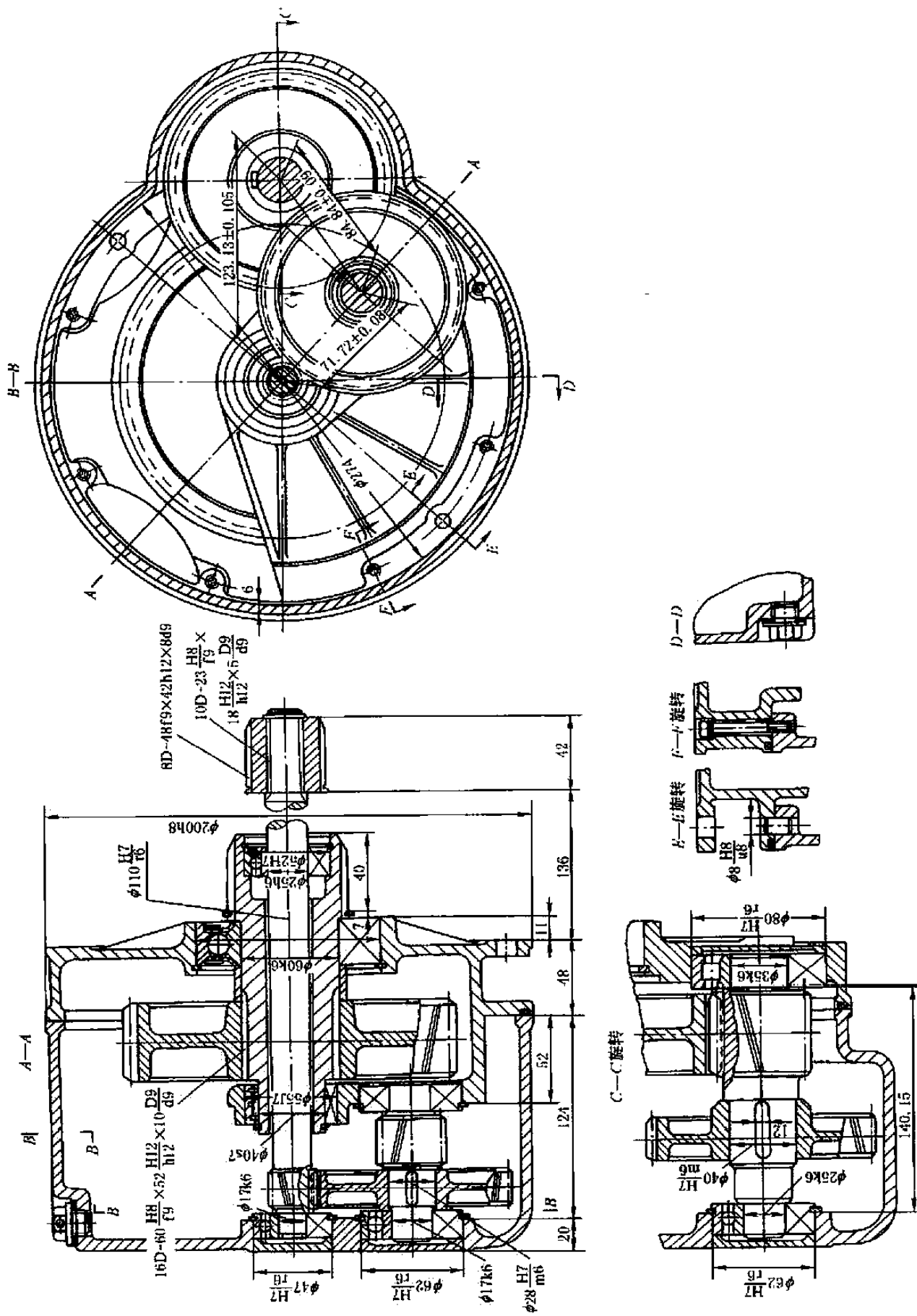


图 16-1-9 三级同轴式圆柱齿轮减速器

10.2 圆锥齿轮减速器

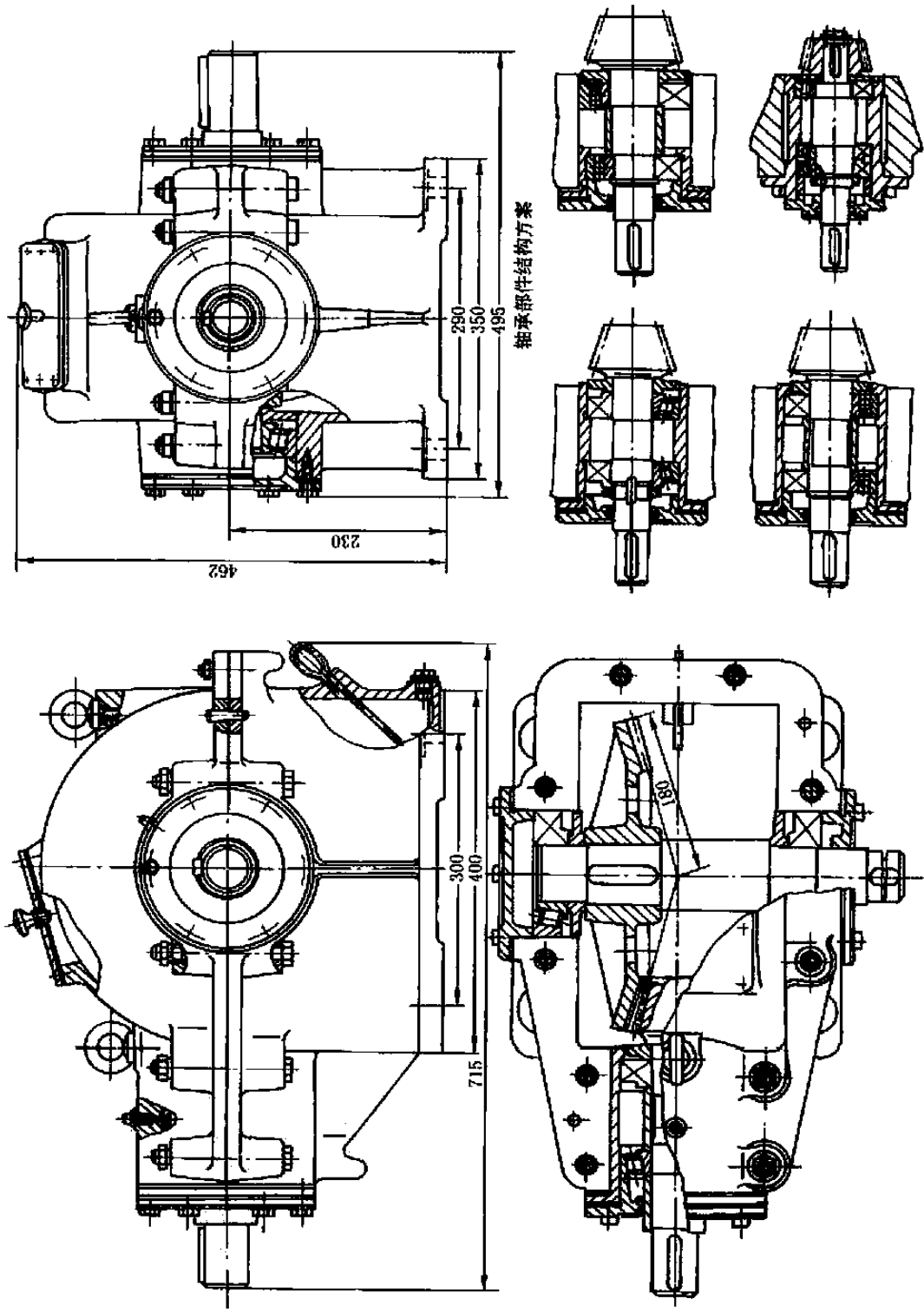


图 16-1-10 单级圆锥齿轮减速器

10.3 圆锥-圆柱齿轮减速器

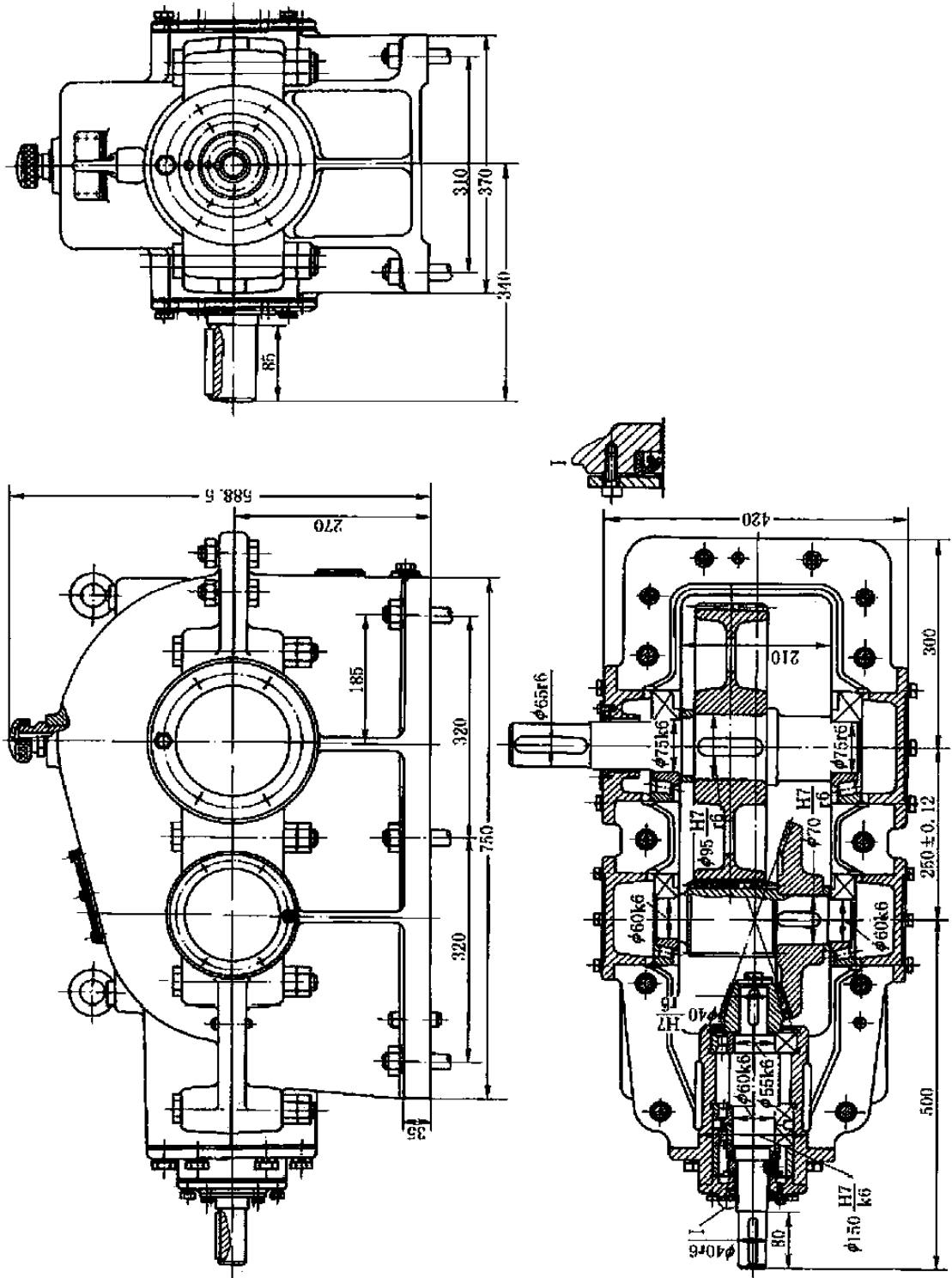


图 16-1-11 两级圆锥-圆柱齿轮减速器

10.4 蜗杆减速器

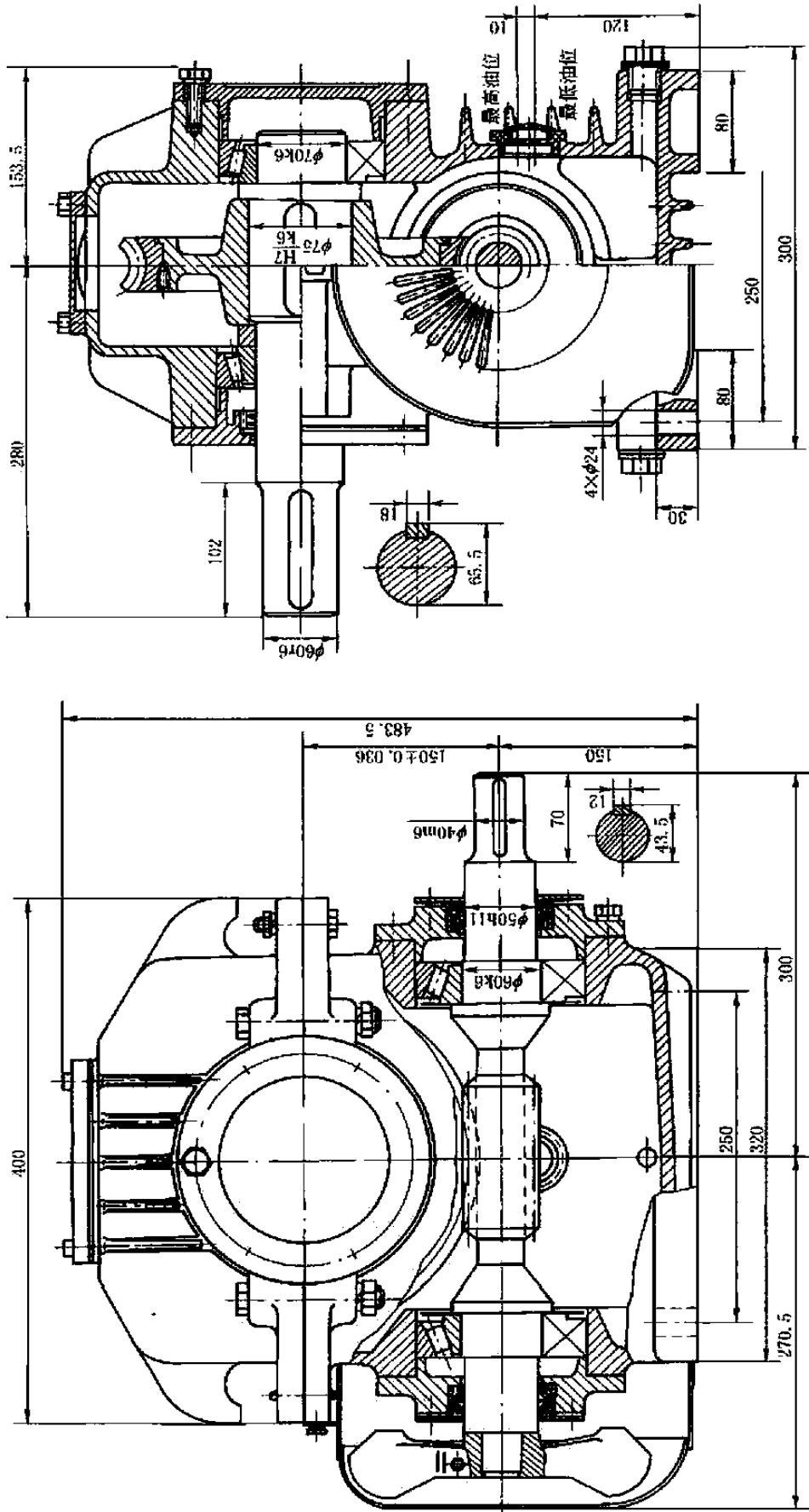


图 16-1-12 圆柱蜗杆减速器

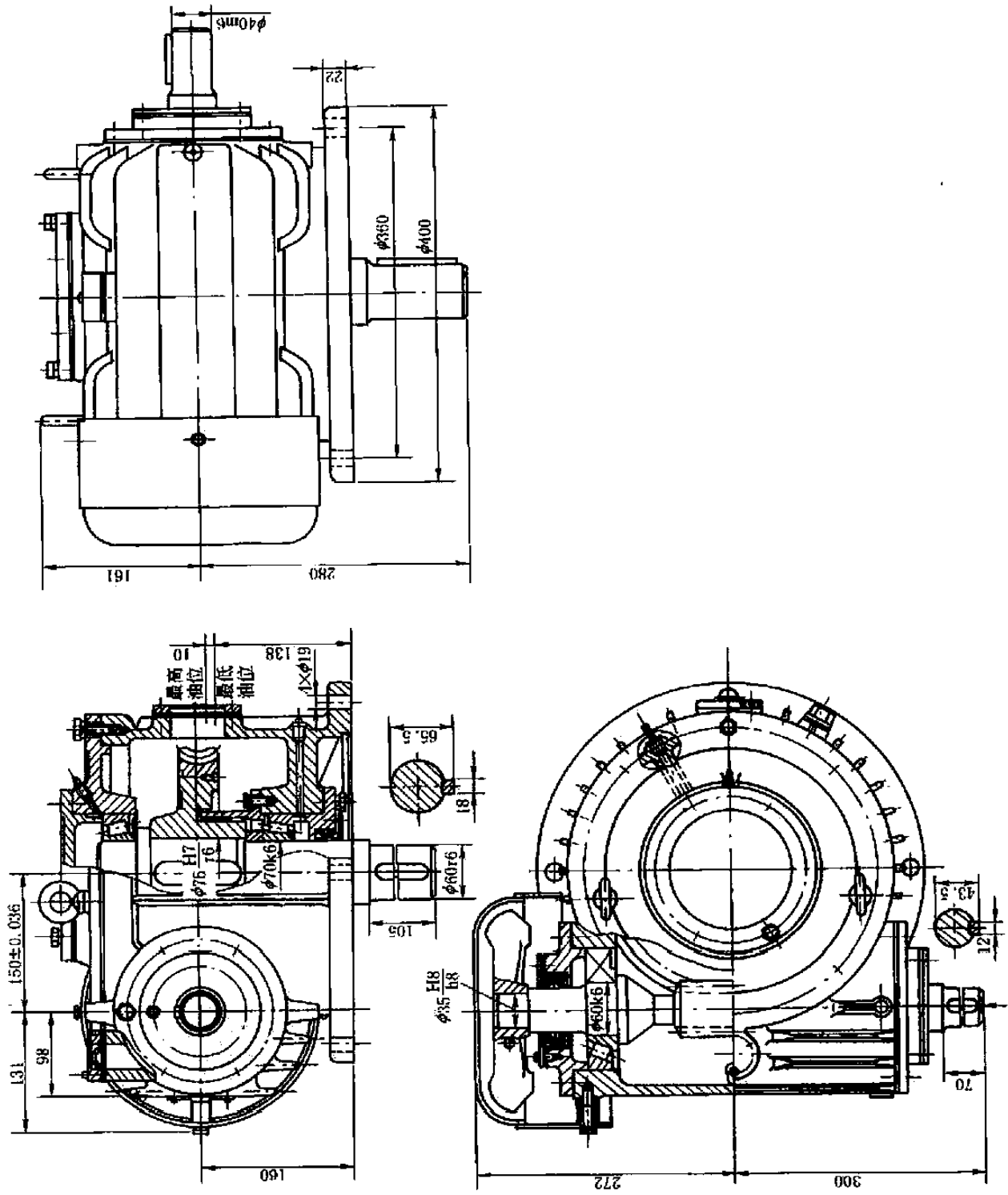


图 16-1-13 圆柱蜗杆减速器 (立式)

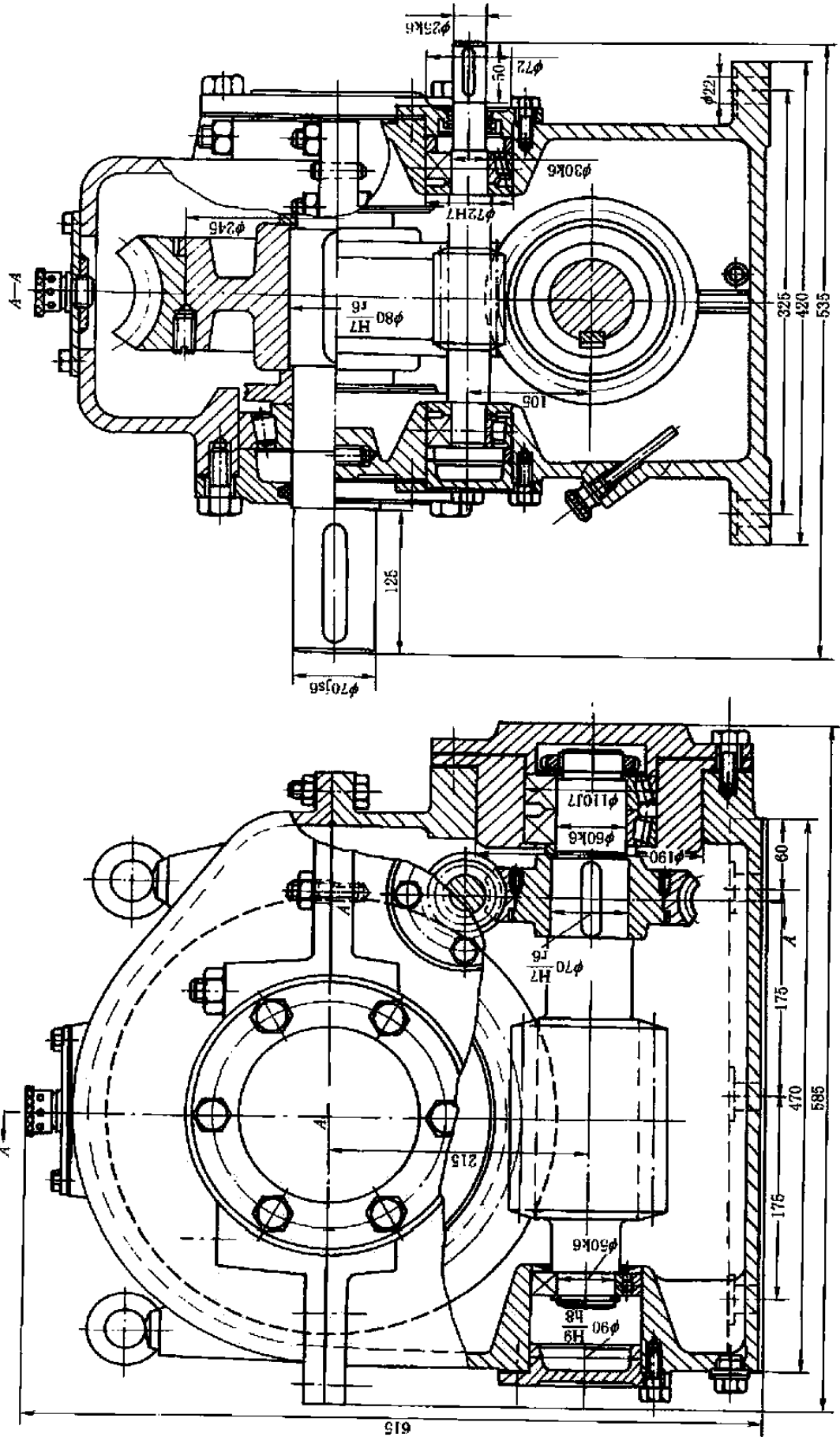


图 16-1-14 两级蜗杆减速器

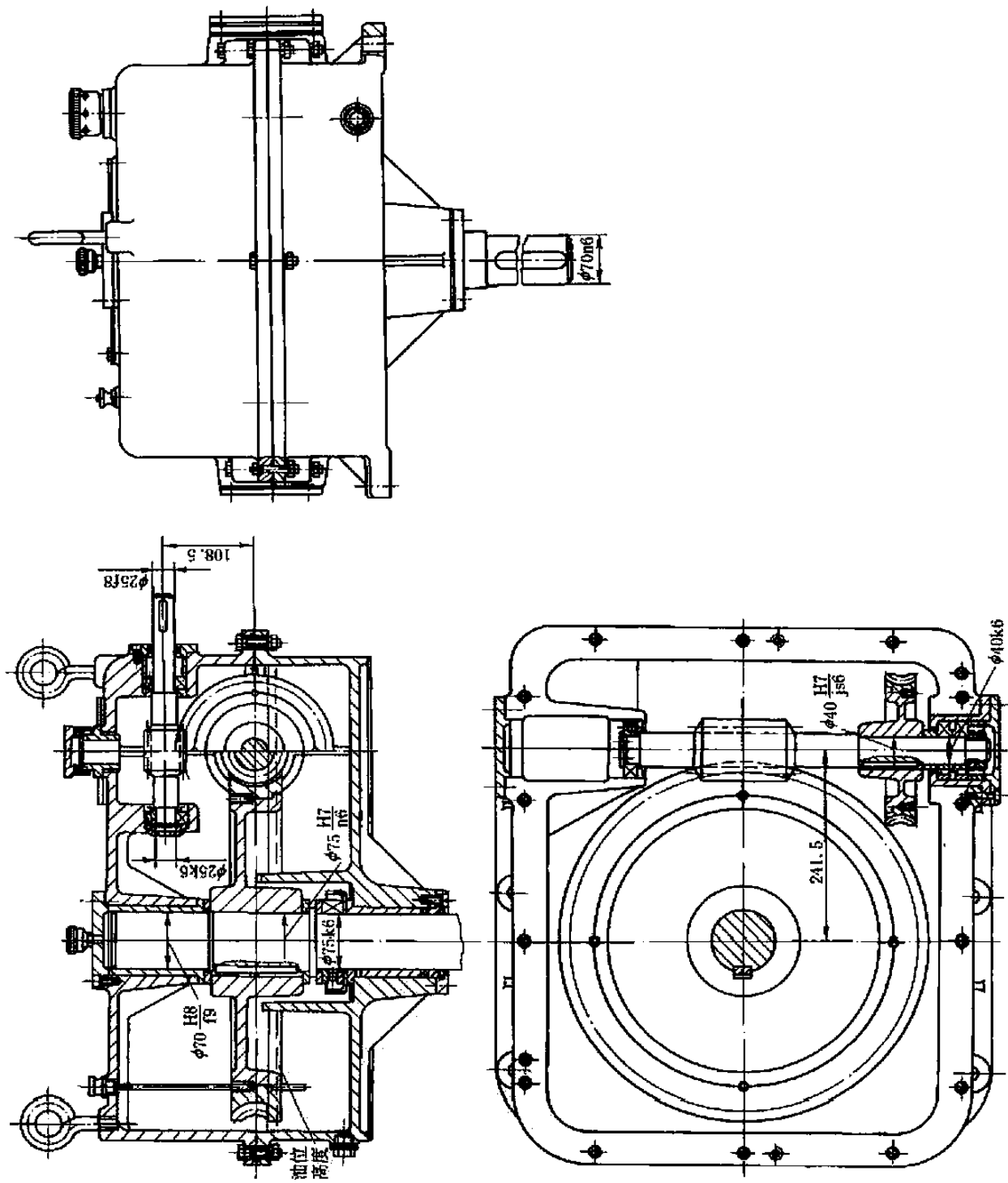


图 16-1-15 两级蜗杆减速器 (立式)

10.5 齿轮-蜗杆减速器

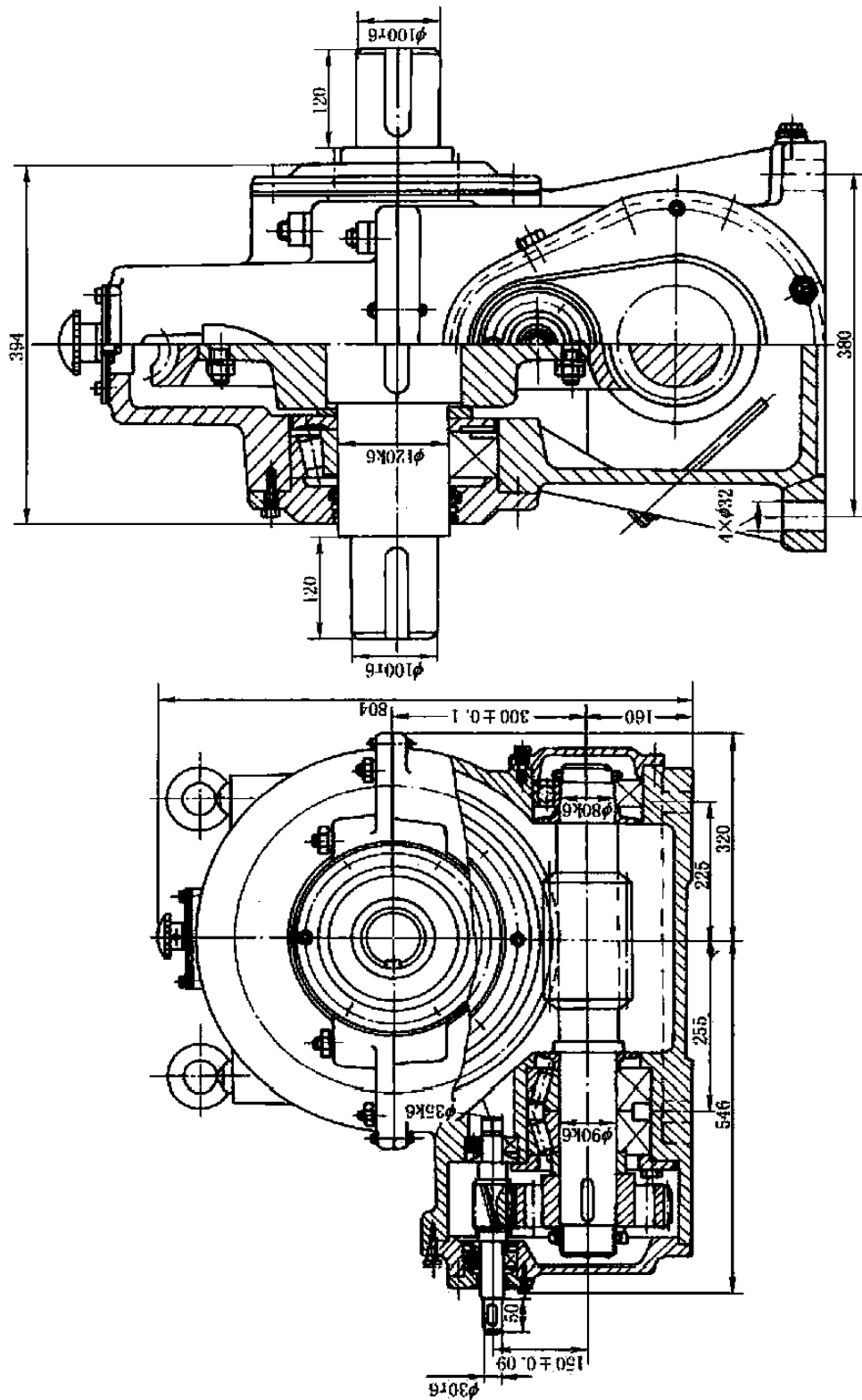


图 16-1-16 两级齿轮-蜗杆减速器

第 2 章 标准减速器及产品

1 ZDY、ZLY、ZSY 型硬齿面圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 8853—2001)

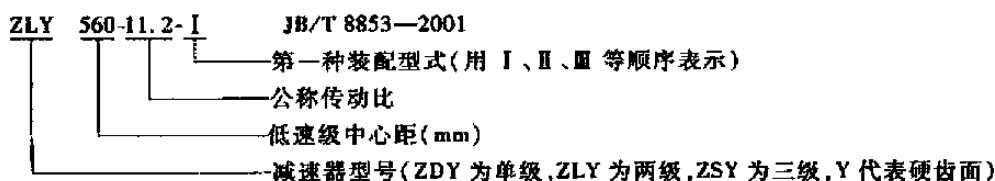
1.1 适用范围和代号

(1) 适用范围

ZDY、ZLY、ZSY 型外啮合渐开线斜齿圆柱齿轮减速器，适用于冶金、矿山、起重运输、水泥、建筑、化工、纺织、轻工等行业。

减速器高速轴转速不大于 1500r/min；齿轮传动圆周速度不大于 20m/s；工作温度为 -40 ~ 45℃，低于 0℃ 时，启动前润滑油应预热。

(2) 标记示例

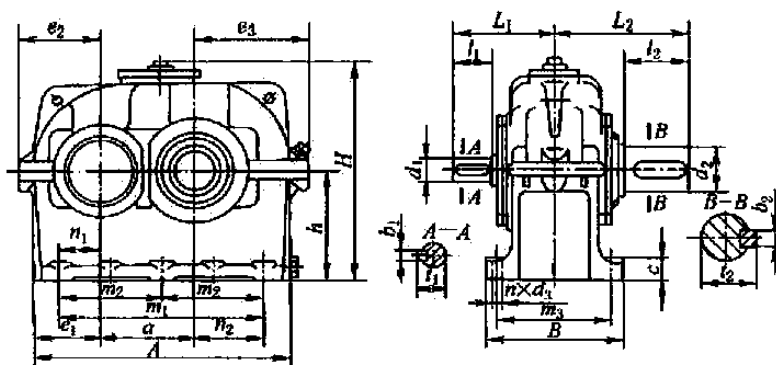


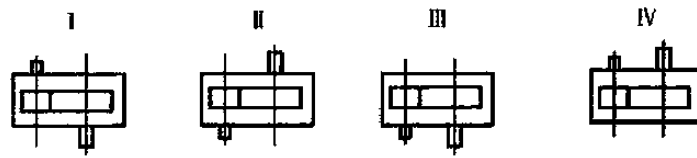
(3) 主要生产厂家

第一重型机器厂、第二重型机器厂、沈阳矿山机器厂、浙江星河机器厂。

1.2 外形、安装尺寸及装配型式

ZDY 型减速器外形、安装尺寸和装配型式





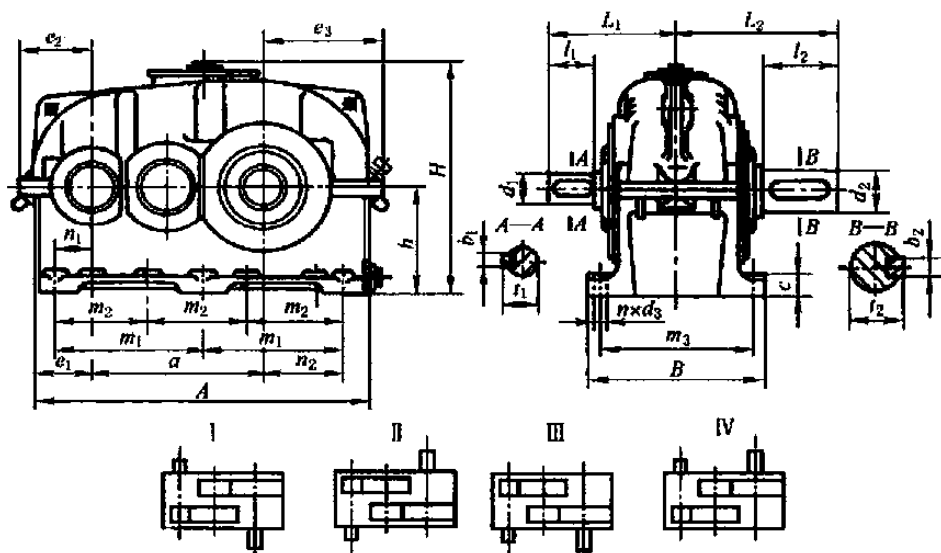
装配型式

表 16-2-1

mm

型号 ZDY (中心距)	A	B	H _≈	a	i = 1.25 ~ 2.8					i = 3.15 ~ 4.5					i = 5 ~ 5.6				
					d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁
80	235	150	210	80	28	42	112	8	31	24	36	106	8	27	19	28	98	6	21.5
100	290	175	260	100	42	82	167	12	45	28	42	127	8	31	22	36	121	6	24.5
125	355	195	330	125	48	82	182	14	51.5	38	58	158	10	41	28	42	142	8	31
160	445	245	403	160	65	105	225	18	69	48	82	202	14	51.5	38	58	178	10	41
200	545	310	507	200	80	130	275	22	85	60	105	250	18	64	48	82	227	14	51.5
250	680	370	662	250	100	165	340	28	106	80	130	305	22	85	60	105	280	18	64
280	755	450	722	280	110	165	385	28	116	85	130	350	22	90	65	105	325	18	69
315	840	500	770	315	130	200	445	32	137	95	130	375	25	100	75	105	350	20	79.5
355	930	550	930	355	140	200	470	36	148	100	165	435	28	106	90	130	400	25	95
400	1040	605	982	400	150	200	485	36	158	110	165	450	28	116	95	130	415	25	100
450	1150	645	1090	450	160	240	545	40	169	120	165	470	32	127	100	165	470	28	106
500	1290	710	1270	500	180	240	580	45	190	130	200	540	32	137	120	165	505	32	127
560	1440	780	1360	560	200	280	660	45	210	150	200	580	36	158	130	200	580	32	137
型号 ZDY (中心距)	d ₁ (m6)	l ₂	L ₂	b ₂	t ₂	c	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	e ₁	e ₂	e ₃	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	润滑油量 /L
																d ₃	n		
80	32	58	128	10	35	18	180	—	120	40	60	67.5	81	101	100	12	4	14	0.9
100	48	82	167	14	51.5	22	225	—	140	52.5	72.5	85	102	122	125	15	4	35	1.6
125	55	82	182	16	59	25	290	—	160	65	100	97.5	119	155	160	15	4	76	3.2
160	70	105	225	20	74.5	32	355	—	200	73	122	118	141	190	200	18.5	4	115	6.5
200	90	130	275	25	95	40	425	—	255	80	145	140	169	235	250	24	4	228	12.8
250	110	165	340	28	116	50	550	275	305	110	190	175	214	295	315	28	6	400	23
280	130	200	420	32	137	50	620	310	380	120	220	187.5	228	328	355	28	6	540	36
315	140	200	445	36	148	63	700	350	420	137.5	247.5	207.5	254	364	400	35	6	800	45
355	150	200	470	36	158	63	770	385	470	142.5	272.5	222.5	269	397	450	35	6	870	70
400	160	240	525	40	169	80	850	425	510	150	300	245	304	454	500	42	6	1640	90
450	170	240	545	40	179	80	950	475	550	165	335	265	331	501	560	42	6	2100	125
500	190	280	620	45	200	100	1080	540	610	190	390	295	418	618	630	42	6	3100	180
560	240	330	790	56	252	100	1200	600	680	205	435	325	432	662	710	48	6	3730	250

ZLY 型减速器外形、安装尺寸及装配型式

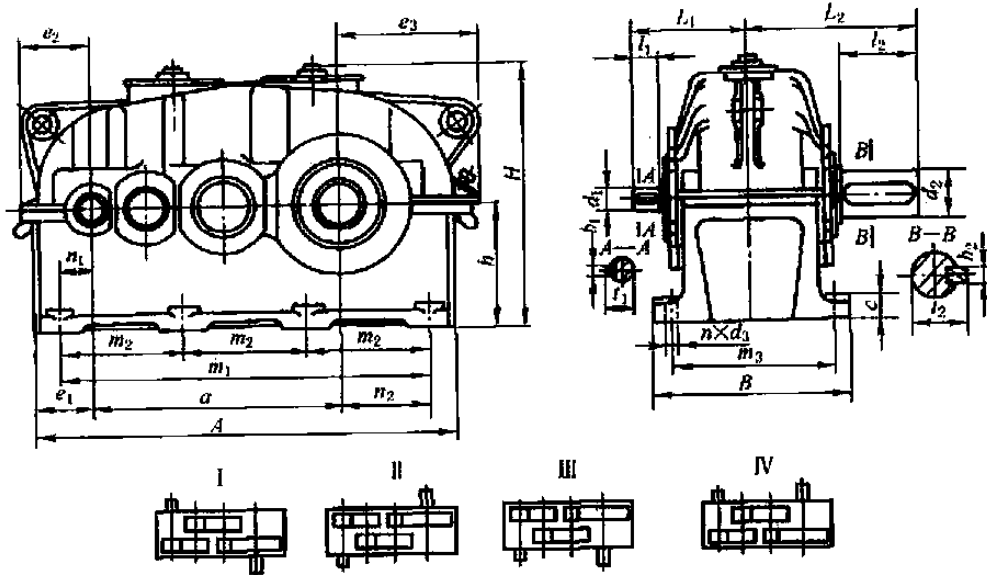


装配型式

表 16-2-2

型号 ZLY (低速级 中心距)	A	B	H _≈	a	i = 6.3 ~ 11.2					i = 12.5 ~ 20					d ₂ (m6)	l ₂	L ₂	b ₂	t ₂
					d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁					
112	385	215	265	192	24	36	141	8	27	22	36	141	6	24.5	48	82	192	14	51.5
125	425	235	309	215	28	42	157	8	31	24	36	151	8	27	55	82	197	16	59
140	475	245	335	240	32	58	185	10	35	28	42	167	8	31	65	105	230	18	69
160	540	290	375	272	38	58	198	10	41	32	58	198	10	35	75	105	245	20	79.5
180	600	320	435	305	42	82	232	12	45	32	58	208	10	35	85	130	285	22	90
200	665	355	489	340	48	82	247	14	51.5	38	58	223	10	41	95	130	300	25	100
224	755	390	515	384	48	82	267	14	51.5	42	82	267	12	45	100	165	355	28	106
250	830	450	594	430	60	105	315	18	64	48	82	292	14	51.5	110	165	380	28	116
280	920	500	670	480	65	105	340	18	69	55	82	317	16	59	130	200	440	32	137
315	1030	570	780	539	75	105	365	20	79.5	60	105	365	18	64	140	200	470	36	148
355	1150	600	870	605	85	130	410	22	90	70	105	385	20	74.5	170	240	530	40	179
400	1280	690	968	680	90	130	440	25	95	80	130	440	22	85	180	240	560	45	190
450	1450	750	1065	765	100	165	515	28	106	85	130	480	22	90	220	280	640	50	231
					i = 6.3 ~ 12.5					i = 14 ~ 20									
500	1600	830	1190	855	110	165	555	28	116	95	130	520	25	100	240	330	730	56	252
560	1760	910	1320	960	120	165	575	32	127	110	165	575	28	116	280	380	820	63	292
630	1980	1010	1480	1080	140	200	660	36	148	120	165	625	32	127	300	380	870	70	314
710	2220	1110	1653	1210	160	240	740	40	169	140	200	700	36	148	340	450	990	80	355
型号 ZLY(低 速级中心距)	c	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	e ₁	e ₂	e ₃	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	润滑油 量/L					
											d ₃	n							
112	22	160	—	180	43	85	75.5	92	134	125	15	6	60	3					
125	25	180	—	200	45	100	77.5	98	153	140	15	6	69	4.3					
140	25	200	—	210	47.5	112.5	85	106	171	160	15	6	105	6					
160	32	225	—	245	58	120	103	126	188	180	18.5	6	155	8.5					
180	32	250	—	275	60	135	110	134	209	200	18.5	6	185	11.5					
200	40	280	—	300	65	155	117.5	148	238	225	24	6	260	16.5					
224	40	310	—	335	70	165.5	137.5	168	263	250	24	6	370	23					
250	50	350	—	380	80	190	145	184	293	280	28	6	527	32					
280	50	380	—	430	75	205	155	195	325	315	28	6	700	46					
315	63	420	—	490	78	223	173	219	364	355	35	6	845	65					
355	63	475	—	520	92.5	252.5	192.5	238	398	400	35	6	1250	90					
400	80	520	—	590	95	265	215	275	445	450	42	6	1750	125					
450	80	—	400	650	117.5	317.5	242.5	305	505	500	42	8	2650	180					
500	100	—	440	710	120	345	262.5	337	557	560	48	8	3400	250					
560	100	—	490	790	120	390	265	354	624	630	48	8	4500	350					
630	125	—	540	870	115	425	295	384	694	710	56	8	6800	350					
710	125	—	610	950	140	480	335	440	780	800	56	8	8509	520					

ZSY 型减速器外形、安装尺寸和装配型式



装配型式

mm

表 16-2-3

型号 ZSY (低速级 中心距)	A	B	H≈	a	i = 22.4 ~ 71					i = 80 ~ 100					d ₂ (m6)	l ₂	L ₂	b ₂	t ₂
					d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁	d ₁ (m6)	l ₁	L ₁	b ₁	t ₁					
160	600	290	375	352	24	36	166	8	27	19	28	158	6	21.5	75	105	245	20	79.5
180	665	320	435	395	28	42	187	8	31	22	36	181	6	24.5	85	130	285	22	90
200	745	355	492	440	32	58	218	10	35	22	36	196	6	24.5	95	130	300	25	100
224	840	390	535	496	38	58	233	10	41	24	36	211	8	27	100	165	355	28	106
250	930	450	589	555	42	82	282	12	45	32	58	258	10	35	110	165	380	28	116
280	1025	500	662	620	48	82	307	14	51.5	38	58	283	10	41	130	200	440	32	137
315	1160	570	749	699	48	82	337	14	51.5	42	82	337	12	45	140	200	470	36	148
					i = 22.4 ~ 35.5					i = 40 ~ 90									
355	1280	600	870	785	60	105	380	18	64	48	82	357	14	51.5	170	240	530	40	179
400	1420	690	968	880	65	105	410	18	69	55	82	387	16	59	180	240	560	45	190
450	1610	750	1067	989	70	105	450	20	74.5	60	105	450	18	64	220	280	640	50	231
					i = 22.4 ~ 45					i = 50 ~ 90									
500	1790	830	1170	1105	80	130	515	22	85	65	105	490	18	69	240	330	730	56	252
560	2010	910	1320	1240	95	130	530	25	100	75	105	505	20	79.5	280	380	820	63	292
630	2260	1030	1480	1395	110	165	625	28	116	85	130	590	22	90	300	380	880	70	314
710	2540	1160	1655	1565	120	165	685	32	127	90	130	650	25	95	340	450	1010	80	355
型号 ZSY (低速级 中心距)	c	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	e ₁	e ₂	e ₃	h	地脚螺栓孔		质量 /kg	润滑油 量/L					
											d ₃	n							
160	32	510	170	245	38	120	83	107	188	180	18.5	8	170	10					
180	32	570	190	275	37.5	137.5	85	109	209	200	18.5	8	205	14					
200	40	630	210	300	40	150	97.5	128	238	225	24	8	285	19					
224	40	705	235	335	43.5	165.5	110.5	141	263	250	24	8	390	26					
250	50	810	270	380	60	195	120	158	293	280	28	8	540	36					
280	50	855	285	430	35	200	120	160	325	315	28	8	750	53					
315	63	960	320	490	40	218	143	189	364	355	35	8	940	75					
355	63	1080	360	520	42.5	252.5	143	188	398	400	35	8	1400	115					
400	80	1200	400	590	45	275	155	215	445	450	42	8	1950	160					
450	80	1350	450	650	48	313	178	240	505	500	42	8	2636	220					
500	100	1500	500	710	59	332.5	200	277	557	560	48	8	3800	300					
560	100	1680	560	790	70	370	235	324	624	630	48	8	5100	450					
630	125	1890	630	890	72.5	422.5	255	344	694	710	56	8	7060	520					
710	125	2130	710	1000	92.5	472.5	297.5	400	780	800	56	8	9205	820					

1.3 承载能力

表 16-2-4

ZDY 型减速器功率 P_1

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		中 心 距 a/mm												
	输入	输出	80	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	560
	n_1	n_2	公 称 输 入 功 率 P_1/kW												
1.25	1500	1200	57	103	205	360	633	1121							
	1000	800	40	69	140	260	446	807							
	750	600	31	52	105	190	348	636							
1.4	1500	1070	53	96	194	326	616	1109							
	1000	715	37	65	132	240	433	794							
	750	535	29	48	102	180	337	624							
1.6	1500	940	49	92	180	310	587	1068	1473	1996	2766				
	1000	625	34	63	125	217	410	760	1051	1430	1992				
	750	470	27	50	98	168	319	595	824	1124	1569				
1.8	1500	835	45	87	173	290	557	1024	1441	1925	2663				
	1000	555	31	62	120	206	389	726	1002	1372	1906				
	750	415	24	48	95	160	302	567	784	1074	1497				
2	1500	750	39	80	158	278	526	970	1339	1827	2536				
	1000	500	27	55	110	194	367	684	946	1296	1806	2547	3578	4793	
	750	375	21	43	85	150	284	534	738	1013	1414	1999	2821	3775	5169
2.24	1500	670	36	70	141	264	484	914	1236	1711	2377				
	1000	445	25	49	98	183	337	645	874	1207	1683	2402	3397	4512	
	750	335	19	38	76	142	262	503	682	941	1314	1878	2667	3538	4833
2.5	1500	600	32	64	127	245	447	855	1154	1617	2264				
	1000	400	22	45	88	170	311	601	812	1136	1596	2235	3185	4353	
	750	300	17	35	68	132	241	468	633	884	1243	1742	2492	3406	4645
2.8	1500	535	27	53	115	224	409	789	1063	1489	2068				
	1000	360	19	37	80	155	284	552	746	1048	1456	2049	2945	4000	
	750	270	15	29	62	120	220	429	580	816	1134	1593	2296	3118	4232
3.15	1500	475	23	47	96	203	375	709	990	1359	1924	2658	3790	5036	6666
	1000	315	16	33	67	140	260	496	695	952	1352	1877	2681	3607	4807
	750	235	13	25	52	109	202	385	540	740	1052	1458	2084	2802	3747
3.55	1500	425	20	41	85	179	337	639	898	1210	1730	2410	3407	4460	6119
	1000	280	14	28	59	124	234	446	628	845	1210	1694	2396	3196	4395
	750	210	11	22	46	96	181	346	488	655	940	1312	1856	2483	3419
4	1500	375	17	34	69	155	300	570	774	1095	1555	2146	2981	3985	5651
	1000	250	12	24	48	107	208	396	539	764	1088	1501	2090	2838	4033
	750	187	9	18	37	83	161	307	418	590	844	1160	1618	2199	3128
4.5	1500	335	14	29	55	137	260	495	703	997	1367	1878	2619	3635	4912
	1000	220	9.5	20	38	95	180	344	488	694	953	1311	1832	2582	3485
	750	166	7	15	30	73	139	266	378	536	738	1015	1416	1997	2694
5	1500	300	11	25	48	121	229	451	608	864	1179	1680	2340	3149	4400
	1000	200	8	17	33	84	159	313	422	599	820	1168	1629	2231	3125
	750	150	6	13	26	65	123	242	326	462	633	900	1257	1724	2418
5.6	1500	270	10	20	40	109	211	389	531	779	1031	1564	2038	2791	3778
	1000	180	7	14	27	75	146	270	368	540	716	1088	1417	1969	2670
	750	134	5	11	21	59	113	208	285	416	554	838	1092	1519	2061
6.3	1500	240		16	36	90	175	353	465	651	944	1313	1804	2547	3342
	1000	160		11	25	63	121	244	322	451	655	911	1252	1795	2356
	750	120		9	19	49	94	189	249	349	507	704	964	1388	1817

ZLY 型减速器功率 P₁

公称传动比 i	低速级中心距/mm																		
	公称输入功率 P ₁ /kW																		
	输入	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	
	公称转速 /r·min ⁻¹																		
	n ₂																		
6.3	1500	240	37.4	54	73	114	157	221	305	424	578	791	1156	1650	2192	3132	4310	—	—
	1000	160	26.4	37.4	50	78	109	153	211	294	400	548	802	1146	1558	2181	3000	4347	6229
	750	120	19.5	28.6	38.5	60	84	119	163	227	308	422	618	884	1213	1685	2320	3357	4884
7.1	1500	210	34	49	66	104	143	201	277	385	525	719	1051	1500	1993	2847	3817	—	—
	1000	140	24	34	45.5	71	99	139	192	267	364	498	729	1042	1416	1983	2731	3952	5663
	750	106	17.7	26	35	54.5	76	108	148	206	280	384	562	804	1103	1532	2109	3052	4440
8	1500	185	32	43	61	94.5	130	181.5	250	347	469	678	932	1309	1869	2489	3520	—	—
	1000	125	21.5	29.5	42.4	64	93	126	173	241	325	470	646	908	1298	1730	2447	3398	5019
	750	94	17	23	33	49	69	97	133	186	251	362	498	700	1000	1333	1887	2619	3881
9	1500	167	29	38.5	56	81	119	165.5	227	315	423	612	841	1182	1689	2248	3183	—	—
	1000	111	20	27	38.5	55	82.5	115	157	218	293	424	583	819	1172	1561	2210	3068	4537
	750	83	15	20.5	30	42	64	88	121	168	226	327	449	631	903	1202	1703	2363	3502
10	1500	150	26	35	50	73	109	149	204	284	383	555	762	1070	1530	2038	2883	—	—
	1000	100	18	24	35	50	75	103	142	197	266	384	528	742	1061	1414	2001	2777	4112
	750	75	14	18.5	26.6	38	58	80	109	152	204	296	407	571	817	1088	1541	2139	3172
11.2	1500	134	23	31.5	45	66	96	133	184	255	346	500	688	966	1381	1839	2604	—	—
	1000	89	16	22	31	45	67	92	127	177	240	347	477	669	957	1275	1806	2506	3711
	750	67	12	17	24	35	51	71	98	136	185	267	367	516	737	982	1391	1930	2862
12.5	1500	120	21	28	40	59	83	116.5	165	229	311	450	618	869	1242	1654	2341	—	—
	1000	80	14	19.5	28	40	57	81	114	159	216	312	428	601	860	1146	1621	2251	3338
	750	60	11	15	21	31	44	63	88	122	166	240	330	463	663	882	1249	1734	2573
14	1500	107	18.5	25	36	52.5	74	105	148	206	279	404	555	779	1115	1485	2162	2918	4318
	1000	71	12.5	17.5	25	36	51	73	102	142	193	280	384	540	772	1028	1455	2020	2996
	750	54	9.8	13	19	27.6	39	56	79	110	149	216	296	416	594	792	1120	1555	2310
16	1500	94	16	22	31	47.5	70.5	98	133	185	251	362	498	700	1000	1333	1887	2619	3879
	1000	62	11	15	21.5	32	49	68	92	128	174	251	345	484	693	923	1306	1812	2690
	750	47	8	11.5	17	25	38	53	71	99	134	193	266	373	533	711	1005	1395	2073
18	1500	83	14	19.5	28	42.5	60.5	86	115	161	225	326	448	629	899	1197	1697	2353	3487
	1000	56	10	13.5	19.6	29	42	59.5	80	111	156	226	310	435	622	829	1175	1628	2417
	750	42	7.5	10.5	15	22	32	46	61	86	120	174	239	335	479	638	905	1252	1861
20	1500	75	13	18	25.5	38	59	77	103	142	205	296	418	587	839	1120	1580	2200	3260
	1000	50	9	12	18	26.5	41	53.5	72	95	142	205	279	392	560	746	1050	1460	2170
	750	38	6.8	9.5	14	20	32	41	55	76	109	158	210	295	420	562	735	1120	1635

表 16-2-6

ZSY 型減速器功率 P_1

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		低 速 级 中 心 距/mm													
	输入	输出	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
	n_1	n_2	公 称 输 入 功 率 P_1/kW													
22.4	1500	67	34	51	68	98	131	182	270	400	530	780	1060	1450	1865	—
	1000	44	24	35	48	68	91	128	185	262	355	540	750	1025	1325	1905
	750	33	18	27	37	52	70	97	135	215	275	415	580	800	1030	1485
25	1500	60	32	46	63	96	115	157	240	365	470	705	1020	1405	1865	—
	1000	40	22	31	43	66	80	108	163	250	315	465	705	975	1325	1905
	750	30	16	24	33	51	60	84	122	195	240	350	540	750	1030	1485
28	1500	54	29	42	59	86	113	142	220	325	425	625	945	1260	1800	—
	1000	36	20	29	41	60	75	98	148	215	280	425	650	870	1245	1760
	750	27	15	22	31	46	56	76	114	160	210	310	500	670	960	1355
31.5	1500	48	26	37	51	79	95	127	197	290	395	560	840	1140	1600	—
	1000	32	17	26	35	55	63	86	132	195	370	370	585	790	1110	1565
	750	24	14	20	27	42	49	65	100	145	200	280	450	605	855	1200
35.5	1500	42	23	34	47	70	88	117	178	275	350	510	755	1025	1450	—
	1000	28	15	23	32	48	59	80	118	180	235	340	520	710	1000	1410
	750	21	12	18	25	37	44	61	90	140	175	255	405	545	750	1090
40	1500	38	21	30	42	64	79	107	158	235	325	465	675	930	1300	—
	1000	25	17	21	29	40	53	71	108	160	210	315	465	640	900	1315
	750	19	11	16	22	31	41	55	80	125	155	235	360	465	680	1051
45	1500	33	17	24	34	46	70	96	142	215	280	410	615	850	1130	—
	1000	22	12	16	24	32	47	64	95	145	185	280	425	590	770	1150
	750	17	9	12	18	25	36	50	74	110	140	210	320	450	600	885
50	1500	30	15	22	32	46	63	85	128	195	245	360	540	750	1030	1490
	1000	20	11	15	22	31	43	59	85	130	165	240	370	520	710	1030
	750	15	8	12	17	24	32	43	65	95	125	180	290	400	550	795
56	1500	27	15	21	31	43	56	76	112	170	220	310	480	675	955	1340
	1000	18	10	15	22	30	38	52	77	115	145	210	330	470	660	935
	750	13.4	8	11	17	23	28	40	58	90	110	160	255	360	510	715
63	1500	24	12	17	23	37	45	61	102	145	195	280	425	605	860	1170
	1000	16	8	12	16	25	30	42	70	100	130	190	290	420	600	810
	750	12	6	9	12	20	23	32	52	75	100	140	225	325	460	620
71	1500	21	11	17	23	33	40	56	90	130	185	245	390	540	770	1045
	1000	14	18	11	15	23	27	38	60	90	115	175	270	370	540	725
	750	10.6	8	9	12	18	21	29	45	65	90	125	210	285	410	555
80	1500	18.8	9	13	18	26	36	51	80	115	155	225	340	470	675	960
	1000	12.5	6	9	12	18	24	34	54	80	100	150	240	330	470	665
	750	9.4	4	7	10	14	19	27	42	60	80	110	185	250	360	510
90	1500	16.7	8	12	18	25	33	46	74	105	140	200	305	395	590	765
	1000	11.1	6	8	12	17	22	30	49	70	95	130	200	278	405	530
	750	8.3	4	6	9	13	17	23	37	55	70	100	160	210	300	405
100	1500	15	8	11	16	24	30	43	60	—	—	—	—	—	—	—
	1000	10	5	7	11	16	21	29	40	—	—	—	—	—	—	—
	750	7.5	4	6	8	13	16	22	30	—	—	—	—	—	—	—

表 16-2-7

减速器热功率

ZDY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}																			
散热冷却条件			规 格																
没有冷却措施	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	80	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	560				
			P_{G1}/kW																
	小空间	≥ 0.5	13	20	31	48	77	115	145	182	228	286	365	440	542				
	较大空间	≥ 1.4	18	29	43	68	110	160	210	270	320	415	515	620	770				
在户外露天	≥ 3.7	24	38	58	92	145	220	275	360	425	550	690	840	1020					
盘状管冷却或循环油润滑	环境条件	水管内径 d/mm	8	8	8	12	12	15	15	20	20	20	20	20	20				
			环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	P_{G2}/kW															
	小空间	≥ 0.5		48	65	90	180	300	415	490	610	695	870	1010	1190	1300			
	较大空间	≥ 1.4	48	75	100	200	330	465	550	695	790	1000	1160	1380	1530				
在户外露天	≥ 3.7	54	90	120	220	365	520	625	790	900	1140	1340	1600	1780					
ZLY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}																			
散热冷却条件			规 格																
没有冷却措施	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
			P_{G1}/kW																
	小空间	≥ 0.5	16	20	24	30	38	48	60	74	92	115	145	181	226	276	345	430	540
	较大空间	≥ 1.4	20	28	35	43	54	67	87	105	130	165	210	255	320	405	485	620	760
在户外露天	≥ 3.7	30	38	47	57	73	88	115	140	175	220	275	345	420	530	650	810	1000	
盘状管冷却或循环油润滑	环境条件	水管内径 d/mm	8	8	15	15	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20	
			环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	P_{G2}/kW															
	小空间	≥ 0.5		34	41	98	104	150	170	200	225	266	280	305	365	415	490	550	680	800
	较大空间	≥ 1.4	38	50	109	116	170	190	225	260	305	330	370	440	510	620	690	870	1010
在户外露天	≥ 3.7	48	60	120	130	200	210	250	295	350	385	435	530	610	750	860	1060	1250	
ZSY 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}																			
散热冷却条件			规 格																
没有冷却措施	环境条件	环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710			
			P_{G1}/kW																
	小空间	≥ 0.5	24	30	37	45	56	69	86	110	135	165	208	258	322	400			
	较大空间	≥ 1.4	34	42	52	64	80	98	116	155	190	235	300	365	450	570			
在户外露天	≥ 3.7	46	57	69	87	108	132	162	205	250	310	400	475	600	760				
盘状管冷却或循环油润滑	环境条件	水管内径 d/mm	15	15	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20			
			环境气流速度 $v/m \cdot s^{-1}$	P_{G2}/kW															
	小空间	≥ 0.5		70	77	92	106	150	160	180	210	350	370	430	480	700	770		
	较大空间	≥ 1.4	80	89	107	125	175	190	210	255	400	440	520	590	820	940			
在户外露天	≥ 3.7	90	105	124	148	200	225	255	310	460	510	620	700	970	1150				

注：当采用循环油润滑时，可按润滑系统计算适当提高 P_{G2} 。

1.4 减速器的选用

减速器的承载能力受机械强度和热平衡许用功率两方面的限制。因此选用减速器必须经过以下两个步骤。

(1) 选用减速器的公称输入功率 P_1

应满足：

$$P_{2m} = P_2 K_A S_A < P_1 \quad (16-2-1)$$

式中 P_{2m} ——机械强度计算功率，kW；

P_2 ——负载功率，kW；

K_A ——工况系数（即使用系数），见表 16-2-8；

S_A ——安全系数，见表 16-2-9；

P_1 ——减速器公称输入功率，见表 16-2-4 ~ 表 16-2-6。

表 16-2-8 工况系数 K_A

原 动 机	每日工作时间/h	均匀载荷 U	中等冲击载荷 M	强冲击载荷 H
电机 汽轮机 水力机	≤ 3	0.8	1	1.5
	$> 3 - 10$	1	1.25	1.75
	> 10	1.25	1.5	2
4-6缸的活塞发动机	≤ 3	1	1.25	1.75
	$> 3 - 10$	1.25	1.5	2
	> 10	1.5	1.75	2
1-3缸的活塞发动机	≤ 3	1.25	1.5	2
	$> 3 - 10$	1.5	1.75	2.25
	> 10	1.75	2	2.5

表 16-2-9 安全系数 S_A

重要性与安全要求	一般设备, 减速器失效仅引起单机停产且易更换备件	重要设备, 减速器失效引起机组、生产线或全厂停产	高度安全要求, 减速器失效引起设备、人身事故
S_A	1.1 ~ 1.3	1.3 ~ 1.5	1.5 ~ 1.7

(2) 校核热平衡许用功率

应满足：

$$P_{2t} = P_2 f_1 f_2 f_3 \leq P_{G1} \text{ 或 } P_{G2} \quad (16-2-2)$$

式中 P_{2t} ——计算热功率，kW；

P_{G1} , P_{G2} ——减速器热功率，无冷却装置为 P_{G1} ，有冷却装置为 P_{G2} ；

f_1 , f_2 , f_3 ——系数，查表 16-2-10 ~ 表 16-2-12。

表 16-2-10 环境温度系数 f_1

冷却条件	环 境 温 度 / $^{\circ}\text{C}$				
	10	20	30	40	50
无冷却	0.9	1	1.15	1.35	1.65
冷却管冷却	0.9	1	1.1	1.2	1.3

表 16-2-11 载荷率系数 f_2

小时载荷率/%	100	80	60	40	20
f_2	1	0.94	0.86	0.74	0.56

表 16-2-12 公称功率利用系数 f_3

$(P_2/P_1)/\%$	40	50	60	70	80-100
f_3	1.25	1.15	1.1	1.05	1

表 16-2-13

工作机械载荷分类

工作机械	载荷类别	工作机械	载荷类别	工作机械	载荷类别	工作机械	载荷类别			
风机	风机(轴向和径向)	U	筒式输送机	H	金属 滚 轧 机	剪板机 ^①	H			
	冷却塔风扇	M	筒式转向轮	H		板材摆动升降台 ^①	M			
	引风机	M	挖泥头	H		轧辊调整装置	M			
	螺旋活塞式风机	M	机动绞车	M		辊式校直机 ^①	M			
	涡轮式风机	U	泵	M		轧钢机辊道(重 型) ^①	H			
建筑 机械	混凝土搅拌机	M	转向齿轮传动装置	M	轧钢机辊道(轻 型) ^①	M	塑料 机 械	活塞泵	H	
	卷扬机	M	行走齿轮传动装置 (履带)	H	薄板轧机 ^①	H		柱塞泵 ^①	H	
	路面建筑机械	M	行走齿轮传动装置 (铁轨)	M	修整剪切机 ^①	M		压力泵 ^①	H	
化工 机械	搅拌机(液体)	U	灌注及装箱机器	U	焊管机	H	橡 胶 机 械	压光机 ^①	M	
	搅拌机(半液体)	M	甘蔗压榨机 ^①	M	焊接机(带材及线 材)	M		挤压机 ^①	M	
	离心机(重型)	M	甘蔗切断机 ^①	M	线材拉拔机	M		螺旋压出机 ^①	M	
	离心机(轻型)	U	甘蔗粉碎机	H	动力轴	U		混合机 ^①	M	
	冷却滚筒 ^①	M	搅拌机	M	锻造机	H		压光机 ^①	M	
压缩 机	干燥滚筒 ^①	M	酱状物吊桶	M	锻锤 ^①	H	石 料、 瓷 土 加 工 机 械	挤压机 ^①	H	
	搅拌机	M	包装机	U	机床及辅助装置	U		破碎机	H	
传 送 运 输 机 械	活寒式压缩机	H	糖甜菜切断机	M	机床及主要传动 装置	M	橡 胶 机 械	混合搅拌机 ^①	M	
	涡轮式压缩机	M	糖甜菜清洗机	M	金属刨床	H		捏和机 ^①	H	
	平板输送机	M	频率转换器	H	板材校直机床	H		滚压机 ^①	H	
	平衡块升降机	M	发动机	H	冲床	H		球 磨 机 ^①	球磨机 ^①	H
	槽式输送机	M	焊接发动机	H	冲压机床	H			挤压粉碎机 ^①	H
	带式输送机(大件)	M	滚筒	M	剪床	M	破碎机		H	
	带式输送机(碎料)	H	洗衣机	M	薄板弯曲机床	M	压砖机		H	
	筒式面粉输送机	U	钢坯剪断机 ^①	H	输油管油泵 ^①	M	锤粉碎机 ^①		H	
	链式输送机	M	链式输送机 ^①	M	转子钻井设备	H	转炉 ^①	H		
	环式输送机	M	冷轧机 ^①	H	压光机 ^①	H	筒形磨机 ^①	H		
	货物升降机	M	连铸成套设备 ^①	H	多层纸板机 ^①	H	送 料 机	送料机	M	
	卷扬机 ^①	H	冷床 ^①	M	干燥滚筒 ^①	H		织布机	M	
	倾斜卷扬机 ^①	H	剪料机头 ^①	H	上光滚筒 ^①	H		印染机械	M	
	连杆式输送机	M	交叉转弯输送机 ^①	M	搅浆机 ^①	H		精制桶	M	
	载人升降机	M	除锈机 ^①	H	纸浆擦碎机 ^①	H		威罗机	M	
螺旋式输送机	M	重型和中型板 轧机 ^①	H	吸水液 ^①	H	水 处 理 机	鼓风机 ^①	M		
钢带式输送机	M	棒坯初轧机 ^①	H	吸水滚压机 ^①	H		螺旋泵	M		
链式槽型输送机	M	棒坯转运机械 ^①	H	潮纸滚压机 ^①	H		木 材 加 工 机 械	剥皮机	H	
绞车运输	M	棒坯推料机 ^①	H	威罗机	H			刨床	M	
起 重 机	转臂式起重传动齿 轮装置	M	推床 ^①	H	离心泵(稀液体)			U	锯床 ^①	H
	卷扬机齿轮传动 装置	U			离心泵(半液体)	M		木材加工机床	U	
	吊杆起落齿轮传动 装置	U								
	转向齿轮传动装置	M								
	行走齿轮传动装置	H								

① 仅用于 24h 工作制。

注: U—均匀载荷; M—中等冲击载荷; H—强冲击载荷。

例：输送大件物品的带式传动机减速器，电动机驱动，通过中间减速，输入转速 $n_1 = 1200\text{r/min}$ ，传动比 $i = 4.5$ ，负载功率 $P_2 = 380\text{kW}$ ，轴伸承受纯转矩，每日工作 24h，最高环境温度 $t = 38^\circ\text{C}$ ，厂房较大，自然通风冷却，油池润滑。要求选用第一种装配型式标准减速器。

第一步，按减速器的机械强度功率表选取，要计入工况系数 K_A ，还要考虑安全系数 S_A 。

带式传动机负荷为中等冲击，减速器失效会引起生产线停产。查表 16-2-8、表 16-2-9 得 $K_A = 1.5$ ， $S_A = 1.5$ ，机械强度计算功率为

$$P_{2m} = P_2 K_A S_A = 380\text{kW} \times 1.5 \times 1.5 = 855\text{kW}$$

按 $i = 4.5$ 及 $n_1 = 1200\text{r/min}$ 接近公称转速 1000r/min ，查表 16-2-4：ZDY 355， $i = 4.5$ ， $n_1 = 1000\text{r/min}$ ， $P_1 = 953\text{kW}$ 。当 $n_1 = 1200\text{r/min}$ 时，折算公称功率

$$P_1 = 953\text{kW} \times 1200/1000 = 1143.6\text{kW}$$

$P_{2m} = 855\text{kW} < P_1 = 1143.6\text{kW}$ ，可以选用 ZDY355 减速器。

第二步，校核热功率 P_{2t} 能否通过。要计入系数 f_1 、 f_2 、 f_3 ，应满足

$$P_{2t} = P_2 f_1 f_2 f_3 \leq P_{G1} \text{ 或 } P_{G2}$$

查表 16-2-10 ~ 表 16-2-12 得 $f_1 = 1.31$ ， $f_2 = 1$ （每日 24h 连续工作）， $f_3 = 1.25$ （ $P_2/P_1 = 380/1143.6 = 0.33 = 33\% \leq 40\%$ ）。

$$P_{2t} = 380\text{kW} \times 1.31 \times 1.25 = 622.3\text{kW}$$

查表 16-2-7：ZDY 355， $P_{G1} = 320\text{kW}$ ， $P_{G1} < P_{2t}$ ，采用盘状管冷却时， $P_{G2} = 790\text{kW}$ ， $P_{G2} > P_{2t}$ 。因此可以选定：ZDY355-4.5-1 减速器，采用油池润滑，盘状水管通水冷却润滑油。

如果不采用盘状管冷却，则需另选较大规格的减速器。按以上程序重新计算，应选 ZDY 500-4.5-1。

减速器的许用瞬时尖峰负荷 $P_{2max} \leq 1.8P_1$ 。此例未给出运转中的瞬时尖峰负荷，故不校核。

2 QJ 型起重机三支点减速器（摘自 JB/T 8905.1—1999）、 QJ-D 型起重机底座式减速器（摘自 JB/T 8905.2—1999）和 DQJ 型、DQJD 型点线啮合齿轮减速器（摘自 JB/T 10468—2004）

2.1 适用范围、安装方式和代号

(1) 适用范围

QJ 型减速器是一种外啮合、斜齿、中硬齿面、三点支承式的渐开线圆柱齿轮减速器；QJ-D 型减速器是 QJ 型减速器的派生系列，支承方式为底座式。QJ 型减速器分为 QJR 型（二级）、QJS 型（三级）和 QJRS 型（二级安装尺寸，三级速比，即二级折轴式）三种结构型式。同样，QJ-D 型也分为 QJR-D 型、QJS-D 型、QJRS-D 型三种结构。主要用于起重机各种传动机构中，也可用于运输、冶金、矿山、化工、建筑、轻工等行业的各种机械设备的传动结构中。其适用工作条件为：齿轮圆周速度不大于 16m/s ；高速轴转速不大于 1000r/min ；工作环境温度为 $-40 \sim 45^\circ\text{C}$ ，低于 0°C 时，启动前润滑油应加热到 5°C ；可正、反两方向运转。

QJ 型及 QJ-D 型减速器，生产厂较多，国内已广泛应用，DQJ 型及 DQJD 型减速器是一种新型的点线啮合齿轮减速器，啮合齿轮同时存在渐开线的线啮合和渐开线凸齿廓与过渡曲线凹齿廓接触的点啮合，因而这种减速器兼具渐开线齿轮和圆弧齿轮两种减速器的优点。其承载能力为同样中硬齿面渐开线齿轮减速器的 2~3 倍，传动同样功率可选小 1~2 挡，重量降低 30%~50%，而且由于重合度大，接触精度高，运转平稳，噪声可比同精度的渐开线齿轮减速器低 5~10dB(A)。

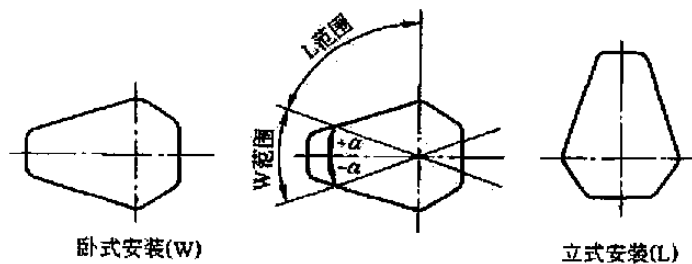


图 16-2-1 QJ 型减速器安装方式

DQJ (DQJD) 系列的外形、安装尺寸与 QJ (QJ-D) 系列相同, 本手册只录入 QJ (QJ-D) 系列的技术资料, DQJ (DQJD) 系列的速比、承载能力及输出轴端尺寸详见厂家样本资料。

(2) 安装方式、装配型式

QJ 型减速器分卧式 (W)、立式 (L), 在偏转角 $\pm\alpha$ 范围 (W 范围) 内为卧式, L 范围内为立式安装, 如图 16-2-1 所示。 α 角的大小与传动比有关, 当减速器倾斜 α 角时, 应保证使中间级大齿轮浸入油中 1~2 个齿高深度。

QJ 型减速器为三点支承式, 支承结构如图 16-2-2 所示。

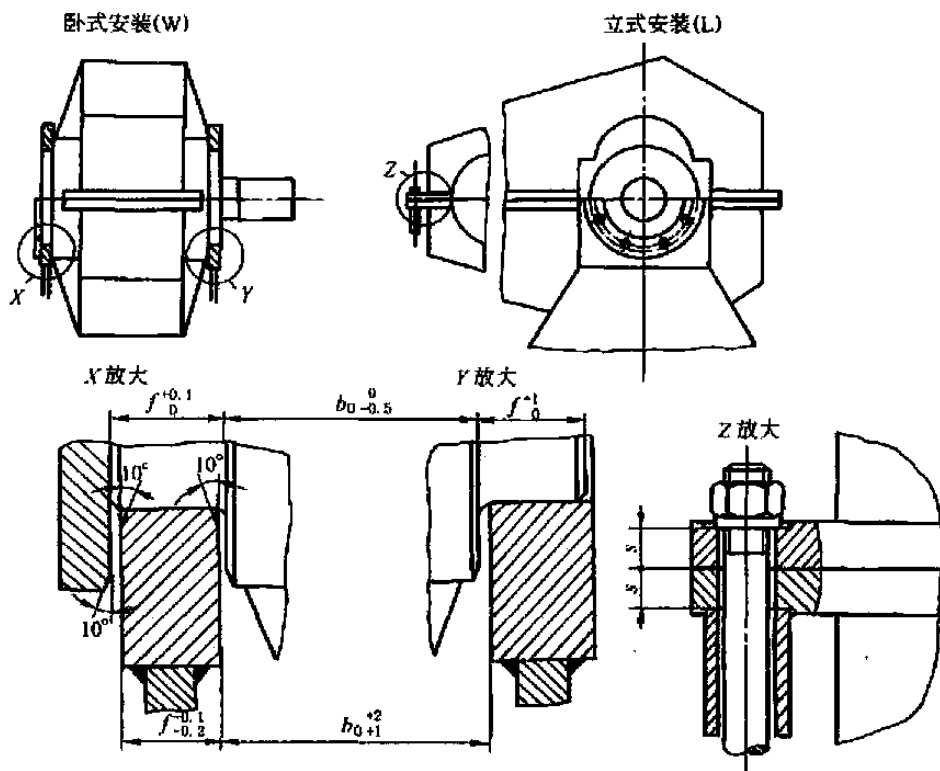


图 16-2-2 QJ 型减速器支承结构

QJ-D 型减速器为底座固定安装, 卧式结构。

QJ 型和 QJ-D 型减速器装配型式如图 16-2-3 所示。

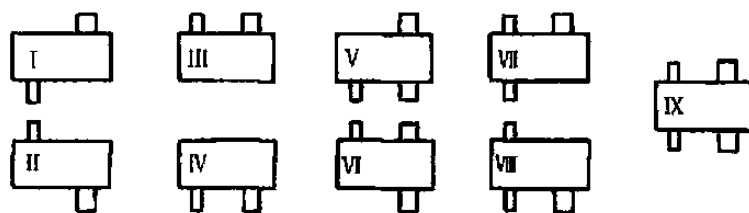
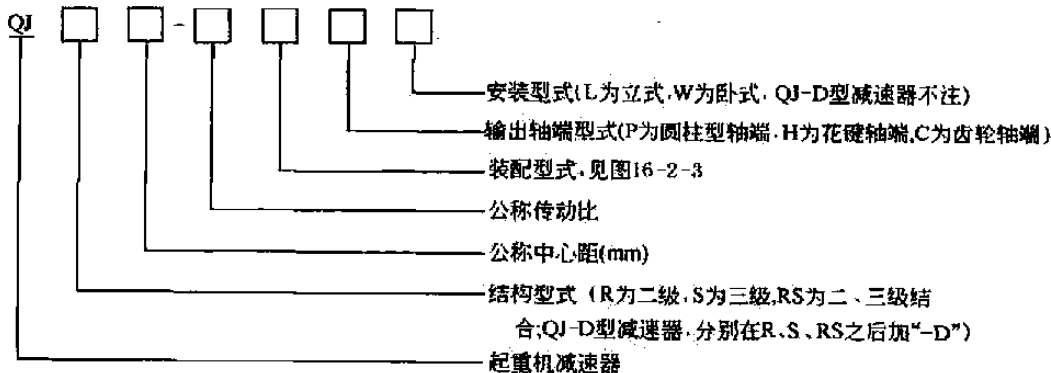


图 16-2-3 QJ、QJ-D 型减速器装配型式

(3) 标记示例



(4) 主要生产厂家

QJ 型：银川起重机厂、四川齿轮箱厂、江苏泰隆减速机股份有限公司、泰兴减速机厂、太原重型减速机厂。

DQJ 型：江苏泰隆减速机股份有限公司、南京高速齿轮制造有限公司。

2.2 外形、安装尺寸

QJR 型减速机外形、安装尺寸

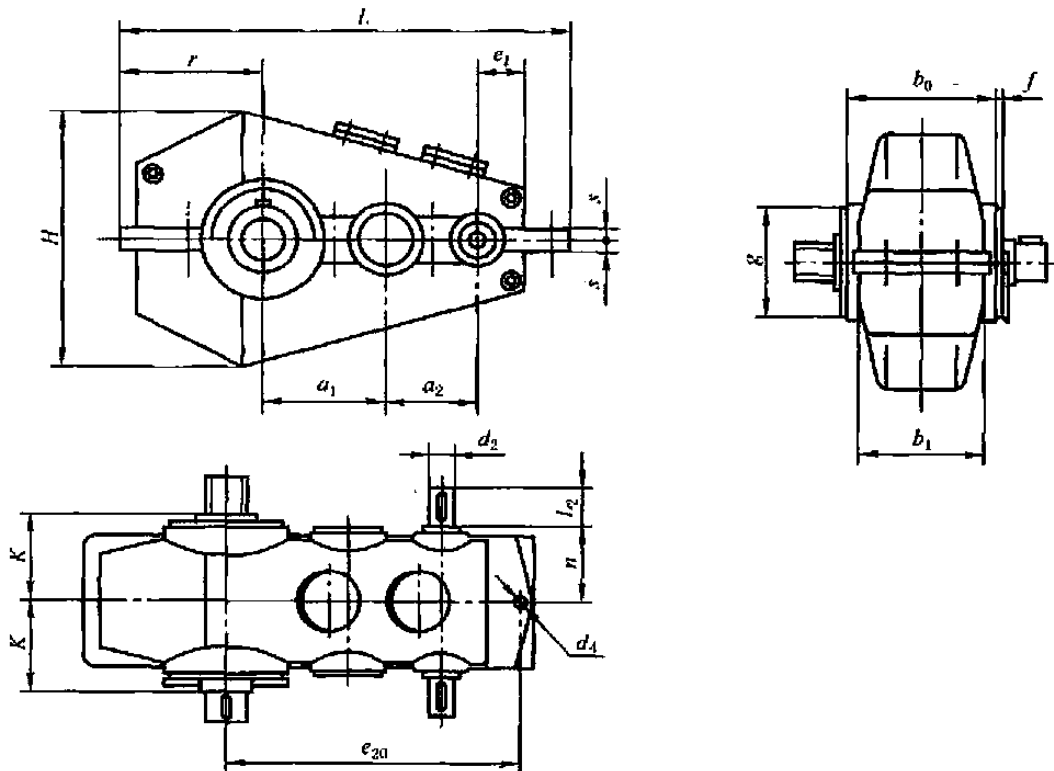


表 16-2-14

mm

公称中心距 a_1	a_2	a_{02}	输入轴端		L	H	n	K	$b_{0-0.5}$	$f_{+0.1}$	g (h9)	d_4	e_{20}	s	b_1	r	e_1	质量 /kg
			d_2 (r6)	l_2														
140	100	240	22	50	505	320	120	130	190	16	130	12	320	12	128	170	50	59
170	118	288	28	60	600	386	135	140	215	18	150	15	380	14	148	202	60	85
200	140	340	32	80	707	455	180	195	250	20	170	18	450	17	182	232	70	133
236	170	406	38	80	828	518	210	225	300	20	200	18	530	17	218	272	85	240
280	200	480	48	110	974	584	235	250	335	25	240	22	630	22	255	314	100	330
335	236	571	55	110	1156	735	255	280	400	25	270	26	750	27	300	375	120	590
400	280	680	65	140	1387	867	285	340	475	30	320	33	900	27	364	447	140	850
450	315	765	80	170	1547	990	310	365	530	30	360	33	1000	32	404	506	160	1300
500	355	855	90	170	1720	1130	350	410	600	40	400	39	1120	32	471	554	180	1760
560	400	960	100	210	1922	1270	385	445	670	40	430	39	1250	37	515	626	200	2600
630	450	1080	110	210	2156	1380	425	495	750	40	480	45	1400	37	569	704	225	3550
710	500	1210	120	210	2433	1540	450	565	850	50	530	45	1600	42	654	781	250	4900
800	560	1360	130	250	2739	1712	490	615	950	50	580	52	1800	42	728	880	280	6600
900	630	1530	150	250	3043	1910	540	670	1060	50	650	62	2000	47	837	978	320	9200
1000	710	1710	170	300	3384	2150	610	740	1180	60	720	70	2240	55	922	1074	360	12000

注：1. $a_{02} = a_1 + a_2$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJS 型减速器外形、安装尺寸

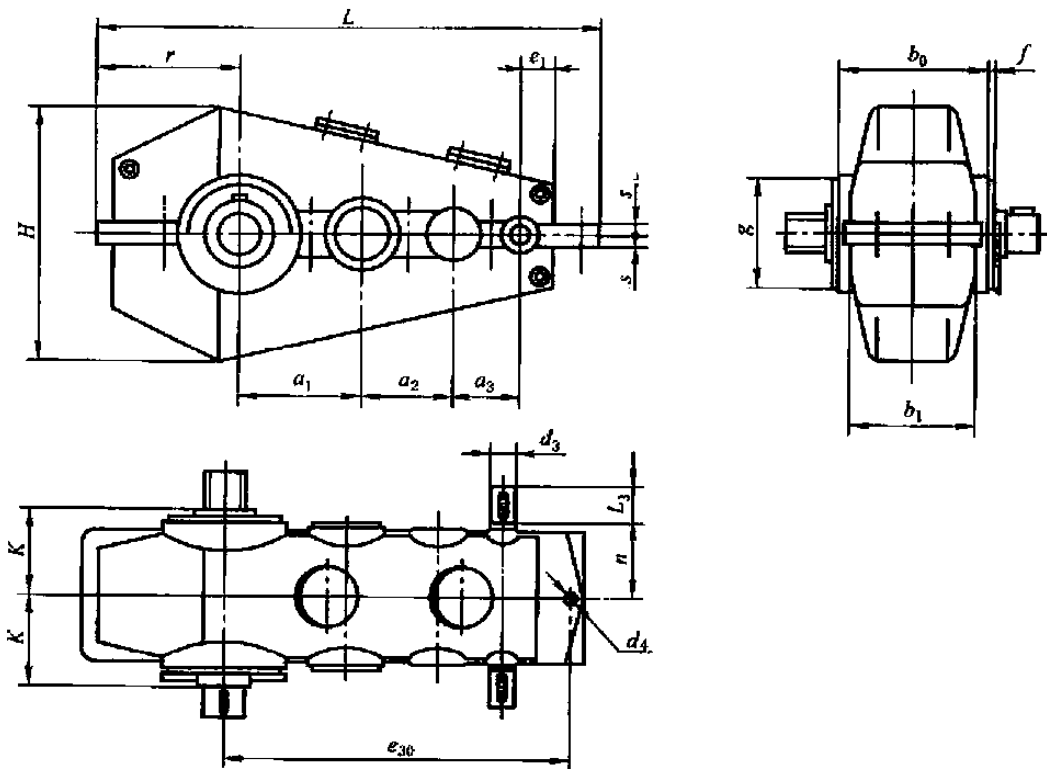


表 16-2-15

公称中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	输入轴端		L	H	n	K	$b_{0-0.5}$	$f_{+0.1}$	g (h9)	d_4	e_{30}	s	b_1	r	e_1	质量 /kg
				d_3 (r6)	L_3														
140	100	71	311	18	40	567	320	120	130	190	16	130	12	380	12	128	170	40	64
170	118	85	373	22	50	673	386	135	140	215	18	150	15	450	14	148	202	48	95
200	140	100	440	28	60	793	455	180	195	250	20	170	18	530	17	182	232	56	170
236	170	118	524	32	80	928	518	210	225	300	20	200	18	630	17	218	272	67	256
280	200	140	620	38	80	1024	584	235	250	335	25	240	22	750	22	255	314	80	350
335	236	170	741	45	110	1301	735	255	280	400	25	270	26	900	27	300	375	95	654
400	280	200	880	50	110	1559	867	285	340	475	30	320	33	1060	27	364	447	112	940
450	315	224	989	55	110	1736	990	310	365	530	30	360	33	1180	32	404	506	125	1400
500	355	250	1105	60	140	1930	1130	350	410	600	40	400	39	1320	32	471	554	140	1850
560	400	280	1240	70	140	2162	1270	385	445	670	40	430	39	1500	37	515	626	160	2800
630	450	315	1395	80	170	2426	1380	425	495	750	40	480	45	1700	37	569	704	180	3500
710	500	355	1565	90	170	2738	1540	450	565	850	50	530	45	1900	42	654	781	200	4700
800	560	400	1760	100	210	3084	1712	490	615	950	50	580	52	2120	42	728	880	225	6400
900	630	450	1980	110	210	3423	1910	540	670	1060	50	650	62	2360	47	837	978	250	9000
1000	710	500	2210	130	250	3804	2150	610	740	1180	60	720	70	2650	55	922	1074	280	11700

注: 1. $a_{03} = a_1 + a_2 + a_3$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJRS 型减速器外形、安装尺寸

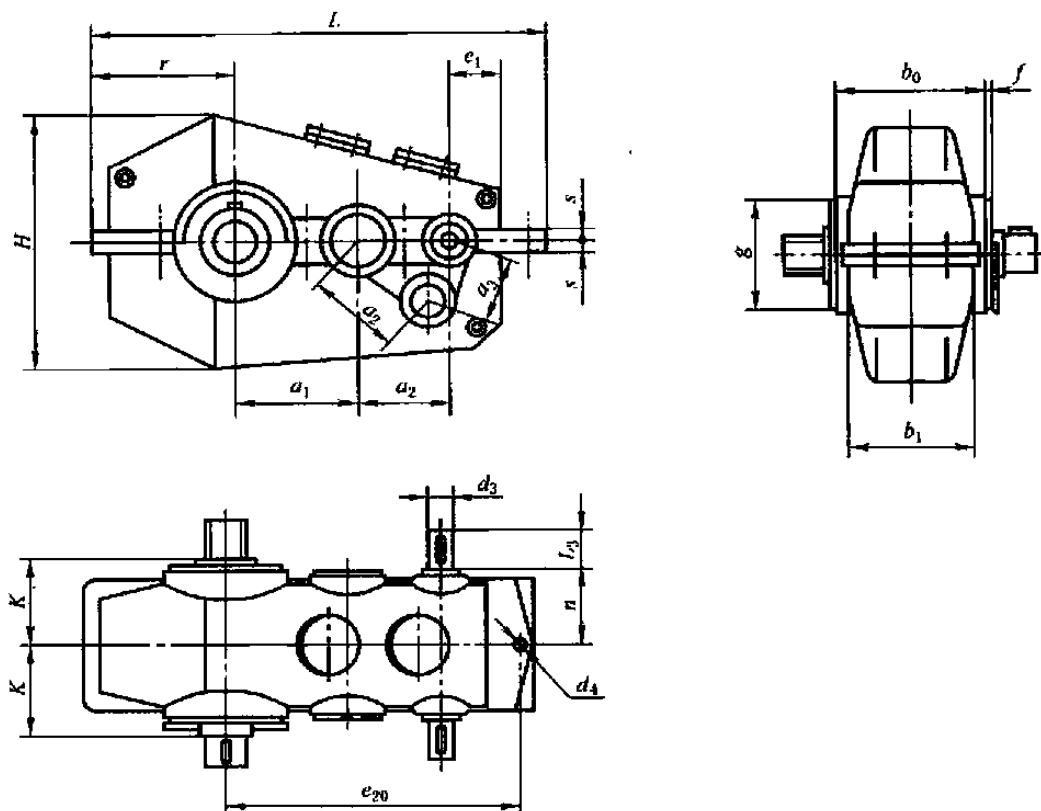


表 16-2-16

mm

公称中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	输入轴端		L	H	n	K	$b_{0-0.5}$	$f_{+0.1}^0$	g (h9)	d_4	e_{20}	s	b_1	r	e_1	质量 /kg
				d_3 (r6)	L_3														
140	100	71	311	18	40	505	298	120	130	190	16	130	12	320	12	128	170	50	64
170	118	85	373	22	50	600	375	135	140	215	18	150	15	380	14	148	202	60	94
200	140	100	440	28	60	707	440	180	195	250	20	170	18	450	17	182	232	70	185
236	170	118	524	32	80	828	500	210	225	300	20	200	18	530	17	218	272	85	284
280	200	140	620	38	80	974	562	235	250	335	25	240	22	630	22	255	314	100	380
335	236	170	741	45	110	1156	710	255	280	400	25	270	26	750	27	300	375	120	650
400	280	200	880	50	110	1387	836	285	340	475	30	320	33	900	27	364	447	140	930
450	315	224	989	55	110	1547	980	310	365	530	30	360	33	1000	32	404	506	160	1410
500	355	250	1105	60	140	1720	1060	350	410	600	40	400	39	1120	32	471	554	180	1820
560	400	280	1240	70	140	1922	1240	385	445	670	40	430	39	1250	37	515	626	200	2890
630	450	315	1395	80	170	2156	1370	425	495	750	40	480	45	1400	37	569	704	225	3550
710	500	355	1565	90	170	2433	1530	450	565	850	50	530	45	1600	42	654	781	250	4900
800	560	400	1760	100	210	2739	1691	490	615	950	50	580	52	1800	42	728	880	280	6600
900	630	450	1980	110	210	3043	1900	540	670	1060	50	650	62	2000	47	837	978	320	9200
1000	710	500	2210	130	250	3384	2070	610	740	1180	60	720	70	2240	55	922	1074	360	12000

注: 1. $a_{03} = a_1 + a_2 + a_3$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJR-D型减速器外形、安装尺寸

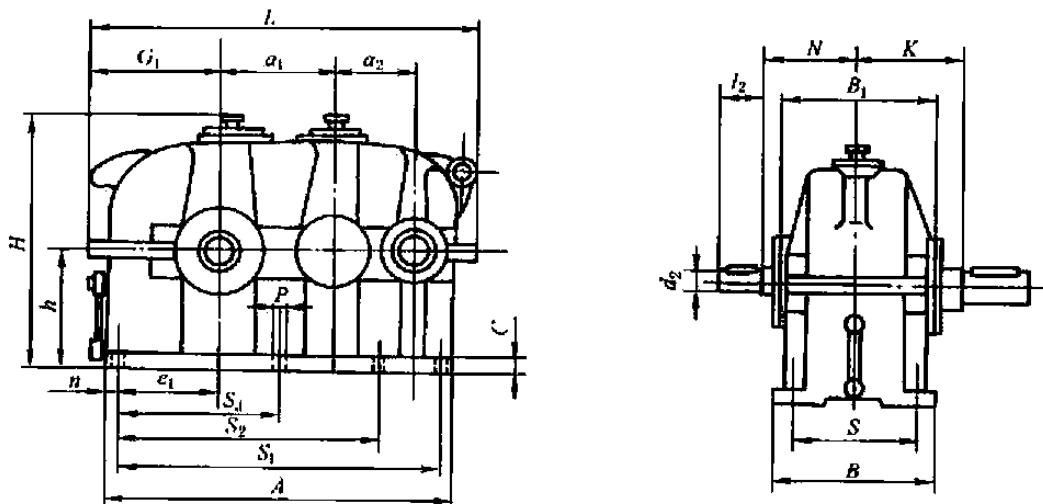


表 16-2-17

mm

公称中心距 a_1	a_2	a_{02}	外形尺寸			中心高 h	输入轴端			地脚安装尺寸							A	B_1	n	G_1	e_1	K	质量/kg
			L	H	B		N	d_2 (r6)	l_2	S	S_1	S_2	S_3	C	P	孔数 (个)							
140	100	240	494	305	220	140	120	22	50	175	380	—	190	22	18	6	430	190	25	172	115	130	85
170	118	288	577	365	250	170	135	28	60	205	460	—	230	25	18	6	513	215	27	197	138	150	115
200	140	340	664	425	270	200	180	32	80	230	550	—	275	25	18	6	600	250	25	222	165	175	170
236	170	406	796	497	330	236	210	38	80	280	660	—	330	28	23	6	716	300	30	265	195	200	300
280	200	480	925	585	360	280	235	48	110	310	780	—	390	30	23	6	845	340	33	303	230	220	460
335	236	571	1100	695	430	335	255	55	110	370	940	—	450	35	27	6	1006	400	35	362	280	260	830
400	280	680	1380	830	510	400	285	65	140	450	1100	—	550	40	27	6	1195	490	50	422	325	310	1190
450	315	765	1462	930	590	450	310	80	170	490	1240	1000	600	40	33	8	1350	550	55	481	370	335	1770
500	355	855	1622	1030	640	500	350	90	170	540	1390	1120	670	45	33	8	1510	620	60	531	415	370	2480
560	400	960	1822	1160	710	560	385	100	210	600	1550	1250	750	50	39	8	1690	690	70	596	460	410	3660
630	450	1080	2037	1300	770	630	425	110	210	650	1750	1410	850	55	39	8	1905	770	80	666	520	450	5010
710	500	1210	2278	1460	860	710	450	120	210	740	1960	1580	950	60	45	8	2130	868	85	744	585	510	7170
800	560	1360	2538	1640	980	800	490	130	250	830	2195	1770	1060	65	45	8	2390	980	100	824	650	570	8960
900	630	1530	2860	1840	1100	900	580	150	250	950	2480	2000	1200	70	52	8	2700	1130	110	930	740	640	12950
1000	710	1710	3200	2040	1200	1000	610	170	300	1050	2750	2220	1320	75	52	8	3020	1220	135	1040	815	700	16900

注: 1. $a_{02} = a_1 + a_2$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJS-D 型减速器外形、安装尺寸

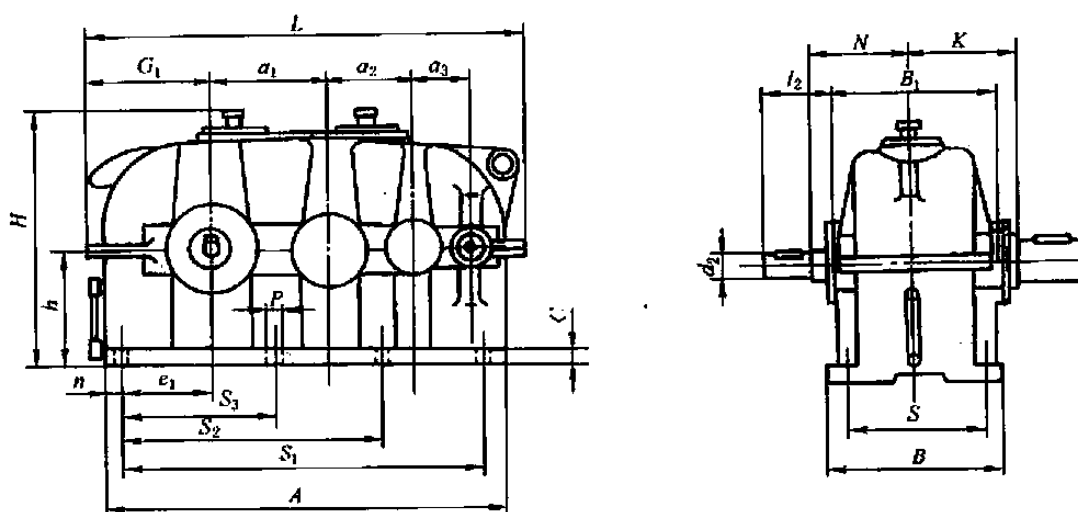


表 16-2-18

mm

公称中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	外形尺寸			中心高 h	输入轴端			地脚安装尺寸							A	B_1	n	G_1	e_1	K	质量 /kg
				L	H	B		N	d_2 (± 6)	l_2	S	S_1	S_2	S_3	C	P	孔数 (个)							
140	100	71	311	560	305	220	140	120	18	40	175	450	—	200	22	18	6	496	190	25	172	115	130	92
170	118	85	373	652	365	250	170	135	22	50	205	535	—	235	25	18	6	588	215	27	197	138	150	130
200	140	100	440	750	425	275	200	180	28	60	230	635	—	275	25	18	6	686	250	25	222	165	175	210
236	170	118	524	896	497	330	236	210	32	80	280	750	—	330	28	23	6	816	300	30	265	195	200	330
280	200	140	620	1045	585	360	280	235	38	80	310	900	—	390	30	23	6	965	340	33	303	230	220	490
335	236	170	741	1245	695	430	335	255	45	110	370	1050	750	450	35	27	6	1151	400	35	362	280	260	880
400	280	200	880	1461	830	510	400	285	50	110	450	1270	900	550	40	27	6	1367	490	50	422	325	310	1290
450	315	224	989	1651	930	590	450	310	55	110	490	1425	1000	600	40	33	8	1539	550	55	481	370	335	1976
500	355	250	1105	1832	1030	640	500	350	60	140	540	1600	1120	670	45	33	8	1720	620	60	531	415	375	2780
560	400	280	1240	2062	1160	710	560	385	70	140	600	1780	1250	750	50	39	8	1930	690	70	596	460	410	3960
630	450	315	1395	2307	1300	770	630	425	80	170	650	2010	1410	850	55	39	8	2175	770	80	666	520	450	5500
710	500	355	1565	2583	1460	860	710	450	90	170	740	2265	1580	950	60	45	8	2435	868	85	744	585	510	7770
800	560	400	1760	2883	1640	980	800	490	100	210	830	2535	1770	1060	65	45	8	2735	980	100	824	650	570	9600
900	630	450	1980	3240	1840	1100	900	540	110	210	950	2860	2000	1200	70	52	8	3080	1130	110	930	740	640	13750
1000	710	500	2210	3620	2040	1200	1000	610	130	250	1050	3170	2220	1320	75	52	8	3440	1220	135	1040	815	700	17700

注: 1. $a_{03} = a_1 + a_2 + a_3$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJRS-D 型減速器外形、安裝尺寸

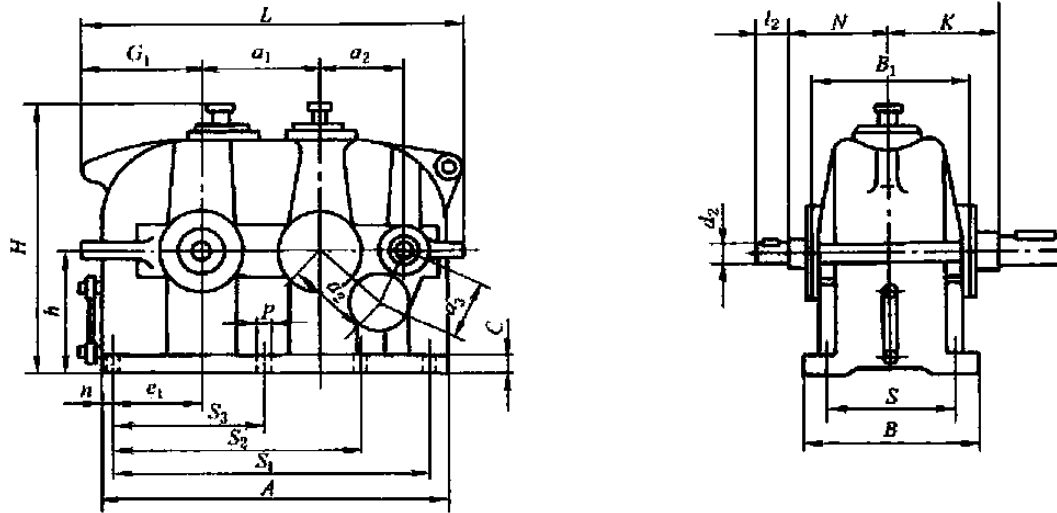


表 16-2-19

mm

公称中心距 a_1	a_2	a_3	a_{03}	外形尺寸			中心高 h	输入轴端			地脚安装尺寸							质量 /kg						
				L	H	B		N	d_2 (ϕ)	l_2	S	S_1	S_2	S_3	C	P	孔数 (个)		A	B_1	n	G_1	e_1	K
140	100	71	311	494	305	220	140	120	18	40	175	380	—	190	22	18	6	430	190	25	172	115	130	90
170	118	85	373	577	365	250	170	135	22	50	205	460	—	230	25	18	6	513	215	27	197	138	150	125
200	140	100	440	664	425	275	200	180	28	60	230	550	—	275	25	18	6	600	250	25	222	165	175	190
236	170	118	524	796	497	330	236	210	32	80	280	660	—	330	28	23	6	716	300	30	265	195	200	310
280	200	140	620	925	585	360	280	235	38	80	310	780	—	390	30	23	6	845	340	33	303	230	220	480
335	236	170	741	1100	695	430	335	255	45	110	370	940	—	450	35	27	6	1006	400	35	362	280	260	820
400	280	200	880	1289	830	510	400	285	50	110	450	1100	—	550	40	27	6	1195	490	50	422	325	310	1250
450	315	224	989	1462	930	590	450	310	55	110	490	1240	1000	600	40	33	8	1350	550	55	481	370	335	1870
500	335	250	1105	1622	1030	640	500	350	60	140	540	1390	1120	670	45	33	8	1510	620	60	531	415	370	2700
560	400	280	1240	1872	1160	710	560	385	70	140	600	1550	1250	750	50	39	8	1690	690	70	596	460	410	3900
630	450	315	1395	2037	1300	770	630	425	80	170	650	1750	1410	850	55	39	8	1905	770	80	666	520	450	5400
710	500	355	1565	2278	1460	860	710	450	90	170	740	1960	1580	950	60	45	8	2130	868	85	744	585	510	7150
800	560	400	1760	2538	1640	980	800	490	100	210	830	2195	1770	1060	65	45	8	2390	980	100	824	650	570	9400
900	630	450	1980	2860	1840	1100	900	540	110	210	950	2480	2000	1200	70	52	8	2700	1130	110	930	740	640	13500
1000	710	500	2210	3200	2040	1200	1000	610	130	250	1050	2750	2220	1320	75	52	8	3020	1220	135	1040	815	700	17500

注: 1. $a_{03} = a_1 + a_2 + a_3$ 。

2. 输出轴端尺寸见表 16-2-20。

QJ、QJ-D型减速器的输出轴端尺寸

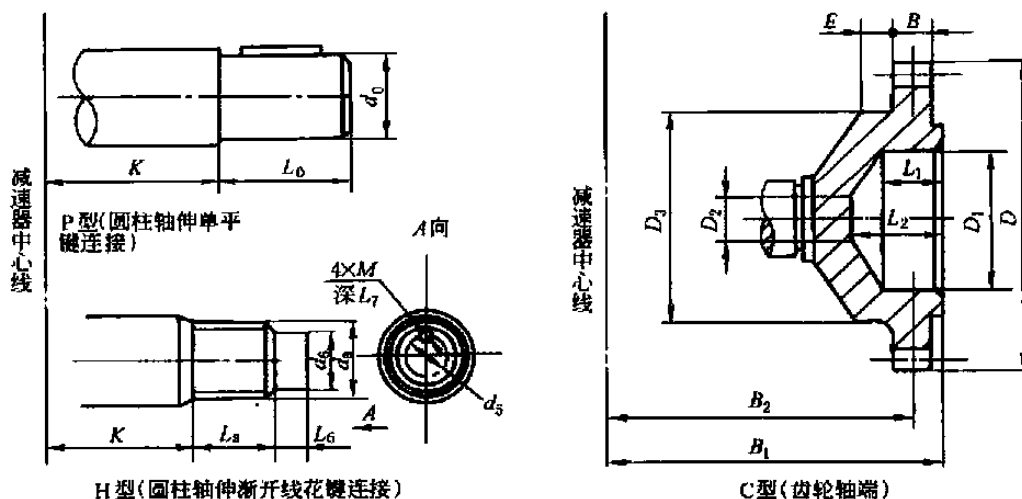


表 16-2-20

mm

公称中心距 a_1	P 型		C 型											H 型							
	d_0 (r6)	L_0	$m \times z$	D	D_1 (H7)	D_2	D_3	B_1	B_2	B	E	L_1	L_2	$m \times z$	d_0 (h11)	L_4	d_5	M	d_6 (k6)	L_6	L_7
140	48	82												3 × 15	48	30	25	M6	40	20	12
170	55	82												3 × 18	57	30	30	M6	50	25	12
200	65	105												3 × 22	69	35	40	M8	60	30	16
236	80	130	3 × 56	174	90	40	135	279.5	253	25	25	45	60	3 × 27	84	40	50	M8	70	35	16
280	90	130	4 × 56	232	120	40	170	302.5	271	35	25	50	75	5 × 18	95	50	60	M8	80	40	16
335	110	165	4 × 56	232	120	40	170	339.5	308	35	25	50	75	5 × 22	115	55	70	M10	100	45	20
400	130 (140)	200	6 × 56	348	170	45	260	402	370	40	32	76	100	5 × 26	135	70	90	M10	120	50	20
450	150	200	6 × 56	348	170	45	260	429	397	40	32	76	100	5 × 30	155	75	100	M12	140	55	25
500	170 (180)	240	8 × 54	448	200	105	260	482	442	50	32	78	100	5 × 34	175	85	120	M12	160	60	25
560	190 (200)	280	10 × 48	500	200	105	280	570	505	60	35	78	110	5 × 38	195	95	140	M12	180	60	25
630	220	280												8 × 26	216	105	160	M12	190	65	25
710	250 (260)	330												8 × 30	248	120	180	M16	220	65	32
800	280	380												8 × 34	280	135	200	M16	250	65	32
900	320	380												8 × 38	312	150	220	M20	280	75	40
1000	360	450												8 × 44	360	170	250	M20	320	80	40

注：对于尺寸 K ，QJ型减速器见表16-2-14～表16-2-16，QJ-D型见表16-2-17～表16-2-19。

2.3 承载能力

表 16-2-21

QJR、QJR-D 型减速器承载能力 (工作级别 M5)

输入轴转速 $/r \cdot \min^{-1}$	名义中心距 a_1/mm	输出转矩 $/N \cdot m$	公称传动比					
			10	12.5	16	20	25	31.5
			高速轴许用功率/kW					
600	140	820	5.3	4.3	3.4	2.7	2.1	1.6
	170	1360	9.0	7.2	5.7	4.5	3.5	2.8
	200	2650	15.5	12.4	9.7	7.8	6.2	4.9
	236	4500	26.0	21.0	16.5	13.2	10.5	8.4
	280	7500	44.0	35.0	27.0	22.0	17.6	13.9
	335	12500	73.0	59.0	46.0	37.0	29.0	23.0
	400	21200	124.0	99.0	78.0	62.0	50.0	39.0
	450	30000	176.0	141.0	110.0	88.0	70.0	56.0
	500	42500	249.0	199.0	155.0	124.0	100.0	79.0
	560	60000	351.0	281.0	220.0	176.0	141.0	112.0
	630	85000	497.0	398.0	311.0	249.0	199.0	158.0
	710	118000	691.0	552.0	432.0	345.0	276.0	219.0
	800	170000	995.0	796.0	622.0	497.0	398.0	316.0
	900	236000	1381.0	1105.0	863.0	691.0	552.0	438.0
1000	335000	1961.0	1568.0	1225.0	980.0	784.0	622.0	
750	140	820	6.4	5.2	4.1	3.3	2.6	2.0
	170	1360	10.7	8.8	7.0	5.7	4.5	3.4
	200	2650	19.3	15.5	12.1	9.7	7.7	6.1
	236	4500	33.0	26.0	21.0	16.4	13.1	10.4
	280	7500	55.0	44.0	34.0	27.0	22.0	17.4
	335	12500	91.0	73.0	57.0	46.0	36.0	29.0
	400	21200	155.0	124.0	97.0	77.0	62.0	49.0
	450	30000	219.0	175.0	137.0	109.0	88.0	69.0
	500	42500	310.0	248.0	194.0	155.0	124.0	98.0
	560	60000	437.0	350.0	273.0	219.0	175.0	139.0
	630	85000	620.0	496.0	387.0	310.0	248.0	197.0
	710	118000	860.0	688.0	538.0	430.0	344.0	273.0
	800	170000	1239.0	991.0	775.0	620.0	496.0	393.0
	900	236000	1720.0	1376.0	1075.0	860.0	688.0	546.0
1000	335000	2442.0	1954.0	1526.0	1221.0	977.0	775.0	
1000	140	820	7.9	6.5	5.2	4.2	3.3	2.6
	170	1360	13.2	10.9	8.7	7.1	5.7	4.4
	200	2650	26.0	21.0	16.2	12.9	10.3	8.2
	236	4500	44.0	35.0	27.0	22.0	17.6	13.9
	280	7500	73.0	59.0	46.0	37.0	29.0	23.0
	335	12500	122.0	98.0	76.0	61.0	49.0	39.0
	400	21200	207.0	165.0	129.0	103.0	83.0	66.0
	450	30000	293.0	234.0	183.0	146.0	117.0	93.0
	500	42500	415.0	332.0	259.0	207.0	166.0	132.0
	560	60000	585.0	468.0	366.0	293.0	234.0	186.0
	630	85000	829.0	663.0	518.0	415.0	332.0	263.0
	710	118000	1151.0	921.0	719.0	576.0	460.0	365.0
	800	170000	1658.0	1327.0	1036.0	829.0	663.0	526.0
	900	236000	2302.0	1842.0	1439.0	1151.0	921.0	731.0
1000	335000	3268.0	2614.0	2042.0	1634.0	1307.0	1037.0	

表 16-2-22

QJR、QJR-D 型减速器承载能力 (连续工作型)

输入轴转速 $/r \cdot \min^{-1}$	名义中心距 a_1/mm	输出转矩 $/N \cdot m$	公称传动比					
			10	12.5	16	20	25	31.5
			高速轴许用功率/kW					
600	140	410	2.7	2.2	1.7	1.4	1.1	0.8
	170	680	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8	1.4
	200	1325	7.8	6.2	4.9	3.9	3.1	2.5
	236	2250	13.0	10.5	8.3	6.6	5.3	4.2
	280	3750	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	7.0
	335	6250	36.5	29.5	23.0	18.5	14.5	11.5
	400	10600	62.0	49.5	39.0	31.0	25.0	19.5
	450	15000	88.0	70.5	55.0	44.0	35.0	28.0
	500	21250	124.5	99.5	77.5	62.0	50.0	39.5
	560	30000	175.5	140.5	110.0	88.0	70.5	56.0
	630	42500	248.5	199.0	155.5	124.5	99.5	79.0
	710	59000	345.5	276.0	216.0	172.5	138.0	109.5
	800	85000	497.5	398.0	311.0	248.5	199.0	158.0
	900	118000	690.5	552.5	431.5	345.5	276.0	219.0
1000	167500	980.5	784.0	612.5	490.0	392.0	311.0	
750	140	410	3.2	2.6	2.1	1.7	1.3	1.0
	170	680	5.4	4.4	3.5	2.9	2.3	1.7
	200	1325	9.7	7.8	6.1	4.9	3.9	3.1
	236	2250	16.5	13.0	10.5	8.2	6.6	5.2
	280	3750	27.5	22.0	17.0	13.5	11.0	8.7
	335	6250	45.5	36.5	28.5	23.0	18.0	14.5
	400	10600	77.5	62.0	48.5	38.5	31.0	24.5
	450	15000	109.5	87.5	68.5	54.5	44.0	34.5
	500	21250	155.0	124.0	97.0	77.5	62.0	49.0
	560	30000	218.5	175.0	136.5	109.5	87.5	69.5
	630	42500	310.0	298.0	198.5	155.0	124.0	98.5
	710	59000	430.0	344.0	269.0	215.0	172.0	136.5
	800	85000	619.5	495.5	387.5	310.0	248.0	196.5
	900	118000	860.0	688.0	537.5	430.0	344.0	273.0
1000	167500	1221.0	977.0	763.0	610.5	488.5	387.5	
1000	140	410	3.9	3.2	2.6	2.1	1.6	1.3
	170	680	6.6	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2
	200	1325	13.0	10.5	8.1	6.4	5.1	4.1
	236	2250	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	6.9
	280	3750	36.5	29.5	23.0	18.5	14.5	11.5
	335	6250	61.0	49.0	38.0	30.5	24.5	19.5
	400	10600	103.5	82.5	64.5	51.5	41.5	33.0
	450	15000	146.5	117.5	91.5	73.0	58.5	46.5
	500	21250	207.5	166.0	129.5	103.5	83.0	66.0
	560	30000	292.5	234.0	183.0	146.5	117.0	93.0
	630	42500	414.5	331.5	259.0	207.5	166.0	131.5
	710	59000	575.5	460.5	359.5	288.0	230.0	182.5
	800	85000	829.0	663.5	518.0	414.5	331.5	263.0
	900	118000	1151.0	921.0	719.5	575.5	460.5	365.5
1000	167500	1634.0	1307.0	1021.0	817.0	653.5	518.5	

注: 连续工作型减速器推荐用于除起重机以外的其他各种机械设备。

表 16-2-23

QJS、QJRS、QJS-D、QJRS-D 型减速器承载能力 (工作级别 M5)

输入轴转速 n_1 / min^{-1}	名义中心距 a_1 / mm	输出转矩 $T_2 / \text{N} \cdot \text{m}$	公称传动比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
600	140	820	1.5	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
	170	1360	2.5	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5
	200	2650	3.9	3.1	2.5	1.9	1.6	1.2	1.0	0.8
	236	4500	6.6	5.3	4.2	3.3	2.6	2.1	1.7	1.3
	280	7500	11.0	8.8	7.0	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2
	335	12500	18.3	14.6	11.6	9.1	7.3	5.9	4.6	3.7
	400	21200	31.0	25.0	19.7	15.5	12.4	9.9	7.8	6.2
	450	30000	44.0	35.0	28.0	22.0	17.6	14.1	11.0	8.8
	500	42500	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0	19.9	15.6	12.4
	560	60000	88.0	70.0	56.0	44.0	35.0	28.0	22.0	17.6
	630	85000	124.0	100.0	79.0	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0
	710	118000	173.0	138.0	110.0	86.0	69.0	55.0	43.0	35.0
	800	170000	249.0	199.0	158.0	124.0	100.0	80.0	62.0	50.0
	900	236000	345.0	276.0	219.0	173.0	138.0	111.0	86.0	69.0
1000	335000	490.0	392.0	311.0	245.0	196.0	157.0	123.0	98.0	
750	140	820	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	170	1360	3.1	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6
	200	2650	4.8	3.9	3.1	2.4	1.9	1.6	1.2	1.0
	236	4500	8.2	6.6	5.2	4.1	3.3	2.6	2.1	1.6
	280	7500	13.7	10.9	8.7	6.8	5.5	4.4	3.4	2.7
	335	12500	23.0	18.2	14.5	11.4	9.1	7.3	5.7	4.6
	400	21200	39.0	31.0	25.0	19.3	15.5	12.4	9.7	7.7
	450	30000	55.0	44.0	35.0	27.0	22.0	17.5	13.7	10.9
	500	42500	78.0	62.0	49.0	39.0	31.0	25.0	19.4	15.5
	560	60000	109.0	88.0	69.0	55.0	44.0	35.0	27.0	22.0
	630	85000	155.0	124.0	98.0	78.0	62.0	50.0	39.0	31.0
	710	118000	215.0	172.0	137.0	108.0	86.0	69.0	54.0	43.0
	800	170000	310.0	248.0	197.0	155.0	124.0	99.0	78.0	62.0
	900	236000	430.0	344.0	273.0	215.0	172.0	138.0	108.0	86.0
1000	335000	611.0	488.0	388.0	305.0	244.0	195.0	153.0	122.0	
1000	140	820	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5
	170	1360	3.9	3.2	2.6	2.1	1.7	1.3	1.0	0.8
	200	2650	6.5	5.2	4.1	3.2	2.6	2.1	1.6	1.3
	236	4500	11.0	8.8	7.0	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2
	280	7500	18.3	14.6	11.6	9.1	7.3	5.9	4.6	3.7
	335	12500	31.0	24.0	19.4	15.2	12.2	9.8	7.6	6.1
	400	21200	52.0	41.0	33.0	26.0	21.0	16.5	12.9	10.3
	450	30000	73.0	59.0	47.0	37.0	29.0	23.0	18.3	14.6
	500	42500	104.0	83.0	66.0	52.0	42.0	33.0	26.0	21.0
	560	60000	146.0	117.0	93.0	73.0	59.0	47.0	37.0	29.0
	630	85000	207.0	166.0	132.0	104.0	83.0	66.0	52.0	42.0
	710	118000	288.0	230.0	183.0	144.0	115.0	92.0	72.0	58.0
	800	170000	415.0	332.0	263.0	207.0	166.0	133.0	104.0	83.0
	900	236000	576.0	460.0	365.0	288.0	230.0	184.0	144.0	115.0
1000	335000	817.0	654.0	519.0	408.0	327.0	261.0	204.0	163.0	

表 16-2-24

QJS、QJRS、QJS-D、QJRS-D 型减速器承载能力 (连续工作型)

输入轴转速 $/r \cdot \min^{-1}$	名义中心距 a_1/mm	输出转矩 $/N \cdot m$	公称传动比							
			40	50	63	80	100	125	160	200
			高速轴许用功率/kW							
600	140	410	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1
	170	680	1.3	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2
	200	1325	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	236	2250	3.3	2.7	2.1	1.7	1.3	1.1	0.9	0.7
	280	3750	5.5	4.4	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.1
	335	6250	9.2	7.3	5.8	4.6	3.7	3.0	2.3	1.9
	400	10600	15.5	12.5	9.9	7.8	6.2	5.0	3.9	3.4
	450	15000	22.0	17.5	14.0	11.0	8.8	7.1	5.5	4.4
	500	21250	31.0	25.0	20.0	15.5	12.5	10.0	7.8	6.2
	560	30000	44.0	35.0	28.0	22.0	17.5	14.0	11.0	8.8
	630	42500	62.0	50.0	39.5	31.0	25.0	20.0	15.5	12.5
	710	59000	86.5	69.0	55.0	43.0	34.5	27.5	21.5	17.5
	800	85000	124.5	99.5	79.0	62.0	50.0	40.0	31.0	25.0
	900	118000	172.5	138.0	109.5	86.5	69.0	55.5	43.0	34.5
1000	167500	245.0	196.0	155.5	122.5	98.0	78.5	61.5	49.0	
750	140	410	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
	170	680	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3
	200	1325	2.4	2.0	1.6	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5
	236	2250	4.1	3.3	2.6	2.1	1.7	1.3	1.1	0.8
	280	3750	6.9	5.5	4.4	3.4	2.8	2.2	1.7	1.3
	335	6250	11.5	9.1	7.3	5.7	4.6	3.7	2.9	2.3
	400	10600	19.5	15.5	12.5	9.7	7.8	6.2	4.9	3.9
	450	15000	27.5	22.0	17.5	13.5	11.0	8.8	6.9	5.5
	500	21250	39.0	31.0	24.5	19.5	15.5	12.5	9.7	7.8
	560	30000	54.5	44.0	34.5	27.5	22.0	17.5	13.5	11.0
	630	42500	77.5	62.0	49.0	39.0	31.0	25.0	19.5	15.5
	710	59000	107.5	86.0	68.5	54.5	43.0	34.5	27.0	21.5
	800	85000	155.0	124.0	98.5	77.5	62.0	49.5	39.0	31.0
	900	118000	215.0	172.0	136.5	107.5	86.0	69.0	54.0	43.0
1000	167500	305.5	244.0	194.0	152.5	122.0	97.5	76.5	61.0	
1000	140	410	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
	170	680	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	200	1325	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6
	236	2250	5.5	4.4	3.5	2.7	2.2	1.7	1.3	1.1
	280	3750	9.1	7.3	5.8	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8
	335	6250	15.5	12.0	9.7	7.6	6.1	4.9	3.8	3.0
	400	10600	26.0	20.5	16.5	13.0	10.5	8.2	6.4	5.1
	450	15000	36.0	29.5	23.5	18.5	14.5	11.5	9.1	7.3
	500	21250	52.0	41.5	33.0	26.0	21.0	16.5	13.0	10.5
	560	30000	73.0	58.5	46.5	36.5	29.5	23.5	18.5	14.5
	630	42500	103.5	83.0	66.0	52.0	41.5	33.0	26.0	21.0
	710	59000	144.0	115.0	91.5	72.0	57.5	46.0	36.0	29.0
	800	85000	207.5	166.0	131.5	103.5	83.0	66.5	52.0	41.5
	900	118000	288.0	230.0	182.5	144.0	115.0	92.0	72.0	57.5
1000	167500	408.5	327.0	259.5	204.0	163.5	130.5	102.0	81.5	

注：连续工作型减速器推荐用于除起重机以外的其他各种机械设备。

表 16-2-25

机构工作级别举例

起 重 机 型 式	主起升机构			副起升机构			小车运行机构			大车运行机构			回转机构			变幅机构		
	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别
桥 式 起 重 机	(吊钩式) 一般用途	电站安装及检修用	T ₂	L ₁ , L ₂	M1, M2	T ₃	L ₁	M2	T ₂	L ₁ , L ₂	M1, M2	T ₂	L ₁	M1				
		车间及仓库用	T ₃ , T ₄	L ₁ , L ₂	M2 ~ M4	T ₄ , T ₅	L ₁ , L ₂	M3 ~ M5	T ₄ , T ₅	L ₁ , L ₂	M3 ~ M5	T ₄ , T ₅	L ₁ , L ₂	M3 ~ M5				
		繁重工作车间及仓库用	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M5 ~ M7	T ₆	L ₃	M6	T ₄ , T ₅	L ₃	M5, M6	T ₆	L ₂ , L ₃	M6, M7				
	抓斗式	间断装卸用	T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7					T ₅ , T ₆	L ₃	M6 ~ M8	T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7			
		连续装卸用	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8					T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7	T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7			
		吊料箱用	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8					T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7	T ₆	L ₃	M7			
	冶金专用	加料用	T ₇ , T ₈	L ₃	M8	T ₇ , T ₈	L ₃	M8	T ₇ , T ₈	L ₃	M8	T ₇ , T ₈	L ₃	M8	M8			
		铸造用	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M7, M8	T ₈ , T ₇	L ₃ , L ₄	M7, M8	T ₆	L ₃ , L ₄	M7, M8	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8				
		锻造用	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8	T ₆	L ₃	M7	T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7	T ₅ , T ₆	L ₃	M7, M8				
		淬火用	T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7	T ₇ , T ₈	L ₃	M7, M8	T ₇ , T ₈	L ₃	M6, M7	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8				
夹钳、脱锭用		T ₇ , T ₈	L ₃ , L ₄	M8	T ₅ , T ₆	L ₂	M5, M6	T ₆ , T ₇	L ₄	M8	T ₆ , T ₇	L ₄	M8	M8				
揭盖用		T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8										M7, M8				
料耙式		T ₇	L ₄	M8						T ₆ , T ₇	L ₄	M8	T ₆ , T ₇	L ₄	M8			
门 式 起 重 机	电磁铁式	T ₆ , T ₇	L ₃	M7, M8					T ₅ , T ₆	L ₃	M6, M7	T ₅	L ₃	M6				
	一般用途吊钩式	T ₃ ~ T ₅	L ₂ , L ₃	M3 ~ M6	T ₄ , T ₅	L ₂ , L ₃	M3 ~ M6	T ₃ , T ₄	L ₃	M4, M5	T ₃ , T ₄	L ₃	M4, M5					
	装卸用抓斗式	T ₃ ~ T ₇	L ₃ , L ₄	M6 ~ M8					T ₃ ~ T ₇	L ₃ , L ₄	M6 ~ M8	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M5 ~ M7				
	电站用吊钩式	T ₇	L ₁ , L ₂	M2, M3	T ₃	L ₂	M3	T ₃	T ₃	L ₂	M3	T ₃	L ₂	M3				
	造船安装用吊钩式	T ₄	L ₂ , L ₃	M4, M5	T ₄	L ₂ , L ₃	M4, M5	T ₄	T ₅	L ₂ , L ₃	M5, M6	T ₅	L ₂ , L ₃	M5, M6				
装卸集装箱用	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M5 ~ M7					T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M5 ~ M7	T ₄ ~ T ₆	L ₂ , L ₃	M4 ~ M7					

续表

起 重 机 型 式	主起升机构			副起升机构			小车运行机构			大车运行机构			回转机构			变幅机构		
	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别
装 卸 桥	T ₆ , T ₇	L3, L4	M7, M8				T ₆ , T ₇	L3, L4	M7, M8	T ₅	L2, L3	M5, M6			T ₄	L1	M3	
	T ₆ , T ₇	L3, L4	M7, M8				T ₆ , T ₇	L3, L4	M7, M8	T ₆	L2, L3	M6, M7			T ₄	L1	M3	
	T ₅ , T ₆	L2, L3	M5 ~ M7				T ₅ , T ₆	L2, L3	M5 ~ M7	T ₅ , T ₆	L2, L3	M5 ~ M7			T ₄	L1	M3	
门 座 起 重 机	T ₅	L1, L2	M4, M5	T ₅	L1, L2	M4, M5				T ₃ , T ₄	L2	M3, M4	T ₄	L3	M5			
	T ₅	L2	M5							T ₃	L2	M3	T ₄	L3	M5			
塔 式 起 重 机	T ₂ ~ T ₄	L2	M2 ~ M4				T ₂	L2	M3	T ₂	L3	M3	T ₂ ~ T ₄	L3	M3 ~ M5	T ₃	L3	
	T ₄ , T ₅	L2	M4, M5				T ₃ ~ T ₅	L2	M3	T ₃	L2	M3	T ₂ ~ T ₄	L3	M3 ~ M5	T ₂ , T ₃	L3	
	T ₃ , T ₄	L2, L3	M4, M5				T ₃	L3	M5, M6	T ₂ ~ T ₅	L3	M3 ~ M6	T ₄ , T ₅	L3	M5, M6	T ₃ , T ₄	L3	
	T ₄ , T ₅	L2, L3	M4 ~ M6				T ₃	L3	M6	T ₃	L2	M3	T ₄ , T ₅	L3	M5, M6	T ₃ , T ₄	L3	
铁 路 起 重 机 汽 车 轮 胎 履 带	T ₄ , T ₅	L1, L2	M3, M4							T ₃ , T ₄	L1, L2	M2 ~ M4	T ₄	L2	M4	T ₄	L2	M4
	T ₃ , T ₄	L2, L3	M5 ~ M7							T ₄ , T ₅	L2	M4, M5	T ₃	L2, L3	M5, M6	T ₂ , T ₃	L2, L3	M4, M5
甲 板 起 重 机	T ₃ , T ₄	L2	M3, M4										T ₄	L2	M4	T ₄	L1, L2	M3, M4
	T ₄ , T ₅	L2	M4, M5										T ₄ , T ₅	L3	M5, M6	T ₄	L2	M4
浮 式 起 重 机	T ₅ , T ₆	L2	M5, M6										T ₅ , T ₆	L2	M5, M6	T ₅ , T ₆	L2	M5, M6
	T ₅ , T ₆	L3	M6, M7										T ₅ , T ₆	L2, L3	M5 ~ M7	T ₅ ~ T ₇	L3	M6 ~ M8
	T ₄ , T ₅	L2, L3	M4 ~ M6	T ₄ , T ₅	L2, L3	M4 ~ M6							T ₄	L2	M5	T ₄	L2, L3	M4, M5
缆 索 起 重 机	T ₃ ~ T ₅	L2	M3 ~ M5				T ₃ , T ₄	L2	M3, M4	T ₃ , T ₄	L2	M3, M4						
	T ₅ , T ₆	L3	M6, M7				T ₅ , T ₆	L2, L3	M5, M6	T ₄ , T ₅	L2	M4, M5						
	T ₆ , T ₇	L3, L4	M7, M8				T ₆	L3	M7	T ₄ , T ₅	L2	M4, M5						

注：1. 未列入表中的起重机构工作级别可参照接近的起重机构工作级别选择。

2. 利用等级按机构总设计寿命（总小时数）分级；载荷状态中L1为轻载，L2为中载，L3为重载，L4为特重载；工作级别是按利用等级和载荷状态分级。上述各内容详见GB/T 3811—1983《起重机设计规范》。

表 16-2-26

输出轴轴伸许用径向载荷 F_R ($n = 950\text{r/min}$ 时)

公称中心距 a_1/mm		140	170	200	236	280	335	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
许用径向载荷 /N	R 级	5000	7000	9000	15000	21000	28000	35000	55000	60000	75000	100000	107000	120000	150000	200000
	S 级、 RS 级	5000	8000	10000	15000	30000	37000	55000	64000	93000	120000	150000	170000	200000	240000	270000

2.4 实际传动比

表 16-2-27

公称中心距 a_1/mm	QJR、QJR-D 型减速器						QJS、QJRS、QJS-D、QJRS-D 型减速器							
	公称传动比													
	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
	实际传动比													
140	10.20	12.67	16.42	20.79	25.59	31.78	40.30	49.26	63.09	78.00	99.57	122.58	162.09	201.24
170	9.70	12.34	16.01	19.93	25.56	31.31	39.87	49.21	64.04	81.82	101.86	122.40	161.85	198.27
200	9.95	12.67	16.42	20.25	24.48	32.38	40.75	49.95	63.22	77.28	98.48	125.89	161.28	199.66
236	9.80	12.34	16.01	19.93	25.56	31.67	41.13	50.21	64.92	81.11	99.64	127.78	156.53	193.96
280	10.20	12.67	16.42	20.25	24.48	32.36	39.15	50.76	61.36	82.10	102.36	123.76	153.41	202.76
335	10.19	12.96	15.80	20.74	25.00	30.63	40.00	48.76	62.35	83.19	99.35	127.78	158.33	193.96
400	9.95	12.67	16.42	20.25	24.48	32.38	40.75	49.95	63.22	77.28	98.04	126.48	156.67	207.22
450	9.84	12.89	16.21	20.16	25.26	32.43	40.48	50.96	62.15	77.83	101.91	127.69	158.28	203.21
500	10.02	12.50	16.01	20.14	25.52	31.25	40.22	48.70	61.64	81.05	101.72	121.50	156.10	205.06
560	10.20	12.67	16.42	20.25	24.48	32.36	39.15	50.76	61.36	82.11	102.36	123.76	153.41	202.76
630	10.03	12.88	16.21	20.16	25.26	32.40	39.67	49.94	62.54	81.07	102.81	121.48	156.00	200.12
710	10.01	12.50	16.01	20.14	25.52	30.91	40.77	49.37	62.44	82.05	101.77	128.92	157.88	206.07
800	9.95	12.67	16.42	20.25	24.48	32.38	40.75	49.95	63.22	77.28	98.04	126.48	156.67	207.22
900	9.84	12.88	16.21	20.16	25.26	32.43	39.11	49.24	64.12	81.97	99.83	125.08	160.46	206.00
1000	10.02	12.50	16.01	20.14	25.52	31.25	40.22	48.70	61.64	81.05	101.72	121.50	156.10	205.06

2.5 减速器的选用

(1) 承载能力计算

起重机各机构的工作级别分为 M1 ~ M8 八种, 详见表 16-2-25。QJ 型、QJ-D 型减速器承载能力是以 M5 工作级别为基准的许用输入功率 P_{M5} (表 16-2-21 ~ 表 16-2-24)。若用其他工作级别时, 减速器承载能力应按式 (16-2-3) 进行折算。

$$P_{M5} \geq P_{Mi} \times 1.12^{i-5} \quad (16-2-3)$$

式中 P_{M5} ——减速器承载能力表中的功率值, kW, 见表 16-2-21 ~ 表 16-2-24;

i ——工作级别数 1 ~ 8;

P_{Mi} ——相对 M_i 工作级别的功率值, kW, 见式 (16-2-5)。

(2) 起重机各机构疲劳计算基本载荷 M_{max}

① 起升和非平衡变幅机构:

$$M_{max} = \varphi_6 M_n$$

$$\varphi_6 = \frac{1}{2}(1 + \varphi_2) \quad (16-2-4)$$

式中 φ_6 ——动载系数；

M_n ——电机额定力矩， $N \cdot m$ ；

φ_2 ——起升载荷系数， $\varphi_2 = 1 \sim 2$ ，当起升速度高、系统刚度大、操作猛烈时， φ_2 取大值，见 GB/T 3811—1983 附录 B。

② 运行和回转机构：

$$M_{\max} = \varphi_5 \varphi_8 M_n$$

式中 φ_8 ——刚性动载系数， $\varphi_8 = 1.2 \sim 2.0$ ， φ_8 与电机的驱动特性和计算零件两侧的转动惯量的比值有关；

φ_5 ——弹性振动增大系数， $\varphi_5 = 1.5 \sim 1.7$ ，当驱动机构中串接液力偶合器或摩擦离合器时， $\varphi_5 = 1.1 \sim 1.5$ 。

③ 平衡变幅机构：

疲劳计算的基本载荷取为该零件承受的等效变幅静阻力矩，其他零件取为电机的额定力矩传到该计算零件力矩的 1.3—1.4 倍。

当最大工作载荷低于 2.7 倍的额定力矩时，可不进行静强度校核，当超过此值时，应验算零件的静强度或选大机座号的减速器。

(3) 计算功率值

根据计算基本载荷和转速可换算出该工作级别的功率值：

$$P_{M_i} = \frac{M_{\max} n}{9550} \quad (16-2-5)$$

式中 n ——减速器输入轴转速， r/min 。

如果工作级别不是 M5，可按式 (16-2-3) 折算至 M5 工作级别的功率值 P_{M5} ，然后再根据 P_{M5} 、输入轴转速和公称传动比选择减速器。

例 一台起重量为 32t、跨度为 25.5m 的桥式起重机，其起升机构的电机额定功率为 60kW，转速为 750r/min，起升速度为 8m/min，机构的工作级别为 M6，选择减速器的传动比为 40，要求第Ⅲ种装配型式，齿轮轴端。

电机的额定转矩为

$$M_n = 9550 \times \frac{P}{n} = 9550 \times \frac{60}{750} = 764 N \cdot m$$

根据 GB/T 3811—1983 附录 B，起升载荷系数为

$$\varphi_2 = 1 + 0.71v = 1 + 0.71 \times \frac{8}{60} = 1.1$$

动载系数为

$$\varphi_6 = \frac{1}{2}(1 + \varphi_2) = \frac{1 + 1.1}{2} = 1.05$$

疲劳计算基本载荷为

$$M_{\max} = \varphi_6 M_n = 1.05 \times 764 = 802.2 N \cdot m$$

相对 M6 工作级别的功率为

$$P_{M6} = \frac{M_{\max} n}{9550} = \frac{802.2 \times 750}{9550} = 63 kW$$

折算成 M5 工作级别时的功率为

$$P_{M5} = P_{M6} \times 1.12^{(6-5)} = 63 \times 1.12 = 70.56 kW$$

当转速为 750r/min、传动比为 40 时，查表 16-2-23，高速轴许用功率为 78kW，相对应的减速器为 QJS-D 500-40ⅢC 型减速器。

3 DB、DC 型圆锥、圆柱齿轮减速器 (摘自 JB/T 9002—1999)

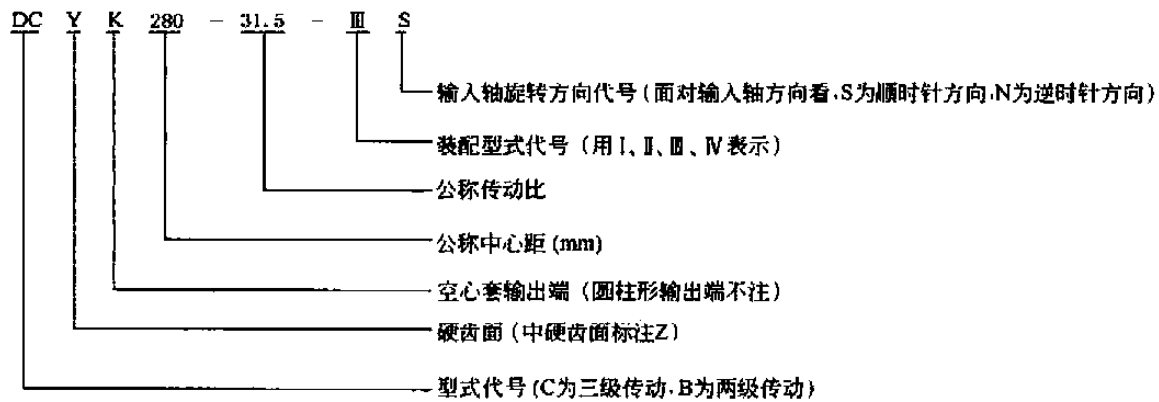
3.1 适用范围和代号

(1) 适用范围

DB、DC 型减速器包括 DBY 二级硬齿面，DCY 三级硬齿面，DBZ 二级中硬齿面，DCZ 三级中硬齿面，DBYK

二级硬齿面空心轴式和 DCYK 三级硬齿面空心轴式六个系列。高速级为弧齿锥齿轮，中低速级为圆柱齿轮。这种减速器具有承载能力大、传动效率高、噪声低、体积小、寿命长的特点，用于输入轴与输出轴呈垂直方向布置的传动装置，如带式输送机及各种运输机械，也可用于煤炭、冶金、矿山、化工、建材、轻工和石油等各种通用机械的传动中。其工作条件为：齿轮圆周速度不大于 20m/s；输入轴转速不大于 1500r/min；工作温度为 -40 ~ 45℃，当环境温度低于 0℃ 时，启动前润滑油应加热到 10℃。

(2) 标记示例



(3) 主要生产厂家

银川减速机厂、嘉兴冶金机械厂、江苏泰隆减速机股份有限公司、沈阳辽中减速机厂、浙江宁波减速机厂、江苏江阴齿轮箱厂、沈阳矿山减速机制造公司、浙江星河机器厂。

3.2 外形、安装尺寸和装配型式

DBY、DBZ 型减速器外形、安装尺寸及装配型式

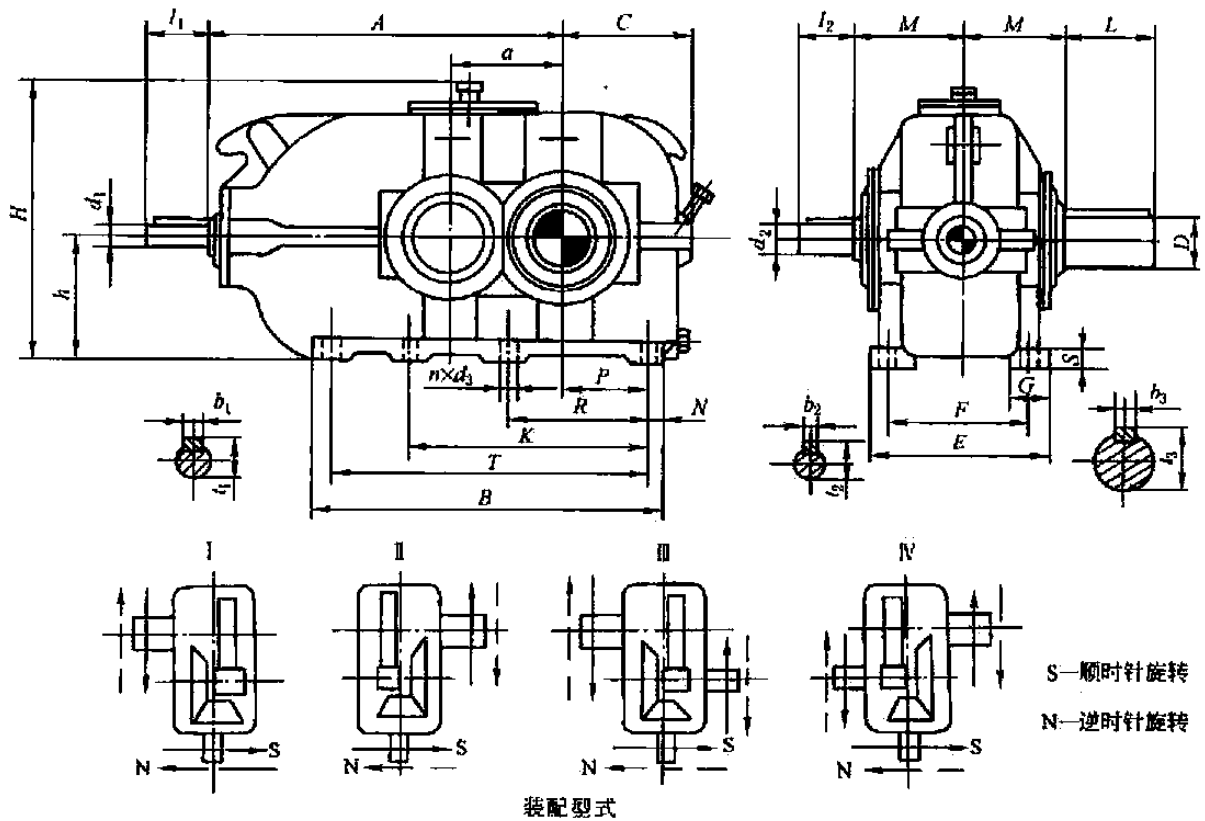


表 16-2-28

mm

公称中心距 a	d_1	l_1	d_2	l_2	D	L	A	B	C	E	F	G	S	h	H	M
160	40	110	48	110	70	140	500	500	190	250	210	65	35	180	430	145
180	42		50		80	170	565	565	215	270	230	70		200	475	160
200	50		55		90	625	625	240	300	250	75	40	225	520	175	
224	55		65	100	140	110	210	705	705	260	320	270	80	45	250	570	190
250	60	140	75	170	120	300	785	785	290	370	310	90	50	280	626	210
280	65		85		140		875	875	325	400	340	100	55	315	702	230
315	75		95	170	140		250	975	975	355	450	380	110	60	355	809	260
355	90	170	100	210	160	350	1085	1085	390	480	410	120	65	400	900	285
400	100	110	170		1215		1215	440	530	460	130	70	450	970	305	
450	110	210	130	250	190		1365	1365	490	600	510	140	80	500	1071	345
500	120	250	150	300	220	410	1525	1525	570	650	560	150	90	560	1210	435
560	130		160		300		250	410	1705	1705	610	750	640	160	100	630	1325	475

公称中心距 a	n	d_3	N	P	R	K	T	b_1	t_1	b_2	t_2	b_3	t_3	平均质量/kg	油量/L
160	6	18	30	115	210	—	440	12	43	14	51.5	20	74.5	173	7
180				135	240		505		45		53.5	22	85	232	9
200		23	35	145	255		555	14	53.5	16	59	25	95	305	13
224				165	290		635	16	59	18	69	28	106	415	18
250		27	40	180	315		705	18	64	20	79.5	28	116	573	25
280				45	200		355		785	69	22		90	32	127	760	36
315		33	50	220	405		875	20	79.5	25	100	36	148	1020	51
355				245	450		975		25	95	106	40	169	1436	69
400				280	510		1105		28	106	28	116	40	179	1966	95
450		8	39	60	315		575	940	1245	28	116	32	137	45	200	2532	130
500	70			350	645	1050	1385	32	127		36	158	50	231	3633	185
560	45		80	390	715	1165	1545	32	137	40	169	56	262	5020	260

注： d_1 、 d_2 、 D 的偏差，一般应符合 GB/T 1569 的规定，下同。

DBYK 型减速器外形、安装尺寸及装配型式

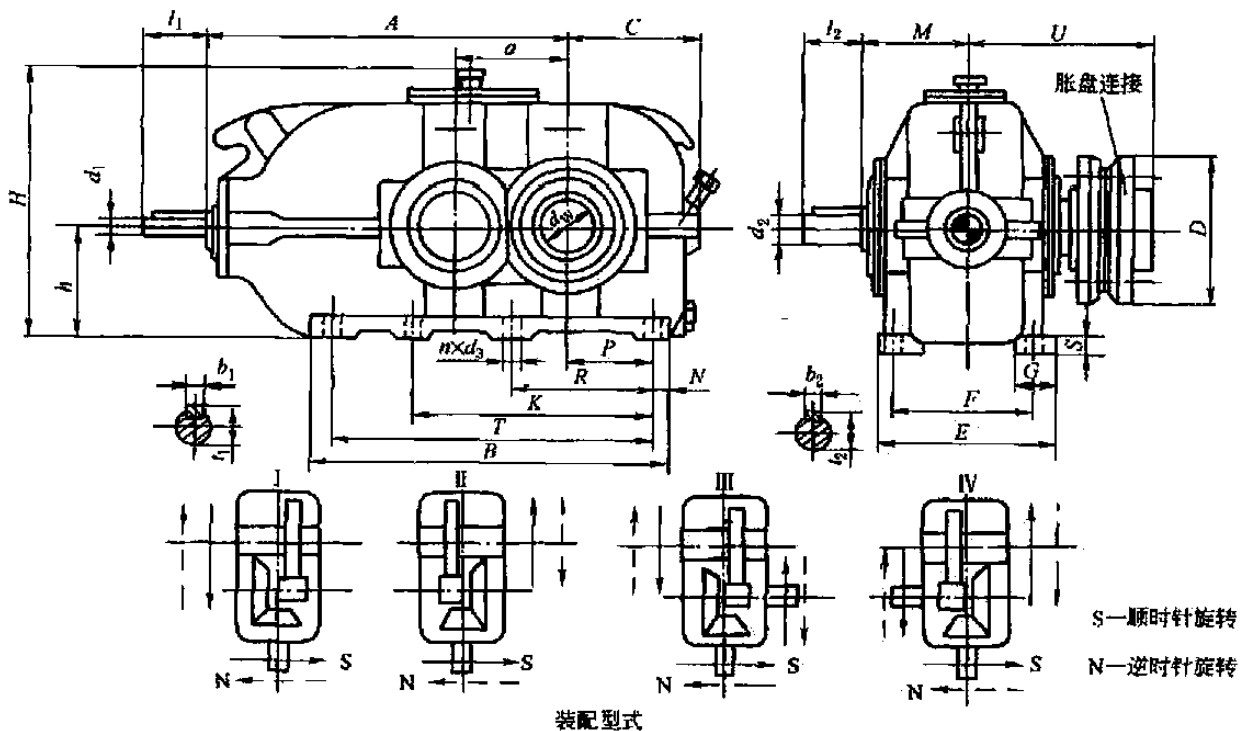


表 16-2-29

公称中心距 a	d_1	l_1	d_2	l_2	d_w	U	A	B	C	E	F	G	S	h	H	M		
160	40	110	48	110	80	225	500	500	190	250	210	65	35	180	430	145		
180	42		50		90	250	565	565	215	270	230			70	200	475	160	
200	50		55		100	275	625	625	240	300	250			75	40	225	520	175
224	55	140	65	140	110	295	705	705	260	320	270	80	45	250	570	190		
250	60		75		120	325	785	785	290	370	310			90	50	280	626	210
280	65		85		135	360	875	875	325	400	340			100	55	315	702	230
315	75	170	95	170	160	420	975	975	355	450	380	110	60	355	809	260		
355	90		100		180	450	1085	1085	390	480	410			120	65	400	900	285
400	100		110		200	490	1215	1215	440	530	460			130	70	450	970	305
450	110	210	130	210	220	550	1365	1365	490	600	510	140	80	500	1071	345		
500	120		150		280	715	1525	1525	570	650	560			150	90	560	1210	435
560	130	250	160	300	310	760	1705	1705	610	750	640	160	100	630	1325	475		

公称中心距 a	n	d_3	N	P	R	K	T	b_1	l_1	b_2	l_2	D	平均质量/kg	油量/L
160	6	18	30	115	210	—	440	12	43	14	51.5	185	173	7
180				135	240		505								45	53.5	215	232	9
200		23	35	145	255		555	14	53.5	16	59	230	305	13
224				165	290		635	16	59	18	69	263	415	18
250		27	40	180	315		705	18	64	20	79.5	290	573	25
280				200	355		785	22	90	300	760	36		
315		33	50	220	405		875	20	79.5	25	100	370	1020	51
355				245	450		975	25	95	405	1436	69		
400		39	60	280	510		1105	28	106	28	116	430	1966	95
450				315	575		940	1245	116	32	137	460	2532	130
500	8	70	350	645	1050	32	127	36	158	570	3633	185		
560			390	715	1165	1545	137	40	169	660	5020	260		

注：空心轴套及胀盘连接尺寸见表 16-2-32。

DCY、DCZ 型减速器外形、安装尺寸及装配型式

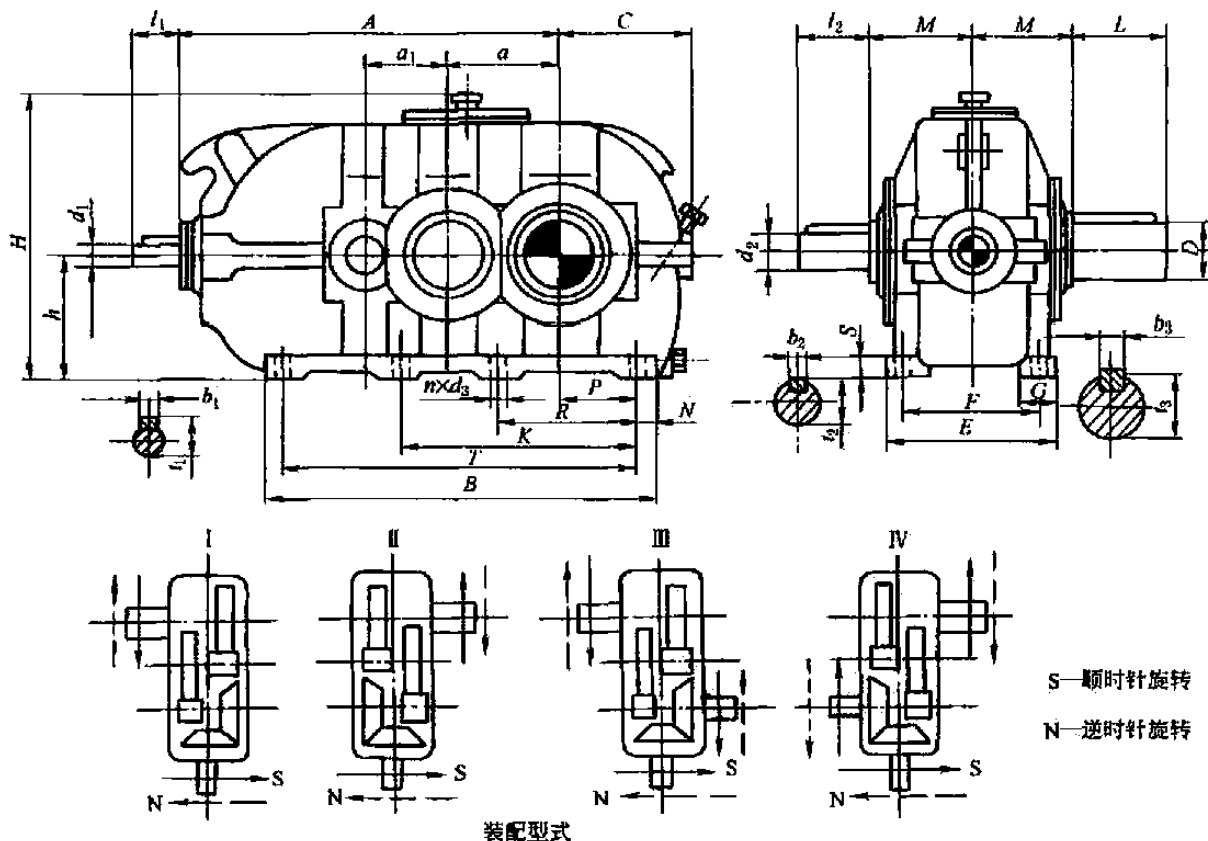


表 16-2-30

mm

公称中心距 a	a_1	d_1	l_1	d_2	l_2	D	L	A	B	C	E	F	G	S	h	H	M
160	112	25	60	32	80	70	140	510	555	190	250	210	65	35	180	423	145
180	125	30	80	38		80	170	575	625	215	270	230	70		200	468	160
200	140	35		110	42	90		210	640	685	240	300	250	75	40	225	520	175
224	160	40	48		100	725	775		260	320	270	80	45	250	570	190	
250	180	42	50	110	815	860	290	370	310	90	50	280	626	210			
280	200	50	55	120	905	970	325	400	340	100	55	315	702	230			
315	224	55	140	65	140	250	1020	1085	355	450	380	110	60	355	809	260	
355	250	60		75	160	300	1140	1220	390	480	410	120	65	400	900	285	
400	280	65	140	85	170		1275	1355	440	530	460	130	70	450	970	305	
450	315	75		95	190	350	1425	1520	490	600	510	140	80	500	1065	345	
500	355	90	170	100	220		1585	1690	570	650	560	150	90	560	1208	435	
560	400	100	210	110	250	410	1775	1895	610	750	640	160	100	630	1325	475	
630	450	110		130	250	300	470	1995	2145	675	800	690	170	110	710	1460	525
710	500	120	150	340		550	2235	2400	760	900	770	190	125	800	1665	570	
800	560	130	250	160	300	400	650	2505	2700	840	1000	870	200	140	900	1870	625

公称中心距 a	n	d_3	N	P	R	K	T	b_1	t_1	b_2	t_2	b_3	t_3	平均 质量 /kg	油量 /L
160	6	18	30	115	210	—	495	8	28	10	35	20	74.5	200	9
180				135	240		565		33		41		22	85	255	13
200		23	35	145	255		615	10	38	12	45	25	95	325	18
224				165	290		705	12	43	14	51.5	28	106	453	26
250		27	40	180	315		780		45		53.5		116	586	33
280			45	200	355		880	14	53.5	16	59	32	127	837	46
315	8	33	50	220	405	655	985	16	59	18	69	36	148	1100	65
355				55	245	450	740	1110	18	64	20	79.5	40	169	1550	90
400		280	510		840	1245	69	22		90	179	1967		125	
450		39	60	315	575	940	1400	20	79.5	25	100	45	200	2675	180
500			70	350	645	1050	1550	25	95	28	106	50	231	4340	240
560		45	80	390	715	1165	1735	28	106		32	116	56	262	5320	335
630				445	800	1305	1985		116	137		70	314	7170	480
710			90	500	900	1490	2220	32	127	36	158	80	355	9600	690
800				560	1100	1680	2520		137	40	169	90	417	13340	940

DCYK 型減速器外形、安裝尺寸及裝配型式

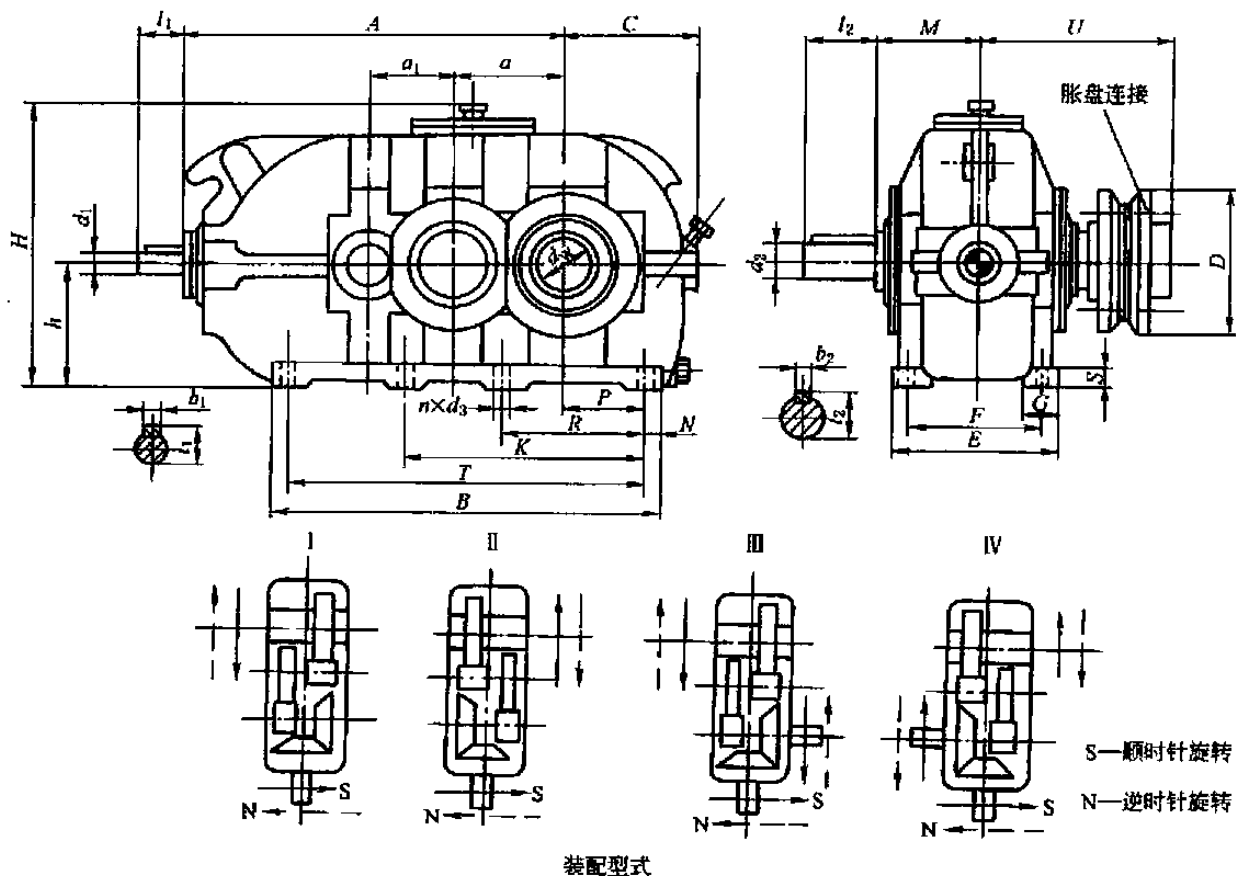


表 16-2-31

mm

公称中心距 <i>a</i>	<i>a</i> ₁	<i>d</i> ₁	<i>l</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>l</i> ₂	<i>d</i> _w	<i>U</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>S</i>	<i>h</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	
160	112	25	60	32	80	80	225	510	555	190	250	210	65	35	180	423	145	
180	125	30	80	38		90	250	575	625	215	270	230	70		200	468	160	
200	140	35	110	42	110	100	275	640	685	240	300	250	75	40	225	520	175	
224	160	40		48		110	110	295	725	775	260	320	270	80	45	250	570	190
250	180	42		50		110	120	325	815	860	290	370	310	90	50	280	626	210
280	200	50		55	140	135	360	905	970	325	400	340	100	55	315	702	230	
315	224	55	140	65	140	160	420	1020	1085	355	450	380	110	60	355	809	260	
355	250	60		75		140	180	450	1140	1220	390	480	410	120	65	400	900	285
400	280	65	170	85	170	200	490	1275	1355	440	530	460	130	70	450	970	305	
450	315	75		95		170	220	550	1425	1520	490	600	510	140	80	500	1065	345
500	355	90	210	100	210	280	715	1585	1690	570	650	560	150	90	560	1208	435	
560	480	100		110		210	310	760	1775	1895	610	750	640	160	100	630	1325	475
630	450	110		130	250	340	840	1995	2145	675	800	690	170	110	710	1460	525	
710	500	120	250	150	250	380	890	2235	2400	760	900	770	190	125	800	1665	570	
800	560	130		160		300	420	955	2505	2700	840	1000	870	200	140	900	1870	625

续表

公称中心距 a	n	d_3	N	P	R	K	T	b_1	t_1	b_2	t_2	D	平均质量/kg	油量/L
160	6	18	30	115	210	—	495	8	28	10	35	185	200	9
180				135	240		565		33		41	215	255	13
200		23	35	145	255		615	10	38	12	45	230	325	18
224				165	290		705	12	43	14	51.5	263	453	26
250		27	40	180	315		780		45		53.5	290	586	33
280				45	200		355	880	14	59	16	59	300	837	46
315	8	33	50	220	405	655	985	16	59	18	69	370	1100	65
355				245	450	740	1110	18	64	20	79.5	405	1550	90
400		55	280	510	840	1245	69		22	90	430	1967	125	
450			39	60	315	575	940	1400	20	79.5	25	100	460	2675	180
500		70			350	645	1050	1550	25	95	106	570	4340	240
560		45	80	390	715	1165	1735	28	28	106	116	660	5320	335
630					445	800	1305			1985	116	32	137	690	7170	480
710			90	500	900	1490	2220	32	32	127	158	770	9600	690
800					560	1100	1680			2520	137	40	169	850	13340	940

注：空心轴套及胀盘连接尺寸见表 16-2-32。

空心轴套及胀盘尺寸

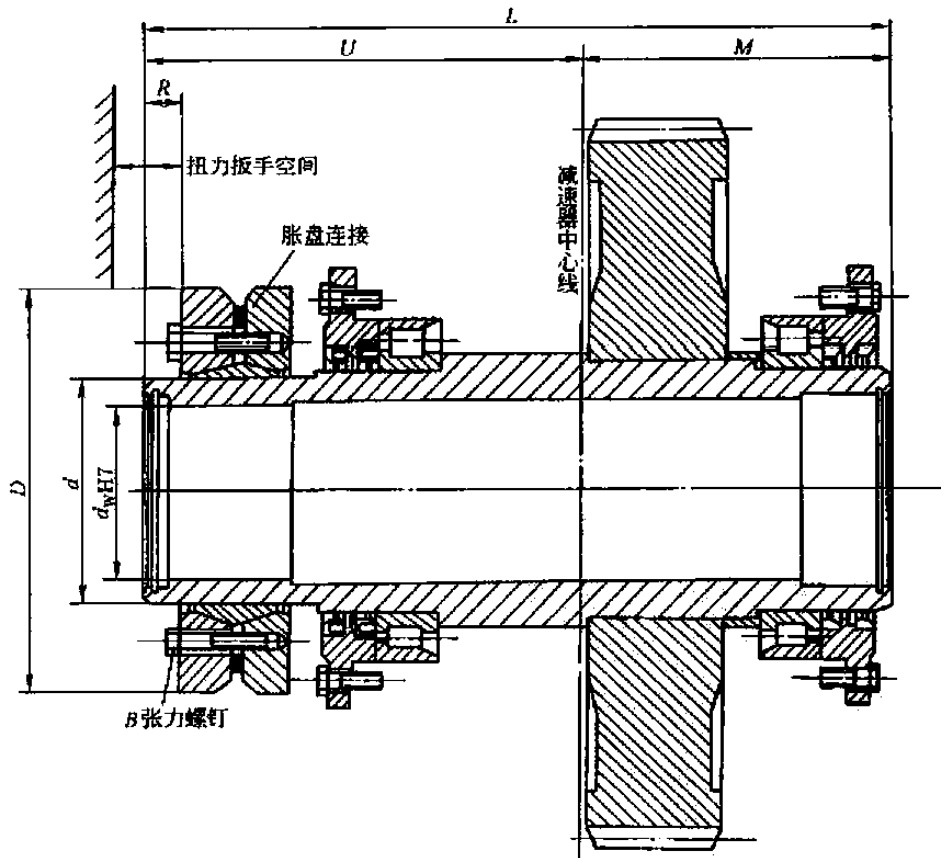


表 16-2-32

mm

减速器公称中心距 a	空心轴套					胀盘						
	d_w	L	M	R	U	型 号	D	d	$T_1/N \cdot m$	螺 钉		质量/kg
										B	$T_2/N \cdot m$	
160	80	370	145	26	225	110-72	185	110	9000	M10	58	5.9
180	90	410	160	27	250	125-72	215	125	13000	M10	58	8.3
200	100	450	175	32	275	140-71	230	140	17600	M12	100	10
224	110	485	190	33	295	155-71	263	155	25000	M12	100	15
250	120	535	210	37	325	165-71	290	165	35000	M12	240	22
280	135	590	230	35	360	175-71	300	175	48000	M16	240	22
315	160	680	260	37	420	220-71	370	220	100000	M16	240	54
355	180	735	285	38	450	240-71	405	240	138000	M20	470	67
400	200	795	305	46	490	260-71	430	260	184000	M20	470	82
450	220	895	345	48	550	280-71	460	280	245000	M20	470	102
500	280	1190	475	61	715	350-71	570	350	500000	M20	470	204
560	310	1270	510	67	760	390-71	660	390	710000	M20	470	260
630	340	1400	560	71	840	420-71	690	420	840000	M20	470	316
710	380	1490	600	73	890	460-71	770	460	1140000	M20	470	420
800	420	1600	645	82	955	500-71	850	500	1600000	M20	470	575

注：1. T_1 —紧固轴所需转矩； T_2 —胀盘可传递的最大转矩。

2. 与空心轴套连接的连接轴尺寸见表 16-2-33。

与空心轴套连接的连接轴尺寸

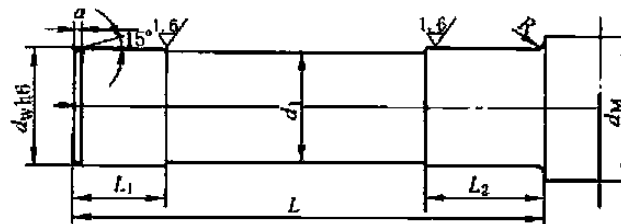


表 16-2-33

mm

减速器公称中心距	a	d_M (最小)	d_w	d_1	L	L_1	L_2	R
160	5	100	80	78	355	65	90	1.6
180	5	110	90	88	395	70	100	1.6
200	5	125	100	98	430	75	110	1.6
224	5	135	110	108	465	80	120	1.6
250	6	150	120	118	510	90	130	2.5
280	6	165	135	133	565	100	140	2.5
315	6	190	160	158	655	120	160	2.5
355	6	210	180	178	710	125	170	2.5
400	8	240	200	198	765	145	190	4
450	8	260	220	218	860	150	200	4
500	10	320	280	278	1145	240	290	4
560	10	350	310	308	1225	260	310	4
630	12	380	340	338	1355	280	330	6
710	12	430	380	378	1440	300	350	6
800	12	470	420	418	1550	320	380	6

注： $d_w \geq 160\text{mm}$ 时配合公差采用 $g6$ 。

3.3 承载能力

表 16-2-34

DBY、DBYK 型减速器公称输入功率

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 a/mm											
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
	输入 n_1	输出 n_2	公称输入功率 P_N/kW											
8	1500	188	81	115	145	205	320	435	610	750	1080	1680 ^①	2100 ^①	—
	1000	125	56	86	110	155	245	325	465	560	810	1260	1700	2200 ^①
	750	94	42	55	88	125	185	250	340	465	660	950	1400	1800
10	1500	150	67	92	130	165	255	345	480	610	910	1370	1900 ^①	—
	1000	100	44	69	94	125	195	260	360	465	620	950	1270	1700
	750	75	34	46	73	105	155	210	295	380	510	710	950	1300
11.2	1500	134	59	81	115	150	235	325	450	560	840	1200	1550	—
	1000	89	40	61	84	130	175	245	340	430	630	810	1030	1380
	750	67	31	41	65	98	140	185	240	350	470	610	780	1040
12.5	1500	120	53	75	105	140	210	285	390	500	760	980	1260	1550 ^①
	1000	80	36	56	74	105	145	215	265	380	480	660	850	1110
	750	60	27	36	56	76	110	150	190	270	365	500	640	840
14	1500	107	48	66	81	125	190	260	345	465	580	780	1000	1150
	1000	71	31	42	54	84	110	165	205	310	415	520	680	900
	750	53	23	31	38	60	80	115	145	235	310	400	510	690

① 需采用循环油润滑。

表 16-2-35

DBY、DBYK 型减速器热功率

环境条件	空气流速 $/m \cdot s^{-1}$	公称中心距 a/mm											
		160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
	减速器不附加冷却装置的热功率 P_{G1}/kW												
狭小车间内	≥ 0.5	32	40	50	61	76	95	118	143	180	225	279	355
中、大型车间内	≥ 1.4	45	57	71	85	106	133	165	201	252	316	391	497
室外	≥ 3.7	62	77	96	116	144	181	224	272	342	429	531	675

注：减速器附装冷却管时的热功率 P_{G2} 可根据需要进行设计。

表 16-2-36

DCY、DCYK 型减速器公称输入功率

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 a/mm														
			160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
	输入 n_1	输出 n_2	公称输入功率 P_N/kW														
16	1500	94	45	61	80	120	160	230	305	440	600 ^①	830 ^①	1350 ^①	1850 ^①	—	—	—
	1000	63	30	43	60	85	115	170	230	330	440	630	1010	1420 ^①	2200 ^①	2500 ^①	2850 ^①
	750	47	24	35	45	70	85	140	185	270	360	510	830	1180	1600	2300 ^①	2600 ^①
18	1500	83	42	58	75	110	150	210	290	440	560	780 ^①	1350 ^①	1850 ^①	—	—	—
	1000	56	30	40	53	75	105	155	215	330	420	590	1000	1400 ^①	1860 ^①	2500 ^①	2850 ^①
	750	42	23	32	42	65	80	120	175	260	345	480	790	1120	1460	2180 ^①	2500 ^①
20	1500	75	39	53	68	100	135	195	270	430	550	780 ^①	1320 ^①	1800 ^①	—	—	—
	1000	50	27	36	48	70	95	140	200	315	380	550	830	1240 ^①	1640 ^①	2400 ^①	2850 ^①
	750	38	20	28	38	55	75	110	160	245	310	445	700	1000	1290	1920 ^①	2500

公称传动比 <i>i</i>	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 <i>a</i> /mm														
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
			公称输入功率 P_N /kW														
22.4	1500	67	34	50	65	94	130	175	250	400	510	730	1170 ^①	1540 ^①	—	—	—
	1000	45	23	34	48	65	90	130	185	290	360	520	780	1100	1450 ^①	2120 ^①	2600 ^①
	750	33	17	25	36	49	70	95	140	220	275	400	620	880	1140	1710	2460 ^①
25	1500	60	30	44	62	83	115	160	225	350	450	650	1030	1460 ^①	—	—	—
	1000	40	20	30	42	57	80	110	165	255	315	460	730	1040	1350 ^①	2010 ^①	2600 ^①
	750	30	15	23	32	43	60	85	125	195	240	350	550	780	1010	1510	2180 ^①
28	1500	54	22	37	48	75	92	140	215	320	405	590	910	1290 ^①	—	—	—
	1000	36	15	25	34	52	66	94	150	225	285	420	640	910	1190	1770 ^①	2500 ^①
	750	27	12	19	26	39	50	71	115	170	215	315	490	690	890	1330	1920 ^①
31.5	1500	48	20	33	44	69	85	120	195	290	385	550	820	1170	—	—	—
	1000	32	14	22	31	46	59	83	130	200	255	370	580	820	1070	1600 ^①	2310 ^①
	750	24	10	17	23	34	44	62	100	150	190	280	440	620	800	1200	1740 ^①
35.5	1500	42	18	30	40	62	77	110	180	260	345	500	770	1100	1430 ^①	2120 ^①	—
	1000	28	12	20	28	42	53	75	120	180	230	340	510	720	950	1410	2030 ^①
	750	21	9	15	21	31	40	56	90	135	175	250	385	540	710	1060	1540
40	1500	38	17	27	36	56	69	98	160	235	310	450	690	990	1290	1920 ^①	—
	1000	25	11	18	25	41	47	67	120	160	225	330	465	660	860	1280 ^①	1850 ^①
	750	19	8.5	14	19	29	36	52	82	125	155	230	350	495	640	960	1390
45	1500	33.5	15	24	33	50	64	90	145	215	275	400	620	880	1150	1720 ^①	2100 ^①
	1000	22	10	16	22	33	42	60	95	145	180	265	455	640	840	1250	1810
	750	16.6	7.5	12	17	26	32	46	74	110	140	205	320	455	600	870	1260
50	1500	30	13	21	30	44	57	80	130	195	245	360	550	780	1030	1540 ^①	2050 ^①
	1000	20	9	14	20	31	38	54	87	130	165	240	365	520	680	1020	1480
	750	15	7	11	15	23	29	41	65	99	120	180	290	410	540	780	1130

① 需采用循环润滑。

表 16-2-37

DCY、DCYK 型减速器热功率

环境条件	空气流速 $/m \cdot s^{-1}$	公称中心距 <i>a</i> /mm															
		160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	
		减速器不附加冷却装置时的热功率 P_{G1} /kW															
狭小车间内	≥ 0.5	22	27	34	41	52	65	81	99	124	156	192	245	299	384	482	
中、大型车间内	≥ 1.4	31	38	48	58	73	91	114	139	174	218	270	343	419	537	675	
室外	≥ 3.7	42	52	65	79	99	124	155	189	237	296	366	465	568	730	910	

注：减速器附装冷却管时的热功率 P_{G2} ，可根据需要进行设计。

表 16-2-38

DBZ 型减速器公称输入功率

公称传动比 <i>i</i>	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 <i>a</i> /mm											
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
			公称输入功率 P_N /kW											
8	1500	188	29.0	39.0	55.0	80	120	170	215	320	490	600	930	—
	1000	125	18.8	26.0	36.0	55	78	110	150	220	320	450	650	930
	750	94	14.0	21.0	28.5	42	59	84	110	165	240	365	485	690

续表

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 a/mm											
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
			公称输入功率 P_N/kW											
10	1500	150	18.0	32.0	45.0	65	90	130	180	260	370	550	760	—
	1000	100	12.0	21.0	29.0	42	62	87	120	175	250	370	510	680
	750	75	8.5	16.0	22.0	32	46	66	90	130	185	280	370	480
11.2	1500	134	17.5	26.0	36.0	57	75	115	150	215	330	480	670	—
	1000	89	10.5	17.0	24.0	38	51	74	100	150	220	325	440	650
	750	67	8.1	12.5	18.0	28	38	56	71	105	165	250	320	460
12.5	1500	120	14.0	24.0	32.0	52	70	105	140	205	300	430	600	800
	1000	80	9.0	15.0	22.0	34	49	69	95	140	200	295	400	550
	750	60	6.5	12.0	16.5	25	36	52	68	100	145	220	290	380
14	1500	107	13.5	20.0	28.0	45	61	91	120	170	265	390	510	770
	1000	71	8.8	12.0	18.0	30	40	60	85	115	175	260	350	500
	750	53	6.3	9.5	14.0	23	30	44	60	80	130	200	250	360

表 16-2-39

DCZ 型减速器公称输入功率

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 a/mm														
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
			公称输入功率 P_N/kW														
16	1500	94	14.0	20.0	28.0	42.0	60.0	85	120	165	240	350	490	710	—	—	—
	1000	63	9.4	13.5	18.7	28.0	40.0	56	80	110	160	235	330	490	670	980	1450
	750	47	7.0	10.0	13.9	21.0	30.0	41	60	85	120	175	250	350	500	730	1050
18	1500	83	12.0	18.0	26.0	35.0	50.0	75	105	150	215	320	440	630	—	—	—
	1000	56	8.2	12.0	17.3	22.0	35.0	49	70	95	145	215	305	420	590	860	1300
	750	42	6.1	8.8	12.8	18.0	26.0	36	51	73	110	160	225	320	440	640	950
20	1500	75	9.4	15.7	23.0	29.0	48.0	65	85	130	190	280	395	540	—	—	—
	1000	50	6.0	10.2	15.1	18.0	31.0	43	57	90	130	185	270	370	515	760	1050
	750	38	4.4	7.2	11.1	13.5	23.0	32	41	65	95	135	200	260	390	600	780
22.4	1500	67	9.1	14.0	19.0	28.0	39.0	53	75	110	155	210	260	450	—	—	—
	1000	45	6.1	9.3	13.0	17.5	26.0	37	50	75	105	159	190	320	420	630	900
	750	33	4.5	6.9	9.0	13.0	20.0	27	40	55	80	117	145	240	315	480	670
25	1500	60	8.0	10.7	16.0	26.5	35.0	50	68	105	140	200	250	430	—	—	—
	1000	40	5.5	6.9	11.0	17.5	23.0	33	45	70	93	145	175	290	395	580	795
	750	30	4.0	5.3	8.0	13.0	17.5	25	34	50	70	110	130	215	300	440	580
28	1500	54	7.0	10.5	15.0	22.5	32.0	45	63	90	130	190	245	380	—	—	—
	1000	36	4.8	7.3	10.4	14.0	21.0	29	41	62	87	135	165	255	365	540	750
	750	27	3.6	5.4	7.8	10.5	16.5	22	30	48	65	100	120	190	270	410	550
31.5	1500	48	6.3	8.9	12.5	21.0	28.0	40	56	82	115	180	220	350	—	—	—
	1000	32	4.2	5.7	8.8	14.0	19.0	27	38	54	80	125	145	235	330	490	665
	750	24	3.2	4.4	6.5	10.5	14.0	20	28	40	61	90	110	170	245	360	480

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \min^{-1}$		公称中心距 a/mm														
	输入 n_1	输出 n_2	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
			公称输入功率 P_N/kW														
35.5	1500	42	5.6	8.3	12.0	18.0	26.0	35	48	70	100	160	190	300	420	650	—
	1000	28	3.9	5.5	8.0	11.5	17.0	23	33	48	70	105	125	195	275	435	575
	750	21	2.8	4.2	6.2	8.5	13.0	17	24	35	51	78	95	145	205	325	430
40	1500	38	5.1	6.9	10.5	17.0	23.0	32	43	65	91	145	170	270	390	590	—
	1000	25	3.4	4.6	7.2	11.5	15.5	21	29	42	61	97	115	175	250	400	520
	750	19	2.5	3.4	5.3	8.5	11.5	16	22	31	48	70	80	130	185	300	375
45	1500	33.5	4.5	6.7	9.0	13.7	19.0	27	39	55	80	121	150	240	330	530	685
	1000	22	2.9	4.3	6.2	9.0	13.0	18	25	36	55	85	98	155	225	345	450
	750	16.6	2.1	3.2	4.6	6.5	10.0	14	19	25	41	60	73	115	165	300	345
50	1500	30	3.8	5.1	7.8	13.0	18.0	25	34	51	71	112	130	215	310	465	610
	1000	20	2.6	3.3	5.2	8.7	12.0	17	23	33	48	76	87	140	200	300	405
	750	15	2.0	2.5	4.0	6.5	8.5	12	17	25	36	55	65	105	145	220	300

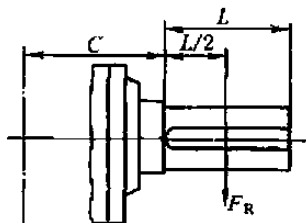
DB、DC 型减速器输出轴轴伸许用径向载荷 F_R 

表 16-2-40

kN

规格	输出轴转速/ $r \cdot \min^{-1}$									
	24	27	30	33	38	42	48	54	60	
160	28.7	27.8	26.2	25.2	23.9	23.3	22.4	21.6	19.6	
180	34.4	32.8	31.5	29.9	28.7	27.5	26.6	25.4	23.9	
200	41.6	40.1	37.5	36.1	34.7	33.3	32.2	31.0	28.4	
224	50.1	48.4	45.8	43.6	41.7	40.0	38.5	37.1	35.7	
250	63.7	61.4	57.6	55.0	53.2	51.0	49.2	47.5	44.0	
280	73.0	69.7	66.1	63.4	61.0	58.6	56.3	53.3	50.5	
315	87.2	84.1	78.4	75.1	72.5	67.2	65.9	64.7	62.3	
355	103.8	100.1	93.1	90.1	86.2	81.6	78.8	73.2	69.6	
400	114.3	111.3	103.9	99.7	91.3	86.0	84.7	81.8	73.6	
450	144.3	139.4	138.5	132.5	130.9	126.3	118.8	112.9	107.0	
500	189.1	171.4	163.9	157.5	153.9	145.6	135.9	124.0	110.3	
560	210.7	207.7	195.6	189.7	174.8	169.9	165.2	160.7	152.5	
630	250.3	245.3	244.7	236.0	219.2	203.7	203.3	188.6	170.5	
710	260.5	258.5	251.9	243.2	240.3	230.0	227.5	220.1	215.0	
800	390.2	320.8	319.0	310.1	300.3	297.9	291.7	286.7	278.2	
规格	输出轴转速/ $r \cdot \min^{-1}$									
	67	75	83	94	107	120	134	150	187	
160	18.7	17.3	17.0	16.5	16.5	15.8	15.2	14.4	11.8	
180	22.7	22.0	21.2	20.6	20.0	18.9	18.4	17.4	14.9	
200	27.8	26.9	25.9	25.2	25.2	22.8	22.4	20.4	19.2	
224	33.9	32.7	31.2	30.2	30.2	28.9	28.7	27.0	22.5	
250	41.7	41.0	39.5	38.2	36.8	33.6	33.8	29.8	23.5	

规格	输出轴转速/ $r \cdot \min^{-1}$								
	67	75	83	94	107	120	134	150	187
280	48.7	41.7	46.0	39.1	39.1	39.1	38.3	34.9	23.8
315	57.8	57.0	56.9	55.5	53.5	47.7	48.5	41.4	36.3
355	61.1	57.8	61.2	65.2	64.0	62.8	59.5	57.9	49.3
400	69.5	67.2	66.9	65.9	64.1	64.0	60.1	59.8	51.7
450	99.5	93.3	85.0	80.3	70.3	70.3	65.2	62.8	61.5
500	120.6	111.7	101.5	92.4	78.5	77.3	76.0	74.9	72.9
560	142.2	122.9	105.3	95.8	85.4	84.6	83.8	83.6	81.0
630	162.7	149.2	140.6	115.6					
710	195.1	158.2	144.4	119.7					
800	256.3	226.4	210.1	180.4					

注：1. 输出轴转速介于表列转速之间时，许用径向载荷用插值法求值。

2. 输出轴转速小于表列最小转速时，许用径向载荷按该规格最大值选取。

3.4 实际传动比

表 16-2-41

公称中心距 a/mm	公称传动比 i				
	8	10	11.2	12.5	14
160	7.752	9.593	10.905	12.265	13.943
180	7.811	9.743	11.100	12.458	14.192
200	8.041	10.267	11.119	12.781	13.842
224	7.841	10.267	11.273	12.781	14.035
250	8.028	10.251	11.101	12.698	13.752
280	7.818	9.888	11.256	12.248	13.943
315	7.950	10.244	11.050	12.690	13.688
355	7.829	9.991	11.242	12.377	13.926
400	7.820	10.238	11.368	12.635	14.029
450	7.820	10.238	11.242	12.635	13.874
500	7.812	10.025	11.327	12.635	14.276
560	8.010	9.757	11.008	12.297	13.874

公称中心距 a/mm	公称传动比 i										
	16	18	20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
160	15.450	17.602	20.260	23.071	25.011	29.053	31.495	35.757	38.763	45.814	49.665
180	15.882	17.962	20.382	22.820	26.168	28.737	32.952	35.442	40.641	45.316	51.963
200	16.323	17.643	19.935	22.431	25.242	28.247	31.786	34.838	39.202	44.543	50.124
224	15.673	17.847	19.393	22.094	25.117	27.427	31.180	33.827	38.455	43.250	49.169
250	16.193	18.130	20.198	22.728	25.893	28.214	32.143	34.798	39.643	44.492	50.687
280	15.805	17.785	20.181	22.852	24.748	28.368	30.722	35.933	38.915	44.735	48.447
315	15.673	17.855	20.520	23.024	25.282	28.582	31.384	36.204	39.753	45.071	49.490
355	15.906	17.898	20.309	23.138	25.057	27.867	30.179	36.147	39.147	44.778	48.493
400	15.490	17.540	19.590	22.318	25.406	26.880	30.600	34.867	39.692	43.192	49.169
450	15.750	17.672	20.296	23.123	24.941	27.849	30.039	36.124	38.964	44.749	48.267
500	15.825	18.029	20.195	22.383	25.185	26.959	30.333	34.969	39.346	43.318	48.741
560	15.688	17.873	20.540	22.201	24.652	27.693	30.750	35.834	39.789	44.221	49.103
630	15.412	17.559	20.179	22.990	25.244	27.901	30.637	36.103	39.643	44.554	48.922
710	15.724	17.428	20.179	22.647	25.588	27.485	31.054	34.823	39.346	43.889	49.589
800	16.123	17.428	19.641	22.376	25.244	27.156	30.637	34.407	38.817	43.364	48.922

3.5 减速器的选用

选用 DB、DC 型减速器时，承载能力必须通过输入功率和热效应两项功率核算，选用步骤如下。

(1) 确定减速器传动比

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

式中 n_1 ——输入轴转速, r/min;

n_2 ——输出轴转速, r/min。

(2) 确定减速器规格 (公称中心距)

按公称功率值确定减速器的公称中心距。

$$P_N \geq P_e f \quad (16-2-6)$$

式中 P_N ——减速器公称输入功率, kW, 查表 16-2-34 ~ 表 16-2-39;

P_e ——被传动机械所需功率, kW;

f ——工况系数, 查表 16-2-42。

表 16-2-42

工况系数 f

原 动 机	每天工作时间/h	载 荷 种 类		
		平稳载荷	中等冲击载荷	重冲击载荷
电机、涡轮机	≤3	1.0	1.0	1.50
	>3 ~ 10	1.25	1.25	1.75
	>10 ~ 24	1.25	1.50	2.0
4-6缸活塞发动机	≤3	1.0	1.25	1.75
	>3 ~ 10	1.25	1.50	2.0
	>10 ~ 24	1.50	1.75	2.25
1-3缸活塞发动机	≤3	1.25	1.50	2.0
	>3 ~ 10	1.50	1.75	2.25
	>10 ~ 24	1.75	2.0	2.50

注: 每天连续 24h 工作时, f 应增大 10% ~ 20%。

(3) 验算启动转矩

$$\frac{T_K n_1}{9550 P_N} \leq 2.5 \quad (16-2-7)$$

式中 T_K ——启动转矩或最大输入转矩, N·m。

(4) 验算热功率

当减速器不附加外冷却装置时:

$$P_e \leq P_{G1} f_w f_A \quad (16-2-8)$$

如果 $P_e > P_{G1} f_w f_A$ 时, 则必须重新选用增大一级中心距的减速器或提供附加冷却管进行冷却, 并按式 (16-2-9) 进行校核。

当减速器附加散热器冷却时:

$$P_e \leq P_{G2} f_w f_A \quad (16-2-9)$$

式中 P_{G1} , P_{G2} ——减速器热功率, 见表 16-2-35 和表 16-2-37, kW;

f_w ——环境温度系数, 见表 16-2-43;

f_A ——功率利用系数, 见表 16-2-44。

表 16-2-43

环境温度系数 f_w

冷 却 方 式	环境温度/℃	每 小 时 载 荷 率				
		100%	80%	60%	40%	20%
减 速 器 不 附 加 外 冷 却 装 置	10	1.12	1.18	1.3	1.51	1.93
	20	1.0	1.06	1.16	1.35	1.78
	30	0.89	0.93	1.02	1.33	1.52
	40	0.75	0.87	0.9	1.01	1.34
	50	0.63	0.67	0.73	0.85	1.12
减 速 器 附 加 散 热 器	10	1.1	1.32	1.54	1.76	1.98
	20	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
	30	0.9	1.08	1.26	1.44	1.62
	40	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53
	50	0.8	0.96	1.12	1.29	1.44

表 16-2-44

功率利用系数 f_A

型 式	利 用 率 $\frac{P_2}{P_N} \times 100\%$			
	100	80	60	40
DBY、DBYK	1.0	0.96	0.89	0.79
DCY、DCYK				

例 一带式输送机输送大块废岩, 受重冲击载荷。所选电机功率 $P = 75\text{kW}$, 转速 $n_1 = 1500\text{r/min}$, 启动转矩 $T_k = 955\text{N} \cdot \text{m}$, 被传动机械所需功率 $P_e = 62\text{kW}$, 滚筒转速 $n_2 = 60\text{r/min}$, 每天工作 24h, 每小时载荷率 100%, 环境温度 40°C , 露天作业。风速 3.7m/s 。试选用合适的减速器。

(1) 确定减速器的传动比和型式

$$i = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{1500}{60} = 25$$

选择 DCY 型三级减速器。

(2) 确定减速器的公称中心距 (规格)

载荷特性为重冲击载荷, 按表 16-2-42 查得 $f = 2.0$, 每天 24h 连续工作, 系数 f 应增大 10%, 即 $f = 2.0 + 0.1 \times 2 = 2.2$, 则

$$P_e f = 62 \times 2.2 = 136.4\text{kW}$$

按表 16-2-36 选用 DCY280, 其公称输入功率 $P_N = 160\text{kW} > 136.4\text{kW}$ 。

(3) 验算启动转矩

$$\frac{T_k n_1}{9550 P_N} = \frac{955 \times 1500}{9550 \times 160} = 0.94 < 2.5$$

(4) 验算热功率

没有附加外冷却装置时, 查表 16-2-37, $P_{G1} = 124\text{kW}$; 查表 16-2-43, $f_w = 0.75$; $\frac{P_e}{P_N} \times 100\% = \frac{62}{160} \times 100\% \approx 40\%$, 根据表 16-2-44 查得 $f_A = 0.79$, 则

$$P_e \leq P_{G1} f_w f_A = 124 \times 0.75 \times 0.79 = 73.5\text{kW}$$

符合要求。

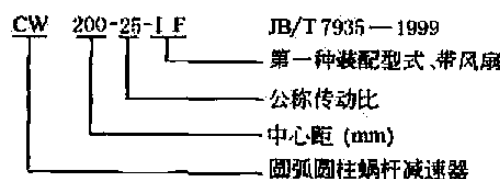
4 CW 型圆弧圆柱蜗杆减速器 (摘自 JB/T 7935—1999)

4.1 适用范围和标记

(1) 适用范围

CW 型圆弧圆柱蜗杆减速器具有整体机体、模块化设计的特点, 用于传递两交错轴间的运动和功率的机械传动, 如冶金、矿山、起重、运输、化工、建筑、建材、能源及轻工等行业的机械设备。适用范围为: 减速器输入轴转速不大于 1500r/min ; 减速器工作环境温度 $-40 \sim 40^\circ\text{C}$, 当工作环境温度低于 0°C , 启动前润滑油必须加热到 0°C 以上, 或采用低凝固点的润滑油, 当工作环境温度高于 40°C 时, 必须采取冷却措施; 减速器输入轴可正、反两方向旋转。

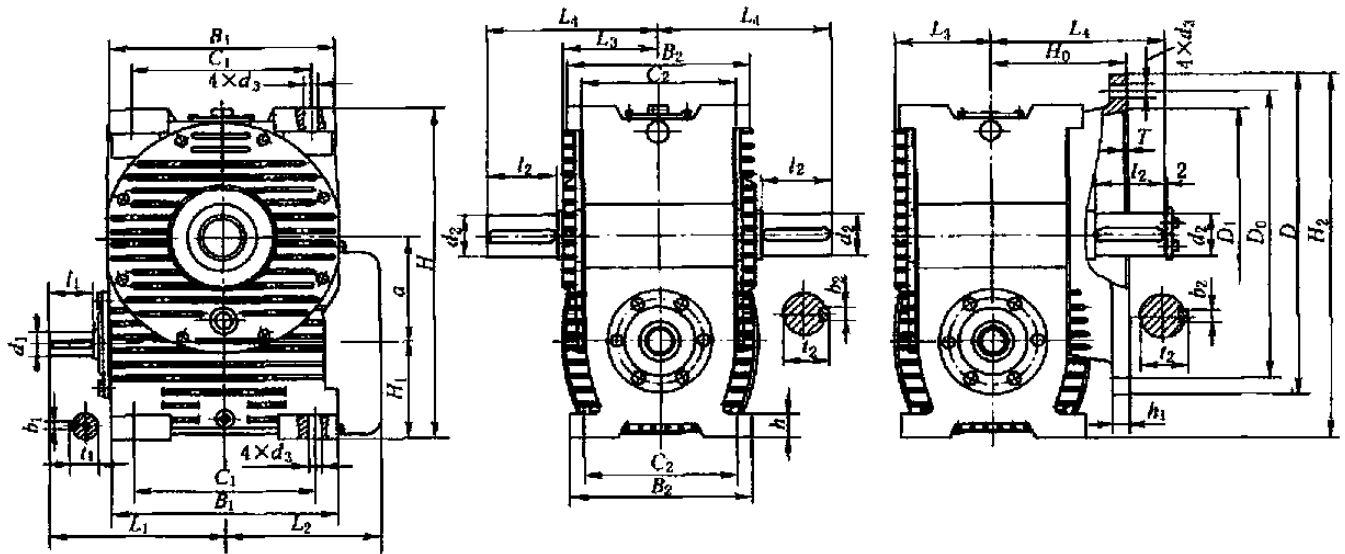
(2) 标记示例



(3) 主要生产厂家

中国重型机械研究院装备试制厂 (西安)。

4.2 外形、安装尺寸



装配型式

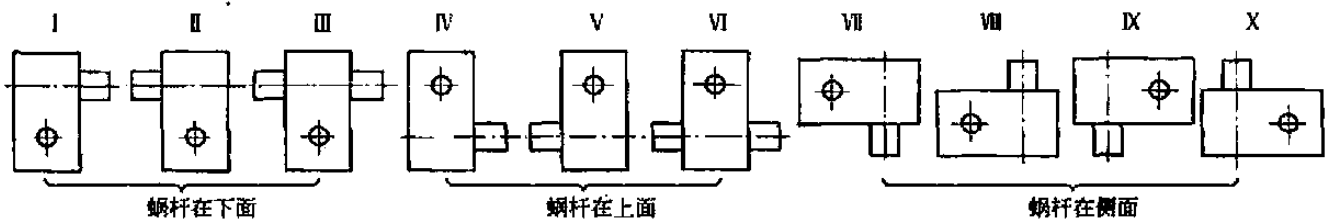


表 16-2-45

mm

中心距 a	B_1	B_2	C_1	C_2	H_1	H	L_1	L_2	L_3	L_4	h	d_1	l_1	b_1	t_1
63	145	125	95	100	65	228	120	120	62	130	16	19j6	28	6	21.5
80	170	160	120	130	80	280	142	140	80	150	20	24j6	36	8	27
100	215	190	170	155	100	340	178	170	95	190	28	28j6	42	8	31
125	260	220	200	180	112	412	215	195	110	205	32	32j6	58	10	35
140	280	240	220	195	125	455	225	215	120	238	35	38k6	58	10	41
160	330	270	275	230	140	500	280	243	140	258	38	42k6	82	12	45
180	360	305	280	255	160	570	295	265	150	270	40	42k6	82	12	45
200	420	340	335	285	180	620	320	295	170	320	45	48k6	82	14	51.5
225	460	360	370	300	200	700	350	320	180	325	50	48k6	82	14	51.5
250	515	390	425	325	200	740	380	350	195	375	55	55k6	82	16	59
280	560	430	450	360	225	840	425	390	215	395	60	60m6	105	18	64
315	620	470	500	395	250	940	460	430	235	415	65	65m6	105	18	69
355	700	520	560	440	280	1050	498	490	260	475	70	70m6	105	20	74.5
400	780	570	630	490	300	1160	545	525	295	510	75	75m6	105	20	79.5
中心距 a	d_2	l_2	b_2	t_2	d_3	D	D_0	D_1	T	h_1	H_0	H_2	质量/kg		
63	32k6	58	10	35	M10	240	210	170H8	5	15	100	248	20		
80	38k6	58	10	41	M12	275	240	200H8	5	15	125	298	35		
100	48k6	82	14	51.5	M12	320	285	245H8	5	16	140	360	60		
125	55k6	82	16	59	M16	400	355	300H8	6	20	160	437	100		
140	60m6	105	18	64	M16	435	390	340H8	6	22	175	482	130		

续表

中心距 a	d_2	l_2	b_2	l_2	d_3	D	D_0	D_1	T	h_1	H_0	H_2	质量/kg
160	65m6	105	18	69	M16	490	455	395H8	6	25	195	545	145
180	75m6	105	20	79.5	M20	530	480	425H8	6	28	210	605	190
200	80m6	130	22	85	M20	580	530	475H8	6	30	230	670	250
225	90m6	130	25	95	M24	660	605	525H8	6	30	250	755	305
250	100m6	165	28	106	M24	705	640	580H8	6	32	270	808	420
280	110m6	165	28	116	M30	800	720	635H8	6	35	300	905	540
315	120m6	165	32	127	M30	890	810	725H8	8	40	325	1010	720
355	130m6	200	32	137	M36	980	890	790H8	8	45	365	1125	920
400	150m6	200	36	158	M36	1080	990	890H8	8	50	390	1240	1250

注：减速器噪声 $a \geq 63 \sim 100\text{mm}$ 时， $\leq 70\text{dB (A)}$ ； $a \geq 125 \sim 180\text{mm}$ 时， $\leq 73\text{dB (A)}$ ； $a \geq 200 \sim 400\text{mm}$ 时， $\leq 75\text{dB (A)}$ 。

4.3 承载能力和效率

表 16-2-46

减速器额定输入功率和转矩

公称传动比 i	输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	功率、 转矩	中心距 a/mm														
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	
			额定输入功率 P_1/kW						额定输出转矩 $T_2/\text{N}\cdot\text{m}$								
5	1500	P_1	4.03	7.35	15.75	26.5	—	46.9	—	68.1	—	103.4	—	149.0	—	197.0	
		T_2	123	207	450	770	—	1365	—	1995	—	3050	—	4410	—	6300	
	1000	P_1	3.44	5.60	12.60	22.4	—	37.4	—	56.4	—	96.4	—	142.5	—	203.3	
		T_2	141	235	540	965	—	1630	—	2470	—	4250	—	6300	—	9030	
	750	P_1	2.96	4.83	9.88	17.2	—	29.1	—	45.2	—	82.5	—	132.7	—	195.2	
		T_2	162	270	560	990	—	1680	—	2625	—	4830	—	7770	—	11550	
500	P_1	2.44	3.88	7.14	12.2	—	20.8	—	32.8	—	59.0	—	109.4	—	177.9		
	T_2	198	322	600	1040	—	1785	—	2835	—	5145	—	9600	—	15750		
6.3	1500	P_1	3.68	6.33	13.15	22.4	28.9	40.3	50.9	58.2	72.6	88.0	107.6	127.8	158.0	193.6	
		T_2	131	230	490	840	1010	1520	1785	2205	2570	3360	3830	4900	5640	7875	
	1000	P_1	2.78	4.98	11.10	18.8	26.2	32.6	46.0	52.4	67.3	82.5	100.4	120.1	152.5	181.1	
		T_2	146	270	610	1050	1365	1840	2415	2890	3570	4725	5355	6909	8160	11025	
	750	P_1	2.40	4.13	8.65	14.9	20.5	26.0	36.2	39.1	59.8	73.3	93.2	112.6	141.5	174.8	
		T_2	168	300	630	1100	1420	1945	2520	2940	4200	5565	6615	8610	10070	14175	
	500	P_1	1.96	3.40	6.19	11.0	14.3	17.9	25.8	27.9	43.1	52.9	70.7	87.8	118.1	155.5	
		T_2	202	362	670	1210	1470	1995	2680	3150	4515	5985	7455	10000	12590	18900	
	8	1500	P_1	3.37	5.60	9.45	17.9	25.5	29.9	45.7	50.7	64.4	77.5	96.3	119.3	142.8	174.3
			T_2	146	270	455	870	1100	1520	1995	2500	2835	3880	4250	6000	6340	8820
1000		P_1	2.59	4.49	8.36	14.2	22.8	26.2	41.1	45.8	58.9	71.2	88.7	110.0	133.0	166.1	
		T_2	168	316	600	1000	1470	1995	2600	3400	3885	5350	5880	8300	8860	12600	
750		P_1	2.26	3.83	7.38	13.6	17.5	22.4	32.2	36.8	52.9	65.4	81.3	99.9	119.7	156.3	
		T_2	193	356	700	1300	1520	2250	2780	3620	4620	6510	7140	10000	10570	15750	
500		P_1	1.89	3.12	5.58	9.8	12.9	16.2	23.0	26.6	37.7	46.9	64.4	84.0	106.8	136.1	
		T_2	240	431	780	1400	1620	2415	2940	3885	4880	6930	8400	12500	14000	20475	
10	1500	P_1	2.69	4.69	8.43	14.9	18.2	25.7	33.7	44.2	53.3	62.1	77.4	99.3	147.2	153.5	
		T_2	152	270	500	890	1100	1575	1940	2730	3400	3990	4980	6200	7850	9660	
	1000	P_1	2.07	3.69	7.45	13.4	16.9	23.1	30.1	38.9	46.1	53.7	67.6	92.1	118.0	145.0	
		T_2	172	316	660	1200	1520	2100	2570	3570	4400	5140	6500	8600	11000	13650	

公称 传动 比 i	输入转 速 n_1 /r · min ⁻¹	功率、 转矩	中 心 距 a /mm													
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
			额定输入功率 P_1 /kW							额定输出转矩 T_2 /N · m						
10	750	P_1	1.83	3.14	6.24	11.1	13.6	18.3	24.9	30.3	36.9	48.7	60.8	84.8	105.2	138.6
		T_2	195	356	730	1310	1620	2200	2835	3675	4670	6190	7700	10500	13000	17300
	500	P_1	1.46	2.53	4.56	8.1	9.8	13.5	17.8	21.9	27.7	37.4	47.8	67.8	86.9	124.0
		T_2	240	425	790	1410	1730	2415	2990	3935	5190	7000	9000	12500	16100	23100
12.5	1500	P_1	2.34	4.06	6.81	11.8	15.5	20.3	26.6	34.3	44.7	54.8	75.5	83.9	110.4	136.9
		T_2	158	276	475	840	1050	1470	1890	2570	3200	4040	5460	6400	8450	10500
	1000	P_1	1.83	3.27	5.78	10.4	14.0	18.5	24.4	30.5	40.4	49.6	70.2	77.6	101.5	133.5
		T_2	182	328	600	1100	1400	1995	2570	3410	4300	5460	7560	8700	11580	15220
	750	P_1	1.58	2.80	5.19	9.4	12.5	16.1	22.1	26.2	37.0	46.6	65.3	72.7	95.9	124.2
		T_2	209	374	710	1300	1680	2310	3090	3885	5250	6825	9345	11000	14595	18900
	500	P_1	1.29	2.26	4.08	7.1	9.6	11.7	16.8	18.5	29.1	34.6	47.3	58.2	80.2	106.4
		T_2	256	448	830	1470	1890	2460	3465	4000	6000	7450	9975	13000	18000	24150
16	1500	P_1	1.98	3.47	6.68	11.6	14.3	20.6	24.3	34.9	41.5	49.0	60.1	81.6	99.2	130.4
		T_2	158	287	570	1000	1260	1830	2310	3150	3885	4460	5670	7500	9360	12000
	1000	P_1	1.56	2.73	5.74	10.1	12.9	17.1	20.8	27.1	32.4	44.1	53.7	76.6	91.2	121.2
		T_2	182	333	730	1310	1680	2250	2940	3600	4500	5980	7560	10500	12580	16800
	750	P_1	1.35	2.33	4.61	8.3	10.4	13.6	16.4	21.7	27.9	39.1	47.3	68.9	88.1	111.7
		T_2	209	374	770	1410	1785	2360	3000	3830	5145	7000	8800	12510	16100	20400
	500	P_1	1.11	1.91	3.37	5.9	7.3	9.6	11.9	15.6	19.6	28.5	34.7	50.1	65.0	90.4
		T_2	256	460	830	1470	1830	2460	3300	4095	5350	7560	9550	13520	17600	24600
20	1500	P_1	1.93	3.08	5.00	9.0	11.6	15.9	20.4	26.2	33.5	44.0	54.3	65.5	84.9	103.6
		T_2	188	328	550	1010	1260	1830	2250	3050	3780	5250	6195	7900	9700	12600
	1000	P_1	1.53	2.41	4.30	8.2	9.8	13.7	17.5	23.1	28.4	39.5	49.2	61.2	78.9	95.5
		T_2	219	380	700	1310	1575	2360	2880	4000	4750	7030	8400	11000	13590	17320
	750	P_1	1.32	2.10	3.75	7.3	9.1	12.0	15.5	19.0	25.6	36.6	45.2	54.6	72.8	87.2
		T_2	252	437	810	1575	1940	2730	3360	4400	5670	8600	10185	13000	16600	21000
	500	P_1	1.00	1.69	2.71	5.5	6.8	9.0	11.4	13.8	18.9	26.7	33.2	42.7	57.0	76.6
		T_2	282	518	850	1730	2100	2940	3620	4700	6195	9240	11000	15000	19100	27300
25	1500	P_1	1.38	2.47	3.94	6.9	8.7	12.4	14.9	19.3	23.4	32.3	39.9	54.0	71.1	87.8
		T_2	162	316	500	930	1200	1680	2150	2780	3465	4725	5880	7700	10570	13100
	1000	P_1	1.16	2.04	3.41	5.6	7.1	10.9	12.7	17.3	20.8	28.9	36.8	47.1	63.6	77.8
		T_2	205	391	640	1150	1470	2200	2730	3675	4560	6300	8000	10000	14000	17300
	750	P_1	0.95	1.74	2.82	5.1	6.4	9.9	11.7	15.5	18.8	26.3	33.3	44.6	60.0	72.9
		T_2	220	437	700	1365	1730	2620	3300	4350	5460	7560	9600	12500	17600	21500
	500	P_1	0.69	1.34	1.99	3.7	4.6	7.2	8.5	12.2	14.8	21.1	27.1	37.6	49.1	63.8
		T_2	235	500	730	1470	1830	2780	3500	5040	6300	8925	11500	15500	21100	27800
31.5	1500	P_1	1.21	2.08	4.27	7.6	8.8	12.7	15.2	22.6	25.9	30.2	36.8	52.9	68.9	—
		T_2	168	299	650	1150	1400	2100	2670	3780	4500	5145	6510	9200	12000	—
	1000	P_1	0.95	1.66	3.39	6.0	7.1	9.8	11.7	17.3	19.4	26.9	32.3	48.6	61.9	78.2
		T_2	193	350	770	1365	1680	2360	3045	3885	5040	6825	8500	12500	16100	20470
	750	P_1	0.79	1.41	2.67	4.8	6.2	7.8	9.3	12.5	15.7	22.3	26.6	38.3	51.3	71.4
		T_2	215	391	790	1400	1785	2460	3150	4040	5250	7350	9240	13000	17600	24670

续表

公称传动比 i	输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	功率、 转矩	中心距 a /mm													
			63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
			额定输入功率 P_1 /kW							额定输出转矩 T_2 /N·m						
31.5	500	P_1	0.67	1.17	1.98	3.5	5.8	5.6	6.9	9.1	11.5	16.1	19.4	28.1	35.8	51.3
		T_2	262	472	840	1470	1830	2570	3400	4300	5670	7770	9765	14000	18100	26250
40	1500	P_1	1.17	1.88	3.22	5.7	7.3	9.9	12.4	16.7	21.1	28.3	35.0	42.6	58.2	70.9
		T_2	198	345	620	1150	1410	2100	2570	3620	4500	6300	7450	9600	12580	16275
	1000	P_1	0.90	1.47	2.19	4.9	6.2	8.8	10.9	13.9	18.0	24.1	31.4	39.1	51.9	66.3
		T_2	225	397	790	1470	1785	2730	3300	4410	5670	8190	9870	13000	16600	22575
	750	P_1	0.81	1.26	2.35	4.4	5.5	7.0	8.7	11.2	14.8	20.8	25.4	34.0	42.8	60.7
		T_2	262	449	870	1680	2040	2835	3465	4670	6090	8925	10500	15000	18100	27300
	500	P_1	0.64	1.02	1.68	3.2	3.9	5.2	6.5	8.0	11.0	15.2	19.3	25.0	31.6	46.8
		T_2	298	523	920	1785	2150	3045	3720	4880	6600	9450	11550	16000	19600	30975
50	1500	P_1	0.91	1.64	2.55	4.4	5.6	7.6	9.3	12.7	15.2	21.3	26.7	33.7	45.3	56.3
		T_2	183	357	570	1040	1365	1890	2415	3255	4095	5565	7245	9000	12580	15750
	1000	P_1	0.74	1.32	2.18	3.8	4.7	6.7	8.2	11.0	14.0	19.0	23.5	31.3	41.6	52.1
		T_2	220	414	720	1315	1680	2465	3150	4200	5565	7350	9450	12510	17110	21525
	750	P_1	0.60	1.11	1.77	3.4	4.0	6.1	7.3	9.5	11.9	16.9	21.8	28.6	38.1	48.2
		T_2	236	466	760	1520	1890	2885	3675	4670	6195	8610	11550	15000	20640	26250
	500	P_1	0.45	0.84	1.25	2.4	2.9	4.5	5.4	7.1	8.6	13.2	16.6	22.5	30.2	40.0
		T_2	256	523	790	1575	1995	3095	3885	5090	6510	9660	12600	17000	23650	32000
63	1500	P_1	—	1.35	1.85	3.5	4.7	5.9	8.1	10.5	13.8	16.1	23.2	26.3	35.5	47.7
		T_2	—	322	470	935	1260	1730	2360	3150	4095	4830	6400	8200	11000	15220
	1000	P_1	—	0.99	1.44	2.6	3.6	4.4	6.7	8.2	12.1	14.0	21.4	23.9	32.9	44.7
		T_2	—	345	530	1000	1410	1890	2880	3570	5250	6195	8505	11000	15000	21000
	750	P_1	—	0.82	1.21	2.3	3.0	3.9	5.4	7.2	10.1	12.2	16.2	21.4	30.9	39.7
		T_2	—	374	580	1155	1575	2150	3045	4095	5775	7000	9550	13000	18600	24600
	500	P_1	—	0.66	0.95	1.8	2.4	3.0	4.5	5.6	7.6	9.0	12.4	16.6	22.8	30.2
		T_2	—	449	660	1310	1785	2415	3500	4620	6300	7560	10500	14520	20100	27300

注：当蜗杆副齿面滑动速度大于 10m/s 时，减速器应采用喷油润滑。蜗杆滑动速度值需与制造单位联系。喷油量见表 16-2-49 注。

输出轴轴伸许用径向载荷 F_R 或许用轴向载荷 F_A

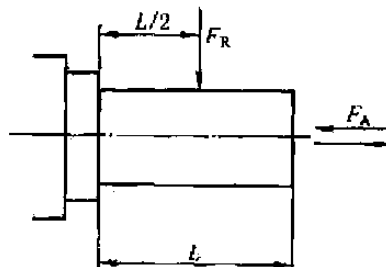


表 16-2-47

中心距 a /mm	63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
F_R 或 F_A /N	3500	5000	6000	8500	10000	11000	13000	18000	20000	21000	27000	31000	35000	38000

注：表中的 F_R 是根据外力作用于输出轴轴端的中点确定的，当外力作用点偏离中点 ΔL 时，其许用径向载荷按下式计算：

$$F'_R = F_R \frac{L}{L \pm 2\Delta L}$$

表 16-2-48

减速器效率

公称传动比 i	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	中心距 a /mm			
		63 ~ 100	125 ~ 200	225 ~ 280	315 ~ 400
		效率 η /%			
5 ~ 8	1500	91	93.5	95	96
	1000	90	93	94.5	95.5
	750	89	92.5	94	95
	500	88	92	93.5	94.5
10 ~ 12.5	1500	86	91.5	94	95
	1000	85	91	93.5	94.5
	750	83	90	93	94
	500	82	89	92	93.5
16 ~ 25	1500	83.5	88	90	91
	1000	82	86	88	89
	750	80	84	87.5	88.5
	500	78	82	85	87
31.5	1500	75	83	84	86
	1000	72	80	81	85
	750	70	77	79	84
	500	67.5	75	76	82
40	1500	74	79.5	82.5	84.5
	1000	72.5	76	81	82.5
	750	70	74	79	81
	500	68	71	74	78
50 ~ 63	1500	70	78	81	83
	1000	67	75	80	81
	750	65	72	77	79
	500	63	70	74	75

4.4 润滑油牌号 (黏度等级)

表 16-2-49

速 比	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	中 心 距 a /mm													
		63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
5 6.3	1500														220
	1000														320
	750														460
	500														680
8 10 16 31.5	1500														220
	1000														460
	750														320
	500														680
12.5	1500														320
	1000														460
	750														680
	500														320
20 40	1500														320
	1000														460
	750														680
	500														320
25 50 63	1500														320
	1000														460
	750														680
	500														320

注：当蜗杆副齿面滑动速度大于 10m/s 时，减速器应采用喷油润滑，一般采用 220mm²/s (40℃) 蜗轮蜗杆油，注油压力 0.15 ~ 0.25MPa，每分钟注油量应符合下表：

中心距 a /mm	63 ~ 100	125 ~ 140	160 ~ 180	200 ~ 225	250 ~ 280	315 ~ 355	400
注油量/L · min ⁻¹	2	3	4	6	8	15	20

4.5 减速器的选用

① 表 16-2-46 中的额定输入功率 P_1 及额定输出转矩 T_2 适用于如下工作条件：减速器工作载荷平稳，无冲击，每日工作 8h，每小时启动 10 次，启动转矩不超过额定转矩的 2.5 倍，小时载荷率 100%，环境温度 20℃。若使用条件与上述条件相同时，可直接由表 16-2-46 选取所需减速器的规格。

② 若使用条件与①规定的工作条件不同时，需进行下列修正计算，再由计算结果的较大值由表 16-2-46 选取承载能力相符或偏大的减速器。

$$P_{1J} = P_{1B} f_1 f_2 \quad (16-2-10)$$

$$P_{1R} = P_{1B} f_3 f_4 \quad (16-2-11)$$

$$T_{2J} = T_{2B} f_1 f_2 \quad (16-2-12)$$

$$T_{2R} = T_{2B} f_3 f_4 \quad (16-2-13)$$

或

式中 P_{1J} ——减速器计算输入机械功率，kW；

P_{1R} ——减速器计算输入热功率，kW；

T_{2J} ——减速器计算输出机械转矩，N·m；

T_{2R} ——减速器计算输出热转矩，N·m；

P_{1B} ——减速器实际输入功率，kW；

T_{2B} ——减速器实际输出转矩，N·m；

f_1 ——工作载荷系数，见表 16-2-50；

f_2 ——启动频率系数，见表 16-2-51；

f_3 ——小时载荷率系数，见表 16-2-52；

f_4 ——环境温度系数，见表 16-2-53。

初选好减速器的规格后，还应校核减速器的最大尖峰载荷不超过额定承载能力的 2.5 倍，并按表 16-2-47 进行减速器输出轴上作用载荷的校核。

表 16-2-50

工作载荷系数 f_1

原 动 机	日运转时间/h	载 荷 性 质		
		均匀载荷	中等冲击载荷	强冲击载荷
电 机 汽 轮 机 水 力 机	偶然性的 0.5 ^①	0.8	0.9	1.0
	间断性的 2 ^①	0.9	1.0	1.25
	2~10	1.0	1.25	1.5
	10~24	1.25	1.5	1.75
活塞发动机 (4~6个汽缸)	偶然性的 0.5 ^①	0.9	1.0	1.25
	间断性的 2 ^①	1.0	1.25	1.5
	2~10	1.25	1.5	1.75
	10~24	1.5	1.75	2.0
活塞发动机 (1~3个汽缸)	偶然性的 0.5 ^①	1.0	1.25	1.5
	间断性的 2 ^①	1.25	1.5	1.75
	2~10	1.5	1.75	2.0
	10~24	1.75	2.0	2.25

① 指在每日偶然和间歇运转时间的总和。

表 16-2-51

启动频率系数 f_2

每小时启动次数	≤ 10	$> 10 - 60$	$> 60 - 240$	$> 240 - 400$
f_2	1	1.1	1.2	1.3

表 16-2-52

小时载荷率系数 f_3

小时载荷率/%	100	80	60	40	20
f_3	1	0.94	0.86	0.74	0.56

表 16-2-53

环境温度系数 f_4

环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	10 - 20	$> 20 - 30$	$> 30 - 40$	$> 40 - 50$
f_4	1	1.14	1.33	1.6

例 试为一建筑卷扬机选择 CW 型蜗杆减速器, 已知电机转速 $n_1 = 725\text{r}/\text{min}$, 传动比 $i = 20$, 输出轴转矩 $T_{2B} = 2555\text{N} \cdot \text{m}$, 启动转矩 $T_{2max} = 5100\text{N} \cdot \text{m}$, 输出轴轴伸许用径向载荷 $F_R = 11000\text{N}$, 工作环境温度 30°C , 减速器每日工作 8h, 每小时启动次数 15 次, 每次运行时间 3min, 中等冲击载荷, 装配型式为第一种。

由于使用条件与表 16-2-46 规定的工作应用条件不一致, 故应进行有关选型计算。

由表 16-2-50 查得 $f_1 = 1.25$, 由表 16-2-51 查得 $f_2 = 1.1$, 每小时工作时间 45min, 查表 16-2-52 得 $f_3 = 0.92$, 由表 16-2-53 查得 $f_4 = 1.14$, 按式 (16-2-12) 和式 (16-2-13) 计算得

$$T_{21} = T_{2B} f_1 f_2 = 2555 \times 1.25 \times 1.1 = 3513.1\text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{2B} = T_{2B} f_3 f_4 = 2555 \times 0.92 \times 1.14 = 2679.7\text{N} \cdot \text{m}$$

按计算结果最大值 $3513.1\text{N} \cdot \text{m}$ 及 $i = 20$, $n_1 = 725\text{r}/\text{min}$, 由表 16-2-46 初选减速器为 $a = 200\text{mm}$, $T_2 = 4400\text{N} \cdot \text{m}$, 大于要求值, 符合要求。

对减速器输出轴轴端载荷及最大尖峰载荷进行的校核均满足要求, 故最后选定减速器的型号为 CW200-20-1F。

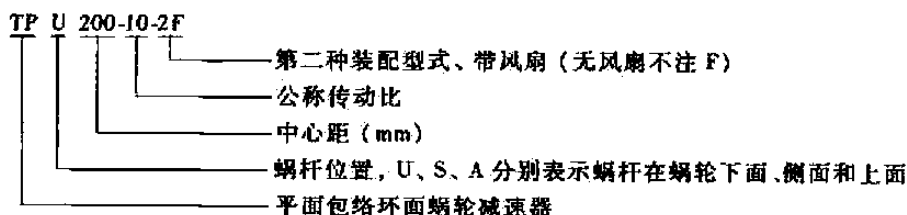
5 TP 型平面包络环面蜗轮减速器 (摘自 JB/T 9051—1999)

5.1 适用范围和标记

(1) 适用范围

TP 型减速器是以直齿或斜齿的平面蜗轮为铲形轮展成的环面蜗杆传动, 具有承载能力大、传动效率高, 结构紧凑的特点, 广泛用于各种传动机械, 如冶金、矿山、起重、化工、建筑、橡塑、船舶等行业的机械设备上。适用范围为: 输入轴转速不大于 $1500\text{r}/\text{min}$; 工作环境温度 $-40 \sim 40^{\circ}\text{C}$, 当工作环境温度为 0°C 以下时, 启动前润滑油必须加热到 0°C 以上或采用低凝固点的润滑油, 当环境温度超过 40°C 时, 需采取强迫冷却措施; 蜗杆轴可正、反两方向旋转, 蜗杆螺旋线方向为右旋。

(2) 标记示例

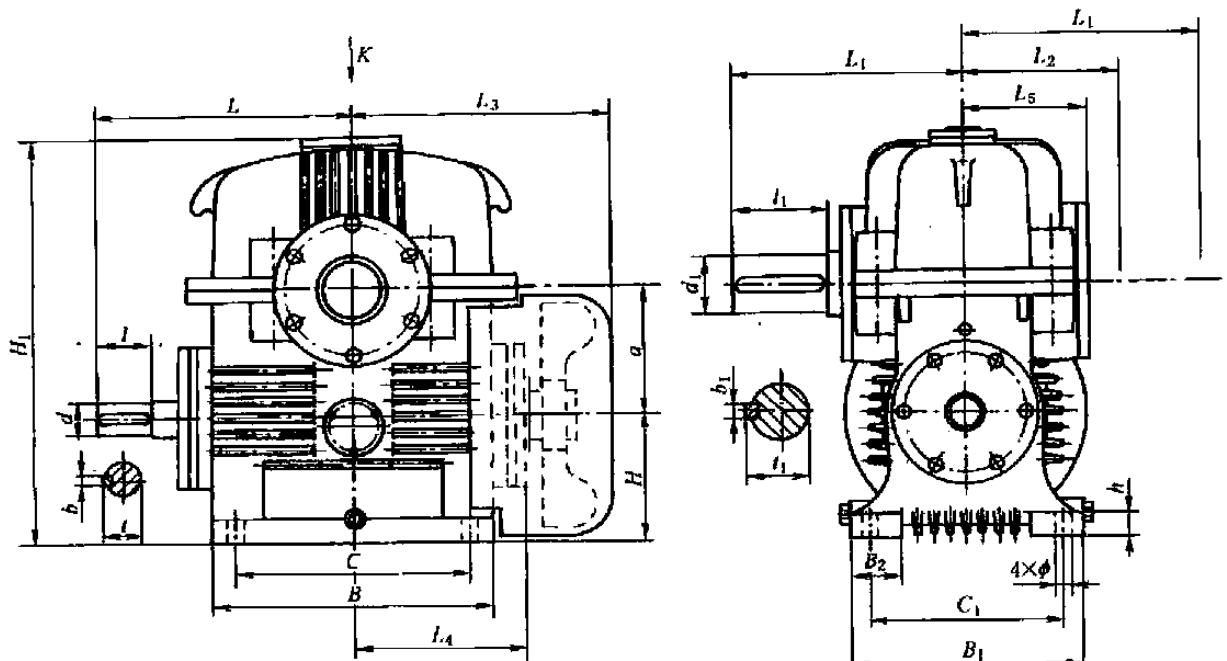


(3) 主要生产厂家

江苏泰隆减速机股份有限公司。

5.2 外形、安装尺寸

TPU 型减速器外形、安装尺寸 (分箱式)



K向(F为带风扇)

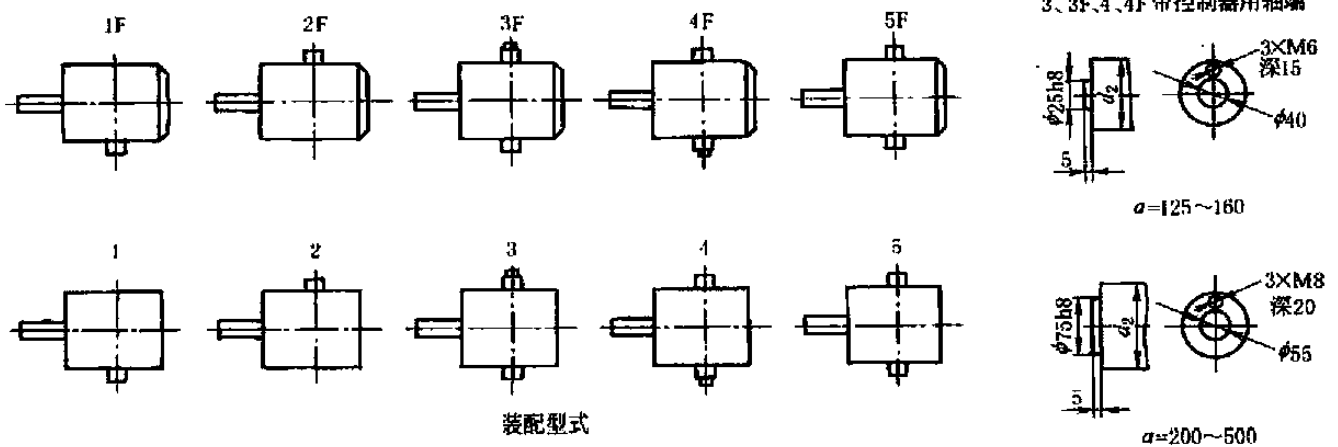
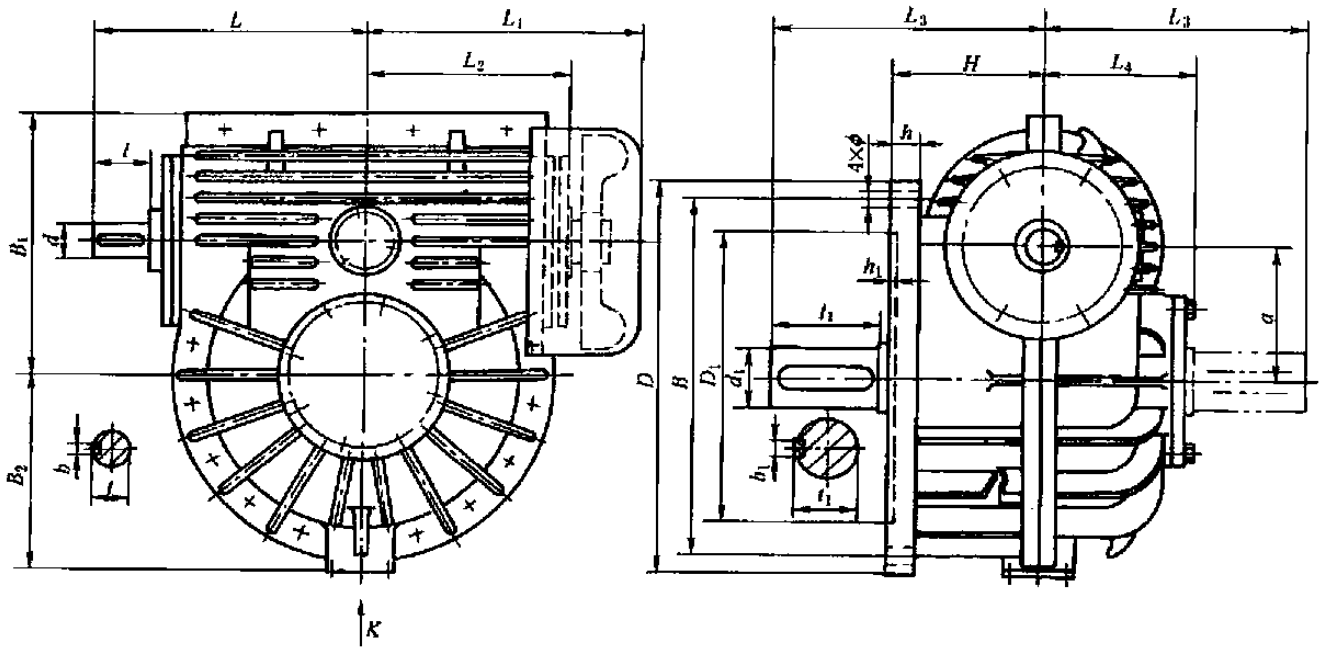


表 16-2-54

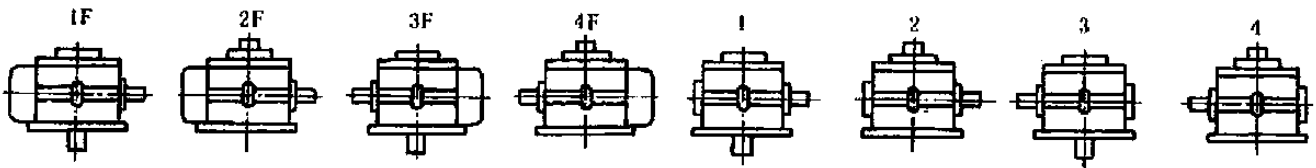
mm

型号	a	B	B ₁	B ₂	C	C ₁	H	H ₁	h	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	l	l ₁	d	d ₁	d ₂	b	b ₁	t	t ₁	φ	质量/kg
TPU125	125	300	300	70	250	250	125	422	30	307	320	185	280	205	175	82	140	40	70	80	12	20	43	74.5	19	157
TPU160	160	380	375	100	320	310	160	540	40	375	375	210	360	280	192	82	170	50	85	95	14	25	53.5	90	24	258
TPU200	200	450	450	125	370	370	200	650	40	420	400	235	435	345	228	82	170	55	95	110	16	28	59	101	28	475
TPU250	250	600	550	150	500	450	225	820	50	530	495	290	520	408	273	110	210	65	120	140	18	32	69	127	35	800
TPU315	315	720	590	120	630	500	280	990	65	630	600	360	605	492	349	130	250	80	140	160	22	36	85	148	39	1450
TPU400	400	850	720	160	750	620	320	1200	75	720	720	425	692	558	412	165	300	100	180	200	28	45	106	190	48	2500
TPU500	500	1060	900	200	920	760	400	1490	90	850	840	495	845	686	497	165	350	110	220	240	32	45	117	210	56	4500

TPS 型减速器外形、安装尺寸 (分箱式)



K向(F为带风扇)



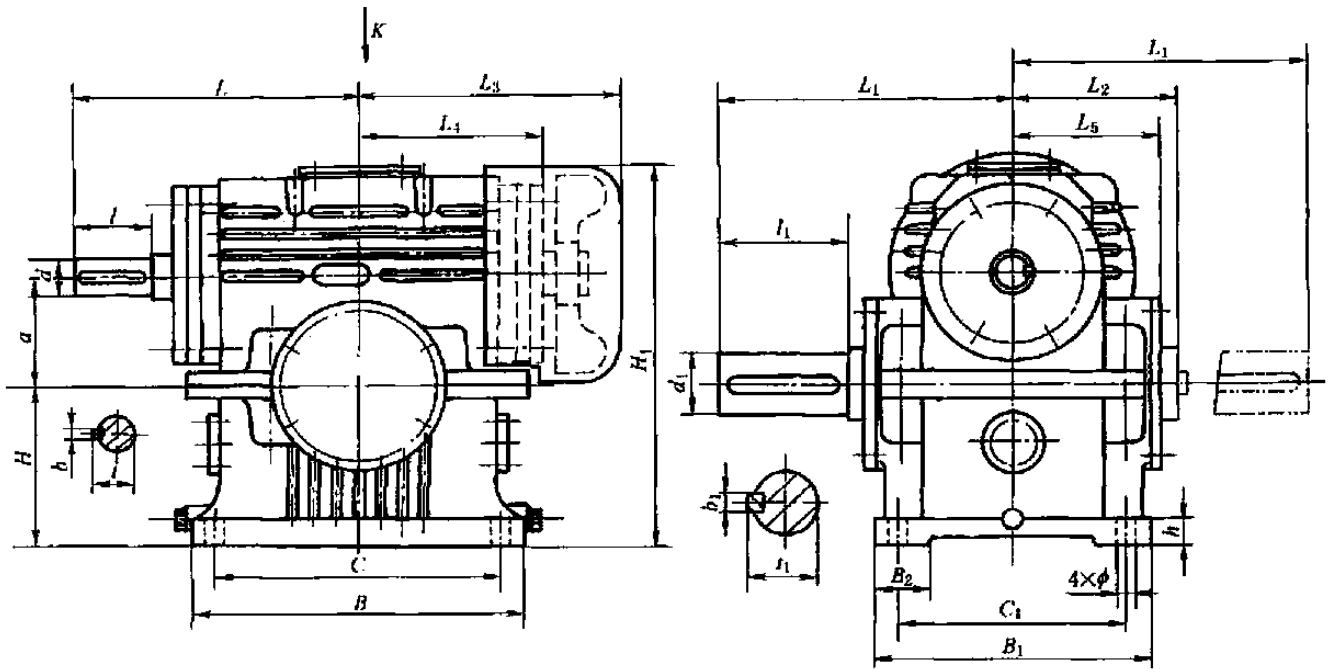
装配型式

表 16-2-55

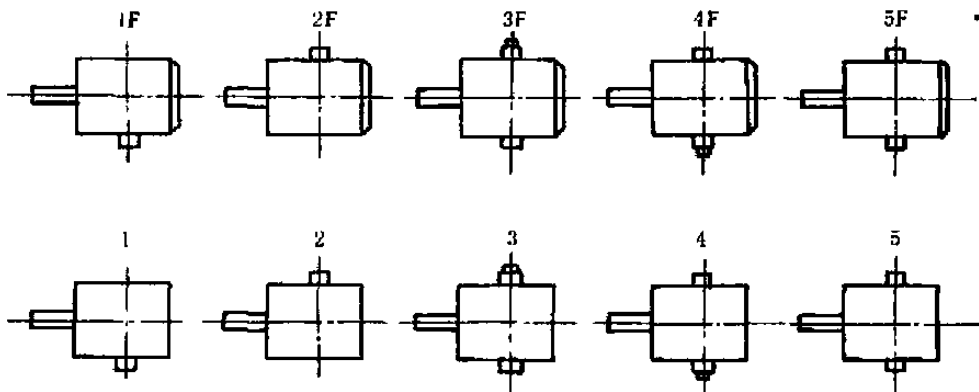
mm

型号	a	D	D ₁	h ₁	B	B ₁	B ₂	H	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	l	l ₁	d	d ₁	b	b ₁	t	t ₁	h	φ	质量 /kg
TPS125	125	380	280	6	330	265	193	180	307	280	209	320	175	82	140	40	70	12	20	43	74.5	25	19	170
TPS160	160	530	380	10	470	330	265	200	375	365	280	375	192	82	170	50	85	14	25	53.5	90	35	24	290
TPS200	200	650	480	10	580	400	325	250	420	436	336	400	228	82	170	55	95	16	28	59	101	40	32	530
TPS250	250	800	600	12	700	495	400	280	530	520	408	495	273	110	210	65	120	18	32	69	127	50	35	930
TPS315	315	920	710	15	820	625	460	355	630	605	497	600	349	130	250	80	140	22	36	85	148	65	39	1650
TPS400	400	1100	850	15	1000	740	550	420	720	692	558	720	412	165	300	100	180	28	45	106	190	75	48	2800
TPS500	500	1340	1060	20	1200	920	675	530	850	845	686	840	497	165	350	110	220	32	45	117	210	90	56	4800

TPA 型减速器外形及安装尺寸 (分箱式)

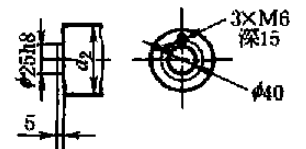


K向(F为带风扇)

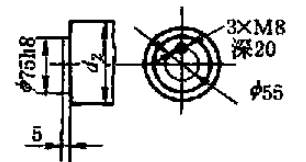


装配型式

3、3F、4、4F带控制器用轴端



a=125~160



a=200~500

表 16-2-56

mm

型号	a	B	B ₁	B ₂	C	C ₁	H	H ₁	h	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	l	l ₁	d	d ₁	d ₂	b	b ₁	t	t ₁	φ	质量/kg
TPA125	125	360	300	50	310	250	180	438	30	307	320	185	280	205	175	82	140	40	70	80	12	20	43	74.5	19	165
TPA160	160	460	320	80	400	260	225	550	40	375	375	210	365	280	190	82	170	50	85	95	14	25	53.5	90	24	285
TPA200	200	540	400	100	450	320	250	658	40	420	400	235	436	345	228	82	170	55	95	110	16	28	59	101	28	510
TPA250	250	720	480	120	620	380	315	792	50	530	495	290	520	406	270	110	210	65	120	140	18	32	69	127	35	900
TPA315	315	850	600	140	750	500	400	1000	65	630	600	360	605	492	345	130	250	80	140	160	22	36	85	148	39	1550
TPA400	400	950	720	170	850	620	500	1200	75	720	720	425	690	540	410	165	300	100	180	200	28	45	106	190	48	2650
TPA500	500	1180	900	200	1040	760	630	1530	90	850	840	495	845	680	488	165	350	110	220	240	32	45	117	210	56	4700

5.3 承载能力

减速器的额定输入功率 P_1 和额定输出转矩 T_2

表 16-2-57

中心距 a/mm	传动比 i	输入轴转速 $n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$					输入轴转速 $n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$				
		500	600	750	1000	1500	500	600	750	1000	1500
		额定输入功率 P_1/kW					额定输出转矩 $T_2/\text{N} \cdot \text{m}$				
100	10.0	7.34	8.17	9.25	10.64	11.73	1262	1171	1083	945	695
	12.5	5.76	6.53	7.53	8.90	10.30	1225	1156	1091	977	754
	16.0	4.94	5.58	6.42	7.56	8.71	1313	1250	1178	1052	807
	20.0	4.05	4.60	5.32	6.30	7.33	1268	1215	1124	1047	822
	25.0	3.29	3.75	4.34	5.16	6.03	1306	1252	1188	1071	835
	31.5	2.74	3.10	3.58	4.22	4.87	1271	1214	1176	1053	810
	40.0	2.12	2.42	2.82	3.37	3.98	1199	1157	1120	1016	800
	50.0	1.77	2.02	2.33	2.77	3.22	1203	1171	1114	1003	780
63.0	1.44	1.69	1.99	2.31	2.60	1177	1172	1148	1013	762	
125	10.0	12.55	13.97	15.81	18.20	20.09	2157	2001	1852	1617	1190
	12.5	9.86	11.17	12.89	15.23	17.65	2096	1979	1868	1673	1292
	16.0	8.46	9.55	10.99	12.94	14.89	2248	2141	2016	1800	1380
	20.0	6.93	7.86	9.09	10.77	12.55	2196	2070	1922	1790	1406
	25.0	5.64	6.41	7.43	8.82	10.30	2236	2143	2033	1831	1427
	31.5	4.70	5.32	6.13	7.23	8.34	2178	2080	2016	1805	1389
	40.0	3.64	4.16	4.84	5.77	6.81	2059	1985	1921	1742	1371
	50.0	3.05	3.46	4.00	4.74	5.52	2068	2011	1911	1721	1335
63.0	2.47	2.91	3.41	3.96	4.47	2020	2012	1971	1740	1308	
160	10.0	22.85	25.41	28.75	33.06	36.41	3928	3641	3368	2936	2156
	12.5	17.95	20.32	23.42	27.63	31.93	3815	3598	3392	3035	2338
	16.0	15.30	17.30	19.92	23.46	27.03	4068	3876	3652	3262	2506
	20.0	12.55	14.26	16.50	19.58	22.85	3930	3766	3488	3253	2560
	25.0	10.20	11.61	13.46	16.01	18.77	4043	3881	3686	3326	2599
	31.5	8.53	9.64	11.11	13.09	15.10	3950	3771	3653	3269	2513
	40.0	6.61	7.54	8.77	10.47	12.34	3737	3601	3484	3159	2483
	50.0	5.53	6.28	7.26	8.60	10.02	3749	3646	3466	3122	2423
63.0	4.48	5.28	6.19	7.18	8.10	3664	3650	3575	3155	2371	
200	10.0	39.07	43.47	49.20	56.60	62.42	6715	6227	5764	5027	3696
	12.5	30.70	34.76	40.10	47.34	54.77	6524	6156	5808	5199	4010
	16.0	26.32	29.74	34.23	40.31	46.41	6997	6665	6272	5605	4302
	20.0	21.52	24.44	28.28	33.52	39.07	6742	6458	5977	5570	4377
	25.0	17.54	19.95	23.12	27.47	32.13	6953	6669	6330	5706	4449
	31.5	14.59	16.50	19.02	22.43	25.91	6757	6454	6256	5602	4313
	40.0	11.32	12.93	15.04	17.97	21.22	6401	6173	5975	5422	4268
	50.0	9.50	10.77	12.45	14.74	17.14	6439	6259	5945	5349	4146
63.0	7.67	9.04	10.60	12.31	13.87	6276	6252	6123	5405	4062	
250	10.0	67.01	74.57	84.41	97.11	107.10	11776	10920	10103	8810	6478
	12.5	52.53	59.49	68.64	81.06	93.84	11413	10772	10160	9096	7020
	16.0	45.08	50.95	58.64	69.03	79.46	12262	11677	10991	9810	7528
	20.0	36.92	41.93	48.51	57.51	67.01	12271	11746	10871	9776	7680
	25.0	30.09	34.22	39.65	47.10	55.08	12213	11710	11107	10008	7803
	31.5	24.99	28.29	32.61	38.48	44.47	11878	11345	10987	9839	7581
	40.0	19.38	22.13	25.74	30.75	36.31	11253	10847	10490	9516	7490
	50.0	16.32	18.51	21.38	25.30	29.38	11377	11046	10481	9421	7294
63.0	13.16	15.50	18.18	21.09	23.77	11083	11034	10791	9518	7149	

续表

中心距 a/mm	传动比 i	输入轴转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$					输入轴转速 $n_1/r \cdot \min^{-1}$				
		500	600	750	1000	1500	500	600	750	1000	1500
		额定输入功率 P_1/kW					额定输出转矩 $T_2/N \cdot m$				
315	10.0	117.30	130.45	148.10	169.58	187.20	20612	19102	17727	15385	11322
	12.5	99.96	108.20	120.00	141.78	164.22	21718	19590	17763	15909	12285
	16.0	83.90	91.88	102.80	120.54	138.72	22819	21059	19268	17130	13142
	20.0	65.10	73.23	84.76	100.55	117.30	21653	20516	18996	17093	13443
	25.0	53.45	59.74	69.22	82.24	96.19	21694	20444	19391	17474	13626
	31.5	44.94	49.50	57.04	67.25	77.62	21360	19855	19217	17197	13232
	40.0	33.86	38.66	44.98	53.73	63.44	19663	18954	18330	16626	13087
	50.0	28.46	32.29	37.33	44.20	51.41	19839	19273	18298	16463	12765
	63.0	23.63	27.04	31.72	36.82	41.51	19904	19250	18831	16615	12488
400	10.0	222.20	257.40	276.90	311.00	359.90	39045	37692	33143	28215	21768
	12.5	193.20	215.30	236.30	262.50	304.50	41975	38981	34978	29456	22779
	16.0	170.00	183.80	203.70	230.00	264.60	46237	42127	38180	32684	25067
	20.0	131.30	141.80	156.50	177.50	200.60	44137	40174	35471	30512	23244
	25.0	105.00	114.50	128.10	144.90	164.90	43118	39638	36293	31135	23622
	31.5	88.52	96.92	107.10	121.80	138.60	42606	39360	36514	31511	23905
	40.0	66.57	72.24	80.85	91.98	104.70	39161	35874	33355	28812	21864
	50.0	53.55	58.70	65.21	74.03	84.11	37843	35504	32383	27926	21955
	63.0	46.41	51.14	56.70	64.37	73.19	39650	36922	34114	29433	22311
500	10.0	393.90	424.40	462.50	511.50	582.50	69216	62146	55358	46406	35232
	12.5	329.70	361.20	395.90	432.60	486.20	71631	65396	58603	48543	36372
	16.0	286.70	306.60	340.20	382.20	431.60	77978	70273	63765	54312	40888
	20.0	218.40	240.50	263.60	293.00	326.60	73417	68137	59746	50367	37844
	25.0	180.60	198.50	219.50	243.60	278.30	74163	68718	62118	52344	39866
	31.5	152.30	164.90	183.80	206.90	233.10	73305	66968	62664	53527	40203
	40.0	114.50	126.00	138.60	154.40	176.40	67358	62571	57181	48364	36837
	50.0	92.82	101.40	112.40	123.90	141.80	65595	61330	55818	46738	35660
	63.0	80.85	88.31	97.34	108.20	122.90	69074	63758	58565	49475	37464

注：1. 粗实线框内圆周速度 $v > 10m/s$ ，应采用喷油循环润滑。

2. P_1 是在每日工作 10h，每小时启动一次，工作平稳，无冲击振动，启动转矩为额定转矩的 1.5 倍，小时载荷率为 100%，环境温度为 20℃，浸油润滑，风扇冷却，制造精度 7 级，并较充分跑合条件下制定的。

3. P_1 按下式计算：

$$P_1 = \frac{T_2 n_2}{9550 \eta}$$

式中 P_1 ——额定输入功率，kW；
 T_2 ——额定输出转矩，N·m；
 n_2 ——输出轴转速，r/min；
 η ——总传动效率，%，见表 16-2-59。

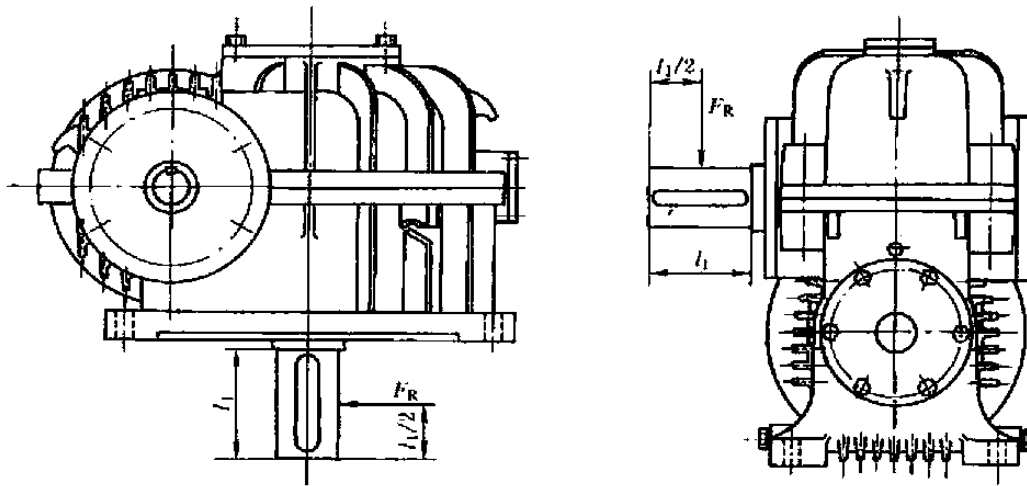
减速器低速轴（蜗轮轴）轴伸许用径向载荷 F_R 

表 16-2-58

中心距 a/mm	100	125	160	200	250	315	400	500
载荷 F_R/N	7000	13000	20000	24000	40000	49000	70000	100000

5.4 减速器的总效率

表 16-2-59

中心距 a/mm	传动比 i	输入轴转速 $n_1/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$				
		500	600	750	1000	1500
		效率 $\eta/\%$				
100 ~ 200	10.0	90	90	92	93	93
	12.5	89	89	91	92	92
	16.0	87	88	90	91	91
	20.0	85	86	86	87	88
	25.0	83	84	86	87	87
	31.5	77	78	82	83	83
	40.0	74	75	78	79	79
	50.0	71	73	75	76	76
250 ~ 315	63.0	68	69	72	73	73
	10.0	92	92	94	95	95
	12.5	91	91	93	94	94
	16.0	89	90	92	93	93
	20.0	87	88	88	89	90
	25.0	85	86	88	89	89
	31.5	79	80	84	85	85
	40.0	76	77	80	81	81
400 ~ 500	50.0	73	75	77	78	78
	63.0	70	71	74	75	75
	10.0	92	92	94	95	95
	12.5	91	91	93	94	94
	16.0	89	90	92	93	93
	20.0	88	89	89	90	91
	25.0	86	87	89	90	90
	31.5	80	81	85	86	86
400 ~ 500	40.0	77	78	81	82	82
	50.0	74	76	78	79	79
	63.0	71	72	75	76	76

5.5 减速器的选用

(1) 减速器选用方法

表 16-2-57 中的额定输入功率 P_1 及额定输出转矩 T_2 是在减速器工作载荷平稳, 每日工作 10h, 每小时启动频率不大于 1 次, 均匀载荷, 无冲击振动, 小时载荷率 100%, 环境温度 20℃, 浸油润滑, 制造精度 7 级, 风扇冷却, 减速器经过较充分跑合的前提下制定的。

① 若已知的工作条件与规定的工作条件相同时, 可直接由表 16-2-57 选取所需减速器的规格。

② 若已知的工作条件与规定的工作条件不同时, 应由式 (16-2-14) ~ 式 (16-2-17) 进行修正计算, 再由计算结果的较大值与表 16-2-57 比较选取承载能力相符或偏大的减速器, 即用减速器实际输入功率 P_{1w} 或减速器实际输出转矩 T_{2w} , 乘以工作状态系数 (表 16-2-60 ~ 表 16-2-64) 进行修正, 再与表 16-2-57 比较进行选用。

$$\text{计算输入机械功率} \quad P_{1j} \geq P_{1w} f_1 f_2 \quad (16-2-14)$$

$$\text{计算输出机械转矩} \quad T_{2j} \geq T_{2w} f_1 f_2 \quad (16-2-15)$$

$$\text{计算输入热功率} \quad P_{1R} \geq P_{1w} f_3 f_4 f_5 \quad (16-2-16)$$

$$\text{计算输出热转矩} \quad T_{2R} \geq P_{2w} f_3 f_4 f_5 \quad (16-2-17)$$

式中 P_{1w} ——减速器实际输入功率;

T_{2w} ——减速器实际输出转矩;

f_1 ——使用系数, 见表 16-2-60;

f_2 ——启动频率系数, 见表 16-2-61;

f_3 ——环境温度修正系数, 见表 16-2-62;

f_4 ——减速器安装型式系数, 见表 16-2-63;

f_5 ——散热能力系数, 见表 16-2-64。

式 (16-2-14) 和式 (16-2-15) 属于机械强度计算, 式 (16-2-16) 和式 (16-2-17) 属于热极限强度计算, 油温为 100℃。如果采用专门的冷却措施 (循环油或循环水冷却), 使温升限制在允许的范围内, 则不需再按式 (16-2-16) 和式 (16-2-17) 进行计算。

表 16-2-60

使用系数 f_1

原 动 机	每天使用时间	载 荷 特 性		
		均匀载荷 U	中等冲击 M	重度冲击 H
电机	间歇 2h	0.9	1.0	1.2
汽轮机	≤10h	1.0	1.2	1.3
水力发电机	≤24h	1.2	1.3	1.5

表 16-2-61

启动频率系数 f_2

每小时启动次数			
<1	2~4	5~9	>10
1	1.07	1.13	1.18

表 16-2-62

环境温度修正系数 f_3

环境温度/℃	0~10	>10~20	>20~30	>30~40	>40~50
f_3	0.85	1.0	1.14	1.33	1.6

表 16-2-63

减速器安装型式系数 f_4

减速器中心距 a /mm	减速器安装型式	
	TPU、TPS	TPA
100~500	1.0	1.2

表 16-2-64

无风扇的散热能力系数 f_5

无风扇冷却	蜗杆转速 $n_1/r \cdot \min^{-1}$			
	1500	1000	750	500
减速器中心距 a/mm	系数 f_5			
100 ~ 200	1.59	1.54	1.37	1.33
250 ~ 500	1.85	1.80	1.70	1.51

注：有风扇时， $f_5 = 1.0$ 。

输入转速低于 500r/min 时，计算输出转矩按 $n_1 = 500\text{r}/\text{min}$ 的额定输出转矩选用。当蜗轮轴是两端输出时，按两端转矩之和选用减速器。

(2) 校验减速器输出轴轴伸径向载荷

减速器输出轴轴伸装有齿轮、链轮、V 带轮或平带轮时，则需按式 (16-2-18) 校验轴伸径向载荷。

$$F_{Rc} \leq \frac{2T_{2w} f_1}{D} f_7 \leq F_R \quad (16-2-18)$$

式中 F_{Rc} ——轴伸径向载荷，N；

T_{2w} ——减速器实际输出转矩，N·m；

f_1 ——使用系数，见表 16-2-60；

D ——齿轮、链轮、V 带轮或平带轮节圆直径，m；

f_7 ——轴伸径向载荷系数，见表 16-2-65。

F_R ——轴伸许用径向载荷，N，见表 16-2-58。

表 16-2-65

轴伸径向载荷系数 f_7

链轮(单排)	1.20	V 带	2.00
链轮(双排)	1.25	平带	2.50
齿轮	1.50		

例 需要一台 TPU 型减速器驱动卷扬机，减速器为标准型式，风扇冷却，原动机为电机。输入转速 $n_1 = 1000\text{r}/\text{min}$ ，公称传动比 $i = 20$ ，最大输出转矩 $T_{2\max} = 4950\text{N} \cdot \text{m}$ ，输入功率 $P_{1w} = 15\text{kW}$ ，输出轴轴伸径向载荷 $F_{Rc} = 5520\text{N}$ ，每天工作 8h，每小时启动 15 次，有冲击载荷，双向运动，每次运转时间 3min，环境温度 20°C ，制造精度 7 级。

查表 16-2-60，每天工作 8h，有冲击，使用系数 $f_1 = 1.2$ ；查表 16-2-61，每小时启动 15 次，启动频率系数 $f_2 = 1.18$ ；查表 16-2-62，环境温度修正系数 $f_3 = 1.0$ ；查表 16-2-63，减速器安装型式系数 $f_4 = 1.0$ ；查表 16-2-64，散热能力系数 $f_5 = 1.0$ 。

按式 (16-2-14) 进行计算得 $P_{11} \geq P_{1w} f_1 f_2 = 15 \times 1.2 \times 1.18 = 21.2\text{kW}$ ；按式 (16-2-16) 进行计算得 $P_{1R} \geq P_{1w} f_3 f_4 f_5 = 15 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 15\text{kW}$ ；由表 16-2-57 查得减速器为 $a = 200\text{mm}$ ， $i = 20$ ， $n_1 = 1000\text{r}/\text{min}$ ， $P_1 = 33.52\text{kW}$ 大于计算值 21.2kW，符合要求。由表 16-2-58 查得 $F_R = 24000\text{N}$ ，大于要求值，符合要求。由表 16-2-57 查得 $T_2 = 5570\text{N} \cdot \text{m}$ ， $T_{2\max} = T_2 \times 2 = 5570 \times 2 = 11140\text{N} \cdot \text{m} > 4950\text{N} \cdot \text{m}$ ，符合要求。

选型结果：减速器 TPU 200-20-1F JB/T 9051—1999。

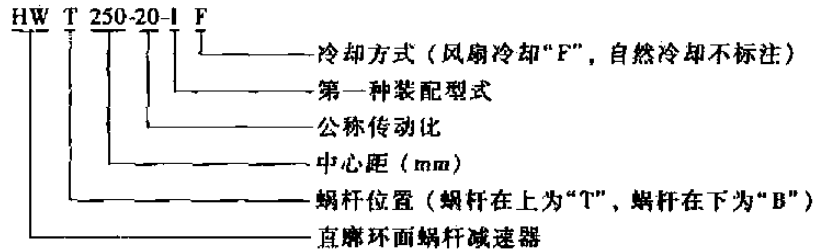
6 HWT、HWB 型直廓环面蜗杆减速器 (摘自 JB/T 7936—1999)

6.1 适用范围和标记

(1) 适用范围

本标准规定了直廓环面蜗杆减速器的主要基本参数、技术要求、承载能力和选用方法。主要适用于冶金、矿山、起重、运输、石油、化工、建筑等机械设备的减速传动。其使用条件为：两轴交错角为 90° ；蜗杆转速不超过 $1500\text{r}/\text{min}$ ；蜗杆中间平面分度圆滑动速度不超过 $16\text{m}/\text{s}$ ；减速器工作的环境温度为 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ ，当环境温度低于 0°C 或高于 40°C 时，润滑油要相应加热或冷却；蜗杆轴可正、反向运转。

(2) 标记示例



(3) 主要生产厂家

黑龙江省富拉尔基第一重型机械集团公司、郑州机械研究所。

6.2 外形、安装尺寸

HWT 型减速器

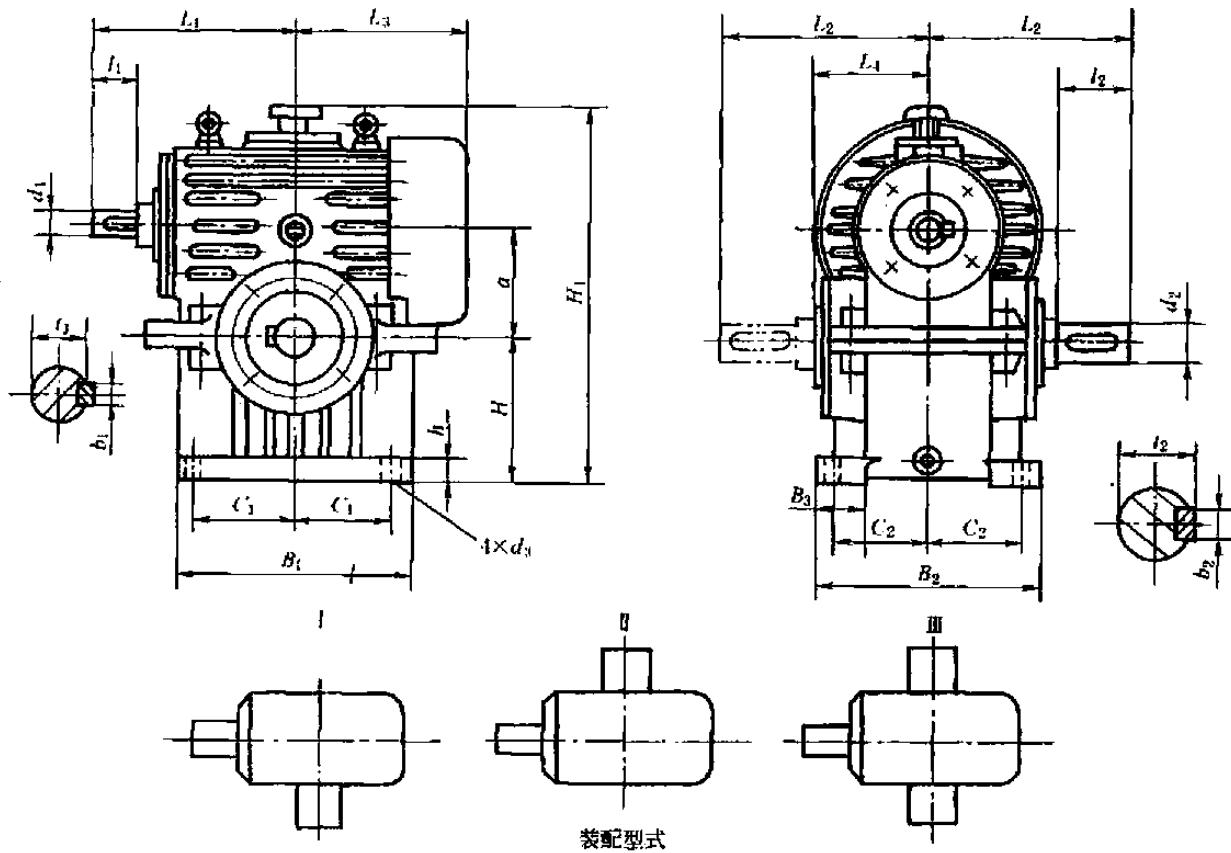


表 16-2-66

mm

型号	a	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	H	d ₁	l ₁	b ₁	l ₂	L ₁
HWT100	100	250	220	50	100	90	140	28js6	60	8	31	220
HWT125	125	280	260	60	115	105	160	35k6	80	10	38	260
HWT160	160	380	310	70	155	130	200	45k6	110	14	48.5	340
HWT200	200	450	360	80	185	150	250	55m6	110	16	59	380
HWT250	250	540	430	100	225	180	280	65m6	140	18	69	460
HWT280	280	640	500	110	270	210	315	75m6	140	20	79.5	530
HWT315	315	700	530	120	280	225	355	80m6	170	22	85	590
HWT355	355	750	560	130	300	245	400	85m6	170	22	90	610
HWT400	400	840	620	160	315	260	450	95m6	170	25	100	660
HWT450	450	930	700	190	355	300	500	100m6	210	28	106	740
HWT500	500	1020	760	200	400	320	560	110m6	210	28	116	790

型号	d_2	l_2	b_2	l_2	L_2	L_3	L_4	H_1	h	d_3	油量/L	质量/kg
HWT100	50k6	82	14	53.5	220	220	120	374	25	16	7	69
HWT125	60m6	82	18	64	240	260	142	430	30	20	9	129
HWT160	75m6	105	20	79.5	310	320	177	530	35	24	18	175
HWT200	90m6	130	25	95	350	380	192	640	40	24	38	290
HWT250	110m6	165	28	116	430	440	230	765	45	28	55	490
HWT280	120m6	165	32	127	470	530	255	855	50	35	71	750
HWT315	130m6	200	32	137	500	555	260	930	55	35	95	1030
HWT355	140m6	200	36	148	530	590	300	1040	60	35	126	1640
HWT400	150m6	200	36	158	560	655	310	1225	70	42	170	2170
HWT450	170m6	240	40	179	640	705	360	1345	75	42	220	2690
HWT500	180m6	240	45	190	670	775	380	1490	80	42	275	3410

HWB 型减速器

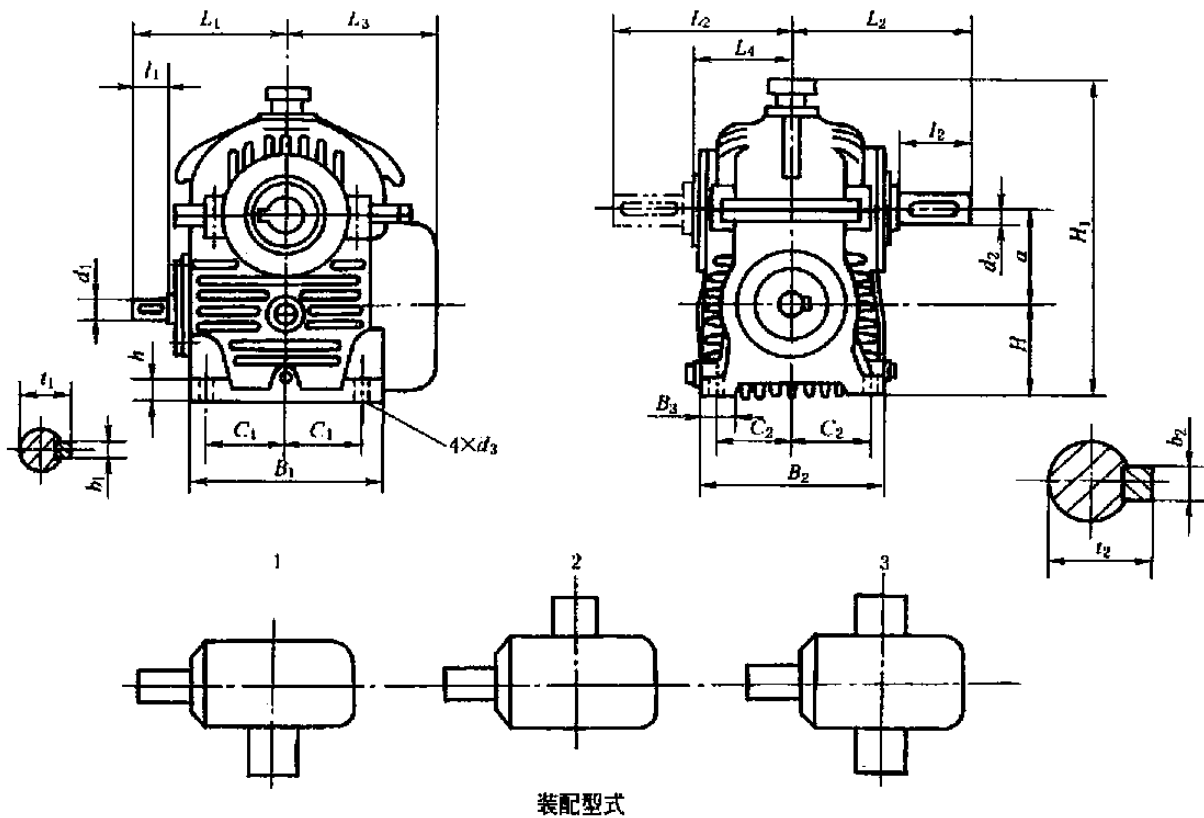


表 16-2-67

mm

型号	a	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	H	d_1	l_1	b_1	l_1	L_1
HWB100	100	250	220	50	100	90	100	28j6	60	8	31	220
HWB125	125	280	260	60	115	105	125	35k6	80	10	38	260
HWB160	160	380	310	70	155	130	160	45k6	110	14	48.5	340
HWB200	200	450	360	80	185	150	180	55m6	110	16	59	380
HWB250	250	540	430	90	225	180	200	65m6	140	18	69	460
HWB280	280	640	500	110	270	210	225	75m6	140	20	79.5	530
HWB315	315	700	530	120	280	225	250	80m6	170	22	85	590
HWB355	355	750	560	130	300	245	280	85m6	170	22	90	610
HWB400	400	840	620	140	315	260	315	95m6	170	25	100	660
HWB450	450	930	700	150	355	300	355	100m6	210	28	106	740
HWB500	500	1020	760	170	400	320	400	110m6	210	28	116	790

续表

型号	d_2	l_2	b_2	l_1	L_2	L_3	L_4	H_1	h	d_3	油量/L	质量/kg
HWB100	50k6	82	14	53.5	220	220	120	373	25	16	3	70
HWB125	60m6	82	18	64	240	260	142	445	30	20	4	132
HWB160	75m6	105	20	79.5	310	320	177	560	35	24	8	170
HWB200	90m6	130	25	95	350	380	192	655	40	24	13	280
HWB250	110m6	165	28	116	430	440	230	800	45	28	21	475
HWB280	120m6	165	32	127	470	530	255	910	50	35	27	725
HWB315	130m6	200	32	137	500	555	260	963	55	35	35	1030
HWB355	140m6	200	36	148	530	590	300	1082	60	35	48	1590
HWB400	150m6	200	36	158	560	655	310	1230	70	42	60	2140
HWB450	170m6	240	40	179	640	705	360	1375	75	42	85	2510
HWB500	180m6	240	45	190	670	775	390	1510	80	42	110	3370

6.3 承载能力及总传动效率

表 16-2-68

额定输入功率及额定输出转矩

公称 传动 比 i	输入转 速 n_1 /r · min ⁻¹	功率、 转矩	中心距 a /mm										
			100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
			额定输入功率 P_1 /kW 额定输出转矩 T_2 /N · m										
10	1500	P_1	11.5	20.8	35.4	65.5	111.0	145.0	190.0	248.0	329.0	431.0	526.0
		T_2	665	1220	2100	3840	6660	8670	11380	14900	19720	26450	32260
	1000	P_1	9.2	16.8	28.9	53.7	92.3	122.0	161.0	213.0	283.0	369.0	464.0
		T_2	790	1460	2530	4660	8190	10800	14290	18910	25080	33470	42080
	750	P_1	8.0	14.8	25.6	47.8	82.9	110.0	147.0	196.0	260.0	338.0	433.0
T_2		910	1700	2960	5490	9740	12910	17300	23030	30500	40590	51990	
500	P_1	6.1	11.6	20.5	38.7	68.1	90.7	122.0	163.0	217.0	284.0	367.0	
	T_2	1040	1970	3520	6600	11870	15800	21260	28390	37740	50550	65350	
300	P_1	4.2	8.1	14.6	28.1	50.8	68.5	93.3	126.0	169.0	223.0	289.0	
	T_2	1170	2250	4140	7890	14570	19670	26770	36160	48470	65360	84880	
12.5	1500	P_1	10.6	19.4	33.0	58.3	99.4	130.0	171.0	223.0	293.0	384.0	475.0
		T_2	725	1330	2290	4050	7060	9210	12110	15830	20760	27830	34440
	1000	P_1	8.4	15.6	26.8	47.7	82.2	109.0	145.0	191.0	253.0	330.0	418.0
		T_2	845	1580	2740	4890	8620	11420	15190	20010	26490	35330	44800
	750	P_1	7.3	13.6	23.7	42.4	73.6	97.6	131.0	175.0	232.0	303.0	309.0
T_2		970	1820	3210	5740	10210	13540	18170	24250	32140	42920	55000	
500	P_1	5.5	10.5	18.7	34.1	60.2	80.4	108.0	145.0	193.0	253.0	327.0	
	T_2	1100	2090	3760	6870	12400	16540	22290	29830	39670	53200	68850	
300	P_1	3.7	7.2	13.1	24.6	44.5	60.2	82.2	111.0	149.0	198.0	257.0	
	T_2	1200	2320	4290	8050	14920	20190	27540	37310	50100	67750	88130	
14	1500	P_1	9.3	17.3	29.4	51.8	88.3	115.0	151.0	197.0	260.0	342.0	419.0
		T_2	705	1300	2250	3970	6910	9000	11810	15440	20360	27380	33560
	1000	P_1	7.4	13.9	23.9	42.5	73.2	97.0	129.0	169.0	224.0	294.0	370.0
		T_2	830	1550	2710	4810	8470	11220	14890	19580	25910	34740	43730
	750	P_1	6.4	12.2	21.1	37.8	65.5	87.0	117.0	155.0	206.0	269.0	345.0
T_2		950	1800	3170	5650	10050	13310	17850	23780	31530	42040	53940	
500	P_1	4.9	9.4	16.8	30.5	53.8	71.7	96.5	129.0	172.0	225.0	291.0	
	T_2	1080	2070	3710	6770	12220	16280	21910	29280	38960	52230	67560	
300	P_1	3.3	6.5	11.8	22.1	40.0	54.0	73.6	99.5	133.0	176.0	229.0	
	T_2	1170	2280	4210	7880	14600	19720	26870	36330	48760	65880	85610	

公称 传动 比 i	输入转 速 n_1 $/r \cdot \min^{-1}$	功率、 转矩	中心距 a/mm										
			100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
			额定输入功率 P_1/kW 额定输出转矩 $T_2/N \cdot m$										
16	1500	P_1	8.1	14.8	25.2	45.6	78.0	102.0	134.0	175.0	230.0	301.0	390.0
		T_2	690	1250	2170	4130	7210	9440	12430	16230	21240	28430	36860
	1000	P_1	6.5	11.9	20.7	37.3	64.4	85.0	114.0	150.0	198.0	259.0	334.0
		T_2	815	1490	2630	4990	8790	11630	15560	20510	27020	36240	46650
	750	P_1	5.7	10.5	18.2	33.1	57.6	76.4	103.0	137.0	182.0	237.0	306.0
		T_2	940	1740	3050	5850	10400	13820	18540	24750	32840	43910	56530
	500	P_1	4.3	8.2	14.5	26.6	47.1	62.8	84.7	113.0	151.0	198.0	256.0
		T_2	1070	2020	3620	6980	12610	16850	22720	30420	40480	54360	68970
	300	P_1	2.9	5.7	10.3	19.1	34.7	46.9	64.1	86.9	117.0	155.0	201.0
		T_2	1160	2240	4130	8050	14950	20250	27660	37490	50390	68260	88870
18	1500	P_1	7.4	13.5	23.0	41.7	71.5	93.6	124.0	162.0	211.0	275.0	357.0
		T_2	705	1270	2210	4180	7340	9600	12700	16580	21620	28830	37460
	1000	P_1	6.0	10.8	18.8	34.1	58.9	77.7	104.0	138.0	181.0	237.0	306.0
		T_2	845	1510	2660	5050	8920	11760	15750	20900	27400	36760	47420
	750	P_1	5.1	9.5	16.6	30.2	52.6	69.7	93.7	125.0	166.0	217.0	280.0
		T_2	950	1760	3100	5920	10550	13980	18810	25110	33320	44640	57500
	500	P_1	3.9	7.4	13.2	24.2	42.9	57.2	77.3	104.0	138.0	181.0	234.0
		T_2	1070	2040	3660	7030	12760	17020	23000	30820	41020	55150	71380
	300	P_1	2.6	5.1	9.3	17.3	31.4	42.6	58.3	79.1	106.0	141.0	184.0
		T_2	1150	2220	4100	7970	14860	20110	27530	37360	50250	68230	88860
20	1500	P_1	6.4	11.9	20.3	35.9	61.2	79.9	105.0	137.0	180.0	237.0	292.0
		T_2	700	1300	2250	3980	6950	9070	11910	15540	20450	27510	33890
	1000	P_1	5.1	9.6	16.5	29.4	50.7	66.7	88.8	118.0	156.0	203.0	257.0
		T_2	825	1550	2700	4810	8490	11180	14880	19730	26130	34860	44120
	750	P_1	4.4	8.4	14.6	26.1	45.4	60.2	80.7	108.0	143.0	186.0	239.0
		T_2	940	1790	3160	5650	10060	13350	17900	23860	31650	42290	54320
	500	P_1	3.4	6.5	11.6	21.1	37.2	49.6	66.8	89.3	119.0	156.0	202.0
		T_2	1070	2060	3700	6760	12230	16300	21950	29350	39060	52450	67870
	300	P_1	2.3	4.5	8.1	15.2	27.5	37.2	50.8	68.7	92.3	122.0	158.0
		T_2	1140	2230	4130	7730	14380	19420	26500	35850	48150	65190	84770
22.4	1500	P_1	6.1	11.1	18.9	33.4	57.1	74.6	98.4	128.0	168.0	220.0	285.0
		T_2	730	1310	2270	4020	7040	9190	12120	15800	20700	27740	35920
	1000	P_1	4.7	8.8	15.2	27.3	47.2	62.2	82.9	110.0	145.0	190.0	245.0
		T_2	830	1540	2710	4840	8590	11320	15090	20060	26390	35350	45580
	750	P_1	4.1	7.8	13.5	24.3	42.2	56.0	75.2	100.0	133.0	174.0	224.0
		T_2	960	1800	3190	5690	10150	13470	18100	24120	32000	42780	55070
	500	P_1	3.1	6.0	10.7	19.5	34.5	46.1	62.2	83.1	111.0	145.0	188.0
		T_2	1080	2060	3720	6800	12300	16420	22170	29640	39450	52960	68580
	300	P_1	2.1	4.1	7.5	14.0	25.5	34.4	47.1	63.7	85.7	113.0	147.0
		T_2	1150	2220	4130	7740	14400	19480	26640	36050	48460	65650	85490

续表

公称 传动 比 i	输入转 速 n_1 /r·min ⁻¹	功率、 转矩	中心距 a/mm										
			100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
			额定输入功率 P_1/kW 额定输出转矩 $T_2/N·m$										
25	1500	P_1	5.7	10.4	17.7	31.3	53.5	70.1	92.4	121.0	158.0	206.0	268.0
		T_2	740	1340	2320	4100	7180	9400	12390	16190	21150	28270	36730
	1000	P_1	4.5	8.2	14.3	25.5	44.1	58.3	77.6	103.0	136.0	178.0	230.0
		T_2	860	1570	2770	4930	8740	11540	15360	20390	26850	36070	46590
	750	P_1	3.9	7.2	12.6	22.7	39.4	52.4	70.3	93.8	125.0	163.0	210.0
T_2		980	1830	3230	5800	10330	13710	18410	24580	32630	43700	56290	
500	P_1	2.9	5.6	10.0	18.2	32.2	43.0	58.0	77.8	104.0	136.0	176.0	
	T_2	1090	2090	3770	6900	12500	16700	22530	30180	40190	54030	69960	
300	P_1	2.0	3.8	6.9	13.0	23.7	32.1	43.8	59.5	80.0	106.0	138.0	
	T_2	1160	2240	4170	7830	14580	19760	26990	36620	49250	66850	87070	
28	1500	P_1	5.2	9.4	16.1	28.5	49.0	64.2	84.9	111.0	145.0	188.0	244.0
		T_2	740	1330	2310	4100	7200	9430	12490	16310	21250	28310	36760
	1000	P_1	4.1	7.5	13.0	23.2	40.3	53.2	71.1	94.1	125.0	162.0	210.0
		T_2	855	1560	2750	4920	8740	11540	15420	20400	27040	35990	46670
	750	P_1	3.5	6.6	11.5	20.6	36.0	47.7	64.2	85.7	114.0	149.0	192.0
T_2		960	1810	3210	5780	10330	13690	18410	24590	32640	43810	56460	
500	P_1	2.6	5.0	9.0	16.5	29.3	39.1	52.9	70.9	94.4	124.0	161.0	
	T_2	1060	2040	3690	6770	12310	16430	22220	29780	39660	53420	69150	
300	P_1	1.8	3.4	6.3	11.8	21.5	29.1	39.8	54.0	72.7	96.4	126.0	
	T_2	1120	2190	4060	7630	14270	19330	26460	35940	48360	65810	85740	
31.5	1500	P_1	4.2	7.7	13.1	25.6	44.0	57.6	76.4	99.9	130.0	169.0	218.0
		T_2	660	1200	2070	4100	7220	9480	12560	16420	21400	28390	36760
	1000	P_1	3.3	6.2	10.7	20.8	36.1	47.7	63.7	84.4	121.0	145.0	188.0
		T_2	765	1420	2490	4930	8760	11580	15470	20490	29370	36130	46860
	750	P_1	2.9	5.5	9.5	18.4	32.2	42.7	57.4	76.6	102.0	133.0	172.0
T_2		890	1660	2910	5770	10320	13680	18410	24580	32670	43880	56650	
500	P_1	2.2	4.3	7.5	14.7	26.1	34.9	47.3	63.4	84.5	111.0	144.0	
	T_2	980	1860	3350	6630	12100	16170	21880	29340	39130	52740	68350	
300	P_1	1.5	2.9	5.4	10.4	19.0	25.8	35.4	48.1	64.8	86.0	112.0	
	T_2	1070	2060	3800	7540	14120	19140	26330	35660	48100	65520	85500	
35.5	1500	P_1	3.8	7.0	11.9	23.1	39.7	52.2	69.4	90.8	118.0	153.0	198.0
		T_2	660	1200	2070	4070	7180	9440	12530	16420	21370	28280	36610
	1000	P_1	3.0	5.6	9.7	18.7	32.5	43.1	57.7	76.4	101.0	132.0	170.0
		T_2	770	1420	2480	4850	8650	11470	15360	20340	26910	35920	46450
	750	P_1	2.6	4.9	8.6	16.6	29.0	38.5	51.8	69.2	92.0	121.0	156.0
T_2		880	1650	2900	5700	10220	13560	18270	24390	32440	43600	56540	
500	P_1	2.0	3.8	6.8	13.2	23.5	31.4	42.6	57.2	76.3	100.0	130.0	
	T_2	970	1840	3320	6550	11950	15980	21660	29060	38770	52300	68030	
300	P_1	1.4	2.6	4.8	9.4	17.1	23.2	31.8	43.2	58.4	77.5	101.0	
	T_2	1030	2000	3690	7280	13680	18570	25490	34670	46800	63870	83660	
40	1500	P_1	3.3	6.1	10.4	18.4	31.5	41.1	54.1	70.6	92.7	122.0	151.0
		T_2	640	1200	2070	3660	6410	8370	11010	14360	18870	25410	31420
	1000	P_1	2.6	4.9	8.5	15.1	26.1	34.3	45.7	60.4	79.8	105.0	133.0
		T_2	740	1420	2480	4410	7840	10310	13710	18120	23950	32300	40960
750	P_1	2.3	4.3	7.5	13.4	23.3	30.9	41.5	55.3	73.4	95.9	123.0	
	T_2	860	1640	2890	5170	9250	12270	16450	21930	29120	39020	50170	
500	P_1	1.7	3.3	5.9	10.8	19.1	25.5	34.3	45.9	61.1	80.1	104.0	
	T_2	940	1820	3290	6010	10910	14550	19610	26220	34910	47040	60880	

公称 传动 比 i	输入转 速 n_1 /r·min ⁻¹	功率、 转矩	中心距 a/mm										
			100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
			额定输入功率 P_1/kW						额定输出转矩 $T_2/N \cdot m$				
40	300	P_1	1.2	2.3	4.2	7.8	14.1	19.1	26.1	35.3	47.4	62.6	81.5
		T_2	1000	1960	3630	6800	12710	17180	23450	31730	42650	58000	75460
45	1500	P_1	3.1	5.7	9.7	17.1	29.3	38.3	50.5	65.8	86.2	113.0	146.0
		T_2	650	1190	2050	3630	6370	8330	11000	14330	18750	25180	32660
	1000	P_1	2.4	4.5	7.8	13.9	24.1	31.8	42.5	56.1	74.1	97.0	126.0
		T_2	745	1380	2440	4360	7740	10230	13660	18040	23820	31980	41510
	750	P_1	2.1	4.0	6.9	12.4	21.6	28.6	38.5	51.3	68.1	89.0	115.0
		T_2	860	1610	2850	5120	9150	12140	16320	21760	28880	38740	49900
	500	P_1	1.6	3.1	5.5	10.0	17.6	23.6	31.8	42.5	56.6	74.3	96.2
		T_2	950	1810	3280	6000	10920	14570	19680	26310	35040	47220	61160
	300	P_1	1.1	2.1	3.8	7.2	13.0	17.6	24.1	32.6	43.8	57.9	75.5
		T_2	980	1910	3550	6660	12470	16880	23080	31260	42040	57230	74560
50	1500	P_1	2.9	5.3	9.0	15.9	27.3	35.8	47.2	61.7	80.6	105.0	137.0
		T_2	650	1190	2060	3630	6390	8370	11040	14430	18850	25240	32810
	1000	P_1	2.3	4.2	7.3	13.0	22.5	29.7	39.6	52.5	69.2	90.4	117.0
		T_2	750	1390	2460	4350	7750	10230	13660	18090	23840	32000	41430
	750	P_1	2.0	3.7	6.4	11.6	20.1	26.7	35.8	47.9	63.6	83.2	107.0
		T_2	850	1610	2850	5120	9150	12150	16320	21800	28940	38910	50150
	500	P_1	1.5	2.8	5.1	9.3	16.4	21.9	29.6	39.7	52.8	69.3	89.8
		T_2	940	1800	3260	5990	10900	14560	19650	26330	35070	47340	61320
	300	P_1	1.0	1.9	3.5	6.6	12.0	16.3	22.3	30.3	40.8	54.0	70.3
		T_2	970	1890	3520	6620	12400	16800	22960	31160	41930	57210	74560
56	1500	P_1	2.6	4.8	8.2	14.5	24.9	32.6	43.2	56.4	73.5	95.5	124.0
		T_2	640	1170	2040	3600	6360	8330	11030	14420	18780	25080	32540
	1000	P_1	2.1	3.8	6.6	11.8	20.5	27.0	36.1	47.8	62.9	82.3	107.0
		T_2	745	1370	2410	4300	7680	10130	13540	17940	23620	31750	41270
	750	P_1	1.8	3.3	5.8	10.5	18.3	24.2	32.6	43.5	57.7	75.7	97.6
		T_2	840	1580	2810	5060	9070	12020	16190	21610	28690	38670	49850
	500	P_1	1.4	2.6	4.6	8.4	14.9	19.8	26.8	36.0	47.9	63.0	81.6
		T_2	930	1760	3210	5890	10770	14380	19440	26070	34720	46960	60800
	300	P_1	0.9	1.7	3.2	6.0	10.9	14.7	20.2	27.4	36.9	48.9	63.8
		T_2	940	1840	3440	6470	12170	16480	22590	30670	41310	56490	73630
63	1500	P_1	—	—	—	12.9	22.2	29.2	38.7	50.6	65.9	85.3	110.0
		T_2	—	—	—	3630	6420	8420	11160	14600	19030	25300	32730
	1000	P_1	—	—	—	10.5	18.2	24.1	32.2	42.6	56.3	73.4	94.8
		T_2	—	—	—	4340	7710	10200	13660	18080	23880	32000	41370
	750	P_1	—	—	—	9.3	16.3	21.6	29.0	38.7	51.5	67.5	87.2
		T_2	—	—	—	5080	9120	12100	16290	21750	28910	38960	50320
	500	P_1	—	—	—	7.4	13.2	17.6	23.9	32.0	42.7	56.1	72.7
		T_2	—	—	—	5900	10790	14460	19520	26190	34930	47260	61240
	300	P_1	—	—	—	5.3	9.6	13.0	17.9	24.3	32.8	43.5	56.7
		T_2	—	—	—	6440	12120	16440	22560	30660	41360	56620	73900

注：1. 表内数值为工况系数 $K_A = 1.0$ 时的额定承载能力，其他工况见 6.4 的内容。

2. 启动时或运转中的尖峰载荷允许值为表内数值的 2.5 倍。

表 16-2-69 减速器的许用输入热功率 P_G 和总传动效率 η

公称传动比 i	输入转速 $n_1 / (r \cdot \min^{-1})$	中心距 a / mm										中心距 a / mm											
		许用输入热功率 P_G / kW										总传动效率 $\eta / \%$											
		100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
10	1500	6.5	11	19	31	50	65	84	100	125	150	185	88.61	89.87	90.90	89.83	91.94	91.62	91.78	92.06	91.84	94.03	93.98
	1000	5.1	8.2	15	25	40	54	70	84	100	120	145	87.72	88.78	89.43	88.65	90.64	90.43	90.67	90.69	90.53	92.66	92.64
	750	4.3	7.1	12	21	34	43	54	70	86	100	125	87.15	88.00	88.59	87.99	90.01	89.92	90.17	90.02	89.87	92.01	91.99
	500	3.2	5.6	8.6	16	26	32	40	50	65	80	92	87.08	86.74	87.70	87.11	89.03	88.98	89.01	88.96	88.83	90.91	90.95
	300	2.2	3.9	6.4	11	19	24	31	37	45	58	70	85.37	85.13	86.90	86.05	87.90	88.00	87.93	87.95	87.89	89.82	90.01
12.5	1500	5.9	9.6	17	29	45	58	75	92	115	135	155	87.69	87.90	88.97	89.07	91.06	90.83	90.80	91.01	90.84	92.92	92.96
	1000	4.6	7.5	13	23	36	45	56	75	92	115	130	85.98	86.57	87.39	87.62	89.63	89.55	89.54	89.55	89.49	91.51	91.61
	750	3.9	6.6	11	19	31	38	47	64	78	94	115	85.18	85.79	86.83	86.78	88.93	88.93	88.92	88.83	88.81	90.81	90.92
	500	3.0	5.0	8	14	23	29	36	45	58	73	88	85.47	85.07	85.93	86.10	88.03	87.92	88.20	87.92	87.84	89.87	89.98
	300	2.0	3.5	5.7	9.2	17	22	28	35	40	50	67	83.16	82.62	83.97	83.91	85.97	86.00	85.91	86.19	86.22	87.74	87.93
14	1500	5.4	8.8	15	27	42	55	72	88	107	130	152	86.59	85.83	87.42	87.54	89.39	89.39	89.34	89.52	89.45	91.45	91.49
	1000	4.3	7.0	12	21	33	42	53	72	86	106	125	85.41	84.92	86.35	86.18	88.11	88.08	87.90	88.23	88.08	89.98	90.00
	750	3.6	6.2	10	18	28	35	45	60	74	90	107	84.78	84.26	85.80	85.37	87.50	87.38	87.13	87.62	87.42	89.26	89.29
	500	2.8	4.7	7.5	13	21	27	35	42	54	69	83	83.92	83.85	84.08	84.51	86.48	86.45	86.45	86.42	86.24	88.38	88.40
	300	1.8	3.2	5.3	8.6	15	20	26	33	38	48	62	81.00	80.13	81.51	81.46	83.38	83.43	83.40	83.41	83.75	85.51	85.40
16	1500	5.0	8.1	14	25	39	53	70	84	100	125	150	86.32	85.58	87.26	87.11	88.90	89.01	89.22	89.20	88.82	90.84	90.90
	1000	4.0	6.7	11	20	31	39	50	70	80	98	120	84.70	84.58	85.83	85.78	87.52	87.73	87.52	87.67	87.50	89.72	89.56
	750	3.4	5.8	9.0	17	26	34	43	54	71	85	100	83.55	83.96	84.90	84.99	86.83	86.99	86.56	86.88	86.77	89.10	88.84
	500	2.6	4.3	7.0	12	20	26	34	40	50	65	78	84.05	83.20	84.32	84.13	85.83	86.02	86.00	86.31	85.94	88.02	86.37
	300	1.6	3.0	5.0	8.0	14	19	25	31	37	46	58	81.06	79.64	81.26	81.07	82.87	83.05	83.00	82.99	82.84	84.71	85.05
18	1500	4.5	7.4	13	22	35	46	60	77	92	112	135	85.50	84.43	86.24	85.89	87.96	87.88	87.76	87.69	87.80	89.83	89.91
	1000	3.6	6.0	10	17	28	35	45	60	75	91	110	84.26	83.65	84.66	84.60	86.51	86.46	86.51	86.51	86.47	88.60	88.52
	750	3.0	5.1	8.2	15	24	30	39	48	63	79	95	83.59	83.13	83.80	83.98	85.93	85.93	86.00	86.06	85.99	88.13	87.98
	500	2.3	4.0	6.5	10	18	23	30	37	45	57	73	82.08	82.47	82.95	82.97	84.95	84.98	84.98	84.64	84.90	87.03	87.12
	300	1.5	2.7	4.5	7.4	12	16	22	28	34	42	53	79.39	78.13	79.13	78.95	81.10	80.90	80.92	80.94	81.24	82.93	82.76
20	1500	4.0	6.7	12	19	32	40	50	70	85	100	125	83.80	83.70	84.92	84.94	87.00	86.97	86.90	86.90	87.07	88.93	88.92
	1000	3.2	5.4	9.0	15	26	32	40	50	70	85	100	82.62	82.47	83.58	83.56	85.53	85.53	85.61	85.59	85.40	87.71	87.68
	750	2.7	4.5	7.5	13	22	28	36	43	55	73	90	81.84	81.63	82.91	82.93	84.88	84.95	84.97	84.63	84.78	87.10	87.06
	500	2.1	3.5	6.0	9.0	16	21	27	34	40	50	68	80.37	80.94	81.46	81.82	83.96	83.93	83.92	83.94	83.82	85.86	85.81
	300	1.4	2.4	4.0	6.7	11	15	19	25	31	38	48	75.95	75.93	78.13	77.92	80.12	79.99	79.93	79.96	79.93	81.88	82.21

续表

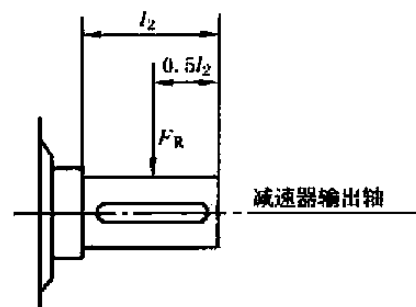
公称传动比 i	输入转速 $n_1 / r \cdot \min^{-1}$	中心距 a / mm										中心距 a / mm											
		许用输入热功率 P_G / kW										总传动效率 $\eta / \%$											
		100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
22.4	1500	3.7	6.3	10	18	30	38	48	65	81	97	120	83.54	82.38	83.84	84.02	86.06	85.99	85.98	86.16	86.01	88.02	87.98
	1000	3.0	5.0	8.2	14	24	30	39	47	65	80	96	82.18	81.44	82.97	82.50	84.69	84.69	84.71	84.86	84.70	86.58	86.58
	750	2.5	4.2	7.0	12	20	26	34	40	51	69	85	81.72	80.54	82.47	81.72	83.95	83.95	84.01	84.18	83.97	85.81	85.81
	500	1.9	3.2	5.5	8.5	15	20	25	32	38	47	64	81.06	79.89	80.89	81.14	82.96	82.88	82.93	82.99	82.70	84.98	84.88
	300	1.3	2.2	3.7	6.3	10	14	18	23	29	36	44	76.45	75.59	76.88	77.18	78.84	79.06	78.96	79.01	78.94	81.11	81.19
25	1500	3.5	6.0	9.0	17	28	36	46	60	78	94	115	83.22	82.60	84.03	83.97	86.03	85.96	85.96	85.77	85.81	87.97	87.86
	1000	2.7	4.7	7.5	13	23	29	38	45	60	76	92	81.68	81.83	82.78	82.62	84.70	84.59	84.59	84.60	84.37	86.60	86.57
	750	2.3	4.0	6.5	11	19	25	33	38	48	65	86	80.54	81.47	82.17	81.90	84.04	83.86	83.94	83.99	83.67	85.93	85.92
	500	1.8	3.0	5.0	8.0	15	19	24	30	37	45	60	80.32	79.75	80.56	81.01	82.95	82.99	83.01	82.89	82.58	84.89	84.94
	300	1.2	2.0	3.5	6.0	9.0	13	18	22	28	35	40	74.36	75.58	77.48	77.22	78.87	78.92	79.00	78.91	78.93	80.86	80.89
28	1500	3.2	5.4	8.5	15	26	33	43	55	74	90	107	81.27	80.81	81.94	82.16	83.92	83.89	84.02	83.92	83.70	86.00	86.04
	1000	2.5	4.3	7.1	12	21	27	35	42	55	73	88	79.40	79.20	80.54	80.74	82.57	82.59	82.58	82.54	82.36	84.59	84.62
	750	2.1	3.7	6.1	10	18	23	30	37	45	60	76	78.33	78.31	79.31	80.12	81.94	81.96	81.89	81.94	81.76	83.96	83.97
	500	1.6	2.8	4.7	7.6	13	17	22	28	35	43	55	77.61	77.67	78.05	78.11	79.98	80.00	79.96	79.96	79.98	82.01	81.77
	300	1.1	1.9	3.2	5.5	8.5	12	16	20	26	33	39	71.07	73.57	73.61	73.86	75.81	75.87	75.94	76.02	75.98	77.98	77.73
31.5	1500	3.0	5.1	8.1	14	25	31	40	50	70	86	100	79.61	78.96	80.06	79.85	81.82	82.06	81.97	81.95	82.08	83.76	84.08
	1000	2.4	4.0	6.7	11	20	26	33	40	50	70	83	78.30	77.36	78.60	78.78	80.66	80.70	80.73	80.70	80.68	82.82	82.85
	750	1.9	3.4	5.8	9.2	17	21	27	36	43	55	72	77.74	76.46	77.60	78.18	79.90	79.87	79.96	80.00	79.85	82.25	82.11
	500	1.4	2.6	4.3	7.2	12	16	21	27	34	41	50	75.23	73.05	75.43	74.96	77.05	77.00	76.88	76.91	76.96	78.97	78.89
	300	1.0	1.8	3.0	5.1	8.0	11	15	19	25	32	38	72.28	71.98	71.30	72.30	74.11	73.98	74.17	73.93	74.02	75.97	76.12
35.5	1500	2.7	4.6	7.4	13	22	29	37	46	62	80	94	77.94	76.93	78.06	77.95	80.01	80.01	79.88	80.01	80.12	81.78	81.80
	1000	2.2	3.6	6.1	10	18	23	30	38	46	60	78	76.78	75.86	76.49	76.50	78.50	78.49	78.52	78.52	78.58	80.26	80.59
	750	1.7	3.1	5.2	8.4	15	19	25	33	40	50	65	75.94	75.55	75.66	75.96	77.96	77.91	78.02	77.97	78.00	79.71	80.17
	500	1.3	2.6	4.0	6.6	11	14	19	24	31	38	46	72.55	72.43	73.03	73.18	74.99	75.05	74.98	74.92	74.93	77.13	77.17
	300	0.9	1.6	2.8	4.5	7.3	10	13	17	22	29	35	66.03	69.04	68.99	68.53	70.79	70.82	70.93	71.01	70.91	72.92	73.29

续表

公称传动比 i	输入转速 $n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	中心距 a/mm										中心距 a/mm											
		许用输入热功率 P_c/kW										总传动效率 $\eta/\%$											
		100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
40	1500	2.4	4.1	6.8	12	20	26	34	42	54	73	89	74.29	75.36	76.25	76.20	77.95	78.01	77.96	77.92	77.98	79.79	79.71
	1000	1.9	3.3	5.6	9.0	16	22	27	35	43	53	72	72.68	74.01	74.51	74.58	76.71	76.76	76.61	76.61	76.65	78.56	78.65
	750	1.5	2.8	4.7	7.6	13	18	24	30	37	45	58	71.62	73.05	73.80	73.90	76.04	76.06	75.92	75.96	75.99	77.93	78.12
	500	1.2	2.2	3.5	6.0	9.4	13	17	22	28	35	42	70.60	70.42	71.20	71.06	72.94	72.86	73.00	72.94	72.96	74.99	74.75
	300	0.8	1.5	2.6	4.0	6.7	9.1	12	16	20	26	32	63.84	65.29	66.22	66.79	69.06	68.91	68.83	68.86	68.94	70.98	70.94
45	1500	2.2	3.7	6.4	11	18	24	31	39	49	66	83	73.18	72.86	73.76	74.09	75.88	75.91	76.02	76.01	75.92	77.77	78.07
	1000	1.7	3.0	5.1	8.3	14	19	25	32	40	50	66	72.23	71.35	72.79	72.98	74.73	74.85	74.79	74.82	74.80	76.71	76.65
	750	1.3	2.5	4.3	7.2	12	16	22	27	34	42	53	71.47	70.24	72.08	72.05	73.92	74.07	73.97	74.02	74.01	75.96	75.72
	500	1.0	2.0	3.2	5.5	8.7	12	16	20	26	32	40	69.08	67.93	69.38	69.80	72.18	71.82	72.00	72.02	72.02	73.94	73.96
	300	0.7	1.3	2.3	3.8	6.2	8.4	11	15	18	24	30	62.19	63.49	65.21	64.57	66.96	66.95	66.85	66.93	67.00	69.00	68.93
50	1500	2.0	3.4	6.0	9.8	17	22	29	36	45	60	78	71.84	71.97	73.36	73.18	75.02	74.94	74.97	74.96	74.96	77.05	76.76
	1000	1.5	2.7	4.7	7.7	13	18	24	30	37	47	60	69.68	70.92	72.01	71.50	73.60	73.60	73.71	73.63	73.62	75.64	75.67
	750	1.2	2.3	3.9	6.8	11	14	19	25	32	39	48	68.11	69.74	71.37	70.74	72.96	72.93	73.06	72.94	72.92	74.95	75.11
	500	0.9	1.7	3.0	5.0	8.0	11	15	18	24	30	37	66.95	68.68	68.29	68.81	71.01	71.03	70.93	70.86	70.96	72.99	72.96
	300	0.6	1.2	2.1	3.6	5.7	7.4	9.4	14	17	22	29	62.18	63.77	64.47	64.30	66.24	66.07	66.00	65.92	65.88	67.92	67.99
56	1500	1.7	3.1	5.4	9.0	15	20	26	33	42	55	73	70.29	69.60	71.04	70.90	72.94	72.97	72.91	73.01	72.96	74.99	74.94
	1000	1.3	2.5	4.3	7.2	12	16	21	27	34	43	55	67.54	68.63	69.51	69.37	71.32	71.42	71.40	71.45	71.49	73.44	73.43
	750	1.1	2.1	3.6	6.3	10	13	17	23	30	36	44	66.63	68.36	69.17	68.81	70.77	70.92	70.91	70.93	70.99	72.94	72.93
	500	0.8	1.5	2.7	4.7	7.5	10	13	17	22	28	34	63.23	64.43	66.42	66.74	68.80	69.13	69.05	68.93	68.99	70.95	70.92
	300	0.5	1.0	1.9	3.3	5.3	6.8	8.7	12	16	20	27	59.65	61.81	61.39	61.58	63.77	64.03	63.87	63.93	63.94	65.98	65.91
63	1500	—	—	—	8.1	14	18	24	31	40	49	68	—	—	—	70.15	72.09	71.89	71.89	71.93	71.99	73.94	74.18
	1000	—	—	—	6.7	11	14	19	25	32	40	49	—	—	—	68.69	70.41	70.34	70.51	70.54	70.49	72.46	72.53
	750	—	—	—	5.8	9.0	12	16	21	27	34	41	—	—	—	68.09	69.74	69.83	70.02	70.05	69.97	71.95	71.93
	500	—	—	—	4.3	7.0	9.3	12	16	20	26	32	—	—	—	66.25	67.93	68.27	67.87	68.01	67.98	70.00	70.00
	300	—	—	—	3.0	5.0	6.3	8.0	11	15	18	25	—	—	—	60.58	62.95	63.05	62.84	62.91	62.87	64.90	64.98

表 16-2-70 减速器输出轴轴伸许用径向载荷 F_R

中心距 /mm	100	125	160	200	250	280	315	355	400	450	500
许用径向 载荷/N	3000	4500	8000	12700	21000	24000	27000	30000	35000	37000	40000



6.4 减速器的选用

(1) 输入计算功率 P_{1c} 和输出计算转矩 T_{2c} 。

$$P_{1c} = P_2 K_A S_A < P_1 \quad (16-2-19)$$

$$T_{2c} = T_2 K_A S_A < T_1 \quad (16-2-20)$$

式中 P_1 ——减速器额定输入功率, kW, 见表 16-2-68;

T_1 ——减速器额定输出转矩, N·m, 见表 16-2-68;

P_2 ——承载功率, kW;

T_2 ——承载转矩, N·m;

K_A ——工况系数, 见表 16-2-71;

S_A ——安全系数, 见表 16-2-9。

启动时或运转中的短时最大尖峰载荷不得超过额定载荷的 2.5 倍, 每小时启动次数不超过 10 次。

表 16-2-71

工况系数 K_A

原 动 机	载 荷 性 质	每日工作时间/h				
		≤0.5	>0.5-1	>1-2	>2-10	>10-24
电机	均匀, 轻微冲击	0.80	0.90	1.00	1.20	1.30
	中等冲击	0.90	1.00	1.20	1.30	1.50
	强冲击	1.10	1.20	1.30	1.50	1.75
多缸发动机	均匀, 轻微冲击	0.90	1.05	1.15	1.40	1.50
	中等冲击	1.05	1.15	1.40	1.50	1.75
	强冲击	1.25	1.40	1.50	1.75	2.00
单缸发动机	均匀, 轻微冲击	0.95	1.10	1.20	1.45	1.55
	中等冲击	1.10	1.20	1.45	1.55	1.80
	强冲击	1.30	1.45	1.55	1.80	2.10

(2) 校验减速器输出轴轴伸径向载荷

减速器输出轴轴伸装有齿轮、链轮、V 带轮或平带轮时, 则需校验轴伸径向载荷。

① 计算轴伸径向载荷 F_{Rc} :

$$F_{Rc} = \frac{2T_2 K_A}{D} f_R \quad (\text{N}) \quad (16-2-21)$$

式中 T_2 ——减速器实际输出转矩 (承载转矩), N·m;

K_A ——工况系数, 查表 16-2-71;

D ——齿轮、链轮或 V 带轮和平带轮节圆直径, m;

f_R ——轴伸径向载荷系数, 轴伸装有齿轮时, $f_R = 1.5$; 装有链轮时, $f_R = 1.2$; 装有 V 带轮时, $f_R = 2.0$; 装有平带轮时, $f_R = 2.5$ 。

② 校验轴伸径向载荷:

$$F_{Rc} \leq F_R \quad (16-2-22)$$

式中 F_R ——轴伸许用径向载荷, N, 查表 16-2-70。

(3) 输入热功率校验

输入热功率校验按工作制度来进行, 在下列间歇工作中, 可不需校验输入热功率: 在 1h 内多次 (两次以上) 启动, 并且运转时间总和不超过 20min 的场合; 在一个工作周期内, 运转时间不超过 40min, 并且间隔 2h 以上启动一次的场合。

除上述状况外, 如果实际承载功率超过许用输入热功率 P_G (表 16-2-69) 则需采用强制冷却措施或选用更大规格减速器。

例 带式输送机用直廓环面蜗杆减速器, 中等冲击载荷, 每日工作 8h, 连续运转, 可靠性一般, 工作机械承载功率 $P_2 = 15\text{kW}$, 减速器输入转速 $n_1 = 1500\text{r/min}$, 传动比 $i = 31.5$ 。

(1) 选用计算

由表 16-2-71 查得 $K_A = 1.3$, 查表 16-2-9 得 $S_A = 1.1$, 则输入计算功率为

$$P_{1c} = P_2 K_A S_A = 15 \times 1.3 \times 1.1 = 21.5\text{kW}$$

查表 16-2-68 选择减速器中心距 $a = 200\text{mm}$, $n_1 = 1500\text{r/min}$, $i = 31.5$, 额定输入功率 $P_1 = 25.6\text{kW} > P_{1c}$, 机械强度符合要求。

(2) 校验输入热功率

由表 16-2-69 查得 $a = 200\text{mm}$ 、 $i = 31.5$ 、 $n_1 = 1500\text{r/min}$ 时许用输入热功率 $P_G = 14\text{kW} < P_2$, 则需采取强制冷却措施, 否则应选用 $a = 250\text{mm}$ 的减速器。

7 行星齿轮减速器

7.1 NGW 型行星齿轮减速器 (摘自 JB/T 6502—1993)

7.1.1 适用范围、标记及相关技术参数

(1) 适用范围

本节介绍的 NGW 型行星齿轮减速器及其传动型式属 2Z-X (2K-H) 行星齿轮传动类型。NGW 型行星齿轮减速器标准包括 NAD、NAZD、NBD、NBZD、NCD、NCZD、NAF、NBF、NCF、NAZF、NBZF、NCZF 十二个系列及派生标准 NASD、NASF、NBSD、NBSF、NCSF、NCSF、NAL、NBL 八个系列。其系列规格以内齿轮分度圆直径的优先数系作为排列基准并划分规格。这样可以使同一规格不同传动比减速器的内齿轮轮缘厚度保持在合理而基本不变的范围内, 从而充分利用空间以提高承载能力。

这种减速器主要适用于冶金、矿山、运输、建材、轻工、能源、交通等行业。

高速轴转速按其规格划分如下: 200~800 者不大于 1500r/min; 900~1120 者不大于 1000r/min; 1250~1600 者不大于 750r/min; 1800~2000 者不大于 600r/min。

齿轮的圆周速度不大于 15~20m/s, 工作环境温度为 -40~45℃, 低于 0℃ 时, 启动前润滑油应预热至 0℃ 以上, 可正、反双向运转。在以上条件下用作增速器时, 承载能力要降低 10% 使用。

(2) 主要特点

NGW 型行星齿轮减速器主要构件有太阳轮、行星轮、内齿圈及行星架。

为了使三个行星齿轮的载荷均匀分配, 采用了齿式浮动机构, 即太阳轮或行星架浮动, 或者太阳轮、行星架两者同时浮动。减速器中的齿轮为直齿渐开线圆柱齿轮。

此种减速器具有以下特点。

- ① 重量轻、体积小。在相同条件下, 比硬齿面渐开线圆柱齿轮减速器重量减轻 1/2 以上, 体积缩小 1/3~1/2。
- ② 传动效率高: 一级行星减速器 $\eta = 0.98$; 二级行星减速器 $\eta = 0.96$; 三级行星减速器 $\eta = 0.94$ 。
- ③ 传动比大, 见表 16-2-72。
- ④ 传动功率范围大, 可传动小于 1kW 到上万千瓦, 且功率越大优点越突出, 经济效益越高。

表 16-2-72 减速器的公称传动比与实际传动比

型号规格		公称传动比 i																	
		4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9	10	11.2	12.5	14	16	18				
NAD NAF NAZD NAZF	200 280 355 400 560	4.2	4.636	5.211	5.647	6.316	7.313	7.8	8.769	10.88	11.79	12.58	14.40	15.46	17.93				
	710 800 1120 1400 1600	4.2	4.636	5.211	5.647	6.3	7.235	7.688	9.231	10.88	11.79	12.58	14.40	15.41	17.93				
	315 630 1250	4.111	4.5	5	5.667	6.316	7.313	7.8	8.769	10.44	11.83	12.62	14.45	15.51	18.00				
	224 250 450 500 900 1000 1800 2000	20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56	65	71	80	90	100	112	125	
NBD NBF NBZD NBZF	250 450 500 900 1000	21.42	23.21	25.97	30.06	32.91	35.10	39.46	43.85	49.69	62.74	66.94	73.29	83.92	90.07	96.07	111.5	123.9	
	280 315 560 1120	21.00	23.80	26.53	30.71	33.90	36.16	40.65	45.70	49.52	64.09	68.39	75.50	86.45	92.78	98.97	114.8	129.1	
	355 630 800 1250 1600	21.89	23.71	26.53	30.71	33.98	36.16	40.65	45.70	49.52	64.09	68.39	75.50	86.45	92.78	98.97	114.8	129.1	
	400 710 1400 1800 2000	21.89	23.71	26.46	30.39	33.54	35.64	42.79	41.10	52.12	63.42	67.68	74.69	85.53	91.80	97.55	113.2	127.2	
NCD NCF	315 560 1120	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400						
	355 630 1250	118.6	132.6	150.3	167.6	194.0	206.9	239.5	264.4	282.0	317.1	356.4	386.2						
	400 710 1400	124.1	138.3	149.8	167.6	194.0	206.9	239.5	264.4	282.0	317.1	356.4	386.2						
	500 900 1600 800 1800 1000 2000	123.6	138.3	149.8	167.1	193.5	206.4	237.0	261.6	278.0	312.5	351.3	380.7						
NCZD NCZF	315 355 560 630	121.0	135.3	146.5	163.9	190.0	202.6	234.5	256.7	273.8	307.8	342.0	387.6						
	800 1120 1250 1600	121.0	134.9	146.3	163.6	187.9	199.7	231.1	253.0	269.8	324.0	360.0	408.0						
	400 710 1400	123.6	138.3	149.8	167.6	194.0	206.9	239.5	264.4	282.0	317.1	356.4	386.2						
	500 900 1600 800 1800 1000 2000	116.1	129.8	147.1	165.9	190.0	202.6	234.5	256.7	273.8	307.8	342.0	387.6						
NCZD NCZF	315 355 560 630	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250						
	800 1120 1250 1600	373.2	432.0	494.7	527.6	610.7	674.2	719.1	771.8	867.9	1007.1	1131.9	1226.6						
	400 710 1400	372.1	430.9	493.4	526.3	604.4	667.1	708.9	760.9	855.3	992.5	1115.7	1209.1						
	450 1000 500 900	365.0	423.1	484.5	516.6	600.0	654.6	698.2	749.4	842.4	977.6	1086.2	1231.0						
NCZD NCZF	315 355 560 630	364.3	418.5	479.1	509.2	589.3	645.2	688.0	738.4	885.8	1029.0	1143.4	1295.8						
	800 1120 1250 1600	373.2	432.0	494.7	527.6	610.7	674.2	719.1	771.8	867.9	1007.1	1131.9	1226.6						
	400 710 1400	372.1	430.9	493.4	526.3	604.4	667.1	708.9	760.9	855.3	992.5	1115.7	1209.1						
	450 1000 500 900	365.0	423.1	484.5	516.6	600.0	654.6	698.2	749.4	842.4	977.6	1086.2	1231.0						

- ⑤ 装配型式多样, 可多面安装, 适用性广。在符合给定制造条件下, 运转平稳, 噪声小。
 ⑥ 采用了优质低碳合金钢渗碳淬火, 外齿轮为6级精度, 内齿轮为7级精度。使用寿命一般均在10年以上。

(3) 标记示例

① 标记符号:

N——NGW型

A——一级行星齿轮减速器

B——二级行星齿轮减速器

C——三级行星齿轮减速器

Z——定轴圆“柱”齿轮

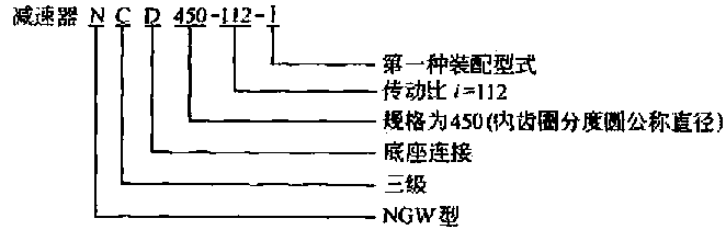
S——螺旋“伞”齿轮

D——“底”座连接

F——“法”兰连接

L——“立”式行星齿轮减速器

② 标记示例:



(4) 相关技术参数

表 16-2-73

减速器齿轮模数 m_n

mm

2	2.25	2.5	2.75	3	3.5	4	4.5	5	5.5
6	7	8	9	10	11	12	14	16	18
20	22								

表 16-2-74

输出、输入轴轴伸中点处额定径向载荷 F_r

kN

规格		200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
输出轴	375r/min	3.40	4.54	4.56	6.17	7.68	10.06	12.18	12.41	16.78	22.71	21.74	23.99			
	250r/min	3.89	5.19	5.22	7.06	8.97	11.52	13.95	14.21	19.21	25.99	24.89	27.46	28.25	35.30	44.88
	75r/min	5.81	7.76	7.79	10.55	13.14	17.21	20.83	21.22	28.69	38.83	37.17	41.02	42.20	52.73	67.04
	13.4r/min	6.31	8.77	13.83	18.73	23.33	30.55	37.00	37.68	50.95	68.95	66.01	72.85	74.95	93.63	119.05
一级输入轴	1500r/min	1.15	1.24	1.46	1.64	2.33	2.49	2.58	3.20	4.21	3.92	5.47	6.94	7.45	9.72	10.85
	1000r/min	1.31	1.42	1.68	1.87	2.67	2.86	2.95	3.67	4.82	4.49	6.26	7.49	8.52	11.12	12.42
	750r/min	1.44	1.57	1.85	2.06	2.94	3.14	3.25	4.03	5.31	4.94	6.89	8.74	9.38	12.24	13.67
	600r/min	1.56	1.69	1.99	2.22	3.16	3.39	3.50	4.35	5.72	5.33	7.42	9.42	10.11	13.19	14.73
二级输入轴	1500r/min			0.77	0.74	0.97	1.16	1.40	1.52	1.99	2.33	2.95	3.16	4.23	5.62	7.06
	1000r/min			0.88	0.84	1.11	1.33	1.60	1.74	2.28	2.67	3.38	3.62	4.84	6.44	8.08
	750r/min			0.97	0.93	1.22	1.47	1.77	1.92	2.51	2.93	3.72	3.98	5.33	7.09	8.89
	600r/min			1.04	1.00	1.31	1.58	1.90	2.07	2.71	3.16	4.01	4.29	5.74	7.63	9.58
三级输入轴	1500r/min					0.62	0.74	0.71	0.64	1.05	1.42	1.47	2.24	2.36	3.48	4.13
	1000r/min					0.71	0.84	0.81	0.73	1.21	1.63	1.68	2.56	2.71	3.99	4.73
	750r/min					0.78	0.93	0.89	0.81	1.33	1.79	1.85	2.82	2.98	4.39	5.21
	600r/min					0.85	1.00	0.96	0.87	1.43	1.93	1.99	3.03	3.21	4.73	5.61

注: 1. 输入轴转速界于表列转速之间时, 许用径向载荷用插值法求值。

2. 输出轴转速界于表列转速之间时, 许用径向载荷用插值法求值。小于表列最小转速时, 按表列该规格最小转速值选取。

3. 1000 以上规格请另咨询。

表 16-2-75

减速器输入轴的转动惯量 J_1 kg · m²

级 别 规 格	一 级		二 级		三 级	
	传动比	转动惯量	传动比	转动惯量	传动比	转动惯量
200	4 ~ 5.6	0.013224				
	6.3 ~ 18	0.007548				
224	4 ~ 5.6	0.024825				
	6.3 ~ 18	0.012240				
250	4 ~ 5.6	0.037378	20 ~ 28	0.004927		
	6.3 ~ 18	0.018998	31.5 ~ 100	0.002752		
280	4 ~ 5.6	0.061210	20 ~ 28	0.010022		
	6.3 ~ 18	0.033414	31.5 ~ 100	0.004946		
315	4 ~ 5.6	0.104110	20 ~ 28	0.016646	112 ~ 224	0.002550
	6.3 ~ 18	0.055761	31.5 ~ 100	0.007424	250 ~ 400	0.001465
335	4 ~ 5.6	0.192154	20 ~ 28	0.027853	112 ~ 224	0.004614
	6.3 ~ 18	0.095216	31.5 ~ 100	0.014971	250 ~ 400	0.002498
400	4 ~ 5.6	0.298974	20 ~ 28	0.041047	112 ~ 224	0.007253
	6.3 ~ 18	0.153631	31.5 ~ 100	0.022885	250 ~ 400	0.003817
450	4 ~ 5.6	0.646881	20 ~ 28	0.081529	112 ~ 224	0.013817
	6.3 ~ 18	0.301086	31.5 ~ 100	0.040089	250 ~ 400	0.007282
500	4 ~ 5.6	0.949272	20 ~ 28	0.138955	112 ~ 224	0.027136
	6.3 ~ 18	0.446309	31.5 ~ 100	0.076323	250 ~ 400	0.015584
560	4 ~ 5.6	1.580679	20 ~ 28	0.259689	112 ~ 224	0.042689
	6.3 ~ 18	0.756075	31.5 ~ 100	0.121763	250 ~ 400	0.022764
630	4 ~ 5.6	2.816039	20 ~ 28	0.563856	112 ~ 224	0.135882
	6.3 ~ 18	1.393833	31.5 ~ 100	0.270145	250 ~ 400	0.069515
710	4 ~ 5.6	5.262844	20 ~ 28	1.048691	112 ~ 224	0.229828
	6.3 ~ 18	2.550051	31.5 ~ 100	0.530819	250 ~ 400	0.121677
800	4 ~ 5.6	8.412482	20 ~ 28	1.858382	112 ~ 224	0.410741
	6.3 ~ 18	4.046297	31.5 ~ 100	0.872866	250 ~ 400	0.209991
900	4 ~ 5.6	16.227509	20 ~ 28	2.860380	112 ~ 224	0.658180
	6.3 ~ 18	7.008379	31.5 ~ 100	1.452061	250 ~ 400	0.351744
1000	4 ~ 5.6	25.823976	20 ~ 28	6.891248	112 ~ 224	1.437411
	6.3 ~ 18	11.940972	31.5 ~ 100	3.071139	250 ~ 400	0.730204

注：1. 减速器输出轴上的转动惯量按下式进行计算：

$$J_2 = i^2 J_1$$

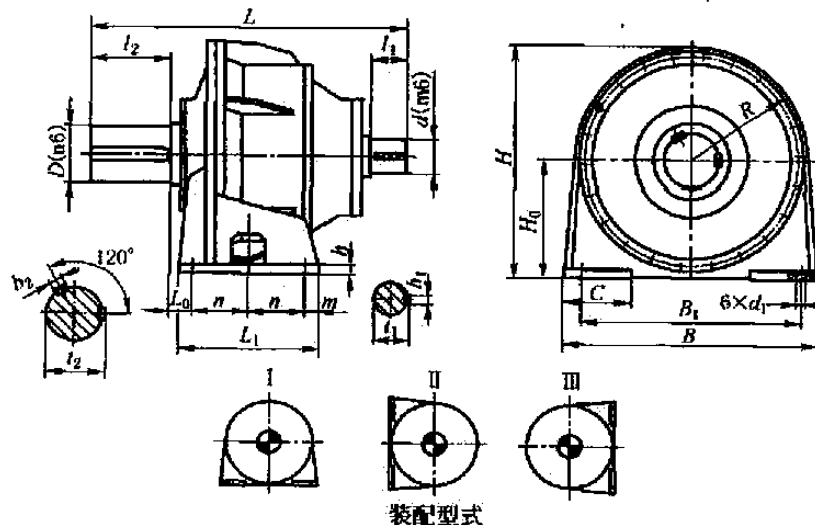
2. 1000 以上规格另行计算。NCZD 型减速器的转动惯量可参考三级传动选取。

(5) 主要生产厂家

中国重型机械研究院、湖北荆州市巨鲸传动机械有限公司、江苏泰隆减速机股份有限公司、南京高速齿轮箱厂、洛阳矿山机器厂、呼和浩特新生机械厂。选用时应与生产厂落实其技术参数、外形及安装尺寸。

7.1.2 外形、安装尺寸

一级减速器外形及安装尺寸 (NAD200 ~ 560)



续表

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸		轴伸								法兰尺寸					质量/kg	油量/L
			L	d ₁	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	l ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀	h/h ₁		
6	NAF 355	4~5.6	895	585	85	140	130	200	90	22	148	36	525	485	22	120	8/20	355	10
		6.3~9	875	585	65	140	105	200	69	18	148	36	525	485	22	120	8/20		
7	NAF 400	4~5.6	980	650	95	150	130	200	100	25	158	36	590	545	22	125	8/25	445	14
		6.3~9	955	650	75	150	105	200	79.5	20	158	36	590	545	22	125	8/25		
8	NAF 450	4~5.6	1135	740	110	170	165	240	116	28	179	40	670	615	26	138	8/27	620	20
		6.3~9	1100	740	80	170	130	240	85	22	179	40	670	615	26	138	8/27		
9	NAF 500	4~5.6	1250	820	120	200	165	280	127	32	210	45	755	680	26	160	8/30	948	26
		6.3~9	1215	820	90	200	130	280	95	25	210	45	755	680	26	160	8/30		
10	NAF 560	4~5.6	1355	940	130	220	200	280	137	32	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1280	34
		6.3~9	1320	940	100	220	165	280	106	28	231	50	860	785	33	173.5	10/45		

二级减速器外形及安装尺寸 (NBD 250~560)

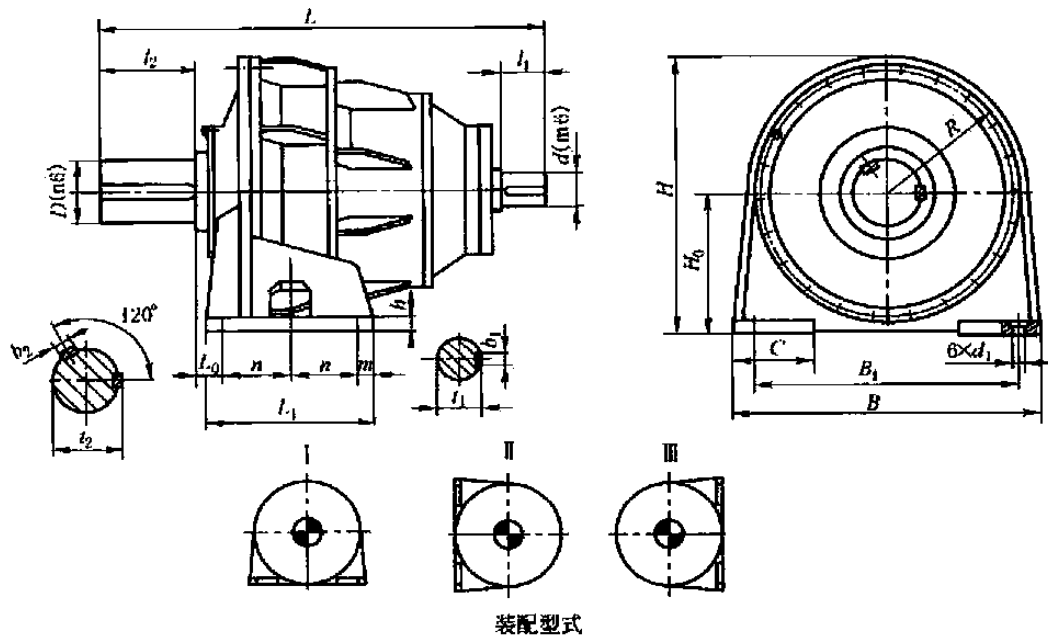
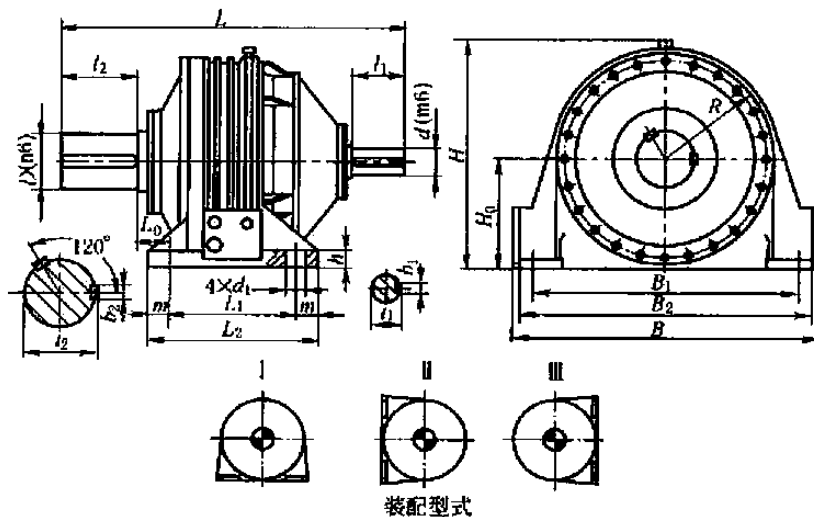


表 16-2-79

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸								地脚尺寸						质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	l ₂	b ₂	L ₁	L ₀	n	m	h	B ₁			C	d ₁
1	NBD 250	20~25	715	460	435	225	215	30	80	58	130	33	8	85	22	290	30	120	25	20	360	120	20	210	8
		28~50	715	460	435	225	215	30	80	58	130	33	8	85	22	290	30	120	25	20	360	120	20	210	
2	NBD 280	20~25	760	500	465	236	230	35	100	58	165	38	10	106	28	300	35	120	30	23	410	130	22	270	10
		28~50	760	500	465	236	230	35	100	58	165	38	10	106	28	300	35	120	30	23	410	130	22	270	
3	NBD 315	20~25	820	560	525	265	260	40	120	82	165	43	12	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	360	14
		28~50	820	560	525	265	260	40	120	82	165	43	12	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	360	
4	NBD 355	20~25	900	630	590	300	290	50	140	82	200	53.5	14	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	468	20
		28~50	900	630	590	300	290	50	140	82	200	53.5	14	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	468	
5	NBD 400	20~25	993	710	660	335	325	60	150	105	200	64	18	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	624	28
		28~50	993	710	660	335	325	60	150	105	200	64	18	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	624	
6	NBD 450	20~25	1125	800	745	375	370	65	170	105	240	69	18	179	40	460	60	180	50	35	670	220	33	810	38
		28~50	1125	800	745	375	370	65	170	105	240	69	18	179	40	460	60	180	50	35	670	220	33	810	
7	NBD 500	20~25	1252	900	835	425	410	75	200	105	280	79.5	20	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1250	45
		28~50	1252	900	835	425	410	75	200	105	280	79.5	20	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1250	
8	NBD 560	20~25	1340	1020	950	480	470	80	220	130	280	85	22	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1700	60
		28~50	1340	1020	950	480	470	80	220	130	280	85	22	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1700	

二级减速器外形及安装尺寸 (NBD 560 ~ 2000)



装配型式

表 16-2-80

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
9	NBD 560	20 ~ 50	1360	1100	990	450	430	80	220	130	280	85	22	231	50	660	103	500	80	70	1060	900	65	1850	140
10	NBD 630	20 ~ 50	1580	1260	1100	500	485	90	240	130	330	95	25	252	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2300	180
11	NBD 710	20 ~ 50	1675	1360	1230	560	540	110	260	165	330	116	28	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	75	3516	240
12	NBD 800	20 ~ 50	1955	1560	1335	630	625	120	280	165	380	127	32	292	63	870	158	670	100	100	1500	1300	80	5000	300
13	NBD 900	20 ~ 50	2260	1750	1510	710	690	130	340	200	450	137	32	365	80	940	165	740	100	100	1680	1480	80	5600	450
14	NBD 1000	20 ~ 50	2330	1900	1680	800	770	140	360	200	450	148	36	375	80	1140	180	900	120	120	1840	1600	101	8100	620
15	NBD 1120	20 ~ 50	2580	2120	1880	900	870	160	400	240	540	169	40	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	13200	800
16	NBD 1250	20 ~ 50	2850	2340	2060	1000	950	180	450	240	540	190	45	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	110	17000	1000
17	NBD 1400	20 ~ 50	3120	2580	2280	1120	1050	200	500	280	540	210	45	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	110	19500	1500
18	NBD 1600	20 ~ 50	3580	2970	2560	1250	1200	220	560	280	680	231	50	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	120	26400	2400
19	NBD 1800	20 ~ 50	4150	3300	2860	1400	1350	260	600	330	680	272	56	625	140	1760	398	1420	180	200	3220	2880	140	37500	3000
20	NBD 2000	20 ~ 50	4900	3700	3190	1600	1480	280	630	380	680	292	63	655	140	1960	440	1580	190	220	3620	3260	160	51000	3800

二级减速器外形及安装尺寸 (NBF 250 ~ 560)

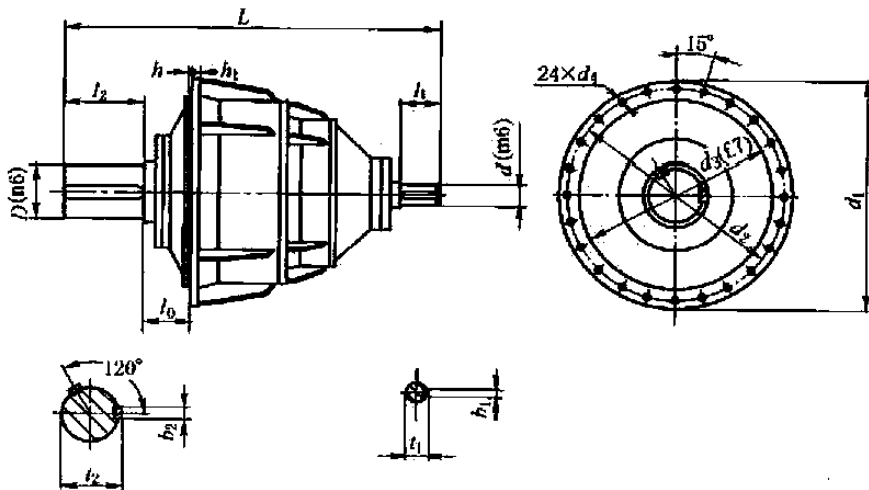


表 16-2-81

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸		轴伸								法兰尺寸					质量/kg	油量/L
			L	d ₁	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀	h/h ₁		
1	NBF 250	20~25	715	410	30	80	58	130	33	8	85	22	375	340	17.5	85	6/20	180	8
		28~50																	
2	NBF 280	20~25	760	460	35	100	58	165	38	10	106	28	420	385	17.5	95	8/18	235	10
		28~50																	
3	NBF 315	20~25	820	520	40	120	82	165	43	12	127	32	470	435	17.5	113	12/20	310	14
		28~50																	
4	NBF 355	20~25	900	585	50	140	82	200	53.5	14	148	36	525	485	22	120	8/20	403	20
		28~50																	
5	NBF 400	20~25	993	650	60	150	105	200	64	18	158	36	590	545	22	125	8/25	500	28
		28~50																	
6	NBF 450	20~25	1100	740	65	170	105	240	69	18	179	40	670	615	26	138	8/27	705	38
		28~50																	
7	NBF 500	20~25	1252	820	75	200	105	280	79.5	20	210	45	755	680	26	160	8/30	1095	45
		28~50																	
8	NBF 560	20~25	1340	940	80	220	130	280	85	22	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1465	60
		28~50																	

三级减速器外形及安装尺寸 (NCD 315 ~ 560)

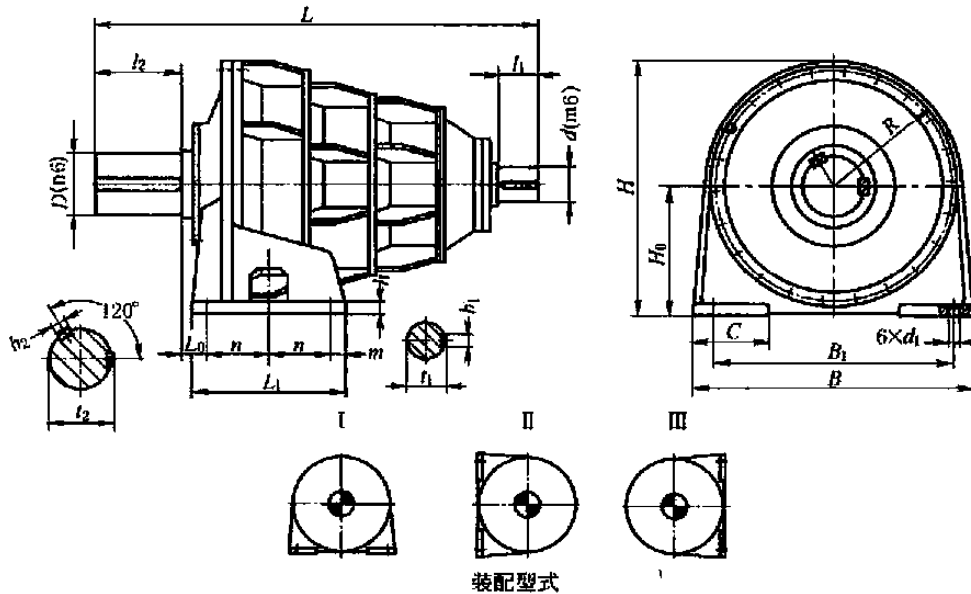


表 16-2-82

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸								地脚尺寸						质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₁	L ₀	n	m	h	B ₁			C	d ₁
1	NCD 315	112~400	850	560	525	265	260	25	120	42	165	28	8	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	380	18
2	NCD 355	112~400	960	630	590	300	290	28	140	42	200	31	8	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	440	24
3	NCD 400	112~400	1023	710	660	335	325	30	150	58	200	33	8	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	649	36
4	NCD 450	112~400	1147	800	745	375	370	40	170	82	240	43	12	179	40	460	60	180	50	35	670	220	33	900	45
5	NCD 500	112~400	1300	900	835	425	410	45	200	82	280	48.5	14	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1300	55
6	NCD 560	112~400	1420	1020	950	480	470	50	220	82	280	53.5	14	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1750	72

三级减速器外形和安装尺寸 (NCD 560 ~ 2000)

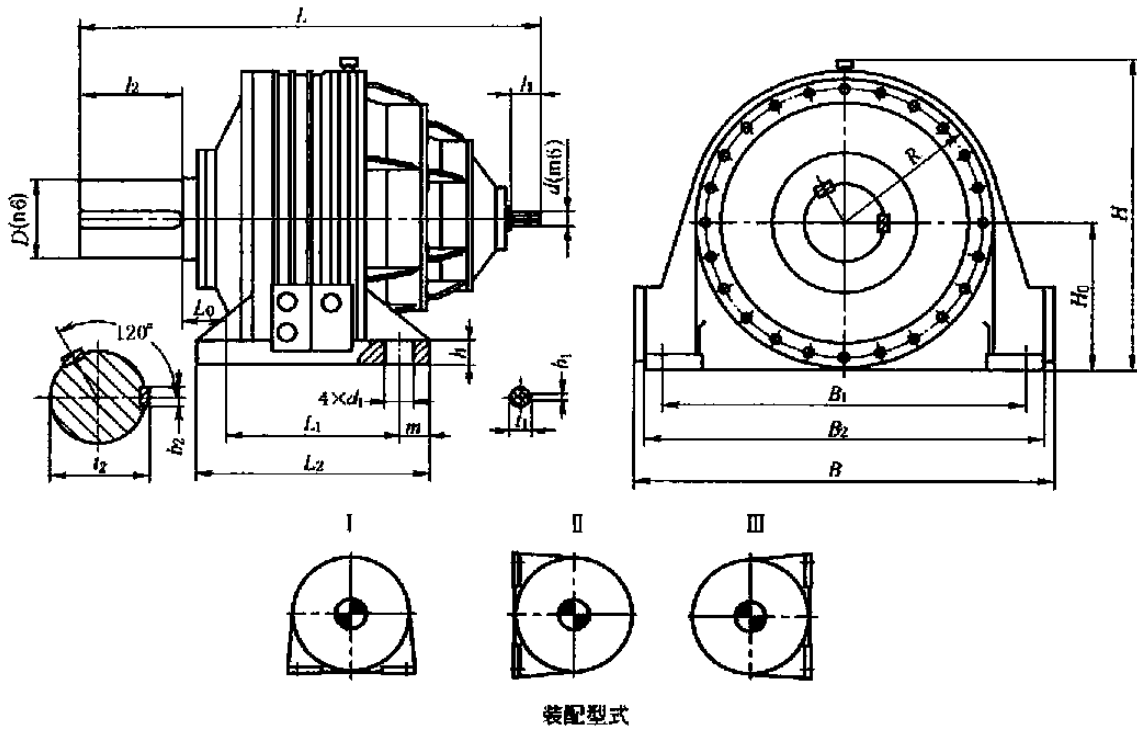


表 16-2-83

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R	d	D	l ₁	l ₂	l ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
7	NCD 560	112 ~ 400	1500	1100	990	450	430	50	220	82	280	53.5	14	231	50	660	103	500	80	70	1060	900	65	2050	180
8	NCD 630	112 ~ 400	1693	1260	1100	500	485	60	240	105	330	65	18	252	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2540	240
9	NCD 710	112 ~ 400	1745	1360	1230	560	540	65	260	105	330	69	18	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	75	3835	300
10	NCD 800	112 ~ 400	2090	1560	1335	630	625	65	280	105	380	69	18	292	63	870	158	670	100	100	1500	1300	80	5106	450
11	NCD 900	112 ~ 400	2340	1750	1510	710	690	70	340	105	450	74.5	20	355	80	940	165	740	100	100	1680	1480	80	7800	620
12	NCD 1000	112 ~ 400	2475	1900	1680	800	770	75	360	105	450	79.5	20	375	80	1140	160	900	120	120	1840	1600	101	10500	800
13	NCD 1120	112 ~ 400	2790	2120	1880	900	870	90	400	130	540	95	25	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	15200	1000
14	NCD 1250	112 ~ 400	3140	2340	2060	1000	950	100	450	165	540	106	28	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	110	18500	1500
15	NCD 1400	112 ~ 400	3560	2580	2280	1120	1050	110	500	165	540	116	28	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	110	24000	2400
16	NCD 1600	112 ~ 400	4020	2970	2560	1250	1200	120	560	165	680	127	32	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	120	31000	3000
17	NCD 1800	112 ~ 400	4350	3500	2860	1400	1350	140	600	200	680	148	36	625	140	1760	398	1420	180	200	3220	2880	140	40000	3400
18	NCD 2000	112 ~ 400	5225	3700	3190	1600	1680	150	630	200	680	158	36	655	140	1960	440	1580	190	220	3620	3260	160	51000	3900

三级减速器外形和安装尺寸 (NCF 315 - 560)

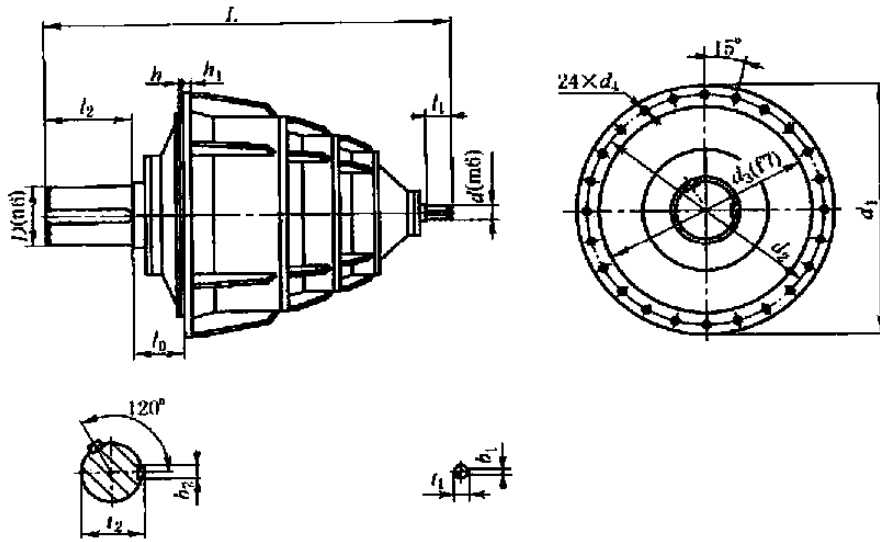
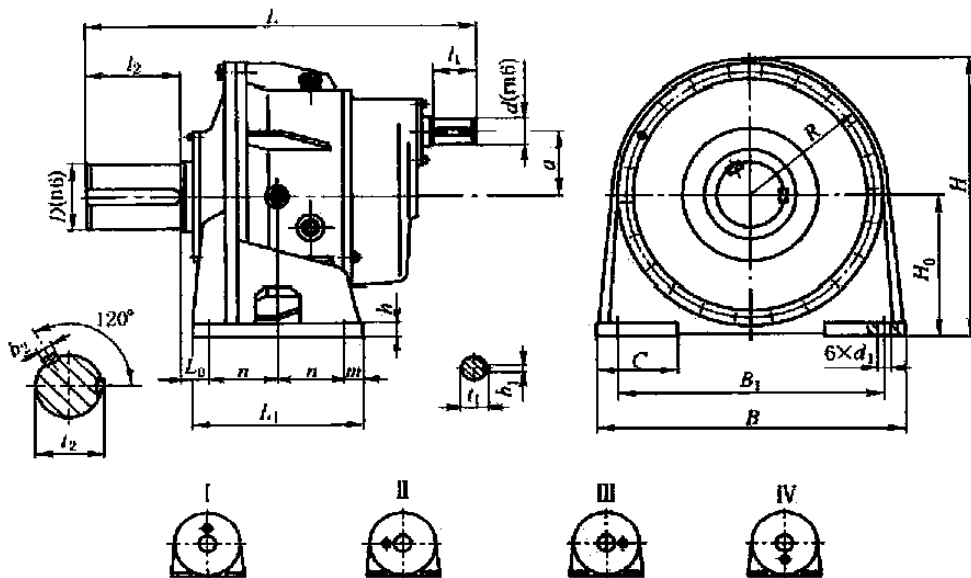


表 16-2-84

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸		轴伸								法兰尺寸					质量/kg	油量/L
			L	d ₁	d	D	l ₁	l ₂	l ₃	b ₁	l ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀	h/h ₁		
1	NCF 315	112 ~ 400	850	520	25	120	42	165	28	8	127	32	475	430	22	113	12/20	335	18
2	NCF 355	112 ~ 400	960	585	28	140	42	200	31	8	148	36	530	485	22	120	8/20	450	24
3	NCF 400	112 ~ 400	1023	650	30	150	58	200	33	8	158	36	595	545	22	125	8/25	510	36
4	NCF 450	112 ~ 400	1147	740	40	170	82	240	43	12	179	40	670	615	26	138	8/27	780	45
5	NCF 500	112 ~ 400	1300	820	45	200	82	280	48.5	14	210	45	755	690	33	165	8/30	1155	55
6	NCF 560	112 ~ 400	1420	940	50	220	82	280	53.5	14	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1520	72

一级减速器外形及安装尺寸 (NAZD 200 ~ 560)



装配型式

表 16-2-85

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L			
			L	B	H	H ₀	R	a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	l ₂	b ₂	L ₁	L ₀	n	m	h			B ₁	C	d ₁
1	NAZD 200	10-18	520	355	345	180	165	82	30	60	58	105	34	8	64	18	220	25	90	20	18	280	90	18	110	3
2	NAZD 224	10-18	580	400	385	200	185	91	32	70	58	105	35	10	74.5	20	240	30	95	25	20	310	105	20	145	4
3	NAZD 250	10-18	650	460	435	225	215	100	38	80	58	130	41	10	85	22	290	30	120	25	20	360	120	20	190	6
4	NAZD 280	10-18	720	500	465	235	230	109	42	100	82	165	45	12	106	28	300	35	120	30	23	410	130	22	274	8
5	NAZD 315	10-18	760	560	525	265	260	127	50	120	82	165	53.5	14	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	340	10
6	NAZD 355	10-18	840	630	590	300	290	145	55	140	82	200	59	16	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	450	14
7	NAZD 400	10-18	923	710	660	335	325	164	60	150	105	200	64	18	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	640	20
8	NAZD 450	10-18	1015	800	745	375	370	182	70	170	105	240	74.5	20	179	40	460	60	180	50	36	670	220	33	860	24
9	NAZD 500	10-18	1147	900	835	425	410	200	80	200	130	280	85	22	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1200	32
10	NAZD 560	10-18	1220	1020	950	480	470	218	85	220	130	280	90	22	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1556	42

一级减速器外形及安装尺寸 (NAZD 560 ~ 1600)

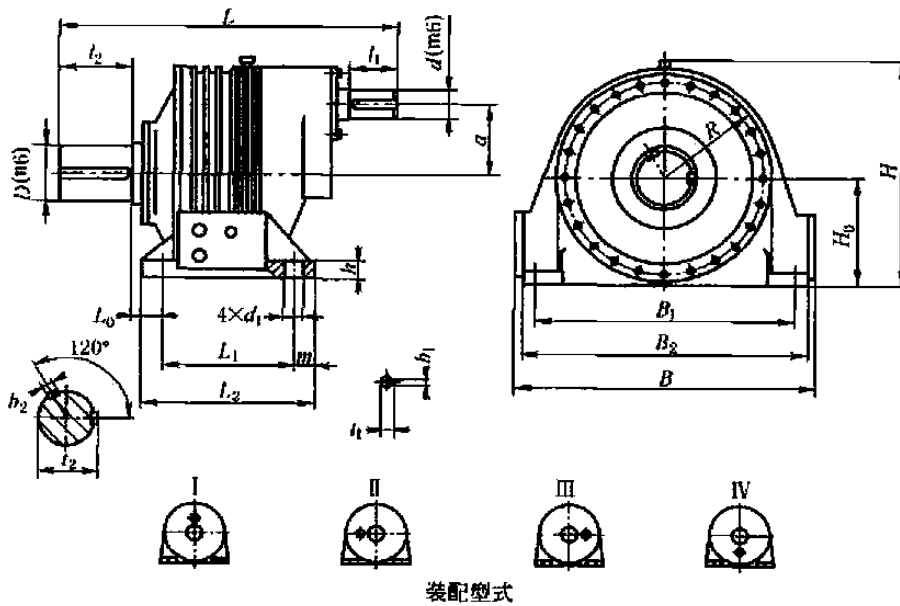


表 16-2-86

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	l ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
11	NAZD 560	10-18	1300	1100	990	450	430/218	85	220	130	280	90	22	231	50	660	103	500	80	70	1060	900	66	1600	140
12	NAZD 630	10-18	1491	1260	1095	500	485/260	100	240	165	330	106	28	262	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2200	180
13	NAZD 710	10-18	1540	1360	1215	560	545/296	110	260	165	330	116	28	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	74	3250	240
14	NAZD 800	10-18	1707	1560	1335	630	625/334	120	280	165	380	127	32	292	63	870	158	670	100	100	1500	1300	82	4780	300
15	NAZD 900	10-18	1990	1750	1510	710	690/372	130	340	206	450	137	32	355	80	940	165	740	100	100	1680	1480	82	5400	450

续表

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
16	NAZD 1000	10~18	2125	1900	1680	800	770/408	150	360	200	450	158	36	375	80	1140	160	900	120	120	1840	1600	101	7150	620
17	NAZD 1120	10~18	2450	2120	1880	900	870/446	170	400	240	540	179	40	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	11900	800
18	NAZD 1250	10~18	2680	2340	2060	1000	950/520	200	450	280	540	210	45	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	110	16000	1000
19	NAZD 1400	10~18	2890	2580	2280	1120	1050/592	220	500	280	540	231	50	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	110	19000	1500
20	NAZD 1600	10~18	3370	2970	2560	1250	1200/668	248	560	330	680	262	56	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	120	27000	2400

一级减速器外形及安装尺寸 (NAZF 200~560)

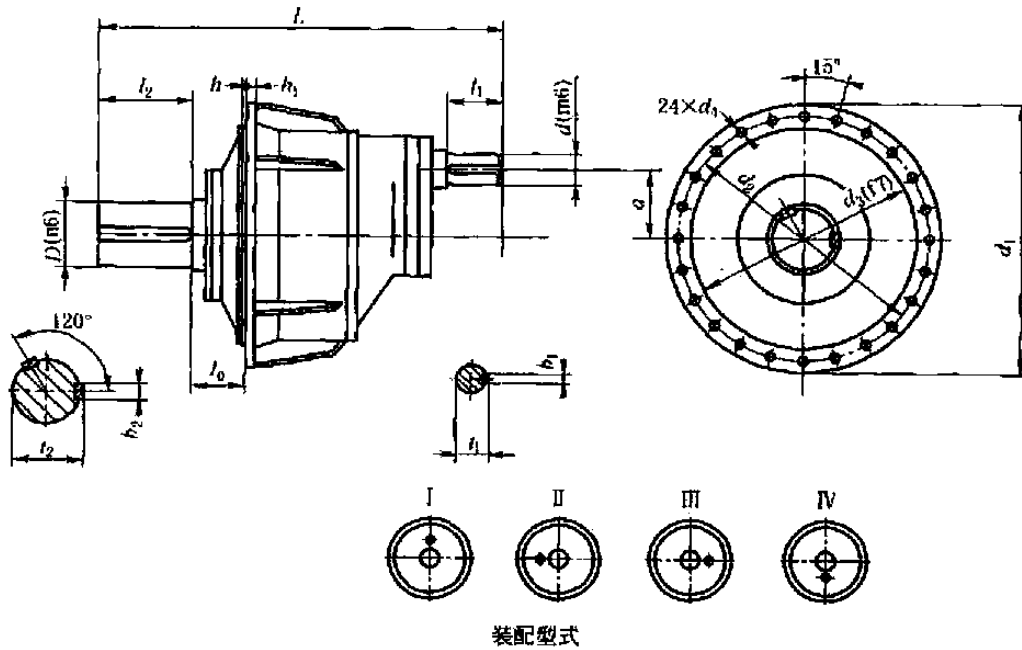
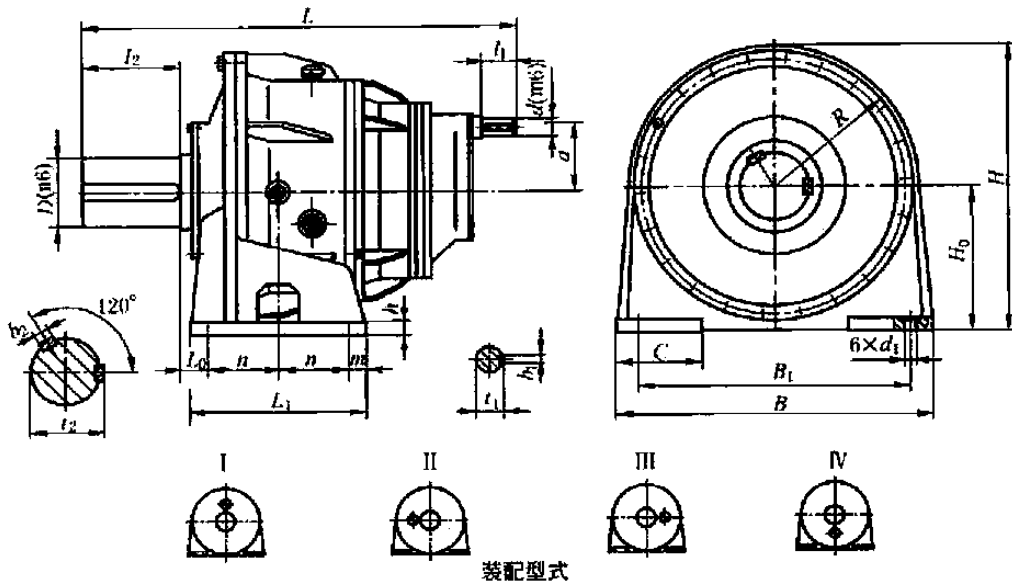


表 16-2-87

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸			轴伸							法兰尺寸					质量/kg	油量/L	
			L	d ₁	a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀			h/h ₁
1	NAZF 200	10~18	520	325	82	30	60	58	105	34	8	64	18	300	275	13.5	70	6/15	95	3
2	NAZF 224	10~18	580	365	91	32	70	58	105	35	10	74.5	20	335	300	13.5	76	6/17	125	4
3	NAZF 250	10~18	650	410	100	38	80	58	130	41	10	85	22	375	340	17.5	85	6/20	160	6
4	NAZF 280	10~18	720	460	109	42	100	82	165	45	12	106	28	420	385	17.5	95	8/18	225	8
5	NAZF 315	10~18	760	520	127	50	120	82	165	53.5	14	127	32	470	435	17.5	113	12/20	290	10
6	NAZF 355	10~18	840	585	145	55	140	82	200	59	16	148	36	525	485	22	120	8/20	385	14
7	NAZF 400	10~18	923	650	164	60	150	105	200	64	18	158	36	590	545	22	125	8/25	494	20
8	NAZF 450	10~18	1015	740	182	70	170	105	240	74.5	20	179	40	670	615	26	138	8/27	730	24
9	NAZF 500	10~18	1147	820	200	80	200	130	280	85	22	210	45	755	680	26	160	8/30	1053	32
10	NAZF 560	10~18	1220	940	218	85	220	130	280	90	22	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1326	42

二级减速器外形及安装尺寸 (NBZD 250 ~ 560)



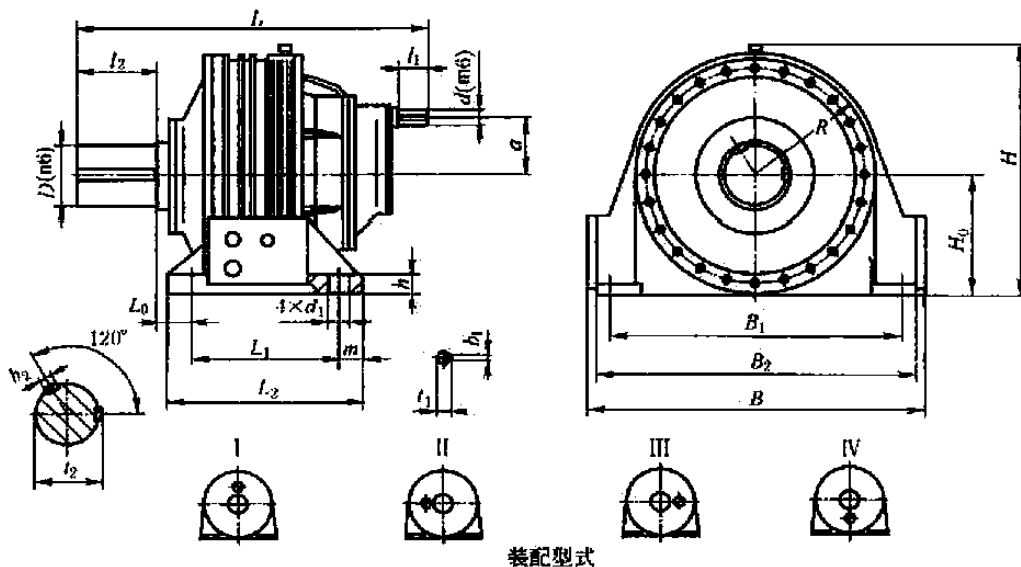
装配型式

表 16-2-88

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸						地脚尺寸						质量/kg	油量/L				
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	l ₁	b ₁	l ₂	b ₂	L ₁	L ₀	n	m			h	B ₁	C	d ₁
1	NBZD 250	56 ~ 125	580	460	435	225	215/82	28	80	42	130	51	8	85	22	290	30	120	25	20	360	120	20	240	10
2	NBZD 280	56 ~ 125	670	500	465	236	230/91	30	100	42	165	33	8	106	28	300	35	120	30	23	410	130	22	295	14
3	NBZD 315	56 ~ 125	770	560	525	265	260/100	32	120	58	165	35	10	127	32	320	35	130	30	25	470	140	22	400	18
4	NBZD 355	56 ~ 125	835	630	590	300	294/109	35	140	58	200	38	10	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	525	24
5	NBZD 400	56 ~ 125	1003	710	660	335	325/127	40	150	82	200	43	12	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	680	36
6	NBZD 450	56 ~ 125	1122	800	745	375	370/145	45	170	82	240	48.5	14	179	40	460	60	180	50	35	670	220	33	905	45
7	NBZD 500	56 ~ 125	1232	900	835	425	410/164	50	200	82	280	53.5	14	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1350	55
8	NBZD 560	56 ~ 125	1327	1020	950	480	470/182	55	220	82	280	59	16	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	39	1720	72

二级减速器外形及安装尺寸 (NBZD 560 ~ 1600)



装配型式

表 16-2-89

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
9	NBZD 560	56~125	1360	1100	990	450	430/182	55	220	82	280	59	16	231	50	660	105	500	80	70	1060	900	65	1970	180
10	NBZD 630	56~125	1562	1260	1100	500	485/200	60	240	105	330	64	18	252	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2400	240
11	NBZD 710	56~125	1650	1360	1230	560	540/218	70	260	105	330	74.5	20	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	75	4000	300
12	NBZD 800	56~125	1955	1560	1335	630	625/260	80	280	130	380	85	22	292	63	870	163	670	100	100	1500	1300	80	5850	450
13	NBZD 900	56~125	2146	1750	1510	710	690/296	90	340	130	450	95	25	355	80	940	194	740	100	100	1680	1480	80	6000	620
14	NBZD 1000	56~125	2364	1900	1680	800	770/334	100	360	165	450	106	28	375	80	1140	185	900	120	120	1840	1600	101	9050	800
15	NBZD 1120	56~125	2665	2120	1880	900	870/372	120	400	165	540	127	32	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	14300	1000
16	NBZD 1250	56~125	2910	2340	2060	1000	950/408	130	450	200	540	137	32	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	112	18700	1500
17	NBZD 1400	56~125	3175	2580	2280	1120	1050/446	150	500	200	540	158	36	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	112	21000	2400
18	NBZD 1600	56~125	3670	2970	2560	1250	1200/520	170	560	240	680	179	40	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	122	29500	5000

二级减速器外形及安装尺寸 (NBZF 250 ~ 560)

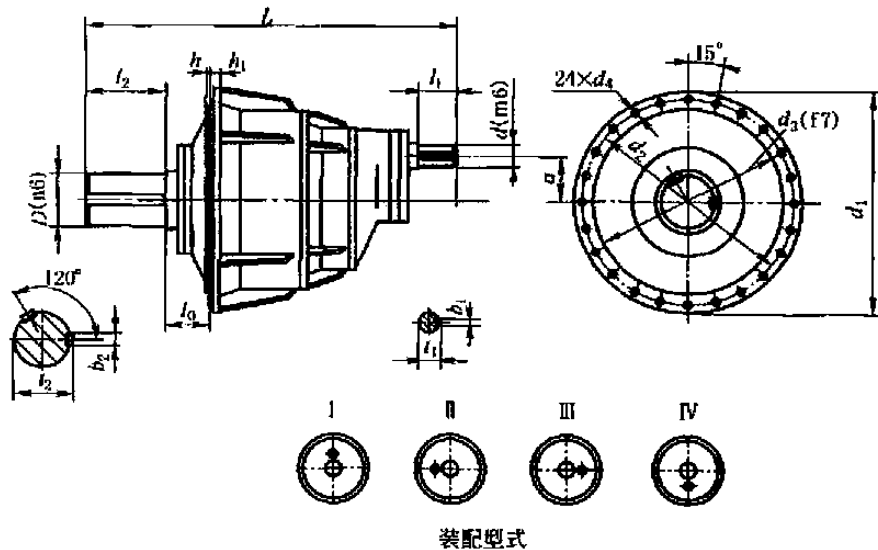


表 16-2-90

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸			轴伸							法兰尺寸					质量/kg	油量/L	
			L	d ₁	a	d	D	l ₁	l ₂	t ₁	b ₁	t ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀			h/h ₁
1	NBZF 250	56~125	580	410	82	28	80	42	130	31	8	85	22	375	340	17.5	85	6/20	210	10
2	NBZF 280	56~125	670	460	91	30	100	42	165	33	8	106	28	420	385	17.5	95	8/18	260	14
3	NBZF 315	56~125	770	520	100	32	120	58	165	35	10	127	32	470	435	17.5	113	12/20	350	18
4	NBZF 355	56~125	835	585	109	35	140	58	200	38	10	148	36	525	485	22	120	8/20	460	24
5	NBZF 400	56~125	1003	650	127	40	150	82	200	43	12	158	36	590	545	22	125	8/25	540	36
6	NBZF 450	56~125	1122	740	145	45	170	82	240	48.5	14	179	40	670	615	26	138	8/27	785	45
7	NBZF 500	56~125	1232	820	164	50	200	82	280	54.5	14	210	45	755	680	26	160	8/30	1200	55
8	NBZF 560	56~125	1327	940	182	55	220	82	280	59	16	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1500	72

三级减速器外形及安装尺寸 (NCZD 315 ~ 560)

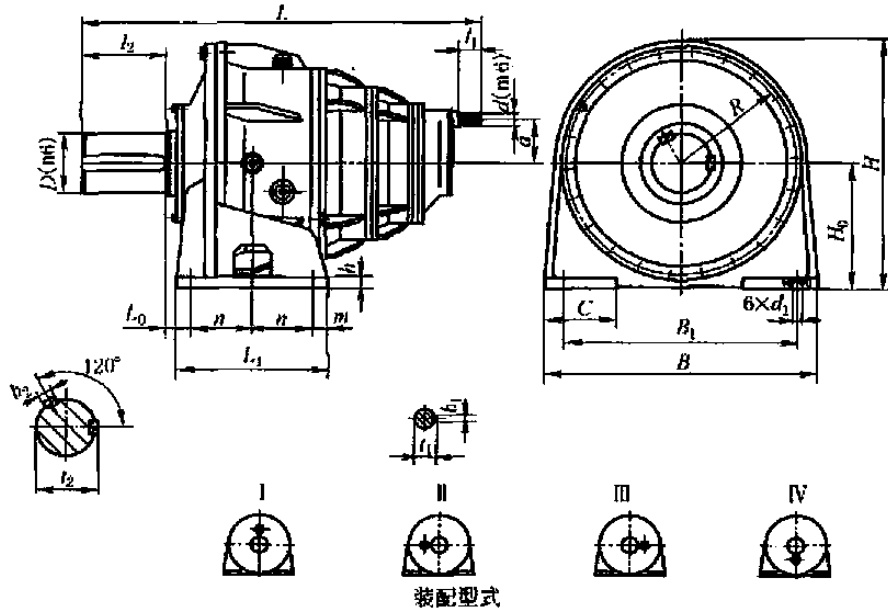
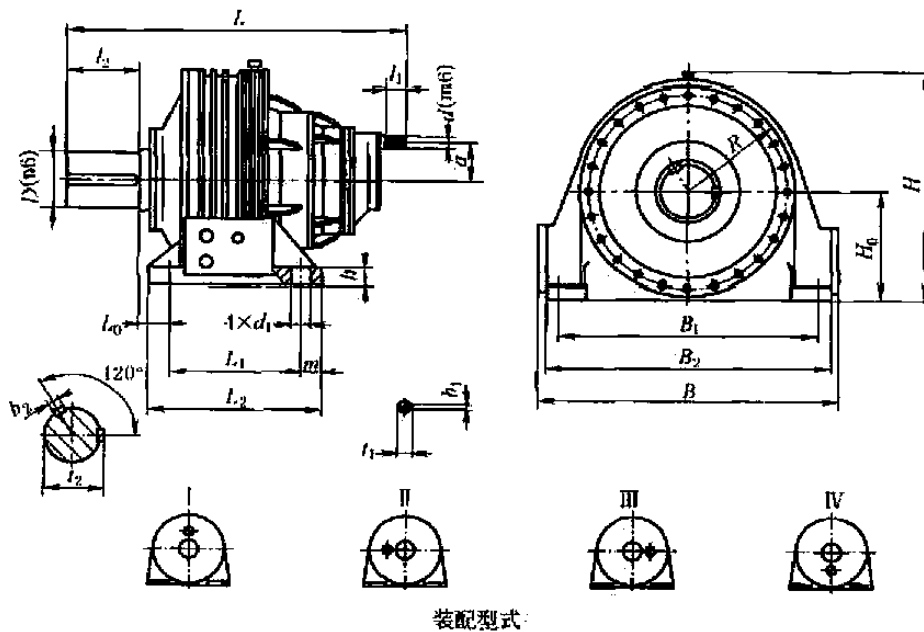


表 16-2-91

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸						地脚尺寸						质量/kg	油量/L				
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	l ₁	b ₁	t ₂	b ₂	L ₁	L ₀	n	m			h	B ₁	C	d ₁
1	NCZD 315	450 ~ 1120	845	560	525	265	260/82	20	120	36	165	22.5	6	127	32	520	35	130	30	25	470	140	22	430	20
2	NCZD 355	450 ~ 1120	974	630	590	300	290/91	22	140	36	200	24.5	6	148	36	380	38	155	35	28	520	170	26	540	26
3	NCZD 400	450 ~ 1120	1054	710	660	335	330/100	28	150	42	200	31	8	158	36	400	38	165	35	35	600	210	26	700	40
4	NCZD 450	450 ~ 1120	1175	800	745	375	370/109	35	170	58	240	38	10	179	40	468	60	180	50	35	670	220	33	950	50
5	NCZD 500	450 ~ 1120	1350	900	835	425	410/127	40	200	82	280	43	12	210	45	500	80	200	50	40	770	240	33	1380	65
6	NCZD 560	450 ~ 1120	1440	1020	950	480	470/145	45	220	82	280	48.5	14	231	50	580	78.5	230	60	40	880	300	38	1780	80

三级减速器外形及安装尺寸 (NCZD 560 ~ 2000)



装配型式

表 16-2-92

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形及中心高					轴伸							地脚尺寸							质量/kg	油量/L		
			L	B	H	H ₀	R/a	d	D	l ₁	l ₂	l ₁	b ₁	l ₂	b ₂	L ₂	L ₀	L ₁	m	h	B ₂			B ₁	d ₁
7	NCZD 560	450 ~ 1120	1510	1100	900	450	430/145	45	220	82	280	48.5	14	231	50	660	103	500	80	70	1060	900	65	2100	200
8	NCZD 630	450 ~ 1120	1670	1260	1100	500	485/182	50	240	82	330	54	14	252	56	740	118	560	90	80	1200	1040	74	2650	280
9	NCZD 710	450 ~ 1120	1800	1360	1230	560	540/200	55	260	82	330	59	16	272	56	810	130	630	90	80	1320	1140	75	4300	340
10	NCZD 800	450 ~ 1120	2070	1560	1335	630	625/218	60	280	105	380	64	18	292	63	870	163	670	100	100	1500	1300	82	5400	495
11	NCZD 900	450 ~ 1120	2345	1750	1510	710	690/218	70	340	105	450	74.5	20	355	80	940	194	740	100	100	1680	1480	82	8500	700
12	NCZD 1000	450 ~ 1120	2570	1900	1680	800	770/260	80	360	130	450	85	22	375	80	1140	185	900	120	120	1840	1600	101	12000	900
13	NCZD 1120	450 ~ 1120	2890	2120	1880	900	870/296	90	400	130	540	95	25	417	90	1260	207	1000	130	120	2060	1800	101	17000	1100
14	NCZD 1250	450 ~ 1120	3136	2340	2060	1000	950/334	100	450	165	540	106	28	469	100	1400	225	1120	140	140	2280	2000	112	20000	1700
15	NCZD 1400	450 ~ 1120	3430	2580	2280	1120	1050/372	120	500	165	540	127	32	519	100	1500	264	1200	150	150	2500	2200	112	25900	2700
16	NCZD 1600	450 ~ 1120	4010	2970	2560	1256	1200/408	130	560	200	680	137	32	582	120	1600	350	1250	175	180	2890	2540	122	33500	3400
17	NCZD 1800	450 ~ 1120	4370	3300	2860	1400	1350/446	150	600	200	680	158	36	625	140	1760	398	1420	180	200	3200	2880	137	45000	3700
18	NCZD 2000	450 ~ 1120	4770	3700	3190	1600	1480/500	170	630	290	680	179	40	655	140	1960	440	1580	190	220	3620	3260	155	57000	4000

三级减速器外形及安装尺寸 (NCZF 315 ~ 560)

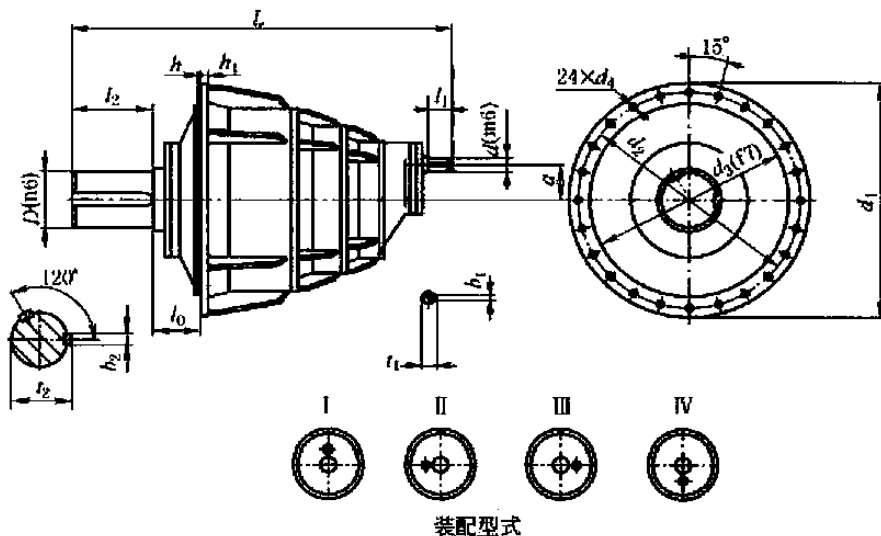


表 16-2-93

mm

规格代号	型号规格	公称传动比	外形尺寸			轴伸							法兰尺寸					质量/kg	油量/L	
			L	d ₁	a	d	D	l ₁	l ₂	l ₁	b ₁	l ₂	b ₂	d ₂	d ₃	d ₄	l ₀			h/h ₁
1	NCZF 315	450 ~ 1120	845	520	82	20	120	36	165	22.5	6	127	32	470	435	17.5	113	12/20	380	20
2	NCZF 355	450 ~ 1120	974	585	91	22	140	36	200	24.5	6	148	36	525	485	22	120	8/20	475	26
3	NCZF 400	450 ~ 1120	1054	650	100	28	150	42	200	31	8	158	36	590	545	22	125	8/25	600	40
4	NCZF 450	450 ~ 1120	1175	740	109	35	170	58	240	38	10	179	40	670	615	26	138	8/27	820	50
5	NCZF 500	450 ~ 1120	1350	820	127	40	200	82	280	43	12	210	45	755	680	26	160	8/30	1230	65
6	NCZF 560	450 ~ 1120	1440	940	145	45	220	82	280	48.5	14	231	50	860	785	33	173.5	10/45	1520	80

7.1.3 承载能力

表 16-2-94

NAD、NAF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i							
		4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9
200	600	54.5	45.0	34.2	28.4	23.3	16.1	13.9	10.0
	750	68.0	56.4	43.1	35.7	29.2	20.1	17.5	12.5
	1000	86.2	73.0	55.9	47.9	39.2	27.0	23.4	16.9
	1500	132.7	111.1	84.8	70.3	57.6	39.7	34.4	25.6
224	600	89.0	78.5	61.9	47.4	35.5	24.3	21.0	15.0
	750	109.8	95.6	77.8	59.5	44.6	30.5	26.4	18.8
	1000	144.5	125.7	101.1	77.4	59.9	40.9	35.4	25.3
	1500	218.0	193.3	153.3	117.3	87.9	60.1	52.0	37.1
250	600	105.8	95.1	76.3	58.7	46.3	31.8	27.7	19.9
	750	131.7	114.6	92.9	73.7	58.1	40.0	34.7	24.9
	1000	174.5	153.1	124.7	95.8	75.5	53.8	46.6	33.5
	1500	258.6	233.6	189.0	145.3	114.4	78.8	68.5	49.2
280	600	168.7	139.8	106.2	87.6	68.1	46.4	40.1	28.4
	750	212.0	170.1	129.2	110.1	85.6	58.3	50.4	35.7
	1000	284.9	228.6	173.7	143.2	111.3	75.8	67.6	48.0
	1500	414.4	346.7	263.4	217.2	168.8	114.9	99.3	70.5
315	600	226.6	187.3	147.1	121.9	96.3	67.5	59.1	38.2
	750	281.4	235.5	179.0	148.4	117.1	84.9	74.3	45.9
	1000	389.9	316.4	240.6	199.4	157.3	110.4	96.7	61.6
	1500	552.6	460.1	364.8	302.5	238.3	167.4	146.7	90.4
355	600	351.2	284.4	217.0	179.1	140.5	95.9	82.9	59.1
	750	437.1	357.5	272.7	225.3	171.1	120.6	104.2	74.2
	1000	578.6	480.4	366.5	310.4	229.8	156.8	135.6	96.5
	1500	855.8	698.4	532.9	440.4	348.2	237.7	205.7	146.4
400	600	432.5	367.3	280.1	232.3	190.4	135.4	117.6	84.4
	750	538.0	461.8	352.3	292.1	239.2	164.8	143.1	106.2
	1000	711.6	620.5	473.3	392.6	321.3	221.4	192.2	138.2
	1500	1067.5	901.4	688.1	571.1	467.1	335.7	291.6	209.6
450	600	702.5	621.2	506.6	387.6	290.5	198.6	177.6	126.7
	750	872.7	772.9	636.9	487.3	365.1	249.7	216.1	154.1
	1000	1152.1	1022.8	855.4	654.7	490.4	335.4	290.4	207.2
	1500	1694.4	1511.1	1242.1	951.7	712.5	487.8	440.3	314.3
500	600	831.2	749.3	624.5	480.2	378.3	260.6	226.2	167.8
	750	1032.0	931.7	785.1	603.8	475.4	327.5	284.4	204.4
	1000	1360.8	1231.5	1011.4	811.1	638.6	440.1	382.2	274.6
	1500	1997.4	1815.7	1530.0	1178.3	927.3	639.7	556.5	416.6
560	600	1296.6	1113.6	847.8	700.2	545.2	372.3	322.0	229.4
	750	1609.2	1400.0	1065.9	880.5	685.4	468.0	404.8	288.4
	1000	2120.4	1802.9	1373.3	1134.9	920.2	628.6	543.9	385.0
	1500	3107.6	2724.0	2077.4	1718.4	1335.6	913.6	790.7	564.0
630	600	1675.8	1476.7	1172.1	972.9	732.1	540.9	474.2	293.5
	750	2077.6	1834.0	1473.5	1223.4	907.1	680.0	596.1	369.2
	1000	2732.9	2419.5	1897.7	1576.4	1192.2	913.1	800.7	496.1
	1500	3991.9	3554.1	2867.5	2385.0	1738.6	1325.5	1163.2	721.8
710	600	2686.1	2362.3	1832.8	1514.2	1148.8	784.2	678.3	483.0
	750	3326.6	2895.8	2210.0	1826.5	1443.8	985.8	852.8	607.4
	1000	4368.0	3865.8	2965.6	2452.4	1858.6	1270.0	1145.6	816.3
	1500	6358.9	5670.1	4475.5	3706.4	2806.1	1921.5	1663.9	1187.1
800	600	3280.8	2893.9	2366.9	1963.5	1543.6	1107.2	961.6	691.0
	750	4058.6	3588.7	2853.4	2368.1	1908.7	1391.9	1209.0	869.1
	1000	5319.9	4722.1	3827.0	3178.2	2500.1	1792.7	1557.6	1120.3
	1500		6902.4	5673.6	4797.8	3622.4	2709.6	2356.2	1693.3

续表

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i							
		4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8	9
900	600	5284.6	4703.5	4101.3	3139.8	2412.4	1677.3	1452.3	1036.4
	750	6522.4	5822.2	5131.6	3945.1	2953.9	2022.4	1825.8	1303.4
	1000	8517.6	7639.1	6713.5	5289.4	3892.7	2713.9	2351.3	1680.0
	1500			9705.3	7834.7	5615.6	4097.3	3553.1	2543.7
1000	600	6217.3	5640.7	4888.3	3890.1	2941.6	2200.4	1911.2	1373.9
	750	7664.2	6973.6	6033.3	4886.3	3627.0	2652.8	2304.6	1727.7
	1000	9989.0	9131.3	7878.9	6530.2	4278.7	3542.9	3092.7	2226.4
	1500				9434.4	6791.7	5365.2	4668.2	3368.3
1120	600	9623.9	8516.5	6863.8	5673.9	4349.2	3143.1	2720.1	1938.9
	750	11855.4	10528.6	8615.2	7126.1	5410.1	3788.3	3278.4	2338.9
	1000	15434.1	13785.3	11525.8	9544.4	7037.0	5078.6	4398.7	3140.7
	1500					10063.3	7522.8	6631.4	4747.4
1250	600	12302.5	10923.6	9473.5	7879.1	5424.1	4377.6	3839.6	2481.8
	750	15124.5	13476.1	11666.1	9889.9	6659.0	5396.0	4822.1	2993.2
	1000		17585.1	15179.6	13014.5	8621.9	7291.1	6459.6	4017.7
	1500						10417.9	9550.9	6066.6
1400	600	19519.4	17337.9	14811.1	12254.1	8793.1	6347.9	5494.4	3917.3
	750	23953.8	21374.4	18494.4	15371.9	10784.9	7969.0	6900.3	4923.8
	1000			24001.6	20204.0	13943.2	10665.3	9241.6	6605.2
	1500							13654.9	9794.3
1600	600	26419.6	21004.9	18188.8	15669.1	11215.1	8957.7	7784.8	5603.7
	750		25842.8	22322.8	19251.1	13721.4	11238.0	9771.2	7040.8
	1000					17670.5	14860.0	13071.8	9437.3
	1500								
1800	600	38337.2	34355.5	30266.8	25025.3	17923.0	13633.6	11821.8	8447.3
	750			37205.0	30821.7	22043.2	17115.2	14851.0	10623.2
	1000						22523.3	19567.1	14256.8
	1500								
2000	600		40673.0	35169.9	29216.7	21555.5	17864.9	15541.8	11190.7
	750				35898.9	26431.9	22177.1	19509.9	14065.8
	1000						28842.2	25670.4	18549.5
	1500								

表 16-2-95

NAD、NAF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																				
没有冷却措施	环境条件	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
		P_{G1}/kW																				
	小空间、小厂房	6	9	12	17	24	30	37	49	61	73	90	111	145	182	237	285	375	453	610	816	1095
	较大空间或厂房	9	13	18	26	36	45	55	74	92	110	135	166	217	273	356	425	563	679	915	1224	1643
户外露天	12.5	15	25	37	51	64	78	104	150	155	190	254	506	585	592	599	794	957	1290	1725	2316	
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_2 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																				

表 16-2-96

NBD、NBF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i								
		20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
250	600	20.5	18.9	13.9	11.4	11.4	10.2	7.6	7.6	7.6
	750	25.6	23.7	17.3	14.2	14.2	12.8	9.6	9.6	9.4
	1000	34.1	31.5	23.0	18.9	18.9	17.2	12.9	12.9	12.2
	1500	51.1	47.2	34.1	28.2	28.2	25.3	19.5	19.5	17.6

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i								
		20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
280	600	35.0	30.9	22.8	18.6	18.6	16.3	12.1	12.1	11.5
	750	43.7	38.6	28.4	23.2	23.2	20.5	15.3	15.3	14.1
	1000	58.3	51.5	37.7	31.1	31.1	27.5	20.4	20.4	18.2
	1500	85.6	75.4	56.0	45.9	45.9	40.4	30.0	30.0	26.2
315	600	45.7	38.9	28.1	23.2	23.2	20.9	15.6	15.6	15.6
	750	57.1	48.5	35.1	28.9	28.9	26.2	19.6	19.6	19.5
	1000	76.0	64.3	46.4	38.4	38.4	35.2	26.3	26.3	25.3
	1500	113.8	95.5	68.8	56.9	56.9	51.7	38.5	38.5	35.1
355	600	68.3	60.5	41.9	34.5	34.5	30.5	22.6	22.6	22.6
	750	85.3	76.0	52.3	43.1	43.1	38.2	28.3	28.3	28.3
	1000	113.6	98.9	69.3	56.5	56.5	51.4	38.1	38.1	38.1
	1500	170.0	150.5	102.8	85.0	85.0	75.4	56.0	56.0	53.2
400	600	84.3	77.8	52.7	43.8	43.8	41.3	28.2	28.2	28.2
	750	105.3	97.2	65.5	54.6	54.6	51.5	35.4	35.4	35.4
	1000	140.2	129.4	86.7	72.4	72.4	68.4	47.6	47.6	47.6
	1500	209.6	193.6	128.3	107.3	107.3	101.4	69.8	69.8	65.8
450	600	137.1	124.1	84.6	69.8	69.8	63.1	46.9	46.9	46.9
	750	171.1	156.0	105.3	86.9	86.9	79.3	52.8	52.8	52.8
	1000	228.4	208.6	139.4	115.2	115.2	103.1	76.6	76.6	76.6
	1500	341.7	304.9	205.8	170.6	170.6	156.4	116.3	116.3	115.0
500	600	163.1	150.5	110.2	91.0	91.0	85.5	64.5	64.5	62.5
	750	203.5	187.9	137.0	113.2	113.2	105.0	81.0	81.0	78.2
	1000	270.8	250.0	181.1	149.8	149.8	141.0	105.4	105.4	98.6
	1500	404.2	373.5	266.9	221.5	221.5	208.5	159.8	159.8	142.3
560	600	265.4	234.3	180.7	149.3	149.3	137.9	102.5	102.5	94.4
	750	331.3	292.5	224.6	185.7	185.7	167.9	124.6	124.6	115.4
	1000	440.6	389.3	296.5	245.5	245.5	225.5	167.5	167.5	143.7
	1500	657.7	581.4	436.0	362.2	362.2	341.1	254.1	254.9	207.4
630	600	330.4	305.0	272.9	235.8	235.8	193.7	172.3	150.5	129.1
	750	412.4	380.7	340.6	294.5	294.5	241.9	215.3	185.8	153.8
	1000	548.3	506.4	453.2	391.9	391.9	322.0	286.7	241.0	199.4
	1500	818.1	755.8	676.8	585.6	585.6	481.7	428.9	348.0	288.0
710	600	531.5	490.7	410.3	342.8	342.8	314.9	230.6	230.2	194.3
	750	663.2	612.4	508.2	425.1	425.1	393.2	289.9	277.2	228.3
	1000	881.6	814.2	667.4	559.5	559.5	523.5	389.5	359.6	296.1
	1500	1314.3	1214.4	971.8	818.3	818.3	773.8	566.6	519.2	427.6
800	600	651.6	601.6	538.3	465.4	407.0	381.7	339.6	297.1	253.3
	750	812.3	750.6	671.8	580.9	508.2	476.6	324.2	371.0	309.9
	1000	1080.0	997.6	893.2	772.6	676.3	634.4	564.7	486.2	402.0
	1500	1609.1	1487.0	1332.2	1153.3	1010.7	948.2	844.4	702.3	580.7
900	600	1057.9	976.9	844.9	700.0	665.8	624.4	527.4	493.9	405.1
	750	1318.9	1218.2	1044.3	866.3	831.1	779.5	663.2	616.5	505.8
	1000	1751.1	1617.9	1366.8	1137.7	1105.5	1037.0	854.9	820.2	669.9
	1500	2604.7	2408.0	1977.4	1655.0	1650.7	1548.9	1295.0	1224.7	968.0
1000	600	1301.8	1150.2	1033.1	893.4	802.0	752.5	669.5	583.8	481.1
	750	1662.4	1434.1	1288.4	1114.6	1001.0	938.9	835.8	728.7	600.5
	1000	2152.8	1903.9	1711.3	1481.1	1331.1	1248.8	1111.9	969.1	798.8
	1500	3198.2	2831.6	2547.2	2206.9	1986.4	1864.1	1660.7	1446.4	1192.7
1120	600	2019.9	1784.9	1603.2	1386.5	1211.1	1135.9	1011.0	885.7	759.8
	750	2517.1	2225.0	1999.1	1717.1	1511.5	1417.8	1262.1	1105.5	931.6
	1000	3339.0	2953.3	2654.7	2244.9	2010.1	1885.7	1679.1	1469.0	1209.4
	1500		4390.3	3857.9	3241.3	2999.4	2814.7	2507.7	2123.8	1748.5
1250	600	2496.3	2305.7	2064.3	1785.7	1565.4	1468.2	1307.0	1141.2	978.9
	750	3109.8	2873.0	2573.2	2226.8	1953.0	1832.0	1631.1	1423.9	1221.6
	1000	4123.2	3811.1	3415.1	2957.1	2595.9	2435.5	2169.2	1892.8	1624.1
	1500			5074.4	4400.1	3869.4	3631.8	3236.8	2822.2	2351.8

续表

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i								
		20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50
1400	600	3985.8	3682.0	3040.6	2554.1	2517.2	2370.3	1949.0	1732.9	1486.5
	750	4963.4	4586.4	3731.1	3142.3	3140.2	2957.2	2350.5	2162.0	1854.8
	1000	6575.3	6079.7	4827.6	4082.7	4082.7	3860.8	3154.7	2873.5	2465.7
	1500				5826.0	5826.0	5516.9	4685.7	4241.8	3492.7
1600	600	5380.0	4969.7	4449.8	3849.6	3040.3	2852.0	2539.2	2219.7	1904.3
	750	6700.8	6191.4	5545.6	4779.6	3791.7	3557.3	3167.9	2768.4	2375.4
	1000	8880.9	8209.6	7357.6	6371.9	5036.2	4726.0	4210.3	3677.4	3156.1
	1500						7038.3	6275.2	5475.1	4701.1
1800	600	7840.8	7243.4	6135.8	5118.6	4947.5	4640.8	4131.5	3671.2	1013.1
	750	9763.0	9012.8	7502.8	6279.0	6171.5	5789.6	5155.3	4579.7	3769.6
	1000			9653.6	8119.7	8119.7	7656.2	6853.7	6085.4	4997.9
	1500									
2000	600	9564.1	8457.5	7601.2	6578.4	5912.5	5546.4	4938.5	4305.2	3549.6
	750	11899.5	10528.4	9466.3	8196.7	7372.2	6216.8	6160.2	5368.8	4427.7
	1000				10870.9	9789.0	9186.7	8185.4	7130.5	5883.1
	1500									

表 16-2-97

NBD、NBF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																		
没有冷却措施	环境条件	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
		P_{G1}/kW																		
	小空间、小厂房	8	11	16	20	24.5	33	41	49	60	71	93	117	153	182	242	292	393	526	707
较大空间或厂房	12	17	24	30	36.5	49	61	73.5	90	107	140	176	230	274	363	438	590	790	1060	
户外露天	17	24	34	42	52	69	87	104	128	152	199	249	326	389	515	622	838	1121	1500	
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_2 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																		

表 16-2-98

NCD、NCF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i											
		112	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
315	600	8.1	7.2	6.3	4.8	4.1	3.9	3.2	3.2	2.9	2.7	2.5	2.2
	750	10.1	9.0	7.9	6.0	5.1	4.8	3.9	3.9	3.7	3.3	3.2	2.7
	1000	13.5	12.0	10.7	7.9	6.8	6.4	5.3	5.3	5.0	4.5	4.2	3.6
	1500	20.3	18.1	15.9	11.9	10.3	9.6	7.9	7.9	7.3	6.5	6.3	5.5
355	600	12.0	10.8	10.0	7.1	6.2	5.7	4.7	4.7	4.5	3.9	3.9	3.4
	750	15.1	13.6	12.4	8.9	7.7	7.2	5.9	5.9	5.6	5.0	5.0	4.2
	1000	20.1	18.1	16.6	11.9	10.2	9.6	7.9	7.9	7.3	6.6	6.6	5.6
	1500	30.1	27.1	24.5	17.8	15.4	14.4	11.9	11.9	10.5	9.5	9.5	8.5
400	600	14.9	13.4	12.3	9.0	7.8	7.3	6.0	6.0	5.6	5.1	5.0	4.2
	750	18.7	16.7	15.4	11.2	9.6	9.0	7.5	7.5	7.1	6.3	6.2	5.3
	1000	24.9	22.3	20.5	14.9	12.9	12.1	10.1	10.1	9.5	8.5	8.3	7.1
	1500	37.3	33.4	30.8	22.4	19.3	18.1	15.1	15.1	14.2	12.6	12.4	10.7
450	600	24.4	21.8	20.1	14.5	12.4	11.7	9.6	9.6	9.0	8.0	8.0	6.7
	750	30.5	27.2	25.2	18.1	15.6	14.7	12.0	12.0	11.3	10.1	10.1	8.4
	1000	40.7	36.3	33.5	24.1	20.8	19.5	16.0	16.0	15.1	13.4	13.4	11.2
	1500	61.0	54.5	50.4	36.1	31.1	29.2	23.8	23.8	21.8	19.7	19.7	16.8

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i											
		112	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
500	600	28.9	26.0	23.9	18.9	16.5	15.5	12.8	12.8	12.0	10.0	9.2	7.6
	750	36.2	32.4	30.0	23.7	20.6	19.4	15.9	15.9	15.0	12.4	11.5	9.5
	1000	48.2	43.3	39.9	31.5	27.5	25.9	21.3	21.3	20.0	16.6	15.4	12.7
	1500	74.4	64.9	59.9	47.1	41.1	38.7	31.8	31.8	29.0	24.9	23.2	19.1
560	600	47.2	42.2	37.2	31.1	26.9	25.2	20.7	20.4	19.1	17.0	14.8	12.7
	750	58.9	52.7	46.5	38.9	33.5	31.5	25.9	25.5	23.8	21.2	18.6	15.9
	1000	78.6	70.3	62.0	51.7	44.7	41.9	34.5	34.0	31.8	28.3	24.8	21.3
	1500	117.8	105.4	93.0	77.4	66.8	62.8	51.6	50.8	45.8	41.2	37.2	31.9
630	600	58.6	52.6	48.5	43.4	37.4	35.1	30.3	26.6	24.9	22.1	19.3	16.5
	750	73.2	66.2	60.6	54.2	46.8	43.9	37.9	33.2	31.1	27.7	24.2	20.7
	1000	97.6	87.6	80.8	72.3	62.4	58.5	50.5	44.2	41.4	36.8	32.3	27.6
	1500	146.2	131.3	121.12	108.3	93.6	87.8	75.8	66.3	62.2	55.3	48.3	41.4
710	600	94.3	84.6	78.1	70.0	60.5	56.7	48.1	43.0	40.4	36.0	31.6	27.1
	750	117.9	105.8	97.6	87.5	75.6	70.8	60.0	53.8	50.6	45.0	39.5	33.9
	1000	157.1	141.0	130.1	116.7	100.8	94.5	79.9	71.6	67.4	60.0	52.7	45.2
	1500	235.5	211.3	195.0	174.9	151.1	141.6	119.5	107.5	101.1	90.0	78.9	67.7
800	600	116.1	103.8	95.8	85.7	74.0	69.4	60.0	52.3	49.1	43.6	38.2	32.8
	750	145.1	129.7	119.8	107.1	92.5	86.7	74.9	65.4	61.3	54.5	47.7	40.9
	1000	193.4	173.0	159.6	142.8	123.3	115.6	99.9	87.2	81.8	72.7	63.7	54.6
	1500	289.8	259.2	239.2	214.0	184.8	173.4	149.7	130.9	122.7	109.1	95.5	81.9
900	600	188.9	169.4	156.3	139.7	121.7	114.5	98.9	87.0	81.6	68.0	60.4	49.5
	750	236.0	211.6	195.3	174.6	152.1	143.1	123.6	108.8	102.0	84.9	75.5	61.9
	1000	314.5	281.9	260.2	232.7	202.7	190.8	164.8	145.0	135.9	113.2	100.7	82.6
	1500	470.9	422.3	389.8	348.7	303.7	285.9	247.0	217.3	203.7	169.7	150.9	123.8
1000	600	232.8	208.1	183.6	164.9	142.4	133.5	115.3	103.3	96.9	86.2	75.2	61.9
	750	290.7	260.1	229.5	206.0	177.9	166.8	144.1	129.2	121.1	107.7	94.0	77.4
	1000	387.4	346.5	305.9	274.5	237.1	222.3	192.1	172.2	161.5	143.6	125.3	103.2
	1500	580.1	519.0	458.1	411.2	355.3	333.2	287.9	258.1	242.0	215.3	187.9	154.7
1120	600	361.3	323.1	285.2	255.9	221.0	207.3	179.0	156.1	146.3	130.2	114.1	97.9
	750	451.4	403.7	356.4	319.8	276.3	259.0	223.8	195.1	182.9	162.7	142.7	122.4
	1000	601.3	537.9	474.8	426.1	368.2	345.2	298.2	260.1	243.8	216.9	190.2	163.1
	1500	900.4	805.5	711.1	638.4	551.6	517.3	447.0	389.8	365.5	325.2	285.0	244.5
1250	600	445.5	399.8	368.9	329.9	285.0	267.3	230.9	202.0	189.3	168.4	147.2	126.2
	750	556.5	499.5	461.0	412.3	356.2	333.9	288.5	252.4	236.7	210.5	184.0	157.7
	1000	741.3	665.4	614.1	549.3	474.6	445.0	384.5	336.5	315.5	280.6	245.2	210.2
	1500	1109.7	996.3	919.7	822.8	711.0	666.7	576.2	504.3	472.8	420.7	367.5	315.1
1400	600	712.3	639.2	589.9	528.9	456.9	428.4	369.4	325.0	305.9	272.1	238.8	204.8
	750	889.7	798.5	737.0	660.7	570.9	535.3	460.7	406.1	382.3	340.0	298.5	256.0
	1000	1184.9	1063.6	981.7	880.3	760.7	713.3	612.1	541.3	509.5	453.3	397.8	341.1
	1500	1773.5	1592.3	1469.9	1318.3	1139.4	1068.5	911.6	811.2	763.6	679.4	596.2	511.3
1600	600	964.2	862.4	795.8	711.7	614.8	576.5	498.0	392.9	368.4	327.7	286.8	245.9
	750	1204.5	1077.3	994.2	889.2	768.3	720.3	622.3	491.0	460.4	409.6	358.4	307.3
	1000	1604.0	1435.0	1324.5	1184.7	1023.6	959.9	829.3	654.4	613.6	545.8	477.7	409.6
	1500		2148.4	1983.2	1774.2	1533.4	1437.9	1242.6	980.6	919.5	818.1	715.8	613.8
1800	600	1406.5	1261.1	1163.9	1040.9	906.6	853.3	737.2	648.2	607.8	506.3	450.4	369.3
	750	1756.9	1575.3	1454.0	1300.4	1132.7	1066.2	921.1	810.6	759.6	632.7	562.8	461.5
	1000	2339.8	2098.3	1936.8	1732.3	1509.1	1420.6	1227.4	1079.7	1012.4	843.3	750.1	615.1
	1500					2260.3	2127.8	1838.9	1618.1	1517.2	1264.2	1124.2	922.0
2000	600	1720.0	1538.5	1357.9	1218.7	1052.9	987.2	852.9	764.6	716.9	637.7	556.5	458.4
	750	2148.2	1921.6	1696.3	1522.5	1315.5	1233.5	1065.7	955.4	895.9	797.0	695.4	572.9
	1000	2860.4	2559.0	2259.3	2028.0	1752.5	1643.3	1420.0	1273.3	1193.9	1062.1	926.8	763.5
	1500						2461.0	2127.0	1907.9	1789.0	1591.8	1388.8	1144.2

表 16-2-99

NCD、NCF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																
没有冷却措施	环境条件	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
		P_{G1}/kW																
	小空间、小厂房	11	13.5	16.5	22	27	32.5	43	47	62	78	110	131	189	211	290	403	541
	较大空间或厂房	16	20	24.3	33	41	49	64	71	93	117	164	196	279	392	421	585	785
户外露天		22.5	28	34	46.5	58	69	90	100	131	175	231	276	323	439	594	625	1107
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_2 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																

表 16-2-100

NAZD、NAZF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \min^{-1}$	公称传动比 i						规格	$n_1/r \cdot \min^{-1}$	公称传动比 i					
		10	11.2	12.5	14	16	18			10	11.2	12.5	14	16	18
200	600	14.1	13.4	12.5	10.9	9.9	7.9	500	600	214.7	214.7	198.6	166.2	150.5	120.3
	750	15.0	15.0	14.3	11.9	10.7	8.5		750	244.8	244.8	235.6	196.9	178.1	142.1
	1000	19.4	19.4	18.1	15.0	13.6	10.7		1000	323.0	323.0	299.5	250.4	226.5	180.7
	1500	28.5	28.5	26.3	21.9	19.7	15.6		1500	478.1	478.1	442.0	370.0	334.9	267.4
224	600	19.5	19.5	18.1	15.2	13.7	10.9	560	600	321.1	321.1	265.0	221.5	200.5	160.0
	750	21.1	21.1	19.5	16.3	15.2	12.0		750	328.4	328.4	303.1	263.8	238.5	190.0
	1000	27.5	27.5	25.3	21.0	19.1	15.2		1000	484.5	484.5	400.0	335.6	303.4	241.9
	1500	40.4	40.4	37.2	30.9	27.9	22.1		1500	641.4	641.4	592.5	496.0	448.8	358.0
250	600	25.3	25.3	24.2	20.4	18.5	14.7	630	600	470.7	470.7	435.0	380.2	344.5	276.0
	750	32.0	32.0	26.5	22.1	19.9	16.4		750	579.8	574.9	535.5	449.4	406.9	339.4
	1000	37.4	37.4	34.5	28.7	25.9	20.7		1000	774.1	772.3	715.1	598.9	542.3	435.2
	1500	52.9	52.9	50.8	42.3	38.1	30.2		1500	1137.8	1137.8	1051.8	896.6	812.4	649.8
280	600	33.5	33.5	31.0	27.0	24.4	19.6	710	600	681.2	681.2	629.8	528.5	499.5	400.8
	750	38.5	38.5	35.4	29.6	26.7	21.3		750	846.7	846.7	782.1	654.9	594.5	476.1
	1000	50.5	50.5	46.5	38.7	34.9	27.7		1000	1131.1	1131.1	1045.0	875.5	793.1	635.2
	1500	71.4	71.4	65.8	57.1	51.5	40.8		1500		1662.0	1536.7	1289.2	1168.6	925.4
315	600	50.9	50.9	47.1	39.8	36.2	30.1	800	600	947.2	922.8	863.3	742.1	673.5	541.7
	750	60.0	60.0	55.3	46.2	41.8	33.4		750	1196.1	1160.1	1085.3	927.4	840.6	674.3
	1000	79.1	79.1	73.0	60.8	54.9	43.7		1000	1598.3	1558.8	1458.2	1240.0	1124.2	902.4
	1500	112.3	112.3	103.5	86.3	78.0	64.7		1500				1824.2	1655.4	1330.2
355	600	76.6	76.6	71.6	59.8	54.4	43.5	900	600	1320.3	1320.3	1226.4	1038.9	946.5	762.7
	750	89.8	89.8	82.8	69.3	62.7	50.0		750	1701.1	1701.1	1572.1	1318.0	1194.3	957.0
	1000	118.6	118.6	109.4	91.3	82.6	65.8		1000	2238.3	2238.3	2069.6	1765.3	1600.2	1283.1
	1500	168.4	168.4	155.5	129.9	117.4	93.6		1500						1810.5
400	600	113.4	113.4	105.2	88.6	80.4	64.4	1000	600	1728.3	1728.3	1618.0	1392.4	1274.4	1034.5
	750	134.4	134.4	124.1	103.8	94.0	75.0		750	2323.9	2323.9	2148.1	1801.0	1631.8	1307.0
	1000	170.7	170.7	157.5	137.3	124.2	99.1		1000	3060.2	3060.2	2829.3	2373.2	2186.4	1752.3
	1500	251.6	251.6	232.3	195.5	176.9	141.2		1500						
450	600	159.4	159.4	147.6	123.5	111.9	89.5	1120	600	2168.0	2168.0	2035.6	1762.9	1623.9	1344.6
	750	118.4	118.4	113.9	94.5	86.1	70.0		750	3060.0	3060.0	2829.6	2375.2	2153.3	1725.6
	1000	239.3	239.3	220.9	184.7	167.1	138.9		1000			3727.4	3130.2	2838.4	2313.0
	1500	352.9	352.9	325.9	272.8	264.9	198.2		1500						

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i						规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i								
		10	11.2	12.5	14	16	18			10	11.2	12.5	14	16	18			
1250	600	3456.0	3456.0	3246.0	2812.8	2591.8	2147.1	1400	1000									5297.2
	750	4808.7	4808.7	4447.2	3795.6	3441.4	2758.5		1500									
	1000					4532.4	3634.6	1600	600	4879.0	4879.0	4655.3	4238.6	3973.0	3413.5			
	1500								750				7581.9	6888.6	5546.0			
1400	600	3940.6	3940.6	3800.8	3364.1	3134.2	2657.1	1000										
	750			6430.6	5407.5	4906.6	4005.0	1500										

表 16-2-101

NAZD、NAZF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																		
没有冷 却措施	环境条件	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
		P_{G1}/kW																		
	小空间、小厂房	6	8	11	16	23	28	35	47	58	69	85	104	136	171	223	267	353	425	573
	较大空间或厂房	8.5	12	17	24	34	42	52	70	87	103	127	156	204	257	335	400	529	628	860
户外露天		12	17	24	34	48	59	73	98.7	123	145	179	220	288	362	472	564	746	899	1212
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_2 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																		

表 16-2-102

NBZD、NBZF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i							
		56	63	71	80	90	100	112	125
250	600	6.3	6.0	5.5	4.8	4.5	3.9	3.4	2.6
	750	7.9	7.3	6.7	6.0	5.6	5.0	4.3	3.2
	1000	10.5	9.8	9.0	7.9	7.3	6.4	5.7	4.3
	1500	16.0	14.9	13.6	11.9	11.0	9.7	8.4	6.2
280	600	10.6	9.9	8.9	7.8	7.3	6.3	5.6	4.1
	750	12.8	11.9	10.7	9.7	9.0	7.9	6.8	5.1
	1000	17.2	16.1	14.4	12.5	11.7	10.2	8.8	6.8
	1500	26.0	24.3	21.8	19.0	17.6	15.5	13.4	9.9
315	600	13.0	12.1	10.9	9.7	9.0	8.1	7.1	5.3
	750	16.3	15.2	13.7	11.9	11.1	10.2	8.8	6.5
	1000	21.8	20.4	18.4	16.0	14.9	13.1	11.3	8.8
	1500	32.7	30.7	27.7	24.2	22.6	19.9	17.7	12.8
355	600	18.8	17.6	15.9	14.5	13.5	11.9	10.3	7.7
	750	23.7	22.1	20.0	17.5	16.3	14.3	12.8	9.5
	1000	31.7	29.7	26.9	23.4	21.8	19.2	16.4	12.2
	1500	48.1	45.0	40.7	35.4	32.9	29.0	24.9	18.5
400	600	24.9	23.3	21.1	18.4	17.2	16.2	14.0	9.6
	750	31.1	29.1	26.4	23.0	21.5	20.3	17.4	11.9
	1000	41.4	38.7	35.1	30.6	28.6	27.0	23.2	15.3
	1500	61.8	57.7	52.3	45.8	42.7	40.2	34.8	23.1
450	600	38.7	36.2	33.1	28.8	26.9	23.6	21.5	15.9
	750	48.7	45.4	41.5	36.2	33.6	29.6	25.5	18.9
	1000	65.2	61.0	55.7	48.5	45.1	39.7	34.1	25.4
	1500	97.3	91.8	83.8	72.9	68.0	60.1	51.6	38.4
500	600	51.4	48.0	43.9	38.4	35.8	32.3	28.2	21.9
	750	64.0	60.0	54.8	47.9	44.7	40.5	34.8	26.0
	1000	85.0	79.7	72.8	63.8	59.4	54.3	46.6	34.9
	1500	126.7	118.7	108.5	95.0	88.6	82.2	70.6	52.7

续表

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i							
		56	63	71	80	90	100	112	125
560	600	83.4	79.6	71.4	62.3	58.0	51.5	45.1	33.4
	750	106.0	99.4	89.1	77.8	72.5	64.7	55.5	41.3
	1000	140.8	131.9	118.8	103.7	96.7	86.7	74.6	55.4
	1500	209.6	196.4	178.0	155.5	144.9	131.4	112.8	83.8
630	600	113.3	106.1	92.9	81.1	75.6	70.8	61.1	54.4
	750	141.5	132.6	116.1	101.4	94.5	88.6	76.4	67.9
	1000	188.5	176.8	154.7	135.1	125.9	118.0	101.8	90.6
	1500	282.2	264.6	231.7	202.5	188.7	176.9	152.5	135.7
710	600	177.9	166.8	150.5	131.4	122.4	115.3	99.3	77.6
	750	221.5	207.8	188.1	164.3	153.0	144.0	124.1	95.8
	1000	293.4	275.4	250.5	218.9	204.0	192.0	165.4	128.6
	1500	434.6	408.3	375.2	328.0	305.5	287.7	248.0	194.8
800	600	223.7	209.6	183.2	160.0	149.1	139.8	120.5	107.2
	750	279.3	261.8	228.9	200.0	186.3	174.7	150.6	133.9
	1000	372.1	348.8	304.9	266.4	248.2	232.8	200.6	178.5
	1500	556.9	522.1	456.7	399.1	371.9	348.8	300.7	267.5
900	600	363.6	340.8	299.8	261.9	244.1	228.9	197.2	175.5
	750	453.6	425.6	374.5	327.3	304.9	286.0	246.5	219.0
	1000	600.1	563.5	499.0	435.9	406.3	381.0	328.5	292.2
	1500		833.2	746.8	652.8	608.4	570.6	492.0	431.2
1000	600	429.9	402.9	361.4	315.7	294.2	275.9	237.8	211.5
	750	536.8	503.2	451.4	394.4	367.5	344.6	297.1	264.3
	1000	714.6	670.0	601.2	525.3	489.6	459.1	395.8	352.2
	1500				786.4	733.0	687.4	592.8	527.5
1120	600	667.3	625.5	545.7	476.7	444.2	416.5	359.1	319.5
	750	833.3	781.1	681.7	595.5	555.0	520.4	448.7	399.1
	1000	1109.1	1039.8	907.8	793.3	739.3	690.7	597.8	531.9
	1500							895.3	796.7
1250	600	860.0	806.2	705.8	616.7	574.6	538.9	464.6	413.3
	750	1073.8	1006.6	881.6	770.3	717.9	673.2	580.3	516.3
	1000	1428.9	1339.7	1380.9	1025.8	956.0	896.5	773.1	687.9
	1500								
1400	600	1348.6	1266.3	1135.5	992.0	924.4	870.2	750.2	625.0
	750	1672.4	1571.2	1417.9	1239.0	1154.7	1087.0	937.2	780.9
	1000		2069.4	1887.7	1649.9	1537.7	1447.7	1248.3	1040.4
	1500								
1600	600	1854.6	1738.5	1372.2	1199.0	1117.4	1047.7	903.3	803.7
	750	2315.3	2170.6	1713.5	1497.4	1395.6	1308.7	1128.4	1004.1
	1000					1858.1	1742.6	1502.8	1337.4
	1500								

表 16-2-103

NBZD、NBZF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																
没有冷却措施	环境条件	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
	环境条件																	
	小空间、小厂房	7.3	11	15	19	23	30	38	45	56	66	87	109	143	170	225	271	366
	较大空间或厂房	11	16	22	28	34	45	57	68	84	99	130	164	214	255	337	407	549
户外露天		15.5	23	31	39.5	48	63.5	80	96	118	140	183	231	302	359	475	574	774
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_Z 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																

表 16-2-104

NCZD、NCZF 减速器高速轴公称输入功率 P_1

kW

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i											
		355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250
315	600	2.6	2.0	1.8	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.8	0.7	0.6
	750	3.3	3.3	2.3	2.2	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8
	1000	4.5	3.5	3.1	2.8	2.3	2.1	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
	1500	6.8	5.2	4.5	4.3	3.4	3.1	2.9	2.7	2.4	2.1	1.9	1.7
355	600	4.2	3.2	2.8	2.5	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
	750	5.2	3.9	3.5	3.2	2.5	2.3	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2
	1000	6.9	5.3	4.6	4.4	3.4	3.1	2.9	2.7	2.4	2.1	2.0	1.6
	1500	10.4	8.0	6.9	6.5	5.1	4.6	4.4	4.0	3.6	3.1	2.9	2.6
400	600	5.3	4.0	3.6	3.3	2.5	2.3	2.2	2.1	1.8	1.6	1.5	1.2
	750	6.7	5.1	4.5	4.2	3.2	2.9	2.8	2.6	2.2	2.0	1.8	1.5
	1000	8.9	6.9	6.1	5.6	4.3	3.9	3.7	3.4	3.0	2.6	2.5	2.0
	1500	13.4	10.4	9.1	8.5	6.5	5.9	5.6	5.1	4.6	3.9	3.7	3.1
450	600	9.0	6.9	6.1	5.6	4.2	3.8	3.5	3.3	2.9	2.5	2.3	2.1
	750	11.3	8.7	7.6	7.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.6	3.1	2.9	2.5
	1000	15.0	11.5	10.0	9.4	6.8	6.2	5.9	5.5	4.9	4.2	3.9	3.3
	1500	22.5	17.3	15.2	14.2	10.4	9.5	8.9	8.3	7.3	6.3	5.9	4.9
500	600	10.6	8.3	7.2	6.8	5.5	5.0	4.7	4.4	3.6	3.1	2.8	2.4
	750	13.3	10.3	9.1	8.5	6.8	6.2	5.8	5.5	4.5	3.9	3.5	2.9
	1000	17.8	13.9	12.0	11.4	9.2	8.4	7.9	7.3	6.1	5.2	4.7	3.9
	1500	26.7	20.7	18.2	17.1	13.7	12.5	11.8	10.9	9.1	7.9	7.1	6.0
560	600	16.2	12.5	10.9	10.3	8.8	7.9	7.4	6.9	6.2	5.3	4.7	4.1
	750	20.3	15.7	13.6	12.9	11.1	10.0	9.3	8.7	7.7	6.7	5.8	5.0
	1000	27.0	21.0	18.2	17.1	14.7	13.3	12.4	11.6	10.3	8.9	7.8	6.7
	1500	40.6	31.4	27.4	25.7	22.1	19.9	18.7	17.4	15.5	13.4	11.7	10.0
630	600	21.8	16.8	14.7	13.7	11.9	10.4	9.7	9.0	8.0	6.9	6.1	5.3
	750	27.2	21.0	18.3	17.2	14.8	13.0	12.2	11.3	10.1	8.7	7.6	6.5
	1000	36.3	28.0	24.4	22.9	19.8	17.3	16.3	15.1	13.5	11.6	10.2	8.7
	1500	54.4	42.0	36.8	34.4	29.7	26.0	24.3	22.7	20.2	17.4	15.2	13.0
710	600	35.1	27.2	23.7	22.2	18.9	16.9	15.8	14.7	13.1	11.3	10.0	8.7
	750	43.8	34.0	29.6	27.7	23.6	21.0	19.8	18.5	16.4	14.1	12.4	10.7
	1000	58.4	45.3	39.5	37.0	31.5	28.1	26.4	24.6	21.9	18.8	16.5	14.1
	1500	87.7	67.9	59.3	55.5	47.1	42.1	39.6	36.9	32.8	28.3	24.9	21.3
800	600	43.0	33.2	29.0	27.2	23.5	20.5	19.2	17.9	15.9	13.7	12.1	10.6
	750	53.8	41.5	36.2	34.0	29.4	25.6	24.0	22.4	19.9	17.1	15.0	12.9
	1000	71.7	55.4	48.4	45.3	39.1	34.2	32.1	29.9	26.6	22.9	20.0	17.1
	1500	107.6	83.1	72.5	68.0	58.8	51.3	48.1	44.8	39.9	34.4	30.0	25.8
900	600	70.2	54.6	47.7	44.9	38.8	34.1	32.0	29.8	24.8	21.4	19.3	16.1
	750	87.7	68.3	59.6	56.1	48.5	42.6	40.0	37.3	31.0	26.7	23.8	19.5
	1000	117.0	91.1	79.5	74.8	64.6	56.8	53.3	49.7	41.3	35.7	31.7	26.0
	1500	175.4	136.5	119.3	112.3	97.0	85.3	79.9	74.5	62.0	53.4	47.6	39.0
1000	600	82.5	64.0	55.9	52.4	45.3	40.5	37.9	35.4	31.5	27.2	23.8	20.0
	750	103.1	79.9	69.8	65.5	56.6	50.7	47.5	44.2	39.4	33.9	29.6	24.3
	1000	137.5	106.5	93.1	87.2	75.3	67.5	63.4	59.0	52.5	45.3	39.5	32.5
	1500	206.2	159.8	139.6	103.9	113.1	101.4	95.0	88.5	78.7	67.9	59.2	48.7
1120	600	128.1	99.3	86.7	81.3	70.2	61.2	57.4	53.5	47.6	41.0	36.2	31.6
	750	160.2	124.1	108.4	101.6	87.8	76.5	71.8	66.8	59.5	51.5	44.9	38.5
	1000	213.5	165.5	144.5	135.5	117.1	102.0	95.7	89.1	79.5	68.3	59.5	51.4
	1500	320.1	248.2	216.7	203.2	175.6	153.0	143.4	133.7	118.9	102.5	89.9	77.0

续表

规格	$n_1/r \cdot \text{min}^{-1}$	公称传动比 i											
		355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250
1250	600	165.8	128.0	111.9	104.8	90.6	79.3	74.2	69.2	61.6	53.1	46.7	40.8
	750	207.3	160.1	139.8	131.1	113.2	99.1	92.9	86.5	77.0	66.3	57.9	49.7
	1000	276.2	213.3	186.4	174.4	150.9	132.0	123.8	115.3	102.5	88.4	77.2	66.3
	1500			279.4	262.0	226.3	198.0	185.7	173.0	153.9	132.6	115.9	99.3
1400	600	265.2	205.3	179.3	168.2	145.6	127.5	120.0	111.8	99.4	85.7	75.6	66.0
	750	331.5	256.7	224.2	210.2	181.9	159.3	150.0	139.8	124.3	107.1	94.0	80.6
	1000	441.7	342.1	298.8	280.1	242.1	212.5	200.0	186.3	165.7	142.8	125.4	107.5
	1500										214.2	188.1	161.2
1600	600	357.7	276.3	241.4	226.2	195.5	154.1	144.5	134.7	119.8	103.2	91.0	79.4
	750	447.1	345.3	301.6	282.7	244.2	192.7	180.7	168.3	149.7	129.1	112.9	96.9
	1000	595.9	460.3	402.1	376.9	325.6	256.9	240.8	224.4	199.6	172.0	150.6	129.1
	1500												
1800	600	523.2	407.4	355.8	334.9	289.3	254.4	238.5	222.2	185.1	159.5	144.1	120.3
	750	653.9	509.2	444.8	418.6	361.6	317.9	298.0	277.7	231.1	199.4	177.3	145.4
	1000	871.5	678.8	592.8	558.0	482.2	423.8	397.4	370.2	308.3	265.7	236.4	192.1
	1500												
2000	600	608.9	473.3	413.4	387.6	334.8	300.1	281.3	262.1	233.1	200.9	176.7	148.2
	750	763.1	591.6	516.7	484.4	418.4	375.1	351.6	327.6	291.4	251.1	219.2	180.5
	1000									436.8	388.5	334.8	292.2
	1500												

表 16-2-105

NCZD、NCZF 减速器热功率 P_{G1} 、 P_{G2}

散热冷却条件		规格																	
没有冷却措施	环境条件	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	
		P_{G1}/kW																	
	小空间、小厂房	10	12.5	15.8	21	27	32	42	46	61	77	107	128	175	195	265	367	492	
	较大空间或厂房	15	18.8	23.8	32	40	48	63	69.5	91	115	161	192	262	293	395	550	738	
户外露天	21	26	33	45	56	67	88	97	127	161	225	269	367	410	553	770	1033		
稀油站循环油润滑		P_{G2} 按载荷 P_2 及其工况条件、稀油站的流量和容积来确定																	

7.1.4 减速器的选用

本标准减速器的承载能力受机械强度和热平衡许用功率两方面的限制，必须满足这两方面的功率表。

(1) 工况条件和设计要求

- ① 原动机类型，原动机额定功率 P ，减速器输入转速 n_1 。
- ② 减速器的输出转速 n_2 或要求传动比 i 。
- ③ 工作机的名称或载荷特性（每小时启动次数、短时过载及振动冲击大小等）。
- ④ 工作机的重要性、减速器的使用寿命及可靠性、安全要求等。
- ⑤ 每小时内载荷持续率。

⑥ 减速器的装配型式与原动机、工作机的连接方式。

⑦ 工作环境温度、通风条件、厂房大小。

(2) 按减速器机械强度限制的公称功率 P_1 初选减速器

前面所列按机械强度计算的公称输入功率 P_1 ，是按下面原始条件计算而得的：驱动减速器的原动机为电机、汽轮机或水力机；减速器每日工作在 3h 以内，每小时启动次数不超过 5 次；带动的工作机械为中等以下冲击载荷，或每日工作在 10h 以内载荷均匀、仅有轻微冲击的载荷。当不同原动机、不同工作载荷 (P_2) 性质时，应考虑工况系数 K_A 和安全系数 S_A ，即按下式计算选用功率 P_{2m} ：

$$P_{2m} = P_2 K_A S_A \quad (16-2-23)$$

式中 P_2 —— 载荷功率 (当未给出载荷功率或转矩时，可以原动机的额定功率 P 代替 P_2 计算)，kW；

K_A —— 减速器工况系数，见表 16-2-8；

S_A —— 减速器安全系数，见表 16-2-9。

按给定的 n_1 、 i 和计算的 P_{2m} ，根据前面各功率表查出减速器的 P_1 ，使其满足下式：

$$P_1 \geq P_{2m}$$

当给定的 n_1 与功率表中某挡 n_1 的相对误差不超过 4% 时，可按该挡 n_1 选取 P_1 。如果转速相对误差超过 4%，则应按实际转速折算减速器的公称功率 P_1 选用，即 $P_{1\text{折算}} = P_{1\text{表中}} \frac{n_{1\text{给定}}}{n_{1\text{表中}}}$ 。

(3) 校核热功率 P_{G1}

前面所列热功率表是按润滑油允许最高平衡温度不超过 100℃ 及以下给定条件计算得出的。

① 减速器工作环境温度 $t_0 = 20^\circ\text{C}$ 。

② 减速器满载荷工作功率利用率在 80% 以上。

③ 小时载荷率为 100%。

当实际工况与上述条件不符时，应以系数修正，即乘以环境温度系数 f_1 、小时载荷率系数 f_2 、公称功率利用系数 f_3 (f_3 表中的 P_1 见表 16-2-94、表 16-2-96、表 16-2-98、表 16-2-100、表 16-2-102、表 16-2-104 中的 P_1 ； P_2 为实际载荷功率)。计算选用热功率 P_{2t} 按下式计算：

$$P_{2t} = P_2 f_1 f_2 f_3 \leq P_{G1} \quad (16-2-24)$$

f_1 、 f_2 、 f_3 分别见表 16-2-10、表 16-2-11、表 16-2-12。若 $P_{G1} < P_{2t}$ ，应采用油冷却器或稀油集中循环润滑，或选用较大规格的减速器。

(4) 校核尖峰载荷和轴伸径向载荷

减速器允许尖峰载荷 (短时过载或启动状态) $P_{max} \leq 1.8P_1$ 。减速器的输入、输出轴的额定径向载荷见表 16-2-74。

例 由电机驱动，经减速器带动一台钢带式输送机，电机功率 $P = 75\text{kW}$ ，电机转速 $n_1 = 1450\text{r/min}$ ，钢带式输送机转速 $n_2 = 2.3\text{r/min}$ ，公称传动比 $i = n_1/n_2 = 1450/2.3 = 630$ ，尖峰载荷 $P_{max} = 135\text{kW}$ ，轴伸受纯转矩，每天 24h 运转，每小时启动次数小于 5 次，小时载荷率 60%，最高环境温度 $t = 30^\circ\text{C}$ ，小空间安装，油池甩油润滑，底座式安装，试选行星减速器型号规格。

(1) 按机械强度公称功率 P_1 初选

按表 16-2-8 查得 $K_A = 1.65$ (按表 16-2-13 查得钢带式输送机属中等冲击载荷，每天 24h 运转再加大 10%)，按表 16-2-9 查得 $S_A = 1.5$ ，载荷功率 P_2 按 $P = 75\text{kW}$ 计算，则

$$P_{2m} = P_2 K_A S_A = 75 \times 1.65 \times 1.5 = 186\text{kW}$$

查表 16-2-104，按转速 $n_1 = 1500\text{r/min}$ ， $i = 630$ 一挡中查得 $P_1 = 198\text{kW}$ ，初选 NCZD1250-630，因给定 $n_1 = 1450\text{r/min}$ 与功率表中 $n_1 = 1500\text{r/min}$ 的相对误差不超过 4%，可按 $n_1 = 1500\text{r/min}$ 挡选取 $P_1 = 198\text{kW}$ 。

(2) 校核热功率 P_{G1}

按环境温度 $t = 30^\circ\text{C}$ ，查表 16-2-10 得 $f_1 = 1.15$ ，按小时载荷率 60%，查表 16-2-11 得 $f_2 = 0.86$ ，按 $P_2/P_1 = 75/198 \approx 0.40$ ，查表 16-2-12 得 $f_3 = 1.25$ ，则

$$P_{2t} = P_2 f_1 f_2 f_3 = 75 \times 1.15 \times 0.86 \times 1.25 = 92.7\text{kW}$$

按表 16-2-105 查得 NCZD1250 的 $P_{G1} = 175\text{kW} > P_{2t} = 92.7\text{kW}$ ， P_{G1} 通过。

(3) 校核尖峰载荷

$$P_{max} = 135 < 1.8P_1 = 1.8 \times 198 = 356\text{kW}$$

工作状态的热功率小于减速器平衡功率，因此无需增加冷却措施。
所以选减速器 NGZD1250， $i=630$ 是合适的。

7.2 NGW-S 型行星齿轮减速器

7.2.1 适用范围和标记

(1) 适用范围

NGW-S 型行星齿轮减速器由弧齿锥齿轮传动和行星齿轮传动组合，包括两级、三级两个系列，典型传动方式如图 16-2-4 所示，主要用于冶金、矿山、起重运输及通用机械设备。其适用范围为：齿轮圆周速度不大于 13m/s ；工作环境温度为 $-40\sim 45^\circ\text{C}$ ；可正、反两方向转动（正方向顺时针为优选方向）。

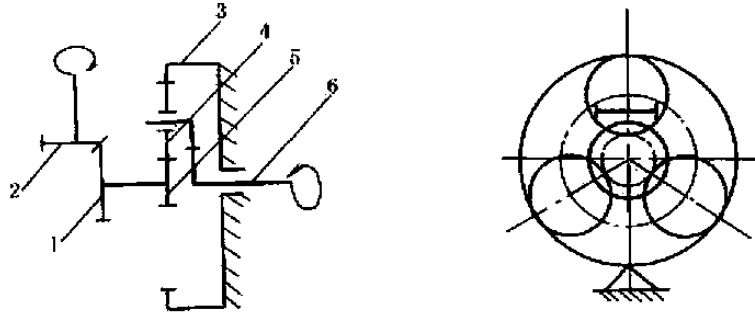


图 16-2-4 NGW-S 型减速器传动简图

1—从动锥齿轮；2—主动锥齿轮；3—内齿轮；4—行星轮；5—太阳轮；6—行星架

(2) 标记示例

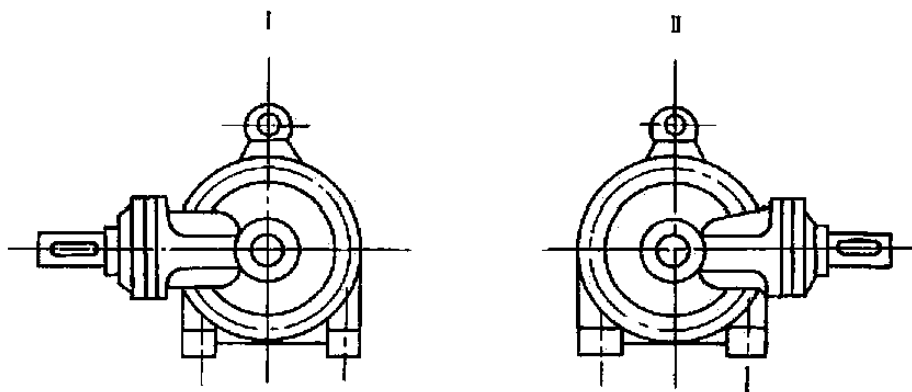
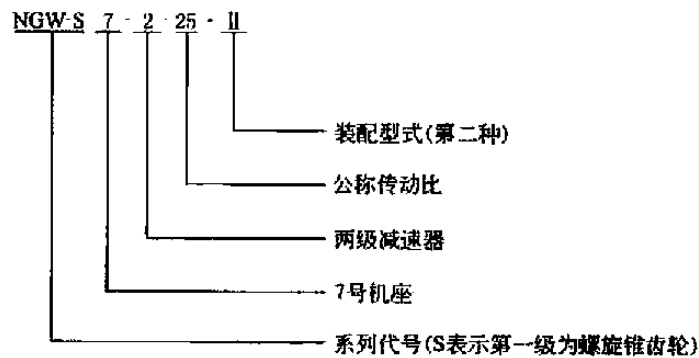


图 16-2-5 NGW-S 型减速器装配型式

(3) 主要生产厂家

银川起重机总厂减速器厂、洛阳矿山机器厂、南京高速齿轮箱厂。

NGW-S 型三级减速器外形及安装尺寸

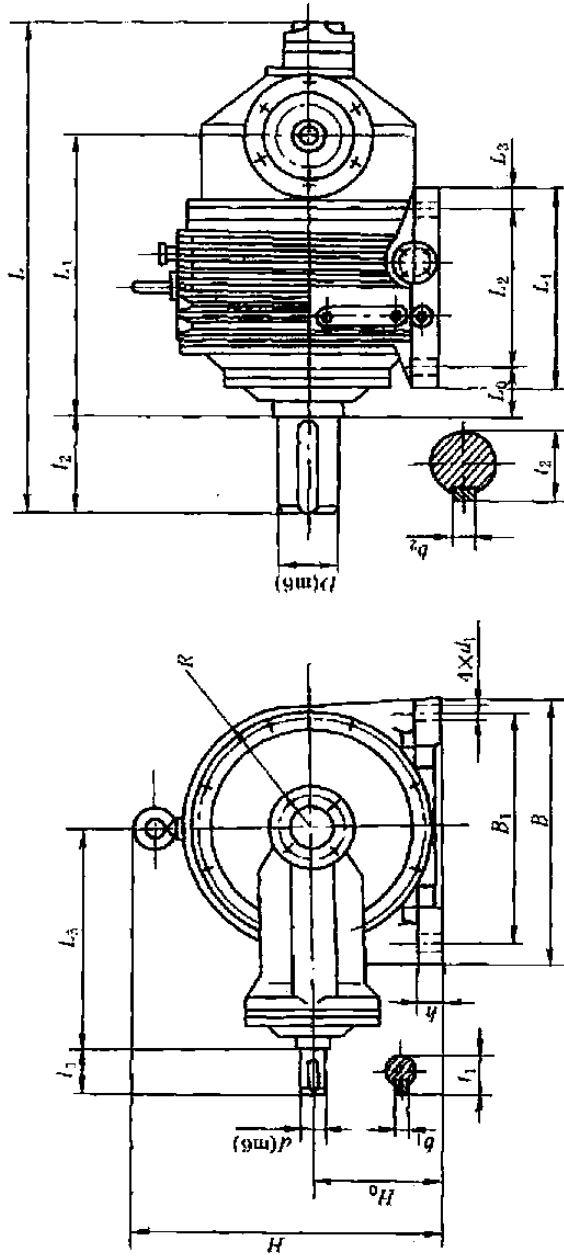


表 16-2-107

机座号	型号	公称传动比 <i>i</i>	外形及中心高										轴伸										地脚尺寸					质量 /kg	油量 /L
			L	B	H	H ₀	R	L ₃	L ₄	L ₅	d	D	l ₁	l ₂	l ₃	i ₁	b ₁	b ₂	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	B ₁	d ₁	h		
7	NGW-S73	56~160	891	535	574	250 ⁰ _{-0.5}	250	310	35	110	58	165	38	10	116	28	375	305	35	80	465	M30	45	470	25				
		180~450							30		33	8																	
8	NGW-S83	56~160	968	590	634	280 ⁰ _{-0.5}	280	350	40	120	82	165	43	12	127	32	440	350	45	86	510	M36	50	570	35				
		180~450							35		58		38	10															
9	NGW-S93	56~160	1058	660	724	315 ⁰ _{-0.5}	315	380	45	130	82	200	48.5	14	137	32	475	385	45	70.5	570	M36	50	690	50				
		180~450							40		82		43	12															
10	NGW-S103	56~160	1112	745	800	355 ⁰ _{-0.5}	355	450	50	150	82	200	53.5	14	158	36	525	425	50	78	645	M42	55	1010	65				
		180~450							45		82		48.5	14															
11	NGW-S113	56~160	1238	840	891	400 ⁰ _{-0.5}	400	500	55	170	82	240	59	16	179	40	580	480	50	73	740	M42	60	1430	95				
		180~450							50		82		53.5	14															
12	NGW-S123	56~160	1459	950	1013	450 ⁰ _{-0.5}	450	530	60	190	105	280	64	18	200	45	680	560	60	73	820	M48	65	2000	140				
		180~450							55		82		59	16															

mm

7.2.3 承载能力

表 16-2-108

两级减速器输入功率

公称传动比	机座号	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	型号	NGW-S42	NGW-S52	NGW-S62	NGW-S72	NGW-S82	NGW-S92	NGW-S102	NGW-S112	NGW-S122
	转速 n_1 /r·min ⁻¹	两级减速器高速轴许用输入功率 P_s /kW								
11.2	600	17.79	24.31	35.9	41.1	66.55	99.16			
	750	22.06	30.3	44.8	58.8	82.94	123.78			
	1000	29.32	40.19	59.5	78.16	110.36	164.8			
	1500	43.81	60.21	88.95	116.95	165	247			
12.5	600	15.93	21.78	31.95	41.98	59.2	88.25			
	750	19.76	27.15	39.87	52.3	73.8	110.17			
	1000	26.27	36	52.96	69.58	98.22	146.69			
	1500	39.26	53.86	79.16	104	146.88	219.9			
14	600	14.23	19.38	28.4	37.36	52.7	78.54	111.69	153.43	225.7
	750	17.65	24.16	35.48	46.57	65.69	98	139.48	191.53	282
	1000	23.46	32	47.14	61.92	87.4	130.56	185.7	255.5	375.85
	1500	35.05	47.94	70.46	92.64	130.73	195.7	284.17	382.49	563.6
16	600	12.45	16.96	25.3	33.25	46.92	69.9	99.4	136.55	223.88
	750	15.44	21.1	31.59	41.45	58.46	87.26	124.13	170.46	250.99
	1000	20.32	28	41.95	55.1	77.8	116.19	165.27	227.1	334.5
	1500	30.67	41.95	62.7	82.45	116.34	174.17	247.8	340.46	501.64
18	600	11	15.06	22.52	29.6	41.75	62.2	88.46	121.53	178.79
	750	13.68	18.76	28.1	36.89	52	77.62	110.48	151.7	223.38
	1000	18.18	24.89	37.34	49.05	69.24	103.4	147.09	225.14	297.7
	1500	27.16	37.24	55.79	73.38	103.55	155	220.54	303	446.46
20	600	9.92	13.55	20	26.34	37.15	55.37	78.74	108.16	159.11
	750	12.31	16.88	25	32.83	46.31	69.12	98.32	135	198.8
	1000	16.36	22.41	33.23	43.66	61.62	92.03	130.91	179.9	264.98
	1500	24.44	33.52	49.66	65.3	92.16	137.96	195.7	269.68	397.34
22.4	600	8.83	12.06	17.825	23.44	33.07	49.27	70	96.26	141.6
	750	10.96	15	22.27	29.22	41.21	61.5	80.6	120.17	176.95
	1000	14.56	19.95	29.57	38.85	54.85	81.91	116.5	160.1	235.8
	1500	21.75	29.83	44.2	58.12	82	122.79	174.69	240	353.52
25	600	7.96	10.89	16	21.12	29.8	44.42	63.16	86.77	127.66
	750	9.89	13.58	20	26.34	37.15	55.45	78.89	108.33	159.5
	1000	13.13	18	26.66	35	49.43	73.84	105	144.33	212.57
	1500	19.63	26.93	39.84	52.39	73.94	110.68	157.48	216.36	318.79
28	600	7.09	9.69	14.31	18.8	26.53	39.53	56.22	77.23	113.62
	750	8.79	12.08	17.9	23.44	33.07	49.35	65.72	96.41	141.95
	1000	11.68	16.03	23.73	31.17	43.99	65.72	93.47	128.46	212.18
	1500	17.46	23.97	35.46	46.63	65.8	98.5	140.16	192.55	283.7
31.5	600	6.02	8.24	12.13	16.04	22.56	33.61	47.65	65.64	96.63
	750	7.47	10.24	15.13	19.99	28.14	41.96	59.8	81.99	120.73
	1000	9.9	13.62	20.11	26.62	37.49	55.86	79.65	109.2	160.89
	1500	14.81	20.32	30.1	39.82	56.1	83.75	119.35	163.69	241.29
35.5	600	5.04	6.9	10.16	13.46	18.87	28.16	40	54.98	80.96
	750	6.26	8.579	12.65	16.79	23.54	35.15	49.96	68.67	101.15
	1000	8.31	11.39	16.8	22.34	31.31	46.8	66.55	91.49	134.8
	1500	12.36	17.04	25.15	33.25	46.82	70.16	99.77	137.19	202.15

续表

公称传动比	机座号	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	型号	NGW-S42	NGW-S52	NGW-S62	NGW-S72	NGW-S82	NGW-S92	NGW-S102	NGW-S112	NGW-S122
	转速 n_1 /r·min ⁻¹	两级减速器高速轴许用输入功率 P_x /kW								
40	600	4.17	5.71	8.3	11.17	15.59	23.24	33.12	45.31	66.04
	750	5.16	7.1	10.32	13.92	19.41	29	41.34	56.59	82.51
	1000	6.85	9.4	13.7	18.53	25.83	38.65	55.09	75.42	109.95
	1500	10.23	14.06	20.52	27.71	38.65	57.87	82.55	113.04	164.84
45	600	3.38	4.62	6.69	9.13	12.62	18.86	26.8	36.76	53.21
	750	4.18	5.75	8.32	11.37	15.53	23.5	33.47	45.92	66.48
	1000	5.54	7.64	11.07	15.14	20.9	31.29	44.6	61.16	88.58
	1500	8.28	11.44	16.52	22.63	31.32	46.86	66.8	91.66	132.8
50	600	3.04	4.16	6.02	8.22	11.36	16.79	24.12	33.08	47.88
	750	3.77	5.17	7.49	10.23	13.98	21.16	30.13	41.31	59.82
	1000	4.99	6.9	9.97	13.62	18.81	28.16	40.14	55.05	79.72
	1500	7.45	10.29	14.86	20.13	28.19	41.82	60.13	82.5	119.54

表 16-2-109

三级减速器输入功率

公称传动比	机座号	7	8	9	10	11	12
	型号	NGW-S73	NGW-S83	NGW-S93	NGW-S103	NGW-S113	NGW-S123
	转速 n_1 /r·min ⁻¹	三级减速器高速轴许用输入功率 P_x /kW					
56	600	14.80	20.16	29.19	42.49	58.9	79.94
	750	18.46	25.15	31.68	53.04	72.55	99.85
	1000	24.56	33.47	48.50	70.68	97.15	133.08
	1500	36.78	50.13	72.67	105.98	145	199.51
63	600	13.17	17.94	25.52	37.77	51.69	71.14
	750	16.42	22.38	32.43	47.2	63.42	88.87
	1000	21.97	29.1	43.18	62.9	86.05	118.44
	1500	33.53	44.62	64.68	94.32	129.05	177.56
71	600	11.72	15.97	23.12	33.66	46	63.32
	750	14.62	19.92	28.85	42	57.47	79.1
	1000	19.46	26.51	38.42	55.98	75.44	105.41
	1500	29.13	39.71	57.56	83.95	114.86	158.03
80	600	10.43	14.21	20.57	30.48	40.95	56.35
	750	13.01	17.73	25.68	37.39	51.15	70.39
	1000	17.32	23.59	34.2	49.83	68.16	93.82
	1500	25.92	35.34	51.23	74.74	102.22	140.65
90	600	9.28	12.65	18.31	26.66	36.44	50.15
	750	11.58	15.78	22.86	33.28	45.52	62.65
	1000	15.42	21.0	30.44	44.34	72.16	83.5
	1500	23.07	31.45	45.6	66.49	90.98	125.18
100	600	8.27	11.26	16.3	23.72	32.44	44.63
	750	10.3	14.04	20.34	29.61	40.51	55.76
	1000	13.72	18.69	27.09	39.47	53.99	74.31
	1500	20.53	27.99	40.58	59.17	80.97	111.41
112	600	7.36	10.02	14.5	21.11	28.87	39.73
	750	9.18	12.5	18.1	26.36	36.05	50.03
	1000	12.21	16.63	24.12	34.89	48.06	59.24
	1500	18.27	24.91	36.12	52.67	72.06	99.15

公称传动比	机座号	7	8	9	10	11	12
	型 号	NGW-S73	NGW-S83	NGW-S93	NGW-S103	NGW-S113	NGW-S123
	转速 n_1 /r·min ⁻¹	三级减速器高速轴许用输入功率 P_s /kW					
125	600	6.54	8.91	12.91	18.79	25.69	35.36
	750	8.17	11.12	16.11	23.46	32.1	44.17
	1000	10.87	14.8	21.46	33.56	43.6	58.86
	1500	16.27	22.17	32.14	46.87	64.14	88.25
140	600	5.83	7.94	11.49	16.73	22.86	31.46
	750	7.27	9.9	14.34	20.88	28.57	39.31
	1000	9.67	13.18	19.1	27.82	38.07	52.38
	1500	14.47	19.73	28.61	41.72	57.09	78.55
160	600	5.19	7.06	10.22	14.89	20.36	28
	750	6.46	8.81	12.77	18.58	25.42	34.98
	1000	8.6	11.72	17	24.76	33.88	46.62
	1500	12.88	17.56	25.46	37.13	50.81	69.32
180	600	4.61	6.28	9.1	13.26	18.11	24.92
	750	5.75	7.84	11.36	16.54	22.62	31.13
	1000	7.65	10.43	15.12	20.03	30.15	41.49
	1500	11.47	15.63	26.66	33.05	45.22	62.2
200	600	4.15	5.66	8.19	11.93	16.31	22.43
	750	5.18	7.06	10.22	14.88	20.36	27.72
	1000	6.88	9.38	13.62	19.84	27.21	37.34
	1500	10.32	14.06	20.39	29.74	40.7	55.99
224	600	3.43	4.72	6.81	9.34	12.94	19.9
	750	4.29	5.88	8.51	11.66	16.16	24.16
	1000	5.69	7.82	11.33	15.54	21.54	32.13
	1500	8.53	11.71	16.99	23.3	32.3	48.2
250	600	3.06	4.2	6.06	8.31	11.51	17.17
	750	3.81	5.23	7.57	10.4	14.39	21.46
	1000	5.07	6.96	10.09	14.15	19.17	28.6
	1500	6.59	10.42	15.12	20.73	28.75	42.9
280	600	2.71	3.73	5.39	7.39	10.25	15.28
	750	3.39	4.66	6.74	9.23	12.8	19.1
	1000	4.51	6.2	8.98	12.3	17.07	25.45
	1500	6.75	9.27	13.46	18.98	25.59	38.18
315	600	2.42	3.32	4.81	6.58	9.12	13.6
	750	3.01	4.14	6.0	8.2	11.4	16.95
	1000	4.01	5.52	7.99	10.96	15.18	22.66
	1500	6.01	8.26	11.98	16.42	22.77	33.97
355	600	2.15	3	4.28	5.85	8.42	12.11
	750	2.69	3.69	5.34	7.31	10.14	15.11
	1000	3.58	4.91	7.1	9.75	13.51	20.16
	1500	5.35	7.35	10.66	14.62	20.26	30.23
400	600	1.82	2.5	3.6	4.7	6.85	10.24
	750	2.27	3.12	4.5	5.88	8.57	12.8
	1000	3.01	4.15	5.98	7.83	11.41	17.05
	1500	4.52	6.22	8.96	11.74	17.11	25.58
450	600	1.2	1.69	2.53	3.59	4.92	7.25
	750	1.5	2.1	3.15	4.47	6.14	9.05
	1000	1.99	2.81	4.2	5.96	8.19	12.06
	1500	2.99	4.2	6.28	8.94	12.27	18.09

7.2.4 减速器的选用

(1) 选用输入功率计算

$$P_s = P_a K_1 K_2$$

式中 P_s ——选用输入功率, kW;

P_a ——实际输入功率, kW;

K_1 ——使用系数, 见表 16-2-110;

K_2 ——与润滑有关的系数, 循环润滑时 $K_2 = 1$; 油池润滑时 K_2 见表 16-2-111。

表 16-2-110

使用系数 K_1

每日工作时间/h		<3	3~6	6~10	10~21
工作类型		中 型	重 型	特别型	连续型
载荷性质	平稳无冲击	1	1	1	1.25
	中等冲击	1	1.25	1.35	1.5
	强烈冲击	1.5	1.7	1.8	2

注：1. 表中 K_1 值仅适用于电机或汽轮机驱动。

2. 当用多缸发动机驱动时，表中 K_1 值应提高 25%。

表 16-2-111

采用油池润滑的系数 K_2

圆周速度 $v/m \cdot s^{-1}$	<2.5	>2.5~3.5	>3.5~5	>5~7	>7~10	>10~13
间断工作	1	1	1	1.05	1.1	1.15
连续工作	1	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4

注：减速器圆周速度是对高速级而言。

(2) 减速器的润滑与维护

① 减速器有油池润滑和循环润滑两种情况，对功率较大、转速较高、连续工作的减速器应尽可能采用循环润滑，以降低油温，充分发挥减速器的承载能力。

② 当减速器的工作环境温度较低时，应采取措​​施保证油温在 10°C 以上。

③ 油池润滑的油面高度比内齿轮齿顶高 2~5 倍的模数（两级以高速级为准，三级以中间级为准）。

④ 润滑油推荐采用黏度等级为 150~220、GB 5903 中载荷工业齿轮油。

⑤ 润滑油的更换期：第一次使用的减速器（或新更换齿轮）运转 10~15 天后，需更换新油。正常情况下，连续工作的减速器 3 个月更换一次油。

⑥ 在工作过程中，如油温显著升高且超过 90°C ，油的质量变坏或产生不正常的噪声时，应停机检查。

⑦ 减速器应半年之内检修一次，备件必须按图纸要求制造，更换备件后的减速器必须经过跑合和承载试车后再正式使用。

⑧ 使用单位应有合理的使用维护规章制度，对减速器的运转情况和检修中发现的问题应进行详细记录。

7.3 HZW、HZA、HZL、HZY 型垂直输出轴混合少齿差星轮减速器（摘自 JB/T 7344—1994）

7.3.1 适用范围及标记

(1) 适用范围

这种减速器是在混合少齿差星轮减速器基础上发展的新型产品，具有体积小、传动比范围大、承载能力大、效率高、寿命长、传动平稳等优点，取得中国、美国和英国专利。减速器传动系统如图 16-2-6 所示。

工作条件为：工作环境温度为 $-40 \sim 45^{\circ}\text{C}$ ，低于 0°C 时，减速器启动前润滑油应预热，高于 45°C 时，应采取降温措施；输入转速不大于 $1500\text{r}/\text{min}$ ；采用中载荷工业齿轮油 220（GB 5903）作为润滑油。

(2) 标记示例

(3) 主要生产厂家

新乡机床厂、中原传动机械制造厂。

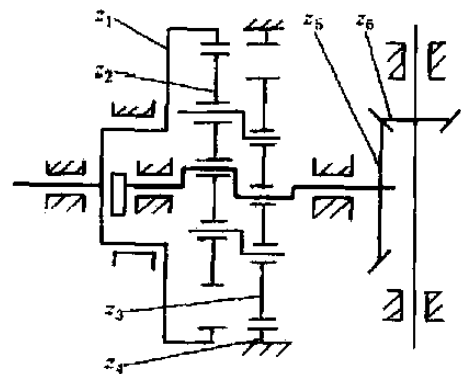
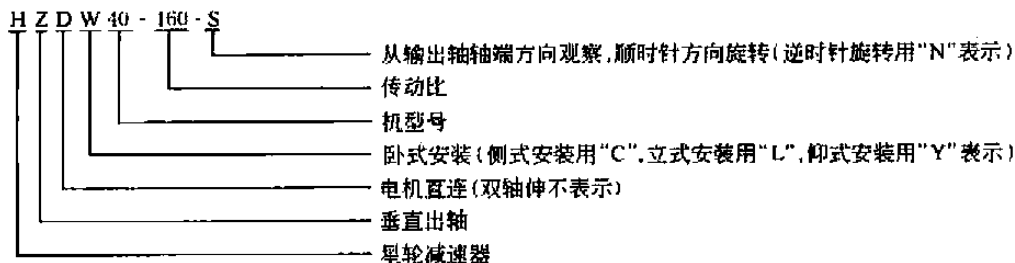


图 16-2-6 垂直输出轴混合少齿差星轮减速器传动系统



7.3.2 外形、安装尺寸

HZW、HZDW 型减速器外形及安装尺寸

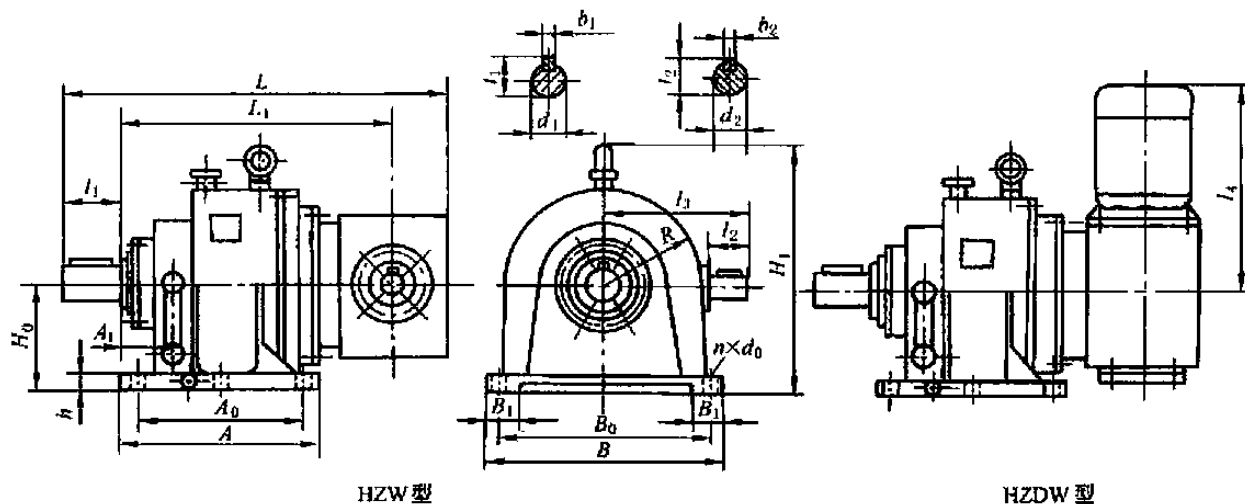


表 16-2-112

mm

尺寸	机型号											
	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
H_0	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
A	300	335	375	415	475	530	600	670	750	850	900	1040
A_0	240	270	300	335	375	420	475	530	600	670	750	850
B	360	420	450	500	560	630	700	800	900	1000	1120	1250
B_0	320	360	400	448	500	560	630	710	800	900	1000	1120
R	165	185	205	229	255	285	320	360	405	460	510	570
B_1	60	65	65	70	85	90	105	140	140	150	170	200
A_1	56	60	65	71	95	100	120	120	132	132	138	140
h	25	25	30	30	35	40	45	50	55	60	70	75
n	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
d_0	18	22	22	22	26	26	26	33	39	39	39	39
L	715	770	792	953	1013	1202	1237	1346	1494	1579	1740	1844
L_1	460	515	537	648	708	812	847	921	889	1064	1185	1289
l_3	234	234	234	308	308	389	389	389	450	450	540	540
l_4 (最大)	576	616	616	771	811	954	994	994	1260	1260	1325	1325
l_1	105	105	105	130	130	165	165	200	240	240	280	280
d_1 (m6)	60	65	70	80	95	110	120	140	160	180	200	220
b_1	18	18	20	22	25	28	32	36	40	45	45	50
t_1	64	69	74.5	85	100	116	127	148	169	190	210	231
l_2	58	58	58	82	82	105	105	105	105	105	130	130
d_2 (m6)	35	35	35	40	40	60	60	60	70	70	80	80
b_2	10	10	10	12	12	18	18	18	20	20	22	22
t_2	38	38	38	43	43	64	64	64	74.5	74.5	85	85
H_1	365	420	470	525	590	645	720	825	915	1040	1130	1250

HZC、HZDC、HXL、HZDL、HZY、HZDY 型外形及安装尺寸

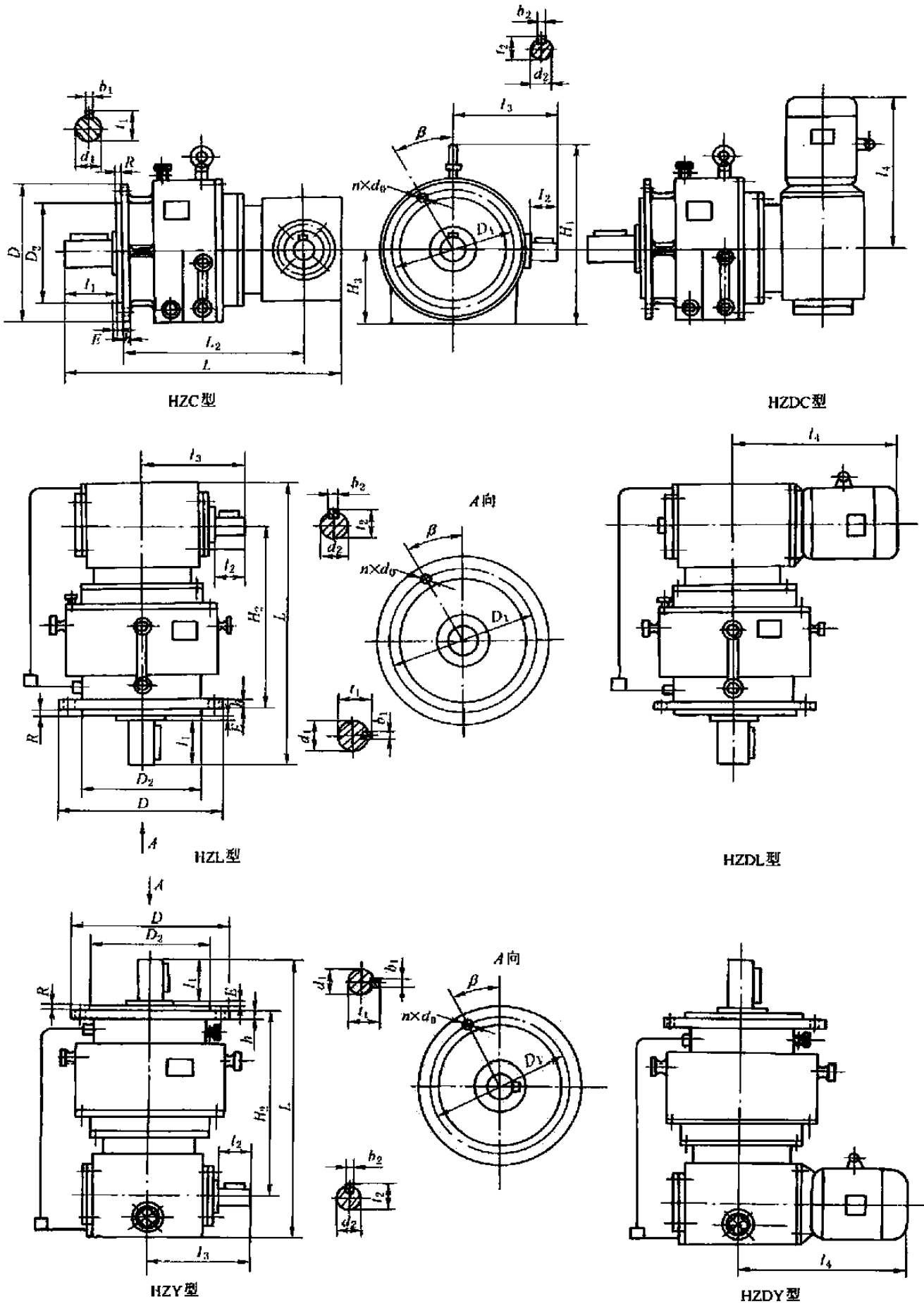
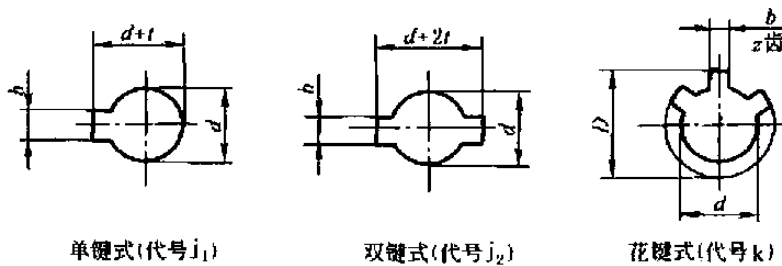


表 16-2-113

mm

尺寸	机 型 号											
	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
D	300	350	400	450	500	550	650	750	850	950	1050	1150
D_1	265	300	350	400	450	500	590	670	760	850	950	1050
D_2	230	250	300	350	400	450	530	600	670	750	850	950
E	4	5	5	6	6	8	10	10	10	10	10	10
h	22	24	26	26	30	35	40	45	50	55	60	65
R	4	5	5	6	6	8	10	10	10	10	10	10
β	22.5°	22.5°	22.5°	22.5°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
n	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12
d_0	14	18	18	18	22	22	26	32	32	32	32	32
L	715	770	792	953	1013	1202	1237	1346	1404	1579	1740	1844
L_2	460	515	537	648	708	812	847	921	889	1064	1185	1289
l_3	234	234	234	308	308	389	389	389	450	450	540	540
l_4 (最大)	576	616	616	771	811	954	994	994	1260	1260	1325	1325
H_2	472	527	549	660	724	828	865	939	907	1082	1203	1307
H_3	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560
l_1	105	105	105	130	130	165	165	200	240	240	280	280
d_1 (m6)	60	65	70	80	95	110	120	140	160	180	200	220
b_1	18	18	20	22	25	28	32	36	40	45	45	50
l_1	64	69	74.5	85	100	116	127	148	169	190	210	231
l_2	58	58	58	82	82	105	105	105	105	105	130	130
d_2 (m6)	35	35	35	40	40	60	60	60	70	70	80	80
b_2	10	10	10	12	12	18	18	18	20	20	22	22
l_2	38	38	38	43	43	64	64	64	74.5	74.5	85	85
H_1	365	420	470	525	590	645	720	825	915	1040	1130	1250

输出端为连接孔的形式



标记示例：
HZW40k-160
(k 表示花键式连接孔)

表 16-2-114

mm

机型号	花 键 孔 $z-D \times d \times b$	d (H7)	b (D10)	单 键 孔		公 差	双 键 孔		公 差
				L_s	$d+t$		L_s	$d+2t$	
16	8-58 × 52 × 10	55	16	55	59.3	+0.2 0	—	—	+0.4 0
18		60	18	65	64.3		—	—	
20	8-68 × 62 × 12	70	20	70	74.9		—	—	
22		75	20	80	78.9		60	84.8	
25	10-108 × 102 × 16	85	25	90	99.4		80	103.8	
28		110	28	100	115.4		90	120.8	
31	10-120 × 112 × 18	120	32	120	126.4	100	132.8		
35		140	36	135	147.4	120	154.8		
40	10-160 × 145 × 22	160	40	140	168.1	+0.3 0	130	176.8	+0.6 0
45		180	45	150	189.1		130	198.2	
50	10-200 × 180 × 30	200	45	170	209.1		140	218.2	
56		220	50	200	230.1		160	240.2	

注：将表 16-2-112 和表 16-2-113 中输出轴 l_1 长切去，自切口沿轴向加工 L_s 长的连接孔，便成输出端为连接孔的减速器。

7.3.3 承载能力

HZW (C、L、Y 安装型式) 型减速器承载能力

表 16-2-115

公称传动比 i	公称转速 /r · min ⁻¹		机 型 号											
	输入 n_1	输出 n_2	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
			公 称 转 矩 /N · m											
			1666	1960	3528	4704	8820	11760	21168	29400	37044	52920	82810	114660
公 称 输 入 功 率 P_1 /kW														
31.5	1500	47.6	7.37	9.22	16.27	21.7	—	—	—	—	—	—	—	—
	1000	31.7	4.92	6.15	10.85	14.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	750	23.8	3.7	4.62	9.13	10.8	—	—	—	—	—	—	—	—
35.5	1500	42.2	6.54	8.18	14.4	19.3	36.1	40.7	73.2	102	—	—	—	—
	1000	28.1	4.36	5.45	9.63	12.8	24.1	27.2	48.8	68	—	—	—	—
	750	21.1	3.28	4.1	7.21	9.6	18.1	20.4	36.5	51	—	—	—	—
40	1500	37.5	5.96	7.45	12.8	17.1	32.1	36.2	65	90.6	—	—	—	—
	1000	25	3.87	4.84	8.6	11.4	21.4	24.2	43.3	60.4	91.1	128.6	182	243
	750	18.7	2.91	3.64	6.4	8.5	16	18.1	32.4	45	68.3	96.6	136	182
45	1500	33.3	6.46	7.59	13.67	18.2	34.2	40.2	72	100	—	—	—	—
	1000	22.2	4.3	5.06	9.1	12.2	22.8	26.84	48.1	67.2	95	134	190	253
	750	16.6	3.23	3.8	6.83	9.1	17.1	20.1	36.1	50.3	71.2	100	142	190
50	1500	30	5.81	6.8	12.3	16.4	30.7	36.2	65	90.6	—	—	—	—
	1000	20	3.88	4.56	8.2	10.9	20.5	24.15	43.2	60.4	85.5	120.7	170	228
	750	15	2.91	3.42	6.2	8.2	15.4	18	32.5	45.3	64.1	90	128	170
56	1500	26.7	5.18	6.1	11	14.65	27.4	34.2	61.5	85.5	—	—	—	—
	1000	17.8	3.45	4.07	7.32	9.76	18.3	22.8	41	57	71.7	102	158	220
	750	13.3	2.59	3.04	5.5	7.32	13.7	17.1	30.7	42.8	53.8	76.9	118	165
63	1500	23.8	4.61	5.42	9.76	13.02	24.4	32.6	58.6	81.4	—	—	—	—
	1000	15.8	3.07	3.65	6.51	8.68	16.3	21.7	39	54.3	68.3	97.6	140	195
	750	11.9	2.31	2.71	4.88	6.5	12.2	16.3	29.3	40.7	51.2	73.2	105	146
71	1500	21.1	4.09	4.8	8.66	11.55	21.6	28.9	52	72.3	—	—	—	—
	1000	14	2.72	3.2	5.77	7.7	14.4	19.3	34.6	48.1	60.6	86.6	135	188
	750	10.5	2.04	4.55	4.32	5.77	10.8	14.5	26	36.1	45.5	64.9	102	140
80	1500	18.7	3.63	4.26	7.69	10.25	19.2	25.6	46.1	64.1	80	115	180	250
	1000	12.5	2.41	2.84	5.12	6.84	12.8	17.1	30.7	42.7	53.8	76.9	120	167
	750	9.3	1.82	2.13	3.84	5.12	9.61	12.9	23.1	32.1	40.3	57.6	90.5	124
90	1500	16.6	3.22	3.79	6.84	9.12	17.1	22.8	41	57	71.7	102	160	222
	1000	11.1	2.15	2.53	4.56	6.08	11.4	15.2	27.3	28	47.8	68.3	107	148
	750	8.3	1.61	1.9	3.42	4.55	8.54	11.4	20.5	28.5	35.9	51.2	80.5	110
100	1500	15	2.9	3.41	6.15	8.2	15.4	20.5	36.9	51.3	64.6	92.2	144	199.5
	1000	10	1.94	2.28	4.1	5.47	10.3	13.7	24.5	34.2	43	61.5	95	133
	750	7.5	1.44	1.71	3.08	4.09	7.7	10.3	18.4	25.7	32.2	46.1	72.4	98.8
112	1500	13.3	2.58	3.04	5.49	7.32	13.7	18.3	32.9	45.8	57.7	82.3	129	178
	1000	8.9	1.73	2.03	3.66	4.88	9.16	12.2	21.9	30.5	38.4	54.9	84.8	119
	750	6.6	1.28	1.52	2.74	3.65	6.87	9.16	16.5	22.9	28.8	41.1	64.6	88.2
125	1500	12	2.32	2.73	4.92	6.56	12.3	16.4	29.5	41	51.7	73.7	116	160
	1000	8	1.55	1.82	3.28	4.38	8.2	10.9	19.6	27.4	34.4	49.2	76	106
	750	6	1.16	1.37	2.46	3.28	6.16	8.2	14.7	20.5	25.8	36.9	57.9	79
140	1500	10.7	2.07	2.43	4.39	5.86	11	14.7	26.3	36.6	46.1	65.8	103	143
	1000	7.1	1.38	1.62	2.93	3.9	7.32	9.77	17.5	24.4	30.7	43.9	67.9	95
	750	5.3	1.03	1.22	2.2	2.92	5.5	7.33	13.2	18.3	23	32.9	51.7	70.6

公称传动比 i	公称转速 $/r \cdot \text{min}^{-1}$		机 型 号											
	输入 n_1	输出 n_2	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
			公 称 转 矩 $/N \cdot m$											
			1666	1960	3528	4704	8820	11760	21168	29400	37044	52920	82810	114660
公 称 输 入 功 率 P_1/kW														
160	1500	9.3	1.8	2.13	3.85	5.13	9.61	12.8	23	32.1	40.4	57.6	90.3	125
	1000	6.2	1.21	1.18	2.56	3.42	6.41	8.55	15.3	21.4	26.9	38.4	59.4	83.1
	750	4.6	0.9	1.07	1.92	2.56	4.81	6.41	11.5	16	20.1	28.8	45.2	61.8
180	1500	8.3	1.68	1.98	3.57	4.76	8.93	11.7	21.2	29.5	37.1	52.9	82.9	114.4
	1000	5.5	1.12	1.32	2.38	3.17	6	7.86	14.2	19.6	24.7	35.3	55.3	76.5
	750	4.1	0.84	0.99	1.79	2.38	4.06	5.89	10.6	14.7	18.5	26.4	41.5	57.4
200	1500	7.5	1.51	1.78	3.2	4.28	8	10.5	19	26.5	33.4	47.6	74.6	103
	1000	5	1	1.2	2.14	2.86	5.36	7.07	12.8	17.7	22.3	31.8	49.7	68.9
	750	3.7	0.75	0.9	1.61	2.14	4	5.3	9.52	13.3	16.7	23.8	37.3	51.7
224	1500	6.6	1.35	1.6	2.87	3.82	7.18	9.41	17	23.7	29.8	42.5	66.6	91.8
	1000	4.4	0.9	1.06	1.91	2.55	4.78	6.31	11.4	15.8	19.9	28.4	44.4	61.5
	750	3.3	0.68	0.8	1.43	1.91	3.59	4.74	8.5	11.8	14.9	21.3	33.3	46.1
250	1500	6	1.21	1.43	2.57	3.42	6.43	8.43	15.2	21.2	26.7	38.1	59.1	82.28
	1000	4	0.81	0.95	1.71	2.28	4.29	5.66	10.2	14.1	17.8	25.4	39.8	55.1
	750	3	0.61	0.71	1.29	1.71	3.22	4.24	7.62	10.6	13.3	19	29.9	41.3
280	1500	5.3	1.08	1.3	2.3	3.06	5.75	7.53	13.6	18.9	23.9	34	53.3	73.5
	1000	3.5	0.73	0.85	1.54	2.04	3.83	5.05	9.1	12.6	15.9	22.7	35.5	49.2
	750	2.6	0.54	0.64	1.15	1.53	2.87	3.79	6.8	9.47	11.9	17	26.7	36.9
315	1500	4.7	1.03	1.22	2.19	2.93	5.5	7.24	13.1	18.3	23	33	51.6	71.4
	1000	3.1	0.68	0.81	1.47	1.95	3.67	4.89	8.79	12.2	15.3	21.9	34.4	47.6
	750	2.3	0.52	0.61	1.1	1.46	2.74	3.66	6.59	9.15	11.5	16.5	25.8	35.7
355	1500	4.2	0.91	1.08	1.94	2.6	4.88	6.42	11.7	16.2	20.5	29.2	45.8	63.4
	1000	2.8	0.61	0.72	1.3	1.73	3.25	4.34	7.8	10.8	13.6	19.4	30.5	42.3
	750	2.1	0.46	0.54	0.97	1.3	2.43	3.25	5.85	8.12	10.2	14.6	22.9	31.7
400	1500	3.7	0.81	0.96	1.73	2.31	4.33	5.7	10.4	14.4	18.2	26	40.7	56.3
	1000	2.5	0.54	0.64	1.16	1.54	2.88	3.85	6.92	9.6	12.1	17.3	27.1	37.5
	750	1.8	0.41	0.48	0.86	1.16	2.16	2.88	5.19	7.21	9.08	13	20.3	28.1
450	1500	3.3	0.72	0.85	1.54	2.05	3.85	5.07	9.2	12.8	16.1	23.1	36.1	50
	1000	2.2	0.48	0.57	1.03	1.37	2.56	3.42	6.15	8.53	10.7	15.3	24.1	33.3
	750	1.6	0.37	0.43	0.77	1.03	1.92	2.56	4.61	6.41	8.07	11.5	18.1	25

表 16-2-116

减速器的热功率 P_G

环境条件	空气流速 $/m \cdot s^{-1}$	机 型 号											
		16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
		不附加冷却装置的热功率 P_G/kW											
狭小车间	≥ 0.5	11.3	12.9	14.3	19.8	23	31.9	36.7	42.4	57.1	65	75.8	89.1
中大型车间	≥ 1.4	15.8	18	20	27.8	32	44	51	59	79	91	112	131
室外	≥ 3.7	21	24	26	37	43	61	69	80	108	123	153	178

表 16-2-117

减速器输出轴轴伸中点公称径向力 F

机型号	16	18	20	22	25	28	31	35	40	45	50	56
公称径向力 F/N	9280	10501	12392	14670	20740	27150	30360	39200	46780	52680	61210	78400

7.3.4 减速器的选用

① 本标准减速器的承载能力受机械强度和热平衡两方面的限制,因此,承载能力表和热功率表是选型的主要依据。计算公式见式(16-2-1)和式(16-2-2),其中, K_A 、 K_S 见表 16-2-8 和表 16-2-9; f_1 、 f_2 见表 16-2-10 和表 16-2-11; f_3 见表 16-2-119; S_A 见表 16-2-120。

当计算结果 $P_{21} > P_G$ 时,应采取循环冷却措施或增大减速器型号重算,直至 $P_{21} < P_G$ 为止。

② 如果载荷波动大,应验证一下瞬时尖峰载荷,设瞬时尖峰载荷为 P_m ,则要求 $P_m < 1.7P_1$ 。如果不满足以上要求,则应选用更大的型号。

表 16-2-118

直连型减速器匹配的电机型号与功率

机型号	匹配电机(极数:4、6、8)	
	型 号	功 率/kW
16	Y112M、Y132M、Y132S	2.2、3、4、5.5
18	Y132M、Y132S	2.2、3、4、5.5、7.5
20		
22	Y132M、Y132S、Y160M、Y160S	2.2、3、4、5.5、7.5、11、15
25	Y160M、Y160L、Y180M、Y180L	4、5.5、7.5、11、15、18.5、22
28	Y180M、Y180L、Y200L	11、15、18.5、22、30
31	Y225M、Y225S	18.5、22、30、37、45
35		
40	Y250M、Y280M、Y280S	30、37、45、55、75、90
45		
50	Y280M、Y280S	37、45、55、75、90
56		

表 16-2-119

功率利用系数 f_3

P_2/P_1	$\leq 40\%$	50%	60%	70%	80% ~ 100%
f_3	1.25	1.15	1.1	1.05	1

注： P_1 —公称功率； P_2 —承载功率。

表 16-2-120

安全系数 S_A

配套主机工况特征	S_A
每天不超过 8h 工作	1.2 ~ 1.4
因减速器故障使单机停产	1.3 ~ 1.5
因减速器故障导致机组或生产线停产	1.6 ~ 1.8
因减速器故障造成设备损坏,危及生命安全或产生严重影响	1.9 ~ 2.1

③ 表 16-2-115 中的公称输入功率 P_1 均按轴承使用 10000h 确定。如果用户要求连续工作 10000h 以下更换轴承,则不必核算轴承使用寿命 L_h , 如果用户要求使用 10000h 以上更换轴承,对于平稳载荷,则应按式(16-2-25)计算:

$$P_1 = \frac{L_{h1}^{0.3}}{15.85} P_2 \quad (16-2-25)$$

式中 L_{h1} ——要求轴承使用时间, h;
 P_2 ——实际使用功率, kW;
 P_1 ——公称许用输入功率, kW。

例如,要求轴承使用寿命 $L_{h1} = 50000h$, 平稳载荷,则 $P_1 = \frac{50000^{0.3}}{15.85} P_2 = 1.62 P_2$, 即公称许用输入功率为实际载荷功率的 1.62 倍,方可满足轴承使用寿命 50000h 的要求。

根据减速器主机的重要性与安全性要求,按表 16-2-120 选用安全系数 S_A , 安全系数 S_A 的引入是考虑减速器机械强度更可靠以及延长轴承使用寿命。对于平稳载荷,选用安全系数后的轴承使用寿命: $L_h = S_A^{10/3} \times 10000$, 若 $S_A = 1.9$, 则 $L_{h1} = 1.9^{10/3} \times 10000 = 84953h$, 代入式(16-2-25), 则 $P_1 = \frac{84953^{0.3}}{15.85} P_2 = 1.9 P_2$ 。

④ 本标准减速器输出轴轴伸中点允许承受径向力 F , 假设实际径向力为 F_R , 则必须满足 $F_R < F$ 的要求, 否则应采用径向卸载装置, 或增大减速器型号。

例 有一架空索道传动系统, 要求选用一台立式垂直输出轴减速器, 已知承载(已计效率)功率为 55kW, 轴伸中点径向力 196000N, 平稳载荷, 电机输入转速 1000r/min, 每日工作小于 8h, 间断工作, 载荷率 60%, 要求轴承使用寿命 3~5 年, 环

境温度在 20~40℃ 之间, 减速器输出转速 8r/min, 要求输出轴顺时针旋转, 试选型。

(1) 减速器初选型

索道传动系统装置属均匀载荷, 每日工作属 3~10h 挡, 查表 16-2-8, 取 $K_A=1$, 按表 16-2-120 取 $S_A=1.3$, 按式 (16-2-1), 计算功率 $P_{2c}=55 \times 1 \times 1.3=71.5\text{kW}$, 查表 16-2-115, 传动比 $i=1000/8=125$, 机型 50, $P_1=76\text{kW}$ 。

(2) 热功率核算

按环境温度 30℃, 无冷却条件查表 16-2-10, $f_1=1.15$; 其载荷率 60%, 查表 16-2-11, $f_2=0.86$; 查表 16-2-119, $f_3=1.05$ ($55/76 \approx 70\%$)。由式 (16-2-2) 得 $P_{2r}=55 \times 1.15 \times 0.86 \times 1.05=57\text{kW}$ 。查表 16-2-116, 空间大, 通风好, $P_G=112\text{kW} > P_{2r}$, 通过。

(3) 轴承使用寿命 L_h 核算

已知 50 型公称许用输入功率 $P_1=76\text{kW}$, 承载功率 $P_2=55\text{kW}$ 。根据式 (16-2-25) $P_1 = \frac{L_h^{0.3}}{15.85} P_2$ 则 $L_h^{0.3} = \frac{P_1}{P_2} \times 15.85 = \frac{76}{55} \times 15.85 = 21.9$, 所以 $L_h=29386\text{h}$ 。

每天连续工作 8h, 可使用 3673 天, 每年 300 天, 可运行 12 年。

(4) 输出轴轴伸中点径向力核算

查表 16-2-117, 50 型星轮减速器轴伸中点允许径向力 $F=61210\text{N}$, 实际径向载荷 $F_R=196000\text{N} > F$, 所以应在输出端增加卸载装置。

结果: 该架空索道用减速器型号应为 HZ150-125-S, 输出端增加卸载装置。

8 摆线针轮减速器

8.1 概述

摆线针轮减速器 (图 16-2-8) 是由少齿差渐开线齿形行星减速器发展而来的。所不同的是它的行星轮齿是

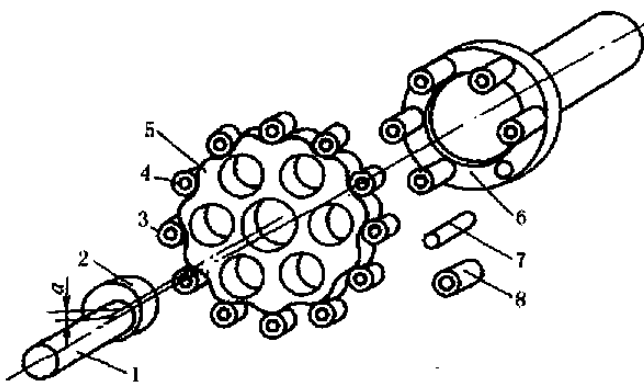


图 16-2-7 针齿

1—输入轴; 2—转臂; 3—针齿套; 4—针齿销; 5—摆线轮;
6—输出轴; 7—销轴; 8—销轴套

采用摆线齿, 而内齿轮采用针齿 (图 16-2-7)。摆线针轮行星传动属于一齿差行星传动, 即内齿轮齿数 z_B 和行星轮齿数 z_C 之差 $z_B - z_C = 1$ 。其转臂和输出机构等则和少齿差行星齿轮传动一样, 这时, 转臂 (输入轴) 的转速 n_x 与输出机构 (输出轴) 的转速 n_y 之间的传动比为

$$i = \frac{n_x}{n_y} = -z_C \quad (16-2-26)$$

由此可知, 这种行星传动的传动比等于行星轮的齿数, 输入轴和输出轴的转向相反。

与普通减速器比较, 摆线针轮行星传动和少齿差行星传动一样, 也具有结构紧凑、体积小、重量轻等优点。若把摆线针轮行星传动和少齿差行星传动进行比较, 摆线针轮行星传动则具有如下优点。

① 转臂轴承载荷只有渐开线齿形的 60% 左右, 即寿命约提高 5 倍左右。因为转臂轴承是一齿差行星传动的薄弱环节, 所以这是一个很重要的优点。

② 摆线轮和针轮间几乎有半数齿同时接触 (指在制造精度较高的情况下), 而且摆线齿和针齿都可以磨削, 故运转平稳、噪声小。

③ 针齿销可以加套筒, 使与摆线轮的接触成为滚动摩擦, 延长了摆线轮这一重要零件的寿命。

④ 效率较高, 一级传动可达 90%~95%, 而渐开线一齿差行星传动的效率只有 85%~90%。

但摆线针轮行星传动也有如下缺点。

① 制造精度要求比较高, 否则达不到多齿接触。

② 摆线齿的磨削需要专用的机床。

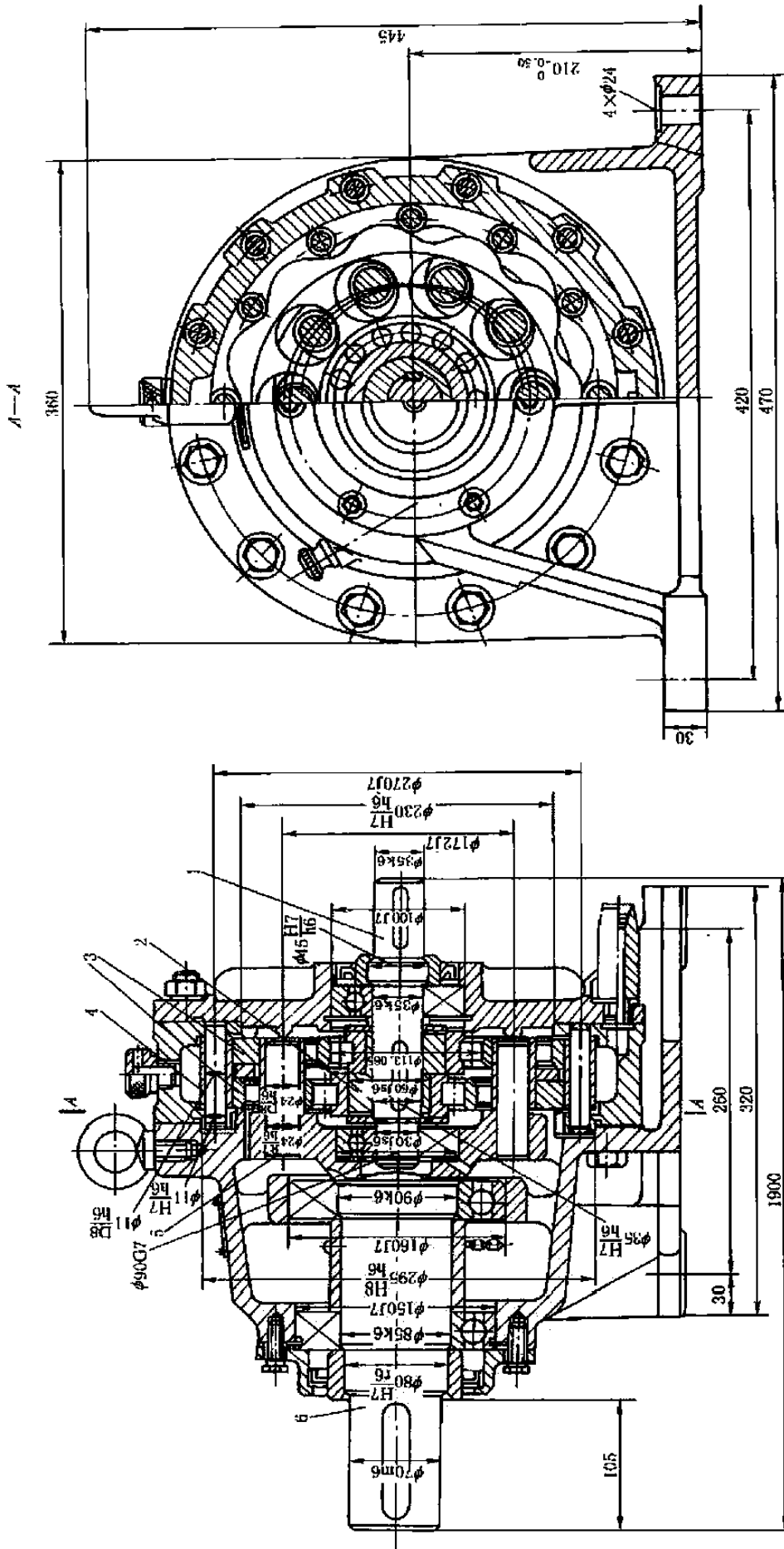
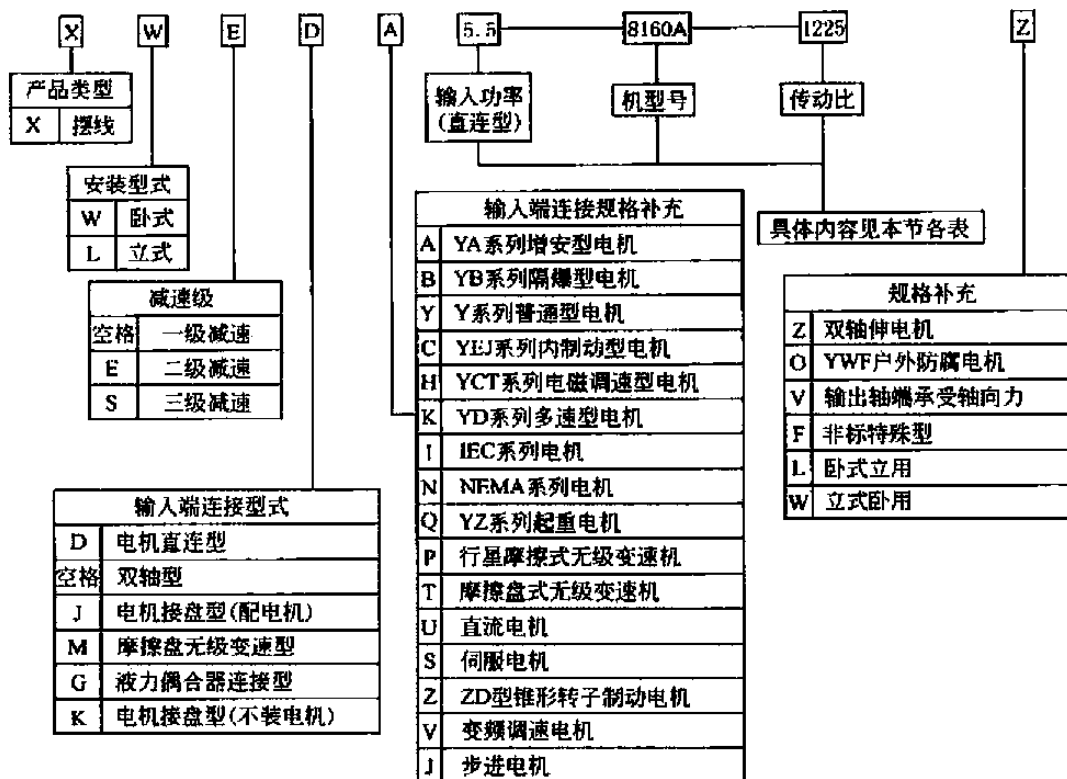


图 16-2-8 摆线针轮减速器
 1—输入轴；2—偏心套（转臂）；3—摆线轮；4—针齿；5—柱销；6—输出轴

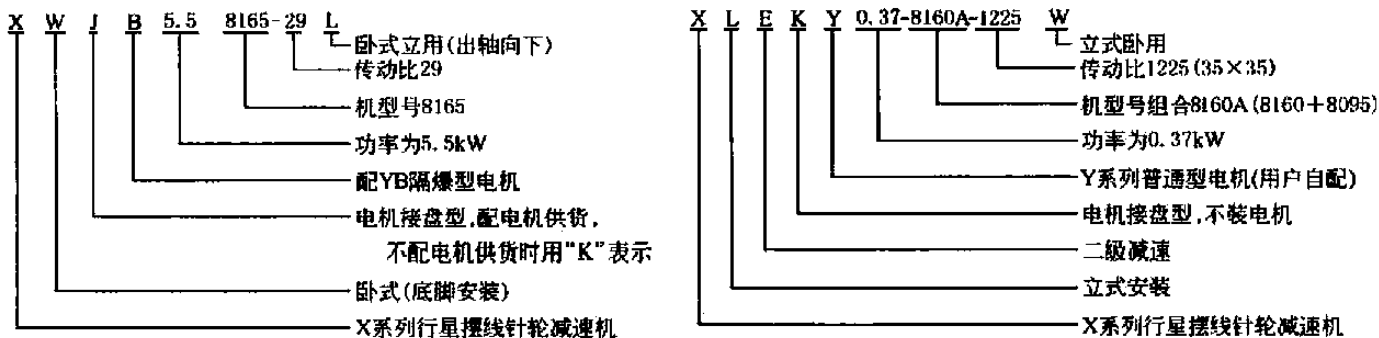
8.2 摆线针轮减速器

8.2.1 标记方法及使用条件

(1) 标记方法



标记示例



(2) 使用条件

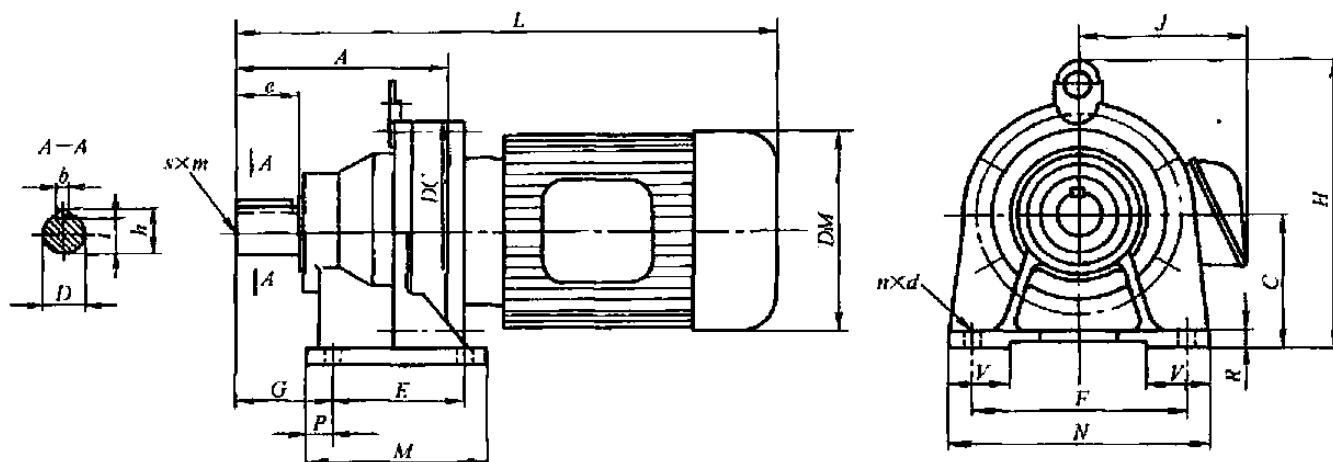
- ① 适用于连续工作制, 允许正、反向运转。
- ② 输出轴及输入轴轴伸上的键按 GB/T 1096 普通平键型式及尺寸。
- ③ 卧式双轴型减速器输出轴应处于水平位置工作, 必须倾斜使用时请与制造厂联系。
- ④ 立式减速器输出轴应垂直向下使用, 8155 以下机型号为油脂润滑, 可以水平使用。
- ⑤ 润滑油使用环境温度为 -10 ~ 40℃, 若超出温度范围, 请与制造厂联系。
- ⑥ 润滑方式详见生产厂样本资料。

● 本节采用天津减速机总厂资料, 但浙江通力减速机有限公司、上海艾格瑞特通力传动科技有限公司等也生产摆线针轮减速机, 具体技术参数可与生产厂联系。

8.2.2 外形、安装尺寸

一级卧式直连型 (XWD 型) 和双轴型 (XW 型) 减速器外形、安装尺寸

XWD 型 (机型号 8075 ~ 8155)



XW 型 (机型号 8075 ~ 8155)

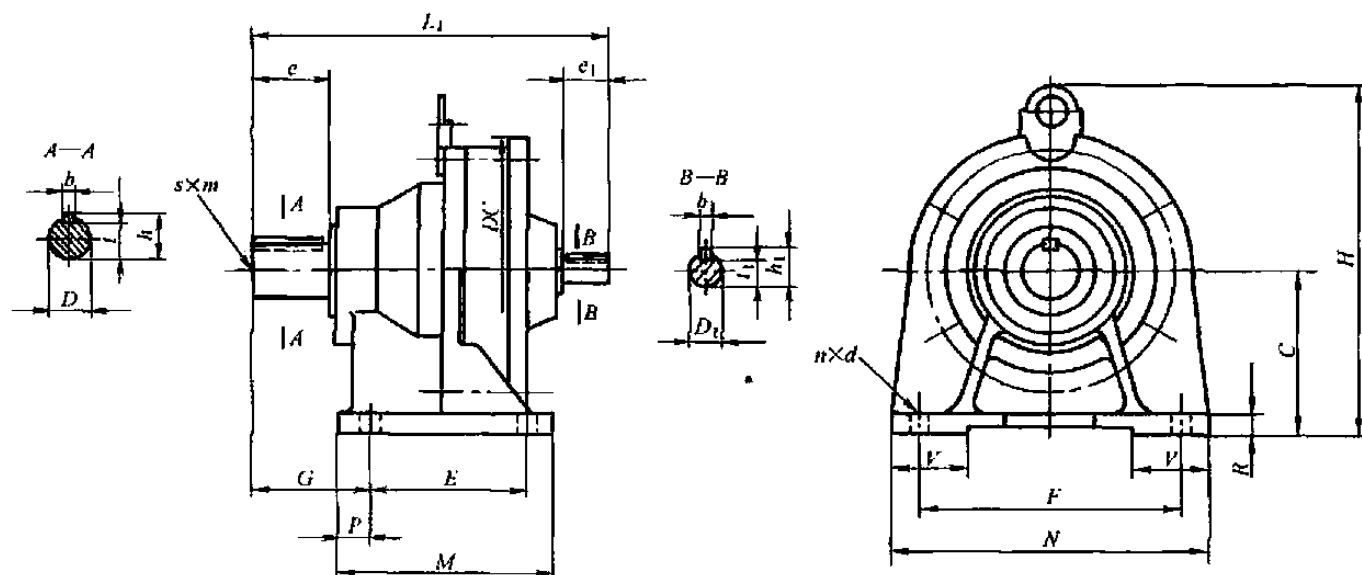


表 16-2-121

mm

机型号	XWD 型		XWD 型、XW 型																	XW 型									
	A	DC	C	E	F	M	N	G	P	H	R	V	n	d	输出端					输入端					DC	L ₁	质量/kg		
															D	e	b	t	h	s × m	D ₁	e ₁	b ₁	t ₁				h ₁	
8075	92	110	80	60	120	84	144	41	12	138	10	35	4	9	14	25	5	11	16	—	12	25	4	9.5	13.5	110	145	5	
8085	98	110	80	60	120	84	144	47	12	138	10	35	4	9	18	30	6	14	20	5	—	12	25	4	9.5	13.5	110	151	5
8095	142	150	100	90	150	130	180	60	15	207	12	40	4	11	28	35	8	24	31	—	15	25	5	12	17	150	202	11	
8105	156	150	100	90	150	135	180	60	15	207	12	40	4	11	28	35	8	24	31	—	15	25	5	12	17	150	208	13	
8115	192	204	120	115	190	155	230	82	20	257	15	55	4	14	38	55	10	33	41	—	18	35	6	14.5	20.5	204	259	24	
8125	192	204	140	115	190	155	230	82	20	277	15	60	4	14	38	55	10	33	41	—	18	35	6	14.5	20.5	204	259	25	
8130	240	230	150	145	290	195	330	100	25	300	22	65	4	18	50	70	14	44	53.5	M10 × 18	22	40	6	18.5	24.5	230	321	43	
8135	240	230	150	145	290	195	330	100	25	300	22	65	4	18	50	70	14	44	53.5	M10 × 18	22	40	6	18.5	24.5	230	321	43	
8145	260	230	150	145	290	195	330	120	25	300	22	65	4	18	50	90	14	44	53.5	M10 × 18	22	40	6	18.5	24.5	230	341	44	
8155	260	230	160	145	290	195	330	120	25	310	22	70	4	18	50	90	14	44	53.5	M10 × 18	22	40	6	18.5	24.5	230	341	46	

注: 1. XWD 型减速器的 DM、J、L 尺寸及质量见表 16-2-122。

2. 润滑脂润滑。

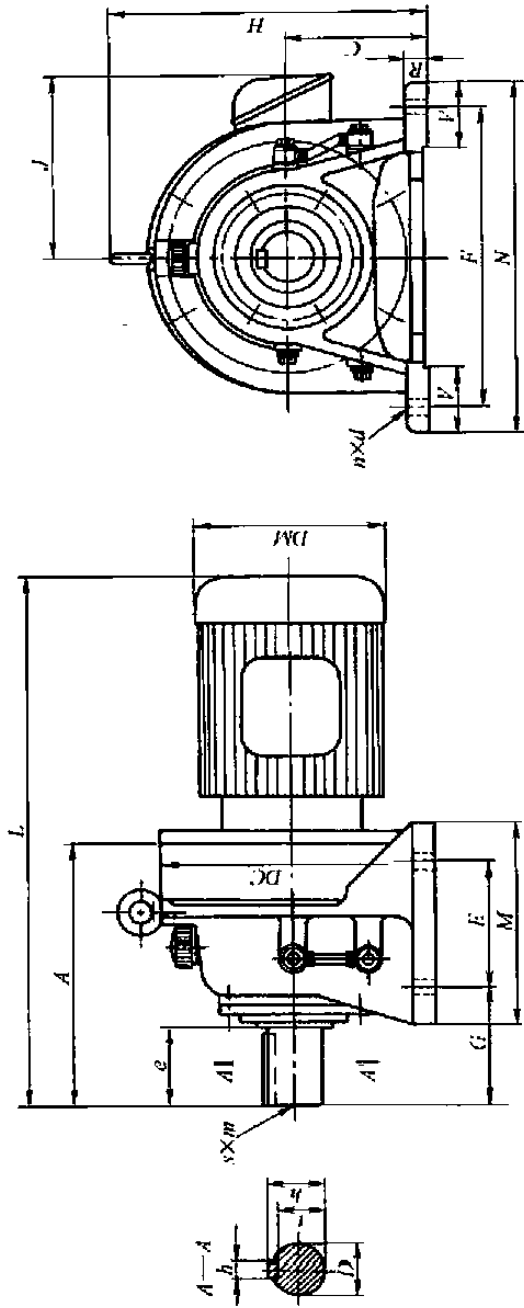
表 16-2-122

XWD 型 (机型号 8075 ~ 8155) 减速器外形尺寸

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号									
		8075	8085	8095	8105	8115	8125	8130	8135	8145	8155
0.09	DM	128	128	128							
	J	120	120	120							
	L	280	289	333							
	质量/kg	10	10	18							
0.18	DM	130	130	130	130						
	J	100	100	100	100						
	L	340	349	390	391						
	质量/kg	11	11	19	23						
0.37	DM		140	140	140	140					
	J		125	125	125	125					
	L		344	388	391	423					
	质量/kg		20	24	28	44					
0.55	DM			175	175	175					
	J			160	160	160					
	L			422	436	468					
	质量/kg			25	30	45					
0.75	DM			175	175	175	175	175	175	175	
	J			160	160	160	160	160	160	160	
	L			422	436	468	468	523	523	543	
	质量/kg			25	31	45	46	59	59	60	
1.1	DM				195	195		195	195		
	J				170	170		170	170		
	L				477	484		528	528		
	质量/kg				37	50		70	70		
1.5	DM				195	195	195	195	195	195	195
	J				170	170	170	170	170	170	170
	L				471	503	503	558	558	578	578
	质量/kg				40	54	55	70	70	71	73
2.2	DM				215	215	215	215	215	215	215
	J				185	185	185	185	185	185	185
	L				514	543	543	598	598	618	618
	质量/kg				50	63	64	78	78	79	82
3	DM					215	215	215	215	215	215
	J					185	185	185	185	185	185
	L					543	543	598	598	618	618
	质量/kg					64	65	78	78	79	82
4	DM					240	240	240	240	240	240
	J					195	195	195	195	195	195
	L					568	568	623	623	643	643
	质量/kg					68	69	101	101	102	104
5.5	DM						275	275	275	275	275
	J						215	215	215	215	215
	L						624	678	678	698	698
	质量/kg						77	112	112	113	115
7.5	DM						275	275	275	275	275
	J						215	215	215	215	215
	L						713	713	733	733	733
	质量/kg						112	112	113	115	115
11	DM										335
	J										265
	L										756
	质量/kg										153

注：表中所列尺寸及质量是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

XWD 型 (机型号 8160 ~ 8275)



XW 型 (机型号 8160 ~ 8275)

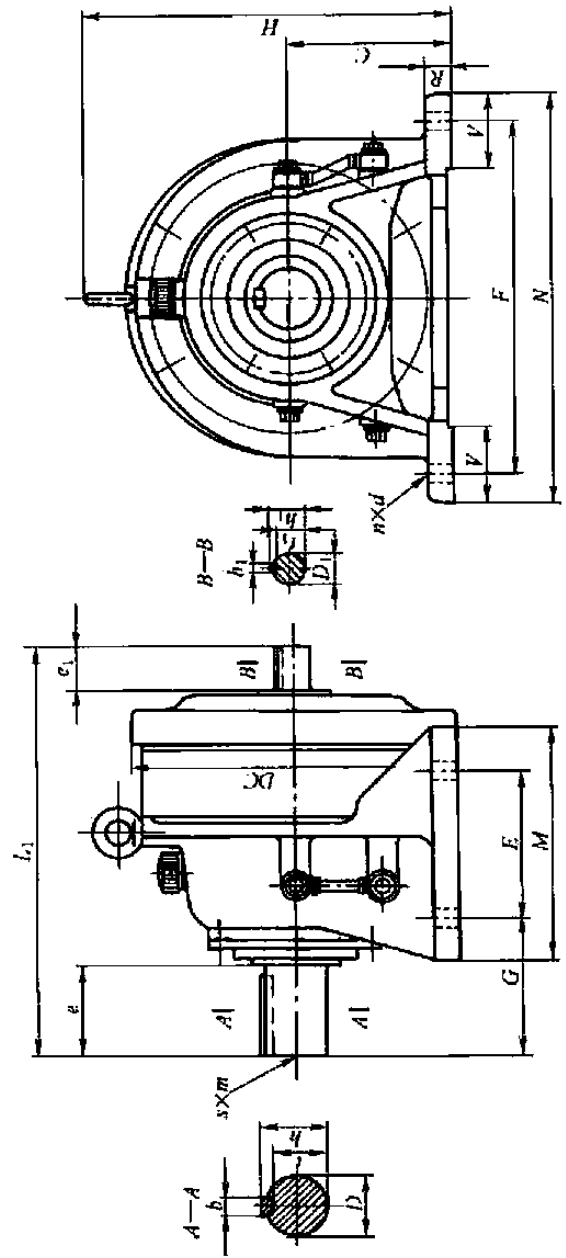


表 16-2-123

机型号	XWD 型、XW 型														质量/kg												
	XWD 型																										
	A	DC	C	E	F	M	N	G	H	R	V	α	d	输出端													
														输入端													
														D_1 (h6)	e_1	b_1	t_1	h_1	DC	L_1							
8160	308	300	160	150	370	238	410	139	356	25	75	4	18	60	90	18	53	64	M10 × 18	30	45	8	26	33	318	413	84
8165	308	300	160	150	370	238	410	139	356	25	75	4	18	60	90	18	53	64	M10 × 18	30	45	8	26	33	318	413	84
8170	352	340	200	275	380	335	430	125	425	30	80	4	22	70	90	20	62.5	74.5	M12 × 24	35	55	10	30	38	362	477	125
8175	352	340	200	275	380	335	430	125	425	30	80	4	22	70	90	20	62.5	74.5	M12 × 24	35	55	10	30	38	362	477	125
8180	389	370	220	320	420	380	470	145	460	30	85	4	22	80	110	22	71	85	M12 × 24	40	65	12	35	43	390	527	163
8185	389	370	220	320	420	380	470	145	460	30	85	4	22	80	110	22	71	85	M12 × 24	40	65	12	35	43	390	527	163
8190	465	430	250	380	480	440	530	170	529	35	90	4	26	95	135	25	86	100	M20 × 34	45	70	14	39.5	48.5	451	620	240
8195	465	430	250	380	480	440	530	170	529	35	90	4	26	95	135	25	86	100	M20 × 34	45	70	14	39.5	48.5	451	620	240
8205	512	448	250	360	440	440	530	215	530	35	100	4	26	100	165	28	90	106	M20 × 34	45	82	14	39.5	48.5	471	678	255
8215	531	485	265	395	480	475	580	210	575	40	110	4	26	110	165	28	100	116	M20 × 34	50	82	14	44.5	53.5	507	708	336
8225	566	526	280	420	540	520	620	230	610	40	115	4	33	120	165	32	109	127	M20 × 34	55	82	16	49	59	549	752	409
8235	630	562	300	460	580	560	670	260	667	45	120	4	33	130	200	32	119	137	M24 × 41	60	105	18	53	64	591	839	503
8245	661	614	335	480	630	580	720	263	729	45	128	4	39	140	200	36	128	148	M24 × 41	65	105	18	53	69	637	877	614
8255	788	670	375	520	670	630	780	320	815	50	140	4	39	160	240	40	147	169	M30 × 49	80	130	22	71	85	703	1040	957
8265	892	736	400	590	770	700	880	390	874	55	160	4	45	170	300	40	157	179	M30 × 49	80	130	22	71	85	772	1150	1190
8270	1151	986	540	420 × 2	1050	1040	1160	485	1161	60	200	6	45	180	330	45	165	190	M42 × 80	90	150	25	81	95	986	1474	2460
8275	1151	986	540	420 × 2	1050	1040	1160	485	1161	60	200	6	45	180	330	45	165	190	M42 × 80	90	150	25	81	95	986	1474	2460

注: 1. XWD 型减速器的 DM、J、L 尺寸及质量见表 16-2-124。

2. 油浴式润滑。

表 16-2-124

XWD 型 (机型号 8160 ~ 8275) 减速器外形尺寸

电机		尺寸 /mm	机 型 号										
功率/kW	极数		8160	8165	8170	8175	8180	8185	8190	8195	8205	8215	8225
1.5	4	DM	195	195									
		J	170	170									
		L	626	626									
		质量/kg	104	104									
2.2	4	DM	215	215	215	215							
		J	185	185	185	185							
		L	669	669	719	719							
		质量/kg	110	110	146	146							
3	4	DM	215	215	215	215							
		J	185	185	185	185							
		L	669	669	719	719							
		质量/kg	110	110	146	146							
4	4	DM	240	240	240	240	240	240					
		J	195	195	195	195	195	195					
		L	684	684	737	737	781	781					
		质量/kg	142	142	178	178	210	210					
5.5	4	DM	275	275	275	275	275	275	275	275			
		J	215	215	215	215	215	215	215	215			
		L	739	739	787	787	831	831	907	907			
		质量/kg	153	153	189	189	221	221	294	294			
7.5	4	DM	275	275	275	275	275	275	275	275	275		
		J	215	215	215	215	215	215	215	215	215		
		L	774	774	827	827	866	866	952	952	989		
		质量/kg	153	153	212	212	244	244	309	309			
11	4	DM	335	335	335	335	335	335	335	335	335	355	
		J	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	
		L	804	804	857	857	896	896	977	977	1017	1041	
		质量/kg	191	191	227	227	259	259	350	350			
15	4	DM	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	
		J	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	
		L	853	853	897	897	936	936	1022	1022	1157	1172	
		质量/kg	212	212	249	249	281	281	389	389			
18.5	4	DM			380	380	380	380	380	380	380	380	
		J			300	300	300	300	300	300	300	300	
		L			1019	1019	1056	1056	1132	1132	1176	1191	
		质量/kg			289	289	321	321	435	435			
22	4	DM			380	380	380	380	380	380	380	380	
		J			300	300	300	300	300	300	300	300	
		L			1019	1019	1056	1056	1132	1132	1176	1191	
		质量/kg			314	314	346	346	435	435			
30	4	DM						420	420	420	420	420	
		J						340	340	340	340	340	
		L						1102	1178	1178	1215	1239	
		质量/kg						426	515	515			

电机		尺寸 /mm	机 型 号										
功率/kW	极数		8160	8165	8170	8175	8180	8185	8190	8195	8205	8215	8225
37	4	DM								490	490	490	490
		J								375	375	375	375
		L								1248	1267	1291	1331
		质量/kg											
45	4	DM									490	490	490
		J									375	375	375
		L									1392	1416	1456
		质量/kg											
电机		尺寸 /mm	机 型 号										
功率/kW	极数		8185	8195	8205	8215	8225	8235	8245	8255	8265	8270 8275	
15	6	DM				380	380	380	380				
		J				300	300	300	300				
		L				1131	1218	1278	1307				
		质量/kg											
18.5	6	DM	420	420	420	420	420	420	420	420			
		J	315	315	315	315	315	315	315	315			
		L	1056	1132	1176	1193	1234	1303	1330	1461			
		质量/kg	321	435									
22	6	DM	420	420	420	420	420	420	420	420			
		J	315	315	315	315	315	315	315	315	315		
		L	1056	1132	1176	1193	1234	1303	1330	1461	1565		
		质量/kg	346	455									
30	6	DM		490	490	490	490	490	490	490	490	490	
		J		375	375	375	375	375	375	375	375	375	
		L		1178	1225	1239	1279	1346	1375	1506	1610	1870	
		质量/kg		515									
37	6	DM				515	515	515	515	515	515	515	
		J				385	385	385	385	385	385	385	
		L				1309	1349	1416	1445	1578	1680	1940	
		质量/kg											
45	6	DM					580	580	580	580	580	580	
		J					470	470	470	470	470	470	
		L					1439	1503	1534	1661	1765	2025	
		质量/kg											
55	6	DM								580	580	580	
		J								470	470	470	
		L								1716	1820	2080	
		质量/kg											

注：所用电机为 Y 系列及 YA 系列增安型尺寸，若用 YB、YEJ、YCT 等型式电机，请与生产厂联系。

一级立式直连型 (XLD 型) 和双轴型 (XL 型) 减速器外形、安装尺寸

XLD 型

(机型号 8075 ~ 8155)

XL 型

(机型号 8075 ~ 8155)

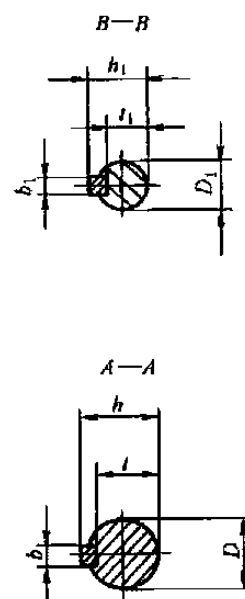
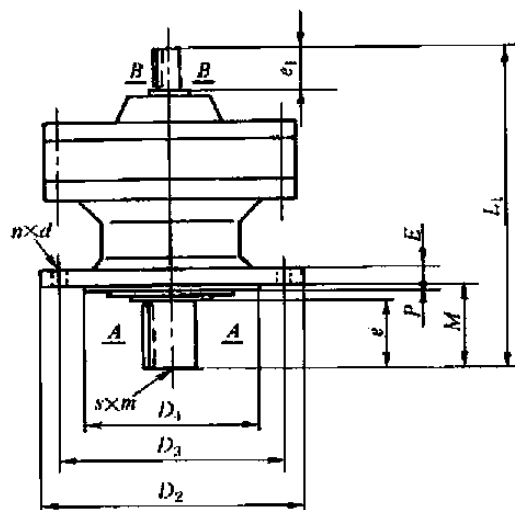
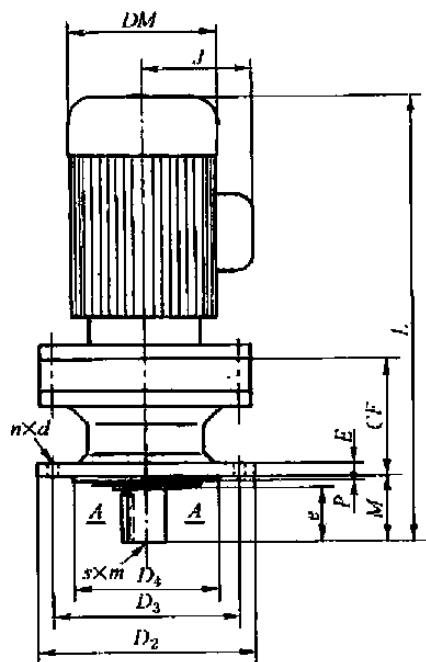


表 16-2-125

mm

机型号	XLD 型		XLD 型、XL 型											XL 型					L ₁	质量 /kg		
	CF	M	E	P	D ₂	D ₃	D ₄ (h9)	n	d	输出端					输入端							
										D (h6)	e	b	t	h	s × m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁			h ₁	t ₁
8075	55	34	8	3	120	102	80	6	9	14	25	5	11	16	—	12	25	4	13.5	9.5	145	3.5
8085	56	42	9	3	160	134	110	4	11	18	30	6	14.5	20.5	—	12	25	4	13.5	9.5	151	4.5
8095	94	48	9	3	160	134	110	4	11	28	35	8	24	31	—	15	25	5	17	12	202	9
8105	108	48	9	3	160	134	110	4	11	28	35	8	24	31	—	15	25	5	17	12	208	11
8115	123	69	13	4	210	180	140	6	11	38	55	10	33	41	—	18	35	6	20.5	14.5	259	23
8125	123	69	13	4	210	180	140	6	11	38	55	10	33	41	—	18	35	6	20.5	14.5	259	23
8130	164	76	15	4	260	230	200	6	11	50	61	14	44.5	53.5	M10 × 18	22	40	6	24.5	18.5	321	42
8135	164	76	15	4	260	230	200	6	11	50	61	14	44.5	53.5	M10 × 18	22	40	6	24.5	18.5	321	42
8145	164	96	15	4	260	230	200	6	11	50	81	14	44.5	53.5	M10 × 18	22	40	6	24.5	18.5	341	43
8155	164	96	15	4	260	230	200	6	11	50	81	14	44.5	53.5	M10 × 18	22	40	6	24.5	18.5	341	43

注: 1. XLD 型减速器的 DM、J、L 尺寸及质量见表 16-2-126。

2. 润滑脂润滑。

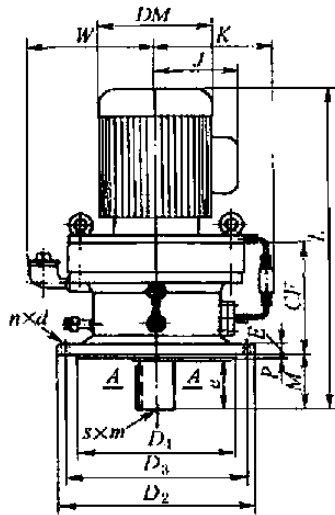
表 16-2-126

XLD 型 (机型号 8075 ~ 8155) 减速器外形尺寸

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号									
		8075	8085	8095	8105	8115	8125	8130	8135	8145	8155
0.09	DM	128	128	128							
	J	120	120	120							
	L	280	289	333							
	质量/kg	10	10	18							
0.18	DM	130	130	130	130						
	J	100	100	100	100						
	L	340	349	390	391						
	质量/kg	11	11	19	23						
0.37	DM		140	140	140	140					
	J		125	125	125	125					
	L		344	388	391	423					
	质量/kg		20	24	28	44					
0.55	DM			175	175	175					
	J			160	160	160					
	L			422	436	468					
	质量/kg			25	30	45					
0.75	DM			175	175	175	175	175	175	175	
	J			160	160	160	160	160	160	160	
	L			422	436	468	468	523	523	543	
	质量/kg			25	31	45	46	59	59	60	
1.1	DM				195	195		195	195		
	J				170	170		170	170		
	L				447	484		528	528		
	质量/kg				37	50		70	70		
1.5	DM				195	195	195	195	195	195	
	J				170	170	170	170	170	170	
	L				471	503	503	558	558	578	
	质量/kg				40	54	55	70	70	71	
2.2	DM				215	215	215	215	215	215	
	J				185	185	185	185	185	185	
	L				514	543	543	598	598	618	
	质量/kg				50	63	64	78	78	79	
3	DM					215	215	215	215	215	
	J					185	185	185	185	185	
	L					543	543	598	598	618	
	质量/kg					64	65	78	78	79	
4	DM					240	240	240	240	240	
	J					195	195	195	195	195	
	L					568	568	623	623	643	
	质量/kg					68	69	101	101	102	
5.5	DM						275	275	275	275	
	J						215	215	215	215	
	L						624	678	678	698	
	质量/kg						77	112	112	113	
7.5	DM							275	275	275	
	J							215	215	215	
	L							713	713	733	
	质量/kg							112	112	113	
11	DM									335	
	J									265	
	L									756	
	质量/kg									153	

注：表中所列尺寸及质量是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

XLD 型
(机型号 8160 ~ 8265)



XL 型
(机型号 8160 ~ 8265)

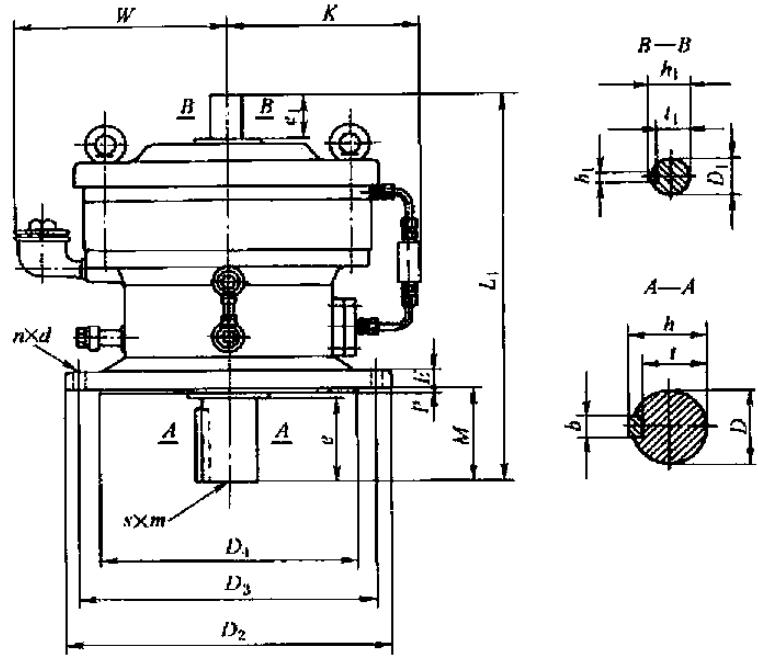


表 16-2-127

mm

机型号	XLD 型		XLD 型、XL 型											XL 型										
	CF	P	E	M	n	d	D ₂	D ₃	D ₄ (h9)	K	W	输出端					输入端					L ₁	质量 /kg	
												D (h6)	e	b	h	t	s × m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁	h ₁			t ₁
8160	219	4	20	89	6	11	340	310	270	217	200	60	80	18	64	53	M10 × 18	30	45	8	33	26	413	79
8165	219	4	20	89	6	11	340	310	270	217	200	60	80	18	64	53	M10 × 18	30	45	8	33	26	413	79
8170	258	5	22	94	8	14	400	360	316	222	225	70	84	20	74.5	62.5	M12 × 24	35	55	10	38	30	477	121
8175	258	5	22	94	8	14	400	360	316	222	225	70	84	20	74.5	62.5	M12 × 24	35	55	10	38	30	477	121
8180	279	5	22	110	8	18	430	390	345	237	240	80	100	22	85	71	M12 × 24	40	65	12	43	35	527	150
8185	279	5	22	110	8	18	430	390	345	237	240	80	100	22	85	71	M12 × 24	40	65	12	43	35	527	150
8190	320	6	30	145	12	18	490	450	400	360	200	95	125	25	100	86	M20 × 34	45	70	14	48.5	39.5	617	225
8195	320	6	30	145	12	18	490	450	400	360	200	95	125	25	100	86	M20 × 34	45	70	14	48.5	39.5	617	225
8205	308	5	30	204	8	22	455	405	355	376	287	100	165	28	106	90	M20 × 34	45	82	14	48.5	39.5	678	
8215	328	7	35	203	8	24	490	440	390	400	290	110	165	28	116	100	M20 × 34	50	82	14	53.5	44.5	708	
8225	356	10	35	210	8	27	535	475	415	400	326	120	165	32	127	109	M20 × 34	55	82	16	59	49	752	465
8235	380	10	40	250	8	27	570	510	450	413	344	130	200	32	137	119	M24 × 41	60	105	18	64	53	839	
8245	411	10	40	250	8	33	635	560	485	420	365	140	200	36	148	128	M24 × 41	65	105	18	69	58	877	
8255	493	10	45	295	8	33	685	610	535	432	425	160	240	40	169	147	M30 × 49	80	130	22	85	71	1040	
8265	532	10	50	360	8	39	750	660	570	460	431	170	300	40	179	157	M30 × 49	80	130	22	85	71	1150	

注：1. 表中所列尺寸及质量是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

2. 柱塞泵强制润滑或油浴润滑（速比较小， $i < 13$ 时）。

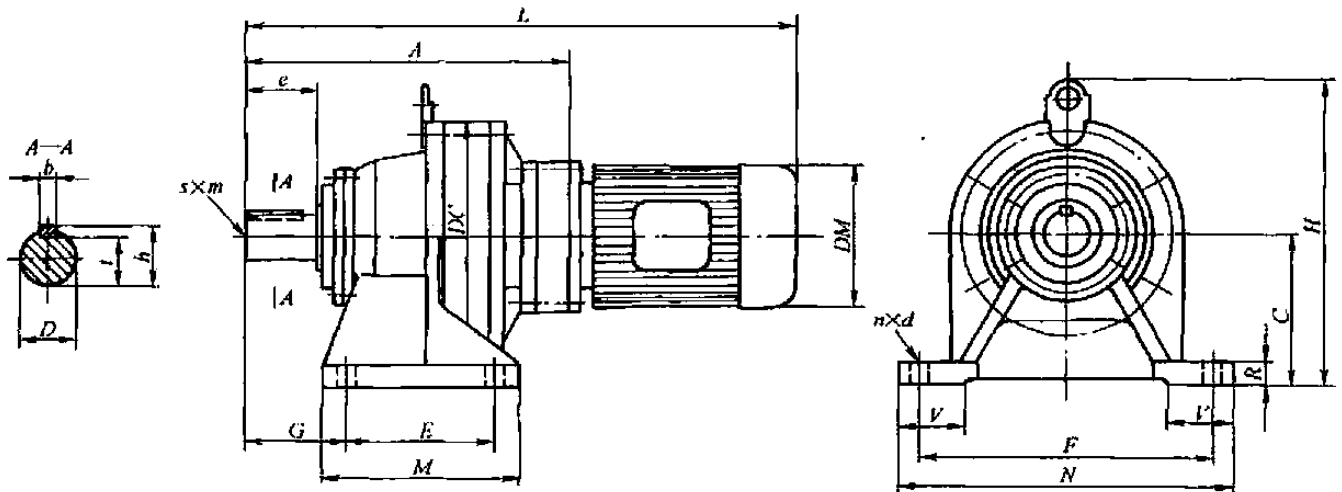
3. XLD 型减速器的 DM、J、L 尺寸及质量见表 16-2-129。

电机		尺寸 /mm	机 型 号										
功率/kW	极数		8160	8165	8170	8175	8180	8185	8190	8195	8205	8215	8225
55	4	DM										515	515
		J										445	445
		L										1491	1526
		质量/kg											
电机		尺寸 /mm	机 型 号										
功率/kW	极数		8185	8195	8205	8215	8225	8235	8245	8255	8265	8270 8275	
15	6	DM				380	380	380	380				
		J				300	300	300	300				
		L				1131	1218	1278	1307				
		质量/kg											
18.5	6	DM	420	420	420	420	420	420	420	420			
		J	315	315	315	315	315	315	315	315			
		L	1056	1132	1176	1193	1234	1303	1330	1461			
		质量/kg	321	435									
22	6	DM	420	420	420	420	420	420	420	420	420		
		J	315	315	315	315	315	315	315	315	315		
		L	1056	1132	1176	1193	1234	1303	1330	1461	1565		
		质量/kg	346	455									
30	6	DM		490	490	490	490	490	490	490	490	490	490
		J		375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
		L		1178	1225	1239	1279	1346	1375	1506	1610	1870	
		质量/kg		515									
37	6	DM			515	515	515	515	515	515	515	515	515
		J			385	385	385	385	385	385	385	385	385
		L			1302	1309	1349	1416	1445	1578	1680	1940	
		质量/kg											
46	6	DM				580	580	580	580	580	580	580	580
		J				470	470	470	470	470	470	470	470
		L				1416	1439	1503	1534	1661	1765	2025	
		质量/kg											
55	6	DM					580	580	580	580	580	580	580
		J					470	470	470	470	470	470	470
		L					1594	1658	1687	1716	1820	2080	
		质量/kg											
75	6	DM						645	645	645	645	645	645
		J						576	576	576	576	576	576
		L						1798	1827	1945	2062	2322	
		质量/kg											

注：所用电机为Y系列及YA系列增安型尺寸，若用YB、YEJ、YCT等型式电机请与生产厂联系。

二级卧式直连型 (XWED 型) 和双轴型 (XWE 型) 减速器外形、安装尺寸

XWED 型 (机型号 8075A ~ 8145C)



XWE 型 (机型号 8075A ~ 8145C)

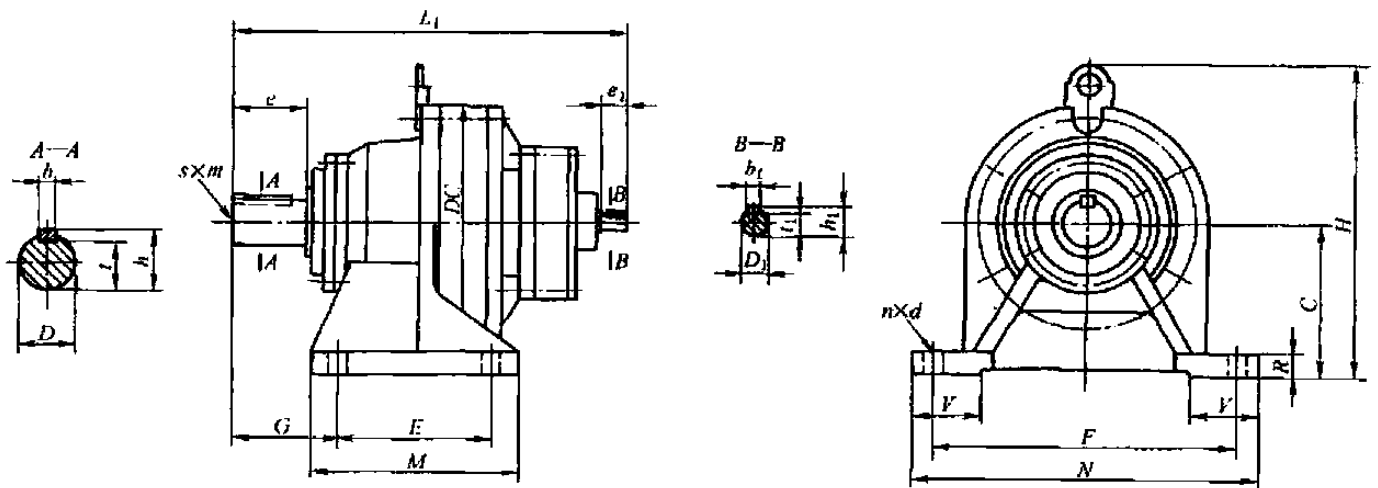


表 16-2-130

mm

机型号	XWED 型		XWED 型、XWE 型										
	A	DC	C	E	F	M	N	G	H	R	V	n	d
8075A	125	110	80	60	120	84	144	42	138	10	35	4	9
8085A	131	110	80	60	120	84	144	47	138	10	35	4	9
8095A	190	150	100	90	150	130	180	60	207	12	40	4	11
8105A	204	150	100	90	150	135	180	60	207	12	40	4	11
8115A	240	204	120	115	190	155	230	82	257	15	55	4	14
8115B	252	204	120	115	190	155	230	82	257	15	55	4	14
8130A 8135A	294	230	150	145	290	195	330	100	300	22	65	4	18
8130B 8135B	303	230	150	145	290	195	330	100	300	22	65	4	18
8130C 8135C	317	230	150	145	290	195	330	100	300	22	65	4	18
8145A	314	230	150	145	290	195	330	120	300	22	65	4	18
8145B	323	230	150	145	290	195	330	120	300	22	65	4	18
8145C	337	230	150	145	290	195	330	120	300	22	65	4	18

机型号	XWED 型、XWE 型						XWE 型						DC	L ₁
	输出端						输入端							
	D(h6)	e	b	t	h	s×m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁	t ₁	h ₁			
8075A	14	25	5	11	16	—	12	25	4	9.5	13.5	110	178	
8085A	18	30	6	14.5	20.5	—	12	25	4	9.5	13.5	110	184	
8095A	28	35	8	24	31	—	12	25	4	9.5	13.5	150	243	
8105A	28	35	8	24	31	—	12	25	4	9.5	13.5	150	257	
8115A	38	55	10	33	41	—	12	25	4	9.5	13.5	204	293	
8115B	38	55	10	33	41	—	15	25	5	12	17	204	312	
8130A 8135A	50	70	14	44.5	53.5	M10×18	12	25	4	9.5	13.5	230	347	
8130B 8135B	50	70	14	44.5	53.5	M10×18	15	25	5	12	17	230	363	
8130C 8135C	50	70	14	44.5	53.5	M10×18	15	25	5	12	17	230	369	
8145A	50	90	14	44.5	53.5	M10×18	12	25	4	9.5	13.5	230	367	
8145B	50	90	14	44.5	53.5	M10×18	15	25	5	12	17	230	383	
8145C	50	90	14	44.5	53.5	M10×18	15	25	5	12	17	230	389	

注：1. XWED 型减速器的 DM、J、L 尺寸见表 16-2-131。

2. 润滑脂润滑。

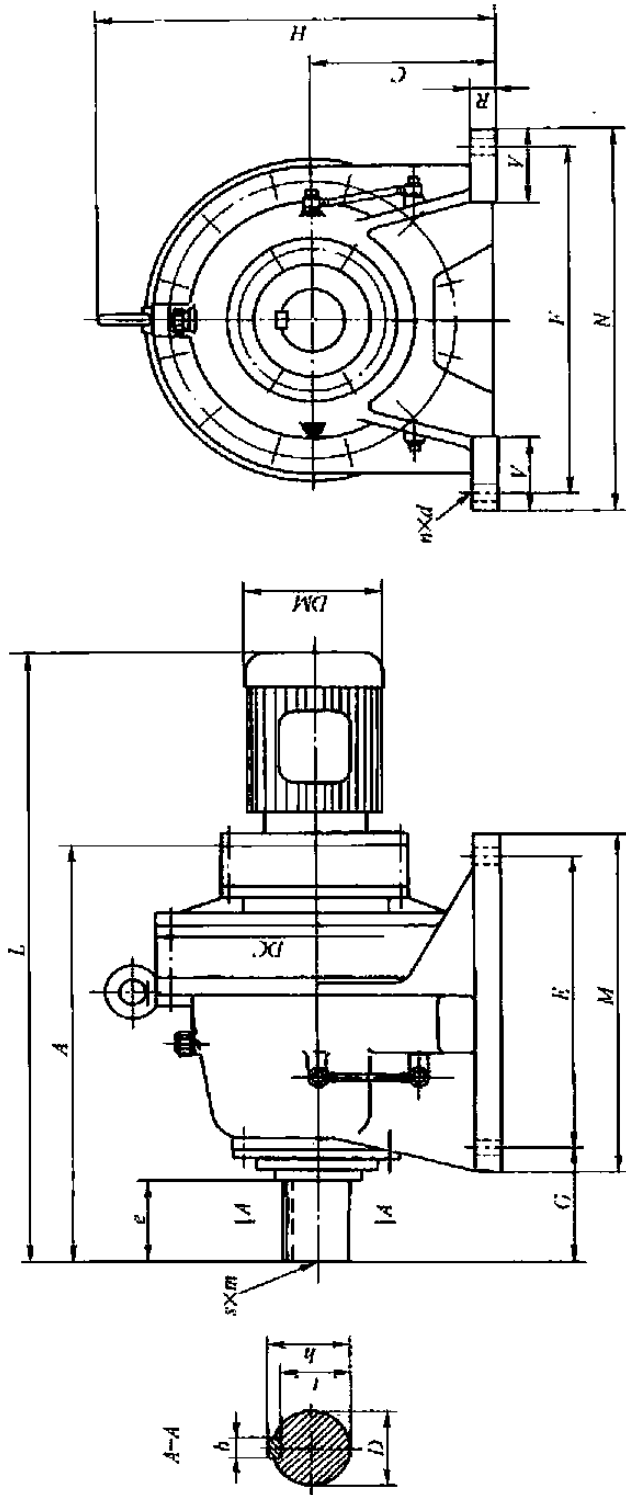
表 16-2-131

XWED 型（机型号 8075A ~ 8145C）减速器外形尺寸

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号											
		8075A	8085A	8095A	8105A	8115A	8115B	8130A 8135A	8130B 8135B	8130C 8135C	8145A	8145B	8145C
0.09	DM	128	128	128	128	128	128						
	J	120	120	120	120	120	120						
	L	316	322	381	395	431	443						
0.18	DM			130	130	130		130	130		130	130	
	J			100	100	100		100	100		100	100	
	L			441	455	491		540	552		560	572	
0.37	DM				140	140		140			140		
	J				125	125		125			125		
	L				455	491		540			560		
0.55	DM						175		175			175	
	J						160		160			160	
	L						534		585			605	
0.75	DM						175		175				
	J						160		160				
	L						534		585				
1.1	DM									195			
	J									170			
	L									611			
1.5	DM									195			195
	J									170			170
	L									635			655
2.2	DM									215			215
	J									185			185
	L									675			695

注：表中所列尺寸是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

XWED 型 (机型号 8160A ~ 8275A)



XWE 型 (机型号 8160A ~ 8275A)

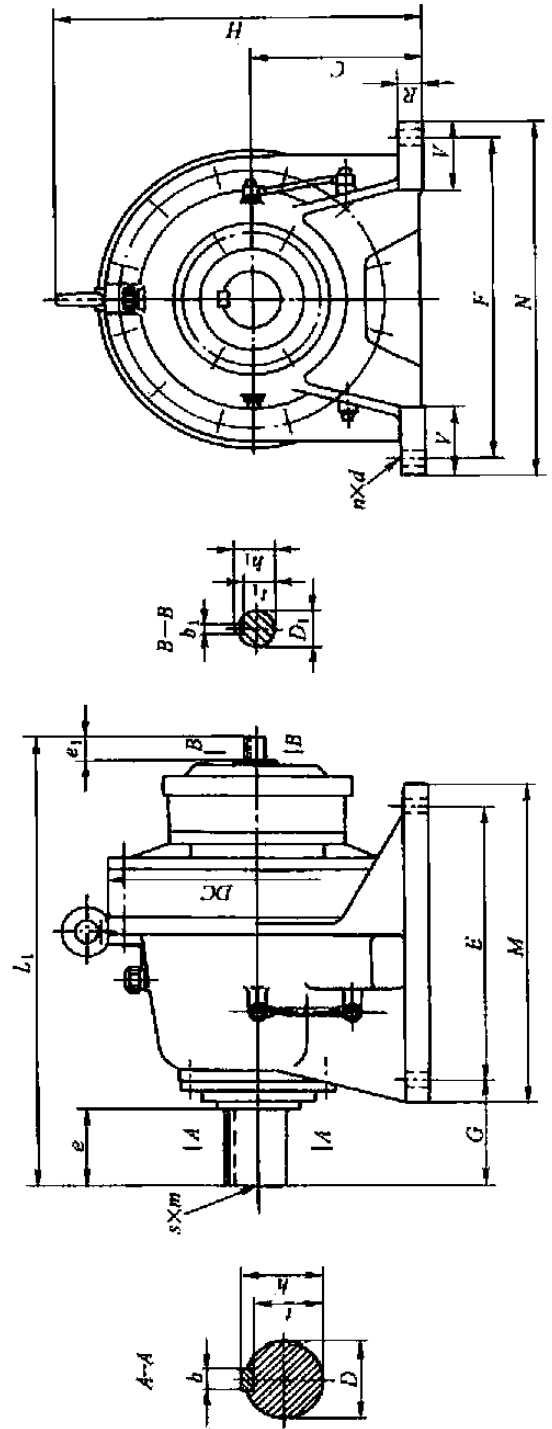


表 16-2-132

机型号	XWED型、XWE型											XWE型															
	XWED型						输出端					输入端															
	A	DC	C	E	F	M	N	G	H	R	V	n	d	D(h6)	e	b	t	h	s × m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁	t ₁	h ₁	DC	L ₁	
8160A	373	300	160	150	370	238	410	139	356	25	75	4	18	60	90	18	53	64	M10 × 18	15	25	5	12	17	300	433	
8165A																											
8160B	384	300	160	150	370	238	410	139	356	25	75	4	18	60	90	18	53	64	M10 × 18	15	25	5	12	17	300	439	
8165B																											
8160C	389	300	160	150	370	238	410	139	356	25	75	4	18	60	90	18	53	64	M10 × 18	18	35	6	14.5	20.5	300	462	
8165C																											
8170A	418	340	200	275	380	335	430	125	425	30	80	4	22	70	90	20	62.5	74.5	M12 × 24	15	25	5	12	17	340	478	
8175A																											
8170B	432	340	200	275	380	335	430	125	425	30	80	4	22	70	90	20	62.5	74.5	M12 × 24	15	25	5	12	17	340	484	
8175B																											
8170C	436	340	200	275	380	335	430	125	425	30	80	4	22	70	90	20	62.5	74.5	M12 × 24	18	35	6	14.5	20.5	340	509	
8175C																											
8180A	474	370	220	320	420	380	470	145	460	30	85	4	22	80	110	22	71	85	M12 × 24	15	25	5	12	17	370	526	
8185A																											
8180B	496	370	220	320	420	380	470	145	460	30	85	4	22	80	110	22	71	85	M12 × 24	22	40	6	18.5	24.5	370	577	
8185B																											
8190A	556	430	250	380	480	440	530	170	529	35	90	4	26	95	135	25	86	100	M20 × 34	18	35	6	14.5	20.5	430	629	
8195A																											
8190B	572	430	250	380	480	440	530	170	529	35	90	4	26	95	135	25	86	100	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	430	653	
8195B																											
8205A	602	448	250	360	440	440	530	215	530	35	100	4	26	100	165	28	90	106	M20 × 34	18	35	6	14.5	20.5	448	670	
8205B	628	448	250	360	440	440	530	215	530	35	100	4	26	100	165	28	90	106	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	448	705	
8215A	650	485	265	395	480	475	580	210	575	40	110	4	26	110	165	28	100	116	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	485	731	
8215B	675	485	265	395	480	475	580	210	575	40	110	4	26	110	165	28	100	116	M20 × 34	30	45	8	26	33	485	780	
8225A	692	526	280	420	540	520	620	230	610	40	115	4	33	120	165	32	109	127	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	526	773	
8225B	736	526	280	420	540	520	620	230	610	40	115	4	33	120	165	32	109	127	M20 × 34	35	55	10	30	38	526	860	
8235A	778	562	300	460	580	560	670	260	667	45	120	4	33	130	200	32	119	137	M24 × 41	30	45	8	26	33	562	883	
8235B	800	562	300	460	580	560	670	260	667	45	120	4	33	130	200	32	119	137	M24 × 41	40	65	12	35	43	562	938	
8245A	816	614	335	480	630	580	720	263	729	45	128	4	39	140	200	36	128	148	M24 × 41	30	45	8	26	33	614	921	
8245B	837	614	335	480	630	580	720	263	729	45	128	4	39	140	200	36	128	148	M24 × 41	40	65	12	35	43	614	975	
8255A	956	670	375	520	670	630	780	320	815	50	140	4	39	160	240	40	147	169	M30 × 49	35	55	10	30	38	670	1081	
8255B	978	670	375	520	670	630	780	320	815	50	140	4	39	160	240	40	147	169	M30 × 49	45	70	14	39.5	48.5	670	1133	
8265A	1088	736	400	590	770	700	880	390	874	55	160	4	45	170	300	40	157	179	M30 × 49	45	70	14	39.5	48.5	736	1243	
8270A																											
8275A	1351	950	540	420 × 2	1050	1040	1160	485	1163	60	200	6	45	180	330	45	165	190	M42 × 52	45	70	14	39.5	48.5	950	1504	

注: 1. XWED型减速器的DM、J、L尺寸见表16-2-133。

2. 油浴式润滑。

表 16-2-133

XWED 型 (机型号 8160A ~ 8275A) 减速器外形尺寸

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号											
		8160A 8165A	8160B 8165B	8160C 8165C	8170A 8175A	8170B 8175B	8170C 8175C	8180A 8185A	8180B 8185B	8190A 8195A	8190B 8195B	8205A	8205B
0.18	DM	130			130								
	J	100			100								
	L	624			670								
0.37	DM	140			140			140					
	J	125			125			125					
	L	624			670			707					
0.55	DM	175			175			175					
	J	160			160			160					
	L	655			701			756					
0.75	DM	175			175			175		175		175	
	J	160			160			160		160		160	
	L	655			701			756		838		879	
1.1	DM		195			195		195		195		195	
	J		170			170		170		170		170	
	L		681			726		768		850		891	
1.5	DM		195			195		195		195		195	
	J		170			170		170		170		170	
	L		705			750		792		874		915	
2.2	DM		215	215		215	215	215		215	215		215
	J		185	185		185	185	185		185	185		185
	L		745	747		790	794	832		914	930		982
3	DM			215			215		215	215			215
	J			185			185		185	185			185
	L			747			794		854	914			982
4	DM			230			230		230	230	230		230
	J			190			190		190	190	190		190
	L			764			811		882	931	947		999
5.5	DM						270		270	270	270		270
	J						210		210	210	210		210
	L						874		934	994	1010		1062
7.5	DM								270		270		270
	J								210		210		210
	L								972		1048		1100

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号											
		8215A	8215B	8225A	8225B	8235A	8235B	8245A	8245B	8255A	8255B	8265A	8270A 8275A
1.5	DM	195		195									
	J	170		170									
	L	968		1010									
2.2	DM	215		215		215		215					
	J	185		185		185		185					
	L	1008		1050		1136		1174					
3	DM	215		215				215		215			
	J	185		185				185		185			
	L	1008		1050				1174		1361			
4	DM	230		230		230		230		230			
	J	190		190		190		190		190			
	L	1025		1067		1153		1191		1331			
5.5	DM	270		270		270		270		270		270	270
	J	210		210		210		210		210		210	210
	L	1088		1130		1216		1254		1394		1526	1787
7.5	DM	270	270	270		270		270		270		270	270
	J	210	210	210		210		210		210		210	210
	L	1126	1151	1168		1254		1292		1432		1564	1825
11	DM		325		325	325		325		325		325	325
	J		255		255	255		255		255		255	255
	L		1187		1247	1290		1328		1468		1600	1861
15	DM				325	325		325	325	325		325	325
	J				255	255		255	255	255		255	255
	L				1292	1335		1373	1394	1531		1645	1906
18.5	DM				400		400		400	400		400	400
	J				310		310		210	310		310	210
	L				1402		1467		1504	1623		1755	2016
22	DM						400		400	400		400	400
	J						310		310	310		310	310
	L						1467		1504	1623		1755	2016
30	DM										450	450	450
	J										345	340	340
	L										1691	1768	2029
37	DM											450	450
	J											340	340
	L											1793	2054

注：表中所列尺寸是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

二级立式直连型 (XLED 型) 和双轴型 (XLE 型) 减速器外形、安装尺寸

XLED 型

(机型号 8075A - 8145C)

XLE 型

(机型号 8075A ~ 8145C)

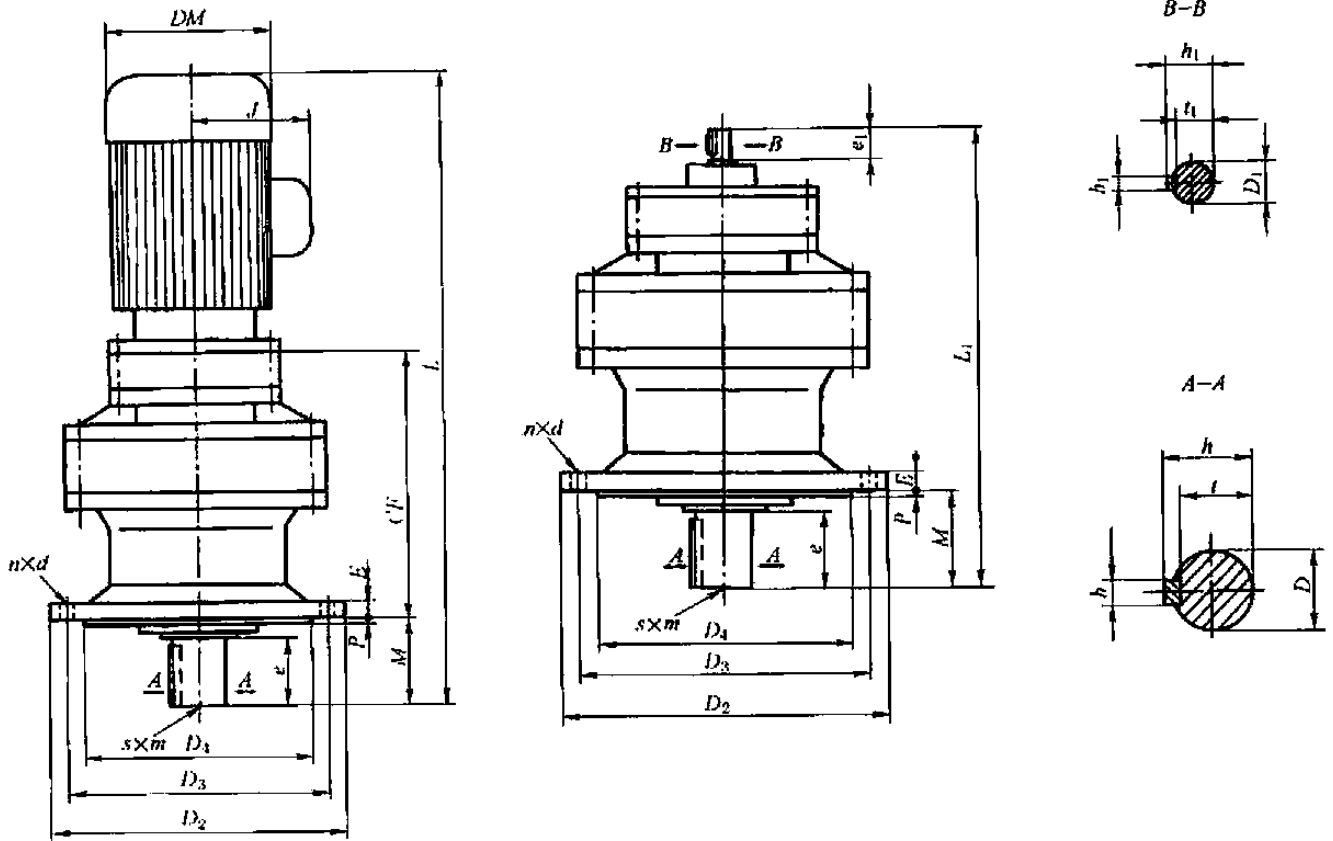


表 16-2-134

mm

机型号	XLED 型, XLE 型										XLE 型										
	XLED 型										输出端					输入端					
	CF	M	E	P	D ₂	D ₃	D ₄ (h9)	n	d	D (h6)	e	b	t	h	s × m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁	t ₁	h ₁	L ₁
8075A	91	34	8	3	120	102	80	6	9	14	25	5	11	16	—	12	25	4	9.5	13.5	178
8085A	89	42	9	3	160	134	110	4	11	18	30	6	14.5	20.5	—	12	25	4	9.5	13.5	184
8095A	142	48	9	3	160	134	110	4	11	28	35	8	24	31	—	12	25	4	9.5	13.5	243
8105A	156	48	9	3	160	134	110	4	11	28	35	8	24	31	—	12	25	4	9.5	13.5	257
8115A	171	69	13	4	210	180	140	6	11	38	55	10	33	41	—	12	25	4	9.5	13.5	293
8115B	183	69	13	4	210	180	140	6	11	38	55	10	33	41	—	15	25	5	12	17	312
8130A 8135A	218	76	15	4	260	230	200	6	11	50	61	14	44.5	53.5	M10 × 18	12	25	4	9.5	13.5	347
8130B 8135B	227	76	15	4	260	230	200	6	11	50	61	14	44.5	53.5	M10 × 18	15	25	5	12	17	363
8130C 8135C	241	76	15	4	260	230	200	6	11	50	61	14	44.5	53.5	M10 × 18	15	25	5	12	17	369
8145A	218	96	15	4	260	230	200	6	11	50	81	14	44.5	53.5	M10 × 18	12	25	4	9.5	13.5	367
8145B	15															25	5	12	17	383	
8145C	15															25	5	12	17	389	

注: 1. XLED 型减速器的 DM、J、L 尺寸见表 16-2-135。
2. 润滑脂润滑。

表 16-2-135

XLED 型 (机型号 8075A ~ 8145C) 减速器外形尺寸

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号											
		8075A	8085A	8095A	8105A	8115A	8115B	8130A 8135A	8130B 8135B	8130C 8135C	8145A	8145B	8145C
0.09	DM	128	128	128	128	128	128						
	J	120	120	120	120	120	120						
	L	316	322	381	395	431	443						
0.18	DM			130	130	130		130	130		130	130	
	J			100	100	100		100	100		100	100	
	L			441	455	491		540	552		560	572	
0.37	DM				140	140		140			140		
	J				125	125		125			125		
	L				455	491		540			560		
0.55	DM						175		175			175	
	J						160		160			160	
	L						534		585			605	
0.75	DM						175		175			175	
	J						160		160			160	
	L						534		585			605	
1.1	DM									195			
	J									170			
	L									611			
1.5	DM									195			195
	J									170			170
	L									635			655
2.2	DM									205			205
	J									180			180
	L									675			695

注：表中所列尺寸是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

XLED 型

(机型号 8160A ~ 8265A)

XLE 型

(机型号 8270A ~ 8275A)

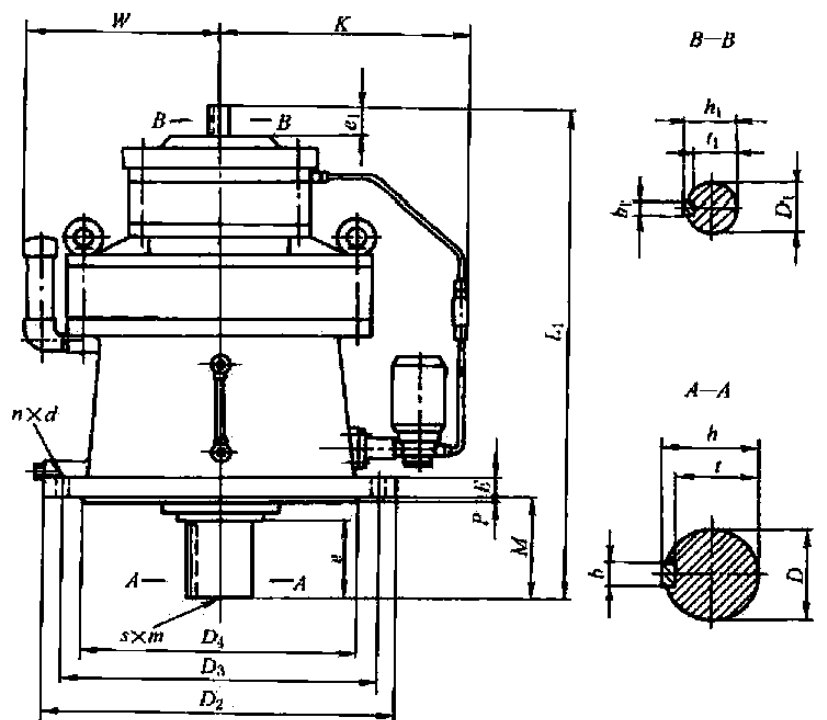
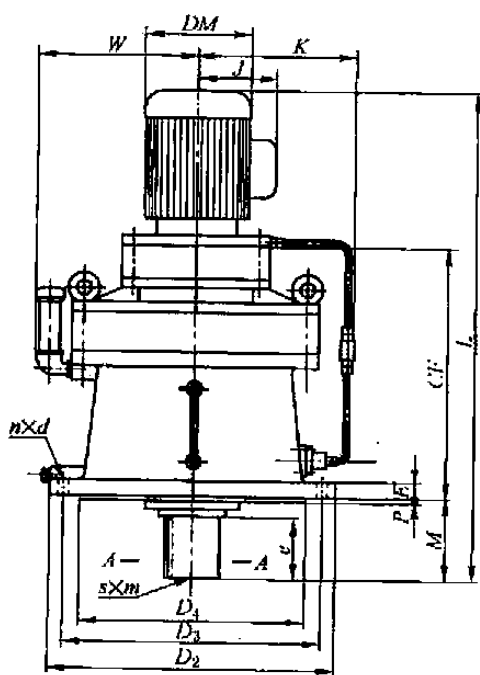


表 16-2-136

机型号	XLED 型		XLED 型、XLE 型														XLE 型							
	GF	M	E	P	D ₂	D ₃	D ₄ (h9)	n	d	K	W	输出端						输入端					L ₁	
												D (h6)	e	b	t	h	s × m	D ₁ (h6)	e ₁	b ₁	h ₁	t ₁		
8160A 8165A	285																		15	25	5	12	17	433
8160B 8165B	299	89	20	4	340	310	270	6	11	217	200	60	80	18	53	64	M10 × 18	15	25	5	12	17	439	
8160C 8165C	300																		18	35	6	14.5	20.5	462
8170A 8175A	324																		15	25	5	12	17	478
8170B 8175B	338	94	22	5	400	360	316	8	14	222	225	70	84	20	62.5	74.5	M12 × 24	15	25	5	12	17	484	
8170C 8175C	342																		18	35	6	14.5	20.5	509
8180A 8185A	364																		15	25	5	12	17	526
8180B 8185B	386	110	22	5	430	390	345	8	18	237	240	80	100	22	71	85	M12 × 24	22	40	6	18.5	24.5	577	
8190A 8195A	411																		18	35	6	14.5	20.5	629
8190B 8195B	427	145	30	6	490	450	400	12	18	360	200	95	125	25	86	100	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	653	
8205A 8205B	398 424	204	30	5	455	405	355	8	22	376	287	100	165	28	90	106	M20 × 34	18	35	6	14.5	20.5	670	
8215A 8215B	447 472	203	35	7	490	440	390	8	24	400	290	110	165	28	100	116	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	731	
8225A 8225B	482 526	210	35	10	535	475	415	8	27	400	326	120	165	32	109	127	M20 × 34	22	40	6	18.5	24.5	773	
8235A 8235B	529 551	250	40	10	570	510	450	8	27	413	344	130	200	32	119	137	M24 × 41	30	45	8	26	33	883	
8245A 8245B	566 587	250	40	10	635	560	485	8	33	420	365	140	200	36	128	148	M24 × 41	40	65	12	35	43	938	
8255A 8255B	661 684	295	45	10	685	610	535	8	33	432	425	160	240	40	147	169	M30 × 49	35	55	10	30	38	1081	
8265A 8270A 8275A	728 994	360	50	10	750	660	570	8	39	460	431	170	300	40	157	179	M30 × 49	45	70	14	39.5	48.5	1243	
		355	60	10	1160	1020	900	8	39	610	613	180	320	45	165	190	M42 × 49	45	70	14	39.5	48.5	1504	

注：1. XLED 型减速器的 DM、J、L 尺寸见表 16-2-137。

2. 高速级润滑脂润滑，低速级油浴式润滑，或柱塞泵强制润滑。8270A 及 8275A 采用齿轮泵强制润滑，泵的电参数技术参数咨询厂家。

功率 /kW	尺寸 /mm	机 型 号																
		8190A 8195A	8190B 8195B	8205A	8205B	8215A	8215B	8225A	8225B	8235A	8235B	8245A	8245B	8255A	8255B	8265A	8270A 8275A	
0.75	DM	175		175														
	J	160		160														
	L	838		879														
1.1	DM	195		195														
	J	170		170														
	L	850		891														
1.5	DM	195		195		195		195										
	J	170		170		170		170										
	L	874		915		968		1010										
2.2	DM	215	215		215	215		215		215		215						
	J	185	185		185	185		185		185		185						
	L	914	930		982	1008		1050		1136		1174						
3	DM				215	215		215				215		215				
	J				185	185		185				185		185				
	L				982	1008		1050				1174		1361				
4	DM	230	230		230	230		230		230		230		230				
	J	190	190		190	190		190		190		190		190				
	L	931	947		999	1025		1067		1153		1191		1331				
5.5	DM	270	270		270	270		270		270		270		270		270	270	
	J	210	210		210	210		210		210		210		210		210	210	
	L	994	1010		1062	1088		1130		1216		1254		1394		1526	1787	
7.5	DM		270		270	270	270	270		270		270		270		270	270	
	J		210		210	210	210	210		210		210		210		210	210	
	L		1048		1100	1126	1151	1168		1254		1292		1432		1564	1825	
11	DM							325		325	325	325		325		325	325	
	J							255		255	255	255		255		255	255	
	L							1187		1247	1290	1328		1468		1600	1861	
15	DM									325	325		325	325	325		325	325
	J									255	255		255	255	255		255	255
	L									1292	1335		1373	1394	1531		1645	1906
18.5	DM									400		400		400	400		400	400
	J									310		310		310	310		310	310
	L									1402		1467		1504	1623		1755	2016
22	DM											400		400	400		400	400
	J											310		310	310		310	310
	L											1467		1504	1623		1755	2016
30	DM															450	450	450
	J															345	345	345
	L															1691	1768	2029
37	DM																450	450
	J																345	345
	L																1793	2054

注：表中所列尺寸是以 Y 型及 YA 型电机为基准，选用其他型式电机时，请与制造厂联系。

8.2.3 承载能力

一级直连型 (XWD、XLD 型) 减速器承载能力 (配 1500r/min 电机)

表 16-2-138

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号
6	250	0.18	6.8	2.22	8085	9	166	15	708	1.20	8165	11	136	7.5	486	1.35	8145
		0.37	12.7	1.08	8085			1.1	58.3	2.50	8105			1.75	8155		
				3.67	8095			1.5	79.6	1.83	8105			1.20	8155		
		0.55	19.5	2.47	8095			2.2	117	1.25	8105			1.45	8160		
		0.75	26.6	1.82	8095			2.30	8115	2.30	8115			1.64	8165		
		1.1	38.9	2.50	8105			3	159	1.69	8115			1.07	8160		
		1.5	53.1	1.83	8105			2.45	8130	2.45	8130			1.20	8165		
		2.2	77.9	1.25	8105			1.27	8115	1.27	8115			1.67	8170		
				2.30	8115			1.84	8130	1.84	8130			1.35	8170		
		3	106	1.69	8115			5.5	292	1.34	8130			1.57	8180		
		4	138	1.27	8115			1.80	8135	1.80	8135			1.82	8185		
				1.72	8125			7.5	398	1.32	8135			1.14	8170		
		5.5	194	1.25	8125			1.35	8145	1.35	8145			1.25	8175		
				1.63	8130			1.75	8155	1.75	8155			1.53	8185		
		7.5	266	1.19	8130			1.20	8155	1.20	8155			1.66	8190		
				1.35	8135			1.45	8160	1.45	8160			1.12	8185		
		11	389	1.75	8155			1.64	8165	1.64	8165			1.22	8190		
				1.20	8155			1.07	8160	1.07	8160			1.47	8195		
		1.36	8160	1.20	8165	1.20	8165	1.97	8205								
8	188	0.18	8.2	2.22	8085	11	136	18.5	982	1.35	8170	13	115	30	1942	1.12	8185
		0.37	16.9	1.08	8085			1.67	8170	1.35	8170			1.59	8205		
				3.67	8095			22	1167	1.14	8170			1.95	8215		
		0.55	25.9	2.47	8095			0.09	5.7	2.78	8075			1.31	8205		
		0.75	35.4	1.82	8095			0.18	11.4	1.38	8075			1.60	8215		
		1.1	51.8	2.50	8105			2.22	8085	2.22	8085			1.31	8215		
		1.5	70.7	1.83	8105			1.08	8085	1.08	8085			1.77	8225		
		2.2	104	1.25	8105			3.32	8095	3.32	8095			1.30	8225		
				2.30	8115			0.37	23.4	1.08	8085			0.09	6.7	2.77	8075
		3	142	1.69	8115			0.55	35.7	2.23	8095			0.18	13.4	1.38	8075
		4	183	1.27	8115			0.75	48.7	1.64	8095			2.22	8085	2.22	8085
				1.72	8125			1.1	71.3	2.50	8105			0.37	27.7	1.08	8085
		5.5	260	1.25	8125			1.5	97.3	1.83	8105			0.55	42.2	2.22	8095
				1.43	8130			2.2	143	1.25	8105			0.75	57.5	1.63	8095
				1.84	8135			2.30	8115	2.30	8115			1.1	84.3	2.45	8105
		7.5	354	1.05	8130			1.69	8115	1.69	8115			1.5	115	1.79	8105
				1.35	8135			2.45	8130	2.45	8130			2.2	169	1.22	8105
				1.75	8155			1.27	8115	1.27	8115			2.24	8115		
				1.20	8155			1.84	8130	1.84	8130			1.64	8115		
		11	519	1.45	8160			3	195	1.34	8130			1.70	8125		
				1.64	8165			4	253	1.80	8135			2.44	8130		
				1.07	8160			5.5	357	1.80	8135						
		15	708	1.07	8160			7.5	486	1.32	8135						

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号						
21	71	5.5	681	2.00	8160	23	65	7.5	1017	1.18	8160	25	60	11	1618	1.68	8180						
		7.5	929	1.47	8160					1.57	8165			15	2206	1.05	8175						
				1.79	8165					1.72	8170					1.23	8180						
		11	1363	1.00	8160			1.07	8165	1.55	8185					2.00	8190						
				1.22	8165			1.43	8175	1.00	8180												
				1.36	8170			1.68	8180	1.25	8185												
		15	1853	1.00	8170			1.05	8175	1.62	8190			1.00	8180								
				1.25	8175			1.23	8180	1.25	8185			1.62	8190								
				1.47	8180			1.55	8185	1.06	8185												
				1.83	8185			2.00	8190	1.36	8190												
		18.5	2295	1.01	8175			1.00	8180	1.59	8195			1.06	8185								
				1.49	8185			1.25	8185	1.59	8195												
				1.62	8190			1.00	8190	1.00	8190												
		22	2726	1.00	8180			1.00	8180	1.36	8190			1.00	8190								
				1.25	8185			1.06	8185	1.36	8190												
				1.36	8190			1.36	8190	1.36	8190												
				1.69	8195			1.36	8190	1.36	8190												
		30	3717	1.00	8190			1.00	8190	1.59	8195			1.00	8190								
				1.24	8195			1.00	8190	1.59	8195												
				1.57	8205			1.00	8190	1.00	8190												
		37	4579	2.02	8215			1.24	8195	1.00	8195			1.00	8195								
				1.00	8195			1.27	8205	1.00	8195												
				1.63	8215			1.00	8195	1.00	8195												
		45	5570	1.05	8205			1.05	8205	1.05	8205			1.05	8205								
				1.34	8215			1.34	8215	1.34	8215												
		55	6805	1.60	8225			1.10	8215	1.10	8215			1.10	8215								
				1.10	8215			1.31	8225	1.31	8225												
		23	65	0.75	102			1.93	8105	25	60			0.09	12.9	1.62	8075	29	52	0.09	14.9	1.55	8075
				1.1	149			1.83	8105					2.82	8085	2.77	8085						
				1.5	203			2.17	8115					1.36	8085	3.77	8095						
				2.2	298			1.48	8115					0.18	25.8	4.17	8095			0.18	29.7	1.38	8085
								1.56	8125					0.37	53.1	2.03	8095			3.77	8095		
				3	407			1.85	8130					0.55	81.1	1.37	8095			0.37	61.2	1.83	8095
								1.36	8130					0.75	111	1.00	8095			0.55	94.0	2.51	8105
				4	542			1.02	8130					1.1	162	1.93	8105			0.75	129	1.83	8105
								1.49	8145					1.5	222	1.32	8105			1.1	188	2.64	8115
5.5	746			1.72	8135	2.2	325	2.96	8115			1.5	257	1.93	8115								
				1.99	8145	1.48	8115	1.32	8105			2.2	377	1.32	8115								
7.5	1108			1.02	8130	1.56	8125	1.32	8105			0.37	61.2	1.83	8095								
				1.28	8135	1.85	8130	1.37	8095			0.55	94.0	2.51	8105								
11	1618			1.08	8145	2.17	8115	1.00	8095			0.75	129	1.83	8105								
				1.49	8145	1.48	8115	1.00	8095			1.1	188	2.64	8115								
15	2569			1.02	8130	1.48	8115	1.00	8095			1.5	257	1.93	8115								
				1.61	8160	1.00	8095	1.00	8095			2.2	377	1.42	8130								
18.5	3167			1.18	8160	1.08	8145	1.00	8095			3	513	1.49	8135								
				1.57	8165	1.00	8095	1.00	8095			4	633	1.10	8135								
22	3766			1.07	8165	1.08	8145	1.00	8095			5.5	941	1.08	8155								
				1.43	8175	1.00	8095	1.00	8095			7.5	1285	1.36	8160								

续表

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号
29	52	22	3766	1.39	8195	43	35	0.18	44.2	1.11	8085	47	31	1.5	416	1.13	8115
				1.80	8205					2.79	8095					1.23	8130
				1.02	8195					1.35	8095					1.69	8135
		30	5129	1.32	8205			0.37	90.9	2.53	8105			2.2	610	1.15	8135
				1.63	8215			0.55	139	1.71	8105					1.35	8145
				1.07	8205			0.75	190	1.25	8105					1.56	8155
		37	6324	1.32	8215			1.1	279	1.78	8115			3	831	1.96	8160
				1.58	8225					1.31	8115					1.44	8160
				1.08	8215					1.49	8130					1.17	8160
		45	7698	1.30	8225			1.5	381	1.99	8135			4	1108	1.56	8165
				1.06	8225					1.02	8130					1.74	8170
				1.37	8075					1.36	8135					1.05	8165
35	43	0.09	15.5	2.74	8085	43	35	2.2	558	1.79	8155	47	31	5.5	1524	1.52	8175
				1.37	8085					1.31	8155					1.74	8180
		0.18	31	2.79	8095			3	737	1.31	8155			7.5	2078	1.12	8175
				1.35	8095					1.37	8160					1.27	8180
		0.37	74	2.53	8105			4	981	1.70	8165			11	3048	1.54	8185
				1.89	8105					1.00	8160					2.00	8190
		0.55	113	1.38	8105			5.5	1390	1.24	8165			15	4157	1.05	8185
				3.29	8115					1.36	8170					1.36	8190
		1.1	227	2.25	8115			7.5	1902	1.70	8175			15	4157	1.65	8195
				1.65	8115					1.00	8170					1.00	8190
		2.2	454	1.12	8115			11	2785	1.25	8175			15	4157	1.21	8195
				1.34	8130					1.47	8180					1.38	8085
3	600	1.68	8135	15	3805	2.00	8185	18.5	4687	4.08	8095						
		1.23	8135			1.00	8180			0.18	53.3	2.04	8095				
4	800	1.18	8145	18.5	4687	1.37	8185	22	5580	0.37	110	1.82	8105				
		1.24	8155			1.68	8190			1.37	8185	0.55	165	3.09	8115		
5.5	1140	2.19	8165	22	5580	1.00	8185	30	7610	0.75	226	2.26	8115				
		1.00	8160			1.23	8190			1.00	8185	1.1	331	1.55	8115		
7.5	1549	1.60	8165	30	7610	1.40	8195	37	9384	1.67	8130	1.5	451	1.13	8115		
		1.17	8165			1.83	8205			1.13	8115			1.23	8130		
11	2265	1.27	8170	37	9384	1.00	8190	45	11408	1.69	8135	2.2	662	1.69	8135		
		1.68	8175			2.03	8215			1.15	8135			1.35	8145		
15	3099	1.15	8175	45	11408	1.25	8205	51	29	1.56	8155	3	902	1.96	8160		
		1.36	8180			1.70	8215			1.15	8135			1.44	8160		
18.5	3815	1.70	8185	51	29	1.25	8205	5.5	1657	1.35	8145	4	1187	1.17	8160		
		1.00	8180			1.70	8215			1.56	8165			1.74	8170		
22	4540	1.00	8180	51	29	1.25	8215	5.5	1657	1.56	8165	5.5	1657	1.05	8165		
		1.25	8185			1.54	8225			1.52	8175			1.74	8180		
18.5	3815	1.62	8195	51	29	1.01	8215	5.5	1657	1.96	8160	5.5	1657	1.05	8165		
		1.01	8185			1.25	8225			1.56	8165			1.52	8175		
43	35	0.09	22.1	1.12	8075	47	31	0.37	103	1.82	8105	47	31	0.37	103	1.82	8105
				2.23	8085			0.55	152	3.09	8115			0.55	152	3.09	8115
								0.75	208	2.26	8115						

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号				
51	29	7.5	2255	1.12	8175	59	25	11	3824	1.75	8205	71	21	11	4609	1.00	8190				
				1.27	8180			1.02	8195	1.23	8195										
				1.54	8185			1.28	8205	2.75	8095										
				2.00	8190			1.87	8215	1.37	8095										
		11	3305	1.05	8185			1.04	8205	0.18	80.9			2.76	8105						
				1.36	8190			1.52	8215	1.34	8105										
				1.65	8195			1.82	8225	2.53	8115										
				1.00	8190			1.27	8215	1.34	8105										
		15	4511	1.21	8195			1.53	8225	0.37	167			1.71	8115						
				1.00	8190			1.12	8225	0.55	282			1.71	8115						
				1.21	8195			1.27	8215	1.25	8115										
				1.53	8225			1.52	8215	1.52	8130										
59	25	0.09	31.9	1.33	8085	71	21	0.09	36.9	2.90	8095	87	17	0.75	385	1.25	8115				
				3.68	8095					1.97	8135										
		0.18	61.9	1.84	8095			0.18	73.7	1.45	8095			1.1	564	1.35	8135	1.5	770	1.32	8145
				1.65	8105					2.77	8105					1.70	8160				
		0.37	127	3.78	8115			0.37	152	1.35	8105			2.2	1130	1.16	8160	3	1539	1.36	8170
				2.55	8115					2.65	8115					1.85	8170				
		0.55	191	1.87	8115			0.55	230	1.79	8115			0.75	314	1.31	8115	1.5	522	1.45	8135
				1.98	8130					1.38	8125					1.92	8145				
		1.1	383	1.98	8130			1.1	460	1.15	8130			1.1	460	1.15	8130	2.2	765	1.31	8145
				1.17	8130					1.22	8135					1.31	8145				
				1.45	8135					1.42	8145					1.35	8155				
		1.5	522	1.92	8145			0.75	314	1.70	8130			1.5	628	1.57	8155	3	1033	1.23	8160
				1.31	8145					2.16	8160					1.68	8160				
				1.35	8155					1.07	8155					1.68	8160				
		2.2	765	1.68	8160			1.5	628	1.22	8135			2.2	921	1.48	8160	4	1373	1.24	8165
				1.35	8155					1.48	8160					1.37	8170				
				1.79	8175					1.88	8165					1.79	8175				
		3	1033	1.23	8160			3	1256	1.38	8165			3	1256	1.03	8165	5.5	1912	1.00	8170
				1.24	8165					1.11	8170					1.30	8175				
				1.37	8170					1.11	8170					1.45	8180				
				1.79	8175					1.51	8175					1.70	8185				
		4	1373	1.37	8170			4	1638	1.10	8175			4	1638	1.10	8175	7.5	2609	1.06	8180
				1.79	8175					1.54	8185					1.25	8185				
				1.00	8170					2.00	8190					1.47	8190				
1.30	8175			1.13	8185	2.03	8195														
5.5	1912	1.45	8180	5.5	2304	1.54	8185	5.5	2304	1.54	8185	11	3824	1.00	8190						
		1.70	8185			1.47	8190			1.47	8190			1.00	8190						
		1.06	8180			1.13	8185			1.47	8190			1.38	8195						
		1.25	8185			1.80	8195			1.00	8190										
7.5	2609	1.47	8190	7.5	3138	1.47	8190	7.5	3138	1.47	8190	15	7698	1.22	8215						
		2.03	8195			1.80	8195			1.22	8215										
		1.06	8180			1.80	8195			1.54	8225										
		1.25	8185			1.80	8195			1.25	8225										
11	3824	1.00	8190	11	3138	1.47	8190	11	3138	1.47	8190	22	11277	1.05	8225						
		1.38	8195			1.80	8195			1.05	8225										

一级直连型 (XWD、XLD 型) 减速器承载能力 (配 1000r/min 电机)

表 16-2-139

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号				
11	91	55	5350	1.70	8235	21	48	90	16600	1.32	8255	43	23	90	34200	1.07	8265				
				1.25	8235					1.60	8265					1.22	8270				
				1.58	8245					1.08	8255					1.41	8275				
				1.92	8255					1.31	8265										
		75	7290	1.04	8235			30	7680	1.88	8235			15	7810	2.02	8235	18.5	9640	1.64	8235
				1.32	8245					1.52	8235					1.38	8235				
				1.60	8255					1.90	8245					1.78	8245				
				1.08	8245					1.25	8235					1.01	8235				
		90	8750	1.31	8255			37	9490	1.57	8245			22	11400	1.78	8245	30	15600	1.31	8245
				1.57	8265					2.14	8255					1.88	8255				
				1.09	8255					1.02	8235					1.06	8245				
				1.31	8265					1.28	8245					1.52	8255				
110	10600	1.75	8265	45	11500	1.07	8255	37	19300	2.04	8265	45	23400	1.25	8255						
		1.57	8265			1.83	8265			1.68	8265										
		1.09	8255			1.07	8255			1.02	8255										
		1.31	8265			1.53	8265			1.38	8265										
132	12800	1.04	8235	90	23000	1.60	8275	55	28700	1.64	8270	75	39100	1.01	8265						
		1.29	8245			1.25	8265			1.20	8270										
		1.59	8255			1.04	8265			1.36	8275										
		1.92	8265			1.25	8265			1.40	8235										
15	67	37	4900	2.53	8235	29	34	55	14100	1.28	8245	59	17	75	19200	1.28	8255				
				2.08	8235					1.75	8255					1.83	8265	1.78	8245		
				1.70	8235					1.28	8255					1.86	8255	1.44	8235		
		45	5970	1.25	8235			75	19200	1.83	8265			90	23000	1.53	8265	110	28200	1.25	8265
				1.54	8245					1.07	8255					1.60	8275			1.04	8265
				1.91	8255					1.60	8275					1.25	8265			1.36	8275
		55	7290	1.04	8235			90	23000	1.60	8275			110	28200	1.25	8265	132	33800	1.04	8265
				1.29	8245					1.25	8265					1.04	8265			1.40	8235
				1.59	8255					1.25	8265					1.97	8235			1.78	8245
		75	9940	1.05	8245			110	14600	1.30	8255			132	33800	1.04	8265	18.5	7020	2.34	8235
				1.57	8265					1.45	8235					1.97	8235			1.44	8235
				1.08	8255					1.88	8245					1.45	8245			1.14	8235
90	11940	1.08	8255	132	17500	1.31	8265	18.5	14200	1.45	8245	30	23000	1.53	8255						
		1.31	8265			1.17	8235			1.86	8255			1.86	8255						
		1.59	8255			1.53	8245			1.56	8255			1.22	8245						
21	48	30	5570	2.5	8235	43	23	45	17100	1.26	8245	87	11	45	17100	1.53	8255				
				2.03	8235					2.14	8265					2.09	8265				
				1.67	8235					1.03	8245					1.15	8255				
		45	8350	1.36	8235			55	20900	1.25	8255			30	23000	1.53	8265	37	28400	1.24	8265
				1.75	8245					1.75	8265					1.60	8270				
				1.00	8235					1.03	8245					1.60	8270				
		55	10100	1.00	8235			75	28500	1.28	8265			45	34600	1.02	8265	55	16900	1.56	8255
				1.28	8245					1.47	8270					2.09	8265				
				1.58	8255					1.7	8275					1.15	8255				
		75	13900	1.92	8265			90	16600	1.07	8245			90	16600	1.07	8245	110	21400	1.24	8265
				1.92	8265					1.07	8245					1.07	8245			1.24	8265
				1.92	8265					1.07	8245					1.07	8245			1.24	8265

一级双轴型 (XW、XL型) 减速器承载能力

表 16-2-140

传动比 6															
输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	300		250		200		167		150		125		100		8.3 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8085	0.40	11.8	0.40	14.1	0.40	17.7	0.37	19.6	0.35	20.6	0.29	20.6	0.23	20.6	20.6
8095	1.36	40.2	1.36	48.3	1.17	51.6	1.03	54.5	0.95	56.0	0.84	59.4	0.71	63.6	70.6
8105	2.75	81.1	2.75	97.3	2.35	104	2.07	110	1.92	114	1.69	120	1.45	129	157
8115	5.07	149	5.07	180	4.34	192	3.82	203	3.55	209	3.12	221	2.67	236	304
8125	6.88	203	6.88	243	5.88	260	5.18	275	4.81	284	4.23	299	3.44	304	304
8130	8.95	264	8.95	317	7.66	338	6.74	358	6.26	369	5.51	390	4.71	417	461
8135	10.1	298	10.1	357	8.68	384	7.64	405	7.09	419	6.24	442	5.34	473	608
8155	13.2	388	13.2	466	11.3	497	9.90	526	9.20	542	8.10	573	6.87	608	608
8160	15.0	442	15.0	530	12.3	543	10.6	562	9.82	578	8.42	595	6.94	664	664
传动比 8															
输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	225		188		150		125		113		94		75		6.3 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8085	0.40	15.7	0.40	18.8	0.40	23.5	0.37	26.7	0.35	27.6	0.30	29.1	0.26	31.1	41.2
8095	1.36	53.7	1.36	64.4	1.17	68.9	1.03	72.7	0.95	75.0	0.84	79.4	0.71	84.9	108
8105	2.75	108	2.75	129	2.35	138	2.07	146	1.92	151	1.69	160	1.45	171	206
8115	5.07	199	5.07	239	4.34	256	3.82	271	3.55	280	3.12	295	2.67	315	412
8125	6.88	271	6.88	325	5.88	347	5.18	366	4.81	378	4.23	399	3.49	412	412
8130	7.85	309	7.85	371	6.71	396	5.91	418	5.49	432	4.83	456	4.13	488	608
8135	10.1	397	10.1	477	8.68	512	7.64	541	7.09	558	6.25	590	5.34	630	765
8155	13.2	517	13.2	621	11.3	664	9.91	701	9.20	724	8.10	764	6.90	814	814
8160	16.0	629	16.0	755	13.7	807	12.0	852	11.2	880	9.85	929	8.42	991	1280
8165	18.0	707	18.0	850	17.5	1030	15.4	1090	14.3	1130	12.6	1190	10.8	1270	1520
传动比 9															
输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	200		167		133		111		100		83		67		5.6 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8105	2.75	121	2.75	146	2.35	156	2.07	165	1.90	168	1.59	169	1.27	168	206
8115	5.07	224	5.07	267	4.35	288	3.84	306	3.57	316	3.14	333	2.69	357	510
8125	5.10	226	5.10	271	4.36	289	3.84	306	3.57	316	3.14	333	2.69	357	510
8130	7.35	325	7.35	390	6.42	426	5.65	450	5.25	464	4.62	490	3.75	497	608
8135	9.91	438	9.91	526	8.48	563	7.47	595	6.93	613	5.90	625	4.72	626	765
8145	10.1	447	10.1	536	8.68	576	7.64	608	7.09	627	6.24	662	5.34	708	1030
8155	13.2	584	13.2	700	11.3	750	9.90	788	9.20	814	7.94	843	6.35	843	1030
8160	16.0	708	16.0	849	13.7	909	12.0	955	11.2	991	9.85	1045	8.43	1118	1520
8165	18.0	796	18.0	955	17.5	1161	15.4	1226	14.1	1247	11.7	1247	9.37	1247	1520
8170	25.0	1106	25.0	1326	22.5	1492	19.8	1576	18.4	1627	16.2	1719	13.8	1831	2260
8175	27.5	1216	27.5	1458	23.5	1559	20.7	1648	19.2	1698	16.9	1794	14.5	1924	2550
8180	29.0	1282	29.0	1538	29.0	1924	27.9	2221	25.9	2291	22.8	2420	19.5	2587	3240
8185	33.6	1486	33.6	1782	33.6	2229	29.7	2364	27.6	2441	24.3	2579	20.6	2733	3340
8190	36.5	1614	36.5	1936	36.5	2421	35.5	2826	33.0	2918	29.0	3078	24.8	3290	5690
8195	44.0	1946	44.0	2333	40.4	2680	35.5	2826	33.0	2918	29.0	3078	24.8	3290	5690

续表

传动比 11															
输入转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	164		136		109		91		82		68		55		4.5 以下
机型号	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$
8075	0.25	13.5	0.25	16.2	0.214	17.4	0.188	18.3	0.175	18.9	0.154	19.9	0.131	21.3	25.5
8085	0.40	21.6	0.40	26.0	0.40	32.5	0.377	36.7	0.350	37.9	0.308	39.9	0.263	42.8	51.0
8095	1.23	66.7	1.23	80.0	1.05	85.5	0.928	90.4	0.862	93.3	0.759	98.1	0.649	105	108
8105	2.75	149	2.75	179	2.35	190	2.07	201	1.90	206	1.59	206	1.27	206	206
8115	5.07	274	5.07	329	4.35	353	3.84	373	3.57	386	3.14	408	2.69	438	510
8125	5.10	276	5.10	331	4.36	354	3.84	374	3.57	386	3.14	408	2.69	438	510
8130	7.35	397	7.35	477	6.42	520	5.65	549	5.25	567	4.62	599	3.75	608	608
8135	9.91	536	9.91	644	8.48	688	7.47	727	6.93	749	5.90	765	4.72	765	765
8145	10.1	546	10.1	655	8.68	703	7.64	744	7.09	767	6.24	810	5.34	866	1030
8155	13.2	711	13.2	853	11.3	912	9.90	964	9.20	991	7.94	1030	6.35	1030	1030
8160	16.0	865	16.0	1040	13.7	1110	12.0	1180	11.2	1210	9.85	1280	8.43	1360	1520
8165	18.0	973	18.0	1170	17.5	1420	15.4	1500	14.1	1520	11.7	1520	9.37	1520	1520
8170	25.0	1350	25.0	1620	22.5	1820	19.8	1920	18.4	1990	16.2	2100	13.8	2250	2260
8175	27.5	1490	27.5	1790	23.5	1900	20.7	2010	19.2	2080	16.9	2200	14.5	2340	2550
8180	29.0	1570	29.0	1880	29.0	2350	27.9	2710	25.9	2800	22.8	2950	19.5	3160	3240
8185	33.6	1810	33.6	2180	33.6	2730	29.7	2880	27.6	2980	24.3	3150	20.6	3340	3340
8190	36.5	1970	36.5	2360	36.5	2960	35.5	3450	33.0	3570	29.0	3770	24.8	4030	5690
8195	44.0	2380	44.0	2850	40.4	3280	35.5	3450	33.0	3570	29.0	3770	24.8	4030	5690
8205	59.0	3190	59.0	3830	53.6	4350	47.8	4650	44.8	4850	39.3	5100	32.8	5330	5690
8215	72.1	3890	72.1	4680	68.8	5580	62.1	6040	58.5	6330	52.6	6820	43.9	7120	7260
8225	97.5	5270	97.5	6330	90.3	7320	81.4	7930	76.7	8300	69.1	8970	59.1	9580	9610
8235	—	—	—	—	93.8	7600	93.8	9120	93.4	10100	81.9	10600	69.6	11300	11300
8245	—	—	—	—	119	9620	119	11600	119	12900	104	13500	87.4	14200	14200
8255	—	—	—	—	144	11700	144	14000	144	15600	140	18100	112	18100	18100
8265	—	—	—	—	173	14000	173	16900	173	18700	173	22500	145	23500	23500

传动比 13															
输入转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	138		115		92		77		69		58		46		3.8 以下
机型号	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	功率/ kW	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$	转矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$
8075	0.25	16.0	0.25	19.1	0.21	20.5	0.18	21.7	0.17	22.4	0.15	23.5	0.13	25.2	25.5
8085	0.40	25.6	0.40	30.7	0.40	38.4	0.37	43.3	0.34	44.6	0.30	47.1	0.26	50.3	51.0
8095	1.22	78.2	1.22	93.8	1.05	100	0.92	106	0.84	108	0.70	108	0.56	108	108
8105	2.69	172	2.69	206	2.15	206	1.79	206	1.61	206	1.34	206	1.07	206	206
8115	4.92	315	4.92	378	4.21	403	3.70	426	3.44	439	3.03	465	2.59	496	510
8125	5.09	326	5.09	390	4.36	418	3.84	441	3.56	455	3.14	481	2.66	510	510
8130	7.32	468	7.32	561	6.26	600	5.29	608	4.76	608	3.97	608	3.17	608	608
8135	9.38	599	9.38	719	7.98	765	6.65	765	5.99	765	4.99	765	3.99	765	765
8145	9.78	625	9.78	749	8.36	801	7.36	847	6.84	874	6.02	923	5.15	991	1030
8155	10.3	656	10.3	788	8.78	842	7.73	889	7.18	918	6.32	969	5.37	1030	1030
8160	13.0	831	13.0	1000	11.1	1070	9.79	1130	9.09	1160	8.00	1230	6.85	1320	1520
8165	17.4	1110	17.4	1330	14.9	1420	13.1	1510	12.2	1560	10.7	1640	9.16	1760	1810
8170	21.8	1390	21.8	1670	18.6	1790	16.4	1880	15.2	1950	13.4	2060	11.5	2200	2260
8175	27.3	1750	27.3	2090	23.3	2240	20.5	2360	19.1	2440	16.8	2580	14.3	2750	2750
8180	29.0	1850	29.0	2230	25.7	2460	22.6	2600	21.0	2680	18.5	2840	15.8	3030	3240
8185	33.6	2150	33.6	2580	32.1	3070	28.2	3250	26.2	3360	23.1	3540	19.7	3790	3970
8190	36.5	2330	36.5	2800	35.5	3400	31.2	3590	29.0	3710	25.5	3910	21.9	4190	5690
8195	44.0	2820	44.0	3370	39.6	3800	34.8	4000	32.3	4130	28.5	4370	24.4	4670	6870

传动比 15

输入转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	120		100		80		67		60		50		40		3.3 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8075	0.25	18.4	0.25	22.1	0.213	23.6	0.187	24.9	0.173	25.5	0.144	25.5	0.115	25.5	25.5
8085	0.40	29.5	0.40	35.4	0.40	44.2	0.377	49.9	0.346	51.0	0.288	51.0	0.231	51.0	51.0
8095	1.16	85.8	1.16	103	0.996	110	0.876	117	0.814	120	0.716	127	0.577	128	128
8105	2.75	203	2.75	243	2.31	255	1.92	255	1.73	255	1.44	255	1.15	255	255
8115	4.97	366	4.97	439	4.25	470	3.74	496	3.46	510	2.88	510	2.31	510	510
8125	5.09	376	5.09	450	4.36	483	3.84	509	3.46	510	2.88	510	2.31	510	510
8130	6.42	474	6.42	568	5.49	607	4.58	608	4.12	608	3.44	608	2.75	608	608
8135	7.77	573	7.77	688	6.65	736	5.77	765	5.19	765	4.32	765	3.46	765	765
8145	9.50	700	9.50	841	8.12	899	7.15	949	6.64	979	5.82	1030	4.66	1030	1030
8155	10.2	750	10.2	901	8.71	963	7.67	1020	6.99	1030	5.82	1030	4.66	1030	1030
8160	11.0	811	11.0	973	9.41	1040	8.28	1100	7.69	1140	6.77	1200	5.79	1290	1520
8165	15.0	1110	15.0	1320	12.8	1420	11.3	1500	10.5	1550	9.23	1640	7.90	1750	1810
8170	18.5	1360	18.5	1640	15.8	1750	13.9	1840	12.9	1900	11.4	2010	9.74	2160	2260
8175	23.1	1710	23.1	2050	19.8	2190	17.4	2320	16.2	2380	14.2	2520	12.2	2700	2750
8180	26.3	1940	26.3	2320	22.5	2490	19.8	2630	18.4	2720	16.2	2860	13.9	3060	3240
8185	31.3	2320	31.3	2780	26.8	2960	23.6	3130	21.9	3240	19.3	3410	16.5	3650	4070
8190	36.5	2690	36.5	3230	31.6	3500	27.9	3700	25.9	3820	22.8	4030	19.5	4310	5690
8195	44.0	3250	44.0	3890	39.6	4380	34.8	4620	32.3	4770	28.5	5040	24.4	5390	6870
8205	59.0	4350	59.0	5220	52.5	5800	46.4	6150	43.2	6370	38.2	6750	31.0	6870	6870
8215	72.1	5320	72.1	6380	66.2	7320	58.6	7770	54.6	8040	48.0	8490	38.4	8490	8490
8225	91.6	6750	91.6	8100	83.0	9180	73.0	9690	67.8	10000	59.6	10600	51.0	11300	11300
8235	—	—	—	—	93.8	10400	93.8	12500	89.5	13200	78.8	13900	64.3	14200	14200
8245	—	—	—	—	116	12900	116	15400	112	16600	98.7	17500	82.1	18100	18100
8255	—	—	—	—	143	15800	143	19000	140	20700	122	21600	103	22800	23500
8265	—	—	—	—	173	19100	173	23000	173	25500	165	29200	137	30400	30400

传动比 17

输入转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	106		88		71		59		53		44		35		2.9 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8075	0.25	20.9	0.25	25.1	0.20	25.5	0.17	25.5	0.15	25.5	0.12	25.5	0.10	25.5	25.5
8085	0.40	33.5	0.40	40.1	0.40	50.1	0.33	51.0	0.30	51.0	0.25	51.0	0.20	51.0	51.0
8095	1.09	91.3	1.09	110	0.93	118	0.82	124	0.76	128	0.63	128	0.50	128	128
8105	2.13	178	2.13	214	1.82	229	1.60	241	1.49	249	1.27	255	1.02	255	255
8115	4.76	398	4.76	478	4.07	510	3.39	510	3.05	510	2.54	510	2.03	510	510
8125	5.09	425	5.09	510	4.07	510	3.39	510	3.05	510	2.54	510	2.03	510	510
8130	6.07	507	6.07	608	4.85	608	4.04	608	3.64	608	3.03	608	2.43	608	608
8135	7.17	599	7.17	719	6.11	765	5.09	765	4.58	765	3.82	765	3.05	765	765
8145	9.29	776	9.29	931	7.94	1000	6.85	1030	6.16	1030	5.14	1030	4.11	1030	1030
8155	9.29	776	9.29	931	7.94	1000	6.85	1030	6.16	1030	5.14	1030	4.11	1030	1030
8160	11.0	919	11.0	1100	9.41	1180	8.28	1250	7.69	1290	6.77	1350	5.79	1450	1520
8165	15.3	1280	15.3	1530	13.1	1640	11.5	1730	10.7	1790	9.05	1810	7.24	1810	1810
8170	16.1	1340	16.1	1620	13.8	1730	12.2	1820	11.3	1880	9.94	1990	8.50	2130	2260
8175	19.7	1650	19.7	1970	16.8	2110	14.8	2230	13.8	2300	12.1	2430	10.4	2600	2750
8180	24.4	2040	24.4	2440	22.5	2830	19.8	2980	18.4	3080	16.1	3240	12.9	3240	3240
8185	30.5	2540	30.5	3050	26.1	3270	22.9	3450	21.3	3560	18.8	3760	16.0	4020	4070
8190	36.5	3050	36.5	3660	31.6	3960	27.9	4190	25.9	4330	22.8	4570	19.5	4890	5690
8195	44.0	3680	44.0	4410	39.6	4950	34.8	5240	32.3	5410	28.5	5710	24.4	6100	7060

续表

传动比 21

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	86		71		57		48		43		36		29		2.4 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8075	0.20	21.3	0.20	25.5	0.165	25.5	0.13	25.5	0.124	25.5	0.103	25.5	0.082	25.5	25.5
8085	0.40	41.3	0.40	49.5	0.329	51.0	0.27	51.0	0.247	51.0	0.206	51.0	0.162	51.0	51.0
8095	0.98	102	0.98	122	0.824	128	0.68	128	0.618	128	0.515	128	0.412	128	128
8105	2.02	209	2.02	251	1.65	251	1.37	255	1.24	255	1.03	255	0.824	255	255
8115	4.12	425	4.12	510	3.29	510	2.75	510	2.47	510	2.06	510	1.65	510	510
8125	4.12	425	4.12	510	3.29	510	2.75	510	2.47	510	2.06	510	1.65	510	510
8130	4.25	439	4.25	527	3.64	563	3.20	595	2.95	608	2.45	608	1.96	608	608
8135	6.13	633	6.13	759	4.94	765	4.12	765	3.71	765	3.09	765	2.47	765	765
8145	6.88	709	6.88	852	5.88	910	5.18	961	4.81	991	4.16	1030	3.33	1030	1030
8155	7.25	749	7.25	899	6.20	960	5.46	1010	4.99	1030	4.16	1030	3.33	1030	1030
8160	11.0	1140	11.0	1360	9.41	1460	8.18	1520	7.37	1520	6.14	1520	4.91	1520	1520
8165	13.5	1390	13.5	1670	11.5	1790	9.77	1810	8.79	1810	7.33	1810	5.86	1810	1810
8170	15.0	1550	15.0	1850	12.8	1990	11.3	2100	10.5	2170	9.11	2260	7.29	2260	2260
8175	18.8	1930	18.8	2320	16.0	2480	14.1	2620	13.1	2710	11.1	2750	8.87	2750	2750
8180	22.0	2270	22.0	2730	18.8	2910	16.6	3080	15.4	3180	13.1	3240	10.5	3240	3240
8185	27.5	2840	27.5	3400	23.5	3640	20.7	3850	19.2	3970	16.4	4070	13.1	4070	4070
8190	30.0	3100	30.0	3720	25.7	3970	22.6	4200	21.0	4340	18.5	4570	15.8	4900	5690
8195	37.1	3830	37.1	4590	31.7	4910	27.9	5190	25.9	5360	22.8	5660	19.5	6050	7260
8205	47.2	4870	47.2	5850	40.5	6270	35.7	6630	33.2	6860	29.3	7260	23.4	7260	7260
8215	60.5	6240	60.5	7490	54.3	8410	48.0	8930	44.8	9240	33.8	9610	31.0	9610	9610
8225	72.2	7460	72.2	8940	72.2	11200	65.1	12100	60.5	12500	51.5	12800	41.2	12800	12800
8235	—	—	—	—	75.1	11700	75.1	13900	69.8	14400	61.4	15200	52.3	16200	16200
8245	—	—	—	—	96.3	14900	96.3	17900	89.4	18400	78.7	19500	66.5	20600	20600
8255	—	—	—	—	119	18300	119	22100	119	24500	105	26100	85.5	26500	26500
8265	—	—	—	—	144	22400	144	26800	144	29800	134	33200	113	35000	35300

传动比 23

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	78		65		52		43		39		33		26		2.2 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8105	1.45	164	1.45	197	1.24	210	1.09	222	1.01	228	0.86	233	0.69	232	255
8115	3.26	368	3.26	442	2.77	470	2.31	470	2.08	470	1.73	473	1.38	470	510
8125	3.42	387	3.42	464	2.77	470	2.31	470	2.08	470	1.73	470	1.38	470	510
8130	4.08	461	4.08	553	3.30	559	2.75	559	2.47	559	2.06	559	1.65	559	608
8135	5.15	582	5.15	698	4.15	703	3.46	704	3.11	704	2.59	704	2.08	704	765
8145	5.97	675	5.97	809	5.10	865	4.49	913	4.17	943	3.49	947	2.79	947	1030
8155	6.88	778	6.88	933	5.59	948	4.66	948	4.19	947	3.49	947	2.79	947	1030
8160	8.88	1004	8.88	1204	7.60	1288	6.69	1361	6.19	1399	5.16	1399	4.12	1399	1520
8165	11.7	1322	11.7	1587	9.85	1670	8.21	1670	7.38	1670	6.15	1670	4.92	1660	1810
8170	12.9	1458	12.9	1749	11.0	1865	9.71	1975	9.02	2039	7.65	2075	6.12	2075	2260
8175	15.8	1786	15.8	2142	13.5	2288	11.9	2421	11.0	2486	9.31	2525	7.45	2525	2750
8180	18.5	2091	18.5	2509	15.8	2679	13.9	2827	12.9	2916	11.9	3227	8.78	2983	3240
8185	23.2	2622	23.2	3146	19.9	3373	17.5	3560	16.2	3661	13.8	3743	11.0	3729	4070
8190	30.0	3390	30.0	4068	25.7	4356	22.6	4597	21.0	4746	18.5	5017	15.4	5220	5690
8195	35.0	3955	35.0	4746	29.9	5068	26.3	5350	24.4	5515	21.5	5831	18.4	6238	7260

传动比 25

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	72		60		48		40		36		30		24		2.0 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8075	0.14	18.0	0.14	21.5	0.12	23.1	0.11	24.4	0.10	25.2	0.08	25.5	0.07	25.5	25.5
8085	0.25	31.2	0.25	37.5	0.21	40.1	0.19	42.4	0.17	43.8	0.15	46.3	0.13	49.5	51.0
8095	0.75	92.4	0.75	111	0.64	119	0.56	126	0.51	128	0.43	128	0.34	128	128
8105	1.45	179	1.45	214	1.24	229	1.09	241	1.01	249	0.86	255	0.69	255	255
8115	3.26	401	3.26	481	2.77	510	2.31	510	2.08	510	1.73	510	1.38	510	510
8125	3.42	421	3.42	505	2.77	505	2.31	510	2.08	510	1.73	510	1.38	510	510
8130	4.08	501	4.08	601	3.30	608	2.75	608	2.47	608	2.06	608	1.65	608	608
8135	5.15	633	5.15	759	4.15	765	3.46	765	3.11	765	2.59	765	2.08	765	765
8145	5.97	733	5.97	880	5.10	941	4.49	991	4.17	1030	3.49	1030	2.79	1030	1030
8155	6.88	845	6.88	1010	5.59	1030	4.66	1030	4.19	1030	3.49	1030	2.79	1030	1030
8160	8.88	1090	8.88	1320	7.60	1400	6.69	1480	6.19	1520	5.16	1520	4.12	1520	1520
8165	11.7	1440	11.7	1730	9.85	1810	8.21	1810	7.38	1810	6.15	1810	4.92	1810	1810
8170	12.9	1590	12.9	1900	11.0	2030	9.71	2150	9.02	2220	7.65	2260	6.12	2260	2260
8175	15.8	1930	15.8	2320	13.5	2480	11.9	2620	11.0	2710	9.30	2750	7.45	2750	2750
8180	18.5	2280	18.5	2730	15.8	2910	13.9	3080	12.9	3180	11.0	3240	8.78	3240	3240
8185	23.2	2850	23.2	3420	19.9	3660	17.5	3870	16.2	3990	13.8	4070	11.0	4070	4070
8190	30.0	3690	30.0	4420	25.7	4730	22.6	4990	21.0	5160	18.5	5440	15.4	5690	5690
8195	35.0	4300	35.0	5150	29.9	5510	26.3	5820	24.4	6000	21.5	6350	18.4	6790	7260

传动比 29

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	62		52		41		34		31		26		21		1.7 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8075	0.14	19.9	0.14	23.9	0.119	25.4	0.099	25.5	0.089	25.5	0.075	25.5	0.06	25.5	25.5
8085	0.25	35.6	0.25	42.8	0.214	45.7	0.188	48.3	0.175	49.8	0.149	50.9	0.119	50.9	51.0
8095	0.68	96.9	0.68	117	0.58	124	0.497	128	0.447	128	0.372	128	0.298	128	128
8105	1.38	196	1.38	235	1.18	251	0.994	255	0.895	255	0.746	255	0.597	255	255
8115	2.90	413	2.90	495	2.39	510	1.99	510	1.79	510	1.49	510	1.19	510	510
8125	2.90	413	2.90	495	2.39	510	1.99	510	1.79	510	1.49	510	1.19	510	510
8130	3.11	443	3.11	533	2.66	570	2.34	601	2.13	608	1.78	608	1.42	608	608
8135	4.47	638	4.47	765	3.58	765	2.98	765	2.68	765	2.24	765	1.79	765	765
8145	4.98	709	4.98	852	4.26	910	3.75	961	3.48	990	3.01	1030	2.41	1030	1030
8155	5.94	847	5.94	1020	4.82	1030	4.01	1030	3.61	1030	3.01	1030	2.41	1030	1030
8160	7.50	1070	7.50	1290	6.42	1370	5.65	1450	5.25	1490	4.44	1520	3.56	1520	1520
8165	9.86	1400	9.86	1690	8.44	1810	7.07	1810	6.37	1810	5.31	1810	4.24	1810	1810
8170	11.8	1690	11.8	2020	10.1	2170	8.79	2260	7.91	2260	6.60	2260	5.28	2260	2260
8175	14.5	2070	14.5	2480	12.4	2650	10.7	2750	9.63	2750	8.03	2750	6.42	2750	2750
8180	15.0	2140	15.0	2570	12.8	2750	11.3	2890	10.5	2990	9.23	3160	7.57	3240	3240
8185	18.8	2670	18.8	3210	16.0	3430	14.1	3620	13.1	3740	11.5	3950	9.52	4070	4070
8190	22.0	3140	22.0	3770	18.8	4020	16.6	4250	15.4	4390	13.5	4630	11.6	4950	5690
8195	30.7	4370	30.7	5250	26.2	5610	23.1	5930	21.4	6110	18.9	6450	16.1	6910	7260
8205	39.7	5650	39.7	6790	33.9	7250	28.3	7260	25.5	7260	21.2	7260	17.0	7260	7260
8215	48.8	6960	48.8	8350	42.4	9070	37.4	9580	33.7	9610	28.1	9610	22.5	9610	9610
8225	58.5	8340	58.5	10000	53.6	11500	47.2	12100	43.8	12500	37.3	12800	29.8	12800	12800
8235	—	—	—	—	56.3	12100	56.3	14400	53.9	15400	47.0	16100	37.9	16200	16200
8245	—	—	—	—	70.5	15100	70.5	18100	66.7	19000	58.7	20100	48.2	20600	20600

续表

传动比 29																
输入转速/r·min ⁻¹	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下	
输出转速/r·min ⁻¹	62		52		41		34		31		26		21		1.7 以下	
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m	
8255	—	—	—	—	96.3	20600	96.3	24700	92.9	26500	77.4	26500	61.9	26500	26500	
8265	—	—	—	—	138	29400	138	35300	124	35300	103	35300	82.6	35300	35300	
8270	—	—	—	—	140	29900	140	35900	128	36500	110	37600	91.3	39000	50500	
8275	—	—	—	—	144	30900	144	37100	144	41200	133	45600	114	48800	60800	

传动比 35																
输入转速/r·min ⁻¹	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下	
输出转速/r·min ⁻¹	51		43		34		29		26		21		17		1.4 以下	
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m	
8075	0.12	21.3	0.12	25.5	0.09	25.5	0.08	25.5	0.07	25.5	0.06	25.5	0.05	25.5	25.5	
8085	0.24	42.5	0.24	51.0	0.19	51.0	0.16	51.0	0.15	51.0	0.12	51.0	0.10	51.0	51.0	
8095	0.58	101	0.58	121	0.49	128	0.41	128	0.37	128	0.30	128	0.24	128	128	
8105	1.04	179	1.04	214	0.88	229	0.78	241	0.72	249	0.61	255	0.49	255	255	
8115	2.47	425	2.47	510	1.98	510	1.65	510	1.48	510	1.24	510	0.98	510	510	
8125	2.47	425	2.47	510	1.98	510	1.65	510	1.48	510	1.24	510	0.98	510	510	
8130	2.95	507	2.95	608	2.36	608	1.96	608	1.77	608	1.47	608	1.18	608	608	
8135	3.70	636	3.70	764	2.97	765	2.47	765	2.22	765	1.85	765	1.48	765	765	
8145	4.74	815	4.74	978	3.99	1030	3.33	1030	2.99	1030	2.49	1030	2.00	1030	1030	
8155	4.99	858	4.99	1030	3.99	1030	3.33	1030	2.99	1030	2.49	1030	2.00	1030	1030	
8160	5.50	947	5.50	1140	4.70	1220	4.14	1290	3.85	1320	3.39	1390	2.90	1490	1520	
8165	8.79	1510	8.79	1810	7.03	1810	5.86	1810	5.27	1810	4.40	1810	3.52	1810	1810	
8170	9.56	1650	9.56	1970	8.18	2110	7.20	2230	6.56	2230	5.46	2260	4.37	2260	2260	
8175	12.6	2170	12.6	2610	10.6	2750	8.87	2750	7.98	2750	6.65	2750	5.32	2750	2750	
8180	15.0	2580	15.0	3100	12.5	3240	10.5	3240	9.41	3240	7.84	3240	6.27	3240	3240	
8185	18.8	3230	18.8	3870	15.8	4070	13.1	4070	11.8	4070	9.86	4070	7.89	4070	4070	
8190	19.2	3310	19.2	3960	16.4	4240	14.5	4480	13.4	4480	11.8	4890	10.1	5220	5690	
8195	24.3	4170	24.3	5000	20.7	5360	18.3	5650	17.0	5650	14.9	6160	12.8	6590	7260	

传动比 43																
输入转速/r·min ⁻¹	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下	
输出转速/r·min ⁻¹	42		35		28		23		21		17		14		1.2 以下	
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m	
8075	0.10	21.3	0.101	25.5	0.08	25.5	0.067	25.5	0.06	25.5	0.05	25.5	0.04	25.5	25.5	
8085	0.20	42.5	0.201	51.0	0.161	51.0	0.134	51.0	0.121	51.0	0.101	51.0	0.08	51.0	51.0	
8095	0.50	106	0.503	128	0.402	128	0.335	128	0.302	128	0.251	128	0.201	128	128	
8105	0.93	198	0.938	238	0.801	254	0.67	255	0.603	255	0.503	255	0.402	255	255	
8115	1.96	415	1.96	497	1.61	510	1.34	510	1.21	510	1.01	510	0.804	510	510	
8125	2.01	425	2.01	510	1.61	510	1.34	510	1.21	510	1.01	510	0.804	510	510	
8130	2.24	473	2.24	567	1.91	606	1.60	608	1.44	608	1.20	608	0.959	608	608	
8135	2.99	633	2.99	759	2.41	765	2.01	765	1.81	765	1.51	765	1.21	765	765	
8145	3.20	676	3.20	811	2.74	867	2.41	916	2.24	946	1.97	1000	1.62	1030	1030	
8155	3.94	832	3.94	1000	3.25	1000	2.71	1030	2.44	1030	2.03	1030	1.62	1030	1030	
8160	5.50	1160	5.50	1390	4.70	1490	4.00	1520	3.60	1520	3.00	1520	2.40	1520	1520	
8165	6.83	1440	6.83	1730	5.72	1810	4.77	1810	4.29	1810	3.58	1810	2.86	1810	1810	
8170	7.50	1590	7.50	1900	6.42	2030	5.65	2150	5.25	2220	4.45	2260	3.56	2260	2260	
8175	9.38	1980	9.38	2370	8.02	2540	7.06	2690	6.50	2750	5.42	2750	4.33	2750	2750	

传动比 43

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	42		35		28		23		21		17		14		1.2 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8180	11.0	2320	11.0	2790	9.41	2980	8.28	3150	7.66	3240	6.38	3240	5.11	3240	3240
8185	15.0	3180	15.0	3820	12.8	4070	10.7	4070	9.63	4070	8.03	4070	6.42	4070	4070
8190	18.5	3910	18.5	4690	15.8	5010	13.9	5300	12.9	5470	11.2	5690	8.97	5690	5690
8195	20.9	4420	20.9	5310	17.9	5680	15.8	5990	14.6	6190	12.9	6530	11.0	6980	7260
8205	27.5	5810	27.5	6970	24.3	7700	21.0	7980	19.2	8130	16.6	8430	13.4	8490	8490
8215	37.5	7930	37.5	9520	32.2	10200	28.0	10700	25.6	10800	22.1	11200	17.8	11300	11300
8225	46.3	9770	46.3	11800	39.8	12700	34.2	13000	31.4	13200	27.0	13700	22.4	14200	14200
8235	—	—	—	—	43.4	13700	43.4	16500	40.3	17100	35.5	18000	28.6	18100	18100
8245	—	—	—	—	56.5	18000	56.5	21500	51.7	21900	44.4	22500	36.8	23300	23500
8255	—	—	—	—	68.8	21800	68.8	26200	68.8	29000	60.0	30400	48.0	30400	30400
8265	—	—	—	—	96.3	30500	96.3	36600	89.1	37700	77.2	39100	64.2	40700	40700
8270	—	—	—	—	110	34800	110	41800	100	42300	85.4	43200	70.2	44400	50500
8275	—	—	—	—	127	40300	127	48500	118	50000	104	52800	89.0	56500	60800

传动比 47

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	38		32		26		21		19		16		13		1.1 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8105	0.67	155	0.67	186	0.57	197	0.50	208	0.47	217	0.41	227	0.33	229	255
8115	1.70	393	1.70	471	1.36	471	1.13	471	1.02	471	0.84	471	0.67	471	510
8125	1.70	393	1.70	471	1.36	471	1.13	471	1.02	471	0.84	471	0.67	471	510
8130	1.84	425	1.84	510	1.58	547	1.35	561	1.21	561	1.01	561	0.80	561	608
8135	2.54	587	2.54	704	2.04	706	1.70	707	1.53	707	1.27	707	1.02	707	765
8145	2.97	686	2.97	823	2.54	880	2.24	931	2.05	947	1.71	948	1.37	949	1030
8155	3.42	790	3.42	948	2.74	949	2.28	949	2.05	947	1.71	948	1.37	949	1030
8160	4.32	998	4.32	1197	3.69	1278	3.25	1351	3.02	1395	2.53	1402	2.02	1399	1520
8165	5.75	1328	5.75	1593	4.83	1673	4.02	1671	3.62	1672	3.02	1674	2.41	1674	1810
8170	6.45	1489	6.45	1787	5.51	1909	4.85	2016	4.50	2078	3.75	2078	3.00	2078	2260
8175	8.39	1937	8.39	2325	7.17	2484	6.09	2531	5.48	2533	4.57	2533	3.65	2533	2750
8180	9.56	2208	9.56	2649	8.18	2833	7.17	2980	6.46	2984	5.38	2984	4.30	2984	3240
8185	11.5	2656	11.5	3187	9.88	3422	8.70	3616	8.08	3732	6.77	3752	5.41	3752	4070
8190	15.0	3464	15.0	4157	12.8	4434	11.3	4697	10.5	4849	9.23	5115	7.57	5244	5690
8195	18.2	4203	18.2	5043	15.5	5369	13.7	5695	12.7	5865	11.2	6207	9.56	6623	7260

传动比 51

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	35		29		24		20		18		15		12		0.98 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8085	0.12	31.3	0.12	37.6	0.10	40.2	0.09	42.5	0.08	43.9	0.07	46.4	0.06	49.6	51.0
8095	0.36	92.7	0.36	111	0.31	119	0.27	126	0.25	128	0.21	128	0.17	128	128
8105	0.67	169	0.67	203	0.57	217	0.50	229	0.47	236	0.41	250	0.33	255	255
8115	1.70	425	1.70	510	1.36	510	1.13	510	1.02	510	0.84	510	0.67	510	510
8125	1.70	425	1.70	510	1.36	510	1.13	510	1.02	510	0.84	510	0.67	510	510
8130	1.84	462	1.84	554	1.58	593	1.35	608	1.21	608	1.01	608	0.81	608	608
8135	2.54	636	2.54	763	2.04	765	1.70	765	1.53	765	1.27	765	1.02	765	765
8145	2.97	744	2.97	893	2.54	955	2.24	1010	2.05	1030	1.71	1030	1.37	1030	1030

续表

传动比 51

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	35		29		24		20		18		15		12		0.98 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8155	3.42	858	3.42	1030	2.74	1030	2.28	1030	2.05	1030	1.71	1030	1.37	1030	1030
8160	4.32	1080	4.32	1290	3.69	1390	3.25	1460	3.02	1510	2.53	1520	2.02	1520	1520
8165	5.75	1440	5.75	1730	4.83	1810	4.02	1810	3.62	1810	3.02	1810	2.41	1810	1810
8170	6.45	1620	6.45	1940	5.51	2070	4.85	2190	4.50	2260	3.75	2260	3.00	2260	2260
8175	8.39	2100	8.39	2520	7.17	2700	6.09	2750	5.48	2750	4.57	2750	3.65	2750	2750
8180	9.56	2390	9.56	2870	8.18	3070	7.17	3240	6.46	3240	5.38	3240	4.30	3240	3240
8185	11.5	2890	11.5	3470	9.88	3720	8.70	3920	8.08	4050	6.77	4070	5.41	4070	4070
8190	15.0	3760	15.0	4510	12.8	4830	11.3	5090	10.5	5260	9.23	5550	7.57	5690	5690
8195	18.2	4550	18.2	5460	15.5	5850	13.7	6170	12.7	6730	11.2	6730	9.56	7190	7260

传动比 59

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
	31		25		20		17		15		13		10		0.85 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8085	0.12	34.8	0.12	41.8	0.103	44.6	0.09	47.2	0.084	48.7	0.073	51.0	0.059	51.0	51.0
8095	0.332	96.4	0.332	116	0.284	124	0.244	128	0.22	128	0.183	128	0.147	128	128
8105	0.613	178	0.613	213	0.524	228	0.461	240	0.428	248	0.366	255	0.293	255	255
8115	1.40	406	1.40	488	1.17	510	0.977	510	0.88	510	0.733	510	0.586	510	510
8125	1.40	406	1.40	488	1.17	510	0.977	510	0.88	510	0.733	510	0.586	510	510
8130	1.75	507	1.75	608	1.40	608	1.17	608	1.05	608	0.874	608	0.699	608	608
8135	2.18	633	2.18	759	1.76	765	1.47	765	1.32	765	1.10	765	0.88	765	765
8145	2.89	838	2.89	1000	2.37	1030	1.97	1030	1.78	1030	1.48	1030	1.18	1030	1030
8155	2.96	858	2.96	1030	2.37	1030	1.97	1030	1.78	1030	1.48	1030	1.18	1030	1030
8160	3.70	1070	3.70	1290	3.16	1370	2.79	1450	2.59	1500	2.18	1520	1.75	1520	1520
8165	4.98	1440	4.98	1740	4.17	1810	3.48	1810	3.13	1810	2.61	1810	2.09	1810	1810
8170	5.50	1600	5.50	1910	4.70	2050	4.14	2160	3.85	2230	3.24	2260	2.59	2260	2260
8175	7.17	2080	7.17	2500	6.14	2670	5.26	2750	4.74	2750	3.95	2750	3.16	2750	2750
8180	7.96	2310	7.96	2770	6.81	2960	5.99	3130	5.57	3230	4.65	3240	3.72	3240	3240
8185	9.38	2720	9.38	3270	8.02	3490	7.06	3690	6.56	3810	5.77	4010	4.68	4070	4070
8190	11.0	3190	11.0	3830	9.41	4090	8.28	4330	7.69	4460	6.77	4710	5.79	5040	5690
8195	15.2	4410	15.2	5300	13.0	5670	11.5	5980	10.7	6180	9.38	6520	8.02	6970	7260
8205	19.2	5570	19.2	6690	18.0	7850	15.6	8150	14.3	8310	12.2	8490	9.75	8490	8490
8215	28.0	8130	28.0	9760	24.1	10500	20.8	10800	19.0	11000	16.2	11300	13.0	11300	11300
8225	33.7	9760	33.7	11800	28.9	12600	24.9	13000	22.9	13200	19.7	13700	16.3	14200	14200
8235	—	—	—	—	30.3	13100	30.3	15800	27.9	16200	24.2	16900	20.3	17700	18100
8245	—	—	—	—	39.3	17100	39.3	20500	36.1	20900	31.1	21700	26.0	22600	23500
8255	—	—	—	—	56.3	24400	56.3	29300	52.4	30400	43.7	30400	35.0	30400	30400
8265	—	—	—	—	75.6	32900	75.6	39400	70.2	40700	58.5	40700	46.8	40700	40700
8270	—	—	—	—	90.0	39100	90.0	46900	81.5	47200	68.7	47700	55.7	48400	50500
8275	—	—	—	—	102	44200	102	53100	94.4	54700	83.1	57900	69.9	60800	60800

传动比 71

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	25		21		17		14		13		11		8.5		0.70 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8095	0.26	91.1	0.26	110	0.22	117	0.19	124	0.18	128	0.15	128	0.12	128	128
8105	0.50	175	0.50	209	0.42	224	0.37	236	0.34	244	0.30	255	0.24	255	225
8115	0.98	343	0.98	412	0.84	440	0.74	465	0.68	481	0.60	507	0.48	510	510
8125	1.04	362	1.04	434	0.88	464	0.78	490	0.72	510	0.60	510	0.48	510	510
8130	1.27	444	1.27	533	1.09	570	0.95	601	0.87	608	0.72	608	0.58	608	608
8135	1.83	638	1.83	765	1.46	765	1.22	765	1.10	765	0.91	765	0.73	765	765
8145	2.13	743	2.13	892	1.82	953	1.60	1010	1.48	1030	1.23	1030	0.98	1030	1030
8155	2.35	821	2.35	991	1.97	1030	1.64	1030	1.48	1030	1.23	1030	0.98	1030	1030
8160	3.25	1130	3.25	1360	2.78	1450	2.42	1520	2.18	1520	1.82	1520	1.45	1520	1520
8165	4.13	1440	4.13	1730	3.47	1810	2.89	1810	2.60	1810	2.17	1810	1.73	1810	1810
8170	4.45	1550	4.45	1860	3.80	1990	3.35	2100	3.11	2170	2.69	2260	2.16	2260	2260
8175	6.06	2120	6.06	2540	5.19	2720	4.37	2750	3.94	2750	3.28	2750	2.62	2750	2750
8180	6.45	2250	6.45	2700	5.52	2880	4.85	3050	4.51	3150	3.87	3240	3.09	3240	3240
8185	8.48	2960	8.48	3550	7.26	3800	6.39	4010	5.83	4070	4.86	4070	3.89	4070	4070
8190	11.0	3840	11.0	4610	9.41	4920	8.28	5200	7.69	5370	6.77	5670	5.43	5690	5690
8195	13.5	4720	13.5	5660	11.6	6050	10.2	6390	9.45	6590	8.32	6970	6.93	7260	7260

传动比 87

输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$	1800		1500		1200		1000		900		750		600		50 以下
输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$	21		17		14		11		10		8.6		6.9		0.57 以下
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	转矩 /N·m
8095	0.248	106	0.248	128	0.199	128	0.166	128	0.149	128	0.124	128	0.099	128	128
8105	0.497	213	0.497	255	0.398	255	0.331	255	0.298	255	0.248	255	0.199	255	255
8115	0.938	401	0.938	481	0.795	510	0.663	510	0.596	510	0.497	510	0.398	510	510
8125	0.938	401	0.938	481	0.795	510	0.663	510	0.596	510	0.497	510	0.398	510	510
8130	1.14	488	1.14	585	0.948	608	0.79	608	0.711	608	0.592	608	0.474	608	608
8135	1.48	633	1.48	759	1.19	765	0.994	765	0.894	765	0.745	765	0.596	765	765
8145	1.97	845	1.97	1010	1.61	1030	1.34	1030	1.20	1030	1.00	1030	0.803	1030	1030
8155	2.01	858	2.01	1030	1.61	1030	1.34	1030	1.20	1030	1.00	1030	0.803	1030	1030
8160	2.54	1090	2.54	1300	2.18	1390	1.92	1470	1.78	1520	1.48	1520	1.19	1520	1520
8165	3.37	1440	3.37	1730	2.83	1810	2.36	1810	2.12	1810	1.77	1810	1.41	1810	1810
8170	4.08	1750	4.08	2090	3.49	2240	2.93	2260	2.64	2260	2.20	2260	1.76	2260	2260
8175	4.86	2080	4.86	2490	4.16	2670	3.57	2750	3.21	2750	2.68	2750	2.14	2750	2750
8180	5.86	2500	5.86	3000	5.01	3210	4.21	3240	3.78	3240	3.15	3240	2.52	3240	3240
8185	7.42	3180	7.42	3810	6.35	4070	5.29	4070	4.76	4070	3.97	4070	3.17	4070	4070
8190	8.95	3830	8.95	4590	7.65	4910	6.74	5190	6.26	5360	5.51	5650	4.44	5690	5690
8195	11.8	5040	11.8	6050	10.1	6470	8.88	6840	8.25	7050	7.07	7260	5.66	7260	7260
8205	13.8	5880	13.8	7050	11.3	7260	9.43	7260	8.49	7260	7.07	7260	5.66	7260	7260
8215	18.4	7850	18.4	9420	14.7	9420	12.2	9420	11.0	9420	9.18	9420	7.34	9420	9420
8225	23.1	9910	23.1	11900	19.8	12700	16.6	12800	14.9	12800	12.4	12800	9.94	12800	12800
8235	—	—	—	—	21.0	13500	21.0	16200	18.9	16200	15.8	16200	12.6	16200	16200
8245	—	—	—	—	26.8	17200	26.8	20600	24.1	20600	20.1	20600	16.1	20600	20600
8255	—	—	—	—	34.4	22100	34.4	26500	31.0	26500	25.8	26500	20.6	26500	26500
8265	—	—	—	—	45.9	29400	45.9	35300	41.3	35300	34.4	35300	27.5	35300	35300
8270	—	—	—	—	48.0	30700	48.0	36900	43.9	37500	37.7	38600	31.2	40000	50500
8275	—	—	—	—	51.3	32900	51.3	39400	49.6	42500	43.7	44800	37.4	48000	60800

二级直连型 (XWED、XLED 型) 减速器承载能力 (配 1500r/min 电机)

表 16-2-141

传动比	输出 转速 /r · min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N · m	使用 系数 K	机型号	传动比	输出 转速 /r · min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N · m	使用 系数 K	机型号				
99 (11 × 9)	15	1.1	608	●	8130C	121 (11 × 11)	12	4	2260	●	8170C				
		1.5	608	●	8130C			5.5	2550	●	8175C				
			756	●	8135C			7.5	4910	1.08	8190B				
		2.2	765	●	8135C			11	7210	1.01	8215B				
			1030	●	8145C			15	9480	●	8225B				
		3	1520	●	8160C			18.5	9480	●	8225B				
		4	1520	●	8160C				11300	●	8235B				
			1810	●	8165C			22	11300	●	8235B				
		5.5	2260	●	8170C				14200	●	8245B				
			2750	●	8175C			30	18100	●	8255B				
		104 (13 × 8)	14	0.18	102			1.00	8095A	143 (13 × 11)	10	0.09	25.5	●	8075A
				0.37	206			1.00	8105A				51.0	●	8085A
				0.55	310			1.52	8115B				69.7	1.55	8095A
				0.75	423			1.12	8115B			0.18	108	●	8095A
1.1	608			●	8130C	139	1.50	8105A							
1.5	608			●	8130C	0.37	286	1.00	8115A						
	765			●	8135C	0.55	394	1.2	8115B						
2.2	765			●	8135C	0.75	510	●	8115B						
	1030			●	8145C	1.1	608	●	8130C						
3	1240			1.23	8160B	1.5	608	●	8130C						
	1520			●	8160C		765	●	8135C						
1810	●			8165C	1030		●	8145C							
5.5	2260			●	8170C	2.2	1520	●	8160B						
	2750			●	8175C		1710	1.06	8165C						
7.5	3100			1.04	8180B	3	1810	●	8165C						
	3240			●	8180B	4	1810	●	8165C						
	3970			●	8185B		2260	●	8170C						
	4230			1.27	8190B		2750	●	8175C						
	121 (11 × 11)			12	0.09	25.5	●	8075A	165 (15 × 11)			9.1	0.09	25.5	●	8075A
46.0						●	8085A	51.0						●	8085A
59.0		1.77	8095A			80.5	1.55	8095A							
0.18		106	●		8095A	0.18	128	●		8095A					
		118	1.72		8105A		161	1.61		8105A					
0.37		206	●		8105A	0.37	255	●		8105A					
		242	1.08		8115A		330	1.08		8115A					
0.55		333	1.38		8115B	0.55	492	1.04		8115B					
0.75		491	1.01		8115B		0.75	510		●	8115B				
1.1		608	●		8130C	608		●		8130B					
		1.5	765		●	8135C	1.1	765		●	8135C				
951			●		8145C	1.5	765	●		8135C					
2.2	951	●	8145C	1030	●		8145C								
	1440	1.05	8160B												
3	1520	●	8160C												
4	1520	●	8160C												

传动比	输出 转速 /r · min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N · m	使用 系数 K	机型号	传动比	输出 转速 /r · min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N · m	使用 系数 K	机型号
165 (15 × 11)	9.1	1.5	1340	1.13	8160B	195 (15 × 13)	7.7	0.75	608	●	8130B
		2.2	1810	●	8165B			765	●	8135B	
			1970	1.15	8170B			765	●	8135C	
		3	2260	●	8170C			1.5	1030	●	8145C
		4	2260	●	8170C				1520	●	8160B
			2750	●	8175C			2.2	1810	●	8165B
		3240		●	8180B				2260	●	8170B
		3240	●	8180B	3			2750	●	8175C	
			4070	●	8185B			4	2750	●	8175C
		4910	1.16	8190B	3240				●	8180B	
		5690	●	8190B	4070			●	8185B		
			6710	1.02				8205B	5.5	4070	●	8185B
		8490	●	8215B	4620			●		8190A	
			11300	●	8225B			5690	●	8190B	
		13400		1.05	8235B			7.5	6350	●	8195B
		14200	●	8235B	6800				●	8205B	
			16600	1.10	8245B			7930	1.07	8215A	
18100	●	8245B	11	8490	●	8215B					
23500	●	8255B		11300	●	8225B					
30400	●	8265A	15	11300	●	8225B					
25.5	●	8075A		14200	●	8235A					
	51.0	●	8085A	18.5	14200	●	8235B				
91.2	1.33	8095A	18100		●	8245B					
0.18	182	1.33	8105A	22	18100	●	8245B				
	255	●	8105A		23200	1.01	8255A				
0.37	374	1.08	8115A	30	30400	●	8265A				
	510	●	8115B	0.09	25.5	●	8075A				
0.75	510	●	8115B		51.0	●	8085A				
	608	●	8130B	113	1.02	8095A					
765	●	8135B	0.18	225	1.02	8105A					
1030	●	8145C	0.37	463	1.08	8115A					
	1520	●	8160B	0.55	501	●	8115A				
1810	●	8165B	0.75	510	●	8115B					
	2229	1.01		8170B	608	●	8130B				
2750	●	8185C	756	●	8135B						
	3240	●	8180B	938	1.10	8145B					
4052	1.01	8185B	1.1	1030	●	8145B					
4070	●	8185B		1.5	1520	●	8160B				
5572	1.02	8190B	1810		●	8165B					
6350	●	8195B	2.2	2260	●	8170B					
	25.5	●		8075A	2750	1.00	8175B				
51.0		●	8085A	3	2750	●	8175C				
95.1	1.33	8095A	4		2750	●	8175C				
0.18	190	1.33		8105A	3240	●	8180B				
	255	●	8105A	4070	●	8185B					
390		1.08	8115A	5.5	5690	●	8190B				
510	●	8115B	6890		1.05	8195B					
0.75	510	●	8115B	7260	●	8205B					

续表

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号				
231 (21×11)	6.5	7.5	9390	1.02	8215A	289 (17×17)	5.2	0.75	608	●	8130B				
		11	9610	●	8215B				765	●	8135B				
			12800	●	8225B				1030	●	8145B				
		15	16200	●	8235A			1.5	1810	●	8165B				
			18700	1.08	8245A				2260	●	8170B				
		18.5	20600	●	8245B			2.2	2750	●	8185B				
		22	26500	●	8255A				3240	●	8180A				
		30	26500	●	8255B			3	4070	●	8185B				
			35300	●	8265A				4070	●	8185B				
		37	34600	●	8265A			4	5690	●	8190B				
									5690	●	8190B				
		273 (21×13)	5.5	0.09	25.5			●	8075A	319 (29×11)	4.7	0.09	25.5	●	8075A
					51.0			●	8085A				51.0	●	8085A
								128	●				8095A	128	●	8095A
0.18	255			●	8105A	0.18	155	1.66	8105A						
	266			1.88	8115A		255	●	8105A						
0.37	493			1.00	8115A	0.37	311	1.66	8115A						
0.55	608			●	8130B		510	●	8115A						
	765			●	8135B	608	●	8130A							
	1030			●	8145B	0.55	608	●	8130B						
1110	1.37			8160A	608		●	8130B							
1.1	1520			1.12	8160B	0.75	765	●	8135B						
1.5	1520			●	8160B		1030	●	8145B						
	1810			●	8165B		1296	1.17	8160A						
	2230			1.02	8170B	1.1	1810	●	8165B						
2.2	2750			●	8175B		1810	●	8165B						
	3			3240	●	8180A	1.5	2260	●			8170B			
3240				●	8180B	2750		●	8175B						
4	4070			●	8185B	2.2	2750	●	8175C						
	5690			●	8190A		3240	●	8180A						
	5690			●	8190B		3810	1.07	8185A						
5.5	7260			●	8195B	3	4070	●	8185B						
	9610			●	8215A		4	4070	●			8185B			
11	12800			●	8225B	5690		●	8190B						
	16200			●	8235A	5.5	5690	●	8190B						
15	20600			●	8245A		7260	●	8195B						
	18.5			26500	●	8255A	7.5	9510	1.01			8215A			
26500				●	8255A	9610		●	8215A						
22	32600			1.08	8265A	11	12800	●	8225B						
	35300			●	8265A		15500	●	8235A						
289 (17×17)	5.2			0.09	25.5	●	8075A	15	20300			●	8245B		
		51.0	●		8085A	25900	1.02		8255A						
			128		●	8095A	18.5		26500	●	8255A				
		141	1.66	8105A	22	35300		●	8265A						
		0.18	255	●		8105A	38000	1.31	8270A						
			281	1.66	8115A										
		0.37	510	●	8115A										

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号				
319 (29×11)	4.7	30	49700	●	8270A	473 (43×11)	3.2	1.1	1810	●	8165A				
			51900	1.11	8275A			1.5	2260	●	8170B				
		37	57500	●	8275A				2750	●	8175B				
377 (29×13)	4.0	0.09	25.5	●	8075A			559 (43×13)	2.7	0.09	3240	●	8180A		
			51.0	●	8085A						4070	●	8185A		
			128	●	8095A						2.2	5640	1.00	8190A	
			184	1.33	8105A							3	5690	●	8190A
			0.18	255	●						8105A	4	5690	●	8190B
		368		1.33	8115A					7260	●		8195B		
		0.37	510	●	8115A					5.5	8490	●	8205B		
				608	●						8130A	8490	●	8205B	
				765	●						8135A	11300	●	8215A	
		0.55	765	●	8135B					7.5	14100	1.01	8225A		
				765	●						8135B	14200	●	8225A	
		0.75	1030	●	8145B					11	18100	●	8235A		
				1520	●						8160A	18.5	23500	●	8245A
				1810	●						8165B		28200	1.08	8255A
		1.5	1810	●	8165B					15	30400	●	8255A		
				2260	●						8170B	38700	1.06	8265A	
				2750	●						8175B	40700	●	8265A	
		2.2	3240	●	8180A					22	50500	●	8270A		
				4070	●						8185A	56400	1.07	8275A	
		3	4070	●	8185B					30	60500	●	8275A		
				5690	●						8190A	0.09	25.5	●	8075A
		4	7260	●	8195B					51.0	●		8085A		
				7260	●					8195B	128		●	8095A	
		5.5	9510	●	8215A					0.18	255	1.11	8105A		
				12800	●						8225A	0.37	510	●	8115A
		7.5	15300	1.06	8235A					0.55	765		●	8135A	
				16200	●						8235A	0.75	1030	●	8145A
		11	20600	●	8245A	1.1	1520			●	8160A				
				26500	●		8255A			1810	●	8165A			
		18.5	35300	●	8265A	0.75	2260			●	8170A				
35300	●			8265A	1.5		2260	●	8170B						
22	44900	1.12	8270A	2750		●	8175B								
		60500	●	8275A	3240	●	8180A								
473 (43×11)	3.2	0.09	25.5	●	8075A	559 (43×13)	2.7	1.5	4070	●	8185A				
			51.0	●	8085A				2.2	5690	●	8190A			
			128	●	8095A					3	5690	●	8190A		
			255	1.00	8105A				4	7260	●	8195B			
		0.18	510	●	8115A			8490		●	8205B				
		0.37	608	●	8130A			5.5	11300	●	8215A				
				765	●				8135A	14200	●	8225A			
		0.55	948	1.08	8145A			7.5	18100	●	8235A				
				1030	●				8145A	22800	1.04	8245A			
		0.75	1030	●	8145B			11	30400	●	8255A				
				1520	●				8160A						
					1810			●	8165A						

续表

传动比	输出 转速 /r·min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N·m	使用 系数 K	机型号	传动比	输出 转速 /r·min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N·m	使用 系数 K	机型号				
559 (43×13)	2.7	15	40700	●	8265A	649 (59×11)	2.3	7.5	23500	●	8245A				
			50500	1.11	8270A			11	30400	●	8255A				
		18.5	50500	●	8270A			15	40700	●	8265A				
		22	60800	●	8275A				50500	●	8270A				
595 (35×17)	2.5	0.09	51.0	●	8085A			731 (43×17)	2.1	18.5	50500	●	8270A		
			128	●	8095A						50500	●	8270A		
			255	●	8105A					22	60800	●	8275A		
			290	2.00	8115A						60800	●	8275A		
		0.18	510	●	8115A					841 (29×29)	1.8	0.09	25.5	●	8075A
			580	●	8130A								51.0	●	8085A
		0.37	765	●	8135A	0.75	128						●	8095A	
			1030	●	8145A		255						●	8105A	
		0.55	1301	1.16	8160A	1.1	356					1.44	8115A		
			1520	●	8160A		510					●	8115A		
		0.75	1520	●	8160A	0.18	713	1.11	8135A						
			1810	●	8165A		1030	●	8145A						
		1.5	2260	●	8170A	0.37	1465	1.08	8160A						
			2750	●	8185B		0.55	1520	●			8160A			
			3240	●	8180A	0.75		1810	●	8165A					
			4070	●	8185A		2260	●	8170A						
		2.2	4835	1.17	8190A	1.1	2750	●	8175A						
			5690	●	8190A		3230	●	8180A						
		649 (59×11)	2.3	0.09	51.0	●	8085A	841 (29×29)	1.8	1.5	4070	●	8185A		
					128	●	8095A				5690	●	8190A		
255	●				8105A	2.2	5690			●	8190A				
317	1.60				8115A		7260			●	8195B				
0.18	510			●	8115A	3	8490			●	8205B				
	608			●	8130A		4			11300	●	8215A			
0.37	765			●	8135A	5.5				14200	●	8225A			
	1030			●	8145A		14200			●	8225A				
0.55	1301			1.16	8160A	7.5	18100			●	8235A				
	1520			●	8160A		21800			1.08	8245A				
0.75	1520			●	8160A	11	23500	●	8245A						
	1810			●	8165A		29700	1.02	8255A						
1.5	2260			●	8170A	15	30400	●	8255A						
	2750			●	8175B		40700	●	8265A						
	3240			●	8180A	18.5	40700	●	8265A						
	4070			●	8185A		50500	●	8270A						
2.2	5280			1.08	8190A	0.09	59400	1.02	8275A						
	5690			●	8190A		60800	●	8275A						
3	7260			●	8195B	0.18	25.5	●	8075A						
	8490			●	8205B		51.0	●	8085A						
4	8490	●	8205B	0.09	128	●	8095A								
	11300	●	8215A		255	●	8105A								
5.5	14200	●	8225A	0.18	410	1.22	8115A								
	18100	●	8235A		510	●	8115A								
								608	●	8130A					

传动比	输出 转速 /r·min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N·m	使用 系数 K	机型号	传动比	输出 转速 /r·min ⁻¹	电机 功率 /kW	输出 转矩 /N·m	使用 系数 K	机型号				
841 (29×29)	1.8	0.18	765	•	8135A	1003 (59×17)	1.5	2.2	8490	•	8205B				
		0.37	1030	•	8145A			11300	•	8215A					
			1520	•	8160A			3	11300	•	8215A				
			1686	1.08	8165A			4	14200	•	8225A				
		0.55	1520	•	8160A				18100	•	8235A				
		0.75	1810	•	8165A			5.5	23500	•	8245A				
			2260	•	8170A				29900	1.02	8255A				
			2750	•	8175B			7.5	30400	•	8255A				
			3240	•	8180A				40700	1.00	8265A				
		1.1	3240	•	8180A			11	40700	•	8265A				
		1.5	3240	•	8180A				50500	•	8270A				
			4070	•	8185A				15	59800	1.02	8275A			
			5690	•	8190A			60800		•	8275A				
			6840	1.06	8195A			1225 (35×35)	1.2	0.09	25.5	•	8075A		
		2.2	7260	•	8195A						51.0	•	8085A		
			9610	•	8215A						128	•	8095A		
		3	9610	•	8215A						255	•	8105A		
			4	12800	•					8225A	510	•	8115A		
		5.5		16200	•	8235A	0.18			608	•	8130A			
			16200	•	8235A	765				•	8135A				
			20600	•	8245A	1030	•			8145A					
		7.5	25100	1.06	8255A	0.37	1520			•	8160A				
			26500	•	8255A		1810			•	8165A				
		11	34100	1.03	8265A	0.55	2260			•	8170A				
			35300	•	8265A		2750			•	8175A				
		15	50100	1.01	8270A	0.75	2750			•	8175A				
			50500	•	8270A		3240			•	8180A				
		18.5	60800	•	8275A	1.5	4070			•	8185A				
			60800	•	8275A		5690			•	8190A				
		1003 (59×17)	1.5	0.09	51.0	•	8085A			1247 (43×29)	1.2	0.09	25.5	•	8075A
					128	•	8095A						51.0	•	8085A
					255	•	8105A	0.18	128				•	8095A	
					489	1.11	8115A		255				•	8105A	
				0.18	608	•	8130A	0.37	510			•	8115A		
					765	•	8135A		608			•	8130A		
				0.37	978	1.11	8145A	0.55	765			•	8135A		
1520	•				8160A	1030	•		8145A						
0.55	1810			•	8165A	0.75	1520	•	8160A						
	2260			•	8170A		1810	•	8165A						
0.75	2750			•	8175A	1.1	2260	•	8170A						
	3240			•	8180A		1810	•	8165A						
	4070			1.00	8185A	1.5	2750	•	8175A						
1.1	4070			•	8185A		3240	•	8180A						
1.5	4070			•	8185A	1.1	4070	•	8185B						
	5690			•	8190A		4070	•	8185B						
	6991			•	8195A	1.5	5690	•	8190A						
2.2	7260			•	8195B		7260	•	8195A						

续表

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号				
1247 (43×29)	1.2	2.2	8480	●	8205B	1505 (43×35)	1.0	0.37	2260	●	8170A				
			11300	●	8215A				2750	●	8175A				
			14200	●	8225A				3240	●	8180A				
		3	14200	●	8225A			0.55	4070	●	8185A				
			18100	●	8235A				4070	●	8185A				
		4	23500	●	8245A			0.75	5690	●	8190A				
			23500	●	8245A				6115	1.19	8195A				
		5.5	30400	●	8255A			0.09	25.5	●	8075A				
			37200	1.10	8265A				51.0	●	8085A				
			40700	●	8265A				128	●	8095A				
		7.5	50500	●	8270A			0.18	255	●	8105A				
			50500	●	8270A				510	●	8115A				
		11	60800	●	8275A			0.37	608	●	8130A				
			60800	●	8275A				765	●	8135A				
		1479 (87×17)	1.0	0.09	128			●	8095A	1849 (43×43)	0.81	0.18	1030	●	8145A
					255			●	8105A				1520	●	8160A
510	●				8115A	0.37	2260	●	8170A						
603	●			8130A	2750		●	8175A							
765	●			8135A	3240		●	8180A							
0.18	1810			●	8165A	0.55	3240	●	8180A						
	2260			●	8170A		4070	●	8185A						
0.37	3220			●	8175A	0.75	5690	●	8190A						
	2750			●	8175A		7260	●	8195A						
0.55	3240			●	8180A	1.1	7260	●	8195A						
	4070			●	8185A		8490	●	8205A						
	5690			●	8190A		1.5	11300	●			8215A			
7260	●			8195A	14200	●		8225A							
0.75	7260			●	8195A	2.2	14200	●	8225A						
	9420			●	8215A		18100	●	8235A						
1.1	12800			●	8225A	3	22100	1.07	8245A						
	16200			●	8235A		23500	●	8245A						
1.5	20600			●	8245A	4	23500	●	8245A						
	20600			●	8245A		30400	●	8255A						
2.2	26500			●	8255A	5.5	40700	●	8265A						
	26500			●	8255A		50500	●	8270A						
3	35300			●	8265A	7.5	50500	●	8270A						
	44000			1.37	8270A		60800	●	8275A						
4	50500			●	8270A	0.09	51.0	●	8085A						
	50500	●	8270A	128	●		8095A								
5.5	60800	●	8275A	0.18	255	●	8105A								
	60800	●	8275A		510	●	8115A								
7.5	60800	●	8275A	0.37	608	●	8130A								
	60800	●	8275A		765	●	8135A								
11	1520	●	8160A	0.55	1030	●	8145A								
	1520	●	8160A		1520	●	8160A								
1505 (43×35)	1.0	0.09	25.5	●	8075A	2065 (59×35)	0.73	0.09	608	●	8130A				
			51.0	●	8085A				765	●	8135A				
			128	●	8095A				1030	●	8145A				
		0.18	255	●	8105A			0.18	1520	●	8160A				
			510	●	8115A				1810	●	8165A				
		0.37	608	●	8130A			0.37	2260	●	8170A				
			765	●	8135A				2750	●	8175A				
		1030	●	8145A	0.55			2260	●	8170A					
			1520	●				8160A	2750	●	8175A				

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	
2065 (59×35)	0.73	0.37	3240	●	8180A	3045 (87×35)	0.49	0.18	2260	●	8170A	
		0.55	4070	●	8185A			2750	●	8175A		
		0.75	5690	●	8190A			0.37	3240	●	8180A	
			7260	●	8195A				4070	●	8185A	
		1.1	7260	●	8195A			0.55	4070	●	8185A	
		1.5	11300	●	8215B			0.75	5690	●	8190A	
			14200	●	8225A				7260	●	8195A	
		2.2	18100	●	8235A			1.1	9420	●	8215A	
			23500	●	8245A				9420	●	8215A	
		3	23500	●	8245A			1.5	12800	●	8225A	
		4	30400	●	8255A				16200	●	8235A	
		5.5	40700	●	8265A			2.2	20600	●	8245A	
50500	●		8270A	26500	●	8255A						
7.5	60800	●	8275A	3	26500	●	8255A					
				4	26500	●	8255A					
2537 (59×43)	0.59	0.09	51.0	●	8085A	3481 (59×59)	0.43	0.09	128	●	8095A	
			128	●	8095A				255	●	8105A	
			255	●	8105A				510	●	8115A	
			510	●	8115A				0.18	608	●	8130A
		0.18	608	●	8130A			765		●	8135A	
			765	●	8135A			1030		●	8145A	
			1030	●	8145A			1520		●	8160A	
			1520	●	8160A			1810		●	8165A	
			1810	●	8165A			2260		●	8170A	
			2260	●	8170A			0.37		3240	●	8180A
		3240	●	8180A	4070					●	8185A	
		2537 (59×43)	0.71	0.55	4070			●	8185A	3481 (59×59)	0.43	0.37	2750	●	8175A
5690	●				8190A	3240	●	8180A				
0.75	7260			●	8195A	0.55	4070	●	8185A			
	8490			●	8205A		5690	●	8190A			
1.1	11300			●	8215A	0.75	7260	●	8195A			
1.5	11300			●	8215A		8490	●	8205A			
2.2	14200			●	8225A	1.1	8490	●	8205A			
	18100			●	8235A		11300	●	8215A			
3	18100			●	8235A	1.5	14200	●	8225A			
	23500			●	8245A		18100	●	8235A			
4	30400			●	8255A	2.2	23500	●	8245A			
	30400			●	8255A		3	30400	●			8255A
5.5	40700	●	8265A	3	30400	●	8255A					
	50500	●	8270A		4	30400	●	8255A				
7.5	60800	●	8275A	4	30400	●	8255A					
					5.5	40700	●	8265A				
3045 (87×35)	0.49	0.09	128	●	8095A	4437 (87×51)	0.34	0.09	50500	●	8270A	
			255	●	8105A				60800	●	8275A	
			510	●	8115A				0.18	128	●	8095A
			0.18	608	●					8130A	255	●	8105A
		765		●	8135A			510		●	8115A	
		1030		●	8145A			0.18		608	●	8130A
		1520		●	8160A					765	●	8135A
		1810		●	8165A							

续表

传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	传动比	输出转速 /r·min ⁻¹	电机功率 /kW	输出转矩 /N·m	使用系数 K	机型号	
4437 (87×51)	0.34	0.18	1030	●	8145A	6177 (87×71)	0.24	0.09	510	●	8115B	
			1520	●	8160A			0.18	608	●	8130B	
			1810	●	8165A			765	●	8135B		
			2260	●	8170A			1030	●	8145B		
			2750	●	8175A			1520	●	8160A		
		0.37	3240	●	8180A			1810	●	8165A		
			4070	●	8185A			2260	●	8170A		
		0.55	4070	●	8185A			2750	●	8175A		
			0.75	5690	●			8190A	3240	●	8180A	
		7260		●	8195A			4070	●	8185A		
		1.1	9420	●	8215A			4070	●	8185A		
			1.5	9420	●			8215A	5690	●	8190A	
		2.2		12800	●			8225A	7260	●	8195A	
			3	16200	●			8235A	9420	●	8215A	
		4		20600	●			8245A	12800	●	8225A	
			5.5	26500	●			8255A	16200	●	8235A	
		7.5		26500	●			8255A	20600	●	8245A	
			5.5	35300	●			8265A	26500	●	8255A	
		7.5		50500	●			8270A	26500	●	8255A	
			7.5	60800	●			8275A	35300	●	8265A	
5133 (59×87)	0.29	0.09		128	●	8095A	7569 (87×87)	0.20	0.09	510	●	8115B
			255	●	8105A	0.18				608	●	8130B
			510	●	8115A	765				●	8135B	
		0.18	608	●	8130A	1030			●	8145A		
			765	●	8135A	1520			●	8160A		
			1030	●	8145A	1810			●	8165A		
			1520	●	8160A	2260			●	8170A		
			1810	●	8165A	2750			●	8175A		
			2260	●	8170A	3240			●	8180A		
		0.37	4070	●	8185A	4070			●	8185A		
			0.55	4070	●	8185A			0.37	3240	●	8180A
		0.75	5690	●	8190A	4070				●	8185A	
			7260	●	8195A	0.55			4070	●	8185A	
			8490	●	8205A	0.75			5690	●	8190A	
		1.5	11300	●	8215A				7260	●	8195A	
			14200	●	8225A	1.1			9420	●	8215A	
		2.2	18100	●	8235A	1.5			9420	●	8215A	
			23500	●	8245A				12800	●	8225A	
		3	30400	●	8255A	2.2			16200	●	8235A	
			30400	●	8255A				20600	●	8245A	
5.5	40700	●	8265A	3	26500	●	8255A					
	50500	●	8270A	4	26500	●	8255A					
7.5	60800	●	8275A	5.5	35300	●	8265A					
				50500	●	8270A						
				60800	●	8275A						

注：1. 使用系数栏内●表示不能使用电机全功率，应在输出转矩条件下使用。

2. 除传动比5133（59×87）外，其余传动比的二级减速均为：高速端为减速比小的一端，低速端为减速比大的一端。

续表

传动比	273 (21×13)		289 (17×17)		319 (29×11)		377 (29×13)		473 (43×11)		559 (43×13)		595 (35×17)		649 (59×11)	
	5.5		5.2		4.7		4.0		3.2		2.7		2.5		2.3	
输出转速 /r·min ⁻¹	5.5		5.2		4.7		4.0		3.2		2.7		2.5		2.3	
机型号	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m	功率 /kW	转矩 /N·m
8075A	0.10	25.5°	0.10	25.5°	0.10	25.5°	0.10	25.5°	0.10	25.5°	0.10	25.5°	0.10	25.5°	—	—
8085A	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°
8095A	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°
8105A	0.17	255	0.15	255	0.15	255	0.12	255	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°
8115A	0.34	510	0.32	510	0.30	510	0.25	510	0.20	510	0.17	510	0.17	510	0.15	510
8115B	0.34	510	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8130A	—	—	0.38	608	0.35	608	0.30	608	0.24	608	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°
8130B	0.41	608	0.38	608	0.35	608	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8130C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8135A	—	—	—	—	—	—	0.37	765	0.30	765	0.25	765	0.23	765	0.22	765
8135B	0.52	765	0.49	765	0.44	765	0.37	765	—	—	—	—	—	—	—	—
8135C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8145A	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	1030	0.34	1030	0.32	1030	0.29	1030
8145B	0.70	1030	0.65	1030	0.60	1030	0.50	1030	0.40	1030	0.34	1030	—	—	—	—
8145C	0.70	1030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160A	1.03	1520	0.97	1520	0.88	1520	0.74	1520	0.59	1520	0.50	1520	0.47	1520	0.43	1520
8160B	1.03	1520	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8165A	—	—	1.05	1810	1.05	1810	0.89	1810	0.71	1810	0.60	1810	0.56	1810	0.52	1810
8165B	1.23	1810	1.23	1810	1.05	1810	0.89	1810	—	—	—	—	—	—	—	—
8165C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8170A	—	—	—	—	—	—	1.10	2260	0.88	2260	0.74	2260	0.70	2260	0.64	2260
8170B	1.52	2260	1.44	2260	1.31	2260	1.10	2260	0.88	2260	0.74	2260	—	—	—	—
8170C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8175A	—	—	—	—	—	—	—	—	1.06	2730	0.91	2750	0.85	2750	0.78	2750
8175B	1.86	2750	1.75	2750	1.59	2750	1.34	2750	1.07	2750	0.91	2750	0.85	2750	0.78	2750
8175C	—	—	1.75	2750	1.59	2750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8180A	2.19	3240	2.07	3240	1.87	3240	1.58	3240	1.26	3240	1.07	3240	1.00	3240	0.92	3240
8180B	2.19	3240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8185A	2.69	3970	2.60	4070	2.35	4060	1.99	4070	1.59	4070	1.34	4070	1.26	4070	1.16	4070
8185B	2.75	4070	2.60	4070	2.35	4070	1.99	4070	—	—	—	—	1.26	4070	1.16	4070
8190A	3.85	5690	3.63	5690	3.14	5430	2.78	5690	2.21	5690	1.88	5690	1.76	5690	1.62	5690
8190B	3.85	5690	3.63	5690	3.29	5690	2.78	5690	2.22	5690	1.88	5690	1.76	5690	1.62	5690
8195A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8195B	4.91	7260	4.51	7060	4.20	7260	3.55	7260	2.83	7260	2.40	7260	2.25	7260	2.06	7260
8205A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8205B	—	—	4.51	7060	4.20	7260	—	—	3.31	8490	2.80	8490	2.64	8490	2.41	8490
8215A	6.50	9610	5.43	8490	5.56	9610	4.70	9610	4.40	11300	3.72	11300	3.51	11300	3.21	11300
8215B	—	—	5.43	8490	5.56	9610	—	—	4.40	11300	—	—	—	—	—	—
8225A	8.62	12800	7.23	11300	7.38	12800	6.24	12800	5.55	14200	4.69	14200	4.41	14200	4.04	14200
8225B	8.62	12800	7.23	11300	7.38	12800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8235A	10.9	16200	9.08	14200	8.99	15500	7.92	16200	7.08	18100	5.99	18100	5.62	18100	5.16	18100
8235B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8245A	13.9	20600	11.6	18100	11.6	20000	10.1	20600	9.18	23500	7.77	23500	7.30	23500	6.69	23500
8245B	13.9	20600	11.6	18100	11.7	20600	10.1	20600	9.18	23500	—	—	7.30	23500	6.69	23500
8255A	17.9	26500	15.0	23500	15.3	26500	13.0	26500	11.9	30400	10.0	30400	9.44	30400	8.65	30400
8255B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8265A	23.9	35300	19.4	30400	20.1	34700	17.3	35300	15.9	40700	13.4	40700	12.6	40700	11.6	40700
8270A	—	—	—	—	28.8	49700	24.7	50500	19.7	50500	16.7	50500	—	—	14.4	50500
8275A	—	—	—	—	33.3	57500	29.6	60500	23.6	60500	20.1	60800	—	—	17.2	60800

传动比	731 (43 × 17)		841 (29 × 29)		1003 (59 × 17)		1225 (35 × 35)		1247 (43 × 29)		1479 (87 × 17)		1505 (43 × 35)		1849 (43 × 43)	
	2.1		1.8		1.5		1.2		1.2		1.0		1.0		0.81	
输出转速 /r · min ⁻¹																
机型号	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m
8075A	0.10	25.5°	0.10	25.5°	—	—	0.10	25.5°	0.10	25.5°	—	—	0.10	25.5°	0.10	25.5°
8085A	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	0.10	51.0°	—	—	0.10	51.0°	0.10	51.0°
8095A	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°	0.10	128°
8105A	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°	0.10	255°
8115A	0.13	510	0.11	510	0.10	510°	0.10	510°	0.10	510°	0.10	510°	0.10	510°	0.10	510°
8115B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8130A	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°	0.20	608°
8130B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8130C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8135A	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°	0.20	765°
8135B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8135C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8145A	0.26	1030	0.23	1030	0.20	1030°	0.20	1030°	0.20	1030°	0.20	1030°	0.20	1030°	0.20	1030°
8145B	—	—	0.23	1030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8145C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160A	0.40	1520°	0.40	1520°	0.40	1520°	0.40	1520°	0.40	1520°	0.20	1520°	0.20	1520°	0.20	1520°
8160B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8165A	0.46	1810	0.40	1810°	0.40	1810°	0.40	1810°	0.40	1810°	0.40	1810°	0.20	1810°	0.20	1810°
8165B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8165C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8170A	0.57	2260	0.50	2260	0.42	2260	0.40	2260°	0.40	2260°	0.40	2260°	0.40	2260°	0.40	2260°
8170B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8170C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8175A	0.69	2750	0.60	2750	0.51	2750	0.41	2750	0.41	2750	0.40	2750°	0.40	2750°	0.40	2750°
8175B	—	—	0.60	2750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8175C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8180A	0.82	3240	0.75	3240°	0.75	3240°	0.75	3240°	0.75	3240°	0.40	3240°	0.40	3240°	0.40	3240°
8180B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8185A	1.03	4070	0.89	4070	0.75	4070°	0.75	4070°	0.75	4070°	0.75	4070°	0.75	4070°	0.75	4070°
8185B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8190A	1.44	5690	1.25	5690	1.05	5690	0.85	5690	0.84	5690	0.75	5690°	0.75	5690°	0.75	5690°
8190B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8195A	1.67	6600	1.59	7260	1.29	6990	1.07	7260	1.07	7260	0.91	7260	0.75	7260°	0.75	7260°
8195B	1.83	7260	1.59	7260	1.34	7260	1.09	7260	—	—	0.91	7260	—	—	—	—
8205A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.50	8120°
8205B	2.20	8490°	—	—	2.20	8490°	2.20	8490	2.20	8490°	—	—	1.50	8490	1.50	8490°
8215A	2.85	11300	2.20	9610°	2.20	11300°	2.20	11300	2.20	11300°	1.50	9420°	1.50	9420	1.50	11300°
8215B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8225A	3.59	14200	2.80	12800	2.62	14200	2.20	14200	2.20	14200°	2.20	12800°	2.20	12800	1.50	14200°
8225B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8235A	4.58	18100	3.55	16200	3.34	18100	2.73	18100	2.69	18100	2.20	16200°	2.20	16200	2.20	18100°
8235B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8245A	5.94	23500	4.52	20600	4.43	23500	3.54	23500	3.48	23500	2.57	20600	2.53	20600	2.35	23500
8245B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8255A	7.68	30400	5.81	26500	5.59	30400	4.59	30400	4.50	30400	3.70	26500°	3.70	26500	3.70	30400°
8255B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8265A	10.3	40700	7.75	35300	7.49	40700	6.14	40700	6.02	40700	5.50	35300°	5.50	35300	5.50	40700°
8270A	12.8	50500	11.1	50500	9.29	50500	—	—	7.48	50500	6.30	50500	6.20	50500	5.50	50500°
8275A	15.4	60800	13.3	60800	11.2	60800	—	—	11.0	60800°	11.0	60800°	11.0	60800	7.50	60800°

续表

传动比	2065 (59 × 35)		2537 (59 × 43)		3045 (87 × 35)		3481 (59 × 59)		4437 (87 × 51)		5133 (87 × 59) # (59 × 87)		6177 (87 × 71) # (71 × 87)		7569 (87 × 87)	
	0.73		0.59		0.49		0.43		0.34		0.29		0.24		0.20	
输出转速 /r · min ⁻¹	0.73		0.59		0.49		0.43		0.34		0.29		0.24		0.20	
机型号	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m	功率 /kW	转矩 /N · m
8075A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8085A	0.10	51.0*	0.10	51.0*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8095A	0.10	128*	0.10	128*	0.10	128*	0.10	128*	0.10	128*	0.10	128*	—	—	—	—
8105A	0.10	255*	0.10	255*	0.10	255*	0.10	255*	0.10	255*	0.10	255*	—	—	—	—
8115A	0.10	510*	0.10	510*	0.10	510*	0.10	510*	0.10	510*	0.10	510*	—	—	—	—
8115B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10	510*	0.10	510*
8130A	0.20	608*	0.20	608*	0.20	608*	0.20	608*	0.20	608*	0.20	608*	—	—	—	—
8130B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	608*	0.20	608*
8130C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8135A	0.20	765*	0.20	765*	0.20	765*	0.20	765*	0.20	765*	0.20	765*	—	—	—	—
8135B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	765*	0.20	765*
8135C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8145A	0.20	1030*	0.20	1030*	0.20	1030*	0.20	1030*	0.20	1030*	0.20	1030*	—	—	—	—
8145B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	1030*	0.20	1030*
8145C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160A	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*	0.20	1520*
8160B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8160C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8165A	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*	0.20	1810*
8165B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8165C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8170A	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*	0.20	2260*
8170B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8170C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8175A	0.40	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*	0.20	2750*
8175B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8175C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8180A	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*	0.40	3240*
8180B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8185A	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*	0.40	4070*
8185B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8190A	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*	0.75	5690*
8190B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8195A	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*	0.75	7260*
8195B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8205A	—	—	0.75	8240*	—	—	0.75	8490*	—	—	0.75*	8490*	—	—	—	—
8205B	1.50	8490*	0.75	8490*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8215A	1.50	11300*	1.50	11300*	1.50	9420*	1.50	11300*	1.50	9420*	1.50*	11300*	1.50	9420*	1.50	9420*
8215B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8225A	1.50	14200*	1.50	14200*	1.50	12800*	1.50	14200*	1.50	12800*	1.50*	14200*	1.50	12800*	1.50	12800*
8225B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8235A	2.20	18100*	2.20	18100*	2.20	16200*	2.20	18100*	2.20	16200*	2.20*	18100*	2.20	16200*	2.20	16200*
8235B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8245A	2.20	23500*	2.20	23500*	2.20	20600*	2.20	23500*	2.20	20600*	2.20*	23500*	2.20	20600*	2.20	20600*
8245B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8255A	3.70	30400*	3.70	30400*	3.70	26500*	3.70	30400*	3.70	26500*	3.70*	30400*	3.70	26500*	3.70	26500*
8255B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8265A	5.50	40700	5.50	40700	5.50	35300	5.50	40700	5.50	35300	5.50*	40700	5.50	35300	5.50	35300*
8270A	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*	5.50	50500*
8275A	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*	7.50	60800*

注: 1. 选用 8265A 与 8275A 时请向厂方咨询。

2. 带*者不能使用电机全功率, 应在输出转矩条件下使用。

3. 带#号的传动比 59 × 87 (低速端 59, 高速端 87), 除此之外, 其余传动比的二级减速均为: 高速端为减速比小的一端, 低速端为减速比大的一端。

若摆线减速机与齿轮、链轮或带轮连接，需在径向力许用值范围内使用，若径向力超出许用值，可选用更大一号机型。

计算公式为

$$P = \frac{T}{R} \leq \frac{P_x}{L_r C_r F_s} \quad (\text{N}) \quad (16-2-27)$$

式中 P ——实际许用径向力，N；

T ——输出轴上实际传递转矩，N·m；

R ——齿轮、链轮或带轮节圆半径，m；

P_x ——许用径向力，N，输出轴许用径向力见表 16-2-143，输入轴许用径向力见表 16-2-144；

L_r ——径向力作用位置系数，输出轴径向力作用位置系数见表 16-2-145；输入轴径向力作用位置系数见表 16-2-146；

C_r ——连接系数，见表 16-2-147；

F_s ——冲击系数，见表 16-2-147。

表 16-2-143

输出轴许用径向力 P_x

N

机型号	输出转速 / r · min ⁻¹											
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30
8075	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
8085	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
8095	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2970	3010
8105	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300	5300
8115	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240
8125	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240	9240
8130	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690	15690
8135												
8145												
8155												
8160	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	18000
8165	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	18000
8170	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	24900	21700
8175	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	27400	24900	21700
8180	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	33700	29500
8185	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	37200	33700	29500
8190	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	47400	41400
8195	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	51900	47400	41400
8205	69000	69000	69000	69000	69000	69000	69000	69000	69000	65100	59700	52900
8215	86000	86000	86000	86000	86000	86000	86000	86000	86000	82900	76000	67400
8225	145000	145000	141000	130300	122000	115000	106000	99000	87000	80000	74800	71000
8235	178000	178000	176400	161700	150900	143000	131300	122500	181000	100000	93000	88200
8245	208000	208000	196000	180000	168000	160000	146000	137000	122000	110000	104000	98000
8255	257000	257000	240100	220500	206000	195000	179000	167000	148000	136000	127000	121000
8265	275000	275000	275000	269000	251000	238000	219000	205000	180000	166000	155000	147000
8275	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000	196000

机型号	输出转速 / r · min ⁻¹											
	35	40	50	60	80	100	125	150	200	250	300	
8075	1140	1140	1140	1070	980	910	840	790	720	—	—	
8085	1140	1140	1140	1070	980	910	840	790	720	—	—	
8095	3040	3050	2970	3010	2910	2700	2510	2360	2140	2000	1880	
8105	5300	5300	5300	5300	4820	4480	4150	3920	3560	3310	3140	
8115	9240	9240	9240	8070	7330	6810	6320	5960	5420	5030	4720	
8125	9240	9240	9240	8070	7330	6810	6320	5960	5420	5030	4720	

续表

机型号	输出转速/ $r \cdot \min^{-1}$										
	35	40	50	60	80	100	125	150	200	250	300
8130	15690	14990	13930	13120	11944	11080	10290	9690	8810	8190	7710
8135											
8145											
8155											
8160	17100	16400	15200	14300	13000	12100	11200	10600	9600	8900	8400
8165											
8170	20700	19800	18400	17300	15700	14600	13600	12800	11600	10800	10100
8175											
8180	28000	26800	24900	23500	21300	19800	18400	17300	15800	—	—
8185											
8190	39400	37700	35000	32900	30000	27800	25800	24200	22100	—	—
8195											
8205	50500	48500	45400	43000	39500	36800	34400	32600	29900	—	—
8215	64300	61700	57800	54800	50300	46900	43900	41500	38100	—	—
8225	67600	65100	61000	58000	52000	49400	46000	43700	40200	—	—
8235	84300	81000	75700	71600	65800	61500	57400	—	—	—	—
8245	94000	90000	84400	79900	73300	68500	64000	—	—	—	—
8255	114700	110700	102900	97600	89600	83800	78400	—	—	—	—
8265	140000	135000	126000	120000	110000	102000	96000	—	—	—	—
8275	196000	196000	196000	—	—	—	—	—	—	—	—

注：二级减速器输出轴许用径向力参考所配低速端机型号值。

表 16-2-144

输入轴许用径向力 P_x

N

机型号	传动比	输入转速/ $r \cdot \min^{-1}$						
		600	750	900	1000	1200	1500	1800
8075	11-43	70	70	70	70	70	70	70
8085	11-43	140	140	140	140	90	90	90
8095	6-43	240	240	190	190	190	190	140
8105	6-87	530	530	530	490	390	340	340
8115	6-17	780	780	780	680	680	580	580
8125	21-87	780	780	530	490	490	440	390
8135	6-21	1760	1660	1560	1470	1370	1170	1079
8145	25-87	1760	1470	1170	1120	1070	1030	930
8155	6-25	1070	980	780	680	680	630	580
	29-87	880	580	580	490	490	440	440
8160	11-17	1960	1960	1960	1860	1760	1660	1610
8165	21-87	1660	1520	1270	1170	1070	930	880
8170	11-17	2640	2400	2350	2250	1960	1860	1860
8175	21-87	2450	2150	2150	1760	1760	1520	1520
8180, 8185	11-87	3420	3280	2990	2940	2740	2550	2550
8190	11-25	3920	3920	3570	3430	3130	2940	2940
8195	29-87	3570	3230	3040	2940	2740	2450	2450
8205	11-87	6170	6220	6080	5880	5390	4900	5390
8215	11-87	7250	6810	6320	6120	5440	5090	5730
8225	11-87	7500	6960	6610	6420	5980	5780	6610
8235	11-87	8720	8970	9160	9510	10000	—	—
8245	11-87	11100	10500	10100	10100	11000	—	—
8255	11-87	13100	12200	11200	10700	11700	—	—
8265	11-87	13100	12200	11200	10700	11700	—	—
8270, 8275	17-87	14700	14700	14700	14700	14700	—	—

注：二级减速器输入轴许用径向力参考所配高速端机型号值。

表 16-2-147

系数 F_s 和 C_r

冲击程度	冲击系数 F_s		连接方式	连接系数 C_r	
	无冲击	1		链轮	1
	轻冲击	1-1.2		齿轮	1.25
	重冲击	1.4-1.6		V带	1.5

8.2.4 减速器的选用

(1) 直连型减速器的选用示例

① 已知条件

- 从运机：均匀送料的带式输送机。
- 工作时间：每日连续运转 24h。
- 低速轴转速 $n = 40\text{r}/\text{min}$ 。
- 低速轴实际所需转矩 $M = 1400\text{N} \cdot \text{m}$ 。
- 电机频率为 50Hz，4 极增安型电机。
- 输出轴连接方法：联轴器（无轴向力）。

② 选型

- 使用系数：查表 16-2-148， $K = 1.2$ 。
- 输出转速 40r/min，电机频率 50Hz、4 极，计算传动比 $1500/40 = 37.5$ ，选传动比为 $i = 35$ ，实际输出转速为 $n = 43\text{r}/\text{min}$ 。
- 电机功率 $N = Mn/9550 = 1400 \times 43/9550 = 6.3\text{kW}$ ，减速器效率按 0.9 计算， $6.3/0.9 = 7\text{kW}$ ，选取电机功率为 7.5kW。
- 按表 16-2-138 选型号为 XWDA 7.5-8170-35，使用系数 $K = 1.27 > 1.2$ 。

(2) 双轴型减速器的选用示例

① 已知条件

- 从动机：化学反应釜用搅拌器，搅拌固液混合料。
- 工作时间：每日连续运转 24h。
- 输入转速 600r/min。
- 输出转速 17r/min。
- 工作转矩 2597N·m。

② 选型

- 传动比 $600/17 = 35.3$ ，选速比 $i = 35$ 。
- 查表 16-2-148， $K = 1.35$ 。
- 实需转矩为 $1.35 \times 2597\text{N} \cdot \text{m} = 3505.95\text{N} \cdot \text{m} < 4070\text{N} \cdot \text{m}$ （额定转矩）。
- 按表 16-2-140 选型号为 XL-8185-35。

若减速器输入轴或输出轴与齿轮、链轮或带轮连接，需按式（16-2-27）计算实际许用径向力，若径向力超过许用值，可选用更大一号机型。

表 16-2-148

使用系数 K

原动机种类	工作条件	载 荷 性 质		
		稳定(U)	中等冲击(M)	大的冲击(H)
电 机	断续 3h/日	0.8	1.0	1.35
	8~10h/日	1.0	1.2	1.5
	24h/日	1.2	1.35	1.6

9 谐波传动减速器

9.1 工作原理与特点

谐波传动包括三个基本构件：柔轮 1、刚轮 2 和波发生器 3（图 16-2-9）。三个构件中可以任意固定一个，其

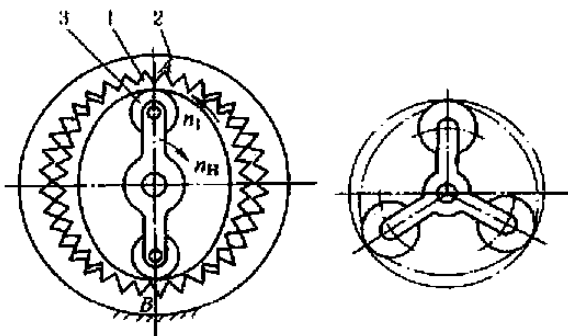


图 16-2-9 谐波传动

1—柔轮；2—刚轮；3—波发生器

余两个一个固定，一个从动，可以实现减速或增速（固定传动比），也可以换成两个输入、一个输出，组成差动传动。谐波传动减速器主要用于军工、精密仪器生产、医疗器械、起重机、船舶柴油机辅机、卷帘门、电动闸门的传动及机器人、天线的传动。

柔轮轮体很薄，其上有特制的完整的齿圈（360°），轮齿模数较小，一般为 0.2 ~ 1.5mm。波发生器的径向最大尺寸稍大于柔轮内孔直径，装配时把它放入柔轮内孔，使柔轮齿圈段变形成为椭圆形，并使椭圆长轴处 A、B 两点的轮齿与刚轮相啮合，而短轴处的轮齿脱开。若波发生器顺时针方向旋转，则柔轮 1 和刚轮 2（固定轮）的啮合区也随着变化，轮齿依次进入啮合和脱离状态。柔轮的变形过程基本上是一个对称的谐波，因此称为谐波齿轮传动。对于双波传动其特点是发生器转一转，柔轮相对于刚轮在圆周方向转过两个齿距的弧长，它有两个啮合区。双波谐波齿轮传动变形时柔轮表面应力小，易获得大的传动比，结构较简单。对于三波传动则齿数差为 3，有三个啮合区。三波传动其特点是作用于轴上的径向力小，内应力较平衡，精度较高，变形时柔轮表面应力较双波的大，而且结构较为复杂。

波发生器常有三种结构型式，如图 16-2-10 所示，但作用原理相同。为了减少波发生器对柔轮内表面产生过大摩擦，通常在波发生器上装弹性滚动轴承（图 16-2-10c）。

波发生器常有三种结构型式，如图 16-2-10 所示，但作用原理相同。为了减少波发生器对柔轮内表面产生过大摩擦，通常在波发生器上装弹性滚动轴承（图 16-2-10c）。

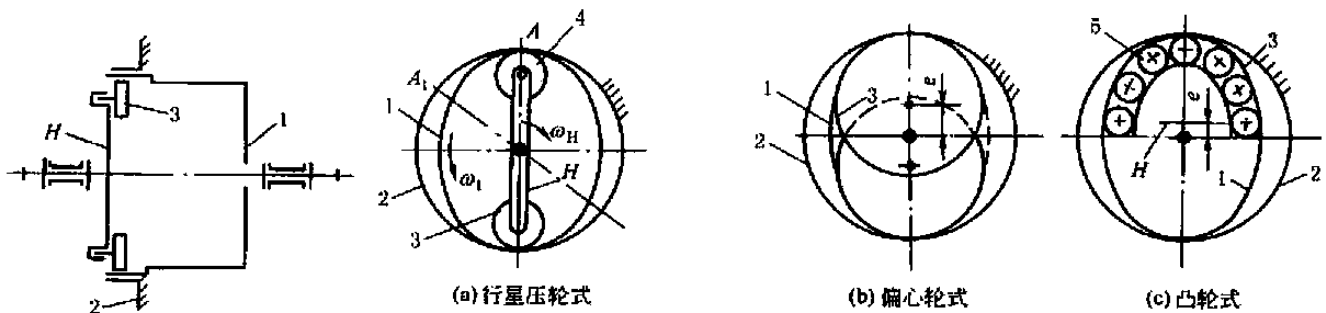


图 16-2-10 波发生器

1—柔轮；2—刚轮；3—波发生器；4—压轮；5—轴承

因柔轮、刚轮齿数不等（通常柔轮比刚轮齿数少 2 齿），在传动过程中，若刚轮固定，波发生器为主动转动一圈时，柔轮只能相对刚轮向反方向位移。当波发生器以 ω_H 方向转动至相当于柔轮一周的 A_1 点（图 16-2-10a）时，啮合经过 z_1 个齿，波发生器继续转动至相当于刚轮 2 一周回到 A 点时，啮合经过的齿数为 z_2 ，此时柔轮 1 相对于刚轮 2 向 ω_1 方向转动 $z_2 - z_1$ 个齿，显然传动比为

$$i = \frac{z_2}{z_2 - z_1}$$

传动比与两个齿轮的齿数差成反比，而传动比与波发生器的波数无关。三个基本构件若固定其中任一构件，则传动比和转动方向也各不相同，见表 16-2-149。

谐波齿轮传动的特点如下。

1) 结构简单，重量轻、体积小。由于谐波齿轮传动比普通齿轮传动的零件数目大大减少，其体积可比普通齿轮传动体积小 20% ~ 50%。

2) 传动比范围大，一般单级谐波齿轮传动，传动比为 60 ~ 500；当采用行星发生器时，传动比为 150 ~ 4000；而采用复波传动时，传动比可达 10^7 。

3) 承载能力高。由于谐波齿轮传动同时啮合齿数多，即同时承受载荷的齿数多，在材料的力学性能和传动比相同的情况下，齿的强度保持一定时，其承载能力比其他型式的传动大大地提高。

4) 损耗小，效率高。这是因为齿的相对滑动速度极低。因此，它可在加工粗糙度和润滑条件差的情况下工作。

表 16-2-149

序号	传动简图	固定件	主、从动件的转向关系	传动比计算公式
1		刚轮	反向	$i_{H1} = \frac{n_H}{n_1} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1}$
2		柔轮	同向	$i_{H2} = \frac{n_H}{n_2} = \frac{z_2}{z_2 - z_1}$
3		波发生器	同向	$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$

5) 齿的磨损小且均匀。由于齿的啮合是面接触，啮合齿数多，齿面比压小，滑动速度低，所以对于齿的磨损小且均匀。

6) 运动平稳，无冲击。由于柔轮与刚轮啮合时，齿与齿间均匀接触，同时齿的啮入和啮出是随柔轮的变形逐渐进入和退出刚轮齿间的。

7) 可以向密封空间传递运动。由于弹性件（柔轮）被固定后，它既可以作为封闭传动的壳体，又可以产生弹性变形，即产生错齿运动，从而达到传递运动的目的。因此，它可用在操纵高温、高压的管道以及用来驱动工作在高真空、有原子辐射和有害介质空间的机构。

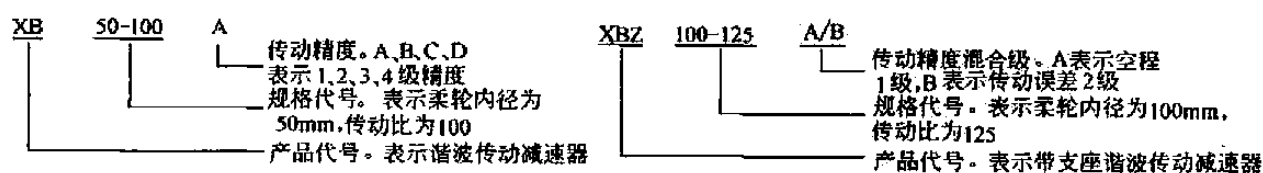
在谐波齿轮传动中，柔轮加工较困难，对柔性轴承的材料及制造精度要求较高。

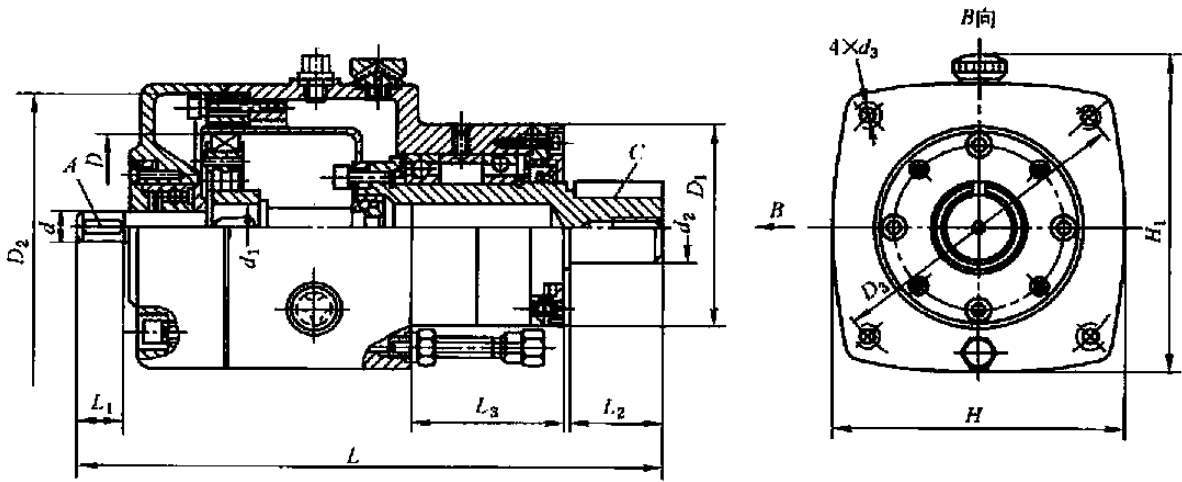
9.2 XB、XBZ 型谐波传动减速器（摘自 GB/T 14118—1993）

XB、XBZ 型谐波传动减速器主要适用于电力、航空、航天、机器人、机床、纺织、医疗、冶金、矿山等行业的机械产品。

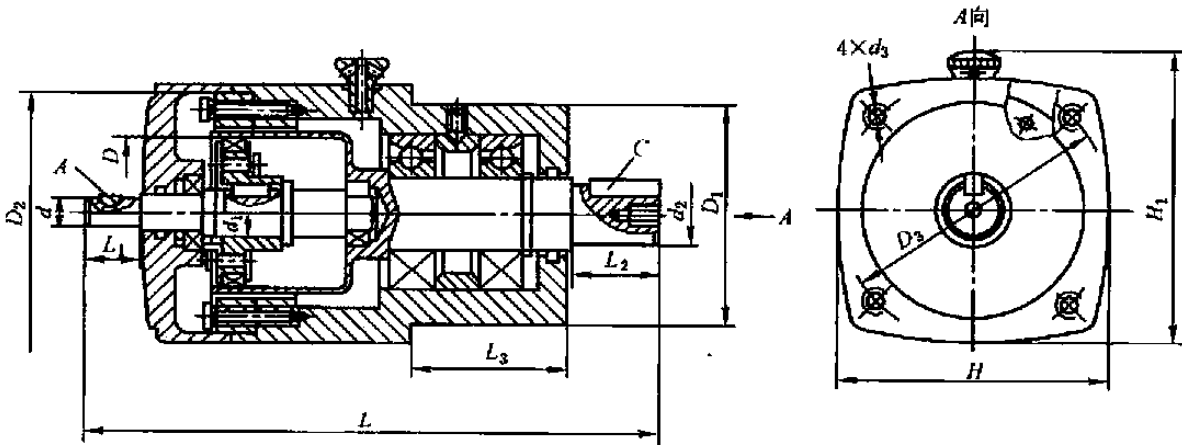
9.2.1 外形、安装尺寸

标记示例

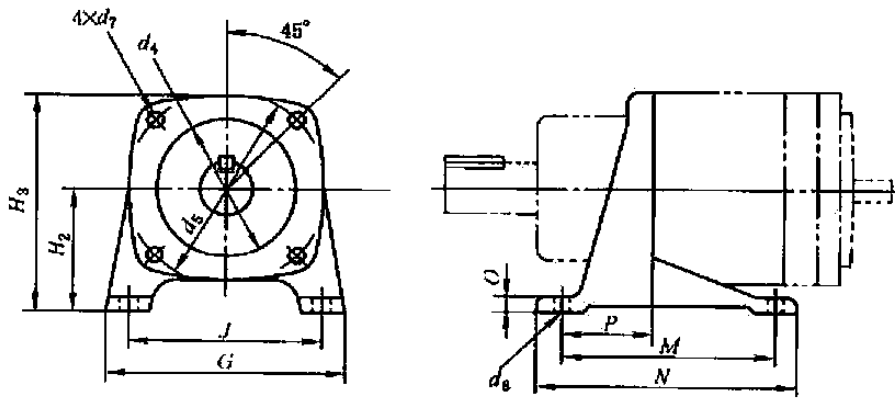




XB型減速器



XBZ型減速器



支座外形

9.2.2 承载能力

表 16-2-151

XB、XBZ 型减速器承载能力

规格	柔轮 内径 /mm	模数 /mm	传动比 i_n	输入转速 3000r/min			输入转速 1500r/min			输入转速 1000r/min			输入转速 750r/min			输入转速 500r/min						
				输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	
25	25	0.1	125	0.0061	24	2	0.0035	12	2.5	0.0028	8	2.9	0.0021	6	3	0.0016	4	6.25	4	0.0023	7.9	2.5
				0.0096	37.5	2	0.0056	18.8	2.5	0.0044	12.5	2.9	0.0033	9.4	3	0.0023	6.25	3.4				
				0.0122	47.6	2	0.0071	23.8	2.5	0.0047	15.8	2.5	0.0035	11.9	2.5	0.0023	7.9	2.5				
32	32	0.1	160	0.015	18.6	6	0.008	9.4	7.5	0.0071	6.25	8.6	0.005	4.7	9	0.004	3	10	3	0.007	7.9	7
				0.023	30	6	0.014	15	7.5	0.011	10	8.6	0.008	7.5	9	0.006	5	10				
				0.024	37.5	5	0.015	18.8	6.5	0.012	12.5	7.6	0.010	9.4	8	0.007	6.25	9				
40	40	0.1	200	0.033	15	16	0.020	7.5	20	0.016	5	23	0.012	3.8	24	0.009	2.5	28	0.021	6.25	28	
				0.049	24	16	0.029	12	20	0.022	8	23	0.018	6	24	0.013	4	28				
				0.061	30	16	0.035	15	20	0.028	10	23	0.021	7.5	24	0.016	5	28				
50	50	0.2	100	0.076	18.6	30	0.044	9.4	38	0.032	6.25	42	0.026	4.7	45	0.019	3	52	0.034	6.25	30	
				0.093	24	30	0.055	12	38	0.040	8	42	0.033	6	45	0.025	4	52				
				0.115	30	30	0.068	15	38	0.051	10	42	0.041	7.5	45	0.031	5	50				
60	60	0.2	160	0.127	18.6	50	0.072	9.4	63	0.054	6.25	72	0.042	4.7	75	0.031	3	86	0.074	6.25	65	
				0.154	24	50	0.092	12	63	0.069	8	72	0.054	6	75	0.041	4	86				
				0.193	30	50	0.114	15	63	0.087	10	72	0.068	7.5	75	0.049	5	82				
80	80	0.3	200	0.249	15	120	0.135	7.5	150	0.106	5	175	0.082	3.8	180	0.064	2.5	210	0.171	6.25	150	
				0.305	18.6	120	0.171	9.4	150	0.132	6.25	175	0.102	4.7	180	0.076	3	210				
				0.369	24	120	0.218	12	150	0.169	8	175	0.130	6	180	0.101	4	210				
100	100	0.4	200	0.513	15	250	0.317	7.5	310	0.239	5	350	0.192	3.8	370	0.147	2.5	430	0.227	6.25	200	
				0.637	18.6	250	0.352	9.4	310	0.264	6.25	350	0.209	4.7	370	0.155	3	430				
				0.769	24	250	0.449	12	310	0.338	8	350	0.268	6	370	0.183	4	430				

续表

规格	柔轮 内径 /mm	模数 /mm	传动比 i_n	输入转速 3000r/min			输入转速 1500r/min			输入转速 1000r/min			输入转速 750r/min			输入转速 500r/min		
				输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	输入功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m
120	120	0.8	80	1.828	37.5	380	0.862	18.8	380	0.573	12.5	380	0.431	9.4	380	0.287	6.25	380
				1.731	30	450	1.014	15	560	0.675	10	560	0.507	7.5	560	0.338	5	560
				1.385	24	450	0.811	12	560	0.618	8	640	0.485	6	670	0.328	4	680
				1.144	18.6	450	0.635	9.4	560	0.482	6.25	640	0.380	4.7	670	0.279	3	770
				0.923	15	450	0.575	7.5	560	0.437	5	640	0.348	3.8	670	0.263	2.5	770
160	160	1	80	1.814		800	1.814	18.8	800	1.207	12.5	800	0.907	9.4	800	0.604	6.25	800
				1.809		1000	1.809	15	1000	1.387	10	1150	1.086	7.5	1200	0.604	5	1000
				1.448		1000	1.448	12	1000	1.111	8	1150	0.868	6	1200	0.604	4	1250
				1.134		1000	1.134	9.4	1000	0.867	6.25	1150	0.680	4.7	1200	0.488	3	1350
				1.025		1000	1.025	7.5	1000	0.787	5	1150	0.750	3.8	1200	0.461	2.5	1350
200	200	0.3	250	0.82		1000	0.82	6	1000	0.629	4	1150	0.492	3	1200	0.369	2	1350
				3.402		1500	3.402	18.8	1500	2.262	12.5	1500	1.701	9.4	1500	1.132	6.25	1500
				3.620		2000	3.620	15	2000	2.413	10	2000	1.809	7.5	2000	1.207	5	2000
				2.896		2000	2.896	12	2000	2.886	8	2300	1.731	6	2390	1.164	4	2410
				2.268		2000	2.268	9.4	2000	1.734	6.25	2300	1.355	4.7	2390	0.995	3	2750
250	250	0.4	200	2.051		2000	2.051	7.5	2000	1.572	5	2300	1.241	3.8	2390	0.940	2.5	2750
				1.641		2000	1.641	6	2000	1.259	4	2300	0.980	3	2390	0.752	2	2750
				6.68		2800	6.68	18.8	2800	4.49	12.5	2800	3.37	9.4	2800	2.24	6.25	2800
				6.33		3500	6.33	15	3500	4.49	10	3500	3.37	7.5	3500	2.24	5	3500
				5.07		3500	5.07	12	3500	3.86	8	4000	3.04	6	4200	2.33	4	4830
320	320	0.5	160	3.96		3500	3.96	9.4	3500	3.01	6.25	4000	2.38	4.7	4200	1.75	3	4830
				3.59		3500	3.59	7.5	3500	2.73	5	4000	2.19	3.8	4200	1.65	2.5	4830
				2.87		3500	2.87	6	3500	2.19	4	4000	1.72	3	4200	1.32	2	4830
				2.25		3500	2.25	4.7	3500	1.69	3.1	4000	1.32	2.3	4200	1.05	1.6	4830
				12.27		5300	12.27	18.8	5300	8.50	12.5	5300	6.40	9.4	5300	4.25	6.25	5300
320	320	0.6	250	11.4		6300	11.4	15	6300	8.08	10	6300	6.06	7.5	6300	4.04	5	6300
				9.12		6300	9.12	12	6300	6.95	8	7200	5.44	6	7500	4.15	4	8600
				7.14		6300	7.14	9.4	6300	5.44	6.25	7200	4.26	4.7	7500	7.12	3	8600
				6.47		6300	6.47	7.5	6300	4.92	5	7200	3.89	3.8	7500	2.94	2.5	8600
				5.17		6300	5.17	6	6300	3.93	4	7200	3.07	3	7500	2.35	2	8600
320	320	0.5	320	4.05		6300	4.05	4.7	6300	3.05	3.1	7200	2.36	2.3	7500	1.88	1.6	8600

9.2.3 使用条件及主要技术指标

表 16-2-152

使用条件及主要技术指标

机型	25	32	40	50	60	80	100	120	160	200	250	320
使用条件	使用环境温度为 $-40 \sim 55^{\circ}\text{C}$; 相对湿度为 $95\% \pm 3\%$ (20°C); 振动频率为 $10 \sim 500\text{Hz}$, 加速度为 $2g$; 扫频循环次数为 10 次											
效率/%	$i = 63 \sim 125, \eta = 75 \sim 90; i > 125, \eta = 70 \sim 85$								$i = 80 \sim 160, \eta = 80 \sim 90; i > 160, \eta = 70 \sim 80$			
超载性能	超载 50% 时, 能正常运转 30min; 超载 150% 时, 能正常运转 1min											
启动转矩 /N·cm	≤ 0.8	≤ 1.25	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 8	≤ 12.5	≤ 20	≤ 35	≤ 60	≤ 100	≤ 150
扭转刚度 /N·m·(°) ⁻¹	0.365	0.725	1.45	2.90	5.80	11.65	23.25	46.55	93.10	186.20	327.35	744.65
转动惯量 /kg·m ²	7×10^{-7}	2.8×10^{-6}	8.8×10^{-6}	2.5×10^{-5}	5.85×10^{-5}	1.77×10^{-4}	5.46×10^{-4}	1.18×10^{-3}	5.65×10^{-3}	1.72×10^{-2}	5.16×10^{-2}	1.52×10^{-1}
传动误差	1 级, $\leq 1'$; 2 级, $\leq 3'$; 3 级, $\leq 6'$; 4 级, $\leq 9'$											

9.2.4 减速器的选用

谐波传动减速器所承受的载荷最好是转矩, 不能直接承受轴向力和弯矩, 若必须承受弯矩时则应在减速器输出轴端增加相应的辅助轴承。

谐波传动减速器也可以垂直安装使用。当输出轴向下时, 谐波传动组件、波发生器位于上部, 需配置甩油杯, 它起油泵的作用, 将润滑油带到波发生器及刚轮、柔轮轮齿的啮合面。当输入轴向下时, 需注意润滑油油位高度。需要垂直安装的减速器请与制造厂联系。

选择减速器时, 应根据承受的载荷确定减速器的机型。同时, 应考虑减速器的工作环境及工作状态, 如减速器长期在满载荷下连续工作时, 应考虑选择大一型号的减速器。

减速器在不同环境温度下, 各机型使用的润滑油及润滑脂见表 16-2-153。

表 16-2-153

机 型 XB	25	32	40	50	60	80	100	120	160	200	250	320	
环境温度 / $^{\circ}\text{C}$	0 ~ 55	XBZH-Y ₀ (谐波传动半流体润滑脂 0 [#])					32XBY (谐波传动润滑油)			46XBY (谐波传动润滑油)			
	-40 ~ 55						32XBY-Y (低温谐波传动润滑油)			46XBY-Y (低温谐波传动润滑油)			
	-50 ~ 100						4109 (合成油)						

注: 生产厂家为北京中技克美谐波传动有限责任公司、北京谐波传动技术研究所及无锡调速器厂等 (尺寸略有区别, 选用时, 请与厂家联系)。

10 三环减速器

10.1 工作原理、特点及适用范围

(1) 工作原理

三环减速器是少齿差行星轮传动的一种型式，其齿轮啮合运动属于动轴轮系，其输出轴与输入轴平行配置，又具有平行轴圆柱齿轮减速器的特征。因由三片相同的内齿环板带动一个外齿齿轮输出，而简称三环减速器。

三环减速器主要由一根具有外齿轮的**低速轴1**、两根各具有三个互呈 120° 偏心的**高速轴2**和三片具有内齿圈的**传动环板3**构成，如图16-2-11所示。三根轴互相平行。当高速轴2旋转时，带动三片环板3呈 120° 相位差平面运动，环板上的内齿圈与低速轴1上的外齿轮啮合实现大传动比减速。两根高速轴的轴端既可单独又可同时将动力输入。

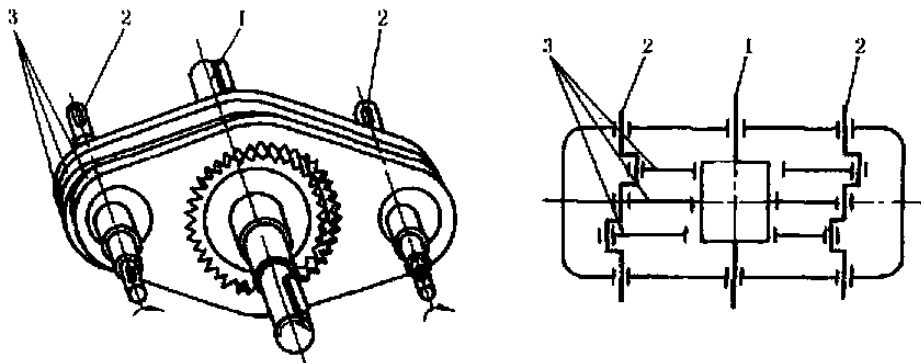


图 16-2-11 三环减速器（基本型）工作原理

1—低速轴；2—高速轴；3—环板

(2) 特点

三环减速器兼有行星减速器和普通圆柱齿轮减速器的优点，充分运用了功率分流与多齿内啮合机理，在技术性能、产品制造、使用维护方面具有较明显的优点。

① 承载、超载能力强，使用寿命长。齿轮啮合可有 $9 \sim 18$ 对齿同时进入啮合区，随着载荷加大，啮合齿对数也相应增加，能承受过载 2.7 倍。输出转矩可达 $400\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

② 传动比大，分级密集。单级传动比为 $11 \sim 99$ ，双级达 9801 ，级差约 1.1 倍。

③ 效率高。满载条件下，单级效率为 $90\% \sim 93\%$ 。

④ 结构紧凑，体积较小，重量比普通圆柱齿轮减速器小 $1/3$ 。

⑤ 适用性广，可制成卧式、立式、法兰连接及组合传动等结构。具有多轴端，可供电动机同步传动或带动控制元件。装配型式及派生系列繁多。

(3) 存在问题

传动轴上存在不平衡力偶矩等问题，因而目前主要适用于低速重载的工况。

(4) 适用范围

① 环境温度为 $-40 \sim 45^\circ\text{C}$ ，低于 0°C 时，启动前应对润滑油采取预热。

② 高速轴转速 $\leq 1500\text{r}/\text{min}$ 。

③ 瞬时超载转矩允许为额定转矩的 2.7 倍。

④ 连续或断续工作，可正、反两方向运转。

⑤ 轴伸型式如下。

Y型：圆柱轴伸，单键平键连接（高速轴与低速轴同为圆柱轴伸，可不标记代号）。

Z型：圆锥轴伸，单键平键连接。

H型：渐开线花键轴伸。

C型：齿轮轴伸（仅QSH和QXSH减速器用）。

K型：圆柱形轴孔，平键套装连接（低速轴为套装孔，可不标记代号）。

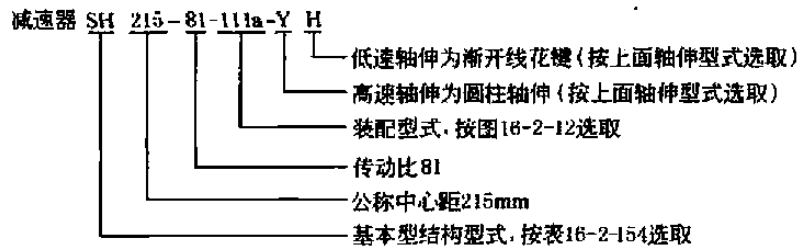
K(Z)型：圆锥形轴孔，平键套装连接。

K(H)型：花键轴孔，套装连接。

D型：轴伸与电机直联。

常用轴伸型式，高速轴与低速轴同为圆柱形轴伸或低速轴为套装孔（省略附加标号）。非圆柱形轴伸或高速与低速轴伸型式不同时，则分别依序加注轴伸型式标号。

(5) 标记示例

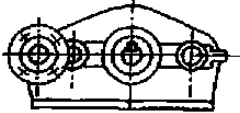
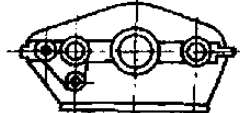
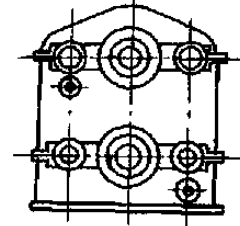
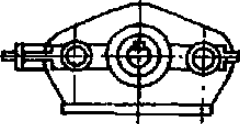
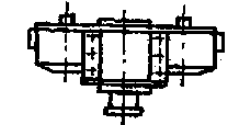
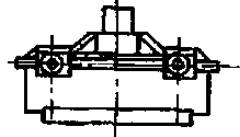
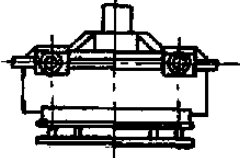
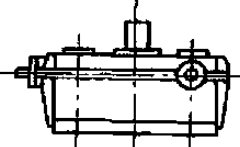


10.2 结构型式与特征

表 16-2-154

序号	结构型号	简图	结构特征	规格、传动比及输出转矩
1	SH		基本型三环传动，二高速轴平行且对称于低速轴，箱体卧式安装（有底座）、平剖分	$a = 80 - 1070$ $i = 11 - 99$ $T_2 = 0.124 - 469 \text{ kN} \cdot \text{m}$
2	SHD		其中一根或二根高速轴与电机直连；其余同SH	$a = 105 - 300 \text{ mm}$ $i = 11 - 99$ $T_2 = 0.259 - 10.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$
3	SHDK		低速轴系具有套装孔的空心轴；箱体上有防摆销孔；其余同SHD	$a = 105 - 300 \text{ mm}$ $i = 11 - 99$ $T_2 = 0.259 - 10.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$
4	4a SHC I		组合二级传动，三环传动的一侧或两侧加高速级圆柱齿轮传动；其余同SH	$a = 125 - 1070 \text{ mm}$ $i = 21.7 - 605$ $T_2 = 0.435 - 469 \text{ kN} \cdot \text{m}$
	4b SHC II		组合二级传动，将高速级圆柱齿轮传动置于箱体剖分面下部；其余同SHC	$a = 125 - 1070 \text{ mm}$ $i = 21.7 - 605$ $T_2 = 0.435 - 469 \text{ kN} \cdot \text{m}$
5	SHCD		组合二级传动，一个或两个高速轴与电机直联；其余同SHC	$a = 125 - 450 \text{ mm}$ $i = 21.7 - 605$ $T_2 = 0.435 - 35.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$

续表

序号	结构型号	简图	结构特征	规格、传动比及输出转矩
6	MSH		水泥磨慢速驱动用;高速轴与电机直连;类同 SHCD	$a = 350 \sim 600\text{mm}$ $i = 100 \sim 605$ $T_2 = 15.79 \sim 87.66\text{kN} \cdot \text{m}$
7	SHS		两级三环传动;高速级加于低速级一侧或两侧;其余同 SH	$a = 215 \sim 1070\text{mm}$ $i = 299 \sim 9801$ $T_2 = 3.336 \sim 469\text{kN} \cdot \text{m}$
8	LISH		连续铸钢拉矫机传动用;相当于二台 SHC II 型组成二重结构	$a = 300 \sim 500\text{mm}$ $i = 100 \sim 605$ $T_2 = 10.52 \sim 48.01\text{kN} \cdot \text{m}$
9	SHZ		三环传动,一侧或两侧增加高速级锥齿轮垂直传动;其余同 SH	$a = 125 \sim 1070\text{mm}$ $i = 33.6 \sim 503.3$ $T_2 = 0.435 \sim 469\text{kN} \cdot \text{m}$
10	ZZSH		桩孔钻机用;箱体侧面安装(有底座),低速轴中心具有注水孔;其余同 SHP	$a = 255 \sim 450\text{mm}$ $i = 11 \sim 99$ $T_2 = 5.764 \sim 35.9\text{kN} \cdot \text{m}$
11	SHZP		三环传动的一侧或两侧加高速级锥齿轮传动,低速轴竖置且与高速轴垂直,箱体平放安装(有底座),端面剖分	$a = 215 \sim 1070\text{mm}$ $i = 33.6 \sim 503.3$ $T_2 = 3.336 \sim 469\text{kN} \cdot \text{m}$
12	YPSH		圆盘给料机专用;类同 SHZP	$a = 215 \sim 600\text{mm}$ $i = 33.6 \sim 503.3$ $T_2 = 3.336 \sim 87.66\text{kN} \cdot \text{m}$
13	GTSH		钢包回转台用;具有两根垂直于平面的高速轴;其余类同 SHZP	$a = 300 \sim 400\text{mm}$ $i = 77.9 \sim 503.3$ $T_2 = 10.52 \sim 24.67\text{kN} \cdot \text{m}$

10.3 装配型式

根据三环传动的特征,一般有两根高速轴和一根低速轴,每根轴又可制成一端出轴伸、二端出轴伸或不出轴伸,低速轴还可制成空心轴。装配型式分别用三个阿拉伯数字(1、2和0)及拼音小写字母表示,数字1为一端出轴伸(含套装空心轴)、2为二端出轴伸、0为不制出轴伸。数字顺序按轴的顺序排列,其后拼音小写字母为分区号。

SH、SHD、SHC I、SHC II、SHZ、ZZSH、SHZP、GTSH 八种型号的装配型式见图 16-2-12。

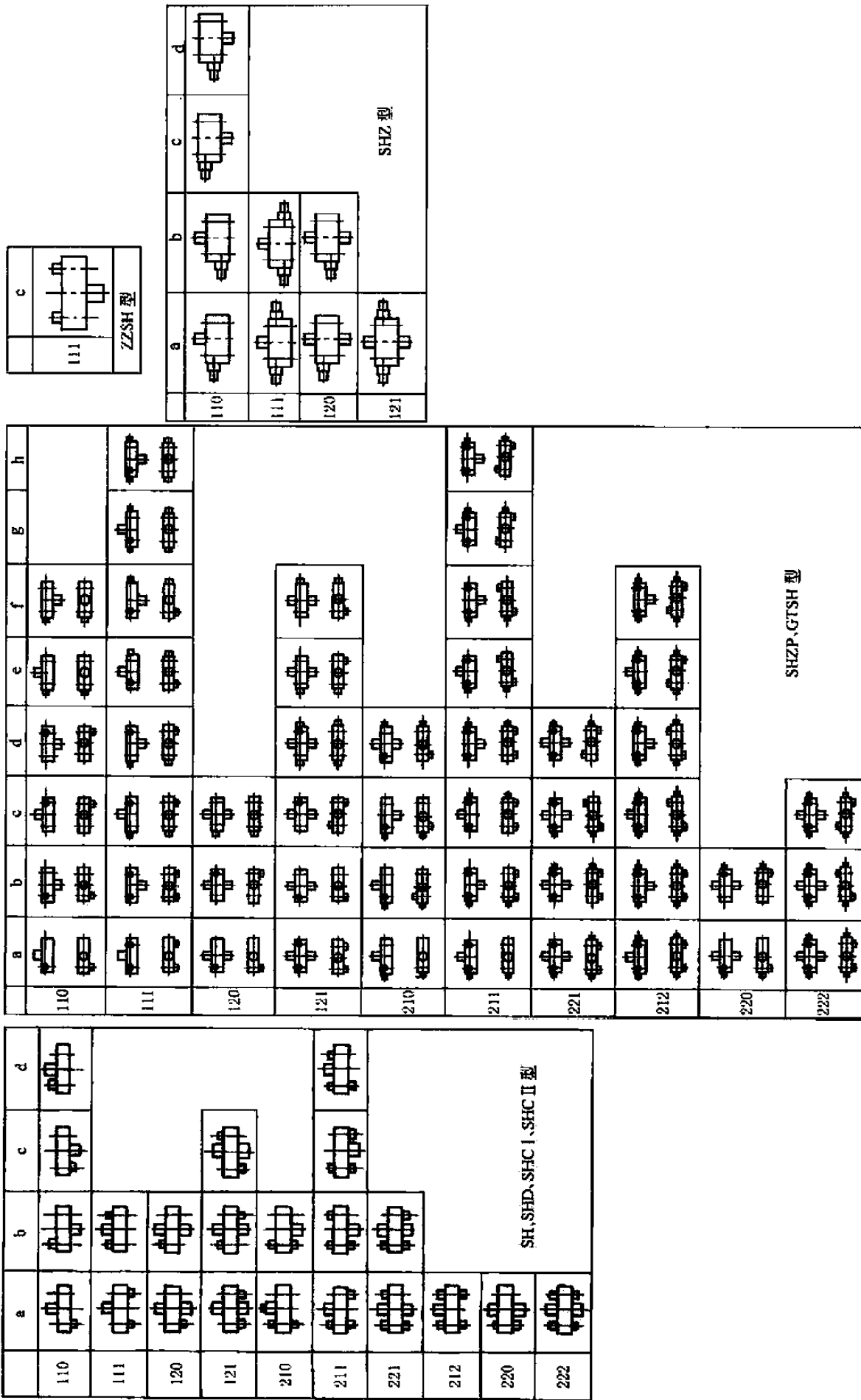


图 16-2-12 SH 等八种型号的装配式

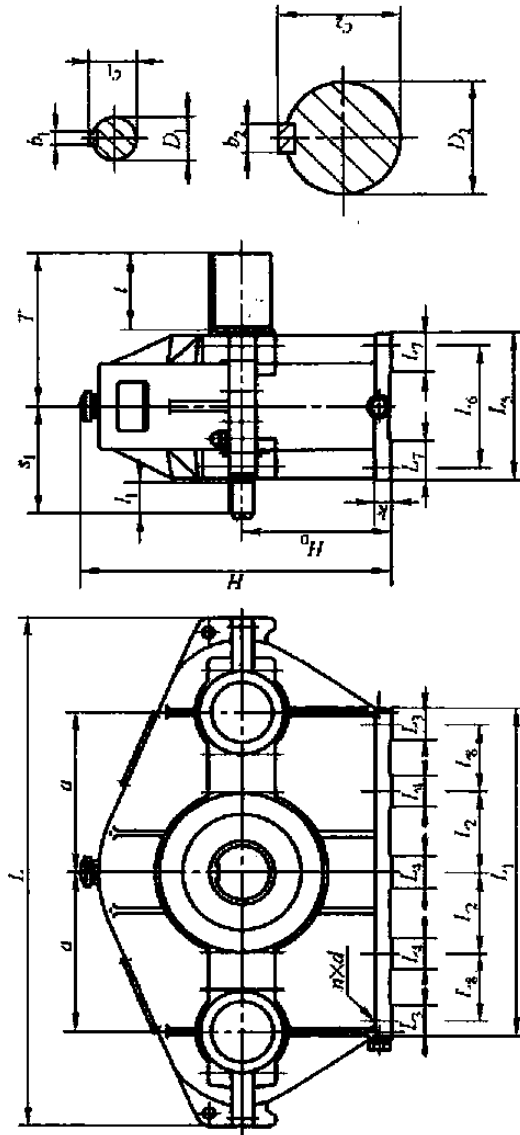
10.4 外形、安装尺寸 (摘自 YB/T 079—1995)

表 16-2-155

SH、SHC I、SHZ、ZZSH、SHZP、GTSH 型减速器外形、安装尺寸

mm

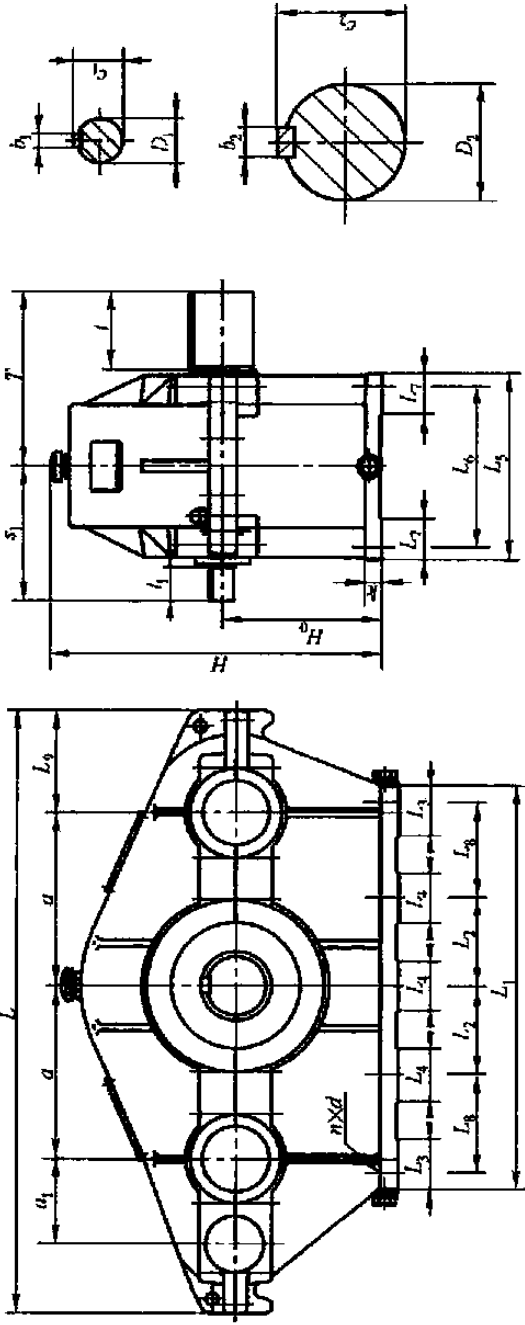
SH 型



规格	中心尺寸										地脚螺栓										高速轴伸 $i \leq 23$										高速轴伸 $i \geq 25.5$										低速轴伸					质量/kg
	a	H ₀	H	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	d	n	k	L ₂	L ₃	L ₄	L ₆	L ₇	L ₈	D ₁	l ₁	s ₁	c ₁	b ₁	D ₁	l ₁	s ₁	c ₁	b ₁	D ₂	t	T	c ₂	b ₂												
215	215	200	433	690	450	240	M20	4	25	190	100	185	65	35k6	58	165	38	10	35k6	58	165	38	10	35k6	58	165	38	10	75m6	105	215	79.5	20	175												
255	255	230	493	810	530	260	M20	6	25	220	100	210	70	45k6	82	195	48.5	14	45k6	82	195	48.5	14	45k6	82	195	48.5	14	90m6	130	245	95	25	260												
300	300	280	585	960	630	300	M24	6	30	255	120	235	80	50k6	82	215	53.3	14	50k6	82	215	53.3	14	50k6	82	215	53.3	14	110m6	165	315	116	28	440												
350	350	325	678	1100	720	340	M24	6	35	310	120	270	90	55m6	82	240	53.5	16	55m6	82	240	53.5	16	55m6	82	240	53.5	16	130m6	200	365	137	32	590												
400	400	355	740	1280	820	370	M24	8	40	150	120	310	100	65m6	105	290	69	18	65m6	105	290	69	18	65m6	105	290	69	18	150m6	200	395	158	36	900												
450	450	400	825	1440	920	420	M30	8	45	160	120	340	100	75m6	105	310	79.5	20	70m6	105	310	74.5	20	70m6	105	310	74.5	20	170m6	240	460	179	40	1470												
500	500	500	988	1610	1050	465	M36	8	50	185	150	390	100	80m6	130	350	85	22	80m6	130	350	85	22	80m6	130	350	85	22	180m6	240	470	190	45	1800												
550	550	560	1110	1750	1130	510	M36	8	60	200	150	440	120	85m6	130	370	90	22	75m6	105	325	74.5	20	75m6	105	325	74.5	20	200m6	280	535	210	45	2360												
600	600	630	1230	1920	1250	555	M42	8	60	220	180	150	480	120	90m6	130	390	95	25	80m6	130	390	85	22	80m6	130	390	85	22	220m6	280	540	231	50	3090											
670	670	670	1330	2110	1370	600	M42	8	70	250	180	180	520	140	100m6	165	450	106	28	90m6	130	415	95	25	90m6	130	415	95	25	250m6	330	630	262	56	4370											
750	750	750	1480	2350	1550	660	M48	8	80	250	210	210	560	150	110m6	165	485	116	28	100m6	165	485	106	28	100m6	165	485	106	28	280m6	380	705	292	63	6040											
840	840	840	1626	2460	1730	750	M48	10	80	330	225	200	640	150	130m6	200	545	137	32	110m6	165	510	116	28	110m6	165	510	116	28	300m6	380	730	314	70	8820											
950	950	950	1830	2940	1950	815	M56	10	90	360	235	200	685	200	150m6	200	575	158	36	130m6	200	575	137	32	130m6	200	575	137	32	340m6	450	830	355	80	12900											
1070	1070	1060	2060	3230	2190	870	M56	10	90	440	240	240	735	200	170m6	240	640	179	40	150m6	200	600	158	36	150m6	200	600	158	36	380m6	450	860	395	80	18600											

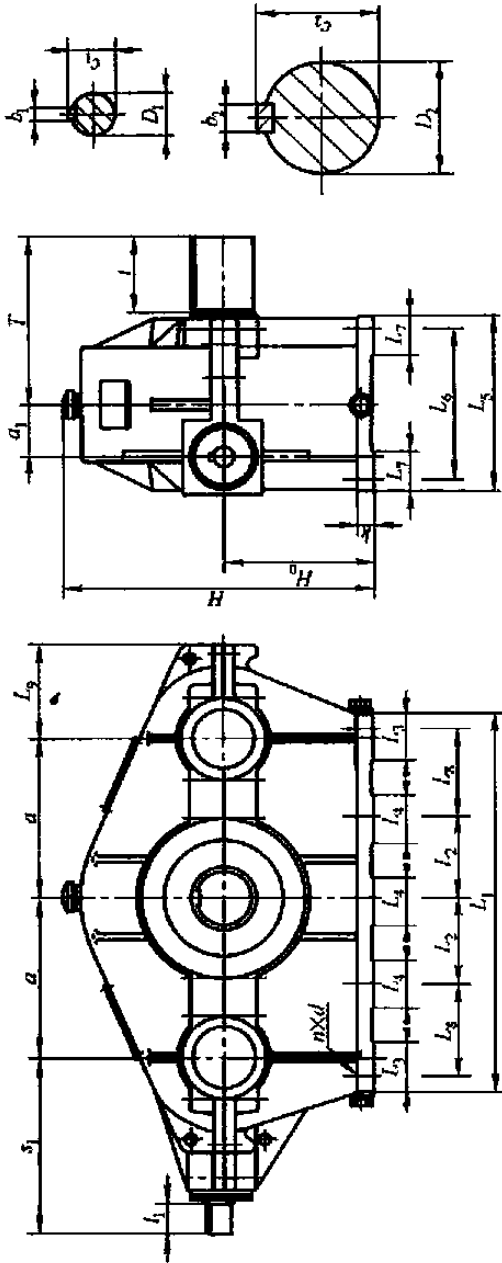
说明: 生产厂为北京太富力传动机器有限责任公司(本节三环减速器均为该公司生产)

SHC I 型



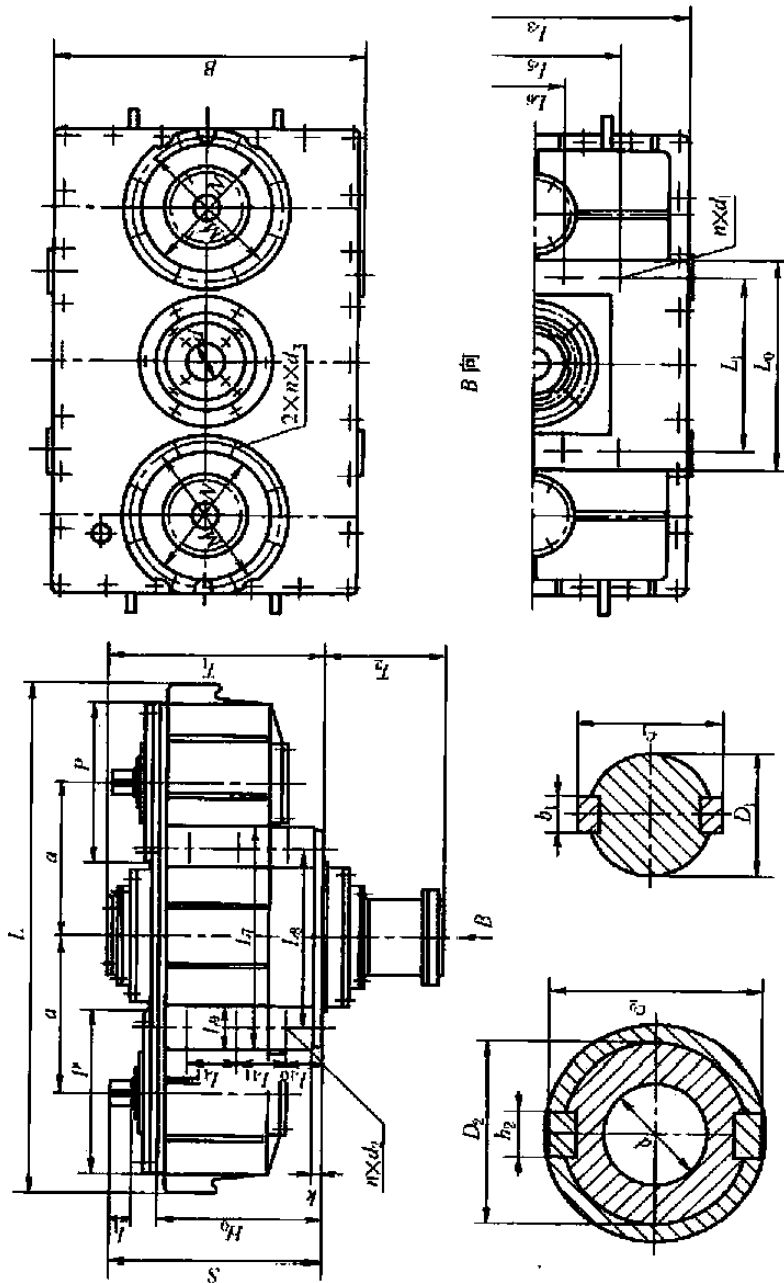
规格	中心尺寸		轮廓尺寸					地脚螺栓								高速轴伸 $i \leq 100$					低速轴伸					质量/kg					
	a	a ₁	H	H ₀	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	D ₁	D ₂		T	c ₁	c ₂	b ₁	b ₂
215	130	200	433	790	550	290	130	M20	4	25	245	100	240	70	35k6	58	38	10	186	28k6	42	31	8	170	22j6	75m6	105	235	79.5	20	205
255	145	230	493	910	630	320	150	M20	6	25	285	100	270	70	42k6	82	45	12	228	35k6	58	38	10	200	28j6	90m6	130	275	95	25	310
300	160	280	585	1050	750	350	180	M24	6	30	345	120	285	80	48k6	82	51.5	14	252	42k6	82	45	12	252	35k6	110m6	165	340	116	28	528
350	180	325	678	1220	860	410	200	M24	6	35	390	120	350	90	55k6	82	59	16	275	48k6	82	51.5	14	275	42k6	130m6	200	395	137	32	699
400	210	355	740	1410	950	445	240	M24	8	40	450	120	385	100	65m6	105	69	18	341	55k6	82	59	16	318	48k6	150m6	200	438	158	36	1145
450	230	400	825	1550	1100	510	270	M30	8	45	460	120	430	100	70m6	105	74.5	20	355	65m6	105	69	18	355	55m6	170m6	240	500	179	40	1600
500	260	500	1028	1750	1220	570	305	M36	8	55	460	150	490	120	75m6	105	79.5	20	375	70m6	105	74.5	20	375	60m6	180m6	240	510	190	45	2150
550	290	560	1110	1910	1320	600	325	M36	8	60	500	150	530	120	80m6	130	85	22	415	75m6	105	79.5	20	390	65m6	200m6	280	580	210	45	2900
600	330	630	1270	2110	1460	680	360	M42	8	60	220	180	580	150	90m6	130	95	25	455	80m6	130	85	22	455	70m6	220m6	280	600	231	50	3650
670	360	670	1330	2310	1600	720	385	M42	8	70	250	180	640	140	100m6	165	106	28	510	90m6	130	95	25	475	80m6	250m6	330	690	262	56	5050
750	390	750	1520	2570	1790	790	425	M48	8	80	280	210	690	150	110m6	165	116	28	550	100m6	165	106	28	550	90m6	280m6	380	765	292	63	6600
840	420	840	1666	2830	1980	874	480	M48	10	80	450	250	764	150	130m6	200	137	32	605	110m6	165	116	28	570	100m6	300m6	380	790	314	70	9300
950	460	950	1870	3180	2240	1000	520	M56	10	90	500	250	870	200	150m6	200	157	36	665	130m6	200	137	32	665	110m6	340m6	450	920	355	80	13400
1070	520	1060	2100	3330	2480	1090	545	M56	10	90	500	250	895	200	170m6	240	179	40	760	150m6	200	157	36	720	130m6	380m6	450	940	395	80	19500

SHZ 型



规格	中心尺寸			轮廓尺寸					地脚螺栓										高速轴伸 $i \leq 144.9$					低速轴伸					质量/kg			
	a	a ₁	H ₀	H	L ₁	L ₅	L ₉	d	n	k	L ₂	L ₃	L ₄	L ₆	L ₇	L ₈	D ₁	L ₂	c ₁	b ₁	s ₁	D ₁	l ₁	c ₁	b ₁	s ₁	D ₂	t		T	c ₂	b ₂
215	215	70	200	433	550	290	130	M20	4	25	245	100	240	70	2816	42	31	8	300	1816	28	20.5	6	285	75m6	105	235	79.5	20	205		
255	255	80	230	493	630	320	150	M20	6	25	285	100	270	70	3516	58	38	10	340	2216	36	24.5	6	320	90m6	130	275	95	25	310		
300	300	95	280	585	750	350	180	M24	6	30	345	120	285	80	4216	82	45	12	405	2816	42	31	8	365	110m6	165	340	116	28	520		
350	350	115	325	678	860	410	200	M24	6	35	390	120	160	350	90	4816	82	51.5	14	450	3516	58	38	10	425	130m6	200	395	137	32	695	
400	400	135	355	740	950	445	240	M24	8	40	150	120	120	385	100	290	55m6	82	59	16	450	4216	82	45	12	450	150m6	200	438	158	36	1100
450	450	150	400	825	1100	510	270	M30	8	45	160	120	120	430	100	340	60m6	105	64	18	489	4816	82	51.5	14	466	170m6	240	500	179	40	1570
500	500	165	500	1028	1220	570	305	M36	8	55	160	150	150	490	120	410	70m6	105	74.9	20	540	55m6	82	59	16	517	180m6	240	510	190	45	2150
550	550	180	560	1110	1320	600	325	M36	8	60	200	150	150	530	120	410	75m6	105	79.5	20	575	60m6	105	64	18	575	200m6	280	580	210	45	2900
600	600	200	630	1270	1460	680	360	M42	8	60	220	180	180	580	150	465	80m6	130	85	22	680	65m6	105	69.5	18	655	220m6	280	600	231	50	4010
670	670	220	670	1330	1600	720	385	M42	8	70	250	180	180	640	140	500	90m6	130	95	25	740	70m6	105	74.5	20	715	250m6	330	690	262	56	5100
750	750	250	750	1520	1790	790	425	M48	8	80	280	210	210	690	150	560	100m6	165	106	28	840	80m6	130	85	22	805	280m6	380	765	292	63	7205
840	840	280	840	1666	1980	874	480	M48	10	80	450	250	250	764	150	485	110m6	165	116	28	896	90m6	130	95	25	861	300m6	380	790	314	70	9800
950	950	310	950	1870	2240	1000	520	M52	10	90	500	250	250	870	200	555	130m6	200	137	32	1021	100m6	165	116	28	986	340m6	450	920	355	80	13360
1070	1070	340	1060	2100	2480	1030	545	M56	10	90	500	250	250	895	200	675	150m6	200	158	36	1086	110m6	165	116	28	1051	380m6	450	940	395	80	19100

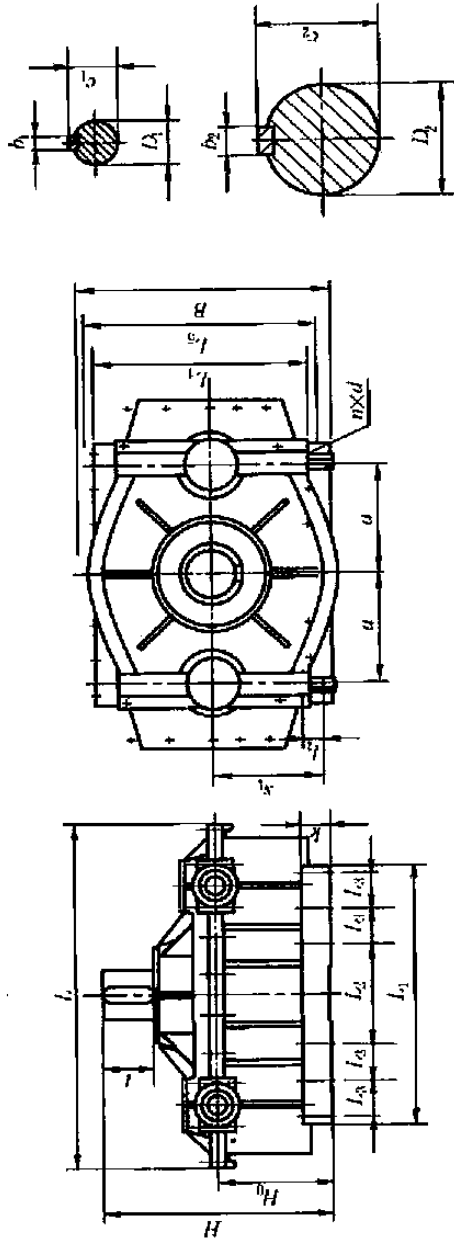
ZZSH 型



规格	中心尺寸			轮廓尺寸				地脚螺栓										法兰连接尺寸					高速轴伸				低速轴伸				质量/kg			
	a	H ₀	L	T ₁	T ₂	B	n × d ₁	k	L ₀	L ₁	L ₃	L ₅	L ₆	n × d ₂	L ₇	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	P	M	N	n × d ₃	D ₁	l ₁	S	c ₁	b ₁	D ₂	c ₂	b ₂		d		
255	255	350	970	435	180	560	12 × φ18	18	425	350	545	320	120	12 × M16	440	350	90	55	100	280	240	200H8	6 × M16	50m6	50	425	57	14	99	111	28	50	460	
350	350	370	1220	535	238	770	12 × φ22	20	535	450	755	480	180	12 × M20	535	450	120	80	115	380	340	300H8	8 × M16	60m6	55	480	68	18	169	187	40	125	860	
400	400	382	1360	530	320	830	12 × φ26	21	600	500	810	450	150	12 × M24	640	520	120	50	130	440	400	350H8	8 × M20	70m6	55	527	79	20	179	199	45	125	1400	
450	450	450	1510	665	385	940	12 × φ32	24	700	560	900	700	400	12 × M30	700	560	150	80	160	450	400	350H8	8 × M20	75m6	65	640	84	20	190	210	45	130	2090	
480	480	525	1550	665	385	970	12 × φ32	28	780	680	964	600	270	16 × M30	780	680	160	77.5	130	450	400	350H8	8 × M20	75m6	65	640	84	20	190	210	45	130	2300	
580	580	585	1826	872	428	1120	12 × φ38	30	880	790	1114	700	350	16 × M36	880	790	150	92.5	135															3300
670	670	680	1900	960	590	1310	12 × φ38	30	1000	880	1330	780	400	16 × M36	970	880	160	115	115															6300

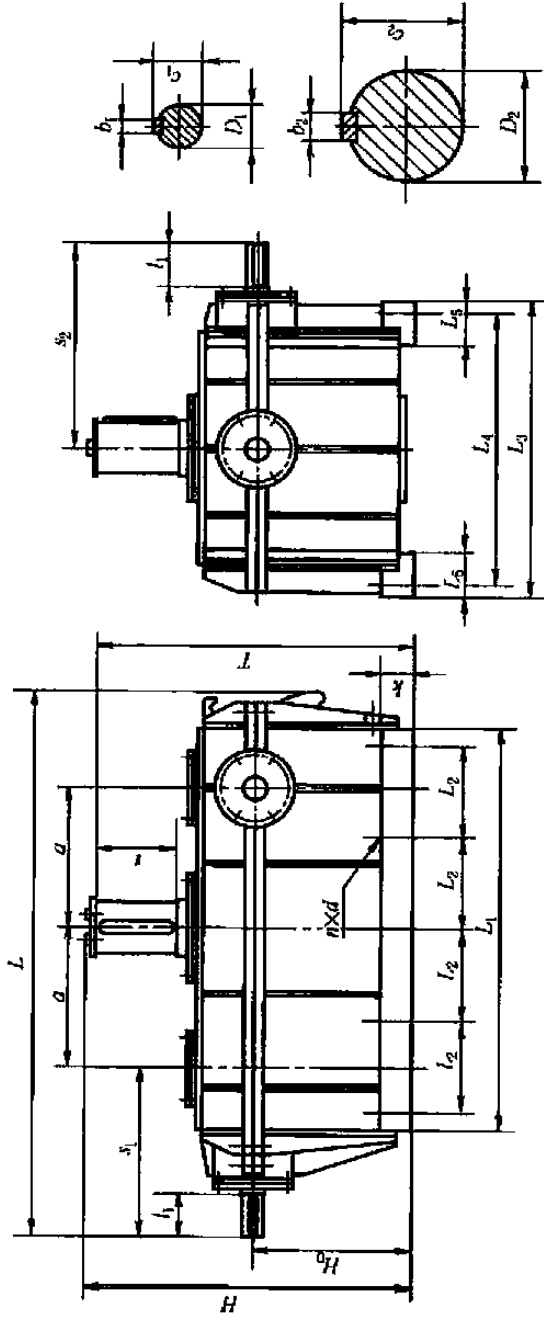
据电机确定

SHZP 型



规格	中心尺寸			轮廓尺寸			地脚螺栓										高速轴伸 $i \leq 137.5$					低速轴伸					质量/kg	
	a	H ₀	L	B	H	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	d	n	k	D ₁	l ₁	c ₁	b ₁	s ₁	D ₁	l ₁	c ₁	b ₁	s ₁	D ₂	l ₂	c ₂		b ₂
215	215	250	690	430	485	560	280	110	350	400	M20	8	60	28j6	42	31	8	340	18j6	28	20.5	6	320	75m6	105	79.5	20	270
255	255	280	810	500	555	660	330	130	410	460	M20	8	65	35k6	58	38	10	405	22j6	36	24.5	6	365	90m6	130	95	25	400
300	300	315	960	580	655	770	380	150	470	530	M24	8	70	42k6	82	45	12	450	28j6	42	31	8	425	110m6	165	116	28	707
350	350	355	1100	680	750	870	420	180	570	630	M24	8	80	48k6	82	51.5	14	450	35k6	58	38	10	405	130m6	200	137	32	946
400	400	400	1280	790	838	990	500	200	670	740	M24	8	90	55m6	82	59	16	489	42k6	82	45	12	466	150m6	200	158	36	1350
450	450	450	1440	900	950	1150	440	150	740	840	M30	12	120	60m6	105	64	16	508	48k6	82	51.5	14	485	170m6	240	179	45	1860
500	500	500	1610	1000	1010	1250	480	160	830	930	M36	12	120	70m6	105	74.9	20	540	55m6	82	59	16	517	180m6	240	190	45	2517
550	550	550	1750	1110	1130	1350	500	180	960	1070	M36	12	140	75m6	105	79.5	20	575	60m6	105	64	18	575	200m6	280	210	45	3360
600	600	600	1920	1220	1200	1490	540	200	1020	1140	M42	12	160	80m6	130	85	22	680	65m6	105	69	18	655	220m6	280	231	50	4580
670	670	630	2180	1340	1320	1630	560	230	1140	1260	M42	12	180	90m6	130	95	25	740	70m6	105	74.5	20	715	250m6	330	262	56	6105
750	750	710	2350	1500	1475	1840	580	180	1250	1410	M48	16	200	100m6	165	106	28	840	80m6	130	85	22	805	280m6	380	292	63	8645
840	840	800	2640	1680	1590	2020	640	200	1430	1590	M48	16	220	110m6	165	116	28	896	90m6	130	95	25	861	300m6	380	314	70	12150
950	950	900	2940	1900	1820	2300	700	230	1620	1800	M56	16	250	130m6	200	137	32	1021	100m6	165	116	28	986	340m6	450	355	80	17505
1070	1070	1000	3230	2120	1940	2550	700	270	1840	2820	M56	16	280	150m6	200	158	36	1086	110m6	165	116	28	1051	380m6	450	395	80	24835

GTSH 型



规格	中心尺寸		轮廓尺寸				地脚螺栓						高速轴伸						低速轴伸						质量/kg
	a	H ₀	H	L	L ₁	L ₃	d	n	k	L ₂	L ₄	L ₅	D ₁	l ₁	s ₁	s ₂	c ₁	b ₁	D ₂	i	T	c ₂	b ₂		
300	300	310	686	1170	870	640	M24	10	55	195	580	100	42k6	82	355	417	45	12	110m6	165	665	116	28	680	
350	350	370	806	1325	1010	750	M24	10	75	230	690	110	48k6	82	397	497	51.5	14	130m6	200	780	137	32	1140	
400	400	430	950	1500	1160	940	M24	10	85	265	870	150	55m6	82	442	577	59	16	150m6	200	865	158	36	2020	

10.5 承载能力

表 16-2-156 SH、SHD、SHDK、ZZSH、SHC、SHCD、MSH、LLSH、SHZ、SHZP、YPSH、GTSH 型减速器的额定功率 P_N 、输出转矩 T_{2N}

规格	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	传动比																		输出转矩 T_{2N} /kN · m				
		额定功率 P_N /kW																						
		99	93	87	81	75	69	63	57	51	45	40.5	37.5	34.5	31.5	28.5	25.5	23	21		19	17	15	13
215	1500	6.10	6.48	6.91	7.40	7.96	8.63	9.42	10.4	11.6	13.1	14.5	15.6	17.0	18.6	20.5	22.9	25.4	27.7	30.6	34.2	38.7	44.6	3.54
	1000	4.07	4.32	4.60	4.93	5.31	5.75	6.28	6.93	7.71	8.72	9.67	10.4	11.4	12.4	13.7	15.3	16.9	18.5	20.4	22.8	25.8	22.1	
	750	3.06	3.24	3.45	3.69	3.98	4.32	4.71	5.19	5.78	6.54	7.25	7.82	8.49	9.28	10.2	11.5	12.6	13.9	15.3	17.1	19.3	22.3	
255	1500	10.5	11.2	11.9	12.7	13.8	14.9	16.2	17.9	19.9	22.6	25.0	27.0	29.3	32.0	35.4	39.4	43.7	47.8	52.8	58.9	66.8		6.11
	1000	7.03	7.45	7.95	8.51	9.16	9.93	10.8	12.0	13.4	15.1	16.6	18.0	19.5	21.4	23.5	26.3	29.2	31.9	35.2	39.3	44.5		
	750	5.27	5.60	5.96	6.38	6.87	7.45	8.13	8.97	9.99	11.2	12.5	13.5	14.6	16.0	17.7	19.7	21.8	24.0	26.4	29.5	33.4		
300	1000	12.9	13.7	14.7	15.7	16.9	18.3	20.0	22.0	24.5	27.7	30.7	33.2	36.0	39.4	43.4	48.5	53.7	58.7	64.8	72.4	82.0		11.26
	750	9.70	10.3	11.0	11.8	12.6	13.7	15.0	16.5	18.4	20.8	23.1	24.8	27.0	29.5	32.5	36.8	40.2	44.1	48.7	54.4	61.5		
	600	7.77	8.24	8.78	9.41	10.1	11.0	12.0	13.2	14.8	16.6	18.4	19.9	21.6	23.6	26.1	29.1	32.2	35.2	38.9	43.3	49.2		
350	1000	19.7	20.8	22.1	23.8	25.6	27.8	30.2	33.4	37.2	42.0	46.5	50.2	54.5	59.6	65.8	73.4	81.3	89.0	98.3	110	124		17.05
	750	14.7	15.7	16.6	17.8	19.2	20.7	22.7	25.1	27.9	31.5	34.9	37.7	40.9	44.7	49.4	55.1	61.0	66.7	73.7	82.3	93.2		
	600	11.8	12.5	13.3	14.3	15.9	16.6	18.1	20.0	22.4	25.2	28.0	30.1	32.7	35.7	39.5	44.1	48.8	53.4	59.0	65.9	74.5		
400	1000	30.7	32.5	34.7	37.2	40.0	43.3	47.3	52.2	58.1	65.7	72.8	78.5	85.2	93.2	103	114	127	139	153	172	194		26.64
	750	23.0	24.4	26.0	27.9	29.9	32.5	35.4	39.1	43.5	49.2	54.5	58.9	63.9	69.9	77.1	86.1	95.3	104	116	129	146		
	600	18.4	19.5	20.8	22.2	24.0	26.0	28.4	31.3	34.9	39.4	43.6	47.1	51.1	55.9	61.7	68.9	76.2	83.4	92.1	103	117		
450	750	33.5	35.5	37.8	40.5	43.6	47.3	51.6	56.9	63.4	71.6	79.4	85.6	93.0	102	112	125	138	152	167	187	212		38.77
	600	26.8	28.4	30.2	32.4	34.9	37.8	41.3	45.5	50.8	57.3	63.5	68.5	74.4	81.3	89.7	100	111	121	134	150	170		
	650	38.2	40.7	43.2	46.4	49.9	54.1	59.1	65.2	72.6	82.0	90.0	98.1	106	116	128	143	159	174	192	215			
500	500	29.5	31.3	33.3	35.6	38.4	41.6	45.5	50.2	55.8	63.1	67.9	75.4	81.8	89.5	98.8	110	123	133	147	165			51.23
	600	48.1	51.1	54.5	58.3	62.9	68.1	74.3	81.9	91.3	103	114	123	134	146	162	180	200	218	242	269			
	450	36.0	38.3	40.9	43.8	47.2	51.1	55.8	63.6	68.5	77.4	85.9	92.2	100	110	122	136	151	164	181	203			

SH、SHD、SHDK、ZZSH 型

规格	输入 转速 n_1 /r·min ⁻¹	传动比																	输出 转矩 T_{2N} /kN·m					
		额定功率 P_N /kW																						
		99	93	87	81	75	69	63	57	51	45	40.5	37.5	34.5	31.5	28.5	25.5	23		21	19	17	15	13
600	500	53.8	57.1	60.8	65.1	70.1	76.0	83.0	91.4	102	115	128	138	149	163	180	202	223	244	270	301			93.53
	400	43.0	45.6	48.7	52.1	56.1	60.8	66.4	73.2	81.6	92.2	102	110	120	130	144	161	178	195	216	241			
670	450	68.4	72.7	77.5	83.0	89.3	96.9	106	117	129	147	163	175	190	208	230	257	284	310	343	383			132.19
	350	53.2	56.5	60.3	64.5	69.4	75.3	82.3	90.8	101	114	126	136	148	162	179	199	221	242	267				
750	400	85.5	91.0	97.0	104	111	121	133	146	162	183	203	219	238	260	287	321	355	388	429			186.04	
	300	64.2	68.2	72.8	77.9	83.8	90.8	99.2	109	122	137	152	165	179	195	215	241	266	291	322				
840	350	91.9	97.7	104	111	120	130	142	157	174	197	218	235	256	279	308	345	382	417	461			228.41	
	250	65.6	69.8	74.4	79.7	85.8	92.9	102	112	125	140	156	168	183	200	220	246	273	299	330				
950	300	115	122	130	139	150	162	178	196	217	245	272	293	319	349	385	430	476	521				332.50	
	200	76.4	81.2	86.7	92.8	99.9	108	119	131	145	164	182	196	213	232	257	287	318	348					
1070	230	132	141	150	161	173	188	205	226	251	283	314	339	368	403	444	496	550	601				500.42	
	130	74.7	79.5	84.8	90.8	97.8	106	115	128	142	160	177	191	208	227	251	281	311	340					

SHC、SHCD、MSH、LLSH 型

规格	输入 转速 n_1 /r·min ⁻¹	传动比																	输出 转矩 T_{2N} /kN·m																					
		额定功率 P_N /kW																																						
		25	29	33	37	41	45	50	56	62	68	74	80	88	96	104	111	123		135	147	158	176	200	223	247	270	294	317	341	364	388	440	468	495	531	568	605		
215	1500	19.9	17.6	15.8	14.3	13.1	11.8	10.6	9.58	8.76	8.06	7.48	6.98	6.58	6.24	5.94	5.63	5.33	5.04	4.74	4.46	4.13	3.77	3.41	3.01	2.71	2.45	2.25	2.07	1.92	1.79	1.69	1.59	1.44	1.33	1.23	1.16	1.08	1.02	3.54
	1000	15.4	13.3	11.7	10.5	9.52	8.71	7.85	7.05	6.39	5.85	5.38	4.99	4.63	4.31	4.01	3.72	3.45	3.21	2.94	2.71	2.51	2.27	2.01	1.8	1.63	1.5	1.38	1.28	1.2	1.12	1.06	0.97	0.89	0.83	0.76	0.68	0.61		
255	750	11.5	9.96	8.8	7.88	7.14	6.54	5.89	5.28	4.79	4.38	4.03	3.75	3.49	3.24	3.01	2.76	2.54	2.34	2.16	2.01	1.89	1.7	1.51	1.35	1.22	1.12	1.04	0.97	0.9	0.84	0.8	0.72	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	6.11	
	1500	39.8	34.5	30.3	27.2	24.6	22.6	20.4	18.2	16.5	15.2	13.9	12.9	11.3	10.3	9.3	8.3	7.62	7.02	6.51	5.87	5.19	4.66	4.23	3.88	3.57	3.32	3.1	2.9	2.75	2.49	2.29	2.13	1.99	1.87	1.76	1.68	1.61		
750	1000	26.5	22.9	20.2	18.1	16.4	15.1	13.6	12.2	11	10.1	9.24	8.61	7.98	7.35	6.73	6.13	5.55	5.08	4.67	4.34	3.91	3.47	3.11	2.82	2.59	2.39	2.22	2.07	1.94	1.82	1.65	1.53	1.42	1.33	1.24	1.18	1.11	0.93	
	1500	19.8	17.2	15.2	13.6	12.3	11.2	10.2	9.12	8.27	7.56	6.96	6.46	5.98	5.53	5.13	4.6	4.17	3.81	3.51	3.25	2.94	2.6	2.33	2.12	1.94	1.79	1.66	1.55	1.45	1.37	1.24	1.14	1.07	1	0.93	0.88			

SHC、SHCD、MSH、JLSH 型																																										
输入转速 n_1			传动比																																							
规格	/r · min ⁻¹	额定功率 P_N/kW																																								
		25	29	33	37	41	45	50	56	62	68	74	80	90	100	111	123	133	147	158	176	200	223	247	270	294	317	341	364	388	421	443	485	531	588	635						
300	1500	73.2	63.3	56	50.2	45.4	41.5	37.5	33.6	30.5	27.8	25.7	23.8	21	18.9	16.9	15.3	14	12.9	12	10.8	9.58	8.59	7.79	7.14	6.58	6.12	5.71	5.36	5.05	4.78	4.54	4.31	4.11	3.93	3.77	3.63	3.49				
	1000	48.8	42.3	37.2	33.5	30.3	27.7	24.9	22.4	20.3	18.6	17.1	15.8	13.9	12.6	11.3	10.2	9.06	8.62	7.99	7.21	6.38	5.72	5.2	4.76	4.39	4.08	3.81	3.57	3.37	3.2	3.05	2.91	2.78	2.62	2.48	2.34	2.29				
	750	36.6	31.7	27.9	25	22.7	20.8	18.7	16.8	15.2	13.9	12.8	11.9	10.5	9.45	8.46	7.67	6.77	6.05	5.59	5.4	4.78	4.29	3.89	3.57	3.3	3.06	2.86	2.68	2.53	2.39	2.22	2.1	1.96	1.83	1.72	1.62	1.52	1.26			
350	1500	96	84.7	76	68.8	63	56.8	50.9	46.1	42.2	38.9	36.1	31.8	28.6	25.7	23.2	21.3	19.5	18.1	16.4	14.5	13	11.8	10.8	9.98	9.27	8.65	8.12	7.65	7.23	6.94	6.4	5.95	5.55	5.22	4.91	4.61	4.31				
	1000	73.9	64	56.5	50.7	45.8	41.9	37.8	33.9	30.8	28.2	25.9	24.1	21.2	19.1	17.1	15.6	14.1	13.1	12.1	10.9	9.67	8.67	7.87	7.21	6.65	6.18	5.77	5.41	5.1	4.63	4.27	3.96	3.7	3.48	3.27	3.05	2.84				
	750	55.4	48.1	42.3	38	34.3	31.4	28.4	25.5	23.1	21.1	19.4	18	15.9	14.4	12.9	11.7	10.6	9.8	9.08	8.2	7.25	6.5	5.91	5.41	4.99	4.63	4.32	4.06	3.82	3.47	3.21	2.97	2.78	2.6	2.45	2.31	2.15				
400	1500	116	100	88.2	79.2	71.6	65.6	59.1	53	48.1	44	40.5	37.6	33	29.8	26.7	24.2	22.1	20.4	18.9	17.1	15.1	13.5	12.3	11.2	10.4	9.66	9.01	8.46	7.96	7.24	6.67	6.2	5.79	5.43	5.12	4.77	4.46	4.16			
	1000	86.6	75.1	66.2	59.4	53.7	49.1	44.4	39.7	36.1	32.9	30.3	28.2	24.7	22.4	20.1	18.1	16.6	15.3	14.1	12.9	11.3	10.2	9.22	8.45	7.8	7.24	6.76	6.34	5.97	5.42	5	4.64	4.34	4.07	3.83	3.58	3.3				
	750	65.5	57.1	51.2	46.2	42.1	38.1	34.2	30.3	27.4	24.8	22.4	20.1	18.1	16.6	15.3	14.1	12.9	11.3	10.2	9.22	8.45	7.8	7.24	6.76	6.34	5.97	5.42	5	4.64	4.34	4.07	3.83	3.58	3.3	3.05	2.84	2.64				
450	1500	146	129	116	104	95.4	86.1	77.1	70	63.9	58.9	54.6	48.1	43.4	38.9	35.2	32.2	29.7	27.5	24.8	22	19.8	17.9	16.4	15.1	14	13.1	12.3	11.6	10.5	9.71	9.02	8.42	7.89	7.44	6.97	6.44	5.98	5.58			
	1000	109	96.3	86.4	78.2	71.5	64.6	57.9	52.5	48	44.2	40.9	36.1	32.5	29.2	26.5	24.2	22.2	20.6	18.6	16.5	14.8	13.4	12.3	11.3	10.5	9.84	9.22	8.69	7.89	7.44	6.76	6.32	5.93	5.58	5.15	4.81	4.51				
	750	80.8	70.5	63.1	57.1	51.8	47.1	42.9	39.1	35.6	32.5	29.4	26.4	23.4	20.4	18.4	16.6	15.3	14.1	12.9	11.3	10.2	9.22	8.45	7.8	7.24	6.76	6.34	5.97	5.42	5	4.64	4.34	4.07	3.83	3.58	3.3					
500	1500	170	153	138	126	114	102	92.4	84.5	77.8	72.2	66.5	57.4	51.4	46.6	42.6	39.3	36.4	32.9	29	26	23.7	21.7	20	18.6	17.3	16.2	15.4	13.9	12.8	12	11.1	10.4	9.83	9.23	8.63	8.03	7.47	6.87			
	1000	126	111	99.5	91.2	83.1	75.4	67.6	60.2	54.4	49.2	45.1	40.8	36.5	32.2	28.2	24.2	21.2	19.2	17.2	15.2	13.2	11.2	10.2	9.2	8.4	7.7	7.1	6.5	5.9	5.4	4.9	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.8	2.6			
	750	90.2	79.2	71.6	65.2	59.1	53.6	48.4	43.6	39.2	35.4	31.6	28.2	24.4	21.2	18.4	16.6	15.3	14.1	12.9	11.3	10.2	9.22	8.45	7.8	7.24	6.76	6.34	5.97	5.42	5	4.64	4.34	4.07	3.83	3.58	3.3					
550	1500	208	188	172	155	139	126	116	106	98.4	96.5	86.5	78.1	70.1	63.5	58	53.4	49.6	44.7	39.5	35.2	29.5	27.2	25.3	23.6	22	20.9	19	17.5	16.2	15.2	14.2	13.4	12.8	12.2	11.6	11	10.4	9.83	9.23		
	1000	146	130	118	105	95.2	87	80.1	74.4	67.1	59.4	53.2	48.3	44.3	40.8	37.9	35.4	33.2	29.5	27.2	25.3	23.6	22	20.9	19	17.5	16.2	15.2	14.2	13.4	12.8	12.2	11.6	11	10.4	9.83	9.23	8.63	8.03			
	750	101	89.2	80.8	74.4	67.1	59.4	53.2	48.3	44.3	40.8	37.9	35.4	33.2	29.5	27.2	25.3	23.6	22	20.9	19	17.5	16.2	15.2	14.2	13.4	12.8	12.2	11.6	11	10.4	9.83	9.23	8.63	8.03	7.47	6.87					
600	1500	247	227	207	189	173	159	147	130	118	105	95.2	87	80.1	74.4	67.1	59.4	53.2	48.3	44.3	40.8	37.9	35.4	33.2	29.5	27.2	25.3	23.6	22	20.9	19	17.5	16.2	15.2	14.2	13.4	12.8	12.2	11.6	11	10.4	9.83
	1000	170	153	138	126	114	102	92.4	84.5	77.8	72.2	66.5	57.4	51.4	46.6	42.6	39.3	36.4	32.9	29	26	23.7	21.7	20	18.6	17.3	16.2	15.4	13.9	12.8	12	11.1	10.4	9.83	9.23	8.63	8.03	7.47	6.87			
	750	126	111	99.5	91.2	83.1	75.4	67.6	60.2	54.4	49.2	45.1	40.8	36.5	32.2	28.2	24.2	21.2	19.2	17.2	15.2	13.2	11.2	10.2	9.2	8.4	7.7	7.1	6.5	5.9	5.4	4.9	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.8	2.6			

续表

SHC、SHCD、MSH、LLSH 型

规格	输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	传动比																		额定输出转矩 T_{2N} /kN·m																
		25.7	29.7	33.6	37.6	41.5	45.5	50.4	56.3	62.3	68.2	74.1	80.1	90.2	100	111.8	123.6	135.3	147.1		158.9	176.5	200	223.6	247.2	274.7	294.2	317.8	341.3	364.8	388.4	421.7	453.3	485	531.7	568.3	605.5
	1500												246	223	199	181	165	152	141	127	112	101	91.5	83.8	77.4	71.8	67.1	62.9	59.3	53.8	49.4	46.1	43	40.4	38.1	
670	1000					263	239	218	201	186	164	148	133	120	110	101	93.9	84.6	74.9	67.2	61	55.9	51.6	47.8	44.7	41.9	39.5	35.8	33.1	30.7	28.7	27	25.4	23.2	21.9	
	750					266	244	220	197	177	164	151	140	123	111	99.4	90.2	82.4	75.9	70.4	63.6	56.2	50.4	45.8	41.9	38.6	36	33.5	31.5	29.6	26.9	24.8	23	21.5	20.2	19
	1000								307	282	262	231	209	186	169	156	142	133	119	106	94.6	85.9	78.6	72.5	67.4	62.9	59.1	55.6	50.5	46.5	43.2	40.4	37.9	35.7		
750	750						309	278	251	230	212	197	173	156	140	127	116	107	99.1	89.3	79.1	70.9	64.4	59	54.5	50.5	47.2	44.3	41.7	37.9	35	32.4	30.3	28.5	26.8	25.1
	600					300	275	248	223	201	184	170	157	138	125	112	102	92.8	85.5	79.3	71.5	63.2	56.8	51.6	47.2	43.5	40.4	37.8	35.4	33.4	30.3	27.9	26	24.3	22.8	21.4
	1000											284	256	229	208	190	175	163	147	129	117	105	96.5	89.1	82.7	77.3	72.4	68.3	62	57.2	53.1	49.6	46.5	43.9		
840	750									282	260	242	213	192	172	156	142	132	122	110	97.2	87.1	79.1	72.4	66.8	62.1	57.9	54.4	51.3	46.4	42.9	39.8	37.2	34.9	32.8	228.41
	600					304	273	247	226	209	194	170	153	138	125	114	105	97.4	87.7	77.7	69.7	63.2	57.9	53.5	49.6	46.3	43.4	41	37.2	34.3	31.9	29.7	27.9	26.3		
	1000														303	276	255	236	213	188	169	153	140	129	121	112	106	99.4	90.2	83.2	77.4	72.2	67.7	63.8		
950	750											309	279	250	227	208	192	178	159	141	127	116	105	97.3	90.3	84.3	79.2	74.6	67.7	62.5	58	54.1	50.8	47.8	332.5	
	600									303	281	247	224	200	182	166	153	141	127	113	101	92.1	84.3	77.8	72.2	67.5	63.3	59.7	54.1	50	46.4	43.3	40.7	38.3		
	1000																383	355	320	284	255	232	211	195	181	170	159	149	136	125	116	109	102	96		
1070	750															341	312	287	267	240	212	191	173	159	146	136	127	120	112	102	94	87.3	81.5	76.5	72	500.42
	600												336	301	273	250	230	213	201	171	153	139	127	117	109	102	95.3	89.7	81.5	75.2	69.8	65.2	61.1	57.6		

SHZ、SHZP、YPSH、GTSH 型

规格	输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	传动比																		额定输出转矩 T_{2N} /kN·m										
		33.6	39.7	45.8	51.9	58.1	64.2	70.3	77.9	87.1	96.3	105.4	114.6	123.8	137.5	144.9	160.1	175.4	190.6		205.9	228.8	259.3	289.8	320.3	350.8	381.3	411.8	442.3	472.8	503.3
	1500	17.7	15.1	13.1	11.6	10.3	9.35	8.54	7.71	6.92	6.26	5.73	5.27	4.89	4.41	4.16	3.77	3.44	3.17	2.94	2.65	2.34	2.11	1.91	1.75	1.61	1.50	1.40	1.32	1.24
215	1000	11.9	10.0	8.70	7.68	6.89	6.23	5.70	5.15	4.60	4.18	3.82	3.52	3.26	2.94	2.77	2.51	2.29	2.11	1.96	1.77	1.56	1.40	1.27	1.17	1.07	1.00	0.93	0.88	0.83
	750	8.88	7.52	6.53	5.76	5.16	4.68	4.28	3.86	3.46	3.13	2.86	2.64	2.45	2.21	2.08	1.88	1.72	1.58	1.47	1.33	1.18	1.05	0.95	0.87	0.81	0.75	0.70	0.66	0.62

SHZ、SHZP、YFSP、GTSH 型

规格	输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	传动比																额定输出转矩 T_{2N} /kN·m													
		33.6	39.7	45.8	51.9	58.1	64.2	70.3	77.9	87.1	96.3	105.4	114.6	123.8	137.5	144.9	160.1		175.4	190.6	205.9	228.8	259.3	289.8	320.3	350.8	381.3	411.8	442.3	472.8	503.3
255	1500	30.6	26.0	22.6	19.9	17.8	16.1	14.7	13.4	12.0	10.8	9.89	9.11	8.45	7.62	7.18	6.50	5.48	5.08	4.58	4.05	3.64	3.30	3.02	2.79	2.59	2.42	2.27	2.14	6.11	
	1000	20.5	17.3	15.1	13.3	11.9	10.7	9.84	8.88	7.96	7.21	6.59	6.07	5.63	5.08	4.78	4.34	3.96	3.65	3.38	3.05	2.70	2.43	2.19	2.01	1.86	1.73	1.61	1.52		1.42
	750	15.4	12.9	11.2	9.95	8.91	8.07	7.38	6.66	5.97	5.41	4.94	4.56	4.22	3.81	3.58	3.25	2.97	2.73	2.53	2.29	2.02	1.82	1.65	1.52	1.39	1.29	1.21	1.13		1.07
300	1500	56.5	47.8	41.5	36.7	32.8	29.7	27.2	24.5	21.9	19.9	18.2	16.8	15.5	14.0	13.3	12.0	10.9	10.1	9.35	8.43	7.47	6.70	6.08	5.56	5.14	4.77	4.45	4.18	3.94	11.26
	1000	37.7	31.9	27.7	24.4	21.9	19.8	18.1	16.4	14.7	13.3	12.1	11.2	10.4	9.35	8.81	7.98	7.30	6.72	6.24	5.63	4.98	4.46	4.06	3.71	3.42	3.18	2.96	2.78	2.62	
	750	28.2	24.0	20.8	18.3	16.4	14.9	13.6	12.3	11.0	9.96	9.11	8.39	7.78	7.02	6.61	5.99	5.48	5.04	4.68	4.22	3.73	3.35	3.04	2.78	2.57	2.39	2.23	2.09	1.97	
350	1500	85.5	72.5	62.9	55.5	49.8	45.0	41.1	37.2	33.3	30.1	27.5	25.4	23.5	21.3	20.0	18.1	16.6	15.2	14.1	12.7	11.3	10.2	9.21	8.43	7.78	7.23	6.75	6.33	5.96	17.05
	1000	57.0	48.3	41.9	37.0	33.2	30.0	27.4	24.7	22.2	20.1	18.4	17.0	15.8	14.1	13.4	12.1	11.0	10.2	9.45	8.52	7.54	6.76	6.13	5.63	5.18	4.82	4.49	4.22	3.97	
	750	42.8	36.3	31.4	27.8	24.8	22.6	20.6	18.6	16.6	15.1	13.8	12.7	11.8	10.6	10.0	9.07	8.29	7.64	7.08	6.39	5.66	5.09	4.60	4.21	3.89	3.62	3.40	3.16	2.98	
400	1500	113	98.3	86.7	77.7	70.4	64.3	58.1	52.1	47.2	42.9	39.7	36.8	33.3	31.3	28.3	25.9	23.9	22.1	20.0	17.7	15.9	14.4	13.2	12.2	11.3	10.5	9.89	9.32	26.64	
	1000	89.1	75.5	65.4	57.9	51.8	46.9	42.9	38.7	34.7	31.4	28.7	26.5	24.5	22.1	20.8	18.9	17.3	15.9	14.8	13.3	11.8	10.6	9.59	8.78	8.10	7.53	7.03	6.60		6.21
	750	66.9	56.6	49.1	43.4	38.9	35.2	32.2	29.1	26.0	23.5	21.6	19.9	18.5	16.6	15.7	14.1	13.0	12.0	11.0	9.98	8.83	7.93	7.19	6.59	6.08	5.55	5.27	4.95		4.65
450	1500	143	126	113	102	93.6	84.6	75.7	68.6	62.7	57.8	53.6	48.4	45.5	41.3	37.7	34.8	32.2	29.1	25.7	23.1	21.0	19.2	17.7	16.4	15.3	14.4	13.6	38.77		
	1000	130	110	95.3	84.1	75.4	68.2	62.4	56.4	50.4	45.8	41.8	38.6	35.7	32.2	30.3	27.5	25.2	23.1	21.5	19.3	17.2	15.3	13.9	12.7	11.8	10.9	10.2		9.59	9.04
	750	97.3	82.4	71.5	63.2	56.5	51.2	46.8	42.2	37.9	34.3	31.3	28.9	26.8	24.2	22.8	20.6	18.9	17.4	16.1	14.6	12.9	11.6	10.5	9.59	8.85	8.22	7.67		7.19	6.78
500	1500	189	166	149	136	124	112	100	90.7	82.9	76.4	70.9	63.9	60.2	54.5	49.8	45.9	42.6	38.4	33.9	30.5	27.6	25.3	23.4	21.7	20.3	19.0	17.9	51.23		
	1000	172	145	126	111	99.6	90.2	82.5	74.5	66.7	60.4	55.3	50.9	47.2	42.6	40.1	36.3	33.2	30.6	28.4	25.6	22.6	20.3	18.5	16.9	15.6	14.5	13.6		12.7	12.0
	750	129	109	94.4	83.4	74.7	67.7	61.8	55.8	50.0	45.4	41.3	38.2	35.4	31.9	30.1	26.9	24.9	22.9	21.2	19.2	17.0	15.3	13.9	12.7	11.7	10.9	10.1		9.51	8.96
550	1500					204	184	169	153	137	124	113	104	96.5	87.0	81.9	74.3	67.9	62.5	58.0	52.4	46.3	41.6	37.7	34.6	31.8	29.6	27.7	25.9	24.4	69.81
	1000	198	172	152	136	123	112	101	90.9	82.4	75.3	69.4	64.3	58.0	54.6	49.5	45.3	41.7	38.7	34.9	30.8	27.7	25.1	23.0	22.3	19.7	18.4	17.3	16.3		
	750	175	148	128	113	102	92.2	84.3	76.1	68.2	61.8	56.5	52.0	48.2	43.6	41.0	37.1	33.9	31.3	29.0	26.2	23.1	20.8	18.9	17.3	15.9	14.8	13.8	12.9	12.2	

SHZ、SHZP、YPSH、GTSH 型

规格	输入转速 n_1 /r · min ⁻¹	传 动 比																额定输出转矩 T_{2N} /kN · m													
		33.6	39.7	45.8	51.9	58.1	64.2	70.3	77.9	87.1	96.3	105.4	114.6	123.8	137.5	144.9	160.1		175.4	190.6	205.9	228.8	259.3	289.8	320.3	350.8	381.3	411.8	442.3	472.8	503.3
600	1000				203	181	164	150	136	122	110	101	92.9	86.2	77.8	73.2	66.4	60.6	55.9	51.9	46.7	41.4	37.1	33.7	30.8	28.5	26.5	24.6	23.2	21.8	
	750	198	173	153		137	124	113	102	91.3	82.8	75.7	69.7	64.7	58.3	55.0	49.7	45.5	41.9	38.8	35.0	31.0	27.8	25.3	23.2	21.3	19.8	18.5	17.4	16.3	
	600	188	159	138		109	98.8	90.3	81.5	73.1	66.2	60.5	55.8	51.7	46.6	44.0	39.8	36.4	33.5	31.0	28.1	24.9	22.3	20.2	18.5	17.1	15.9	14.4	13.9	13.1	
670	1000					257	233	213	193	172	156	142	132	122	110	103	93.7	85.7	79.0	73.2	66.0	58.4	52.4	47.6	43.6	40.2	37.3	34.9	32.7	30.8	
	750					193	174	159	144	129	117	107	98.5	91.3	82.4	77.6	70.3	64.3	59.3	54.9	49.5	43.9	39.4	35.7	32.6	30.2	28.0	26.1	24.5	23.1	
	600	265	225	195	172	154	140	127	116	103	93.5	85.6	78.9	73.1	65.9	62.1	56.3	51.5	47.4	44.0	40.2	35.1	31.5	28.6	26.1	24.1	22.4	21.0	19.6	18.5	
750	1000						327	300	271	242	219	201	185	171	155	146	132	121	111	103	93.0	82.3	73.8	67.0	61.3	56.6	52.5	49.1	46.0	43.3	
	750						272	246	225	203	182	165	151	139	128	116	109	99.0	91.6	83.4	77.3	69.8	61.7	55.3	50.2	46.0	42.5	39.4	36.8	34.6	32.5
	600	317	274	243	217	197	180	163	146	132	121	111	103	92.8	87.3	79.2	72.3	66.7	61.9	55.7	49.3	44.3	40.2	36.8	33.9	31.6	29.4	27.6	26.0		
840	1000									297	270	246	227	211	189	179	162	148	137	126	114	101	90.6	82.2	75.3	69.4	64.5	60.2	56.5	53.3	
	750									224	202	185	170	158	142	134	122	111	102	94.9	85.6	75.8	67.9	61.6	56.5	52.1	48.4	45.2	42.1	39.9	
	600									179	162	148	136	126	114	107	97.2	88.8	81.9	75.9	68.5	60.6	54.4	49.3	45.2	41.7	38.7	36.2	33.9	32.0	
950	1000												331	306	276	260	235	216	199	189	166	147	132	120	109	101	93.9	87.7	82.3	77.6	
	750									325	294	269	248	230	208	195	177	162	149	138	124	110	99.0	89.8	82.2	75.9	70.4	65.8	61.7	58.1	
	600									260	235	215	198	184	166	156	141	129	119	110	99.7	88.2	79.2	71.8	65.8	60.7	56.4	52.6	49.3	46.5	
1070	1000															416	392	355	324	299	277	250	221	198	180	165	153	142	132	124	116
	750												373	346	312	293	266	243	224	208	188	166	149	136	124	114	106	99.0	92.8	87.5	82.5
	600												324	299	276	250	235	213	195	179	166	150	132	120	108	99.0	91.3	84.8	79.2	74.3	70.0

10.6 减速器的选用

选用的减速器必须满足机械强度和热平衡许用功率两方面的要求。

1) 所选用的减速器额定功率 P_N 或输出转矩 T_{2N} 按表 16-2-156 必须满足:

$$P_C = P_2 K_A K_R \leq P_N \quad (16-2-28)$$

或

$$T_C = T_2 K_A K_R \leq T_{2N}$$

式中 P_C 或 T_C ——计算功率或转矩;

P_2 或 T_2 ——工作机功率或转矩;

K_A ——使用系数, 见表 16-2-157;

K_R ——可靠度系数, 见表 16-2-158。

表 16-2-157 使用系数 K_A

每天工作时间/h	工作机载荷性质分类		
	U 均匀	M 中等冲击	H 强冲击
≤ 3	0.8	1	1.5
3 ~ 10	1	1.25	1.75
> 10	1.25	1.5	2

表 16-2-158 可靠度系数 K_R

失效概率低于	1/100	1/1000	1/10000
可靠度系数 K_R	1.00	1.25	1.50

2) 所选用的减速器热功率 P_t 按表 16-2-159, 必须满足:

$$P_{Ci} = P_2 f_1 f_2 f_3 \leq P_t \quad (16-2-29)$$

式中 P_{Ci} ——计算热功率;

f_1 ——环境温度系数, $f_1 = 80 / (100 - \theta)$;

θ ——环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

f_2 ——载荷率系数, 见表 16-2-11;

f_3 ——功率利用系数, 见表 16-2-12。

表 16-2-159 减速器许用热功率 P_t

规格	215	255	300	350	400	450	500	550	600	670	750	840	950	1070	备注
减速器许用热功率 P_t /kW															
SH 型	16.0	22.5	31.1	42.2	56.1	69.8	86.3	104.4	124.2	154.6	193.9	243.1	211.9	394.8	见注 1
SHC 型	12.6	17.7	24.5	33.3	43.4	54.9	67.9	82.1	97.7	121.8	153.2	191.1	244.5	310.5	$i \leq 176.5$
	10.3	14.4	19.9	27.1	35.4	44.8	55.4	66.9	79.7	99.4	124.5	155.9	199.5	252.9	$i \geq 200.1$
SHZ 型	11.2	15.7	21.8	29.8	38.8	49.2	60.7	73.4	87.4	108.9	136.6	171.4	219.2	278.2	$i \leq 70.3$
	10.2	14.2	19.8	26.9	35.2	44.4	54.9	66.5	78.9	98.5	123.5	154.6	198.1	251.5	$77.9 < i < 228.8$
	8.6	12.1	16.7	22.8	29.8	37.7	46.5	56.4	67.0	83.5	104.6	131.2	167.2	213.6	$i \geq 259.3$

注: 1. SH 型的许用热功率应除以校正系数 $K_i = 1 + 0.009(i - 11)$; i 为所选减速器传动比。

2. 表中许用热功率为实验室条件下采用油池飞溅润滑的值, 选用时可根据环境的散热条件适当增减; 或采取相应的冷却散热措施。

3. 其他减速器的许用热功率, 可参考表中相近的结构型式并根据其散热面积的大小适当增减。

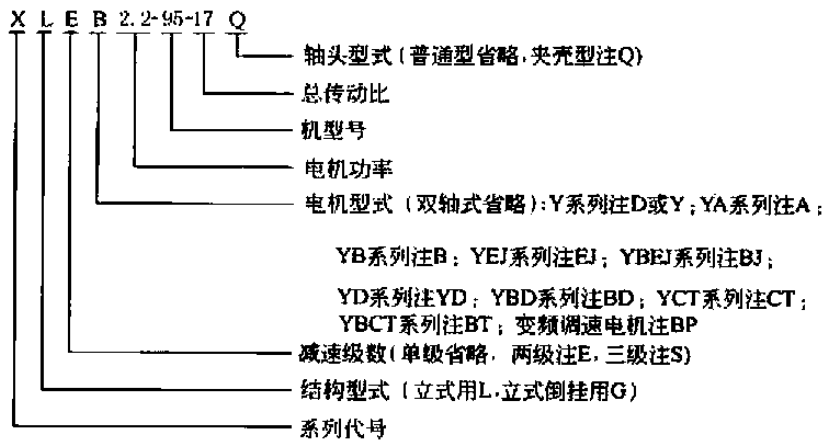
11 釜用立式减速器 (浙江长城减速机有限公司)

11.1 X 系列釜用立式摆线针轮减速器 (摘自 HG/T 3139.2—2001)

(1) 适用范围

- ① 工作环境温度：-25 ~ 40℃，低于0℃时需采用防冻合成润滑油。
- ② 油池温升：≤45℃，最高温度≤80℃。
- ③ 允许正、反两方向运转。

(2) 标记示例



11.1.1 外形、安装尺寸

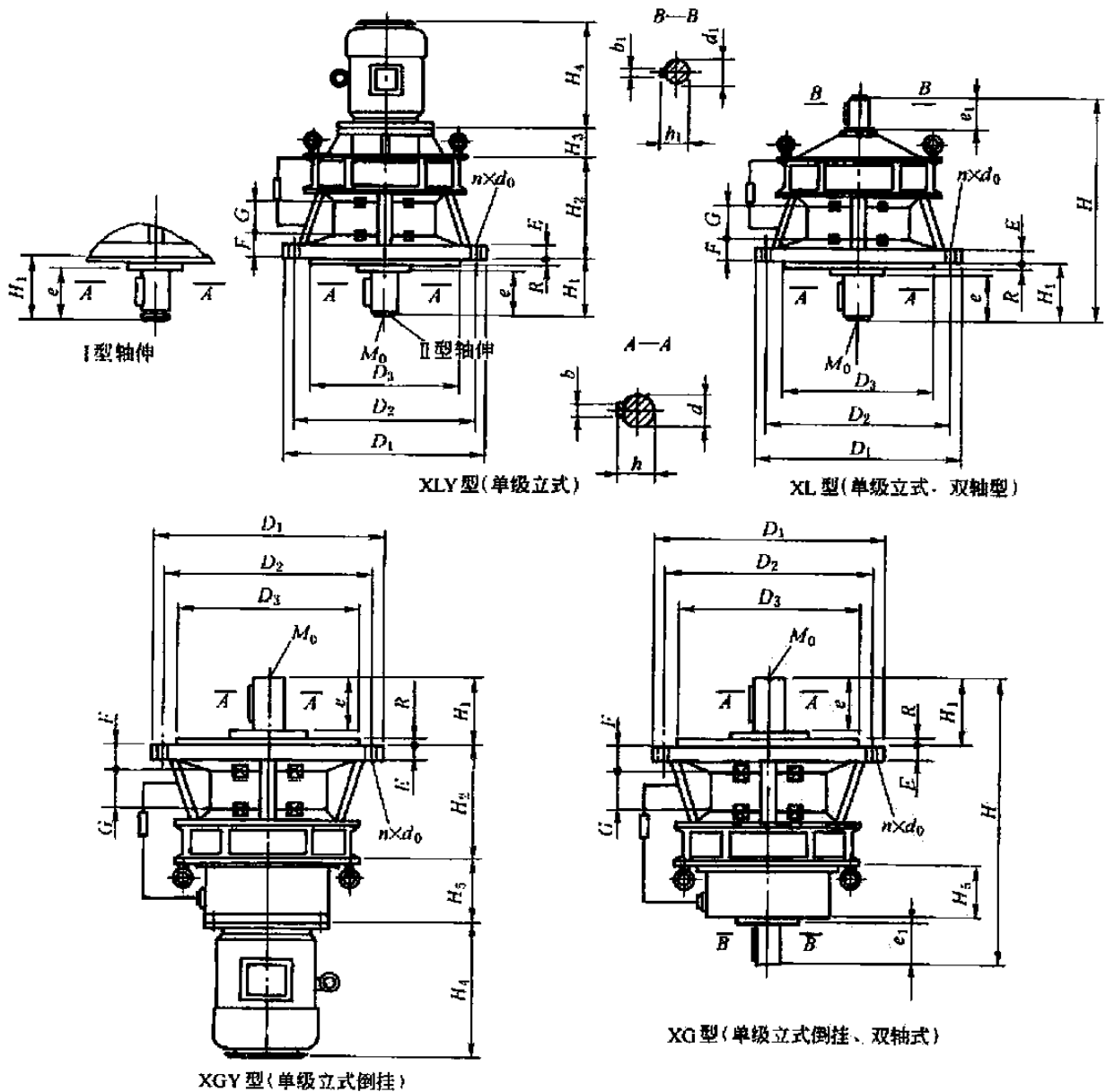


表 16-2-160

单级立式及立式倒挂摆线针轮减速器外形尺寸

mm

型号	输出轴连接尺寸								轴 承		输入轴连接尺寸				外形及安装尺寸									
	d (h6)	b	h	夹壳型		普通型		间距		d ₁ (h6)	b ₁	h ₁	e ₁	D ₁	D ₂	D ₃ (h9)	H ₃	H ₂	H	E	R	M ₀	n × d ₀	
				e	H ₁	e	H ₁	G	F															
XL0A	12	4	13.5	—	—	20	24	16	20	10	3	11	16	120	100	65	71	71	135	8	2.5	M4	4 × φ7	
XL0	14	5	16	—	—	23	27	16	21	12	4	13.5	16	140	120	85	83	83	148	9	2.5	M5	4 × φ9	
XL1	18	6	20.5	—	—	25	30	18	23	14	5	16	20	160	134	100	100	100	174	10	3	M6	4 × φ9	
XL2	25	8	28	78	85	34	42	20	25	15	5	17	25	180	160	130	117	117	214	12	3	M8	6 × φ9	
XL3	35	10	38	90	95	45	52	40	37	18	6	20.5	36	230	200	170	142	142	266	15	4	M8	6 × φ11	
XL4	45	14	48.5	100	128	63	81	51	38	22	6	24.5	40	260	230	200	162	162	320	15	4	M8	6 × φ11	
XL5	55	16	59	100	112	79	90	74	41	30	8	33	45	340	310	270	200	219	398	20	4	M10	6 × φ11	
XL6	65	18	69	130	142	80	91	101	45	35	10	38	54	400	360	316	200	260	457	22	5	M12	8 × φ15	
XL7	80	22	85	150	163	100	112	107	51	40	12	43	65	430	390	345	200	279	513	22	5	M12	8 × φ18	
XL8	90	25	95	180	182	110	111	135	54	45	14	48.5	70	490	450	400	215	337	579	30	6	M16	12 × φ18	
XL9	100	28	106	180	219	130	169	151	67	50	14	53.5	80	580	520	455	215	381	700	35	8	M20	12 × φ22	
XL10	110	28	116	200	233	140	173	185	73	55	16	59	100	650	590	520	235	439	778	40	10	M24	12 × φ22	
XL11	130	32	137	230	280	184	210	210	78	70	20	74.5	120	880	800	680	235	598	1025	45	10	M30	12 × φ35	
XL12	180	45	190	290	340	260	310	273	68	90	25	95	150	1160	1020	900	290	796	1435	60	10	M42	8 × φ39	

注：1. 表中 H 为普通型轴伸的双轴型减速器总高度，夹壳型轴伸的总高度 = 夹壳型 H₁ - 普通型 H₃ + H。

2. H₃、H₄ 值见表 16-2-161。

3. 倒挂式减速器输出轴仅有普通型轴头。

4. I 型轴头配夹壳联轴器（表 16-2-181），II 型轴头的轴端设有中心孔，供压入联轴器用，与之相配的联轴器有 GT 型、DF 型、SF 型或 TK 型（表 16-2-182 - 表 16-2-184）。

5. XL0A - XL4 型减速器采用润滑脂润滑；XL5 - XL7 型采用油浴润滑；XL8 - XL12 和 XG5 - XG12 型采用 YA 增安型三相 380V、0.04kW 电机驱动的转子油泵进行循环喷油润滑。

表 16-2-161

单级立式摆线针轮减速器的 H₃、H₄ 尺寸及参考质量

mm

功率 /kW	型号	尺寸		参考质量/kg		功率 /kW	型号	尺寸		参考质量/kg		功率 /kW	型号	尺寸		参考质量/kg	
		H ₄	H ₃	XL 型	XLD 型			H ₄	H ₃	XL 型	XLD 型			H ₄	H ₃	XL 型	XLD 型
0.04	X0A	130		5	7	4	X4	340	87	68	85 - 111	18.5	X8	620	26	340	383 - 522
0.06								X5	340	87	104			126 - 185	X9	740	22
0.09	X0A	170		5	7	5.5	X6	340	87	162	196 - 285	22	X10	740	32	630	780 - 1180
0.12	X0	170		6	9			X5	395	100	104			126 - 185	X9	740	22
0.18	X0	190		6	9	5.5	X6	395	107	162	196 - 285	22	X10	740	32	630	780 - 1180
0.25	X1	190		9	13			X7	395	107	230			273 - 353	X11	740	45
0.37	X2	190		17	31 - 39	5.5	X8	395	160	340	383 - 522	30	X10	795	32	630	780 - 1180
0.55	X1	225		9	13			7.5	X9	435	31			490	565 - 740	30	X11
						0.75	X2			225		17	31 - 39	X5	435		
X3	245	75	43	60 - 70	X6			435	107						162	196 - 285	X10
						X4	245	77	68	85 - 111	X7	435	107	230	273 - 353	X11	
1.1	X2	260		17	31 - 39							X8	435	160	340		383 - 522
						X3	260	75	43	60 - 70	X9		490	220	490	565 - 740	X10
X4	260	77	68	85 - 111	11							X6	490	137	162	196 - 285	
						X5	260	70	104	126 - 185	X7		490	137	230	273 - 353	55
1.5	X3	285	75	43	60 - 70							X8	535	26	340	383 - 522	
						X4	285	77	68	85 - 111	X9		660	22	490	565 - 740	90
X5	285	70	104	126 - 185	15							X10	660	32	630	780 - 1180	
						2.2	X4	320	87	68	85 - 111		X8	535	26	340	383 - 522
3	X5	320	87	104	126 - 185							X9		660	22	490	565 - 740
						X6	320	87	162	196 - 285	X10		660	32	630	780 - 1180	

注：表列 H₃、H₄ 尺寸为以下电机配置结果的数值，对于其他电机应视电机的外形尺寸有所变动：

(1) X0A - X2 型其输入功率 0.04 - 0.75kW 者为专用电机；

(2) 其他为 Y 系列电机，配用 4 极功率 ≥ 18.5kW 和 6 极功率 ≥ 15kW 的电机机座安装型式为 V1，其余为 B5。

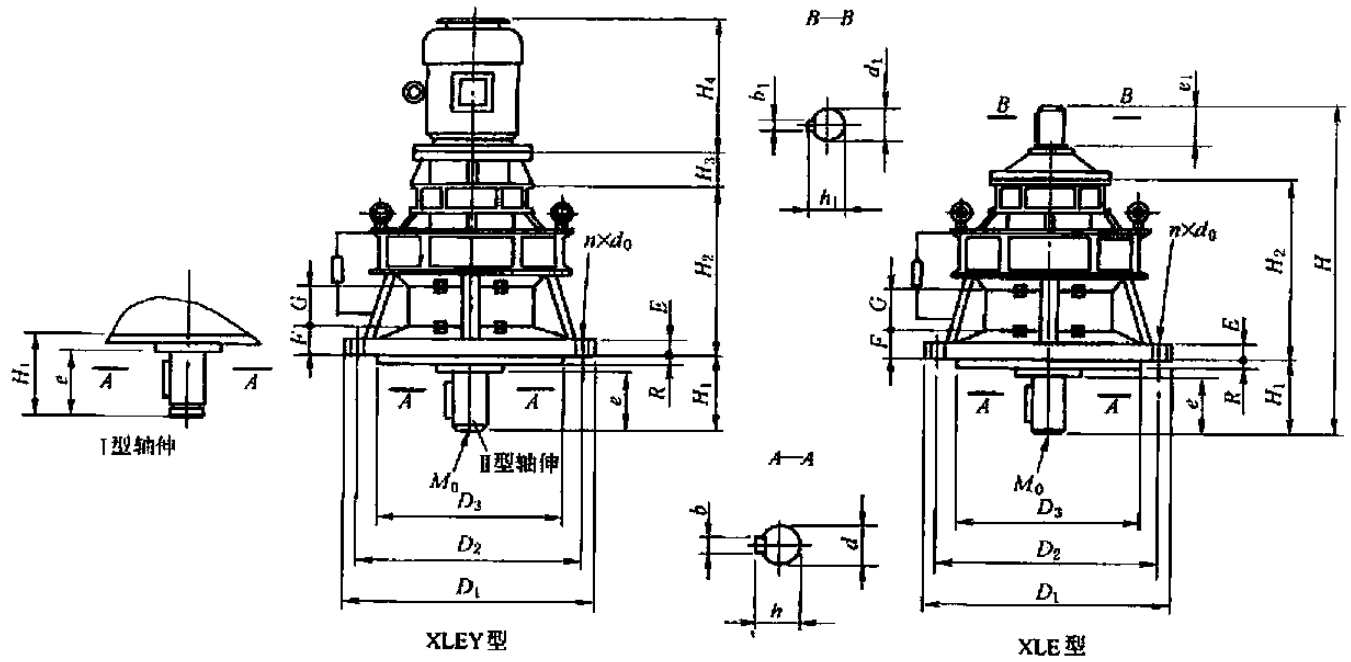


表 16-2-162

两级立式摆线针轮减速器外形尺寸

mm

型号	输出轴连接尺寸						轴承间距				输入轴连接尺寸				外形及安装尺寸							
	d (h6)	b	h	夹壳型		通用型		G	F	d ₁ (h6)	b ₁	h ₁	e ₁	D ₁	D ₂	D ₃ (h9)	H ₂	H	E	R	M ₀	n × d ₀
				e	H ₁	e	H ₁															
X10A	18	6	20.5	—	—	25	30	18	23	10	3	11	16	160	134	100	155	220	10	3	M6	4 × φ9
X20	25	8	28	78	85	34	42	20	25	12	4	13.5	16	180	160	130	188	268	12	3	M8	6 × φ9
X31	35	10	38	90	95	45	50	40	27	14	5	16	20	230	200	170	230	325	15	4	M8	6 × φ11
X42	45	14	48.5	100	128	63	79	51	26	15	5	17	25	260	230	200	239	374	15	4	M8	6 × φ11
X53	55	16	59	100	112	79	91	74	31	18	6	20.5	35	340	310	270	309	473	20	4	M10	6 × φ11
X63	65	18	69	130	152	80	92	101	34	18	6	20.5	35	400	360	316	350	513	22	5	M12	8 × φ15
X74	80	22	85	150	163	98	111	107	41	22	6	24.5	40	430	390	345	391	578	22	5	M12	8 × φ18
X84	90	25	95	180	182	110	111	135	44	22	6	24.5	40	490	450	400	448	638	30	6	M16	12 × φ18
X85	90	25	95	180	182	110	111	135	44	30	8	33	45	490	450	400	476	750	30	6	M16	12 × φ18
X95	100	28	106	180	219	129	171	151	78	30	8	33	45	580	520	455	517	775	35	8	M20	12 × φ22
X106	110	28	116	200	233	140	173	185	63	35	10	38	54	650	590	520	587	865	40	10	M24	12 × φ22
X117	130	32	137	230	256	184	210	210	78	40	12	43	65	880	800	680	758	1090	45	10	M30	12 × φ35
X128	180	45	190	290	340	320	370	373	91	45	14	48.5	70	1160	1020	900	796	1482	60	10	M42	8 × φ39

注：安装及连接尺寸与该机型第二级所对应的单级减速器的尺寸相同，H₃、H₄值见表 16-2-163。

表 16-2-163

两级立式摆线针轮减速机的 H_3 、 H_4 尺寸及参考质量

mm

机型号	电机	外形尺寸	输入功率 /kW												参考质量/kg	
			0.04 0.06	0.09 0.12	0.18 0.25 0.37	0.55 0.75	1.1	1.5	2.2 3	4	5.5	7.5	11	15	XLE 型	XLEY 型
X10A	4 极	H_4	130	170											13	15
X20		H_4		170	190										24	26 ~ 28
X31		H_4			190	225									48	53 ~ 55
X42		H_4			190	225									80	85 ~ 87
X53		H_3			82	75	75								139	151 ~ 161
		H_4			216	245	260									
X63		H_3			82	75	75								195	207 ~ 217
		H_4			216	245	260									
X74		H_3				77	77	77	87						268	285 ~ 302
		H_4				245	260	285	320							
X84		H_3				77	77	77	87						367	384 ~ 405
		H_4				245	260	285	320							
X85		H_3				70	70	70	80						399	417 ~ 437
		H_4				245	260	285	320							
X95		H_3				70	70	70	80	86					535	552 ~ 578
		H_4				245	260	285	320	340						
X106		H_3					116	116	87	87	107	107			758	780 ~ 839
		H_4					260	285	320	340	395	435				
X117	H_3							87	87	107	107	137	137	1251	1273 ~ 1332	
	H_4							320	340	395	435	535	660			
X128	H_3								160	160	160	26	26	2500	2525 ~ 2652	
	H_4								340	395	435	535	680			

注：1. 输入功率为 0.04 ~ 0.75kW 的 X10A ~ X42 型配专用电机，其他配 Y 系列 B5 型式电机。若选用其他系列电机， H_4 值相应变化。

2. X10A ~ X42 型减速器采用润滑脂润滑，X53 ~ X128 采用 YA 增安型三相 380V、0.04kW 电机驱动的转子油泵进行循环喷油润滑。

11.1.2 承载能力

表 16-2-164

单级立式摆线针轮减速器承载能力

机型号	电机		传动比 i														许用转矩/ $N \cdot m$	
	功率/kW	转速/ $r \cdot min^{-1}$	9	11	13	15	17	21	23	25	29	35	43	51	59	71		87
XL0A	0.04	1390		○			○		○		○	○	○					25
XL0A	0.06	1390		○			○		○		○	○	○					25
XL0A XL0	0.09	1390		○			○		○		○	○	△					25 60
XL0A XL0	0.12	1390		○			○		○		○	△	△					25 60
XL0 XL1	0.18	1390		○			○		○		○	○	○					60 120
XL0 XL1	0.25	1390	○	○			○		○		○	○	△					60 120
XL0 XL1 XL2	0.37	1390	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△					60 120 150
XL1 XL2 XL3 XL4	0.55	1390	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	120 150 250 500
XL1 XL2 XL3 XL4	0.75	1390	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△					120 150 250 500

续表

机型号	电 机		传 动 比 i														许用转矩/N·m	
	功率/kW	转速/r·min ⁻¹	9	11	13	15	17	21	23	25	29	35	43	51	59	71		87
XL2 XL3 XL4 XL5	1.1	1400	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	150 250 500 1000
XL3 XL4 XL5	1.5	1400	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	250 500 1000
XL4 XL5 XL6	2.2	1425	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	500 1000 2000
XL4 XL5 XL6	3	1430	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	500 1000 2000
XL4 XL5 XL6 XL7 XL8 XL9	4	1440	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	500 1000 2000 2700 4300
		960	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8300
XL5 XL6 XL7 XL8 XL9	5.5	1445	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1000 2000 2700 4300
		960	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8300
XL5 XL6 XL7 XL8 XL9	7.5	1450	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1000 2000 2700 4300
		965	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8300
XL6 XL7 XL8 XL9 XL10	11	1460		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2000 2700 4800 8300
		965																11000
XL8 XL9 XL10	15	1460		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4300 8300
		970																11000
XL8 XL9 XL10	18.5	1470		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4300 8300
		975																11000
XL9 XL10 XL11	22	975				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8300 11000
																		20000
XL10 XL11 XL12	30	980				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	11000 20000
																		30000
XL10 XL11 XL12	37	980				○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	11000 20000
																		30000
XL10 XL11 XL12	45	980				○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	11000 20000
																		30000
XL11 XL12	55	980				○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△		20000 30000
																		30000
XL11 XL12	75	980				○	○	○	○	○	○	○	○	△				20000 30000
																		30000
XL11 XL12	90	980				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20000 30000
																		30000
输出转速/r·min ⁻¹		配4极电机	160	130	110	100	85	69	63	60	50	41	34	28	25	20	17	
		配6极电机		87	74	67	56	46	43	40	33	27	22	19	16	14	11	

注：1. “○”表示可使用电机的全容量，“△”表示应在输出轴许用转矩范围内使用。必要时应增加安全装置以防止减速器承受过大的转矩。

2. XL9、XL10、XL11、XL12均选配6极电机，其余配4极电机。

11.2 LC 型立式两级硬齿面圆柱齿轮减速器 (摘自 HG/T 3139.3—2001)

11.2.1 外形、安装尺寸

标记示例

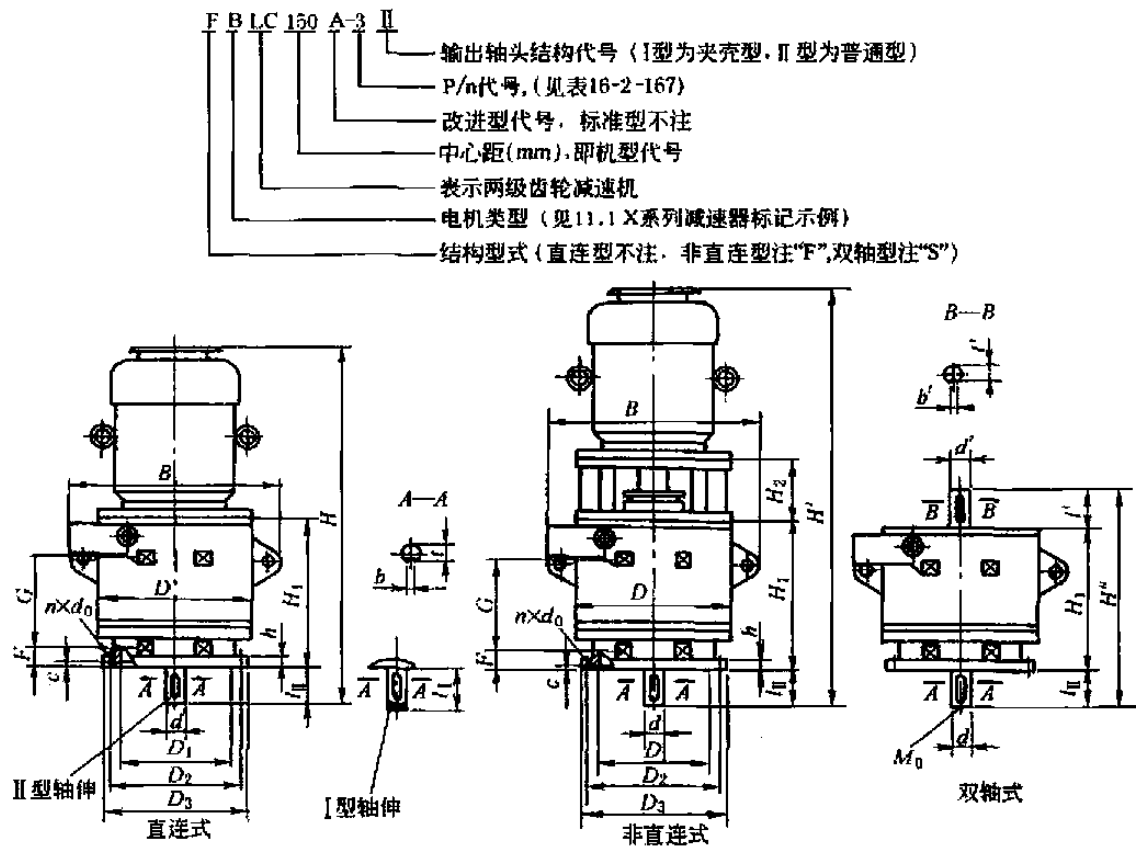


表 16-2-166

mm

型号	中心距 a	轴径 d	输出轴许用转矩 /N·m	轴承间距		外形尺寸													
				G	F	D	B	H_1	H_2	H	H'	H''							
LC50	50	25k6	60	112	42	200	215	207	—	350~390	—	—							
LC75	75	30k6	89.5	130	58	252	314	262	138	582~622	720~760	379 399							
LC100	100	40k6	328	160	66	316	398	326	137 165	681~816	818~981	495 515							
LC125	125	50(55)k6	1000	200	71	390	495	403	168 198	868~1148	1026~1346	595 625							
LC150	150	65(70)m6	2750	225	76	470	575	455	200	1090~1370	1290~1570	663 693							
LC200	200	80m6	3600	252	95	600	775	529	298	1459~1749	1679~1999	744 754							
LC250	250	100m6	7000	304	80	725	920	573	345	1683~2108	1973~2398	863 883							
LC325	325	130m6	15000	406	134	950	1255	810	430	2300~2500	2690~2890	1230 1250							
型号	外形尺寸														减速器质量/kg		带电机质量/kg		
	D_1	D_2	D_3	$n \times d_0$	h	e	l_1	l_2	M_0	b	t	d'	l'	b'	l'	直连式	非直连式	直连式	非直连式
LC50	170 H8	200	230	6 × $\phi 11$	14	4	65	45	2 × M6	8	21	15	35	5	12	35	—	45~55	—
LC75	200 H8	230	260	6 × $\phi 14$	16	5	75	55	2 × M6	8	26	20	35	6	16.5	59	80	81~96	102~117
LC100	230 H8	260	290	6 × $\phi 14$	16	5	95	75	2 × M6	12	35	25	55	8	21	104	136	137~184	169~216
LC125	270 H8	305	340	8 × $\phi 18$	18	6	125	95	2 × M8	14 16	44.5 49	35	60	10	30	184	230	242~394	288~440

型号	外形尺寸															减速器质量/kg		带电机质量/kg	
	D_1	D_2	D_3	$n \times d_0$	h	c	l_1	l_2	M_0	b	t	d'	l'	b'	t'	直连式	非直连式	直连式	非直连式
LC150	320 H8	360	400	8 × φ18	20	6	145	115	2 × M10	18 20	58 62.5	40	65	12	35	299	382	465 - 619	548 - 702
LC200	360 H8	410	460	8 × φ22	24	8	160	150	2 × M12	22	71	55	90	16	49.5	662	796	1022 - 1442	1156 - 1576
LC250	470 H8	520	580	12 × φ22	28	8	190	170	2 × M12	28	90	70	125	20	62.5	883	1040	1413 - 2123	1570 - 2280
LC325	680 H8	800	880	12 × φ35	32	10	230	210	2 × M12	32	119	90	170	25	81	2040	2560	—	3525 - 4010

注: 1. I型轴头配夹壳联轴器(表 16-2-181), II型轴头为普通型,轴端中心配有螺孔 M_0 , 供压入联轴器用。配用联轴器有 GT、DF、SF、TK 型(表 16-2-182 ~ 表 16-2-184)。

2. 当 4 极电机 ≥ 18.5kW 或 6 极电机 ≥ 15kW 时, H 和 H' 值按 Y 系列 V1 型式电机高度计入, 否则按 Y 系列 B5 型式电机高度计入。若配用其他系列电机, H 和 H' 值相应变动。

3. 直连式的小齿轮直接装在电机轴上, 非直连式的电机通过弹性联轴器与减速器相连, 双轴式不带电机。减速器同轴线输入输出, 可正、反方向旋转。改进型(A型)尺寸与表中相应机型尺寸相同。

4. 括号内的轴径为可加大输出轴尺寸, 需要采用括号内尺寸时应另加说明。

11.2.2 承载能力

表 16-2-167

减速比 i	12	12	10	12	10	9	7.5	6.8	6	5.6	5	4.5	4.2	4	3.7	3.3	3.2	减速机 型号	输出轴 许用 转矩 /N·m		
	输出转速 n /r·min ⁻¹	65	85	100	125	150	165	200	220	250	265	300	320	350	370	400	450			475	
电机功率 P/kw	8 极		6 极			4 极电机													LC50	60	
	750 r/min	1000r/min	1500r/min																		
P/n 代号																					
0.12	x	x	x	1	5	9	13	17	21	25	29	33	38	43	48	53	58	LC50	60		
0.18	x	1/6	3/6	2	6	10	14	18	22	26	30	34	39	44	49	54	59				
0.25	x	2/6	4/6	3	7	11	15	19	23	27	31	35	40	45	50	55	60				
0.37	x	x	x	4	8	12	16	20	24	28	32	36	41	46	51	56	61				
0.55	x	x	x	1	3	5	9	13	17	21	25	29	33	37	42	47	52	57	62	LC75	89.5
0.75	x	1/6	2/6	2	4	6	10	14	18	22	26	29	32	35	38	41	44				
1.1	x	1/6	3/6	1	5	7	11	15	19	23	27	30	33	36	39	42	45				
1.5	x	2/6	4/6	2	6	8	12	16	20	24	28	31	34	37	40	43	46				
2.2	1/8*	1/6*	5/6	3	7	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	LC100	328		
3.0	2/8*	2/6*	5/6*	4	8	11	15	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55				
4.0	3/8*	3/6*	6/6*	1*	9	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56				
5.5	4/8*	4/6*	7/6*	2*	5*	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57				
7.5	1/8*	1/6*	8/6*	3*	6*	9*	12*	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	LC125 LC125A	1000		
11.0	2/8*	2/6*	5/6*	4*	7*	10*	13*	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53				
15.0	3/8*	3/6*	6/6*	1*	8*	11*	14*	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54				
18.5	1/8*	4/6*	7/6*	2*	5*	8*	15*	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55				
22.0	2/8*	1/6*	3/6	3*	6*	9*	11*	13*	16	19	22	25	28	31	34	37	40	LC150 LC150A	2750		
30.0	1/8*	2/6*	4/6	4*	7*	10*	12*	14*	17*	20	23	26	29	32	35	38	41				
37.0	2/8*	1/6*	5/6	1*	3	6	9	16*	18*	21	24	27	30	33	36	39	42				
45.0	3/8*	2/6*	4/6*	2*	4	7	10	13	16												
55.0	1/8*	3/6*	5/6*	1*	5	8	11	14	17									LC200A	3600		
75.0	2/8*	1/6*	6/6*	2*	4	7	12	15	18												
90.0	3/8*	2/6*	4/6*	3*	5	8	10	13	19												
110.0		3/6*	5/6*	1*	6	9	11	14	16												
132.0			6/6*	2*	5*	10*	12	15	17									LC250A	7000		
160.0				3*	6*	11*	16*	21*	18												
185				4*	7*	12*	17*	22*	27*												
200					8*	13*	18*	23*	28*												
220					9*	14*	19*	24*	29*									LC325A	15000		
250						15*	20*	25*	30*												
280								26*	31*												
315									32*												

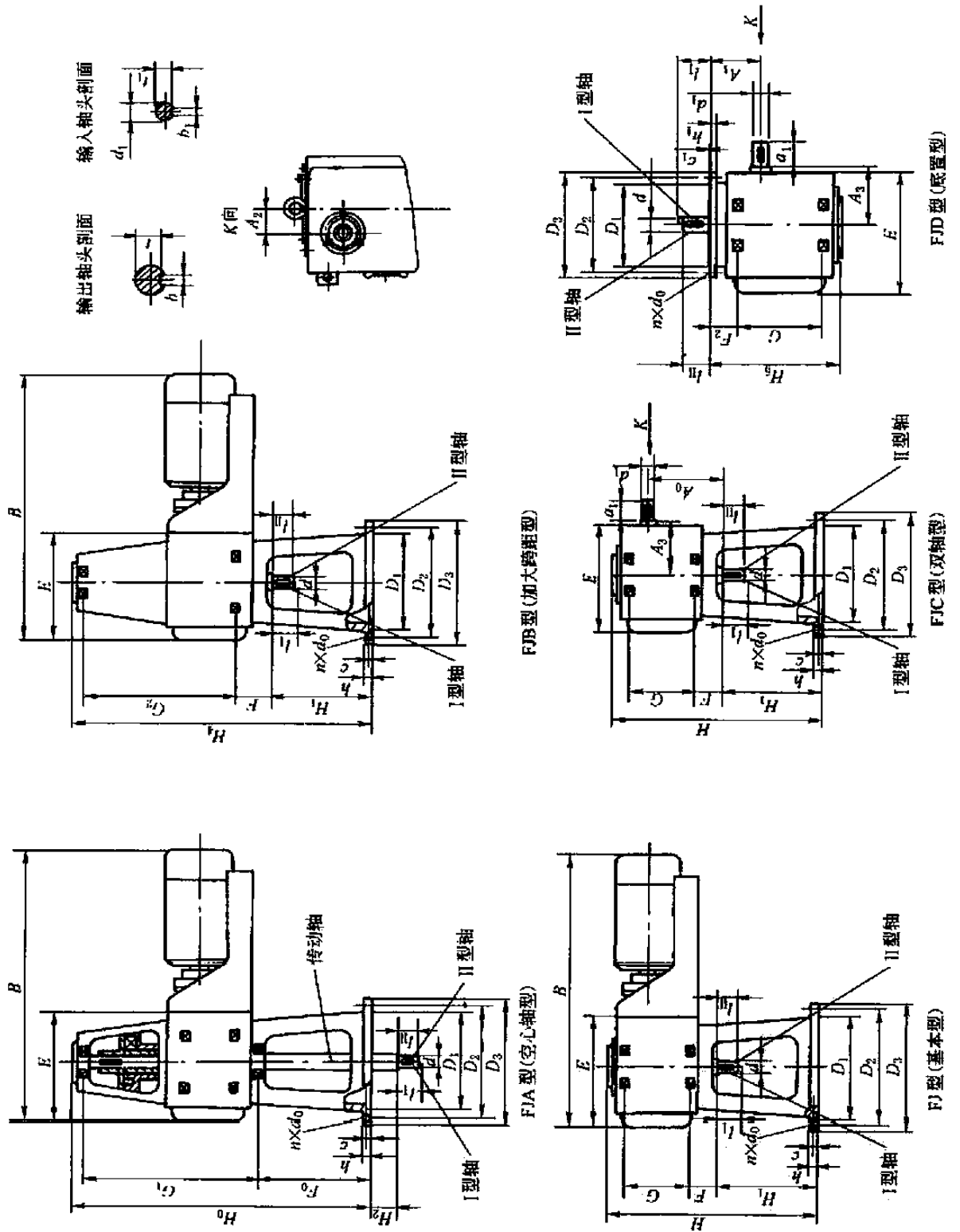
注: 1. 表中“x”表示非选择区。减速器允许正、反两个方向旋转。有“*”者宜选用非直连式, 尤其 LC200A、LC250A、LC325A 带“*”者必须选用非直连型。

2. A 型为改进型, 配有润滑油泵, 采用喷油润滑以提高齿轮工作寿命。LC150A、LC200A、LC250A、LC325A 型配有单独电动油泵, 功率为 120W 三相电源, 使用时需与电源连接。LC100A、LC125A 型当转速 ≤ 125r/min 时, 配有单独电动油泵, 功率为 90W; 而转速 > 125r/min 时, 为内部传动机构驱动, 不另配电动油泵。

3. 选用说明: ① 根据输入电机功率, 如输入电机功率为 45kW, 输出转速 100r/min, 查表得 P/n 代号为 4/6, 减速机型号为 LC250A; ② 根据输出轴许用转矩, 如输出轴转矩 $M = 9000N \cdot m$, 输出轴转速 $n = 100r/min$, 查表得出需选用 LC325A 减速机, 再根据 $N = Mn/9550\eta = 104.7kW$ (减速机效率 $\eta = 0.9 - 0.95$), 选定电机功率为 110kW, P/n 代号为 5/6。

11.3 FJ型硬齿面圆柱、圆锥齿轮减速器 (摘自HG/T 3139.5—2001)

11.3.1 外形、安装尺寸



标记示例

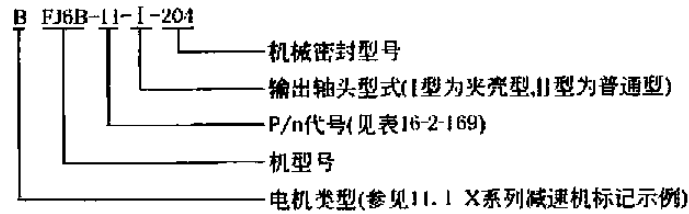


表 16-2-168

mm

型 号	d (h6)	D_1 (H9)	D_2	D_3	n	d_0	h	h_1	c	e_1	l_1	l_B	d_1	a_1	F	F_2	G	G_1	G_2	H_2	H_5	E	B B_{max}
FJ1	30	245	295	340	8	$\phi 18$	25	30	6	5	70	55	22	45	40	60	200	500	500	150	350	385	800
FJ2	40	290	350	395	12	$\phi 18$	25	30	6	5	85	75	22	45	40	65	200	500	500	200	350	385	830
FJ3	50	320	400	445	12	$\phi 22$	28	32	6	5	100	80	30	55	50	80	280	620	620	300	399	475	1033
FJ4	65	415	515	565	16	$\phi 22$	28	32	8	6	130	110	45	80	80	80	368	778	778	400	501	555	1280
FJ5	80	520	620	670	16	$\phi 27$	30	35	8	6	130	145	50	100	84	100	372	942	942	500	539	580	1382
FJ6	95	670	780	830	16	$\phi 30$	30	35	8	6	170	150	50	100	90	100	465	895	895	600	631	650	1594
FJ7	110	730	830	900	16	$\phi 30$	42	45	12	10	200	200	75	130	110	120	664	1204	1204	700	865	970	2105
FJ8	120	840	940	1010	16	$\phi 30$	45	50	12	10	225	220	75	130	110	150	664	1204	1204	800	895	970	2225
FJ9	140	970	1080	1150	16	$\phi 33$	55	55	12	10	255	230	80	130	111	180	733	1398	1393	850	1004	1210	2714
FJ10	160	1100	1220	1300	16	$\phi 33$	50	55	12	10	255	240	95	170	120	210	750	1550	1550	950	1200	1400	2750
FJ11	200	1200	1350	1450	16	$\phi 39$	60	65	12	10	280	260	95	170	150	250	850	1700	1700	1000	1250	1550	2900
型 号	A_0	A_1	A_2	A_3	配置单端面、无内 置轴承机械密封或较低 填料箱及 SF 式联轴器					配置双端面、内置轴 承机械密封或较高填料 箱及夹壳型联轴器					b	t	b_1	t_1	质量/kg				
					F_0	H	H_0	H_1	H_2	F_0	H	H_0	H_1	H_2									
FJ1	178	168	60	136	250	683	793	400	980	450	783	993	500	1080	8	26	6	18.5	188				
FJ2	178	168	60	136	250	683	793	400	980	450	783	993	500	1080	12	35	6	18.5	250				
FJ3	250	217	70	166	300	819	959	450	1159	500	919	1159	550	1259	14	44.5	8	26	350				
FJ4	350	310	120	202	300	1001	1131	500	1411	520	1101	1351	600	1511	18	58	14	39.5	520				
FJ5	350	350	160	230	330	1023	1339	500	1593	550	1173	1559	650	1743	22	71	14	44.5	750				
FJ6	425	382	158	281	350	1221	1311	600	1651	600	1371	1561	750	1801	25	86	14	44.5	1000				
FJ7	595	510	200	383	350	1605	1635	750	2145	650	1755	1935	900	2295	28	100	20	67.5	1400				
FJ8	595	510	200	383	350	1605	1635	750	2145	650	1755	1935	900	2295	32	109	20	67.5	2000				
FJ9	655	555	260	427	350	1735	1839	800	2400	650	1935	2139	1000	2600	36	128	22	71	2800				
FJ10	750	565	260	570	350	1850	2050	850	2550	650	2050	2050	1050	2750	36	148	25	86	3800				
FJ11	805	585	270	598	400	2050	2250	900	2990	700	2250	2550	1100	3100	45	185	25	86	5200				

注：FJA 型减速器输出轴为空心轴，并配有传动轴，在搅拌釜内通过联轴器与搅拌轴连接，检修轴密封时可以将传动轴抽出，不需拆除减速器。FJB 型轴承间距大，承载能力大，适合长搅拌轴而又不需加底轴承的场合。FJC 型适合于特殊驱动机构和特殊要求的场合。FJD 型用于传动装置位于搅拌釜下方的场合。

11.3.2 承载能力

表 16-2-169

减速比 i	80	70	61	53	46	40	35	30	26	23	20	18	15	13.6	20	18	15	13.6	12.5	11.5	10.7	10	减速机号	输出轴许用转矩 /N·m
输出转速 $n/r \cdot \text{min}^{-1}$	12	14	16	19	22	25	28	33	38	43	50	55	65	73	75	83	100	110	120	130	140	150		
电机功率 P/kW	6极电机 P/n 代号(斜杠后的 S 代表三级减速)														4极电机 P/n 代号									
0.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3	5	8	11	15	19	23	FJ1	120
0.75	1/S	3/S	5/S	7/S	1/S	2/S	3/S	4/S	6/S	8/S	1/6	4/6	1/6	2/6	2	4	6	9	12	16	20	24		
1.1	2/S	4/S	6/S	8/S	10/S	12/S	14/S	5/S	7/S	9/S	2/6	5/6	7/6	10/6	1	4	7	10	13	17	21	25		
1.5	1/S	2/S	3/S	9/S	11/S	13/S	15/S	17/S	19/S	22/S	3/6	6/6	8/6	11/6	2	5	8	11	14	18	22	26		
2.2	1/S	2/S	4/S	5/S	6/S	7/S	16/S	18/S	20/S	23/S	1/6	4/6	9/6	12/6	3	6	9	12	15	18	21	24	FJ2	350
3	1/S	3/S	4/S	5/S	7/S	8/S	9/S	10/S	21/S	24/S	2/6	5/6	7/6	9/6	1	7	10	13	16	19	22	25		
4	2/S	3/S	4/S	6/S	8/S	9/S	10/S	11/S	12/S	13/S	3/6	6/6	8/6	10/6	2	4	6	14	17	20	23	26	FJ3	800
5.5	1/S	2/S	5/S	6/S	7/S	9/S	11/S	12/S	14/S	14/S	1/6	2/6	3/6	5/6	3	5	7	8	10	12	14	16		
7.5	1/S	3/S	4/S	5/S	8/S	10/S	11/S	13/S	15/S	16/S	1/6	2/6	4/6	6/6	1	2	3	9	11	13	15	17	FJ4	1150
11	2/S	3/S	4/S	6/S	7/S	8/S	12/S	13/S	14/S	15/S	1/6	3/6	4/6	5/6	1	3	4	5	6	7	9	11		
15	1/S	2/S	5/S	6/S	7/S	9/S	10/S	11/S	12/S	16/S	2/6	3/6	5/6	6/6	2	4	5	7	10	8	10	12	FJ5	2000
18.5	1/S	3/S	4/S	6/S	8/S	9/S	10/S	12/S	13/S	14/S	1/6	4/6	6/6	7/6	1	3	6	8	11	13	15	17		
22	2/S	3/S	5/S	7/S	8/S	10/S	11/S	13/S	14/S	15/S	2/6	3/6	4/6	8/6	2	4	5	9	12	14	16	18	FJ6	3300
30	1/S	4/S	5/S	7/S	9/S	11/S	12/S	14/S	15/S	16/S	1/6	3/6	5/6	6/6	1	3	6	7	9	11	13	15		
37	2/S	4/S	6/S	8/S	10/S	12/S	13/S	15/S	17/S	17/S	2/6	4/6	6/6	7/6	2	4	5	8	10	12	14	16	FJ7	5000
45	3/S	5/S	6/S	9/S	11/S	13/S	15/S	16/S	18/S	19/S	1/6	5/6	7/6	8/6	1	3	6	7	8	10	12	14		
55			7/S	8/S	9/S	14/S	16/S	17/S	19/S	20/S	2/6	3/6	4/6	9/6	2	4	5	7	9	11	13	15	FJ8	8000
75					10/S	11/S	13/S	18/S	20/S	22/S	1/6	4/6	5/6	6/6	1	3	6	8	10	12	14	16		
90						12/S	14/S	15/S	21/S	23/S	2/6	5/6	7/6	7/6	2	4	6	9	11	13	15	17	FJ9	12750
110								16/S	17/S	19/S	3/6	6/6	8/6	10/6	1	5	7	9	11	14	17	20		
132									18/S	20/S	1/6	3/6	9/6	11/6	2	4	8	10	12	15	18	21		
160										21/S	2/6	4/6	6/6	12/6	3	5	7	10	13	16	19	22		
200											5/6	7/6	9/6	1	6	8	11	13	16	19	22	FJ10	22000	
220												8/6	10/6	2	4	9	12	14	17	20	23			
250														11/6	3	5	7	10	15	18	21			24
280																6	8	11	14	17	20	23	FJ11	35000
315																9	12	15	18	21	24			
355																	13	16	19	22	25			

注: 1. FJA 型减速器输出轴推荐采用 I 型轴头, 配 JQ 型夹壳联轴器 (表 16-2-181), 但材料需满足工艺介质要求。

2. FJ、FJB、FJC 型减速器输出轴的 I 型轴头需配 JQ 型联轴器 (表 16-2-181), II 型轴头配用 SF 型联轴器 (表 16-2-183)。

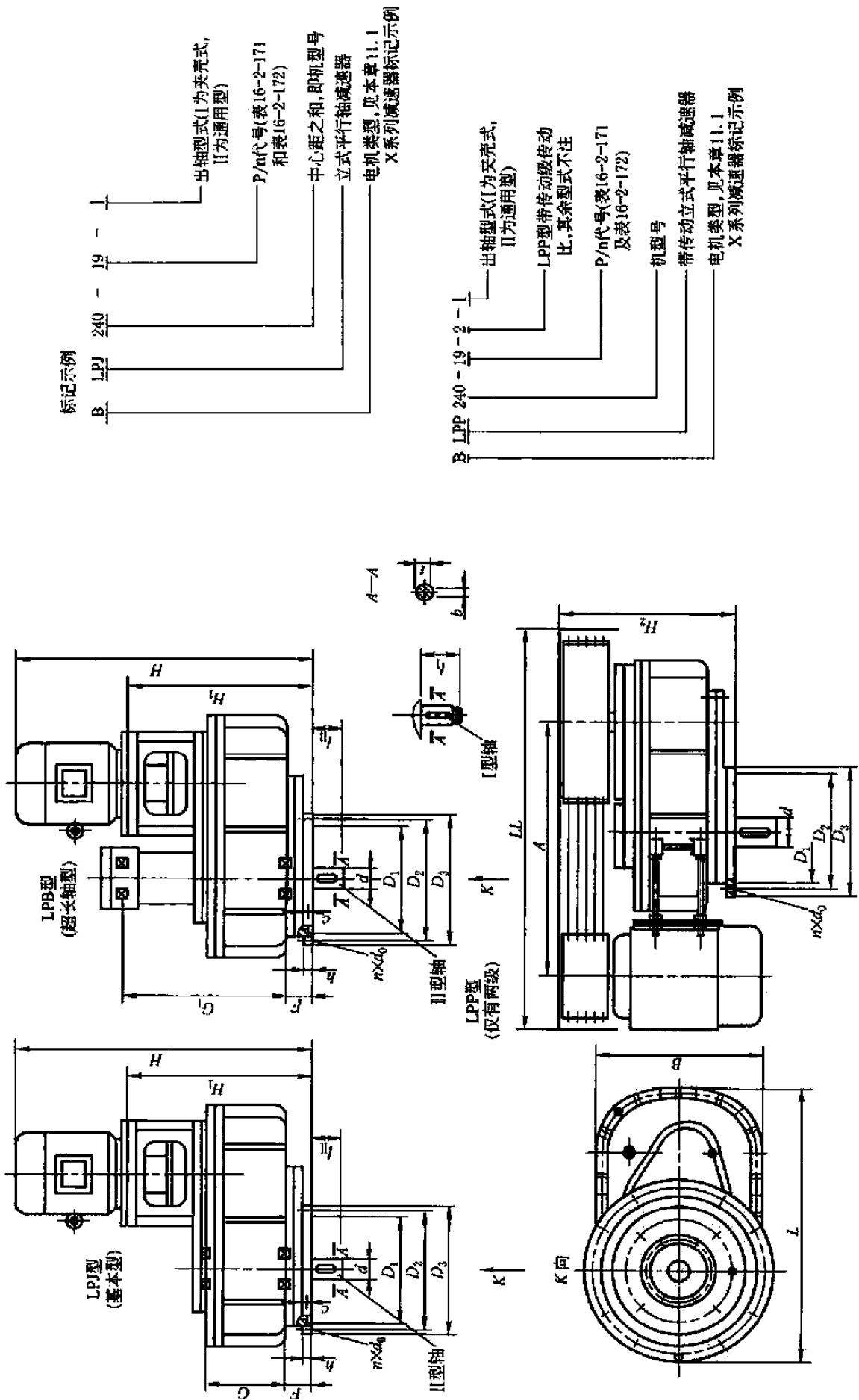
3. FJD 型减速器需配置机架, 机架由设计者自行设计。轴头有 I 型、II 型, 配用联轴器同上。

4. 输出轴可正、反两方向旋转。

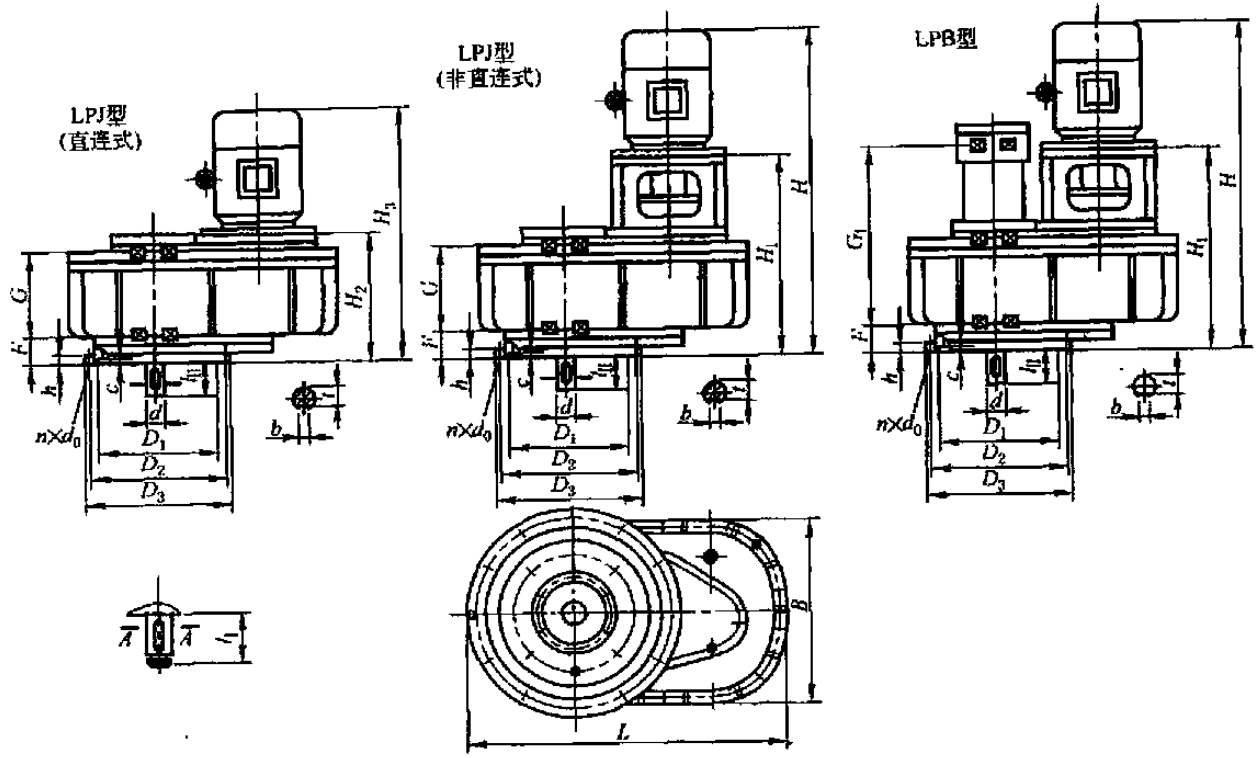
5. 减速器选用说明见表 16-2-167 注 3。

11.4 LPJ、LPB、LPP型平行轴硬齿面圆柱齿轮减速器 (摘自 HG/T 3139.4—2001)

11.4.1 外形、安装尺寸



LPJ、LPB、LPP型两级减速器



LPJ、LPB 型三级减速器

表 16-2-170

mm

LPJ、LPB、LPP 型两级减速器

型号	轴径 d	外形尺寸										安装尺寸										质量 /kg	
		B	L	LL	A	H ₂	H ₁	H	F	G	G ₁	D ₁	D ₂	D ₃	c	h	n	d ₀	l _I	l _{II}	b		t
20	40 k6	270	392	600	400	304	430	680~710	53	145	280	200	230	260	5	16	6	M14	95	80	10	30	105
21	50 k6	350	530	730	510	340	507	757~947	65	175	340	230	260	290	5	16	6	M14	125	80	12	35	150
22	60 k6	350	530	730	510	350	507	772~942	65	175	340	230	260	290	5	16	6	M14	145	100	16	49	160
23	70 m6	400	600	909	610	450	580	880~1180	74	195	380	270	305	340	6	16	8	M16	145	100	18	58	220
24	80 m6	490	735	1097	755	515	701	1136~1366	85	250	500	320	360	400	6	22	8	M18	145	130	22	71	310
25	90 m6	490	735	1097	755	560	701	1241~1406	85	250	500	320	360	400	6	22	8	M18	190	130	25	81	324
26	90 m6	580	889	1330	900	600	760	1360~1670	95	300	580	455	500(520)	580	8	30	8	M23	190	130	28	90	436
27	100 m6	720	1050	1702	1160	716	990	1785~1970	110	400	820	640	720	780	10	35	12	M23	190	160	28	100	985
28	130 m6	785	1150	1850	1250	820	1050	1870~2275	125	450	875	680	740	800	10	40	12	M27	230	180	32	119	1610
29	160 m6	850	1240	1913	1375	890	1120	2000~2400	125	500	930	700	760	820	10	40	12	M33	255	240	40	147	2000

LPJ、LPB 型三级减速器

型号	轴径 d	外形尺寸							安装尺寸										质量 /kg	
		B	L	H ₁	H ₂	H ₃	H	F	G	G ₁	D ₁	D ₂	D ₃	n × d ₀	c	h	l _I	l _{II}		b/t
30	35	330	580	480	300	550~600	730~770	50	175	350	230	260	290	6 × φ14	5	16	85	55	10/30	100
31	50	360	620	500	320	570~660	750~840	58	195	400	270	305	340	8 × φ18	6	16	100	80	14/44.5	155
32	65	400	640	550	360	680~800	870~990	65	225	450	320	360	400	8 × φ18	6	22	130	100	18/58	188
33	80	460	780	600	390	750~1000	960~1200	75	260	500	380	430	480	12 × φ23	8	22	145	130	22/71	342
34	95	500	930	660	420	1020~1125	1260~1365	85	300	580	450	520	580	8 × φ23	8	28	170	150	25/86	327
35	110	580	1050	800	500	1180~1410	1400~1710	95	360	650	530	590	640	12 × φ23	10	30	200	170	28/100	436
36	130	760	1391	925	650	1390~1920	1695~2225	110	460	700	680	800	880	12 × φ33	12	40	225	190	32/119	1750
37	150	820	1456	925	700	1575~1980	1895~2270	130	485	750	680	800	880	12 × φ33	12	40	255	240	36/138	2200
38	160	880	1535	1010	915	1665~2315	1760~2410	150	505	855	760	830	900	12 × φ33	12	50	255	240	40/147	2800

注：1. LPB 型减速器输出轴承间距大，承受搅拌轴载荷能力大。LPP 型是在相同规格的 LPJ 型之前增加一级带传动（窄 V 带或同步带传动）。

2. 主电机采用 YA、YB 型电机时，LPP 型减速器将采用防静电传动带。

3. 输出轴配用联轴器的说明见表 16-2-167 注 3。

11.4.2 承载能力

5.1

表 16-2-171 LPJ、LPB、LPP 型两级减速器承载能力

传动比 i	输出转速 n/r·min ⁻¹	8 极电机 (750r/min)										6 极电机 (1000r/min)										4 极电机 (1500r/min)										减速机型号	输出轴许用 转矩/N·m						
		P/n 代号										P/n 代号										P/n 代号																	
		22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4			22	20	18	16	14	12
0.55	1/8	3/8	5/8	1/8	1/6	2/6	3/6	4/6	6/6	8/6	1	3	6	9	12	15	19	23	27	32	37	42	47	52	LPJ20 LPB20	150													
0.75	2/8	4/8	6/8	7/8	1/6	3/6	5/6	5/6	7/6	9/6	2	4	7	10	13	16	20	24	28	33	38	43	48	53															
1.1	1/8	3/8	5/8	8/8	2/6	4/6	6/6	7/6	9/6	11/6	1	5	8	11	14	17	21	25	29	34	39	44	49	54															
1.5	2/8	4/8	6/8	7/8	1/6	3/6	5/6	8/6	10/6	12/6	2	4	6	8	10	18	22	26	30	35	40	45	50	55															
2.2	1/8	3/8	5/8	8/8	2/6	4/6	6/6	7/6	9/6	11/6	3	5	7	9	11	12	14	16	16	31	36	41	46	51	56														
3	2/8	4/8	6/8	7/8	1/6	3/6	5/6	8/6	10/6	12/6	1	3	5	7	9	13	15	17	19	21	23	26	29	32															
4	1/8	3/8	5/8	8/8	2/6	4/6	6/6	7/6	9/6	13/6	2	4	6	8	10	12	14	18	20	22	24	27	30	33	LPJ21 LPB21	300													
5.5	2/8	4/8	6/8	7/8	1/6	3/6	5/6	8/6	10/6	12/6	1	3	5	7	11	13	15	17	19	21	25	28	31	34															
7.5	1/8	2/8	3/8	8/8	2/6	4/6	6/6	7/6	11/6	13/6	2	4	6	8	8	9	16	18	20	22	23	25	27	29	LPJ22 LPB22	600													
11	1/8	5/8	4/8	5/8	1/6	2/6	4/6	8/6	9/6	10/6	1	3	5	7	9	10	11	12	14	16	24	26	28	30															
15	2/8	6/8	9/8	12/8	1/6	3/6	5/6	6/6	8/6	11/6	2	4	6	8	10	12	14	13	15	17	19	22	25	28															
18.5	3/8	7/8	10/8	13/8	2/6	4/6	7/6	7/6	9/6	10/6	1	2	4	6	11	13	15	17	19	18	20	23	26	29	LPJ23 LPB23	1250													
22	4/8	8/8	11/8	14/8	3/6	5/6	8/6	10/6	13/6	16/6	1	3	5	7	8	10	16	18	20	22	21	24	27	30															
30	1/8	3/8	5/8	8/8	1/6	3/6	6/6	9/6	11/6	17/6	2	6	9	13	9	11	12	14	21	23	24	26	28	30	LPJ24 LPB24	2250													
37	2/8	4/8	6/8	9/8	2/6	4/6	6/6	12/6	15/6	18/6	3	7	10	14	17	20	13	15	16	17	25	27	29	31															
45	1/8	3/8	7/8	10/8	3/6	5/6	7/6	10/6	12/6	15/6	4	8	11	15	18	21	24	27	31	18	19	21	23	25	LPJ25 LPB25	3000													
55	2/8	4/8	5/8	7/8	1/6	3/6	8/6	11/6	13/6	16/6	1	4	12	16	19	22	25	28	32	35	20	22	24	26															
75	1/8	4/8	6/8	8/8	2/6	4/6	5/6	7/6	14/6	17/6	2	5	7	9	12	23	26	29	33	36	38	40	42	44	LPJ26 LPB26	7500													
90	2/8	5/8	7/8	9/8	1/6	4/6	6/6	8/6	10/6	18/6	3	6	8	10	13	15	18	30	34	37	39	41	43	45															
110	3/8	6/8	8/8	10/8	2/6	5/6	7/6	9/6	11/6	12/6	1	3	5	11	14	16	19	21	24	27	30	33	36	39	LPJ27 LPB27	15000													
132				11/8	3/6	6/6	8/6	10/6	13/6	13/6	2	4	6	7	9	17	20	22	25	28	31	34	37	40															
160							9/6	11/6	14/6	17/6	1	5	9	8	10	11	13	23	26	29	32	35	38	41															
185								12/6	15/6	18/6	2	6	10	13	16	12	14	16	18	20	22	24	26	28	LPJ28 LPB28	24000													
200									16/6	19/6	3	7	11	14	17	19	15	17	19	21	23	25	27	29															
250										20/6	4	8	12	15	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	LPB/129	32000													

注：减速器选用说明见表 16-2-167 注 3。

LPJ、LPB型三级减速器承载能力

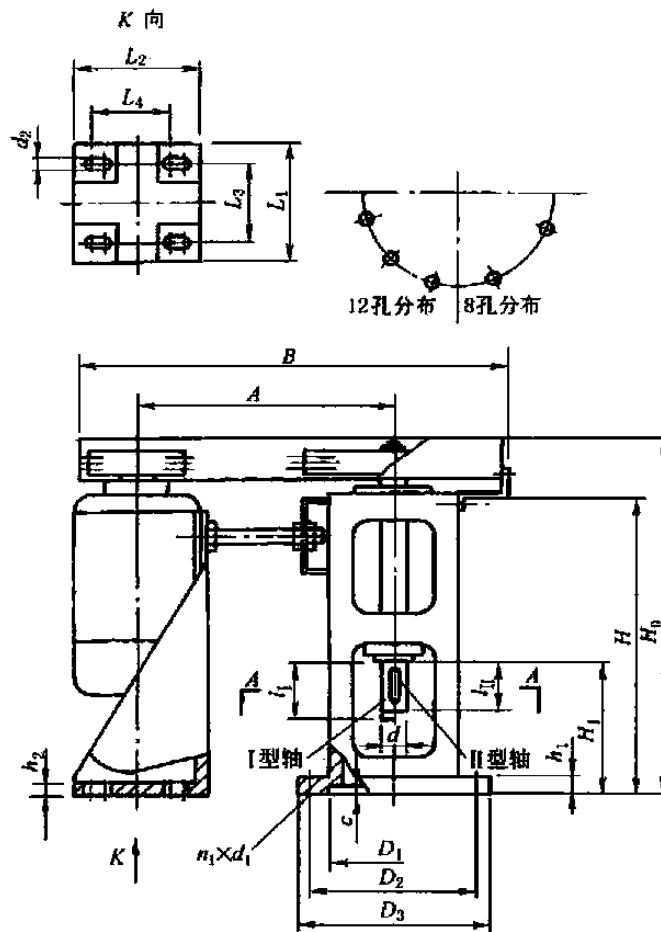
表 16-2-172

传动比 i	63	56	50	45	40	35.5	31.5	45	40	35.5	31.5	28	25	22.4	20	18	16	14	减速机型号	输出轴许用 转矩/N·m
	16	18	20	22	25	28	31	33	37	42	47	53	60	67	75	83	93	105		
输出转速 $n/r \cdot \text{min}^{-1}$																				
电机功率 P/kW	6极电机(1000r/min)										4极电机(1500r/min)									
	P/n 代号																			
0.55	1/6	2/6	4/6	7/6	1/6	2/6	3/6	1	3	5	7	9	12	15	19	23	27	31	LPJ30 LPB30	250
0.75	1/6	3/6	5/6	8/6	9/6	11/6	4/6	2	4	6	8	10	13	16	20	24	28	32		
1.1	2/6	4/6	6/6	8/6	10/6	12/6	13/6	1	3	5	8	11	14	17	21	25	29	33	LPJ31 LPB31	550
1.5	3/6	5/6	7/6	9/6	11/6	13/6	14/6	2	4	6	9	11	13	18	22	26	30	34		
2.2	1/6	3/6	4/6	5/6	10/6	12/6	16/6	1	3	7	10	12	14	16	18	21	24	27	LPJ32 LPB32	1500
3	2/6	4/6	6/6	8/6	10/6	15/6	17/6	2	4	6	8	10	13	17	19	22	25	28		
4	1/6	3/6	7/6	9/6	11/6	13/6	15/6	1	5	7	9	11	13	16	20	23	26	29	LPJ33 LPB33	2750
5.5	2/6	4/6	5/6	7/6	12/6	14/6	16/6	2	4	6	8	12	14	17	19	21	24	27		
7.5	1/6	3/6	6/6	8/6	9/6	11/6	13/6	3	5	7	9	11	15	18	20	22	25	28	LPJ34 LPB34	5500
11	2/6	4/6	5/6	7/6	10/6	12/6	14/6	1	3	6	10	12	13	15	17	23	26	29		
15	1/6	3/6	6/6	8/6	9/6	11/6	13/6	2	4	7	9	12	14	16	18	20	22	25	LPJ35 LPB35	9000
18.5	2/6	4/6	5/6	7/6	10/6	12/6	14/6	1	5	8	10	13	15	17	19	21	23	26		
22	1/6	2/6	6/6	8/6	9/6	11/6	15/6	2	3	5	11	14	16	18	20	22	24	27	LPJ36 LPB36	15000
30	1/6	3/6	4/6	5/6	10/6	12/6	13/6	1	4	6	7	9	11	19	21	23	25	28		
37	2/6	3/6	5/6	6/6	7/6	9/6	14/6	2	3	5	8	10	12	14	16	24	26	29	LPJ37 LPB37	24000
45		4/6	6/6	8/6	8/6	10/6	11/6	1	4	6	7	9	13	15	17	19	27	30		
55			7/6	9/6	10/6	12/6	12/6	2	3	5	8	10	12	14	18	20	22	24	LPJ38 LPB38	35000
75					11/6	13/6	14/6	1	4	6	7	11	13	15	17	21	23	25		
90							15/6	2	3	5	8	9	10	16	18	19	21	24	LPJ37 LPB37	24000
110									4	6	8	11	11	12	14	20	22	25		
132										7	9	12	14	13	15	16	23	26	LPJ37 LPB37	24000
160											10	13	15	17	19	17	19	22		
185														16	18	20	18	20	LPJ37 LPB37	24000
200															21	22	21	24		
250																23	24	25	LPJ38 LPB38	35000

注：减速机选用说明见附表 16-2-167 注 3。

11.5 FP型中功率窄V带及高强度V带传动减速器（摘自HG/T 3139.10—2001）

11.5.1 外形、安装尺寸



标记示例

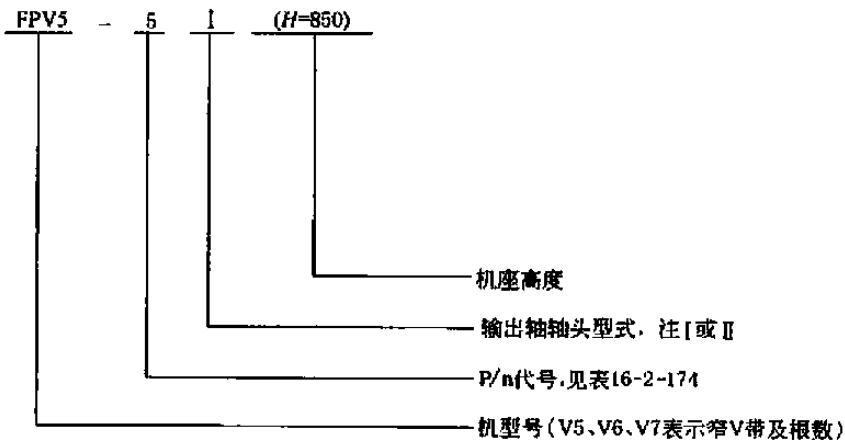


表 16-2-173

mm

机型号	输出轴直径 d	中心距 A	传动比 i	外形及安装尺寸																降低型/标准型/增高型																
				B	D_1	D_2	D_3	$n_1 \times d_1$	L_1	L_2	L_3	L_4	d_2	c	h_1	h_2	l_1	l_0	H_0	H	H_1	质量/kg														
																							H_0	H	H_1	质量/kg										
FPV5	65h6	749	5.4	1380	325 H8	400	435	$8 \times \phi 18$	500	460	370	250	27	6	22	24	130	95	1080/	850/	350/	850/														
		740	5																1180/	950/	450/	900/														
		728	4.5																1280	1050	550	950														
		556	4	1100															1180/	950/	450/	900/														
		540	3.7																1280	1050	550	950														
		516	3																																	
	488	2.5																																		
FPV6	80h6	1015	5.4	1850	430 H8	510	555	$12 \times \phi 23$	580	610	500	500	33	8	35	35	150	120	1284/	1000/	375/	1220/														
		1005	5																1384/	1100/	475/	1300/														
		918	4.5	1670															1484	1200	575	1390														
		766	4	1530															1384/	1100/	475/	1300/														
		760	3.7																1484	1200	575	1390														
		710	3																																	
	660	2.5	1500																																	
FPV7	95h6	1352	5.4	2400	560 H8	650	700	$12 \times \phi 27$	800	800	520	520	33	11	40	36	170	165	1680/	1300/	500/	2060/														
		1336	5																1780/	1400/	600/	2260/														
		1062	4.5	2020															1880	1500	700	2500														
		965	4	1840															1780/	1400/	600/	2260/														
		950	3.7																1880	1500	700	2500														
		900	3																																	
	865	2.5	1825																																	

- 注：1. 高强度 V 带或窄 V 带承载能力比普通带高 50% 以上。
 2. 输出轴可正、反两方向旋转。
 3. 机座高度有降低型、标准型和增高型三种，根据密封和联轴器高度进行选择。

11.5.2 承载能力

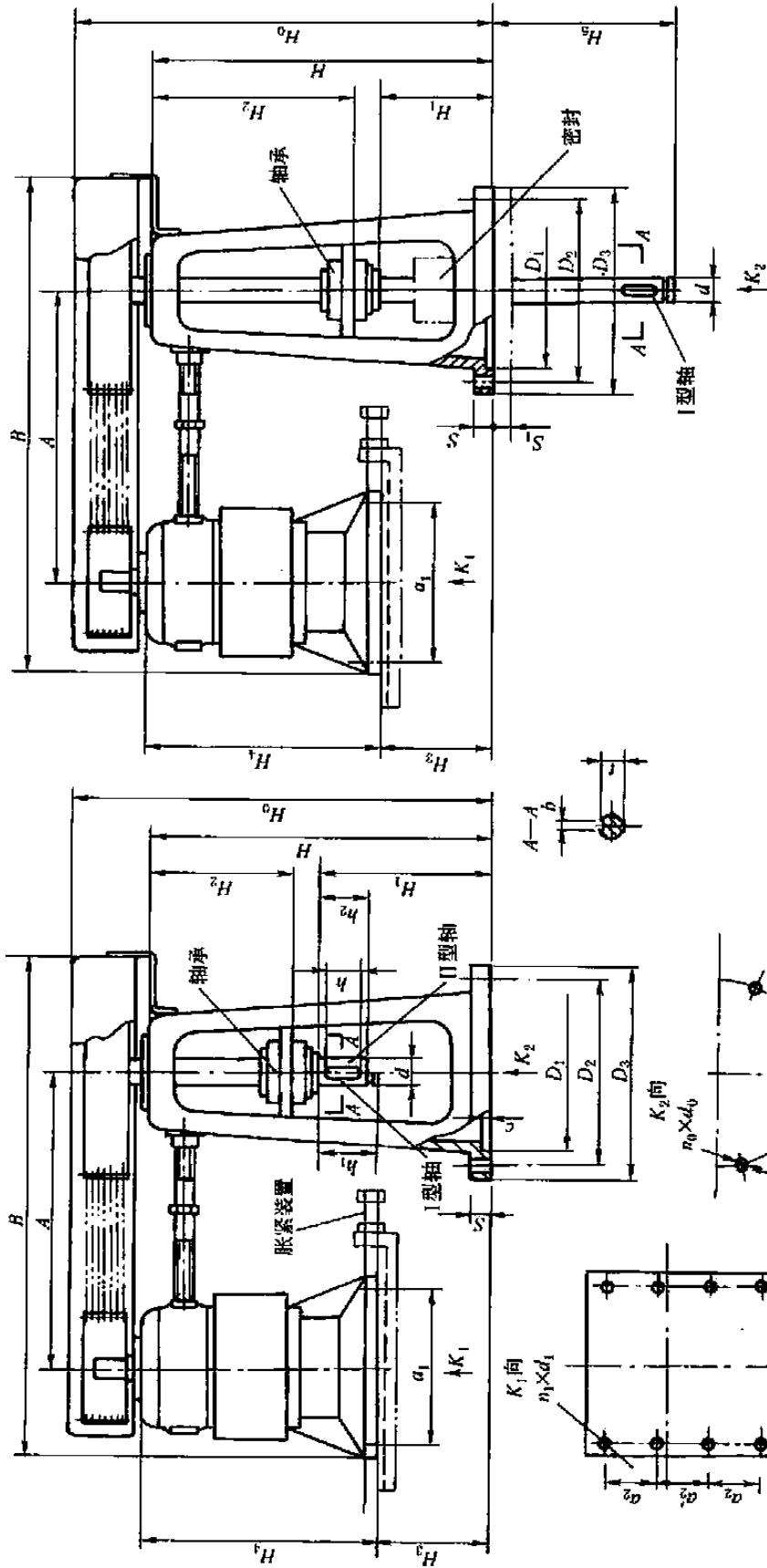
表 16-2-174

传动比 i	5.4	5	4.5	5.4	5	4.5	4	3.7	3	2.5	减速机 型号	输出轴 许用转矩 /N·m		
输出转速 $n/r \cdot \min^{-1}$	135	150	165	180	200	220	250	270	330	400				
电机功率 P/kW	8 极电机					6 极电机								
	P/n 代号													
4	1										FPV5	720		
5.5	2	4	6	9	12	15								
7.5	3	5	7	10	13	16	19	22						
11	1	6	8	11	14	17	20	23						
15	2	7	11	15	21	18	21	24						
18.5	3	8	12	16	22	26	31	25	26	28				
22	4	9	13	17	23	27	32	36	27	29				
30	5	10	14	18	24	28	33	37	41	46				
37	1	6	11	19	25	29	34	38	42	47			FPV6	2200
45	2	7	12	20	19	30	35	39	43	48				
55	3	8	13	16	20	23	26	40	44	49				
75	4	9	14	17	21	24	27		45	50				
90	5	10	15	18	22	25	28				FPV7	7000		

注：减速器选用说明参见表 16-2-167 注 3。

11.6 YP 型带传动减速器 (摘自 HG/T 3139.11—2001)

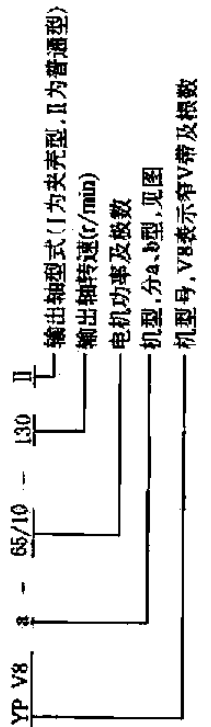
11.6.1 外形、安装尺寸



b 型 (用于釜内连接搅拌轴)

a 型 (用于釜外连接搅拌轴)

标记示例



YP 型减速器外形尺寸

mm

表 16-2-175

减速机 型号	外形及安装尺寸														a 型尺寸					b 型尺寸				
	B	H ₂	H ₄	D ₁ (H ₉)	D ₂	D ₃	D ₀ × d ₀	S	c	φ ₁	φ ₂	φ ₂ '	n ₁ × d ₁	H ₀	H	H ₁	H ₃	H ₀	H	H ₁	H ₃	H ₅	S ₁	
YPV7-65	2815/2402 2402/2250	640	1199	730	830	900	8 × φ27	40	6	900	300	300	8 × φ27	1836	1530	709	320	1550	1150	320	0	700	35	
YPV7-75	2815/2402 2402/2250	640	1199	840	940	1010	8 × φ30	50	8	900	300	300	8 × φ27	1866	1530	709	320	1550	1150	320	0	700	40	
YPV8-95	3098/2576 2576/2570	750	1199	840	940	1010	8 × φ30	50	8	900	300	300	8 × φ27	2075	1680	798	524	1580	1182	300	26	800	40	
YPV8-115	3422/2570																							
YPV8-130	2570/2571	870	1299	970	1080	1150	2 × φ30	50	8	900	300	300	8 × φ27	2306	1950	860	690	1650	1288	300	28	800	45	
YPV10-130	3472/2724																							
YPV10-155	2724/2810	1300	1360	1200	1330	1410	12 × φ30	50	10	1000	340	320	8 × φ27	2920	2500	990	1280	2170	1750	240	530	800	50	
YPV10-200	3823/3805 3805/3896																							
YPV11-250	4006/3522																							
YPV11-280	3522/3842 4006/3540 3540/3510	1300	1740	1300	1500	1600	12 × φ34	60	10	1310	400	400	8 × φ28	2940	2500	1020	850	2200	1750	240	100	800	60	
YPV12-320	4006/3582																							
YPV12-380	3582/3650 4006/3582 3582/3650	1300	1725	1300	1500	1600	12 × φ34	60	10	1310	400	400	8 × φ28	2940	2500	1020	850	2200	1750	240	100	800	60	

注: 1. 减速器选用高强度 V 带或窄 V 带, 承载能力比普通带高 50% 以上。

2. YP 型减速器主要用于医药、生物工程发酵罐上的搅拌装置。

3. 减速器采用 YJL 型立式三相异步电机, 一般为 380V、50Hz, 特殊要求需另行说明。

4. 中心距 A、输出轴直径 d 及键槽尺寸见表 16-2-176。

5. a 型减速器输出轴轴头有 I、II 型结构, b 型减速器一般只有 I 型轴头。I 型轴头配用 JQ 型联轴器 (表 16-2-181), 但 b 型减速器的联轴器材料需满足工艺介质要求。II 型轴头配 SF 型联轴器 (表 16-2-183)。

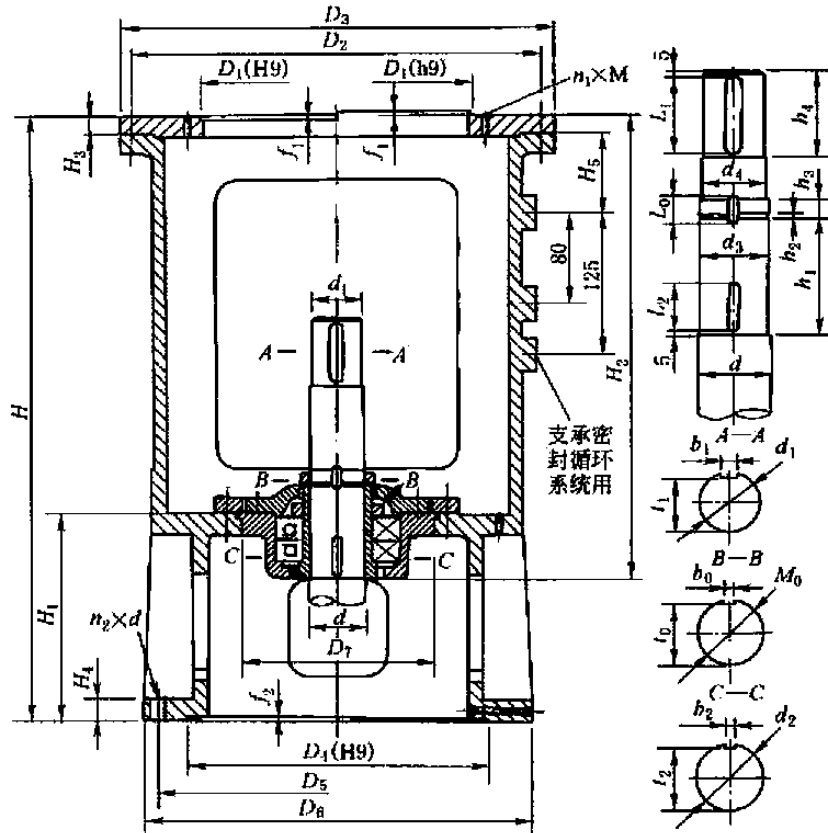
11.6.2 承载能力

表 16-2-176

减速机型号	电机型号	电机功率 /kW	电机转速 /r·min ⁻¹	传动比 <i>i</i>	输出轴转速 /r·min ⁻¹	中心距 <i>A</i> /mm	输出轴许 用转矩/N·m	输出轴尺寸/mm						质量 /kg
								<i>d</i>	<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₂	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	
YPV7-65	YJL12-10	65	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	1445~1202 1205~1052	6250 4800	100	220	170	140	28	90	1900
YPV7-75	YJL12-10	75	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	1445~1202 1205~1052	7200 5500	105	220	170	140	28	95	2200
YPV8-95	YJL12-10	95	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	1668~1370 1370~1376	9100 6000	120	240	220	180	32	109	3000
YPV9-115	YJL12-10	115	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	1875~1370 1370~1376	11000 7300	130	240	220	180	32	119	3200
YPV9-130	YJL12-8	130	735	5.9~4.0 3.9~2.45	125~185 190~300	1875~1370 1370~1376	10000 6900	130	240	220	180	32	119	3200
YPV10-130	YJL13-12	130	490	5.9~4.0 3.9~2.43	82~120 125~200	1875~1370 1370~1376	15200 10000	160	240	220	180	40	147	4600
YPV10-155	YJL13-10	155	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	1875~1432 1432~1560	15000 10000	160	260	230	205/2 20	40	147	5500
YPV10-200	YJL13-10	200	590	5.9~2.36	100~145 150~250	2126~2360 2360~2450	19100	160	250	230	205/2 20	40	147	5500
YPV10-250	YJL1410-12	250	490	5.9~4.0 3.9~2.36	82~120 125~200	2126~1830 1890~1830	29000 19100	200	330	280	270	45	185	6000
YPV12-280	YJL1410-10	280	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	2126~1940 1940~1930	27000 18000	200	330	280	270	45	185	6500
YPV12-320	YJL1410-12	320	490	5.9~4.0 3.9~2.36	82~120 125~200	2126~1885 1898~1952	37000 25000	220	330	280	270	50	203	8000
YPV12-380	YJL1410-10	380	590	5.9~4.0 3.9~2.36	100~145 150~250	2126~1885 1898~1952	37000 25000	220	330	280	270	50	203	8500

11.7 釜用减速器附件

11.7.1 XD 型单支点机架



标记示例

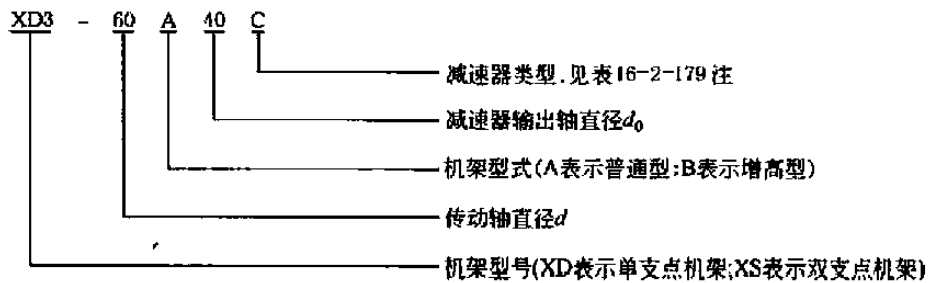


表 16-2-177

mm

机架型号	机架公称直径 $D_1(H9)$	传动轴直径 d	传动轴上端轴径 d_1	传动轴轴端尺寸																
				M_0	$d_2(H9)$	d_3	d_4	h_1	h_2	h_3	h_4	L_1	L_0	L_2	b_1	b_0	$b_2(N9)$	t_1	t_0	t_2
XD1	200	30	20(k6)	M25 × 1.5	25	22.8	22	97	3	15	48	40	23	30	6	5	5	16.5	21	22
		40	30(k6)	M35 × 1.5	35	32.8	32	97	3	15	48	40	24	30	8	6	6	26	31	31.5
XD2	250	50	40(k6)	M45 × 1.5	45	42.8	42	105	3	15	58	50	24	30	12	6	6	35	41	41.5
		60	45(k6)	M55 × 2	55	52	50	115	4	18	68	60	30	40	14	8	8	39.5	51	51
XD3	300	70	55(m6)	M65 × 2	65	62	60	125	4	18	83	75	30	40	16	8	8	49	61	61
		60	45(k6)	M55 × 2	55	52	50	125	4	18	68	60	30	40	14	8	8	39.5	51	51
		80	65(m6)	M75 × 2	75	72	70	139	4	18	98	90	32	50	18	10	10	58	69	70

机架型号	机架公称直径 D_1 (H9/h9)	传动轴轴径 d	传动轴上端轴径 d_1	传动轴轴端尺寸																
				M_0	d_2 (h9)	d_3	d_4	h_1	h_2	h_3	h_4	L_1	L_0	L_2	b_1	b_0	b_2 (N9)	t_1	t_0	t_2
XD4	400	90	75(m6)	M85 × 2	85	82	80	162	4	18	108	100	32	50	20	10	10	67.5	79	80
		100	85(m6)	M95 × 2	95	92	90	166	4	22	118	110	38	50	22	12	12	76	89	90
XD5	500	100	85(m6)	M95 × 2	95	92	90	166	4	22	118	110	38	50	22	12	12	76	89	90
		110	90(m6)	M100 × 2	100	97	95	166	4	22	118	110	38	50	25	12	12	81	94	95
		120	100(m6)	M110 × 2	110	107	105	177	4	22	128	120	40	60	28	14	14	90	104	104.5
		130	110(m6)	M120 × 2	120	117	115	177	4	26	138	130	44	70	28	14	14	100	114	114.5
XD6	700	120	100(m6)	M110 × 2	110	107	105	177	4	22	128	120	40	60	28	14	14	90	104	104.5
		130	110(m6)	M120 × 2	120	117	115	177	4	26	138	130	44	70	28	14	14	100	114	114.5
		140	120(m6)	M130 × 2	130	127	125	197	4	26	153	145	44	70	32	14	14	109	122	124.5
		160	140(m6)	M150 × 2	150	147	145	207	4	30	168	160	50	70	36	16	16	128	142	144
XD7	900	140	120(m6)	M130 × 2	130	127	125	197	4	26	153	145	44	70	32	14	14	109	122	124.5
		160	140(m6)	M150 × 2	150	147	145	207	4	30	168	160	50	70	36	16	16	128	142	144
		180	160(m6)	M170 × 3	170	166	165	227	4	32	198	190	52	80	40	16	16	157	162	164
		200	180(m6)	M190 × 3	190	186	185	242	4	32	238	230	54	90	45	18	18	175	180	182

机架型号	机架公称直径 D_1	传动轴轴径 d	传动轴上端轴径 d_1	减速机输出轴轴径 d_0	输入端接口	输出端接口					外形及其他尺寸										质量 /kg		
						D_4	D_5	D_6	$n_2 \times d$	f_2	A型			B型			H_3	H_4	H_5	D_7 (H8/H7)	轴承型号	A型	B型
											H	H_1	H_2	H	H_1	H_2							
XD1	200	30	20	12	245 H8	295	340	8 × φ22	6	575	220	415	730	295	495	17	24	85	180	46209	57	61	
				14								415			495								
		40	30	18								415			495					46209	57	61	
				25																			
		50	40	30								556			681					46214	106	116	
				35																			
XD2	250	60	45	40	290 H8	350	395	12 × φ22	6	750	268	556	995	388	681	20	30	100	245	46214	107	117	
				35																			
				40																			
				45																			
		70	55	45								565			690					46217	104	114	
				50																			
				55																			
				30																			
XD3	300	60	45	35	320 H8	400	445	12 × φ22	6	795	279	595	1040	399	720	20	30	100	280	46216	153	164	
				40																			
				45																			
				40																			
				50																			
				55																			
		80	65	55								606			731					46218	149	160	
				60																			
				65																			

续表

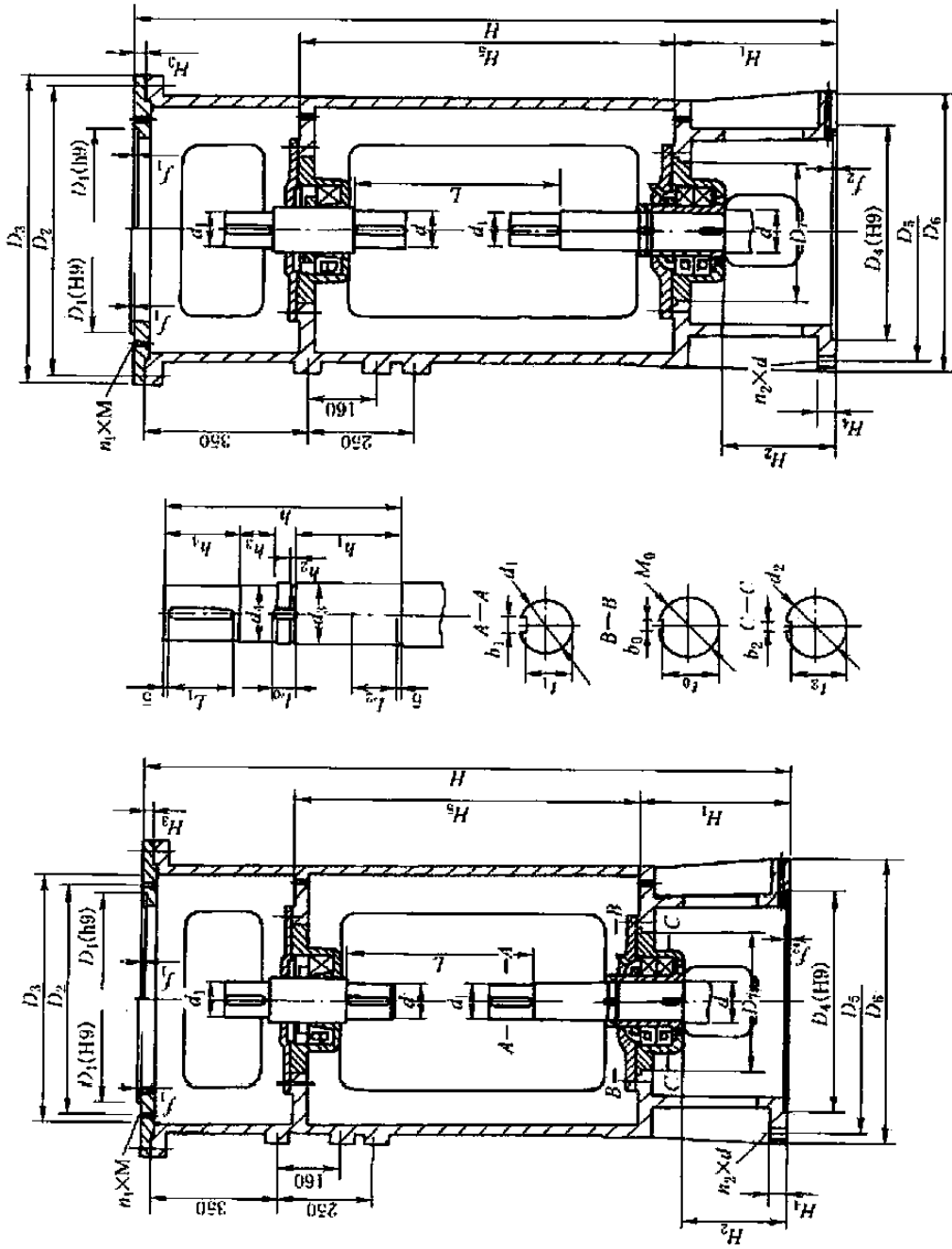
机架型号	机架公称直径 D_1	传动轴直径 d	传动轴上端轴径 d_1	减速器输出轴轴径 d_0	输入端接口	输出端接口					外形及其他尺寸										质量 /kg					
						D_4	D_5	D_6	$n_2 \times d$	f_2	A型			B型			H_3	H_4	H_5	D_7 (H8/IT)	轴承型号	A型	B型			
											H	H_1	H_2	H	H_1	H_2										
XD4	400	90	75	55	415 H9	515	565	$16 \times \phi 26$	6	890	310	691	1115	420	25	35	100	310	46222	251	265					
				65																		691	806			
		70																								
		65	46222	256																				270		
70																										
80																										
XD5	500	100			85	60	520 H9	620	670	$20 \times \phi 26$	6	1075	369	821	1325	494	30	40	140	335	46224	409	435			
			70																							
			80																							
		70	821	946																						
		80																								
		90																								
		90			829	954																				
		95																								
		100																								
		95																						829	954	
100																										
110																										
90	909	1024																								
95																										
100																										
95			909	1024																						
100																										
110																										
100					1415	514																				
110																										
120							927	1042																		
120																										
120	943	1058																								
130																										
140																										
XD6			700	120					100	90	670 H9	780	830	$28 \times \phi 26$	6	1185	399	1415	514	35	45	100	400	46228	729	766
										95																
										100																
				95	909	1024																				
				100																						
				110																						
				100			1415	514																		
	110																									
	120	927		1042																						
	120																									
120	943		1058																							
130																										
140																										
XD7					900	140			120	100	940 H9	1070	1124	$40 \times \phi 30$	6.4	1320	440	1560	570	40	50	140	520	46232	985	874
										110																
										120																
						120	1021	1141																		
						130																				
		140																								
		140		1037		1157																				
	140																									
	150	1050	1170																							
	160																									
160	1070				1190																					
170																										
180																										
160							46234	1000	889																	
170																										
180																										
170				46240		1010				899																
180																										
180																										
180		46244	1032								921															
180																										

见表16-2-179

注：1. A型机架适用于2001、2003、2004、2006、2008型机械密封，B型机架适用于2002、2005、2007型机械密封或506、516、606、616型填料密封（见手册第10篇）。

2. 减速器输出轴为Ⅱ型轴头时可选用单支点机架，但宜用于搅拌不强烈、功率及轴承载荷较小的场合。联轴器应选用GT、DF型（表16-2-182）。

11.7.2 XS 型双支点机架



标记示例
见 XD 型

XS4、XS6、XS6、XS7型双支点机架

XS3型双支点机架

表 16-2-178

mm

机架 型号	机架 公称 直径 D_1	传动 轴轴 径 d	传动 轴上 端轴 径 d_1	减速机输 出轴径 d_0	输入 端接 口				输出端接口				外形及其他尺寸												轴承型号		质量/kg																	
					D_4 (H9)	D_5	D_6	$n_2 \times d$	f_2	A 型				B 型				H_3	H_4	D_7	上部	下部	A 型	B 型																				
										H	H_1	H_2	H_3	L	H	H_1	H_2								H_3	L																		
XS3	300	60	45	35, 40, 45	320, 400	445	12 × φ22	6	6	200	343	320	433	280	153513	46216	196	207	153516	46216	198	209	153518	46218	203	214																		
		70	55	45, 50, 55						200	387	320	512														309	311	568	311	810	588												
		80	65	55, 60, 65						189	417	309	542														311	810	588	311	810	588												
XS4	400	90	75	55, 65, 70	415	515	16 × φ26	6	6	201	453	311	568	310	153520	46222	343	357	153524	46222	356	370	153524	46224	546	572																		
		100	85	65, 70, 80						201	473	311	588														311	810	588	311	810	588												
		100	85	65, 70, 80						254	476	379	591														379	591	379	591	379	591												
XS5	500	110	90	70, 80, 90	520	620	20 × φ26	6	6	254	506	379	651	335	153524	46226	561	587	153528	46228	566	592	153532	46230	578	604																		
		120	100	90, 95, 100						246	526	371	671														30	40	335	371	671	699												
		130	110	95, 100, 110						246	574	371	699														30	40	335	371	699	699												
XS6	700	120	100	90, 95, 100	670	780	28 × φ26	6	6	276	526	391	671	400	153528	46228	981	1018	153532	46230	991	1028	153534	46232	998	1035																		
		130	110	95, 100, 110						276	574	391	699														35	45	400	391	1085	729												
		140	120	100, 110, 120						258	604	373	729														35	45	400	373	729	767												
XS7	900	160	140	120, 130, 140	940	1070	124.40 × φ30	6.4	2150, 426	242	652	357	767	490	153538	46234	1500	1600	153538	46234	153540	46240	153544	46244	990	1027																		
		140	120	100, 110, 120						285	604	409	729														40	50	490	409	729	767												
		160	140	120, 130, 140						269	652	393	1250														40	50	490	393	1250	832												
XS3	300	60	45 (k6)	M55 × 2	60	52	50	322	125	4	15	68	40	14	8	51	51	60	75	90	100	110	118	125	166																			
		70	55 (m6)	M65 × 2																						62	60	278	125	4	15	83	40	16	8	61	61	75	90	100	110	118	125	166
		80	65 (m6)	M75 × 2																						72	70	264	139	4	18	98	32	18	50	20	10	70	70	90	100	110	118	125
XS4	400	90	75 (m6)	M85 × 2	90	82	80	322	162	4	18	108	50	22	12	89	90	75	90	100	110	118	125	166																				
		100	85 (m6)	M95 × 2																					92	90	317	166	4	22	118	50	22	12	89	89	100	110	118	125	166			
		100	85 (m6)	M95 × 2																					92	90	317	166	4	22	118	50	22	12	89	89	100	110	118	125	166			

传动轴轴端尺寸

机架 型号	机架 公称 直径 D_1	传动轴 轴径 d	传动 轴上 端轴 径 d_1	M_0	d_2 (H9)	d_3	d_4	h	h_1	h_2	h_3	h_4	L_1	L_0	L_2	b_1 (N9)	b_0	b_2 (N9)	f_1	t_0	t_2
XS3	300	70	55 (m6)	M65 × 2	65	62	60	278	125	4	15	83	75	27	40	16	8	8	49	61	61
		80	65 (m6)	M75 × 2	75	72	70	264	139	4	18	98	90	32	50	18	10	10	58	69	70
XS4	400	90	75 (m6)	M85 × 2	85	82	80	322	162	4	18	108	100	32	50	20	10	10	67.5	79	80
		100	85 (m6)	M95 × 2	95	92	90	317	166	4	22	118	110	38	50	22	12	12	76	89	90

机架 型号	机架 公称 直径 D_1	传动 轴轴 径 d	传动 轴上 端轴 径 d_1	传动轴轴端尺寸																
				M_0	d_2 (h9)	d_3	d_4	h	h_1	h_2	h_3	h_4	L_1	L_0	L_2	b_1 (N9)	b_0	b_2 (N9)	t_1	t_0	$t_2$
XS5	500	100	85 (m6)	M95 × 2	95	92	90	490	166	4	22	118	110	38	50	22	12	76	89	90
		110	90 (m6)	M100 × 2	100	97	95	420	166	4	22	118	110	38	50	25	12	81	94	95
		120	100 (m6)	M110 × 2	110	107	105	413	177	4	22	128	120	40	60	28	14	90	104	104.5
XS6	700	130	110 (m6)	M120 × 2	120	117	115	370	177	4	26	138	130	44	70	28	14	100	114	114.5
		120	100 (m6)	M110 × 2	110	107	105	508	177	4	22	128	120	40	60	28	14	90	104	104.5
		130	110 (m6)	M120 × 2	120	117	115	465	177	4	26	138	130	44	70	28	14	100	114	114.5
XS7	900	140	120 (m6)	M130 × 2	130	127	125	468	197	4	26	153	145	44	70	32	14	109	122	124.5
		160	140 (m6)	M150 × 2	150	147	145	441	207	4	30	168	160	50	70	36	16	128	142	144
		140	120 (m6)	M130 × 2	130	127	125	468	197	4	26	153	145	44	70	32	14	109	122	124.5
XS7	900	180	160 (m6)	M170 × 3	170	166	165	496	227	4	32	198	190	52	80	40	16	157	162	164
		200	180 (m6)	M190 × 3	190	186	185	536	242	4	32	238	230	54	90	45	18	175	180	182

注: 1. 减速器输出轴为 II 型轴头时可选用双支点机架, 用于搅拌强烈、功率及轴承载荷较大的场合。联轴器应选用 TK 型弹性联轴器 (表 16-2-184)。
2. A、B 型机架适用场合见表 16-2-177 注 1。

表 16-2-179

XD、XS 型机架输入端接口尺寸

mm

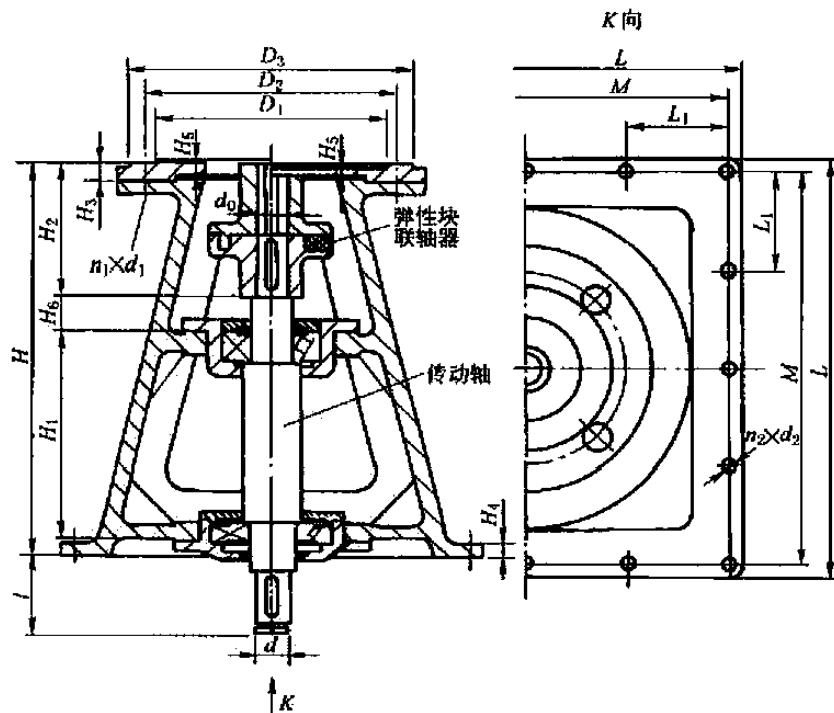
减速器 输出轴 径 d_0	减速器 类别代 号	D_1	D_2	D_3	$n_1 \times M$	f_1	减速器 输出轴 径 d_0	减速器 类别代 号	D_1	D_2	D_3	$n_1 \times M$	f_1
12	Z	65	100	120	4 × M6	3	70	Z	316	360	400	8 × M16	6
14	Z	85	120	140	4 × M8	3		C	320 316	360	400	8 × M16	5
18	Z	100	134	160	4 × M8	4		Z	345	390	430	8 × M16	6
25	Z	130	160	180	6 × M8	4	80	Z ₁	316	360	400	8 × M12	6
	C	170	200	230	6 × M10	3		C	360	410	460	8 × M20	6
30	C	200	230	260	6 × M12	4		90	Z	400	450	490	12 × M16	8
35	Z	170	200	230	6 × M10	5	C		360	410	460	8 × M20	6
	C	230	260	290	6 × M12	4	95	Z	400	450	490	12 × M16	8
40	Z	170	200	230	6 × M10	5		Z ₁	455	520	580	12 × M20	10
	C	230	260	290	6 × M12	4	100	Z	455	520	580	12 × M20	10
45	Z	200	230	260	6 × M10	5		C	470	520	580	12 × M20	6
	C	230	260	290	6 × M12	4	110	Z	520	590	650	12 × M20	12
50	Z	200	230	260	6 × M10	5		C	470	520	580	12 × M20	6
	C	270	305	340	8 × M16	5	120	Z	520	590	650	12 × M20	12
55	Z	270	310	340	6 × M10	5		C	550	600	660	12 × M20	6
	C	270	305	340	8 × M16	5	130	Z	680	800	880	12 × M30	12
60	C	320	360	400	8 × M16	5		C	680	800	880	12 × M30	8
65	Z	316	360	400	8 × M12	6	140	Z	680	800	880	12 × M30	12
	Z ₁	270	310	340	6 × M10	5							

注：1. 减速器类别代号，Z为XL系列摆线针轮减速器及CFL型行星齿轮减速器；C为LC型减速器。若选用LPJ、LPB型减速器，需与制造厂联系，作适当调整。

2. 一种规格机架配用两种规格减速器，所以机架输入端接口尺寸不同，分别用Z、Z₁表示。

3. 减速器输出轴径 $d_0 > 140\text{mm}$ 的接口尺寸需与制造厂联系。

11.7.3 FZ 型双支点方底板机架



标记示例

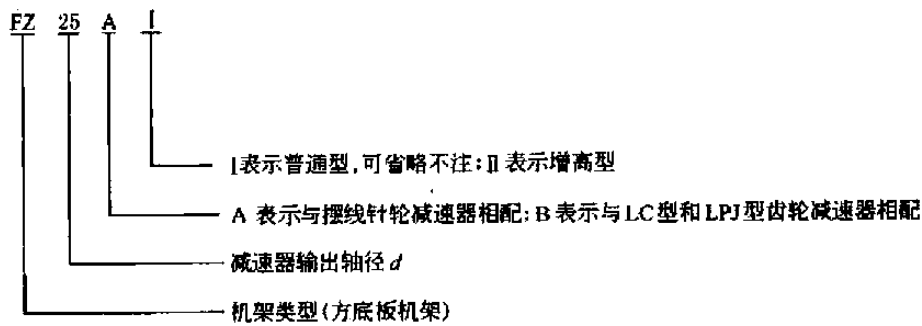


表 16-2-180

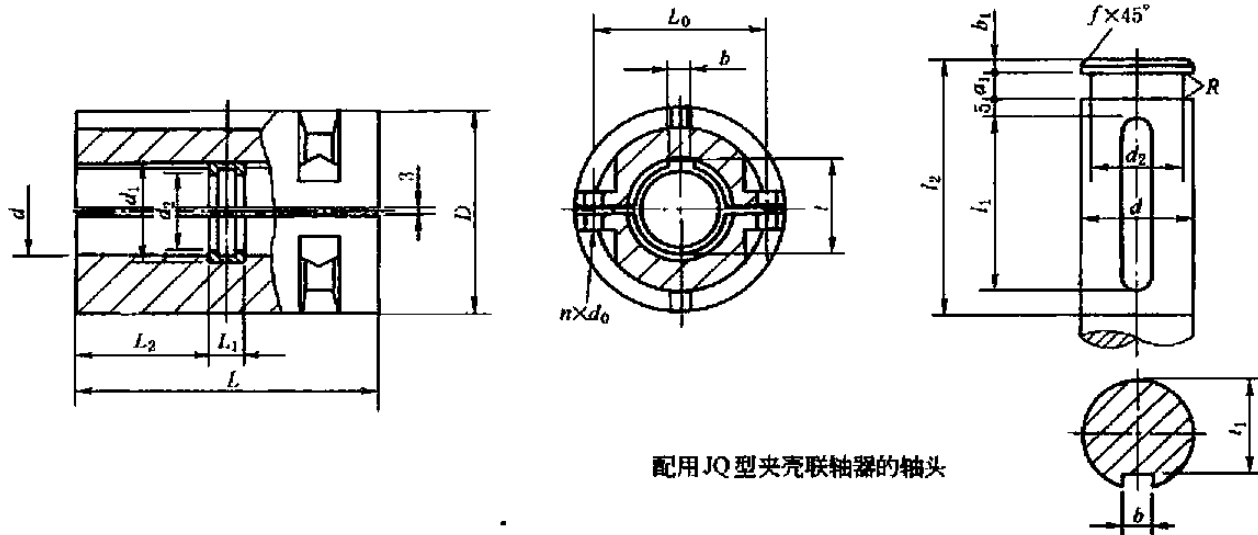
mm

型号	通用尺寸						输入端接口					输出端接口					I型			II型			
	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	i	D_1	D_2	D_3	d_0	$n_1 \times d_1$	L	L_1	M	d	$n_2 \times d_2$	H	H_1	质量/kg	H	H_1	质量/kg	
FZ25A				4			130	160	180	25	6 × M8				30								
FZ30A	130	20	25	5	80	100	140	160	190	30	4 × M10	400	170	340	35	8 × φ14	630	380	167	800	550	198	
FZ30B				4			200	230	260	30	6 × M12				40								
FZ35A	155			5	55		170	200	230	35	6 × M10				40								
FZ40B				4			230	260	290	40	6 × M12				45								
FZ45A	220	20	30	5	I型 60 II型 45	130	200	230	260	45	6 × M10	585	175	525	50	12 × φ18	765	440	383	900	590	460	
FZ50B				5			270	305	340	50	8 × M16				55								
FZ55A	280	25	30	6	50	200	270	310	340	55	6 × M10	800	240	720	60	12 × φ22	900	520	547	1100	720	656	
FZ70B				5			320	360	400	70	8 × M16				75								
FZ80A	330			6	90		345	390	430	80	8 × M16				85								
FZ80B				5			360	410	460	80	8 × M20				95								
FZ90A	365	30	40	7	55	250	400	450	490	90	12 × M16	1060	250	1000	95	16 × φ22	1045	600	980	1360	900	1100	
FZ95A				9			455	520	580	95					100								
FZ100A	385			9	35		455	520	580	100	12 × M20				110								
FZ100B				5			470	520	580	100													
FZ110A	450	40	45	11	45	300	520	590	650	110	12 × M20	1260	300	1200	120	16 × φ22	1200	668	1600	1600	1068	1450	
FZ130A				9			680	800	880	130	12 × M30				140								
FZ140				11			680	800	880	140	12 × M30				150								
FZ150	540	45	50	14	120	370	根据所选减速器而定					1470	350	1400	160	20 × φ27	1400	700	2200	1800	1100	1495	
FZ160				10											180								
FZ180	565	50	60	14	190	370						1670	400	1600	200	20 × φ33	1700	880	2800	2000	1180	1720	

注: 1. FZ型机架适用于常压、敞开式搅拌槽上支承减速器。机架包括传动轴和弹性块联轴器。减速器输出轴通过弹性块联轴器与传动轴连接(见图), 传动轴下方通过JQ型夹壳型联轴器在槽内与搅拌轴连接, 详细尺寸见表16-2-181。

2. 选用者根据要求的轴承间距 H_1 值选择I型或II型机架。

11.7.4 JQ 型夹壳联轴器



配用JQ型夹壳联轴器的轴头

标记示例

- 1) 内孔直径 $\phi 40\text{mm}$, HT200 材质的夹壳联轴器: 联轴器 JQ40
- 2) 内孔直径 $\phi 50\text{mm}$, 材质为 ZG0Cr18Ni9 的夹壳联轴器: 联轴器 JQ50-ZG0Cr18Ni9

表 16-2-181

mm

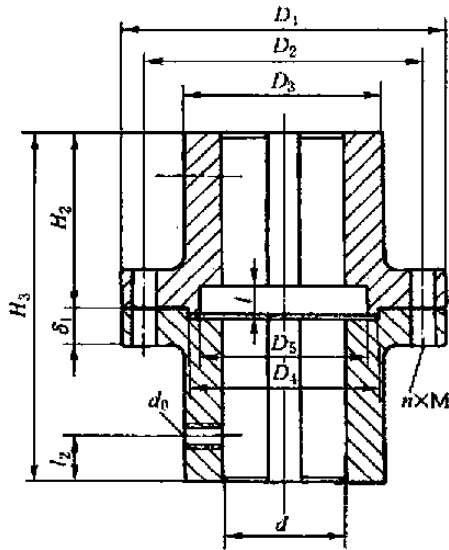
标定 符号	孔径 d (H7/ h6)	许用转 矩 /N·m	D	L	L_1 (H8/ j7)	L_2	L_0	$n \times d_0$	d_1 (H11/ h11)	d_2 (H11)	a_1 (H11)	b_1	l_1	l_2	R	f	b	l	l_1	质量 /kg
JQ-25	25	90	95	110	20	45	58	4 × $\phi 12$	32	20	5	4	35	60	0.2	0.4	8	28.3	21	4.47
JQ-30	30	90	102	130	20	55	64	4 × $\phi 14$	38	25	5	4	45	70	0.2	0.4	8	33.3	26	4.47
JQ-35	35	236	118	162	20	71	80	6 × $\phi 14$	43	30	5	4	55	85	0.4	0.6	10	38.3	30	7.60
JQ-40	40	236	118	162	20	71	80	6 × $\phi 14$	48	35	5	4	55	85	0.4	0.6	12	43.3	35	7.60
JQ-45	45	530	135	190	24	83	94	6 × $\phi 14$	57	37	6	5	70	100	0.4	0.6	14	48.8	39.5	10.85
JQ-50	50	530	135	190	24	83	94	6 × $\phi 14$	62	42	6	5	70	100	0.4	0.6	14	53.8	44.5	10.85
JQ-55	55	530	135	190	24	83	94	6 × $\phi 14$	67	47	6	5	70	100	0.6	1	16	59.3	49	10.85
JQ-60	60	1400	172	250	30	110	124	8 × $\phi 18$	73	50	8	6	100	130	0.6	1	18	64.4	53	25.06
JQ-65	65	1400	172	250	30	110	124	8 × $\phi 18$	78	55	8	6	100	130	0.6	1	18	69.4	58	25.06
JQ-70	70	1400	172	250	30	110	124	8 × $\phi 18$	83	60	8	6	100	130	0.6	1	20	74.9	62.5	25.06
JQ-80	80	2650	185	280	38	121	138	8 × $\phi 18$	94	70	10	8	110	145	0.6	1	22	85.4	71	30.16
JQ-85	85	2650	185	280	38	121	138	8 × $\phi 18$	99	75	10	8	110	145	0.6	1	22	90.4	76	30.16
JQ-90	90	5200	230	330	38	146	164	8 × $\phi 23$	105	80	10	8	140	170	0.6	1	25	95.4	81	56.38
JQ-95	95	5200	230	330	38	146	164	8 × $\phi 23$	110	85	10	8	140	170	0.6	1	25	100.4	86	56.38
JQ-100	100	5200	230	330	38	146	164	8 × $\phi 23$	115	90	10	8	140	170	0.6	1	28	106.4	90	56.38
JQ-105	105	5200	230	330	38	146	164	8 × $\phi 23$	120	95	10	8	140	170	0.6	1	28	111.4	95	56.38
JQ-110	110	9000	260	390	46	172	190	8 × $\phi 23$	125	100	12	10	160	200	0.6	1	28	116.4	100	90
JQ-115	115	9000	260	390	46	172	190	8 × $\phi 23$	130	105	12	10	160	200	0.6	1	32	122.4	104	90
JQ-120	120	9000	260	390	46	172	190	8 × $\phi 23$	135	110	12	10	160	200	0.6	1	32	127.4	109	90

标定符号	孔径 d (H7/h6)	许用转矩 /N·m	D	L	L_1 (H8/j7)	L_2	L_0	$n \times d_0$	d_1 (H11/h11)	d_2 (H11)	a_1 (H11)	b_1	l_1	l_2	R	f	b	t	t_1	质量 /kg
JQ-125	125	15000	280	440	54	193	210	10 × $\phi 23$	140	115	14	12	180	225	0.6	1	32	132.4	114	125
JQ-130	130	15000	280	440	54	193	210	10 × $\phi 23$	146	118	14	12	180	225	0.6	1	32	137.4	119	125
JQ-140	140	15000	300	440	54	193	230	10 × $\phi 23$	158	128	14	12	180	225	0.6	1	36	148.4	128	125
JQ-150	150	28000	340	500	64	218	260	10 × $\phi 33$	179	134	16	14	200	255	0.6	1	36	158.4	138	215
JQ-160	160	28000	340	500	64	218	260	10 × $\phi 33$	180	144	16	14	200	255	0.6	1	40	169.4	147	215
JQ-180	180	31000	380	560	72	244	300	10 × $\phi 33$	200	162	18	16	240	285	1	1.5	45	190.4	165	350
JQ-200	200	33750	420	640	80	280	340	10 × $\phi 33$	220	182	20	18	270	325	1	1.5	45	210.4	185	516

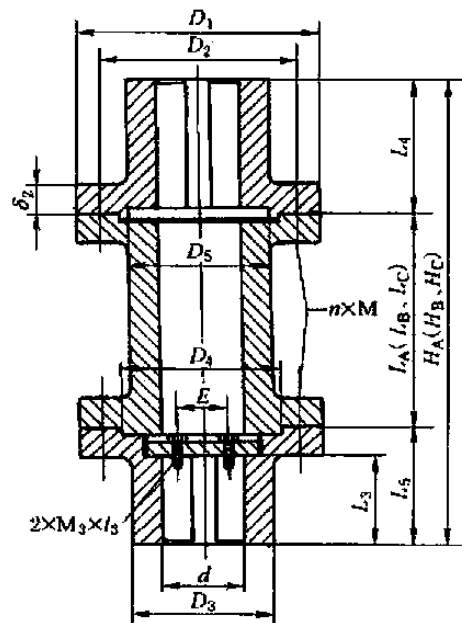
注：1. JQ型联轴器用于减速器采用无支点机架支承，减速器输出轴为I型轴头，与搅拌轴直接连接。

2. 表中所列许用转矩是以联轴器材料 HT200 为基准，若需承受较大转矩时可采用 ZG230-450、ZG270-500、ZG1Cr13、ZG0Cr18Ni9 等材料。

11.7.5 GT、DF 型刚性凸缘联轴器



GT型刚性凸缘联轴器



DF型带短节刚性联轴器

标记示例

1) GT型联轴器，上、下半联轴器孔径 $\phi 100\text{mm}$ ，高 192mm（按表中尺寸选取），材料 HT200；

联轴器 GT100

2) GT型联轴器，上半联轴器孔径 $\phi 100\text{mm}$ ，高 130mm，下半联轴器孔径 $\phi 110\text{mm}$ ，高 150mm，材料 ZG230-450；

联轴器 GT $\frac{100 \times 130}{110 \times 150}$ -ZG230-450

标记示例

1) 上半联轴器孔径 $\phi 80\text{mm}$ ，高 152mm，下半联轴器孔径 $\phi 80\text{mm}$ ，高 129mm，A型短节（按表中尺寸选取），材料 HT200；

联轴器 DFA $\frac{80 \times 152}{80 \times 129}$

2) 上半联轴器孔径 $\phi 80\text{mm}$ ，高 120mm，下半联轴器孔径 $\phi 80\text{mm}$ ，高 130mm，B型短节，材料 ZG 230-450；

联轴器 DFB $\frac{80 \times 120}{80 \times 130}$ -ZG230-450

表 16-2-182

mm

轴 径 <i>d</i>	许用 转矩 /N·m	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	<i>D</i> ₅	δ_1	δ_2	<i>n</i> × <i>M</i>	<i>d</i> ₀	<i>M</i> ₃ × <i>L</i> ₃	<i>L</i> ₃	<i>L</i> ₂	GT 系列			DF 系列								
														<i>H</i> ₂	<i>H</i> ₃	<i>l</i>	A 型		B 型		C 型				
																	<i>L</i> ₄	<i>L</i> ₅	<i>H</i> _A	<i>L</i> _A	<i>H</i> _B	<i>L</i> _B	<i>H</i> _C	<i>L</i> _C	<i>E</i>
20	40	100	80	40	38	30	15	15	3 × M8	M8	M5 × 12	50	20	—	—	—	55	62	272	155	352	235	227	110	①
25																	61	56								61	56
30	85	115	90	55	48	40	18	18	4 × M8	M8	M6 × 16	60	20	61	122	15	61	56	301	160	376	250	251	110	20
35	236	130	105	60	55	45	20	20	4 × M12								65	130								70	74	70	71
40		530	145	115	80	70	55	22	22	4 × M12	M8 × 18	70	20	81	162	15	90	79	339	170	429	260	279	110	25
45	95																74								
50	1400	200	170	120	100	85	28	28	12 × M12	M12	M10 × 20	100	25	102	204	20	102	101	383	180	508	305	313	110	30
55																	112	121								413	180	538	305	343	110
60	2650	220	185	130	120	100	35	35	8 × M16	M12	M12 × 25	110	30	162	324	25	129	471	190	586	305	401	120	35	
65																	152	129							501	220	646	365	411	130
70	5200	250	215	160	135	115	40	40	12 × M16	M12 × 25	130	35	192	384	25	152	149	521	220	666	365	441	140	50	
75																170	131								
80	9000	290	250	190	160	140	42	42	12 × M20	M16	140	35	170	169	30	170	169	569	230	694	355	479	140	60	
85																205	164								
90	15000	340	290	210	190	160	45	45	12 × M24	M16 × 30	155	45	222	444	35	212	157	599	230	724	355	519	150	60	
95																212	157								
100	28000	385	325	250	220	180	50	50	12 × M24	M16 × 30	170	45	222	444	40	212	157	599	230	724	355	519	150	60	
110																222	175								647	250	762	365	577	180
120	31000	400	340	270	250	200	50	50	12 × M30	M16 × 30	200	45	252	504	40	222	175	647	250	762	365	577	180	60	
125																252	209								711	250	826	365	671	210
130	33750	460	390	310	280	230	55	55	16 × M30	M20	M20 × 40	240	50	282	564	45	280	270	830	280	980	430	780	230	80
140																	280	270								830	280	980	430	780	230
150	33750	500	430	340	320	260	60	60	16 × M30	M20	M20 × 40	240	50	282	564	45	280	270	830	280	980	430	780	230	100
160																	280	270								830	280	980	430	780	230

① 轴径 $d \leq 35$ 时, *E* 尺寸按 GB 892 中 B 型轴端挡板尺寸选取。

注: 1. GT、DF 型联轴器适用于单支点机架(表 16-2-177), 输出轴为 II 型(普通型)轴头, 并在釜外与搅拌轴连接。

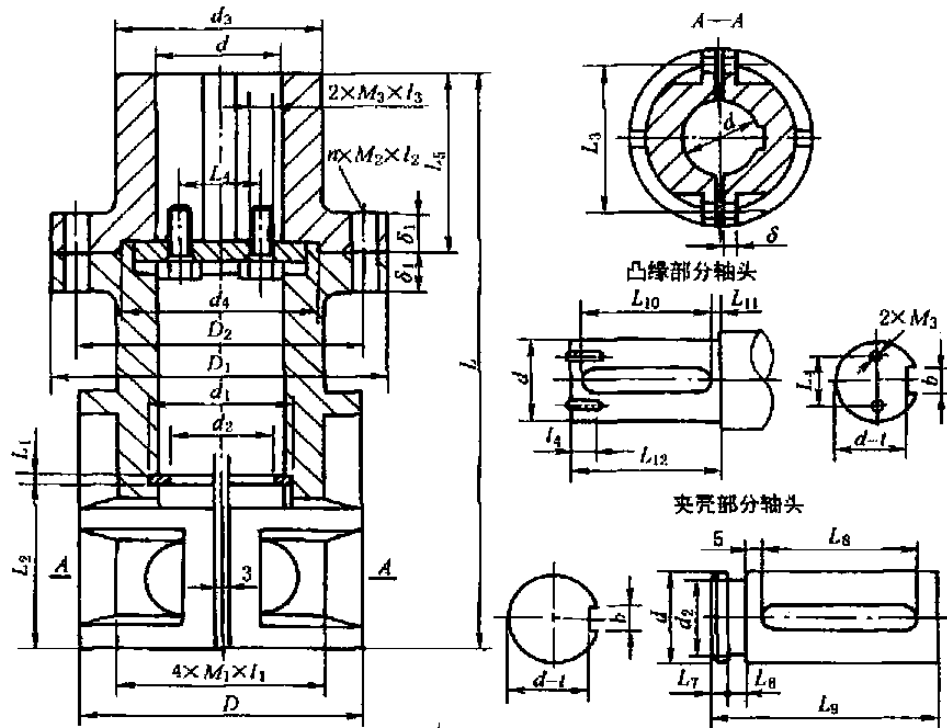
2. GT 型联轴器高度应根据机架安装空间和减速器输出轴伸长度作适当调整, 并将需要的高度在标记中注明。

3. DF 型联轴器带有中间短轴, 可以在拆除短节后使上下轴之间有足够间距, 方便密封及轴承拆装与检修。联轴器高度分

A、B、C 型三种, 根据拆装密封高度选择。

4. 许用转矩系指联轴器材料为 HT200 的数值。

11.7.6 SF 型三分式联轴器



标记示例

孔径 d 为 $\phi 40\text{mm}$, HT200 材料的三分式联轴器: 联轴器 SF40

表 16-2-183

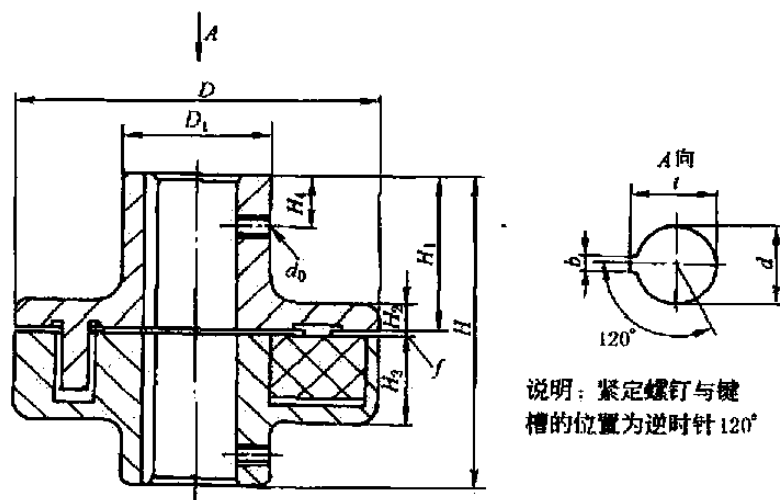
mm

标定 符号	孔径 d (H7)	许用 转矩 $/\text{N} \cdot \text{m}$	最高 转速 $/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	L	$M_1 \times l_1$	D	D_1	D_2	L_1	L_2	L_3	δ	d_1	d_2	$n \times M_2 \times l_2$	d_3	d_4	L_5	δ_1	$M_3 \times l_3$
SF30	30	85	760	230	M12 × 50	102	125	100	5	55	64	16	38	25	4 × M12 × 50	62	50	65	16	M6 × 16
SF35	35	236	655	256	M12 × 50	118	145	115	5	71	80	16	43	30	6 × M12 × 50	76	60	65	16	M6 × 16
SF40	40	236	655	256	M12 × 50	118	145	115	5	71	80	16	48	35	6 × M12 × 50	76	60	65	16	M6 × 16
SF45	45	530	560	285	M12 × 55	135	170	140	6	83	94	18	57	37	6 × M16 × 60	90	70	80	20	M8 × 18
SF50	50	530	560	285	M12 × 55	135	170	140	6	83	94	18	62	42	6 × M16 × 60	90	70	80	20	M8 × 18
SF55	55	530	560	285	M12 × 55	135	170	140	6	83	94	18	67	47	6 × M16 × 60	90	70	80	20	M8 × 18
SF60	60	1400	450	335	M16 × 65	172	210	180	8	110	124	22	73	50	6 × M16 × 70	120	85	100	24	M10 × 20
SF65	65	1400	450	335	M16 × 65	172	210	180	8	110	124	22	78	55	6 × M16 × 70	120	85	100	24	M10 × 20
SF70	70	1400	450	335	M16 × 65	172	210	180	8	110	124	22	83	60	6 × M16 × 70	120	85	100	24	M10 × 20
SF80	80	2650	405	375	M16 × 65	185	235	200	10	121	138	24	94	70	6 × M16 × 80	130	110	125	28	M12 × 25
SF90	90	5200	350	445	M20 × 90	230	290	245	10	146	160	30	105	80	6 × M20 × 95	160	125	170	32	M12 × 25
SF95	95	5200	350	445	M20 × 90	230	290	245	10	146	160	30	110	85	6 × M20 × 95	160	125	170	32	M12 × 25
SF100	100	5200	350	445	M20 × 90	230	290	245	10	146	160	30	115	90	6 × M20 × 95	160	125	170	32	M12 × 25
SF110	110	9000	310	535	M24 × 120	260	305	250	12	172	190	38	125	100	6 × M24 × 100	190	150	230	35	M12 × 25
SF125	125	9000	300	555	M24 × 120	260	305	250	12	172	190	38	140	115	6 × M24 × 100	190	150	230	35	M12 × 25
SF130	130	15000	250	605	M24 × 140	280	325	270	14	193	210	42	146	118	6 × M24 × 110	200	180	230	40	M16 × 30
SF140	140	15000	250	605	M24 × 140	300	340	290	14	193	230	42	158	128	6 × M24 × 110	220	200	230	40	M16 × 30
SF150	150	28000	200	685	M30 × 200	340	360	300	16	218	260	48	170	134	8 × M24 × 120	230	210	250	45	M16 × 30
SF160	160	28000	200	685	M30 × 200	340	380	320	16	218	260	48	180	144	8 × M24 × 120	250	220	250	45	M16 × 30
SF180	180	31000	150	740	M30 × 200	380	410	350	18	244	300	52	204	162	8 × M30 × 150	280	250	280	50	M20 × 35
SF200	200	33750	150	765	M30 × 220	420	440	380	20	280	340	56	228	182	8 × M30 × 160	310	280	300	55	M20 × 35

续表

标定 符号	d (k6)	夹壳部分轴头尺寸					凸缘部分轴头尺寸						共有尺寸		质量/kg	说 明
		d_2	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_4	M_3	l_4	b	t		
SF30	30	25	5	4	45	70	45	3	51	20	M6	18	8	4	9	(1) SF型联轴器适用于无支点机架,输出轴为Ⅱ型轴头,并在釜外与搅拌轴连接,用于拆装、检修密封不需要拆卸减速器的场合 (2) SF型联轴器上部为刚性凸缘半联轴器,下部为剖分式夹壳型联轴器,并与凸缘半联轴器用螺栓连接 (3) 拆开下部夹壳型联轴器后,减速器输出轴与搅拌轴之间有足够的间隙,方便密封拆装与检修 (4) 表中许用转矩以联轴器材料 HT200 为基准,若需承受较大转矩时可采用铸钢
SF35	35	30	5	4	55	85	56	3	61	20	M6	18	10	5	15	
SF40	40	35	5	4	55	85	56	3	61	20	M6	18	12	5	15	
SF45	45	37	6	5	70	100	70	3	75	25	M8	20	14	5.5	23	
SF50	50	42	6	5	70	100	70	3	75	25	M8	20	14	5.5	23	
SF55	55	47	6	5	70	100	70	3	75	25	M8	20	16	6	23	
SF60	60	50	8	6	100	130	90	3	95	30	M10	25	18	7	49	
SF65	65	55	8	6	100	130	90	3	95	30	M10	25	18	7	49	
SF70	70	60	8	6	100	130	90	3	95	35	M10	25	20	7.5	49	
SF80	80	70	10	8	110	145	110	5	120	35	M12	30	22	9	61	
SF90	90	80	10	8	140	170	160	3	165	50	M12	30	25	9	99	
SF95	95	85	10	8	140	170	160	3	165	50	M12	30	25	9	99	
SF100	100	90	10	8	140	170	160	3	165	50	M12	30	28	10	99	
SF110	110	100	12	10	160	200	220	2	224	50	M12	30	28	10	172	
SF125	125	115	12	10	160	200	220	2	224	50	M12	30	32	11	172	
SF130	130	118	14	12	180	225	220	2	224	60	M16	35	32	11	290	
SF140	140	128	14	12	180	225	220	2	224	60	M16	35	36	12	290	
SF150	150	134	16	14	200	255	220	5	230	60	M16	35	36	12	488	
SF160	160	144	16	14	200	255	220	5	230	60	M16	35	40	13	488	
SF180	180	162	18	16	230	285	250	5	260	60	M20	40	45	15	511	
SF200	200	182	20	18	270	325	270	5	280	60	M20	40	45	15	643	

11.7.7 TK 型弹性块式联轴器



说明: 紧定螺钉与键槽的位置为逆时针 120°

标记示例

- 1) 上半联轴器内孔 $\phi 40\text{mm}$, 高 80mm, 下半联轴器内径 $\phi 45\text{mm}$, 高 100mm, TK 型联轴器: 联轴器 TK40/45
- 2) 上半联轴器内孔 $\phi 40\text{mm}$, 高 80mm, 下半联轴器内孔 $\phi 45\text{mm}$, 高 85mm, TK 型联轴器, 联轴器材料为 ZG230-450:
联轴器 TK $\frac{40 \times 80}{45 \times 85}$ ZG230-450

表 16-2-184

mm

标定符号	孔径 $d(H7)$	许用转矩 /N·m	D	D_1	H	H_1	H_2	H_3	H_4	f	t	b	d_0	质量 /kg
TK-30	30	110	135	55	122	60	10	35	20	2 ± 1	33.3	8	M8	5
TK-35	35	350	175	75	162	80	15	42	20	2 ± 1	38.3	10	M8	10
TK-40	40	350	175	75	162	80	15	42	20	2 ± 1	43.3	12	M8	10
TK-45	45	860	180	90	202	100	15	50	25	2 ± 1	48.8	14	M12	17
TK-50	50	860	180	90	202	100	15	50	25	2 ± 1	53.8	14	M12	17
TK-55	55	860	180	90	202	100	15	50	25	2 ± 1	59.3	16	M12	17
TK-65	65	2400	245	120	263	130	20	60	25	3 ± 1	69.4	18	M12	35
TK-70	70	2400	245	120	263	130	20	60	25	3 ± 1	74.4	20	M12	35
TK-80	80	4600	285	145	323	160	25	62	30	3 ± 1	85.4	22	M12	60
TK-90	90	10500	355	180	384	190	30	65	35	4 ± 1	95.4	25	M16	135
TK-95	95	10500	355	180	384	190	30	65	35	4 ± 1	100.4	25	M16	135
TK-100	100	10500	355	180	384	190	30	65	35	4 ± 1	106.4	28	M16	135
TK-110	110	17500	420	220	444	220	35	70	35	4 ± 1	116.4	28	M16	170
TK-120	120	17500	420	220	444	220	35	70	35	4 ± 1	127.4	32	M16	170
TK-130	130	35500	450	250	444	220	40	80	35	4 ± 1	137.4	32	M16	221
TK-140	140	35500	450	250	444	220	40	80	35	4 ± 1	148.4	36	M16	221
TK-150	150	40000	500	270	504	250	45	90	40	4 ± 1	158.4	36	M16	304
TK-160	160	40000	500	290	504	250	45	90	40	4 ± 1	169.4	40	M16	320
TK-180	180	45000	550	310	560	278	50	100	40	4 ± 1	190.4	45	M20	410
TK-200	200	50000	550	340	620	308	50	100	40	4 ± 1	210.4	45	M20	462

注：1. TK 型弹性块式联轴器用于减速器采用双支点机架支承，减速器输出轴为Ⅱ型轴头（普通型），并与搅拌轴连接。通常，弹性块材料为橡胶，联轴器材料为铸钢时采用尼龙弹性块。

2. 表中所列许用转矩是以联轴器材料 HT200 为基准，若需承受较大转矩时可采用铸钢。

3. 标记中不注明材料的联轴器材料为 HT200，使用其他材料应注明材料牌号。当选用不同内径半联轴器或联轴器的高度与表列数值不一致时，均应标出规格（见标记示例）。

12 同轴式圆柱齿轮减速器（摘自 JB/T 7000—1993）

12.1 适用范围

TZL、TZS、TZLD、TZSD 系列同轴式圆柱齿轮减速器适用于冶金、矿山、能源、建材、化工等行业。

减速器齿轮圆周速度不大于 20m/s，允许正、反转。

减速器适用于水平卧式安装，允许输出轴向下倾斜安装，输出轴与水平面夹角不大于 20°。

减速器的工作环境温度：-40 ~ +40℃；低于 0℃时，启动前润滑油应预热。

TZLD、TZSD 型减速器直连电机为 Y 系列三相异步四极电动机。

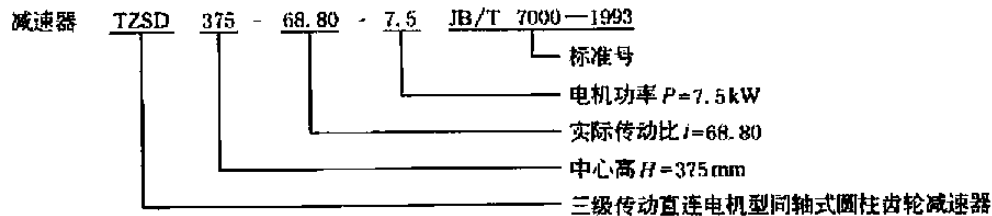
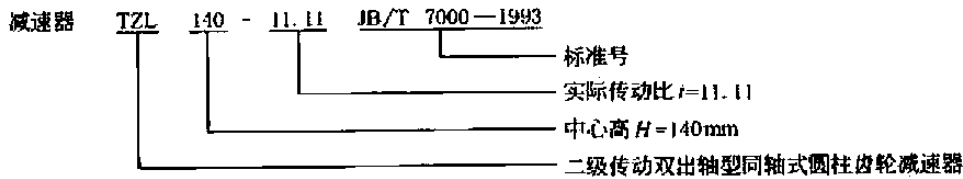
TZLD、TZSD 型减速器的工作海拔：不超过 1000m。

生产厂：江苏江阴齿轮箱厂。

12.2 代号与标记示例

TZL: 二级传动双出轴型同轴式圆柱齿轮减速器; TZS: 三级传动双出轴型同轴式圆柱齿轮减速器。

TZLD: 二级传动直连电机型同轴式圆柱齿轮减速器; TZSD: 三级传动直连电机型同轴式圆柱齿轮减速器。



12.3 外形、安装尺寸

TZL、TZS 型

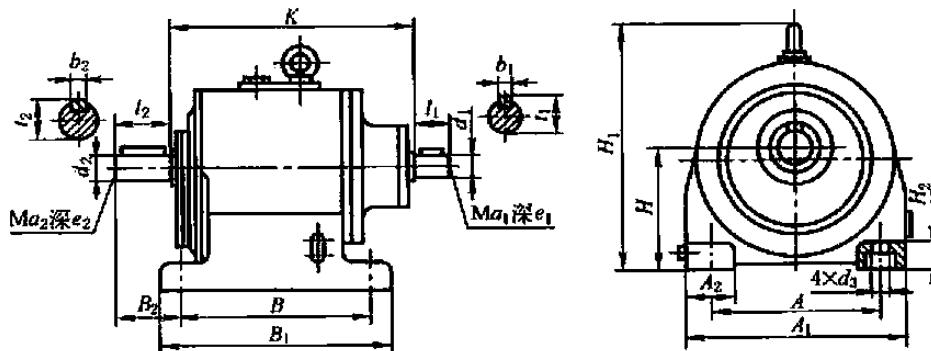


表 16-2-185

TZL、TZS 型减速器外形、安装尺寸

mm

机座号	d_2	l_2	b_2	l_2	Ma_2	e_2	H	B	B_1	B_2	H_1	K	A	A_1	A_2	H_2	d_3	质量 /kg ≈	润滑油量 /L ≈	
122	L	30j6	80	8	33	M8	12	112 ⁰ _{-0.5}	210	245	99	242	276	155	200	45	25	14.5	25	0.8
	S																		26	
140	L	40k6	110	12	43	M8	12	140 ⁰ _{-0.5}	230	270	144	290	314	170	230	60	30	18.5	41	1.1
	S																		42	
180	L	50k6	110	14	53.5	M8	12	180 ⁰ _{-0.5}	260	310	144	364	369	215	290	75	45	18.5	65	1.6
	S																		67	
225	L	60m6	140	18	64	M10	16	225 ⁰ _{-0.5}	310	365	182	468	433	250	340	90	50	24	123	2.9
	S																		127	
250	L	70m6	140	20	74.5	M12	18	250 ⁰ _{-0.5}	370	440	170	503	486	290	400	110	60	28	175	3.8
	S																		181	

续表

机座号		d_2	l_2	b_2	l_2	Ma_2	e_2	H	B	B_1	B_2	H_1	K	A	A_1	A_2	H_2	d_3	质量 /kg ≈	润滑油量 /L ≈
265	L	85m6	170	22	90	M16	24	265 ⁰ ₋₁	390	470	208	543	554	340	450	110	60	35	202	4.7
	S																		211	
300	L	100m6	210	28	106	M16	24	300 ⁰ ₋₁	365	455	246	620	568	380	530	150	60	42	281	6.5
	S								460	550			612						302	7.2
355	L	110m6	210	28	116	M16	24	355 ⁰ ₋₁	410	500	250	742	600	440	600	160	80	42	357	9.1
	S								480	570			645						386	10
375	L	120m6	210	32	127	M16	24	375 ⁰ ₋₁	450	540	255	778	671	500	660	160	80	42	452	12
	S								520	610			718						491	13
425	L	130m6	250	32	137	M20	30	425 ⁰ ₋₁	480	580	296	827	708	500	670	170	90	48	626	15
	S								550	650			757						675	17

注：L代表TZL，S代表TZS。

表 16-2-186

TZL 型减速器输入轴轴伸尺寸

mm

机座号	实际传动比 i	d_1	l_1	b_1	l_1	Ma_1	e_1	机座号	实际传动比 i	d_1	l_1	b_1	l_1	Ma_1	e_1	
TZL	112	≤12.71	19js6	40	6	21.5	M4	8	265	≤12.08	50k6	110	14	53.5	M8	12
		14.29 ~ 20.33	16js6	40	5	18	M4	8		14.40 ~ 17.51	32k6	80	10	35	M8	12
		≥22.97	11js6	23	4	12.5	M3	6		19.52	28js6	60	8	31	M6	10
	140	≤12.41	24js6	50	8	27	M6	10	300	≤12.73	55m6	110	16	59	M10	16
		13.96 ~ 18.08	19js6	40	6	21.5	M4	8		13.92 ~ 17.80	42k6	110	12	45	M8	12
		≥19.21	16js6	40	5	18	M4	8		≥20.29	38k6	80	10	41	M8	12
	180	≤12.40	28js6	60	8	31	M6	10	355	≤12.65	55m6	110	16	59	M10	16
		13.61 ~ 17.58	24js6	50	8	27	M6	10		14.51 ~ 20.13	50k6	110	14	53.5	M8	12
		19.72	19js6	40	6	21.5	M4	8		22.24	42k6	110	12	45	M8	12
225	≤12.53	38k6	80	10	41	M8	12	375	≤12.56	70m6	140	20	74.5	M12	18	
	13.85 ~ 18.29	28js6	60	8	31	M6	10		14.08 ~ 20.16	55m6	110	16	59	M10	16	
	≥20.65	24js6	50	8	27	M6	10		22.10	50k6	110	14	53.5	M8	12	
250	≤12.89	42k6	110	12	45	M8	12	425	≤12.58	70m6	140	20	74.5	M12	18	
	14.11 ~ 20.16	32k6	80	10	35	M8	12		13.97 ~ 19.32	55m6	110	16	59	M10	16	
	≥22.71	24js6	50	8	27	M6	10		22.44	50k6	110	14	53.5	M8	12	

表 16-2-187

TZS 型减速器输入轴轴伸尺寸

mm

机座号	实际传动比 i	d_1	l_1	b_1	t_1	Ma_1	e_1	机座号	实际传动比 i	d_1	l_1	b_1	t_1	Ma_1	e_1		
TZS	112	≤ 19.32	16j6	40	5	18	M4	8	TZS	265	≤ 17.96	32k6	80	10	35	M8	12
		≥ 21.66	11j6	23	4	12.5	M3	6			≥ 19.41	28j6	60	8	31	M6	10
	140	≤ 18.57	19j6	40	6	21.5	M4	8		300	≤ 17.26	42k6	110	12	45	M8	12
		≥ 20.59	16j6	40	5	18	M4	8			≥ 20.44	38k6	80	10	41	M8	12
	180	≤ 17.65	24j6	50	8	27	M6	10		355	≤ 19.67	50k6	110	14	53.5	M8	12
		≥ 20.42	19j6	40	6	21.5	M4	8			≥ 21.37	42k6	110	12	45	M8	12
	225	≤ 17.41	28j6	60	8	31	M6	10		375	≤ 19.89	55m6	110	16	59	M10	16
		≥ 20.30	24j6	50	8	27	M6	10			≥ 21.60	50k6	110	14	53.5	M8	12
	250	≤ 20.61	32k6	80	10	35	M8	12		425	≤ 19.90	55m6	110	16	59	M10	16
		≥ 23.28	24j6	50	8	27	M6	10			≥ 22.52	50k6	110	14	53.5	M8	12

TZLD、TZSD 型

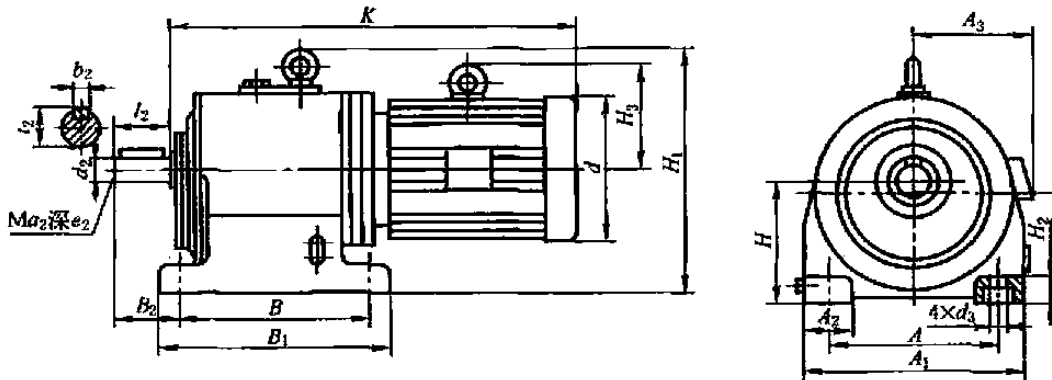


表 16-2-188

TZLD、TZSD 型减速器外形、安装尺寸

mm

机座号	d_2	l_2	b_2	t_2	Ma_2	e_2	H	B	B_1	B_2	H_1	A	A_1	A_2	H_2	d_3	润滑油量/L	
112	30j6	80	8	33	M8	12	$112_{-0.5}^0$	210	245	99	242	155	200	45	25	14.5	0.8	
140	40k6	110	12	43	M8	12	$140_{-0.5}^0$	230	270	144	290	170	230	60	30	18.5	1.1	
180	50k6	110	14	53.5	M8	12	$180_{-0.5}^0$	260	310	144	364	215	290	75	45	18.5	1.6	
225	60m6	140	18	64	M10	16	$225_{-0.5}^0$	310	365	182	468	250	340	90	50	24	2.9	
250	70m6	140	20	74.5	M12	18	$250_{-0.5}^0$	370	440	170	503	290	400	110	60	28	3.8	
265	85m6	170	22	90	M16	24	265_{-1}^0	390	470	208	543	340	450	110	60	35	4.7	
300	L	100m6	210	28	106	M16	24	300_{-1}^0	365	455	246	620	380	530	150	60	42	6.5
	460								550	7.2								
355	L	110m6	210	28	116	M16	24	355_{-1}^0	410	500	250	742	440	600	160	80	42	9.1
	480								570	10								
375	L	120m6	210	32	127	M16	24	375_{-1}^0	450	540	255	778	500	660	160	80	42	12
	520								610	13								

续表

机座号		d_2	t_2	b_2	t_2	Ma_2	e_2	H	B	B_1	B_2	H_1	A	A_1	A_2	H_2	d_3	润滑油量 /L ≈
425	L	130mm6	250	32	137	M20	30	425 ⁰ ₋₁	480	580	296	827	500	670	170	90	48	15
	S								550	650								17
电动机 功率 P_1/kW	电动机 机座号	d	A_3	H_3	机座号													
					TZLD													
					112	140	180	225	250	265	300	355	375	425				
					K 质量/kg													
1.1	90S	175	155	—	$\frac{453}{44}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	90L				$\frac{478}{49}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.2	100L ₁	205	180	142.5	—	$\frac{567}{76}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	100L ₂				—	$\frac{567}{80}$	$\frac{578}{94}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	112M	230	190	150	—	$\frac{587}{85}$	$\frac{598}{99}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.5	132S	270	210	180	—	—	$\frac{670}{133}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.5	132M				—	—	$\frac{715}{125}$	$\frac{826}{190}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	160M	325	255	222.5	—	—	—	$\frac{838}{245}$	$\frac{841}{279}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	160L				—	—	—	$\frac{883}{266}$	$\frac{886}{300}$	$\frac{918}{323}$	—	—	—	—	—	—	—	—
18.5	180M	360	285	250	—	—	—	$\frac{908}{304}$	$\frac{911}{338}$	$\frac{943}{361}$	$\frac{933}{458}$	—	—	—	—	—	—	—
22	180L				—	—	—	$\frac{948}{314}$	$\frac{951}{346}$	$\frac{983}{369}$	$\frac{958}{466}$	—	—	—	—	—	—	—
30	200L	400	310	280	—	—	—	—	$\frac{1002}{426}$	$\frac{1048}{449}$	$\frac{1049}{538}$	$\frac{1054}{606}$	—	—	—	—	—	—
37	225S	445	345	312.5	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1082}{567}$	$\frac{1098}{612}$	$\frac{1128}{687}$	—	—	—	—
45	225M				—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1107}{603}$	$\frac{1123}{648}$	$\frac{1153}{723}$	$\frac{1170}{863}$	—	—
55	250M	500	385	320	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1208}{766}$	$\frac{1238}{841}$	$\frac{1255}{970}$	—	—	—	—
75	280S	560	410	360	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1278}{901}$	$\frac{1308}{1076}$	$\frac{1325}{1105}$	—	—	—	—
90	280M				—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1308}{1006}$	$\frac{1358}{1081}$	$\frac{1375}{1210}$	—	—	—

续表

电动机 功率 P_1/kW	电动机 机座号	d	A_3	H_3	机座号									
					TZLD									
					112	140	180	225	250	265	300	355	375	425
					K 质量/kg									
0.55	80 ₁	165	150	—	$\frac{438}{40}$	$\frac{472}{53}$	$\frac{493}{78}$	$\frac{545}{130}$	$\frac{557}{179}$	—	—	—	—	—
0.75	80 ₂			—	$\frac{438}{41}$	$\frac{472}{54}$	$\frac{493}{79}$	$\frac{545}{131}$	$\frac{557}{180}$	—	—	—	—	—
1.1	90S	175	155	—	$\frac{453}{45}$	$\frac{487}{58}$	$\frac{517}{83}$	$\frac{560}{135}$	$\frac{573}{184}$	—	$\frac{659}{298}$	—	—	—
1.5	90L			—	$\frac{478}{50}$	$\frac{512}{63}$	$\frac{542}{88}$	$\frac{585}{140}$	$\frac{598}{189}$	—	$\frac{684}{298}$	—	—	—
2.2	100L ₁	205	180	142.5	—	$\frac{567}{77}$	$\frac{578}{92}$	$\frac{631}{142}$	$\frac{638}{196}$	$\frac{672}{222}$	$\frac{722}{310}$	$\frac{736}{402}$	$\frac{786}{487}$	$\frac{805}{642}$
3	100L ₂				—	$\frac{567}{81}$	$\frac{578}{96}$	$\frac{631}{146}$	$\frac{638}{200}$	$\frac{672}{226}$	$\frac{722}{314}$	$\frac{736}{406}$	$\frac{786}{491}$	$\frac{805}{646}$
4	112M	230	190	150	—	$\frac{587}{86}$	$\frac{598}{101}$	$\frac{651}{151}$	$\frac{658}{205}$	$\frac{692}{231}$	$\frac{742}{319}$	$\frac{756}{411}$	$\frac{806}{496}$	$\frac{825}{651}$
5.5	132S	270	210	180	—	—	$\frac{670}{135}$	$\frac{781}{181}$	$\frac{727}{225}$	$\frac{754}{256}$	$\frac{809}{344}$	$\frac{822}{436}$	$\frac{872}{521}$	$\frac{891}{676}$
7.5	132M				—	—	$\frac{715}{127}$	$\frac{826}{194}$	$\frac{772}{236}$	$\frac{799}{269}$	$\frac{854}{357}$	$\frac{867}{448}$	$\frac{917}{531}$	$\frac{936}{686}$
11	160M	325	255	222.5	—	—	—	$\frac{838}{249}$	$\frac{841}{285}$	$\frac{873}{311}$	$\frac{932}{399}$	$\frac{935}{488}$	$\frac{985}{573}$	$\frac{1004}{728}$
15	160L				—	—	—	$\frac{883}{270}$	$\frac{886}{306}$	$\frac{918}{332}$	$\frac{977}{420}$	$\frac{979}{509}$	$\frac{1029}{594}$	$\frac{1048}{749}$
18.5	180M	360	285	250	—	—	—	$\frac{908}{308}$	$\frac{911}{344}$	$\frac{943}{370}$	$\frac{1002}{458}$	$\frac{994}{547}$	$\frac{1044}{632}$	$\frac{1063}{787}$
22	180L				—	—	—	$\frac{948}{318}$	$\frac{951}{352}$	$\frac{983}{378}$	$\frac{1042}{466}$	$\frac{1034}{555}$	$\frac{1084}{640}$	$\frac{1103}{795}$
30	200L	400	310	280	—	—	—	—	$\frac{1002}{432}$	$\frac{1048}{458}$	$\frac{1093}{538}$	$\frac{1099}{635}$	$\frac{1149}{720}$	$\frac{1168}{862}$
37	225S	445	345	312.5	—	—	—	—	—	—	$\frac{1126}{567}$	$\frac{1143}{641}$	$\frac{1175}{726}$	$\frac{1194}{876}$
45	225M				—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1151}{603}$	$\frac{1168}{677}$	$\frac{1200}{762}$	$\frac{1219}{912}$
55	250M	500	385	320	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1253}{795}$	$\frac{1285}{880}$	$\frac{1304}{1019}$
75	280S	560	410	360	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1323}{930}$	$\frac{1355}{1115}$	$\frac{1374}{1154}$
90	280M				—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1353}{1035}$	$\frac{1405}{1120}$	$\frac{1424}{1259}$

注：L代表TZLD，S代表TZSD。

12.4 实际传动比及承载能力

本手册只收录TZL及TZS型减速器有关数据，TZLD及TZSD型减速器有关数据及选用计算详见厂家样本资料。

表 16-2-189

TZL 型减速器的实际传动比 i 和公称输入功率 P_1

kW

输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	机座号																			
	112		140		180		225		250		265		300		355		375		425	
	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1
1500	5.04	5.63	5.09	10.24	4.93	20.81	5.14	38.36	5.06	65.49	5.03	69.69	5.02	91.20	5.00	154.6	5.06	177.9	4.83	248.5
1000		3.76	5.09	6.83	4.93	13.87	5.14	25.58	5.06	43.66	5.03	46.47	5.02	60.86	5.00	103.2	5.06	118.8	4.83	165.7
750		2.82		5.13		10.42		19.20		32.76		34.85		45.80		77.36		88.99		124.8
1500		5.15		9.28		19.06		34.97		57.97		63.21		87.57		134.7		155.4		217.6
1000	5.52	3.43	5.62	6.19	5.38	12.71	5.64	23.32	5.72	38.65	5.64	42.15	5.77	58.40	5.74	89.88	5.79	103.9	5.51	145.2
750		2.58		4.65		9.55		17.49		28.99		31.62		43.79		67.39		77.76		108.9
1500		4.51		9.49		17.14		31.26		51.22		53.46		93.58		139.0		152.7		220.1
1000	6.30	3.01	6.15	6.32	6.17	11.43	6.31	20.85	6.47	34.15	6.34	35.65	6.24	62.39	6.36	92.69	6.46	101.8	6.10	146.8
750		2.26		4.75		8.59		15.65		25.63		26.74		46.81		69.62		76.43		110.2
1500		4.49		8.26		14.89		28.52		48.32		52.29		92.44		131.7		173.5		210.8
1000	7.24	2.99	7.07	5.51	7.10	9.93	7.36	19.02	7.35	32.22	7.22	34.87	7.34	61.63	7.31	87.92	7.23	115.7	7.00	140.6
750		2.25		4.14		7.45		14.27		24.18		26.16		46.25		65.88		86.85		105.7
1500		4.56		8.52		16.33		30.49		49.05		57.29		99.05		135.6		176.8		206.8
1000	7.96	3.04	7.78	5.68	7.93	10.89	7.97	20.33	8.05	32.71	7.99	38.20	7.97	66.05	8.15	90.46	8.04	117.9	7.79	137.9
750		2.29		4.27		8.17		15.26		24.53		28.67		49.53		67.94		88.50		103.7
1500		3.93		7.88		16.56		32.54		45.49		58.67		88.83		129.8		154.2		195.1
1000	9.23	2.62	9.01	5.25	8.88	11.02	9.02	21.69	9.32	30.33	8.88	39.12	8.89	59.24	9.12	86.55	9.22	102.9	8.70	130.2
750		1.97		3.95		8.27		16.29		22.76		29.34		44.43		64.96		77.18		97.65
1500		3.55		7.12		15.77		29.95		44.47		52.04		76.27		115.4		158.4		193.9
1000	10.22	2.37	9.99	4.75	9.61	10.51	10.28	19.97	10.07	29.65	10.01	34.70	10.35	50.86	10.25	76.95	10.26	105.7	9.77	129.4
750		1.78		3.57		7.89		14.99		22.25		26.03		38.14		57.81		79.25		96.97

表 16-2-190

TZS 型减速器的实际传动比 i 和公称输入功率 P_1

kW

机座号

输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	112		140		180		225		250		265		300		355		375		425		
	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	
1500		2.57		5.29	10.93	21.82		34.19		42.54		73.53		105.8		143.0		163.8			
1000	14.11	1.75	14.04	3.53	7.29	14.55	14.11	22.80	13.85	28.37	14.47	49.04	13.74	70.54	8.80	95.40	13.98	109.2			
750		1.29		2.65	5.47	10.92		17.10		21.28		36.78		52.91		71.56		81.95			
1500		2.38		4.83	9.58	19.01		29.46		36.95		63.36		94.36		127.5		138.3			
1000	15.26	1.59	15.35	3.22	6.39	12.68	16.19	19.65	16.08	24.64	16.67	42.25	15.95	62.91	15.47	85.20	16.55	92.25			
750		1.19		2.42	4.80	9.51		14.74		18.49		31.69		47.19		63.90		69.19			
1500		2.06		4.00	8.95	17.68		27.22		34.29		58.55		83.58		113.0		122.6			
1000	17.67	1.38	18.57	2.67	5.97	11.79	17.41	18.15	17.40	22.87	17.96	39.04	17.26	55.73	17.47	75.34	18.68	81.74			
750		1.04		2.01	4.48	8.85		13.62		17.16		29.29		41.80		56.51		61.31			
1500		1.88		3.61	7.73	15.17		22.98		31.73		49.43		73.43		99.24		115.0			
1000	19.32	1.26	20.59	2.41	5.15	10.12	20.30	15.34	20.61	21.16	19.41	32.96	20.44	48.96	19.89	66.17	19.90	76.68			
750		0.95		1.81	3.87	7.59		11.51		15.88		24.73		36.73		49.63		57.52			
1500		1.67		3.36	7.16	13.98		20.34		26.85		45.11		67.61		91.37		101.6			
1000	21.66	1.12	22.08	2.24	4.78	9.32	22.03	13.57	23.28	22.93	17.91	30.08	22.40	45.08	21.60	60.92	22.52	67.72			
750		0.84		1.69	3.59	6.99		10.18		13.44		22.57		33.82		45.70		50.81			
1500		1.46		3.09	6.07	12.82		18.72		24.96		39.26		58.45		78.99		89.77			
1000	24.84	0.98	24.06	2.06	4.05	8.55	24.01	12.48	25.31	24.67	16.64	26.18	25.74	38.97	24.98	52.67	25.50	59.85			
750		0.74		1.55	3.04	6.42		9.37		12.49		19.64		29.23		39.55		44.89			
1500		1.32		2.56	5.68	10.67		17.13		21.83		36.28		52.71		71.24		78.46			
1000	27.60	0.88	29.01	1.71	3.80	7.72	28.87	11.42	27.65	28.81	14.56	24.19	27.40	35.15	27.70	47.50	29.18	52.31			
750		0.66		1.29	2.86	5.34		8.57		10.93		18.15		26.37		35.63		39.24			
1500		1.20		2.34	4.94	9.83		15.16		19.46		30.84		45.92		62.19		72.99			
1000	30.36	0.81	31.78	1.56	3.30	6.56	31.34	10.11	31.24	31.64	12.98	20.57	31.46	30.62	31.73	41.47	31.36	48.67			
750		0.61		1.18	2.48	4.92		7.59		9.74		15.43		22.97		31.11		36.51			

输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	机座号																			
	112		140		180		225		250		265		300		355		375		425	
	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1
1500		1.05		2.03		4.52		8.96		13.40		17.30		28.42		41.47		55.73		63.93
1000	34.64	0.70	36.54	1.36	34.94	3.02	34.38	5.98	35.35	8.94	35.60	11.54	18.95	35.55	34.84	27.65	35.41	37.16	35.81	42.63
750		0.53		1.02		2.27		4.49		6.71		8.66		14.22		20.74		27.88		31.98
1500		0.91		1.85		3.95		8.01		11.80		15.19		25.49		36.06		49.79		57.83
1000	39.82	0.61	40.19	1.24	40.05	2.64	38.45	5.34	40.15	7.87	40.55	10.13	17.00	39.64	40.06	24.05	39.63	33.20	39.59	38.56
750		0.46		0.93		1.98		4.02		5.91		7.60		12.75		18.04		24.90		28.93
1500		0.83		1.59		3.43		6.87		10.78		13.73		21.88		32.36		44.83		50.39
1000	43.80	0.55	46.57	1.06	46.11	2.29	44.86	4.58	43.94	7.19	44.86	9.16	14.06	46.18	44.64	21.58	44.02	29.89	45.43	33.60
750		0.42		0.80		1.72		3.44		5.40		6.88		10.55		16.19		22.42		25.25
1500		0.71		1.44		3.07		6.34		9.31		12.36		20.19		28.92		39.09		45.28
1000	50.76	0.48	51.59	0.96	51.45	2.05	48.58	4.23	50.91	6.21	49.83	8.24	13.47	50.04	49.95	19.29	50.49	26.07	50.56	30.19
750		0.36		0.72		1.54		3.18		4.66		6.19		10.11		14.47		19.56		22.65
1500		0.65		1.29		2.74		5.60		8.62		10.96		17.79		25.72		35.09		40.52
1000	56.22	0.44	57.38	0.86	57.65	1.83	54.98	3.74	54.97	5.75	56.19	7.31	11.87	56.80	56.17	17.15	56.23	23.40	56.50	27.02
750		0.33		0.65		1.38		2.81		4.32		5.49		8.91		12.87		17.56		20.27
1500		0.58		1.16		2.53		4.92		7.64		9.85		16.27		23.70		31.34		36.07
1000	62.53	0.39	64.14	0.78	62.38	1.69	62.62	3.82	61.99	5.10	62.50	6.57	10.85	62.11	60.94	15.82	62.96	20.90	63.46	24.05
750		0.30		0.59		1.27		2.46		3.83		4.93		8.14		11.87		15.68		18.04
1500		0.52		1.03		2.24		4.49		6.73		9.08		14.10		20.85		28.68		31.92
1000	69.90	0.35	72.12	0.69	70.58	1.50	68.59	2.99	70.42	4.49	67.81	6.06	9.41	69.30	69.30	13.92	68.80	19.13	71.72	21.29
750		0.27		0.52		1.13		2.25		3.37		4.55		7.06		10.44		14.35		15.97
1500		0.46		0.91		1.96		4.03		6.15		7.62		12.72		18.17		25.58		28.02
1000	78.60	0.31	81.70	0.61	80.48	1.31	76.33	2.69	77.03	4.10	80.80	5.09	8.49	79.44	79.51	12.12	77.16	17.06	81.69	18.69
750		0.24		0.46		0.99		2.02		3.08		3.82		6.37		9.09		12.80		14.02

输入转速 n_1 /r·min ⁻¹	机座号																			
	112		140		180		225		250		265		300		355		375		425	
	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1	i	P_1
1500		0.41		0.80		1.79		3.46		5.54		6.93		11.16		16.25		22.17		25.22
1000	89.04	0.28	93.41	0.54	88.30	1.20	88.87	2.31	85.52	3.70	88.85	4.63	90.54	7.44	88.88	10.84	89.04	14.78	90.75	16.82
750		0.21		0.41		0.90		1.74		2.78		3.48		5.59		8.13		11.09		12.62
1500		0.35		0.75		1.54		3.11		4.81		6.26		10.15		14.38		20.15		22.01
1000	101.8	0.24	99.23	0.50	102.5	1.03	99.13	2.07	98.61	3.21	98.30	4.18	99.55	6.77	100.4	9.59	97.94	13.44	104.0	14.68
750		0.18		0.38		0.78		1.56		2.41		3.14		5.08		7.20		10.09		11.02
1500		0.33		0.66		1.39		2.76		4.30		5.27		7.46		13.10		17.86		20.10
1000	111.8	0.22	112.2	0.44	114.1	0.93	111.4	1.85	110.1	2.87	117.0	3.52	117.4	4.98	110.3	8.74	110.5	11.91	113.9	13.45
750		0.17		0.33		0.70		1.39		2.16		2.65		3.74		6.56		8.94		10.09
1500		0.29		0.58		1.23		2.45		3.82		4.87		6.72		11.16		16.30		18.25
1000	126.3	0.20	126.8	0.39	128.0	0.82	125.8	1.64	124.1	2.55	126.4	3.25	128.1	4.49	129.4	7.45	121.1	10.88	125.5	12.17
750		0.15		0.30		0.62		1.23		1.92		2.44		3.37		5.59		8.16		9.13
1500		0.25		0.45		1.12		2.21		3.36		3.73		5.61		9.65		12.68		15.71
1000	144.2	0.17	136.4	0.30	140.5	0.75	139.4	1.48	141.2	2.24	142.0	2.49	142.2	3.75	140.7	6.44	144.5	8.46	145.7	10.49
750		0.13		0.23		0.57		1.11		1.69		1.87		2.82		4.84		6.35		7.88
1500		0.20		0.30		0.84		1.98		3.06		3.28		4.01		6.57		9.61		13.56
1000	158.8	0.14	161.7	0.20	152.5	0.56	162.1	1.33	154.7	2.05	154.1	2.19	163.6	2.68	163.5	4.39	157.8	6.41	163.0	9.05
750		0.11		0.15		0.42		1.00		1.54		1.65		2.01		3.30		4.82		6.79
1500		—		—		—		1.57		2.47		2.49		—		—		7.48		10.51
1000	—	—	—	—	—	—	176.0	1.05	173.3	1.65	173.3	1.66	—	—	—	—	171.0	4.99	180.3	7.01
750		—		—		—		0.79		1.24		1.25		—		—		3.75		5.26
1500		—		—		—		1.20		1.47		—		—		—		—		8.24
1000	—	—	—	—	—	—	206.9	0.80	205.1	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—	201.3	5.51
750		—		—		—		0.61		0.74		—		—		—		—		4.14

13 TH、TB 型硬齿面齿轮减速器

TH、TB 型减速器系采用模块式组合设计而成的平行轴和直交轴两种不同型式的硬齿面齿轮减速器，具有使零部件种类减少、规格品种增加，功率、传动比、转矩范围宽等特点；可卧、立式安装，有实心轴、空心轴及胀紧空心轴等多种输出方式，选用方便。

生产厂家：浙江通力减速机有限公司（TH、TB 系列）；类似产品的其他厂家还有：德国弗兰德机电传动（天津）有限公司（H、B 系列）、石家庄减速机厂（PC 系列）。

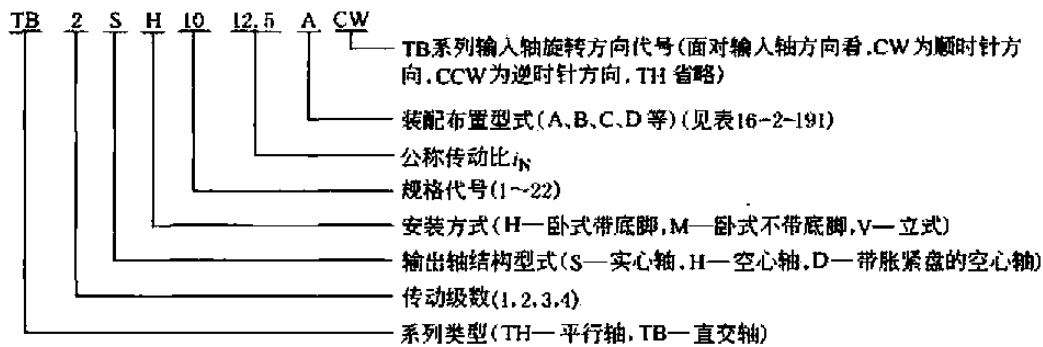
13.1 适用范围及代号示例

(1) 适用范围

输入转速一般不大于 1500r/min；工作环境温度为 $-40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，当环境温度低于 0°C 时，使用前应预加热，使油温升至 40°C 以上。

TH、TB 型减速器可广泛配套用于建工、矿山、冶金、水泥、石油、化工、轻工等的机械设备上。

(2) 标记示例



13.2 装配布置型式

表 16-2-191

装配布置型式

平行轴减速器			直交轴减速器		
TH, SH TH, SV	实心轴		TB, SH TB, SV	实心轴	
A	B	C	A	B	C
D	E	F	D	E	F
G	H	I	D	E	F

TH. DH TH. DM TH. DV	带胀紧盘空心轴 ^①			TB. DH TB. DM TB. DV	带胀紧盘空心轴 ^①	
TH. HH TH. HM TH. HV	空心轴 ^①			TB. HH TB. HM TB. HV	空心轴 ^①	

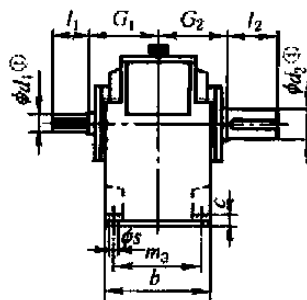
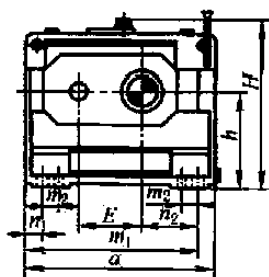
① 表示工作机驱动轴插入方向。

13.3 外形、安装尺寸

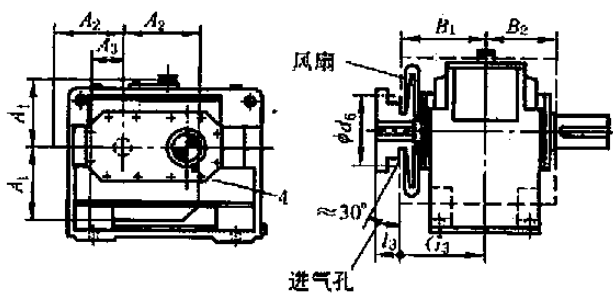
TH、TB 系列减速器均有卧式和立式两种安装方式；由于篇幅限制，本手册仅列入卧式安装方式。用户选用立式安装方式时，可选强制润滑或油浸润滑（带补偿油箱），相关安装尺寸详见生产厂家样本。

TH1SH 型减速器的安装尺寸（规格 1~19）

TH1SH



TH1SH
规格 3~11 带冷却风扇



TH1SH
规格 13~19 带冷却风扇

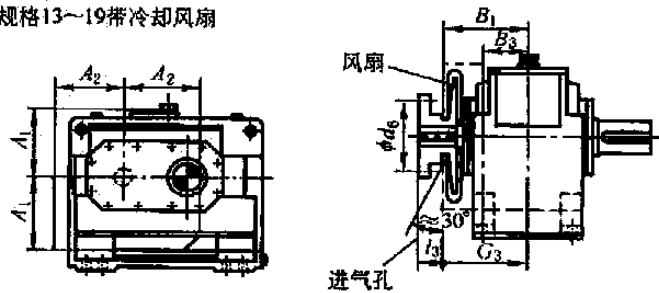


表 16-2-192

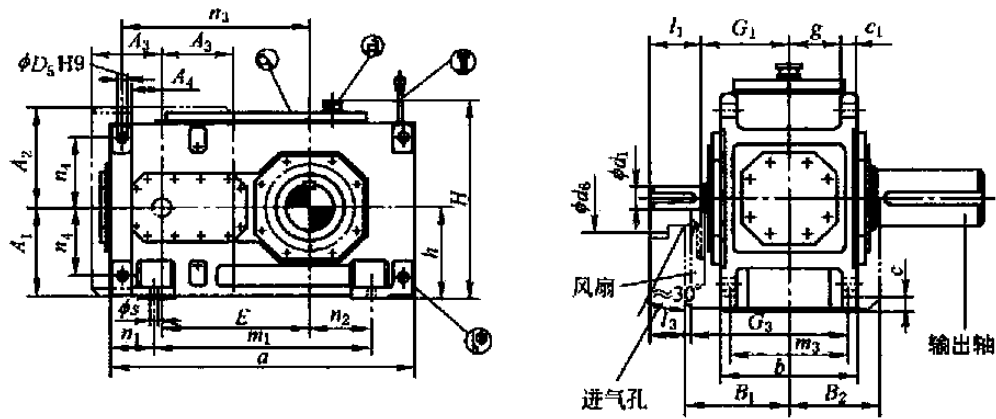
mm

规格	输入轴															G_1	G_3		
	$i_N = 1.25 \sim 2.8$			$i_N = 1.6 \sim 2.8$			$i_N = 2 \sim 2.8$			$i_N = 3.15 \sim 4$			$i_N = 4.5 \sim 5.6$						
	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_3	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_3	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_3	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_3	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_3				
1	40	70								30	50	—	24	40	—	110	—		
3	60	125	105							45	100	80	32	80	60	170	190		
5	85	160	130							60	135	105	50	110	80	210	240		
7	100	200	165							75	140	105	60	140	105	250	285		
9	110	200	165							90	165	130	75	140	105	280	315		
11				130	240	205				110	205	170	90	170	135	325	360		
13				150	245	200				130	245	200	100	210	165	365	410		
15							180	290	240	150	250	200	125	250	200	360	410		
17							200	330	280	170	290	240	140	250	200	400	450		
19							220	340	290	190	340	290	160	300	250	440	490		
规格	减 速 器																		
	a	A_1	A_2	A_3	b	B_1	B_2	B_3	c	d_6	E	h	H	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	s
	1	295	—	—	—	150	—	—	—	18	—	90	140	305	220	—	120	37.5	80	12
3	420	150	145	80	200	205	130	—	28	130	130	200	405	310	—	160	55	110	19
5	580	225	215	115	285	255	185	—	35	190	185	290	555	440	—	240	70	160	24
7	690	255	250	120	375	300	230	—	45	245	225	350	655	540	—	315	75	195	28
9	805	300	265	140	425	330	265	—	50	280	265	420	770	625	—	350	90	225	35
11	960	360	330	190	515	375	320	—	60	350	320	500	875	770	—	440	95	280	35
13	1100	415	350	—	580	430	—	150	70	350	370	580	1055	870	—	490	115	315	42
15	1295	500	430	—	545	430	—	120	80	450	442	600	1150	1025	—	450	135	370	48
17	1410	550	430	—	615	470	—	150	80	445	490	670	1270	1170	130	530	120	425	42
19	1590	630	475	—	690	510	—	190	90	445	555	760	1430	1290	150	590	150	465	48
规格	输出轴						润滑油/L	质量/kg											
	$d_2^{\text{①}}$	G_2	l_2																
1	45	110	80				2.5	55											
3	60	170	125				7	128											
5	85	210	160				22	302											
7	105	250	200				42	547											
9	125	270	210				68	862											
11	150	320	240				120	1515											
13	180	360	310				175	2395											
15	220	360	350				190	3200											
17	240	400	400				270	4250											
19	270	440	450				390	5800											

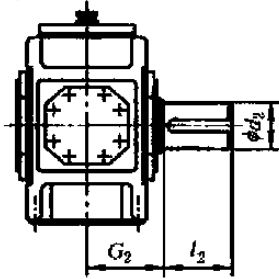
① d_1 和 d_2 的公差: d_1 (和 d_2) $\leq \phi 24\text{mm}$ 为 k6, $\phi 28\text{mm} \leq d_1$ (和 d_2) $\leq \phi 100\text{mm}$ 为 m6, d_1 (和 d_2) $> \phi 100\text{mm}$ 为 n6。

TH2. H 的安装尺寸 (规格 3 ~ 12)

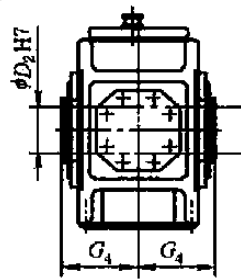
TH2SH TH2FH TH2DH



TH2SH
实心轴



TH2MH
空心轴



TH2DH
带胀紧盘的
空心轴

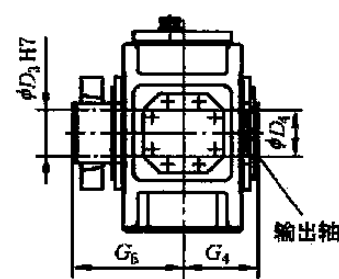


表 16-2-193

mm

规格	输入轴												G ₁	G ₃
	i _N = 6.3 ~ 11.2			i _N = 8 ~ 14			i _N = 12.5 ~ 22.4			i _N = 16 ~ 28				
	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃		
3	35	60	—				28	50	—				135	—
4	45	100	80				32	80	60				170	190
5	50	100	80				38	80	60				195	215
6				50	100	80				38	80	60	195	215
7	60	135	105				50	110	80				210	240
8				60	135	105				50	110	80	210	240
9	75	140	110				60	140	110				240	270
10				75	140	110				60	140	110	240	270
11	90	165	130				70	140	105				275	310
12				90	165	130				70	140	105	275	310

续表

规格	减 速 器											
	a	A_1	A_2	A_3	A_4	b	B_1	B_2	c	c_1	D_5	d_6
3	450	—	—	—	—	190	—	—	22	24	18	—
4	565	195	225	150	30	215	205	158	28	30	24	136
5	640	225	260	175	55	255	230	177.5	28	30	24	150
6	720	225	260	175	55	255	230	177.5	28	30	24	150
7	785	272	305	210	70	300	255	210	35	36	28	200
8	890	272	305	210	70	300	255	210	35	36	28	200
9	925	312	355	240	100	370	285	245	40	45	36	200
10	1025	312	355	240	100	380	285	245	40	45	36	200
11	1105	372	420	285	135	430	325	285	50	54	40	210
12	1260	372	420	285	135	430	325	285	50	54	40	210

规格	减 速 器										
	E	g	h	H	m_1	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s
3	220	71	175	390	290	160	80	65	285	132.5	15
4	270	77.5	200	445	355	180	105	85	345	150	19
5	315	97.5	230	512	430	220	105	100	405	180	19
6	350	97.5	230	512	510	220	105	145	440	180	19
7	385	114	280	602	545	260	120	130	500	215	24
8	430	114	280	617	650	260	120	190	545	215	24
9	450	140	320	697	635	320	145	155	585	245	28
10	500	140	320	697	735	320	145	205	635	245	28
11	545	161	380	817	775	370	165	180	710	300	35
12	615	161	380	825	930	370	165	265	780	300	35

规格	输 出 轴									润滑油/L	质量/kg
	TH2SH			TH2HH		TH2DH					
	$d_2^{①}$	G_2	l_2	$D_2^{②}$	G_4	D_3	D_4	G_4	G_5		
3	65	125	140	65	125	70	70	125	180	6	115
4	80	140	170	80	140	85	85	140	205	10	190
5	100	165	210	95	165	100	100	165	240	15	300
6	110	165	210	105	165	110	110	165	240	16	355
7	120	195	210	115	195	120	120	195	280	27	505
8	130	195	250	125	195	130	130	195	285	30	590
9	140	235	250	135	235	140	145	235	330	42	830
10	160	235	300	150	235	150	155	235	350	45	960
11	170	270	300	165	270	165	170	270	400	71	1335
12	180	270	300	180	270	180	185	270	405	76	1615

① 同表 16-2-192。

② 输出轴 D_2 键槽按 GB/T 1095—2003。

TH2. H, TH2. M 的安装尺寸 (规格 13 ~ 22)

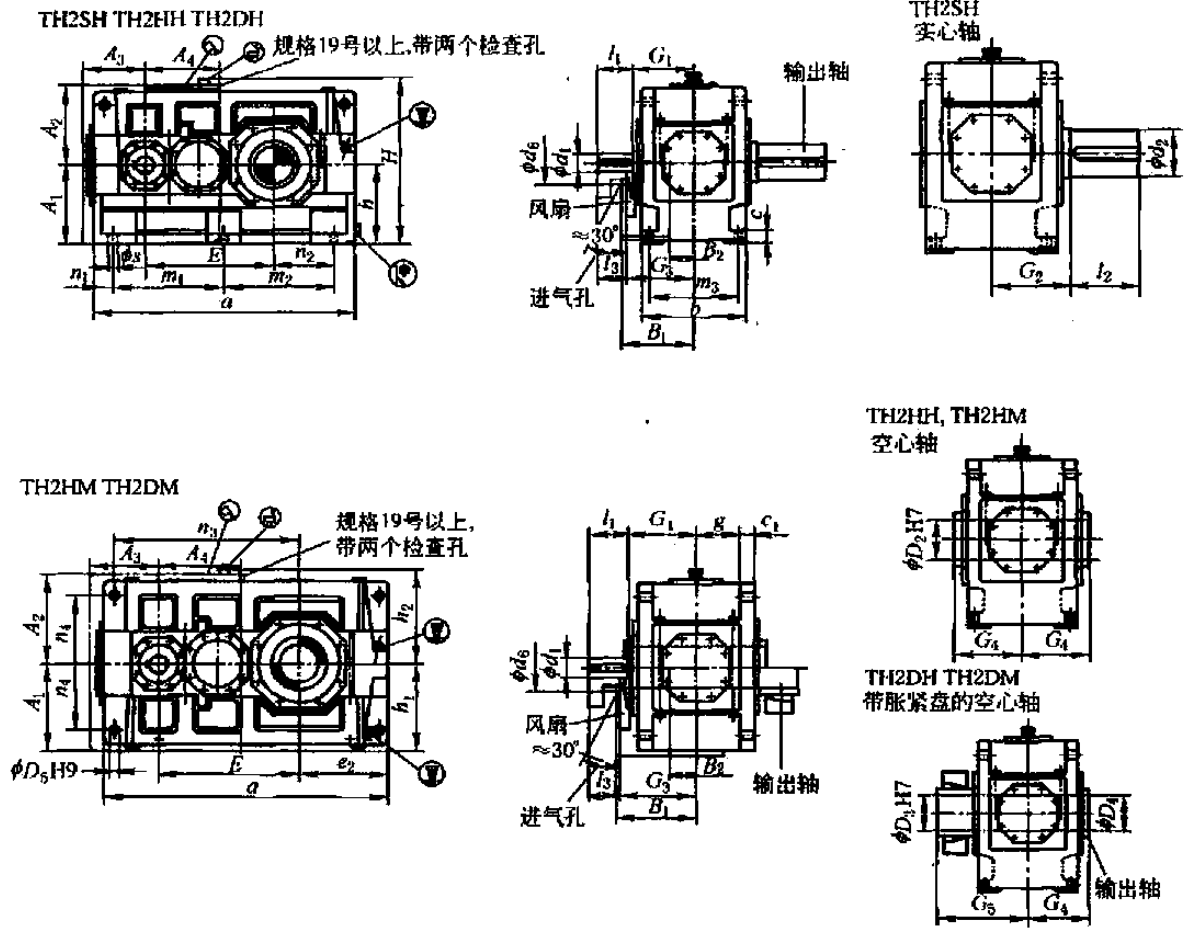


表 16-2-194

mm

规格	输入轴																		G ₁	G ₃
	i _N = 6.3 ~ 11.2			i _N = 7.1 ~ 12.5			i _N = 8 ~ 14			i _N = 12.5 ~ 20			i _N = 14 ~ 22.4			i _N = 16 ~ 25				
	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃		
13	100	205	170							85	170	135							330	365
14							100	205	170							85	170	135	330	365
15	120	210	165							100	210	165							365	410
16				120	210	165							100	210	165				365	410
17	125	245	200							110	210	165							420	465
18				125	245	200							110	210	165				420	465
19	150	245	200							120	210	165							475	520
20				150	245	200							120	210	165				475	520
21	170	290	240							140	250	200							495	545
22				170	290	240							140	250	200				495	545

续表

规格	减 速 器													
	a	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	b	B ₁	B ₂	c	c ₁	d ₆	D ₅	e ₂	E
13	1290	430	460	330	365	550	385	135	60	61	250	48	405	635
14	1430	430	460	330	365	550	385	135	60	61	250	48	475	705
15	1550	490	500	370	440	625	430	155	70	72	280	55	485	762
16	1640	490	500	370	440	625	430	155	70	72	280	55	530	808
17	1740	540	565	435	505	690	485	140	80	81	280	55	525	860
18	1860	540	565	435	505	690	485	140	80	81	280	55	585	920
19	2010	600	600	500	450	790	540	190	80	91	310	65	590	997
20	2130	600	600	500	450	790	540	190	90	91	310	65	650	1057
21	2140	680	680	500	610	830	565	200	100	100	450	75	655	1067
22	2250	680	680	500	610	830	565	200	100	100	450	75	710	1122

规格	减 速 器													
	g	h	h ₁	h ₂	H	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	s	
13	211.5	440	450	495	935	545	545	475	100	305	835	340	35	
14	211.5	440	450	495	935	545	685	475	100	375	905	340	35	
15	238	500	490	535	1035	655	655	535	120	365	1005	375	42	
16	238	500	490	535	1035	655	745	535	120	410	1050	375	42	
17	259	550	555	595	1145	735	735	600	135	390	1145	425	42	
18	259	550	555	595	1145	735	855	600	135	450	1205	425	42	
19	299	620	615	655	1275	850	850	690	155	435	1345	475	48	
20	299	620	615	655	1275	850	970	690	155	495	1405	475	48	
21	310	700	685	725	1425	900	900	720	170	485	1400	520	56	
22	310	700	685	725	1425	900	1010	720	170	540	1455	520	56	

规格	输 出 轴									润 滑 油/L		质 量/kg	
	TH2SH			TH2HH TH2HM		TH2DH TH2DM				TH2. H	TH2. M	TH2. H	TH2. M
	d ₂ ^①	G ₂	L ₂	D ₂ ^②	G ₄	D ₃	D ₄	G ₄	G ₅				
13	200	335	350	190	335	190	195	335	480	135	110	2000	1880
14	210	335	350	210	335	210	215	335	480	140	115	2570	2430
15	230	380	410	230	380	230	235	380	550	210	160	3430	3240
16	240	380	410	240	380	240	245	380	550	215	165	3655	3465
17	250	415	410	250	415	250	260	415	600	290	230	4650	4420
18	270	415	470	275	415	280	285	415	600	300	240	5125	4870
19	290	465	470	—	—	285	295	465	670	320	300	5250	5000
20	300	465	500	—	—	310	315	465	670	340	320	6550	6150
21	320	490	500	—	—	330	335	490	715	320	350	7200	6950
22	340	490	550	—	—	340	345	490	725	340	370	7800	7550

① 同表 16-2-192。

② 键槽 GB/T 1095—2003。

注：规格 13 和 15 号，速比只有 $i_N = 6.3 \sim 18$ ；规格 17 和 19 号，速比只有 $i_N = 6.3 \sim 14$ 。

TH3. H 的安装尺寸 (规格 5 ~ 12)

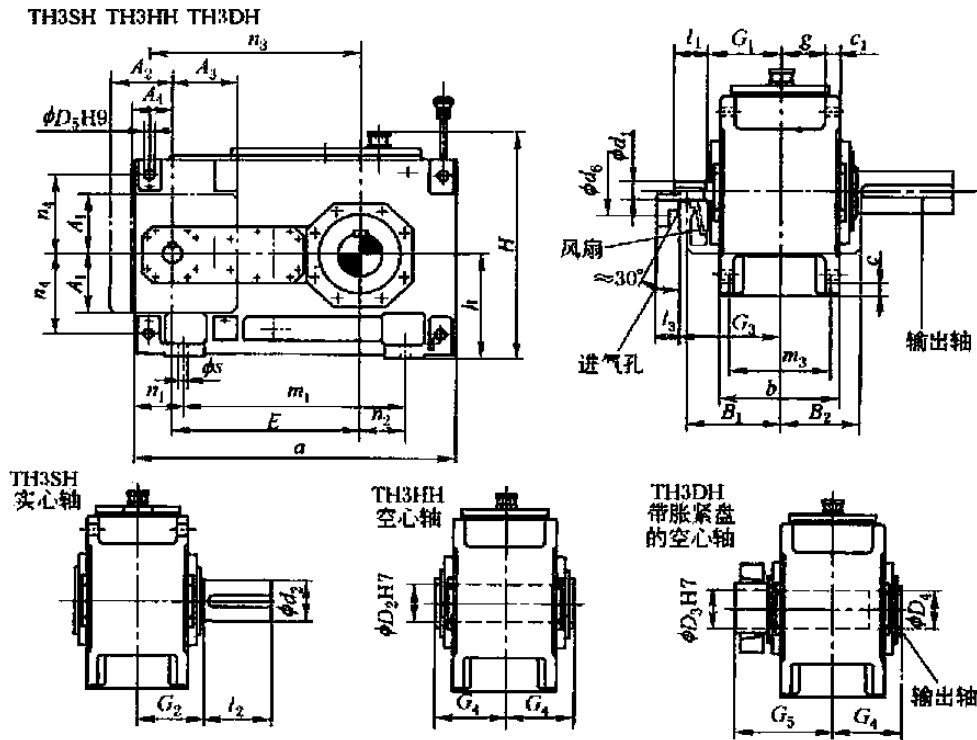


表 16-2-195

mm

规格	输入轴																G ₁	G ₃		
	i _N = 25 ~ 45			i _N = 31.5 ~ 56			i _N = 50 ~ 63			i _N = 63 ~ 80			i _N = 71 ~ 90			i _N = 90 ~ 112				
	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]	l ₁	l ₃	d ₁ [⊕]			l ₁	l ₃
5	40	70	70				30	50	50				24	40	40				160	220
6				40	70	70				30	50	50				24	40	40	160	220
7	45	80	80				35	60	60				28	50	50				185	250
8				45	80	80				35	60	60				28	50	50	185	250
9	60	125	105				45	100	80				32	80	60				230	300
10				60	125	105				45	100	80				32	80	60	230	300
11	70	120	120				50	80	80				42	70	70				255	330
12				70	120	120				50	80	80				42	70	70	255	330
规格	减 速 器																			
	a	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	b	B ₁	B ₂	c	c ₁	d ₆	D ₃								
	5	690	137	135	140	80	255	215	175	28	30	60	24							
6	770	137	135	140	80	255	215	175	28	30	60	24								

续表

规格	减 速 器											
	a	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	b	B ₁	B ₂	c	c ₁	d ₆	D ₅
7	845	157	160	180	100	300	245	205	35	36	75	28
8	950	157	160	180	100	300	245	205	35	36	75	28
9	1000	182	190	205	120	370	295	240	40	45	90	36
10	1100	182	190	205	120	380	295	240	40	45	90	36
11	1200	218	220	255	150	430	325	280	50	54	100	40
12	1355	218	220	255	150	430	325	280	50	54	100	40

规格	减 速 器											
	E	g	h	H	m ₁	m ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	s	
5	405	97.5	230	512	480	220	105	100	455	180	19	
6	440	97.5	230	512	560	220	105	145	490	180	19	
7	495	114	280	602	605	260	120	130	560	215	24	
8	540	114	280	617	710	260	120	190	605	215	24	
9	580	140	320	697	710	320	145	155	660	245	28	
10	630	140	320	697	810	320	145	205	710	245	28	
11	705	161	380	817	870	370	165	180	805	300	35	
12	775	161	380	825	1025	370	165	265	875	300	35	

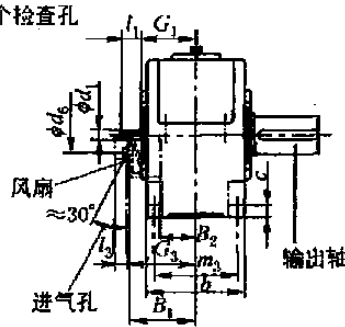
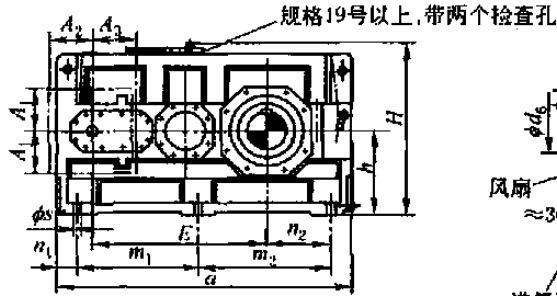
规格	输 出 轴									润滑油/L	质量/kg
	TH3SH			TH3HH		TH3DH					
	d ₂ ^①	G ₂	L ₂	D ₂ ^②	G ₄	D ₃	D ₄	G ₄	G ₅		
5	100	165	210	95	165	100	100	165	240	15	320
6	110	165	210	105	165	110	110	165	240	17	365
7	120	195	210	115	195	120	120	195	280	28	540
8	130	195	250	125	195	130	130	195	285	30	625
9	140	235	250	135	235	140	145	235	330	45	875
10	160	235	300	150	235	150	155	235	350	46	1020
11	170	270	300	165	270	165	170	270	400	85	1400
12	180	270	300	180	270	180	185	270	405	90	1675

① 同表 16-2-192。

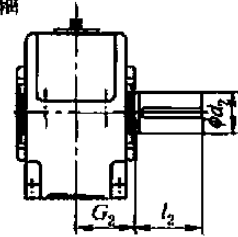
② 输出轴 D₂ 键槽按 GB/T 1095—2003。

TH3. H, TH3. M 的安装尺寸 (规格 13 ~ 22)

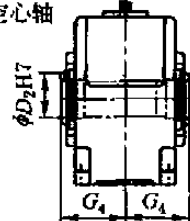
TH3SH TH3HH TH3DH



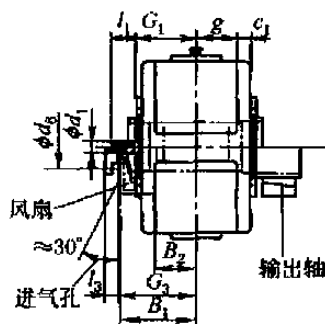
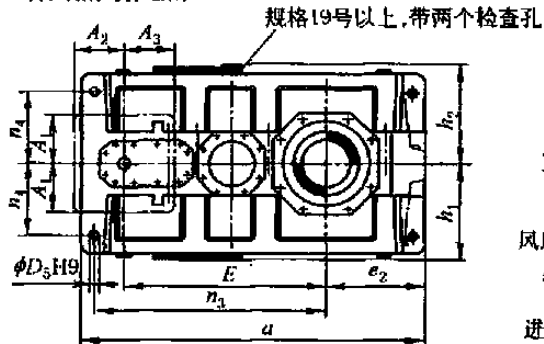
TH3SH
实心轴



TH3HH TH3HM
空心轴



TH3HM TH3DM



TH3DH TH3DM
带胀紧盘的空心轴

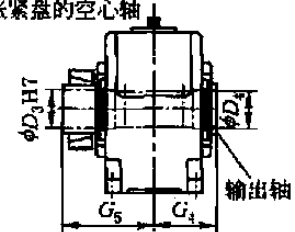


表 16-2-196

mm

规格	输入轴																		G ₁	G ₃
	i _N = 22.4 - 45			i _N = 25 - 50 i _N = 28 - 56 [Ⓢ]			i _N = 50 - 63			i _N = 56 - 71 i _N = 63 - 80 [Ⓢ]			i _N = 71 - 90			i _N = 80 - 100 i _N = 90 - 112 [Ⓢ]				
	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓢ]	l ₁	l ₃		
13	85	160	130				60	135	105				50	110	80				310	385
14				85	160	130				60	135	105				50	110	80	310	385
15	100	200	165				75	140	105				60	140	105				350	420
16				100	200	165				75	140	105				60	140	105	350	420
17	100	200	165				75	140	105				60	140	105				380	450
18				100	200	165				75	140	105				60	140	105	380	450
19	110	200	△				90	165	△				75	140	△				430	△
20				110	200	△				90	165	△				75	140	△	430	△
21	130	240	△				110	205	△				90	170	△				470	△
22				130	240	△				110	205	△				90	170	△	470	△

续表

规格	减 速 器												
	a	A ₁	A ₂	A ₃	b	B ₁	B ₂	c	c ₁	d ₆	D ₅	e ₂	E
13	1395	225	225	212	550	380	195	60	61	120	48	405	820
14	1535	225	225	212	550	380	195	60	61	120	48	475	890
15	1680	270	265	252	625	415	205	70	72	150	55	485	987
16	1770	270	265	252	625	415	205	70	72	150	55	530	1033
17	1770	270	265	252	690	445	235	80	81	150	55	525	1035
18	1890	270	265	252	690	445	235	80	81	150	55	585	1095
19	2030	△	△	△	790	△	△	90	91	△	65	590	1190
20	2150				790			90	91		65	650	1250
21	2340				830			100	100		75	655	1387
22	2450				830			100	100		75	710	1442

规格	减 速 器												
	g	h	h ₁	h ₂	H	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	s
13	211.5	440	450	495	935	597.5	597.5	475	100	305	940	340	35
14	211.5	440	450	495	935	597.5	737.5	475	100	375	1010	340	35
15	238	500	490	535	1035	720	720	535	120	365	1135	375	42
16	238	500	490	535	1035	720	810	535	120	410	1180	375	42
17	259	550	555	595	1145	750	750	600	135	390	1175	425	42
18	259	550	555	595	1145	750	870	600	135	450	1235	425	42
19	299	620	615	655	1275	860	860	690	155	435	1365	475	48
20	299	620	615	655	1275	860	980	690	155	495	1425	475	48
21	310	700	685	725	1425	1000	1000	720	170	485	1615	520	56
22	310	700	685	725	1425	1000	1110	720	170	540	1670	520	56

规格	输 出 轴									润 滑 油/L		质 量/kg	
	TH3SH			TH3HH TH3HM		TH3DH TH3DM				TH3. H	TH3. M	TH3. H	TH3. M
	d ₂ ^①	G ₂	l ₂	D ₂ ^②	G ₄	D ₃	D ₄	G ₄	G ₅				
13	200	335	350	190	335	190	195	335	480	160	125	2295	2155
14	210	335	350	210	335	210	215	335	480	165	130	2625	2490
15	230	380	410	230	380	230	235	380	550	235	190	3475	3260
16	240	380	410	240	380	240	245	380	550	245	195	3875	3625
17	250	415	410	250	415	250	260	415	600	305	240	4560	4250
18	270	415	470	275	415	280	285	415	600	315	250	5030	4740
19	290	465	470	—	—	285	295	465	670	420	390	5050	4750
20	300	465	500	—	—	310	315	465	670	450	415	6650	6250
21	320	490	500	—	—	330	335	490	715	470	515	6950	6550
22	340	490	550	—	—	340	345	490	725	490	540	7550	7050

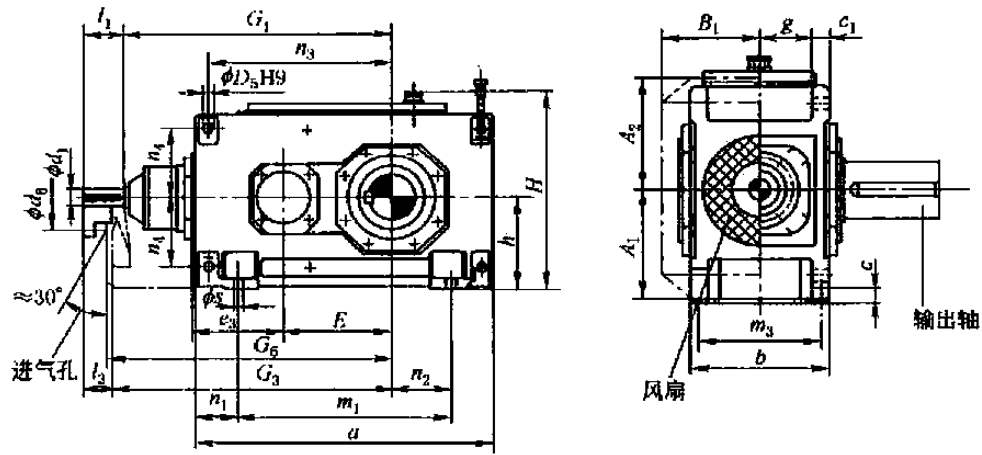
①、② 同表 16-2-193。

③ 仅指规格 14 号减速器。

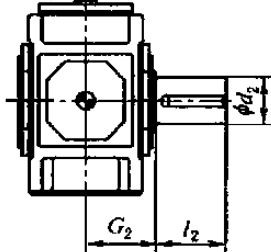
注：△ 表示根据客户要求供货。

TB2. H 的安装尺寸 (规格 1 ~ 22)

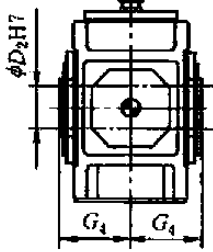
TB2SH TB2HH TB2DH



TB2SH
空心轴



TB2HH
空心轴



TB2DH
带胀紧盘的空心轴

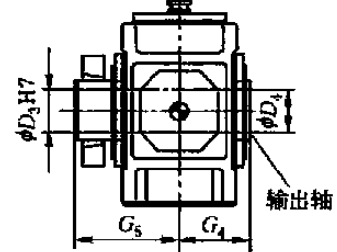


表 16-2-197

mm

规格	输入轴										G ₁	G ₃
	i _N = 5 - 11.2			i _N = 6.3 - 14			i _N = 12.5 - 18					
	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓚ]	l ₁	l ₃			
1	28	55	40				20	50	35	300	315	
2	30	70	50				25	60	40	340	360	
3	35	80	60				28	60	40	390	410	
4	45	100	80							465	485	
5	55	110	80							535	565	
6				55	110	80				570	600	
7	70	135	105							640	670	
8				70	135	105				685	715	
9	80	165	130							755	790	
10				80	165	130				805	840	
11	90	165	130							925	960	
12				90	165	130				995	1030	
规格	减速器											
	a	A ₁	A ₂	b	B ₁	c	c ₁	D ₃	d ₆	e ₃	E	g
	1	305	125	130	180	128	18	16	12	110	90	90	74
2	355	140	145	205	143	18	20	14	110	110	110	82.5

续表

规格	减 速 器											
	a	A_1	A_2	b	B_1	c	c_1	D_5	d_6	e_3	E	g
3	405	170	170	225	163	22	24	18	120	130	130	88.5
4	505	195	200	270	188	28	30	24	150	160	160	105
5	565	220	235	320	215	28	30	24	160	185	185	130
6	645	220	235	320	215	28	30	24	160	185	220	130
7	690	270	285	380	250	35	36	28	210	225	225	154
8	795	270	285	380	250	35	36	28	210	225	270	154
9	820	310	325	440	270	40	48	36	195	265	265	172
10	920	310	325	440	270	40	48	36	195	265	315	172
11	975	370	385	530	328	50	54	40	210	320	320	211
12	1130	370	385	530	328	50	54	40	210	320	390	211

规格	减 速 器										
	G_6	h	H	m_1	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s	
1	325	130	305	185	155	60	70	160	105	12	
2	370	145	335	225	180	65	75	195	115	12	
3	420	175	390	245	195	80	70	235	132.5	15	
4	495	200	445	295	235	105	85	285	150	19	
5	575	230	512	355	285	105	100	330	180	19	
6	610	230	512	435	285	105	145	365	180	19	
7	685	280	612	450	340	120	130	405	215	24	
8	730	280	617	555	340	120	190	450	215	24	
9	805	320	697	530	390	145	155	480	245	28	
10	855	320	697	630	390	145	205	530	245	28	
11	980	380	825	645	470	165	180	580	300	35	
12	1050	380	825	800	470	165	265	650	300	35	

规格	输 出 轴										润滑油 /L	质量 /kg
	TB2SH			TB2HH		TB2DH						
	d_2^{D}	G_2	l_2	D_2^{D}	G_4	D_3	D_4	G_4	G_5			
1	45	120	80	—	—	—	—	—	—	2	65	
2	55	135	110	55	135	60	60	135	180	4	90	
3	65	145	140	65	145	70	70	145	200	6	140	
4	80	170	170	80	170	85	85	170	235	10	235	
5	100	200	210	95	200	100	100	200	275	16	360	
6	110	200	210	105	200	110	110	200	275	19	410	
7	120	235	210	115	235	120	120	235	320	31	615	
8	130	235	250	125	235	130	130	235	325	34	700	
9	140	270	250	135	270	140	145	270	365	48	1000	
10	160	270	300	150	270	150	155	270	385	50	1155	
11	170	320	300	165	320	165	170	320	450	80	1640	
12	180	320	300	180	320	180	185	320	455	95	1910	

① 见表 16-2-192。

② 输出轴 D_2 键槽按 GB/T 1095—2003。

TB2. H, TB2. M 的安装尺寸 (规格 13 ~ 18)

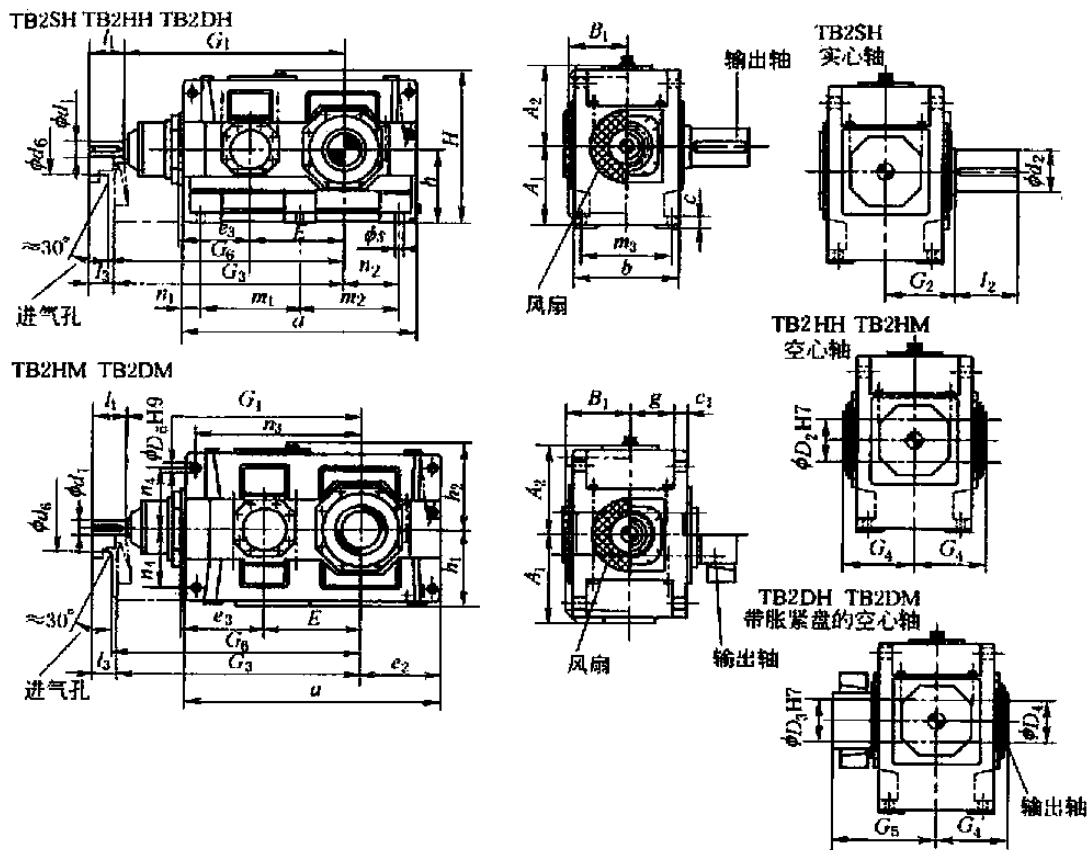


表 16-2-198

mm

规格	输入轴															G_1	G_3
	$i_N = 5 \sim 11.2$			$i_N = 5.6 \sim 11.2$			$i_N = 5.6 \sim 12.5$			$i_N = 6.3 \sim 14$			$i_N = 7.1 \sim 12.5$				
	d_1^{D}	l_1	l_3	d_1^{D}	l_1	l_3	d_1^{D}	l_1	l_3	d_1^{D}	l_1	l_3	d_1^{D}	l_1	l_3		
13	110	205	165													1070	1110
14									110	205	165					1140	1180
15	130	245	200													1277	1322
16							130	245	200							1323	1368
17				150	245	200										1435	1480
18													150	245	200	1495	1540
规格	减 速 器																
	a	A_1	A_2	b	B_1	c	c_1	d_6	D_5	e_2	e_3	E	g				
13	1130	430	450	655	375	60	61	245	48	405	380	370	264				
14	1270	430	450	655	375	60	61	245	48	475	380	440	264				
15	1350	490	495	765	435	70	72	280	55	485	450	442	308				
16	1440	490	495	765	435	70	72	280	55	530	450	488	308				
17	1490	540	555	885	505	80	81	380	65	525	510	490	356				
18	1610	540	555	885	505	80	81	380	65	585	510	550	356				

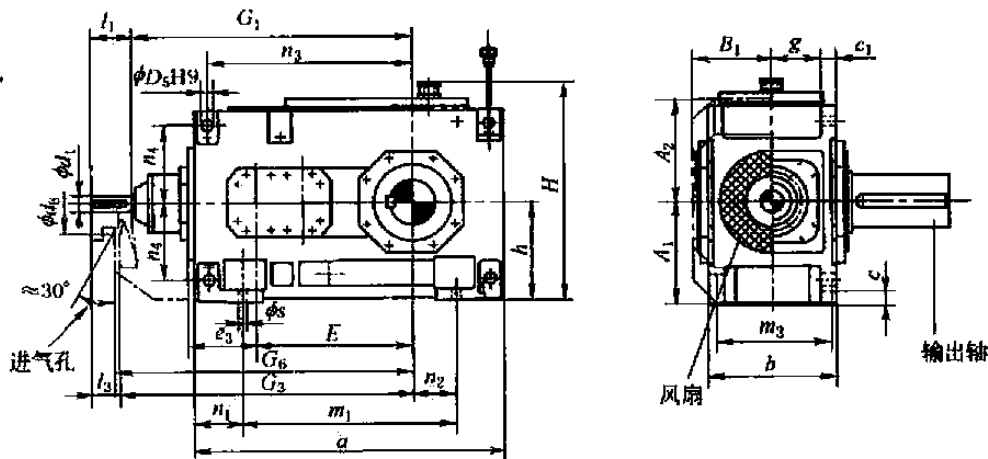
规格	减 速 器												
	G_6	h	h_1	h_2	H	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s
13	1130	440	450	495	935	465	465	580	100	305	675	340	35
14	1200	440	450	495	935	465	605	580	100	375	745	340	35
15	1340	500	490	535	1035	555	555	670	120	365	805	375	42
16	1385	500	490	535	1035	555	645	670	120	410	850	375	42
17	1500	550	555	595	1145	610	610	780	135	390	895	420	48
18	1560	550	555	595	1145	610	730	780	135	450	955	420	48

规格	输 出 轴									润 滑 油 / L		质 量 / kg	
	TB2SH			TB2HH TB2HM		TB2DH TB2DM				TB2. H	TB2. M	TB2. H	TB2. M
	$d_2^{①}$	G_2	l_2	$D_2^{②}$	G_4	D_3	D_4	G_4	G_5				
13	200	390	350	—	—	—	—	—	—	140	120	2450	2350
14	210	390	350	210	390	210	215	390	535	155	130	2825	2725
15	230	460	410	—	—	—	—	—	—	220	180	3990	3795
16	240	460	410	240	450	240	245	450	620	230	190	4345	4160
17	250	540	410	—	—	—	—	—	—	320	260	5620	5320
18	270	540	470	275	510	280	285	510	700	335	275	6150	5860

①、②同表 16-2-193。

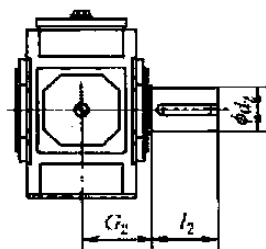
TB3. H 的安装尺寸 (规格 3 ~ 22)

TB3SH TB3HH TB3DH

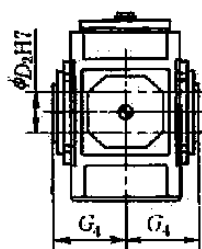


输出轴

TB3SH
实心轴



TB3HH
空心轴



TB3DH
带胀紧盘的空心轴

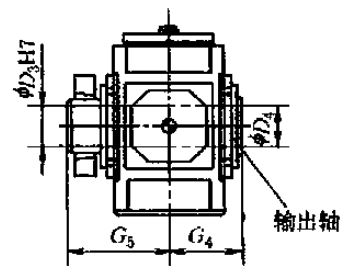


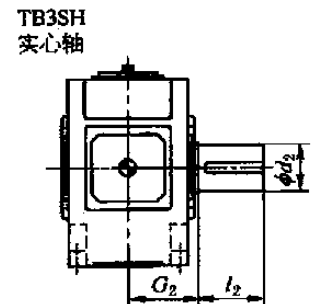
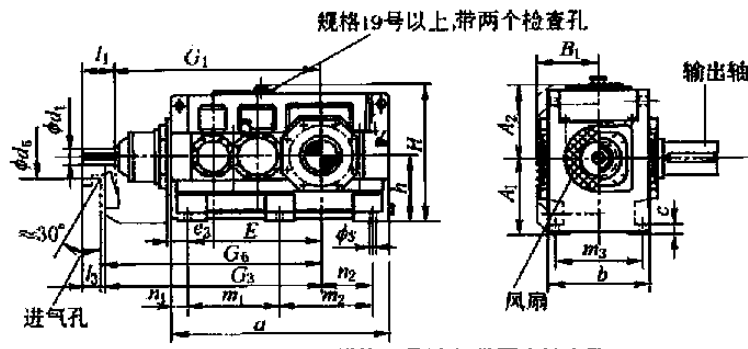
表 16-2-199

规格	输入轴															G_1	G_2							
	$i_N = 12.5 \sim 45$			$i_N = 16 \sim 56$			$i_N = 20 \sim 45$			$i_N = 50 \sim 71$			$i_N = 6.3 \sim 90$											
	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_2	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_2	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_2	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_2	$d_1^{\text{①}}$	l_1	l_2									
3							28	55	40	20	50	35				430	445							
4	30	70	50							25	60	40				500	520							
5	35	80	60							28	60	40				575	595							
6				35	80	60							28	60	40	610	630							
7	45	100	80							35	80	60				690	710							
8				45	100	80							35	80	60	735	755							
9	55	110	80							40	100	70				800	830							
10				55	110	80							40	100	70	850	880							
11	70	135	105							50	110	80				960	990							
12				70	135	105							50	110	80	1030	1060							
规格	减速器												a	A_1	A_2	b	B_1	c	c_1	d_6	D_5	e_3	E	g
3	450	170	170	190	128	22	24	90	18	90	220	71												
4	565	195	200	215	143	28	30	110	24	110	270	77.5												
5	640	220	235	255	168	28	30	130	24	130	315	97.5												
6	720	220	235	255	168	28	30	130	24	130	350	97.5												
7	785	275	275	300	193	35	36	165	28	160	385	114												
8	890	275	275	300	193	35	36	165	28	160	430	114												
9	925	315	325	370	231	40	45	175	36	185	450	140												
10	1025	315	325	380	231	40	45	175	36	185	500	140												
11	1105	370	385	430	263	50	54	190	40	225	545	161												
12	1260	370	385	430	263	50	54	190	40	225	615	161												
规格	减速器											G_6	h	H	m_1	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s			
3	455	175	390	290	160	80	65	285	132.5	15														
4	530	200	445	355	180	105	85	345	150	19														
5	605	230	512	430	220	105	100	405	180	19														
6	640	230	512	510	220	105	145	440	180	19														
7	720	280	602	545	260	120	130	500	215	24														
8	765	280	617	650	260	120	190	545	215	24														
9	845	320	697	635	320	145	155	585	245	28														
10	895	320	697	735	320	145	205	635	245	28														
11	1010	380	817	775	370	165	180	710	300	35														
12	1080	380	825	930	370	165	265	780	300	35														
规格	输出轴										润滑油 /L	质量 /kg												
	TB3SH			TB3HH		TB3DH																		
	$d_2^{\text{①}}$	G_2	l_2	$D_2^{\text{②}}$	G_4	D_3	D_4	G_4	G_5															
3	65	125	140	65	125	70	70	125	180	6	130													
4	80	140	170	80	140	85	85	140	205	9	210													
5	100	165	210	95	165	100	100	165	240	14	325													
6	110	165	210	105	165	110	110	165	240	15	380													
7	120	195	210	115	195	120	120	195	280	25	550													
8	130	195	250	125	195	130	130	195	285	28	635													
9	140	235	250	135	235	140	145	235	330	40	890													
10	160	235	300	150	235	150	155	235	350	42	1020													
11	170	270	300	165	270	165	170	270	400	66	1455													
12	180	270	300	180	270	180	185	270	405	72	1730													

①、②见表 16-2-193。

TB3. H, TB3. M 的安装尺寸 (规格 13 ~ 22)

TB3SH TB3HH TB3DH



TB3HM TB3DM

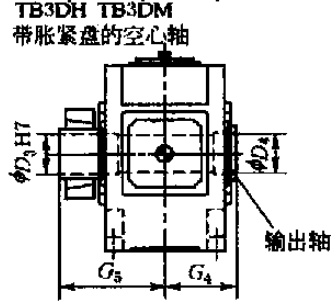
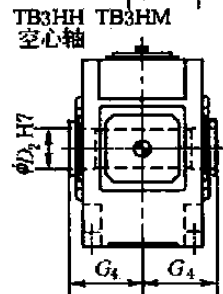
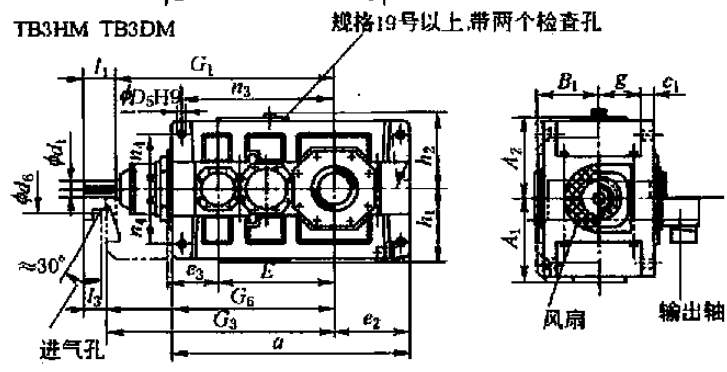


表 16-2-200

mm

规格	输入轴															G ₁	G ₃									
	i _N = 12.5 ~ 45			i _N = 14 ~ 50			i _N = 16 ~ 56			i _N = 50 ~ 71			i _N = 56 ~ 80					i _N = 63 ~ 90								
	d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃	d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃			d ₁ [Ⓣ]	l ₁	l ₃						
13	80	165	130							60	140	105							1125	1160						
14							80	165	130							60	140	105	1195	1230						
15	90	165	130							70	140	105							1367	1402						
16				90	165	130							70	140	105				1413	1448						
17	110	205	165							80	170	130							1560	1600						
18				110	205	165							80	170	130				1620	1660						
19	130	245	200							100	210	165							1832	1877						
20				130	245	200							100	210	165				1892	1937						
21	130	245	200							100	210	165							1902	1947						
22				130	245	200							100	210	165				1957	2002						
规格	减 速 器													a	A ₁	A ₂	b	B ₁	c	c ₁	d ₆	D ₃	e ₂	e ₃	E	g
	a	A ₁	A ₂	b	B ₁	c	c ₁	d ₆	D ₃	e ₂	e ₃	E	g													
	13	1290	425	475	550	325	60	61	210	48	405	265	635														211.5
14	1430	425	475	550	325	60	61	210	48	475	265	705	211.5													

规格	减 速 器												
	a	A ₁	A ₂	b	B ₁	c	c ₁	d ₆	D ₃	e ₂	e ₃	E	g
15	1550	485	520	625	365	70	72	210	55	485	320	762	238
16	1640	485	520	625	365	70	72	210	55	530	320	808	238
17	1740	535	570	690	395	80	81	230	55	525	370	860	259
18	1860	535	570	690	395	80	81	230	55	585	370	920	259
19	2010	610	630	790	448	90	91	245	65	590	420	997	299
20	2130	610	630	790	448	90	91	245	65	650	420	1057	299
21	2140	690	690	830	473	100	100	280	75	655	450	1067	310
22	2250	690	690	830	473	100	100	280	75	710	450	1122	310

规格	减 速 器												
	G _a	h	h ₁	h ₂	H	m ₁	m ₂	m ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	s
13	1180	440	450	495	935	545	545	475	100	305	835	340	35
14	1250	440	450	495	935	545	685	475	100	375	905	340	35
15	1420	500	490	535	1035	655	655	535	120	365	1005	375	42
16	1470	500	490	535	1035	655	745	535	120	410	1050	375	42
17	1620	550	555	595	1145	735	735	600	135	390	1145	425	42
18	1680	550	555	595	1145	735	855	600	135	450	1205	425	42
19	1900	620	615	655	1275	850	850	690	155	435	1345	475	48
20	1960	620	615	655	1275	850	970	690	155	495	1405	475	48
21	1970	700	685	725	1425	900	900	720	170	485	1400	520	56
22	2025	700	685	725	1425	900	1010	720	170	540	1455	520	56

规格	输 出 轴									润 滑 油/L		质 量/kg	
	TB3SH			TB3HH TB3HM		TB3DH TB3DM				TB3. H	TB3. M	TB3. H	TB3. M
	d ₂ [⊕]	G ₂	l ₂	D ₂ [⊕]	G ₄	D ₃	D ₄	G ₄	G ₅				
13	200	335	350	190	335	190	195	335	480	130	110	2380	2260
14	210	335	350	210	335	210	215	335	480	140	115	2750	2615
15	230	380	410	230	380	230	235	380	550	210	160	3730	3540
16	240	380	410	240	380	240	245	380	550	220	165	3955	3765
17	250	415	410	250	415	250	260	415	600	290	230	4990	4760
18	270	415	470	275	415	280	285	415	600	300	235	5495	5240
19	290	465	470	—	—	285	295	465	670	380	360	6240	6050
20	300	465	500	—	—	310	315	465	670	440	420	6950	6710
21	320	490	500	—	—	330	335	490	715	370	420	8480	8190
22	340	490	550	—	—	340	345	490	725	430	490	9240	8950

①、②见表 16-2-193。

TB4. H 的安装尺寸 (规格 5-12)

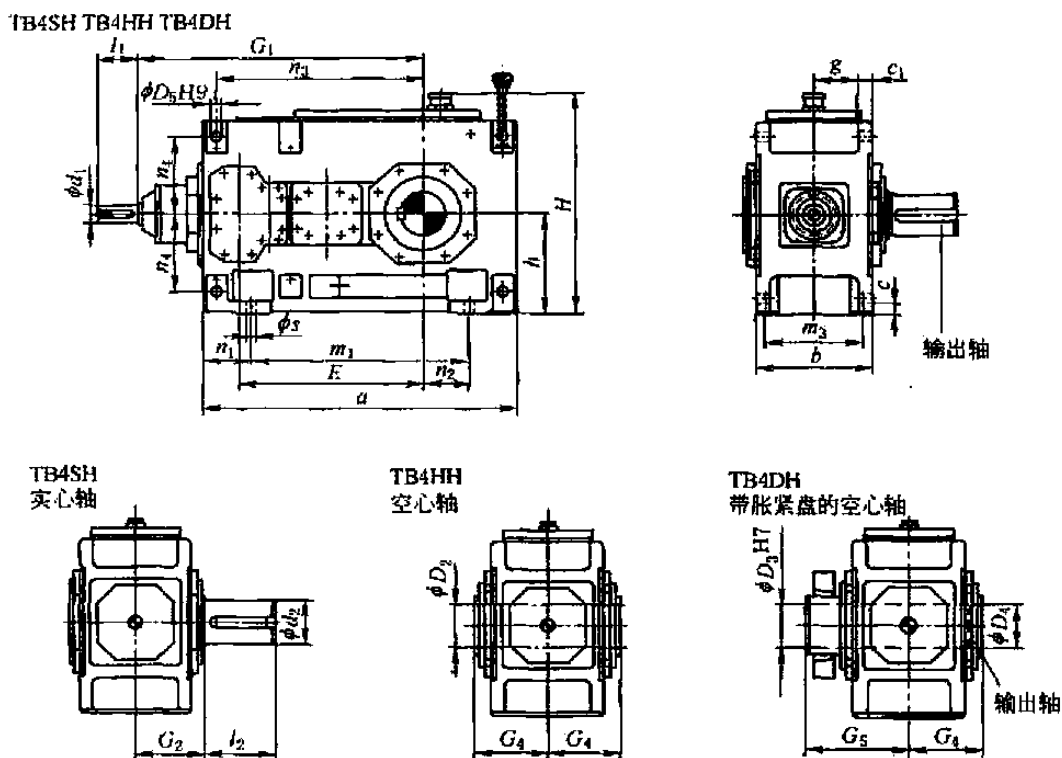


表 16-2-201

mm

规格	输入轴															
	$i_N = 80 \sim 180$		$i_N = 100 \sim 224$		$i_N = 200 \sim 315$		$i_N = 250 \sim 400$		G_1							
	d_1^{D}	l_1	d_1^{D}	l_1	d_1^{D}	l_1	d_1^{D}	l_1								
5	28	55			20	50			615							
6			28	55			20	50	650							
7	30	70			25	60			725							
8			30	70			25	60	770							
9	35	80			28	60			840							
10			35	80			28	60	890							
11	45	100			35	80			1010							
12			45	100			35	80	1080							

规格	减速器															
	a	b	c	c_1	D_5	E	g	h	H	m_1	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s
5	690	255	28	30	24	405	97.5	230	512	480	220	105	100	455	180	19
6	770	255	28	30	24	440	97.5	230	512	560	220	105	145	490	180	19
7	845	300	35	36	28	495	114	280	602	605	260	120	130	560	215	24
8	950	300	35	36	28	540	114	280	617	710	260	120	190	605	215	24
9	1000	370	40	45	36	580	140	320	697	710	320	145	155	660	245	28
10	1100	380	40	45	36	630	140	320	697	810	320	145	205	710	245	28
11	1200	430	50	54	40	705	161	380	817	870	370	165	180	805	300	35
12	1355	430	50	54	40	775	161	380	825	1025	370	165	265	875	300	35

规格	输出轴									润滑油 /L	质量 /kg
	TB4SH			TB4HH		TB4DH					
	$d_2^{\text{①}}$	G_2	l_2	$D_2^{\text{②}}$	G_4	D_3	D_4	G_4	G_3		
5	100	165	210	95	165	100	100	165	240	16	335
6	110	165	210	105	165	110	110	165	240	18	385
7	120	195	210	115	195	120	120	195	280	30	555
8	130	195	250	125	195	130	130	195	285	33	655
9	140	235	250	135	235	140	145	235	330	48	890
10	160	235	300	150	235	150	155	235	350	50	1025
11	170	270	300	165	270	165	170	270	400	80	1485
12	180	270	300	180	270	180	185	270	405	90	1750

①、②见表 16-2-193。

TB4. H, TB4. M 的安装尺寸 (规格 13 ~ 22)

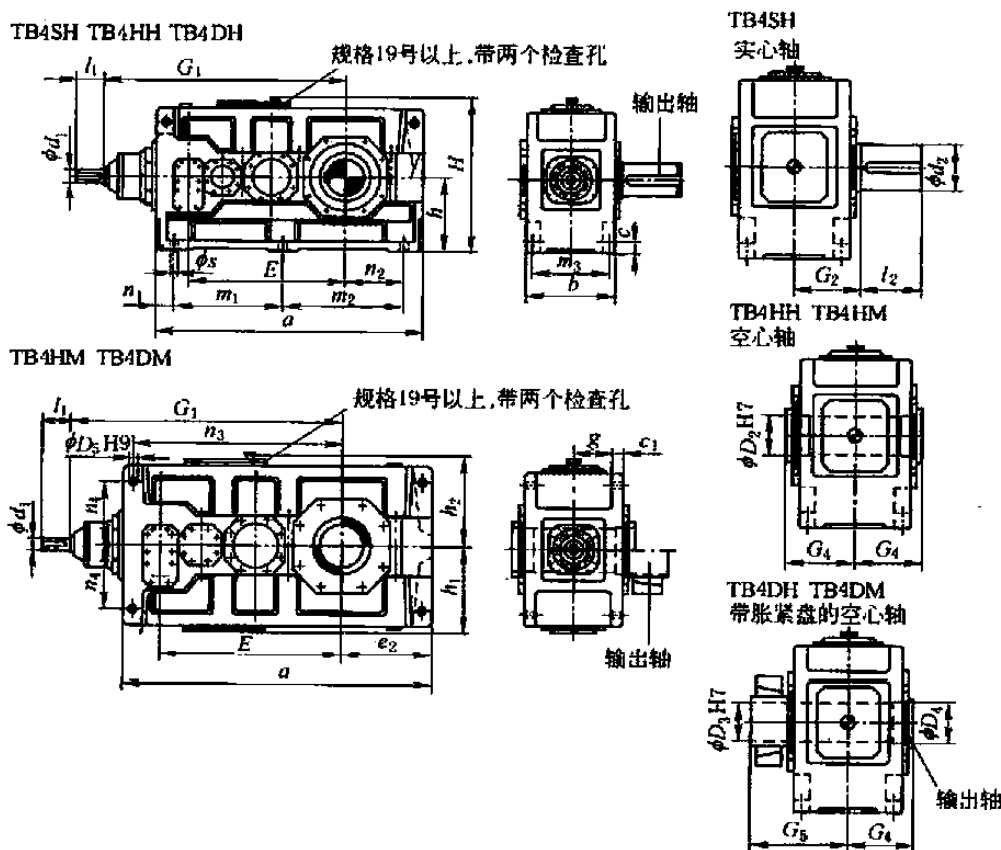


表 16-2-202

mm

规格	输入轴												
	$i_N = 80 - 180$		$i_N = 90 - 200$		$i_N = 100 - 224$		$i_N = 200 - 315$		$i_N = 224 - 355$		$i_N = 250 - 400$		G_1
	$d_1^{\text{①}}$	l_1	$d_1^{\text{①}}$	l_1	$d_1^{\text{①}}$	l_1	$d_1^{\text{①}}$	l_1	$d_1^{\text{①}}$	l_1	$d_1^{\text{①}}$	l_1	
13	55	110					40	100					1170
14					55	110					40	100	1240
15	70	135					50	110					1402

续表

规格	输入轴												G_1
	$i_N = 80 \sim 180$		$i_N = 90 \sim 200$		$i_N = 100 \sim 224$		$i_N = 200 \sim 315$		$i_N = 224 \sim 355$		$i_N = 250 \sim 400$		
	$d_1^{(D)}$	l_1	$d_1^{(D)}$	l_1	$d_1^{(D)}$	l_1	$d_1^{(D)}$	l_1	$d_1^{(D)}$	l_1	$d_1^{(D)}$	l_1	
16			70	135					50	110			1448
17	70	135						50	110				1450
18			70	135					50	110			1510
19	80	165						60	140				1680
20			80	165					60	140			1740
21	90	165						70	140				1992
22			90	165					70	140			2047

规格	减 速 器									
	a	b	c	c_1	D_3	e_2	E	g	h	h_1
13	1395	550	60	61	48	405	820	211.5	440	450
14	1535	550	60	61	48	475	890	211.5	440	450
15	1680	625	70	72	55	485	987	238	500	490
16	1770	625	70	72	55	530	1033	238	500	490
17	1770	690	80	81	55	525	1035	259	550	555
18	1890	690	80	81	55	585	1095	259	550	555
19	2030	790	90	91	65	590	1190	299	620	615
20	2150	790	90	91	65	650	1250	299	620	615
21	2340	830	100	100	75	655	1387	310	700	685
22	2450	830	100	100	75	710	1442	310	700	685

规格	减 速 器									
	h_2	H	m_1	m_2	m_3	n_1	n_2	n_3	n_4	s
13	495	935	597.5	597.5	475	100	305	940	340	35
14	495	935	597.5	737.5	475	100	375	1010	340	35
15	535	1035	720	720	535	120	365	1135	375	42
16	535	1035	720	810	535	120	410	1180	375	42
17	595	1145	750	750	600	135	390	1175	425	42
18	595	1145	750	870	600	135	450	1235	425	42
19	655	1275	860	860	690	155	435	1365	475	48
20	655	1275	860	980	690	155	495	1425	475	48
21	725	1425	1000	1000	720	170	485	1615	520	56
22	725	1425	1000	1110	720	170	540	1670	520	56

规格	输出轴									润滑油/L		质量/kg	
	TB4SH			TB4HH TB4HM		TB4DH TB4DM				TB4. H	TB4. M	TB4. H	TB4. M
	$d_2^{(D)}$	G_2	l_2	$D_2^{(D)}$	G_4	D_3	D_4	G_4	G_5				
13	200	335	350	190	335	190	195	335	480	145	120	2395	2280
14	210	335	350	210	335	210	215	335	480	150	125	2735	2605
15	230	380	410	230	380	230	235	380	550	230	170	3630	3435
16	240	380	410	240	380	240	245	380	550	235	175	3985	3765
17	250	415	410	250	415	250	260	415	600	295	230	4695	4460
18	270	415	470	275	415	280	285	415	600	305	235	5200	4930
19	290	465	470	—	—	285	295	465	670	480	440	5750	5400
20	300	465	500	—	—	310	315	465	670	550	510	6450	6000
21	320	490	500	—	—	330	335	490	715	540	590	7850	7350
22	340	490	550	—	—	340	345	490	725	620	680	8400	7850

①、②见表 16-2-193。

TB2D 带胀紧盘连接的空心轴 (规格 2-18)

X=要求预留的力矩扳手空间

用于胀紧盘连接的工作机驱动轴
工作机驱动轴表面不得粘有机油或润滑脂

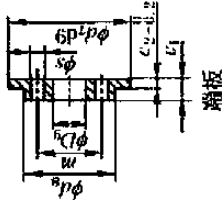
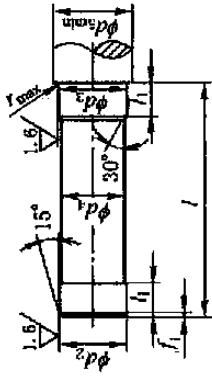
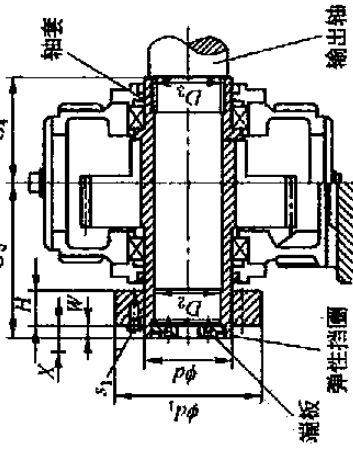
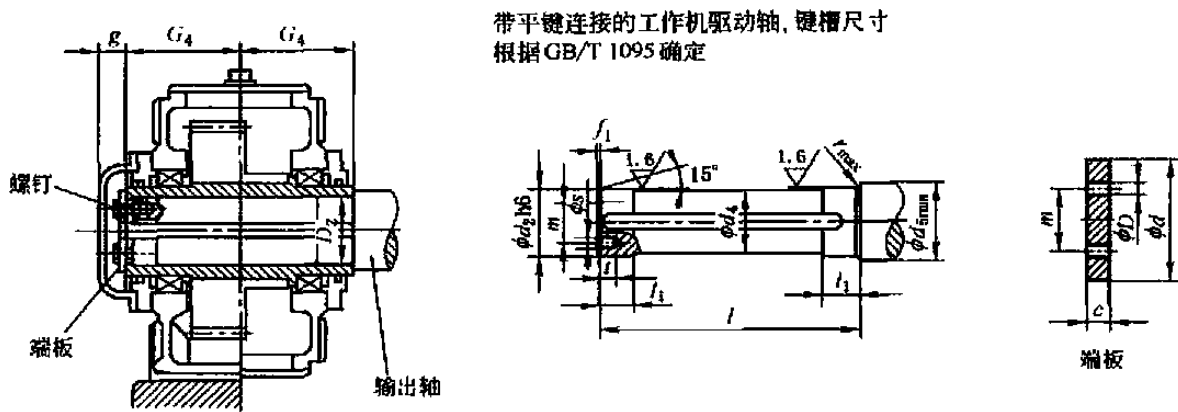


表 16-2-204

mm

减速器规格	工作机驱动轴															端板					弹性挡圈					空心轴					胀紧盘				螺钉	
	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	f ₁	l	l ₁	r	e ₁	e ₂	d ₁	d ₆	D ₉	m	s	数量	挡圈	D ₂	D ₃	D ₄	G ₄	G ₅	类型	d	d ₁	H	W	s ₁								
2	60g6	60g6	59.5	70	3	300	36	2	13	6	65	47	22	35	M6	2	65 × 2.5	60	60	135	180	180	80-32	80	141	31	16	M10								
3	70g6	70h6	69.5	80	4	326	38	2	17	7	75	55	22	40	M8	2	75 × 2.5	70	70	145	200	200	90-32	90	155	38	20	M10								
4	85g6	85h6	84.5	95	4	386	48	2	17	7	90	70	22	50	M8	2	90 × 2.5	85	85	170	235	235	110-32	110	185	49	20	M12								
5	100g6	100h6	99.5	114	5	453	53	2	20	8	105	80	26	55	M10	2	105 × 3	100	100	200	275	275	125-32	125	215	53	20	M12								
6	110g6	110h6	109.5	124	5	453	58	3	20	8	115	85	26	60	M10	2	115 × 3	110	110	200	275	275	140-32	140	230	58	20	M14								
7	120g6	120h6	119.5	134	5	533	68	3	20	8	125	90	26	65	M12	2	125 × 3	120	120	235	320	320	155-32	155	263	62	23	M14								
8	130g6	130h6	129.5	145	6	538	73	3	20	8	135	100	26	70	M12	2	135 × 3	130	130	235	325	325	165-32	165	290	68	23	M16								
9	140g6	145m6	139.5	160	6	609	82	4	23	10	150	110	33	80	M12	2	150 × 3	140	145	270	365	365	175-32	175	300	68	28	M16								
10	150g6	155m6	149.5	170	6	629	92	4	23	10	160	120	33	90	M12	2	160 × 3	150	155	270	385	385	200-32	200	340	85	28	M16								
11	165h6	170m6	164.5	185	7	744	112	4	23	10	175	130	33	90	M12	2	175 × 3	165	170	320	450	450	220-32	220	370	103	30	M20								
12	180h6	185m6	179.5	200	7	749	122	4	23	10	190	140	33	100	M16	2	190 × 3	180	185	320	455	455	240-32	240	405	107	30	M20								
14	210h6	215m6	209.5	233	8	894	147	5	28	14	220	170	33	130	M16	2	220 × 5	210	215	390	535	535	280-32	280	460	132	30	M20								
16	240h6	245m6	239.5	263	8	1039	157	5	28	14	250	190	39	150	M20	2	250 × 5	240	245	450	620	620	320-32	320	520	140	35	M24								
18	280h6	285m6	279.5	306	9	1177	177	5	30	14	290	210	39	160	M20	2	290 × 5	280	285	510	700	700	360-32	360	590	162	35	M24								

TH2H、TH3H、TH4H、TB3H、TB4H 带平键连接的空心轴 (规格 3 ~ 18)



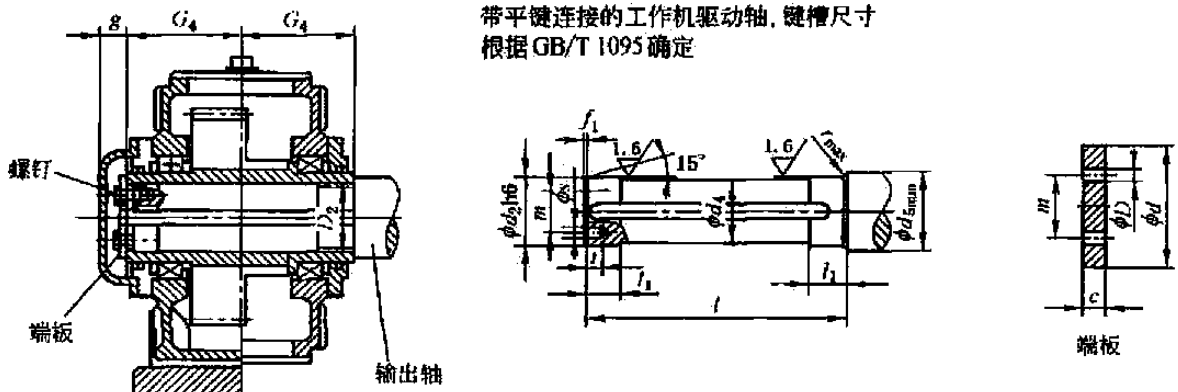
带平键连接的工作机驱动轴, 键槽尺寸
根据GB/T 1095确定

表 16-2-205

mm

减速器 规格	工作机驱动轴									端板				螺钉		空心轴		
	d_2	d_4	d_5	f_1	l	l_1	r	s	t	c	D	d	m	规格	数量	D_2	G_4	g
3	65	64.5	73	4	248	30	1.2	M10	18	8	11	78	45	M10 × 25	2	65	125	35
4	80	79.5	88	4	278	35	1.2	M10	18	10	11	100	60	M10 × 25	2	80	140	35
5	95	94.5	105	5	328	40	1.6	M10	18	10	11	120	70	M10 × 25	2	95	165	40
6	105	104.5	116	5	328	45	1.6	M10	18	10	11	120	70	M10 × 25	2	105	165	40
7	115	114.5	126	5	388	50	1.6	M12	20	12	13.5	140	80	M10 × 30	2	115	195	40
8	125	124.5	136	6	388	55	2.5	M12	20	12	13.5	150	85	M12 × 30	2	125	195	40
9	135	134.5	147	6	467	60	2.5	M12	20	12	13.5	150	90	M12 × 30	2	135	235	45
10	150	149.5	162	6	467	65	2.5	M12	20	12	13.5	180	110	M12 × 30	2	150	235	45
11	165	164.5	177	7	537	70	2.5	M16	28	15	17.5	195	120	M16 × 40	2	165	270	45
12	180	179.5	192	7	537	75	2.5	M16	28	15	17.5	220	130	M16 × 40	2	180	270	45
13	190	189.5	206	7	667	80	3	M16	28	18	17.5	230	140	M16 × 40	2	190	335	45
14	210	209.5	226	8	667	85	3	M16	28	18	17.5	250	160	M16 × 40	2	210	335	45
15	230	229.5	248	8	756	100	3	M20	38	25	22	270	180	M16 × 55	4	230	380	60
16	240	239.5	258	8	756	100	3	M20	38	25	22	280	180	M20 × 55	4	240	380	60
17	250	249.5	270	8	826	110	4	M20	38	25	22	300	190	M20 × 55	4	250	415	60
18	275	274.5	295	9	826	120	4	M20	38	25	22	330	210	M20 × 55	4	275	415	60

TB2H 带平键连接的空心轴 (规格 2 ~ 18)



带平键连接的工作机驱动轴, 键槽尺寸
根据GB/T 1095确定

表 16-2-206

mm

减速器 规格	工作机驱动轴									端板				螺钉		空心轴		
	d_2	d_4	d_5	f_1	l	l_1	r	s	t	c	D	d	m	规格	数量	D_2	G_4	g
2	55	54.5	63	3	268	30	1.2	M8	15	8	9	70	40	M8 × 20	2	55	135	35
3	65	64.5	73	4	288	30	1.2	M10	18	8	11	78	45	M10 × 25	2	65	145	35
4	80	79.5	88	4	338	35	1.2	M10	18	10	11	100	60	M10 × 25	2	80	170	35
5	95	94.5	105	5	398	40	1.6	M10	18	10	11	120	70	M10 × 25	2	95	200	40
6	105	104.5	116	5	398	45	1.6	M10	18	10	11	120	70	M10 × 25	2	105	200	40
7	115	114.5	126	5	468	50	1.6	M12	20	12	13.5	140	80	M12 × 30	2	115	235	40
8	125	124.5	136	6	468	55	2.5	M12	20	12	13.5	150	85	M12 × 30	2	125	235	40
9	135	134.5	147	6	537	60	2.5	M12	20	12	13.5	150	90	M12 × 30	2	135	270	45
10	150	149.5	162	6	537	65	2.5	M12	20	12	13.5	185	110	M12 × 30	2	150	270	45
11	165	164.5	177	7	637	70	2.5	M16	28	15	17.5	195	120	M16 × 40	2	165	320	45
12	180	179.5	192	7	637	75	2.5	M16	28	15	17.5	220	130	M16 × 40	2	180	320	45
14	210	209.5	226	8	777	85	3	M16	28	18	17.5	250	160	M16 × 40	2	210	390	45
16	240	239.5	258	8	896	100	3	M20	38	25	22	280	180	M20 × 55	4	240	450	60
18	275	274.5	295	9	1016	120	4	M20	38	25	22	330	210	M20 × 55	4	275	510	60

13.4 承载能力

表 16-2-207

TH1 的额定功率 P_N 及热功率 P_G

kW

i_N	n_1 /r · min ⁻¹	n_2 /r · min ⁻¹	规格									
			1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
			额定功率 P_N									
1.25	1500	1200	99	327	880	1671	2702					
	1000	800	66	218	586	1114	1801					
	750	600	50	163	440	836	1351					
1.4	1500	1071	93	303	807	1559	2501					
	1000	714	62	202	538	1039	1667					
	750	536	47	152	404	780	1252					
1.6	1500	938	85	285	737	1395	2318	3929				
	1000	625	57	190	491	929	1545	2618	4123			
	750	469	43	142	368	697	1159	1964	3094			
1.8	1500	833	79	209	672	1326	2128	3611				
	1000	556	53	140	448	885	1421	2410	3860			
	750	417	40	105	336	664	1065	1808	2895			
2	1500	750	73	196	644	1217	1963	3353				
	1000	500	49	131	429	812	1309	2236	3571			
	750	375	37	98	322	609	982	1677	2678	4751		
2.24	1500	670	67	175	589	1087	1754	3087				
	1000	446	45	117	392	724	1168	2055	3283			
	750	335	34	88	295	544	877	1543	2466	4280		
2.5	1500	600	63	163	528	974	1571	2764				
	1000	400	42	109	352	649	1047	1843	3016	4607		
	750	300	31	82	264	487	785	1382	2262	3455		

额定功率 P_N

i_N	n_1 /r·min ⁻¹	n_2 /r·min ⁻¹	规格									
			1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
2.8	1500	536	56	152	471	836	1330	2470				
	1000	357	37	101	314	557	886	1645	2692	4224		
	750	268	28	76	236	418	665	1235	2021	3171	4799	
3.15	1500	476	50	135	419	758	1221	2088	3409			
	1000	317	33	90	279	505	813	1391	2270	3850		
	750	238	25	67	209	379	611	1044	1705	2891	4311	
3.55	1500	423	44	124	368	687	1103	1936	3083			
	1000	282	30	83	245	458	735	1290	2055	3484		
	750	211	22	62	183	342	550	966	1538	2607	3822	
4	1500	375	39	110	330	609	982	1728	2780			
	1000	250	26	73	220	406	654	1152	1853	3194	4529	
	750	188	20	55	165	305	492	866	1394	2402	3406	4823
4.5	1500	333	29	77	234	481	746	1395	2008	3557		
	1000	222	19	51	156	321	497	930	1339	2371	3394	
	750	167	14	38	117	241	374	699	1007	1784	2553	3777
5	1500	300	25	66	198	377	644	1059	1712	2790		
	1000	200	16	44	132	251	429	706	1141	1860	2597	3644
	750	150	12	33	99	188	322	529	856	1395	1948	2733
5.6	1500	268	17	56	168	320	491	892	1454	2371		
	1000	179	12	37	112	214	328	596	971	1584	2212	2812
	750	134	9	28	84	160	246	446	727	1186	1656	2105

热功率 P_G (P_{G1} :无辅助冷却装置; P_{G2} :带冷却风扇)

i_N	P_G	规格										
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
1.25	P_{G1}	70.4	105	188	322	497						
	P_{G2}		146	360	580	875						
1.4	P_{G1}	68	105	192	319	504						
	P_{G2}		144	358	579	870						
1.6	P_{G1}	66.2	104	186	316	507	516	747				
	P_{G2}		140	347	555	853	1134	1394				
1.8	P_{G1}	66	107	185	313	502	511	740				
	P_{G2}		151	335	561	834	1119	1441				
2	P_{G1}	65	104	178	310	492	507	733	991			
	P_{G2}		146	321	544	806	1204	1413	1766			
2.24	P_{G1}	57	95.5	172	307	473	502	725	950			
	P_{G2}		139	304	506	767	1154	1385	1752			
2.5	P_{G1}	54.1	88.8	164	303	449	498	719	923			
	P_{G2}		127	285	474	720	1088	1357	1788			
2.8	P_{G1}	52.3	86.7	155	295	473	493	713	925	955		
	P_{G2}		119	264	494	750	1015	1329	1699	1846		
3.15	P_{G1}	49.7	84.6	150	269	379	495	707	888	919		
	P_{G2}		111	253	432	606	1067	1301	1609	1718		
3.55	P_{G1}	45	78.4	145	248	351	479	699	849	902		
	P_{G2}		101	245	395	554	955	1273	1565	1649		
4	P_{G1}	41	73.1	132	233	300	452	665	797	866	1051	
	P_{G2}		91.2	220	353	467	866	1227	1520	1639	1647	
4.5	P_{G1}	41	77	139	225	321	388	630	816	916	1020	
	P_{G2}		99.7	221	331	492	728	1115	1475	1675	1771	
5	P_{G1}	37	69	134	218	290	377	604	812	980	1146	
	P_{G2}		89.7	209	314	439	697	1022	1431	1734	1894	
5.6	P_{G1}	36.5	66.4	122	212	274	364	571	736	899	1149	
	P_{G2}		79.5	184	280	411	656	929	1386	1541	1878	

注:卧式安装减速器要求强制润滑。

表 16-2-208

TH2 的額定功率 P_N

kW

i_N	n_1 /r· min ⁻¹	n_2 /r· min ⁻¹	規 格																			
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6.3	1500	238	87	157	262		474		785		1383		2143		3564		4860					
	1000	159	58	105	175		316		524		924		1432		2381		3247		4862			
	750	119	44	79	131		237		393		692		1072		1782		2430		3639			
7.1	1500	211	77	139	232		420		696		1226		1900		3159	3535	4308	5082				
	1000	141	52	93	155		281		465		819		1270		2111	2362	2879	3396	4311	4946		
	750	106	39	70	117		211		350		616		955		1587	1776	2164	2553	3241	3718	4551	
8	1500	188	69	124	207	266	374	472	620	778	1093	1358	1693	2106	2815	3150	3839	4528				
	1000	125	46	82	137	177	249	314	412	517	726	903	1126	1401	1872	2094	2552	3010	3822	4385	5366	
	750	94	34	62	103	133	187	236	310	389	546	679	846	1053	1408	1575	1919	2264	2874	3297	4036	4508
9	1500	167	61	110	184	236	332	420	551	691	971	1207	1504	1871	2501	2798	3410	4022				
	1000	111	41	73	122	157	221	279	366	459	645	802	1000	1244	1662	1860	2266	2673	3394	3894	4765	5323
	750	83	30	55	91	117	165	209	274	343	482	600	747	930	1243	1391	1695	1999	2538	2912	3563	3981
10	1500	150	55	99	165	212	298	377	495	620	872	1084	1351	1681	2246	2513	3063	3613				
	1000	100	37	66	110	141	199	251	330	414	581	723	901	1120	1497	1675	2042	2408	3058	3508	4293	4796
	750	75	27	49	82	106	149	188	247	310	436	542	675	840	1123	1257	1531	1806	2293	2631	3220	3597
11.2	1500	134	49	88	147	189	267	337	442	554	779	968	1207	1501	2006	2245	2736	3227				
	1000	89	33	59	98	126	177	224	294	368	517	643	801	997	1333	1491	1817	2143	2721	3122	3821	4268
	750	67	25	44	74	95	133	168	221	277	389	484	603	751	1003	1123	1368	1614	2049	2350	2876	3213
12.5	1500	120	44	79	132	170	239	302	396	496	697	867	1081	1345	1797	2010	2450	2890	3669			
	1000	80	29	53	88	113	159	201	264	331	465	578	720	896	1198	1340	1634	1927	2446	2806	3435	3837
	750	60	22	40	66	85	119	151	198	248	349	434	540	672	898	1005	1225	1445	1835	2105	2576	2877
14	1500	107	39	71	118	151	213	269	353	443	622	773	964	1199	1602	1793	2185	2577	3272	3753		
	1000	71	26	47	78	100	141	178	234	294	413	513	639	795	1063	1190	1450	1710	2171	2491	3048	3405
	750	54	20	36	59	76	107	136	178	223	314	390	486	605	809	905	1103	1301	1651	1894	2318	2590
16	1500	94	34	62	103	133	187	236	310	389	546	679	846	1053	1408	1575	1919	2264	2874	3297		
	1000	63	23	42	69	89	125	158	208	261	366	455	567	706	943	1055	1286	1517	1926	2210	2705	3021
	750	47	17	31	52	66	94	118	155	194	273	340	423	527	704	787	960	1132	1437	1649	2018	2254
18	1500	83	30	55	91	117	165	209	274	343	482	600	747	930	1243	1391	1695	1999	2538	2912		
	1000	56	21	37	62	79	111	141	185	232	325	405	504	627	839	938	1143	1349	1712	1964	2404	2686
	750	42	15	28	46	59	84	106	139	174	244	303	378	471	629	704	858	1012	1284	1473	1803	2014
20	1500	75	27	49	82	106	149	188	247	310	436	542	675	840	1123	1257	1531	1806	2293	2631		
	1000	50	18	33	55	71	99	126	165	207	291	361	450	560	749	838	1021	1204	1529	1754	2147	2398
	750	38	14	25	42	54	76	95	125	157	221	275	342	426	569	637	776	915	1162	1333	1631	1822
22.4	1500	67	25	43	72	95	130	168	217	277	382	484		751		1123		1614		2350		
	1000	45	16	29	48	64	88	113	146	186	257	325		504		754		1084		1579		2158
	750	33	12	21	35	47	64	83	107	136	188	238		370		553		795		1158		1583
25	1500	60				85		151		248		434		672								
	1000	40				57		101		165		289		448								
	750	30				42		75		124		217		336								
28	1500	54			74		133		220		383											
	1000	36			49		89		147		256											
	750	27			37		66		110		192											

注：臥式安裝減速器要求強制潤滑。

表 16-2-209

TH2 的热功率 P_G

kW

i_N	P_G	规格																			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6.3	P_{G1}	53.2	75	88.1		143		182		244		406		532		572		650			
	P_{G2}		93.9	131		214		295		417		734		993		1031		1071			
7.1	P_{G1}	50.9	76.8	86.8		138		179		240		404		542	570	575	581	699	720	770	
	P_{G2}		95.7	132		204		285		416		717		980	1023	1179	1026	1071	1209	1143	
8	P_{G1}	49.2	73.4	85.1	93	135	155	174	180	235	281	398	437	548	579	575	639	738	745	844	862
	P_{G2}		91.2	128	139	196	229	275	300	403	482	689	757	956	1007	1125	1127	1171	1233	1332	1310
9	P_{G1}	46.5	70.6	82.7	92.3	129	148	169	174	231	273	388	431	542	576	589	653	763	778	892	902
	P_{G2}		87.6	121	137	188	220	263	290	382	471	658	733	923	978	1110	1175	1218	1328	1435	1474
10	P_{G1}	44.1	66.7	80.6	90.1	125	143	165	168	229	264	376	425	537	574	600	672	785	801	917	936
	P_{G2}		82.3	114	134	179	210	251	277	361	459	627	708	891	949	1094	1223	1398	1424	1537	1638
11.2	P_{G1}	41.7	63.5	76.7	88.6	123	139	162	166	220	259	380	414	515	561	595	673	783	822	921	972
	P_{G2}		78.4	109	130	179	200	236	266	360	431	615	678	849	912	1048	1179	1301	1408	1435	1611
12.5	P_{G1}	40.8	60.7	75.3	84.9	120	134	155	164	224	249	349	398	529	549	593	649	783	815	919	972
	P_{G2}		74.1	106	121	170	190	222	253	346	409	563	644	842	867	1016	1128	1307	1355	1457	1578
14	P_{G1}	38.2	57.3	70.6	80.8	110	131	149	162	222	248	330	400	501	556	589	633	765	814	898	966
	P_{G2}		69.6	98.7	114	153	190	212	238	323	408	527	640	782	860	961	1093	1238	1312	1419	1524
16	P_{G1}	35.3	52	65.8	79.2	108	127	143	160	218	242	300	367	476	525	552	594	735	792	865	943
	P_{G2}		63	91.5	111	142	180	196	224	299	390	471	576	733	798	900	1030	1161	1244	1327	1442
18	P_{G1}	34.4	49.3	64.7	74.3	110	122	143	155	213	237	292	350	450	477	535	612	677	767	844	913
	P_{G2}		58.3	87	101	138	158	188	207	288	348	451	515	650	710	838	918	1036	1108	1200	1286
20	P_{G1}	32.1	47.9	60.2	69.1	95.7	109	134	144	206	228	283	317	436	469	545	617	686	732	815	883
	P_{G2}		57.9	82.8	95.8	131	151	186	198	259	305	395	438	590	629	772	860	946	996	1088	1161
22.4	P_{G1}	31.9	44	55.3	67.8	92	105	124	142	202	224		320		455		594		696		817
	P_{G2}		53.5	75.9	93.6	125	150	171	195	238	305		440		602		827		947		1105
25	P_{G1}				63.1		102		138		219		298								
	P_{G2}				86.7		139		188		290		404								
28	P_{G1}				58.1		97.8		127		209										
	P_{G2}				79.6		132		172		267										

注: P_{G1} —无辅助冷却装置的热功率, P_{G2} —带冷却风扇的热功率。

表 16-2-211

TH3 的热功率 P_G

kW

i_N	P_G	规 格																	
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
22.4	P_{G1}									252		367		504		661		769	
	P_{G2}									376		540		712					
25	P_{G1}	61.4		94.3		127		185		262		361	397	440	491	581	610	644	679
	P_{G2}	75.6		131		176		256		378		535	587	651	712				
28	P_{G1}	59.6		95.5		127		181		258	282	355	394	434	476	577	608	642	695
	P_{G2}	73.8		134		173		247		369	414	523	582	636	694				
31.5	P_{G1}	58.4	64.5	89.7	100	123	124	176	214	251	275	347	390	422	469	564	596	638	690
	P_{G2}	71.8	80.5	126	139	166	175	237	288	354	403	498	575	603	683				
35.5	P_{G1}	57	63	89.7	100	120	123	169	208	253	274	347	380	415	454	564	588	635	684
	P_{G2}	69.7	79	122	139	162	170	228	280	347	394	479	543	573	643				
40	P_{G1}	54.3	61.8	86.3	96.6	111	121	162	204	228	258	330	360	382	430	527	562	631	673
	P_{G2}	66	76.9	115	134	150	165	216	271	309	368	470	512	550	606				
45	P_{G1}	52.3	60.1	79.9	86.7	106	116	161	194	217	247	321	344	378	412	521	542	623	666
	P_{G2}	63.5	74.5	107	122	142	157	215	255	291	345	443	496	542	585				
50	P_{G1}	50.8	57.4	73.9	84.8	102	110	156	189	212	238	312	340	369	407	493	536	611	657
	P_{G2}	60.8	70.7	100	115	135	147	206	245	281	322	413	480	490	570				
56	P_{G1}	48.4	55.3	71	82.1	97.4	106	146	182	204	227	305	339	350	398	470	507	600	643
	P_{G2}	57.6	67.9	94.9	110	127	143	189	240	262	297	386	454	460	520				
63	P_{G1}	45.8	53.6	66.4	78.4	92.8	105	139	177	194	221	290	321	327	375	454	500	588	622
	P_{G2}	54	65	88.2	105	120	139	173	230	249	278	365	394	417	460				
71	P_{G1}	46.1	51.1	64.9	75	91.1	101	138	168	190	212	282	301	321	352	436	469	566	598
	P_{G2}	52.8	61.5	83.8	97.7	118	133	166	228	245	271	335	378	384	440				
80	P_{G1}	43.6	48.3	63.4	70.3	86.5	95.9	130	159	185	202	269	291	306	345	411	449	542	585
	P_{G2}	51.1	57.6	82.6	93	112	121	165	201	237	260	325	358	365	423				
90	P_{G1}	43.2	48.8	60.1	66.7	81.4	94.2	127	154	175	199	255	279	286	329	389	422	524	560
	P_{G2}	50.3	56.4	77.6	88.6	108	119	160	198	230	254	310	334	340	395				
100	P_{G1}		46.1		67.4		89.5		145		194		263		307		400		543
	P_{G2}		54.6		87.5		112		182		243		315		369				
112	P_{G1}		45.9		63.7		84.4		140		183								
	P_{G2}		54		82		105		174		235								

注：见表 16-2-209 注。

表 16-2-213

TH4 的热功率 P_G

kW

i_N	P_G	规格															
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
100	P_{G1}	53.2		72.5		106		154		213		246		331		430	
112	P_{G1}	52.6		71.3		106		152		206	220	239	263	321	335	421	445
125	P_{G1}	51.5	57.5	70.2	75.3	103	117	148	161	200	216	232	255	314	331	416	436
140	P_{G1}	49.8	56.6	68.9	74.3	101	118	144	159	194	207	225	247	293	312	392	424
160	P_{G1}	48.5	55.4	66.1	73.3	97.9	115	138	155	187	201	216	239	282	302	380	406
180	P_{G1}	46.9	53.6	64.1	71.6	95.1	113	133	151	185	194	214	230	267	285	375	392
200	P_{G1}	46.1	52.1	62.7	69	91.9	109	131	145	182	192	212	229	259	275	369	386
224	P_{G1}	43.7	50.6	60.1	66.7	88.3	106	127	140	173	189	200	225	252	267	353	382
250	P_{G1}	41.9	49.7	57.6	65.3	83.5	102	121	138	164	178	191	213	242	260	335	365
280	P_{G1}	40.3	47.2	56.7	62.7	80.7	98.1	117	133	161	170	186	202	233	248	324	346
315	P_{G1}	39.3	45.1	53.8	60.1	79.1	92.8	112	128	153	166	177	198	228	242	314	334
355	P_{G1}	37.3	43.5	53.2	59.2	75.2	89.9	107	123	148	159	173	189	216	236	299	324
400	P_{G1}		42.4		56.2		88.3		118		154		183		223		308
450	P_{G1}		40.1		55.4		83.7		113								

注：见表 16-2-209 注。

表 16-2-214

TB2 的额定功率 P_N

kW

i_N	n_1 /r·min ⁻¹	n_2 /r·min ⁻¹	规格																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5	1500	300	36	63	97	182	295		559		880		1351		2073					
	1000	200	24	42	65	121	197		373		586		901		1382		2555			
	750	150	18	31	49	91	148		280		440		675		1037		1916			
5.6	1500	268	32	56	87	163	264		500		786		1263		1880					
	1000	179	22	37	58	109	176		334		525		843		1256		2287			
	750	134	16	28	43	81	132		250		393		631		940		1712	1894	2736	
6.3	1500	238	29	50	77	145	234	299	444	556	698	887	1171	1371	1769	2044				
	1000	159	19	33	52	97	157	200	296	371	466	593	783	916	1182	1365	2164	2348		
	750	119	14	25	39	72	117	150	222	278	349	444	586	685	885	1022	1620	1757	2430	
7.1	1500	211	25	44	68	128	208	265	393	493	619	787	1083	1259	1613	1856				
	1000	141	17	30	46	86	139	177	263	329	413	526	723	842	1078	1240	1949	2141	2879	
	750	106	13	22	34	64	104	133	198	248	311	395	544	633	810	932	1465	1609	2164	2553
8	1500	188	23	39	61	114	185	236	350	439	551	701	994	1161	1516	1732	2598			
	1000	125	15	26	41	76	123	157	233	292	366	466	661	772	1008	1152	1728	1937	2552	
	750	94	11	20	31	57	93	118	175	219	276	350	497	581	758	866	1299	1457	1919	2264
9	1500	167	20	35	54	101	164	210	311	390	490	623	883	1067	1364	1591	2309	2588		
	1000	111	13	23	36	67	109	139	207	259	325	414	587	709	907	1058	1534	1720	2266	2673
	750	83	10	17	27	50	82	104	155	194	243	309	439	530	678	791	1147	1286	1695	1999
10	1500	150	18	31	49	91	148	188	280	350	440	559	793	974	1225	1492	2073	2325		
	1000	100	12	21	32	61	98	126	186	234	293	373	529	649	817	995	1382	1550	2042	2408
	750	75	9	16	24	46	74	94	140	175	220	280	397	487	613	746	1037	1162	1531	1806
11.2	1500	134	16	28	43	81	132	168	250	313	393	500	709	870	1094	1368	1852	2077		
	1000	89	11	19	29	54	88	112	166	208	261	332	471	578	727	909	1230	1379	1817	2143
	750	67	8.1	14	22	41	66	84	125	156	196	250	354	435	547	684	926	1038	1368	1614

续表

i_N	n_1 /r·min ⁻¹	n_2 /r·min ⁻¹	规格																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
12.5	1500	120	14	25	39				151		280		447		779		1225		1860	
	1000	80	10	17	26				101		187		298		519		817		1240	1927
	750	60	7.2	13	19				75		140		224		390		613		930	1445
14	1500	107	13	22	35				134		250		399		695		1092			
	1000	71	8.5	15	23				89		166		265		461		725			
	750	54	6.5	11	18				68		126		201		351		551			
16	1500	94	11	19	31															
	1000	63	7.3	13	20															
	750	47	5.4	9.6	15															
18	1500	83	9	16	26															
	1000	56	6	11	18															
	750	42	4.5	7.9	13															

注：卧式安装减速器要求强制润滑。

表 16-2-215

TB2 的热功率 P_G

kW

i_N	P_G	规格																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	P_{G1}	34.9	45.6	59.7	83.4	106			152		186		280		360		517			
	P_{G2}	38.1	50.6	73.1	115	160			218		236		478		659		828			
5.6	P_{G1}	33.4	44	57.6	77.1	107			145		180		276		376		531	558	570	
	P_{G2}	36	48.5	70.4	106	150			210		225		488		658		818	858	869	
6.3	P_{G1}	32	39.7	52.2	73.3	99.8	112	139	160	176	194	273	339	355	412	523	571	591		
	P_{G2}	34.7	43.7	63.5	100	140	173	197	210	233	252	446	540	597	673	820	848	871		
7.1	P_{G1}	30.7	39.4	51.5	68.8	91.2	106	132	155	168	188	284	350	381	429	534	586	603	627	
	P_{G2}	35.4	43.5	62.7	93.6	131	162	186	201	225	237	440	527	601	667	787	838	861	880	
8	P_{G1}	28.5	36.6	48	62.6	90.1	99.8	126	150	164	180	276	332	356	423	499	567	580	618	
	P_{G2}	31.2	40.2	58.2	86.9	121	150	176	198	219	246	402	515	564	636	746	828	840	862	
9	P_{G1}	25	34.2	45.8	58.9	83.2	93.6	121	144	150	168	283	359	374	425	529	560	591	639	
	P_{G2}	26.6	37.6	55.2	82.7	117	140	167	195	211	222	387	506	520	626	678	735	773	819	
10	P_{G1}	22.2	28.6	38.4	52	84.8	86.4	113	133	140	159	258	327	366	422	500	559	593	620	
	P_{G2}	23	31.2	46.4	69.9	99.5	130	155	189	203	218	362	459	492	573	630	702	720	783	
11.2	P_{G1}	21.3	27.8	37.6	50.9	65.6	83.2	110	125	132	152	255	336	346	440	467	550	572	619	
	P_{G2}	22.1	30.4	44.8	67.2	95.5	125	138	180	195	215	308	401	420	525	536	625	655	708	
12.5	P_{G1}	20.5	29.4	37.3			80.6		126		150		321		423		521		580	
	P_{G2}	21.4	32	45.1			115		167		205		395		495		567		622	
14	P_{G1}	19.4	25.6	33.3			76.5		117		138		302		378					
	P_{G2}	21	27.8	39.7			102		148		181		347		439					
16	P_{G1}	18.6	24	31.2																
	P_{G2}	19.8	25.9	37.1																
18	P_{G1}	17.1	21.8	28.3																
	P_{G2}	18.2	23.7	33.6																

注：见表 16-2-209 注。

表 16-2-217

TB3 的热功率 P_G

kW

i_k	P_G	规格																			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
12.5	P_{G1}		57.6	81		104		157		218		335		413		458		552		623	
	P_{G2}		66.5	97		141		205		277		434		535		625		664		761	
14	P_{G1}		55.7	78		109		152		211		322		401	429	445	460	556	605	635	654
	P_{G2}		64.9	93.2		135		197		267		417		520	565	625	648	673	737	780	854
16	P_{G1}		53.7	75.2	86.8	105	122	146	158	204	239	310	365	389	417	433	447	560	611	641	665
	P_{G2}		62.2	89.7	102	130	149	189	212	256	313	400	468	502	543	600	630	687	745	793	862
18	P_{G1}		51.4	72.2	83.7	101	118	139	152	197	232	299	353	377	404	419	436	564	621	657	677
	P_{G2}		59.8	86	98.2	125	143	181	204	246	301	383	449	482	523	581	605	701	754	802	870
20	P_{G1}	33	49.6	69.6	80.7	98.9	113	133	146	194	225	289	340	363	392	400	423	570	629	669	691
	P_{G2}	37.1	57	82.9	94.4	120	138	174	195	241	288	372	429	475	502	548	585	715	761	815	875
22.4	P_{G1}	32.8	47.8	67.5	77.4	92.1	109	130	140	184	218	275	327	344	381	394	425	575	635	681	708
	P_{G2}	37.1	54.7	79.5	90.8	112	132	165	187	227	276	353	409	460	490	537	585	730	781	837	888
25	P_{G1}	30.7	43.8	61.9	74.2	87.5	106	122	135	187	219	260	315	347	378	392	413	562	604	670	681
	P_{G2}	34.7	49.9	72.6	87.4	106	129	155	178	213	269	328	389	430	474	520	571	715	763	822	861
28	P_{G1}	29.9	43.5	61	71.4	82.7	99	115	129	179	221	249	301	330	363	380	388	540	569	638	663
	P_{G2}	33.6	49.9	71.2	84	99.8	120	145	169	201	255	315	372	400	441	486	527	679	725	797	837
31.5	P_{G1}	28.2	41	57.6	65.8	79.5	94.7	109	121	170	208	236	286	319	340	353	373	509	548	601	645
	P_{G2}	31.7	46.9	67.2	76.6	93.6	113	136	159	189	238	296	346	384	428	449	515	621	679	729	805
35.5	P_{G1}	26.7	39	55.5	65.1	75.2	89.6	106	114	149	189	226	255	293	311	315	325	475	500	588	631
	P_{G2}	29.8	44.3	64.3	75.5	89	107	131	148	180	224	282	325	369	395	430	477	596	628	700	744
40	P_{G1}	23.5	33.9	48.6	61.6	65.6	84.3	98.9	108	150	184	211	258	296	315	321	336	464	504	558	611
	P_{G2}	26.2	38.2	56	71.5	77.6	100	121	139	168	211	263	307	347	379	406	457	558	603	655	713
45	P_{G1}	23.2	33.4	47.4	59.2	63.3	80.3	90	103	144	177	192	249	271	307	311	325	445	478	513	578
	P_{G2}	25.6	37.4	54.6	68.5	75	95.1	110	134	153	201	235	294	314	355	370	430	528	563	595	667
50	P_{G1}	22.7	34.1	47.2	52	62.9	70.5	88.1	98.3	143	168	198	234	274	282	300	306	433	439	520	531
	P_{G2}	25.3	38.2	54.1	59.5	74.4	83.7	107	124	150	186	242	273	316	322	375	392	507	515	594	606
56	P_{G1}	20.3	30.4	42.7	50.4	57.5	68.3	79.4	89.9	132	164	180	211	249	275	288	311	395	424	471	521
	P_{G2}	22.4	34.1	48.8	57.9	67.5	81	96.8	113	135	170	217	246	285	323	360	397	458	512	534	593
63	P_{G1}	20	29	40.8	49.6	55.2	67.1	75.9	86.3	124	160	171	203	239	261	272	295	386	410	463	493
	P_{G2}	21.8	32	46.1	57.4	63.9	80	91.2	111	127	167	204	250	270	292	322	359	439	461	513	541
71	P_{G1}	18.6	25.8	37.6	45.8	51	65.3	69.3	79.4	112	148	154	200	226	249	261	288	365	396	436	476
	P_{G2}	20	28.3	42.1	52	58.8	72.8	82.8	99.6	129	164	185	225	249	276	300	341	411	443	480	521
80	P_{G1}				43.4		59.4		75.3		139		189		234		279		375		450
	P_{G2}				49		68.9		94.3		168		212		255		316		414		487
90	P_{G1}				40		55.1		68.7		125		171								
	P_{G2}				45		63.5		85.5		154		193								

注：见表 16-2-209 注。

表 16-2-219

TB4 的热功率 P_G

kW

i_N	P_G	规格																	
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
80	P_{G1}	35.9		53.5		76.4		114		164		216		266		333		464	
90	P_{G1}	35.8		52.1		74		108		158		215	234	254	284	318	343	453	490
100	P_{G1}	33.9	38.1	48.5	57.5	68.9	79.5	103	134	149	173	204	223	238	270	299	326	439	486
112	P_{G1}	33	38.1	48.4	56	68.1	77	98.5	126	143	165	195	211	228	254	283	306	414	440
125	P_{G1}	31.3	36.1	46	52.3	65.3	71.5	93.6	120	135	156	186	203	218	241	270	291	400	440
140	P_{G1}	29.5	35	43.9	52.1	62.9	71.1	90	115	131	149	180	194	209	230	261	278	388	413
160	P_{G1}	26.6	33.1	38.8	49.6	56.3	68.1	81	109	123	141	170	186	198	223	248	269	370	401
180	P_{G1}	26.3	31.5	38.1	47.3	54.9	65.5	78.9	105	114	138	158	176	183	209	228	255	344	383
200	P_{G1}	26.1	28.4	38.8	41.8	54.6	58.6	78.3	94.6	113	130	156	164	181	194	231	245	345	355
224	P_{G1}	23.5	28	35.3	41	50.1	57.3	72.3	91.9	103	120	144	163	166	193	214	239	318	354
250	P_{G1}	23.1	27.8	33.8	41.9	47.8	56.9	69.1	91.3	98.5	119	138	149	159	176	204	220	305	328
280	P_{G1}	21.4	25	30.4	38.1	44.4	52.4	64.5	84	90.5	109	126	143	146	168	189	210	288	313
315	P_{G1}	19.5	24.5	28.5	36.3	41.3	49.8	59.1	80.3	85.9	104	118	130	136	154	178	195	264	295
355	P_{G1}		22.8		32.9		46.5		74.8		95.5		122		144		184		270
400	P_{G1}		21		31.1		43.1		68.8		90.5								

注：见表 16-2-209 注。

表 16-2-220

TH 的额定输出转矩

kN·m

i_N	规格																				
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1.25	0.79	2.6		7		13.3		21.5													
1.4	0.83	2.7		7.2		13.9		22.3													
1.6	0.87	2.9		7.5		14.2		23.6		40		63									
1.8	0.91	2.4		7.7		15.2		24.4		41.4		66.3									
2	0.93	2.5		8.2		15.5		25		42.7		68.2		121							
2.24	0.96	2.5		8.4		15.5		25		44		70.3		122							
2.5	1	2.6		8.4		15.5		25		44		72		110							
2.8	1	2.7		8.4		14.9		23.7		44		72		113		171					
3.15	1	2.7		8.4		15.2		24.5		41.9		68.4		116		173					
3.55	1	2.8		8.3		15.5		24.9		43.7		69.6		118		173					
4	1	2.8		8.4		15.5		25		44		70.8		122		173		245			
4.5	0.82	2.2		6.7		13.8		21.4		40		57.6		102		146		216			
5	0.78	2.1		6.3		12		20.5		33.7		54.5		88.8		124		174			
5.6	0.62	2		6		11.4		17.5		31.8		51.8		84.5		118		150			
6.3		3.5	6.3	10.5		19		31.5		55.5		86		143		195		292			
7.1		3.5	6.3	10.5		19		31.5		55.5		86		143	160	195	230	292	335	410	
8		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
9		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
10		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
11.2		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
12.5		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
14		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458
16		3.5	6.3	10.5	13.5	19	24	31.5	39.5	55.5	69	86	107	143	160	195	230	292	335	410	458

续表

i_4	规格																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
35.5			3.6	6.6	11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
40			3.6	6.6	11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
45			3.6	6.6	11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
50			3.6	6.6	11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
56			3.6	6.6	11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
63			3.6	6.6	11	14.5	20	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
71			3.6	6.6	11	14.5	20	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
80					11	14	20.5	25.2	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
90					11	14	20.5	25.2	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
100					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
112					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
125					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
140					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
160					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
180					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
200					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
224					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
250					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
280					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
315					11	14.5	20.5	25.5	34	43	60	75	88	109	153	173	200	240	300	345	420	470
355						14.5		25.5		43		75		109		173		240		345		470
400						14.5		25.5		43		75		109								

表 16-2-222

允许的附加径向力 F_{R2} ，作用于输出轴轴端中部

kN

类型	布置型式	规格																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
TH2S.	A/B/G/H	—	—	8	10	22	22	30	30	30	45	64	64	150	150	140	205	205	205
	C/D	—	—	8	10	13	13	18	18	10	28	35	35	112	112	85	135	135	135
TH3S.	A/B/G/H	—	—	—	—	29	29	40	40	40	60	85	85	190	190	185	265	265	265
	C/D	—	—	—	—	18	18	26	26	18	40	50	50	150	150	120	185	185	190
TH4S.	A/B	—	—	—	—	—	—	26	26	18	40	50	50	150	150	120	185	185	190
	C/D	—	—	—	—	—	—	40	40	40	60	85	85	190	190	185	265	265	265
TB2S.	A/C	7	10	10	13	27	27	37	37	38	55	78	78	160	160	150	210	210	210
	B/D	4	7	9	12	15	15	17	17	10	30	35	38	110	110	75	145	100	100
TB3S.	A/C	—	—	9	14	29	29	40	40	40	60	85	85	190	190	185	265	265	265
	B/D	—	—	7	9	18	18	26	26	18	40	50	50	150	150	120	185	185	190
TB4S.	A/C	—	—	—	—	29	29	40	40	40	60	85	85	190	190	185	265	265	265
	B/D	—	—	—	—	18	18	26	26	18	40	50	50	150	150	120	185	185	190

注：需要承受附加径向力时请与厂家联系，基础螺栓的最低性能等级为 8.8 级，基础必须干燥，不得有油脂。

13.5 减速器的选用

选用的减速器必须满足机械承载的额定功率及热平衡许用功率两方面要求。

1) 计算传动比

$$i_x = \frac{n_1}{n_2} \quad (16-2-30)$$

式中 n_1 ——输入转速, r/min;

n_2 ——输出转速, r/min。

2) 确定减速器的额定功率, 应满足:

$$P_N \geq P_z f_1 f_2 f_3 f_4 \quad (16-2-31)$$

式中 P_N ——减速器的额定功率, kW (见功率表);

P_z ——载荷功率, kW;

f_1 ——工作机系数, 见表 16-2-223;

f_2 ——原动机系数, 见表 16-2-224;

f_3 ——减速器安全系数, 见表 16-2-225;

f_4 ——启动系数, 见表 16-2-226。

3) 校核最大转矩, 如峰值工作转矩, 启动转矩或制动转矩应满足要求:

$$P_N \geq \frac{T_A n_1}{9550} f_5 \quad (16-2-32)$$

式中 T_A ——输入轴最大转矩, 如峰值工作转矩、启动转矩或制动转矩, N·m;

f_5 ——峰值转矩系数, 见表 16-2-227。

4) 检查输出轴上是否允许有附加载荷, 许用附加径向力见表 16-2-222。

5) 确定供油方式: 减速器卧式安装时采用浸油飞溅润滑; 立式安装时可选浸油润滑或强制润滑。

6) 校核热平衡功率

① 不带辅助冷却时, 应满足:

$$P_z \leq P_C = P_{G1} f_6 f_7 f_8 f_9 \quad (16-2-33)$$

式中 P_C ——减速器的热功率, kW;

P_{G1} ——无辅助冷却装置的热功率, kW (见热功率表);

f_6 ——环境温度系数, 见表 16-2-228;

f_7 ——海拔高度系数, 见表 16-2-229;

f_8 ——立式安装供油系数, 见表 16-2-230;

f_9 ——无辅助冷却装置的热容量系数, 见表 16-2-231。

② 带有冷却风扇装置时应满足:

$$P_z \leq P_C = P_{G2} f_6 f_7 f_8 f_{10} \quad (16-2-34)$$

式中 P_{G2} ——带冷却风扇装置时的热功率, kW (见热功率表);

f_{10} ——带冷却风扇装置时的热容量系数, 见表 16-2-232。

表 16-2-223

工作机系数 f_1

工作机		日工作小时数			工作机		日工作小时数		
		≤0.5h	0.5~10h	>10h			≤0.5h	0.5~10h	>10h
污水处理	浓缩器(中心传动)	—	—	1.2	污水处理	曝气机	—	1.8	2.0
	压滤器	1.0	1.3	1.5		接集设备	1.0	1.2	1.3
	絮凝器	0.8	1.0	1.3		纵向、回转组合接集装置	1.0	1.3	1.5

续表

	工作机	日工作小时数				工作机	日工作小时数		
		≤0.5h	0.5~10h	>10h			≤0.5h	0.5~10h	>10h
污水处理	预浓缩器	—	1.1	1.3	金属加工设备	可逆式中厚板轧机	—	1.8	1.8
	螺杆泵	—	1.3	1.5		辊缝调节驱动装置	0.9	1.0	—
	水轮机	—	—	2.0	输送机	斗式输送机	—	1.2	1.5
	离心泵	1.0	1.2	1.3		绞车	1.4	1.6	1.6
	1个活塞容积式泵	1.3	1.4	1.8		卷扬机	—	1.5	1.8
	>1个活塞容积式泵	1.2	1.4	1.5		带式输送机 <150kW	1.0	1.2	1.3
挖泥机	斗式运输机	—	1.6	1.6		带式输送机 ≥150kW	1.1	1.3	1.5
	倾卸装置	—	1.3	1.5		货用电梯	—	1.2	1.5
	Cartepillar 行走机构	1.2	1.6	1.8		客用电梯	—	1.5	1.8
	斗轮式挖掘机(用于捡拾)	—	1.7	1.7		刮板式输送机	—	1.2	1.5
	斗轮式挖掘机(用于粗料)	—	2.2	2.2		自动扶梯	—	1.2	1.4
	切碎机	—	2.2	2.2		轨道行走机构	—	1.5	—
	行走机构	—	1.4	1.8	变频装置	—	1.8	2.0	
	弯板机	—	1.0	1.0	往复式压缩机	—	1.8	1.9	
化学工业	挤压机	—	—	1.6	起重机械	回转机构	2.5	2.5	3.0
	调浆机	—	1.8	1.8		俯仰机构	2.5	2.5	3.0
	橡胶研光机	—	1.5	1.5		行走机构	2.5	3.0	3.0
	冷却圆筒	—	1.3	1.4		提升机构	2.5	2.5	3.0
	混料机,用于均匀介质	1.0	1.3	1.4		转臂式起重机	2.5	2.5	3.0
	混料机,用于非均匀介质	1.4	1.6	1.7		冷却塔	冷却塔风扇	—	—	2.0
	搅拌机,用于密度均匀介质	1.0	1.3	1.5	风机(轴流和离心式)		—	1.4	1.5
	搅拌机,用于非均匀介质	1.2	1.4	1.6	蔗糖生产	甘蔗切碎机	—	—	1.7
	搅拌机,用于不均匀气体吸收	1.4	1.6	1.8		甘蔗碾磨机	—	—	1.7
	烘炉	1.0	1.3	1.5	甜菜糖生产	甜菜绞碎机	—	—	1.2
离心机	1.0	1.2	1.3	榨取机,机械制冷机,蒸煮机		—	—	1.4	
翻板机	1.0	1.0	1.2	甜菜清洗机		—	—	1.5	
金属加工设备	推钢机	1.0	1.2	1.2	造纸机械	甜菜切碎机	—	—	1.5
	绕线机	—	1.6	1.6		各种类型	—	1.8	2.0
	冷床横移架	—	1.5	1.5	碎浆机驱动装置	2.0	2.0	2.0	
	辊式矫直机	—	1.6	1.6	离心式压缩机	—	1.4	1.5	
	辊道(连续式)	—	1.5	1.5	索道缆车	运货索道	—	1.3	1.4
	辊道(间歇式)	—	2.0	2.0		往返系统空中索道	—	1.6	1.8
	可逆式轧管机	—	1.8	1.8		T形杆升降机	—	1.3	1.4
	剪切机(连续式)	—	1.5	1.5		连续索道	—	1.4	1.6
	剪切机(曲柄式)	1.0	1.0	1.0	水泥工业	混凝土搅拌器	—	1.5	1.5
	连铸机驱动装置	—	1.4	1.4		破碎机	—	1.2	1.4
	可逆式开坯机	—	2.5	2.5		回转窑	—	—	2.0
	可逆式板坯轧机	—	2.5	2.5		管式磨机	—	—	2.0
	可逆式线材轧机	—	1.8	1.8		选粉机	—	1.6	1.6
	可逆式薄板轧机	—	2.0	2.0		辊压机	—	—	2.0

表 16-2-224 原动机系数 f_2

电机, 液压马达, 汽轮机	1.0
4~6缸活塞发动机	1.25
1~3缸活塞发动机	1.5

表 16-2-226 启动系数 f_4

每小时启动次数	$f_1 \times f_2 \times f_3$			
	1	1.25~1.75	2~2.75	≥ 3
≤ 5	1	1	1	1
6~25	1.2	1.12	1.06	1
26~60	1.3	1.2	1.12	1.06
61~180	1.5	1.3	1.2	1.12
>180	1.7	1.5	1.3	1.2

表 16-2-228 环境温度系数 f_6

不带辅助冷却装置或仅带冷却风扇					
环境温度/°C	每小时工作周期(ED)百分比/%				
	100	80	60	40	20
10	1.14	1.20	1.32	1.54	2.04
20	1.00	1.06	1.16	1.35	1.79
30	0.87	0.93	1.00	1.18	1.56
40	0.71	0.75	0.82	0.96	1.27
50	0.55	0.58	0.64	0.74	0.98

表 16-2-230 立式安装减速器供油系数 f_5

类型	供油方式	规格 1~12				规格 13~18			
		不带辅助冷却装置	带冷却风扇	带冷却盘管	带风扇和冷却盘管	不带辅助冷却装置	带冷却风扇	带冷却盘管	带风扇和冷却盘管
TH2.V TH3.V TH4.V	浸油润滑	0.95	...	...	...	...	...	...	...
	强制润滑	1.15	...	...	...	1.15	...	...	...
TB2.V TB3.V TB4.V	浸油润滑	0.95	0.95	...	...	...	...	...	...
	强制润滑	1.15	1.10	...	...	1.15	1.10	...	...

注: ...表示根据用户要求供货。

表 16-2-231 无辅助冷却装置减速器的热容量系数 f_7

类型	n /r·min ⁻¹	传动比 i	狭小空间安装 风速 ≥ 1 m/s				室内大厅、大车间安装 风速 ≥ 2 m/s				室外安装 风速 ≥ 4 m/s			
			规格				规格				规格			
			1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22
TH1SH	750	1.25~2	0.60	0.57	—	—	0.77	0.73	—	—	1.00	1.00	1.00	—
		2.24~5.6	0.67	0.64	0.61	0.56	0.81	0.79	0.75	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00
	1000	1.25~2	0.55	—	—	—	0.72	0.63	—	—	0.99	0.90	—	—
		2.24~5.6	0.69	0.59	0.53	—	0.85	0.76	0.66	0.50	1.07	0.99	0.92	0.78
	1500	1.25~2	0.43	—	—	—	0.63	—	—	—	0.92	—	—	—
2.24~3.55 4~5.6		0.56 0.74	—	—	—	0.76 0.93	0.56 0.69	—	—	1.04 1.19	0.86 0.96	—	—	
TH2. TB2.	750	5~9	0.66	0.58	0.60	0.60	0.81	0.76	0.74	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00
		10~28	0.71	0.68	0.67	0.68	0.83	0.82	0.81	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00
1000	5~9	0.66	0.54	0.51	—	0.83	0.69	0.65	—	1.06	0.95	0.90	0.97	
	10~28	0.75	0.68	0.66	0.63	0.90	0.84	0.80	0.77	1.10	1.06	1.03	0.99	

表 16-2-225 减速器安全系数 f_3

重要性与安全要求	一般设备, 减速器失效仅引起单机停产且易更换备件	重要设备, 减速器失效引起机组、生产线或全厂停产	高度安全要求, 减速器失效引起设备、人身事故
f_3	1.3~1.7	1.5~2.0	1.7~2.5

表 16-2-227 峰值转矩系数 f_5

项目	每小时峰值负荷次数			
	1~5	6~30	31~100	>100
单向载荷	0.5	0.65	0.7	0.85
交变载荷	0.7	0.95	1.10	1.25

表 16-2-229 海拔高度系数 f_7

不带辅助冷却装置或仅带冷却风扇					
系数	海拔高度/m				
	高达1000	高达2000	高达3000	高达4000	高达5000
f_7	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80

续表

类型	n /r·min ⁻¹	传动比 i	狭小空间安装 风速 ≥ 1m/s				室内大厅、大车间安装 风速 ≥ 2m/s				室外安装 风速 ≥ 4m/s			
			规格				规格				规格			
			1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22
TH2.. TB2..	1500	5~6.3	0.56	—	—	—	0.76	0.59	—	—	1.05	0.88	—	—
		7~9	0.64	0.47	—	—	0.82	0.62	—	—	1.10	0.87	0.81	—
		10~16	0.75	0.56	0.54	—	0.94	0.71	0.67	—	1.20	0.98	0.93	0.83
		18~28	0.81	0.69	0.63	—	0.99	0.88	0.78	0.68	1.24	1.14	1.05	0.93
TH3.. TB3..	750	12.5~112	0.71	0.70	0.70	0.70	0.83	0.83	0.83	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00
	1000	12.5~112	0.76	0.74	0.71	0.70	0.90	0.89	0.86	0.84	1.09	1.09	1.07	1.05
	1500	12.5~31.5	0.77	0.62	0.54	0.53	0.96	0.82	0.67	0.65	1.21	1.10	0.95	0.88
		35.5~56	0.83	0.78	0.69	0.64	1.00	0.96	0.87	0.81	1.23	1.20	1.12	1.07
TH4.. TB4..	750	80~450	0.71	0.72	0.73	0.73	0.84	0.85	0.85	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00
	1000	80~450	0.76	0.77	0.78	0.78	0.90	0.91	0.91	0.91	1.09	1.09	1.09	1.09
	1500	80~112	0.79	0.82	0.80	0.72	0.98	0.99	0.98	0.94	1.21	1.21	1.20	1.18
		125~450	0.84	0.86	0.85	0.85	1.01	1.02	1.01	1.01	1.23	1.23	1.22	1.22

注：表中短画线“—”表示需要辅助冷却装置。

表 16-2-232

带冷却风扇的减速器热容量系数 f_{10}

类型	n /r·min ⁻¹	传动比 i	狭小空间安装 风速 ≥ 1m/s				室内大厅、大车间安装 风速 ≥ 2m/s				室外安装 风速 ≥ 4m/s			
			规格				规格				规格			
			1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22	1~6	7~12	13~18	19~22
TH1SH TH2.. H3.. TB2.. TB3..	750	1.25~112	0.89	0.93	0.98	0.98	0.93	0.95	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	1000		1.07	1.13	1.16	1.18	1.11	1.15	1.17	1.17	1.18	1.19	1.19	1.19
	1500		1.41	1.46	1.45	1.44	1.43	1.47	1.45	1.44	1.49	1.51	1.46	1.46

14 模块化系列斜齿轮减速电机

模块化系列斜齿轮减速电机，其特点是采用模块组合设计，有极其多的组合装配型式，功率和转矩范围宽，选用方便，可广泛配套使用于冶金、矿山、石化、轻工及建筑机械设备上。

由于篇幅所限，本手册仅简要介绍其中四个系列（R、F、K、S）减速电机的装配型式及主要技术特性范围（见表 16-2-233）；表 16-2-234~表 16-2-236 及表 16-2-237、表 16-2-238 仅摘录德国 SEW 公司的 R 系列（即斜齿轮减速电机）部分型号的外形、安装尺寸及承载能力，可供设计者选用参考。国内其他厂家类似系列产品的技术特性、外形及安装尺寸大致相同，略有区别。详细资料见有关厂家产品样本。

生产厂：德国独资 SEW-传动设备（天津）有限公司

浙江通力减速机有限公司

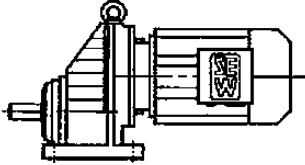
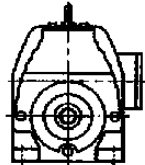
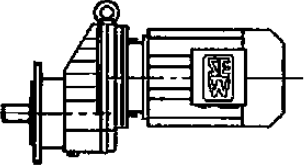
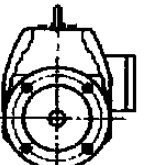
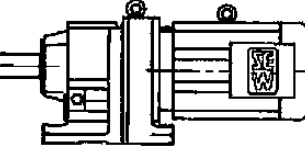
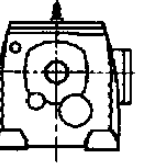
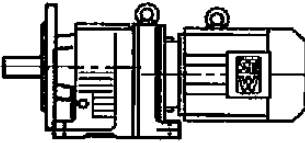
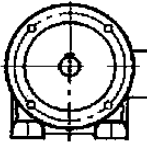
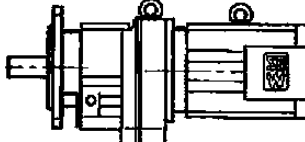

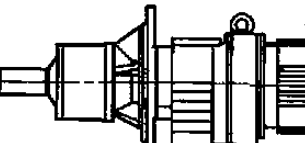

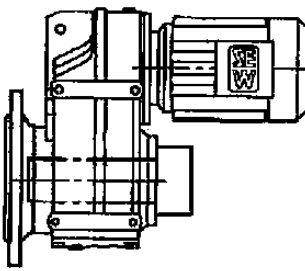
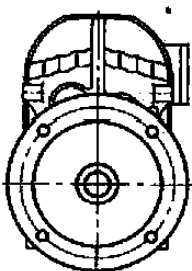
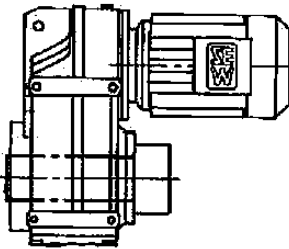
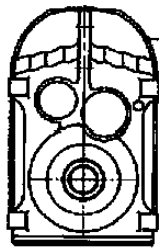
江苏泰隆减速机股份有限公司

德国弗兰德机电传动（天津）有限公司

14.1 斜齿轮减速电机装配型式及主要技术特性

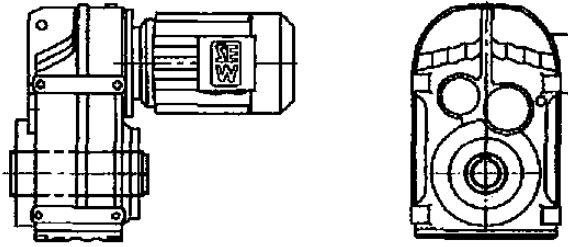
表 16-2-233

SEW 电动机直连减速器装配型式及主要技术特性

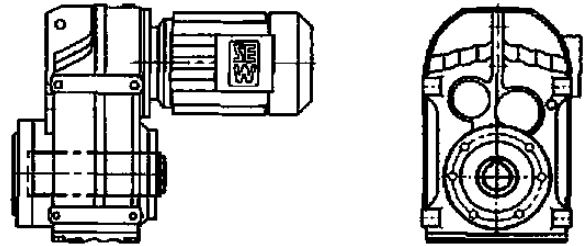
<p>R 系列斜齿轮减速电机 (RX 为单级, R 为两级或三级减速)</p>	<p>功率 $P_n = 0.09 \sim 160\text{kW}$ 传动比 $i = 1.3 \sim 289.74$ (组合后增大速比最大可达 21342) 输出轴转矩 $M_n = 2.1 \sim 18000\text{N} \cdot \text{m}$</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>RX.. DR/DT/DV 单级底脚安装斜齿轮减速电机</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>RXF.. DR/DT/DV 单级法兰安装斜齿轮减速电机</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>R../DR/DT/DV.. 底脚安装斜齿轮减速电机</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>R.. FDR/DT/DV.. 底脚法兰安装斜齿轮减速电机</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>RF.. DR/DT/DV.. 法兰安装斜齿轮减速电机</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>RM.. DR/DT/DV.. 带有加长轴承箱的法兰安装斜齿轮减速电机</p>
<p>F 系列平行轴-斜齿轮减速电机 (为两级或三级减速)</p>	<p>功率 $P_n = 0.12 \sim 200\text{kW}$ 传动比 $i = 3.77 \sim 281.71$ (组合后增大速比最大可达 22323) 输出轴转矩 $M_n = 2.6 \sim 21700\text{N} \cdot \text{m}$</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>FHF.. DR/DT/DV.. B5 法兰空心轴锁紧盘安装平行轴-斜齿轮减速电机</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>FH.. DR/DT/DV.. 空心轴锁紧盘安装平行轴-斜齿轮减速电机</p> <p>FT.. DR/DT/DV.. TorgLOC® 空心轴安装平行轴-斜齿轮减速电机</p>

F 系列平行轴-斜齿轮减速电机
(为两级或三级减速)

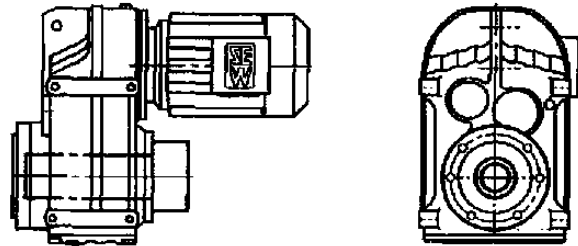
功率 $P_m = 0.12 - 200\text{kW}$
传动比 $i = 3.77 - 281.71$ (组合后增大速比最大可达 22323)
输出轴转矩 $M_a = 2.6 - 21700\text{N} \cdot \text{m}$



FA.. DR/DT/DV..
空心轴安装平行轴-斜齿轮减速电机
FV.. DR/DT/DV..
空心轴花键 (DIN5480) 安装平行轴-斜齿轮减速电机



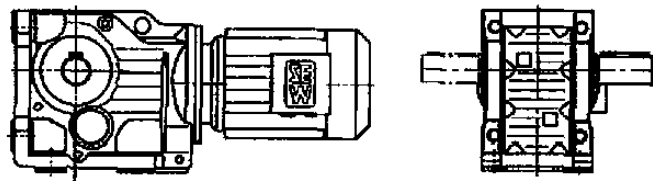
FAZ.. DR/DT/DV..
B14 法兰空心轴安装平行轴-斜齿轮减速电机
FVZ.. DR/DT/DV..
B14 法兰花键空心轴 (DIN5480) 安装平行轴-斜齿轮减速电机



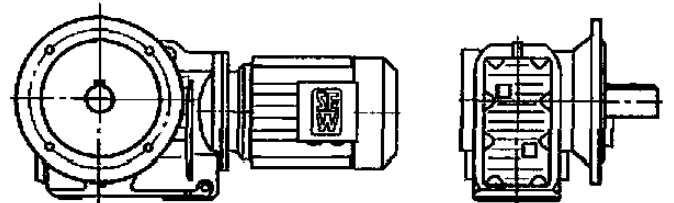
FHZ.. DR/DT/DV..
B14 法兰空心轴锁紧盘安装平行轴-斜齿轮减速电机

K 系列斜齿轮-圆锥齿轮减速电机
(全为三级减速)

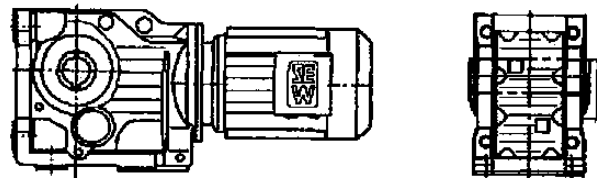
功率 $P_m = 0.12 - 200\text{kW}$
传动比 $i = 3.98 - 197.37$ (组合后增大速比最大可达 17550)
输出轴转矩 $M_a = 10 - 58500\text{N} \cdot \text{m}$



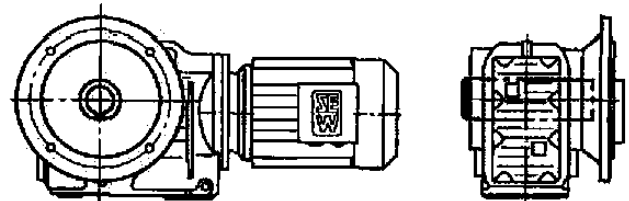
K.. DR/DT/DV..
底脚安装斜齿轮-锥齿减速电机



KF.. DR/DT/DV..
B5 法兰安装斜齿轮-锥齿减速电机



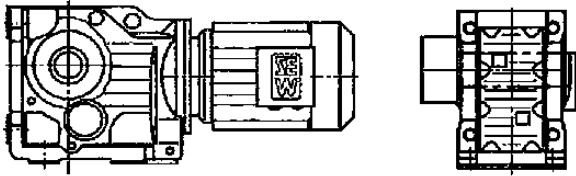
KA.. B DR/DT/DV..
空心轴底脚安装斜齿轮减速电机
KV.. B DR/DT/DV..
底脚花键空心轴 (DIN5480) 安装斜齿轮-锥齿减速电机



KAF.. DR/DT/DV..
B5 法兰空心轴安装斜齿轮-锥齿减速电机
KVF.. DR/DT/DV..
B5 法兰花键空心轴 (DIN5480) 安装斜齿轮-锥齿减速电机

K 系列斜齿轮-圆锥齿轮减速电机
(全为三级减速)

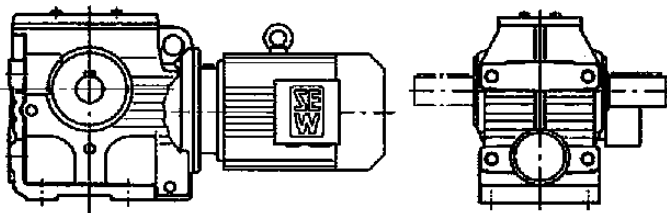
功率 $P_m = 0.12 \sim 200\text{kW}$
传动比 $i = 3.98 \sim 197.37$ (组合后增大速比最大可达 17550)
输出轴转矩 $M_2 = 10 \sim 58500\text{N} \cdot \text{m}$



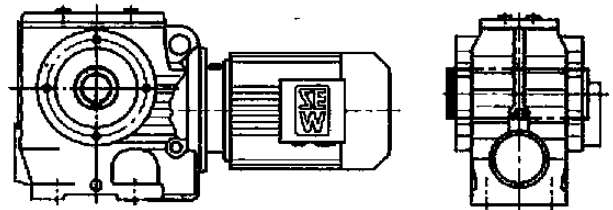
KH.. B DR/DT/DW..
底脚空心轴锁紧盘安装斜齿轮-锥齿减速电机

S 系列斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机
(全为两级减速)

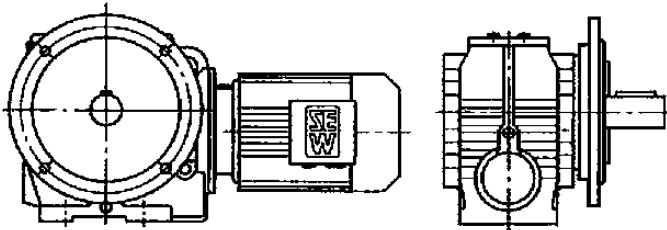
功率 $P_m = 0.12 \sim 22\text{kW}$
传动比 $i = 6.8 \sim 288$ (组合后增大速比最大可达 11267)
输出轴转矩 $M_2 = 10 \sim 4820\text{N} \cdot \text{m}$



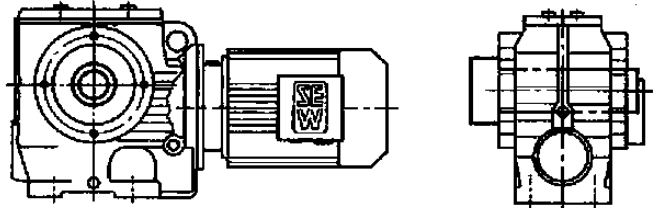
S.. DR/DT/DV..
底脚安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



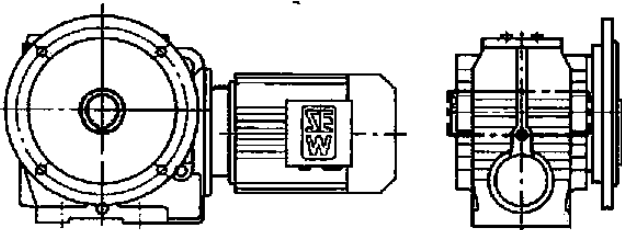
SA.. DR/DT/DV..
空心轴斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



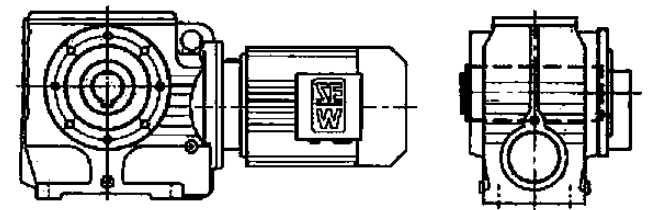
SF.. DR/DT/DV..
B5 法兰安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



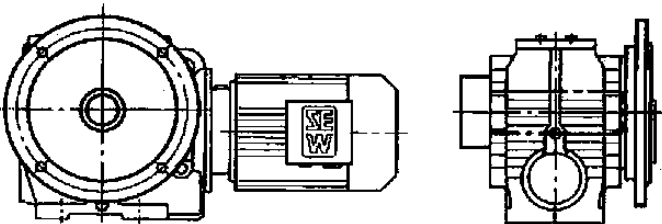
SH.. DR/DT/DV..
空心轴锁紧盘安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



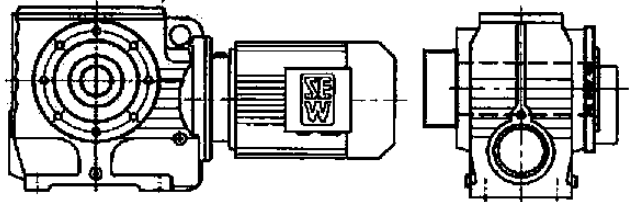
SAF.. DR/DT/DV..
B5 法兰空心轴安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



SAZ.. DR/DT/DV..
B14 法兰空心轴安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



SHF.. DR/DT/DV..
B5 法兰空心轴锁紧盘安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机



SHZ.. DR/DT/DV..
B14 法兰空心轴锁紧盘安装斜齿轮-蜗轮蜗杆减速电机

14.2 SEW R 系列斜齿轮减速电机外形、安装尺寸

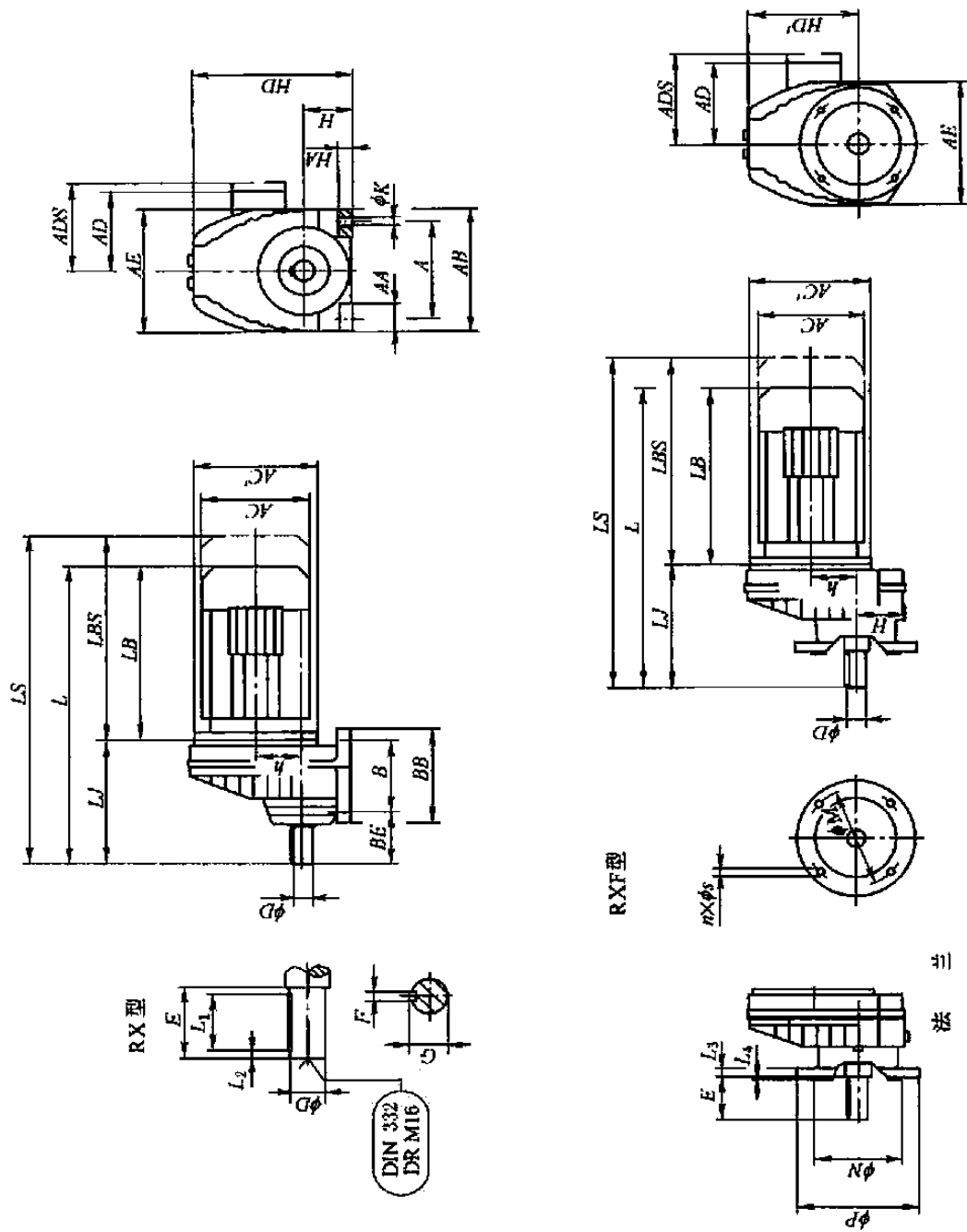


表 16-2-234

RX、RXF 型外形、安装尺寸

mm

型号	安 装 尺 寸													外 形 尺 寸																	
	D	E	L ₁	L ₂	G	F	H	h	HA	A	AA	AB	K	B	BB	BE	LJ	AC'	AE	HD	HD'										
	20k6	40	32	3.5	22.5	6	63 ⁰ _{-0.5}	52	18	125	31	156	11	110	137	56	174	160	162	202	139										
RX/RXF57	25k6	50	40	3.5	28	8	80 ⁰ _{-0.5}	60	20	135	35	170	13.5	120	150	75	201	160	176	226	147										
RX/RXF67	30k6	60	50	3.5	33	8	90 ⁰ _{-0.5}	72	25	170	50	204	17.5	150	190	85	227	200	210	271	181										
RX/RXF87	40k6	80	70	5	43	12	100 ⁰ _{-0.5}	93.5	30	215	60	266	17.5	160	206	110	269	250	272	332	232										
RX/RXF97	50k6	100	80	10	53.5	14	112 ⁰ _{-0.5}	116	35	250	70	320	22	185	240	140	316	300	328	393	281										
RX/RXF107	60m6	120	110	5	64	18	140 ⁰ _{-0.5}	130	45	310	80	360	22	210	260	152	364	350	370	459	319										
型号	法 兰 尺 寸													电 机 尺 寸																	
	P	N	L ₃	L ₄	π × s	M	尺寸	DR63	DJ	DT	DV	100M	100L	112M	132S	DV	132M	DV	132ML	DV	160M	DV	160L	DV	180	DV	200	DV	225		
	φ140	140	95j6	10	3	4 × φ9	115	AC	132	145	145	197	197	197	221	221	221	230	230	230	230	275	275	331	331	331	331	331	331	331	
RXF57	φ160	160	110j6	10	3.5	4 × φ9	130	AD	122	122	154	166	166	179	179	179	230	230	230	230	275	275	331	331	331	331	331	331	331		
	φ200	200	130j6	12	3.5	4 × φ11	165	ADS	105	127	161	166	166	182	182	182	230	230	230	230	275	275	331	331	331	331	331	331	331		
	φ160	160	110j6	10	3.5	4 × φ9	130	L	359	373/400	443/470	493/520	523/550	528/555	576/603	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	
RXF67	φ200	200	130j6	12	3.5	4 × φ11	165	LS	414	437/464	528/555	578/605	608/635	608/635	656/683	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	737	
	φ250	250	180j6	15	4	4 × φ13.5	215	LB	185	199	249	319	349	354	402	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	
	φ200	200	130j6	12	3.5	4 × φ11	165	LBS	240	263	313	404	434	434	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482	482
RXF77	φ250	250	180j6	15	4	4 × φ13.5	215	AC	197	197	197	197	197	221	221	221	275	275	275	275	275	275	331	331	331	331	331	331	331	331	331
	φ200	200	130j6	12	3.5	4 × φ11	165	AD	154	166	166	166	166	179	179	179	230	230	230	230	230	230	258	258	258	258	258	258	258	258	258
	φ250	250	180j6	15	4	4 × φ13.5	215	ADS	161	161	161	166	166	182	182	182	230	230	230	230	230	230	258	258	258	258	258	258	258	258	258

型号

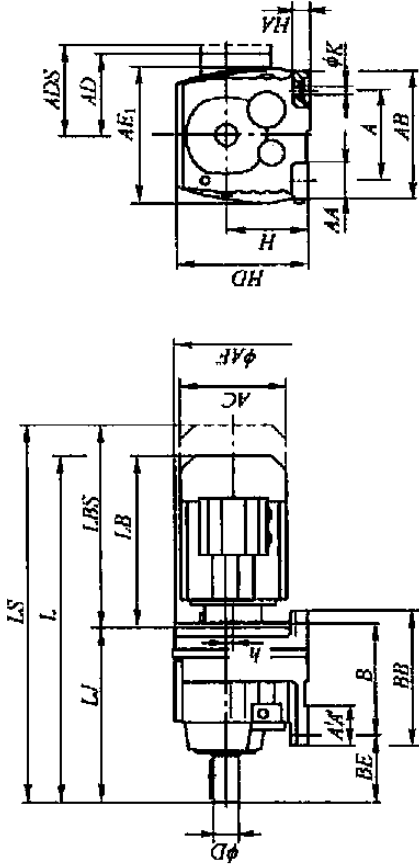
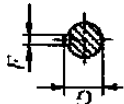
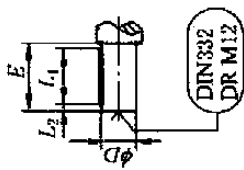
RX 57 /
RXF 67
RX 67
RXFRX 77 /
RXF 87
RX 87
RXF

续表

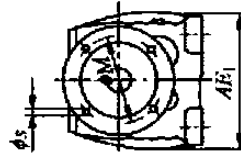
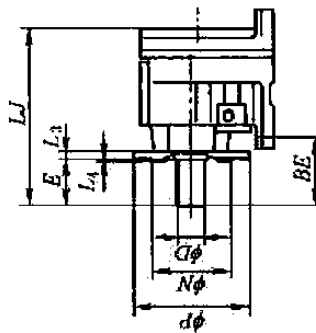
型号	外形尺寸											电	机	号	型号											
	法兰尺寸					DR63	DT 71D	DT 80	DT 90	DV 100M	DV 100L					DV 112M	DV 132S	DV 132ML	DV 160M	DV 160L	DV 180	DV 200	DV 225			
	P	N	L ₃	L ₄	n x s																			M		
RXFB7	φ250	250	180j6	15	4	4 x φ13.5	215	488/	538/	568/	572/	617/	639/	699/	699/	—/	—/	—/	—/	—/	—/					
								—	—	606	609	654	676	736	736	783	855									
								573/	623/	653/	652/	697/	751/	811/	848	848	939	1011								
RXFB7	φ300	300	230j6	16	4	4 x φ13.5	265	261/	311/	341/	345/	390/	412/	472/	472/	—/	—/	—/	—/	—/	—/					
								—	—	337	340	385	407	467	467	514	586									
								346/	396/	426/	425/	470/	524/	584/	584/	670	742									
RXF97	φ300	300	230j6	16	4	4 x φ13.5	265	221				275	275	275	275	331	331	331	394	394						
												179	230	230	230	258	258	285	289							
												182	230	230	230	258	258	285	289							
RXF107	φ350	350	250h6	18	5	4 x φ17.5	300					718/	778/	778/	778/	825/	825/	897/	945/	945/						
												738	820	820	820	867	939	987	1069							
												776/	830/	890/	890/	981/	1053/	1101/	1225							
RXF107	φ450	450	350h6	22	5	8 x φ17.5	400	380/				402/	462/	462/	462/	509/	509/	581/	629/	629/						
								374				396	456	456	503	575	623	705								
								460/				514/	574/	574/	665/	737/	785/	861								

注：表中数据带“/”者，斜杠前后的数据适用于斜杠前后的型号，无斜杠的数据为斜杠前后型号共用。

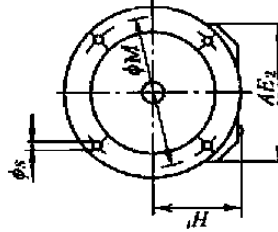
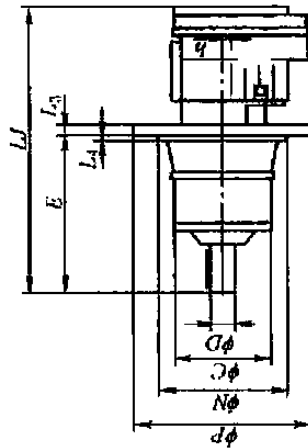
R 型



R.F. 型



RM 型



RF 型

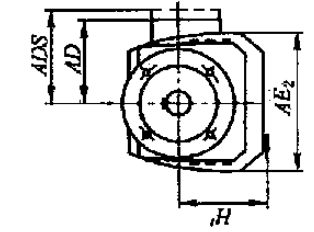
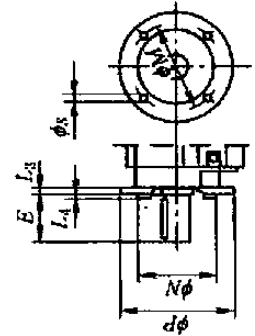
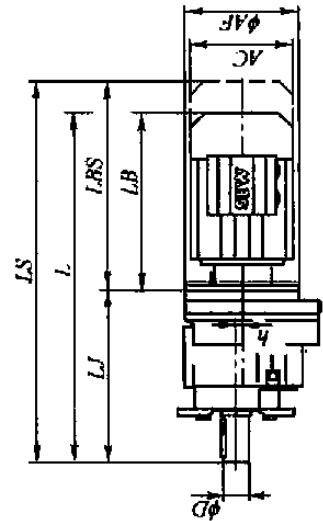


表 16-2-235 R、R..F、RF 及 RM 型外形、安装尺寸

mm

型号	安 装 尺 寸													外 形 尺 寸																																
	D	E	L ₁	L ₂	F	C	H	h	HA	A	AA	AB	K	B	BB	A'A'	BE	LJ	AE ₁	AE ₂	HD	H'	C	AF																						
R/R..F/RF17	20k6	40	32	4	6	22.5	75 ⁰ _{-0.5}	—	12	110	25	140	9	110	131	28	58	207	140	130	134	76	—	—																						
																		215																												
																		215																												
R/R..F/RF27	25k6	50	40	3.5	8	28	90 ⁰ _{-0.5}	3.4	18	110	32	145	9	110	152	27	75	193	151	142	147	92	—	120																						
																		199																												
																		199																												
R/R..F/RF37	25k6	50	40	3.5	8	28	90 ⁰ _{-0.5}	10.1	18	110	35	145	9	110	160	40	75	201	145	161	151	94	—	120																						
																		207																												
																		207																												
R/R..F/RF47	30k6	60	50	3.5	8	33	115 ⁰ _{-0.5}	14	24	135	42	170	13.5	165	195	50	90	235	170	178	187	118	—	160																						
																									56	7	10	38	115 ⁰ _{-0.5}	11.2	24	135	190	13.5	165	200	60	100	257	190	202	187	121	135	160	
																																														60
R/R..F/RF57	35k6	70	56	7	10	38	130 ⁰ _{-0.5}	20.7	30	150	60	210	14	195	235	60	100	280	210	215	212	134	144	160																						
																		40k6							80	70	5	12	43	140 ⁰ _{-0.5}	15.9	30	170	60	230	17.5	245	60	115	300	230	235	228	144	200	
																																														80
R/R..F/RF67	50k6	100	80	10	14	53.5	180 ⁰ _{-0.5}	12.6	45	215	75	290	17.5	260	310	90	140	372	290	297	295	184	186	250																						
																		60m6							120	110	5	18	64	225 ⁰ _{-0.5}	10.2	55	250	90	340	22	365	100	160	440	340	348	368	230	214	300
R/RF107	70m6	140	125	7.5	20	74.5	250 ⁰ _{-0.5}	20.4	65	290	110	400	26	370	440	125	185	495	400	409	408	255	232	350																						
																		80m6							170	125	20	22	85	315 ⁰ _{-0.5}	25.1	70	340	110	450	33	490	130	220	589	450	458	495	320	253	400
R/RF/RM147	110m6	210	180	15	28	116	355 ⁰ _{-1.0}	33.4	80	380	150	530	39	500	590	150	260	695	530	540	565	361	274	450																						
																		120m6							210	200	5	32	127	425 ⁰ _{-1.0}	59.5	100	500	160	660	39	580	670	270	790	660	670	675	430	290	550

外形尺寸(电机关联部分)

项目	R17			R27 / R37			RF27 / RF37			DR63..	DT71D	DT80..	DT90..	DV100L	DV112M	DV132S	DV100M	DV112M	DV132M	DV160M
	DR63..	DT71D	DT80..	DT71D	DT80..	DT90..	DT71D	DT80..	DT90..											
AC	132	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	197	197	197	197	197	197	197	197	197
AD	105	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	154	154	154	154	166	166	166	166	166
ADS	105	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	161	161	161	161	166	166	166	166	166
L	356	371	421	421	421	421	421	421	421	421	421	469/477	469/477	469/477	521/529	521/529	521/529	521/529	521/529	551/559
LS	411	434	484	484	484	484	484	484	484	484	484	554/562	554/562	554/562	606/614	606/614	606/614	606/614	606/614	636/644
LB	149	164	214	214	214	214	214	214	214	214	214	276	276	276	328	328	328	328	328	358
LBS	204	227	277	277	277	277	277	277	277	277	277	361	361	361	413	413	413	413	413	443
项目	DR63..	DT71D	DT80..	DT90..	DT80..	DT90..	DT80..	DT90..	DT80..	DT90..	DV100M	DV112M	DV132S	DV100L	DV112M	DV132S	DV100M	DV112M	DV132M	DV160M
AC	132	145	145	145	145	145	145	145	145	145	197	221	221	197	221	221	197	221	221	275
AD	105	122	122	122	122	122	122	122	122	122	166	179	179	166	179	179	166	179	179	230
ADS	105	127	127	127	127	127	127	127	127	127	166	182	182	166	182	182	166	182	182	230
L	420/442	434/456	484/506	504/526	484/506	504/526	554/576	584/606	584/606	584/606	554/576	589/611	637/659	584/606	589/611	637/659	554/576	589/611	637/659	—/681
LS	475/497	498/520	548/570	589/611	548/570	589/611	639/661	669/691	669/691	639/661	639/661	717/739	—/793	669/691	669/691	717/739	639/661	669/691	717/739	—/793
LB	185	199	249	269	249	269	319	349	349	319	319	402	424	349	354	402	319	354	402	424
LBS	240	263	313	354	313	354	404	434	434	404	404	482	536	434	434	482	404	434	482	536
项目	DR63..	DT71D	DT80..	DT90..	DT80..	DT90..	DV100M	DV112M	DV132M	DV160M	DV100L	DV112M	DV132S	DV100L	DV112M	DV132M	DV100M	DV112M	DV132ML	DV160M
AC	132	145	145	145	145	145	197	221	221	275	197	221	221	197	221	275	197	221	275	275
AD	105	122	122	122	122	122	166	179	179	230	166	179	179	166	179	230	166	179	230	230
ADS	105	127	127	127	127	127	166	182	182	230	166	182	182	166	182	230	166	182	230	230
L	465/479	479/493	529/543	549/561	529/543	549/561	629/641	634/645	682/690	—/772	629/641	634/645	704/712	629/641	634/645	704/712	599/611	634/645	—/772	—/772
LS	534	557	607	646	607	646	726	725	824	884	726	770	824	726	725	824	696	725	884	884
LB	179	193	243	261	243	261	341	345	412	472	341	390	412	341	345	412	311	345	472	472
LBS	234	257	307	346	307	346	426	425	524	584	426	470	524	426	425	524	396	425	584	584

续表

相配法兰规格

	R17F	RF17	R27F	RF27	R37F	RF37	R47F	RF47	R57F	RF57	RM57	R67F	RF67	RM67	R77F
P	φ120	φ120 φ140 φ160	φ120 φ140 φ160	φ120 φ140 φ160	φ120 φ160 φ200	φ120 φ160 φ200	φ140 φ160 φ200	φ140 φ160 φ200	φ160 φ200 φ250	φ160 φ200 φ250	φ250	φ200 φ250	φ200 φ250	φ300	φ250
	RF77	RM77	R87F	RF87	RM87	RF97	RM97	RF107	RM107	RF137	RM137	RF147	RM147	RF167	RM167
P	φ250 φ300	φ350	φ300 φ350	φ300 φ350	φ350	φ350 φ450	φ450	φ350 φ450	φ550	φ450 φ550	φ550	φ450 φ550	φ660 φ660	φ550 φ660	φ660

法 兰 尺 寸

P	φ120	φ140	φ160	φ200	φ250	φ300	φ350	φ450	φ550	φ660
N	80j6	95j6	110j6	130j6	180j6	230j6	250h6	350h6	450h6	550h6
L ₃	8	9	10	12	15	18.5(16)	18	22	25	28
L ₄	3	3	3.5	3.5	4	4	5	5	5	6
n × s	4 × φ6.5(6.6)	4 × φ8.5	4 × φ8.5(9)	4 × φ11	4 × φ13.5	4 × φ13.5	4 × φ17.5	8 × φ17.5	8 × φ17.5	8 × φ22
M	100	115	130	165	215	265	300	400	500	600

注: 1. L₃ 括号内为 R87F 及 RF87 数值; s 括号内为 R37F 及 RF37 数值。
2. 正式选用时, 请详细核对厂家样本数据。

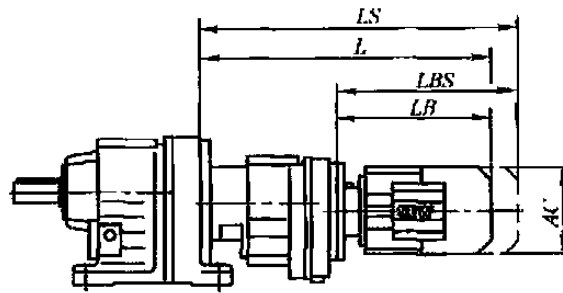


表 16-2-236

R..R 增大速比型外形、安装尺寸

mm

减速器	电动机	AC	L	LS	LB	LBS	减速器	电动机	AC	L	LS	LB	LBS
R..27R17 R..37R17	DR63..	132	324	379	149	204	R..147R77	DR63..	132	411	466	179	234
	DT71D	145	339	403	164	228		DT71D	145	425	489	193	257
	DT80..	145	389	453	214	278		DT80..	145	475	539	243	307
R..47R37 R..57R37 R..67R37	DR63..	132	356	411	191	246		DT90..	197	493	578	261	346
	DT71D	145	371	435	206	270		DV100M	197	543	628	311	396
	DT80..	145	421	485	256	320		DV100L	197	573	658	341	426
R..77R37	DR63..	132	348	403	191	246		DV112M	221	577	657	345	425
	DT71D	145	363	427	206	270		DV132S	221	622	702	390	470
	DT80..	145	413	477	256	320		DV132M	275	644	756	412	524
R..87R57	DT90..	197	433	518	276	261		DV132ML	275	704	816	472	584
	DR63..	132	401	456	185	240		DV160M	275	704	816	472	584
	DT71D	145	415	479	199	263		DT90..	197	537	622	257	342
R..97R57	DT80..	145	465	529	249	313	DV100M	197	587	672	307	392	
	DT90..	197	485	570	269	354	DV100L	197	617	702	337	422	
	DR63..	132	396	451	185	240	DV112M	221	620	700	340	420	
R..107R77	DT71D	145	410	474	199	263	DV132S	221	665	745	385	465	
	DT80..	145	460	524	249	313	DV132M	275	687	799	407	519	
	DT90..	197	480	565	269	354	DV132ML	275	747	859	467	579	
R..107R77	DV100M	197	530	615	319	404	DV160M	275	747	859	467	579	
	DV100L	197	560	645	349	434	DV160L	331	794	950	514	670	
	DV112M	221	592	672	345	425	DV180..	331	866	1022	586	742	
R..107R77	DV132S	221	637	717	390	470	DT80..	145	556	620	231	295	
	DV132M	275	659	771	412	524	DT90..	197	576	661	251	336	
	DV132ML	275	719	831	472	584	DV100M	197	626	711	301	386	
R..107R77	DV160M	275	719	831	472	584	DV100L	197	656	741	331	416	
	DR63..	132	426	481	179	234	DV112M	221	660	740	335	415	
	DT71D	145	440	504	193	257	DV132S	221	705	785	380	460	
R..107R77	DT80..	145	490	554	243	307	DV132M	275	727	839	402	514	
	DT90..	197	508	593	261	346	DV132ML	275	787	899	462	574	
	DV100M	197	558	643	311	396	DV160M	275	787	899	462	574	
R..107R77	DV100L	197	588	673	341	426	DV160L	331	834	990	509	665	
	DV112M	221	592	672	345	425	DV180..	331	906	1062	581	737	
	DV132S	221	637	717	390	470	DV100M	197	677	762	295	380	
R..107R77	DV132M	275	659	771	412	524	DV100L	197	707	792	325	410	
	DV132ML	275	719	831	472	584	DV112M	221	711	791	329	409	
	DV160M	275	719	831	472	584	DV132S	221	756	836	374	454	
R..107R77	DR63..	132	419	474	179	234	DV132M	275	778	890	396	508	
	DT71D	145	433	497	193	257	DV132ML	275	838	950	456	568	
	DT80..	145	483	547	243	307	DV160M	275	838	950	456	568	
R..107R77	DT90..	197	501	586	261	346	DV160L	331	885	1041	503	659	
	DV100M	197	551	636	311	396	DV180..	331	957	1113	575	731	
	DV100L	197	581	666	341	426	DV200..	394	1005	1161	623	779	
R..107R77	DV112M	221	585	665	345	425	DV225..	394	1087	1243	705	861	
	DV132S	221	630	710	390	470							
	DV132M	275	652	764	412	524							
R..107R77	DV132ML	275	712	824	472	584							
	DV160M	275	712	824	472	584							

14.3 SEW R 系列斜齿轮减速电机承载能力

表 16-2-237

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Rn}/N	使用系数 f_0 (SEW)	减速器型号			电动机型号	质量 /kg
1.5	1.4	9650	1043	41200	0.85					
	1.6	8200	888	52900	1.00	R	137	R77	DT 90L4	290
	2.0	6440	699	56300	1.25	RF	137	R77	DT 90L4	315
	2.3	5590	609	57600	1.45					
	1.5	8790	951	50600	0.90					
	1.9	6680	730	55900	1.20	R	137	R77	DT 90L4	300
	2.5	5150	560	58200	1.55	RF	137	R77	DT 90L4	320
	3.3	3910	428	59600	2.0					
	4.4	2980	323	60400	2.7					
	2.7	4860	528	20600	0.90	R	107	R77	DT 90L4	205
						RF	107	R77	DT 90L4	215
	2.9	4490	492	28400	0.95	R	107	R77	DT 90L4	210
	3.8	3390	369	33600	1.25	RF	107	R77	DT 90L4	220
	3.0	4410	469	28900	1.00	R	107	R77	DT 90L4	205
						RF	107	R77	DT 90L4	210
	4.8	2740	296	22700	1.10	R	97	R57	DT 90L4	140
	6.0	2150	234	25800	1.40	RF	97	R57	DT 90L4	155
	3.5	4160	203.16	30200	1.05	R	107		DV 112M8	190
	4.4	3250	158.68	34100	1.30	RF	107		DV 112M8	195
	4.0	3580	229.95	32900	1.20	R	107		DV 100M6	180
	5.3	2680	172.34	35900	1.60	RF	107		DV 100M6	185
	6.5	2210	141.83	36500	1.95					
	5.5	2600	255.71	23500	1.15					
	6.5	2200	216.28	25600	1.35	R	97		DT 90L4	115
	8.3	1730	170.02	27300	1.75	RF	97		DT 90L4	130
	11	1290	126.75	27900	2.3					
	14	1050	103.44	28200	2.8					
	7.8	1850	181.77	11400	0.85	R	87		DT 90L4	74
9.9	1450	142.41	17600	1.05	RF	87		DT 90L4	81	
12	1200	118.43 ^①	19000	1.30						
15	950	93.38	20000	1.65						
19	735	72.57	20000	2.1	R	87		DT 90L4	74	
23	615	60.35 ^①	20000	2.5	RF	87		DT 90L4	81	
30	485	47.58	20000	3.2						
38	375	36.84 ^①	19600	4.1						
17	830	81.80	9820	1.00	R	77		DT 90L4	48	
21	670	65.77	11100	1.25	RF	77		DT 90L4	54	
27	530	52.07	11900	1.55						
33	440	43.26	12300	1.85	R	77		DT 90L4	48	
42	340	33.47	12700	2.4	RF	77		DT 90L4	54	
56	255	25.23	12000	3.0						
60	240	23.37	11800	3.5	R	77		DT 90L4	47	
75	191	18.80	11000	4.1	RF	77		DT 90L4	53	

续表

输入功率 P_{in}/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_d (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
1.5	25	580	56.89	7810	1.05				
	30	470	46.29	8830	1.30	R	67	DT 90L4	42
	38	380	37.50	9460	1.50	RF	67	DT 90L4	45
	49	295	28.83	9920	1.80				
	50	285	28.13	9950	1.90	R	67	DT 90L4	41
	60	240	23.44	9500	2.3	RF	67	DT 90L4	44
	79	182	17.95	8810	3.2				
	27	540	53.22	5140	0.85				
	33	440	43.30	5920	1.00	R	57	DT 90L4	36
	40	355	35.07	5710	1.25	RF	57	DT 90L4	39
	52	275	26.97	5420	1.65				
	56	255	24.99 ^①	5330	1.75				
	76	189	18.60 ^①	4980	2.4	R	57	DT 90L4	35
	95	150	14.77 ^①	4700	2.9	RF	57	DT 90L4	38
	119	121	11.88	4440	3.4				
	38	375	36.93	2380	0.80				
47	305	29.88	4220	1.00					
60	240	23.59	4050	1.25					
65	220	21.81	3990	1.35					
79	182	17.89	3830	1.60					
97	148	14.56	3650	1.80	R	47	DT 90L4	30	
120	120	11.79	3470	2.0	RF	47	DT 90L4	30	
155	92	9.07	3240	2.4					
182	79	7.76 ^①	3060	2.1					
235	61	6.00	2860	2.6					
291	49	4.85	2700	3.0					
368	39	3.83	2520	3.7					
73	196	19.31	2660	1.00					
90	159	15.60	3160	1.25					
106	135	13.25	3350	1.40					
140	103	10.11	3160	1.65	R	37	DT 90L4	25	
177	81	7.97	2980	1.95	RF	37	DT 90L4	27	
249	58	5.67	2710	2.5					
326	44	4.32	2520	2.9					
414	35	3.41	2360	3.2					
204	70	13.25	2880	2.7	R	37	DT 90S2	24	
267	54	10.11	2680	3.2	RF	37	DT 90S2	25	
339	42	7.97	2510	3.7					
90	159	15.63	1700	0.80					
119	121	11.86	2080	1.05					
173	83	8.16	1880	1.40	R	27	DT 90L4	19	
214	67	6.59	1810	1.60	RF	27	DT 90L4	19	
282	51	5.00 ^①	1710	1.85					
353	41	4.00 ^①	1630	2.1					

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_d (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg	
1.5	228	63	11.86	1840	2.0	R RF	27 27	DT 90S2 DT 90S2	18 18	
	331	43	8.16	1650	2.7					
	410	35	6.59	1570	3.0					
	540	27	5.00 ^①	1460	3.6					
	675	21	4.00 ^①	1370	4.0					
	250	57	5.63	5580	1.90	RX RXF	77 77	DT 90L4 DT 90L4	38 41	
	298	48	4.73	5300	2.6					
	381	38	3.70	4920	4.1					
	458	31	3.08 ^①	4650	6.2					
	581	25	2.43	4310	8.7					
	328	44	4.30 ^①	3520	1.85	RX RXF	67 67	DT 90L4 DT 90L4	29 33	
	441	33	3.20 ^①	3230	3.1					
	555	26	2.54	3020	4.6					
	690	21	2.04	2820	6.4					
	876	16	1.61	2620	7.0					
	372	39	3.79	2700	1.80	RX RXF	57 57	DT 90L4 DT 90L4	26 28	
	450	32	3.14	2560	2.0					
	534	27	2.64 ^①	2440	2.6					
	691	21	2.04	2260	3.3					
	853	17	1.65	2120	4.1					
1080	13	1.30	1980	4.7						
2.2	0.98	19500	1438	120000	0.95	R RF	167 167	R97 R97	DV 100M4 DV 100M4	770 770
	1.3	15100	1123	120000	1.20					
	1.6	11600	861	120000	1.55					
	2.2	8710	656	120000	2.1					
	3.0	6150	462	72100	2.1	R RF	147 147	R87 R87	DV 100M4 DV 100M4	460 465
	3.8	4960	368	73000	2.6					
	1.2	15800	1166	39400	0.80	R RF	147 147	R77 R77	DV 100M4 DV 100M4	435 445
	1.6	12000	889	64500	1.10					
	2.0	9400	695	68600	1.40					
	2.5	7580	558	70800	1.70					
	2.3	8270	609	52800	0.95	R RF	137 137	R77 R77	DV 100M4 DV 100M4	295 320
	2.2	8500	629	51800	0.95	R RF	137 137	R77 R77	DV 100M4 DV 100M4	305 330
	2.9	6630	490	56000	1.20					
	3.7	5190	381	58200	1.55					
	4.8	3960	291	59500	2.0					
	6.3	3030	223	60300	2.6					
	4.4	4390	323	29000	1.00	R RF	107 107	R77 R77	DV 100M4 DV 100M4	220 225
	5.6	3420	253	33500	1.25					
	4.3	4480	325	28400	0.95	R RF	107 107	R77 R77	DV 100M4 DV 100M4	215 220
	6.0	3170	234	11300	0.95	R RF	97 97	R57 R57	DV 100M4 DV 100M4	145 165
6.8	2840	209	22100	1.05						

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Rn}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
2.2	3.1	6680	222.60 ^①	55900	1.20				
	4.0	5230	174.40 ^①	58100	1.55	R	137	DV 132S8	295
	5.0	4240	141.12 ^①	59300	1.90	RF	137	DV 132S8	320
	5.5	3850	128.18	59600	2.1				
	6.8	3100	103.20 ^①	60300	2.6				
	5.4	3850	172.34	31700	1.10	R	107	DV 112M6	190
	6.6	3170	141.83	34400	1.35	RF	107	DV 112M6	195
	5.6	3740	251.15	32200	1.15				
	6.9	3030	203.16	34900	1.40				
	8.2	2570	172.34	36100	1.65	R	107	DV 100M4	180
	9.9	2110	141.83	36600	2.0	RF	107	DV 100M4	185
	12	1720	115.63	37000	2.5				
	15	1380	92.70	37300	3.1				
	6.5	3220	216.28	7030	0.95				
	8.3	2530	170.02	23900	1.20				
	9.4	2250	150.78 ^①	25300	1.35				
	12	1740	116.48	27300	1.75	R	97	DV 100M4	125
	15	1380	92.48	27800	2.2	RF	97	DV 100M4	140
	20	1080	72.17	28200	2.8				
	24	890	59.92	27000	3.4				
	30	710	47.58	25300	4.2				
	12	1760	118.43 ^①	15200	0.90				
	15	1390	93.38	17900	1.10				
	19	1080	72.57	19500	1.45	R	87	DV 100M4	82
23	900	60.35 ^①	20000	1.70	RF	87	DV 100M4	89	
30	710	47.58	20000	2.2					
38	550	36.84 ^①	19200	2.8					
45	470	31.40	18300	3.3	R	87	DV 100M4	81	
60	350	23.40	16800	4.4	RF	87	DV 100M4	88	
24	860	57.68	9540	0.95					
31	685	45.81	11000	1.20	R	77	DV 100M4	55	
38	550	36.83	11800	1.50	RF	77	DV 100M4	61	
49	430	29.00	12100	1.90					
60	350	23.37	11400	2.3	R	77	DV 100M4	54	
75	280	18.80	10800	2.8	RF	77	DV 100M4	60	
90	230	15.60	10200	3.2					
38	560	37.50	8020	1.00	R	67	DV 100M4	49	
49	430	28.83	9140	1.20	RF	67	DV 100M4	52	
60	350	23.44	9140	1.60					
79	270	17.95	8530	2.2	R	67	DV 100M4	48	
95	220	14.91	8110	2.5	RF	67	DV 100M4	51	
122	172	11.54	7560	2.9					
162	130	8.70 ^①	6960	3.4					
40	525	35.07	5110	0.85	R	57	DV 100M4	43	
52	400	26.97	4960	1.10	RF	57	DV 100M4	46	

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号	电动机型号	质量 /kg
2.2	76	275	18.60 [Ⓚ]	4660	1.60	R 57 RF 57	DV 100M4 DV 100M4	42 45
	95	220	14.77 [Ⓚ]	4450	2.0			
	119	177	11.88	4230	2.3			
	151	139	9.35	4000	2.7			
	177	119	7.97	3850	3.0			
	104	205	26.31	4370	2.2	R 57 RF 57	DT 90L2 DT 90L2	35 38
	124	169	21.93	4190	2.7			
	163	129	16.79	3920	3.5			
	196	107	13.95 [Ⓚ]	3740	4.0			
	87	240	16.22	3460	1.15	R 47 RF 47	DV 100M4 DV 100M4	37 37
	112	187	12.54	3310	1.35			
	139	151	10.15	3160	1.50			
	176	119	8.01	3000	1.70			
	203	104	6.96	2840	1.55			
	250	84	5.64 [Ⓚ]	2700	1.85			
	325	65	4.34	2530	2.3			
	125	168	21.81	3230	1.80	R 47 RF 47	DT 90L2 DT 90L2	30 30
	153	138	17.89	3100	2.1			
	187	112	14.56	2950	2.4			
	231	91	11.79	2800	2.7			
301	70	9.07	2620	3.2				
90	230	15.60	1070	0.85	R 37 RF 37	DV 100M4 DV 100M4	31 33	
119	176	11.83	1990	1.05				
140	151	10.11	2360	1.15	R 37 RF 37	DV 100M4 DV 100M4	31 33	
177	119	7.97	2750	1.30				
249	84	5.67	2570	1.70				
326	64	4.32	2410	1.95				
414	51	3.41	2270	2.2				
141	149	19.31	2380	1.35	R 37 RF 37	DT 90L2 DT 90L2	25 27	
175	120	15.60	2740	1.65				
206	102	13.25	2720	1.85				
270	78	10.11	2550	2.2				
342	61	7.97	2410	2.5				
482	44	5.67	2180	3.3				
632	33	4.32	2030	3.8				
801	26	3.41	1900	4.3				
139	151	10.13	1120	0.80	R 27 RF 27	DV 100M4 DV 100M4	26 25	
252	83	5.60 [Ⓚ]	1390	1.20				
330	64	4.27	1540	1.35	R 27 RF 27	DV 100M4 DV 100M4	26 25	
418	50	3.37	1470	1.55				
230	91	11.86	1690	1.40	R 27 RF 27	DT 90L2 DT 90L2	20 19	
335	63	8.16	1530	1.85				
414	51	6.59	1470	2.1				
546	39	5.00 [Ⓚ]	1390	2.5				
683	31	4.00 [Ⓚ]	1310	2.8				

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_s/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_s/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_0(SEW)$	减速器型号			电动机型号	质量 /kg	
2.2	349	60	4.04 ^①	4950	2.4	RX RXF	77 77		DV 100M4 DV 100M4	45 48	
	434	48	3.25 ^①	4640	3.8						
	523	40	2.70	4380	5.3						
	662	32	2.13	4080	6.3						
	846	25	1.67	3780	7.0						
	441	48	3.20 ^①	3130	2.1	RX RXF	67 67		DV 100M4 DV 100M4	36 40	
	555	38	2.54	2940	3.1						
	690	30	2.04	2760	4.4						
	876	24	1.61	2570	4.8						
	450	47	3.14	2450	1.40	RX RXF	57 57		DV 100M4 DV 100M4	33 35	
	595	35	2.37	2280	1.95						
	734	29	1.92 ^①	2150	2.4						
	955	22	1.48	1990	3.1						
	3.0	1.4	18600	999	120000						0.95	R RF	167 167	R97 R97	DV 100L4 DV 100L4	770 780
		1.8	14200	760	120000	1.25					
2.8		9280	503	120000	1.95						
2.6		9880	533	68000	1.30	R RF	147 147	R87 R87	DV 100L4 DV 100L4	465 470	
3.3		7940	426	70400	1.65						
4.3		6070	326	72200	2.1						
1.6		16600	889	26300	0.80	R RF	147 147	R77 R77	DV 100L4 DV 100L4	440 450	
2.0		13000	695	62700	1.00						
2.5		10500	558	67100	1.25						
2.8		9160	490	48800	0.85	R RF	137 137	R77 R77	DV 100L4 DV 100L4	310 335	
3.7		7150	381	55100	1.10						
4.8		5460	291	57800	1.45						
6.3		4180	223	59300	1.90						
2.7		9870	517	36800	0.80	R RF	137 137	R77 R77	DV 100L4 DV 100L4	300 325	
3.1		8650	453	51200	0.95						
5.5		4730	253	25800	0.90	R RF	107 107	R77 R77	DV 100L4 DV 100L4	225 230	
7.5		3500	187	33200	1.25						
5.5		4870	256	20200	0.90	R RF	107 107	R77 R77	DV 100L4 DV 100L4	215 225	
3.2		8860	222.60 ^①	50300	0.90	R RF	137 137		DV 132M8 DV 132M8	305 325	
4.1		6940	174.40 ^①	55500	1.15						
5.1		5620	141.12 ^①	57600	1.40						
6.3		4520	113.72	59000	1.75						
8.1		3530	88.70 ^①	59900	2.3						
5.0		5740	188.45	57400	1.40	R RF	137 137		DV 132S6 DV 132S6	295 320	
6.0		4760	156.31	58700	1.70						
7.3		3910	128.18	59600	2.0						
9.1		3150	103.20 ^①	60200	2.5						
5.9		4840	158.68	21600	0.90	R RF	107 107		DV 132S6 DV 132S6	195 205	
7.4		3890	127.68	31500	1.10						
6.1		4710	229.95	26500	0.90	R RF	107 107		DV 100L4 DV 100L4	185 190	
8.1	3530	172.34	33100	1.20							
9.9	2900	141.83	35300	1.50							
12	2370	115.63	36300	1.80							
15	1900	92.70	36900	2.3							
19	1490	72.88	35200	2.9							

输入功率 P_n/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
3.0	11	2590	126.75	23600	1.15				
	14	2120	103.44	25900	1.40				
	17	1700	83.15	27300	1.75				
	21	1330	65.21	27000	2.2	R	97	DV 100L4	125
	26	1090	53.21	25600	2.8	RF	97	DV 100L4	145
	33	880	42.78	24000	3.4				
	42	680	33.25	22400	4.2				
	15	1910	93.38	3630	0.80				
	19	1490	72.57	17400	1.05				
	23	1230	60.35 ^①	18800	1.25	R	87	DV 100L4	86
	29	970	47.58	19900	1.60	RF	87	DV 100L4	93
	38	755	36.84 ^①	18700	2.1				
	50	570	27.88	17400	2.6				
	41	705	34.40 ^①	18400	2.1				
	50	570	27.84 ^①	17400	2.7	R	87	DV 100L4	85
	65	440	21.51	16100	3.4	RF	87	DV 100L4	92
	82	350	17.08 ^①	15100	4.0				
	31	940	45.81	8670	0.85	R	77	DV 100L4	59
	38	755	36.83	10500	1.10	RF	77	DV 100L4	65
	48	595	29.00	11600	1.40				
	60	480	23.37	11100	1.70				
	74	385	18.80	10500	2.0				
	90	320	15.60	9980	2.3	R	77	DV 100L4	58
	114	250	12.33	9350	2.7	RF	77	DV 100L4	64
	145	197	9.64	8720	3.2				
	181	158	7.74	8240	3.8				
	70	405	19.89	8420	1.45				
	89	325	15.79	7980	1.75	R	67	DV 100L4	52
	110	260	12.70	7550	2.0	RF	67	DV 100L4	55
	140	205	10.00	7090	2.3				
	52	550	26.97	4330	0.80	R	57	DV 100L4	47
					RF	57	DV 100L4	50	
64	450	21.93	4380	1.00					
83	345	16.79	4250	1.30					
100	285	13.95	4130	1.50					
130	220	10.79	3940	1.75	R	57	DV 100L4	46	
155	185	9.06	3810	2.0	RF	57	DV 100L4	49	
186	154	7.53	3650	2.3					
240	119	5.82	3430	2.7					
319	90	4.39	3190	3.1					
128	225	21.93	3950	2.0					
167	172	16.79	3730	2.6	R	57	DV 100M2	42	
201	143	13.95	3570	3.0	RF	57	DV 100M2	45	
259	110	10.79	3360	3.5					

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_0 (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
3.0	86	330	16.22	2030	0.85				
	112	255	12.54	3040	0.95	R	47	DV 100L4	41
	138	210	10.15	2970	1.10	RF	47	DV 100L4	41
	175	164	8.01	2840	1.25				
	181	159	7.76 ^①	2740	1.05				
	233	123	6.00	2610	1.25	R	47	DV 100L4	41
	288	99	4.85	2490	1.50	RF	47	DV 100L4	41
	365	78	3.83	2360	1.85				
	276	104	10.15	2580	2.2				
	349	82	8.01	2430	2.5	R	47	DV 100M2	37
	402	71	6.96	2310	2.2	RF	47	DV 100M2	37
	496	58	5.64 ^①	2190	2.7				
	646	44	4.34	2040	3.3				
	139	205	10.11	780	0.80				
	176	163	7.97	1510	0.95	R	37	DV 100L4	35
	247	116	5.67	1630	1.25	RF	37	DV 100L4	37
	324	88	4.32	2070	1.45				
	411	70	3.41	2180	1.60				
	296	97	9.47	2380	1.70				
	420	68	6.67	2170	2.1	R	37	DV 100M2	31
	553	52	5.06	2030	2.6	RF	37	DV 100M2	33
	692	41	4.05	1920	3.0				
	250	115	5.60 ^①	360	0.85				
	328	87	4.27	910	1.00	R	27	DV 100L4	30
	415	69	3.37	1230	1.15	RF	27	DV 100L4	29
	500	57	5.60 ^①	1330	1.75				
	656	44	4.27	1260	2.0	R	27	DV 100M2	26
	831	35	3.37	1200	2.3	RF	27	DV 100M2	25
	252	114	5.56 ^①	6830	2.0	RX	87	DV 100L4	66
	311	92	4.50 ^①	6430	3.2	RXF	87	DV 100L4	71
	296	97	4.73	5050	1.25				
	378	76	3.70	4720	2.0	RX	77	DV 100L4	49
	455	63	3.08 ^①	4480	3.1	RXF	77	DV 100L4	52
	438	66	3.20 ^①	3030	1.55				
	551	52	2.54	2850	2.3	RX	67	DV 100L4	40
	685	42	2.04	2690	3.2	RXF	67	DV 100L4	44
	870	33	1.61	2510	3.5				
	446	64	3.14	2330	1.00				
	591	49	2.37	2180	1.40	RX	57	DV 100L4	37
	729	39	1.92 ^①	2070	1.75	RXF	57	DV 100L4	39
	948	30	1.48	1930	2.2				

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号			电动机型号	质量 /kg
4.0	1.6	21200	861	120000	0.85	R	167	R97	DV 112M4	780
	2.2	16000	656	120000	1.10	RF	167	R97	DV 112M4	780
	3.8	9190	376	120000	1.95					
	2.7	13100	533	62500	1.00					
	3.3	10500	426	67100	1.25	R	147	R87	DV 112M4	470
	4.4	8010	326	70300	1.60	RF	147	R87	DV 112M4	475
	5.7	6050	247	72200	2.2					
	7.5	4620	189	73200	2.8					
	2.3	15300	619	46300	0.85	R	147	R77	DV 112M4	445
	2.9	12100	489	64400	1.10	RF	147	R77	DV 112M4	455
	3.7	9430	381	45400	0.85	R	137	R77	DV 112M4	315
	4.9	7200	291	55000	1.10	RF	137	R77	DV 112M4	340
	6.3	5520	223	57700	1.45					
	3.8	9440	376	45200	0.85	R	137	R77	DV 112M4	305
	4.8	7450	297	54500	1.05	RF	137	R77	DV 112M4	330
	7.6	4620	187	27600	0.95	R	107	R77	DV 112M4	230
						RF	107	R77	DV 112M4	235
	7.3	4840	193	21400	0.90	R	107	R77	DV 112M4	225
	8.2	4330	172	29300	1.00	RF	107	R77	DV 112M4	230
	4.4	8660	163.31	69500	1.50	R	147		DV 132ML8	440
	6.0	6360	119.86	71900	2.0	RF	147		DV 132ML8	450
	4.1	9250	174.40 [ⓐ]	48400	0.85	R	137		DV 132ML8	310
	5.1	7490	141.12 [ⓐ]	54400	1.05	RF	137		DV 132ML8	335
	6.3	6030	113.72	57000	1.35					
	4.3	8860	222.60 [ⓐ]	50300	0.90					
	5.5	6940	174.40 [ⓐ]	55500	1.15	R	137		DV 132M6	305
	6.8	5620	141.12 [ⓐ]	57600	1.40	RF	137		DV 132M6	325
	8.4	4520	113.72	59000	1.75					
	11	3530	88.70 [ⓐ]	59900	2.3					
	8.2	4640	172.34	27500	0.95	R	107		DV 112M4	190
	8.9	4270	158.68	29600	1.00	RF	107		DV 112M4	195
	10	3820	141.83	31900	1.15					
	12	3110	115.63	34600	1.40					
	15	2490	92.70	36200	1.70	R	107		DV 112M4	190
	19	1960	72.88	34200	2.2	RF	107		DV 112M4	195
	24	1600	59.41	32300	2.7					
	14	2780	103.44	22400	1.10					
	17	2240	83.15	25400	1.35					
	22	1750	65.21	26000	1.70	R	97		DV 112M4	135
	27	1430	53.21	24700	2.1	RF	97		DV 112M4	150
	33	1150	42.78	23400	2.6					
	43	890	33.25	21800	3.2					

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
4.0	52	730	27.19	20600	3.5	R	97	DV 112M4	130
	63	600	22.37	19500	4.5	RF	97	DV 112M4	150
	22	1710	63.68 ^①	13300	0.90	R	87	DV 112M4	91
	27	1420	52.82	15200	1.10	RF	87	DV 112M4	88
	30	1280	47.58	16000	1.20	R	87	DV 112M4	91
	39	990	36.84 ^①	17400	1.55	RF	87	DV 112M4	98
	51	750	27.88	16800	2.0				
	45	840	31.40	17400	1.85				
	61	630	23.40	16100	2.5	R	87	DV 112M4	90
	74	515	19.10	15200	2.8	RF	87	DV 112M4	97
	92	415	15.35	14300	3.2				
	119	320	11.93	13300	3.8				
	42	900	33.47	9100	0.90	R	77	DV 112M4	65
	56	680	25.23	10800	1.15	RF	77	DV 112M4	71
	66	575	21.43	10400	1.40				
	80	480	17.82 ^①	9950	1.65				
	101	380	14.05	9380	1.90	R	77	DV 112M4	64
	131	295	10.88	8780	2.3	RF	77	DV 112M4	70
	165	230	8.59	8320	2.7				
	209	183	6.79	7770	3.2				
	267	143	5.31 ^①	7230	3.6				
	71	535	19.89	7960	1.10	R	67	DV 112M4	59
	90	425	15.79	7600	1.30	RF	67	DV 112M4	62
	112	340	12.70	7240	1.50				
	142	270	10.00	6840	1.75	R	67	DV 112M4	59
	182	210	7.79	6440	1.80	RF	67	DV 112M4	62
	227	169	6.27	6070	1.95				
	288	133	4.93	5680	2.2				
	76	500	18.60 ^①	3520	0.90				
	96	395	14.77 ^①	3800	1.10				
	120	320	11.88	3710	1.25	R	57	DV 112M4	53
	152	250	9.35	3580	1.45	RF	57	DV 112M4	56
	178	215	7.97	3500	1.65				
	222	172	6.41	3350	1.95				
	281	136	5.05	3180	2.2				
	140	275	10.15	1960	0.85				
	177	215	8.01	2640	0.95	R	47	DV 112M4	48
	237	161	6.00	2430	0.95	RF	47	DV 112M4	48
	293	131	4.85	2350	1.15				
	371	103	3.83	2250	1.40				
	196	195	14.56	2600	1.35				
	242	158	11.79	2510	1.55				
	315	121	9.07	2390	1.80	R	47	DV 112M2	48
	369	104	7.76 ^①	2250	1.55	RF	47	DV 112M2	48
	477	80	6.00	2130	1.95				
	589	65	4.85	2020	2.3				
	746	51	3.83	1910	2.8				

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号			电动机型号	质量 /kg	
4.0	255	150	5.56 ^①	6630	1.50	RX	87		DV 112M4	71	
	316	121	4.50 ^①	6260	2.4	RXF	87		DV 112M4	76	
	351	109	4.04 ^①	4670	1.30						
	437	87	3.25 ^①	4410	2.1						
	527	73	2.70	4190	3.0	RX	77		DV 112M4	55	
	667	57	2.13	3920	3.5	RXF	77		DV 112M4	58	
	852	45	1.67	3650	3.9						
	444	86	3.20 ^①	2870	1.15	RX	67		DV 112M4	47	
	559	68	2.54	2730	1.75	RXF	67		DV 112M4	51	
	592	65	2.40 ^①	2690	1.90						
	765	50	1.86	2520	2.5	RX	67		DV 112M4	47	
	1015	38	1.40 ^①	2330	2.8	RXF	67		DV 112M4	51	
	599	64	2.37	1780	1.10						
	740	52	1.92 ^①	1940	1.35	RX	57		DV 112M4	44	
	962	40	1.48	1840	1.70	RXF	57		DV 112M4	46	
	5.5	2.2	22000	656	120000	0.80					
		2.8	16900	503	120000	1.05	R	167	R97	DV 132S4	780
		3.8	12600	376	120000	1.45	RF	167	R97	DV 132S4	790
4.7		10100	303	120000	1.80						
3.1		15500	462	43700	0.85						
3.9		12400	368	63800	1.05	R	147	R87	DV 132S4	475	
5.1		9410	280	68600	1.40	RF	147	R87	DV 132S4	480	
6.7		7170	214	71200	1.80						
3.1		17000	229.71	120000	1.05						
4.6		11300	153.07	120000	1.60	R	167		DV 160M8	700	
5.8		9010	121.81 ^①	120000	2.0	RF	167		DV 160M8	700	
4.8		10900	146.91	66500	1.20						
6.5		8090	109.31	70200	1.60	R	147		DV 160M8	445	
						RF	147		DV 160M8	455	
5.9		8930	163.31	69200	1.45						
8.0		6560	119.86	71700	2.0	R	147		DV 132ML6	440	
8.8		5980	109.31	72200	2.2	RF	147		DV 132ML6	450	
12		4570	83.47	73200	2.8						
5.5		9480	128.18	44400	0.85						
6.9		7630	103.20 ^①	54200	1.05	R	137		DV 160M8	315	
						RF	137		DV 160M8	340	
5.5		9540	174.40 ^①	43300	0.85						
6.8		7720	141.12 ^①	54000	1.05	R	137		DV 132ML6	310	
8.4		6220	113.72	56700	1.30	RF	137		DV 132ML6	335	
6.4	8180	222.60 ^①	53000	1.00							
8.2	6410	174.40 ^①	56400	1.25	R	137		DV 132S4	295		
10	5180	141.12 ^①	58200	1.55	RF	137		DV 132S4	320		

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
5.5	13	4180	113.72	59300	1.90				
	16	3260	88.70 ^①	60200	2.5	R	137	DV 132S4	295
	19	2700	73.49	60500	3.0	RF	137	DV 132S4	320
	24	2170	59.17 ^①	60900	3.7				
	11	4690	127.68	27100	0.90				
	14	3770	102.53	32100	1.15				
	18	2890	78.57	33500	1.50	R	107	DV 132S4	195
	22	2410	65.60 ^①	32100	1.80	RF	107	DV 132S4	205
	27	1930	52.68	30300	2.2				
	35	1480	40.37 ^①	28200	2.9				
	20	2650	72.17	21800	1.15				
	24	2200	59.92	24200	1.35				
	30	1750	47.58	23000	1.70	R	97	DV 132S4	140
	39	1360	37.13	21700	2.2	RF	97	DV 132S4	155
	52	1010	27.58	20100	2.6				
	53	1000	27.19	20000	2.6	R	97	DV 132S4	135
	64	820	22.37	19000	3.3	RF	97	DV 132S4	135
	78	670	18.24	17900	3.7				
	30	1750	47.58	15400	0.90	R	87	DV 132S4	97
	39	1350	36.84 ^①	17200	1.15	RF	87	DV 132S4	105
	51	1020	27.88	16100	1.45				
	61	860	23.40	15500	1.80				
	75	700	19.10	14700	2.0				
	93	565	15.35	13900	2.4	R	87	DV 132S4	96
	120	440	11.93	13000	2.8	RF	87	DV 132S4	105
	156	335	9.14 ^①	12200	3.6				
	200	260	7.13	11300	4.1				
	76	690	18.80	9240	1.15				
	92	575	15.60	9150	1.30				
	116	455	12.33	8690	1.50	R	77	DV 132S4	71
	148	355	9.64	8190	1.80	RF	77	DV 132S4	77
	185	285	7.74	7860	2.2				
	239	220	5.99 ^①	7320	2.5				
	91	580	15.79	6610	0.95				
	113	465	12.70	6810	1.10				
	143	365	10.00	6500	1.30	R	67	DV 132S4	64
	183	285	7.79	6180	1.35	RF	67	DV 132S4	67
	228	230	6.27	5860	1.45				
	290	181	4.93	5510	1.60				
	331	159	8.70 ^①	5300	2.8				
	391	134	7.36 ^①	5080	2.8	R	67	DV 132S2	64
	506	104	5.70	4730	3.0	RF	67	DV 132S2	67
	671	78	4.29	4350	3.5				

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_e/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_e/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_R(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg	
5.5	103	510	13.95 ^①	2070	0.85					
	132	395	10.79	3270	1.00					
	179	295	7.97	3220	1.20	R	57	DV 132S4	58	
	223	235	6.41	3120	1.40	RF	57	DV 132S4	61	
	283	185	5.05	3000	1.65					
	308	171	9.35	2930	2.2					
	383	137	7.53	2820	2.5	R	57	DV 132S2	58	
	494	106	5.82	2660	3.0	RF	57	DV 132S2	61	
	656	80	4.39	2470	3.5					
	244	215	11.79	1910	1.15					
	295	178	4.85	1870	0.85					
	373	141	3.83	2080	1.00					
	318	165	9.07	2220	1.35	R	47	DV 132S2	53	
	480	109	6.00	2000	1.45	RF	47	DV 132S2	53	
	593	89	4.85	1920	1.70					
	752	70	3.83	1820	2.1					
	255	205	5.61	9980	2.2	RX	107	DV 132S4	135	
	307	171	4.65	9460	4.1	RXF	107	DV 132S4	150	
	291	180	4.91	8010	2.2					
	354	149	4.04	7580	4.0					
434	121	3.30	7140	4.9	RX	97	DV 132S4	105		
541	97	2.64	6690	6.1	RXF	97	DV 132S4	110		
731	72	1.96	6110	7.9						
1010	52	1.42	5530	8.8						
378	139	3.78	5770	2.2						
463	113	3.09	5460	3.6	RX	87	DV 132S4	77		
576	91	2.48	5130	4.4	RXF	87	DV 132S4	82		
440	119	3.25 ^①	4220	1.50						
530	99	2.70	4030	2.2	RX	77	DV 132S4	62		
671	78	2.13	3780	2.6	RXF	77	DV 132S4	65		
858	61	1.67	3540	2.8						
563	93	2.54	2550	1.25						
700	75	2.04	2430	1.80	RX	67	DV 132S4	52		
889	59	1.61	2300	1.95	RXF	67	DV 132S4	56		
745	71	1.92	755	1.00	RX	57	DV 132S4	49		
969	54	1.48	1020	1.25	RXF	57	DV 132S4	51		
7.5	2.8	23100	503	120000	0.80					
	3.8	17300	376	120000	1.05	R	167	R97	DV 132M4	800
	4.7	13900	303	120000	1.30	RF	167	R97	DV 132M4	810
	4.4	15000	326	50100	0.85					
	5.8	11400	247	65700	1.15	R	147	R87	DV 132M4	495
	7.6	8680	189	69500	1.50	RF	147	R87	DV 132M4	500

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
7.5	3.1	22900	229.71	120000	0.80	R	167	DV 160L8	730
	4.7	15200	153.07	120000	1.20	RF	167	DV 160L8	740
	5.9	12100	121.81 ^①	120000	1.50				
	4.2	17100	229.71	120000	1.05				
	6.3	11400	153.07	120000	1.60	R	167	DV 160M6	700
	7.9	9090	121.81 ^①	120000	2.0	RF	167	DV 160M6	700
	10	6950	93.19	120000	2.6				
	13	5500	73.70 ^①	120000	3.3				
4.4	16200	163.31	32800	0.80	R	147	DV 160L8	480	
	6.0	11900	119.86	64700	1.10	RF	147	DV 160L8	490
5.9	12200	163.31	64200	1.05	R	147	DV 160M6	445	
	8.0	8940	119.86	69200	1.45	RF	147	DV 160M6	455
10	7060	94.60 ^①	71300	1.85	R	147	DV 160M6	445	
					RF	147	DV 160M6	455	
7.6	9440	188.45	45300	0.85	R	137	DV 132M4	305	
	9.1	7830	156.31	53700	1.00	RF	137	DV 132M4	325
11	6420	128.18	56400	1.25					
	14	5170	103.20 ^①	58200	1.55	R	137	DV 132M4	305
	18	4050	80.91 ^①	59500	1.95	RF	137	DV 132M4	325
	22	3270	65.20	60100	2.5				
	28	2550	50.86 ^①	60600	3.1				
15	4640	92.70	27500	0.95					
	20	3650	72.88	31300	1.20	R	107	DV 132M4	215
	24	2980	59.41	30000	1.45	RF	107	DV 132M4	225
	30	2390	47.63	28500	1.80				
	41	1770	35.26	26400	2.4				
46	1540	30.77	25500	2.8	R	107	DV 132M4	210	
	57	1250	24.90 ^①	24100	3.5	RF	107	DV 132M4	215
27	2670	53.21	22200	1.15					
	33	2140	42.78	21300	1.40	R	97	DV 132M4	160
	43	1670	33.25	20200	1.75	RF	97	DV 132M4	175
	52	1380	27.58	19400	1.95				
53	1360	27.19	19300	1.90	R	97	DV 132M4	155	
	64	1120	22.37	18400	2.4	RF	97	DV 132M4	175
	78	910	18.24	17500	2.7				
39	1840	36.84 ^①	11500	0.85					
	44	1640	32.66 ^①	15700	0.95				
	51	1390	27.84 ^①	15200	1.10				
	66	1080	21.51	14500	1.40				
	84	860	17.08 ^①	13700	1.65	R	87	DV 132M4	120
	107	670	13.33	12900	1.90	RF	87	DV 132M4	125
	144	495	9.90 ^①	12000	2.4				
	174	410	8.22	11600	2.8				
	224	320	6.39	10800	3.2				

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
7.5	76	940	18.80	5310	0.85	R	77	DV 132M4	92
	92	780	15.60	6610	0.95	RF	77	DV 132M4	98
	116	615	12.33	7750	1.10	R RF	77	DV 132M4 DV 132M4	92 98
	148	485	9.64	7810	1.30				
	185	390	7.74	7590	1.55				
	239	300	5.99 [ⓐ]	7110	1.80				
	124	580	11.54	4860	0.85	R RF	67	DV 132M4 DV 132M4	87 90
	164	435	8.70 [ⓐ]	5930	1.00				
	194	370	7.36 [ⓐ]	5720	1.00				
	251	285	5.70	5480	1.10				
	333	215	4.29	5130	1.25				
	190	375	7.53	1280	0.95					R RF	57	DV 132M4 DV 132M4	81 84
246	290	5.82	2380	1.10					
326	220	4.39	2710	1.25					
	208	345	13.95 [ⓐ]	2780	1.25	R RF	57	DV 132M2 DV 132M2	87 90
	269	265	10.79	2750	1.45				
	364	197	7.97	2670	1.80				
	452	158	6.41	2570	2.1				
	575	125	5.05	2440	2.5				
	216	330	6.63 [ⓐ]	10100	1.40	R RF	107	DV 132M4 DV 132M4	155 170
	276	260	5.19	9490	2.7				
	340	210	4.20 [ⓐ]	8950	3.9				
	291	245	4.91	7750	1.60	RX RXF	97	DV 132M4 DV 132M4	125 130
	354	205	4.04	7360	2.9				
	434	165	3.30	6960	3.6				
	318	225	4.50 [ⓐ]	5760	1.30	RX RXF	87	DV 132M4 DV 132M4	99 105
	411	174	3.48	5420	2.3				
	518	138	2.76 [ⓐ]	5110	2.9				
	664	108	2.15	4780	3.6				
	894	80	1.60 [ⓐ]	4400	3.9				
	464	154	3.08 [ⓐ]	3890	1.25	RX RXF	77	DV 132M4 DV 132M4	83 86
	589	122	2.43	3730	1.75				
	761	94	1.88 [ⓐ]	3510	2.0				
	1005	71	1.42	3260	2.2				
	563	127	2.54	1500	0.95	RX RXF	67	DV 132M4 DV 132M4	75 79
	700	102	2.04	1810	1.30				
	889	81	1.61	2060	1.40				
9.2	4.3	18800	335	120000	0.95	R	167 R97	DV 132ML4	810
	5.2	15600	279	120000	1.15	RF	167 R97	DV 132ML4	820
	5.8	13900	247	60800	0.95	R	147 R87	DV 132ML4	500
	7.6	10600	189	66900	1.25	RF	147 R87	DV 132ML4	510

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
9.2	8.8	9960	163.31	67800	1.30				
	12	7310	119.86	71000	1.80	R	147	DV 132ML4	440
	15	5770	94.60 [Ⓢ]	72400	2.2	RF	147	DV 132ML4	450
	20	4400	72.09	73300	3.0				
	10	8610	141.12 [Ⓢ]	51400	0.95				
	13	6940	113.72	55500	1.15				
	16	5410	88.70 [Ⓢ]	57900	1.50	R	137	DV 132ML4	310
	20	4480	73.49	59000	1.80	RF	137	DV 132ML4	335
	24	3610	59.17 [Ⓢ]	59900	2.2				
	32	2710	44.39	60500	3.0				
	20	4450	72.88	28600	0.95				
	24	3620	59.41	28800	1.20	R	107	DV 132ML4	225
	30	2910	47.63	27500	1.50	RF	107	DV 132ML4	230
	41	2150	35.26	25700	2.0				
	47	1880	30.77	24900	2.3	R	107	DV 132ML4	220
	58	1520	24.90 [Ⓢ]	23500	2.8	RF	107	DV 132ML4	225
	72	1220	20.07	22200	3.5				
	30	2900	47.58	20600	1.05	R	97	DV 132ML4	170
	39	2270	37.13	19800	1.30	RF	97	DV 132ML4	185
52	1680	27.58	18700	1.60					
64	1370	22.37	17900	2.0	R	97	DV 132ML4	165	
79	1110	18.24	17000	2.2	RF	97	DV 132ML4	185	
98	890	14.62	16100	2.6					
75	1170	19.10	13600	1.25					
94	940	15.35	13000	1.45	R	87	DV 132ML4	125	
121	730	11.93	12200	1.70	RF	87	DV 132ML4	135	
158	560	9.14 [Ⓢ]	11700	2.2					
202	435	7.13	10900	2.5					
102	860	14.05	4740	0.85					
132	665	10.88	6280	1.00	R	77	DV 132ML4	100	
186	470	7.74	6300	1.30	RF	77	DV 132ML4	105	
240	365	5.99 [Ⓢ]	6920	1.50					
277	315	5.19	9240	2.2					
343	255	4.20 [Ⓢ]	8760	3.2	RX	107	DV 132ML4	165	
425	205	3.38	8270	4.0	RXF	107	DV 132ML4	180	
356	245	4.04	7170	2.4					
437	200	3.30	6800	3.0					
545	161	2.64	6410	3.7	RX	97	DV 132ML4	135	
736	119	1.96	5890	4.8	RXF	97	DV 132ML4	140	
1015	86	1.42	5360	5.3					

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号			电动机型号	质量 /kg									
9.2	466	188	3.09	5080	2.2														
	580	151	2.48	4820	2.7	RX	87		DV 132ML4	110									
	747	118	1.93	4520	3.0	RXF	87		DV 132ML4	115									
	1035	85	1.39	4140	3.4														
	676	130	2.13	3160	1.55	RX	77		DV 132ML4	92									
	864	102	1.67	3280	1.70	RXF	77		DV 132ML4	95									
11.0	5.3	18100	270	120000	1.00	R	167	R107	DV 160M4	860									
	7.2	13400	200	120000	1.35	RF	167	R107	DV 160M4	870									
	5.0	19800	291	120000	0.90	R	167	R107	DV 160M4	860									
						RF	167	R107	DV 160M4	860									
	4.3	22500	335	120000	0.80	R	167	R97	DV 160M4	820									
						RF	167	R97	DV 160M4	820									
	6.7	14300	214	58300	0.90	R	147	R87	DV 160M4	510									
						RF	147	R87	DV 160M4	520									
	6.3	16700	153.07	120000	1.05	R	167		DV 160L6	730									
						RF	167		DV 160L6	740									
	7.7	13600	186.93 ^①	120000	1.30														
						10	10200	139.98	120000	1.75	R	167	DV 160M4	700					
											13	7840	107.49	120000	2.3	RF	167	DV 160M4	700
						17	6050	82.91 ^①	120000	3.0									
	8.0	13100	119.86	62400	1.00	R	147		DV 160L6	480									
						10	10400	94.60 ^①	67300	1.25	RF	147	DV 160L6	490					
	8.8	11900	163.31	64700	1.10														
						12	8740	119.86	69400	1.50	R	147	DV 160M4	445					
															15	6900	94.60 ^①	71400	1.90	RF	147	DV 160M4	455
						20	5260	72.09	72800	2.5									
						24	4460	61.09	73300	2.9									
	10	10300	141.12 ^①	23300	0.80														
						13	8300	113.72	52700	0.95	R	137	DV 160M4	315					
															16	6470	88.70 ^①	56300	1.25	RF	137	DV 160M4	340
						20	5360	73.49	57900	1.50									
						24	4320	59.17 ^①	59200	1.85									
						32	3240	44.39	60200	2.5									
	44	2400	32.91	60700	3.3														
22	4790	65.60 ^①	23700	0.90															
					27	3840	52.68	27100	1.10	R	107	DV 160M4	230						
										36	2940	40.37 ^①	25700	1.45	RF	107	DV 160M4	235	
					49	2150	29.49	24000	2.0										
52	2010	27.58	23600	2.1															
					64	1650	22.62	22500	2.6	R	107	DV 160M4	225						
										79	1330	18.21	21300	3.2	RF	107	DV 160M4	230	

续表

输入功率 P_n/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \text{min}^{-1}$	输出转矩 $M_2/\text{N} \cdot \text{m}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(\text{SEW})$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
11.0	34	3120	42.78	14500	0.95	R	97	DV 160M4	175
	43	2430	33.25	18600	1.20	RF	97	DV 160M4	190
	58	1830	25.03	17700	1.55	R	97	DV 160M4	170
	71	1470	20.14	16900	1.80	RF	97	DV 160M4	190
	89	1180	16.17	16100	2.0	R RF	97 97	DV 160M4 DV 160M4	170 190
	116	900	12.39	15100	2.4				
	155	675	9.29	14300	3.0				
	202	520	7.12	13200	3.8				
	67	1570	21.51	13200	0.95	R RF	87 87	DV 160M4 DV 160M4	130 140
	84	1250	17.08 ^①	12800	1.10				
	108	970	13.33	12200	1.30				
	145	720	9.90 ^①	11400	1.65				
	175	600	8.22	11200	1.95				
	225	465	6.39	10400	2.2				
	132	795	10.88	4250	0.85	R RF	77 77	DV 160M4 DV 160M4	105 110
	149	705	9.64	5000	0.90				
	186	565	7.74	4630	1.10				
	240	435	5.99 ^①	5720	1.25				
	277	380	5.19	9000	1.85	RX RXF	107 107	DV 160M4 DV 160M4	170 185
	343	305	4.20 ^①	8560	2.7				
	425	245	3.38	8100	3.4				
	545	193	2.64 ^①	7580	4.3				
	318	330	4.52	7150	1.80	RX RXF	97 97	DV 160M4 DV 160M4	135 145
	396	265	3.64 ^①	6800	2.2				
	493	215	2.92	6440	2.8				
	643	163	2.24 ^①	6000	3.6				
	880	119	1.64	5500	4.2				
	414	255	3.48	5030	1.60	RX RXF	87 87	DV 160M4 DV 160M4	110 115
	522	200	2.76 ^①	4790	2.0				
	669	157	2.15	4530	2.5				
	900	117	1.60 ^①	4200	2.7				
	593	177	2.43	1890	1.20	RX RXF	77 77	DV 160M4 DV 160M4	96 99
	766	137	1.88 ^①	2330	1.35				
	1010	104	1.42	2580	1.50				
15.0	6.4	20700	229	120000	0.85	R	167 R107	DV 160L4	900
	8.6	15200	169	120000	1.20	RF	167 R107	DV 160L4	910
	7.4	18100	198	120000	1.00	R RF	167 R107 167 R107	DV 160L4 DV 160L4	900 900
	6.9	20700	139.98	120000	0.85	R	167	DV 180L6	800
	9.0	15900	107.49	120000	1.15	RF	167	DV 180L6	800

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_d(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg
15.0	6.4	22500	229.71	120000	0.80				
	7.8	18300	186.93 ^①	120000	1.00				
	9.5	15000	153.07	120000	1.20	R	167	DV 160L4	730
	12	12000	121.81 ^①	120000	1.50	RF	167	DV 160L4	740
	16	9140	93.19	120000	1.95				
	20	7230	73.70 ^②	120000	2.5				
	10	14000	94.60 ^①	60600	0.95	R	147	DV 180L6	550
	13	10600	72.09	66800	1.20	RF	147	DV 180L6	550
	8.9	16000	163.31	36200	0.80	R	147	DV 160L4	480
	12	11800	119.86	65000	1.10	RF	147	DV 160L4	490
	15	9280	94.60 ^①	68800	1.40				
	20	7070	72.09	71300	1.85	R	147	DV 160L4	480
	24	5990	61.09	72200	2.2	RF	147	DV 160L4	490
	31	4580	46.65	73200	2.8				
	16	8700	88.70 ^①	51000	0.90				
	20	7210	73.49	55000	1.10	R	137	DV 160L4	355
	25	5800	59.17 ^①	57300	1.40	RF	137	DV 160L4	380
	33	4360	44.39	59100	1.85				
	44	3230	32.91	60200	2.5				
	36	3960	40.37 ^①	23900	1.10	R	107	DV 160L4	270
	50	2890	29.49	22600	1.50	RF	107	DV 160L4	275
	53	2710	27.58	22400	1.60				
	65	2220	22.62	21400	1.95	R	107	DV 160L4	265
	80	1790	18.21	20400	2.4	RF	107	DV 160L4	270
	107	1340	13.66	19000	3.2				
	53	2710	27.58	16500	1.00	R	97	DV 160L4	215
						RF	97	DV 160L4	230
	65	2200	22.37	16100	1.25	R	97	DV 160L4	210
	80	1790	18.24	15600	1.40	RF	97	DV 160L4	230
	100	1430	14.62	14900	1.60				
	135	1060	10.83	14000	1.95	R	97	DV 160L4	210
	174	820	8.39	13400	2.5	RF	97	DV 160L4	230
	235	610	6.21	12400	3.1				
	95	1510	15.35	11500	0.90				
	122	1170	11.93	11100	1.05				
	160	900	9.14 ^①	11000	1.35	R	87	DV 160L4	170
	205	700	7.13	10300	1.55	RF	87	DV 160L4	175
	275	520	5.30 ^②	9600	1.75				
	314	455	4.65	8260	1.50				
	383	375	3.81	7930	2.2				
	475	300	3.07	7540	2.8	RX	107	DV 160L4	210
	634	225	2.30	7010	3.7	RXF	107	DV 160L4	225
855	168	1.71	6470	4.2					

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_d(SEW)$	减速器型号	电动机型号	质量 /kg
15.0	323	445	4.52	6660	1.35			
	401	355	3.64 ^①	6400	1.65	RX 97	DV 160L4	180
	499	285	2.92	6110	2.1	RXF 97	DV 160L4	185
	652	220	2.24 ^①	5730	2.7			
	892	161	1.64	5290	3.2			
	420	340	3.48	4260	1.20	RX 87	DV 160L4	150
	529	270	2.76 ^①	4430	1.50	RXF 87	DV 160L4	155
	678	210	2.15	4230	1.80			
	913	157	1.60 ^①	3960	2.0			
	18.5	7.8	22500	186.93 ^①	120000	0.80		
10		16900	139.98	120000	1.05	R 167	DV 180M4	780
14		13000	107.49	120000	1.40	RF 167	DV 180M4	790
18		10000	82.91 ^①	120000	1.80			
22		8130	67.40	120000	2.2			
12		14500	119.86	56900	0.90	R 147	DV 180M4	530
15		11400	94.60 ^①	65600	1.15	RF 147	DV 180M4	540
20		8690	72.09	69500	1.50			
24		7370	61.09	71000	1.75	R 147	DV 180M4	530
31		5630	46.65	72500	2.3	RF 147	DV 180M4	540
20		8860	73.49	50200	0.90			
25		7140	59.17 ^①	55100	1.10	R 137	DV 180M4	405
33		5350	44.39	58000	1.50	RF 137	DV 180M4	430
45		3970	32.91	59500	2.0			
50		3570	29.57 ^①	59900	2.2	R 137	DV 180M4	395
67		2650	22.00 ^①	60600	3.0	RF 137	DV 180M4	420
87		2030	16.80 ^①	60900	4.0			
36		4870	40.37 ^①	20200	0.90	R 107	DV 180M4	320
50		3560	29.49	21500	1.20	RF 107	DV 180M4	325
65		2730	22.62	20600	1.60			
80		2200	18.21	19700	1.95	R 107	DV 180M4	315
107		1650	13.66	18500	2.6	RF 107	DV 180M4	320
145		1220	10.13	17200	3.5			
220		800	6.66	15600	3.7			
80		2200	18.24	14700	1.15			
100		1760	14.62	14200	1.30			
135		1310	10.83	13500	1.60	R 97	DV 180M4	260
175		1010	8.39	13100	2.0	RF 97	DV 180M4	280
236		750	6.21	12100	2.5			
326		545	4.50 ^①	11100	3.0			
110	1610	13.33	10600	0.80				
148	1190	9.90 ^①	10200	1.00	R 87	DV 180M4	220	
178	990	8.22	10300	1.15	RF 87	DV 180M4	230	
229	770	6.39	9770	1.30				

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{R_2}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号	电动机型号	质量 /kg	
18.5	349	505	4.20 ^①	7710	1.65	RX 107 RXF 107	DV 180M4 DV 180M4	260 275	
	433	410	3.38	7400	2.0				
	555	320	2.64 ^①	7010	2.6				
	750	235	1.95	6510	3.2				
	1015	174	1.44	6020	3.7				
	444	400	3.30	5960	1.50	RX 97 RXF 97	DV 180M4 DV 180M4	230 235	
	554	320	2.64	5710	1.85				
	749	235	1.96	5350	2.4				
	1035	171	1.42	4940	2.7				
	590	300	2.48	3340	1.35	RX 87 RXF 87	DV 180M4 DV 180M4	200 205	
	760	235	1.93	3820	1.55				
	1055	168	1.39	3670	1.75				
	22	9.6	22000	153.07	120000	0.80	R 167 RF 167	DV 180L4 DV 180L4	800 800
		12	17500	121.81 ^①	120000	1.05			
		16	13400	93.19	120000	1.35			
20		10600	73.70 ^①	120000	1.70				
25		8410	58.65	120000	2.1				
33		6430	44.87	120000	2.8				
13		15700	109.31	41300	0.85	R 147 RF 147	DV 180L4 DV 180L4	550 550	
18		12000	83.47	64600	1.10				
22		9610	66.99	68300	1.35				
28		7580	52.87	70800	1.70				
36		5780	40.29	72400	2.2				
49		4300	29.95	73400	3.0				
25		8480	59.17 ^①	51900	0.95	R 137 RF 137	DV 180L4 DV 180L4	420 440	
33		6370	44.39	56500	1.25				
45		4720	32.91	58700	1.70				
50		4240	29.57 ^①	59300	1.85	R 137 RF 137	DV 180L4 DV 180L4	410 430	
67		3150	22.00 ^①	60200	2.5				
87		2410	16.80 ^①	60700	3.3				
114		1840	12.83	61000	4.3				
42		5060	35.26	7280	0.85	R 107 RF 107	DV 180L4 DV 180L4	335 340	
50		4230	29.49	20400	1.00				
59		3570	24.90 ^①	20000	1.20	R 107 RF 107	DV 180L4 DV 180L4	330 335	
73		2880	20.07	19300	1.50				
94		2240	15.65	18500	1.90				
126		1660	11.59	17300	2.6				
171		1230	8.56	16100	3.5				
220		960	6.66	15400	3.1	R 107 RF 107	DV 180L4 DV 180L4	330 335	
80		2620	18.24	13900	0.95	R 97 RF 97	DV 180L4 DV 180L4	275 295	
100		2100	14.62	13600	1.10				
135		1550	10.83	13000	1.35				
175		1200	8.39	12800	1.70				
236		890	6.21	11900	2.1				
326		645	4.50 ^①	10900	2.5				

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号	电动机型号	质量 /kg
22	160	1310	9.14 ^①	10100	0.90	R 87	DV 180L4	235
	205	1020	7.13	9700	1.05	RF 87	DV 180L4	240
	276	760	5.30 ^①	9110	1.20			
	384	545	3.81	7230	1.50			
	477	440	3.07	6960	1.90	RX 107	DV 180L4	275
	636	330	2.30	6560	2.5	RXF 107	DV 180L4	290
	858	245	1.71	6120	2.9			
	402	520	3.64 ^①	5720	1.15			
	501	420	2.92	5560	1.40	RX 97	DV 180L4	240
	654	320	2.24 ^①	5300	1.85	RXF 97	DV 180L4	250
	895	235	1.64	4960	2.2			
	590	355	2.48	1710	1.15	RX 87	DV 180L4	215
	760	275	1.93	2450	1.30	RXF 87	DV 180L4	220
	1055	200	1.39	3030	1.45			
	30	16	18200	93.19	120000	1.00		
20		14400	73.70 ^①	120000	1.25			
25		11400	58.65	120000	1.55	R 167	DV 200L4	850
33		8740	44.87	120000	2.1	RF 167	DV 200L4	860
43		6710	34.41	120000	2.7			
62		4620	23.71	120000	3.9			
18		16300	83.47	32400	0.80	R 147	DV 200L4	600
22		13100	66.99	62500	1.00	RF 147	DV 200L4	610
28		10300	52.87	67300	1.25	R 147	DV 200L4	600
36		7850	40.29	70500	1.65	RF 147	DV 200L4	610
49		5840	29.95	72300	2.2			
72		3980	20.44	73600	3.0	R 147	DV 200L4	590
94		3050	15.64	74000	4.3	RF 147	DV 200L4	600
33		8650	44.39	51200	0.90	R 137	DV 200L4	475
45		6410	32.91	56400	1.25	RF 137	DV 200L4	500
61		4700	24.12	58800	1.70			
77		3710	19.04 ^①	59800	2.2			
101		2830	14.51	59500	2.8	R 137	DV 200L4	465
136		2100	10.79	56600	3.8	RF 137	DV 200L4	490
230		1240	6.38	51300	4.1			
81		3550	18.21	17400	1.20			
108		2660	13.66	16800	1.60	R 107	DV 200L4	385
145		1970	10.13	15900	2.2	RF 107	DV 200L4	390
187		1530	7.86	15500	1.95			
252	1140	5.82	14400	2.6				
119	2420	12.39	11900	0.90				
158	1810	9.29	12300	1.10	R 97	DV 200L4	330	
207	1390	7.12	11700	1.45	RF 97	DV 200L4	345	
283	1010	5.20	10900	1.75				

续表

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 f_B (SEW)	减速器型号		电动机型号	质量 /kg	
45	32	13600	46.65	61300	0.95	R	147	DV 225M4	680	
	41	10400	35.64	67200	1.25	RF	147	DV 225M4	690	
	61	7070	24.19	71300	1.70					
	82	5270	18.04	72800	2.0	R	147	DV 225M4	670	
	106	4070	13.91	73500	3.1	RF	147	DV 225M4	680	
	203	2120	7.25	74300	4.1					
	45	9620	32.91	41700	0.85	R	137	DV 225M4	550	
	53	8130	27.83	51200	0.95	RF	137	DV 225M4	580	
	67	6430	22.00 ^①	52900	1.25	R	137	DV 225M4	540	
	88	4910	16.80 ^①	53400	1.65	RF	137	DV 225M4	570	
	115	3750	12.83	52800	2.1					
	169	2550	8.71	50500	3.1					
	230	1860	6.38	48700	2.7					
	108	3990	13.66	14600	1.10	R	107	DV 225M4	460	
	145	2960	10.13	14300	1.45	RF	107	DV 225M4	465	
	187	2300	7.86	14400	1.30					
	252	1700	5.82	13600	1.75					
	434	990	3.38	1360	0.85	RX	107	DV 225M4	405	
	557	770	2.64 ^①	2970	1.10	RXF	107	DV 225M4	420	
	752	570	1.95	4200	1.35					
	1020	420	1.44	4880	1.55					
	55	29	18400	51.76	120000	1.00	R	167	D 250M4	1060
		37	14200	39.92	120000	1.25	RF	167	D 250M4	1060
		53	9960	27.96	120000	1.80				
60		8750	24.57	120000	1.60	R	167	D 250M4	1050	
77		6780	19.03	120000	2.4	RF	167	D 250M4	1060	
102		5150	14.48	120000	3.5					
37		14300	40.29	58200	0.90	R	147	D 250M4	800	
49		10700	29.95	66800	1.20	RF	147	D 250M4	810	
72		7280	20.44	71100	1.65	R	147	D 250M4	790	
94		5570	15.64	72500	2.3	RF	147	D 250M4	800	
123		4270	11.99	73400	3.0	R	147	D 250M4	790	
203		2580	7.25	74200	3.4	RF	147	D 250M4	800	
77		6780	19.04 ^①	47800	1.20	R	137	D 250M4	660	
102		5170	14.51	48900	1.55	RF	137	D 250M4	690	
137		3840	10.79	48800	2.1					
194		2700	7.59	48100	1.90					
286		1830	5.15	45200	2.5					

输入功率 P_m/kW	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	输出转矩 $M_2/N \cdot m$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	使用系数 $f_B(SEW)$	减速器型号		电动机型号	质量 /kg	
75	37	19300	39.92	120000	0.95	R	167	D 280S4	1190	
	53	13500	27.96	120000	1.35	RF	167	D 280S4	1190	
	60	11900	24.57	120000	1.20	R RF	167 167	D 280S4 D 280S4	1180 1190	
	78	9210	19.03	120000	1.75					
	102	7000	14.48	120000	2.6					
	145	4950	10.24	112800	3.4					
	61	11700	24.19	65100	1.00	R RF	147 147	D 280S4 D 280S4	940 950	
	82	8730	18.04	69500	1.20	R RF	147 147	D 280S4 D 280S4	930 940	
	106	6730	13.91	71600	1.85					
	152	4710	9.74	73100	2.8					
	204	3510	7.25	73100	2.5					
	296	2420	5.00	67600	3.6					
	90	43	20000	34.41	120000	0.90	R	167	D 280M4	1260
		62	13800	23.71	120000	1.30	RF	167	D 280M4	1270
		68	12700	21.85	120000	1.00	R RF	167 167	D 280M4 D 280M4	1260 1260
87		9860	16.98	120000	1.50					
123		6960	11.99	113500	2.4					
82		10500	18.04	67100	1.00	R RF	147 147	D 280M4 D 280M4	1000 1010	
106		8080	13.91	70200	1.55					
152		5660	9.74	72500	2.3					
204		4210	7.25	70900	2.1					
296		2900	5.00	66100	3.0					
110		63	16800	23.71	116900	1.05	R RF	167 167	D 315S4 D 315S4	1450 1460
		87	12000	16.98	114300	1.25	R RF	167 167	D 315S4 D 315S4	1440 1450
		124	8480	11.99	109300	2.0				
		87	14400	16.98	107800	1.05	R RF	167 167	D 315M4 D 315M4	1540 1550
124		10200	11.99	104700	1.65					
132	63	20100	23.71	107900	0.90	R RF	167 167	D 315M4 D 315M4	1550 1560	
	87	14400	16.98	107800	1.05	R	167	D 315M4	1540	
160	103	14900	14.48	99700	1.20	R	167	D 315M4 _a	1540	
	145	10500	10.24	97600	1.60	RF	167	D 315M4 _a	1550	

① 表示精确的减速机速比。

注：只选部分性能参数编入，更详细的资料见各厂家样本。

表 16-2-238

最大转矩 $M_{amax}/N \cdot m$	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	减速器型号		电动机型号		质量/kg
1550	0.93	1395	16900	R	87 R57	DR	63L4	85
	1.1	1145	16900	RF	87 R57	DR	63L4	93
	1.7	802	16900	R	87 R57	DT	71D4	87
				RF	87 R57	DT	71D4	94
	0.76	1737	16900	R	87 R57	DR	63M4	85
				RF	87 R57	DR	63M4	92
	1.0	1303	16900	R	87 R57	DR	63L4	86
				RF	87 R57	DR	63L4	93
	1.4	1008	16900	R	87 R57	DT	80K4	89
				RF	87 R57	DT	80K4	97
	1.6	885	16900	R	87 R57	DT	71D4	87
				RF	87 R57	DT	71D4	95
	2.0	685	16900	R	87 R57	DT	80K4	89
				RF	87 R57	DT	80K4	97
	3.5	398	16900	R	87 R57	DT	80N4	90
				RF	87 R57	DT	80N4	98
4.6	305	16900	R	87 R57	DT	90S4	96	
			RF	87 R57	DT	90S4	105	
2.5	538	16900	R	87 R57	DT	80K4	88	
			RF	87 R57	DT	80K4	95	
3.5	400	16900	R	87 R57	DT	80N4	89	
			RF	87 R57	DT	80N4	96	
4.7	300	16900	R	87 R57	DT	90S4	94	
			RF	87 R57	DT	90S4	100	
3000	0.06	21769	19800					
	0.08	17230	19800					
	0.10	13320	19800	R	97 R57	DR	63S4	130
	0.14	10030	19800	RF	97 R57	DR	63S4	145
	0.18	7692	19800					
	0.23	5931	19800					
	0.33	4004	19800	R	97 R57	DR	63M4	130
				RF	97 R57	DR	63M4	145
	0.29	4678	19800	R	97 R57	DR	63S4	125
				RF	97 R57	DR	63S4	145
	0.31	4309	19800	R	97 R57	DR	63M4	125
	0.44	3019	19800	RF	97 R57	DR	63M4	145
	0.58	2245	19800	R	97 R57	DR	63L4	125
				RF	97 R57	DR	63L4	145
	0.80	1733	19800	R	97 R57	DT	71D4	130
	0.96	1434	19800	RF	97 R57	DT	71D4	145
	1.2	1084	19800	R	97 R57	DT	80K4	130
	1.6	878	19800	RF	97 R57	DT	80K4	145
1.8	755	19800	R	97 R57	DT	80N4	130	
			RF	97 R57	DT	80N4	150	

最大转矩 $M_{\max}/N \cdot m$	输出转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Rd}/N	减速器型号		电动机型号		质量/kg
3000	0.76	1823	19800	R	97 R57	DT	71D4	130
	0.99	1396	19800	RF	97 R57	DT	71D4	145
	1.3	1069	19800	R	97 R57	DT	80K4	130
				RF	97 R57	DT	80K4	150
	1.7	824	19800	R	97 R57	DT	80N4	135
				RF	97 R57	DT	80N4	150
	2.2	632	19800	R	97 R57	DT	90S4	140
				RF	97 R57	DT	90S4	155
	2.9	484	19800	R	97 R57	DT	90L4	140
				RF	97 R57	DT	90L4	155
	3.7	379	19800	R	97 R57	DV	100M4	145
				RF	97 R57	DV	100M4	165
	4.8	296	19800	R	97 R57	DT	90S4	135
				RF	97 R57	DT	90S4	150
6.0	234	19800	R	97 R57	DV	100M4	145	
			RF	97 R57	DV	100M4	160	
6.2	227	19800	R	97 R57	DT	90S4	135	
			RF	97 R57	DT	90S4	150	
4300	0.08	17080	29500					
	0.11	12829	29500	R	107 R77	DR	63S4	200
	0.14	9547	29500	RF	107 R77	DR	63S4	210
	0.18	7583	29500					
	0.22	5914	29500	R	107 R77	DR	63M4	200
				RF	107 R77	DR	63M4	210
	0.30	4435	29500	R	107 R77	DR	63L4	205
				RF	107 R77	DR	63L4	210
	0.43	3039	29500	R	107 R77	DT	80K4	200
				RF	107 R77	DT	80K4	205
	0.39	3343	29500	R	107 R77	DT	80N4	200
				RF	107 R77	DT	80N4	205
	0.52	2653	29500	R	107 R77	DT	90S4	205
				RF	107 R77	DT	90S4	210
0.67	2067	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	
0.88	1550	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	
1.1	1209	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	
1.5	919	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	
1.9	717	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	
2.7	528	29500	R	107 R77	DT	90L4	205	
			RF	107 R77	DT	90L4	215	

续表

最大转矩 $M_{\max}/N \cdot m$	输出转速 $n_g/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	减速器型号		电动机型号		质量/kg
4300	0.74	1827	29500	R	107 R77	DT	80K4	205
	0.97	1400	29500	RF	107 R77	DT	80K4	210
	1.2	1104	29500	R	107 R77	DT	80N4	205
				RF	107 R77	DT	80N4	210
	1.7	822	29500	R	107 R77	DT	90S4	210
				RF	107 R77	DT	90S4	215
	2.6	544	29500	R	107 R77	DT	90L4	210
				RF	107 R77	DT	90L4	220
	3.4	417	29500	R	107 R77	DV	100M4	220
	4.4	323	29500	RF	107 R77	DV	100M4	225
	5.5	253	29500	R	107 R77	DV	100L4	225
				RF	107 R77	DV	100L4	230
	7.6	187	29500	R	107 R77	DV	112M4	230
				RF	107 R77	DV	112M4	235
	3.0	469	29500	R	107 R77	DT	90L4	205
				RF	107 R77	DT	90L4	210
	3.3	426	29500	R	107 R77	DV	100M4	215
	4.4	325	29500	RF	107 R77	DV	100M4	220
	5.5	256	29500	R	107 R77	DV	100L4	215
				RF	107 R77	DV	100L4	225
6.5	220	29500	R	107 R77	DV	112M4	225	
8.2	172	29500	RF	107 R77	DV	112M4	230	
8000	0.07	18945	53400	R	137 R77	DR	63S4	290
	0.09	14777	53400	RF	137 R77	DR	63S4	310
	0.11	11712	53400	R	137 R77	DR	63M4	290
				RF	137 R77	DR	63M4	310
	0.20	6559	53400	R	137 R77	DR	63L4	290
				RF	137 R77	DR	63L4	310
	0.27	5116	53400	R	137 R77	DT	71D4	290
	0.35	3928	53400	RF	137 R77	DT	71D4	315
	0.45	2993	53400	R	137 R77	DT	80K4	290
				RF	137 R77	DT	80K4	315
	0.34	4018	53400	R	137 R77	DT	71D4	280
				RF	137 R77	DT	71D4	305
	0.41	3338	53400	R	137 R77	DT	80K4	280
	0.55	2484	53400	RF	137 R77	DT	80K4	305
	0.74	1863	53400	R	137 R77	DT	80N4	285
				RF	137 R77	DT	80N4	305
1.0	1391	53400	R	137 R77	DT	90S4	290	
			RF	137 R77	DT	90S4	310	

最大转矩 $M_{\max}/N \cdot m$	输出转速 $n_a/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{R0}/N	减速器型号		电动机型号		质量/kg
8000	1.3	1105	53400	R	137 R77	DT	90L4	290
	1.6	888	53400	RF	137 R77	DT	90L4	315
	2.3	609	53400	R	137 R77	DV	100M4	295
				RF	137 R77	DV	100M4	320
	0.56	2412	53400	R	137 R77	DT	80K4	290
				RF	137 R77	DT	80K4	315
	0.75	1839	53400	R	137 R77	DT	80N4	295
				RF	137 R77	DT	80N4	315
	1.0	1397	53400	R	137 R77	DT	90S4	300
				RF	137 R77	DT	90S4	320
	1.3	1090	53400	R	137 R77	DT	90L4	300
				RF	137 R77	DT	90L4	320
	1.7	831	53400	R	137 R77	DV	100M4	305
				RF	137 R77	DV	100M4	330
	2.9	490	53400	R	137 R77	DV	100L4	310
				RF	137 R77	DV	100L4	335
	3.7	381	53400	R	137 R77	DV	112M4	315
				RF	137 R77	DV	112M4	340
	4.9	291	53400	R	137 R77	DV	132S4	325
				RF	137 R77	DV	132S4	345
2.5	564	53400	R	137 R77	DV	100L4	300	
			RF	137 R77	DV	100L4	325	
4.2	339	53400	R	137 R77	DV	112M4	305	
			RF	137 R77	DV	112M4	330	
4.8	297	53400	R	137 R77	DV	132S4	315	
			RF	137 R77	DV	132S4	335	
13000	0.06	21342	62700	R	147 R77	DR	63S4	420
				RF	147 R77	DR	63S4	430
	0.08	15923	62700	R	147 R77	DR	63M4	420
				RF	147 R77	DR	63M4	430
	0.11	12344	62700	R	147 R77	DR	63L4	420
				RF	147 R77	DR	63L4	430
	0.19	7307	62700	R	147 R77	DT	71D4	420
				RF	147 R77	DT	71D4	430
	0.24	5568	62700	R	147 R77	DT	80K4	425
				RF	147 R77	DT	80K4	430
	0.42	3302	62700	R	147 R77	DT	80N4	425
				RF	147 R77	DT	80N4	435
	0.55	2555	62700	R	147 R77	DT	90S4	430
				RF	147 R77	DT	90S4	440
0.92	1536	62700	R	147 R77	DT	90L4	430	
			RF	147 R77	DT	90L4	440	

续表

最大转矩 $M_{max}/N \cdot m$	输出转速 $n_n/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Ra}/N	减速器型号		电动机型号		质量/kg
13000	1.2	1166	62700	R	147 R77	DV	100M4	435
				RF	147 R77	DV	100M4	445
	1.6	889	62700	R	147 R77	DV	100L4	440
				RF	147 R77	DV	100L4	450
	2.0	695	62700	R	147 R77	DV	112M4	445
				RF	147 R77	DV	112M4	455
	2.9	489	62700	R	147 R77	DV	132S4	455
				RF	147 R77	DV	132S4	465
	2.7	533	62700	R	147 R87	DV	112M4	470
				RF	147 R87	DV	112M4	475
3.4	426	62700	R	147 R87	DV	132S4	475	
			RF	147 R87	DV	132S4	480	
4.4	326	62700	R	147 R87	DV	132M4	495	
			RF	147 R87	DV	132M4	500	
5.8	247	62700	R	147 R87	DV	132ML4	500	
			RF	147 R87	DV	132ML4	510	
6.7	214	62700	R	147 R87	DV	160M4	510	
			RF	147 R87	DV	160M4	520	
18000	0.06	22482	120000					
	0.08	17361	120000	R	167 R97	DT	80K4	750
	0.10	14051	120000	RF	167 R97	DT	80K4	760
	0.13	10509	120000					
	0.18	7749	120000	R	167 R97	DT	90S4	760
				RF	167 R97	DT	90S4	770
	0.22	6077	120000	R	167 R97	DT	80K4	750
				RF	167 R97	DT	80K4	760
	0.30	4650	120000	R	167 R97	DT	80N4	750
				RF	167 R97	DT	80N4	760
	0.38	3692	120000	R	167 R97	DT	90S4	760
				RF	167 R97	DT	90S4	770
	0.60	2333	120000	R	167 R97	DT	90L4	760
				RF	167 R97	DT	90L4	760
	0.75	1877	120000	R	167 R97	DV	100M4	770
	0.98	1438	120000	RF	167 R97	DV	100M4	770
	1.2	1123	120000	R	167 R97	DV	100L4	770
				RF	167 R97	DV	100L4	780
1.7	861	120000	R	167 R97	DV	112M4	780	
			RF	167 R97	DV	112M4	780	
2.2	656	120000	R	167 R97	DV	132S4	780	
			RF	167 R97	DV	132S4	790	
2.8	503	120000	R	167 R97	DV	132M4	800	
			RF	167 R97	DV	132M4	810	

最大转矩 $M_{\max}/N \cdot m$	输出转速 $n_n/r \cdot \min^{-1}$	传动比 i	输出轴伸允许 径向力 F_{Rz}/N	减速器型号	电动机型号	质量/kg
18000	3.8	376	120000	R 167 R97	DV 132ML4	810
				RF 167 R97	DV 132ML4	820
	4.8	303	120000	R 167 R97	DV 160M4	820
				RF 167 R97	DV 160M4	820
	4.9	295	120000	R 167 R107	DV 160M4	860
				RF 167 R107	DV 160M4	870
	6.4	229	120000	R 167 R107	DV 160L4	900
				RF 167 R107	DV 160L4	910
	5.0	291	120000	R 167 R107	DV 160M4	860
				RF 167 R107	DV 160M4	860
	6.4	227	120000	R 167 R107	DV 160L4	900
				RF 167 R107	DV 160L4	900

14.4 SEW R 系列斜齿轮减速电机的选用及型号标记

(1) 选用

表 16-2-237 是对于标准输出转速时, 根据电机的额定功率 P_n 选型。SEW 型减速器的选用是采用使用系数法, 用户在选择 SEW 型电动机直启减速器时, 除了满足工作机的转矩和转速要求之外, 还要验算输出轴伸允许径向力并满足使用系数的要求, 即使用系数不得大于减速器的许用使用系数 f_B (SEW) (见表 16-2-237)。

工作机的使用系数根据每天工作的小时数、每小时的启停次数和负载类型由图 16-2-13 确定。

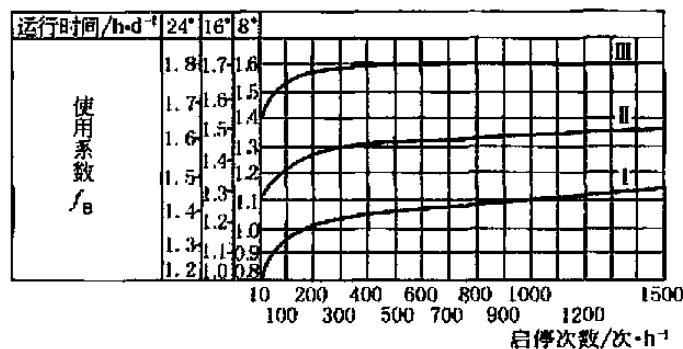


图 16-2-13 SEW 的使用系数 f_B

图中负载类型:

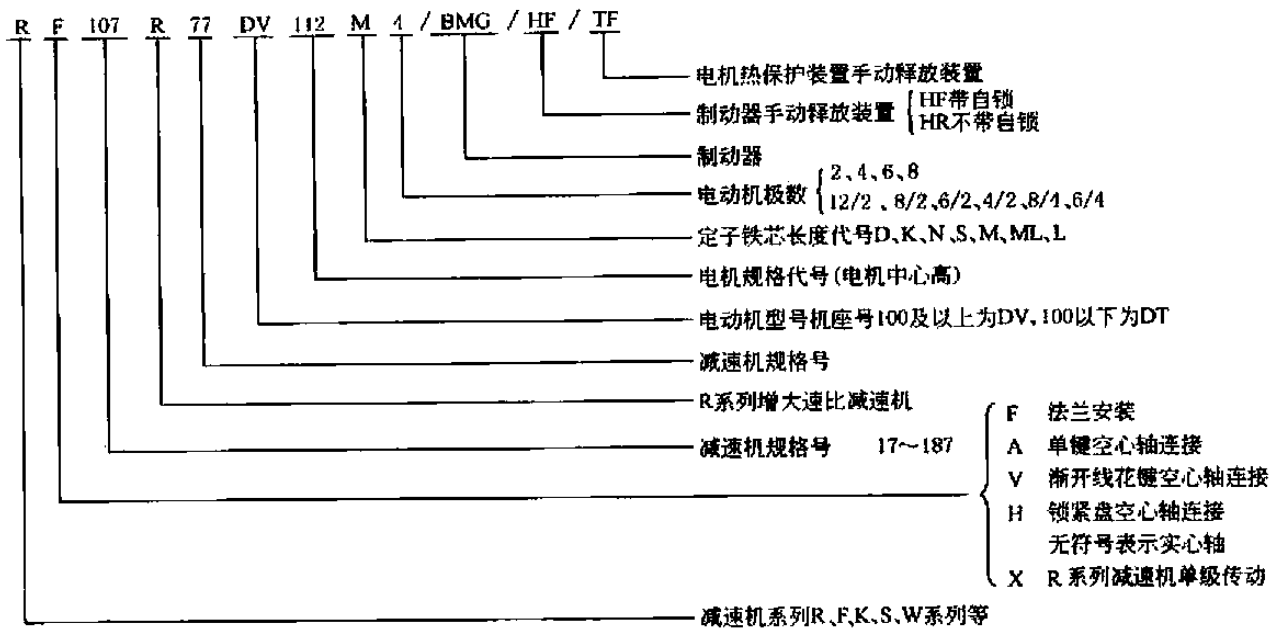
- I 为均匀负载, 允许惯性加速系数 ≤ 0.2 ;
- II 为中等冲击负载, 允许惯性加速系数 ≤ 3 ;
- III 为强冲击负载, 允许惯性加速系数 ≤ 10 。

$$\text{惯性加速系数} = \frac{\text{所有外部转动惯量}}{\text{驱动电动机的转动惯量}}$$

例如, 某负载类型为 I, 启停次数为 200 次, 一天 16 小时连续运转, 查图 16-2-13 得 $f_B = 1.19$, 再根据负载的功率、输出转速、使用系数 f_B 按表 16-2-237 选用减速器的型号, 使 $f_B = 1.19$ 小于表 16-2-237 中的 f_B 。然后考虑电机的允许启、停频率及允许轴伸径向载荷是否满足要求, 最后选定型号。电机的允许启、停频率可向各生产厂家咨询, 轴伸允许的径向载荷见表 16-2-237。

表 16-2-238 是对于特殊低输出转速时, 通常采用多级减速电机, 根据许用最大输出转矩 M_{\max} 进行选型。

(2) 型号标记



第 3 章 机械无级变速器及产品

1 机械无级变速器的基本知识、类型和选用

1.1 传动原理

机械无级变速器（传动）由传动机构、加压装置和调速机构三部分组成。图 16-3-1 所示的摩擦（牵引）传动是利用传动机构 1 和 2 间的压紧力 Q 产生的摩擦（牵引）力 $F = \mu Q$ 来传递动力的。为防止打滑应使有效圆周力 F_e 小于摩擦副所能提供的最大摩擦力 F ，为此，应增大压紧力和摩擦因数。压紧力由加压装置 3 提供；调速机构 4 用来调节传动件间的尺寸（角度）比例关系，以实现无级变速。将无润滑油的干式无级变速传动称为摩擦式无级变速传动；而将有润滑的湿式无级变速传动称为牵引式无级变速传动。

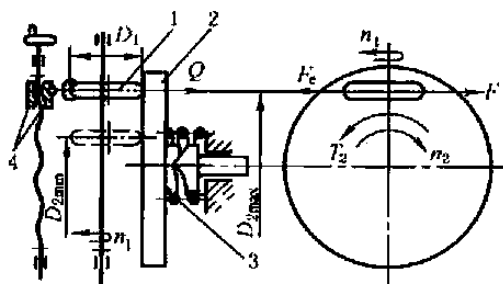


图 16-3-1 机械无级变速传动的原理
1, 2—传动机构；3—加压装置；
4—调速机构

当图 16-3-1 中 D_1 、 D_2 固定不变时，则为定传动比摩擦（牵引）传动。当 D_1 或 D_2 可调时，则为无级变速传动。当主动轮 D_1 由 D_{2min} 位置移到 D_{2max} 位置，其传动比分别为

$$i_{21max} = n_{2max}/n_1 = D_1(1 - \varepsilon)/D_{2min}$$

$$i_{21min} = n_{2min}/n_1 = D_1(1 - \varepsilon)/D_{2max}$$

滑动率 ε 为

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{n_2/n_1}{n_{02}/n_{01}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{i_{21}}{i_{021}}\right) \times 100\% \quad (16-3-1)$$

式中， D_1 、 n_{01} 、 n_1 分别为主动轮的工作直径和空载、负载时的转速； D_2 、 n_{02} 、 n_2 分别为从动轮的工作直径和空载、负载时的转速。

滑动率 ε 说明变速器在受载前后转速的损失情况，是重要的质量指标之一。它与负载大小、输出转速及传动轮的材质与表面粗糙度和硬度、润滑条件、传动系统的刚度等有关。具体值应由实验测定，其理论计算方法参见参考文献 [1] 和 [2]。对于定轴式和动轴（行星）式机械无级变速器 ε 应分别控制在 3% - 5% 和 7% - 10% 以下；对于定传动比摩擦传动则应控制在 0.5% - 1%（金属轮）和 5% - 10%（非金属轮）以下。

变（调）速比 R_b 是变速器的一个重要性能指标，它是变速器输出轴的最高转速 n_{2max} 与最低转速 n_{2min} 的比值，即

$$R_b = n_{2max}/n_{2min} = i_{21max}/i_{21min} \quad (16-3-2)$$

变速范围是最高与最低输出转速值的范围，即 $n_{2min} \sim n_{2max}$ 。

根据以上定义，对无中间轮的变速器，当改变输入轮工作半径 R_{1x} 调速时有

$$i_{21} = n_2/n_1 = R_{1x}(1-\varepsilon)/R_2$$

$$R_b = n_{2\max}/n_{2\min} = R_{1\max}/R_{1\min}$$

当改变输出轮工作半径 R_{2x} 调速时有

$$i_{21} = n_2/n_1 = R_1(1-\varepsilon)/R_{2x}$$

$$R_b = n_{2\max}/n_{2\min} = R_{2\max}/R_{2\min}$$

对有中间轮的两级变速器，当只改变输入、输出轮的工作半径 R_{1x} 和 R_{2x} 进行调速时有

$$i_{21} = n_2/n_1 = R_{1x}(1-\varepsilon)r_2/(R_{2x}r_1)$$

$$R_b = R_{1\max}R_{2\max}/(R_{1\min}R_{2\min})$$

当只改变中间轮输入、输出侧工作半径 r_{1x} 、 r_{2x} 进行调速时有

$$i_{21} = n_2/n_1 = R_1r_{2x}(1-\varepsilon)/(r_{1x}R_2)$$

$$R_b = r_{1\max}r_{2\max}/(r_{1\min}r_{2\min})$$

如 $R_{1\max} = R_{2\max}$ 、 $R_{1\min} = R_{2\min}$ 或 $r_{1\max} = r_{2\max}$ 、 $r_{1\min} = r_{2\min}$ ，则有中间轮的两级变速器满足 $i_{\max}i_{\min} = 1$ 的条件，称这种变速器为对称调速型变速器，在外形尺寸相等的情况下，它比其他变速器具有较大的变速比，且主、从动轮的外形尺寸相同，便于加工。其缺点是不适用于只要求降（升）速变速的场合。对称调速型变速器的输入轴转速 n_1 与输出轴的最低、最高输出转速必需严格满足式 (16-3-3) 的条件：

$$n_1 = \sqrt{n_{2\min}n_{2\max}} \quad (16-3-3)$$

变速比、传动比及尺寸间有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} \text{或} \quad R_b &= (R_{1\max}/R_{1\min})^2 = (R_{2\max}/R_{2\min})^2 = i_{21\max}^2 \\ R_b &= (r_{1\max}/r_{1\min})^2 = (r_{2\max}/r_{2\min})^2 = i_{21\max}^2 \end{aligned} \right\} \quad (16-3-4)$$

在进行行星（动轴）无级变速器的运动学计算时，常用到式 (16-3-5)、式 (16-3-6)，其中摩擦轮工作半径是可以调节的。对于变速器中各轮轴线均平行的变速器，其各轮的转速可用转化机构的概念和公式来求解，其基本公式为

$$\begin{aligned} i_{ab}^c &= \frac{n_a - n_c}{n_b - n_c} \\ &= (-1)^m \frac{\alpha \rightarrow b \text{ 路线中从动轮半径的乘积}}{\alpha \rightarrow b \text{ 路线中主动轮半径的乘积}} \end{aligned} \quad (16-3-5)$$

式中， i_{ab}^c 是轮系中任意两轮 a、b 对行星架 c 的相对传动比； n_a 、 n_b 、 n_c 分别为构件 a、b、c 的转速； m 为外接传动次数。 i_{ab}^c 的具体表达式视轮系具体结构而定。

在求解行星轮系运动学问题时，式 (16-3-6) 在具体计算中很有用。

$$\left. \begin{aligned} i_{ab}^c i_{bc}^c &= 1 \\ i_{ba}^c + i_{bc}^a &= 1 \\ n_c &= i_{ca}^b n_a + i_{cb}^a n_b \end{aligned} \right\} \quad (16-3-6)$$

对于各轮轴线并非全平行的行星无级变速器，其运动学问题的求解一般不能用转化机构法，而需要用角速度矢量分析法。以基本行星轮系为基础构成的行星无级变速器及封闭行星无级变速器，由两个以上的基本行星轮系复合而成，因而应按“分清轮系，各立方程，找出联系，联立求解”的思路进行求解，详见参考文献 [2]。

带、链式无级变速器的原理基本同上，但采用了带、链等中间挠性件；一般为对称调速型。

脉动无级变速器是先由曲柄摇杆类机构将输入轴的旋转运动转换成摇杆的往复摆动，再经单向超越离合器把摇杆的摆动转换为输出轴的单向脉动性转动。用调速机构来改变连杆机构中某一杆的长度，以形成构件间新的尺寸比例关系，使摇杆获得不同的摆角而实现无级变速。为了保持输出转速的连续和减小输出速度的脉动性，常采

用多相连杆机构并列使用的结构。其运动简图见表 16-3-1 中的第 26、27 项。

一台无级变速器是按给定的输入参数 (T_1 、 n_1 或 P_1) 和输出参数 (T_2 、 $n_{2\min} \sim n_{2\max}$ 或 P_2) 进行设计的。其最大输出转矩 T_2 和最大输出功率 P_2 同时受限于传动构件的机械强度和系统的散热能力 (也称热功率)。当变速器输入、输出参数与电机、工作机的输出、输入参数不匹配时, 则应在变速器的相应侧加装减速器, 从而形成各种派生的减变速器。

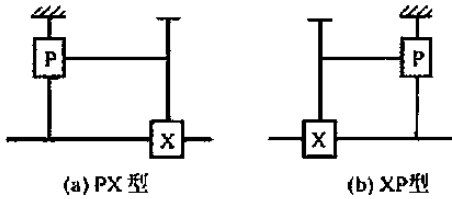


图 16-3-2 封闭行星无级变速器框图

为了扩大整个变速系统的变速比, 或扩大传动功率和为缩小变速比以实现精密调速等目的, 可用无级变速器 P 作为封闭机构将一个差动轮系 X 的三个基本构件 (输入轴、输出轴及转臂) 中的两个构件封闭而成为如图 16-3-2 所示的封闭行星减变速器。当封闭机构 (无级变速器) P 的两根外伸轴将差动轮系 X 的非输出的两根外伸轴封闭时, 所构成的变速系统定义为 PX 型 (图 16-3-2a); 而当封闭机构 P 的两根外伸轴将差动轮系 X 的两根非输入外伸轴封闭时, 所构成的变速系统则称为 XP 型 (图 16-3-2b)。

设封闭机构 (变速器) 的传动比为 i_p , 差动轮系中被封闭两轴相对于未被封闭轴的相对运动传动比为 i_r^* 。由于封闭组合的多样性, 新组成的系统的变速比 R 的大小、有无封闭功率将取决于封闭组合形式及 i_p 、 i_r^* 的大小。按 i_p 与 i_r^* 的不同组合可获得三类情况。

① 扩大调速比型: $R > R_p$ (变速器调速比)。
② 过零调速型: $R < 0$ 。
③ 精密调速型: $R_p > R > 0$ 。

参考文献 [2] 中分析指出: 前两种有较大的封闭功率存在, 不宜作为大功率变速器, 而第三种系统中无封闭功率, 但系统的变速比小于封闭机构者, 因而是精密调速型, 它可以实现大功率变速, 常称为控制式封闭行星无级变速器, 意即少量的功率流经被变速器所封闭的路径, 变速器主要起调速控制作用, 而大量的功率流过差动轮系中未被封闭的路径。控制式封闭行星无级变速器是实现大功率变速传动的重要途径。

1.2 特点和应用

机械无级变速及摩擦轮传动具有结构简单、维修方便、传动平稳、噪声低、有过载保护作用等优点, 但轴及轴承上载荷大、承受过载及冲击的能力差及有滑动不能用于内传动链、寿命短、对材质及工艺要求高等缺点。较之其他无级变速器有恒功率特性好、可升速和降速 (变速比可达 10~40)、可靠性好、价格低等优点。

无级变速传动主要用于下列场合。

① 为适应工艺参数多变或连续变化的要求, 运转中需经常或连续地改变速度, 但不应在某一固定转速下长期运转, 如卷绕机等。

② 探求最佳工作速度, 如试验机、自动线等。

③ 几台机器协调运转。

④ 缓速启动, 以合理利用动力。

采用无级变速传动有利于简化变速传动系统、提高生产率和产品质量、实现遥控。

1.3 机械特性

机械特性是指在一定输入转速下, 输出轴的功率 P_2 或转矩 T_2 与输出转速 n_2 间的关系曲线。可按对变速器进行测试或按全变速范围内传动副间最大接触疲劳应力等于许用接触应力的原则绘制。机械无级变速器的机械特性有恒功率 ($T_2 n_2 = c$)、恒转矩 ($T_2 = c$) 和变功率变转矩三类。图 16-3-3 所示为圆锥式无级变速器的机械特性 (曲线 1), 当其输出转速范围为 400~2400r/min 时, 则其

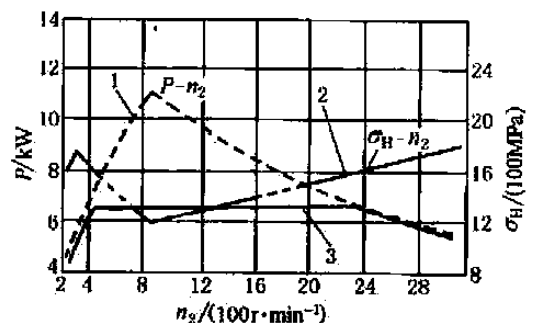


图 16-3-3 圆锥式无级变速器的机械特性 ($P_1 = 7\text{kW}$, $R_b = 6$, $n_1 = 1450\text{r/min}$)

1—特性曲线; 2—应力曲线;
3—供使用的特性曲线

可供使用的恒功率值如图中的实线 3 所示, 即可供恒功率使用的功率值是随着变速范围的增大而减小的, 因而是有条件的。

1.4 类型、特性和应用示例

表 16-3-1

机械无级变速器分类、特性和用途举例

名称	简图	机械特性	主要传动特性、应用示例
I. 固定轴刚性无级变速器			
A. 无中间滚动体的			
1. 滚轮平盘式		轮主动, 恒功率。盘 2 主动恒转矩	$i_s = 0.5 \sim 2; R_{b_s} = 4$ (单滚)、15 (双滚); $P_1 \leq 4\text{kW}; \eta = 0.8 \sim 0.85$ 相交轴, 升、降速型, 可逆转; 用于机床、计算机机构、测速机构
2. 锥盘环盘式 (Prym-SH)			$i_s = 0.25 \sim 1.25; R_{b_s} \leq 5; P_1 \leq 11\text{kW}; \eta = 0.5 \sim 0.92$ 平行轴或相交轴, 降速型, 可在停车时调速; 用于食品机械、机床、变速电机等
			$i_s = 0.125 \sim 1.25; R_{b_s} \leq 10; P_1 \leq 15\text{kW}; \eta = 0.85 \sim 0.95$ 同轴或平行轴, 降速型; 船用辅机
3. 多盘式 (Beier)			$i_s = 0.2 \sim 0.8$ (单级)、 $0.076 \sim 0.76$ (双级); $R_{b_s} = 3 \sim 6$ (单级)、 $10 \sim 12$ (双级); $P_1 = 0.5 \sim 150\text{kW}; \eta = 0.75 \sim 0.87; \varepsilon = 2\% \sim 5\%$ (单级)、 $4\% \sim 9\%$ (双级) 同轴, 降速型; 用于化纤、纺织、造纸、橡塑、电缆、搅拌机械、旋转泵等
4. 光轴斜环式 (Uhing)			$v_2 = 0.0183 \sim 1.16\text{m/min}; n_1 = 100 \sim 1000\text{r/min}; F = 50 \sim 1800\text{N}$ 直线移动, 可正、反转, 可停车时调速; 用于电缆机械、举重器等
B. 有中间滚动体的			
a. 改变输入、输出轮工作直径调速的			
5. 滚锥平盘式 (FU)			四滚锥: $i_s = 0.17 \sim 1.46; R_{b_s} \leq 8.5; P_1 = 26.5 (R_{b_s} = 8.5) \sim 104 (R_{b_s} = 2)\text{kW}; \eta = 0.87 \sim 0.93$ 单滚锥: $R_{b_s} < 10; P_1 \leq 3\text{kW}; \eta = 0.77 \sim 0.92$ 同轴或平行轴, 升、降速型; 用于试验设备、机床主传动、运输、印染及化工机械

名称	简图	机械特性	主要传动特性、应用示例
B. 有中间滚动体的			
a. 改变输入、输出轮工作直径调速的			
6. 钢球平盘式 (PIV-KS)			$i_s = 0.05 \sim 1.5; R_{ba} \leq 25; P_1 = 0.12 \sim 3\text{kW}; \eta \leq 0.85$ 平行轴,升、降速型;用于计算机、办公及医疗设备、小型机床 两平盘可做成接触面内凹的锥盘,中间只用一颗钢球,制成 $R_b \leq 9$ 可传递数十瓦的小型变速器
7. 长锥钢环式			$i_s = 0.5 \sim 2; R_{ba} \leq 4; P_1 \leq 3.7\text{kW}; \eta \leq 0.85$ 平行轴,升、降速型;用于机床、纺织机械等,有自紧作用,不需加压装置
8. 钢环分离锥式 (RC)			$i_s = \frac{1}{3.2} \sim 3.2; R_{ba} \leq 10(16); P_1 = 0.2 \sim 10\text{kW}; \eta = 0.75 \sim 0.9$ 平行轴,对称调速型,钢环自紧加压;用于机床、纺织机械等
9. 杯轮环盘式 (RF 单级) (Hayes 双级)			$i_s = 0.1 \sim 3.5; R_{ba} = 4 \sim 12; P_1 = 0.5 \sim 30\text{kW}; \eta = 0.8 \sim 0.95$ 同轴线,升、降速型;用于航空工业、汽车
10. 弧锥环盘式 (Toroidal)			$i_s = 0.22 \sim 2.2; R_{ba} = 6 \sim 10; P_1 = 0.1 \sim 40\text{kW}; \eta = 0.9 \sim 0.92$ 同轴或相交轴,升、降速型;用于机床、拉丝机、汽车等
b. 改变中间轮工作直径调速的			
11. 钢球外锥轮式 (Kopp-B)			$i_s = \frac{1}{3} \sim 3; R_{ba} \leq 9; P_1 = 0.2 \sim 12\text{kW}; \eta = 0.8 \sim 0.9$ 同轴,升、降速型,对称调速;用于纺织、电影机械、机床等
12. 钢球内锥轮式 (Free Ball)			$i_s = 0.1 \sim 2; R_{ba} = 10 \sim 12(20); P_1 = 0.2 \sim 5\text{kW}; \eta = 0.85 \sim 0.90$ 同轴,升、降速型,可逆转;用于机床、电工机械、钟表机械、转速表等
13. 菱锥式 (Kopp-K)			$i_s = \frac{1}{7} \sim 1.7; R_{ba} = 4 \sim 12(17); P_1 \leq 88\text{kW}; \eta = 0.8 \sim 0.93$ 同轴,升、降速型;用于化工、印染、工程机械、机床主传动、试验台等

名称	简图	机械特性	主要传动特性、应用示例
II. 行星无级变速器			
14. 内锥输出行星锥式 (B, US)			$i_s = -\frac{1}{3} \sim -\frac{1}{115}; R_{ba} \leq 38.5 (\infty); P_1 \leq 2.2 \text{ kW}; \eta = 0.6 \sim 0.7$ <p>同轴, 降速型, 可在停车时调速; 用于机床进给系统</p>
15. 外锥输出行星锥式 (RX)			$i_s = -0.57 \sim 0; R_{ba} = 33 (\infty); P_1 = 0.2 \sim 7.5 \text{ kW}; \eta = 0.6 \sim 0.8$ <p>同轴, 降速型; 广泛用于食品、化工、机床、印刷、包装、造纸、建筑机械等, 低速时效率低于 60%</p>
16. 转臂输出行星锥式 (SC)			$i_s = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{4}; R_{ba} \leq 4; P_1 \leq 15 \text{ kW}; \eta = 0.6 \sim 0.8$ <p>同轴, 降速型; 用于机床、变速电机等</p>
17. 转臂输出行星锥盘式 (Disco)			$i_s = 0.12 \sim 0.72; R_{ba} \leq 6; P_1 = 0.25 \sim 22 \text{ kW}; \eta = 0.75 \sim 0.84$ <p>同轴, 降速型; 用于陶瓷、制烟等机械, 变速电机</p>
18. 行星长锥式 (Graham)			$i_s = -\frac{1}{100} \sim \frac{1}{3}; P_1 \leq 4 \text{ kW}; \eta = 0.85 \sim 0.9$ <p>同轴, 降速型, 可逆转, 有零输出转速但特性不佳, 可在停车时调速; 用于变速电机等</p>
19. 行星弧锥式 (NS)			$i_s = -0.85 \sim 0 \sim 0.25; R_{ba} = \infty; P_1 \leq 5 \text{ kW}; \eta = 0.75$ <p>同轴, 降速型, 可逆转, 有零输出转速但特性不佳, 可在停车时调速; 用于化工、塑料机械、试验设备等</p>
20. 封闭行星锥式 (OM)			$i_s = -\frac{1}{5} \sim 0 \sim \frac{1}{6}; R_{ba} = \infty (\text{通常 } n_2 > 20 \text{ r/min}); P_1 \leq 3.7 \text{ kW}; \eta = 0.65$ <p>同轴, 降速型, 可逆转, 有零输出转速但特性不佳; 用于机床、变速电机等</p>
III. 带式无级变速器			
21. 单变速带轮式			$i_s = 0.50 \sim 1.25; R_{ba} = 2.5; P_1 \leq 25 \text{ kW}; \eta \leq 0.92$ <p>平行轴, 降速型, 中心距可变; 用于食品工业等</p>

名称	简图	机械特性	主要传动特性、应用示例
III. 带式无级变速器			
22. 长锥移带式		基本为恒功率	平行轴,升、降速型,尺寸大,锥体母线应为曲线;用于纺织机械、混凝土制管机等
23. 普通V带、宽V带、块带式		视加压弹簧位置而异,在主动轮上时为近似恒功率,在从动轴上为近似恒转矩	$i_s = 0.25 \sim 4$ (宽V带、块带) $R_{ba} = 3 \sim 6$ (宽V带); $P_1 \leq 55\text{kW}$ $R_{ba} = 2 \sim 10(16)$ (块带式); $P_1 \leq 44\text{kW}$ $R_{ba} = 1.6 \sim 2.5$ (普通V带); $P_1 \leq 40\text{kW}$ $\eta = 0.8 \sim 0.9$ 平行轴,对称调速,尺寸大;用于机床、印刷、电工、橡胶、农机、纺织、轻工机械等
IV. 链式无级变速器			
24. 齿链式(PIV-A)(PIV-AS)(FMB)			$i_s = 0.4 \sim 2.5$; $R_{ba} = 3 \sim 6$; $\eta = 0.9 \sim 0.95$ $P_1 = 0.75 \sim 22\text{kW}$ (A型,压靴加压) $P_1 = 0.75 \sim 7.5\text{kW}$ (AS型,剪式杠杆加压) 平行轴,对称调速;用于纺织、化工、重型机械、机床等
25. 光面轮链式(RH)(RK)(RS)V形推块金属带式			$i_s = 0.38 \sim 2.4$; $R_{ba} = 2.7 \sim 10$; $\eta \leq 0.93$ 摆销链RH: $P_1 = 5.5 \sim 175\text{kW}$, $R_{ba} = 2 \sim 6$ RK: $P_2 = 3.7 \sim 16\text{kW}$, $R_{ba} = 3, 6, 10$ 滚柱链RS: $P_2 = 3.5 \sim 17\text{kW}$ (恒功率用) $P_2 = 1.9 \sim 19\text{kW}$ (恒转矩用) 套环链RS: $P_2 = 20 \sim 50\text{kW}$ (恒功率用) $P_2 = 11 \sim 64\text{kW}$ (恒转矩用) 金属带: $P_2 = 55 \sim 110\text{kW}$ 平行轴,升、降速型,可停车调速;用于重型机器、机床、汽车等
V. 脉动无级变速器			
26. 四相摇杆脉动变速器(Zero-Max)		基本为恒转矩	$P_1 = 0.09 \sim 1.1\text{kW}$; $T_2 = 1.34 \sim 23\text{N} \cdot \text{m}$ $i_s = 0 \sim 0.25$ 平行轴,降速型;用于纺织、印刷、食品、农业机械等
27. 三相摇块脉动变速器(Gusa)		低速时恒转矩 高速时恒功率	$P_1 = 0.12 \sim 18\text{kW}$; $\eta = 0.6 \sim 0.85$; $i_s = 0 \sim 0.23$ 平行轴,降速型;用于塑料、食品、无线电装配运输带等

注: 1. 传动比 $i_{21} = \frac{n_2 \text{ (输出轴转速)}}{n_1 \text{ (输入轴转速)}}$, 按定轴轮系及动轴轮系的传动比公式, 以传动的特征几何尺寸(直径、角度)表示; i_s 为使用的传动比。

2. 变速比 $R_b = \frac{n_{2\text{max}} \text{ (最高输出转速)}}{n_{2\text{min}} \text{ (最低输出转速)}}$, 表示变速器的变速能力; R_{ba} 为变速器的使用变速比。对称调速是指最大传动比与最小传动比对称于传动比为1的调速, 这种变速传动尺寸较小。

3. 除注明者外, 均不可在停车时调速。

4. n —转速, 下脚标为构件代号; g —滚动体; a 和 D 、 d —中心距和直径, 有下脚标 x 者为可变尺寸; η —效率; ϵ —滑动率; T —转矩; P —功率。

1.5 选用的一般方法^[2]

机械无级变速器的种类繁多,从经济观点考虑应尽可能选用标准产品或现有产品,仅当有特殊要求时才进行非标设计。在选用或设计时,应综合考虑实际使用条件和各种变速器的结构和性能特点。使用条件包括:工作机的变速范围;最高和最低输出转速时所需的转矩和功率;最常使用的转速和所需功率;载荷变动情况;使用时间(时/日);升速和降速情况;启、制动频繁程度;有无正、反转向使用要求及其频繁程度;换算到变速器输出轴上的工作机的转动惯量等。对于变速器本身而言,主要是根据机械特性和转速特性来选择其类型,再根据载荷转矩、转速和安装方式和尺寸来选定其型号。

1.5.1 类型选择

首先,应明确机械本身在整个变速范围内对功率或转矩特性的要求,是恒功率型、恒转矩型,还是变功率、变转矩型,可参考表 16-3-1 的机械特性或产品说明书进行选择。如要求扩大功率、扩大调速范围或过零调速时,应选用封闭行星无级变速器。

其次,应考虑输出转速特性,是单纯升速型、单纯降速型,还是升、降速型。多数行星式及脉动式无级变速器都具有大幅度降速的输出特性,因而不适于有升速变速要求的场合。链、带及某些变速器具有对称调速($i_{\max} = 1/i_{\min}$)的特性,这时输入轴的转速 $n_1 = \sqrt{n_{2\max}n_{2\min}}$ 。脉动及滑片链无级变速器的输出角速度有一定的波动性,因而不适用于运动平稳性要求高的场合。此外,还应考虑使用要求的最高与最低输出转速是否在变速器所能提供的最高与最低输出转速范围之内,使用要求的滑动率是否低于变速器的滑动率。

第三,要考虑安装场地及变速器在机器整体布置中的地位,以确定采用带电机的还是不带电机的,法兰式的还是底座式的,平行轴的、相交轴的还是同轴式的,立式的还是卧式(轴水平布置)的。

此外,还应考虑是停车时变速还是运行中调速,调速响应的快慢,手动调速还是远距离自动控制调速,以及运行过程中的振动、噪声、温升和空载功率。

1.5.2 容量选择

选择变速器的容量时,必须明确变速器使用时的输入、输出转速,负载容量及负载条件。

标准的无级变速器一般均以某一额定转速 n_{1H} (通常为电机额定转速)作为输入转速进行设计与试验,并在产品说明书中给出了功率表或机械特性曲线。当滚动体的许用应力及尺寸给定后,其所能传递的功率大体上与转速呈正比关系,故当实际输入转速低于额定输入转速时,允许传递的功率将减小,而且会带来润滑不充分和变速器操作沉重等问题;反之,当实际输入转速高于额定输入转速时,则允许传递的功率将增大,但搅油损耗、温升、振动和噪声均增大,轴承及摩擦传动件的寿命将降低。当无级变速器的实际输入转速 n_1 不等于产品说明书功率表中的额定输入转速 n_{1H} 时,其允许的输入功率 P_1 和输出转矩 T_2 及输出转速 n_2 ,应在原有功率表的基础上分别乘以折算系数 k_P 、 k_T 和 k_n ,它们的数值可查看有关产品说明书;在产品说明书中无此数据时,可按疲劳等效原则折算,这时:

$$k_P = \left(\frac{n_1}{n_{1H}}\right)^x, k_T = \left(\frac{n_{1H}}{n_1}\right)^y, k_n = \frac{n_1}{n_{1H}}$$

对于点接触结构, $x=0.7$ 、 $y=0.3$;对于线接触结构, $x=0.67$ 、 $y=0.33$ ^[2]。

各种机械无级变速器均有其特定的机械特性曲线(P_1-n_2 、 T_2-n_2),对应于不同的输出转速范围,所能传递的功率或转矩是不同的。以图 16-3-3 所示的 7kW 菱锥式无级变速器特性曲线为例,当 $n_2=400\sim 2400\text{r/min}$ 时 $P_1=7\text{kW}$,而当 $n_2=380\sim 2650\text{r/min}$ 时则 $P_1=6\text{kW}$,相应的 T_2 也是不同的。通常输入转速越低、变速范围越大,变速器能提供使用的功率和转矩越小。

以上情况说明:同一规格的变速器,当使用输入转速不同于变速器的额定输入转速,或输出转速不同时,变速器所能提供的功率或转矩将是不同的。这一点必须充分注意。

此外,变速器在整个变速范围内的滑动率 ε 和传动效率 η 也是变化的,选用变速器时应使输出转速范围处于传动效率 η 较高和滑动率 ε 较低的工作范围内。

为了适应高的输入转速或低的输出转速、大的输出转矩,可选用在基本变速器的基础上,前置或后置减速器

而形成的孪生型减变速器。若要求扩大传动功率、扩大调速范围或过零调速时，则应采用封闭差动轮系而形成的封闭行星无级变速器。这种变速器目前国内尚无定型系列产品供应。

在具体选用变速器规格时，无论是恒功率型还是恒转矩型，均应使计算转矩 T_c 和计算功率 P_c 小于变速器的许用输出转矩 T_p 和输入功率。

$$\text{恒转矩工况的计算转矩} \quad T_c = KK_T T < T_p \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (16-3-7)$$

$$\text{恒功率工况的计算转矩} \quad T_c = 9550KK_T P / n_{2\min} < T_p \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (16-3-8)$$

$$\text{计算功率} \quad P_c = T_c n_{2\max} / 9550 < \text{输入功率} \quad (\text{kW})$$

式中， T 、 P 分别为变速器的负载转矩和负载功率； K 为变速器的工况（使用）系数，见表 16-3-2 或生产厂的产品说明书； K_T 为温度系数，环境温度低于 30℃ 时取 $K_T = 1$ ，其余见生产厂的产品说明书； $n_{2\max}$ 、 $n_{2\min}$ 分别为变速器的最高和最低输出转速，r/min。

表 16-3-2 工作状况系数 K

负 载 形 式	平均每日工作时间/h		
	<8	8-16	>16
稳定载荷、连续运转、无正反转	1.0	1.1	1.2
中载荷、有冲击、间断操作、频繁启动、正反转	1.3	1.4	1.5
重载、强冲击、间断操作、频繁启动、正反转	1.7	1.9	2.0

选用无级变速器时可参阅文献 [2] 中提供的 7 种无级变速器的我国机械行业标准，或文献 [4] 中提供的 8 类 16 种无级变速器的产品规格。本书选录其中部分应用较广、较典型的产品规格、性能参数、外形安装尺寸和选用方法，供选用时参考。

2 锥盘环盘无级变速器

2.1 概述

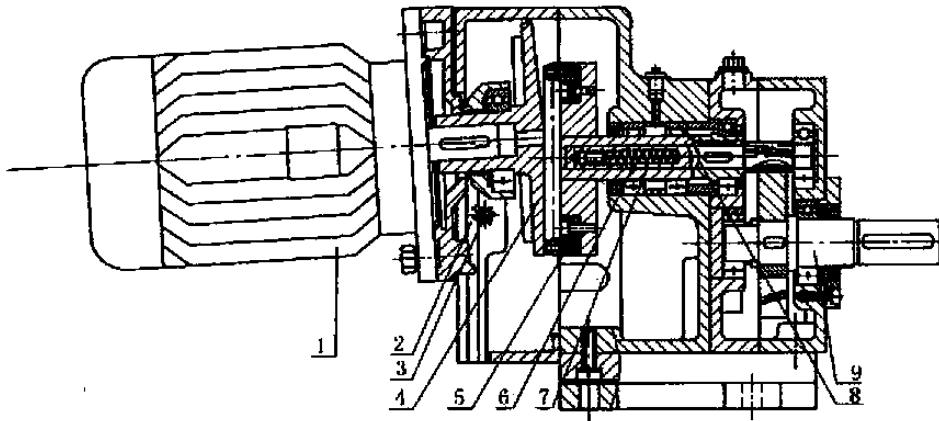
图 16-3-4a、b 分别为 SPT 和 ZH 系列锥盘环盘无级变速器的结构图。

停机时，锥盘 4、环盘 5 在预压弹簧 6 的作用下，产生一定的压紧力。工作时，电机 I 驱动锥盘 4，依靠摩擦力矩带动环盘 5 转动，而使输出轴 9 运转。当输出轴上的负载发生变化时，通过自动加压凸轮 8，使摩擦副间的压紧力和摩擦力矩正比于负载而变化，因此，输出功率正比于外界负载的变化而变化。调速时，通过调速齿轮、齿条 2、3（SPT 型）或调速丝杠和手轮 10、11（ZH 型），使锥盘 4 相对于环盘 5 作径向移动，改变了锥盘与环盘的接触工作半径，从而实现了平稳的无级变速。

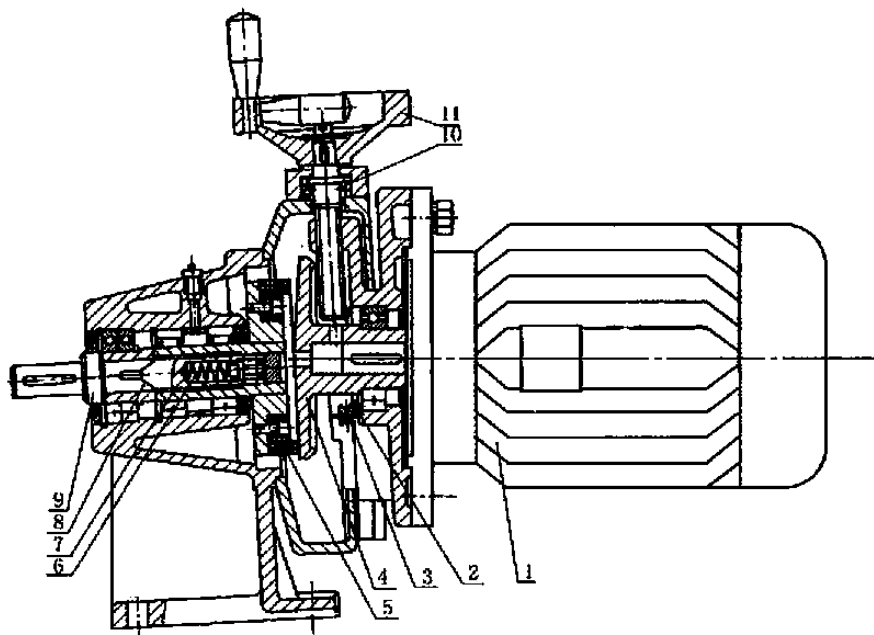
SPT 及 ZH 系列锥盘环盘减变速器均为中小功率无级变速器，具有传动平稳可靠、低噪声、高效耐用、无需润滑、无污染等特点，广泛应用于食品、制药、化工、电子、印刷、塑料等行业的机械传动装置上。

2.2 SPT 系列减变速机的型号、技术参数及基本尺寸

SPT 型锥盘环盘无级变速器是将无级变速器与减速齿轮（最多可达三对）共同组装在一个箱体内的降速型减变速器，分成卧式和立式两类，其变速比为 4。其技术参数见表 16-3-3。其外形及安装尺寸见表 16-3-4 和表 16-3-5。



(a) SPT型

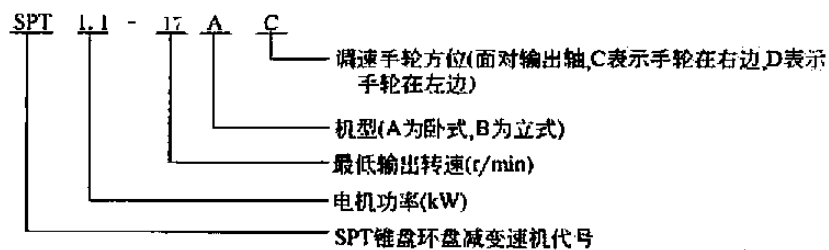


(b) ZH型

图 16-3-4 锥盘环盘无级变速器

- 1—电机；2—调速齿条；3—齿轮；4—锥盘；5—环盘；6—预压弹簧；
7—连接套；8—加压凸轮；9—输出轴；10—调速丝杠；11—手轮

标记示例



如有配数显、自动控制装置等特殊要求，需注明。

表 16-3-3

SPT 减变速机的技术参数

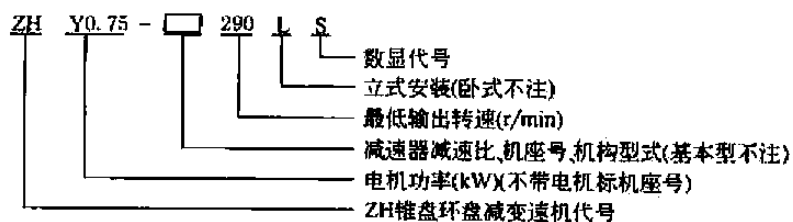
机座号			调速区间 /r·min ⁻¹	0.37kW	0.55kW	0.75kW	1.1kW	1.5kW	2.2kW	3kW
				输出转矩/N·m						
0.37	I	4极	205~820	7.4~4	11~6	15~8.2				
			50~197	29~17	43~26	58.6~35				
	6极	135~545	10.6~6	15.8~9						
		34~135	42~24	62~37						
0.55	II	4极	22~82	66~39.7	98~59	134~80				
12~44			120~74	179~110	244~150					
6极		15~55	96~59	143~88						
		8~30	175~107	261~160						
0.75	III	4极	3~11	481~295	715~439					
6极		2~8	701~430	715~439						
0.75	I	4极	53~262			55~25	81~37	110~50	161~73	
		6极	35~172			84~38	123~56	167~77		
1.1	II	4极	17~82			172~80	252~118	344~161	504~236	
			11~54			266~122	390~179	532~244	780~358	
6极		5~30			585~274	858~402	1170~548			
		11~54			266~122	390~179	532~244			
1.5	III	4极	5~24			585~274	858~402	1170~548		
6极		5~30			585~274	858~402	1170~548			
2.2	III	4极	5~24			585~274	858~402	1170~548		
6极		3.5~15			836~439	1226~644	1671~878			
2.2	I	4极	81~323						106~60	144~82
		6极	54~214						159~90	
3	II	4极	15~59						572~327	780~446
		6极	10~39						858~495	
	III	4极	4~14.5						2145~1331	2925~1816
		6极	2.5~9						3432~2145	

注：I、II、III分别表示一、二、三级齿轮减速。

2.3 ZH 系列减变速机的型号、技术参数及基本尺寸

ZH 型锥盘环盘变速器的基本型 (ZH 型) 和基本型与减速器组合的减变速器 (ZHY-CJ、ZHY-W 和 ZHY-WJ 三类)，基本型做成独立部件，其结构安装尺寸参照电机安装尺寸，它与各类减速器进行模块组合后，可实现低级无级变速，输出转速在 2~1740r/min 范围内，变速比为 6。变速器摩擦副采用了大摩擦因数和高耐用度的特种摩擦材料；输出特性为恒功率特性。本节仅介绍基本型系列产品的参数、外形及安装尺寸。

标记示例

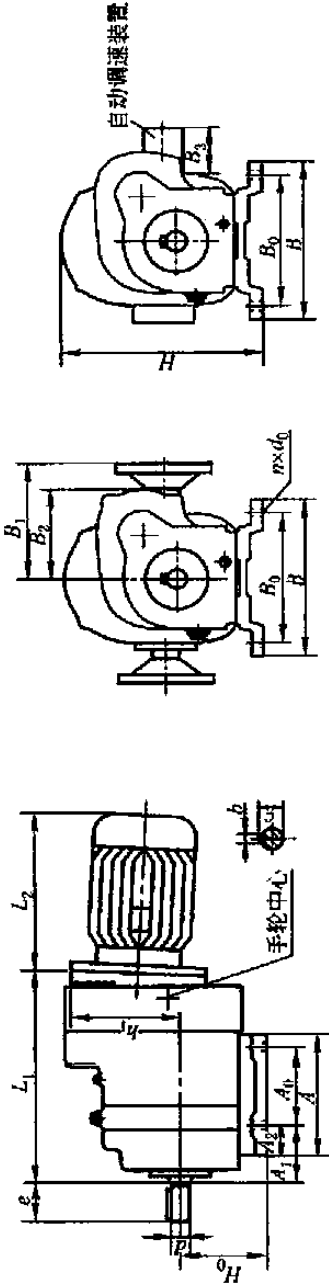


ZH 系列无级变速器的技术参数见表 16-3-6，外形及安装尺寸见表 16-3-7 和表 16-3-8。

表 16-3-4

SPT 减变速机 (卧式) 的外形及安装尺寸

mm



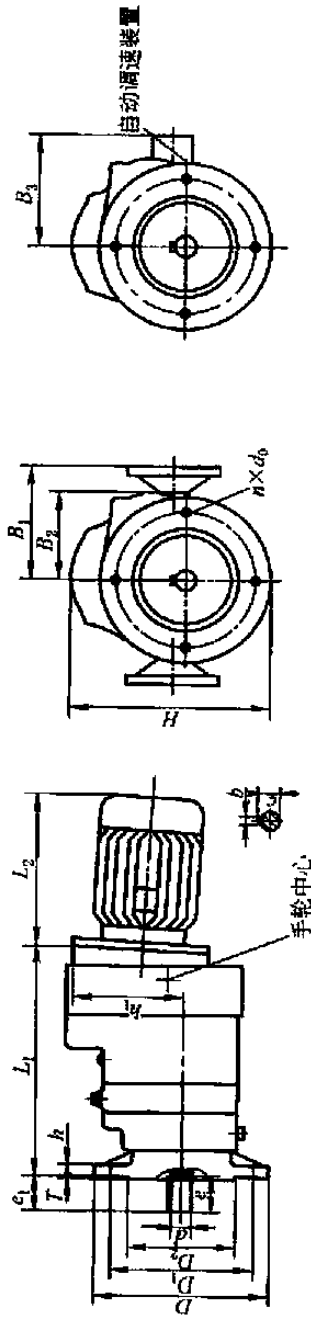
机座号	中心高		安装尺寸						输出轴尺寸						外形尺寸						尺寸接 所配 电机	
	H_0	H	A_1	A_0	B_0	n	d_0	d	b	c	e	A	B	A_2	k_1	B_1	B_2	B_3	H	L_1		L_2
0.37 0.55	85	85	84	100	160	4	9	28h6	8	31	58	155	184	43	140	146	—	—	219	225	—	—
			86	100	160	4	9	28h6	8	31	56	155	184	43	140	146	—	—	219	230		
Ⅲ	146	146	72	163	160	4	9	32h6	10	35	60	187	184	42	140	146	—	—	219	280	—	—
0.75 1.1 1.5	120	120	68	115	200	4	13	32h6	10	35	60	180	240	45	220	175	—	88	299	255		
	125	125	88	115	200	4	13	32h6	10	35	60	180	240	45	220	175	135	88	299	275		
	122	122	92	115	200	4	13	48h6	16	51.5	73	215	240	50	220	175	135	88	299	308		
2.2 3	160	160	60	200	280	4	17	48h6	16	51.5	80	240	320	20	240	208	—	88	396	314	—	—
	175	175	40	230	280	4	17	58h6	18	62	80	270	320	20	240	208	207	88	396	334		
	300	300	69	240	280	4	17	82h6	24	87	80	284	320	22	240	208	207	88	401	396		

注: 生产厂: 宁波市镇海减变速机制造有限公司。

表 16-3-5

SPT 减速电机 (立式) 的外形及安装尺寸

mm



机座号	安装尺寸						输出轴尺寸						外形尺寸							
	D_1	D_2	T	e_1	n	d_0	d	b	c	e	D	h	h_1	H	B_1	B_2	B_3	L_1	L_2	
0.37 0.55	I	165	130h7	4	50	4	13	28h6	8	31	58	200	12.5	140	220	146	—	—	255	—
	II	165	130h7	4	50	4	13	28h6	8	31	56	200	12.5	140	220	146	—	—	260	—
0.75 1.1 1.5	I	210	160h7	5	58	4	13	32h6	10	35	60	260	16	220	330	175	—	188	297	—
	II	210	160h7	5	58	4	13	32h6	10	35	60	260	16	220	330	175	135	188	317	—
2.2 3	I	300	250h7	8	69	6	17	48h6	16	51.5	80	350	25	240	370	208	—	220	369	—

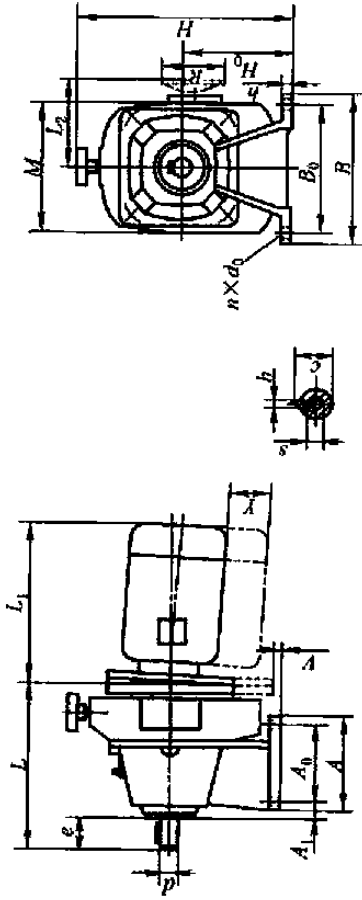
注: 1. 立式输出法兰孔: I 为米字型, II 为十字型。
2. 生产厂: 宁波市镇海减速机制造有限公司。

表 16-3-6 ZH 系列无级变速器的技术参数

无级变速器机座号		07					15				
输入功率 /kW	4 极电机	0.37	0.55	0.75	1.1	1.1	1.1	1.5	1.5	2.2	
	6 极电机		0.37	0.55	0.75	0.75	1.1	1.1	1.5		
型号	输出转速 /r·min ⁻¹	许用输出转矩/N·m									
ZHY (基本型)	290~740	3.6~1.7	7~2.6	7~3.5	10.5~5.1	14.5~5.2	14.5~7	14.5~7	21~10.3		
	190~1160		5.4~2.6	10~3.9	13.6~5.3	14.8~5.3	17~7.7	17~7.7	23~10.5		
ZHY-CJ (配 CJ 齿轮 减速器型)	17~102	60~27	114~40	114~54	167~79	227~80	277~109	277~109	342~167		
	11~66		85~42	155~62	211~84	240~85	277~124	277~124	374~171		
	11~66	93~42	175~62	176~85	258~125	351~124	351~169	351~169	530~260		
	7~42		131~66	240~97	327~132	376~133	428~196	428~196	580~265		
	6~36	164~76	312~113	312~155	457~227	644~228	615~298	615~298	937~460		
	4~24		240~115	450~170	500~237	658~232	735~342	735~342	1026~468		
	3~18	320~150	500~228	500~311	500~456	1200~456	1200~621	1200~621	1200~910		
	2~12		480~230	500~341	500~465	1200~466	1200~683	1200~683	1200~927		

ZH 基本型无级变速器 (卧式) 外形及安装尺寸

mm



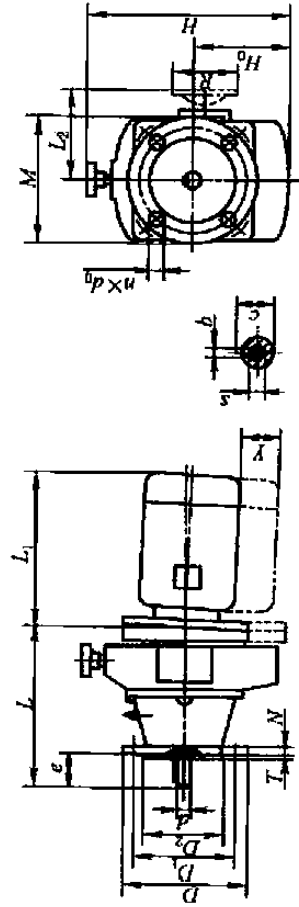
机座号	安装尺寸										输出轴尺寸										外形尺寸									
	H_0	A_0	B_0	A_1	n	d_0	Y	Y_0	d	b	c	s	e	A	B	h	L	M	H	R	L_2	L_1								
07	150	100	160	23	4	12	46	9	19h6	6	21.5	M6	40	130	190	15	223	190	306	140	150	150	尺寸按所配电机							
15	175	120	200	18	4	12	62	19	24h6	8	27	M8	50	150	230	15	264	200	363	140	174	174	尺寸按所配电机							

注: 生产厂: 宁波市镇海减速机制造有限公司。

表 16-3-8

ZH 基本型无级变速器 (立式) 外形及安装尺寸

mm



机座号	安装尺寸										输出轴尺寸										外形尺寸									
	D_1	D_2	T	n	d_0	Y	d	b	c	s	e	D	L	M	H_0	H	N	R	L_2	L_1										
07	165	130h7	3.5	4	12	46	19h6	6	21.5	M6	40	200	223	190	112	268	12	140	150	150	尺寸按所配电机									
15	165	130h7	3.5	4	12	62	24h6	8	27	M8	50	200	264	200	145	333	12	140	174	174	尺寸按所配电机									

注: 生产厂: 宁波市镇海减速机制造有限公司。

3 行星锥盘无级变速器

3.1 概述

图 16-3-5 所示为封闭行星锥盘无级变速器，动力由轴 1 输入，一路经 2—4—5—H 构成牵引行星无级变速器，另一路经 W(1)—G—N—H 构成差动轮系，由于两个系统的转臂 H、太阳轮 3 与外齿圈 W 是刚性连接的，即用单自由度的行星变速器的两个基本构件 1、H 将差动轮系的两个基本构件 W 和 H 封闭，从而构成了单自由度行星无级变速器，由于封闭的形式不同，可以得到以 N、H 和 W 分别作为输出的三种结构。图 16-3-5 所示为以内齿圈 N 作为输出的结构（北京大兴电机厂提供）。

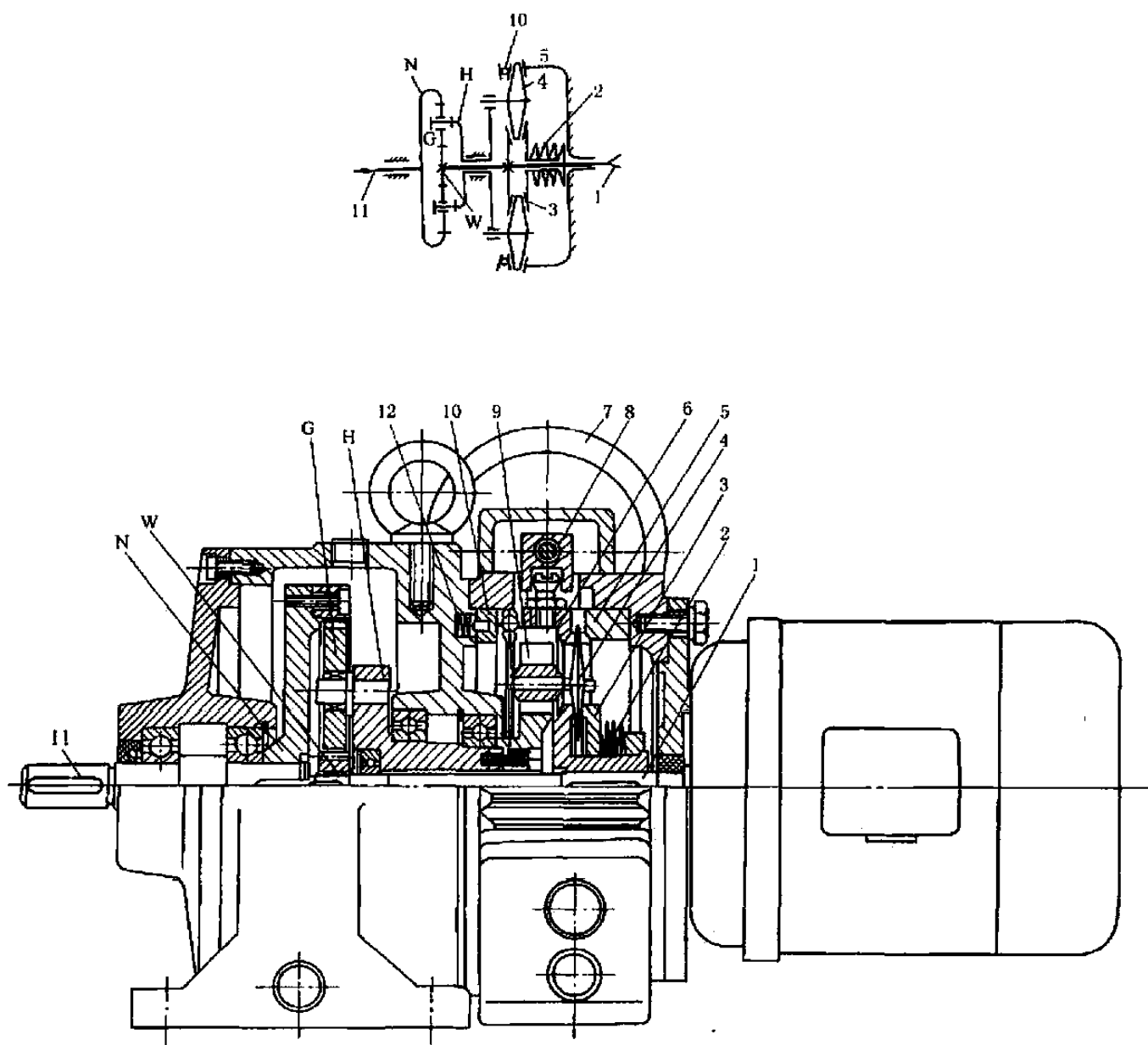


图 16-3-5 封闭行星锥盘无级变速器

1—输入轴；2—加压碟簧；3—太阳轮；4—行星锥盘；5,6—内环；7—调速手轮；8—螺杆；9—螺母；10—定凸轮；11—输出轴；12—弹簧；W—外齿轮；N—内齿圈；H—转臂；G—行星轮

调速时转动调速手轮7、螺杆8、螺母9推动嵌在其切口中的球头螺销使动环6转动，环5、6与凸轮10构成滚珠端面凸轮副，当6作轴向移动时，环5、6间的轴向间隙增大（或减小），行星锥盘在碟簧2的作用下沿径向外（或向内）移，改变了行星盘的工作半径，使转臂H、内齿圈N（输出轴）的角速度 ω_H 、 ω_N 增大（或减小），实现无级变速。

这种无级变速器是目前应用较广的一种先进变速器。它适用于连续工作运转，且能在承载中按需要调节速度，最适应工艺参数多变或连续变化的要求，因而可作为各行业生产自动线传送带动力装置使用。

3.2 行星锥盘无级变速器

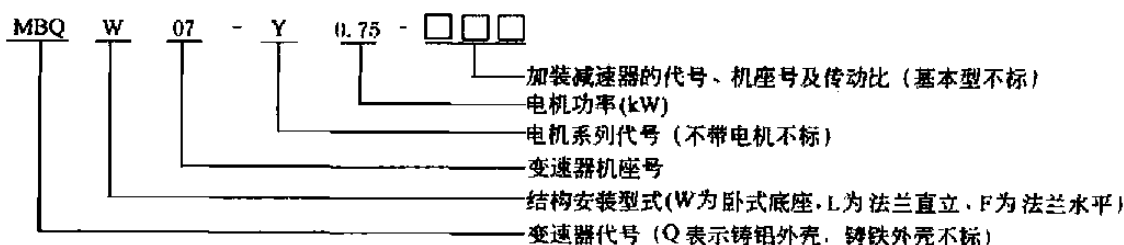
(1) 适用范围

行星锥盘无级变速器有恒功率型和恒转矩型，本标准适用于调速比范围4~8，传递功率0.09~7.5(22)kW，工作温度为-20~40℃。环境温度低于0℃时，启动前润滑油应预热。

(2) 标记示例

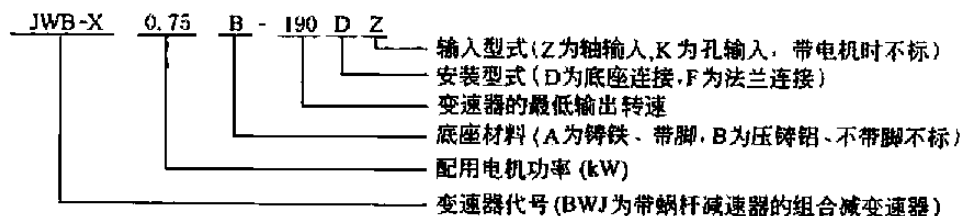
这种变速器在JB/T 6950—1993的基础上，演变成了MB(N)系列（浙江地区）和JWB-X系列（广东地区）两类，现分述如下。

① MB(N)系列标记示例：



MB系列基本型行星锥盘无级变速器的主要技术参数及尺寸见表16-3-9（卧式底座安装型）及表16-3-10（法兰直立和水平安装型）。组合型减变速器的参数及尺寸见生产厂样品说明书。

② JWB-X系列标记示例：



JWB-X系列变速器的技术参数见表16-3-11，基本型的外形及安装尺寸见表16-3-12（底座连接型）及表16-3-13（法兰连接型）。其余型号见文献[4]或工厂产品样本。

(3) 选用示例

例1 带式输送机转速范围为58~185r/min；负载转矩为19.8N·m（恒转矩），工作状况为：每天24h连续运转，载荷稳定，环境温度低于30℃；380V/50Hz/3相供电；安装型式为卧式底座式，试选变速器规格。

由表16-3-2查得工况系数 $K=1.2$ ， $K_T=1$ ；由式(16-3-7)求得计算转矩 $T_c=KK_T T=1.2 \times 1 \times 19.8=23.76\text{N}\cdot\text{m}$ ；由表16-3-11查出符合要求的变速器型号为JWB-X0.75-40D，其输出转速为40~200r/min，许用输出转矩为25~52N·m $>T_c$ 。相应MB系列的变速器为MBW07-Y0.75-1C5其输出转速为40~200r/min，许用输出转矩为30~60N·m $>T_c$ ，带一级齿轮减速器，传动比为5。

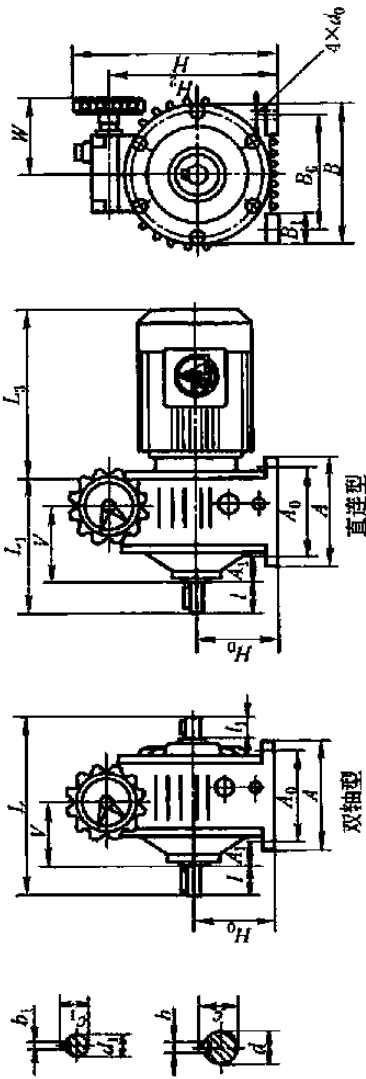
例2 某微型专用车床，转速范围72~285r/min；负载功率0.055kW（恒功率），工作状况为：每天12h连续工作，载荷稳定，环境温度低于30℃；380V/50Hz/3相供电；法兰型式安装。试选变速器规格。

由表16-3-2查得 $K=1.1$ ， $K_T=1$ ；由式(16-3-8)求得计算转矩 $T_c=9550KK_T P/n_{2\text{min}}=9550 \times 1.1 \times 1 \times 0.055/72=8.025\text{N}\cdot\text{m}$ ；由表16-3-11查出符合要求的变速器型号为JWB-X0.37B-60F，其输出转速为60~300r/min，许用输出转矩为16.5~8.2N·m $>T_c$ 。相应MB系列的变速器型号为MBQF04-Y0.37-1C3，其输出转速为66~330r/min，许用输出转矩为9~18N·m $>T_c$ ，带有传动比为3的一级齿轮减速器。

表 16-3-9

MBW 基本型无级变速器 (铸铁外壳) 主要技术参数及尺寸

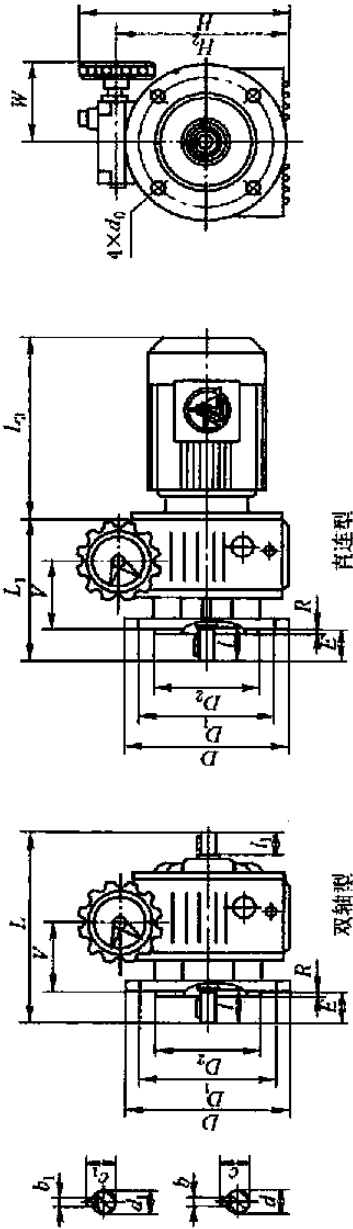
mm



机型号	额定功率 /kW	输入转速 /r·min ⁻¹	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	中心高 H ₀	安装尺寸						输出轴尺寸						输入轴尺寸						外形尺寸						质量 /kg	
						A ₀	A ₁	B ₀	B ₁	d ₀	d	b	c	l	d ₁	b ₁	e ₁	l ₁	H ₂	H	A	B	V	W	L	L ₁	L ₂	L ₃	双轴型	直连型	
MBW02	0.18	1390		1.5~3	75	105	18	110	25	9	14j6	5	16	30	14j6	5	16	25	160	210	125	146	69	100	195	130	202	10.5	23		
MBW04	0.37	1390		3~6	80	105	26	120	32	10	14j6	5	16	30	14j6	5	16	169	219	135	150	82	111	221	145	225	14	27.5			
MBW07	0.55	1390		5~10	106	125	33.5	160	40	12	20j6	6	22.5	40	19j6	6	21.5	30	213	263	150	190	90	128	243	182	18.3	32			
	0.75	1390		6~12		140	50	180	50	12	25j6	8	28	50	24j6	8	27	40	246	296	165	230	107	153	314	223	255	33			
MBW15	1.1	1400	200	9~18	125	140	50	180	50	12	25j6	8	28	50	24j6	8	27	40	300	350	270	300	135	157	387	268	35.5	56			
	1.5	1400	1000	12~24	150	230	25	245	55	14	30j6	8	33	60	24j6	8	27	50	300	350	270	300	135	157	387	268	35.5	57			
MBW22	2.2	1420		18~36	150	230	25	245	55	14	30j6	8	33	60	24j6	8	27	50	300	350	270	300	135	157	387	268	60	93			
MBW40	3	1420		24~48	150	230	25	245	55	14	30j6	8	33	60	24j6	8	27	50	300	350	270	300	135	157	387	268	65	95			
	4	1440		32~64		250	33	315	70	18	35k6	10	38	70	32k6	10	35	60	392	474	290	365	189	186	425	319	105	170			
MBW55	5.5	1440		45~90	200	250	33	315	70	18	35k6	10	38	70	32k6	10	35	60	392	474	290	365	189	186	425	319	110	181			
MBW75	7.5	1460		60~120	200	250	33	315	70	18	35k6	10	38	70	32k6	10	35	60	392	474	290	365	189	186	425	319	110	181			

注: 1. L₃ 值是按 Y₂ 系列电机计入, 若配用其他系列电机 L₃ 值应相应变动。

2. 生产厂: 浙江通力减速机有限公司, 宁波市镇海减速机制造有限公司, 温州市双联机械有限公司等。



机型号	额定功率 /kW	输入转速 /r·min ⁻¹	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	安装尺寸				输出轴尺寸				输入轴尺寸							外形尺寸				质量 /kg		
					D ₁	D ₂	E	R	d ₀	d	b	c	l	d ₁	h ₁	c ₁	l ₁	H ₂	H	V	W	D	L	L ₁	L ₃	双轴型	直连型
MBL(F)02	0.18	1390	1.5~3	130	110h9	30	3.5	10	14js6	5	16	30	14js6	5	16	25	154	200	66	100	160	190	127	202	10.5	23
MBL(F)04	0.37	1390	3~6	165	130h9	30	3.5	12	14js6	5	16	30	14js6	5	16	30	166	216	80	111	200	217	143	225	14	27.5
MBL(F)07	0.55	1390	5~10	165	130h9	40	4	12	20js6	6	22.5	40	19js6	6	21.5	30	208	258	88	128	200	241	182	255	18.3	33
MBL(F)15	1.1	1400	9~18	215	180h9	50	4	15	25js6	8	28	50	24js6	8	27	40	239	289	107	153	250	312	223	270	35.5	56
MBL(F)22	2.2	1420	18~36	265	230h9	60	4	15	30js6	8	33	60	24js6	8	27	50	293	343	135	157	300	385	268	325	60	93
MBL(F)40	3	1420	24~48	265	230h9	60	4	15	30js6	8	33	60	24js6	8	27	50	293	343	135	157	300	385	268	325	65	95
MBL(F)55	5.5	1440	45~90	300	250h9	70	5	19	35k6	10	38	70	32k6	10	35	60	382	464	198	186	350	424	318	390	105	170
MBL(F)75	7.5	1460	60~120	300	250h9	70	5	19	35k6	10	38	70	32k6	10	35	60	382	464	198	186	350	424	318	430	110	181

注: 1. L₃ 值是按 Y₂ 系列 B₂ 型电机计入, 若用其他系列电机, L₃ 值相应变动。

2. 型号中 L 表示法兰垂直安装, F 表示法兰水平安装。

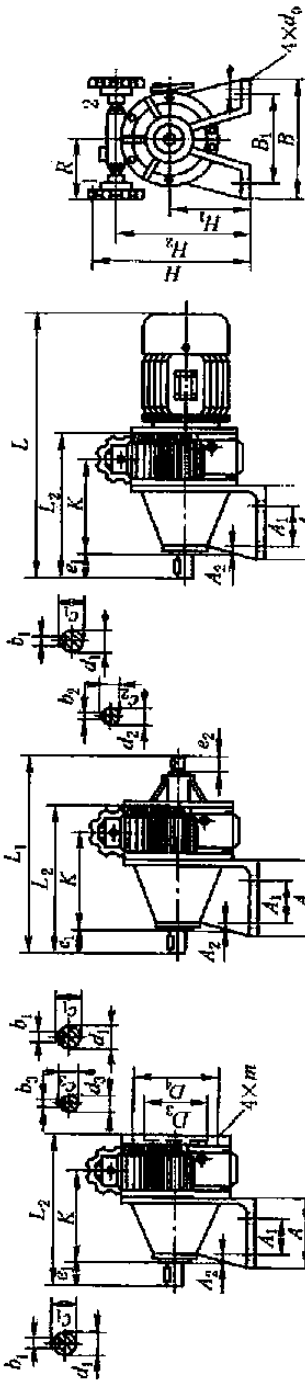
3. 生产厂: 浙江通力减速机有限公司, 宁波市镇海减速机制造有限公司, 温州市双联机械有限公司等。

JWB-X 系列变速器的技术参数

表 16-3-11

机座号	01		02		03		04		05			06	
	0.18		0.25	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3	4	5.5	7.5
电机输入功率/kW													
电机极数													
4 极 (1500r/min)													
变速器机型	许用输出转矩/N·m												
	输出转速 /r·min ⁻¹	190~950	2.5~1.3	3.5~1.8	5.4~2.7	8~4	11~5.4	16~8	22~11	32~16	44~22	59~29	81~40	110~54
基本型	100~500	—	6.5~3.4	10~4.9	15~7.4	21~10	30~15	41~20	58~30	82~40	109~54	150~74	205~101
带一对 齿轮减速	80~400	—	8~4	12.4~6.2	18.5~9	26~12.5	37~18.5	51~25	75~37	102~50.5	138~67	188~93	255~126
	60~300	—	11~5.6	16.5~8.2	24.5~13	35~16.8	50~24.5	68~34	98~50	134~67.5	180~90	250~124	340~168
	40~200	—	16~8.4	25~12	37~18.5	52~25	75~37	102~50.5	147~74	200~101	270~134	370~175	510~253
带二对 齿轮减速	30~150	—	—	—	—	—	—	—	198~100	267~132	356~176	490~242	668~330
	28~140	—	—	—	52~26	73~35	105~52	143~71	—	—	—	—	—
	25~125	—	25~13	39~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20~100	—	—	—	—	—	—	—	294~145	401~198	535~264	735~363	1000~495
	18~90	—	—	—	81~40	114~55	—	—	—	—	—	—	—
带三对 齿轮减速	15~75	—	42~22	65~32	—	—	196~97	268~132	—	—	—	—	—
	13~65	—	—	—	113~56	158~76	—	—	—	—	—	—	—
	9~45	—	70~37	105~54	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8~40	—	—	—	182~91	255~124	—	—	—	—	—	—	—
6.5~32.5	—	—	—	—	225~112	316~151	—	—	—	—	—	—	
4.7~23.5	—	—	204~102	—	292~146	426~207	613~303	837~413	—	—	—	—	
2~10	—	—	—	—	426~343	—	—	—	—	—	—	—	

注: 1. 基本型变速器当输出转速由高到低时的传动效率为 81%~65%, 滑功率为 2%~6%, 温升为 46~47℃。
2. 生产厂: 佛山星光机电有限公司。

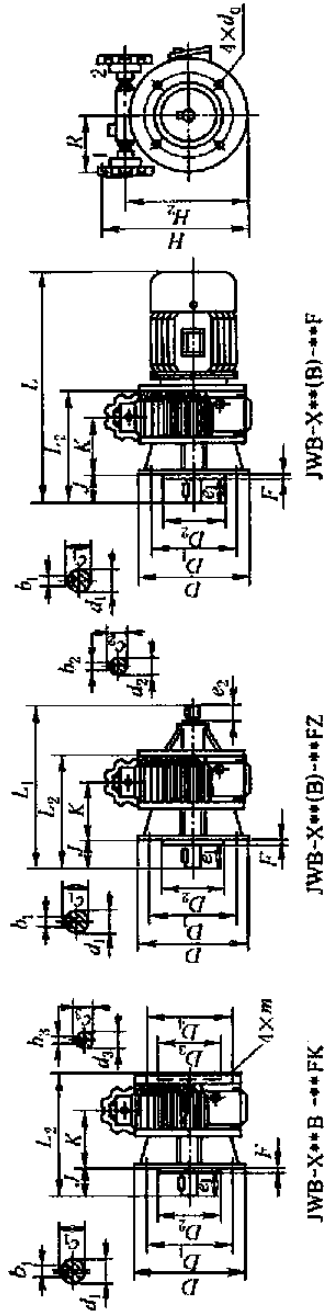


JWB-X**B-190DK

JWB-X**B-190DZ

JWB-X**B-190D

型号	机座号	安装尺寸										输出轴尺寸			输入轴(Z)尺寸			输入孔(K)尺寸			外形尺寸						质量/kg				
		A ₁	A ₂	D ₃	D ₄	m	d ₀	B ₁	d ₁	b ₁	c ₁	e ₁	d ₂	b ₂	c ₂	e ₂	d ₃	b ₃	c ₃	H	H ₁	H ₂	L	L ₁	L ₂	A		B	K	R	
JWB-X** -190D	01	25	5	—	—	—	10	95	116	4	12.5	24	—	—	—	—	—	—	—	—	188	70	145	356	—	146	55	120	87	105	15
JWB-X** -190D	02	55	7	—	—	—	10	150	146	5	16	40	146	5	16	30	—	—	—	—	210	80	168	410	293	200	90	190	121	105	22
JWB-X** B-190D	02	55	7	110	130	M8	10	150	146	5	16	40	146	5	16	30	14F7	5	16.3	210	80	168	414	297	204	90	190	121	118	—	—
JWB-X** -190D	03	66	7	—	—	—	12	165	246	8	27	50	196	6	21.5	40	—	—	—	—	255	105	212	490	356	246	125	212	147	110	38
JWB-X** B-190D	03	66	7	130	165	M10	12	165	246	8	27	50	196	6	21.5	40	19F7	6	21.8	268	105	212	493	359	249	125	212	147	120	—	—
JWB-X** B-190D	04	75	18	—	—	—	14.5	185	286	8	31	60	246	8	28	43	—	—	—	—	307	125	252	602	435	320	145	235	187	147	61
JWB-X** B-190D	05	85	15	—	—	—	18.5	240	386	10	41	80	286	8	32	60	—	—	—	—	368	150	313	747	618	465	148	310	297	160	134
JWB-X** B-190D	06	120	12	—	—	—	21	295	426	12	45	80	386	10	43	70	—	—	—	—	452	190	397	980	735	550	185	380	367	196	198



型号	机座号	安装尺寸										输出轴尺寸						输入轴(Z)尺寸						输入孔(K)尺寸						外形尺寸						质量 /kg
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	m	d ₀	J	F	d ₁	b ₁	c ₁	e ₁	d ₂	b ₂	c ₂	e ₂	d ₃	b ₃	c ₃	d ₄	e ₄	d ₅	b ₅	c ₅	H	H ₂	L	L ₁	L ₂	D	K	R			
JWB-X**-190F	01	115	95	—	—	—	10	24	3	116	4	12.5	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	189	146	351	—	140	142	81	105	15		
JWB-X**-190F	02	130	110	—	—	—	10	40	3.5	146	5	16	40	14.6	5	16	30	30	—	—	—	—	—	—	—	210	168	375	258	165	160	86	105	22		
JWB-X**B-190F	02	130	110	110	130	M8	9	30	3.5	146	5	16	30	14.6	5	16	30	14.7	5	16.3	—	—	—	—	—	210	168	364	247	154	160	81	118	—		
JWB-X**-190F	03	165	130	—	—	—	12	50	3.5	246	8	27	50	19.6	6	21.5	40	40	—	—	—	—	—	—	—	250	207	453	318	208	200	109	100	38		
JWB-X**B-190F	03	165	130	130	165	M10	11	40	3.5	196	6	21.5	40	19.6	6	21.5	40	19.7	6	21.8	—	—	—	—	—	262	207	424	289	179	200	88	120	—		
JWB-X**-190F	04	215	180	—	—	—	14.5	60	4	286	8	31	60	24.6	8	28	43	—	—	—	—	—	—	—	—	307	252	593	422	307	250	174	147	61		
JWB-X**-190F	05	265	230	—	—	—	16.5	80	4	386	10	41	80	28.6	8	32	60	—	—	—	—	—	—	—	—	368	313	753	562	412	300	244	160	134		
JWB-X**-190F	06	300	250	—	—	—	21	80	5	426	12	45	80	38.6	10	43	70	—	—	—	—	—	—	—	—	437	382	787	608	423	350	239	196	198		

4 环锥行星无级变速器

4.1 概述

如图 16-3-6 所示, 一组沿主动锥轮 2 圆周均布的行星锥轮 7 置于保持架 3 (相当于转臂) 中。自动加压装置 13、14 使行星锥轮 7 分别与主动锥轮 2、从动锥轮 11 压紧, 行星锥轮 7 的锥体与不转动的外环 10 压紧。输入轴 1 上的主动锥轮 2 旋转时, 行星锥轮 7 自转并沿外环 10 的内圈公转, 驱动从动锥轮 11 转动, 最后经自动加压装置 13、14 将动力传至输出轴 15。通过调速机构改变外环 10 的轴向位置, 以改变行星锥轮 7 的工作半径, 达到调速的目的。

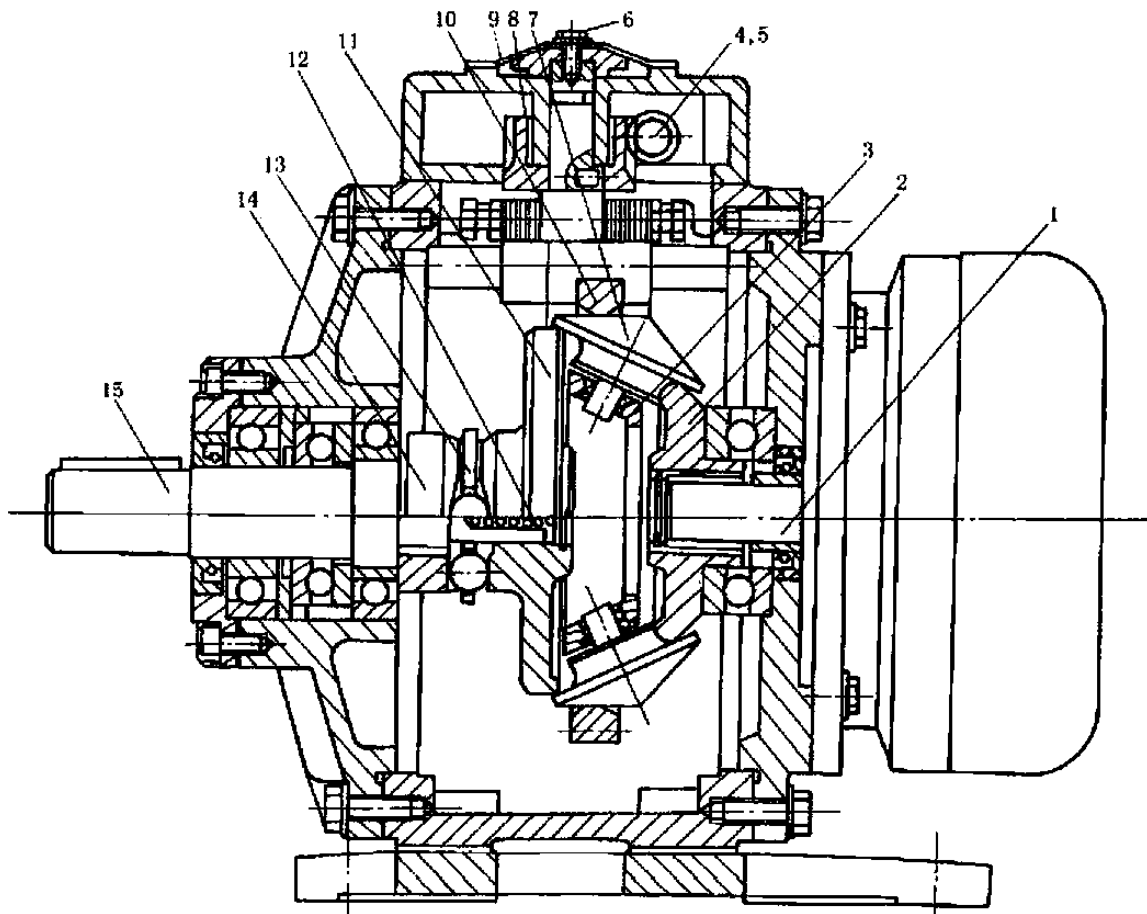


图 16-3-6 环锥行星无级变速器

1—输入轴; 2—主动锥轮; 3—保持架; 4, 5, 6, 8—调速机构; 7—行星锥轮; 9—转速显示盘;
10—外环; 11—从动锥轮; 12—预压弹簧; 13, 14—加压装置; 15—输出轴

变速器在主、从动侧采用了凸、凹和凸、平接触的结构, 增大了当量曲率半径, 提高了承载能力。

这种型式的变速器具有变速范围广、恒功率、传动平稳、噪声低、过载保护性强的特点, 常用于食品、印染、塑料、皮革印刷等行业以及各种自动生产流水线上。

4.2 环锥行星无级变速器

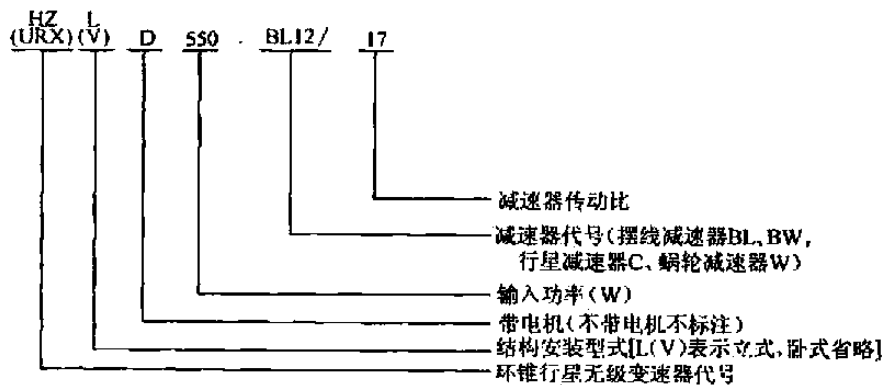
4.2.1 适用范围及标记示例

(1) 适用范围

环锥行星无级变速器有双出轴式和电机直连式（包括匹配减速器及立式），适用于冶金、机械、化工、包装、食品、纺织、印染、电子等行业。

适用条件为：变速器输入轴转速不大于 1500r/min；变速器工作温度为 0~30℃；变速器能在额定载荷下从零转速开始稳定启动；变速器必须在启动后才能进行调速。

(2) 标记示例



基本型不带减速器，不标减速器的相关项目，() 为宁波市无级变速器厂产品代号。

(3) 主要生产厂家

浙江平阳市世一变速机械实业有限公司，宁波市无级变速器厂。由于各厂产品尺寸与机标（JB）不一致，选用时请与生产厂联系实际产品的性能参数和外形尺寸。

4.2.2 技术参数、外形及安装尺寸

HZ 系列基本型变速器技术参数见表 16-3-14，外形及安装尺寸见表 16-3-15（卧式）和表 16-3-16（立式）。各种带减速器的减变速器的参数见文献 [4] 及各生产厂产品说明书。

表 16-3-14 HZ 系列型号及技术参数

型号	配用电机		输出转速 /r·min ⁻¹	输出额定 转矩/N·m		型号	配用电机		输出转速 /r·min ⁻¹	输出额定 转矩/N·m	
	功率 /kW	输入转速 /r·min ⁻¹		最大	最小		功率 /kW	输入转速 /r·min ⁻¹		最大	最小
HZ90	0.09	1500	0-850	3	0.8	HZ2200	2.2	1500	0-850	68	20
HZ250	0.25			7.7	2.2	HZ3000	3.0			94	25
HZ370	0.37			11.5	3.3	HZ4000	4.0			125	34
HZ400	0.40			13	3.7	HZ5500	5.5			170	46
HZ550	0.55			17	5	HZ7500	7.5			233	63
HZ750	0.75			23	6.8	HZ11K	11			341	93
HZ1100	1.1			33	10	HZ15K	15			465	126
HZ1500	1.5			46.5	14						

注：1. 表中 HZ11K 及 HZ15K 为待开发产品。

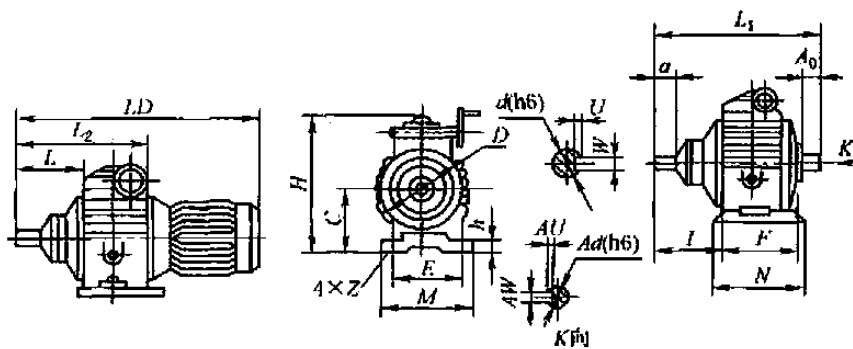
2. 经 1997 年机械工业部机械无级变速器产品质量全国统检，样机抽查结果：传动效率为 89.69%，滑动率为 2.8%。

3. 生产厂：浙江平阳市世一变速机械实业有限公司，宁波市无级变速器厂等。

表 16-3-15

HZ 系列 (卧式) 外形及安装尺寸

mm



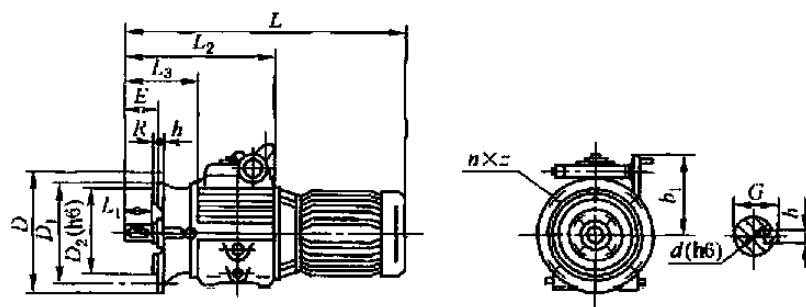
型号	长				宽	高	底脚尺寸							输出轴尺寸			输入轴尺寸				质量 /kg		
	L	L_1	L_2	LD			D	H	C	I	h	E	F	M	N	Z	d	W	U	a		Ad	AW	$AU$	$A_0$
HZ90	75	144	139		104	146	65	65	9	70	90	90	110	9	12	4	2.5		10	3	1.8	20	5.6
HZ250	68	250	162	400	150	202	94	48	12	90	140	120	180	11	16	5	3	25	14	5	3	25	11
HZ370																		13					
HZ400	68	297	171	410	170	233	106	50	12	120	155	150	185					30					16
HZ550	126	386	258	520	210	280	120	118	12	140	170	170	200	13	24	8	4	50	20	8	4	38	25
HZ750																							30
HZ1500	142	445	292	610	254	359	154	120	16	160	230	200	270		32	10		55					48
HZ2200	157	500	333	680	300	385	175	138	18	210	260	260	310	15	42	12	5	70	24	8	4	50	79
HZ3000																							103
HZ4000	190	557	390	810	325	432	196	160	20	230	270	280	330					28					150
HZ5500	217	741	557	1010	410	515	235	200	24	290	375	350	425						40	12	5		200
HZ7500	245	884	585	1120	440	550	250	225	24	300	425	365	490	20	55	16	6	100	48	14	5.5	80	220

注：表中质量指不带电机时的值

表 16-3-16

HZLD 系列立式带电机外形及安装尺寸

mm



机型	输出轴尺寸				安装尺寸							外形尺寸				
	d	b	G	L_1	D_1	D_2	E	h	R	$n \times z$	D	b_1	L	L_2	L_3	
HZLD90	12	4	13.8	25	115	92	25	10	3	4 × 9	140	85	330	139	75	
HZLD250	16	5	18	25	165	130	25	12	3.5	4 × 12	200	108	400	162	68	
HZLD370																
HZLD400	16	5	18	30	165	130	30	12	3.5	4 × 12	200	127	410	171	68	
HZLD550	24	8	27	50	215	180	50	14	4	4 × 15	250	160	520	258	126	
HZLD750																
HZLD1500	32	10	35	55	265	230	55	16	4	4 × 15	300	205	610	292	142	
HZLD2200	42	12	45	70	300	250	70	20	4	4 × 19	350	210	680	333	157	
HZLD3000																
HZLD4000	42	12	45	70	300	250	70	20	4	4 × 19	350	236	810	390	190	
HZLD5500	55	16	59	100	350	300	100	25	8	4 × 19	400	280	1010	557	217	
HZLD7500	55	16	59	100	350	300	100	25	8	4 × 19	400	300	1120	585	245	

4.2.3 选型方法

HZ 型无级变速器的传动效率是随着输出转速的变化而变化的。当输入转速为 1500r/min 时, 在输出转速 0~850r/min 的全程中, 最佳效率区段是 350~700r/min, 低于 100r/min 时, 效率最低。所以在选型时, 应根据工作输出转速范围来确定类型(基本型或带减速器的), 再根据负载转矩来确定规格。必须满足计算转矩 T_c 小于变速器的最小许用输出转矩。计算转矩的计算公式为式(16-3-7)、式(16-3-8)。

如已知负载功率 P , 算出计算功率 P_c 后, 就可在表 16-3-14 和图 16-3-7 中找到相应规格的变速器。如已知负载转矩 T , 算出计算转矩 T_c 后, 尚需考虑其对应的转速范围, 从本机型号输出转矩特性曲线(图 16-3-7)上选择合适的规格。对于恒转矩负载, 则应使计算转矩 T_c 小于表 16-3-14 中最小输出额定转矩的原则, 找出对应的机型规格。例如, 某传动装置, 每天工作 6h, 工作转速范围为 200~600r/min, 工作负载为 $5\text{N}\cdot\text{m}$ 的恒转矩, 有中等冲击载荷, 需选用一带电机的环锥无级变速器。由式(16-3-7)和表 16-3-2 求得计算转矩 $T_c = KK_T T = 1.3 \times 1 \times 5 = 6.5\text{N}\cdot\text{m}$, 查表 16-3-14, 选用 HZD750 型变速器, 其最小输出额定转矩为 $6.8\text{N}\cdot\text{m} > 6.5\text{N}\cdot\text{m}$; 又由图 16-3-7 查得, 当 $n_2 = 600\text{r}/\text{min}$ 时, 该型变速器的输出转矩为 $9.2\text{N}\cdot\text{m} > 6.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。由于 $n_2 = 200 \sim 600\text{r}/\text{min}$ 在基本型输出转速范围, 故合适。如工作转速范围低于 150r/min 则应考虑选用带减速器的环锥减变速器。

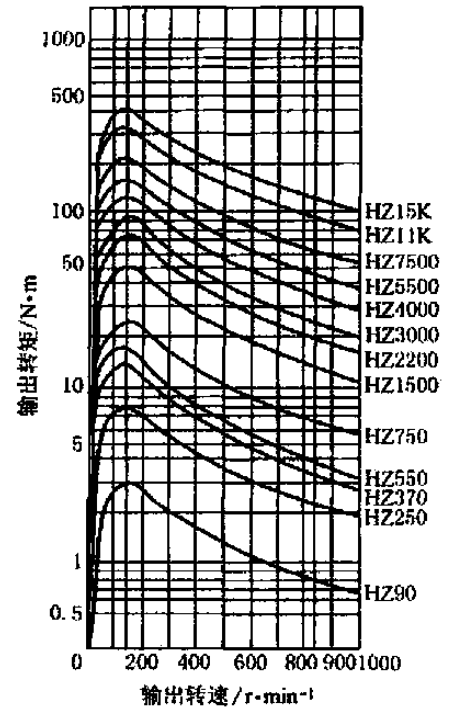


图 16-3-7 HZ 系列变速器输出特性曲线

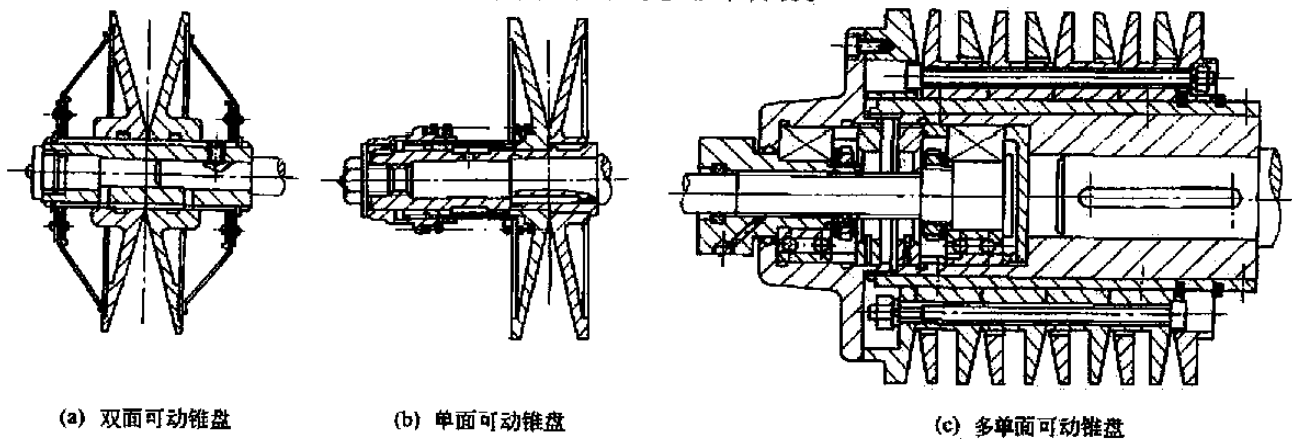
5 带式无级变速器

5.1 概述

带式无级变速器由于其结构简单、制造容易、工作平稳、能吸收振动、易损件少、带更换方便, 因而是机械无级变速器中广泛应用的一种; 其缺点是外形尺寸较大, 而变速范围较小。它由主、从动锥(带)轮、紧套在两轮上的带、调速操纵机构和加压装置等组成。当主动轮转动时, 借助带与锥轮间的摩擦力驱动从动轮并传递动力; 通过调速操纵机构改变带在锥轮上的位置, 使主、从动轮的工作半径改变, 以达到无级变速的目的。

(1) 普通 V 带无级变速传动

其结构简单、变速范围小。带轮结构如图 16-3-8 所示, 有双面可动锥盘(图 a)、单面可动锥盘(图 b)和多单面可动锥盘(图 c)带轮三种结构, 后者用于大功率多根带传动。



(a) 双面可动锥盘

(b) 单面可动锥盘

(c) 多单面可动锥盘

图 16-3-8 普通 V 带无级变速带轮结构

(2) V形宽带无级变速传动

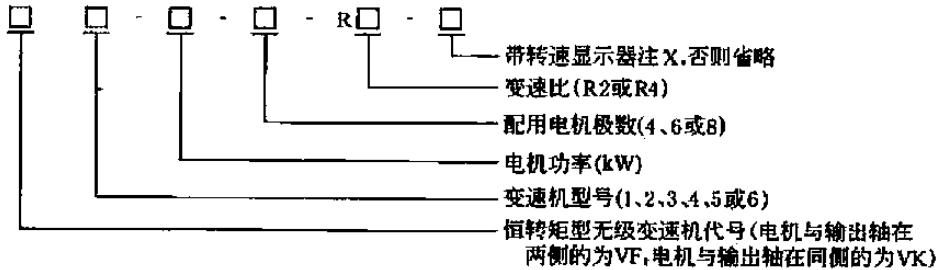
无级变速用的V形宽带的内周具有齿形,因而具有良好的曲挠性、耐热性和耐侧压性。农业机械中无级变速传动用V形半宽带,内周无齿,耐侧压性能好。

(3) 块带式无级变速传动

其主要用于低速、工作条件恶劣的场合。

5.2 V形宽带无级变速器

(1) 标记示例



VF5-15-6-R2 表示电机与输出轴在变速器两侧,配用15kW、6极电机,变速比为2(传动比 $i=1-2$)的5型V形宽带变速器。

(2) 主要生产厂家

浙江长城减速机有限公司,浙江温岭市变速器厂。

(3) 标准变速器外形、安装尺寸及性能参数

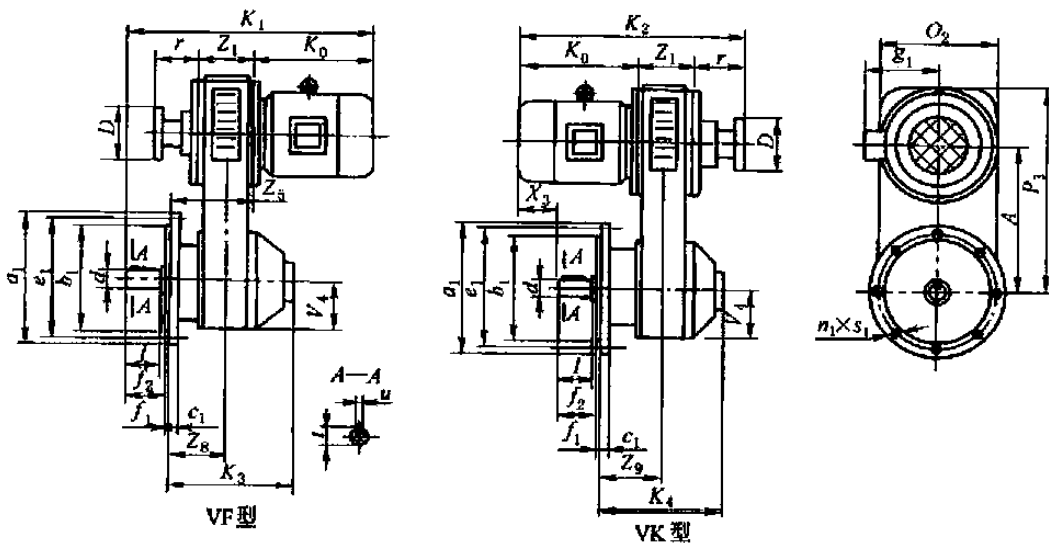


表 16-3-17

mm

型号	所配电机型号	电机功率/kW			许用转矩/N·m		安 装 尺 寸											
		4极	6极	8极	R2	R4	d (k6)	l	u	t	f ₁	f ₂	c ₁	b ₁ (h9)	a ₁	a _t	n ₁	s ₁
1	Y801	0.55	—	—	3.8	1.9	19	40	6	21.5	4	40	12	130	165	190	4	12
	Y802	0.75	—	—	5.2	2.6												
2	Y90S	1.1	0.75	—	7.5	3.8	24	50	8	27	4	50	12	130	165	200	4	12
	Y90L	1.5	1.1	—	10.2	5.1												
3	Y100L1	2.2	1.5	—	15	7.5	28	60	8	31	4	60	14	180	215	250	4	15
	Y100L2	3	—	—	20.2	10.1												
	Y112M	4	2.2	—	26.5	13.3												
4	Y132S	5.5	3	2.2	36.5	18.2	38	80	10	41	4	80	14	230	265	300	4	15
	Y132M	7.5	4~5.5	3	50	25												

续表

型号	所配电机型号	电机功率/kW			许用转矩/N·m		安装尺寸											
		4极	6极	8极	R2	R4	d (k6)	l	u	t	f_1	f_2	c_1	b_1 (h9)	e_1	a_1	n_1	s_1
5	Y160M	11	7.5	4~5.5	72	36	42	110	12	45	5	110	16	250	300	350	4	19
	Y160L	15	11	7.5	98	49												
	Y180M	18.5	—	—	120	60	48		14	51.5								
	Y180L	22	15	11	143	71												
6	Y200L	30	18.5~22	15	195	97	55	110	16	59	5	110	18	300	350	400	4	19
	Y225S	37	—	18.5	239	119	60	140	18	64	5	140	20	350	400	450	8	19
	Y225M	45	30	22	290	145												

型号	外形尺寸																	含电机质量/kg
	A	D	g_1	K_1	K_2	K_0	K_3	K_4	O_2	P_3	r	V_4	X_3	Z_1	Z_5	Z_R	Z_9	
1	192	100	150	480	458	245	285	230	235	296	109	104	114	104	195	91	91	59
2	231	125	155	541	539	260	341	273	280	356	163	125	95	116	231	115	115	93
				566	564	285							120					97
3	326	160	180	595	601	320	354	300	320	471	141	145	150	140	215	75	110	124
			190	615	621	340							170					127
4	323	200	210	725	730	395	422	398	380	498	165	175	135	170	250	80	180	185
				765	770	435							175					196
5	434	320	255	910	885	490	482	432	510	674	185	240	210	210	310	100	170	345
				955	930	535							255					370
				980	955	560							280					402
				1020	995	600							320					420
6	618	320	310	1179	1154	665	604	543	680	943	205	325	355	284	404	120	200	902
				1224	1169	680							340					952
				1249	1194	705							365					972

注：1. 4极电机输入转速为1440r/min，输出轴转速：R2时为720~1440r/min，R4时为720~2880r/min。

6极电机输入转速为960r/min，输出轴转速：R2时为480~960r/min，R4时为480~1920r/min。

8极电机输入转速为720r/min，输出轴转速：R2时为360~720r/min，R4时为360~1440r/min。

2. 表中 K_0 值是按Y系列B₃型式电机计人，若配用其他系列电机， K_0 值应相应变动。

(4) 卧式变速器外形、安装尺寸及性能参数

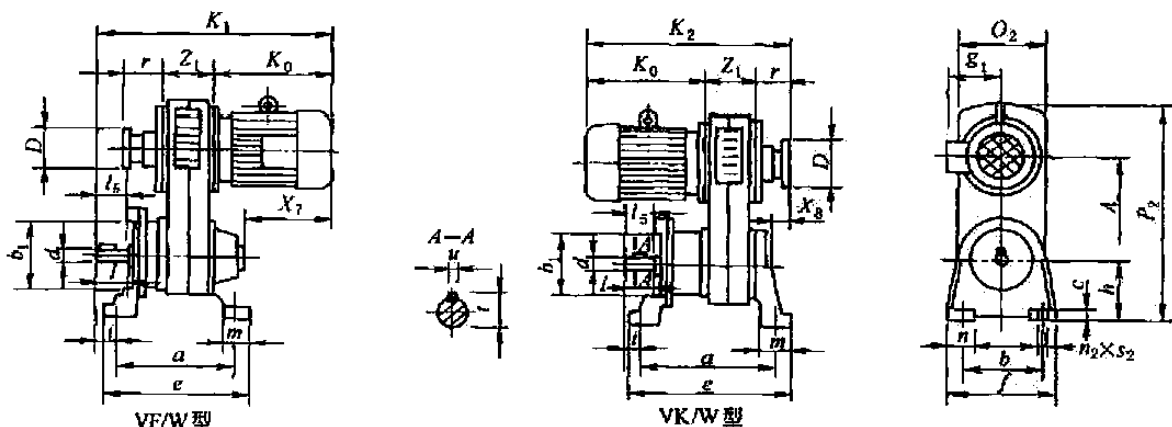


表 16-3-18

mm

型号	所配电机型号	外形尺寸														质量/kg	备注	
		a	b	c	e	f	h	i	l_5	m	n	P_2	n_2	s_2	X_7			X_8
1	Y801 Y802	209	170	25	244	230	132	22	33	60	60	428	4	14	155	74	64	除本表所列外形尺寸外,其他尺寸及性能参数见表16-3-17
2	Y90S Y90L	259	230	30	309	304	160	31	43	60	70	516	4	14	150 175	121	102 103	
3	Y100LI Y100L2 Y112M	325	270	50	385	360	225	31	52	80	90	696	4	18	181 181 201	91	139 140 149	
4	Y132S Y132M	387	270	50	447	360	225	48	69	80	90	723	4	18	223 263	117	203 217	
5	Y160M Y160L Y180M Y180L	525	300	55	595	400	265	57	96	100	100	939	4	22	318 363 388 428	133	367 386 436 450	
6	Y200L Y225S Y225M	638	340	70	739	480	365	55	97	125	125	1308	4	33	465 480 505	146	945 978 1015	

6 齿链式无级变速器

6.1 概述

6.1.1 特点及用途

齿链式无级变速器与其他摩擦式无级变速器相比有如下特点。

- ① 输出轴转速稳定, 调速准确。当载荷由零增至最大时, 转速变化较小, 一般不超过 3.5%。
- ② 调速范围广, 调速比一般在 2.8~6 之间。
- ③ 机械效率高, 可达 85%~95%, 而且在长期使用后效率保持不变。
- ④ 结构紧凑, 外壳尺寸小。
- ⑤ 可以人工操纵, 也可电动远距离控制进行调速。
- ⑥ 工作可靠, 可用于潮湿、灰尘、酸雾的环境中。
- ⑦ 结构较复杂, 制造精度、热处理条件和装配精度都有较高的要求。

⑧ 链条速度不能太高, 所以不宜用高速电机直接带动。一般输入轴转速 $n_1 \leq 720 \text{r/min}$ 。对冲击载荷较敏感, 不宜用于冲击载荷较大的场合。

齿链式无级变速器广泛用于转速需要稳定而又要求无级变速的各种场合, 如合成纤维设备、塑料挤出机、合成橡胶设备、造纸机械、印染机械、食品工业、制糖工业、制革设备、拔丝设备、运输机等。

6.1.2 变速原理

齿链式无级变速机构是依靠链条与链轮之间的啮合力和摩擦力传递动力的 (图 16-3-9)。它由一对伞状的主动链轮和一对同样的从动链轮所组成, 在主动链轮与从动链轮之间借助于特殊的链条拖动, 链条与链轮能在任何半径处相啮合, 同时链条也在一对轮之间楔紧, 因此传动的特征是既靠摩擦又靠啮合, 故能得到稳定的速比。

速度的变化是依靠链条在链轮表面上处在不同的半径处来得到的 (图 16-3-10)。借助于调速杠杆, 使一对主动链轮分离时, 从动链轮则互相靠近, 这时链条在主动轮上的工作半径减小而在从动轮上的工作半径增大, 输出轴转速则平稳地降低; 反之, 输出轴转速可以平稳地增加。因此, 输出轴的转速决定于输入轴和输出轴上齿链与链轮啮合直径之比。

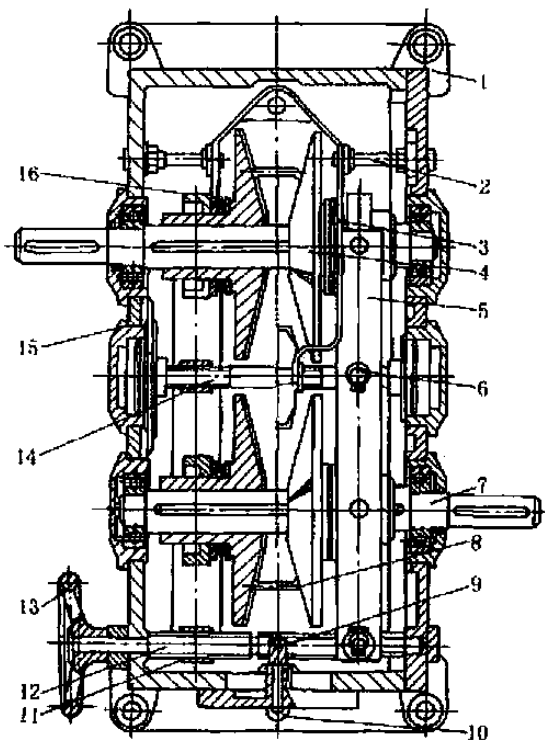


图 16-3-9 P 型齿链式无级变速器结构 (卧式)

- 1—底座；2—加压支架轴；3—加压架；4—链轮；5—调速杠杆；
6—右旋调速丝杆支架；7—传动轴；8—齿链；9—指针齿轮；
10—指针；11—左旋调速丝杆支架；12、14—调速丝杆；
13—手轮；15—调节盘；16—调节环

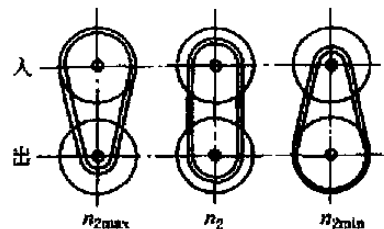


图 16-3-10 工作半径与输出轴转速

6.1.3 调速范围

调速范围是指当输入轴转速恒定时，输出轴转速的最大值与最小值之比。即

$$R_b = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}} = \frac{i_{\max}}{i_{\min}}$$

为使结构紧凑，设计成对称调速，即输入轴传至输出轴时，升速和降速的极限速比相同。例如，当输入轴转速保持 720r/min 时，输出轴的调速范围为 295 ~ 1770r/min，则

$$\text{调速比 } R_b = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}} = \frac{1770}{295} = 6$$

$$\text{升速比 } i_{\max} = \frac{n_{2\max}}{n_1} = \frac{1770}{720} = 2.45 = \sqrt{6} = \sqrt{R}$$

$$\text{降速比 } i_{\min} = \frac{n_{2\min}}{n_1} = \frac{295}{720} = \frac{1}{2.45} = \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{1}{\sqrt{R}}$$

齿链式无级变速器是通过齿链来传递功率和转矩的，但齿链的许用张力是一个定值。因此，输出轴的输出功率和转矩就要随转速的不同而变化。在作恒功率或恒转矩使用时，应注意使用值不应大于表 16-3-19 中的输出功率和输出转矩。

6.2 P 型齿链式无级变速器

6.2.1 适用范围及标记示例

(1) 适用范围

齿链式（滑片链式）无级变速器适用范围调速比 2.8 ~ 6，电机可以顺逆双向旋转，工作环境温度为 -40 ~ 40℃，当环境温度低于 0℃ 时，启动前润滑油需要预热。

齿链式无级变速器分为基本型，第一、二、三派生型。

① 基本型：输入轴端和输出轴端不加装减速装置，代号为 P，按传递功率大小由小到大分为 0、1、2、3、4、5、6 及各派生型。

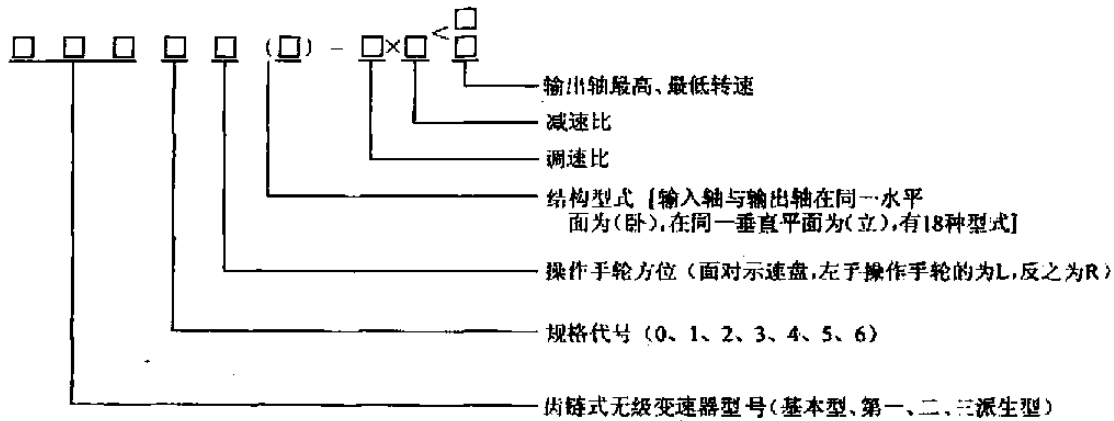
② 第一派生型：基本型输入轴端加装减速装置，加装的减速装置直接连接电机，代号为 FP；加装的减速装置通过联轴器或带轮与动力装置相连，代号为 NP；加装差动轮系用联轴器或带轮驱动，代号为 XP。

③ 第二派生型：基本型输出轴端加装减速装置，减速装置内减速齿轮为 1 对，代号为 PB；2 对齿轮，代号为 PC；3 对齿轮，代号为 PD；多于三对齿轮，代号为 PBC；加装差动轮系，代号为 PX。

④ 第三派生型：基本型输入轴端和输出轴端均加装减速装置，且连接方式分别与第一派生型和第二派生型相同，其代号为第一派生型和第二派生型代号的组合，代号为 FPB、FPC、FPD、NPB、NPC、NPD。

例如，某型号第三派生型无级变速器，输入端加装的减速装置直接与电机相连，输出端加装的减速装置通过一对齿轮减速，代号为 FPB。

(2) 标记示例



① 整机配用功率为 1.5kW, 输出轴、输入轴两端均不加减速装置, 调速比为 3, 用左手操作调速手轮的立式 I 型齿链式无级变速器, 标记为

PI1 (立 1) - 3

② 在基本型的输出轴端加装. 2 对齿轮减速的第二类派生型, 电机功率为 4kW, 右手操作, 调速比为 6, 输出轴减速比为 1/30, 输出轴最高转速 59r/min, 最低转速 9.83r/min 的卧式 I 型齿链式无级变速器, 标记为

PC3R (卧 1) - 6 × $\frac{1}{30}$ $\left\{ \begin{array}{l} 59 \\ 9.83 \end{array} \right.$

(3) 主要生产厂家

上海中纺机无级变速器有限公司。选用时, 请与生产厂联系实际产品的性能参数和外形尺寸。

6.2.2 技术参数、外形及安装尺寸

P 型齿链式无级变速器基本型的技术参数见表 16-3-19; 其外形及安装尺寸见表 16-3-20。派生型的有关参数见文献 [4] 或生产厂产品说明书。

表 16-3-19

P 型齿链式无级变速器基本型的技术参数

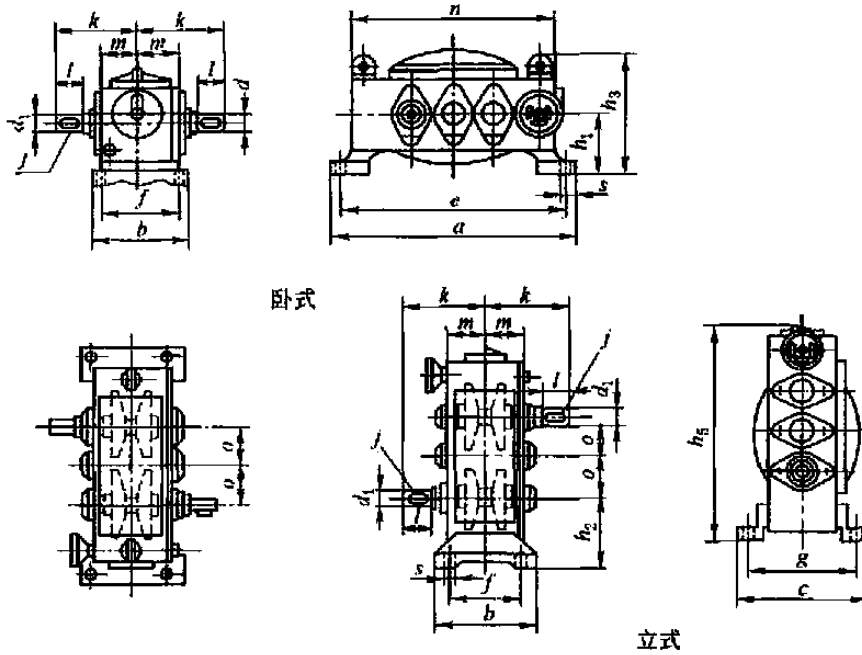
型号	调速比 R_b	输入轴 转速 n_1 / $r \cdot \min^{-1}$	输出轴转速 / $r \cdot \min^{-1}$		输出功率 / kW		输出转矩 / $N \cdot m$		滑片链型号及节数
			n_{2max}	n_{2min}	R_{2max}	R_{2min}	T_{2max}	T_{2min}	
P0	3	720	1245	415	0.559	0.426	4.28	98	P0-010026 节
	4.5		1530	340	0.559	0.349	3.84	9.8	P0-010025 节
	6		1770	295	0.559	0.301	2.94	9.8	P0-010025 节
	3	830	1437	479	0.647	0.456	4.28	9.8	P0-010026 节
	4.5		1706	391	0.647	0.401	3.48	9.8	P0-010025 节
	6		2028	338	0.647	0.346	2.94	9.8	P0-010025 节
P1	3	950	1644	548	0.735	0.559	4.28	9.9	P0-010026 节
	4.5		2016	448	0.735	0.456	3.48	9.8	P0-010025 节
	3		720	1245	415	1.12	0.82	8.3	18.6	P1-010026 节
4.5	1530	340		1.12	0.67	6.9	18.6	P1-010025 节	
6	1770	295		1.12	0.59	5.9	18.6	P1-010025 节	
P2	3	720	1245	415	2.24	1.64	16.7	37.3	P3-010027 节
	4.5		1530	340	2.24	1.34	13.7	37.3	P3-010026 节
	6		1770	295	2.24	1.12	11.8	37.3	P1-010029 节
P3	3	720	1245	415	3.73	2.6	28.5	58.8	P3-010035 节
	4.5		1530	340	3.73	2.06	22.6	58.8	P3-010034 节
	6		1770	295	3.73	1.86	19.6	58.8	P3-010033 节
P4	3	720	1245	415	5.9	4.1	44.1	93.2	P4-010034 节
	4.5		1530	340	5.9	3.35	36.3	93.2	P4-010033 节
	6		1770	295	5.9	2.97	31.4	93.2	P4-010033 节
P5	3	720	1245	415	11.2	7.8	83.4	176.5	P5-010041 节
	4.5		1530	340	11.2	6.3	68.9	176.5	P5-010040 节
	6		1770	295	10.4	5.6	54.9	176.5	P5-010039 节
P6	2.8	625	1045	375	19.4	11.5	176.5	294.2	P6-010040 节
	4		1250	312	18.6	9.7	137.3	294.2	P6-010039 节
	5.6		1300	232	16.4	7.46	117.7	294.2	P6-010038 节

注: 生产厂: 上海中纺机无级变速器有限公司。

表 16-3-20

P 型齿链式无级变速器基本型的外形及安装尺寸

mm



型号	a	b	c	d ₁	e	f	g	h ₁	h ₂	h ₃	h ₅	j	2k	l	m	n	o	s	质量/kg
P0	360	116	242	16	325	85	212	90	90	173	315	键 5 × 25	222	31.5	67.5	296	60	11	
P1	450	185	285	24	410	150	250	132	132	239	421	键 6 × 50	320	60	85	383	80	14	45
P2	540	285	345	28	495	200	300	150	150	276	505	键 8 × 50	360	60	110	460	95	18	75
P3	660	300	390	32	615	265	350	170	170	328	614	键 10 × 70	466	80	134	580	124	18	130
P4	810	345	470	38	755	295	410	200	215	337	753	键 12 × 70	514	80	155	712	152	23	210
P5	930	425	590	45	870	360	530	250	250	482	875	键 14 × 100	652	110	190	830	180	28	385
P6	1150	510	750	60	1060	410	660	300	300	588	1045	键 18 × 125	800	140	230	1000	215	36	725

7 三相并列连杆脉动无级变速器

7.1 概述

图 16-3-11 所示为三相并列连杆脉动无级变速器（国际上称为 GuSa 型），其输入轴是一个具有相位差为 120° 的三相曲轴 1，套筒 2 以间隙配合分别与曲轴 1 和连杆 3 组成回转副和圆柱套筒副，连杆 3 的中部与转动球轴承 5 组成套筒副，而轴承 5 又与滑座 6 组成回转副，连杆 3 的右端与超越离合器的外轭圈 7（摇杆）铰接，因而当曲轴旋转时，连杆 3 既绕着轴承 5 的中心 D 转动又作相对滑动，从而使摇杆 7 绕输出轴 9 的轴线摆动，通过超越离合器使输出轴 9 作单向脉动旋转而将动力输出。通过调速手轮 14 和丝杠 16 来改变滑座 6 的位置，便可改变摇杆 7 的摆动角度 β ，从而实现无级调速。

由于是三相并列布置，所以当第一相开始送进时，第二相处于中间状态，第三相后退，即运动是交替重叠进行的。这就克服了超越离合器溜滑角所带来的误差，使输出速度更为均匀。

三相并列脉动无级变速器具有体积小，重量轻，输入功率小，输出转矩大，传递功率可靠，转速稳定，变速范围宽，操作灵活，可手动、电动，可在静止或运动状态下调速并变换输出轴旋向等优点。

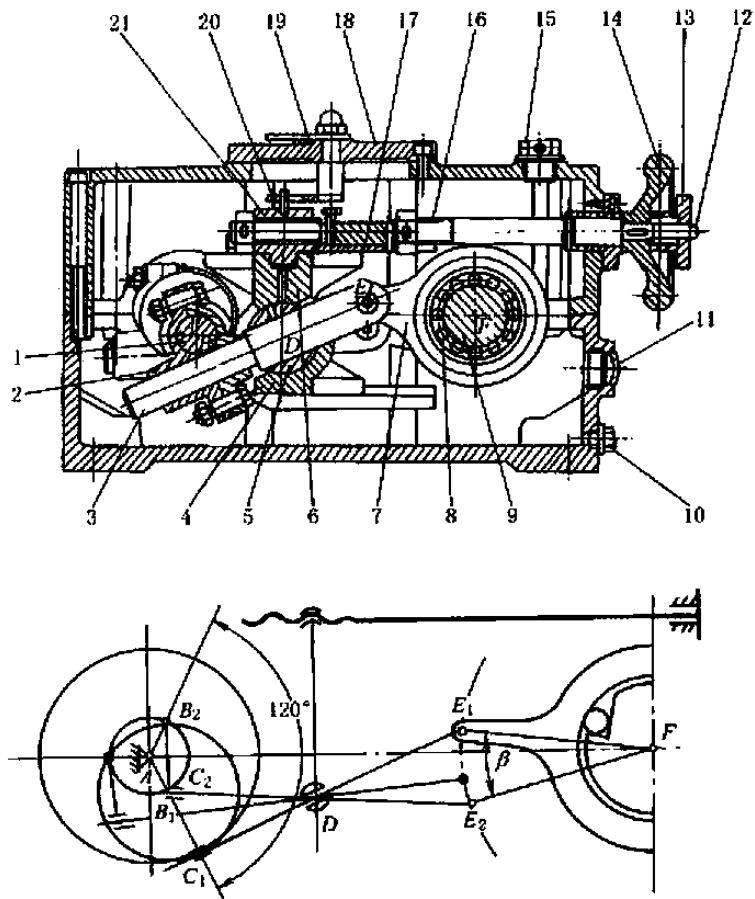


图 16-3-11 三相并联连杆脉动无级变速器传动原理

- 1—曲轴；2—套筒；3—连杆；4—调速架；5—转动轴承；
- 6—滑座；7—外轭圈（插杆）；8—滚柱；9—输出轴（外装超越离合器）；
- 10—放油塞；11—油标；12—螺钉；13—锁紧螺母；14—手轮；
- 15—气塞；16—丝杠；17—调整垫板；18—刻度板；
- 19—指针；20—拨叉；21—调速螺母

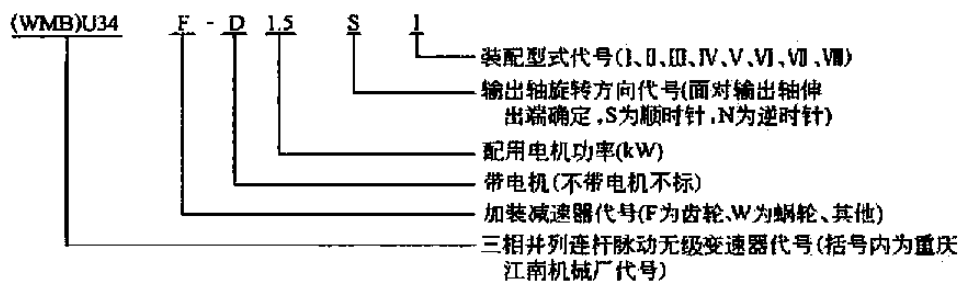
7.2 三相并列连杆脉动无级变速器

7.2.1 适用范围及标记示例

(1) 适用范围

三相并列连杆脉动无级变速器是由三组并列布置、其原动件相位差为 120° 的连杆往复摆动机构和单向超越离合器组成的，适用范围为 $0.75 \sim 5.5 \text{ kW}$ ，工作环境温度 $-20 \sim 40^\circ \text{C}$ ，当环境温度低于 0°C 时，启动前润滑油要预热。

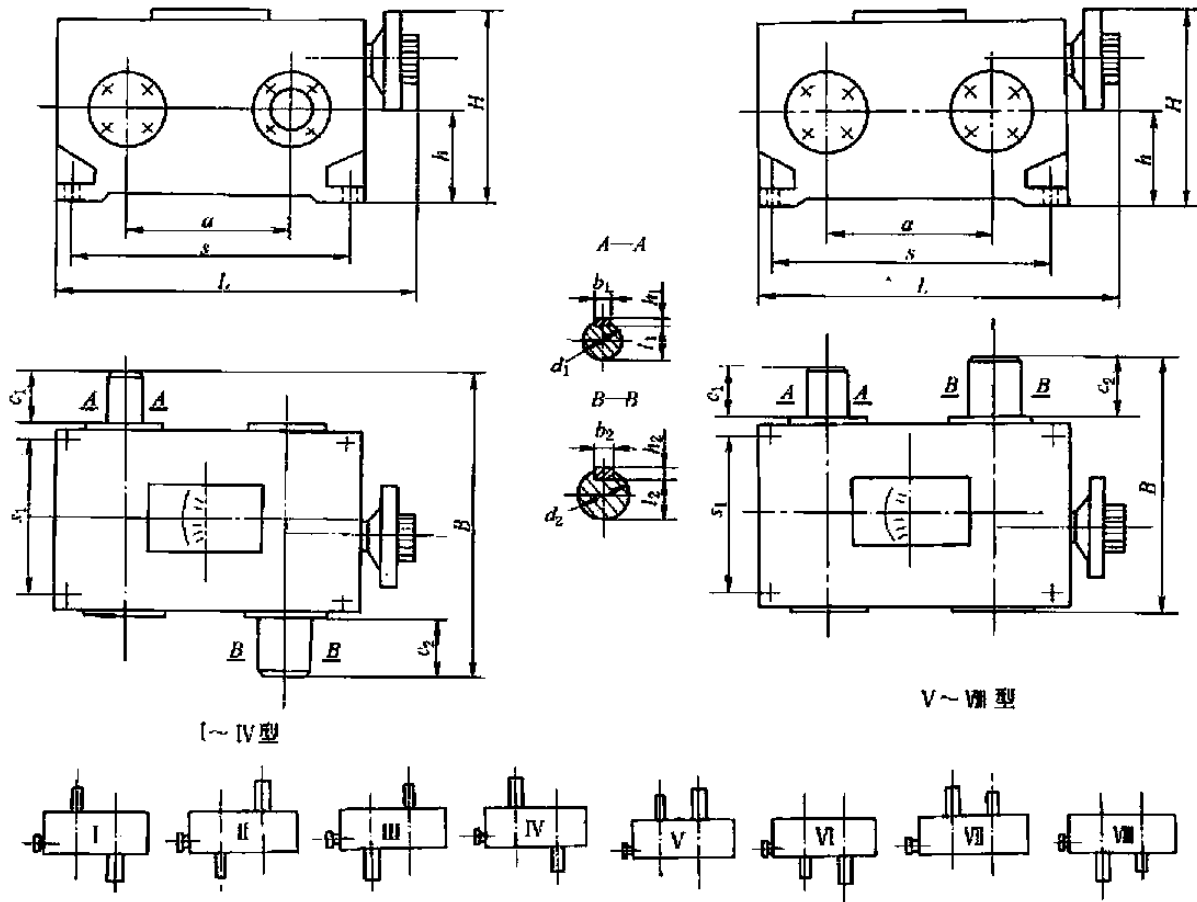
(2) 标记示例



(3) 主要生产厂家

重庆江南机械厂, 宁波市无级变速器厂。选用时, 请与生产厂联系实际产品的性能参数和外形尺寸。

7.2.2 外形、安装尺寸



八种装配型式

表 16-3-21

mm

I ~ IV 装配型式的外形及安装尺寸

机 型	外形尺寸			安 装 尺 寸														
	L	B	H	a	h	s	s ₁	安装螺栓	c ₁	d ₁	b ₁	l ₁	h ₁	c ₂	d ₂	b ₂	l ₂	h ₂
U34-0.75	290	225	170	140	80	228	114	4 × M6	30	20	6	16.5	6	34	25	8	21	7
U34-1.5	410	312	225	180	100	304	146	4 × M8	52	25	8	21	7	60	30		26	
U34-3	595	448	295	300	135	462	196	4 × M10	80	35	10	30	8	100	45	16	49	10
U34-5.5	690	467	340	340	165	540	244	6 × M12	80	40	12	35		100	50	18	53	11

V ~ VIII 装配型式的外形及安装尺寸

U34-0.75	290	195	170	140	80	228	114	4 × M6	30	20	6	16.5	6	34	25	8	21	7
U34-1.5	410	260	225	180	100	304	146	4 × M8	52	25	8	21	7	60	30		26	
U34-3	595	368	295	300	135	462	196	4 × M10	80	35	10	30	8	100	45	16	49	10
U34-5.5	690	387	340	340	165	540	244	6 × M12	80	40	12	35		100	50	18	53	11

7.2.3 性能参数

表 16-3-22

项 目		型 号			
		U34-0.75	U34-1.5	U34-3	U34-5.5
输入功率/kW		0.75	1.5	3	5.5
输入轴转速/ $r \cdot \min^{-1}$		1390	1400	1420	960
最大输出转矩 / $N \cdot m$		40	110	220	400
输出转速范围/ $r \cdot \min^{-1}$	负载	5 ~ 90	0 ~ 135	0 ~ 135	5 ~ 135
	理想	20 ~ 80	20 ~ 100	20 ~ 100	20 ~ 100
滑动率 $\varepsilon/\%$		输出转速 $n_2 = 20r/\min$ 时, $\varepsilon = 35$, $\eta = 40$ 输出转速 $n_2 = 40r/\min$ 时, $\varepsilon = 15$, $\eta = 75$			
效率 $\eta/\%$		输出转速 $n_2 = 150r/\min$ 时, $\varepsilon = 10$, $\eta = 75$			
油池温升/ $^{\circ}C$	空载	30		35	
	承载	35		45	
清洁度/ $mg \cdot L^{-1}$		杂质含量 < 132			
轴伸径向圆跳动/ mm		$d > 18 - 30mm$ 时为 0.04; $d > 30 - 50mm$ 时为 0.05			

注: 1. 油池最高温度不得超过 $85^{\circ}C$ 。

2. 空载运转时, 变速器调节至最高输出转速, 2min 内启动 5 次, 不得出现任何故障。

8 四相并列连杆脉动无级变速器

图 16-3-12 所示为四相并列连杆脉动无级变速器的结构简图 (国际上称为 Zero-Max 型)。输入轴上装有相位差为 90° 的四个偏心盘 (曲柄) 1, 每一相带动由两个四杆机构串接而成的六杆曲柄摇杆机构 (由偏心曲轴 1、连杆 2 和 4、中间摇杆 3 和装有超越离合器的摇杆 5 组成)。当驱动曲轴 1 转动时, 从动摇杆 5 作往复运动, 通过超越离合器将摆动转换成输出轴的单向旋转运动。

改变转速时可旋转调速手轮 9, 通过蜗杆 8 带动蜗轮 7 绕中心 G 转动, 而固接其上的中间摇杆 3 的支点 D 也随之转动, 这就改变了摇杆 3 的位置及机构机架的尺寸比例, 从而导致从动摇杆 5 的摆动量产生变化, 实现调速的目的。

无级变速器在承载或静止状态下, 均可调速。高速时, 变速器呈恒功率特性, 低速时呈恒转矩特性。

四相并列连杆脉动无级变速器是由四组平行布置、其相位差为 90° 的单向超越离合器和曲柄摇杆机构组成的, 适用于输入功率为 $0.18 - 1.22kW$ 、以传递运动为主的恒转矩的变速器。这类变速器制定的标准 JB/T 7515—1994 只有三种规格, 不能满足工业应用的需要, 本节摘编了汉中市朝阳机械有限责任公司产品的性能参数和外形及安装尺寸 (表 16-3-23)。这种变速器主要用于纺织、印刷、食品等行业, 恒转矩变速传动的场合。

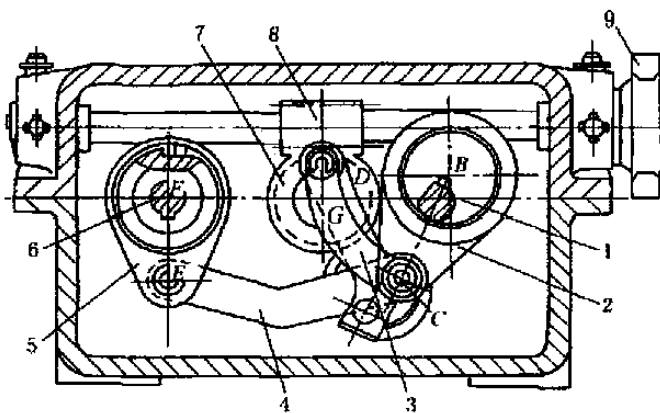


图 16-3-12 四相并列连杆脉动无级变速器

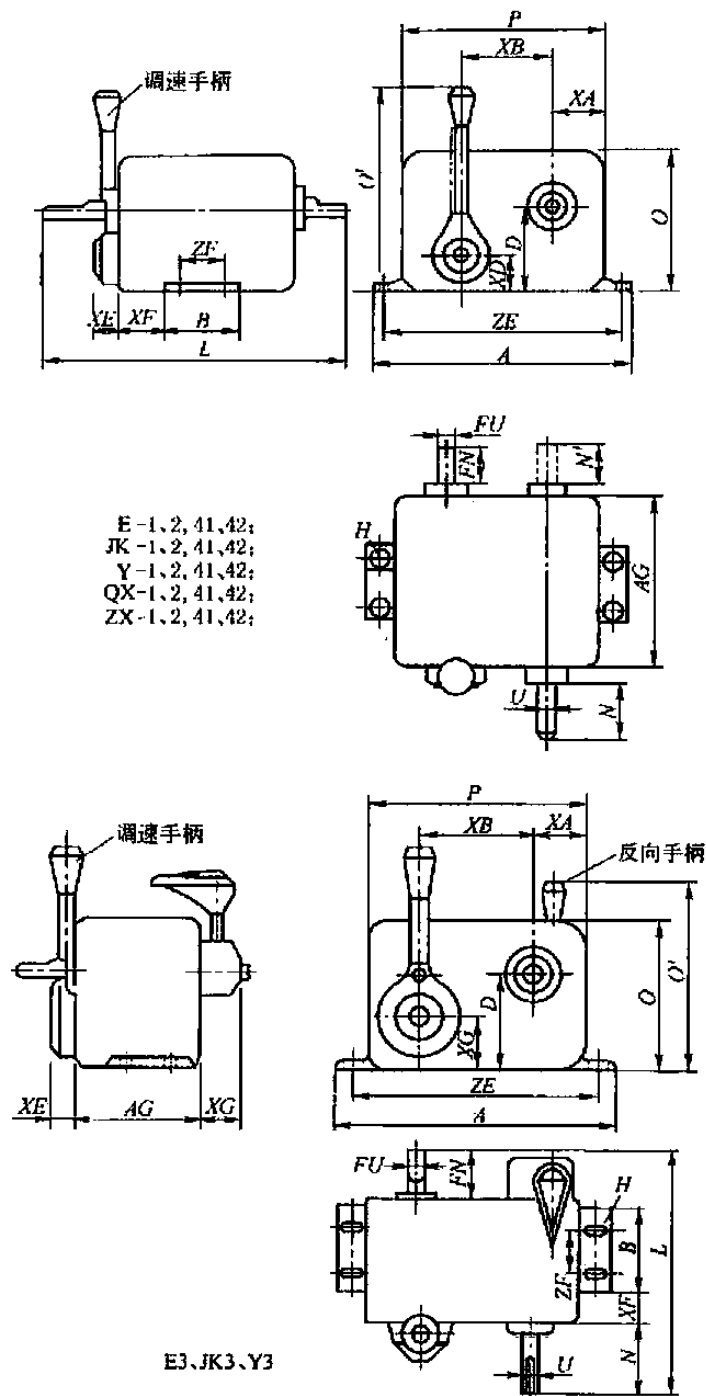
1—曲柄; 2, 4—连杆; 3, 5—摇杆; 6—超越离合器轴;

7—蜗轮; 8—蜗杆; 9—调速手轮

表 16-3-23

四相并列连杆脉动无级变速器的尺寸、性能参数

mm



型号	A	B	D	H	N/N'	O	O'	P	U	FU	FN	AG
E $\frac{1, 2}{41, 42}$	160	50	57.5	7	33/25.4	89.5	134	127	9.525		25.4	73
JK $\frac{1, 2}{41, 42}$												102
Y $\frac{1, 2}{41, 42}$	218	71.8	76.3	10	50.8	116	171.5	169	15.87	12.7	38.1	119.5
QX $\frac{1, 2}{41, 42}$	260	76.2	88.9	10.4	76.2	139.7	209.6	203.2	19.05	15.87	50.8	173
ZX $\frac{1, 2}{41, 42}$	320.6	120	114.8	13	69.85	178.5	254	254	25.4	22.22	51	173.8
E3/JK3	160	50	57.5	7	40/43	89.5	115	127	9.525		25.4	83/110
Y3	210	71.8	76.3	10	50.8	116	170	169	15.87	12.7	38.1	149

型号	L	XA	XB	XD	XE	XF	XC	ZE	ZF	转矩/N·m	功率/kW
E $\frac{1, 2}{41, 42}$	116/109	31.75	63.5	32.1	14.3	19	12	139	25.4	1.4	0.18~0.25
JK $\frac{1, 2}{41, 42}$	146/138					47.5				2.8	
Y $\frac{1, 2}{41, 42}$	175.3	40	82.55	33.38	19	45.6	12	191	48	6.8	0.37
QX $\frac{1, 2}{41, 42}$	263/260	50.8	90.2	40.64	24	48	12.7	235	50.8	11.5	0.75
ZX $\frac{1, 2}{41, 42}$	327.5/257.7	63.5	77.7	25	53.7	26.8	12.5	284	95	22.6	1.22
E3/JK3	148/178	31.75	63.5	32.1	14.3	12	25.4	139	25.4	1.4/2.8	0.18~0.25
Y3	238	40.1	88.9	33.3	19	12	40	191	48	6.8	0.37

注：1. 输入轴转速 n_1 应在 600~2000r/min 范围内。输出转速范围为 $0 \sim n_1/4.5$ 。

2. 变速器为恒转矩型，应按输出转矩值和输出方向选定变速器型号；功率指输入功率。

3. E1、E2、JK1、JK2 型设有过载保护装置。1、41 型为逆时针向输出，2、42 型为顺时针向输出，3 型正、反向均可输出。

4. 本变速器也有丝杠调速的型式。1、2 型输入、输出轴在箱体两侧，41、42 型输入、输出轴在箱体同侧。

5. 生产厂：汉中市朝阳机械有限责任公司。

9 多盘式无级变速器

9.1 概述

多盘式无级变速器 (JB/T 7668—1995) 属于通用型机械无级变速传动装置。它有基本型 (P 型) 和大变速范围型 (PS 型为两级无级变速) 两种，其派生型有多种，输出轴端与齿轮减速装置相连的称为 PZ 型，实质上是减变速器，传动比小于 5 时用齿轮传动，传动比大于 11 时用摆线针轮传动。输出轴端加装齿轮变速装置者称为 PH 型。

图 16-3-13 所示为弹簧加压式多盘无级变速器的传动原理。变速器主要由锥形盘组 3、T 形盘组 4、加压装置 2 和调速机构 5 等组成。一组 (m 片) 锥形盘组 3 与 n 组 (通常 $n=3$) T 形盘组 4 (每组 $m-1$ 片) 交错排列并分别套装在轴 1 和 6 上，由加压弹簧 2 (或凸轮) 使它们相互压紧。摆动花键轴 6 端部装有齿轮 7，分别与三个定轴齿轮 12 啮合，并通过定轴齿轮 12 与中心齿轮 10 啮合，将力传给输出轴 9。

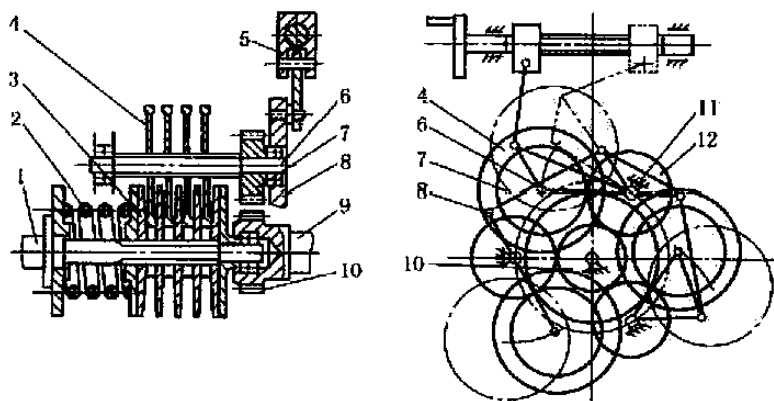


图 16-3-13 弹簧加压式多盘无级变速器传动原理

1—输入轴；2—加压装置；3—锥形盘组；4—T 形盘组；5—调速机构；6—摆动花键轴；7—摆动齿轮；8—调速连杆机构；9—输出轴；10—中心齿轮；11—定轴；12—定轴齿轮

调速时，转动调速机构5的手轮，经调速连杆机构8使装有T形盘组的摆动轴6绕定轴11转动（这时轮12、7仍保持啮合），以改变轴1和6之间的中心距，从而改变了T形盘组和锥形盘组的接触半径，实现无级变速。

大功率（转矩）多盘无级变速器采用凸轮自动加压装置，摩擦盘间的压紧力少量来自弹簧，由凸轮产生的压紧力是随着负载转矩的增减而呈正比地自动增减，因而承受过载和冲击的能力较强，滑动率较小。

其承载能力和运动学计算见文献[1]。

9.2 特点、工作特性和选用

(1) 特点

① 承载能力大。由于摩擦盘数量多，共有 $n \times m$ 个接触点，在同样的压紧力作用下，可传递较大的功率或转矩。

② 寿命长。由于接触处是斜度很小的圆锥面，其接触区的综合曲率很小，表面接触应力小，在传动过程中是通过接触表面间一层强韧油膜的牵引力来传递动力的，因而承载能力和寿命较长。

③ 结构紧凑，同轴传动，使用方便。作用在摩擦盘间的压紧力在轴向相互抵消，轴承受力较小。

④ 转动部分转动惯量小，无不平衡零件，因而振动小，运转平稳。

(2) 工作特性和选用

这种变速器分为恒转矩和恒功率两种工作特性。恒转矩型用于工作机在全变速范围内负载转矩基本不变的场合，其功率随转速成正比变化。恒功率型的输出转矩在全变速范围内与输出转速近似于呈反比的关系，而功率恒定不变。

大变速范围型变速器实际上是两台一级变速器串联装在同一机体中的两级无级变速器，其变速比为10-12，其输出特性介于恒转矩与恒功率之间。

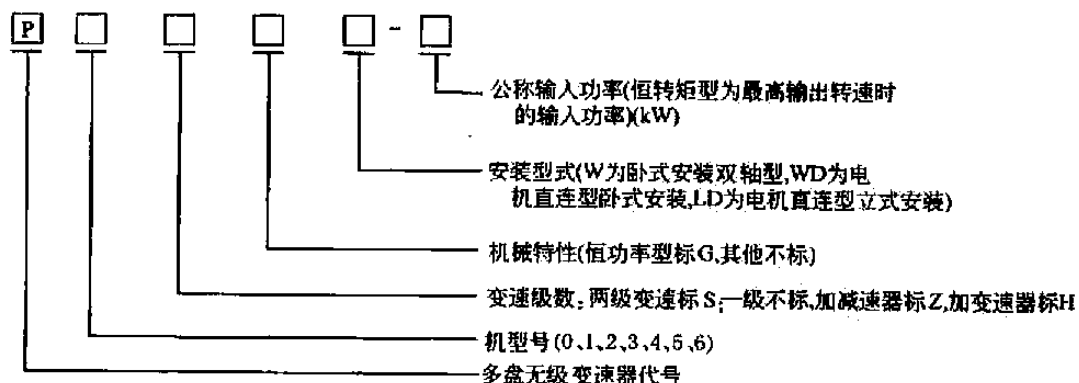
目前国内生产的多盘无级变速器的输入功率为0.15~30kW，国际上最大的输入功率可达150kW。考虑到振动、噪声及寿命等因素，对变速器的输入转速进行了规定： $P < 7.5\text{kW}$ ， $n_1 \leq 1500\text{r/min}$ ； $P = 11 \sim 30\text{kW}$ ， $n_1 \leq 1000\text{r/min}$ ； $P > 37\text{kW}$ ， $n_1 \leq 750\text{r/min}$ 。变速器的输入转速不应高于规定要求，当输入转速低于规定值时，其允许的输入功率应按输入转矩不变的原则予以换算，即

允许输入功率/实际输入转速 = 公称输入功率/公称输入转速

为了提高变速器的使用寿命，变速器一般应在低速状态下停车，以保证启动时能承受更大的载荷，若工作机所受冲击载荷较大且启制动频繁时，应在变速器与工作机之间安装缓冲或过载保护装置。

9.3 型号标记、技术参数和外形、安装尺寸

(1) 型号标记



① 2号机型一级变速器，电机直连型立式安装，恒功率型，输入功率2.2kW。P2GLD-2.2

② 1号机型两级变速器，电机直连型卧式安装，恒转矩型，输入功率1.5kW。P1SWD-1.5。

(2) 技术参数

基本型变速器的技术参数见表16-3-24。

表 16-3-24

基本型变速器的技术参数

机型号	公称输入功率/kW		公称输入转速 /r·min ⁻¹	传动比区间	变速比	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	
	低速	高速						
0	0.2		1500	0.2~0.8	1:4	300~1200	1.3~4.8	
	0.4						2.6~8.5	
	0.125	0.2					1.3~2.8	
	0.25	0.4					2.6~5.2	
1	0.4			0.23~0.76	1:3.3	345~1140	2.6~8.5	
	0.75						5.1~16.2	
	0.4	0.75					5.1~8.2	
	0.75	1.5					10.6~15.6	
2	1.5			1000	0.2~0.8	1:4	300~1200	9.8~37.2
	2.2							14.5~54.8
	1.5	2.2						14.5~35.7
	2.2	4						24.9~52.5
3	4		0.28~1.12		1:4	280~1120	24.9~91.8	
	4	5.5					37.1~89.2	
4	5.5		0.27~1.08		1:4	270~1080	37.1~140	
	7.5						49.5~186	
	5.5	7.5					49.5~131	
	7.5	11					74.4~170	
5	11		0.27~1.08		1:4	270~1080	74.4~290	
	11	15					110~282	
6	15		0.27~1.08	1:4	270~1080	110~414		
	22					161~610		
	15	22				161~397		
	22	30				225~585		

注：1. 高、低速时输入功率不变者为恒功率型。
2. 生产厂：大连橡胶塑料机械厂。

PS 型、PZ 型和 PH 型变速器的技术参数及外形尺寸可查阅文献 [4] 或生产厂产品使用说明书。

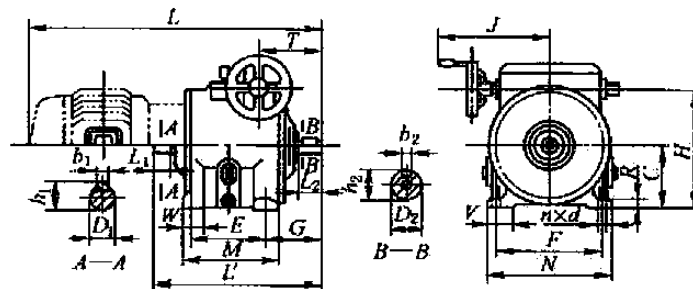
(3) 外形、安装尺寸

基本卧式双轴型与电机直连型变速器的外形及安装尺寸见表 16-3-25 和表 16-3-26，基本立式电机直连型变速器的外形及安装尺寸见表 16-3-27。

表 16-3-25

基本卧式双轴型变速器外形及安装尺寸

mm



机型号	安装尺寸							轴伸连接尺寸							外形尺寸								
	F	E	G	V	W	n	d	输出轴				输入轴			C	H	M	N	R	J	T	L'	
								D ₂	b ₂	h ₂	L ₂	D ₁	b ₁	h ₁									L ₁
0	165	85	86	40	35	4	11	19	6	21.5	40	16	5	18	30	100	240	113	190	18	150	96	242
1	190	105	119	50	—	4	12	20	6	22.5	35	20	6	22.5	40	130	275	135	220	22	168	110	305
2	260	180	135	60	55	4	14	28	8	31	60	25	8	28	50	160	352	230	300	25	235	153	397
3	310	150	160	80	55	4	14	40	12	43	70	28	8	31	50	180	406	200	350	25	296	185	460
4	400	260	180	90	70	4	22	45	14	48.5	90	35	10	38	55	240	512	310	450	35	296	208	580
5	500	180	199	95	50	4	22	50	14	53.5	100	48	14	51.5	90	270	608	230	550	40	285	209	633
6	630	280	217	150	100	4	22	55	16	59	120	48	14	51.5	110	330	726	330	680	50	340	232	795

表 16-3-26

基本卧式电机直连型变速器外形及安装尺寸

mm

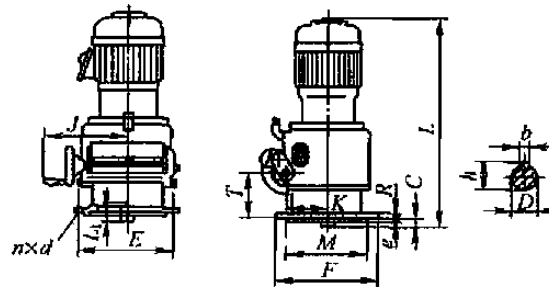
机型号	输入功率/kW	安装尺寸							轴伸连接尺寸				外形尺寸							
		F	E	G	V	W	n	d	D ₂	b ₂	h ₂	L ₂	C	H	M	N	R	J	T	L
0	0.2	165	85	86	40	35	4	11	19	6	21.5	40	100	240	113	190	18	150	96	409
	0.4																			434
1	0.4	190	105	119	50	—	4	12	20	6	22.5	35	130	275	135	220	22	168	110	547
	0.75																			557
	1.5																			607
2	1.5	260	180	135	60	55	4	14	28	8	31	60	160	352	230	300	25	235	153	714
	2.2																			759
	4																			779
3	4	310	150	160	80	55	4	14	40	12	43	70	180	406	200	350	25	296	185	862
	5.5																			937
4	5.5	400	260	180	90	70	4	22	45	14	48.5	90	240	512	310	450	35	296	208	1055
	7.5																			1095

注：卧式电机直连型变速器外形尺寸图见表 16-3-25 图。

表 16-3-27

基本立式电机直连型变速器外形及安装尺寸

mm



机型号	输入功率/kW	E	M	n	d	e	C	D	b	h	L ₁	F	T	J	K	R	L
0	0.2	200	170	6	11	5	5	19	6	21.5	35	225	91	150	98	12	410
	0.4																435
1	0.4	260	225	6	14	5	48	20	6	22.5	40	290	92	150	108	14	577
	0.75																587
	1.5																637
2	1.5	315	280	6	14	5	34	28	8	31	62	350	173	250	140	15	765
	2.2																810
	4																830
3	4	410	370	6	18	6	43	40	12	43	70	450	169	300	170	21	867
	5.5																922
4	5.5	440	400	6	22	5	65	45	14	48.5	90	485	227	300	212	22	1100
	7.5																1140
	11																1225
5	11	510	460	8	18	8	70	50	14	53.5	100	550	228	300	265	25	1293
	15																1358
6	15	590	520	8	22	10	85	55	16	59	120	650	257	340	325	30	1509
	22																1574
	30																1644

参 考 文 献

- 1 阮忠唐主编. 机械无级变速器. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 2 阮忠唐主编. 机械无级变速器设计与选用指南. 北京: 化学工业出版社, 2002
- 3 Niemann G, Winter H. Maschinenelemente. Bd II, III. Berlin: Springer-Verlag, 1983
- 4 机械传动装置选用手册编辑委员会. 机械传动装置选用手册. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 5 Heilich, Frederick W, Shube Eugene E. Traction Drive-Selection and Application. New York and Basel; Marcel Dekker Inc., 1983
- 6 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册. 传动设计卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- 7 现代机械传动手册编辑委员会. 现代机械传动手册. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 8 杨辉等. 液体静压谐波摩擦传动装置的研制. 制造技术与机床, 2000, (4)
- 9 饶振钢. 封闭谐波行星齿轮减速器的设计研究. 传动技术. 2000, (2)



第 17 篇 常用电机、电器及电动 (液)推杆与升降机



主要撰稿人 王德夫 陈应斗 邹舜卿

审 稿 吴豪泰 王德夫

HANDBOOK

第 1 章 常用电机

1 电动机的特性、工作状态及其发热与温升

表 17-1-1

电动机的机械特性

类型	特性公式	符 号	特性曲线	性 能
交 流 电 动 机	$P = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi$ (三相对称负载时 $P = 3U_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3} U I \cos\varphi$)	P ——输入功率, W		(1) 笼型电动机 简单, 耐用, 可靠, 易维护, 价格低, 特性硬, 但启动和调速性能差, 轻载时功率因数低。一般无调速要求的机械广泛采用。在可变频率电源供电下可平滑调速。变极数多速电动机为有(或多)级变速调节, 且体积大 (2) 绕线型电动机 因有滑环, 比笼型电动机维护麻烦, 价格也稍贵, 转子串电阻的特性属软特性, 随负载转矩的增加, 电动机转速显著下降, 但其启动转矩大, 启动时功率因数高, 且可进行小范围的非连续速度调节, 控制设备简单, 故仍使用于各种需简单调速的生产机械, 如提升机、起重机及轧钢机械等, 或电网容量小、启动次数多的机械
	$T = \frac{m_1}{\omega_s} \times \frac{U_1^2 r_2' s}{(r_1 s + r_2')^2 + s^2 x_k^2}$	m_1 ——相数		
	$s_{cr} = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$	U_1 ——定子相电压, V		
	$x_k = x_1 + x_2'$	U ——线电压, V		
	$T_{cr} = \pm \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_s (\sqrt{r_1^2 + x_k^2} \pm r_1)}$	I_1 ——定子相电流, A		
	$T = \frac{2T_{cr}(1+q)}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s} + 2q}$	I ——线电流, A		
	$s_{cr} = s_N (\lambda_T + \sqrt{\lambda_T^2 - 1})$	$\cos\varphi$ ——功率因数		
	$\lambda_T = \frac{T_{cr}}{T_N}$	T ——电磁转矩, N·m		
	$T_N = \frac{m_1}{\omega_s} \times \frac{U_1^2 r_2'}{(r_1 + r_2')^2 + x_k^2}$	r_1 ——定子相电阻, Ω		
	$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$	r_2' ——折算到定子侧的转子相电阻, Ω		
	$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60}$	x_1 ——定子电抗, Ω		
	$n_s = \frac{60f_1}{p}$	x_2' ——折算到定子侧的转子电抗, Ω		
	$q = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$ 大电动机的 r_1 很小, 可以忽略, 则	x_k ——短路电抗, Ω		
	$s_{cr} \approx \pm \frac{r_2'}{x_k}$	s ——转差率		
	$T_{cr} \approx \pm \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_s x_k}$	s_N ——额定转差率		
$T = \frac{2T_{cr}}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s}}$	s_{cr} ——临界转差率			
$T_s = \frac{m_1}{\omega_s} \times \frac{U_1^2 r_2'}{r_2'^2 + x_k^2}$	λ_T ——转矩过载倍数			
	T_N ——额定转矩, N·m			
	T_{cr} ——临界转矩, N·m			
	T_s ——启动转矩, N·m			
	ω ——角速度, rad/s			
	ω_s ——同步角速度, rad/s			
	n_s ——同步转速, r/min			
	f_1 ——供电频率, Hz			
	p ——磁极对数			
	q ——系数			

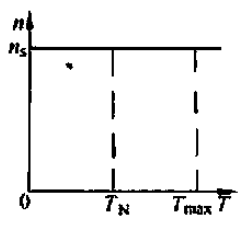
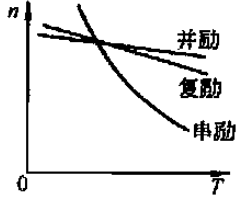
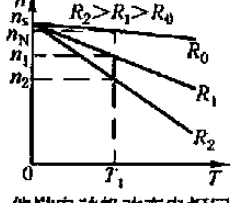
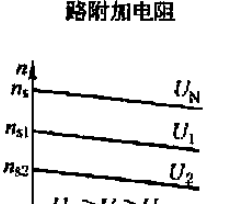
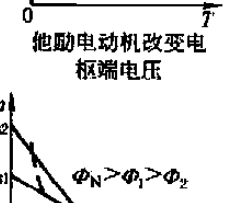
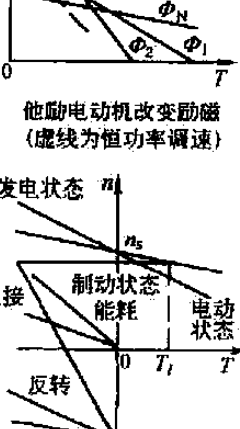
类型	特性公式	符 号	特性曲线	性 能
交流电动机 同步电动机	$n_s = \frac{60f_1}{p}$ $T_s = \frac{9.55m_1 U_1 E_0 \sin\theta}{n_s x_s}$ $T_{\max} = \frac{9.55m_1 U_1 E_0}{n_s x_s}$	E_0 —— 空载电势, V θ —— 电势与电压的相角差 T_s —— 同步转矩, N·m x_s —— 同步电抗, Ω		<p>负载转矩在允许限度内变化时,其转速保持恒定,功率因数可调节。价格贵,一般只在不需调速的高压、低速、大容量的机械上采用,能提高功率因数。变频器供电可平滑调速,用于大型需调速的机械,如轧钢机、提升机、船用主传动等机械</p>
直流电动机	$E = K_e \Phi n = C_e n$ $K_e = \frac{pN}{60a}$ $T = K_m \Phi I_a = C_m I_a$ $K_m = \frac{K_e}{1.03}$ $n = \frac{U - I_a (R_a + R)}{K_e \Phi}$ $n_s = \frac{U}{K_e \Phi}$ $n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a + R}{K_m K_m \Phi^2} T$ $T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N}$	E —— 反电势, V Φ —— 磁通, Wb K_e —— 电动机结构常数 K_m —— 电动机结构常数 N —— 电枢绕组的导体总数 a —— 电枢绕组的支路对数 I_a —— 电枢电流, A U —— 电枢电压, V T —— 电磁转矩, N·m R_a —— 电枢电阻, Ω R —— 电枢回路附加电阻, Ω T_N —— 额定转矩, N·m T_l —— 负载转矩, N·m P_N —— 额定功率, kW C_e —— 电动机电势常数 C_m —— 电动机转矩常数	    	<p>调速性能好,范围宽,在电子装置控制下,能充分适应各种机械负载特性的需要,但其价格贵,维护复杂</p> <p>串励电动机的特点是启动转矩大、过载能力大、特性软,适用于电力牵引机械和起重机等</p> <p>复励电动机的启动转矩和过载能力比并励电动机大,但调速范围稍窄。接成积复励时,适用于启动转矩很大、负载具有强烈变化的设备</p>

表 17-1-2

电机的定额及工作制 (摘自 GB 755—2000)

定额	工作制	负载图	负载持续率 FC	附注
连续	连续工作制 S1			<p>P——负载 P_v——电气损耗 T——在额定条件下运行时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>
短时	短时工作制 S2			<p>P——负载 P_v——电气损耗 Δt_p——恒定负载运行时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间 短时定额时限优先采用 10min、30min、60min 或 90min</p>
	断续周期工作制 S3		$FC = \frac{\Delta t_p}{T_C} \times 100\%$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_C——负载周期 Δt_p——恒定负载运行时间 Δt_R——停机和断能时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>
周期工作	包括启动的断续工作制 S4		$FC = \frac{\Delta t_D + \Delta t_p}{T_C} \times 100\%$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_C——负载周期 Δt_D——启动/加速时间 Δt_p——恒定负载运行时间 Δt_R——停机和断能时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>
	包括电制动的断续工作制 S5		$FC = \frac{\Delta t_p}{T_C} \times 100\%$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_C——负载周期 Δt_p——恒定负载运行时间 Δt_D——启动/加速时间 Δt_r——电制动时间 Δt_R——停机和断能时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>

定额	工作制	负载图	负载持续率 FC	附注
	连续周期工作制 S6		$FC = \frac{\Delta t_p}{T_c} \times 100\%$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_c——负载周期 Δt_p——恒定负载运行时间 Δt_v——空载运行时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>
周期工作	包括电制动的连续周期工作制 S7		$FC = 1$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_c——负载周期 Δt_p——恒定负载运行时间 Δt_D——启动/加速时间 Δt_F——电制动时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>
	包括负载与转速相应变化的连续周期工作制 S8		$FC_1 = \frac{\Delta t_{p1} + \Delta t_{p2} + \Delta t_{p3}}{T_c} \times 100\%$ $FC_2 = \frac{\Delta t_{F1} + \Delta t_{F2} + \Delta t_{F3}}{T_c} \times 100\%$ $FC_3 = \frac{\Delta t_{F2} + \Delta t_{F3}}{T_c} \times 100\%$	<p>P——负载 P_v——电气损耗 T_c——负载周期 Δt_{p1}, Δt_{p2}, Δt_{p3}——在额定条件下运行时间 Δt_{F1}, Δt_{F2}——电制动时间 Δt_D——启动/加速时间 θ——温度 θ_{max}——在工作周期中达到的最高温度 t——时间</p>

注：周期工作制（S3～S8），除另有规定，工作周期的持续时间为10min，负载持续率应为下列数值之一：15%，25%，40%，60%。

表 17-1-3 电动机的发热与温升

损耗与发热	电动机运行过程中有能量损耗，可分为固定损耗和可变损耗。固定损耗包括铁损及机械损耗，与负载无关，一般型电动机此项数值较小。可变损耗主要是铜损，它与电枢电流的平方成正比。损耗导致发热	
电动机的温升	发热达到热平衡时电动机温度与环境温度之差称为电动机的温升	
电动机的热平衡方程式	$Qdt = Cdr + Ardt$ <p>式中 Q——单位时间内电动机所产生的热量，kJ/s，$Q = \Delta P$ ΔP——电动机功率损耗，kW C——电动机热容量，即电动机温度升高1℃所需的热量，kJ/℃ A——电动机的散热率，即电动机与周围环境温度相差1℃时，单位时间内电动机散发到周围空气中的热量，kJ/(s·℃) τ——电动机温升，℃ 在 t=0, τ=0 的初始条件下： $\tau = \tau_u (1 - e^{-\frac{t}{T}})$</p>	$\tau_u = \frac{Q}{A}$ $T = \frac{C}{A}$ <p>式中 τ_u——电动机温升稳定值，℃ T——电动机发热时间常数，s 可以看出，温升按指数规律随时间的增加而逐渐趋于稳定值 Q的大小主要取决于铜损(I²R)，也即主要决定于负载的大小。T与电动机的构造尺寸有关。小型电动机一般为0.5h左右，大型电动机一般为3~4h。电动机的冷却时间常数为发热时间常数的2~3倍，采用强迫通风时，两者相等</p>

续表

电动机的绝缘等级与允许温升

电动机的绝缘等级决定于所采用的绝缘材料的耐热等级(热分级)。若电动机的主要部件采用不同耐热等级的绝缘材料,则其绝缘等级按绝缘材料的最低耐热等级考核。一般用途的中小型电动机常选用较低的耐热等级的绝缘材料,如E级、B级;有特殊要求的如高温环境、频繁启动的电动机,则采用较高耐热等级的绝缘材料。但有时为了提高电动机的使用寿命与可靠性,往往也采用较高耐热等级的绝缘材料,但其温升按较低等级考核

电动机的允许温升决定于:电动机的绝缘等级;电动机的使用环境(如海拔和环境温度等);电动机各绕组的冷却方法;绕组温升的测量方法。中小型电动机各部件的温升限值及测量方法见表17-1-4。电动机轴承允许温升:滚动轴承为95℃,滑动轴承为80℃

电动机铭牌标示的额定功率应理解为,当电动机在额定条件下长期运行时,因发热而升高的温度恰好达到制造厂所规定的允许温升(即额定温升)数值。电动机的选择与使用,均以不超过额定温升为原则

表 17-1-4

空气间接冷却绕组的温升限值 (摘自 GB 755—2000)

K

项号	电动机部件	热 分 级														
		A			E			B			F			H		
		测 量 方 法														
Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD		
1a)	输出 5000kW (或 kV·A) 及以上电动机的交流绕组	—	60	65 ^①	—	—	—	—	80	85 ^①	—	100	105 ^①	—	125	130 ^①
1b)	输出 200kW (或 kV·A) 以上但小于 5000kW (或 kV·A) 电动机的交流绕组	—	60	65 ^①	—	75	—	—	80	90 ^①	—	105	110 ^①	—	125	130 ^①
1c)	项 1d) 或项 1e) 以外的输出为 200kW (或 kV·A) 及以下电动机的交流绕组 ^②	—	60	—	—	75	—	—	80	—	—	105	—	—	125	—
1d)	额定输出小于 600W (或 V·A) 电动机的交流绕组 ^②	—	65	—	—	75	—	—	85	—	—	110	—	—	130	—
1e)	无扇自冷式电动机(IC410)的交流绕组和/或囊封式绕组 ^②	—	65	—	—	75	—	—	85	—	—	110	—	—	130	—
2	带换向器的电枢绕组	50	60	—	65	75	—	70	80	—	85	105	—	105	125	—
3	除项 4 外的交流和直流电动机的磁场绕组	50	60	—	65	75	—	70	80	—	85	105	—	105	125	—
4a)	同步感应电动机以外的用直流励磁绕组嵌入槽中的圆柱形转子同步电动机的磁场绕组	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	135	—
4b)	一层以上的直流电动机静止磁场绕组	50	60	—	65	75	—	70	80	90	85	105	110	105	125	135
4c)	交流和直流电动机单层低电阻磁场绕组以及一层以上的直流电动机补偿绕组	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
4d)	表面裸露或仅涂清漆的交流和直流电动机的单层绕组以及直流电动机的单层补偿绕组 ^③	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—

① 对高压交流绕组的修正可适用于这些项目, 见 GB 755 表 8 项 4。

② 对 200kW (或 kV·A) 及以下, 绝缘等级为 A、B、E 和 F 级的电动机绕组, 如用叠加法, 温升限值可比电阻法高 5K。

③ 对于多层绕组, 如下面各层均与循环的初级冷却介质接触, 也包括在内。

注: Th 为温度计法; R 为电阻法; ETD 为埋置检温计法。

2 电动机的选择

2.1 选择电动机应综合考虑的问题

① 根据机械的负载性质和生产工艺对电动机的启动、制动、反转、调速以及工作环境等要求，选择电动机类型及安装方式。

② 根据负载转矩、速度变化范围和启动频繁程度等要求，并考虑电动机的温升限制、过载能力和启动转矩，选择电动机功率，并确定冷却通风方式。所选电动机功率应大于或等于计算所需的功率，按靠近的功率等级选择电动机，负荷率一般取 0.8~0.9。过大的备用功率会使电动机效率降低，对于感应电动机，其功率因数将变坏，并使按电动机最大转矩校验强度的生产机械造价提高。

③ 根据使用场所的环境条件，如温度、湿度、灰尘、雨水、瓦斯以及腐蚀和易燃易爆气体等考虑必要的保护方式，选择电动机的结构型式。

④ 根据企业的电网电压标准，确定电动机的电压等级和类型。

⑤ 根据生产机械的最高转速和对电力传动调速系统的过渡过程性能的要求，以及机械减速机构的复杂程度，选择电动机额定转速。

除此之外，选择电动机还必须符合节能要求，考虑运行可靠性、设备的供货情况、备品备件的通用性、安装检修的难易，以及产品价格、建设费用、运行和维修费用、生产过程中前期与后期电动机功率变化关系等各种因素。

2.2 电动机选择顺序

选择电动机的顺序，一般可参考图 17-1-1 进行。

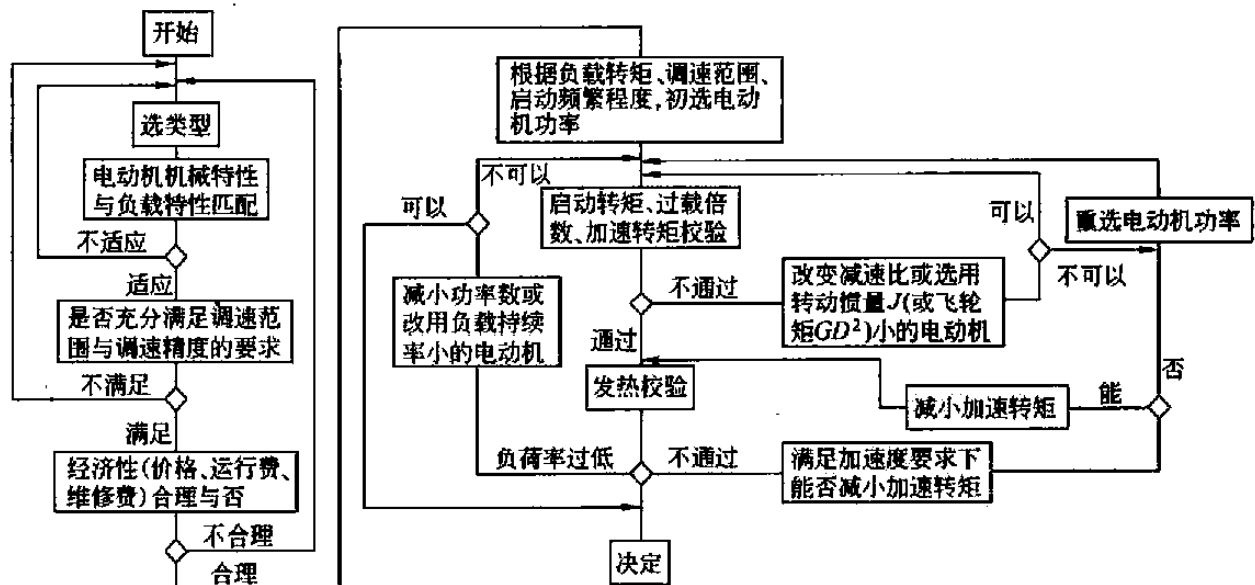


图 17-1-1

2.3 电动机类型选择

表 17-1-5

电动机类型选择

负载类别	选用电动机类型
恒转矩和通风机负载特性的机械	采用机械特性为硬特性的电动机较适宜
恒功率负载特性的机械	采用可弱磁调速直流电动机、变频调速电动机或带有机械变速的交流异步电动机

续表

负载类别		选用电动机类型		
无调速要求的机械	负载平稳,对启动、制动无特殊要求的长期运行的机械	小功率	采用普通笼型电动机	
		大功率	采用同步电动机、异步电动机	
	带周期性变动负载的机械(如带飞轮),或启动条件沉重时	大中功率		采用绕线型电动机
		小功率,经过载能力及启动条件校验通过的		采用高转差率电动机
		单纯因启动条件沉重的机械	经启动条件校验通过	采用双笼型或深槽型电动机
	若启动校验通不过,或启动时电网压降过大		采用绕线型电动机	
某些断续运行的机械虽无调速要求,但采用交流电动机在发热、启动、制动特性等方面不能满足要求或技术经济指标过低时		采用直流电动机		
需调速的机械	只要求几种转速的小功率机械		采用变换定子极数的多速(双速、三速、四速)笼型电动机	
	对调速平滑程度要求不高		采用绕线型电动机	
	调速范围在 1:3 以上	需连续稳定平滑调速的机械		采用直流电动机或变频调速电动机
		需启动转矩大的机械(如电车、牵引机车)		采用直流串励电动机或变频调速电动机
	某些特殊场所(如要求防爆)又需平滑调速时		采用由变频电源供电的特殊笼型电动机	
	某些要求调速范围不大(1:2 左右)的大功率机械(如风机、水泵)以及无频繁启动、制动要求和无冲击性负载的机械		采用带有串级调速装置的绕线型电动机(可使电能回馈电网,提高经济指标)或变频调速笼型电动机	
要求调速范围很大,且具有恒功率负载特性的机械		采用可弱磁调速直流电动机、变频调速交流电动机或采用机械电气联合调速型式(可节省电动机装机容量)		

表 17-1-6

电动机类型选择参考表

负载性质		生产机械工作状态					选用电动机类型				
平稳	冲击	长期	短时	断续	调速	飞轮储能	异步电动机		同步电动机	直流电动机	
							笼型	绕线型		他励	串励
✓		✓					✓	②	①		
✓			✓				✓				
✓	✓			✓			✓			✓	✓
	✓			✓		✓		✓		✓	
✓					✓		⑥	③		✓	⑤
					✓		③④	③		✓	✓

① 对于小功率机械,或启动次数较多而电网容量不大易受冲击时,不推荐采用同步电动机。对于驱动球磨机、压缩机等大功率不要求调速的低转速的机械,常采用同步电动机。

② 对于大中型机械,受电网容量限制时,可选用绕线型电动机。

③ 异步电动机需带调速装置(一般为转子外接电阻方式,还有采用滑差离合器、涡流制动器、串级或变频等方式)。

④ 小功率机械只要求几级速度时,采用多速笼型电动机。

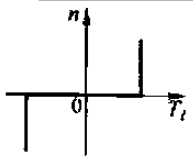
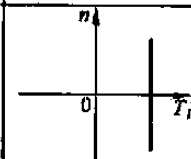
⑤ 需要启动转矩大的机械(如电车、牵引机车等)采用直流串励电动机。

⑥ 随着变频装置的发展,越来越多采用笼型电动机,用于调速设备,也已有专门用于变频调速的笼型电动机。

注:笼型电动机按其转矩特性分类。一般用途电动机采用普通笼式或深槽笼转子,其转矩特性适用一般用途,如水泵、风机、机床等负载;高启动转矩电动机常采用深槽笼或双笼转子,常用于卷扬机、传送带、辊道、电梯等负载;高转差率电动机常采用高阻笼转子,常用于带飞轮的冲压设备;力矩电动机采用高阻笼或实心钢轮转子,机械特性软,常用于驱动恒张力、恒线速度(卷绕)、恒转矩(导辊)等机械。

表 17-1-7

生产机械负载特性 $n = f(T_i)$ 的分类

负载类别	负载特性	基本特性图	机械举例	负载类别	负载特性	基本特性图	机械举例
恒转矩负载	反抗性 $P_i \propto n$ $T_i = \text{常数}$		刨削加工、外圆切削、金属压延、平移运动	恒转矩负载	位势性 $P_i \propto n$ $T_i \propto |n|$		起重、提升机械

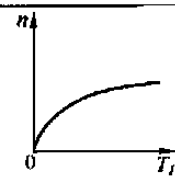
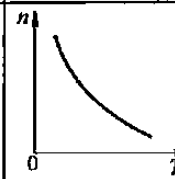
负载类别	负载特性	基本特性图	机械举例	负载类别	负载特性	基本特性图	机械举例
通风机 负载	$P_1 \propto n^3$ $T_1 \propto n^2$ (不计空载 转矩下)		风机、水泵、 油泵	恒功率 负载	$P_1 = \text{常数}$ $T_1 \propto n^{-1}$		恒张力卷取、 端面车削加工

表 17-1-8 按环境条件选择电动机的类型

环境条件	要求的防护型式	可选用的电动机 类型举例	环境条件	要求的防护型式	可选用的电动机 类型举例
正常环境条件	一般防护型	各类普通型电动机	有腐蚀性气体 或游离物	化工防腐型或采用 管道通风型	
湿热带或潮湿场所	湿热带型	①湿热带型电动机 ②普通型电动机加强 防潮处理	有爆炸 危险的场所 ^②	0级区域(0区)	隔爆型、防爆通风 充气型
干热带或高温车间	干热带型	①干热带型电动机 ②采用高温升等级绝 缘材料的电动机或外加 风-风、风-水强制冷却		1级区域(1区)	任意防爆型
				2级区域(2区)	防护等级不低 于IP43
粉尘较多的 场所	封闭型或管道 通风型			10级区域(10区)	任意隔爆型、防爆 通风充气型
户外、露天 场所	气候防护型,外壳 防护等级不低于 IP23 ^① ,接线盒应为 IP54。封闭型电动机 外壳防护等级应 为IP54			11级区域(11区)	防护等级不低 于IP44 ^③
户外、有腐 蚀性及爆炸性 气体	户外、防腐、防爆 型,防护等级不低 于IP54	YB2-W、YB2-F1、YB2- F2、YB2-WF1、YB2- WF2等	有火灾 危险的场所 ^②	H-1级	防护等级至少应 为IP22 ^④
				H-2级	防护等级至少应 为IP44
				H-3级	防护等级至少应 为IP44
			水中	潜水型	

① IP 的分级及定义详见 GB/T 4208—1993《外壳防护等级》。

② 爆炸和火灾危险场所的分级详见《爆炸和火灾危险场所电气设备装置设计技术规定》。

③ 电动机正常发生火花部件(如集电环)应装在下列类型之一的罩子内:任意一级隔爆型、防爆通风充气型以及防护等级为IP57的罩子。

④ 具有正常工作发生火花部件(如集电环)的电动机最低防护等级应为IP43。

2.4 电动机电压和转速的选择

表 17-1-9 电动机电压和功率范围

交流电动机				直流电动机	
电压 /V	功率范围/kW			电压/V	功率范围/kW
	同步电动机	异步电动机			
		笼型	绕线型		
380	3~320	0.37~320	0.6~320	110	0.25~110
660	—	160~500	110~500	220	0.25~320
3000	250~2200	90~2500	75~3200	440	1.0~500
6000	250~10000	200~5000	200~5000	600~870	500~4600
10000	1000~10900	—	—		

供电系统电压为10kV时:
①大功率同步电动机采用10kV直接供电为宜
②中等功率电动机视降压变压器而定。如用三线圈变压器,则应采用6kV电动机;如用双线圈变压器,电动机电压应进行经济比较后确定。若采用10/3kV与10/6kV变压器差别不大时,宜用6kV电动机

供电系统电压为6kV时:
①大、中功率电动机均应采用6kV直接供电
②小功率电动机一般选用380V电压

直流电动机常用220V,随电动机功率的增大,采用的电压等级也相应提高,一般需经电动机、电缆、控制设备等各项投资的综合比较而确定

电动机额定转速是根据生产机械的要求而选定的。在确定电动机额定转速时，必须考虑机械减速机构的传动比值，两者相互配合，经过技术、经济全面比较才能确定。通常，电动机转速不低于500r/min，因为当功率一定时，电动机的转速愈低，则其尺寸愈大，价格愈贵，而且效率也较低，如选用高速电动机，势必加大机械减速机构的传动比，致使机械传动部分复杂起来。

对于一些不需调速的高速和中速机械，如水泵、鼓风机、空气压缩机等，可选用相应转速的电动机不经机械减速机构直接传动。需要调速的机械，电动机的最高转速应与生产机械转速相适应。若采用改变励磁的直流变速电动机时，为充分利用电动机容量，应选好调磁调速的基速。又如某些轧钢机械等，工作速度较低，经常处于频繁地正、反转运行状态，为缩短正、反转过渡时间，提高生产效率，降低消耗，并减小噪声，节省投资，选择适当的低速电动机，采用无减速机的直接传动更为合理。

要求快速频繁启、制动的断续周期工作制机械，通常是电动机转子的转动惯量与额定转速平方的乘积（即 $J_D n_N^2$ 值）为最小时，能获得启、制动最快的效果。在空载（或负载很小可以忽略）情况下启、制动时，为达到快速的目的，按下式考虑最为合理：

$$J_D n_N^2 = J_m n_m^2$$

最佳传动比为

$$i_i \approx \sqrt{\frac{J_m}{J_D}} = \frac{n_N}{n_m}$$

式中 J_D ——电动机转子的转动惯量， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

n_N ——电动机额定转速， r/min ；

J_m ——生产机械在机械轴上的转动惯量， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

n_m ——生产机械轴转速， r/min 。

2.5 异步电动机的调速运行

异步电动机的调速运行有多种型式，简单用负载方式决定。选择方法取决于生产机械的调速要求和投资效益与节能效果。这些条件又随调速技术与制造水平的发展而变化。表 17-1-10 列出了当前可供选用的调速方式的比较。

表 17-1-10

异步电动机常用调速方式比较

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力耦合器	液黏离合器	变极	串级 (次同步串级)	变频 (PWM型)
调速方法	改变转子串接电阻值	改变定子输入电压值	改变电磁离合器励磁电流值	改变耦合器供油量	改变离合器工作腔中平板间间隙值	改变电动机极对数	改变逆变器中逆变角的数值	改变电网频率和电压值
调速类别	不易做到无级调速、调速的平滑性差	无级	无级	无级	无级	有级	调速范围小时可以做到平滑无级调速	无级
调速范围/%	100~50	100~80	97~20	97~30	100~20	2、3、4种转速	100~50	100~5
调速精度/%	±2	±2	±2	±1	±1	—	±1	±0.5
效率	良	良	调速范围小时良,大时差	调速范围小时良,大时差	优于液力耦合器等	优	优	最优
功率因数	优	良	良	良	良	良	差	优
快速响应能力	差	快	较快	差	差	快	快	最快
控制装置	简单	较简单	较简单	较简单	较简单	简单	复杂	复杂
初投资	低	较低	较高	中	较低	低	中	高
对电网干扰程度	无	大	无	无	无	无	较大	有

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力偶合器	液黏离合器	变 极	串级 (次同步串级)	变频 (PWM型)
维护保养	易	易	较易	较易	较易	最易	较难	易
装置出现故障后的处理方法	停车处理	不停车,投工频	停车处理	停车处理	停车处理	停车处理	停车处理	不停车,投工频
对老企业改造	易	易	视改造场地情况决定可否	视改造场地情况决定可否	视改造场地情况决定可否	要更换电动机	易	易
推荐适用的容量和电压	中、小容量低、高压	小容量低压	中、小容量低、高压	大、中容量低、高压	大、中容量低、高压	中、小容量低、高压	大、中容量低、高压	大、中、小容量低、高压
适用范围	调速范围不大,对电动机机械特性硬度要求不高的场合下运行的绕线型异步电动机	长期在高转速范围内调速运行的异步电动机	长期高速运行、短期低速运行的机械,但不能在电动机额定速度下运行	长期高速运行、短期低速运行的机械,但不能在电动机额定速度下运行	长期高速运行、短期低速运行,可以在电动机额定速度下运行	在几挡速度下运行的机械	调速范围不大,只需单象限运行,对动态性能要求不高的场合下使用的绕线型异步电动机	要求调速范围大、精度高或节能效果明显的机械

2.6 电动机功率计算

计算电动机功率时,首先根据生产机械的负载功率初选电动机功率,再校核初选电动机的过载能力、启动能力和发热。

表 17-1-11

初选电动机功率

绘制负载图	<p>首先经计算(或通过实测及对比)得出生产机械静阻负载图 $T_D = f(t)$ 或 $P = f(t)$,然后根据本表公式初步计算需要的电动机轴功率,根据计算功率并考虑一定的余量再初选电动机功率,随着调速范围和启动频繁程度的提高,余量系数也应随之加大</p> <p>为了验算初选电动机是否合适,需要根据负载状态、生产机械的工艺参数和初选电动机的参数,根据本表公式计算电动机动态转矩和加、减速时间,绘制电动机转矩负载图 $T_D = f(t)$ 或电流负载图 $I_D = f(t)$,功率负载图 $P = f(t)$,右图是转矩负载图</p>		<p style="text-align: center;">电动机转矩负载图 $T_D = f(t)$ 及速度图 $n_D = f(t)$</p>							
	常用计算公式	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>名称</th> <th>公式</th> <th>符 号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">一般旋转运动的机械</td> <td>$P = \frac{T_D n_D}{9550}$</td> <td rowspan="3"> P——所需电动机功率, kW T_D——电动机转矩, N·m n_D——电动机转速, r/min ω_D——电动机角速度, rad/s </td> </tr> <tr> <td>$P = \frac{T_D \omega_D}{1000}$</td> </tr> <tr> <td>$\omega_D = \frac{\pi n_D}{30}$</td> </tr> </tbody> </table>	名称	公式	符 号	一般旋转运动的机械	$P = \frac{T_D n_D}{9550}$	P ——所需电动机功率, kW T_D ——电动机转矩, N·m n_D ——电动机转速, r/min ω_D ——电动机角速度, rad/s	$P = \frac{T_D \omega_D}{1000}$	$\omega_D = \frac{\pi n_D}{30}$
名称	公式	符 号								
一般旋转运动的机械	$P = \frac{T_D n_D}{9550}$	P ——所需电动机功率, kW T_D ——电动机转矩, N·m n_D ——电动机转速, r/min ω_D ——电动机角速度, rad/s								
	$P = \frac{T_D \omega_D}{1000}$									
	$\omega_D = \frac{\pi n_D}{30}$									

续表

常用计算公式	名称	公式	符号
功	离心式通风机	$P = \frac{KQH^{\text{①}}}{1000\eta\eta_c}$	P —所需电动机功率, kW K —余量系数(见表 17-1-13) Q —空气耗量, m^3/s H —空气压力, Pa η —风机效率, 约为 0.4~0.75 ^② η_c —传动效率, 直接传动时 $\eta_c = 1$
	离心泵及活塞泵	$P = \frac{K\rho g Q(H + \Delta H)^{\text{①}}}{1000\eta\eta_c}$	P —所需电动机功率, kW K —余量系数(见表 17-1-14) Q —泵的出水量, m^3/s H —水头(扬程), m ΔH —主管损失水头, m η —泵的的效率, 一般取 0.6~0.84 ^② η_c —传动效率, 直接传动时 $\eta_c = 1$ ρ —液体的密度, 对于水 $\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ g —重力加速度, $g = 9.81\text{m}/\text{s}^2$
	离心式压缩机	$P = \frac{Q}{1000\eta} \left(\frac{A_d + A_r}{2} \right)$	P —所需电动机功率, kW Q —压缩机的生产率, m^3/s A_d —压缩 1m^3 空气至绝对压力 p_1 的等温功, J(见表 17-1-12) A_r —压缩 1m^3 空气至绝对压力 p_1 的绝热功, J(见表 17-1-12) η —压缩机总效率, 约为 0.62~0.8
	直线运动机械	$P = \frac{Fv}{1000\eta}$	P —所需电动机功率, kW F —作用力, N v —运动速度, m/s η —传动效率
式	运动物体的动能	$E = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{GD^2 n^2}{7150}$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$	E —运动物体的动能, J m —物体的质量, kg J —折算到电动机轴上的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ GD^2 —折算到电动机轴上的总飞轮矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$ F —作用力, N η —传动效率
	折算到电动机轴上的静阻负载转矩	$T_l = T_m \frac{1}{i\eta}, i = \frac{n_D}{n_m}$ $T_l = F \frac{v_m}{\omega_D} \times \frac{1}{\eta}$ $T_l = \frac{FR}{i\eta}$	T_l —折算到电动机轴上的静阻负载转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ T_m —机械轴上的静阻转矩(包括摩擦阻转矩), $\text{N} \cdot \text{m}$ R —物体运动的旋转半径, m i —传动比 n_D —电动机转速, r/min n_m —机械轴转速, r/min
	折算到电动机轴上的动态转矩	$T_d = T_D - T_l = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt}$	T_d —折算到电动机轴上的动态转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ T_D —电动机转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$
	折算到电动机轴上的转动惯量和飞轮矩	$J = \frac{J_m}{i^2}$ $GD^2 = \frac{GD_m^2}{i^2}$ $GD^2 = \frac{365 G_m v_m^2}{n_D^2}$ $GD^2 = 4gJ$ $GD^2 = GD_D^2 + \frac{GD_{m1}^2}{i_1^2} + \frac{GD_{m2}^2}{i_2^2} + \dots + \frac{GD_{mn}^2}{i_n^2}$ $i_1 = \frac{n_D}{n_{m1}}, i_2 = \frac{n_D}{n_{m2}}, \dots, i_n = \frac{n_D}{n_{mn}}$	J_m —机械轴上的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ GD_m^2 —机械轴上的飞轮矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$ g —重力加速度, m/s^2 G_m —直线运动物体的重力, N v_m —直线运动物体的速度, m/s ω_D —电动机角速度, rad/s GD_D^2 —电动机转子飞轮矩, $\text{N} \cdot \text{m}^2$ $GD_{m1}^2, GD_{m2}^2, \dots, GD_{mn}^2$ —相应于转速 $n_{m1}, n_{m2}, \dots, n_{mn}$ 的轴上的飞轮矩 i_1, i_2, \dots, i_n —各轴对电动机轴的传动比

名称	公式	符号
动态转矩恒定下启动(加速)、制动(减速)时间	$t_a = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375T_d}$ 加速时 $T_d = T_D - T_l$ $t_b = \frac{GD^2(n_1 - n_2)}{375(-T_d)}$ 减速时 $-T_d = -(T_D + T_l)$	t_a ——启动(加速)时间, s t_b ——制动(减速)时间, s v_0 ——初始速度, m/s a ——加速度, m/s ² T_l ——静阻负载转矩, N·m T_D ——电动机转矩, N·m T_d ——动态(加减速)转矩, N·m
动态转矩线性变化下的启动、制动时间	$t_a = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(T_{D1} - T_{D2})} \ln \frac{T_{D1} - T_l}{T_{D2} - T_l}$ $t_b = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(T_{D1} - T_{D2})} \ln \frac{T_{D1} + T_l}{T_{D2} + T_l}$	s ——行程, m N ——电动机转过的转数
动态转矩非恒定也非线性变化时的启动、制动时间	$t_a = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_d}$ ($T_d > 0$ 时加速) $t_b = \frac{GD^2}{375} \int_{n_2}^{n_1} \frac{dn}{T_d}$ ($T_d < 0$ 时减速)	
行程 ①等变速直线运动时 ②动态转矩恒定时,加、减速过程电动机转过的转数	① $s = v_0 t_a + \frac{1}{2} a t_a^2$ (加速) $s = v_0 t_b - \frac{1}{2} a t_b^2$ (减速) ② $N = \frac{GD^2(n_2^2 - n_1^2)}{45000T_d}$	

① 考虑偶然过载, 所选电动机功率应大于计算功率, 其容量附加值见表 17-1-13 及表 17-1-14。

② 此数据为参考值, 实际数据以制造厂提供的为准。

表 17-1-12

A_d 、 A_r 与终点压力 p_1 的关系

p_1 /MPa	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
A_d /J	39700	67700	108000	136000	158000	176000	191000	204000	216000	226000
A_r /J	42200	75500	127000	168000	201000	230000	256000	280000	301000	321000

表 17-1-13 离心风机电动机容量附加值

表 17-1-14 离心泵电动机容量附加值

功率/kW	<1	1~2	2~5	>5
附加值/%	100	50	25	15~10
K	2	1.5	1.25	1.15~1.1

功率/kW	<2	2~5	5~50	50~100	>100
附加值/%	70	50~30	15~10	8~5	5
K	1.7	1.5~1.3	1.15~1.1	1.08~1.05	1.05

表 17-1-15

电动机过载能力和平均启动转矩的校验

电动机类型	工作制	λ_T	电动机瞬时过载能力
笼型电动机	连续工作制(S1)(一般型)	≥ 1.65	电动机瞬时过载一般不会造成电动机过热, 故不考虑发热问题。交流电动机的瞬时过载能力受临界转矩的限制, 直流电动机则受换向器火花的限制 直流电动机允许过载能力常以允许的电流过载倍数 λ_i 来衡量。一般型直流电动机允许电流过载倍数为 1.5。大中型直流电动机(Z型)在接近额定转速下电流过载倍数: 有补偿绕组的一般为 2.5, 允许持续 15s; 无补偿绕组的一般为 1.5, 允许持续 1min。转速超过额定值时, 电流过载倍数要相应下降。本表内的 λ_T 在精算时以该型号电机的实际数值为依据
	断续周期性工作制(S3~S5)(冶金及起重用)	≥ 2.5	
绕线型电动机	连续工作制(S1)(一般型)	≥ 1.8	
	断续周期性工作制(S3~S5)(冶金及起重用)	≥ 2.5	
直流电动机(额定励磁)	连续工作制(S1)(一般型)	≥ 1.5	
	断续周期性工作制(S3~S5)(冶金及起重用)	≥ 2.5	

续表

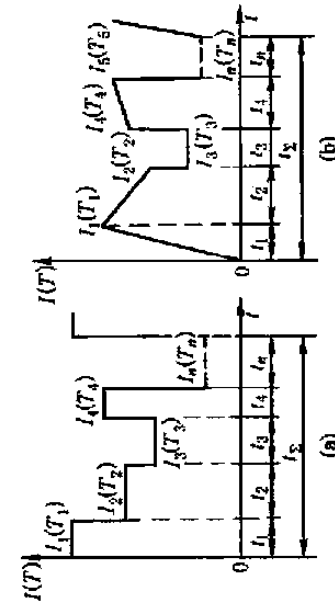
电动机过载能力	励磁方式	额定电压下			启动或转速 $n \leq 20\% n_N$			电动机过载倍数校验的公式为： 直流电动机 $I_{max} \leq K\lambda_1 I_N$ 异步电动机 $T_{max} \leq KK_u^2 \lambda_T T_N$ 同步电动机 $T_{max} \leq K\lambda_T T_N$ 式中 I_{max} ——瞬时最大负载电流, A T_{max} ——瞬时最大负载转矩, N·m λ_1 ——允许电流过载倍数 λ_T ——允许转矩过载倍数 I_N ——电动机额定电流, A T_N ——电动机额定转矩, N·m K_u ——电压波动系数, 取 0.85 K ——余量系数, 直流电动机取 0.9 ~ 0.95, 交流电动机取 0.9 为了减小对电网的冲击, 断续工作制电动机通常不用到最大过载能力
		ZZY 系列	ZZJ 系列		ZZY 系列	ZZJ 系列		
		220V	220V	440V	220V	220V	440V	
断续周期工作制 (S3) 直流电动机短时允许转矩过载倍数 $\lambda_T (FC=25\%)$	串励	4.0	4.0	3.2	5.0	5.0	4.0	
	复励	3.5	3.5	2.8	4.5	4.5	3.6	
	并励 (额定励磁)	3.0	2.7	2.2	3.0	3.0	2.4	
冶金起重型直流电动机短时允许电流过载倍数 $\lambda_1 (FC=25\%)$	励磁方式		自然冷却式电流过载倍数					
			ZZY 系列		ZZJ 系列		ZZJ 系列	
			220V			440V		
	串励	3.0		3.2		2.55		
复励	2.8		3.0		2.4			
并励	2.6		2.8		2.25			
在额定电压及相应转速下, 上述电流过载倍数能承受 1min, 此时, 换向器上允许有三级火花								
电动机平均启动转矩	电动机类型		平均启动转矩					
	直流电动机		$T_{av} = 1.3 \sim 1.4 T_N$					
	同步电动机		$T_{av} = 0.5 (T_s + T_{pi})$					
	$T_s > T_{pi}$ 时		$T_{av} = (1.0 \sim 1.1) T_s$					
	$T_s \leq T_{pi}$ 时							
笼型电动机								
一般型		$T_{av} = (0.45 \sim 0.5) (T_s + T_{cr})$						
冶金起重型		$T_{av} = 0.9 T_s$						
冶金起重用绕线型电动机		$T_{av} = (1.0 \sim 2.0) T_{N25}$						
T_{av} ——平均启动转矩, N·m T_s ——堵转转矩, N·m ($s=1$ 时) T_{pi} ——引入转矩, N·m T_{cr} ——最大转矩, N·m T_{N25} ——当 $FC=25\%$ 时的额定转矩, N·m								
异步电动机和同步电动机的异步启动, 在启动过程中, 其机械特性为非线性, 加速转矩是一变量, 因此平均启动转矩的计算, 需取得电动机制造厂给出的数据后才能确定。表中所列概略值, 可供初步计算选用。表中系数较大者用于要求快速启动的场合 启动条件沉重的机械, 需要进行启动转矩校验。如果交流电动机采用直接启动时, 则按下式进行校验: $K_u^2 K_{min} T_N \geq K_s T_{ls}$ 式中 T_N ——电动机额定转矩, N·m T_{ls} ——启动时电动机轴上的静阻转矩, N·m K_u ——最小启动电压与额定电压之比 (电压波动系数), 取 0.85 K_{min} ——电动机最小启动转矩与额定转矩之比 K_s ——保证启动时有足够加速转矩的系数。应根据启动加速时间的要求和电动机轴上的飞轮矩计算得出, 如无明确要求, 则取为 1.2 ~ 1.5								

表 17-1-16

连续工作制电动机容量的校验

负载状态	计算公式	符 号	说 明
在基速以下工作	$P_N \geq P_L = \frac{T_L n_N}{9550}$	P_N ——电动机额定功率, kW P_L ——折算到电动机轴上的负载功率, kW T_L ——折算到电动机轴上的负载转矩, N·m n_N ——电动机额定转速, r/min	对启动条件沉重(静阻转矩大或带有较大的飞轮矩)而采用笼型异步电动机或同步电动机传动的场合,在初选电动机的额定功率和转速之后,还要分别校验启动过程中的最小启动转矩
从基速向上调整	$P_N \geq P_L = \frac{T_L n_{max}}{9550}$	n_{max} ——电动机的最高工作转速, r/min T_{Lmin} ——电动机的最小启动转矩, N·m T_{Lmax} ——启动过程中可能出现的最大负载转矩, N·m	和允许的最大的飞轮矩 GD_{fm}^2 , 以保证生产机械能顺利地启动和在启动过程中电动机不过热
恒定负载连续工作制 校验启动过程最小转矩及允许最大飞轮矩	电动机最小启动转矩 $T_{Nmin} \geq \frac{T_{Lmax} K_s}{K_u}$ 电动机允许的最大飞轮矩 $GD_{fm}^2 = GD_0^2 \left(1 - \frac{T_{Lmax}}{T_{Nmin} K_u^2} \right) - GD_M^2$ 要求 $GD_{fm}^2 \geq GD_{max}^2$ 若按上两项校验均能通过, 则所选电动机功率可以采用	K_s ——保证启动时有足够加速转矩的系数, 一般取 1.15 ~ 1.25 K_u ——电压波动系数, 即启动时电动机端电压与额定电压之比, 全电压启动时取 0.85 GD_{fm}^2 ——电动机允许的最大飞轮矩, N·m ² GD_0^2 ——电动机转子飞轮矩, N·m ² GD_{max}^2 ——折算到电动机轴上的传动机械的最大飞轮矩, N·m ² GD_0^2 ——包括电动机在内的整个传动系统允许的最大飞轮矩折算到电动机轴上的数值, 由电动机资料中查取, N·m ² T_{Nmin} ——电动机的平均启动转矩, N·m	
变动负载连续周期工作制 发热校验	(1) 等效电流法(见图 a) $I_{rms} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$ 要求 $I_{rms} \leq I_N$ (2) 等效转矩法(见图 b) $T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + \dots + T_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$ 要求 $T_{rms} \leq T_N$	I_1, I_2, \dots, I_n ——电动机一个周期负载电流曲线近似直线的各个分段电流值, A t_1, t_2, \dots, t_n ——各分段持续时间, s P_1, P_2, \dots, P_n ——各分段功率值, kW $I_{rms}, T_{rms}, P_{rms}$ ——等效电流、转矩、功率 I_N, T_N, P_N ——电动机额定电流、转矩、功率	在这种工作制下, 电动机功率可先按等效(均方根)转矩法或等效电流法, 算出一个周期内的等效转矩 T_{rms} 或等效电流 I_{rms} , 然后选取电动机的额定转矩 T_N 或额定电流 I_N 。当负载波形是三角形或梯形时(见图 b), 则应将每一个相应的时间间隔内的电流或转矩值换算成等效平均值后, 再用(1)或(2)的方法计算 I_{rms} 或 T_{rms}

续表

负载状态	计算公式	符号	说明
发热校验	<p>(3) 等效功率法</p> $P_{rms} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$ <p>要求 $P_{rms} \leq P_N$</p> <p>三角形电流线段的等效值(对应图 b 时间 t_1):</p> $I_{rms} = \sqrt{I_1^2/3}$ $T_{rms} = \sqrt{T_1^2/3}$ <p>梯形电流线段的等效值(对应图 b 时间 t_2):</p> $I_{rms} = \sqrt{(I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2)/3}$ $T_{rms} = \sqrt{(T_1^2 + T_1 T_2 + T_2^2)/3}$	<p>I_1——三角形电流曲线最高电流值, A</p> <p>T_1——三角形转矩曲线最高转矩值, N·m</p> <p>I_{rms}——三角形电流曲线等效电流值, A</p> <p>T_{rms}——三角形转矩曲线等效转矩值, N·m</p> <p>I_1, I_2——梯形电流曲线两腰高之值, A</p> <p>I_{rms}——梯形电流曲线等效电流值, A</p> <p>T_{rms}——梯形转矩曲线等效转矩值, N·m</p>	<p>等效法的条件是风损、铁损等与负载无关的损耗是不变的,而且数值较小,因此可以平均可变损耗代替平均总损耗</p> <p>等效电流法适用于各种类型电动机发热校验</p> <p>等效转矩法适用于转矩与电流成比例的情况。弱磁情况下需要修正。串励直流电动机不能应用此法</p> <p>等效功率法在额定电压和额定转速下,即功率与电流成比例时应用</p> 
校验最大过流转矩	$T_N \geq \frac{T_{Lmax}}{0.9 K_u \lambda_T}$	<p>T_{Lmax}——最大负载转矩, N·m</p> <p>K_u——电网电压波动系数,一般同步电动机 $K_u = 0.85$; 直流电动机 $K_u = 1.0$; 异步电动机 $K_u = 0.72$</p> <p>λ_T——电动机转矩过载倍数,查电动机资料</p> <p>0.9——考虑计算误差和参数被取而取的安全系数</p>	
校验启动过程最小转矩及允许最大飞轮矩	<p>同恒定负载连续工作制</p>		

变动负载连续周期工作制

负载状态	计算公式	符 号	说 明
短时工作制	$P_N \geq P_L$ $P_s = P_{sB} \sqrt{\frac{t_{sB}}{t_s} + \alpha \left(\frac{t_{sB}}{t_s} - 1 \right)}$ <p>对于直流电动机</p> $P_N \geq \frac{P_L}{\lambda_1}$ <p>对于异步电动机</p> $P_N \geq \frac{P_{Lmax}}{0.75 \lambda_T}$	P_{sB} ——标准工作时间电动机功率, kW P_s ——实际工作时间电动机允许功率, kW t_{sB} ——标准工作时间, s t_s ——实际工作时间, s α ——系数, 对普通直流电动机, $\alpha = 1 \sim 1.5$; 对冶金用直流电动机, $\alpha = 0.5 \sim 0.9$; 对普通笼型异步电动机, $\alpha = 0.5 \sim 0.7$; 对冶金用中小型绕线转子异步电动机, $\alpha = 0.45 \sim 0.5$; 对冶金用大型绕线转子异步电动机, $\alpha = 0.9 \sim 1.0$ λ_1 ——电流过载倍数 λ_T ——转矩过载倍数	短时定额电动机的标准工作时间一般规定为 30min、60min 和 90min 当实际负载持续时间与标准工作时间相同时按式(1)计算, 式中负载功率 P_L 按表 17-1-16 恒定负载在基准以下工作或从基准向上调整的公式计算 实际上, 负载持续时间很难与标准工作时间相同, 这时应采用折算方法按式(2)计算出实际需要的工作时间对应的电动机允许功率 当不能购到短时工作制电动机时还可选择连续工作制的电动机, 此时 P_N 比 P_L 小, 当小得比较多时, 发热已不成问题, 而过载能力和启动能力却成了主要矛盾, 这时电动机的功率应按过载能力选择, 即按式(3)、式(4)计算
断续周期工作制	选用连续定额电动机时 $I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum I_a^2 t_a + \sum I_m^2 t_m + \sum I_b^2 t_b}{C_a (\sum t_a + \sum t_b) + \sum t_m + C_B \sum t_0}}$ <p>要求 $I_{rms} \leq I_N$</p> $T_{rms} = \sqrt{\frac{\sum T_a^2 t_a + \sum T_m^2 t_m + \sum T_b^2 t_b}{C_a (\sum t_a + \sum t_b) + \sum t_m + C_B \sum t_0}}$ <p>要求 $T_{rms} \leq T_N$</p> 选用断续定额电动机时 $I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum I_a^2 t_a + \sum I_m^2 t_m + \sum I_b^2 t_b}{C_a (\sum t_a + \sum t_b) + \sum t_m}}$ <p>要求 $I_{rms} \leq I_B$ (断续电动机在标准持续率下的额定电流)</p> $T_{rms} = \sqrt{\frac{\sum T_a^2 t_a + \sum T_m^2 t_m + \sum T_b^2 t_b}{C_a (\sum t_a + \sum t_b) + \sum t_m}}$ <p>要求 $T_{rms} \leq T_N$ (断续电动机在标准持续率下的额定转矩)</p>	I_a, I_m, I_b ——在一个工作周期中各启动、稳定、制动段电动机相应电流, A T_a, T_m, T_b ——在一个工作周期中各启动、稳定、制动段电动机相应转矩, N·m t_a, t_m, t_b, t_0 ——启动、稳定、制动、停歇各段相应时间, s $\sum t_a, \sum t_m, \sum t_b, \sum t_0$ ——一个周期中启动、稳定、制动、停歇各阶段时间之和, s C_a ——启动、制动过程中电机散热恶化系数 C_B ——停转时电机散热恶化系数 $C_a = \frac{1 + C_B}{2}$	等效电流法适用于直流电动机。等效转矩法适用于不弱磁的直流电动机, 弱磁时需加修正 异步电动机启动和制动过程中, 转子频率增加, 铁损增大, 仍以平均损耗代替平均总损耗时, 将有误差。误差大小随启动频繁程度而变, 越频繁的, 误差越大。故用等效法进行校验时, 需适当增大余量系数 笼型电动机启动和制动过程中以及空载、轻载运行时, 功率因数很低, 转矩不与电流成比例。故频繁启动和制动的笼型电动机采用等效转矩法校验时, 误差较大, 平均损耗法计算较准确

续表

负载状态	计算公式	符 号	说 明
<p style="text-align: center;">发 热 校 验</p> <p style="text-align: center;">断 续 周 期 工 作 制</p>	<p>(5) $T_{\text{maxN}} = \sqrt{\frac{FC}{FC_N} T_{\text{rms}}}$</p> <p>(6) $I_{\text{maxN}} = \sqrt{\frac{FC}{FC_N} I_{\text{rms}}}$</p> <p>(7) $FC = \frac{\sum I_s + \sum I_b + \sum I_{st}}{I_N} \times 100\%$</p>	<p>电动机的冷却方式</p> <p>封闭式电动机 (无冷却风扇)</p> <p>封闭式电动机 (强迫通风)</p> <p>封闭式电动机 (自带内冷风扇)</p> <p>防护式电动机 (自带内冷风扇)</p> <p>C_p 值</p> <p>0.95 ~ 0.98</p> <p>0.9 ~ 1.0</p> <p>0.45 ~ 0.55</p> <p>0.25 ~ 0.35</p>	<p>为合理利用电动机的容量,规定在不同的负载持续率 FC_N 时有不同的定额(指电动机的额定功率、电流、转速等)。冶金起重用断续定额电动机(JZ、JZR系列)的额定负载持续率 FC_N 分为25%、40%、60%三种,并采用10min作为周期计算时间。因此,所选用的 FC_N 值应尽量可能与实际工作的 FC 值相近。当实际工作的 FC 值大于60%时,可采取强迫通风或选用连续定额电动机,其功率可按式(1)~式(4)的等效转矩(或等效电流)公式进行校验,或用平均损耗法校验(见表17-1-18)</p>
	<p>FC——电动机实际负载持续率</p> <p>FC_N——断续电动机的额定负载持续率</p> <p>$I_{\text{maxN}}, T_{\text{maxN}}$——折算到额定负载持续率下的等效电流、等效转矩</p>	<p>当实际负载持续率 FC 值与所选的电动机的额定负载持续率 FC_N 值相等时,则按式(1)~式(4)选电动机</p> <p>但实际负载持续率多数不与电动机额定负载率相一致,这时应将计算出的 T_{rms} 或 I_{rms} 值按式(5)、式(6)折算到对应于电动机的 FC_N 值相等效的值,实际负载持续率(见负载图)按式(7)计算</p>	<p style="text-align: center;">断续周期工作制下电动机的典型负载图</p>
<p>校验最大过载转矩</p>	<p>当发热校验通过后,再按下式校验过载能力,只有这两项都通过电动机的容量校验才算通过</p> $T_N \geq \frac{T_{\text{Lmax}}}{0.9 K_0 \lambda_T}$ <p>(此式与表17-1-16完全相同)</p>		

表 17-1-18

电动机发热校验平均损耗法计算公式

计算公式	符 号
电动机一个工作周期中的平均总损耗为： $\Delta P_{av} = \frac{\sum \Delta A_s + \sum \Delta A_{st} + \sum \Delta A_b + \sum \Delta A_0}{T} \quad (W)$	T ——工作周期, s $T = \sum t_s + \sum t_{st} + \sum t_b + \sum t_0$ t_s, t_{st}, t_b, t_0 ——启动、平稳运行、制动、停转时间, s $\Delta A_s, \Delta A_{st}, \Delta A_b$ ——启动过程、平稳运行、制动过程中能量损耗, W·s ΔA_0 ——停歇时的能量损耗, W·s(系直流电动机的励磁损耗, 交流电动机无此项)
启动过程中的能量损耗为： $\Delta A_s = \left(\frac{GD^2 n_D^2}{7150} + \frac{T_l n_D t_s}{19} \right) \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) \quad (W \cdot s)$ 启动时间为： $t_s = \frac{GD^2 n_D}{375(T_{st_{av}} - T_l)} \quad (s)$	GD^2 ——折算到电动机转子轴上的系统的总飞轮矩, N·m ² n_D ——电动机工作转速, r/min r_1 ——电动机定子每相电阻, Ω r_2' ——折算到定子侧的转子每相电阻, Ω T_l ——静阻负载转矩, N·m $T_{st_{av}}$ ——平均启动转矩, N·m
稳定运行过程中的能量损耗为： $\Delta A_{st} = \left[\Delta P_{1m} \left(\frac{I_{st}}{I_{N25}} \right)^2 + \Delta P_{2m} \left(\frac{T_{st}}{T_{N25}} \right)^2 + \Delta P_c \right] t_{st} \quad (W \cdot s)$ 稳定运行电流为： $I_{st} = I_{N25} \left[I_0^* + (1 - I_0^*) \frac{T_{st}}{T_{N25}} \right] \quad (A)$	$\Delta P_{1m}, \Delta P_{2m}$ ——FC=25%时的电动机定子和转子损耗, W ΔP_c ——电动机固定损耗, W I_{N25}, T_{N25} ——FC=25%时的电动机额定电流和额定转矩 t_{st} ——稳定运行的时间, s I_0^* ——电动机空载电流标么值 $I_0^* = \frac{I_0}{I_{N25}}$ I_0 ——电动机空载电流
反接制动过程中的能量损耗为： $\Delta A_b = \left(\frac{3GD^2 n_1^2}{7150} - \frac{T_l n_1 t_b}{19} \right) \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) \quad (W \cdot s)$ 反接制动时间为： $t_b = \frac{GD^2 n_1}{375(T_{br_{av}} + T_l)} \quad (s)$	n_1 ——开始制动时电动机转速, r/min $T_{br_{av}}$ ——平均制动转矩, N·m
能耗制动过程中定子绕组为星形接线时的能量损耗为： $\Delta A_b = \left(\frac{GD^2 n_1^2}{7150} - \frac{T_l n_1 t_b}{19} \right) + 2I_{1b}^2 r_1 t_b \quad (W \cdot s)$ 能耗制动时间为： $t_b = \frac{GD^2 n_1}{375(T_b + T_l)} \quad (s)$	I_{1b} ——能耗制动时电动机定子中通入的直流电流, A t_b ——定子中通入直流电流的时间, s
平均损耗法的发热校验公式为： $\Delta P_{FC} = \frac{\Delta P_{av}}{C(FC_Z + FC_0 C_\beta)} \leq \Delta P_{NFC}$	ΔP_{FC} ——折算到相近的额定持续率下的损耗, W C ——负载持续率折算系数 $C = \frac{FC_N}{FC_N + (1 - FC_N) C_\beta}$ FC_Z ——折算了的实际负载持续率 $FC_Z = \frac{C_\alpha (\sum t_s + \sum t_b) + \sum t_{st}}{T}$ FC_0 ——空载时间持续率 $FC_0 = \frac{\sum t_0}{T}$ C_β 见表 17-1-17

计 算 公 式	符 号
---------	-----

采用 $FC_N = 100\%$ 定额的断续电动机或长期工作制电动机, 校验公式为

$$\Delta P_{100} = \frac{\Delta P_w}{FC_Z + FC_0 C_\beta} \leq \Delta P_{N100}$$

短时工作制电动机	短时工作的电动机, 一般不需进行发热校验, 只需注意短时过载能力及启动转矩的校验, 选用短时工作制的电动机, 短时额定时间应大于短时工作时间							
	如选用断续工作制电动机作短时工作使用时, 其等效的额定时间 T_{STR} 的粗略对应关系如下:							
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>$FC/\%$</th> <th>15</th> <th>25</th> <th>40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T_{STR}/min</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	$FC/\%$	15	25	40	T_{STR}/min	15	30
$FC/\%$	15	25	40					
T_{STR}/min	15	30	60					

如短时工作比较长, 即短时工作时间大于 30% ~ 40% 的电动机发热时间常数时, 除校验过载能力之外, 还需进行短时发热校验, 即校验电动机允许接电时间 t_c 是否大于或等于短时工作时间 t :

$$t_c = T \ln \frac{\Delta P}{\Delta P - \Delta P_{N100}} \geq t \quad (a)$$

式中 ΔP_{N100} ——长期工作制电动机额定损耗或断续电动机 $FC = 100\%$ 时的额定损耗, W
 ΔP ——短时负载下功率损耗, W
 T ——电动机发热时间常数, s

平均损耗法是以每一工作周期中的平均总损耗表征电动机温升而进行发热校验的, 是一种较为准确的计算方法, 适用于所有类型电动机各种工作状态下的发热校验。但是, 损耗计算甚为烦琐, 故是一种较为复杂的计算方法。频繁启动和制动状态下的笼型电动机, 因其铁损增大且不固定, 采用等效法校验时, 误差较大, 如采用平均损耗法校验时, 将是较准确的。频繁启动和制动用笼型电动机的额定损耗值, 从产品样本上可以查得

2.7 电动机功率计算与选用举例

例 1 一台与电动机直接连接的低压离心式水泵, 流量 $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, 总扬程 $H = 15 \text{ m}$, 转速 $n = 1450 \text{ r}/\text{min}$, 泵的效率 $\eta = 0.4$, 周围环境温度不超过 30°C , 取余量系数 $K = 1$, 传动机构效率 $\eta_c = 1$, 试选择电动机。

解 泵类机械的负载功率为

$$P = \frac{KQ\rho gH}{10^3 \eta \eta_c}$$

将已知数据 $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 15 \text{ m}$, $\eta = 0.4$, $\eta_c = 1$, $K = 1$ (直接连接) 代入, 则

$$P = \frac{1 \times 0.0139 \times 1000 \times 9.81 \times 15}{10^3 \times 0.4 \times 1} = 5.1 \text{ kW}$$

对于水泵, 应采用封闭扇冷式 Y 系列电动机, 由于 $n = 1450 \text{ r}/\text{min}$, 应选四极电动机。查产品目录, 下列 Y 系列三相异步电动机同步转速为 $1500 \text{ r}/\text{min}$ (四极):

型 号	P_e/kW	U_e/V	I_e/A	$n_s/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$
Y112M-4	4.0	380	8.77	1440
Y132S-4	5.5		11.6	
Y132M-4	7.5		15.4	

按 $P_e \geq P$, 应选 Y132S-4 型电动机, $P_e = 5.5 \text{ kW}$, $n_s = 1440 \text{ r}/\text{min}$ (比所需转速略低, 但实际负载也略轻, 可用)。

当环境温度 $\theta_0 = 30^\circ\text{C}$ 时, 电动机额定功率 P_e 应予修正。取不变损耗与额定可变损耗之比 $\alpha = 0.6$, 最高允许温度 $\theta_m = 120^\circ\text{C}$ (Y 型电动机用 E 级绝缘), 额定负载时的稳态温升 $\tau_{we} = 75^\circ\text{C}$, 则

$$P = P_e \sqrt{1 + \frac{40 - \theta_0}{\tau_{we}} (\alpha + 1)} = P_e \sqrt{1 + \frac{40 - 30}{75} (0.6 + 1)} = 1.1 P_e$$

即电动机功率可提高 10%。这时, 型号低一档的电动机是 Y112M-4, $P_e = 4.0\text{kW}$, 修正后 $P = 1.1 \times 4.0 = 4.4\text{kW}$, 仍低于 5.1kW 。所以仍应采用原选的 Y132S-4 型电动机。

对于直流电动机 $\alpha = 1 \sim 1.5$; 冶金专用电动机 $\alpha = 0.5 \sim 0.9$; 笼型电动机 $\alpha = 0.5 \sim 0.7$; 冶金专用中小型电动机 $\alpha = 0.45 \sim 0.6$; 冶金专用大型绕线电动机 $\alpha = 0.9 \sim 1.0$ 。

例 2 求风量 $Q_1 = 900\text{m}^3/\text{min}$ 、有效全压 $H = 490\text{Pa}$ 的鼓风机传动电动机的功率。当地的大气压 $p_1 = 93300\text{Pa}$, 最高空气温度 $t_1 = 35^\circ\text{C}$ 。风机效率取 0.65, 余量系数取 1.15。

解

(1) 折算到标准大气压和热力学温度下的计算送风量

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 \times \frac{p_0}{p_1} \times \frac{273 + t_1}{273} \\ &= \frac{900}{60} \times \frac{101000}{93300} \times \frac{273 + 35}{273} = 18.3 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

(2) 直接连接的电动机所需功率

$$P = \frac{KQH}{10^3 \eta \eta_c} = \frac{1.15 \times 18.3 \times 490}{10^3 \times 0.65 \times 1} = 15.9 \text{ kW}$$

例 3 将涌水量为 $22\text{m}^3/\text{min}$ 的矿井地下涌水, 用水泵抽到地面上, 其扬程为 150m , 需用几台 150kW 电动机传动的水泵? 损失水头按实际扬程的 15%, 泵的效率按 0.75, 直接传动。

解 每一台抽水机的抽水量为

$$\begin{aligned} Q &= \frac{10^3 \eta P}{K \rho g (H + \Delta H)} \\ &= \frac{10^3 \times 0.75 \times 150}{1.05 \times 1000 \times 9.81 \times 150 \times (1 + 0.15)} \\ &= 0.0633 \text{ m}^3/\text{s} = 3.8 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

需用抽水机台数为

$$\frac{\sum Q}{Q} = \frac{22}{3.8} = 5.8 \text{ 台}$$

实际需用 6 台。

例 4 某车间的一般用途桥式吊钩起重机, 额定起重量 30t , 提升速度 $3\text{m}/\text{min}$, 横行速度 $20\text{m}/\text{min}$, 走行速度 $30\text{m}/\text{min}$, 求提升、横行、走行用电动机的功率。已知横行小车全重 10t , 桥重 20t , 横行阻力系数 $C = 10\text{N}/\text{kN}$, 走行阻力系数 $C = 12\text{N}/\text{kN}$, 机械传动效率取 0.75。

解

(1) 各机构所需功率

$$\text{提升机构} \quad P = \frac{F_v}{10^3 \eta} = \frac{30 \times 1000 \times 9.81 \times \frac{3}{60}}{10^3 \times 0.75} = 19.6 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{横行机构} \quad P &= \frac{G_{\Sigma} (C + 7v)v}{10^3 \eta} \\ &= \frac{(30 + 10) \times 9.81 \times \left(10 + 7 \times \frac{20}{60}\right) \times \frac{20}{60}}{10^3 \times 0.75} \\ &= 2.15 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{走行机构} \quad P &= \frac{G_{\Sigma} (C + 7v)v}{10^3 \eta} \\ &= \frac{(30 + 10 + 20) \times 9.81 \times \left(12 + 7 \times \frac{30}{60}\right) \times \frac{30}{60}}{10^3 \times 0.75} \\ &= 6.08 \text{ kW} \end{aligned}$$

(2) 各机构工作类型以及 FC 对应值

根据起重机工作类型和电动机 FC 值对应的关系 (轻型 $FC = 15\%$, 中型 $FC = 25\%$, 重型 $FC = 40\%$, 特重型 $FC = 60\%$), 此起重机为一般吊钩起重机, 提升、横行、行走的各电动机均属中型工作类型, 均为 $FC = 25\%$ 。

(3) 电动机功率选择

确定减速比后查 YZR 型绕线电动机产品目录, 选用如下: 提升电动机 YZR225M-8 26kW ; 横行电动机 YZR132M1-6 2.5kW ; 走行电动机 YZR160M1-6 6.3kW 。

例5 某竖井提升机,卷筒直径4m,载重6t,箕斗重5t,提升速度720m/min,加速时间 $t_1 = 10\text{s}$,减速时间 $t_2 = 12\text{s}$,稳速提升时间50s,停歇时间10s,提升机效率0.96,钢绳重量、摩擦阻力、空气阻力等忽略不计,求提升机所需电动机功率。选用高压绕线型开启式电动机。折算到卷筒轴上的总转动惯量 $100000\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 。

解

(1) 转矩计算

加速度 $a_1 = \frac{v}{t_1} = \frac{720/60}{10} = 1.2 \text{ m/s}^2$ (加速过程)

$$a_2 = \frac{v}{t_2} = \frac{12}{12} = 1 \text{ m/s}^2$$
 (减速过程)

角速度 (稳速时) $\omega = \frac{v}{R} = \frac{12}{4/2} = 6 \text{ rad/s}$

角加速度 $\alpha = \frac{v}{t_1 R} = \frac{12}{10 \times 2} = 0.6 \text{ rad/s}^2$ (加速过程)

$$\beta = \frac{v}{t_2 R} = \frac{12}{12 \times 2} = 0.5 \text{ rad/s}^2$$
 (减速过程)

惯性部分加速转矩 $T_{\alpha 1} = J\alpha = 100000 \times 0.6 = 60000 \text{ N}\cdot\text{m}$

惯性部分减速转矩 $T_{\beta 1} = J\beta = 100000 \times 0.5 = 50000 \text{ N}\cdot\text{m}$

提升全载重加速转矩
$$T_{a2} = m_{\Sigma} a_1 R = \frac{vm_{\Sigma} R}{t_1}$$

$$= \frac{12 \times (5000 \times 2 + 6000) \times 2}{10}$$

$$= 38400 \text{ N}\cdot\text{m}$$

提升全载重减速转矩
$$T_{\beta 2} = m_{\Sigma} a_2 R = \frac{vm_{\Sigma} R}{t_2}$$

$$= \frac{12 \times (5000 \times 2 + 6000) \times 2}{12}$$

$$= 32000 \text{ N}\cdot\text{m}$$

提升不平衡负载所需转矩 $T_3 = G_{\Sigma} R = 6000 \times 9.81 \times 2 = 117720 \text{ N}\cdot\text{m}$

加速过程中转矩 $T_1 = T_{\alpha 1} + T_{a2} + T_3$

$$= 60000 + 38400 + 117720 = 216120 \text{ N}\cdot\text{m}$$

减速过程中转矩 $T_2 = T_3 - T_{\beta 1} - T_{\beta 2}$

$$= 117720 - 50000 - 32000 = 35720 \text{ N}\cdot\text{m}$$

稳速过程中转矩 $T_u = T_3 = 117720 \text{ N}\cdot\text{m}$

(2) 功率计算

加速过程中所需功率 $P_1 = \frac{T_1 \omega}{1000} = \frac{216120 \times 6}{1000} \approx 1297 \text{ kW}$

减速过程中所需功率 $P_2 = \frac{T_2 \omega}{1000} = \frac{35720 \times 6}{1000} \approx 214 \text{ kW}$

稳速过程中所需功率 $P_u = \frac{T_u \omega}{1000} = \frac{117720 \times 6}{1000} \approx 706 \text{ kW}$

周期 $T = C_{\alpha} t_1 + t_u + C_{\beta} t_2 + C_{\beta} t_0$

$$= 0.65 \times 10 + 50 + 0.65 \times 12 + 0.3 \times 10$$

$$= 67.3 \text{ s}$$

由于加、减速过程时间较短,电动机基本上在额定电压、额定转速下运行,故可以使用等效功率法计算需要的电动机功率。

$$P_D = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_u^2 t_u + P_2^2 t_2}{T}}$$

$$= \frac{1}{0.96} \sqrt{\frac{1297^2 \times 10 + 706^2 \times 50 + 214^2 \times 12}{67.3}}$$

$$= 825.8 \text{ kW}$$

例6 某机械采用四极绕线型异步电动机拖动。已知其典型转矩曲线共分四段,各段的转矩分别为 $200\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $120\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $-100\text{N}\cdot\text{m}$,时间分别为6s、40s、50s、10s,其中第一段是启动,第四段是制动,制动完毕停歇20s再重复周期性地工作。试选择合适的电动机。

解 对于绕线型电动机, 采用电气启动和制动, 可以认为转矩始终近似地与电流成正比, 因此等效转矩法能够适用。

考虑到启、制动和停歇时间散热条件的恶化, 计算等效转矩, 并取 $\alpha=0.5$, $\beta=0.25$ (α 、 β 的取值因电动机而异, 对于直流电动机一般取 $\alpha=0.75$, $\beta=0.5$; 对于异步电动机一般取 $\alpha=0.5$, $\beta=0.25$)。

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3 + T_4^2 t_4}{\alpha t_1 + t_2 + t_3 + \alpha t_4 + \beta t_5}} \\ &= \sqrt{\frac{200^2 \times 6 + 120^2 \times 40 + 100^2 \times 50 + (-100)^2 \times 10}{0.5 \times 6 + 40 + 50 + 0.5 \times 10 + 0.25 \times 20}} \\ &= \sqrt{\frac{1416000}{103}} = 117.25 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

在 YR 系列小型四极绕线异步电动机产品目录中给出了下列数据, 并计算出额定转矩:

型号	功率 P_e /kW	转速 $n_n/r \cdot \text{min}^{-1}$	过载系数 λ_T	按 $T_e = \frac{9550 P_e}{n_n}$ 计算额定转矩/N·m
YR160L2-4	15	1440	2.0	99.48
YR180M-4	18.5	1426	2.0	123.90
YR180L-4	22	1434	2.0	146.51

注: $\lambda_T = T_{\max}/T_e$, T_e 为额定转矩, T_{\max} 为最大转矩。

显然, 应选择 YR180M-4 型 18.5kW 绕线电动机。

再校验其短时过载能力:

$$T_{\max} = \lambda_T T_e = 2.0 \times 123.90 = 247.8 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{工程运用中, 应考虑由于电动机端电压降低引起的 } \lambda_T \text{ 值的平方降低})$$

各段转矩都能通过。

本例中, 电动机转矩曲线已经给出, 因此可以直接计算等效转矩, 从而选择电动机功率。在一般情况下, 只知道负载转矩曲线, 必须先预选电动机, 才能计算出电动机转矩曲线, 问题就要复杂得多。

例 7 图 17-1-2 是具有平衡尾绳的矿井卷扬机传动示意图, 图中电动机 M 直接与摩擦轮连接, 当它们旋转时, 靠摩擦力带动钢绳和运载矿石车的罐笼, 尾绳系在左右两罐笼下面, 以平衡罐笼上面一段钢绳的重量。已知数据如下: 井深 $H=915\text{m}$; 运载重量 $G_1=58800\text{N}$; 空罐笼重量 $G_2=77150\text{N}$; 钢绳每米重量 $g_1=106\text{N/m}$; 罐笼与导轨的摩擦阻力使负载增大 20%; 摩擦轮直径 $d_1=6.44\text{m}$; 导轮直径 $d_2=5\text{m}$; 额定提升速度 $v_e=16\text{m/s}$; 提升加速度 $a_1=0.89\text{m/s}^2$ (加速段), $a_2=1\text{m/s}^2$ (减速段); 摩擦轮飞轮矩 $GD_1^2=2730000\text{N} \cdot \text{m}^2$; 导轮飞轮矩 $GD_2^2=584000\text{N} \cdot \text{m}^2$; 工作周期 $t_e=89.2\text{s}$; 钢绳及平衡绳总长度 $L=2H+90\text{m}$ 。试选择电动机的功率。

解

(1) 计算负载功率

由于两个罐笼和钢绳与尾绳的重量自相平衡, 计算负载功率时, 只需考虑运载的重量和摩擦力即可, 故负载力为

$$G = (1 + 0.2) G_1 = 1.2 \times 58800 = 70560 \text{ N}$$

负载功率为

$$P_e = \frac{G v_e}{1000} = \frac{70560 \times 16}{1000} = 1129 \text{ kW}$$

(2) 预选电动机

考虑过渡过程中转矩的增大, 取额定功率 $P_e \geq 1.2 P_e = 1.2 \times 1129 = 1355 \text{ kW}$ 。

由于容量较大, 为了减小总惯量, 采用双电动机拖动。选用额定功率 700kW、额定转速 47.5r/min、飞轮矩 $1065000\text{N} \cdot \text{m}^2$ 的电动机, 则电动机总飞轮矩 $GD_d^2 = 2 \times 1065000 = 2130000\text{N} \cdot \text{m}^2$, 提升速度 $v_e = \frac{\pi d_1 n_e}{60} = \frac{\pi \times 6.44 \times 47.5}{60} = 16.02\text{m/s}$, 符合需要。

(3) 计算电动机负载

如图 17-1-3 所示, $n=f(t)$ 是转速曲线。在启动时间里, $\frac{dn}{dt} > 0$, 电动机转矩 $T_b > T_e$; 在制动时间里, $\frac{dn}{dt} < 0$, $T_b < T_e$; 在恒速运行阶段, $T_b = T_e$ 。因此, 先计算 T_e , 再计算加速和减速的 $\frac{dn}{dt}$, 即可求出电动机转矩 $T=f(t)$ 。

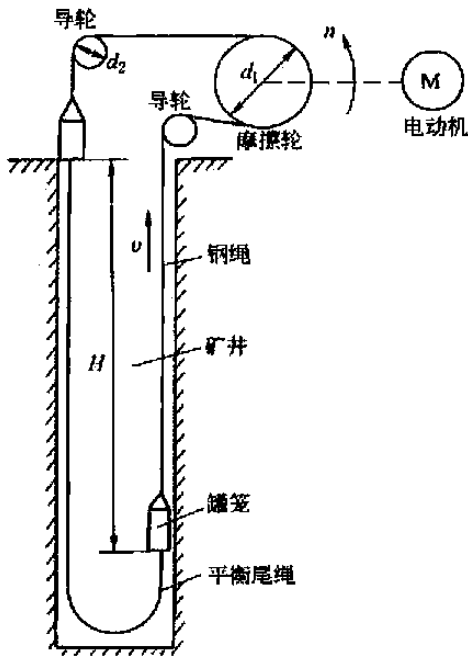


图 17-1-2

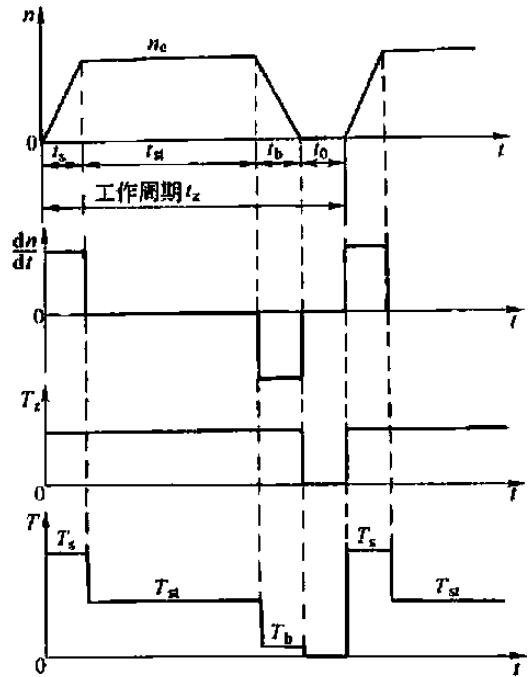


图 17-1-3

t_s —启动时间; t_{st} —恒速提升时间;
 t_b —制动时间; t_0 —停歇卸载及装载时间

负载转矩为

$$T_s = 1.2 G_1 \frac{d_1}{2} = 1.2 \times 58800 \times \frac{6.44}{2} = 227200 \text{ N} \cdot \text{m}$$

动态转矩为 $\frac{GD^2}{375} \times \frac{dn}{dt}$, 其中 GD^2 是运动部件的总飞轮矩, 包括旋转运动部分的飞轮矩 GD_r^2 和直线运动部分的飞轮矩 GD_l^2 。

折算到电动机轴上的旋转运动部分飞轮矩为

$$GD_r^2 = GD_d^2 + GD_1^2 + 2GD_2^2 \frac{n_2^2}{n_1^2} = 2130000 + 2730000 + 2 \times 584000 \times \left(\frac{6.44}{5}\right)^2 = 6798000 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

直线运动部分总重量为

$$G_s = G_1 + 2G_2 + g_s(2H + 90) = 58800 + 2 \times 77150 + 106 \times (2 \times 915 + 90) = 416620 \text{ N}$$

值得注意的是: 计算飞轮矩时, 互相平衡部分的惯量都应加在一起, 而不会抵消; 同时, 导轨上的摩擦力不应算到运动惯量中去。

直线运动部分飞轮矩为

$$GD_l^2 = \frac{365 G_s v_c^2}{n_c^2} = \frac{365 \times 416620 \times 16^2}{47.5^2} = 17250000 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

因此, 总飞轮矩为

$$\begin{aligned} GD^2 &= GD_r^2 + GD_l^2 \\ &= 6798000 + 17250000 = 24048000 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

加速转矩为

$$\begin{aligned} T_{a1} &= \frac{GD^2}{375} \left(\frac{dn}{dt} \right)_1 = a_1 \frac{GD^2}{375} \times \frac{60}{\pi d_1} \\ &= 0.89 \times \frac{24048000}{375} \times \frac{60}{\pi \times 6.44} = 169260 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

减速转矩为

$$\begin{aligned} T_{a3} &= \frac{GD^2}{375} \left(\frac{dn}{dt} \right)_3 = a_3 \frac{GD^2}{375} \times \frac{60}{\pi d_1} \\ &= 1 \times \frac{24048000}{375} \times \frac{60}{\pi \times 6.44} = 190180 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

负载图上各段转矩为

$$T_s = T_x + T_{st} = 227200 + 169260 = 396460 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{st} = T_x = 227200 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_b = T_x - T_{x3} = 227200 - 190180 = 37020 \text{ N} \cdot \text{m}$$

各段时间为

$$t_s = \frac{v_c}{a_1} = \frac{16}{0.89} = 18 \text{ s (加速时间)}$$

$$t_b = \frac{v_c}{a_3} = \frac{16}{1} = 16 \text{ s (减速时间)}$$

$$t_{st} = \frac{h_2}{v_2} = \frac{H - h_1 - h_3}{v_c} = \frac{H - \frac{1}{2} a_1 t_s^2 - \frac{1}{2} a_3 t_b^2}{v_c}$$

$$= \frac{915 - \frac{1}{2} \times 0.89 \times 18^2 - \frac{1}{2} \times 1 \times 16^2}{16} = \frac{915 - 144.2 - 128}{16} = 40.2 \text{ s (稳速时间)}$$

停歇时间为

$$t_0 = t_s - t_s - t_{st} - t_b = 89.2 - 18 - 40.2 - 16 = 15 \text{ s}$$

根据以上数据绘出电动机负载图, 如图 17-1-4 所示。

(4) 温升校验

散热恶化系数 $\alpha = 0.75$, $\beta = 0.5$ 。

等效转矩为

$$T_{dx} = \sqrt{\frac{T_s^2 t_s + T_{st}^2 t_{st} + T_b^2 t_b}{\alpha t_s + t_{st} + \alpha t_b + \beta t_0}}$$

$$= \sqrt{\frac{396460^2 \times 18 + 227200^2 \times 40.2 + 37020^2 \times 16}{0.75 \times 18 + 40.2 + 0.75 \times 16 + 0.5 \times 15}}$$

$$= \sqrt{\frac{4926295 \times 10^6}{73.2}} = 259420 \text{ N} \cdot \text{m}$$

电动机额定转矩为

$$T_e = \frac{9550 P_e}{n_e} = \frac{9550 \times 2 \times 700}{47.5} = 281470 \text{ N} \cdot \text{m} > T_{dx}$$

因此, 所选电动机温升通过。

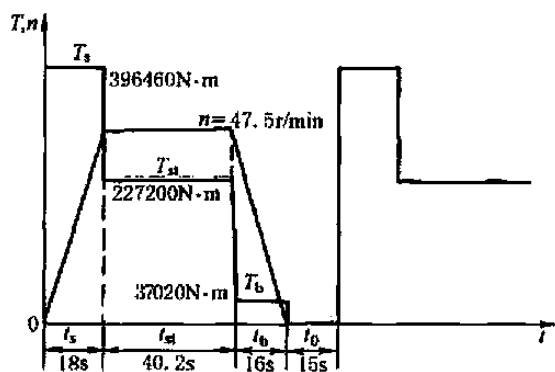


图 17-1-4

(5) 过载能力校验

考虑电动机过载能力为 $1.5T_e$ 。

负载图中最大转矩是启动转矩 $T_s = 396460 \text{ N} \cdot \text{m}$, $\frac{396460}{281470} T_e =$

$$1.41T_e < 1.5T_e$$

因此, 所选电动机过载能力通过。

由 (4)、(5) 两项计算可以看出, 温升及过载能力都能通过, 而且没有浪费, 因此所选电动机是合适的。

例 8 某大型车床刀架的快速移动机构, 其移动部件重量 $G = 5300 \text{ N}$, 移动速度 $v = 15 \text{ m/min}$, 最大移动距离 $L_m = 10 \text{ m}$, 传动效率 $\eta_c = 0.1$, 动摩擦因数 $\mu = 0.1$, 静摩擦因数 $\mu_0 = 0.2$, 传动机构的传动比 $j = 100 \text{ r/m}$ 。试选择电动机。

解 刀架移动时, 电动机的负载功率为

$$P_x = \frac{\mu G v}{60 \eta_c} \times 10^{-3} = \frac{0.1 \times 5300 \times 15}{60 \times 0.1} \times 10^{-3} = 1.325 \text{ kW}$$

最长工作时间为 $\frac{L_m}{v} = \frac{10}{15} = 0.667 \text{ min}$, 比一般小型电动机的发热时间常数小得多, 肯定应按过载能力选择电动机。由于此移

动机构电动机不用调速, 电动机转速近似为

$$n = jv = 100 \times 15 = 1500 \text{ r/min}$$

故应选四极笼式电动机。又由于机床上有润滑油, 为防止润滑油流入电动机, 应采用封闭式。

由产品目录节录, Y 系列四极笼型电动机额定数据如下:

型号	P_e/kW	U_e/V	I_e/A	$n_e/r \cdot \min^{-1}$	K_1	K_T	$\lambda_T = \frac{T_m}{T_e}$
Y90S-4	1.1	380	2.75	1400	7.0	1.8	2.0
Y90L-4	1.5	380	3.65	1400	7.0	1.8	2.0
Y100L1-4	2.2	380	5.03	1430	7.0	1.8	2.0
Y100L2-4	3.0	380	6.82	1430	7.0	1.8	2.0

按过载能力选择电动机:

$$P_e \geq \frac{P_s}{0.9^2 \lambda_T} = \frac{1.325}{0.9^2 \times 2.0} = 0.818 \text{ kW}$$

式中, 系数 0.9 是考虑交流电网波动 10%; λ_T 为交流电动机的过载倍数。可选 Y90S-4, $P_e = 1.1 \text{ kW}$ 。由于刀架电动机应在静摩擦情况下带负载启动, 需校验启动能力。

$$\text{启动时负载转矩 } T_{st} = \frac{\mu_0 G \rho}{60 \eta_c} \times 10^{-3} \times \frac{9550}{n} = \frac{0.2 \times 5300 \times 15}{60 \times 0.1} \times 10^{-3} \times \frac{9550}{1500} = 16.87 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{所选电动机的启动转矩 } T_q = K_T \frac{P_e}{n_e} \times 9550 = 1.8 \times \frac{1.1}{1400} \times 9550 = 13.51 \text{ N} \cdot \text{m}$$

式中, K_T 为启动转矩倍数, $K_T = 1.8$ 。 $T_q < T_{st}$, 启动能力不能通过。

为了提高启动转矩, 改选 Y90L-4 型 1.5kW 电动机, 其启动转矩为

$$T_q = K_T \frac{P_e}{n_e} \times 9550 = 1.8 \times \frac{1.5}{1400} \times 9550 = 18.42 \text{ N} \cdot \text{m} > T_{st}$$

启动能力通过了。但是, 如果考虑电网电压降落 10%, T_q 将降低为 $0.81 T_q = 0.81 \times 18.42 = 14.92 \text{ N} \cdot \text{m}$, 又低于 T_{st} 了, 应再选大一号的 Y100L1-4 型 2.2kW 电动机。

例 9 已知一台断续工作电动机的功率曲线如图 17-1-5 所示。预选电动机: YZR200L-6 型他励冷式绕线电动机, $FC = 25\%$, $P_e = 18.5 \text{ kW}$, $n_e = 701 \text{ r/min}$, $\lambda_T = 3$ 。试校验电动机的温升和过载能力。

解 由图 17-1-5 可知, 在工作时间 t_g 以内, 功率是变化的, 因此需计算其等效功率 P_{ms} 。但在第一阶段中, 转速 n 是线性变化的, 需修正这段的功率 (假定在启动过程中 $\cos\varphi_2$ 不变):

$$P' = \frac{P}{n} n_e = \frac{25}{n} \times n_e = 25 \text{ kW}$$

由于电动机是他励冷式, 在启动和制动过程中散热能力不变, 因此

$$P_{ms} = \sqrt{\frac{25^2 \times 5 + 12^2 \times 20}{5 + 20}} = 15.5 \text{ kW}$$

又由于制动是靠机械抱闸, 在制动过程中电动机断电, 制动时间应算在停歇时间之内, 所以实际负载持续率为

$$FC_s = \frac{5 + 20}{5 + 20 + 67.5} = \frac{25}{92.5} = 27\%$$

换算到额定 $FC = 25\%$ 时的等效功率应为

$$P = P_{ms} \sqrt{\frac{FC_s}{FC}} = 15.5 \times \sqrt{\frac{27}{25}} = 16.1 \text{ kW}$$

$P_e > P$, 因此温升可通过。

实际过载系数为 $\frac{25}{16.1} = 1.5528 < 3 (= \lambda_T)$, 因此过载能力还是足够的。

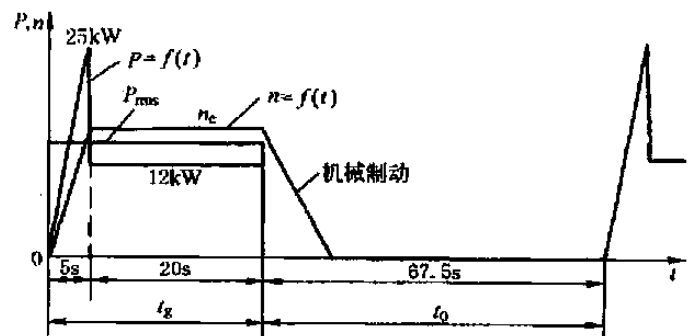


图 17-1-5

3 异步电动机常见故障

表 17-1-19

异步电动机常见故障

故障现象	可能原因	处理方法
不能启动	①电源未接通 ②绕组断路或短路 ③熔断器烧断 ④电源电压过低 ⑤负载过大或传动机械有故障 ⑥控制设备接线错误或过电流限值调得过小 ⑦绕线转子启动误操作	①检查熔断器、开关触点及电动机引出线有无断路,如有则进行处理 ②参见本表转速不正常和温升过高项 ③查出原因,排除故障,然后换上新熔断器 ④检查电源电压 ⑤更换功率较大的电动机或减轻负载。将电动机与负载分开,单独启动,如情况正常,应检查被传动机械,排除故障 ⑥校正接线或将过电流限值调到合适值 ⑦检查集电环的短路装置及启动变阻器的位置。启动时,应在线路内串接变阻器,并将短路装置断开
转速不正常	①电源电压太低 ②笼型转子断条 ③绕线转子一相断路或启动变阻器接触不良 ④电刷与集电环接触不良 ⑤负载阻力矩过大	①检查输入端电源电压,予以纠正 ②断条多发生在导条与端环连接处,找出断条位置并修理 ③查明原因,排除故障。绕组断条多发生在元件端部接头处或引出线附近。可用兆欧表或试灯找出断路处 ④调整电刷压力,改善接触情况 ⑤选用功率较大的电动机或减轻负载
温升过高或冒烟	①过载 ②三相异步电动机单相运行 ③电压过低或接线错误 ④绕组接地或匝间短路 ⑤定子、转子相擦 ⑥通风不畅,环境温度过高	①检查负载电流,选用功率较大的电动机或减轻负载 ②检查熔断器及开关的触点,排除故障或加装单相保护装置 ③检查输入电压,如三相异步电动机的Y/ Δ 连接错误,应予改正 ④绕组接地是由于绝缘受潮或老化开裂、磨损,使导体与机壳或铁芯相碰。接地多发生在绕组伸出槽口处,可用兆欧表测绝缘电阻或用试灯检查,然后修复。匝间短路由于局部高温,可用目测法找到位置,也可用兆欧表检查相间绝缘电阻,直流电动机换向器片间短路,可用毫伏表检查片间电压分布,读数突然变小,即可找出短路点,再修复 ⑤检查气隙,予以纠正 ⑥清除积灰,采取降温措施
运转声音不正常	①定子、转子相擦 ②三相异步电动机单相运行 ③轴承缺陷 ④转子风叶碰壳	①检查气隙,予以纠正 ②断电再合闸,如不能启动,则可能有一相断路,检查电源或电动机,排除故障 ③参见本表轴承故障项 ④校正风叶
不正常的振动	①转子不平衡 ②轴瓦与轴颈间隙过大或过小 ③安装定心不正	①校平衡 ②参见本表轴承故障项 ③检查轴线,加以校正
电动机绝缘电阻过小或外壳带电	①绕组受潮,绝缘老化,接线板有污垢或引出线碰接线盒外壳 ②电源线与接地线接错 ③直流电动机电枢绕组槽部或端部绝缘损坏	①将绕组进行干燥处理,去除污垢或更换绕组。如有可能,加装漏电保护器 ②纠正接线错误 ③用低压直流电源测量片间电压,找出接地点,排除故障
异步电动机运行时,电流表指针来回摆动	①笼型转子断条 ②绕线转子电动机一相电刷接触不良或断路 ③绕线转子集电环短路装置接触不良	①参见本表笼型转子断条项 ②调整电刷压力及改善接触情况 ③修理或更换短路装置
滚动轴承发热和正常杂声	①轴承内润滑脂过多或过少 ②滚珠(滚柱)磨损 ③轴承与轴配合过松(走内圈)或过紧 ④轴承与端盖配合过松(走外圈)或过紧	①维持适量的润滑脂(一般为轴承室内部容积的2/3~3/4) ②更换轴承 ③过松时,可用金属喷镀或镶套筒;过紧时,则需重新加工 ④过松时,可用金属喷镀或镶套筒;过紧时,则需重新加工
滑动轴承发热、漏油	①轴颈与轴瓦间隙太小,轴瓦研刮不好 ②油环运转不灵活,压力润滑系统的油泵有故障,油路不畅通 ③润滑油牌号不合适,油内有杂质 ④油箱内油位太高 ⑤轴承挡油盖密封不好;轴承座上下接合面间隙过大	①研刮轴瓦,使轴颈与轴瓦间隙合适 ②更换新油环,排除油路系统故障,保证有足够的润滑油量 ③换用合适的润滑油,清除杂质 ④减少油量 ⑤改进轴承挡油盖的密封结构,研刮轴承座上下接合面使之密合

4 常用电动机规格

4.1 旋转电动机外壳的防护分级 (摘自 GB/T 4942.1—2001)

表 17-1-20

旋转电动机外壳防护分级 (IP 代码)

表征数字	简 述	含 义	试验条件	表示方法	
第一位 表征 数字	0	无防护电动机	无专门防护	不进行试验	
	1	防护大于 50mm 固体的电动机	能防止大面积的人体(如手)偶然或意外地触及或接近壳内带电或转动部件(但不能防止故意接触) 能防止直径大于 50mm 的固体异物进入壳内	见 GB/T 4942.1—2001 中的表 3	<p>①表示防护等级的标志,由表征字母“IP”及附加在后的两个表征数字组成</p> <p>示例:</p> <pre> IP 4 4 | | | |——第二位表征数字(见本表) | | | |——第一位表征数字(见本表) | | | |——表征字母 </pre> <p>②当只需用一个表征数字表示某一防护等级时,被省略的数字应以字母“X”代替,如 IPX5 或 IP2X</p> <p>③当防护的内容有所增加,可由第二位数字后的补充字母表示,如 IP55S/IP20M(S 表示静止状态下试验,M 表示运转状态下试验)</p> <p>对设计为气候防护型空气冷却的开启式电动机,在规定的气候条件下,使雨、雪及气载颗粒的进入减少至一定的量,以适应正常的运行。这种防护等级的标志为在第二位表征数字后加字母 W</p>
	2	防护大于 12mm 固体的电动机	能防止手指或长度不超过 80mm 的类似物体触及或接近壳内带电或转动部件 能防止直径大于 12mm 的固体异物进入壳内		
	3	防护大于 2.5mm 固体的电动机	能防止直径大于 2.5mm 的工具或导线触及或接近壳内带电或转动部件 能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入壳内		
	4	防护大于 1mm 固体的电动机	能防止直径或厚度大于 1mm 的导线或片条触及或接近壳内带电或转动部件 能防止直径大于 1mm 的固体异物进入壳内		
	5	防尘电动机	能防止触及或接近壳内带电或转动部件虽不能完全防止灰尘进入,但进尘量不足以影响电动机的正常运行		
第二位 表征 数字	0	无防护电动机	无专门防护			不进行试验	见 GB/T 4942.1—2001 中的表 4
	1	防滴电动机	垂直滴水应无有害影响		
	2	15°防滴电动机	当电动机从正常位置向任何方向倾斜至 15°以内任一角度时,垂直滴水应无有害影响		
	3	防淋水电动机	与垂直线成 60°角范围内的淋水应无有害影响		
	4	防溅水电动机	承受任何方向的溅水应无有害影响		
	5	防喷水电动机	承受任何方向的喷水应无有害影响		
	6	防海浪电动机	承受猛烈的海浪冲击或强烈喷水时,电动机的进水量应不达到有害的程度		
	7	防浸水电动机	当电动机浸入规定压力的水中经规定时间后,电动机的进水量应不达到有害的程度		
	8	潜水电动机	电动机在制造厂规定的条件下能长期潜水。电动机一般为水密型,对某些类型电动机也可允许水进入,但应不达到有害的程度		

注:1. 第一位表征数字表示外壳对人和壳内部件的防护等级。表中“含义”栏中“防止”表示能防止部分人体、手持的工具或导线进入外壳,即使进入,也能与带电或危险的转动部件(光滑的旋转轴和类似部件除外)之间保持足够的间隙。第二位表征数字表示由于外壳进水而引起有害影响的防护等级。

2. 第一位表征数字为 1 至 4 的电动机所能防止的固体异物,包括形状规则或不规则的物体,其三个相互垂直的尺寸均超过“含义”栏中相应规定的数值。第一位表征数字为 5 的防尘电动机是一般的防尘,当尘的颗粒大小、纤维状或粒状已作规定时,试验条件应由制造厂和用户协商确定。

4.2 旋转电动机结构及安装型式 (IM 代号) (摘自 GB/T 997—2003)

旋转电动机结构及安装型式的 IM 代号有两种规定, 即代号 1 和代号 2。

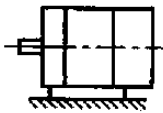
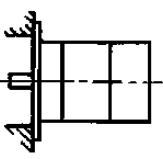
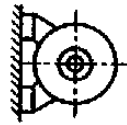
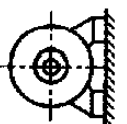
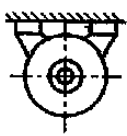
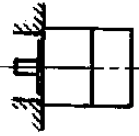
代号 1: 字母数字代号适用于具有端盖式轴承和一个轴伸的电动机。它由字母 IM 空一格, 随后为字母 B (卧式安装) 或字母 V (立式安装) 和一位或两位数字。代号 1 见表 17-1-21、表 17-1-22。

代号 2: 全数字代号适用于更广的电动机型式, 包括代号 1 涉及的电动机型式。它由字母 IM 空一格, 随后为四位数字。第一位、第二位和第三位数字表示结构状况, 第四位数字表示轴伸的型式。根据第一位数字的不同, 第二、三位数字具有不同的意义规定, 本节只摘编第一位数字为 1、2、3 时分别对应的第二、三位数字的意义, 第一位数字为 4~9 时, 第二、三位数字的意义见原标准 (GB/T 997—2003)。代号 2 见表 17-1-23 ~ 表 17-1-26。

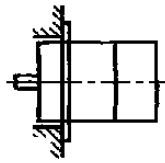
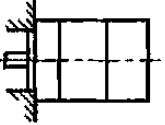
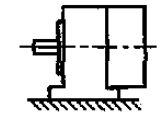
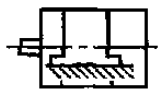
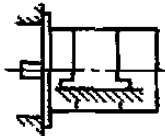
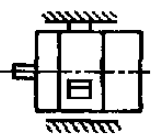
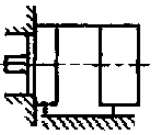
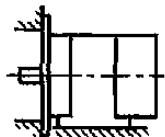
代号 1 和代号 2 之间的关系见表 17-1-27。

表 17-1-21

代号 1 卧式安装电动机代号 (IM B · ·)

代 号	示意图	结 构 型 式				安 装 型 式 (卧 式)
		端盖式 轴承数	底脚	凸缘	其他细节	
IM B3		2	有底脚	—	—	借底脚安装, 底脚在下
IM B5		2	—	有凸缘	端盖上带凸缘, 凸缘有通孔, 凸缘在 D 端	借 D 端凸缘面安装
IM B6		2	有底脚	—	—	借底脚安装, 从 D 端看底脚在左边
IM B7		2	有底脚	—	—	借底脚安装, 从 D 端看底脚在右边
IM B8		2	有底脚	—	—	借底脚安装, 底脚在上
IM B9		1	—	—	D 端无端盖或轴承	借 D 端的机座面安装

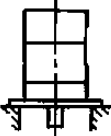
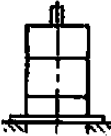
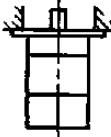
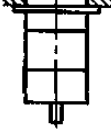
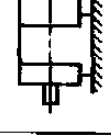
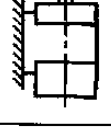
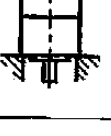
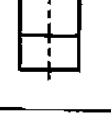
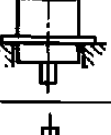
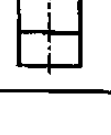
续表

代号	示意图	结构型式				安装型式 (卧式)
		端盖式 轴承数	底脚	凸缘	其他细节	
IM B10		2	—	有凸缘	D端有特殊的凸缘	借D端的凸缘面安装
IM B14		2	—	有凸缘	端盖有止口,有螺孔, 凸缘在D端	借D端的凸缘面安装
IM B15		1	有底脚	—	D端无端盖或轴承, 机座的D端用作附加 安装	借底脚安装,底脚在下, 用机座端面作附加安装
IM B20		2	有抬高的 底脚	—	—	借底脚安装,底脚在下
IM B25		2	有抬高的 底脚	有凸缘	端盖凸缘在D端,凸 缘上有通孔	借底脚安装,底脚在下, 用凸缘作附加安装
IM B30		2	—	—	在端盖或机座上有3 只或4只搭子	借搭子安装
IM B34		2	有底脚	有凸缘	端盖有止口,有螺孔, 凸缘在D端	借底脚安装,底脚在下, 用D端的凸缘面作附加 安装
IM B35		2	有底脚	有凸缘	端盖上带凸缘,凸缘 有通孔,凸缘在D端	借底脚安装,底脚在下, 用D端的凸缘面作附加 安装

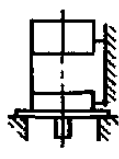
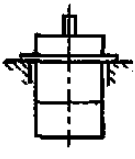
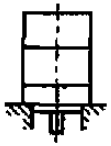
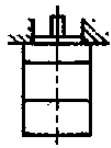
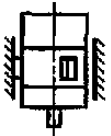
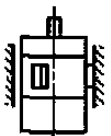
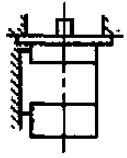
注: D端通常指电动机的传动端和发电机的被传动端。电机具有不同直径的双轴伸时, 直径大的一端为D端。电机具有相同直径的圆柱形轴伸和圆锥形轴伸时, 圆柱形轴伸一端为D端。

表 17-1-22

代号 1 立式安装电动机的代号 (IM V · ·)

代 号	示意图	结 构 型 式				安 装 型 式 (立式)
		端盖式 轴承数	底脚	凸缘	其他细节	
IM V1		2	—	有凸缘	端盖上带凸缘,凸缘有通孔,凸缘在 D 端	借 D 端凸缘面安装, D 端向下
IM V2		2	—	有凸缘	端盖上带凸缘,凸缘有通孔,凸缘在 N 端	借 N 端凸缘面安装, D 端向上
IM V3		2	—	有凸缘	端盖上带凸缘,凸缘有通孔,凸缘在 D 端	借 D 端凸缘面安装, D 端向上
IM V4		2	—	有凸缘	端盖上带凸缘,凸缘上有通孔,凸缘在 N 端	借 N 端凸缘面安装, D 端向下
IM V5		2	有底脚	—	—	借底脚安装, D 端向下
IM V6		2	有底脚	—	—	借底脚安装, D 端向上
IM V8		1	—	—	D 端无端盖或轴承	借 D 端机座端面安装, D 端向下
IM V9		1	—	—	D 端无端盖或轴承	借 D 端机座端面安装, D 端向上
IM V10		2	—	有凸缘	D 端有特殊的凸缘	借 D 端凸缘面安装, D 端向下
IM V14		2	—	有凸缘	D 端有特殊的凸缘	借 D 端凸缘面安装, D 端向上

续表

代号	示意图	结构型式				安装型式 (立式)
		端盖式 轴承数	底脚	凸缘	其他细节	
IM V15		2	有底脚	有凸缘	D 端端盖上带凸缘, 凸缘有通孔	借底脚安装, 用 D 端的凸缘面作附加安装, D 端向下
	端盖上带止口, 无通孔, 凸缘在 D 端					
IM V16		2	—	有凸缘	D 端有特殊的凸缘	借 N 端凸缘面安装, D 端向上
IM V18		2	—	有凸缘	端盖上带止口, 无通孔, 凸缘在 D 端	借 D 端凸缘面安装, D 端向下
IM V19		2	—	有凸缘	端盖上带止口, 无通孔, 凸缘在 D 端	借 D 端凸缘面安装, D 端向上
IM V30		2	—	—	在端盖或机座上有 3 只或 4 只搭子	借搭子安装, D 端向下
IM V31		2	—	—	在端盖或机座上有 3 只或 4 只搭子	借搭子安装, D 端向上
IM V36		2	有底脚	有凸缘	端盖上带凸缘, 凸缘在 D 端, 有通孔	借底脚安装, 用 D 端凸缘面作附加安装, D 端向上
	端盖上带止口, 无通孔, 凸缘在 D 端					

注: 1. D 端含义见表 17-1-21。

2. N 端表示电动机的非传动端, 即相对于传动端的另一端。

表 17-1-23

代号 2 第一位数字和第四位数字的意义

第一位数字	意 义	第四位数字	意 义
0	无安排	0	无轴伸
1	底脚安装电动机, 仅有端盖式轴承	1	一个圆柱形轴伸
2	底脚和凸缘安装电动机, 仅有端盖式轴承	2	两个圆柱形轴伸
3	凸缘安装电动机, 仅有端盖式轴承, 一个端盖带凸缘	3	一个圆锥形轴伸
4	凸缘安装电动机, 仅有端盖式轴承, 有一个凸缘, 凸缘不在端盖上, 而在机座或其他部件上	4	两个圆锥形轴伸
5	无轴承电动机	5	一个带凸缘的轴伸
6	具有端盖式轴承和座式轴承的电动机	6	两个带凸缘的轴伸
7	只有座式轴承的电动机	7	D 端为带凸缘的轴伸, N 端为圆柱形轴伸
8	第一位数字为 1 至 4 以外结构型式的立式电动机	8	无安排
9	特殊安装型式的电动机	9	其他类型的轴伸

表 17-1-24

代号 2 第一位数字为 1 时第二位和第三位数字的意义 (底脚安装电动机, 仅有端盖式轴承)

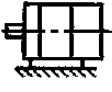
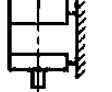
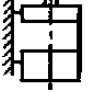
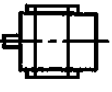

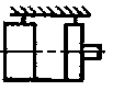
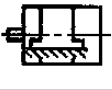
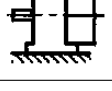
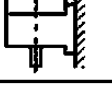


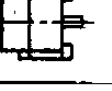
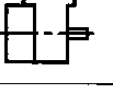
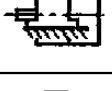
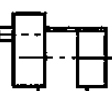
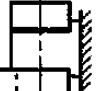
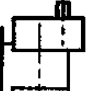




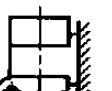




电动机结构		第二 位 数 字	代号和示意图									
轴 承 数	底脚 (齿轮箱)		第三位数字									
			0 卧式, 底脚在下	1 D 端向下	2	3 D 端向上	4	5 D 端在左, 底脚在背面	6 D 端在右, 底脚在背面	7 卧式, 底脚在上	8	9
2	正常底脚 (无齿轮箱)	0	IM 1001 	IM 1011 		IM 1031 		IM 1051 	IM 1061 	IM 1071 		
2	抬高底脚 (无齿轮箱)	1	IM 1101 									
1	正常底脚 (无齿轮箱)	2	IM 1201 	IM 1211 	适用于运行在第三位数字为 0 和 1	IM 1231 	适用于运行在第三位数字为 0、1 和 3	IM 1251 	IM 1261 	IM 1271 		适用于运行在第三位数字为 0、1、3、5、6 和 7 (不包括第三位数字 8 (轴的倾斜不作规定))
1	抬高底脚 (无齿轮箱)	3	IM 1301 									
	无安排	4	—	—		—		—	—	—		
	无安排	5	—	—		—		—	—	—		
2	正常底脚, 带输出轴平行于输入轴的齿轮箱	6	IM 1601 	IM 1611 		IM 1631 		IM 1651 	IM 1661 	IM 1671 		
2	正常底脚, 带输出轴位于输入轴右面的齿轮箱	7	IM 1701 	IM 1711 		IM 1731 		IM 1751 	IM 1761 	IM 1771 		
	无安排	8	—	—		—		—	—	—		
	无安排	9	—	—		—		—	—	—		

表 17-1-25

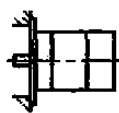
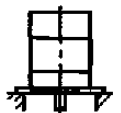
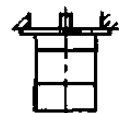
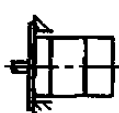

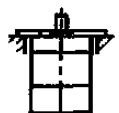
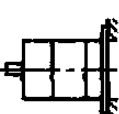
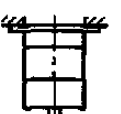
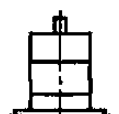
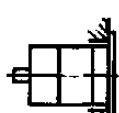

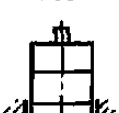
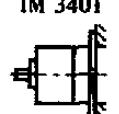


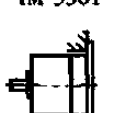

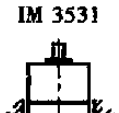
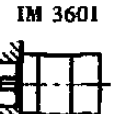
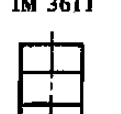



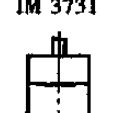
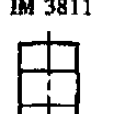
代号 2 第一位数字为 2 时第二位和第三位数字的意义
(底脚和凸缘安装电动机, 仅有端盖式轴承)

电动机结构		第二 位数字	代号和示意图										
			第三位数字										
底脚	凸缘数和凸缘上通孔		0 卧式, 底脚在下	1 D 端向下	2	3 D 端向上	4	5 D 端在左, 底脚在背面	6 D 端在右, 底脚在背面	7 卧式, 底脚在上	8	9	
正常底脚	一个凸缘, 凸缘有通孔	0	IM 2001 	IM 2011 		IM 2031 		IM 2051 	IM 2061 	IM 2071 			
	一个凸缘, 凸缘无通孔	1	IM 2101 	IM 2111 		IM 2131 		IM 2151 	IM 2161 	IM 2171 			
	两个凸缘, 凸缘有通孔	2	IM 2202 	IM 2212 	适用于运行在第三位数字为 0 和 1	IM 2232 	适用于运行在第三位数字为 0、1 和 3	IM 2252 	IM 2262 	IM 2272 			
	两个凸缘, 凸缘无通孔	3	IM 2302 	IM 2312 		IM 2332 		IM 2352 	IM 2362 	IM 2372 			
抬高底脚	一个凸缘, 凸缘有通孔	4	IM 2401 										
	无安排	5	—	—			—	—	—	—			
	无安排	6	—	—			—	—	—	—			

不包括第三位数字 0、8 (轴的倾斜不作规定)
适用于运行在第三位数字为 0、1、3、5、6 和 7

表 17-1-26

代号 2 第一位数字为 3 时第二和第三位数字的意义
(凸缘安装电动机, 仅有端盖式轴承, 一个端盖带凸缘)

电动机结构				第二位数字	代号和示意图						
轴承数	凸缘位置	凸缘有通孔	凸缘面朝向		第三位数字						
					0 卧式	1 D 端向下	2	3 D 端向上	4	5-8 无安排	9
2	D 端	是	D 端	0	IM 3001 	IM 3011 		IM 3031 			
2	D 端	是	N 端	1	IM 3101 	IM 3111 		IM 3131 			
2	N 端	是	N 端	2	IM 3201 	IM 3211 		IM 3231 			
2	N 端	是	D 端	3	IM 3301 	IM 3311 		IM 3331 			
1	N 端	是	N 端	4	IM 3401 	IM 3411 		IM 3431 			
1	N 端	是	D 端	5	IM 3501 	IM 3511 		IM 3531 			
2	D 端	否	D 端	6	IM 3601 	IM 3611 		IM 3631 			
2	N 端	否	N 端	7	IM 3701 	IM 3711 		IM 3731 			
2	D 端有裙式凸缘, 为端盖的一部分	是	D 端	8		IM 3811 					

适用于运行在第三位数字为 0 和 1

适用于运行在第三位数字为 0、1 和 3

不包括第三位数字 0、4 (轴的倾斜不作规定)

注: 第二位数字为 8, 除其有裙式凸缘外与第二位数字为 0 相同。

表 17-1-27

代号 1 和代号 2 之间的关系

卧式电动机代号 1 (IM B · ·) 和代号 2		立式电动机代号 1 (IM V · ·) 和代号 2	
代号 1	代号 2	代号 1	代号 2
IM B3	IM 1001	IM V1	IM 3011
IM B5	IM 3001	IM V2	IM 3231
IM B6	IM 1051	IM V3	IM 3031
IM B7	IM 1061	IM V4	IM 3211
IM B8	IM 1071	IM V5	IM 1011
IM B9	IM 9101	IM V6	IM 1031
IM B10	IM 4001	IM V8	IM 9111
IM B14	IM 3601	IM V9	IM 9131
IM B15	IM 1201	IM V10	IM 4011
IM B20	IM 1101	IM V14	IM 4031
IM B25	IM 2401	IM V15	IM 2011 或 2111
IM B30	IM 9201	IM V16	IM 4131
IM B34	IM 2101	IM V18	IM 3611
IM B35	IM 2001	IM V19	IM 3631
		IM V30	IM 9211
		IM V31	IM 9231
		IM V36	IM 2031 或 2131

4.3 常用电动机的特点及用途

表 17-1-28

常用电动机的特点及用途

类别	系列名称	主要性能及结构特点	容量范围 /kW	用途	工作条件	安装型式	型号及含义
一般异步电动机	Y 系列 (IP44) 封闭式三相异步电动机	效率高,耗电少,性能好,噪声小,振动小,体积小,重量轻,运行可靠,维修方便。B 级绝缘。结构为全封闭、自扇冷式,能防止灰尘、铁屑、杂物侵入电动机内部。冷却方式为 IC411	0.18 - 315 (连续工作制 S1 的容量)	适用于灰尘多、土扬水溅的场合,如农业机械、矿山机械、搅拌机、碾米机、磨粉机等,为一般用途电动机。660V 电动机的使用范围在逐步扩大	① 海拔不超过 1000m ② 环境温度不超过 40°C,最低温度为 -15°C,轴承允许温度(温度计法)不超过 95°C ③ 最湿月月平均最高相对湿度为 90%,同时该月月平均最低温度不高于 25°C ④ 额定电压为 380V,额定频率为 50Hz ⑤ 3kW 以下为 Y 接法,4kW 及以上为 Δ 接法	B3 B5 B35	Y132S2-2 Y—异步电动机 132—中心高 (mm) S2—机座长(短机座,2 号铁芯长) 2—极数
	Y 系列 (IP23) 防护式笼型三相异步电动机	为一般用途防滴式电动机,可防止直径大于 12mm 的小固体异物进入机壳内,并防止沿与垂直线成 60° 或小于 60° 的淋水对电动机的影响。同样机座号 IP23 比 IP44 提高一个功率等级。主要性能同 IP44。B 级绝缘,冷却方式为 IC01	5.5 ~ 355 (连续工作制 S1 的容量)	适用于驱动无特殊要求的各种机械设备,如金属切削机床、鼓风机、水泵、运输机械等。660V 电动机的使用范围在逐步扩大	① 定子绕组为 Δ 接法 ② 其他同 Y 系列 (IP44)	B3	Y160L2-2 Y—异步电动机 160—中心高 (mm) L2—机座长(长机座,2 号铁芯长) 2—极数
	YR 系列 (IP44) 绕线转子三相异步电动机	电动机有良好的密封性,广泛用于机械工业粉尘多、环境较恶劣的场所。电动机冷却方式为自扇冷却 IC0141, B 级绝缘	3 - 132 (连续工作制 S1 的容量)	适用于矿山、冶金等机械工业。660V 电动机的使用范围在逐步扩大	① 定子绕组为 Δ 接法 (3kW 时为 Y 接法),转子绕组 Y 接法 ② 其他同 Y 系列 (IP44)	B3 B35 V1	YR250M2-8 R—绕线转子

类别	系列名称	主要性能及结构特点	容量范围 /kW	用途	工作条件	安装 型式	型号及含义
一般异步电动机	YR 系列 (IP23) 绕线转子三相异步电动机	电动机转子采用绕线型绕组,使电动机能在较小的启动电流下提供较大的转矩,并能在一定范围内调速。冷却方式为 IC01, B 级绝缘	4 ~ 355 (连续工作制 S1 的容量)	适用于不含易燃、易爆或腐蚀性气体的场所,如压缩机、卷扬机、拔丝机、传输带、印刷机等。660V 电动机的使用范围在逐步扩大	①定子绕组为 Δ 接法, 转子绕组为 Y 接法 ②其他同 YR 系列 (IP44)	B3	YR160L1-4 R—绕线转子
	YH 系列高转差率三相异步电动机	为 Y 系列 (IP44) 派生系列,转差率高,启动转矩大,启动电流小,机械特性软,能承受冲击负荷。电动机转子采用高电阻铝合金制造。冷却方式为 IC0141, B 级绝缘	0.75 ~ 90	适用于传动转动惯量较大和冲击负荷以及反转次数较多的金属加工机床,如锤击机、剪切机、冲击机、锻冶机等	①为 S3 工作方式,负载持续率为 15%、25%、40%、60% (每个工作周期为 10min) ②其他同 Y 系列 (IP44)	B3 B5 B35	H—高转差率
	YEJ 系列电磁铁制动三相异步电动机	为全封闭、自扇冷、笼型转子具有附加圆盘型直流电磁铁制动的三相异步电动机,是 Y 系列电动机加上直流电磁铁制动器组合而成的产品,可使配套主机快速停机和准确定位。电动机约加长 20%	0.55 ~ 45 (连续工作制 S1 的容量)	适用于要求快速停止、准确定位的场合,如起重运输、食品、轻工、包装、印刷、水泥、建筑、木工、化工、机床等方面,广泛用于自动生产线上,不用于各种单机配套	同 Y 系列 (IP44) 但电磁制动防护等级为 IP23 电磁制动器的额定电压为直流 170V (中心高 112mm 及以上者)、直流 90V (中心高为 100mm 及以下者)	B3 B5 B6 B7 B8 B35	YEJ100L2-4 E—制动 J—附加电磁制动器
	YEP 系列旁磁制动三相异步电动机	是在 Y 系列电动机基础上附加一个制动器。电动机接通三相交流电源,产生一个旋转磁场,由于分磁结构限制,转子部分磁通产生轴向磁拉力,使制动盘与刹车圈脱离,电动机运转。断电后,在弹簧力作用下制动,电动机停转	0.55 ~ 11	同 YEJ 系列	①工作方式 S3, 负载持续率为 25% (每个工作周期为 10min) ②其他同 Y 系列 (IP44)	B3 B5 B6 B7 B8 B35	YEP132S-4 EP—旁磁制动
变速和减速异步电动机	YD 系列变极多速三相异步电动机	改变 Y 系列 (IP44) 电动机定子绕组的接线方法,以改变极对数,得到多种转速。对简化变速系统和节约能源有意义。B 级绝缘,冷却方式同 Y 系列	0.45 ~ 92	适用于机床、矿山、冶金、纺织等需变速的各种传动	①工作方式 S1 ②其他同 Y 系列 (IP44)	B3 B5 B6 B7 B8 B35 V1 V3 V5 V6 V15	YD100L2-6/4 D—多速 6/4—极数比
	YCJ 系列齿轮减速三相异步电动机	是 Y 系列 (IP44) 的派生系列,由同轴式减速器和全封闭自冷式电动机构成一个整体。输出转速低,转矩大,体积小,噪声小,运行可靠。B 级绝缘, IC0141 冷却方式	0.55 ~ 15	适用于驱动低转速传动机械,可供矿山、冶金、制糖、造纸、化工、橡胶等行业设备配套使用	①工作方式 S1 ②其他同 Y 系列 (IP44)	B5 B6 B7 B8 V1 V5	YCJ132-1.5-35 CJ—齿轮减速 132—输出轴中心高 (mm) 35—输出转速 (r/min) 1.5—电动机额定功率 (kW)

续表

类别	系列名称	主要性能及结构特点	容量范围 /kW	用途	工作条件	安装 型式	型号及含义
变速和调速异步电动机	YCT、YCTD 系列电磁调 速三相异步 电动机	由电磁转差离合器、拖动电动机、测速发电机组成,配上专用控制器调节离合器的励磁电流可进行恒转矩或风机型负载设备无级调速,并有速度负反馈的自动调节系统。在最高转速时传递效率较高,转速低时效率低。拖动电动机为4极笼型Y系列电动机,借端盖装在离合器机座上。YCTD系列与YCT系列相比,相同功率的电动机要缩小1~2个机座号,额定最高转速平均提高4.2%。B级绝缘,空气冷却。由于变频器的普及,此类电动机逐渐被变频调速电动机代替	0.55 ~ 90	适用于装载机、化纤、电线电缆、造纸、印刷、水泥、橡胶、电力、水泵、风机等要求无级变速的机械设备上	①户内使用 ②介质中不含有铁磁性物质、尘埃或腐蚀性金属、破坏绝缘的气体 ③控制器电源为220V、50Hz ④环境温度-15~40℃ ⑤海拔1000m以下	B3	YCTD112-4A (B) C—电磁 T—调速 D—低电阻端环 112—中心高 (mm) 4—拖动电动机极数 A(B)—拖动电动机功率等级
起重冶金电动机	YZR、YZ 系列起重及 冶金用三相 异步电动机	YZR系列为绕线转子电动机,YZ系列为笼型转子电动机。有较高的机械强度及过载能力,转动惯量小,适于频繁快速启动及反转频繁的制动场合。绝缘等级为F、H级,冷却方式IC410、IC411	YZR1.5 ~200 YZ1.5 ~30	适用于室内外多尘环境及启动、逆转次数频繁的起重机械和冶金设备等	①工作方式S3 ②户外电动机 ③海拔不超过1000m ④环境温度不超过40℃(F级)、60℃(H级) ⑤轴承允许温升95℃(F级)、115℃(H级)	IM1001 IM1003 IM1002 IM1004 IM3001 IM3003 IM3011 IM3013	YZR132M1-6 Z—起重及冶金用 R—绕线转子(笼型转子无R)
隔爆异步电动机	YB系列 隔爆型异步 电动机	为全封闭自扇冷式隔爆笼型电动机,是Y系列(IP44)接线盒为IP54的派生产品。加强外壳机械强度设计,保证各接合面上具有一定间隙参数,一旦电动机内部爆炸不致引起周围环境爆炸性混合物爆炸。它的外壳、端盖、接线盒座、接线盒盖等零件组成外部防爆外壳,接线盒具有良好的防爆性能,位于电动机顶部。改变接线盒的位置可从四个方向进线。电动机冷却方式为IC0141,绝缘等级为F级	0.55 ~ 160	广泛用于有爆炸性气体混合物存在的场所,(如石油、化工、煤矿井下)作一般用途驱动电动机	①环境温度不超过40℃ ②海拔不超过1000m ③频率50Hz,电压380V、220V、660V或380V/660V、220V/380V ④工作方式S1	B3 V1	YB355S2-2-W B—隔爆型 W—气候防护(W—户外,F—防腐,TH—湿热带)
振动异步电动机	YZO系 列振动异步 电动机	为各类振动机通用型激振源,全封闭结构设计,保证电动机在无爆炸性场所工作。调节两块偏心块夹角的大小可实现振动电动机激振力的无级调节。B级绝缘,防护等级为IP54	0.09 ~ 10	广泛用于电力、建材、煤炭、矿山、冶金、化工、轻工及铸造等行业,作为振动给料机、振动落砂机、振动筛分机等设备的振源	①环境温度不超过40℃ ②海拔不超过1000m ③相对湿度不超过95% ④电源为三相交流50Hz、380V	B3 V1	YZO-10-2A YZO—普通型 振电动 电动机 10—额定激振力(kN) 2—电动机极数 A—结构代号,底脚与端盖相连(B—底脚与机座相连)

类别	系列名称	主要性能及结构特点	容量范围 /kW	用途	工作条件	安装 型式	型号及含义
小 功 率 电 动 机	YS 系列 三相异步电 动机	体积小,重量轻,结构简单, 运行可靠,维修方便。两个端 盖式轴承。E 级绝缘,防护等 级 IP44,冷却方式机座号 63 以 上为 IC0141,56 以下为 IC0041	10 ~ 2200W	广泛应用于机 械传动设备上, 如小型机床,冶 金、化工、纺织、 医疗器械及日用 电器	①环境温度不超过 40℃,最低-15℃ ②相对湿度不超 过 90% ③海拔不超过 1000m ④电源频率 50Hz,电 压 220V/380V ⑤工作方式 S1	B3(V5、 V6) B14 (V18、 V19) B34 B5 (V1、V3) B35	
	YU 系列 电阻启动异 步电动机	冷却方式 IC0141,其他同 YS 系列	60 ~ 1100W	适用于不需要 较高的启动转矩 而启动电流允许 较大的一般机械 传动,如小型机 床、鼓风机、医疗 器械、工业缝纫 机、排风扇等	①额定电压 220V ②其他同 YS 系列	同 YS 系列	
	YC 系列 电容启动异 步电动机	同 YU 系列	120 ~ 3700W	适用于启动转 矩不高、启动电 流不大的一般机 械传动;功率较 大的电动机适用 于小型机床、水 泵、冷冻机、空气 压缩机、木工机 械等	同 YU 系列	同 YS 系列	
	YY 系列 电容运转异 步电动机	同 YS 系列	10 ~ 2200W	适用于要求平 稳及启动转矩小 的传动设备,如 录音机、风扇、记 录仪表等	同 YU 系列	同 YS 系列	
	Z4 系列 直流电动机	可用直流电源供电,更适用 于静止整流电源供电,转动惯 量小,有较好的动态性能,能承 受高负载变化,适用于需平滑 调速、效率高、自动稳速、反应 灵敏的控制系统。外壳防护等 级为 IP21S,冷却方式为 IC06, F 级绝缘	1.5 ~ 55	广泛用于轻工 机械及纺织、造 纸和冶金工业等 调速要求高的自 动化传动系统	①额定电压 160V,在 单相桥式整流供电下 一般需带电抗器工作。 440V 电动机不接电抗器 ②海拔不超过 1000m ③环境温度不超过 40℃ ④工作方式 S1	B3 B35 B5 V1 V15	Z4-112/2-1 Z—直流电动机 4—设计序号 2—极数 1—1 号铁芯 长度 112—机座中心 高(mm) Z4-160/21 160—机座中心 高(mm) 2—2 号铁芯长 1—1 号端盖

注:旋转电动机的冷却方法及标记见标准 GB/T 1993—1993。

4.4 一般异步电动机

4.4.1 Y2 系列 (IP54) (摘自 JB/T 8680.1—1998、JB/T 8680.2—1998)、Y3 系列 (IP55) (摘自 JB/T 10447—2004) 三相异步电动机

表 17-1-29 Y2、Y3 系列三相异步电动机技术数据 (380V)

型 号	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率 因数 cosφ	最大 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{max}}{T_N}$	最小 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{min}}{T_N}$	堵转 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{st}}{T_N}$	堵转 电流 额定 电流 $\frac{I_{st}}{I_N}$	噪声 (声功率级)		转动 惯量 /kg·m ²	参考 质量 /kg
										空载	空负 载之差		
Y2-801-2	0.75	1.8	2830	75.0	0.83	2.3	1.5	2.2	6.1	67	2	0.00075	16
Y2-802-2	1.1	2.6	2830	77.0	0.84	2.3	1.5	2.2	7.0	67	2	0.00090	17
Y2-90S-2	1.5	3.4	2840	79.0	0.84	2.3	1.5	2.2	7.0	72	2	0.0012	22
Y2-90L-2	2.2	4.9	2840	81.0	0.85	2.3	1.4	2.2	7.0	72	2	0.0014	25
Y2-100L-2	3	6.3	2880	83.0	0.87	2.3	1.4	2.2	7.5	76	2	0.0029	33
Y2-112M-2	4	8.1	2890	85.0	0.88	2.3	1.4	2.2	7.5	77	2	0.0055	45
Y2-132S1-2	5.5	11	2900	86.0	0.88	2.3	1.2	2.2	7.5	80	2	0.0109	64
Y2-132S2-2	7.5	14.9	2900	87.0	0.88	2.3	1.2	2.2	7.5	80	2	0.0126	70
Y2-160M1-2	11	21.3	2930	88.0	0.89	2.3	1.2	2.2	7.5	86	2	0.0377	117
Y2-160M2-2	15	28.8	2930	89.0	0.89	2.3	1.2	2.2	7.5	86	2	0.0449	125
Y2-160L-2	18.5	34.7	2930	90.0	0.90	2.3	1.1	2.2	7.5	86	2	0.055	147
Y2-180M-2	22	41	2940	90.0	0.90	2.3	1.1	2.0	7.5	89	2	0.075	180
Y2-200L1-2	30	55.5	2950	91.2	0.90	2.3	1.1	2.0	7.5	92	2	0.124	240
Y2-200L2-2	37	67.9	2950	92.0	0.90	2.3	1.1	2.0	7.5	92	2	0.139	255
Y2-225M-2	45	82.3	2960	92.3	0.90	2.3	1.0	2.0	7.5	92	2	0.233	309
Y2-250M-2	55	101	2970	92.5	0.90	2.3	1.0	2.0	7.5	93	2	0.312	403
Y2-280S-2	75	134.4	2970	93.0	0.91	2.3	0.9	2.0	7.5	94	2	0.597	544
Y2-280M-2	90	160.2	2970	93.8	0.91	2.3	0.9	2.0	7.5	94	2	0.675	620
Y2-315S-2	110	195	2980	94.0	0.91	2.2	0.9	1.8	7.1	96	2	1.18	980
Y2-315M-2	132	233	2980	94.5	0.91	2.2	0.9	1.8	7.1	96	2	1.82	1080
Y2-315L1-2	160	279	2980	94.6	0.92	2.2	0.9	1.8	7.1	99	2	2.08	1160
Y2-315L2-2	200	348	2980	94.8	0.92	2.2	0.8	1.8	7.1	99	2	2.41	1190

型 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率 因数 cosφ	最大 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{max}}{T_N}$	最小 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{min}}{T_N}$	堵转 转矩 额定 转矩 $\frac{T_d}{T_N}$	堵转 电流 额定 电流 $\frac{I_d}{I_N}$	噪声 (声功率级)		转动 惯量 /kg·m ²	参考 质量 /kg
										空载	空负 载之差		
Y2-355M-2	250	433	2980	95.3	0.92	2.2	0.8	1.6	7.1	103	2	3.56	1760
Y2-355L-2	315	544	2980	95.6	0.92	2.2	0.8	1.6	7.1	103	2	4.16	1850
Y2-801-4	0.55	1.6	1390	71.0	0.75	2.3	1.7	2.4	5.2	58	5	0.0018	17
Y2-802-4	0.75	2	1390	73.0	0.77	2.3	1.6	2.4	6.0	58	5	0.0021	18
Y2-90S-4	1.1	2.9	1400	75.0	0.77	2.3	1.6	2.3	7.0	61	5	0.0021	22
Y2-90L-4	1.5	3.7	1400	78.0	0.79	2.3	1.6	2.3	7.0	61	5	0.0027	27
Y2-100L1-4	2.2	5.2	1430	80.0	0.81	2.3	1.5	2.3	7.0	64	5	0.0054	34
Y2-100L2-4	3	6.8	1430	82.0	0.82	2.3	1.5	2.3	7.0	64	5	0.0067	38
Y2-112M-4	4	8.8	1440	84.0	0.82	2.3	1.5	2.3	7.0	65	5	0.0095	43
Y2-132S-4	5.5	11.8	1440	85.0	0.83	2.3	1.4	2.3	7.0	71	5	0.0214	68
Y2-132M-4	7.5	15.6	1440	87.0	0.84	2.3	1.4	2.3	7.0	71	5	0.0296	81
Y2-160M-4	11	22.3	1460	88.0	0.85	2.3	1.4	2.2	7.0	75	5	0.0747	123
Y2-160L-4	15	30.1	1460	89.0	0.85	2.3	1.4	2.2	7.5	75	4	0.0918	144
Y2-180M-4	18.5	36.5	1470	90.5	0.86	2.3	1.2	2.2	7.5	76	4	0.139	182
Y2-180L-4	22	43.2	1470	91.0	0.86	2.3	1.2	2.2	7.5	76	4	0.158	190
Y2-200L-4	30	57.6	1470	92.0	0.86	2.3	1.2	2.2	7.2	79	4	0.262	270
Y2-225S-4	37	69.9	1480	92.5	0.87	2.3	1.2	2.2	7.2	81	4	0.406	284
Y2-225M-4	45	84.7	1480	92.8	0.87	2.3	1.1	2.2	7.2	81	3	0.469	320
Y2-250M-4	55	103	1480	93.0	0.87	2.3	1.1	2.2	7.2	83	3	0.66	427
Y2-280S-4	75	139.6	1480	93.8	0.87	2.3	1.0	2.2	7.2	86	3	1.12	562
Y2-280M-4	90	166.9	1480	94.2	0.87	2.3	1.0	2.2	7.2	86	3	1.46	667
Y2-315S-4	110	201	1480	94.5	0.88	2.2	1.0	2.1	6.9	93	3	3.11	1000
Y2-315M-4	132	240	1480	94.8	0.88	2.2	1.0	2.1	6.9	93	3	3.62	1100
Y2-315L1-4	160	289	1480	94.9	0.89	2.2	1.0	2.1	6.9	97	3	4.13	1160
Y2-315L2-4	200	359	1480	95.0	0.89	2.2	0.9	2.1	6.9	97	3	4.94	1270
Y2-355M-4	250	443	1480	95.3	0.90	2.2	0.9	2.1	6.9	101	3	5.67	1700

续表

型 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率 因数 cosφ	最大 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{max}}{T_N}$	最小 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{min}}{T_N}$	堵转 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{st}}{T_N}$	堵转 电流 额定 电流 $\frac{I_{st}}{I_N}$	噪声 (声功率级)		转动 惯量 /kg·m ²	参考 质量 /kg
										空 载	空负 载之差		
Y2-355L-4	315	556	1480	95.6	0.90	2.2	0.8	2.1	6.9	101	3	6.66	1850
Y2-801-6	0.37	1.3	900	62.0	0.70	2.0	1.5	1.9	4.7	54	7	0.00158	17
Y2-802-6	0.55	1.7	900	65.0	0.72	2.0	1.5	1.9	4.7	54	7	0.0021	19
Y2-90S-6	0.75	2.3	910	69.0	0.72	2.1	1.5	2.0	5.5	57	7	0.0029	23
Y2-90L-6	1.1	3.2	910	72.0	0.73	2.1	1.3	2.0	5.5	57	7	0.0035	25
Y2-100L-6	1.5	3.9	940	76.0	0.76	2.1	1.3	2.0	5.5	61	7	0.0069	33
Y2-112M-6	2.2	5.6	940	79.0	0.76	2.1	1.3	2.0	6.5	65	7	0.0138	45
Y2-132S-6	3	7.4	960	81.0	0.76	2.1	1.3	2.1	6.5	69	7	0.0286	63
Y2-132M1-6	4	9.8	960	82.0	0.76	2.1	1.3	2.1	6.5	69	7	0.0357	73
Y2-132M2-6	5.5	12.9	960	84.0	0.77	2.1	1.3	2.1	6.5	69	7	0.0449	84
Y2-160M-6	7.5	17	970	86.0	0.77	2.1	1.3	2.0	6.5	73	7	0.0881	119
Y2-160L-6	11	24.2	970	87.5	0.78	2.1	1.2	2.0	6.5	73	7	0.116	147
Y2-180L-6	15	31.6	970	89.0	0.81	2.1	1.2	2.0	7.0	73	6	0.207	195
Y2-200L1-6	18.5	38.6	970	90.0	0.81	2.1	1.2	2.1	7.0	76	6	0.315	220
Y2-200L2-6	22	44.7	970	90.0	0.83	2.1	1.2	2.1	7.0	76	6	0.36	250
Y2-225M-6	30	59.3	980	91.5	0.84	2.1	1.2	2.0	7.0	76	6	0.547	292
Y2-250M-6	37	71	980	92.0	0.86	2.1	1.2	2.1	7.0	78	6	0.834	408
Y2-280S-6	45	85.9	980	92.5	0.86	2.0	1.1	2.1	7.0	80	5	1.39	536
Y2-280M-6	55	104.7	980	92.8	0.86	2.0	1.1	2.1	7.0	80	5	1.65	595
Y2-315S-6	75	141	990	93.5	0.86	2.0	1.0	2.0	7.0	85	5	4.11	990
Y2-315M-6	90	169	990	93.8	0.86	2.0	1.0	2.0	7.0	85	5	4.28	1080
Y2-315L1-6	110	206	990	94.0	0.86	2.0	1.0	2.0	6.7	85	5	5.45	1150
Y2-315L2-6	132	244	990	94.2	0.87	2.0	1.0	2.0	6.7	85	4	6.12	1210
Y2-355M1-6	160	292	990	94.5	0.88	2.0	1.0	1.9	6.7	92	4	8.85	1600
Y2-355M2-6	200	365	990	94.7	0.88	2.0	0.9	1.9	6.7	92	4	9.55	1700
Y2-355L-6	250	455	990	94.9	0.88	2.0	0.9	1.9	6.7	92	4	10.63	1800

型 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率 因数 cosφ	最大 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{max}}{T_N}$	最小 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{min}}{T_N}$	堵转 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{st}}{T_N}$	堵转 电流 额定 电流 $\frac{I_{st}}{I_N}$	噪声 (声功率级)		转动 惯量 /kg·m ²	参考 质量 /kg
										空载	空负 载之差		
Y2-801-8	0.18	0.9	630	51.0	0.61	1.9	1.3	1.8	3.3	52	8	0.00158	17
Y2-802-8	0.25	1.2	640	54.0	0.61	1.9	1.3	1.8	3.3	52	8	0.0021	19
Y2-90S-8	0.37	1.5	660	62.0	0.61	1.9	1.3	1.8	4.0	56	8	0.0029	23
Y2-90L-8	0.55	2.2	680	63.0	0.61	2.0	1.3	1.8	4.0	56	8	0.0035	25
Y2-100L1-8	0.75	2.4	690	71.0	0.67	2.0	1.3	1.8	4.0	59	8	0.0069	33
Y2-100L2-8	1.1	3.4	690	73.0	0.69	2.0	1.2	1.8	5.0	59	8	0.0107	38
Y2-112M-8	1.5	4.5	680	75.0	0.69	2.0	1.2	1.8	5.0	61	8	0.0149	50
Y2-132S-8	2.2	6	710	78.0	0.71	2.0	1.2	1.8	6.0	64	8	0.0314	63
Y2-132M-8	3	7.9	710	79.0	0.73	2.0	1.2	1.8	6.0	64	8	0.0395	79
Y2-160M1-8	4	10.3	720	81.0	0.73	2.0	1.2	1.9	6.0	68	8	0.0753	118
Y2-160M2-8	5.5	13.6	720	83.0	0.74	2.0	1.2	2.0	6.0	68	8	0.0931	119
Y2-160L-8	7.5	17.8	720	85.5	0.75	2.0	1.2	2.0	6.0	68	8	0.126	145
Y2-180L-8	11	25.1	730	87.5	0.76	2.0	1.1	2.0	6.6	70	8	0.203	184
Y2-200L-8	15	34.1	730	88.0	0.76	2.0	1.1	2.0	6.6	73	7	0.339	250
Y2-225S-8	18.5	41.1	730	90.0	0.76	2.0	1.1	1.9	6.6	73	7	0.491	266
Y2-225M-8	22	47.4	740	90.5	0.78	2.0	1.1	1.9	6.6	73	7	0.547	292
Y2-250M-8	30	64	740	91.0	0.79	2.0	1.1	1.9	6.6	75	7	0.834	405
Y2-280S-8	37	77.8	740	91.5	0.79	2.0	1.1	1.9	6.6	76	7	1.39	520
Y2-280M-8	45	94.1	740	92.0	0.79	2.0	1.0	1.9	6.6	76	6	1.65	592
Y2-315S-8	55	111	740	92.8	0.81	2.0	1.0	1.8	6.6	82	6	4.79	1000
Y2-315M-8	75	151	740	93.0	0.81	2.0	0.9	1.8	6.6	82	6	5.58	1100
Y2-315L1-8	90	178	740	93.8	0.82	2.0	0.9	1.8	6.6	82	6	6.37	1160
Y2-315L2-8	110	217	740	94.0	0.82	2.0	0.9	1.8	6.4	82	6	7.23	1230
Y2-355M1-8	132	261	740	93.7	0.82	2.0	0.9	1.8	6.4	90	5	10.55	1600
Y2-355M2-8	160	315	740	94.2	0.82	2.0	0.9	1.8	6.4	90	5	11.73	1700
Y2-355L-8	200	388	740	94.5	0.83	2.0	0.9	1.8	6.4	90	5	12.86	1800
Y2-315S-10	45	100	590	91.5	0.75	2.0	0.8	1.5	6.2	82	7	4.79	810
Y2-315M-10	55	121	590	92.0	0.75	2.0	0.8	1.5	6.2	82	7	6.37	930
Y2-315L1-10	75	162	590	92.5	0.76	2.0	0.8	1.5	6.2	82	7	7	1045

续表

型 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率 因数 cosφ	最大 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{max}}{T_N}$	最小 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{min}}{T_N}$	堵转 转矩 额定 转矩 $\frac{T_{st}}{T_N}$	堵转 电流 额定 电流 $\frac{I_{st}}{I_N}$	噪声 (声功率级)		转动 惯量 /kg·m ²	参考 质量 /kg
										空载	空负 载之差		
Y2-315L2-10	90	191	590	93.0	0.77	2.0	0.8	1.5	6.2	82	7	7.15	1115
Y2-355M1-10	110	230	590	93.2	0.78	2.0	0.8	1.3	6.0	90	7	12.55	1500
Y2-355M2-10	132	275	590	93.5	0.78	2.0	0.8	1.3	6.0	90	6	13.75	1600
Y2-355L-10	160	334	590	93.5	0.78	2.0	0.8	1.3	6.0	90	6	14.86	1700

注：1. 主要技术指标为

效率——电动机输出机械功率与输入电功率之比，通常用百分数表示；

功率因数 $\cos\phi$ ——电动机输入有效功率与视在功率之比；

堵转电流——电动机在额定电压、额定频率和转子堵住时从供电回路输入的稳态电流有效值；

堵转转矩——电动机在额定电压、额定频率和转子堵住时所产生的转矩的最小测得值；

最大转矩——电动机在额定电压、额定频率和运行温度下，转速不发生突降时所产生的最大转矩；

噪声——电动机在空载稳定运行时 A 计权声功率级 dB(A) 最大值；

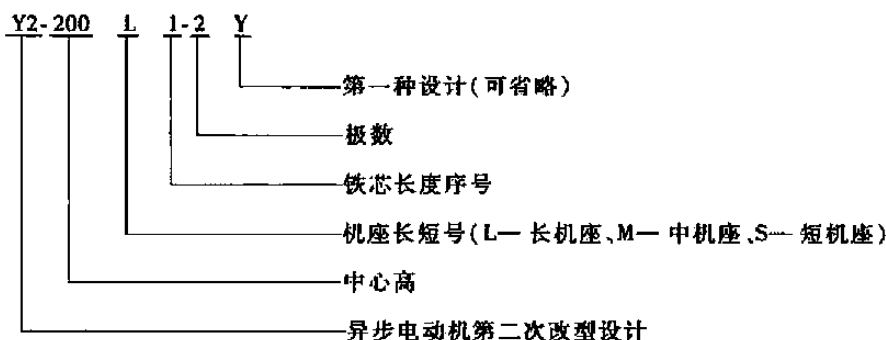
振动——电动机在空载稳态运行时振动速度有效值 (mm/s)。

2. Y2 系列是在 Y 系列基础上的更新设计，提高了功率、启动转矩、绝缘等级及防护等级。

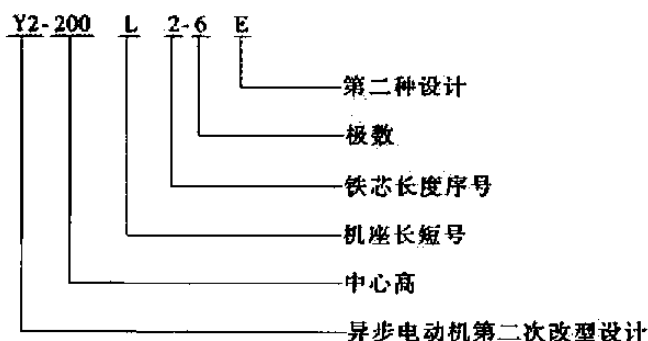
表中所列数据为 Y2 系列的数据，Y3 系列的数据与 Y2 系列基本一致，但 Y3 系列采用了优质冷轧硅钢片，采用 F 级绝缘，且温升按 B 级考核，从而具有较高效率和节能效果，并提高了使用寿命。

3. 型号含义

Y2 系列电动机有两种设计。第一种适用于国内外一般机械配套，在轻载时有较高效率，在实际运行中有较佳节能效果，且具有较高堵转转矩，此设计称为 Y2-Y 系列。中心高 63~355mm，功率 0.12~315kW。电动机符合 JB/T 8680.1—1998 Y2 系列 (IP54) 三相异步电动机 (机座号 63~355) 技术条件。型号含义：



第二种设计满载时有较高效率和节能效果，更适用于长期连续、运行和负载率较高的使用场合，如与水泵、风机配套，此设计称为 Y2-E 系列。中心高 80~280mm，功率 0.55~90kW。电动机符合 JB/T 8680.2—1998 Y2 系列 (IP54) 三相异步电动机 (机座号 80~280) 技术条件。型号含义：

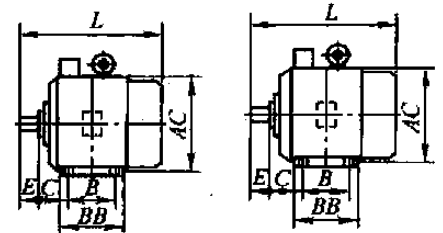


4. S、M、L 后面的数字 1、2 分别代表同一机座号和转速下不同的功率 (后面表均同)。

5. 转动惯量和参考质量栏数据仅供参考。本表转动惯量及参考质量取自北京毕捷电机股份有限公司的产品样本。

6. 生产厂家：北京毕捷电机股份有限公司，西安电机总厂，上海电机 (集团) 有限公司革新电机厂、五一电机厂，昆明电机厂，沈阳实业电机厂，江西特种电机股份有限公司等。

机座带底脚、端盖上无凸缘 (B3)

机座号80~132
(机座号80~90无吊环)

机座号160~355

表 17-1-30

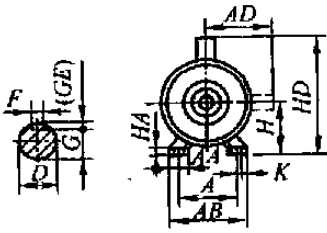
机座号	极数	安 装 尺 寸										
		A	AA	B	BB	C		D		E		
80	2, 4, 6, 8	125	34	100	130	50	±1.5	19	+0.009 -0.004	40	±0.310	
90S		140	36			56		24		50		
90L				125	155	28		60				
100L		160	40	140	176	63	±2.0	38	+0.018 +0.002	80	±0.370	
112M		190	45			180		70				
132S		216	55	178	224	89						
132M		2, 4, 6, 8	254	65	210	250	108	±3.0	42	+0.018 +0.002	110	±0.430
160M					241	311			121				48
160L			254	294	133	55						
180M			279	70	279	349	149	±4.0	60	+0.030 +0.011	140	±0.500
180L			305		369	60						
200L			318	311	393	168	65					
225S	4, 8	356	75	286	368	190	±4.0	65	+0.030 +0.011	140	±0.500	
225M	2			311	393			149				55
225M	4, 6, 8	60										
250M	2	406	80	349	445	168	±4.0	65	+0.030 +0.011	140	±0.500	
250M	4, 6, 8							75				
280S	2	457	85	368	485	190		±4.0				65	+0.030 +0.011	140	±0.500
280S	4, 6, 8			419	536		75					
280M	2	508	120	457	676	216	±4.0		65	+0.030 +0.011	140	±0.500
280M	4, 6, 8							406	616				75
315S	2	508	120	457	676	216		±4.0	65				+0.030 +0.011	140	±0.500
315S	4, 6, 8, 10						406		616	80		
315M	2	508	120	457	676	216	±4.0		65	+0.030 +0.011	140	±0.500
315M	4, 6, 8, 10							457	676				80
315L	2	508	120	457	676	216		±4.0	65				+0.030 +0.011	140	±0.500
315L	4, 6, 8, 10						508		726	80		
355M	2	610	116	560	820	254	±4.0		75	+0.035 +0.013	170	±0.570
355M	4, 6, 8, 10			630				75				
355L	2	610	116	560	820	254		±4.0	75				+0.035 +0.013	170	±0.570
355L	4, 6, 8, 10						630		75			

① $C = D - GE$ 。GE的极限偏差对机座号80及以下为 $\begin{pmatrix} +0.10 \\ 0 \end{pmatrix}$ ，其余为 $\begin{pmatrix} +0.20 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

② K孔的位置度公差以轴伸的轴线为基准。

注：Y2、Y3系列安装尺寸相同，但个别外形尺寸各厂家可能有出入。

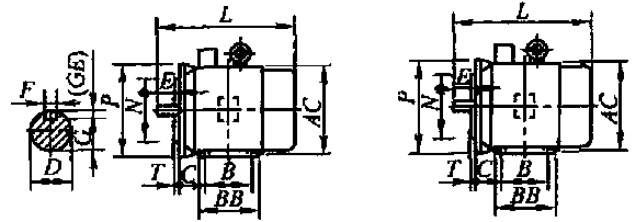
电动机的安装尺寸及外形尺寸



机座号80~355

mm

及公差				外形尺寸									
F		G [Ⓜ]		H		K [Ⓜ]		AB	AC	AD	HA	HD	L
6	$\begin{matrix} 0 \\ -0.030 \end{matrix}$	15.5	$\begin{matrix} 0 \\ -0.10 \end{matrix}$	80	0 -0.5	10	$\begin{matrix} +0.360 \\ 0 \end{matrix}$	165	175	145	10	214	295
8	$\begin{matrix} 0 \\ -0.036 \end{matrix}$	20	0 -0.20	90		10	$\begin{matrix} +0.360 \\ 0 \end{matrix}$	180	195	155	12	250	320
		24		100				12	205	215	180	14	270	385
10	33	132		112		12	$\begin{matrix} +0.430 \\ 0 \end{matrix}$	230	240	190	15	300	400
								270	275	210	18	345	470
12	37	160		180		15	$\begin{matrix} +0.430 \\ 0 \end{matrix}$	320	330	255	20	420	615
14								42.5	180	355	380	280	22	455	700
16	49	200		225		19	$\begin{matrix} +0.520 \\ 0 \end{matrix}$	395	420	305	25	505	770
18								53	435	470	335	28	560	815
16	49	225		250		24	$\begin{matrix} +0.520 \\ 0 \end{matrix}$	435	470	335	28	560	820
18					53			490	510	370	30	615	910
18	58	250	280	28	$\begin{matrix} +0.520 \\ 0 \end{matrix}$	490	510	370	30	615	910		
20						67.5	550	580	410	35	680	985	
18	$\begin{matrix} 0 \\ -0.043 \end{matrix}$	58	0 -1.0	315	28	$\begin{matrix} +0.520 \\ 0 \end{matrix}$	635	645	530	45	845	1035	
20	$\begin{matrix} 0 \\ -0.052 \end{matrix}$	67.5										1178	
18	$\begin{matrix} 0 \\ -0.043 \end{matrix}$	58										1208	
22	$\begin{matrix} 0 \\ -0.052 \end{matrix}$	71										1238	
18	$\begin{matrix} 0 \\ -0.043 \end{matrix}$	58										1268	
22	$\begin{matrix} 0 \\ -0.052 \end{matrix}$	71										1288	
18	$\begin{matrix} 0 \\ -0.043 \end{matrix}$	58										1318	
22	$\begin{matrix} 0 \\ -0.052 \end{matrix}$	71										1500	
20		67.5										1530	
25		86										1500	
20		67.5	1530										
25	$\begin{matrix} 0 \\ -0.052 \end{matrix}$	86	355	730	710	655	52	1010	1500				
20		67.5	355	730	710	655	52	1010	1530				



机座号80~132
(机座号80~90无吊环)

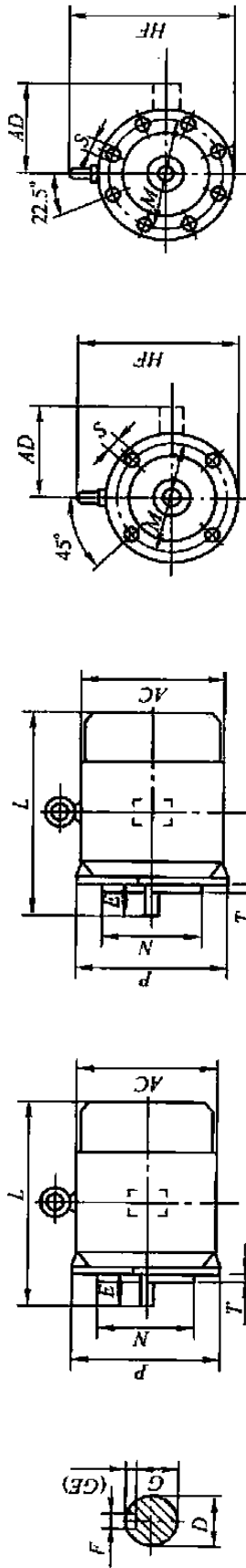
机座号160~355

表 17-1-31

机座号	凸缘号	极数	安 装 尺 寸																								
			A	AA	B	BB	C		D	E	F	G ^④															
80	FF165	2, 4, 6, 8	125	34	100	130	50	± 1.5	19	+0.009 -0.004	40	± 0.310	6	0 -0.030	15.5	0 -0.10											
90S			140	36			56		24		50		8		20												
90L				125	155																						
100L	FF215		160	40	140	176	63	± 2.0	28	± 0.370	60	0 -0.036	24														
112M			190	45			70																				
132S	FF265		216	55	178	224	89		± 3.0		38		± 0.430	80	0 -0.043	33											
132M																											
160M	FF300		254	65	210	250	108	± 3.0		42	+0.018 +0.002			± 0.500		12	0 -0.043	37									
160L					254	294			48	14		42.5															
180M				279	70	241	311		121																		
180L					279	349																					
200L	FF350	318		305	369	133		55		110	± 0.500	16		49													
225S	FF400	4, 8	356	75	286	368	149	60	± 0.030 +0.011	140	± 0.500	18	0 -0.043	53													
225M		2			311	393								55	110	± 0.430	16	49									
		4, 6, 8																									
250M	FF500	2	406	80	349	445	168	65	± 4.0	140	± 0.500	18	0 -0.052	53													
		4, 6, 8			368	485								190	75	20	67.5										
280S		2			457	85								419	536	190	75	± 0.030 +0.011	140	± 0.500	20	0 -0.052	58				
		4, 6, 8																					419	536	75	18	58
280M		2																					419	536	75	20	67.5
		4, 6, 8																									
315S	FF600	2	508	120	406	616	216	80	± 4.0	170	± 0.570	22	0 -0.052	71													
		4, 6, 8, 10			457	676								80	170	71											
315M		2			457	676								216	80	170	71										
		4, 6, 8, 10													80	170	71										
315L		2			508	726									65	140	18	0 -0.043	58								
	4, 6, 8, 10				80	170	22		71																		
355M	FF740	2	610	116	560	820	254	75	± 0.035 +0.013	140	± 0.570	20	0 -0.052	67.5													
		4, 6, 8, 10			560			820		254		95		170	± 0.570	25	86										
355L		2			610			116		630				75	± 0.030 +0.011	140	± 0.500	20		67.5							
	4, 6, 8, 10							95	± 0.035 +0.013	170	± 0.570	25		86													

①、②同表 17-1-30 的①、②。
 ③ P 为最大极限值。
 ④ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。
 注：同表 17-1-30 注。

机座不带底脚、端盖上有凸缘（带通孔）（BS）电动机的安装尺寸及外形尺寸



机座号80~90无吊环
机座号160~280
机座号80~200
机座号225~280

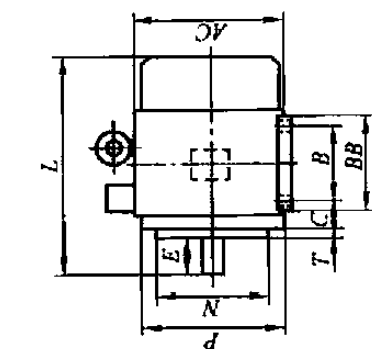
表 17-1-32

机座号	凸缘号	极数	安装尺寸及公差													外形尺寸			
			D	E	F	C	M	N	P	R	S	T	AC	AD	HF	L			
80	FF165	2, 4, 6, 8	19	40	6	15.5	0	165	±0.014	±1.5	4 × φ12	3.5	175	145	185	295			
90S			24	50	8	20	-0.10	250	-0.011	±2.0	4 × φ15	4	195	155	195	315			
90L			28	60		24		300		±2.0	4 × φ15		215	180	245	340			
100L	FF215			80	10	33		350		±2.0	4 × φ15		240	190	285	400			
112M								400		±2.0	4 × φ15		275	210	315	470			
132S	FF265							450		±2.0	4 × φ15		330	255	385	510			
132M								500		±2.0	4 × φ15		380	280	430	615			
160M								550		±2.0	4 × φ15		420	305	480	670			
160L	FF300							600		±2.0	4 × φ15		470	335	535	700			
180M								650		±2.0	4 × φ15		510	370	595	740			
180L	FF350							700		±2.0	4 × φ15		580	410	650	820			
200L								750		±2.0	4 × φ15		650	450	710	885			
225S	FF400	4, 8	55	140	16	49	0	400	±0.016	±3.0	4 × φ19	5	470	335	535	815			
225M		2	60	110	18	53	-0.20	450	±0.018	±3.0	4 × φ19		510	370	595	845			
250M		4, 6, 8	60	140	16	49		500	±0.018	±3.0	4 × φ19		580	410	650	910			
250M		2	65	140	18	53		550	±0.020	±4.0	8 × φ19		650	510	595	910			
280S	FF500	4, 6, 8	75	140	20	67.5		550	±0.020	±4.0	8 × φ19		580	410	650	985			
280M		2	65	140	18	58		550	±0.020	±4.0	8 × φ19		580	410	650	985			
280M		4, 6, 8	75	140	20	67.5		550	±0.020	±4.0	8 × φ19		580	410	650	1035			

① 同表 17-1-30 的①、②、③同表 17-1-31 的③、④。
注：同表 17-1-30 注。

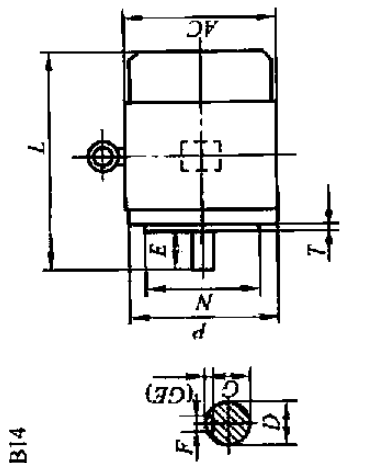
机座带底脚、端盖上有凸缘（带螺孔）（B34）及机座不带底脚、端盖上有凸缘（带螺孔）（B14）电动机的安装尺寸及外形尺寸

B34



机座号80~112

B14



机座号80~112

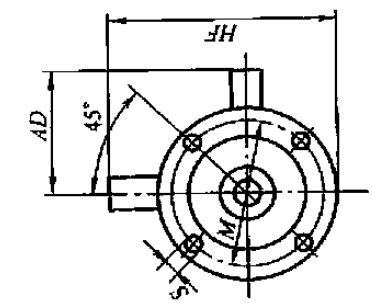


表 17-1-33

机座号	凸缘号	极数	B34 安装尺寸及公差													外形尺寸						
			A	AA	B	BB	C	D	E	F	G ^①	H	K ^②	AB	AC	AD	HA	HD	L			
80	FT100	2, 4, 6, 8	125	34	100	130	50	19	40	±	6	0 -0.030	15.5 -0.10	0	80	10	165	175	145	10	214	295
90S	FT115		140	36	125	155	56	24	50	±0.310	8	0 -0.036	20	0	90	0	180	195	155	12	250	320
100L	FT130		160	40	140	176	63	28	60	±	8	0 -0.036	24	-0.20	100	12	205	215	180	14	270	385
112M			190	45	180	70	28	60	0.370					112		230	240	190	15	300	400	

B14 安装尺寸及公差

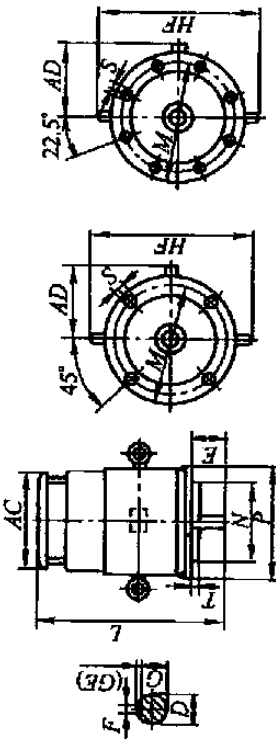
机座号	凸缘号	极数	B14 安装尺寸及公差													外形尺寸					
			D	E	F	G ^①	M	N	P ^③	R ^③	S	T	AC	AD	HF	L					
80	FT100	2, 4, 6, 8	19	40	6	0 -0.030	15.5 -0.10	0	100	80	+0.012 -0.007	120			4 × M6		175	145	185	295	
90S	FT115		24	50	8	0 -0.036	20	115	95	+0.013 -0.009	140		±1.5	3.0 -0.100		195	155	195	315		
100L	FT130		28	60	8	0 -0.036	24	130	110		160			3.5 -0.120		215	180	245	385		
112M																240	190	265	400		

①、②同表 17-1-30 的①、②，③、④同表 17-1-31 的③、④。

注：L 同表 17-1-30 注。

2. 表中 B34 的 P、N、T、S、M 值同 B14。

立式安装、机座不带底脚、端盖上有凸缘（带通孔）（V1）电动机的安装尺寸及外形尺寸



机座号180~355 机座号180~200 机座号225~355

表 17-1-34

机座号	凸缘号	极数	安装尺寸及公差										外形尺寸				
			D	E	F	C ^①	M	N	P ^②	R ^③	S	T	AC	AD	HF	L	
180M	FF300	2, 4, 6, 8	+0.018	110	14	42.5	300	+0.016	350	±3.0	4 × φ19	5	380	280	500	760	
180L	FF300	2, 4, 6, 8	+0.002	110	14	42.5	300	-0.013	350	±3.0	4 × φ19	5	420	305	555	800	
200L	FF350	4, 8		140	16	49	350	±0.016	400		8 × φ19	5	470	335	610	905	
225S	FF400	2		140	18	53	400	±0.018	450		8 × φ19	5	510	370	650	910	
225M	FF400	4, 6, 8		140	16	49	400	±0.018	450		8 × φ19	5	510	370	650	935	
250M		2			18	58					8 × φ19	5	580	410	720	1110	
280S	FF500	4, 6, 8		140	20	67.5	500	±0.020	550		8 × φ19	5	580	410	720	1150	
280M	FF500	2		140	18	58	500	±0.020	550		8 × φ19	5	580	410	720	1150	
280M	FF500	4, 6, 8	+0.030	140	20	67.5	500	±0.022	660		8 × φ19	5	645	530	900	1260	
280M	FF500	4, 6, 8	+0.011	140	20	67.5	500	±0.022	660		8 × φ19	5	645	530	900	1290	
315S		2		170	18	58					8 × φ24	6	710	655	1010	1320	
315M	FF600	4, 6, 8, 10		170	22	71	600	±0.022	660		8 × φ24	6	710	655	1010	1350	
315L	FF600	2		170	18	58	600	±0.022	660		8 × φ24	6	710	655	1010	1370	
315L	FF600	4, 6, 8, 10		170	18	58	600	±0.022	660		8 × φ24	6	710	655	1010	1400	
355M		2		140	22	86					8 × φ24	6	710	655	1010	1580	
355M	FF740	4, 6, 8, 10	+0.035	170	20	67.5	740	±0.025	800		8 × φ24	6	710	655	1010	1610	
355M	FF740	2	+0.013	170	20	67.5	740	±0.025	800		8 × φ24	6	710	655	1010	1580	
355L	FF740	2	+0.030	140	25	86					8 × φ24	6	710	655	1010	1580	
355L	FF740	4, 6, 8, 10	+0.011	140	20	67.5					8 × φ24	6	710	655	1010	1610	
355L	FF740	2	+0.035	170	25	86					8 × φ24	6	710	655	1010	1610	
355L	FF740	4, 6, 8, 10	+0.013	170	25	86					8 × φ24	6	710	655	1010	1610	

①同表17-1-30的①。②、③同表17-1-31的③、④。

注：同表17-1-30注。

4.4.2 Y 系列 (IP44) 三相异步电动机 (摘自 JB/T 9616—1999)

表 17-1-35

技术参数 (380V)

型号	额定功率 /kW	满载时				堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 (声功率级) /dB(A)		振动 速度 /mm·s ⁻¹	转动 惯量 /kg·m ²	质量 (B3) /kg
		额定电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ				1 级	2 级			
同步转速 3000r/min													
Y801-2	0.75	1.8	2830	75.0	0.84	2.2	6.5	2.3	66	71	1.8	0.00075	16
Y802-2	1.1	2.5	2830	77.0	0.86	2.2	7.0	2.3	66	71	1.8	0.0009	17
Y90S-2	1.5	3.4	2840	78.0	0.85	2.2	7.0	2.3	70	75	1.8	0.0012	22
Y90L-2	2.2	4.8	2840	80.5	0.86	2.2	7.0	2.3	70	75	1.8	0.0014	25
Y100L-2	3	6.4	2880	82.0	0.87	2.2	7.0	2.3	74	79	1.8	0.0029	33
Y112M-2	4	8.2	2890	85.5	0.87	2.2	7.0	2.3	74	79	1.8	0.0055	45
Y132S1-2	5.5	11.1	2900	85.5	0.88	2.0	7.0	2.3	78	83	1.8	0.0109	64
Y132S2-2	7.5	15	2900	86.2	0.88	2.0	7.0	2.3	78	83	1.8	0.0126	70
Y160M1-2	11	21.8	2930	87.2	0.88	2.0	7.0	2.3	82	87	2.8	0.0377	117
Y160M2-2	15	29.4	2930	88.2	0.88	2.0	7.0	2.3	82	87	2.8	0.0449	125
Y160L-2	18.5	35.5	2930	89.0	0.89	2.0	7.0	2.2	82	87	2.8	0.055	147
Y180M-2	22	42.2	2940	89.0	0.89	2.0	7.0	2.2	87	92	2.8	0.075	180
Y200L1-2	30	56.9	2950	90.0	0.89	2.0	7.0	2.2	90	95	2.8	0.124	240
Y200L2-2	37	69.8	2950	90.5	0.89	2.0	7.0	2.2	90	95	2.8	0.139	255
Y225M-2	45	84	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	90	97	2.8	0.233	309
Y250M-2	55	103	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2	92	97	4.5	0.312	403
Y280S-2	75	139	2970	92.0	0.89	2.0	7.0	2.2	94	99	4.5	0.597	544
Y280M-2	90	166	2970	92.5	0.89	2.0	7.0	2.2	94	99	4.5	0.675	620
Y315S-2	110	203	2980	92.5	0.89	1.8	6.8	2.2	99	104	4.5	1.18	980
Y315M-2	132	242	2980	93.0	0.89	1.8	6.8	2.2	99	104	4.5	1.82	1080
Y315L1-2	160	292	2980	93.5	0.89	1.8	6.8	2.2	99	104	4.5	2.08	1160
Y315L2-2	200	365	2980	93.5	0.89	1.8	6.8	2.2	99	104	4.5	2.41	1190
同步转速 1500r/min													
Y801-4	0.55	1.5	1390	73.0	0.76	2.4	6.0	2.3	56	67	1.8	0.0018	17
Y802-4	0.75	2	1390	74.5	0.76	2.3	6.0	2.3	56	67	1.8	0.0021	18
Y90S-4	1.1	2.7	1400	78.0	0.78	2.3	6.5	2.3	61	67	1.8	0.0021	22
Y90L-4	1.5	3.7	1400	79.0	0.79	2.3	6.5	2.3	62	67	1.8	0.0027	27
Y100L1-4	2.2	5	1430	81.0	0.82	2.2	7.0	2.3	65	70	1.8	0.0054	34
Y100L2-4	3	6.8	1430	82.5	0.81	2.2	7.0	2.3	65	70	1.8	0.0067	38
Y112M-4	4	8.8	1440	84.5	0.82	2.2	7.0	2.3	68	74	1.8	0.0095	43
Y132S-4	5.5	11.6	1440	85.5	0.84	2.2	7.0	2.3	70	78	1.8	0.0214	68

型号	额定功率 /kW	满载时				堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 (声功率级) /dB(A)		振动 速度 /mm·s ⁻¹	转动 惯量 /kg·m ²	质量 (B3) /kg
		额定 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ				1级	2级			
同步转速 1500r/min													
Y132M-4	7.5	15.4	1440	87.0	0.85	2.2	7.0	2.3	71	78	1.8	0.0296	81
Y160M-4	11	22.6	1460	88.0	0.84	2.2	7.0	2.3	75	82	1.8	0.0747	123
Y160L-4	15	30.3	1460	88.5	0.85	2.2	7.0	2.3	77	82	1.8	0.0918	144
Y180M-4	18.5	35.9	1470	91.0	0.86	2.0	7.0	2.2	77	82	1.8	0.139	182
Y180L-4	22	42.5	1470	91.5	0.86	2.0	7.0	2.2	77	82	1.8	0.158	190
Y200L-4	30	56.8	1470	92.2	0.87	2.0	7.0	2.2	79	84	1.8	0.262	270
Y225S-4	37	70.4	1480	91.8	0.87	1.9	7.0	2.2	79	84	1.8	0.406	284
Y225M-4	45	84.2	1480	92.3	0.88	1.9	7.0	2.2	79	84	1.8	0.469	320
Y250M-4	55	103	1480	92.6	0.88	2.0	7.0	2.2	81	86	2.8	0.66	427
Y280S-4	75	140	1480	92.7	0.88	1.9	7.0	2.2	85	90	2.8	1.12	562
Y280M-4	90	164	1480	93.5	0.89	1.9	7.0	2.2	85	90	2.8	1.45	667
Y315S-4	110	201	1480	93.5	0.89	1.8	6.8	2.2	93	98	2.8	3.11	1000
Y315M-4	132	240	1480	94.0	0.89	1.8	6.8	2.2	96	101	2.8	3.62	1100
Y315L1-4	160	289	1480	94.5	0.89	1.8	6.8	2.2	96	101	2.8	4.13	1160
Y315L2-4	200	361	1480	94.5	0.89	1.8	6.8	2.2	96	101	2.8	4.94	1270

同步转速 1000r/min

Y90S-6	0.75	2.3	910	72.5	0.70	2.0	5.5	2.2	56	65	1.8	0.0029	23
Y90L-6	1.1	3.2	910	73.5	0.72	2.0	5.5	2.2	56	65	1.8	0.0035	25
Y100L-6	1.5	4	940	77.5	0.74	2.0	6.0	2.2	62	67	1.8	0.0069	33
Y112M-6	2.2	5.6	940	80.5	0.74	2.0	6.0	2.2	62	67	1.8	0.0138	45
Y132S-6	3	7.2	960	83.0	0.76	2.0	6.5	2.2	66	71	1.8	0.0286	63
Y132M1-6	4	9.4	960	84.0	0.77	2.0	6.5	2.2	66	71	1.8	0.0357	73
Y132M2-6	5.5	12.6	960	85.3	0.78	2.0	6.5	2.2	66	71	1.8	0.0449	84
Y160M-6	7.5	17	970	86.0	0.78	2.0	6.5	2.0	69	75	1.8	0.0881	119
Y160L-6	11	24.6	970	87.0	0.78	2.0	6.5	2.0	70	75	1.8	0.116	147
Y180L-6	15	31.4	970	89.5	0.81	1.8	6.5	2.0	70	78	1.8	0.207	195
Y200L1-6	18.5	37.2	970	89.8	0.83	1.8	6.5	2.0	73	78	1.8	0.315	220
Y200L2-6	22	44.6	970	90.2	0.83	1.8	6.5	2.0	73	78	1.8	0.360	250
Y225M-6	30	59.5	980	90.2	0.85	1.7	6.5	2.0	76	81	1.8	0.547	292
Y250M-6	37	72	980	90.8	0.86	1.8	6.5	2.0	76	81	2.8	0.834	408
Y280S-6	45	85.4	980	92.0	0.87	1.8	6.5	2.0	79	84	2.8	1.39	536
Y280M-6	55	104	980	92.0	0.87	1.8	6.5	2.0	79	84	2.8	1.65	595
Y315S-6	75	141	980	92.8	0.87	1.6	6.5	2.0	87	92	2.8	4.11	990
Y315M-6	90	169	980	93.2	0.87	1.6	6.5	2.0	87	92	2.8	4.78	1080
Y315L1-6	110	206	980	93.5	0.87	1.6	6.5	2.0	87	92	2.8	5.45	1150
Y315L2-6	132	246	980	93.8	0.87	1.6	6.5	2.0	87	92	2.8	6.12	1210

续表

型号	额定功率/kW	满载时				堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 (声功率级) /dB (A)		振动速度 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 (B3) /kg
		额定电流/A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ				1级	2级			
同步转速 750r/min													
Y132S-8	2.2	5.8	710	80.5	0.71	2.0	5.5	2.0	61	66	1.8	0.0314	63
Y132M-8	3	7.7	710	82.0	0.72	2.0	5.5	2.0	61	66	1.8	0.0395	79
Y160M1-8	4	9.9	720	84.0	0.73	2.0	6.0	2.0	64	69	1.8	0.0753	118
Y160M2-8	5.5	13.3	720	85.0	0.74	2.0	6.0	2.0	64	69	1.8	0.0931	119
Y160L-8	7.5	17.7	720	86.0	0.75	2.0	5.5	2.0	67	72	1.8	0.126	145
Y180L-8	11	24.8	730	87.5	0.77	1.7	6.0	2.0	67	72	1.8	0.203	184
Y200L-8	15	34.1	730	88.0	0.76	1.8	6.0	2.0	70	75	1.8	0.339	250
Y225S-8	18.5	41.3	730	89.5	0.76	1.7	6.0	2.0	70	75	1.8	0.491	266
Y225M-8	22	47.6	730	90.0	0.78	1.8	6.0	2.0	70	75	1.8	0.547	292
Y250M-8	30	63	730	90.5	0.80	1.8	6.0	2.0	73	78	2.8	0.834	405
Y280S-8	37	78.2	740	91.0	0.79	1.8	6.0	2.0	73	78	2.8	1.39	520
Y280M-8	45	93.2	740	91.7	0.80	1.8	6.0	2.0	73	78	2.8	1.65	592
Y315S-8	55	114	740	92.0	0.80	1.6	6.5	2.0	82	87	2.8	4.79	1000
Y315M-8	75	152	740	92.5	0.81	1.6	6.5	2.0	82	87	2.8	5.58	1100
Y315L1-8	90	179	740	93.0	0.82	1.6	6.5	2.0	82	87	2.8	6.37	1160
Y315L2-8	110	218	740	93.3	0.82	1.6	6.3	2.0	82	87	2.8	7.23	1230
同步转速 600r/min													
Y315S-10	45	101	590	91.5	0.74	1.4	6.0	2.0	82	87	2.8	4.79	990
Y315M-10	55	123	590	92.0	0.74	1.4	6.0	2.0	82	87	2.8	6.37	1150
Y315L2-10	75	164	590	92.5	0.75	1.4	6.0	2.0	82	87	2.8	7.15	1220

注: 1. 质量和转动惯量不是标准 JB/T 9616 规定的的数据, 仅供参考, 各厂家可能稍有不同。

2. 其他性能、结构特点、工作条件等见表 17-1-28。

3. JB/T 5274 规定了机座号 355 带散热筋式笼型电动机的技术参数与安装尺寸, 其功率如下 (括号内不推荐采用), 其安装型式有 B3、B35、V1。

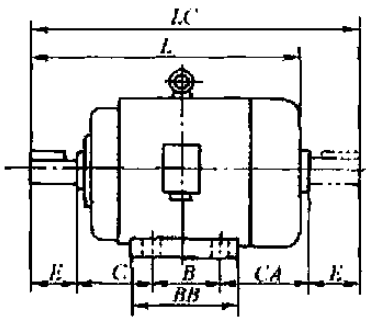
		同步转速/r·min ⁻¹		3000	1500	1000	750	600
机座号	355M	功率 /kW	(220)	(220)	160 (185) 200	132	90	
			250	250	160	110		
	355L		(280)	(280)	(220)	(185)	—	
			315	315	250	200	132	

4. 生产厂家见表 17-1-29 注。

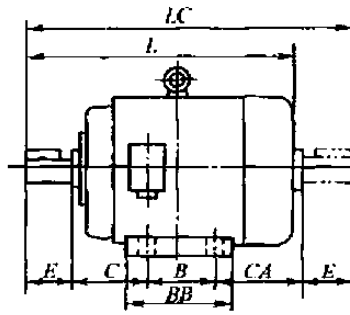
机座带底脚、端盖上无凸缘的安装及外形尺寸

B3 (机座号 80~315)

B6、B7、B8、V5、V6 (机座号 80~160)



机座号 80~132 (机座号 80, 90 无吊环)



机座号 160~315

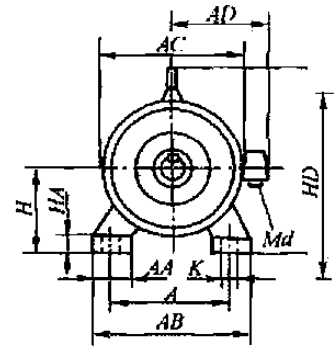


表 17-1-36

mm

机座号	安 装 尺 寸															
	H	A	B	C	CA	D		E		F		G		GD		K
						2 极	4、6、8、 10 极	2 极	4、6、8、 10 极	2 极	4、6、8、 10 极	2 极	4、6、8、 10 极	2 极	4、6、8、 10 极	
80	80 ⁰ _{-0.5}	125	100	50	—	19 ^{+0.009} _{-0.004}		40		6		15.5		6		10
90S	90 ⁰ _{-0.5}	140	100	56	—	24 ^{+0.009} _{-0.004}		50		8		20		7		10
90L	90 ⁰ _{-0.5}	140	125	56	—	24 ^{+0.009} _{-0.004}		50		8		20		7		10
100L	100 ⁰ _{-0.5}	160	140	63	—	28 ^{+0.009} _{-0.004}		60		8		24		7		12
112M	112 ⁰ _{-0.5}	190	140	70	133	28 ^{+0.009} _{-0.004}		60		8		24		7		12
132S	132 ⁰ _{-0.5}	216	140	89	168	38 ^{+0.018} _{-0.002}		80		10		33		8		12
132M	132 ⁰ _{-0.5}	216	178	89	168	38 ^{+0.018} _{-0.002}		80		10		33		8		12
160M	160 ⁰ _{-0.5}	254	210	108	184	42 ^{+0.018} _{-0.002}		110		12		37		8		15
160L	160 ⁰ _{-0.5}	254	254	108	184	42 ^{+0.018} _{-0.002}		110		12		37		8		15
180M	180 ⁰ _{-0.5}	279	241	121	203	48 ^{+0.018} _{-0.002}		110		14		42.5		9		15
180L	180 ⁰ _{-0.5}	279	279	121	203	48 ^{+0.018} _{-0.002}		110		14		42.5		9		15
200L	200 ⁰ _{-0.5}	318	305	133	224	55 ^{+0.030} _{-0.011}		110		16		49		10		19
225S	225 ⁰ _{-0.5}	356	286	149	249	—	60 ^{+0.030} _{+0.011}	—	140	—	18	—	53	—	11	19
225M	225 ⁰ _{-0.5}	356	311	149	249	55 ^{+0.030} _{+0.011}	60 ^{+0.030} _{+0.011}	110	140	16	18	49	53	10	11	19
250M	250 ⁰ _{-0.5}	406	349	168	273	60 ^{+0.030} _{+0.011}	65 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	18	53	58	11	11	24
280S	280 ⁰ _{-1.0}	457	368	190	306	65 ^{+0.030} _{+0.011}	75 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	20	58	67.5	11	12	24
280M	280 ⁰ _{-1.0}	457	419	190	306	65 ^{+0.030} _{+0.011}	75 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	20	58	67.5	11	12	24
315S	315 ⁰ _{-1.0}	508	406	216	405	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28
315M	315 ⁰ _{-1.0}	508	457	216	405	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28
315L	315 ⁰ _{-1.0}	508	508	216	354 443	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28

续表

机座号	外形尺寸											
	AA	AC	AB	AD	BB	HA	HD	L		LC		Md
								2极	4、6、8、 10极	2极	4、6、8、 10极	
80	37	165	165	150	135	13	170	285		—		M24 × 1.5-6H
90S	39	175	180	155	135	13	190	310		—		M24 × 1.5-6H
90L	39	175	180	155	160	13	190	335		—		M24 × 1.5-6H
100L	42	205	205	180	180	15	245	380		—		M30 × 2-6H
112M	52	230	245	190	185	18	265	400		463		M30 × 2-6H
132S	63	270	280	210	205	20	315	470		557		M30 × 2-6H
132M	63	270	280	210	243	20	315	508		595		M30 × 2-6H
160M	73	325	330	255	275	22	385	600		722		M36 × 2-6H
160L	73	325	330	255	320	22	385	645		766		M36 × 2-6H
180M	73	360	355	285	315	24	430	670		785		M36 × 2-6H
180L	73	360	355	285	353	24	430	710		823		M36 × 2-6H
200L	73	400	395	310	380	27	475	770		882		M48 × 2-6H
225S	83	450	435	345	375	30	530	—	815	—	964	M48 × 2-6H
225M	83	450	435	345	400	30	530	810	840	929	989	M48 × 2-6H
250M	88	495	490	385	460	32	575	925		1070		M64 × 2-6H
280S	90	555	550	410	525	38	640	1000		1144		M64 × 2-6H
280M	90	555	550	410	576	38	640	1050		1195		M64 × 2-6H
315S	125	645	640	550	615	48	770	1155	1185	1307	1367	2 × M64 × 2-6H
315M	125	645	640	550	665	48	770	1210	1240	1358	1418	2 × M64 × 2-6H
315L	125	645	640	550	745	48	770	1210 1295	1240 1325	1358 1445	1418 1505	2 × M64 × 2-6H

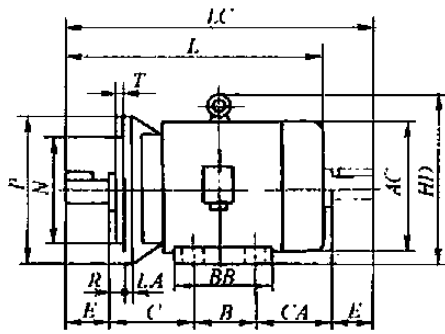
注：1. Md 为接线盒进线口螺纹直径。

2. 安装尺寸符合标准 JB/T 9616，外形尺寸各厂家可能稍有不同。

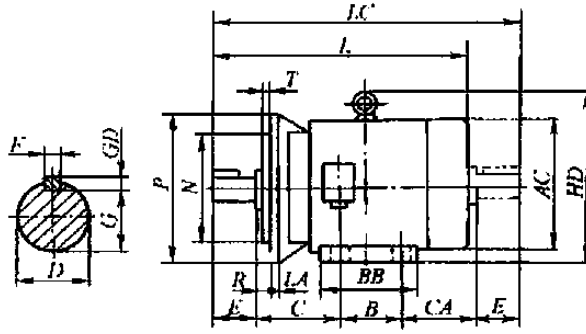
机座带底脚、端盖上有凸缘的安装及外形尺寸

B35 (机座号 80~315)

V15、V36 (机座号 80~160)



机座号 80~132 (机座号 80, 90 无吊环)



机座号 160~315

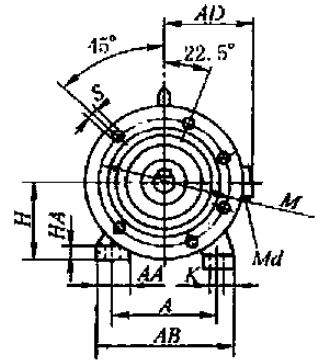


表 17-1-37

mm

机座号	安 装 尺 寸																
	H	A	B	C	CA	D		E		F		G		GD		K	M
						2 极	4, 6, 8, 10 极	2 极	4, 6, 8, 10 极	2 极	4, 6, 8, 10 极	2 极	4, 6, 8, 10 极	2 极	4, 6, 8, 10 极		
80	80 ⁰ _{-0.5}	125	100	50	—	19 ^{+0.009} _{-0.004}	40	6	15.5	6	10	165					
90S	90 ⁰ _{-0.5}	140	100	56	—	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	7	10	165					
90L	90 ⁰ _{-0.5}	140	125	56	—	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	7	10	165					
100L	100 ⁰ _{-0.5}	160	140	63	—	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	7	12	215					
112M	112 ⁰ _{-0.5}	190	140	70	133	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	7	12	215					
132S	132 ⁰ _{-0.5}	216	140	89	168	38 ^{+0.018} _{+0.002}	80	10	33	8	12	265					
132M	132 ⁰ _{-0.5}	216	178	89	168	38 ^{+0.018} _{+0.002}	80	10	33	8	12	265					
160M	160 ⁰ _{-0.5}	254	210	108	184	42 ^{+0.018} _{+0.002}	110	12	37	8	15	300					
160L	160 ⁰ _{-0.5}	254	254	108	184	42 ^{+0.018} _{+0.002}	110	12	37	8	15	300					
180M	180 ⁰ _{-0.5}	279	241	121	203	48 ^{+0.018} _{+0.002}	110	14	42.5	9	15	300					
180L	180 ⁰ _{-0.5}	279	279	121	203	48 ^{+0.018} _{+0.002}	110	14	42.5	9	15	300					
200L	200 ⁰ _{-0.5}	318	305	133	224	55 ^{+0.030} _{+0.011}	110	16	49	10	19	350					
225S	225 ⁰ _{-0.5}	356	286	149	249	—	60 ^{+0.030} _{+0.011}	—	140	—	18	—	53	—	11	19	400
225M	225 ⁰ _{-0.5}	356	311	149	249	55 ^{+0.030} _{+0.011}	60 ^{+0.030} _{+0.011}	110	140	16	18	49	53	10	11	19	400
250M	250 ⁰ _{-0.5}	406	349	168	273	60 ^{+0.030} _{+0.011}	65 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	18	53	58	11	11	24	500
280S	280 ⁰ _{-1.0}	457	368	190	306	65 ^{+0.030} _{+0.011}	75 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	20	58	67.5	11	12	24	500
280M	280 ⁰ _{-1.0}	457	419	190	306	65 ^{+0.030} _{+0.011}	75 ^{+0.030} _{+0.011}	140	140	18	20	58	67.5	11	12	24	500
315S	315 ⁰ _{-1.0}	508	406	216	405	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28	600
315M	315 ⁰ _{-1.0}	508	457	216	405	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28	600
315L	315 ⁰ _{-1.0}	508	508	216	354 443	65 ^{+0.030} _{+0.011}	80 ^{+0.030} _{+0.011}	140	170	18	22	58	71	11	14	28	600

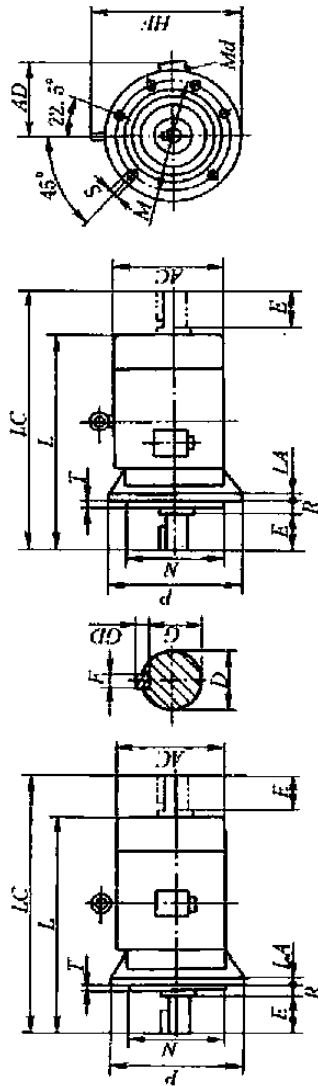
续表

机座号	安装尺寸					外形尺寸												
	N	P	R	S	T	AA	AB	BB	AC	AD	HA	HD	LA	L		LC		Md
														2极	4、6、8、10极	2极	4、6、8、10极	
80	130 ^{+0.024} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	37	165	135	165	150	13	170	12	285		—		M24 × 1.5-6H
90S	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	39	180	135	175	155	13	190	12	310		—		M24 × 1.5-6H
90L	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	39	180	160	175	155	13	190	12	335		—		M24 × 1.5-6H
100L	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	42	205	180	205	180	15	245	14	380		—		M30 × 2-6H
112M	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	52	245	185	230	190	18	265	14	400		463		M30 × 2-6H
132S	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	63	280	205	270	210	20	315	14	470		557		M30 × 2-6H
132M	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	63	280	243	270	210	20	315	14	508		595		M30 × 2-6H
160M	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	73	330	275	325	255	22	385	16	600		722		M36 × 2-6H
160L	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	73	330	320	325	255	22	385	16	645		766		M36 × 2-6H
180M	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	73	355	315	360	285	24	430	18	670		785		M36 × 2-6H
180L	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	73	355	353	360	285	24	430	18	710		823		M36 × 2-6H
200L	300 ± 0.016	400	0	4 × φ19	5	73	395	380	400	310	27	475	18	770		882		M48 × 2-6H
225S	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	83	435	375	450	345	30	530	20	—	815	—	964	M48 × 2-6H
225M	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	83	435	400	450	345	30	530	20	810	840	929	989	M48 × 2-6H
250M	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	88	490	460	495	385	32	575	22	925		1070		M64 × 2-6H
280S	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	90	550	525	555	410	38	640	22	1000		1144		M64 × 2-6H
280M	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	90	550	576	555	410	38	640	22	1050		1195		M64 × 2-6H
315S	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	125	640	615	645	550	48	770	22	1155	1185	1307	1367	2 × M64 × 2-6H
315M	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	125	640	665	645	550	48	770	22	1210	1240	1358	1418	2 × M64 × 2-6H
315L	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	125	640	745	645	550	48	770	22	1210 1295	1240 1325	1358 1445	1418 1505	2 × M64 × 2-6H

注：1. 同表 17-1-36 注 1、2。

2. P 为最大极限值；R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

机座不带底脚、端盖上有凸缘的安装及外形尺寸



B5 (机座号 80~225)
V1、V3 (机座号 80~160)

机座号 160~225

机座号 80~132 (机座号 80、90 无吊环)

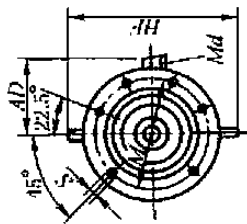
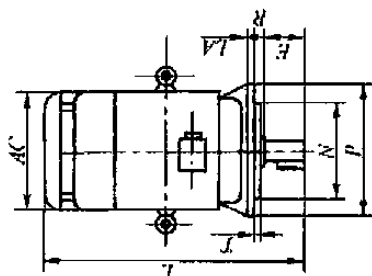
表 17-1-38

机座号	安装尺寸										外形尺寸					Md					
	M	N	P	R	S	T	D		E	F	G	GD		AC	AD		LA	L	LC		HF
							2极	4,6,8,10极				4,6,8,2极	4,6,8,10极						2极	4,6,8,10极	
80	165	130 ^{+0.04} _{-0.01}	200	0	4 × φ12	3.5	19 ^{+0.009} _{-0.004}	40	6	15.5	6	6	165	150	12	285	—	—	185	M24 × 1.5-6H	
90S	165	130 ^{+0.04} _{-0.01}	200	0	4 × φ12	3.5	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	7	7	175	155	12	310	—	—	195	M24 × 1.5-6H	
90L	165	130 ^{+0.04} _{-0.01}	200	0	4 × φ12	3.5	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	7	7	175	155	12	335	—	—	195	M24 × 1.5-6H	
100L	215	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	7	7	205	180	14	380	—	—	245	M30 × 2-6H	
112M	215	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	7	7	230	190	14	400	463	—	265	M30 × 2-6H	
132S	265	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	38 ^{+0.018} _{-0.012}	80	10	33	8	8	270	210	14	470	557	—	315	M30 × 2-6H	
132M	265	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	38 ^{+0.018} _{-0.012}	80	10	33	8	8	270	210	14	508	595	—	315	M30 × 2-6H	
160M	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	42 ^{+0.018} _{-0.012}	110	12	37	8	8	325	255	16	600	722	—	385	M36 × 2-6H	
160L	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	42 ^{+0.018} _{-0.012}	110	12	37	8	8	325	255	16	645	766	—	385	M36 × 2-6H	
180M	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{-0.012}	110	14	42.5	9	9	360	285	18	670	785	—	430	M36 × 2-6H	
180L	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{-0.012}	110	14	42.5	9	9	360	285	18	710	823	—	430	M36 × 2-6H	
200L	350	300 ± 0.016	400	0	4 × φ19	5	55 ^{+0.020} _{-0.011}	110	16	49	10	10	400	310	18	770	882	—	475	M48 × 2-6H	
225S	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.020} _{-0.011}	—	18	—	—	—	450	345	20	815	—	964	—	530	M48 × 2-6H
225M	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.020} _{-0.011}	110	16	49	10	10	450	345	20	840	929	—	530	M48 × 2-6H	

注: 1. 同表 17-1-36 注 1、2。

2. 同表 17-1-37 注 2。

机座不带底脚、端盖上有凸缘、轴伸向下的安装及外形尺寸



V1 (机座号 180 ~ 315)

机座号 180~200 机座号 225~315

表 17-1-39

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸										
	M	N	P	R	S	T	D		E	F	G		GD		AD	AC	LA	L		HF	Md
							2极	4, 6, 8, 10极			4, 6, 8, 2极	4, 6, 8, 10极	4, 6, 8, 2极	4, 6, 8, 10极				2极	4, 6, 8, 10极		
180M	300	250 ^{+0.015} _{-0.015}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{+0.002}	110	14	42.5	9	285	360	18	730	500	M36 × 2-6H				
180L	300	250 ^{+0.016} _{-0.015}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{+0.002}	110	14	42.5	9	285	360	18	770	500	M36 × 2-6H				
200L	350	300 ± 0.016	400	0	4 × φ19	5	55 ^{+0.030} _{+0.011}	110	16	49	10	310	400	18	850	550	M48 × 2-6H				
225S	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.030} _{+0.011}	140	18	53	11	345	450	20	910	610	M48 × 2-6H				
225M	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	55 ^{+0.030} _{+0.011}	110	16	49	10	345	450	20	935	610	M48 × 2-6H				
250M	500	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.030} _{+0.011}	140	18	53	11	385	495	22	1020	650	M64 × 2-6H				
280S	500	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	65 ^{+0.030} _{+0.011}	140	18	58	11	410	555	22	1100	720	M64 × 2-6H				
280M	500	450 ± 0.020	550	0	8 × φ19	5	65 ^{+0.030} _{+0.011}	140	18	58	11	410	555	22	1150	720	M64 × 2-6H				
315S	600	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	80 ^{+0.030} _{+0.011}	170	18	71	11	550	645	22	1310	900	2 × M64 × 2-6H				
315M	600	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	80 ^{+0.030} _{+0.011}	170	18	71	11	550	645	22	1360	900	2 × M64 × 2-6H				
315L	600	550 ± 0.022	660	0	8 × φ24	6	80 ^{+0.030} _{+0.011}	170	18	71	11	550	645	22	1360	900	2 × M64 × 2-6H				

注: 1. 同表 17-1-36 注 1, 2。

2. 同表 17-1-37 注 2。

4.4.3 Y 系列 (IP23) 三相异步电动机 (摘自 JB/T 5271—1991、JB/T 5272—1991)

表 17-1-40

技术数据 (380V)

标准号	型号	额定功率 /kW	满载时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	质量 ^① /kg																					
			转速 ^① /r·min ⁻¹	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ																									
JB/T 5271	Y160M-2	15	2928	29.5	88.0	0.88	7.00	1.7	85	160																					
	Y160L1-2	18.5	2929	35.5	89.0	0.89		1.8																							
	Y160L2-2	22	2928	42.0	89.5			2.0																							
	Y180M-2	30	2938	57.2	92.5			1.7			88																				
	Y180L-2	37	2939	69.8				90.5																							
	Y200M-2	45	2952	84.5				91.0				6.8	1.4	105																	
	Y200L-2	55	2950	103				91.5																							
	Y225M-2	75	2955	140				92.5							1.8	92															
	Y250S-2	90	2966	167											92.0		1.7														
	Y250M-2	110	2966	202											0.90		6.8	97													
Y280M-2	132	2967	241	92.5			1.6		99																						
JB/T 5272	Y315S-2	160	296	296		93.0	0.88			6.5									1.0	107											
	Y315M1-2	185		342																											
	Y315M2-2	200		367																											
	Y315M3-2	220		404	93.5																										
	Y315M4-2	250 ^②		457	93.8						0.88																				
	Y355M2-2	280		94.0	0.89						6.5	1.0	107																		
	Y355M3-2	315																													
Y355L1-2	355	94.3	0.89	6.5	1.0	107																									
JB/T 5271	Y160M-4	11	1459	22.5	87.5	0.85	7.0	1.9		80	160																				
	Y160L1-4	15	1458	30.1	88.0	0.86		2.0																							
	Y160L2-4	18.5	1458	36.8	89.0			0.87	1.9																						
	Y180M-4	22	1457	43.5	89.5							6.8	87																		
	Y180L-4	30	1467	58	90.5									7.0	89																
	Y200M-4	37	1473	71.4	93.0											0.88	2.0														
	Y200L-4	45	1475	85.9														91.5	6.8	2.0											
	Y225M-4	55	1476	104														92.5			6.8	1.8									
	Y250S-4	75	1480	141																			92.0	7.0	1.9						
	Y250M-4	90	1480	168																			0.87			6.8	2.2				
	Y280S-4	110	1482	209																								92.5	6.8	1.7	
Y280M-4	132	1483	245	93.0			6.8			1.8																					
JB/T 5272	Y315S-4	160	306	306		93.5					0.89																				6.5	1.4	103
	Y315M1-4	185		349																											
	Y315M2-4	200		375				93.8																							
	Y315M3-4	220		413				94.0																							
	Y315M4-4	250 ^②		467	94.3			0.89	6.0			1.2	106																		
	Y355M2-4	280		94.3										0.89	6.0	1.2	106														
	Y355M3-4	315																94.5	0.90	6.0	1.0	106									
	Y355L1-4	355																						94.5	0.90									6.0	1.0	106

续表

标准号	型号	额定功率 /kW	满载时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	质量 ^① /kg
			转速 ^① /r·min ⁻¹	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ				
JB/T 5271	Y160M-6	7.5	971	16.9	85.0	0.79	6.5	2.0	78	150
	Y160L-6	11		24.7	86.5						0.78
	Y180M-6	15	974	33.8	88.0	0.81		1.8	81	215
	Y180L-6	18.5	975	38.3	88.5					
	Y200M-6	27	978	45.5	89.0	0.85		1.7	84	360
	Y200L-6	30	975	60.3	90.5					
	Y225M-6	37	982	78.1	91.0	0.87		1.8	87	465
	Y250S-6	45	983	87.4							0.86
	Y250M-6	55	983	106	91.5	0.87		90	820	
	Y280S-6	75	986	143	92.0					
	Y280M-6	90	986	171	93.0	0.88				
JB/T 5272	Y315S-6	110		209	93.5	0.87	1.3	100	97	
	Y315M1-6	132		251	93.8					
	Y315M2-6	160		304	94.0					
	Y355M1-6	185		94.3						0.88
	Y355M2-6	200								
	Y355M3-6	220								
	Y355M4-6	250								
	Y355L1-6	280								
JB/T 5271	Y160M-8	5.5	723	13.7	83.5	0.73	6.0	2.0	72	150
	Y160L-8	7.5	723	18.3	85.0					
	Y180M-8	11	727	26.1	86.5	0.74		1.8	75	215
	Y180L-8	15	726	34.3	87.5					
	Y200M-8	18.5	728	41.8	88.5	0.78		1.7	81	295
	Y200L-8	22	729	46.2	89.0					
	Y225M-8	30	734	63.2	89.5	0.81		1.7	84	360
	Y250S-8	37	735	78	90.0					
	Y250M-8	45	736	94.4	90.5	0.80		1.8	87	465
	Y280S-8	55	740	115	91.0					
	Y280M-8	75	740	154	91.5	0.81		90	820	
JB/T 5272	Y315S-8	90		185	92.2		0.81			5.5	97	93
	Y315M1-8	110		226	92.8					
	Y315M2-8	132 ^②		269	93.3					
	Y355M2-8	160		93.5	0.79					
	Y355M3-8	185								
	Y355M4-8	200		94.0	0.74	1.1	99			
	Y355L1-8	220								
	Y355L2-8	250 ^③		94.0	0.75	1.2	93			
	Y315S-10	55						126	91.5	
	Y315M1-10	75		169	92.0	0.76				
	Y315M2-10	90 ^②		199	92.0					

标准号	型号	额定功率 /kW	满载时				堵转电流 /额定电流	堵转转矩 /额定转矩	噪声 /dB(A)	质量 ^① /kg
			转速 ^① /r·min ⁻¹	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ				
JB/T 5272	Y355M2-10	110			92.5	0.78	5.5	1.0	93	97
	Y355M3-10	132			92.8					
	Y355L1-10	160			93.0	0.79				
	Y355L2-10	185 ^②								
	Y355M4-12	90									92.0	0.74
	Y355L1-12	110			92.3					
	Y355L2-12	132 ^③			92.5					

- ① 非标准内容，仅供参考。
 - ② 功率安排允许放入 355M 机座。
 - ③ 功率安排推荐放入 355L 机座，但也允许放入 400 机座，此时安装尺寸应由制造厂与用户协商后确定。
- 注：1. 其他参见表 17-1-28。
2. 生产厂家见表 17-1-29 注。

B3 外形及安装尺寸 (IP23)

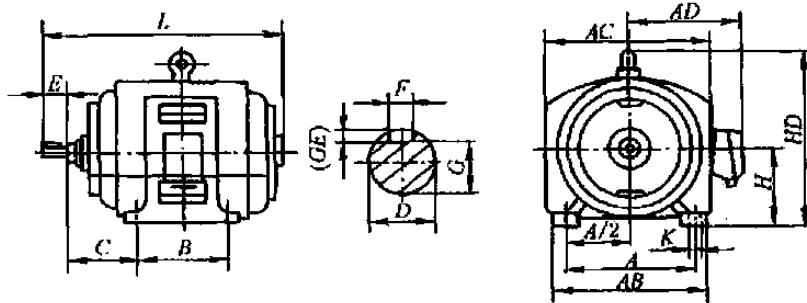


表 17-1-41

mm

机座号	安装尺寸														外形尺寸					
	D		E		F		G		H	A	A/2	B	C	K	AB	AC	AD	HD	L	
	2极	4、6、8、10极	2极	4、6、8、10极	2极	4、6、8、10极	2极	4、6、8、10极											2极	4、6、8、10极
160M	48k6		110		14		42.5		160 ⁰ _{-0.5}	254	127	210	108	15	330	380	290	440	676	
160L																			254	
180M	55m6		140		16		49		180 ⁰ _{-0.5}	279	139.5	241	121	19	350	420	325	505	726	
180L																				
200M	60m6		140		18		53		200 ⁰ _{-0.5}	318	159	267	133	24	400	465	350	570	820	
200L																				
225M	60m6	65m6	140		18		53	58	225 ⁰ _{-0.5}	356	178	311	149	24	450	520	395	640	880	
250S	65m6	75m6																		
250M			140		18		20	58	67.5	250 ⁰ _{-0.5}	406	203	349	168	510	550	410	710	930	
280S																				
280M	65m6	80m6	140		18		22	71	280 ⁰ _{-1.0}	457	228.5	419	190	24	570	610	485	785	1140	
315S	70m6	90m6																		
315M			140		20		25	62.5	81	315 ⁰ _{-1.0}	508	254	406	216	680	792	586	928	1130	1160
355M	75m6	100m6																		
355L			140		20		28	67.5	90	355 ⁰ _{-1.0}	610	305	560	254	980	630	1120	1550	1620	
			210																1620	1690

- 注：1. 安装尺寸符合标准 JB/T 5271、JB/T 5272，外形尺寸各厂家可能稍有不同，选用时应与生产厂家联系。
2. $G = D - GE$ ，GE 的极限偏差为 $(+0.20)$ 。

4.4.4 YR 系列 (IP44) 三相异步电动机 (摘自 JB/T 7119—1993)

表 17-1-42

技术数据 (380V)

型 号	功 率 /kW	转 速 /r·min ⁻¹	电 流 /A	效 率 /%	功率因数 cosφ	最大转矩 额定转矩	转子电压 /V	转子电流 /A	噪 声 (声功率级) /dB(A)	转动惯量 /kg·m ²	质 量 /kg
同步转速 1500r/min											
YR132M1-4	4	1440	9.3	84.5	0.77	3.0	230	11.5	82	0.0895	80
YR132M2-4	5.5	1440	12.6	86.0	0.77	3.0	272	13.0	82	0.104	95
YR160M-4	7.5	1460	15.7	87.5	0.88	3.0	250	19.5	86	0.238	130
YR160L-4	11	1460	22.5	89.5	0.88	3.0	276	25.0	86	0.294	155
YR180L-4	15	1465	30	89.5	0.85	3.0	278	34.0	90	0.448	205
YR200L1-4	18.5	1465	36.7	89.0	0.86	3.0	247	47.5	90	0.8	265
YR200L2-4	22	1465	43.2	90.0	0.86	3.0	293	47.0	90	0.862	290
YR225M2-4	30	1475	57.6	91.0	0.87	3.0	360	51.5	92	1.58	380
YR250M1-4	37	1480	71.4	91.5	0.86	3.0	289	79.0	92	2.17	440
YR250M2-4	45	1480	85.9	91.5	0.87	3.0	340	81.0	94	2.37	490
YR280S-4	55	1480	103.8	91.5	0.88	3.0	385	70.0	94	4.09	670
YR280M-4	75	1480	140	92.5	0.88	3.0	354	128.0	98	5.04	800
YR315S-4	110	1477	196	92.8	0.90	2.9	243	283		3.3	1050
YR315M-4	132	1479	234	93.5	0.92	3.3	260	313		4.5	1150
YR315M-4	160	1480	282	93.8	0.91	3.4	269	365		5	1250
同步转速 1000r/min											
YR132M1-6	3	955	8.2	80.5	0.69	2.8	206	9.5	81	0.127	80
YR132M2-6	4	955	10.7	82.0	0.69	2.8	230	11.0	81	0.148	95
YR160M-6	5.5	970	13.4	84.5	0.74	2.8	244	14.5	81	0.3	135
YR160L-6	7.5	970	17.9	86.0	0.74	2.8	266	18.0	85	0.3598	155
YR180L-6	11	975	23.6	87.5	0.81	2.8	310	22.5	85	0.676	205
YR200L1-6	15	975	31.8	88.5	0.81	2.8	198	48.0	88	1.075	280
YR225M1-6	18.5	980	38.3	88.5	0.83	2.8	187	62.5	88	1.617	335
YR225M2-6	22	980	45	89.5	0.83	2.8	220	61.0	88	1.77	365
YR250M1-6	30	980	60.3	90.0	0.84	2.8	280	66.0	91	3	450
YR250M2-6	37	980	73.9	90.5	0.84	2.8	331	69.0	91	3.245	490
YR280S-6	45	985	87.9	91.5	0.85	2.8	362	76.0	94	5.45	680
YR280M-6	55	985	106.9	92.0	0.85	2.8	423	80.0	94	6.03	730
YR315S-6	75	978	141	91.7	0.87	2.3	163	292		4.5	1070
YR315M-6	90	978	168	92.2	0.88	2.2	183	310		5.3	1200
YR315M-6	110	978	204	92.8	0.80	2.1	209	330		5.8	1250
同步转速 750r/min											
YR160M-8	4	715	10.7	82.5	0.69	2.4	216	12.0	79	0.298	135
YR160L-8	5.5	715	14.2	83.0	0.71	2.4	230	15.5	79	0.357	155
YR180L-8	7.5	725	18.4	85.0	0.73	2.4	255	19.0	82	0.624	190
YR200L1-8	11	725	26.6	86.0	0.73	2.4	152	46.0	82	1.07	280
YR225M1-8	15	735	34.5	88.0	0.75	2.4	169	56.0	85	1.75	365
YR225M2-8	18.5	735	42.1	89.0	0.75	2.4	211	54.0	85	1.98	390
YR250M1-8	22	735	48.1	89.0	0.78	2.4	210	65.5	85	2.96	450
YR250M2-8	30	735	66.1	89.5	0.77	2.4	270	69.0	88	3.33	500
YR280S-8	37	735	78.2	90.5	0.79	2.4	281	81.5	88	5.37	680
YR280M-8	45	735	92.9	92.0	0.80	2.4	359	76.0	90	6.56	800
YR315S-8	55	733	110	91.4	0.82	2.7	132	262		5.3	1070
YR315M-8	75	735	144	92.1	0.84	2.7	154	306		7	1150
YR315M-8	90	735	173	92.6	0.84	2.4	186	304		7.7	1230

注: 1. 表中转速、转动惯量、质量不是标准 JB/T 7119 中的数据, 仅供参考。

2. 其他性能、结构特点、工作条件等见表 17-1-28。

3. YR315 的数据来自湘潭电机(集团)有限公司的资料。其他生产厂家: 江西特种电机股份有限公司, 山西电机制造有限公司, 河南电机股份有限公司, 昆明电机有限公司等。

机座带底脚、端盖上无凸缘的安装及外形尺寸 (B3)

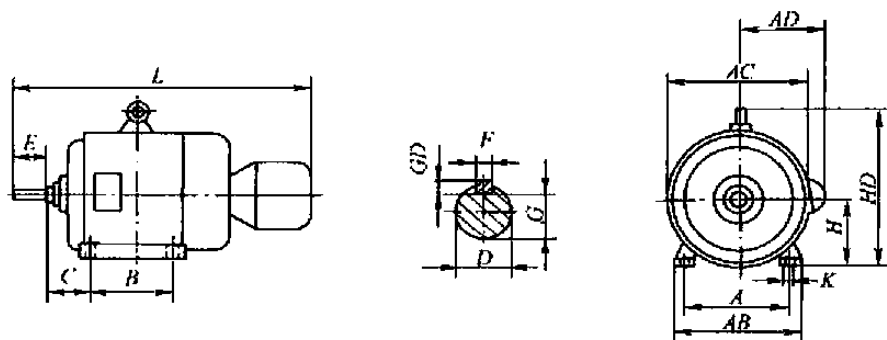


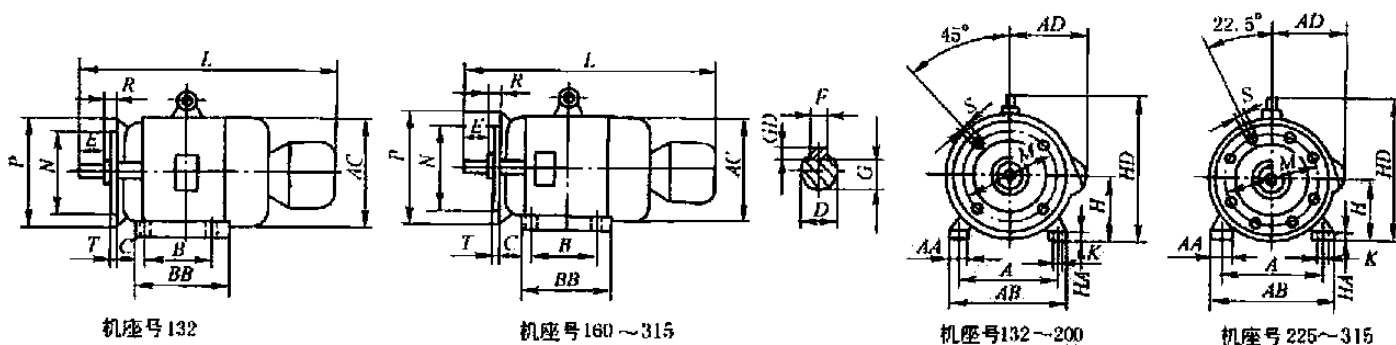
表 17-1-43

mm

机座号	安 装 尺 寸									外 形 尺 寸					
	A	B	C	D	E	F × GD	G	H	K	AB	AC	AD	HD	L	
132M	216	178	89	38	80	10 × 8	33	132	12	280	280	210	315	745	
160M	254	210	108	42	110	12 × 8	37	160	15	330	335	255	385	820	
160L		254													865
180L	279	279	121	48		14 × 9	42.5	180		19	355	375	285	430	920
200L	318	305	133	55		16 × 10	49	200		19	395	425	310	475	1045
225M	356	311	149	60	140	18 × 11	53	225	24	435	470	345	530	1115	
250M	406	349	168	65			58	250		24	490	515	385	575	1260
280S	457	368	190	75	170	20 × 12	67.5	280	28	550	575	410	640	1355	
280M		419												1405	
315S	508	406	216	80		22 × 14	71	315		28	744	645	576	865	1500
315M		457													1550

注：各生产厂家产品的外形尺寸可能稍有不同，应以生产厂家的样本为准，下同。

机座带底脚、端盖上有凸缘的安装及外形尺寸 (B35)



机座号 132

机座号 180 ~ 315

机座号 132 ~ 200

机座号 225 ~ 315

表 17-1-44

mm

机座号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸									
	A	B	C	D	E	F × GD	G	H	K	T	M	N	P	R	S	AA	AB	AC	AD	BB	HA	HD	L	
132M	216	178	89	38	80	10 × 8	33	132	φ12	4	265	230	300	0	4 × φ15	60	280	280	210	238	18	315	745	
160M	254	210	108	42	110	12 × 8	37	160	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19	70	330	335	255	270	20	385	820	
160L		254																		314				865
180L	279	279	121	48		110	14 × 9	42.5	180	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19	70	355	375	285	349	22	430	920
200L	318	305	133	55		110	16 × 10	49	200	φ19	5	350	300	400	0	4 × φ19	70	395	425	310	379	25	475	1045

续表

机座号	安 装 尺 寸															外 形 尺 寸							
	A	B	C	D	E	F×GD	G	H	K	T	M	N	P	R	S	AA	AB	AC	AD	BB	HA	HD	L
225M	356	311	149	60	140	18×11	53	225	φ19	5	400	350	450	0	8×φ19	75	435	470	345	393	28	530	1115
250M	406	349	168	65	140	18×11	58	250	φ24	5	500	450	550	0	8×φ19	80	490	515	385	455	30	575	1260
280S	457	368	190	75	140	20×12	67.5	280	φ24	5	500	450	550	0	8×φ19	85	550	575	410	530	35	640	1355
280M		419																		581			1405
315S	508	406	216	80	170	22×14	71	315	φ28	6	600	550	680	0	8×φ24	744	845	576				865	1500
315M		457																					

注：P为最大极限值，R为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

机座不带底脚、端盖上有凸缘的安装及外形尺寸 (V1)

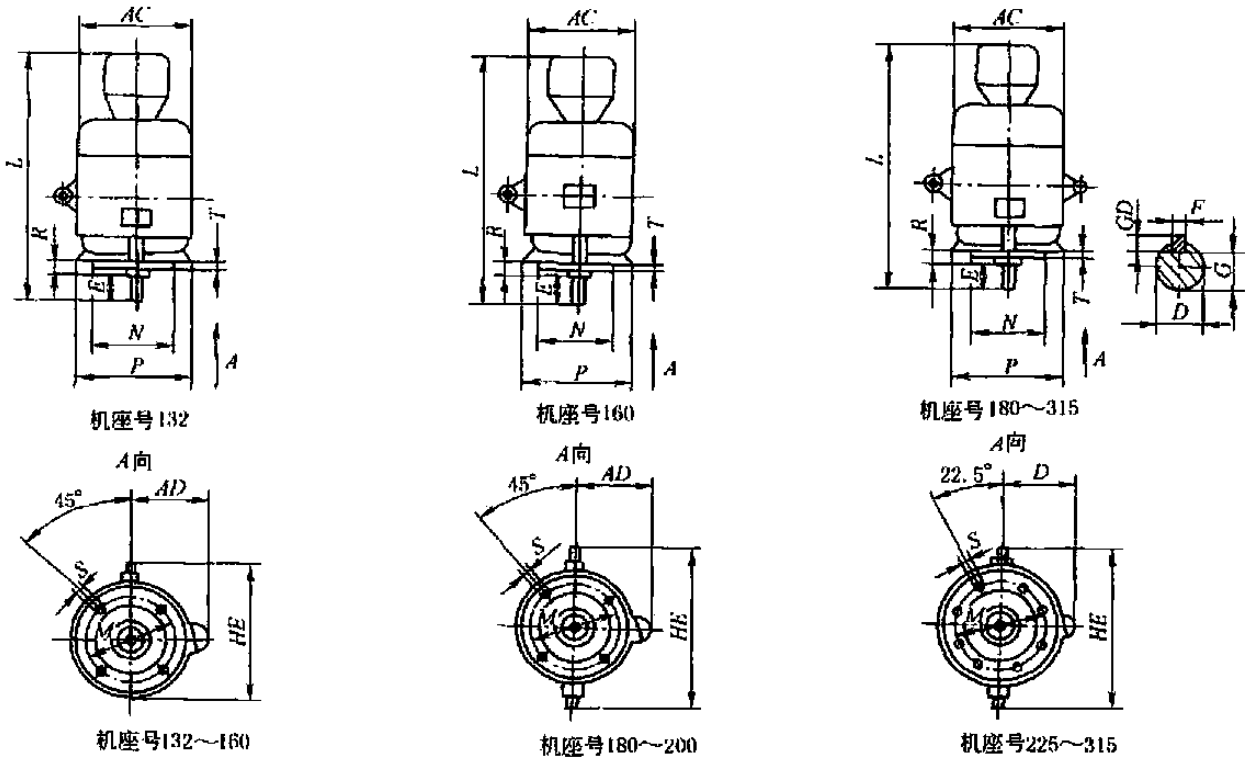


表 17-1-45

机座号	安 装 尺 寸											外 形 尺 寸			
	D	E	F×GD	G	T	M	N	P	R	S	AD	AC	HE	L	
132M	38	80	10×8	33	4	265	230	300	0	4×φ15	210	280	315	745	
160M	42	110	12×8	37	5	300	250	350	0	4×φ19	255	335	385	820	
160L														865	
180L	48	110	14×9	42.5	5	300	250	350	0	4×φ19	285	375	500	920	
200L	55	110	16×10	49	5	350	300	400	0	4×φ19	310	425	550	1045	
225M	60	140	18×11	53	5	400	350	450	0	8×φ19	345	470	610	1115	
250M	65	140	18×11	58	5	500	450	550	0	8×φ19	385	515	650	1260	
280S	75	140	20×12	67.5	5	500	450	550	0	8×φ19	410	575	720	1355	
280M														1405	
315S	80	170	22×14	71	6	600	550	660	0	8×φ24	576	645	900	1500	
315M														1550	

注：同表 17-1-44 注。

4.4.5 YR 系列 (IP23) 三相异步电动机 (摘自 JB/T 5269—1991)

表 17-1-46

技术数据 (380V)

型 号	额定 功率 /kW	满 载 时				最大转矩 额定转矩	转子电压 /V	转子电流 /A	噪声(声 功率级) /dB(A)	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%	功率因数 cosφ						
同步转速 1500r/min											
YR160M-4	7.5	1421	16	84.0	0.84	2.8	260	19	83	0.099	
YR160L1-4	11	1434	22.6	86.5	0.85	2.8	275	26	83	0.122	
YR160L2-4	15	1444	30.2	87.0	0.85	2.8	260	37	85	0.149	
YR180M-4	18.5	1426	36.1	87.0	0.88	2.8	197	61	85	0.25	
YR180L-4	22	1434	42.5	88.0	0.88	3.0	232	61	85	0.273	
YR200M-4	30	1439	57.7	89.0	0.88	3.0	255	76	89	0.455	
YR200L-4	37	1448	70.2	89.0	0.88	3.0	316	74	89	0.553	335
YR225M1-4	45	1442	86.7	89.0	0.88	2.5	240	120	92	0.65	350
YR225M2-4	55	1448	104.7	90.0	0.88	2.5	288	121	92	0.74	380
YR250S-4	75	1453	141.7	90.5	0.89	2.6	449	105	92	1.338	440
YR250M-4	90	1457	167.9	91.0	0.89	2.6	524	107	92	1.5	490
YR280S-4	110	1458	201.3	91.5	0.89	3.0	349	196	92	2.275	
YR280M-4	132	1463	239	92.5	0.89	3.0	419	194	92	2.598	880
同步转速 1000r/min											
YR160M-6	5.5	949	12.7	82.5	0.77	2.5	279	13	79	0.143	
YR160L-6	7.5	949	16.9	83.5	0.78	2.5	260	19	80	0.164	160
YR180M-6	11	940	24.2	84.5	0.78	2.8	146	50	80	0.313	
YR180L-6	15	947	32.6	85.5	0.79	2.8	187	53	83	0.37	
YR200M-6	18.5	949	39	86.5	0.81	2.8	187	65	83	0.543	
YR200L-6	22	955	45.5	87.5	0.82	2.8	224	63	83	0.638	315
YR225M1-6	30	955	59.4	87.5	0.85	2.2	227	86	86	0.809	335
YR225M2-6	37	964	73.1	89.0	0.85	2.2	287	82	86	0.934	365
YR250S-6	45	966	88	89.0	0.85	2.2	307	93	89	1.653	450
YR250M-6	55	967	105.7	89.5	0.86	2.2	359	97	89	1.88	490
YR280S-6	75	969	141.8	90.5	0.88	2.5	392	121	92	2.88	
YR280M-6	90	972	166.7	91.0	0.89	2.5	481	118	92	3.513	880
同步转速 750r/min											
YR160M-8	4	703	10.5	81.0	0.71	2.2	262	11	77	0.142	
YR160L-8	5.5	705	14.2	81.5	0.71	2.2	243	15	77	0.162	160
YR180M-8	7.5	692	18.4	82.0	0.73	2.2	105	49	80	0.309	
YR180L-8	11	699	26.8	83.0	0.73	2.2	140	53	80	0.363	
YR200M-8	15	706	36.1	85.0	0.73	2.2	153	64	83	0.536	
YR200L-8	18.5	712	44	86.0	0.73	2.2	187	64	83	0.63	
YR225M1-8	22	710	48.6	86.0	0.78	2.0	161	90	83	0.791	365
YR225M2-8	30	713	65.3	87.0	0.79	2.0	200	97	86	0.905	390
YR250S-8	37	715	78.9	87.5	0.79	2.0	218	110	86	1.605	450
YR250M-8	45	720	95.5	88.5	0.79	2.0	264	109	88	1.833	500

续表

型号	额定功率 /kW	满载时				最大转矩 额定转矩	转子电压 /V	转子电流 /A	噪声(声 功率级) /dB(A)	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%	功率因数 cosφ						
同步转速 750r/min											
YR280S-8	55	723	114	89.0	0.82	2.2	279	125	88	2.638	
YR280M-8	75	725	152.1	90.0	0.82	2.2	359	131	91	3.428	880

注: 1. 表中转速、转动惯量、质量不是标准 JB/T 5269 中的数据, 仅供参考。

2. 其他见表 17-1-28。

3. 标准 JB/T 5270—1991 制定了 YR 系列 (IP23) 机座号为 315~355 的标准, 其功率系列如下:

型号		315S	315M1	315M2	315M3	315M4	355M1	355M2	355M3	355M4	355L1	355L2
同步 转速 /r·min ⁻¹	1500	160	185	200	220	250	—	280	315	—	355	—
	1000	110	132	160	—	—	185	200	220	250	280	—
	750	90	110	132	—	—	—	160	185	200	220	250
	600	55	75	90	—	—	—	110	132	—	160	185
	500	—	—	—	—	—	—	—	—	90	110	132

4. 生产厂家见表 17-1-42 注。

B3 外形及安装尺寸

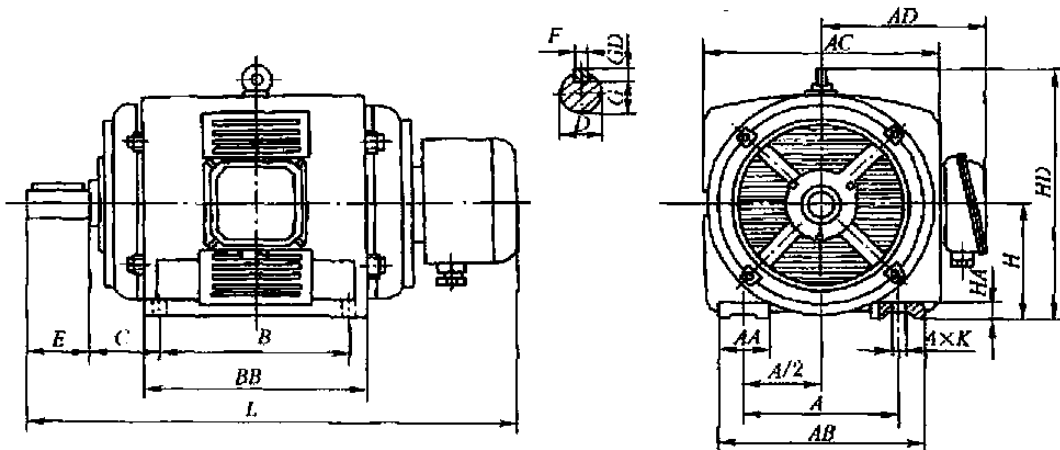


表 17-1-47

mm

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸							
	A	A/2	B	C	D	E	F×GD	G	H	K	AA	AB	AC	AD	BB	HA	HD	L
160M	254	127	210	108	48	110	14×9	42.5	160	15	70	330	380	290	270	20	405	750
160L			254												315				810
180M	279	139.5	241	121	55	110	16×10	49	180	15	70	350	420	325	315	22	445	895
180L			279												350				935
200M	318	159	267	133	60	140	18×11	53	200	19	80	400	405	350	355	25	495	920
200L			305												395				960
225M	356	178	311	149	65	140	18×11	58	225	19	90	450	520	395	395	28	545	1060
250S	406	203	311	168	75	140	20×12	67.5	250	24	100	510	550	410	420	30	600	1110
250M			349												455				1150
280S	457	228.5	368	190	80	170	22×14	71	280	24	110	570	610	450	530	35	655	1260
280M			419												585				1310
315S	508		406	216	90	170	25×14	81	315	28			792	586			928	1710
315M			457																	1820
355M	610		560	254	100	210	28×16	90	355	28			980	630			1120	2170
355L			630																	2240

注: 各生产厂家产品安装尺寸符合标准, 外形尺寸有可能不同, 选用时以生产厂家样本为准。

4.4.6 Y、YR 系列中型三相异步电动机 (660V)

表 17-1-48

技术数据 (设计值) (660V)

型 号		额定功率/kW	定子电流/A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因 数 cosφ	最大转矩 额定转矩	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg	
Y 系列	IP23 Y400-2	355	354	2977	94.95	0.928	2.07	1.01	5.33	6.14	2000	
		400	397	2976	95.18	0.928	1.98	1.02	5.2	6.7	2100	
		450	443	2978	95.53	0.932	2.16	1.22	5.86	7.6	2190	
		500	492	2981	95.54	0.934	2.43	1.52	6.87	8.5	2320	
	Y400-4	355	357	1485	95.12	0.917	1.9	1.16	5.51	9.9	2000	
		400	400	1487	95.39	0.919	2.15	1.43	6.47	10.8	2100	
		450	452	1481	95.18	0.916	1.8	1.2	5.3	12	2190	
		500	498	1487	95.63	0.921	2.11	1.58	6.63	13.6	2320	
	Y400-6	315	328	991	95.25	0.883	2.1	1.68	6.5	13.5	2100	
		355	372	991	95.07	0.881	1.84	1.44	5.85	15	2190	
		400	418	990	95.14	0.882	1.87	1.49	5.9	16.8	2320	
	Y400-8	280	310	742	94.63	0.837	1.8	1.48	5.07	15	2190	
		315	350	742	94.99	0.831	1.8	1.45	4.91	16.8	2320	
		355	396	741	95.14	0.826	1.8	1.56	5.09	18.4	2420	
	Y400-10	200	225	590	93.71	0.833	1.6	1.34	4.45	17.4	2190	
		220	247	590	93.87	0.834	1.7	1.38	4.54	19.5	2320	
		250	282	590	93.96	0.828	1.7	1.49	4.73	21.3	2420	
	Y400-12	160	196	493	93.42	0.767	1.84	1.49	4.53	19.6	2360	
		185	226	492	93.48	0.769	1.8	1.45	4.36	21.3	2440	
		200	245	492	93.69	0.766	1.81	1.52	4.5	23.5	2520	
		220	271	493	93.8	0.76	1.87	1.62	4.46	25.7	2620	
	Y450-12	250	292	492	93.58	0.803	1.6	1.14	4.09	48.2	2800	
		280	328	492	93.67	0.8	1.62	1.19	4.2	52.6	3000	
		315	373	493	93.78	0.789	1.7	1.29	4.4	57.1	3190	
		355	420	493	93.9	0.79	1.73	1.34	4.54	65	3280	
	IP44	Y400-2	315	313	2981	94.38	0.936	2.52	1.3	6.58	6.8	2510
			355	351	2983	94.65	0.936	2.75	1.55	7	7.5	2620
			400	395	2981	94.74	0.937	2.48	1.44	6.7	8.48	2690
Y400-4		310	317	1488	94.29	0.924	2.01	1.24	5.79	5.79	2540	
		355	355	1487	94.5	0.927	2.25	1.52	6.7	6.7	2620	
		400	399	1487	94.67	0.928	2.18	1.56	6.7	6.7	2690	
Y400-6		250	259	990	94.5	0.895	2.2	1.66	6.77	13.5	2500	
		280	290	992	94.85	0.984	2.2	1.73	6.48	15	2650	
		315	326	992	94.76	0.895	2.2	1.7	6.8	17	2730	
Y400-8		220	244	742	94.53	0.836	1.83	1.48	5.26	15	2600	

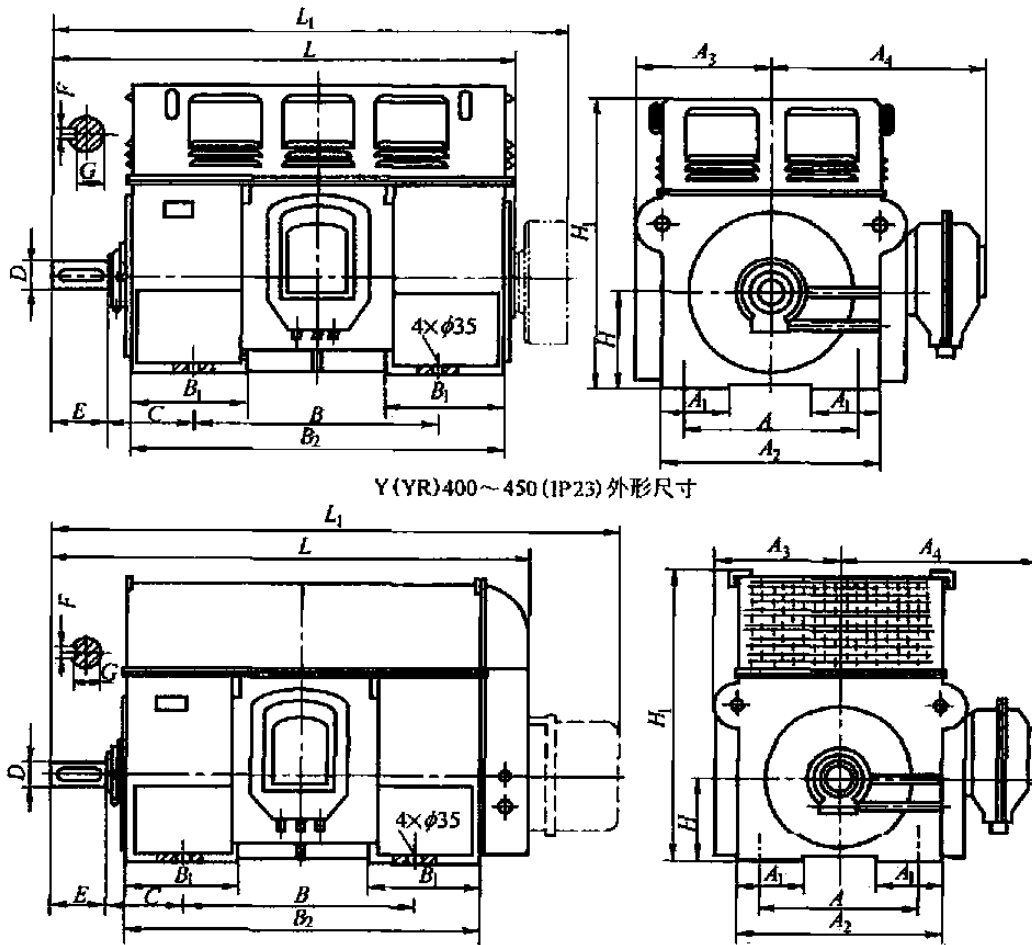
续表

型 号		额定功率/kW	定子电流/A	转速 /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ	最大转矩 额定转矩	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg		
Y 系列	IP44	Y400-8	250	277	743	94.83	0.833	1.91	1.63	5.57	16.8	2700	
			280	310	742	94.66	0.836	1.74	1.48	5.07	18.4	2790	
		Y400-10	160	187	592	93.69	0.828	2.05	1.68	5.53	17.4	2620	
			185	208	592	93.75	0.831	1.97	1.65	5.38	19.5	2700	
			200	225	592	93.88	0.831	1.95	1.67	5.37	21.3	2790	
			160	203	494	93.5	0.74	2.26	1.91	5.42	23.5	2790	
		Y450-12	185	235	494	93.61	0.74	2.23	1.9	5.38	25.6	2890	
			200	236	494	93.3	0.80	2.0	1.42	5.06	48.2	3430	
	220		262	494	93.37	0.79	2.07	1.52	5.24	52.6	3530		
	250		306	494	93.44	0.77	2.14	1.63	5.37	57.1	3620		
	280		343	495	93.54	0.77	2.2	1.7	5.55	65	3850		
	315		379	494	93.62	0.78	1.96	1.51	5.03	65	3760		
	Y R 系列	IP23	YR400-4	355	356	1475	94.46	0.925	2.01	330	675	9.9	2080
				400	399	1479	94.86	0.927	2.28	385	645	10.9	2110
				450	451	1474	94.6	0.926	1.9	386	735	12	2380
				500	496	1480	95.18	0.93	2.2	462	669	13.6	2450
YR400-6			315	334	984	94.53	0.87	1.94	304	647	13.5	2180	
			355	377	983	94.31	0.88	1.8	324	639	15	2450	
			400	432	984	94.46	0.88	1.8	360	701	16.8	2480	
YR400-8			280	310	732	93.7	0.847	1.8	272	660	15	2460	
			315	344	735	94.2	0.85	1.82	310	613	16.8	2540	
			355	391	735	94.4	0.84	1.83	345	642	18.4	2620	
YR400-10			200	224	585	93.3	0.84	1.8	272	471	17.4	2540	
			220	245	586	93.5	0.84	1.8	303	464	19.5	2620	
			250	280	586	90.62	0.84	1.86	340	467	21.3	2720	
YR400-12			160	197	489	92.8	0.77	1.8	258	395	19.6	2460	
			185	228	498	93.5	0.77	1.7	282	420	21.3	2540	
			200	246	489	93.7	0.76	1.78	310	410	23.5	2620	
			220	272	489	92.8	0.76	1.85	343	450	25.7	2720	
YR450-12			250	296	488	92.8	0.79	1.5	313	518	48.2	3190	
			280	332	489	92.9	0.79	1.56	348	520	52.6	3290	
			315	378	489	93.13	0.79	1.63	390	518	57	3380	
			355	442	490	93.36	0.79	1.68	446	508	65	3400	
IP44			YR400-4	315	317	1477	93.72	0.93	2.13	330	601	10.9	2720
				355	354	1480	94	0.834	2.4	385	575	12	2790
				400	398	1480	94.2	0.936	2.35	420	593	15.6	2870
			YR400-6	250	262	985	93.82	0.89	2.06	274	565	13.5	2680
				280	293	985	94	0.89	2.06	305	574	15	2750
				315	328	986	94.2	0.894	2.06	339	580	16.9	2760
			YR400-8	220	242	737	93.73	0.852	1.95	259	536	15	2800
				250	274	737	94.14	0.851	2.05	296	530	16.9	2890
				280	306	737	94	0.856	1.89	311	569	18.4	2990
			YR400-10	160	180	587	93.18	0.835	2.21	272	370	17.4	2800
				185	207	588	93.3	0.839	2.14	302	359	19.6	2890
				200	224	589	93.46	0.838	2.1	325	388	21.3	2990

型 号		额定功率/kW	定子电流/A	转速/ $r \cdot \min^{-1}$	效率/%	功率因数 $\cos\varphi$	最大转矩 额定转矩	转子电压/V	转子电流/A	转动惯量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量/kg	
YR系列	IP44	YR400-12	110	144	492	92.65	0.75	2.38	247	279	19.5	2720
			132	162	491	92.6	0.77	2.03	259	322	21.3	2800
			160	204	492	93.4	0.736	2.24	309	324	23.5	2890
			185	235	492	93.5	0.738	2.21	343	336	25.7	2990
	IP44	YR450-12	200	239	491	92.7	0.79	1.92	313	406	48	3420
			220	265	491	92.8	0.784	2.0	347	459	56.2	3520
			250	307	492	93	0.77	2.07	389	405	57.1	3630
			280	344	493	93.13	0.77	2.14	445	395	65	3720
			315	381	491	93.15	0.78	1.89	445	443	65	3750

- 注：1. 电动机可使用在不含易燃、易爆或腐蚀性气体的一般场所的主巷道，也可用于井下通风无特殊要求的机械上。
 2. 要求海拔不高于1000m，最高环境空气温度不超过40℃，最低环境空气温度为-15℃（滚动轴承），或5℃（滑动轴承）。
 3. 电动机为连续工作制。
 4. 生产厂：湘潭电机集团有限公司。

外形及安装尺寸



Y(YR)400~450 (IP23) 外形尺寸

Y(YR)400~450 (IP44) 外形尺寸

表 17-1-49

mm

IP23	机座号	A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B	B ₁	B ₂	C	D	E	F	G	H	H ₁	L	L ₁
	400-2	710	275	900	560	720	1000	500	1510	335	75	140	20	67.5	400	1200	1790	—
400-4~12	800	305	1000	620	780	1120	575	1660	355	110	210	28	100	450	1350	1860	2420	
450-12	800	305	1000	620	780	1120	575	1660	355	130	250	32	119	450	1350	2075	2640	
IP44	机座号	H ₁				L				L ₁				其他尺寸				
	400-2	1445				1955				—				见 IP23				
	400-4~12	1445				2025				2585								
450-12	1625				2235				2795									

4.4.7 YX 系列高效率三相异步电动机

表 17-1-50

技术数据 (380V、50Hz)

型 号	额定功率 /kW	转 速 /r·min ⁻¹	电 流 /A	效率/%			功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
				输出功率/额定功率							
				100%	75%	50%					
YX100L-2	3	2880	5.9	86.5	86.8	86.3	0.89	2.0	8.0	2.2	35
YX112M-2	4	2910	7.7	88.3	88.6	88	0.89	2.0	8.0	2.2	48
YX132SI-2	5.5	2920	10.6	88.6	89	88.2	0.89	1.8	8.0	2.2	70
YX132S2-2	7.5	2920	14.3	89.7	90.2	89.4	0.89	1.8	8.0	2.2	75
YX160M1-2	11	2950	20.9	90.8	91.2	90.4	0.88	1.8	8.0	2.2	135
YX160M2-2	15	2950	27.8	92	92.4	91.6	0.89	1.8	8.0	2.2	146
YX160L-2	18.5	2950	34.3	92	92.4	91.7	0.89	1.8	8.0	2.2	157
YX180M-2	22	2950	40.1	92.5	92.5	92.1	0.90	1.8	8.0	2.2	195
YX200L1-2	30	2960	54.5	93	93	92.7	0.90	1.8	7.5	2.2	258
YX200L2-2	37	2950	67	93.2	93.4	93	0.90	1.8	7.5	2.2	275
YX225M-2	45	2970	80.8	94	94	93.5	0.89	1.8	7.5	2.2	332
YX250M-2	55	2980	99.7	94.2	94.2	93.6	0.89	1.8	7.5	2.2	472
YX280S-2	75	2970	135.8	94.2	94.4	93.7	0.89	1.8	7.5	2.2	565
YX280M-2	90	2980	162.6	94.5	94.6	94	0.86	1.8	7.5	2.2	605
YX100L1-4	2.2	1440	4.7	86.3	87	86.5	0.82	2.0	8.0	2.2	36
YX100L2-4	3	1440	6.4	86.5	87.2	86.6	0.82	2.0	8.0	2.2	41
YX112M-4	4	1460	8.3	88.3	89	88.5	0.83	2.0	8.0	2.2	52
YX132S-4	5.5	1460	11.2	89.5	90.2	89.5	0.83	2.0	8.0	2.2	75
YX132M-4	7.5	1460	14.8	90.3	90.7	90.3	0.85	2.0	8.0	2.2	82
YX160M-4	11	1470	20.9	91.8	92	91.6	0.87	2.0	8.0	2.2	133
YX160L-4	15	1470	28.5	91.8	92.2	91.7	0.87	2.0	8.0	2.2	157
YX180M-4	18.5	1480	35.2	93	93.2	92.8	0.86	1.8	8.0	2.2	190
YX180L-4	22	1480	41.7	93.2	93.5	93	0.86	1.8	8.0	2.2	205
YX200L-4	30	1480	56	93.5	93.8	93.5	0.87	1.8	7.5	2.2	274
YX225S-4	37	1490	68.9	93.8	94.2	93.7	0.87	1.8	7.5	2.2	324
YX225M-4	45	1480	83.5	94.1	94.5	94	0.87	1.8	7.5	2.2	349
YX250M-4	55	1480	100.2	94.5	94.8	94.2	0.88	1.8	7.5	2.2	447
YX280S-4	75	1490	136.7	94.7	95	94.6	0.88	1.8	7.5	2.2	605
YX280M-4	90	1490	161.7	95	95.2	94.8	0.89	1.8	7.5	2.2	670
YX100L-6	1.5	960	3.8	82.4	82.8	82	0.72	2.0	7.0	2.0	35
YX112M-6	2.2	970	5.3	85.3	85.8	84.8	0.74	2.0	7.0	2.0	48
YX132S-6	3	980	6.9	87.2	87.5	86.8	0.76	2.0	7.0	2.0	70
YX132M1-6	4	970	9	88	88.4	87.6	0.77	2.0	7.0	2.0	77
YX132M2-6	5.5	970	12.1	88.5	88.8	88.3	0.78	2.0	7.0	2.0	85

型号	额定功率 /kW	转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率/%			功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
				输出功率/额定功率							
				100%	75%	50%					
YX160M-6	7.5	980	16	90	90.4	89.6	0.79	2.0	7.0	2.0	127
YX160L-6	11	980	23.4	90.4	91	90.2	0.79	2.0	7.0	2.0	155
YX180L-6	15	980	30.7	91.7	92.2	91.5	0.81	1.8	7.0	2.0	195
YX200L1-6	18.5	980	36.9	91.7	92.2	91.5	0.83	1.8	7.0	2.0	250
YX200L2-6	22	980	43.2	92.1	92.5	91.8	0.84	1.8	7.0	2.0	270
YX225M-6	30	990	57.7	93	93.4	92.8	0.85	1.8	7.0	2.0	327
YX250M-6	37	990	70.8	93.4	93.8	93.2	0.85	1.8	7.0	2.0	441
YX280S-6	45	990	84	93.6	94	93.4	0.87	1.8	7.0	2.0	540
YX280M-6	55	990	102.4	93.8	94.2	93.6	0.87	1.8	7.0	2.0	595

注：1. YX 系列是由 Y 系列 (IP44) 派生的，与 Y 系列相比，损耗下降，效率、功率因数提高，75% 负荷率时效率最高，是新型节能产品，最适合长期连续运行、负荷率高的设备，如用来拖动风机、水泵、压缩机等设备。

2. 生产厂：北京华捷电机股份有限公司，重庆电机厂，大连电机有限公司。

B3 外形及安装尺寸

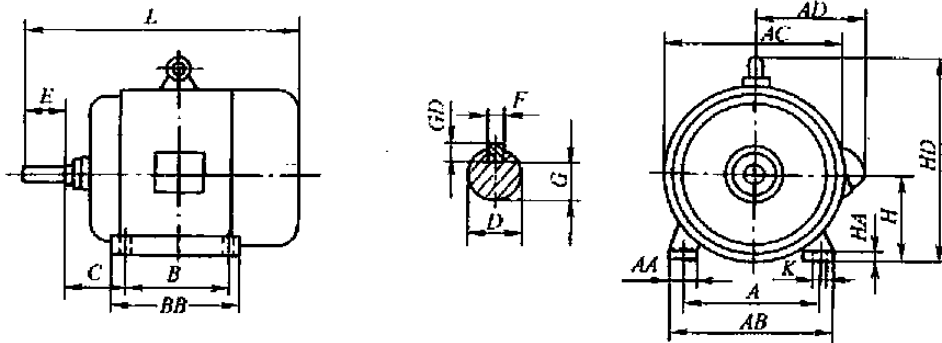


表 17-1-51

mm

机座号	安装尺寸												
	H	A	B	C	D		E		F × GD		G		K
					2 极	4,6 极	2 极	4,6 极	2 极	4,6 极	2 极	4,6 极	
100L	100 ⁰ _{-0.5}	160	140	63	28		60		8 × 7		24		12
112M	112 ⁰ _{-0.5}	190	140	70	38		80		10 × 8		33		12
132S	132 ⁰ _{-0.5}	216	140	89	42		110		12 × 8		37		12
132M	132 ⁰ _{-0.5}	216	178	89	48		110		14 × 9		42.5		15
160M	160 ⁰ _{-0.5}	254	210	108	55		140		16 × 10		49		15
160L	160 ⁰ _{-0.5}	254	254	108	60		140		18 × 11		53		15
180M	180	279	241	121	65		140		18 × 11		53		15
180L	180	279	279	121	75		140		20 × 12		58		15
200L	200	318	305	133	60		140		18 × 11		53		19
225S	225	356	286	149	65		140		18 × 11		53		19
225M	225	356	311	149	65		140		18 × 11		53		19
250M	250	406	349	168	65		140		18 × 11		53		24
280S	280	457	368	190	75		140		18 × 11		58		24
280M	280	457	419	190	75		140		18 × 11		67.5		24

续表

机座号	外形尺寸											制造范围		
	AB	AC	AD	BB			HD	L			AA	HA	B3	B6、B7、B8、 V5、V6
				2极	4极	6极		2极	4极	6极				
100L	205	210	180	176	176	176	245	380	405	380	40	14	●	●
112M	245	230	190	210	210	180	265	430	430	400	50	15	●	●
132S	280	270	210	S1 200 S2 238	200	200	315	515	475	475	60	18	●	●
132M	280	270	210	—	238	238	315	—	515	515	60	18	●	●
160M	330	330	260	314	270	270	385	645	600	600	70	20	●	●
160L	330	330	260	339	314	314	385	665	645	645	70	20	●	●
180M	355	360	285	349	311	—	430	710	670	—	70	22	●	●
180L	355	360	285	—	349	349	430	—	710	710	70	22	●	●
200L	395	400	310	379	379	379	475	775	775	775	70	25	●	●
225S	435	450	345	—	368	—	530	—	820	—	75	28	●	●
225M	435	450	345	393	393	393	530	815	845	845	75	28	●	●
250M	490	495	385	455	455	455	575	930	930	930	80	30	●	●
280S	550	555	410	530	530	530	640	1000	1000	1000	85	35	●	●
280M	550	555	410	581	581	581	640	1050	1050	1050	85	35	●	●

B35 外形及安装尺寸

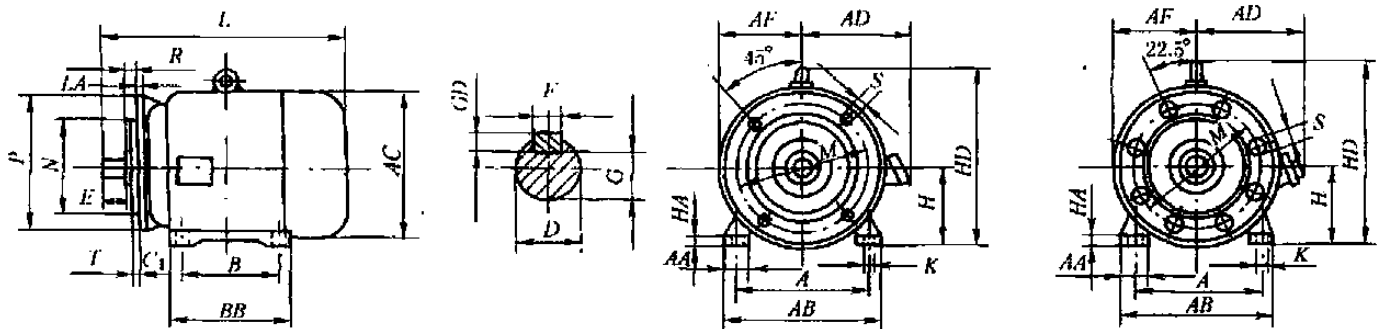


表 17-1-52

mm

机座号	安装尺寸																		
	H	A	B	C ₁	D		E		F × GD		G		K	T	M	N	P	R	S
					2极	4、6、 8极	2极	4、6、 8极	2极	4、6、 8极	2极	4、6、 8极							
100L	100	160	140	63	28	60	8 × 7	24	φ12	4	215	180	250	0	4 × φ15				
112M	112	190	140	70	28	60	8 × 7	24	φ12	4	215	180	250	0	4 × φ15				
132S	132	216	140	89	38	80	10 × 8	33	φ12	4	265	230	300	0	4 × φ15				
132M	132	216	178	89	38	80	10 × 8	33	φ12	4	265	230	300	0	4 × φ15				
160M	160	254	210	108	42	110	12 × 8	37	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19				
160L	160	254	254	108	42	110	12 × 8	37	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19				
180M	180	279	241	121	48	110	14 × 9	42.5	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19				
180L	180	279	279	121	48	110	14 × 9	42.5	φ15	5	300	250	350	0	4 × φ19				
200L	200	318	305	133	55	110	16 × 10	49	φ19	5	350	300	400	0	4 × φ19				
225S	225	356	286	149	—	60	—	18 × 11	—	53	φ19	5	400	350	450	0	8 × φ19		
225M	225	356	311	149	55	60	110	140	16 × 10	18 × 11	49	53	φ19	5	400	350	450	0	8 × φ19
250M	250	406	349	168	60	65	140	18 × 11	18 × 11	53	58	φ24	5	500	450	550	0	8 × φ19	
280S	280	457	368	190	65	75	140	18 × 11	20 × 12	58	67.5	φ24	5	500	450	550	0	8 × φ19	
280M	280	457	419	190	65	75	140	18 × 11	20 × 12	58	67.5	φ24	5	500	450	550	0	8 × φ19	

机座号	外形尺寸											制造范围				
	AB	AD	AF	HD	AA	BB			HA	AC	LA	L			B35	V15 V36
						2极	4极	6极				2极	4极	6极		
100L	205	180	130	245	40	176	176	176	14	205	14	380	405	380	●	●
112M	245	190	130	265	50	250	210	180	15	230	14	430	430	400	—	—
132S	280	210	155	315	60	200	200	200	18	270	14	515	475	475	—	—
132M	280	210	155	315	60	—	238	238	18	270	14	—	515	515	—	—
160M	330	260	180	385	70	314	270	270	20	325	16	645	600	600	—	—
160L	330	260	180	385	70	314	314	314	20	325	16	665	645	645	—	—
180M	355	285	180	430	70	349	311	—	22	360	18	710	670	—	—	—
180L	355	285	180	430	70	—	349	349	22	360	18	—	710	710	●	●
200L	395	310	205	475	70	379	379	379	25	400	18	775	775	775	—	—
225S	435	345	225	530	75	—	368	—	28	450	20	—	820	—	—	—
225M	435	345	225	530	75	393	393	393	28	450	20	815	845	845	—	—
250M	490	385	250	575	80	455	455	455	30	495	22	930	930	930	—	—
280S	550	410	280	640	85	530	530	530	35	555	22	1000	1000	1000	—	—
280M	550	410	280	640	85	581	581	581	35	555	22	1050	1050	1050	●	●

注: R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

4.4.8 YH 系列 (IP44) 高转差率三相异步电动机 (摘自 JB/T 6449—1992)

表 17-1-53

技术数据

型号	额定功率 /kW	在额定功率时						堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	负载持 续率 /%	转差率 /%	效率 /%	功率 因数 cosφ					
同步转速 3000r/min												
YH801-2	0.75	2670	1.97	60	11	71	0.86	5.5	2.7	2.7	0.00075	16
YH802-2	1.1	2670	2.63	60	11	73	0.87	5.5	2.7	2.7	0.0009	17
YH90S-2	1.5	2670	3.67	40	11	73	0.85	5.5	2.7	2.7	0.0012	22
YH90L-2	2.2	2670	5.15	40	11	75.5	0.96	5.5	2.7	2.7	0.0014	25
YH100L-2	3	2700	6.89	40	10	76	0.87	5.5	2.7	2.7	0.0014	35
YH112M-2	4	2730	8.81	40	9	77.5	0.86	5.5	2.7	2.7	0.0055	45
YH132S1-2	5.5	2730	11.9	40	9	78.5	0.90	5.5	2.7	2.7	0.0109	64
YH132S2-2	7.5	2730	16	25	9	78.5	0.91	5.5	2.7	2.7	0.0126	70
YH160M1-2	11	2760	22.9	25	8	81	0.90	5.5	2.7	2.7	0.0377	117
YH160M2-2	15	2760	30.5	25	8	82	0.91	5.5	2.7	2.7	0.0449	125
YH160L-2	18.5	2760	37.4	25	8	82.5	0.91	5.5	2.7	2.7	0.0550	147
同步转速 1500r/min												
YH801-4	0.55	1305	1.65	60	13	66.5	0.73	5.5	2.7	2.7	0.0018	17
YH802-4	0.75	1305	2.18	60	13	68	0.77	5.5	2.7	2.7	0.0021	18
YH90S-4	1.1	1305	2.98	60	13	70	0.80	5.5	2.7	2.7	0.0021	22
YH90L-4	1.5	1305	3.96	60	13	72	0.80	5.5	2.7	2.7	0.0027	27
YH100L1-4	2.2	1305	5.52	40	13	73	0.83	5.5	2.7	2.7	0.0054	34
YH100L2-4	3	1305	7.42	40	13	74	0.83	5.5	2.7	2.7	0.0067	38
YH112M-4	4	1335	9.51	40	11	77	0.83	5.5	2.7	2.7	0.0095	43

续表

型号	额定功率 /kW	在额定功率时						堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	负载持 续率 /%	转差率 /%	效率 /%	功率 因数 cosφ					
同步转速 1500r/min												
YH132S-4	5.5	1350	12.5	40	10	77.5	0.86	5.5	2.7	2.7	0.0214	68
YH132M-4	7.5	1350	17	40	10	78	0.87	5.5	2.7	2.7	0.0296	81
YH160M-4	11	1365	24.3	25	9	80	0.86	5.5	2.6	2.6	0.0747	123
YH160L-4	15	1380	32.3	25	8	82	0.86	5.5	2.6	2.6	0.0918	144
YH180M-4	18.5	1380	38.5	25	8	82	0.89	5.5	2.6	2.6	0.139	182
YH180L-4	22	1380	45.2	25	8	83	0.89	5.5	2.6	2.6	0.262	190
YH200L-4	30	1380	61	25	8	84	0.89	5.5	2.6	2.6	0.262	270
YH225S-4	37	1395	74.4	25	7	84	0.90	5.5	2.6	2.6	0.406	284
YH225M-4	45	1395	88.9	25	7	84.5	0.91	5.5	2.6	2.6	0.469	320
YH250M-4	55	1395	108	25	7	86	0.90	5.5	2.6	2.6	0.66	427
YH280S-4	75	1395	144	15	7	86	0.92	5.5	2.6	2.6	1.12	562
YH280M-4	90	1395	172	15	7	86.5	0.92	5.5	2.6	2.6	1.46	667
同步转速 1000r/min												
YH90S-6	0.75	870	2.48	60	13	66.5	0.69	5.0	2.7	2.7	0.0029	23
YH90L-6	1.1	870	3.46	60	13	67	0.72	5.0	2.7	2.7	0.0035	25
YH100L-6	1.5	880	4.28	40	12	70	0.76	5.0	2.7	2.7	0.0069	33
YH112M-6	2.2	880	6.02	40	12	73	0.76	5.0	2.7	2.7	0.0138	45
YH132S-6	3	900	7.69	40	10	76	0.78	5.0	2.7	2.7	0.0286	68
YH132M1-6	4	900	10	40	10	77	0.79	5.0	2.7	2.7	0.0357	73
YH132M2-6	5.5	900	13.6	40	10	78	0.79	5.0	2.7	2.7	0.0449	84
YH160M-6	7.5	890	17.8	25	11	79	0.81	5.0	2.5	2.5	0.0881	119
YH160L-6	11	890	25.8	25	11	80	0.81	5.0	2.5	2.5	0.116	147
YH180L-6	15	910	33.5	25	9	82	0.83	5.0	2.5	2.5	0.207	195
YH200L1-6	18.5	920	39.8	25	8	82	0.86	5.0	2.5	2.5	0.315	220
YH200L2-6	22	920	46.6	25	8	82.5	0.87	5.0	2.5	2.5	0.36	250
YH225M-6	30	920	62.7	25	8	83	0.87	5.5	2.5	2.5	0.547	292
YH250M-6	37	930	75.2	25	7	84	0.89	5.5	2.5	2.5	0.834	408
YH280S-6	45	930	90.9	25	7	84.5	0.89	5.5	2.5	2.5	1.39	536
YH280M-6	55	930	110	25	7	85	0.89	5.5	2.5	2.5	1.65	595
同步转速 750r/min												
YH132S-8	2.2	660	6.27	60	12	73	0.73	4.5	2.6	2.6	0.0314	63
YH132M-8	3	660	8.21	60	12	74	0.75	4.5	2.6	2.6	0.0314	79
YH160M1-8	4	670	10.5	60	11	77	0.75	4.5	2.4	2.4	0.0753	118
YH160M2-8	5.5	670	13.9	60	11	78	0.77	4.5	2.4	2.4	0.0931	119
YH160L-8	7.5	670	18.5	60	11	79	0.78	4.5	2.4	2.4	0.126	145
YH180L-8	11	675	27.3	25	10	76.5	0.80	4.5	2.4	2.4	0.203	184
YH200L-8	15	683	36.6	25	9	77.5	0.80	4.5	2.4	2.4	0.339	250
YH225S-8	18.5	683	45	25	9	80	0.78	4.5	2.4	2.4	0.491	266
YH225M-8	22	683	51.6	25	9	81	0.80	4.5	2.4	2.4	0.547	292

续表

型号	额定功率 /kW	在额定功率时						堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	负载持 续率 /%	转差率 /%	效率 /%	功率 因数 cosφ					
同步转速 750r/min												
YH250M-8	30	690	67.4	25	8	81.5	0.83	4.5	2.4	2.4	0.834	405
YH280S-8	37	690	84.6	25	8	82	0.81	4.5	2.4	2.4	1.39	520
YH280M-8	45	690	99.8	25	8	82.5	0.83	4.5	2.4	2.4	1.65	592

型号	在 FC 下的输出功率/kW					型号	在 FC 下的输出功率/kW				
	15%	25%	40%	60%	100%		15%	25%	40%	60%	100%
YH801-2	1.0	0.9	0.8	0.75	0.65	YH280M-4	90	79	70	62	54
YH802-2	1.5	1.3	1.2	1.1	1	YH90S-6	1	0.9	0.8	0.75	0.6
YH90S-2	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	YH90L-6	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9
YH90L-2	2.7	2.4	2.2	2	1.8	YH100L-6	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1
YH100L-2	3.8	3.3	3	2.7	2.4	YH112M-6	2.7	2.4	2.2	1.9	1.7
YH112M-2	5	4.4	4	3.6	3.2	YH132S-6	3.7	3.2	3	2.6	2.3
YH132S1-2	7	6	5.5	5	4.4	YH132M1-6	5	4.3	4	3.5	3
YH132S2-2	8.5	7.5	6.7	6	5.3	YH132M2-6	6.5	6	5.5	4.5	4
YH160M1-2	12.5	11	9.8	8.8	7.8	YH160M-6	8.5	7.5	7	6	5
YH160M2-2	17	15	13.5	12	10.6	YH160L-6	12.5	11	10	8.5	7.5
YH160L-2	21	18.5	16.5	14.5	13	YH180L-6	17	15	13.5	11.5	10
YH801-4	0.75	0.65	0.6	0.55	0.48	YH200L1-6	21	18.5	17	14.5	12.5
YH802-4	1	0.9	0.8	0.75	0.66	YH200L2-6	25	22	20	17	15
YH90S-4	1.5	1.4	1.2	1.1	1	YH225M-6	34	30	27	23	20
YH90L-4	2	1.8	1.6	1.5	1.3	YH250M-6	42	37	34	29	25
YH100L1-4	2.8	2.5	2.2	2	1.8	YH280S-6	51	45	41	35	31
YH100L2-4	3.8	3.3	3	2.7	2.4	YH280M-6	62	55	50	42	37
YH112M-4	5	4.5	4	3.6	3.2	YH132S-8	3.2	2.8	2.7	2.2	1.9
YH132S-4	7	6	5.5	5	4.3	YH132M-8	4.4	3.8	3.7	3	2.6
YH132M-4	9.5	8.4	7.5	6.6	6	YH160M1-8	6	5.1	5	4	3.4
YH160M-4	12.5	11	9.8	8.8	7.6	YH160M2-8	8.1	7.1	6.5	5.5	4.7
YH160L-4	16	15	13	11.5	10	YH160L-8	10.1	8.7	8.5	7.5	6.5
YH180M-4	21	18.5	16.5	14.5	13	YH180L-8	12.5	11	10.5	8.5	7.2
YH180L-4	25	22	20	17.8	15.8	YH200L-8	17	15	14	11.5	10
YH200L-4	34	30	27	24	21	YH225S-8	21	18.5	18	14.5	12.5
YH225S-4	42	37	33	29	25	YH225M-8	25	22	21	17	14.5
YH225M-4	51	45	40	35	30	YH250M-8	34	30	29	23	20
YH250M-4	62	55	49	43	37	YH280S-8	42	37	35	28	24
YH280S-4	75	66	59	52	45	YH280M-8	52	45	43	34	29

注: 1. YH 系列电动机是 Y 系列的派生产品, 具有转差率高、堵转转矩大、堵转电流小、机械特性软、能承受冲击性负载的特点, 适用于传动飞轮矩大和不均匀冲击负载以及反转次数较多的金属加工机床, 如锤击机、剪切机、冲压机、铸冶机等。

2. YH 系列电动机的工作方式为断续周期性工作制 (S3)。如电动机不按其额定负载持续率 (FC) 使用, 相应调整电动机的输出功率, 保证电动机正常使用。参见表 17-1-17。表中 FC 下的输出功率为近似值, FC 为 100% 时, 表示电动机连续工作制 (S1) 运行。

3. 生产厂: 大连电机有限公司, 江西特种电机股份有限公司, 重庆川江电机厂, 上海电机 (集团) 有限公司五一电机厂。

B3 外形及安装尺寸

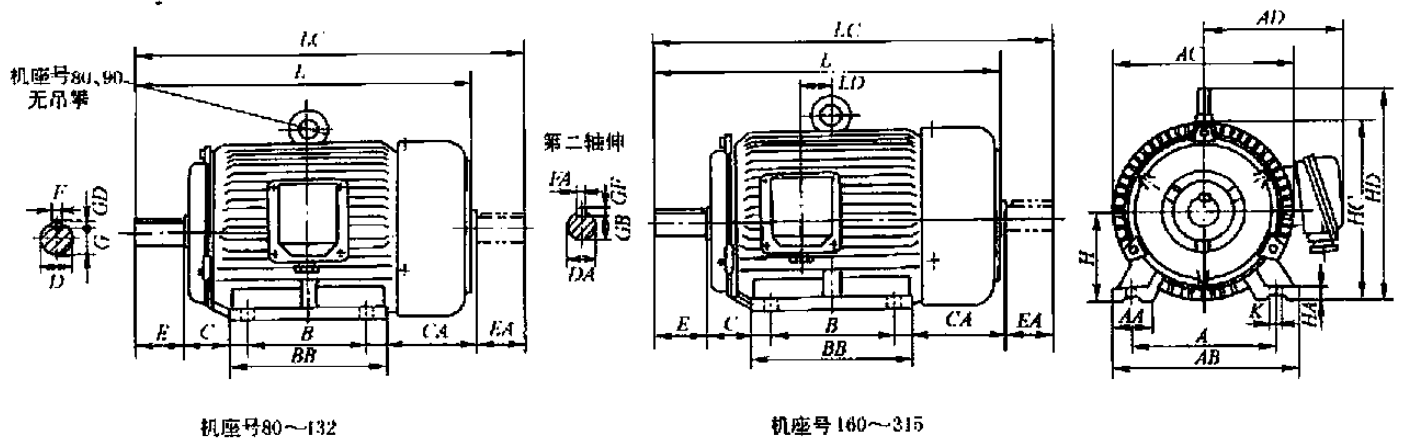


表 17-1-54

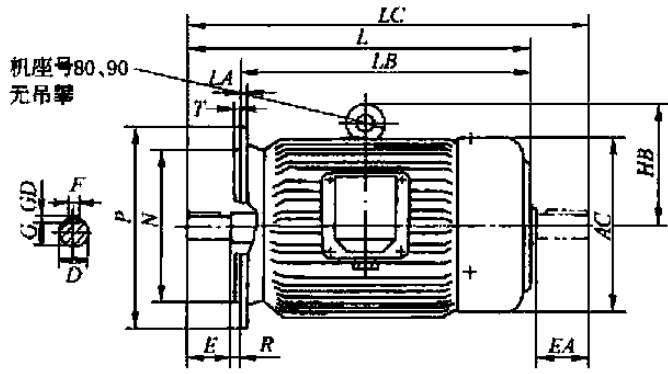
mm

机座号	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	CA	H	HA	HC	HD	K	L		LC		LD		
															2 极	4、6、8、 10 极	2 极	4、6、8、 10 极			
80	125		165	175	150	100	135	50	100	80 _{-0.5}	13	170	175	10	290		337				
90S	140	37	180	195	160			56	110	90 _{-0.5}					190	195	315			373	
90L			125	160	56			110	90 _{-0.5}	340							398				
100L	160	42	205	215	180	140	185	63	120	100 _{-0.5}	17	245	12	380		445		—			
112M	190	52	245	240	190			70	131	112 _{-0.5}				315	265	400			463		
132S	216	63	280	275	210			89	168	132 _{-0.5}						315			475		559
132M			178	243	89	168	132 _{-0.5}	315		315		515		597							
160M	254		330	335	265	210	275	108	177	160 _{-0.5}	22	385	15	605		722		55			
160L						254	320							605	722						
180M	279	73	355	380	285	241	315	121	199	180 _{-0.5}	24	430		670		783		86			
180L						279	353							670	783	86					
200L	318		395	420	315	305	378	133	221	200 _{-0.5}		475	19	775		881		102			
225S	356	83	435	475	345	286	382	149	247	225 _{-0.5}	27			530	820		934		103		
225M						311	407					815	845		929	959	116				
250M	406	88	490	515	385	349	458	168	267	250 _{-0.5}	33	575	930		1036		131				
280S	457	93	550	580	410	368	535	190	307	280 _{-1.0}	38	640	24	1000		1117		1147	168		
280M						419	586							1050		1168		1198	194		
315S						406	610		398			865	28	1240	1270	1382	1442	213			
315M	508	120	744	645	576	457	660	216	402	315 _{-1.0}	45			1310		1340		1452		1512	238
315L						508	710							1310		1340		1452		1512	263

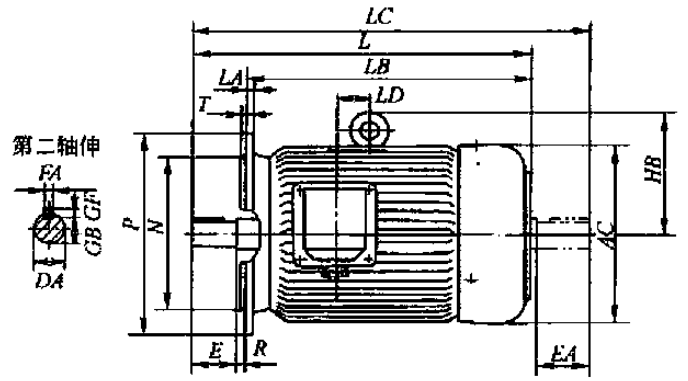
注：1. 第二轴伸肩到风罩距离约 8mm，表中 L、LC 等外形尺寸为最大值。

2. 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸见表 17-1-58。

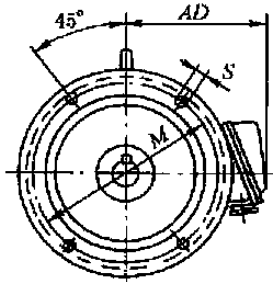
B5 外形及安装尺寸



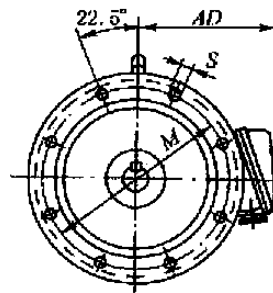
机座号 80~132



机座号 160~225



机座号 80~200



机座号 225

表 17-1-55

mm

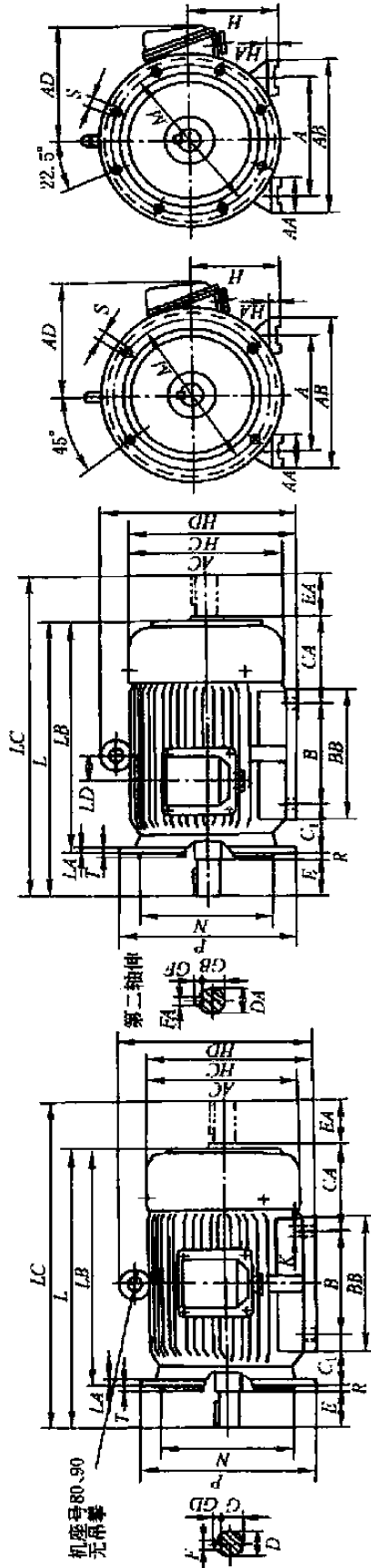
机座号	AC	AD	HB	L		LA	LB	LC		M	N	P	R	S	T	LD
				2 极	4、6、8 极			2 极	4、6、8 极							
80	175	150	—	290		13	245	332		165	130j6($\begin{smallmatrix} +0.014 \\ -0.011 \end{smallmatrix}$)	200	0	4 × φ12	3.5	—
90S	195	160		315			260	368								
90L				340			285	393								
100L	215	180	145	380		15	320	445		215	180j6($\begin{smallmatrix} +0.014 \\ -0.011 \end{smallmatrix}$)	250	0	4 × φ15	4	—
112M	240	190	160	400			340	463								
132S	275	210	178	475		16	395	559		265	230j6($\begin{smallmatrix} +0.016 \\ -0.013 \end{smallmatrix}$)	300	0	4 × φ15	4	—
132M				515			435	597								
160M	335	265	215	605		18	490	717		300	250j6($\begin{smallmatrix} +0.016 \\ -0.013 \end{smallmatrix}$)	350	0	4 × φ19	5	55
160L				650			535	761								105
180M	380	285	250	670		20	560	783		350	300js6(±0.016)	400	0	4 × φ19	5	86
180L				710			600	821								102
200L	420	315	280	775		22	665	881		400	350js6(±0.016)	450	0	8 × φ19	5	102
225S	475	345	298	—	820		680	—	934							400	350js6( +0.018 )	450	0	8 × φ19	5	103
225M				815	845	705	929	959		116						

注：1. 第二轴伸肩到风罩距离约 8mm，表中 L、LC 等外形尺寸为最大值。

2. 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸见表 17-1-59。

3. R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

B35 外形及安装尺寸



机座号 80~132 机座号 160~315 机座号 80~200 机座号 225~315

表 17-1-56

机座号	mm																						
	AA	AB	AC	AD	B	BB	C ₁	CA	H	HA	HC	HD	K	L	LC	LA	LB	M	N	P	R	S	T	LD
80	125	165	175	150	100	135	50	100	80 ^{+0.5}	13	170	175	10	290	332	13	245	165	130j6 ^(+0.014) _{-0.011}	200	4 × φ12	3.5	-
90S	140	180	195	160	125	160	56	110	90 ^{+0.5}	13	190	195	10	315	368	13	260						
90L														340	393		285				4 × φ15	4	
100S	160	205	215	180	180	180	63	120	100 ^{+0.5}	15	245	245	12	380	445	15	320	215	180j6 ^(+0.014) _{-0.011}	250			
112M	190	245	240	190	140	185	70	131	112 ^{+0.5}	17	265	265	15	400	463		340						
132S	216	280	275	210	178	205	89	168	132 ^{+0.5}	20	315	315	15	475	559	16	395	265	230j6 ^(+0.016) _{-0.013}	300			
132M														515	597		435						
160M	254	330	335	265	210	275	108	177	160 ^{+0.5}	22	385	385	15	605	717	18	490	300	250j6 ^(+0.016) _{-0.013}	350	4 × φ19		55
160L														650	761		535						
180M	279	355	380	285	241	315	121	199	180 ^{+0.5}	24	430	430	15	670	783	20	560	400	350j6 ^(+0.018) _{-0.015}	450		5	86
180L														710	821		600						
200S	318	395	420	315	305	378	133	221	200 ^{+0.5}	27	475	475	19	775	881	22	665	350	300j6 ^(±0.016)	400			105
225S	356	435	475	345	286	382	149	247	225 ^{+0.5}	33	530	530	19	820	934		680	400	350j6 ^(±0.018)	450			103
225M														815	929		705	400					
250M	406	488	490	385	349	458	168	267	250 ^{+0.5}	33	575	575	24	930	1036		790	500	450j6 ^(±0.020)	550	8 × φ19		131
280S	457	550	585	410	368	535	190	307	280 ^{+1.0}	38	640	640	24	1000	1147		860	500					
315S														1050	1198	24	910	500					
315M	508	120	744	645	576	660	216	402	315 ^{+1.0}	45	865	865	28	1240	1442		1060	600	550j6 ^(±0.022)	650	8 × φ24	6	213
315L														1310	1512		1180	600					

注: 1. 第二轴伸肩到风罩距离约 8mm, 表中 L、LC 等外形尺寸为最大值。
 2. 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸见表 17-1-58。
 3. R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

表 17-1-59 B5 轴伸尺寸与第二轴伸尺寸

机座号	D		DA		E		EA		F		FA		C		GB		GD		GF	
	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极	2 极	4、6、8 极
80	$19j6 (+0.009 / -0.004)$			$19j6 (+0.009 / -0.004)$	40	40	40	40	6	6	6	6	15.5	15.5	6	6	6	6	6	6
90S																				
90L	$24j6 (+0.009 / -0.004)$			$24j6 (+0.009 / -0.004)$	50	50	50	50	8	8	8	8	20	20	7	7	7	7	7	7
100L	$28j6 (+0.009 / -0.004)$			$28j6 (+0.009 / -0.004)$	60	60	60	60					24	24						
112M																				
132S	$38k6 (+0.018 / +0.002)$			$38k6 (+0.018 / +0.002)$	80	80	80	80	10	10	10	10	33	33						
132M																				
160M	$42k6 (+0.018 / +0.002)$			$42k6 (+0.018 / +0.002)$					12	12	12	12	37	37						
160L																				
180M	$48k6 (+0.018 / +0.002)$			$48k6 (+0.018 / +0.002)$	110	110	110	110	14	14	14	14	42.5	42.5						
180L																				
200L	$55m6 (+0.018 / +0.002)$			$48k6 (+0.018 / +0.002)$					16	16	16	16	49	49	10	10	10	10	9	9
225S																				
225M	$55m6 (+0.030 / +0.011)$			$60m6 (+0.030 / -0.011)$	110	140	140	140	16	16	16	16	53	53	10	10	10	10	9	9

4.4.9 YEJ 系列 (IP44) 电磁制动三相异步电动机 (摘自 JB/T 6456—1992)

表 17-1-60

技术数据 (380V、50Hz)

型 号	额定 功率 /kW	满 载 时				堵转 电 流 额定 电流	堵转 转 矩 额定 转矩	最大 转 矩 额定 转矩	空载启 动次数 Z_0 /次·h ⁻¹	转动 惯 量 /kg·m ²	质量 /kg
		转 速 /r·min ⁻¹	电 流 /A	效 率 /%	功 率 因 数 cosφ						
YEJ801-2	0.75	2825	1.9	73	0.84	7.0	2.2	2.2	1400	0.00428	20
YEJ802-2	1.1	2825	2.6	76	0.86	7.0	2.2	2.2	1400	0.00496	21
YEJ90S-2	1.5	2840	3.4	79	0.85	7.0	2.2	2.2	1100	0.00740	26
YEJ90L-2	2.2	2840	4.7	82	0.86	7.0	2.2	2.2	1100	0.00933	29
YEJ100L-2	3	2880	6.4	82	0.87	7.0	2.2	2.2	800	0.01504	39
YEJ112M-2	4	2890	8.2	85.5	0.87	7.0	2.2	2.2	600	0.033	53
YEJ132S1-2	5.5	2900	11.1	86.2	0.88	7.0	2.2	2.2	400	0.06434	85
YEJ132S2-2	7.5	2900	15	86.2	0.88	7.0	2.2	2.2	400	0.0724	90
YEJ160M1-2	11	2930	21.8	87.2	0.88	7.0	2.2	2.2	300	0.22853	146
YEJ160M2-2	15	2930	29.4	88.2	0.88	7.0	2.2	2.2	300	0.26623	153
YEJ160L-2	18.5	2930	35.5	89	0.89	7.0	2.2	2.2	300	0.316	175
YEJ180M-2	22	2940	42.2	89	0.89	7.0	2.2	2.2	200	0.37637	212
YEJ200L1-2	30	2950	56.9	90	0.89	7.0	2.2	2.2	150	0.739	290
YEJ200L2-2	37	2950	69.8	90.5	0.89	7.0	2.2	2.2	150	0.8181	302
YEJ225M-2	45	2970	83.9	91.5	0.89	7.0	2.2	2.2	100	1.269	380
YEJ801-4	0.55	1390	1.6	70.5	0.76	6.5	2.2	2.2	2500	0.00886	20
YEJ802-4	0.75	1390	2.1	72.5	0.76	6.5	2.2	2.2	2500	0.01073	21
YEJ90S-4	1.1	1400	2.7	79	0.78	6.5	2.2	2.2	2000	0.01132	27
YEJ90L-4	1.5	1400	3.7	79	0.79	6.5	2.2	2.2	2000	0.01430	30
YEJ100L1-4	2.2	1420	5	81	0.80	7.0	2.2	2.2	1500	0.02733	39
YEJ100L2-4	3	1420	6.8	82.5	0.81	7.0	2.2	2.2	1500	0.03506	44
YEJ112M-4	4	1440	8.8	84.5	0.82	7.0	2.2	2.2	1000	0.04969	55
YEJ132S-4	5.5	1440	11.6	85.5	0.84	7.0	2.2	2.2	600	0.11584	80
YEJ132M-4	7.5	1440	15.4	87	0.84	7.0	2.2	2.2	600	0.15404	95
YEJ160M-4	11	1460	22.6	88	0.84	7.0	2.2	2.2	450	0.3986	150
YEJ160L-4	15	1460	30.3	88.5	0.85	7.0	2.2	2.2	450	0.68228	170
YEJ180M-4	18.5	1470	35.9	91	0.86	7.0	2.2	2.2	350	0.68667	210
YEJ180L-4	22	1470	42.5	91.5	0.86	7.0	2.2	2.2	350	0.7677	215
YEJ200L-4	30	1470	56.8	92.5	0.87	7.0	2.2	2.2	200	1.3693	325

型 号	额定 功率 /kW	满 载 时				堵转 电流 额定 电流	堵转 转矩 额定 转矩	最大 转矩 额定 转矩	空载启 动次数 Z_0 /次·h ⁻¹	转动 惯量 /kg·m ²	质量 /kg
		转 速 /r·min ⁻¹	电 流 /A	效 率 /%	功率 因数 cosφ						
YEJ225S-4	37	1480	69.8	91.8	0.87	7.0	2.2	2.2	120	2.158	560
YEJ225M-4	45	1480	84.2	92.3	0.88	7.0	2.2	2.2	120	2.463	590
YEJ90S-6	0.75	910	2.3	72.5	0.70	6.0	2.0	2.0	3500	0.015142	27
YEJ90L-6	1.1	910	3.2	73.5	0.72	6.0	2.0	2.0	3500	0.01811	28
YEJ100L-6	1.5	940	4	71.5	0.74	6.0	2.0	2.0	2500	0.03573	37
YEJ112M-6	2.2	940	5.6	80.5	0.74	6.0	2.0	2.0	2000	0.07639	51
YEJ132S-6	3	960	7.2	83	0.76	6.5	2.0	2.0	1200	0.15434	81
YEJ132M1-6	4	960	9.4	84	0.77	6.5	2.0	2.0	1200	0.1906	90
YEJ132M2-6	5.5	960	12.6	85.3	0.78	6.5	2.0	2.0	1200	0.2384	100
YEJ160M-6	7.5	970	17	86	0.78	6.5	2.0	2.0	800	0.45813	150
YEJ160L-6	11	970	24.6	87	0.78	6.5	2.0	2.0	800	0.59078	170
YEJ180L-6	15	970	31.4	89.5	0.81	6.5	1.8	2.0	600	0.9919	225
YEJ200L1-6	18.5	970	37.7	89.8	0.83	6.5	1.8	2.0	400	1.6609	280
YEJ200L2-6	22	970	44.6	90.2	0.83	6.5	1.8	2.0	200	1.838	300
YEJ225M-6	30	980	59.5	90.2	0.85	6.5	1.8	2.0	200	2.639	370
YEJ132S-8	2.2	710	5.8	81	0.71	5.5	2.0	2.0	1300	0.15334	82
YEJ132M-8	3	710	7.7	82	0.72	5.5	2.0	2.0	1300	0.19184	95
YEJ160M1-8	4	720	9.9	84	0.73	6.0	2.0	2.0	1000	0.37563	135
YEJ160M2-8	5.5	720	13.3	85	0.74	6.0	2.0	2.0	1000	0.47143	145
YEJ160L-8	7.5	720	17.7	86	0.75	5.5	2.0	2.0	1000	0.60838	175
YEJ180L-8	11	730	25.1	86.5	0.76	6.0	1.7	2.0	800	0.9676	220
YEJ200L-8	15	730	34.1	88	0.76	6.0	1.8	2.0	600	1.694	293
YEJ225S-8	18.5	730	41.3	89.5	0.76	6.0	1.7	2.0	300	2.299	340
YEJ225M-8	22	730	47.6	90	0.78	6.0	1.8	2.0	300	2.736	465

注：1. YEJ系列电动机是在Y系列（IP44）电动机前盖与风扇之间附加一个圆盘形直流电磁制动器组成的派生产品，其工作条件同Y系列（IP44），见表17-1-28。

2. YEJ系列电动机适用于要求快速停止、准确定位、往复运转、频繁启动、防止滑行等各种机械，如升降、运输、包装、食品、印刷、建筑、木工、冶金等机械均可应用。

3. 生产厂：沈阳实业电机厂，江西特种电机股份有限公司，西安电机总厂。

B3 外形及安装尺寸

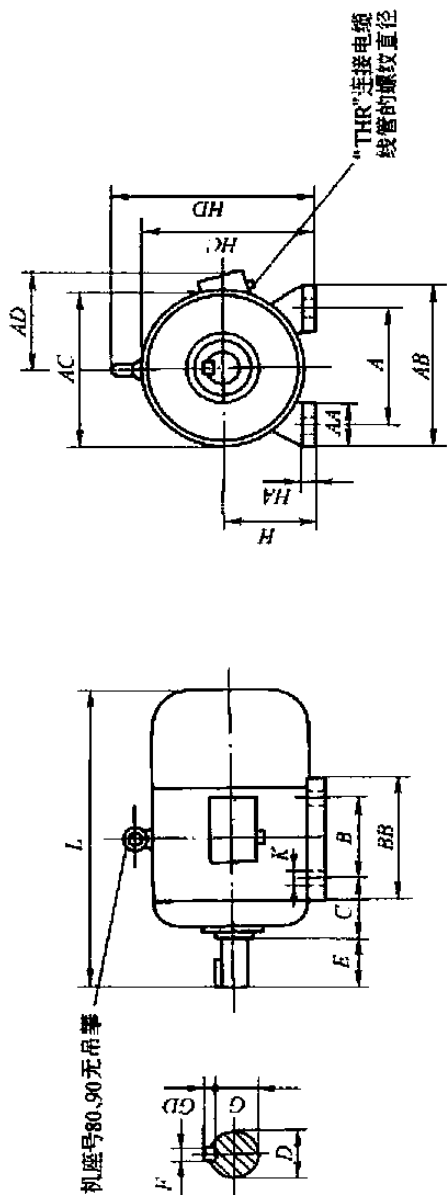


表 17-1-61

机座号	安装尺寸										外形尺寸							THR							
	H	A	B	C	D		E		F		G		GD		K	AA	AB		BB	AC	AD	HA	HD	L	
					2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极										2极	4、6、8极
80	80 ⁰ _{-0.5}	125	100	50	19 ^{+0.009} _{-0.004}	40	6	15.5	6	6	6	6	10	37	165	135	170	150	13	170	—	375	M24 × 1.5-6H		
90S	90 ⁰ _{-0.5}	140	100	56	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	8	8	7	7	10	37	180	150	180	155	13	190	—	410	M24 × 1.5-6H		
90L	90 ⁰ _{-0.5}	140	125	56	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	8	8	7	7	10	37	180	170	180	155	13	190	—	425	M24 × 1.5-6H		
100L	100 ⁰ _{-0.5}	160	140	63	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	8	8	7	7	12	42	205	185	210	180	15	—	245	465	M30 × 2-6H		
112M	112 ⁰ _{-0.5}	190	140	70	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	8	8	7	7	12	52	245	195	230	180	17	—	265	495	M30 × 2-6H		
132S	132 ⁰ _{-0.5}	216	140	89	38 ^{+0.018} _{-0.002}	80	10	33	10	10	8	8	12	57	280	210	270	210	20	—	315	575	M30 × 2-6H		
132M	132 ⁰ _{-0.5}	216	178	89	38 ^{+0.018} _{-0.002}	80	10	33	10	10	8	8	12	57	280	248	270	210	20	—	315	615	M30 × 2-6H		
160M	160 ⁰ _{-0.5}	254	210	108	42 ^{+0.018} _{-0.002}	110	12	37	12	12	8	8	15	63	325	275	330	255	22	—	385	715	M36 × 2-6H		
160L	160 ⁰ _{-0.5}	254	254	108	42 ^{+0.018} _{-0.002}	110	12	37	12	12	8	8	15	63	325	320	330	255	22	—	385	760	M36 × 2-6H		
180M	180 ⁰ _{-0.5}	279	243	121	48 ^{+0.018} _{-0.002}	110	14	42.5	14	14	9	9	15	73	355	332	360	285	24	—	430	815	M36 × 2-6H		
180L	180 ⁰ _{-0.5}	279	279	121	48 ^{+0.018} _{-0.002}	110	14	42.5	14	14	9	9	15	73	355	370	360	285	24	—	430	865	M36 × 2-6H		
200L	200 ⁰ _{-0.5}	318	305	133	55 ^{+0.030} _{-0.011}	110	16	49	16	16	10	10	19	73	395	378	400	310	27	—	475	900	M48 × 2-6H		
225S	225 ⁰ _{-0.5}	356	286	149	60 ^{+0.030} _{-0.011}	—	18	53	18	18	—	11	19	83	435	382	450	345	27	—	530	950	M48 × 2-6H		
225M	225 ⁰ _{-0.5}	356	311	149	55 ^{+0.030} _{-0.011}	110	16	49	16	16	10	10	19	83	435	407	450	345	27	—	530	990	1050	M48 × 2-6H	

B5 外形及安装尺寸

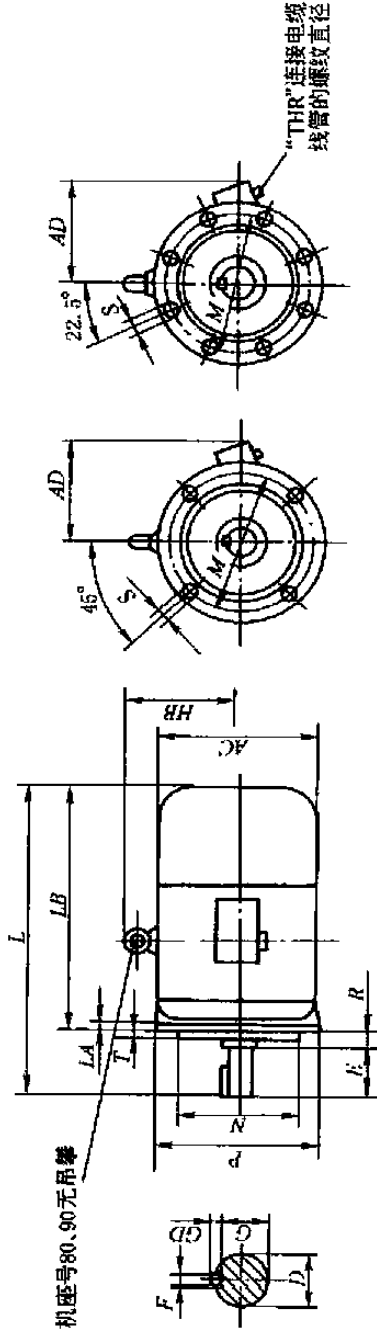


表 17-1-62

机座号	安装尺寸													外形尺寸				THR						
	M	N	P	R	S	T	D		E		F		G		GD		AC		AD	L		LA	LB	HB
							2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极	2极	4、6、8极								
80	165	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	19 ^{+0.009} _{-0.004}	40	6	15.5	6	6	6	170	150	13	370	13	330	—	—	M24 × 1.5-6H		
90S	165	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	8	7	7	180	155	13	410	13	360	—	—	M24 × 1.5-6H		
90L	165	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200	0	4 × φ12	3.5	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50	8	20	8	7	7	180	155	13	425	13	375	—	—	M24 × 1.5-6H		
100L	215	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	8	7	7	210	180	15	465	15	405	145	145	M30 × 2-6H		
112M	215	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250	0	4 × φ15	4	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8	24	8	7	7	230	190	15	495	15	435	160	160	M30 × 2-6H		
132S	265	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	38 ^{+0.018} _{-0.002}	80	10	33	10	8	8	270	210	16	575	16	495	178	178	M30 × 2-6H		
132M	265	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300	0	4 × φ15	4	38 ^{+0.018} _{-0.002}	80	10	33	10	8	8	270	210	16	615	16	535	178	178	M30 × 2-6H		
160M	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	42 ^{+0.018} _{-0.002}	110	12	37	12	8	8	330	255	16	715	16	605	215	215	M36 × 2-6H		
160L	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	42 ^{+0.018} _{-0.002}	110	12	37	12	8	8	330	255	16	760	16	650	215	215	M36 × 2-6H		
180M	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{-0.002}	110	14	42.5	14	9	9	360	285	16	815	16	705	250	250	M36 × 2-6H		
180L	300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350	0	4 × φ19	5	48 ^{+0.018} _{-0.002}	110	14	42.5	14	9	9	360	285	16	865	16	755	250	250	M36 × 2-6H		
200L	350	300 ± 0.018	400	0	4 × φ19	5	55 ^{+0.020} _{-0.011}	110	16	49	16	10	10	400	310	22	900	22	790	280	280	M48 × 2-6H		
225S	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.020} _{-0.011}	—	18	—	18	—	11	450	345	22	950	22	810	298	298	M48 × 2-6H		
225M	400	350 ± 0.018	450	0	8 × φ19	5	60 ^{+0.020} _{-0.011}	110	18	49	18	10	10	450	345	22	990	22	880	298	298	M48 × 2-6H		

表 17-1-63

制动器技术数据

型号	额定制动转矩 /N·m	衔铁行程 /mm	释放时间/s		制动器功率 (75℃)/W	质量/kg
			开关在交流侧断开	开关在直流侧断开		
YEJ80	7.5	0.4 ~ 1.0	0.2	0.015	30	5
YEJ90	15		0.2	0.025	36	5.5
YEJ100	30		0.35	0.03	45	7
YEJ112	40		0.45	0.04	80	10
YEJ132	75		0.5	0.045	80	15
YEJ160	150		0.6	0.045	90	30
YEJ180	220		0.7	0.05	90	30
YEJ200	300		0.8	0.05	150	40
YEJ225	450		0.9	0.05	150	45

制动电动机电源接法和制动器时间特性

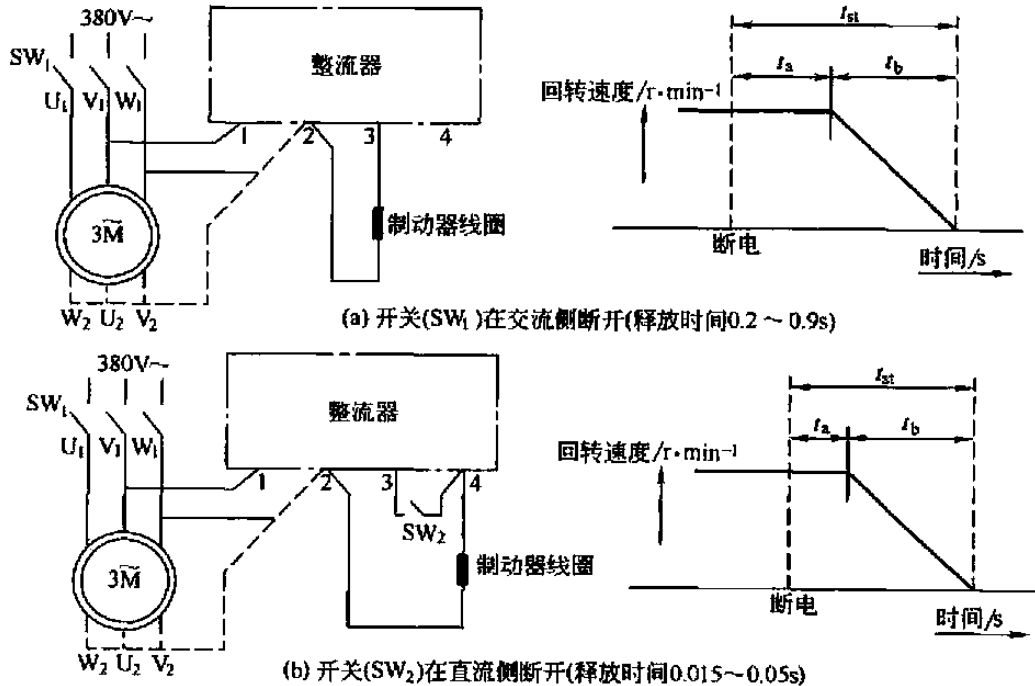


图 17-1-6

t_a —释放时间; t_b —制动时间; t_{st} —全制动时间

注: 机座号 100 以下按虚线接线为 AC220V→DC99V、机座号 112 以上, 按实线接线为 AC380V→DC170V。

制动电动机的选择及计算式

(1) 允许每小时启动次数

$$Z_1 = Z_0 K_p K_j K_T \quad (1)$$

$$K_j = \frac{GD_M^2}{GD_M^2 + GD_L^2} \quad (2)$$

$$K_T = \frac{T_H - T_A}{T_H} \quad (3)$$

$$T_H \approx \frac{1}{2}(T_{st} + T_{max})$$

式中 Z_0 —电动机空载每小时启动次数, 次/h;

K_p —查图 17-1-7;

GD_M^2 —制动电动机的飞轮矩, $N \cdot m^2$;

GD_L^2 —负载的飞轮矩, $N \cdot m^2$;

T_A ——制动电动机启动过程中平均阻力转矩, $N \cdot m$;

T_{st} ——制动电动机的堵转转矩, $N \cdot m$;

T_{max} ——制动电动机的最大转矩, $N \cdot m$ 。

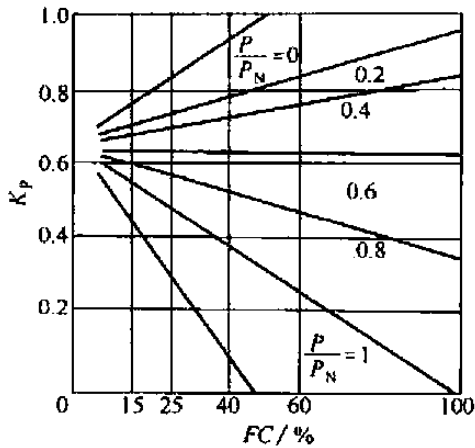


图 17-1-7

P —负载功率, kW; P_N —制动电动机额定功率, kW; FC —负载持续率

查性能表 $Z_0 = 1000$ 次/h。

由性能表查到转动惯量 J_M 为 $0.04969 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, 换算成飞轮矩为 $GD_M^2 = 4g \times 0.04969 = 1.95 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, 则

$$K_i = \frac{1.95}{1.95 + 0.25} = 0.886$$

由性能表可以算出 $T_{st} = 58.4 \text{ N} \cdot \text{m}$, 则

$$K_T = \frac{58.4 - 25}{58.4} = 0.57$$

$P/P_N = 3.2/4 = 0.8$, 由 $FC = 25\%$, 查图 17-1-7, $K_p = 0.56$ 。

$Z_i = 1000 \times 0.886 \times 0.57 \times 0.56 \approx 283$ 次/h > 200 次/h, 满足要求。

② 停止时间计算:

快速全制动时间为

$$t_{st} = 0.04 + \frac{(1.95 + 0.25) \times 1440}{375 \times (40 + 25)} = 0.17 \text{ s}$$

慢速全制动时间为

$$t_{st} = 0.45 + \frac{(1.95 + 0.25) \times 1440}{375 \times (40 + 25)} = 0.58 \text{ s}$$

选用的制动电动机满足实际要求。

根据功率与转速求出额定转矩后, 就可求出 T_{st} 和 T_{max} 。

(2) 停止时间

$$t_{st} \approx t_a + t_b \approx t_a + \frac{(GD_M^2 + GD_L^2)n}{375(M_B + M_L)}$$

式中 t_{st} ——全制动时间, s;

t_a ——释放时间, s;

t_b ——摩擦制动时间, s;

n ——制动电动机额定转速, r/min;

M_B ——制动电动机制动转矩 (见表 17-1-63), $N \cdot m$;

M_L ——折算到电动机轴上的负载阻力转矩, $N \cdot m$ 。

(3) 选用举例

已知制动电动机型号 YEJ112M-4; 负载功率 3.2kW; 负载持续率 25%; 启动次数 200 次/h; 负载折到电动机轴上的飞轮矩 $0.25 \text{ N} \cdot \text{m}^2$; 启动阻力转矩 $25 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

解

① 允许每小时启动次数计算:

4.5 变速和减速异步电动机

4.5.1 YD 系列 (IP44) 变极多速三相异步电动机 (摘自 JB/T 7127—1993)

表 17-1-64

技术数据 (380V、50Hz)

型号	同步转速 /r · min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg
YD801-4/2	1500	0.45	1.4	66	0.74	6.5	1.5	1.8	79	17
	3000	0.55	1.51	65	0.85	7	1.7			
YD802-4/2	1500	0.55	1.66	68	0.74	6.5	1.6	1.8	79	18
	3000	0.75	2.03	66	0.85	7	1.8			
YD90S-4/2	1500	0.85	2.27	74	0.77	6.5	1.8	1.8	79	22
	3000	1.1	2.73	71	0.85	7	2			

续表

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
YD90S-6/4	1000	0.65	2.27	64	0.68	6	1.6	1.8	75	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	0.85	3.34	70	0.79	6.5	1.4				YD90S-8/6	750	0.35	1.58	56	0.6	5	1.8	1.8	74	21	1000	0.45	1.36	70	0.72	6	2	YD90L-4/2	1500	1.3	3.84	76	0.78	6.5	1.8	1.8	83	25	3000	1.8	4.35	73	0.85	7	2	YD90L-6/4	1000	0.85	2.8	66	0.7	6	1.6	1.8	75	26	1500	1.1	2.93	71	0.79	6.5	1.5	YD90L-8/4	750	0.45	1.87	58	0.63	5.5	1.6	1.8	75	24	1500	0.75	1.82	72	0.87	6.5	1.4	YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8	YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6	3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6	YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6	YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2	YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17
YD90S-8/6	750	0.35	1.58	56	0.6	5	1.8	1.8	74	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1000	0.45	1.36	70	0.72	6	2				YD90L-4/2	1500	1.3	3.84	76	0.78	6.5	1.8	1.8	83	25	3000	1.8	4.35	73	0.85	7	2	YD90L-6/4	1000	0.85	2.8	66	0.7	6	1.6	1.8	75	26	1500	1.1	2.93	71	0.79	6.5	1.5	YD90L-8/4	750	0.45	1.87	58	0.63	5.5	1.6	1.8	75	24	1500	0.75	1.82	72	0.87	6.5	1.4	YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8	YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14		74	0.81	6	1.4	3000	2.4	5.8				74	0.85	7	1.6	YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87		45	1500	2	5.14	74	0.81	6				1.3	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2	YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56		5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1				3.06	68	0.73	6.5	1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88
YD90L-4/2	1500	1.3	3.84	76	0.78	6.5	1.8	1.8	83	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	3000	1.8	4.35	73	0.85	7	2				YD90L-6/4	1000	0.85	2.8	66	0.7	6	1.6	1.8	75	26	1500	1.1	2.93	71	0.79	6.5	1.5	YD90L-8/4	750	0.45	1.87	58	0.63	5.5	1.6	1.8	75	24	1500	0.75	1.82	72	0.87	6.5	1.4	YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8	YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2			YD112M-8/6/4		750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2				1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																
YD90L-6/4	1000	0.85	2.8	66	0.7	6	1.6	1.8	75	26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	1.1	2.93	71	0.79	6.5	1.5				YD90L-8/4	750	0.45	1.87	58	0.63	5.5	1.6	1.8	75	24	1500	0.75	1.82	72	0.87	6.5	1.4	YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8	YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5		1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																		
YD90L-8/4	750	0.45	1.87	58	0.63	5.5	1.6	1.8	75	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	0.75	1.82	72	0.87	6.5	1.4				YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8	YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																				
YD90L-8/6	750	0.45	1.93	59	0.6	5	1.7	1.8	73	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1000	0.65	1.91	71	0.73	6	1.8				YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9	YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																						
YD100L1-4/2	1500	2	4.81	78	0.81	6.5	1.7	1.8	87	34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	3000	2.4	5.58	76	0.86	7	1.9				YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4	YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																								
YD100L1-6/4	1000	1.3	3.81	74	0.7	6	1.7	1.8	78	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	1.8	4.44	77	0.8	6.5	1.4				YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7	YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																										
YD100L2-4/2	1500	2.4	5.56	79	0.83	6.5	1.6	1.8	87	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	3000	3	6.65	77	0.89	7	1.7				YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4	YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																												
YD100L2-6/4	1000	1.5	4.34	75	0.7	6	1.6	1.8	78	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	2.2	5.43	77	0.8	6.5	1.4				YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4	YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																														
YD100L-8/4	750	0.85	3.06	67	0.63	5.5	1.6	1.8	78	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	1.5	3.5	74	0.88	6.5	1.4				YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9	YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																
YD100L-8/6	750	0.7	2.92	65	0.6	5	1.8	1.8	73	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1000	1.1	2.05	75	0.73	6	1.9				YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6		3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																		
YD100L-6/4/2	1000	0.75	2.62	67	0.65	5.5	1.8	1.8	87	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	1.3	3.66	72	0.75	6	1.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	3000	1.8	4.53	71	0.85	7	1.6				YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45	3000	4	8.64	79	0.89	7	2	YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6	YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2	YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																											
YD112M-4/2	1500	3.3	7.37	82	0.83	5.5	1.9	1.8	87	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	3000	4	8.64	79	0.89	7	2				YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5	YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14		74	0.81	6	1.3	3000	2.4	5.8				74	0.85	7	1.2	YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82		44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5				1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																	
YD112M-6/4	1000	2.2	5.71	78	0.75	6	1.8	1.8	82	44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	2.8	6.74	77	0.82	6.5	1.5				YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7	YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5			YD132S-4/2		1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																			
YD112M-8/4	750	1.5	5.02	72	0.63	5.5	1.7	1.8	82	43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	2.4	5.31	78	0.88	6.5	1.7				YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9	YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																					
YD112M-8/6	750	1.3	1.67	72	0.61	5	1.7	1.8	75	43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1000	1.8	4.8	78	0.73	6	1.9				YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3		3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3		1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																							
YD112M-6/4/2	1000	1.1	3.52	73	0.66	5.5	1.7	1.8	87	44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.6				YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2	YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
YD112M-8/4/2	750	0.65	2.66	59	0.63	4.5	1.4	1.8	87	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	2	5.14	74	0.81	6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	3000	2.4	5.8	74	0.85	7	1.2				YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5	YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
YD112M-8/6/4	750	0.85	3.72	62	0.56	5.5	1.7	1.8	82	44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1000	1	3.06	68	0.73	6.5	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	1500	1.5	3.53	75	0.86	7	1.5				YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8	YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
YD132S-4/2	1500	4.5	9.81	83	0.84	8.5	1.7	1.8	91	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	3000	5.5	11.89	79	0.89	7	1.8				YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7	YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
YD132S-6/4	1000	3	7.69	79	0.75	6	1.8	1.8	82	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	4	9.5	78	0.82	6.5	1.7				YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
YD132S-8/4	750	2.2	6.96	75	0.64	5.5	1.5	1.8	82	59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1500	3.3	7.17	80	0.88	6.5	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

续表

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
YD132S-8/6	750	1.8	5.8	76	0.62	5	1.6	1.8	79	59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1000	2.4	6.24	80	0.73	6	1.9				YD132S-6/4/2	1000	1.8	5.14	75	0.71	5.5	1.4	1.8	91	65	1500	2.6	6.1	78	0.83	6	1.3	3000	3	7.38	71	0.87	7	1.7	YD132S-8/4/2	750	1	3.61	69	0.61	4.5	1.4	1.8	91	68	1500	2.6	6.1	78	0.83	6	1.2	3000	3	7.08	74	0.87	7	1.4	YD132S-8/6/4	750	1.1	4.1	68	0.6	5.5	1.4	1.8	82	68	1000	1.5	4.22	74	0.73	6.6	1.3	1500	1.8	4.03	78	0.87	7	1.3	YD132M-4/2	1500	6.5	13.83	84	0.85	6.5	1.7	1.8	91	71	3000	8	17.07	80	0.89	7	1.8	YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4	YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3	3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7	YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6	
YD132S-6/4/2	1000	1.8	5.14	75	0.71	5.5	1.4	1.8	91	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	2.6	6.1	78	0.83	6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	3	7.38	71	0.87	7	1.7				YD132S-8/4/2	750	1	3.61	69	0.61	4.5	1.4	1.8	91	68	1500	2.6	6.1	78	0.83	6	1.2	3000	3	7.08	74	0.87	7	1.4	YD132S-8/6/4	750	1.1	4.1	68	0.6	5.5	1.4	1.8	82	68	1000	1.5	4.22	74	0.73	6.6	1.3	1500	1.8	4.03	78	0.87	7	1.3	YD132M-4/2	1500	6.5	13.83	84	0.85	6.5	1.7	1.8	91	71	3000	8	17.07	80	0.89	7	1.8	YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4	YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3	3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7	YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																					
YD132S-8/4/2	750	1	3.61	69	0.61	4.5	1.4	1.8	91	68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	2.6	6.1	78	0.83	6	1.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	3	7.08	74	0.87	7	1.4				YD132S-8/6/4	750	1.1	4.1	68	0.6	5.5	1.4	1.8	82	68	1000	1.5	4.22	74	0.73	6.6	1.3	1500	1.8	4.03	78	0.87	7	1.3	YD132M-4/2	1500	6.5	13.83	84	0.85	6.5	1.7	1.8	91	71	3000	8	17.07	80	0.89	7	1.8	YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4	YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3	3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7	YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																														
YD132S-8/6/4	750	1.1	4.1	68	0.6	5.5	1.4	1.8	82	68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1000	1.5	4.22	74	0.73	6.6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	1500	1.8	4.03	78	0.87	7	1.3				YD132M-4/2	1500	6.5	13.83	84	0.85	6.5	1.7	1.8	91	71	3000	8	17.07	80	0.89	7	1.8	YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4	YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3	3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7	YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																							
YD132M-4/2	1500	6.5	13.83	84	0.85	6.5	1.7	1.8	91	71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	3000	8	17.07	80	0.89	7	1.8				YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4	YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3		3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7				YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07		80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84				77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91		79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6				1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62		5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2				5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750		1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8				82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76		6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82				0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																	
YD132M-6/4	1000	4	9.75	82	0.76	6	1.6	1.8	82	71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	5.5	12.29	80	0.85	6.5	1.4				YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6	YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3		3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7				YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4		3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7				YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3		3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4			YD132M1-8/6/4		750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5		1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4				750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5		1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2		1500	9				87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000		6		76	0.91	7	1.4																																																																																						
YD132M-8/4	750	3	8.99	78	0.65	5.5	1.5	1.8	82	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	4.5	9.37	82	0.89	6.5	1.6				YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9	YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3		3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7				YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4		3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7				YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3		3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4				YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5		1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4				YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78		0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5				YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																								
YD132M-8/6	750	2.6	8.17	78	0.62	5	1.9	1.8	79	65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1000	3.7	9.39	82	0.73	6	1.9				YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3		3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7				YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4		3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7				YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3		3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4				YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5		1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4				YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5		1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5				YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																										
YD132M1-6/4/2	1000	2.2	6.03	77	0.72	5.5	1.3	1.8	91	78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	3.3	7.46	80	0.84	6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	4	8.79	76	0.91	7	1.7				YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7	YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																								
YD132M2-6/4/2	1000	2.6	6.86	80	0.72	5.5	1.5	1.8	91	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	4	9.07	80	0.84	6	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	5	10.84	77	0.91	7	1.7				YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4	YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																	
YD132M-8/4/2	750	1.3	5.26	71	0.61	4.5	1.5	1.8	91	79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1500	3.7	8.37	80	0.84	6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	4.5	10.02	75	0.91	7	1.4				YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4	YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																										
YD132M1-8/6/4	750	1.5	5.18	71	0.62	5.5	1.3	1.8	82	79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1000	2	5.41	77	0.73	6.5	1.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	1500	2.2	4.86	79	0.87	7	1.4				YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5	YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																			
YD132M2-8/6/4	750	1.8	6.13	72	0.62	5.5	1.5	1.8	82	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1000	2.6	6.84	78	0.74	6.5	1.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	1500	3	6.55	80	0.87	7	1.5				YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95			3000	11		82	0.89	7	1.8	YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																												
YD160M-4/2	1500	9		87	0.85	6.5	1.6	95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	3000	11		82	0.89	7	1.8				YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86			1500	8		82	0.84	6.5	1.5	YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																													
YD160M-6/4	1000	6.5		84	0.78	6	1.5	86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	1500	8		82	0.84	6.5	1.5				YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86			1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6	YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
YD160M-8/4	750	5		83	0.66	5.5	1.5	86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	1500	7.5		84	0.89	6.5	1.6				YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83			1000	6		85	0.73	6	1.9	YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
YD160M-8/6	750	4.5		83	0.62	5	1.6	83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	1000	6		85	0.73	6	1.9				YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79			1000	5		84	0.76	6	1.4	YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
YD160M-10/6	500	2.6		74	0.46	4	1.2	79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	1000	5		84	0.76	6	1.4				YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95			1500	5		81	0.84	6	1.3		3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
YD160M-6/4/2	1000	3.7		82	0.72	5.5	1.5	95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	1500	5		81	0.84	6	1.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	3000	6		76	0.91	7	1.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

续表

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg
YD160M-8/4/2	750	2.2		75	0.59	4.5	1.4		95	
	1500	5		81	0.84	6	1.3			
	3000	6		76	0.91	7	1.4			
YD160M-8/6/4	750	3.3		79	0.62	5.5	1.7		86	
	1000	4		81	0.7	6.5	1.4			
	1500	5.5		83	0.87	7	1.5			
YD160L-4/2	1500	11		87	0.86	6.5	1.7		95	
	3000	14		82	0.9	7	1.9			
YD160L-6/4	1000	9		85	0.78	6	1.6		86	
	1500	11		83	0.85	6.5	1.7			
YD160L-8/4	750	7		85	0.66	5.5	1.5		86	
	1500	11		86	0.89	6.5	1.6			
YD160L-8/6	750	6		84	0.62	5	1.6		83	
	1000	8		86	0.73	6	1.9			
YD160L-10/6	500	3.7		76	0.46	4	1.2		83	
	1000	7		85	0.79	6	1.4			
YD160L-6/4/2	1000	4.5		83	0.72	5.5	1.5		95	
	1500	7		83	0.85	6	1.2			
	3000	9		79	0.92	7	1.3			
YD160L-8/4/2	750	2.8		77	0.6	4.5	1.3		95	
	1500	7		83	0.85	6	1.2			
	3000	9		79	0.92	7	1.3			
YD160L-8/6/4	750	4.5		80	0.62	5.5	1.6		86	
	1000	6		83	0.75	6.5	1.6			
	1500	7.5		84	0.87	7	1.5			
YD180M-4/2	1500	15		89	0.87	6.5	1.8		95	
	3000	18.5		85	0.9	7	1.9			
YD180M-6/4	1000	11		85	0.76	6	1.6		90	
	1500	14		84	0.85	6.5	1.7			
YD180M-8/6	750	7.5		84	0.62	6	1.9		83	
	1000	10		86	0.73	7	1.9			
YD180L-4/2	1500	18.5		89	0.88	6.5	1.6		95	
	3000	22		86	0.91	7	1.8			
YD180L-6/4	1000	13		86	0.78	6	1.7		90	
	1500	16		85	0.85	7	1.7			
YD180L-8/4	750	11		87	0.72	6	1.5		90	
	1500	17		88	0.91	7	1.5			
YD180L-8/6	750	9		85	0.65	5	1.8		86	
	1000	12		86	0.75	6	1.8			
YD180L-10/6	500	5.5		79	0.54	4	1.3		83	
	1000	10		86	0.86	6	1.3			
YD180L-8/6/4	750	7		81	0.65	6.5	1.6		90	
	1000	9		83	0.8	7	1.5			
	1500	12		84	0.9	7	1.4			
YD180L-10/8/6/4	500	3.3		72	0.56	5	1.6		90	
	750	5		79	0.67	6.5	1.5			
	1000	6.5		82	0.88	6.5	1.3			
	1500	9		83	0.88	7	1.3			

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg
YD200L1-4/2	1500	26		89	0.89	6.5	1.4		98	
	3000	30		85	0.92	7	1.6			
YD200L1-6/4	1000	18.5		87	0.78	6.5	1.6		90	
	1500	22		86.5	0.86	7	1.5			
YD200L1-8/4	750	14		87	0.74	6	1.8		90	
	1500	22		88	0.92	7	1.7			
YD200L1-8/6	750	12		86	0.65	5	1.8		88	
	1000	17		87	0.76	6	2			
YD200L1-10/6	500	7.5		83	0.56	4	1.5		86	
	1000	13		87	0.86	6	1.5			
YD200L1-8/6/4	750	10		85	0.72	6.5	1.6		90	
	1000	13		86	0.81	7	1.5			
	1500	17		86	0.9	7	1.4			
YD200L1-10/8/ 6/4	500	4.5		74	0.56	5	1.3		90	
	750	7		81	0.67	6.5	1.3			
	1000	8		83	0.88	6.5	1.3			
	1500	11		84	0.88	7	1.3			
YD200L2-4/2	1500	26		89	0.89	6.5	1.4		98	
	3000	30		85	0.92	7	1.6			
YD200L2-6/4	1000	18.5		87	0.78	6.5	1.6		90	
	1500	22		86.5	0.86	7	1.5			
YD200L2-8/4	750	17		87	0.74	6	1.5		92	
	1500	26		88	0.92	7	1.7			
YD200L2-8/6	750	15		87	0.65	5	1.8		88	
	1000	20		88	0.76	6	2			
YD200L2-10/6	500	9		83	0.75	4	1.5		86	
	1000	15		87	0.87	6	1.5			
YD200L2-8/6/4	750	10		85	0.72	6.5	1.6		90	
	1000	13		86	0.81	7	1.5			
	1500	17		86	0.9	7	1.4			
YD200L2-10/8/ 6/4	500	5.5		75		5	1.3		90	
	750	8		81		6.5	1.3			
	1000	10		83		6.5	1.3			
	1500	13		84		7	1.3			
YD225S-4/2	1500	32		90	0.89	6.5	1.4		98	
	3000	37		86	0.92	7	1.6			
YD225S-6/4	1000	22		88	0.86	6.5	1.8		92	
	1500	28		86.5	0.87	7	1.8			
YD225S-8/6	750	15								
	1000	20								
YD225S-10/6	500	9				4				
	1000	15				6				
YD225S-8/6/4	750	14		86	0.7	6.5	1.6		92	
	1000	18.5		87	0.81	7	1.6			
	1500	24		87	0.9	7	1.4			
YD225M-4/2	1500	37		91	0.89	6.5	1.6		100	
	3000	45		86	0.92	7	1.6			

续表

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg
YD225M-6/4	1000	26		88	0.86	6.5	1.8		94	
	1500	32		85.5	0.90	7	1.8			
YD225M-8/4	750	24		89	0.77	6	1.5		94	
	1500	34		88	0.88	7	1.5			
YD225M-10/6	500	12		85	0.61	4	1.5		86	
	1000	20		88	0.87	6	1.5			
YD225M-8/6/4	750	17		87	0.70	6.5	1.6		92	
	1000	22		87	0.85	7	1.6			
	1500	28		87	0.92	7	1.4			
YD225M-10/8/ 6/4	500	7		81	0.63	5	1.6		90	
	750	11		84	0.73	6.5	1.6			
	1000	13		85	0.88	6.5	1.5			
	1500	20		86	0.92	7	1.3			
YD250M-4/2	1500	45		91	0.89	6.5	1.6		100	
	3000	52		87	0.92	7	1.6			
YD250M-6/4	1000	32		90	0.87	6.5	1.5		94	
	1500	92		86.5	0.91	7	1.3			
YD250M-8/4	750	30		90	0.78	6	1.6		94	
	1500	42		89	0.91	7	1.7			
YD250M-10/6	500	15		86	0.63	4	1.5		89	
	1000	24		89	0.87	6	1.5			
YD250M-8/6/4	750	24		88	0.75	6.5	1.5		92	
	1000	26		88	0.85	7	1.6			
	1500	34		88	0.92	7	1.4			
YD250M-10/8/ 6/4	500	9		82	0.63	5	1.6		92	
	750	14		85	0.75	6.5	1.6			
	1000	16		85	0.88	6.5	1.5			
	1500	26		87	0.92	7	1.3			
YD280S-4/2	1500	60		91	0.90	6.5	1.4		102	
	3000	72		88	0.92	7	1.5			
YD280S-6/4	1000	42		90	0.87	6.5	1.5		94	
	1500	55		87	0.90	7	1.3			
YD280S-8/4	750	40		91	0.80	6	1.6		94	
	1500	55		90	0.91	7	1.7			
YD280S-10/6	500	20		88	0.63	4	1.5		89	
	1000	30		89	0.87	6	1.5			
YD280S-8/6/4	750	30		89	0.75	6.5	1.5		94	
	1000	34		89	0.86	7	1.6			
	1500	42		89	0.92	7	1.4			
YD280S-10/8/6/4	500	11		83	0.63	5	1.6		92	
	750	18.5		87	0.75	6.5	1.6			
	1000	20		85	0.88	6.5	1.5			
	1500	34		87	0.92	7	1.3			
YD280M-4/2	1500	72		91	0.90	6.5	1.4		102	
	3000	82		88	0.93	7	1.5			
YD280M-6/4	1000	55		90	0.87	6.5	1.6		98	
	1500	67		87	0.89	7	1.3			
YD280M-8/4	750	47		91	0.81	6	1.6		98	
	1500	67		90	0.92	7	1.7			
YD280M-10/6	500	24		88	0.65	4	1.5		89	
	1000	37		89	0.87	6	1.5			

续表

型号	同步转速 /r·min ⁻¹	额定功率 /kW	额定电流 ^① /A	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)	质量 ^① /kg
YD280M-8/6/4	750	34		89	0.75	6.5	1.4		94	
	1000	37		89	0.86	7	1.5			
	1500	50		89	0.92	7	1.4			
YD280M-10/8/6/4	500	13		84	0.63	5	1.7		94	
	750	22		87	0.75	6.5	1.7			
	1000	24		85	0.88	6.5	1.6			
	1500	40		88	0.92	7	1.5			

① 非标准内容, 仅供参考。

注: 1. YD系列(IP44)是Y系列的派生系列, 其安装型式、安装尺寸、外形尺寸及工作条件与Y系列(IP44)电动机相同, 参见表17-1-35~表17-1-39。

2. YD系列利用改变定子绕组的连接方法改变电动机极数达到变速, 具有随负载的不同要求而有级地变化功率和转速的特性, 从而与负载合理匹配。

3. 生产厂: 北京华捷电机股份有限公司, 昆明电机有限责任公司, 江西特种电机股份有限公司, 西安电机总厂。

4.5.2 YCT (摘自 JB/T 7123—1993)、YCTD (摘自 JB/T 6450—1992) 系列电磁调速三相异步电动机

表 17-1-65

YCT 系列电磁调速三相异步电动机技术数据

型号	拖动电 机功率 /kW	额定 转矩 /N·m	调速范围 /r·min ⁻¹	转速 变化率 /%	电源	质量 /kg	型号	拖动电 机功率 /kW	额定 转矩 /N·m	调速 范围 /r·min ⁻¹	转速 变化率 /%	电源	质量 /kg
YCT112-4A	0.55	3.6	1250 ~ 125	2.5	三相 交流 50Hz 380V	50	YCT250-4A	18.5	116	1320 ~ 132	2.5	三相 交流 50Hz 380V	480
YCT112-4B	0.75	4.9				53	YCT250-4B	22	137				502
YCT132-4A	1.1	7.13				75	YCT280-4A	30	189				632
YCT132-4B	1.5	9.72				77	YCT315-4A	37	232				870
YCT160-4A	2.2	14.1				117	YCT315-4B	45	282				910
YCT160-4B	3	19.2				157	YCT355-4A	55	344				1300
YCT180-4A	4	25.2				224	YCT355-4B	75	469	1410			
YCT200-4A	5.5	35.1				244	YCT355-4C	90	564	1460			
YCT200-4B	7.5	47.7				340							
YCT225-4A	11	69.1				360							
YCT225-4B	15	94.3											

注: 1. YCT系列电动机是交流恒转矩无级调速电机, 是Y系列(IP44)的派生系列。

2. 转速变化率 = $\frac{10\% \text{ 额定转矩时转速} - 100\% \text{ 额定转矩时转速}}{\text{额定最高转速}} \times 100\%$

输出功率 = $\frac{\text{输出转矩 (N·m)} \times \text{输出转速 (r/min)}}{9550}$

3. 调速电机由电磁转差离合器(包括调速发电机)、拖动电动机和电磁调速控制器组成, 可实现连续无级调速。其电动机的防护等级为IP21, 绝缘等级为B, 冷却方法为IC01, 工作制为S1。其他性能见表17-1-28。

4. 型号中字母A、B、C表示不同的标称功率。

5. 电磁调速控制器应按不同功率选用CTK的不同型号, 见JB/T 7123的附录A。不要控制器时应指明调速电动机型号。

6. 生产厂: 上海先锋电机厂, 南京天正耐特机电集团有限公司, 浙江调速电机有限责任公司, 重庆调速电机厂。

YCT 系列电磁调速三相异步电动机卧式安装尺寸及外形尺寸

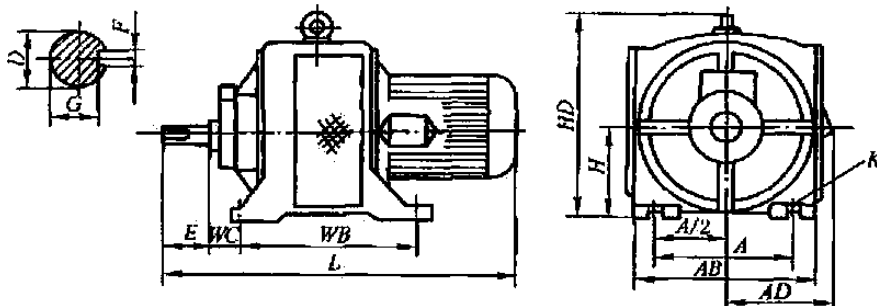


表 17-1-66

mm

型号	安装尺寸										外形尺寸			
	H	A	A/2	WB	WC	D	E	F	G	K	AB	AD	HD	L
YCT112-4A	112 ⁰ _{-0.5}	190 ± 0.7	95 ± 0.5	210 ± 0.7	40 ± 1.5	φ19 ^{+0.009} _{-0.004}	40 ± 0.31	6 ⁰ _{-0.02}	15.5 ⁰ _{-0.1}	12 ^{+0.43} ₀	273	150	275	520
YCT112-4B														
YCT132-4A	132 ⁰ _{-0.5}	216 ± 0.7	108 ± 0.5	241 ± 0.7	45 ± 1.5	φ24 ^{+0.009} _{-0.004}	50 ± 0.31	8 ⁰ _{-0.36}	20 ⁰ _{-0.2}	15 ^{+0.43} ₀	305	158	330	550
YCT132-4B														570
YCT160-4A	160 ⁰ _{-0.5}	254 ± 1.05	127 ± 0.75	267 ± 1.05	45 ± 1.5	φ28 ^{+0.009} _{-0.004}	60 ± 0.37	8 ⁰ _{-0.36}	24 ⁰ _{-0.2}	15 ^{+0.43} ₀	340	185	385	645
YCT160-4B														665
YCT180-4A	180 ⁰ _{-0.5}	279 ± 1.05	139.5 ± 0.75	305 ± 1.05							375	188	430	685
YCT200-4A	200 ⁰ _{-0.5}	318 ± 1.05	159 ± 0.75	356 ± 1.05	50 ± 1.5	φ38 ^{+0.018} _{+0.002}	80 ± 0.37	10 ⁰ _{-0.36}	33 ⁰ _{-0.2}	19 ^{+0.52} ₀	420	230	485	805
YCT200-4B														845
YCT225-4A	225 ⁰ _{-0.5}	356 ± 1.05	178 ± 0.75	406 ± 1.05	56 ± 1.5	φ42 ^{+0.018} _{+0.002}	110 ± 0.43	12 ⁰ _{-0.043}	37 ⁰ _{-0.2}	24 ^{+0.52} ₀	485	255	530	965
YCT225-4B														1010
YCT250-4A	250 ⁰ _{-0.5}	406 ± 1.4	203 ± 1	457 ± 1.4	63 ± 2	φ48 ^{+0.018} _{+0.002}	110 ± 0.43	14 ⁰ _{-0.043}	42.5 ⁰ _{-0.2}	24 ^{+0.52} ₀	540	285	580	1130
YCT250-4B														1170
YCT280-4A	280 ⁰ _{-0.5}	457 ± 1.4	228.5 ± 1	508 ± 1.4	70 ± 2	φ55 ^{+0.030} _{+0.011}		16 ⁰ _{-0.043}	49 ⁰ _{-0.2}		580	320	655	1260
YCT315-4A	315 ⁰ ₋₁	508 ± 1.4	254 ± 1	560 ± 1.4	80 ± 2	φ60 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.5	18 ⁰ _{-0.043}	53 ⁰ _{-0.2}	28 ^{+0.52} ₀	650	345	720	1400
YCT315-4B														1425
YCT355-4A	355 ⁰ ₋₁	610 ± 1.4	305 ± 1	630 ± 1.4	108 ± 3	φ65 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.5	20 ⁰ _{-0.052}	67.5 ⁰ _{-0.2}	28 ^{+0.52} ₀	755	410	875	1500
YCT355-4B														1630
YCT355-4C						1660								

YCT 系列电磁调速三相异步电动机立式安装尺寸及外形尺寸

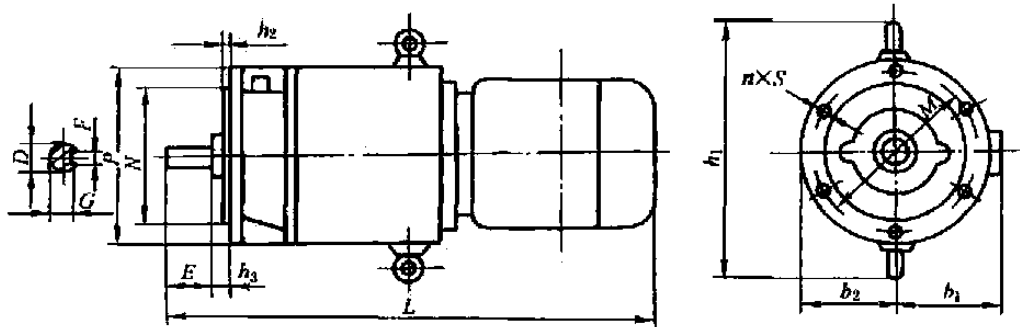


表 17-1-67

型 号	安 装 尺 寸											外 形 尺 寸				安 装 型 式				
	D	E	F	G	M	N	P	h ₂	h ₃	S	h	b ₁	b ₂	h ₁	L	V1	V3	B5		
TCTL112-4A	φ19 ^{+0.009} _{-0.004}	40 ± 0.31	6 ⁰ _{-0.03}	15.5 ⁰ _{-0.1}	215	φ180 ^{+0.014} _{-0.011}	φ250	4	0	5 ± 1.5	φ15 ^{+0.8} ₀	6	150	112	320	540	●	●	●	
TCTL112-4B																				
TCTL132-4A	φ24 ^{+0.009} _{-0.004}	50 ± 0.31	8 ⁰ _{-0.036}	20 ⁰ _{-0.2}	265	φ230 ^{+0.016} _{-0.013}	φ300	5	8 ± 1.5	φ19 ⁺¹ ₀	8	185	160	425	570	595	●	●	●	
TCTL132-4B																				
TCTL160-4A	φ28 ^{+0.009} _{-0.004}	60 ± 0.37	12 ⁰ _{-0.043}	24 ⁰ _{-0.2}	300	φ250 ^{+0.016} _{-0.013}	φ350	6	8 ± 1.5	φ19 ⁺¹ ₀	8	188	180	480	685	645	665	●	●	●
TCTL160-4B																				
TCTL180-4A	φ38 ^{+0.018} _{+0.002}	80 ± 0.37	16 ⁰ _{-0.043}	33 ⁰ _{-0.2}	350	φ300 ± 0.018	φ400	7	8 ± 1.5	φ19 ⁺¹ ₀	8	230	200	530	805	845	●	●	●	
TCTL200-4A																				
TCTL200-4B	φ42 ^{+0.018} _{-0.002}	110 ± 0.43	14 ⁰ _{-0.043}	37 ⁰ _{-0.2}	450	φ400 ± 0.018	φ500	8	8 ± 1.5	φ19 ⁺¹ ₀	8	255	225	610	965	1010	●	●	●	
TCTL225-4A																				
TCTL225-4B	φ48 ^{+0.018} _{+0.002}	140 ± 0.45	18 ⁰ _{-0.043}	42.5 ⁰ _{-0.2}	500	φ450 ± 0.02	φ550	9	8 ± 1.5	φ19 ⁺¹ ₀	8	285	250	670	1130	1170	●	●	●	
TCTL250-4A																				
TCTL250-4B	φ55 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.45	20 ⁰ _{-0.052}	49 ⁰ _{-0.2}	740	φ680 ± 0.025	φ800	10	8 ± 1.5	φ24 ^{+1.6} ₀	8	320	280	730	1260	1400	1425	●	●	●
TCTL280-4A																				
TCTL280-4B	φ60 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.45	58 ⁰ _{-0.2}	67.5 ⁰ _{-0.2}	740	φ680 ± 0.025	φ800	11	8 ± 1.5	φ24 ^{+1.6} ₀	8	345	315	815	1500	1630	●	●	●	
TCTL315-4A																				
TCTL315-4B	φ65 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.45	740	67.5 ⁰ _{-0.2}	740	φ680 ± 0.025	φ800	12	8 ± 1.5	φ24 ^{+1.6} ₀	8	385	355	1030	1660	1660	●	●	●	
TCTL355-4A																				
TCTL355-4B	φ75 ^{+0.030} _{+0.011}	140 ± 0.45	740	67.5 ⁰ _{-0.2}	740	φ680 ± 0.025	φ800	13	8 ± 1.5	φ24 ^{+1.6} ₀	8	410	355	1030	1660	1660	●	●	●	
TCTL355-4C																				

表 17-1-68

YCTD 系列电磁调速三相异步电动机技术数据

型 号	标称功率 /kW	额定转矩 /N·m	堵转转矩 额定转矩	额定调 速范围 /r·min ⁻¹	噪声 /dB(A)	型 号	标称功率 /kW	额定转矩 /N·m	堵转转矩 额定转矩	额定调 速范围 /r·min ⁻¹	噪声 /dB(A)
YCTD100-4A	0.55	3.6	1.8	1250 ~ 100	75	YCTD180-4B	15	94	1.5	1350 ~ 100	90
YCTD100-4B	0.75	4.9				YCTD200-4A	18.5	116			
YCTD112-4A	1.1	7.1				YCTD200-4B	22	137			
YCTD112-4B	1.5	9.7				YCTD225-4A	30	189			
YCTD132-4A	2.2	14.1		1300 ~ 100	78	YCTD250-4A	37	232		1375 ~ 250	97
YCTD132-4B	3	19.2				YCTD250-4B	45	282			
YCTD132-4C	4	25.2		1350 ~ 100	82	YCTD280-4A	55	344		1400 ~ 250	99
YCTD160-4A	5.5	35.1				YCTD315-4A	75	469			
YCTD160-4B	7.5	47.7				YCTD315-4B	90	564			
YCTD180-4A	11	69				86					

注：1. 见表 17-1-65 注 2、注 3、注 4、注 6。

2. 在拖动恒转矩负载时：标称功率为 11kW 以下，在额定调速范围内为 S1；标称功率为 15 ~ 30kW，在 3:1 调速范围内为 S1，当调速范围超过 3:1 时，允许短时恒转矩运行，运行时间由制造厂规定。

3. 机座号为 250 ~ 315 的调速电动机为恒转矩输出，安装及外形尺寸由制造厂自定。

4. 电磁调速控制器应按 JB/T 6450 附录 A 选型号。不要控制器时应指明调速发电机类型，否则按三相永磁调速发电机供货。

5. 电动机的防护等级为 IP44，电磁转差离合器的防护等级为 IP21。

YCTD 系列电磁调速三相异步电动机安装尺寸及外形尺寸

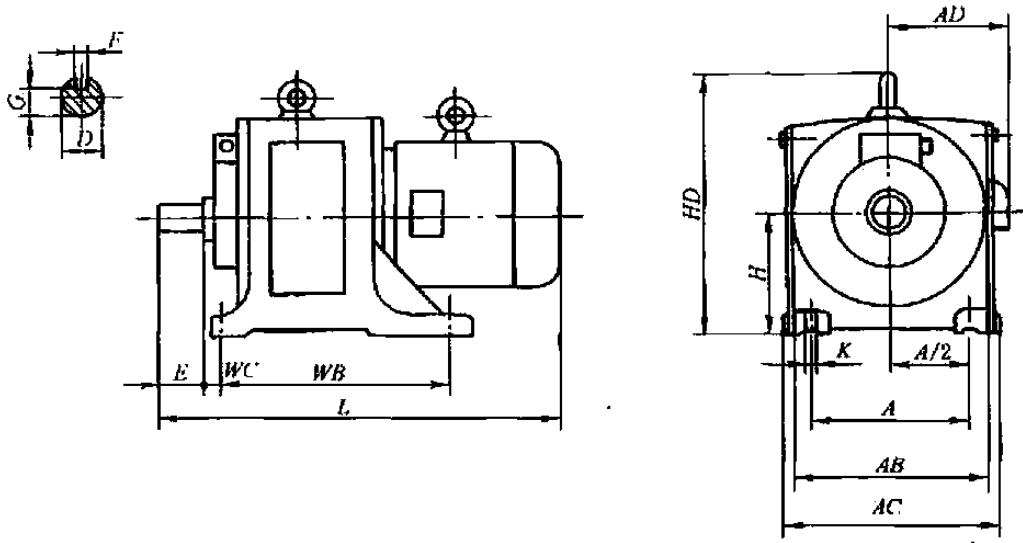


表 17-1-69

mm

机座号	安 装 尺 寸											外 形 尺 寸					
	A	A/2	WB	WC		D	E		F	G	H	K	AB	AC	AD	HD	L
100-4A 100-4B	160	80	203	40	±1.5	19j6	40	±0.31	6	15.5	100	12	210	225	150	260	530
112-4A 112-4B	190	95	228	45		24j6	50		8	20	112		250	275	165	285	660
132-4A 132-4B 132-4C	215	107.5	267			70	28j6	60	±0.37	24	132		310	330	195	365	730
160-4A 160-4B	279	139.5	305	89	38k6		80	10		33	160	0 -0.5	15	380	400	235	435	900
180-4A 180-4B	318	159	368		±2.0	42k6	110	±0.43	12	37	180			19	430	450	270	490	1080
200-4A 200-4B	356	178	457	89		48k6			140	±0.50	14	42.5	200		24	500	520	295	540	1190
225-4A	406	203	500		±2.0	55m6	140	±0.50			16	49	225	24		530	550	320	580	1290
250-4A 250-4B	406	203	457	89		60m6			140	±0.50	18	53	250		24	530	550	350	600	1480
280-4A	457	228.5	508		±2.0	65m6	140	±0.50			18	58	280	24		580	610	390	665	1520
315-4A 315-4B	508	254	560	±2.0		75m6			140	±0.50	20	61.5	315		28	650	690	420	790	1970
													0 -1.0				

4.5.3 YCJ 系列齿轮减速三相异步电动机 (摘自 JB/T 6447—1992)

表 17-1-70

技术数据 (380V)

额定功率 0.55kW			额定功率 0.75kW			额定功率 1.1kW			额定功率 1.5kW			额定功率 2.2kW			额定功率 3kW		
输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号
583	8.6		583	11.8		585	17.2		800	17.2		587	34.4		47		
517	9.7		517	13.3		519	19.4		585	23.5		520	39		53		
455	11		455	15.1		456	22.1		519	26.5		458	44		60		100
396	12.7	YCJ71 801F1-4	396	17.4	YCJ71 802F1-4	398	25.3	YCJ71 90SF1-4	456	30.1	YCJ71 90LF1-4	399	50.5	100	69		L2F1-4
342	14.7	YCJ71 801F1-4	342	20.1		343	29.4		398	34.5		344	58.6		80		
290	17.3		290	23.7		291	34.6		343	40.1		292	69		94		
241	20.9		241	28.5		243	41.5		291	47.2		244	82.6		93		
218	23.1		218	31.5		219	46		243	56.6	YCJ80	223	90	100	111	YCJ80	100
183	27		183	36.8		184	53.7		219	62.8		196	101		123		L2F2-4
162	30.5		162	41.5		162	61		184	73.1		171	115		137		
145	34		145	46.4		150	65.8		162	83.1		151	131		157		
128	38.5		128	52.6		128	77.1		150	89.7		129	153		178		100
112	44		112	60		112	88.1		128	105		115	171		190		L2F3-4
99	50		99	68		100	98.7		112	134		105	188		209		
96	51.4		96	70		97	102		100	139	YCJ132 90LF2-4	97	203		235		
87	57		87	77		89	111		97	151		89	222		277		
82	60		82	82		82	120		89	164		83	238		251		
75	66	YCJ132 801F2-4	75	90	YCJ132 802F2-4	75	131		82	179		75	263		306		
68	73		68	99		70	141		75	192		70	282		351		100
57	86.6		57	118		58	170		70	232		59	334		376	YCJ160	L2F4-4
52	95		52	129		52	190		58	259		53	372		446		
47	105		47	143		48	205		52	280		48	411		507		
43	115		43	156		43.5	227		47	306	YCJ160 90LF3-4	43	449		549		100
37	130		37	178		35	276		40	336		35	552		613		L2F5-4
29	167		29	227		26	371		32	412		27.5	703		732	YCJ180	100
23.5	206		23.5	280		21.5	449		26	507		22.5	859	100	811	YCJ200	L2F5-4
17.4	277	YCJ160 801F3-4	17.4	378	802F3-4	17.5	552		21.5	613	YCJ180 90LF5-6	18.8	1028	YCJ180	941	YCJ225	132SF7-6
15.4	314	YCJ160 801F3-4	15.4	470	90SF3-6	14.5	666	YCJ160 90SF3-4	18	732	YCJ200 90LF5-6	15.1	1280	YCJ225	1910	YCJ250	132SF8-6
								YCJ180 90LF4-6	14	941	YCJ200 90LF5-6			YCJ225	5183	YCJ315	132M-8

续表

额定功率 4kW			额定功率 5.5kW			额定功率 7.5kW			额定功率 11kW			额定功率 15kW			
输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动机
571	64	YCJ80	112 MF1-4	575	87	YCJ80	132 SF1-4	610	113	YCJ100	132 MF2-4	615	164	YCJ100	160 MF1-4
	504			99	541			127	544			185	544			253	544	253
442	73	YCJ80	112 MF1-4	444	113	YCJ80	132 SF1-4	414	166	YCJ100	132 MF2-4	417	210	YCJ100	160 MF1-4
383	83			385	131			357	192			359	281			359	383
327	96	YCJ80	112 MF1-4	329	153	YCJ80	132 SF1-4	303	227	YCJ100	132 MF2-4	305	330	YCJ100	160 MF1-4
275	112			277	182			252	200			279	361			279	361
250	146	YCJ100	112 MF2-4	228	221	YCJ100	132 SF2-4	228	301	YCJ112	160 MF2-4	266	506	YCJ112	160 LF3-4
	226			202	234			196	343			212	466			212	466
180	171	YCJ100	112 MF2-4	244	273	YCJ100	132 SF4-4	196	405	YCJ180	132 MF5-4	188	525	YCJ200	160 MF3-4
	157			199	211			166	431			188	598			188	598
146	228	YCJ100	112 MF2-4	181	297	YCJ100	132 SF4-4	138	488	YCJ180	132 MF5-4	165	685	YCJ200	160 MF3-4
	130			246	166			312	156			431	165			685	165	816
115	171	YCJ160	112 MF3-4	147	336	YCJ160	132 SF4-4	124	543	YCJ180	132 MF5-4	146	903	YCJ225	160 LF4-4
	97			199	131			377	111			606	146			1006	146	1006
89	228	YCJ160	112 MF3-4	116	425	YCJ160	132 SF4-4	99	680	YCJ200	160 MF4-4	115	1171	YCJ225	160 LF4-4
	76			246	116			488	92			716	103			938	103	938
71	276	YCJ160	112 MF3-4	85	568	YCJ160	132 SF4-4	81	813	YCJ200	160 MF4-4	98	1374	YCJ225	160 LF4-4
	63			276	80			617	81			813	95			1017	95	1017
55	312	YCJ160	112 MF3-4	57	847	YCJ160	132 SF4-4	103	640	YCJ200	160 MF4-4	83	1189	YCJ250	160 LF5-4
	48			370	73			902	83			1189	75			1316	75	1316
48	403	YCJ160	112 MF3-4	73	662	YCJ180	132 SF5-4	83	794	YCJ225	160 MF4-4	68	1938	YCJ250	160 LF5-4
	71			495	58			833	58			1136	68			1421	68	1421
55	558	YCJ160	112 MF3-4	53	911	YCJ200	132 SF6-4	48	1372	YCJ225	160 MF4-4	58	2196	YCJ250	160 LF5-4
	55			639	41			1607	53			1823	53		
55	639	YCJ160	112 MF3-4	45	1073	YCJ200	132 SF6-4	36	1830	YCJ225	160 MF4-4	58	2353	YCJ250	160 LF5-4
	48			1006	41			1607	48			2353	48		
55	639	YCJ160	112 MF3-4	45	1073	YCJ200	132 SF6-4	36	1830	YCJ225	160 MF4-4	58	2353	YCJ250	160 LF5-4
	48			1006	41			1607	48			2353	48		

额定功率 4kW				额定功率 5.5kW				额定功率 7.5kW				额定功率 11kW				额定功率 15kW			
输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动 机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动 机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动 机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动 机	输出 转速 /r· min ⁻¹	输出 转矩 /N·m	产品 代号 机座 号	配用 电动 机
51	689	YCJ180	112MF4-4	36	1342	YCJ225	132SF7-4	250	269			48	2013	YCJ250	160MF5-4	105	1282		
44.5	789			28	1725			83	794	YCJ250	132MF8-4	38	2543	YCJ280	160MF6-4	87	1547		
36	976	YCJ200	112MF5-4	23	2101	YCJ250	132SF8-4	37.5	1757			31	3117			72	1870	YCJ280	160
30.5	1152			19.6	2465	YCJ280	132SF9-4	31	2125	YCJ280	132MF9-4	22.5	4295	YCJ315	160M-4	65	2071		160
28	1255	YCJ225	112MF6-4	15.7	3077		132MF9-6	26	2534			20	4832			61	2207		LF6-4
23	1528			10.2	4737			21.5	3064	YCJ280	132MF9-4	17.8	5429			43	3065		
18.3	1920	YCJ250	132MF8-6	9.2	5252	YCJ315	132M2-6	16	4118	YCJ315	132M-4	16	6039	YCJ350		30	4393	YCJ315	160
13	2703	YCJ280	132MF9-6	8.8	5490			13.4	4917	YCJ350	160M-6	13.6	7106			25.5	5168		L-4

注：1. 配用电动机为 Y 系列 (IP44) 技术参数见表 17-1-35。单级减速的效率 $\eta \geq 96\%$ ，两级减速的效率 $\eta \geq 94\%$ ，三级减速的效率 $\eta \geq 92\%$ 。表中输出转矩是已考虑减速器的传动效率以后的转矩。3kW 以下为 Y 接法，4kW 以上为 Δ 接法。B 级绝缘连续工作制。电动机防护等级为 IP44 或 IP54，冷却方法为 IC141。

2. 运行环境温度 -15 ~ 40℃，海拔不超过 1000m。

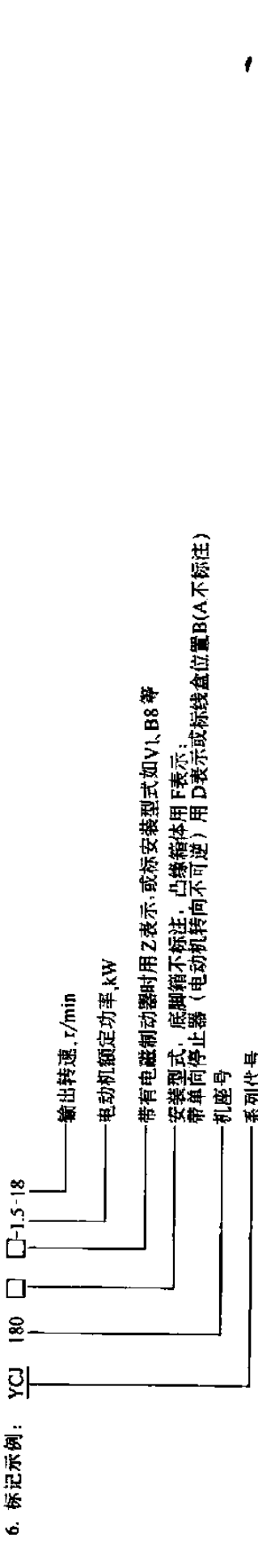
3. 淄博山博安富齿轮电机有限公司的产品还有 18.5kW、22kW、30kW、37kW、45kW、55kW 等规格。

4. 安装型式有 B3、B5、B6、B7、B8、V1、V3、V5 及 V6。

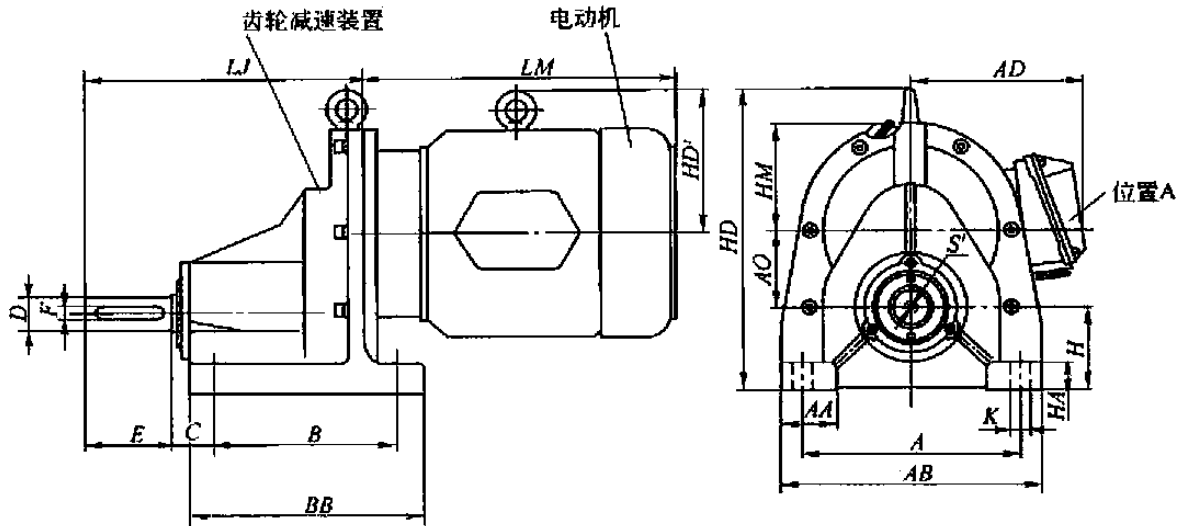
5. 选用举例：应根据每日工作小时数和负载性质系数选取。负载性质系数为

每日工作 小时数	负载性质		负载性质	
	均匀平稳	中等振动	严重冲击	严重冲击
12	1	1.25	1.75	2.00

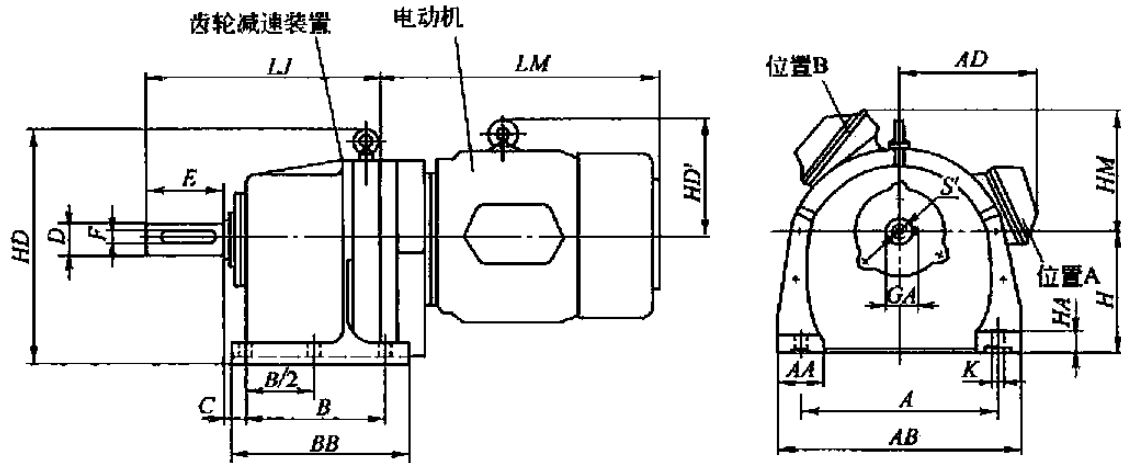
设负载均匀平稳，所需减速电动机的额定功率 1.1kW，输出转速为 35r/min，每日工作 12h，查取技术数据表可选 YCJ152-1.1-35。若负载不均匀，有冲击（如驱动螺旋搅拌机等），先取负载性质系数 1.25，则电动机功率为 $1.1 \times 1.25 = 1.375\text{kW}$ （可取作 1.5kW），查技术数据表可选 YCJ160-1.5-40。



外形及安装尺寸 (底脚安装型式)



YCJ71~112单级减速



YCJ132~350两级与三级减速

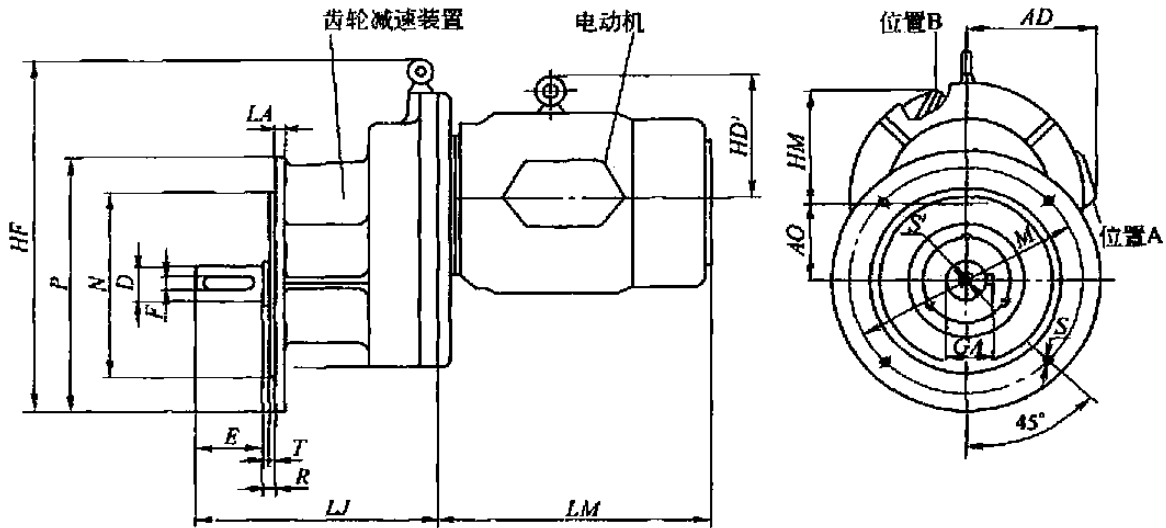
表 17-1-71

mm

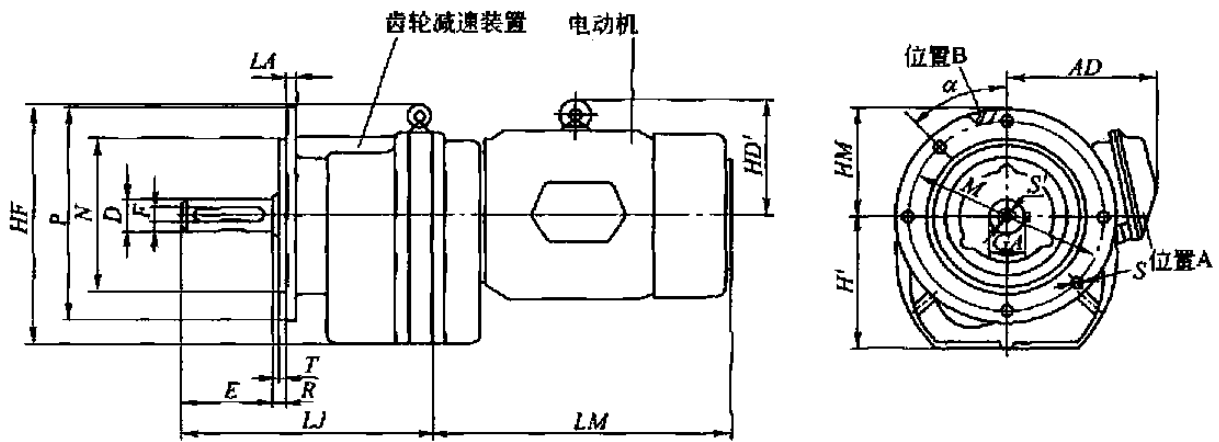
机座号	安装尺寸											外形尺寸							
	A	B	B/2	C	D	E	F	H	K	孔数	S'	AA	AB	BB	GA	HA	HD	AO	LJ
71	180	150	—	36.5	28	60	8	71	14	4	M8	45	225	192	31	22	235	70	240
80	205	170	—	39.5	32	80	10	80	19	4	M10	52	255	218	35	28	305	75	275
100	270	205	—	44.5	42	110	12	100	24	4	M12	60	330	255	45	35	355	100	345
112	300	215	—	44.5	48	110	14	112	24	4	M12	60	360	265	51.5	40	420	110	355
132	215	150	—	37	32	80	10	132	15	4	M10	40	260	192	35	25	265	—	295
160	260	160	—	43.5	42	110	12	160	19	4	M12	55	320	208	45	30	310	—	355
180	300	190	—	31	48	110	14	180	24	4	M12	65	370	248	51.5	35	350	—	370
200	330	220	—	31	55	110	16	200	24	4	M16	70	400	278	59	40	380	—	400
225	360	240	120	31	70	140	20	225	24	6	M20	70	430	298	74.5	45	430	—	450
250	420	260	130	31	75	140	20	250	24	6	M20	75	490	318	79.5	50	470	—	465
280	450	280	140	32	85	170	22	280	24	6	M20	80	520	340	90	55	525	—	520
315	510	350	175	63	90	180	25	315	26	6	M24	90	580	440	95	60	560	—	655
350	560	400	200	67	100	200	28	350	28	6	M24	110	630	500	106	65	633	—	735

注：配用电动机尺寸见表 17-1-73。

外形及安装尺寸 (凸缘安装型式)



YCY71~112单级减速



YCY132~350两级与三级减速

表 17-1-72

mm

机座号	安装尺寸											外形尺寸						
	D	E	F	M	N	P	R	S	T	孔数	S'	LA	GA	α	AO	HF	LJ	H'
71F	28	60	8	165	130	200	0	12	3.5	4	M8	14	31	45°	70	260	240	—
80F	32	80	10	215	180	250	0	15	4	4	M10	16	35	45°	75	350	275	—
100F	42	110	12	265	230	300	0	15	4	4	M12	16	45	45°	100	405	345	—
112F	48	110	14	300	250	350	0	19	5	4	M12	20	51.5	45°	110	485	355	—
132F	32	80	10	215	180	250	0	15	4	4	M10	14	35	15°	—	265	295	132
160F	42	110	12	265	230	300	0	15	4	4	M12	16	45	10°	—	310	355	160
180F	48	110	14	265	230	300	0	15	4	4	M12	16	51.5	0°	—	350	370	180
200F	55	110	16	300	250	350	0	19	5	4	M16	20	59	0°	—	380	400	200
225F	70	140	20	350	300	400	0	19	5	4	M20	20	74.5	0°	—	430	450	225
250F	75	140	20	400	350	450	0	19	5	8	M20	22	79.5	0°	—	485	465	250
280F	85	170	22	500	450	550	0	19	5	8	M20	22	90	0°	—	570	520	280
315F	90	180	25	500	450	550	0	19	5	8	M24	26	95	0°	—	555	655	315
350F	100	200	28	500	450	550	0	19	5	8	M24	28	106	22.5°	—	625	735	350

注: 配用电动机尺寸见表 17-1-73。

表 17-1-73

配用电动机尺寸

mm

电动机		产品代号 机座号	出线 螺孔	LM	HM	HD'	AD	电动机		AD	HD'	HM	LM	出线 螺孔	产品代号 机座号	规格代号	端子号	产品代号 机座号
规格代号	端子号							规格代号	端子号									
801-4	F1	71		270			195	112M-4	F6	195	153	165	410		71	112M-4	F6	71
802-4								112M-6										
801-4	F2	132		305	140		155	132S-4	F1						132	132S-4	F1	132
802-4																		
801-4	F3	160						132M-4	F3				460		160	132M-4	F3	160
802-4																		
90S-4	F1	71		285				132S-4	F4				455		71	132S-4	F4	71
90L-4				310									460					
90S-4	F2	132		320				132M-4	F5				500		132	132M-4	F5	132
90L-4				345				132S-4					460					
90S-4	F3	160		320	145		160	132M-4	F6				500		160	132M-4	F6	160
90L-4				345				132S-4					470					
90S-6	F3	180		320				132M-4	F7	215	183	185	510	M30 x 2-6H	180	132S-4		180
90L-6	F4			345				132S-6					470					
				350				132S-4					470					
100L1-4	F1	71		350				132M-4	F8				510		71	132M-4	F8	71
100L2-4								132S-6					470					
100L1-4	F2	80						132M1-6					510		80	132M1-6		80
100L2-4								132S-4					470					
100L1-4	F3	132		385	165			132M-4	F9				510		132	132M-4	F9	132
100L2-4								132S-6					470					
100L1-4	F4	160					185	132M1-6					510		160	132M1-6		160
100L2-4								132M2-6					510					
100L1-4	F5	180		390				160M-4	F1				515		180	160M-4	F1	180
100L2-4								160L-4	F2				560					
100L-6	F6	200						160M-4	F3				555		200	160M-4	F3	200
								160L-4					600					
112M-4	F1	80		365				160M-4	F4	260	225	260	560	M36 x 2-6H	80	160M-4	F4	80
	F2	100						160L-4					605		100	160L-4		100
	F3	160		400	165		195	160M-4	F5				565		160	160M-4	F5	160
	F4	180						160L-4					610		180	160L-4		180
	F5	200		405				160M-4	F6				565		200	160M-4	F6	200
112M-6								160L-4					610					

续表

功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	机座号	配用电动机	功率 /kW	输出转速 /r·min ⁻¹	输出转矩 /N·m	机座号	配用电动机
4	150	239	YCJ140	Y112MF-4	7.5	180	374	YCJ170	Y132MF-4
	127	283				145	464		
	99	363				121	556		
	85	422	101			667	YCJ190		
	65	552	80			842			
	52	690	62			1086			
	42	855	50			1318	YCJ195A		
	34	1034	40			1647			
28	1255	YCJ210	31	2125					
23	1528								
5.5	17	2067	Y132SF-4	11	127	777	YCJ195	Y160MF-4	
	157	314			99	997			
	125	395			YCJ170	83	1164		
	108	457					70		1381
	92	537					54		1790
	73	676			YCJ190	45	2147		YCJ210
	62	796							
	52	949			YCJ195A	127	1060		
	40	1208							
	31	1559			YCJ195A	15	98		1345	YCJ195A	Y160LF-4
27	1790	78	1689						
23	2101	YCJ210	59	2233					

注：生产厂为淄博山博安吉富齿轮电机有限公司。

YCJ 派生系列外形及安装尺寸
(底脚安装、附加一级减速)

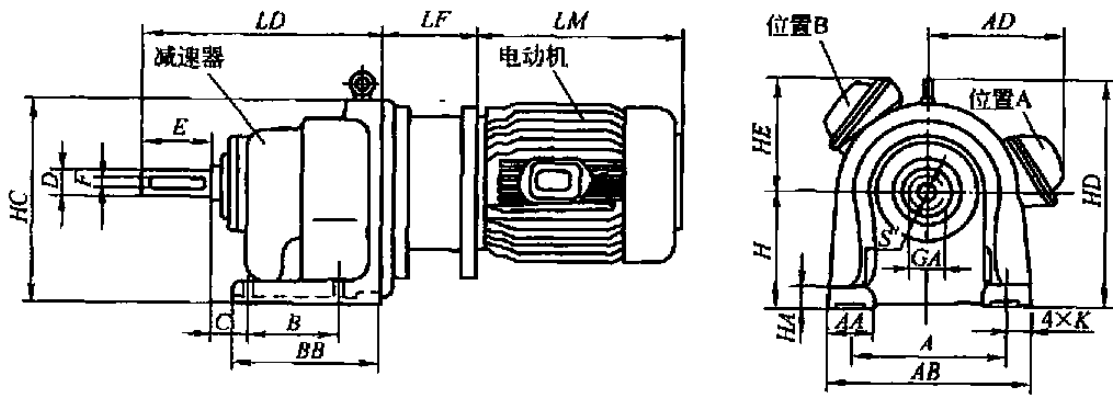


表 17-1-75

机座号	安装尺寸									外形尺寸									mm
	A	B	C	D	E	F	H	K	S'	AA	AB	BB	GA	HA	HC	HD	LD	LF	
120	160	80	32	25	60	8	120	12	M8	42	192	137	28	20	216	—	217	—	
130	160	90	40	30	80	8	130	13	M8	50	210	152	33	20	226	—	250	—	
140	180	100	45	35	80	10	140	17	M10	50	220	164	38	20	250	286	260	—	
150	200	115	45	40	110	12	150	17	M16	60	260	194	43	30	262	298	324	—	
170	240	135	51	45	110	14	170	18	M16	60	290	213	48.5	30	304	350	344	—	
190	270	180	51	50	110	14	190	21	M16	60	320	250	53.5	30	325	371	381	—	
195	310	170	48	55	110	16	195	22	M16	70	365	245	59	40	335	390	324	—	
195A	310	210	48	55	110	16	195	22	M16	70	365	290	59	40	335	390	380	—	
210	350	270	49	65	140	18	210	22	M16	70	410	345	69	40	360	415	436	—	
150L	200	115	45	40	110	12	150	17	M16	60	260	194	43	30	262	298	324	96	
170L	240	135	51	45	110	14	170	18	M16	60	290	213	48.5	30	304	350	344	96	
190L	270	180	51	50	110	14	190	21	M16	60	320	250	53.5	30	325	371	381	96	

注：配用电动机尺寸见表 17-1-77。

YCJ 派生系列外形及安装尺寸
(凸缘安装、附加一级减速)

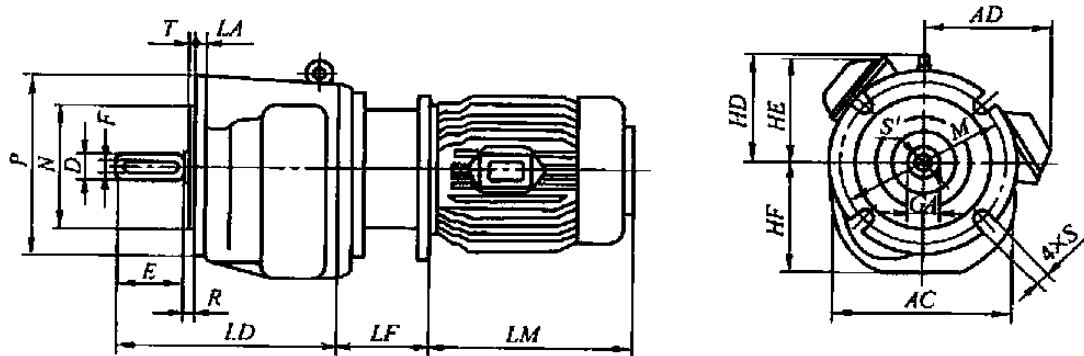


表 17-1-76

mm

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸						
	D	E	F	M	N	P	R	S	T	S'	AC	GA	HD	HF	LA	LD	LF
120F	25	60	8	130	110	160	8	10	3.5	M8	192	28	—	118	14	217	—
130F	30	80	8	165	130	200	8	12	3.5	M8	186	33	—	128	14	250	—
140F	35	80	10	215	180	250	8	14	4	M10	220	38	146	138	14	260	—
150F	40	110	12	215	180	250	8	14	4	M16	224	43	148	148	14	324	—
170F	45	110	14	215	180	250	8	14	4	M16	268	48.5	180	167	16	344	—
190F	50	110	14	265	230	300	8	14	4	M16	311	53.5	181	187	20	381	—
195F	55	110	16	265	230	300	8	14	4	M16	333	59	195	192	20	324	—
195AF	55	110	16	265	230	300	8	14	4	M16	333	59	195	192	20	380	—
210F	65	140	18	300	250	350	8	18	5	M16	385	69	205	207	20	436	—
150LF	40	110	12	215	180	250	8	14	4	M16	224	43	148	148	14	324	96
170LF	45	110	14	215	180	250	8	14	4	M16	268	48.5	180	167	16	344	96
190LF	50	110	14	265	230	300	8	14	4	M16	311	53.5	181	187	20	381	96

注：配用电动机尺寸见表 17-1-77。

表 17-1-77

YCJ 派生系列配用电动机尺寸

mm

电动机规格 代号	功率 /kW	AD	HE	LM	电动机规格 代号	功率 /kW	AD	HE	LM
Y801F-4	0.55	155	140	257	Y100LF-6	1.5	185	165	354
Y802F-4	0.75	155	140	257	Y112MF-4	4	195	185	349
Y90SF-4	1.1	160	145	273	Y112MF-6	2.2	195	185	349
Y90LF-4	1.5	160	145	298	Y132SF-4	5.5	215	185	422
Y90SF-6	0.75	160	145	273	Y132MF-4	7.5	215	185	460
Y90LF-6	1.1	160	145	298	Y160MF-4	11	260	260	508
Y100L1F-4	2.2	185	165	354	Y160LF-4	15	260	260	553
Y100L2F-4	3	185	165	354					

4.5.4 YVP (IP44) 系列变频调速三相异步电动机

表 17-1-78

技术参数

型号	标称功率 /kW	额定电流 /A	额定转矩 /N·m	堵转转矩 ^① /额定转矩	转子转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg	型号	标称功率 /kW	额定电流 /A	额定转矩 /N·m	堵转转矩 ^① /额定转矩	转子转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 1500r/min							YVP180L-6	15	34	148	1.25	0.207	250
YVP90S-4	1.1	2.8	7.5	1.25	0.0021	22	YVP200L1-6	18.5	38	182	1.25	0.315	300
YVP90L-4	1.5	3.8	10	1.25	0.0027	27	YVP200L2-6	22	45	217	1.25	0.36	320
YVP100L1-4	2.2	5.2	14.7	1.25	0.0054	33	YVP225M-6	30	60	292	1.25	0.547	400
YVP100L2-4	3	7	19.9	1.25	0.0067	37	YVP250M-6	37	72	361	1.25	0.834	480
YVP112M-4	4	9	26.5	1.25	0.0095	44	YVP280S-6	45	85	438	1.25	1.39	565
YVP132S-4	5.5	12	36.5	1.25	0.0214	80	YVP280M-6	55	104	536	1.25	1.65	680
YVP132M-4	7.5	15.5	49	1.25	0.0296	97	YVP315S-6	75	140	723	1.25	4.11	870
YVP160M-4	11	22.6	72	1.25	0.0747	125	YVP315M-6	90	168	868	1.25	4.78	1025
YVP160L-4	15	30.5	98	1.25	0.112	140	YVP315L1-6	110	205	1061	1.25	5.45	1095
YVP180M-4	18.5	36.2	120	1.25	0.139	210	YVP315L2-6	132	245	1273	1.25	6.12	1160
YVP180L-4	22	43	143	1.25	0.158	250	YVP355M1-6	160	295	1537	1.25	7.83	1600
YVP200L-4	30	58	195	1.25	0.262	300	YVP355M2-6	200	375	1922	1.25	7.9	1680
YVP225S-4	37	70	239	1.25	0.406	360	YVP355L1-6	220	410	2112	1.25	8.2	1800
YVP225M-4	45	84	290	1.25	0.469	400	YVP355L2-6	250	467	2400	1.25	8.8	1880
YVP250M-4	55	104	355	1.25	0.66	480	同步转速 750r/min						
YVP280S-4	75	140	484	1.25	1.12	565	YVP132S-8	2.2	5.9	30	1.25	0.0314	80
YVP280M-4	90	164	581	1.25	1.46	680	YVP132M-8	3	7.75	40	1.25	0.0395	92
YVP315S-4	110	200	705	1.25	3.11	870	YVP160M1-8	4	10	53	1.25	0.0753	119
YVP315M-4	132	242	846	1.25	3.62	1025	YVP160M2-8	5.5	13.5	73	1.25	0.0931	125
YVP315L1-4	160	290	1025	1.25	4.13	1095	YVP160L-8	7.5	18	99	1.25	0.126	140
YVP315L2-4	200	365	1282	1.25	4.94	1160	YVP180L-8	11	25	144	1.25	0.203	250
YVP355M1-4	220	402	1410	1.25	7.41	1600	YVP200L-8	15	34	196	1.25	0.339	300
YVP355M2-4	250	461	1604	1.25	7.62	1680	YVP225S-8	18.5	41	242	1.25	0.491	360
YVP355L-4	280	518	1800	1.25	7.71	1800	YVP225M-8	22	48	284	1.25	0.547	400
同步转速 1000r/min							YVP250M-8	30	63	387	1.25	0.834	480
YVP90S-6	0.75	2.5	7.9	1.25	0.0029	22	YVP280S-8	37	78.5	477	1.25	1.39	565
YVP90L-6	1.1	3.5	11.2	1.25	0.0035	27	YVP280M-8	45	93.5	581	1.25	1.65	680
YVP100L-6	1.5	4.4	15.2	1.25	0.0069	37	YVP315S-8	55	114	710	1.25	4.79	870
YVP112M-6	2.2	6.1	22	1.25	0.0138	44	YVP315M-8	75	154	968	1.25	5.58	1025
YVP132S-6	3	7.5	30	1.25	0.0286	80	YVP315L1-8	90	179	1161	1.25	6.37	1095
YVP132M1-6	4	9.5	40	1.25	0.0357	92	YVP315L2-8	110	218	1419	1.25	7.23	1160
YVP132M2-6	5.5	12.8	54	1.25	0.0881	97	YVP355M1-8	132	254	1700	1.25	8.4	1600
YVP160M2-6	7.5	18	74	1.25	0.0932	125	YVP355M2-8	160	303	2051	1.25	8.6	1680
YVP160L-6	11	26	108	1.25	0.116	140	YVP355L-8	200	378	2560	1.25	8.8	1800

① 为 3Hz 时的最小值。

注：1. 变频调速电动机的应用日趋广泛，主要用于风机、水泵及压缩机等负载变化较大的场合，节能效果显著；也用于精密机械等需要过程控制，要求定位和随动性能较高的场合。

2. 变频电动机为适应变频电源对电动机产生的影响，采取了对应的技术措施，例如，提高了绝缘水平，在机械强度、振动、噪声及散热方面采取了相应的措施。从经济方面考虑，对于一般要求的变频调速也可采用普通异步电动机，例如，加装 du/dt 限制器。调速运行时，要考虑通风散热条件等。

3. 该电动机与变频器装置组成机电一体化系统。5~50Hz 为恒转矩运行区，50~100Hz 为恒功率运行区，调速比为 1:20，运行方式为 S1。为了正确选用变频器的类型和容量匹配，应明确生产机械的负荷性质，即为恒转矩性质还是平方转矩性质或为恒功率性质。

4. 本系列电动机的功率等级和安装尺寸与 Y 系列电动机相同。电动机有配套冷却风机，由制造厂提供。

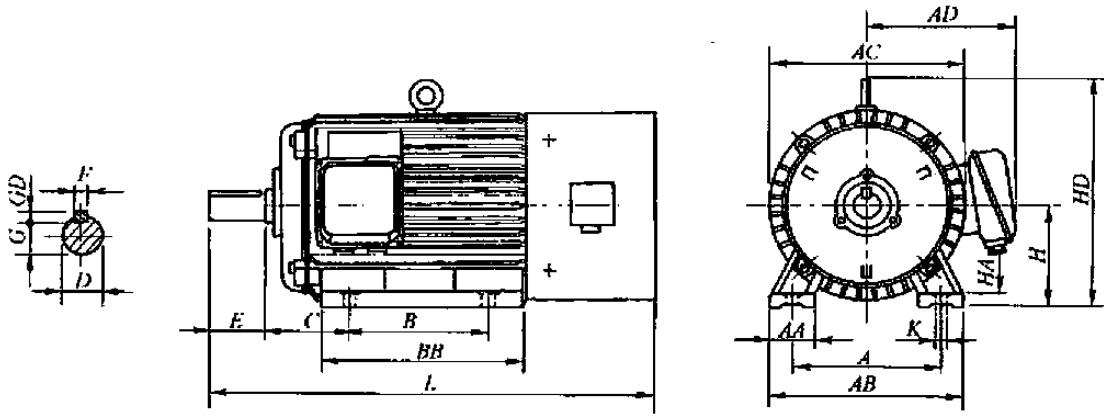
5. 电动机的进线螺孔尺寸及数量如下，接线盒一般位于机座右侧（从轴端看），如用户要求，也可装在左侧或上面。

机座号	90	100~132	160~180	200~225	250~280	315	355
螺孔尺寸及数量	M24 × 1.5	M30 × 2	M36 × 2	M48 × 2	M64 × 2	2 × M64 × 2	2 × M64 × 2

6. 生产厂：上海电机有限公司，北京华捷电机股份有限公司，昆明电机制造厂，南京申马电机有限公司。

7. 变频调速电动机制造厂在不断增加，型号也不尽相同。

机座带底脚、端盖无凸缘的外形及安装尺寸



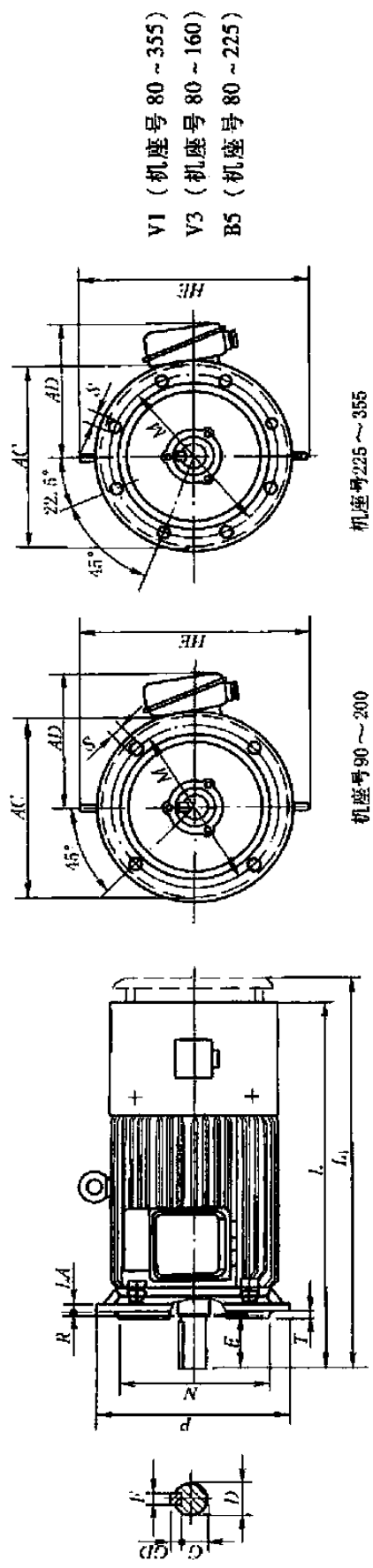
B3 (机座号 80 - 355)
 B6、B7、B8、V5、V6
 (机座号 80 - 160)

表 17-1-79

mm

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸						
	H	A	B	C	D	E	F × GD	G	K	AB	AC	AD	AA	BB	HD	HA	L
90S	90 _{-0.5} ⁰	140	100	56	24 _{-0.004} ^{+0.009}	50	8 × 7	20	10	180	175	155	36	130	190	12	400
90L			125											155				430
100L	100 _{-0.5} ⁰	160	140	63	28 _{-0.004} ^{+0.009}	60	8 × 7	24	12	205	205	180	40	176	245	14	465
112M	112 _{-0.5} ⁰	190		70						245	230	190	50	180	265	15	490
132S	132 _{-0.5} ⁰	216	178	89	38 _{-0.002} ^{+0.018}	80	10 × 8	33	15	280	270	210	60	200	315	18	525
132M														238			575
160M	160 _{-0.5} ⁰	254	210	108	42 _{-0.002} ^{+0.018}	110	12 × 8	37	15	330	325	255	70	270	385	20	645
160L			254											314			690
180M	180 _{-0.5} ⁰	279	241	121	48 _{-0.002} ^{+0.018}	110	14 × 9	42.5	15	355	360	285	70	311	430	22	810
180L			279											349			850
200L	200 _{-0.5} ⁰	318	305	133	55 _{-0.011} ^{+0.030}	140	16 × 10	49	19	395	400	310	75	379	475	25	890
225S	225 _{-0.5} ⁰	356	286	149	60 _{-0.011} ^{+0.030}		18 × 11	53		435	450	345		368	530	28	930
225M			311			393			970								
250M	250 _{-0.5} ⁰	406	349	168	65 _{-0.011} ^{+0.030}	170	20 × 12	67.5	24	490	495	385	80	455	575	30	1050
280S	280 ₋₁ ⁰	457	368	190	75 _{-0.011} ^{+0.030}									22 × 14	71	628	645	460	530	760	45	1100
280M			419			581	1180										
315S	315 ₋₁ ⁰	508	406	216	80 _{-0.011} ^{+0.030}	170	22 × 14	71	28	628	645	460	120	610	760	45	1300
315M			457											660			1350
315L			508											750			1450
355M	355 ₋₁ ⁰	610	560	254	95 _{-0.013} ^{+0.035}	170	25 × 14	86	28	740	750	680	120	780	1030	50	1650
355L			630											780	1750		

机座无底脚、端盖带凸缘的外形及安装尺寸



机座号225~355

机座号90~200

表 17-1-80

机座号	安 装 尺 寸											外 形 尺 寸				
	D	E	F x GD	G	T	M	N	P	R	S	AC	AD	LA	HE	L	L ₁
90S	24 ^{+0.009} _{-0.004}	50		20	3.5	165	130 ^{+0.014} _{-0.011}	200		4 x φ12	175	155	12		400	
90L														430		
100L	28 ^{+0.009} _{-0.004}	60	8 x 7	24	4	215	180 ^{+0.014} _{-0.011}	250		4 x φ15	205	180		465		
112M													14	490		
132S	38 ^{+0.018} _{-0.002}	80	10 x 8	33		265	230 ^{+0.016} _{-0.013}	300			270	210		525		
132M														575		
160M	42 ^{+0.018} _{-0.002}		12 x 8	37		300	250 ^{+0.016} _{-0.013}	350			325	255	16	645		
160L														690		
180M	48 ^{+0.018} _{-0.002}	110	14 x 9	42.5		350	300 ± 0.016	400		4 x φ19	360	285		810	870	
180L														850	910	
200L	55 ^{+0.030} _{-0.011}		16 x 10	49	5	350	350 ± 0.016	400	0		400	310		890	965	
225S	60 ^{+0.030} _{-0.011}			53		400	350 ± 0.018	450			450	345	20	930	1020	
225M														970	1060	
250M	65 ^{+0.030} _{-0.011}	140	18 x 11	58		500	450 ± 0.02	550		8 x φ19	495	385	22	1050	1170	
280S	75 ^{+0.030} _{-0.011}		20 x 12	67.5										1100	1220	
280M														1180	1300	
315S	80 ^{+0.030} _{-0.011}		22 x 14	71	6	600	550 ± 0.022	660			555	410		1300	1450	
315M														1350	1500	
315L		170	25 x 14	86		740	680 ± 0.025	800		8 x φ24	750	680	28	1650	1850	
355M	95 ^{+0.035} _{-0.013}													1750	1950	
355L																

mm

4.5.5 YTSZ 系列冶金及起重用变频调速三相异步电动机

表 17-1-82

技术参数

型号	标称功率/kW	额定电流/A	额定转矩/N·m	额定转速/r·min ⁻¹	最大转矩/额定转矩	转动惯量/kg·m ²	质量/kg	型号	标称功率/kW	额定电流/A	额定转矩/N·m	额定转速/r·min ⁻¹	最大转矩/额定转矩	转动惯量/kg·m ²	质量/kg
YTSZ90S-4	1.1	3	7	1415	2.8	0.003	17	YTSZ250M-6	45	85	429	985	3.2	1.015	480
YTSZ90L-4	1.5	4	9.5	1415	2.8	0.004	27	YTSZ280S-6	55	104	525	975	3.1	1.65	565
YTSZ100L1-4	2.2	5.2	14	1435	3.2	0.008	33	YTSZ280M-6	75	140	716.1	975	3.1	1.95	680
YTSZ100L2-4	3	7.2	19	1435	3.2	0.010	37	YTSZ315S-6	90	168	859.4	980	3	3.225	870
YTSZ112M-4	4	9.5	25.4	1435	3.0	0.016	44	YTSZ315M1-6	110	205	1050.3	980	3	4.725	1025
YTSZ132S-4	5.5	12	35	1455	3.2	0.028	80	YTSZ315M2-6	132	245	1260	980	3	5.3	1090
YTSZ132M-4	7.5	15.5	47.7	1455	3.2	0.038	97	YTSZ315L-6	160	295	1528	980	3	5.9	1160
YTSZ160M-4	11	22	70	1465	3.5	0.085	125	YTSZ355M1-6	200	370	1910	980	3.5	8.05	1600
YTSZ160L-4	15	29	95.5	1465	3.5	0.105	140	YTSZ355M2-6	220	400	2101	980	3.5	9.63	1680
YTSZ180M-4	22	43.7	140	1465	3.5	0.148	210	YTSZ355L-6	250	450	2387.5	980	3.5	11.82	1800
YTSZ200L1-4	30	58	190.9	1465	3.2	0.248	280	YTSZ160L-8	7.5	19	95.5	730	2.8	0.1325	140
YTSZ200L2-4	37	70	235.5	1465	3.2	0.282	300	YTSZ180L-8	11	26	140.1	735	3	0.285	250
YTSZ225M-4	45	84	286.4	1470	3.2	0.523	400	YTSZ200L-8	15	35	191	735	2.8	0.38	300
YTSZ250M-4	55	105	350.1	1470	3.2	0.733	480	YTSZ225S-8	22	47	280.1	735	2.8	0.585	360
YTSZ280S1-4	75	136	477.4	1465	3.3	1.170	530	YTSZ225M-8	30	63	382	735	2.8	0.6925	400
YTSZ280S2-4	90	162	572.9	1465	3.3	1.383	565	YTSZ250M-8	37	76	471.1	735	2.8	1.0475	480
YTSZ280M-4	110	200	700.2	1465	3.3	1.768	680	YTSZ280S-8	45	92	573	730	2.8	1.65	565
YTSZ315S-4	132	235	840.3	1465	3.2	2.610	900	YTSZ280M-8	55	118	700.3	730	2.8	1.95	680
YTSZ315M1-4	160	285	1018.5	1465	3.5	3.458	1025	YTSZ315S-8	75	153	955	735	2.8	3.65	870
YTSZ315M2-4	200	360	1273.3	1465	3.5	3.905	1095	YTSZ315M1-8	90	182	1146	735	2.8	5.4	1025
YTSZ315L-4	220	380	1400.7	1465	3	4.613	1160	YTSZ315M2-8	110	220	1400.7	735	2.8	6.13	1095
YTSZ355M-4	250	440	1591.7	1480	3.2	6.015	1500	YTSZ315L-8	132	265	1680.8	735	2.8	6.82	1160
YTSZ355L-4	315	550	2005.5	1480	3.2	7.445	1800	YTSZ355M1-8	160	320	2071.3	735	2.9	9.2	1600
YTSZ112M-6	2.2	6.1	21	945	2.8	0.0185	44	YTSZ355M2-8	200	395	2546.7	735	2.9	11	1680
YTSZ132S-6	3	7.5	28.6	960	3	0.0375	80	YTSZ355L-8	220	420	2801.3	735	2.9	13.5	1800
YTSZ132M1-6	4	9.5	38.2	960	3	0.0475	92	YTSZ315S-10	55	124	875.4	585	2.8	3.65	870
YTSZ132M2-6	5.5	12.8	52.5	960	3	0.0575	97	YTSZ315M1-10	75	166	1193.7	585	2.8	5.4	1025
YTSZ160M-6	7.5	18	71.6	970	2.8	0.0875	125	YTSZ315M2-10	90	196	1432.5	585	2.8	6.13	1095
YTSZ160L-6	11	26	105	970	2.8	0.1125	140	YTSZ315L-10	110	230	1750.8	585	2.8	6.82	1160
YTSZ180L-6	15	34	143	980	3	0.285	250	YTSZ355M1-10	132	278	2101	585	2.7	9.2	1600
YTSZ200L1-6	22	45	210	980	2.9	0.38	300	YTSZ355M2-10	160	334	2546.7	585	2.7	11	1680
YTSZ200L2-6	30	60	286	980	2.9	0.43	320	YTSZ355L-10	200	416	3183.3	585	2.7	13.5	1800
YTSZ225M-6	37	72	353	985	3.2	0.695	400								

注: 1. 防护等级 IP44, 绝缘等级 F 级, 冷却方式 IC416。

2. 基准工作制 S3, 负载持续率 40%, 其他工作制按下表折算功率:

工作制	功率折算比率/%	工作制	功率折算比率/%
S2-30min	110	S3-25%	110
S2-60min	100	S3-60%	80
S3-15%	135		

3. 在开环 U/f 控制时 3~50Hz 为恒转矩调速, 50~100Hz 为恒功率调速; 在矢量控制条件时, 调速范围可以扩大, 恒转矩运行可以从基速到零。

4. 制造厂可根据用户需要, 在电动机上安装电磁制动器、测速元件限速装置和限温、测温元件。

5. 生产厂: 上海南洋电机厂, 上海先锋起重电机厂, 江西特种电机股份有限公司, 佳木斯电机股份有限公司。

机座带底脚、端盖无凸缘 (IMB3、IMB6、IMB7、IMB8、IMV5、IMV6) 外形及安装尺寸

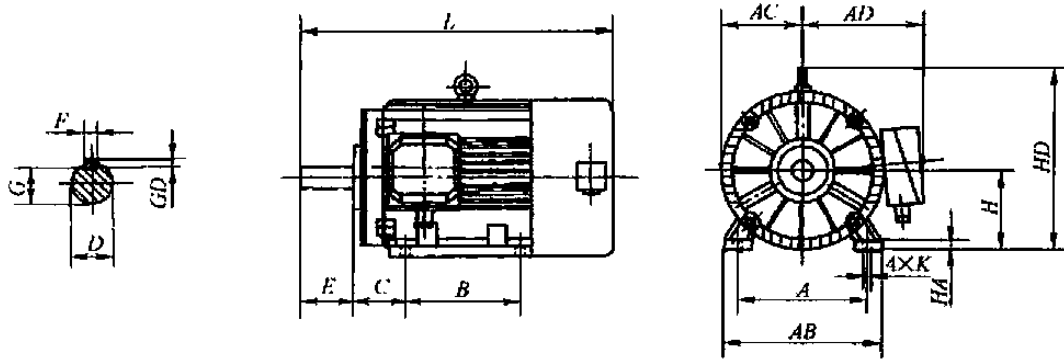


表 17-1-83

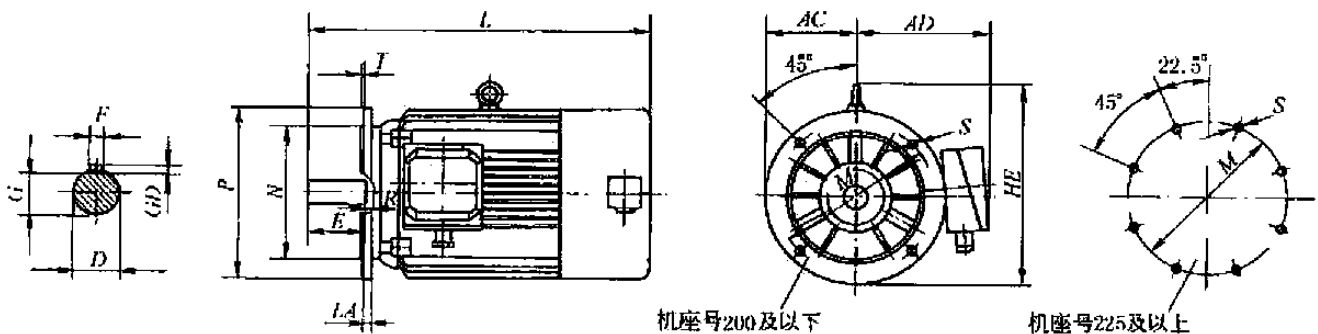
mm

机座号	安 装 尺 寸									外 形 尺 寸					
	H	A	B	C	D	E	F × GD	G	K	AB	AC	AD	HD	HA	L
90S	90	140	100	56	24	50	8 × 7	20	10	180	85	155	190	13	400
90L	90	140	125	56	24	50	8 × 7	20	10	180	85	155	190	13	430
100L	100	160	140	63	28	60	8 × 7	24	12	205	103	180	245	15	465
112M	112	190	140	70	28	60	8 × 7	24	12	245	115	190	265	17	490
132S	132	216	140	89	38	80	10 × 8	33	12	280	135	210	315	18	525
132M	132	216	178	89	38	80	10 × 8	33	12	280	135	210	315	18	575
160M	160	254	210	108	42	110	12 × 8	37	15	330	163	255	385	22	645
160L	160	254	254	108	42	110	12 × 8	37	15	330	163	255	385	22	690
180M	180	279	241	121	48	110	14 × 9	42.5	15	355	180	285	430	22	810
180L	180	279	279	121	48	110	14 × 9	42.5	15	355	180	285	430	22	850
200L	200	318	305	133	55	110	16 × 10	49	19	395	200	310	475	27	890
225S	225	356	286	149	60	140	18 × 11	53	19	435	225	345	530	27	930
225M	225	356	311	149	60	140	18 × 11	53	19	435	225	345	530	27	970
250M	250	406	349	168	65	140	18 × 11	58	24	490	248	385	575	33	1050
280S	280	457	368	190	75	140	20 × 12	67.5	24	550	280	410	660	35	1100
280M	280	457	419	190	75	140	20 × 12	67.5	24	550	280	410	660	35	1180
315S	315	508	406	216	80	170	22 × 14	71	28	635	320	530	770	50	1300
315M	315	508	457	216	80	170	22 × 14	71	28	635	320	530	770	50	1350
315L	315	508	508	216	80	170	22 × 14	71	28	635	320	530	770	50	1450
355M	355	610	560	254	95	170	25 × 14	86	28	730	355	535	1010	60	1650
355L	355	610	630	254	95	170	25 × 14	86	28	730	355	535	1010	60	1750

注: 1. L 为不带传感器、制动器等附件的尺寸。

2. 355 机座号接线盒在机座上方。

机座无底脚、端盖带凸缘 (IMB5、IMV1、IMV3) 外形及安装尺寸



机座号200及以下

机座号225及以上

表 17-1-84

mm

机座号	安 装 尺 寸										外 形 尺 寸				
	D	E	F×GD	G	T	M	N	P	R	S	AC	AD	LA	HE	L
90S	24	50	8×7	20	3.5	165	130	200	0	4×φ12	88	155	12	195	400
90L	24	50	8×7	20	3.5	165	130	200	0	4×φ12	88	155	12	195	430
100L	28	60	8×7	24	4	215	180	250	0	4×φ15	103	180	14	265	465
112M	28	60	8×7	24	4	215	180	250	0	4×φ15	115	190	14	265	490
132S	38	80	10×8	33	4	265	230	300	0	4×φ15	135	210	14	315	525
132M	38	80	10×8	33	4	265	230	300	0	4×φ15	135	210	14	315	575
160M	42	110	12×8	37	5	300	250	350	0	4×φ19	163	255	16	385	645
160L	42	110	12×8	37	5	300	250	350	0	4×φ19	163	255	16	385	690
180M	48	110	14×9	42.5	5	300	250	350	0	4×φ19	180	285	18	430	810
180L	48	110	14×9	42.5	5	300	250	350	0	4×φ19	180	285	18	430	850
200L	55	110	16×10	49	5	350	300	400	0	4×φ19	200	310	18	480	890
225S	60	140	18×11	53	5	400	350	450	0	8×φ19	225	345	20	535	930
225M	60	140	18×11	53	5	400	350	450	0	8×φ19	225	345	20	535	970
250M	65	140	18×11	58	5	500	450	550	0	8×φ19	248	385	22	620	1050
280S	75	140	20×12	67.5	5	500	450	550	0	8×φ19	280	410	22	665	1100
280M	75	140	20×12	67.5	5	500	450	550	0	8×φ19	280	410	22	665	1180

注：L 为不带传感器、制动器等附件的尺寸。

机座带底脚、端盖带凸缘 (IMB35、IMV15、IMV36) 外形及安装尺寸

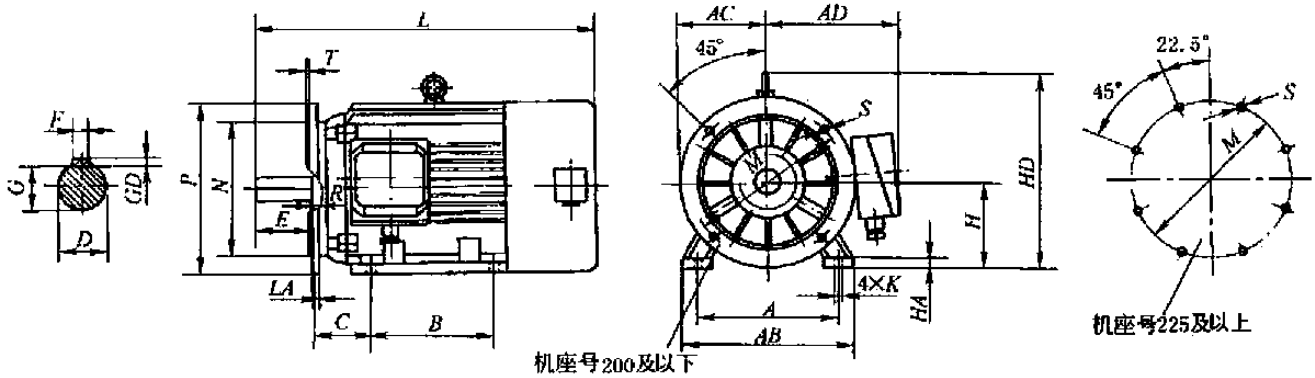


表 17-1-85

mm

机座号	安 装 尺 寸															外 形 尺 寸						
	H	A	B	C	D	E	F×GD	G	K	T	M	N	P	R	S	AB	AC	AD	HD	HA	LA	L
90S	90	140	100	56	24	50	8×7	20	10	3.5	165	130	200	0	4×φ12	180	88	155	190	13	12	400
90L	90	140	125	56	24	50	8×7	20	10	3.5	165	130	200	0	4×φ12	180	88	155	190	13	12	430
100L	100	160	140	63	28	60	8×7	24	12	4	215	180	250	0	4×φ15	205	103	180	245	15	14	465
112M	112	190	140	70	28	60	8×7	24	12	4	215	180	250	0	4×φ15	245	115	190	265	17	14	490
132S	132	216	140	89	38	80	10×8	33	12	4	265	230	300	0	4×φ15	280	135	210	315	18	14	525
132M	132	216	178	89	38	80	10×8	33	12	4	265	230	300	0	4×φ15	280	135	210	315	18	14	575
160M	160	254	210	108	42	110	12×8	37	15	5	300	250	350	0	4×φ19	330	163	255	385	22	16	645
160L	160	254	254	108	42	110	12×8	37	15	5	300	250	350	0	4×φ19	330	163	255	385	22	16	690
180M	180	279	241	121	48	110	14×9	42.5	15	5	300	250	350	0	4×φ19	355	180	285	430	22	18	810
180L	180	279	279	121	48	110	14×9	42.5	15	5	300	250	350	0	4×φ19	355	180	285	430	22	18	850
200L	200	318	305	133	55	110	16×10	49	19	5	350	300	400	0	4×φ19	395	200	310	475	27	18	890
225S	225	356	286	149	60	140	18×11	53	19	5	400	350	450	0	8×φ19	435	225	345	530	27	20	930
225M	225	356	311	149	60	140	18×11	53	19	5	400	350	450	0	8×φ19	435	225	345	530	27	20	970
250M	250	406	349	168	65	140	18×11	58	24	5	500	450	550	0	8×φ19	490	248	385	575	33	22	1050
280S	280	457	368	190	75	140	20×12	67.5	24	5	500	450	550	0	8×φ19	550	280	410	660	35	22	1100
280M	280	457	419	190	75	140	20×12	67.5	24	5	500	450	550	0	8×φ19	550	280	410	660	35	22	1180
315S	315	508	406	216	80	170	22×14	71	28	6	600	550	660	0	8×φ24	635	320	530	770	50	25	1300
315M	315	508	457	216	80	170	22×14	71	28	6	600	550	660	0	8×φ24	635	320	530	770	50	25	1350
315L	315	508	508	216	80	170	22×14	71	28	6	600	550	660	0	8×φ24	635	320	530	770	50	25	1450
355M	355	610	560	254	95	170	25×14	86	28	6	740	680	800	0	8×φ24	730	355	355	1010	60	28	1650
355L	355	610	630	254	95	170	25×14	86	28	6	740	680	800	0	8×φ24	730	355	355	1010	60	28	1750

注：1. L 为不带传感器、制动器等附件的尺寸。

2. 355 机座号接线盒在机座上方。

4.6 YZ (摘自 JB/T 10104—1999)、YZR (摘自 JB/T 10105—1999) 系列起重及冶金用三相异步电动机

4.6.1 YZ、YZR 系列起重及冶金用三相异步电动机技术数据

表 17-1-86

YZ 系列 (笼型) 技术数据 (380V、50Hz)

型 号	S2												53						转 动 惯 量 /kg·m ²	质 量 /kg					
	30min			60min			15%			25%			6 次/h												
	额定 功率 /kW	定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	额定 功率 /kW	定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	额定 功率 /kW	定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	额定 功率 /kW	定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	最大 转矩 /kN·m	堵转 转矩 /kN·m	堵转 电流 /A	效率 /%	功率 因数 cosφ	额定 功率 /kW			定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹	额定 功率 /kW	定子 电流 /A	转速 /r·min ⁻¹
YZ112M-6	1.8	4.9	892	1.5	4.25	920	2.2	6.5	810	1.8	4.9	892	2.0	2.0	4.47	69.5	0.765	1.1	2.7	946	0.8	3.5	980	0.022	58
YZ132M1-6	2.5	6.5	920	2.2	5.9	935	3	7.5	804	2.5	6.5	920	2.0	2.0	5.16	74	0.745	1.8	5.3	950	1.5	4.9	960	0.056	80
YZ132M2-6	4.0	9.2	915	3.7	8.8	912	5	11.6	890	4	9.2	915	2.0	2.0	5.54	79	0.79	3	7.5	940	2.8	7.2	945	0.062	92
YZ160M1-6	6.3	14.1	922	5.5	12.5	933	7.5	16.8	903	6.3	14.1	922	2.0	2.0	4.9	80.6	0.83	5	11.5	940	4	10	953	0.114	119
YZ160M2-6	8.5	18	943	7.5	15.9	948	11	25.4	926	8.5	18	943	2.3	2.3	5.52	83	0.86	6.3	14.2	956	5.5	13	961	0.143	132
YZ160L-6	15	32	920	11	24.6	953	15	32	920	13	28.7	936	2.3	2.3	6.17	84	0.852	9	20.6	964	7.5	18.8	972	0.192	152
YZ160L-8	9	21.1	694	7.5	18	705	11	27.4	675	9	21.1	694	2.3	2.3	5.1	82.4	0.766	6	15.6	717	5	14.2	724	0.192	152
YZ180L-8	13	30	675	11	25.8	694	15	35.3	654	13	30	675	2.3	2.3	4.9	80.9	0.811	9	21.5	710	7.5	19.2	718	0.352	205
YZ200L-8	18.5	40	697	15	33.1	710	22	47.5	686	18.5	40	697	2.5	2.5	6.1	86.2	0.8	13	28.1	714	11	26	720	0.622	276
YZ225M-8	26	53.5	701	22	45.8	712	33	69	687	26	53.5	701	2.5	2.5	6.2	87.5	0.834	18.5	40	718	17	37.5	720	0.820	347
YZ250M1-8	35	74	681	30	63.3	694	42	89	663	35	74	681	2.5	2.5	5.47	85.7	0.84	26	56	702	22	45	717	1.432	462

注: 1. 电动机分为一般环境用, 其环境温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$, F级绝缘, 防护等级为 IP44; 冶金环境用, 其环境温度 $\leq 60^{\circ}\text{C}$, H级绝缘, 防护等级为 IP54。

2. 电动机工作制分为 S2、S3、S4、S5 及 S6 五种。其基准工作制为 S3, 基准负载持续率为 40%, 每个工作周期为 10min。用户应指明所需的工作制, 不指明者应认为是 S3 工作制。

3. 表中 S3-40% 中的功率、最大转矩或堵转转矩与额定转矩之比及转动惯量是 JB/T 10104 规定的数值, 其余都不是标准规定的数值。

4. 生产厂: 上海先锋起重电机厂, 天津起重电机厂, 佳木斯电机股份有限公司, 江西电机股份有限公司, 浙江特种电机有限公司, 浙江特种电机有限公司。

表 17-1-87 YZR 系列 (绕线转子) 技术数据 (380V、50Hz)

型号	1000r/min			750r/min			600r/min			质量/kg			
	功率/kW	转速 /r·min ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	转子绕组 开路电压 /V	功率/kW	转速 /r·min ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	转子绕组 开路电压 /V	功率/kW		转速 /r·min ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	转子绕组 开路电压 /V
YZR112M	1.5	866	0.03	100									73.5
YZR132M1	2.2	908	0.06	132									96.5
YZR132M2	3.7	908	0.07	185									107.5
YZR160M1	5.5	930	0.12	138									153.5
YZR160M2	7.5	940	0.15	185									159.5
YZR160L	11	945	0.2	250	7.5	705	0.2	205					174
YZR180L	15	962	0.39	218	11	700	0.39	172					230
YZR200L	22	964	0.67	200	15	712	0.67	178					
YZR225M	30	962	0.84	250	22	715	0.82	232					398
YZR250M1	37	960	1.52	250	30	720	1.52	272					512
YZR250M2	45	965	1.78	290	37	720	1.79	335					559
YZR280S	55	969	2.35	280	45	717	2.35	305	37	572	3.58	150	746.5
YZR280M	75	969	2.86	370	55	728	2.86	360	45	560	3.98	172	840
YZR315S					75	727	7.22	302	55	580	7.22	242	1026
YZR315M					90	720	8.68	372	75	579	8.68	325	1170
YZR355M									90	589	14.31	330	1520
YZR355L1									110	582	17.08	338	1764
YZR355L2									132	588	19.18	475	1810
YZR400L1									160	587	24.52	395	2400
YZR400L2									200	588	28.10	460	2950

注: 1. 电动机工作制分为 S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9 七种, 本表按基准工作制 (工作制 S3、FC=40%)、每一个工作周期为 10min 编制。用户应准确地指明所需的工作制类型, 如用户未指明时, 则工厂认为是基准工作制。

2. 表中转速非标准值, 仅供参考。表中质量取自南阳防爆集团有限公司的产品样本, 仅供参考。

3. 同表 17-1-86 注 1。

4. 生产厂: 同表 17-1-86 注 4。

4.6.2 YZ、YZR 系列起重及冶金用电动机的安装尺寸与外形尺寸

卧式安装尺寸及外形尺寸 (安装型式 IM1001、IM1002、IM1003、IM1004)

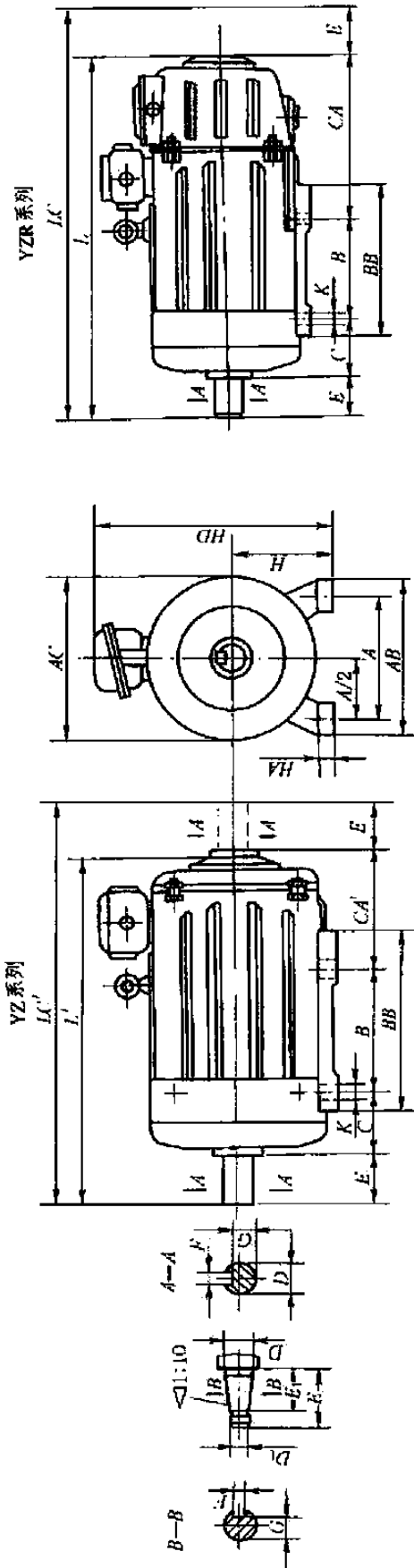


表 17-1-88

型号	安装尺寸													外形尺寸											
	A	A/2	B	C	CA	CA'	D	D ₁	E	E ₁	F (N9)	G	H	K	螺栓直径	AB	AC	BB	LC	LC'	HD	L	L'	HA	D ₂
YZ112M、YZR112M	190	95	140	70	300	135	32k6		80		10	27	112	12	M10	250	245	235	670	505	335	590	420	18	M30 × 2
YZ132M、YZR132M	216	108	178	89	300	150	38k6		80		10	33	132	12	M10	275	285	260	727	577	365	645	495	20	M36 × 2
YZ160M、YZR160M	254	127	210	108	330	180	48k6		110		14	42.5	160	15	M12	320	325	290	858	718	425	758	608	25	M48 × 2
YZ160L、YZR160L	254	127	254	108	330	180	48k6		110		14	42.5	160	15	M12	320	325	335	912	762	425	800	650	25	M48 × 2
YZ180L、YZR180L	279	139.5	279	121	360	180	55	M36 × 3	110	82	14	19.9	180	15	M12	360	360	380	980	800	465	870	685	25	M48 × 2
YZ200L、YZR200L	318	159	305	133	400	210	60	M42 × 3	140	105	16	21.4	200	19	M16	405	405	400	1118	928	510	975	780	28	M64 × 2
YZ225M、YZR225M	356	178	311	149	450	258	65	M42 × 3	140	105	16	23.9	225	19	M16	455	430	410	1190	998	545	1050	850	28	M64 × 2
YZ250M、YZR250M	406	203	349	168	540	295	70	M48 × 3	140	105	18	25.4	250	24	M20	515	480	510	1337	1092	605	1195	935	30	M64 × 2
YZR280S	457	228.5	368	190	540		85	M56 × 4	170	130	20	31.7	280	24	M20	575	535	530	1438		665	1265		32	M64 × 2
YZR280M	457	228.5	419	190	540		85	M56 × 4	170	130	20	31.7	280	24	M20	575	535	580	1489		665	1315		32	M64 × 2
YZR315S	508	254	406	216	600		95	M64 × 4	170	130	22	35.2	315	28	M24	640	620	580	1562		750	1390		35	M64 × 2
YZR315M	508	254	457	216	600		95	M64 × 4	170	130	22	35.2	315	28	M24	640	620	630	1613		750	1440		35	M64 × 2
YZR355M	610	305	560	254	630		110	M80 × 4	210	165	25	41.9	355	28	M24	740	710	730	1864		840	1650		38	2 × M64 × 2
YZR355L	610	305	630	254	630		110	M80 × 4	210	165	25	41.9	355	28	M24	740	710	800	1934		840	1720		38	2 × M64 × 2
YZR400L	686	343	710	280	630		130	M100 × 4	250	200	28	50	400	35	M30	855	840	910	2120		950	1865		45	2 × M64 × 2

注: D₁ 为定、转子接线口尺寸。

立式安装、机座不带底脚、端盖有凸缘、轴伸向下的安装尺寸及外形尺寸 (安装型式 IM3011、IM3013)

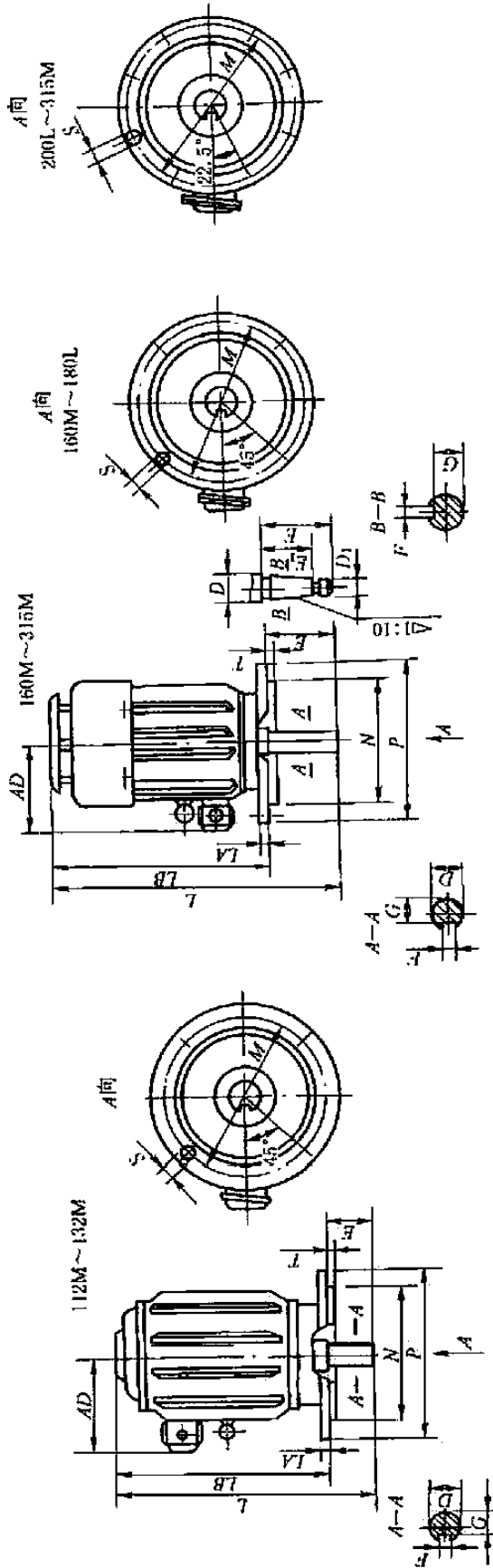


表 17-1-89

mm

型号	安装尺寸														外形尺寸							
	凸缘号	D	D ₁	E	E ₁	F	G	M	N (个)	P	R	S	螺栓直径	T	孔数	AD	LA	L		LB		D ₂
																		YZ	YZR	YZ	YZR	
YZ112M、YZR112M	FF215	32k6		80		10	27	215	180	250	0±2	15	M12	4		220	14	430	595	350	515	M30×2
YZ132M、YZR132M	FF265	38k6					33	265	230	300						230		495	645	415	565	
YZ160M、YZR160M		48k6		110		14	42.5	300	250	350	0±3			4		260	18	700	828	590	718	
YZ160L、YZR160L							19.9									280		743	872	633	762	
YZ180L、YZR180L		55	M36×3															735	915	625	805	
YZ200L、YZR200L		60	M42×3		82	16	21.4	400	350	450		19	M16	5		320	20	855	1050	715	910	
YZ225M、YZR225M		65		140	105		23.9									355		915	1110	775	970	
YZ250M、YZR250M		70	M48×3			18	25.4	500	450	550	0±4			8			1005	1266	865	1126		
YZR280S	FF500	85	M56×4			20	31.7									385	22		1370		1200	
YZR280M				170	130														1420		1250	
YZR315S						22		600	550	660		24				435	25		1475		1305	
YZR315M	FF600	95	M64×4				35.2												1525		1355	

注: R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离, D₂ 为定、转子接线口尺寸。

卧式安装、机座不带底脚、端盖有凸缘的安装尺寸及外形尺寸 (安装型式 IM3001、IM3003)

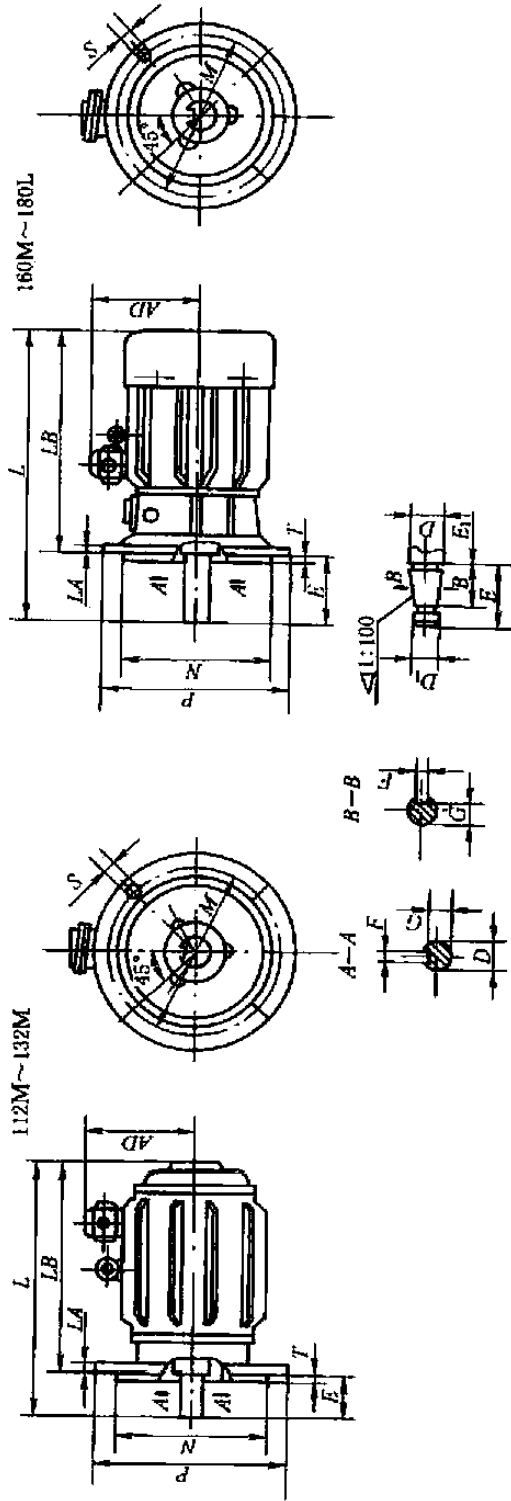


表 17-1-90

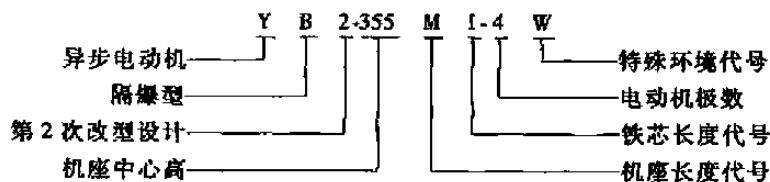
机座号	安 装 尺 寸														外形尺寸(不大于)					D ₂	
	凸缘号	D	D ₁	E	E ₁	F	G	M	N (j6)	P	R	S	T	孔数 / 个	AD	LA	L		LB		
																	YZ	YZR	YZ		YZR
112M	FF215	32k6		80		10	27	215	180	250					220		430	595	350	515	M30 × 2
132M	FF265	38k6					33	265	230	300	0 ± 2	15	4	230	14	495	640	415	565		
160M		48k6					42.5	300	250					260		700	828	590	718	M36 × 2	
160L	FF300		110		14			350	350	0 ± 3	19	5	280	18	743	872	633	762			
180L		55		82		19.9									735	915	625	805			

注: R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离, D₂ 为定、转子接线口尺寸。

4.7 防爆异步电动机

防爆异步电动机主要用于煤炭、石油、化工等行业。目前除 YB2、YA 系列外，还有户外、防腐等派生系列。防爆电动机的使用场所分爆炸性气体环境和爆炸性粉尘环境。本节编入的是爆炸性气体环境用防爆电动机。爆炸性气体环境用防爆电动机分 I 类和 II 类，I 类为煤矿用，II 类为工厂用。本节仅编入 II 类防爆电动机。用于爆炸性气体环境的防爆电动机除必须符合 GB 3836.1—2000《爆炸性气体环境用电气设备 第 1 部分：通用要求》外，还必须分别符合各防爆型式标准，如隔爆型“d”（GB 3836.2）、增安型“e”（GB 3836.3）、本质安全型“i”（GB 3836.4）等。隔爆型电动机采用隔爆外壳把可能产生火花、电弧和危险温度的电气部分与周围爆炸性气体混合物隔开。一旦爆炸性气体进入外壳内引燃爆炸，外壳不会损坏，也不会引燃周围的爆炸性气体混合物，增安型电动机是在正常运行条件下不会产生电弧、火花或危险高温的电动机结构上，再采取一些机械、电气和热的保护措施，使之进一步避免在正常条件下出现电弧、火花或高温的危险，从而确保其防爆安全性。II 类防爆电动机按其允许最高表面温度分为 T1—T6 六个温度组别，即 T1—450℃、T2—300℃、T3—200℃、T4—135℃、T5—100℃及 T6—85℃。II 类防爆电动机按适用于爆炸性气体混合物最大试验安全间隙的大小（即传爆能力的强弱）分为 A、B、C 三级，其余防爆电动机不分级。防爆电动机的防爆型式、类别、级别和温度组别用防爆标志表示，如 E_d II BT4（E_d—防爆标志，d—隔爆型，II B—II 类 B 级，T4—温度组别为 T4）。如何正确选择电动机，必须由相关的设计人员根据危险场所分类的具体情况，并遵照 GB 3836.1—2000 ~ 3836.14—2000 的规定进行选择。

电动机型号意义：



4.7.1 YB2 系列隔爆型三相异步电动机 (摘自 JB/T 7565.1—2004、JB/T 7565.2—2002、JB/T 7565.3—2004、JB/T 7565.4—2004)

表 17-1-91

技术数据 (380V/660V)

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V 时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 3000r/min												
YB2-631-2	0.18	0.52	2800	66.0	0.80	2.2	5.0	2.3	61	1.80		
YB2-632-2	0.25	0.69	2800	68.0	0.81	2.2	5.0	2.3	61	1.80		
YB2-711-2	0.37	0.99	2800	70.0	0.81	2.2	5.5	2.3	64	1.80		
YB2-712-2	0.55	1.38	2800	73.0	0.83	2.2	5.5	2.3	64	1.80		
YB2-801-2	0.75	1.83	2825	75.0	0.83	2.2	6.0	2.3	67	1.80	0.0042	22
YB2-802-2	1.1	2.55	2825	78.0	0.84	2.2	6.0	2.3	67	1.80	0.005	24
YB2-90S-2	1.5	3.43	2840	79.0	0.84	2.2	7.0	2.3	72	1.80	0.0075	33
YB2-90L-2	2.2	4.85	2840	81.0	0.85	2.2	7.0	2.3	72	1.80	0.0097	37
YB2-100L-2	3	6.24	2880	83.0	0.88	2.2	7.0	2.3	76	1.80	0.0174	43
YB2-112M-2	4	8.12	2890	85.0	0.88	2.2	7.0	2.3	77	1.80	0.0303	54
YB2-132S1-2	5.5	11	2900	86.0	0.88	2.2	7.5	2.3	80	1.80	0.0631	79
YB2-132S2-2	7.5	14.9	2900	87.0	0.88	2.2	7.5	2.3	80	1.80	0.0733	87
YB2-160M1-2	11	21.5	2930	88.4	0.88	2.2	7.5	2.4	86	2.80	0.21	140
YB2-160M2-2	15	28.6	2930	89.4	0.89	2.2	7.5	2.4	86	2.80	0.25	152
YB2-160L-2	18.5	35.1	2930	90.0	0.89	2.2	7.5	2.4	86	2.80	0.31	168
YB2-180M-2	22	41	2940	90.5	0.90	2.0	7.5	2.3	89	2.80	0.37	220
YB2-200L1-2	30	55.4	2950	91.4	0.90	2.0	7.5	2.4	92	2.80	0.63	290
YB2-200L2-2	37	67.9	2950	92.0	0.90	2.0	7.5	2.4	92	2.80	0.73	305
YB2-225M-2	45	82.1	2970	92.5	0.90	2.0	7.5	2.3	92	2.80	1.28	400

续表

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V 时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 3000r/min												
YB2-250M-2	55	99.8	2970	93.0	0.90	2.1	7.5	2.3	93	3.50	1.55	460
YB2-280S-2	75	133.8	2970	93.6	0.91	2.0	7.5	2.3	94	3.50	1.89	625
YB2-280M-2	90	160	2970	93.9	0.91	2.1	7.5	2.3	94	3.50	2.02	728
YB2-315S-2	110	195.4	2980	94.0	0.91	1.8	7.0	2.3	96	3.50	2.26	1100
YB2-315M-2	132	233.2	2980	94.5	0.91	1.8	7.0	2.3	96	3.50	2.42	1160
YB2-315L1-2	160	279.3	2980	94.6	0.92	1.8	7.0	2.3	99	3.50	2.76	1350
YB2-315L-2	185	323	2980	94.6	0.92	1.8	7.0	2.3	99	3.50	3.22	1500
YB2-315L2-2	200	348.4	2980	94.8	0.92	1.8	7.0	2.3	99	3.50	3.41	1600
YB2-355S1-2	185	323	2980	94.6	0.92	1.8	7.0	2.3	99	3.50	3.86	1690
YB2-355S2-2	200	348.4	2980	94.8	0.92	1.8	7.0	2.3	99	3.50	4.82	1690
YB2-355M1-2	220	383.2	2980	94.8	0.92	1.6	7.0	2.4	103	3.50	5.46	1840
YB2-355M2-2	250	433.2	2980	95.3	0.92	1.6	7.0	2.4	103	3.50	6.22	2100
YB2-355L1-2	280	485.2	2980	95.3	0.92	1.6	7.0	2.4	103	3.50	6.54	2260
YB2-355L2-2	315	544.1	2980	95.6	0.92	1.6	7.0	2.4	103	3.50	6.54	2260
同步转速 1500r/min												
YB2-631-4	0.12	0.44	1380	58.0	0.72	2.0	4.0	2.2	52	1.80		
YB2-632-4	0.18	0.59	1380	63.0	0.73	2.0	4.0	2.2	52	1.80		
YB2-711-4	0.25	0.78	1380	66.0	0.74	2.0	4.0	2.2	55	1.80		
YB2-712-4	0.37	1.09	1380	69.0	0.75	2.0	4.0	2.2	55	1.80		
YB2-801-4	0.55	1.57	1390	71.0	0.75	2.4	5.0	2.3	58	1.80	0.006	22
YB2-802-4	0.75	2.03	1390	73.0	0.77	2.4	5.0	2.3	58	1.80	0.0077	24
YB2-90S-4	1.1	2.89	1400	75.0	0.77	2.3	6.0	2.3	61	1.80	0.012	33
YB2-90L-4	1.5	3.7	1400	78.0	0.79	2.3	6.0	2.3	61	1.80	0.015	37
YB2-100L1-4	2.2	5.16	1420	80.0	0.81	2.3	6.0	2.4	64	1.80	0.031	43

续表

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 1500r/min												
YB2-100L2-4	3	6.78	1420	82.0	0.82	2.3	6.0	2.4	64	1.80	0.039	47
YB2-112M-4	4	8.82	1440	84.0	0.82	2.3	6.0	2.4	65	1.80	0.059	58
YB2-132S-4	5.5	11.6	1440	86.0	0.84	2.3	7.0	2.4	71	1.80	0.113	80
YB2-132M-4	7.5	15.4	1440	87.0	0.85	2.3	7.0	2.4	71	1.80	0.167	95
YB2-160M-4	11	22.3	1460	88.0	0.85	2.2	7.0	2.4	75	2.80	0.36	150
YB2-160L-4	15	30.1	1460	89.0	0.85	2.2	7.0	2.4	75	2.80	0.42	168
YB2-180M-4	18.5	36.5	1470	90.5	0.85	2.2	7.0	2.3	76	2.80	0.68	220
YB2-180L-4	22	43.1	1470	91.2	0.85	2.2	7.0	2.3	76	2.80	0.72	242
YB2-200L-4	30	57.6	1470	92.0	0.86	2.2	7.2	2.4	79	2.80	0.81	335
YB2-225S-4	37	69.9	1480	92.5	0.87	2.2	7.2	2.4	81	2.80	1.21	400
YB2-225M-4	45	84.7	1480	92.8	0.87	2.2	7.2	2.4	81	2.80	1.85	415
YB2-250M-4	55	103.3	1480	93.0	0.87	2.2	7.2	2.4	83	3.50	2.32	560
YB2-280S-4	75	139.6	1480	93.8	0.87	2.2	7.2	2.4	86	3.50	2.86	665
YB2-280M-4	90	166.8	1485	94.2	0.87	2.2	7.2	2.4	86	3.50	3.34	780
YB2-315S-4	110	198.7	1485	94.5	0.89	2.1	7.0	2.4	93	3.50	4.68	1150
YB2-315M-4	132	237.7	1485	94.8	0.89	2.1	7.0	2.4	93	3.50	4.96	1200
YB2-315L1-4	160	284.3	1485	95.0	0.90	2.1	7.0	2.4	97	3.50	5.22	1320
YB2-315L-4	185	328.7	1485	95.0	0.90	2.1	7.0	2.4	97	3.50	5.43	1420
YB2-315L2-4	200	354.6	1485	95.2	0.90	2.1	7.0	2.3	97	3.50	5.62	1500
YB2-355S1-4	185	328.7	1488	95.0	0.90	2.1	7.0	2.4	97	3.50	6.45	1700
YB2-355S2-4	200	354.6	1488	95.2	0.90	2.1	7.0	2.3	97	3.50	6.56	1800
YB2-355M1-4	220	390.1	1488	95.2	0.90	2.1	7.0	2.4	101	3.50	6.88	1830
YB2-355M2-4	250	441.9	1488	95.5	0.90	2.1	7.0	2.4	101	3.50	7.22	1940

续表

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V 时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 1500r/min												
YB2-355L1-4	280	494.9	1488	95.5	0.90	2.1	7.0	2.4	101	3.50	7.46	2080
YB2-355L2-4	315	556.2	1488	95.6	0.90	2.1	7.0	2.4	101	3.50	7.68	2260
同步转速 1000r/min												
YB2-711-6	0.18	0.67	910	62.0	0.66	1.9	4.0	2.1	52	1.80		
YB2-712-6	0.25	0.89	910	63.0	0.68	1.9	4.0	2.1	52	1.80		
YB2-801-6	0.37	1.27	910	63.0	0.70	1.9	4.0	2.1	54	1.80		
YB2-802-6	0.55	1.76	910	66.0	0.72	1.9	4.0	2.1	54	1.80		
YB2-90S-6	0.75	2.29	910	69.0	0.72	2.1	4.0	2.1	57	1.80		
YB2-90L-6	1.1	3.14	910	73.0	0.73	2.1	5.0	2.1	57	1.80		
YB2-100L-6	1.5	3.95	940	76.0	0.76	2.1	5.0	2.1	61	1.80		
YB2-112M-6	2.2	5.57	940	79.0	0.76	2.1	5.0	2.1	65	1.80		
YB2-132S-6	3	7.31	960	81.0	0.77	2.1	6.0	2.4	69	1.80		
YB2-132M1-6	4	9.39	960	83.0	0.78	2.1	6.0	2.4	69	1.80		
YB2-132M2-6	5.5	12.6	960	85.0	0.78	2.1	6.5	2.4	69	1.80		
YB2-160M-6	7.5	16.8	970	86.0	0.79	2.1	6.5	2.4	73	2.80	0.46	154
YB2-160L-6	11	24.2	970	87.5	0.79	2.1	6.5	2.4	73	2.80	0.61	176
YB2-180L-6	15	31.6	970	89.0	0.81	2.1	7.0	2.1	73	2.80	1.01	225
YB2-200L1-6	18.5	37.6	970	90.0	0.83	2.2	7.0	2.4	76	2.80	1.62	290
YB2-200L2-6	22	44.7	970	90.0	0.83	2.2	7.0	2.4	76	2.80	1.84	315
YB2-225M-6	30	57.6	980	92.0	0.86	2.1	7.0	2.4	76	2.80	2.43	410
YB2-250M-6	37	71	980	92.0	0.86	2.1	7.0	2.4	78	3.50	2.68	525
YB2-280S-6	45	85.9	980	92.5	0.86	2.1	7.0	2.4	80	3.50	3.46	635
YB2-280M-6	55	104.7	980	92.8	0.86	2.1	7.0	2.3	80	3.50	3.97	730
YB2-315S-6	75	141.7	985	93.5	0.86	2.0	7.0	2.2	85	3.50	4.57	1080
YB2-315M-6	90	169.5	985	93.8	0.86	2.0	7.0	2.2	85	3.50	4.83	1140
YB2-315L1-6	110	206.7	985	94.0	0.86	2.0	7.0	2.2	85	3.50	5.32	1310
YB2-315L2-6	132	244.7	985	94.2	0.87	2.0	7.0	2.2	85	3.50	5.95	1400

续表

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V 时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 1000r/min												
YB2-355S-6	160	292.3	985	94.5	0.88	2.0	7.0	2.2	92	3.50	7.32	1650
YB2-355M1-6	185	338	985	94.5	0.88	2.0	7.0	2.2	92	3.50	7.89	1760
YB2-355M2-6	200	364.6	985	94.7	0.88	2.0	7.0	2.2	92	3.50	8.17	1970
YB2-355L1-6	220	401.1	985	94.7	0.88	2.0	7.0	2.2	92	3.50	8.25	2140
YB2-355L2-6	250	454.3	985	95.0	0.88	2.0	7.0	2.2	92	3.50	8.36	2250
同步转速 750r/min												
YB2-80L-8	0.18	0.86	710	52.0	0.61	1.8	3.3	1.9	52	1.80		
YB2-80L-8	0.25	1.13	710	55.0	0.61	1.8	3.3	1.9	52	1.80		
YB2-90S-8	0.37	1.44	710	63.0	0.62	1.8	4.0	2.0	56	1.80		
YB2-90L-8	0.55	2.07	710	64.0	0.63	1.8	4.0	2.0	56	1.80		
YB2-100L1-8	0.75	2.36	710	71.0	0.68	1.8	4.0	2.0	59	1.80		
YB2-100L2-8	1.1	3.32	710	73.0	0.69	1.8	4.0	2.0	59	1.80		
YB2-112M-8	1.5	4.4	710	75.0	0.69	1.8	4.0	2.0	61	1.80		
YB2-132S-8	2.2	5.8	710	79.0	0.73	1.8	5.5	2.2	64	1.80		
YB2-132M-8	3	7.71	710	81.0	0.73	1.8	5.5	2.2	64	1.80		
YB2-160M1-8	4	10.3	720	81.0	0.73	1.9	6.0	2.2	68	2.80	0.32	132
YB2-160M2-8	5.5	13.4	720	83.0	0.75	1.9	6.0	2.2	68	2.80	0.46	144
YB2-160L-8	7.5	17.6	720	85.0	0.76	1.9	6.0	2.2	68	2.80	0.61	175
YB2-180L-8	11	25.3	730	87.0	0.76	1.9	6.0	2.2	70	2.80	1.06	225
YB2-200L-8	15	33.7	730	89.0	0.76	2.0	6.5	2.2	73	2.80	1.6	315
YB2-225S-8	18.5	40	730	90.0	0.78	2.0	6.5	2.2	73	2.80	2.28	375
YB2-225M-8	22	47.4	730	90.5	0.78	2.0	6.5	2.2	73	2.80	2.74	395
YB2-250M-8	30	63.4	730	91.0	0.79	1.9	6.5	2.0	75	3.50	3.67	530
YB2-280S-8	37	77.8	740	91.5	0.79	1.8	6.0	2.0	76	3.50	5.16	605
YB2-280M-8	45	94.1	740	92.0	0.79	1.8	6.0	2.0	76	3.50	5.82	700
YB2-315S-8	55	111.2	740	92.8	0.81	1.9	6.5	2.2	82	3.50	6.74	920

续表

型号	额定功率 /kW	额定电流 (380V时) /A	额定转速 /r·min ⁻¹	效率 (满载时) /%	功率因数 cosφ (满载时)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	噪声 /dB(A)	振动等级 /mm·s ⁻¹	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
同步转速 750r/min												
YB2-315M-8	75	151.3	740	93.0	0.81	1.9	6.5	2.2	82	3.50	7.35	1100
YB2-315L1-8	90	177.8	740	93.8	0.82	1.9	6.5	2.2	82	3.50	8.79	1120
YB2-315L2-8	110	216.8	740	94.0	0.82	1.9	6.5	2.2	82	3.50	9.18	1300
YB2-355S-8	132	259.6	740	94.2	0.82	2.0	6.5	2.2	90	3.50	10.19	1640
YB2-355M-8	160	313.4	740	94.6	0.82	2.0	6.5	2.2	90	3.50	11.24	1820
YB2-355L1-8	185	362.3	740	94.6	0.82	2.0	6.5	2.2	90	3.50	12.48	2100
YB2-355L2-8	200	386.2	740	94.8	0.83	2.0	6.5	2.2	90	3.50	13.56	2200
同步转速 600r/min												
YB2-315S-10	45	99.1	585	92.0	0.75	1.5	6.0	2.1	82	3.50		
YB2-315M-10	55	121.1	585	92.0	0.75	1.5	6.0	2.1	82	3.50		
YB2-315L1-10	75	162.1	585	92.5	0.76	1.5	6.0	2.1	82	3.50		
YB2-315L2-10	90	190.9	585	93.0	0.77	1.5	6.0	2.1	82	3.50		
YB2-355S-10	90	190.9	585	93.0	0.77	1.5	6.0	2.1	82	3.50		
YB2-355M1-10	110	229.9	585	93.2	0.78	1.3	5.5	2.1	90	3.50		
YB2-355M2-10	132	275	585	93.5	0.78	1.3	5.5	2.1	90	3.50		
YB2-355L1-10	160	333	585	93.6	0.78	1.3	5.5	2.1	90	3.50		
YB2-355L2-10	185	385	585	93.6	0.78	1.3	5.5	2.1	90	3.50		

注：1. 当额定电压 U_N 不是 380V 时，额定电流按 $I_N = I_{N(380V)} \times 380/U_N$ kW 以下电动机额定电压为 380V。

2. 效率、功率因数为标称值。

3. JB/T 7565.1 规定了 YB2 的防爆标志为 E_dI、E_dII AT4、E_dIII AT4、E_dIV AT4 用于工厂 II 类 A 级，温度组别为 T1、T2、T3 和 T4 组爆炸性气体混合物存在的环境。E_dII BT4 适用于工厂 III 类 B 级，温度组别为 T1、T2、T3 和 T4 组的爆炸性气体混合物存在的环境。标志 II B 的设备可适用于 II A 设备的使用条件。

JB/T 7565.2 规定了 YB2-W（户外场所）、YB2-TH（湿热带场所）、YB2-THW（户外湿热带场所）、YB2-TA（干热带场所）、YB2-TAW（户外干热带场所）系列隔爆型异步电动机。电动机应能在表 17-1-92 所列使用环境条件中正常运行。

JB/T 7565.3 规定了 YB2-F1（防中等腐蚀）、YB2-WF1（户外防中等腐蚀）、YB2-F2（防强腐蚀）、YB2-WF2（户外防强腐蚀）系列隔爆型异步电动机。其防爆标志为 E_dII BT1、E_dII BT2、E_dII BT3、E_dII BT4。电动机应能在表 17-1-93 所列使用环境条件中正常运行。

JB/T 7565.4 为（YB2）隔爆型（E_dIII CT1、E_dIII CT2、E_dIII CT3、E_dIII CT4）三相异步电动机。II C 的设备可适用于 II A、II B 设备的使用条件。

4. JB/T 7565.2、JB/T 7565.3、JB/T 7565.4 等标准规定的电动机，其基本参数与尺寸与 JB/T 7565.1 一致。各标准规定的电动机外壳防护等级为 IP55，冷却方法为 IC411，绝缘等级为 F 级。JB/T 7565.1 和 JB/T 7565.4 规定的 YB2 电动机使用海拔不超过 1000m；其环境温度最高不超过 40℃（工厂时），最低温度为 -15℃；最湿月月平均最高相对湿度为 90%。

5. 本表数据取自南阳防爆集团有限公司的样本，其中转速、电流及转动惯量、质量等不属于标准规定的的数据。

表 17-1-92

户外、湿热、干热隔爆型电动机使用环境条件

序号	环境参数		电动机防护类型				
			YB2-W	YB2-TH	YB2-THW	YB2-TA	YB2-TAW
1	空气温度 /℃	年最高	40			45	55
		年最低	-20 ^①	-5	-10	-5	-10
2	空气相对 湿度/%	低	—			10	10
		高	100	95(28℃) ^②		—	
3	气压/kPa		90 ^③				
4	太阳辐射/W·m ⁻²		1120	700	1000	700	1120
5	周围空气运动/m·s ⁻¹		30	35	35	10	30
6	降雨强度/mm·min ⁻¹		6			—	
7	降水条件(雨、雪、雹等)		有	—	有	—	有
8	凝露条件		有				
9	含盐空气		有				
10	结冰、结霜条件		有				
11	雷暴		有	—	频繁	—	有
12	沙/mg·m ⁻³		300	30	300	30	300
13	尘(飘浮) ^④ /mg·m ⁻³		5.0	0.2	5.0	0.2	5.0
14	尘(沉降) ^④ /mg·m ⁻³		500	35	500	35	500
15	霉菌		有				
16	动物		有				
17	二氧化硫	平均值 ^⑤ /mg·m ⁻³	0.3				
18	硫化氢		0.1				
19	氯气		0.1				
20	氯化氢		0.1				
21	氟化氢		0.01				
22	氨气		1.0				
23	氧化氮 ^⑥		0.5				
24	爆炸性气体混合物		有				

① 当使用部门提出低温低于-20℃至-35℃要求时,在订货时协商确定。

② 指该月的月平均最低温度为28℃。

③ 相当于海拔1000m,如超过1000m则按GB 755的规定。

④ 不包括易燃、易爆粉尘。

⑤ 指长期数值的平均值。

⑥ 相当于二氧化氮的值。

表 17-1-93

防腐隔爆型电动机使用环境条件

序号	环境参数		电动机防护类型			
			YB2-F1	YB2-F2	YR2-WF1	YB2-WF2
1	空气温度/℃	年最高	40			
		年最低	-5		-20 ^①	
2	高相对湿度/%		95		100	
3	高绝对湿度/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$		29		25	
4	气压/kPa		90 ^②			
5	太阳辐射/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$		700		1120	
6	周围空气运动/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		10		30	
7	凝露条件		有			
8	降雨强度/ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$		—		6	
9	结冰、结霜条件		有			
10	降雨以外的水		有			
11	动物		有			
12	盐雾		有			
13	砂/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		300	3000	1000	4000
14	尘(飘浮) ^③ / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		0.4	4.0	15	20
15	尘(沉降) ^③ / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		350	1000	1000	2000
16	二氧化硫	平均值 ^④ / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	5.0	13	5.0	13
17	硫化氢		3.0	14	3.0	14
18	氯气		0.3	0.6	0.3	0.6
19	氯化氢		1.0	3.0	1.0	3.0
20	氟化氢		0.05	0.1	0.05	0.1
21	氨气		10	35	10	35
22	氧化氮 ^⑤		3.0	10	3.0	10
23	爆炸性气体混合物		有			

① 当使用部门提出低温低于 -20°C 至 -35°C 要求时,在订货时协商确定。

② 相当于海拔1000m,如超过1000m则按GB 755的规定。

③ 不包括易燃、易爆粉尘。

④ 指长期数值的平均值。

⑤ 相当于二氧化氮的值。

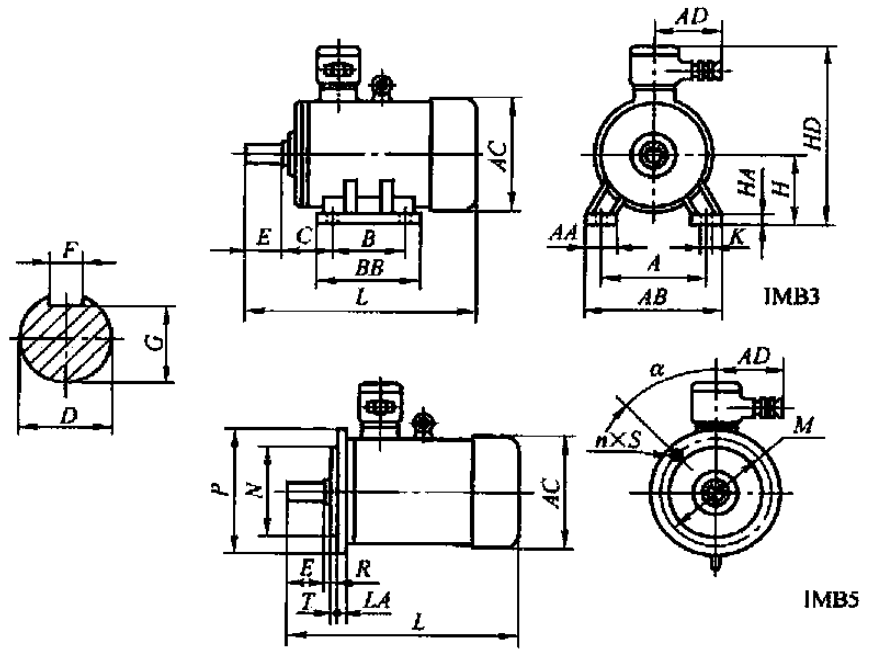
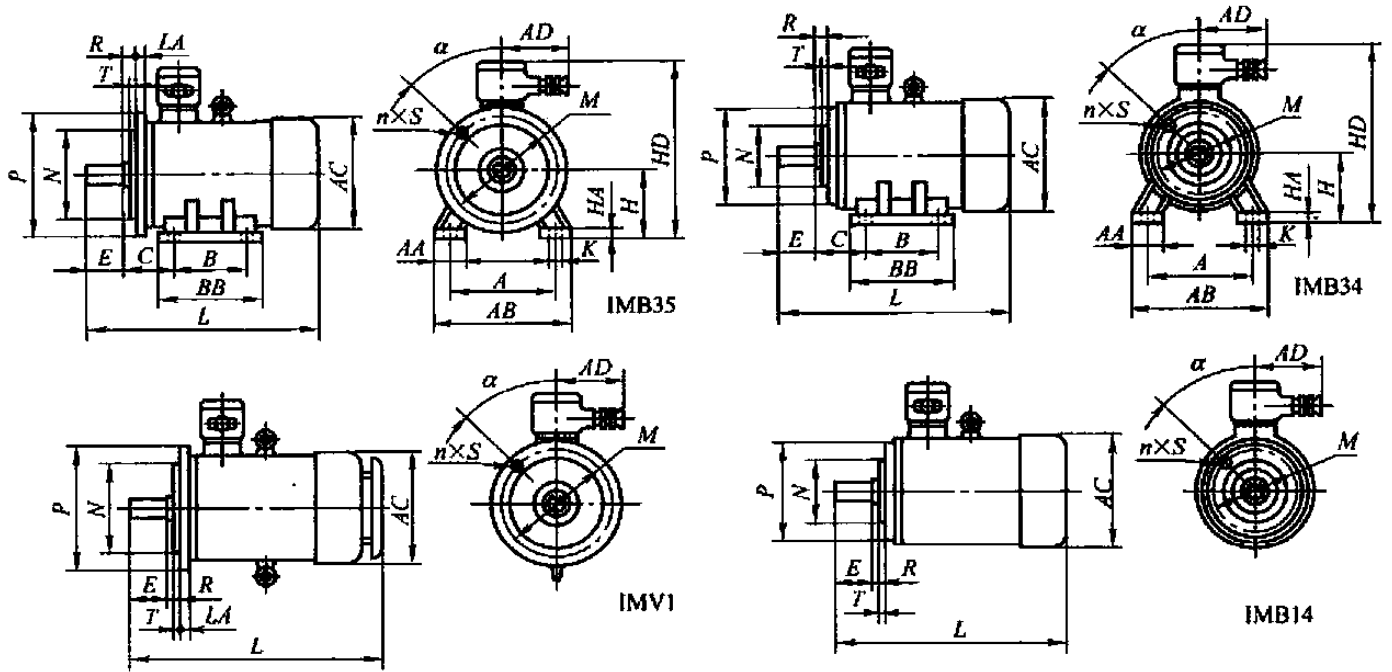


表 17-1-94

机座号			凸 缘																			
	IMB35 IMB5 IMV1	IMB14 IMB34	A	B	C	板 数				H	K	凸 缘										
						2 极		≥4 极		2 极		≥4 极		IMB35、IMB5、IMV1								
						2 极	≥4 极	2 极	≥4 极	2 极	≥4 极	2 极	≥4 极	M	N	P	R	α	n × S	T		
63	FF115	FF75	100	80	40	11		23		4		8.5	63	7	115	95	140	0	45°	4 × φ10	3	
71	FF130	FF85	112	90	45	14		30		5		11	71	7	130	110	160	0	45°	4 × φ10	3	
80	FF165	FF100	125	100	50	19		40		6		15.5	80	10	165	130	200	0	45°	4 × φ12	3.5	
90S	FF165	FF115	140	100	56	24		50		8		20	90	10	165	130	200	0	45°	4 × φ12	3.5	
90L	FF165	FF115	140	125	56	24		50		8		20	90	10	165	130	200	0	45°	4 × φ12	3.5	
100L	FF215	FF130	160	140	63	28		60		8		24	100	12	215	180	250	0	45°	4 × φ15	4	
112M	FF215	FF130	190	140	70	28		60		8		24	112	12	215	180	250	0	45°	4 × φ15	4	
132S	FF265	—	216	140	89	38		80		10		33	132	12	265	230	300	0	45°	4 × φ15	4	
132M	FF265	—	216	178	89	38		80		10		33	132	12	265	230	300	0	45°	4 × φ15	4	
160M	FF300	—	254	210	108	42		110		12		37	160	15	300	250	350	0	45°	4 × φ19	5	
160L	FF300	—	254	254	108	42		110		12		37	160	15	300	250	350	0	45°	4 × φ19	5	
180M	FF300	—	279	241	121	48		110		14		42.5	180	15	300	250	350	0	45°	4 × φ19	5	
180L	FF300	—	279	279	121	48		110		14		42.5	180	15	300	250	350	0	45°	4 × φ19	5	
200L	FF350	—	318	305	133	55		110		16		49	200	19	350	300	400	0	45°	4 × φ19	5	
225S	FF400	—	356	286	149	55	60	110	140	16	18	49	53	225	19	400	350	450	0	22.5°	8 × φ19	5
225M	FF400	—	356	311	149	55	60	110	140	16	18	49	53	225	19	400	350	450	0	22.5°	8 × φ19	5
250M	FF500	—	406	349	168	60	65	140	140	18	18	53	58	250	24	500	450	550	0	22.5°	8 × φ19	5
280S	FF500	—	457	368	190	65	75	140	140	18	20	58	67.5	280	24	500	450	550	0	22.5°	8 × φ19	5
280M	FF500	—	457	419	190	65	75	140	140	18	20	58	67.5	280	24	500	450	550	0	22.5°	8 × φ19	5
315S	FF600	—	508	406	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 × φ24	6
315M	FF600	—	508	457	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 × φ24	6
315L	FF600	—	508	508	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 × φ24	6
355S	FF740	—	610	500	254	75	95	140	170	20	25	67.5	86	355	28	740	680	800	0	22.5°	8 × φ24	6
355M	FF740	—	610	560	254	75	95	140	170	20	25	67.5	86	355	28	740	680	800	0	22.5°	8 × φ24	6
355L	FF740	—	610	630	254	75	95	140	170	20	25	67.5	86	355	28	740	680	800	0	22.5°	8 × φ24	6

注：R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

外形尺寸



mm

尺寸							进线口 管螺纹		AA	AB	AC	AD	BB	HA	HD	LA	L			
IMB14, IMB34							单口	双口									2极		≥4极	
M	N	P	R	α	n × S	T											其他	V1	其他	V1
75	60	90	0	45°	4 × M5	2.5	M24 × 1.5	—	30	130	150	165	110	8	230	10	270	310	270	310
85	70	105	0	45°	4 × M6	2.5	M24 × 1.5	—	32	140	155	165	130	8	240	12	300	340	300	340
100	80	120	0	45°	4 × M6	3	M30 × 2	—	34	165	180	225	135	10	340	15	330	375	330	375
115	95	140	0	45°	4 × M8	3	M30 × 2	—	36	180	205	225	135	14	355	15	360	405	360	405
115	95	140	0	45°	4 × M8	3	M30 × 2	—	36	180	205	225	160	14	355	15	385	430	385	430
130	110	160	0	45°	4 × M8	3.5	M30 × 2	—	40	200	230	225	180	14	380	18	430	485	430	485
130	110	160	0	45°	4 × M8	3.5	M30 × 2	—	50	245	230	225	185	16	400	18	460	520	460	520
—	—	—	—	—	—	—	M30 × 2	—	60	280	270	225	200	18	470	20	515	585	515	585
—	—	—	—	—	—	—	M30 × 2	—	60	280	270	225	240	18	470	20	550	630	550	630
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	330	325	240	270	20	530	20	670	745	670	745
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	330	325	240	314	20	530	20	710	780	710	780
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	355	360	240	325	22	565	20	730	800	730	800
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	355	360	240	365	22	565	20	750	820	750	820
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	70	390	400	290	370	25	645	22	810	885	810	885
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	75	435	450	290	370	28	690	22	—	—	845	915
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	75	435	450	290	395	28	690	22	840	910	870	940
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	80	490	500	350	425	30	770	25	950	1045	950	1045
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	85	545	560	350	450	35	830	25	990	1100	1010	1120
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	85	545	560	350	500	35	830	25	1040	1160	1060	1180
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	132	640	630	480	540	38	1050	28	1330	1450	1360	1480
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	132	640	630	480	590	38	1050	28	1360	1465	1390	1510
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	132	640	630	480	640	38	1050	28	1500	1640	1530	1650
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M72 × 2	150	740	750	480	710	42	1150	30	1520	1660	1570	1720
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M72 × 2	150	740	750	480	770	42	1150	30	1600	1740	1650	1800
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M72 × 2	150	740	750	480	840	42	1150	30	1700	1840	1750	1900

4.7.2 YA 系列增安型三相异步电动机 (摘自 JB/T 9595—1999、JB/T 8972—1999)

表 17-1-95 技术数据 (380V)

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_R /s	启动电流 额定电流 (I_A/I_N)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg
				转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%								功率因数 cosφ
同步转速 3000r/min(2极)													
	YA801-2	T3	0.75	2840	1.8	75.0	0.84	14.5	5.1			0.0042	16
	YA802-2	T3	1.1	2840	2.5	77.0	0.86	10.9	5.0			0.005	17
	YA90S-2	T3	1.5	2840	3.4	78.0	0.85	7.9	5.7	2.2		0.0075	22
	YA90L-2	T3	2.2	2840	4.7	80.5	0.86	6.1	5.9			0.0097	25
	YA100L-2	T3	3	2880	6.4	82.0	0.87	—	6.8			0.0174	34
	YA112M-2	T3	4	2890	8.2	85.5	0.87	6.7	7.2			0.0303	45
	YA132S1-2	T3	5.5	2900	10.7	85.5	0.88	9.81	6.8			0.0631	66
	YA132S2-2	T3	7.5	2900	14.3	86.2	0.88	7.9	6.8	2.0		0.0733	71
	YA160M1-2	T2	11	2930	21.0	87.2	0.88	9.0	6.3	1.8		0.205	121
	YA160M2-2	T3	11	2930	21.0	88.0	0.91	18.8	6.5			0.205	121
	YA160M2-2	T2	15	2930	29.0	88.2	0.88	7.4	6.3	1.8	2.2	0.248	131
	YA160L-2	T3	15	2930	28.6	89.0	0.91	15.4	6.4	2.0		0.248	131
	YA160L-2	T2	18.5	2930	35.5	89.0	0.89	13.5	6.6	2.0		0.307	145
	YA180M-2	T3	18.5	2940	34.9	88.5	0.91	9.6	6.1	1.5		0.362	178
	YA180M-2	T2	22	2940	42.2	89.0	0.89	14.1	6.2	2.0		0.366	178
	YA200L1-2	T3	22	2950	41.5	88.5	0.91	12.8	6.0	1.5		0.588	240
	YA200L1-2	T2	30	2950	56.9	90.0	0.89	15.5	6.0	2.0		0.629	240
	YA200L2-2	T3	30	2950	56.0	89.5	0.91	9.9	6.0	1.5		0.721	256
	YA200L2-2	T2	37	2950	69.8	90.5	0.89	11.4	6.8	2.0		0.721	256
	YA255M-2	T3	37	2960	68.3	90.5	0.91	13.4	5.4	1.5		1.2	322

JB/T 9595

续表

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_E /s	启动电流 额定电流 (I_A/I_N)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg	
				转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%								功率因数 cosφ
JB/T 9595	YA225M-2	T2	45	2960	84.0	91.5	0.89	18.8	5.5	2.0	1.278	322		
	YA250M-2	T3	45	2970	83.0	90.5	0.91	9.9	6.5	1.5	1.45	320		
	YA250M-2	T2	55	2970	102.6	91.5	0.89	16.1	5.8	2.0	1.55	400		
	YA280S-2	T3	55	2970	99.0	91.0	0.91	9.6	4.9	1.5	2.8	535		
	YA280S-2	T2	75	2970	140.0	91.0	0.91	13.8	6.0	1.9	2.87	535		
	YA280M-2	T3	75	2970	137.0	91.0	0.91	6.6	4.5	1.5	2.85	620		
	YA280M-2	T2	90	2970	163.0	91.5	0.91	11.5	6.2	1.9	3.3	590		
	YA315S1-2	T2	90	2970	168.0	92.5	0.88	42.3	6.7	1.1	7.5	1000		
	YB315S2-2	T3	90	2970	168.0	92.5	0.88	17.0	6.7	1.2	7.5	1000		
	YA315S2-2	T2	110	2970	205.3	92.5	0.88	38.7	6.2	1.1	7.5	1040		
	YA315M-2	T3	110	2980	205.3	92.5	0.88	17.9	6.3	1.2	7.5	1400		
	YA315M-2	T2	132	2980	242.3	93.0	0.89	35.2	6.4	1.1	8	1400		
	YA315L-2	T3	132	2980	242.3	93.0	0.89	16.5	6.6	1.2	8.5	1650		
	YA315L-2	T2	160	2980	292.0	93.5	0.89	43.1	6.6	1.1	9.5	1650		
	YA355M1-2	T3	160	2980	292.2	93.5	0.89	9.9	6.0	1.2	9.8	1540		
	YA355M1-2	T2	185	2980	339.6	93.0	0.89	21.8	6.6	1.1	9.9	1540		
YA355M2-2	T3	185	2980	337.8	93.5	0.89	8.6	6.1	1.2	10	1610			
YA355M2-2	T2	200	2980	365.3	93.5	0.89	21.2	5.7	1.1	12	1610			
YA355L1-2	T3	200	2980	365.3	93.5	0.89	8.2	6.4	1.2	12	1850			
YA355L1-2	T2	220	2980	395.1	94.0	0.90	20.2	5.9	1.1	12.2	1850			
YA355L2-2	T3	220	2980	395.1	94.0	0.90	9.7	5.3	1.2	12.2	1970			
YA355L2-2	T2	250	2980	449.0	94.0	0.90	17.2	6.4	1.1	12.5	1970			
YA400L1-2	T3	250	2980	449.0	94.0	0.90								
YA400L1-2	T2	280	2980	500.2	94.5	0.90								
YA400L2-2	T3	280	2980	500.2	94.5	0.90								
YA400L2-2	T2	315	2980	559.7	95.0	0.90								
YA400L3-2	T3	315	2980	559.7	95.0	0.90								

JB/T 9972

续表

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_k /s	启动电流 额定电流 (I_A/I_N)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg	
				转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%								功率因数 cosφ
同步转速 1500r/min(4极)														
	YA80L-4	T3	0.55	1400	1.6	73.0	0.74	18.1	4.1	6.0	0.006	18		
	YA802-4	T3	0.75	1400	2.1	74.5	0.74	14.5	4.3	6.0	0.0077	18		
	YA90S-4	T3	1.1	1400	2.8	77.5	0.76	10.6	4.8	6.5	0.012	22		
	YA90L-4	T3	1.5	1400	3.7	78.5	0.78	9.5	4.9	6.5	0.06	27		
	YA100L1-4	T3	2.2	1400	5.1	81.0	0.81	9.9	5.6	2.2	0.031	33		
	YA100L2-4	T3	3.0	1425	6.9	82.5	0.80	6.6	6.5	2.2	0.039	38		
	YA112M-4	T3	4.0	1425	8.9	84.5	0.81	6.7	6.8	2.2	0.069	49		
	YA132S-4	T3	5.5	1440	11.4	85.5	0.83	9.0	6.4	2.2	0.113	67		
	YA132M-4	T3	7.5	1440	15.2	87.0	0.84	8.2	6.6	2.2	0.167	80		
	YA160M2-4	T3	11	1440	22.6	88.0	0.84	8.2	6.0	1.9	0.396	126		
	YA160L-4	T3	15	1440	30.0	88.5	0.85	6.8	6.2	1.9	0.496	139		
	YA180M-4	T2	18.5	1440	35.9	81.0	0.86	18.4	6.8	2.0	0.706	80		
	YA180L-4	T3	18.5	1470	35.7	80.5	0.87	9.9	6.0	2.0	0.706	198		
	YA180L-4	T2	22	1470	42.5	81.5	0.86	16.8	6.8	2.0	0.75	198		
	YA200L-4	T3	22	1470	42.5	81.5	0.86	10.9	6.3	1.9	1.2	258		
	YA200L-4	T2	30	1470	56.8	82.2	0.87	18.0	6.5	2.0	1.3	258		
	YA225S-4	T3	30	1480	57.2	91.2	0.87	11.3	6.1	1.9	2.4	308		
	YA225S-4	T2	37	1470	70.4	91.8	0.87	22.0	6.1	1.9	2.18	303		
	YA225M-4	T3	37	1480	69.8	91.5	0.88	10.8	5.7	1.8	2.5	338		
	YA225M-4	T2	45	1480	74.2	92.5	0.88	20.3	5.9	1.9	2.4	338		
	YA250M-4	T3	45	1480	84.4	92.0	0.88	14.0	5.8	1.7	3.5	425		
	YA250M-4	T2	55	1480	102.5	92.5	0.88	16.3	6.4	2.0	3.35	425		
	YA280S-4	T3	55	1480	100.0	92.2	0.90	12.1	5.8	1.7	5.95	565		
	YA280S-4	T2	75	1480	138.0	92.1	0.88	20.4	6.0	1.9	5.95	565		
	YA280M-4	T3	75	1480	135.0	93.0	0.88	9.2	6.4	1.7	6.2	667		
	YA280M-4	T2	90	1480	163.0	93.5	0.89	17.7	6.7	1.9	6.2	667		

JB/T 9595

续表

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_c /s	启动电流 额定电流 (I_A/I_N)	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	转动惯量 /kg·m ²	质量 /kg	
				转速 /r·min ⁻¹	电流 /A	效率 /%								功率因数 cosφ
JB/T 8972	YA315S2-4	T3	90	1485	167.1	93.0	0.88	10.9	6.9	1.0	10.8	1000		
	YA315S2-4	T2	110	1485	204.2	93.0	0.88	23.5	6.4	0.9	11.2	1000		
	YA315M-4	T3	110	1485	204.2	93.0	0.89	10.8	6.7	1.0	11.9	1100		
	YA315M-4	T2	132	1485	242.3	93.0	0.89	22.8	6.6	0.9	12	1100		
	YA315L-4	T3	132	1485	242.3	93.0	0.89	10.9	6.9	1.0	12.5	1450		
	YA315L-4	T2	160	1485	292.1	93.5	0.89	21.9	6.7	0.9	12.5	1450		
	YA355M1-4	T3	160	1485	292.1	93.5	0.89	10.7	5.9	1.0	14	1530		
	YA355M1-4	T2	185	1485	337.7	93.5	0.89	26.4	5.1	0.9	14	1530		
	YA355M2-4	T3	185	1485	337.7	93.5	0.89	9.7	6.1	1.0	14	1828		
	YA355M2-4	T2	200	1485	365.2	93.5	0.89	23.8	5.7	0.9	14	1828		
	YA355L1-4	T3	200	1485	365.2	93.5	0.89	9.4	6.2	1.0	14	1828		
	YA355L1-4	T2	220	1485	395.1	94.0	0.90	23.0	5.7	0.8	14	2040		
	YA355L2-4	T3	220	1485	395.1	94.0	0.90	11.5	5.1	0.9	14	2300		
	YA355L2-4	T2	250	1485	448.9	94.0	0.90	22.3	5.8	0.8	14			
	YA400L1-4	T3	250	1485	448.9	94.0	0.90							
	YA400L1-4	T2	280	1485	500.1	94.5	0.90							
	YA400L2-4	T3	280	1485	500.1	94.5	0.90							
	YA400L2-4	T2	315	1485	559.8	95.0	0.90							
	YA400L3-4	T3	315	1485	559.8	95.0	0.90							
	JB/T 9595	YA90S-6		0.75	910	2.3	72.0	0.70	22.3	3.7		0.017	23	
YA90L-6			1.1	910	3.2	73.0	0.72	18.8	3.6		0.02	25		
YA100L-6			1.5	938	4.2	77.0	0.73	13.1	4.3		0.039	33		
YA112M-6			2.2	940	5.7	80.0	0.73	10.9	4.9		0.068	45		
YA132S-6		T2	3.0	960	7.2	83.0	0.75	15.1	5.7	2.0	0.161	63		
YA132M1-6		T3	4	960	9.3	84.0	0.77	13.0	5.8		0.203	73		
YA132M2-6			5.5	960	12.3	85.3	0.78	12.2	5.6		0.258	80		
YA160M2-6			7.5	970	17.0	86.0	0.77	9.5	5.5	6.5	0.462	121		
YA160L-6			11	970	25.0	87.0	0.77	7.7	5.6		0.615	139		

JB/T 8972

JB/T 9595

续表

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_E /s	启动电流/额定电流 (I_A/I_N)	堵转转矩/额定转矩	堵转电流/额定电流	最大转矩/额定转矩	转动惯量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$	质量/kg
				转速/ $r\cdot\text{min}^{-1}$	电流/A	效率/%								功率因数 $\cos\phi$
JB/T 9595	YA180L-6	T2 T3	15	970	31.4	89.5	0.81	7.8	6.2	1.8	6.5	1.06	185
	YA200L1-6		18.5	970	37.7	89.8	0.83	8.6	6.2	1.8	6.5	1.6	235
	YA200L2-6		22	970	44.6	90.2	0.83	8.1	6.1	1.7	6.5	1.84	250
	YA225M-6		30	970	60.2	90.2	0.84	9.5	6.5	1.8	6.5	2.74	303
	YA250M-6		37	985	72.0	92.9	0.86	11.1	6.0	1.8	6.5	5.05	403
	YA280S-6		45	980	84.0	92.0	0.87	11.8	5.9	1.8	6.5	7.28	540
	YA280M-6		55	980	102.0	92.0	0.87	10.7	5.8	1.8	6.5	8.89	595
	YA315S2-6		75	990	143.2	92.5	0.86	15.6	6.6	1.5	6.5	13	1010
	YA315M-6		90	990	169.9	92.5	0.87	16.7	6.1	1.5	6.5	15.3	1100
	YA315L-6		110	990	207.7	92.5	0.87	13.6	6.7	1.5	6.5	17.8	1200
	YA355M1-6		132	990	246.5	93.5	0.87	14.7	6.5	1.5	6.5	21.7	1690
	YA355M2-6		160	990	298.8	93.5	0.87	14.7	6.4	1.5	6.5	21.7	1800
	YA355L2-6		185	990	345.5	93.5	0.87	14.4	6.4	1.5	6.5	21.7	2120
	YA355L2-6		200	990	373.6	93.5	0.87	14.4	6.4	1.5	6.5	21.7	2120
YA400L1-6	220	990	408.7	94.0	0.87			1.5	6.5	23			
YA400L2-6	250	990	464.4	94.0	0.87			1.5	6.5	23			
JB/T 9595	YA132S-8	T2 T3	2.2	710	5.8	80.5	0.71	19.4	4.4	2.0	5.5	0.12	63
	YA132M-8		3	710	7.8	81.5	0.72	15.9	4.5	2.0	6.0	0.2	79
	YA160M1-8		4	720	10.0	84.0	0.72	13.0	5.1	2.0	6.0	0.36	120
	YA160M2-8		5.5	720	13.3	85.0	0.74	12.6	4.9	2.0	6.0	0.46	131
	YA160L-8		7.5	720	17.7	86.0	0.75	12.0	4.9	2.0	6.0	0.61	140
	YA180L-8		11	730	25.4	86.5	0.76	14.5	5.7	1.7	6.0	1.06	185
	YA200L-8		15	730	34.1	88.0	0.76	12.0	5.1	1.8	6.0	1.6	235
	YA225S-8		18.5	735	41.3	89.5	0.76	13.4	4.9	1.7	6.0	2.28	285
	YA225M-8		22	735	47.6	90.0	0.78	13.0	4.8	1.8	6.0	2.74	303
	YA250M-8		30	740	63.0	90.5	0.80	13.4	5.5	1.8	6.0	5.05	402
	YA280S-8		37	740	76.0	91.0	0.79	12.8	5.5	1.8	6.0	7.28	520
	YA280M-8		45	740	91.0	91.7	0.80	12.2	5.4	1.8	6.0	8.89	592

续表

标准号	型号	温度组别	功率/kW	满载时			t_s /s	启动电流额定值(I_A/I_N)	堵转转矩额定值	堵转电流额定值	最大转矩额定值	转动惯量/ $kg \cdot m^2$	质量/kg
				转速/ $r \cdot min^{-1}$	电流/A	效率/%								功率因数$\cos\phi$
JB/T 8972	YA315S1-8		55	740	113.5	92.0	0.80					13	
	YA315M-8		75	740	154.8	92.0	0.80		6.5			15.3	
	YA315L-8		90	740	185.5	92.0	0.80		1.0			17.8	
	YA355M1-8	T2	110	740	225.8	92.5	0.80	5.7			2.0	21.7	1200
	YA355M2-8	T3	132	740	266.3	93.0	0.81	6.0				21.7	1500
	YA355L1-8		160	740	321.0	93.5	0.81	5.9				21.7	1800
	YA355L2-8		185	740	371.1	93.5	0.81	5.6	0.9			21.7	1995
	YA400L1-8		200	740	401.2	93.5	0.81			6.5		23	
	YA400L2-8		220	740	439.0	94.0	0.81		0.8				
JB/T 8972	YA315S-10		45	580	101.0	91.5	0.74					10.0	920
	YA315M-10		55	580	123	92.0	0.74	16.6				10.0	1100
	YA315L-10	T2	75	580	164	92.5	0.75	15.2	1.3		2.0	10.0	1100
	YA355M-10	T3	90	580	186	93.0	0.77	18.0				11.0	930
	YA355M-10		110	580	228	93.0	0.78	18.0				11.0	1140
	YA355L-10		132	580	272	93.5	0.78					11.0	1200
JB/T 8972	YA315S-2		45	490	5.8	92.0	0.72	20.6				10.0	63
	YA315M-12		55	490	7.8	92.0	0.72	20.0				10.0	79
	YA355M-12	T2	75	490		93.0	0.73		1.2	6.5	2.0	11.0	1140
	YA355M-12	T3	90	490		93.0	0.73					11.0	1450
	YA355L-12		110	490		93.5	0.75	11.4				11.0	1500

注：1. YA 系列电动机防爆标志分为 E、e II T1、E、e II T2、E、e II T3，分别适用于工厂中引燃温度为 T1、T2 和 T3 组的可燃性气体或蒸气与空气形成的爆炸性混合物场所的设备上。电动机在正常运行情况下可避免火花、电弧和危险温度的产生，对于非正常运行情况下，则需借助于外加保护装置，用户应根据 t_s 和 I_A 正确地选用外加电气保护装置。

2. 表中 t_s 和 I_A/I_N 为理论计算值，实际运行数值以铭牌为准。电动机在最高环境温度下达到额定运行最终稳定温升后交流绕组从通过启动电流时计起，各部温度上升至规定的温升限值（T1、T2 时，定子绕组为 145K，转子绕组为 145K；T3 时，定子绕组为 155K，转子表面为 155K）的时间即 t_s 。

3. 电动机主体外壳的防护等级不低于 IP54，接线外壳不低于 IP55；电动机的冷却方法为 IC411；绝缘等级为 F 级；其使用环境条件同 YB2。

4. 可制成户外型 YA-W、户外防腐型 YA-WF1。

5. 本表数据取自南阳防爆集团有限公司的样本，其中转速、电流及转动惯量、质量等不属于标准规定的的数据。

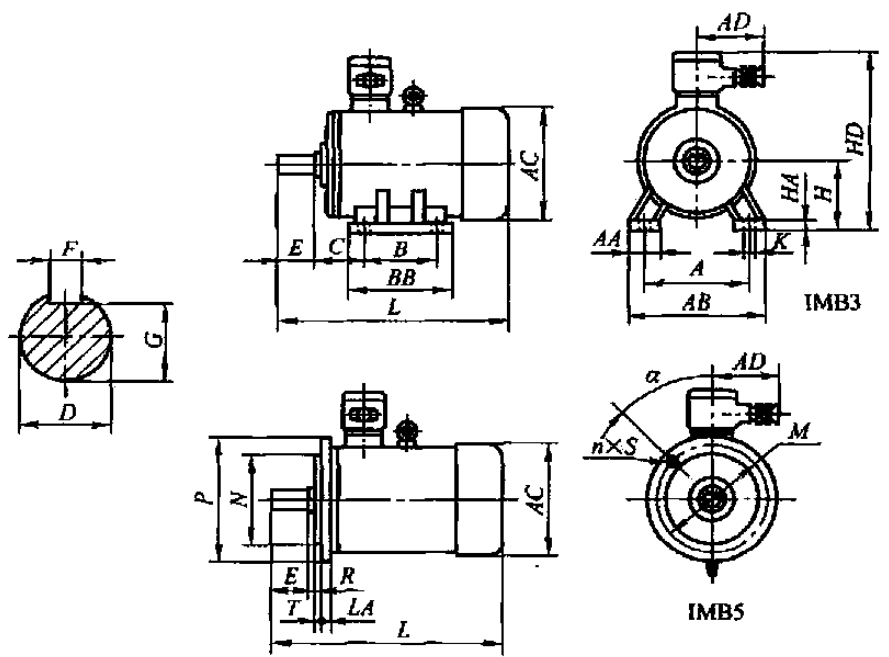
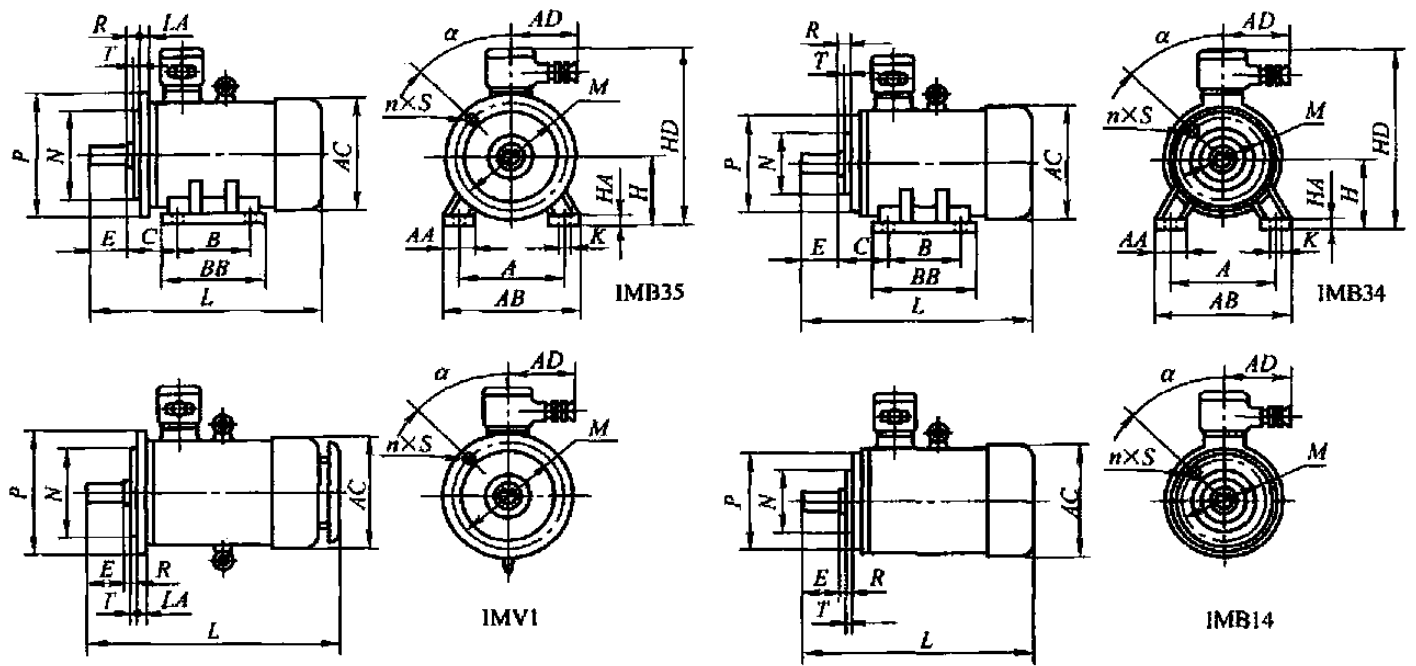


表 17-1-96

机座号			凸 缘										凸 缘									
	IMB35 IMV1	IMB14 IMB34	A	B	C	D		E		F		G		H	K	IMB35、IMB5、IMV1						
						极 数																
						2极	∇4极	2极	∇4极	2极	∇4极	2极	∇4极	2极	∇4极	M	N	P	R	α	n x S	T
80	FF165	FF100	125	100	50	19		40		6		15.5		80	10	165	130	200	0	45°	4 x φ12	3.5
90S	FF165	FF115	140	100	56	24		50		8		20		90	10	165	130	200	0	45°	4 x φ12	3.5
90L	FF165	FF115	140	125	56	24		50		8		20		90	10	165	130	200	0	45°	4 x φ12	3.5
100L	FF215	FF130	160	140	63	28		60		8		24		100	12	215	180	250	0	45°	4 x φ15	4.0
112M	FF215	FF130	190	140	70	28		60		8		24		112	12	215	180	250	0	45°	4 x φ15	4.0
132S	FF265	—	216	140	89	38		80		10		33		132	12	265	230	300	0	45°	4 x φ15	4.0
132M	FF265	—	216	178	89	38		80		10		33		132	12	265	230	300	0	45°	4 x φ15	4.0
160M	FF300	—	254	210	108	42		110		12		37		160	15	300	250	350	0	45°	4 x φ19	5.0
160L	FF300	—	254	254	108	42		110		12		37		160	15	300	250	350	0	45°	4 x φ19	5.0
180M	FF300	—	279	241	121	48		110		14		42.5		180	15	300	250	350	0	45°	4 x φ19	5.0
180L	FF300	—	279	279	121	48		110		14		42.5		180	15	300	250	350	0	45°	4 x φ19	5.0
200L	FF350	—	318	305	133	55		110		16		49		200	19	350	300	400	0	45°	4 x φ19	5.0
225S	FF400	—	356	286	149	55	60	110	140	16	18	49	53	225	19	400	350	450	0	22.5°	8 x φ19	5.0
225M	FF400	—	356	311	149	55	60	110	140	16	18	49	53	225	19	400	350	450	0	22.5°	8 x φ19	5.0
250M	FF500	—	406	349	168	60	65	140	140	18	18	53	58	250	24	500	450	550	0	22.5°	8 x φ19	5.0
280S	FF500	—	457	368	190	65	75	140	140	18	20	58	67.5	280	24	500	450	550	0	22.5°	8 x φ19	5.0
280M	FF500	—	457	419	190	65	75	140	140	18	20	58	67.5	280	24	500	450	550	0	22.5°	8 x φ19	5.0
315S	FF600	—	508	406	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 x φ24	6.0
315M	FF600	—	508	457	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 x φ24	6.0
315L	FF600	—	508	508	216	65	80	140	170	18	22	58	71	315	28	600	550	660	0	22.5°	8 x φ24	6.0
355M	FF740	—	610	560	254	75	95	140	170	20	25	67.5	86	355	28	740	680	800	0	22.5°	8 x φ24	6.0
355L	FF740	—	610	630	254	75	95	140	170	20	25	67.5	86	355	28	740	680	800	0	22.5°	8 x φ24	6.0
400L	FF740	—	686	710	280	80	100	—	210	—	28	—	90	400	35	940	680	1000	0	22.5°	8 x φ28	6.0

注：本系列电动机安装尺寸对于 E_c II T1、E_c II T2 组与 Y 系列相同；对 E_c II T3 组的 2 极电动机从机座号 160 起，4 极电动机从机座号

外形尺寸



mm

尺寸							进线口 管螺纹		AA	AB	AC	AD	BB	HA	HD	LA	L			
IMB14, IMB34							单口	双口									2 极		≥4 极	
M	N	P	R	α	n × S	T											其他	V1	其他	V1
100	80	120	0	45°	4 × M6	3.0	M24 × 1.5	—	34	165	165	155	135	10	230	15	330	375	330	375
115	95	140	0	45°	4 × M8	3.0	M24 × 1.5	—	36	180	180	155	135	14	240	15	360	405	360	405
115	95	140	0	45°	4 × M8	3.0	M24 × 1.5	—	36	180	180	155	160	14	240	15	385	430	385	430
130	110	160	0	45°	4 × M8	3.5	M24 × 1.5	—	40	205	200	155	180	14	270	18	430	485	430	485
130	110	160	0	45°	4 × M8	3.5	M24 × 1.5	—	50	245	225	155	185	16	300	18	460	520	460	520
—	—	—	—	—	—	—	M24 × 1.5	—	60	280	265	155	242	18	340	20	550	630	550	630
—	—	—	—	—	—	—	M24 × 1.5	—	60	280	265	155	242	18	340	20	550	630	550	630
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	330	320	190	275	20	420	20	670	730	655	730
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	330	320	190	320	20	420	20	710	770	695	770
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	355	360	190	325	22	470	20	730	800	730	800
—	—	—	—	—	—	—	M36 × 2	—	70	355	360	190	365	22	470	20	750	820	750	820
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	70	395	400	240	385	25	525	22	810	880	810	880
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	75	435	450	240	375	28	590	22	845	915	845	915
—	—	—	—	—	—	—	M48 × 2	M48 × 2	75	435	450	240	400	28	590	22	870	910	870	940
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	80	490	500	255	430	30	650	25	975	1025	935	1075
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	85	550	560	255	505	35	710	25	1060	1170	1060	1170
—	—	—	—	—	—	—	M64 × 2	M48 × 2	85	550	560	255	505	35	750	25	1080	1170	1060	1170
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	120	630	630	400	525	32	1000	28	1315	1415	1180	1280
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	120	630	630	400	580	32	1000	28	1405	1505	1290	1390
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	120	630	630	400	710	32	1000	28	1525	1625	1410	1510
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	150	760	710	400	700	35	1090	30	1510	1610	1450	1550
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	150	760	710	400	800	35	1090	30	1665	1765	1560	1660
—	—	—	—	—	—	—	M85 × 3	M64 × 2	160	800	800	400	830	38	1160	36	—	—	—	—

180 起, 较 Y 系列电动机降低一功率等级, 其余功率等级的尺寸与 Y 系列尺寸一致。

4.8 小功率电动机

表 17-1-97 YS 系列三相异步电动机技术数据 (220/380V、50Hz) (摘自 JB/T 1009—1991)

代 号			功率 /W	电流 ^① /A	转速 ^① /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩	声功率级 /dB(A)		
机座	铁芯	极数											
45	1	2	16	0.09	2800	46	0.57	2.3	6.0	2.4	65		
	2	2	25	0.12	2800	52	0.60						
	1	4	10	0.12	1400	28	0.45	2.4					
	2	4	16	0.16	1400	32	0.49				60		
50	1	2	40	0.17	2800	55	0.65	2.3	6.0	2.4	65		
	2	2	60	0.23	2800	60	0.66						
	1	4	25	0.17	1400	42	0.53	2.4					
	2	4	40	0.22	1400	50	0.54				60		
56	1	2	90	0.32	2800	62	0.68	2.3	6.0	2.4	70		
	2	2	120	0.38		67	0.71						
	1	4	60	0.28	1400	56	0.58	2.4					
	2	4	90	0.38		58	0.61				65		
63	1	2	180	0.53	2800	69	0.75	2.3	6.0	2.4	70		
	2	2	250	0.67		72	0.78						
	1	4	120	0.48	1400	60	0.63	2.4					
	2	4	180	0.65		64	0.66				65		
71	1	2	370	0.96	2800	73.5	0.8	2.3	6.0	2.4	75		
	2	2	550	1.35		75.5	0.82						
	1	4	250	0.83	1400	67	0.68	2.4					
	2	4	370	1.12		69.5	0.72				70		
	1	6	180			39	0.63	2.0			5.5	2	60
	2	6	250			63	0.64						
	1	8	90			49	0.55	1.8			4.5	1.9	55
	2	8	120			52	0.55						
80	1	2	750	1.75		76.5	0.85	2.2	7.0	2.4	75		
	2	2	1100			77	0.85					78	
	1	4	550	1.55		73.5	0.73	2.3			6.0	2.4	70
	2	4	750	2.01		75.5	0.75						
	1	6	370			68	0.64	2.0			5.5	2.0	65
	2	6	550			71	0.65						
	1	8	180			58	0.55	1.8			4.5	1.9	55
	2	8	250			62	0.56						
90	S	—	2	1500		78	0.85	2.0	7.0	2.4	83		
	L		2	2200		80.5	0.86						
	S		4	1100		78	0.78	2.3			6.5	2.4	73
	L		4	1500		79	0.79							78
	S		6	750		73	0.69	2.0			6.0	2.0	65
	L		6	1100		75	0.71							68
	S		8	370		68	0.60	1.8			4.5	1.9	60
	L		8	550		69	0.62						

① 非标准数据, 仅供参考。

注: 1. 防护等级 IP44, 工作方式 S1, 冷却方法 IC0141 (机座号 63 及以上)、IC0041 (机座号 50 及以下), 绝缘 E 级或 B 级。

2. 生产厂: 上海电机(集团)有限公司革新电机厂, 昆明电工有限责任公司, 广东东莞电机有限公司。

表 17-1-98 YU 系列单相电阻启动异步电动机技术数据 (摘自 JB/T 1010—1991)

代 号			功率 /W	电流 ^① /A	电压 /V	转速 ^① /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	最大转矩 ^① 额定转矩	声功率级 /dB(A)
机座	铁芯	极数										
63	1	2	90	1.09	220	2800	56	0.67	1.5	12	1.8	70
	2	2	120	1.36			58	0.69	1.4			
	1	4	60	1.23		1400	39	0.57	1.7	9		65
	2	4	90	1.64			43	0.58	1.5	12		
71	1	2	180	1.89	220	2800	60	0.72	1.3	17	1.8	70
	2	2	250	2.40			64	0.74	1.1				22
	1	4	120	1.88		1400	50	0.58	1.5	14		65
	2	4	180	2.49			53	0.62	1.4	17		
80	1	2	370	3.36	220	2800	65	0.77	1.1	30	1.8	75
	2	2	550				68	0.79	1.0				42
	1	4	250	3.11		1400	58	0.63	1.2	22		65
	2	4	370	4.24			62	0.64	1.2	30			70
90	S	2	750		220	2800	68	0.80	0.8	55	1.8	75
	L	2	1100					0.80	0.8				90	78
	S	4	550			1400	66	0.69	1.0	42		70
	L	4	750				68	0.73	1.0	55		

① 非标准数据, 仅供参考。

注: 生产厂同表 17-1-97。

表 17-1-99 YC 系列单相电容启动异步电动机技术数据 (220V、50Hz) (摘自 JB/T 1011—1991)

代 号			功率 /W	电流 ^① /A	转速 ^① /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	最大转矩 ^① 额定转矩	声功率级 /dB(A)
机座	铁芯	极数									
71	1	2	180	1.89	2800	60	0.72	3.0	12	1.8	70
	2	2	250	2.40		64	0.74				
	1	4	120	1.88	1400	50	0.58	9	65		
	2	4	180	2.49		53	0.62	12			
80	1	2	370	3.36	2800	65	0.77	2.8	21	1.8	75
	2	2	550	4.65		66	0.79					29
	1	4	250	3.11	1400	58	0.63	15	65		
	2	4	370	4.24		62	0.64	21			70
90	S	2	750	5.94	2800	70	0.80	2.5	37	1.8	75
	L	2	1100			72	0.80					60	78
	S	4	550	5.70	1400	66	0.69	29	70		
	L	4	750	6.77		68	0.73	37			
	S	6	250			54	0.50	20	60		
	L	6	370			58	0.55	25	65		
100L	1	2	1500		2800	74	0.81	2.2	80	1.8	83
	2	2	2200			75	0.81				
	1	4	1100		1400	71	0.74	2.5	60		73
	2	4	1500			73	0.75					80	78
	1	6	550			60	0.60	35	65		
	2	6	750			61	0.62	45			
120M		2	3000		2800	76	0.82	2.2	150	1.8	87
		4	2200		1400	74	0.76		120		78
		6	1100			63	0.65		70		68
132	S	2	3700		2800	77	0.82	2.2	175	1.8	87
		4	3000		1400	75	0.77		150		82
		6	1500			68	0.68		2.0		90	73
	M	4	3700		1400	76	0.79	2.2	175	82	
		6	2200			70	0.76	2.0	130	73	

① 非标准数据, 仅供参考。

注: 1. 防护等级 IP44, 绝缘 E 级或 B 级, 工作方式 S1。

2. 生产厂同表 17-1-97。

表 17-1-100 YY 系列单相电容运转异步电动机技术数据 (220V、50Hz) (摘自 JB/T 1012—1991)

机座	代号		功率 /W	转速 ^① /r·min ⁻¹	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	声功率级 /dB(A)	
	铁芯	极数								
45	1	2	16	2800	35	0.90	0.6	1	65	
	2	2	25		40			1.2		
	1	4	10	1400	24	0.85	0.55	0.8	60	
	2	4	16		33		1			
50	1	2	40	2800	47	0.90	0.5	1.5	65	
	2	2	60		53			2		70
	1	4	25	1400	38	0.85	0.55	1.2	60	
	2	4	40		45		1.5			
56	1	2	90	2800	56	0.92	0.5	2.5	70	
	2	2	120		60			3.5		
	1	4	60	1400	50	0.90	0.45	2	65	
	2	4	90		90		2.5			
63	1	2	180	2800	65	0.92	0.4	5	70	
	2	2	250		66			7		
	1	4	120	1400	57	0.90	0.4	3.5	65	
	2	4	180		59		5			
71	1	2	370	2800	67	0.92	0.35	10	75	
	2	2	550		70			15		
	1	4	250	1400	61	0.92	0.35	7	65	
	2	4	370		62		10	70		
80	1	2	750	2800	72	0.92	0.32	20	75	
	2	2	1100		75			30		78
	1	4	550	1400	64	0.92	0.35	15	70	
	2	4	750		68		0.32	20		
90	S	—	2	1500	2800	76	0.95	0.3	45	83
		—	4	1100	1400	71	0.95	0.32	30	73
	L	—	2	2200	2800	77	0.95	0.3	65	83
		—	4	1500	1400	73	0.95	0.3	45	78

① 非标准数据, 仅供参考。

注: 1. 长期连续运转的负载宜选用 YY 型。

2. 生产厂同表 17-1-97。

YS、YU、YC、YY 系列 IMB35 型电动机安装尺寸及外形尺寸 (摘自 JB/T 1009 ~ 1012—1991)

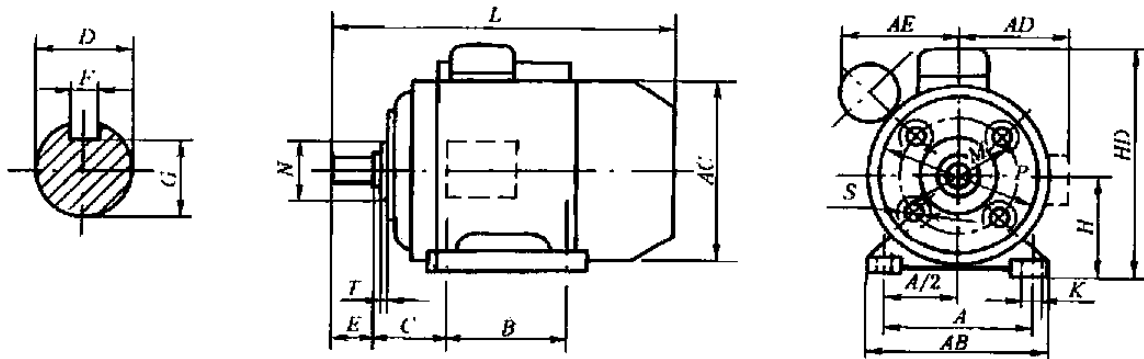


表 17-1-101

机座号	凸缘号	安 装 尺 寸														外 形 尺 寸						
		A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	AE	HD	L
90S	FF165	140	100	56	24	50	8	20	90	10	165	130	200	0	12	3.5	180	185	160	120	220	335
90L			125																			(240)	360
100L	FF215	160	140	63	28	60	24	100	12	215	180	250	0	15	4.0	205	220	180	130	260	430	
112M		190		70				112													245	250	190	140	300	455
132S	FF265	216	178	89	38	80	10	33	132	265	230	300	0	15	4.0	280	290	210	155	350	525	
132M				565																		

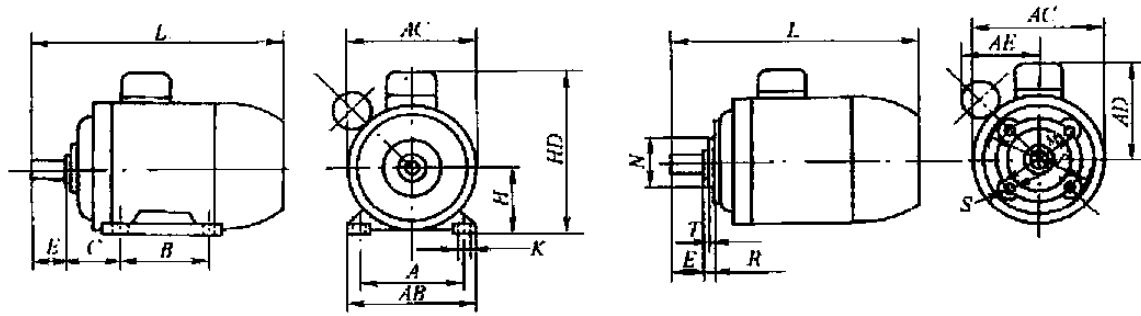
注: 1. YS、YU、YY 系列仅有机座号 90。

2. 括号中 L 和 AE (电容器外侧尺寸) 为 YC 系列的值。

3. 图中虚线表示侧面出线盒。

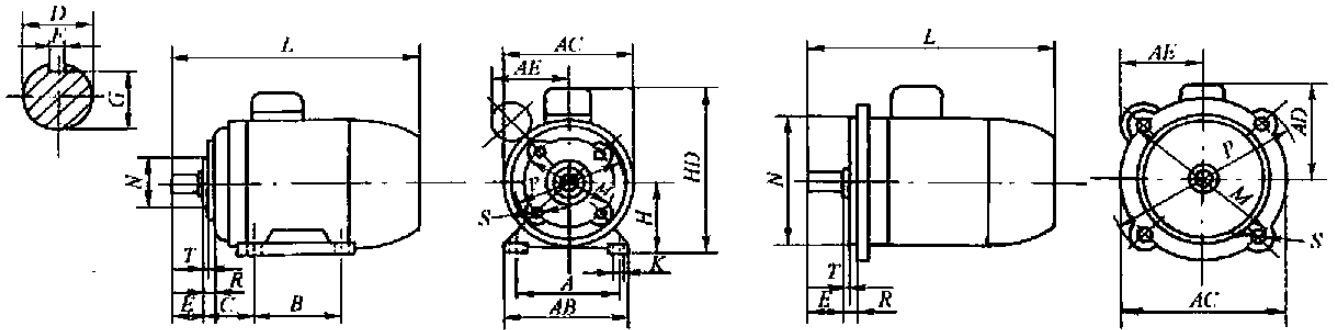
4. R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

YS、YU、YY 系列电动机安装尺寸及外形尺寸



IMB3型(IMV5、IMV6)

IMB14型(IMV18、IMV19)



IMB34型

IMB5型(IMV1、IMV3)

表 17-1-102

mm

机座号	安 装 尺 寸									安 装 尺 寸						外 形 尺 寸 (不 大 于)													
										IMB34、IMB14						IMB5						IMB3、IMB34、IMB14			IMB5				
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	HD	L	AC	AD	L
45	71	56	28	9	20	3	7.2	45	4.8	45	32	60	0	M5	2.5							90	100	90	115	150			
50	80	63	32	9	20	3	7.2	50	5.8	55	40	70	0	M5	2.5							100	110	100	125	155			
56	90	71	36	9	20	3	7.2	56	5.8	65	50	80	0	M5	2.5							115	120	110	135	170			
63	100	80	40	11	23	4	8.5	63	7	75	60	90	0	M5	2.5	115	95	140	0	10	3.0	130	130	125	165	230	130	125	250
71	112	90	45	14	30	5	11	71	7	85	70	105	0	M6	2.5	130	110	160	0	10	3.5	145	145	140	180	255	145	140	275
80	125	100	50	19	40	6	15.5	80	10	100	80	120	0	M6	3.0	165	130	200	0	12	3.5	160	165	150	200	295	165	150	300
90S																										310			335
90L	140	125	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M8	3.0	165	130	200	0	12	3.5	180	185	160	220	335	185	160	360

注：YU 系列为 63 - 90 的机座号。

YC 系列电容启动异步电动机安装尺寸及外形尺寸 (摘自 JB/T 1011—1991)

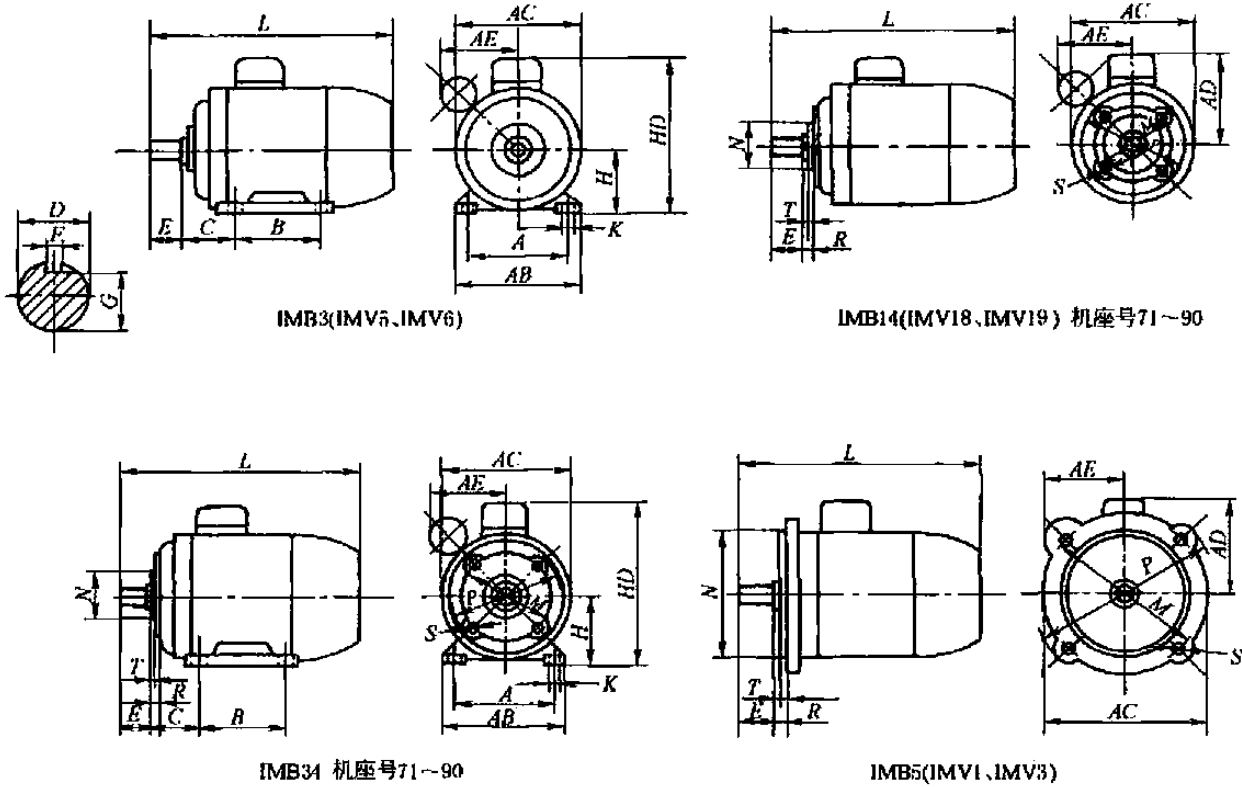


表 17-1-103

mm

机座号	安 装 尺 寸									安 装 尺 寸					
										IMB34, IMB14					
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T
71	112	90	45	14	30	5	11	71	7	85	70	105	0	M6	2.5
80	125	100	50	19	40	6	15.5	80	10	100	80	120			0	M8	3
90S	140		56	24	50	8	20	90		115	95	140			
90L		125													
100L	100	140	63	28	60	14	100	12							
112M	190		70				112								
132S	216	178	89	38	80	10	33	132							
132M															

机座号	安 装 尺 寸						外 形 尺 寸									
	IMB5						IMB3, IMB34					IMB14, IMB5				
	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	AE	HD	L	AC	AD	AE	L
71	130	110	160	0	10	3.5	145	145	140	95	180	255	145	140	93	255
80	165	130	200		12		160	165	150	110	200	295	295	165	150	110	295
90S				180	185	160	120	240	370	185	160	120	370	185	160	120	370
90L	400	400														
100L	215	180	250	0	15	4.0	205	200	180	130	260	430	220	180	130	430
112M							245	250	190	140	300	455	250	190	140	455
132S	265	230	300	0	15	4.0	280	290	210	155	350	525	290	210	155	525
132M												565				565

4.9 YZO 系列振动异步电动机

表 17-1-104

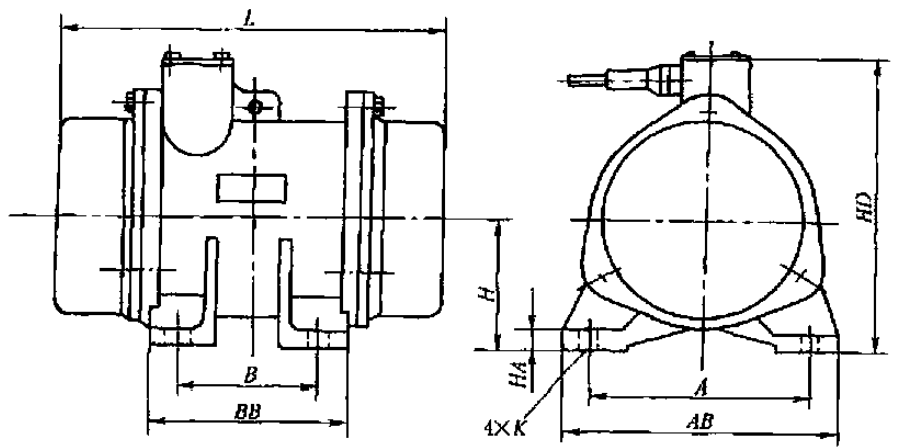
技术数据 (380V)

型号	额定激振力/kN	额定功率/kW	额定电流/A	振动次数/次·min ⁻¹	型号	额定激振力/kN	额定功率/kW	额定电流/A	振动次数/次·min ⁻¹
YZO-1-2	1	0.09	0.32	2900	YZO-100-4A	100	6.3	14.41	1450
YZO-2-2	2	0.18	0.59		YZO-1.5-6	1.5	0.12	0.5	
YZO-3-2	3	0.25	0.78		YZO-3-6	3	0.25	0.99	
YZO-5-2	5	0.37	1.1		YZO-5-6	5	0.37	1.37	
YZO-10-2A	10	0.75	1.96		YZO-6-6	6	0.4	1.4	
YZO-20-2A	20	0.5	3.66		YZO-10-6	10	0.75	2.47	
YZO-30-2A	30	2.2	5.1		YZO-20-6	20	1.5	4.47	
YZO-50-2B	50	3.7	8.47	YZO-30-6	30	2.2	6.22	970	
YZO-2-4	2	0.12	0.47	YZO-50-6A	50	3.7	9.37		
YZO-3-4	3	0.18	0.68	YZO-75-6A	75	5.5	13.6		
YZO-5-4	5	0.25	0.87	YZO-100-6A	100	7.5	18.08		
YZO-8-4	8	0.37	1.18	YZO-140-6A	140	10	23.83		
YZO-10-4	10	0.55	1.76	YZO-5-8	5	0.37	1.73		
YZO-16-4	16	0.75	2.17	YZO-10-8	10	0.75	2.79		720
YZO-17-4	17	0.85	2.2	YZO-20-8	20	1.5	4.93		
YZO-20-4	20	1.1	3.18	YZO-30-8A	30	2.2	6.72		
YZO-30-4	30	1.5	3.8	YZO-50-8A	50	3.7	9.77		
YZO-32-4	32			YZO-75-8A	75	5.5	14.15		
YZO-50-4	50	2.2	5.57	YZO-100-8A	100	7.5	18.55		
YZO-75-4A	75	3.7	8.9	YZO-140-8A	140	10	24.44		

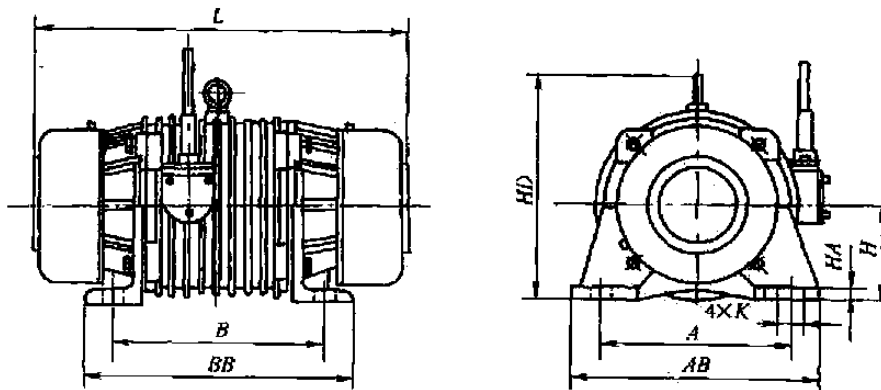
注: 1. 型号中 A 为底脚与端盖相连, B 为底脚与机座相连, 无补充代号为安装尺寸相同, 结构可为 A 或 B。

2. 生产厂: 浙江临海市恒力振动电机厂。

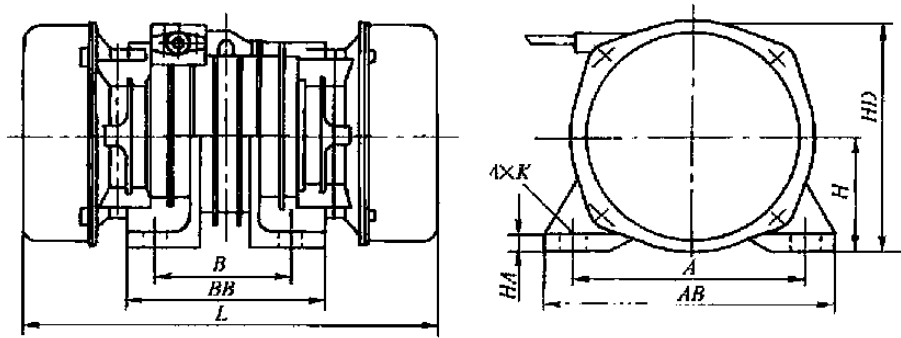
安装及外形尺寸



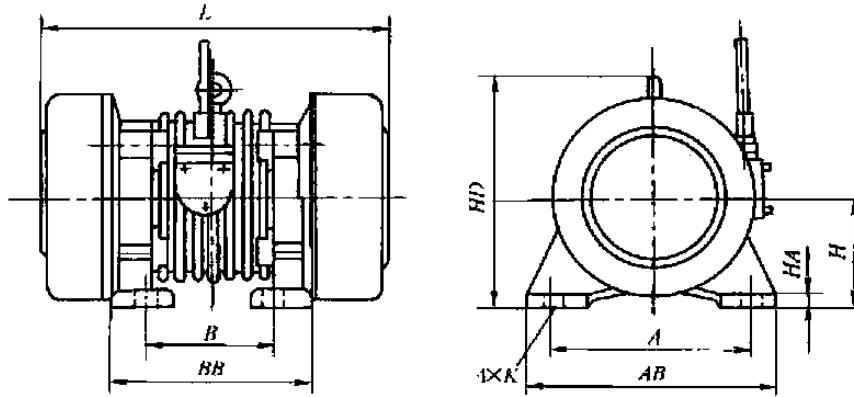
(a) YZO-1~5-2、YZO-2~5-4、YZO-1.5~3-6型



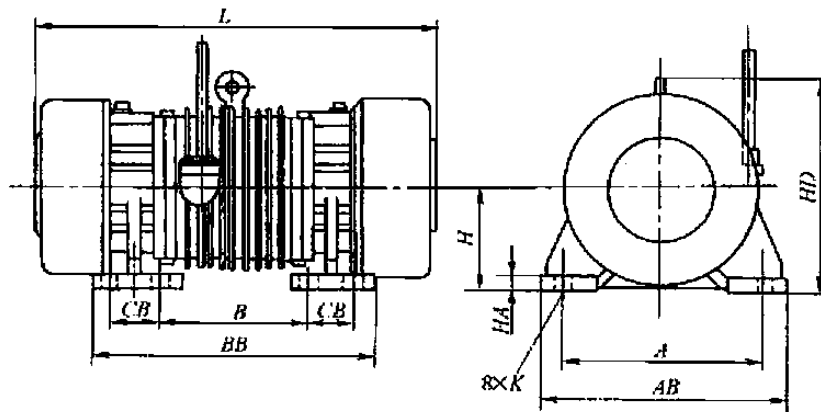
(b) YZO-10~30-2A型



(c) YZO-8~10-1, YZO-17~30-4, YZO-5-6, YZO-10~20-6, YZO-5~10-8型



(d) YZO-50-2B, YZO-16-4, YZO-32~50-4, YZO-75-4A, YZO-6~30-6, YZO-50~75-6A, YZO-20-8, YZO-30~50-8A型



(e) YZO-100-1A, YZO-100~140-6A, YZO-75~140-8A型

表 17-1-105

mm

型 号	安 装 及 外 形 尺 寸										安 装 螺 栓	图 形 代 号	质 量 /kg
	A	B	H	AB	BB	HA	HD	L	CB	K			
YZO-1-2	120	40	63	145	70	10	150	190		10	M8	a	9
YZO-2-2	150	80	90	180	130	12	190	230		12	M10		16
YZO-3-2		90						245		14	M12		20
YZO-5-2	180	110	100	220	150	14	220	310		18	M16	b	26
YZO-10-2A	190	210		240	260	16	240	370		22	M20		45
YZO-20-2A	250	260	130	310	330	20	310	440		26	M24	c	80
YZO-30-2A	290	300	160	360	370	25	385	475		32	M30		120
YZO-50-2B	350	220	190	430	310	33	400	580		39	M36	d	190
YZO-2-4	150	80	90	180	130	12	190	240			12	M10	a	16
YZO-3-4		90						250	14		M12	22	
YZO-5-4	180	110	100	220	150	14	220	315		18	M16	c	30
YZO-8-4	220	140	120	270	215	15	250	380			22		M20	55
YZO-10-4				200	16	400		57					

续表

型 号	安 装 及 外 形 尺 寸										安装 螺栓	图形 代号	质量 /kg	
	A	B	H	AB	BB	HA	HD	L	CB	K				
YZO-16-4	260	150	140	320	240	22	315	420			26	M24	d	90
YZO-17-4	240	140	130	300	210	20	260							
YZO-20-4	260	150	140	320	240	22	300	470			33	M30	d	95
YZO-30-4	310	170	160	380		28	330	490						
YZO-32-4									280	25	340			
YZO-50-4	350	220	180	430	350	30	400	560			39	M36	d	200
YZO-75-4A	380	250	215	480	400	35	460	650					45	M42		290
YZO-100-4A	540	340	260	640	690	40	590	890	130		39	M36	e	650
YZO-1.5-6	150	90	90	180	130	12	190	255			14	M12	a	21
YZO-3-6	180	110	100	220	150	14	220	350					18	M16		35
YZO-5-6	220	140	120	270	200	16	250	400			22	M20	c	60
YZO-6-6						15		410					d	
YZO-10-6	260	150	140	320	240	18	300	450			26	M24	c,d	75
YZO-20-6	310	170	160	380		20	330	530						33	M30		110
YZO-30-6	350	220	180	430	350	30	400	560			39	M36	d	200
YZO-50-6A	380	250	215	480	400	35	460	665						45	M42		300
YZO-75-6A	440	280	240	550	440	40	520	700			52	M48	e	450
YZO-100-6A	540	340	260	640			590	890			130	39		M36		700
YZO-140-6A									960					
YZO-5-8	260	150	140	320	240	18	300	450			26	M24	c	75
YZO-10-8	310	170	160	380		20	330	530						33	M30		120
YZO-20-8	350	220	180	430	350	30	440	600			39	M36	d	200
YZO-30-8A	380	250	215	480	400	35	460	670						45	M42		300
YZO-50-8A	440	280	240	550	440	40	520	700			52	M48	e	450
YZO-75-8A	540	340	260	640	690		590	910			130	30		M36		750
YZO-100-8A	600	370	280	710	770		640	1010			45	M42		860
YZO-140-8A														

4.10 小型盘式制动电动机

4.10.1 YPE 三相异步盘式制动电动机

表 17-1-106

技术数据

型 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	额定 转速 /r·min ⁻¹	工作 方式	制动 力矩 /N·m	转动 惯量 /kg·m ²	效率 /%	功率 因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YPE100S2-4Z	0.1	0.48	1380	S2-30min	1.8	0.012	55	0.58	5	1.8	2.0	8
YPE100-4	0.1	0.48	1380	SI	1.8	0.012	55	0.58	5	1.8	2.0	8
YPE200S2-4Z	0.2	0.85	1380	S2-30min	3.43	0.012	63	0.61	5	1.8	2.0	8
YPE200-4	0.2	0.80	1380	SI	3.43	0.012	63	0.61	5	1.8	2.0	13
YPE400S2-4Z	0.4	1.47	1380	S2-30min	6.86	0.035	68	0.68	5	1.8	2.0	13
YPE400-4	0.4	1.25	1380	SI	6.86	0.035	68	0.68	5	1.8	2.0	14
YPE500S2-4Z	0.5	1.66	1380	S2-30min	6.86	0.04	68	0.68	5	1.8	2.0	14
YPE500-4	0.5	1.46	1380	SI	6.86	0.04	68	0.68	5	1.8	2.0	15
YPE750S2-4Z	0.75	2.6	1380	S2-30min	10.4	0.04	70	0.68	5	1.8	2.0	15
YPE750-4	0.75	2.35	1380	SI	10.4	0.04	70	0.68	5	2.0	2.5	20

型号	额定功率 /kW	额定电流 /A	额定转速 /r·min ⁻¹	工作方式	制动力矩 /N·m	转动惯量 /kg·m ²	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YPE1100S2-4Z	1.1	3.41	1380	S2-30min	15.2	0.137	72	0.68	6	2.0	2.5	21
YPE1500S2-4Z	1.5	4.76	1380	S2-30min	20.8	0.28	73	0.70	6	2.0	2.5	33
YPE2200S2-4Z	2.2	6.8	1380	S2-30min	30.4	0.28	75	0.70	6	2.0	2.5	33
YPE3000S2-4Z	3.0	10.2	1380	S2-30min	41.6	0.28	75	0.70	6	2.0	2.5	34

注：1. 电压 380V，频率 50Hz，绝缘等级 B，防护等级 IP54，冷却方式 IC004，接法 Y。

2. 用于一般机械盘式制动电动机。

3. 生产厂：北京富特盘式电机有限公司。

外形及安装尺寸

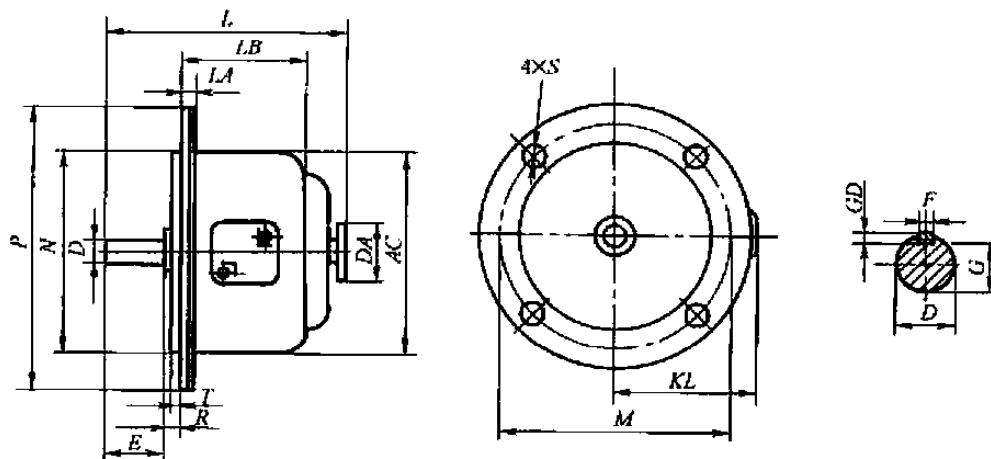


表 17-1-107

mm

型号	安装尺寸											外形尺寸					
	D (j6)	G (h9)	GD (h9)	F	N (h9)	P	M (±0.2)	E	R	S	T	L	LB	LA	AC	DA	KL
YPE100S2-4Z	11	8.5	4	4	130	200	180	23	6	7	3	151	79	13	164	59	131
YPE100-4	11	8.5	4	4	130	200	180	23	6	7	3	151	79	13	164	59	131
YPE200S2-4Z	11	8.5	4	4	130	200	180	23	6	7	3	151	79	13	164	59	131
YPE200-4	11	8.5	4	4	180	235	215	23	6	11	3	156	91	15	196	59	148
YPE400S2-4Z	14	11	5	5	180	235	215	30	6	11	3	163	91	15	196	59	148
YPE400-4	14	11	5	5	180	235	215	30	6	11	3	163	91	15	196	59	148
YPE500S2-4Z	14	11	5	5	180	235	215	30	6	11	3	163	91	15	196	59	148
YPE500-4	14	11	5	5	180	235	215	30	6	11	3	163	93	15	196	59	148
YPE750S2-4Z	19	16	5	5	180	235	215	30	6	11	3	163	93	15	196	59	148
YPE750-4	19	16	5	5	230	290	265	30	6	14	4	190	108	13	233	59	168
YPE1100S2-4Z	19	16	5	5	230	290	265	50	6	14	4	205	108	13	233	59	168
YPE1500S2-4Z	24	20	7	8	250	325	300	50	6	14	5	220	122	15	268	59	183
YPE2200S2-4Z	24	20	7	8	250	325	300	50	6	14	5	220	122	15	268	59	183
YPE3000S2-4Z	24	20	7	8	250	325	300	50	6	14	5	220	122	15	268	59	183

4.10.2 YHHPY 起重用盘式制动电动机

表 17-1-108

技术数据

型号	额定功率 /kW	额定电流 /A	额定转速 /r·min ⁻¹	工作方式	制动力矩 /N·m	转动惯量 /kg·m ²	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YHHPY200-4	0.2	0.85	1380	S4-40%	1.38	0.012	65	0.61	4	2.0	2.0	8
YHHPY400-4	0.4	1.47	1380	S4-40%	2.77	0.035	68	0.68	4.5	2.0	2.0	14
YHHPY800-4	0.8	2.75	1380	S4-25%	5.54	0.04	68	0.68	5	2.0	2.0	16
YHHPY1500-4	1.5	4.7	1380	S4-25%	10.4	0.28	70	0.68	5	2.0	2.5	26
YHHPY2200-4	2.2	6.8	1380	S4-25%	15.2	0.28	73	0.72	5	2.0	2.5	36
YHHPY3000-4	3	10	1380	S4-25%	20.8	0.28	75	0.72	5	2.0	2.5	38

注：1. 电压 380V，频率 50Hz，绝缘等级 B，防护等级 IP54，接法 Y，冷却方式 IC0041。

2. 用于起重用盘式制动电动机。

3. 生产厂：北京富特盘式电机有限公司。

外形及安装尺寸

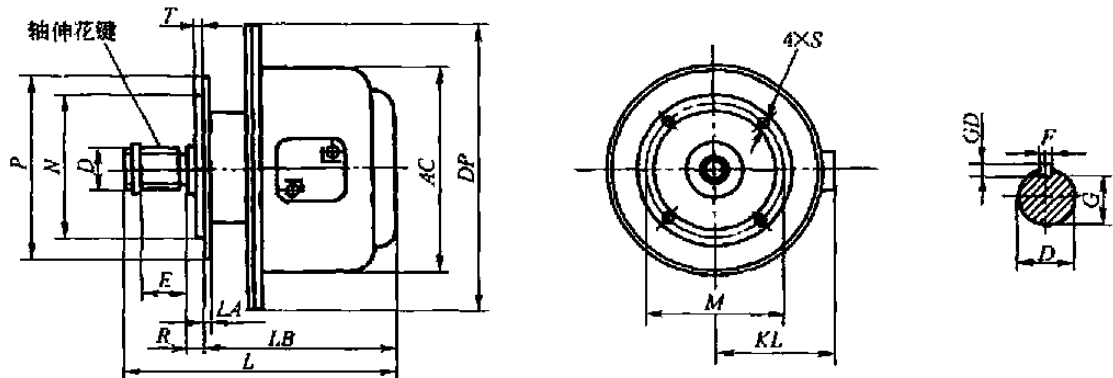


表 17-1-109

mm

型号	安 装 尺 寸											外 形 尺 寸					
	轴伸 (矩形花键)	E	G	GD (h9)	F (h9)	N (h9)	M (±0.2)	P	R	S	LA	T	DP	LB	L	AC	KL
YHHPY200-4	z=36 D=15	22	—	—	—	75	90	110	15	7	8	4	200	116	170	165	131
YHHPY400-4	z=36 D=15	22	—	—	—	75	90	110	15	7	8	4	235	123	178	196	148
YHHPY800-4	z=36 D=18	24	—	—	—	100	120	140	19	9	10	4	235	123	185	196	148
YHHPY200-4	4D-15×12×4																
YHHPY400-4	6D-15×12×4	22	—	—	—	75	90	110	9	9	8	3	190	109	163	165	131
YHHPY800-4	6D-20×16×4																
YHHPY800-4	6D-25×22×6	30	—	—	—	180	200	220	13	12	10	4	235	123	191	196	148
YHHPY800-4	D=19jb	50	16 ⁰ _{-0.1}	5	5	130	160	190	5	12	10	4	235	123	210	196	148
YHHPY1500-4	D=24jb	50	20 ⁰ _{-0.1}	7	8	180	215	240	5	14	12	4	290	165	235	233	168
YHHPY1500-4	6D-25×22×6	30	—	—	—	180	200	220	14	11	12	4	290	165	215	233	168

4.11 直流电机

直流电动机具有下列优点。

① 优良的调速特性,调速平滑、方便,调速范围广,调速比可达 1:200。

② 过载能力大,轧钢用直流电动机短时过转矩可以达到额定转矩的 2.5 倍以上,特殊要求的可以达到 10 倍,并能在低速下连续输出额定转矩。




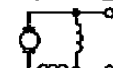

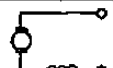
③ 能承受频繁的冲击性负载。

④ 可实现频繁的无级快速启动、制动和反转。

⑤ 能满足生产过程自动系统各种不同的特殊运行要求。

直流电动机缺点是:较交流电动机结构复杂,制造成本高,维护工作量大。

表 17-1-110 直流电动机的特性和用途

励磁方式	永磁	他励	并励	稳定并励 ^①	复励	串励
励磁特征图						
启动转矩	启动转矩约为额定转矩的 2 倍,也可制成为额定转矩的 4-5 倍	由于启动电流一般限制在额定电流的 2.5 倍以内,启动转矩约为额定转矩的 2-2.5 倍,特殊设计的电动机可达 3 倍			启动转矩较大,约为额定转矩的 4 倍,特殊设计的电动机可达 4.5 倍,由复励程度决定	启动转矩很大,可达额定转矩的 5 倍左右
短时过载转矩	一般为额定转矩的 1.5 倍,也可制成为额定转矩的 3.5-4 倍	一般为额定转矩的 1.5 倍,带补偿绕组时,可达额定转矩的 2.5-2.8 倍			比他励、并励电动机为大,可达额定转矩的 3.5 倍左右	可达额定转矩的 4-4.5 倍左右
转速变化率	3% - 15%	5% - 20%			由复励程度决定,可达 25% - 30%	转速变化率很大,空载转速极高
调速范围	转速与电枢电压是线性关系,有较好的调速特性,调速范围较大	削弱磁场恒功率调速,转速比可达 1:2 至 1:4,特殊设计可达 1:8,他励时,可调节电枢电压,恒转矩向下调速范围较宽			削弱磁场调速,可达额定转速的 2 倍	用外接电阻与串励绕组串联或并联;或将串励绕组串联或并联连接起来实现调速。调速范围较宽
用途	自动控制系统中作为执行元件及一般传动动力用,如力矩电动机	用于环境条件较好并要求调速的传动系统,如离心泵、风机、金属切削机床及纺织印染、造纸和印刷机械等			用于要求启动转矩较大,转速变化不大的负载,如拖动空气压缩机及冶金辅助传动机械等	用于要求很大的启动转矩,转速允许有较大变化的负载,如蓄电池供电车、起货机、起锚机、电车、电力传动机车等

① 稳定并励直流电动机的主极励磁绕组由并励绕组和稳定绕组组成。稳定绕组实质上是少量匝数的串励绕组。在并励或他励电动机中采用稳定绕组的目的,在于使转速不至于随负载增加而上升,而是略为降低,亦即使电动机运行稳定。

表 17-1-111 直流发电机的特性和用途

励磁方式	电压变化率		特 性	用 途
永磁	1% - 10%		输出端电压与转速成线性关系	用作测速发电机
他励	5% - 10%		输出端电压随负载电流增加而降低,能调节励磁电流,使输出端电压有较大幅度的变化	常用于电动机-发电机-电动机系统中,实现直流电动机的恒转矩宽调速
并励	20% - 40%		输出端电压随负载电流增加而降低,降低的幅度较他励时为大,其外特性稍软	用于充电、电镀、电解、冶炼等使用直流电源的场合
复励 ^①	积复励	不超过 6%	输出端电压在负载变动时变化较小。电压变化率由复励程度即串、并励的安匝比决定	用于直流电源如汽车起重吊和用柴油机带动的独立电源等
	差复励	较大	输出端电压随负载电流增加而迅速下降,甚至降为零	用于自动舵控制系统中,作为执行直流电动机的电源
串励	—		有负载时,发电机才能输出端电压,输出电压随负载电流增大而上升	用作升压机

① 串励绕组和并励绕组的极性同向的,称积复励;极性反向的,称差复励。通常所称复励直流电机是指积复励。在复励直流发电机中,串励绕组使其空载电压和额定电压相等的,称为平复励;使其空载电压低于额定电压的,称为过复励;使其空载电压高于额定电压的,称为欠复励。根据串励绕组在电机接线中的连接情况,复励直流电机接线有短复励和长复励之分。

4.11.1 Z4 系列直流电动机 (摘自 JB/T 6316—1992)

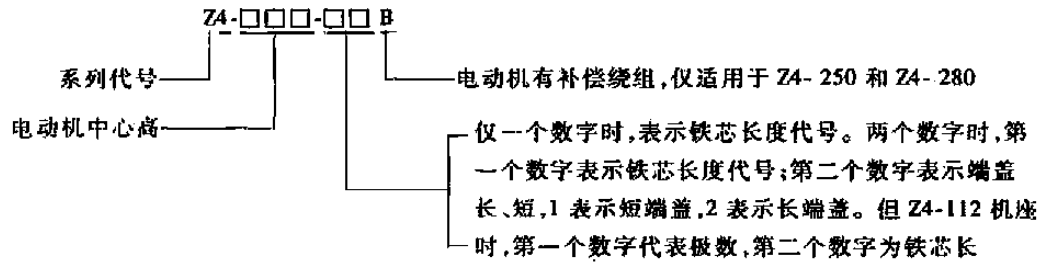


表 17-1-112

技术数据

型 号	额定功率 P_N /kW	额定转速/ $r \cdot \min^{-1}$			弱磁转速 n_F / $r \cdot \min^{-1}$	电枢 电流 I_N /A	励磁 功率 P_F /W	电枢回路 电阻 R (20℃)/Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	外接电感 L_R /mH	效率 /%	转动 惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
		160V	400V	440V										
Z4-100-1	2.2	1490			3000	17.9	315	1.19	11.2	22	15	67.8	0.044	72
	1.5	955			2000	13.3		2.17	21.4	13	15	58.5		
	4		2630		4000	12		2.82	26	18		78.9		
	4			2960	4000	10.7						80.1		
	2		1310		3000	6.6						68.4		
	2.2			1480	3000	6.5						70.6		
	1.4		860		2000	5.1						60.3		
	1.5			990	2000	4.77						63.2		
Z4-112/2-1	3	1540			3000	24	320	0.785	7.1	14	20	69.1	0.072	100
	2.2	975			2000	19.6		1.498	14.1	13	20	62.1		
	5.5		2630		4000	16.4		1.933	17.9	17		79.9		
	5.5			2940	4000	14.7						81.1		
	2.8		1340		3000	9.1		6	59	17		71.2		
	3			1500	3000	8.6						72.8		
	1.9		855		2000	6.9		11.67	110	13		61.1		
	2.2			965	2000	7.1						63.5		
Z4-112/2-2	4	1450			3000	31.3	350	0.567	6.2	14	12	72.6	0.088	107
	3	1070			2000	24.8		0.934	10.3	14	10	66.8		
	7		2660		4000	20.4		1.305	14	19		82.4		
	7.5			2980	4000	19.7						83.5		
	3.7		1320		3000	11.7		4.24	48.5	19		74.1		
	4			1500	3000	11.2						76		
	2.6		895		2000	9		7.62	83	14		65.1		
	3			1010	2000	9.1						67.3		
Z4-112/4-1	5.5	1520			3000	42.5	500	0.38	3.85	6.8	6.5	73	0.128	106
	4	990			2000	33.7		0.741	7.7	6.7	4.5	64.9		
	10		2680		3500	29		0.89	9	6.8		82.7		
	11			2950	3500	28.8						83.3		
	5		1340		1800	15.7		3.01	30.5	6.8		74.3		
	5.5			1480	1800	15.4						75.7		
	3.7		855		1100	13		5.78	60	6.7		65.2		
	4			980	1100	12.2						68.7		
Z4-112/4-2	5.5	1090			2000	43.5	570	0.441	5.1	7.8	6	69.5	0.156	114
	13		2740		3600	37		0.574	6.4	5.8		84.4		
	15			3035	3600	38.6						85.4		
	6.7		1330		1800	20.6		2.12	24.1	7.8		76.8		
	7.5			1480	1800	20.6						78.4		
	5		955		1200	16.1		3.46	40.5	5.8		71.1		
	5.5			1025	1200	15.7						71.9		

续表

型号	额定功率 P_N/kW	额定转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$		弱磁转速 n_F $/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	电枢 电流 I_N/A	励磁 功率 P_F/W	电枢回路 电阻 R (20°C)/ Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_F/H	效率 /%	转动 惯量 $J/\text{kg} \cdot \text{m}^2$	质量 /kg
		400V	440V									
Z4-132-1	18.5	2610		4000	52.2	650	0.368	5.3	6.5	85	0.32	140
	18.5		2850	4000	47.1					85.9		
	10	1330		2100	30.1		79.4					
	11		1480	2200	29.6		80.9					
	7	865		1600	22.7		71.9					
	7.5		975	1600	21.4		74.5					
Z4-132-2	20	2800		3600	55.4	730	0.226	3.65	10	87.8	0.4	160
	22		3090	3600	55.3					88.3		
	15	1360		2500	44.5		81.2					
	15		1510	2500	39.5		83.4					
	10	905		1400	31.1		75.6					
	11		995	1400	30.5		77.7					
Z4-132-3	27	2720		3600	74.5	800	0.1905	3.4	21	88.2	0.48	180
	30		3000	3600	75					88.6		
	18.5	1390		2100	53.2		83.6					
	18.5		1540	2200	47.6		84.7					
	13.5	945		1600	40.5		79.4					
	15		1050	1600	40.5		80.5					
Z4-160-11	33	2710		3500	93.4	820	0.1835	3.15	10	87.4	0.64	220
	37		3000							88.5		
	19.5	1350		3000	58.8		0.593	10.4	7.7	80.4		
	22		1500							82.6		
Z4-160-22	40.5	2710		3500	113	920	0.1426	2.7	10	88.2	0.76	242
	45		3000							89.1		
	16.5	900		2000	50.5		0.862	17.7	6	77.9		
	18.5		1000							79.4		
Z4-160-32	49.5	2710		3500	137	1050	0.097	2.07	11	89.1	0.88	268
	55		3010							90.2		
	27	1350		3000	77.8		0.376	8.3	10	84.7		
	30		1500							85.7		
	19.5	900		2000	59.1		0.675	15.2	6.3	79.1		
	22		1000							81.7		
Z4-180-11	33	1350		3000	95.4	1200	0.29	5.8	7.1	84.7	1.52	326
	37		1500							86.5		
	16.5	670		1900	51.4		0.947	17.6	5.6	75.5		
	18.5		750							78.1		
	13	540		1400	42.4		1.264	25	5.6	73		
	15		600							74.1		

续表

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 $r \cdot \text{min}^{-1}$		弱磁转速 n_F $r \cdot \text{min}^{-1}$	电枢 电流 I_N /A	励磁 功率 P_F /W	电枢回路 电阻 R (20°C)/Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
		400V	440V									
Z4-180-21	22	67	2710	3400	185	1400	0.0555	1.16	6.9	89.5	1.72	350
		75	3000							90.7		
	21	40.5	1350	2800	115		0.2125	4.65	6.6	85.8		
		45	1500							87		
	21	27	900	2000	79		0.419	9.3	7.3	82.2		
		30	1000							83.7		
	21	19.5	670	1400	61		0.756	15.7	7.1	77.3		
		22	750							79.7		
	21	16.5	540	1600	52		1.003	21.9	5	73.8		
		18.5	600							76.8		
Z4-180-31	33	900	2000	97	1500	0.332	7.7	6.6	82.8	1.92	380	
		37							1000			83.6
	22	19.5	540	1250		62	0.801	19	6.6			74.8
		22	600									76.6
Z4-180-41	42	81	2710	3200	221	1700	0.051	1.16	12	91	2.2	410
		90	3000							91.3		
	41	50	1350	3000	139		0.1417	3.2	5.7	87.5		
		55	1500							87.7		
	41	27	670	2000	80		0.459	10.4	6.3	80.4		
		30	750							81.1		
Z4-200-	12	99	2710	3000	271	1400	0.0373	0.83	7.62	90.2	3.68	485
		110	3000							91.6		
	11	40.5	900	2000	118		0.2653	8.4	7.01	83.4		
		45	1000							85.5		
	11	33	670	1600	99		0.369	10.6	7.77	80.2		
		37	750							82.9		
	11	19.5	450	1000	64		0.93	21.9	7.3	72.2		
		22	500							77.4		
Z4-200-	21	67	1350	3000	188	1500	0.0885	2.8	6.78	88.7	4.2	530
		75	1500							89.6		
	21	27	540	1000	82		0.535	14	9.64	78.8		
		30	600							80.4		
Z4-200-31	32	119	2710	3200	322	1750	0.0266	0.79	10.9	91.7	4.8	580
		132	3000							92.4		
	31	81	1350	2800	224		0.0771	2.6	5.61	88.7		
		90	1500							90		
	31	49.5	900	2000	141		0.1751	4.8	8.54	85.6		
		55	1000							87.1		

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 n $/r \cdot \min^{-1}$		弱磁转速 n_F $/r \cdot \min^{-1}$	电枢电流 I_N /A	励磁功率 P_F /W	电枢回路电阻 R (20℃)/ Ω	电枢回路电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg	
		400V	440V										
31 Z4-200-31	40.5	670		1400	119	1750	0.283	8.5	8.35	82.5	4.8	580	
	45	750								84.1			
	33	540		1200	101		0.42	12.2	8.42	79.6			
	37	600								82			
	31	27	450		750		84	0.598	17.1	8.4			77.5
		30	500										79.5
Z4-225-11	99	1360		3000	276	2300	0.0664	2.1	4.45	87.9	5	680	
	110		1500							89.4			
	67	900		2000	193		0.1406	4.9	4.28	84.4			
	75		1000							86.5			
	49	680		1300	146		0.2433	8.7	5.77	81.2			
	55		750							84			
	40	540		1200	123		0.356	9.5	6.38	78.2			
	45		600							80.8			
	33	450		1000	103		0.476	15.2	6.1	76.5			
	37		500							78.8			
Z4-225-21	49	540		1000	148	2470	0.2648	9.5	4.14	79.3	5.6	740	
	55		600							82.4			
	40	450		1000	125		0.397	13.7	5.41	76.6			
	45		500							78.9			
Z4-225-31	119	1360		2400	327	2580	0.0454	1.5	5.33	89.3	6.2	800	
	132		1500							90.5			
	81	900		2000	227		0.093	3.4	5.3	86.9			
	90		1000							88			
	67	680		2250	197		0.167	5.1	5.44	82.5			
	75		750							85.1			
12 Z4-250- 11	144	1360		2100	399	2500	0.0444	1.3	4.29	88.8	8.8	890	
	160		1500							89.9			
	99	900		2000	281		0.0911	2.4	4.55	86.2			
	110		1000							88.1			
Z4-250-21	167	1360		2200	459	2750	0.0325	0.91	4.28	89.8	10	970	
	185		1500							90.5			
	81	680		2250	234		0.1306	3.9	5.41	83.2			
	90		750							85.2			

续表

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 $r \cdot \text{min}^{-1}$		弱磁转速 n_F $r \cdot \text{min}^{-1}$	电枢电流 I_N /A	励磁功率 P_F /W	电枢回路电阻 R (20°C)/ Ω	电枢回路电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
		400V	440V									
Z4-250-31	180	1360		2400	493	2850	0.0281	0.87	5.32	90.4	11.2	1070
	200		1500							91.5		
	119	900		2000	334		0.0668	1.7	5.46	87.4		
	132		1000							89.1		
	67	540		2000	204		0.202	4	4	80.8		
	75		600							84.6		
	49	450		1500	152		0.305	7.3	5.1	78.5		
	55		500							82.4		
Z4-250-41	198	1360		2400	539	3000	0.0237	0.93	6.19	91	12.8	1180
	220		1500							91.7		
	144	900		2000	401		0.0485	1.9	4.53	88		
	160		1000							89.2		
	99	680		1900	283		0.102	2.6	5.3	85.8		
	110		750							87.4		
	81	540		1600	236		0.141	4.7	6.36	83.4		
	90		600							85		
	67	450		1500	201		0.195	5.1	4.97	80		
	75		500							83.4		
Z4-280-11	226	1355		2000	614	3100	0.02134	0.69	4.58	90.9	16.4	1280
	250		1500							91.6		
Z4-280-	253	1355		1800	684	3500	0.01796	0.77	5.3	91.5	18.4	1400
	280		1500							92.1		
	180	900		2000	498		0.0373	1.2	4.46	89.1		
	200		1000							90.1		
	119	675		1600	333		0.0662	2.3	4.37	87.1		
	132		750							88.6		
	99	540		1500	281		0.093	3.1	4.57	84.7		
	110		600							86		
Z4-280-32	284	1360		1800	768	3600	0.01493	0.59	6.94	91.7	21.2	1550
	315		1500							92.6		
	198	900		2000	545		0.0314	1.1	5.54	89.7		
	220		1000							90.6		
	144	675		1700	402		0.0532	2	5.47	87.8		
	160		750							89.1		
	118	540		1000	339		0.0839	2.6	5.77	85.4		
	132		600							86.8		
	80	450		1400	234		0.1377	5.3	9.03	84.1		
	90		500							85.4		

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 n $/r \cdot \min^{-1}$		弱磁转速 n_F $/r \cdot \min^{-1}$	电枢电流 I_N /A	励磁功率 P_F /W	电枢回路电阻 R (20℃)/ Ω	电枢回路电感 L_A /mH	磁场电感 L_f /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg				
		400V	440V													
Z4-280-41	42	225	900	1800	616	4000	0.02545	0.96	5.29	90.2	24	1700				
		250	1000							91.1						
	41	166	675	1900	464		0.0457	1.7	5.19	88.1						
			185							750			89.4			
	41	98	450	1000	282		0.0993	3.7	6.86	85.1						
			110							500			86.9			
Z4-315-	12	321	1360	1800	865	3850	0.015	0.39	8.64	92.2	21.2	1890				
			355							1500			92.8			
	12	253	900	1600	690		0.02355	0.46	5.06	90.4						
			280							1000			91.6			
	12	180	680	1900	500		0.04371	0.83	4.97	88.4						
			200							750			89.4			
	11	144	540	1900	409		0.06919	1.3	7.6	86.4						
			160							600			87.4			
	11	118	450	1600	344		0.1	2.3	9.43	84.4						
			132							500			86.3			
	11	98	360	1200	294		0.1415	2.9	9.96	81.7						
			110							400			84.3			
	Z4-315-	22	284	900	1600		772	4350	0.02034	0.49			5.91	91	24	2080
				315										1000			91.5
22		225	680	1600	624	0.03392	0.74		18.8	88.7						
			250							750	89.6					
21		166	540	1600	468	0.05382	1.2		25	87.2						
			185							600	88.5					
21	143	450	1500	413	0.076	1.5	19	84.7								
		160						500	86							
Z4-315-	32	320	900	1600	867	4650	0.01658	0.39	23.1	91	27.2	2290				
			355							1000			92			
	32	252	680	1600	698		0.03043	0.82	21.5	89.1						
			280							750			89.8			
	32	180	540	1500	501		0.04536	0.95	31.6	88.2						
			200							600			89.4			
	31	118	360	1200	344		0.1002	2.1	23.3	83.2						
			132							400			85.3			
Z4-315-42	42	361	900	1400	971	5200	0.01302	0.33	29	92.1	30.8	2520				
			400							1000			92.7			
	41	284	680	1600	778		0.02364	0.67	20.8	90						
			315							750			90.7			

续表

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 n $/r \cdot \min^{-1}$		弱磁转速 n_F $/r \cdot \min^{-1}$	电枢 电流 I_N /A	励磁 功率 P_F /W	电枢回路 电阻 R (20℃)/Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg				
		400V	440V													
Z4-315-41	225	540		1600	626	5200	0.03554	0.87	21.9	88.3	30.8	2520				
	250		600							89						
	166	450		1500	468		0.055	1.4	37.4	87.3						
	185		500							88.3						
	41	143	360		1200		416	0.0803	1.8	22.2			84			
		160		400									85.3			
Z4-355-11	406	900		1500	1094	4700	0.01259	0.36	37.6	91.8	42	2890				
	450		1000							92.8						
	12	321	680		1500		877	0.02087	0.59	28.1			90.4			
		355		750									91.2			
	11	253	540		1500		697	0.02952	0.91	22			89.2			
		280		600									90.2			
	11	180	450		1500		506	0.0502	1.5	8.91			87.6			
		200		500									88.9			
	11	166	360		1200		478	0.066	1.8	22.4			84.9			
		185		400									85.9			
	Z4-355-	361	680		1600		978	5600	0.01583	0.44			15.6	90.8	46	3170
		400		750										91.7		
22		284	540		1500	783	0.02676		0.81	34.7	89.5					
		315		600							90.5					
22		225	450		1600	624	0.03462		1	20.5	88.4					
		250		500							89.5					
21		180	360		1200	511	0.05642		1.6	35.5	86.3					
		200		400							87.5					
Z4-355-	406	680		1100	1098	6000	0.01362	0.39	19	91.3	52	3490				
	450		750							92.1						
	32	320	540		1600		877	0.02153	0.7	24.3			89.9			
		355		600									91			
	32	284	450		1500		789	0.0293	0.91	18.5			88.3			
		315		500									89.5			
	31	197	360		1200		559	0.04957	1.3	34.6			86.6			
		220		400									88.4			
Z4-355-42	361	540		1300	985	6500	0.01836	0.64	29.6	90.5	60	3840				
	400		600							91.2						
	320	320	450		1200		882	0.02361	0.76	17.7			88.9			
		355		500									89.2			
	225	225	360		1200		627	0.0358	1.2	17.7			87.5			
		250		400									88.8			

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 n $/r \cdot \min^{-1}$		弱磁转速 n_F $/r \cdot \min^{-1}$	电枢 电流 I_N /A	励磁 功率 P_F /W	电枢回路 电阻 R (20℃)/Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_f /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg	
		400V	440V										
Z4-400-21	22	435	680	1400	1175	5700	0.0139	0.33	7.85	90.8	74	4500	
		480	750							92			
		235	360	1200	675		0.0497	1	7.3	84.8			
		260	400							86.3			
		180	270	900	537		0.0804	1.6	7.44	81.8			
		200	300							83.1			
Z4-400-32	32	500	680	1400	1340	6400	0.0112	0.3	9.57	91.2	84	4900	
		550	750							92.5			
	32	400	540	1300	1083		0.0162	0.35	4.51	89.9			
		440	600							91.1			
		344	450	1300	952		0.0248	0.58	6	88.1			
		380	500							89.5			
		270	360	1200	768	0.03821	0.82	6.11	86				
		300	400						87.5				
		208	270	900	611	0.0659	1.5	5.89	82.8				
		230	300						84				
	Z4-400-	42	435	540	1300	1175	7100	0.0134	0.32	5.54	90.8	94	5300
			480	600							92		
42		390	450	1400	1070	0.0201		0.47	6.86	88.6			
		430	500							90			
		316	360	1200	880	0.0274		0.73	5.41	87.7			
		350	400							89			
		235	270	900	676	0.0508	1.2	5.38	84				
		260	300						85.4				
Z4-450-	22	472	540	1200	1286	6500	0.0133	0.29	10.2	90.8	138	5600	
		520	600							92.1			
	22	408	450	1400	1114		0.0159	0.41	7.99	90			
		450	500							91.3			
		362	360	1200	1010		0.0232	0.61	5.79	88.1			
		400	400							89.4			
		253	270	900	720	0.0415	1	5.82	85.8				
		280	300						87.1				

续表

型号	额定功率 P_N /kW	额定转速 n_n /r·min ⁻¹		弱磁转速 n_F /r·min ⁻¹	电枢 电流 I_N /A	励磁 功率 P_F /W	电枢回路 电阻 R (20℃)/Ω	电枢回路 电感 L_A /mH	磁场电感 L_F /H	效率 /%	转动惯量 J /kg·m ²	质量 /kg
		400V	440V									
32	500	540		1200	1358		0.0134	0.30	19.6	90.8		
	550		600							92		
32	453	450		1300	1228		0.0145	0.32	7.36	90		
	500		500							91.4		
Z4-450-32	408	360		1200	1130	7100	0.0205	0.53	7.17	88.5	156	6000
	450		400							89.7		
32	309	270		900	875		0.0342	0.83	4.8	85.9		
	340		300							87.1		
31	200	180		600	595		0.0751	1.9	9.09	81.3		
	220		200							82.6		
42	545	540		1100	1492		0.0134	0.51	28.2	90.3		
	600		600							91.5		
42	500	450		1100	1367		0.0145	0.43	18.6	90		
	550		500							91.4		
Z4-450-42	453	360		1200	1254	7800	0.0178	0.42	5.85	88.9	174	6700
	500		400							90		
42	345	270		900	972		0.0275	0.81	5.62	86.8		
	380		300							88.1		
41	235	180		600	698		0.0612	1.7	5.73	81.7		
	260		200							83		

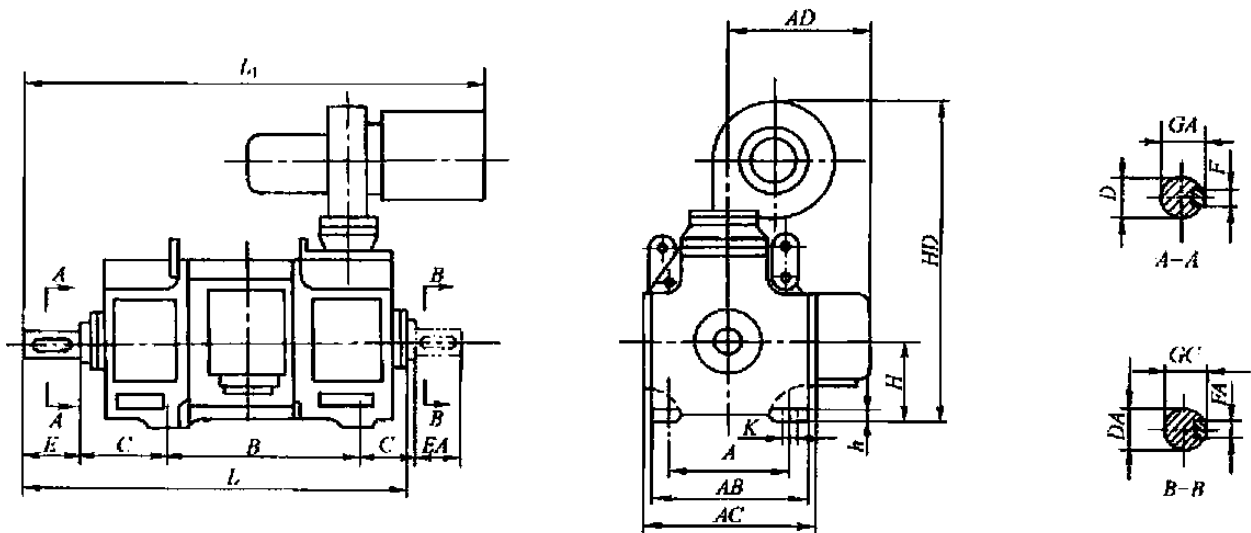
注：1. 电动机工作制为 S1，防护等级为 IP23S 或 IP21S，冷却方法为他冷强迫通风，独立供电，电动机制成 IC06。

2. 电动机的励磁方式为他励，励磁电压为 180V，启动他励电动机时，需在接通电枢回路之前接通磁场线圈至额定电压，停车时先切断电枢回路，然后断开磁场电路，避免在启动和停车时因弱磁引起过速。额定电压为 160V 的电动机，在单相桥式整流供电时，需带电抗器工作，额定电压为 440V 时不需外接电抗器。

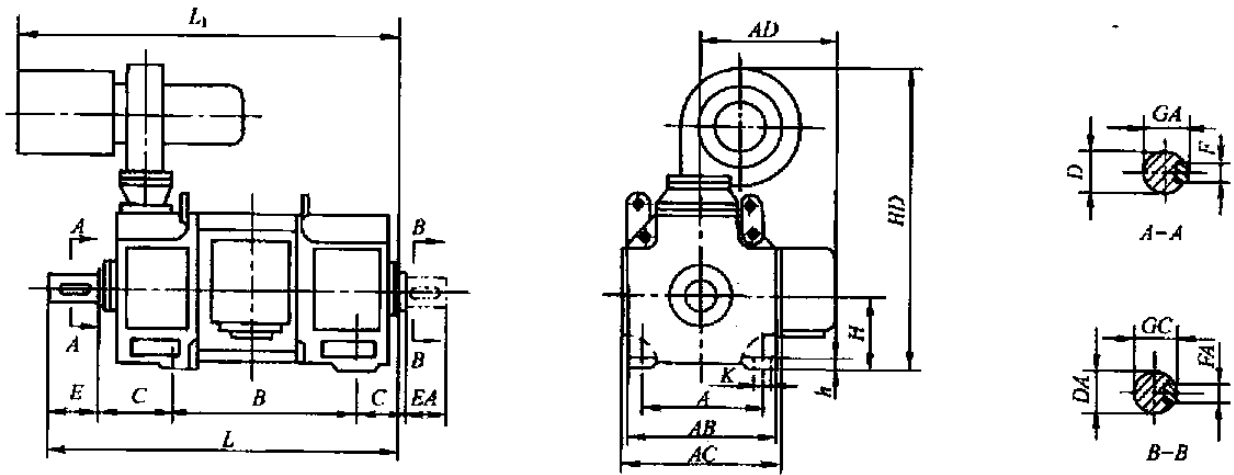
3. 过载能力不大于 1.6 倍，恒功率弱磁向上调速时，不同规格可达到额定转速的 1.0~3.8 倍，恒转矩降低电枢电压、向下调速时，最低转速可达 20r/min。

4. 生产厂：上海电机（集团）有限公司南洋电机厂，西安电机厂。

卧式、机座带底脚安装及外形尺寸



Z4-100~Z4-160



Z4-180~Z4-450

表 17-1-113

mm

型号	安装尺寸												外形尺寸							
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	GC	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L ₁	h
Z4-100-1	160	318	63	24	50	8	27	24	50	8	27	100	12	197	234	179	398	500	580	10
Z4-100-2		358																540	620	
Z4-112/2-1	190	337	70	28	60	8	31	28	60	8	31	112	12	221	255	202	452	544	612	10
Z4-112/2-2		367																574	642	
Z4-112/2-3		407																614	682	
Z4-112/2-4		477																684	752	
Z4-112/4-1		347	70	32	80	10	35	32	80	10	35	112	12	221	255	202	452	573	642	
Z4-112/4-2		387																613	682	
Z4-112/4-3		437																663	732	
Z4-112/4-4		497																723	792	

续表

型号	安 装 尺 寸												外 形 尺 寸							
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	GC	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L ₁	h
Z4-132-1	216	355	89	38	80	10	41	38	80	10	41	132	12	260	295	240	527	619	814	12
Z4-132-2		405																669	864	
Z4-132-3		465																729	924	
Z4-132-4		545																809	1004	
Z4-160-11	254	411	108	48	110	14	51.5	48	110	14	51.5	160	15	316	346	283	625	744	953	14
Z4-160-12		476																809	986	
Z4-160-21		451																784	993	
Z4-160-22		516																849	1026	
Z4-160-31		501																834	1043	
Z4-160-32		566																899	1076	
Z4-160-41		561																894	1103	
Z4-160-42		626																959	1136	
Z4-160-51		631																964	1173	
Z4-160-52		696																1029	1206	
Z4-180-11	279	436	121	55	110	16	59	55	110	16	59	180	15	356	390	305	731	794	1022	16
Z4-180-12		501																859	1087	
Z4-180-21		476																834	1062	
Z4-180-22		541																899	1127	
Z4-180-31		526																884	1112	
Z4-180-32		591																949	1177	
Z4-180-41		586																944	1172	
Z4-180-42		651																1009	1237	
Z4-180-51		656																1014	1242	
Z4-180-52		721																1079	1307	
Z4-200-11	318	566	133	65	140	18	69	65	140	18	69	200	19	396	430	355	779	977	1158	18
Z4-200-12		614																1025	1206	
Z4-200-21		606																1017	1198	
Z4-200-22		654																1065	1246	
Z4-200-31		686																1097	1278	
Z4-200-32		734																1145	1326	
Z4-200-41		756																1167	1348	
Z4-200-42		804																1215	1396	
Z4-225-11	356	701	149	75	140	20	79.5	75	140	20	79.5	225	19	440	474	398	981	1140	1605	20
Z4-225-12		761																1200	1665	
Z4-225-21		751																1190	1655	
Z4-225-22		811																1250	1715	
Z4-225-31		811																1250	1715	
Z4-225-32		871																1310	1775	
Z4-250-11	406	715	168	85	170	22	90	75	140	20	79.5	250	24	490	524	432	1031	1225	1657	25
Z4-250-12		775																1285	1717	
Z4-250-21		765																1275	1707	
Z4-250-22		825																1335	1767	
Z4-250-31		825																1335	1767	
Z4-250-32		885																1395	1827	

型号	安装尺寸													外形尺寸																							
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	GC	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L ₁	h																	
Z4-250-41	406	895	168	85	170	22	90	75	140	20	79.5	250	24	490	524	432	1031	1405	1837	25																	
Z4-250-42		955																1465	1897																		
Z4-280-11	457	762	190	95	170	25	100	85	170	22	90	280	24	550	584	462	1130	1315	1748	25																	
Z4-280-12		852																1405	1838																		
Z4-280-21		822																1375	1808																		
Z4-280-22		912																1465	1898																		
Z4-280-31		892																1445	1878																		
Z4-280-32		982																1535	1968																		
Z4-280-41		972																1525	1958																		
Z4-280-42		1062																1615	2048																		
Z4-280-51		1062																1615	2048																		
Z4-280-52		1152																1705	2138																		
Z4-315-091		508																817	216		100	210	28	106	95	170	25	100	315	28	620	654	497	1221	1462	1827	30
Z4-315-092																		907																	1552	1917	
Z4-315-11	887		1532	1897																																	
Z4-315-12	977		1622	1987																																	
Z4-315-21	967		1612	1977																																	
Z4-315-22	1057		1702	2067																																	
Z4-315-31	1057		1702	2067																																	
Z4-315-32	1147		1792	2157																																	
Z4-315-41	1157		1802	2167																																	
Z4-315-42	1247		1892	2257																																	
Z4-355-081	610		818	254	110	210	28	116	110	210	28	116	355	28	700	734	701	1301		1539															1860	30	
Z4-355-082			908																	1629															1950		
Z4-355-091		888	1609																1930																		
Z4-355-092		978	1699																2020																		
Z4-355-11		968	1689																2010																		
Z4-355-12		1058	1779																2100																		
Z4-355-21		1058	1779																2100																		
Z4-355-22		1148	1869																2190																		
Z4-355-31		1158	1879																2200																		
Z4-355-32		1248	1969																2290																		
Z4-355-41		1268	1989																2310																		
Z4-355-42		1358	2079																2400																		
Z4-400-11	686	959	280	120	210	32	127	120	210	32	127	400	35	790	830	750	1620	1732	1817	35																	
Z4-400-12		1079																1852	1937																		
Z4-400-21		1039																1812	1897																		
Z4-400-22		1159																1932	2017																		
Z4-400-31		1129																1902	1987																		
Z4-400-32		1249																2022	2107																		
Z4-400-41		1229																2002	2087																		
Z4-400-42		1349																2122	2207																		

续表

型号	安装尺寸													外形尺寸						
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	GC	H	K	AB	AC	AD	HD	L	L ₁	h
Z4-450-11		1061																1944	2050	
Z4-450-12		1181																2064	2070	
Z4-450-21		1151		140	250	36	148											2034	2140	
Z4-450-22		1271																2154	2260	
Z4-450-31		1251																2134	2240	
Z4-450-32	800	1371	315					140	250	36	148	450	35	890	924	800	1720	2254	2360	40
Z4-450-41		1361																2294	2350	
Z4-450-42		1481		160	300	40	169											2414	2470	
Z4-450-51		1481																2414	2470	
Z4-450-52		1601																2534	2590	

注：所有型号均可带厂方出品的 ZYS-A 型直流测速发电机，此时电动机长度尺寸 L 要增 300mm。

卧式、机座带底脚、端盖带凸缘安装及外形尺寸

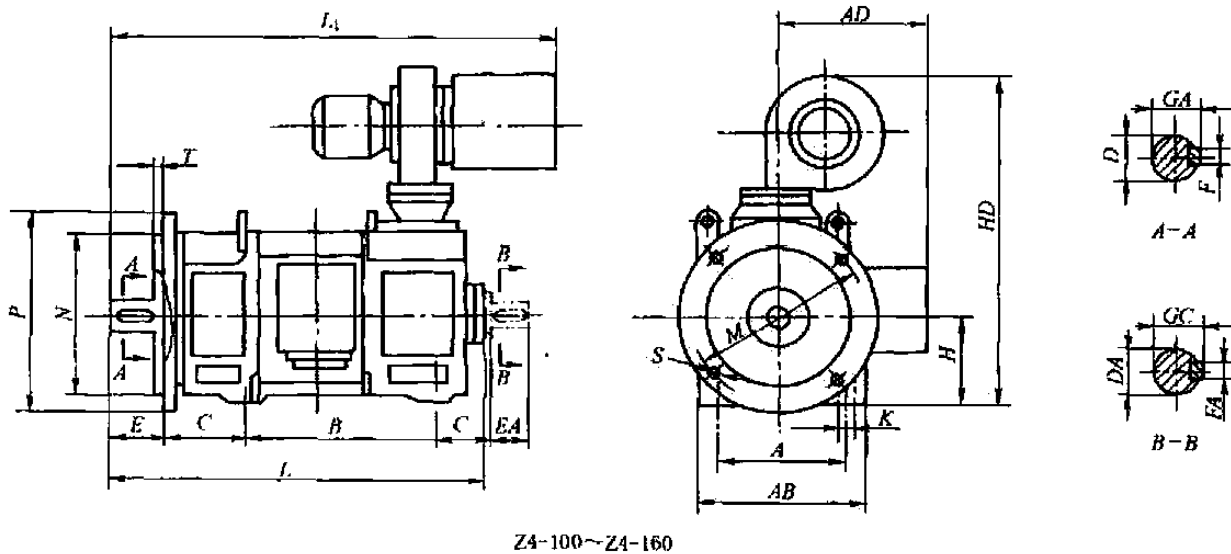
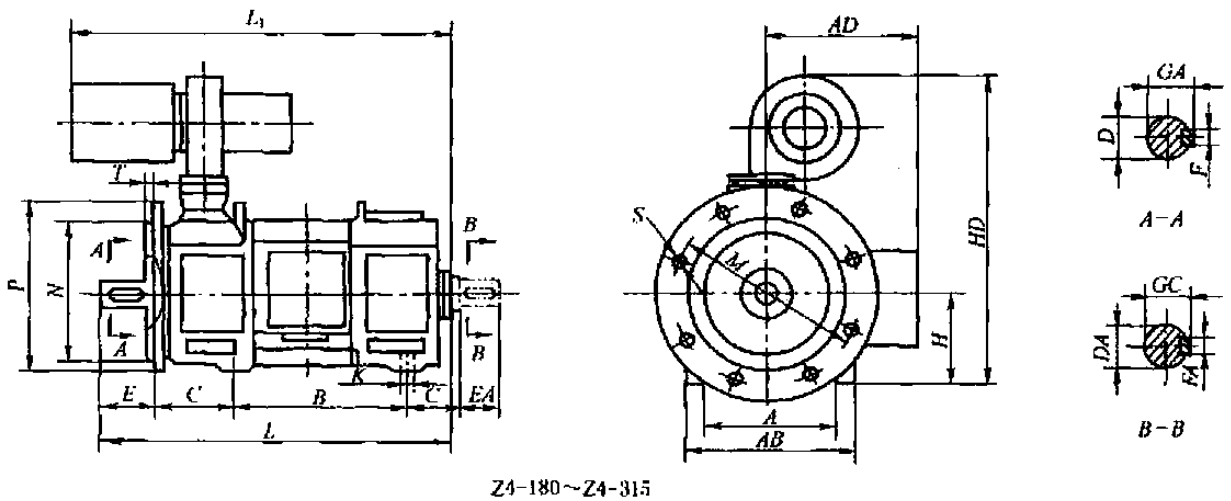


表 17-1-114

mm

型 号	安 装 尺 寸																	外 形 尺 寸																											
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	GC	H	K	M	N	S	孔数	T	P	AB	AD	HD	L	L ₁																					
Z4-100-1	160	318	63	24	50	8	27	24	50	8	27	100	12	215	180	15	4	4	250	197	179	398	500	580																					
Z4-100-2		358																					540	620																					
Z4-112/2-1	190	337	70	28	60	8	31	28	60	8	31	112	12	215	180	15	4	4	250	221	202	452	544	612																					
Z4-112/2-2		367																					574	642																					
Z4-112/2-3		407																					614	682																					
Z4-112/2-4		477																					684	752																					
Z4-112/4-1		347																					70	32	80	10	35	32	80	10	35	112	12	215	180	15	4	4	250	221	202	452	573	642	
Z4-112/4-2		387																																									613	682	
Z4-112/4-3		437																																									663	732	
Z4-112/4-4		497																																									723	792	
Z4-132-1	216	355	89	38	80	10	41	38	80	10	41	132	12	265	230	15	4	4	300	260	240	527	619	814																					
Z4-132-2		405																					669	864																					
Z4-132-3		465																					729	924																					
Z4-132-4		545																					809	1004																					
Z4-160-11	254	411	108	48	110	14	51.5	48	110	14	51.5	160	15	300	250	19	4	5	350	316	283	625	744	953																					
Z4-160-12		476																					809	986																					
Z4-160-21		451																					784	993																					
Z4-160-22		516																					849	1026																					
Z4-160-31		501																					834	1043																					
Z4-160-32		566																					899	1076																					
Z4-160-41		561																					894	1103																					
Z4-160-42		626																					959	1136																					
Z4-160-51		631																					964	1173																					
Z4-160-52		696																					1029	1206																					
Z4-180-11		279																					436	121	55	110	16	59	55	110	16	59	180	15	350	300	19	4	5	400	356	305	731	794	1022
Z4-180-12																							501																					859	1087
Z4-180-21	476		834	1062																																									
Z4-180-22	541		899	1127																																									
Z4-180-31	526		884	1112																																									
Z4-180-32	591		949	1177																																									
Z4-180-41	586		944	1172																																									
Z4-180-42	651		1009	1237																																									
Z4-180-51	656		1014	1242																																									
Z4-180-52	721		1079	1307																																									

续表

型号	安 装 尺 寸																	外 形 尺 寸																											
	A	B	C	D	E	F	GA	DA	EA	FA	CC	H	K	M	N	S	孔数	T	P	AB	AD	HD	L	L ₁																					
ZA-200-11	318	566	133	65	140	18	69	65	140	18	69	200	19	400	350	19	8	5	450	396	355	779	977	1158																					
ZA-200-12		614																					1025	1206																					
ZA-200-21		606																					1017	1198																					
ZA-200-22		654																					1065	1246																					
ZA-200-31		686																					1097	1278																					
ZA-200-32		734																					1145	1326																					
ZA-200-41		756																					1167	1348																					
ZA-200-42		804																					1215	1396																					
ZA-225-11		356																					701	149	75	140	20	79.5	75	140	20	79.5	225	19	500	450	19	8	5	550	440	398	981	1140	1605
ZA-225-12	761		1200	1665																																									
ZA-225-21	751		1190	1655																																									
ZA-225-22	811		1250	1715																																									
ZA-225-31	811		1250	1715																																									
ZA-225-32	871		1310	1775																																									
ZA-250-11	406		715	168	85	170	22	90	75	140	20	79.5	250	24	600	550	24	8	6	660	490	432	1031																					1225	1657
ZA-250-12		775	1285																					1717																					
ZA-250-21		765	1275																					1707																					
ZA-250-22		825	1335																					1767																					
ZA-250-31		825	1335																					1767																					
ZA-250-32		885	1395																					1827																					
ZA-250-41		895	1405																					1837																					
ZA-250-42		955	1465																					1897																					
ZA-280-11	457	762	190	95	170	25	100	85	170	22	90	280	24	600	550	24	8	6	660	550	462	1130	1315	1748																					
ZA-280-12		852																					1405	1838																					
ZA-280-21		822																					1375	1808																					
ZA-280-22		912																					1465	1898																					
ZA-280-31		892																					1445	1878																					
ZA-280-32		982																					1535	1968																					
ZA-280-41		972																					1525	1958																					
ZA-280-42		1062																					1615	2048																					
ZA-280-51		1062																					1615	2048																					
ZA-280-52		1152																					1705	2138																					
ZA-315-11		508																					887	216	100	210	28	106	95	170	25	100	315	28	740	680	24	8	6	800	620	497	1221	1532	1897
ZA-315-12																							977																					1622	1987
ZA-315-21	967		1612	1977																																									
ZA-315-22	1057		1702	2067																																									
ZA-315-31	1057		1702	2067																																									
ZA-315-32	1147		1792	2157																																									
ZA-315-41	1157		1802	2167																																									
ZA-315-42	1247		1892	2257																																									

注：所有型号均可带 ZYS-A 型直流测速发电机，此时电动机长度尺寸 L 要增 300mm。

4.11.2 测速发电机

表 17-1-115

ZCF 系列大功率直流测速发电机技术数据

型 号	额 定							质 量 /kg
	功 率 /W	转 速 /r·min ⁻¹	电 压 /V	电 流 /A	励磁方式	励磁电压 /V	励磁电流 /A	
ZCF-11	50	2000	30	1.67	他励	220	0.29	30
ZCF-11	150	1500	230	0.65	他励	220	0.29	30
ZCF-11	150	1500	230	0.65	他励	110	0.50	30
ZCF-11	150	1500	115	1.31	他励	220	0.29	30
ZCF-11	150	1500	115	1.31	他励	110	0.50	30
ZCF-11	200	3000	230	0.87	他励	220	0.23	30
ZCF-11	200	3000	230	0.87	他励	110	0.38	30
ZCF-11	200	3000	115	1.74	他励	220	0.23	30
ZCF-11	200	3000	115	1.74	他励	110	0.38	30
ZCF-12	150	1000	230	0.65	他励	220	0.33	35
ZCF-12	150	1000	230	0.65	他励	110	0.65	35
ZCF-12	150	1000	115	1.31	他励	220	0.33	35
ZCF-12	150	1000	115	1.31	他励	110	0.65	35
ZCF-12	300	1500	230	1.31	他励	220	0.33	35
ZCF-12	300	1500	230	1.31	他励	110	0.65	35
ZCF-12	300	1500	115	2.61	他励	220	0.33	35
ZCF-12	300	1500	115	2.61	他励	110	0.65	35
ZCF-21	150	750	230	0.65	他励	220	0.40	50
ZCF-21	150	750	230	0.65	他励	110	0.65	50
ZCF-21	150	750	115	1.31	他励	220	0.40	50
ZCF-21	150	750	115	1.31	他励	110	0.65	50
ZCF-21	300	1000	230	1.31	他励	220	0.40	50
ZCF-21	300	1000	230	1.31	他励	110	0.65	50
ZCF-21	300	1000	115	2.61	他励	220	0.35	50
ZCF-21	300	1000	115	2.61	他励	110	0.65	50
ZCF-21	500	1500	230	2.18	他励	220	0.40	50
ZCF-21	500	1500	230	2.18	他励	110	0.70	50
ZCF-21	500	1500	115	4.35	他励	220	0.38	50
ZCF-21	500	1500	115	4.35	他励	110	0.70	50
ZCF-22	150	600	230	0.65	他励	220	0.40	55
ZCF-22	150	600	230	0.65	他励	110	0.70	55
ZCF-22	150	600	115	1.31	他励	220	0.40	55
ZCF-22	150	600	115	1.31	他励	110	0.70	55
ZCF-22	300	750	230	1.31	他励	220	0.40	55
ZCF-22	300	750	230	1.31	他励	110	0.80	55
ZCF-22	300	750	115	2.61	他励	220	0.40	55
ZCF-22	300	750	115	2.61	他励	110	0.76	55
ZCF-22	500	1000	230	2.18	他励	220	0.44	55
ZCF-22	500	1000	230	2.18	他励	110	0.85	55
ZCF-22	500	1000	115	4.35	他励	220	0.44	55
ZCF-22	500	1000	115	4.35	他励	110	0.85	55
ZCF-22	700	1500	230	3.05	他励	220	0.40	55

续表

型号	额定							质量 /kg
	功率 /W	转速 /r·min ⁻¹	电压 /V	电流 /A	励磁方式	励磁电压 /V	励磁电流 /A	
ZCF-22	700	1500	230	3.05	他励	110	0.80	55
ZCF-22	700	1500	115	6.10	他励	220	0.40	55
ZCF-22	700	1500	115	6.10	他励	110	0.80	55

注：1. ZCF 系列大功率直流测速发电机为自冷他励直流发电机，在恒定的励磁电流下，电枢的输出电压与电机的转速成正比，其输出电压的线性偏差小于 1.2%，在正反两个方向旋转时输出电压不对称度不大于 1.2%。

2. 本系列电机均为连续工作制，适用于稳速系统及具有宽调速要求的同步传动系统中，作速度反馈元件和测速用。

3. 使用条件：最高环境温度不超过 50℃，空气相对湿度为 95%（20℃时），海拔不超过 1000m。绝缘等级为 E 级。

4. 生产厂：博山电机厂集团股份有限公司。

ZCF 系列大功率直流测速发电机外形及安装尺寸

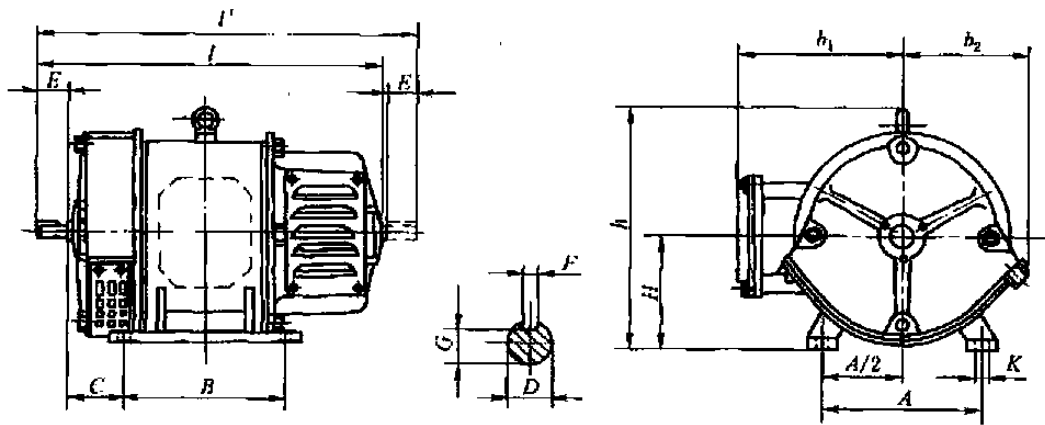


表 17-1-116

mm

型号	安 装 尺 寸							
	A	A/2	B	C	D	E	F	
ZCF-11 ZCF-12	145 ± 0.7	72.5 ± 0.5	155 ± 0.7 175 ± 0.7	80.5 ± 1.5	14 ^{+0.014} _{+0.002}	30	4 ^{-0.010} _{-0.055}	
ZCF-21 ZCF-22	200 ± 1.5	100 ± 0.7	180 ± 1.05 205 ± 1.05	73 ± 1.5	18 ^{+0.014} _{+0.002}	40	4 ^{-0.010} _{-0.055}	
型号	安 装 尺 寸			外 形 尺 寸				
	G	H	K	b ₁	b ₂	h	l	l'
ZCF-11 ZCF-12	11.5 ⁰ _{-0.120}	112 ^{+0.5} ₀	12 ^{+0.43} ₀	180	117	215	390 410	420 440
ZCF-21 ZCF-22	14.8 ⁰ _{-0.120}	140 ^{+0.5} ₀	15 ^{+0.43} ₀	215	155	305	425 450	470 495

表 17-1-117

CYB 永磁直流测速发电机技术数据

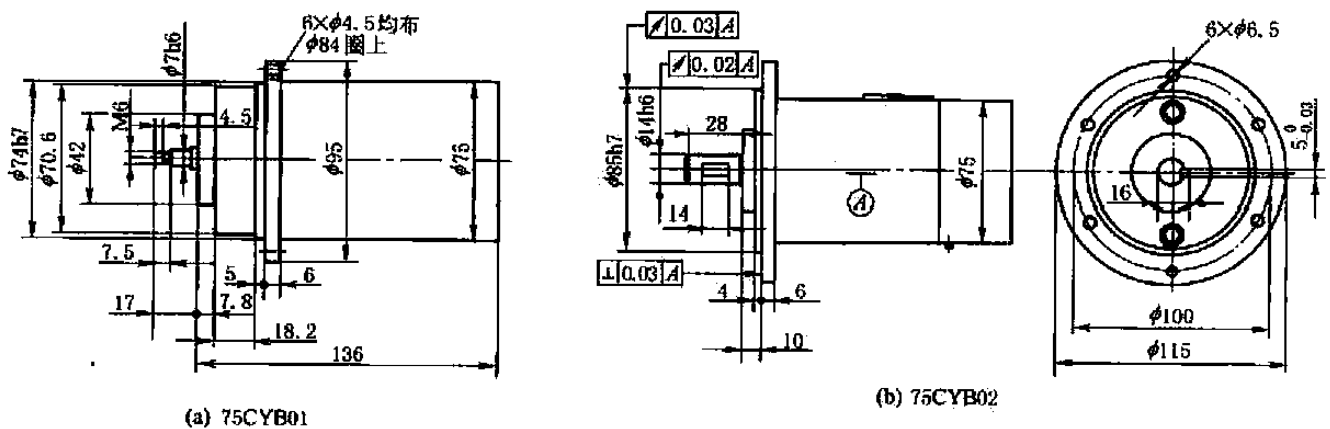
型号	最大输出功率 /W	输出功率 /V· (kr/min) ⁻¹	额定电流 /A	直流电阻 /Ω	线性误差 /%	输出电压 不对称度 /%	纹波系数 (有效值) /%	最大线性 工作转速 /r·min ⁻¹
75CYB01	14.4	60	0.08	110	≤0.5	≤0.5	≤0.5	3000
75CYB01A	1.7	60	0.028	110	≤0.5	≤0.5	≤0.5	1000
75CYB02	24.75	110	0.09	402	≤0.5	≤0.5	≤0.5	2500
130CYB	25	100	0.125	39.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	2000
130CYB01S	25	100	0.125	39.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	2000
130CYB03S	25	60	0.4	15	≤0.5	≤0.5	≤0.5	1000
130CYB04S	25	120	0.2	61	≤0.5	≤0.5	≤0.5	1000
170CYB01	50	100	0.2	5.7	≤0.5	≤0.5	≤0.5	2500
170CYB02	20	100	0.2	50.1	≤0.5	≤1.0	≤0.5	1000
170CYB02B	20	100	0.2	50.1	≤0.5	≤1.0	≤0.5	1000
170CYB02S	20	100	0.2	50.1	≤0.5	≤1.0	≤0.5	1000
170CYB03S	40	150	0.333	10.4	≤0.5	≤0.5	≤0.5	800
170CYB04	50	200	0.25	19.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	1000
170CYB05	50	60	0.8	2	≤0.5	≤0.5	≤0.5	1000
192CYB	30	100	0.15	5.4	≤0.5	≤1.0	≤0.5	2000

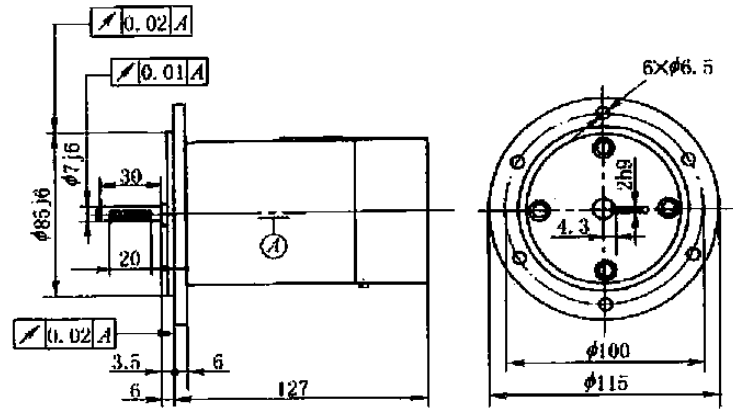
注: 1. CYB 系列永磁直流测速发电机带温度补偿, 可用于数控装置的速度控制和普通速度指示用, 具有较高的精度。

2. 环境温度在 0~55℃ 范围内变化时, 空载输出电压变化不大于 0.05%/10℃, 具有很高的稳定性。

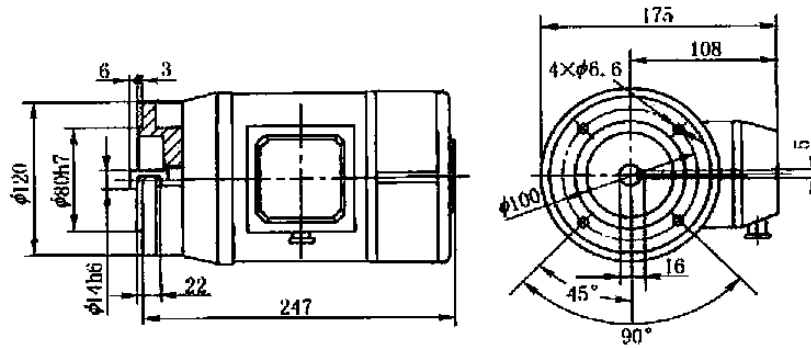
3. 生产厂: 西安微电机研究所。

CYB 永磁直流测速发电机外形及安装尺寸

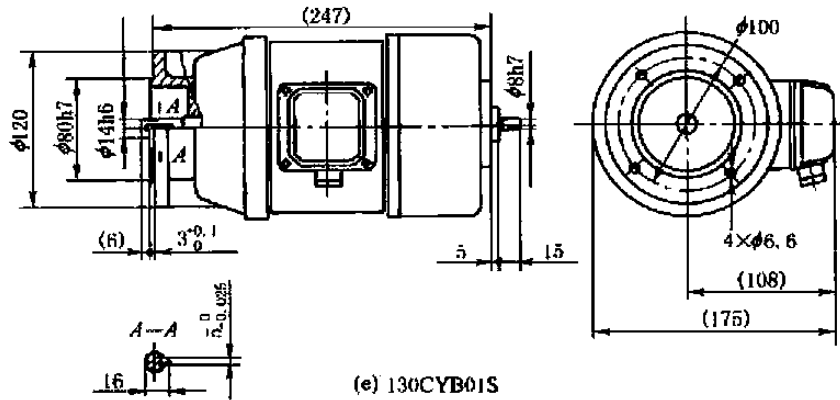




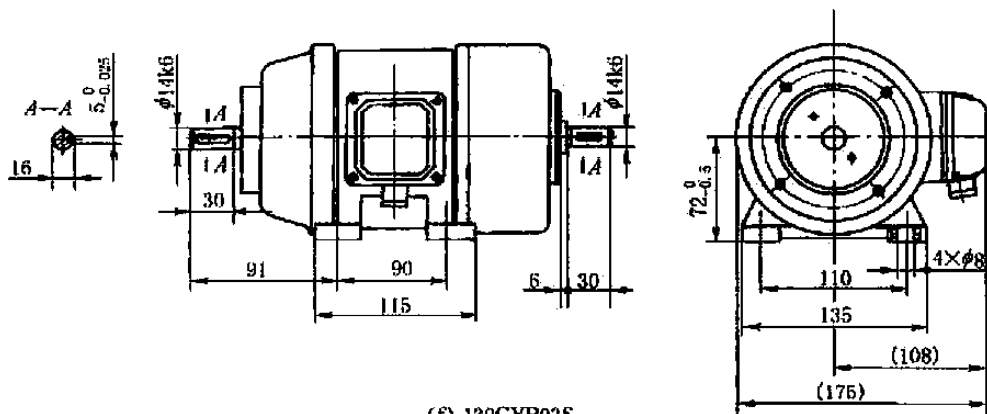
(c) 75CYB01A



(d) 130CYB

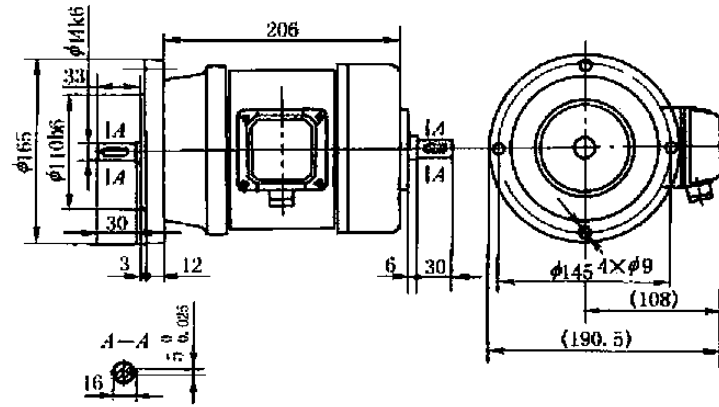


(e) 130CYB01S

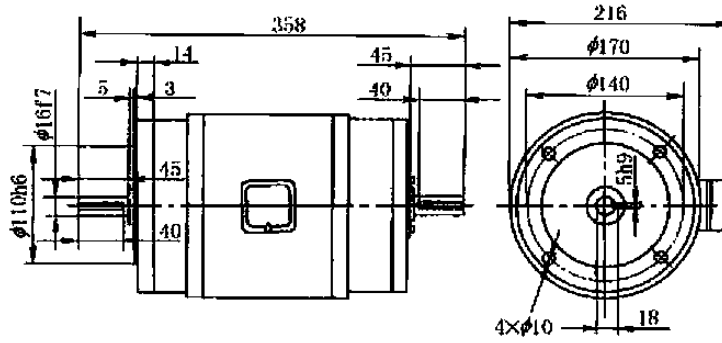


(f) 130CYB03S

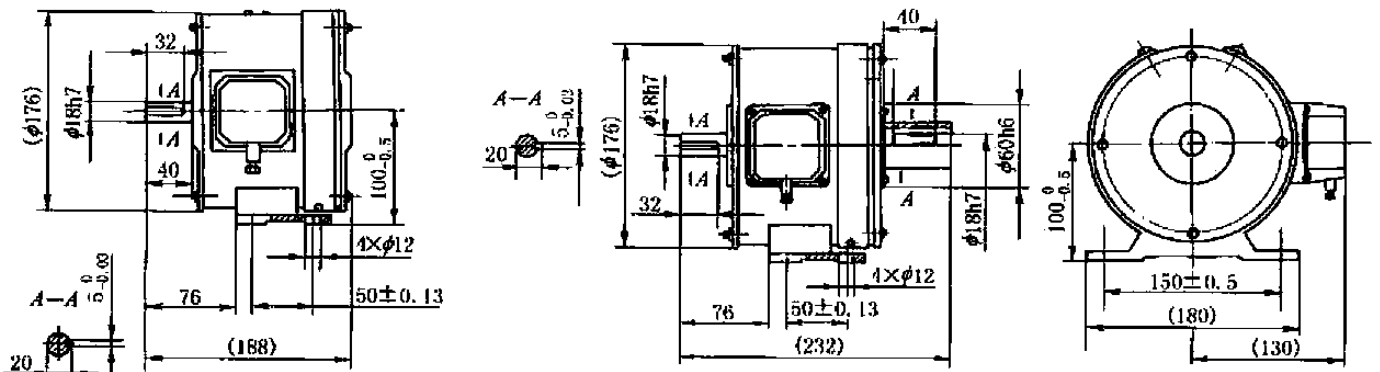
图 17-1-8



(g) 130CYB04S



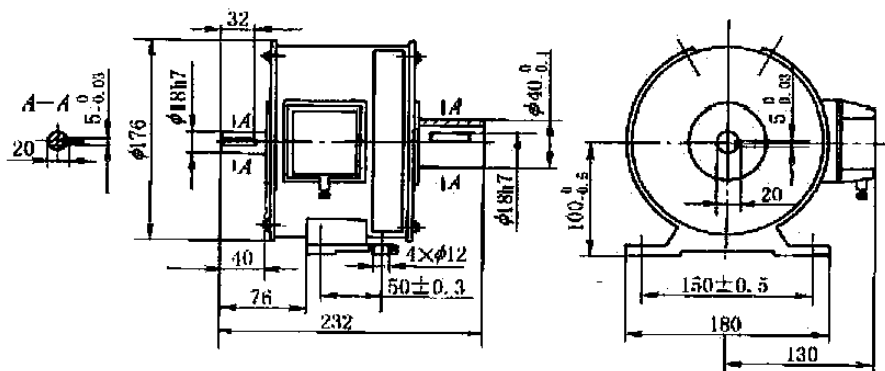
(h) 170CYB01



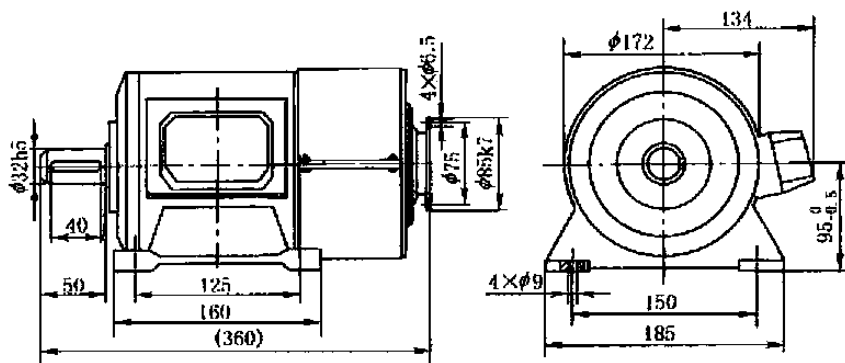
注:底角宽见170CYB02S

(i) 170CYB02

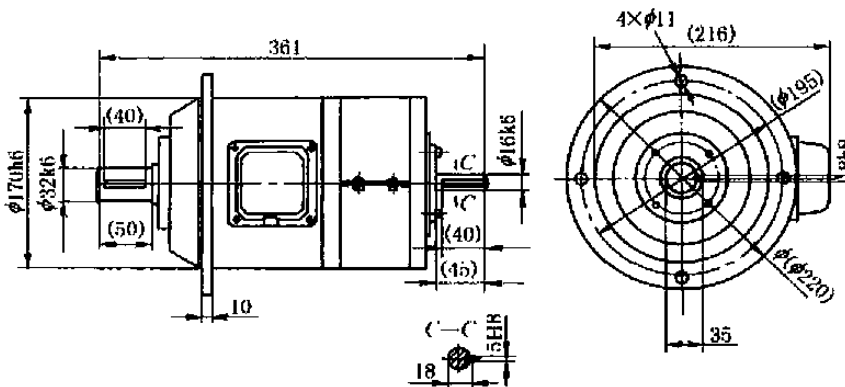
(j) 170CYB02B



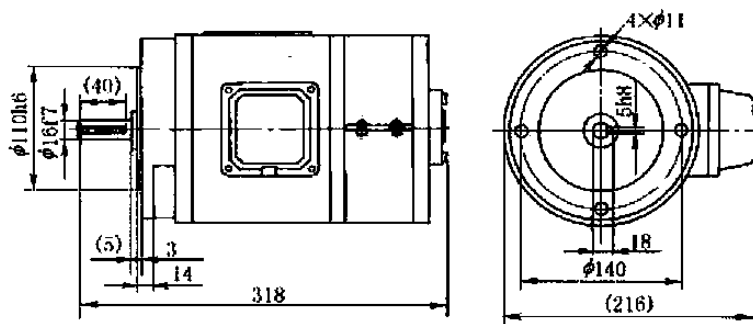
(k) 170CYB02S



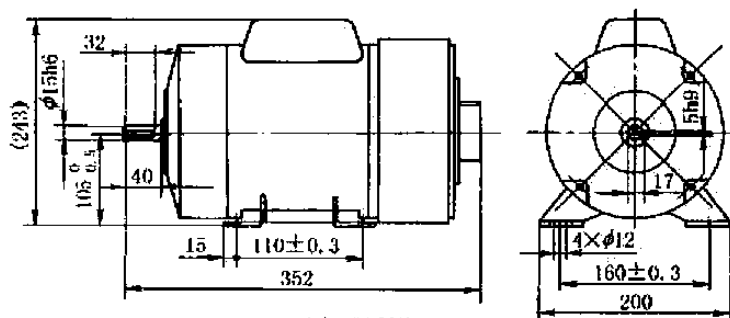
(l) 170CYB03S



(m) 170CYB04



(n) 170CYB05



(o) 192CYB

图 17-1-8

4.12 电动机滑轨

滑 轨 (1)

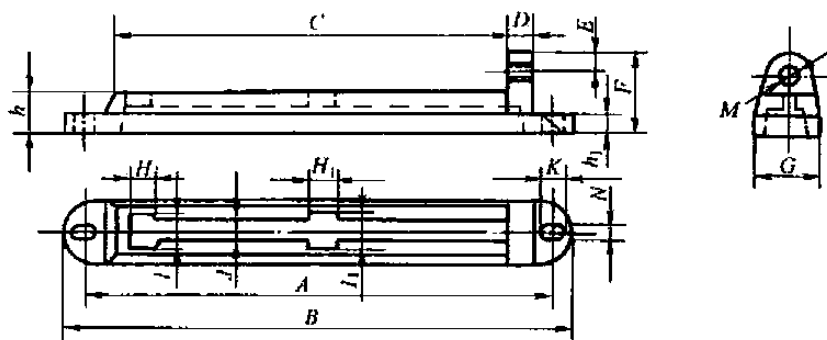


表 17-1-118

规格	安 装 尺 寸/mm																配电机功率/kW	质量/kg	
	A	B	C	D	E	F	G	H	H ₁	I	h	h ₁	I ₁	J	K	N			M
14"	450	530	365	30	40	105	70	30		28	50	22		14	26	18	1/2"	0.6~2	12
16"	500	570	400	30	40	105	75	38		30	50	22		14	27	18	1/2"	2.5~4	15
18"	560	630	460	35	40	110	80	40		34	60	22		16	30	20	1/2"	4.5~7	18
20"	610	680	510	35	40	120	100	42		40	65	26		16	30	20	5/8"	9.5~10	24
24"	710	780	610	35	40	130	102	42		40	65	26		18	32	24	5/8"	10.5~15	31.5
26"	760	830	660	35	43	130	110	42		40	65	26		18	36	24	5/8"	15.5~20	41.5
30"	900	1000	760	40	50	150	116	40		86	36	45	24	40	32	3/4"	20.5~30	56	
36"	1040	1140	890	54	55	150	130	43		90	50	55	24	42	32	3/4"	30.5~40	72	
40"	1140	1280	1000	65	55	160	142	43		85	45	55	26	42	32	3/4"	40.5~55	92	

注: 1" = 1in = 25.4mm。

滑 轨 (2)

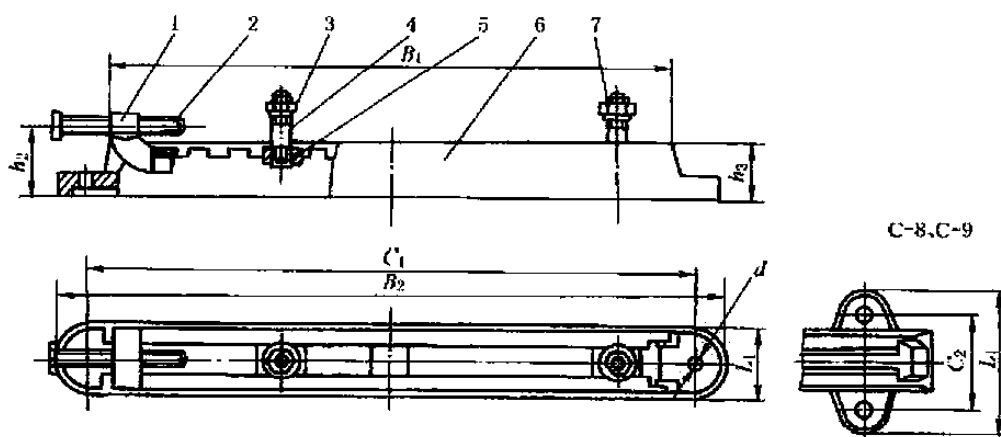


表 17-1-119

型号	主要尺寸/mm								件 1	件 5	件 6	件 4	件 3	件 2	件 7	质量/kg
	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	h ₂	h ₃	L ₁	d	移动卡爪	滑块	路轨	螺柱 GB/T 900	螺母 GB/T 6170	螺栓 GB/T 5783	垫圈 GB/T 93	
C-3	370	440	410		44	36	44	12		C-3		M10 × 35 [*]	BM10	M12 × 80	10	3.8
C-4	430	510	470		55	45	52	14		C-4		M10 × 40 [*]	BM10	M12 × 90	10	5.3
C-5	570	670	620		67	55	72	18		C-5		M12 × 50	BM12	M16 × 110	12	12.5
C-6	630	770	720		74	60	75	18		C-6		M12 × 60	BM12	M16 × 120	12	17.5

型号	主要尺寸/mm								件1	件5	件6	件4	件3	件2	件7	质量/kg
	B_1	B_2	C_1	C_2	h_2	h_3	L_1	d	移动卡爪	滑块	路轨	螺柱 GB/T 900	螺母 GB/T 6170	螺栓 GB/T 5783	垫圈 GB/T 93	
C-7	770	930	870		88	70	105	24		C-7		M16 × 75	BM16	M20 × 150	16	31
C-8	900	950	700	175	95	75	245	28		C-8		M20 × 95	BM20	M24 × 180	20	45
C-9	1030	1090	800	190	105	85	260	28		C-9		M20 × 105	BM20		20	69

注：1. 带*号者用 GB/T 899。
2. 电动机螺栓孔应与件4相配。

滑 轨 (3)

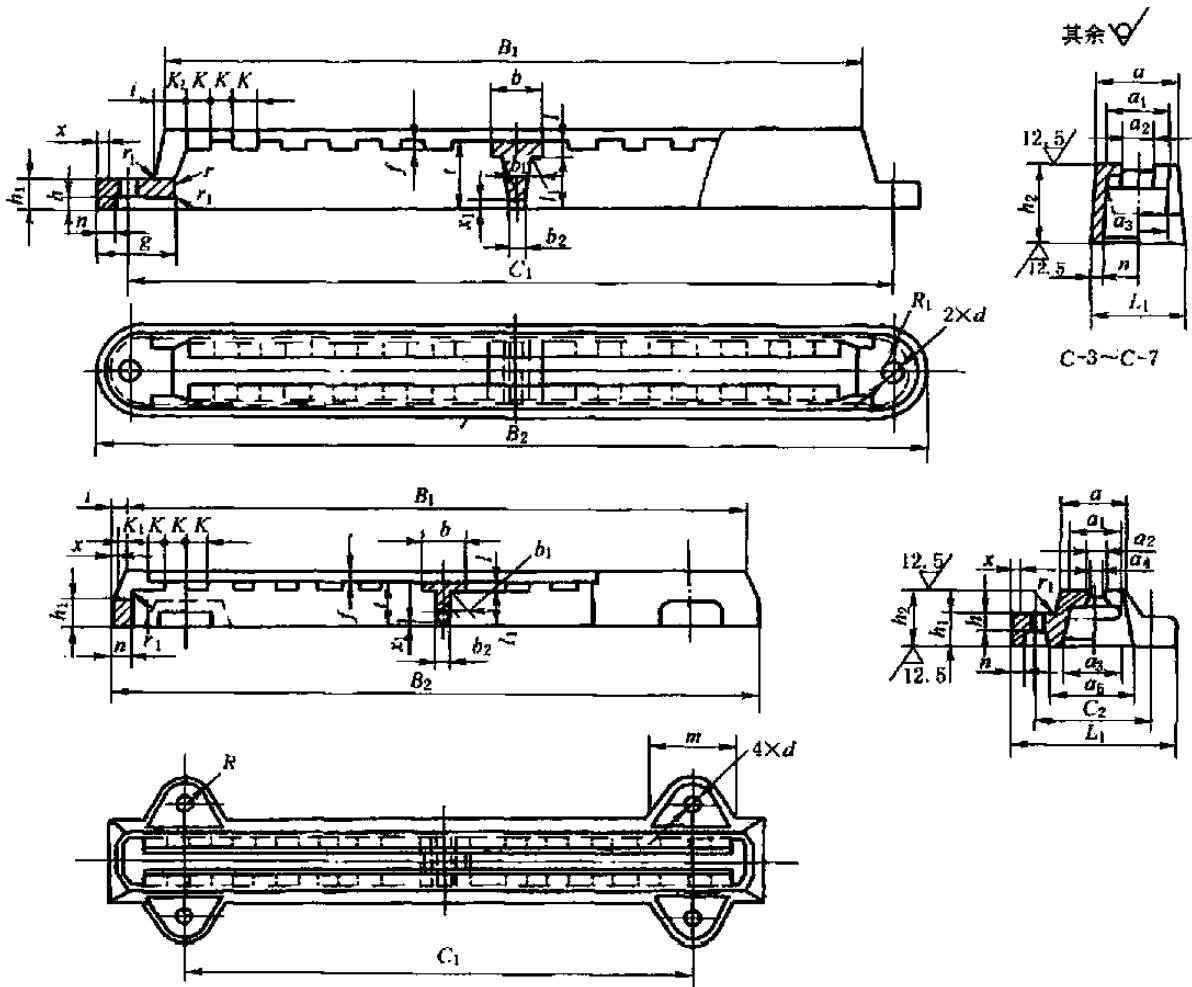


表 17-1-120

型号	B_1	B_2	C_1	C_2	a	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	L_1	d	b	b_1	b_2	h	h_1
C-3	370	440	410		40	30	16	26			44	12	25	8	6	10	15
C-4	430	510	470		50	36	18	32			54	14	30	8	6	10	18
C-5	570	670	620		66	48	25	44			72	18	40	10	8	15	22
C-6	630	770	720		68	50	25	46			75	18	45	12	10	15	26
C-7	770	930	870		90	68	30	64			105	24	50	16	10	20	30
C-8	900	950	700	175	100	78	38	74	36	125	255	28	70	16	12	20	35
C-9	1030	1090	800	190	110	86	38	78	35	130	270	28	70	16	12	20	35
型号	h_2	K	K_1	f	l	l_1	t	g	i	n	x	x_1	m	R	R_1	r	r_1
C-3	36	14	20	5	10	22	30	35	7	7	1	5			22	10	4
C-4	45	17	30	5	8	34	39	42	7	8	1	5			27	15	4
C-5	55	20	30	6	10	41	47	50	10	10	2	8			36	15	5

型号	h_2	K	K_1	f	l	l_1	i	g	i	n	x	x_1	m	R	R_1	r	r_1
C-6	60	25	25	8	12	40	50	56	20	10	2	8			37.5	15	5
C-7	70	30	30	9	14	51	60	62	25	12	3	8			52.5	15	5
C-8	75	35		10	14	53	63		25	15	3	10	105	40		15	
C-9	85	35		12	15	58	73		30	15	3	10	120	40		15	

- 注：1. 铸件应经退火处理。
 2. 其余铸造圆角半径为 2~4mm。
 3. 材料为 HT150。

移动卡爪

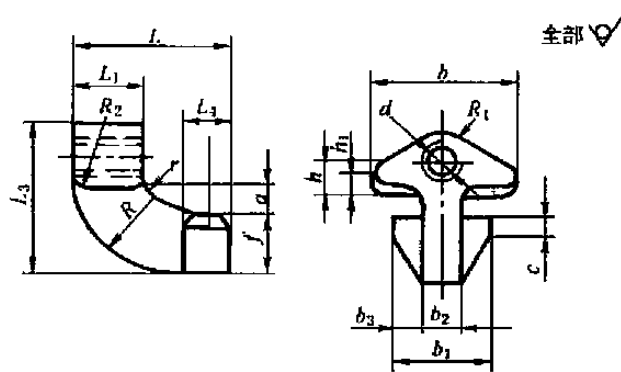


表 17-1-121

mm

型号	d	b	b_1	b_2	b_3	L	L_1	L_2	L_3	L_4	h	h_1	R	R_1	R_2	a	f	r	c
C-3	M12	40	24	12	6	40	20	38	11	8	6	20	10	32	8	12	2	4	
C-4	M12	48	30	15	7.5	50	25	50	14	10	7	25	14	40	8	18	2.5	5	
C-5	M16	65	40	18	11	60	30	60	17	12	8	30	16	48	10	22	3	4	
C-6	M16	65	40	20	10	70	30	69	20	14	10	35	16	56	13	26	3.5	6	
C-7	M20	90	60	27	16.5	90	45	88	27	18	13	45	22	72	13	35	4.5	7	
C-8	M24	100	70	30	20	100	50	95	30	20	14	50	25	80	15	35	5	10	
C-9	M24	110	70	30	20	100	50	100	30	20	14	50	25	80	15	40	5	12	

- 注：1. 材料为 HT150。
 2. 其余铸造圆角半径为 2mm。

滑块

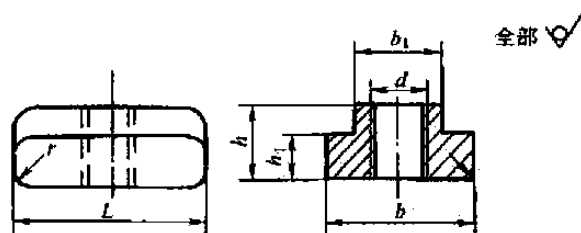


表 17-1-122

mm

型号	d	b	b_1	h	h_1	L	r
C-3	M10	22	14	12	8	30	2
C-4	M10	28	16	15	8	38	2
C-5	M12	38	22	20	14	44	4
C-6	M12	40	22	22	15	52	4
C-7	M16	60	26	24	15	68	5
C-8、C-9	M20	66	32	30	20	76	5

- 注：1. 材料为 QT400-15。
 2. 其余铸造圆角半径为 1~2mm。

第2章 常用电器

1 电磁铁

1.1 MQD1 系列牵引电磁铁

(1) 适用范围及型号含义

- ① 交流 50Hz 控制电压至 380V。
- ② 周围环境污染等级为Ⅲ级。
- ③ 周围空气温度 -5 ~ 40℃。
- ④ 海拔高度不超过 2000m。
- ⑤ 空气相对湿度：在 40℃ 时不超过 50%，在较低温度下允许有较大的相对湿度；最湿月的月平均最大相对湿度为 90%，同时该月的月平均最低温度为 25℃，并考虑到因温度变化发生在产品表面上的凝露。
- ⑥ 安装倾斜度：不大于 5°；安装类别为Ⅲ类。

(2) 结构特点

MQD1 型电子牵引电磁铁系单向交流装甲螺管式无罩结构，产品按 100% 通电持续率设计，采用交流-直流转换电磁系统，实现大电流启动和小电流维持的自动切换。

产品分拉动式和推动式两种，线圈断电后无复位装置。

(3) 主要技术参数

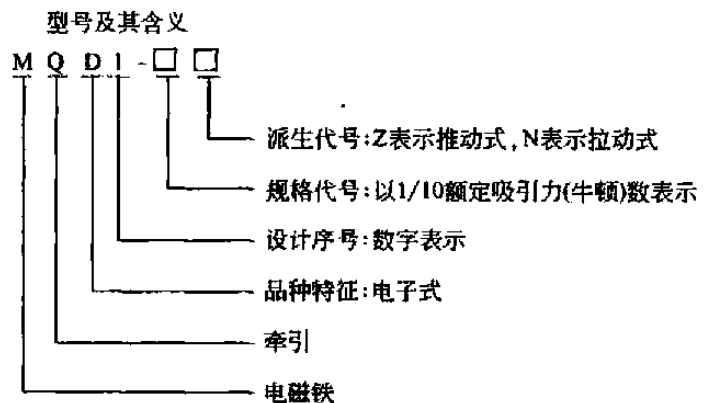


表 17-2-1 主要技术参数

型号规格	使用方式	额定吸引力 /N	额定行程 /mm	额定电压 /V	通电持续率 /%	操作次数 /次·h ⁻¹	消耗功率	
							启动/V·A	吸持/V·A
MQD-8N	拉动式	80	30	380	100	1800	608	114
MQD-8Z	推动式	80	30	380	100	1800	608	114
MQD-15N	拉动式	150	30	380	100	1800	874	17
MQD-25N	拉动式	250	30	380	100	1800	1140	17
MQD-50N	拉动式	500	30	380	100	1200	—	—
MQD-80	拉动式	800	60	380	100	1200	—	—

注：生产厂为浙江省瑞安市科达电子电器制造有限公司。

(4) 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸见图 17-2-1、表 17-2-2。

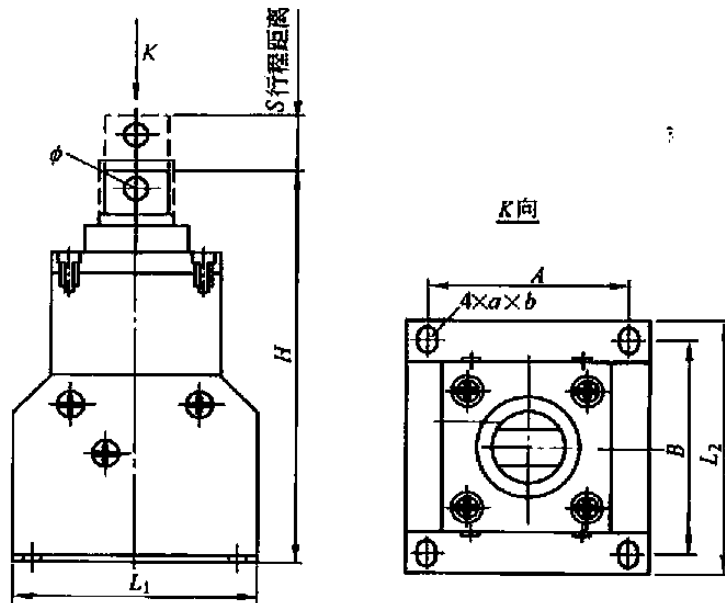


图 17-2-1

表 17-2-2

mm

型号规格	A	B	L ₁	L ₂	H	φ	a	b	总质量/kg
MQD1-8N	83 ± 0.5	72 ± 1.5	109	92	155	8	9	7	2
MQD1-8Z	83 ± 0.5	72 ± 1.5	109	92	155	8	9	7	2
MQD1-15N	108 ± 0.5	85 ± 1.5	130	110	195	10	11	9	5
MQD1-25N	108 ± 0.5	120 ± 1.5	145	130	230	12	11	9	6
MQD1-50N	100 ± 0.5	130 ± 1.5	190	150	245	16	14	16	—
MQD1-80N	180 ± 0.5	150 ± 1.5	210	170	285	—	16	18	—

1.2 直流牵引电磁铁

(1) 应用范围

直流（单相桥式全波整流）牵引电磁铁适用于电压至 220V 的各种自动控制电路，用于各种机电控制领域作为执行器件。工作可靠，噪声小。需要另配直流电源。

(2) 主要技术参数

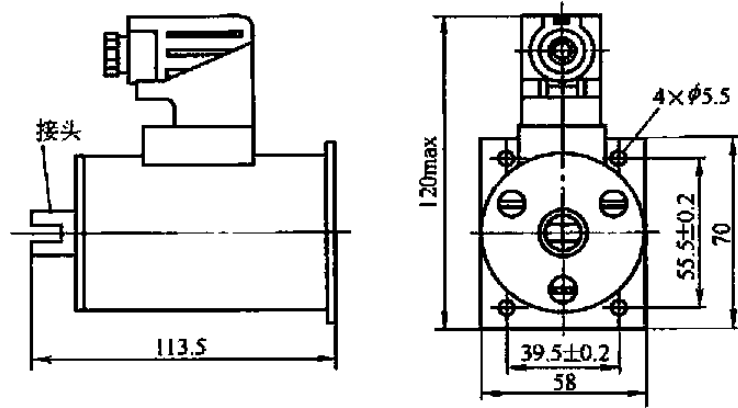
表 17-2-3

型号	MQZ5-15/20C	MZ1-30/25C MQZ5-30/25C	型号	MQZ5-15/20C	MZ1-30/25C MQZ5-30/25C
起始吸引力/N	15	30	消耗功率/W	40	50
额定行程/mm	20	25	机械寿命/次	6 × 10 ⁶	6 × 10 ⁶
额定电压/V	DC6 ~ 220	DC12 ~ 220			

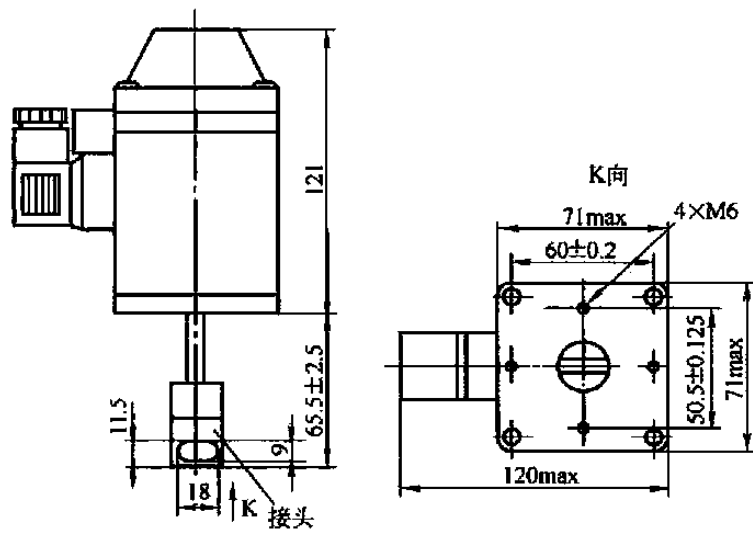
注：生产厂为无锡明达电器有限公司。

(3) 外形及安装尺寸

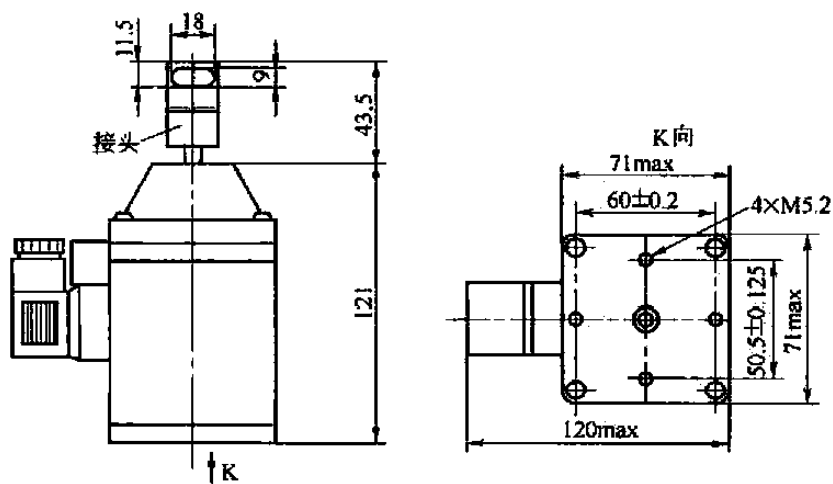
外形及安装尺寸见图 17-2-2, 接头尺寸可按用户要求加工。



(a) MQZ5-15/20C



(b) MZ1-30/25C



(c) MQZ5-30/25C

图 17-2-2

2 行程开关

2.1 LXPI (3SE3) 系列行程开关

(1) 用途、特点及工作条件

LXPI (3SE3) 系列行程开关系引进德国西门子公司技术生产, 适用于交流 40 ~ 60Hz、额定电压至 500V, 直流额定电压至 600V, 电流至 10A 的控制电路中, 将机械信号转变为电气信号, 用来控制机械动作或作程序控制用。

该系列行程开关, 分为开启式和防护式两大类, 由外壳、触头部分及开关元件所组成。触头结构有多种类型, 动作方式可分为瞬动式、蠕动式及交叉从动式三大类。触头部分可在相差 90° 的四个位置任意安装。

工作条件如下:

环境温度 - 40 ~ 85℃; 相对湿度 40℃ 时不超过 50%, 最湿月平均最大相对湿度为 90%; 海拔不超过 2000m。

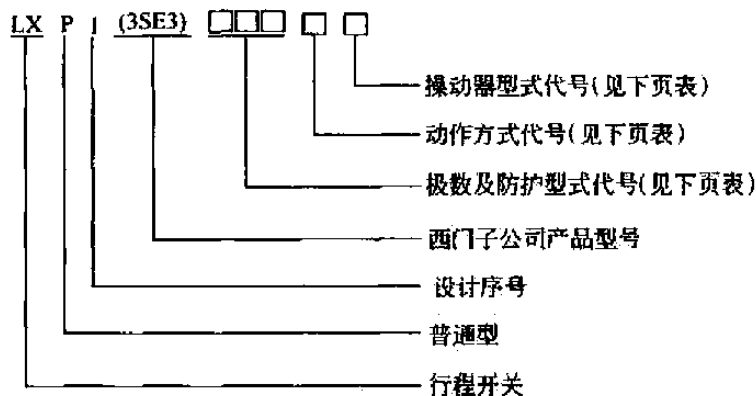
(2) 主要技术参数

表 17-2-4 LXPI (3SE3) 系列行程开关主要技术参数

额定绝缘电压 /V		额定发热电流 /A	额定工作电流/A									机械寿命 /万次	电寿命/万次		重复精度 /mm	防护外壳出线孔	防护等级
			AC-11			DC-11							1A/220V AC-11	0.5A/220V DC-11			
AC	DC	10	额定工作电压/V									3000	500	1000	0.02	M20 × 1.5	IP67
			125	220	380	500	24	48	110	220	440						
500	600	10	10	10	6	4	10	5	1	0.4	0.2	3000	500	1000	0.02	M20 × 1.5	IP67

注: 生产厂为北京第一机床电器厂, 上海第二机床电器厂。

(3) 型号含义



极数及防护型式代号

000	二极开关元件	050	二极开启式行程开关(有防护罩)	120	二极防护式行程开关(窄型)
010	二极有尾顶杆开关元件	003	三极开关元件	303	三极防护式行程开关(宽型)
020	二极开启式行程开关	023	三极开启式行程开关	404	四极防护式行程开关(宽型)
040	二极有尾顶杆开启式行程开关	100	二极防护式行程开关(宽型)		

动作方式代号

代号	触头极数			代号	触头极数		
	二极	三极	四极		二极	三极	四极
0	从动触头	一般从动触头, 一常开二常闭	两个从动开关元件	3	从动交叉触头	一交叉从动触头, 二常开一常闭(一对交叉)	一个从动, 一个快速开关元件
1	快速触头	一般从动触头, 二常开一常闭	两个快速开关元件	4		二交叉从动触头, 一常开二常闭(两对交叉)	
2	从动大开距触头	一交叉从动触头, 一常开二常闭(一对交叉)	两个交叉开关元件	5		一交叉从动触头, 二常开一常闭(两对交叉)	

操动器型式代号

B	直动型操动器	J	一般操动器, 摇杆有定位	W	塑料杆一般操动器
C	大行程直动型操动器	H	阻尼操动器, 摇杆可调	P	铝杆、阻尼型操动器
D	滚轮直动式	K	阻尼操动器, 摇杆有定位	Q	塑料杆、阻尼型操动器
E	横向杠杆滚轮式	U	一般操动器	R	弹簧杆操动器
F	纵向杠杆滚轮式	N	阻尼操动器	T	双轮式
G	一般操动器, 摇杆可调	V	铝杆一般操动器	A	开启式开关的唯一代号

(4) 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸见图 17-2-3、图 17-2-4 及图 17-2-5。

① 开启式

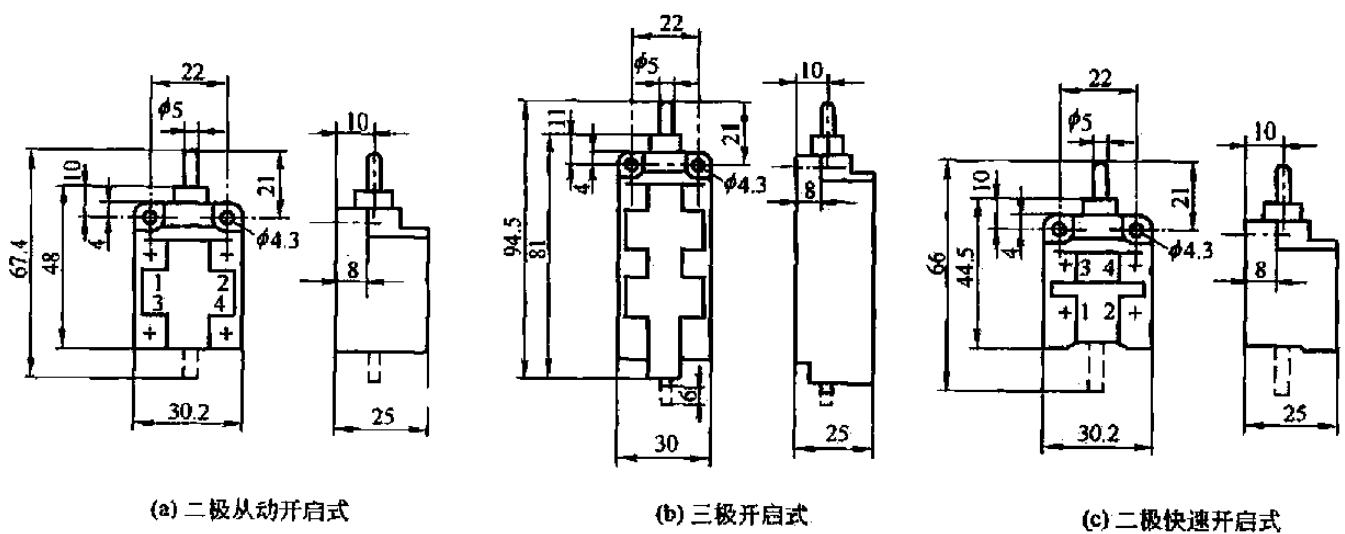


图 17-2-3

② 防护外壳

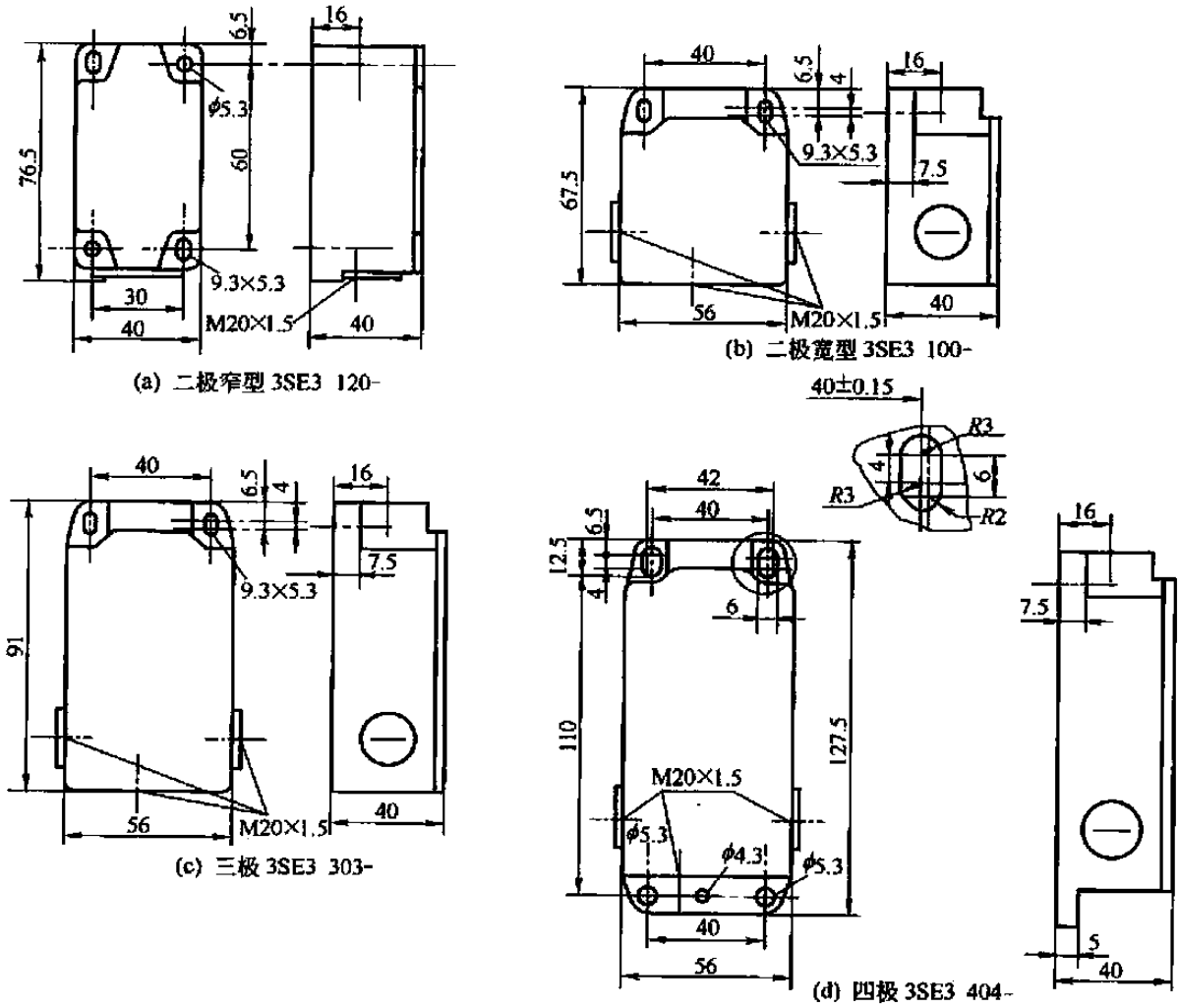
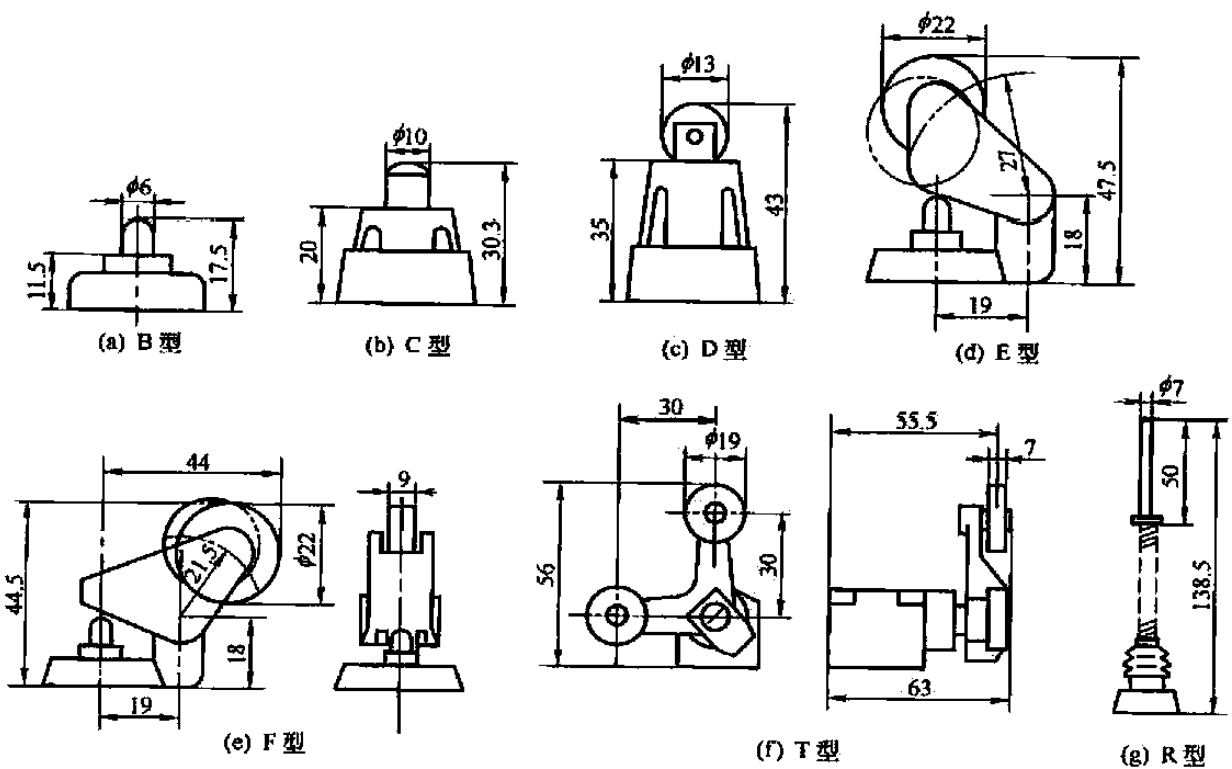
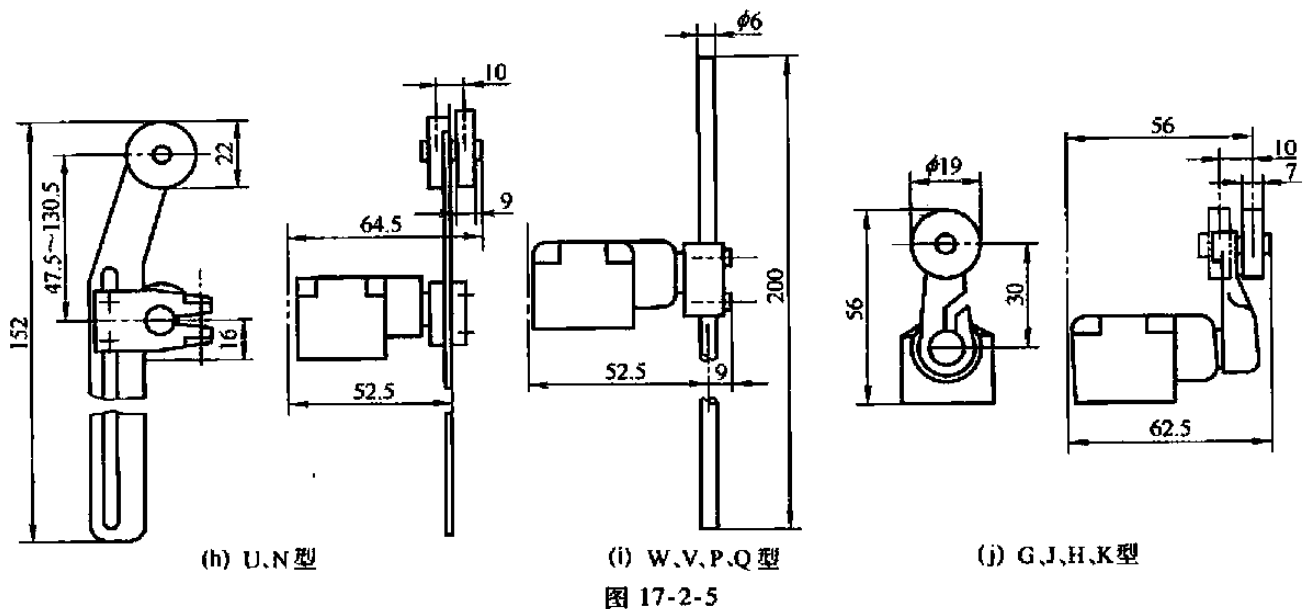


图 17-2-4

③ 操动器





2.2 LX19 系列行程开关

(1) 用途特点及工作条件

LX19 系列行程开关适用于交流 50Hz 或 60Hz、电压至 380V，直流电压至 220V 的控制电路中，将机械信号转换为电气信号，作控制运动机构行程和变换运动方向或速度用。

LX19 系列行程开关采用双断点瞬动式结构，安装在金属外壳内构成防护式。在外壳上配有各种方式的机械部件，组成单轮、双轮转动及无轮直线移动等型式的行程开关。

工作条件如下：

环境温度 $-25 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ；最湿月平均最大相对湿度为 90%，且该月的月平均最低温度为 25°C ；海拔不超过 2500mm。

(2) 主要技术性能

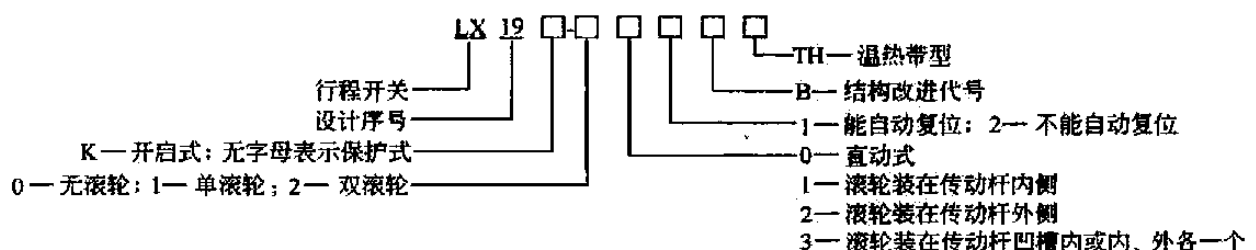
表 17-2-5

LX19 系列行程开关主要技术数据

型 号	触头数量		额定电压/V		额定工作电流/A		约定发热 电流/A	触头接触 时间/s	动作力 /N	动作行程/mm (或角度)
	常开	常闭	交流	直流	交流	直流				
LX19K(-B)	1	1	380	220	0.8	0.1	5	0.04	<9.8	1.5~3.5
LX19-001(B)									<14.7	1.5~3.5
LX19-111(B)									<19.6	$\leq 30^{\circ}$
LX19-121(B)										
LX19-131(B)										
LX19-212(B)										
LX19-222(B)										
LX19-232(B)	$\leq 60^{\circ}$									

注：生产厂有北京第一机床电器厂。

(3) 型号含义



(4) 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸见图 17-2-6。

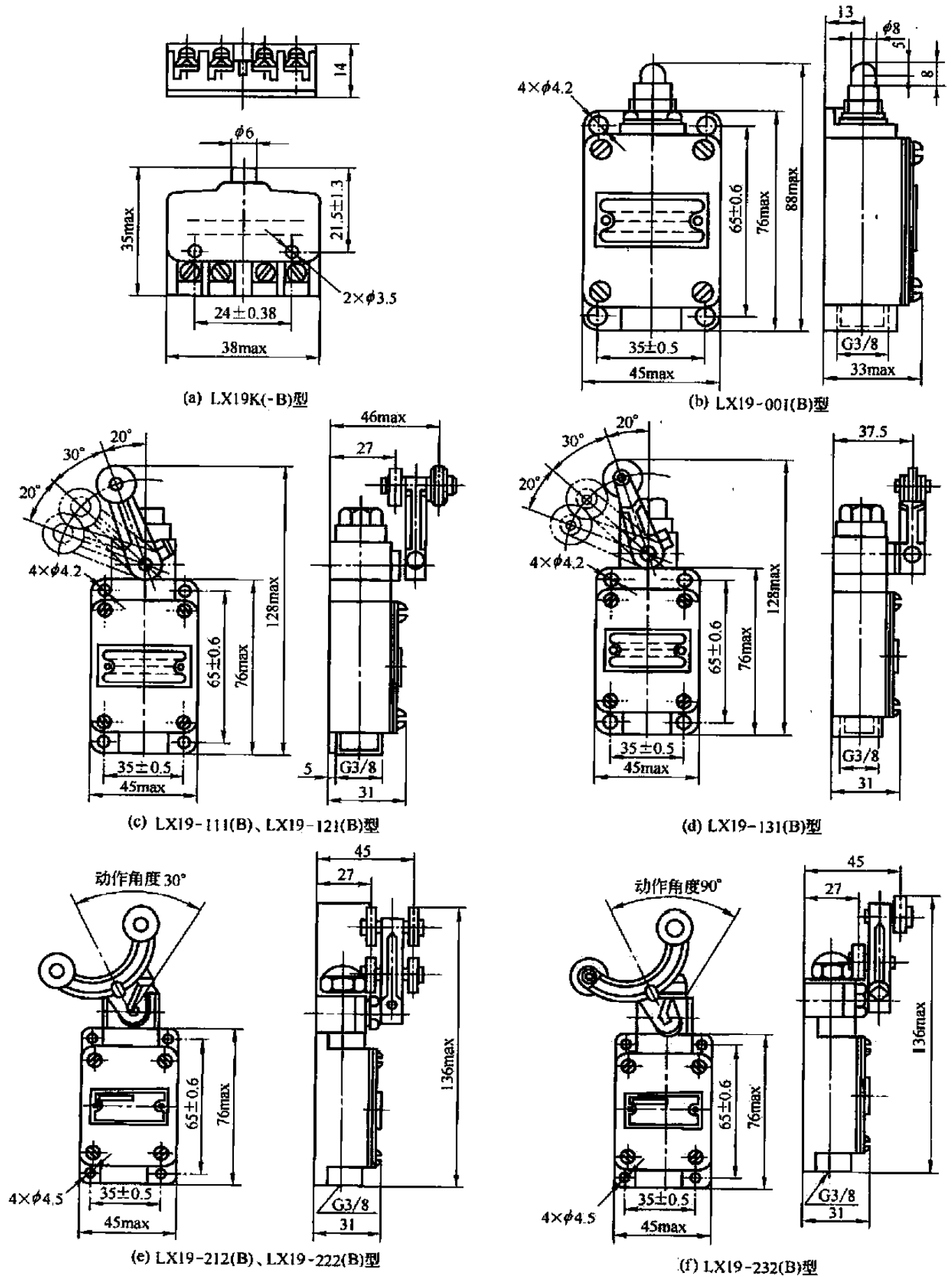


图 17-2-6

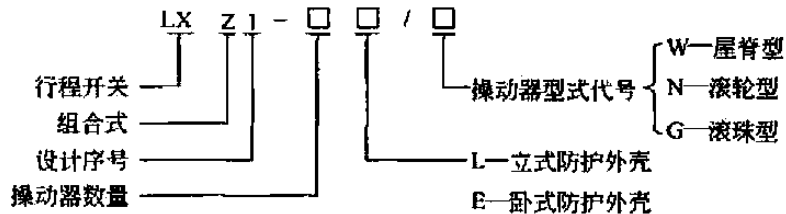
2.3 LXZ1 系列精密组合行程开关

(1) 用途及特点

LXZ1 系列精密组合行程开关适用于交流 50Hz 或 60Hz、额定电压至 220V 及直流额定电压至 220V 的控制电路中，作为控制、限位、定位、信号及程序转换之用。本系列组合行程开关具有较高的重复定位精度。

本系列行程开关由防护外壳、操动器及触头元件组成。防护外壳由铝合金压铸而成，具有较高的机械强度和刚度，能对壳内的触头元件起良好的保护作用，安装方便，密封性较好。其触头元件是一个双断点的微动开关，其动作灵活，转换速度快。

(2) 型号及含义



(3) 主要技术参数

表 17-2-6 LXZ1 系列行程开关主要技术参数

型 号	额定绝缘电压 /V	AC-11 时额定工作电流/A			DC-11 时额定工作电流/A			重复精度 /mm	操作频率 /次·h ⁻¹	机械寿命 /万次	电寿命/万次		防护等级
		24V	110V	220V	24V	110V	220V				AC	DC	
LXZ1-02L	220	3	1.4	0.7	0.5	0.14	0.07	精密型不大于 0.005, 普通型不大于 0.02	1200	1000	200	60	IP65
LXZ1-03L													
LXZ1-04L													
LXZ1-05L													
LXZ1-06L													
LXZ1-08L													

注：生产厂为北京第一机床电器厂。

(4) 外形及安装尺寸

LXZ1 系列行程开关外形及安装尺寸见图 17-2-7 和表 17-2-7。

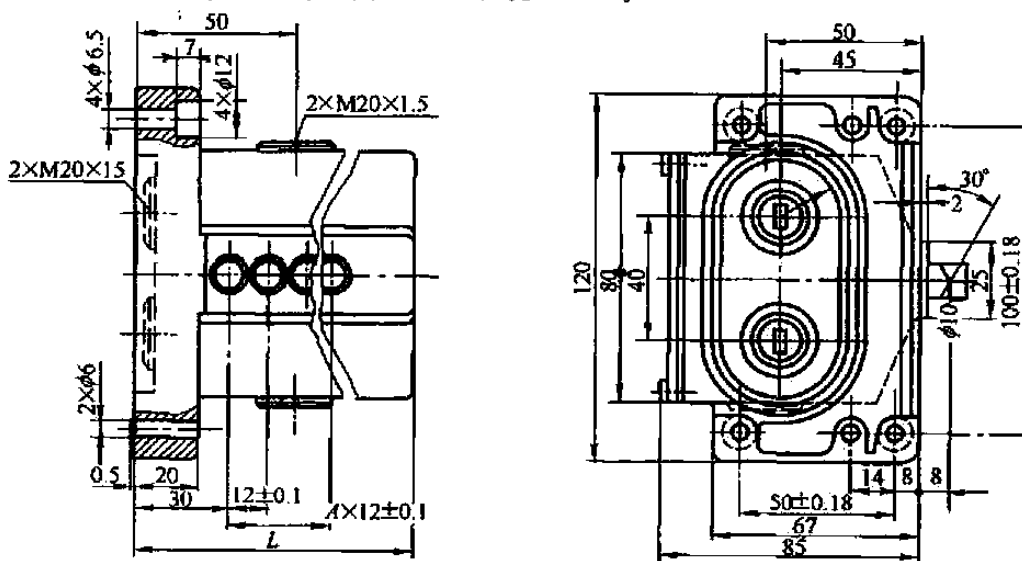


图 17-2-7

表 17-2-7

LXZ1 系列行程开关外形及安装尺寸

型 号		LXZ1-02L	LXZ1-03L	LXZ1-04L	LXZ1-05L	LX1-06L	LX1-08L
外形及安装 尺寸/mm	A	1	2	3	4	5	6
	L	68	80	92	104	116	140

(5) 工作条件

环境温度 -5 ~ 40℃；相对湿度 40℃时不超过 50%，25℃时不超过 90%；海拔不超过 2000m。

2.4 LXW6 系列微动开关

(1) 用途、特点及工作条件

LXW6 系列微动开关适用于交流 50Hz、额定电压至 380V 及以下的控制电路中，作行程控制或限位保护用。该系列微动开关都具有一常开、一常闭触头，安装方便，密封性好。该微动开关的出线方向可作 180°变化。工作条件：环境温度 -5 ~ 40℃；相对湿度 40℃时不超过 50%，25℃时不超过 90%；海拔不超过 2000m。

(2) 主要技术参数

表 17-2-8

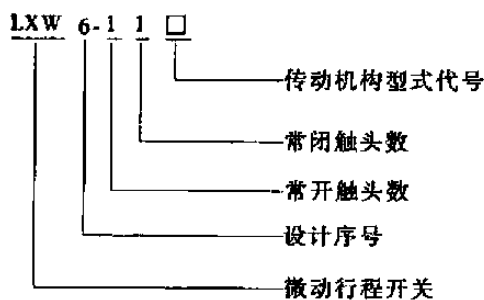
LXW6 系列微动开关主要技术参数

额定工作 电压/V	约定发热 电流/A	额定控制 容量/V·A	触头 对数	动作力 /N	复位力 /N	动作行程 /mm	误差 /mm	推杆超 行程/mm	机械寿命 /万次	电气寿命 /万次
AC≤380	3	100	1 常开 1 常闭	3.92 ±1.96	>0.49	0.5 ±0.2	≤0.3	>0.2	100	100

注：生产厂为沈阳二一三电器有限责任公司。

(3) 型号含义

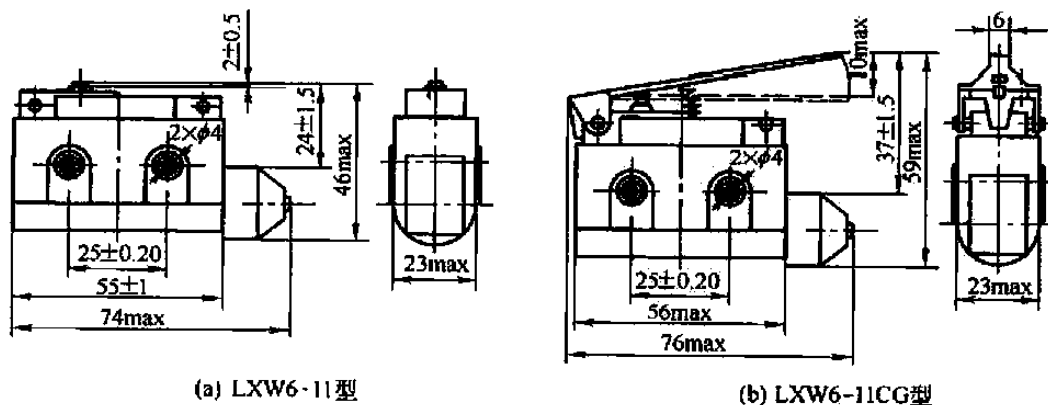
传动机构型式代号

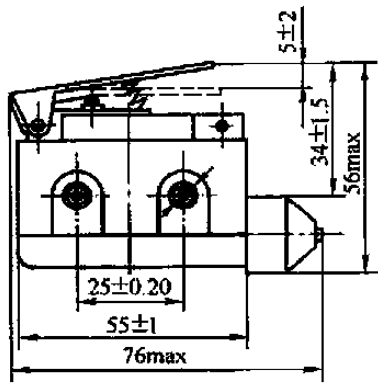


代号	名称	代号	名称
LXW6-11	基型	LXW6-11DDL	单方向短杠杆带滚轮传动
LXW6-11CG	长杠杆传动	LXW6-11CA	长按钮传动
LXW6-11DC	短杠杆传动	LXW6-11DA	短按钮传动
LXW6-11CL	长杠杆带滚轮传动	LXW6-11BZ	带安装螺母、长按钮传动
LXW6-11DL	短杠杆带滚轮传动	LXW6-11ZL	带安装螺母、纵向滚轮传动
LXW6-11DCL	单方向长杠杆带滚轮传动	LXW6-11HL	带安装螺母、横向滚轮传动

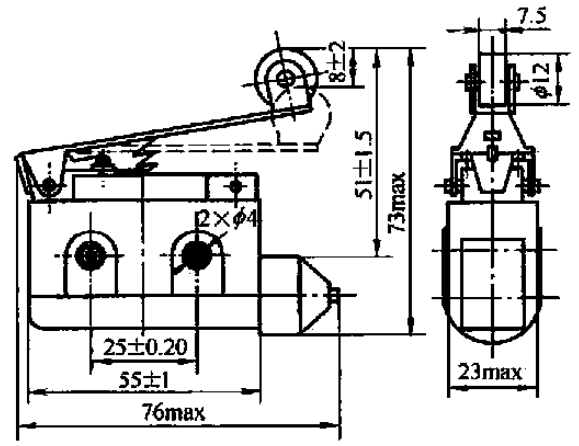
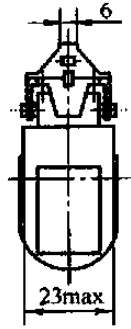
(4) 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸见图 17-2-8。

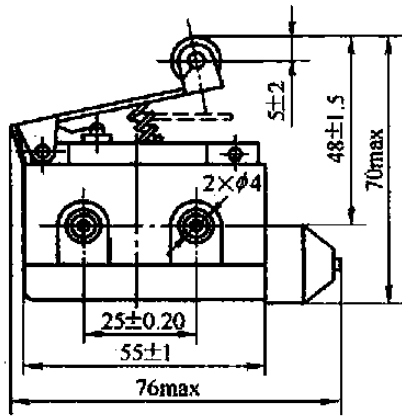




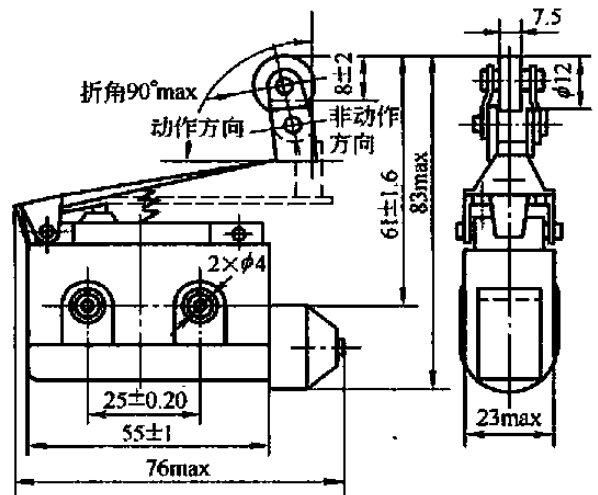
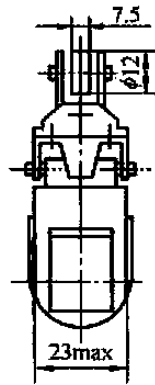
(c) LXW6-11DG型



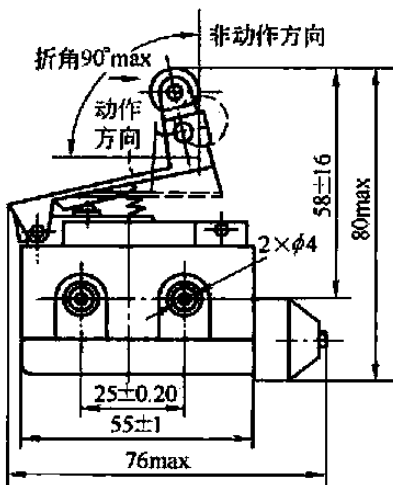
(d) LXW6-11CL型



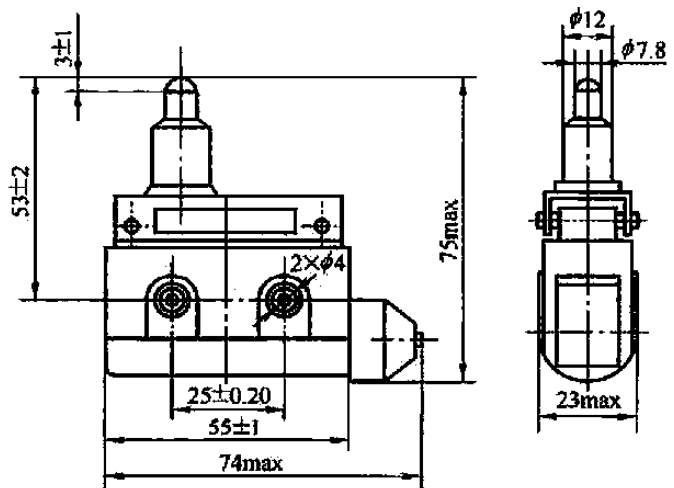
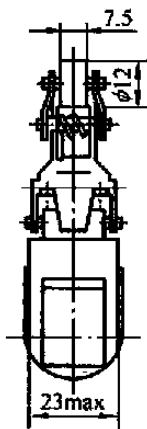
(e) LXW6-11DL型



(f) LXW6-11DCL型



(g) LXW6-11DDL型



(h) LXW6-11CA型

图 17-2-8

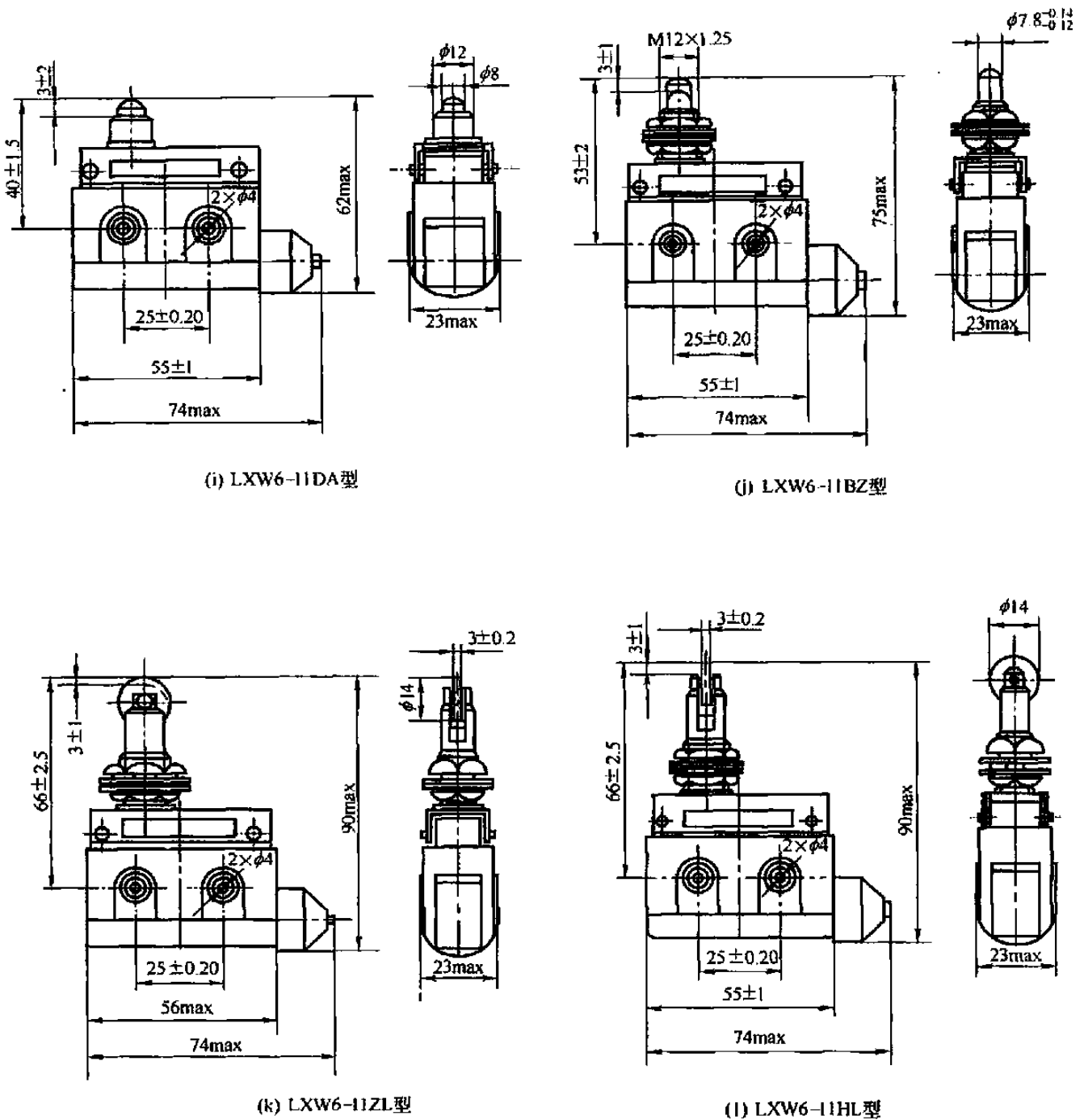


图 17-2-8

2.5 WL 型双回路行程开关

(1) 用途及特点

WL 型双回路限位开关广泛应用于机械传动装置的定位和信息反馈系统中, 作为与机构直接碰触接触并即时可发出动作信号的元件。本节所编产品均为欧姆龙(中国)有限公司的产品。

(2) 型号及含义

WL □ □ - □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 型

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪

① 标准型无标记; 微小型为 01。

② 传动轴头部标记: 无摆杆时, WL 后加上 R, 有要求时见表 17-2-9。

表 17-2-9

传动轴头部标记

记号	传动轴种类	无摆杆开关型式
CA2	滚轮摆杆型(标准型·R38)	WLRCA2型
CA2-7	滚轮摆杆型(标准型·中手柄·R50)	WLRCA2型
CA2-8	滚轮摆杆型(标准型·长手柄·R63)	WLRCA2型
H2	滚轮摆杆型(过行程型一般型·80°)	WLRH2型
G2	滚轮摆杆型(过行程型高灵敏度型·80°)	WLRG2型
CA2-2	滚轮摆杆型(过行程型90°动作型)	WLRCA-2-2型
CA2-2N	滚轮摆杆型(过行程型90°动作型)	WLRCA2-2N型
GCA2	滚轮摆杆型(高精度型·R38)	WLRGCA2型
CA12	滚轮摆杆型(标准型)	WLRCA2型
H12	可调式滚轮摆杆型(过行程型一般型·80°)	WLRH2型
G12	可调式滚轮摆杆型(过行程型高灵敏度型·80°)	WLRG2型
CA12-2	可调式滚轮摆杆型(过行程型90°动作型)	WLRCA-2-2型
CA12-2N	可调式滚轮摆杆型(过行程型90°动作型)	WLRCA2-2N型
CL	可调杆状摆杆型(标准型25~140mm)	WLRCL型
HL	可调杆状摆杆型(过行程型一般型·80°·25~140mm)	WLRH2型
HAL4	可调杆状摆杆型(过行程型一般型·80°·350~380mm)	WLRH2型
GL	可调杆状摆杆型(过行程型高灵敏度型·80°·25~140mm)	WLRG2型
CL-2	可调滚轮摆杆型(过行程型90°动作型·25~140mm)	WLRCA-2-2型
CL-2N	可调杆状摆杆型(过行程型90°动作型·25~140mm)	WLRCA2-2N型
HAL5	簧片杆状摆杆型(过行程型一般型·80°)	WLRH2型
CA32-41	叉状摆杆锁定型(保持型·WL-5A100型)	WLRCA32型
CA32-42	叉状摆杆锁定型(保持型·WL-5A100型)	WLRCA32型
CA32-43	叉状摆杆锁定型(保持型·WL-5A100型)	WLRCA32型
D	柱塞型(顶部柱塞型)	—
D2	柱塞型(顶部滚轮柱塞型)	—
D28	柱塞型(顶部滚轮柱塞型附密封套)	—
D3	柱塞型(顶部球体柱塞型)	—
SD	柱塞型(侧柱塞型)	—
SD2	柱塞型(侧滚轮柱塞型)	—
SD3	柱塞型(侧球体柱塞型)	—
NJ	触须型(盘簧型)	—
NJ-30	触须型(盘簧型·多圈)	—
NJ-2	触须型(盘簧型·树脂棒)	—
NJ-52	触须型(钢丝型)	—

③ 耐环境标记：标准型无标记；耐蚀型为 RP；户外型为 P1。

④ 内藏开关标记：一般内藏开关无标记；密封型内藏开关为 55。

⑤ 环境温度标记：适用于 -10~80℃ 无标记；用于 5~120℃ 的为 TH；用于 -40~40℃ 的为 TC。

⑥ 高密封型标记：见下表。

—	无缆线、塑封
I39	一般内藏开关,附缆线、出线孔、盖部塑封
140	密闭型内藏开关,附缆线、出线孔、盒内部、盖安装螺钉塑封(盖子不可拆下)
141	密闭型内藏开关,附缆线、出线孔、盖部、头部、盒内部、盖和头安装螺钉部塑封,头部人口处有对应切削粉(盖不可卸下)
145	密闭型内藏开关,附缆线、出线孔、外盖、盒体内部塑封、头部人口处有对应切削粉
RP40	密闭型内藏开关,附缆线,SC可变更,盖部、盒内部塑封(外盖不可卸下)
RP60	密闭型内藏开关,附缆线、氟橡胶、出线孔、外盖、盒体内部塑封(外盖不可卸下)

⑦ 出线孔尺寸和有无接地端子的标记: 见下表。

—	G1/2 无接地端子	Y	M20 有接地端子
G1	G1/2 有接地端子	TS	1/2-14NPT 有接地端子
G	Pg13.5 有接地端子		

⑧ 动作显示方式的标记: 见下表。

—	无显示灯		
LE	氖灯	AC125 ~ 250V(电压)	约 0.6 ~ 1.9mA(漏电流)
LD	LED 1个	AC/DC10 ~ 115V(电压)	约 1mA(漏电流)

⑨ 摆杆固定方式的标记: 无标记表示标准摆杆; A 表示 A 摆杆(附翼型螺母)。

⑩ 标准型无标记; 喷射对策型为 S。

⑪ 连接器缆线的标记: 见下表。

—	锁螺钉端子(G1/2孔)	K43A	连接器出线型(4芯DC)	-AGJ03	附缆线出线型(4芯AC) 附0.3m缆线
K13	连接器出线型(2芯DC)				
K13A	连接器出线型(2芯AC)	-MIJ	附缆线出线型(2芯DC) 附0.3m缆线	-DGJ03	附缆线出线型(2芯DC) 附0.3m缆线
K43	连接器出线型(4芯DC)				

(3) 主要技术参数

WL□-□型双回路限位开关主要技术性能见表 17-2-10 和表 17-2-11。

表 17-2-10

技术性能(一)

型 式	使用类别及额定值	热 电 流	显 示 灯
WL□-□型	AC-15 2A/250V DC-12 2A/48V	10A	—
WL01□-□型	AC-14 0.1A/125V DC-12 0.1A/48V	0.5A	—
WL□-□LE型	AC-15 2A/250V	10A	氖灯
WL01□-□LE型	AC-14 0.1A/125V	0.5A	氖灯
WL□-□LD型	AC-15 2A/115V DC-12 2A/48V	10A	LED
WL01□-□LD型	AC-14 0.1A/115V DC-12 0.1A/48V	0.5A	LED

注: 1. 例 AC-15 2A/250V 意义为, AC-15 表示使用类别, 2A 为额定动作电流; 250V 为额定动作电压。

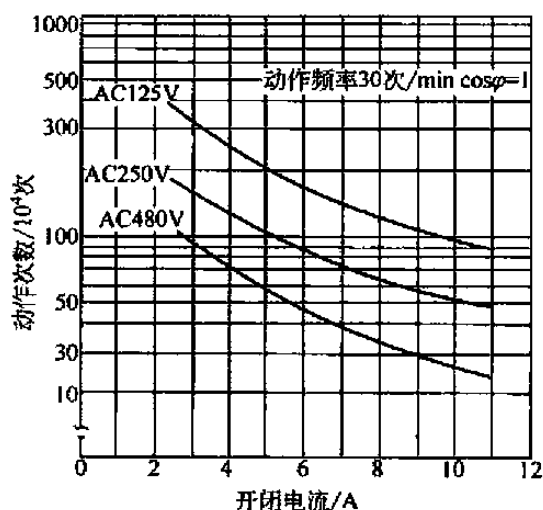
2. 例 0.1A 125V AC、0.1A 30V DC 表示微小负载型。

表 17-2-11

技术性能 (二)

保护构造		IP67
寿命 ^①	机械性	1500 万次以上 ^②
	电气性	75 万次以上 ^③ (AC125V 10A 阻抗负载)
容许操作速度		1mm/s ~ 1m/s(WLCA2 型)
容许动作频率	机械性	120 次/min
	电气性	30 次/min
额定周波数		50/60Hz
绝缘阻抗		100MΩ 以上(DC500V)
接触阻抗		25mΩ 以下(初期值)
耐电压	同极端子间	AC1000V(600V)50/60Hz 1min
	充电金属部与接地间	AC2200V(1500V)50/60Hz 1min/ U_{imp} 2.5kV
	各端子与非充电金属间	AC2200V(1500V)50/60Hz 1min/ U_{imp} 2.5kV
额定绝缘电压(U_i)		250V(EN60947-5-1)
开闭时逆向电压		1000V _{max} (EN60947-5-1)
污染度(使用环境)		3(EN60947-5-1)
短路保护装置		10A 保险丝 gG 型或 gI 型(IEC269)
附条件短路电流		100A(EN60947-5-1)
额定密闭热电流		10 ~ 0.5A(EN60947-5-1)
触电保护等级		class I
振动	误动作	10 ~ 55Hz 复振幅 1.5mm ^④
冲击	耐久	1000m/s ² 以上(约 100G 以上)
	误动作	300m/s ² 以上(约 30G 以上) ^④
使用环境温度		-10 ~ 80℃(但不能结冰) ^⑤
使用环境湿度		95% RH 以下
质量		约 275g(WLCA2 型情况下)

特性曲线
电气寿命曲线($\cos\phi = 1$)
(环境温度 5 ~ 30℃, 环境湿度 40% ~ 70% RH)



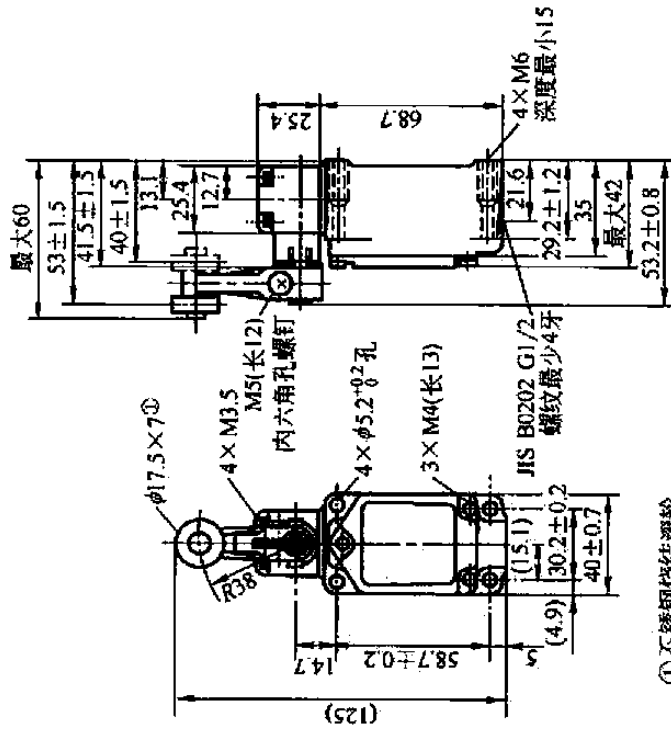
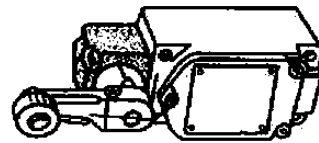
- ① 寿命值系指环境温度 5 ~ 35℃, 环境湿度 40% ~ 70% RH 时。
 ② 大角度型之一般型、高感度型、软杆型在 1000 万次以上。
 ③ 高感度型室外规格在 50 万次以上, 但微小负载型全部在 100 万次以上。
 ④ 软杆型除外。
 ⑤ 耐寒型在 -40 ~ 40℃ (但不结冰)。

(4) 外形及安装尺寸与动作特性

旋转摆杆型 WLO1 是标准型, WLO1□ 是微小负载型

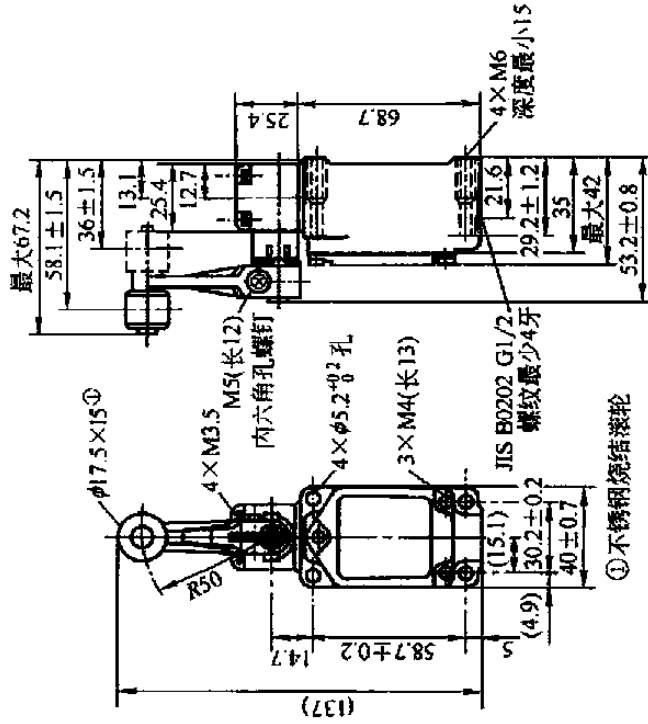
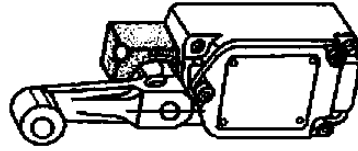
- 滚轮摆杆型
- W1CA2 型
- WLO1CA2 型
- W1CA2-2 型
- WLO1CA2-2 型

滚 轮 摆 杆 型



① 不锈钢烧结滚轮

- 滚轮摆杆型
- W1CA2-7 型
- WLO1CA2-7 型

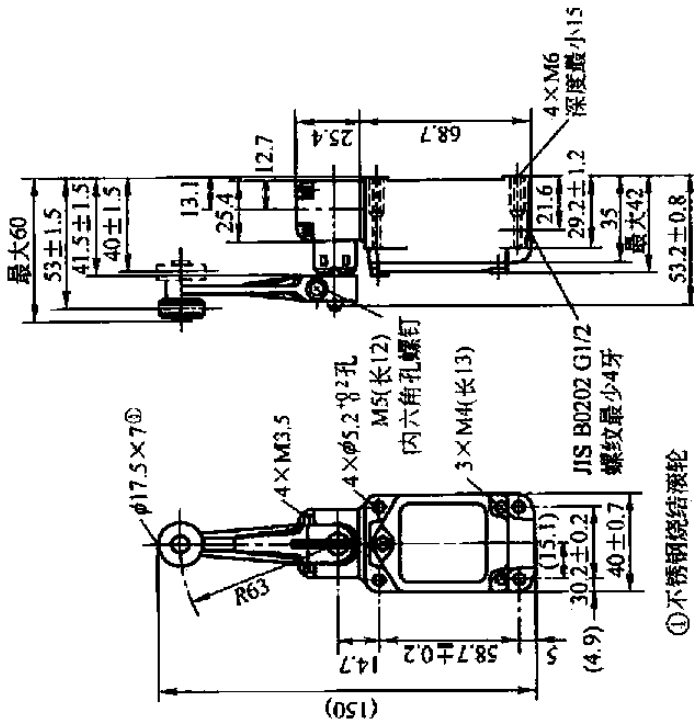


① 不锈钢烧结滚轮

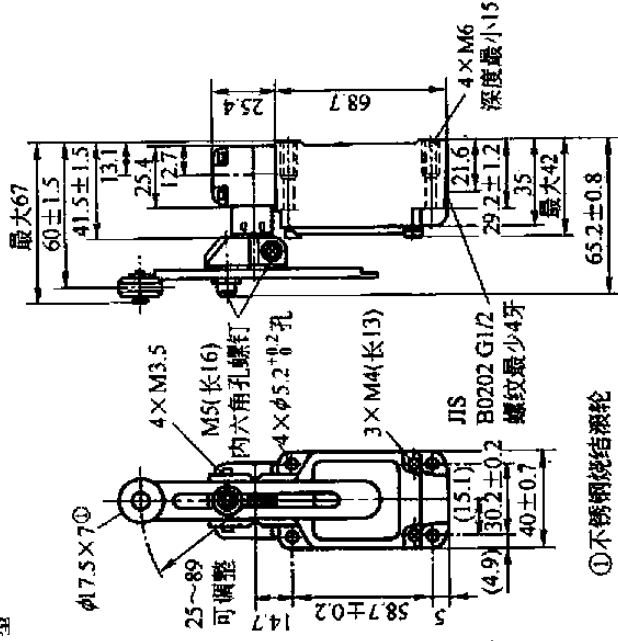
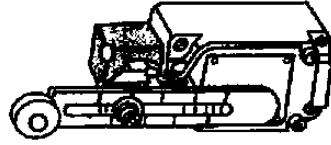
旋转摆杆型 WLC12型是标准型、WLD12型是微小负载型

滚轮摆杆型
WLC2-8型
WLD12-8型

滚 轮 摆 杆 型



可调整滚杆型
WLC12型
WLD12型 φ17.5×7



注：表列各种外形尺寸图中，未标明部分的尺寸公差为0.4mm。

表 17-2-13

动作特性

型 式

动作特性	WLC2型 WLD12型		WLC2-2型 WLD12-2型		WLC2-7型 WLD12-7型		WLC2-8型 WLD12-8型		WLC12型 ^① WLD12型 ^①		WLC12-2型 ^② WLD12-2型 ^②		
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	
动作需要力	13.34N	2.23N	8.83N	0.49N	10.2N	1.67N	8.04N	1.34N	13.34N	2.23N	8.83N	0.49N	
恢复力	15° ± 5°	30°	25° ± 5°	60°	15° ± 5°	30°	15° ± 5°	30°	15° ± 5°	30°	25° ± 5°	60°	
动作前移动	12°	16°	16°	16°	12°	12°	12°	12°	12°	12°	16°	16°	
动作后移动													
成差移动													

OF	5.68N
RF	0.95N

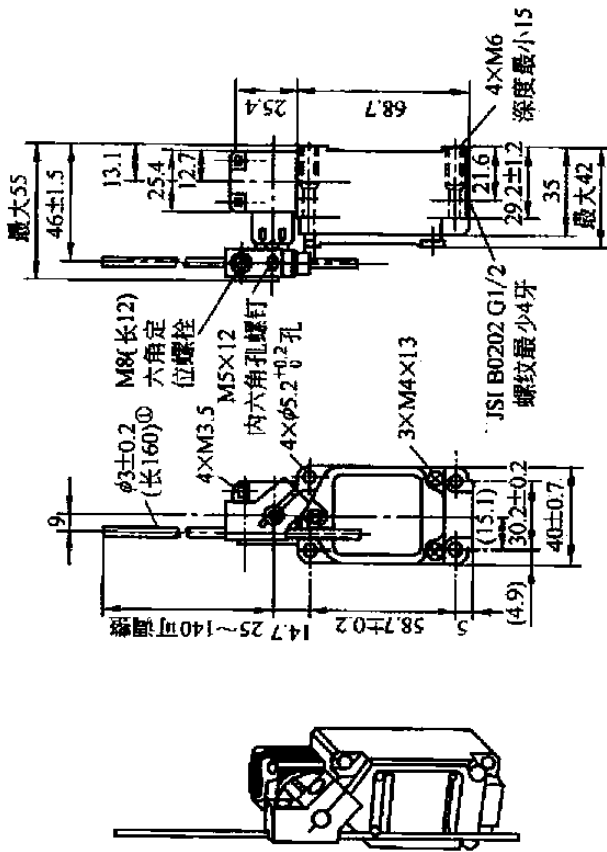
① WLC12型、WLD12型动作特性为摆杆长度38mm时的值，摆杆长度为89mm时的OF、RF参考值为：

② WLC12-2型、WLD12-2型动作特性为摆杆长度38mm时的值。

可调杆状摆杆型

WLCL 型 WLCL-2 型

WL01CL 型 WL01CL-2 型

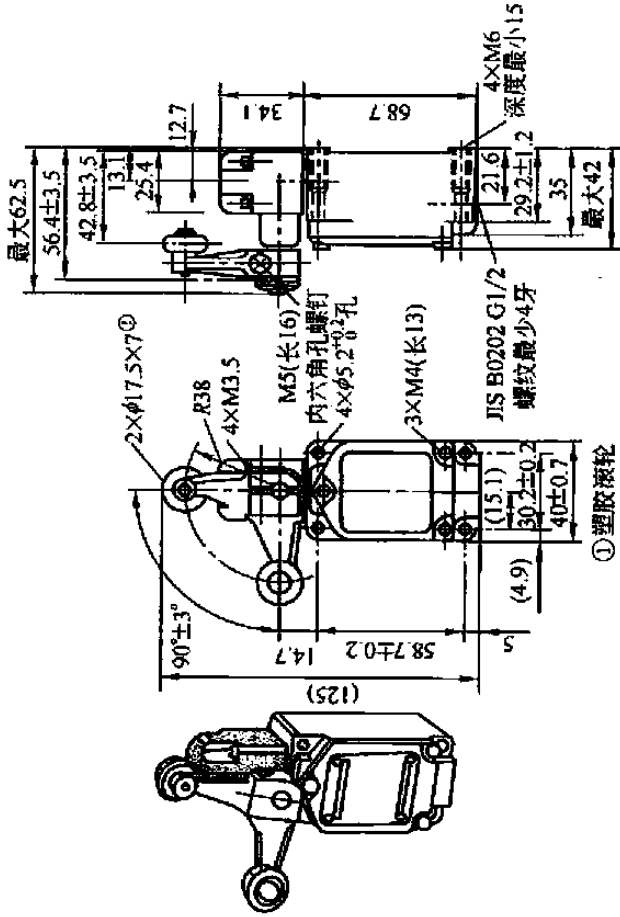


① 不锈钢滚轮

叉状摆杆锁定型

WLCA32-41 ~ 44 型

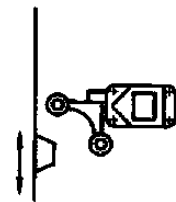
WL01CA32-41 ~ 44 型



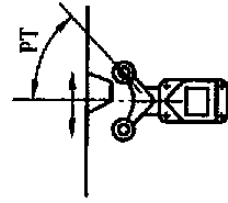
① 塑胶滚轮

不锈钢滚轮 WLCA32-041 ~ 044

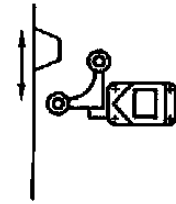
WLCA32-41 型 WLCA32-42 型 WLCA32-43 型 WLCA32-44 型



NC 导通



NO 导通



NO 导通

注：1. 表列各种外形尺寸图中，未标明部分的尺寸公差为 0.4mm。

2. 动作示意：

表 17-2-15

动作特性

动作特性	型式		动作特性	型式
	WLCL型 ^① WL01CL型 ^①	WLCL-2型 ^① WL01CL-2型 ^①		
动作需要力	最大	2.55N	最大	WLCA32-41 ~ 44 型 WL01CA32-41 ~ 44 型
恢复力	最小	0.1N	最小	
动作前移动	15° ± 5°	25° ± 5°	55°	
动作后移动	30°	60°	35°	
应差移动	12°	16°		

① WLCL 型、WL01CL 型、WLCL-2 型、WL01CL-2 型动作特性均为标杆长 148mm 时的值。

表 17-2-16

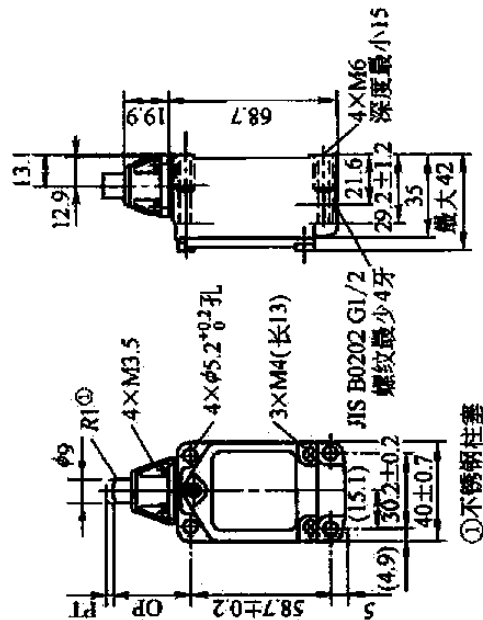
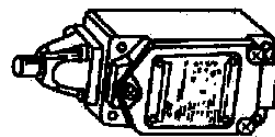
柱基型行程开关的外形及安装尺寸与动作特性

mm

顶部柱基型

WLD 型

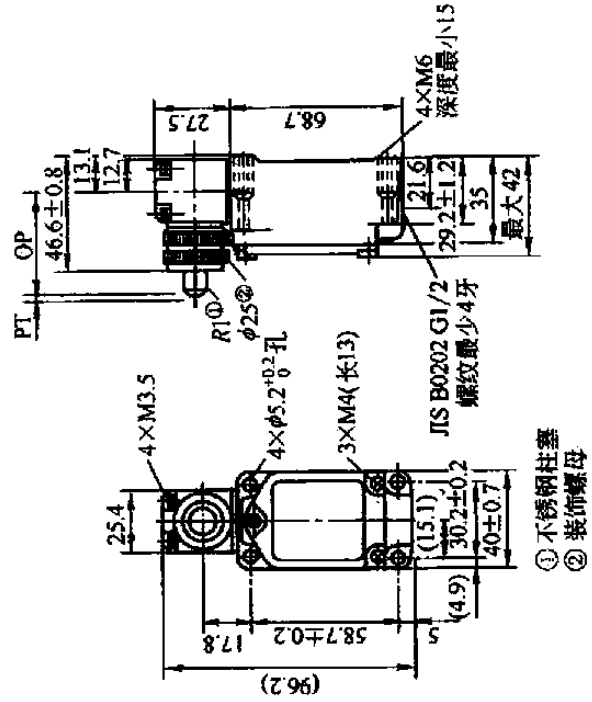
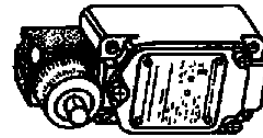
WL01D 型



侧面柱基型

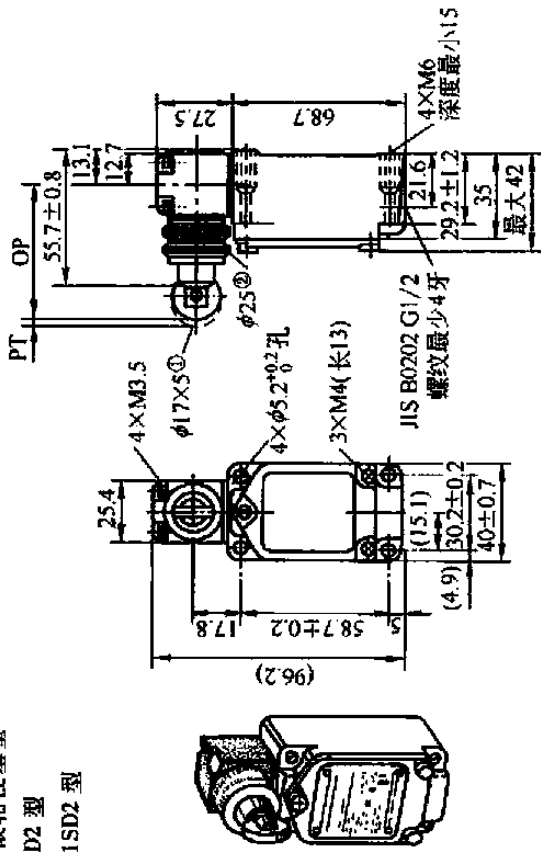
WLS D 型

WL01SD 型



侧面滚柱柱塞型

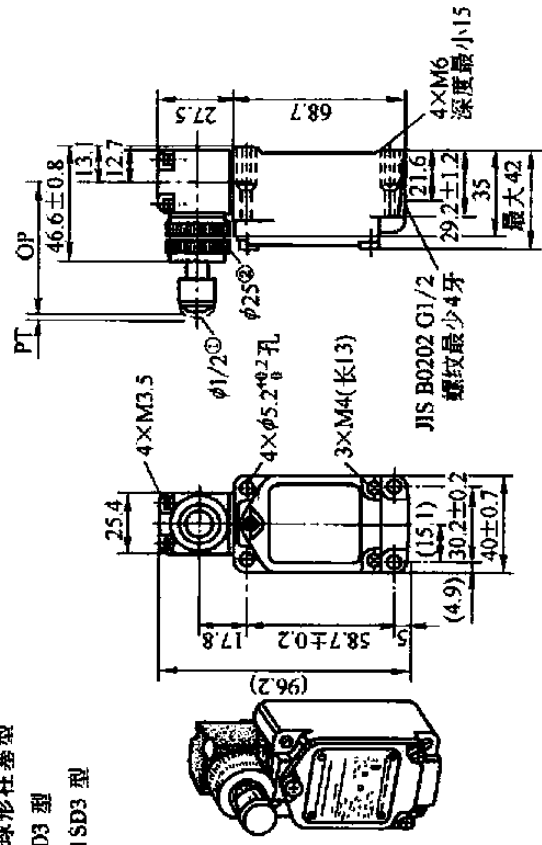
WLS D2 型
W L01 S D2 型



① 不锈钢烧结滚柱 ② 装饰螺母

侧面球形柱塞型

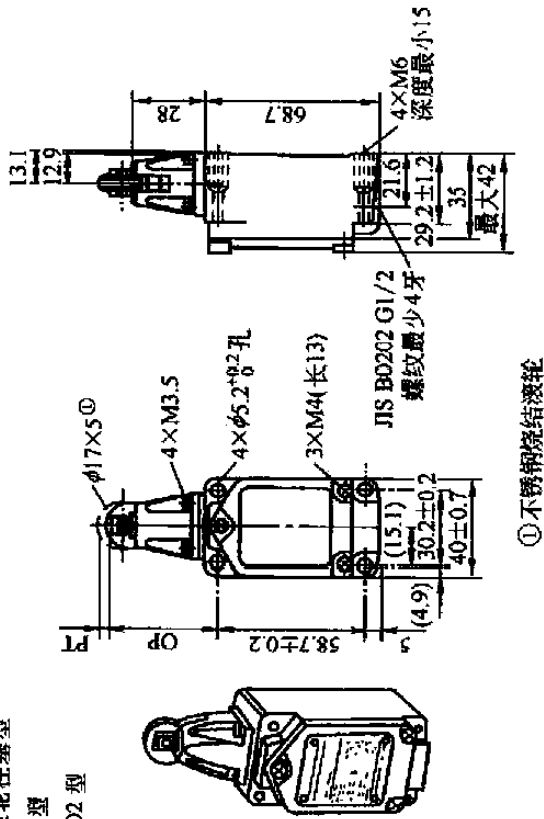
WLS D3 型
W L01 S D3 型



① 不锈钢球体 ② 装饰螺母

顶部滚柱柱塞型

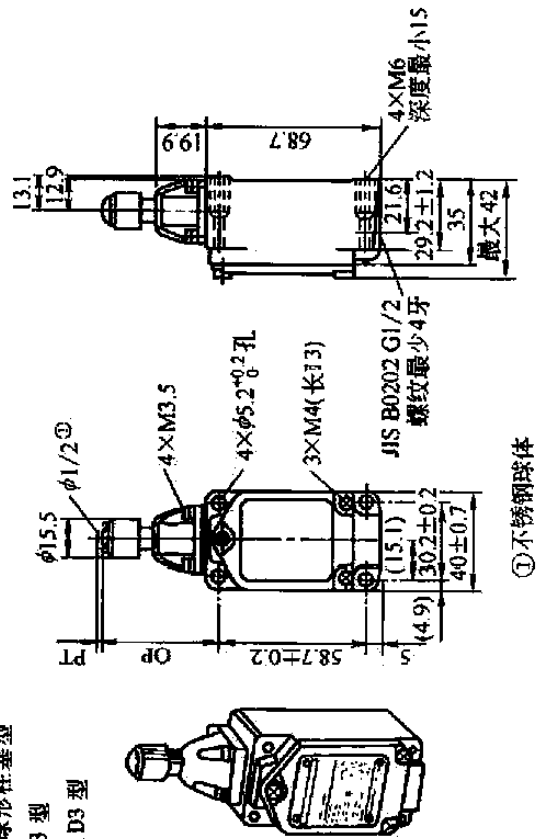
WLD2 型
W L01 D2 型



① 不锈钢烧结滚柱

顶部球形柱塞型

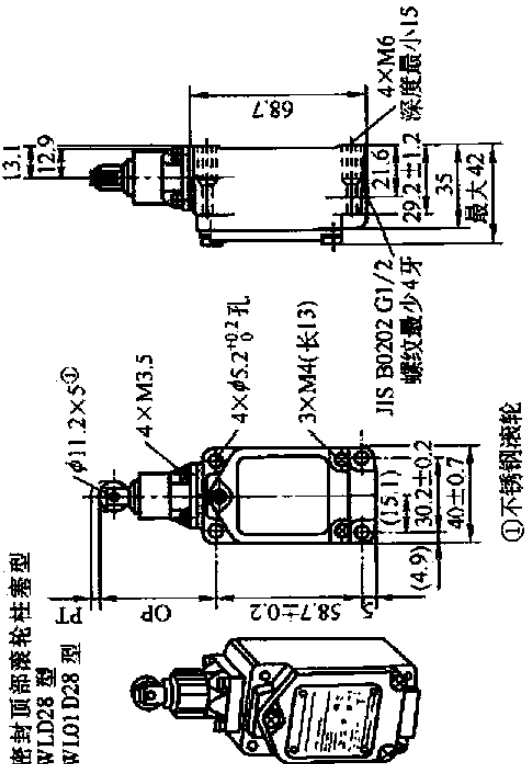
WLD3 型
W L01 D3 型



① 不锈钢球体

续表

		型式			
		WLD型 WL01D型	WLD2型 WL01D2型	WLD3型 WL01D3型	WLD2R型 WL01D2R型
动作特性	动作需要力	26.67N	26.67N	26.67N	16.67N
	恢复力	8.92N	8.92N	8.92N	4.41N
	动作前移动	1.7mm	1.7mm	1.7mm	1.7mm
	动作后移动	6.4mm	5.6mm	4mm	5.4mm
	应差移动	1mm	1mm	1mm	1mm
动作位置	(34 ± 0.8) mm	(44 ± 0.8) mm	(44.5 ± 0.8) mm	(44 ± 0.8) mm	
动作限定位置	29.5mm	39.5mm	41mm	39.5mm	
		型式			
		WLS2型 WL01SD2型	WLS3型 WL01SD3型	WLS2R型 WL01SD2R型	
动作特性	动作需要力	40.03N	40.03N	40.03N	40.03N
	恢复力	8.89N	8.89N	8.89N	8.89N
	动作前移动	2.8mm	2.8mm	2.8mm	2.8mm
	动作后移动	5.6mm	4mm	4mm	6.4mm
	应差移动	1mm	1mm	1mm	1mm
动作位置	(54.2 ± 0.8) mm	(54.1 ± 0.8) mm	(54.1 ± 0.8) mm	(40.6 ± 0.8) mm	
动作限定位置	—	—	—	—	



①不锈钢滚柱

注：表列各种外形尺寸中，未标明部分的尺寸公差为0.4mm。

表 17-2-17

簧（触须）型的外形及安装尺寸与动作特性

		盘簧型（多重螺旋型） WLNJ-30型 WL01NJ-30型	
外形与安装尺寸/mm	WLNJ型		
	WL01NJ型		

- ①除轴芯方向↓外，可从任何方向使其动作
- ②不锈钢盘簧
- ③操作体的最佳使用范围为盘簧杆端至盘簧全长的1/3以内

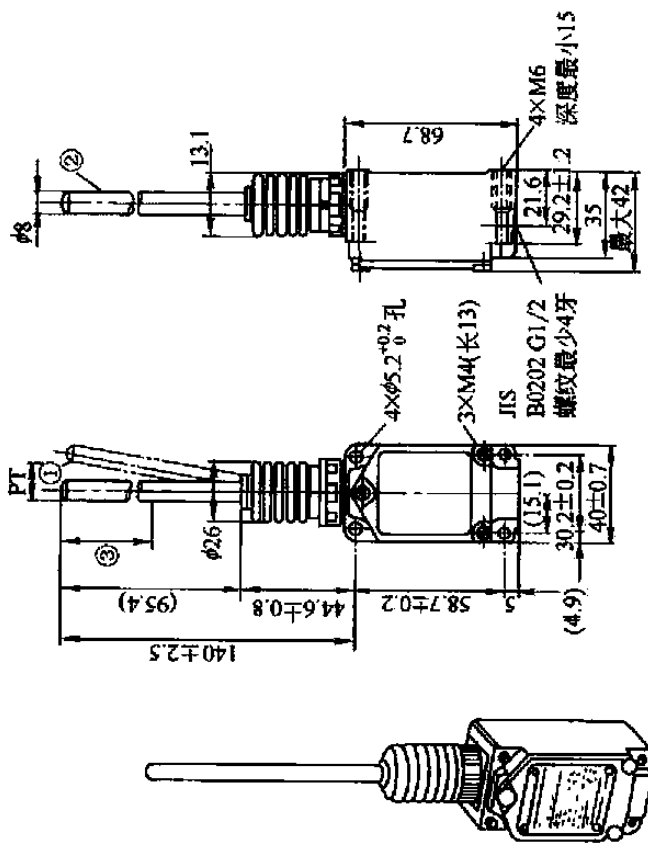
- ①除轴芯方向↓外，可从任何方向使其动作
- ②精密线圈盘簧
- ③操作体的最佳使用范围为盘簧杆端至盘簧全长的1/3以内

续表

盘簧型(树脂杆型)

WLNJ-2型

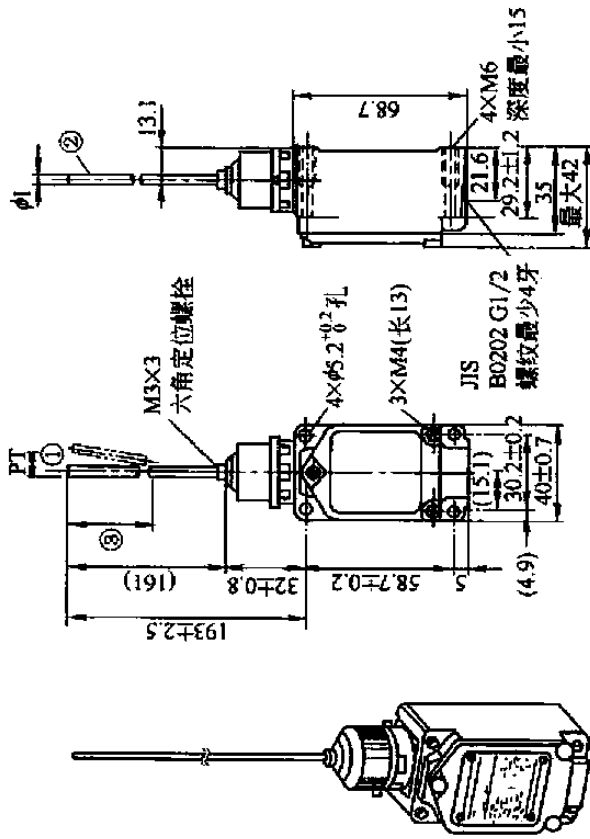
WL01NJ-2型



外形与安装尺寸 /mm

- ①除轴芯方向↓外,可从任何方向使其动作
- ②环氧树脂杆
- ③操作体的最佳使用范围为杆端至杆全长的1/3以内

钢丝型
WLNJ-S2型
WL01NJ-S2型



- ①除轴芯方向↓外,可从任何方向使其动作
- ②不锈钢丝
- ③操作体的最佳使用范围为钢丝端至钢丝全长的1/3以内

型式

动作特性	WLNJ型 ^① WL01NJ型 ^①	WLNJ型30 ^① WL01NJ30型 ^①	WLNJ型-2 ^① WL01NJ-2型 ^①	WLNJ-S2型 ^① WL01NJ-S2型 ^①
动作需要力 OF 最大/N	1.47	1.47	1.47	0.28
动作前移动 PT/mm	20 ± 10	20 ± 10	40 ± 20	40 ± 20

①表示所列数值为簧片或钢丝尖端的值。

注:表列各外形尺寸中,未标明的尺寸公差为0.4mm。

3 接近开关

3.1 LXJ6 系列接近开关

(1) 用途、特点及工作条件

LXJ6 系列电感式接近开关适用于交流 50Hz 或 60Hz, 额定工作电压 100 - 250V 的线路中, 作为机床及自动线的定位或检测信号元件使用。当运动的金属体靠近接近开关并达到动作距离之内时, 接近开关无接触、无压力地发出检测信号, 供驱动小容量的接触器或中间继电器以及控制程序转换用。该系列开关具有防震、防潮性, 外壳采用增强尼龙材料。

工作条件: 周围环境温度 $-5 \sim 40^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 40°C 时不超过 50%, 25°C 时不超过 90%; 安装地海拔高度不超过 2000m。

(2) 主要技术参数

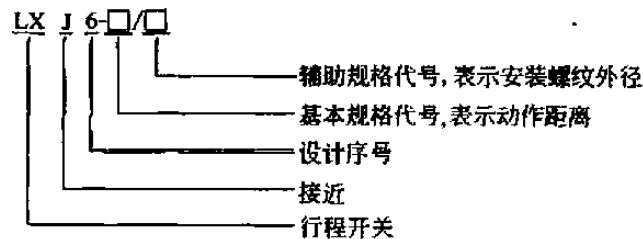
表 17-2-18

LXJ6 系列接近开关主要技术参数

型号	动作距离 /mm	复位行程差 /mm	额定工作电压/V		输出能力		重复 精度/mm	开关压降/V	
			AC	DC	长期/mA	瞬时 ($t \leq 20\text{ms}$)		AC	DC
LXJ6-2/12	2 ± 1	≤ 1	100 - 250	10 - 30	30 - 200	1A	± 0.15	< 9	< 4.5
LXJ6-2/18	2 ± 1								
LXJ6-4/18	4 ± 1								
LXJ6-4/22	4 ± 1	≤ 2							
LXJ6-6/22	6 ± 1								
LXJ6-8/30	8 ± 1								
LXJ6-10/30	10 ± 1								

注: 生产厂为沈阳二一三电器有限责任公司。

(3) 型号含义



(4) 外形及安装尺寸

表 17-2-19

外形及安装尺寸

mm

图 形	型 号	D	d_1	L_1	L_2	L_3
	LXJ6-2/12	20	M12 × 1	50	58	62
	LXJ6-2/18	28	M18 × 1	50	75	79
	LXJ6-4/18					
	LXJ6-4/22	35	M22 × 1	50	75	79
	LXJ6-6/22					
	LXJ6-8/30	42	M30 × 1.5	50	75	79
	LXJ6-10/30					

3.2 LXJ7 系列接近开关

(1) 用途、特点及工作条件

LXJ7 系列接近开关适用于交流 50Hz 或 60Hz、额定电压为 100 ~ 250V 的线路中，作为机床及自动线的定位或检测信号元件使用。该系列接近开关采用盒式方形结构，安装方便。开关为交流二线制，负载可直接串接在线路中，使用方便。此外，开关还具有耐振、防潮等特点。

工作条件：周围环境温度 $-25 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度 25°C 时不超过 90%；安装地点海拔高度不超过 2000m。

(2) 主要技术参数

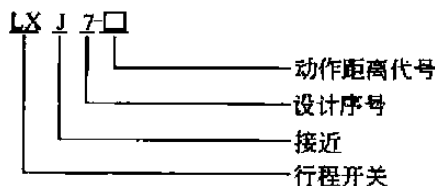
表 17-2-20

LXJ7 系列接近开关主要技术参数

型号	作用距离 /mm	复位行程差 /mm	额定工作电压 /V	输出能力		重复精度 /mm	开关压降(AC) /V
				长期/mA	瞬时 ($t \leq 20\text{ms}$)		
LXJ7-10	10 ± 2.5	≤ 0.2	AC	30 ~ 200	1A	0.5	≤ 9
LXJ7-15	15 ± 2.5	≤ 0.3	100 ~ 250				
LXJ7-20	20 ± 2.5	≤ 0.4					

注：生产厂为沈阳二一三电器有限责任公司。

(3) 型号含义



(4) 外形及安装尺寸 (见图 17-2-9)

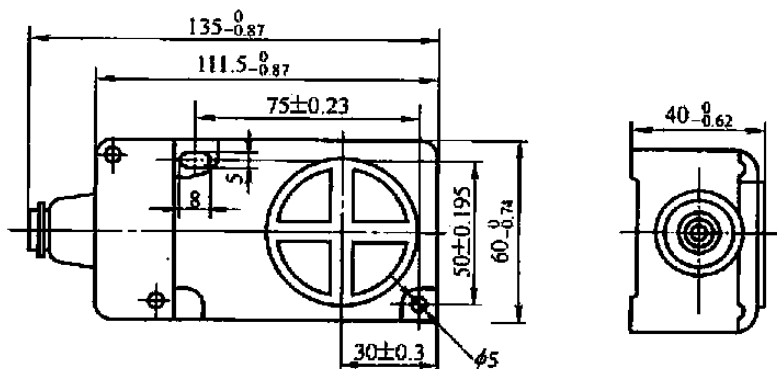


图 17-2-9

3.3 LXJ8 (3SG) 系列接近开关

(1) 用途、特点及工作条件

LXJ8 (3SG) 系列接近开关系引进德国西门子技术生产，适用于交流 40 ~ 60Hz、额定电压 30 ~ 250V、电流 300 ~ 500mA 及直流额定电压 6 ~ 30V、电流 10 ~ 300mA 的控制线路中，作为机床限位、检测、计数、测速元件使用。

该系列接近开关品种规格齐全，外形结构多样，电压范围宽，输出形式多，且具有重复定位精度高、频率响应快、抗干扰性强及使用寿命长等优点。开关内充以树脂，封闭良好，可耐振、耐腐蚀及防水防尘。此外，开关还具有短路、极性、过载保护及误脉冲抑制等功能。

工作条件：周围环境温度 $-25 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ；最湿月平均温度为 25°C 时，最大相对湿度不超过 90%；安装地海拔高度不超过 2000m。

(2) 型号含义

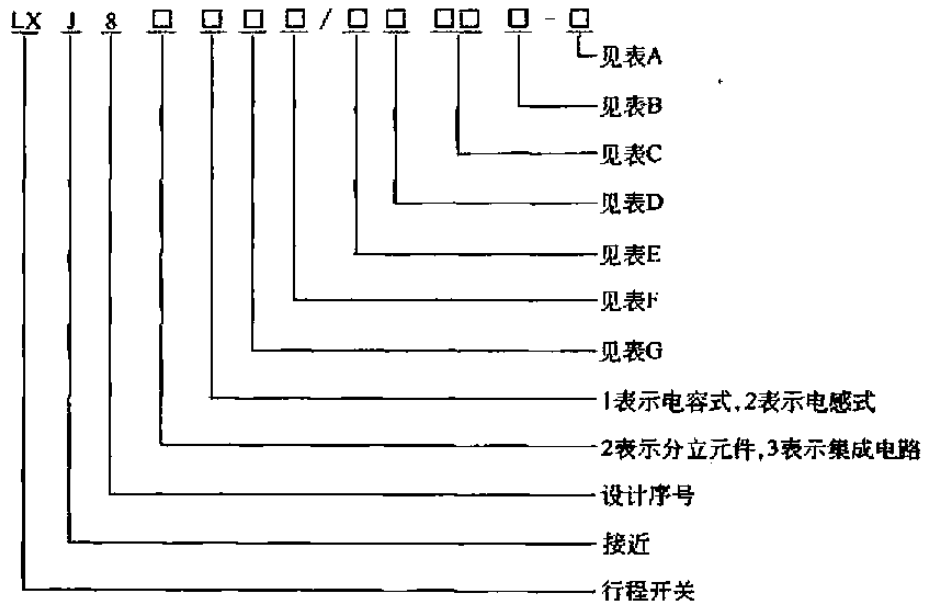


表 A 开关输出接线方式代号

代号	开关输出接线方式
P	PNP
N	NPN

表 B 开关输出型式代号

代号	开关输出型式
1	1 常开
2	1 常闭
3	1 常开和 1 常闭
6	1 常开或 1 常闭

表 D 感应面方向代号

代号	感应面方向
A	前面(可埋入安装在金属内)
B	上面(可埋入安装在金属内)
K	感应头可转换 5 种方向
F	槽形
N	前面(不可埋入安装在金属内)

表 F 感应面形状及其尺寸代号

代号	感应面形状及其尺寸
0	槽形 槽宽及深 2.6 × 1.5
1	M8
2	M12, M14
4	M18
5	正方形 40 × 40, M30
6	矩形 60 × 40

表 C 输入电压和输出电流代号

代号	输入电压	输出电流
H3	直流 24V	200mA 二线
J3	直流 24V	200mA 三(四)线
J8	直流 24V	300mA 三线
R0	交流 220V	300mA 二线
R8	交流 220V	500mA 二线

表 E 连接线引出方向或引出方式代号

代号	连接线引出方向或引出方式
0	连接线在后面引出
1	接线端子
2	拔插式
3	连接线在侧面引出

表 G 外形代号

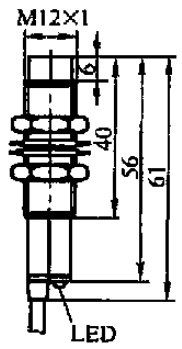
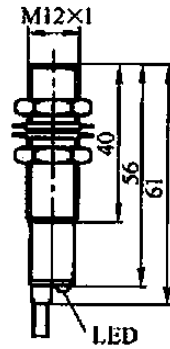
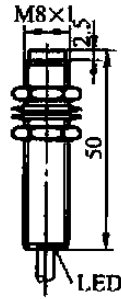
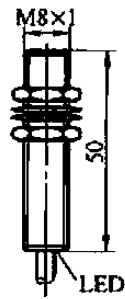
代号	外形
0	扁平形
2	槽形
3	带螺纹圆柱形
6	矩形(矩形截面)
7	矩形(正方形截面)

(3) 型号、主要技术参数及外形尺寸

型号、主要技术参数及外形尺寸见表 17-2-21 ~ 表 17-2-25。

表 17-2-21

外形及安装尺寸



直流 三线 四线 传感器	NPN	常开	LXJ8 3231/OAJ31-N	LXJ8 3231/ONJ31-N	LXJ8 3232/OAJ31-N	LXJ8 3232/ONJ31-N
		常闭	LXJ8 3231/OAJ32-N	LXJ8 3231/ONJ32-N	LXJ8 3232/OAJ32-N	LXJ8 3232/ONJ32-N
		常开 + 常闭			LXJ8 3232/OAJ33-N	LXJ8 3232/ONJ33-N
	PNP	常开	LXJ8 3231/OAJ31-P	LXJ8 3231/ONJ31-P	LXJ8 3232/OAJ31-P	LXJ8 3232/ONJ31-P
		常闭	LXJ8 3231/OAJ32-P	LXJ8 3231/ONJ32-P	LXJ8 3232/OAJ32-P	LXJ8 3232/ONJ32-P
		常开 + 常闭			LXJ8 3232/OAJ33-P	LXJ8 3232/ONJ33-P
	检测距离 S_d /mm		1	1.5	2	4
	设定距离 S_s /mm		0~0.8	0~1.2	0~1.6	0~3.2
	回环宽度 H		$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$
	重复定位精度 R		$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$
	电源电压 (DC)/V		6~30	6~30	6~30	6~30
	输出电流/mA		≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200
	输出电压降/V		≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5
	开关频率/Hz		800	800	1000	500
	短路保护		有	有	有	有
动作指示		LED	LED	LED	LED	
直流 交流 二线 传感器	DC	常开	LXJ8 3231/OAH31	LXJ8 3231/ONH31	LXJ8 3231/OAH31	LXJ8 3231/ONH31
		常闭	LXJ8 3231/OAH32	LXJ8 3231/ONH32	LXJ8 3231/OAH32	LXJ8 3231/ONH32
	检测距离 S_d /mm		1	1.5	2	4
	设定距离 S_s /mm		0~0.8	0~1.2	0~1.6	0~3.2
	回环宽度 H		$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$
	重复定位精度 R		$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$
	电源电压 (DC)/V		10~30	10~30	10~30	10~30
	输出电流/mA		5~200	5~200	5~200	5~200
	输出电压降/V		5~7	5~7	5~7	5~7
	开关频率/Hz		800	800	1000	500
	短路保护		有	有	有	有
	动作指示		LED	LED	LED	LED
	AC	常开				
		常闭				
		检测距离 S_d				
设定距离 S_s						
回环宽度 H						
重复定位精度 R						
电源电压						
输出电流						
输出电压降						
开关频率						
短路保护						
动作指示						
安装方式		埋入式	非埋入式	埋入式	非埋入式	
标准检测片尺寸/mm		8×8×1	8×8×1	12×12×1	12×12×1	
壳体材料		黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍	
防护等级		IP67	IP67	IP67	IP67	

表 17-2-22

外形及安装尺寸						
直流三线四线传感器	NPN	常开	LXJ8 3266/1BJ31-N	LXJ8 3275/1KJ31-N	LXJ8 3202/0AJ31-N	LXJ8 3202/0NJ31-N
		常闭	LXJ8 3266/1BJ32-N	LXJ8 3275/1KJ32-N	LXJ8 3202/0AJ32-N	LXJ8 3202/0NJ32-N
		常开 + 常闭	LXJ8 3266/1BJ33-N	LXJ8 3275/1KJ33-N	LXJ8 3202/0AJ33-N	LXJ8 3202/0NJ33-N
	PNP	常开	LXJ8 3266/1BJ31-P	LXJ8 3275/1KJ31-P	LXJ8 3202/0AJ31-P	LXJ8 3202/0NJ31-P
		常闭	LXJ8 3266/1BJ32-P	LXJ8 3275/1KJ32-P	LXJ8 3202/1KJ32-P	LXJ8 3202/0NJ32-P
		常开 + 常闭	LXJ8 3266/1BJ33-P	LXJ8 3275/1KJ33-P	LXJ8 3202/1KJ33-P	LXJ8 3202/0NJ33-P
	检测距离 S_0 /mm	25	15	3	5	
	设定距离 S_s /mm	0 ~ 20	0 ~ 12	0 ~ 2.4	0 ~ 4	
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	
	重复定位精度 R	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	
电源电压(DC)/V	6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30		
输出电流/mA	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200		
输出电压降/V	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5		
开关频率/Hz	50	60	200	200		
短路保护	有	有	有	有		
动作指示	LED	LED	LED	LED		
直流交流二线传感器	DC	常开	LXJ8 3266/1BH31	LXJ8 3275/1KH31	LXJ8 3202/0AH31	LXJ8 3202/0NH31
		常闭	LXJ8 3266/1BH32	LXJ8 3275/1KH31	LXJ8 3202/0AH32	LXJ8 3202/0NH32
	检测距离 S_0 /mm	25	15	3	5	
	设定距离 S_s /mm	0 ~ 20	0 ~ 12	0 ~ 2.4	0 ~ 4	
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	
	重复定位精度 R	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$	
	电源电压(DC)/V	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	
	输出电流/mA	5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200	
	输出电压降/V	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7	
	开关频率/Hz	50	60	200	200	
	短路保护	有	有	有	有	
	动作指示	LED	LED	LED	LED	
	AC	常开	LXJ8 3266/1BR81	LXJ8 3275/1KR81		
		常闭	LXJ8 3266/1BR82	LXJ8 3275/1KR82		
	检测距离 S_n /mm	25	15			
	设定距离 S_s /mm	0 ~ 20	0 ~ 12			
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$			
	重复定位精度 R	$\leq 0.15Sr$	$\leq 0.15Sr$			
	电源电压(AC)/V	30 ~ 250	30 ~ 250			
	输出电流/mA	20 ~ 500	20 ~ 500			
输出电压降/V	≤ 8	≤ 8				
开关频率/Hz	15	15				
短路保护	无	无				
动作指示	LED	LED				
安装方式	埋入式	埋入式	埋入式	非埋入式		
标准检测片尺寸/mm	60 × 60 × 1	40 × 40 × 1	14 × 14 × 1	14 × 14 × 1		
壳体材料	工程塑料	工程塑料	工程塑料	工程塑料		
防护等级	IP65	IP65	IP67	IP67		

表 17-2-23

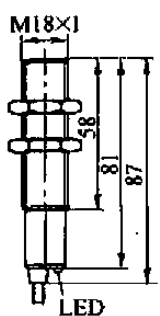
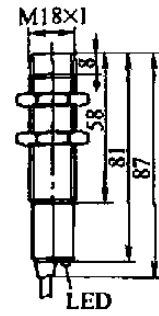
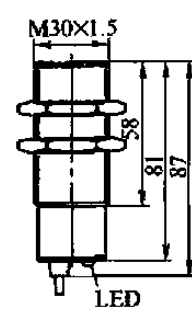
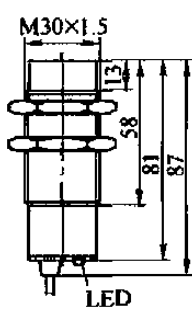
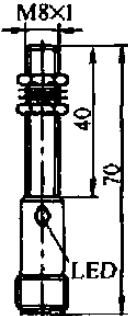
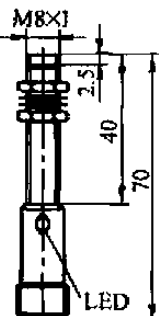
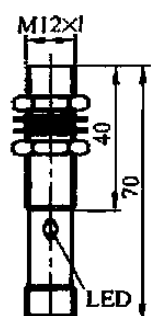
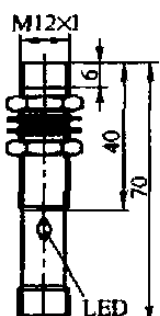
外形及安装尺寸						
		M18×1	M18×1	M30×1.5	M30×1.5	
直流三 线四 线传 感器	NPN	常开	LXJ8 3234/OAJ31-N	LXJ8 3234/ONJ31-N	LXJ8 3235/OAJ31-N	LXJ8 3235/ONJ31-N
		常闭	LXJ8 3234/OAJ32-N	LXJ8 3234/ONJ32-N	LXJ8 3235/OAJ32-N	LXJ8 3235/ONJ32-N
		常开 + 常闭	LXJ8 3234/OAJ33-N	LXJ8 3234/ONJ33-N	LXJ8 3235/OAJ33-N	LXJ8 3235/ONJ33-N
	PNP	常开	LXJ8 3234/OAJ31-P	LXJ8 3234/ONJ31-P	LXJ8 3235/OAJ31-P	LXJ8 3235/ONJ31-P
		常闭	LXJ8 3234/OAJ32-P	LXJ8 3234/ONJ32-P	LXJ8 3235/OAJ32-P	LXJ8 3235/ONJ32-P
		常开 + 常闭	LXJ8 3234/OAJ33-P	LXJ8 3234/ONJ33-P	LXJ8 3235/OAJ33-P	LXJ8 3235/ONJ33-P
	检测距离 S_0 /mm	5	8	10	15	
	设定距离 S_n /mm	0 ~ 4	0 ~ 6.4	0 ~ 8	0 ~ 12	
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	
	重复定位精度 R	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	
	电源电压(DC)/V	6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30	
	输出电流/mA	≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200	
	输出电压降/V	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	
	开关频率/Hz	200	200	100	100	
短路保护	有	有	有	有		
动作指示	LED	LED	LED	LED		
型号及 主要 技术 参数	DC	常开	LXJ8 3234/OAH31	LXJ8 3234/ONH31	LXJ8 3235/OAH31	LXJ8 3235/ONH31
		常闭	LXJ8 3234/OAH32	LXJ8 3234/ONH31	LXJ8 3235/OAH32	LXJ8 3235/ONH32
	检测距离 S_0 /mm	5	8	10	15	
	设定距离 S_n /mm	0 ~ 4	0 ~ 6.4	0 ~ 8	0 ~ 12	
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	
	重复定位精度 R	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	
	电源电压(DC)/V	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	
	输出电流/mA	5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200	
	输出电压降/V	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7	
	开关频率/Hz	200	200	100	100	
	短路保护	有	有	有	有	
	动作指示	LED	LED	LED	LED	
	AC	常开	LXJ8 3234/OAR01	LXJ8 3234/ONR01	LXJ8 3235/OAR01	LXJ8 3235/ONR01
		常闭	LXJ8 3234/OAR02	LXJ8 3234/ONR02	LXJ8 3235/OAR02	LXJ8 3235/ONR02
	检测距离 S_0 /mm	5	8	10	15	
	设定距离 S_n /mm	0 ~ 4	0 ~ 6.4	0 ~ 8	0 ~ 12	
	回环宽度 H	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	$\leq 0.2Sr$	
	重复定位精度 R	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	$\leq 0.1Sr$	
	电源电压(AC)/V	30 ~ 250	30 ~ 250	30 ~ 250	30 ~ 250	
	输出电流/mA	20 ~ 300	20 ~ 300	20 ~ 300	20 ~ 300	
	输出电压降/V	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8	
	开关频率/Hz	25	25	25	25	
	短路保护	无	无	无	无	
	动作指示	LED	LED	LED	LED	
安装方式		埋入式	非埋入式	埋入式	非埋入式	
标准检测片尺寸/mm		18 × 18 × 1	18 × 18 × 1	30 × 30 × 1	30 × 30 × 1	
壳体材料		黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍	
防护等级		IP65	IP65	IP67	IP67	

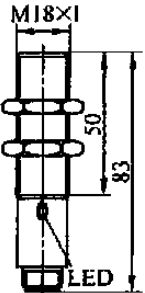
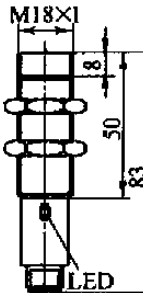
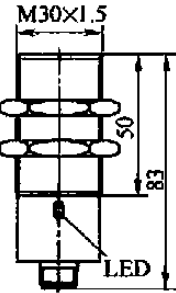
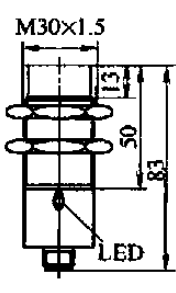
表 17-2-24

外形及安装尺寸					
		直流二线四线传感器		LXJ8 3231/2AJ31-N	LXJ8 3231/2NJ31-N
NPN	常开	LXJ8 3231/2AJ31-N	LXJ8 3231/2NJ31-N	LXJ8 3232/2AJ31-N	LXJ8 3232/2NJ31-N
	常闭	LXJ8 3231/2AJ32-N	LXJ8 3231/2NJ32-N	LXJ8 3232/2AJ32-N	LXJ8 3232/2NJ32-N
常开 + 常闭				LXJ8 3232/2AJ33-N	LXJ8 3202/2NJ33-N
PNP	常开	LXJ8 3231/2AJ31-P	LXJ8 3231/2NJ31-P	LXJ8 3232/2AJ31-P	LXJ8 3232/2NJ31-P
	常闭	LXJ8 3231/2AJ32-P	LXJ8 3231/2NJ32-P	LXJ8 3202/2AJ32-P	LXJ8 3232/2NJ32-P
	常开 + 常闭			LXJ8 3202/2AJ33-P	LXJ8 3232/2NJ33-P
检测距离 S_n /mm		1	1.5	2	4
设定距离 S_s /mm		0.1 ~ 0.8	0 ~ 12	0 ~ 1.6	0 ~ 3.2
回环宽度 H		$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$
重复定位精度 R		$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$
电源电压 (DC)/V		6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30	6 ~ 30
输出电流/mA		≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200
输出电压降/V		≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5
开关频率/Hz		800	800	1000	500
短路保护		有	有	有	有
动作指示		LED	LED	LED	LED
DC	常开	LXJ8 3231/2AH31	LXJ8 3231/2NH31	LXJ8 3232/2AH31	LXJ8 3232/2NH31
	常闭	LXJ8 3231/2AH32	LXJ8 3231/2NH32	LXJ8 3232/2AH32	LXJ8 3232/2NH32
检测距离 S_n /mm		1	1.5	2	4
设定距离 S_s /mm		0 ~ 0.8	0 ~ 1.2	0 ~ 1.6	0 ~ 3.2
回环宽度 H		$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$	$\leq 0.25r$
重复定位精度 R		$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$	$\leq 0.15r$
电源电压 (DC)/V		10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30
输出电流/mA		5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200	5 ~ 200
输出电压降/V		5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7	5 ~ 7
开关频率/Hz		800	800	1000	500
短路保护		有	有	有	有
动作指示		LED	LED	LED	LED
AC	常开				
	常闭				
检测距离 S_n					
设定距离 S_s					
回环宽度 H					
重复定位精度 R					
电源电压					
输出电流					
输出电压降					
开关频率					
短路保护					
动作指示					
安装方式		埋入式	非埋入式	埋入式	非埋入式
标准检测片尺寸/mm		8 × 8 × 1	8 × 8 × 1	12 × 12 × 1	12 × 12 × 1
壳体材料		黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍	黄铜镀镍
防护等级		IP65	IP65	IP67	IP67

型号及主要技术参数

直流交流二线传感器

表 17-2-25

外形及安装尺寸						
直流 三线 四线 传感器	NPN	常开	LXJ8 3234/2AJ31-N	LXJ8 3234/2NJ31-N	LXJ8 3235/2AJ31-N	LXJ8 3235/2NJ31-N
		常闭	LXJ8 3234/2AJ32-N	LXJ8 3234/2NJ32-N	LXJ8 3235/2AJ32-N	LXJ8 3235/2NJ32-N
		常开 + 常闭	LXJ8 3234/2AJ33-N	LXJ8 3234/2NJ33-N	LXJ8 3235/2AJ33-N	LXJ8 3235/2NJ33-N
	PNP	常开	LXJ8 3234/2AJ31-P	LXJ8 3234/2NJ31-P	LXJ8 3235/2AJ31-P	LXJ8 3235/2NJ31-P
		常闭	LXJ8 3234/2AJ32-P	LXJ8 3234/2NJ32-P	LXJ8 3235/2AJ32-P	LXJ8 3235/2NJ32-P
		常开 + 常闭	LXJ8 3234/2AJ33-P	LXJ8 3234/2NJ33-P	LXJ8 3235/2AJ33-P	LXJ8 3235/2NJ33-P
	检测距离 S_n /mm		5	8	10	15
	设定距离 S_s /mm		0~4	0~6.4	0~8	0~12
	回环宽度 H		$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$
	重复定位精度 R		$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$
	电源电压(DC)/V		6~30	6~30	6~30	6~30
	输出电流/mA		≤ 200	≤ 200	≤ 200	≤ 200
输出电压降/V		≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	≤ 3.5	
开关频率/Hz		200	200	100	100	
短路保护		有	有	有	有	
动作指示		LED	LED	LED	LED	
直流 交流 二线 传感器	DC	常开	LXJ8 3234/2AH31	LXJ8 3234/2NH31	LXJ8 3235/2AH31	LXJ8 3235/2NH31
		常闭	LXJ8 3234/2AH32	LXJ8 3234/2NH32	LXJ8 3235/2AH32	LXJ8 3235/2NH32
	检测距离 S_n /mm		5	8	10	15
	设定距离 S_s /mm		0~4	0~6.4	0~8	0~12
	回环宽度 H		$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$
	重复定位精度 R		$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$
	电源电压(DC)/V		10~30	10~30	10~30	10~30
	输出电流/mA		5~200	5~200	5~200	5~200
	输出电压降/V		5~7	5~7	5~7	5~7
	开关频率/Hz		200	200	100	100
	短路保护		有	有	有	有
	动作指示		LED	LED	LED	LED
AC	常开	LXJ8 3234/2AR01	LXJ8 3234/2NR01	LXJ8 3235/2AR01	LXJ8 3235/2NR01	
		LXJ8 3234/2AR02	LXJ8 3234/2NR02	LXJ8 3235/2AR02	LXJ8 3235/2NR02	
	检测距离 S_n /mm		5	8	10	15
	设定距离 S_s /mm		0~4	0~6.4	0~8	0~12
	回环宽度 H		$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$	$\leq 0.2S_r$
	重复定位精度 R		$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$	$\leq 0.1S_r$
	电源电压(AC)/V		30~250	30~250	30~250	30~250
	输出电流/mA		20~300	20~300	20~300	20~300
	输出电压降/V		≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8
	开关频率/Hz		25	25	25	25
	短路保护		无	无	无	无
	动作指示		LED	LED	LED	LED
安装方式		埋入式	非埋入式	埋入式	非埋入式	
标准检测片尺寸/mm		18×18×1	18×18×1	30×30×1	30×30×1	
壳体材料		黄铜镀锌	黄铜镀锌	黄铜镀锌	黄铜镀锌	
防护等级		IP65	IP65	IP67	IP67	

注: 1. 标准检测片材料为电工软钢。

2. 表中 S_r 为实际检测距离, $0.9S_n \leq S_r \leq 1.1S_n$; 几何形状、几何尺寸及材料差别会产生不同的检测距离, 其修正系数为: 电工纯铁 (S37) 为 1, 钢为 0.25~0.50, 黄铜为 0.35~0.50, 铝为 0.45, 特种合金钢为 0.60~1.0。

3. 生产厂为上海第二机床电器厂。

(4) 接线示意图

接线示意图见图 17-2-10。

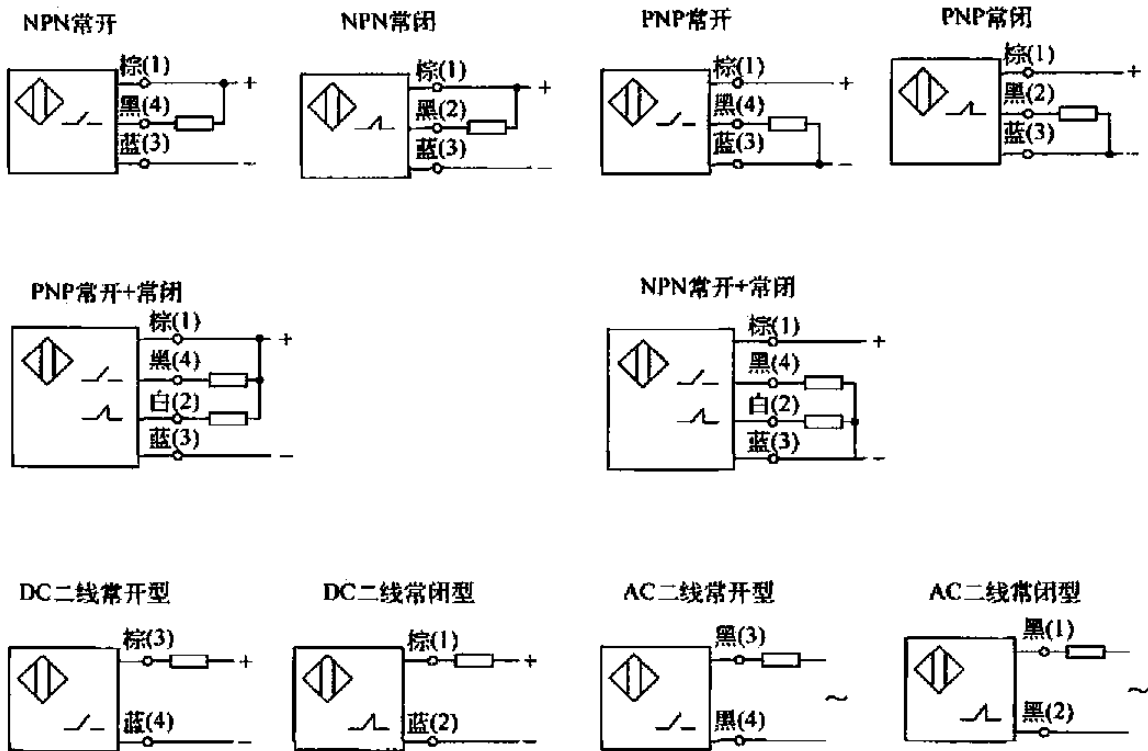


图 17-2-10

(5) 安装要求

安装要求见图 17-2-11。

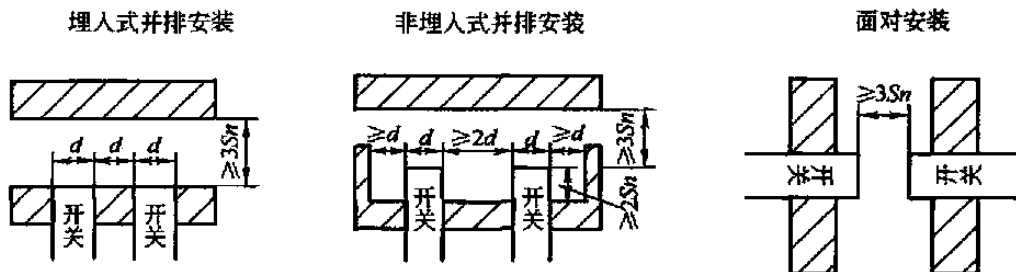


图 17-2-11

3.4 E2 系列接近开关

(1) 用途、特点及工作条件

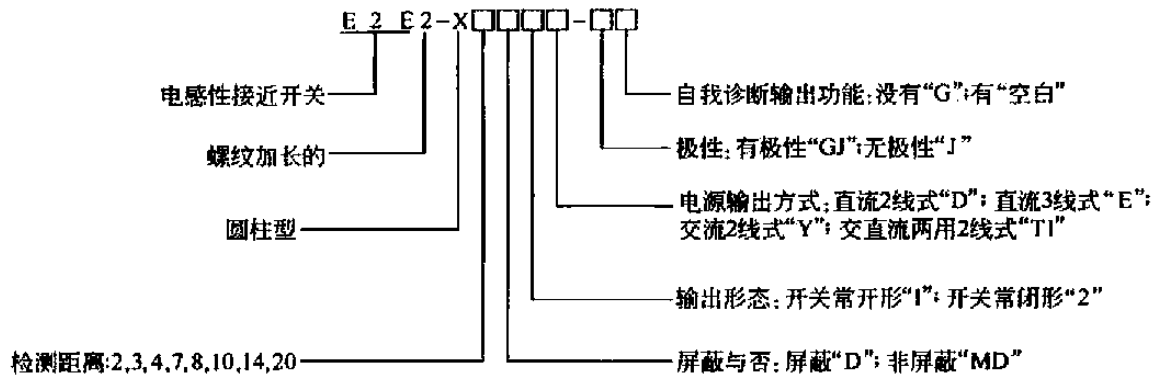
E2 系列接近开关适用于交流 50Hz、额定电压 24 ~ 240V、电流 5 ~ 300mA 及直流额定电压 12 ~ 24V、电流 3 ~ 100mA 的控制电路中，作为起重运输类机械及其他机械生产线等设备的定位、检测信号元件使用。

该系列接近开关品种规格齐全，外形结构多样，电压范围宽，输出形式多，且具有重复定位精度高、频率响应快、抗干扰性强及使用寿命长等优点。开关封闭良好，安装调整方便。此外，开关还带有一个金属连接器和线缆保护器，具有短路保护功能。

工作条件：环境温度 -25 ~ 70℃（但未结冰、水）；环境湿度 35% ~ 95% RH。

生产厂：欧姆龙（中国）有限公司。

(2) 型式含义



(3) 规格与主要技术性能

表 17-2-26

直流二线式 (E2E-X□D□型)

项目	尺寸	M8		M12		M18		M30	
	屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽
	型式	E2E-X2D □型	E2E-X4MD □型	E2E-X3D □型	E2E-X8MD □型	E2E-X7D □型	E2E-X14MD □型	E2E-X10D □型	E2E-X20MD □型
检测距离		2mm ± 10%	4mm ± 10%	3mm ± 10%	8mm ± 10%	7mm ± 10%	14mm ± 10%	10mm ± 10%	20mm ± 10%
电源电压 (使用电压范围)	DC12 ~ 24V 脉动 (p-p) 10% 以下 (DC10 ~ 30V)								
泄漏电流	0.8mA 以下								
检测物体	磁性金属 (非磁性金属时检测距离减小。请参照特性资料)								
设定距离 ^① /mm	0 ~ 1.6	0 ~ 3.2	0 ~ 2.4	0 ~ 6.4	0 ~ 5.6	0 ~ 11.2	0 ~ 8.0	0 ~ 16	
标准检测物体/mm	铁 8 × 8 × 1	铁 20 × 20 × 1	铁 12 × 12 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 18 × 18 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 54 × 54 × 1	
响应距离	检测距离的 15% 以下			检测距离的 10% 以下					
响应频率 ^② /kHz	1.5	1.0	1.0	0.8	0.5	0.4	0.4	0.1	
动作形态 (检测物体接近时)	D1 型: 负载 (动作); D2 型: 负载 (回归)								
输出 (开关容量)	控制输出 3 ~ 100mA, 但 M1J-T 型为 5 ~ 100mA, 诊断输出 50mA [只有 D1 (5) S 型]								
诊断输出延迟时间	0.3 ~ 1s								
回路保护	脉冲吸收、负载短路保护 (控制输出、诊断输出同时)								
显示灯	D1 型: 动作显示 (红色 LED)、设定动作显示 (绿色 LED); D2 型: 动作显示 (红色 LED)								
使用周围温度	动作时、保存时: 各 -25 ~ 70℃ (但未结冰)								
使用周围湿度	动作时、保存时: 各 35% ~ 95% RH (不结露)								
温度的影响	在 -25 ~ 75℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离 在 ±15% 以内		在 -25 ~ 70℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离在 ±10% 以内						
电压的影响	额定电源电压范围 ±15% 以内, 额定电源电压值时, ±1% 检测距离以内								
残留电压 ^③	3.0V 以下 (负载电流 100mA, 缆线长度为 2m), 但 M1J-T 型为 5.0V 以下								
绝缘阻抗	50MΩ 以上 (DC500V 兆欧表), 充电部整体和外层之间								
耐电压	AC1000V 50/60Hz 1min, 充电部整体和外层之间								
振动	耐久: 10 ~ 55Hz 复振幅 1.5mm, X、Y、Z 方向各 2h								
冲击	耐久: 500m/s ² , X、Y、Z 各方向 10 次			耐久: 1000m/s ² , X、Y、Z 各方向 10 次					

续表

项目	尺寸	M8		M12		M18		M30	
	屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽
	型式	E2E-X2D □型	E2E-X4MD □型	E2E-X3D □型	E2E-X8MD □型	E2E-X7D □型	E2E-X14MD □型	E2E-X10D □型	E2E-X20MD □型
检测距离		2mm ± 10%	4mm ± 10%	3mm ± 10%	8mm ± 10%	7mm ± 10%	14mm ± 10%	10mm ± 10%	20mm ± 10%
保护构造	预附缆线型; IEC 规格 IP67 [JEM 规格 IP67G(耐浸型、耐油型)], 连接型: IEC 规格 IP67								
质量/g	预附缆线型	约 45		约 55		约 130		约 180	
	连接型	约 10		约 20		约 40		约 90	
材质	外壳	不锈钢(SUS303)			黄铜				
	检测面	聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)							

① 应在绿色显示灯点灯的范围范围内使用 (D2 型除外)。

② 直流开关部的应答频率数为平均值。测定条件为: 检测体的间隔为标准检测物体的 2 倍, 设定距离为检测距离的 1/2。

③ 使用 M1J-T 型时, 因残留电压为 5V, 请确认连接机器的界面条件后再使用。

表 17-2-27

直流三线式 (E2E2-X□C□型)

项目	尺寸	M12		M18		M30	
	屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽
	型式	E2E2-X2C □型	E2E2-X5MC □型	E2E2-X5C □型	E2E2-X10MC □型	E2E2-X10C □型	E2E2-X18MD □型
检测距离		2mm ± 10%	5mm ± 10%	5mm ± 10%	10mm ± 10%	10mm ± 10%	18mm ± 10%
电源电压 (使用电压范围)①	DC12 ~ 24V 脉动(p-p)10% 以下(DC10 ~ 55V)						
泄漏电流	13mA 以下						
检测物体	磁性金属(非磁性金属时检测距离减小。请参照特性资料)						
设定距离/mm	0 ~ 1.6	0 ~ 4.0	0 ~ 4.0	0 ~ 8.0	0 ~ 8.0	0 ~ 14.0	
标准检测物体/mm	铁 12 × 12 × 1	铁 15 × 15 × 1	铁 18 × 18 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 54 × 54 × 1	
响应距离	检测距离的 10% 以下						
响应频率②/kHz	1.5	0.4	0.6	0.2	0.4	0.1	
动作形态(检测物体接近时)	C1 型: 负载(动作); C2 型: 负载(回归)						
控制输出(开关容量)	NPN 集电极开路输出 200mA 以下(DC55V 以下)						
回路保护	脉冲吸收、逆连接、负载短路保护						
显示灯	动作显示(红色 LED)						
使用周围温度	工作时、保存时: 各 -40 ~ 85℃(但未结冰)						
使用周围湿度	工作时、保存时: 各 35% ~ 95% RH(不结露)						
温度的影响	在 -40 ~ 85℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离在 ±15% 以内 在 -25 ~ 70℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离在 ±10% 以内						
电压的影响	额定电源电压范围 ±15% 以内, 额定电源电压值时, 检测距离为 ±1%						
残留电压	2.0V 以下(负载电流 200mA、缆线长度为 2m)						
绝缘阻抗	50MΩ 以上(DC500V 兆欧表), 充电部与外壳间						
耐电压	AC1000V 50/60Hz 1min, 充电部整体和外壳之间						
振动	耐久: 10 ~ 55Hz 复振幅 1.5mm, X、Y、Z 方向各 2h						
冲击	耐久: 1000m/s ² (约 100g), X、Y、Z 各方向 10 次						
保护构造	IEC 规格 IP67 [JEM 规格 IP67G(耐浸型、耐油型)]						
质量/g		约 75		约 160		约 220	
材质	外壳	黄铜					
	检测面	聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)					

① 可以使用 DC24V ± 20% (平均值) 的无平滑全波整流电源。

② 直流开关部的应答频率数为平均值。测定条件为: 检测体的间隔为标准检测物体的 2 倍, 设定距离为检测距离的 1/2。

表 17-2-28

交流二线式 (E2E2-X□Y□型)

项 目	尺寸	M12		M18		M30	
	屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽	屏蔽	非屏蔽
	型式	E2E2-X2Y □型	E2E2-X5MY □型	E2E2-X5Y □型	E2E2-X10MY □型	E2E2-X10Y □型	E2E2-X18MY □型
	检测距离	2mm ± 10%	5mm ± 10%	5mm ± 10%	10mm ± 10%	10mm ± 10%	18mm ± 10%
电源电压 (使用电压范围)	AC24 ~ 240V (AC20 ~ 264V) 50/60Hz						
泄漏电流	1.7mA 以下						
检测物体	磁性金属(非磁性金属时检测距离减小。请参照特性资料)						
设定距离 ^① /mm	0 ~ 1.6	0 ~ 4.0	0 ~ 4.0	0 ~ 8.0	0 ~ 8.0	0 ~ 14.0	
标准检测物体/mm	铁 12 × 12 × 1	铁 15 × 15 × 1	铁 18 × 18 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 30 × 30 × 1	铁 54 × 54 × 1	
响应距离	检测距离的 10% 以下						
响应频率	25kHz						
动作形态(检测物体接近时)	Y1 型: 负载(动作); Y2 型: 负载(回归)						
控制输出(开关容量) ^②	5 ~ 200mA			5 ~ 300mA			
显示灯	动作显示(红色 LED)						
使用周围温度 ^{①、②}	工作时、保存时: 各 -40 ~ 85℃ (但未结冰)						
使用周围湿度	工作时、保存时: 各 35% ~ 95% RH (不结冰)						
温度的影响	在 -40 ~ 85℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离在 ±15% 以内 在 -25 ~ 70℃ 温度范围内, 23℃ 时的检测距离在 ±10% 以内						
电压的影响	额定电源电压范围 ±15% 以内, 额定电源电压值时, 检测距离为 ±1%						
残留电压	请参照特性资料						
绝缘阻抗	50MΩ 以上 (DC500V 兆欧表), 充电部整体和外壳之间						
耐电压	AC4000V 50/60Hz 1min, 充电部整体和外壳之间						
振动	耐久: 10 ~ 55Hz, 复振幅 1.5mm, X、Y、Z 方向各 2h						
冲击	耐久: 1000m/s ² , X、Y、Z 各方向 10 次						
保护构造	IEC 规格 IP67 [JEM 规格 IP67G(耐浸型、耐油型)]						
质量/g	约 65		约 150		约 210		
材质	外壳	黄铜					
	检测面	聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)					

① 使用 AC24V 时, 请在 -25 ~ 85℃ 以上的周围温度范围内使用。

② 在 70℃ 周围温度使用 M18、M30 型时, 请在控制输出 (开关容量) 5 ~ 200mA 范围内使用。

(4) 外形及安装尺寸

外形尺寸

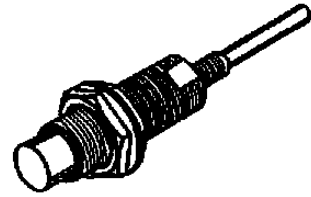
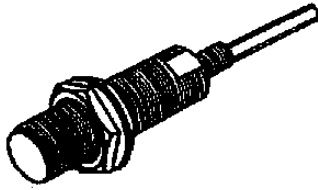
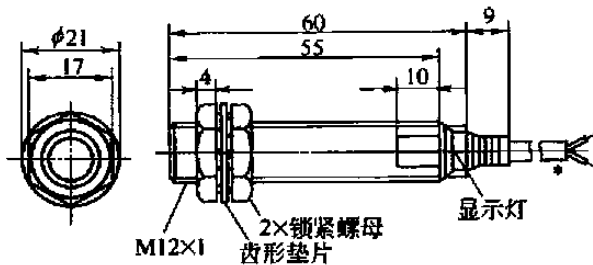


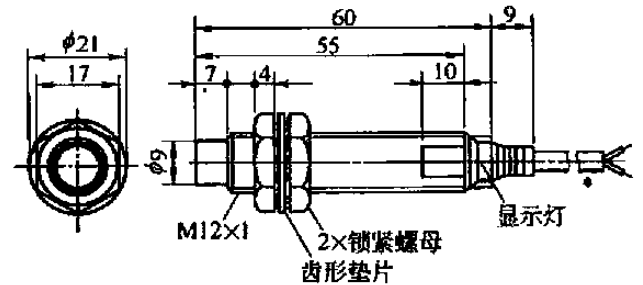
表 17-2-29

E2E2-X3D□/E2E2-X2C□型
E2E2-X2Y□



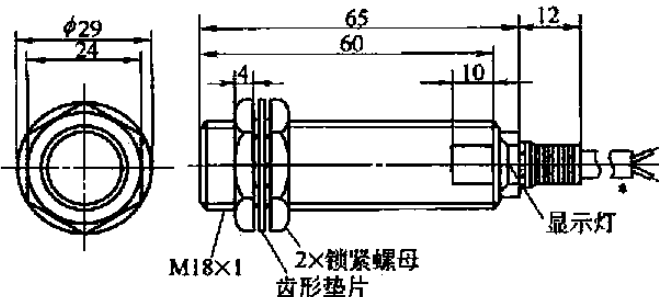
*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 4(60/\phi 0.08)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

E2E2-X8MD□/E2E2-X5MC□型
E2E2-X5MY□



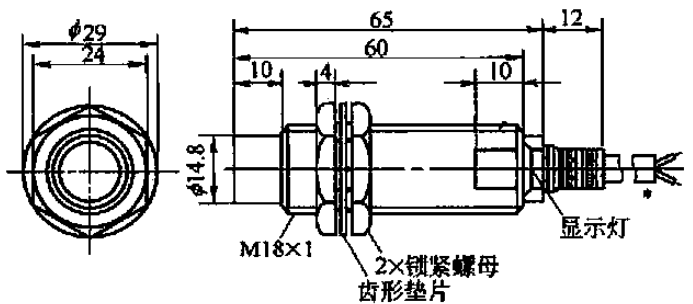
*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 4(60/\phi 0.08)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

E2E2-X5Y□型
E2E2-X7D□/E2E2-X5C□型



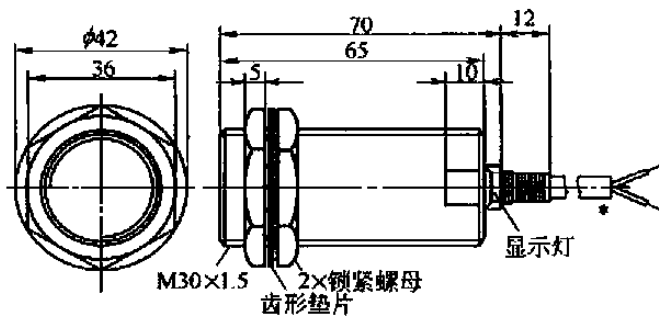
*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 6(45/\phi 0.12)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

E2E2-X14MD□/E2E2-X10MC□型
E2E2-X10MY□型



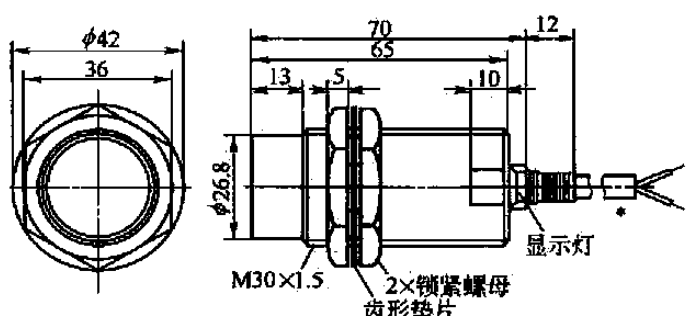
*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 6(45/\phi 0.12)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

E2E2-X10D□/E2E2-X19C□型
E2E2-X10Y□型



*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 6(45/\phi 0.12)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

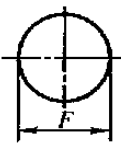
E2E2-X20MD□/E2E2-X18MC□型
E2E2-X18MY□型



*乙烯基(vinyl)圆形缆线 $\phi 6(45/\phi 0.12)$ 2芯/3芯
缆线延长(单独金属配管)最大200m 标准2m

接近开关外径	M12	M18	M30
F 尺寸/mm	$\phi 12.5^{+0.5}_0$	$\phi 18.5^{+0.5}_0$	$\phi 30.5^{+0.5}_0$

安装孔加工尺寸



备注:(1)各机种都附有2个锁紧螺母及一个齿状垫片
(2)缆线部及铣切部有激光记号的型式

4 光电开关

(1) E3S-C 系列光电开关用途、特点及工作条件

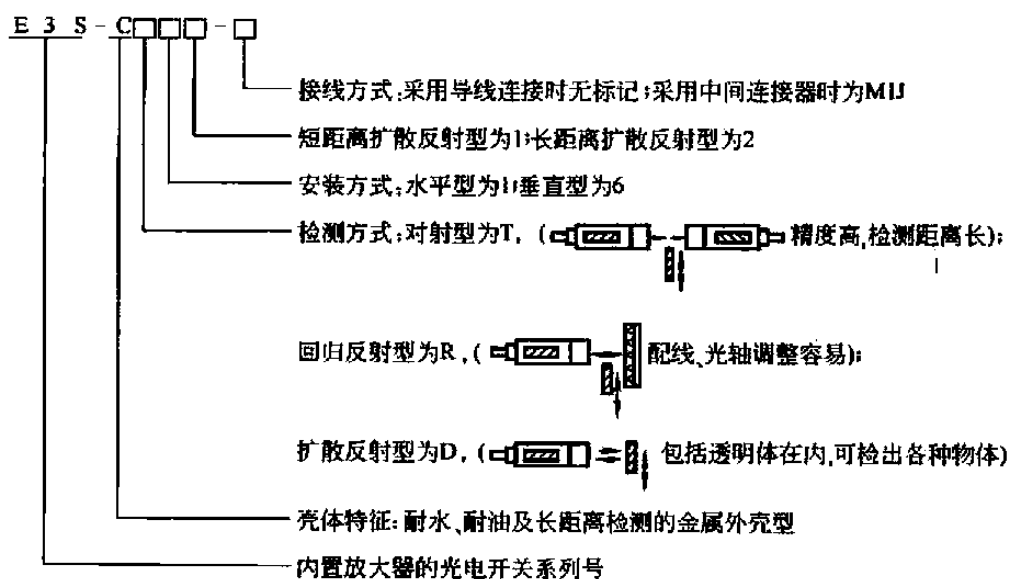
E3S-C 系列光电开关采用集成电路,内置放大器,适用于直流电压 10~30V 的控制电路中,作无接触式的检测、限位、信号输入元件用。

E3S-C 系列光电开关检测距离远,检出物体范围广,且有响应速度快、有防止相互干扰机能(回馈反射型和扩散反射型)。广泛应用于机械系统和自动生产线需检测的地方。

工作条件:环境温度 $-25 \sim 55^{\circ}\text{C}$ (不结露时);相对湿度 35%~85%;安装地海拔高不超过 2000m。

生产厂:欧姆龙(中国)有限公司。

(2) 型号含义



(3) 主要技术参数

E3S-C 系列光电开关主要技术参数见表 17-2-30 和表 17-2-31。

表 17-2-30 技术参数 (一)

项 目	对 射 型	回 归 反 射 型	扩 散 反 射 型	
	E3S-CT11(-M1J) E3S-CT61(-M1J)	E3S-CR11(-M1J) E3S-CR61(-M1J)	E3S-CD11(-M1J) E3S-CD61(-M1J)	E3S-CD12(-M1J) E3S-CD62(-M1J)
电源电压	DC10~30V [含脉动(p-p)10%]			
电流消耗	25mA 以下 (发射器 和接收器)	40mA 以下		

续表

项 目	对 射 型	回归反射型	扩散反射型	
	E3S-CT11(-M1J) E3S-CT61(-M1J)	E3S-CR11(-M1J) E3S-CR61(-M1J)	E3S-CD11(-M1J) E3S-CD61(-M1J)	E3S-CD12(-M1J) E3S-CD62(-M1J)
检测距离 (白纸)	0~30m	0~3m (型号 E39-R1 使用时)	0~70cm (白纸 300mm×300mm)	0~2m (白纸 300mm×300mm)
标准检测物体	φ15mm 以上的不透明体	φ75mm 以上的不透明体	30cm×30cm(白纸)	
检测距离变化	……		±10% 以下	
灵敏度	……		检测距离的 20% 以下	
带附件的检测距离	4mm 缝 15m 2mm 缝 7m 1mm 缝 3.5m 0.5mm 缝 1.8m	E39-R2: 0~4m E39-R3: 0~150cm E39-R4: 0~75cm E39-RSA: 5~35cm E39-RSB: 5~60cm	……	
最小检测物体 ^①	4mm 缝: φ2.6mm 2mm 缝: φ2mm 1mm 缝: φ1mm 0.5mm 缝: φ0.5mm	E39-R1 型反射板: 13mm E39-R3: 8mm E39-R4: 4mm	……	
光轴和安装方向上的差距	±2℃ 以下(在安装方向上沿光的延伸线进行 检验)		±2℃ 以下	
响应时间	动作、复位: 各 1ms 以下			动作、复位: 各 2ms 以下
控制输出	负荷电源电压 DC30V 以下、负荷电流 100mA 以下(残留电压 NPN 输出: 1.2V 以下, PNP 输出: 2.0V 以下) 集电极开路输出型(NPN/PNP 输出 开关转换式) 入光时 ON/遮光时 ON 开关转换式			
使用环境照度	白炽灯: 光点亮度 5000lx 以下 阳光: 光点亮度 10000lx 以下			
使用环境温度	工作温度: -25~55℃, 保养温度: -40~70℃ 不结冰(结露)			
使用环境湿度	工作湿度: 35%~85% RH, 保养湿度: 35%~95% RH(不结露)			
绝缘电阻	20MΩ 以上(电压为 DC500V)			
电介质强度	AC/1000V, 50/60Hz, 1min			
振动	破坏性耐久: 10~2000Hz, 1.5mm 复振幅, 或 300m/s ² 在 X、Y、Z 各方向 0.5h			
冲击	破坏性耐久: 1000m/s ² 在 X、Y、Z 各方向 3 次			
保护结构	IEC: IP67; NEMA ^② : 6P(仅室内); JEM ^③ : IP67G			

① 在额定检测距离上, 将检测物设定在额定检测距离的一半范围内。

② NEMA: 日本全国电气产业协会。

③ JEM: 日本电气制造商。

表 17-2-31

技术参数(二)

项 目	对 射 型	回归反射型	扩散反射型	
	E3S-CT11-M1J E3S-CT61-M1J	E3S-CR11-M1J E3S-CR61-M1J	E3S-CD11-M1J E3S-CD61-M1J	E3S-CD12-M1J E3S-CD62-M1J
投光用发射二极管	红外 LED(880nm)	红外 LED(700nm)	红外 LED(880nm)	
灵敏度调节	(1 周旋钮)		旋钮	
连接方法	导线引出型(标准导线长 2m)、接插件中继型(标准导线长 300mm)			
质量/g	约 80(带 30cm 芯和接头)			
输出状态	NPN 或 PNP(切换)型集电流输出			
控制输出	亮灯 ON 或灭灯 ON(切换)			
电路保护	负荷短路保护, 反连接保护, 防止互相干涉功能(对射型除外)			

项 目	对 射 型	回归反射型	扩散反射型	
		E3S-CT11-M1J E3S-CT61-M1J	E3S-CR11-M1J E3S-CR61-M1J	E3S-CD11-M1J E3S-CD61-M1J
指示灯	发射二极管, 工作指示灯(红色), 接收器(受传感物), 稳定指示灯(绿色), 发射指示灯(红色)	稳定指示灯(绿色), 入光指示灯(红色)		
材料	外壳: 锌铸模 操作屏板: 聚醚磺酸盐酯 镜头: 丙烯酸酯 安装配件: 不锈钢			
附件	安装配件, 调节用的旋具, M4 六边形螺栓, 说明书, 反光器(E39-R1型; 仅回归反射型)			

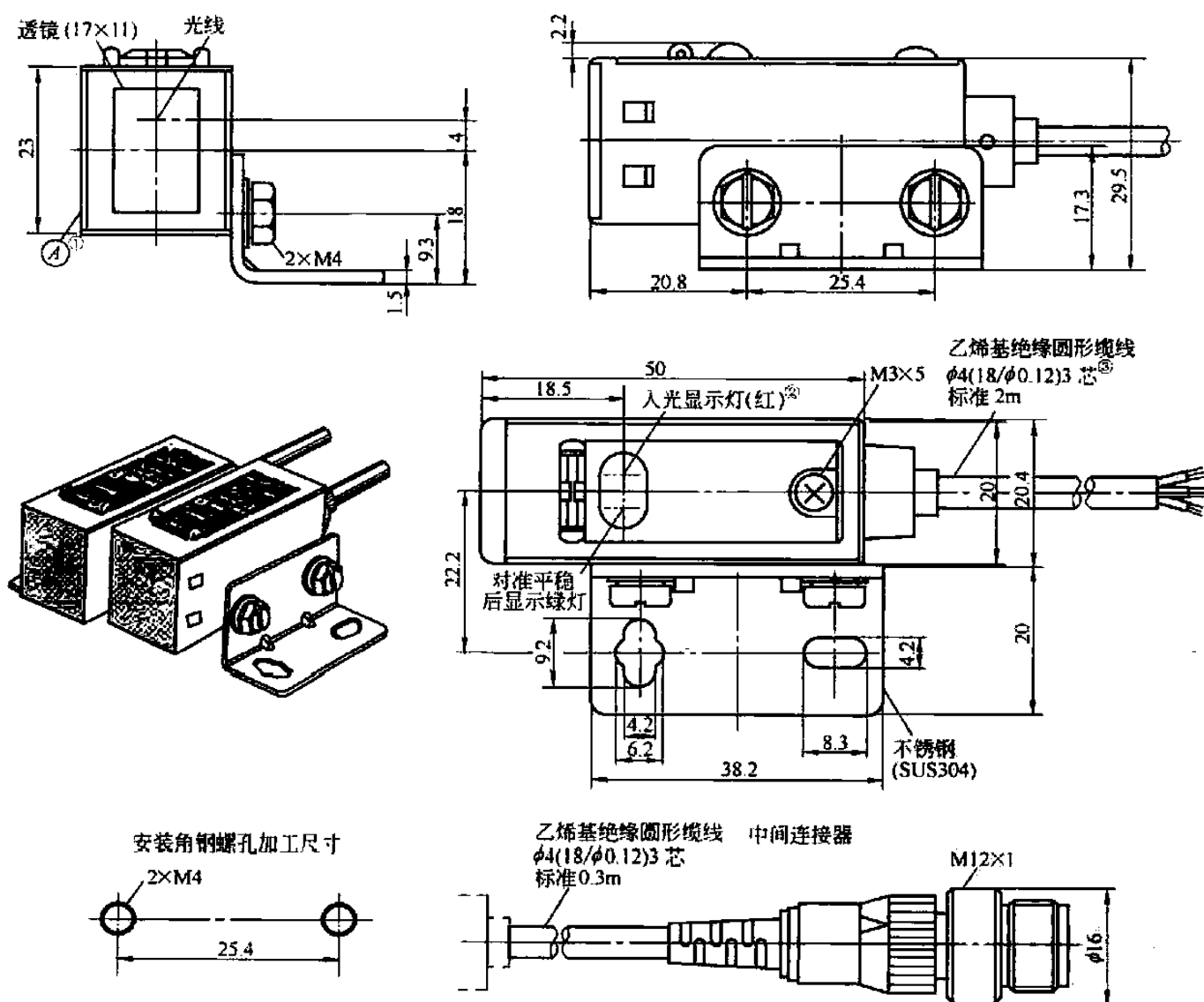


图 17-2-12

- ① ④面也可以安装固定角钢。
- ② 对射型的投光器只有电源显示灯(红)。
- ③ 对射型的投光器, φ4 (27/φ0.12) 2芯。

(4) 外形及安装尺寸

E3S-C 系列光电开关外形及安装尺寸见图 17-2-12 - 图 17-2-16。

E3S-CT11-(M1J) 型外形及安装尺寸见图 17-2-12。图示为受光器，同一型号投光器和受光器外形及安装尺寸相同，但投光器在型号后加 L，如 E3S-CT□□-L 型，受光器在型号后加 D，如 E3S-CT□□-D 型。

E3S-CR11-(M1J) 型、E3S-CD11-(M1J) 型、E3S-CD12-(M1J) 型外形及安装尺寸见图 17-2-13。

E3S-CT61-(M1J) 型外形及安装尺寸见图 17-2-14。图示为受光器，投光器尺寸与受光器尺寸相同。

E3S-CR61-(M1J) 型、E3S-CD61-(M1J) 型、E3S-CD62-(M1J) 型外形及安装尺寸见图 17-2-15。

E3S-CR11/CR61 回归反射型光电开关、反射板/E39-R1 型见图 17-2-16 (回归反射型 E3S-CR11/CR61 型有附件)。

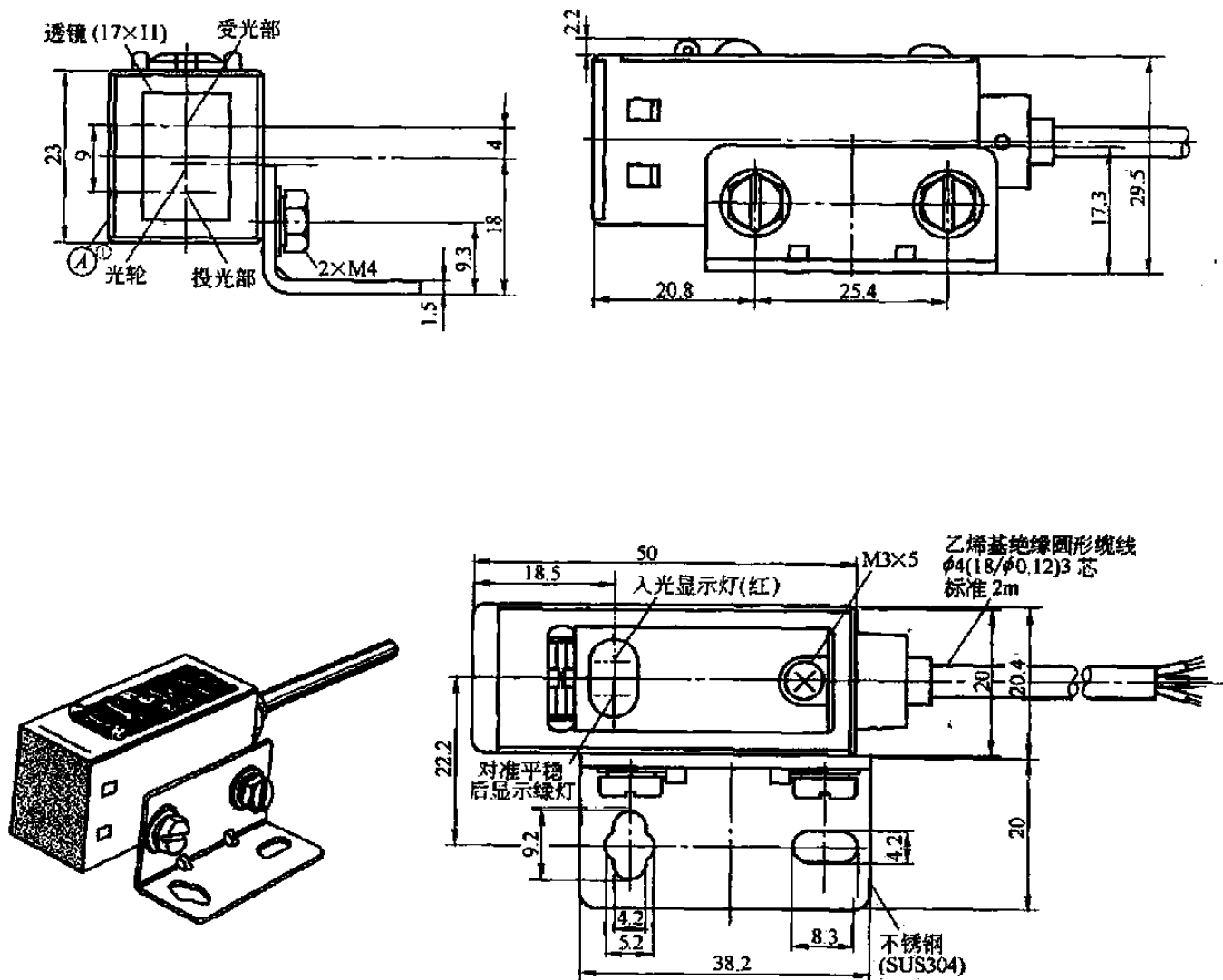


图 17-2-13

① ④面也可以安装固定角钢。

注：1. 中间连接器同图 17-2-12。

2. 安装角钢螺孔加工尺寸同图 17-2-12。

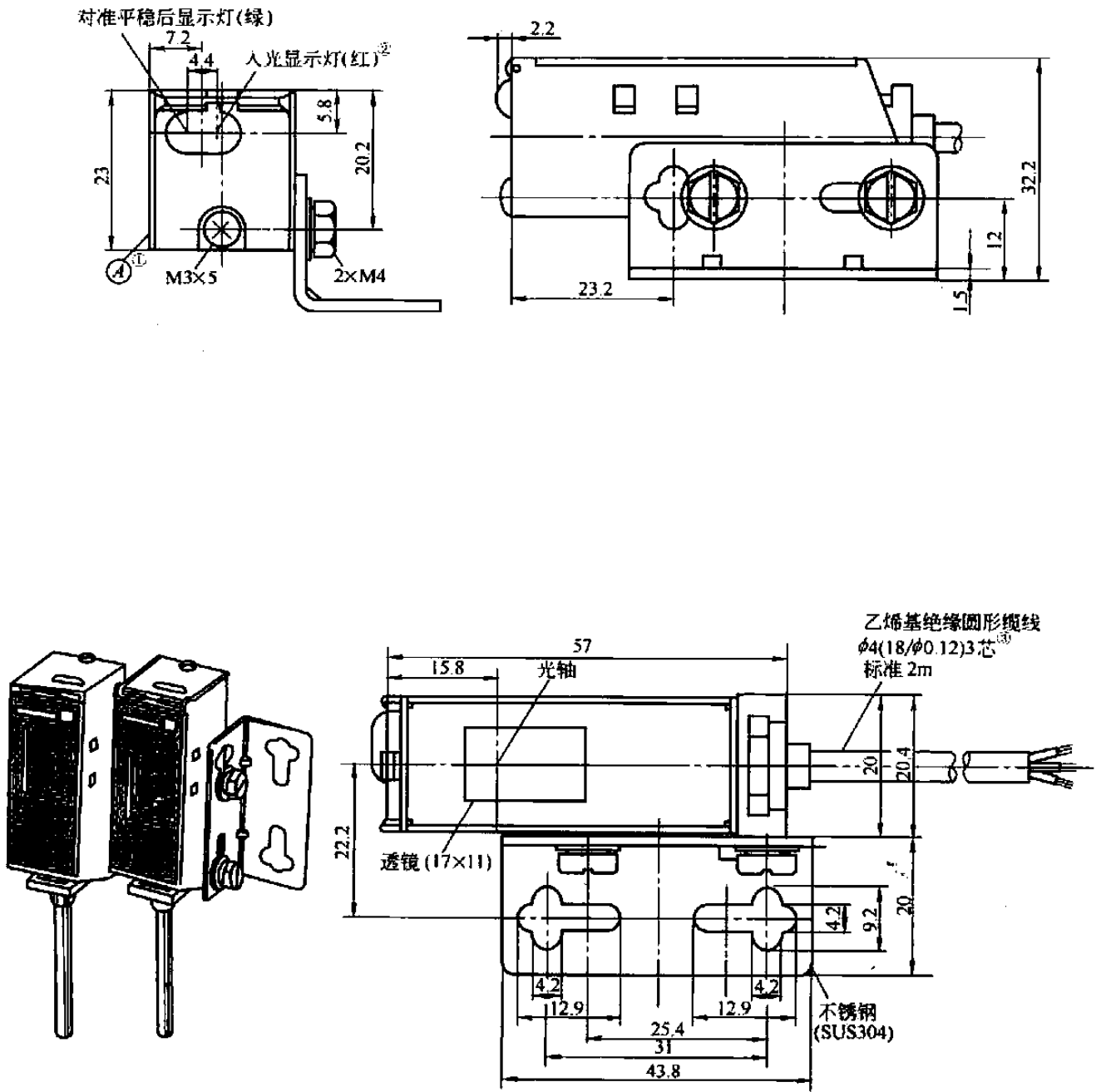


图 17-2-14

- ① ④面也可以安装固定角钢。
 - ② 对射型的投光器只有电源显示灯。
 - ③ 对射型的投光器， $\phi 4(27/\phi 0.12)2$ 芯。
- 注：1. 中间连接器同图 17-2-12。
2. 安装角钢螺孔加工尺寸同图 17-2-12。

对准平稳后显示灯(绿)

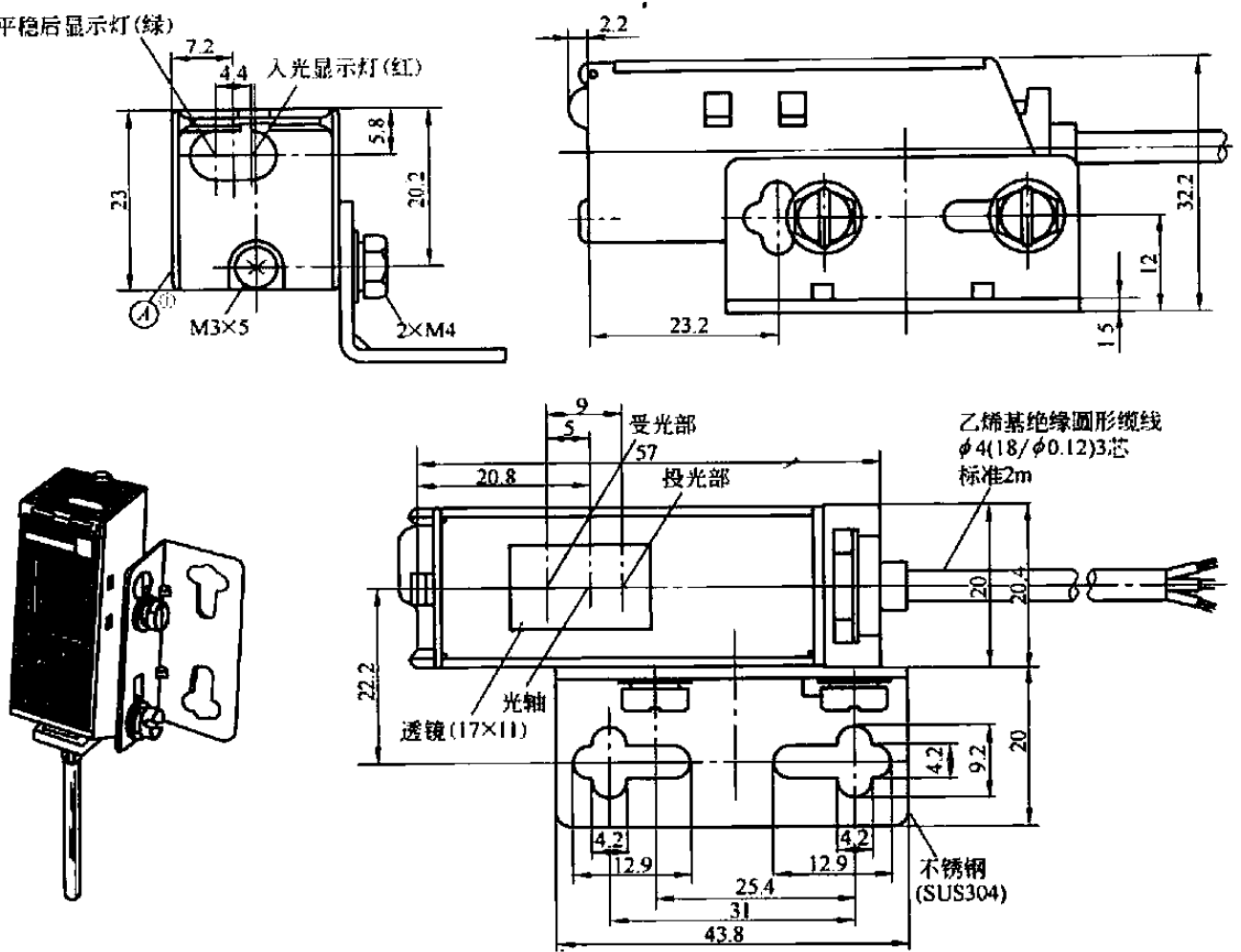


图 17-2-15

① ①面也可以安装固定角钢。

注：1. 中间连接器同图 17-2-12。

2. 安装角钢螺孔加工尺寸同图 17-2-12。

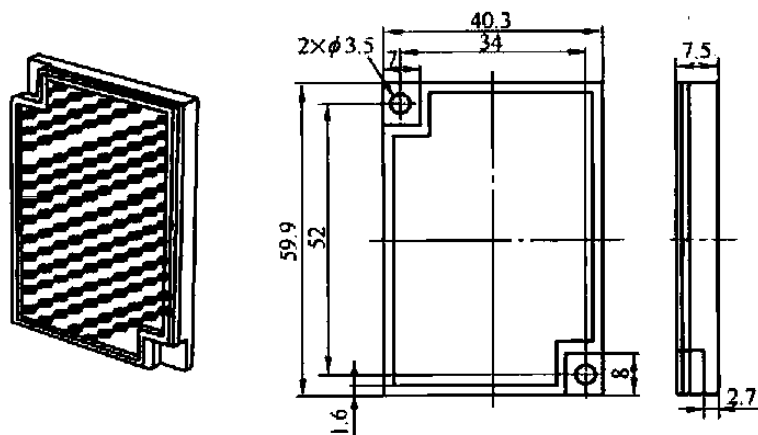


图 17-2-16

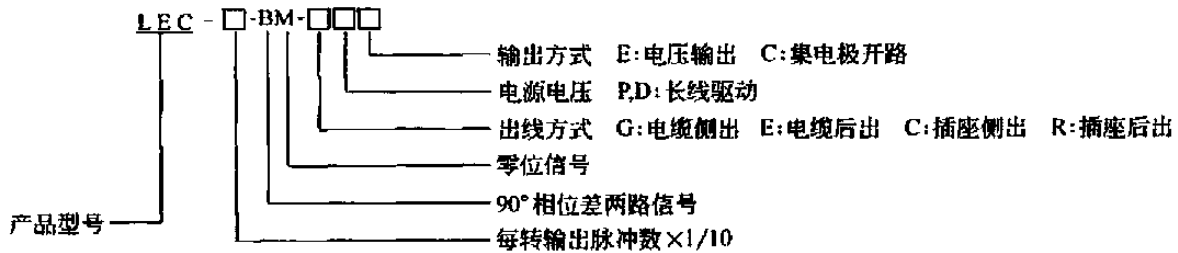
5 光电编码器

5.1 LEC 系列增量式光电编码器

(1) 产品的特点及用途

LEC 系列增量式光电编码器用于自动控制、自动测量等工作场合，测量长度、位置、速度或角度等。

(2) 型号的含义



(3) 主要技术参数及输出电路

LEC 系列增量式光电编码器的主要技术参数见表 17-2-32，输出电路见表 17-2-33。

表 17-2-32

LEC 系列增量式光电编码器主要技术参数

性能代号	电源电压 /V	消耗电流 /mA	输出型式	输出电压/V		注入 电流 /mA	最小负 载阻抗 /Ω	上升、下 降时间 /μs	响应频率 /kHz
				V_H	V_L				
05E	5 ± 0.25	≤ 150	电压	≥ 3.5	≤ 0.5	—	—	≤ 1	0 ~ 100
05C	5 ± 0.25	≤ 150	集电极开路	—	—	≤ 40	—	≤ 1	0 ~ 100
05P	5 ± 0.25	≤ 150	长线驱动器(75183)	≥ 2.5	≤ 0.5	—	—	≤ 0.2	0 ~ 100
05D	5 ± 0.25	≤ 250	长线驱动器(75113)	≥ 2.5	≤ 0.5	—	—	≤ 0.2	0 ~ 100
12E	12 ± 1.2	≤ 150	电压	≥ 8.0	≤ 0.5	—	—	≤ 1	0 ~ 100
12C	12 ± 1.2	≤ 150	集电极开路	—	—	≤ 40	—	≤ 1	0 ~ 100
12F	12 ± 1.2	≤ 150	互补	≥ 8.0	≤ 1.0	—	≥ 500	≤ 1	0 ~ 100
15E	15 ± 1.5	≤ 150	电压	≥ 10.0	≤ 0.5	—	—	≤ 1	0 ~ 100
15C	15 ± 1.5	≤ 150	集电极开路	—	—	≤ 40	—	≤ 1	0 ~ 100
15F	15 ± 1.5	≤ 150	互补	≥ 10.0	≤ 1.0	—	≥ 500	≤ 1	0 ~ 100
24E	24 ± 2	≤ 180	电压	≥ 20.0	≤ 0.5	—	—	≤ 2	0 ~ 100
24C	24 ± 2	≤ 180	集电极开路	—	—	≤ 40	—	≤ 2	0 ~ 100
24F	24 ± 2	≤ 180	互补	≥ 20.0	≤ 2.0	—	≥ 500	≤ 2	0 ~ 100
机械参数	输出轴直径 /mm	允许最大 机械转速 /r·min ⁻¹	启动力矩 (25℃) /10 ⁻³ N·m	轴最大负载/N		惯性力矩 /10 ⁻⁶ N·m·s ²	允许角加速度 /10 ⁴ rad·s ⁻²		
				径向	轴向				
	5	5000	3	20	10	3.5	1		
8 ^①	5000	10	40	30	4	1			
10 ^①	5000	10	40	30	4.2	1			

续表

环境参数	型式记号	使用温度/℃	贮存温度/℃	耐振动	耐冲击	构造	质量/g
	05E、05C 12E、12C、12F 15E、15C、15F 24E、24C、24F	-10 ~ 60	-30 ~ 70	50m/s ² 10 ~ 200Hz, X、Y、Z 三 个方向各 2h	980m/s ² X、Y、Z 三个 方向各 2 次	防尘	约 350 (电缆除外)
	05P、05D	0 ~ 60	-30 ~ 70	50m/s ² 10 ~ 200Hz, X、Y、Z 三 个方向各 2h	980m/s ² X、Y、Z 三个 方向各 2 次	防尘	约 350 (电缆除外)

① 此类特殊加工。

注：防护等级为 IP54。

表 17-2-33

LEC 系列增量式光电编码器输出电路

型式记号	05E	12E	15E	24E	05C	12C	15C	24C	
输出型式	电压				集电极开路				
电路									
型式记号	05P	05D	12F	15F	24F				
输出型式	长线驱动器			互补输出					
电路	<p style="text-align: center;">$Q = A, B, Z \quad \bar{Q} = \bar{A}, \bar{B}, \bar{Z}$</p>								

注：生产厂为长春第一光学有限公司。

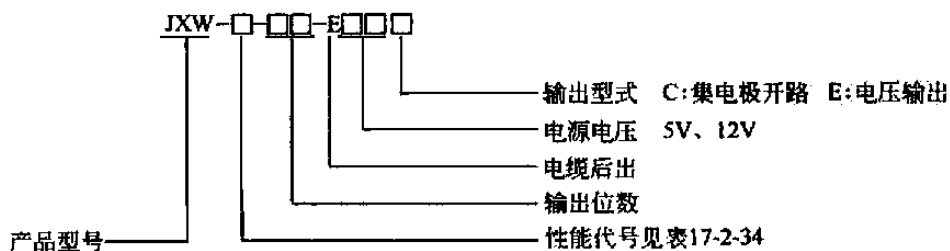
(4) 外形及安装尺寸 (见图 17-2-17)

5.2 JXW 系列绝对式光电编码器

(1) 产品的特点及用途

JXW 系列绝对式光电编码器能够实现零位固定, 单值函数输出, 抗干扰能力强, 结构上采取了防尘、防潮等措施, 具有耐冲击、耐振动的性能, 能够测量角位移、旋转速度等机械量, 并将测量结果以自然二进制码输出, 从而广泛应用于自动测量、自动控制等系统中。

(2) 型号的含义



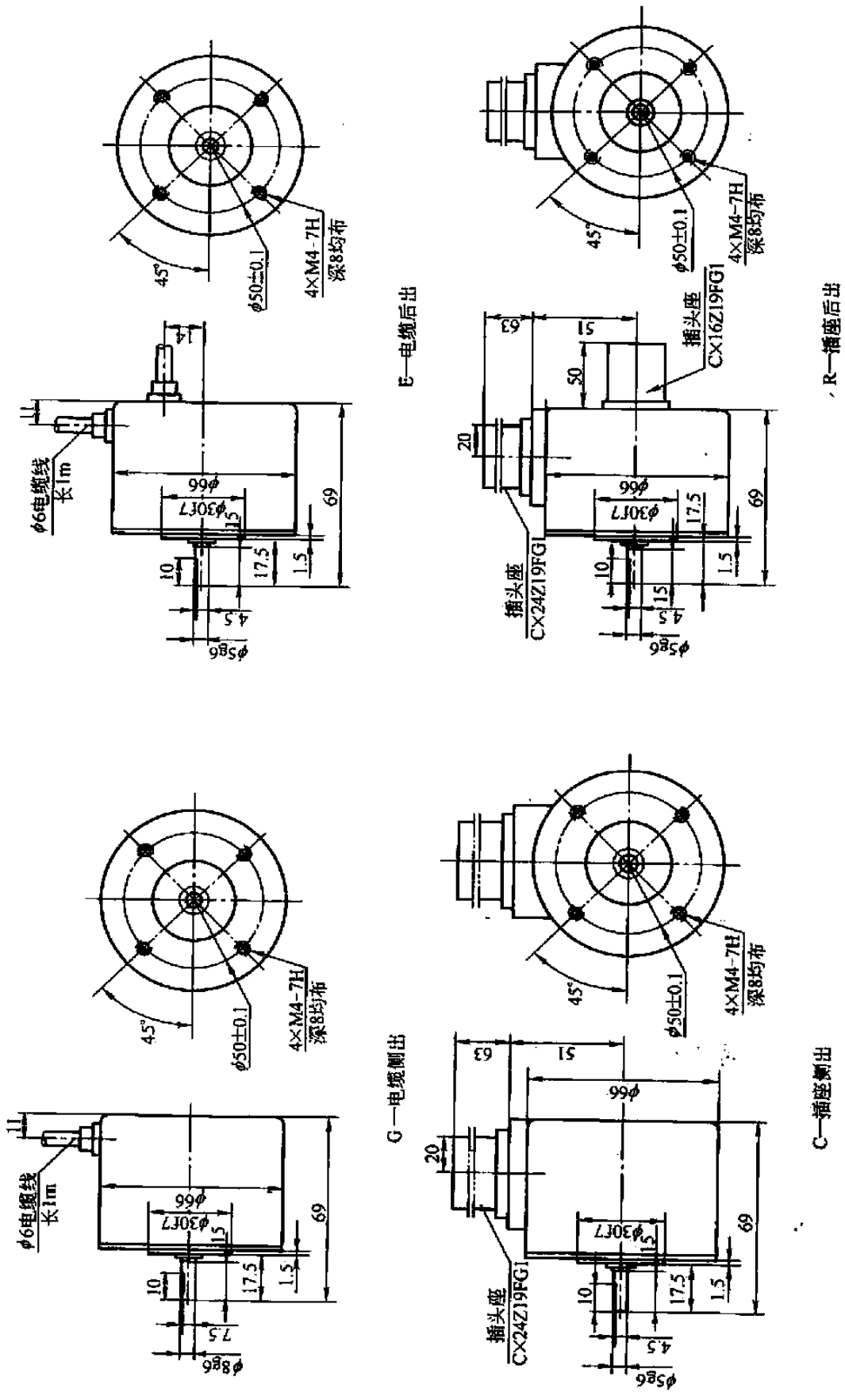


图 17-2-17 LEC 系列增量式光电编码器外形及安装尺寸

G—电缆侧出

E—电缆后出

C—插座侧出

R—插座后出

表 17-2-34

性能代号含义

性能代号	电源电压/V	输出码制
7	5 ± 0.25	自然二进制码
8		循环二进制码
9	12	自然二进制码
10		循环二进制码

(3) 主要技术参数及输出电路

JXW 系列绝对式光电编码器主要技术参数见表 17-2-35, 输出电路见图 17-2-18。

表 17-2-35

JXW 系列绝对式光电编码器主要技术参数

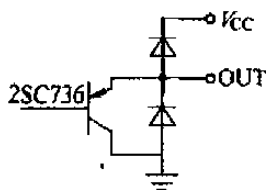
基本参数	位数		分割数		角分辨率		测量范围/(°)		准确度/(°)		
	8		256		360°/2 ⁸		0~360		±42		
	9		512		360°/2 ⁹		0~360		±21		
	10		1024		360°/2 ¹⁰		0~360		±10		
电气参数	性能序号	电源电压/V	输出信号			消耗电流/mA	波形	上升下降时间/μs	响应频率/kHz	最小负载/Ω	绝缘阻抗/MΩ
			高电平/V	低电平/V	允许注入电流/mA						
	7	5 ± 0.25	≥3.5	≤0.5	<20	<260	方波	<1	<25	500	>100
	9		≥10	≤1						集电极开路	
8											
10	12										
机械参数	允许最大机械转速/r·min ⁻¹		启动力矩(25℃)/N·m		轴最大负载						
	1000		2 × 10 ⁻³		径向/N			轴向/N			
					20			10			
	环境参数:										
使用温度/℃		贮存温度/℃		相对湿度/%		耐振动/m·s ⁻²		耐冲击/m·s ⁻²			
-20~50		-30~70		85		30(10~200Hz, X, Y, Z 三方向各1h)		300(11ms, X, Y, Z 三个方向各3次)			

注: 1. 允许注入电流 20mA 为单路信号的允许注入电流。

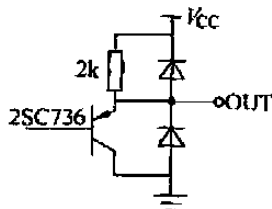
2. 防护等级为 IP54。

3. 生产厂为长春第一光学有限公司。

(4) 外形及安装尺寸 (见图 17-2-19)



(a) 集电极开路输出



(b) 电压输出

图 17-2-18 JXW 系列绝对式光电编码器输出电路

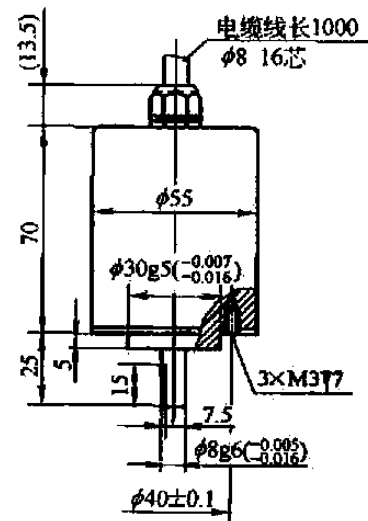


图 17-2-19 JXW 系列绝对式光电编码器外形及安装尺寸

6 管状电加热元件 (摘自 JB/T 2379—1993)

6.1 管状电加热元件的型号与用途

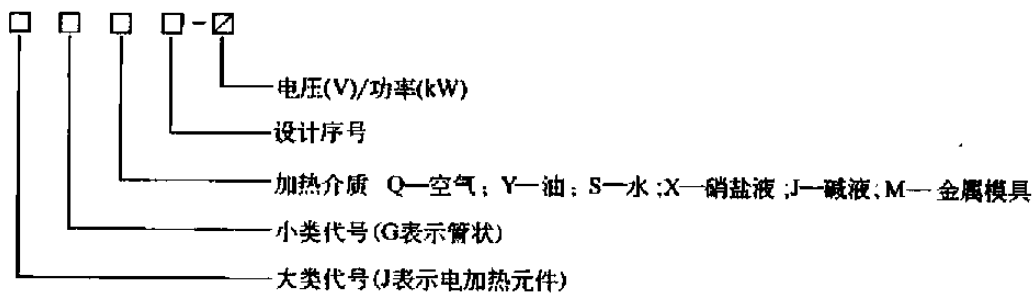
管状电加热元件是用金属管作外壳,管中放入合金电阻丝作发热体,在空隙部分紧密填充具有良好绝缘和导热性能的结晶氧化镁而成的一种电加热元件。它可以加热静止的或流动的空气,也可以浸在水或其他液体中直接进行加热,并能熔炼轻金属或作金属模具加热用。

表 17-2-36

技术参数

型 号	用 途	最高工作温度(介质)	管子材料	管子表面负荷/ $W \cdot cm^{-2}$
JGQ1,2,3,4,5,6,7,8	加热空气	$\leq 300^{\circ}C$	碳钢管	< 2
JGY1,2	加热静止油	$\leq 300^{\circ}C$		< 3
JGY3	加热循环油	$\leq 100^{\circ}C$		< 5
JGS1	加热水	敞开: $100^{\circ}C$ 密闭:压力 294.2kPa	紫铜管	< 10
JGS2,3		$\leq 120^{\circ}C$		
JGX1,2,3	敞开式槽内供硝酸盐液加热	$\leq 550^{\circ}C$	不锈钢管	< 3
JGJ1,2,3	敞开式槽内供碱液加热		碳钢管	
JGM1	各种金属模具加热	$\leq 300^{\circ}C$	碳钢管	< 3.4
JGM2				< 3.9

注: 1. 型号含义



2. 制造要求已按 JB/T 2379—1993 规定,但产品型号仍是过去的老型号。

3. 生产厂为北京电热器厂。

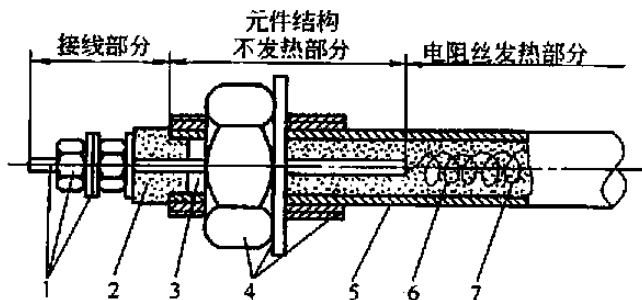


图 17-2-20

1—接线装置; 2—绝缘子; 3—封口材料; 4—紧固装置;
5—金属管; 6—结晶氧化镁; 7—电阻丝

6.2 管状电加热元件的结构及使用说明

使用说明如下。

1) 元件允许在下列条件下工作:

① 环境温度为 $-20 \sim 50^{\circ}C$, 空气相对湿度不大于 95% (环境温度为 $25^{\circ}C$ 时), 使用地的海拔高度不超过 1000m。

② 工作电压不大于额定值的 1.1 倍, 外壳应有效地接地。

- 2) 加热介质为液体时, 元件的有效长度 (H_1 或 L_1) 必须全部浸在液体中。元件发热部分应与容器壁有一定距离, 一般为 50mm 以上。
- 3) 加热液体的元件不得用以加热气体或固体物。
- 4) 加热液体的元件, 如发现管子表面有水垢或结炭时, 应清除干净后再用, 以免影响元件的使用寿命和降低热效率。
- 5) 熔炼轻金属或硝酸盐、碱、沥青、石蜡等为固态时进行加热, 应降压启动, 待固态加热介质全部熔化后才能升至额定电压。
- 6) 加热硝酸盐时应考虑安全措施, 预防爆炸事故的发生。
- 7) 元件接线部分应放在保温层、加热室外, 并避免与腐蚀性、爆炸性气体接触。必须保持出线端部干燥、清洁, 以免造成闪络或短路。接线时勿用力过猛。
- 8) 元件的端部可能溢出少量糊状物, 这是封口材料, 不影响使用, 待断电后, 将溢出物揩净即可。
- 9) 元件应储存在空气流通、相对湿度不大于 85%、无腐蚀性气体的室内。
- 10) 元件经运输或长期不用受潮后, 其冷态绝缘电阻低于 $1M\Omega$ 时, 可将元件放在温度 200°C 左右的干燥箱中焙烘, 直到恢复正常, 或降低电压直接通电加热, 除去潮气, 至恢复正常为止。

6.3 管状电加热元件的常用设计、计算公式和参考数据

- 1) 将介质加热至工作温度所需热量

$$Q = m(T_2 - T_1)c \quad (\text{kJ})$$

式中 Q ——被加热介质所吸收的热量, kJ;

m ——被加热介质的质量, kg;

T_2 ——被加热介质的工作温度, $^\circ\text{C}$;

T_1 ——被加热介质的初温, $^\circ\text{C}$;

c ——被加热介质的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 。

- 2) 根据所需热量求电功率

$$P = \frac{Q}{3.6t}$$

式中 Q ——热能, kJ;

P ——电功率, W;

t ——电流通过导体的时间, h。

- 3) 成品冷态电阻

$$R_{20} = \frac{1}{K_1} \times \frac{U^2}{P}$$

式中 R_{20} ——成品冷态电阻, Ω ;

U ——元件工作电压, V;

P ——元件功率, W;

K_1 ——电阻温度系数 (北京钢丝厂生产的 0Cr25Al5 电阻丝的系数, 600°C 以下一般为 1.002 ~ 1.022)。

- 4) 元件管壁表面负荷

$$\sigma_T = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D_w (L_s - 2l_1)}$$

式中 σ_T ——管壁表面负荷, W/cm^2 ;

P ——元件功率, W;

D_w ——元件成品外径, cm;

L_s ——元件成品总长, cm;

l_1 ——元件引出棒长度, cm。

- 5) 一般元件的弯曲半径和加工长度范围见表 17-2-37。

表 17-2-37

弯曲半径和加工长度

管径 ϕ /mm	弯曲半径 R /mm	可加工长度/m	管径 ϕ /mm	弯曲半径 R /mm	可加工长度/m
8.5	20	<1	16	40	<4.5
10	25	<2	20	50	<6
12	25,30	<2.5			

6.4 JGQ 型管状电加热元件

(1) JGQ1, 2, 3 型管状电加热元件

为空气加热元件, 安装于吹风管道中, 或安装在其他流动空气加热的地方。元件在风道中宜交错排列, 以使流过空气能充分加热。也可作为各种烘箱和电炉的发热元件。最高工作温度不应超过 300°C 。元件表面涂远红外线涂料。

外形尺寸及主要参数

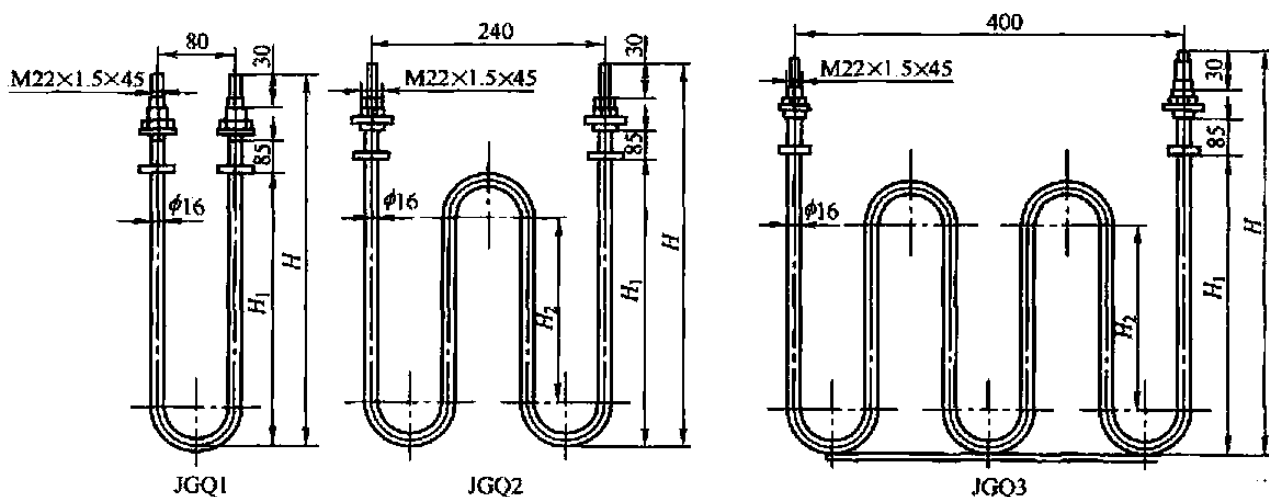


表 17-2-38

型 号	电 压/V	功 率/kW	外形尺寸/mm				引出棒规格	质量/kg
			H	H_1	H_2	总长		
JGQ1-220/0.5	220	0.5	490	330	—	1025	M6 × 230	1.3
JGQ1-220/0.75		0.75	690	530	—	1425		1.6
JGQ2-220/1.0		1.0	490	330	200	1675		1.8
JGQ2-220/1.5		1.5	690	530	400	2475		2.6
JGQ3-380/2.0	380	2.0	590	430	300	2930		3.4
JGQ3-380/2.5		2.5	690	530	400	3530		4
JGQ3-380/3.0		3.0	790	630	500	4130	4.5	

(2) JGQ4, 5, 6 型管状电加热元件

为空气加热元件, 适用于干燥箱、烘箱、大型烘炉等, 作为各种油漆、绝缘漆等烘干和各种产品的脱水干燥及空气加热等用。最高工作温度不应超过 300°C 。元件表面涂远红外线涂料。

外形尺寸及主要参数

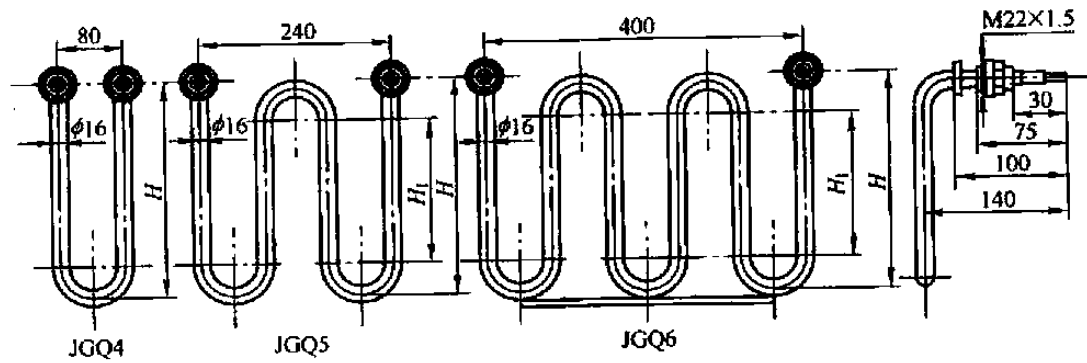


表 17-2-39

型号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm				质量/kg
			H	H ₁	总长	引出棒规格	
JGQ4-220/0.5	220	0.5	330	—	950	M6 × 200	1.3
JGQ4-220/0.8	220	0.8	450	—	1190		1.6
JGQ4-220/1.0	220	1.0	600	—	1490		1.8
JGQ5-220/1.2	220	1.2	350	250	1745		2.1
JGQ5-220/1.5	220	1.5	450	350	2145		2.5
JGQ5-220/1.8	220	1.8	550	450	2545		2.9
JGQ6-380/2.0	380	2.0	400	300	2795		3.1
JGQ6-380/2.5	380	2.5	500	400	3395		3.8
JGQ6-380/3.0	380	3.0	600	500	3995		4.4

(3) JGQ7, 8 型管状电加热元件

为空气加热元件, 适合于各种烘箱、烘炉等, 或安装在恒温恒湿机、除湿机等设备上。最高工作温度不应超过 300℃。元件表面涂远红外线涂料。

外形尺寸及主要参数

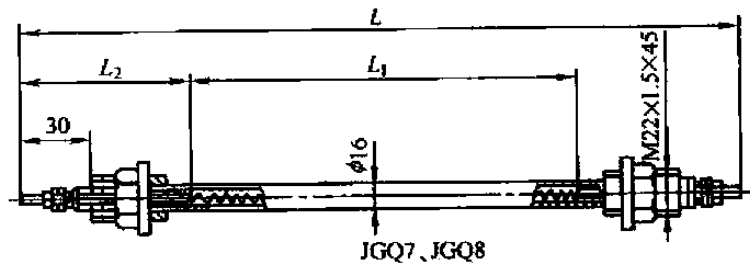


表 17-2-40

型号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm			质量/kg
			L	L ₁ (有效)	L ₂	
JGQ7-220/0.8	220	0.8	1100	800	150	1.4
JGQ7-220/1.0		1.0	1300	1000		1.6
JGQ7-220/1.2		1.2	1500	1200		1.8
JGQ7-220/1.4		1.4	1700	1400		2.0
JGQ7-220/1.6		1.6	1900	1600		2.2
JGQ7-220/2.0		2.0	2300	2000		2.6
JGQ8-220/0.8		0.8	1800	800	500	2.2
JGQ8-220/1.0		1.0	2000	1000		2.4
JGQ8-220/1.2		1.2	2200	1200		2.6
JGQ8-220/1.4		1.4	2400	1400		2.8
JGQ8-220/1.6	1.6	2600	1600	3.0		
JGQ8-220/2.0	2.0	3000	2000	3.4		

6.5 JGY 型管状电加热元件

(1) JGY1 型管状电加热元件

此为静止油加热元件，用于敞开放式或封闭式油槽中加热油，也可以加热水和比油传热好的其他液体。最高工作温度不应超过 300℃。元件表面涂耐热银粉漆。

外形尺寸及主要参数

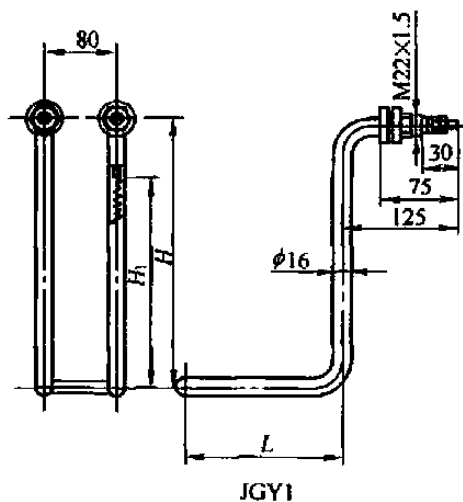


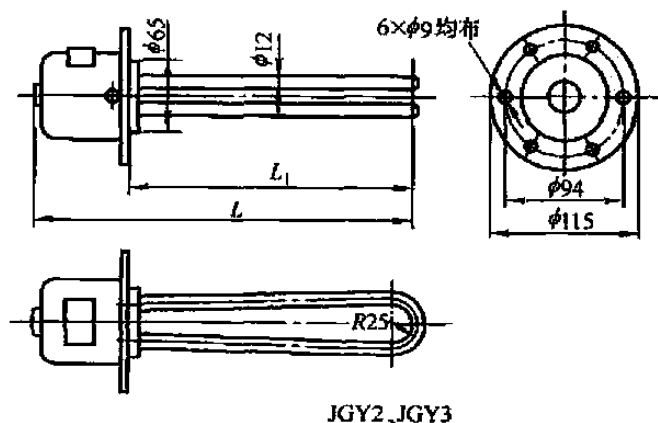
表 17-2-41

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm				质量/kg	
			H	H ₁ (有效)	L	总长		引出棒规格
JGY1-220/2.0	220	2.0	470	320	400	1965	M6 × 300	2.3
JGY1-220/2.5		2.5	670	520	500	2565		3
JGY1-220/3.0		3.0	670	520	700	2965		3.4

(2) JGY2, 3 型管状电加热元件

JGY2 型是静止油加热元件，最高工作温度不应超过 300℃。JGY3 型是循环油加热元件，最高工作温度不应超过 100℃。一般多安装于化工反应釜及焊有管法兰的容器和设备上。元件表面涂耐热银粉漆。

外形尺寸及主要参数



JGY2, JGY3

表 17-2-42

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm				质量/kg
			L	L ₁ (浸入油中)	单支长	引出棒规格	
JGY2-220/1	220	1	330	250	630	M5 × 100	1.5
JGY2-220/2		2	530	450	1030		1.9
JGY2-220/3		3	730	650	1430		2.4
JGY2-220/4		4	930	850	1830		2.8
JGY3-220/5		5	700	620	1370		2.5
JGY3-220/6		6	810	730	1590		2.7
JGY3-220/8		8	1010	930	1990		3.1

6.6 JGS 型管状电加热元件

此为水加热元件，适用于敞开式和封闭式的水槽中及循环水系统内加热水用。JGS1 型管子材料为 10 钢，元件表面涂耐热银粉漆。JGS2, 3 型为紫铜。

外形尺寸及主要参数

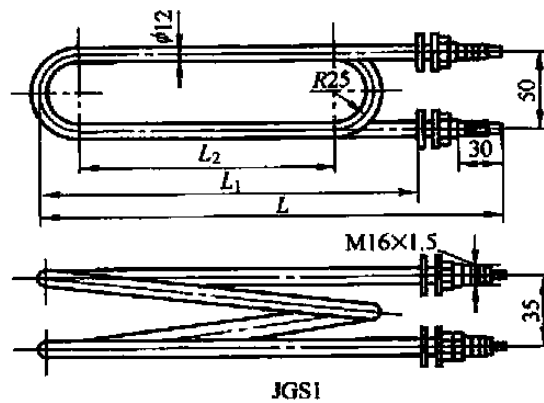


表 17-2-43

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm					质量/kg
			L	L ₁ (浸入水中)	L ₂	总长	引出棒规格	
JGS1-220/3	220	3	390	335	250	1465	M5 × 100	0.8
JGS1-220/4		4	515	460	375	1965		1.1
JGS1-220/5		5	640	585	500	2465		1.4

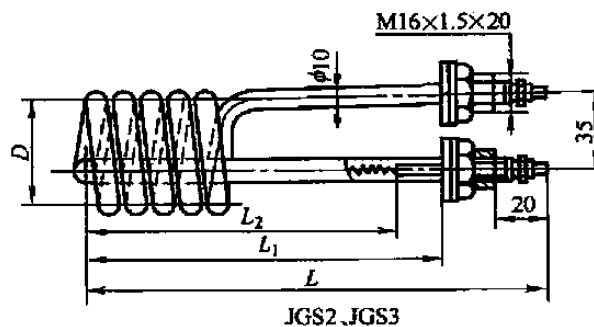


表 17-2-44

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm							质量/kg
			L	L ₁	L ₂ (有效)	D	圈数	总长	引出棒规格	
JGS2-220/0.5	220	0.5	145	105	90	50	3.5	790	M4 × 70	0.4
JGS2-220/1.0		1.0	170	130	105	50	3.5	840		0.48
JGS2-220/1.5		1.5	195	155	130	50	3.5	890		0.65
JGS2-220/2.0		2.0	245	205	130	50	4.5	1135	M4 × 125	0.7
JGS3-220/1.5		1.5	120	80	60	70	3.5	965	M4 × 70	0.5
JGS3-220/2.5		2.5	120	80	60	70	4.5	1170	M4 × 90	0.6

6.7 JGX1, 2, 3 型及 JGJ1, 2, 3 型管状电加热元件

JGX1, 2, 3 型为硝酸盐加热元件, 用于加热硝酸盐溶液。管子材料为不锈钢, 元件表面不处理。JGJ1, 2, 3 型为碱加热元件, 用于加热各种碱溶液。管子材料为 10 钢。JGJ1 型元件表面涂耐热银粉漆。JGJ2 型、JGJ3 型元件表面涂远红外线涂料。两种元件外形尺寸和技术数据相同, 工作温度均为 500 ~ 550℃。

外形尺寸及主要参数

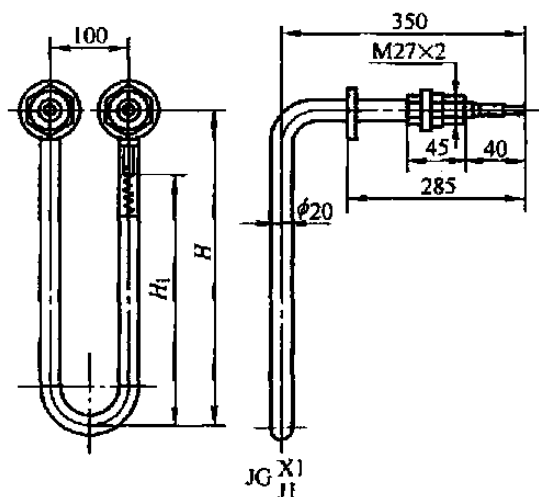


表 17-2-45

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm				质量/kg
			H	H ₁ (有效)	总 长	引出棒规格	
JGX1-380/2 JGJ1	380	2	800	550	2315	M6 × 635	4
JGX1-380/3 JGJ1		3	1080	830	2875		4.9
JGX1-380/4 JGJ1		4	1380	1130	3475		6
JGX1-380/5 JGJ1		5	1800	1450	4315	M6 × 735	7.5
JGX1-380/6 JGJ1		6	2100	1750	4915		8.7
JGX1-380/7 JGJ1		7	2500	2150	5715		9.7

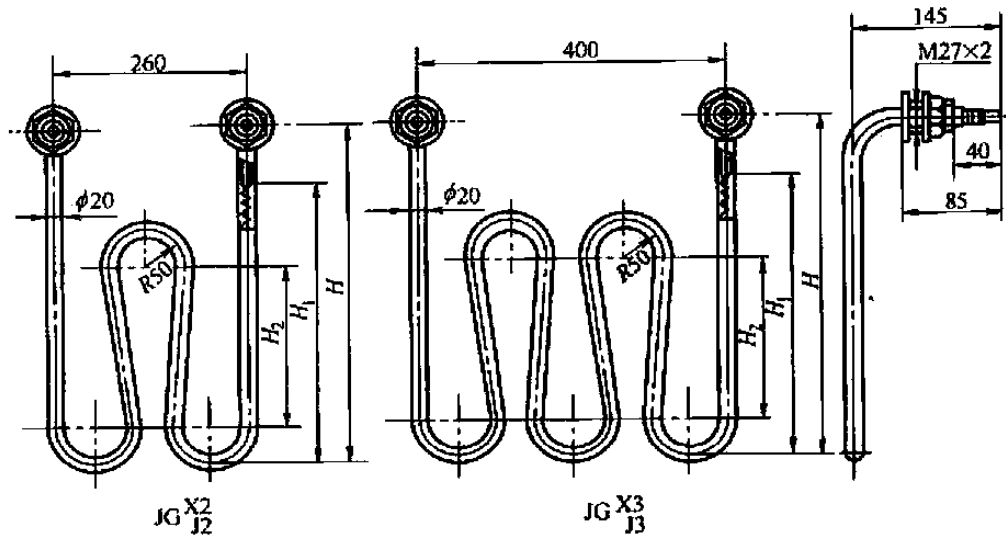


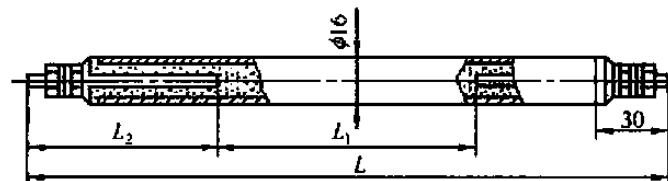
表 17-2-46

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm					质量/kg
			H	H ₁ (有效)	H ₂	总 长	引出棒规格	
JGX2 JJ2 -380/2	380	2	540	390	260	2220	M6 × 320	3.7
JGX2 JJ2 -380/3		3	680	530	400	2780		4.7
JGX2 JJ2 -380/4		4	850	650	530	3380	M6 × 380	5.4
JGX3 JJ3 -380/5		5	770	570	460	4315		7.2
JGX3 JJ3 -380/6		6	870	670	560	4915		8
JGX3 JJ3 -380/7		7	1020	820	685	5715		9

6.8 JGM 型管状电加热元件

此为金属模具加热元件，安装于各种油压机、挤出机、热芯机、射芯机等模板中，或铸造、压制在金属模具中进行加热。JGM1 型适用于两端接线方式。对不能进行两端接线的，可采用 JGM2 型。最高工作温度不应超过 300℃。JGM1 型、JGM2 型 10 钢元件表面涂远红外线涂料，JGM2 型不锈钢元件表面不处理。

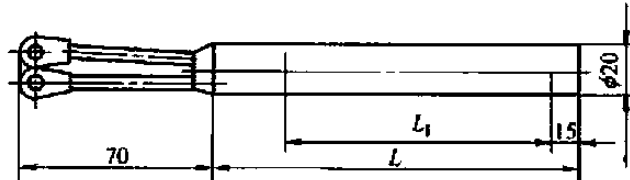
外形尺寸及主要参数



JGM1

表 17-2-47

型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm			质量/kg
			L	L ₁ (有效)	L ₂	
JGM1-36/0.2	36	0.2	260	120	70	0.3
JGM1-36/0.3	36	0.3	340	200		
JGM1-110/0.4	110	0.4	390	250		
JGM1-110/0.5	110	0.5	440	300		
JGM1-220/0.6	220	0.6	660	520		



JGM2

表 17-2-48

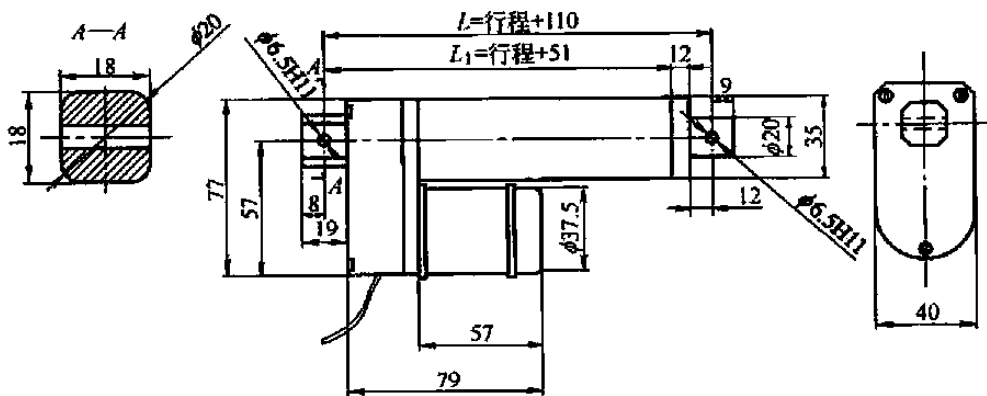
型 号	电压/V	功率/kW	外形尺寸/mm		质量/kg
			L	L ₁ (有效)	
JGM2-220/0.2	220	0.2	200	130	0.3
JGM2-220/0.35		0.35	300	230	0.5
JGM2-220/0.5		0.5	400	330	0.6
JGM2-220/0.75		0.75	500	430	0.8
JGM2-220/1.0		1.0	700	630	1.1
JGM2-220/1.2		1.2	800	730	1.3
JGM2-220/1.5		1.5	1000	930	1.5

第 3 章 电动、电液推杆与升降机

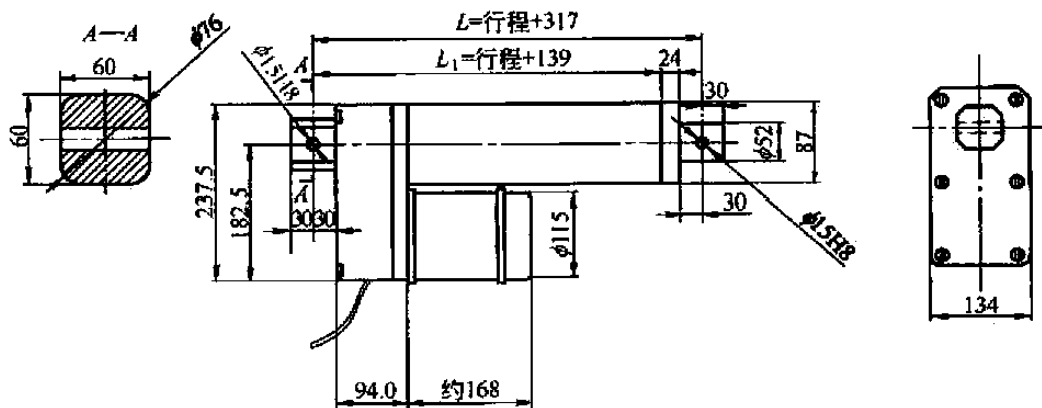
1 电动推杆

1.1 ZHN 系列电动推杆

ZHN 系列电动推杆是一种轻型的电动推杆。推杆的外管、齿轮箱、伸缩内管均用铝合金制作，体积小、重量轻。由于采用粉末冶金齿轮，不需额外润滑。



ZHN-700N 型



ZHN1300-6000N 型

表 17-3-1

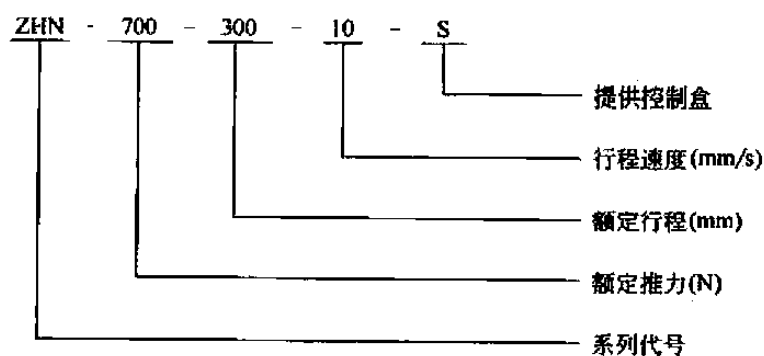
技术参数

	额定推力/N	最大有效行程/mm	速度/ $m \cdot s^{-1}$	L:初始尺寸/mm	传动比	螺杆形状	行程范围/mm	电机参数	质量/kg
ZHN-700N型	100	150	60	260	5	梯形螺紋	50~150	功率:25W 转速:6000r/min 电压:24V(DC) 或选用 功率:12W 转速:3000r/min 电压:24V(DC)	4
		200	30	310	5		50~250		5
	300	200	30	310	10		50~200		5
		300	15	410	10		50~300		7
	500	250	15	360	20		50~250		8
		350	7.5	470	20		50~350		10
	700	300	10	410	30		50~300		9
		300	5	410	30		50~300		9
ZHN 1300-6000N型	1300	610	32.8	927	3.8	梯形螺紋	100~610	功率 = 125W 转速 = 1500r/min 电压 = 12V(DC)	>8
	2300		15	927	8.3		100~610		>8
	3000		10	927	12.46		100~610		>8
	2600	610	32.8	927	3.8		100~610	功率 = 250W 转速 = 1500r/min 电压 = 12V(DC)	>8
	4600		15	927	8.3		100~610		>8
	6000		10	927	12.46		100~610		>8
	4700	610	32.8	927	3.8		100~610	功率 = 450W 转速 = 1500r/min 电压 = 12V(DC)	>8
	>6000		15	927	8.3		100~610		>8

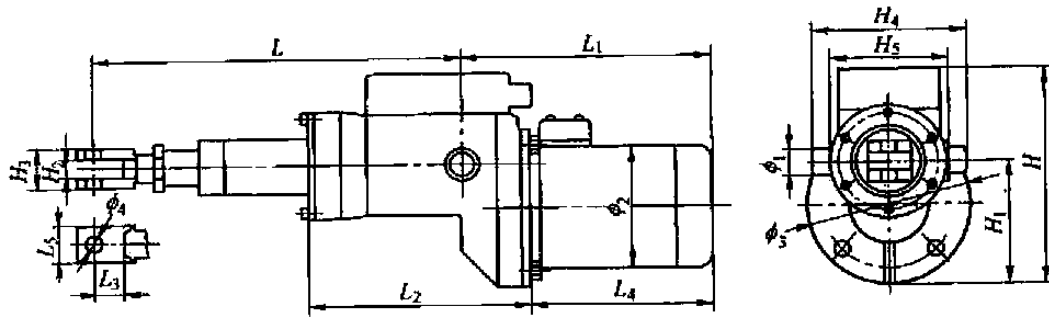
注: 1. 推杆质量依据行程而定。

2. 选择及注意事项见本章 1.2 节。

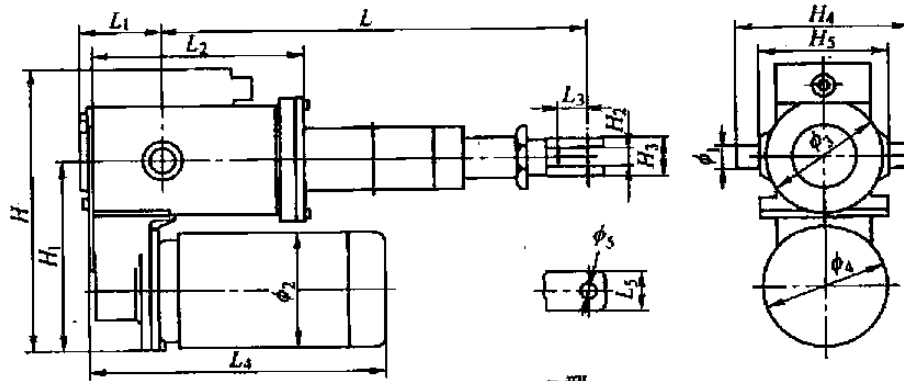
标记示例



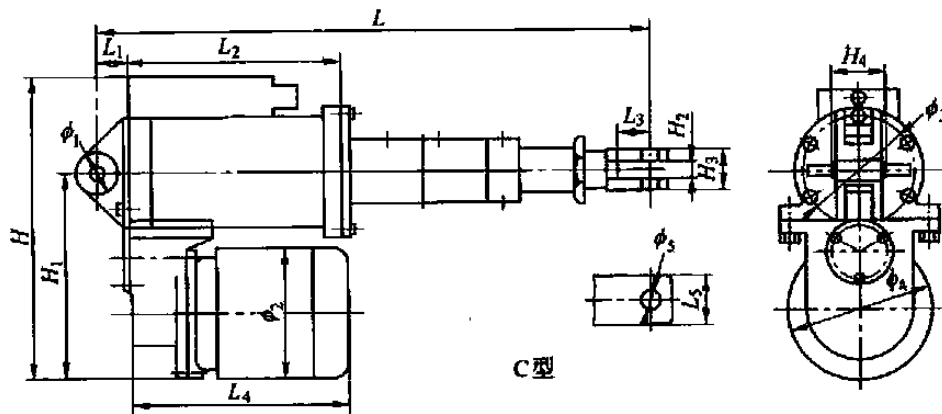
1.2 DG 型电动推杆



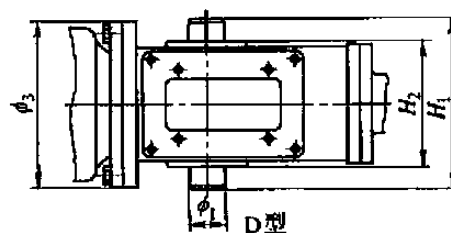
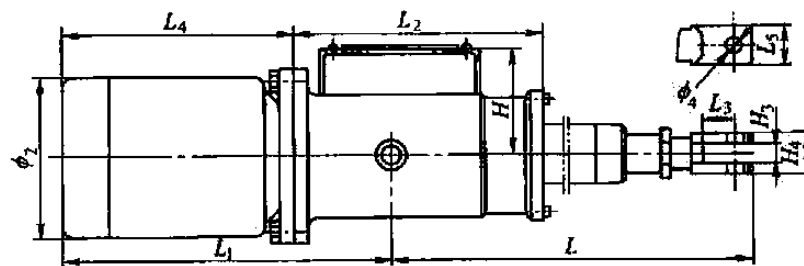
A型



B型



C型



D型

技术参数

		mm															质量 /kg				
额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm·s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	电动机型号 M/K	
0.98kN (100kgf)	200	M:42 K:84	432	218	210	30	153	38	217	124	20	40	152	112	25	112	160	15	—	—	M: YZA5624 120W 0.47A K: YZA5622 180W 0.52A
	400		632	218	210	30	153	38	217	124	20	40	152	112	25	112	160	15	—	—	
	600		832	218	210	30	153	38	217	124	20	40	152	112	25	112	160	15	—	—	
	800		1032	218	210	30	153	38	217	124	20	40	152	112	25	112	160	15	—	—	
2.94kN (300kgf)	200	M:42 K:84	453	302	230	30	237	40	229	128	20	40	175	130	25	148	160	15	—	—	M: YZA7134 550W 1.57A K: YZA7132 750W 1.82A
	400		653	302	230	30	237	40	229	128	20	40	175	130	25	148	160	15	—	—	
	600		853	302	230	30	237	40	229	128	20	40	175	130	25	148	160	15	—	—	
	800		1053	302	230	30	237	40	229	128	20	40	175	130	25	148	160	15	—	—	
4.9kN (500kgf)	300	M:45 K:90	566	325/330	282	38	240	50	268	160	25	47	190	140	35	148/165	200	17	—	—	M: YZA7134 550W 1.57A K: Y802-2 1.1kW 2.6A
	600		866	325/330	282	38	240	50	268	160	25	47	190	140	35	148/165	200	17	—	—	
	800		1066	325/330	282	38	240	50	268	160	25	47	190	140	35	148/165	200	17	—	—	
	1000		1266	325/330	282	38	240	50	268	160	25	47	190	140	35	148/165	200	17	—	—	
6.86kN (700kgf)	300	M:35 K:70	606	340	308	38	245	54	297	174	30	60	215	165	35	165	200	17	—	—	M: Y802-4 750W 2A K: Y802-2 1.1kW 2.6A
	600		906	340	308	38	245	54	297	174	30	60	215	165	35	165	200	17	—	—	
	800		1106	340	308	38	245	54	297	174	30	60	215	165	35	165	200	17	—	—	
	1000		1306	340	308	38	245	54	297	174	30	60	215	165	35	165	200	17	—	—	
9.8kN (1000kgf)	300	M:43 K:86	634	380	308	56	285	54	297	174	35	65	215	165	40	175	200	18	—	—	M: Y90L-4 1.5kW 3.7A K: Y90L-2 2.2kW 4.7A
	600		934	380	308	56	285	54	297	174	35	65	215	165	40	175	200	18	—	—	
	800		1134	380	308	56	285	54	297	174	35	65	215	165	40	175	200	18	—	—	
	1000		1334	380	308	56	285	54	297	174	35	65	215	165	40	175	200	18	—	—	
15.68kN (1600kgf)	300	M:52 K:104	577	489	360	56	318	54	371	233	40	65	290	240	25	205	250	20	—	—	M: Y100L-4 2.2kW 5A K: Y100L-2 3kW 6.4A
	600		877	489	360	56	318	54	371	233	40	65	290	240	25	205	250	20	—	—	
	800		1077	489	360	56	318	54	371	233	40	65	290	240	25	205	250	20	—	—	
	1000		1277	489	360	56	318	54	371	233	40	65	290	240	25	205	250	20	—	—	

A 型

续表

额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm·s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	电动机型号 M/K	质量 /kg
2.94kN (300kgf)	200	M:37 K:74	407	107	215	30	299	40	299	203	20	40	175	129	25	148	120	128	15	M:YZA7134 550W 1.57A	34
	400		607	107	215	30	299	40	299	203	20	40	175	129	25	148	120	128	15		38
	600		807	107	215	30	299	40	299	203	20	40	175	129	25	148	120	128	15	K:YZA7132	42
	800		1007	107	215	30	299	40	299	203	20	40	175	129	25	148	120	128	15	750W 1.82A	46
4.9kN (500kgf)	300	M:45 K:90	518	147	279	38	339	50	400	280	25	47	232	180	35	165	164	200	17	M:Y802-4 750W 2A	56
	600		818	147	279	38	339	50	400	280	25	47	232	180	35	165	164	200	17		60
	800		1018	147	279	38	339	50	400	280	25	47	232	180	35	165	164	200	17	K:Y802-2	64
	1000		1218	147	279	38	339	50	400	280	25	47	232	180	35	165	164	200	17	1.1kW 2.6A	70
6.86kN (700kgf)	300	M:49 K:98	558	148	303	38	339	54	413	288	30	60	242	190	35	165	176	200	17	M:Y802-4 750W 2A	84
	600		858	148	303	38	339	54	413	288	30	60	242	190	35	165	176	200	17		88
	800		1058	148	303	38	339	54	413	288	30	60	242	190	35	165	176	200	17	K:Y802-2	92
	1000		1258	148	303	38	339	54	413	288	30	60	242	190	35	165	176	200	17	1.1kW 2.6A	102
9.80kN (1000kgf)	400	M:45 K:90	637	200	319	56	386	54	434	300	35	65	330	250	40	175	208	200	18	M:Y90L-4 1.5kW 3.7A	125
	600		837	200	319	56	386	54	434	300	35	65	330	250	40	175	208	200	18		132
	800		1037	200	319	56	386	54	434	300	35	65	330	250	40	175	208	200	18	K:Y90L-2	140
	1000		1237	200	319	56	386	54	434	300	35	65	330	250	40	175	208	200	18	2.2kW 4.7A	150
19.6kN (2000kgf)	400	M:51 K:102	638	200	319	56	419	54	484	350	35	65	330	250	50	205	196	250	20	M:Y100L-4 2.2kW 5A	136
	600		838	200	319	56	419	54	484	350	35	65	330	250	50	205	196	250	20		146
	800		1038	200	319	56	419	54	484	350	35	65	330	250	50	205	196	250	20	K:Y100L-2	156
	1000		1238	200	319	56	419	54	484	350	35	65	330	250	50	205	196	250	20	3kW 6.4A	166
29.4kN (3000kgf)	400	M:34 K:52	638	200	320	56	441/419	54	484	350	35	65	330	250	50	205/230	196	250	20	M:Y112M-6 2.2kW 5.6A	137
	600		838	200	319	56	441/419	54	484	350	35	65	330	250	40	205/230	196	250	20		147
	800		1038	200	319	56	441/419	54	484	350	35	65	330	250	40	205/230	196	250	20	K:Y100L-2-4	157
	1000		1238	200	319	56	441/419	54	484	350	35	65	330	250	40	205/230	196	250	20	3kW 6.8A	167

B 型

续表

额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm·s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	电动机型号 M/K	质量 /kg
2.45kN (250kgf)	200	M:44 K:88	521	25	205	30	223	40	306	215	20	40	20	—	16	112	145	140	16	M:YZA5624 120W 0.47A	32
	400		721	25	205	30	223	40	306	215	20	40	20	—	16	112	145	140	16	K:YZA5632 250W 0.68A	34
	600		921	25	205	30	223	40	306	215	20	40	20	—	16	112	145	140	16		36
	800		1121	25	205	30	223	40	306	215	20	40	20	—	16	112	145	140	16		38
2.94kN (300kgf)	200	M:37 K:74	530	30	203	30	289	40	299	203	20	40	24	—	15	148	122	128	15	M:YZA7134 550W 1.57A	34
	400		730	30	203	30	289	40	299	203	20	40	24	—	15	148	122	128	15	K:YZA7132 750W 1.82A	38
	600		930	30	203	30	289	40	299	203	20	40	24	—	15	148	122	128	15		42
	800		1130	30	203	30	289	40	299	203	20	40	24	—	15	148	122	128	15		46
4.90kN (500kgf)	400	M:45 K:90	793	45	270	38	325	50	400	280	25	47	26	—	20	165	174	200	17	M:Y820-4 750W 2A	56
	600		993	45	270	38	325	50	400	280	25	47	26	—	20	165	174	200	17	K:Y802-2 1.1kW 2.6A	60
	800		1193	45	270	38	325	50	400	280	25	47	26	—	20	165	174	200	17		64
	1000		1393	45	270	38	325	50	400	280	25	47	26	—	20	165	174	200	17		70
9.80kN (1000kgf)	400	M:45 K:90	923	126	310	56	372	54	434	300	35	65	70	—	30	175	208	200	18	M:Y90L-4 1.5kW 3.7A	125
	600		1123	126	310	56	372	54	434	300	35	65	70	—	30	175	208	200	18	K:Y90L-2 2.2kW 4.7A	135
	800		1323	126	310	56	372	54	434	300	35	65	70	—	30	175	208	200	18		145
	1000		1523	126	310	56	372	54	434	300	35	65	70	—	30	175	208	200	18		155
19.6kN (2000kgf)	400	M:51 K:102	924	126	310	56	405	54	484	350	35	65	70	—	30	205	208	250	20	M:Y100L ₁ -4 2.2kW 5A	135
	600		1124	126	310	56	405	54	484	350	35	65	70	—	30	205	208	250	20	K:Y100L-2 3kW 6.4A	145
	800		1324	126	310	56	405	54	484	350	35	65	70	—	30	205	208	250	20		155
	1000		1524	126	310	56	405	54	484	350	35	65	70	—	30	205	208	250	20		165
29.4kN (3000kgf)	400	M:34.5 K:51	924	126	310	56	427/405	54	484	350	35	65	70	—	30	230/205	208	250	20	M:Y112M-6 2.2kW 5.6A	145
	600		1124	126	310	56	427/405	54	484	350	35	65	70	—	30	230/205	208	250	20	K:Y100L ₂ -4 3kW 6.8A	155
	800		1324	126	310	56	427/405	54	484	350	35	65	70	—	30	230/205	208	250	20		165
	1000		1524	126	310	56	427/405	54	484	350	35	65	70	—	30	230/205	208	250	20		175

C 型

续表

C 型		D 型																			
额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm·s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	电动机型号 M/K	质量 /kg
39.2kN (4000kgf)	400	M:25.3 K:37.9	1067	126	238	80	496	80	554	414	50	100	70	—	40	270	290	300	30	M: Y132S-6 3kW 7.2A K: Y132S-4 5.5kW 11.6A	165
	600		1267	126	238	80	496	80	554	414	50	100	70	—	40	270	290	300	30		180
	800		1467	126	238	80	496	80	554	414	50	100	70	—	40	270	290	300	30		195
	1000		1667	126	238	80	496	80	554	414	50	100	70	—	40	270	290	300	30		210
0.49kN (50kgf)	200	M:47 K:94	314	225	167	16	145	30	91	136	106	10	30	—	20	86	110	8	—	M: YZA5034 60W 0.30A K: YZA5032 90W 0.31A	12
	400		514	225	167	16	145	30	91	136	106	10	30	—	20	86	110	8	—		14
	600		714	225	167	16	145	30	91	136	106	10	30	—	20	86	110	8	—		16
	800		914	225	167	16	145	30	91	136	106	10	30	—	20	86	110	8	—		18
0.98kN (100kgf)	200	M:47 K:94	432	300	212	30	223	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—	M, K: YZA7124 370W 1.12A	16
	400		632	300	212	30	223	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		18
	600		832	300	212	30	223	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		20
	800		1032	300	212	30	223	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		22
1.96kN (200kgf)	200	M:47 K:94	432	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—	M: YZA7134 550W 1.57A	18
	400		632	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		20
	600		832	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		22
	800		1032	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		24
2.94kN (300kgf)	200	M:47 K:94	432	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—	M: YZA7134 550W 1.57A	24
	400		632	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		20
	600		832	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		22
	800		1032	313	212	30	236	38	93	156	116	20	40	—	25	148	150	15	—		26
4.90kN (500kgf)	200	M:45.5 K:70	438	437	312	38	285	50	108	170	130	25	47	—	30	175	200	17	—	M: Y90L-6 1.1W 3.2A K: Y90L-4 1.5kW 3.75A	24
	400		638	437	312	38	285	50	108	170	130	25	47	—	30	175	200	17	—		26
	600		838	437	312	38	285	50	108	170	130	25	47	—	30	175	200	17	—		28
	800		1038	437	312	38	285	50	108	170	130	25	47	—	30	175	200	17	—		30

(1) 选择

① 安装型式的选择 根据用户使用设备具体结构, 由用户确定。各类推杆两端的连接型式, 亦可做成铰链(即万向)连接。

② 额定推力的确定 为满足工程上的使用需要, 电动推杆的额定推力应大于负载力的 1.3 倍。

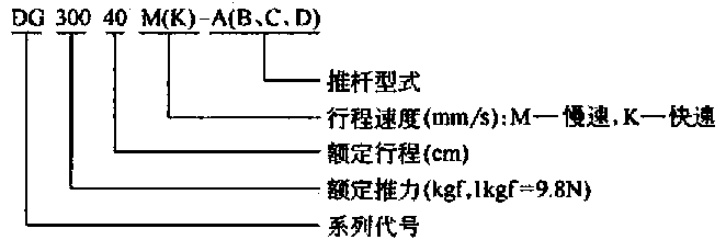
③ 额定行程的确定 为使电动推杆能正常工作, 额定行程应大于负载实际行程 + 60mm。

④ 行程速度选择 由用户根据使用需要确定, 如有特殊要求可与厂方协商。

(2) 注意事项

电动推杆本身具有额定推力过载保护装置和行程调节机构。推杆在制造中已设定了额定推力, 当意外推力超过额定值时, 会立即自动断电停车, 保护系统不被破坏。但是, 绝不能以此作为正常运行的终点开关使用! 行程调节机构可在额定行程范围内任意调节工作行程范围, 相应的外行程开关可与微机联网实现自动控制。

(3) 标记示例



1.3 DGT 型电动推杆

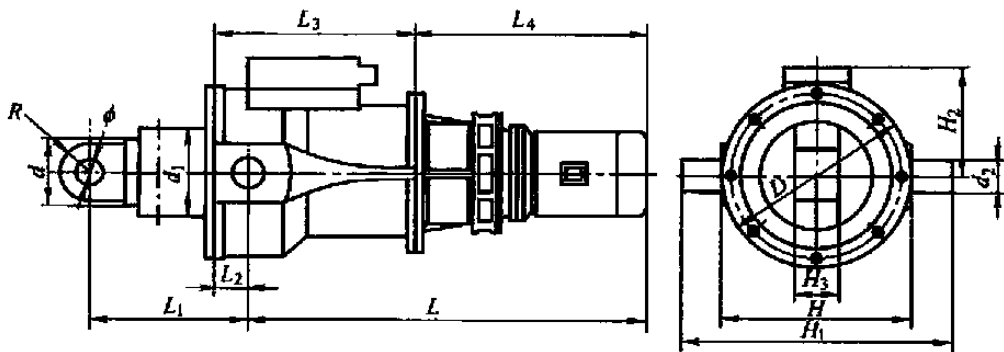


表 17-3-3

技术参数

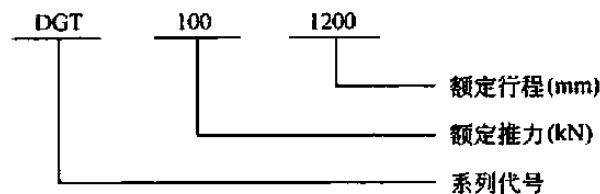
mm

额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm · s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	H	H ₁	H ₂	H ₃	R	D	d	d ₁	d ₂	φ	减速机型号	质量 /kg
75kN (7653kgf)	600	10.43	855	824	64	324	564	250	330	176	40	41	250	98	146	50	45	XLD2.2-	370
	1000		1255	824	64	324	564	250	330	176	40	41	250	98	146	50	45	4-1/23	420
	1200		1455	824	64	324	564	250	330	176	40	41	250	98	146	50	45	2.2kW	450
	1500		1755	824	64	324	564	250	330	176	40	41	260	98	146	50	45	2.2kW	490
100kN (10204kgf)	600	3.56	962	906	140	368	678	320	420	195	45	60	340	124	168	60	60	XLD4-	420
	1000		1362	906	140	368	678	320	420	195	45	60	340	124	168	60	60	6-1/71	450
	1200		1862	906	140	368	678	320	420	195	45	60	340	124	168	60	60	4kW	500
	1500		1032	906	140	368	678	320	420	195	45	60	340	124	168	60	60	4kW	550
200kN (20408kgf)	600	6.74	1223	994	238	432	800	418	518	241	60	90	420	134	190	70	80	XLD7.5-	450
	1000		1623	994	238	432	800	418	518	241	60	90	420	134	190	70	80	6-1/43	520
	1200		1823	994	238	432	800	418	518	241	60	90	420	134	190	70	80	7.5kW	600
	1500		2123	994	238	432	800	418	518	241	60	90	420	134	190	70	80	7.5kW	650
350kN (35714kgf)	600	4.97	1444	1231	160	503	888	460	580	234	60	80	460	164	219	80	80	XLD7.5-	700
	1000		1544	1231	160	503	888	460	580	234	60	80	460	164	219	80	80	8-1/87	760
	1200		1744	1231	160	503	888	460	580	234	60	80	460	164	219	80	80	7.5kW	810
	1500		2044	1231	160	503	888	460	580	234	60	80	460	164	219	80	80	7.5kW	880
500kN (51020kgf)	600	5.26	1464	1324	200	663	957	620	780	290	70	100	580	190	270	100	100	XLD11-	720
	1000		1864	1324	200	663	957	620	780	290	70	100	580	190	270	100	100	9-1/87	800
	1200		2064	1324	200	663	957	620	780	290	70	100	580	190	270	100	100	11kW	880
	1500		2364	1324	200	663	957	620	780	290	70	100	580	190	270	100	100	11kW	930

(1) 结构特点

DGT 型电动推杆为重型电动推杆, 采用电动机减速器直联, 推力大, 体积小。

(2) 标记示例



1.4 DGW 型电动推杆

DGW 型电动推杆采用滚珠丝杠螺旋副作为传动系统, 传动效率较高, 结构尺寸小, 重量轻, 精度较高, 且可获得高速。

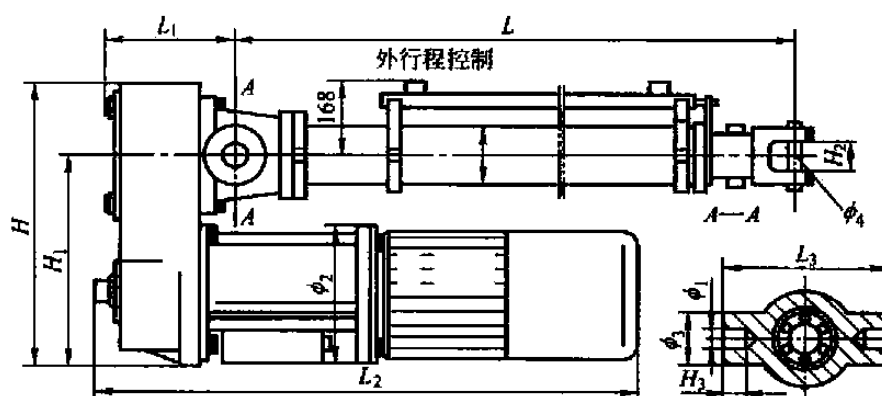


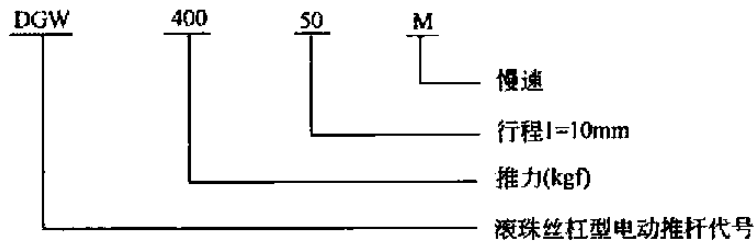
表 17-3-4

技术参数

mm

额定推力	额定行程 /mm	速度 /mm·s ⁻¹	L	L ₁	L ₂	L ₃	H	H ₁	H ₂	H ₃	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	电动机 M/K	质量 /kg
4.9kN (500kgf)	400	M:23.5	787	145	570	180	300	230	40	40	20	160	40	20	M:YUEJ71M-6A	115
	600		987	145	570	180	300	230	40	40	20	160	40	20	0.18kW 0.9A	125
	800	K:35.5	1187	145	570	180	300	230	40	40	20	160	40	20	K:YUEJ71M-4A	135
	1000		1387	145	570	180	300	230	40	40	20	160	40	20	0.25kW 0.83A	145
9.8kN (1000kgf)	400	M:23.5	798	145	600	180	300	230	40	40	20	160	50	20	M:YUEJ71M-6B	125
	600		998	145	600	180	300	230	40	40	20	160	50	20	0.25kW 1.12A	135
	800	K:35.5	1198	145	600	180	300	230	40	40	20	160	50	20	K:YUEJ71M-4B	145
	1000		1398	145	600	180	300	230	40	40	20	160	50	20	0.37kW 1.12A	155
19.6kN (2000kgf)	400	M:25	868	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	25	M:YUEJ80M-4B	142
	600		1068	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	25	0.75kW 2A	152
	800	K:50	1268	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	25	K:YUEJ80M-2B	162
	1000		1468	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	25	1.1kW 2.5A	172
39.2kN (4000kgf)	400	M:25	868	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	30	M:YUEJ90L-4A	146
	600		1068	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	30	1.5kW 3.65A	156
	800	K:50	1268	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	30	K:YUEJ90L-2A	166
	1000		1468	200	730	220	410	301	50	49	32	200	75	30	2.2kW 4.74A	176
98kN (10000kgf)	400	M:25	1078	238	755	350	560	395	50	60	50	250	120	40	M:YUEJ100L-4B 3kW 6.82A	200
	600		1278	238	755	350	560	395	50	60	50	250	120	40		210
	800		1478	238	755	350	560	395	50	60	50	250	120	40		220
	1000		1678	238	755	350	560	395	50	60	50	250	120	40		230

标记示例



1.5 TDT 双联同步电动推杆

单杆推力 98kN, 由一个驱动装置带动两推杆同时动作, 具有过流保护和位移显示器, 在 200mm 范围内可任意调节使用。

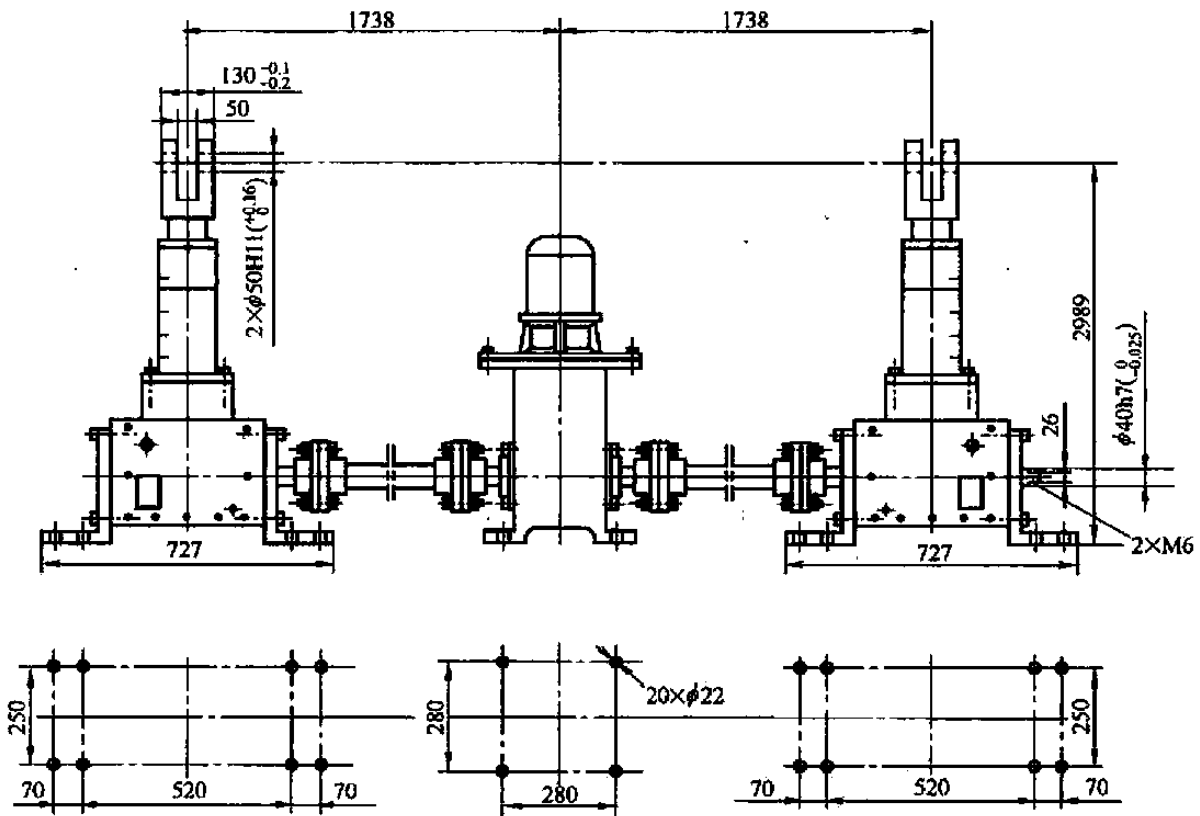


表 17-3-5

技术参数

序号	名称	数值	序号	名称	数值	序号	名称	数值
1	型号	TDT(98×2)	3	行程	2000mm	5	电机	YET132M-47.5kW 380V
2	推力	196kN	4	速度	12mm/s	6	连接轴转速	86r/min

注: ZHN、DG、DGT、DGW、TDT 型电动推杆生产单位为北京航天星云机电设备有限公司。

1.6 应用示例

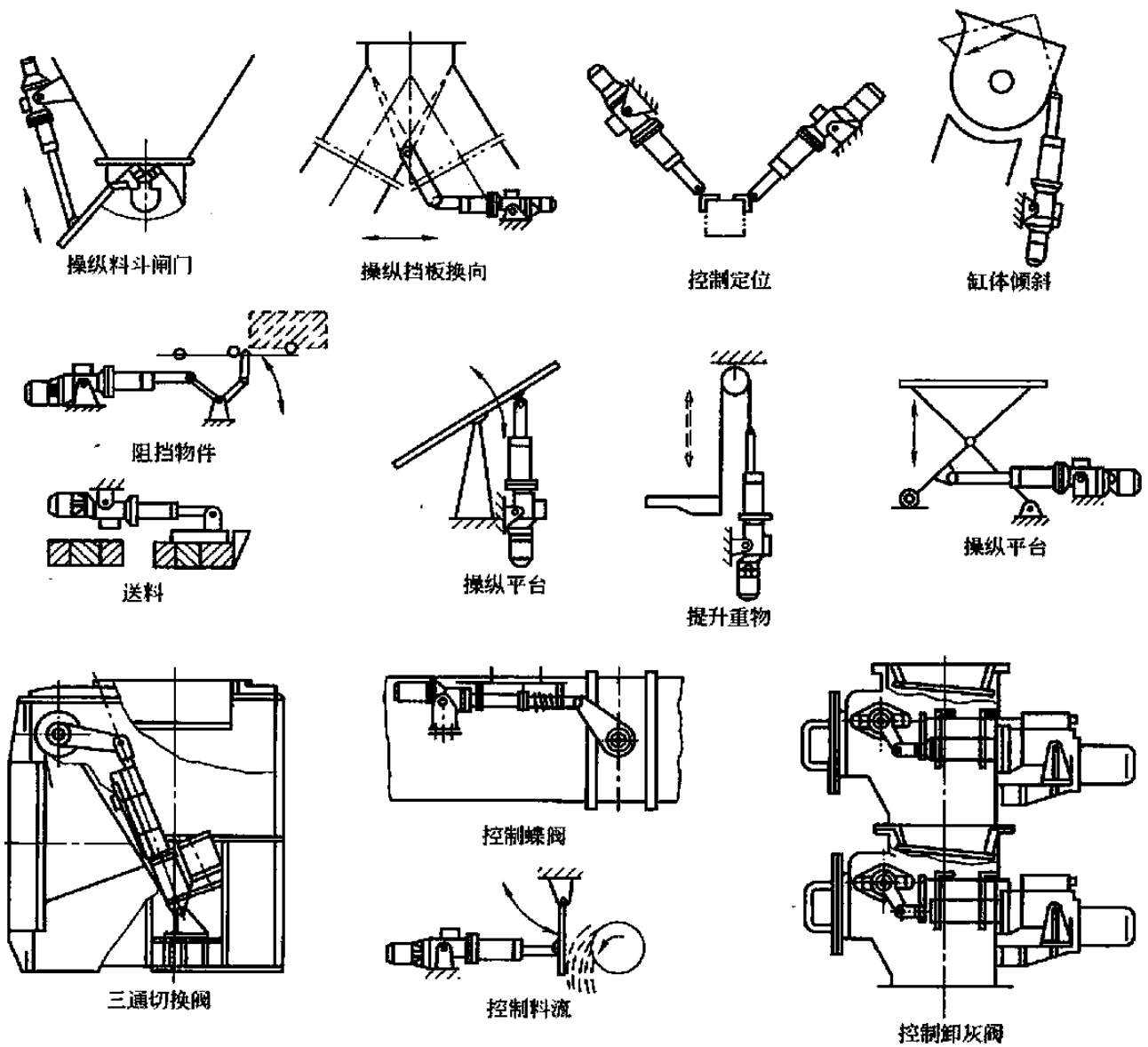


图 17-3-1 应用示例

1.7 DTT 型电动推拉杆

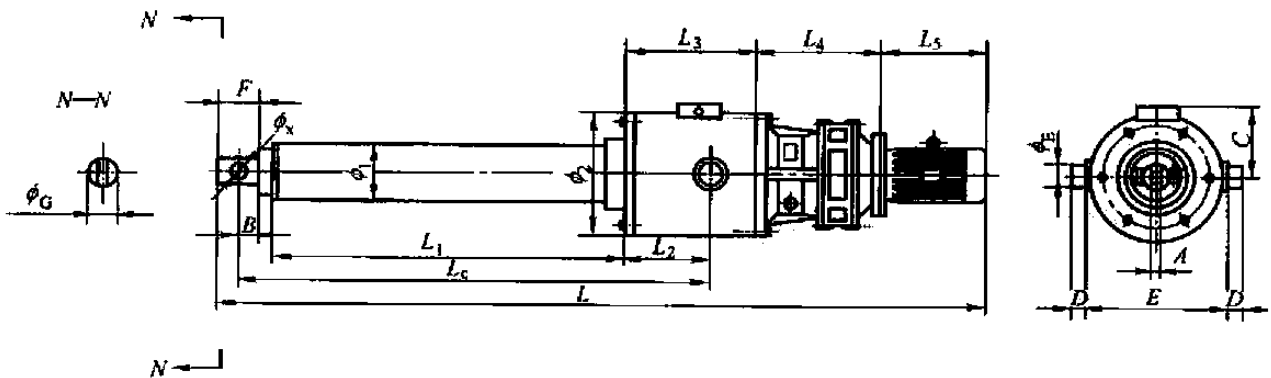


表 17-3-6

主要尺寸

mm

型号	行程 S	L	L_c	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	ϕ_x	ϕ_c	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_E	A	B	C	D	E	F
DTT40-V-S	400 ~ 1600	$466 + S + L_4 + L_5$	$311 + S$	$126 + S$	120	245	按 配 套 减 速 器 确 定	按 配 套 电 机 确 定	30	75	108	204	35	25	40	157	25	224	70
DTT63-V-S	400 ~ 1600	$466 + S + L_4 + L_5$	$311 + S$	$126 + S$	120	245			30	75	108	204	35	25	40	157	25	224	70
DTT100-V-S	500 ~ 2000	$549 + S + L_4 + L_5$	$373 + S$	$160 + S$	128	264			40	95	140	268	40	30	53	192	30	288	93
DTT160-V-S	500 ~ 2000	$651 + S + L_4 + L_5$	$438 + S$	$188 + S$	154	322			45	109	159	310	45	36	60	215	32	330	105
DTT250-V-S	600 ~ 2500	$708 + S + L_4 + L_5$	$489 + S$	$225 + S$	158	327			50	122	180	350	60	40	66	236	45	370	116
DTT400-V-S	600 ~ 3000	$882 + S + L_4 + L_5$	$592 + S$	$249 + S$	216	446			60	140	219	410	70	46	80	267	52	440	140
DTT630-V-S	600 ~ 4000	$1127 + S + L_4 + L_5$	$773 + S$	$345 + S$	257	531			80	195	273	530	90	66	106	328	68	560	186
DTT1000-V-S	600 ~ 5000	$1444 + S + L_4 + L_5$	$988 + S$	$443 + S$	334	690			100	236	325	710	120	80	133	419	90	740	233

表 17-3-7

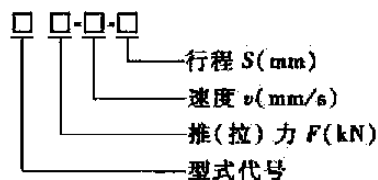
基本性能参数

推 拉 杆 型 号	DTT40-V-S	推拉力 F/kN	40															
		推杆速度 $v/mm \cdot s^{-1}$	54.8	43.3	34.8	27.4	21.6	17.7	11.5	8.5	6.7	5.6	4.5	3.3	2.7	2.5		
		电动机功率/kW	7.5	5.5	4			3	2.2	1.5	1.1		0.75					
		电动机长度 L_5/mm	435	395	340			320		285	260		245					
		配套减速器型号	NGW40/63						XLD4									
		减速器长度 L_4/mm	250			200			260									
推 拉 杆 型 号	DTT63-V-S	推拉力 F/kN	63															
		推杆速度 $v/mm \cdot s^{-1}$	54.8	43.3	34.8	27.4	21.6	17.7	11.5	8.5	6.7	5.6	4.5	3.3	2.7	2.5		
		电动机功率/kW	11	7.5		5.5	4		2.2		1.5	1.1		0.75	0.55			
		电动机长度 L_5/mm	490	435	395	340		320		285	260		245					
		配套减速器型号	NGW40/63						XLD4									
		减速器长度 L_4/mm	250			200			260									
推 拉 杆 型 号	DTT100-V-S	推拉力 F/kN	100															
		推杆速度 $v/mm \cdot s^{-1}$		54.5	43.8	34.5	27.2	22.3	14.4	10.7	8.5	7.0	5.7	4.2	3.5	2.8		
		电动机功率/kW		18.5	15	11	7.5		4	3		2.2		1.5	1.1			
		电动机长度 L_5/mm		560	535	490	435		340	320				285	260			
		配套减速器型号	NGW100						XLD5									
		减速器长度 L_4/mm		275			358			334				319				
推 拉 杆 型 号	DTT160-V-S	推拉力 F/kN	160															
		推杆速度 $v/mm \cdot s^{-1}$		54.5	43.8	34.5	27.2	22.3	14.4	10.7	8.5	7.0	5.7	4.2	3.5	2.8		
		电动机功率/kW		30	22	18.5	15	11	7.5	5.5	4		3	2.2		1.5		
		电动机长度 L_5/mm		665	600	560	535	490	435	395	340		320				285	
		配套减速器型号	NGW160						XLD5									
		减速器长度 L_4/mm		295			358			334				319				

续表

推 拉 杆 型 号	DTT250-V-S	推拉力 F/kN	250													
		推杆速度 $v/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$		52.9	41.7	32.9	26.9	17.4	12.9	10.2	8.5	6.9	5.0	4.2	3.4	
		电动机功率/kW		45	37	30	22	15	11		7.5	5.5	4		3	
		电动机长度 L_3/mm		705	680	665	600	535	490		435	395	340		320	
		配套减速器型号		NGW250					XLD7							
		减速器长度 L_4/mm		360					422			392		372		
推 拉 杆 型 号	DTT400-V-S	推拉力 F/kN	400													
		推杆速度 $v/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	55.8	44	35.4	27.9	22	18	11.6	8.6	6.8	5.7	4.6	3.4	2.8	2.3
		电动机功率/kW	90	75	55	45	37	30	22	15	11		7.5	5.5		4
		电动机长度 L_3/mm	1080	1030	910	860	790	705	665	600	535		490	435		
		配套减速器型号		NGW400					XLD8							
		减速器长度 L_4/mm		435					495				465			
推 拉 杆 型 号	DTT630-V-S	推拉力 F/kN	630													
		推杆速度 $v/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$		41.3	32.5	25.7	21	13.6	10	7.9	6.6	5.4	3.9	3.3	2.7	
		电动机功率/kW		110	90	75	55	37	30	22	18.5	15	11		7.5	
		电动机长度 L_3/mm		1080		1030	910	790	705	665		600	535	490		
		配套减速器型号		NGW630					XLD10							
		减速器长度 L_4/mm		530					574			542				
推 拉 杆 型 号	DTT1000-V-S	推拉力 F/kN	1000													
		推杆速度 $v/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$				33	27	17.5	12.9	10.2	8.5	6.9	5.0	4.2	3.4	
		电动机功率/kW				132	110	75	55	45	37	30	22	18.5	15	
		电动机长度 L_3/mm				1080	1030	910	860	790	705	665	600			
		配套减速器型号		NGW1000					XLD11							
		减速器长度 L_4/mm		705					837				807			

(1) 型号含义



(2) 标记示例

DTT 型电动推拉杆，推（拉）力 100kN，速度为 4.2mm/s，行程为 1500mm。

标记为：DTT100-4.2-1500

(3) 生产厂

生产厂为江苏省无锡市万向轴器有限公司。

2 电液推杆

2.1 电动液压缸

2.1.1 UE 系列电动液压缸与系列液压泵技术参数

表 17-3-8

电动液压缸与系列液压泵技术参数举例

液压缸/mm		1 系列 泵							
		01		02					
缸径	40	20mm/s(推速)		26kN(最大推力)		27mm/s(推速)		26kN(最大推力)	
杆径	20	27mm/s(拉速)		19kN(最大拉力)		36mm/s(拉速)		19kN(最大拉力)	
	22	29mm/s(拉速)		18kN(最大拉力)		38mm/s(拉速)		18kN(最大拉力)	
	28	39mm/s(拉速)		13kN(最大拉力)		52mm/s(拉速)		13kN(最大拉力)	

表 17-3-9

电动液压缸与 1 系列液压泵技术参数

液压缸/mm		1 系列 泵																					
		01		02		03		04		05		06		07		08		09		10		11	
缸径	杆径	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm ·s ⁻¹	推、 拉力 /kN
缸径	40	20	26	27	26	36	26	44	26	53	25	62	25	71	22	84	22	100	21	129	20	169	18
杆径	20	27	19	36	19	47	19	59	19	71	18	83	18	95	17	113	17	133	16	172	15	225	14
	22	29	18	38	18	51	18	64	18	76	17	89	17	102	15	121	15	143	15	185	14	242	13
	28	39	13	52	13	70	13	87	13	105	13	122	13	139	11	165	11	196	10	253	10	331	9
缸径	50	13	41	17	41	23	41	28	41	34	39	40	39	45	35	54	35	64	33	82	31	108	28
杆径	25	17	31	23	31	30	31	40	31	45	29	53	29	61	26	72	26	85	25	110	23	144	22
	28	19	28	25	28	33	28	41	28	50	27	58	27	66	24	79	24	93	23	120	21	157	20
	36	27	20	35	20	47	20	59	20	71	19	83	19	94	17	112	17	133	16	171	15	224	14
缸径	63	8.1	65	11	65	14	65	18	65	21	62	25	62	29	56	34	56	40	53	52	50	68	44
杆径	32	11	48	14	48	19	48	24	48	29	46	34	46	39	41	46	41	54	39	70	37	92	34
	36	12	44	16	44	21	44	27	44	32	42	37	42	43	37	51	37	60	35	77	33	101	31
	45	16	32	22	32	29	32	37	32	44	30	51	30	58	27	69	27	82	26	106	24	139	22
缸径	80	5	105	6.7	105	8.9	105	11	105	13	100	16	100	18	90	21	90	25	85	32	80	42	75
杆径	40	6.7	79	8.9	79	12	79	15	79	18	75	21	75	24	67	28	67	33	64	43	60	56	56
	45	7.3	72	9.7	72	13	72	16	72	19	68	23	68	26	61	31	61	37	58	47	55	62	51
	56	9.8	53	13	53	17	53	22	53	26	51	30	51	35	46	41	46	49	43	63	41	83	38
缸径	90	3.9	133	5.3	133	7	133	8.8	133	11	127	12	127	14	114	17	114	20	108	25	101	33	95
杆径	45	5.3	100	7	100	9.4	100	12	100	14	95	16	95	19	85	22	85	26	81	34	76	44	71
	50	5.7	92	7.6	92	10	92	13	92	15	88	18	88	20	79	24	79	29	74	37	70	48	65
	63	7.7	68	10	68	14	68	17	68	21	64	24	64	28	58	33	58	39	55	50	51	65	48
缸径	100	3.2	165	4.3	165	5.7	165	7.1	165	8.5	157	9.9	157	11	141	14	141	16	133	21	125	27	117
杆径	50	4.3	123	5.7	123	7.6	123	9.5	123	11	117	13	117	15	106	18	106	21	100	27	94	36	88
	56	4.7	113	6.2	113	8.3	113	10	113	12	107	14	107	17	97	20	97	23	91	30	86	39	80
	70	6.3	84	8.4	84	11	84	14	84	17	80	20	80	22	72	26	72	31	68	40	64	53	60
缸径	110	2.6	200	3.5	200	4.7	200	5.9	200	7	190	8.2	190	9.4	171	11	171	13	161	17	152	22	142
杆径	56	3.6	148	4.8	148	6.3	148	7.9	148	9.5	140	11	140	13	126	15	126	18	119	23	112	30	105
	63	3.9	134	5.2	134	7	134	8.7	134	10	127	12	127	14	115	17	115	20	108	25	102	33	95
	80	5.6	94	7.5	94	10	94	12	94	15	89	17	89	20	80	24	80	28	76	36	71	47	67

注：1. UEC 系列直列式电动液压缸优先选用本系列。

2. 本节（2.1 电动液压缸）产品由天津优瑞纳斯液压机械有限公司生产。

表 17-3-10

电动液压缸与 2 系列液压泵技术参数

液压缸/mm		2 系列 泵																			
		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29	
		速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN
缸径	40	55	31	79	31	111	31	140	31	196	31	236	31	284	31	331	27	391	25	440	22
杆径	20	73	23	105	23	148	23	187	23	262	23	314	23	378	23	442	20	522	18	588	17
	22	78	22	113	22	159	22	201	22	282	22	338	22	407	22	475	19	561	17	632	15
	28	107	16	154	16	218	16	275	16	385	16	462	16	556	16	650	14	767	12	864	11
缸径	50	35	49	50	49	71	49	90	49	126	49	151	49	181	49	212	43	250	39	282	35
杆径	25	47	36	67	36	95	36	120	36	168	36	201	36	242	36	283	32	334	29	376	26
	28	51	33	73	33	104	33	131	33	183	33	220	33	264	33	309	29	365	27	411	24
	36	73	23	104	23	148	23	186	23	261	23	313	23	377	23	440	20	520	18	586	17
缸径	63	22	78	32	78	45	78	56	78	79	78	95	78	114	78	134	68	158	62	178	56
杆径	32	30	57	43	57	60	57	76	57	107	57	128	57	154	57	180	50	213	46	239	41
	36	33	52	47	52	66	52	84	52	118	52	141	52	170	52	198	46	234	42	264	37
	45	45	38	65	38	91	38	115	38	162	38	194	38	233	38	273	33	322	30	363	27
缸径	80	14	125	20	125	28	125	35	125	49	125	59	125	71	125	83	110	98	100	110	90
杆径	40	18	94	26	94	37	94	47	94	65	94	79	94	95	94	110	83	130	75	147	67
	45	20	86	29	86	41	86	51	86	72	86	86	86	104	86	121	75	143	68	161	61
	56	27	64	39	64	54	64	69	64	96	64	116	64	139	64	162	56	192	51	216	46
缸径	90	11	159	16	159	22	159	28	159	39	159	47	159	56	159	65	140	77	127	87	114
杆径	45	14	119	21	119	29	119	37	119	52	119	62	119	75	119	87	105	103	95	116	85
	50	16	110	22	110	32	110	40	110	56	110	67	110	81	110	95	96	112	88	126	79
	63	21	81	30	81	43	81	54	81	76	81	91	81	110	81	128	71	152	64	171	58
缸径	100	8.7	196	13	196	18	196	22	196	31	196	38	196	45	196	53	172	63	157	71	141
杆径	50	12	147	17	147	24	147	30	147	42	147	50	147	60	147	71	129	83	117	94	106
	56	13	134	18	134	26	124	33	134	46	134	55	134	66	134	77	118	91	107	103	97
	70	17	100	25	100	35	100	44	100	62	100	74	100	89	100	104	88	123	80	138	72
缸径	110	7.2	237	10	237	15	237	19	237	26	237	31	237	37	237	44	209	52	190	58	171
杆径	56	9.8	176	14	176	20	176	25	176	35	176	42	176	51	176	59	154	70	140	79	126
	63	11	159	15	159	22	159	28	159	39	159	46	159	56	159	65	140	78	127	87	115
	80	15	112	22	112	31	112	39	112	55	112	66	112	81	112	93	98	110	89	124	80
缸径	125	5.6	306	8	306	11	306	14	306	20	306	24	306	29	306	34	270	40	245	45	220
杆径	63	7.5	228	11	228	15	228	19	228	27	228	32	228	39	228	45	201	54	183	60	164
	70	8.2	210	12	210	17	210	21	210	29	210	35	210	42	210	49	185	58	168	66	151
	90	12	147	17	147	24	147	30	147	42	147	50	147	60	147	70	130	83	118	94	106

液压缸/mm		2 系列 泵																			
		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29	
		速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN	速度 /mm · s ⁻¹	推、 拉力 /kN
缸径	140	4.5	384	6.4	384	9.1	384	11	384	16	384	19	384	23	384	27	338	32	307	36	277
杆径	70	6	288	8.6	288	12	288	15	288	21	288	26	288	31	288	36	254	43	231	48	207
	80	6.6	259	9.5	259	13	259	17	259	24	259	29	259	34	259	40	228	47	207	53	186
	100	9.1	188	13	188	19	188	23	188	33	188	39	188	47	188	55	165	65	150	73	135
缸径	150	3.9	441	5.6	441	7.9	441	10	441	14	441	17	441	20	441	24	388	28	353	31	318
杆径	75	5.2	331	7.5	331	11	331	13	331	19	331	22	331	27	331	31	291	37	265	42	238
	85	5.7	300	8.2	300	12	300	15	300	21	300	25	300	30	300	35	264	41	240	46	216
	105	7.6	225	11	225	15	225	20	225	27	225	33	225	40	225	46	198	55	180	61	162
缸径	160	3.4	502	4.9	502	6.9	502	8.8	502	12	502	15	502	18	502	21	442	24	402	28	362
杆径	80	4.6	377	6.5	377	9.3	377	12	377	16	377	20	377	24	377	28	331	33	301	37	271
	90	5	343	7.2	343	10	343	13	343	18	343	22	343	26	343	30	302	36	274	40	247
	110	6.5	265	9.3	265	13	265	17	265	23	265	28	265	34	265	39	233	46	212	52	190
缸径	180	2.7	636	3.9	636	5.5	636	6.9	636	9.7	636	12	636	14	636	16	560	19	509	22	458
杆径	90	3.6	477	5.2	477	7.3	477	9.2	477	13	477	16	477	19	477	22	419	26	381	29	343
	100	3.9	439	5.6	439	7.9	439	10	439	14	439	17	439	20	439	24	387	28	351	31	316
	125	5.2	329	7.5	329	11	329	13	329	19	329	22	329	27	329	32	289	37	263	42	237
缸径	200	2.2	785	3.1	785	4.4	785	5.6	785	7.9	785	9.4	785	11	785	13	691	16	628	18	565
杆径	100	2.9	589	4.2	589	5.9	589	7.5	589	10	589	13	589	15	589	18	518	21	471	24	424
	110	3.1	547	4.5	547	6.4	547	8	547	11	547	14	547	16	547	19	482	22	438	25	394
	140	4.3	400	6.2	400	8.7	400	11	400	15	400	18	400	22	400	26	352	31	320	35	288
缸径	220	1.8	950	2.6	950	3.7	950	4.6	950	6.5	950	7.8	950	9.4	950	11	836	13	760	15	684
杆径	110	2.4	712	3.5	712	4.9	712	6.2	712	8.7	712	10	712	12	712	15	627	17	570	19	513
	125	2.7	643	3.8	643	5.4	643	6.8	643	9.6	643	12	643	14	643	16	566	19	514	22	463
	160	3.8	447	5.5	447	7.8	447	9.8	447	14	447	17	447	20	447	23	394	27	358	31	322
缸径	250	1.4	1227	2	1227	2.8	1227	3.6	1227	5	1227	6	1227	7.3	1227	8.5	1080	10	981	11	883
杆径	125	1.9	920	2.7	920	3.8	920	4.8	920	6.7	920	8	920	9.7	920	11	810	13	736	15	662
	140	2	842	2.9	842	4.1	842	5.2	842	7.3	842	8.8	842	11	842	12	741	15	673	16	606
	180	2.9	591	4.2	591	5.9	591	7.4	591	10	591	13	591	15	590	18	520	21	472	23	425

表 17-3-11

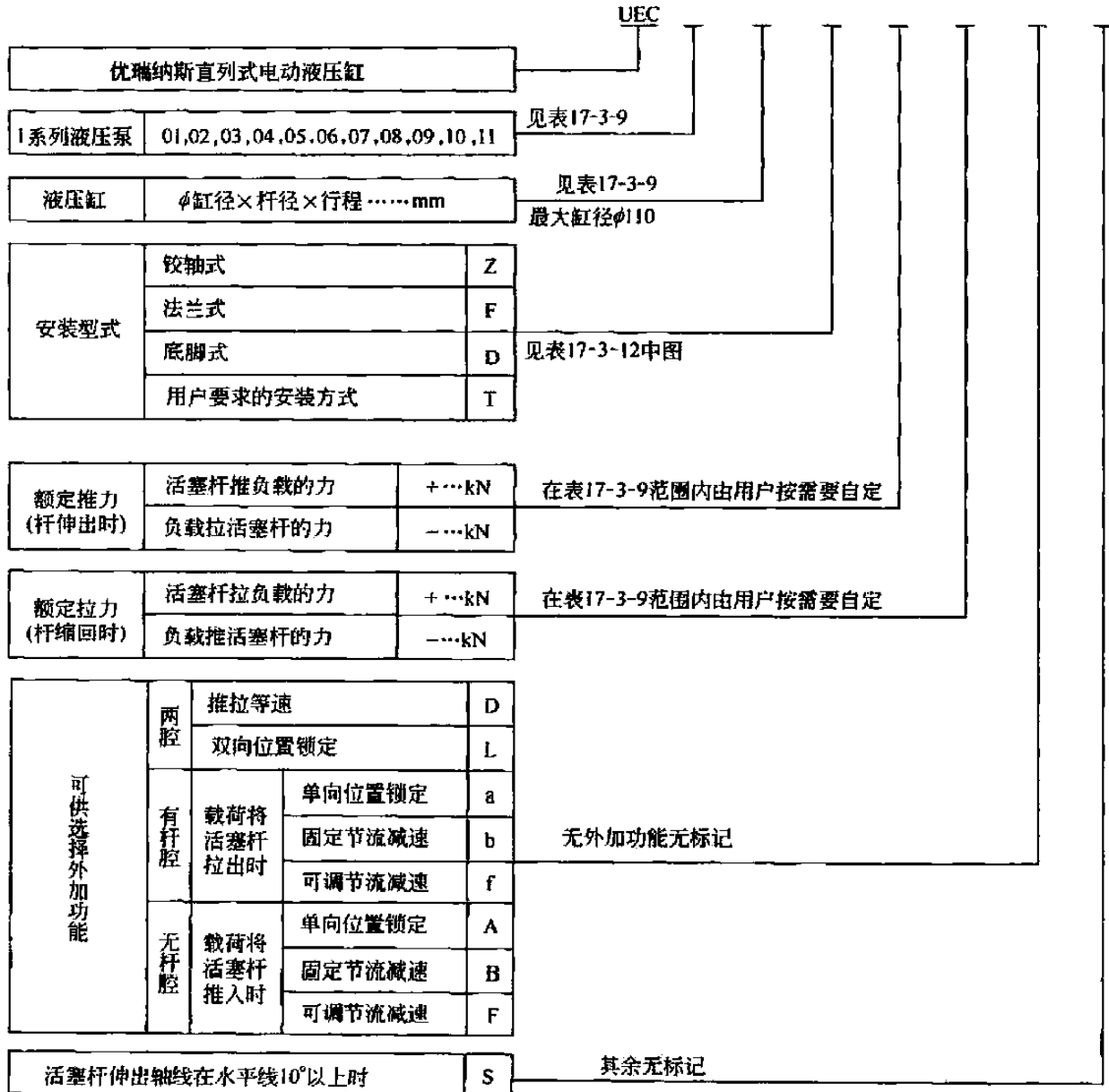
UEC 系列电动液压缸等速差动回路参数

缸径/mm	40	50	63	80	90	100	110	125	140	150	180	200	220	250
杆径/mm	28	36	45	56	63	70	80	90	100	105	125	140	160	180
速比 φ	0.96	1.08	1.04	0.96	0.96	0.96	1.12	1.08	1.04	0.96	0.93	0.96	1.12	1.08

计算公式: $v_o = \frac{v_h}{\varphi}$ $F_{cmax} = \varphi F_{hmax}$

式中 v_o ——推速, mm/s;
 v_h ——拉速, mm/s;
 φ ——速比;
 F_{cmax} ——最大推力, kN;
 F_{hmax} ——最大拉力, kN。
 v_h 和 F_{hmax} 查表 17-3-9 或表 17-3-10。

2.1.2 UEC 系列直列式电动液压缸选型方法

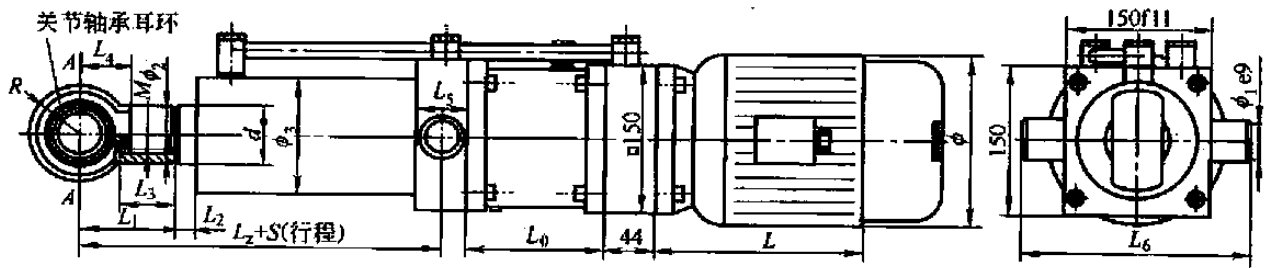


注: 1. 活塞杆伸出时, 外力对活塞杆的拉力标记为负值。例如, 活塞杆朝下, 将挂在杆端 1000kg 的重物慢慢放下时, 重物对活塞杆的拉力是 10kN, 应标记为: -10kN。

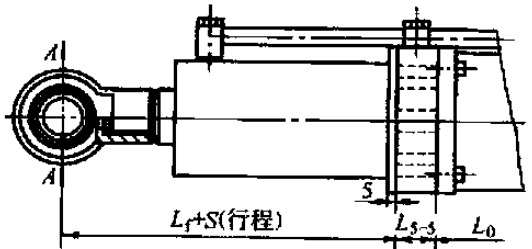
2. 活塞杆缩回时, 外力对活塞杆的推力标记为负值。例如, 伸出的活塞杆朝上, 托着 1000kg 重物, 慢慢落下时, 重物对活塞杆的推力是 10kN, 应标记为: -10kN。

3. 推拉等速功能是系统采用差动回路实现的。其推拉速度和最大推拉力都近似, 请查表 17-3-11。

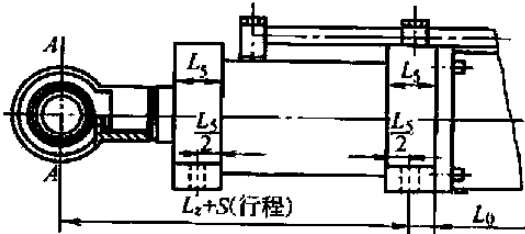
UEC 系列直列式电动液压缸外形连接



铰轴式 UEC...Z ...



法兰式 UEC...F ...



底脚式 UEC...D ...

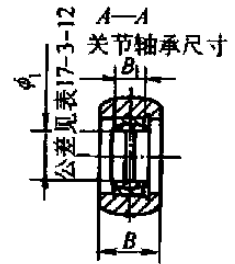


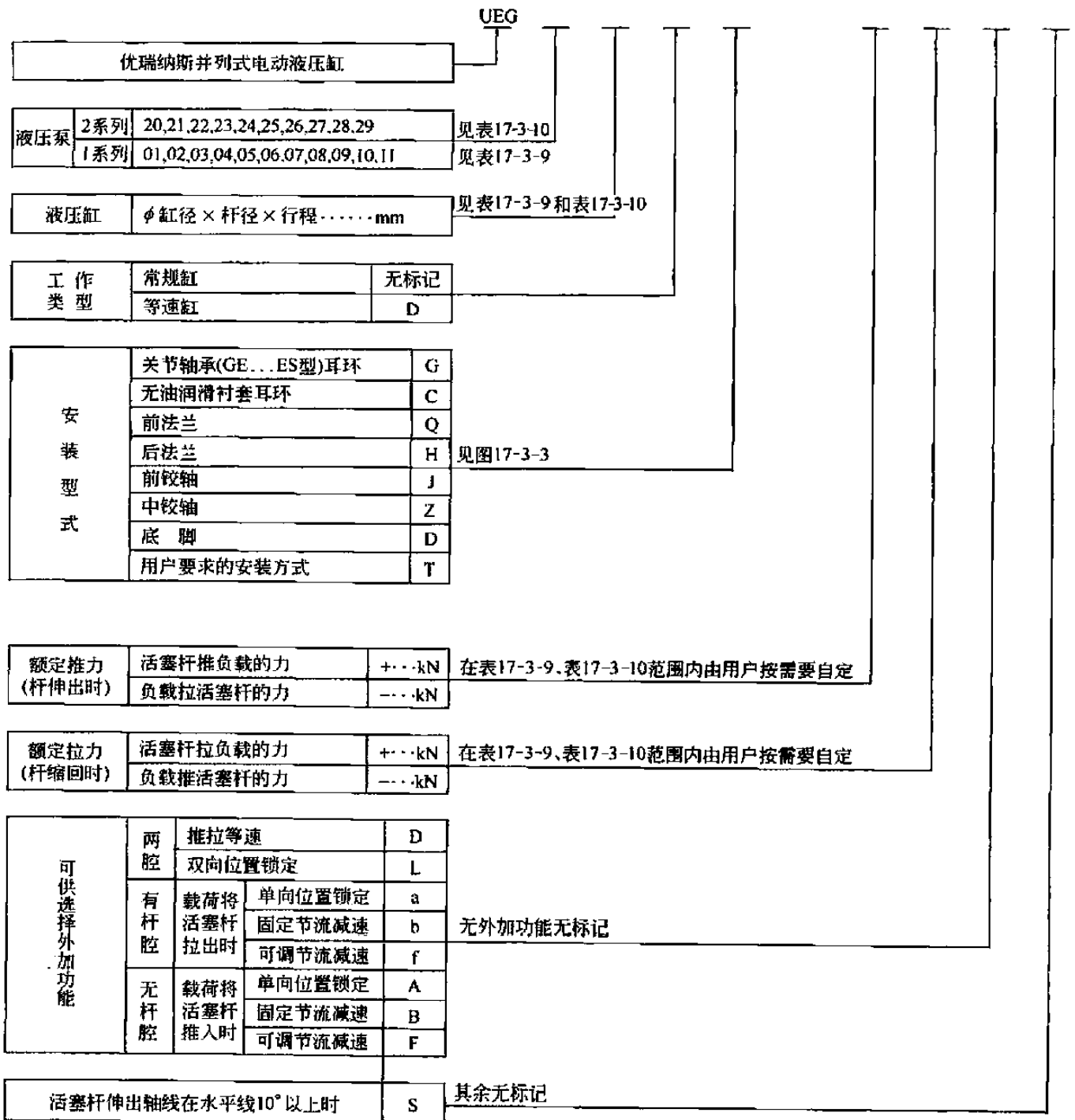
表 17-3-12

外形及安装尺寸

mm

缸径	杆径 d	M	ϕ_2	R	B	B_1	ϕ_1		ϕ_3	ϕ_4	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_1	$L_0 \geq 150$
							尺寸	轴承公差												
40	20	M14 × 1.5	25	25	16	20	0	-0.01	58	13	50	16	25	30	25	200	175	220	212	0.04S
	22	M16 × 1.5	28																	0.05S
	28	M22 × 1.5	35																	0.08S
50	25	M20 × 1.5	28	35	22	30	-0.01	70	13	60	18	30	40	30	200	175	233	223	0.06S	
	28	M22 × 1.5	35																0.08S	
	36	M27 × 2	42																0.12S	
63	32	M24 × 1.5	35	45	28	40	0	83	17	65	20	35	40	30	200	175	270	260	0.10S	
	36	M27 × 2	42																0.12S	
	45	M33 × 2	45																0.20S	
80	40	M30 × 2	42	45	28	40	0	108	17	105	20	45	55	40	200	175	322	307	0.16S	
	45	M33 × 2	48																0.20S	
	56	M42 × 3	60																0.30S	
90	45	M33 × 2	48	60	35	50	-0.012	114	17	110	20	45	55	40	220	185	327	312	0.20S	
	50	M36 × 2	52																0.24S	
	63	M48 × 2	68																0.38S	
100	50	M36 × 2	52	60	35	50	-0.012	127	21	130	20	50	70	50	220	185	377	357	0.24S	
	56	M42 × 2	60																0.30S	
	70	M52 × 2	72																0.50S	
110	56	M42 × 2	60	60	35	50	-0.012	140	21	135	20	55	70	50	220	185	387	367	0.30S	
	63	M48 × 2	68																0.38S	
	80	M60 × 2	80																0.60S	

2.1.3 UEG 系列并列式电动液压缸选型方法



注：1. 活塞杆伸出时，外力对活塞杆的拉力标记为负值。例如，活塞杆朝下，将挂在杆端1000kg的重物慢慢放下时，重物对活塞杆的拉力值是10kN，应标记为：-10kN。

2. 活塞杆缩回时，外力对活塞杆的推力标记为负值。例如，伸出的活塞杆朝上，托着1000kg重物，慢慢落下时，重物对活塞杆的推力值是10kN，应标记为：-10kN。

3. 推拉等速功能是系统采用差动回路实现的。其推拉速度和最大推拉力都近似，请查表17-3-11。

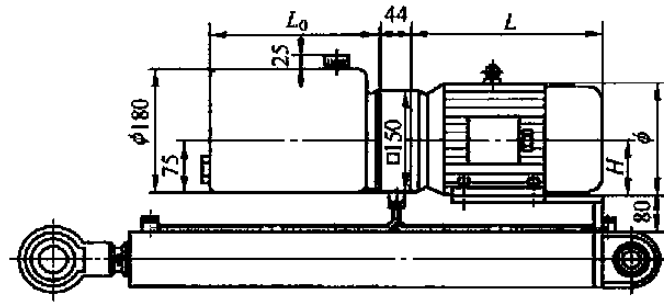
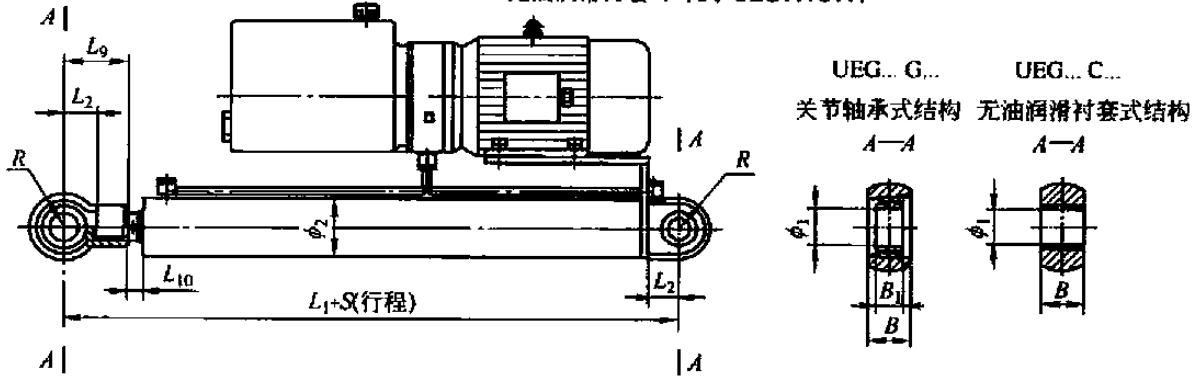
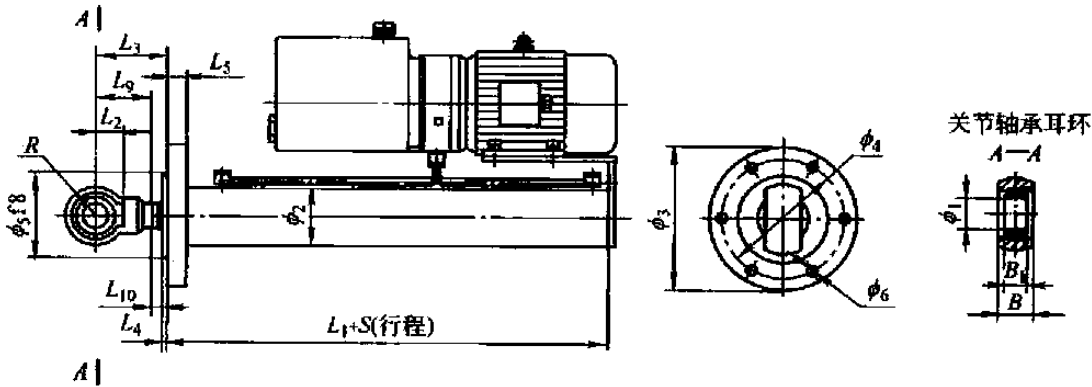


图 17-3-2

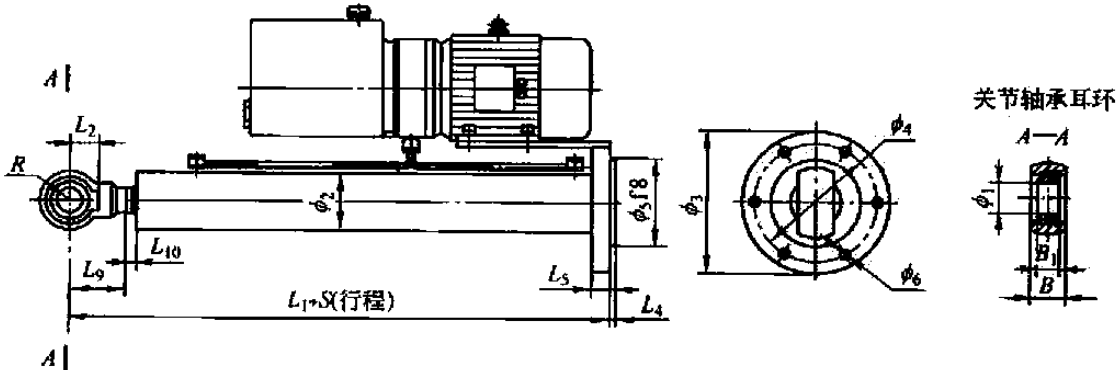
关节轴承耳环式 UEG...G...
无油润滑衬套耳环式 UEG...C...



前法兰式 UEG...Q...



后法兰式 UEG...H...



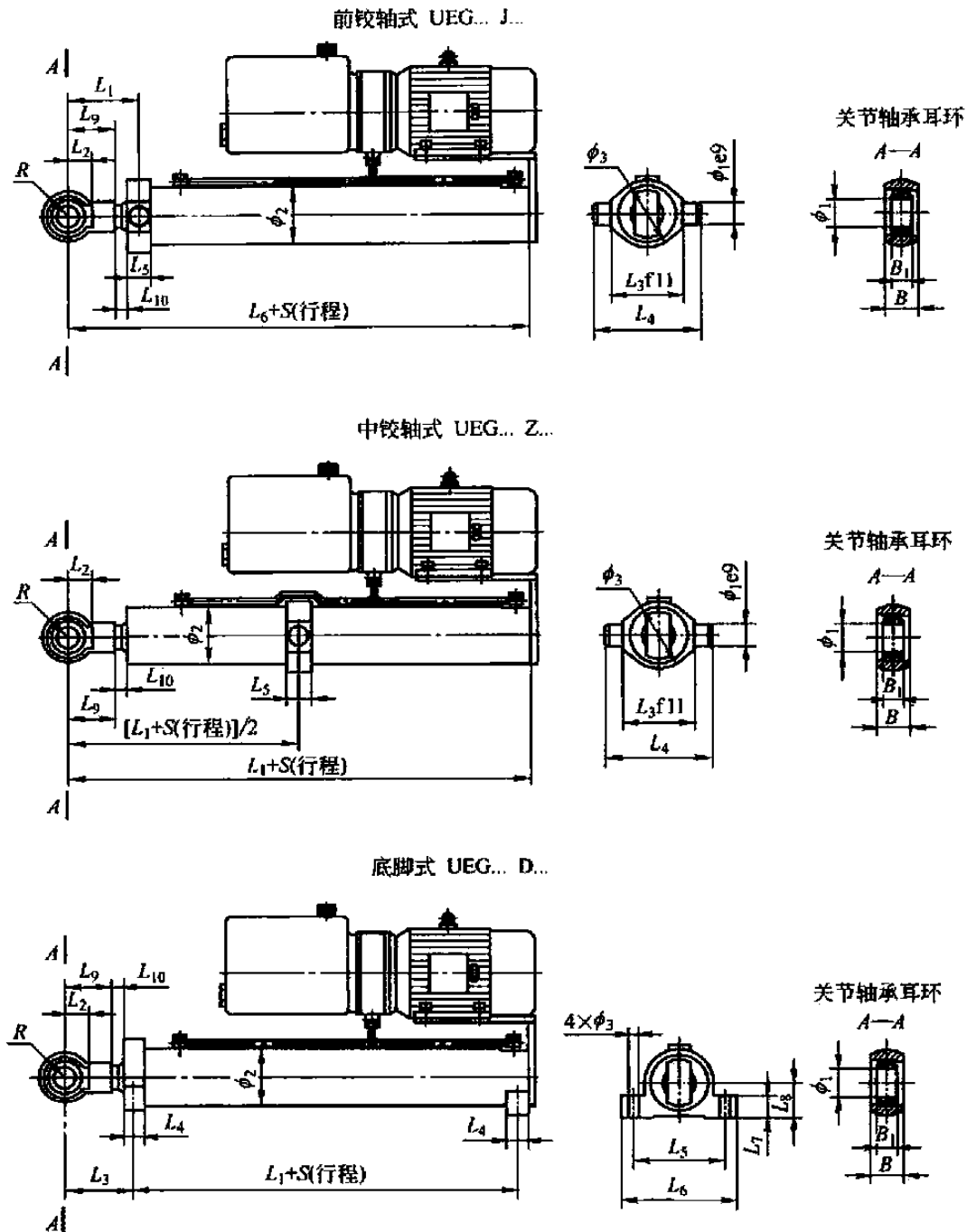


图 17-3-3 UEG 系列并列式电动液压缸外形连接尺寸图

表 17-3-13

电动机技术参数 (见图 17-3-2)

mm

电机功率/kW	0.55	0.75	1.1	1.5	2.0	2.2	3.0	4.0	5.5	7.5	11	15
ϕ	175	175	195	195	195	215	215	240	275	275	335	335
H	80	80	90	90	90	100	100	112	132	132	160	160
L	275	275	280	305	320	370	370	380	475	515	605	650

注: $L_0 = 0.00005d^2S$, 式中, L_0 为油箱长度, mm; d 为活塞杆直径, mm; S 为行程, mm。 L_0 最小值为 220, 每个档次 + 100, 依次为 220, 320, 420, 520……

2.2 电液推杆及电液转角器

2.2.1 DYT (B) 电液推杆

电液推杆具有体积小、动作灵活、工作平稳的特点，可带负荷启动，推拉力大，有过载保护装置。能适应远距离、危险及高空的地方控制作业。其推拉型式有单推、单拉和推拉；调速型式有推调速、拉调速、推拉调速或均不调速；锁定型式有推锁定、拉锁定、推拉锁定或推拉均不锁定。推杆行程：50~3000mm。

(1) 型号与技术参数

表 17-3-15

型号与技术参数

型 号	推力/N	拉力/N	最大速度/mm·s ⁻¹		电动机		最大行程/mm
			伸出	缩回	型号	功率/kW	
DYT□-□□2500 I □□	0~2500	0~2500	45	64	Y801-4	0.37	1000
DYT□-□□2500 II □□			70	100		0.55	
DYT□-□□2500 III □□			110	160		0.75	
DYT□-□□4500 I □□	0~4500	0~4500	45	65	Y801-4	0.55	1500
DYT□-□□4500 II □□			70	100	Y802-4	0.75	
DYT□-□□4500 III □□			110	160	Y90S-4	1.1	
DYT□-□□7000 I □□	0~7000	0~5100	45	65	Y801-4	0.55	1500
DYT□-□□7000 II □□			70	100	Y802-4	0.75	
DYT□-□□7000 III □□			100	160	Y90L-4	1.5	
DYT□-□□10000 I □□	0~10000	0~7500	45	65	Y90S-4	0.75	1500
DYT□-□□10000 II □□			70	100	Y90L-4	1.1	
DYT□-□□10000 III □□			100	150	Y100L1-4	1.5	
DYT□-□□14000 I □□	0~14000	0~10000	45	65	Y90S-4	1.1	2000
DYT□-□□14000 II □□			70	100	Y90L-4	1.5	
DYT□-□□14000 III □□			110	160	Y100L1-4	2.2	
DYT□-□□17000 I □□	0~17000	0~13200	45	65	Y90S-4	1.1	2000
DYT□-□□17000 II □□			70	100	Y100L1-4	2.2	
DYT□-□□17000 III □□			110	160	Y100L2-4	3	
DYT□-□□21000 I □□	0~21000	0~16000	45	65	Y90L-4	1.5	2000
DYT□-□□21000 II □□			70	100	Y100L1-4	2.2	
DYT□-□□21000 III □□			110	160	Y112M-4	4	
DYT□-□□27000 I □□	0~27000	0~18500	45	65	Y100L1-4	2.2	2000
DYT□-□□27000 II □□			70	100	Y100L2-4	3	
DYT□-□□27000 III □□			110	160	Y112M-4	4	
DYT□-□□40000 I □□	0~40000	0~29500	45	65	Y100L2-4	3	2000
DYT□-□□40000 II □□			70	100	Y112M-4	4	
DYT□-□□50000 I □□			45	65	Y112M-4	4	
DYT□-□□50000 II □□	0~50000	0~34000	70	100	Y132S-4	5.5	2000
DYT□-□□60000 I □□			45	65	Y132S-4	5.5	
DYT□-□□60000 II □□			60	85	Y132S-4	5.5	
DYT□-□□70000 I □□	0~70000	0~48000	45	65	Y132S-4	5.5	2000
DYT□-□□80000 I □□	0~80000	0~55000	45	65	Y132S-4	5.5	2000
DYT□-□□100000 I □□	0~100000	0~68000	35	50	Y132S-4	5.5	2000
DYT□-□□120000 I □□	0~120000	0~80000	35	50	Y132S-4	5.5	2000
DYT□-□□150000 I □□	0~150000	0~110000	30	40	Y132M-4	7.5	2500
DYT□-□□200000 I □□	0~200000	0~180000	20	25	Y132M-4	7.5	2500
DYT□-□□250000 I □□	0~250000	0~200000	20	25	Y132M-4	11	2500

注：1. 各种类型的电液推杆如配置传感器和数字显示装置，即可显示运行距离。

2. 所有电液推杆可以具备手动装置，技术参数、安装距离一律不变。

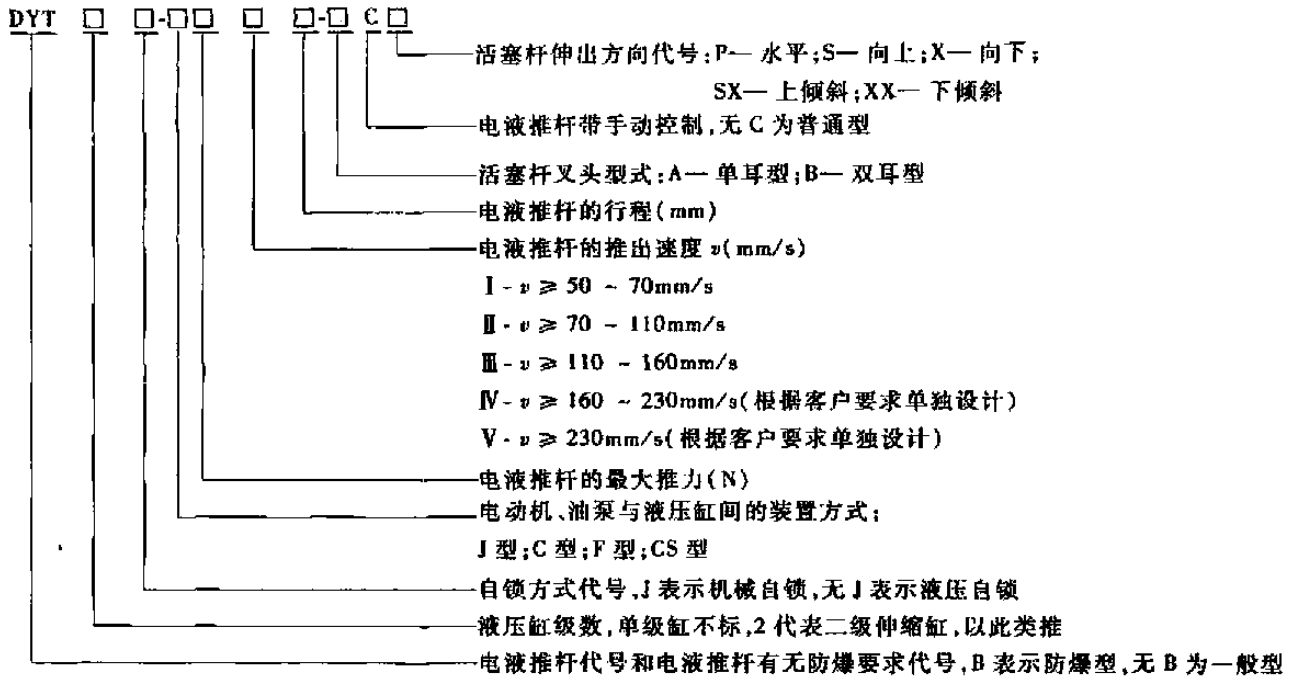
3. 用户需行程大于表中规定的最大行程时，应通过双方协商解决。

4. 用户如需表未列出的推（拉）力、速度时，可按用户要求设计、制造。

5. 用户如对外形尺寸、安装方式和尺寸有特殊要求时，可按用户要求设计。

6. 用户应按型号表示方法，标明使用要求或在型号外另加说明，电动机由生产厂配套。

型号表示方法



(2) 外形安装尺寸

DYT (B)-J 型系列外形安装尺寸

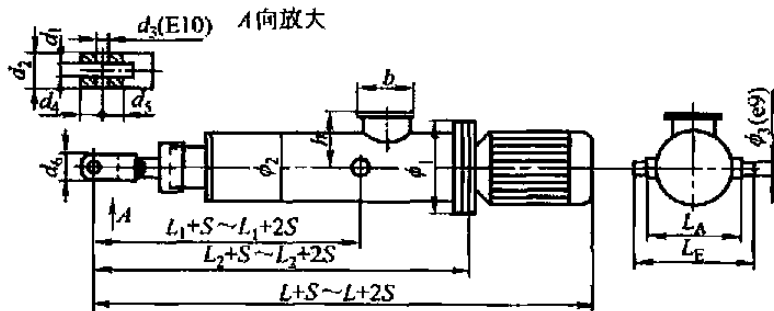


表 17-3-16

型号	L	L_1	L_2	L_A	L_E	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	h	b	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	mm 推力 F_1 范围/N
DYT□-□J 2500-4500	795	295	$\frac{500}{550}$	$\frac{150}{180}$	$\frac{200}{230}$	$\frac{\phi 150}{\phi 200}$	$\frac{\phi 140}{\phi 165}$	$\phi 25$	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$0 \leq F_1 < 4500$
DYT□-□J 4500-7000	795	295	$\frac{500}{550}$	$\frac{150}{180}$	$\frac{210}{240}$	$\phi 200$	$\frac{\phi 140}{\phi 165}$	$\phi 30$	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$4500 \leq F_1 < 7000$
DYT□-□J 7000-14000	908	330	$\frac{518}{588}$	$\frac{150}{180}$	$\frac{210}{240}$	$\frac{\phi 200}{\phi 250}$	$\frac{\phi 140}{\phi 165}$	$\phi 30$	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	20	44	$\phi 20$	20	50	44	$7000 \leq F_1 < 14000$
DYT□-□J 14000-21000	949	354	629	180	250	$\frac{\phi 200}{\phi 250}$	$\phi 165$	$\phi 35$	140	$\phi 180$	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$14000 \leq F_1 < 21000$
DYT□-□J 21000-27000	969	354	629	180	250	$\phi 250$	$\phi 165$	$\phi 35$	140	$\phi 180$	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$21000 \leq F_1 < 27000$
DYT□-□J 27000-40000	969	354	629	180	260	$\phi 250$	$\phi 165$	$\phi 40$	140	$\phi 180$	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$27000 \leq F_1 < 40000$
DYT□-□J 40000-60000	1077	412	682	210	290	$\frac{\phi 250}{\phi 300}$	$\phi 180$	$\phi 45$	150	$\phi 180$	38	70	$\phi 35$	35	70	70	$40000 \leq F_1 < 60000$
DYT□-□J 60000-80000	1109	444	714	240	340	$\phi 300$	$\phi 220$	$\phi 50$	160	$\phi 180$	42	82	$\phi 40$	40	70	80	$60000 \leq F_1 \leq 80000$

续表

型号	L	L_1	L_2	L_A	L_E	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	h	b	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	推力 F_1 范围/N
DYT□-□J 80000-120000	1149	484	754	270	380	$\phi 300$	$\phi 245$	$\phi 55$	160	$\phi 200$	52	102	$\phi 45$	45	80	90	$80000 < F_1$ ≤ 120000
DYT□-□J 120000-150000	1222	517	787	300	420	$\phi 350$	$\phi 273$	$\phi 60$	170	$\phi 200$	50	110	$\phi 50$	50	90	100	$120000 < F_1$ ≤ 150000
DYT□-□J 150000-200000	1286	581	851	320	440	$\phi 350$	$\phi 299$	$\phi 60$	195	$\phi 200$	60	120	$\phi 60$	60	100	120	$150000 < F_1$ ≤ 200000
DYT□-□J 200000-250000	1475	635	985	360	500	$\phi 350$	$\phi 325$	$\phi 70$	215	$\phi 250$	70	140	$\phi 70$	65	110	140	$200000 < F_1$ ≤ 250000

注：以上数据为行程大于100mm，凡有两个数据者，横线上的为速度 I 数据，横线下的为速度 II、III 数据。

DYT (B)-C 型系列外形安装尺寸

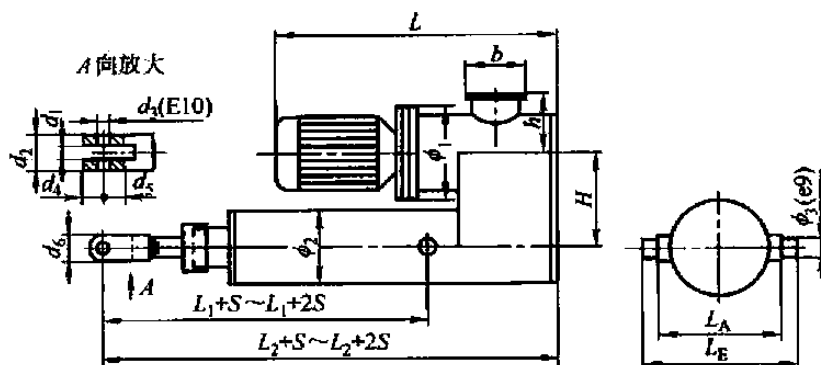


表 17-3-17

mm

型号	L	L_1	L_2	L_A	L_E	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	h	b	H	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	推力 F_1 范围/N
DYT□-□C 2500-4500	605	135	255	150	200	$\phi 150$ $\phi 200$	$\phi 140$	$\phi 25$	$\frac{120}{140}$	$\phi 140$ $\phi 180$	200	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$0 \leq F_1$ < 4500
DYT□-□C 4500-7000	625	135	255	150	210	$\phi 200$	$\phi 140$	$\phi 30$	$\frac{120}{140}$	$\phi 140$ $\phi 180$	200	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$4500 \leq F_1$ < 7000
DYT□-□C 7000-14000	685	163	283	$\frac{150}{180}$	$\frac{210}{240}$	$\phi 200$ $\phi 250$	$\phi 140$ $\phi 165$	$\phi 30$	$\frac{120}{140}$	$\phi 140$ $\phi 180$	220	20	44	$\phi 20$	20	50	44	$7000 \leq F_1$ < 14000
DYT□-□C 14000-21000	685	194	314	180	250	$\phi 200$ $\phi 250$	$\phi 165$	$\phi 35$	140	$\phi 180$	220	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$14000 \leq F_1$ ≤ 21000
DYT□-□C 21000-27000	685	194	314	180	250	$\phi 250$	$\phi 165$	$\phi 35$	140	$\phi 180$	220	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$21000 < F_1$ < 27000
DYT□-□C 27000-40000	685	194	314	180	260	$\phi 250$	$\phi 165$	$\phi 40$	140	$\phi 180$	220	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$27000 \leq F_1$ < 40000
DYT□-□C 40000-60000	750	247	367	210	290	$\phi 250$ $\phi 300$	$\phi 180$	$\phi 45$	150	$\phi 180$	$\frac{230}{250}$	38	70	$\phi 35$	35	70	70	$40000 \leq F_1$ < 60000
DYT□-□C 60000-80000	750	254	404	240	340	$\phi 300$	$\phi 220$	$\phi 50$	160	$\phi 180$	280	42	82	$\phi 40$	40	70	80	$60000 \leq F_1$ ≤ 80000
DYT□-□C 80000-120000	750	294	444	240	340	$\phi 300$	$\phi 220$	$\phi 55$	160	$\phi 200$	280	52	102	$\phi 45$	45	80	90	$80000 < F_1$ ≤ 120000
DYT□-□C 120000-150000	850	322	472	280	400	$\phi 350$	$\phi 245$	$\phi 60$	170	$\phi 200$	290	50	110	$\phi 50$	50	90	110	$120000 < F_1$ ≤ 150000
DYT□-□C 150000-200000	850	386	536	320	440	$\phi 350$	$\phi 273$	$\phi 60$	195	$\phi 200$	320	60	120	$\phi 60$	60	100	120	$150000 < F_1$ ≤ 200000
DYT□-□C 200000-250000	925	435	585	360	500	$\phi 350$	$\phi 325$	$\phi 70$	215	$\phi 250$	370	70	140	$\phi 70$	65	110	140	$200000 < F_1$ ≤ 250000

注：以上数据为行程大于100mm，凡有两个数据者，横线上的为速度 I 数据，横线下的为速度 II、III 数据。

DYT (B)-CS 型系列外形安装尺寸

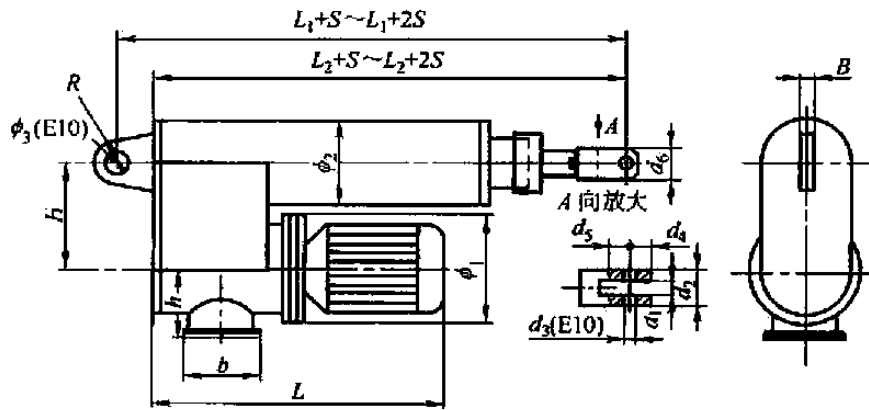


表 17-3-18

mm

型号	L	L ₁	L ₂	φ ₁	φ ₂	φ ₃	h	b	H	R	B	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	推力 F ₁ 范围/N
DYT□-□CS 2500-4500	605	305	255	$\frac{\phi 150}{\phi 200}$	φ140	φ25	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	200	25	20	20	44	φ16	20	45	44	0 ≤ F ₁ < 4500
DYT□-□CS 4500-7000	625	305	255	φ200	φ140	φ30	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	200	30	25	20	44	φ16	20	45	44	4500 ≤ F ₁ < 7000
DYT□-□CS 7000-14000	685	333	283	$\frac{\phi 200}{\phi 250}$	$\frac{\phi 140}{\phi 165}$	φ30	$\frac{120}{140}$	$\frac{\phi 140}{\phi 180}$	220	30	25	20	44	φ20	20	50	44	7000 ≤ F ₁ < 14000
DYT□-□CS 14000-21000	685	374	314	$\frac{\phi 200}{\phi 250}$	φ165	φ35	140	φ180	220	35	30	25	57	φ25	25	53	55	14000 ≤ F ₁ ≤ 21000
DYT□-□CS 21000-27000	685	374	314	φ250	φ165	φ35	140	φ180	220	35	30	25	57	φ25	25	53	55	21000 < F ₁ < 27000
DYT□-□CS 27000-40000	685	374	314	φ250	φ165	φ35	140	φ180	220	35	30	25	57	φ25	25	53	55	27000 ≤ F ₁ < 40000
DYT□-□CS 40000-60000	750	437	367	$\frac{\phi 250}{\phi 300}$	φ180	φ40	150	φ180	$\frac{230}{250}$	40	30	38	70	φ35	35	70	70	40000 ≤ F ₁ < 60000
DYT□-□CS 60000-80000	750	484	404	φ300	φ220	φ50	160	φ180	280	50	40	42	82	φ40	40	70	80	60000 ≤ F ₁ ≤ 80000
DYT□-□CS 80000-120000	750	524	444	φ300	φ220	φ55	160	φ200	280	55	50	52	102	φ45	45	80	90	80000 < F ₁ ≤ 120000
DYT□-□CS 120000-150000	850	572	472	φ350	φ245	φ60	170	φ200	290	60	60	50	110	φ50	50	90	100	120000 < F ₁ ≤ 150000
DYT□-□CS 150000-200000	850	626	536	φ350	φ273	φ60	195	φ200	320	60	70	60	120	φ60	60	100	120	150000 < F ₁ ≤ 200000
DYT□-□CS 200000-250000	925	675	585	φ350	φ325	φ70	215	φ250	370	70	70	70	140	φ70	65	110	140	200000 < F ₁ ≤ 250000

注：以上数据为行程大于100mm，凡有两个数据者，横线上的为速度 I 数据，横线下的为速度 II、III 数据。

DYT (B)-F 型分离式油箱技术参数及外形安装尺寸

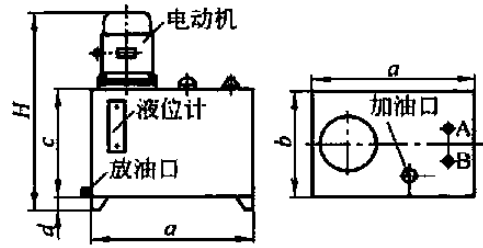
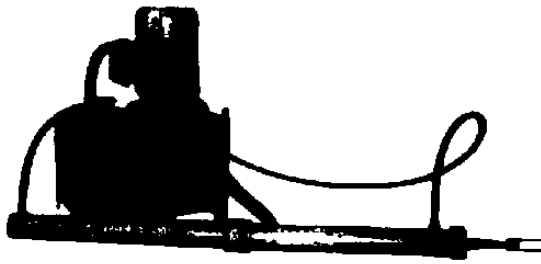


表 17-3-19

型 号	电机功率/kW	容积 /L	油箱规格	a	b	c	d	H _{最大}	推力 F _i 范围/N
				/mm					
DYT□-□F2500-4500	0.37, 0.55, 0.75	30	1 [#]	420	260	290	60	625	0 ≤ F _i < 4500
DYT□-□F4500-7000	0.55, 0.75, 1.1	30	1 [#]	420	260	290	60	640	4500 ≤ F _i < 7000
DYT□-□F7000-14000	0.55, 0.75, 1.1	30	1 [#]	420	260	290	60	665	7000 ≤ F _i < 14000
	1.5, 2.2								
DYT□-□F14000-21000	1.1, 1.5	70	2 [#]	560	400	380	70	810	14000 ≤ F _i ≤ 21000
	2.2, 3.4								
DYT□-□F21000-27000	2.2, 3.4	70	2 [#]	560	400	380	70	810	21000 < F _i < 27000
DYT□-□F27000-40000	2.2, 3.4	70	2 [#]	560	400	380	70	810	27000 ≤ F _i < 40000
DYT□-□F40000-60000	3.4, 5.5	70	2 [#]	560	400	380	70	870	40000 ≤ F _i < 60000
DYT□-□F60000-80000	5.5	70	2 [#]	560	400	380	70	870	60000 ≤ F _i ≤ 80000
DYT□-□F80000-120000	5.5	70	2 [#]	560	400	380	70	870	80000 < F _i ≤ 120000
DYT□-□F120000-150000	7.5	180	3 [#]	700	600	500	110	1075	120000 < F _i ≤ 150000
DYT□-□F150000-200000	7.5	180	3 [#]	700	600	500	110	1075	150000 < F _i ≤ 200000
DYT□-□F200000-250000	11	180	3 [#]	700	600	500	110	1130	200000 < F _i ≤ 250000

注：客户选型时注意电机功率 0.37 ~ 1.5kW 范围用 1[#]油箱；2.2 ~ 5.5kW 范围用 2[#]油箱；3[#]油箱可根据油缸行程而定。

DYT (B)-F 型分离式耳轴系列外形安装尺寸

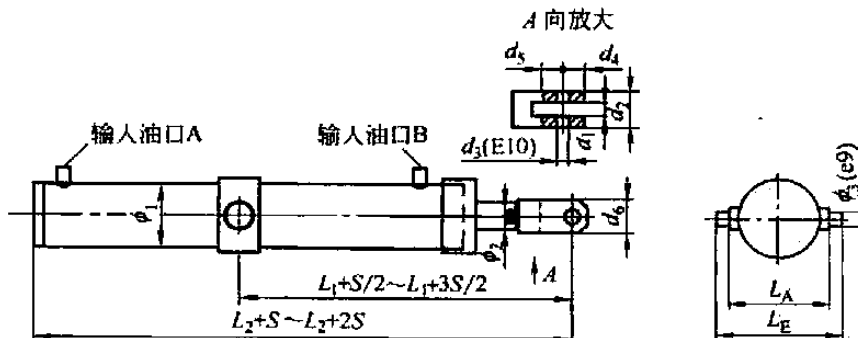


表 17-3-20

mm

型 号	L_1	L_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	L_A	L_E	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	推力 F_1 范围/N
DYT□-□F2500-4500	255	255	$\phi 65$	$\phi 28$	$\phi 25$	95	145	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$0 \leq F_1 < 4500$
DYT□-□F4500-7000	255	255	$\phi 65$	$\phi 28$	$\phi 30$	95	145	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$4500 \leq F_1 < 7000$
DYT□-□F7000-14000	283	283	$\phi 76$	$\phi 35$	$\phi 30$	110	170	20	44	$\phi 20$	20	50	44	$7000 \leq F_1 < 14000$
DYT□-□F14000-21000	314	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	130	190	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$14000 \leq F_1 \leq 21000$
DYT□-□F21000-27000	314	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	130	190	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$21000 < F_1 < 27000$
DYT□-□F27000-40000	314	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	130	190	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$27000 \leq F_1 < 40000$
DYT□-□F40000-60000	367	367	$\phi 121$	$\phi 55$	$\phi 40$	160	240	38	70	$\phi 35$	35	70	70	$40000 \leq F_1 < 60000$
DYT□-□F60000-80000	404	404	$\phi 146$	$\phi 70$	$\phi 50$	190	290	42	82	$\phi 40$	40	70	80	$60000 \leq F_1 \leq 80000$
DYT□-□F80000-120000	444	444	$\phi 161$	$\phi 80$	$\phi 55$	205	315	52	102	$\phi 45$	45	80	90	$80000 < F_1 \leq 120000$
DYT□-□F120000-150000	472	472	$\phi 184$	$\phi 80$	$\phi 60$	235	355	50	110	$\phi 50$	50	90	100	$120000 < F_1 \leq 150000$
DYT□-□F150000-200000	536	536	$\phi 203$	$\phi 90$	$\phi 60$	270	390	60	120	$\phi 60$	60	100	120	$150000 < F_1 \leq 200000$
DYT□-□F200000-250000	585	585	$\phi 240$	$\phi 100$	$\phi 70$	310	450	70	140	$\phi 70$	65	110	140	$200000 < F_1 \leq 250000$

DYT (B)-F 型分离式耳环系列外形安装尺寸

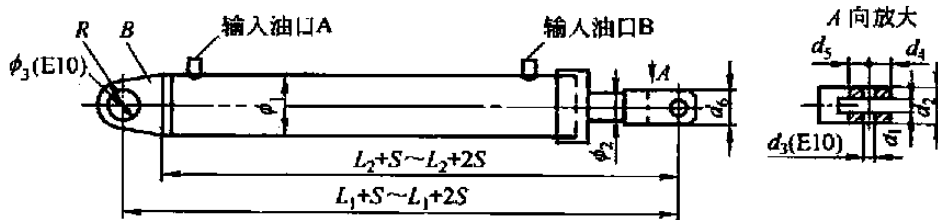


表 17-3-21

mm

型 号	L_1	L_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	R	B	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	推力 F_1 范围/N
DYT□-□F2500-4500	305	255	$\phi 65$	$\phi 28$	$\phi 25$	25	20	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$0 \leq F_1 < 4500$
DYT□-□F4500-7000	305	255	$\phi 65$	$\phi 28$	$\phi 30$	30	25	20	44	$\phi 16$	20	45	44	$4500 \leq F_1 < 7000$
DYT□-□F7000-14000	333	283	$\phi 76$	$\phi 35$	$\phi 30$	30	25	20	44	$\phi 20$	20	50	44	$7000 \leq F_1 < 14000$
DYT□-□F14000-21000	374	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	35	30	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$14000 \leq F_1 \leq 21000$
DYT□-□F21000-27000	374	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	35	30	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$21000 < F_1 < 27000$
DYT□-□F27000-40000	374	314	$\phi 95$	$\phi 45$	$\phi 35$	35	30	25	57	$\phi 25$	25	53	55	$27000 \leq F_1 < 40000$
DYT□-□F40000-60000	437	367	$\phi 121$	$\phi 55$	$\phi 40$	40	30	38	70	$\phi 35$	35	70	70	$40000 \leq F_1 < 60000$
DYT□-□F60000-80000	484	404	$\phi 146$	$\phi 70$	$\phi 50$	50	40	42	82	$\phi 40$	40	70	80	$60000 \leq F_1 \leq 80000$
DYT□-□F80000-120000	524	444	$\phi 161$	$\phi 80$	$\phi 55$	55	50	52	102	$\phi 45$	45	80	90	$80000 < F_1 \leq 120000$
DYT□-□F120000-150000	572	472	$\phi 184$	$\phi 80$	$\phi 60$	60	60	50	110	$\phi 50$	50	90	100	$120000 < F_1 \leq 150000$
DYT□-□F150000-200000	626	536	$\phi 203$	$\phi 90$	$\phi 60$	60	70	60	120	$\phi 60$	60	100	120	$150000 < F_1 \leq 200000$
DYT□-□F200000-250000	675	585	$\phi 240$	$\phi 100$	$\phi 70$	70	70	70	140	$\phi 70$	65	110	140	$200000 < F_1 \leq 250000$

2.2.2 ZDY 电液转角器

电液转角器是一种液压旋转摆动部件,通过油泵、液压集成阀可使液压缸完成 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 、 $0^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 范围的旋转摆动运动,与任何蝶阀、球阀、风门等配套使用,是取代电动头的更新换代产品。

(1) 型号与技术参数

表 17-3-22

型号与技术参数

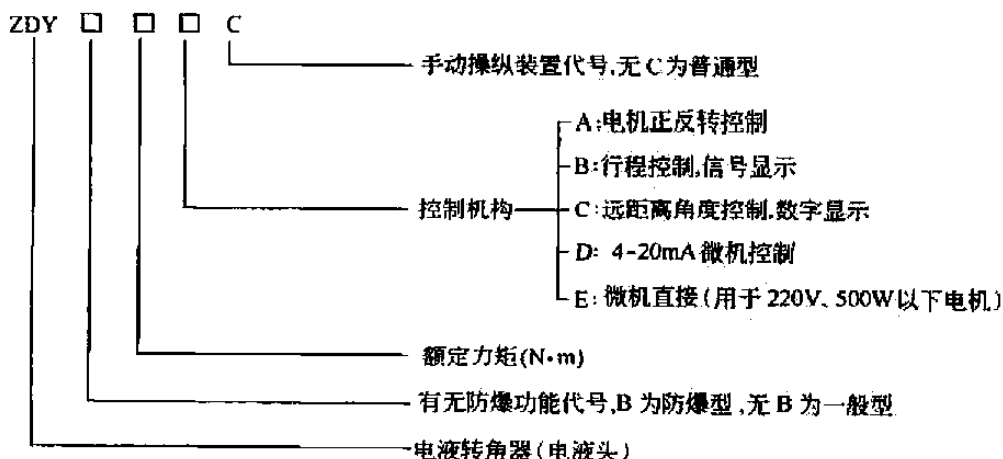
规格型号	额定力矩/ $N \cdot m$	回转角度	启闭时间/s	控制信号	电机功率/kW
ZDY□5□	50	90° + 2° 120° + 2°	3	行程开关角度显示仪或 4-20mA 微机控制	0.18
ZDY□15□	150		4		0.37
ZDY□45□	450		8		0.37
ZDY□85□	850		8		0.55
ZDY□150□	1500		12		0.55
ZDY□200□	2000		20		0.75
ZDY□300□	3000		15		0.75
ZDY□400□	4000		20		1.5
ZDY□500□	5000		25		2.2
ZDY□600□	6000		32		2.2
ZDY□800□	8000		30		2.2
ZDY□1000□	10000		47		2.2
ZDT□1500□	15000		70		3
ZDY□2000□	20000		55		3
ZDY□2500□	25000		78		3
ZDY□3000□	30000		78		4

注:1. 表中启闭时间为回转角度 90° 时的数值,如有表中未列出的特殊要求,可按需设计制造。

2. 型号后数字表示额定力矩的1/10(如ZDY5表示额定力矩 $50N \cdot m$)。

3. 用户按型号表示方法填写要求,电机为Y或YB系列,电压380V,功率范围0.18~4kW。用户有不明确或特殊要求的,请与生产单位联系。

型号表示方法:



(2) 主要外形连接尺寸

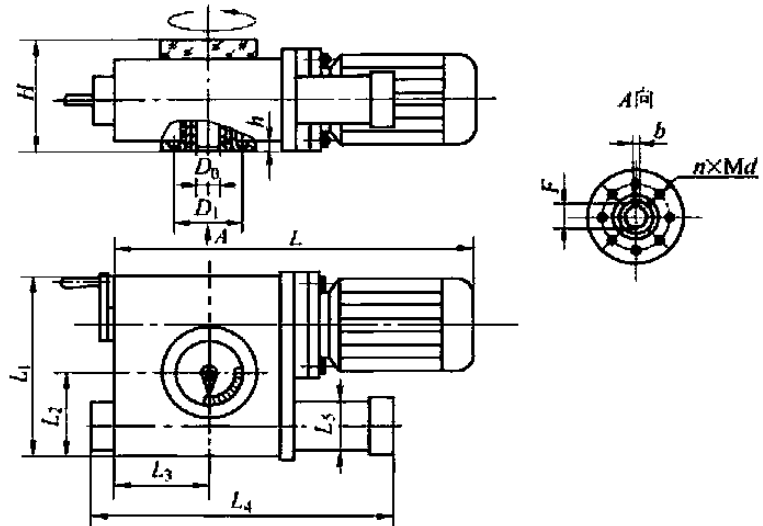
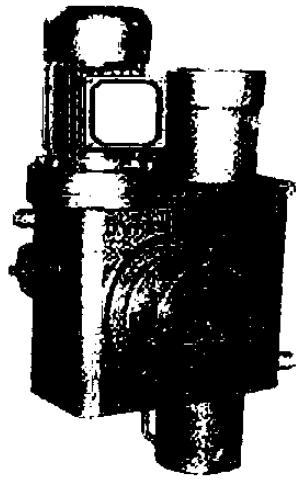


表 17-3-23

外形安装尺寸

mm

规格型号	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	H	D ₀	D ₁	F	b	h	n × Md
ZDY□5□	470	210	90	132	280	φ65	135	18	90	20.3	5	15	4 × M8
ZDY□15□	520	222	102	152	325	φ65	145	20	95	22.8	6	15	4 × M8
ZDY□45□	545	320	160	135	480	φ76	165	24	100	27.3	8	20	4 × M12
ZDY□85□	545	330	170	135	490	φ95	210	32	110	35.3	10	20	4 × M14
ZDY□150□	625	340	200	160	625	φ121	210	38	140	41.3	10	25	4 × M18
ZDY□200□	625	340	220	160	630	φ133	230	42	160	45.3	12	25	4 × M18
ZDY□300□	695	480	235	230	640	φ140	230	50	160	53.8	14	25	8 × M18
ZDY□400□	695	505	260	230	640	φ159	290	60	195	64.4	18	30	8 × M20
ZDY□500□	695	505	260	230	640	φ184	290	70	235	74.9	20	30	8 × M20
ZDY□600□	695	505	260	260	750	φ184	290	70	235	74.9	20	30	8 × M20
ZDY□800□	695	505	260	260	780	φ184	340	70	280	79.8	20	30	8 × M20
ZDY□1000□	750	550	300	290	810	φ184	380	76	300	86.8	22	30	8 × M24
ZDY□1500□	750	550	300	290	810	φ203	400	98	350	110.8	28	35	8 × M24
ZDY□2000□	750	550	300	290	870	φ203	420	120	390	134.8	32	35	8 × M24
ZDY□2500□	815	580	350	320	950	φ219	440	120	390	134.8	32	40	8 × M24
ZDY□3000□	815	580	350	320	980	φ219	460	120	390	134.8	32	40	8 × M24

注：如有表中未列出的特殊要求，可按需设计制造。

2.2.3 有关说明

1) 电液缸使用、维护注意事项

- ① 勿放置和使用于水淋、过度潮湿、高温、低温等工况。
- ② 电液缸出厂时，油口盖内加 O 形密封圈，将呼吸口封死，在使用时应将此 O 形圈取出以便于油箱的呼吸。等速回路和等速电液缸可不取下此 O 形圈。
- ③ 电液缸工作介质，建议采用黏度为 25 ~ 40mm²/s 的抗磨液压油（一般选用 46[#]）、透平油、机油等矿物油，油液要过滤，清洁度要达到 NAS 1638—9 级或 ISO 4406—19/15 级以上，工作温度控制在 15 ~ 60℃ 范围内。
- ④ 电液缸首次使用时，应注意排净液压缸内的空气。当液压缸活塞杆缩回时，使液压缸有杆腔和油箱都充

满工作介质。电液缸的油箱很小，一旦出现外泄漏应立即修复，并补足工作介质，因工作介质不足造成液压泵吸空现象，会很快造成泵的损坏和液压缸的气蚀。在电液缸运行中如出现爬行和振动，应首先检查是否油液太少、油泵吸空、液压缸内进入空气。

⑤ 溢流阀在出厂时已调整好，请勿随意调高。超负荷使用，会损坏泵和电机等。

⑥ 电液缸由于油箱太小，不宜用于连续长时间运转和频繁换向的工况，当油箱因连续运转出现高温时，应暂停，等冷却后使用。必须连续长时间运转和频繁换向的电液缸，在订货时应加以说明，以便在设计时采取防止温升过高过快的措施。

⑦ 每年应定期更换一次工作介质。

2) 选型有不详之处或特殊要求，用户可与生产单位联系。

3) 生产单位：天津优瑞纳斯液压机械有限公司、江苏高邮市液压机电成套设备有限公司。

3 升降 机

3.1 SWL 蜗轮螺杆升降机（摘自 JB/T 8809—1998）

SWL 蜗轮螺杆升降机适用于冶金、机械、建筑、水利等行业。

3.1.1 型式及尺寸

(1) 结构型式

1 型——螺杆同时做旋转运动和轴向移动；

2 型——螺杆做旋转运动，螺杆上的螺母做轴向移动。

(2) 装配型式

升降机每种结构型式又分为两种装配型式：

A 型——螺杆（或螺母）向上移动；

B 型——螺杆（或螺母）向下移动。

(3) 螺杆头部型式

1 型结构型式的螺杆头部分为 I 型（圆柱型）、II 型（法兰型）、III 型（螺纹型）和 IV 型（扁头型）四种型式；

2 型结构型式的螺杆头部分为 I 型（圆柱型）和 III 型（螺纹型）两种型式。

(4) 传动比

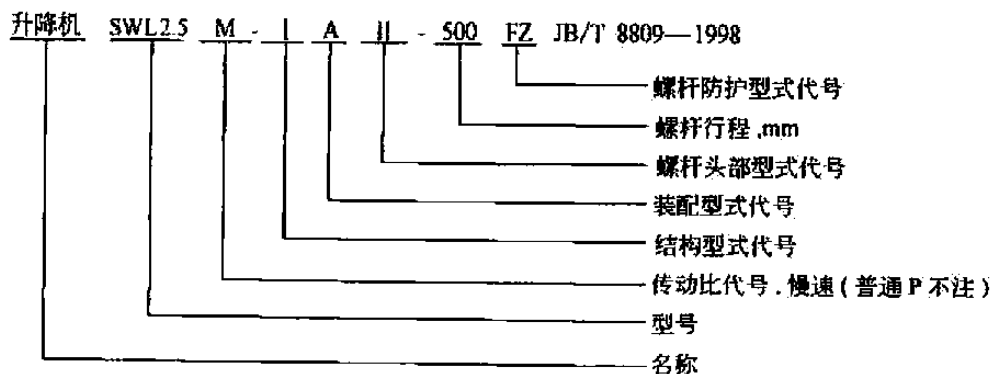
升降机分为两种传动比，即普通（P）和慢速（M）。

(5) 螺杆的防护

1 型升降机螺杆的防护分为基本型、防旋转型（F）和带防护罩型（Z）；

2 型升降机螺杆的防护分为基本型和带防护罩型（Z）。

(6) 标记示例



1 型升降机的外形结构尺寸

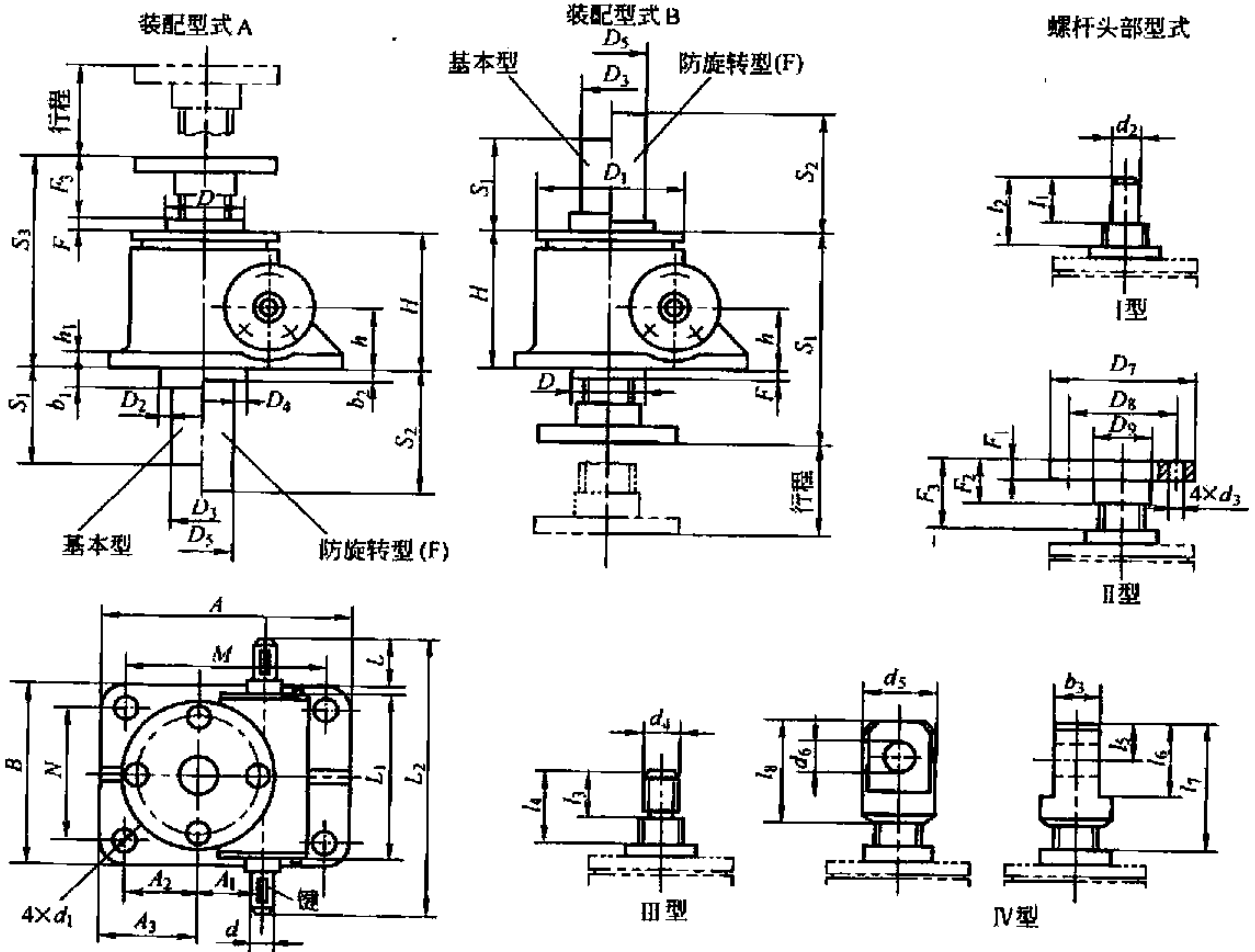


表 17-3-24

型 号	SW12.5	SW15	SWL10 SWL15	SWL20	SW125	SWL35
S_1	行程 + 20	行程 + 20	行程 + 20	行程 + 20	行程 + 20	行程 + 20
S_2	行程 + 110	行程 + 110	行程 + 150	行程 + 190	行程 + 205	行程 + 250
S_3	150.5	193	230	262	317	350
A	165	212	235	295	350	430
B	120	155	200	215	260	280
M	135	168	190	240	280	360
N	90	114	155	160	190	210
H	97	130	150	176	217	240
h	45	61.5	70	87	102	115
h_1	12	18	16	20	25	30
$d(k6)$	16	20	25	28	32	38
d_1	14	17	21	28	35	35
键 GB 1096	5 × 5 × 32	6 × 6 × 45	8 × 7 × 45	8 × 7 × 45	10 × 8 × 50	10 × 8 × 70
L	—	—	42	42	58	80

mm

续表

型 号		SWL2.5	SWL5	SWL10 SWL15	SWL20	SWL25	SWL35	
	L_1	110.5	132	172	213.5	221	265	
	L_2	190	228	280	322	355	430	
	D	48	65	80	100	130	150	
	D_1	98	122	150	185	205	260	
	D_2	70	90	100	120	150	180	
	D_3	45	60	76	83	114	121	
	D_4	98	110	130	170	200	210	
	D_5	60	70	95	108	133	139	
	A_1	45.2	56.2	66.8	72.5	97	120	
	A_2	50	58	63.5	95	95	135	
	A_3	65	80	86	122.5	130	170	
	b_1	20	25	17	35	30	35	
	b_2	20	18	18	31	40	40	
	F	8.5	12	6.5	6	8	10	
螺 杆 头 部 型 式	I	d_2 (k6)	20	25	40	50	70	80
		l_1	30	40	50	60	63	80
		l_2	45	51	73.5	80	92	100
	II	D_7	98	122	150	185	205	260
		D_8	75	85	105	140	155	200
		D_9	40	50	65	90	100	130
		d_3	14	17	21	26	27	33
		F_1	12	18	20	20	25	30
		F_2	30	40	50	60	63	80
	III	d_4	M22 × 1.5-6g	M30 × 2-6g	M42 × 2-6g	M48 × 2-6g	M70 × 3-6g	M80 × 3-6g
		l_3	30	39	50	60	63	80
		l_4	45	51	73.5	80	92	100
	IV	d_5	50	65	90	110	130	150
		d_6 (H8)	25	35	50	60	70	80
		b_3	30	42	60	75	90	105
		l_5	25	37.5	50	60	70	80
		l_6	50	75	100	120	140	160
		l_7	85	117	153.5	170	204	240
		l_8	70	105	130	150	175	220

2 型升降机的外形结构尺寸

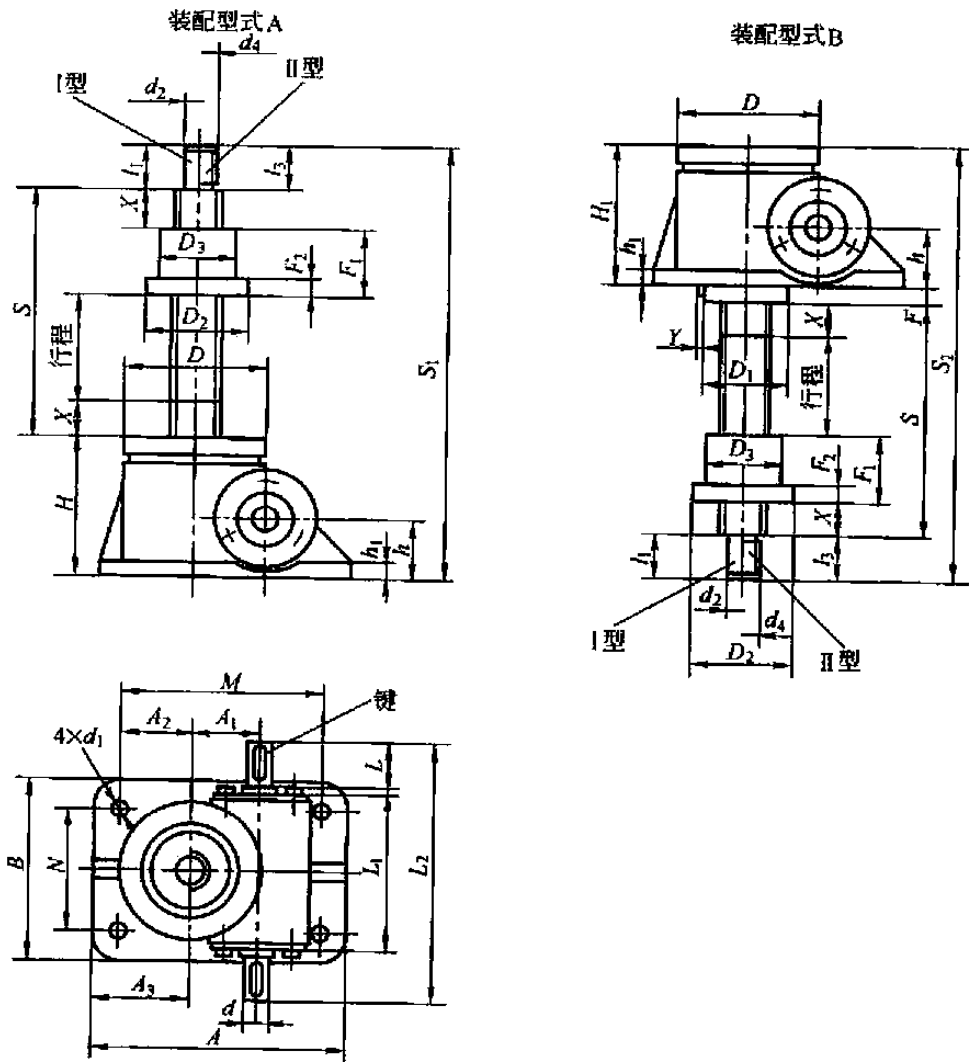


表 17-3-25

mm

型 号	SWL2.5	SWL5	SWL10 SWL15	SWL20	SWL25	SWL35
S	行程 + 85	行程 + 100	行程 + 125	行程 + 150	行程 + 170	行程 + 205
S_1	行程 + 215	行程 + 270	行程 + 335	行程 + 404	行程 + 476	行程 + 535
S_2	行程 + 238.5	行程 + 300	行程 + 359	行程 + 430	行程 + 513	行程 + 580
A	165	212	235	295	350	430
B	120	155	200	215	260	280
M	135	168	190	240	280	360
N	90	114	155	160	190	210
H	100	131	160	194	226	250
H_1	97	131	150	181	211	250
h	45	61.5	70	87	102	115
h_1	12	14	16	20	25	30
$d(k6)$	16	20	25	28	32	38
d_1	14	17	21	28	35	35
键 GB/T 1096	5 × 5 × 32	6 × 6 × 32	8 × 7 × 45	8 × 7 × 45	10 × 8 × 50	10 × 8 × 70
L	—	—	42	42	58	80
L_1	110.5	132	172	213.5	221	265
L_2	190	228	280	322	355	430

续表

型号		SWL2.5	SWL5	SWL10 SWL15	SWL20	SWL25	SWL35	
D		98	122	150	185	205	260	
D ₁		68	83	110	140	160	180	
A ₁		45.2	56.2	66.8	72.5	97	120	
A ₂		50	58	63.5	95	95	135	
A ₃		65	80	86	122.5	130	170	
F		26.5	30	34	39	52	45	
安全裕度 X		20	20	25	25	25	30	
Y		3	3	1	3	3	4	
活动螺母	D ₂	80	87	110	120	155	190	
	D ₃ (h9)	50	70	90	90	130	150	
	F ₁	45	60	75	100	120	145	
	F ₂	15	18	25	30	35	35	
螺杆头部型式	I	d ₂ (k6)	20	25	40	50	70	80
		l ₁	30	40	50	60	80	80
	III	d ₄	M22 × 1.5-6g	M30 × 2-6g	M42 × 2-6g	M48 × 2-6g	M70 × 3-6g	M80 × 3-6g
		l ₃	30	39	50	60	63	80

3.1.2 性能参数

1) 升降机的主要性能参数见表 17-3-26。

表 17-3-26

性能参数

型号	SWL2.5	SWL5	SWL10/15	SWL20	SWL25	SWL35
最大起升力/kN	25	50	100/150	200	250	350
最大拉力/kN	25	50	99	166	250	350
蜗轮蜗杆传动比(P)	6:1	6:1	7 $\frac{1}{2}$:1	8:1	10 $\frac{1}{2}$:1	10 $\frac{3}{4}$:1
蜗杆每转行程/mm	1.0	1.167	1.565	1.5	1.5	1.5
蜗轮蜗杆传动比(M)	24:1	24:1	24:1	24:1	32:1	32:1
蜗杆每转行程/mm	0.250	0.292	0.5	0.5	0.5	0.5
蜗杆转矩/N·m	见 3.1.4 蜗杆轴伸的许用径向力					
拉力载荷时螺杆的最大伸长/mm	1500	2000	2500	3000	3500	4000
压力载荷时螺杆的最大伸长/mm	见 3.1.5 螺杆长度与极限载荷的关系					
侧向力载荷时螺杆的最大伸长/mm	见 3.1.6 螺杆许用侧向力 F _s 和轴向力 F _a 与行程的关系					
最大许用功率/kW	0.55	1.1	2.6	3.7	4.8	6.0
普通比(P)总效率/%	23	21	23	21	19	18
慢速比(M)总效率/%	14	12	15	13	11	11
润滑油量/kg	0.1	0.25	0.5	0.75	1.1	1.9
不加行程的质量/kg	7.3	16.2	25	36	70.5	87
螺杆每 100mm 的质量/kg	0.45	0.82	1.67	2.15	4.15	5.20

注：1. 最大许用功率是在环境温度为 20℃、工作持续率为 20%/h 的条件下的参数。

2. 总效率为油脂润滑条件下的参数。

3. 工作环境温度 -20 ~ 80℃。

4. 在静止状态一般可以自锁。

2) 螺杆传动的许用起升速度、转矩和功率见表 17-3-27。

表 17-3-27 蜗杆传动的许用起升速度、转矩和功率

蜗杆转速 n /r·min ⁻¹	起升速度 v /m·min ⁻¹		起升力 /kN																											
			25				20				15				10				5				2.5							
			P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率				
1500	1.500	0.375	18	2.7	7.1	1.2	14	2.2	5.7	0.89	11	1.7	4.3	0.67	6.9	1.10	2.9	0.45	3.5	0.54	1.4	0.22	1.7	0.27	0.71	0.11	0.7	0.11	0.28	0.05
1000	1.000	0.250	18	1.8	7.1	0.74	14	1.5	5.7	0.60	11	1.1	4.3	0.45	6.9	0.72	2.9	0.30	3.5	0.36	1.4	0.15	1.7	0.18	0.71	0.07	0.7	0.07	0.28	0.05
750	0.750	0.188	18	1.4	7.1	0.56	14	1.1	5.7	0.45	11	0.82	4.3	0.33	6.9	0.54	2.9	0.22	3.5	0.27	1.4	0.11	1.7	0.14	0.71	0.06	0.7	0.05	0.28	0.05
500	0.500	0.125	18	0.91	7.1	0.37	14	0.72	5.7	0.30	11	0.54	4.3	0.22	6.9	0.36	2.9	0.15	3.5	0.18	1.4	0.07	1.7	0.09	0.71	0.05	0.7	0.05	0.28	0.05
300	0.300	0.075	18	0.54	7.1	0.22	14	0.43	5.7	0.18	11	0.33	4.3	0.13	6.9	0.22	2.9	0.09	3.5	0.11	1.4	0.05	1.7	0.05	0.71	0.05	0.7	0.05	0.28	0.05
200	0.200	0.050	18	0.36	7.1	0.15	14	0.29	5.7	0.12	11	0.22	4.3	0.09	6.9	0.14	2.9	0.06	3.5	0.07	1.4	0.05	1.7	0.05	0.71	0.05	0.7	0.05	0.28	0.05
100	0.100	0.025	18	0.18	7.1	0.07	14	0.14	5.7	0.06	11	0.11	4.3	0.05	6.9	0.07	2.9	0.05	3.5	0.05	1.4	0.05	1.7	0.05	0.71	0.05	0.7	0.05	0.28	0.05
50	0.050	0.013	18	0.09	7.1	0.05	14	0.07	5.7	0.05	11	0.05	4.3	0.05	6.9	0.05	2.9	0.05	3.5	0.05	1.4	0.05	1.7	0.05	0.71	0.05	0.7	0.05	0.28	0.05

蜗杆转速 n /r·min ⁻¹	起升速度 v /m·min ⁻¹		起升力 /kN																											
			50				40				30				20				10				5				2.5			
			P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率	P	M	转矩	功率
1500	1.750	0.438	44.2	6.9	19.3	3.0	35.4	5.6	15.5	2.4	26.5	4.2	11.6	1.8	17.7	2.8	7.7	1.2	8.8	1.4	3.9	0.6	4.4	0.7	1.9	0.3	2.2	0.3	1.0	0.2
1000	1.167	0.292	44.2	4.6	19.3	2.0	35.4	3.7	15.5	1.6	26.5	2.8	11.6	1.2	17.7	1.9	7.7	0.8	8.8	0.9	3.9	0.4	4.4	0.5	1.9	0.2	2.2	0.2	1.0	0.1
750	0.875	0.219	44.2	3.5	19.3	1.5	35.4	2.8	15.5	1.2	26.5	2.1	11.6	0.9	17.7	1.4	7.7	0.6	8.8	0.7	3.9	0.3	4.4	0.3	1.9	0.2	2.2	0.2	1.0	0.1
500	0.583	0.146	44.2	2.3	19.3	1.0	35.4	1.9	15.5	0.8	26.5	1.4	11.6	0.6	17.7	0.9	7.7	0.4	8.8	0.5	3.9	0.2	4.4	0.2	1.9	0.1	2.2	0.1	1.0	0.1
300	0.350	0.088	44.2	1.4	19.3	0.6	35.4	1.1	15.5	0.5	26.5	0.8	11.6	0.4	17.7	0.6	7.7	0.2	8.8	0.3	3.9	0.1	4.4	0.1	1.9	0.1	2.2	0.1	1.0	0.1
200	0.233	0.058	44.2	0.9	19.3	0.4	35.4	0.7	15.5	0.3	26.5	0.6	11.6	0.2	17.7	0.4	7.7	0.2	8.8	0.2	3.9	0.1	4.4	0.1	1.9	0.1	2.2	0.1	1.0	0.1
100	0.117	0.029	44.2	0.5	19.3	0.2	35.4	0.4	15.5	0.2	26.5	0.3	11.6	0.1	17.7	0.2	7.7	0.1	8.8	0.1	3.9	0.1	4.4	0.1	1.9	0.1	2.2	0.1	1.0	0.1
50	0.058	0.015	44.2	0.2	19.3	0.1	35.4	0.2	15.5	0.1	26.5	0.1	11.6	0.1	17.7	0.1	7.7	0.1	8.8	0.1	3.9	0.1	4.4	0.1	1.9	0.1	2.2	0.1	1.0	0.1

续表

蜗杆转速 n_1 /r·min ⁻¹		起升力 /kN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		100			80			60			40			20			10			5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		P	M	转矩	P	M	转矩	P	M	转矩	P	M	转矩	P	M	转矩	P	M	转矩	P	M	转矩																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
起升速度 v /m·min ⁻¹		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">P</th> <th colspan="2" rowspan="2">M</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> </tr> <tr> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>2.348</td> <td>0.750</td> <td>108</td> <td>17</td> <td>53</td> <td>8.3</td> <td>87</td> <td>14</td> <td>43</td> <td>6.7</td> <td>65</td> <td>11</td> <td>32</td> <td>5.0</td> <td>44</td> <td>6.8</td> <td>22</td> <td>3.3</td> <td>22</td> <td>3.4</td> <td>11</td> <td>1.7</td> <td>11</td> <td>1.7</td> <td>5.3</td> <td>0.8</td> <td>5.4</td> <td>0.9</td> <td>2.7</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1.565</td> <td>0.500</td> <td>108</td> <td>12</td> <td>53</td> <td>5.6</td> <td>87</td> <td>9.1</td> <td>43</td> <td>4.4</td> <td>65</td> <td>6.8</td> <td>32</td> <td>3.3</td> <td>44</td> <td>4.5</td> <td>22</td> <td>2.2</td> <td>22</td> <td>2.3</td> <td>11</td> <td>1.1</td> <td>11</td> <td>1.1</td> <td>5.3</td> <td>0.6</td> <td>5.4</td> <td>0.6</td> <td>2.7</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>750</td> <td>1.174</td> <td>0.375</td> <td>108</td> <td>8.5</td> <td>53</td> <td>4.2</td> <td>87</td> <td>6.8</td> <td>43</td> <td>3.3</td> <td>65</td> <td>5.1</td> <td>32</td> <td>2.5</td> <td>44</td> <td>3.4</td> <td>22</td> <td>1.7</td> <td>22</td> <td>1.7</td> <td>11</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td>0.9</td> <td>5.3</td> <td>0.4</td> <td>5.4</td> <td>0.4</td> <td>2.7</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.783</td> <td>0.250</td> <td>108</td> <td>5.7</td> <td>53</td> <td>2.8</td> <td>87</td> <td>4.5</td> <td>43</td> <td>2.2</td> <td>65</td> <td>3.4</td> <td>32</td> <td>1.7</td> <td>44</td> <td>2.3</td> <td>22</td> <td>1.1</td> <td>22</td> <td>1.1</td> <td>11</td> <td>0.6</td> <td>11</td> <td>0.6</td> <td>5.3</td> <td>0.3</td> <td>5.4</td> <td>0.3</td> <td>2.7</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>0.470</td> <td>0.150</td> <td>108</td> <td>3.4</td> <td>53</td> <td>1.7</td> <td>87</td> <td>2.7</td> <td>43</td> <td>1.3</td> <td>65</td> <td>2.0</td> <td>32</td> <td>1.0</td> <td>44</td> <td>1.4</td> <td>22</td> <td>0.7</td> <td>22</td> <td>0.7</td> <td>11</td> <td>0.3</td> <td>11</td> <td>0.3</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> <td>5.4</td> <td>0.2</td> <td>2.7</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.313</td> <td>0.100</td> <td>108</td> <td>2.3</td> <td>53</td> <td>1.1</td> <td>87</td> <td>1.8</td> <td>43</td> <td>0.9</td> <td>65</td> <td>1.4</td> <td>32</td> <td>0.7</td> <td>44</td> <td>0.9</td> <td>22</td> <td>0.4</td> <td>22</td> <td>0.5</td> <td>11</td> <td>0.2</td> <td>11</td> <td>0.2</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> <td>5.4</td> <td>0.1</td> <td>2.7</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.157</td> <td>0.050</td> <td>108</td> <td>1.1</td> <td>53</td> <td>0.6</td> <td>87</td> <td>0.9</td> <td>43</td> <td>0.4</td> <td>65</td> <td>0.7</td> <td>32</td> <td>0.3</td> <td>44</td> <td>0.5</td> <td>22</td> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>0.2</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> <td>5.4</td> <td>0.1</td> <td>2.7</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.078</td> <td>0.025</td> <td>108</td> <td>0.6</td> <td>53</td> <td>0.3</td> <td>87</td> <td>0.5</td> <td>43</td> <td>0.2</td> <td>65</td> <td>0.3</td> <td>32</td> <td>0.2</td> <td>44</td> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>0.1</td> <td>22</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> <td>5.4</td> <td>0.1</td> <td>2.7</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>																					P		M		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	M																								1500	2.348	0.750	108	17	53	8.3	87	14	43	6.7	65	11	32	5.0	44	6.8	22	3.3	22	3.4	11	1.7	11	1.7	5.3	0.8	5.4	0.9	2.7	0.4	1000	1.565	0.500	108	12	53	5.6	87	9.1	43	4.4	65	6.8	32	3.3	44	4.5	22	2.2	22	2.3	11	1.1	11	1.1	5.3	0.6	5.4	0.6	2.7	0.3	750	1.174	0.375	108	8.5	53	4.2	87	6.8	43	3.3	65	5.1	32	2.5	44	3.4	22	1.7	22	1.7	11	0.8	11	0.9	5.3	0.4	5.4	0.4	2.7	0.2	500	0.783	0.250	108	5.7	53	2.8	87	4.5	43	2.2	65	3.4	32	1.7	44	2.3	22	1.1	22	1.1	11	0.6	11	0.6	5.3	0.3	5.4	0.3	2.7	0.1	300	0.470	0.150	108	3.4	53	1.7	87	2.7	43	1.3	65	2.0	32	1.0	44	1.4	22	0.7	22	0.7	11	0.3	11	0.3	5.3	0.2	5.4	0.2	2.7	0.1	200	0.313	0.100	108	2.3	53	1.1	87	1.8	43	0.9	65	1.4	32	0.7	44	0.9	22	0.4	22	0.5	11	0.2	11	0.2	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1	100	0.157	0.050	108	1.1	53	0.6	87	0.9	43	0.4	65	0.7	32	0.3	44	0.5	22	0.2	22	0.2	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1	50	0.078	0.025	108	0.6	53	0.3	87	0.5	43	0.2	65	0.3	32	0.2	44	0.2	22	0.1	22	0.1	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1									
P		M		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
																								转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1500	2.348	0.750	108	17	53	8.3	87	14	43	6.7	65	11	32	5.0	44	6.8	22	3.3	22	3.4	11	1.7	11	1.7	5.3	0.8	5.4	0.9	2.7	0.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1000	1.565	0.500	108	12	53	5.6	87	9.1	43	4.4	65	6.8	32	3.3	44	4.5	22	2.2	22	2.3	11	1.1	11	1.1	5.3	0.6	5.4	0.6	2.7	0.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
750	1.174	0.375	108	8.5	53	4.2	87	6.8	43	3.3	65	5.1	32	2.5	44	3.4	22	1.7	22	1.7	11	0.8	11	0.9	5.3	0.4	5.4	0.4	2.7	0.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
500	0.783	0.250	108	5.7	53	2.8	87	4.5	43	2.2	65	3.4	32	1.7	44	2.3	22	1.1	22	1.1	11	0.6	11	0.6	5.3	0.3	5.4	0.3	2.7	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
300	0.470	0.150	108	3.4	53	1.7	87	2.7	43	1.3	65	2.0	32	1.0	44	1.4	22	0.7	22	0.7	11	0.3	11	0.3	5.3	0.2	5.4	0.2	2.7	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
200	0.313	0.100	108	2.3	53	1.1	87	1.8	43	0.9	65	1.4	32	0.7	44	0.9	22	0.4	22	0.5	11	0.2	11	0.2	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
100	0.157	0.050	108	1.1	53	0.6	87	0.9	43	0.4	65	0.7	32	0.3	44	0.5	22	0.2	22	0.2	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
50	0.078	0.025	108	0.6	53	0.3	87	0.5	43	0.2	65	0.3	32	0.2	44	0.2	22	0.1	22	0.1	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1	5.4	0.1	2.7	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
起升速度 v /m·min ⁻¹		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">P</th> <th colspan="2" rowspan="2">M</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> <th colspan="2" rowspan="2">转矩</th> <th colspan="2" rowspan="2">功率</th> </tr> <tr> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> <th>转矩</th><th>功率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>2.348</td> <td>0.750</td> <td>163</td> <td>26</td> <td>92</td> <td>15</td> <td>108</td> <td>17</td> <td>53</td> <td>8.3</td> <td>87</td> <td>14</td> <td>43</td> <td>6.7</td> <td>65</td> <td>11</td> <td>32</td> <td>5.0</td> <td>44</td> <td>6.8</td> <td>22</td> <td>3.3</td> <td>22</td> <td>3.4</td> <td>11</td> <td>1.7</td> <td>11</td> <td>1.7</td> <td>5.3</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>1.565</td> <td>0.500</td> <td>163</td> <td>17</td> <td>92</td> <td>9.6</td> <td>108</td> <td>12</td> <td>53</td> <td>5.6</td> <td>87</td> <td>9.1</td> <td>43</td> <td>4.4</td> <td>65</td> <td>6.8</td> <td>32</td> <td>3.3</td> <td>44</td> <td>4.5</td> <td>22</td> <td>2.2</td> <td>22</td> <td>2.3</td> <td>11</td> <td>1.1</td> <td>11</td> <td>1.1</td> <td>5.3</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>750</td> <td>1.174</td> <td>0.375</td> <td>163</td> <td>13</td> <td>92</td> <td>7.2</td> <td>108</td> <td>8.5</td> <td>53</td> <td>4.2</td> <td>87</td> <td>6.8</td> <td>43</td> <td>3.3</td> <td>65</td> <td>5.1</td> <td>32</td> <td>2.5</td> <td>44</td> <td>3.4</td> <td>22</td> <td>1.7</td> <td>22</td> <td>1.7</td> <td>11</td> <td>0.8</td> <td>11</td> <td>0.9</td> <td>5.3</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.783</td> <td>0.250</td> <td>163</td> <td>8.5</td> <td>92</td> <td>4.8</td> <td>108</td> <td>5.7</td> <td>53</td> <td>2.8</td> <td>87</td> <td>4.5</td> <td>43</td> <td>2.2</td> <td>65</td> <td>3.4</td> <td>32</td> <td>1.7</td> <td>44</td> <td>2.3</td> <td>22</td> <td>1.1</td> <td>22</td> <td>1.1</td> <td>11</td> <td>0.6</td> <td>11</td> <td>0.6</td> <td>5.3</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>0.470</td> <td>0.150</td> <td>163</td> <td>5.1</td> <td>92</td> <td>2.9</td> <td>108</td> <td>3.4</td> <td>53</td> <td>1.7</td> <td>87</td> <td>2.7</td> <td>43</td> <td>1.3</td> <td>65</td> <td>2.0</td> <td>32</td> <td>1.0</td> <td>44</td> <td>1.4</td> <td>22</td> <td>0.7</td> <td>22</td> <td>0.7</td> <td>11</td> <td>0.3</td> <td>11</td> <td>0.3</td> <td>5.3</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.313</td> <td>0.100</td> <td>163</td> <td>3.4</td> <td>92</td> <td>1.9</td> <td>108</td> <td>2.3</td> <td>53</td> <td>1.1</td> <td>87</td> <td>1.8</td> <td>43</td> <td>0.9</td> <td>65</td> <td>1.4</td> <td>32</td> <td>0.7</td> <td>44</td> <td>0.9</td> <td>22</td> <td>0.4</td> <td>22</td> <td>0.4</td> <td>11</td> <td>0.2</td> <td>11</td> <td>0.2</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.157</td> <td>0.050</td> <td>163</td> <td>1.7</td> <td>92</td> <td>1.0</td> <td>108</td> <td>1.1</td> <td>53</td> <td>0.6</td> <td>87</td> <td>0.9</td> <td>43</td> <td>0.4</td> <td>65</td> <td>0.7</td> <td>32</td> <td>0.3</td> <td>44</td> <td>0.5</td> <td>22</td> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>0.2</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.078</td> <td>0.025</td> <td>163</td> <td>0.9</td> <td>92</td> <td>0.5</td> <td>108</td> <td>0.6</td> <td>53</td> <td>0.3</td> <td>87</td> <td>0.5</td> <td>43</td> <td>0.2</td> <td>65</td> <td>0.3</td> <td>32</td> <td>0.2</td> <td>44</td> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>0.1</td> <td>22</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>11</td> <td>0.1</td> <td>5.3</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>																					P		M		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	M																															1500	2.348	0.750	163	26	92	15	108	17	53	8.3	87	14	43	6.7	65	11	32	5.0	44	6.8	22	3.3	22	3.4	11	1.7	11	1.7	5.3	0.8	1000	1.565	0.500	163	17	92	9.6	108	12	53	5.6	87	9.1	43	4.4	65	6.8	32	3.3	44	4.5	22	2.2	22	2.3	11	1.1	11	1.1	5.3	0.6	750	1.174	0.375	163	13	92	7.2	108	8.5	53	4.2	87	6.8	43	3.3	65	5.1	32	2.5	44	3.4	22	1.7	22	1.7	11	0.8	11	0.9	5.3	0.4	500	0.783	0.250	163	8.5	92	4.8	108	5.7	53	2.8	87	4.5	43	2.2	65	3.4	32	1.7	44	2.3	22	1.1	22	1.1	11	0.6	11	0.6	5.3	0.3	300	0.470	0.150	163	5.1	92	2.9	108	3.4	53	1.7	87	2.7	43	1.3	65	2.0	32	1.0	44	1.4	22	0.7	22	0.7	11	0.3	11	0.3	5.3	0.2	200	0.313	0.100	163	3.4	92	1.9	108	2.3	53	1.1	87	1.8	43	0.9	65	1.4	32	0.7	44	0.9	22	0.4	22	0.4	11	0.2	11	0.2	5.3	0.1	100	0.157	0.050	163	1.7	92	1.0	108	1.1	53	0.6	87	0.9	43	0.4	65	0.7	32	0.3	44	0.5	22	0.2	22	0.2	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1	50	0.078	0.025	163	0.9	92	0.5	108	0.6	53	0.3	87	0.5	43	0.2	65	0.3	32	0.2	44	0.2	22	0.1	22	0.1	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1
P		M		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率		转矩		功率																													转矩		功率																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
																								转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率	转矩	功率																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1500	2.348	0.750	163	26	92	15	108	17	53	8.3	87	14	43	6.7	65	11	32	5.0	44	6.8	22	3.3	22	3.4	11	1.7	11	1.7	5.3	0.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1000	1.565	0.500	163	17	92	9.6	108	12	53	5.6	87	9.1	43	4.4	65	6.8	32	3.3	44	4.5	22	2.2	22	2.3	11	1.1	11	1.1	5.3	0.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
750	1.174	0.375	163	13	92	7.2	108	8.5	53	4.2	87	6.8	43	3.3	65	5.1	32	2.5	44	3.4	22	1.7	22	1.7	11	0.8	11	0.9	5.3	0.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
500	0.783	0.250	163	8.5	92	4.8	108	5.7	53	2.8	87	4.5	43	2.2	65	3.4	32	1.7	44	2.3	22	1.1	22	1.1	11	0.6	11	0.6	5.3	0.3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
300	0.470	0.150	163	5.1	92	2.9	108	3.4	53	1.7	87	2.7	43	1.3	65	2.0	32	1.0	44	1.4	22	0.7	22	0.7	11	0.3	11	0.3	5.3	0.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
200	0.313	0.100	163	3.4	92	1.9	108	2.3	53	1.1	87	1.8	43	0.9	65	1.4	32	0.7	44	0.9	22	0.4	22	0.4	11	0.2	11	0.2	5.3	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
100	0.157	0.050	163	1.7	92	1.0	108	1.1	53	0.6	87	0.9	43	0.4	65	0.7	32	0.3	44	0.5	22	0.2	22	0.2	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
50	0.078	0.025	163	0.9	92	0.5	108	0.6	53	0.3	87	0.5	43	0.2	65	0.3	32	0.2	44	0.2	22	0.1	22	0.1	11	0.1	11	0.1	5.3	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

SWL10

SWL13

3.1.3 驱动功率的计算

(1) 驱动功率

$$P = \frac{F_s v}{60\eta}$$

式中 P ——驱动功率, kW;

F_s ——起升力 (或拉力), kN;

v ——起升速度, m/min;

η ——传递总效率 (见表 17-3-28 和表 17-3-29)。

(2) 驱动转矩

$$M_1 = 9550 \times \frac{P}{n}$$

式中 M_1 ——驱动转矩, N·m;

P ——驱动功率, kW;

n ——转速, r/min。

表 17-3-28

油脂润滑时的总效率 η

型号	SWL											
	2.5	2.5M	5	5M	10/15	10M/15M	20	20M	25	25M	35	35M
η	0.23	0.14	0.21	0.12	0.23	0.15	0.21	0.13	0.19	0.11	0.18	0.11

表 17-3-29

蜗杆副采用稀油润滑时的总效率 η (仅用于 2 型)

蜗杆转速 /r·min ⁻¹	型号 SWL											
	2.5	2.5M	5	5M	10/15	10M/15M	20	20M	25	25M	35	35M
1500	0.283	0.214	0.257	0.188	0.290	0.236	0.273	0.275	0.262	0.210	0.248	0.204
1000	0.279	0.206	0.252	0.180	0.285	0.227	0.268	0.217	0.257	0.200	0.243	0.195
750	0.276	0.201	0.249	0.175	0.282	0.222	0.266	0.212	0.253	0.194	0.240	0.189
500	0.272	0.194	0.245	0.168	0.277	0.215	0.262	0.205	0.249	0.187	0.236	0.183
300	0.267	0.187	0.241	0.161	0.272	0.207	0.257	0.198	0.243	0.179	0.231	0.175
100	0.257	0.172	0.231	0.146	0.261	0.191	0.247	0.183	0.233	0.164	0.222	0.160
50	0.251	0.164	0.225	0.138	0.255	0.183	0.242	0.175	0.226	0.155	0.216	0.152

3.1.4 蜗杆轴伸的许用径向力

1) 蜗杆轴伸上, 由于安装齿轮、链轮或带轮所产生的径向力 F_r , 其最大许用力与起升力和型号有关。在 $l/2$ 处所许用的最大径向力和转矩见图 17-3-4 和表 17-3-30。

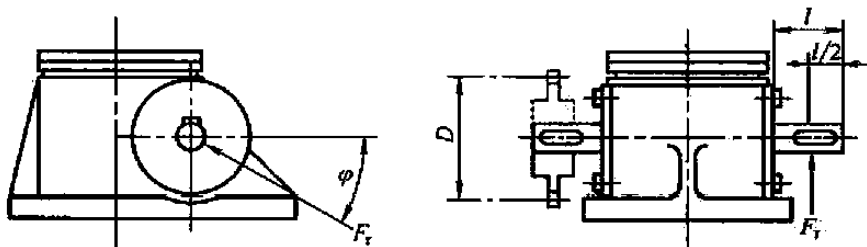


图 17-3-4

表 17-3-30

$l/2$ 处所许用的最大径向力和转矩

型号	F_{rmax}/N	$M_{lmax}/N \cdot m$	型号	F_{rmax}/N	$M_{lmax}/N \cdot m$
SWL2.5/2.5M	350	18	SWL20/20M	1300	182
SWL5/5M	750	44.2	SWL25/25M	2000	314
SWL10/10M/15/15M	1000	108	SWL35/35M	2300	398

注: 表中参数是按 $\varphi \approx 30^\circ$ 或 330° 计算的。

2) 齿轮或带轮的最小直径

$$D_{min} = 19100 \times \frac{P}{F_{rmax} n} = \frac{2M_1}{F_{rmax}}$$

- 式中 D_{min} —— 齿轮或带轮的最小直径, m;
- P —— 驱动功率, kW;
- F_{rmax} —— 最大径向力, N;
- n —— 蜗杆转速, r/min;
- M_1 —— 驱动转矩, N·m。

3.1.5 螺杆长度与极限载荷的关系

在欧拉负荷 I 和 II 情况下, 螺杆长度与极限载荷的关系见图 17-3-5 ~ 图 17-3-8。

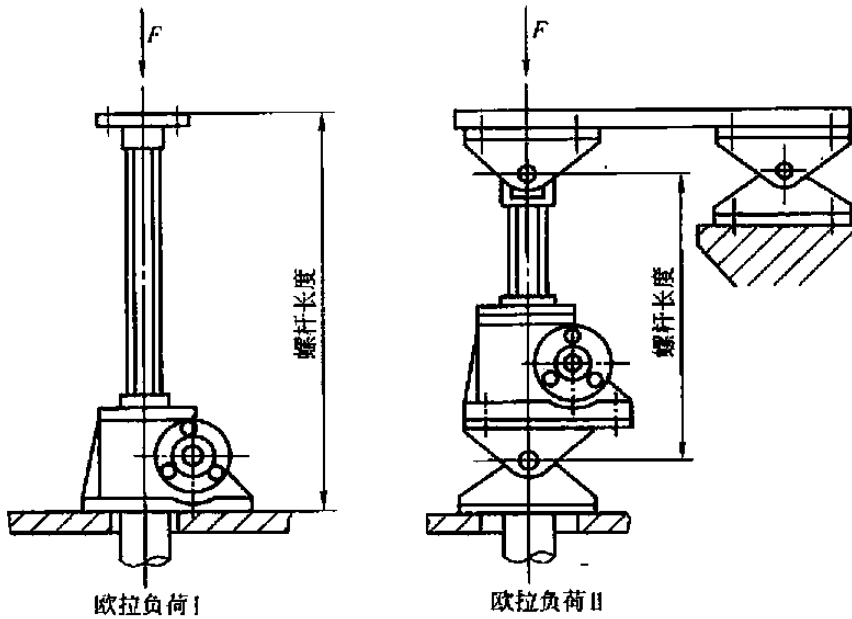


图 17-3-5

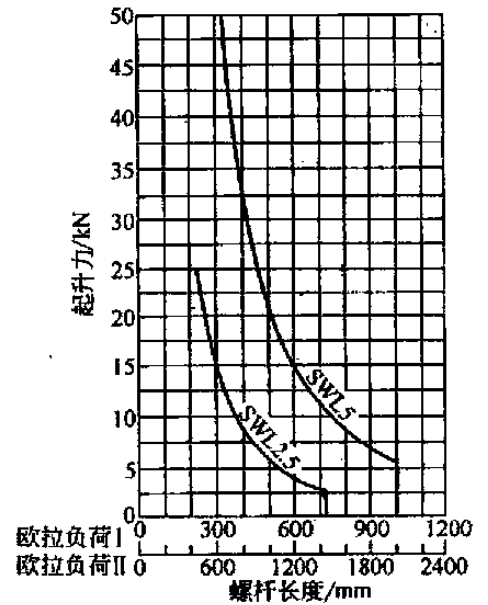


图 17-3-6

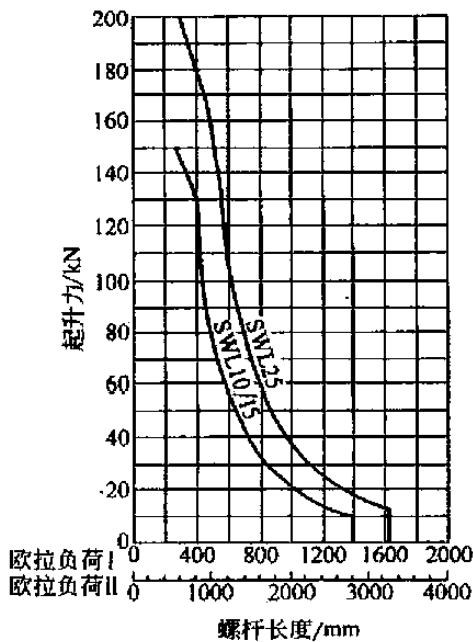


图 17-3-7

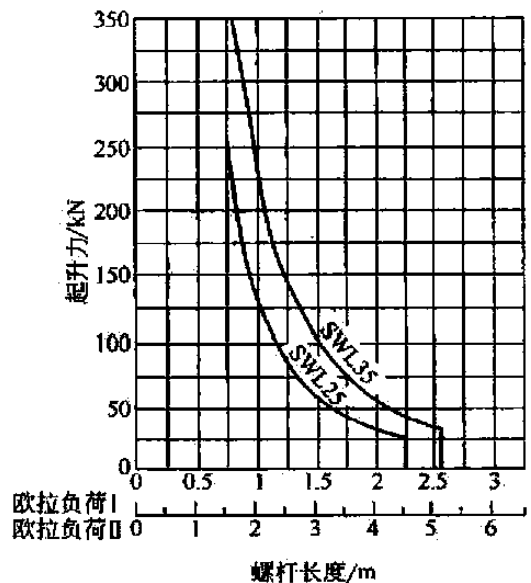


图 17-3-8

3.1.6 螺杆许用侧向力 F_s 和轴向力 F_a 与行程的关系 (图 17-3-9)

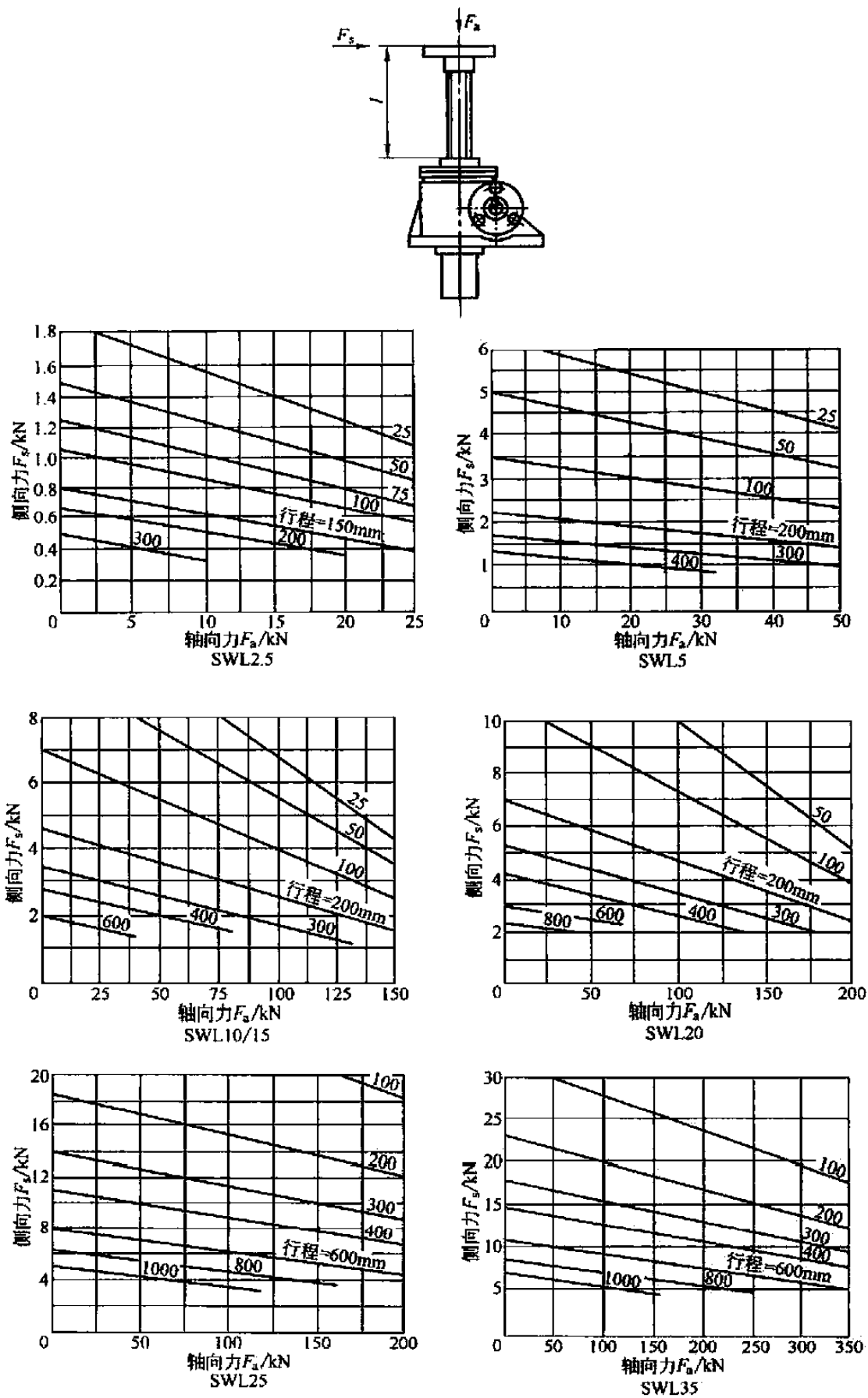


图 17-3-9

3.1.7 工作持续率与环境温度的关系

工作持续率与环境温度的关系见表 17-3-31。

环境温度超过 40℃ 时，应考虑减小工作持续率。

表 17-3-31

工作持续率与环境温度的关系

环境温度/℃	50	60	70	80	环境温度/℃	50	60	70	80
许用最大工作持续率/% · h ⁻¹	18	15	10	5	许用最大工作持续率/% · (10min) ⁻¹	36	30	20	10

注：1. 选型时，请按产品的型号规格选择（包括提升力规格、普通与慢速、结构型式、螺杆头部型式、行程、附加要求等）。

2. 对附加要求中的防转装置、双导向套、防护罩的结构型式及尺寸以及其他不明确的技术问题，请与生产单位联系。

3. 生产单位：南京高速齿轮箱厂配件制造公司、北京航天星云机电设备有限公司、宁波东力传动设备有限公司。

3.2 其他升降机

(1) 南京高速齿轮箱厂配件制造公司产品

① 锥齿轮螺旋丝杆升降机，主要用于舞台及大型联动平台等升降，产品型号为 SSL2.5、SSL5、SSL10、SSL15、SSL20、SSL25、SSL35、SSL50。主要特点：传动效率高，是相同型号蜗轮丝杆升降机的 1.3 ~ 1.4 倍；使用寿命较长；升降速度较快。

② 蜗轮滚珠丝杆升降机、锥齿轮滚珠丝杆升降机，是一种节能升降机，主要适用于使用频繁以及定位精度要求高的场合。产品的最大起升力为 2.5t、5t、10t、15t、20t、25t、35t、50t。主要特点：传动效率高，是同型号普通升降机的 3 ~ 4 倍；使用寿命长；升降速度快；轴向定位精度高。

③ 大型蜗轮螺杆升降机，型号有 SWL50、SWL100、SWL120、SWL150、SWL200。

(2) 北京航天星云机电设备有限公司产品

大型蜗轮丝杠升降机，型号有 QWL50、QWL100、QWL120。

参 考 文 献

- 1 徐灏主编. 机械设计手册. 第2卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 2 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会. 机械工程手册. 第9卷. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1996



第 18 篇 机械振动的控制及利用



主要撰稿 蔡学熙

审 稿 王 正 李长顺

HANDBOOK

本篇主要符号

A, a ——振幅, m	p ——压强, Pa
A ——面积, m^2	Q ——力, N
a ——加速度, m/s^2	q ——广义坐标, m 或 rad
a ——衰减系数, s^{-1}	R, r ——半径, m
B, b ——振幅, m	r ——质量偏心半径, m
B ——宽度, m	$R(\tau)$ ——相关函数
C ——黏性阻尼系数 (即线性阻尼系数), $N \cdot s/m$	$S(\omega)$ ——功率谱密度函数
C_c ——临界阻尼系数, $N \cdot s/m$	S ——刚度比
C_e ——等效阻尼系数, $N \cdot s/m$	T ——周期, s
C_φ ——黏性扭转 (或摆动) 阻尼系数, $N \cdot m \cdot s/rad$	T ——张力, N
D, d ——直径, m	T ——动能, J 或 $N \cdot m$
D ——抛掷指数	T ——传递率
E ——拉压弹性模量, Pa 或 N/m^2	t ——时间, s
$F(f), F(\omega)$ ——时域函数的傅里叶变换	U ——运动位移幅值, m
$F(x)$ ——概率分布函数	U ——弹性势能, $N \cdot m$
f ——频率, Hz	V ——体积, m^3
f_d ——有阻尼固有频率, Hz	V ——速度, m/s
f_i ——多自由度系统 i 阶固有频率, Hz	V ——势能, J 或 $N \cdot m$
f_n ——固有频率, Hz	v ——速度, m/s
$f(t)$ ——时域函数	x, y, z ——位移, m
$f(x)$ ——概率密度函数	\dot{x}, \dot{y} ——速度, m/s
I ——转动惯量, $kg \cdot m^2$	\ddot{x}, \ddot{y} ——加速度, m/s^2
I ——冲量, $N \cdot s$	Z ——频率比
I_p ——极转动惯量, $kg \cdot m^2$	α ——转角, rad
i ——传动比	α ——相位角, rad
J ——截面惯性矩, m^4	α ——倾角, ($^\circ$)
J_p ——截面极惯性矩, m^4	α ——衰减系数
K ——刚度, N/m	β ——转角, rad
K_d ——共振时动刚度的模, N/m	β ——相位差角, rad
K_e ——等效刚度, N/m	β ——放大因子
K_φ ——扭转刚度, $N \cdot m/rad$	β ——材料损耗因子
L, l ——长度, m	γ ——转角, rad
M, m ——质量, kg	δ ——柔度, m/N
M ——力矩, 弯矩, $N \cdot m$	δ ——相对位移, m
M ——扭矩, $N \cdot m$	δ ——对数衰减率
N ——功率, W 或 kW	δ ——振动方向角, ($^\circ$)
N ——正压力, Pa 或 N/m^2	δ ——静变形, m
n ——转速, r/min	ζ ——阻尼比
n ——每分钟振次, min^{-1}	η ——隔振系数
n_c ——临界转速, r/min	η ——传动效率
P ——力, N	η ——损耗因子, 摩擦阻尼参数
	θ ——转角, rad
	θ ——角位移, rad

$\dot{\theta}$ ——角速度, rad/s	τ ——时间, s
$\ddot{\theta}$ ——角加速度, rad/s ²	φ ——转角, rad
θ ——扭转(或摆动)振幅, rad	φ ——角位移, rad
θ ——相位差角, rad	$\dot{\varphi}$ ——角速度, rad/s
μ ——泊松比	$\ddot{\varphi}$ ——角加速度, rad/s ²
μ ——质量比	φ ——相位差角, rad
μ ——摩擦因数	ψ ——相位差角, rad
ρ ——回转半径, m	ψ ——角位移, rad
ρ_v, ρ ——密度, kg/m ³	ω ——角频率, rad/s
ρ_A ——面密度, kg/m ²	ω_d ——有阻尼固有角频率, rad/s
ρ_l ——线密度, kg/m	ω_n ——固有角频率, rad/s
σ ——应力, Pa 或 N/m ²	M ——质量矩阵
σ ——标准离差	K ——刚度矩阵

第 1 章 概 述

1 机械振动的分类及机械工程中的振动问题

1.1 机械振动的分类

振动与冲击是自然界中广泛存在的现象。振动系统具体说是机械系统在其平衡位置附近的往复运动。冲击则是系统在瞬态或脉冲激励下的运动。

机械振动的分类方法，由着眼点的不同可有不同的分类。见表 18-1-1，表中未包括对冲击、波动等的分类。

表 18-1-1 机械振动的分类

分 类		基 本 特 征	
按产生振动的原因	自由振动	系统在去掉激励或约束之后所出现的振动。这种振动靠弹性力、惯性力和阻尼力来维持。振动的频率就是系统的固有频率。因阻尼力的存在，振动逐渐衰减，阻尼越大，衰减越快。如系统无阻尼，则称这种振动为无阻尼自由振动（这只是理想状态，实际上是不可能的）	
	受迫振动	外部周期性激励所激起的稳态振动。振动特征与外部激励力的大小、方向和频率有关，在简谐激励力作用下，能同时激发起以系统固有频率为振动频率的自由振动和以干扰频率为振动频率的受迫振动，其自由振动部分将逐渐衰减，乃至最终消失，只剩下恒幅受迫振动部分，即稳态振动响应	
	自激振动	由于外部能量与系统运动相耦合形成振荡激励所产生的振动。即非线性机械系统内，由非振荡性能量转变为振荡激励所产生的振动。当振动停止，振荡激励随之消失。振动频率接近于系统的固有频率	
	参激振动	激励方式是通过周期地或随机地改变系统的特性参量来实现的振动。系统中能量缓慢聚集又快速释放而形成运动量有快速变化段和慢速变化段的张弛振动为其一例	
按随时间的变化	确定性系统	常参量系统	即定常系统，系统中的各个特性参量（质量、刚度、阻尼系数等）都不随时间而变，即它们不是时间的显函数。用常系数微分方程描述。简谐运动只是其一个简单的例子
		变参量系统	系统中有一个特性参量随时间而变。用变系数微分方程描述
	随机系统	对未来任一给定时刻，物体运动量的瞬时值均不能根据以往的运动历程预先加以确定的振动。只能以数理统计方法来描述系统的运动规律	
按振动系统结构参数	线性振动	系统的惯性力、阻尼力和弹性恢复力分别与加速度、速度和位移的一次方成正比，能用常系数线性微分方程描述的振动。能运用叠加原理	
	非线性振动	系统的惯性力、阻尼力和弹性恢复力具有非线性特性，只能用非线性微分方程描述的振动。不能运用叠加原理	

分 类		基 本 特 征	
按振动系统的自由度数目	单自由度系统的振动	用一个广义坐标就能确定系统在任意瞬时位置的振动	
	多自由度系统的振动	用两个或两个以上广义坐标才能确定系统在任意瞬时位置的振动	
	连续系统的振动	需要用无穷多个广义坐标才能确定系统在任意瞬时位置的振动。通常可以简化为有限多个自由度系统振动问题来处理	
按振动形式	纵向直线振动	振动体上的质点只作沿轴线方向的直线振动	无论哪种运动都具有相同的规律性。有关直线振动与定轴摆动振动系统类比见表 18-3-4 系统
	横向直线振动	振动体上的质点只作沿垂直线方向的直线振动	
	弯曲振动	振动体作弯曲的振动。通常为横向振动	
	扭转振动	振动体垂直轴线的平面上的质点相对作绕轴线回转振动	
	摆动	振动体上的质点绕轴线的摆动振动	
	圆振动或椭圆振动	振动体上的质点作圆振动或椭圆振动	

1.2 机械工程中常遇到的振动问题

表 18-1-2

机械工程常见的振动问题

振动问题	内容及其控制	振 动 利 用
共振	当外部激振力的频率和系统固有频率接近时,系统将产生强烈的振动,这在机械设计和使用中,多数情况下是应该防止或采取控制措施。例如:隔振系统和回转轴系统应使其工作频率和工作转速在各阶固有频率和各阶临界转速的一定范围之外。工作转速超过临界转速的机械系统在启动和停机过程中,仍然要通过共振区,仍有可能产生较强烈的振动,必要时需采取抑制共振的减振、消振措施	在近共振状态下工作的振动机械,就是利用弹性力和惯性力基本接近于平衡以及外部激振力主要用来平衡阻尼力的原理工作的,因而所需激振力和功率较非共振类振动机械显著减小
自激振动	自激振动中有机床切削过程的自振、低速运动部件的爬行、滑动轴承油膜振荡、传动带的横向振动、液压随动系统的自振等。这些对各类机械及生产过程都是一种危害,应加以控制	蒸汽机、风镐、凿岩机、液压气动碎石机等均为自激振动应用实例
不平衡惯性力	旋转机械和往复机械产生振动的根本原因,都是由于不平衡惯性力所造成的。为减小机械振动,应采取平衡措施。有关构件不平衡力的计算和静动平衡及各类转子的许用不平衡量已分别在“一般设计资料篇”和“轴及其连接篇”进行了介绍	惯性振动机械就是依靠偏心质量回转时所产生的离心力作为振源的
振动的传递	为减小外部振动对机械设备的的影响或机械设备的振动对周围环境的影响,可配置各类减振器,进行隔振、减振和消振	弹性连杆式激振器就是将曲柄连杆形成的往复运动,通过连杆弹簧传递给振动机体的
非线性振动	在减振器设计中涉及的摩擦阻尼器和粘弹性阻尼器均为非线性阻尼器。自激振动系统和冲击振动系统也都是非线性振动系统。实际上客观存在的振动问题几乎都是非线性振动问题,只是某些系统的非线性特性较弱,作为线性问题处理罢了	振动利用问题几乎都是利用振动系统的非线性特性工作的,例如:振动输送类振动机等
冲击振动	当机械设备或基础受到冲击作用时,常常需要校核系统对冲击的响应,必要时采取隔振措施	冲击类振动机实际上都可以转换为非线性振动问题加以处理

续表

振动问题	内容及其控制	振动利用
随机振动	随机振动的隔离和减振与确定性振动的隔离和消减有两点重要区别:一是随机振动的隔离和消减只能用数理统计方法来解决;二是对宽带随机振动隔离措施已经失效,只能采取阻尼减振措施	
机械结构抗振能力及噪声	衡量机械结构抗振能力的最重要的指标是动刚度,复杂结构的动刚度多采用有限单元法进行优化设计,若要提高结构的动刚度并控制噪声源,通常是合理布置筋板和附以粘弹性阻尼材料。这种问题涉及面较宽,因篇幅限制,本篇不加以讨论	
振动的测试与测试	振动设计中常碰到系统阻尼系数很难确定的问题,解决这类问题惟一可靠的方法是测试。另外,由于振动设计模型忽略了许多振动影响因素,使得振动系统的实际参数与设计参数间有较大差别,特别像动力吸振器要求附加系统与主振系统的固有频率一致性较高的一类问题,设备安装后必须进行调试,否则振动设计将不能发挥应有的作用。对于实际经验不丰富的设计人员,调试前,可凭借测试对实际系统有一个充分了解,确定怎样调试,调试后又要借助测试检验调试结果,因此,测试是振动设计的一个重要工具	
颤振	<p>颤振是弹性体(或结构)在相对其流动的流体中,由流体动力、弹性力和惯性力的交互作用产生的自激振动</p> <p>颤振的重要特征是存在临界颤振速度 V_f 和临界颤振频率 ω_f。即在一定密度和温度的流体中,弹性体呈持续简谐振动,处于中性稳定状态时的最低流速和相应的振动频率。流速低于 V_f 时,弹性体或结构对外界扰动的响应受到阻尼。在高于 V_f 的一定流速范围内,所有流速出现发散振动或幅度随流速增加的等幅振动</p> <p>由于颤振常导致工程结构在极短时间内严重损坏或引起疲劳而损坏。在飞行器、水翼船、叶片机械和大型桥梁等工程结构的设计中,均应仔细分析,消除其影响</p>	
颤抖	机械运动中发生颤抖现象,例如本来应是一个稳定运动却发生暂时停顿颤动再运动的情况,或者像向前输送物料的振动输送机发生横向的振动或扭振。后者往往是振动源位置有偏差或振动件没调整好的缘故;前者往往是液压系统的毛病,例如背压不足等原因	

2 有关振动的部分标准

2.1 有关振动的部分国家标准

(1) 基础标准和一般标准

GB/T 2298—1991	机械振动与冲击 术语
GB/T 10084—1988	振动、冲击数据分析和表示方法
GB/T 15619—1995	人体机械振动与冲击术语
GB/T 6444—1995	机械振动 平衡术语
GB/T 14465—1993	材料阻尼特性术语
GB/T 10179—1988	液压伺服振动试验设备特性的描述方法
GB/T 13437—1992	扭转振动减振器特性描述
GB/T 16305—1996	扭转振动减振器
GB/T 8540—1987	振动与冲击隔离器确定特性要求导则
GB/T 10179—1988	液压伺服振动试验设备特性的描述方法
GB 11349.1~3—1989~1992	机械导纳的试验确定 基本定义与传感器等
GB/T 10408.8—1997	振动入侵探测器

- GB/T 11353—1989
 GB/T 14123—1993
 GB/T 14125—1993
 GB/T 15168—1994
 GB/T 8540—1987
 GB/T 7670—1987
 GB/T 6075.1~6—1999~2002
 GB/T 13866—1992
 GB/T 13061—1991
 GB 50011—2001
 GB 50223—1995
 (2) 平衡和试验台
 GB/T 6557—1999
 GB/T 7221—1987
 GB/T 7662—1987
 GB/T 9239—1988
 GB/T 4201—1984
 GB/T 16908—1997
 GB/T 13309—1991
 GB/T 18328—2001
 GB/T 13310—1991
 GB/T 15480—1995
 GB/T 4201—1984
 GB/T 5170.13~19—1985~1990
 GB 12977—1991
 GB/T 18575—2001
 (3) 各种机器、设备的振动标准
振动机械
 GB 16490—1996
 GB 13750—2004
 GB/T 8517—2004
 GB/T 8518—1987
 GB/T 8422—1987
 GB/T 8511.1—1995
 GB/T 8511.2—1995
 GB/T 8511.3—1995
 GB/T 17046—1997
 GB/T 4478—1995
 GB 3883.12—1991
各种往复机械
 GB/T 12779—1991
 GB/T 7777—2003
 GB/T 10397—2003
 GB/T 7184—1987
 GB/T 10398—1989
 振动发生器辅助台设备特性的描述方法
 (已调整为机械行业标准 JB/T 7914—1995)
 冲击台的特性描述
 振动与冲击对室内振敏设备影响的测量与数据呈报方法
 振动与冲击隔离器性能测试方法
 振动与冲击隔离器确定特性要求导则
 电动振动试验设备特性的描述方法
 在非旋转部件上测量和评价机器的机械振动 第1~6部分
 振动与冲击测量 描述惯性式传感器特性的规定
 汽车悬架用空气弹簧
 建筑抗震设计规范
 建筑抗震设防分类标准
 挠性转子机械平衡的方法和准则
 现场平衡设备的说明和评价
 立式平衡机校验法
 刚性转子平衡品质 许用不平衡的确定
 通用卧式平衡机校验法
 机械振动 轴与配合件平衡的键准则
 机械振动台技术条件
 振动台选择指南
 电动振动台技术条件
 电工电子产品用振动台、冲击台、碰撞台台面安装尺寸系列
 用卧式平衡机校验法
 电工电子产品环境试验设备基本参数检定方法
 平衡机 防护罩和其他安全措施
 建筑幕墙抗震性能振动台试验方法
 振动给料机安全规范
 振动沉拔桩机 安全操作规程
 振动桩锤
 振动桩锤技术条件
 振动压路机可靠性试验方法
 自行式振动压路机
 拖式振动压路机
 手扶式振动压路机
 振动压路机 零部件 承受机械振动的评价
 振动压路机性能试验方法
 手持式电动工具的安全 第二部分:混凝土振动器(插入式振动器)的专用要求(可供认证用)
 往复式机器整机振动测量与评级方法
 容积式压缩机机械振动测量与评价
 中小功率柴油机 振动评级
 中小功率柴油机 振动测量方法
 小型汽油机 振动测试方法

- GB/T 10399—1989 小型汽油机 振动评级
- GB/T 13364—1992 往复泵机械振动测试方法
- GB/T 6072.5—2003 往复式内燃机——性能 第5部分：扭转振动
- GB/T 2820.9—2002 往复式内燃机驱动的交流发电机组 第9部分：机械振动的测量和评价
- 旋转机械**
- GB/T 11348.1—1999 - 11348.5—2002 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第1~5部分
- GB/T 16768—1997 金属切削机床 振动测量方法
- GB/T 13574—1992 金属切削机床 静刚度检验通则
- GB/T 16769—1997 金属切削机床 噪声声压级测量方法
- GB/T 16908—1997 机械振动 轴与配合件平衡的键准则
- GB 10068—2000 轴中心高为56mm及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值
- GB/T 15371—1994 曲轴轴系扭转振动的测量与评定方法
- GB/T 17189—1997 水力机械振动和脉动现场测试规程
- GB/T 18051—2000 潜油电泵振动试验方法
- GB/T 10895—2004 离心机 分离机 机械振动测试方法
- 船舶**
- GB/T 7727.4—1987 船舶通用术语 船体结构、强度及振动
- GB/T 14696—1993 船舶振动测量规程
- GB/T 14697—1993 船舶局部振动测量规程
- GB/T 16301—1996 船舶机舱辅机振动烈度评价
- GB/T 11706—1989 船舶机舱辅机振动烈度测量方法
- GB/T 14697—1993 船舶局部振动测量规程
- GB/T 7094—2002 船用电气设备振动（正弦）试验方法
- GB/T 7452.1—1996 商船振动综合评价基准
- GB/T 7452.2—1996 船长小于100m商船振动综合评价基准
- GB/T 7453—1996 船体振动测量
- 车辆类**
- GB/T 8419—1987 土方机械 司机座椅 振动试验方法和限值
- GB/T 8421—2000 农业轮式拖拉机 驾驶座传递振动的试验室测量与限值
- GB/T 7927—1987 手扶拖拉机振动测量方法
- GB/T 7183—1987 铁道干线电力机车车内设备机械振动烈度评定方法
- GB/T 7031—1986 车辆振动输入 路面平度表示方法
- GB/T 13860—1992 地面车辆机械振动测量数据的表述方法
- GB/T 5913—1986 柴油机车车内设备机械振动烈度评定方法
- 其他设备**
- GB/T 10431—1989 紧固件横向振动试验方法
- GB/T 8910.1—2004 ~ 8910.3—2004 手持便携式动力工具 手柄振动测量方法 第1部分~第3部分：总则、铆钉机、凿岩机和回转锤
- GB/T 4857.7—1992 包装 运输包装件 正弦定频振动试验方法
- GB/T 4857.10—1992 包装 运输包装件 正弦变频振动试验方法
- GB/T 4857.23—2003 包装 运输包装件 随机振动试验方法
- GB/T 8169—1987 包装用缓冲材料振动传递特性试验方法
- GB/T 7287.12—1987 红外辐射加热器振动试验方法
- GB/T 2423.10 - 49—1995 ~ 1997 电工电子产品环境试验 第二部分
- GB/T 2424.22—1986 电工电子产品基本环境试验规程 温度（低温、高温）和振动（正

- 弦) 综合试验导则
 电工电子产品环境试验温度(低温、高温)/低气压/振动(正弦)
 综合试验导则
- GB/T 2424.24—1995
 GB/T 2820.9—2002 往复复式内燃机驱动的交流发电机组 第9部分:机械振动的测量和评价
- GB/T 10263.8—1988 辐射探测器环境试验基本要求与方法 振动试验
- GB/T 11287—2000 电气继电器 第21部分:量度继电器和保护装置的振动、冲击、碰撞和地震试验 第1篇:振动试验(正弦)
- (4) 振动测量仪器的使用和要求
- GB/T 13824—1992 对振动烈度测量仪的要求
- GB/T 13436—1992 扭转振动测量仪器技术要求
- GB/T 14412—1993 机械振动与冲击 加速度计的机械安装
- GB/T 6383—1986 振动空蚀试验方法
- GB/T 6587.4—1986 电子测量仪器 振动试验
- GB/T 13823.1—1993 ~ 13823.18—1997 振动与冲击传感器的校准方法 基本概念等
- GB/T 4439—1984 工业自动化仪表工作条件 振动
- GB/T 4451—1984 工业自动化仪表振动(正弦)试验方法
- GB/T 11606.8—1989 分析仪器环境试验方法 振动试验
- (5) 人体振动与环境
- GB/T 15619—1995 人体机械振动与冲击术语
- GB 10070—1988 城市区域环境振动标准
- GB/T 17958—2000 手持式机械作业防振要求
- GB/T 11523—1989 手传振动测量规范
- GB/T 10071—1988 城市区域环境振动测量方法
- GB/T 13441—1992 人体全身振动环境的测量规范
- GB/T 16440—1996 振动与冲击 人体的机械驱动点阻抗
- GB/T 16441—1996 振动与冲击 人体Z轴向的机械传递率
- GB/T 13442—1992 人体全身振动暴露的舒适性降低界限和评价准则
- GB/T 14790—1993 人体手传振动的测量与评价方法
- GB/T 18368—2001 卧姿人体全身振动舒适性的评价
- GB/T 18703—2002 手套掌部振动传递率的测量与评价
- GB/T 13670—2000 铁道车辆乘客及乘务员所承受的振动的测量与分析
- GB/T 10910—2004 农业轮式拖拉机和田间作业机械驾驶员全身振动的测量
- GB/T 13876—1992 农业轮式拖拉机驾驶员全身振动的评价指标
- GB/T 18707.1—2002 机械振动 评价车辆座椅振动的实验室方法 第1部分:基本要求
- GB/T 5395—1995 油锯 手传振动测定方法
- GB 12349—1990 工业企业厂界噪声测量方法
- GB 12348—1990 工业企业厂界噪声标准
- GB 18083—2000 以噪声污染为主的工业企业卫生防护距离标准
- GB/T 17483—1998 液压泵空气传声噪声级测定规范
- GB/T 13921—1992 关于固定结构特别是建筑物和海上结构的居住者对低频(0.063 ~ 1 Hz)水平运动响应的评价导则
- (其他见“有关机械噪声的部分国家标准”)

2.2 国际振动标准简介

国际标准化组织 ISO 曾颁布了一系列振动标准,作为机器质量评定的依据。主要有以下标准。

ISO 2372 工作转速从 10r/s 到 200r/s 的大型旋转机器的机械振动评价标准。是评价机器振动的基础。它将振动烈度从人们可感觉的门槛值 0.071mm/s 为起点, 到 71mm/s 的范围内分为 15 个量级, (得到第 1 个振动烈度范围为 0.071 ~ 0.112mm/s 是 0.11 级, 下同。) 相邻两个烈度量级的比约为 1.6, 即相差 4dB。

又将机器分成四类: I 类 ~ IV 类, 对每类机器都有评定有 A, B, C, D 四个品质级列有表 (见下面第 3 节的详细说明)。

ISO 3945: 速度范围从 10r/s 到 200r/s 的大型旋转机器的机械振动—现场振动烈度的测量与评定, 是 ISO 2372 的补充。该标准所规定的振动烈度评定等级还决定于机器系统的支承状态, 分为刚性支承和挠性支承两大类。

ISO 7919 系列 旋转机械的机械振动—在回转轴上测量和评价标准。共有 5 部分:

ISO 7919.1—1996 第 1 部分: 总则;

ISO 7919.2—2001 第 2 部分: 同步转速为 1500r/min, 1800r/min, 3000r/min 及 3600r/min, 功率超过 50MW 的陆基透平与发电机;

ISO 7919.3—1996 第 3 部分: 耦合的产业机器;

ISO 7919.4—1996 第 4 部分: 气体透平装置;

ISO 7919.5—1997 第 5 部分: 水力发电和排灌装置。

ISO 10816 系列 机械振动—在非旋转部件上测量的机械振动的评价。在非旋转部件上测量一般指在轴承盖上测量, 上述标准基本上可以作为振动频率在 10 ~ 1000Hz 范围内的机器振动烈度的等级评定。共有 7 部分:

ISO 10816.1—1995 第 1 部分: 总则;

ISO 10816.2—2001 第 2 部分: 同步转速为 1500r/min, 1800r/min, 3000r/min 及 3600r/min, 功率超过 50MW 的陆基透平与发电机;

ISO 10816.3—1998 第 3 部分: 额定功率大于 15kW, 额定转速从 0 到 15000r/min 的产业机器, 在现场测量;

ISO 10816.4—1998 第 4 部分: 气体透平装置, 不包括航空衍生的装置;

ISO 10816.5—2000 第 5 部分: 水力发电和排灌装置;

ISO 10816.6—1995 第 6 部分: 功率大于 100kW 的往复式机器;

ISO 10816.7 第 7 部分: 工业用的旋翼泵

ISO 2925 机械振动—平衡词汇

ISO 2940 机械振动—刚性转子所需的平衡质量

ISO 11342 柔性转子的机械平衡

ISO 13372 机器外业环境检测与诊断术语

ISO 13373-1; 2001 机器振动的环境检测与诊断—第一部分: 总过程

ISO 13379; 2003 机器的环境检测与诊断—数据说明和诊断技术总则

ISO 13380 特性的检测与诊断

ISO 14694 工业风机振动等级和平衡质量规范

ISO 14695 工业风机振动的测量方法

ISO 17359 机器的环境检测与诊断

ISO 17369; 2003 机器振动的环境检测与诊断—总则

ISO 18436 训练与鉴定合格证专题

ISO 20806 转子的现场平衡

3 机械振动等级的评定

机械种类很多, 针对各种类型的机械有各自的标准。对于振动的特征可以用位移、速度或加速度检测来衡量与评定; 振动的量值也可用相对值来评定。但通常还是采用 ISO 2372 的标准, 以振动速度来评定机械的振动程度。

3.1 振动烈度的确定

① 如上所说，一般用振动速度作为标准来评定机械的振动程度。美国和加拿大以振动速度的峰值来表示机器的振动特征。西欧国家和我国多采用振动速度的有效值来衡量机器的振动特征。由于机械振动一般都用简谐振动来表示，因此上面说的振动的速度的峰值和速度的有效值之间有如下的简单关系，是可以互相换算的：

$$V_{\max} = \sqrt{2}V_e = 2\pi fA \quad (\text{mm/s})$$

式中 V_{\max} ——振动速度的峰值，mm/s；

V_e ——振动速度的有效值，mm/s；

f ——频率，Hz；

A ——振幅，mm。

② 根据 ISO 的建议，以振动速度的均方值来衡量机器的振动烈度。振动的测量在三个方向进行：垂直、纵向、横向上的几个主要振动的点。以上三个方向的振动速度的有效值的均方根值表示机器的振动烈度：

$$V_m = \sqrt{\left(\frac{\sum V_x}{N_x}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_y}{N_y}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_z}{N_z}\right)^2} \quad (\text{mm/s})$$

式中 $\sum V_x, \sum V_y, \sum V_z$ ——垂直、纵向、横向三个方向各自振动速度的有效值；

N_x, N_y, N_z ——垂直、纵向、横向三个方向主要振点的各自测点数目。

按 ISO 2732，为便于实用，把振动的品级分为四级：

A 级——良好，不会使机械设备的正常运转发生危险的振动级；

B 级——许可，可验收的，允许的振动级；

C 级——可容忍，振动级是允许的，但有问题，不满意，应设法降低的振动级；

D 级——不允许，振动级太大，机器不得运转。

表 18-1-3 是我国参考如上节所述的 ISO 2732（只有 4 类）、ISO 3945（只有 2 类）及其他国际标准后得出的，对于尚无国家标准和行业标准的各种设备可以参照执行。表中把机器和设备分为七大类。各种类型的分类大致如下。

I 类：在正常条件下与整机连成一体的电动机和机器零件（15kW 以下的生产用电机；中心高 $\leq 225\text{mm}$ 、转速 $\leq 1800\text{r/min}$ 或中心高 $> 225\text{mm}$ ，转速 $\leq 1000\text{r/min}$ 的泵）。

II 类：没有专用基础的中等尺寸的机器（输出功率 15 ~ 75kW 的电机）；刚性固定在专用基础上的发动机和机器，300kW 以下（转速 $> 1800 \sim 4500\text{r/min}$ 、中心高 $\leq 225\text{mm}$ 或转速 $> 1000 \sim 1800\text{r/min}$ 、中心高 $> 225 \sim 550\text{mm}$ 或转速 $> 600 \sim 1500\text{r/min}$ 、中心高 $> 550\text{mm}$ 的泵）。

III 类：安装在刚性非常大的（在测振方向上）、重的基础上的、带有旋转质量的大型原动机和其他大型机器（中心距 $\leq 225\text{mm}$ 、转速 $> 4500 \sim 12000\text{r/min}$ 或中心距 $> 225 \sim 550\text{mm}$ 、转速 $> 1800 \sim 4500\text{r/min}$ 或中心距 $> 550\text{mm}$ 、转速 $> 1500 \sim 3600\text{r/min}$ 的泵）。

IV 类：安装在刚性非常小的（在测振方向上）基础上、带有旋转质量的大型原动机和其他大型机器（透平发动机组，特别是轻型透平发动机组；中心高 $> 225 \sim 550\text{mm}$ 、转速 $> 4500 \sim 12000\text{r/min}$ 或中心高 $> 550\text{mm}$ 、转速 $> 3600 \sim 12000\text{r/min}$ 的泵；对称平衡式压缩机）。

V 类：安装在刚性非常大的（在测振方向上）基础上带有不平衡惯性力的机器和机械驱动系统（由往复运动造成，包括角度式、对置式压缩机；标定转速 $\leq 3000\text{r/min}$ 、刚性支承的多缸柴油机）。

VI 类：安装在刚性非常小的（在测振方向上）基础上、带有不平衡惯性力的机械和机器驱动系统（立式、卧式压缩机；刚性支承、转速 $> 3000\text{r/min}$ 或弹性支承、转速 $\leq 3000\text{r/min}$ 的多缸柴油机）；具有松动耦合旋转质量的机器（如研磨机中的回转轴）；具有可变的不平衡力矩能自成系统地进行工作而不用连接件的机器（如离心机）；加工中用的振动筛、动态疲劳试验机和振动台。

VII 类：安装在弹性支承上、转速 $> 3000\text{r/min}$ 的多缸柴油机；非固定式压缩机。

我国有些设备标准不完全按表 18-1-3 的规定，例如对于单缸柴油机（标定转速 $\leq 3000\text{r/min}$ ）的标准见表 18-1-4。

表 18-1-3

推荐的机械设备的振动标准

分级范围	振动烈度 V_m / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	分贝 /dB	机械设备的类别						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
0.11	0.071 ~ 0.112	81	A	A	A	A	A	A	A
0.18	0.112 ~ 0.18	85							
0.28	0.18 ~ 0.28	89							
0.45	0.28 ~ 0.45	93							
0.71	0.45 ~ 0.71	97							
1.12	0.71 ~ 1.12	101	B	B	B	B	B	B	A
1.8	1.12 ~ 1.8	105							
2.8	1.8 ~ 2.8	109	C	C	C	C	C	C	B
4.5	2.8 ~ 4.5	113							
7.1	4.5 ~ 7.1	117							
11.2	7.1 ~ 11.2	121	D	D	D	D	D	D	B
18	11.2 ~ 18	125							
28	18 ~ 28	129							
45	28 ~ 45	133							
71	45 ~ 71	137							
112	71 ~ 112	141							

注：振动速度级的基准取为 $V_{0(\text{eff})} = 10^{-6} \text{cm/s}_0$ 。

表 18-1-4

单缸柴油机的等级和振动烈度
(标定转速 $\leq 3000 \text{r/min}$)

等级	水 冷		风 冷	
	刚性支承	弹性支承	刚性支承	弹性支承
	振动烈度限值/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$			
A	7.1	11.2	11.2	18.0
B	11.2	18.0	18.0	28.0
C	18.0	28.0	28.0	45

3.2 泵的振动烈度的评定举例

基本上采用国际标准 ISO 2372。但在振动速度有效值上只取最大的一个方向。

立式泵主要测点的具体位置应通过试测确定，即在测点的水平圆周上试测，将测得的振动值最大处定为测点。

每个测点都要在三个互相垂直的方向（水平、垂直、轴向）进行振动测量。

比较主要测点，在三个方向（水平 X、垂直 Y、轴向 Z）、三个工况（允许用到的小流量、规定流量、大流量）上测得的振动速度有效值，其中最大的一个定为泵的振动烈度。

在 10 ~ 1000Hz 的频段内速度均方根值相同的振动被认为具有相同的振动烈度，确定泵的烈度级。

为了评价泵的振动级别，按泵的中心高和转速把泵分四类，见表 18-1-5。有了泵的分类与烈度级就可用表 18-1-3 来评价泵的振动级别为 A、B、C、D 哪一级。

表 18-1-5

中心高/mm	≤225	>225 ~ 550	>550
类别	转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$		
第一类	≤1800	≤1000	—
第二类	>1800 ~ 4500	>1000 ~ 1800	>600 ~ 1500
第三类	>4500 ~ 12000	>1800 ~ 4500	>1500 ~ 3600
第四类	—	>4500 ~ 12000	>3600 ~ 12000

注：1. 卧式泵的中心高规定为由泵的轴线到泵的底座上平面间的距离，mm。

2. 立式泵本来没有中心高，为了评价它的振动级别，取一个相当尺寸当作立式泵的中心高；即把立式泵的出口法兰密封面到泵轴线间的投影距离定为它的相当中心高。

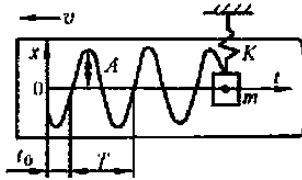
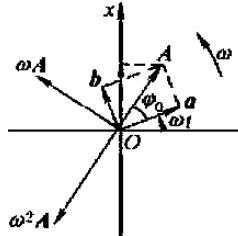
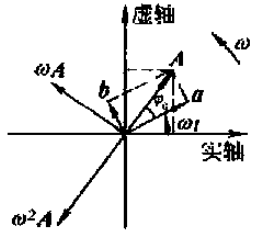
第 2 章 机械振动的基础资料

机械振动是物体（振动体）在其平衡位置附近的往复运动。振动的时间历程是指以时间为横坐标，以振动体的某个运动参数（位移、速度或加速度）为纵坐标的线图，用来描述振动的运动规律。振动的时间历程分为周期振动和非周期振动。

1 机械振动表示方法

1.1 简谐振动表示方法

表 18-2-1

项 目	时间历程表示法	旋转矢量表示法	复数表示法
简图			
说明	<p>作简谐振动的质量 m 上的点光源照射在以运动速度为 v 的紫外线感光纸上记录的曲线</p>	<p>矢量 A 或 $(a + b)$ 以等角速度 ω 逆时针方向旋转时，在坐标轴 x 上的投影</p>	<p>矢量 A 或 $(a + b)$ 以等角速度 ω 逆时针方向旋转时，同时在实轴和虚轴上投影</p>
	<p>T——周期, s; f_0——频率, Hz. $f_0 = \frac{1}{T}$; ω——角频率, rad/s, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0$;</p> <p>$A$——振幅, m; φ——相位角, rad, $\varphi = \omega t$; φ_0——初相角, rad, $\varphi_0 = \omega t_0$;</p> <p>$|a| = |A| \cos\varphi_0$; $|b| = |A| \sin\varphi_0$</p>		
振动位移	$x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$		$x = A e^{i(\omega t + \varphi_0)}$
振动速度	$\dot{x} = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$		$\dot{x} = i \omega A e^{i(\omega t + \varphi_0)}$
振动加速度	$\ddot{x} = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$		$\ddot{x} = -\omega^2 A e^{i(\omega t + \varphi_0)}$
振动位移、速度、加速度的相位关系	<p>振动位移、速度和加速度的角频率都等于 ω。最大位移即振幅为 A</p> <p>振动速度矢量比位移矢量超前 90°，最大速度 $v_0 = \omega A$</p> <p>振动加速度矢量又超前速度矢量 90°，最大加速度 $a_0 = \omega^2 A$</p>		

注：时间历程曲线表示法是振动时域描述方法，也可以用来描述周期振动、非周期振动和随机振动。

1.2 周期振动幅值表示法

表 18-2-2

名称	幅值	简谐振动幅值比	简图
峰值 A	$x(t)$ 的最大值	1	
峰峰值 A_{PP}	$x(t)$ 的最大值和最小值之差	2	
平均绝对值 \bar{A}	$\frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$	0.636	
均方值 A_{ms}	$\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt$	—	
均方根值(有效值) A_{rms}	$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$	0.707	

注: 1. 周期振动幅值表示法是一种幅域描述方法, 也可以用来描述非周期振动和随机振动。

2. 对简谐振动峰值即为振幅, 峰峰值即为双振幅。

1.3 振动频谱表示法

表 18-2-3

项目	周期性振动	非周期性振动
振动时间函数 $f(t)$ 的傅里叶变换	$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$ $= c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n)$ $= \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n e^{in\omega_0 t}$	$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$ $= \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{i2\pi ft} df$
振动的频谱表 达式	傅里叶系数: $\left(\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0 \right)$ $a_0 = c_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt$ $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_0 t dt$ 幅值谱: $c_n(\omega) = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ 相位谱: $\varphi_n(\omega) = \arctan(-b_n/a_n)$ 复谱: $D_n(\omega_0) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-in\omega_0 t} dt$ $D_n(f_0) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-i2\pi n f_0 t} dt$	$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$ $F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i2\pi ft} dt$
图例	<p>(a)</p>	<p>(b)</p>
		<p>(c)</p>

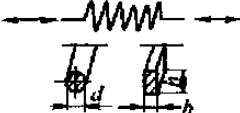



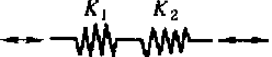
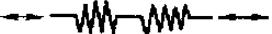
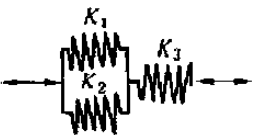
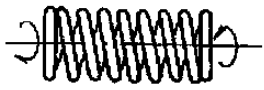

注: 图 a、b、c 的下图为上图的频谱。图 a 的下图表示只有两个谐波分量, 为完全谱。图 b 的下图只表示前四个谐波分量, 故为非完全谱。该方法是振动的频域描述方法, 也可用以描述随机振动。

2 弹性构件的刚度

作用在弹性元件上的力（或力矩）的增量 T 与相应的位移（或角位移）的增量 δ_{st} 之比称为刚度。刚度 K 由下式计算：

$$K = T/\delta_{st} \quad (\text{N/m 或 N} \cdot \text{m/rad})$$

表 18-2-4 弹性元件的刚度

序号	构件型式	简图	刚度 $K/\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ($K_{\varphi}/\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$)												
1	圆柱形拉伸或压缩弹簧		圆形截面 $K = \frac{Gd^4}{8nD}$ 矩形截面 $K = \frac{4Ghb^3\Delta}{\pi nD}$ n ——弹簧圈数 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>h/b</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Δ</td> <td>0.141</td> <td>0.196</td> <td>0.229</td> <td>0.263</td> <td>0.281</td> </tr> </table>	h/b	1	1.5	2	3	4	Δ	0.141	0.196	0.229	0.263	0.281
h/b	1	1.5	2	3	4										
Δ	0.141	0.196	0.229	0.263	0.281										
2	圆锥形拉伸弹簧		圆形截面 $K = \frac{Gd^4}{2n(D_1^2 + D_2^2)(D_1 + D_2)}$ 矩形截面 $K = \frac{16Ghb^3\eta}{\pi n(D_1^2 + D_2^2)(D_1 + D_2)}$ $\eta = \frac{0.276\left(\frac{h}{b}\right)^2}{1 + \left(\frac{h}{b}\right)^2}$ D_1 ——大端中径, m D_2 ——小端中径, m												
3	两个弹簧并联		$K = K_1 + K_2$												
4	n 个弹簧并联		$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n$												
5	两个弹簧串联		$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$												
6	n 个弹簧串联		$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}$												
7	混合连接弹簧		$K = \frac{(K_1 + K_2)K_3}{K_1 + K_2 + K_3}$												
8	受扭圆柱弹簧		$K_{\varphi} = \frac{Ed^4}{32nD}$												
9	受弯圆柱弹簧		$K_{\varphi} = \frac{Ed^4}{32nD} \cdot \frac{1}{1 + E/2G}$												

序号	构件型式	简图	刚度 $K/N \cdot m^{-1}$ ($K_{\phi}/N \cdot m \cdot rad^{-1}$)
10	卷簧		$K_{\phi} = \frac{EI_{\phi}}{l}$ l ——钢丝总长
11	等截面悬臂梁		圆截面: $K = \frac{3\pi d^4 E}{64l^3}$ 矩形截面: $K = \frac{bh^3 E}{4l^3}$ $K = \frac{3EJ}{l^3}$
12	等厚三角形悬臂梁		$K = \frac{bh^3 E}{6l^3}$
13	悬臂板簧组 (各板排列成等强度梁)		$K = \frac{nbh^3 E}{6l^3}$ n ——钢板数
14	两端简支		$K = \frac{3EJl}{l_1^2 l_2^2}$ 当 $l_1 = l_2$ 时, $K = \frac{48EJ}{l^3}$
15	两端固定		$K = \frac{3EJl^3}{l_1^2 l_2^2}$ 当 $l_1 = l_2$ 时, $K = \frac{192EJ}{l^3}$
16	力偶作用于悬臂梁端部		$K_{\phi} = \frac{EJ}{l}$
17	力偶作用于简支梁中点		$K_{\phi} = \frac{12EJ}{l}$
18	力偶作用于两端固定梁中点		$K_{\phi} = \frac{16EJ}{l}$

续表

序号	构件型式	简图	刚度 $K/N \cdot m^{-1}$ ($K_{\varphi}/N \cdot m \cdot rad^{-1}$)												
19	受扭实心轴		$(a) K_{\varphi} = \frac{G\pi D^4}{32l}$ $(b) K_{\varphi} = \frac{G\pi D_k^4}{32l}$ $(c) K_{\varphi} = \frac{G\pi D_1^4}{32l}$ $(d) K_{\varphi} = 1.18 \frac{G\pi D_1^4}{32l}$ $(e) K_{\varphi} = 1.1 \frac{G\pi D_1^4}{32l}$ $(f) K_{\varphi} = \alpha \frac{G\pi b^4}{32l}$												
		<table border="1"> <tr> <td>a/b</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>1.43</td> <td>2.94</td> <td>4.57</td> <td>7.90</td> <td>11.23</td> </tr> </table>	a/b	1	1.5	2	3	4	α	1.43	2.94	4.57	7.90	11.23	
a/b	1	1.5	2	3	4										
α	1.43	2.94	4.57	7.90	11.23										
20	受扭空心轴		$K_{\varphi} = \frac{G\pi(D^4 - d^4)}{32l}$												
21	受扭锥形轴		$K_{\varphi} = \frac{3G\pi D_1^3 D_2^3 (D_2 - D_1)}{32l(D_2^3 - D_1^3)}$												
22	受扭阶梯轴		$\frac{1}{K_{\varphi}} = \frac{1}{K_{\varphi 1}} + \frac{1}{K_{\varphi 2}} + \frac{1}{K_{\varphi 3}} + \dots$												
23	受扭紧配合轴		$K_{\varphi} = K_{\varphi 1} + K_{\varphi 2} + \dots$												
24	两端受扭的矩形条		当 $\frac{b}{h} = 1.75 - 20$ $k_0 = \frac{\alpha G b h^3}{l}$ 式中: $\alpha = \frac{1}{3} - \frac{0.209h}{b}$												
	两端受扭的平板		当 $\frac{b}{h} > 20$ $k_0 = \frac{G b h^3}{3l}$												
25	周边简支中心受力的圆板		$K = \frac{4\pi E \delta^3}{3R^2(1-\mu)(3+\mu)}$												
26	周边固定中心受力的圆板		$K = \frac{4\pi E \delta^3}{3R^2(1-\mu^2)}$												
27	受张力的弦		$K = \frac{T(a+b)}{ab}$												

注: E —弹性模量, Pa; G —切变模量, Pa; J —截面惯性矩, m^4 ; D —弹簧中径、轴外径, m; d —弹簧钢丝直径、轴直径, m; n —弹簧有效圈数; δ —板厚, m; μ —泊松比; T —张力, N。

3 阻尼系数

黏性阻尼——又称线性阻尼。它在运动中产生的阻尼力与物体的运动速度成正比：

$$F = -C \dot{x}$$

式中，负号表示阻力的方向与速度方向相反。 C 称为阻尼系数，是线性的阻尼系数。

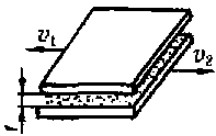
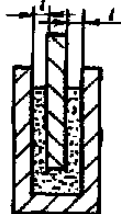
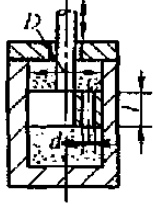
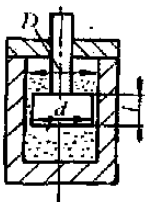
等效黏性阻尼——在运动中产生的阻尼力与物体的运动速度不成正比的。非黏性阻尼，有的可以用等效黏性阻尼系数表示，以简化计算。非黏性阻尼在每一个振动周期中所作的功 W 等效于某一黏性阻尼其系数为 C_e 所作的功，以 C_e 为等效黏性阻尼系数。即

$$C_e = W / (\pi \omega A^2)$$


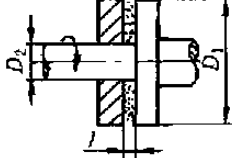
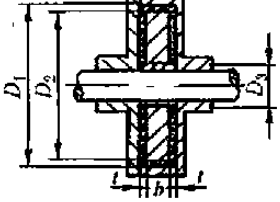
式中， W 为功； A 为振幅； ω 为角频率。

3.1 线性阻尼系数

表 18-2-5

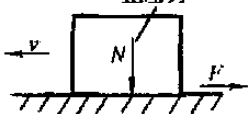
序号	机理	简图	阻尼力 F/N (或阻尼力矩 $M/N \cdot m$)	阻尼系数 $C/N \cdot s \cdot m^{-1}$ ($C_\varphi/N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$)
1	液体介于两相对运动的平行板之间		$F = \frac{\eta A}{t} v$ 流体动力黏度系数 $\eta, N \cdot s/m^2$ 15℃ 空气 $\eta = 1.82 \text{ N} \cdot s/m^2$ 20℃ 水 $\eta = 103 \text{ N} \cdot s/m^2$ 20℃ 酒精 $\eta = 176 \text{ N} \cdot s/m^2$ 15.6℃ 机油 $\eta = 11610 \text{ N} \cdot s/m^2$	$C = \frac{\eta A}{t}$ A——与流体接触面积, m^2 t——流体层厚度, m v——两平行板相对运动速度, $m/s, v = v_1 - v_2$
2	板在液体内平行移动		$F = \frac{2\eta A}{t} v$	$C = \frac{2\eta A}{t}$ A——动板一侧与液体接触面积, m^2
3	液体通过移动活塞上的小孔		圆孔直径为 d 时: $F = \frac{8\pi\eta l}{n} \left(\frac{D}{d}\right)^4 v$ n——小孔数 矩形孔面积为 $a \times b$ 时: $F = 12\pi\eta l \frac{A^2}{a^3 b} v (a \ll b)$ A——活塞面积, m^2	圆形孔: $C = \frac{8\pi\eta l}{n} \left(\frac{D}{d}\right)^4$ 矩形孔: $C = 12\pi\eta l \frac{A^2}{a^3 b}$
4	液体通过移动活塞柱面与缸壁的间隙		$F = \frac{6\pi\eta l d^3}{(D-d)^3} v$	$C = \frac{6\pi\eta l d^3}{(D-d)^3}$

续表

序号	机理	简图	阻尼力 F/N (或阻尼力矩 $M/N \cdot m$)	阻尼系数 $C/N \cdot s \cdot m^{-1}$ ($C_q/N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$)
5	液体介于两相对转动的同心圆柱之间		$M = \frac{\pi \eta l (D_1 + D_2)^3}{2(D_1 - D_2)} \omega$ ω ——角速度, rad/s	$C_q = \frac{\pi \eta l (D_1 + D_2)^3}{2(D_1 - D_2)}$
6	液体介于两相对运动的同心圆盘之间		$M = \frac{\pi \eta}{32t} (D_1^4 - D_2^4) \omega$	$C_q = \frac{\pi \eta}{32t} (D_1^4 - D_2^4)$
7	液体介于两相对运动的圆柱形壳和圆盘之间		$M = \pi \eta \left(\frac{b D_1^2 D_2^2}{D_1^2 - D_2^2} + \frac{D_2^4 - D_3^4}{16t} \right) \omega$	$C_q = \pi \eta \left(\frac{b D_1^2 D_2^2}{D_1^2 - D_2^2} + \frac{D_2^4 - D_3^4}{16t} \right)$

3.2 非线性阻尼的等效线性阻尼系数

表 18-2-6

序号	阻尼种类	阻尼机理	阻尼力 F/N	等效线性阻尼系数 $C_e/N \cdot s \cdot m^{-1}$
1	干摩擦阻尼		$F = \mu N$ 摩擦因数 μ : 钢与铸铁 $\mu = 0.2 \sim 0.3$ 钢与铸铁(涂油) $\mu = 0.08 \sim 0.16$ 钢与钢 $\mu = 0.15$ 钢与青铜 $\mu = 0.15$	$C_e = \frac{4\mu N}{\pi A \omega}$ 尼龙与金属 $\mu = 0.3$ 塑料与金属 $\mu = 0.05$ 树脂与金属 $\mu = 0.2$
2	速度平方阻尼	物体在流体中以很高速度运动时,也就是当雷诺数 Re 很大时,所产生的阻尼力与速度的平方成正比	$F = C_2 v^2$ 例:当活塞快速运动使流体从活塞上的小孔流出时 $C_2 = \frac{\rho S^3}{2(C_d a)^2}$ ρ ——流体密度, kg/m^3 ; S ——活塞面积, m^2 ; a ——小孔面积, m^2 ; C_d ——流出系数; v ——活塞运动速度, m/s	$C_e = \frac{8}{3\pi} C_2 \omega A$ 孔长较短 $C_d = 0.6$ 孔长为直径 3 倍,边缘为直角 $C_d = 0.8$ 孔长为直径 3 倍,流入一侧为圆弧 $C_d = 0.9$ 带阀门的孔 $C_d = 0.6 \sim 0.7$

序号	阻尼种类	阻尼机理	阻尼力 F/N	等效线性阻尼系数 $C_e/N \cdot s \cdot m^{-1}$																								
3	内部摩擦阻尼	当固体变形时,以滞后形式消耗能量产生的阻尼。例如:橡胶材料谐振时的阻尼	$F = K(1 + i\beta)x$ $K(1 + i\beta)$ ——复数形式的弹簧常数; i ——第二项相对于第一项的相位滞后 90° ; K ——动弹簧常数; β ——力学的材料损耗因子	$C_e = \frac{\beta K}{\omega}$ <table border="1"> <tr> <td>邵氏硬度</td> <td>30°</td> <td>50°</td> <td>70°</td> </tr> <tr> <td>β</td> <td>5%</td> <td>10%</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>品种</td> <td colspan="3">β</td> </tr> <tr> <td>氯丁橡胶</td> <td colspan="3">15% - 30%</td> </tr> <tr> <td>丁腈橡胶</td> <td colspan="3">25% - 40%</td> </tr> <tr> <td>苯乙烯橡胶</td> <td colspan="3">15% - 30%</td> </tr> </table>	邵氏硬度	30°	50°	70°	β	5%	10%	15%	品种	β			氯丁橡胶	15% - 30%			丁腈橡胶	25% - 40%			苯乙烯橡胶	15% - 30%		
邵氏硬度	30°	50°	70°																									
β	5%	10%	15%																									
品种	β																											
氯丁橡胶	15% - 30%																											
丁腈橡胶	25% - 40%																											
苯乙烯橡胶	15% - 30%																											
4	一般非线性阻尼		$F = f(x, \dot{x})$ 其中: $x = A \sin \varphi$ $\dot{x} = \omega A \cos \varphi$	$C_e = \frac{1}{\pi \omega A} \int_0^{2\pi} f(x, \dot{x}) \cos \varphi d\varphi$																								

注: A —振幅, m ; ω —振动频率, rad/s 。

4 振动系统的固有角频率

4.1 单自由度系统的固有角频率

质量为 m 的物体作简谐运动的角频率 ω_n 称固有角频率 (或固有圆频率)。其与弹性构件刚度 K 的关系可由下式计算:


$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (\text{rad/s}) \quad (18-2-1)$$

固有频率 f_n 为:

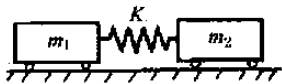
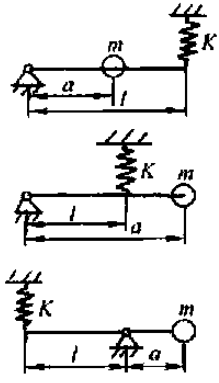
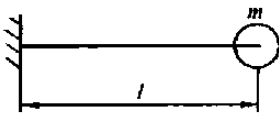
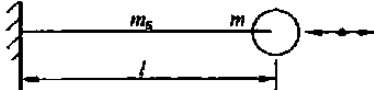
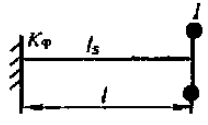
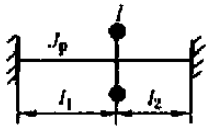
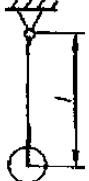
$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (18-2-2)$$

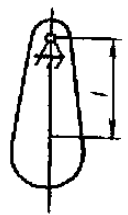
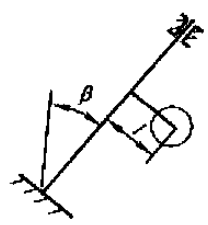
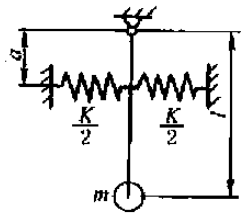
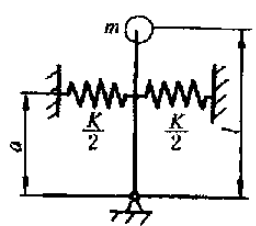
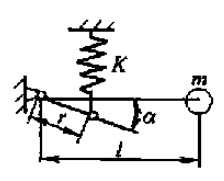
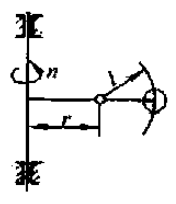
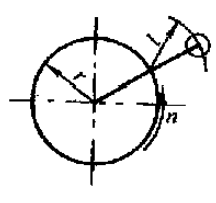
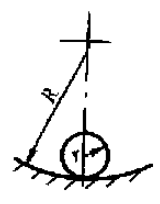
表 18-2-4 已列出弹性构件的刚度,若其受力点的参振质量为 m ,将两者代入式 (18-2-1) 即可求得各自的角频率。表 18-2-7、表 18-2-8 列出典型的固有角频率,按刚度可直接算得的不一列出。

表 18-2-7

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
1	一个质量一个弹簧系统		$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \approx \sqrt{\frac{g}{\delta}}$ 若计弹簧质量 m_s : $\omega_n = \sqrt{\frac{3K}{3m + m_s}}$ K ——弹簧刚度, N/m ; m ——刚体质量, kg ; m_s ——弹簧分布质量, kg ; δ ——静变形量, m ; g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

续表

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
2	两个质量一个弹簧的系统		$\omega_n = \sqrt{\frac{K(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}$
3	质量 m 和刚性杆弹簧系统		<p>不计杆质量时</p> $\omega_n = \sqrt{\frac{Kl^2}{ma^2}}$ <p>若计杆质量 m_p 时, 则</p> $\omega_n = \sqrt{\frac{3Kl^2}{3ma^2 + m_p l^2}}$ <p>系统具有 n 个集中质量时, 以 $(m_1 a_1^2 + m_2 a_2^2 + \dots + m_n a_n^2)$ 代替式中的 ma^2</p> <p>系统具有 n 个弹簧时, 以 $(K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2 + \dots + K_n l_n^2)$ 代替式中的 Kl^2</p>
4	悬臂梁端有集中质量系统		$\omega_n = \sqrt{\frac{3EJ}{ml^3}}$ <p>若计杆质量 m_p 时, $\omega_n = \sqrt{\frac{3EJ}{(m + 0.24m_p)l^3}}$</p> <p>$E$——弹性模量, Pa; J——截面惯性矩, m^4</p>
5	杆端有集中质量的纵向振动		$\omega_n = \frac{\beta}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho_V}}$ <p>式中, β 由下式求出</p> $\beta \tan \beta = \frac{m_p}{m}$ <p>ρ_V——体积密度, kg/m^3</p>
6	一端固定、另一端有圆盘的扭转轴系		$\omega_n = \sqrt{\frac{K_\varphi}{I}}$ <p>若计轴的转动惯量 I_s 时, $\omega_n = \sqrt{\frac{3K_\varphi}{3I + I_s}}$</p>
7	两端固定、中间有圆盘的扭转轴系		$\omega_n = \sqrt{\frac{GJ_p(l_1 + l_2)}{I_1 l_2}}$ <p>G——变模量, Pa; J_p——截面极惯性矩, m^4</p>
8	单摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{l}}$

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
9	物理摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{gl}{\rho^2 + l^2}}$ <p>l——摆重心至转轴中心的距离, m ρ——摆对质心的回转半径, m</p>
10	倾斜摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{g \sin \beta}{l}}$
11	双簧摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{Ka^2}{ml^2} + \frac{g}{l}}$
12	倒立双簧摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{Ka^2}{ml^2} - \frac{g}{l}}$
13	杠杆摆		$\omega_n = \sqrt{\frac{Kl^2 \cos^2 \alpha - K\delta \sin \alpha}{ml^2}}$ <p>δ——弹簧静变形, m</p>
14	离心摆 (转轴中心线在振动物体运动平面中)		$\omega_n = \frac{\pi n}{30} \sqrt{\frac{l+r}{l}}$ <p>n——转轴转速, r/min</p>
15	离心摆 (转轴中心线垂直于振动物体运动平面)		$\omega_n = \frac{\pi n}{30} \sqrt{\frac{r}{l}}$
16	圆柱体在弧面上做无滑动的滚动		$\omega_n = \sqrt{\frac{2g}{3(R-r)}}$


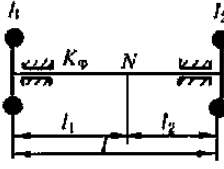
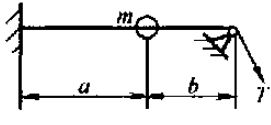
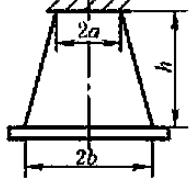
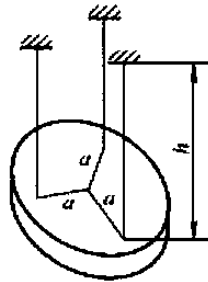
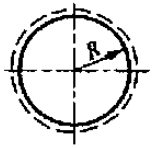
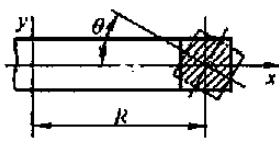
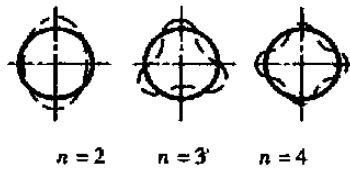
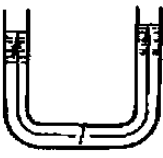
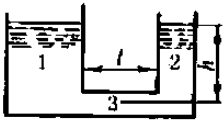
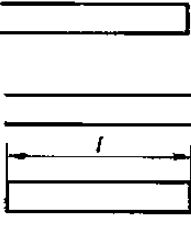
序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
17	圆盘轴在弧面上做无滑动的滚动		$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{(R-r)(1+\rho^2/r^2)}}$ ρ ——振动体回转半径, m
18	两端有圆盘的扭转轴系		$\omega_n = \sqrt{\frac{K_\phi(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}}$ 节点 N 的位置: $l_1 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} l \quad l_2 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} l$
19	质量位于受张力的弦上		$\omega_n = \sqrt{\frac{T(a+b)}{mab}}$; T——张力, N 若计及弦的质量 m_s , $\omega_n = \sqrt{\frac{3T(a+b)}{(3m + m_s)ab}}$
20	一个水平杆被两根对称的弦吊着的系统		$\omega_n = \sqrt{\frac{gab}{\rho^2 h}}$ ρ ——杆的回转半径, m
21	一个水平板被三根等长的平行弦吊着的系统		$\omega_n = \sqrt{\frac{ga^2}{\rho^2 h}}$ ρ ——板的回转半径, m
22	只有径向振动的圆环		$\omega_n = \sqrt{\frac{E}{\rho_v R^2}}$ ρ_v ——密度, kg/m^3
23	只有扭转振动的圆环		$\omega_n = \sqrt{\frac{E}{\rho_v R^2} \times \frac{J_s}{J_p}}$ J_s ——截面对 x 轴的惯性矩, m^4 J_p ——截面的极惯性矩, m^4
24	有径向与切向振动的圆环		$\omega_n = \sqrt{\frac{EJ_s}{\rho_v AR^4} \times \frac{n^2(n^2-1)^2}{n^2+1}}$ n ——节点数的一半 A ——圆环圈截面积, m^2 J_s ——截面惯性矩, m^4

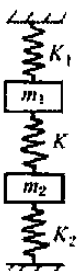
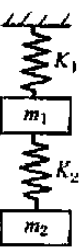
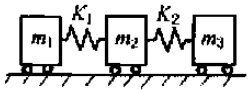
表 18-2-8

管内液面及空气柱振动的固有角频率

序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
1	等截面 U 形管中的液柱		$\omega_n = \sqrt{\frac{2g}{l}}$ g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
2	导管连接的两容器中液面的振动		$\omega_n = \sqrt{\frac{gA_3(A_1 + A_2)}{lA_1A_2 + A_3(A_1 + A_2)h}}$ A_1, A_2, A_3 ——分别为容器 1, 2 及导管的截面积, m^2
3	空气柱的振动		$\omega_n = \frac{a_n}{l} \sqrt{\frac{1.4p}{\rho}}$ 两端闭 $a_n = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ 两端开 $a_n = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ 一端开一端闭 $a_n = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$ p ——空气压强, Pa; ρ ——空气密度, kg/m^3

4.2 二自由度系统的固有角频率

表 18-2-9

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
1	两个质量三个弹簧系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_{11}^2 + \omega_{22}^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_{11}^2 - \omega_{22}^2)^2 + 4\omega_{12}^4}$ $\omega_{11}^2 = \frac{K_1 + K_2}{m_1} \quad \omega_{22}^2 = \frac{K_2 + K_3}{m_2}$ $\omega_{12}^2 = \frac{K_2}{\sqrt{m_1 m_2}}$
2	两个质量两个弹簧系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2} \left[\omega_1^2 + \omega_2^2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \right] \mp \frac{1}{2} \sqrt{\left[\omega_1^2 + \omega_2^2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \right]^2 - 4\omega_1^2 \omega_2^2}$ $\omega_1^2 = \frac{K_1}{m_1} \quad \omega_2^2 = \frac{K_2}{m_2}$
3	三个质量两个弹簧系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_3^2 \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_2}}$ $\omega_1^2 = \frac{K_1}{m_1} \quad \omega_2^2 = \frac{K_1 + K_2}{m_2} \quad \omega_3^2 = \frac{K_2}{m_3}$

续表

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
4	三个弹簧支持的质量系统(质量中心和各弹簧中心线在同一平面内)		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_x^2 + \omega_y^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_x^2 + \omega_y^2)^2 + 4\omega_{xy}^2}$ $\omega_x^2 = \frac{K_x}{m} \quad \omega_y^2 = \frac{K_y}{m} \quad \omega_{xy}^2 = \frac{K_{xy}}{m}$ $K_x = \sum_{i=1}^n K_i \cos^2 \alpha_i \quad K_y = \sum_{i=1}^n K_i \sin^2 \alpha_i$ $K_{xy} = \sum_{i=1}^n K_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i \quad (n = 3)$
5	刚性杆为两个弹簧所支持的系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(a+c) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(a-c)^2 + \frac{4mb^2}{I}}$ $a = \frac{K_1 + K_2}{m} \quad b = \frac{K_2 l_2 - K_1 l_1}{m}$ $c = \frac{K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2}{I} \quad I \text{——转动惯量, kg} \cdot \text{m}^2$
6	直线振动和摇摆振动的联合系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_y^2 + \omega_0^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_y^2 - \omega_0^2)^2 + \frac{4\omega_y^4 m h^2}{I}}$ $\omega_y^2 = \frac{2K_2}{m} \quad \omega_0^2 = \frac{2K_1 l^2 + 2K_2 h^2}{I}$
7	三段轴两圆盘扭转系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_1^2 + \omega_2^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\omega_{12}^2}$ $\omega_1^2 = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2}}{I_1} \quad \omega_2^2 = \frac{K_{\phi 2} + K_{\phi 3}}{I_2} \quad \omega_{12}^2 = \frac{K_{\phi 2}}{\sqrt{I_1 I_2}}$
8	两段轴三圆盘扭转系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_3^2 \frac{I_1 + I_2 + I_3}{I_2}}$ $\omega_1^2 = \frac{K_{\phi 1}}{I_1} \quad \omega_2^2 = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2}}{I_2} \quad \omega_3^2 = \frac{K_{\phi 2}}{I_3}$
9	两端圆盘轴和轴之间齿轮联接系统		$\omega_n^2 = \frac{1}{2}(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2) \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_3^2 \frac{I_1 + I_2 + I_3}{I_2}}$ $\omega_1^2 = \frac{K_{\phi 1}}{I_1} \quad \omega_2^2 = \frac{K_{\phi 1} + K_{\phi 2}}{I_2} \quad \omega_3^2 = \frac{K_{\phi 2}}{I_3}$ $I_1 = I_1' \quad I_2 = I_2' + i^2 I_2'' \quad I_3 = i^2 I_3' \quad K_{\phi 1} = K_{\phi 1}' \quad K_{\phi 2} = i^2 K_{\phi 2}'$
10	二重摆		$\omega_n^2 = \frac{m_1 + m_2}{2m_1} \left[\omega_1^2 + \omega_2^2 \mp \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\omega_1^2 \omega_2^2 \frac{m_2}{m_1 + m_2}} \right]$ $\omega_1^2 = \frac{g}{l_1} \quad \omega_2^2 = \frac{g}{l_2} \quad g \text{——重力加速度, } g = 9.81 \text{ m/s}^2$

序号	系统形式	系统简图	固有角频率 $\omega_n/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
11	二联合单摆		$\omega_n^2 = \frac{1}{2} (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \mp$ $\frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2)^2 - 4(\omega_2^2 \omega_3^2 + \omega_1^2 \omega_4^2 + \omega_3^2 \omega_4^2)}$ $\omega_1^2 = \frac{Ka^2}{m_1 l_1^2} \quad \omega_2^2 = \frac{Ka^2}{m_2 l_2^2} \quad \omega_3^2 = \frac{g}{l_1} \quad \omega_4^2 = \frac{g}{l_2}$
12	二重物理摆		$\omega_n^2 = \frac{1}{2a} (b \mp \sqrt{b^2 - 4ac})$ $a = (I_1 + m_1 h_1^2 + m_2 l^2) (I_2 + m_2 h_2^2) - m_2^2 h_2^2 l^2$ $b = (I_1 + m_1 h_1^2 + m_2 l^2) m_2 h_2 g + (I_2 + m_2 h_2^2) (m_1 h_1 + m_2 l) g$ $c = (m_1 h_1 + m_2 l) m_2 h_2 g^2$
13	两个质量的悬臂梁系统		$\omega_n^2 = \frac{48EJ}{7m_1 m_2} [m_1 + 8m_2 \mp \sqrt{m_1^2 + 9m_1 m_2 + 64m_2^2}]$ <p>E——弹性模量, Pa; J——截面惯性矩, m^4</p>
14	两个质量的简支梁系统		$\omega_n^2 = \frac{162EJ}{5m_1 m_2 l^3} [4(m_1 + m_2) \mp$ $\sqrt{16m_1^2 + 17m_1 m_2 + 16m_2^2}]$
15	两个质量的外伸简支梁系统		$\omega_n^2 = \frac{32EJ}{5m_1 m_2 l^3} [(m_1 + 6m_2) \mp \sqrt{m_1^2 - 3m_1 m_2 + 36m_2^2}]$
16	两质量位于受张力弦上		$\omega_n^2 = \frac{T_0}{2} \left[\frac{l_1 + l_2}{m_1 l_1 l_2} + \frac{l_2 + l_3}{m_2 l_2 l_3} \mp \sqrt{\left(\frac{l_1 + l_2}{m_1 l_1 l_2} - \frac{l_2 + l_3}{m_2 l_2 l_3} \right)^2 + \frac{4}{m_1 m_2 l_2^2}} \right]$ <p>T_0——张力, N</p>

4.3 各种构件的固有角频率

表 18-2-10 为弦、梁、膜、板、壳的固有角频率。

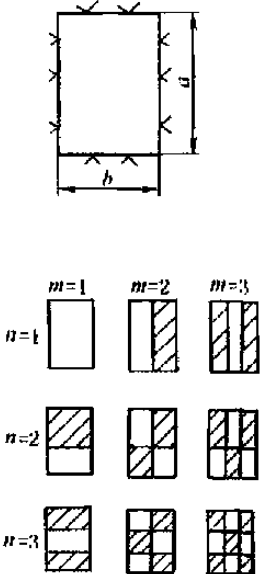
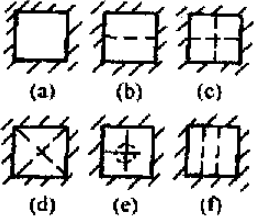
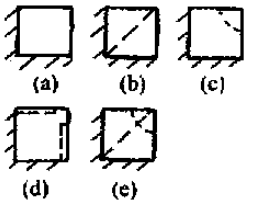
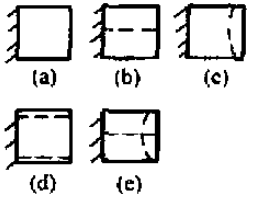
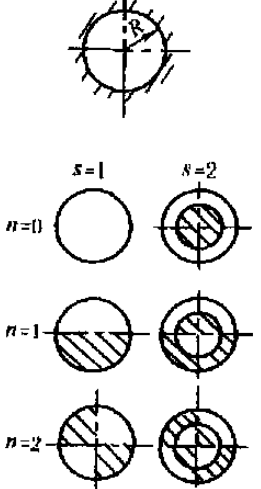
表 18-2-10

序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n/\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
1	两端固定, 内受张力的弦		$\omega_n = \frac{n}{l} \sqrt{\frac{T_0}{\rho_l}}$ $n = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ <p>T_0——内张力, N</p>

续表

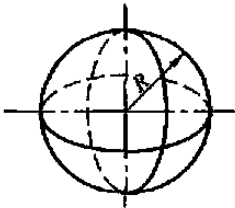
序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
2	两端自由等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>E——弹性模量, Pa; J——截面惯性矩, m^4; l——杆、梁长度, m; ρ_l——线密度, kg/m; a_n——振型常数, $a_1 = 4.73, a_2 = 7.853, a_3 = 10.996$</p>
3	一端简支, 一端自由等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>$a_1 = 3.927, a_2 = 7.069, a_3 = 10.21$</p>
4	两端简支等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>$a_1 = \pi, a_2 = 2\pi, a_3 = 3\pi$</p>
5	一端固定, 一端自由等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>$a_1 = 1.875, a_2 = 4.694, a_3 = 7.855$</p>
6	一端固定一端简支等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>$a_1 = 3.927, a_2 = 7.069, a_3 = 10.21$</p>
7	两端固定等截面杆、梁的横向振动		$\omega_n = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho_l}}$ <p>$a_1 = 4.73, a_2 = 7.853, a_3 = 10.996$</p>

序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$																
8	两端自由等截面杆的纵向振动		$\omega_n = \frac{i\pi}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho_1}}$ $i = 1, 2, 3 \dots$																
9	一端固定一端自由等截面杆的纵向振动		$\omega_n = \frac{2i-1}{2} \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho_1}}$ $i = 1, 2, 3 \dots$																
10	两端固定等截面杆的纵向振动		$\omega_n = \frac{i\pi}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho_1}}$ $i = 1, 2, 3 \dots$																
11	轴向力作用下, 两端简支的等截面杆、梁的横向振动		<p>图 a 受轴向压力</p> $\omega_n = \left(\frac{a_n \pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho_1}} \sqrt{1 - \frac{Pl^2}{EJa_n^2 \pi^2}}$ <p>图 b 受轴向拉力</p> $\omega_n = \left(\frac{a_n \pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho_1}} \sqrt{1 + \frac{Pl^2}{EJa_n^2 \pi^2}}$ <p>式中 $a_n = 1, 2, 3 \dots$</p>																
12	周边受张力的矩形膜		$\omega_n = \pi \sqrt{\frac{T}{\rho_A} \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)}$ <p>$m = 1, 2, 3 \dots \quad n = 1, 2, 3 \dots$</p> <p>$T$——单位长度的张力, N/m; ρ_A——面密度, kg/m^2</p>																
13	周边受张力的圆形膜		$\omega_n = (a_{ns} \sqrt{T/\rho_A}) / R$ <p>振型常数 a_{ns}</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>$s=1$</th> <th>$s=2$</th> <th>$s=3$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>2.404</td> <td>5.52</td> <td>8.654</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3.832</td> <td>7.026</td> <td>10.173</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5.135</td> <td>8.417</td> <td>11.62</td> </tr> </tbody> </table>	n	$s=1$	$s=2$	$s=3$	0	2.404	5.52	8.654	1	3.832	7.026	10.173	2	5.135	8.417	11.62
n	$s=1$	$s=2$	$s=3$																
0	2.404	5.52	8.654																
1	3.832	7.026	10.173																
2	5.135	8.417	11.62																

序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$												
14	周边简支的矩形板		$\omega_n = \pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ $m = 1, 2, 3 \dots \quad n = 1, 2, 3 \dots$ δ ——板厚, $m; \mu$ ——泊松比												
15	周边固定的正方形板		$\omega_n = \frac{\alpha_{ns}}{a^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 图 a~f 中振型常数 α_{ns} 分别为 35.99, 73.41, 108.27 131.64, 132.25, 165.15												
16	两边固定两边自由的正方形板		$\omega_n = \frac{\alpha_{ns}}{a^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 图 a~e 中振型常数 α_{ns} 分别为 6.958, 24.08, 26.80 48.05, 63.54												
17	一边固定三边自由的正方形板		$\omega_n = \frac{\alpha_{ns}}{a^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 图 a~e 中振型常数 α_{ns} 分别为 3.494, 8.547, 21.44 27.46, 31.17												
18	周边固定的圆形板		$\omega_n = \frac{\alpha_{ns}}{R^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 振型常数 α_{ns} <table border="1" data-bbox="917 1758 1268 1870"> <thead> <tr> <th>s</th> <th>$n=0$</th> <th>$n=1$</th> <th>$n=2$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10.17</td> <td>21.27</td> <td>34.85</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>39.76</td> <td>60.80</td> <td>88.35</td> </tr> </tbody> </table>	s	$n=0$	$n=1$	$n=2$	1	10.17	21.27	34.85	2	39.76	60.80	88.35
s	$n=0$	$n=1$	$n=2$												
1	10.17	21.27	34.85												
2	39.76	60.80	88.35												

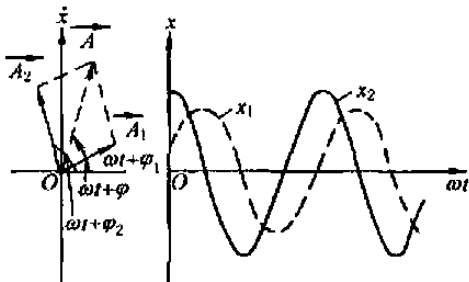
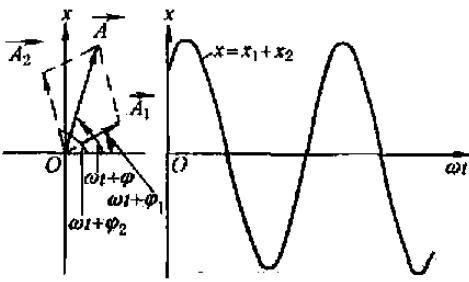
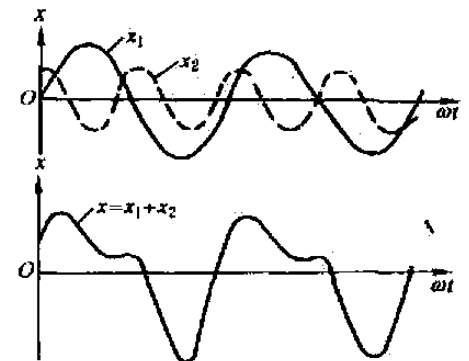
序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$																																																																																				
19	周边自由的圆板		$\omega_n = \frac{a_{ns}}{R^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 振型常数 a_{ns} <table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>$n=0$</td> <td>$n=1$</td> <td>$n=2$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>5.251</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.076</td> <td>20.52</td> <td>35.24</td> </tr> </table>	s	$n=0$	$n=1$	$n=2$	1	—	—	5.251	2	9.076	20.52	35.24																																																																								
s	$n=0$	$n=1$	$n=2$																																																																																				
1	—	—	5.251																																																																																				
2	9.076	20.52	35.24																																																																																				
20	周边自由中间固定的圆板		$\omega_n = \frac{a_{ns}}{R^2} \sqrt{\frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A}}$ 振型常数 a_{ns} <table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>$n=0$</td> <td>$n=1$</td> <td>$n=2$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3.75</td> <td>—</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20.91</td> <td>—</td> <td>30.48</td> </tr> </table>	s	$n=0$	$n=1$	$n=2$	1	3.75	—	5.4	2	20.91	—	30.48																																																																								
s	$n=0$	$n=1$	$n=2$																																																																																				
1	3.75	—	5.4																																																																																				
2	20.91	—	30.48																																																																																				
21	有径向和切向位移振动的圆筒		$\omega_n^2 = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)\rho_A R^4} \times \frac{n^2(n^2-1)^2}{n^2+1}$ n ——节点数的一半 振型与表 18-2-7 第 24 项相仿																																																																																				
22	有径向和切向位移振动的无限长圆筒	 	$\omega_n = \frac{K}{R} \sqrt{\frac{G\delta}{\rho_A}}$ m ——周边波的波数 G ——切变模量, Pa K 值表 <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">m</th> <th rowspan="2">L/R</th> <th colspan="2">扭振</th> <th colspan="2">非扭振</th> </tr> <tr> <th>K</th> <th>K_1</th> <th>K_2</th> <th>K_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">0</td> <td>1</td> <td>3.142</td> <td>1.604</td> <td>5.338</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.571</td> <td>1.569</td> <td>2.729</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.017</td> <td>1.445</td> <td>1.976</td> <td></td> </tr> <tr> <td>∞</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.691</td> <td></td> </tr> <tr> <th rowspan="4">1</th> <th colspan="5">非扭振</th> </tr> <tr> <td>L/R</td> <td>K_1</td> <td>K_2</td> <td>K_3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.428</td> <td>3.357</td> <td>5.611</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.968</td> <td>2.109</td> <td>3.294</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">2</td> <td>1</td> <td>0.63</td> <td>1.724</td> <td>2.753</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2.391</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.102</td> <td>3.84</td> <td>6.357</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.553</td> <td>2.709</td> <td>4.491</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>3</td> <td>0.307</td> <td>2.378</td> <td>4.095</td> <td></td> </tr> <tr> <td>∞</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>3.78</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	m	L/R	扭振		非扭振		K	K_1	K_2	K_3	0	1	3.142	1.604	5.338		2	1.571	1.569	2.729		3	1.017	1.445	1.976		∞	0	0	1.691		1	非扭振					L/R	K_1	K_2	K_3		1	1.428	3.357	5.611		2	0.968	2.109	3.294		2	1	0.63	1.724	2.753		3	0	1	2.391		1	1.102	3.84	6.357		2	0.553	2.709	4.491		3	3	0.307	2.378	4.095		∞	0	2	3.78	
m	L/R	扭振				非扭振																																																																																	
		K	K_1	K_2	K_3																																																																																		
0	1	3.142	1.604	5.338																																																																																			
	2	1.571	1.569	2.729																																																																																			
	3	1.017	1.445	1.976																																																																																			
	∞	0	0	1.691																																																																																			
1	非扭振																																																																																						
	L/R	K_1	K_2	K_3																																																																																			
	1	1.428	3.357	5.611																																																																																			
	2	0.968	2.109	3.294																																																																																			
2	1	0.63	1.724	2.753																																																																																			
	3	0	1	2.391																																																																																			
	1	1.102	3.84	6.357																																																																																			
	2	0.553	2.709	4.491																																																																																			
3	3	0.307	2.378	4.095																																																																																			
	∞	0	2	3.78																																																																																			
	23	半球形壳		$\omega_n = \frac{\lambda\delta^2}{R^2} \sqrt{\frac{G}{\rho_A}}$ $\lambda = 2.14, 6.01, 11.6 \dots$ δ ——壳厚, m																																																																																			
24	碟形球壳		$\omega_n = \frac{\lambda\delta^2}{R^2} \sqrt{\frac{G}{\rho_A}}$ $\lambda = 3.27, 8.55 \dots$																																																																																				

续表

序号	系统形式	简图	固有角频率 $\omega_n / \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
25	圆球形壳		<p>只有径向位移的振动</p> $\omega_n = \frac{2}{R} \left(\frac{1+\mu}{1-\mu} \right) \sqrt{\frac{G\delta}{\rho_A}}$ <p>只有切向位移的振动</p> $\omega_n = \frac{1}{R} \sqrt{(n-1)(n-2) \frac{G\delta}{\rho_A}}$ <p>有径向与切向位移的综合振动</p> $\omega_n = \frac{\lambda}{R} \sqrt{\frac{G\delta}{\rho_A}}$ <p>λ 由下式求得: (n 为大于 1 的整数)</p> $\lambda^4 - \lambda^2 \left[(n^4 + n + 4) \frac{1+\mu}{1-\mu} + (n^2 + n - 2) \right] + 4(n^2 + n - 2) \frac{1+\mu}{1-\mu} = 0$

5 同向简谐振动合成

表 18-2-11

序号	振动分量	合成振动	简图
1	同频率两个简谐振动 $x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ $x_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$	合成振动为简谐振动 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$ $\varphi = \arctan \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$	
2	同频率多个简谐振动 $x_i = A_i \sin(\omega t + \varphi_i)$ $i = 1, 2, \dots, n$	合成振动为简谐振动 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ $A = \left[\left(\sum_{i=1}^n A_i \cos \varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n A_i \sin \varphi_i \right)^2 \right]^{1/2}$ $\varphi = \arctan \frac{\sum_{i=1}^n A_i \sin \varphi_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cos \varphi_i}$	
3	不同频率两个简谐振动 $x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ $x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ $\omega_1 \neq \omega_2$ 频率比为较小的有理数	合成振动为周期性非简谐振动, 振动的频率与振动分量中的最低频率相一致, 振动波形取决于频率 ω 和振动分量各自振幅的大小和相位角 $x = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$	

序号	振动分量	合成振动	简图
4	大振幅低频率与小振幅 高频率两个简谐振动 $x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ $x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ $A_1 > A_2$ $\omega_2 > \omega_1$ 频率比为较大的有理数	合成振动为周期性的非简谐振动, 主要频率为低频振动频率 $x = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) +$ $A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$	
5	大振幅高频率与小振幅 低频率两个简谐振动 $x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ $x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ $A_2 > A_1$ $\omega_2 > \omega_1$ 且频率比为较大的有 理数	合成振动为周期性的非简谐振动, 主要频率为高频振动频率 $x = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) +$ $A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$	
6	两个频率接近的简谐 振动 $x_1 = A \cos \omega_1 t$ $x_2 = A \cos \omega_2 t$ $\omega_1 \approx \omega_2$ (两振幅相等时)	合成振动为拍振 $x = 2A \left[\cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \times \right.$ $\left. \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \right]$ 振幅变化频率等于 $(\omega_1 - \omega_2)$	

6 各种机械产生振动的扰动频率

除转数外,各机械产生的高次扰动频率见表 18-2-12。

表 18-2-12

机械名称	扰动频率	机械名称	扰动频率
风机	轴转数 × 叶数	齿轮传动	轴转数 × 齿数 (见说明)
泵	轴转数 × 叶数	滚动轴承	轴转数 × $\frac{1}{2}$ (滚珠数)
电动机	轴转数 × 极数	螺旋桨	轴转数 × 叶片数

说明:轴承的脉冲频率是由轴承的故障产生的,一般按如下关系式确定。

- ① 内环剥落 $f_i = \frac{1}{2} Z f_0 \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$
- ② 外环剥落 $f_i = \frac{1}{2} Z f_0 \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$
- ③ 钢球剥落 $f_i = \frac{d}{D} f_0 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cos \alpha \right]$
- ④ 内滚道不圆 $f_i = f_0, 2f_0, \dots, n f_0$
- ⑤ 保持环不平衡 $f_i = \frac{1}{2} f_0 \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$

式中, f_0 为轴旋转频率; d 为轴承内径; D 为轴承外径; Z 为滚珠数; α 为滚珠与内外环的接触角。

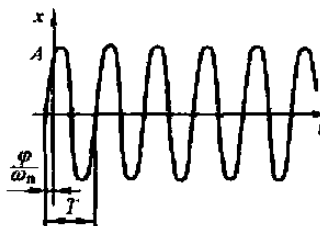
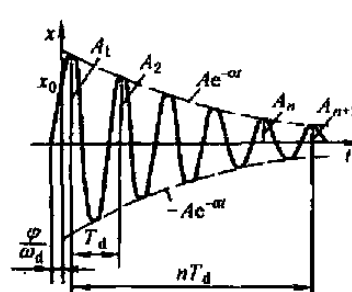
第 3 章 线性振动

线性系统在振动过程中，其惯性力、阻尼力和弹性恢复力分别与振动物体的加速度、速度、位移的一次方成正比。运动的位移、速度和加速度分别用 x 、 \dot{x} 、 \ddot{x} 表示，坐标均以静平衡状态为坐标原点，惯性力为 $-m\ddot{x}$ ，阻尼力为 $-C\dot{x}$ ，弹性恢复力为 $-Kx$ 。一般只有微幅振动的情况下，系统才是线性系统，所以，本章讨论线性系统的振动都是微幅振动。

1 单自由度系统自由振动模型参数及响应

表 18-3-1

序号	项目	无阻尼系统	线性阻尼系统
1	力学模型		
2	运动微分方程	$m\ddot{x} + Kx = 0$	$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = 0$
		m ——质量, kg; K ——刚度, N/m; C ——黏性阻尼系数, N·s/m	
3	特解	$x = e^{St}$	
4	特征方程	$S^2 + \omega_n^2 = 0$	$S^2 + 2\alpha S + \omega_n^2 = 0$
		$\omega_n^2 = \frac{K}{m}$ $2\alpha = \frac{C}{m}$ S ——特征值, 若 S 为复数才能产生振动; ω_n ——固有角频率, rad/s; α ——衰减系数, 1/s	
5	固有角频率	$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ 单自由度系统的固有角频率见表 18-2-7、表 18-2-8	$\omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2} \text{ (小阻尼 } \alpha < \omega_n \text{ 时)}$ ω_d ——有阻尼时固有角频率, rad/s ζ ——阻尼比, $\zeta = \frac{C}{C_c} = \frac{\alpha}{\omega_n}$ C_c ——临界阻尼, $C_c = 2m\omega_n$ 当 $\zeta = 0.05$ 时, $\omega_d = 0.99875\omega_n$ 当 $\zeta = 0.2$ 时, $\omega_d = 0.98\omega_n$ 所以 $\omega_d \approx \omega_n$ (小阻尼 $\alpha < \omega_n$ 时)

序号	项目	无阻尼系统	线性阻尼系统
6	对初始条件(当 $t=0$ 时, $x=x_0$, $\dot{x}=\dot{x}_0$) 的振动响应	$x = a \cos \omega_n t + b \sin \omega_n t = A \sin(\omega_n t + \varphi_0)$ <p>式中 $a = x_0$ $b = \frac{\dot{x}_0}{\omega_n}$ (振幅)</p> $A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega_n}\right)^2}$ (振幅) $\varphi_0 = \arctan\left(\frac{x_0 \omega_n}{\dot{x}_0}\right)$ (初相位) 	<p>当 $\alpha < \omega_n$ (小阻尼) 时:</p> $x = e^{-\alpha t} (a \cos \omega_d t + b \sin \omega_d t)$ $= A e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \varphi_0)$ <p>式中 $a = x_0$ $b = \frac{\dot{x}_0 + \alpha x_0}{\omega_d}$</p> $A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\dot{x}_0 + \alpha x_0}{\omega_d}\right)^2}$ $\varphi_0 = \arctan\left(\frac{x_0 \omega_d}{\dot{x}_0 + \alpha x_0}\right)$ <p>该振动如左下图所示的衰减振动,常用下面减幅系数来衡量。减幅系数(相邻两振幅比):</p> $\eta = A_1/A_2 = e^{\alpha T_d}$ <p>对数减幅系数:</p> $\delta = \frac{1}{n} \ln(A_1/A_{n+1}) = \alpha T_d$
			<p>当 $\zeta = 0.05$ 时, $\eta = 1.37$, $A_2 = 0.73A_1$, 一个周期振幅衰减 27%, 振幅衰减显著, 不能忽略。所以 $x = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_n t + \varphi_0)$ (小阻尼 $\alpha < \omega_n$ 时)</p> <p>当 $\alpha = \omega_n$ (临界阻尼) 或 $\alpha > \omega_n$ (过阻尼) 时, 系统不能产生振动, 只能产生向静平衡位置的缓慢蠕动 见本表注</p>
7	振动过程中的能量关系	<p>动能和势能相互转换。当 m 运动到最大位移处, 能量全部转换为势能。当 m 运动到静平衡位置时, 能量全部转换为动能。即:</p> $T + V = V_{\max} = T_{\max}$	<p>动能和势能相互转换, 但由于阻尼消耗能量, 所以, 其振动为减幅振动</p>

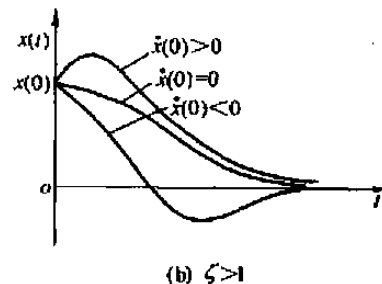
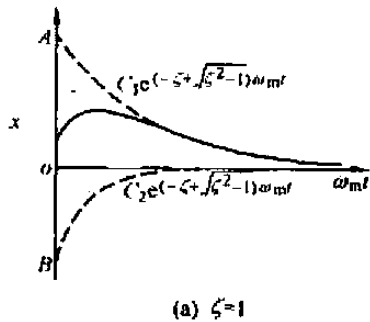
续表

序号	项目	无阻尼系统	线性阻尼系统
结论		<p>(1) 任何实际振动系统无论阻尼多么小, 总是一个有阻尼系统</p> <p>(2) 当机械系统为小阻尼时, 单自由度系统的固有角频率可以用无阻尼振动系统的固有角频率来代替, 即 $\omega_d \approx \omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$。同理, 多自由度小阻尼系统的固有角频率和振型矢量也可用无阻尼系统的固有角频率和振型矢量来代替</p> <p>(3) 机械系统在自由振动过程中, 动能和势能总是在相互转换, 但由于实际系统存在阻尼, 消耗系统的能量, 所以, 自由振动不能维持恒幅振动, 其振动的位移表达式 $x \approx Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_n t + \varphi_0)$</p> <p>式中, $A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{x_0 + \alpha x_0}{\omega_n}\right)^2}$, $\varphi_0 \approx \arctan\left(\frac{x_0 \omega_n}{x_0 + \alpha x_0}\right)$, 该振动经过足够长的时间总会衰减成为零</p>	

注: 分三种情况: (A) 小阻尼 $\zeta < 1$ 即 $a < \omega_n$, 即 $\frac{c}{2m} < \sqrt{\frac{k}{m}}$, 如上面的图;

(B) 临界阻尼 $\zeta = 1$ 即 $a = \omega_n$, 即 $\frac{c}{2m} = \sqrt{\frac{k}{m}}$, 如图 a;

(C) 大阻尼 $\zeta > 1$ 即 $a > \omega_n$, 即 $\frac{c}{2m} > \sqrt{\frac{k}{m}}$, 如图 b。

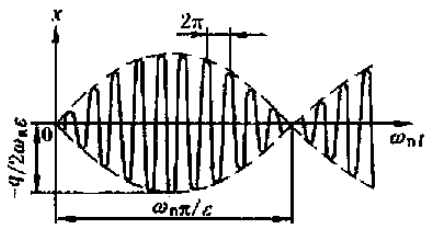
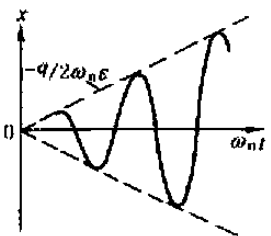
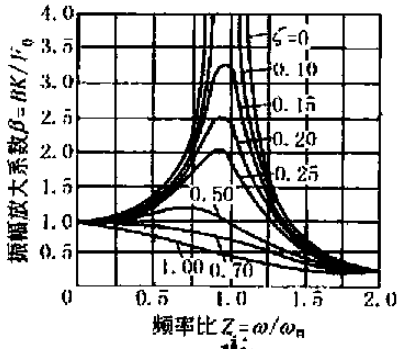
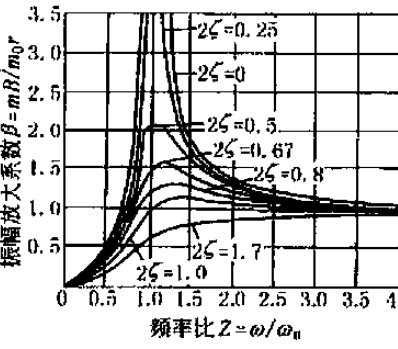
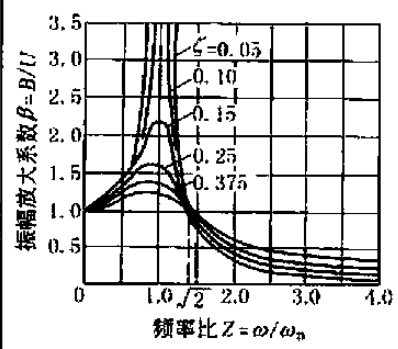
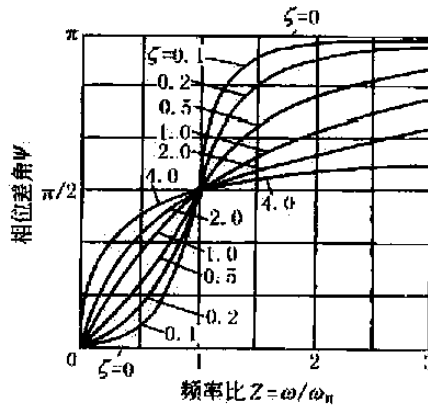
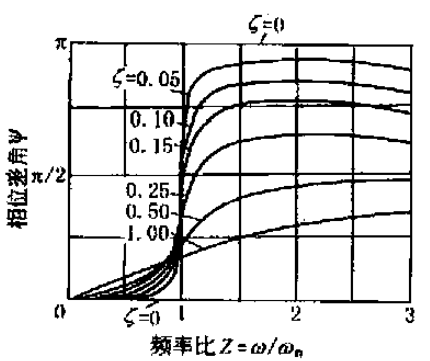


2 单自由度系统的受迫振动

2.1 简谐受迫振动的模型参数及响应

表 18-3-2

序号	项目	简谐激励作用下的受迫振动	偏心质量回转引起的受迫振动	支承运动引起的受迫振动
1	力学模型			
2	运动微分方程	$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin \omega t$ <p>F_0——简谐激励幅, N</p>	$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin \omega t$ <p>式中 $F_0 = m_0 r \omega^2$ $m_0 r$——偏心质量矩, kg·m</p>	$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin(\omega t + \theta)$ <p>式中 $F_0 = U \sqrt{K^2 + C^2 \omega^2}$ $\theta = \arctan(C\omega/K)$ (初相位) U——支承运动位移幅值, m</p>
3	瞬态解 (过渡过程)	$x = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_n t + \varphi_0) + B \sin(\omega t - \psi)$ <p>机械启动过程中总存在以 ω_n 和 ω 为频率的两种振动的组合, 但经过一定时间之后, 以 ω_n 为频率的振动消失</p>		

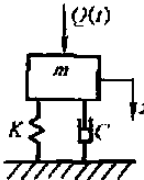
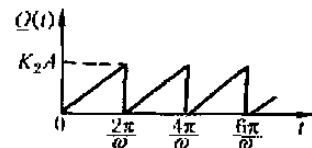
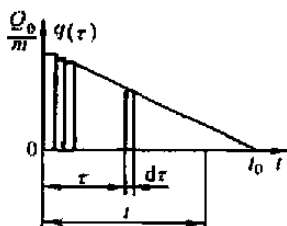
序号	项目	简谐激励作用下的受迫振动	偏心质量回转引起的受迫振动	支承运动引起的受迫振动
4	拍振	<p>当 $\omega \rightarrow \omega_n$ ($\omega_n - \omega = 2\varepsilon$) 时, 瞬态解成为:</p> $x = -\frac{F_0}{2\varepsilon m \omega_n} \sin \varepsilon t \cos \omega_n t$ <p>这种振幅忽大忽小周期性变化的振动称为拍振。可用出现这一振动现象的干扰频率 ω 去估计系统固有角频率 ω_n。</p>		
	共振	<p>当 $\omega = \omega_n$ ($\varepsilon = 0$) 时, 瞬态解成为:</p> $x = -\frac{F_0 t}{2m \omega_n} \cos \omega_n t$ <p>这种振幅随时间无限增长的振动称为共振。但只要时间 t 不长, 振幅也不会很大。例如机械启动或停机过程中, 只要迅速通过共振区, 振幅就不很大。</p>		
5	稳态解	<p>$x = B \sin(\omega t - \psi)$, 即以 ω_n 为频率的振动完全消失的振动</p>		
6	稳态解的振幅及幅频响应曲线	$B = \frac{F_0}{K} \times \frac{1}{\sqrt{(1-Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$ 	$B = \frac{m_0 r}{m} \times \frac{Z^2}{\sqrt{(1-Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$ 	$B = \frac{U \sqrt{1 + (2\zeta Z)^2}}{\sqrt{(1-Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$ 
		<p>m——质量, kg; C——阻尼系数, N·s/m; K——刚度, N/m; F_0——干扰幅, N; ω_n——固有角频率, rad/s, $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$; ω——激振频率, rad/s; Z——频率比, $Z = \frac{\omega}{\omega_n}$; α——衰减系数, $\alpha = \frac{C}{2m}$; ζ——阻尼比, $\zeta = \frac{\alpha}{\omega_n}$; q——单位质量激振力, N/kg, $q = \frac{F_0}{m}$</p>		
7	稳态解的相位差角及相频响应曲线	$\psi = \arctan \frac{2\zeta Z}{1-Z^2}$ 	$\psi = \arctan \frac{2\zeta Z^3}{1-Z^2 + (2\zeta Z)^2}$ 	<p>当稳态解为 $x = B \sin(\omega t + \theta - \psi)$ 时, $\psi = \arctan \frac{2\zeta Z}{1-Z^2}$</p>

续表

序号	项目	简谐激励作用下的受迫振动	偏心质量回转引起的受迫振动	支承运动引起的受迫振动
8	能量关系及力的平衡	<p>受迫振动过程中的能量关系：一方面激振力向系统输入能量，另一方面系统的阻尼又不断地消耗能量。若前者大于后者，振幅将增大；若前者小于后者，振幅将减小。直到两者重新平衡，系统出现新的恒幅振动，这种状态下，激振力在一个周期向系统输入能量 $\Delta W = \pi F_0 B \sin\psi$，该能量与激振力幅 F_0、稳态振幅 B 以及激振力和位移的相位差 ψ 有关（支承运动引起的受迫振动 ψ 中包含有 θ 角在内）</p> <p>另外，从力平衡角度来看，当 $\omega < \omega_n$ 时，振动缓慢，速度很小，加速度更小，系统内的惯性力和阻尼很小，激振力主要是和弹性力相平衡。当 $\omega > \omega_n$ 时，加速度很大，而弹性力和阻尼力与惯性力相比是很小的，所以，激振力主要是平衡惯性力。当 $\omega = \omega_n$ 时，弹性力和惯性力相平衡，激振力用于平衡阻尼力。介于前述状态之间的状态分为两种情况：当 $\omega < \omega_n$ 时，激振力主要用于平衡部分弹性力和阻尼力；当 $\omega > \omega_n$ 时，激振力主要用于平衡部分惯性力和阻尼力</p>		
结论		<p>(1) 简谐激励作用下的稳态受迫振动为简谐振动，振动频率与激振频率相同</p> <p>(2) 受迫振动的振幅主要决定于系统的固有角频率、阻尼、激振力幅值以及激振频率与固有频率之比</p>		

2.2 非简谐受迫振动的模型参数及响应

表 18-3-3

序号	项目	周期激励作用	非周期激励作用
1	力学模型及运动微分方程	 $m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = Q(t)$ $\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = q(t)$ $2\alpha = \frac{C}{m} \quad \omega_n^2 = \frac{K}{m} \quad \zeta = \frac{\alpha}{\omega_n}$	$Q(t)$ ——任意激励 $q(t) = Q(t)/m$
2	非简谐激励的分解	 $Q(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \cos i\omega t + b_i \sin i\omega t)$ $a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt$ $a_i = \frac{2}{T} \int_0^T Q(t) \cos i\omega t dt$ $b_i = \frac{2}{T} \int_0^T Q(t) \sin i\omega t dt$ <p>T——激励的周期, s</p>	 $q(\tau) = \begin{cases} \frac{Q_0}{m} (1 - \tau/t_0) & \tau \leq t_0 \\ 0 & \tau > t_0 \end{cases}$ <p>将 $q(\tau)$ 分解为 n 个在 $(\tau, \tau + d\tau)$ 区间上值为 τ 时刻 $q(\tau)$ 值的脉冲</p>
3	局部激励作用下的响应	$x_0 = \frac{a_0}{K}$ $x_i = B_i \sin(i\omega t + \alpha_i - \psi_i)$ <p>式中 $B_i = \frac{\sqrt{a_i^2 + b_i^2}}{K \sqrt{(1 - i^2 Z^2)^2 + (2\zeta i Z)^2}}$</p> $\alpha_i = \arctan \frac{b_i}{a_i} \quad \psi_i = \arctan \frac{2\zeta i Z}{1 - i^2 Z^2}$ $Z = \frac{1}{T\omega_n}$	<p>根据动量定理将 τ 时刻作用系统的冲量 $q(\tau) d\tau$ 转换为初始速度：</p> $dx = q(\tau) d\tau$ <p>t 时刻系统对 τ 时刻冲量 $q(\tau) d\tau$ 的响应为以 dx 为初始速度自由振动响应：</p> $dx = e^{-\alpha(t-\tau)} \frac{q(\tau) d\tau}{\omega_n} \sin \omega_n (t - \tau)$

序号	项目	周期激励作用	非周期激励作用
4	局部激励响应叠加合成	$x(t) = x_0 + \sum_{i=1}^{\infty} x_i$ $= \frac{a_0}{K} + \sum_{i=1}^{\infty} B_i \sin(i\omega t + \alpha_i - \psi_i)$	<p>当 $t=0, x_0 = \dot{x}_0 = 0$ 时的杜哈梅积分</p> $x(t) = \frac{e^{-\alpha t}}{\omega_d} \int_0^t e^{\alpha \tau} q(\tau) \sin \omega_n(t - \tau) d\tau$
5	系统对图示激励响应实例计算	$m\ddot{x} + C\dot{x} + (K_1 + K_2)x = Q(t)$ $Q(t) = \frac{K_2 A}{2} - \frac{K_2 A}{2} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots \right)$ $a_0 = \frac{K_2 A \omega^2}{4\pi^2} \int_0^{2\pi/\omega} t dt = \frac{K_2 A}{2}$ $a_i = \frac{K_2 A \omega^2}{2\pi^2} \int_0^{2\pi/\omega} t \cos i\omega t dt = 0$ $b_i = \frac{K_2 A \omega^2}{2\pi^2} \int_0^{2\pi/\omega} t \sin i\omega t dt = -\frac{K_2 A}{i\pi}$ $x(t) = \frac{K_2 A}{K_1 + K_2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \times \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i \sqrt{(1 - i^2 Z^2)^2 + (2\zeta i Z)^2}} \times \sin(i\omega t - \psi_i) \right]$ $\psi_i = \arctan [2\zeta i Z / (1 - i^2 Z^2)]$	<p>当 $0 < t < t_0$ ($C = \alpha = 0$) 时,</p> $x(t) = \frac{Q_0}{\omega_n m} \int_0^t (1 - \tau/t_0) \sin \omega_n(t - \tau) d\tau$ $= \frac{Q_0}{K} (1 - \cos \omega_n t) - \frac{Q_0}{K t_0} \left(t - \frac{1}{\omega_n} \sin \omega_n t \right)$ <p>当 $t = t_0$ 时,</p> $x(t) = \frac{Q_0}{\omega_n m} \int_0^{t_0} (1 - \tau/t_0) \sin \omega_n(t - \tau) d\tau$ $= \frac{Q_0}{K} (1 - \cos \omega_n t) - \frac{Q_0}{K t_0} \left(t_0 - \frac{1}{\omega_n} \sin \omega_n t \right)$ <p>当 $t > t_0$ 时,</p> $x(t) = \frac{Q_0}{\omega_n m} \int_0^{t_0} (1 - \tau/t_0) \sin \omega_n(t - \tau) d\tau$ $= \frac{Q_0}{K \omega_n t_0} [\sin \omega_n t - \sin \omega_n(t - t_0)] - \frac{Q_0}{K} \cos \omega_n t$

3 直线运动振系与定轴转动振系的参数类比

表 18-3-4

序号	项目	直线运动振系	定轴转动振系
1	力学模型		
2	运动微分方程	$m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin \omega t$	$I\ddot{\varphi} + C_\varphi \dot{\varphi} + K_\varphi \varphi = M_0 \sin \omega t$ <p>M_0——激振力矩幅值, N·m</p>
3	位移	$x = x(t) \quad (\text{m})$	$\varphi = \varphi(t) \quad (\text{rad})$
4	速度	$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad (\text{m/s})$	$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{rad/s})$
5	加速度	$\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (\text{m/s}^2)$	$\ddot{\varphi} = \frac{d\dot{\varphi}}{dt} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \quad (\text{rad/s}^2)$

续表

序号	项目	直线运动振系	定轴转动振系
6	惯性力及 惯性力矩	$F_0 = m\ddot{x}$ (N) m ——质量, kg	$M_0 = I\ddot{\varphi}$ (N·m) I ——转动惯量, kg·m ² 摆动: $I = ml^2$
7	阻尼力及 阻尼力矩	$F_d = C\dot{x}$ (N) C ——阻尼系数, N·s/m	$M_d = C_\varphi\dot{\varphi}$ (N·m) C_φ ——阻尼系数, N·m·s/rad
8	恢复力及 恢复力矩	$F_k = Kx$ (N) K ——刚度, N/m	$M_k = K_\varphi\varphi$ (N·m) K_φ ——刚度, N·m/rad 摆动: $K_\varphi = mgl$
9	激励	$F(t) = F_0 \sin\omega t$ (N)	$M(t) = M_0 \sin\omega t$ (N·m)
10	固有角 频率	$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (rad/s)	$\omega_n = \sqrt{\frac{K_\varphi}{I}}$ (rad/s) 摆动: $\omega_n = \sqrt{\frac{g}{l}}$ (rad/s)
11	动能	$T = \frac{1}{2}m\dot{x}^2$ (J)	$T = \frac{1}{2}I\dot{\varphi}^2$ (J)
12	能量耗散 函数	$D = \frac{1}{2}C\dot{x}^2$ (J)	$D = \frac{1}{2}C_\varphi\dot{\varphi}^2$ (J)
13	势能	$V = \frac{1}{2}Kx^2$ (J)	$V = \frac{1}{2}K_\varphi\varphi^2$ (J)
例	表 18-3-1 中第 6 项线性阻尼的直线运动的响应为 $x = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \varphi_0)$ $\alpha = \frac{c}{2m}; b = \frac{\dot{x} + \alpha x_0}{\omega_d}$ 振幅: $A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\dot{x} + \alpha x_0}{\omega_d}\right)^2}$ 初相位: $\varphi_0 = \arctan\left(\frac{x_0 \omega_d}{\dot{x} + \alpha x_0}\right)$	扭转运动的响应相应为 $\varphi = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \psi_0)$ $\alpha = \frac{c_\varphi}{2I}; b = \frac{\dot{\varphi} + \alpha \varphi_0}{\omega_d}$ 振幅: $A = \sqrt{\varphi_0^2 + \left(\frac{\dot{\varphi} + \alpha \varphi_0}{\omega_d}\right)^2}$ 初相位: $\psi_0 = \arctan\left(\frac{\varphi_0 \omega_d}{\dot{\varphi} + \alpha \varphi_0}\right)$	

注: 其他项目或多自由度振动可按此类比。

4 共振关系

一个振动系统其自由振动的弹簧刚度为 K (恢复力—— Kx), 阻力系数为 C (阻力—— $C\dot{x}$), 参振质量为 m , 在外力 $A\cos\omega t$ 的作用下产生振动。外力的振动频率为 $f = \omega/2\pi$ 。令 $p^2 = \frac{K}{m}$; $2n = \frac{C}{m}$ 。可以推导得在 $\frac{\omega}{p} = \sqrt{1 - \frac{2n^2}{p^2}}$ 时, 系统将发生最大的位移振幅。经运算将其列于表 18-3-5 的第 2 列第 2 栏及第 3 栏; 此时相对应的速度幅值和位移与力之间的相角差各列于下面两栏。同样发生最大的速度振幅的频率与其相应的结果列于第 3 列; 最后一列为外力的振动频率与阻尼系统固有频率相等时的各项公式。

表 18-3-5

特征量	激振频率引起位移共振	激振频率引起速度共振	激振频率等于阻尼固有频率
频率	$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{C^2}{2m^2}}$	$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$	$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{C^2}{4m^2}}$
位移幅值	$\frac{A}{C \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{C^2}{4m^2}}}$	$\frac{A}{C \sqrt{\frac{K}{m}}}$	$\frac{A}{C \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{3C^2}{16m^2}}}$
速度幅值	$\frac{A}{C \sqrt{1 + \frac{C^2}{4mK} - 2C^2}}$	$\frac{A}{C}$	$\frac{A}{C \sqrt{1 + \frac{C^2}{16mK} - 4C^2}}$
位移与力之间的相角差	$\arctan \sqrt{\frac{4mK}{C^2} - 2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\arctan \sqrt{\frac{16mK}{C^2} - 4}$

还有一种加速度共振，频率为 $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K/m}{1 - 2(C/2\sqrt{mK})^2}}$ ，系统作受迫振动时，激励频率有任何微小变化均会使系统响应上升。

5 回转机械在启动和停机过程中的振动

5.1 启动过程的振动

回转机械的转子无论静、动平衡做得如何好，仍会有不平衡惯性力存在，激发机械系统产生振动。为减少传给基础的动载荷，通常在回转机械和基础之间装有隔振弹簧或者隔振弹簧加阻尼器。这样便构成了质量、弹簧和阻尼的振动系统。如果只研究铅垂方向的振动，额定转速超过临界转速的机器在启动过程中随转速逐渐升高，必然要经过共振区，机械系统的振幅明显增大，回转机械启动过程的位移曲线如图 18-3-1 所示。启动过程大致可

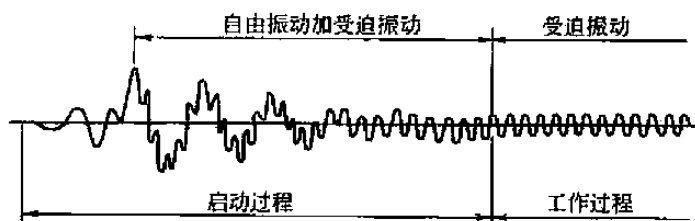


图 18-3-1 回转机械启动过程的位移曲线

分为两个阶段。第一阶段为电机带动负载的启动过程。该阶段是电机带动偏心转子完成转子从零到正常转速的过渡，在这个过渡过程中，当转子的转速和系统的固有频率接近或相等时，机械系统将处于共振状态，振幅将明显增大。但由于启动速度较快，转子在共振状态下运转时间较短，振幅增长有限，通常为正常工作振幅的 3~5 倍；第二阶段是在第一阶段激发起系统具有一定初始位移和初始速度条件下

的自由振动和受迫振动的叠加。初始条件取决于第一阶段启动的快慢，启动得快，初始位移和初始速度就小，第二阶段的过渡过程也就短，否则相反。

5.2 停机过程的振动

回转机械停机过程的位移曲线如图 18-3-2 所示。停机过程也可大致分为两个阶段。第一阶段虽然电机电源切断，偏心转子在惯性力矩和阻尼力矩作用下，处于减速回转状态。当转速降低到系统固有角频率以下时，由于转速低，离心力也很小，对系统已不起激振作用。在减速回转过程中，当激振频率逐渐接近系统固有角频率时，振幅将增大。由于转子的阻尼力矩较小，所以，停机过程越过共振区较启动过程越过共振区的时间充分，越过共振区时的振幅通常可以达到机械正常工作时振幅的 5~7 倍。这一现象应当给予充分重视，在设计隔振弹簧时，必须保证弹簧的静变形量大于该最大幅值和限位装置。否则，机体由于振幅过大，瞬时机体可能脱离弹簧，当机体重新落在弹簧上时，对机体和弹簧都会造成很大冲击，对机械的使用寿命有很大影响。更有甚者，不仅机体振

幅大于弹簧的静变形，造成机体和弹簧的脱离，而且使限位装置不起作用，弹簧会像炮弹一样地飞出，造成人身和设备的严重事故。第二阶段为衰减自由振动，这种自由振动衰减快慢主要取决于系统的阻尼。阻尼包含振动阻尼和转子回转阻尼。回转阻尼影响转子的减速和越过共振区的时间，也就意味着影响第二阶段的初始条件；振动阻尼影响振动的衰减速度。若第二阶段的初始位移和初始速度小，振动阻尼又较大，则第二阶段较短，否则相反（以上未考虑到加制动的停车状态）。

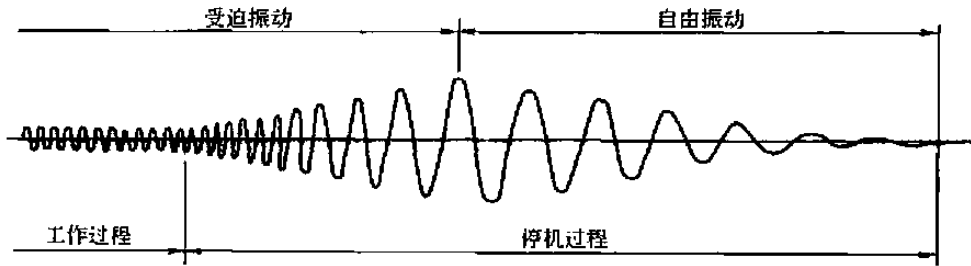




图 18-3-2 回转机械停机过程的位移曲线

6 多自由度系统

6.1 多自由度系统自由振动模型参数及其特性

表 18-3-6

序号	项 目	二自由度系统	n 自由度系统
1	力学模型		
2	运动微分方程	$M_{11}\ddot{x}_1 + M_{12}\ddot{x}_2 + K_{11}x_1 + K_{12}x_2 = 0$ $M_{21}\ddot{x}_1 + M_{22}\ddot{x}_2 + K_{21}x_1 + K_{22}x_2 = 0$ <p>式中 $M_{11} = m_1$ $M_{22} = m_2$ $M_{12} = M_{21} = 0$ $K_{11} = K_1 + K_2$ $K_{22} = K_2 + K_3$ $K_{12} = K_{21} = -K_2$</p>	$M\ddot{x} + Kx = 0$ <p>式中</p> $M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \dots & M_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & M_{n2} & \dots & M_{nn} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & m_n \end{bmatrix}$ $K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & 0 & \dots & 0 \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & \dots & -K_n & K_n + K_{n+1} \end{bmatrix}$ $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \vdots \\ \ddot{x}_n \end{bmatrix} \quad \theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$ <p>M——质量矩阵 K——刚度矩阵 K_{ij}——j处产生单位位移(其他处位移为0)时,i点所需作用力的大小</p>

序号	项 目	二自由度系统	n 自由度系统
3	特解	$x_1 = A_1 \sin(\omega_n t + \varphi)$ $x_2 = A_2 \sin(\omega_n t + \varphi)$	$x = \begin{Bmatrix} x_{M1} \\ x_{M2} \\ \vdots \\ x_{Mn} \end{Bmatrix} \sin(\omega_n t + \varphi)$
4	特征方程	$\begin{vmatrix} K_{11} - M_{11}\omega_n^2 & K_{12} - M_{12}\omega_n^2 \\ K_{21} - M_{21}\omega_n^2 & K_{22} - M_{22}\omega_n^2 \end{vmatrix} = 0$ <p>展开: $a\omega_n^4 + b\omega_n^2 + c = 0$</p> <p>式中 $a = M_{11}M_{22} - M_{12}^2$ $b = -(M_{11}K_{22} + M_{22}K_{11} - 2M_{12}K_{12})$ $c = K_{11}K_{22} - K_{12}^2$</p>	$|K - \omega_n^2 M| = 0$ <p>展开:</p> $a_n \omega_n^{2n} + a_{n-1} \omega_n^{2(n-1)} + \dots + a_1 \omega_n^2 + a_0 = 0$
5	固有角频率	<p>一阶固有角频率:</p> $\omega_{n1} = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}}$ <p>二阶固有角频率:</p> $\omega_{n2} = \sqrt{\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}}$	<p>用数值计算方法求特征方程的 n 个特征值,并由小到大排列,分别称为一阶、二阶、……、n 阶固有角频率。通常前一、二、三阶的振动频率在总振动中较为重要</p>
6	振幅联立方程	$(K_{11} - M_{11}\omega_n^2)A_1 + (K_{12} - M_{12}\omega_n^2)A_2 = 0$ $(K_{21} - M_{21}\omega_n^2)A_1 + (K_{22} - M_{22}\omega_n^2)A_2 = 0$	$(K - \omega_n^2 M)x_M = 0$
7	振幅比及振型矢量	<p>一阶振幅比:</p> $\Delta_1 = \frac{A_2^{(1)}}{A_1^{(1)}} = -\frac{K_{11} - M_{11}\omega_{n1}^2}{K_{12} - M_{12}\omega_{n1}^2}$  <p>一阶主振型(同相位)</p> <p>二阶振幅比:</p> $\Delta_2 = \frac{A_2^{(2)}}{A_1^{(2)}} = -\frac{K_{11} - M_{11}\omega_{n2}^2}{K_{12} - M_{12}\omega_{n2}^2}$  <p>二阶主振型(反相位)</p>	<p>将一阶固有角频率 ω_{n1} 代入振幅联立方程得一阶振型矢量 x_{M1},同理可得 x_{M2}, \dots, x_{Mn}。也可用数值计算方法和固有角频率同时计算出来</p> <p>振型矩阵:</p> $x_M = [x_{M1} x_{M2} \dots x_{Mn}]$ <p>振型矩阵由 n 阶振型矢量组成 $n \times n$ 阶矩阵正则振型矩阵:</p> $x_N = x_M \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu_1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{\mu_n} \end{bmatrix}$ $\mu_i = \sqrt{x_{Mi}^T M x_{Mi}}$ $= \sqrt{\sum_{j=1}^n x_{Mji} \left(\sum_{r=1}^n M_{rr} x_{Mri} \right)}$
8	振型矢量的正交性	$\begin{Bmatrix} 1 \\ \Delta_1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{12} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ \Delta_2 \end{Bmatrix} = 0$ $\begin{Bmatrix} 1 \\ \Delta_1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ \Delta_2 \end{Bmatrix} = 0$ <p>一阶振型矢量和二阶振型矢量关于质量矩阵成正交,关于刚度矩阵也成正交</p>	$x_{Mi}^T M x_{Mj} = 0$ $x_{Mi}^T K x_{Mj} = 0$ <p>i 阶振型矢量和 j 阶振型矢量关于质量矩阵成正交,关于刚度矩阵也成正交</p>
9	能量关系	不同阶振型矢量的动能和势能不能相互转换,只有同阶振型矢量间的动能和势能才能相互转换	

注: 1. 自由振动响应只在机械系统的启动和停机过程中存在,而且持续时间又较短,所以一般振动分析均不考虑自由振动响应。

2. n 自由度系统的特征值(固有角频率)和特征矢量(振型矢量)的数值计算可用矩阵迭代法、QR法、雅可比法等计算程序进行计算。

6.2 二自由度系统受迫振动的振幅和相位差角计算公式

表 18-3-7

序号	模型及简图	振 幅	相 位 差 角
1	<p>主动二次隔振</p>	$B_1 = F \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{g^2 + h^2}}$ $B_2 = F \sqrt{\frac{e^2 + f^2}{g^2 + h^2}}$ <p>F——激振力幅</p>	$\psi_1 = \arctan \frac{bg - ah}{ag + bh}$ $\psi_2 = \arctan \frac{fg - ef}{eg + fh}$ <p>a, b, c, \dots——见注</p>
2	<p>弹性连杆振动机</p>	$B_1 = F \sqrt{\frac{(a+e)^2 + (b+f)^2}{g^2 + h^2}}$ $B_2 = F \frac{c+e}{\sqrt{g^2 + h^2}}$	$\psi_1 = \arctan \frac{(b+f)g - (a+e)h}{(a+e)g + (b+f)h}$ $\psi_2 = \arctan \frac{h}{g}$
3	<p>被动二次隔振</p>	$B_1 = \lambda U \sqrt{\frac{c^2 + d^2}{g^2 + h^2}}$ $B_2 = \lambda U \sqrt{\frac{e^2 + f^2}{g^2 + h^2}}$ <p>U——振幅</p>	$\psi_1 = \arctan \frac{dg - ch}{cg + dh} - \theta$ $\psi_2 = \arctan \frac{fg - eh}{eg + fh} - \theta$
4	<p>动力减振</p>	$B_1 = F \sqrt{\frac{e^2 + f^2}{g^2 + h^2}}$ $B_2 = F \sqrt{\frac{c^2 + d^2}{g^2 + h^2}}$	$\psi_1 = \arctan \frac{fg - eh}{eg + fh}$ $\psi_2 = \arctan \frac{dg - ch}{cg + dh}$

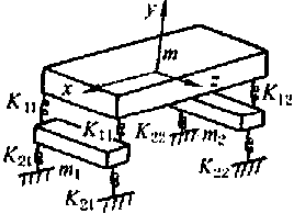
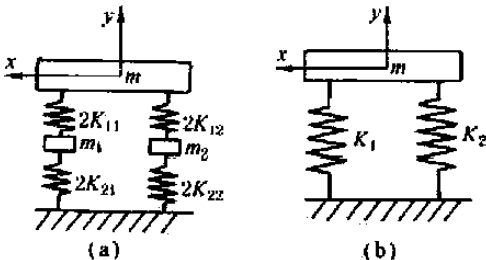
注: $a = K_1 + K_2 - m_2 \omega^2$; $b = (C_1 + C_2) \omega$; $c = K_1 - m_1 \omega^2$; $d = C_1 \omega$; $e = -K_1$; $f = -C_1 \omega$; $g = (K_1 - m_1 \omega^2)(K_2 - m_2 \omega^2) - (K_1 m_1 + C_1 C_2) \omega^2$; $h = [(K_1 - m_1 \omega^2) C_2 - (K_2 - m_2 \omega^2 - m_1 \omega^2) C_1] \omega$; $\lambda = \sqrt{K_2^2 + C_2^2 \omega^2}$; $\theta = \arctan(C_2 \omega / K_2)$ 。

7 机械系统的力学模型

研究振动问题时, 机械总体或机械零部件以及它们的安装基础构成了振动系统。实际振动系统是很复杂的。影响振动的因素很多, 在处理工程振动问题的过程中, 根据研究问题的需要, 抓住影响振动的主要因素, 忽略影响振动的次要因素, 使复杂的振动系统得以简化。称简化后的振动系统为实际振动系统的力学模型。本节首先以汽车为例来说明力学模型的定性简化原则。通过系统的振动分析, 阐明怎样根据研究问题的需要, 定量地确定被忽略的次要因素对振动的影响。最终提出设计的计算模型。

7.1 力学模型的简化原则

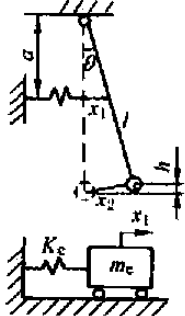
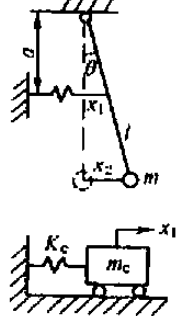
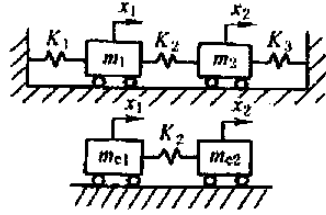
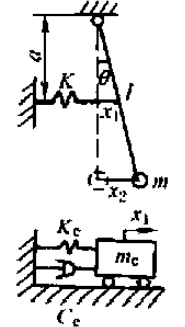
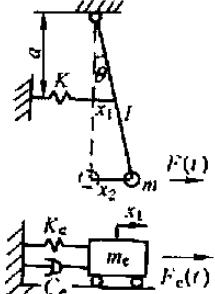
表 18-3-8

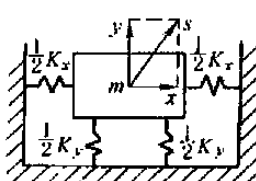
序号	简化原则	汽车模型简化说明
1	根据研究问题的需要和可能,突出影响振动的主要因素,忽略影响振动的次要因素	<p>根据研究,人乘汽车的舒适性或车架振动问题的需要,对汽车系统进行下列简化</p> <p>(1)轮胎和悬挂弹簧的质量与车架和前后桥的质量相比,前者的质量是影响振动的次要因素,可以忽略;但前者的弹性与后者的弹性相比,前者的弹性又是影响振动的主要因素,应当加以突出。因此,将轮胎和悬挂弹簧简化为无质量的弹性元件,而将车架和前后桥简化为刚体质量</p> <p>(2)发动机不平衡惯性力与汽车行驶时路面起伏对汽车振动的影响相比,前者很小可忽略。于是,将系统的受迫振动问题简化成支承运动引起的受迫振动问题</p>
2	<p>简化后的力学模型要能反映实际振动系统的振动本质</p> 	<p>简化后的力学模型应按下列顺序依次反映实际振动系统的振动本质</p> <p>(1)主要振动:车架沿 y 方向振动和绕 x 轴摆动(y, φ_x)</p> <p>(2)比较主要的振动:前后桥沿 y 方向振动(y_1, y_2)</p> <p>(3)一般振动:车架和前后桥绕 x 轴的摆动($\varphi_x, \varphi_{1x}, \varphi_{2x}$)</p> <p>(4)其他次要振动被忽略,于是系统被简化为具有 7 个自由度($y, \varphi_x, y_1, y_2, \varphi_x, \varphi_{1x}, \varphi_{2x}$)的力学模型</p>
3	<p>允许力学模型同实际系统的主要振动有误差,但必须满足工程精度(允许误差)要求</p> 	<p>(1)工程精度要求放宽点,可将车架和前后桥绕 x 轴摆动($\varphi_x, \varphi_{1x}, \varphi_{2x}$)忽略,系统则被简化成为如图 a 所示具有四个自由度(y, φ_x, y_1, y_2)的力学模型</p> <p>(2)工程精度再放宽一点,还可将前后桥沿 y 方向的振动(y_1, y_2)忽略,于是系统又被简化成为如图 b 所示具有两个自由度(y, φ_x)的力学模型</p> <p>(3)如果再忽略两个不同方向振动的耦联,系统还可以被分解成为两个单自由度模型</p> <p>(4)处理工程振动问题时,宁可工程精度差一点,也要把系统简化成为单自由度或二自由度的力学模型,这样更能突出振动本质,误差大些可通过调试加以弥补</p>

7.2 等效参数的转换计算

一个振动系统可以按周期能量相等的原则,转换为另一个相当的有等效参量的较简单的振动系统来计算。见表 18-3-9。

表 18-3-9

分类	能量守恒原则	等效参数	实例计算说明
1. 等效刚度	$V = \frac{1}{2} K_e \dot{x}_e^2$ $= \sum \frac{1}{2} K_i \dot{x}_i^2 + \sum m_i g h_i$ $\left(V = \frac{1}{2} K_{\varphi e} \dot{\varphi}_e^2 = \sum \frac{1}{2} K_{\varphi i} \dot{\varphi}_i^2 \right)$	$K_e = \frac{2V}{\dot{x}_e^2}$	$x_1 = a\theta \quad x_2 = l\theta \quad x_e = a\theta$ $h = l(1 - \cos\theta) \approx \frac{1}{2} l\theta^2$ $V = \frac{1}{2} K a^2 \theta^2 + mg \times \frac{1}{2} l\theta^2$ $K_e = K + \frac{mgl}{a^2}$ 
2. 等效质量	$T = \frac{1}{2} m_e \dot{x}_e^2$ $= \sum \frac{1}{2} m_i \dot{x}_i^2$ $\left(T = \frac{1}{2} I_e \dot{\varphi}_e^2 = \sum \frac{1}{2} I_i \dot{\varphi}_i^2 \right)$	$m_e = \frac{2T}{\dot{x}_e^2}$	$\dot{x}_1 = a\dot{\theta} \quad \dot{x}_2 = l\dot{\theta} \quad \dot{x}_e = a\dot{\theta}$ $T = \frac{1}{2} ml^2 \dot{\theta}^2$ $m_e = m \frac{l^2}{a^2}$ 
3. 弹簧刚度的等效质量	$T + V = \frac{1}{2} m_e \dot{x}_e^2$ $T = \sum \frac{1}{2} m_i \dot{x}_i^2$ $V = \sum \frac{1}{2} K_i \dot{x}_i^2$ $\left(T + V = \frac{1}{2} I_e \dot{\varphi}_e^2 \quad T = \sum \frac{1}{2} I_i \dot{\varphi}_i^2 \right)$ $V = \sum \frac{1}{2} K_{\varphi i} \dot{\varphi}_i^2$	$m_e = \frac{2(T + V)}{\dot{x}_e^2}$	$x_1 = B_1 \sin(\omega t - \varphi)$ $\dot{x}_1 = B_1 \omega \cos(\omega t - \varphi)$ $\dot{x}_e = B_1 \omega \cos(\omega t - \varphi)$ $T_1 = \frac{1}{2} m_1 B_1^2 \omega^2 \cos^2(\omega t - \varphi)$ $V_1 = \frac{1}{2} K_1 B_1^2 [1 - \cos^2(\omega t - \varphi)]$ $\text{所以 } m_{e1} = \frac{2(T_1 + V_1)}{\dot{x}_e^2} = m_1 - \frac{K_1}{\omega^2}$ $\text{同理: } m_{e2} = m_2 - \frac{K_3}{\omega^2}$ <p>其中 $\frac{1}{2} K_1 B_1, \frac{1}{2} K_3 B_2$ 只表示静态特性</p> 
4. 等效阻尼	$W = C_e \dot{x}_e \dot{x}_e = C_e \dot{x}_e^2$ $\left(W = C_{\varphi e} \dot{\varphi}_e \dot{\varphi}_e = \sum C_{\varphi i} \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_i \right)$	$C_e = \frac{W}{\dot{x}_e^2}$	$\dot{x}_2 = l\dot{\theta} \quad \dot{x}_e = l\dot{\theta}$ $\dot{x}_e = a\dot{\theta} \quad \dot{x}_e = a\dot{\theta}$ $W = C \dot{x}_2 \dot{x}_2 = C l^2 \dot{\theta}^2$ $C_e = C \frac{l^2}{a^2}$ 
5. 等效激励	$W = F_e(t) \dot{x}_e$ $= \sum F_i(t) \dot{x}_i$ $[W = M_e(t) \dot{\varphi}_e$ $\sum = M_i(t) \dot{\varphi}_i]$	$F_e(t) = \frac{W}{\dot{x}_e}$	$x_1 = a\theta \quad x_2 = l\theta$ $x_e = a\theta$ $W = F(t) l \dot{\theta}$ $F_e(t) = F(t) \frac{l}{a}$ 

分类	能量守恒原则	等效参数	实例计算说明
6. 方向 转换	$V = \frac{1}{2} K_s s^2$ $= \frac{1}{2} K_x x^2 + \frac{1}{2} K_y y^2$	$K_s = \frac{2V}{s^2}$	$x = s \cos \delta \quad y = s \sin \delta$ $V = \frac{1}{2} (K_x s^2 \cos^2 \delta + K_y s^2 \sin^2 \delta)$ $K_s = K_x \cos^2 \delta + K_y \sin^2 \delta$ <p>其他参数可类似进行振动方向的转换计算</p> 

注：1. 参数转换计算均按微幅简谐振动计算。

2. V —势能； T —动能； W —功； C —阻尼系数； B —振幅。

第 4 章 非线性振动与随机振动

1 非线性振动

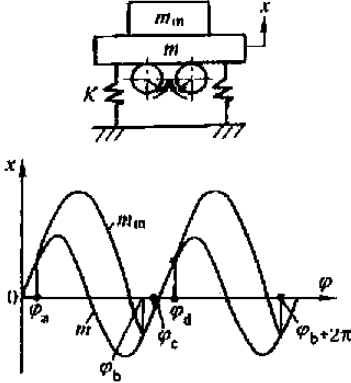
1.1 机械工程中的非线性振动问题

在对一个振动系统进行研究时，一般情况下其阻尼力和弹性力有时可线性化，但有时则必须考虑其非线性性质。在工程实际问题中也存在着一些不能线性化的系统。在机械系统中非线性力有非线性势力、非线性阻尼力和混合型非线性力。

表 18-4-1 为机械工程中的非线性振动问题的典型例子。

表 18-4-1

类型	力学模型及非线性力曲线	运动微分方程及非线性力表达式
非 线 性		<p>单摆运动微分方程：$m l^2 \ddot{\theta} + m g l \sin \theta = 0$，当摆角 θ 较大时，将 $\sin \theta$ 展成幂级数，即</p> $\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{6} + \frac{\theta^5}{120} - \dots$ <p>如果只取前两项，则非线性运动微分方程：</p> $\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \left(\theta - \frac{\theta^3}{6} \right) = 0$ <p>这种恢复力的系数随着角位移幅值增大而减小的性质，称为“软特性”</p>
恢 复 力		<p>非线性运动微分方程：</p> $m \ddot{x} + C \dot{x} + Q_k(x, t) = Q(t)$ <p>其弹性恢复力：</p> $Q_k(x, t) = \begin{cases} K'x & -e \leq x \leq e \\ K'x + K''(x - e) & e \leq x < \infty \\ K'x + K''(x + e) & -\infty < x \leq -e \end{cases}$ <p>这里 K' 为软弹簧刚度，K'' 为两个硬弹簧的刚度和。这种弹性恢复力为分段线性的非线性恢复力，这种弹性恢复力的系数随着位移幅值的增长而分段（或连续）增长的性质称为“硬特性”</p>
非 线 性 阻 尼 力		<p>非线性运动微分方程：$m \ddot{x} + Q_c(\dot{x}, t) + Kx = 0$</p> <p>库仑（干摩擦）阻尼：</p> $Q_c(\dot{x}, t) = \begin{cases} -\mu mg & \dot{x} > 0 \\ \mu mg & \dot{x} < 0 \end{cases}$ <p>μ——摩擦因数；m——质量，kg</p>

类型	力学模型及非线性力曲线	运动微分方程及非线性力表达式
非线性惯性力		<p>振动落砂机上质量为 m_m 的铸件做抛掷运动时,系统的运动微分方程:</p> $m\ddot{x} + Q_m(\ddot{x}, \dot{x}, t) + C\dot{x} + Kx = Q(t)$ <p>其分段线性的非线性惯性力为:</p> $-Q_m(\ddot{x}, \dot{x}, t) = \begin{cases} 0 & \varphi_a \leq \varphi \leq \varphi_b \\ m_m(\ddot{x} + g) & \varphi_c \leq \varphi \leq \varphi_d \\ \frac{m_m(\dot{x}_m - \dot{x})}{\Delta t} & \varphi_b \leq \varphi \leq \varphi_c \end{cases}$ <p>φ_a——m_m 的抛始角; $\varphi_d = \varphi_a + 2\pi$; $\varphi_c - \varphi_b = \omega\Delta t$; Δt——冲击时间(很短); \dot{x}_m, \dot{x}——分别为 m_m 和 m 的运动速度</p>

注: 1. 严格说, 振动系统都是非线性的, 只有在微幅振动时系统才能被简化为线性系统, 上述各例微幅振动分别在如下的范围时, 可简化为线性计算: $-\varphi_0 \leq \theta \leq \varphi_0$ ($\theta = \theta_0 \sin \omega t$, $\sin \varphi_0 \approx \varphi_0$); $-e \leq B \leq e$ [$x = B \sin(\omega t - \psi)$]; $-A_0 \leq A \leq A_0$ [$x = A \sin(\omega t - \psi)$, $\omega A_0 \approx A_0$]; $-\frac{g}{\omega^2} \leq A \leq \frac{g}{\omega^2}$ [$x = A \sin(\omega t - \psi) = A \sin \varphi$; $\varphi_c = 0 \leq \varphi \leq \varphi_d = 2\pi$]. 当振动幅值超出上述范围, 则系统产生的振动为非线性振动。

2. θ_0 、 B 、 A —各自的振幅。

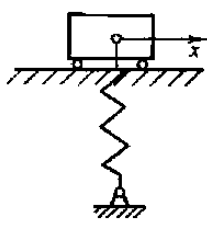
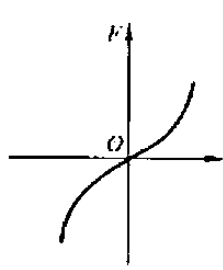
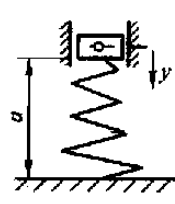
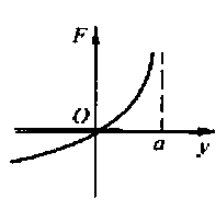

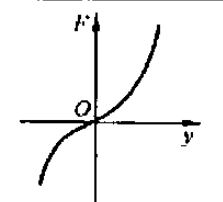
1.2 非线性力的特征曲线

表 18-4-2 为各种系统所常见的几种非线性弹性力的特征曲线。

表 18-4-3 为各种系统所常见的几种非线性阻尼力的特征曲线。

表 18-4-4 为混合型非线性力的例子, 基本上由材料或组件的弹性及内部阻力而形成。

表 18-4-2 各种系统所常见的几种非线性弹性力的特征曲线

序号	系统说明	系统图例	力的特征曲线
1	以弹簧压于平面的物体		
2	置于锥形弹簧上的物体		
3	柔性弹性梁		

续表

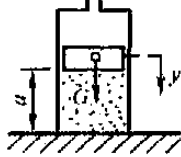
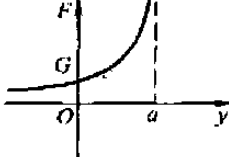

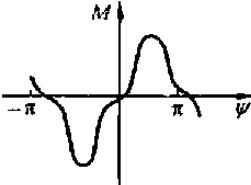
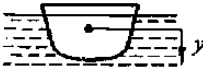
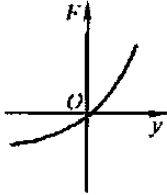

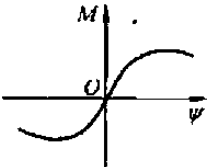
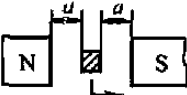
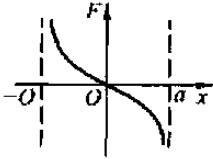
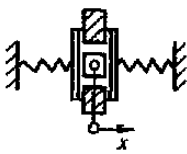
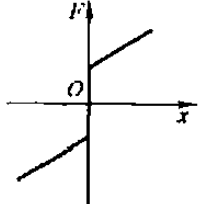

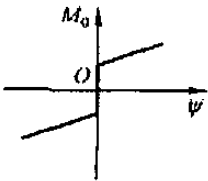
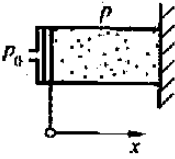
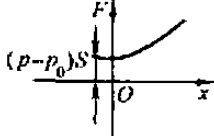
序号	系统说明	系统图例	力的特征曲线
4	密闭缸内的气体上的重物		
5	悬挂轴旋转的单摆		 $M = mgl\sin\psi - m\Omega^2 l^2 \cos\psi\sin\psi$
6	曲面船垂直偏离平衡位置		
7	曲面船绕平衡位置转动		
8	磁场中的电枢		
9	有间隙的弹簧		
10	有纵向横槽的半圆柱体		
11	缸内有气压的活塞向下压		 <p>p, p_0——内部压力和大气压力; S——气缸横断面积</p>

表 18-4-3

各种系统所常见的几种非线性阻尼力的特征曲线

序号	阻尼说明	阻尼力公式	力的特征曲线	说 明
1	幂函数阻尼	$F_1 = b|v|^{n-1}v$		
2	库仑摩擦 (1中 $n=0$ 时)	$F_1 = b_0$		即表 18-2-6 中的 1 项
3	平方阻尼 (1中 $n=2$ 时)	$F_1 = b_1v^2$		即表 18-2-6 中的 2 项
4	线性和立方阻 尼的组合	a) $F_1 = b_1v + b_3v^3$ b) $F_1 = b_1v - b_3v^3$ c) $F_1 = -b_1v + b_3v^3$		
5	线性与库仑阻 尼的组合	a) $F_1 = b_0 \frac{v}{|v|} + b_1v$ b) $F_1 = b_0 \frac{v}{|v|} - b_1v$ c) $F_1 = -b_0 \frac{v}{|v|} + b_1v$		
6	干摩擦 (2 和 4 的一部 分)	$F_1 = b_0 \frac{v}{|v|} - b_1v + b_3v^3$		

注: v —速度, $v = \dot{x}$; b_0, b_1, \dots, b_3 —正的常数。

表 18-4-4

混合型非线性力

序号	系统说明	系统图例	力的特性曲线
1	在其间有库仑摩擦的板弹簧组合		
2	固定在螺栓弹簧上的圆盘, 在旋转时由于弹簧拧紧, 它与粗糙表面 A 或 B 压紧		
3	弹塑性系统		
4	以常压 p 压在粗糙表面上的弹性带钢	$x_{max} = \frac{p^2}{2fpEFb}$ <p> E——弹性模量 F——截面面积 b——宽度 f——摩擦因数 $P_{max} = fpbl$ </p>	$a = \frac{P}{P_{max}}; \xi = \frac{x}{x_{max}}$
5	具有材料内阻的杆		

1.3 非线性系统的物理性质

在线性系统中, 由于有阻尼存在, 自由振动总是被衰减掉, 只有在干扰力作用下有定常的周期解; 而在非线性系统中, 如自激振动系统, 在有阻尼及无干扰力的情况下, 也有定常的周期振动。

非线性振动与线性振动不同的特点有如下几个方面 (其特性曲线与说明见表 18-4-5)。

1) 在线性系统中, 固有频率和起始条件、振幅无关; 而在非线性系统中, 固有频率则和振幅、相位以及初始条件有关。如表 18-4-5 中的第 2 项。

2) 幅频曲线出现拐点, 受迫振动有跳跃和滞后现象, 表中第 3 项恢复力为硬特性的非线性系统受简谐激振力作用时的响应曲线, 第 4 项恢复力为软特性的响应曲线。

3) 在非线性系统中, 对应于平衡状态和周期振动的定常解一般有数个, 必须研究解的稳定性问题, 才能决定各个解的特性, 如第 5 项。

4) 线性系统中的叠加原理对非线性系统不适用。

5) 在线性系统中, 强迫振动的频率和干扰力的频率相同; 而在非线性系统中, 在简谐干扰力作用下, 其定常强迫振动解中, 除有和干扰力同频的成分外, 还有成倍数的频率成分存在。

多个简谐激励力作用下的受迫振动有组合频率的响应, 出现组合共振或亚组合共振, 如第 7 项。

6) 频率俘获现象。

7) 广泛存在混沌现象。混沌是在非线性振动系统上有确定的激励作用而产生的非周期解。

8) 非理想系统、自同步系统等不能线性化, 必须研究非线性微分方程才能对其振动规律进行分析。

表 18-4-5 非线性系统的物理性质

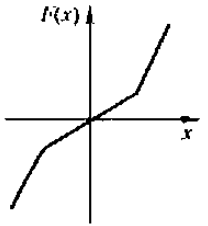
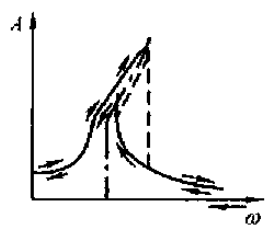
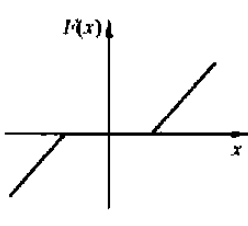
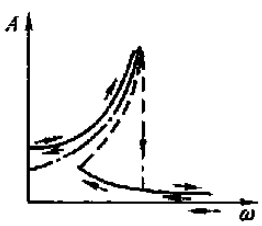
序号	物理性质	特性曲线(公式)	说 明
1	恢复力为非线性时, 频率和振幅间的关系		第 3、4 项的拐曲可参照
2	固有频率是振幅的函数	弹性恢复力: $f(x) = Kx + \alpha x^3 + \beta x^5$ 系统固有角频率: $\omega_n = \sqrt{\frac{K + \alpha A^2 + \beta A^4}{m}}$	系统的固有角频率将随着振幅 A 的增大而增大(硬特性)或减小(软特性) 非线性系统的运动微分方程: $m\ddot{x} + Kx + \alpha x^3 + \beta x^5 = 0$ m ——质量, kg; K, α, β ——分别为位移的一、三、五次方项的系数; A ——位移幅值
3	幅频响应曲线发生拐曲		硬式非线性系统幅频响应曲线的峰部向右拐 软式非线性系统幅频响应曲线的峰部向左拐, 见序号 1
4	受迫振动的跳跃和滞后现象		当激励力幅值不变时, 缓慢改变激励频率, 则受迫振动的幅值 A 将发生如图所示的变化。当 ω 从 0 开始增大时, 则振幅将沿 af 增大, 到 b 点若 ω 再增大, 则 A 突然下降(或增大)到 c , 这种振幅的突然变化称为跳跃现象, 然后若 ω 继续增大, 则 A 沿 cd 减小。反之, 当 ω 从高向低变化时, A 将沿 de 方向增大, 到达 e 点并不发生跳跃, 而是继续沿 ce 方向增大, 到 e 点, 若 ω 再变小, 则振幅又一次出现跳跃现象, 这种到 c 不发生跳跃, 而到 e 才发生跳跃的现象, 称为滞后现象。从 e 点跳跃到 f 点后, 振幅 A 将沿 fa 方向减小 除振幅有跳跃现象外, 相位也有跳跃现象。下面是非线性系统的相频响应曲线(硬特性)

序号	物理性质	特性曲线(公式)	说明
5	稳定区和不稳定区		<p>在非线性系统幅频响应曲线的滞后环(上面两图的 <i>bcef</i>)内,即两次跳跃之间,对应同一频率,有三个大小不同的幅值,也就是对应同一频率有三个解,其中对应 <i>be</i> 段上的解,无法用试验方法获取,该解就是不稳定的。多条幅频响应曲线对应的这一区域称为不稳定区。正因为如此,就需要对多值解的稳定性进行判别</p>
6	线性叠加原理不再适用	$(x_1 + x_2)^2 \neq x_1^2 + x_2^2$ $\left[\frac{d(x_1 + x_2)}{dt} \right]^2 \neq \left(\frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dx_2}{dt} \right)^2$	
7	简谐激振力作用下的受迫振动有组合频率响应	<p>非线性系统在 $Q_1 \sin \omega_1 t$ 和 $Q_2 \sin \omega_2 t$ 作用下,不仅会出现角频率为 ω_1 和 ω_2 的受迫振动,而且还可能出现频率为 $m\omega_1 \pm n\omega_2$ (m, n 为整数)的受迫振动</p>	<p>非线性系统在 $Q_1 \sin \omega_1 t$ 作用下,不仅会出现角频率为 ω_1 的受迫振动,而且还可能出现角频率等于 ω_1/n 的超谐波和角频率等于 $n\omega_1$ 的次谐波振动。当 $\omega = \omega_n$ 时,除谐波共振外,还可能有超谐波共振和次谐波共振</p>
8	频率俘获现象	<p>非线性系统在受到接近于固有角频率 ω_n 的频率为 ω 的简谐激振力作用下,不会出现拍振现象,而是出现不同于 ω_n 和 ω 的单一频率的同步简谐振动,这就是频率俘获现象。产生频率俘获现象的频带为俘获带</p>	

几个非线性系统的响应曲线见表 18-4-6。

表 18-4-6 非线性系统的响应曲线

恢复力	响应曲线	恢复力	响应曲线
			<p>小于临界阻尼,非线性特性较弱</p>
	<p>大于临界阻尼</p>		<p>小于临界阻尼,非线性较强</p>

恢复力	响应曲线	恢复力	响应曲线
			

1.4 分析非线性振动的常用方法

表 18-4-7 分析非线性振动的常用方法

		名称	适用范围及优缺点
精确解法		特殊函数法	可用椭圆函数或 T 函数等求得精确解的少数特殊问题, 以及构造弹性力三次项为强非线性系统的振动解
		接合法	分段线性系统
近似方法	定性方法	相平面法	可研究强非线性自治系统
		点映射法	可研究强非线性系统的全局性态, 并且是研究混沌问题的有力工具
		频闪法	求拟线性系统的周期解和非定常解, 但必须将非自治系统化为自治系统
	定量方法	三级数法	求拟线性系统的周期解和非定常解, 高阶近似较繁
		平均法	求拟线性系统的周期解和非定常解, 高阶近似较简单
		小参数法	求拟线性系统的定常周期解
		多尺度法	求拟线性系统的周期解和非定常解
		谐波平衡法	求强非线性系统和拟线性系统的定常周期解, 但必须已知解的谐波成分
		等效线性化法	求拟线性系统的定常周期解和非定常解
		伽辽金法	求解拟线性系统, 多取一些项也可用于强非线性系统
数值解法	求解拟线性系统、强非线性系统的解		

注: 非线性系统运动微分方程中, \dot{x} 、 \ddot{x} 不显含 t 的系统称自治系统, 其振动性状完全由系统性质决定, 不受外部的影响而产生的自由振动和自激振动。

1.5 等效线性化近似解法

表 18-4-8

项 目	数学表达式	说 明
非线性运动微分方程	$m\ddot{x} + f(x, \dot{x}) = Q_0 \sin \omega t$ $f(x, \dot{x})$ 为阻尼力和弹性恢复力的非线性函数	非线性函数可推广成为 $f(x, \dot{x}, \ddot{x}, t)$ 更一般函数
等效线性运动微分方程	$m\ddot{x} + C_e \dot{x} + K_e x = Q_0 \sin \omega t$	C_e 、 K_e 分别为等效线性阻力系数和刚度

续表

项 目	数学表达式	说 明
等效线性方程的稳态解	$x = A \sin(\omega t - \varphi) = A \sin \varphi$ 式中 $A = \frac{Q_0}{\sqrt{(K_c - m\omega^2)^2 + C_c^2 \omega^2}} = \frac{Q_0 \cos \varphi}{K_c - m\omega^2}$ $\varphi = \arctan \frac{C_c \omega}{K_c - m\omega^2}$	这里的振幅 A 、相位差角 φ 的表达式和第 3 章给出的公式是等价的
将 $f(x, \dot{x})$ 非线性项展成傅里叶级数	$f(x, \dot{x}) \approx a_1 \cos \varphi + b_1 \sin \varphi$ 式中 $a_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(A \sin \varphi, A \omega \cos \varphi) \cos \varphi d\varphi$ $b_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(A \sin \varphi, A \omega \cos \varphi) \sin \varphi d\varphi$	通常一次谐波都远大于二次以上谐波, 所以一般均忽略二次以上谐波。 a_0 只影响静态特性, 一般也不考虑
将展开的 $f(x, \dot{x})$ 代入非线性方程并同等效线性方程比较得出等效线性参数	等效刚度: $K_c = \frac{b_1}{A} = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \varphi, A \omega \cos \varphi) \sin \varphi d\varphi$ 等效阻尼系数: $C_c = \frac{a_1}{A \omega} = \frac{1}{\pi A \omega} \int_0^{2\pi} f(A \sin \varphi, A \omega \cos \varphi) \cos \varphi d\varphi$	

注: 有关运动稳定性问题在本章 2.3 节一并加以讨论。

1.6 示例

例 求解如图 18-4-1 所示的系统, 该机的非线性振动方程为:

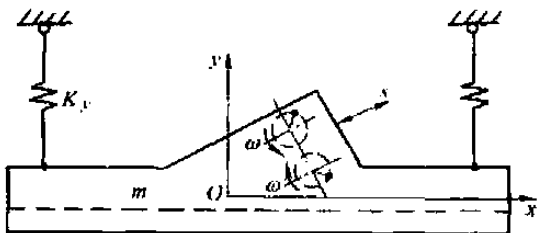


图 18-4-1 某自同步式振动机的力学模型

$$m\ddot{y} + C_y \dot{y} + F_m(\ddot{y}, \dot{y}) + K_y y = Q_0 \sin \delta \sin \varphi$$

$$m\ddot{x} + C_x \dot{x} + F_m(\ddot{x}, \dot{x}) + K_x x = Q_0 \cos \delta \sin \varphi$$

式中

$$F_m(\ddot{y}, \dot{y}) = \begin{cases} 0 & \varphi_1 < \varphi < \varphi_2 \\ m_m(\ddot{y} + g) & \varphi_2 - 2\pi + \Delta\varphi \leq \varphi \leq \varphi_1 \\ \frac{m_m(\dot{y}_m - \dot{y}_2)}{\Delta t} & \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_1 + \Delta\varphi \end{cases}$$

$$F_m(\ddot{x}, \dot{x}) = \begin{cases} 0 & \varphi_3 < \varphi < \varphi_4 \\ m_m \ddot{x} & \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2 \\ m_m(g + \ddot{y}) & \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3 \text{ (正向滑动取负号, 反向滑动取正号)} \\ \mu \frac{m_m(\dot{y}_m - \dot{y}_2)}{\Delta t} \text{ 或 } \frac{m_m(\dot{x}_m - \dot{x})}{\Delta t} & \varphi_4 \leq \varphi \leq \varphi_3 + \Delta\varphi \end{cases}$$

式中 m_m ——物料质量, kg;

μ ——摩擦因数;

Δt ——冲击时间, s, $\Delta t \rightarrow 0$;

\dot{y}_m ——物料抛掷运动结束, 落至机体瞬时速度, m/s;

\dot{y}_2 ——物料落至机体瞬时机体速度, m/s;

φ_d ——物料做抛掷运动的抛始角, rad;

φ_2 ——物料做抛掷运动终止相角，称为抛止角，rad；

δ ——振动方向角；

φ_1 ——物料在机体槽台上与槽台开始作等速运动时的相角；

φ_2 ——物料在机体槽台上与槽台开始有相对运动时的相角；

φ_3 ——物料在机体槽台上与槽台停止有相对运动时的相角；此时物料在机体槽台上与槽台又开始作等速运动，相当于又一次的相角 φ_1 。 $(\varphi_2 - \varphi_1)$ 为物料与槽台作一次等速运动的相角差， $(\varphi_3 - \varphi_2)$ 为物料与槽台作一次相对运动的相角差，在机体槽台的一个运动循环中，物料未跳起之前可能有几个这样的相角差。

该机做直线振动，因此， $y = s \sin \delta$ $x = s \cos \delta$

解 非线性方程的等效线性方程为：

$$(m + K_{m_y} m_m) \ddot{y} + (C_y + C_{m_y}) \dot{y} + K_y y = Q_0 \sin \delta \sin \varphi$$

$$(m + K_{m_x} m_m) \ddot{x} + (C_x + C_{m_x}) \dot{x} + K_x x = Q_0 \cos \delta \sin \varphi$$

非线性方程的一次近似解为：

$$y = A_y \sin \varphi_y \quad \varphi_y = \omega t - \alpha_y$$

$$x = A_x \sin \varphi_x \quad \varphi_x = \omega t - \alpha_x$$

对小阻尼振动机来说 $\alpha_y \approx \alpha_x$ ，所以， $\varphi_y \approx \varphi_x = \varphi$ ，推求非线性作用力一次谐波傅里叶系数，代入非线性方程（在忽略非线性作用力的二次以上谐波项，过程从略）可求得：

$$A_y = \frac{Q_0 \sin \delta \cos \alpha_y}{K_y - \left(m - \frac{b_{1y}}{m_m A_y \omega^2} m_m \right) \omega^2} \quad \alpha_y = \arctan \frac{\left(C_y + \frac{a_{1y}}{A_y \omega} \right) \omega}{K_y - \left(m - \frac{b_{1y}}{m_m A_y \omega^2} m_m \right) \omega^2}$$

$$A_x = \frac{Q_0 \cos \delta \cos \alpha_x}{K_x - \left(m - \frac{b_{1x}}{m_m A_x \omega^2} m_m \right) \omega^2} \quad \alpha_x = \arctan \frac{\left(C_x + \frac{a_{1x}}{A_x \omega} \right) \omega}{K_x - \left(m - \frac{b_{1x}}{m_m A_x \omega^2} m_m \right) \omega^2}$$

因而，物料的等效质量系数和等效阻尼系数为：

$$K_{m_y} = - \frac{b_{1y}}{m_m A_y \omega^2} \quad C_{m_y} = \frac{a_{1y}}{A_y \omega}$$

$$K_{m_x} = - \frac{b_{1x}}{m_m A_x \omega^2} \quad C_{m_x} = \frac{a_{1x}}{A_x \omega}$$

将振动 y 和 x 合成为振动 s 后的等效线性方程为：

$$(m + K_m m_m) \ddot{s} + C_e \dot{s} + K_e s = Q_0 \sin \omega t$$

式中 $K_m = K_{m_y} \sin^2 \delta + K_{m_x} \cos^2 \delta$

$$C_e = (C_y + C_{m_y}) \sin^2 \delta + (C_x + C_{m_x}) \cos^2 \delta$$

$$K_e = K_y \sin^2 \delta + K_x \cos^2 \delta$$

该方程的一次近似解： $s = A_1 \sin(\omega t - \alpha_1)$

$$\text{式中 } A_1 = \frac{Q_0 \cos \alpha_1}{K_e - (m + K_m m_m) \omega^2}, \quad \alpha_1 = \arctan \frac{C_e \omega}{K_e - (m + K_m m_m) \omega^2}$$

1.7 非线性振动的稳定性

对于线性系统，除了无阻尼共振的情况外，所有的运动都是稳定的。但是对于非线性系统，正像表 18-4-5 所表述的，可能出现许多不同的周期运动，如各种组合频率振动，其中有些振动是稳定的，有些振动是不稳定的。非线性系统运动稳定性是非常重要的，有时判断系统的运动稳定性比求得运动精确形态更重要。例如机械工程中常碰到的自激振动，重要的是判断系统在什么条件下会产生自激振动及系统各参数对稳定性的影响，人们并不关心自激振动产生后的频率和振幅。有关非线性系统的运动稳定性判断问题，在自激振动中一起讨论。

2 自激振动

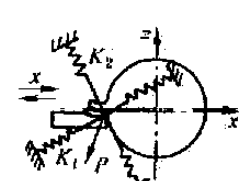
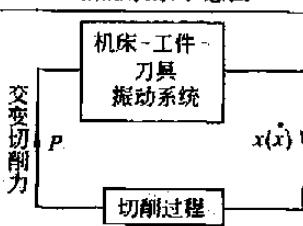
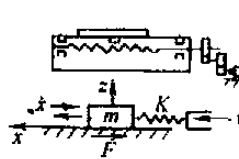
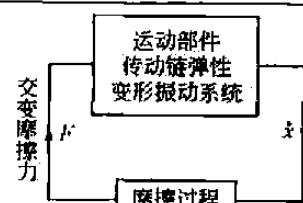
2.1 自激振动和自振系统的特性

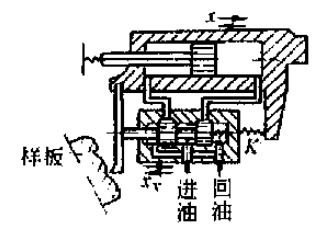
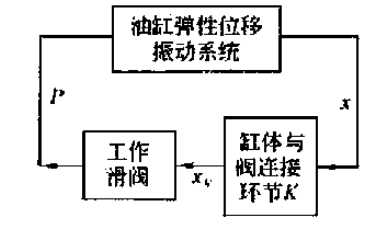
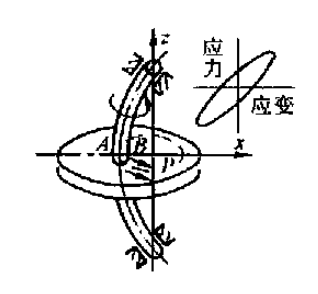
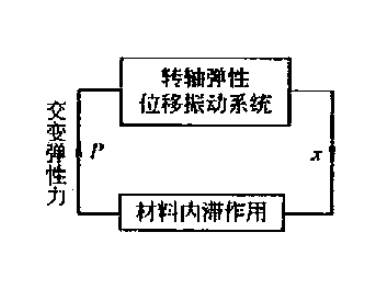
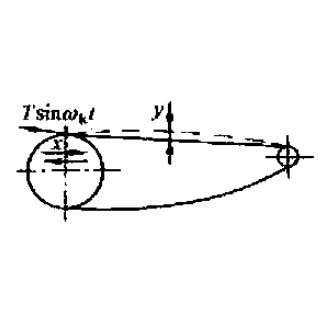
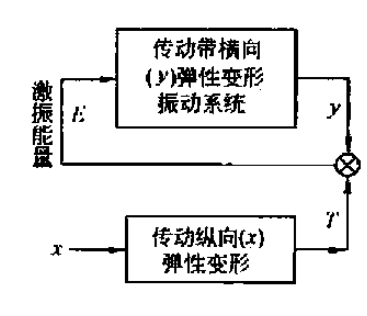
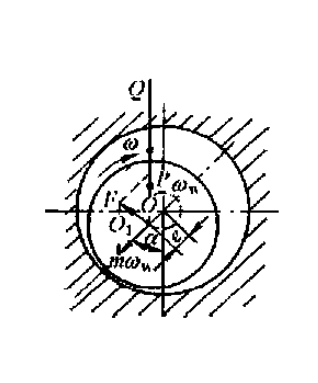
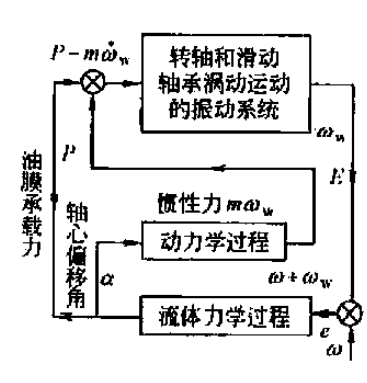
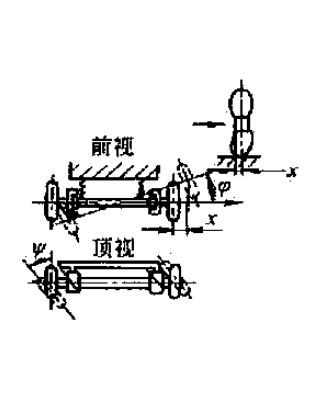
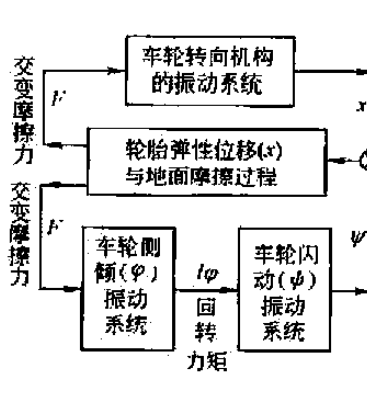
表 18-4-9

项 目	基 本 特 性	说 明
自激振动	自振是依靠系统自身各部分间相互耦合而维持的稳态周期运动。它的频率和振幅只取决于系统自身的结构参数,与系统的初始运动状态无关。一般情况下,振动频率为系统固有频率	自振无需周期变化外力就能维持稳态周期运动,这是与稳态受迫振动的根本区别 无阻尼自由振动的振幅和固有频率与系统初始运动状态有关,这是无阻尼自由振动与自振的根本区别
自振系统	任何物理系统振动时都要耗散能量,自振系统要维持稳态周期运动,一定要有给系统补充能量的能源,自振系统是非保守系统	能源向自振系统输入的能量,不是任意瞬时都等于系统所耗散的能量。当输入能量大于耗散能量,则振动幅值将增大。当输入能量小于耗散能量时,振动幅值将减小。但无论如何增大减小,最终都得达到输入和耗散能量的平衡,出现稳态周期运动
	自振系统是非线性系统,它具有反馈装置的反馈功能和阀的控制功能	线性阻尼系统没有周期变化外力作用产生衰减振动。只有非线性系统才能将恒定外力转换为激励系统产生振动的周期变化内力,并通过振动的反馈来控制振动
自振与稳态受迫振动的联系	如果只将自振系统中的振动系统和作用于系统的周期力作为研究对象,则可将自振问题转化为稳态受迫振动问题	当考察各种稳态受迫振动时,如果扩展被研究系统的组成,把受迫振动周期变化的外力变为扩展后系统的内力,则会发现更多的自激振动
自振与参激振动的联系	当系统受到不能直接产生振动的周期交变力(如交变力垂直位移)作用,通过系统各部分间的相互耦合作用,使系统参数(如摆长、弦和传动带张力、轴的截面惯性矩或刚度等)作周期变化,并与振动保持适当相位滞后关系,交变力向系统输入能量,当参数变化角频率 ω_k 和系统固有角频率 ω_n 之比 $\omega_k/\omega_n = 2, 1, 2/3, 2/4, 2/5, \dots$ 时,可能产生稳态周期振动,这种振动是广义自激振动	例如荡秋千时,利用人体重心周期变化,使摆动增大,但是如果秋千静止,无论人的质心如何上下变化,秋千仍然摆动不起来,这是典型广义自振的例子 如果缩小研究对象的范围,可将广义自振问题转化为参激振动问题,相反,在考察某些参激振动问题时,如果进一步探讨系统结构周期性变化的原因,也就是把结构变化的几何性描述转变为相应子系统的动力过程,就可将这类参激振动问题转变为自激振动问题
自振的控制及利用	自振系统往往在达到稳态周期运动之前,振动的幅值就超过了允许的限度,所以,应采取措施控制和防止。但像蒸汽机、风动冲击工具等则是利用自振来工作的	

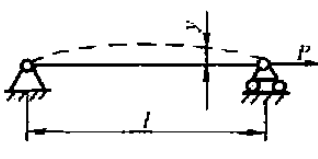
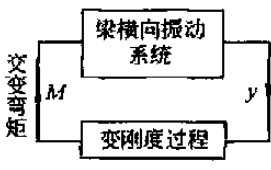
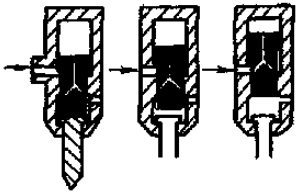
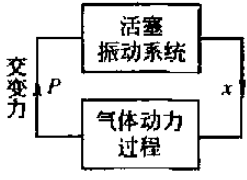
2.2 机械工程中常见的自激振动现象

表 18-4-10

自振现象	机 械 系 统	振动系统和控制系统相互联系示意图	反馈控制的特性和产生自振条件的简要说明
机床的切削自振			振动系统的动刚度不足或主振方向与切削力相对位置不适宜时,因位移 x 的联系产生维持自振的交变切削力 P 切削力具有随切削速度增加而下降的特性时,因速度 x 的联系产生交变切削力 P
低速运动部件的爬行			摩擦力具有随运动速度增加而下降的特性时,因振动速度 \dot{x} 和运动速度 v 的联系产生维持自振的交变摩擦力 F

自振现象	机械系统	振动系统和控制系统相互联系示意图	反馈控制的特性和产生自振条件的简要说明
<p>液压随动系统的自振</p>			<p>缸体与阀反馈联接的环节 K 的刚度不足或存在间隙时,缸体弹性位移 x 会产生维持自振的交变油压力 P</p>
<p>高速转轴的弓状回转自振</p>			<p>转轴材料的内滞作用使应力和应变不成线性关系。圆盘与轴配合较松时,内滞更加明显。轴转动时,轴上所受的弹性力 P 不通过中心 B,而使轴心 A 产生绕 B 点(轴线 Z)作弓状回转运动。转速大于轴的临界转速时产生自振,其频率等于临界转速</p>
<p>传动带横向自振</p>			<p>传动带轮振动位移 x 引起传动带张力 T 的变化,当 x 和 T 的振动角频率 ω_k 为传动带横向弹性变形振动系统的固有角频率 ω_n 的 2 倍时,产生横向 y 的参数自振, y 的振动角频率 ω_n</p>
<p>滑动轴承的油膜振荡</p>			<p>轴承油膜承载力 P 与轴颈偏离所产生的惯性力 $m\omega_w$ 不平衡,其合力 F 使轴心 O_1 绕轴承中心作涡动运动。其方向与轴的转速 ω 方向相同,涡动角速度 $\omega_w = \frac{1}{2}\omega_c, \omega \geq 2\omega_c$ (ω_c 为轴的一阶临界转速)时,产生强烈的油膜振荡,振荡角频率 $\omega_k = \omega_c$,不随 ω 而变化</p>
<p>汽车车轮的闪动</p>			<p>车轮的侧向位移 x、倾角 φ 和闪动角 ψ 三者相互关联,在一定的行驶速度范围内,产生维持自振的交变摩擦力 轮胎内气压和轮胎侧向刚度愈低,愈容易产生侧向位移;悬挂弹簧刚度愈低,侧倾愈大。侧向位移出现和侧倾的加大,使各振动的相互联系加强,因而愈易产生车轮闪动的自振 提高车轮转向机构的刚度和阻尼,可避免车轮闪动现象出现</p>

续表

自振现象	机械系统	振动系统和控制系统相互联系示意图	反馈控制的特性和产生自振条件的简要说明
受轴向交变力作用的简支梁横向自振			受轴向交变力 P 作用的简支梁, 由于 P 与振动位移 y 产生交变弯矩作用, 使梁抗弯刚度有周期性变化, 只要 P 的变化角频率 ω_k 和系统固有角频率 ω_n 之间保持一定关系 ($\omega_k/\omega_n = 2, 1, 2/3, 2/4, 2/5, \dots$), 则梁可能产生横向自激振动
气动冲击工具的自振			气动冲击工具的活塞往复运动, 通过配气通道交替改变活塞前后腔压力, 使活塞维持恒频率恒振幅的稳态振动。压缩空气为活塞往复运动提供了能量, 活塞本身完成了振动体、阀和反馈装置的全部职能

2.3 单自由度系统相平面及稳定性

单自由度非线性系统振动的定性研究经常用图解法, 其中相平面法是常用的方法。在平面图上作出系统的运动速度和位移的关系, 称相轨迹, 以此了解系统可能发生的运动的总情况。例如, 对于自治系统 (见表 18-4-7 的注), 非线性单自由度系统的微分方程式可普遍写作:

$$\ddot{x} + f(x, \dot{x}) = 0$$

令

$$y = \dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

上式可化为:

$$\dot{y} = -f(x, y) = Y(x, y)$$

而

$$\dot{x} = X(x, y)$$

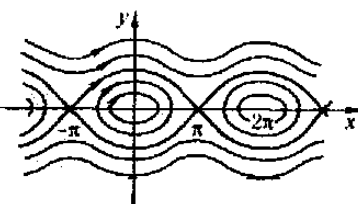
两式相除, 得:

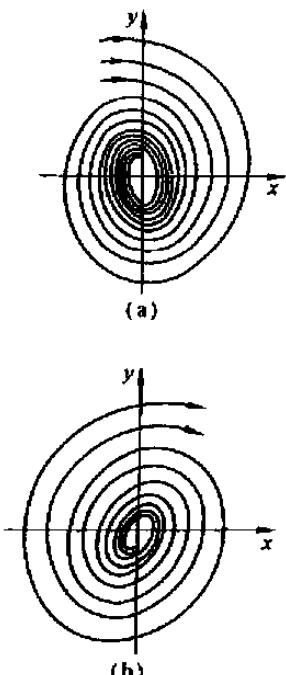
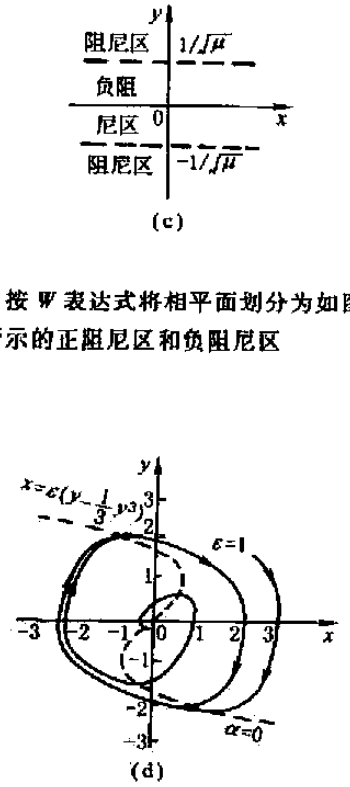
$$\frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{dy}{dx} = \frac{Y(x, y)}{X(x, y)} = m$$

积分后, 即为以 x, y 为坐标的相平面图上, 由初始条件 (x_0, y_0) 开始画出的等倾线 (以斜率 m 为参数) 族, 是作相平面图的方法之一。单自由度系统相平面及稳定性的几种主要情况见表 18-4-11。

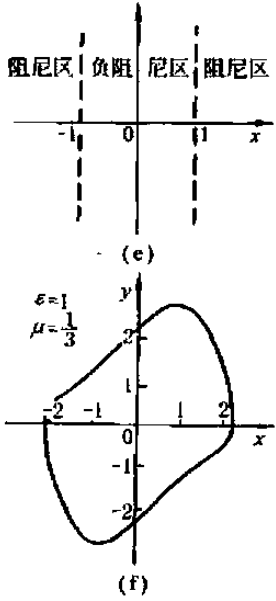
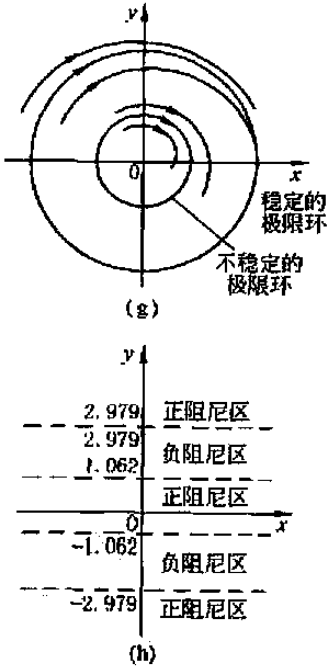
表 18-4-11

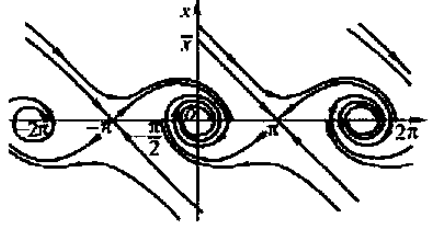
单自由度系统相平面及稳定性

项 目	相轨迹方程及阻尼区分	相 平 面	平衡点和极限环稳定性
无阻尼系统自由振动 (以单摆大摆角振动为例)	用 x 表示单摆的角位移, 用 y 表示单摆的角速度, 则自由振动状态方程为 $\frac{dx}{dt} = y, \frac{dy}{dt} = -K \sin x, K = \frac{g}{l}$, 给定初始条件 $t=0, x=x_0, y=y_0$ 时, 将两个一阶方程相除, 整理并积分得相轨迹方程: $y^2 + 2K(1 - \cos x) = E$ 式中 $E = y_0^2 + 2K(1 - \cos x_0)$		当 $E < 4K$ 时, 相轨迹为封闭曲线, 称为极限环, 对应的运动状态为稳态周期运动。当 $E > 4K$ 时, 各相点的 y 值均不等于零, 对应运动状态为回转运动 当 $\dot{x} = \dot{x} = 0$ 时, 系统处于静平衡, 从微分方程可求得平衡方程 $\sin x = 0$ 和平衡点 $x = i\pi (i = 0, \pm 1, \dots)$, 无阻尼自由振动系统受到扰动离开平衡状态, 当扰动消失后, 系统的状态始终保持在平衡状态附近, 既不无限趋近它, 也不远离它, 这种平衡点称为稳定平衡点。一切稳定平衡点, 在其附近的相轨迹是一族彼此不相交的封闭曲线。因此, 可以依据平衡点稳定性的这一性质判定无阻尼自由振动是稳定的

项 目	相轨迹方程及阻尼区划分	相 平 面	平衡点和极限环稳定性
<p>线性阻尼 (小阻尼) 系统自由振动</p>	<p>线性阻尼系统运动微分方程： $\ddot{x} + 2\alpha\dot{x} + \omega_n^2 x = 0$ 给定初始条件 $t = 0, x = x_0, y = y_0$, 则方程解及其速度为： $x = Ae^{-\alpha t} \cos(\omega_d t + \theta)$ $y = -Ae^{-\alpha t} [\alpha \cos(\omega_d t + \theta) + \omega_d \sin(\omega_d t + \theta)]$ 其中：$A = \left[x_0^2 + \left(\frac{y_0 + \alpha x_0}{\omega_d} \right)^2 \right]^{1/2}$ $\theta = -\arctan \left(\frac{y_0 + \alpha x_0}{\omega_d} \right)$ $\omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2}$ 从 x 和 y 的关系可导出相轨迹方程： $y^2 + 2\alpha xy + \omega_n^2 x^2 = R^2 e^{\frac{2\alpha}{\omega_d} \arctan \left(\frac{y + \alpha x}{\omega_d x} \right)}$ 其中：$R = \omega_d A e^{\frac{\alpha \theta}{\omega_d}}$</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p>	<p>当 $0 < \alpha < \omega_n$ 时, 相轨迹为图 a 所示的一族对数螺旋线, 对应的运动状态为衰减振动。这种系统受扰动离开平衡状态, 扰动消失后, 系统状态能无限趋近此平衡状态。这种平衡点称为渐近稳定的平衡</p> <p>当 $-\omega_n < \alpha < 0$ (负阻尼) 时, 相轨迹为图 b 所示的对数螺旋线, 对应的运动状态为发散运动状态。这种系统受扰动离开平衡状态, 扰动消失后, 系统的状态越来越远离此平衡状态。这种平衡点称为不稳定平衡点</p>
<p>软激励自振 (以瑞雷方程和范德波方程为例)</p>	<p>用 x 表示运动的位移, 用 y 表示运动速度, 可将瑞雷方程 $\ddot{x} - \varepsilon(1 - \mu x^2)\dot{x} + x = 0$ 改写为状态方程： $\frac{dx}{dt} = y, \quad \frac{dy}{dt} = \varepsilon(1 - \mu y^2)y - x$ 两式相除整理积分得相轨迹方程： $y^2 - 2(y - \mu y^3)x - x^2 = E$ E 取决于初始条件, 当 $t = 0, x = x_0, y = y_0$ 时, $E = y_0^2 - 2(y_0 - \mu y_0^3)x_0 - x_0^2$ 单位时间内非线性阻尼力对系统做功： $W = F_d y = \varepsilon(1 - \mu y^2)y^2$</p>	 <p>(c)</p> <p>按 W 表达式将相平面划分为如图 c 所示的正阻区和负阻区</p> <p>(d)</p>	<p>瑞雷方程和范德波方程描述的系统, 原点附近是负阻区, 相轨迹必定向外扩展。进入正阻区后又向原点趋近, 因而相轨迹不会走向无穷远处。这就意味着距离原点不远不近区域存在一条封闭曲线, 在该曲线内外的相轨迹都向它趋近。极限环对应的运动状态为周期运动, 上述的这种周期运动, 称为渐近稳定的运动。于是, 便可根据平衡稳定性和极限环, 判断稳定周期运动自振能否发生</p> <p>相轨迹和极限环的形状如何, 人们并不关心</p> <p>这种平衡点不稳定的自振系统受很微小扰动就能激发的自振, 称为软激励自振</p>

续表

项 目	相轨迹方程及阻尼区划分	相 平 面	平衡点和极限环稳定性
<p>软激励自振 (以瑞雷方程和范德波方程为例)</p>	<p>范德波方程： $\ddot{x} - \varepsilon(1-x^2)\dot{x} + x = 0$ 上述方程描述系统承受的阻尼 $F_d = \varepsilon(1-x^2)y$ 单位时间内该力对系统做功： $W = F_d y = \varepsilon(1-x^2)y^2$ 按上式将相平面划分为如图 e 所示的正阻尼区和负阻尼区</p>		
<p>硬激励自振 (以复杂阻尼系统为例)</p>	<p>自振系统运动方程： $\ddot{x} + \varepsilon(1-x^2 + \mu x^4)\dot{x} + x = 0$ 系统承受阻尼力： $F_d = -\varepsilon(1-y^2 + \mu y^4)y$ 单位时间该力对系统作功： $W = F_d y = -\varepsilon(1-y^2 + \mu y^4)y^2$ 按上式相平面被划分为如图 h 所示正、负阻尼区</p>		<p>方程描述的系统原点位于正阻尼区,相轨迹必定无限趋近于它,平衡点为渐近稳定的。位移大一点的相轨迹进入两个负阻尼区,相轨迹会充分向外扩展,对这一区域来说,平衡点是不稳定的。当位移更大时,相轨迹进入了外面的两个正阻尼区,平衡又变成渐近稳定的。在相平面正负阻尼分界处,肯定会有一封闭曲线极限环。该自振系统有两个分界处,相应也有两个极限环。外面极限环内外的相轨迹都趋近于极限环,称为渐近稳定的极限环;内侧极限环内外的相轨迹都远离该极限环,称为不稳定极限环。该系统受小的扰动后离开平衡位置,当干扰消失后,又会恢复平衡状态,不会发生自振。当系统受到足够强的扰动时,则系统的相点位于不稳定极限环之外,这时若干扰消失,系统就会发生自振。这样的自振系统称为硬激励系统</p> <p>相平面中的相轨迹和极限环不是真实的,只能供定性分析之用。实际人们关心的是如何根据平衡点和极限环的稳定性来判断系统是否是硬激励自振系统以及在什么条件下能发生自振。气动冲击工具的自振系统就是硬激励自振系统</p>

项 目	相轨迹方程及阻尼区划分	相 平 面	平衡点和极限环稳定性
单摆在液体中的运动	所受阻尼与速度的平方成正比, 方向与速度的方向相反, 振动方程为 $\ddot{x} + a\dot{x}|\dot{x}| + K\sin x = 0$		
非线性系统的受迫振动	运动微分方程: $m\ddot{x} + f(\dot{x}, x) = Q(t)$ 状态方程: $\frac{dx}{dt} = X(x, y, t)$ $\frac{dy}{dt} = Y(x, y, t)$ 两式相除并积分得相轨迹方程	根据相轨迹方程绘制相轨迹, 受迫振动相轨迹方程是 x, y 和时间 t 的函数	李亚普诺夫为周期解的稳定性作过如下定义: 设由 $t = t_0$ 时 $P_0(x_0, y_0)$ 出发的解为 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$, 而由 $t = t_0$ 时, 与 (x_0, y_0) 极其靠近的任意点 $(x_0 + u_0, y_0 + v_0)$ 出发的全部解 $[x(t), y(t)]$, 经过任意时间 t 之后, 仍然回到原来解 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$ 的近旁时, 则该解 $[x(t), y(t)]$ 称为稳定解。反之, 不管靠近 (x_0, y_0) , 从 $t = t_0$ 时的某一点 $(x_0 + u_0, y_0 + v_0)$ 出发的解, 在长时间的过程中, 离开了原来的解 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$ 的近旁, 这种情况只要一出现, 则 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$ 称为不稳定的。若全部解 $[x(t), y(t)]$ 很接近上述稳定解, 且当 $t \rightarrow \infty$ 时, 均收敛于 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$, 则解 $[\bar{x}(t), \bar{y}(t)]$ 称为渐近稳定的

注: 由于系统中某个参数作周期性变化而引起的振动称参数振动。如具有周期性变刚度的机械系统、受振动载荷作用的薄拱等, 都属于参数振动系统。此时描述该系统的微分方程是变系数的, 对单自由度系统为:

$$m(t)\ddot{x} + C(t)\dot{x} + K(t)x = 0$$

方程的系数是时间的函数。这些函数与系统的位置无关, 且它们的物理意义取决于系统的具体结构和运动状况。

3 随机振动

若振动系统受到的激励是随机变化的或系统本身的参数有随机变化的, 则响应是随机过程, 称随机振动。它的特征是从振动的单个样本观察, 有不确定性、不可预估性和相同条件下的各次振动的不重复性。各次振动记录是随机函数, 它的总体称随机过程。随机振动的激励或响应过程的分类如下。

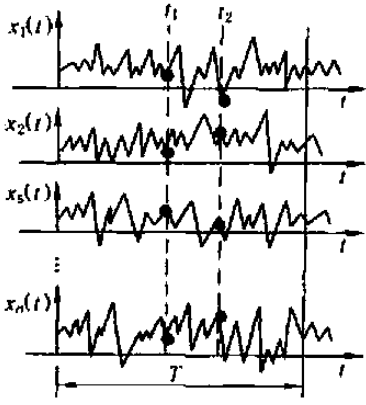
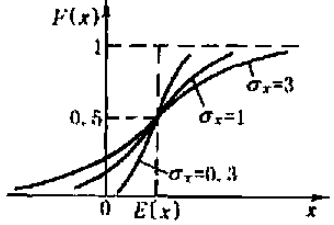
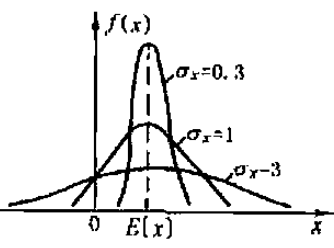
- 1) 按统计规律分: 平稳; 非平稳。
- 2) 按记忆性质分: 纯粹随机过程; 马尔可夫过程; 独立增量过程; 维纳过程和泊松过程。
- 3) 按概率密度函数分: 正态随机过程; 非正态随机过程。

随机振动的系统动态特性可分类如下。

- 1) 按系统特性分: 线性系统; 非线性系统。
- 2) 按定常与否分: 时变系统; 时不变系统。

3.1 平稳随机振动描述

表 18-4-12

项 目	定 义	统 计 特 性		
随机振动	不能用简单函数或这些函数的组合来描述,而只能用概率和数理统计方法描述的振动称为随机振动	例如汽车、拖拉机、工程机械、船舶、石油钻井平台及安装在它们上面的机电设备等,在路面、波浪、地震等作用下的振动系统设计均以随机振动理论为基础。这种振动特性:(1)不能预估一次振动观测记录时间 T 之外某时刻的振动状态;(2)在相同的试验条件下,各次观察结果不同,即各次记录曲线有不重复性		
随机过程	如果一次振动观察记录 $x_1(t)$ 称为样本函数,则随机过程是所有样本函数的总和,即 $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$	$X(t)$ 在任一时刻 $t_i (t_i \in T)$ 的状态 $X(t_i)$ 是随机变量,于是可将随机过程和随机变量联系起来		
平稳随机过程	统计参数不随时间 t 的变化而变化的随机过程为平稳随机过程	机械工程中多数随机振动是平稳随机过程		
幅 值 域 描 述	概率分布函数 $F(x) = P(X < x)$ 随机过程 $X(t)$ 小于给定 x 值的概率,描述了概率的累积特性	(1) $F(x)$ 为非负非降函数,即 $F(x) \geq 0, F'(x) > 0$ (2) $F(-\infty) = 0, F(\infty) = 1$		
	概率密度函数 $f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = F'(x)$ 具有高斯分布随机过程 $X(t)$ $f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - E(x))^2}{2\sigma_x^2}}$	表示了 $X(t)$ 概率分布的密度状况 (1) 非负函数即 $f(x) \geq 0$ (2) $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$		
	均值 $E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$ $X(t)$ 的集合平均值	$F(x), f(x)$ 都是围绕均值 $E(x)$ 向两侧扩展的		
	均方差 $D[x] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(x))^2 f(x) dx$ $\sigma_x^2 = D[x]$	描述了 $F(x), f(x)$ 围绕均值向两侧的扩展程度		机械工程中的随机振动多数为具有高斯分布的随机过程,因此,只要求得随机过程的均值 $E(x)$ 和标准差 σ_x ,即可确定 $f(x)$,再通过从 $-\infty$ 到 x 的积分可得 $F(x)$

项 目	定 义	统 计 特 性
时域描述	<p>自相关函数</p> $R_x(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)]$ $= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt$ <p>描述平稳随机过程 $X(t)$ 在 t 时刻的状态与 $(t+\tau)$ 时刻状态的相关性。t 为 $X(t)$ 的时间变量, τ 为延长时间</p>	<p>(1) 当 $E[x(t)] = 0$ 时 $R_x(0) = E[x(t)^2], R_x(\infty) = 0$</p> <p>(2) $R_x(\tau)$ 为实偶函数 即 $R_x(\tau) = R_x(-\tau)$</p> <p>(3) 当 $X(t)$ 的均值 $E[x(t)] = C \neq 0$ 时, 可将各样本函数 $x(t)$ 分解为一恒定量 $E[x(t)]$ 和一均值为零的波动量 $\xi(t)$, 即 $x(t) = E[x(t)] + \xi(t)$, 则: $R_x(\tau) = |E[x(t)]|^2 + R_\xi(\tau)$</p> <p>(4) 自相关函数 $R_x(\tau)$ 可由功率谱密度函数 $S_x(\omega)$ 的傅里叶变换得到, 即 $R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega, S_x(\omega)$ 见后</p> <p>(5) 当 $S_x(\omega) = S_0$ 时, $R_x(\tau) = 2\pi S_0 \delta(\tau), \delta(\tau)$ 为广义函数,</p> $\delta(\tau) = \begin{cases} \infty & \tau = 0 \\ 0 & \tau \neq 0 \end{cases} \quad \text{且} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau) d\tau = 1$
	<p>互相关函数</p> $R_{xy}(\tau) = E[x(t)y(t+\tau)]$ <p>描述了 $X(t)$ 的 t 时刻状态和 $Y(t)$ 的 $(t+\tau)$ 时刻状态的相关性</p>	<p>(1) $R_{xy}(\tau) = R_{yx}(-\tau)$</p> <p>(2) $R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega$</p>
频域描述	<p>自功率谱密度函数</p> $S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$	<p>(1) $E[x(t)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega$</p> <p>(2) $S_x(\omega)$ 是非负的实偶函数</p> <p>(3) $S_x(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} [ |X_T(\omega)|^2]$</p>
	<p>互谱密度函数</p> $S_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$ $S_{yx}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{yx}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$	<p>(1) $S_{xy}(\omega)$ 是一个复值量</p> <p>(2) $S_{xy}(\omega)$ 和 $S_{yx}(\omega)$ 是复共轭的</p>
	<p>相干函数</p> $r_{xy}(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|}{[S_x(\omega)S_y(\omega)]^{1/2}}$	<p>$0 \leq r_{xy}(\omega) \leq 1$</p> <p>通常当 $r_{xy}(\omega) > 0.7$ 时, 认为 y 是由 x 引起的, 噪声(外干扰)影响较小</p>

注: 各参数的脚标 x 表示参数为随机过程 $X(t)$ 的对应参数, x 可以为位移、速度、加速度、干扰力等物理量, 为区分也可用 x, \dot{x}, \ddot{x} 等表示。

3.2 单自由度线性系统的传递函数

- 1) 频率响应函数 (或复频响应函数)——系统在频率 ω 下的传递特性的函数。
- 2) 脉冲响应函数——稳态的静止系统受到单位脉冲激励后的响应 $h(t)$ 。它是系统的质量、刚度和阻尼的函数。
- 3) 阶跃响应函数——静止的线性的振动系统受到单位阶跃激励后所产生的阶跃响应 $K(t)$ 。阶跃响应函数 $K(t)$ 等于脉冲响应函数 $h(t-\tau)$ 曲线下的面积。

表 18-4-13

项 目	数 学 表 达 式	动 态 特 征
频率响应函数	$H(\omega) = \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i2\zeta\omega_0\omega}$ $|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2\omega_0^2\omega^2}}$ $\alpha = \arctan \frac{2\zeta\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$	$\ddot{x} + 2\zeta\omega_0\dot{x} + \omega_0^2x = \omega_0^2e^{i\omega t}$ <p>式中 $\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}}$ $\zeta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{C}{2\sqrt{mK}}$</p> $x(t) = H(\omega)\omega_0^2e^{i\omega t}$ <p>$H(\omega)$ 可通过计算或测试得到</p>
脉冲响应函数	$h(t) = \frac{\omega_0^2}{\omega_d} e^{-\zeta\omega_0 t} \sin\omega_d t$ <p>其中 $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$</p>	<p>上述方程的解:</p> $x(t) = \int_0^t f(\tau)h(t - \tau) d\tau \text{ (杜哈曼积分)}$ <p>式中 $f(\tau) = \omega_0^2 e^{i\omega\tau}$</p> <p>杜哈曼积分的卷积形式:</p> $x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\theta)f(t - \theta) d\theta$
$H(\omega)$ 和 $h(t)$ 的关系	$H(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i\omega t} dt$ $h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{i\omega t} d\omega$	<p>$H(\omega)$、$h(t)$ 都是反映系统动态特性的, 它只与系统本身参数有关, 与输入的性质无关</p>

注: 1. 系统的传递函数只反映系统的动态特性, 与激励性质无关, 简谐激励或随机激励都一样传递。
2. 频响函数为复数形式的输出 (响应) 和输入 (激励) 之比。

3.3 单自由度线性系统的随机响应

表 18-4-14

项 目	计 算 公 式	计算结果及说明
输入 $x(t)$	$E[x(t)] = 0 \quad S_x(\omega) = S_0$ $R_x(\tau) = 2\pi S_0 \delta(\tau)$	输入 $x(t)$ 是各态历经具有高斯分布的白噪声过程
响应的均值	$E[y(t)] = 0$	
响应的自相关函数	$R_y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\theta_1)h(\theta_2)R_x(\tau - \theta_2 + \theta_1) d\theta_1 d\theta_2$ $= \frac{2\pi S_0 \omega_0^4}{\omega_d^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau + t_1 - t_2) \times$ $e^{-\zeta\omega_0(t_1+t_2)} \sin\omega_d t_1 \sin\omega_d t_2 dt_1 dt_2$	$R_y(\tau) = \frac{2\pi S_0 \omega_0}{4\zeta} e^{-\zeta\omega_0|\tau|} \times \left( \cos\omega_d \tau \pm \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\omega_d \tau \right)$ <p>(当 $t \geq 0$ 取正值, $t < 0$ 取负值)</p>
响应的自谱密度函数	$S_y(\omega) = H(\omega)H^*(\omega)S_x(\omega) = |H(\omega)|^2 S_x(\omega)$	$S_y(\omega) = \frac{\omega_0^4 S_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_0^2 \omega^2}$
响应的均方值	$E[y^2(t)] = R_y(0) = \int_{-\infty}^{\infty} S_y(\omega) d\omega$	$E[y^2(t)] = \frac{\pi S_0 \omega_0}{2\zeta} = \sigma_y^2$
响应的概率密度函数	$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$	输入具有高斯分布的, 则输出也一定是具有高斯分布的

注: 1. 工程中窄带随机振动问题的处理方法和确定性振动问题相似, 所以, 通常将其转化为确定性振动来处理。
2. 功率谱密度函数不随频率改变而改变的谱 [$S_x(\omega) = S_0$] 称为白谱, 其对应的随机过程称为白噪声过程, 这种过程只是一种理想状态, 但宽带随机只要在一定的频带范围内缓慢变化, 可近似处理为白噪声过程。

第5章 振动的控制

振动的害处：影响设备的正常工作；影响机床的加工精度；引起机器构件的加速磨损，甚至导致急剧断裂而破坏；产生噪声，污染环境，危害人类健康。随着科学技术的发展，对机器的运转速度、承载能力、工作精度和稳定性要求等方面，越来越高，因而对机器的要求也越来越高，对控制振动的要求又越来越迫切。

本章主要阐述隔振与减振技术，在最后一节“平衡法”中将简述设计时的主动减振措施。

1 隔振与减振方法

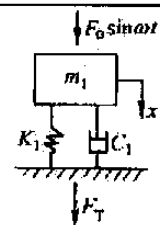
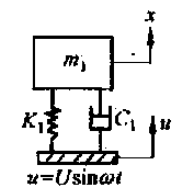
隔振与减振的方法大致有以下几种。

- 1) 隔离法 用隔离器来减弱冲击和（或）振动传输，通常是弹性支承物。用来在某频率范围内减弱振动传输的隔离器称为隔振器。
 - 2) 阻尼法 用能量耗散的方法来减少冲击和（或）振动。
 - 3) 动力减振法 在所要求的频率上将能量转移到附加系统中来减小原系统的振动，该装置称为动力吸振器。
 - 4) 冲击法 利用两物体碰撞后动能损失的原理来减振，该类装置称为冲击减振器。而冲击吸振器则是用能量耗散方法来减少机械系统受冲击后响应的装置。
 - 5) 平衡法 通过改善旋转机械的平衡来消除激振力。现场动平衡是卓有成效的技术之一，其实质是改变机械的振动源，是一种主动控制。
- 无论何种方法都不能离开阻尼的作用。

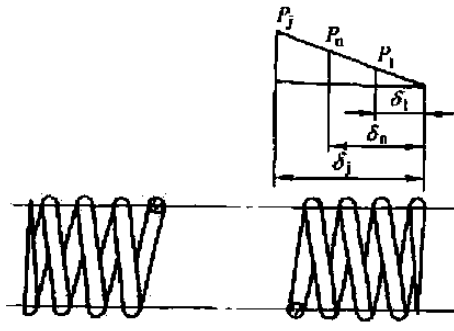
2 隔振设计

2.1 隔振原理及一次隔振的动力参数设计

表 18-5-1

项 目	主动(积极)隔振	被动(消极)隔振
隔振目的与说明	机械设备本身为振源,为减少振动对周围环境的影响,即减少传给基础的动载荷,将机械设备与基础隔离开来	振源来自于基础运动,为了使外界振动尽可能少地传到机械设备中来,将机械设备与基础隔离开来
力学模型		
主要考核内容	传给基础的动载荷值 $F_{T0} = T_A F_0$	传动机械设备的位移幅值 $B = T_A U$

项 目	主动(积极)隔振	被动(消极)隔振
绝对传递系数 T_A (隔振系数 η)	$T_A = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta Z)^2}}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$ 式中 $Z = \frac{\omega}{\omega_n}$ ω ——被隔离的振源角频率; ω_n ——隔振系统的固有角频率 Z 很小时 $T_A = \left| \frac{1}{1 - Z^2} \right|$ 绝对传递系数 T_A 只与系统的结构参数(质量、阻尼、刚度)有关,与外激励的性质无关,所以,确定系统在传递简谐激励、非简谐激励、随机激励过程中,绝对传递系数都是一样的	
隔振效率	$E = (1 - \eta) \times 100\%$	
说明	从绝对传递系数公式中看出:在很小阻尼情况下($\zeta \approx 0$),只有频率比 $Z > \sqrt{2}$ 时,才有隔振效果,即 $\eta < 1$	
设计条件	在已知机械设备总体质量 m_1 和激振角频率 ω 的条件下,可根据要求的隔振系数 η 进行隔振的动力参数设计。如果还知道激振力幅值,可根据基础所能承受的动载荷进行隔振的动力参数设计	在已知机械设备或装置的总体质量 m_1 和支承运动角频率 ω 的条件下,可根据隔振系数 η 进行隔振的动力参数设计。如果还知道支承运动位移幅值,可根据机械设备允许的运动位移幅值进行隔振的动力参数设计
频率比的选择	一般选择范围: $Z = 2 \sim 10$ $\eta = 0.25 \sim 0.01$ 最佳选择范围: $Z = 3 \sim 5$ $\eta = 0.11 \sim 0.04$	$Z \approx \frac{1}{\sqrt{\eta}}$
隔振弹簧总刚度	隔振弹簧总刚度: $K_1 = \frac{1}{Z^2} m_1 \omega^2$ (N/m)	
辅助考核内容	考核指标 瞬时最大运动响应: $B_{max} = (3 \sim 7) B$ 式中 $B = \frac{F_0}{K_1} T_M$	瞬时最大相对运动响应: $\delta_{max} = (3 \sim 7) \delta_0$ 式中 $\delta_0 = UT_R$
	稳态响应系数 运动响应系数: $T_M = \frac{B}{B_1} = \frac{1}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$	相对传递系数: $T_R = \frac{\delta_0}{U} = \frac{Z^2}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + (2\zeta Z)^2}}$
	说明 当 $Z > \sqrt{2}$ 时,如单纯从隔振观点出发,阻尼的增加会降低隔振效果,但工程实践中常遇见外界突然冲击和扰动,为避免弹性支承物体产生过大振幅的自由振动,常人为地增加一些阻尼以抑制其振幅,且可使自由振动很快消失,特别是当隔振对象在启动和停机过程中经过共振区时,阻尼的作用就更显得重要。综合考虑,实用最佳阻尼比 $\zeta = 0.05 \sim 0.20$ 。在此范围内,加速和停车造成的共振不会过大,第一,因共振区是低频区,而不平衡扰动力在低频时都很小;其次,隔振系统受扰动后常以较快速度越过共振区,该瞬时最大位移可达正常振幅的 3~7 倍。同时,隔振性能也不致降得过多,通常隔振效率可达 80% 以上	
	设计思想 为防止机体 m_1 和基础相互碰撞(包括机体与基础或与固定在基础上六个方向所有物体的碰撞),机体 m_1 和基础间的最小间隙应大于二倍 B_{max} 或 δ_{max} 。为防止机体 m_2 跳离隔振弹簧,弹簧的静压缩量应大于 B_{max} 或 δ_{max} ,弹簧的允许极限压缩量 δ'_1 应大于二倍 B_{max} 或 δ_{max} ;非压缩弹簧相对允许变形量应大于二倍 B_{max} 或 δ_{max}	
隔振弹簧设计参数的确定	弹簧的最小、工作和极限变形量分别为: $\delta_1 \geq 0.2 B_{max}$ $\delta_n = \delta_1 + B_{max}$ $\delta_j = \delta_1 + 2B_{max}$ 与之所对应的力分别为: $P_1 = K'_1 \delta_1$ $P_n = K'_1 \delta_n$ $P_j = K'_1 \delta_j$	弹簧最小、工作和极限变形量分别为: $\delta_1 \geq 0.2 \delta_{max}$ $\delta_n = \delta_1 + \delta_{max}$ $\delta_j = \delta_1 + 2\delta_{max}$ 与之所对应的力分别为: $P_1 = K'_1 \delta_1$ $P_n = K'_1 \delta_n$ $P_j = K'_1 \delta_j$



注: 1. 符号意义: F_0 —激振力幅值, N; U —支承运动位移幅值, m; ω —激振力或支承运动的角频率, rad/s; B —简谐激励稳态响应振幅, m; B_1 —隔振弹簧在数值为 F_0 的静力作用下的变形量, $B_1 = F_0/K_1$, m; δ_0 —支承简谐运动, 隔振物体与基础相对振动 ($x-u$) 的振幅, m; ω_n —系统的固有角频率, $\omega_n^2 = K_1/m_1$, rad/s; Z —频率比, $Z = \omega/\omega_n$; ζ —阻尼比, $\zeta = C_1/2\omega_n$ 。
 2. 一次隔振指的是经一级弹簧进行振动隔离, 隔振系统(如力学模型所示)是一个二阶单自由度系统。

2.2 一次隔振动力参数设计示例

图 18-5-1 所示某柴油发电机组总质量 $m_1 = 10000\text{kg}$ ，转子的质量 $m_0 = 2940\text{kg}$ ，转子回转转速 1500r/min ，偏心质量激振角频率 $\omega = 157\text{rad/s}$ ，多缸柴油发电机组（包括风机在内）的平衡品质等级为 G250，回转轴心与 m_1 的质心基本重合，试设计一次隔振器动力参数。

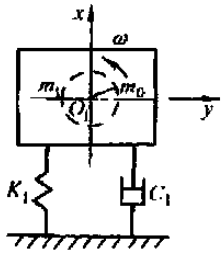


图 18-5-1 柴油发电机组隔振系统力学模型

(1) 频率比

选取隔振系数 $\eta = 0.06$ ，则频率比：

$$Z \geq \frac{1}{\sqrt{\eta}} = \frac{1}{\sqrt{0.06}} = 4.08 \quad \text{选择 } Z = 4.5$$

(2) 隔振弹簧刚度

隔振弹簧总刚度：

$$K_1 = \frac{1}{Z^2} m_1 \omega^2 = \frac{1}{4.5^2} \times 10000 \times 157^2 = 12172346 \text{ N/m}$$

隔振弹簧共采用 8 个橡胶弹簧、对称布置，1 个弹簧刚度为：

$$K'_1 = K_1 / 8 = \frac{12172346}{8} = 1521543 \text{ N/m}$$

(3) 惯性激振力幅值

$$m_0 e \omega^2 = 2940 \times 0.0016 \times 157^2 = 115949 \text{ N}$$

式中，转子质量偏心半径：

$$e = \frac{G}{\omega \times 10^6} = \frac{250}{157 \times 10^6} = 0.0016 \text{ m}$$

(4) 稳态响应振幅

$$B = \left| \frac{F_0}{K_1 (1 - Z^2)} \right| = \left| \frac{115949}{12172346 \times (1 - 4.5^2)} \right| = 0.00049 \text{ m}$$

(5) 最大位移

$$B_{\max} = 5B = 5 \times 0.00049 = 0.0025 \text{ m}$$

(6) 隔振弹簧的设计参数

弹簧的最小、工作和极限变形量分别为：

$$\delta_1 \geq 0.2B_{\max} = 0.2 \times 0.0025 = 0.0005\text{m} \quad \text{选取 } \delta_1 = 0.0025\text{m}$$

$$\delta_n = \delta_1 + B_{\max} = 0.0025 + 0.0025 = 0.005\text{m}$$

$$\delta_j = \delta_1 + 2B_{\max} = 0.0025 + 2 \times 0.0025 = 0.0075\text{m}$$

对应弹簧变形量的弹性恢复力分别为：

$$P_1 = K'_1 \delta_1 = 1521543 \times 0.0025 = 3804\text{N}$$

$$P_n = K'_1 \delta_n = 1521543 \times 0.0050 = 7608\text{N}$$

$$P_j = K'_1 \delta_j = 1521543 \times 0.0075 = 11412\text{N}$$

隔振器的设计参阅本章 2.5 节。

(7) 校核计算稳态振幅

沿 x 方向稳态振动的幅值：

$$B_x = \left| \frac{F_0}{K_x (1 - Z_x^2)} \right| = \left| \frac{115949}{12288000 \times (1 - 4.47^2)} \right| = 0.0005\text{m}$$

式中， $K_x = K'_x \times 8 = 1536000 \times 8 = 12288000\text{N/m}$

$$\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m_1}} = \sqrt{\frac{12288000}{10000}} = 35.05\text{rad/s}$$

$$Z_x = \frac{\omega}{\omega_{nx}} = \frac{157}{35.05} = 4.47$$

沿 y 方向稳态振动的幅值:

$$B_y = \left| \frac{F_0}{K_y(1-Z_y^2)} \right| = \left| \frac{115949}{1708800 \times (1-12^2)} \right| = 0.00047\text{m}$$

式中, $K_y = K'_y \times 8 = 213600 \times 8 = 1708800\text{N/m}$

$$\omega_{ny} = \sqrt{\frac{K_y}{m_1}} = \sqrt{\frac{1708800}{10000}} = 13.1\text{rad/s}$$

$$Z_y = \frac{\omega}{\omega_{ny}} = \frac{157}{13.1} = 12$$

由于该隔振系统给定条件有回转轴心与 m_1 质心基本重合, 即对 m_1 质心的偏心惯性力矩为零或很小, m_1 不会产生围绕质心的摇摆振动, 或摇摆振动很小, 通常设计中不加考虑。设计中应使弹簧对称于合成质心布置, 以防止出现摇摆振动。

(8) 传给基础的动载荷幅值

沿垂直方向传给基础的动载荷幅值:

$$F_x = K_x B_x = 12288000 \times 0.0005 = 6144\text{N}$$

沿水平方向传给基础的动载荷幅值

$$F_y = K_y B_y = 1708800 \times 0.00047 = 803\text{N}$$

这两个重要参数是提供给土建设计的参数, 自然需要同土建设计进行协调。

当采用悬挂隔振器时, 由于 $K_y \approx 0$, $F_{y\max} \approx 0$, 传给基础的为垂直方向动载荷。

(9) 最大位移

垂直方向的最大位移: $B_{x\max} = 5B_x = 5 \times 0.0005 = 0.0025\text{m}$

水平方向的最大位移: $B_{y\max} = 5B_y = 5 \times 0.00048 = 0.0024\text{m}$

机体 m_1 和基础之间沿垂直、水平两个方向的最小间隙应分别大于 $B_{x\max}$ 、 $B_{y\max}$ 。

(10) 瞬时传给基础的最大动载荷

垂直方向: $F_{x\max} = K_x B_{x\max} = 12288000 \times 0.0025 = 30720\text{N}$

水平方向: $F_{y\max} = K_y B_{y\max} = 3724800 \times 0.0024 = 8940\text{N}$

瞬时传给基础的最大动载荷尽管比较大, 但由于该动载荷的频率很低, 只要隔振物体不脱离弹簧, 弹簧也不会出现类似压靠现象, 即无瞬时冲击现象, 瞬时传给基础的最大动载荷也可忽略不计。

2.3 二次隔振动力参数设计

表 18-5-2

项 目	主动(积极)隔振	被动(消极)隔振
力学模型		
设计已知条件	<p>当一次隔振满足不了隔振要求时,需采用二次隔振,所以,一次隔振器动力参数设计的已知条件以及一次隔振设计确定的动力参数均为二次隔振设计的已知条件,即已知系统的参数 m_1、K_1、C_1、激振力幅值 F_0 或支承运动幅值 U、激振角频率 ω、传给基础的允许动载荷幅值 $[F_{T0}]$ 或被隔振物体允许的位移幅值 $[B_1]$</p>	

项 目	主动(积极)隔振	被动(消极)隔振
确定的动力参数	二次隔振设计所要确定的动力参数是二次隔振架的参振质量 m_2 和二次隔振弹簧的刚度 K_2 。为方便设计,引用刚度比 S 、质量比 μ 、振幅比 Δ 和一次隔振系统的固有圆频率 ω_n 四个物理量: $S = \frac{K_2}{K_1} \quad \mu = \frac{m_2}{m_1} \quad \Delta = \frac{B_1}{B_2} \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{m_1}} \quad (\text{rad/s})$ 由于 $K_2 = SK_1, m_2 = \mu m_1$, 于是将确定 K_2 和 m_2 的问题转化为确定 S 和 μ 的问题	
系统的固有频率	$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{\omega_n^2}{2\mu} [(S + \mu + 1) \mp \sqrt{(S + \mu + 1)^2 - 4S\mu}]}$	
系统稳态响应振幅	$B_2 = \frac{\omega_n^4}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{F_0}{K_1}$ $B_1 = \frac{\omega_n^2 [(S+1)\omega_n^2 - \mu\omega^2]}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{F_0}{K_1}$	$B_1 = \frac{\omega_n^4 S U}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu}$ $B_2 = \frac{(\omega_n^2 - \omega_2^2) S U}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu}$
刚度比与质量比的关系	$S = \frac{K_2}{K_1} = K_s \frac{m_1 + m_2}{m_1} = K_s (1 + \mu)$ 式中 K_s ——两弹簧静变形量之比, $K_s = \frac{\delta_{10}}{\delta_{20}}$, 设计中 K_s 的取值可在 0.8 ~ 1.2 的范围内选择; δ_{10} —— K_1 弹簧在 $m_1 g$ 作用下的静变形量, m; δ_{20} —— K_2 弹簧在 $(m_1 + m_2)g$ 作用下的静变形量, m	
主要考核指标	传给基础的动载荷幅值 $F_{T2} = \eta F_0 = K_2 B_2$	传到机械设备的位移幅值 $B_1 = \eta U$
隔振系数 η	$\eta = \frac{\omega_n^2 S}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu}$ $= K_2 \frac{\omega_n^4}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{1}{K_1}$	$\eta = \frac{\omega_n^4 S}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu}$ $= K_2 \frac{\omega_n^4}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{1}{K_1}$
设计思想	在考察二次隔振与一次隔振传给基础的动载荷幅值之比 K_p 和二次隔振 m_2 与 m_1 振动位移幅值之比关系中, 寻求在 K_s 给定条件下确定质量比 μ 的计算公式	被动隔振与主动隔振的隔振系数(绝对传递系数)完全一样, 所以, 可将 U 看成 F_0 , 将 B_1 看成 F_{T2} , 按主动隔振确定质量比 μ , 不影响被动二次隔振的隔振效果
二次隔振与一次隔振传给基础动载荷幅值之比	$K_p = \frac{F_{T2}}{F_{T0}} = \frac{K_2 B_2}{K_1 B_1} = K_s (1 + \mu) |\Delta|$	$K_p = \frac{B_1}{B} = \frac{K_2 \lambda_2}{K_1 \lambda_1} = K_s (1 + \mu) |\Delta|$ 等效主动二次隔振稳态振幅 $\lambda_2 = \frac{\omega_n^4}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{U}{K_1}$ $\lambda_1 = \frac{\omega_n^2 [(S+1)\omega_n^2 - \mu\omega^2]}{(\omega^2 - \omega_{n1}^2)(\omega^2 - \omega_{n2}^2)\mu} \times \frac{U}{K_1}$ 等效主动一次隔振稳态振幅 $\lambda = \frac{\omega_n^2 U}{\omega^2 - \omega_n^2}$
振幅比	$\Delta = \left| \frac{B_2}{B_1} \right|$ $\Delta = \left| \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right|$ $\Delta = \left| \frac{1}{1 + K_s (1 + \mu) - \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \mu} \right|$	
质量比	$\mu = \frac{1 + \left(1 \mp \frac{1}{K_p}\right)}{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 - K_s \left(1 \mp \frac{1}{K_p}\right)}$ 式中正负号的选取应使 μ 为正值	
动力参数	二次隔振架参振质量 $m_2 = \mu m_1$ 二次隔振弹簧刚度 $K_2 = K_s (1 + \mu) K_1$	

续表

项 目	主动(积极)隔振	被动(消极)隔振
辅助考核指标	$B_{1max} = (3 \sim 7)B_1$ $\delta_{1max} = (3 \sim 7)(B_2 - B_1)$ $B_{2max} = (3 \sim 7)B_2$	$\delta_{max} = (3 \sim 7)(U - B_1)$ $\delta_{1max} = (3 \sim 7)(B_1 - B_2)$ $\delta_{2max} = (3 \sim 7)(U - B_2)$
设计思想	<p>为防止机体 m_1、二次隔振架 m_2 和基础(包括固定在他上面的物体)沿空间六个方向的相互碰撞,机体和基础间的最小间隙应大于 B_{1max} (或 δ_{max}), 机体 m_1 和二次隔振架 m_2 间的最小间隙应大于 δ_{1max}, 二次隔振架 m_2 和基础间的最小间隙应大于 B_{2max} (或 δ_{2max})</p> <p>为防止机体 m_1 和二次隔振架 m_2 在振动过程中脱离隔振弹簧, 弹簧的静压缩量 δ_{n1}、δ_{n2} 应分别大于 δ_{1max}、B_{2max} (或 δ_{2max}), 允许极限压缩量 δ'_{j1}、δ'_{j2} 应分别大于 $(\delta_{n1} + \delta_{1max})$、$(\delta_{n2} + B_{2max})$ 或 $(\delta_{n2} + \delta_{2max})$; 对非压缩弹簧, 允许相对变形量应大于二倍 δ_{1max}、B_{2max} 或 δ_{2max}</p>	
隔振弹簧设计参数确定	<p>用 δ_{1max} 确定一次隔振弹簧的变形量</p> $\delta_{j1} > 0.2\delta_{1max} \quad \delta_{n1} = \delta_{j1} + \delta_{1max} \quad \delta_{j1} = \delta_{n1} + \delta_{1max}$ <p>用 B_{2max} 或 δ_{2max} 确定二次隔振弹簧的变形量</p> $\delta_{j2} > 0.2B_{2max} \quad \delta_{n2} = \delta_{j2} + B_{2max} \quad \delta_{j2} = \delta_{n2} + B_{2max}$ <p>或</p> $\delta_{j2} > 0.2\delta_{2max} \quad \delta_{n2} = \delta_{j2} + \delta_{2max} \quad \delta_{j2} = \delta_{n2} + \delta_{2max}$ <p>根据刚度分配原则和弹簧的布置情况, 确定出各组弹簧的一只弹簧的刚度, 用该刚度分别去乘弹簧的各变形量 δ_1、δ_n、δ_j 得到相应的力 P_1、P_n、P_j</p>	

2.4 二次隔振动力参数设计示例

某直线振动机二次隔振力学模型如图 18-5-2 所示, 该振动机机体质量 $m_1 = 7360\text{kg}$, 沿与水平方向成 α 角的方向上施加激振力 $F(t) = F_0 \sin \omega t$, 激振力幅值 $F_0 = 258300\text{N}$, 激振频率 $\omega = 83.78\text{rad/s}$, 一次隔振器动力参数设计确定隔振弹簧沿 x 方向的刚度 $K_{1x} = 1972000\text{N/m}$ (采用 8 只 $K'_{1x} = 246500\text{N/m}$, $K'_{1y} = 174900\text{N/m}$ 的隔振弹簧), 因此, 隔振弹簧沿 y 方向的刚度 $K_{1y} = 1399000\text{N/m}$, 沿 x 方向和 y 方向传给基础的动载荷幅值分别为 $F_{Tx} = 6508\text{N}$, $F_{Ty} = 5500\text{N}$, 该振动机安装在上层楼板工作位置后, 由于 ω 和楼板的固有角频率很接近, 楼板产生强烈的拍振。为减轻楼板振动, 生产单位要求通过减小传给基础动载荷的方法, 解决楼板强烈振动构成的安全隐患问题。试进行二次隔振器动力参数设计。

(1) 质量比

首先选取 $K_s = 1.05$, $K_p = \frac{1}{7}$

$$\mu = \frac{\left| 1 + K_s \left(1 \pm \frac{1}{K_p} \right) \right|}{\left| \left(\frac{\omega}{\omega_{nx}} \right)^2 - K_s \left(1 \pm \frac{1}{K_p} \right) \right|}$$

$$= \frac{1 + 1.05(1 + 7)}{\left| \left(\frac{83.78}{16.4} \right)^2 - 1.05(1 + 7) \right|} = 0.54$$

式中, $\omega_{nx} = \sqrt{K_{1x}/m_1} = \sqrt{1972000/7360} = 16.4\text{rad/s}$

(2) 二次隔振架质量

$$m_2 = \mu m_1 = 0.54 \times 7360 = 4120\text{kg}$$

(3) 二次隔振弹簧刚度

$$K_{2x} = K_s(1 + \mu)K_{1x} = 1.05(1 + 0.54) \times 1972000 = 3168000\text{N/m}$$

选用 14 只 $K'_{2x} = 246500\text{N/m}$ 、 $K'_{2y} = 174900\text{N/m}$ 的隔振弹簧, 并对称质心均匀布置。

$$K_{2x} = K'_{2x} \times 14 = 246500 \times 14 = 3451000\text{N/m}$$

$$K_{2y} = K'_{2y} \times 14 = 174900 \times 14 = 2449000\text{N/m}$$

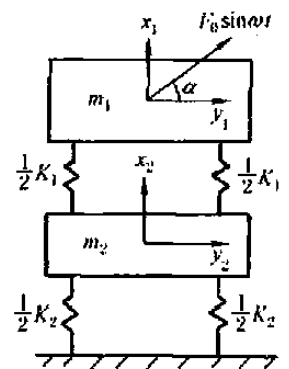


图 18-5-2 某振动机二次隔振力学模型

以上两数值为最后确定的二次隔振弹簧的刚度。

(4) 系统的固有角频率

沿 x 方向的固有角频率

$$\left. \begin{aligned} \omega_{nx1} \\ \omega_{nx2} \end{aligned} \right\} = \omega_{nx} \sqrt{\frac{1}{2\mu} \left[(S_x + \mu + 1) \mp \sqrt{(S_x + \mu + 1)^2 - 4S_x\mu} \right]}$$

$$= 16.4 \times \sqrt{\frac{1}{2 \times 0.54} \left[(1.75 + 0.54 + 1) \mp \sqrt{(1.75 + 0.54 + 1)^2 - 4 \times 1.75 \times 0.54} \right]}$$

$$= \begin{cases} 12.59 \\ 38.47 \end{cases} \text{rad/s}$$

式中, $S_x = \frac{K_{2x}}{K_{1x}} = \frac{3451000}{1972000} = 1.75$

沿 y 方向的固有角频率

$$\left. \begin{aligned} \omega_{ny1} \\ \omega_{ny2} \end{aligned} \right\} = \omega_{ny} \sqrt{\frac{1}{2\mu} \left[(S_y + \mu + 1) \mp \sqrt{(S_y + \mu + 1)^2 - 4S_y\mu} \right]}$$

$$= 13.79 \sqrt{\frac{1}{2 \times 0.54} \left[(1.75 + 0.54 + 1) \mp \sqrt{(1.75 + 0.54 + 1)^2 - 4 \times 1.75 \times 0.54} \right]}$$

$$= \begin{cases} 10.62 \\ 32.34 \end{cases} \text{rad/s}$$

式中, $\omega_{ny} = \sqrt{K_{1y}/m_1} = \sqrt{1399000/7360} = 13.79 \text{rad/s}$

$$S_y = \frac{K_{2y}}{K_{1y}} = \frac{2449000}{1399000} = 1.75$$

(5) 稳态响应幅值

$$B_{x2} = \frac{\omega_{nx}^4}{(\omega^2 - \omega_{nx1}^2)(\omega^2 - \omega_{nx2}^2)\mu} \times \frac{F_0 \sin\alpha}{K_{1x}}$$

$$= \frac{16.4^4}{(83.78^2 - 12.59^2)(83.78^2 - 38.47^2) \times 0.54} \times \frac{258300 \times \sin 40^\circ}{1972000}$$

$$= 0.0003 \text{m}$$

$$B_{x1} = \frac{\omega_{nx}^2 [(S_x + 1)\omega_{nx}^2 - \mu\omega^2]}{(\omega^2 - \omega_{nx1}^2)(\omega^2 - \omega_{nx2}^2)\mu} \times \frac{F_0 \sin 40^\circ}{K_{1x}}$$

$$= \frac{16.4^2 \times [(1.75 + 1) \times 16.4^2 - 0.54 \times 83.78^2]}{(83.78^2 - 12.59^2)(83.78^2 - 38.47^2) \times 0.54} \times \frac{258300 \times \sin 40^\circ}{1972000}$$

$$= -0.0034 \text{m}$$

$$B_{y2} = \frac{\omega_{ny}^4}{(\omega^2 - \omega_{ny1}^2)(\omega^2 - \omega_{ny2}^2)\mu} \times \frac{F_0 \cos\alpha}{K_{1y}}$$

$$= \frac{13.79^4}{(83.78^2 - 10.62^2)(83.78^2 - 32.34^2) \times 0.54} \times \frac{258300 \times \cos 40^\circ}{1399000}$$

$$= 0.00023 \text{m}$$

$$B_{y1} = \frac{\omega_{ny}^2 [(S_y + 1)\omega_{ny}^2 - \mu\omega^2]}{(\omega^2 - \omega_{ny1}^2)(\omega^2 - \omega_{ny2}^2)\mu} \times \frac{F_0 \cos\alpha}{K_{1y}}$$

$$= \frac{13.79^2 \times [(1.75 + 1) \times 13.79^2 - 0.54 \times 83.78^2]}{(83.78^2 - 10.62^2)(83.78^2 - 32.34^2) \times 0.54} \times \frac{258300 \times \cos 40^\circ}{1399000}$$

$$= -0.0039 \text{m}$$

(6) 最大位移

机体 m_1 的最大绝对位移

$$B_{x1\max} = 5B_{x1} = 5 \times 0.0034 = 0.017\text{m}$$

$$B_{y1\max} = 5B_{y1} = 5 \times 0.0039 = 0.0195\text{m}$$

为了使机体 m_1 和基础在振动过程中不发生碰撞,沿垂直方向的最小间隙应大于 0.017m ,沿水平方向最小间隙应大于 0.0195m 。

机体 m_1 和二次隔振架 m_2 间的相对位移

$$\delta_{x1\max} = 5(B_{x2} - B_{x1}) = 5 \times (0.0003 + 0.0034) = 0.0185\text{m}$$

$$\delta_{y1\max} = 5(B_{y2} - B_{y1}) = 5 \times (0.00013 + 0.0039) = 0.02\text{m}$$

为了使机体 m_1 和二次隔振架 m_2 在振动过程中不发生碰撞,沿垂直方向的最小间隙应大于 0.0185m ,沿水平方向的最小间隙应大于 0.02m 。

二次隔振架 m_2 的最大绝对位移

$$B_{x2\max} = 5B_{x2} = 5 \times 0.0003 = 0.0015\text{m}$$

$$B_{y2\max} = 5B_{y2} = 5 \times 0.00013 = 0.00065\text{m}$$

为了使二次隔振架 m_2 和基础在振动过程中不发生碰撞,沿垂直方向的最小间隙应大于 0.0015m ,沿水平方向的最大间隙应大于 0.00065m 。一次隔振弹簧和二次隔振弹簧的变形量与 $\delta_{x1\max}$ 和 $B_{x2\max}$ 的关系符合要求。

(7) 传给基础的动载荷幅值

垂直即 x 方向传给基础的动载荷幅值

$$F_{Tx} = K_{2x}B_{x2} = 3451000 \times 0.0003 = 1035\text{N}$$

水平即 y 方向传给基础的动载荷幅值

$$F_{Ty} = K_{2y}B_{y2} = 2449000 \times 0.00023 = 563\text{N}$$

2.5 隔振设计的几个问题

2.5.1 隔振设计步骤

(1) 一次隔振动力参数初步设计

只考虑 x (垂直) 方向振动隔振效果,初步确定一次隔振弹簧总刚度 K_{1x} ,按照刚度分配原则,即预防出现摇摆振动的条件,初步确定单只弹簧刚度,再根据振动最大位移确定一次隔振弹簧的最小、工作、极限变形量及对应的弹性力,提供设计或选用一次隔振弹簧的原始数据。

(2) 二次隔振动力参数初步设计

只考虑 x (垂直) 方向振动隔振效果,初步确定二次隔振架的参振质量 m_2 和二次隔振弹簧刚度 K_{2x} ,按照刚度分配原则,确定一只弹簧刚度,再根据振动最大位移 $B_{x\max}$ 或 $\delta_{x\max}$ 确定二次隔振弹簧的最小、工作和极限变形量及对应的弹性力,提供设计二次隔振弹簧的原始设计参数。采用二次隔振安装的机械设备多数为大中型机械设备,从结构上允许安装较多数量的二次隔振弹簧,为了简化设计和方便生产中备件管理,二次隔振弹簧和一次隔振弹簧往往选用完全相同的弹簧,总刚度及刚度比通过采用弹簧的数量加以调整和匹配。确定质量比 μ 时,应对实际刚度比变化的影响留有余地。

(3) 隔振弹簧设计

根据隔振器动力参数设计提供的各种规格弹簧的最小、工作和极限变形量及其对应的弹性力,分别设计各种规格弹簧。金属螺旋弹簧板弹簧等设计详见第3卷第11篇弹簧,橡胶弹簧设计详见本章2.7节和2.8节。由于所设计的弹簧参数不可能与要求参数相同,因此,弹簧设计出来后,要重新协调各参数之间的关系,直至各参数匹配,隔振弹簧的参数才最终确定。

(4) 隔振器参数的校核计算

首先校核计算隔振弹簧水平方向的刚度及运动稳定性,金属螺旋弹簧的水平刚度计算及稳定性校核详见本章2.5.3节,橡胶弹簧的设计及水平刚度的计算详见本章2.8节;其次根据动力参数的设计和最后确定的弹簧参数,校核计算隔振系统的稳定解振幅、传给基础的动载荷幅值以及绝对运动或相对运动的最大位移量,这包含有垂直和水平两个方向的参数校核计算。校核计算时,多数情况下对摇摆振动不做校核计算(但设计时必须考虑预防出现摇摆振动的条件),垂直和水平两个方向各参数则必须进行校核计算,若计算结果不满足要求时,应重新设计。

2.5.2 隔振设计要点

1) 预防机体产生摇摆振动, 设计中要注意激振力作用点尽量靠近机体质心, 使围绕质心的激振力矩尽可能减小; 还要使围绕质心的弹性力矩之和接近于零 (变形量相同), 并注意弹性支承稳定性。

2) 以压缩弹簧支承隔振机械设备时, 弹簧两端均采用凸台式或碗式弹簧座, 在弹簧静变形量不够的情况下试运转时, 可防止弹簧飞出伤人, 又可为支承机械设备限制定位。

3) 如果对称质心布置的弹簧数量较多时, 每排弹簧数量尽量采用奇数, 而且弹簧的总刚度可以稍高于要求的值, 这样便于调试时在每排弹簧中增减 1-2 只, 既可调节弹簧的静变形量和隔振系统的频率比, 又不影响弹簧的对称质心分布。

4) 振动输送, 给料、振动筛等有物料作用的振动机隔振器设计, 有时可在空载条件下, 将频率比选择在 2~4 的范围内, 当物料压在机体上时, 其频率比自动变高, 刚好在 3~5 的范围内, 确保隔振器的隔振效果。

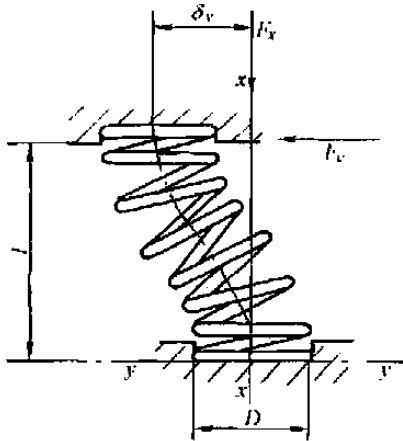


图 18-5-3 圆柱螺旋弹簧在垂直和水平方向的变形

2.5.3 圆柱螺旋弹簧的刚度

圆柱螺旋弹簧同时受垂直载荷和水平载荷作用产生如图 18-5-3 所示的变形, 其垂直方向刚度计算公式为:

$$K_x = \frac{F_x}{\delta_x} = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad (\text{N/m}) \quad (18-5-1)$$

式中 F_x ——垂直方向载荷, N;

δ_x ——由载荷 F_x 所引起的垂直方向变形量, m;

G ——弹簧钢的切变模量, 一般可取 $G = 8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$;

d ——弹簧的钢丝直径, m;

D ——弹簧中径, m;

n ——弹簧的有效圈数。

当弹簧钢的弹性模量 $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 、切变模量 $G = 8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 时, 弹簧的水平刚度为:

$$K_y = \frac{F_y}{\delta_y} = \frac{0.7 \times 10^{10} \times d^4}{C_s n D (0.204 H^2 + 0.256 D^2)} \quad (\text{N/m}) \quad (18-5-2)$$

式中 F_y ——水平方向载荷, N;

δ_y ——由载荷 F_y 所引起的水平方向变形量, m;

C_s ——考虑垂直方向载荷影响的修正系数, 其值取决于 $\frac{\delta_s}{H_0}$ 和 $\frac{H_0}{D}$, 可由图 18-5-4 选取;

H ——弹簧的工作高度, m, $H = H_0 - \delta_s$;

H_0 ——弹簧的自由高度, m;

δ_s ——弹簧的静载变形量, m。

比较式 (18-5-1) 及式 (18-5-2) 得到刚度的比值关系为:

$$\frac{K_x}{K_y} = \frac{GC_s (0.204 H^2 + 0.256 D^2)}{5.6 \times 10^4 D^2} \quad (18-5-3)$$

当 $G = 8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 时,

$$\frac{K_x}{K_y} = 1.44 C_s \left(0.204 \frac{H^2}{D^2} + 0.265 \right) \quad (18-5-4)$$

$\frac{K_x}{K_y}$ 随 $\frac{H}{D}$ 及 $\frac{\delta_s}{H}$ 的变化关系, 如图 18-5-5 所示。

为了使弹簧所支承的机械设备具有足够的稳定性, 弹簧的水平刚度对垂直刚度的比值应满足下式:

$$\frac{K_y}{K_x} \geq 1.20 \left(\frac{\delta_s}{H} \right) \quad (18-5-5)$$

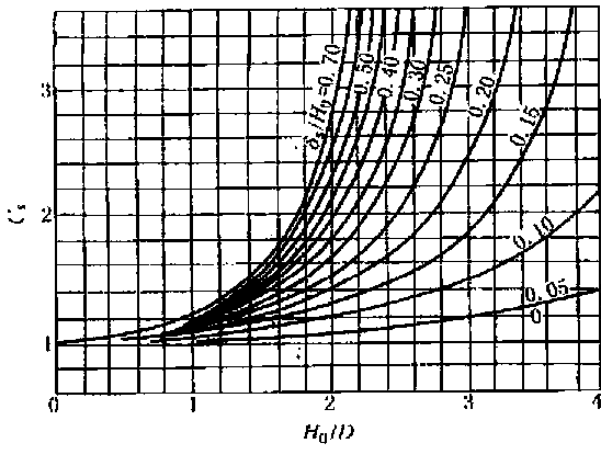


图 18-5-4 修正系数 C_s 与 $\frac{H_0}{D}$ 和 $\frac{\delta_s}{H_0}$ 关系曲线

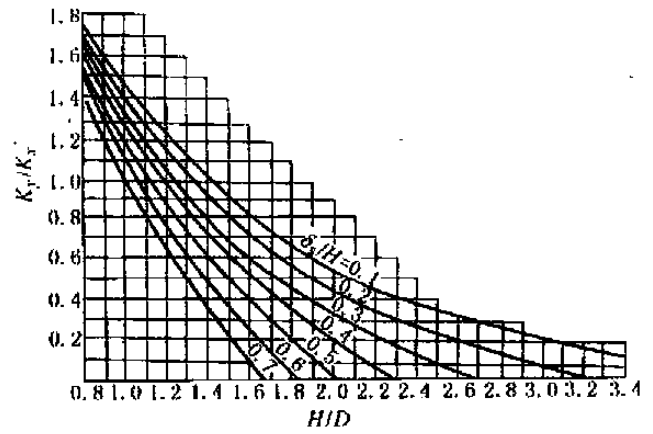


图 18-5-5 刚度比 $\frac{K_y}{K_x}$ 与 $\frac{H}{D}$ 和 $\frac{\delta_s}{H}$ 关系曲线

2.5.4 隔振器的阻尼

如果单纯从隔振角度看, 阻尼对隔离高频振动是不利的, 但在生产实际中, 常遇见外界冲击和扰动。为避免弹性支承物体产生大幅度自由振动, 人为增加阻尼, 抑制振幅, 且使自由振动尽快消失。特别是当隔振对象在启动和停机过程中需经过共振区时, 阻尼作用就更为重要。从隔振器设计角度出发, 阻尼值大小似乎和隔振器设计无关, 实际上系统阻尼大小, 决定了系统减速的快慢, 系统阻尼大, 启动和停机时间就短, 越过共振区的时间也短, 共振振幅就小, 否则相反。综合考虑, 从隔振效果来看, 实用最佳阻尼比为 $\zeta = 0.05 \sim 0.2$ 。在此范围内, 共振振幅不会很大, 隔振效果也不会降低很多。通常的隔振系统 $\zeta = 0.05$, 无需加专门的阻尼器, 当 $\zeta = 0.1 \sim 0.2$ 时, 最简单的方法是用橡胶减振器, 它既是弹性元件, 又是粘弹性阻尼器。

2.6 隔振器的材料与类型

表 18-5-3

隔振材料的主要特性和应用范围

类型	主要特性	应用范围	注意事项
橡胶	承载能力低, 刚度大, 阻尼系数为 0.05 ~ 0.15, 有蠕变效应, 耐温范围为 $-50 \sim 70^\circ\text{C}$, 易于成形, 能自由选取三个方向的刚度	多用于高频振动的积极和消极隔振, 和金属弹簧配合使用效果好, 可做成承压型或承剪型隔振器	相对变形量控制在 10% ~ 20%, 避免日晒和油、水侵蚀, 承压型隔振器还应保证橡胶件有自由膨胀空间
金属弹簧	承载能力大, 变形量大, 刚度小, 阻尼系数小, 为 0.005 左右, 水平刚度小于垂直刚度, 易摇晃, 价廉	用于消极隔振和激振力大的设备的积极隔振, 由于易晃动, 不适用于精密设备的隔振	当需要较大阻尼时, 可加阻尼器或与橡胶减振材料组合使用
空气弹簧	刚度由压缩空气内能决定, 承载能力可调, 兼有隔振和隔声效果, 阻尼系数大, 为 0.15 ~ 0.5, 使用寿命长	用于机车车辆、汽车及有特殊要求的精密设备的隔振。可制成具有任意非线性特性的隔振器	需有稳压空气源保持压力稳定, 当环境温度超过 70°C 时, 不宜采用
泡沫橡胶	刚度小, 富有弹性, 承载能力小。阻尼比为 0.1 ~ 0.15, 性能不稳定, 易老化	用于小型仪表的消极隔振	许用应力低, 相对变形应控制在 20% ~ 35% 以内, 禁止日晒及与油接触
泡沫塑料	刚度小, 承载能力低, 性能不稳定, 易老化	用于小型仪表的消极隔振	工作应力应控制在 $1.96 \times 10^4 \text{ Pa}$ 以内
软木	质轻, 有一定弹性, 阻尼系数为 0.02 ~ 0.12, 有蠕变效应	用于积极隔离, 或与橡胶、金属弹簧组合使用时作辅助隔振材料	应力应控制在 $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ 左右, 要防止软木向四周膨胀, 防止吸水、吸油
毛毡	阻尼大, 弹性小, 在干、湿反复作用下易丧失弹性, 阻尼系数为 0.06 左右	多用于冲击隔离	厚度一般取 $(6.5 \sim 7.5) \times 10^{-3} \text{ m}$, 工作环境要求温度、湿度变化较小
其他	包括木屑、玻璃纤维、细砂等形状不固定的隔振材料, 价廉, 但特性差	用于设备与地面间的隔振或冲击隔离, 一般作为辅助材料	使用时应放置在适当的容器或凹坑内
钢丝绳隔振器	具有较好的弹性和阻尼, 承载能力高	广泛用于各种设备的隔振, 是目前世界上较为新型的隔振器	

2.7 橡胶隔振器

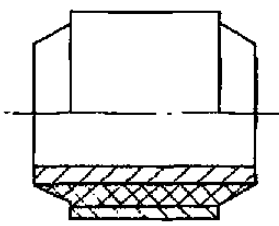
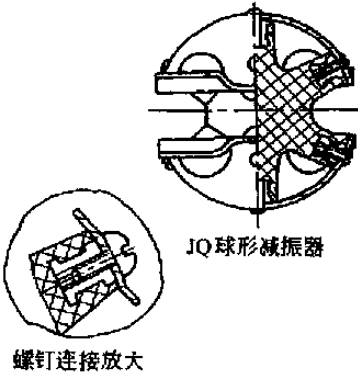
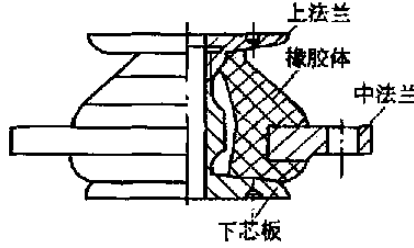
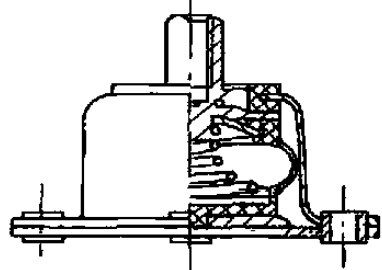
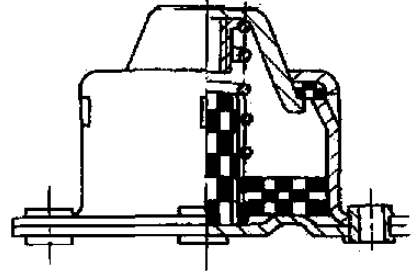
表 18-5-4

常用隔振器的类型和主要特性

序号	类型	代号	简图	主要特性
1	平板形隔振器	JP		额定载荷范围为 4.41 ~ 153.35N, 结构紧凑, 连接方便。垂直方向的固有角频率为 13.5 ~ 15Hz, 水平方向的固有角频率为 30 ~ 35Hz
2	碗形隔振器	JW		额定载荷范围为 4.41 ~ 153.35N, 结构紧凑, 连接方便。垂直方向的固有角频率为 13.5 ~ 15Hz, 水平方向的固有角频率为 30 ~ 35Hz
3	加固形隔振器	JG		
4	封闭形隔振器	JF		能承受高达 323.4 ~ 980N 的较大额定载荷。当隔振器橡胶损坏时, 能防止设备与基础脱开, 因此可用于支承在水平、倾斜和竖直基础上的设备
5	封闭形隔振器 (耐油)	JF-A		
6	封闭形隔振器 (耐油)	JF-B		允许在润滑油、柴油和海水长期浸泡条件下工作, 适用环境温度为 -5 ~ 70℃

续表

序号	类型	代号	简图	主要特性
7	弧形隔振器	JH		耐振强度小,随所加载荷方向的不同,特性变化较大
8	剪切形隔振器	JJQ		刚度小、阻尼大,支承稳定。额定载荷为 98 - 1176N
9	三向等刚度隔振器	JPD		三个方向等刚度,垂直方向固有角频率为 7 - 12Hz,水平方向为 8 - 12.5Hz,额定载荷为 980 ~ 9800N
10	支柱形隔振器	JZ		水平方向固有角频率为 6 - 7Hz,垂直方向为 11 - 13Hz,大多用于水平方向的隔振
11	支脚形隔振器	JJ		结构简单,成本低,额定载荷小,为 98 ~ 588N
12	框架形隔振器	JK		用来保护无线电设备整机振动与冲击隔离,额定载荷为 147 - 245.3N

序号	类型	代号	简图	主要特性
13	衬套形隔振器	JC		结构简单、紧凑,性能稳定,用于小型设备的单个隔振,能承受水平和垂直两个方向的载荷
14	球形隔振器	JQ		水平和垂直方向固有角频率相近,平均为11-12Hz,应力分布均匀,额定载荷为19.6-78.5N
15	橡胶等频隔振器	JX		非线性隔振器,承载范围大,既能用于隔振,也可用于冲击隔离
16	空气阻尼隔振器	JQZ		可通过改变孔径来调节阻尼系数,只能承受垂直方向载荷,额定载荷为3.92-147.15N
17	金属网阻尼隔振器	JWL		性能稳定,不会老化,用于环境恶劣的场合,能承受较大的线性过载,额定载荷为14.7-147.15N

注: 各类隔振器结构及其应用详见《机械设计图册》第5卷第2篇第12章(化学工业出版社, 2000年)。

2.8 橡胶隔振器设计

2.8.1 橡胶材料的主要性能参数

表 18-5-5

主要参数	天然橡胶 NR	丁腈橡胶 NBR	氯丁橡胶 CR 及丁基橡胶 JIR																							
性能及使用范围	强度、延伸率、耐磨性、耐寒性等综合物理力学性能较好，能与金属牢固粘合。缺点是耐油、耐热性较差。常用于一般仪器设备的隔振器	耐油、耐热性好，阻尼较大，与金属的粘合性也好。常用作动力机械和工程机械的隔振器	CR 主要优点是耐候性好，常用于防老化、防臭氧要求较高的场合。缺点是生热性太大 JIR 优点是阻尼较大，隔振性能好，耐寒、耐酸、耐臭氧性能较好。缺点是与金属的粘合性差，只能单独使用																							
硬度	邵氏硬度 $H = 30 \sim 70$																									
弹性模量	$H = 40 \sim 60$ 时 $G = (5 \sim 12) \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $E = (15 \sim 38) \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$H = 55 \sim 70$ 时 $G = (10 \sim 17) \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $E = (38 \sim 65) \times 10^5 \text{ N/m}^2$																								
	弹性模量和表面硬度间的关系如图 18-5-6 所示。橡胶隔振器制造时，硬度的变化范围为 $\pm 3 \sim \pm 5$ ，相应的弹性模量的变化范围为 $\pm 12\% \sim \pm 20\%$ 。因此，设计时应控制硬度公差																									
形状影响系数	$m = f(n)$, $n = \frac{\text{约束面积}}{\text{自由面积}}$, $m = f(n)$ 的关系相当复杂，表 18-5-4 给出了对应隔振器的 $m = f(n)$ 关系式																									
动态系数	$d = 1.2 \sim 1.6$	$d = 1.5 \sim 2.5$	$d = 1.4 \sim 2.8$																							
	d 的数值随频率、振幅、温度、硬度、配合及承载方式而异，很难获得准确值。通常只考虑 $H = 40 \sim 70$ ，按上述范围选取， H 小时取下限，否则相反																									
温度影响系数	λ ，随温度的变化曲线如图 18-5-7 所示																									
弹性模量	静态弹性模量： $E_s = \lambda_s m E$, $G_s = \lambda_s m G$ 动态弹性模量： $E_d = d \lambda_d m E$, $G_d = d \lambda_d m G$																									
许用应力及最大允许变形	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">受力类型</th> <th colspan="3">许用应力/$10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$</th> </tr> <tr> <th>静态</th> <th>动态</th> <th>冲击</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>拉 伸</td> <td>10 ~ 20</td> <td>5 ~ 10</td> <td>10 ~ 15</td> </tr> <tr> <td>压 缩</td> <td>30 ~ 50</td> <td>10 ~ 15</td> <td>25 ~ 50</td> </tr> <tr> <td>剪 切</td> <td>10 ~ 20</td> <td>3 ~ 5</td> <td>10 ~ 20</td> </tr> <tr> <td>扭 转</td> <td>20</td> <td>3 ~ 10</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>			受力类型	许用应力/ $10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$			静态	动态	冲击	拉 伸	10 ~ 20	5 ~ 10	10 ~ 15	压 缩	30 ~ 50	10 ~ 15	25 ~ 50	剪 切	10 ~ 20	3 ~ 5	10 ~ 20	扭 转	20	3 ~ 10	20
	受力类型	许用应力/ $10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$																								
静态		动态	冲击																							
拉 伸	10 ~ 20	5 ~ 10	10 ~ 15																							
压 缩	30 ~ 50	10 ~ 15	25 ~ 50																							
剪 切	10 ~ 20	3 ~ 5	10 ~ 20																							
扭 转	20	3 ~ 10	20																							
静态载荷下：压缩变形 $< 15\%$ ，剪切变形 $< 25\%$ 动态载荷下：压缩变形 $< 5\%$ ，剪切变形 $< 8\%$																										
设计准则	$\sigma < [\sigma]$, $\tau < [\tau]$, $\delta_s < [\delta_s]$, $\delta_r < [\delta_r]$ [σ], [τ]——许用拉压应力、许用剪切应力， N/m^2 [δ_s], [δ_r]——许用拉压变形、许用剪切变形， m																									
阻尼比	$\zeta = 0.025 \sim 0.075$	$\zeta = 0.075 \sim 0.15$	CR: $\zeta = 0.075 \sim 0.30$ JIR: $\zeta = 0.12 \sim 0.50$																							
	阻尼比随着硬度 H 的增加而增加， $H = 40$ 时取下限， $H = 70$ 时取上限																									

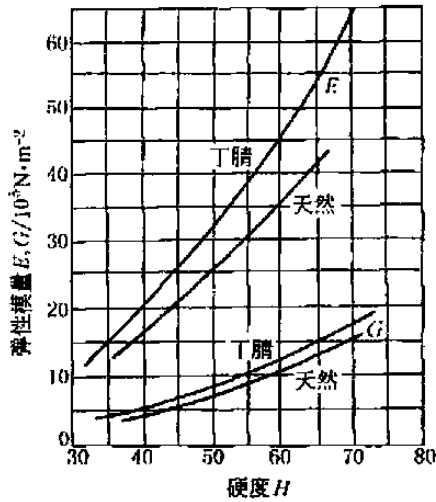


图 18-5-6 弹性模量与硬度的关系

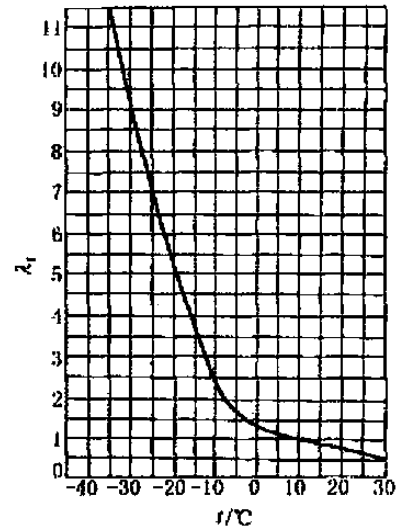


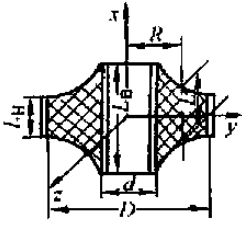
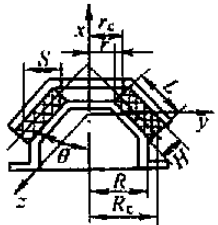
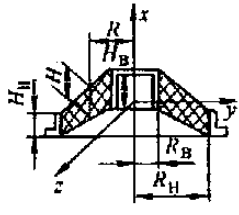
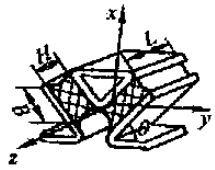
图 18-5-7 温度影响系数曲线

2.8.2 橡胶隔振器刚度计算

表 18-5-6

类别	简图	刚度	计算说明
圆柱形		$K_x = \frac{A_L m_x E}{H}$ $K_y = \frac{A_L m_y E}{H}$ $K_z = K_y$	$m_x = 1 + 1.65n^2$ $m_y = \frac{1}{1 + 0.38 \left(\frac{H}{D}\right)^2}$ $n = \frac{A_L}{A_r} \quad A_L = \frac{\pi D^2}{4} \quad A_r = \pi D H$ <p>(一般 $\frac{1}{4} \leq \frac{H}{D} \leq 1$) (静变形 $\delta_{st} = 0.15 \sim 0.25H$)</p>
环柱形		$K_x = \frac{A_L m_x E}{H}$ $K_y = \frac{A_L m_y G}{H}$ $K_z = K_y$	$m_x = 1.2(1 + 1.65n^2)$ $m_y = \frac{1}{1 + \frac{4}{9} \left(\frac{H}{D}\right)^2}$ $n = \frac{A_L}{A_r} \quad A_L = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$ $A_r = \pi(D + d)H$
矩形		$K_x = \frac{A_L m_x E}{H}$ $K_y = \frac{A_L m_y G}{H}$ $K_z = \frac{A_L m_z G}{H}$	$m_x = 1 + 2.2n^2$ $m_y = \frac{1}{1 + 0.29 \left(\frac{H}{L}\right)^2}$ $m_z = \frac{1}{1 + 0.29 \left(\frac{H}{B}\right)^2}$ $n = \frac{A_L}{A_r} \quad A_L = LB$ $A_r = 2(L + B)H$
圆柱形		$K_x = \frac{\pi L}{\ln \frac{D}{d}} (mE + G)$ $K_y = \frac{2\pi L}{\ln \frac{D}{d}} G$ $K_z = K_y$	$m = 1 + 4.67 \frac{dL}{(d+L)(D-d)}$ <p>一般 $m = 2 \sim 5$ (硬度高, 尺寸大者取大值)</p>

续表

类别	简图	刚度	计算说明
圆筒形		$K_x = \frac{2\pi DL_H}{D-d} G$ $K_y = \frac{4\pi L_B d^2}{D^2 - d^2} G$ $K_z = K_x = (2-6)K_x$	① $LR =$ 常数, 截面等强度设计, 适宜于承受轴向载荷 ② $LR^2 =$ 常数, 适宜承受扭转载荷, 此时剪切应力为常数
圆锥形		$K_x = \frac{\pi L(R_c - r_c)}{H} (E m \sin^2 \theta + G \cos^2 \theta)$ $K_y = \frac{\pi(R-r)(Em\eta + G)}{\tan \theta \ln \left(1 + \frac{2S}{R+r}\right)}$ $K_z = L_y$	$E = 3G \quad m = 1 + 2.33 \frac{L}{H}$ $\eta = \frac{2(1 - \cos \zeta)}{\sin^2 \zeta \cos \zeta} \quad \frac{\delta_y}{S} = \sin \zeta$ $\delta_y = \frac{F_y}{K_y} \text{ (初估时可取 } \eta = 1 \text{)}$
剪切型		$K_x = \frac{2\pi R_H H_B}{R_H - R_B} G$ $K_y = \frac{2\pi H}{\ln \frac{R_H}{R_B}} G$ $K_z = \frac{2\pi(R_B H_H - R_H H_B)}{(R_H - R_B) \ln \frac{R_H H_H}{R_B H_B}} G$ $K_y = K_z = (2-6)K_x$	① $RH =$ 常数, 截面等强度 ② $H =$ 常数, 截面等高度 ③ $RH \neq$ 常数, $H \neq$ 常数, 截面不等, 高度不等
复合型		$K_x = 2K_p \left(\cos^2 \theta + \frac{1}{K} \sin^2 \theta \right)$ $K_y = 2K_p \left(\sin^2 \theta + \frac{1}{K} \cos^2 \theta \right)$ $K_z = 2K_q$	$K_p = \frac{A_1 m_2 E}{H} \quad K_q = \frac{A_1 m_1 G}{H}$ $K_r = \frac{A_1 m_2 G}{H} \quad m_2 = 1 + 2.2n^2$ $m_y = \frac{1}{1 + 0.29 \left(\frac{H}{L}\right)^2} \quad m_z = \frac{1}{1 + 0.29 \left(\frac{H}{B}\right)^2}$ $n = \frac{A_L}{A_1} \quad A_L = LB$ $A_1 = 2(L+B)H \quad K = \frac{K_p}{K_r}$

注: 1. 静刚度设计中, 有三个独立尺寸, 可根据具体安装情况, 先假设两个尺寸, 求出第三个尺寸, 然后用设计准则进行验算, 若不满足设计准则, 应重新假定尺寸, 再进行计算, 直至满足设计准则中的条件为止。

2. 表中的 E 、 G 为橡胶材料的静态弹性模量, 可按表 18-5-5 给出的范围或图 18-5-6 选定, 计算所得刚度为静刚度, 乘以动静比 d 即为隔振器动刚度。

3. 表中计算的刚度为 15℃ 情况下的刚度, 当环境温度偏差大时, 应用温度影响系数修正。

2.8.3 橡胶隔振器设计要点

- ① 应根据使用环境和条件, 选用合适的橡胶。
- ② 注意橡胶与金属的粘接强度, 避免粘接面处的应力集中。
- ③ 对于剪切变形隔振器, 为了提高寿命, 通常在垂直剪切方向给予适当预压缩, 压缩方向刚度变硬, 剪切方向刚度变软。
- ④ 隔振器应避免长期在受拉状态下工作。
- ⑤ 由于有阻尼就要消耗能量, 这部分损失的能量转换成热能, 而橡胶是热的不良导体, 为防止温升过高影响橡胶隔振器性能, 第一, 橡胶隔振器不宜做得过大, 其次, 从结构上应采取易于散热的措施, 或选用生热较少的天然橡胶材料。正因橡胶隔振器能将部分能量转换成热能, 降低了振动能, 达到减振目的, 所以, 常将橡胶隔振器称作减振器。

2.9 不锈钢钢丝绳减振器

2.9.1 主要特点

1) 金属材料制成 能抗疲劳、耐辐射、耐高低温。钢丝绳全部采用军用航空绳 (1Cr18Ni9Ti 不锈钢绳), 固定板选用优质钢, 表面电镀处理。特种也可选用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢制作固定板 (称全不锈钢)。

2) 变刚度特性 在外载荷作用下, 减振器弹簧的径向曲率半径随之发生变化, 使得应力比应变呈软非线性特性, 因此具有较好的隔冲效果。

3) 变阻尼特性 当外界激励频率变化时减振器的阻尼也随之发生变化。共振点阻尼很大 ($C/C_0 \geq 0.17$) 有效地抑制共振峰, 越过共振点后, 阻尼迅速减小; 从而具有良好的隔振效果。

4) 刚度大 能隔离任意方向的振动与冲击激励。

综合起来, 钢丝绳作为减振元件具有低频大阻尼的高频低刚度的变参数性能, 因而能有效地降低机体振动。与传统的橡胶减振器相比, 除上述优点外, 还具有抗油、抗腐蚀、抗温差、耐老化以及体积小等优点。

钢丝绳减振器的隔振效果主要取决于它的非线性迟滞特性, 如图 18-5-8 所示。

图 18-5-9 表明钢丝绳隔振器的加速度传递率。由该图可见, 即使在共振情况下, 钢丝绳隔振器的加速度传递率也小于 1。

图 18-5-10 为钢丝绳隔振器典型的隔振传递率曲线。

图 18-5-11 为钢丝绳隔振器典型的隔冲传递率曲线。

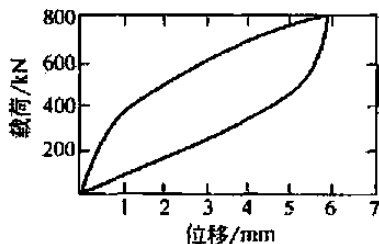


图 18-5-8 钢丝绳静刚度曲线

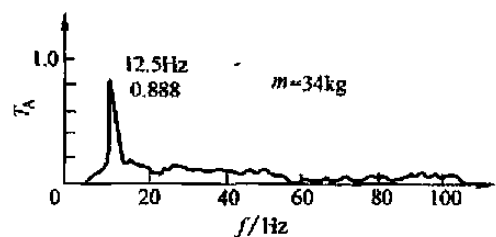


图 18-5-9 钢丝绳隔振器的加速度传递率

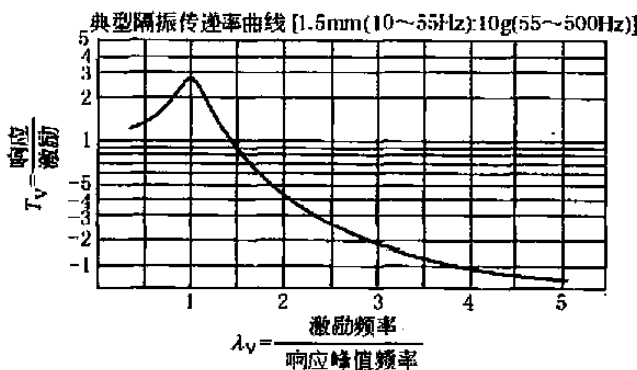


图 18-5-10 钢丝绳隔振器典型的隔振传递率曲线

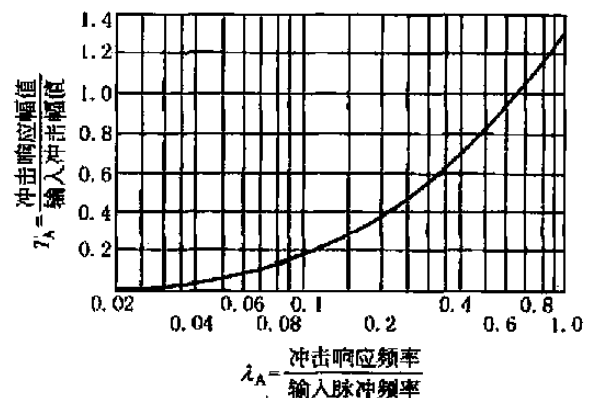


图 18-5-11 钢丝绳隔振器典型的隔冲传递率曲线

钢丝绳减振器广泛地用于宇航、飞机、车辆、导弹、卫星、运载工具、舰船电器、舰用灯具及军用仪器仪表、海洋平台、高层建筑、核工业装置以及工业各类动力机械的隔振防冲。由于国家未标准化, 型号各不统一, 主要为轻型、重型及车用、船用、固定装置用或其他专用。例如有螺旋引进型、引进改良型 (反螺旋型)、圆形、拱形 (超重型)。圆形主要用于船用灯具、铁路、公路、大桥灯具及输送架、海洋平台照明灯具; 重型或超重型实用性广, 具备侧向承载能力强、固有频率较低的特点。其中两种形状见表 18-5-7、表 18-5-9 上面的图。

减振器型号一般标明其品种、所选用的钢丝绳径尺寸和负载能力。

现在已有承载 5N ~ 20000N 的各种型号的产品, 并可另行定制更小或更大的产品。

2.9.2 选型原则与方法

选型原则与方法如下。

- 1) 在保证系统稳定性前提下, 尽量降低系统动刚度, 增大动变形空间。
- 2) 首先知道物体大小和自身重量, 自身重量平衡力点如何布局安装, 隔振器安装布点应确保系统刚度中心与质量中心重合, 有利于消除振动耦合。
- 3) 物体所需要技术条件, 如在什么样的环境中使用及它的冲击、振动频率是多少; 系统最大冲击输入能量和冲击力应不大于隔振器许可值, 并应适当增加所需的保险因素, 使其能抗冲击又能防振动。
- 4) 当设备高宽(或深)之比大于1时, 应考虑增设稳定用隔振器。

表 18-5-7 为 GJY 轻型负载系列部分数据。还有 GJTF 型轻型负载系列, GJTZ、GJC 重型负载系列(未列出)。

表 18-5-8 为 GG 系列钢丝绳隔振器安装方式。GG 系列钢丝绳隔振器有 GGT 系列(螺旋型), GGQ 系列(球型)和 GGG 系列(拱型)隔振器。表 18-5-9 为 GGT 系列(螺旋型)全金属钢丝绳隔振器的性能参数。

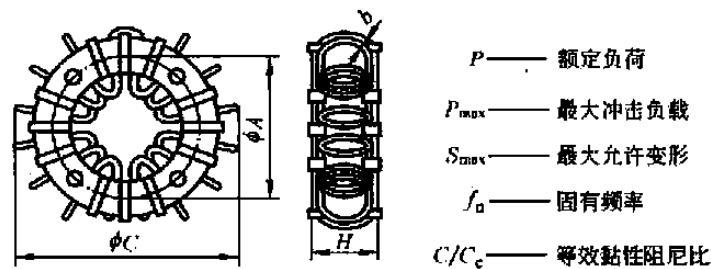


表 18-5-7

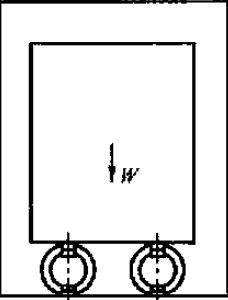
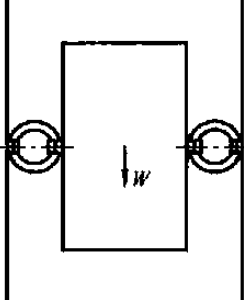
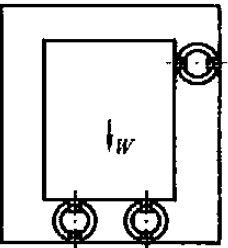
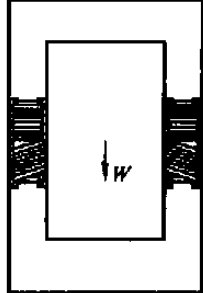
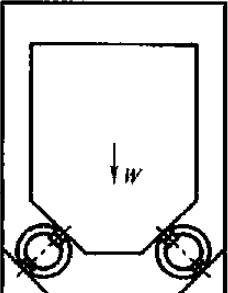
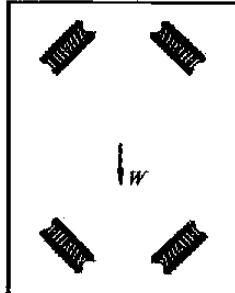
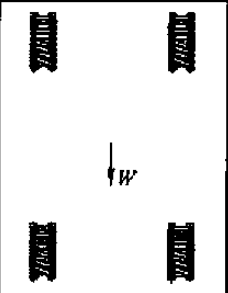
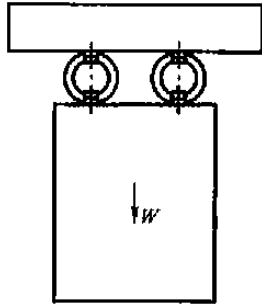
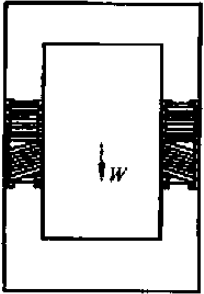
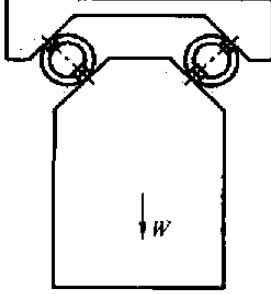
GJY 型负载系列

型号规格	性能参数					试验规格	安装尺寸/mm				
	P/N	P _{max} /N	S _{max} /mm	f ₀ /Hz	C/C ₀		φA	b	φC	H	等分
GJY-10N	10	30	6	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	35	4	52	21	4
							50	4	52	21	2
GJY-15N	15	45	6	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	45	4	70	20	4
							68	4	70	20	2
GJY-32N	32	90	10	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	104	6	146	33	4
GJY-100N	100	300	10	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	179	9	170	40	3
GJY-1000N	1000	3000	30	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86					
GJY-2000N	2000	6000	35	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86					
GJY-3000N	3000	9500	40	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86					
GJY-4000N	4000	13000	45	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86					
GJY-5000N	5000	16000	50	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	325	13	505	180	4
GJY-6000N	6000	18000	60	5~28	≥0.15	MIL-STD-167-I GJB4.48—83 GJB150.18—86	375	13	572	191	4

注: 生产厂家为常州环宇减振器厂。

表 18-5-8

GG 系列钢丝绳隔振器安装方式

示意图	说明	示意图	说明
<p>1. 垂向压缩支承</p> 	<p>基础支承 常用安装方式,中心较高,常用于高宽比很小的情况下。当高宽比较大时,或者当干扰幅值较大时,容易产生倾覆力矩,建议采用稳定用隔振器附加支承(见示意图2)</p>	<p>6. 侧向悬挂</p> 	<p>侧悬挂支承 可实现隔振系统较低的峰值响应频率。应注意安装的力学对称性</p>
<p>2. 垂向压缩支承</p> 	<p>基础支承 一般在设备侧顶部增装稳定用隔振器。稳定性好。当高宽比大于1时常用此安装方式</p>	<p>7. 壁挂式支承</p> 	<p>常用壁挂式安装方式尽量少采用</p>
<p>3. 45°压缩支承</p> 	<p>45°基础支承 其优点是系统在图示平面内于水平、垂直两方向上具有基本相同的动态特性。系统兼顾优良的隔振、缓(抗)冲性能,稳定性好。旋转机械常用安装形式</p>	<p>8. 壁挂式支承</p> 	<p>常用壁挂式安装方式</p>
<p>4. 壁挂式支承</p> 	<p>常用壁挂式安装方式</p>	<p>9. 顶悬吊</p> 	<p>吊装 隔振元件呈拉伸变形状态,稳定性较好,但承载能力不大。尽量不要单独采用这种形式</p>
<p>5. 侧向悬挂</p> 	<p>侧悬挂支承 可实现隔振系统较低的峰值响应频率。应注意安装的力学对称性</p>	<p>10. 顶悬吊</p> 	<p>45°吊装 隔振元件呈拉伸变形状态,稳定性较好,有一定承载能力。尽量少单独采用这种形式</p>

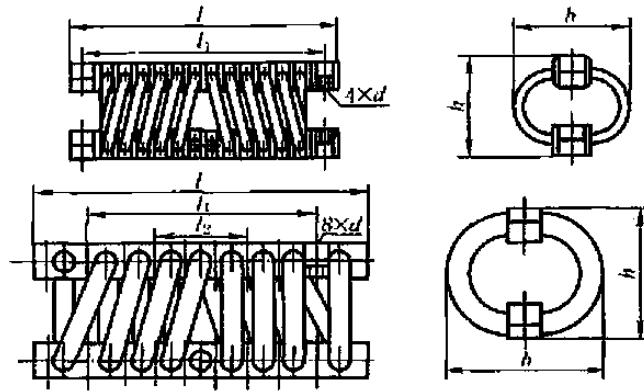


表 18-5-9

GGT 系列全金属钢丝绳隔振器性能参数

型 号	最大动变形/mm			最大冲击力/kN			能容/J			产品重量/kg	结构尺寸/mm					
	ΔS_x 、 ΔS_y	ΔS_{45}	ΔS_z	P_x 、 P_y	P_{45}	P_z	E_x 、 E_y	E_{45}	E_z		b	h	l	l ₁	l ₂	d
0.58-33	22	25	23	0.08	0.27	0.07	0.68	1.5	0.58	0.030	38	33				
2.1-23	9	18	7	0.47	0.51	0.53	2.1	5.9	2.1	0.055	28	23	112	100	M5	
3.9-30	14	20	10	0.80	0.58	1.1	4.8	6.7	3.9	0.092	38	30				
5.3-36	18	25	17		0.43	0.79	4.7	6.3	5.3	0.115	43	36				
9.7-34	11	16	10	1.0	1.2	1.7	6.0	15	9.7	0.205	40	34				
12-41	11	20	18	1.2	1.1	1.7	5.7	15	12	0.220	46	41				
30-48	18	34	15	2.8	2.3	4.0	19	62	30	0.61	56	48	146	102	M8	
44-54	23	41	20	1.9	1.7	2.4	21	64	44	0.62	64	54				
72-71	23	34	25	2.8	3.0	4.4	37	91	72	1.55	84	71	216	156	66	M8
86-76	34	53	33	2.6	2.7	4.4	49	140	86	1.62	105	76				
190-83	27	57	38	5.1	5.1	8.3	46	230	190	2.10	102	83	178	156	66	M8
240-90	30	62	41	4.3	4.3	7.3	53	240	240	2.13	105	90				
270-90	30	62	40	5.7	5.7	9.8	160	240	270	2.66	105	90				
430-99	32	53	35	13	11	19	320	510	430	4.05	112	99				
550-119	50	73	56	8.7	5.6	11	290	400	550	5.25	152	119				
1000-152	59	73	53	26	26	33	880	1200	1000	12.25	165	152				
1200-159	66	87	58	20	22	31	930	1400	1200	12.90	178	159				
1300-191	75	107	86	22	24	27	870	1600	1300	15.0	210	191				

注：下标 45 表示 45° 安装时的参数。

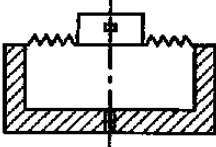
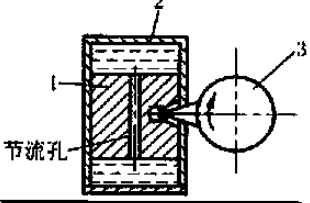
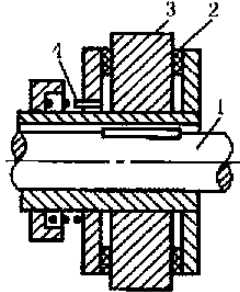
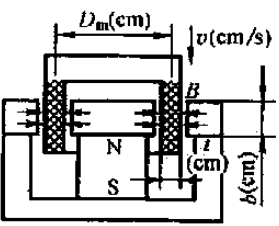
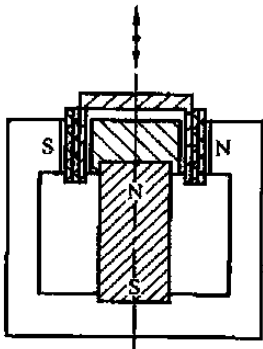
3 阻尼减振

现代工程结构大多为复杂的多自由度系统，一般的减振隔振技术很难满足控制振动的要求，还必须采用各种形式的阻尼，耗散振动体的能量，达到减小振动的目的。常用的人工阻尼技术包括阻尼层结构、阻尼减振器，后者包括黏弹性阻尼减振器、干摩擦（库仑）阻尼减振器、流体阻尼减振器及其他减振器。

3.1 阻尼减振原理

阻尼减振的原理见表 18-5-10。大部分用于减振器，参见下一节。

表 18-5-10 阻尼减振的原理

类别	图例	说明
空气阻尼器		摆锤运动时空气以很大的速度从小孔流入或流出而获得大的阻尼力；性能稳定；阻尼力与运动速度的线性较差
油阻尼器		阻尼板在油中产生涡流及阻尼板与油的黏滞力获得阻尼力；种类很多；流体介质以硅油为最稳定 左图例说明：振动体通过摇臂 3 使活塞 1 产生往复运动，迫使油液通过活塞的节流孔来回流动，产生摩擦阻尼
干摩擦阻尼		摩擦片、弹簧、橡胶、钢丝绳减振器等；种类很多 左图例说明：1—轴；2—摩擦盘；3—飞轮；4—弹簧
磁阻尼器		金属材料制成的阻尼环在磁场中运动产生电动势产生涡流而形成阻尼力 $F = \pi \frac{B^2}{\rho} D_m b t + v \times 10^{-14} \text{ (N)}$ B ——空隙的磁通密度, G (1G = 10^{-4} T) ρ ——圆环的电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$ 设磁场中圆环部分的电阻为 $R(\Omega)$, 则 $\rho = Rbt / (\pi D_m)$
线圈式电磁阻尼器		如用线圈在磁场中运动切割磁力线时产生电动势，与磁场相互作用而产生阻止运动的力，则为线圈式电磁阻尼器

要说明一点，电磁流变技术用于减振器是机械领域的一个大的变革。例如智能半主动减振器可广泛应用于机械动力装备，如车辆的主动悬架、主动抗侧翻装置、驾驶员坐椅主动减振和主动隔振、建筑结构的主动消能等。同时磁流变调速离合器、磁流变刹车可广泛应用于机械动力传动链中的动力控制装置，从而为用微电子器件直接控制机械动力装置提供了直接便利的执行器。

3.2 材料的损耗因子与阻尼层结构

通常以材料的损耗因子 η_1 来衡量其对振动的吸收能力的特征量。它是材料受到振动激励时，损耗能量与振动能量的比值：

$$\eta_1 = \frac{W_d}{2\pi U} \quad (18-5-6)$$

式中 W_d ——一个周期中阻尼所消耗的功；

U ——系统的最大弹性势能， $U = \frac{1}{2}KA^2$ ；

K ——系统刚度；

A ——振幅。

由于等效阻尼

$$C_e = \frac{W_d}{\pi\omega A^2}$$

因此，损耗因子 η_1 和等效阻尼 C_e 的关系为：

$$C_e = \frac{K}{\omega} \eta_1 \quad (18-5-7)$$

可以大致地认为在结构合理，受力与变形都在许可范围的情况下， $\eta_1 > 2$ 的材料将阻止振动的持续。

通常材料的损耗因子见表 18-5-11。

表 18-5-11

通常材料的损耗因子 η_1

材 料	损耗因子 η_1	材 料	损耗因子 η_1	材 料	损耗因子 η_1
钢、铁	0.0001 ~ 0.0006	夹层板	0.01 ~ 0.13	高分子聚合物	0.1 ~ 10
铜、锡	0.002	软木塞	0.13 ~ 0.17	混凝土	0.015 ~ 0.05
铅	0.0006 ~ 0.002	复合材料	0.2	砖	0.01 ~ 0.02
铝、镁	0.0001	有机玻璃	0.02 ~ 0.04	干砂	0.12 ~ 0.6
阻尼合金	0.02 ~ 0.2	塑料	0.005		
木纤维板	0.01 ~ 0.03	阻尼橡胶	0.1 ~ 5		

常用的 31 型、90 型等阻尼橡胶层的较详细资料见表 18-5-12。

表 18-5-12

系 列	型 号	最大损耗因子 η_{max}	最大损耗因子时的温度/°C	最大损耗因子时切变模量/ $N \cdot m^{-2}$	最佳使用频率 /Hz
31 系列	3101	0.45	20	1.4×10^{10}	100 ~ 5000
	3102	0.65	42	2×10^{10}	100 ~ 5000
	3103	0.92	60	6.5×10^{10}	100 ~ 5000
90 系列	9030	1.4	8	5.8×10^9	100 ~ 5000
	9050	1.5	10	6.5×10^9	100 ~ 5000
	9050A	1.3	32	7×10^9	100 ~ 5000
ZN00	ZN01	1.6	10	2×10^7	
	ZN02	1.42	20	2×10^7	
	ZN03	1.42	30	1.5×10^7	
	ZN04	1.45	-10	2×10^7	
ZN10	ZN11	1.5	20	2.5×10^7	
	ZN12	1.1	10	5×10^8	
	ZN13	1.34	20	1.5×10^8	
	ZN14	1.0	100	4×10^7	
ZN20	ZN21	1.4	25	5×10^7	
ZN30	ZN31	1.2	100	7×10^7	
	ZN33	1.0	200	1×10^9	

注：橡胶材料的复刚度 $K^* = K' + ih = K'(1 + i\eta)$ ， K' 为橡胶弹性元件的单向位移动刚度（同相动刚度）， h 为反映橡胶材料阻尼特性的正交动刚度（即结构阻尼），损耗因子 $\eta = h/K'$ 。动刚度 K^* 同时代表了橡胶元件的动刚度和阻尼。

3.2.1 橡胶阻尼层结构

在结构表面喷涂一层或粘贴一层黏弹性阻尼材料，例如高分子聚合物、混凝土、高速变形下的某些金属材料等，如只在原结构表面涂覆或粘贴一层阻尼层，原构件发生弯曲变形时，阻尼层以拉压变形的方式与构件的变形相协调，黏弹性阻尼材料就构成了非约束性黏弹阻尼结构，如在原结构表面上粘贴一层阻尼材料，然后再在阻尼材料上粘贴一层金属薄板就构成了约束阻尼层结构。后一种结构形式多样，可分为对称型、非对称型和多层结构。当结构发生弯曲变形时，由于约束层的作用使阻尼层产生较大的剪切变形来耗散较多的机械能，其减振效果比自由阻尼层结构大，应用最广泛。在拉压、扭转型的构件中也采用约束阻尼技术，使阻尼层在构件的特定变形方式下处于切应力状态。

图 18-5-12 为典型的附加阻尼形式。图 18-5-13 为典型的多层薄板梁的阻尼结构的横截面。图 18-5-14 为典型的外体-嵌入体-黏弹性材料组成的梁的横截面。

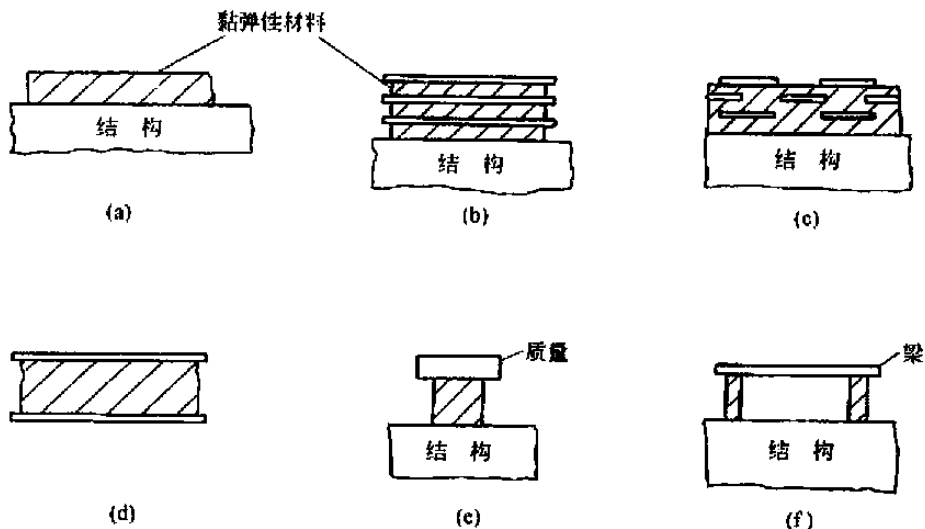


图 18-5-12 几种典型的附加阻尼

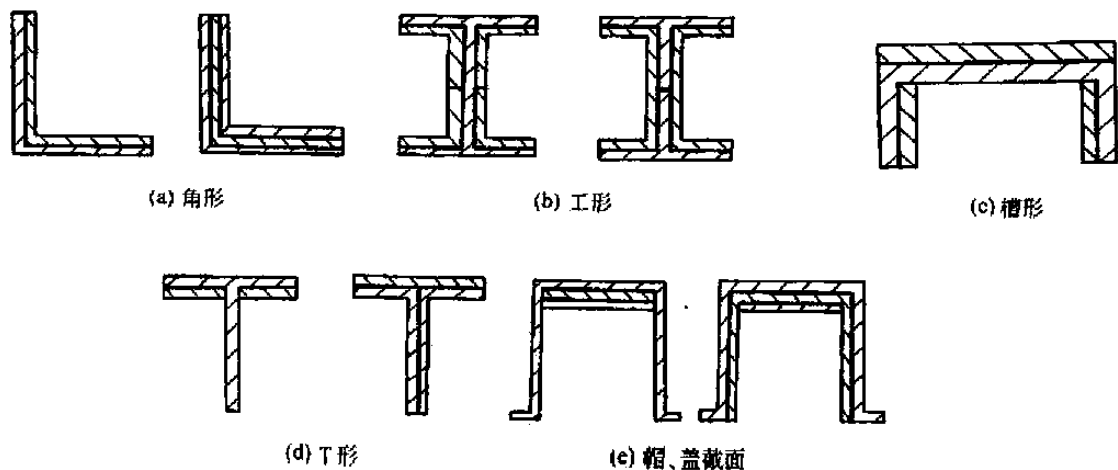


图 18-5-13 多层薄板梁的阻尼结构横截面

层叠橡胶支承件是由层叠橡胶构成的防振材料（弹性支承部件），该层叠橡胶系将橡胶薄片与钢板交替层叠、并硫化粘接而成。图 18-5-15a 为 NH 系列支承件，橡胶总厚度全部为 200mm。图 18-5-15b 为国内外用于楼房、桥梁、结构物等的叠层橡胶支座，进行基础隔振。1997 年杭州和平小区一幢原设计的 6 层框架砖混结构楼房，在 68 根立柱上装了 68 只叠层橡胶减振器，可抗 7 级地震。图 18-5-16 为叠层橡胶支承减振器安装在高压开关绝缘柱的底部，在多次地震和余震中，均保证开关站完好无损。

还可以根据需要设计成各种阻尼层结构，例如各种截面组合结构、蜂窝形板、壳结构等。

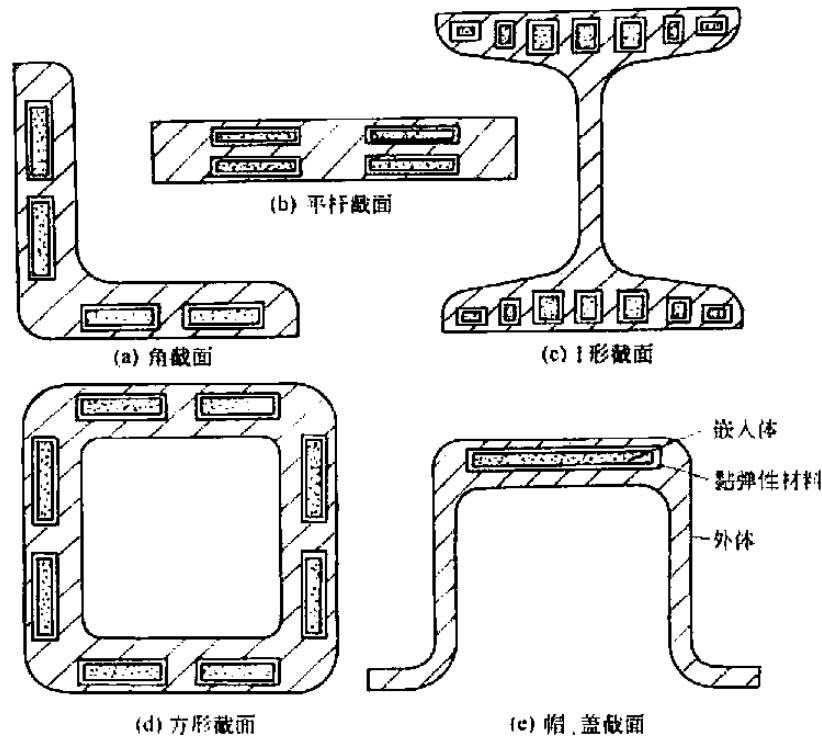


图 18-5-14 外体-嵌入体-黏弹性材料梁的阻尼结构横截面

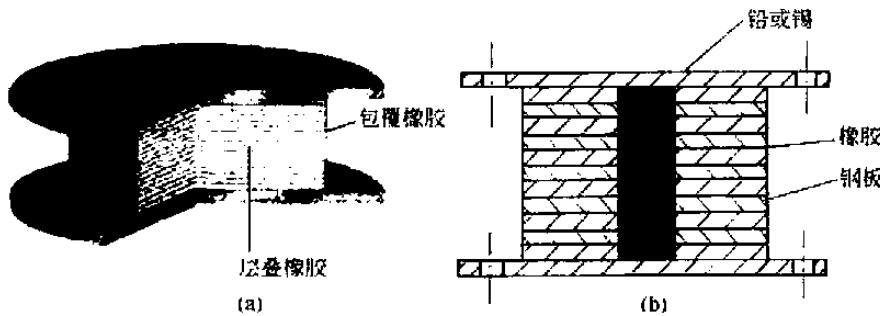


图 18-5-15 层叠橡胶支承件

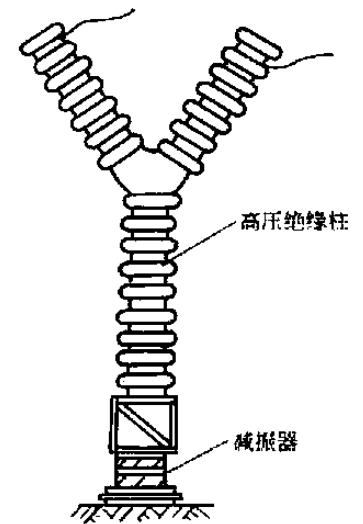


图 18-5-16 叠层橡胶减振器

橡胶支承还可与液压联合使用组成液压支承系统。它是将传统橡胶支承与液压阻尼组成一体的结构，在低频率范围内能提供较大的阻尼，对发动机大幅值振动起到迅速衰减的作用，中高频时具有较低的动刚度，能并行地降低驾驶室内的振动与噪声。

3.2.2 干摩擦阻尼减振器例

图 18-5-17 为非线性干摩擦阻尼减振器（专利），该阻尼减振器结构概述如下：摩擦顶盖 5 内开有摩擦棒孔 10，外壳 2 的上部壳壁上开有摩擦棒通孔 11，摩擦顶盖 5 的下端设置在减振弹簧 3 的上端，顶紧弹簧 8 设置在摩擦棒孔 10 的里端，摩擦棒 6 的杆端设在摩擦棒孔 10 内顶紧弹簧 8 的外端，摩擦棒 6 的摩擦端设在外壳 2 上的摩擦棒通孔 11 内，外壳 2 上摩擦棒通孔 11 的外壁上由螺杆 9 固定有摩擦板 7，摩擦棒 6 摩擦端的外端面与摩擦板 7 的内壁之间摩擦接触。减振原理是将振动能量转化为摩擦功，据称比常规阻尼减振器增大吸振能量三倍以上。摩擦棒及摩擦板可方便更换，大大提高了应用效果。据称寿命比常规橡胶阻尼减振器长三倍，比金属网阻尼减振器

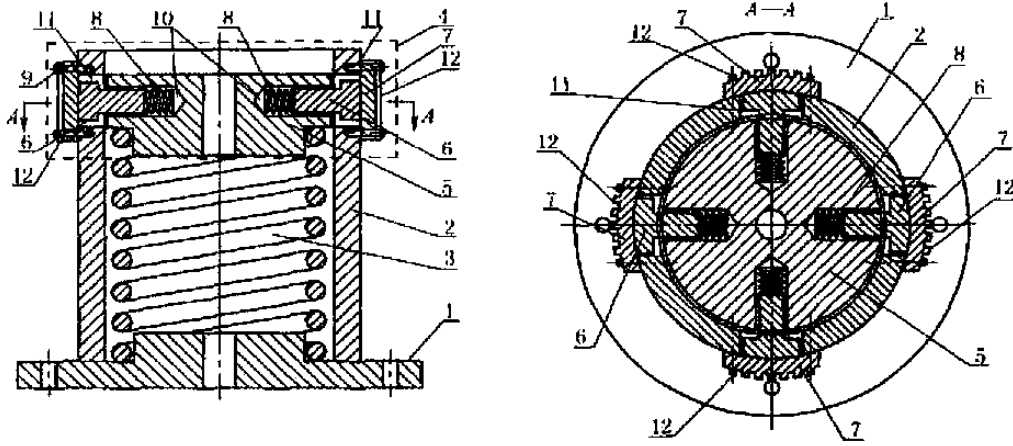


图 18-5-17 非线性干摩擦阻尼减振器

1—底座；2—外壳；3—减振弹簧；4—干摩擦阻尼器；5—摩擦顶盖；6—摩擦棒；7—摩擦板；
8—顶紧弹簧；9—螺杆；10—摩擦棒孔；11—摩擦棒通孔；12—散热翅片

长二倍。

3.3 线性阻尼隔振器

刚性连接的线性阻尼隔振器系统参数及设计已见表 18-5-1。本节简述弹性连接的线性阻尼隔振器的参数及设计。所谓弹性连接是指阻尼器通过弹簧连接于质体 m 和基础之间。

3.3.1 减振隔振器系统主要参数

表 18-5-13

隔振方式	系统简图	刚度比 S	阻尼比 ζ	频率比 Z	绝对传递系数 T_A	相对传递系数 T_R	运动响应系数 T_M
主动隔振		$\frac{K_1}{K}$	$\frac{C}{2\sqrt{mK}}$	$\frac{\omega}{\sqrt{\frac{K}{m}}}$	$\left| \frac{F_{T0}}{F_0} \right|$	—	$\left| \frac{B}{F_0/K} \right|$
被动隔振		$\frac{K_1}{K}$	$\frac{C}{2\sqrt{mK}}$	$\frac{\omega}{\sqrt{\frac{K}{m}}}$	$\left| \frac{B}{U} \right|$	$\left| \frac{\delta}{U} \right|$	—
主动隔振		$\frac{K_2}{K_3}$	$\frac{C \left(\frac{S}{S+1} \right)}{2\sqrt{\frac{K_2 K_3 m}{K_2 + K_3}}}$	$\frac{\omega}{\sqrt{\frac{K_2 K_3}{(K_2 + K_3)m}}}$	$\left| \frac{F_{T0}}{F_0} \right|$	—	$\left| \frac{B}{F_0/K} \right|$
被动隔振		$\frac{K_2}{K_3}$	$\frac{C \left(\frac{S}{S+1} \right)}{2\sqrt{\frac{K_2 K_3 m}{K_2 + K_3}}}$	$\frac{\omega}{\sqrt{\frac{K_2 K_3}{(K_2 + K_3)m}}}$	$\left| \frac{B}{U} \right|$	$\left| \frac{\delta}{U} \right|$	—

续表

隔振方式	系统简图	刚度比 S	阻尼比 ζ	频率比 Z	绝对传递系数 T_A	相对传递系数 T_R	运动响应系数 T_M
隔振考核指标计算式	绝对传递系数 T_A (隔振系数 η)	$T_A = \sqrt{\frac{1 + 4\left(\frac{S+1}{S}\right)^2 \zeta^2 Z^2}{(1-Z^2)^2 + \frac{4}{S^2} \zeta^2 Z^2 (S+1-Z^2)^2}}$					
	相对传递系数 T_R	$T_R = \sqrt{\frac{Z^2 + \frac{4}{S^2} \zeta^2 Z^2}{(1-Z^2)^2 + \frac{4}{S^2} \zeta^2 Z^2 (S+1-Z^2)^2}}$					
	运动响应系数 T_M	$T_M = \sqrt{\frac{1 + \frac{4}{S^2} \zeta^2 S^2}{(1-Z^2)^2 + \frac{4}{S^2} \zeta^2 Z^2 (S+1-Z^2)^2}}$					

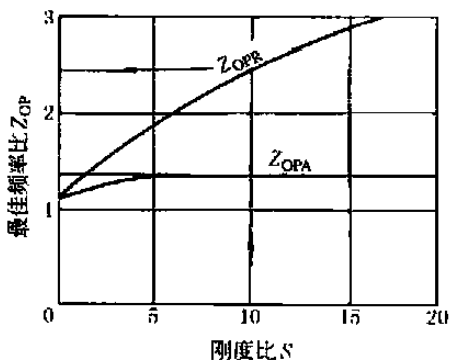
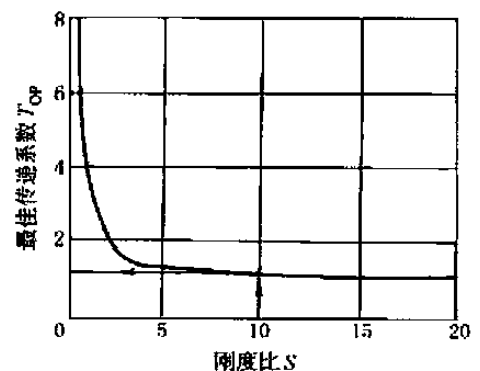
注：符号意义 F —激振力， $F = F_0 \sin \omega t$ ， N ； F_0 —激振力幅值， N ； u —支承运动位移， $u = U \sin \omega t$ ， m ； U —支承运动位移幅值， m ； B —质量 m 的稳态运动位移幅值， m ； δ —质量 m 和基础相对运动位移幅值， m ； F_{T0} —传给基础的动载荷幅值， N 。

3.3.2 最佳参数选择

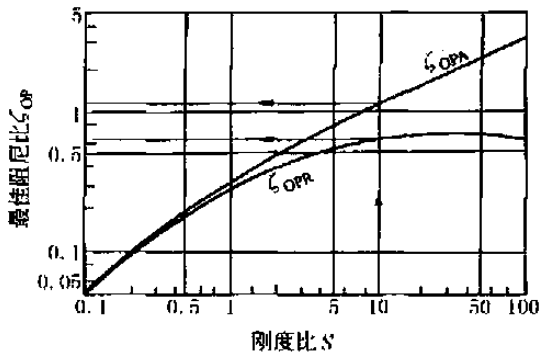
表 18-5-14

最佳参数	对应绝对传递系数 T_A	对应相对传递系数 T_R	说明
最佳频率比	$Z_{OPA} = \sqrt{\frac{2(S+1)}{S+2}}$	$Z_{OPR} = \sqrt{\frac{S+2}{2}}$	也可查阅图 18-5-18
最佳传递系数	$T_{OP} = T_{OPA} = 1 + \frac{2}{S} \approx T_{OPR}$		也可查阅图 18-5-19
最佳阻尼比	$\zeta_{OPA} = \frac{S}{4(S+1)} \sqrt{2(S+2)}$	$\zeta_{OPR} = \frac{S}{\sqrt{2(S+1)(S+2)}}$	也可查阅图 18-5-20

注：1. 本表按被动隔振给出各最佳参数，对主动隔振同样适用。
2. 本表也适用于非线性系统，本表选择的参数均为等效线性参数。

图 18-5-18 Z_{OP} 与 S 的关系图 18-5-19 T_{OP} 与 S 的关系

弹性连接线性阻尼减振隔振器的最佳参数均由刚度比 S 决定。例如： $S = 10$ 时，由图 18-5-18 查得 $Z_{OPA} = 1.35$ ， $Z_{OPR} = 2.45$ ；由图 18-5-19 查得 $T_{OP} = 1.2$ ；由图 18-5-20 查得 $\zeta_{OPA} = 1.1$ ， $\zeta_{OPR} = 0.62$ 。

图 18-5-20 ζ_{OPA} 与 S 的关系

3.3.3 设计示例

某高速离心压气机，其质量为 1240kg，工作转速为 2800r/min，要求设计一弹性连接线性阻尼减振隔振器，使共振时的最大绝对传递系数 $T_{Amax} < 3$ ，正常工作时的隔振系数 $\eta \leq 0.05$ 。

(1) 确定刚度比 S

当 $T_{Amax} = 3$ 时，从图 18-5-19 查得对应的刚度比 $S = 1$ ；当 $T_{Amax} \leq 3$ 时，则 $S \geq 1$ ；为了安全起见，取 $S = 2$ 。

(2) 确定最佳阻尼比 ζ_{OPA}

当 $S = 2$ 时，从图 18-5-20 查得对应的最佳阻尼比 $\zeta_{OPA} = 0.47$ 。

(3) 确定系统的固有角频率 ω_n

当 $S = 2$ ， $\zeta_{OPA} = 0.47$ ， $T_A = 0.05$ 时，从隔振系数

$$\eta = \sqrt{\frac{1 + 4\left(\frac{S+1}{S}\right)^2 \zeta_{OPA}^2 Z^2}{(1 - Z^2)^2 + \frac{4}{S^2} \zeta_{OPA}^2 Z^2 (S+1 - Z^2)^2}}$$

中可以计算出对应的频率比 $Z = 8$ ；当 $\eta \leq 0.05$ 时， $Z = \frac{\omega}{\omega_n} \geq 8$ ；高速离心压气机的工作转速 $n = 2800\text{r/min}$ ， $\omega =$

293.2rad/s ，所以，系统的固有角频率 $\omega_n \leq \frac{\omega}{Z} = \frac{293.2}{8} = 36.65\text{rad/s}$ 。

(4) 主支承总刚度

$$K = m\omega_n^2 = 1240 \times 36.65^2 = 1.67 \times 10^6 \text{ N/m}$$

主支承弹簧选择四角均匀布置，每组选用 3 只弹簧，共用 12 只弹簧作为主支承弹簧，一只弹簧刚度

$$K' = \frac{K}{12} = \frac{1.67 \times 10^6}{12} = 1.39 \times 10^5 \text{ N/m}$$

(5) 主支承弹簧的静变量

$$\delta_n = \frac{mg}{K} = \frac{1240 \times 9.8}{1.67 \times 10^6} = 0.0073\text{m}$$

选取 $\delta_n = 0.01\text{m}$ 。因选取 S 、 δ_n 值两次选大，该弹簧静变量肯定满足要求。

主支承弹簧设计参数 K' 、 δ_n 确定后，则可进行弹簧设计。

(6) 阻尼器支承弹簧总刚度

$$K_1 = SK = 2 \times 1.67 \times 10^6 = 3.34 \times 10^6 \text{ N/m}$$

阻尼器支承弹簧采用和主支承弹簧相同的 24 只弹簧，沿圆周均匀布置，见图 18-5-21。

(7) 阻尼器总等效线性阻尼系数

$$C_e = \zeta_{OPA} C_c = 0.47 \times 90900 = 42720 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

式中 $C_c = 2m\omega_n = 2 \times 1240 \times 36.65 = 90900 \text{ N} \cdot \text{s/m}$

因该高速离心压气机工作频率高，采用速度平方阻尼器是很有效的，所

以，求得的阻尼系数为等效线性阻尼系数，采用 4 只阻尼器，每一只阻尼器的阻尼系数为：

$$C'_e = \frac{C_e}{4} = \frac{42720}{4} = 10680 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

(8) 流体阻尼器的行程估计

因为传给基础的瞬时最大动载荷幅值 $F_{Tmax} = T_{Amax} F_0 = KB_{max}$ ；正常工作时传给基础的动载荷幅值 $F_{T0} = T_A F_0 = KB$ ，当 $T_{Amax} = 3$ 时， $B_{max} = \delta_n = 0.0073\text{m}$ ，所以，稳态振幅

$$B = \frac{T_A}{T_{Amax}} B_{max} = \frac{0.05}{3} \times 0.0073 = 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}$$

阻尼器的正常工作行程为二倍稳态振幅，最大行程往往根据装配工艺要求确定。阻尼器设计可根据 C'_e 、 ω 、 B 进行。

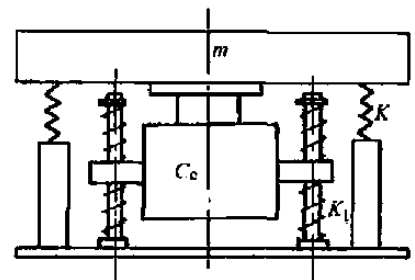
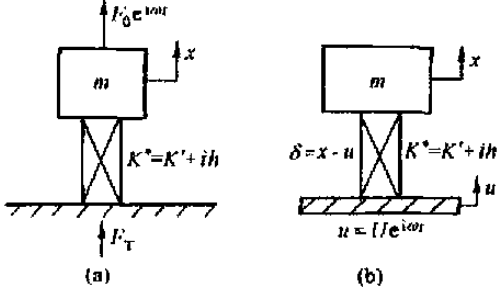
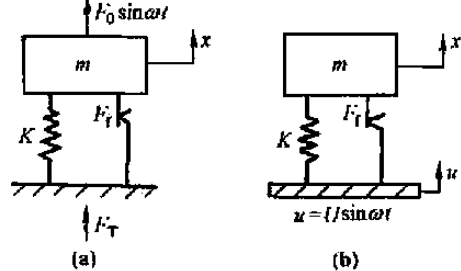


图 18-5-21 弹性连接线性阻尼结构布置简图

3.4 非线性阻尼系统的隔振

3.4.1 刚性连接非线性阻尼系统隔振

表 18-5-15

项 目	黏弹性阻尼系统	摩擦(库仑)阻尼系统
力学模型	 <p> K^*——橡胶弹簧单向位移动刚度 h——橡胶材料阻尼特性的正交动刚度, $h = K'\eta_1$ η_1——黏性材料的损耗因子, 一般橡胶 $\eta_1 = 0.03 \sim 0.50$ </p>	 <p> F_T——极限摩擦力, $F_T = \mu N$ η_1——摩擦阻尼参数 (a) $\eta_1 = \frac{F_T}{F_0}$ (b) $\eta_1 = \frac{F_T}{KU}$ </p>
等效阻尼	<p>等效线性阻尼系数</p> $C_e = \frac{K'\eta_1}{\omega}$	<p>等效线性阻尼比</p> $\zeta_e = \frac{\sqrt{\left(\frac{2}{\pi}\eta_1\right)^2(1-Z^2)^2}}{Z^2\left[Z^4 - \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2\right]}$
传递系数	<p>绝对传递系数</p> $T_A = \sqrt{\frac{1 + \eta_1^2}{(1 - Z^2)^2 + \eta_1^2}}$ <p>相对传递系数</p> $T_R = \frac{Z^2}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + \eta_1^2}}$ <p>运动响应系数</p> $T_M = \frac{1}{\sqrt{(1 - Z^2)^2 + \eta_1^2}}$	<p>绝对传递系数</p> $T_A = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2\left(\frac{12}{Z^2}\right)}{(1 - Z^2)^2}}$ <p>相对传递系数</p> $T_R = \sqrt{\frac{Z^4 - \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2}{(1 - Z^2)^2}}$ <p>运动响应系数</p> $T_M = \sqrt{\frac{Z^4 - \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2}{Z^4(1 - Z^2)^2}}$ <p>力传递系数</p> $(T_A)_F = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2 Z^2(Z^2 - 2)}{(1 - Z^2)^2}}$ <p> η_1——力阻尼参数, $\eta_1 = \frac{F_T}{F_0}$ </p>
频率比 Z	$Z^2 = \frac{\omega^2}{\omega_n^2} = \frac{m\omega^2}{K'}$	$Z^2 = \frac{\omega^2}{\omega_n^2} = \frac{m\omega^2}{K}$ <p>摩擦阻尼器松动频率比</p> <p>近似值: $Z_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi}\eta_1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{F_T}{KU}}$</p> <p>精确值: $Z_1 = \sqrt{\eta_1} = \sqrt{\frac{F_T}{KU}}$</p>

项 目	黏弹性阻尼系统	摩擦(库仑)阻尼系统
隔振特征	<p>(1) 当 $Z = 1$ (共振), $\eta_1 = 2\zeta \ll 1$ 时, $T_{Amax} = \frac{1}{\eta_1}$, 该值很大</p> <p>(2) 当 $Z \gg 1$ (远超共振), $\eta_1 \ll 1$ 时, 黏弹性阻尼系统与无阻尼系统的 η_1 之差为 $\sqrt{1 + \eta_1^2}$, 该值很小, 所以, 橡胶隔离器的内阻尼在越过共振区以后, 几乎不妨碍隔振效果</p> <p>(3) 通常增大 η_1 值会引起发热量的增加, 寿命缩短, 因此, 大损耗因子 ($\eta_1 > 0.5$) 的橡胶在隔振技术中的应用仍有困难</p>	<p>(1) 在“松动”刚开始的一段频率范围内, 振动的一个周期内仍然交替地出现“松动”和“锁住”运动, 所以, 这一频带对应的 T_A, T_R 近似性较差, 计算时应注意</p> <p>(2) 如果摩擦阻力小于临界最小值, 即使系统有阻尼, 共振时的位移传递系数也能达到无穷大。为避免共振时 T_A 达到无穷大, 给出了摩擦力最小条件和最佳条件</p> <p>$(F_f)_{min} = 0.79KU$</p> <p>$(F_f)_{OP} = 1.57KU$</p> <p>(3) 当激励频率较高时, T_A 与 ω^2 成反比</p>

3.4.2 弹性连接干摩擦阻尼减振隔振器动力参数设计

表 18-5-16

项 目	计 算 公 式	说 明
力学模型		系统频率比参看表 18-5-13
传递系数	$T_A = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2 \left[\frac{S+2}{S} - 2\left(\frac{S+1}{S}\right)/Z^2\right]}{(1-Z^2)^2}}$ $T_R = \sqrt{\frac{Z^4 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2 \left[\frac{2}{S}Z^2 - \left(\frac{S+2}{S}\right)\right]}{(1-Z^2)^2}}$ $T_M = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2 \left(\frac{2Z^2}{S} - \frac{S+2}{S}\right)/Z^4}{(1-Z^2)^2}}$ $(T_A)_F = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{4}{\pi}\eta_1\right)^2 Z^2 \left[\frac{S+2}{S}Z^2 - 2\left(\frac{S+1}{S}\right)\right]}{(1-Z^2)^2}}$ $\eta_1 = \frac{F_f}{KU} \quad \eta_1 = \frac{F_f}{F_0}$ $(T_A)_F = \frac{F_m}{F_0}$	<p>(1) 无阻尼 ($\eta_1 = 0$) 和无穷阻尼 ($\eta_1 = \infty$) 的情况下, 只有弹簧起作用</p> <p>(2) 低阻尼 (小于最佳阻尼) 时, 阻尼器松动频率也比较低, 当松动频率低于固有角频率时, 即 $\eta_1 < \frac{\pi}{4}$, 共振 T_A 为无穷大</p> <p>(3) 松动和锁住频率比</p> $Z_l = \sqrt{\frac{(4\eta_1/\pi)(S+1)}{(4\eta_1/\pi) \pm S}}$ <p>取“+”时为松动频率, 取“-”时为锁住频率, 当根号内出现负值时, 松动后不再锁住</p> <p>(4) 高频时, 加速度传递系数与频率平方成反比, 所以, 高频加速度传递系数相对较小</p>
最佳频率比	$Z_{OPA} = \sqrt{\frac{2 + (S+1)}{S+2}} \quad Z_{OPR} = \sqrt{\frac{S+2}{2}}$	也可查阅图 18-5-18
最佳传递系数	$T_{OP} = T_{OPA} = 1 + \frac{2}{S} \approx T_{OPR}$	也可查阅图 18-5-19
最佳阻尼参数	$\eta_{OPA} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{S+1}{S+2}} \quad \eta_{OPR} = \frac{\pi}{4} \sqrt{S+2}$	可通过计算或查图 18-5-22 确定 η_{OP} 和 F_f , 再依据 F_f 选择 μ 和 N

3.4.3 减振器设计

(1) 油压式减振器结构特征

筒式油压减振器的典型结构如图 18-5-23 所示。值得注意的有两点：其一是该减振器采用了两个完全相同的单向阀 A、B 和一个带有阻尼孔 C 的压力阀；其二是油缸的内径与活塞杆的外径之比取为 $\sqrt{2}$ 。这样就可保证减振器在正反两方向行程相等、运动速度也相等的条件下，正反向运动流过阻尼孔 C 和 A、B 阀的油量相等，作用于活塞上的阻尼力相等。减振器具有稳定的阻尼特性。另外，单向阀、阻尼孔和油缸零件均采用分体式，便于制造、安装和调试。

(2) 阻尼力特性

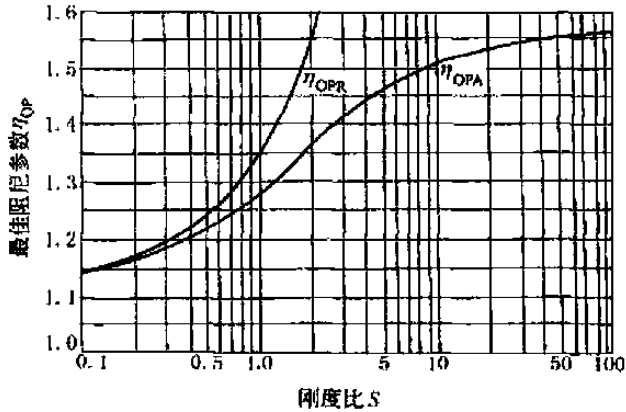


图 18-5-22 最佳阻尼参数 η_{OP} 与刚度比的关系

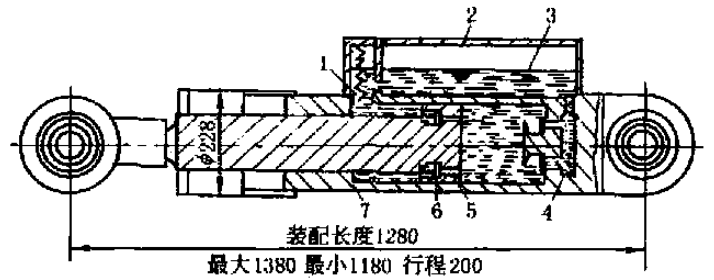


图 18-5-23 油压式减振器

1—阻尼孔 C；2—气室；3—油面；4—阀 B；
5—活塞；6—阀 A；7—油缸

表 18-5-17

项 目	定截面阻尼孔	圆锥阀阻尼孔	速度比例阀阻尼孔
结构简图			
压力差与活塞速度关系	$p = \frac{1}{2} \rho \frac{S^2 v^2}{(C_d a)^2}$	$p = \frac{1}{2} \rho \times \frac{S^2 v^2}{\left[N \left(\frac{1}{K} p \frac{\pi}{4} d^2 - h_0 \right) \right]^2}$ $N = C_d \pi d \sin \theta$	$p = \frac{1}{2} \rho \times \frac{S^2 v^2}{(C_d \alpha)^2 \left(\frac{1}{K} p \frac{\pi}{4} d^2 - h_0 \right)^2}$ 阀的开程 h 与阀体切槽深度关系为抛物线，实际上是圆弧，油通路面积 $a = \alpha \sqrt{h}$ ，则 $\alpha = \frac{a}{\sqrt{h}}$ ，式中 h 仅以数值代入开方
ρ ——流体密度， kg/m^3 ； S ——活塞面积， m^2 ； a ——阻尼孔面积， m^2 ； v ——活塞速度， m/s ； C_d ——流量系数，取决于孔形状和雷诺数			
孔长较短 $C_d = 0.6$ 孔长径比为 3，流入侧边缘 直角： $C_d = 0.8$ 圆弧： $C_d = 0.9$		带阀门的阻尼孔 $C_d = 0.6 \sim 0.7$ K ——阀弹簧的弹簧刚度， N/m h_0 ——阀弹簧的预压变形量， m 未注几何尺寸见简图	

项 目	定截面阻尼孔	圆锥阀阻尼孔	速度比例阀阻尼孔
阻尼力速度特性	$F = \rho S = \frac{1}{2} \rho \frac{S^3}{(C_d a)^2} v^2$	当 $h_0 = 0$ 时 $F = \frac{S}{a} \left[\frac{\rho}{8\pi} \left(\frac{KS}{C_d \sin \theta} \right)^2 \right]^{1/3} v^{2/3}$	当 $h_0 = 0$ 时 $F = \sqrt{\frac{\rho}{2} \times \frac{4K}{\pi d^2} \times \frac{S^2}{C_d a}} v$
阻尼系数	$C_2 = \frac{1}{2} \rho \frac{S^3}{(C_d a)^2}$	$C_2 = \frac{S}{\pi d^2 / 4} \left[\frac{\rho}{8\pi} \left(\frac{KS}{C_d \sin \theta} \right)^2 \right]^{1/3}$	$C = \frac{S^2}{C_d a} \sqrt{\frac{2\rho K}{\pi d^2}}$
等效线性阻尼系数	$C_e = \frac{8}{3\pi} C_2 \omega B$ ω ——活塞振动频率, rad/s B ——活塞振动振幅, m		$C_e = C$
使用说明	图 18-5-23 阻尼孔 C 为定截面阻尼孔。阻尼系数计算公式中面积 $S = \pi D^2 / 8$, D 为油缸内径。另外阻尼力随 v^2 按正比增长, v 很大时, 受力很大, 阻尼器将受到强度上的限制。为控制内压, 阻尼孔 C 处装一限压阀	图 18-5-23 中的阀 A、B 可采用圆锥阀。当流体流过该类阀时, 产生的阻尼力很小, 因此, 圆锥阀都是像图 18-5-23 那样与定截面阻尼孔配合使用。圆锥阀的阻尼力可以忽略不计	图 18-5-23 中阀 A、B 也可采用速度比例阀, 它所产生的阻尼力是线性阻尼。当速度比例阀与阻尼孔 C 配合使用且流动速度 v 很高时, 速度平方阻尼起主要作用; v 比较低时, 线性阻尼占主导地位, 是一种比较好的搭配

(3) 设计示例

3.3.3 节的减振隔振器动力参数设计示例, 确定等效线性阻尼 $C_e = 42720 \text{ N} \cdot \text{s/m}$, 阻尼器的振动角频率 $\omega = 293.2 \text{ rad/s}$, 振幅 $B = 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}$, 设计如图 18-5-23 所示的油阻尼器。

阀 A 和阀 B 采用圆锥阀阻尼孔, 阻尼孔 C 采用定面积阻尼孔。

阻尼系数

$$C_2 = \frac{3\pi C_e}{8\omega B} = \frac{3\pi \times 42720}{8 \times 293.2 \times 1.22 \times 10^{-4}} = 6.07 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$$

定截面阻尼孔 C 的直径选为 $d_1 = 0.002 \text{ m}$, 阻尼油选择为机油, 其密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, 阻尼孔长径比大于 3 且边缘为圆弧, 所以 $C_d = 0.9$, 活塞杆面积

$$S = \sqrt{\frac{2C_d^2 a^2 C_2}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.9^2 \times (\pi \times 0.002^2 / 4)^2 \times 1.67 \times 10^6}{900}} = 0.325 \text{ m}^2$$

活塞杆直径

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.325}{\pi}} = 0.143 \text{ m}$$

油缸内径

$$D = \sqrt{2}d = \sqrt{2} \times 0.143 = 0.203 \text{ m}$$

(4) 摩擦阻尼器结构特征

摩擦阻尼器结构特征, 一是选用合适的摩擦材料做摩擦片, 二是对摩擦片施加足够的摩擦力, 通常施加正压力方法有预压弹簧、气缸或油缸三种加压形式。

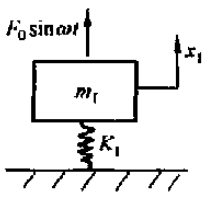
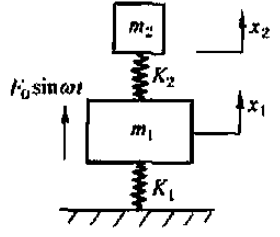
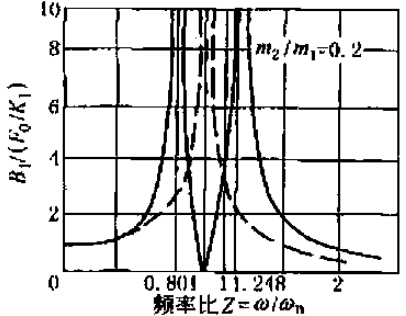
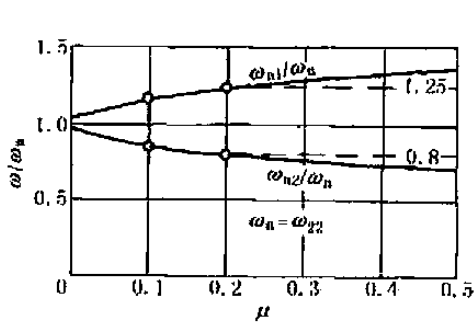
4 动力吸振器

所谓动力吸振就是借助于转移振动系统的能量来减小振动。

4.1 动力吸振器设计

4.1.1 动力吸振器工作原理

表 18-5-18

项 目	简 图	说 明
使用条件		基本恒定的激振圆频率 ω 接近于主系统的固有角频率 $\omega_n = \sqrt{K_1/m_1}$, 系统处于共振状态, 又无足够阻尼抑制振动, 振动比较强烈
增设辅助弹簧质量系统		当 $\omega = \omega_n = \sqrt{K_1/m_1}$ 时, 在主系统上再安装一个 m_2 和 K_2 的辅助系统, 要求条件是 $\omega_{22} = \sqrt{K_2/m_2} = \omega_n$, 把单自由度系统变为二自由度系统
二自由度系统的稳态响应		系统不可能无阻尼: $B_1 \approx 0$ $B_2 = \frac{1}{(1-Z^2)(1+S-Z^2) - S} \times \frac{F_0}{K_1}$ 主系统的强烈振动为辅助系统所吸收
系统的频率特性		$\omega_{n1}^2 = \omega_n^2 \left[\left(1 + \frac{\mu}{2} \right) \mp \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} \right]$ $\omega_{n2}^2 = \omega_n^2 \left[\left(1 + \frac{\mu}{2} \right) \pm \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} \right]$ 给出 μ 值, 就可找到系统的两个固有角频率, 从图中可以看出在 μ 不太大时, 这两个固有角频率之间的频带相当窄。从二自由度系统稳态响应图中主质量 m_1 的幅频响应曲线可以看出, 无阻尼动力吸振器有效工作频带就更窄, 因为在 ω_n 的左右不远处各有一个固有角频率 ω_{n1} 和 ω_{n2} 。所以, 使用不当时, 很容易带来产生共振的弊端

注: ω_n —主系统的固有角频率, $\omega_n^2 = K_1/m_1$, rad/s; ω_{22} —辅助系统的固有角频率, $\omega_{22}^2 = K_2/m_2$, rad/s; ω_{n1} , ω_{n2} —二自由度系统的一、二阶固有角频率, rad/s; μ —质量比, $\mu = m_2/m_1$; S —刚度比, $S = K_2/K_1$; Z —频率比, $Z = \omega/\omega_n$; F_0 —简谐激振力幅值, N。

4.1.2 动力吸振器的设计

表 18-5-19

项 目	设计 原 则	说 明
设计已知条件	已知激振力幅值 F_0 、频率 ω 、主系统质量 m_1 和固有角频率 ω_n 。	如果 ω 和 ω_n 未知, 可通过测试直接获得。如果 F_0 未知, 可通过主系统振幅测试, 经换算得出

项 目	设计 原 则	说 明
质量 m_2 的确定	通常根据新共振点频率比限定值 (例如: $\frac{\omega_{n1}}{\omega_n} < 0.9, \frac{\omega_{n2}}{\omega_n} > 1.1$) 按公式 $\left(\frac{\omega_{n1}}{\omega_n}\right)^2 = \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) - \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} < 0.9^2$ $\left(\frac{\omega_{n2}}{\omega_n}\right)^2 = \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) + \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} > 1.1^2$ 确定质量比 μ , 最终得到 $m_2 = \mu m_1$	根据给定新共振点频率比 (或在新共振点频率没给定条件下, 可自行选择频率比), 可从表 18-5-18 中系统频率特性曲线图查出 μ
弹簧 K_2 的参数确定	吸振器弹簧总刚度 $K_2 = m_2 \omega_n^2$ 并确定一只弹簧的刚度 K_2' 。弹簧的最大相对变形量 $\delta_{max} = |B_1| + |B_2|$, 因 $|B_1| = 0$, 所以, $\delta_{max} \geq B_{2max} = F_0 / K_2$ 于是可根据确定的 K_2' 和 δ_{max} 进行弹簧设计	在没有确切知道激振力幅值 F_0 的条件下, 弹簧的最大相对变形量可以估计得稍偏高一点
系统调试设计	(1) 在 m_2 固定的条件下, 采用如图 18-5-24 所示动力消振装置, 凭借改变悬臂梁的悬臂长来调整 K_2 , 保证 $\omega_{22} = \omega_n$ (2) 在 K_2 固定条件下, 采用如图 18-5-25 所示动力消振装置, 凭借改变 m_2 来保证 $\omega_{22} = \omega_n$ 。下面的大质量块, 是进行宏观调节的, 上面的小质量块是进行微细调节的	动力吸振器是一种单频窄带吸振器, ω 偏离 ω_n 的程度、新共振点频带宽和弹簧的制造安装误差都影响动力吸振器的工作有效性, 所以, 调试设计应引起足够的重视。在 ω_n 未知的条件下, 也可以通过逐渐试验的办法, 寻找动力吸振器的最佳参数, 这样虽具有盲目性, 但对解决工程实际问题是很重要的
动力吸振器与主系统的连接点选择	若主系统为多自由度系统, 动力吸振器只要不附连在主系统的振动节点 (振幅为零位置) 上, 总能在窄带范围内使连接点邻近区域的振动得到抑制。当动力吸振器附连在激振力作用点或欲抑制振动的振幅最大处, 效果都很好	当机械设备和安装基础在激振力作用下产生共振, 并采用动力吸振器控制主系统振动时, 应注意动力吸振器的安装位置

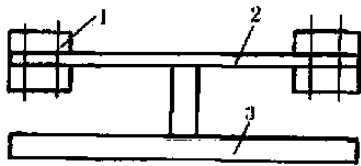


图 18-5-24 卧式动力吸振器
1—质量; 2—板弹簧; 3—底座

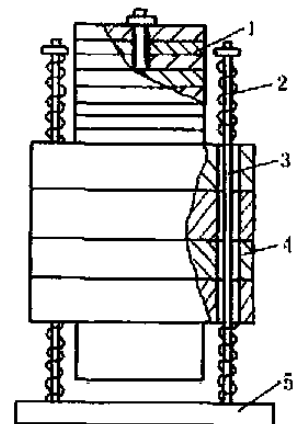


图 18-5-25 立式动力吸振器
1—调整质量; 2—弹簧; 3—导杆; 4—质量; 5—底座

4.1.3 动力吸振器附连点设计

首先, 为了方便调试, 板弹簧设计长度应考虑可在 $\pm 15\%$ 的范围内调节; 其次, 如果动力吸振器附连在机械设备的机座下面, 可直接将激振力的能量吸收, 消减机械设备的振动, 但有时机械设备上不具备这种附连条件, 也可将动力吸振器分解为几个, 放在机械设备周围的基础上, 附连点应放在基础振动的最强烈部位, 同样可以达到消减基础和机械设备振动的目的。

4.1.4 设计示例

某安装在厂房三楼的机械设备 $m_1 = 7830\text{kg}$, 系统的固有角频率 $\omega_n = 93.2\text{rad/s}$, 激振力频率 $\omega = 93.2\text{rad/s}$,

激振力幅值 $F_0 = 5200\text{N}$ 。设计一动力吸振器，要求新共振频率比 $\left(\frac{\omega_{n1}}{\omega_n}\right) < 0.9$ ， $\frac{\omega_{n2}}{\omega_n} > 1.1$ 。

(1) 确定吸振器的质量

$$\left(\frac{\omega_{n1}}{\omega_n}\right)^2 = \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) - \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} < 0.9 \quad \text{则: } \mu > 0.048$$

$$\left(\frac{\omega_{n2}}{\omega_n}\right)^2 = \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) + \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} > 1.1 \quad \text{则: } \mu > 0.04$$

选取质量比 $\mu = 0.05$ ，则

$$\frac{\omega_{n1}}{\omega_n} = \sqrt{\left(1 + \frac{0.05}{2}\right) - \sqrt{0.05 + \frac{0.05^2}{4}}} = 0.89 < 0.9$$

$$\frac{\omega_{n2}}{\omega_n} = \sqrt{\left(1 + \frac{0.05}{2}\right) + \sqrt{0.05 + \frac{0.05^2}{4}}} = 1.12 > 1.1$$

所以，吸振器质量

$$m_2 = \mu m_1 = 0.05 \times 7830 = 392\text{kg}$$

采用图 18-5-24 形式的动力吸振器，将质量均匀分成 6 块，每块质量

$$m_2' = \frac{m_2}{6} = \frac{392}{6} = 65.33\text{kg}$$

选取每块质量 $m_2' = 65\text{kg}$ ，总质量 $m_2 = 390\text{kg}$ 。

(2) 吸振器弹簧参数确定

吸振器弹簧刚度

$$K_2 = m_2 \omega_{22}^2 = m_2 \omega_n^2 = 390 \times 93.2^2 = 3.4 \times 10^6 \text{N/m}$$

吸振弹簧采用 6 只矩形截面的悬臂梁形式的板弹簧，一只弹簧的刚度

$$K_2' = \frac{K_2}{6} = \frac{3.4 \times 10^6}{6} = 5.67 \times 10^5 \text{N/m}$$

吸振器弹簧的最大相对变形量

$$\delta_{\max} = \frac{F_0}{K_2} = \frac{5200}{3.4 \times 10^6} = 0.0015\text{m}$$

为安全起见，选取 $\delta_{\max} = 0.002\text{m}$ 。于是吸振器弹簧可根据 K_2' 和 δ_{\max} 进行设计。

4.2 加阻尼的动力吸振器

4.2.1 设计思想

动力吸振器是一种单频窄带吸振器，当激振力频率 ω 发生变化时，动力吸振器就失去了作用，但是，若在辅助系统中再增加适当的阻尼 C_2 ，将动力吸振器变为如图 18-5-26 所示的减振吸振器，其消减振动的性能得到了明显的改善。

辅助振动系统加上阻尼 C_2 时，主系统振动的共振曲线如图 18-5-27 所示。其中， $Z = \omega/\omega_n$ ， $\omega_n = \sqrt{K_1/m_1}$ ， $\xi = \alpha/\omega_n$ ， $\alpha = C_2/C_c$ ， $C_c = 2\sqrt{m_2 K_2}$ ， $\mu = m_2/m_1$ ， $\omega_{22} = \sqrt{K_2/m_2}$ ， $S = \omega_{22}/\omega_n$ 。

图 18-5-27 表明：当阻尼小时，系统有两个共振点，随着阻尼的增大，共振振幅变小，当阻尼超过某值时，则共振点变成了一个，且共振振幅随着阻尼的增加而增加。阻尼为 0 的共振曲线和阻尼为 ∞ 的共振曲线交点有两个，分别为 P 点和 Q 点，无论阻尼大小如何，所有的共振曲线都通过这两点。PQ 点理论还指出， (ω_{22}/ω_n) 越大，P 点的高度越大，而 Q 点的高度就越小。

为了提高减振吸振器消减振动的效果，减振吸振器的设计就是要尽可能降低 P 点和 Q 点的高度，并保证 P 点和 Q 点之间较宽的频带范围内的振幅稳定。要做到这两点，一是适当地选取 (ω_{22}/ω_n) 比值，使 P 点和 Q 点高度相等；二是适当地选取阻尼使 P 点和 Q 点高度最低，并在两点出现振幅最大值。选取最佳的 (ω_{22}/ω_n) 和 (α/ω_n) 的共振曲线如图 18-5-28 所示。当减振吸振器选好了合适参数后，主系统的振幅就能得到相当好的控

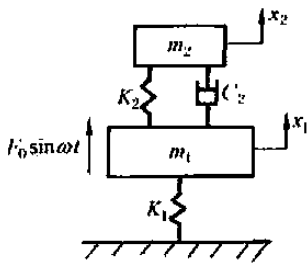


图 18-5-26 减振吸振器系统力学模型

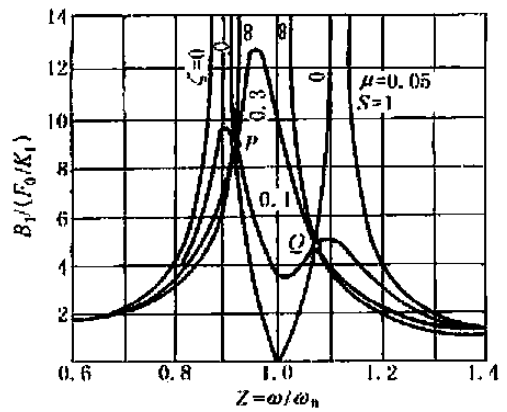


图 18-5-27 具有减振吸振器的主振动系统的位移共振曲线

制，而且当主系统为单自由度系统时，减振吸振器的有效使用频带是不受限制的，因而减振吸振器属于宽带吸振器。减振吸振器按其调谐频率比 S 值，可分为最佳调谐 ($S = \frac{1}{1+\mu}$)、等频率调谐 ($S=1$) 和兰契司特 ($S=0$) 三类；按阻尼特性可分为黏性阻尼和库仑阻尼两类。最常用的依次是最佳调谐黏性阻尼减振吸振器、等频率调谐黏性阻尼减振吸振器、兰契司特黏性阻尼减振吸振器和兰契司特库仑阻尼减振吸振器四种。黏性阻尼兰契司特减振吸振器的主振动系统的共振曲线如图 18-5-29 所示。

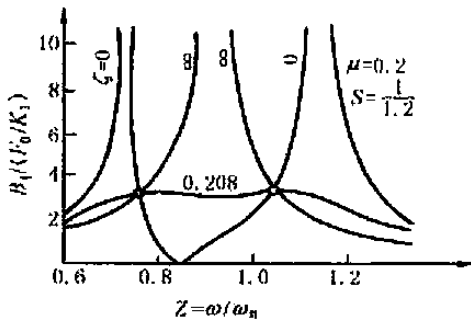


图 18-5-28 具有减振吸振器的主振动系统的最佳共振曲线

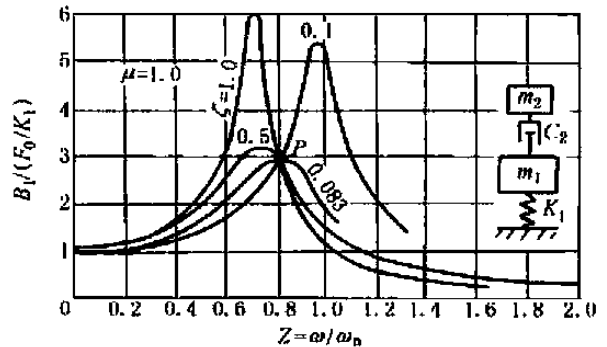


图 18-5-29 具有兰契司特减振吸振器的主振动系统的共振曲线

4.2.2 减振吸振器的最佳参数

表 18-5-20

项 目	最佳调谐黏性阻尼减振吸振器	等频率调谐黏性阻尼减振吸振器	兰契司特黏性阻尼减振吸振器
调谐频率比 $S = \omega_{22}/\omega_n$	$S = \frac{1}{1+\mu}$	$S = 1$	$S = 0$
阻尼比 $\zeta = C/C_c$	$\zeta^2 = \frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}$	$\zeta^2 = \frac{\mu(\mu+3)[1+\sqrt{\mu/(\mu+2)}]}{8(1+\mu)}$	$\zeta^2 = \frac{1}{2(2+\mu)(1+\mu)}$
减振吸振系数 $T = B_1/(F_0/K_1)$	$T = \sqrt{1 + \frac{2}{\mu}}$	$T = \frac{1}{-\mu + (1+\mu)\sqrt{\mu/(\mu+2)}}$	$T = 1 + \frac{2}{\mu}$
最大相对位移比 $\Delta = \delta_{max}/(F_0/K_1)$	$\Delta = \sqrt{\frac{B_1}{2\mu Z \zeta (F_0/K_1)}}$		
兰契司特库仑阻尼减振吸振器	调谐频率比 $S = 0$		减振吸振系数 $T = \frac{\pi^2}{4\mu} = \frac{2.46}{\mu}$

注：各符号意义与 4.1 和 4.2.1 相同。

4.2.3 减振吸振器的设计步骤

(1) 质量比

根据已知的激振角频率 ω 、主系统的固有角频率 ω_n ，以及期望的两个新共振点 ω_{n1} 和 ω_{n2} 之间的频带宽，按照表 18-5-20 中系统频率特性公式或曲线图，求得相应的 μ 值，为避免减振吸振器其他参数超出允许限值，设计选取的 μ 值通常都大于计算值。

(2) 弹簧刚度

吸振器的弹簧刚度

$$K_2 = m_2 \omega_{22}^2 = m_2 S^2 \omega_n^2 \quad (18-5-8)$$

式中 S ——调谐频率比 $(S = \frac{\omega_{22}}{\omega_n})$ ，可按表 18-5-20 中的公式计算，一般情况下多采用最佳调谐减振吸振器， $S = 1/(1 + \mu)$ 。

(3) 阻尼系数

不同形式的减振吸振器的阻尼比 ζ 可按表 18-5-20 公式算出，或从图 18-5-30a 中查出。因阻尼比 $\zeta = C/C_c$ ，临界阻尼系数 $C_c = 2\sqrt{m_2 K_2}$ ， $m_2 = \mu m_1$ ，所以，吸振器的黏性阻尼系数

$$C = \zeta C_c = 2\zeta \sqrt{\mu m_1 K_2} \quad (18-5-9)$$

对于兰契司特库仑阻尼减振吸振器的等效黏性阻尼比 ζ_e 可参照兰契司特黏性阻尼减振吸振器的公式或曲线图确定。

(4) 主要考核指标的校核

不同形式减振吸振器的主要考核指标 T 可按表 18-5-20 公式算出，或从图 18-5-30b 中查出。于是主质量的振动幅值

$$B_1 = TF_0/K_1 < [B_1] \quad (18-5-10)$$

式中 $[B_1]$ ——主质量 m_1 的允许振动幅值， m_0 。

(5) 辅助考核指标的校核

不同形式减振吸振器的辅助考核指标 Δ 可按表 18-5-20 公式算出，或从图 18-5-30c 中查出。于是主质量 m_1 和吸振器质量 m_2 间的最大相对位移

$$\delta_{\max} = \Delta F_0/K_1 < [\delta] \quad (18-5-11)$$

式中 $[\delta]$ ——主质量 m_1 和吸振器质量 m_2 间的允许相对位移， m_0 。

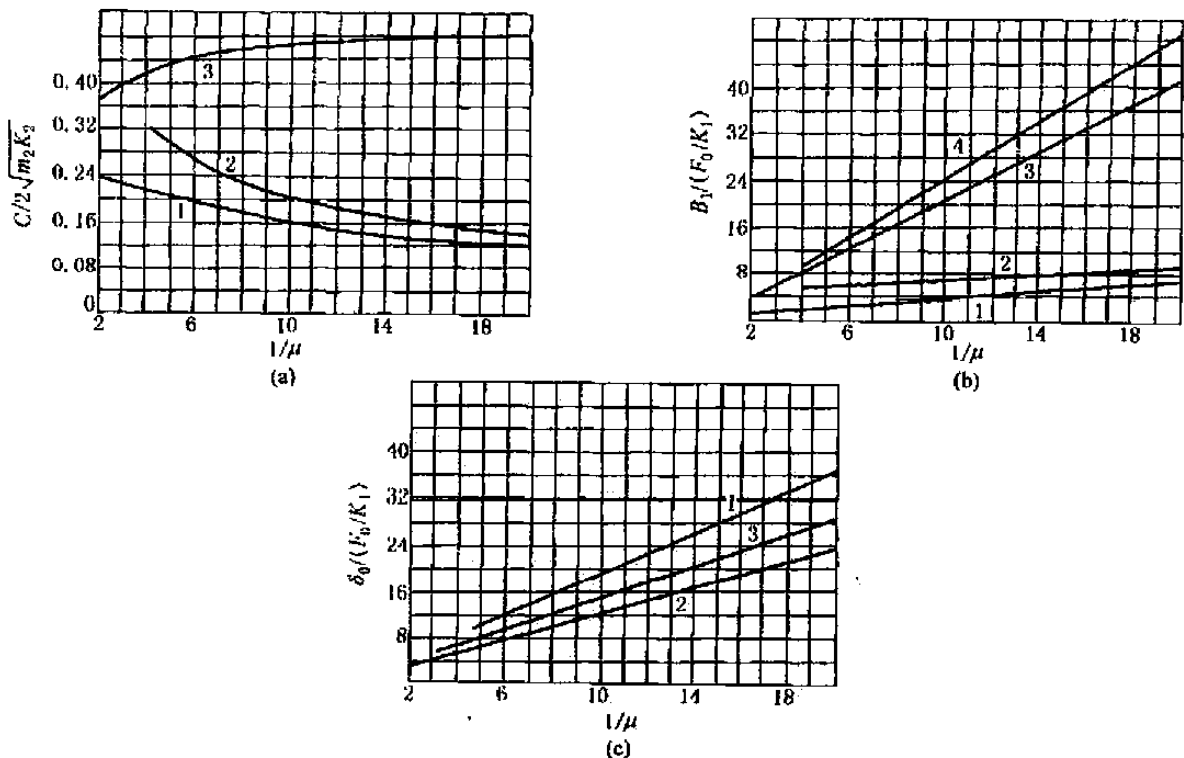


图 18-5-30 几种减振吸振器的设计参数图线

1—最佳调谐黏性阻尼减振吸振器；2—单频率调谐黏性阻尼减振吸振器；
3—兰契司特黏性阻尼减振吸振器；4—兰契司特库仑阻尼减振吸振器

(6) 吸振器质量 m_2

如果上述各设计参数均在允许范围内, 则表明最初确定的质量比 μ 是合适的。如果上述设计参数有一个参数不合适, 就要根据该参数超限量重新确定质量比 μ 值, 重新计算上述各参数, 按上述 (1) ~ (6) 的程序反复进行, 直至各参数均达到最佳为止。按最后确定的最佳质量比 μ_{OP} 确定的弹簧刚度 K_{OP} 和阻尼系数 C_{OP} , 是减振吸振器的最佳参数。吸振器的质量

$$m_2 = \mu_{OP} m_1 \quad (18-5-12)$$

(7) 吸振器弹簧设计

根据最佳刚度系数 K_{OP} 确定一只弹簧的刚度 K_{OP} , 再根据最大相对位移 δ_{max} 确定弹簧的各变形量, 参照第 3 卷第 11 篇设计弹簧。

(8) 阻尼器的设计

根据最佳阻尼系数 C_{OP} (等效线性阻尼系数) 确定一只阻尼器的最佳阻尼系数 C'_{OP} , 再根据最大相对位移 δ_{max} 确定阻尼器的工作行程, 参照 3.3.3 节进行阻尼器设计。

4.3 二次减振隔振器设计

4.3.1 设计思想

PQ 点理论指出: 作为二次减振隔振器的二自由度系统与动力吸振器系统一样, 在激振力 $F_0 \sin \omega t$ 作用于主质量的情况下, 同样的存在着 P、Q 两个定点, 因而它们的设计基本思想也是一样的, 即尽可能地降低 PQ 点的高度, 同时又使 P、Q 点高度相等, 并在 P、Q 点或其附近出现最大振幅。与设计动力吸振器所不同的是主系统的频率比 ($Z = \omega/\omega_n$) 通常都在 3 ~ 5 范围内, 因而在选取弹簧刚度比时, 与动力吸振器调谐频率比有所不同。根据这一基本设计思想, 对二次减振隔振器系统进行理论分析, 可以得出类似于表 18-5-20 各参数间的关系式, 为了方便设计, 直接将参数关系绘制成量纲一参数关系曲线图。

4.3.2 二次减振隔振器动力参数设计

(1) 设计的已知条件

二次减振隔振器动力参数的设计是在一次隔振设计基础上进行的, 因此, 主质量 m_1 、主刚度 K_1 、激振角频率 ω 和支承运动位移幅值 U (或主动隔振激振力幅值 F_0 和一次隔振弹簧刚度 K_1 之比) 都是二次减振隔振器的已知参数。

(2) 阻尼器与主质量组合的减振隔振器设计

该二次减振隔振器系统的力学模型及其参数设计曲线如图 18-5-31 所示。

使用图 18-5-31 进行设计时, 在给定 μ 和 S 值的条件下, 从 μ 的实线部分和 S 线交点所确定的 ζ 再求出 C_1 值, 满足其相应的定点 (P 或 Q) 出现最大值条件; 在只给出 μ 值的条件下, 对应此 μ 值两条曲线的交点的 S 值和 ζ 值, 即能使 P、Q 点高度相等, 又能使 P、Q 点都出现振幅最大值。设计时通常选用二次隔振器的质量比作为二次减振隔振器的质量比 (即 μ 值给定), 如果再选用二次隔振器的刚度比作为二次减振隔振器的刚度比 (即 S 值也给定), 得出的阻尼 C_1 满足使 P 点和 Q 点出现最大值条件, 在 μ 和 S 值同时给定条件下, 具有最佳阻尼参数值的共振曲线的例子如图 18-5-32 所示 (虽然 P 点和 Q 点的最大值不相等, 但在很宽的频带范围内是相当平坦的)。

(3) 阻尼器与二次隔振架组合的减振隔振器设计

该二次减振隔振器的力学模型及其参数设计曲线如图 18-5-33 所示。图中参数除 C_2 为阻尼器阻尼系数 (N · s/m), $\zeta = C_2/C_{2c}$, $C_{2c} = 2\sqrt{m_2 K_2}$ 外, 其他参数同前, 设计方法也同前。

(4) 库仑阻尼器与主质量组合的减振隔振器设计

该二次减振隔振器系统的力学模型及其参数设计曲线如图 18-5-34 所示。除阻尼为库仑阻尼外, 其他参数同前, 设计方法也同前。图 18-5-35 所示的是两种阻尼器隔振效果的比较。

(5) 二次减振隔振器的参数校核

根据设计的已知条件和通过上述设计确定的 μ 、 S 、 ζ , 求得相应的 m_2 、 K_2 、 C_1 或 C_2 。在二自由度系统参数

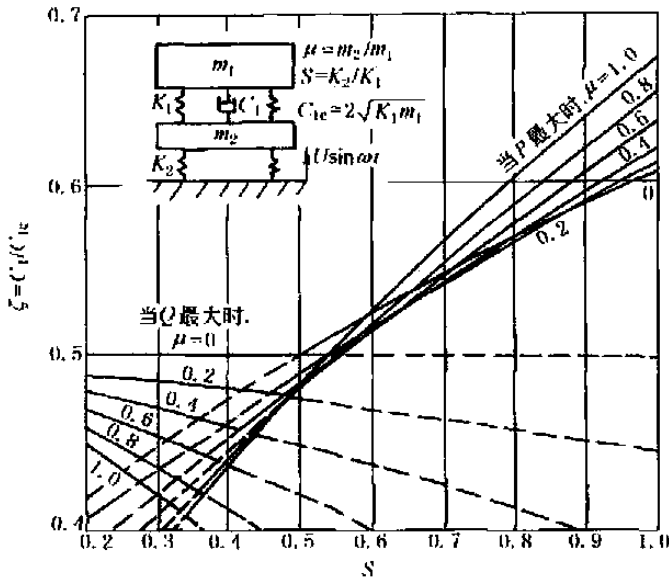


图 18-5-31 阻尼器与主质量组合减振隔振器的设计曲线
 m_1 、 m_2 —分别为机械设备和二次隔振架的质量, kg; K_1 、 K_2 —分别为一次隔振弹簧和二次隔振弹簧总刚度, N/m; C_1 —阻尼器的黏性阻尼系数, N·s/m; $\mu = m_2/m_1$; $S = K_2/K_1$; $C_{1c} = 2\sqrt{m_1 K_1}$

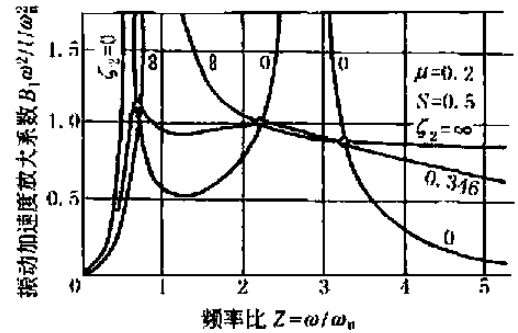


图 18-5-32 最佳系统的共振曲线

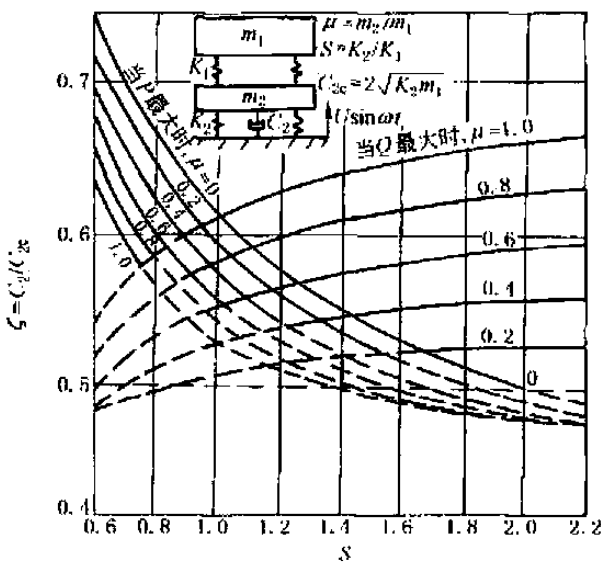


图 18-5-33 阻尼器与二次隔振架组合减振隔振器的设计曲线

全部已知的条件下, 根据表 18-3-7 中 1 和 3 的公式计算出稳态振幅 B_1 、 B_2 和相位差角 ψ_1 、 ψ_2 。即可校核主动隔振的 B_{1max} 、 δ_{1max} 、 B_{2max} 、 F_{T2} , 被动隔振的 δ_{max} 、 δ_{1max} 、 δ_{2max} 、 B_1 各参数。再其次就是根据确定的弹簧原始设计参数设计弹簧, 根据确定的阻尼器原始设计参数设计阻尼器。

4.4 摆式减振器

图 18-5-36 表示一种摆式减振器, 利用其动力作用可以减小扭转系统的扭振。摆式减振器通常采用离心摆

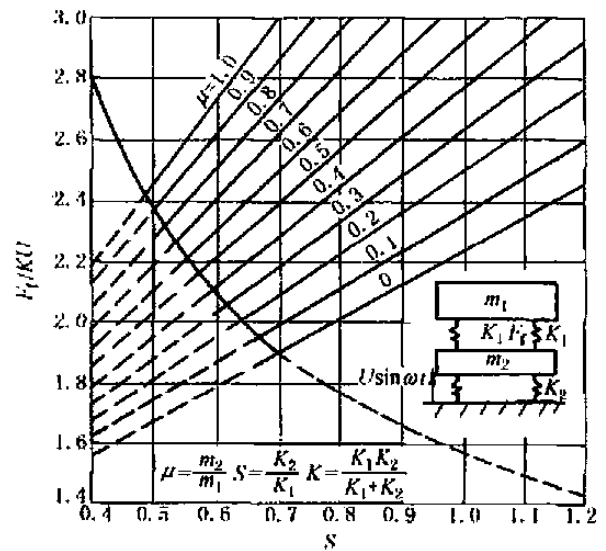


图 18-5-34 库仑阻尼与主质量组合的减振隔振器的设计曲线

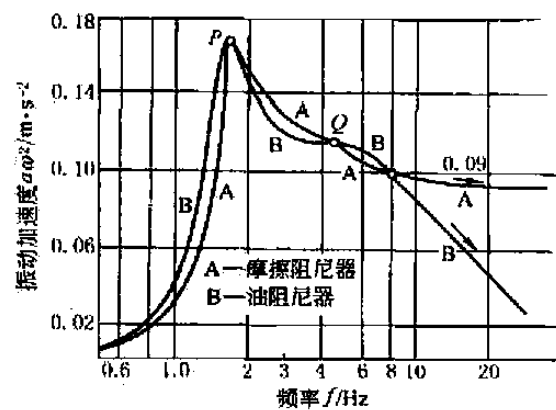


图 18-5-35 摩擦阻尼器与油阻尼器系统的特性比较

的形式，其固有频率与旋转速度成正比。当激振频率也与转速成比例时，则在系统的整个运转速度范围内都有减振作用。

装有摆式减振器的旋转系统可以简化为图 18-5-37 所示的力学模型，对于角位移微小的微幅振动的摆的运动微分方程式：

$$\ddot{\phi} + \frac{R}{l}\Omega^2\phi = \left(1 + \frac{R}{l}\right)\omega_j^2\phi_0\sin\omega_j t \quad (18-5-13)$$

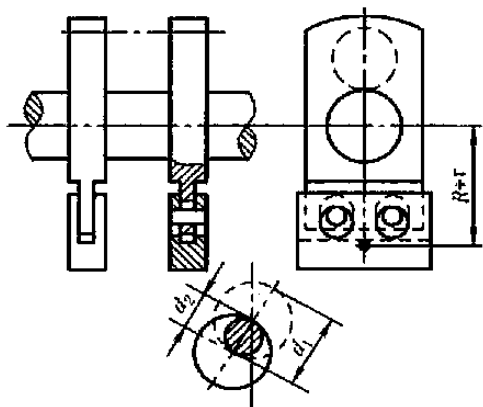


图 18-5-36 双离心摆式减振器

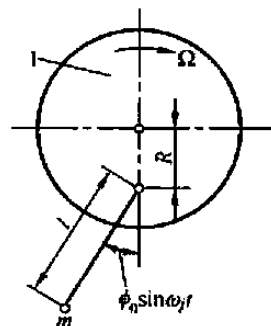


图 18-5-37 摆式减振器的力学模型

可求得摆的稳态振幅 ϕ_0 与主系统振幅 θ_0 的关系式如下：

$$\theta_0 = \frac{\phi_0(\omega_n^2 - \omega_j^2)}{\left(1 + \frac{R}{l}\right)\omega_j^2} \quad (18-5-14)$$

式中 Ω ——系统的工作角速度；

ω_n ——离心摆的固有角频率， $\omega_n = \Omega \sqrt{\frac{R}{l}}$ 。

上式令 $K = \sqrt{\frac{R}{l}} = \frac{\omega_n}{\Omega}$ 或

$$\omega_n = K\Omega \quad (18-5-15)$$

旋转机械发生扭振时，激振力的频率通常为系统工作角速度 Ω 的整数倍，即 $\omega_j = n\Omega$ ($n=1, 2, \dots$)，所以适当选择摆的固有频率，使 $\omega_n = \omega_j$ ，则主系统的频率 $\theta_0 = 0$ ，从而达到减振的目的。因此，摆悬挂点至回转中心的距离 R 与摆长之间应采用如下的关系式： $K=n$ ，则对某 n 次激振达到完全减振的作用。

摆式减振器有挂摆式、滚摆式、环摆式等，部分原理、结构和计算见表 18-5-21。

4.5 冲击减振器

冲击阻尼减振器是利用非完全弹性体碰撞时所引起动能损耗的原理设计制造的。这类减振器重量轻、体积小、制造简单，通常适用于减少振动力不大的高频振动的振幅，也属于动力减振器。最常用的是车床上的车刀减振器。

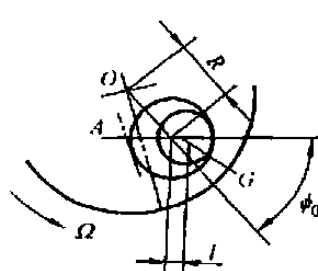
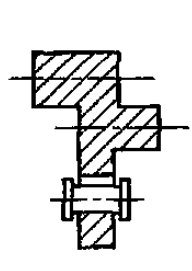
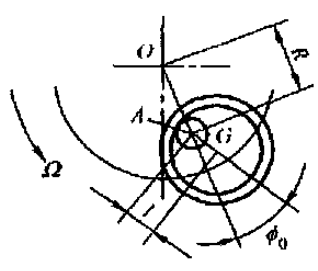
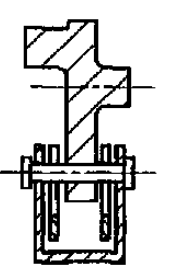
图 18-5-38 为最简单的冲击减振器。为减少轴 3 的振动，轴上套有冲击环 4，当轴产生弯曲振动时，冲击环 4 的内表面与轴 3 的外表面产生冲击，阻尼轴的振动。此时，间隙 b 是工作间隙。而当轴产生扭转振动时，冲击环 4 通过冲击钉 1 与轴的相配孔产生冲击，此时，间隙 a 是工作间隙。可用更换冲击钉来改变此间隙的大小。平衡钉 2 起平衡配重作用，它与轴的间隙大，不与轴接触。冲击钉 1 和平衡钉 2 与冲击环 4 的配合有过盈。图 18-5-39 为安装于铣床的轴环式冲击减振器。

图 18-5-40 为可减小镗杆弯曲振动的冲击减振镗杆结构图。根据经验，冲击质量块的质量可取镗杆外伸部分质量的 0.1~0.125 倍，冲击质量块与镗杆内孔的配合为 $\frac{H7}{g6}$ ，轴向间隙无严格要求，以不妨碍冲击块的运动为宜。

冲击块的材料宜采用淬硬钢。为了增加冲击块的密度，可将冲击块挖空，并在孔内灌铅。若采用硬质合金作为冲击块的材料，由于其密度和恢复系数提高，因而可增加减振效果。

表 18-5-21

几种摆式减振器的原理、结构和计算

类型	原理	结构	计算公式
滚摆式			$K^2 = \frac{R}{l} \times \frac{1}{1 + \frac{4I_2}{md^2}}$ $\phi_0 = \frac{M_j}{\left[m(R+l) + \frac{2I_2}{d} \right] l \omega_j^2}$
环摆式			$K^2 = \frac{R}{l} \times \frac{1}{1 + \frac{4I_2}{mD^2}}$ $\phi_0 = \frac{M_j}{\left[m(R+l) + \frac{2I_2}{D} \right] l \omega_j^2}$

注: K —调谐比; ϕ_0 —共振时摆的振幅; m —摆的质量, kg ; I_2 —摆的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; M_j —激振力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$; ω_j —激振角频率, rad/s ; d —滚子的外径, m ; D —环的外径, m 。

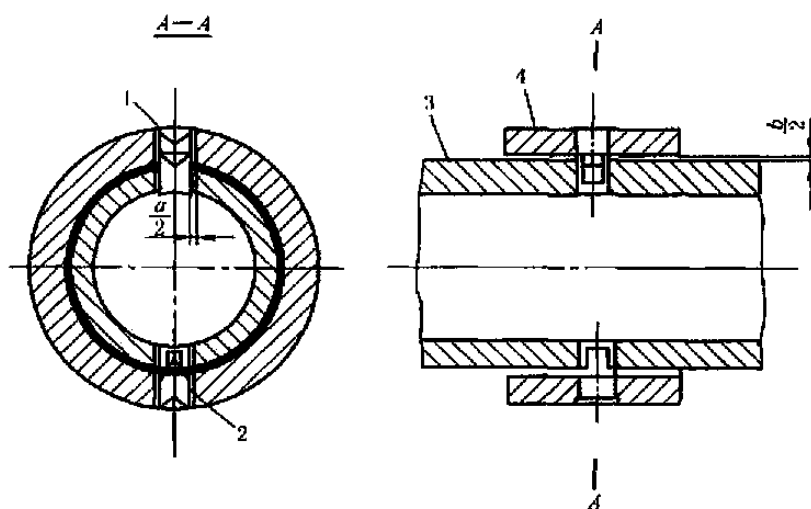


图 18-5-38 冲击减振环

1—冲击钉; 2—平衡钉; 3—轴; 4—冲击环

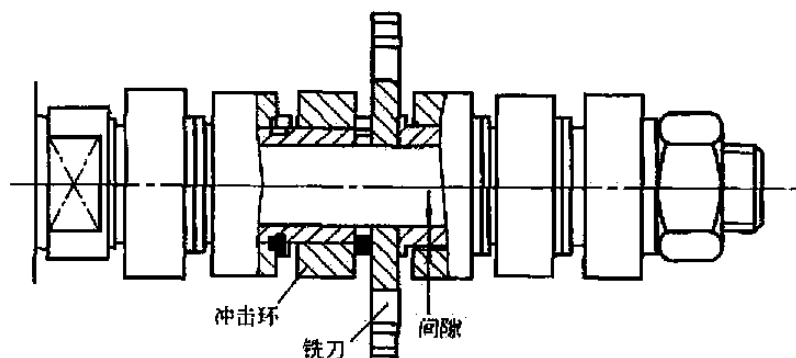


图 18-5-39 铣床的轴环式冲击减振器

图 18-5-41 为冲击减振器在镗刀上的安装图。这里冲击块 2 和冲击环 5 与镗杆 3 之间的间隙是工作间隙。图 b 的冲击环安装在镗刀外, 重量较大, 减振效果较图 a 好。

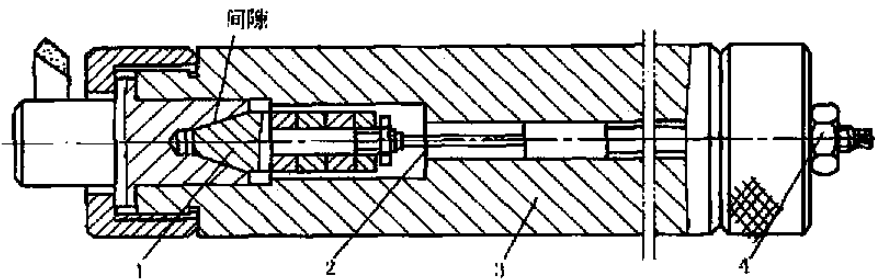


图 18-5-40 冲击减振镗杆

1—冲击块；2—软弹性杆；3—镗杆；4—调节螺母

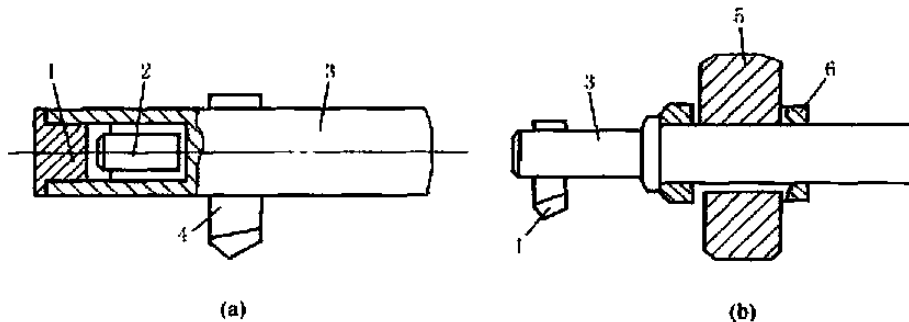


图 18-5-41 锤上的冲击减振器

1—螺塞；2—冲击块；3—镗杆；4—锤刀；5—冲击环；6—限位环

近年来为了简化冲击减振器的结构，采用铅弹、水银或水来代替整体冲击块。试验表明，以采用铅弹的效果为最好。

5 缓冲器设计

5.1 设计思想

隔振系统所受的激励是振动，缓冲系统所受的激励是冲击。所以缓冲问题与隔振减振问题是有所不同的，但又有相似的地方。不同的是：隔振减振处理的是稳态的振动，振幅较小；缓冲则主要处理瞬态振动，振幅大。由于振幅大，有时就必须考虑非线性问题。隔振器的设计，主要是寻求激振角频率和系统固有角频率间的关系，使传递系数控制在允许范围内；缓冲的主要问题是要求所设计的缓冲器能够储存冲击作用的能量，冲击结束后将此能量以系统作衰减自由振动的形式释放出来。故缓冲器实际上是一个储能装置，使冲击波以较缓和的形式作用于基础和设各。隔振器与缓冲器都是要阻止或减少振动能量的危害，其所用的理论、材料、甚至有些设备都是相似的。例如车辆的缓冲器往往就被通俗地称作减振器。

5.1.1 冲击现象及冲击传递系数

1) 常遇到的冲击及其受力状态如表 18-5-22 所示。

表 18-5-22

起吊重物	汽车制动	锤头下落	包装物下落碰撞地面

2) 缓冲问题也就是冲击隔离问题。因此,像隔振问题一样,可将缓冲问题分为主动(积极)缓冲和被动(消极)缓冲两类。缓冲系统的力学模型见图 18-5-42,在忽略阻尼和非线性影响以及冲击作用时间的条件下,可以得到两个数学意义相同的运动方程:

主动缓冲时

$$\begin{cases} m\ddot{x} + Kx = F(t) \\ F(t) = \begin{cases} F_m & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & t > \tau \end{cases} \\ \tau = \frac{1}{F_m} \int_0^{t_1} F(t) dt \end{cases}$$

式中 F_m ——冲击力最大值。

被动缓冲时

$$\begin{cases} m\ddot{\delta} + K\delta = -m\ddot{u}(t) \\ \ddot{u}(t) = \begin{cases} \dot{U}_m & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & t > \tau \end{cases} \\ \tau = \frac{1}{\dot{U}_m} \int_0^{t_1} \ddot{u}(t) dt, \delta = x - u \end{cases}$$

式中 \dot{U}_m ——基础加速度脉冲最大值。

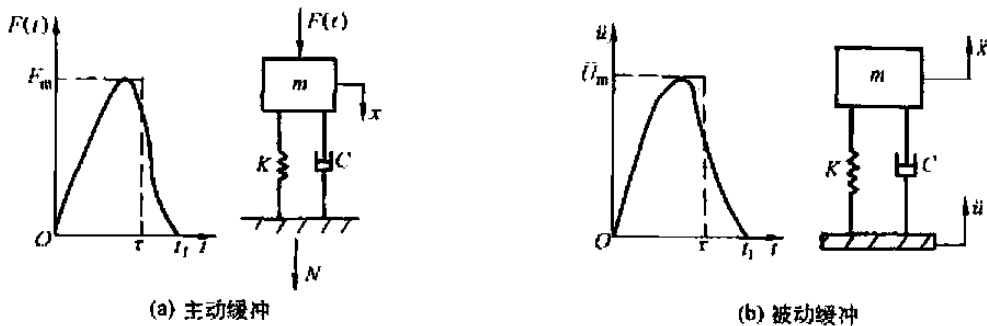


图 18-5-42 缓冲系统力学模型

评价缓冲器品质的重要指标是冲击传递系数。被缓冲器保护的基础或机械设备所受的最大冲击力为 N_m , 无缓冲器时基础或机械设备所受的最大冲击力为 $N_{m\infty}$, 则冲击传递系数:

$$\text{主动缓冲时} \quad T_s = \frac{N_m}{N_{m\infty}} = \frac{N_m}{F_m} \quad (18-5-16)$$

$$\text{被动缓冲时} \quad T_n = \frac{N_m}{N_{m\infty}} = \frac{m\ddot{X}_m}{m\dot{U}_m} = \frac{\ddot{X}_m}{\dot{U}_m} \quad (18-5-17)$$

从力学模型、运动微分方程和传递系数上看,缓冲和隔振非常相似。因此,缓冲问题也会像隔振问题一样,从被动缓冲模型动力分析中所得出的结论会完全适用于主动缓冲。

5.1.2 速度阶跃激励

当冲击力作用的时间 τ 远小于缓冲系统固有周期 T (一般 $\tau < 0.3T$) 时,根据冲量定理,该力的冲击与此力的冲量所产生速度阶跃相同。同理,当加速度脉冲的持续时间 τ 远小于缓冲系统固有周期 T 时,也可将加速度脉冲近似地作为速度阶跃冲击。于是系统的运动方程和初始条件为:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + F(\delta, \dot{\delta}) = 0 \\ \delta(0) = 0, \dot{\delta}(0) = \dot{U}_m \end{cases}$$

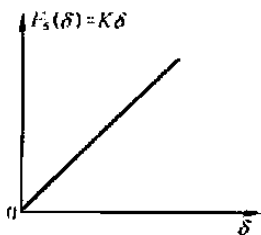
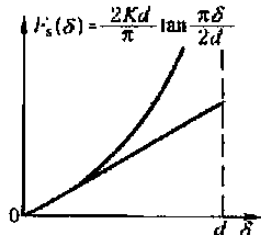
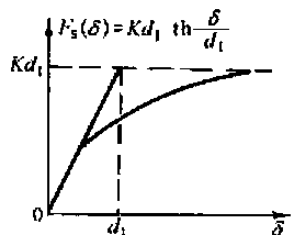
式中 $F(\delta, \dot{\delta})$ ——缓冲器的恢复力和阻尼力函数。

由于缓冲器的固有角频率一般都比较低,即固有周期 T 比较长,所以冲击作用时间一般要比 T 小得多,采用

速度阶跃理想模型所得到的结果具有较好的准确性。

5.1.3 缓冲弹簧的储能特性

表 18-5-23

类型	线性弹簧	非线性弹簧	
		硬特性弹簧	软特性弹簧
特性曲线			
储能特性	当 $\delta = \delta_m$ 时 $\int_0^{\delta_m} F_s(\delta) d\delta = \frac{1}{2} m \dot{U}_m^2$ δ_m ——最大相对位移		
各参数间的关系	$\ddot{X}_m = \omega_n^2 \delta_m$ $\ddot{X}_m = \omega_n^2 \dot{U}_m$ $\dot{U}_m = \omega_n \delta_m$	$\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n^2 d} = \frac{2}{\pi} \tan \frac{\pi \delta_m}{2d}$ $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2} = \frac{\pi \delta_m \tan \frac{\pi \delta_m}{2d}}{4 \ln \left(\sec \frac{\pi \delta_m}{2d} \right)}$ $\frac{\dot{U}_m^2}{\omega_n^2 d^2} = \frac{8}{\pi^2} \ln \left(\sec \frac{\pi \delta_m}{2d} \right)$ $\left(\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2} \right) \cdot \left(\frac{\dot{U}_m}{\omega_n d} \right)^2 \text{ 与 } \frac{\delta_m}{d} \text{ 的关系曲线见图 18-5-43}$	$\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n^2 d_1} = \text{th} \frac{\delta_m}{d_1}$ $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2} = \frac{\delta_m \text{th} \frac{\delta_m}{d_1}}{\ln \left(\text{Ch}^2 \frac{\delta_m}{d_1} \right)}$ $\frac{\dot{U}_m^2}{\omega_n^2 d_1^2} = \ln \left(\text{Ch}^2 \frac{\delta_m}{d_1} \right)$ $\left(\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2} \right) \cdot \left(\frac{\dot{U}_m}{\omega_n d_1} \right)^2 \text{ 与 } \frac{\delta_m}{d_1} \text{ 的关系曲线见图 18-5-44}$
说明	$\omega_n = \sqrt{K/m}$ <p>当 \dot{U}_m 确定时, \ddot{X}_m 与 ω_n 成正比, 而 δ_m 与 ω_n 成反比, 两者是相互制约的</p>	<p>K 为曲线的初始斜率, 即 δ 很小时的弹簧刚度。 $\delta = d$ 为曲线的渐近线。 ω_n 为 δ 很小时的固有角频率</p>	<p>K 和 ω_n 的意义同左。 d_1 由图表示, Kd_1 为曲线的渐近线</p>
能量吸收率	$\eta = \frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2} = 1$, 能量吸收率为 50% $\ddot{X}_m \delta_m$ ——弹簧中可能储存的最大能量 \dot{U}_m^2 ——弹簧中实际储存能量的二倍	$\eta > 1$, 能量吸收率小于 50%, 缓冲效果差, 抗超载能力强	$\eta < 1$, 能量吸收率大于 50%, 缓冲效果较好, 但最大量 δ_m 较大, 小冲击能引起较大的 \ddot{X}_m
典型弹簧	金属螺旋弹簧	泡沫塑料或橡胶弹簧	垂直方向预压缩的橡胶剪切弹簧或空气弹簧

5.1.4 阻尼参数选择

理论分析结果表明:

1) 当 $\zeta = C/2\sqrt{mK} < 0.5$ 时, $\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n \dot{U}_m} < 1$, 从表 18-5-23 查得线性弹簧无阻尼时的最大加速度 $\ddot{X}_m = \omega_n \dot{U}_m$.

$\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n \dot{U}_m} = 1$, 说明阻尼的存在使最大加速减小, 改善了缓冲效果, $\zeta > 0.5$ 则相反;

2) 当 $\omega_n \dot{U}_m$ 确定时, \ddot{X}_m 在 $\zeta = 0.265$ 时取最小值, $\left(\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n \dot{U}_m} \right)_{\min} = 0.81$, 所以, $\zeta = 0.265$ 为弹簧刚度固定时的

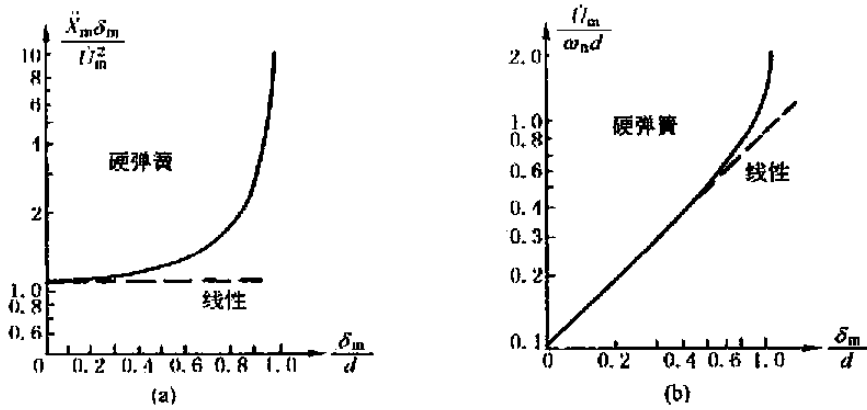


图 18-5-43 硬特性弹簧 $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2}$ 、 $\frac{\dot{U}_m}{\omega_n d}$ 与 $\frac{\delta_m}{d}$ 关系曲线

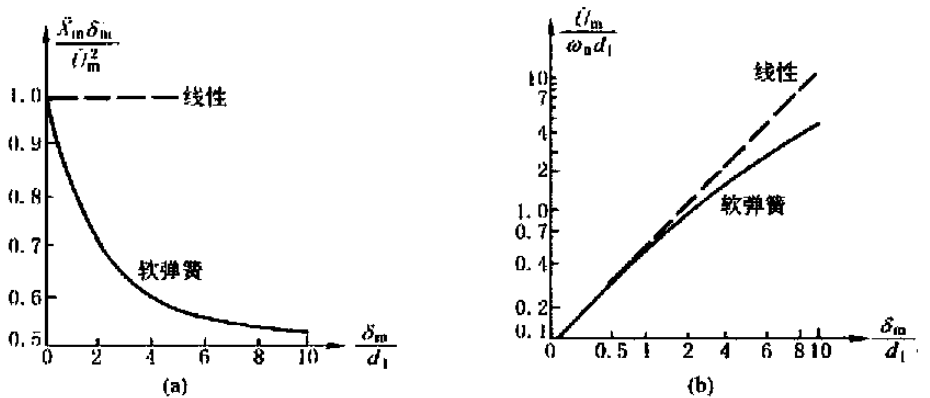


图 18-5-44 软特性弹簧 $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2}$ 、 $\frac{\dot{U}_m}{\omega_n d_1}$ 与 $\frac{\delta_m}{d_1}$ 关系曲线

最佳阻尼比；

3) 当 \dot{U}_m 、 δ_m 确定时， \ddot{X}_m 在 $\zeta = 0.404$ 处取最小值， $\left(\frac{\ddot{X}_m}{\omega_n \dot{U}_m}\right) = 0.52$ ，所以， $\zeta = 0.404$ 为弹簧的最大变形量固定时的最佳阻尼。

5.2 一次缓冲器设计

5.2.1 缓冲器的设计原则

1) 由冲击激励性质分析，确定计算模型。冲击激励一般可以表达为力脉冲、加速度脉冲或速度阶跃。由于缓冲系统的固有振动周期比较长，而冲击的作用时间比较短，所以各种冲击作用一般可以简化为速度阶跃这一较理想的冲击模型，而不致有大的误差。这一模型可使设计计算简化，且偏保守。当需要用力脉冲或加速度脉冲作为冲击输入时，常见的各种形状的脉冲可以简化为等效的矩形脉冲，所得结果能满足工程的精度要求。

2) 根据缓冲要求，确定缓冲器设计控制量，即缓冲器的最大压缩量 δ_m ，所保护的物体受到的最大力 F_m 或最大加速度 \ddot{X}_m 。

3) 分析缓冲器的工作环境，看是否有隔振要求。若要求隔振，则设计就变得复杂。隔振器和缓冲器的设计侧重点不尽相同，应采用前述相应章节分析，进行综合设计。

4) 阻尼的处理是缓冲器设计中的一个重要问题。阻尼的作用是耗散部分冲击能，从而减小冲击力。设计时，一般取相对黏性阻尼系数为 0.3，如果阻尼太大（如 > 0.5 ），反而使受保护设备所受的冲击增大。

5) 根据缓冲对象及缓冲器工作空间环境要求，确定在所设计的缓冲器中是否需加限位器。

6) 无论哪种缓冲器或减振器设计说明中都应标明其缓冲特性，并要求作特性的实测及调整记录。

5.2.2 设计要求

主动缓冲：在已知机械设备质量 m 、最大冲击力 F_m 和作用时间 τ (已知 $\dot{U}_m = F_m \tau / m$) 的条件下，要求通过缓冲器传给基础的最大冲击力 N_m 、作用基础的最大冲量和缓冲器的最大变形量 δ_m 小于许用值。

被动缓冲：在已知机械设备质量 m 、最大冲击加速度 \ddot{U}_m 和持续时间 τ (已知 $\dot{U}_m = \ddot{U}_m \tau$) 的条件下，要求通过缓冲器传递到机械设备最大冲击加速度 \ddot{X}_m 、最大冲量和缓冲器的最大变形量 δ_m 小于许用值。

5.2.3 一次缓冲器动力参数设计

如果再知道最大允许加速度 \ddot{X}_a 和最大允许变形 δ_a ，可求缓冲弹簧的参数 (线性弹簧 K ；硬特性弹簧 K 、 d ；软特性弹簧 K 、 d_1)。

线性弹簧：由 $\ddot{X}_m = \omega_n U_m \leq \ddot{X}_a$ ，求出 ω_n 的最大允许值，再由 $\delta_m = \frac{\dot{U}_m}{\omega_n} \leq \delta_a$ ，求出 ω_n 的最小允许值，然后在 ω_n 的最大允许值和最小允许值之间找到合适的值。由 ω_n 值求 K 值。

硬特性弹簧：由 $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2}$ 值在图 18-5-43a 的曲线上查得 $\frac{\delta_m}{d}$ 值，再在图 18-5-43b 中查得 ω_n 值，由 ω_n 值求 K 值。

软特性弹簧：根据 $\frac{\ddot{X}_m \delta_m}{\dot{U}_m^2}$ 值在图 18-5-44a 的曲线上查得 $\frac{\delta_m}{d_1}$ 值，再在图 18-5-44b 中查得 ω_n 值，由 ω_n 值求 K 值。

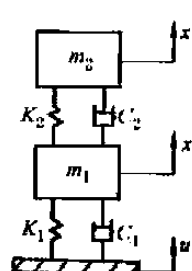
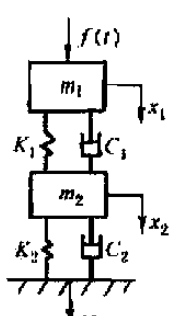
线性弹簧黏性阻尼可依照 5.1.4 节的方法，在弹簧刚度固定时，选取 $\zeta = 0.265$ ，在最大变形固定条件下选 $\zeta = 0.404$ 。阻尼 ζ 稍有变化对冲击传递系数影响不是很显著，但对限制最大变形量 δ_m 是很有益的。

5.2.4 加速度脉冲激励波形影响提示

当加速度脉冲 \ddot{U}_m 的持续时间 (或冲击力作用时间) $\tau > 0.3T$ 时，再用速度阶跃激励则过于保守，甚至会得出完全错误的结果，需参考有关文献，考虑加速度脉冲形状对缓冲的影响。

5.3 二次缓冲器的设计

表 18-5-24

项 目	基础运动冲击	外力冲击
力学模型及运动方程 (暂忽略阻尼)		
	$\delta_1 = x_1 - x_2$ $\delta_2 = x_2 - \mu$ $\mu = m_2 / m_1$ $S = \omega_2 / \omega_1$ $\omega_1 = \sqrt{K_1 / m_1}$ $\omega_2 = \sqrt{K_2 / m_2}$	$\delta_1 = x_1 - x_2$ $\delta_2 = x_2$ $\mu = m_2 / m_1$ $S = \omega_2 / \omega_1$ $\omega_1 = \sqrt{K_1 / m_1}$ $\omega_2 = \sqrt{K_2 / m_2}$
	$m_2 \ddot{\delta}_2 + K_2 \delta_2 = K_1 \delta_1 - m_1 \ddot{u}$ $m_1 \ddot{\delta}_1 + K_1 \delta_1 = -m_1 \ddot{\delta}_2 - m_1 \ddot{u}$ $\delta_{1(0)} = \delta_{2(0)} = \dot{\delta}_{1(0)} = 0$ $\dot{\delta}_{2(0)} = \dot{U}_m$	$\ddot{\delta}_1 + \omega_1^2 \delta_1 = -\ddot{\delta}_2$ $\ddot{\delta}_2 + \omega_2^2 \delta_2 = \mu \omega_1^2 \delta_1$ $\delta_{1(0)} = \delta_{2(0)} = \dot{\delta}_{2(0)} = 0$ $\dot{\delta}_{1(0)} = \dot{U}_m = I / m_1$ $I = \int_0^{\tau} F(t) dt$

续表

项 目	基础运动冲击	外力冲击
防冲效应	$\ddot{x}_{1m} = \frac{\dot{U}_m \omega_1}{\sqrt{(S-1)^2 + \mu S^2}}$ $\delta_{2m} = \frac{\dot{U}_m [1 + S(1 + \mu)]}{\omega_2 \sqrt{(1+S)^2 + \mu S^2}}$	$\delta_{1m} = \frac{l}{m_1 \omega_1 \sqrt{1 + \mu/(1+S)^2}}$ $N_m = \frac{l \omega_1}{\sqrt{(1-S)^2 + \mu S^2}}$
参数设计	(1) 给定 m_1, K_1 (一次缓冲器设计确定), 减小 K_2 时, 能使 \ddot{x}_{1m} 和 N_m 下降, 提高缓冲能力 (2) 给定 m_1, K_1, K_2 , 增加 m_2 (μ 随着增加) 时, 使 \ddot{x}_{1m} 和 N_m 下降。由于 μ 增加, 则 S 下降, 所以 \ddot{x}_{1m} 和 N_m 又上升。其综合效果 \ddot{x}_{1m} 和 N_m 是下降的, 提高了缓冲能力, 但第二级弹簧变形量增加	
阻尼比	$\zeta_1 = \zeta_2 = 0.05$	

6 平 衡 法

6.1 结构的设计

在结构设计时就应该考虑到受力的平衡及构件受到振动时所能承受的振动力。最明显的例子是大跨度的架空索道承载索在支架上的八个托索轮, 两两地用平衡架相连, 再用更长的平衡架将两轮平衡架连成四轮平衡架, 最后用更长的平衡架将四轮平衡架连成八轮平衡架。这样, 客车通过支架时八个轮子基本上将分担客车的重量并承受相同的冲击力。

图 18-5-45 为三轴汽车中桥与后桥的平衡悬架, 在不平道路上行驶时, 能使中、后桥车轮的载荷与所受冲击力较为均布。

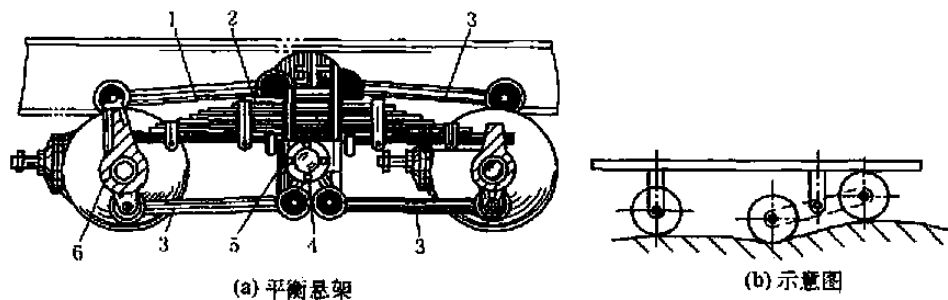


图 18-5-45 三轴汽车中桥与后桥的平衡悬架

1,3—反作用杆; 2—钢板弹簧; 4—芯轴; 5—心轴轴承壳; 6—半轴套管座架

6.2 转子的平衡

不平衡的原因: 材质不均匀; 制造和装配误差; 初始弯曲; 转动部件间的相对移动; 热变形或者设计上的缺陷, 可能使得转子的每个轴段的质心偏离旋转轴线。这种振动的特点是振动的频率和转子转动频率相同。

转子不平衡的类型可分为三类或四类: ①静不平衡; ②准静不平衡; ③偶不平衡; ④动不平衡。①、②可合称为静不平衡。

由于转子质量偏心可能沿轴长分布是随机性的未知函数, 即使是同一类型同一尺寸的转子, 其偏心量的大小、方向和沿轴线方向的分布也是不相同的。当转子旋转时转子每个轴段的质量偏心将产生惯性力, 从而引起转子和整个旋转机器的振动。

转子的“平衡”是在转子上选定适当的校正平面, 在其上加上适当的校正质量 (或质量组), 使得转子 (或轴承) 的振动 (或力) 减小到某个允许值以下。

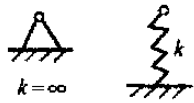
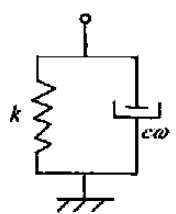
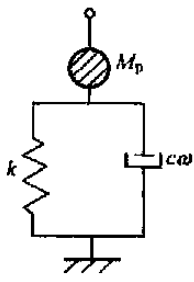
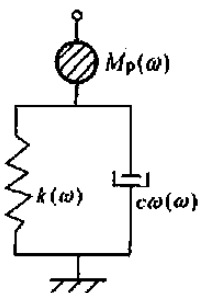
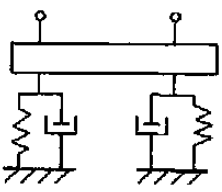
转子不平衡量可以在任意两平面校正的，或可以用刚性转子平衡技术平衡的称刚性转子或准刚性转子，如齿轮；有不平衡量轴向分布已知的转子，如带有带轮的砂轮、离心式压气机转子；有不平衡量轴向分布未知的转子，如多级离心泵、中压汽轮机转子；还有不能用刚性转子平衡技术平衡而要用高速平衡的挠性转子，如二级及以上的发电机转子，等等。它们的分类与要求各不相同。

总结起来，刚性转子的平衡方法有①单面平衡法；②二平面平衡法。柔性转子的平衡方法有①振型平衡法；②影响系数法。

这里提醒一下，轴承座、台架及基础的弹性对小型转子振动的影响一般可忽略，但对于大型转子来说，支承特性将对系统的振动有明显的影晌。对于结构简单的支承，可通过计算求出支承特性，而对于结构复杂的支承，由于接合面多，边界条件难以准确决定，因此用试验的办法来确定支承特性比较有效。可以用正弦激振、冲击激振或其他激振方法，测量支承的机械阻抗或导纳以确定支承结构的动特性。表 18-5-25 为支承简化模型。

表 18-5-25

支承简化模型

	支承模型	条件	实例	
A		简支或一弹簧	刚性很大的支承座 非常轻的支承座 阻尼很小的支承座	板弹簧支承 小型轴承座
B		一弹簧 一阻尼	支承的共振点比工作转速高得多	在刚性基础上固定的刚性高的轴承座
C		一质量 一弹簧 一阻尼	支承的共振点低于工作转速或在其附近	通常的大型机械的轴承座
D		动刚度，其质量、 弹簧、阻尼是振动频率的函数	支承共振点低于工作转速或在其附近，需考虑基础的影响	复杂支承结构的大型机械轴承座
E		共同台架	各支承的动特性相互影响，彼此不独立	燃气轮机 共同台架的重型转子

6.3 往复机械的平衡

往复机械运转时所产生的往复惯性力、旋转惯性力以及反扭矩将最终传递到往复机械的机体支承，以力和力矩的形式出现。这些力和力矩都是曲轴转角的周期函数，对往复机械的支承及其机架是一种周期性的激励，引起系统的振动。

所谓往复机械的平衡，就是采取某些措施抵消上述三种惯性力或使它们减小到容许的程度。通常采取的措施是使由惯性力和惯性力矩所产生的不平衡性尽可能在往复机械的内部解决，使其尽量不传或尽可能少地传到机外。

为了保证往复机械得到较好的静力平衡和动力平衡，在设计 and 制造过程中应使各缸活塞组的重量、连杆重量以及连杆组重量在其大端和小端的分配时控制在一定的公差带内。曲轴在装入往复机械以前，也应将其不平衡的质量（包括静平衡和动平衡）控制在规定的公差范围内。

往复质量惯性力的平衡方法如下。

(1) 连杆的质量折算

为简化计算，将连杆两头的质量各算入两端，其杆部按重心划分也各算入两端。这样，只有滑块活塞阀往复运动和曲柄的回转运动。

(2) 活塞的惯性力

按简化计算活塞（图 18-5-46）的加速度可求得活塞的惯性力为：

$$Q = Rm\omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha) \quad (18-5-18)$$

式中 m ——往复运动的质量；

R ——曲柄半径；

λ ——曲柄半径与连杆长度之比 R/L 。

(3) 单缸发动机往复惯性力的平衡

式(18-5-18)第一项为一阶往复惯性力，可改写成：

$$Q = Rm_A\omega^2 \cos\omega t$$

式中 m_A ——包括曲柄等在内的旋转质量。

通常在曲柄销的另一端对等距离处加装一个质量相等的平衡质量。这样，一阶往复惯性力可以得到平衡，不过，水平力则适当地增加了；

$$Q = Rm_A\omega^2 \sin\omega t$$

对于式子的第二项相当于二阶往复惯性力，平衡的办法是有的，但较复杂，一般不用。

(4) 双缸发动机及多缸发动机

计算方法原理是一样的。首先在于曲轴与气缸的布置使各曲柄活塞的惯性力可相互平衡而部分抵消。例如图 18-5-47 布置的二缸发动机，图 b 中一阶往复惯性力矩已平衡，二阶往复惯性力矩则还存在。图 a 中则相反，二阶往复惯性力矩已平衡，一阶往复惯性力矩则还存在。

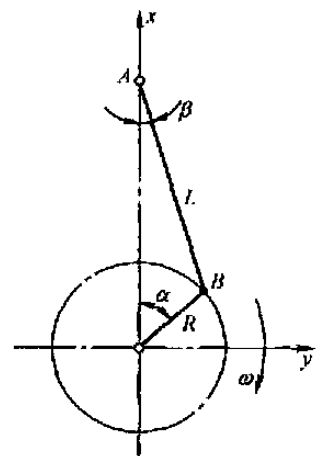


图 18-5-46

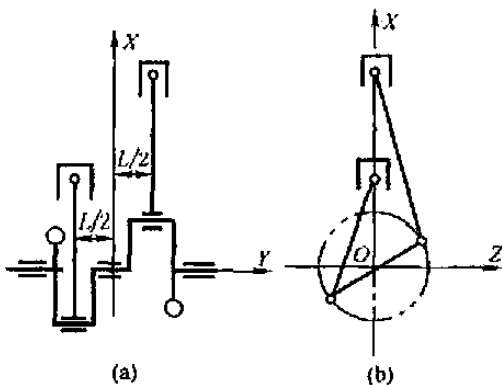


图 18-5-47 二缸发动机

第 6 章 机械振动的利用

1 概 述

振动的利用主要表现在几个方面。

1) 各种振动机械。利用振动来完成生产过程的机器称为“振动机械”。包括各种工艺过程需要的设备, 振动试验装置等。

2) 检测诊断设备。利用振动来检测和诊断设备或零部件内部的状态或试验设备的工作状态。

3) 医疗及保健器械, 包括各种按摩器, 生活用具, 美容器械(例如, 利用机械振动的原理, 产生高速超声波使细胞间隙的宽度扩大, 提高药剂进入皮肤的通透性)等。医疗器械(包括检测与辅助治疗)及生活卫生等方面的内容是专门的课题, 不在本手册范围之内。

由于振动机械具有结构简单、制造容易、重量轻、成本低、能耗少和安装方便等一系列优点, 所以在很多工业部门中得到了广泛的应用。目前应用于工业各部门的振动机械品种已超过百余种。但有些振动机械存在着工作状态不稳定、调试比较困难、动载荷较大、零件使用寿命低和噪声大等缺点, 这些正是设计中应当注意的问题。

本章主要介绍振动机械设备, 简单介绍钢丝绳拉力的振动检测方法。

1.1 振动机械的用途及工艺特性

表 18-6-1

类 别	工 艺 特 性	实 例
振动输送	物料在工作机体内作滑行或抛掷运动, 达到输送或边输送边加工的目的。对黏性物料和料仓结拱有一定疏松作用	水平振动输送机, 垂直振动输送机, 振动给料机, 振动料斗, 仓壁振动器, 振动冷却机, 振动烘干机等
振动分选	物料在工作体内作相对运动, 产生一定的惯性力, 能提高物料的筛分、选别、脱水和脱介的效率	振动筛, 共振筛, 弹簧摇床, 振动离心摇床, 振动离心脱水机, 重介质振动溜槽淘汰机等
研磨清理	借工作机体内的物料和介质、工件和磨料、工件和机体间的相对运动和冲击作用, 达到对机械零件的粉磨、光饰、落砂、清理和除尘的目的	振动球(棒)磨机, 振动光饰机, 振动落砂机, 振动除灰机, 矿车清底振动器等
成型紧实	能降低颗粒状物料的内摩擦, 使物料具有类似于流体的性质, 因而易于充填模具中的空间并达到一定密实度	石墨制品振动成型机, 耐火材料振动成型机, 混凝土预制件振动成型机, 铸造砂型振动造型机等
振动夯实	借振动体对物料的冲击作用, 达到夯实目的。有时还将夯实和振动成型结合起来, 从而提高振动成型的密实度	振动夯土机, 振捣器, 振动压路机, 重锤加压式振动成型机等

续表

类别	工艺特性	实例
沉拔插入	当某物体要贯入或拔出土壤和物料堆时,振动能降低插入拔出时的阻力	振动沉拔桩机,振动装载机,风动或液压冲击器等
振动时效	振动可加快铸件或焊接件内部形变晶粒的重新排列,缩短消除内应力的时间	时效振动台
振动切削	刀杆沿切削速度方向作高频振动,可以淬硬高速钢,软铅等特殊材料进行镜面切削,加工精度高	振动切削机床、刨床、镗床、铣床、振动切削滚齿机、插齿机、拉床、磨床等
振动加工	振动使加工能集中为脉冲形式,使材料得到高速加工,使加工表面光滑,拉、压的深度提高	如振动拉丝、振动轧制、振动拉深、振动冲裁、振动压印
试验检测	回转零部件的动平衡试验,设备仪器的耐振试验,机器零部件的振动试验,耐疲劳试验 钢丝绳的拉力检测	振动试验台,试验机,振动测量仪,各种检测装置,索桥钢丝绳拉力检测仪
状态监测与故障诊断	结构件、铸件的故障检测,回转机械、转子轴的状态监测与故障诊断	回转机械的振动监测与诊断设备,裂纹检测设备

1.2 振动机械的组成

振动机械设备的共同特点通常由下列三部分组成:

- 1) 工作机体(包括平衡机体);
- 2) 弹性元件(弹簧)(包括主振弹簧与隔振弹簧);
- 3) 激振器(用以产生激振力)。

最常见的激振器形式有惯性式、弹性连杆式、电磁式、电动式、液压式、气动式和电液式等多种。

电磁式振动机常用于送料、输送、筛分与落砂等各种工作。该种振动机通常在近共振条件下工作,可以使工作机体的激振力显著减小,激振器线圈的电流及电磁铁的体积和重量也可以相应减小。

对于减振器工作质体,有单质体的,有双质体的,有双质体的。

对弹性元件的特性,有线性的,有非线性的。

对工作状态,有近共振的,有非共振的,还有冲击式的。

由上述的不同特点,按动力学特征可为如下四类。

近共振的有:电磁振动给料机、输送机,螺旋电磁振动上料机,惯性式和连杆式共振给料机、输送机,共振筛、冷却机,离心脱水机,振动炉排,混凝土振捣器机等。

线性非共振的有:惯性式振动给料机、惯性式输送机、落砂机、球磨机、光饰机、冷却机、成型机、试验台、压路机、振动筛、自同步概率筛、插入式振捣器等。

非线性的有:非线性振动给料机、输送机、共振筛、离心脱水机、离心摇床、弹簧摇床,振动沉拔桩机、附着式振捣器等。

冲击式的有:蛙式振动夯土机、抛离式振动夯土机、振动钻探机、振动锤锻机,风动式或液压式冲击器、冲击式电磁振动落砂机、冲击式振动造型机等。

1.3 振动机械的频率特性及结构特征

表 18-6-2

类别	频率特性	结构特征	应用说明
共振机械	$\text{频率比 } Z = \frac{\omega}{\omega_n} = 1 \text{ (共振)}$ $\omega \text{——激振角频率, rad/s}$ $\omega_n \text{——振动系统的固有角频率, rad/s}$		由于共振机械共振质量和阻尼(例如物料的等效共振质量和等效阻尼系数)及激振角频率的稍许变化,振动工况很不稳定,因此很少采用

类别	频率特性	结构特征	应用说明
弹性连杆式振动机	$Z = 0.75 \sim 0.95$ (近低共振)	具有双振动质体、主振弹簧、隔振弹簧和弹性连杆激振器	振幅稳定性较好,特别是具有硬特性的弹簧具有振幅稳定调节作用,所需激振力小,功率消耗少,传给基础动载荷小等特点
惯性近共振振动机		激振器为惯性激振器,其他同上	
电磁式振动机		激振器为电磁激振器,其他同上	同上。但设计、制造要求较高
近超共振振动机	$Z = 1.05 \sim 1.2$ (近超共振)	上述三种激振器均可,其他同上	当主振弹簧具有软特性时,振幅稳定性较好,但启动、停机过程中振动也较强烈,较少采用;当主振弹簧为硬特性时,振幅稳定性较差,无法采用
单质体近共振振动机	$Z = 0.75 \sim 0.95$ 或 $Z = 1.05 \sim 1.2$	具有单质体,无隔振弹簧,其他同上	传给基础的动载荷较大,使用受到限制。其他同上
惯性振动机	$Z = 2.5 \sim 8$ (远超共振)	除二次隔振外,均具有单质体、隔振弹簧和惯性激振器	振幅稳定性好,阻尼影响小,隔振效果好,但激振力和功率消耗大。应用广泛
非惯性振动机			激振力很大,弹性连杆或电磁激振器均承受不了。很少采用
远低共振振动机	$Z < 0.7$		任何形式激振器均不能满足生产需要。不能采用

注: 1. 通常所说的弹性连杆式振动机、惯性共振式振动机、电磁式振动机,如不加说明,均指双质体近低共振振动机。
2. 通常所说的惯性振动机,如不加说明,指的是远超共振振动机。

1.4 有关振动机械的部门标准

- JB/T 5330—1991 振动源三组异步电动机 技术条件 (激振力 1~140kN)
- JB/T 7120—1993 YZC 系列 (IP44) 低振动低噪声三相异步电动机技术条件 (机座号 80~160)
- JB/T 3002—1994 仓壁振动器型式、基本参数和尺寸
- JB/T 6572—1993 振动料斗给料机 技术条件
- JB/T 9022—1999 振动筛设计规范
- JB/T 5496—2004 振动筛制造通用技术条件
- JB/T 4042—1999 振动筛 试验方法
- JB/T 2604—1994 电磁振动给料机 技术条件
- JB/T 8114.1—1999 电磁振动给料机 型式和基本参数
- JB/T 10375—2002 焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求
- JB/T 5925.1—1991 机械式振动时效装置 基本参数
- JB/T 5925.2—1998 机械式振动时效装置 技术条件
- JB/T 5926—1991 振动时效工艺 参数选择及技术要求
- JB/T 9305—1999 光线示波器振动子
- JB/T 9055—1999 机械振动类袋式除尘器 技术条件
- JB/T 9981—1999 矩形槽或梯形槽电机振动给料机 型式与基本参数
- JB/T 9983—1999 筒形槽电机振动给料机 型式与基本参数
- JB/T 7555—1994 惯性振动给料机
- JB/T 1806—1999 矿用单轴振动筛
- JB/T 2444—1999 煤用座式双轴振动筛
- JB/T 3687.1—1999 矿用座式振动筛 系列型谱

- JB/T 3687.2—1999 矿用座式振动筛 技术条件
 JB/T 5508—2004 冷矿振动筛
 JB/T 6388—1992 YKR 型圆振动筛
 JB/T 6388·2004 YKR 型圆振动筛
 JB/T 7891.1—1999 YA 型圆振动筛
 JB/T 6389—1992 ZKR 型直线振动筛
 JB/T 7891.2—1999 ZKX 型直线振动筛
 JB 20034—2004 药用旋涡振动式筛分机
 JB/T 10460—2004 香蕉形直线振动筛
 JB/T 9033—1999 SZR 型热矿振动筛
 JB/T 938—1999 煤用单轴振动筛
 JB/T 8850—2001 振动磨
 JB/T 8288—2001 液压振动台
 JB/T 8292—1995 电动软轴偏心插入式混凝土振动器
 JB/T 5279—1998 振动流化床干燥机
 JB/T 5280.1—1991 真空振动流动干燥机 型式与基本参数
 JB/T 5280.2—1991 真空振动流动干燥机 通用技术条件
 JB/T 3263—2000 卧式振动离心机
 JB/T 7893.1—1999 立式振动离心机
 JB/T 8584—1997 螺旋复合弹簧

2 振动输送类振动机的运动参数

2.1 机械振动指数

工程上把机体振动加速度最大值 \ddot{x}_{\max} 与重力加速度 g 的比值称为机械指数,即振动强度:

$$K_{jq} = \ddot{x}_{\max} / g = \frac{B\omega^2}{g} \quad (18-6-1)$$

式中 \ddot{x}_{\max} ——机体振动最大加速度, $\ddot{x}_{\max} = B\omega^2$, m/s^2 ;
 B ——机体振幅, m ;
 ω ——机体振动角频率, rad/s 。

K_{jq} 越大,输送物料的速度越快,机械所受的动载荷也就越大。通常受机械强度的限制,一般选 $K_{jq} \leq 6$ 。

2.2 物料的滑行运动

若输送槽体作简谐运动,槽体内的物料和槽体的受力情况如图18-6-1所示。根据出现滑行运动时的受力平衡条件,可推出物料正向滑动(相对工作面沿 x 方向前进)的条件为正向滑行指数 $D_k > 1$:

$$D_k = \frac{B\omega^2}{g} \times \frac{\cos(\mu_0 - \delta)}{\sin(\mu_0 - \alpha)} \quad (18-6-2)$$

而反向滑动的条件是反向滑行指数 $D_q > 1$:

$$D_q = \frac{B\omega^2}{g} \times \frac{\cos(\mu_0 + \delta)}{\sin(\mu_0 + \alpha)} \quad (18-6-3)$$

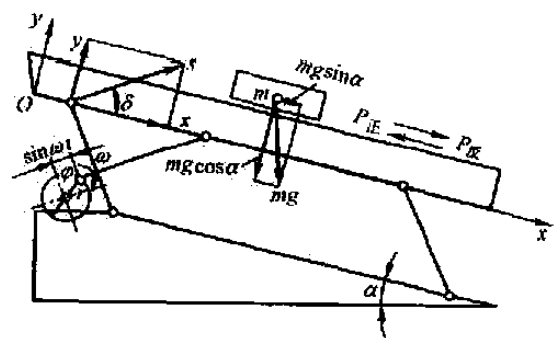


图 18-6-1 槽体运动规律及物料受力分析

式中 α ——槽面与水平面夹角；

δ ——振动方向角，即振动方向线与输送槽面夹角；

μ_0 ——静摩擦角， $\tan\mu_0 = f_0$ ；

f_0 ——物料与槽面的摩擦因数。

按滑行原理工作的振动机械，大多采用 $D_k > 1$ 、 $D_q < 1$ ；对于少数振动机械，如槽式振动冷却机、低速振动筛，采用 $D_k > 1$ 、 $D_q > 1$ 状态工作。

对于物料运动轨迹相对于槽面近于直线的振动输送机，即以滑行为主的输送机，在设计计算中，首先根据工作要求、物料情况，选定 D_k 、 D_q 、 α 的具体数值，再进行如下计算。

(1) 振动方向角 δ

$$\delta = \arctan \frac{1 - C}{(1 + C)f_0} \quad (18-6-4)$$

式中

$$C = \frac{D_q \sin(\mu_0 + \alpha)}{D_k \sin(\mu_0 - \alpha)}$$

(2) 振动强度 K_{jq}

$$K_{jq} = \frac{B\omega^2}{g} = D_k \frac{\sin(\mu_0 - \alpha)}{\cos(\mu_0 - \delta)} \quad (18-6-5)$$

(3) 选定振幅 B 后，计算每分钟振动次数 n

$$n = 30\omega/\pi \quad (18-6-6)$$

例 用于输送不要求破碎物品的输送机，输送长度 20m，物料对工作面的摩擦因数 $f_0 = 0.9$ ，求其运动系数。

解 因运输易碎物品，不抛掷，选正向滑行指数 $D_k = 3$ ，反向滑行指数 $D_q = 1$ 。长距离输送，取 $\alpha = 0$ ， $\mu_0 = \arctan 0.9 = 42^\circ$ 。

按式(18-6-4)计算：

$$C = \frac{D_q \sin(\mu_0 + \alpha)}{D_k \sin(\mu_0 - \alpha)} = \frac{1 \sin(42^\circ + 0^\circ)}{3 \sin(42^\circ - 0^\circ)} = 0.33$$

$$\delta = \arctan \frac{1 - C}{(1 + C)f_0} = \arctan \frac{1 - 0.33}{(1 + 0.33) \times 0.9} \approx 30^\circ$$

按式(18-6-5)计算振动强度：

$$\frac{B\omega^2}{g} = D_k \frac{\sin(\mu_0 - \alpha)}{\cos(\mu_0 - \delta)} = 3 \times \frac{\sin(42^\circ - 0^\circ)}{\cos(42^\circ - 30^\circ)} = 2.05$$

按机械结构，取振幅 $B = 5\text{mm} = 0.005\text{m}$ ，得：

$$\omega = \sqrt{2.05 \times 9.81/0.005} = 63.4 \text{ rad/s}$$

$$n = 30 \times 63.4/\pi = 605.2 \text{ r/min}$$

2.3 物料抛掷指数

如图 18-6-1，若输送槽体作简谐运动 $s = B\sin\omega t = B\sin\varphi$ ，由动力平衡方程可得：

$$N = mg\cos\alpha - m\ddot{s}\sin\delta \quad (18-6-7)$$

如果物料在输送过程中被抛离了工作面，则此瞬时正压力 $N = 0$ 。工程上把 $m\ddot{s}\sin\delta$ 的幅值和 $mg\cos\alpha$ 之比称为物料抛掷指数 D ，即

$$D = \frac{B\omega^2 \sin\delta}{g\cos\alpha} \quad (18-6-8)$$

对应物料开始出现抛掷运动瞬时，槽体振动的相位角称为抛始角 φ_d ，即

$$\varphi_d = \arcsin \frac{1}{D} \quad (18-6-9)$$

在该瞬时之前，物料和工作面沿 y 方向是一起运动的；在该瞬时之后，物料抛离工作面，在重力作用下在空中作抛物运动， $\Delta\ddot{y} = -g\cos\alpha + B\omega^2 \sin\delta \sin\varphi$ ，积分两次得到相对位移 Δy 的表达式，当相对位移 $\Delta y = 0$ 时，物料重新落至槽体，抛掷运动终止。此时槽体的相角 $\varphi = \varphi_2$ ，称 φ_2 为抛止角。 $\theta_d = \varphi_2 - \varphi_d$ ，称 θ_d 为抛离角。抛离角 θ_d 和抛始角 φ_d 的关系

$$\cot\varphi_d = \frac{\frac{1}{2}\theta_d - (1 - \cos\theta_d)}{\theta_d - \sin\theta_d} = \sqrt{D^2 - 1} \quad (18-6-10)$$

物料抛掷一次的时间与机体振动周期之比称为抛离系数 i_d

$$i_d = \frac{\theta_d}{2\pi} \quad (18-6-11)$$

抛离系数 i_d 和抛掷指数 D 的关系

$$D = \sqrt{\left[\frac{2\pi^2 i_d^2 + \cos(2\pi i_d) - 1}{2\pi i_d - \sin(2\pi i_d)} \right]^2 + 1} \quad (18-6-12)$$

i_d 值可根据给定 D 值按式(18-6-12)求得,也可从图 18-6-2 查得。

当 $D < 1$ 时,物料相对槽体静止或只作滑动;当 $D > 1$ 时,物料相对槽体的运动状态以抛掷运动为主,这样可以降低物料运动的阻力和减少物料对槽体的磨损,但抛掷运动过于激烈又易使物料破碎或使输送状态不稳。一般取 $1 < D \leq 3.3$,因为在这样的条件下,在机体的一个振动周期中,物料完成一次抛掷运动,工作状态稳定。个别时取 $4.6 < D \leq 6.36$ (如振动成型机等),在这种条件下,在机体的两个振动周期中,物料只完成一次抛掷运动。当输送脆性易碎物料时, D 值应小于 1 或略大于 1。

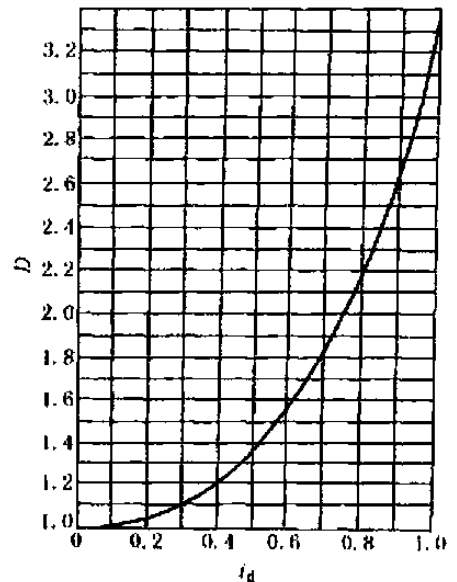


图 18-6-2 抛掷指数 D 与抛离系数 i_d 的关系

2.4 常用振动机的振动参数

表 18-6-3

激振形式		惯性式					弹性连杆式		
用途		输送		筛分和给料		成型密实落砂清理	输送	筛分	
		长距离	上倾	下倾	单轴	双轴			
参 数	频率 f/Hz	12~16					25~30	5~16	
	振幅 B/mm	5~6			3~6	3~5	0.8~1.2	5~15	6~9
	方向角 $\delta/(\circ)$	20~30	20~45	20~30		30~60 多用 45	90	25~35	30~60 多用 45
	倾角 $\alpha/(\circ)$	0	-8~-3	5~15	12~20	0~10	0	0~10	0~10

注: 1. 表内数据为大致范围,只供选择参考。

2. 输送速度近似与频率 f ($\omega = 2\pi f = \frac{\pi n}{30}$) 成反比,与 \sqrt{B} 成正比,因此,采用低频大振幅可以提高输送速度。

3. 输送磨损性大的物料时, δ 宜取较大值;输送易碎性物料时, δ 可取得小些;筛分时, δ 可选得大些,最大可取 $\delta_{\max} = 65^\circ$ 。

4. 上倾角 α 应小于静摩擦角;下倾角 α 加大时,可提高输送速度,但会增加槽体的磨损。

5. 垂直输送的螺旋升角和振动方向角与上倾输送相同。

2.5 物料平均速度

$$v_m = C_\alpha C_b C_m C_w \frac{\pi g i_d^2 \cos(\alpha - \delta)}{\omega \sin \delta} \quad (\text{m/s}) \quad (18-6-13)$$

式中各影响系数可由下列各表查得。上式只适用于计算 $1 < D \leq 3.3$ 时的 v_m 。若 $D = 4.6 \sim 6.36$, 计算 v_m 时,上式的右端应乘以 0.5。

表 18-6-4

倾角影响系数 C_α

倾角 $\alpha/(\circ)$	-15	-10	-5	0	5	10	15
C_α	0.6~0.8	0.8~0.9	0.9~0.95	1	1.05~1.1	1.3~1.4	1.5~2

表 18-6-5

料层厚度影响系数 C_b

料层厚度	薄料层	中厚料层	厚料层
C_b	0.9~1	0.8~0.9	0.7~0.8

注:通常筛分为薄料层,振动输送为中厚料层,振动给料为中厚或厚料层。

表 18-6-6

物料性质影响系数 C_m

物料性质	块状物料	颗粒状物料	粉状物料
C_m	0.8~0.9	0.9~1	0.6~0.7

注：物料的粒度、密度、水分、摩擦因数、黏度等都对物料输送速度有影响，由于影响因素多而复杂，目前尚缺乏充足的实验资料，表中只给出了约略的数值。

表 18-6-7

滑动运动影响系数 C_w

抛掷指数 D	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3
C_w	1.18	1.16	1.15	1.1~1.15	1.05~1.1	1~1.05	1

注：物料平均运动速度是按抛掷运动进行计算的，在一个振动周期中，除完成一次抛掷运动外，还伴随有一定的滑行运动。

2.6 输送能力与输送槽体尺寸的确定

振动输送机，振动给料机和振动筛的生产能力

$$Q = 3600hbv_m\rho \quad (\text{t/h}) \quad (18-6-14)$$

式中 h ——料层厚度，m；

b ——槽体宽度，m；

ρ ——物料松散密度， t/m^3 ；

v_m ——物料平均速度， m/s 。

对振动输送机，矩形槽一般取 $h = (0.7 \sim 0.8)H$ ， H 为槽体高度；输送圆管一般取 $h \leq \frac{D_1}{2}$ ， D_1 为管体内径。

对振动给料机，槽体侧板高度取 $H = 0.15 \sim 0.3\text{m}$ ，利用侧挡板将料层厚度加厚到 $h = 0.3 \sim 0.7\text{m}$ 。对振动筛，当薄层筛分时，可取 $h = (1 \sim 2)a$ ， a 为筛分分离粒度；当普通筛分时，取 $h = (3 \sim 5)a$ ；当厚层筛分时，取 $h = (10 \sim 20)a$ ，筛箱通过高度 H 为最大给料块度的二倍。根据生产能力要求或工艺对槽体尺寸的要求，按式 (18-6-14) 即可计算其他参数。槽体内物料质量：

$$m_m = QL / (3600v_m) \quad (\text{kg}) \quad (18-6-15)$$

式中 L ——槽体长度，m。

2.7 物料的等效参振质量和等效阻尼系数

运动物料相当有百分之几参振，称等效参振系数或等效参振折算系数 K_m ，物料对振动机体产生的阻尼用当量阻尼系数 C_m 表示。当抛掷指数 $D = 2 \sim 3$ 时，当量阻尼系数 C_m 在 $(0.16 \sim 0.18)m_m\omega$ 之间变化。 K_m 值与 D 、 δ 有关，可按图 18-6-3 查得。表 18-6-8 列出了对应于 $D = 1.75 \sim 3.25$ 的 K_m 值。

表 18-6-8 不同抛掷指数的物料等效参振质量折算系数 K_m 和等效阻尼系数 C_m

D	$\varphi_d / (^\circ)$	$\varphi_s / (^\circ)$	K_{my}	K_{mx}	K_m	C_{my}	C_{mx}	C_m
1.75	34.85	261.65	-0.902	-0.014	0.236			
2.00	30	289.2	-0.766	-1.805	0.192			
2.25	26.38	307.2	-0.600	-1.608	0.155	0.66V	0	0.16V
2.50	23.58	333.2	-0.328	-1.410	0.092	0.726V	0	0.18V
2.75	21.32	361.65	-0.044	-0.004	0.008	0.71V	0	0.17V
3.00	19.38	379.47	-0.002	0	0	0.66V	0	0.165V
3.25	17.92	395.92	0.360	0.005	-0.086			

注： $K_{my} = b_{1y} / m_m \omega^2 B_y$ ， $K_{mx} = b_{1x} / m_m \omega^2 B_x$ ， $V = m_m \omega$ ， $C_{my} = a_{1y} / \omega B_y$ ， $C_{mx} = a_{1x} / \omega B_x$ 。

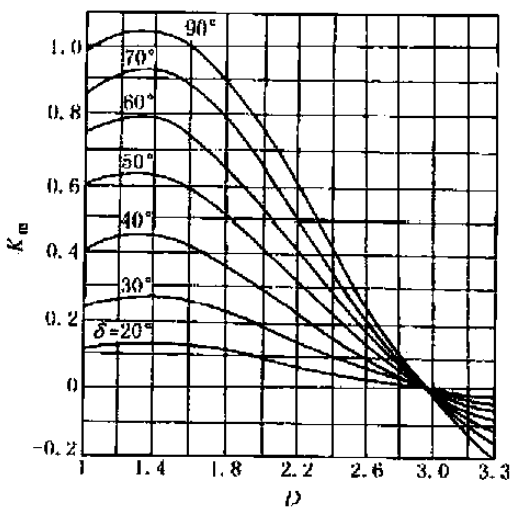


图 18-6-3 不同 δ 角时的 $D-K_m$ 曲线

对于振动成型机的加压重锤或振动落砂机上的铸件, $D=4.6-6.36$, K_m 变为负值, C_m 变化不大, 此时主要计算垂直方向的数据, K_{my} 和 C_{my} 与 D 的关系见表 18-6-9。

表 18-6-9 不同抛掷指数的重物等效参振质量折算系数 K_{my} 和等效阻尼系数 C_{my}

D	$\varphi_1/(\circ)$	$\varphi_2/(\circ)$	K_{my}	C_{my}
4.6	12.56	577.56	0.361	0.007V
4.8	12.02	610.02	0.35	0.058V
5.0	11.54	635.54	0.343	0.134V
5.2	11.09	654.09	0.31	0.2V
5.4	10.67	669.67	0.26	0.254V
5.6	10.29	683.79	0.198	0.294V
5.8	9.93	696.43	0.133	0.318V
6.0	9.59	708.59	0.065	0.327V
6.2	9.28	719.78	0.001	0.322V
6.36	9.05	729.05	-0.05	0.311V

注: $V = m_m \omega_c$

总阻尼系数

$$C = \sum C_m$$

式中 $\sum C_m$ ——各阻尼系数之和。

系统的阻尼系数除计算外, 还可通过振动试验求得。

2.8 振动系统的计算质量

计算质量 m'

$$m' = m + K_m m_m + \sum K_b m_b$$

式中 m ——振动体质量, kg;

m_m ——物料质量, kg;

K_m ——物料参振系数;

$\sum K_b m_b$ ——各弹性元件参振质量之和, kg。

2.9 激振力和功率

(1) 最大激振力之和 P

$$P = \sum m_0 r \omega^2 \quad (\text{N}) \quad (18-6-16)$$

式中 m_0 ——偏心块质量, kg;

r ——偏心半径, m。

(2) 电功功率 N

振动阻尼所消耗功率:

$$N_x = \frac{C_0}{1000} C \omega^2 B^2 \quad (\text{kW}) \quad (18-6-17)$$

轴承摩擦所消耗功率:

$$N_f = \mu \sum m_0 r \omega^3 \frac{d_1}{2000} = \frac{\mu P \omega d_1}{2000} \quad (\text{kW})$$

总功率

$$N = \frac{1}{\eta} (N_x + N_f) \quad (\text{kW}) \quad (18-6-18)$$

式中 $C = (0.1 \sim 0.14) m \omega$;

η ——传动效率, 一般取 0.95;

d_1 ——轴承平均直径, $d_1 = (D + d)/2$, m;

D, d ——轴承外径和内径, m;

μ ——滚动轴承摩擦因数, 一般 $\mu = 0.005 \sim 0.007$;

C_0 ——系数。对非定向振动, 例如单轴激振器系统、圆振动系统, $C_0 = 1$; 对定向振动, 例如双轴激振系统、

直线振动系统, $C_0 = 0.5$ 。

在概算时, 可选 $N_f = (0.5 \sim 1.0) N_x$ 。考虑振动状态参数的变化、计算的误差, 实际选用功率应适当放大。在实际工作中, 对恶劣条件下, 例如矿用振动放矿机, 用最大可能功耗来决定电机最大功率, 此时,

$$\text{对非定向振动输送机} \quad N = \frac{\sqrt{2}}{2000} P \omega B \quad (\text{kW}) \quad (18-6-19)$$

$$\text{对定向振动输送机} \quad N = \frac{\sqrt{2}}{4000} P \omega B \quad (\text{kW}) \quad (18-6-20)$$

式(18-6-19)和式(18-6-20)计算结果远大于式(18-6-17)和式(18-6-18)的计算结果。

3 单轴惯性激振器设计

3.1 平面运动单轴惯性激振器

单轴惯性激振器如图 18-6-4 所示。

1) 激振器回转中心与振动机体质心重合。振动机结构和力学模型如图 18-6-5。振动机的阻尼力和弹性力远小于机体的惯性力与激振力, 对机体运动的影响很小。尽管 $K_x < K_y$ (隔振弹簧采用悬吊安装时, $K_x = 0$), x 方向和 y 方向振动幅值 B_x 和 B_y 近似相等, 机体上的质点基本上在一平面上沿圆轨迹运动。单轴惯性激振器激振力幅值

$$m_0 r \omega^2 = \frac{1}{\cos \varphi} (K_y - m' \omega^2) B \quad (18-6-21)$$

式中 m_0 ——偏心质量, kg;

r ——偏心半径, m;

ω ——回转角速度, rad/s;

m' ——振动机计算质量, kg;

K_y ——隔振弹簧沿 y 方向的刚度, N/m;

B ——振动体稳态振动的幅值, m;

φ ——振动响应滞后激振力的相位差角, rad, $\varphi = \arctan \frac{C \omega}{K_y - m \omega^2}$;

C ——系统的振动阻尼, 实验指出, 一般振动机 $C \leq (0.1 \sim 0.14) m' \omega_c$ 。

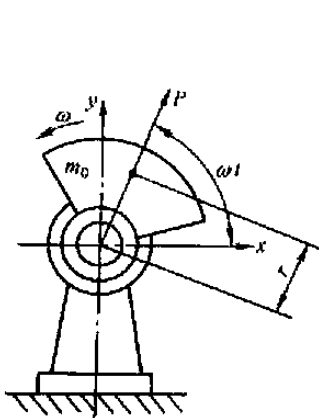


图 18-6-4 单轴惯性激振器

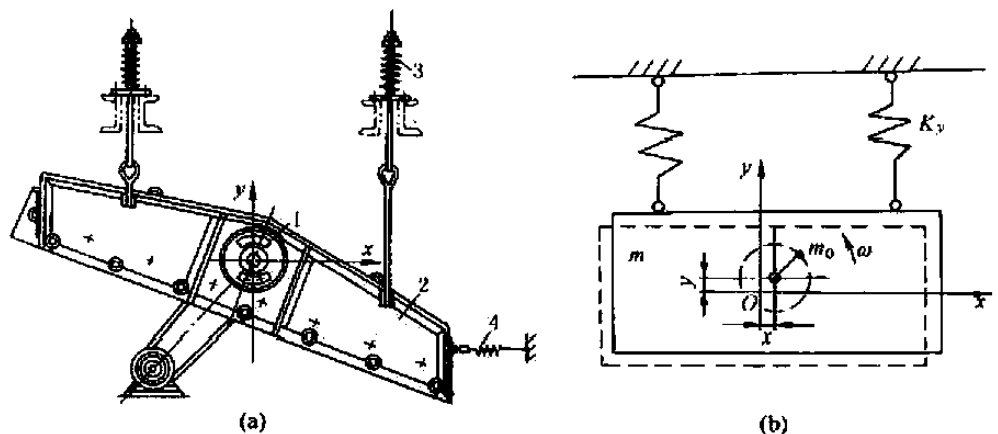


图 18-6-5 单轴惯性振动机及力学模型

1—单轴惯性激振器; 2—振动机体;

3—隔振弹簧; 4—前拉弹簧

如果设计时, 考虑激振力的调节, 将所需激振力放大, 可将阻尼和弹性都忽略, 单轴惯性激振器激振力幅值

$$m_0 r \omega^2 \approx -m' B \omega^2 \quad (18-6-22)$$

上式表明在振动过程中, 机体与偏心块始终处在振动中心的两侧, 机体在上时, 偏心块在下, 机体在左时, 偏心

块在右，或者相反。实际上振动中心就是机体和偏心块的合成质心。机体质心 O 、偏心块质心 O_2 和振动中心 O_1 的关系如图 18-6-6 所示。如果采用带传动的话，将带轮回转中心设在 O_1 处，则振动中带轮基本不振动。

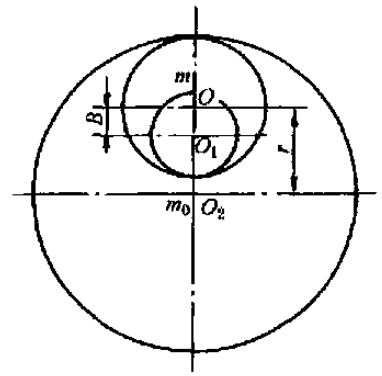


图 18-6-6 自定中心原理图

2) 当单轴惯性激励器的回转中心离开了机体的质心，如图 18-6-7 所示。近似计算时（忽略了阻尼和弹性力），机体质心 O 的运动轨迹仍是圆。由于激励器中心偏离机体质心，离心力对机体有力矩作用，设机体及偏心块绕质心 O 的转动惯量为 I 、 I_0 ，可求得力矩产生沿 x 轴和 y 轴的摇摆振动 ψ_x 、 ψ_y 的振幅值 F ，再进行振动合成计算：

$$B_{\psi_x} = \frac{m_0 r l_{0x}}{I + I_0} \quad B_{\psi_y} = \frac{m_0 r l_{0y}}{I + I_0} \quad (18-6-23)$$

机体的前 (B 点)、中 (O 点)、后 (A 点) 的运动轨迹如图 18-6-7b 所示。如果该振动机为单轴惯性振动筛，物料从 A 端进入，从 A 点椭圆运动轨迹的长轴大小和方向来看，有利于物料的迅速散开，运动速度快；而排料端，从 B 点椭圆运动轨迹长轴的大小和方向来看，将不利于物料的输送，常借助于大倾角来改善排料条件，即使如此，有时处理不当，仍然产生堵料现象，所以，设计这种振动机最根本的是机体不宜长，激励器回转中心不能离机体质心太远。

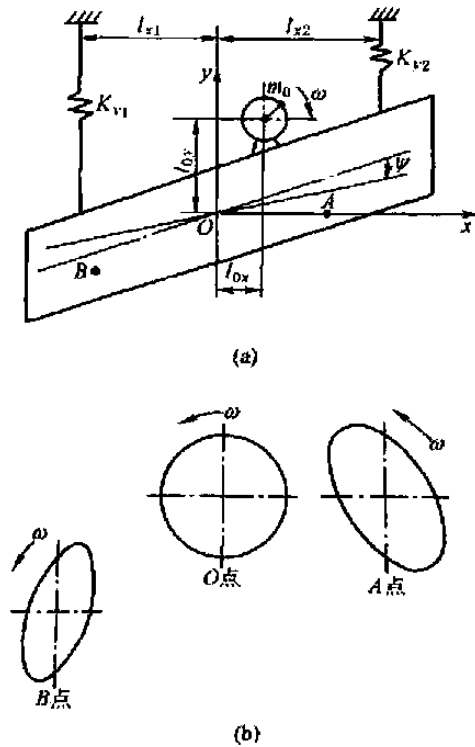


图 18-6-7 单轴惯性振动机及其各处的运动轨迹

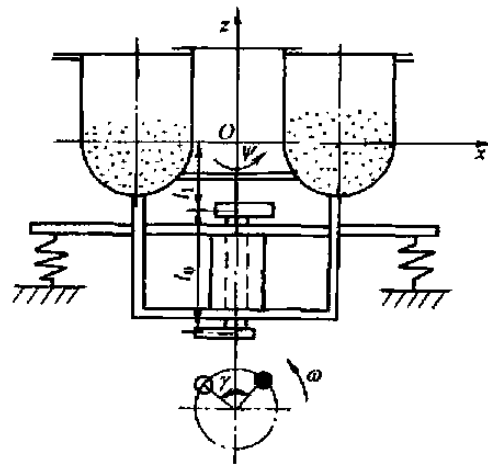


图 18-6-8 立式振动光饰机力学模型

3.2 空间运动单轴惯性激励器

图 18-6-8 所示立式振动光饰机由单轴惯性激励器驱动。激励器的轴垂直安装。轴上下两端的偏心块夹角为 γ 。因此，激励器产生在水平平面 xOy 内沿 x 方向和 y 方向合成的激励力 $P(t)$ ，以及由绕 x 轴和绕 y 轴的激励力矩所合成的激励力矩 $M(t)$ 分别为：

$$P(t) = \sum m_0 r \omega^2 \cos \frac{\gamma}{2} (\cos \omega t + i \sin \omega t) = \sum m_0 r \omega^2 \cos \frac{\gamma}{2} e^{i \omega t}$$

$$M(t) = \sum m_0 r \omega^2 L e^{i(\omega t - \beta)}$$

式中 $L = \sqrt{\left(\frac{1}{2} l_0 + l_1\right)^2 \cos^2 \frac{\gamma}{2} + \frac{1}{4} l_0^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}$;

$$\beta = \arctan \frac{\tan \gamma}{1 + \frac{2l_1}{l_0}}$$

l_0 ——上下偏心块的垂直距离, m;

l_1 ——上偏心块至机体质心距离, m;

其他符号同前。

在忽略阻尼的情况下, 机体水平振动稳态振幅 B 和摇摆振动的幅值 B_ψ 为:

$$B = \frac{\sum m_0 r \cos \frac{\gamma}{2}}{m \left(\frac{1}{Z^2} - 1 \right)} \quad B_\psi = \frac{\sum m_0 r L}{I \left(\frac{1}{Z_\psi^2} - 1 \right)} \quad (18-6-24)$$

式中 Z, Z_ψ ——频率比, $Z = \omega/\omega_n, \omega_n^2 = K/m, Z_\psi = \omega/\omega_{n\psi}, \omega_{n\psi}^2 = K_\psi/I$; 频率比 Z, Z_ψ 均在 3~8 的范围内选取;

m, I ——机体的质量及对 x 轴和 y 轴的转动惯量, kg, kg·m²;

K, K_ψ ——水平方向及摇摆方向的刚度, N/m, N·m/rad。

为了提高工作效率, 要合理选择偏心块夹角 γ 。试验证明 $\gamma = 90^\circ$ 时, 水平振动和摇摆振动都比较强烈, 这种复合振动研磨效果最佳。

当机体 m, I 和工艺要求的振动参数 B, B_ψ, ω 已知, 并由隔振设计确定了 K, K_ψ 的条件下, 可从式 (18-6-24) 的前式求得 $\sum m_0 r$, 再根据后式求得 L 值。根据 $\sum m_0 r$ 设计偏心块, 根据 L 值设计 l_0, l_1 。

3.3 单轴惯性激振器动力参数 (远超共振类)

表 18-6-10

项 目	计算公式	参数选择与说明
隔振弹簧总刚度	$K_y = \frac{1}{Z^2} m \omega^2 \text{ (N/m)}$ 物料对隔振弹簧的影响在频率比的选取中考虑	m ——机体质量, kg; ω ——振动频率, rad/s; 隔振弹簧与第 5 章隔振器设计相同, 一般隔振器设计取 $Z = 3 \sim 5$, 对于有物料作用的振动机, Z 值可取得小些, 物料量越多, Z 值越小
等效参振质量	$m' = m + K_m m_m \text{ (kg)}$	物料质量 m_m 按式 (18-6-15) 计算; 物料 m_m 的等效参振质量折算系数 K_m 可参照表 18-6-8 和表 18-6-9 选取
等效阻尼系数及相位差角	$C = (0.1 \sim 0.14) m \omega \text{ (N} \cdot \text{s/m)}$ $\varphi = \arctan \frac{C \omega}{K_y - m \omega^2}$	
激振力幅值及偏心质量矩	$\sum m_0 r \omega^2 = \frac{1}{\cos \varphi} (K_y - m \omega^2) B$ $\approx m \omega^2 B \text{ (N)}$ $\sum m_0 r = \sum m_0 r \omega^2 / \omega^2 = m B$	B ——振动的振幅, m m_0 ——偏心块质量, kg r ——偏心半径, m 根据 $\sum m_0 r$ 设计偏心块
电机功率	见本章 2.9 节	
稳态振幅	$B = \frac{\sum m_0 r \omega^2 \cos \varphi}{K_y - m \omega^2} \text{ (m)}$	
传给基础的动载荷	$F_y = K_y B_y, F_x = K_x B_x$ 启动、停止时, $F'_y = (3 \sim 7) F_y, F'_x = (3 \sim 7) F_x$	K_y, K_x ——分别为垂直方向和水平方向的刚度, N/m B_y, B_x ——分别为垂直方向和水平方向的振幅, m 悬挂弹簧时, $F_x \approx 0, F'_y \approx F_y$

3.4 激振力的调整及滚动轴承

(1) 激振器的振激力调整 (见表 18-6-11)

表 18-6-11

调整方式	结构简图	调整说明及调整范围
无级调整		<p>两偏心块,一块固定,另一块可调,动块相对定块可转动 2θ 角,转动某一角度后,用螺栓将动块夹紧固定在轴上。单块离心力 $F = m_0 r \omega^2$, 两块合成离心力,即激振力 $F_x = 2m_0 r \omega^2 \cos\theta$。激振力可在 $0 \sim 2m_0 r \omega^2$ 范围内无级调整</p>
有级调整		<p>偏心块上钻三个孔,用圆环和圆柱或灌铅的方式,对称填充不同位置的孔,使离心力即激振力增加相应的值,实现有级调整激振力,调整范围有限</p>
		<p>在偏心块侧面切槽,然后加扇形调整片调整激振力,调整范围有限,但较前一种有级调整方法略宽些</p>

(2) 滚动轴承的载荷及径向游隙

滚动轴承的径向载荷为 $\Sigma m_0 r \omega^2$ (N), 轴向载荷通常取为 $(0.1 \sim 0.2) \Sigma m_0 r \omega^2$, 然后按轴承常规方法进行设计。

为了提高滚动轴承的极限转速、降低滚动轴承的摩擦力矩, 防止由配合和温升所造成的径向游隙过小, 惯性激振器的轴承应当选用大游隙轴承。

4 双轴惯性激振器

4.1 产生单向激振力的双轴惯性激振器

图 18-6-9a 所示为产生单向激振力的双轴惯性激振器, 质量为 m_0 的两偏心块以 ω 的角速度同步反向回转, 如果初相角 φ 对称 s 轴, 则沿 s 方向和 e 方向的激振力为:

$$\begin{aligned} P_s &= 2m_0 r \omega^2 \sin\omega t \\ P_e &= 0 \end{aligned} \quad (18-6-25)$$

单向激振力 P_s 作用于图 18-6-9b 所示的振动机机体的质心, 将使机体产生沿 s 方向的直线振动。因阻尼系数 $C \ll m\omega$, 隔振弹簧沿 s 方向刚度 $K_s \ll m\omega^2$, 偏心质量 $m_0 \ll m$, 在忽略阻尼、隔振弹簧和偏心块质量对振动影响的条件下, 机体的振幅:

$$B = -\frac{2m_0 r}{m} \quad (18-6-26)$$

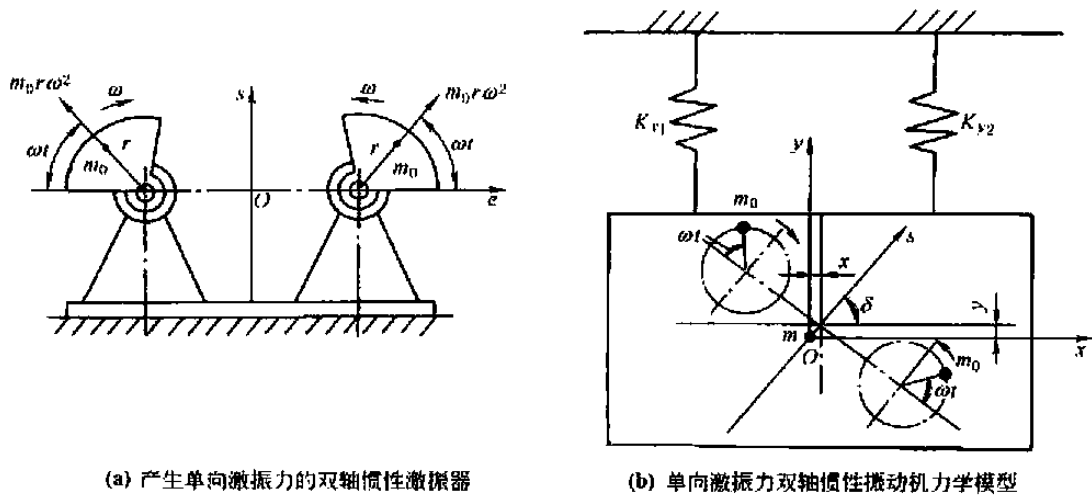


图 18-6-9

且
$$P_y = P_s \sin\delta, P_x = P_s \cos\delta, B_y = B \sin\delta, B_x = B \cos\delta, B = \sqrt{B_y^2 + B_x^2}$$

使两偏心块同步反向回转的方法：①用传动比为 1 的一对外啮合齿轮强迫实现，机体振动的直线性很好；②激振器的两轴分别由两台同型号的异步电动机带动，之间无任何机械联系，由力学的质心守恒原理使两轴自动保持反向同步回转，结构简单，但由于两台电机驱动力矩的差异和两激振器回转摩擦阻力矩的不同，振动机的运动轨迹可能出现轻微的椭圆。

4.2 空间运动双轴惯性激振器

垂直振动输送机，广泛适用于冶金、煤炭、建材、粮食、机械、医药、食品等行业，用于粉状、颗粒状物料的垂直提升作业，也可对物料进行干燥、冷却作业。

垂直振动输送机以振动电机作为激振源，与其他类型的输送机、斗式提升机等相比具有以下特点：①占地面积小，便于工艺布置；②节约电能，料槽磨损小；③噪声低，结构简单，安装、维修便利；④物料可向上输送，亦可向下输送。

图 18-6-10 所示的螺旋振动输送机，若实现绕垂直坐标 z 的螺旋振动，要求其双轴惯性激振器同时产生沿 z 方向的激振力和绕 z 轴的激振力矩。螺旋振动输送机的惯性激振器有交叉轴式和平行轴式两种。

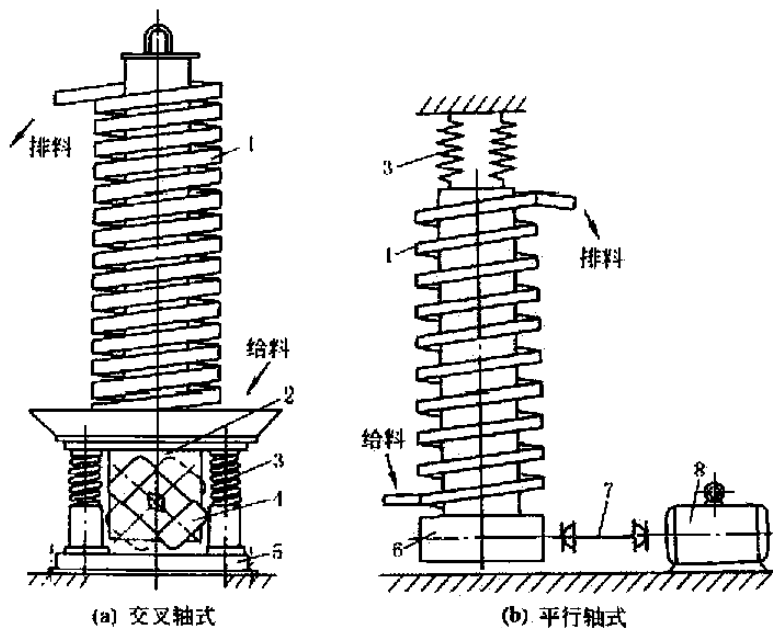


图 18-6-10 螺旋振动输送机

1—螺旋输送槽；2—激振器座；3—隔振弹簧；4—振动电机；5—机座；
6—平行轴式激振器；7—万向联轴器；8—电机

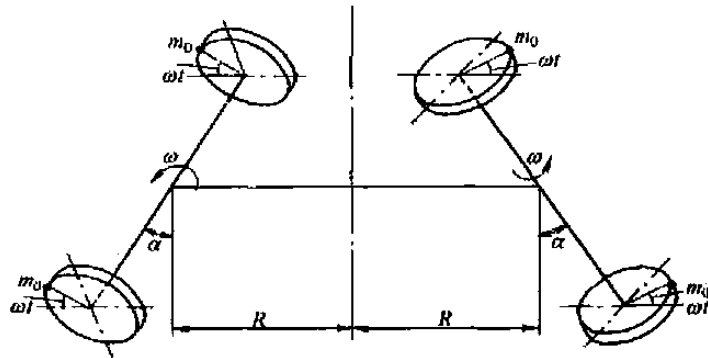


图 18-6-11 交叉轴式双轴惯性激振器工作原理

4.2.1 交叉轴式双轴惯性激振器

如图 18-6-11 所示, 两转子轴各与 z 轴成一夹角 α , 两轴上转子质心初始相位角为反向, 当两轴反向同步旋转时, 参照图 18-6-9, α 为零时的一端的 P_y 力为 $m_0 r \omega^2 \cos \omega t$, α 不为零时, 此时沿 z 方向的激振力和绕 z 轴方向的激振力矩分别为:

$$\begin{aligned} P_z &= 4m_0 r \omega^2 \sin \alpha \cos \omega t \\ M_z &= 4m_0 r \omega^2 R \cos \alpha \cos \omega t \end{aligned} \quad (18-6-27)$$

式中 R ——旋转轴和 z 轴的距离, m_0 。

4.2.2 平行轴式双轴惯性激振器

如图 18-6-12 所示, 当偏心块在两轴上的安装角为初相角, 且 $\varphi_1 = \varphi_2 = \pi - \varphi_3 = \pi - \varphi_4$, 令 $\alpha = \varphi_1$, 可求得沿 z 方向的激振力和绕 z 轴方向的激振力矩分别为:

$$\begin{aligned} P_z &= 4m_0 r \omega^2 \sin \alpha \cos \omega t \\ M_z &= 4m_0 r \omega^2 R \cos \alpha \cos \omega t \end{aligned}$$

此两式与式 (18-6-27) 是相同的。

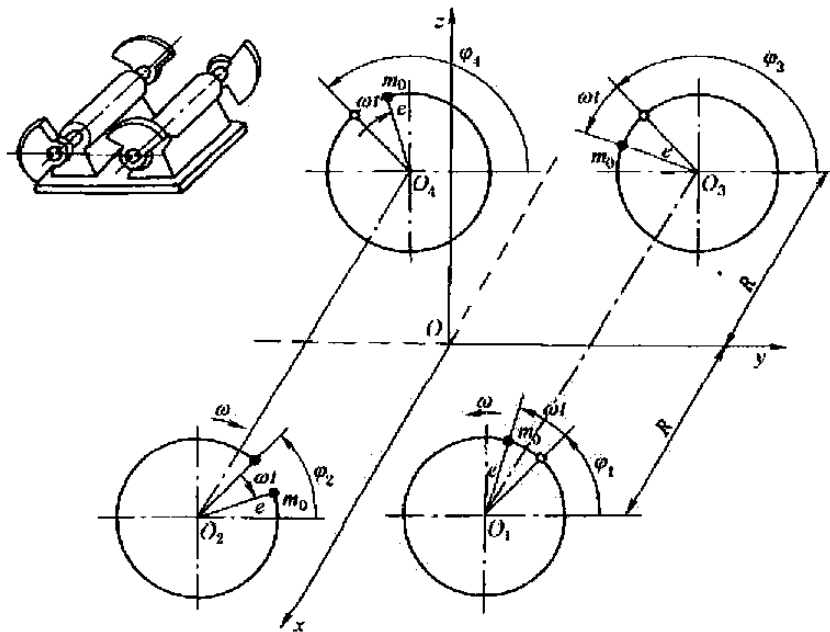


图 18-6-12 平行轴式双轴惯性激振器

当 z 轴通过机体质心时, 机体的质量为 m , 机体绕 z 轴的转动惯量为 I , 与前相同, 在忽略阻尼、隔振弹簧及偏心块的质量 m_0 和转动惯量 I_0 的条件下, 很容易求得机体在式 (18-6-27) 的 P_z 和 M_z 作用下, 机体在 z 方向和绕 z 轴方向上的振幅和振动幅角:

$$B_z = \frac{4m_0 r \sin \alpha}{m}$$

$$\theta_z = -\frac{4m_0 r R \cos \alpha}{I} \quad (18-6-28)$$

按式(18-6-28)求得 B_z 和 θ_z 后, 可进一步求出机体上距 z 轴为 ρ 的任一点的合成振幅和振动角(振动方向与水平面夹角):

$$B = \sqrt{B_z^2 + \theta_z^2 \rho^2} \quad \delta = \arctan \frac{B_z}{\theta_z \rho} \quad (18-6-29)$$

从式(18-6-29)可以看出, 输送槽上的任意点, 实际上都是在做直线振动。

由于平行轴式双轴惯性激振器多采用强同步, 因此, 设计激振器时, 首先根据工艺要求的合成振幅 B 和振动角 β , 求得相应的 B_z 和 θ_z , 再从式(18-6-28)求得 $\Sigma m_0 r$ 、 a (同一轴上两偏心块距离之半) 和 α (同一轴上两偏心块夹角之半)。装配时应保证各偏心块离心力作用线与 z 轴夹角为 α 。

交叉轴式双轴惯性激振器常采用两台同型号振动电机作为激振器同步反向回转, 靠自同步实现, 所以, 激振力和两激振器轴夹角都便于调整, 这样就使设计参数 $\Sigma m_0 r$ 、 R 、 α 的匹配变得容易。计算公式相同。

4.3 双轴惯性激振器动力参数 (远超共振类)

表 18-6-12

项 目	平面运动	空间运动	
		交叉轴式	平行轴式
隔振弹簧总刚度	$K_y = \frac{1}{Z^2} m \omega^2$	m ——机体质量, kg; Z ——频率比, $Z = \omega/\omega_{ny}$, 通常取 $Z = 3 - 5$; ω_{ny} ——固有角频率, rad/s, $\omega_{ny} = \sqrt{\frac{\Sigma K_y}{m}}$; y ——垂直坐标方向的位移, m	
等效参振质量	$m' = m + K_m m_m$ m_m 按式(18-6-15)计算, K_m 按表 18-6-8 或表 18-6-9 选取	$m' = m + K_m m_m \quad I' = I + K_m m_m \rho^2$ m_m 按式(18-6-15)计算, K_m 按表 18-6-8 或表 18-6-9 选取, ρ 为输送槽的平均半径, m	
等效阻尼系数及相位差角	$C = (0.1 - 0.14) m \omega (N \cdot s/m)$ $\varphi = \arctan \frac{C \omega}{K_x - m \omega^2}$ $K_x = K_y \sin^2 \delta + K_z \sin^2 \delta$	$C = C_y = (0.1 - 0.14) m \omega$ $C_\theta = (0.1 - 0.14) m \rho \omega$ $\varphi \approx \varphi_x \approx \varphi_\theta \approx \varphi_y = \arctan \frac{C_y \omega^2}{K_y - m \omega^2}$	
激振力、偏心质量矩及距离 α	$P = \Sigma m_0 r \omega^2 = \frac{B}{\cos \varphi} (K_x - m \omega^2) (N)$ $\Sigma m_0 r = P/\omega^2 (kg \cdot m)$	$P = \frac{B}{\cos \varphi \sin \alpha} (K_y - m \omega^2)$ $\Sigma m_0 r = P/\omega^2$ $\alpha = \frac{(K_\theta - I \omega^2) \theta_y}{P \cos \varphi \cos \alpha}$	$P = \frac{B}{\cos \varphi \cos \alpha} (K_y - m \omega^2)$ $\Sigma m_0 r = P/\omega^2$ $\alpha = \frac{(K_\theta - I \omega^2) \theta_y}{P \cos \varphi \sin \alpha}$
振幅和振动角	$B = \frac{P \cos \varphi}{K_x - m \omega^2}$ $B_y = B \sin \delta$ $B_z = B \cos \delta$	$B_y = \frac{P \sin \alpha \cos \varphi}{K_y - m \omega^2}$ $\theta_y = \frac{P \sin \alpha \cos \varphi}{K_\theta - I \omega^2}$	$B_y = \frac{P \cos \alpha \cos \varphi}{K_y - m \omega^2}$ $\theta_y = \frac{P \sin \alpha \cos \varphi}{K_\theta - I \omega^2}$ $B_z = \rho_1 \theta_y$ $B = \sqrt{B_y^2 + \rho_1^2 \theta_y^2}$

K_θ ——隔振弹簧绕 y 轴方向扭转刚度, $N \cdot m/rad$
 $K_\theta = K_z \rho_1$
 K_x ——隔振弹簧水平刚度, N/m
 ρ_1 ——隔振弹簧离 y 轴的距离, m
 预定 B 或 θ_y , 给定 α 值计算出 $\Sigma m_0 r$ 、 a , 再根据 $\Sigma m_0 r$ 和 a , 调整 α , 重新计算 $\Sigma m_0 r$ 和 a , 直至 $\Sigma m_0 r$ 、 a 、 α 达到最佳匹配为止

续表

项 目	平面运动	空间运动	
		交叉轴式	平行轴式
电机功率	见本章 2.9 节		
传给基础的动荷载	$F_y = K_y B_y$ $F_x = K_x B_x$ 启动和停止时, $F'_y = (3-7)F_y$, $F'_x = (3-7)F_x$	说明: 如为悬挂弹簧, $F'_y = K_y B_y, F'_x \approx 0$ K_y, K_x, B_y, B_x 分别为垂直与水平方向刚度及振幅	

注: 激振器偏转式自同步双轴惯性激振器虽然有力矩作用, 但摆动不很大, 可近似按产生单向激振力双轴惯性激振器进行程序设计。

4.4 自同步条件及激振器位置

表 18-6-13

项 目	自 同 步	激振器偏转式自同步
激振器位置简图		
同步性条件	<p>O 为机体质心, O_1, O_2 为激振器两个回转轴心, O' 为 O_1, O_2 的中点, l 为 OO' 的距离, l_1 为 O_1, O' 及 O', O_2 的距离, α 为机体倾角, 机体质量为 m, 绕 O 的转动惯量为 I</p> <p>同步性条件: $\left| \frac{m_0^2 r^2 \omega^2 W}{\Delta M_y - \Delta M_x} \right| \geq 1$</p> <p>对远超共振振动机稳定性条件: $W \approx \frac{l_1}{I + \sum I_0} > 0$</p> <p>从同步性条件和稳定性条件来看, l_1 越大, 两电动机驱动力矩差 ΔM_x 及两激振器摩擦阻矩差 ΔM_y 越小, 越容易同步</p>	<p>为了降低机体高度, 改善受力状态, 通常将 O_1, O_2 绕 O' 偏转到 O_1, O_2 平行于机体的底面, 即偏转 γ 角</p>
振动方向角	$\delta = \beta + \alpha$	$\delta = 90^\circ - \gamma + \frac{1}{2} \Delta \varphi$ $\Delta \varphi = -\cot \frac{l^2 + l_1^2 \cos 2\gamma}{l_1 \sin 2\gamma}$
机体运动轨迹	全机体直线运动轨迹	有力矩作用和摆动, 机体除质心外为近于直线的椭圆轨迹

5 近共振类振动机

5.1 惯性共振式

5.1.1 主振系统的动力参数

图 18-6-13a 所示为单轴惯性共振式振动机,该机在单轴惯性激振器激励下,会产生摆动,但与主系统振动相比,还是很小的。图 18-6-13b 为双轴惯性共振式振动机,该振动机为直线振动。两机主振系统的力学模型如图 18-6-13c 所示。动力参数设计见表 18-6-14。

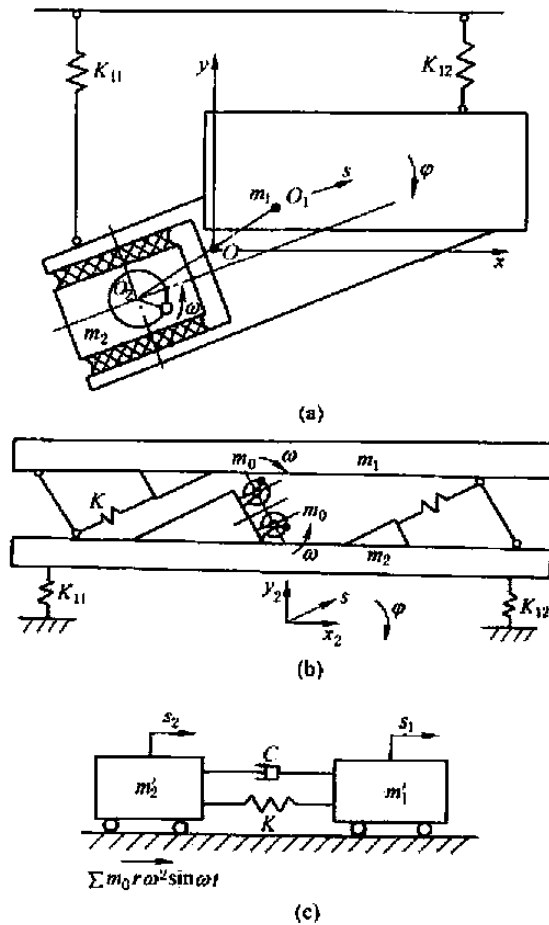


图 18-6-13 惯性共振式振动机及主振系统的力学模型

表 18-6-14

惯性共振式与弹性连杆共振式动力参数设计计算

项 目	惯 性 共 振 式	弹 性 连 杆 式
隔振弹簧总刚度	$K_y = \frac{1}{Z_0^2} (m_1 + m_2) \omega^2$	Z_0 ——频率比,通常取 $Z_0 = 3 \sim 5$,对有物料作用振动机, Z_0 可适当取小
工作机体质量 m_1	根据振动机的工作要求(包括振动参数、 B_1 、 ω 、 Q 和机体尺寸等)及机体的强度和刚度确定	
质体 2 的质量 m_2	$m_2 = (0.4 \sim 0.8) m_1$, m_2 为附加质量,应尽量减小。 m_2 越小,则相对运动振幅 B 越大,因此, m_2 在主振弹簧变形量允许的条件下,尽量选得小些	
诱导质量	$m' = \frac{m_1' m_2'}{m_1' + m_2'} \quad m_1' = m_1 + K_m m_w - \frac{K_1}{\omega^2} \quad m_2' = m_2 - \frac{K_2}{\omega^2}$ K_1, K_2 ——分别为作用于 m_1 和 m_2 上的隔振弹簧沿 s 方向的刚度,由 K_{11}, K_{12} 计算求得, K_2 在概算时可忽略	

续表

项 目	惯 性 共 振 式	弹 性 连 杆 式
主振弹簧总刚度	$K = \frac{1}{Z^2} m \omega^2 \quad (\text{N/m})$ 通常取 $Z = 0.75 \sim 0.95$	$K = m \omega^2 \quad (\text{N/m})$ $m = \frac{m'_1 m'_2}{m'_1 + m'_2}, m'_1 = m_1 - \frac{K_1}{\omega^2}$
连杆弹簧总刚度		$K_0 = \left(\frac{1}{Z^2} - 1 \right) m \omega^2 = \left(\frac{1}{Z^2} - 1 \right) K$ 线性振动机取 $Z = 0.82 \sim 0.88$ 非线性振动机取 $Z = 0.85 \sim 0.92$
相位差角	$\alpha = \arctan \frac{2\zeta Z}{1 - Z^2}$ ζ ——阻尼比, 常取 $\zeta = 0.02 \sim 0.07$ Z ——频率比, 常取 $Z = 0.75 \sim 0.95$	$\alpha = \arctan \frac{2\zeta Z}{1 - Z^2}$ 常取 $\zeta = 0.02 \sim 0.07$ 在有载条件下: 线性振动机取 $Z = 0.8 \sim 0.9$ 非线性振动机取 $Z = 0.85 \sim 0.95$
相对运动振幅	$B = -\frac{m'}{m'_2} \times \frac{\sum m_0 r \omega^2 \cos \alpha}{K - m' \omega^2}$ $= -\frac{1}{m'_2} \times \frac{Z^2 \sum m_1 r \omega^2 \cos \alpha}{K - m' \omega^2}$	$B = \frac{K_0 r \cos \alpha}{K_0 + K - m' \omega^2}$
绝对振幅	$B_1 = \frac{KB}{m'_1 \omega^2} \quad B_2 = \left(\frac{K}{m'_1 \omega^2} - 1 \right) B$	$B_1 = \frac{(K_0 + K)B}{m'_1 \omega^2} \quad B_2 = \left(\frac{K_0 + K}{m'_1 \omega^2} - 1 \right) B$
传给基础的动载荷	$F_x = K_x B_{1x} \quad B_{1x}, B_{1y}$ —— x, y 方向的弹簧 K_1 的振幅 $F_y = K_y B_{1y} \quad K_x, K_y$ ——弹簧 K_1 在 x, y 方向的刚度 说明: 需另外加静载荷 (总重量)	

5.1.2 激振器动力参数设计

表 18-6-15

项 目	计 算 公 式	概 算 公 式
激振力幅值和偏心质量矩	$\sum m_0 r \omega^2 = -\frac{m'_2 B (K - m \omega^2)}{m \cos \alpha} \quad (\text{N})$ $\sum m_0 r = (\sum m_0 r \omega^2) / \omega^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$	$\sum m_0 r = -\frac{m'_2 B (1 - Z^2)}{Z^2}$ Z ——频率比, 通常取 $Z = 0.75 \sim 0.95$
电机功率	振动阻尼所消耗的功率: $N_s = \frac{1}{2000} C \omega^2 B^2$ 轴承摩擦所消耗的功率: $N_f = \frac{1}{2000} f_d \sum m_0 r \omega^3 d_1$ 总功率: $N = \frac{1}{\eta} (N_s + N_f)$ $C = 2\zeta m \omega / Z$	ζ ——阻尼比, 通常取 $\zeta = 0.02 \sim 0.07$ f_d ——轴承摩擦因数, 通常取 $f_d = 0.005 \sim 0.007$ d_1 ——轴承内外圈平均直径, m η ——传动效率, 通常取 $\eta = 0.95$

注: 概算公式只在假定参振质量 m 条件下试算中用。

5.2 弹性连杆式

5.2.1 主振系统的动力参数

弹性连杆式激振器如图 18-6-14 所示。当曲柄回转时，通过连杆和连杆弹簧能够带动工作机体实现直线往复运动。弹性连杆式振动机为近共振类振动机，如果振动机为单质体，势必会使传给基础的动载荷很大。如将激振器装在如图 18-6-15a 所示的两个振动质体之间，驱动两质体作相对直线运动，经过隔振，传给基础的动载荷明显减小。主振系统的力学模型如图 18-6-15b 所示。其相对运动微分方程为：

$$m\ddot{s} + C\dot{s} + (K + K_0)s = K_0 r \sin \omega t \quad (18-6-30)$$

式中 m ——诱导质量，kg， $m = \frac{m'_1 m'_2}{m'_1 + m'_2}$ ， $m'_1 = m_1 - \frac{K_1}{\omega^2}$ ， $m'_2 = m_2 - \frac{K_2}{\omega^2}$ ；

K_1, K_2 ——分别为作用于 m_1, m_2 的隔振弹簧总刚度，N/m，图 18-6-15a 所示系统中 $K_1 = 0$ ， $K_2 = (K_{11y} + K_{12y}) \times \sin^2 \alpha + (K_{11x} + K_{12x}) \cos^2 \alpha$ 。

设计参数见表 18-6-14。

图 18-6-16 是弹性连杆式垂直振动输送机，在弹性连杆激振力的作用下，槽体沿一定的倾斜方向作扭转振动。扭转振动的方向与导向杆相垂直。由于槽体的振动，物料将沿螺旋槽体向上运动。

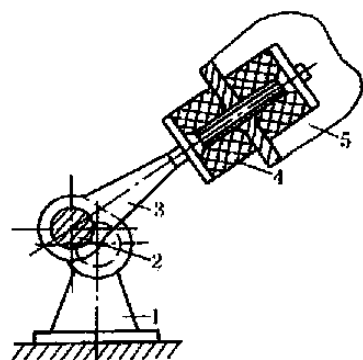


图 18-6-14 弹性连杆式激振器
1—基座；2—曲柄；3—连杆；
4—弹簧；5—工作机体

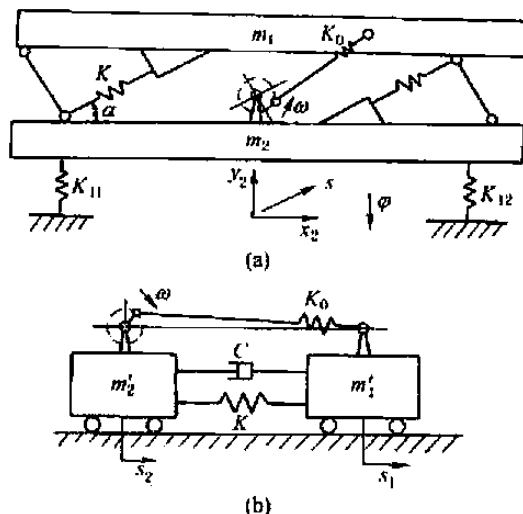


图 18-6-15 弹性连杆式振动机及主振系统的力学模型

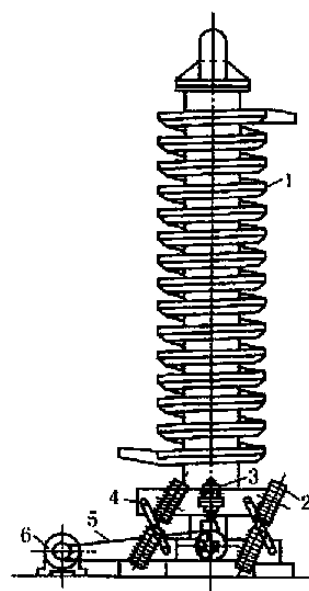


图 18-6-16 弹性连杆式垂直振动输送机
1—螺旋槽体；2—主振弹簧；
3—弹性连杆式激振器；4—导向杆；5—传动带；6—电动机

5.2.2 激振器动力参数设计

表 18-6-16

项 目	计 算 公 式	参 数 选 择
连杆受力最小条件	主振弹簧刚度 $K = m\omega^2 \quad (\text{N/m})$	当频率比 Z 按空载条件选取时， m 也按空载计算，即按 $K_m m_m = 0$ 计算
连杆弹簧刚度	$K_0 = \left(\frac{1}{Z^2} - 1\right)m\omega^2 = \left(\frac{1}{Z^2} - 1\right)K \quad (\text{N/m})$	空载 ($K_m m_m = 0$) 条件下，线性振动机取 $Z = 0.82 \sim 0.88$ ，非线性振动机取 $Z = 0.85 \sim 0.92$

续表

项 目	计 算 公 式	参 数 选 择
曲柄半径	$r = \frac{B}{\cos\alpha}$	$\alpha = \arctan \frac{2\zeta Z}{1-Z^2} \quad \zeta = 0.02 - 0.07$
名义激振力	$K_0 r = \frac{K_0 B}{\cos\alpha}$	
最大启动力矩(按静刚度计算)	线性振动机 $M_c = \frac{K_0 K r^2}{2(K_0 + K)} \quad (N \cdot m)$ 对间隙弹簧非线性振动机 $M_c = \frac{K_0 K_e r^2}{K_0 + K_e} \left(\frac{1}{2} \sin 2\varphi_m - \frac{e}{r} \cos \varphi_m \right)$ $\varphi_m = \arcsin \left[\frac{1}{4} \left(\frac{e}{r} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{e}{4r} \right)^2 + 0.5} \right]$	K_0 ——连杆弹簧刚度, N/m K ——主振弹簧刚度, N/m r ——曲柄半径, m K_e ——间隙弹簧等效线性刚度, N/m $K_e = \Delta K \left\{ 1 - \frac{4}{\pi} \left(\frac{e}{r} \right) \times \left[1 - \frac{1}{6} \left(\frac{e}{r} \right)^3 - \frac{1}{40} \left(\frac{e}{r} \right)^4 \right] \right\}$ 通常 $\left(\frac{e}{r} \right) < 0.7$ ΔK ——间隙弹簧刚度, N/m e ——间隙
电机功率	按启动力矩计算 $N_c = M_c \omega / (1000 \eta K_c) \quad (kW)$ 正常工作时的功率 $N = \frac{K_0 r^2 \omega \sin^2 \alpha}{4000 \eta} \quad (kW)$	K_c ——启动转矩系数, 考虑到 M_c 未乘安全系数, 通常取 $K_c = 1.2 - 1.5$ η ——传动效率, 通常取 $\eta = 0.9 - 0.95$ 正常工作时功率也可按表 18-6-15 计算
连杆所受最大力	启动时: $F_c = 2M_c / r \quad (N)$ 正常工作时: $F = K_0 \sqrt{B^2 + r^2} - 2B r \cos \alpha$	

5.3 主振系统的动力平衡

对于如图 18-6-13b 和图 18-6-15 所示的直线振动机, 可采用图 18-6-17 所示的动力平衡机构。两质体之间有如图 18-6-19 所示的橡胶铰链式导向杆, 整个机器通过此导向杆的中间铰链与刚性底座或弹性底座固定。工作时, 两质体绕导向杆中间摆动, 两质体运动方向相反, 惯性力方向也相反。当两质体质量相等时, 两惯性力可以获得平衡。实际上, 两质体的质量及其中的物料的质量很难完全相等, 所以, 还有一部分未平衡的惯性力传给基础。如基础能够承受, 就采用图 18-6-17a 所示刚性底座形式。如果承受不了, 还可采用图 18-6-17b 的形式, 进一步减振。

如果图 18-6-13b 和图 18-6-15a 所示的振动机是一个有弹性支座的单槽振动输送机, 采取上述动力平衡措施后, 动力特性也有相应变化, 其诱导质量和相对振幅计算公式见表 18-6-17。

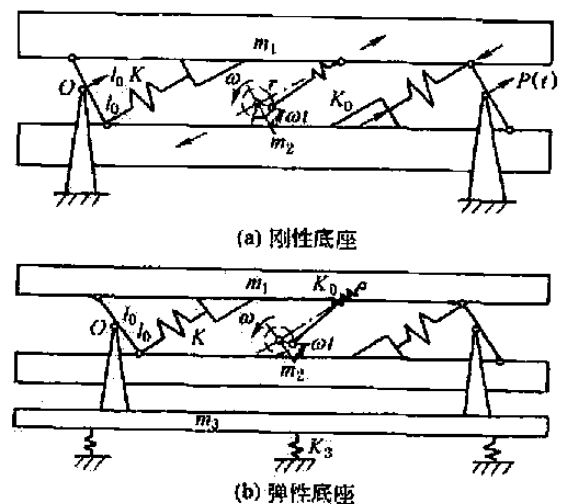


图 18-6-17 平衡式近共振类振动机

表 18-6-17

诱导质量和相对振幅计算表

振动机形式	弹性底座单槽振动输送机	双槽振动输送机	
		刚性底座	弹性底座
空载诱导质量	$m = \frac{m_1 m_2'}{m_1 + m_2'}$	$m = \frac{1}{4} (m_1 + m_2)$	$m = \frac{1}{4} \left[m_1 + m_2 - \frac{(m_1 - m_2)^2}{m_1 + m_2 - m_3'} \right]$
有载诱导质量	$m' = \frac{m_1' m_2'}{m_1' + m_2'}$	$m' = \frac{1}{4} (m_1' + m_2')$	$m' = \frac{1}{4} \left[m_1' + m_2' - \frac{(m_1' - m_2')^2}{m_1' + m_2' + m_3'} \right]$
相对振幅	$B = \frac{m_1'}{m} B_1$	$B = 2B_1 = 2B_2$	$B = \frac{2(m_1' + m_2' + m_3')}{2m_2' + m_3'} B_1$ $= \frac{2(m_1' + m_2' + m_3')}{2m_1' + m_3'} B_2$
说明	$m_2' = m_2 - \frac{K_2}{\omega^2}$	$m_1' = m_1 + K_m m_m$ $m_2' = m_2 + K_m m_m$	$m_1' = m_1 + K_m m_m$ $m_2' = m_2 + K_m m_m$ $m_3' = m_3 - \frac{K_3}{\omega^2}$

5.4 导向杆和橡胶铰链

近共振类振动机主振系统采用的导向杆常见的有两种：一种是板弹簧导向杆（图 18-6-18），可用弹簧钢板、酚醛压层板、竹片或优质木材等制成，多用于中小型振动机；另一种是橡胶铰链导向杆，多用于大中型振动机。图 18-6-19 是平衡式振动机的刚性导向杆，能承受较大负荷，在导向杆的两端和中间部位有三个孔，孔中装有如图 18-6-20 所示的橡胶铰链，橡胶铰链可以根据它所承受的扭矩和径向力按本手册第 11 篇第 16 章橡胶弹簧进行设计。

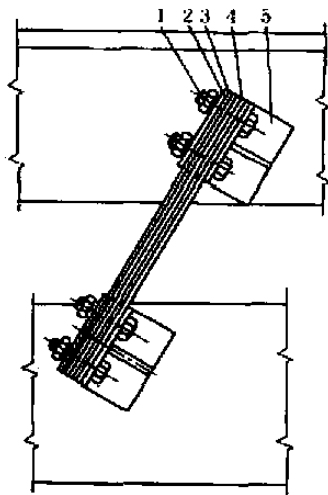


图 18-6-18 板弹簧的结构

1—紧固螺栓；2—压板；
3—板弹簧；4—垫片；5—支座

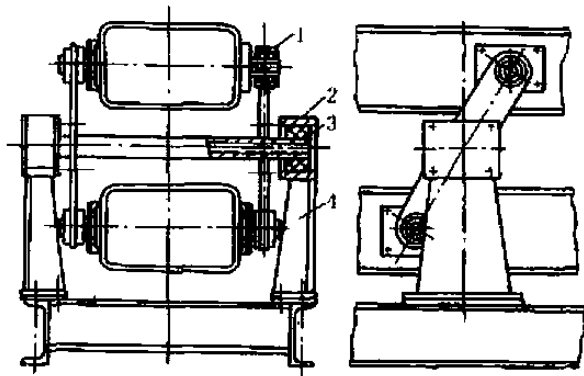


图 18-6-19 平衡式振动输送机的橡胶铰链式导向杆

1—两端橡胶铰链；2—滑块；3—中间橡胶铰链；4—支座

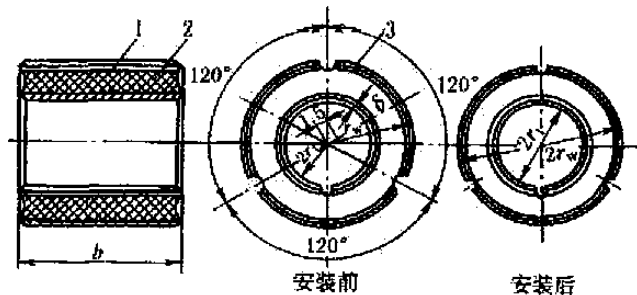


图 18-6-20 橡胶铰链结构

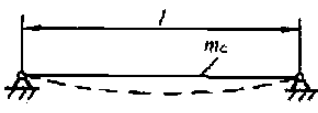
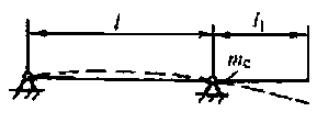
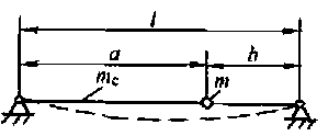
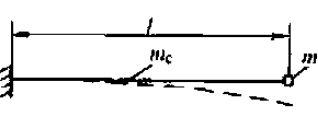
1—橡胶圈；2—内环；3—外环

5.5 振动输送类振动机整体刚度和局部刚度的计算

槽体的刚度计算是一项重要的工作。计算槽体的刚度，实际上是计算槽体横向振动的固有角频率。槽体横向振动固有角频率与工作频率一致时，就会使槽体的弯曲振动显著增大。更严重的是，当出现较大弯曲振动时，会使它的振幅和振动方向角发生明显变化；在槽体不同位置上物料平均输送速度有显著差异；某些部位物料急剧跳动，物料快速向前运动；另一些部位，物料仅轻微滑动，有时甚至会出现反方向运动，使机器难以正常工作。因此，在设计与调试时，必须避免槽体各阶弯曲振动的固有角频率与工作频率相接近。

各段槽体固有角频率按表 18-6-18 公式计算。通过对各段槽体固有角频率的计算，可以确定较为合理的支承点间距 l 。支承点间距越小，固有角频率越高。因此，支承点间距要根据振动输送机工作频率高低及机器大小在 2.5m 的范围内进行选择。工作频率越高，支承点间距 l 越小；机器越小，即断面惯性矩 J_s 也越小，支承点间距 l 也应越小。通常振动强度 $K=4\sim6$ 及小型机器时， $l < 1m$ ；振动强度 $K < 4$ 及大机器时， $l = 1\sim2.5m$ ；当支承点间有集中载荷时，应取较小值。

表 18-6-18 振动输送槽体段的固有角频率

典型模型	固有角频率 / rad · s ⁻¹	适用范围
	$\omega_{n1} = \left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EJ_s}{m_c}} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$	振动输送机导向杆之间的各段槽体
	$\omega_{n1} = \left(\frac{a_1}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EJ_s}{m_c}}$	振动输送机两端槽体段，系数 a_1 参见表 18-6-19
	$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{3EJ_s}{(m/l + 0.49m_c)a^2b^2}}$	振动输送机安装有传动部或给料口、排料口的槽体段。集中力为相应部分质量的惯性力
	$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{3EJ_s}{(m/l + 0.24m_c)l^4}}$	振动输送机两端有给料口或排料口槽体段

注： J_s —槽体的截面惯性矩，m⁴； m —集中质量，kg； m_c —分布质量，kg/m； l —两支承的距离或悬臂长度，m； l_1 —外伸端长度，m； a, b —集中质量与两端的距离。

表 18-6-19 系数 a_1

l_0/l	1	0.75	0.5	0.33	0.2
a_1	1.5	1.9	2.5	2.9	3.1

弹簧隔振双质体振动输送机总体出现弹性弯曲振动的固有角频率：

$$\omega_{n1} = \sqrt{\left[\left(\frac{4.73}{l}\right)^4 E \sum J_1 + \sum K_1\right] \frac{1}{\sum m_1}}$$

$$\omega_{n2} = \sqrt{\left[\left(\frac{7.853}{l}\right)^4 E \sum J_1 + \sum K_1\right] \frac{1}{\sum m_1}}$$

$$\omega_{n3} = \sqrt{\left[\left(\frac{10.996}{l}\right)^4 E \sum J_1 + \sum K_1\right] \frac{1}{\sum m_1}}$$

(18-6-31)

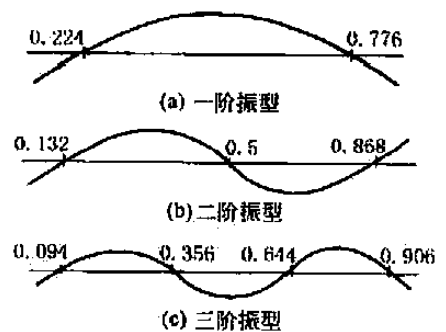


图 18-6-21 振动输送机的弯曲振动的振型

式中 l ——输送机长度, m;

ΣJ_1 ——弯曲振动方向上总截面惯性矩, m^4 ;

Σm_1 ——单位长度上的总质量, kg;

ΣK_1 ——槽体单位长度上所安装的隔振弹簧刚度, N/m。

各阶固有角频率对应的振型如图 18-6-21 所示。

槽体出现弹性弯曲时, 主要的调试方法是改变隔振弹簧刚度和支承点, 或增减配重, 使工作频率避开固有圆频率。

5.6 近共振类振动机工作点的调试

借助测试, 可以了解近共振振动机的固有角频率, 确定怎样调试, 向哪个方向调试。因此, 设计时应考虑调试方法: ①弹簧数目较多时, 可通过改变刚度方法调试工作点; ②弹簧数量少时, 主要是通过增减配重来进行调试, 设计时应留有增减配重的装置; ③当激振器采用带传动时, 可以适当修改传动带轮直径, 改变工作转速可调节频率比, 但改变不能太大, 以免影响机械的工作性能; ④弹性连杆激振器可通过改变连杆弹簧的预压量来改变总体刚度。

5.7 间隙非线性弹簧设计

带有间隙分段线性的非线性弹簧在振动机中的配置如图 18-6-22 所示。根据振动机要求, 可按主振系统线性刚度计算公式求出其等效刚度 K_e 。然后按下式求得非线性弹簧刚度:

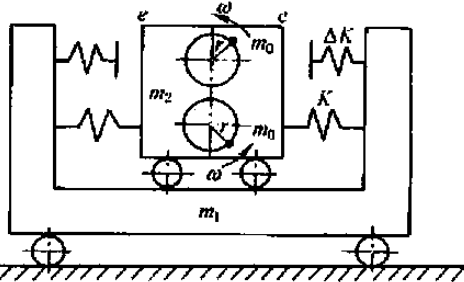


图 18-6-22 带有间隙非线性弹簧的惯性共振式振动机力学模型

$$\Delta K = \frac{K_e - K}{1 - \frac{\pi}{4} \left(\frac{e}{B} \right) \left[1 - \frac{1}{6} \left(\frac{e}{B} \right)^2 - \frac{1}{40} \left(\frac{e}{B} \right)^4 \right]} \quad (18-6-32)$$

式中 K ——主振弹簧中线性弹簧刚度, $K \ll \Delta K$, 只要主振系统允许浮动, K 可取为零;

$\left(\frac{e}{B} \right)$ ——隙幅比, 通常 $\left(\frac{e}{B} \right) = 0.3 - 0.5$, e 为弹簧的平均间隙, B 为振动机振幅。

6 振动机械动力参数设计示例

6.1 远超共振惯性振动机动力参数设计示例

已知某自同步振动给料机 (图 18-6-9), 振动质体的总质量为 740kg, 转速 $n = 930 \text{ r/min}$, 振幅 $B = 5 \text{ mm}$, 物料呈抛掷运动状态, 给料量 $Q = 220 \text{ t/h}$, 物料平均输送速度 $v_m = 0.308 \text{ m/s}$, 槽体长 $L = 1.5 \text{ m}$, 振动方向角 $\delta = 30^\circ$, 槽体倾角 $\alpha = 0^\circ$, 设计其动力参数。

(1) 隔振弹簧刚度

查表 18-6-2 取隔振系统频率比 $Z = 4$, 系统振动的圆频率:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \times 930}{30} = 97.4 \text{ rad/s}$$

隔振弹簧总刚度:

$$\Sigma K = \frac{1}{Z^2} m \omega^2 = \frac{1}{4^2} \times \frac{740}{1000} \times 97.4^2 = 438.7 \text{ kN/m}$$

取 $\Sigma K = 440 \text{ kN/m}$, 采用四只悬吊弹簧, 则每只弹簧刚度:

$$K = \frac{\Sigma K}{4} = \frac{440}{4} = 110 \text{ kN/m}$$

(2) 参振质量

根据式(18-6-8),

$$D = \frac{B\omega^2 \sin\delta}{g \cos\alpha} = \frac{0.005 \times 97.4^2 \sin 30^\circ}{9.8 \times \cos 0^\circ} = 2.42$$

由表 18-6-8 插入法查得 $K_m = 0.12$, 再根据式(18-6-15)

$$m_m = \frac{QL}{3600v_m} = \frac{220 \times 1000 \times 1.5}{3600 \times 0.308} = 292 \text{ kg}$$

参振质量:

$$m = m_p + K_m m_m = 740 + 0.12 \times 292 = 775 \text{ kg}$$

(3) 等效阻尼系数

$$C = 0.14m\omega = 0.14 \times \frac{775}{1000} \times 97.4 = 10.57 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$$

(4) 激振力幅值和偏心质量矩

按图 18-6-9, 折算到 s 方向上的弹簧刚度:

$$K_s = \Sigma K \sin^2 \delta = 440 \times \sin^2 30^\circ = 110 \text{ kN/m}$$

相位差角:

$$\alpha = \arctan \frac{C\omega}{K_s - m\omega^2} = \arctan \frac{10.57 \times 97.4}{110 - 0.775 \times 97.4^2} = 172^\circ$$

激振力幅值:

$$P = \Sigma m_0 r \omega^2 = \frac{1}{\cos\alpha} (K_s - m\omega^2) B = \frac{1}{\cos 172^\circ} (110 - 0.775 \times 97.4^2) \times 0.005 = 36.57 \text{ kN}$$

因采用双轴自同步激振器, 每一激振器的激振力为 18.28 kN, 每一激振器采用四片偏心块, 每片偏心块的质量矩

$$m_0 r = \frac{18.28 \times 1000}{4 \times 97.4^2} = 0.48 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

(5) 电机功率

振动阻尼所消耗的功率:

$$N_z = \frac{0.14}{2000} m \omega^3 B^2 = \frac{0.14}{2000} \times 775 \times 97.4^3 \times 0.005^2 = 1.25 \text{ kW}$$

轴承摩擦所消耗的功率:

取轴承中径 $d_1 = 0.05 \text{ m}$, $f_d = 0.007$, 则

$$N_f = \frac{1}{2000} f_d P \omega d_1 = \frac{1}{2000} \times 0.007 \times 36570 \times 97.4 \times 0.05 = 0.62 \text{ kW}$$

总功率: 取 $\eta = 0.95$, 则

$$N = \frac{1}{\eta} (N_z + N_f) = \frac{1}{0.95} (1.25 + 0.62) = 1.97 \text{ kW}$$

选用两台振动电机以自同步形式作为激振器, 根据激振力、激振频率、功率要求, 选取两台 YZO-18-6 型振动电机, 激振力为 $20 \times 2 = 40 \text{ kN}$, 激振频率为 950 r/min , 功率为 $1.5 \times 2 = 3 \text{ kW}$, 满足设计要求。

(6) 传给基础的动载荷

按表 18-6-12 说明, 因是悬挂弹簧,

$$F_y = \Sigma KB \sin\delta = 438.7 \times 0.005 \times \sin 30^\circ = 1.1 \text{ kN}$$

6.2 惯性共振式振动机动力参数设计示例

某非线性振动共振筛，力学模型如图 18-6-13b 所示，但机体与水平成 5° 倾角安装（图中右端低），主振弹簧 K 采用图 18-6-22 形式，其筛体质量 $m_1 = 835\text{kg}$ ，振动方向角 $\delta = 45^\circ$ ，转速 $n = 800\text{r/min}$ ，振幅 $B_1 = 6.5\text{mm}$ ，机体内的平均物料量 $m_m = 750\text{kg}$ ，试进行其动力参数设计。

(1) 预估参振质量

振动机械设计中的主要困难就是未知量太多，首先遇到的问题是参振质量，甚至 m_1 、 m_2 全未知， m_m 可从运动学参数设计中确定。 m_1 可根据机体尺寸、振动参数、结构强度预估为 $m_1 = 835\text{kg}$ ， m_2 受到主振弹簧允许变形量的限制，预估 $m_2/m_1 = 0.7$ ， $m_2 = 0.7m_1 = 0.7 \times 835 = 584.5\text{kg}$ 。

(2) 隔振弹簧刚度

选取隔振弹簧 K_1 （图 18-6-13b 中的 K_{11} 、 K_{12} ）的频率比 $Z_0 = 3.2$ 。以下按表 18-6-14 计算。

激振角频率 $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \times 800}{30} = 83.78\text{rad/s}$ ，隔振弹簧总刚度为：

$$\Sigma K_1 = \frac{1}{Z_0^2} (m_1 + m_2) \omega^2 = \frac{1}{3.2^2} \times (835 + 584.5) \times 83.78^2 = 972.9 \times 10^3 \text{N/m} = 972.9 \text{kN/m}$$

隔振弹簧采用四角均匀布置，每角 2 只弹簧，一只弹簧的刚度为：

$$K_1 = \frac{\Sigma K_1}{8} = \frac{972.9}{8} = 121.6 \text{kN/m}$$

(3) 诱导质量

由于 $D = \frac{B_1 \omega^2 \sin \delta}{g \cos \alpha} = \frac{0.0065 \times 83.78^2 \times \sin 45^\circ}{9.8 \times \cos 5^\circ} = 3.3$ ，从表 18-6-8 查得 $K_m \approx 0$ ，为安全起见，取 $K_m = 0.01$ 。

筛体的折算质量：

$$m'_1 = m_1 + K_m m_m - \frac{\Sigma K_1}{\omega^2} = 835 + 0.01 \times 750 - \frac{972.9 \times 10^3}{83.78^2} = 704 \text{kg}$$

诱导质量：

$$m = \frac{m'_1 m_2}{m'_1 + m_2} = \frac{704 \times 584.5}{704 + 584.5} = 319 \text{kg}$$

(4) 主振弹簧刚度

选取频率比 $Z = 0.9$ ，则

$$K_e = \frac{1}{Z^2} m \omega^2 = \frac{1}{0.9^2} \times \frac{319 \times 83.78^2}{1000} = 2764 \text{kN/m}$$

如果主振弹簧为分段线性弹簧，选取 $\frac{e}{B} = 0.4$ ，软特性弹簧 $K = 600\text{kN/m}$ ，即采用 6 只刚度为 100kN/m 的弹簧连接两个质体（如图 18-6-21），则硬弹簧刚度按式 (18-6-32) 计算：

$$\begin{aligned} \Delta K &= \frac{K_e - K}{1 - \frac{\pi}{4} \left(\frac{e}{B} \right) \left[1 - \frac{1}{6} \left(\frac{e}{B} \right)^2 - \frac{1}{40} \left(\frac{e}{B} \right)^4 \right]} \\ &= \frac{2764 - 600}{1 - \frac{\pi}{4} \times 0.4 \times \left(1 - \frac{1}{6} \times 0.4^2 - \frac{1}{40} \times 0.4^4 \right)} = 3116 \text{kN/m} \end{aligned}$$

当硬弹簧采用 3 只并联弹簧时，则 1 只弹簧刚度

$$\Delta K' = \frac{\Delta K}{3} = \frac{3116}{3} = 1038 \text{kN/m}$$

(5) 相位差角

选取阻尼比 $\zeta = 0.05$, 则

$$\alpha = \arctan \frac{2\zeta Z}{1-Z^2} = \arctan \frac{2 \times 0.05 \times 0.9}{1-0.9^2} = 25.3^\circ$$

(6) 相对振幅

由于已知 B_1 , 查表 18-6-14, $K = \frac{1}{Z^2} m \omega^2$ 及 $B_1 = \frac{KB}{m_1 \omega^2}$ 可得

$$B = \frac{m_1' Z^2}{m} B_1 = \frac{704 \times 0.9^2}{319} \times 0.0065 = 0.0116m$$

$$B_2 = B_1 - B = 0.0065 - 0.0116 = -0.0051m$$

(7) 偏心质量矩

$$\sum m_0 r = \frac{m_2 B (1-Z^2)}{Z^2 \cos \alpha} = \frac{584.5 \times 0.0116 \times (1-0.9^2)}{0.9^2 \times \cos 25.3^\circ} = 1.76 \text{ kg} \cdot m$$

(8) 激振力幅

$$\sum m_0 r \omega^2 = 1.76 \times 83.78^2 = 12354 \text{ N}$$

(9) 电机功率

振动阻尼所消耗的功率: $C = 2\zeta m \frac{\omega}{Z} = 2 \times 0.05 \times m \omega / 0.9 = 0.11 m \omega$

$$\begin{aligned} N_z &= \frac{1}{2000} C \omega^2 B^2 = \frac{0.11}{2000} m \omega^3 B^2 \\ &= \frac{0.11}{2000} \times 319 \times 83.78^3 \times 0.0116^2 = 1.39 \text{ kW} \end{aligned}$$

轴承摩擦所消耗的功率取: $N_f = 0.8 N_z$

总功率: $N = \frac{1}{\eta} (N_z + N_f) = \frac{1}{0.95} (1.39 + 0.8 \times 1.39) = 2.63 \text{ kW}$

选用一台 3kW 的电机。

(10) 传给基础的动载荷

$$F_T = \sum K_1 B_1 \sin(\delta - \alpha) = 972.9 \times 0.0051 \times \sin(45^\circ - 5^\circ) = 3.2 \text{ kN}$$

振动机械的设计过程大致可分为这样几个阶段。首先在预估参振质量 m_1 的条件下, 协调好 m_1 、 m_2 、主振弹簧 K 、绝对振幅 B_1 、相对振幅 B 之间的关系, 然后进行主振弹簧、隔振弹簧设计, 激振器设计, 初步设计告一段落。设计的第二阶段为绘制设计草图, 计算出参振机体的质量 m_1 、转动惯量 I_1 、质心位置 O_1 , 第二阶段主要是结构设计阶段。第三阶段为精确设计计算阶段, 这一阶段, 根据精确质量 m_1 、 I_1 协调各动力参数关系, 再重新校核各零件的设计参数, 最终设计参数被确定。

6.3 弹性连杆式振动机动力参数设计示例

如图 18-6-17 所示的平衡式弹性连杆式振动输送机, 经过初步设计之后, 确定上槽体质量 $m_1 = 1838 \text{ kg}$, 下槽体质量 $m_2 = 2150 \text{ kg}$, 两槽体中的平均物料量均为 $m_m = 1600 \text{ kg}$, 底架质量 $m_3 = 6130 \text{ kg}$, 该输送机振动方向角 $\delta = 30^\circ$, 水平布置, 转速 $n = 600 \text{ r/min}$ ($\omega = 62.8 \text{ rad/s}$), 振动槽体的振幅 $A_1 = -A_2 = 7 \text{ mm}$ 。试设计其动力学参数。

(1) 隔振弹簧刚度 (按表 18-6-14)

选取隔振频率比 $Z_0 = 3$, 则

$$\sum K_3 = \frac{1}{Z_0^2} (m_1 + m_2 + m_3) \omega^2 = \frac{1}{3^2} \times \frac{1838 + 2150 + 6130}{1000} \times 62.8^2 = 4434 \text{ kN/m}$$

(2) 诱导质量

由于 $D = \frac{B_1 \omega^2 \sin \delta}{g \cos \alpha} = \frac{0.007 \times 62.8 \times \sin 30^\circ}{9.8 \times \cos 0^\circ} = 1.4$, 从表 18-6-8 可推得 $K_m = 0.25$, 所以

$$m'_1 = m_1 + K_m m_m = 1838 + 0.25 \times 1600 = 2238 \text{ kg}$$

$$m'_2 = m_2 + K_m m_m = 2150 + 0.25 \times 1600 = 2550 \text{ kg}$$

$$m'_3 = m_3 - \frac{\sum K_3}{\omega^2} = 6130 - \frac{4434 \times 10^3}{62.8^2} = 5008 \text{ kg}$$

空载诱导质量 (表 18-6-17):

$$m = \frac{1}{4} \left[m_1 + m_2 - \frac{(m_1 - m_2)^2}{m_1 + m_2 + m'_3} \right] = \frac{1}{4} \times \left[1838 + 2150 - \frac{(1838 - 2150)^2}{1838 + 2150 + 5008} \right] = 994 \text{ kg}$$

有载诱导质量 (表 18-6-17):

$$m' = \frac{1}{4} \left[m'_1 + m'_2 - \frac{(m'_1 - m'_2)^2}{m'_1 + m'_2 + m'_3} \right] = \frac{1}{4} \times \left[2238 + 2550 - \frac{(2238 - 2550)^2}{2238 + 2550 + 5008} \right] = 1194 \text{ kg}$$

(3) 主振弹簧刚度 (表 18-6-14)

$$K = m' \omega^2 = \frac{1194 \times 62.8^2}{1000} = 4708 \text{ kN/m}$$

(4) 连杆弹簧刚度 (表 18-6-14)

取 $Z = 0.85$, 则

$$K_0 = \left(\frac{1}{Z^2} - 1 \right) m' \omega^2 = \left(\frac{1}{0.85^2} - 1 \right) \times \frac{1194}{1000} \times 62.8^2 = 1808 \text{ kN/m}$$

(5) 相对振幅和相位差角

根据表 18-6-17 平衡式振动输送机振幅关系可求得:

$$B = B_1 + B_2 = 0.007 + 0.007 = 0.014 \text{ m}$$

当阻尼比取 $\zeta = 0.07$ 时, 相位差角 (表 18-6-14)

$$\alpha = \arctan \frac{2\zeta Z}{1 - Z^2} = \arctan \frac{2 \times 0.07 \times 0.85}{1 - 0.85^2} = 23.2^\circ$$

(6) 曲柄半径 (表 18-6-16)

$$r = \frac{B}{\cos \alpha} = \frac{0.014}{\cos 23.2^\circ} = 0.0145 \text{ m}$$

(7) 名义激振力 (表 18-6-16)

$$K_0 r = 1808 \times 0.0145 = 26.2 \text{ kN}$$

(8) 所需功率 (表 18-6-16)

最大启动力矩:

$$M_c = \frac{K_0 K r^2}{2(K_0 + K)} = \frac{1808 \times 4708 \times 0.0145^2}{2 \times (1808 + 4708)} = 0.14 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

按启动力矩计算电机功率: 取 $\eta = 0.95$, $K_c = 1.3$

$$N_c = \frac{M_c \omega}{\eta K_c} = \frac{0.14 \times 62.8}{0.95 \times 1.3} = 7.12 \text{ kW}$$

正常工作时的电机功率:

$$N = \frac{K_0 r^2 \omega \sin 2\alpha}{4\eta} = \frac{1808 \times 0.0145^2 \times 62.8 \times \sin(23.2 \times 2)}{4 \times 0.95} = 4.55 \text{ kW}$$

选用 Y160M-6 型电动机, 功率为 7.5kW, 转速 $n = 970 \text{ r/min}$ 。

(9) 传给基础的动载荷

底架 m_3 的振幅按下式近似计算:

$$B_3 = \left| \frac{B}{2} \times \frac{m'_1 - m'_2}{m'_1 + m'_2 + m'_3} \right| = \left| \frac{0.0145 \times (2238 - 2550)}{2 \times (2238 + 2550 + 5008)} \right| = 2.3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

当隔振弹簧按照 $\Sigma K_3 = 4434 \text{ kN/m}$ 设计时, 隔振弹簧沿 y 方向和 x 方向的刚度分别为 $\Sigma K_y = 4434 \text{ kN/m}$, $\Sigma K_x = 2306 \text{ kN/m}$ 。

沿 y 方向传给基础的动载荷:

$$F_{Ty} = \Sigma K_y B_3 \sin \delta = 4434 \times 2.3 \times 10^{-4} \times \sin 30^\circ = 0.51 \text{ kN}$$

沿 x 方向传给基础的动载荷:

$$F_{Tx} = \Sigma K_x B_3 \cos \delta = 2306 \times 2.3 \times 10^{-4} \times \cos 30^\circ = 0.46 \text{ kN}$$

7 主要零部件

7.1 振动源电机

已有部颁标准, 但各厂家生产的产品都有自己的型号。并且, 由于厂家可以根据用户的要求设计与制造振动电机, 又给以一个号, 所以号码较多。有单相的 (电压为 220V、380V), 有三相的, 有半波整流的。一般的使用条件: 环境温度不超过 40°C ; 海拔不超过 1000m ; 源电压 380V; 频率 50Hz; 绝缘等级 B 级。部分厂家生产振动源电机范围见表 18-6-20, ZG 型振动电机和 VBB、VB、VLB 系列振动电机的技术参数及安装尺寸见表 18-6-21 ~ 表 18-6-24。

表 18-6-20

部分厂家生产振动源电机范围

型号	功率/kW	激振力/kN	重量/kg	生产厂家
ZG	0.1 ~ 4.5	0.1 ~ 0.6	30 ~ 427	江苏海安市恒业机电制造有限公司
WXZG 微型	0.095 ~ 0.125	1 ~ 2		
YZO-卧式	0.15 ~ 5.5	1.5 ~ 75	19 ~ 370	河南威猛振动设备股份有限公司
YZO-立式	0.4 ~ 7.5	5 ~ 100	40 ~ 635	河南威猛振动设备股份有限公司
YZU-系列	0.15 ~ 7.5	0.55 ~ 17.2	12 ~ 430	河南新乡市三田电机有限公司
YZUL-立式	0.25 ~ 22	3 ~ 30		
TZD-系列	0.15 ~ 10	1.5 ~ 125	19 ~ 830	河南太行振动机械厂
TZD-C(双轴伸型)	0.07 ~ 7.5	0.7 ~ 100	14 ~ 635	
T 系列	0.25 ~ 3	1.35 ~ 45.1	19 ~ 184	新乡新兰贝克振动电机有限公司
XVM-A 系列通用型	0.15 ~ 14	0.7 ~ 160	12 ~ 610	
XMV 系列通用型	0.15 ~ 14	0.7 ~ 180	12 ~ 780	
XVML 立式系列	0.1 ~ 7.5	2.5 ~ 100	20 ~ 510	
VB 系列	0.2 ~ 15	3 ~ 200	20 ~ 950	湖北省钟祥市新宇机电制造有限公司(原钟祥电机厂)
VBB 系列(隔爆型)	0.5 ~ 7.5	5 ~ 100	45 ~ 500	
VLB 系列	1.1 ~ 2.2	20 ~ 35	175 ~ 205	

表 18-6-21

ZG 型振动电机 (两极) 技术参数

型号	振次/min ⁻¹	额定激振力/kN	额定功率/kW	额定电流/A	机脚孔尺寸/mm	标记
ZG201	2900	1	0.09	0.32	75 × 100(宽)	Z G x x — 激振力, kN — 电机极数 — 惯性 — 振动物
ZG202		2	0.18	0.59	75 × 100(宽)	
ZG203		3	0.25	0.78	205 × 165(宽)	
ZG205		5	0.37	1.1	205 × 165(宽)	
ZG210		10	0.75	1.96	205 × 165(宽)	
ZG220		20	1.5	3.67	140 × 190(宽)	
ZG230		30	2.2	5.10	140 × 190(宽)	
ZG250		50	3.7	8.43	205 × 310(宽)	
ZG263		63	4.5	10.31	205 × 310(宽)	

注: 生产厂家为江苏海安市恒业机电制造有限公司。

表 18-6-22

ZG 型振动电机 (四极) 技术参数

型号	激振力/kN	额定功率/kW	额定电流/A	振动频率 /min ⁻¹	效率/%	功率因数	重量/kg
ZG402	0~2	0.1	0.4	1450	65.94	0.667	30
ZG405	0~5	0.25	0.73	1450	70.24	0.752	46
ZG410	0~10	0.55	1.53	1450	75.02	0.728	81
ZG415	0~15	0.75	1.95	1450	76.77	0.760	90
ZG420	0~20	1.1	2.71	1450	76.85	0.801	129
ZG432	0~32	1.5	3.15	1450	79.13	0.819	145
ZG440	0~40	2.2	5.19	1450	78.48	0.815	234
ZG450	0~50	3.0	6.82	1450	80.68	0.822	245
ZG609	0~9	0.55	1.66	960	76.0	0.662	84
ZG612	0~12	0.75	2.14	960	77.5	0.684	94
ZG618	0~18	1.1	2.97	960	78.6	0.715	141
ZG625	0~25	1.5	3.84	960	80.0	0.740	159
ZG636	0~36	2.2	5.55	960	80.9	0.747	249.5
ZG645	0~45	3.0	7.82	960	82.6	0.756	268
ZG660	0~60	4.0	9.56	960	82.2	0.762	427
ZG820	0~20	1.5	4.36	725	80.0	0.652	185
ZG830	0~30	2.2	6.16	725	81.1	0.667	279
ZG840	0~40	3.0	8.25	725	80.0	0.700	310

注: 生产厂家为江苏海安市恒业机电制造有限公司。

ZG 型振动电机 (四极) 安装尺寸

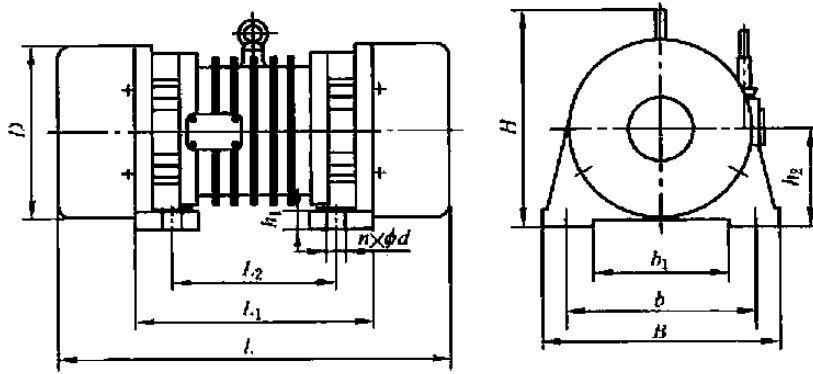


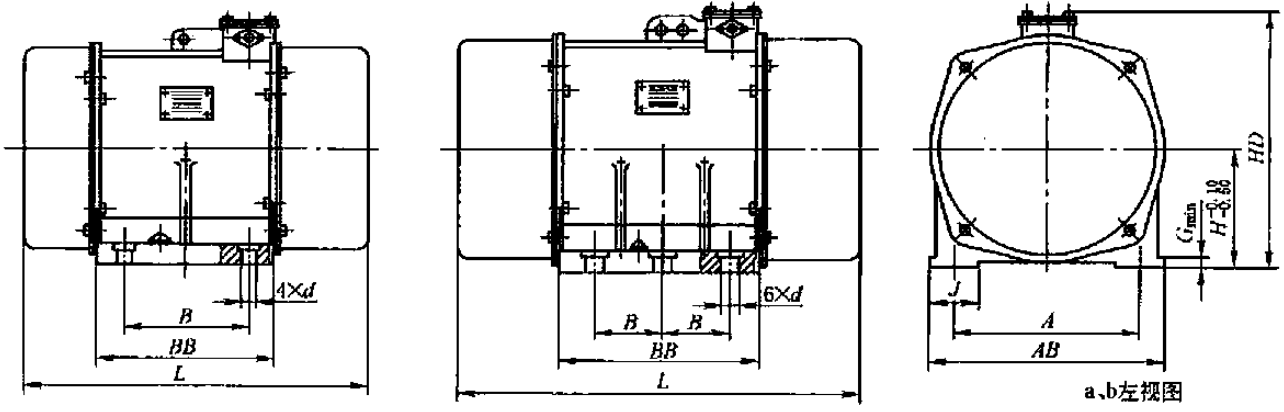
表 18-6-23

mm

型号	L	B	H	L_1	L_2	b	b_1	h_1	h_2	D	$n \times \phi d$
ZG402	348	210	212	176	130	170	110	18	90	160	4 × 18
ZG405	368	240	240	190	140	190	120	18	105	190	4 × 18
ZG410	470	320	303	296	200	260	180	27	140	250	4 × 26
ZG415	490	320	303	316	220	260	180	27	140	250	4 × 26
ZG420	537	380	365	333	205	310	210	32	165	303	4 × 32
ZG432	550	380	365	346	218	310	210	32	165	303	4 × 32
ZG440	618	450	430	371	227	350	230	45	195	359	4 × 44
ZG450	643	450	430	396	252	350	230	45	195	359	4 × 44
ZG609	480	320	303	296	200	260	180	27	140	250	4 × 26
ZG612	536	320	303	316	220	260	180	27	140	250	4 × 26
ZG618	537	380	365	333	205	310	210	32	165	303	4 × 32
ZG625	596	380	365	346	218	310	210	32	165	303	4 × 32
ZG636	617	450	430	379	227	350	230	45	195	359	4 × 44
ZG645	676	450	430	404	252	350	230	45	195	359	4 × 44
ZG660	796	560	512	472	276	430	280	45	240	440	4 × 50
ZG820	688	380	365	376	248	310	210	32	165	303	4 × 32
ZG830	724	450	430	404	252	350	230	45	195	359	4 × 44
ZG840	786	450	430	414	262	350	230	45	195	359	4 × 44

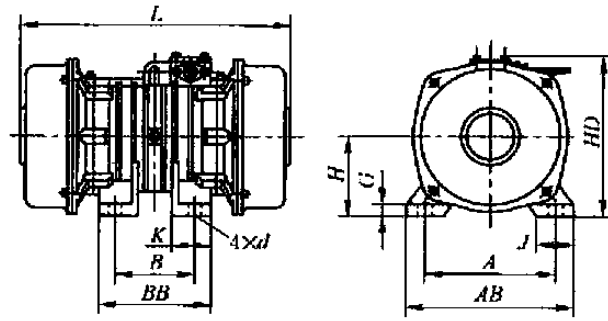
注：具体安装设计时应与厂方联系，下同。

VBB、VB、VLB 系列振动电机技术参数及安装尺寸

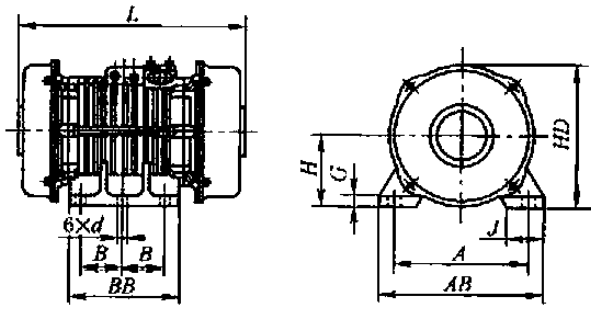


(a)

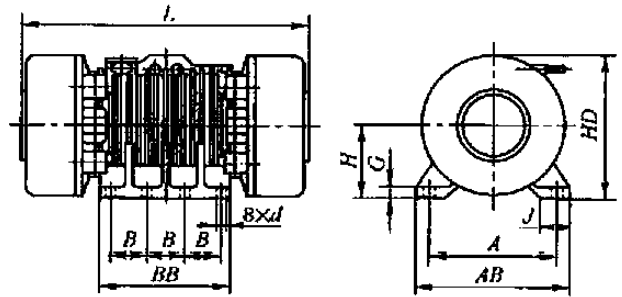
(b)



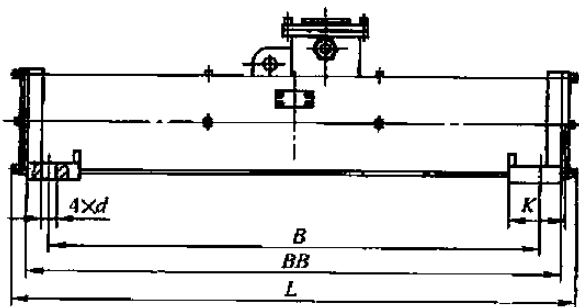
(c)



(d)



(e)



(f)

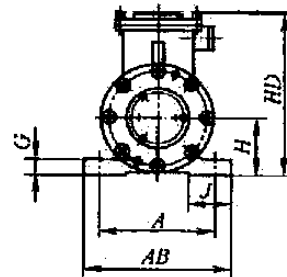


表 18-6-24

类别	相极	型号	最大 激振力/N	转速 /r·min ⁻¹	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	安装尺寸/mm										安装 螺栓 尺寸	重量 /kg	外形 图	
							A	AB	J	B	BB	L	G	H	HD	d				
VBB 系列 隔爆型	3 相 2 极	VBB-552-W	5000	2875	0.5	1.39	170	200	50	100	225	385	14	100	275	14	M12	45	图 a	
		VBB-10102-W	10000	2880	1.0	2.34	200	250	60	110	255	465	16	123	310	22	M20	66	图 a	
		VBB-20202-W	20000	2860	2.0	4.48	260	320	70	180	315	540	24	160	370	26	M24	140	图 a	
		VBB-40302-W	40000	2870	3.0	6.2	280	360	100	180	415	655	33	160	370	38	M36	160	图 a	
	3 相 4 极	VBB-534-W	5000	1430	0.25	0.76	170	200	50	100	225	415	14	100	275	14	M12	46	图 a	
		VBB-1054-W	10000	1445	0.5	1.35	200	250	60	110	235	465	16	123	310	22	M20	66	图 a	
		VBB-20114-W	20000	1430	1.1	2.73	220	270	60	160	295	520	22	140	340	26	M24	110	图 a	
		VBB-32154-W	31500	1450	1.5	3.74	260	320	70	180	315	570	24	160	370	26	M24	133	图 a	
		VBB-52234-W	50000	1450	2.25	5.34	350	430	100	220	363	650	30	190	430	38	M36	210	图 a	
		VBB-75374-W	75000	1455	3.7	8.34	380	460	105	125	385	700	34	210	445	38	M36	350	图 b	
		VBB-84554-W	84000	1450	5.5	11.52	380	460	105	135	465	800	34	210	445	38	M36	370	图 b	
	VBB-100754-W	100000	1460	7.5	15.72	440	530	125	160	525	860	35	215	470	44	M42	500	图 b		
	3 相 6 极	VBB-326-W	3000	950	0.2	0.81	170	200	50	100	225	440	14	100	275	14	M12	48	图 a	
		VBB-546-W	5000	955	0.38	1.24	200	250	60	110	235	485	16	123	310	22	M20	66	图 a	
		VBB-1076-W	10000	960	0.7	2.12	220	270	60	160	295	530	22	140	340	26	M24	99	图 a	
		VBB-20156-W	20000	965	1.52	3.96	260	320	70	180	315	595	24	160	370	26	M24	137	图 a	
		VBB-32246-W	31500	965	2.4	5.96	350	400	100	140	255	520	28	190	430	26	M24	185	图 a	
		VBB-45306-W	45000	975	3.0	7.41	350	430	100	220	363	700	30	190	430	38	M36	275	图 a	
		VBB-60376-W	60000	975	3.7	9.02	350	430	100	220	363	770	30	190	430	38	M36	310	图 a	
		VBB-80556-W	80000	970	5.5	12.1	440	530	125	125	445	840	35	215	470	44	M42	390	图 b	
	VBB-100756-W	100000	980	7.5	16.47	440	530	125	160	525	1000	35	215	470	44	M42	500	图 b		
VB 系列	3 相 2 极	VB-322-W	3000	2600	0.20	0.55	160	90	—	50	190	130	325	14	70	180	14	M12	20	图 c
		VB-552-W	5000	2875	0.50	1.39	170	120	—	55	220	170	370	16	85	202	18	M16	31	图 c
		VB-10102-W	10000	2880	1.0	2.35	200	140	75	60	250	220	445	18	105	240	22	M20	54	图 c
		VB-20202-W	20000	2850	2.0	4.52	260	200	—	70	320	290	520	22	140	300	26	M24	105	图 c
		VB-40302-W	40000	2870	3.0	6.20	350	220	—	100	430	320	560	33	185	355	39	M36	150	图 c
	3 相 4 极	VB-314-W	2500	1400	0.12	0.57	160	100	55	40	190	150	295	12	92	212	14	M12	28	图 c
		VB-534-W	5000	1400	0.25	1.02	180	110	—	65	220	140	310	15	112	253	14	M12	48	图 c
		VB-634-W	6000	1450	0.30	0.93	200	110	—	60	250	160	340	16	112	240	18	M16	43	图 c
		VB-1054-W	10000	1420	0.50	1.51	220	110	—	60	270	160	380	18	123	264	22	M20	58	图 c
		VB-1264-W	12000	1440	0.60	1.82	220	145	65	60	270	195	415	18	123	258	22	M20	59	图 c

续表

类别	相极	型号	最大 激振 力/N	转速 /r· min ⁻¹	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	安装尺寸/mm										安装 螺栓 尺寸	重量 /kg	外形 图		
							A	B	K	J	AB	BB	L	G	H	HD				d	
VB 系列	3 相 4 极	VB-16144-W	16000	1440	1.40	3.41	290	280	60	78	340	340	500	52	145	295	27	M24	90	图 c	
		VB-20114-W	20000	1430	1.10	2.75	220	160	75	60	270	220	495	22	140	282	26	M24	80	图 c	
		VB-21164-W	21000	1440	1.60	3.82	290	280	60	78	340	340	500	52	145	295	27	M24	100	图 c	
		VB-32154-W	31500	1450	1.50	3.76	260	180	80	70	320	240	545	25	160	320	26	M24	116	图 c	
		VB-50234-W	50000	1450	2.25	5.55	350	220	—	100	430	370	650	33	192	390	39	M36	195	图 c	
		VB-75304-W	75000	1460	3.0	7.36	380	125	—	105	460	330	615	35	210	412	39	M36	250	图 d	
		VB-84554-W	84000	1455	5.5	11.5	380	125	—	140	460	390	720	35	210	415	39	M36	320	图 d	
		VB-100754-W	100000	1460	7.50	15.92	440	140	—	125	530	450	795	36	240	470	45	M42	440	图 d	
	3 相 6 极	VB-326-W	3000	950	0.20	0.82	160	100	55	40	190	150	330	12	92	210	14	M12	30	图 c	
		VB-546-W	5000	955	0.38	1.21	200	110	—	60	250	160	360	16	123	251	22	M20	50	图 c	
		VB-1076-W	10000	960	0.70	2.14	220	160	75	60	270	220	475	22	140	282	26	M24	77	图 c	
		VB-20156-W	20000	965	1.52	3.99	260	180	80	70	320	240	565	25	160	320	26	M24	127	图 c	
		VB-32246-W	31500	965	2.40	5.99	350	220	—	100	430	370	650	33	192	390	39	M36	192	图 c	
		VB-50326-W	50000	970	3.20	7.83	350	250	—	100	430	400	760	33	192	390	39	M36	235	图 c	
		VB-75556-W	75000	970	5.50	12.60	380	125	—	105	480	385	755	35	240	467	39	M36	370	图 d	
		VB-100756-W	100000	980	7.50	17.12	440	140	—	125	530	450	865	36	240	470	45	M42	520	图 d	
		VB-135906-W	135000	980	9.0	19.2	480	140	—	125	570	510	985	38	265	520	45	M42	630	图 e	
		VB-1601106-W	160000	980	11.0	23.5	480	140	—	125	570	510	998	38	265	520	45	M42	700	图 e	
	VB-1801306-W	180000	986	13.0	27.8	520	140	—	125	610	510	970	38	290	570	45	M42	845	图 e		
	3 相 8 极	VB-50308-W	50000	725	3.0	8.05	380	125	—	105	460	330	780	35	210	412	39	M36	330	图 b	
		VB-75558-W	75000	735	5.5	15.14	440	140	—	125	530	450	985	36	240	470	45	M42	595	图 b	
		VB-100758-W	100000	734	7.5	17.8	480	140	—	125	570	510	985	38	265	520	45	M42	650	图 e	
		VB-135908-W	135000	734	9.0	21.2	480	140	—	125	570	510	998	38	265	520	45	M42	750	图 e	
		VB-1601108-W	160000	739	11.0	25.8	520	140	—	125	610	510	1070	38	290	570	45	M42	800	图 e	
		VB-2001508-W	200000	743	15.0	34.9	520	140	—	125	610	510	1115	38	305	610	45	M42	950	图 e	
	VLB 系列	3 相 4 极	VLB-20114-W	20000	1420	1.1	2.88	220±1.2	950±1.2	100	80	282	1030	1087	1115	114 ⁰ _{-0.50}	320	26	M24	175	图 f
			VLB-25134-W	25000	1400	1.3	3.39													185	
VLB-30154-W			30000	1435	1.5	4.23	195														
VLB-35224-W			35000	1410	2.2	5.44	205														

注：生产厂家为湖北省钟祥市新宇机电制造有限公司（原钟祥电机厂）。

7.2 仓壁式振动器

表 18-6-25

仓壁式振动器

型 号	功率/W	激振力/kN	重量/kg	生 产 厂 家
LZF 型料仓振动防闭塞装置	120 ~ 2200	1.5 ~ 30	28 ~ 262	河南新乡市振动电机力矩电机调速电机专业制造商
CZ 型	20 ~ 200	0.1 ~ 8	2.6 ~ 119	江苏海安市恒业机电制造有限公司 该产品执行标准参照 JB 5330—1991
ZFB 型防闭塞装置	90 ~ 3700	1 ~ 50	11 ~ 280	

表 18-6-26

CZ 型仓壁式振动器技术参数

型 号	激振力 /N	适用料仓壁厚 /mm	电压 /V	有功功率/W	表示电流 /A	振动频率 /min ⁻¹	重量/kg	配套控制箱	
								型 号	外形尺寸 (长×宽×高)/mm
CZ10	100	0.6 ~ 0.8	220	20	≤0.3	3000	2.6	XKZ-V	196 × 120 × 281
CZ50	500	0.8 ~ 1.6		30	≤0.5		10		
CZ250	2500	4 ~ 8		65	≤1.0		35	XKZ-5G ₂	280 × 168 × 402
CZ400	4000	6 ~ 10		65	≤1.0		62.5		
CZ600	6000	6 ~ 12		150	≤2.3		70	XKZ-10G ₂	
CZ800	8000	6 ~ 14		160	≤3.8		110		

注：1. 适于安装料仓壁厚数值仅供参考。

2. 生产厂家为江苏海安市恒业机电制造有限公司。

CZ 型仓壁式振动器安装尺寸

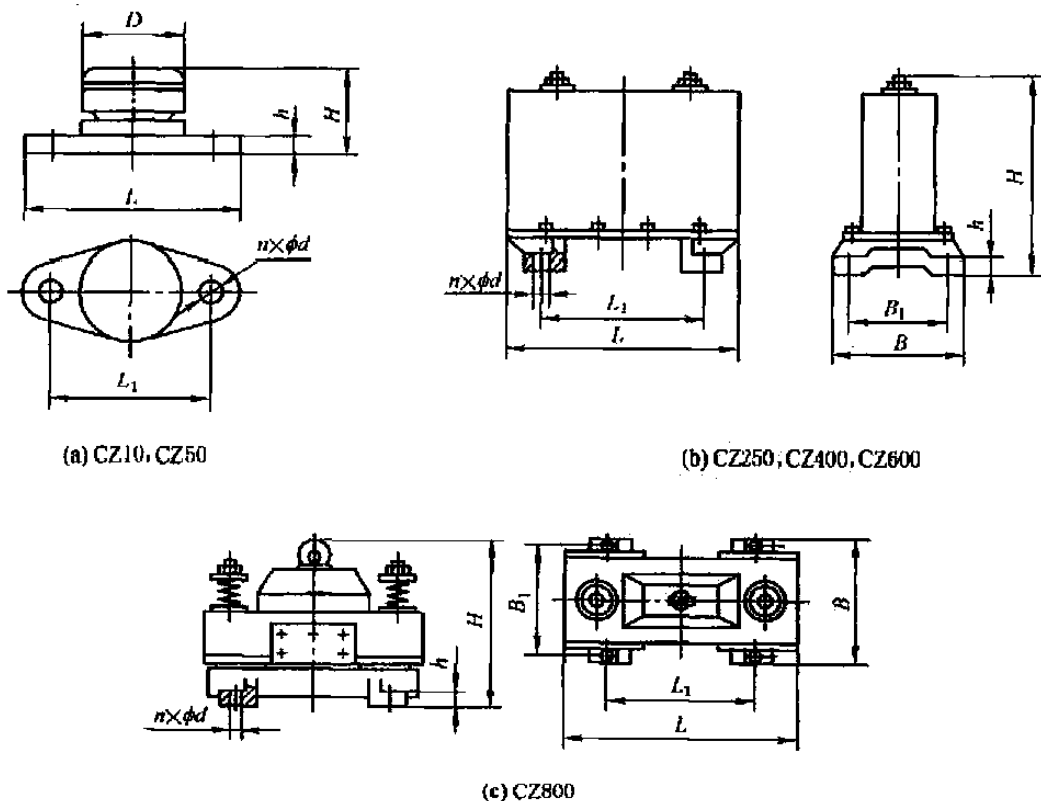


表 18-6-27

mm

型 号	L_1	L	B_1	B	h	H	D	$n \times \phi d$
CZ10	146	166	—	—	10	71	120	2 × 10
CZ50	250	280	—	—	12	115	180	2 × 13
CZ250	230	400	145	170	15	328	—	4 × 13
CZ400	230	400	210	245	16	331	—	4 × 13
CZ600	230	400	210	245	16	331	—	4 × 13
CZ800	200	512	306	346	23	380	—	4 × 13

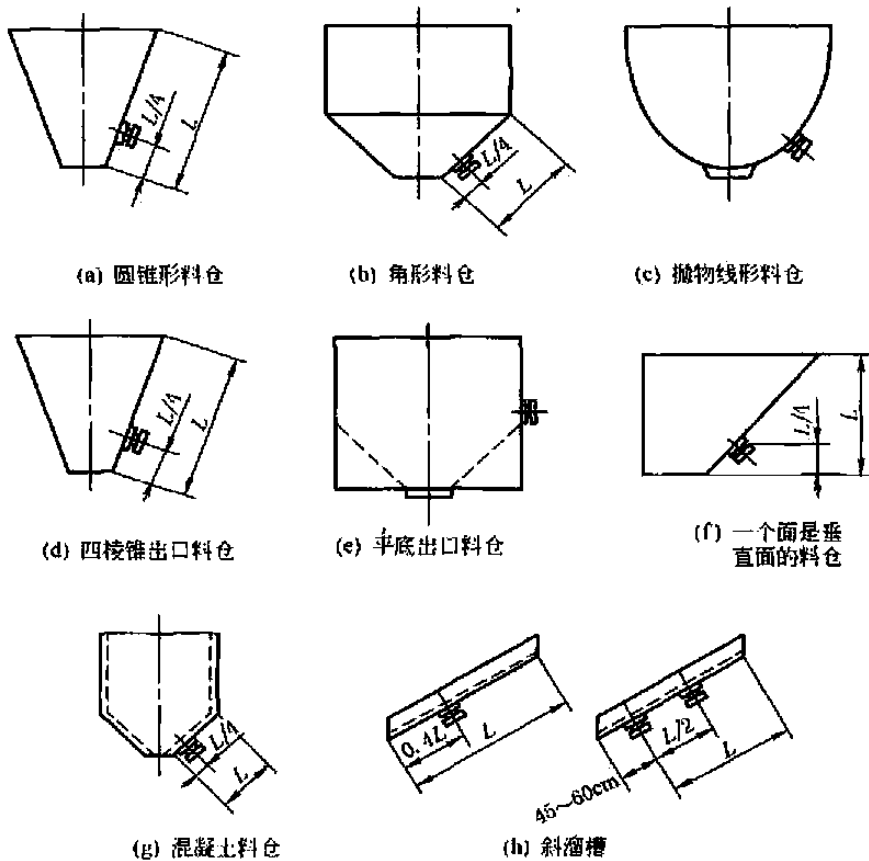


图 18-6-23 壁仓振动器安装位置图

7.3 复合弹簧

复合弹簧是由金属螺旋弹簧与橡胶（或其他高分子材料）经热塑处理后复合而成的一种筒状弹性体。还可以利用高强度纤维与其他高分子材料做成复合材料弹簧。

金属螺旋复合橡胶弹簧广泛地用作各类振动机械的弹性元件，一方面它支承着振动机体，使机体实现所需要的振动，另一方面起减振作用，减小机体传递给基础的动载荷。还可用作汽车前后桥的悬挂弹簧、列车车辆的枕弹簧和各类动力设备（如风机、柴油机、电动机、减速机等）的减振元件。

复合弹簧既有金属螺旋弹簧承载大、变形大、刚度低的特点，又有橡胶和空气弹簧的非线性、结构阻尼特性、各向刚度特性；既克服金属弹簧不适应高频振动、噪声大、横向刚度小、结构阻尼小的缺点，又克服了橡胶弹簧承载小、刚度不能做得很低，性能环境变化出现的不稳定等缺点；结构维护比空气弹簧简便，使用寿命比空气弹簧长。用于振动机械上可使振动平稳，横向摆动减小，起停机时间比金属弹簧缩短 50%，过共振时振幅降低 40%，减振效率提高，整机噪声减小。对于撞击等引起的高频振动的吸收作用，使得振动机械的机体焊接框架不易开裂，紧固体不易松动，电机轴承寿命得以延长，提高了设备的寿命和安全性。用作列车车辆的枕弹簧，

表 18-6-28

复合弹簧尺寸系列表

产品型号	外径 D_2/mm	内径 D_1/mm	自由高度 H_0/mm	受压时最大外径 D_M/mm	允许负荷/N		静态刚度 K $/N \cdot mm^{-1}$
					P_A	P_B	
FB52 FB85	52	25	120	162	980	2250	78
	85	35	120	92	3530	8330	196
	85	35	150	92	3720	8820	167
	85	65	150	108	1860	4510	59
FB102	102	60	255	120	980	2250	52
	102	60	255	120	1470	3430	64
	102	60	255	120	1960	4510	74
	102	60	255	120	2450	5680	98
	102	60	255	120	2940	6860	123
FC135	135	60	150	150	1960	4410	74
	135	60	150	150	2550	5880	98
FA148	148	80	270	170	7840	12050	196
	148	80	270	170	2450	19600	245
	148	92	250	170	20090	32340	342
FA155	155	62	290	180	6270	14410	157
	155	62	290	180	7450	17150	186
	155	62	290	180	8330	19210	206
	155	62	290	180	9800	22540	235
	155	62	290	180	10780	24790	265
	155	62	290	180	11760	27050	294
FC196	196	80	290	220	9800	24500	372
	196	90	270	220	11760	27440	392
	196	100	250	220	13720	31360	412
FA260	260	120	429	310	12740	2940	230
	260	120	429	310	14700	34300	284
	260	120	429	310	19600	45080	392
FA310	310	150	400	370	29400	67620	588

注：1. P_A 为复合弹簧的安装负荷。

2. P_B 为复合弹簧能随的最大负荷。

3. 生产厂家为新乡市太行橡胶制品厂。

可在路况不变的条件下，提高列车的蛇形运动速度，减小横向摆动以及由于列车启动、制动、溜放、挂靠等操作而引起的车辆加速度值的急剧增加。其对高频振动的吸收作用，使得列车运行更平稳，减振降噪，乘客（客车）更舒适。

8 振动给料机

XZG 系列振动给料机是双质体惯性近共振振动给料机，广泛用于冶金、化工建材、煤炭等工业部门作散状物料、矿物的放矿和给料用。

XZG 型系列振动给料机

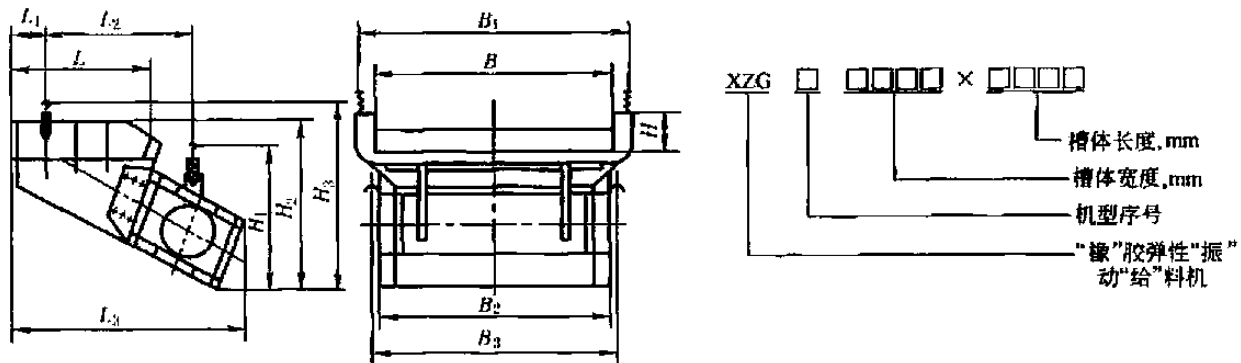


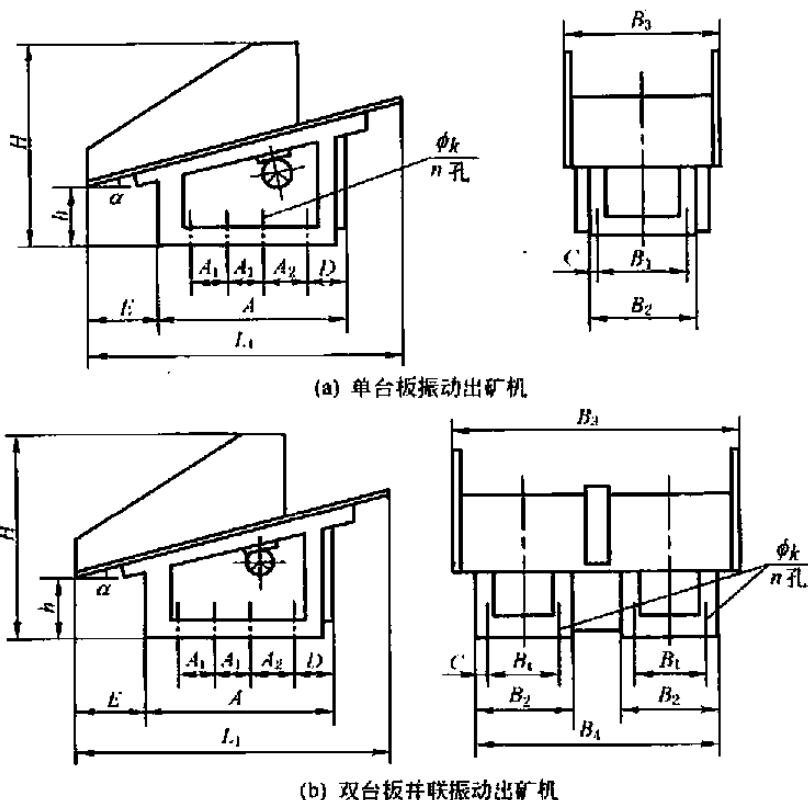
表 18-6-29

型 号	槽形尺寸 (宽×长×高)/mm	生产率/ $t \cdot h^{-1}$			给料粒 度/mm	振动 频率	振幅 /mm	电流 /A	电压 /V	功率 /kW	重量/kg
		水平	-10°	-12°							
XZG1	200×600×100	5	10	15	50	1000	2	0.32	220~380	0.2	70
XZG2	300×800×120	10	20	30	50	1000	2.5	0.4	220~380	0.2	140
XZG3	400×900×150	20	50	80	70	1000	2.5	0.62	220~380	0.2	200
XZG4	500×1100×200	50	100	150	100	1000	3	1.24	380~660	0.45	350
XZG5	700×1200×250	100	150	200	150	1000	3	1.74	380~660	0.75	650
XZG6	900×1600×250	150	250	350	200	1000	3.5	3.5	380~660	1.52	1240
XZG7	1100×1800×250	250	400	550	250	1000	3.5	8.4	380~660	2.4	1900
XZG8	1300×2200×300	400	600	800	300	1000	4	10.5	380~660	3.7	3000
XZG9	1500×2400×300	600	850	1000	350	1000	4	11.4	380~660	5.5	3700
XZG10	1800×2500×375	750	1100	1300	500	1000	5	17.2	380~660	7.5	6450
XZG11	2000×2800×375	1100	1500	1800	500	1000	5	22.4	380~660	10	7630
XZGK1	1600×1400×250	—	200	250	100	1000	3.5	8.4	380~660	2.4	1600
XZGK2	1900×1400×250	—	250	300	100	1000	3.5	8.4	380~660	2.4	1650
XZGK3	2200×1400×250	—	270	350	100	1000	4	10.5	380~660	3.2	1760
XZGK4	2500×1400×250	—	300	400	100	1000	4	10.5	380~660	3.2	1856

型 号	外 形 尺 寸/mm											
	B	B ₁	B ₂	B ₃	H	H ₁	H ₂	H ₃	L	L ₁	L ₂	L ₃
XZG1	200	280	220	230	100	470	500	690	600	209	550	970
XZG2	300	388	220	230	120	490	520	690	800	310	660	1140
XZG3	400	496	230	240	150	470	500	700	311	100	200	500
XZG4	500	623	430	580	200	680	850	1100	1100	416	960	1460
XZG5	700	850	562	692	250	730	1000	1390	1200	465	1050	1630
XZG6	900	1057	560	720	250	1035	1200	1640	1600	500	1360	2300
XZG7	1100	1257	960	1100	250	1400	1320	1850	1800	650	1465	2550
XZG8	1300	1476	1200	1060	300	1460	1343	1995	2200	750	1800	2960
XZG9	1500	1676	1200	1340	300	1580	1440	2200	2400	800	2000	3180
XZG10	1800	2014	2304	1000	375	1500	1450	2235	2500	900	2120	3630
XZG11	2000	2294	2425	1010	375	1580	1545	2310	2800	900	2370	4060
XZGK1	1600	1750	1200	1350	250	1330	1090	1720	1400	450	1260	2050
XZGK2	1900	2050	1200	1350	250	1330	1090	1720	1400	450	1260	2050
XZGK3	2200	2350	1200	1350	250	1330	1090	1720	1400	450	1260	2050
XZGK4	2500	2650	1200	1350	250	1330	1090	1720	1400	450	1260	2050

注：生产厂家为河南省鹤壁市煤化机械厂。

FZC 型系列振动出矿机主要技术特性及其埋设参数



(a) 单台板振动出矿机

(b) 双台板并联振动出矿机

表 18-6-30

机号	振动出矿机型号	技术特性										埋设参数			
		台面长度 L/m	台面宽度 B/m	台面面积 F/m ²	台面倾角 $\alpha/(\circ)$	额定振频 n /min ⁻¹	振动幅值 A/mm	最大激振力 P/t	额定功率 N/kW	工况系数 K _t	技术生 产能力 Q/t·h ⁻¹	机重 G/kg	埋设 深度 LA/m	眉线 高度 h ₀ /m	眉线 角 $\phi/(\circ)$
1	FZC-1.6/1-1.5	1.6	1.0	1.6	12	1400	0.8	1.0	1.5	0.89	300~360	440	0.6	0.6	40
2 ^①	FZC-1.8/0.9-1.5	1.8	0.9		12	1400	0.9	1.0	1.5	0.88	350~400	430	0.6	0.7	40
3	FZC-2.0/0.8-1.5	2.0	0.8		14	1400	0.9	1.0	1.5	0.89	310~370	490	0.6	0.7	38
4	FZC-2.3/0.7-1.5	2.3	0.7		16	1400	0.8	1.0	1.5	0.89	290~330	575	0.7	0.7	38
5 ^①	FZC-2.0/1-3	2.0	1.0	2	14	940	3.0	2.0	3.0	1.43	850~1000	690	0.7	0.7	40
6	FZC-2.3/0.9-3	2.3	0.9		14	940	3.0	2.0	3.0	1.38	770~910	870	0.8	0.8	40
7 ^①	FZC-2.3/1.2-3	2.3	1.2	2.8	14	940	1.8	2.0	3.0	1.04	630~760	960	0.8	0.8	40
8	FZC-2.8/1-3	2.8	1.0		18	940	1.7	2.0	3.0	1.02	580~690	1000	0.9	0.9	41
9	FZC-2.3/1.2-4	2.3	1.2		14	1420	0.9	3.0	4.0	1.55	630~730	1010	0.9	0.8	41
10	FZC-2.5/1.2-3	2.5	1.2		16	940	1.7	2.0	3.0	0.95	590~720	980	0.8	0.8	39
11	FZC-3.1/1-3	3.1	1.0	3.1	18	940	1.7	2.0	3.0	0.92	560~670	1060	0.8	0.9	38
12 ^①	FZC-2.5/1.2-4	2.5	1.2		16	1420	0.9	3.0	4.0	1.43	660~770	1030	0.8	0.9	41
13	FZC-3.1/1-4	3.1	1.0		18	1420	1.0	3.0	4.0	1.38	760~870	1110	0.9	0.9	38
14	FZC-3.5/0.9-4	3.5	0.9		18	1420	1.0	3.0	4.0	1.36	730~830	1130	0.9	1.0	37
15 ^①	FZC-2.3/1.4-5.5	2.5	1.4	3.5	14	960	2.0	4.0	5.5	1.63	990~1180	1360	0.9	0.9	41
16	FZC-3.5/1-5.5	3.5	1.0		18	960	2.0	4.0	5.5	1.63	980~1150	1525	1.1	1.1	40
17	FZC-2.8/1.4-5.5	2.8	1.4	4.0	14	960	1.8	4.0	5.5	1.46	900~1080	1460	1.0	1.0	41
18 ^①	FZC-3.1/1.2-5.5	3.1	1.2		14	960	1.8	4.0	5.5	1.54	910~1090	1515	1.1	1.1	40
19	FZC-3.1/1.4-5.5	3.1	1.4		14	960	1.7	4.0	5.5	1.32	920~1120	1600	1.0	1.1	39
20 ^①	FZC-3.5/1.2-5.5	3.5	1.2		14	960	1.8	4.0	5.5	1.36	870~1050	1670	1.0	1.1	36
21	FZC-4.5/1-5.5	4.5	1.0	4.5	18	960	1.8	4.0	5.5	1.59	830~980	2040	1.0	1.1	34

机号	振动出矿机型号	技术特性										埋设参数			
		台面长度 L/m	台面宽度 B/m	台面面积 F/m ²	台面倾角 $\alpha/(\circ)$	额定振频 n/min^{-1}	振动幅值 A/mm	最大激振力 P/t	额定功率 N/kW	工况系数 K_k	技术生产能力 Q/t·h ⁻¹	机重 G/kg	埋设深度 LA/m	眉线高度 h ₀ /m	眉线角 $\phi/(\circ)$
22	FZC-3.1/1.4~7.5	3.1	1.4	4.5	14	960	2.0	5.0	7.5	1.65	1260~1500	1875	1.1	1.1	40
23	FZC-3.5/1.2~7.5	3.5	1.2		14	960	2.1	5.0	7.5	1.70	1220~1440	1810	1.2	1.2	39
24	FZC-4.5/1~7.5	4.5	1.0		18	960	2.0	5.0	7.5	1.59	1290~1510	2225	1.2	1.4	39
25 ^D	FZC-3.5/1.4~7.5	3.5	1.4	5.0	14	960	1.8	5.0	7.5	1.46	1160~1380	2000	1.0	1.2	37
26	FZC-4/1.2~7.5	4.0	1.2		18	960	1.6	5.0	7.5	1.49	870~1040	1935	1.2	1.2	39
27	FZC-5/1~7.5	5.0	1.0		18	960	1.6	5.0	7.5	1.43	840~1010	2355	1.2	1.4	37
28	FZC-4/1.6~10	4.0	1.6	6.3	16	960	1.8	7.5	10	1.67	1570~1870	2355	1.2	1.4	40
29 ^F	FZC-5/1.4~10	5.0	1.4	7.0	18	960	1.7	7.5	10	1.53	1300~1550	2800	1.4	1.4	38
30	FZC-3.1/1 × 2~4 × 2	3.1	1.0 × 2	3.1 × 2	18	1420	1.0	3.0 × 2	4.0 × 2	1.38	1520~1740	2220	0.9	0.9	38
31	FZC-3.5/1 × 2~5.5 × 2	3.5	1.0 × 2	3.5 × 2	18	960	2.0	4.0 × 2	5.5 × 2	1.63	1960~2300	3050	1.1	1.1	40
32	FZC-3.1/1.2 × 2~5.5 × 2	3.1	1.2 × 2	4.0 × 2	14	960	1.8	4.0 × 2	5.5 × 2	1.54	1820~2180	3030	1.1	1.1	40
33 ^D	FZC-3.5/1.2 × 2~5.5 × 2	3.5	1.2 × 2	4.5 × 2	14	960	1.8	4.0 × 2	5.5 × 2	1.36	1740~2100	3310	1.0	1.1	36
34	FZC-3.5/1.4 × 2~7.5 × 2	3.5	1.4 × 2	5.0 × 2	14	960	1.8	5.0 × 2	7.5 × 2	1.46	2320~2760	3970	1.0	1.2	37
35	FZC-4/1.2 × 2~7.5 × 2	4.0	1.2 × 2	5.0 × 2	18	960	1.6	5.0 × 2	7.5 × 2	1.49	1740~2080	3870	1.2	1.2	39

机号	型号	外形及安装尺寸/mm														
		$\alpha/(\circ)$	A	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃	C	D	E	h	H	L ₁	n	ϕk
1	FZC-1.6/1~1.5	12	806	200	—	610	700	1000	45	206	460	544	1257	1565	4	18
2	FZC-1.8/0.9~1.5	12	806	200	—	610	700	900	45	206	607	522	1278	1760	4	18
3	FZC-2/0.8~1.5	14	906	250	—	610	700	800	45	206	673	594	1587	1940	4	18
4	FZC-2.3/0.7~1.5	16	1006	250	—	510	600	730	45	256	819	571	1661	2210	4	18
5	FZC-2/1~3	14	906	250	—	610	700	1000	45	206	673	594	1560	1940	4	18
6	FZC-2.3/0.9~3	14	906	400	—	640	700	1026	30	256	809	900	1988	2232	4	18
7	FZC-2.3/1.2~3	14	1206	600	—	840	900	1326	30	306	588	1028	2125	2232	4	18
8	FZC-2.8/1~3	18	1406	600	—	840	900	1126	30	406	727	713	2196	2663	4	18
9	FZC-2.3/1.2~4	14	1206	600	—	840	900	1326	30	306	588	1028	2100	2232	4	18
10	FZC-2.5/1.2~3	16	1206	600	—	840	900	1326	30	306	673	884	2140	2403	4	18
11	FZC-3.1/1~3	18	1606	400	400	840	900	1126	30	406	812	620	2228	2948	6	18
12	FZC-2.5/1.2~4	16	1206	600	—	840	900	1326	30	306	673	884	2245	2403	4	18

续表

机号	型号	外形及安装尺寸/mm																	
		α /(°)	A	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃	C	D	E	h	H	L ₁	n	ϕk			
13	FZC-3.1/1-4	18	1606	400	400	840	900	1126	30	406	812	620	2196	2948	6	18			
14	FZC-3.5/0.9-4	18	1806	500	500	740	800	1026		406	945	512	2256	3329	6	18			
15	FZC-2.5/1.4-5.5	14	1232	370	480	874	934	1420		195	770	1010	2250	2426	6	22			
16	FZC-3.5/1-5.5	18	1608	610	610	775	835	1020		198	1099	850	2612	3329	6	22			
17	FZC-2.8/1.4-5.5	14	1232	370	480	874	934	1420		195	961	962	2354	2717	6	22			
18	FZC-3.1/1.2-5.5	14	1232	370	480	874	934	1220		195	1152	920	2405	3008	6	22			
19	FZC-3.1/1.4-5.5	14	1232	370	480	874	934	1420		195	1252	895	2405	3008	6	22			
20	FZC-3.5/1.2-5.5	14	1608	610	610	775	835	1220		198	1066	900	2466	3396	6	22			
21	FZC-4.5/1-5.5	18	2806	700	700	840	900	1030		306	1023	407	2493	4280	8	22			
22	FZC-3.1/1.4-7.5	14	1706	550	550	1100	1160	1400		306	692	1100	2670	3008	6	22			
23	FZC-3.5/1.2-7.5	14	1706	550	550	940	1000	1200		306	980	1028	2770	3396	6	22			
24	FZC-4.5/1-7.5	18	2806	700	700	840	900	1072		306	773	700	3100	4280	8	22			
25	FZC-3.5/1.4-7.5	14	1706	550	550	1100	1160	1400		306	1081	1003	2770	3396	6	22			
26	FZC-4/1.2-7.5	18	2008	500	500	940	1000	1200		308	1139	430	2463	3804	8	22			
27	FZC-5/1-7.5	18	2806	700	700	840	900	1072		306	1250	545	3100	4756	8	22			
28	FZC-4/1.6-10	16	2208	440	440	1226	1300	1726		37	446	1018	311	2381	3844	8	27		
29	FZC-5/1.4-10	18	2808	700	700	1186	1260	1420			308	1250	545	3031	4755	8	27		
30	FZC-3.1/1×2-4×2	双 台 板 并 联 振 动 出 矿 机	18	1606	400	400	840	900		2050	1950	30	406	812	620	2130	2948	12	18
31	FZC-3.5/1×2-5.5×2		18	1608	610	610	775	835		2050	1885	30	198	1099	850	2630	3329	12	22
32	FZC-3.1/1.2×2-5.5×2		14	1232	370	480	874	934		2450	2184	30	195	1152	920	2445	3008	12	22
33	FZC-3.5/1.2×2-5.5×2		14	1608	610	610	775	835		2450	2085	30	198	1066	900	2500	3396	12	22
34	FZC-3.5/1.4×2-7.5×2		14	1706	550	550	1100	1160		2850	2610	30	306	1081	1003	2710	3396	12	22
35	FZC-4/1.2×2-7.5×2		18	2008	500	500	940	1000		2450	2250	30	308	1139	430	2463	3804	16	22

① 为主要机型，其余为派生机型。

注：1. 工况系数 K_s 供设计部门选择机型时使用。公式为 $P = K_s p F_2$ ，取 $p = 0.71/m^2$ 。

2. 本表采用 ZDJ 系列振动电机，推荐使用 JZO 系列节能型振动电机。

3. 生产厂家为河南省鹤壁市煤化机械厂。

9 利用振动来监测缆索拉力

近年来，随着大跨度桥梁设计的轻柔化以及结构形式与功能的日趋复杂化，大型桥梁结构安全监测已成为国内外工程界和学术界关注的热点。特别是用振动法对悬索桥和斜拉桥的钢丝绳拉力的监测方法有许多的研究。这里作重点介绍。

对于两端固定的架空索道承载索是完全可以利用振动的方法来检测的。

用于缆索拉力监测的装置有以下几种。

(1) 电阻应变仪

一般的应力应变监测采用电阻应变传感器。但电阻式应变仪的零漂、接触电阻变化以及温漂等，给系统带来一定的误差。其主要问题是寿命较短，易损坏。并且应变/应力是一个相对量，从长期监测和信号传输等方面考

虑,难以准确复现钢丝绳中的真实应力状态。

(2) 钢丝振弦应变仪

它就是利用振动来测量钢丝绳的拉力,比电阻应变仪准确。且已有产品用于索桥钢丝绳的拉力测量。对于两端固定的架空索道承载索,尚没有现成产品,但完全可以仿制,毕竟拉力要小得多。下面作简单的介绍。

振动法测索力是目前测量斜拉桥索力应用最广泛的一种方法。在这种方法中,以环境振动或者强迫激励拉索,传感器记录下时程数据,并由此识别出索的振动频率。而索的拉力与其固有频率之间存在着特定的关系。于是,索力就可由测得的频率经换算而间接得到。振动法测索力,设备均可重复使用。当前的电子仪器也日趋小型化,整套仪器携带、安装均很方便,测定结果也可信。所以振动法测索力得到了广泛的应用。

(3) 磁致弹性测力仪

采用磁致弹性测力仪是较好的选择,它在欧洲应用较为普遍。磁致弹性测力仪是一个环形装置,它缠绕在索股上,利用磁通量的变化与钢丝为芯的应力改变有关的原理进行测量。这不在本手册阐述的范围之内。

本手册只介绍利用振动的原理来测量钢丝绳应力的问题。

9.1 测量弦振动计算索拉力

9.1.1 弦振动测量原理

根据弦的振动原理,知道波在弦索中的传播速度由下式表示:

$$a = \sqrt{\frac{T}{q}} \quad (18-6-33)$$

式中 T ——索的拉力, N;

q ——弦索的单位长度质量, kg/m。

令 L 为索的计算长度; f 为振动频率, 用下标 $n=1, 2, \dots$ 表示第 n 阶的固有频率 f_n 。则波在弦索中从一端传播至另一端再返回来的时间为:

$$t = 2L/a, \quad \text{即} \quad a = 2L/t$$

式中 a ——波在弦索中的传播速度, m/s。

代入前一式就可得: $T = 4qL^2/t^2 = 4qL^2f^2$

或

$$T = 4AqL^2f_n^2/n^2 \quad (18-6-34)$$

式中 A ——考虑钢丝绳与弦的特性不同而修正的系数, 由实验确定。

在实际应用中, 拉索由于自重具有一定垂度和具有一定的抗弯刚度及边界条件的影响, 为准确使用振动法测定索力, 必须考虑这两个因素, 对弦公式进行修正。有的学者用差分的方法和有限元的方法很好地解决了这个问题, 不仅同时考虑了以上两个因素, 而且还可以考虑拉索上装有阻尼减振器等的影响。特别是桥梁的斜拉索, 由于长度较短, 一阶频率(基频)不容易测量准确, 而采用频差法。而对大跨度架空索道的钢丝绳来说测量一阶频率是不会有问题的。

下面将介绍运用该原理的实际设备。

9.1.2 MGH 型锚索测力仪

MGH 型锚索测力仪(山东科技大学洛赛尔传感技术有限公司研制)用于钢索斜拉桥、大坝、岩土工程边坡、大型地基基础、隧道等处对锚索或锚杆拉力进行检测, 并对其应力变化情况进行长期监测; 还可用于预应力混凝土桥梁钢筋张拉力的检测和波纹管摩阻的测定, 以保证安全和取得准确数据。

(1) 结构原理

MGH 型锚索测力仪由 MGH 型锚索测力传感器与 GSJ-2 型检测仪、GSJ-2 型便携式检测仪或 GSJ-2A 型多功能电脑检测仪配套使用, 直接显示锚索拉力。

锚索拉力施压于油缸, 使其内部油压升高, 油压经过油管传到振弦液压传感器的工作膜, 膜挠曲使弦张力减小, 固有振动频率降低。若其电缆接 GSJ-2 型检测仪, 启动电源, 因其内部装有激发电路, 则力、油压被转换

为频率信号输出。GSJ-2 型的测频电路测定频率 f 后, 单片机按以下数学模型计算出拉力 T 并直接数字显示。

$$T = A(f^2 - f_0^2) - B(f - f_0) \quad (18-6-35)$$

式中 A, B ——传感器常数;

f_0 ——初频 (力 $T=0$ 时的频率);

f ——力为 T 时的输出频率。

(2) 性能特点

1) 振弦液压传感器的设计精度较高;

2) 具有良好的抗振能力, 并经过多种老化处理, 故在大载荷作用下具有良好的长期稳定性;

3) 当温度不同于标定温度时, 只要将传感器放在现场 2h, 待热平衡后, 测定现场温度的初频作为 f_0 输入式 (18-6-35), 则由 f 计算 T 仍然准确。对于长期埋设的传感器, 若要求精度较高, 可事先实测出初频 f_0 与温度 t 的关系曲线, 检测时测定传感器的温度 t , 找出对应的 f_0 输入式 (18-6-35), 即可完成温漂修正, 获得比较准确的结果。

4) 已实现温度补偿。工程上若允许误差在 2% 以内, 不需进行温漂修正。

(3) 主要技术参数 (FS—频率标准)

量程	200 ~ 10000kN
准确度 (% FS)	0.5、1.0
重复性 (% FS)	0.2、0.4
分辨率 (% FS)	0.1 ~ 0.01
温度系数	$\leq 0.025\%$ FS/ $^{\circ}\text{C}$

9.2 按两端受拉梁的振动测量索拉力

9.2.1 两端受拉梁的振动测量原理

把钢丝绳当作一根两端固定并承受拉力的梁, 测量其振动频率来计算实际拉力也是一个有效的方法。

从本篇第 2 章表 18-2-10 序号 11 中可以查到, 两端固定并承受拉力的梁的固有振动频率为:

$$\omega = \left(\frac{a_n \pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EJ}{\rho l}} \sqrt{1 + \frac{PL^2}{EJa_n^2 \pi^2}} \quad (a_n = 1, 2, \dots)$$

式中 E ——梁的弹性模量。

令 $P = T$; $\rho l = q$; $\omega = 2\pi f_n$ (参数符号同 9.1 节) 代入, 整理后可得:

$$T = \frac{4f_n^2 L^2 q}{a_n^2} \left(1 - \frac{EJa_n^4 \pi^2}{4f_n^2 L^4 q} \right) \quad (18-6-36)$$

高屏溪桥斜张钢缆的检测基本采用这个原理。

9.2.2 高屏溪桥斜张钢缆检测部分简介

高屏溪河川桥主桥系采单桥塔非对称复合式斜张桥设计。桥长 510m, 主跨 330m 为全焊接箱型钢梁, 侧跨 180m 则为双箱室预应力混凝土箱型梁。两侧单面混合扇形斜张钢缆系统分别锚碇于塔柱及箱梁中央处。钢筋混凝土桥塔高 183.5m, 采用造型雄伟且结构稳定性高的倒 Y 形设计。

斜张钢缆承受风力时, 其反复振动将可能引起钢绞索产生疲劳现象或在支承处产生裂缝破坏, 将降低其耐久性与安全性。钢缆的风力效应主要包括有涡流振动、尾流驰振及风雨诱发振动等。当涡流振动的频率与结构体的固有频率或扭转频率近似或相等时, 便会产生共振现象, 此时结构体会有较大的位移振动。经计算斜张钢缆的固有频率即可推得发生涡流振动时的临界风速, 一般而言, 临界风速多发生在第一模态, 且此时具有最大的振幅。在分析高屏溪桥自编号 F101 最长钢缆及至编号 F114 最短钢缆时, 发现其固有频率为第一模态时, 仅有编号 B114 钢缆在风速 1.5m/s 时会发生共振现象。但由于此时风速极低, 几乎无法扰动钢缆。因此, 于斜张钢缆上装

设一速度测震计，当钢缆受自然力扰动而产生激振反应时，速度计可将此振动传送到 FFT 分析器，经由快速傅里叶转换解析，判定振动波形内稳态反应的振动频率后，再透过计算式即可求得钢缆的受力，亦即钢缆索力大小。

考虑斜张钢缆刚度（含外套管刚度），使用轴向拉力梁理论，当受弯曲梁含轴向拉力时的自由振动运动方程式为：

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + q \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

式中 T ——轴向拉力；

q ——单位长度质量；

δ ——中垂度与钢缆长度之比；

L ——钢缆长度；

θ ——钢缆的倾斜角；

J ——截面惯性矩。

令

$$\xi = \sqrt{\frac{T}{EJ}} \times L \quad (18-6-37)$$

$$c = \sqrt{\frac{EJ}{qL^4}} \quad (18-6-38)$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{qL}{128EA\delta^3 \cos^5 \theta}} \times \frac{0.31\xi + 0.5}{0.31 - 0.5} \quad (18-6-39)$$

1) 钢缆具较小垂度时，即 $\Gamma \geq 3$ ，则适用于下列力与第一振动频率关系式（这里已代入钢丝绳的具体数据，且考虑到阻尼，求得）：

$$T = 4m(f_1^B L)^2 \left[1 - 2.2 \left(\frac{c}{f_1^B} \right) - 0.55 \left(\frac{c}{f_1^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } \xi \geq 17 \text{ 时})$$

$$T = 4m(f_1^B L)^2 \left[0.865 - 11.6 \left(\frac{c}{f_1^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } 6 \leq \xi \leq 17 \text{ 时})$$

$$T = 4m(f_1^B L)^2 \left[0.828 - 10.56 \left(\frac{c}{f_1^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } 0 \leq \xi \leq 6 \text{ 时}) \quad (18-6-40)$$

2) 钢缆具较大垂度时，即 $\Gamma \leq 3$ ，则适用于下列力与第二振动频率关系式：

$$T = m(f_2^B L)^2 \left[1 - 4.4 \left(\frac{c}{f_2^B} \right) - 1.1 \left(\frac{c}{f_2^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } \xi \geq 60 \text{ 时})$$

$$T = m(f_2^B L)^2 \left[1.03 - 6.33 \left(\frac{c}{f_2^B} \right) - 1.58 \left(\frac{c}{f_2^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } 17 \leq \xi \leq 60 \text{ 时})$$

$$T = m(f_2^B L)^2 \left[0.882 - 85 \left(\frac{c}{f_2^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } 0 \leq \xi \leq 17 \text{ 时}) \quad (18-6-41)$$

3) 钢缆长度较长时，适用于下列力与频率关系式：

$$T = \frac{4m}{n^2} (f_n^B L)^2 \left[1 - 2.2 \left(\frac{nc}{f_n^B} \right)^2 \right] \quad (\text{当 } n \geq 2, \xi \geq 200 \text{ 时}) \quad (18-6-42)$$

式中 f_1^B, f_2^B, f_n^B ——第 1、第 2、第 n 阶振动频率。

此桥斜张钢缆对涡流振动不甚敏感。此外，由于钢缆涡流振动、尾流驰振及风雨诱发振动等风力因素相当复杂，若仅欲以数值分析探讨其行为模式似嫌粗糙且不可靠，因此钢缆风力现象仍主要以经验法则配合钢缆频率与阻尼量测值进行综合研判，且研判时机通常选择设定于施工期间与完工后较佳。

由于斜张钢缆在长期预拉力、风力、地震力及车行动载荷下，将随时间变化产生应力松弛现象，造成斜张桥整体结构系统应力的重新分配，如此将影响桥梁的结构静力及动力特性。综观国内外相关施工经验得知，监测系统对斜张桥完工后均规划有定期检测钢缆实存索力的作业，以检核结构系统的稳定性。该桥在检核斜张钢缆受力情形或预力变化时，采用自然振动频率法进行量测。

一般而言，通常选择较不受乱流干扰的第二振动频率，即可经式(18-6-42)求得钢缆拉力 T ，亦即钢缆的索力值。

检测结果如下。

1) 本桥在斜张钢缆进行预力施拉作业时，配合液压泵实际输出压力读数对照式(18-6-42)计算所得钢缆索力值时，发现两者相当接近；

2) 本工程于钢缆施拉预力作业时，亦随机挑选某一钢绞索装设单枪测力器检核钢缆的实际索力；

3) 另外于主跨钢缆锚碇承压板内侧及侧跨钢缆锚碇螺母处装设有钢缆应变计，亦可同时量测钢缆索力的变化情况。

经由相互比较结果发现，液压泵实际输出压力读数、单枪测力器测量值、钢缆应变计读数以及固有振动频率计算值等，彼此间数值差异并不大。因此推论日后桥梁维护计划中有关钢缆索力变化检核作业应可藉由固有频率振动法及钢缆应变计进行综合监测。

下面介绍钢缆振动试验(动静态服务载重试验)。

基于阻尼值为判断钢缆抗风稳定性的关键因素，为求得较正确的阻尼值，本工程亦即进行强制振动借以求得较合理的振幅。

该工程钢缆强制振动试验系利用大型吊车以绳索拖拉的方式提供钢缆初始变位值，并利用角材提供临时支撑，再以卡车迅速将角材拖离，让钢缆产生激振反应，并逐渐衰减至停止。试验主要以主跨外侧钢缆为对象，共计七根钢缆，每根钢缆进行二次试验。

按主跨最外侧五根钢缆强制振动试验计算资料，其值显示所有钢缆的对数阻尼衰减率均大于5%，参考前述相关的稳定度判读原则，则可推估所有钢缆均具有相当高的抗风稳定度，此一结果与现场观测结果相当接近。

经由长时间的观测结果初判该桥钢缆系统抗风稳定性相当高。虽然强风期间外侧较长钢缆产生振动现象，但振动行为相当稳定，且振幅不大，对于钢缆服务寿命并无任何影响。但考虑钢缆风力行为不确定因素繁多，故仍规划在桥梁通车后持续进行观测。若发现钢缆产生不稳定振动，则建议于钢缆锚碇处附近安装黏性剪力型阻尼器，以提供抗风所需的额外阻尼量。

9.3 索拉力振动检测的最新方法

近年来有限元法得到了广泛应用，将整根缆索用分段的铰接直杆离散，缆索的自重作用在节点上，杆的轴向刚度考虑了重力刚度。

对于斜拉桥拉索的建模，现在大致有三种方法。

1) 等效弹性模量法。在斜拉桥拉索建模中，用具有等效弹性模量的直杆代替实际的曲线索。此模型仅适用于初步静力设计，不宜用于动力分析。

2) 多段直杆法。

3) 曲线索单元法。

这些方法过于专门化不予介绍，读者有兴趣可以找有关的书籍和论文。下面介绍我国在这方面的研究成果之一。

9.3.1 考虑索的垂度和弹性伸长 λ

$$\lambda^2 = \left(\frac{ql}{H} \right)^2 \frac{EF}{HL_s} \quad (18-6-43)$$

式中 L_s ——索线的弧长；

H ——索平行于弦的拉力；

F ——索的截面积；

其他参数同前。

根据研究分析,考虑索的垂度、弹性的影响等因素,索的拉力与索的基频的实用关系可以采用以下的公式计算,其计算误差都保证在1%以内:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{H}{q}} \quad (\text{当 } \lambda^2 \leq 0.17 \text{ 时}) \\ \omega^2 &= \pi^2 \frac{H}{ql^2} + 0.777 \frac{EF}{q} \left(\frac{q}{H} \right)^2 \quad (\text{当 } 0.17 \leq \lambda^2 \leq 4\pi^2 \text{ 时}) \\ \omega &= \frac{2\pi}{l} \sqrt{\frac{H}{q}} \quad (\text{当 } 4\pi^2 \leq \lambda^2 \text{ 时})\end{aligned} \quad (18-6-44)$$

或由上式算得:

$$\begin{aligned}H &= 4ql^2 f^2 \quad (\text{当 } \lambda^2 \leq 0.17 \text{ 时}) \\ H^3 &= 4ql^2 f^2 H^2 + 0.0787 EFq^2 l^2 = 0 \quad (\text{当 } 0.17 \leq \lambda^2 \leq 4\pi^2 \text{ 时}) \\ H &= ql^2 f^2 \quad (\text{当 } 4\pi^2 \leq \lambda^2 \text{ 时})\end{aligned} \quad (18-6-45)$$

索的抗弯刚度的影响较小,从略。

9.3.2 频差法

振动在某个较高的阶数之后,频差将趋于稳定,为一常数,而且是弦理论的基频。令该稳定的频差为 $\Delta\omega$,则

$$\Delta\omega = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{T}{q}}$$

即

$$T = 4ql^2 \Delta f^2 \quad (18-6-46)$$

如测得索的高阶频差,索力就可方便地确定,而不必考虑是否有垂度的影响。

9.3.3 拉索基频识别工具箱

拉索基频识别工具箱 GUI,用于福建闽江斜拉桥的检测。原理是当索力一定时,高阶频率是基频的数倍,表现在功率谱上是出现一系列等间距的峰值。峰值的间距就是基频。拾取这一系列峰值,求相邻峰值间距的平均数,即为基频,这是功率谱频差法。由于环境振动测试得到的功率谱结果不够理想,还采用倒频谱分析作为功率谱峰值法的补充。所以该工具箱可绘制自功率谱和倒频谱,各种参数可随时调整。可用鼠标精确捕捉峰值(频谱值),并自动计算差值。亦即所要识别的基频。

鉴于架空索道承载索跨度大,测量基频就能达到目的^[27]。

第7章 机械振动测量技术

1 概 述

1.1 测量在机械振动系统设计中的作用

测量是获取准确设计资料的重要手段。在第5、6章各类机械振动系统的设计中，系统的频率比、阻尼比以及零件材料的弹性模量和阻尼系数等的取值范围都相当宽，振动参数的取值直接影响振动系统和振动元件的设计质量，对大量机械振动系统中各种参数的测量是获取和积累准确设计资料的重要手段。在工程上也经常遇见某些原始设计参数需要直接从测量中获得。例如动力吸振器设计中主振系统的固有频率、随机振动隔振器设计中的载荷谱、缓冲器设计中的最大冲击力和冲击作用时间等，往往需依靠测量手段获得。

调试工作更直接依靠测量。由于在机械振动系统设计之前，对实际振动系统进行了简化和抽象，忽略了诸多影响振动的因素，设计中又会遇到参数选取的准确性问题，再加上制造、安装上的误差，因而很难保证机械振动系统一经安装就能满足工程需要，一般要经过调试才能使各项参数符合设计要求。例如动力吸振器和近共振类振动机工作点（频率比）的调试。对于一个经验丰富的设计人员，可以凭借经验对振动系统进行调试。但对于一般设计人员和调试人员，则需要通过测量和对测量结果的分析，确定调试方案。另外，振动测量结果及其分析也是机械振动系统设计验收的依据。

1.2 振动的测量方法

1.2.1 振动测量的主要内容

- 1) 振动量 振动体上选定点的位移、速度、加速度的大小，振动的时历程曲线、频率、相位、频谱、激振力等。
- 2) 系统的特征参数 系统的刚度、阻尼、固有频率、振型、动态响应特性（系统的频率响应函数、脉冲响应函数）等。
- 3) 机械结构或零部件的动力强度 对机械或零部件进行模拟环境条件的振动或冲击试验，以检验其耐振寿命，性能的稳定性，以及设计、制造、安装、包装运输的合理性。
- 4) 设备、装置或运行机械的振动监测 在线监测、测取振动信息、诊断其运行状态与故障发生的可能性，及时作出处理以保证其可靠的运行。

1.2.2 振动测量的类别

振动测量可以分为被动式的振动测量和主动式的振动测量。后者是指振动可人为施加，且振源特性可控可测，即采用了激振设备。

必须指出“振动”和“冲击”有时没有明确的界限，如瞬态振动也可叫复杂脉冲，两者所用的传感器和仪器很多也可通用。

振动与冲击测量，按力学原理可分为相对式（分顶杆式、非接触式）测量法和惯性式（又称绝对式，测量惯性坐标系的绝对振动）测量法。

按振动信号的转换方式，可分为机械测振法；电测法和光测法。

(1) 机械测振法

将工程振动的参量转换成机械信号，再经机械系统放大后，进行测量、记录。常用的仪器有杠杆式测振仪和盖格尔测振仪，能测量的频率较低，精度也较差（见表 18-7-1）。但在现场测试时较为简单方便。

表 18-7-1 用杠杆或惯性原理接收并记录振动的机械法的优缺点

	相对式	惯性式
测量范围/mm	0.01 ~ 15	0.01 ~ 20
频率范围/Hz	0 ~ 330	2 ~ 330
供电电源	无	
体积	大	
灵敏度	低	
价格	便宜	
测试环境	无电磁干扰、但须考虑温度、安装及腐蚀问题	
举例	手持式仪	盖格尔测振仪

(2) 光测法

光测法是将机械振动转换为光信息进行测量的方法。目前常用的仪器是光导纤维式拾振器，原理是由于外界因素（温度、压力、电场、磁场、振动等）对光纤的作用，会引起光波特征参量（如振幅、相位、偏振态等）发生变化。因此人们只要能测出这些参量随外界因素的关系变化，就可以用它作为传感器元件来检测温度、压力、电流、振动等物理量的变化。

目前生产的有：非接触测量的光纤位移传感器（包括反射式强度调制位移传感器，反射补偿式位移传感器）；光纤接触式位移传感器；集成光学微位移传感器；光纤加速度拾振器等。

光纤本身就能够制作成许多光信号传播的器件（比如分束器、合束器、复用器、过滤器和延时线路），从而形成全光纤化的测量系统。特别是内部传感器是光纤一体化的系统，更多的应用在测量旋转、应变、声音和振动。由于光纤传感是抗电磁干扰的，因此它能够在巨大电器设备（如发电机、电动机）附近稳定工作，它也能够大大降低雷电对传感器带来的可能破坏。目前发展的是光纤传感器的分布式传感技术、研制超窄线宽高功率激光器等。

(3) 电测法

电测法主要采用电力传感器，电力传感器是用来将被测的工程振动参量换成电信号，经电子线路放大后显示和记录的装置。这是目前应用得最广泛的测量方法。它与机械式方法比较，有以下几方面的优点：较宽的频带；较高的灵敏度和分辨率；具有较大的动态测量范围；振动传感器可以做得很小，以减小传感器对试验对象的附加影响；可以做成非接触式的测量系统；可以根据被测参量的不同来选用不同的振动传感器；能进行远距离测量；适合于多点测量和对信号进行实时分析；便于对测得的信号进行储存。

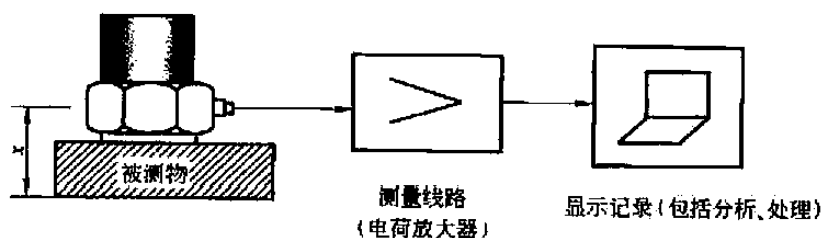


图 18-7-1 电测法基本系统示意图

电测法所用的传感器按机电变换可分为发电型和参量型。发电型是将振动转化为电压或电荷，为电动式或压电式；参量型是将振动转化为电阻、电容、电感等参量，有变电阻式、变电容量式、电感式、压阻式、电涡流式。

按测量的机械量可分为位移计（包括速度计、加速度计、应变计）和力传感器（包括扭矩传感器、角度传感器）。

按接收与变换是否反馈可分为非伺服式和伺服式（包括无源伺服和有源伺服式）。

光测法与电测法的优缺点见表 18-7-2。

表 18-7-2 光测法与电测法的优缺点

	光 测 法	电 测 法
测量范围	1/4 波长或更低	大、中、小量程均有
频率范围	中低频	宽(大、中、小量程均有)
可选传感器	较少	规格型号多
电源或光源	激光或其他光源	需要电源
体积	大、中、小	中、小
灵敏度	高(<光波长,如 <1 μm)	高、中、低均有
价格	贵	高、中、低档均有
测试环境	一般要求隔振、现场测量较困难、不接触式、温度及腐蚀要求低	需考虑温度、湿度、腐蚀及电磁干扰等影响
举例	读数显微镜 激光干涉仪(迈克尔逊干涉条纹) 激光散斑法(ESPI 电子散斑) 高速摄影法	伺服式加速度计 压电式加速度计 涡流式位移计 惯性式速度计 角位移计

1.3 测振原理

1.3.1 线性系统振动量时间历程曲线的测量

对于线性系统,无论施加给振动系统的激励是确定性激励还是随机激励,系统所产生的位移,速度和加速度之间始终存在着下列关系:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad \ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (18-7-1)$$

因此,对于线性振动来说,只要测得振动位移、速度、加速度三者之一,就可换算出另外两个量。如果知道了激励和多点线性振动的时间历程曲线,通过分析,即可得出其相应的振幅、相位等各种物理量。因此,测量线性振动加速度(或者速度、位移)的时间历程曲线在振动测量中占有重要地位。

实际振动系统往往具有一定的非线性性质,但对大多数工程实际系统来说,这种非线性性质都是很弱的,非线性系统振动的某些物理现象可能存在。但是在比较高次谐波振动和基频振动幅值时,就会发现高次谐波振动的幅值远小于基频振动幅值,测量弱非线性系统振动得到的时间历程曲线,几乎与测量线性系统振动所得到的时间历程曲线是相同的。

在线性振动测量中,简谐振动的测量十分重要。因工程中的实际振动问题多数具有简谐变化性质或周期变化性质;其次,在识别系统的动态特性(例如频率响应函数)时,一般施加给系统的激励都是简谐激励(因动态特性与激励性质无关),系统产生的振动也是简谐振动。简谐振动的振幅、相位、频谱、激振力和线性系统刚度、阻尼、固有频率和振型等参数的相互变换也非常方便。

1.3.2 测振原理

图 18-7-2 为测振仪原理图。测振仪包括惯性测振装置,位移计、加速度计等。采用线性阻尼系统,一自由度,测振仪机壳固定于振动物体,随其一起振动;拾振物体 m 相对于壳体作相对运动。系统输入的是壳体运动引起的惯性力,输出的是质量 m 的位移。低频段输出与加速度成正比;高频段输出与位移成正比。

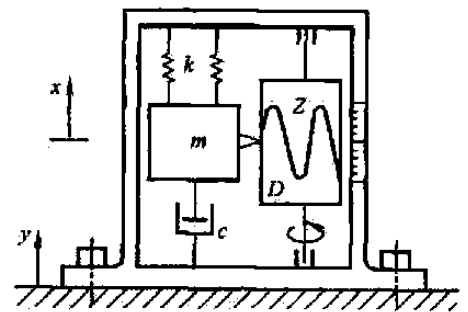


图 18-7-2 测振仪原理图

1.4 振动测量系统图示例

以单点动态特性测试为例仪器设备布置框图见图 18-7-3。其中磁带记录仪不是必需的，其目的是为了可以重放现场各种环境振动波形。

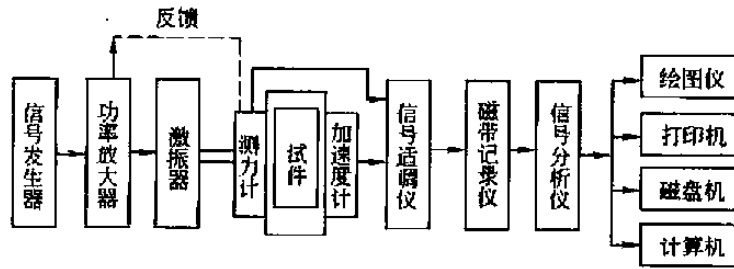


图 18-7-3 振动测试仪器设备布置框图示例

2 数据采集与处理

2.1 信号

2.1.1 信号的类别

信号有数字量和模拟量。信号的类别如图 18-7-4 所示。

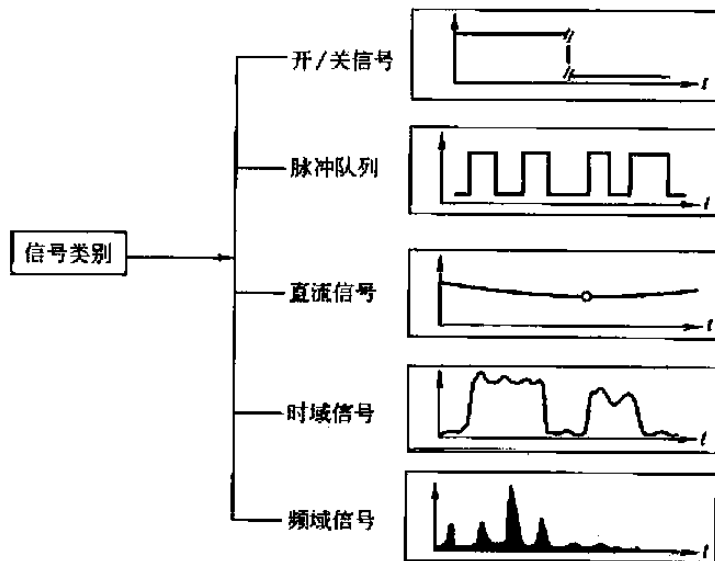


图 18-7-4 信号的类别

信号输出的内容包括信息的状态、速率、幅值、波形、频率等。

电压信号可输出包括温度、压力、流量、应力等。

时域信号可输出包括雷达回波、血液变化、内燃机点火波形等。

频域信号可输出包括振动、语音、声纳等。

2.1.2 振动波形因素与波形图

每一个振动量对时间坐标作出的波形，可以得到峰值、峰峰值（正峰值到负峰值）、有效值和平均绝对值等量值。它们之间存在一定的关系。振动量的描述常用峰值表示，但在研究比较复杂的波形时，只用峰值描述振动过程是不够的。因为峰值只能描述振动大小的瞬时值，不包含产生振动的时间过程。在考虑时间过程时的进一步

描述，是平均绝对值和有效（均方根）值。有效值与振动的能量有直接关系，使用较多。

平均绝对值的定义是

$$y_C = \frac{1}{T} \int_0^T |y(t)| dt$$

有效值的定义是

$$y_E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt}$$

设波峰为 y_m ，则

波峰因数为：

$$f_E = \frac{y_m}{y_E}$$

波形因数为：

$$f_I = \frac{y_E}{y_C}$$

对于正弦波， $f_E = \sqrt{2}$ ， $f_I = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ 。

关于波形峰值、有效值和平均绝对值之关系的分析，对位移、速度、加速度和各种信号波形都是适用的。但各种不同波形的 f_I 和 f_E 值是不一样的，有时有很大的差别。正弦波、三角波和方波，其 f_I 值与 f_E 值分别列于表 18-7-3。

表 18-7-3

三种波的波形因数与波峰因数

波形	波形因数 f_I	波峰因数 f_E
正弦波	1.111	1.414
三角波	1.135	1.732
方波	1.000	1.000
高斯随机波	1.253	0.798

波形图现代的测试方法一般是用压电晶体加速度计。经电荷放大器放大后，送往示波器得到加速度波形图。若要得到速度或位移的波形，则需经过积分线路。

2.2 信号的频谱分析

频谱是构成信号的各频率分量的集合，它完整地表示信号的频率结构，即信号由哪些谐波组成，各谐波分量的幅值大小及初始相位，从而揭示了信号的频率信息。信号的频谱可分为幅值谱、相位谱、功率谱、对数谱等。对信号作频谱分析的设备主要是频谱分析仪。其工作方式有模拟式和数字式两种。

(1) 周期信号的频谱分析

周期信号是经过一定时间可以重复出现的信号，即

$$x(t) = x(t + nT)$$

一般可展开成为傅里叶级数，通常有实数形式表达式：

$$x(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t$$

或

$$x(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t - \varphi_n)$$

式中， T 为周期， ω_0 为基波角频率； a_n ， b_n ， A_n ， φ_n 为信号的傅里叶系数，表示信号在频率 f_n 处的成分大小。

以 f_n 为横坐标；以 a_n ， b_n 为纵坐标画图，称为时频-虚频谱图；以 A_n ， φ_n 为纵坐标画图，称为幅值-相位谱；以 A_n^2 为纵坐标画图，则称为功率谱。如图 18-7-5 所示。

(2) 非周期信号的频谱分析

非周期信号是在时间上不会重复出现的信号。这种信号的频域分析手段也是傅里叶变换。其计算与周期信号相似，不再详述。

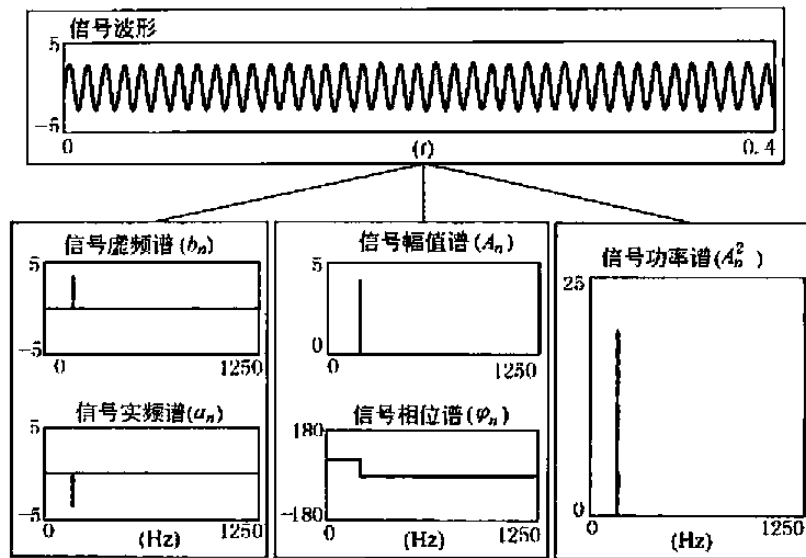


图 18-7-5 周期信号的频谱表示方法

2.3 数据采集系统

2.3.1 信号采集

振动的数据采集系统一般由拾振器（传感器）、放大器（包括滤波器）和记录器三部分组成。即信号采集过程：

拾振器（传感器）——信号调理（放大、滤波、信号转换）——输入计算机——处理——输出
 典型信号采集系统见图 18-7-6。

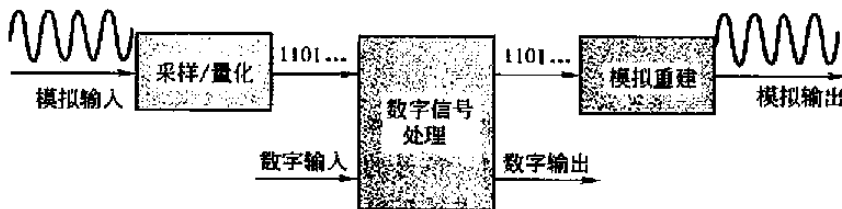


图 18-7-6 典型信号采集系统

信号采集一般使用采集卡，对其要求：驱动能力，通道数，频率（时钟频率，采样频率），分辨率，精度等。

由压电式加速度计、双积分线路电荷放大器和磁带记录仪组成的典型测试系统见图 18-7-7。

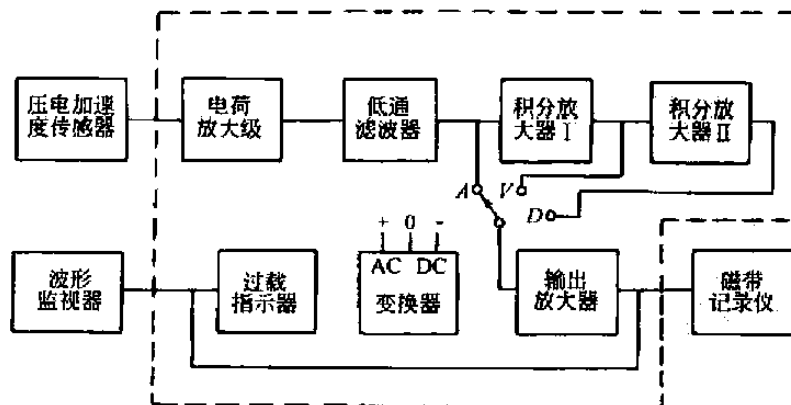


图 18-7-7 典型电测系统

2.3.2 力锤及应用

力锤又称手锤，是手握式冲击激励装置，也是目前试验模态分析中经常采用的一种激励设备。图 18-7-8 为力锤的结构示意图。它由锤帽、锤体和力传感器等几个主要部件组合而成。当用力锤敲击试件时，冲击力的大小与波形由力传感器测得并通过放大记录设备输出、记录。使用不同的锤帽材料可以得到不同脉宽的力脉冲，相应的力谱也不同。常用的锤帽材料有橡胶、尼龙、铝、钢等。一般橡胶锤帽的带宽窄，钢最宽。因此，要根据相同的结构和分析频带选用不同的锤。常用力锤的锤体重约几十克到几十千克，冲击力可达数万牛顿。由于力锤结构简单，便于制作，使用十分方便，而且避免了使用价格昂贵的激振设备及其安装激振器带来的大量工作，因此，它被广泛地应用于现场及室内的激振试验。

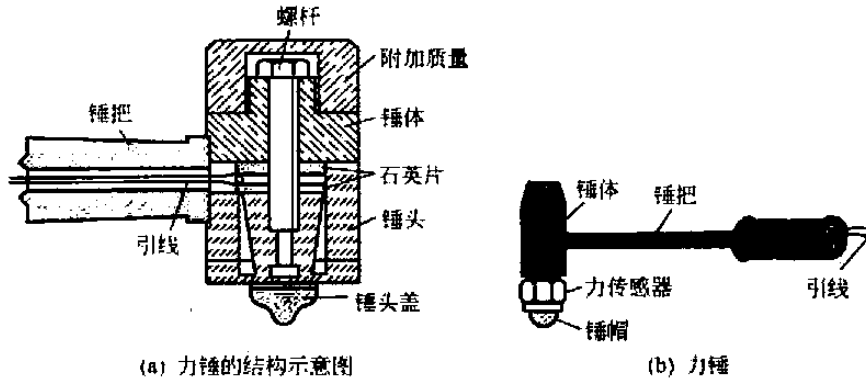


图 18-7-8 力锤

脉冲锤击激振法，是采用力锤对试件敲击，系统示意图如图 18-7-9；冲击力函数和频谱如图 18-7-10。为了消除噪声干扰，采用脉冲锤击法时，必须采用多次平均。

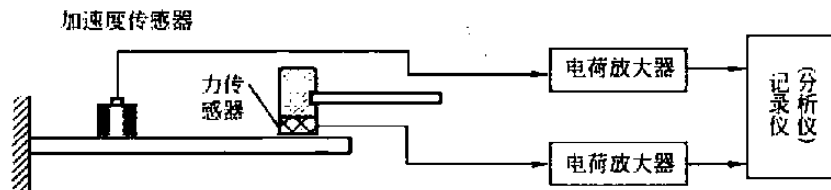


图 18-7-9 脉冲锤击激振法示意图

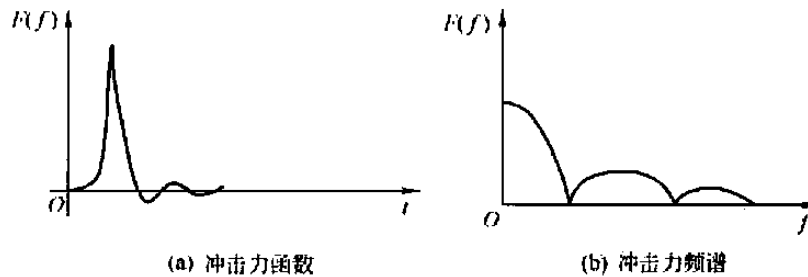


图 18-7-10 冲击力函数和频谱

2.4 数据处理

本节概略地介绍机械振动的数据处理问题。

2.4.1 数据处理方法

振动信号按其特征可分为两大类，一类是确定性振动，它可以用一个确定性的时间函数来描述。另一类是随机振动信号，它只能用数理统计的方法去描述。确定性振动又可分为周期性振动和非周期性振动。对于周期性振动，可从振动时间历程中得到一些有用信息，如峰值（振幅）、基本周期等，为了知道周期振动中所包含的各个

频率分量的大小,只需做频谱分析就可以了;对于非周期振动中的准周期振动也只需做频谱分析,对瞬态振动处理,则常用冲击响应谱分析。

对于统计特性不随时间变化的平稳随机振动,在幅值域上,可以进行均值分析、均方根值分析、概率分布分析等;在时域上可进行相关分析;在频域上可进行谱密度分析、频响函数分析和相干分析。对于非平稳随机振动,目前虽有很多方法,但尚无一个很完善的分析方法。

2.4.2 数字处理系统

数据处理可分为模拟数据分析和数字数据分析两大类。20世纪70年代之前振动分析设备以模拟式分析仪为主。由于电子技术和计算技术的迅速发展,各种数字分析仪相继问世,特别是快速傅里叶变换(FFT)分析技术得到应用后,目前数字分析仪已成为振动数据处理设备的发展方向。数值分析系统如图18-7-11所示。

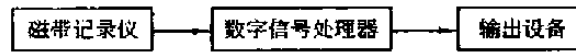


图 18-7-11 数字分析系统框图

数字分析仪有以下特点。

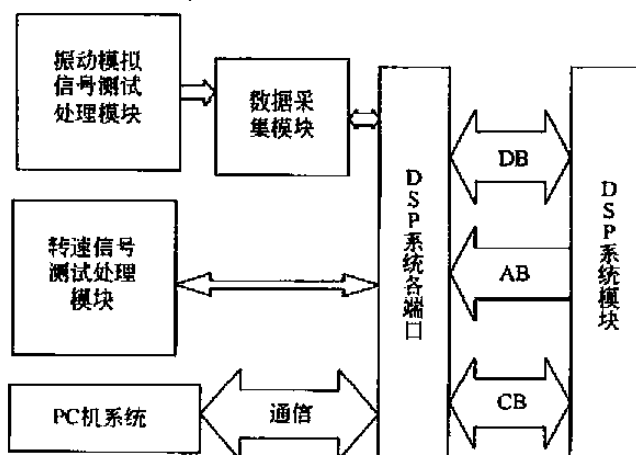
- 1) 运算功能多,数字分析仪一般都具有十几种或几十种功能,随机振动时域、频域、幅值域的各种参数都可以经数字分析仪处理得到;
- 2) 运算速度快,实时能力强,可用于高速振动的在线监测和控制系统中;
- 3) 分辨能力和分析精度高,特别是细化快速傅里叶变换的出现,在不扩大计算机容量条件下,大大提高所感兴趣频段的频率分辨力;
- 4) 操作简单,显示直观,复制与储存、扩展与再处理等均方便,每一种功能运算只要一次或几次按键就可以完成,运算要求和程序调配,可以实现人机对话;
- 5) 分析仪一般均留有接口,为扩大和开发新的功能以及进行数字通信提供条件。

2.5 智能化数据采集与分析处理、监测系统

振动测试仪器布置框图示例已见图18-7-3。

(1) 智能化振动数据采集分析系统

智能模块化结构以DSP系统为核心模块,作为主-次处理器。通过接口把各模块和PC机连成整体,配置相应的软件,成为功能全面的监测、预测和诊断系统。开发的DSP系统,包括存储器分配、系统控制、各种接口电路、总线等,满足现代旋转机械振动数据采集分析的需要。例如,用于发电机组等旋转机械的振动数据采集分析装置。DSP(数字信号处理器)是市场可以购置的。



振动数据采集分析装置的主-次处理器结构的框图,如图18-7-12所示。

数据采集模块,是经两通道的D/A程控放大器和A/D转换器与DSP系统接口的。还有转速信号处理模块,DSP系统模块软件,由DSP汇编语言编制调试而成。可以实时地进行大量的振动信号和转速信号的数据采集,实时滤波、实时FFT分析及其他实时分析等;可进行人机对话,可输入装置的参数、变量、命令等;可以显示数据、绘制图形、打印结果等。有用于连接其他计算机(PC)的接口和多用途的I/O引线,进行数据交换。

(2) 传感器与数据采集卡的选用

对于机械设计人员来说,振动的处理与分析主要是了解其内容及可能有的方法和其优缺点,适用范围等,以便于购买或定制。网上可查到很多制造传感器与生产数据采集卡的公司和厂家,也有研制测试、监控全系统的单位。

3 振动幅值测量

振动幅值是指位移幅值（振幅）、速度幅值、加速度幅值。如本章 1.3.1 节所述，位移、速度、加速度是由公式 (18-7-1) 关联的，但如果只测得其幅值，则还需要知道其振动频率或角频率。

3.1 光测位移幅值法

(1) 振幅牌测量振幅

这是视觉滞留作用法的一种测量方法。直观法测振幅只需要一个如图 18-7-13a 或图 18-7-14a 所示振幅牌，当被测物做直线振动时，振幅牌为一直角三角形（也有用等腰三角形）。直角三角形的高（或等腰三角形的底） b 必须是实际尺寸，同时将另一直角边（或等腰三角形的腰） l 分为若干等分。例如：当最大量程 $b = 10\text{mm}$ 时，最好将 l 等分为 5 等分（或 10 等分、20 等分），并在下方标注上平行于 b 的线段的实际高度。利用振幅牌测量振幅，必须使振动体的振动方向与三角形的高 b 相平行。测量时需将振幅牌固定在振动体上。随着质体的振动，此三角形在两死点位置之间移动。应用视觉暂留原理，可以观察到直角三角形直角边与斜边的交点（图 18-7-13b），交点所对应的读数，即为质体振幅的二倍，通常称为双振幅。

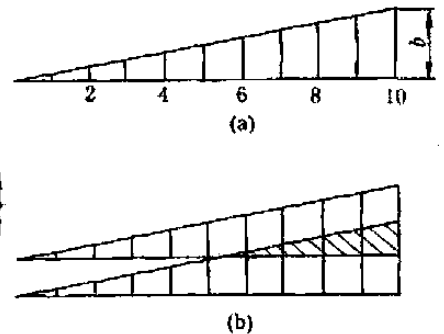


图 18-7-13 直线振动振幅牌及运动轨迹

当被测物体做圆运动时，其振幅牌是由一系列直径不等的圆组成的，如图 18-7-14a 所示。例如：当最大量程为 $d_{\max} = 10\text{mm}$ 时，类似前面振幅牌将 l 等分，也可以分别以直径 $d_3 = 10\text{mm}$ 、 $d_2 = 8\text{mm}$ 、 $d_1 = 6\text{mm}$ 做三个圆，并在每个圆附近标上对应直径数值。测量时将振幅牌固定在振动体上，随着质体的振动，振幅牌各圆上的每一个点的运动轨迹都是直径相等的圆，这圆轨迹的直径即为待测的双振幅。于是根据视觉暂留原理，振幅牌上各圆都有一外包络线圆和一内包络线圆，如图 18-7-14b 所示。某圆内包络线圆刚好为一点时，则此圆直径即为质体双振幅。该振幅牌也可用来测量直线振动的幅值，如图 18-7-14c 所示。既然圆振幅牌能测直线振动幅值和圆振动幅值，按理也应能测量介于两者之间的椭圆运动轨迹的长轴和短轴，只是其内包络线的椭圆模糊不清，不易分辨而已。

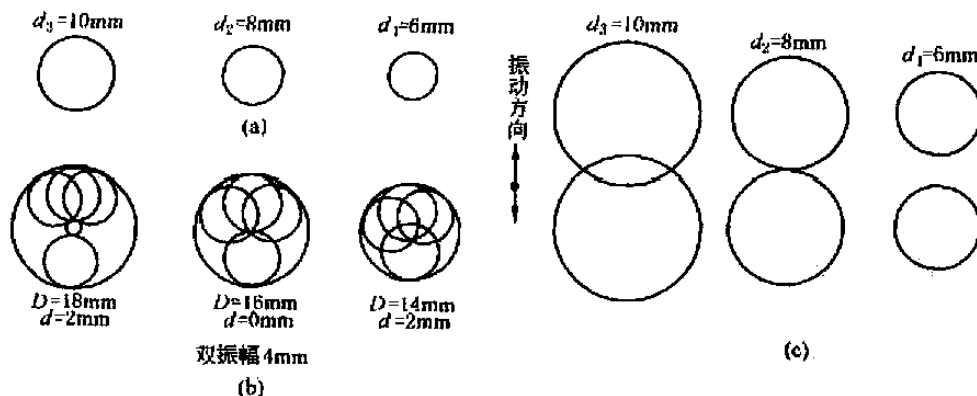


图 18-7-14 圆振幅牌及运动轨迹

振幅牌测量位移的最大量程为 $b/2$ （或 $d_{\max}/2$ ）。精度与 l/b （或 d_n/d_{n+1} ）成比例。通常采用 $b = 20\text{mm}$ （或 $d_{\max} = 20\text{mm}$ ）。这种测量方法一般用于频率大于 10Hz 、振幅大于 0.1mm 的振动测量。

(2) 读数显微镜测量位移幅值

如果要求精度较高，可采用读数显微镜观测振幅，在振动体上贴上一细砂纸，用灯光照射，砂纸上砂粒位移的反射光通过读数显微镜可观测到被测位移幅值。所能测量振幅的大小，由读数显微镜放大倍数决定，一般不超过 1mm 。测量要求与用振幅牌测量相同，只是这种测量要求振动稳定性好。

3.2 电测振动幅值法

本章第2节已较详细地介绍了电测信号的形成与典型的测量加速度的框图。最简单的办法是用双积分电荷放大器接加速度传感器就可测得系统的位移幅值或速度幅值或加速度幅值：

$$\text{系统的幅值} = \text{输出电压} \times \text{传感器倍率} \times \text{单位额定机械量} \times \text{量程倍率}$$

其中，输出电压由峰值电压表测得；传感器倍率由传感器的技术特性确定；单位额定机械量由电荷放大器技术特性给出；量程倍率由被测量的过载限制决定。

电测振动幅值法不仅可直接测定简谐振动的位移、速度、加速度的幅值，还可以测定非简谐振动的位移、速度、加速度的幅值和随机振动的位移、速度、加速度的幅值。

3.3 激光干涉测量振动法

3.3.1 光学多普勒干涉原理测量物体的振动

激光测量是一种非接触式测量，其测量精度高、测量动态范围大，同时不影响被测物体的运动，具有很高的空间分辨率。

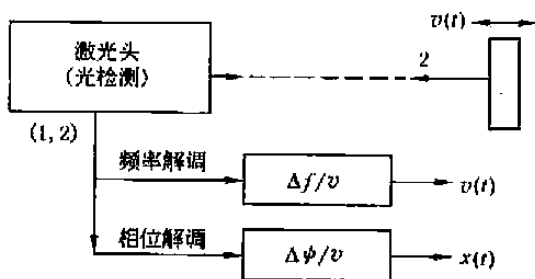


图 18-7-15 激光测量系统原理图

多普勒干涉原理是：光源发射一束频率为 f_0 的光照射到物体表面，运动物体接收到光信号后把它反射出来，光接收器接收到频率为 f 光波信号，其频率随运动物体速度增加而增加。激光多普勒干涉技术用于振动测量就是应用此原理。激光振动测量仪发出的激光经过透镜分成两束光（图 18-7-15），光束 1 是参考光束，直接被光检测器接收；另一束光经过一对可摆动的透镜照射在物体表面上，受运动物体表面粒子散射或反射的光为光束 2。它被集光镜收集后由光检测器接收，经过干涉产生正比于运动物体速度的多普勒信号，通过频率和相位解调便可得到运动物体速度和位移的时间历程信号。

目前市场上有美国 MetroLaser 公司生产的激光多普勒振动测试仪。

目前市场上有美国 MetroLaser 公司生产的激光多普勒振动测试仪。

3.3.2 低频激光测振仪

图 18-7-16 为一台低频激光测振仪光路示意图。图中参考光路为：激光至 M_1 、 B_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 、 M_6 反射镜，并由 M_6 自准直后再返回至分光镜 B_1 ，经 B_1 透射后入射至光电倍增管。为使参考光路长短可调， M_4 可以前后移动，以平衡参考光路和实际的水平台和垂直台测量光路。

垂直台测量光路为：激光至 M_1 、 B_1 反射后至 M_9 、 M_{11} （此时反射镜 M_{10} 退出光路，见 A 向视图）。经自准直后，由 M_{11} 沿原路返回 M_9 、 B_1 ，并透过 B_1 至光电倍增管，于是参考光及测量光相干涉，产生干涉条纹。水平台测量光路为：激光至 M_1 、 B_1 ，此时经反射镜 M_{10} 进入光路，光由 M_{12} 至 M_{13} （C 向视图），经自准直调节后，由 M_{13} 返回 M_{12} 、 B_1 至光电倍增管。此时，水平台测量光与参考光干涉，产生干涉条纹。

以低频激光测振仪的激光波长为长度绝对标准，对振动台振幅 A 进行测量与测量振动周期的绝对时间标准配合，可测得振动表面振幅、速度、加速度等各振动参数。最终对振动传感器的位移、速度和加速度等振动参数进行绝对标定。本系统利用条纹计数法对振动平台的台面振动进行测量，振幅和条纹数之间的关系可以用下式算出：

$$A = \frac{1}{8} N \lambda$$

式中 A ——振动台的振幅；
 N ——条纹数；
 λ ——激光的波长。

目前激光全息可用于振动测试分析的设备，有挪威 Optoner 公司生产的激光全息振动测量与无损检测系统。但一般只能在普通实验室环境，无隔振要求，周围没有旋转机械及噪声源的情况下工作。

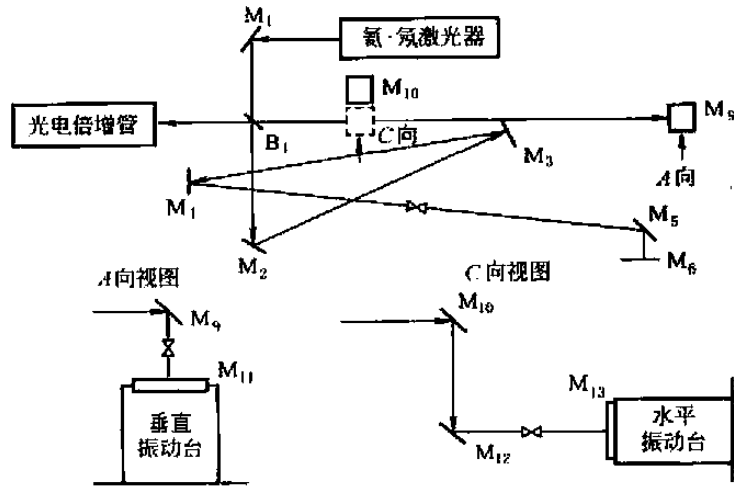


图 18-7-16 低频激光测振仪光路示意图

A 向视图—激光到垂直振动台的视图；C 向视图—水平振动台的视图

4 振动频率与相位的测量

在振动测量中，振动频率的测量比其他参数的测量容易实现。然而，它在振动测量中却占据很重要的地位，而且往往是首先遇到和必须解决的问题。

4.1 李沙育图形法

利用李沙育图形测量振动频率，所用的仪器为阴极射线示波器和正弦信号发生器。将传感器感受到的信号，接到示波器的垂直（或水平）输入，再把正弦信号发生器的输出接至示波器的水平（或垂直）输入。同时把“x轴选择”开关置于“x轴增幅”位置，并适当调整“x轴增幅”与“y轴增幅”的旋钮，就会在示波器的荧光屏上出现两信号的合成图形。调节正弦信号发生器的输出频率，使荧光屏上出现稳定的椭圆或圆形波形。这时被测信号的频率就等于正弦信号发生器的频率。从正弦信号发生器的刻度盘上可读出输出信号的频率值，即被测振动信号频率。若示波器荧光屏上出现的是其他复杂稳定图形，同样可根据正弦信号发生器的输出频率值，来确定被测信号的频率。这时需要根据图 18-7-17 判断被测振动信号和正弦信号发生器的输出频率比 (m/n)。

由此可见，利用李沙育图形，可以测量出被测振动信号的频率。其测量精度和信号发生器的频率指示精度一样。在测量过程中，应当注意选用示波器和信号发生器的工作频率范围，必须能够覆盖测量所需要的数值。对于机械振动量来说，主要是下限频率应满足测量要求。

4.2 标准时间法

标准时间法测量振动频率，通常是用带有时间标度的示波器。若振动信号波形一个周期占据 5 格，而每格代表 $1\mu s$ ，因频率是周期的倒数，故该振动信号的频率为 $200kHz$ 。

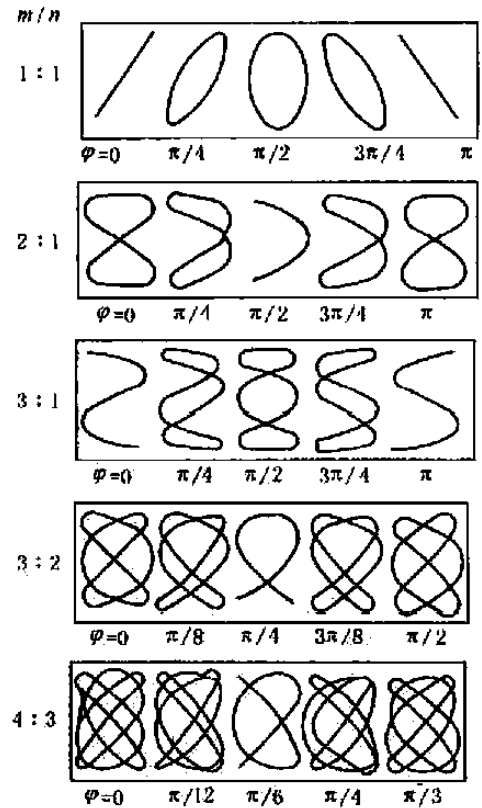


图 18-7-17 李沙育图形

 m —沿水平轴简谐振动信号的频率； n —沿垂直轴简谐振动信号的频率

4.3 闪光测频法

闪光测频是通过闪光仪来实现的。如果闪光频率正好和物体振动频率一致，那么，当振动体每次被照亮时，它正好振动到同一位置，看起来振动体就好像稳定在一个位置不动一样。这时从闪光仪上读出闪光频率，就是物体的振动频率。但应注意，当物体的振动频率是闪光频率的整数倍时，同样会出现振动稳定在一个位置不动的情况，这就需从低频至高频反复调节闪光频率，以确定振动体的真实振动频率，或者根据振动系统的特性凭经验确定振动体的实际振动频率。可测频率范围：1~2400Hz。

4.4 数字频率计测频法

测量振动频率的直读仪器，目前多采用数字式频率计，这是因为数字式频率计具有很高的精确度和稳定性，同时数字显示使用也很方便。

数字频率计测量频率的过程，就是在标准单位时间内，记录电信号变化的周波数。典型的数字频率计的方框图如图 18-7-18 所示。显然数字频率计必须有一高精度的时间标准。通常由石英晶体振荡器经分频器分频后，获得不同的时间标准。被测信号首先进入放大整形电路，将周期信号放大并整形为前沿陡峭的脉冲信号。然后再把此信号送入计数门。计数门的开闭由标准时间信号控制。当计数门打开的标准时间内通过计数门的信号脉冲数被计数器记录下来，该脉冲数即为被测信号的频率。

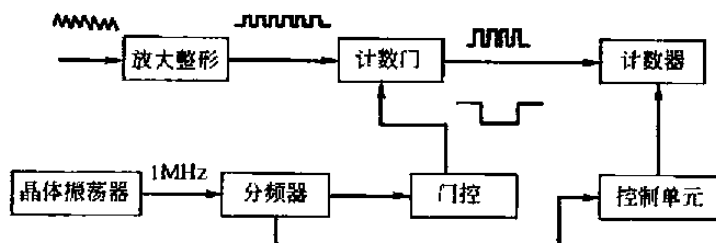


图 18-7-18 测量频率的工作原理

当用频率计测量频率较低的振动时，误差很大。所以对低频信号改为测周期，测量周期的原理（图 18-7-19）与测量频率是相反的，这样就会明显地提高准确度。

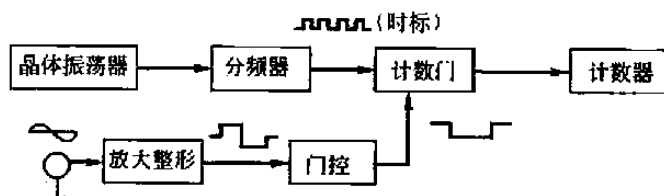


图 18-7-19 测量周期的工作原理

4.5 振动频率测量分析仪

目前市场上的振动频率测量分析仪不仅具有测量机械设备振动加速度、速度、位移的，并可测量它的主频率。一般仪器采用单片机电路及各种技术设计而成，可靠性高、耗电量小、抗干扰能力强、体积小、操作携带方便等特点，采用电池供电。

还有频谱分析仪，将周期振动信号输入频谱分析仪，就可直接测量出信号中所包含的各次谐波的频率。

4.6 相位的测量

振动测试中感兴趣的通常不是某一正弦波的初相位，而是两同频率正弦波间的相位差。可用相位计测量，还可用示波器测量。有线性扫描法、椭圆法和填充计数式相位测量。目前市场上供应有相位表。

例如，填充计数式相位测量是将两个同频被测信号整形为两个方波信号，然后测量出这两个同频方波的前沿（或后沿）之间的时间差比例，即为这两个被测信号之间的相位差。要获得这个时间差比例，通常采用脉冲信号填充计数之；设两信号经整形后形成 A 和 B 两路方波，若 A 的两个前沿之间（一个信号周期）的计数脉冲的个数为 N 个，A 与 B 的两个相邻前沿之间的计数脉冲的个数为 n 个，则 A、B 两路之间的相位差为 $2\pi n/N$ 。

又如，用双线示波器测量各点的相位关系；取双线示波器中的一条扫描记录参考点的信号，另一条扫描逐点显示各测点的波形，以参考点波形为基准来对比，逐点读出各测点的相位。

5 系统固有频率与振型的测定

固有频率是振动系统一项重要参数。它取决于振动系统结构本身的质量、刚度及分布。确定系统固有频率可以通过理论计算或振动测量得到。对较复杂系统只有通过测量才能得到较准确的系统固有频率。确定系统固有频率的常用方法有自由衰减振动法与共振法。

5.1 自由衰减振动法

设法使被测系统产生自由振动，同时记录下振动波形与时标信号，然后进行比较，可求得系统自由衰减振动的频率 f_0 。由于阻尼的存在，它与系统的固有频率 f_0 之间关系为：

$$f = f_0 \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (18-7-2)$$

式中 ζ ——系统的阻尼比。

由式(18-7-2)可知，用自由振动法测出的系统固有频率，略小于实际的固有频率，当阻尼很小时，两者是很接近的。

为使系统产生自由振动，通常采用敲击法对系统施加一冲击力，但应注意力的作用点、大小和作用时间等。

5.2 共振法

该方法是利用激振器对被测系统施以简谐干扰力，使系统产生受迫振动，然后连续改变干扰力频率，进行扫描激振，当干扰力频率和系统固有频率相近时，系统产生共振（振动幅值最大）。只要逐渐调节干扰力频率，同时测量振动幅值，绘出幅频响应曲线。曲线峰值所对应的频率即为系统的各阶固有频率。

应当指出：由于测量振动参数不同，存在位移共振、速度共振、加速度共振，它们对应的共振频率之间的关系见表 18-7-4。

表 18-7-4 单自由度系统固有频率和共振频率关系

阻 尼	固有频率	位移共振频率	速度共振频率	加速度共振频率
无阻尼	ω_n	ω_n	ω_n	ω_n
有阻尼	$\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$	$\omega_n \sqrt{1 - 2\zeta^2}$	ω_n	$\omega_n \sqrt{1 + 2\zeta^2}$

由表 18-7-4 可见，在有阻尼情况下，只有速度共振时，测得速度共振频率就是系统的无阻尼固有角频率。所以在测量中，最好测速度信号。位移共振频率和加速度共振频率，只有阻尼不大时，才接近无阻尼固有角频率。

5.3 频谱分析法

给系统一个激励，如果同时测试输入的激励以及物体引起的振动（位移、速度或加速度），就可以求取输出（振动）与输入（力）的关系——即物体或结构的响应函数。该系统响应函数反映了机械结构固有的力学特征。

设 $X(s)$ 表示对系统的输入， $Y(s)$ 表示系统的输出， $H(s)$ 表示系统函数， s 为广义参量，则机械结构的响应函数为：

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

如果以频率为参量, 则 $H(s)$ 成为频响函数。频响函数上的各个峰值所对应的频率即为结构的各阶固有频率。

特别地, 当输入力为标准脉冲力 $\delta(t)$ 时, 其频谱幅度恒定为 1, $X(s) = \delta(s) = 1$; 直接对响应信号 (振动信号) 进行频谱分析, 即可得到结构的频响函数。

例如, 对叶片敲击时, 相当于对叶片施加一个准脉冲力, 然后用微型加速度传感器将其振动信号送入仪器进行频率分析, 即得到响应信号的频谱, 亦即叶片频响函数。频谱上的峰值对应的频率即为叶片固有频率。

可采用频率分析仪测定固有频率, 过程是: 传感器将拾取叶片振动信号, 经电荷放大器转换为电压信号, 然后滤掉无用的频率成分, 放大后送 A/D 转换器转换成数字量送入微处理器, 微处理器将信号进行频谱分析, 分析结果在液晶显示器上显示出来, 其峰值点对应的频率即为叶片固有频率。

另外, 还有试验模态分析法等。

5.4 振型的测定

振型的测定常与固有频率的测定同时进行。

要测定结构的振型, 可施加一激振力使结构物在某一阶固有频率下振动, 即可得单一的振型, 如此时测定结构物上各点的位移值, 即可得到结构对应于该频率的主振型。

在工程上, 往往还只是用激振器激振结构找出共振时各点的位移值, 用连接起来的振动曲线, 作为振型处理。

此外, 亦可把结构物 (或模型) 放于振动台上进行激振, 这样测得的振型是由基础运动引起的强迫振动情况下的振型。

振型的测定大致有如下几种方法:

- 1) 谱分析法 (基本同 5.3 节);
- 2) 试验模态分析法;
- 3) 探针法;
- 4) 砂型法;
- 5) 激光全息摄影法。

对于比较复杂、大型、刚度较大的部件或结构, 需用传感器及测振仪器, 测出被测结构上各点的振幅 (或加速度) 值及相位, 以绘出其振型曲线。

例如, 用紫外线示波器记录在共振时各点振动信号, 然后读出同一瞬时各点振幅值和各振幅间的相位关系。按各点振幅值画出即为第一振型; 当相位差 180° 时, 按各点振幅值及相位关系画出即为第二振型。

又如, 用上面谈到的双线示波器测量各点间的相位关系, 逐点读出测点的相位, 亦可求得振型。

6 阻尼参数的测定

阻尼是影响振动响应的重要因素之一。确定系统的阻尼系数, 多数用实测方法, 这里介绍几种常用测定方法。

6.1 自由衰减振动法

用自由衰减振动法测出系统自由振动衰减曲线 (图 18-7-20), 即测出振动幅值 (可以是位移、速度或加速度幅值) 随时间 t 而变化的曲线, 然后从衰减曲线上, 量出相隔 n 个周期的两个振幅值 A_1 和 A_{n+1} , 则对数减幅系数:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_1}{A_{n+1}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (18-7-3)$$

从超越方程(18-7-3)中可求得阻尼比 ζ 。当 $\zeta \leq 0.1$ 时,

$$\zeta = \frac{1}{2\pi n} \ln \frac{A_1}{A_{n+1}} \quad (18-7-4)$$

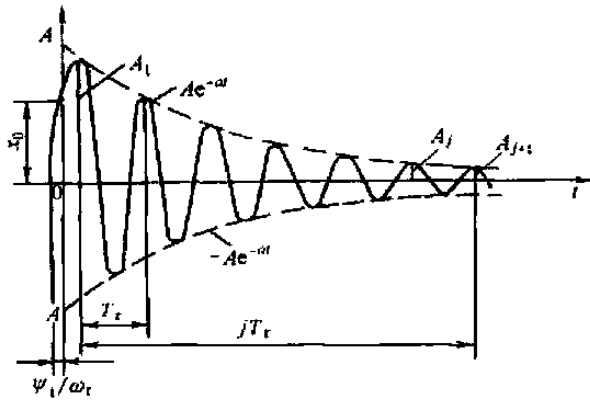


图 18-7-20 自由振动衰减曲线

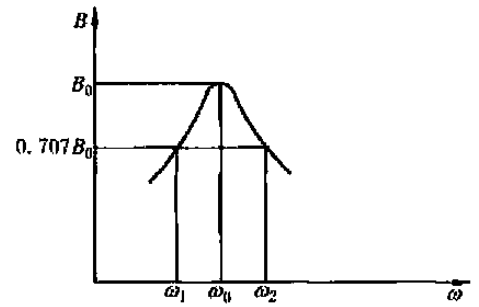


图 18-7-21 共振曲线

6.2 带宽法

在简谐激振力作用下,使系统产生共振,在共振峰附近,改变激振频率,记录相应的振动幅值,作出如图 18-7-21 的共振曲线,利用下式求出阻尼比:

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n} \quad (18-7-5)$$

式中 ω_n ——系统固有角频率, rad/s;

ω_1, ω_2 ——分别为幅频响应曲线上对应幅值为 $0.707B_0$ 的角频率 (B_0 为共振振幅), rad/s。

带宽法既可用于低阶,也可用于高阶下阻尼的测定,但两个角频率值需相差较大,否则误差很大,甚至失效。

第 8 章 轴和轴系的临界转速

1 概 述

轴系由轴、联轴器、安装在轴上的传动件、转动件、紧固件等各种零件以及轴的支承组成。激起轴系共振的转速称为临界转速。当转子的转速接近临界转速时，轴系将引起剧烈的振动，严重时造成轴、轴承及轴上零件破坏，而当转速在临界转速的一定范围之外时，运转趋于平稳。若不考虑陀螺效应和工作环境等因素，轴系的临界转速在数值上等于轴系不转动而仅作横向弯曲振动的固有频率：

$$n_c = 60f_n = \frac{30}{\pi}\omega_n \quad (18-8-1)$$

式中 n_c ——临界转速，r/min；
 f_n ——固有频率，Hz；
 ω_n ——固有角频率，rad/s。

由于转子是弹性体，理论上应有无穷多阶固有频率和相应的临界转速，按数值从小到大排列为 n_{c1} 、 n_{c2} 、…、 n_{ck} 、…，分别称为一阶、二阶…… k 阶临界转速。在工程中有实际意义的只是前几阶，特别是一阶临界转速。

为了保证机器安全运行和正常工作，在机械设计时，应使各转子的工作转速 n 离开其各阶临界转速一定的范围。一般的要求是，对工作转速 n 低于其一阶临界转速的轴系， $n < 0.75n_{c1}$ ；对工作转速高于其一阶临界转速的轴系， $1.4n_{ck} < n < 0.7n_{ck+1}$ 。

临界转速的大小与轴的材料、几何形状、尺寸、结构形式、支承情况、工作环境以及安装在轴上的零件等因素有关。要同时考虑全部影响因素，准确计算临界转速是很困难的，也是不必要的。实际上，常按不同设计要求，只考虑主要影响因素，建立简化计算模型，求得临界转速的近似值。

本手册第 6 篇第 1 章 1.7 节“轴的临界转速校核”可以对照参考。

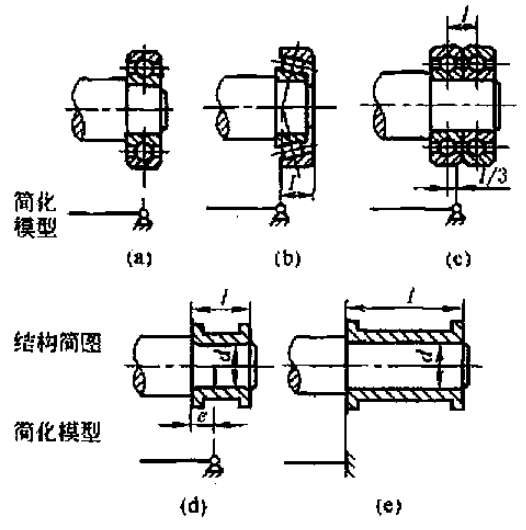
2 简单转子的临界转速

2.1 力学模型

表 18-8-1

轴系组成	简化模型	说 明
两支承轴	等直径均匀分布质量模型 m_0	阶梯轴当量直径： $D_m = a \frac{\sum d_i \Delta l_i}{\sum \Delta l_i}$
	两支承等直径梁刚度模型 EJ	式中 d_i ——阶梯轴各阶直径，m； Δl_i ——对应 d_i 段的轴段长度，m； a ——经验修正系数 若阶梯轴最初段长超过全长 50%， $a = 1$ ；小于 15%，此段轴可以看成以次粗段直径为直径的轴上套一轴环； a 值一般可参考有准确解的轴通过试算找出，例如一般的压缩机、离心机、鼓风机转子 $a = 1.094$

续表

轴系组成	简化模型	说明
圆盘	集中质量模型 m_1	适用转子转速不高, 圆盘位于两支承的中点附近回转力矩影响较小的情况
支承	<p>刚性支承模型。各种轴承刚性支承型式按下图选取 结构简图</p>  <p>简化模型</p> <p>结构简图</p> <p>简化模型</p>	<p>刚性支承反力作用点: 图 a 为深沟球轴承; 图 b 为角接触球轴承或圆锥滚子轴承; 图 c 为成对安装角接触球轴承、双列角接触球轴承、调心球轴承、双列短圆柱滚子轴承、调心滚子轴承、双列圆锥滚子轴承; 图 d 为短滑动轴承 ($l/d < 2$); 当 $l/d \leq 1$ 时, $e = 0.5l$, 当 $l/d > 1$ 时, $e = 0.5d$; 图 e 为长滑动轴承 ($l/d > 2$) 和四列滚动轴承</p> <p>一般小型机组转速不高, 支座总刚度比转子本身刚度大得多, 可按刚性支座计算临界转速</p>

2.2 两支承轴的临界转速

转轴 k 阶临界转速:

$$n_{ck} = \frac{30\lambda_k}{\pi L^2} \sqrt{\frac{EJL}{m_0}} \quad (\text{r/min}) \quad (18-8-2)$$

式中 m_0 ——轴质量, kg;

L ——轴长, m;

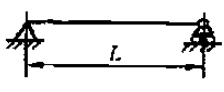
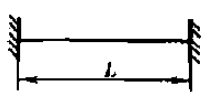
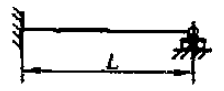
E ——材料弹性模量, Pa;

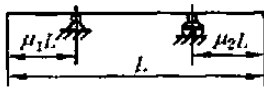
J ——轴的截面惯性矩, m^4 ;

λ_k ——计算 k 阶临界转速的支承形式系数, 见表 18-8-2。

表 18-8-2

等直径轴支承形式系数 λ_k

支座形式	λ_1	λ_2	λ_3	支座形式	λ_1	λ_2	λ_3
	9.87	39.48	88.83		22.37	61.67	120.9
	15.42	49.97	104.2				

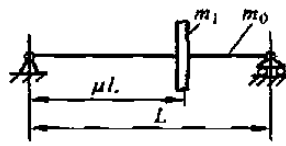
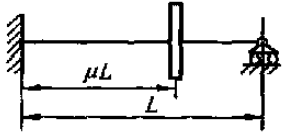
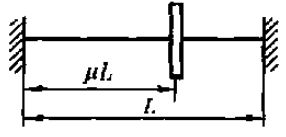

支 座 形 式	λ_1											μ_2
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	
两端外伸轴	9.87*	10.92*	12.11*	13.34*	14.44*	15.06*	14.57*	13.13*	11.50*	9.983*	8.716*	0
		12.15	13.58	15.06	16.41	17.06	16.32	14.52	12.52	10.80	9.37	0.05
			15.22	16.94	18.41	18.82	17.55	15.26	13.05	11.17	9.70	0.10
				18.90	20.41	20.54	18.66	15.96	13.54	11.58	10.02	0.15
					21.89	21.76	19.56	16.65	14.07	12.03	10.39	0.20
						21.70	20.05	17.18	14.61	12.48	10.80	0.25
							19.56	17.55	15.10	12.97	11.29	0.30
								17.18	15.51	13.54	11.78	0.35
									15.46	14.11	12.41	0.40
										14.43	13.15	0.45
											14.06	0.50

注: 1. μ_1 、 μ_2 为外伸端轴长与轴总长 L 的比例系数, μ_1 和 μ_2 之中有一值为零, 即为一端外伸。

2. 表中只给出 $\mu_2 = 0$ 左端外伸时一阶支承形式系数 λ_1 , 见标记 * 值, 当 $\mu_1 = 0$ 右端外伸只是把表中 μ_1 当成 μ_2 , 仍查标记 * 值。

2.3 两支承单盘转子的临界转速

表 18-8-3

支 承 形 式	不计轴的质量 m_0	考虑轴的质量 m_0
		$n_{c1} = \frac{30}{\pi L^2} \sqrt{\frac{K}{m_1}}$	$n_{c1} = \frac{30\lambda_1}{\pi L^2} \sqrt{\frac{EJL}{m_0 + \beta m_1}}$
	$K = \frac{3EJL}{\mu^2(1-\mu)^2}$	$\beta = 32.47\mu^2(1-\mu)^2$
	$K = \frac{12EJL}{\mu^3(1-\mu)^2(4-\mu)}$	$\beta = 19.84\mu^3(1-\mu)^2(4-\mu)$
	$K = \frac{3EJL}{\mu^3(1-\mu)^3}$	$\beta = 166.8\mu^3(1-\mu)^3$
	$K = \frac{3EJL}{(1-\mu)^2}$	$\beta = \frac{1}{3}(1-\mu)^2\lambda_1^2$

注: m_1 —圆盘质量, kg; m_0 —轴的质量, kg; E —轴材料弹性模量, Pa; J —轴的截面惯性矩, m^4 ; λ_1 —支承形式系数, 见表 18-8-2; β —集中质量 m_1 转换为分布质量的折算系数; μ —轴段长与轴全长 L 之比的比例系数。

3 两支承多盘转子临界转速的近似计算

3.1 带多个圆盘轴的一阶临界转速

带多个圆盘并须计及轴的自重时,按如下公式可以计算一阶的临界转速 n_{c1} :

$$\frac{1}{n_{c1}^2} = \frac{1}{n_0^2} + \frac{1}{n_{01}^2} + \frac{1}{n_{02}^2} + \dots + \frac{1}{n_{0n}^2} \quad (18-8-3)$$

式中 n_0 ——只有轴自重时轴的一阶临界转速;

$n_{01}, n_{02}, \dots, n_{0n}$ ——分别表示只装一个圆盘(盘1, 2, ..., n)且不考虑轴自重时的一阶临界转速。

应用表 18-8-2 及表 18-8-3 可以分别计算 n_0 及各 n_{01}, n_{02}, \dots 值,代入即可求得 n_{c1} 。

在本手册第 2 卷第 6 篇第 1 章 1.7.4 节列有几种光轴带圆盘的一阶临界转速的表,可以参看。

对阶梯轴及复杂转子的轴则用下面的方法计算。

3.2 力学模型

将实际转子按轴径和载荷(轴段和轴段上安装零件的重力)的不同,简化成为如图 18-8-1 所示 m 段受均布载荷作用的阶梯轴。各段的均布载荷 $q_i = \frac{m_i g}{l_i}$ (N/m), m_i 为 i 段轴和装在该段轴上零件的质量, kg; l_i 为该轴段长度, m; g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。支承为刚性支承,各种形式支承的位置按表 18-8-1 中支承图选取。

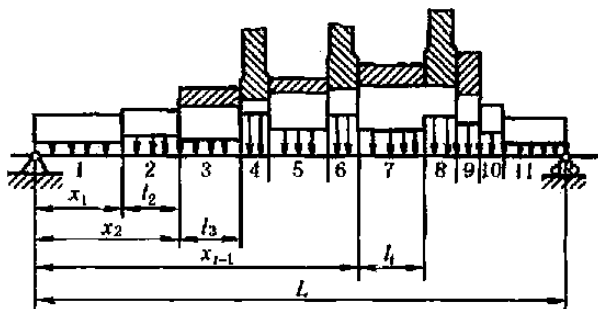


图 18-8-1 轴系的计算模型

3.3 临界转速计算公式

$$n_{ck} = \frac{2.95 \times 10^2 k^3}{L^2 \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m q_i \Delta_i \right) \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i}{E_i J_i} \right)}}$$

对于钢轴 $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, 则

$$n_{ck} = \frac{4.28 \times 10^2 k^3}{L^2} \sqrt{\frac{J_{\max} \times 10^{11}}{\left(\sum_{i=1}^m q_i \Delta_i \right) \left(\sum_{i=1}^m \frac{J_{\max}}{J_i} \Delta_i \right)}} \quad (18-8-4)$$

式中 k ——临界转速阶次,通常只计算一、二阶临界转速,用于计算高于三阶临界转速时误差较大;

L ——转子两支承跨距, m;

q_i ——第 i 段轴的均布载荷, $q_i = m_i g / l_i$, N/m;

J_i ——第 i 段轴截面惯性矩, $J_i = \pi d_i^4 / 64$, m^4 ;

J_{\max} / J_i ——最大截面惯性矩与第 i 段轴截面惯性矩之比;

d_i ——第 i 段轴的直径, m;

Δ_i ——第 i 段轴的位置函数, $\Delta_i = \phi(\lambda_i) - \phi(\lambda_{i-1})$, $\lambda_i = k x_i / L$, $\phi(\lambda_i) = \lambda_i - \frac{\sin 2\pi \lambda_i}{2\pi}$, 也可由表 18-8-4 查出。

表 18-8-4

函数 $\phi(\lambda)$ 数值表

λ	$\phi(\lambda)$	λ	$\phi(\lambda)$	λ	$\phi(\lambda)$	λ	$\phi(\lambda)$	λ	$\phi(\lambda)$
0.000	0	0.115	0.00975	0.375	0.2625	0.635	0.7544	0.895	0.9926
0.002	0.0000004	0.120	0.0111	0.380	0.2711	0.640	0.7626	0.900	0.99343
0.004	0.0000014	0.125	0.0125	0.385	0.2797	0.645	0.7708	0.902	0.99381
0.006	0.0000014	0.130	0.0140	0.390	0.2886	0.650	0.7788	0.904	0.99418
0.008	0.0000034	0.135	0.0156	0.395	0.2975	0.655	0.7866	0.906	0.99455
0.010	0.0000066	0.140	0.0174	0.400	0.3064	0.660	0.7944	0.908	0.99488
0.012	0.000011	0.145	0.0192	0.405	0.3155	0.665	0.8020	0.910	0.99521
0.014	0.000018	0.150	0.0212	0.410	0.3247	0.670	0.8095	0.912	0.99552
0.016	0.000027	0.155	0.0234	0.415	0.3340	0.675	0.8168	0.914	0.99582
0.018	0.000038	0.160	0.0256	0.420	0.3433	0.680	0.8240	0.916	0.99611
0.020	0.000053	0.165	0.0280	0.425	0.3527	0.685	0.8311	0.918	0.99638
0.022	0.00007	0.170	0.0305	0.430	0.3622	0.690	0.8380	0.920	0.99663
0.024	0.000091	0.175	0.0332	0.435	0.3718	0.695	0.8447	0.922	0.99688
0.026	0.000115	0.180	0.0360	0.440	0.3814	0.700	0.8514	0.924	0.99711
0.028	0.000144	0.185	0.0389	0.445	0.3911	0.705	0.8578	0.926	0.99734
0.030	0.000177	0.190	0.0420	0.450	0.4008	0.710	0.8641	0.928	0.99755
0.032	0.000215	0.195	0.0453	0.455	0.4106	0.715	0.8704	0.930	0.99774
0.034	0.000258	0.200	0.0486	0.460	0.4204	0.720	0.8763	0.932	0.99796
0.036	0.000306	0.205	0.0522	0.465	0.4302	0.725	0.8822	0.934	0.99812
0.038	0.00036	0.210	0.0558	0.470	0.4402	0.730	0.8879	0.936	0.99828
0.040	0.00042	0.215	0.0597	0.475	0.4501	0.735	0.8935	0.938	0.99843
0.042	0.000487	0.220	0.0637	0.480	0.4601	0.740	0.8988	0.940	0.99858
0.044	0.00056	0.225	0.0678	0.485	0.4700	0.745	0.9041	0.942	0.99872
0.046	0.00064	0.230	0.0721	0.490	0.4800	0.750	0.9092	0.944	0.99885
0.048	0.000725	0.235	0.0766	0.495	0.4900	0.755	0.9141	0.946	0.99897
0.050	0.00082	0.240	0.0812	0.500	0.5000	0.760	0.9188	0.948	0.99908
0.052	0.00092	0.245	0.0859	0.505	0.5100	0.765	0.9234	0.950	0.99918
0.054	0.00103	0.250	0.0908	0.510	0.5200	0.770	0.9279	0.952	0.999275
0.056	0.00115	0.255	0.0959	0.515	0.5300	0.775	0.9322	0.954	0.99936
0.058	0.00128	0.260	0.1012	0.520	0.5400	0.780	0.9363	0.956	0.99944
0.060	0.00142	0.265	0.1066	0.525	0.5499	0.785	0.9403	0.958	0.999513
0.062	0.00157	0.270	0.1121	0.530	0.5598	0.790	0.9441	0.960	0.99958
0.064	0.00172	0.275	0.1178	0.535	0.5697	0.795	0.9478	0.962	0.99964
0.066	0.00188	0.280	0.1237	0.540	0.5796	0.800	0.9514	0.964	0.999694
0.068	0.00204	0.285	0.1297	0.545	0.5894	0.805	0.9547	0.966	0.999742
0.070	0.00226	0.290	0.1358	0.550	0.5992	0.810	0.9580	0.968	0.999785
0.072	0.00245	0.295	0.1412	0.555	0.6089	0.815	0.9611	0.970	0.999823
0.074	0.00266	0.300	0.1486	0.560	0.6186	0.820	0.9640	0.972	0.999856
0.076	0.00289	0.305	0.1553	0.565	0.6282	0.825	0.9668	0.974	0.999885
0.078	0.00312	0.310	0.1620	0.570	0.6378	0.830	0.9695	0.976	0.999906
0.080	0.00337	0.315	0.1689	0.575	0.6473	0.835	0.9720	0.978	0.99993
0.082	0.00362	0.320	0.1760	0.580	0.6567	0.840	0.9744	0.980	0.999947
0.084	0.00389	0.325	0.1823	0.585	0.6660	0.845	0.9766	0.982	0.999962
0.086	0.00418	0.330	0.1905	0.590	0.6753	0.850	0.9788	0.984	0.999973
0.088	0.00448	0.335	0.1980	0.595	0.6845	0.855	0.9808	0.986	0.999982
0.090	0.00479	0.340	0.2056	0.600	0.6935	0.860	0.9826	0.988	0.999989
0.092	0.00512	0.345	0.2134	0.605	0.7025	0.865	0.9844	0.990	0.9999934
0.094	0.00545	0.350	0.2212	0.610	0.7114	0.870	0.9860	0.992	0.9999956
0.096	0.00581	0.355	0.2292	0.615	0.7203	0.875	0.9875	0.994	0.9999986
0.098	0.00619	0.360	0.2374	0.620	0.7289	0.880	0.9890	0.996	0.9999996
0.100	0.00645	0.365	0.2456	0.625	0.7375	0.885	0.9902	0.998	1
0.105	0.00745	0.370	0.2540	0.630	0.7460	0.890	0.9915	1.000	1

注：当 $\lambda > 1$ 时， $\phi(\lambda)$ 的整数部分与 λ 的整数部分相等。小数部分由表中查得。

3.4 计算示例

某转子系统简化成为如图 18-8-1 所示的 11 段阶梯轴均布载荷计算模型, 已知条件、计算过程和按式 (18-8-4) 计算的 n_{c1} 和 n_{c2} 列于表 18-8-5。

表 18-8-5 临界转速近似计算表

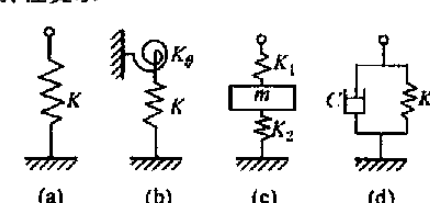
轴段号	已知条件				均布载荷 q_i /N·m ⁻¹	截面惯性矩 J_i /10 ⁻⁶ m ⁴	$\frac{J_{max}}{J_i}$	$k=1$				
	质量 m_i /kg	轴段长 l_i /m	轴径 d_i /m	坐标 x_i /m				λ_i	$\phi(\lambda_i)$	Δ_i	$\frac{J_{max}}{J_i}\Delta_i$	$q_i\Delta_i$
1	4.16	0.16	0.065	0.16	254.8	0.876	11.62	0.123	0.0119	0.0119	0.138	3.03
2	8.85	0.168	0.085	0.328	516.3	2.562	3.97	0.252	0.0928	0.0809	0.321	41.77
3	7.74	0.155	0.09	0.483	489.4	3.221	3.16	0.372	0.2574	0.1646	0.520	80.56
4	54.08	0.06	0.105	0.543	8833	5.967	1.71	0.418	0.3396	0.0822	0.141	726.07
5	18.31	0.18	0.11	0.723	996.9	7.187	1.42	0.556	0.6108	0.2712	0.385	270.36
6	53.88	0.06	0.115	0.783	8800	6.585	1.55	0.602	0.6971	0.0863	0.103	759.44
7	18.75	0.15	0.12	0.933	1225	10.18	1	0.718	0.8739	0.1768	0.177	216.58
8	56.84	0.077	0.12	1.01	7234	10.18	1	0.777	0.9338	0.0599	0.060	433.32
9	20.75	0.08	0.11	1.09	2542	7.187	1.42	0.838	0.9734	0.0396	0.056	100.66
10	4.15	0.05	0.10	1.14	813.4	4.909	2.07	0.877	0.9881	0.0147	0.030	11.96
11	4.71	0.16	0.07	1.30	288.5	1.179	8.63	1	1	0.0119	0.103	3.43
总和	252.22	1.30									2.034	2647.18

轴段号	$n_{c1}/r \cdot \min^{-1}$			$k=2$					$n_{c2}/r \cdot \min^{-1}$		
	近似	精确	误差	λ_i	$\phi(\lambda_i)$	Δ_i	$\frac{J_{max}}{J_i}\Delta_i$	$q_i\Delta_i$	近似	精确	误差
1	3478	3584	2.96%	0.246	0.0869	0.0869	1.010	22.14	12788	13430	4.78%
2				0.564	0.6263	0.5394	2.141	278.49			
3				0.744	0.0030	0.2767	0.874	135.42			
4				0.836	0.9725	0.0895	0.153	790.55			
5				1.112	1.0090	0.0365	0.052	36.39			
6				1.204	1.0515	0.0425	0.066	374			
7				1.436	1.3737	0.3222	0.322	394.7			
8				1.554	1.6070	0.2333	0.233	1687.69			
9				1.676	1.8182	0.2112	0.299	536.87			
10				1.754	1.9131	0.0949	0.196	77.15			
11				2	2	0.0869	0.750	25.07			
总和						5.863	4358				

4 轴系的模型与参数

4.1 力学模型

表 18-8-6

轴系组成	简化模型	说明
圆盘	刚性质量圆盘模型 m_i 和 $I_i (I_{pi})$	将转子按轴径变化和装在轴上零件不同分为若干段。每段的质量以集中质量代替,并按质心不变原则分配到该段轴的两端。两质量间以弹性无质量等截面梁连接,弯曲刚度 EJ_i 和实际轴段相等。对轴段划分越细,计算精度越高,但计算工作量也越大。有时为简化计算,还可略去轴的质量,仅计轴上件质量
转轴	离散质量模型 $m'_i = m'_{i,i} + m'_{i,i+1} (I'_i = I'_{i,i} + I'_{i,i+1})$ 无质量弹性梁模型 EJ_i, I_i, a_i, GA_i	
支承	<p>支承形式如下图,图 a 只考虑支承静刚度 K; 图 b 同时考虑支承静刚度 K 和扭转刚度 K_θ; 图 c 同时考虑支承静刚度 K_2、油膜刚度 K_1 及参振质量为 m 的弹性支承; 图 d 同时考虑支承静刚度 K 和阻尼系数 C 的弹性支承</p>  <p style="text-align: center;">(a) (b) (c) (d)</p>	<p>弹性支承的刚度可通过测试方法获得。也可按 4.2 节的方法确定滚动轴承支承的刚度,按 4.3 节的方法确定滑动轴承的刚度。对于大中型机组支承总刚度与转子刚度相近、且较精确计算轴系临界转速时,支承必须按弹性支承考虑。特别是支承的动刚度随转子转速的变化而变化,转速越高支座的动刚度越低,因此,在计算高速转子和高阶临界转速时,支承更应按弹性支承考虑。</p>
	刚性支承模型	刚性支承形式和支反力作用点及模型适用范围完全与表 18-8-1 刚性支承模型相同

4.2 滚动轴承支承刚度

表 18-8-7

项 目	计 算 公 式	公 式 使 用 说 明
单个滚动轴承径向刚度	$K = \frac{F}{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3} \text{ (N/}\mu\text{m)}$	<p>F——径向负荷, N; δ_1——轴承的径向弹性位移, μm δ_2——轴承外圈与箱体的接触变形, μm δ_3——轴承内圈与轴颈的接触变形, μm</p>
滚动轴承径向弹性位移	已经预紧时 $\delta_1 = \beta \delta_0 \text{ (}\mu\text{m)}$	<p>β——弹性位移系数, 根据相对间隙 g/δ_0 从图 18-8-2 查出 δ_0——轴承中游隙为零时的径向弹性位移, μm, 根据表 18-8-8 的公式进行计算 g——轴承的径向游隙, 有游隙时取正号, 预紧时取负号, μm</p>
	存在游隙时 $\delta_1 = \beta \delta_0 - g/2 \text{ (}\mu\text{m)}$	
轴承配合表面接触变形(外圈或内圈)	有间隙的配合 $\delta_2 = \delta_3 = H_1 \Delta \text{ (}\mu\text{m)}$	<p>Δ——直径上的配合间隙或过盈, μm H_1——系数, 由图 18-8-3a 根据 n 查出, $n = \frac{0.096}{\Delta} \sqrt{\frac{2F}{bd}}$ H_2——系数, 由图 18-8-3b 根据 Δ/d 查出, 当轴承内圈与轴颈为锥体配合时, H_2 可取 0.05, 间隙为零时, H_2 可取 0.25 b——轴承套圈宽度, cm d——配合表面直径, cm, 计算 δ_3 时为轴承内径, 计算 δ_2 时为轴承外径</p>
	有过盈的配合 $\delta_2 = \delta_3 = \frac{0.204 FH_2}{\pi bd} \text{ (}\mu\text{m)}$	

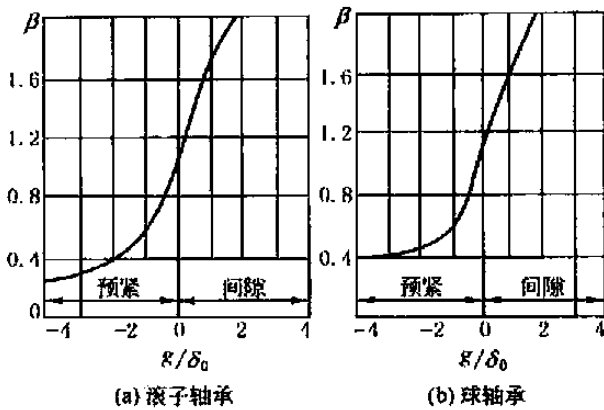


图 18-8-2 弹性位移系数

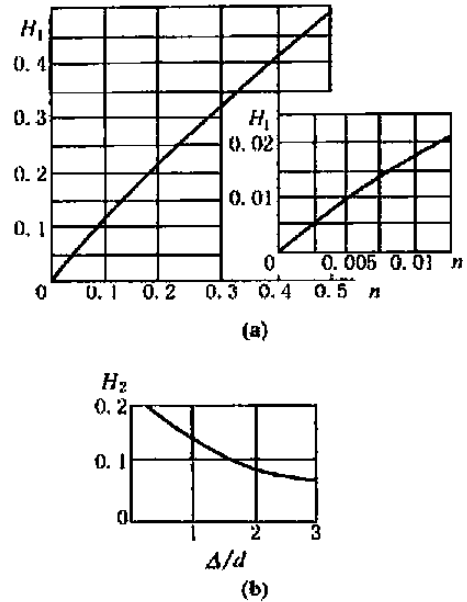


图 18-8-3 接触变形系数曲线

表 18-8-8 滚动轴承游隙为零时径向弹性位移 δ_0 计算公式

轴承类型	径向弹性位移 $\delta_0/\mu\text{m}$	轴承类型	径向弹性位移 $\delta_0/\mu\text{m}$
深沟球轴承	$\delta_0 = 0.437 \sqrt[3]{Q^2/d_s}$ $= 1.277 \sqrt[3]{\left(\frac{F}{z}\right)^2/d_s}$	角接触球轴承	$\delta_0 = \frac{0.437}{\cos\alpha} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{d_s}}$
调心球轴承	$\delta_0 = \frac{0.699}{\cos\alpha} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{d_s}}$	圆柱滚子轴承	$\delta_0 = 0.0769 (Q^{0.9}/d_s^{0.8})$ $= 0.3333 \left(\frac{F}{iz}\right)^{0.9} / l_n^{0.8}$
双列圆柱滚子轴承	$\delta_0 = \frac{0.0625 F^{0.893}}{d^{0.815}}$	内圈无挡边双列圆柱滚子轴承	$\delta_0 = \frac{0.045 F^{0.897}}{d^{0.8}}$
圆锥滚子轴承	$\delta_0 = \frac{0.0769 Q^{0.9}}{l_n^{0.8} \cos\alpha}$	滚动体上的负荷	$Q = \frac{5F}{iz \cos\alpha} (N)$

注： F —轴承的径向负荷，N； i —滚动体列数； z —每列中滚动体数； d_s —滚动体直径，mm； d —轴承孔径，mm； α —轴承的接触角，(°)； l_n —滚动体有效长度，mm， $l_n = l - 2r$ ； l —滚子长度，mm； r —滚子倒圆角半径，mm。

例 某机器的支承中装有一个双列圆柱滚子轴承 3182120 ($d = 100\text{mm}$, $D = 150\text{mm}$, $b = 37\text{mm}$, $i = 2$, $z = 30$, $d_s = 11\text{mm}$, $l = 11\text{mm}$, $r = 0.8\text{mm}$)。轴承的预紧量为 $5\mu\text{m}$ (即 $g = -5\mu\text{m}$)，外圈与箱体孔的配合过盈量为 $5\mu\text{m}$ (即 $\Delta = 5\mu\text{m}$)， $F = 4900\text{N}$ 。求支承的刚度。

解 (1) 求间隙为零时轴承的径向弹性位移 δ_0

根据表 18-8-8

$$\delta_0 = \frac{0.0625 F^{0.893}}{d^{0.815}} = \frac{0.0625 \times 4900^{0.893}}{100^{0.815}} = 2.89 \mu\text{m}$$

(2) 求轴承有 $5\mu\text{m}$ 预紧量时的径向弹性位移 δ_1

计算相对间隙： $g/\delta_0 = -5/2.89 = -1.73$

从图 18-8-2 查得： $\beta = 0.47$ ，于是得

$$\delta_1 = \beta \delta_0 = 0.47 \times 2.89 = 1.35 \mu\text{m}$$

(3) 求轴承外圈与箱体孔的接触变形 δ_2

计算 Δ/D ： $\Delta/D = 5/15 = 0.333$ ，从图 18-8-3b 查得 $H_2 = 0.2$ ，于是

$$\delta_2 = \frac{0.204 F H_2}{\pi b D} = \frac{0.204 \times 4900 \times 0.2}{\pi \times 3.7 \times 15} = 1.15 \mu\text{m}$$

(4) 求轴承内圈与轴颈的接触变形 δ_3

因内圈为锥体配合, 故 $H_2 = 0.05$, 于是

$$\delta_3 = \frac{0.204FH_2}{\pi bD} = \frac{0.204 \times 4900 \times 0.05}{\pi \times 3.7 \times 10} = 0.43 \mu\text{m}$$

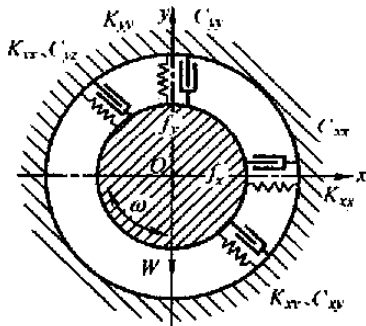
(5) 求支承刚度

将 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 代入刚度公式得

$$K = \frac{F}{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3} = \frac{4900}{1.35 + 1.15 + 0.43} = 1672 \text{N}/\mu\text{m}$$

4.3 滑动轴承支承刚度

滑动轴承的力学模型如图 18-8-4。沿各方向的刚度:



$$K_{yy} = \frac{\bar{K}_{yy}W}{c} \text{ (N/m)} \quad K_{xx} = \frac{\bar{K}_{xx}W}{c} \text{ (N/m)}$$

$$K_{yx} = \frac{\bar{K}_{yx}W}{c} \text{ (N/m)} \quad K_{xy} = \frac{\bar{K}_{xy}W}{c} \text{ (N/m)} \quad (18-8-5)$$

式中

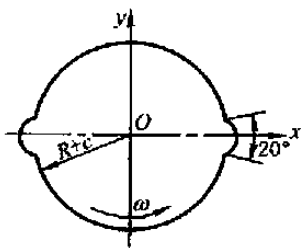
W ——轴颈上受的稳定静载荷, N;

c ——轴承半径间隙, m;

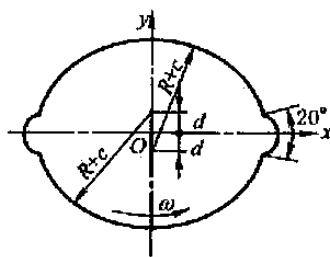
$\bar{K}_{yy}, \bar{K}_{xx}, \bar{K}_{yx}, \bar{K}_{xy}$ ——量纲一刚度系数, 可根据轴瓦形式、 $S, L/D$ 和 δ 值由表 18-8-9 查得。

图 18-8-4 滑动轴承力学模型

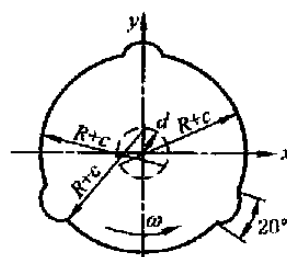
几种常用轴瓦的参数值



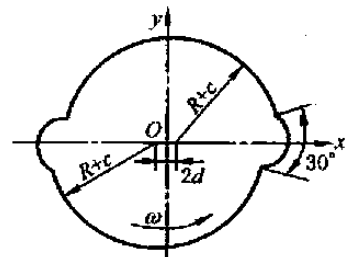
(a) 双油槽圆形轴瓦



(b) 椭圆轴瓦



(c) 三叶轴瓦



(d) 偏位圆柱轴瓦

表 18-8-9

S	ε	ψ	\bar{Q}	\bar{P}	\bar{T}	\bar{K}_{xx}	\bar{K}_{yy}	\bar{K}_{yx}	\bar{K}_{xy}	\bar{C}_{xx}	$\bar{C}_{yy} = \bar{C}_{yx}$	\bar{C}_{yy}
双油槽圆形轴瓦 $L/D = 0.5$												
6.430	0.071	81.89	0.121	0.860	5.7	1.88	6.60	-14.41	1.55	13.31	-1.89	28.75
3.937	0.114	77.32	0.192	0.846	5.9	1.89	4.20	-9.27	1.57	8.58	-1.93	18.44
2.634	0.165	72.36	0.271	0.833	6.2	1.91	3.01	-6.74	1.61	6.28	-2.00	13.36
2.030	0.207	68.75	0.332	0.835	6.6	1.93	2.50	-5.67	1.65	5.33	-2.07	11.18
1.656	0.244	65.85	0.383	0.835	7.0	1.95	2.20	-5.06	1.69	4.80	-2.15	9.93
0.917	0.372	57.45	0.540	0.850	8.5	1.85	1.30	-4.01	2.12	3.23	-2.06	7.70
0.580	0.477	51.01	0.651	0.900	10.5	1.75	0.78	-3.70	2.67	2.40	-1.94	6.96
0.376	0.570	45.43	0.737	0.977	13.4	1.68	0.43	-3.64	3.33	1.89	-1.87	6.76
0.244	0.655	40.25	0.804	1.096	17.9	1.64	0.13	-3.74	4.21	1.54	-1.82	6.87
0.194	0.695	37.72	0.833	1.156	21.3	1.62	-0.01	-3.84	4.78	1.40	-1.80	7.03
0.151	0.734	35.20	0.858	1.240	25.8	1.61	-0.15	-3.98	5.48	1.27	-1.79	7.26
0.133	0.753	33.93	0.870	1.289	28.7	1.60	-0.22	-4.07	5.89	1.20	-1.79	7.41
0.126	0.761	33.42	0.875	1.310	30.0	1.60	-0.25	-4.11	6.07	1.18	-1.79	7.48
0.116	0.772	32.65	0.881	1.343	32.2	1.60	-0.30	-4.17	6.36	1.15	-1.79	7.59
0.086	0.809	30.04	0.902	1.473	41.4	1.59	-0.47	-4.42	7.51	1.03	-1.79	8.03
0.042	0.879	24.41	0.936	1.881	80.9	1.60	-0.92	-5.23	11.45	0.82	-1.80	9.48

续表

S	ε	ψ	\bar{Q}	\bar{P}	\bar{T}	\bar{K}_{xx}	\bar{K}_{xy}	\bar{K}_{yx}	\bar{K}_{yy}	\bar{C}_{xx}	$\bar{C}_{xy} = \bar{C}_{yx}$	\bar{C}_{yy}
双油槽圆形轴瓦 $L/D = 1$												
1.470	0.103	75.99	0.135	0.850	5.9	1.50	3.01	-10.14	1.53	6.15	-1.53	20.34
0.991	0.150	70.58	0.189	0.844	6.2	1.52	2.16	-7.29	1.56	4.49	-1.58	14.66
0.636	0.224	63.54	0.264	0.843	6.9	1.56	1.57	-5.33	1.62	3.41	-1.70	10.80
0.358	0.352	55.41	0.369	0.853	8.7	1.48	0.97	-3.94	1.95	2.37	-1.63	8.02
0.235	0.460	49.27	0.436	0.914	11.1	1.55	0.80	-3.57	2.19	2.19	-1.89	7.36
0.159	0.559	44.33	0.484	1.005	14.2	1.48	0.48	-3.36	2.73	1.74	-1.78	6.94
0.108	0.650	39.72	0.516	1.136	19.2	1.44	0.23	-3.34	3.45	1.43	-1.72	6.89
0.071	0.734	35.16	0.534	1.323	27.9	1.44	-0.03	-3.50	4.49	1.20	-1.70	7.15
0.056	0.773	32.82	0.540	1.449	34.9	1.45	-0.18	-3.65	5.23	1.10	-1.71	7.42
0.050	0.793	31.62	0.541	1.524	39.6	1.45	-0.26	-3.75	5.69	1.06	-1.71	7.60
0.044	0.811	30.39	0.543	1.608	45.3	1.46	-0.35	-3.88	6.22	1.01	-1.72	7.81
0.024	0.883	25.02	0.543	2.104	89.6	1.53	-0.83	-4.69	9.77	0.83	-1.78	9.17

椭圆轴瓦, 预载 $\delta = 0.5, L/D = 0.5$

7.079	0.024	88.79	0.512	1.313	9.8	1.29	57.12	-40.32	91.58	45.50	63.29	159.20
2.723	0.061	88.58	0.518	1.315	10.0	0.74	22.03	-15.77	35.54	17.80	23.96	61.63
1.889	0.086	88.33	0.525	1.318	10.3	0.71	15.33	-11.18	24.93	12.59	16.31	43.14
1.229	0.127	87.75	0.541	1.325	10.8	0.78	10.03	-7.66	16.68	8.57	10.11	28.65
0.976	0.155	87.22	0.555	1.332	11.2	0.84	7.99	-6.39	13.59	7.08	7.66	23.20
0.832	0.176	86.75	0.567	1.338	11.6	0.90	6.82	-5.69	11.88	6.23	6.23	20.14
0.494	0.254	84.36	0.624	1.371	13.5	1.00	3.99	-4.28	8.11	4.27	2.76	13.26
0.318	0.323	81.08	0.684	1.421	16.4	1.23	2.34	-3.82	6.52	3.15	0.81	10.03
0.236	0.364	78.09	0.723	1.468	19.4	1.31	1.49	-3.76	6.07	2.54	-0.11	8.80
0.187	0.391	75.18	0.747	1.515	22.6	1.37	0.92	-3.82	6.03	2.13	-0.66	8.23
0.153	0.410	72.26	0.762	1.562	26.1	1.41	0.52	-3.92	6.21	1.82	-1.02	7.98
0.127	0.424	69.31	0.770	1.612	30.1	1.45	0.21	-4.04	6.53	1.58	-1.26	7.91
0.090	0.444	63.24	0.772	1.727	40.1	1.50	-0.23	-4.33	7.55	1.23	-1.54	8.11

椭圆轴瓦, 预载 $\delta = 0.5, L/D = 1$

1.442	0.050	93.81	0.309	1.338	10.8	-1.29	22.14	-22.65	38.58	18.60	28.14	79.05
0.698	0.100	93.12	0.320	1.345	11.2	-0.24	10.79	-11.25	18.93	9.40	12.97	38.73
0.442	0.150	91.97	0.338	1.357	11.9	0.26	6.87	-7.45	12.28	6.36	7.50	25.00
0.308	0.200	90.37	0.361	1.376	12.8	0.58	4.79	-5.58	8.93	4.82	4.50	17.99
0.282	0.213	89.87	0.368	1.382	13.1	0.66	4.38	-5.24	8.30	4.53	3.91	16.66
0.271	0.220	89.61	0.372	1.385	13.2	0.69	4.20	-5.09	8.03	4.40	3.64	16.08
0.261	0.226	89.37	0.375	1.388	13.4	0.72	4.03	-4.96	7.79	4.28	3.41	15.57
0.240	0.239	88.80	0.383	1.396	13.7	0.77	3.70	-4.70	7.31	4.04	2.93	14.54
0.224	0.250	88.28	0.389	1.403	14.1	0.82	3.43	-4.51	6.95	3.86	2.55	13.74
0.211	0.260	87.79	0.395	1.409	14.4	0.86	3.21	-4.36	6.65	3.70	2.23	13.09
0.161	0.304	85.29	0.423	1.445	16.2	1.01	2.32	-3.84	5.63	3.07	1.02	10.75
0.120	0.350	81.80	0.452	1.500	19.1	1.14	1.52	-3.54	4.99	2.49	0.01	9.04
0.097	0.381	78.65	0.470	1.554	22.1	1.21	1.01	-3.46	4.82	2.10	-0.56	8.26
0.081	0.403	75.63	0.479	1.607	25.4	1.26	0.65	-3.47	4.87	1.82	-0.92	7.87
0.069	0.419	72.65	0.484	1.664	29.1	1.31	0.38	-3.52	5.06	1.60	-1.17	7.71
0.060	0.432	69.69	0.485	1.724	33.4	1.34	0.16	-3.60	5.36	1.42	-1.34	7.67
0.045	0.451	63.70	0.478	1.867	44.3	1.40	-0.19	-3.83	6.25	1.16	-1.56	7.88

S	ε	ψ	\bar{Q}	\bar{P}	\bar{T}	\bar{K}_{xx}	\bar{K}_{yy}	\bar{K}_{yz}	\bar{K}_{zy}	\bar{C}_{xx}	$\bar{C}_{xy} = \bar{C}_{yx}$	\bar{C}_{yy}
三叶轴瓦, 预载 $\delta=0.5, L/D=0.5$												
6.574	0.018	55.45	0.250	1.420	8.2	31.32	46.78	-45.43	34.58	93.55	1.46	97.87
3.682	0.031	56.03	0.251	1.421	8.5	17.08	26.57	-25.35	20.35	51.73	1.35	56.10
2.523	0.045	56.57	0.252	1.423	8.9	11.48	18.48	-17.41	14.75	35.06	1.22	39.50
1.621	0.070	57.35	0.255	1.429	9.5	7.25	12.20	-11.38	10.53	22.25	1.01	26.81
1.169	0.094	57.95	0.259	1.437	10.2	5.26	9.06	-8.49	8.56	15.96	0.79	20.62
0.717	0.144	58.62	0.271	1.461	11.8	3.49	5.92	-5.85	6.85	9.93	0.37	14.74
0.491	0.192	58.63	0.285	1.497	13.8	2.77	4.34	-4.75	6.27	7.12	-0.02	12.07
0.356	0.237	58.14	0.300	1.543	16.2	2.41	3.35	-4.26	6.15	5.51	-0.36	10.67
0.267	0.278	57.30	0.315	1.599	19.1	2.19	2.63	-4.05	6.29	4.46	-0.66	9.87
0.203	0.314	56.18	0.331	1.665	22.8	2.04	2.05	-4.00	6.62	3.68	-0.91	9.43
0.156	0.347	54.85	0.345	1.742	27.6	1.90	1.55	-4.05	7.11	3.06	-1.12	9.23
0.141	0.360	54.26	0.352	1.776	29.8	1.85	1.36	-4.10	7.35	2.84	-1.20	9.20
0.121	0.377	53.31	0.361	1.830	33.6	1.78	1.09	-4.19	7.77	2.54	-1.30	9.20
0.093	0.402	51.55	0.379	1.931	41.6	1.67	0.67	-4.39	8.63	2.10	-1.44	9.30
0.055	0.441	47.10	0.419	2.182	66.1	1.49	-0.14	-4.94	11.07	1.29	-1.61	9.91

三叶轴瓦, 预载 $\delta=0.5, L/D=1$												
3.256	0.020	59.21	0.132	1.424	8.8	25.25	43.40	-43.30	28.31	88.33	1.11	94.58
1.818	0.035	59.68	0.133	1.426	9.2	13.70	24.34	-24.39	16.74	48.27	0.98	54.59
1.243	0.050	60.09	0.134	1.429	9.6	9.18	16.72	-16.93	12.21	32.37	0.84	38.75
0.796	0.076	60.62	0.136	1.436	10.4	5.80	10.82	-11.26	8.82	20.18	0.61	26.62
0.574	0.103	60.95	0.139	1.447	11.2	4.24	7.90	-8.55	7.24	14.27	0.37	20.73
0.353	0.155	61.00	0.147	1.478	13.0	2.89	5.02	-6.07	5.91	8.70	-0.06	15.15
0.245	0.203	60.44	0.156	1.521	15.2	2.36	3.60	-5.01	5.48	6.16	-0.43	12.59
0.181	0.246	59.46	0.165	1.574	17.8	2.09	2.74	-4.49	5.41	4.73	-0.73	11.20
0.138	0.285	58.22	0.173	1.637	21.0	1.92	2.12	-4.22	5.54	3.81	-0.98	10.39
0.108	0.320	56.80	0.181	1.710	24.9	1.80	1.65	-4.10	5.83	3.16	-1.18	9.91
0.085	0.351	55.23	0.189	1.794	29.9	1.71	1.26	-4.08	6.25	2.67	-1.35	9.64
0.068	0.379	53.54	0.197	1.891	36.2	1.62	0.92	-4.13	6.82	2.29	-1.48	9.54
0.062	0.389	52.82	0.201	1.934	39.2	1.59	0.79	-4.17	7.09	2.16	-1.52	9.54
0.054	0.403	51.68	0.208	2.014	44.4	1.54	0.57	-4.25	7.56	1.92	-1.57	9.57
0.034	0.441	47.19	0.232	2.290	69.8	1.42	-0.11	-4.65	9.70	1.23	-1.67	10.03

偏位圆柱轴瓦, 预载 $\delta=0.5, L/D=0.5$												
8.519	0.025	-4.87	1.664	0.971	7.7	64.74	-5.48	-82.04	47.06	59.71	-45.00	97.56
4.240	0.050	-4.82	1.664	0.972	8.0	32.32	-2.64	-41.06	23.60	29.94	-22.62	49.04
2.805	0.075	-4.72	1.664	0.975	8.4	21.49	-1.65	-27.42	15.81	20.06	-15.22	32.97
2.081	0.100	-4.59	1.664	0.978	8.8	16.05	-1.12	-20.61	11.93	15.15	-11.56	25.01
1.339	0.150	-4.14	1.660	0.988	9.7	10.56	-0.54	-13.79	8.08	10.25	-7.98	17.15
0.953	0.200	-3.47	1.649	1.002	10.8	7.78	-0.20	-10.39	6.18	7.83	-6.31	13.34
0.717	0.250	-2.76	1.641	1.023	12.1	6.15	0.05	-8.45	5.14	6.51	-5.43	11.29
0.555	0.300	-2.02	1.637	1.036	13.7	5.00	0.09	-7.20	4.63	5.38	-4.76	10.00
0.493	0.325	-1.78	1.637	1.052	14.2	4.53	-0.01	-6.72	4.56	4.74	-4.38	9.49
0.353	0.400	-1.70	1.645	1.108	16.5	3.53	-0.22	-5.78	4.63	3.40	-3.56	8.51
0.284	0.450	-2.00	1.656	1.154	18.4	3.08	-0.33	-5.40	4.85	2.79	-3.18	8.17
0.228	0.500	-2.51	1.671	1.210	21.0	2.74	-0.42	-5.15	5.18	2.34	-2.88	7.99
0.182	0.551	-3.19	1.690	1.276	24.4	2.48	-0.51	-5.01	5.65	1.98	-2.65	7.95
0.162	0.576	-3.58	1.700	1.314	26.5	2.37	-0.55	-4.97	5.93	1.82	-2.55	7.97
0.143	0.601	-4.02	1.711	1.357	28.9	2.27	-0.60	-4.95	6.26	1.69	-2.46	8.02
0.126	0.627	-4.49	1.723	1.404	31.9	2.19	-0.65	-4.95	6.64	1.56	-2.38	8.10

续表

S	δ	ψ	\bar{Q}	\bar{P}	\bar{T}	\bar{K}_{xx}	\bar{K}_{xy}	\bar{K}_{yx}	\bar{K}_{yy}	\bar{C}_{xx}	$\bar{C}_{xy} = \bar{C}_{yx}$	\bar{C}_{yy}
偏位圆柱轴瓦, 预载 $\delta=0.5, L/D=1$												
3.780	0.025	-8.21	1.271	1.030	7.7	56.69	-8.14	-83.73	52.13	47.10	-42.08	113.96
1.883	0.051	-8.16	1.271	1.031	8.0	28.31	-3.99	-41.89	26.11	23.61	-21.13	57.20
1.247	0.076	-8.08	1.271	1.034	8.3	18.83	-2.57	-27.95	17.45	15.81	-14.19	38.38
0.927	0.101	-7.96	1.271	1.037	8.7	14.08	-1.83	-20.99	13.13	11.93	-10.75	29.04
0.596	0.151	-7.46	1.266	1.047	9.5	9.22	-1.05	-13.89	8.74	8.00	-7.33	19.61
0.418	0.201	-6.58	1.244	1.061	10.6	6.68	-0.62	-10.17	6.44	5.96	-5.64	14.73
0.316	0.251	-5.85	1.224	1.081	11.8	5.26	-0.33	-8.13	5.22	4.90	-4.78	12.18
0.248	0.301	-5.10	1.206	1.105	13.3	4.35	-0.11	-6.87	4.49	4.28	-4.30	10.71
0.198	0.351	-4.29	1.191	1.133	15.3	3.70	0.04	-6.02	4.08	3.83	-3.99	9.80
0.160	0.401	-3.59	1.179	1.168	17.4	3.17	-0.01	-5.40	4.00	3.22	-3.57	9.07
0.130	0.451	-3.27	1.171	1.223	19.6	2.76	-0.12	-4.96	4.13	2.65	-3.15	8.55
0.107	0.501	-3.28	1.166	1.289	22.4	2.46	-0.22	-4.68	4.37	2.22	-2.84	8.23
0.087	0.551	-3.54	1.165	1.369	26.1	2.23	-0.31	-4.50	4.74	1.89	-2.60	8.08
0.078	0.576	-3.76	1.166	1.415	28.5	2.14	-0.36	-4.45	4.98	1.75	-2.50	8.06
0.070	0.601	-4.03	1.167	1.466	31.2	2.06	-0.41	-4.42	5.25	1.63	-2.42	8.07

S 值的确定方法, 一般是先预估轴瓦中油的温度, 并确定润滑油的运动黏度 η , 再算出 Sommerfeld 数, 即 S 值:

$$S = \frac{\eta N D L}{W} \left(\frac{R}{c} \right)^2$$

式中 η ——润滑油运动黏度, $N \cdot s/m^2$;

D ——轴颈直径, m ;

R ——轴颈半径, m ;

N ——轴颈转速, r/s ;

L ——轴颈长, m 。

查表用到的量值:

L/D ——油颈的长径比;

δ ——量纲一预载, $\delta = d/c$;

d ——轴瓦各段曲面圆心至轴瓦中心距离, 不同形式轴瓦的预载详见表 18-8-9 表头图。

根据轴瓦形式、 L/D 、 δ 和预估油温条件下的 S 值, 可由表 18-8-9 查出该轴瓦的量纲一值 \bar{Q} 、 \bar{P} 、 \bar{T} 。若假定 80% 的摩擦热为润滑油吸收, 利用热平衡关系就能得到轴承工作温度:

$$T_{\text{工作}} = T_{\text{供油}} + 0.8 \frac{P}{c_v Q} T_{\text{供油}} + 0.8 \frac{\eta \omega}{c_v} \left(\frac{R}{c} \right)^2 4\pi \frac{\bar{P}}{Q} \quad (18-8-6)$$

式中 \bar{Q} ——量纲一边流, $\bar{Q} = Q / (0.5\pi N D L c)$, 查表 18-8-9;

\bar{P} ——量纲一摩擦功耗, $\bar{P} = P c / (\pi^3 \eta N^2 L D^3)$, 查表 18-8-9;

\bar{T} ——轴瓦量纲一温升, $\bar{T} = \Delta T / \frac{\eta \omega}{c_v} \left(\frac{R}{c} \right)^2$, 查表 18-8-9;

c_v ——单位体积润滑油的比热容, $J/(m^3 \cdot ^\circ C)$;

ω ——轴颈的转动角速度, rad/s ;

P ——每秒消耗的摩擦功, $N \cdot m/s$ 。

油膜中的最高温度

$$T_{\text{max}} = T_{\text{工作}} + \Delta T = T_{\text{工作}} + \frac{\eta \omega}{c_v} \left(\frac{R}{c} \right)^2 \bar{T} \quad (18-8-7)$$

所以, 可用 T_{max} 作为确定润滑油黏度的温度。如果 T_{max} 与最初估计的温度值不同, 就需重新估计温度再按上述过

程计算，直到两温度值基本一致为止，最后确定了正确的 S 值，按该 S 值从表 18-8-9 查得量纲—刚度系数 \bar{K}_{yy} 、 \bar{K}_{xx} 、 \bar{K}_{yx} 、 \bar{K}_{xy} ，这些值虽有差别，但差别不大，所以，在计算轴系临界转速时，只考虑 \bar{K}_{yy} 。

4.4 支承阻尼

各类支承的阻尼值，一般通过试验求得，目前尚无准确的计算公式，表 18-8-10 列出了各类轴承阻尼比的概略值。

表 18-8-10 各类轴承阻尼比的概略值

轴承类型		阻尼比 ζ	轴承类型		阻尼比 ζ
滚动轴承	无预负荷	0.01 ~ 0.02	滑动轴承	单油楔动压轴承	0.03 ~ 0.045
	有预负荷	0.02 ~ 0.03		多油楔动压轴承	0.04 ~ 0.06
				静压轴承	0.045 ~ 0.065

注：滑动轴承阻尼系数也可按 4.3 节的方法从表 18-8-9 查得量纲—阻尼系数 \bar{C}_{yy} 、 \bar{C}_{xx} 、 \bar{C}_{xy} 、 \bar{C}_{yx} 值，换算成有单位的阻尼系数， $C_{yy} = \bar{C}_{yy} W / c\omega$ 、 $C_{xx} = \bar{C}_{xx} W / c\omega$ 、 $C_{xy} = C_{yx} = \bar{C}_{xy} W / c\omega$ 。

5 轴系的临界转速计算

5.1 轴系的特征值问题

通常轴系支承在同一水平线上，由于转子的重力作用，未转动时，转轴发生了弯曲静变形，转动时，这种弯曲变形有可能加大。实际上当转子以 ω 的角速度回转时，由于不平衡质量激励，轴系只能做同步正向涡动，即圆盘相对于轴线弯曲平面的角速度 $(\Omega - \omega)$ 为零，这种状态下，转轴不承受交变弯矩，轴材料内阻不起作用，轴系的运动微分方程就是轴系的弯曲振动微分方程，轴系的临界转速问题即为轴系弯曲振动的特征值问题。

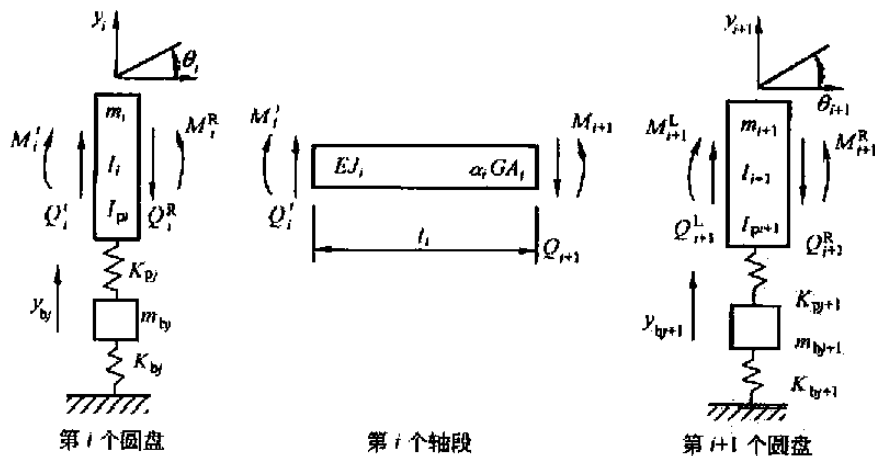


图 18-8-5 单元受力分析

为计算轴系的临界转速，首先应将轴系按前节方法转化成为质量离散化的有限单元模型。将各质量单元（圆盘）和梁（转轴）单元自左至右编号，则有 m_i 、 I_i 、 I_{pi} ($i=1, 2, \dots, n$) 和 l_i 、 EJ_i 、 $\alpha_i GA_i$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)；各支座自左至右编号，则有： K_{pj} 、 m_{bj} 、 K_{bj} ($j=1, 2, \dots, l$)；支座轴颈中心编号用数组 $S(j)$ 表示，对于 $l < n$ 的系统，轴颈中心编号同有支座作用的质点编号是一致的，它是联系 i 和 j 的桥梁。现对第 i 个轴段进行分析，单元两端面的挠度 y 和转角 θ 与图 18-8-5 所示弯矩 M 和剪力 Q 存在下列关系：

$$\begin{Bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ Q \end{Bmatrix}_{i+1} = \begin{Bmatrix} 1 & l_i & l_i^2/2EJ_i & l_i^3(1-\nu_i)/6EJ_i \\ 0 & 1 & l_i/EJ_i & l_i^2/2EJ_i \\ 0 & 0 & 1 & l_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} y' \\ \theta' \\ M' \\ Q' \end{Bmatrix}_i \quad (18-8-8)$$

式中

$$\nu_i = (6EJ_i/\alpha_i GA_i l_i^2)$$

α_i 为与截面形状有关的因子，对于实心圆轴 $\alpha_i = 0.886$ ， A_i 为截面积， G 为切变模量。

再对第 i 个圆盘进行分析，当轴以 ω 的角速度作同步正向涡动时，由图 18-8-5 所示的第 i 个圆盘得：

$$\begin{aligned} Q_i^L - Q_i^R &= K_{pj}(y_j - y_{bj}) - m_i y_i \omega^2 = Q_i - Q_i^L \quad (\text{令 } Q_i = Q_i^L) \\ M_i^R - M_i^L &= -(I_i - I_{pi}) \omega^2 \theta_i = M_i^R - M_i \end{aligned} \quad (18-8-9)$$

K_{pj} 为第 j 个支座的油膜刚度， y_{bj} 为第 j 个支座质量 m_j 的位移。为使同符号统一，将 ω 改为 ω_n ，第 i 个单元的特征值方程为：

$$(K_i - \omega_n^2 m_i) X_{Mi} = \{0\} \quad (18-8-10)$$

式中

$$X_{Mi} = [y_{i-1}, \theta_{i-1}, y_i, \theta_i, y_{i+1}, \theta_{i+1}, y_{bj}]^T \quad (18-8-11)$$

$$m_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & m_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_i - I_{pi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{bj} \end{bmatrix} \quad (18-8-12)$$

$$K_i = \begin{bmatrix} -\beta_{1,i-1} & -\beta_{2,i-1} & \beta_{1,i-1} + \beta_{1,i} + K_{pj} & -\beta_{2,i-1} + \beta_{2,i} & -\beta_{1,i} & \beta_{2,i} & -K_{pj} \\ \beta_{2,i-1} & \beta_{3,i-1} & -\beta_{2,i-1} + \beta_{2,i} & \sum_{s=i-1}^i (l_s \beta_{2,s} - \beta_{3,s}) & -\beta_{2,i} & \beta_{3,i} & 0 \\ 0 & 0 & -K_{pj} & 0 & 0 & 0 & K_{pj} + K_{bj} \end{bmatrix} \quad (18-8-13)$$

式中

$$\beta_{1,i} = \frac{12EJ_i}{l_i^3(1+2\nu_i)} \quad \beta_{2,i} = \frac{l_i \beta_{1,i}}{2} \quad \beta_{3,i} = \frac{1}{6} l_i^2 (1-\nu_i) \beta_{1,i} \quad (18-8-14)$$

如果第 i 个圆盘没有支承，则 y_{bj} ， K_{pj} ， K_{bj} ， m_{bj} 均可去掉，此时 K_{Mi} 为 6×1 阶列阵， m_i 和 K_i 为 2×6 阶矩阵。此处 ν_i 定义参阅式 (18-8-8) 及说明。

以上只是对 i 单元的分析，对其他各单元的分析可得到类似的式 (18-8-10) 及其相应的式 (18-8-11) ~ 式 (18-8-14)。将各单元的公式进行组合，就可得到轴系的 $(2n+1)$ 个自由度的特征值方程，求解之，就得到 ω_n^2 的 $(2n+1)$ 个解。特征值 ω_n^2 并不完全为正实数，除去负数，只有 ω_n^2 为正实数的特征值的平方根才是各阶同步正向涡动的临界角速度。由式 (18-8-1) 换算为临界转速。

以上只可能用计算机求解。运用矩阵迭代法、QR 法等求解 (已有现成的软件)。

5.2 特征值数值计算实例

例 图 18-8-6 所示发电机转子简化模型，两支承参数相同， $K_p = 2.45 \times 10^6 \text{ kN/m}$ ， $K_b = 3.92 \times 10^6 \text{ kN/m}$ ， $M_b = 17.64 \text{ t}$ ，转子数据见表 a：按上述原始数据以及某些数据做 15% 的调整，根据参数调整的不同情况分别形成质量矩阵 M 、刚度矩阵 K ，用 QR 法计算该转子系统的一、二阶临界转速和振型。

n_{c1} 、 n_{c2} 的计算结果列于表 b。其振型矢量由于过于复杂，计算结果未列出。

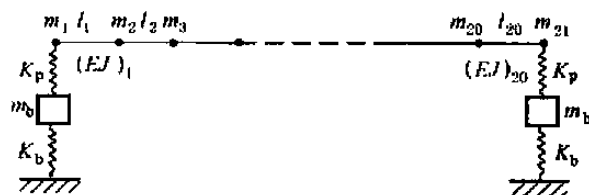


图 18-8-6 发电机转子模型

表 a

转子各轴段和集中质量数据

轴段号	轴段长 l/m	$EJ/10^9 N \cdot m^2$	集中质量 m/t	质 点 号
1	0.275	0.3116	0.1500	1
2	0.505	0.6674	0.6595	2
3	0.365	0.7948	1.0976	3
4	0.475	1.5856	1.1682	4
5	0.580	1.7160	1.4406	5
6	0.100	6.6669	1.9600	6
7	0.650	7.1324	3.1850	7
8-13	0.650	6.9541	3.9984	8
14	0.650	7.1324	3.9984	9-14
15	0.100	6.6669	3.1850	15
16	0.580	1.5788	1.9404	16
17	0.275	1.4612	1.1476	17
18	0.365	0.7241	0.9486	18
19	0.295	0.5803	0.7791	19
20	0.285	0.3036	0.3989	20
			0.1500	21

表 b

调整部分参数值后轴系一、二阶临界转速计算结果

参 数 调 整	用 QR 法计算		用灵敏度公式计算 ^①	
	$n_{c1}/r \cdot \min^{-1}$	$n_{c2}/r \cdot \min^{-1}$	$n_{c1}/r \cdot \min^{-1}$	$n_{c2}/r \cdot \min^{-1}$
两支承的 K_p 和 K_v 都增加 15%	893	2678	893	2687
$i=3,4,5,16,17,18$ 各轴段刚度 EJ 同时增大 15%	905	2695	906	2704
$i=3,4,5,16,17,18$ 各轴段长度 l 同时增长 15%	816	2508	812	2508

① 灵敏度公式见表 18-8-11。

6 轴系临界转速设计

6.1 轴系临界转速修改设计

当按初步设计图纸提出简化临界转速力学模型，用特征值数值计算方法求出各阶临界转速及对应的振型矢量以后。如发现某阶临界转速 n_{ci} 与轴系的工作转速接近，立即将计算得到的第 i 阶振型矢量进行正规化处理，即按表 18-3-6 中 7 的公式，求得正规化因子 μ_i ，用 μ_i 去除振型矢量的各个值。然后利用轴系同步正向涡动的特征方程导出的第 i 阶临界转速对参数 S_j 的敏感度公式（见表 18-8-11），并给出参数微小变化量 ΔS_j （通常 $< 20\%$ ），计算出引起临界转速的变化量。通过对各种参数改变计算结果的比较，优化组合，选出最佳参数修改组合，对轴系临界转速进行修改设计。如果轴系有 n 个参数 S_j 同时有微小变化（ $j=1, 2, \dots, n$ ），改变量分别为 ΔS_j ，轴系第 i 阶临界转速的相对改变量：

$$\Delta n_{ci} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial n_{ci}}{\partial S_j} \Delta S_j \quad (18-8-15)$$

参数修改后轴系的第 i 阶临界转速：

$$n_{ci}^1 = n_{ci} + \Delta n_{ci} \quad (18-8-16)$$

结合图 18-8-6 所示系统实例，按三组不同参数变化组合，用敏感度公式计算轴系的一、二阶临界转速，计算结果列于本章 5.2 节 a、b 表中。将该计算结果与用 QR 法计算结果的比较，可以看出用该方法进行修改设计的可靠性。

表 18-8-11

临界转速对各种参数的敏感度计算公式

改变参数的前提	敏感度计算公式	敏感度说明
<p>设 $S_j = EJ_j$, 即考虑系统第 j 段轴的抗弯刚度有微小变化, 但对该段轴两端的质量影响不大, 并忽略不计</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial (EJ_j)} = \frac{1800}{\pi^2 n_{ci}^3} [3(\bar{Y}_j - \bar{Y}_{j+1})^2 + 3l_j(\bar{Y}_j - \bar{Y}_{j+1})(\bar{\theta}_j + \bar{\theta}_{j+1}) + l_j^2(\bar{\theta}_j^2 + \bar{\theta}_j\bar{\theta}_{j+1} + \bar{\theta}_{j+1}^2)]$ <p>$(i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots, n-1)$ $\bar{Y}_j, \bar{Y}_{j+1}, \bar{\theta}_j, \bar{\theta}_{j+1}$ 为第 i 阶正规化振型中, 第 j 段轴两端质点的挠度值和转角值</p>	
<p>设 $S_j = l_j$, 即考虑第 j 段轴的长度有微小变化, 但对该段轴两端的质量影响不大, 并忽略不计</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial l_j} = -\frac{1800}{\pi^2 n_{ci}^3} \left(\frac{EJ_j}{l_j^3} \right) [9(\bar{Y}_j - \bar{Y}_{j+1})^2 + 6l_j(\bar{Y}_j - \bar{Y}_{j+1})(\bar{\theta}_j + \bar{\theta}_{j+1}) + l_j^2(\bar{\theta}_j^2 + \bar{\theta}_j\bar{\theta}_{j+1} + \bar{\theta}_{j+1}^2)]$ <p>$(i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots, n-1)$</p>	
<p>设 $S_j = m_j$, 即考虑第 j 个圆盘的质量有微小变化, 但不计由此引起圆盘转动惯量的变化</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial m_j} = -\frac{n_{ci}}{2} \frac{\bar{\theta}_j^2}{\bar{Y}_{s(j)}}$ <p>$(i = 1, 2, \dots)$ $(j = 1, 2, \dots, n)$</p>	<p>敏感度为负值, 说明质量增加, n_{ci} 将下降; 如果振型中 \bar{Y}_j 较大, 说明敏感, 否则相反</p>
<p>设 $S_j = m_{bj}$, 即考虑第 j 个轴承座的等效质量有微小变化</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial m_{bj}} = -\frac{n_{ci}}{2} \left(\frac{K_{bj}}{K_{pj} + K_{bj} - m_{bj}\omega_{ni}^2} \right)^2 \bar{Y}_{s(j)}^2$ <p>$(i = 1, 2, \dots)$ $(j = 1, 2, \dots, l)$ 第 i 阶正规振型中对应第 j 个支承轴质点 $S(j)$ 的挠度值</p>	<p>等效质量 m_{bj} 增加, 临界转速 n_{ci} 下降</p>
<p>设 $S_j = K_{bj}$, 即考虑第 j 个轴承座的等效静刚度有微小变化</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial K_{bj}} = -\frac{450}{\pi^2 n_{ci}^3} \left(\frac{K_{bj}}{K_{pj} + K_{bj} - m_{bj}\omega_{ni}^2} \right)^2 \bar{Y}_{s(j)}^2$ <p>$(i = 1, 2, \dots)$ $(j = 1, 2, \dots, l)$</p>	
<p>设 $S_j = K_{pj}$, 即考虑第 j 个轴承油膜刚度有微小变化</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial K_{pj}} = -\frac{450}{\pi^2 n_{ci}^3} \left(\frac{K_{bj} - m_{bj}\omega_{ni}^2}{K_{pj} + K_{bj} - m_{bj}\omega_{ni}^2} \right)^2 \bar{Y}_{s(j)}^2$ <p>$(i = 1, 2, \dots)$ $(j = 1, 2, \dots, l)$</p>	<p>油膜刚度增加, 临界转速上升</p>
<p>设 $S_j = K_j$, 即支承为刚度系数为 K_j 弹性支承, 刚度有微小变化时</p>	$\frac{\partial n_{ci}}{\partial K_j} = \frac{450}{\pi^2 n_{ci}^3} \bar{Y}_{s(j)}^2$ <p>$(i = 1, 2, \dots)$ $(j = 1, 2, \dots, l)$</p>	<p>支承刚度增加, 临界转速上升</p>

6.2 轴系临界转速组合设计

转子系统经常是由多个转子组合而成。组合转子系统和各单个转子的临界转速间既有区别又有联系，其间存在一定的规律。这种联系就是各轴系具有相同形式的特征方程。

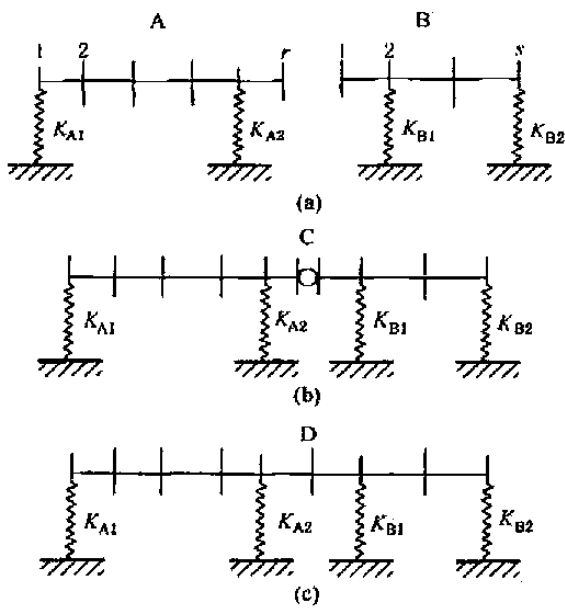


图 18-8-7 轴系组合模型

设 A、B 为两个不同的转子，如图 18-8-7a 所示，各转子分别有 r 及 s 个圆盘，为简单起见，设各支承为等刚度支承，这一组合系统的特征值方程：

$$\begin{bmatrix} (K_A - \omega_n^2 M_A) & 0 \\ 0 & (K_B - \omega_n^2 M_B) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_A \\ x_B \end{Bmatrix} = 0 \quad (18-8-17)$$

式中

$$x_A = [y_{A1}, \theta_{A1}, y_{A2}, \theta_{A2}, \dots, y_{Ar}, \theta_{Ar}]^T$$

$$x_B = [y_{B1}, \theta_{B1}, y_{B2}, \theta_{B2}, \dots, y_{Bs}, \theta_{Bs}]^T$$

K_A 、 K_B 、 M_A 、 M_B 分别为 A、B 两个转子的刚度矩阵和质量矩阵。

当对系统坐标进行如下线性变换：

$$\left. \begin{aligned} q_{2i-1} &= y_{Ai} \\ q_{2i} &= \theta_{Ai} \end{aligned} \right\} (i=1, 2, \dots, r) \quad \left. \begin{aligned} q_{2(r+i)-1} &= y_{Bi} \\ q_{2(r+i)} &= \theta_{Bi} \end{aligned} \right\} (i=1, 2, \dots, s)$$

$$q_{2r+1} = y_{Ar} - y_{B1}$$

$$(K' - \omega_n^2 M') q = 0$$

式中 $q = [q_1, q_2, \dots, q_{2(r+s)}]^T$

系统的频率方程：

$$\Delta(\omega_n^2) | K' - \omega_n^2 M' | = 0 \quad (18-8-18)$$

线性变换不改变系统的特性值。现将 A、B 两转子端部铰接成图 18-8-7b 所示的系统 C，由连续性条件 $y_{Ar} = y_{B1}$ 决定 $q_{2r+1} = 0$ ，系统 C 的频率方程实际上就是式(18-8-18)划去 $2r+1$ 行和 $2r+1$ 列的行列式 $\Delta_{2r+1}(\omega_n^2) = 0$ 。由频率方程根的可分离定理知，系统 C 的临界角速度应界于在原系统 A 和 B 各临界角速度之间，这是组合系统与各单个转子临界角速度间的一条重要规律。同理再将系统 C 的铰接改为图 18-8-7c 所示的刚性连接系统 D 作同样变换，又会得出 D 系统的临界角速度界于在 C 系统各临界角速度之间。综合以上结果，这一重要规律可概括为：如果将组合前各系统的所有阶临界角速度混在一起由小到大排列：

$$\omega_1^{A+B} < \omega_2^{A+B} < \dots < \omega_i^{A+B} < \dots < \omega_{2(r+s)}^{A+B}$$

则按 C 系统组合后第 i 阶临界转速与组合前临界转速之间的关系为

$$\omega_i^{A+B} \leq \omega_i^C \leq \omega_{i+1}^{A+B} \quad [i=1, 2, \dots, 2(r+s)-1]$$

按 D 系统组合后临界转速与组合前临界转速关系为

$$\omega_i^C \leq \omega_i^D \leq \omega_{i+1}^C \quad [i=1, 2, \dots, 2(r+s)-1]$$

所以 $\omega_i^{A+B} \leq \omega_i^D \leq \omega_{i+2}^{A+B} \quad [i=1, 2, \dots, 2(r+s)-1] \quad (18-8-19)$

现以 20 万千瓦汽轮发电机组为例，组合前后都用数值计算方法计算系统低于 3600r/min 的各阶固有频率及振型矢量，临界转速的计算结果列于表 18-8-12，组合后的各阶振型如图 18-8-8 所示。

计算结果也验证了机组的临界转速界于各单机临界转速间，这就使得在设计中，有可能根据各个转子的临界转速去估计机组的临界转速的分布情况，也有助于判断机组临界转速计算结果是否合理，有无遗漏等。由图 18-8-8

表 18-8-12

单个转子和机组转子的临界转速

$r \cdot \text{min}^{-1}$

	n_{c1}	n_{c2}	n_{c3}	n_{c4}	n_{c5}
	发电机转子型	中压转子型	高压转子型	低压转子型	发电机转子型
单个转子	943	1221	1693	1740	2654
机组转子	1002	1470	1936	2014	2678

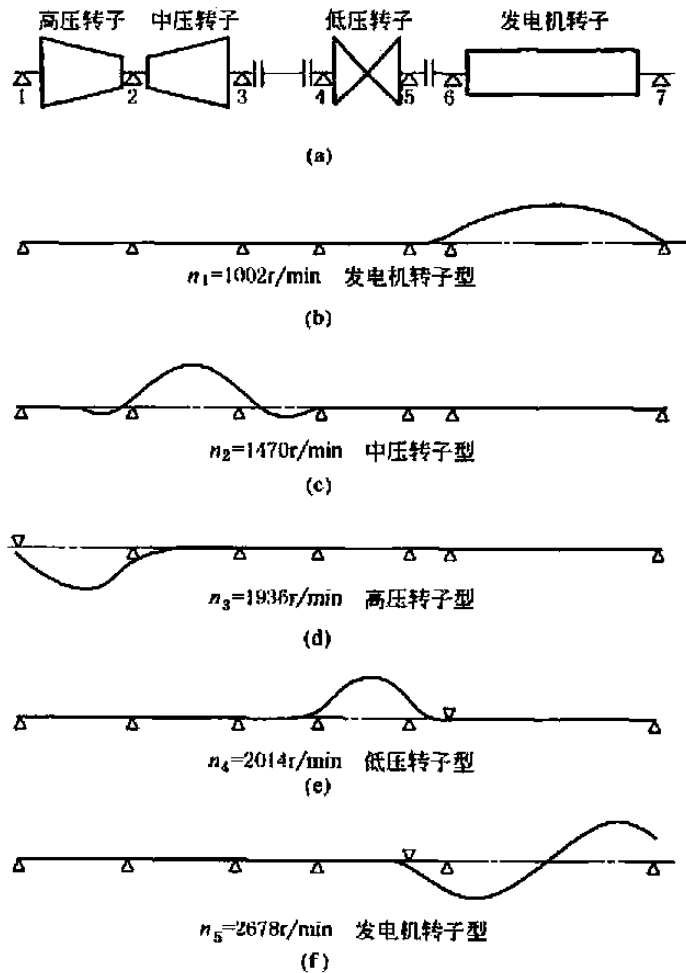


图 18-8-8 机组转子的振型

中各阶主振型可以看出，机组的一阶主振型，发电机振动显著，其他转子振动相对较小，所以称一阶主振型为发电机转子型，这一结果对现场测试布点具有重要意义。

7 影响轴系临界转速的因素

1) 支承刚度的影响 在常用的临界转速的计算公式和近似计算方法中，都假定支承为绝对刚性的。实际上，轴承座、地基和滑动轴承中的油膜都是弹性体，其刚度不可能为无穷大，支承刚度越小，临界转速越低。对于支承刚度比轴本身刚度大得多的情况，可忽略支承刚度的影响，按刚性支座计算临界转速。反之，则应按弹性支座计算临界转速。

2) 回转力矩的影响 在常用的临界转速的计算公式及计算方法中，都把圆盘简化为集中质量点，即只计重量不计尺寸，只考虑圆盘的离心力。若圆盘处于轴中央部位如图 18-8-9a，这种简化是适当的，此时，圆盘只在自身的平面内作振动或弓状回旋，圆盘的转动轴线在空间描绘出一个圆柱面，没有

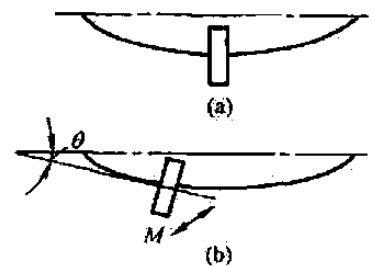


图 18-8-9 回转效应示意图

回转力矩的影响。而当圆盘不在轴的中央部位时，如图 18-8-9b，圆盘的转动轴线在空间描绘出一个圆锥面，圆盘的自身平面将不断地偏转。因此，应考虑由于圆盘的角运动而引起的惯性力矩，此力矩常称为回转力矩。当轴的转速较高，圆盘尺寸较大，圆盘位置偏离中部或在悬伸端时，回转力矩较大。一般回转力矩是使转轴的轴线倾角减小，即增加了轴的刚度，提高了临界转速。对于多圆盘转轴，外伸臂式转轴，圆盘尺寸较大以及计算高阶临界转速时应考虑回转力矩的影响。

3) 联轴器的影响 在用联轴器把各轴联成轴系时，由于联轴器的位移约束作用，轴系比单轴的临界转速要高；由于联轴器的重量作用，轴系比单轴的临界转速要降低。因此，在计算有联轴器轴系的临界转速时，应考虑联轴器的影响。

4) 其他影响因素 影响临界转速的因素很多，例如，轴向力、横向剪力、温度场、阻尼、多支承轴中各支承不同心，转轴的特殊结构形式，例如，有相邻轴上齿轮啮合的影响等。这些影响因素一般可忽略不计，在特殊情况下，应予考虑。可参考相应的振动理论进行处理。最终以实物测试来修正与确定其实际的临界转速。

参 考 文 献

- 1 韩润昌主编. 隔振降噪产品应用手册. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2003
- 2 关文远主编. 汽车构造. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2005
- 3 闻邦椿, 刘树英, 何勃著. 振动机械的理论与动态设计方法. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 4 张阿舟主编. 实用振动工程(2) 振动的控制与设计. 北京: 航空工业出版社, 1997
- 5 方同, 薛璞. 振动理论及应用. 西安: 西北工业出版社, 1998
- 6 [美] F. S. 谢 I. E. 摩尔著. 沈文均, 张景绘译. 机械振动-理论及应用. 北京: 国防工业出版社, 1984
- 7 张思主编. 振动测试与分析技术. 北京: 清华大学出版社, 1992
- 8 孙利民编. 振动测试技术. 郑州: 郑州大学出版社, 2004
- 9 龙运佳编著. 混沌振动研究: 方法与实践. 北京: 清华大学出版社, 1996
- 10 《机械工程手册》、《机电工程手册》编辑委员会. 机械工程手册. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 11 《振动与冲击手册》编辑委员会. 振动与冲击手册. 北京: 国防工业出版社, 1992
- 12 闻邦椿等. 振动筛, 振动给料机, 振动输送机设计与调试. 北京: 化学工业出版社, 1989
- 13 严济宽. 机械振动隔离技术. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1986
- 14 张阿舟等. 振动控制工程. 北京: 航空工业出版社, 1989
- 15 张阿舟等. 振动环境工程. 北京: 航空工业出版社, 1986
- 16 方明山. 项海帆等超大跨径桥梁结构中的特殊力学问题. 重庆交通学院学报, 1998, (12)
- 17 陈刚. 振动法测索力与实用公式. 福州大学硕士论文, 2003, (12)
- 18 西北工业大学. 复合弹簧. 淄博市信息中心, 2003
- 19 莊輝雄, 蔡同宏. 高屏溪橋監測計畫概述, 中華技術: 2001, 10
- 20 闻邦椿, 刘凤翥. 振动机械的理论与应用. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 21 丁文镜. 减振理论. 北京: 清华大学出版社, 1988
- 22 李方泽, 刘馥清, 王正. 工程振动测试与分析. 北京: 高等教育出版社, 1992
- 23 徐小力, 梁福平等. 旋转机械状态监测及预测技术的发展与研究. 北京机械工业学院学报, 中国工程机械网, 2005
- 24 刘樟华. 粘弹性阻尼减振降噪应用技术. 北京: 宇航出版社, 1990
- 25 姚光义, 蔡学熙. 悬索横向振动的实测和运用. 化工矿山技术: 1974, 2
- 26 戴德沛主编. 阻尼技术的工程应用. 北京: 清华大学出版社, 1991
- 27 张洪方等. 叠层橡胶支座在结构抗地震中的应用. 振动与冲击: 1999, 18 (3)
- 28 GB 10889—89 泵的振动测量与评价方法
- 29 S. 铁摩辛柯等. 工程中的振动问题. 北京: 人民铁道出版社, 1978
- 30 蔡学熙. 钢丝绳拉力的振动测量. 矿山机械, 2006, (11)
- 31 黄永强, 陈树勋. 机械振动理论. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 32 华中科技大学/深圳蓝津信息技术有限公司, 工程测试实验指导书, 2006
- 33 师汉民. 机械振动系统: 分析·测试·建模·对策. 上册. 2004
- 34 J Michael Robichaud, P. Eng. Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis, 2003, 9
- 35 Kumaraswamy. S, Rakesh. J and Amol Kumar Nalavade, Standardization of Absolute Vibration Level and Damage Factors for Machinery Health Monitoring, Proceedings of VETOMAC-2, 16-18, 9, 2002
- 36 VIBRATION MEASUREMENT AND ANALYSIS www.sintechnology.com
- 37 谷口修主编. 振动工学. ハンドブック. 东京株式会社养贤堂发行, 1979
- 38 W. T. Thomson. Theory of Vibration with Application New Jersey: Prentice Hall Inc, 1972
- 39 C. M. Harris and C. E. Crede. Shock and Vibration Handbook. New York: Mc Graw-Hill Co., 1976
- 40 L. Meirovitch. Elements of Vibration Analysis. New York. McGraw Hill Book Co., 1975
- 41 A. D. Dimarogonas. Vibration Engineering. West Publishing Co. 1976
- 42 Francis S. Tse, Ivan, E. Morse, Roland T. Hinkle. Mechanical Vibrations Theory and Applications. Aliyn and Bacon Inc, 1978
- 43 国际电气电子中心, IEEE C 专题



第 19 篇 机架设计

主要撰稿 蔡学熙

审 稿 王 正

HANDBOOK

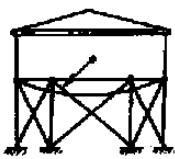
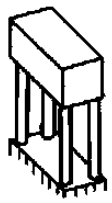

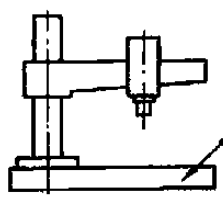
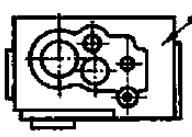
第 1 章 机架结构概论

在机器（或仪器）中支承或容纳零、部件的零件称为机架。如支承贮罐的塔架、固定发动机的机架、容纳传动齿轮的减速器壳体、机床的床身等统称为机架。

1 机架结构类型

1.1 按机架外形分类

表 19-1-1 机架外形分类

外形类别	网架式	框架式	梁柱式	板块式	箱壳式
举 例	 贮罐塔架	 柱式压力机机身	 钢丝绳绕机架	 摇臂钻床底座	 机械传动箱体

1.2 按机架的材料和制造方法分类

按材料可分为金属机架和非金属机架。

作机架的金属材料有钢、铸铁及铁合金（各种不锈钢、钛合金等）、铝合金、铜合金和其他（如钢丝绳等）。

非金属机架有钢筋混凝土机架或机座、素混凝土机座平台、花岗岩机架或机座、塑料机架、玻璃纤维机架、碳纤维机架或其他材料机架。

表 19-1-2 常用作机架的金属材料

名 称	牌 号	常用机架举例
铸铁	HT150	大多数机床的底座、减速机 and 变速器的箱体
	HT200	机座与机架、齿轮箱体, 如机床的立柱、横梁、滑板、工作台等
	HT250	
	HT300	轧钢机机座、重型机床的床身与机座、多轴机床的主轴箱等
球墨铸铁	QT800-2	冶金、矿山机械的减速机机体等
	QT500-7	曲柄压力机机身等
	QT450-10	

名称	牌 号	常用机架举例
球墨铸铁	QT400-15 QT400-18	各种减速器、差速器、离合器的箱体,例如汽车和拖拉机驱动桥的壳体
铸钢	ZG200-400 ZG230-450	各种机座、机架、箱体
	ZG270-500	各种大型机座、机架、箱体,如轧钢机架、机体、辊道架,水压机与压力机的梁架、立柱,破碎机机架等
	ZG310-570	重要机架
铸铝合金	ZL101	船用柴油机机体、汽车传动箱体等
	ZL104	中小型高速柴油机机体等
	ZL105A	高速柴油机机体等
	ZL401	大型、复杂和承受较高载荷而又不便进行热处理的零件,如特殊柴油机机体等
压铸铝合金	YL11、YL113、YL102、YL104	承受较高液压力的壳体、电动机底座、曲柄箱、打字机机架等
钢板及型钢焊接	Q235、Q345 25、20Mn、0Cr18Ni9等	各种大型机座、机架、箱体

各种材料的性能及其应用举例见本手册第3篇。

按机架的制造方法分类如下。

① 铸造机架,常用的材料是铸铁,有时也用铸钢、铸铝合金和铸铜等。铸铁机架的特点是结构形状可以较复杂,有较好的吸振性和机加工性能,常用于成批生产的中小型箱体。注塑机架的制造方法类似,它适用于大量生产的小型、载荷很轻的机架。

② 焊接机架,由钢板、型钢或铸钢件焊接而成,结构要求较简单,生产周期较短。焊接机架适用于单件小批量生产,尤其是大件箱体,采用焊接件可大大降低成本。

③ 螺栓连接机架或铆接机架,适用于大型结构的机架。这两种机架大部分被焊接机架代替,但螺栓连接机架仍被广泛应用于需要拆卸移动的场所。

④ 冲压机架,适用于大批量生产的小型、轻载和结构形状简单的机架。

⑤ 专业的轧制、锻造机架。

⑥ 其他,用独自制造方法制造的各种金属机架或非金属机架。例如,钢丝绳机架等。

这只是大概的分类。其实,机架的成品是综合了几种制造方法的结果,即组合的制造方法。下面第5节的例子,例如汽车车架,不仅采用了几种制造方法装配,并且使用的材料也是组合成的。

金属机架的铸造工艺设计、冲压工艺设计、锻造和焊接工艺设计可参考本手册第1篇有关章节。螺栓连接和铆接可查看本手册第5篇第1章和第2章。

本篇主要介绍钢结构形式的机架。

1.3 按力学模型分类

表 19-1-3

结构类型	杆系结构	板壳结构	实体结构
几何特征	结构由杆件组成,而杆件(直杆或曲杆)长度远大于其他两个方向的尺寸	结构由薄壁构件组成,而薄壁构件(薄板或薄壳)厚度远小于其他两个方向的尺寸	结构三个方向的尺寸是同一数量级的
机架举例	网架式机架,多数框架式和梁柱式机架	多数板块式和箱壳式机架	少数板块式、框架式和箱壳式机架

注:对某一具体机架,有时很难把它归于哪种结构,因为它可能介于杆系和板壳或板壳和实体两种结构之间。究竟按哪种结构计算,取决于计算工作量 and 计算精度。若计算精度满足结构设计要求,则按前者计算,否则按后者计算。有的机架要简化为几种结构的组合,用有限元法计算。

1.4 机架杆系结构类型

大部分机架可分解或化简为单个杆件，或简单而又规则的薄板、薄壳。这类机架可以按本手册第1篇所列公式、图表进行结构计算。若机架为复杂的板壳结构或实体结构，而又必须详细分析时，可采用有限元法计算。大部分机架可简化为杆系结构，本篇侧重介绍该种结构及常用的机架形式。

表 19-1-4 机架杆系结构类型

结构类型		桁架		刚架		
		平面桁架	空间桁架	平面刚架	平面板架	空间刚架
结点	性质	铰结点		刚结点		
	传递的力	集中力		集中力,力矩		
杆件	形状	杆轴	通过截面形心的直线	直线,刚架面内曲线	直线,且是对称轴线	直线,曲线
		截面	任意	有一对称轴,且位于刚架面内	有二对称轴,且垂直或平行板架平面	有二对称轴
	内力	轴力		轴力,剪力,弯矩	剪力,扭矩,弯矩	轴力,剪力,扭矩,弯矩
载荷	位置	结点		任意		
	方向	桁架面内	任意	刚架面内	垂直板架平面	任意
支座	类型	活动铰支座 固定铰支座		活动铰支座,固定铰支座 滑动支座,固定端支座		
	方位	桁架面内	任意	刚架面内	垂直板架平面	任意
机架举例	机架示意图					
	结构计算图					

注: 1. 实际的机架杆系结构,有时既有桁架杆件又有刚架杆件,这种结构叫做组合杆系结构。其中包括受有非结点载荷的桁架,因为受有载荷的杆件将产生剪力和弯矩,这种杆件已不是桁架杆件。可见含有这种杆件的桁架,严格地讲是一种特殊的组合杆系结构,但是若把非结点载荷等效到结点上,仍可按纯桁架进行整体计算。

2. 若杆件形状不满足表中对称性要求,则杆轴不过截面形心的桁架杆件将产生弯曲;截面没有对称轴或载荷、支座不与对称轴共面的平面刚架杆件将产生非平面弯曲;不满足截面对称性的平面板架杆件或空间刚架杆件将产生耦合的弯曲-扭转。

3. 直梁(例如连续梁)可按平面刚架计算,只不过梁不受轴力作用。

2 机架杆系的几何不变性

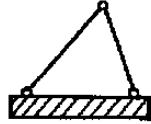
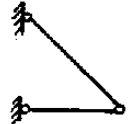
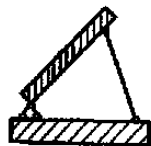
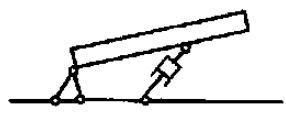
不少机架都可以看作是由杆件组成的,但是并非把若干杆件随意组合起来就能成其为合理机架结构。必须保

证机架杆系是几何不变杆系，应避免几何可变杆系和几何瞬变杆系。本篇各章所述的机架杆系结构，均指几何不变杆系。

2.1 平面杆系的组成规则

要保证一个杆系的几何不变性必须要有足够数目的约束；但是约束数目足够，并不能肯定几何不变，因为还有一个约束布置的问题。几何不变杆系的组成规则就是为保证杆系几何不变，使约束数目足够又布置合理而规定的准则。

表 19-1-5 平面杆系几何不变性规则

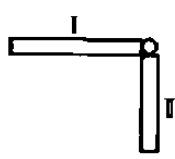
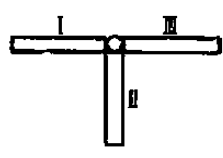
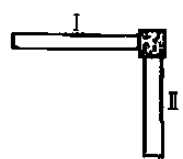
规则名称	几何不变且无多余约束的组成条件	组成示意图	分析举例
二元体规则	二根链杆各用一个铰联结于一个平面刚体上，且三个铰不在同一直线上（若三铰共线，则几何瞬变）		
三连杆规则	二个平面刚体用三根链杆相连，且三根链杆不交于一点（若交于一点，则实交点时，几何可变；虚交点时，几何瞬变）		

注：连杆可以是刚体，也可以是长度可控的，如油缸等。

2.2 平面杆系的自由度计算

2.2.1 平面杆系的约束类型

表 19-1-6 平面杆系约束类型

约束名称	约束方式	约束示意图	约束数	说明
简单铰结	一个铰结连二个刚体		2	
复杂铰结	一个铰结连 n 个刚体		$2(n-1)$	相当于 $n-1$ 个简单铰结
简单刚结	一个刚结连二个刚体		3	

续表

约束名称	约束方式	约束示意图	约束数	说明
复杂刚结	一个刚结连 n 个刚体		$3(n-1)$	相当于 $n-1$ 个简单刚结
简单链杆	一根杆连二个铰点		1	
复杂链杆	一根杆连 n 个铰点		$2n-3$	相当于 $2n-3$ 个简单链杆

2.2.2 平面杆系自由度的计算

表 19-1-7

平面杆系自由度计算方法

计算方法	算法 1	算法 2
基本观点	杆系由若干平面刚体受铰结、刚结和链杆的约束而组成	杆系由若干结点受链杆的约束而组成
	$W = 3m - (3g + 2h + b)$	$W = 2J - B$
	W ——平面杆系的计算自由度数	
计算公式	m ——平面刚体数 g ——简单刚结数 h ——简单铰结数 b ——支承链杆数	J ——结点数 B ——简单链杆数
计算举例		
	原有简单铰结数 $h_1 = 5$ (A, B, C, F, G 点) 折算简单铰结数 $h_2 = 2 \times (3 - 1)$ (D, E 点复杂铰结, $n = 3$) 简单铰结总数 $h = h_1 + h_2 = 9$ 平面刚体数 $m = 7$ ($AC, CB, AD, DF, DE, EG, EB$) 简单刚结数 $g = 0$ (无刚结点) 支承链杆数 $b = 3$ (A 处二根, B 处一根) 计算自由度数 $W = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 3 = 0$	原有简单链杆数 $B_1 = 8$ (AD, DF, DE, EG, EB 三根支杆) 折算简单链杆数 $B_2 = 2 \times (2 \times 3 - 3)$ (AC, BC 复杂链杆, $n = 3$) 简单链杆总数 $B = B_1 + B_2 = 14$ 结点数 $J = 7$ (A, B, C, D, E, F, G 点) 计算自由度数 $W = 2 \times 7 - 14 = 0$
结论	$W > 0$ 为几何可变杆系 $W \leq 0$ 为几何不变杆系的必要条件(但非充分条件, 必须布置合理)	

2.3 杆系几何特性与静定特性的关系

杆系静力分析的基本方法是：截断约束，取分离体，用约束力代替约束；根据分离体的平衡方程，解出约束力。可见，平衡方程总数和未知约束力总数是杆系静力分析的两个基本要素。这两个基本要素的计算见表19-1-8。

表 19-1-8

杆系平衡方程数和约束力数

所用自由度计算方法		表 19-1-7 算法 1			表 19-1-7 算法 2
平衡 方程数	截取的分离体	平面刚体			结 点
	所截分离体数目	m			J
	每个分离体平衡方程数	3			2
	杆系平衡方程总数	$3m$			$2J$
未知约 束力数	被截断的约束	简单刚结	简单铰结	支承链杆	简单链杆
	被截约束数目	g	h	b	B
	每个约束的约束力数	3	2	1	1
	杆系未知约束力总数	$3g + 2h + b$			B

按表 19-1-7 和表 19-1-8 计算自由度数 W ，可得表 19-1-9。

表 19-1-9

$W = 0$	静定结构	平衡方程数等于未知力数	有惟一解
$W > 0$	超静定结构	平衡方程数少于未知力数	要有变位等条件求解

3 机架设计计算的准则和要求

3.1 机架设计的准则

(1) 工况要求

任何机架的设计首先必须保证机器的特定工作要求。例如，保证机架上安装的零部件能顺利运转，机架的外形或内部结构不致有阻碍运动件通过的突起；设置执行某一工况所必需的平台；保证上下料的要求、人工操作的方便及安全等。

(2) 刚度要求

在必须保证特定外形条件下，对机架的主要要求是刚度。例如机床的零部件中，床身的刚度则决定了机床的生产率和加工产品的精度；在齿轮减速器中，箱壳的刚度决定了齿轮的啮合性及运转性能。

(3) 强度要求

对于一般设备的机架，刚度达到要求，同时也能满足强度的要求。但对于重载设备的强度要求必须引起足够的重视。其准则是在机器运转中可能发生的最大载荷情况下，机架上任何点的应力都不得大于允许应力。此外，还要满足疲劳强度的要求。

对于某些机器的机架尚需满足振动或抗振的要求。例如振动机械的机架；受冲击的机架；考虑地震影响的高架等。

(4) 稳定性要求

对于细长的或薄壁的受压结构及受弯-压结构存在失稳问题，某些板壳结构也存在失稳问题或局部失稳问题。失稳对结构会产生很大的破坏，设计时必须校核。

(5) 美观

目前对机器的要求不仅要能完成特定的工作，还要使外形美观。

(6) 其他

如散热的要求；防腐蚀及特定环境的要求；对于精密机械、仪表等热变形小的要求等。

特别提出注意的是，设计和工艺是相辅相成的，设计的基础是工艺。所以设计要遵循工艺的规范，要考虑工艺的可能性、先进性和经济性。

3.2 机架设计的一般要求

在满足机架设计准则的前提下，必须根据机架的不同用途和所处环境，考虑下列各项要求，并有所侧重。

- ① 机架的重量轻，材料选择合适，成本低。
- ② 结构合理，便于制造。
- ③ 结构应使机架上的零部件安装、调整、修理和更换都方便。
- ④ 结构设计合理，工艺性好，还应使机架本身的内应力小，由温度变化引起的变形应力小。
- ⑤ 抗振性能好。
- ⑥ 耐腐蚀，使机架结构在服务期限内尽量少修理。
- ⑦ 有导轨的机架要求导轨面受力合理，耐磨性良好。

3.3 设计步骤

① 初步确定机架的形状和尺寸。根据设计准则和一般要求，初步确定机架结构的形状和尺寸，以保证其内外部零部件能正常运转。

② 根据机架的制造数量、结构形状及尺寸大小，初定制造工艺。例如非标准设备单件的机架、机座，可采用焊接代替铸造。

③ 分析载荷情况，载荷包括机架上的设备重量、机架本身重量、设备运转的动载荷等。对于高架结构，还要考虑风载、雪载和地震载荷。

④ 确定结构的形式，例如采用桁架结构还是板结构等。再参考有关资料，确定结构的主要参数（即高、宽、板厚与材料等）。

⑤ 画出结构简图。

⑥ 参照类似设备的有关规范、规程，确定本机架结构所允许的挠度和应力。

⑦ 进行计算，确定尺寸。

⑧ 有必要时，进行详细计算并校核或做模型试验，对设计进行修改，确定最终尺寸。对于复杂重要的机架，要批量生产的机架，有时采用计算机数值计算且与实验测试相结合的办法，最后确定各部分的尺寸。

⑨ 标明各种技术特征和技术要求。例如机架的允许载荷、应用场合等的限定；制造工艺和材料的要求，制造与安装偏差，热处理要求，运输、吊装的特殊要求，检测或探测的规定，除锈和上漆要求，以及其他各种特殊的要求等。

4 机架结构的选择

机架结构形式的选择是一个较复杂的过程。根据所要设计设备的状况，再根据前面的准则和要求，参考类似设备的机架结构形式，首先进行机架形式的选择。对结构形式、构件截面和结点构造等均需要结合具体的情况进行仔细的分析。可以选用几种方案初步比较来确定。对于大批量的设备机架或特大型的机架，还应该对结构方案进行技术经济比较。

由于各种设备各有不同的规范和要求，制定统一的机架结构选择方法较困难。但是，总的原则无非是实用、可靠、经济和美观。

对于整体机架的各支架横截面，空心的长方形截面在相同材料情况下能承受更大的弯矩；而空心的圆截面能承受更大的扭矩。所以这两种截面形式（或其变形）在支架截面中运用较多。可以从本手册第1篇第1章或其他相关书籍中找到各种截面形状的截面惯性矩等资料，本篇不赘述。一些支架的实际采用的截面形状在以后的章节中介绍。这里只是利用结构力学的知识，提出由型材制作的钢结构的设计选择的一般规律。

4.1 一般规则

- 1) 结构的内力分布情况要与材料的性能相适应，以便发挥材料的优点。

① 轴力较弯矩能更充分地利用材料。杆件受轴力作用时，截面上材料的应力分布是均匀的（图 19-1-1a）。所有材料都得到充分利用。在弯矩作用下截面上的应力分布是不均匀的（图 19-1-1b），所以材料的利用不够经济。

② 机械结构中许多构件所受的载荷都设计成沿垂直于杆轴的方向作用。弯矩沿杆长变化很迅速。最大的弯矩仅限于一小段内，因此可设计变截面梁或在局部范围内加大、加高截面。

③ 有横向垂直载荷处，弯矩曲线有曲率，曲率与载荷密集度成正比。在较长段内材料不能充分利用，这与②款相似。如有可能应设法使载荷分散传播。例如，用桁架来代替梁。梁所以常用于小跨结构是因为构造简单和制作方便。在大跨结构中，桁架更为经济。

④ 在塑性设计中，钢构件在弯矩作用下的极限状态的应力分布如图 19-1-1c 所示；钢筋混凝土构件相应的应力分布如图 19-1-1d 所示。虽然由这些应力图可知，塑性设计比弹性设计要经济一些，但在机架设计中有动载荷的情况下一般是不考虑塑性设计的，只能用来考虑极端情况下的不损坏状态。

⑤ 壳体结构由于主要受轴力作用，使用材料极为经济，在可能的情况下应采用。下文关于浓密机底座的设计将再谈这个设计实例。

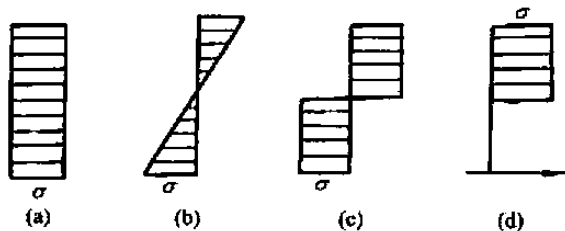


图 19-1-1

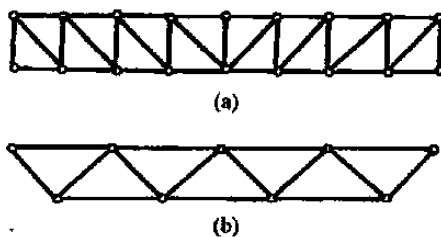


图 19-1-2

2) 结构的作用在于把载荷由施力点传到基础。载荷传递的路程愈短，结构使用的材料愈省。

图 19-1-2a 和 b 所示为钢架常用的两种腹杆布置。图 a 为斜杆腹系，长斜杆在载荷作用下承受拉力，这是一个优点。但是载荷通过交替的斜杆和竖杆传到桁架的两端所经的路程很长。在图 b 所示的三角形腹系中，载荷通过斜杆传到桁架两端所经的路程就比较短。因此，图 b 所示桁架使用材料较少。

图 19-1-3 是梁和桁架的组合体系，它也要比一般桁架经济。

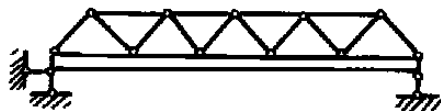


图 19-1-3

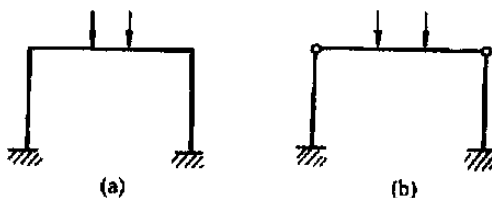


图 19-1-4

3) 结构的连续性可以降低内力，节省材料。

例如，连续梁比一串简支梁经济，连续桁架也比一串简支桁架经济。在刚架中由于结点的刚性使弯矩降低，例如在同样载荷下图 19-1-4a 所示刚架受到的弯矩比图 19-1-4b 所示刚架受到的要小。一般来说，连续刚架比孤立的梁柱体系要经济。

以上规则在实际应用中有时是互相矛盾的。例如图 19-1-4a 所示结构和 b 所示结构比较起来，是互有利弊的。一方面由于结构的刚性，图 a 所示结构中梁的弯矩较小，但在另一方面由于结点的刚性，柱的弯矩增加了。

4.2 静定结构与超静定结构的比较

表 19-1-10

静定结构与超静定结构的比较

比较项目	静定结构	超静定结构
防护能力	静定结构没有多余约束。当任一约束突然破坏，即变成几何可变杆系，不能承受任何载荷，所以防护能力差	超静定结构有多余约束。多余约束突然破坏后，仍能维持几何不变性，还能承受一定的载荷，所以防护能力强

续表

比较项目	静定结构	超静定结构
内力分布	由于没有多余约束,局部载荷对结构的影响范围小,内力分布很不均匀,内力峰值大	由于有多余约束,局部载荷对结构的影响范围大,内力分布比较均匀,内力峰值较小
结构刚度和稳定性	由于没有多余约束,载荷作用下的结构变形,受不到多余约束的进一步限制,结构的刚度和稳定性差	由于有多余约束,载荷作用下的结构变形要受到多余约束的进一步限制,结构的刚度和稳定性较好
结构材料和杆件截面的影响	静定结构的内力只需用静力平衡方程即可确定,所以内力与结构材料性质和杆件截面尺寸无关	超静定结构的内力不能单用静力平衡方程来确定,还需同时考虑变形条件,所以内力与结构的材料性质和杆件截面尺寸有关
非载荷因素(支座移动、温度改变、材料收缩和制造误差)的影响	非载荷因素只引起静定结构的位移和变形,不在静定结构中产生内力(因为位移和变形受不到多余约束的限制)	非载荷因素不仅引起超静定结构的变形,而且还在超静定结构中产生内力(因为变形要受到多余约束的限制)
杆件截面设计的简单程度和调整结构内力分布的能力	静定结构杆件截面尺寸设计简单,只要结构外形及其尺寸(指用杆轴表示的力学模型)一定,即可由平衡方程求出内力,再按强度条件设计杆件截面。但静定结构的内力分布与杆件刚度比值无关,故不能通过改变杆件刚度来调整内力分布	超静定结构杆件截面尺寸设计复杂,只有事先假定截面尺寸才能求出内力,然后再根据内力重新设计杆件截面,若设计截面与假定截面相差过大,需重新计算。但超静定结构的内力分布与杆件刚度比值有关,故可通过改变杆件刚度来调整内力分布

注:静定结构的优点是设计计算方便,外力诸多因素清楚后,受力得到了保证,设计者愿意选用。

4.3 静定桁架与刚架的比较

表 19-1-11

静定桁架与刚架的比较

比较项目	静定桁架	刚架
是否便于使用	由于桁架结点都是铰结点,所以为了保证杆系的几何不变性,所用的杆件数目较多,而且占据了内部空间,不便使用	由于刚架结点主要是刚结点,所以刚架的几何不变性,除了支座的约束作用外,主要依靠刚结点的连接作用,所用的杆件数目较少,内部空间大,便于使用
是否节省材料	由于桁架杆件都是二力杆件,只有轴力,所以内力沿杆轴和应力沿杆件截面都是均匀分布的,充分利用了材料	由于刚架杆件大都是梁式杆件,内力主要是弯矩,所以内力沿杆轴和应力沿杆件截面都是非均匀分布的,没有充分利用材料

4.4 几种杆系结构力学性能的比较

机架的典型结构形式有梁、刚架、桁架和组合结构,还可按其结构受力有以下两种分类方式。

1) 无推力结构和有推力结构。梁和梁式桁架属于前者;三铰拱、三铰刚架、拱式桁架和某些组合结构属于后者。

2) 将杆件分为链杆和梁式杆。桁架中的各杆都是链杆;多跨梁和刚架中的各杆都是梁式杆;组合结构中的杆件有的是链杆,有的是梁式杆。

对于梁式杆,应尽量减小杆件中的弯矩。现从这个角度,讨论各杆系结构的特点。

① 在静定多跨梁和伸臂梁中,利用杆端的负弯矩可以减小跨中的正弯矩(如图 19-1-5b)。

② 在有推力结构中,利用水平推力的作用可以减小弯矩峰值(如图 19-1-5e)。

③ 在桁架中,利用杆件的铰结和合理布置以及载荷的结点传递方式,可使桁架中的各杆处于无弯矩状态。

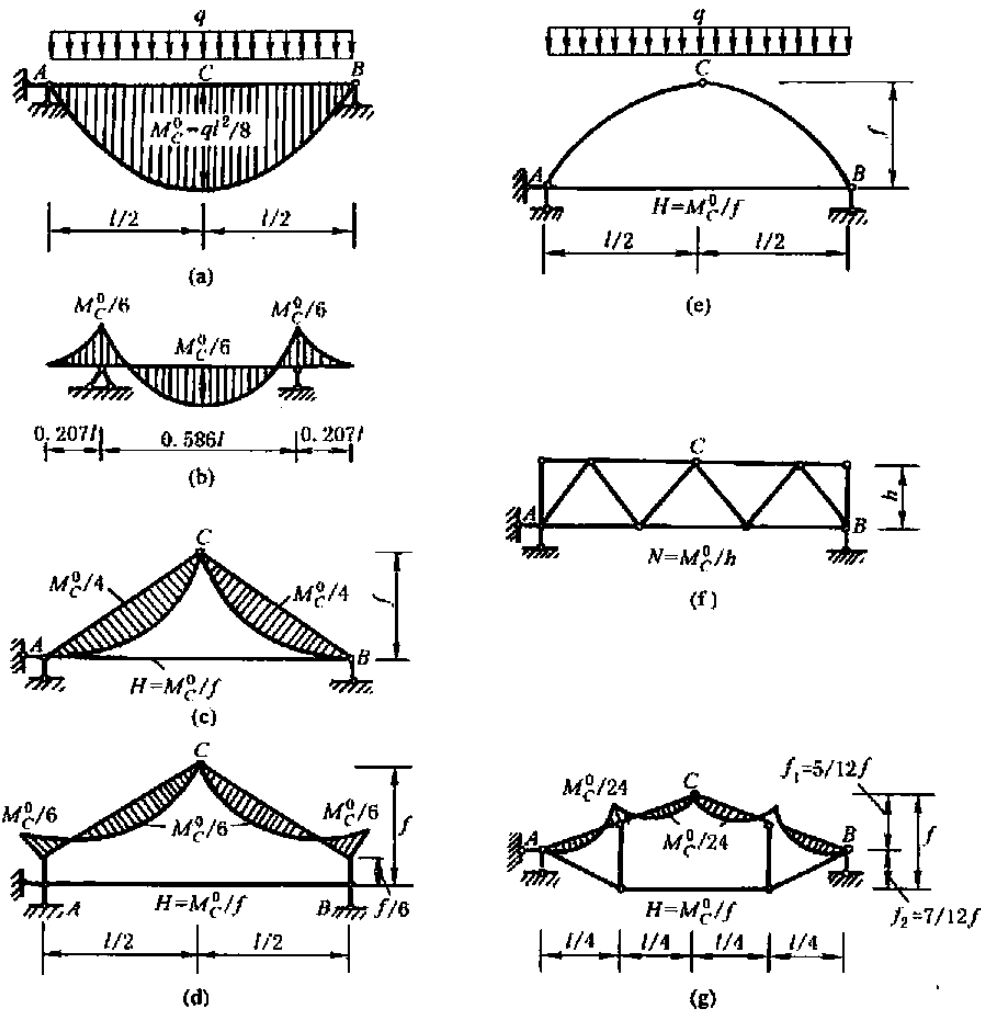


图 19-1-5

为了对各种杆系结构形式的力学特点进行综合比较，在图 19-1-5 中给出了几种结构形式在相同跨度和相同载荷（全跨受均布载荷 q ）作用下的主要内力数值。

a. 图 19-1-5a 是简支梁（跨中截面 C 的弯矩为 $M_c^0 = \frac{ql^2}{8}$ ）。图 19-1-5b 是伸臂梁。为了使弯矩减小，设法使支座负弯矩与跨中正弯矩正好相等。根据这个条件可以求出伸臂长度应为 $0.207l$ ，这时弯矩峰值下降为 $\frac{1}{6}M_c^0$ 。

b. 图 19-1-5c 是带拉杆的三角形三铰架，推力为 $H = M_c^0/f$ ，由于推力的作用，上弦杆的弯矩峰值下降为 $\frac{1}{4}M_c^0$ 。

c. 图 19-1-5d 中，拉杆与上弦杆端部之间有一个偏心距 $e = f/6$ ，这样，上弦杆端部负弯矩与杆中正弯矩正好相等，弯矩峰值进一步下降为 $\frac{1}{6}M_c^0$ ，这两种情况都属于三铰刚架的特殊情况。

d. 图 19-1-5f 是梁式桁架，在结点载荷作用下，各杆处于无弯矩状态，中间下弦杆的轴力为 M_c^0/h 。

e. 图 19-1-5g 是组合结构，为了使正弦杆的结点负弯矩与杆中正弯矩正好相等，故取 $f_1 = \frac{5}{12}f, f_2 = \frac{7}{12}f$ ，这时

上弦杆的弯矩峰值下降为 $\frac{1}{24}M_c^0$ ，中间下弦杆的轴力为 $\frac{M_c^0}{f}$ 。

从以上的分析和比较可看出，在相同跨度和相同载荷下，简支梁的弯矩最大，伸臂梁、静定多跨梁、三铰刚架、组合结构的弯矩次之，而桁架中除了受均布载荷作用的杆件有弯矩外，其他杆件的弯矩为零。基于这些受力特点，所以在工程实际中，简支梁多用于小跨度结构；伸臂梁、静定多跨梁、三铰刚架和组合结构可用于跨度较大的结构；当跨度更大时，则多采用桁架。

另一方面，各种结构形式都有它的优点和缺点。简支梁虽然具有上述缺点，但也有许多优点，如制造简单，使用方便。所以在工程实际中简支梁仍然是广泛使用的一种结构形式。其他结构形式虽具有某些优点，但也有其缺点：如桁架的杆件很多，结点构造比较复杂；三铰刚架要求基础能承受推力（或需要设置拉杆承受推力）。所以选择结构形式时，不能只从受力状态这一方面去看，而必须进行全面的分析和比较。

4.5 几种桁架结构力学性能的比较

(1) 力学性能比较

对于几种常见形式的桁架，为了便于比较，使它们的跨度、节距及承受的载荷（上弦各结点承受的载荷）都相同。又为了方便计算，使各结点载荷均等于1。

1) 平行弦桁架（图19-1-6a）

① 弦杆轴力 设与桁架同跨度、同载荷的简支梁上，对应于桁架各结点的截面弯矩为 M^0 ，则弦杆的轴力可表示为

$$N = \pm \frac{M^0}{h}$$

式中， h 见图；右边的正号表示下弦杆的轴力为拉力，负号表示上弦杆的轴力为压力。因为平行弦桁架的轴力与梁相应结点处的 M^0 值成比例，所以，中间弦杆的轴力大，两端弦杆的轴力小。

② 腹杆轴力 求桁架腹杆轴力时用截面法。斜杆的铅垂分力和竖杆的轴力，分别等于简支梁相应节间的剪力 Q^0 ，即

$$\begin{aligned} V_{\text{斜杆}} &= +Q^0 \\ N_{\text{竖杆}} &= -Q^0 \end{aligned}$$

上式表明，这里的斜杆轴力为拉力，竖杆轴力为压力。图19-1-6a中，给出了平行弦桁架各杆的轴力值（因载荷取值为1，所以此内力值也就是内力系数）。

若对上边平行弦桁架与实体梁的内力进行比较，可以看出二者有许多类似之点。桁架弦杆主要承受弯矩，相当于工字梁中翼缘的作用；腹杆主要承受剪力，相当于工字梁中腹板的作用。

2) 三角形桁架（图19-1-6b）

① 弦杆轴力 弦杆所对应的力臂，由中间到两端按直线规律变化。设力臂为 r ，则弦杆轴力仍可表示为

$$N = \pm \frac{M^0}{r}$$

力臂 r 向两端减小的速度比 M^0 要快，因而 $\frac{M^0}{r}$ 向两端渐增。所以，弦杆越靠近两端，其轴力越大。

② 腹杆轴力 由截面法可知，斜杆轴力为压力，竖杆轴力为拉力，并且二者都是越靠近桁架中间，其轴力越大。三角形桁架各杆的轴力如图19-1-6b所示。

3) 抛物线桁架（图19-1-6c）

① 弦杆轴力 在抛物线桁架中，各下弦杆的轴力及各上弦杆轴力的水平分力的力矩，其矩心的力臂，即为各竖杆的长度，而竖杆的长度与弯矩一样，都是按抛物线规律变化的。故可知各下弦杆的轴力与各上弦杆轴力的水平分力的大小都相等（符号相反），从而各上弦杆的轴力也接近相等。

② 腹杆轴力 由于下弦杆轴力与上弦杆轴力的水平分力相等，根据截面法，由 $\sum X = 0$ ，可知各斜杆轴力均等于零。不难断定，各竖杆的轴力也均等于零。

4) 折线形桁架（图19-1-6d）

折线形桁架是三角形桁架和抛物线形桁架的一种中间形式。由于上弦改成折线，端节间上弦杆的坡度比三角形桁架大，因而使力臂 r 向两端递减得慢一些，这就减小了弦杆特别是端弦杆的内力，虽然 $\frac{M^0}{r}$ 值也逐渐增大，但比三角形桁架的变化要小。

由上面的分析，可得以下结论。

1) 平行弦桁架的内力分布不均匀，弦杆内力向中间增加，因而弦杆截面要随着改变，这就增加了拼接的困难；如用同样的截面，又浪费材料。但是，由于它在构造上有许多优点，如可使结点构造划一，腹杆标准化等，因而仍得到广泛应用；不过多限于轻型桁架，这样便于采用截面一致的弦杆，而不致有很大的浪费。

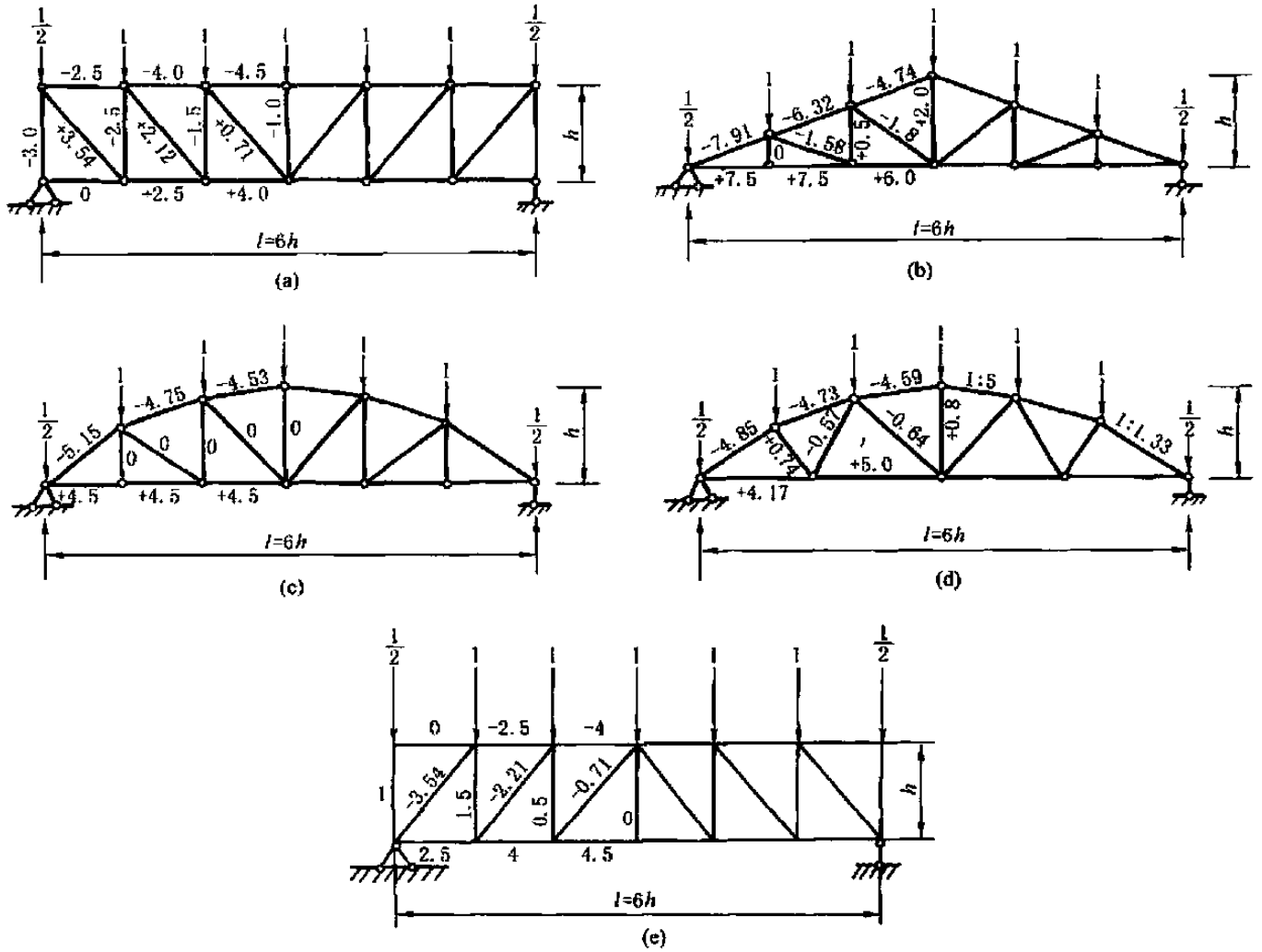


图 19-1-6

2) 三角形桁架的内力分布也不均匀。弦杆的内力近支座处最大，并且端结点夹角很小，构造复杂。由于其两面斜坡的外形符合屋顶构造的要求，所以三角形桁架只在屋顶结构中应用。

3) 抛物线形桁架的内力分布均匀，从受力角度来看是比较好的桁架形式。但是，曲弦上每一结点均须设置接头，构造较复杂。

4) 折线形桁架的内力分布近似抛物线形桁架，但制造较方便。

(2) 桁架腹杆的布置对其内力的影响

在平行弦桁架中（图 19-1-6a），若腹杆的布置由 N 式变为反 N 式（图 19-1-6e），则其内力的性质也随着改变，斜杆由受拉变为受压，竖杆由受压变为受拉。在图示的情况下，后者优于前者。至于斜杆的内力大小，则与其倾角有关。斜杆与弦杆的夹角小，则斜杆的内力大。腹杆的布置对桁架的构造和制造有影响。如桁架节间长度变小，斜杆与弦杆夹角加大，其内力虽较小，但腹杆增多，结点数目增加，制造复杂，反而不一定经济，所以布置腹杆需要全面权衡。

在三角形桁架中（图 19-1-6b），若腹杆的布置由 N 式变为反 N 式，则腹杆内力的性质也要改变，即斜杆受拉，竖杆受压。以前钢屋架采用这种形式，可以避免钢材压杆过长容易失稳的缺点。用钢筋混凝土或钢材做成的三角形桁架，跨度较大时，腹杆采用 N 式或反 N 式，都使下弦结点和腹杆太多，不够经济，故常采用如图 19-1-7

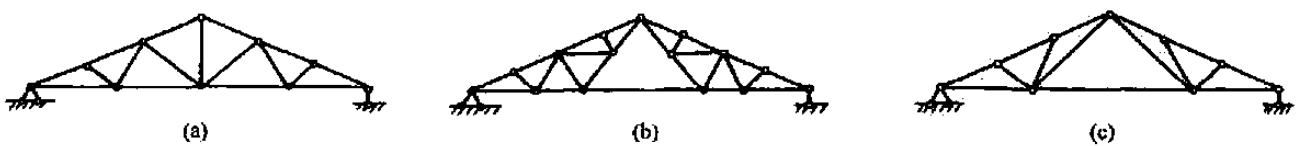


图 19-1-7

a、b 的形式。图 19-1-7c 表示三角形桁架的另一种形式，由于改变了腹杆的布置，使压杆短而拉杆长。压杆采用钢筋混凝土，截面大，不易失稳，拉杆采用钢材，使两种材料都能发挥各自的长处。

5 几种典型机架结构形式

本节提供一些设备所采用的机架结构形式，供设计选用时参考。首先以汽车车架作为典型来介绍机架的多样性。

5.1 汽车车架

汽车车架是机架设计与制造中最为复杂的构件。它不仅要有足够的强度和刚度、扭转刚度，还要承受汽车行驶时产生的动载荷；要有平稳性，安全性；在发生碰撞时车架能吸收大部分冲击力。既要求有足够的空间，将发动机、变速器、转向器及车身部分都固定其上，并留出操纵的空间；又要求尽量能减轻重量，并满足一定的载重量和速度。

汽车车架首先根据汽车车身结构来分类：非承载式车身的汽车有刚性车架，又称底盘大梁架；承载式车身的汽车，车身和底架共同组成了车身本体的刚性空间结构；还有半承载式车身，介于非承载式车身和承载式车身之间的车身结构。

5.1.1 梁式车架

非承载式车身本体悬置于车架上，用弹性元件连接。车架的振动通过弹性元件传到车身上，大部分振动被减弱或消除。车架强度和刚度大，车厢变形小，平稳性和安全性好，厢内噪声低。但这种车身和车架都比较笨重，质量大，汽车质心高，高速行驶稳定性较差。一般用在货车、客车和越野车上。

车架有边梁式、钢管式等形式，其中边梁式是采用最广泛的一种车架。

(1) 边梁式车架

边梁式车架由两根长纵梁及若干根短横梁铆接或焊接成形。纵梁主要承负弯曲载荷，一般采用具有较大抗弯强度的钢梁。钢梁有槽形、工字型、Z 形、箱形；也有采用钢管的，但多用于轻型车架上。一般纵梁中部受力最大，因此设计者一般将纵梁中部的截面高度加大，两端的截面高度逐渐减少。这样可使应力分布均匀，同时也减轻了重量。可以由焊接或冲压低合金钢钢板制作。横梁有槽形、管形、箱形或管形，以保证车架的扭转刚度和抗弯强度，及用以安装发动机、变速器、车身和燃油箱等。纵梁与横梁用焊接或铆接连接成一刚性的整体。

图 19-1-8a 为梯形车架；图 19-1-8b 为周边形车架，这种车架中部水平面较低，使整体装配后的重心较低。有的车架，例如君威车的车架，由三道结实的大梁纵贯前后，有多达五道的横向梁从车头至车尾均匀分布，构成一个高刚性地板框架支撑结构。

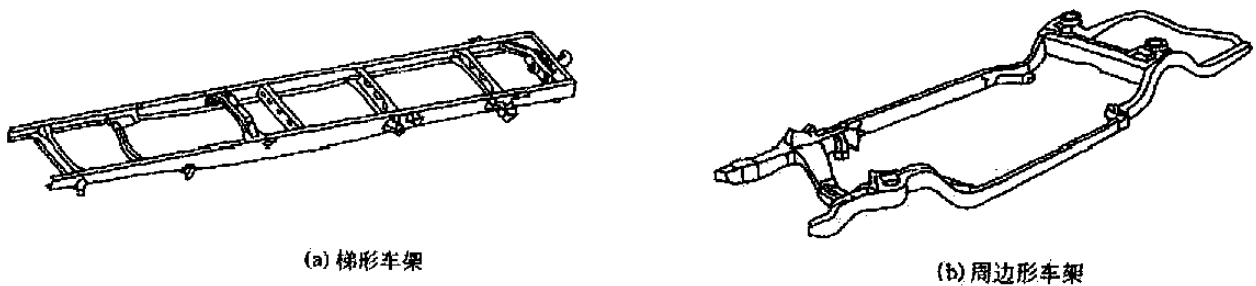


图 19-1-8 边梁式汽车车架

图 19-1-9 为解放 CA1091 汽车车架实例。东风 EQ1090E 型汽车车架与解放牌汽车车相似。但解放 CA1091 汽车车架前面窄后面宽，前面宽度缩小的原因是为了让出一定的空间给转向轮和转向杆，以保证车轮有最大的偏转角。

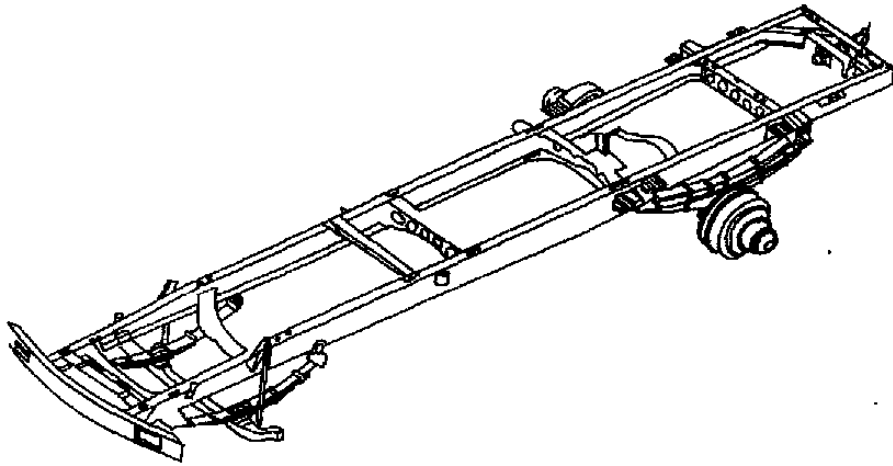
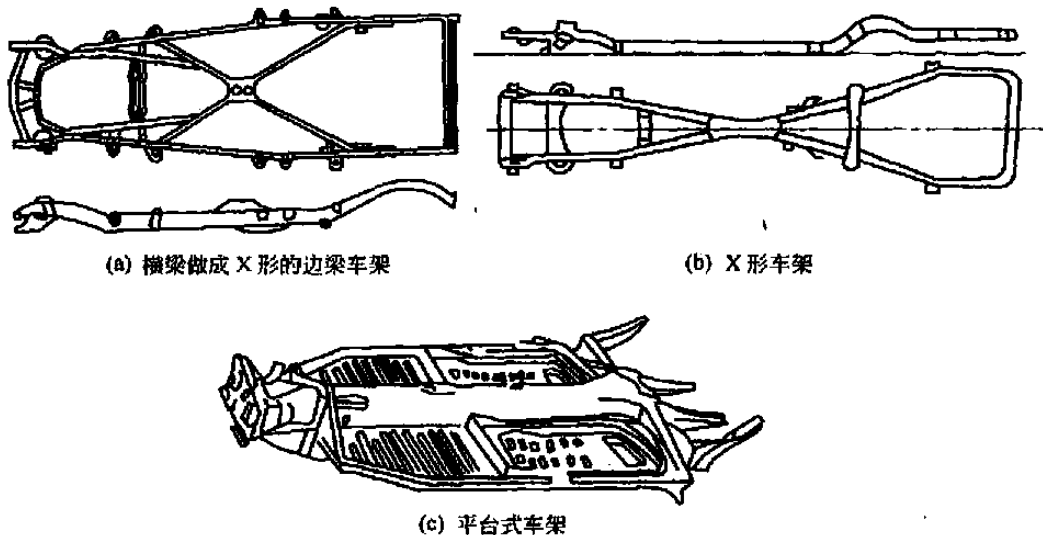


图 19-1-9 解放 CA1091 汽车车架

(2) 各种变形边梁式车架

① X 形布置的车架，这也属于边梁式车架。为适应不同的车型，横梁布置有多种型式，如为了提高车架的扭转刚度采用 X 形布置的横梁或纵梁。图 19-1-10a 为将横梁做成 X 形的边梁车架，目的是要提高车架的抗扭刚度；图 19-1-10b 是将纵梁做成 X 形的车架。

② 平台式车架，图 19-1-10c 是一种将边梁式车架与车底组成一平台底车架，强度和刚度较大，还可减少空气阻力与汽车的颠簸，适合轿车使用。



(a) 横梁做成 X 形的边梁车架

(b) X 形车架

(c) 平台式车架

图 19-1-10 变形边梁式汽车车架

(3) 脊梁式车架

脊梁式车架亦称中梁式车架。车架只有一根位于汽车中间的纵梁，可以是槽形、箱形或管形。有些汽车的传动轴可以通过空心的中梁。这种形式的优点是抗扭转刚度较好；前轮转向角较大，便于安装独立悬架以提高汽车的越野性；质心低，故稳定性较好。其缺点是制造工艺复杂，总成安装困难，维修也不方便。脊梁式车架如图 19-1-11a 所示，可由边梁式车架和中梁式车架联合构成综合式车架，图 19-1-11b 是脊梁综合式轿车底盘。

5.1.2 承载式车身车架

1) 半承载式车身车架是车身本体与底架用焊接或螺栓刚性连接，加强了部分车身底架而起到一部分车架的作用。可参看 5.1.3 节 (3) 的内容。

2) 承载式车身车架也称作整体式或单体式车架，由钢（或铝）经冲压、焊接而制成坚固的车身，再将发动机、悬架等机械零件直接安装在车身上，车身承受所有的载荷。这个对设计和生产工艺的要求都很高。成型的车架是个带有坐舱、发动机舱和底板的骨架。

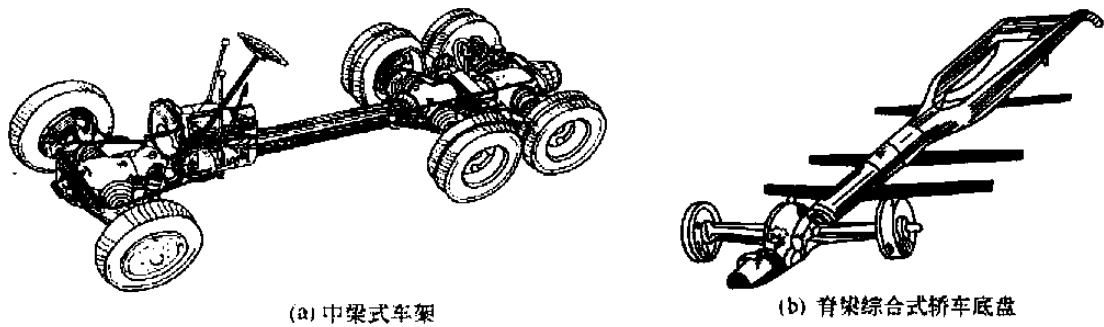


图 19-1-11 脊梁式车架

承载式车身车架重量小，高度低，汽车重心低，装配简单，有很好的操控响应性，高速行驶稳定性较好。但由于道路负载会通过悬架装置直接传给车身本体，因此噪声和振动较大。刚度（尤其是抗扭刚度）不足也是承载式车身的一大缺陷。它一般用在轿车上，一些客车也采用这种形式。一些针对良好道路环境设计的越野车也有弃大梁车架而改用承载式车身的趋势。对于大功率、大扭力的高性能跑车，要求有很高的车架刚度。因此近年来的高性能汽车，除了功率不断提升外，各车厂也不断致力于提高车身的刚度，目前主要采取的办法是优化车架的几何形状和采用局部增粗或补焊以加强抗扭能力。

对于采用承载式车身的大型客车，由于取消了大梁，旅游大巴可以在车底腾出巨大且左右贯通的行李空间，用于市区的公共汽车则可以将地台降至与人行道等高以便于上下车（要配合特殊的低置车桥）。

例如，上海桑塔纳、一汽奥迪 100、红旗 CA7220、捷达/高尔夫轿车皆为承载式车身车架。奥迪 A8 是用铝合金冲压成型做的车架结构。本田 NSX 也使用铝合金。承载式车身车架的形式见图 19-1-12。

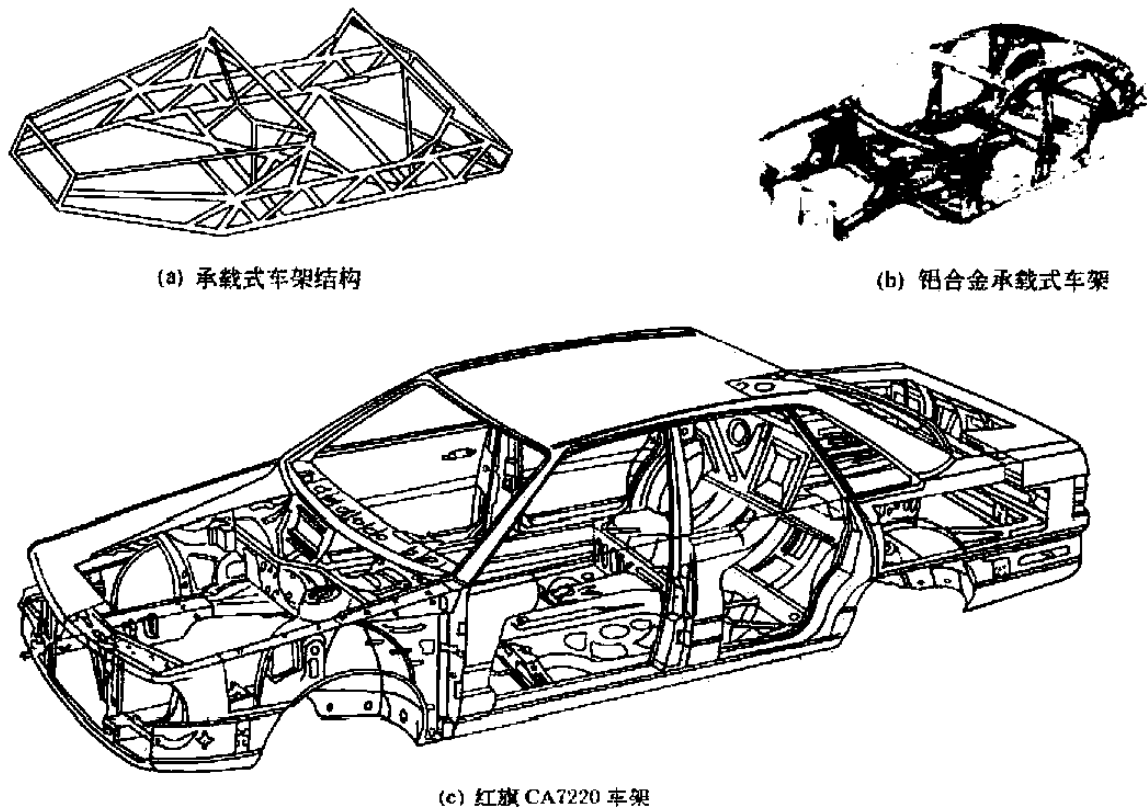


图 19-1-12 承载式车身车架

5.1.3 各种新型车架形式

(1) 管式车架

① 钢管式车架，对于少量生产的轿车采用钢管式车架，就是用很多钢管焊接成一个框架，再将零部件装在

这个框架上。如 LAMBORGHINI 和 TVR，原因是可以省去冲压设备的巨大投资。由于对钢管式车架进行局部加强十分容易（只需加焊钢管），在质量相等的情况下，往往可以得到比承载式车架更强的刚度，这也是很多跑车厂仍喜欢用它的原因。

② 轻型的 NSB 车架。使用 NSB 钢制造的汽车车架可以比传统钢车架的重量减轻 24%。NSB 钢材的核心是车架的前、后纵梁采用的是与顶部框架相同的、用内高压成形制成的钢管。用该种材料制造的管状车架的框架结构十分坚实。

③ 渐收型型材。在汽车技术中，由特制管件钢材制造的渐收型几何形状的汽车纵梁，采用内高压加工技术制造。与圆柱形钢材制造的纵梁相比，其抵抗碰撞的性能有了明显的改善。采用滚压变形加工工艺制造的管材，其材料的性能高于用一般传统的变形加工工艺制造出的材料。这种滚压加工工艺还适合于对高强度板材进行小半径曲率的变形加工。

④ 铝合金方管式车架。另一种类型的铝合金车架是将铝合金方条梁焊接、铆接或贴合在一起组成一个框架，可以理解为钢管车架的变种，只是铝合金是方梁状而非管状。铝合金车架最大优点是轻（相同刚度的情况下）。但是成本高，不宜大量生产，而且铝合金本身的特性决定了其承载能力受限制，暂时只有少数车厂运用在小型的跑车上，如莲花 ELISE 和雷诺 SPIDER。

(2) 碳纤维车架

制造方法是用碳纤维浇铸成一体化的底板、坐舱和引擎舱结构，再装上机械零件和车身覆盖件。碳纤维车架的刚度极高，重量比其他任何车架都要轻，重心也可以造得很低。但是制造成本太高。目前都只用于不计成本的赛车和极少数量产的车上。碳纤维的刚度不仅有利于操控，对提高安全性也有很大的作用。法拉利 F50、Enzo 即使用了碳纤维材料。

(3) 副车架与组合车架

副车架并非完整的车架，只是支承前后车轿、悬架的支架，使车轿、悬架通过它再与“正车架”相连。副架的作用是阻隔振动和噪声，减少其直接进入车厢，所以大多出现在豪华的轿车和越野车上，有些汽车还为引擎装上副架。

由于梁式和承载式车架有着显著的缺点，即笨重或刚度不足，于是近年出现了融合这两者优点的车架设计方案：在承载式结构的车厢底部增加了独立的钢框架，从而在保证刚度的同时，重量和重心又比大梁式结构大为下降。

(4) 新工艺的车架

在 2005 年美国汽车工程学会年会暨展览会上，英国莲花工程公司展出的铝合金车架由冲压部件、铸造部件和铸压部件组合而成，是前置发动机交叉车型的车架构造。包括派生车在内，底盘的主要部件也将在派生车之间实现通用。不过，用于增加车身变化的部件将根据不同车型采用专用产品。还使用铆钉代替了点焊，而且在封闭断面等部位采用了特种自攻螺钉，无需钻孔便可使用。除为了在粘接剂完全凝固之前保护车身构造外，主要目的还在于万一遭受冲撞时可防止粘接部分脱离。它的制造应用了各种制造方法。

5.2 摩托车车架和拖拉机架

1) 拖拉机车架类似于汽车车架，但简单得多。图 19-1-13 为履带式拖拉机机架型式。机架按结构型式主要分为半架式和全架式。图 a 为半架式机架，由后桥壳体和纵横梁组成，刚性较好，广泛用于采用整体

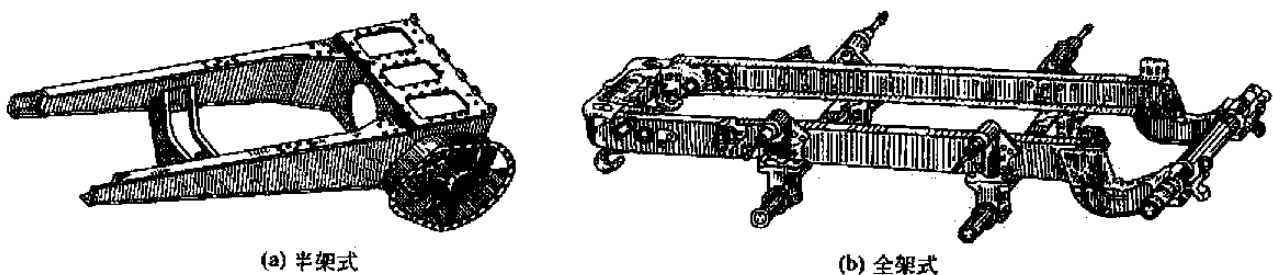


图 19-1-13 履带式拖拉机机架型式

台车行走系的履带拖拉机，特别是工业用履带拖拉机。图 b 为全架式机架，由纵横梁组成，各部件均安装在上面，拆装方便，多用于采用平衡台车或独立台车行走系的履带拖拉机。轮式拖拉机的履带变型采用无架式和半架式。

2) 目前摩托车车架的形式主要分成三大类：

① 主梁结构式车架又称脊骨型车架，见图 19-1-14a，是用一根或两根主梁做脊骨的车架，这种车架应用比较广泛；

② 菱形式车架（车架形似钻石状，又称钻石式车架），见图 19-1-14b，这种车架属于空间结构形式。发动机横置在钻石形内，作为车架的一个支承点，能增强车架的强度和刚度，道路竞赛摩托车应用较多；

③ 托架式车架（车架形似摇篮，又称摇篮式车架），见图 19-1-14c，也属空间结构形式。发动机安装在摇篮形中，由于发动机下面有钢管支承，对发动机能起保护作用，所以许多越野车用此类车架。

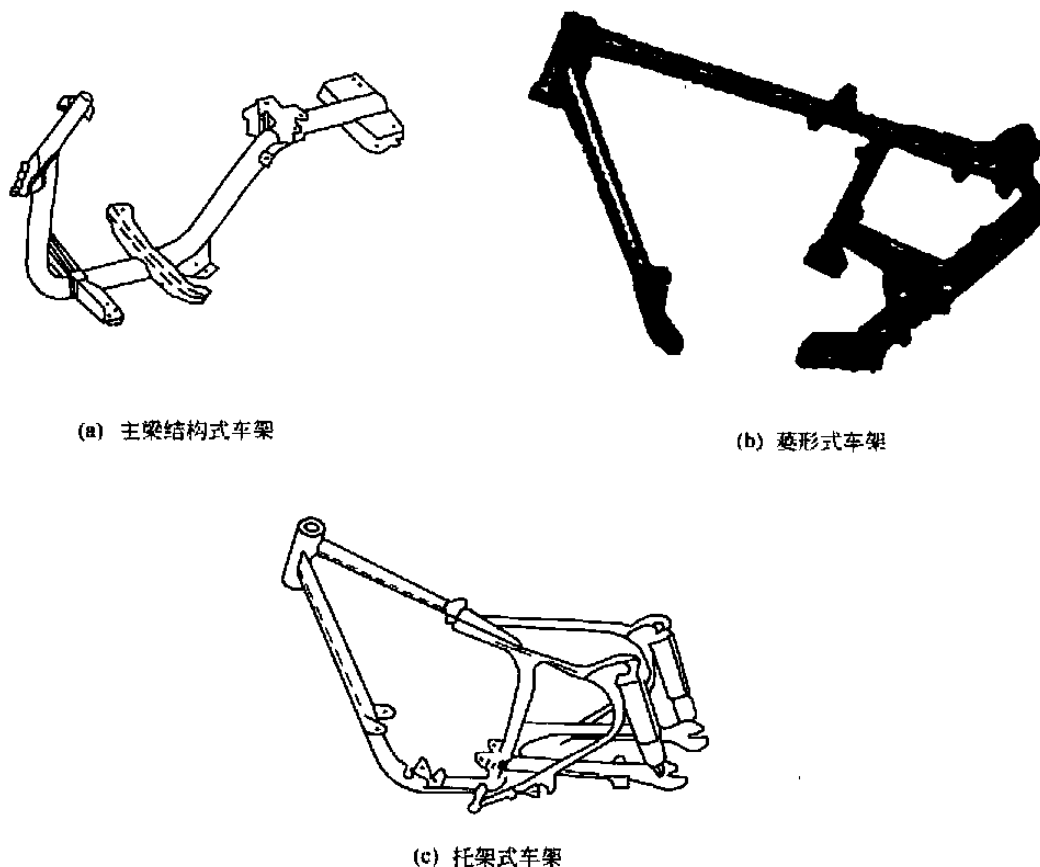


图 19-1-14 摩托车车架

摩托车的车架看上去只是几支杆件焊接在一起，比较简单，实际上它的设计涉及多方面的因素。车架除必须要有足够的强度和刚度外，而且在重量、造型等方面也有相应的要求。

① 不同使用对象的摩托车车架强度是不一样的，例如街车就比越野车的强度要低。

② 车架的结构尺寸要符合要求。车架的设计既要考虑到车辆的敏捷又不宜太灵活，既要稳定又不宜太沉重。车架有些部分，影响摩托车运行的平稳性。例如转向轴头，涉及到前叉倾角。前叉倾角大，转向时方向把手移动的角度也就小，拖曳距就大，前轮回转中的扭力也就越大，车子也就觉得越稳定。所以美式摩托车车型虽然较大，但由于前叉角度较大，行驶起来十分平稳。但拖曳距越大转向就越重手，因此一般轻型摩托车的拖曳距在 85 - 120mm 之间。

③ 摩托车在行驶中所产生的转向力、离心力及车子的颠簸，都会促使转向轴头向侧扭，为抵抗这种侧向扭力，车架常使用粗大的管梁和加强杆，从发动机两侧伸延至转向轴头位置焊接。

④ 车架重量要轻，多用含有钛、铌、钒等微量元素的高强度钢材。有些车辆已应用铝合金车架或钛合金车架。减轻摩托车本身的重量，等于增加了发动机的功率。

5.3 起重运输机械机架

1) 起重机的型式很多, 对于非标准设计的机架可以用作参考。例如, 门式起重机的结构就有图 19-1-15 几种类型。

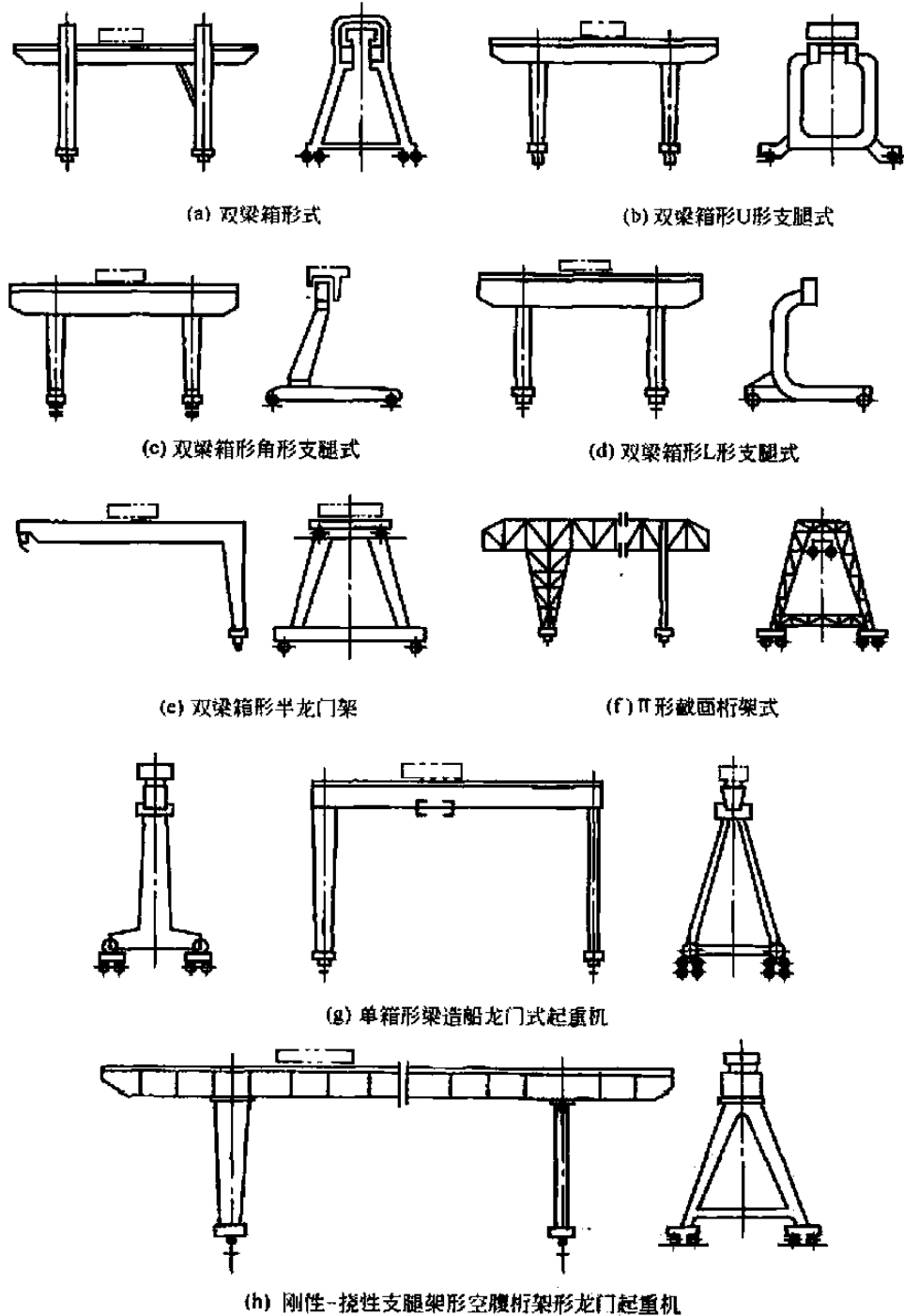
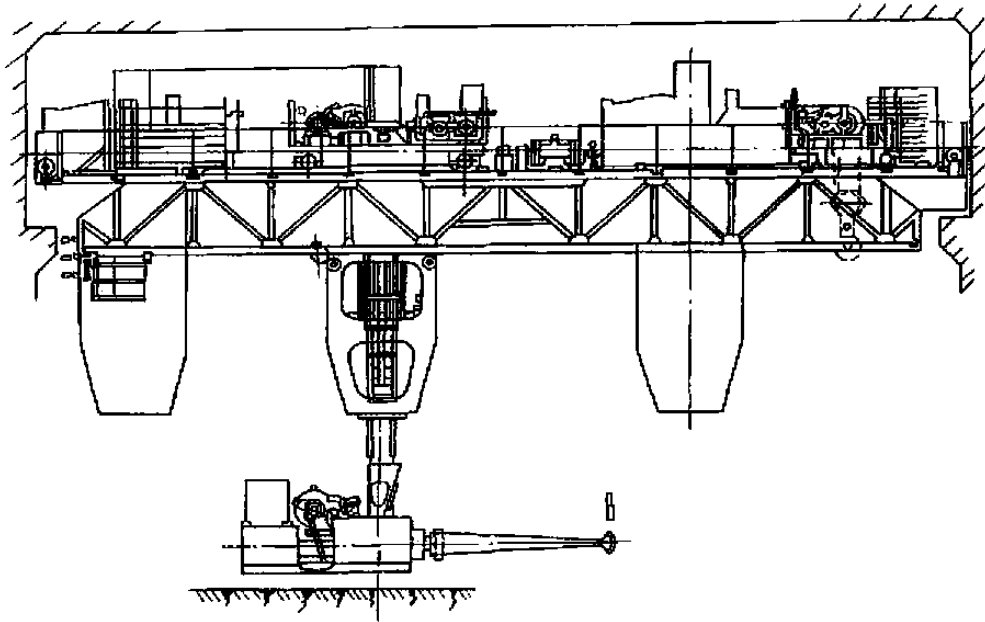


图 19-1-15 门式起重机的结构类型

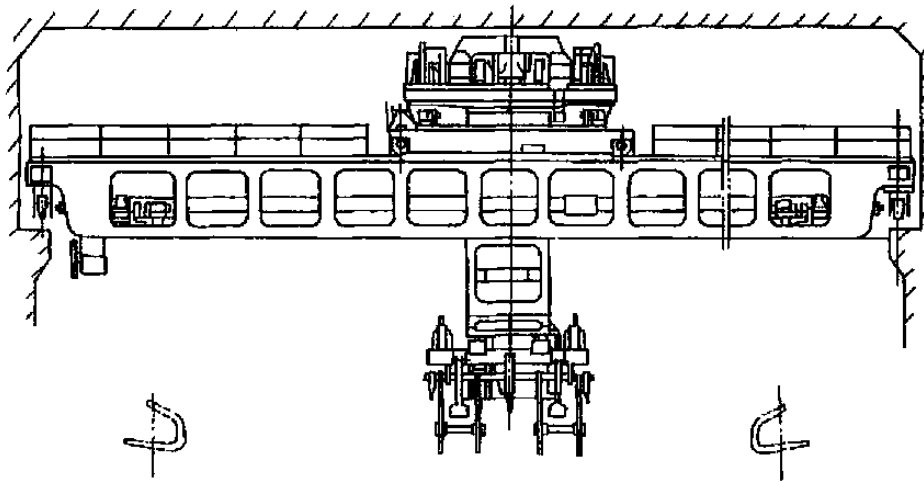
2) 图 19-1-16 为桥式起重机的三种大梁型式。图 a 为桁架式起重机机架; 图 b 为空腹式框架式起重机机架; 图 c 为箱形梁式起重机机架, 箱形梁式起重机机架的实际施工图见参考文献 [13] (包括梁的起拱度, 焊接等)。

3) 图 19-1-17 是象鼻组合臂架, 图 a 是其一种形式; 图 b 是象鼻梁结构图^[13]。

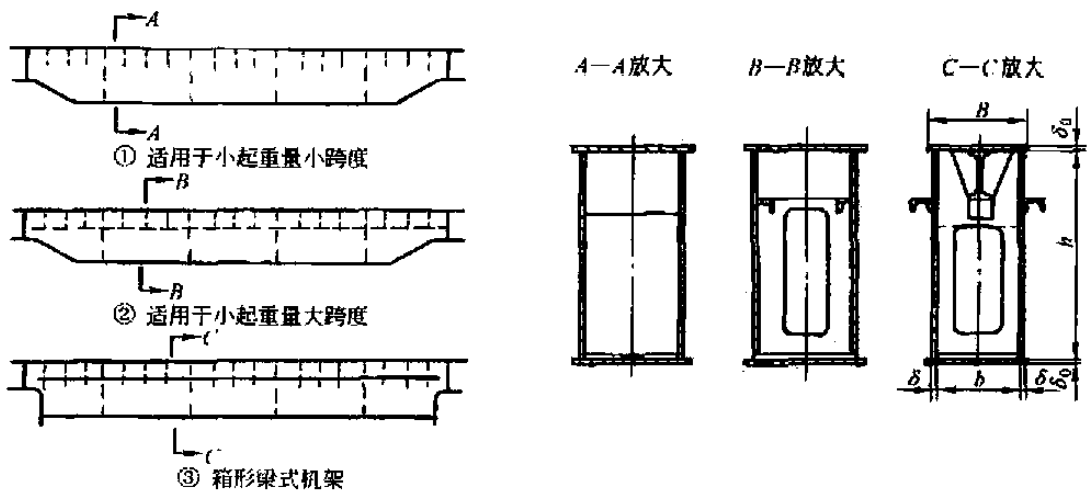
4) 图 19-1-18 是桅杆式机架; 图 19-1-19 为带式输送机机架的一种——吊挂式带式输送机的钢丝绳架^[15,16]。



(a) 桁架式机架

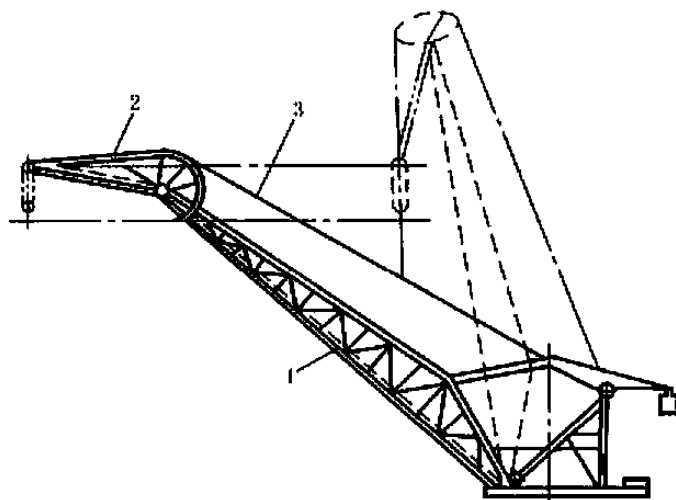


(b) 空腹式框架式机架



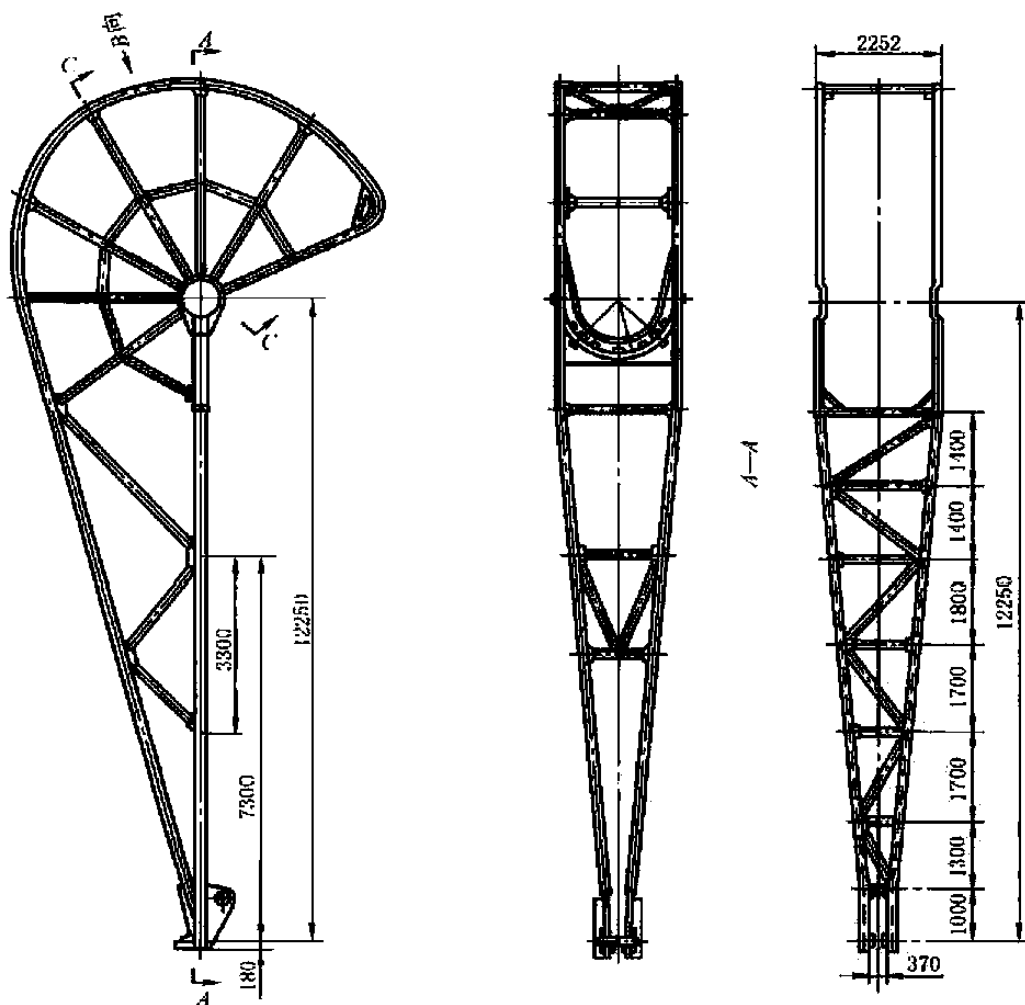
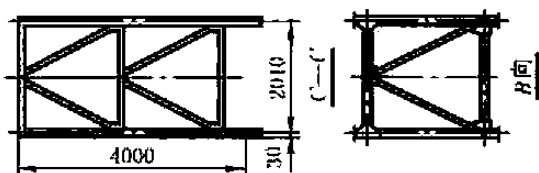
(c) 箱形梁式机架

图 19-1-16 桥式起重机机架



(a) 总图

1—大臂；2—象鼻梁；3—钢丝绳



(b) 象鼻梁结构

图 19-1-17 象鼻组合臂梁

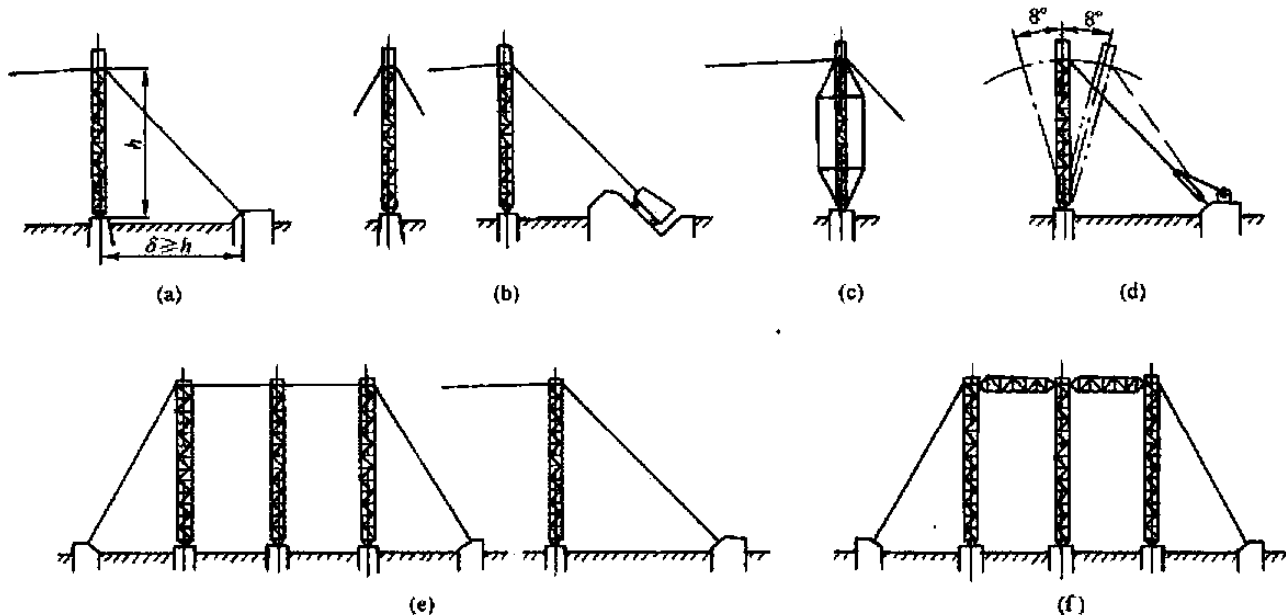


图 19-1-18 缆索起重机桅杆式机架

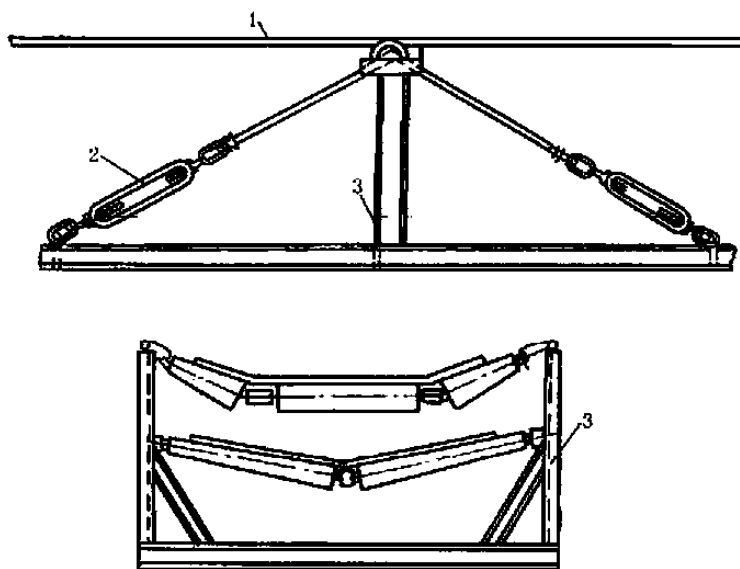


图 19-1-19 吊挂式带式输送机的钢绳机架

1—机架绳；2—花篮螺丝；3—收绳架

5.4 挖掘机机架

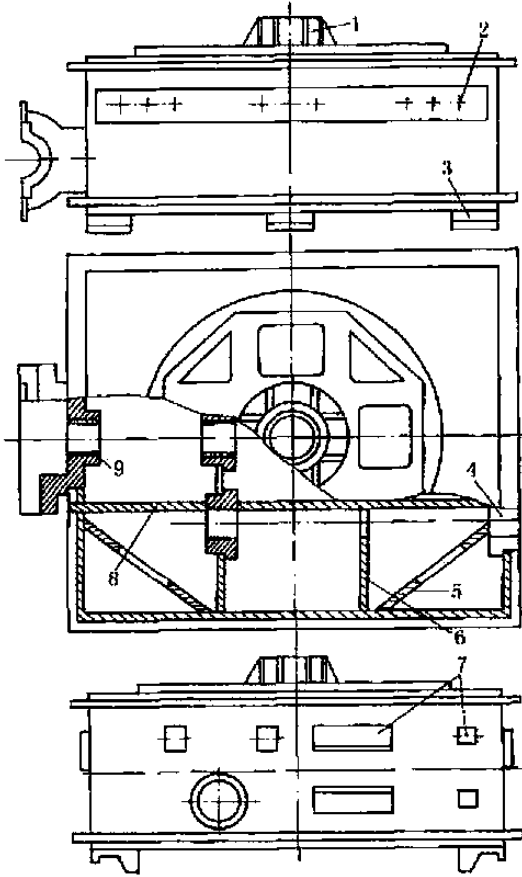
1) 图 19-1-20 为 4m^3 采矿挖掘机底架的下架图，与履带架组成支持整机的底架。

该下架为呈蜂窝状的焊接箱形结构，内部用隔板 6、井字板 8 焊成井字形，对角焊有斜板 5。上下盖板留有开孔，便于进行检修、安装工作。

箱形结构的下架刚度大，承载能力强，能保证机器原地转弯时有较好的刚性。

2) 图 19-1-21 所示是 23m^3 采矿挖掘机的下架，该下架是焊接的箱形结构，是由上下盖板间许多纵横交错、垂直布置的隔板焊接而成。下架中一些关键性隔板，都是由具有耐低温、高冲击韧性的优质钢材制造。随着抗疲劳设计原理和焊接技术的迅速发展，结构不连续所引起的应力集中已减小到最低限度。

3) 履带架。履带架是用来承受来自下架的载荷并传递给支重轮的构件，有铸钢件也有焊接件，是一封闭箱形结构，简单可靠。

图 19-1-20 4m³ 采矿挖掘机底架的下架

1—轴座；2—螺栓孔；3—钩牙；4—轴孔；5—斜板；
6—隔板；7—机座；8—井字板；9—轴孔

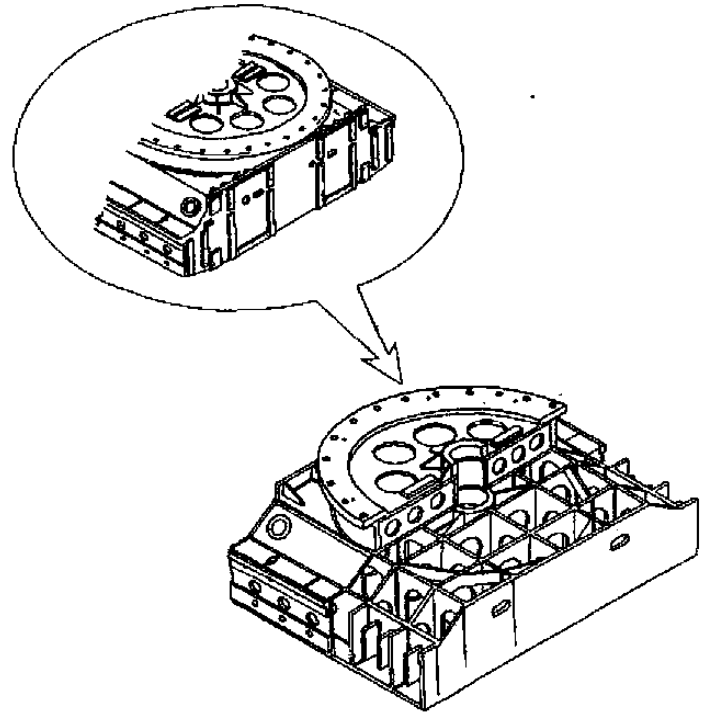
图 19-1-21 23m³ 挖掘机下架

图 19-1-22 所示是 4m³ 采矿挖掘机的履带架，其左端开有装张紧机和导向轮的轴孔 1，三个装支重轮的心轴孔 2，右端为减速器的机壳 4 及驱动轮的轴孔 3，上面是缓倾斜的斜面并加工有与下架联接用的螺钉孔 5，下面有三个同下架相连的钩牙 6。

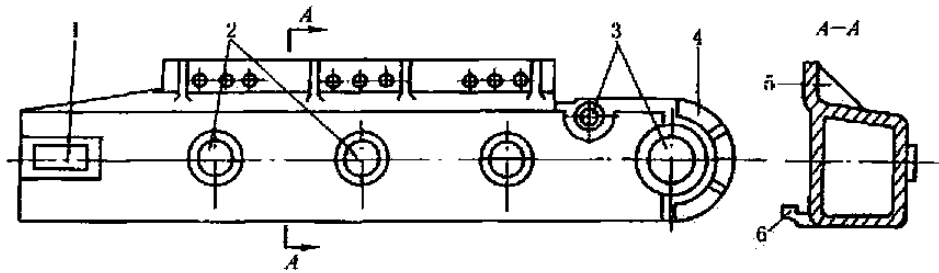


图 19-1-22 履带架

1,3—轴孔；2—心轴孔；4—机壳；5—螺钉孔；6—钩牙

4) 图 19-1-23 所示为卡特皮勒公司 235 型液压挖掘机的回转平台。它用螺栓固定在回转轴承组件的外侧，并支承行走机构上面的部件。两个箱形截面纵梁构成平台的主梁，它和箱形截面的横梁连接，形成臂杆支承架组件和回转驱动机构的坚固支座。中心箱形结构件的四周焊有槽钢，构成整个机架，并为安装燃油箱、液压油箱、液压控制阀、电池和驾驶室提供坚固的支座。

5) 斗桥。链斗挖泥船中，斗桥是支承全部斗链进行挖掘工作的大梁，为桁架结构，如图 19-1-24 所示。

6) 图 19-1-25 为铲运机工作装置的铰架，主要由曲梁（俗称象鼻梁）和 II 形架组成。曲梁 2 用钢板焊接成箱形断面，其后端焊接在横梁 4 的中部。臂杆 5 也为整体箱形断面，按等强度原则作变断面设计，其前部焊接在横梁的两端。因横梁在铲运机作业中主要受扭，故作圆形断面设计。连接座 6 为球形铰座。

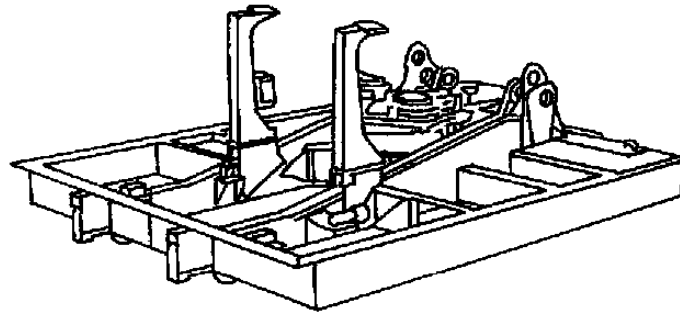


图 19-1-23 回转平台

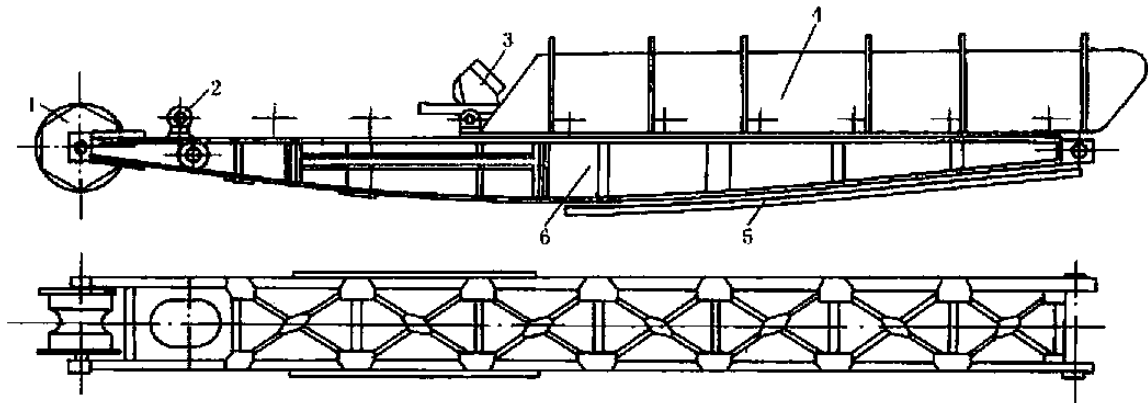


图 19-1-24 斗桥

1—下导轮；2—导链液筒；3—斗链；4—上部挡泥板；5—底部挡泥板；6—斗桥

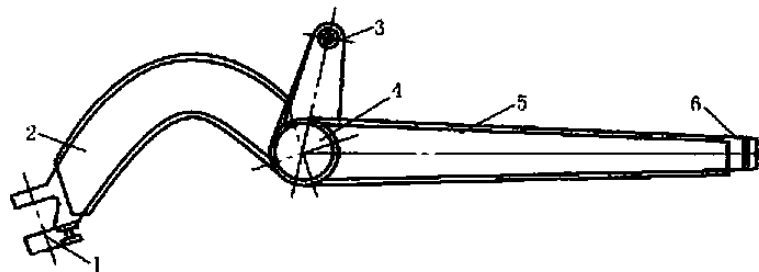


图 19-1-25 CL7 型铲运机轱架

1—牵引架；2—曲梁；3—提升油缸支座；4—横梁；5—臂杆；6—铲运斗球销连接座

5.5 管架与管子支吊架

表 19-1-12

建筑中常用的管架结构型式

序号	项目	内容	图号
1	独立式管架	这种管架适于在管径较大、管道数量不多的情况下采用。有单柱式和双柱式两种(根据管架宽度和推力大小而定)。这种形式,应用较为普遍,设计和施工也较简单	19-1-26a

序号	项 目	内 容	图 号
2	悬臂式管架	悬臂式管架与一般独立式管架不同点在于把柱顶的横梁改为纵向悬臂,作管路的中间管座,延长了独立式管架的间距,使造型轻巧、美观。其缺点是管路排列不多,一般管架宽度在1.0m以内	19-1-26b
3	梁式管架	梁式管架可分为单层和双层,又有单梁和双梁之分。常用的梁式管架为单层双梁结构,跨度一般在8~12m之间,适用于管路推力不太大的情况。可根据管路跨度不同,在纵向梁上按需要架设不同间距的横梁,作为管道的支点或固定点,也可成横梁式	19-1-26c
4	桁架式管架	适用于管路数量众多,而且作用在管架上推力大的线路上。跨度一般在16~24m之间,这种形式的管架外形比较宏伟,刚度也大,但投资和钢材耗量也大	19-1-26d
5	悬杆式管架	这种管架适用于管架较小、多根排列的情况。要求管路较直,跨度一般在15~20m之间,中间悬梁一般悬吊在跨中1/3长度处。其优点是造型轻巧,柱距大,结构受力合理。缺点是钢材耗量多,横向刚性差(对风力和振动的抵抗力较好),施工和维修要求较高,常需校正标高(用花兰螺栓),而且拉杆金属易被腐蚀性气体腐蚀	19-1-26e
6	悬索式管架	这种管架适用于管路直径较小,需跨越宽阔马路、河流等情况;跨越大跨度时可采用小垂度悬索管架。悬索下垂度与跨度之比,一般可选1/10~1/20	19-1-27a
7	钢绞线铰接管架	管架与管架之间设拉杆,在沿管路方向,由于管架底部能够转动,不会产生弯矩,固定管架及端部的中间管架采用钢绞线斜拉杆,使整体形成稳定。作用于管架的轴向推力,全部由水平拉杆或斜拉杆承受。适用于管路推力大和管架变位量大的情况	19-1-27b
8	拱形管道	当管路跨越公路、河流、山谷等障碍物时,利用管路自身的刚度,煨成弧状,形成一个无铰拱,使管路本身除输送介质外,兼作管承结构,拱形又可考虑作为管路的补偿设施,这种方案称为拱形管道	19-1-27c
9	下悬管道	适用于小直径管路通过公路、河流、山谷等障碍物,管路内介质或凝结水允许有一定积存时,利用管路自身的刚度作为支承结构的情况	19-1-27d
10	墙架	当管径较小,管道数量也少,且有可能沿建筑物(或构筑物)的墙壁敷设时,可以采用如图19-1-27e所示的各种型式的墙架	19-1-27e
11	长臂管架	长臂管架可分为单长臂管架与双长臂管架两种 单长臂管架适用于DN150mm以下的管道。长臂管架的优点是增大管架跨距,解决小管径架空敷设时管架过密的问题	19-1-27f、g

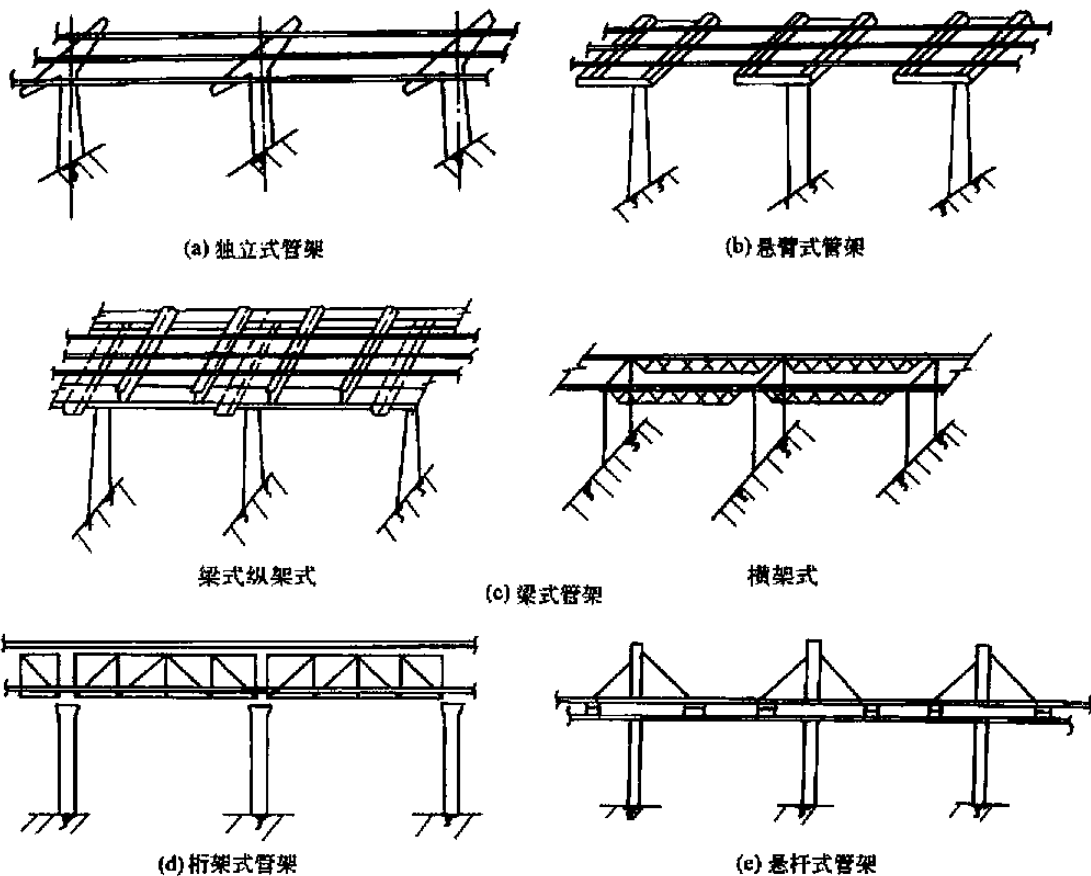


图 19-1-26 管架

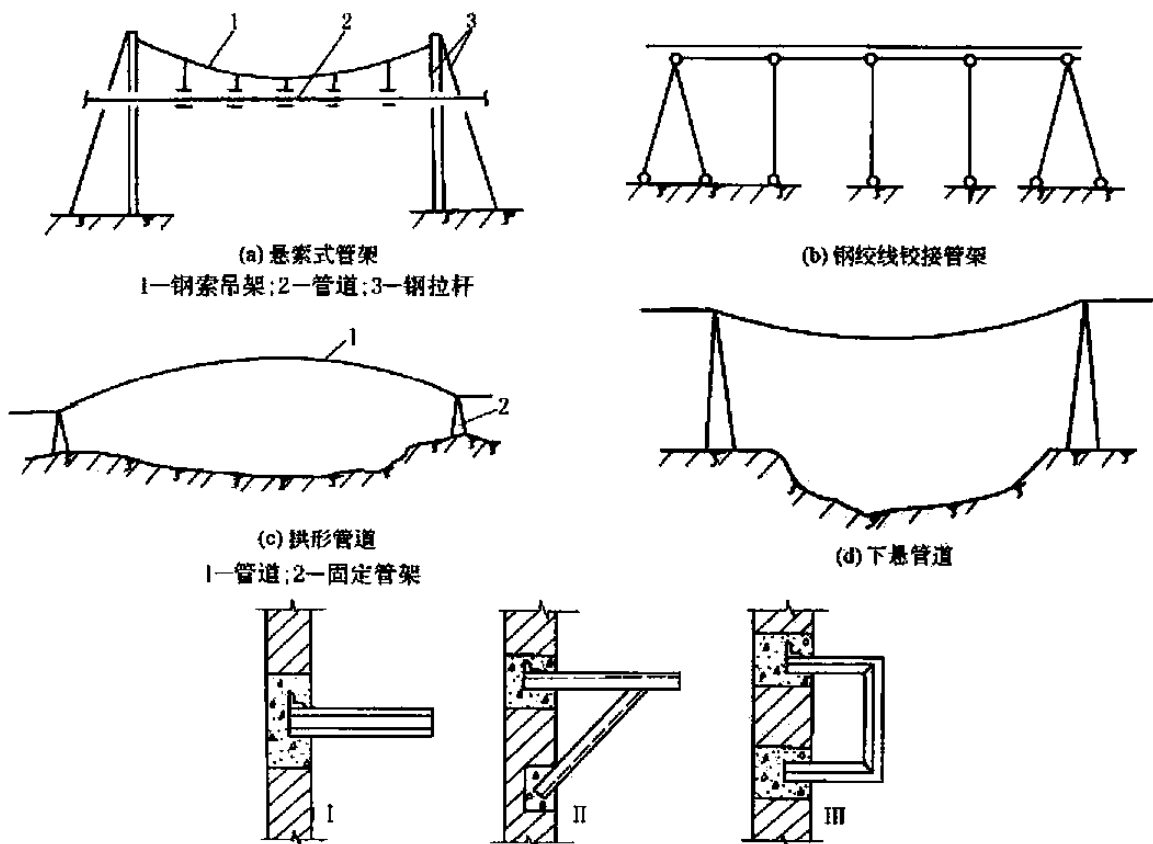


图 19-1-27

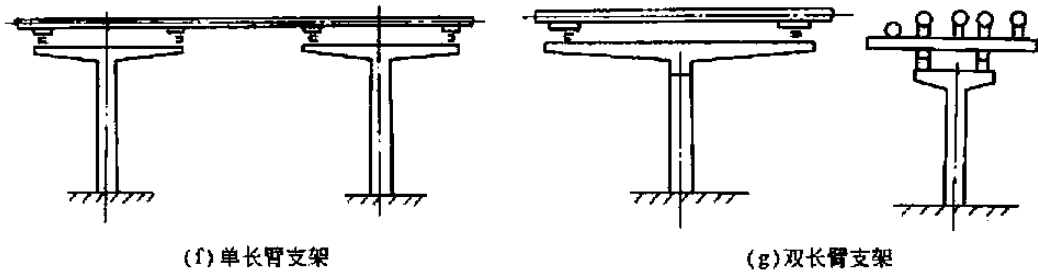
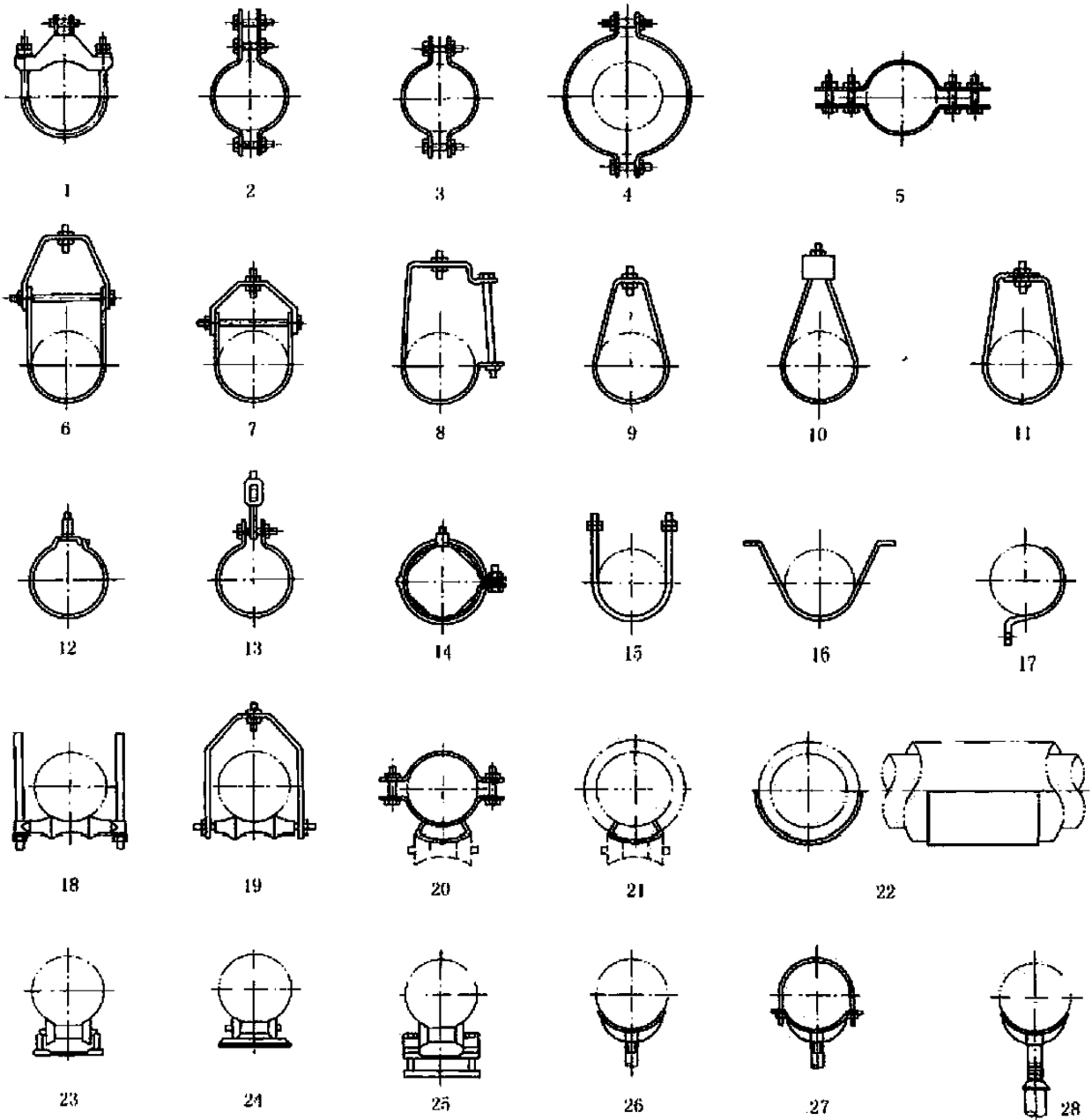


图 19-1-27 管架

GB/T 17116.1—1997 管子的典型的支吊架标准零部件如图 19-1-28 所示。该支吊架标准只适用于管子或类似材料。结构强度要计算确定。支吊架部件通常分为四类：管道连接部件（简称管部）、功能件、中间连接件和承载结构地脚连接部件。

图中 1~51 为管部；52~56 为弹簧组件，54~56 为变力弹簧组件，57~61 为恒力弹簧组件，62、63 为弹簧减振器，64 为阻尼器，这些为功能件；65~82 为连接件；根部为 83~116。



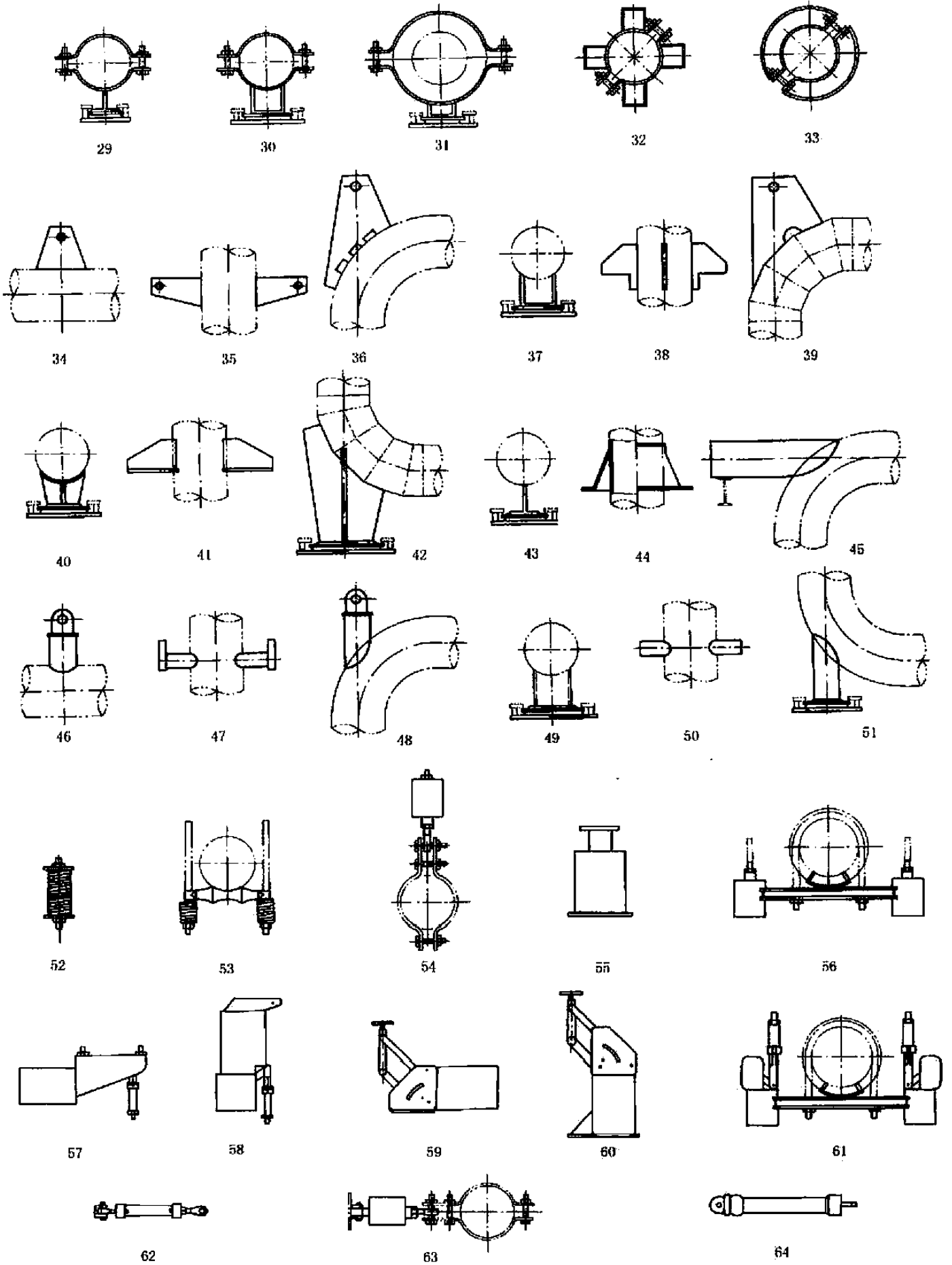


图 19-1-28



65



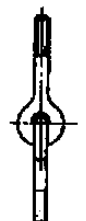
66



67



68



69



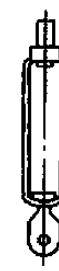
70



71



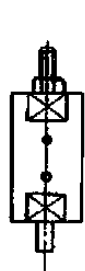
72



73



74



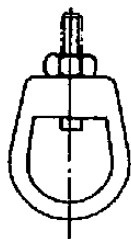
75



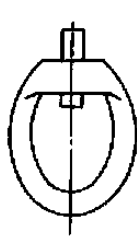
76



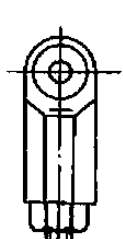
77



78



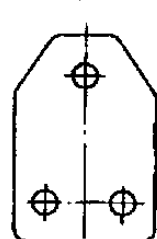
79



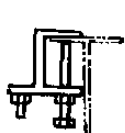
80



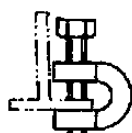
81



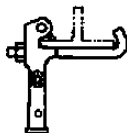
82



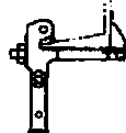
83



84



85



86



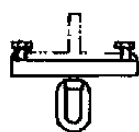
87



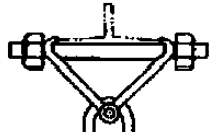
88



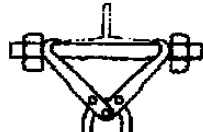
89



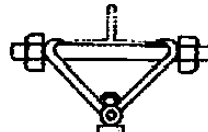
90



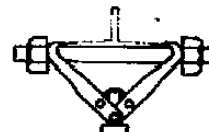
91



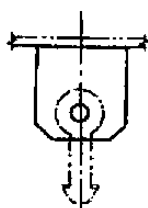
92



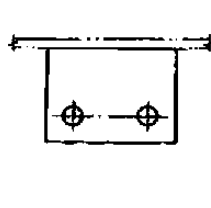
93



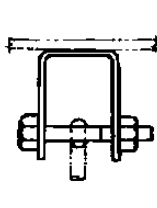
94



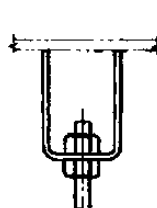
95



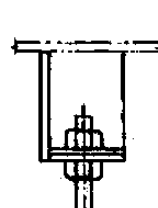
96



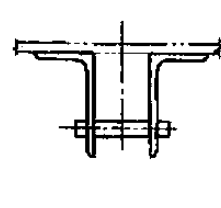
97



98



99



100

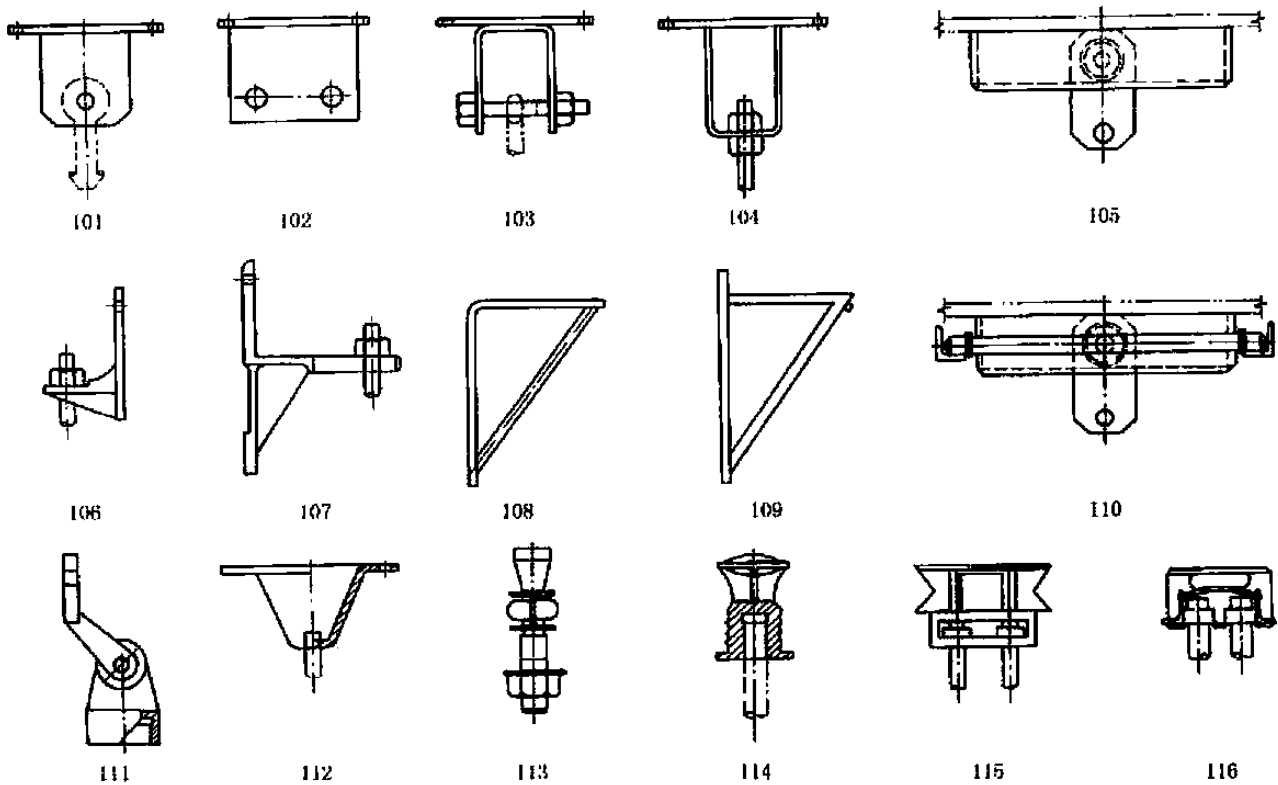


图 19-1-28 典型的支吊架标准零部件

管道支吊架的标准有（皆 2004 年确认有效）：

管道支吊架 第 1 部分：技术规范 GB/T 17116.1—1997

管道支吊架 第 2 部分：管道连接部件 GB/T 17116.2—1997

管道支吊架 第 3 部分：中间连接件和建筑结构连接件 GB/T 17116.3—1997

还有，管架标准图 HG/T 21629—1999，可供一般情况下选用。各厂家或公司还根据用途不同生产有各种类型的管架，例如图 19-1-29 所示的管架。

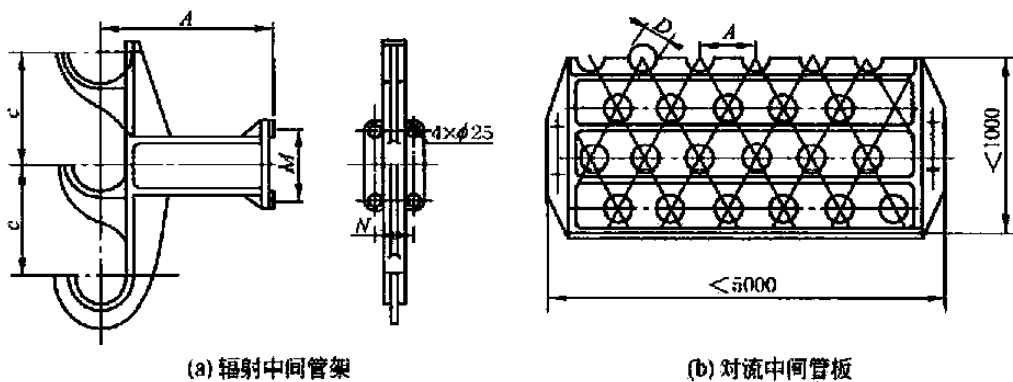


图 19-1-29 管架

5.6 标准容器支座

容器支座已有标准，包括鞍式、腿式、支承式和耳式。

图 19-1-30 为腿式支座的布置型式，有角钢支柱（A 型）和钢管支柱（B 型）；带垫板和不带垫板等四种。

图 19-1-31 为上述立式容器的 A 型腿式支座。表 19-1-13 为其系列系数，可供参考。

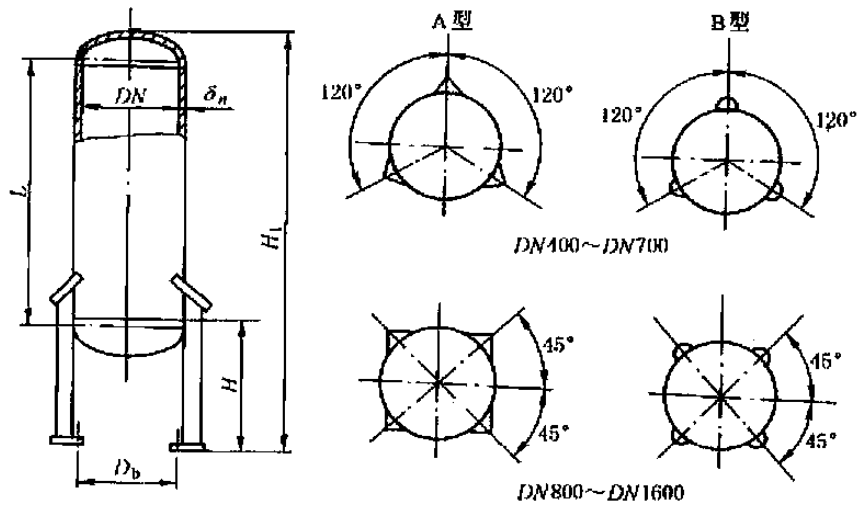
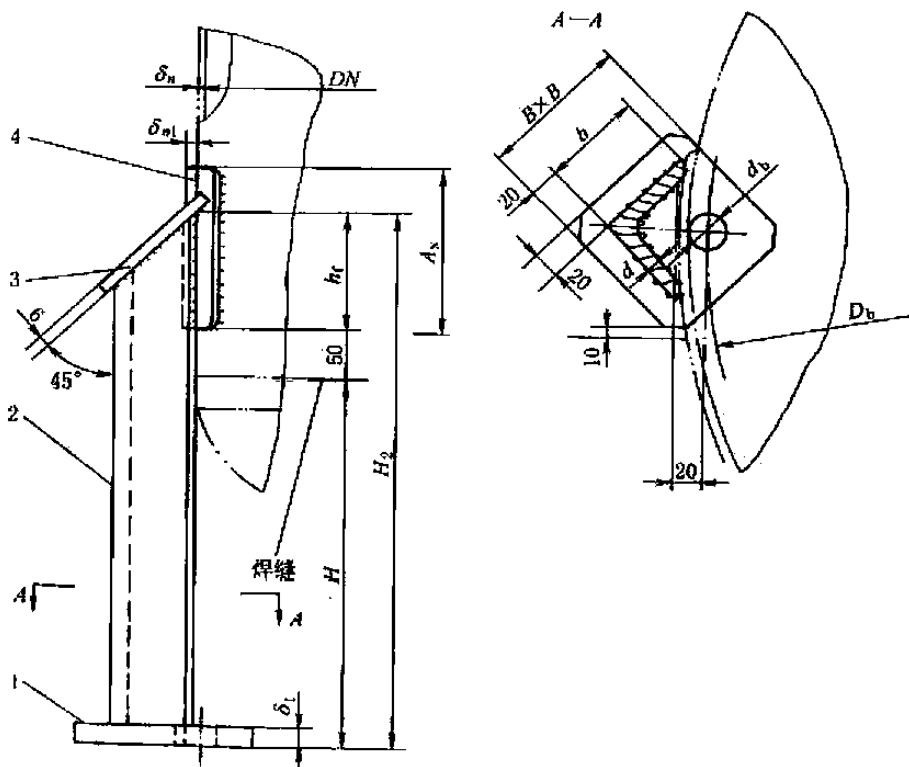


图 19-1-30 腿式支座布置型式

表 19-1-13

A、AN 型腿式支座系列参数 (AN 为无垫板)

支座号	每根支腿允许载荷(在 H 高时)	适用公称直径	支腿数量	容器最大总高度	支承最大高度	角钢规格
	/kN	DN/mm		/mm	/mm	
1	8	500	3	3400	800	63 × 63 × 8
2	13	700	3	4450	800	80 × 80 × 10
3	14	900	4	5000	1000	90 × 90 × 10
4	19	1100	4	5000	1000	100 × 100 × 12
5	24	1300	4	5000	1100	110 × 110 × 12
6	28	1400	4	5000	1100	125 × 125 × 12
7	35	1600	4	5000	1200	140 × 140 × 12



取垫板厚度 δ_{n1} 等于圆筒厚度 δ_n

图 19-1-31 A 型腿式支座

1—底板; 2—支柱; 3—盖板; 4—垫板

图 19-1-32 为卧式容器的鞍式支座之一，用于公称直径 $DN2100 \sim DN4000$ 的容器。其结构尺寸见表 19-1-14。

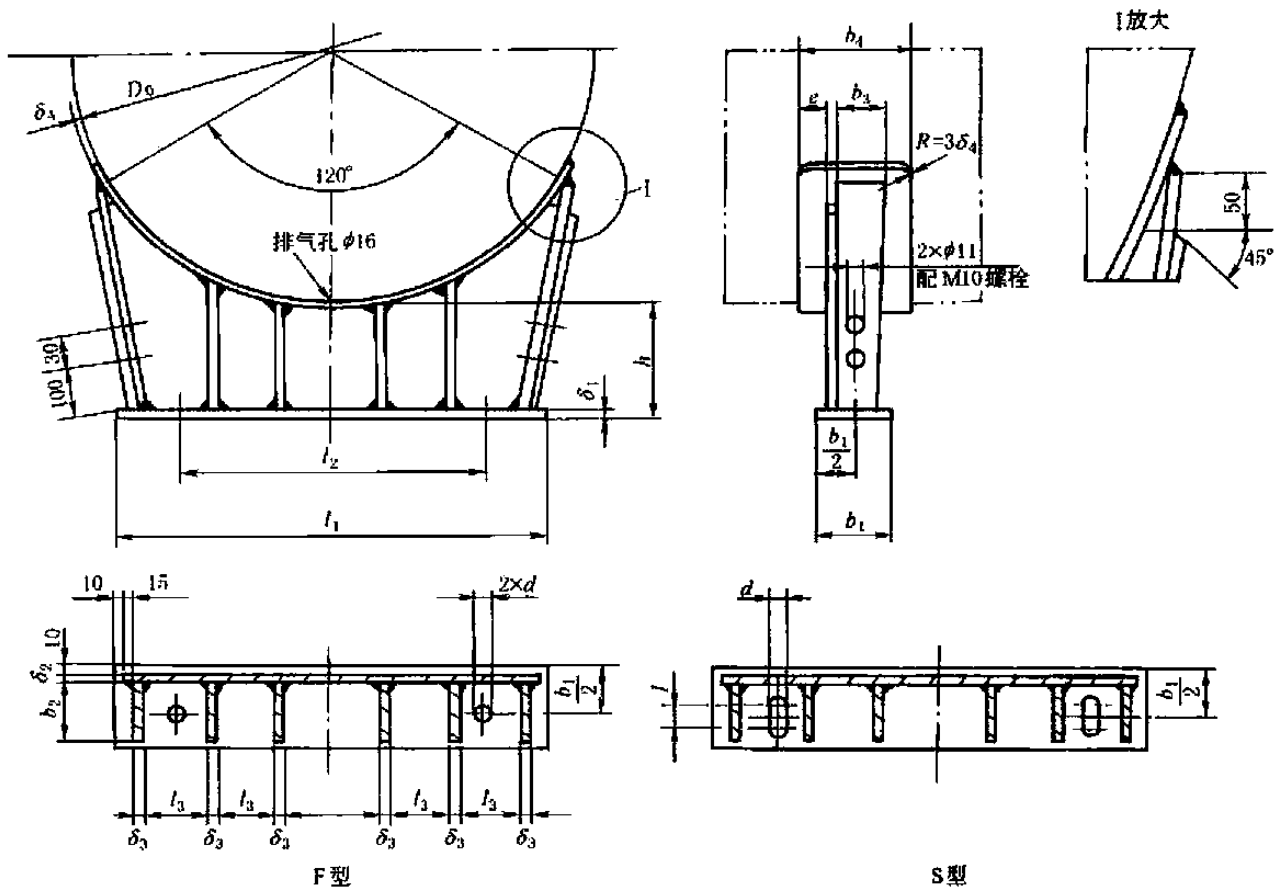


图 19-1-32 $DN2100 \sim DN4000$ 、 120° 包角重型带垫板鞍式支座结构

表 19-1-14

$DN2100 \sim DN4000$ 、 120° 包角重型带垫板鞍式支座结构尺寸

mm

公称直径 DN	允许 载荷 Q/kN	鞍座 高度 h	底板		腹板		筋板				垫板				螺栓连接尺寸				鞍座重量 /kg	每增加 100mm 高 度所增加的重量 /kg	
			l_1	b_1	δ_1	δ_2	l_3	b_2	b_3	δ_3	弧长	b_4	δ_4	e	间距 l_2	螺孔 d	螺纹 M	孔长 l			
2100	1217	250	1500	240	16	14	230	208	288	12	2450	400	12	50	1300	24	M20	40	274	30	
2200	1232		1580				243				2570				1380				287	31	
2300	1829		1660				256				2680				1460				324	37	
2400	1845		1720				266				2800				1520				336	38	
3000	2803		2180	380	22	22	16	341	335	425	16	3490	600	14	80	1940	28	M24	60	636	65
3200	2853		2340					368				3720				2100				682	67
3400	2979		2480					391				3950				2200				795	75
3600	3024		2640					418				4180				2360				847	78
3800	4128		2780					440				4410				2500				977	90
4000	4186		2940					467				4640				2660				1036	94

5.7 大型容器支架

图 19-1-33 为直径 15m 浓密机的支座和立架。立架 I 支承浓密机全部机器的重量，共 21.5t。用 100 × 100 的角钢作立杆，用 80 × 80 的角钢作斜杆。储矿槽约贮存矿浆 1200t，槽壁厚 10mm，用 16 根主梁和 16 根辅梁及 5 个圈梁托于立柱 4 上。立柱用两 36 号工字钢制造。这是属于通常的设计方法，即把底盘看作是平板来设计计算。底板厚度至少要 16mm。如果按柔性设计方法考虑，底板厚度只要 4mm，并且可以取消辅梁和圈梁。详细计算方法见第 7 章 5.2 节。

其他圆形容器支架请参看第 5 章 6.2 节。

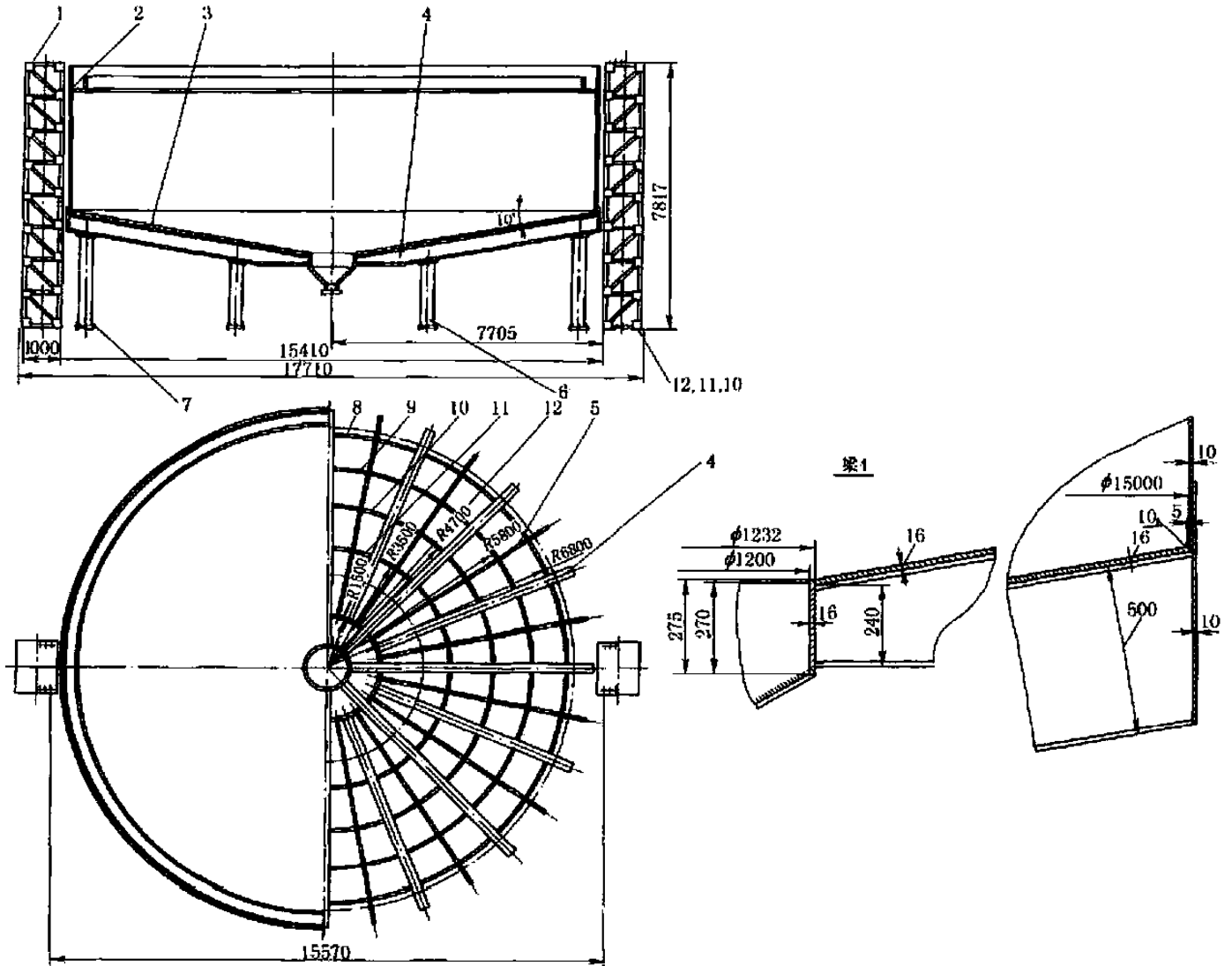


图 19-1-33 浓密机支座和立架

1—立架；2—壁；3—底；4—梁（有立柱）；5—梁（无立柱）；6,7—立柱；8—12—圈梁

第 2 章 机架设计的一般规定

1 载 荷

1.1 载荷分类

作用在设备上的载荷一般分为三类：基本载荷、附加载荷和特殊载荷。

(1) 基本载荷

基本载荷指始终和经常作用在机架结构上的载荷。包括自重力 P_G 及设备运行时产生的动载荷 P_d 。自重力包括机架的自重力及其上机械设备、电气设备和附加装置的重力。例如其上设有物料贮仓的自重力及物料重力等。

一般计算中，计算载荷为基本载荷与动力系数 K_d 的乘积。动力系数的值见表 19-2-1。

表 19-2-1 动力系数 K_d

较小冲击、一般振动	一般冲击、中等振动	较大冲击、单向强力振动	强烈冲击、双向振动
1.1 - 1.25	1.25 - 1.5	1.5 - 2	2 - 3(4)

动载系数应按具体设备情况而定。如有规范的应按该设备的设计规范。例如，对起重机来说，还有起升重物重力 P_Q ，当重物突然离地起升或下降制动时，将产生动载荷作用，则应考虑一大于 1 的动载系数 φ_2 ($\varphi_2 = 1 - 2.0$)。同时，自重质量也将产生沿其加速度相反方向的冲击作用，此时自重力 P_G 应乘以冲击系数 φ_1 ($0.9 \leq \varphi_1 \leq 1.0$)，见表 19-2-2。

表 19-2-2 起重机械载荷与载荷组合

类别	载 荷		载 荷 组 合												
	载荷名称	符号	组合 I				组合 II			组合 III					
			I _a	I _b	I _c	I _d	II _a	II _b	II _c	III _a	III _b	III _c	III _d	III _e	III _f
基本 载 荷	自重载荷	P_G			P_G					P_G	P_G	P_G		P_G	
	起升冲击系数	φ_1	$\varphi_1 P_G$	$\varphi_1 P_G$		$\varphi_1 P_G$	$\varphi_1 P_G$	$\varphi_1 P_G$					$\varphi_1 P_G$		$\varphi_1 P_G$
	运行冲击系数	φ_4													
	起升载荷	P_Q	$\varphi_2 P_Q$	$\varphi_4 P_Q$	P_Q		$\varphi_2 P_Q$	$\varphi_4 P_Q$			P_Q	P_Q			
	起升载荷动载系数	φ_2													
	突然卸载冲击系数	φ_3				$\varphi_3 P_Q$			$\varphi_3 P_Q$						
	水平载荷	P_H	P_{H1}	P_{H1}	P_{H2}	P_{H2}	P_{H2}	P_{H2}	P_{H2}					P_{H1}	
附加 载 荷	工作状态的风载荷和物品受风作用对结构产生的水平载荷	$P_{W,1}$					$P_{W,1}$	$P_{W,1}$	$P_{W,1}$		$P_{W,1}$				
	倾斜运行引起的侧向力	P_S						P_S					P_S		

类别	载 荷		载 荷 组 合												
	载荷名称	符号	组合 I				组合 II			组合 III					
			I _a	I _b	I _c	I _d	II _a	II _b	II _c	III _a	III _b	III _c	III _d	III _e	III _f
特殊 载 荷	非工作状态的风 载 荷	$P_{w,0}$								$P_{w,0}$	—	—			
	碰撞载荷	P_c								—	P_c	—		—	—
	带有刚性导架的小 车的倾翻水平力	P_{st}								—	—	P_{st}			
	试验载荷	P_t								—	—	—	$\varphi_6 P_{dt}$	P_{dt}	

注：1. 对于组合 II，在计算 P_{H2} 时应考虑风对启（制）动时间的影响。

2. 组合 III_a 也可用于安装工况，此时 P_c 按安装设计而定， $P_{w,0}$ 为安装时风载荷。

3. P_{dt} 和 P_{st} 分别为动态试验载荷和静态试验载荷； φ_6 为动态试验时的起升载荷动载系数， $\varphi_6 \approx 0.5(1 + \varphi_2)$ 。

4. 组合 III_f 仅对无轨高速运行的汽车起重机和轮胎起重机而言，是在恶劣道路上行驶的工况，此时 φ_6 须按实际情况取值。

5. 在规范 GB/T 3811—1983（2004 年修订）中所述的温度载荷、安装载荷、坡度载荷、地震载荷和工艺性载荷等在需要考
虑时，载荷组合由具体情况决定。

6. P_{H1} 为运行、回转或变幅机构中最不利的一个机构处于不稳定运动时所引起的水平惯性载荷； P_{H2} 为上述任意两个机构处
于不稳定运动时所引起的水平惯性载荷的最不利组合；但如果上述机构的控制系统不允许有多于一个机构处于不稳定运动状态，
则按实际情况计算 P_{H1} 。

7. 表中， φ_1 一起升冲击系数， $0.9 < \varphi_1 < 1.1$ ；

φ_2 一起升载荷动载系数， $\varphi_2 = 1.0 \sim 2.0$ ；

φ_3 一突然卸载动载系数， $\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m}(1 + \beta_3)$ ；

m 一起升质量，kg；

Δm 一起升质量中突然卸去的那部分质量，kg；

β_3 一对于抓斗起重机及类似起重机 $\beta_3 = 0.5$ ，对于电磁起重机及类似起重机 $\beta_3 = 1.0$ ；

φ_4 一运行冲击系数， $\varphi_4 = 1.10 + 0.058v\sqrt{h}$ ；

v 一运行速度，m/s；

h 一轨道接缝处二轨面的高度差，mm。

(2) 附加载荷

附加载荷指设备在正常运行时机架受到的非经常性作用的载荷。例如作用在机架上的最大工作风载荷、雪载
荷，水采机在盐池中工作的波浪力，起重机悬吊物品在受风载作用时对结构产生的水平载荷，起重机偏斜运行引
起的侧向力，温度变化引起的热应力及制造工艺所产生的内力等。

(3) 特殊载荷

特殊载荷指设备处于非工作状态时机架可能受到的最大载荷或在工作状态下机架偶然受到的不利载荷。前者
如机架受到的非工作状态下的风载荷，水上设备受到的最大波浪力，试验载荷，地震载荷，以及根据实际情况决
定而考虑的安裝载荷和某些工艺载荷；后者如起重机在工作状态下机架受到的碰撞载荷。

1.2 组合载荷

上面三类载荷按可能同时出现的情况进行组合，只考虑基本载荷组合者为组合 I；考虑基本载荷与附加载
荷组合者为组合 II；考虑基本载荷与特殊载荷或三类载荷都组合者为组合 III。每一类组合中列出若干种组合方式，
计算时应根据具体的机种、工况和计算目的选取对所计算的机架最不利的组合方式。

对于移动的载荷，计算时必须使移动载荷处于对所计算结构或连接最不利的位置。

以起重机机架为例，其载荷与载荷组合情况如表 19-2-2 所示。

载荷组合仅用于机架结构件及其连接的强度、弹性稳定性和疲劳计算。强度和弹性稳定性的安全系数必须同
时满足载荷组合 I、II 和 III 类情况下的规定值，而疲劳强度只按载荷组合 I 进行计算。

1.3 雪载荷和冰载荷

(1) 雪载荷

只对大型机架平面才考虑。

$$P_s = \mu P_{s0}$$

式中 P_s ——雪载荷, kN/m^2 ;

μ ——积雪分布系数, 均匀分布时 $\mu = 1$;

P_{s0} ——基本雪压, kN/m^2 , 按当地年最大雪压资料 (10 年以上) 统计确定。

(2) 冰载荷

高架的结构件或绳索等裹冰后引起的载荷及由此增加挡风面积应该考虑。应按离地高 10m 处的观测资料取统计 50 年一遇的最大裹冰厚度为标准。无资料的情况下, 在重裹冰区基本裹冰厚度取 10 ~ 20mm; 轻裹冰区基本裹冰厚度取 5 ~ 10mm。

1.4 风载荷

露天设备的大型机架应考虑风载荷。工作状态下机架所受到的最大风载荷和物品受风载作用对机架所产生的水平载荷 P_w , 总是与水平载荷 P_H 按最不利的方向叠加的。

$$P_w = CK_b q A \quad (19-2-1)$$

式中 P_w ——作用在机器上或物品上的风载荷, N;

C ——风力系数, 见本节 (3);

K_b ——风压高度变化系数, 见本节 (2);

q ——计算风压, N/m^2 , 见本节 (1);

A ——垂直于风向的迎风面积, m^2 , 见本节 (4)。

计算机架风载时, 应考虑风对机器是沿着最不利的方向作用。

(1) 计算风压 q

风压与空气密度和风速有关, 按式 (19-2-2) 计算。

$$q = 0.613v^2 \quad (19-2-2)$$

式中 q ——计算风压, N/m^2 ;

v ——计算风速, m/s 。

计算风压规定为按空旷地区离地 10m 高度处的计算风速来确定。工作状态的计算风速按阵风风速 (即瞬时风速) 考虑。非工作状态的计算风速按 2min 时距平均风速考虑。也可按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 所附全国基本风压分布图计算。如按式 (19-2-2) 计算, 对高原地区应考虑空气稀薄使其密度降低的系数。

例 试计算起重机机架的风压。其他装置可以参照计算。

室外工作起重机计算风压分三种, 即 q_I 、 q_{II} 、 q_{III} , 见表 19-2-3。

表 19-2-3

起重机计算风压

$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

地 区	工作状态计算风压		非工作状态计算风压
	q_I	q_{II}	q_{III}
内陆	0.6 q_{II}	150	500 ~ 600
沿海		250	600 ~ 1000
台湾及南海诸岛		250	1500

注: 1. 沿海地区是指大陆离海岸线 100km 以内的大陆或海岛地区。

2. 特殊用途的起重机的工作状态计算风压允许作特殊的规定。流动式起重机 (即汽车起重机、轮胎起重机和履带起重机) 的工作状态计算风压, 当起重臂长小于 50m 时取为 125N/m^2 ; 当臂长等于或大于 50m 时按使用要求决定。

3. 非工作状态计算风压的取值: 内陆的华北、华中和华南地区宜取小值; 西北、西南和东北地区宜取大值; 沿海以上海为界, 上海可取 800N/m^2 , 上海以北取较小值, 以南取较大值; 在内河港口峡谷风口地区、经常受特大暴风作用的地区 (如湛江等地) 或只在小风地区工作的起重机, 其非工作状态计算风压应按当地气象资料提供的常年最大风速并用式 (19-2-2) 计算; 在海上航行的浮式起重机, 可取 $q_{III} = 1800\text{N/m}^2$, 但不再考虑风压高度变化, 即取 $K_b = 1$ 。

q_I 是起重机正常工作状态计算风压, 用于选择电机功率的阻力计算及机构零部件的发热验算; q_{II} 是起重机工作状态最大计算风压, 用于计算机构零部件和金属结构的强度、刚性及稳定性, 验算驱动装置的过载能力及整机工作状态下的抗倾覆稳定性; q_{III} 是起重机非工作状态计算风压, 用于验算此时起重机机构零部件和金属结构的强度、整机抗倾覆稳定性及起重机的防风抗滑安全装置和锚定装置的设计计算 (见 GB/T 3811—1983 第 2.3.2 款的规定)。不同类型的起重机按具体情况选取不同的计算风压值。

(2) 风压高度变化系数 K_h

对于起重机的工作状态计算风压不考虑高度变化 ($K_h = 1$)。

所有起重机的非工作状态或其他高耸设备, 计算风压均需考虑高度变化。风压高度变化系数 K_h 见表 19-2-4。

(3) 风力系数 C

风力系数与结构物的体型、尺寸等有关, 按下列各种情况决定。

① 一般设备单片结构和单根构件的风力系数 C 见表 19-2-5。

表 19-2-4 风压高度变化系数 K_h

离地(海)面高度 h /m	≤10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200
陆上 $\left(\frac{h}{10}\right)^{0.3}$	1.00	1.23	1.39	1.51	1.62	1.71	1.79	1.86	1.93	1.99	2.05	2.11	2.16	2.20	2.25	2.45
海上及海岛 $\left(\frac{h}{10}\right)^{0.2}$	1.00	1.15	1.25	1.32	1.38	1.43	1.47	1.52	1.55	1.58	1.61	1.64	1.67	1.69	1.72	1.82

注: 计算起重机风载荷时, 可沿高度划分成 20m 高的等风压区段, 以各段中点高度的系数 K_h 乘以计算风压。

表 19-2-5 单片结构的风力系数 C

序号	结构型式			C		
1	型钢制成的平面桁架(充实率 $\varphi = 0.3 \sim 0.6$)			1.6		
2	型钢、钢板、型钢梁、钢板梁和箱形截面构件	l/h	5	1.3		
3			圆管及管结构	qd^2	10	1.4
					20	1.6
					30	1.7
					40	1.8
					50	1.9
4	封闭的司机室、机器房、平衡重、钢丝绳及物品等		<1	1.3		
			≤3	1.2		
			7	1.0		
			10	0.9		
			≥13	0.7		

注: 1. 表中 l 为结构或构件的长度; h 为其迎风面的高度, m; q 为计算风压, N/m^2 ; d 为管子外径, m。

2. 司机室在地面上的取 $C = 1.1$, 悬空的取 $C = 1.2$ 。

② 两片平行平面桁架组成的空间结构, 其整体结构的风力系数可取单片结构的风力系数, 而总的迎风面积应按本节 (4) 计算。

③ 风朝着矩形截面空间桁架或箱形结构的对角线方向吹来, 当矩形截面的边长比小于 2 时, 计算的风载荷取为风向着矩形长边作用时所受风力的 1.2 倍; 当矩形截面的边长比等于或大于 2 时, 取为风向着矩形长边作用的风力。

④ 三角形截面的空间桁架的风载荷, 可取为该空间桁架垂直于风向的投影面积所受风力的 1.25 倍计算。

⑤ 下弦杆为方形钢管、腹杆为圆管的三角形截面空间桁架, 在侧向风力作用下, 其风力系数 C 可取 1.3。

⑥ 当风与结构长轴 (或表面) 成某一角度吹来时, 结构所受的风力可以按其夹角分解成两个方向的分力来计算。顺着风向的风力可按式 (19-2-3) 计算。

$$P_w = CK_h q A \sin^2 \theta \quad (19-2-3)$$

式中 A ——迎风面积, m^2 ;

C ——风力系数;

θ ——风向与结构纵轴的夹角。

(4) 迎风面积 A

结构和其上物品的迎风面积应按最不利迎风方位计算并取垂直于风向平面上的投影面积。

① 单片结构的迎风面积为：

$$A = \varphi A_1 \quad (19-2-4)$$

式中 A_1 ——结构或物品的外轮廓面积， m^2 ，如图 19-2-1 所示则 $A_1 = hl$ ；

φ ——结构的充实率，即 $\varphi = \frac{A}{A_1}$ ，见表 19-2-6。

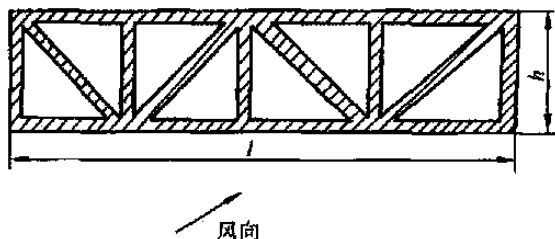


图 19-2-1 结构或物品的面积轮廓尺寸示意图

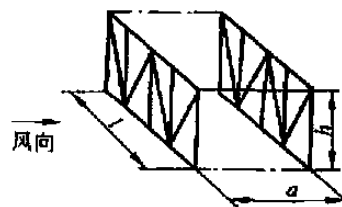


图 19-2-2 并列结构的间隔比

表 19-2-6 结构的充实率 φ

受风结构类型和物品	实体结构和物品	1.0
	机构	0.8 ~ 1.0
	型钢制成的桁架	0.3 ~ 0.6
	钢管桁架结构	0.2 ~ 0.4

② 对两片并列等高、型式相同的结构，考虑前片对后一片的挡风作用，其总迎风面积为：

$$A = A_1 + \eta A_2 \quad (19-2-5)$$

式中 A_1 ——前片结构的迎风面积， $A_1 = \varphi_1 A_{11}$ ；

A_2 ——后片结构的迎风面积， $A_2 = \varphi_2 A_{12}$ ；

η ——两片相邻桁架前片对后片的挡风折减系数；它与第一片（前片）结构的充实率 φ_1 及两片桁架之间的间隔比 a/h （见图 19-2-2）有关，如表 19-2-7 所示。

表 19-2-7 桁架结构挡风折减系数 η

φ_1		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
间隔比 a/h	1	0.84	0.70	0.57	0.40	0.25	0.15
	2	0.87	0.75	0.62	0.49	0.33	0.20
	3	0.90	0.78	0.64	0.53	0.40	0.28
	4	0.92	0.81	0.65	0.56	0.44	0.34
	5	0.94	0.83	0.67	0.58	0.50	0.41
	6	0.96	0.85	0.68	0.60	0.54	0.46

注：其他结构的挡风折减系数可参照 GB/T 3811—1983 附录 F（参考件）取。

③ 对 n 片型式相同且彼此间隔相同的并列等高结构，在纵向风力作用下，应考虑多片结构的重叠挡风折减作用，结构的总迎风面积按下式决定：

$$\begin{aligned} A &= (1 + \eta + \eta^2 + \dots + \eta^{n-1}) \varphi_1 A_{11} \\ &= \frac{1 - \eta^n}{1 - \eta} \varphi_1 A_{11} = \left(\frac{1 - \eta^5}{1 - \eta} + \frac{n-5}{10} \right) \varphi_1 A_{11} \end{aligned} \quad (19-2-6)$$

式中 φ_1 ——前片（第一片）结构的充实率；

A_{11} ——前片（第一片）结构的外形轮廓面积， m^2 。

按式（19-2-6）算得的迎风面积 A 用式（19-2-1）计算结构的总风载荷时，因各片结构型式相同，只用其中一片结构的风力系数乘之即可。

④ 物品的迎风面积。起重机吊运的物品的迎风面积应按其实际轮廓尺寸在垂直于风向平面上的投影来决定。物品的轮廓尺寸不明确时，允许采用近似方法加以估算。

1.5 地震载荷

只有重要的设备要求地震情况下不得损坏时，才考虑地震载荷的校核。例如压力容器或塔式容器，地震造成损失大或有有害物质逸出，必须对高于 10m 以上且高度与直径比大于 5 的，在地震烈度为 7 或以上地区时进行校核。

对于受地震破坏影响的机械设备钢机架，如其上无重型集中载荷（如塔楼），基础又不在Ⅲ、Ⅳ类土场地（饱和松砂、淤泥和淤泥质土、充填土、杂填土等），在地震烈度小于或等于 8 时，不必校验地震破坏。

以下为圆形塔器的地震载荷计算示例。

自振周期：

对等厚等直径的塔器

$$T_1 = 90.33H \sqrt{\frac{m_0 H}{E \delta_c D_i^3}} \times 10^{-3} \quad (19-2-7)$$

对不等厚等直径的塔器

$$T_1 = 114.8 \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 \left(\sum_{i=1}^n \frac{H_i^3}{EI_i} - \sum_{i=2}^n \frac{H_i^3}{EI_{i-1}}\right)} \times 10^{-3} \quad (a) \quad (19-2-8)$$

式中 E ——弹性模量，MPa；

m_0 ——塔的操作质量，kg；

m_i ——不等厚等直径塔器的第 i 段的操作质量，kg；

D_i ——塔壳内径，mm；

δ_c ——塔壳有效厚度，mm；

I_i ——第 i 段截面惯性矩， mm^4 ；

H ——圆形设备总高度，mm；

H_i ——设备顶至第 i 段截面的距离，mm，见图 19-2-4；

h_i ——设备第 i 段集中质量距地面的高度，mm。对某一段，直径和厚度不变时，可处理为集中质量作用于该段中部。

水平地震力的计算如下：

在任意高度 h_k 处的集中质量 m_k 引起的水平地震力 F_k 按下式计算：

$$F_k = C_x \alpha_1 \eta_k m_k g \quad (N) \quad (19-2-9)$$

式中 m_k ——距地面高度 h_k 处的集中质量（见图 19-2-4a），kg；

g ——重力加速度， $g = 9.8m/s^2$ ；

C_x ——考虑结构的综合影响系数，对圆形设备取 0.5；

η_k ——振型参与系数，按式（19-2-11）计算；

α_1 ——对应于设备基本自振周期 T_1 的地震影响系数 α 值，查图 19-2-3，曲线部分按式（19-2-10）计算，但不得小于 $0.2\alpha_{max}$ ，

$$\alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T_1}\right)^{0.9} \alpha_{max} \quad (19-2-10)$$

T_g ——各类土的特征周期，见表 19-2-8；

α_{max} ——地震影响系数 α_1 的最大值，见表 19-2-9。

$$\eta_k = \frac{h_k^{1.5} \sum_{i=1}^n m_i h_i^{1.5}}{\sum_{i=1}^n m_i h_i^3} \quad (19-2-11)$$

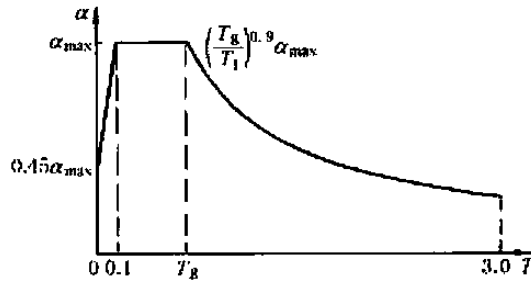


图 19-2-3

表 19-2-8

场地土的特征周期 T_g

5

场地土	近震	远震	场地土	近震	远震
I	0.2	0.25	III	0.4	0.55
II	0.3	0.40	IV	0.65	0.85

表 19-2-9

地震影响系数 α 的最大值

设计烈度	7	8	9
α_{max}	0.23	0.45	0.90

计算地震载荷和风载荷的参数见图 19-2-4 及图 19-2-5。

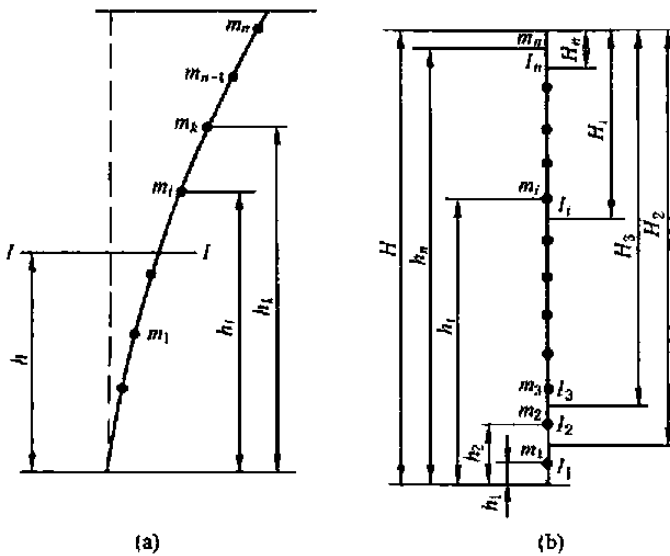
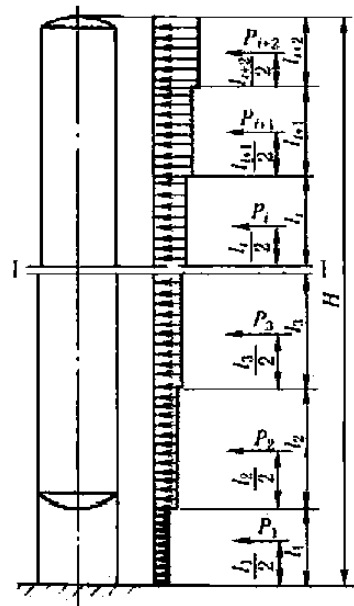


图 19-2-4



l_1, l_2, \dots —分段高度; P_1, P_2, \dots —各段的水平风力

图 19-2-5

塔底截面处的垂直地震力

$$F_v = \alpha_{vmax} m_{eq} g \quad (19-2-12)$$

式中 α_{vmax} ——垂直地震影响系数最大值, 取 $\alpha_{vmax} = 0.65\alpha_{max}$;

m_{eq} ——塔器底截面的当量质量, 取 $m_{eq} = 0.75m_n$, kg。

对于其他形状设备, 计算方法类似, 可参阅 GB 50135—2006《高耸结构设计规范》及 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》。其自振周期的计算还可参阅 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》的附录, 或 GY 5001—2004《钢塔桅结构设计规范》, 或按一般工程力学的方法进行计算。

场地土详细分类方法可参看 JB 4710—2004《钢制塔式容器》的附录。

2 刚度要求

机架设计的刚度要求最为重要。绝大多数设备都有各自的刚度要求规范，且各不相同。例如，对不同的机床有不同的精度规范及精度等级规定和静刚度标准。可查看 GB/T 和 JB/T 的许多有关标准。较之普通机床，数控机床的结构设计除了要求具有较高的几何精度、传动精度、定位精度、热稳定性及实现辅助操作自动化的结构外，还要求具有大切削功率，高的静、动刚度和良好的抗振性能。因而数控机床要求具有更高的静刚度和动刚度，有标准规定数控机床的刚度系数应比类似的普通机床高 50%。

说明：机床在加工过程中，承受的静态力有运动部件和工件的自重，承受的动态力有切削力、驱动力、加速和减速所引起的惯性力、摩擦阻力等。机床的各个部件在这些力的作用下，将产生变形。有固定连接表面或运动啮合表面的接触变形，各个支承部件的弯曲和扭转变形，以及某些支承构件的局部变形等。这些变形都会直接或间接地引起刀具和工件之间的相对位移，从而引起工件的加工误差，或者影响机床切削过程的特性。因而结构刚度是有严格要求的。但由于情况复杂，一般很难对结构刚度进行精确的理论计算。设计者只能对部分构件（如轴、丝杠等）用计算方法求其刚度，而对于床身、立柱、工作台、箱体等零部件的弯曲和扭转变形，结合面的接触变形等，只能将其简化进行近似计算。计算结果往往与实际相差很大，故只能作为定性分析的参考。一般来讲，在设计时仍然需要对模型、实物或类似的样机进行试验、分析相对比以确定合理的结构方案，以合理地提高机床的结构刚度。这是专门化的问题，本手册不予以阐述。

下面介绍建筑结构与起重机的刚度要求以供设计者对无标准的机架设计时的参考。

2.1 《钢结构设计规范》的规定

① GB 50017—2003《钢结构设计规范》规定的受弯构件挠度不得超过表 19-2-10 所列的容许值。计算时可不考虑螺钉或铆钉引起的截面削弱。以计算载荷（基本载荷乘以动力系数，见第 1 节）进行校核。

表 19-2-10

受弯构件挠度容许值

项次	构件类别	挠度容许值	
		$[\nu_T]$	$[\nu_Q]$
1	吊车梁和吊车桁架(按自重和起重量最大的一台吊车计算挠度)		
	(1)手动吊车和单梁吊车(含悬挂吊车)	$l/500$	—
	(2)轻级工作制桥式吊车	$l/800$	—
	(3)中级工作制桥式吊车	$l/1000$	—
	(4)重级工作制桥式吊车	$l/1200$	—
2	手动或电动葫芦的轨道梁	$l/400$	—
3	有重轨(重量等于或大于 38kg/m)轨道的工作平台梁	$l/600$	—
	有轻轨(重量等于或小于 24kg/m)轨道的工作平台梁	$l/400$	—
4	楼(屋)盖梁或桁架、工作平台梁(第 3 项除外)和平台板		
	(1)主梁或桁架(包括设有悬挂起重设备的梁和桁架)	$l/400$	$l/500$
	(2)抹灰顶棚的次梁	$l/250$	$l/350$
	(3)除(1)、(2)款外的其他梁(包括楼梯梁)	$l/250$	$l/300$
	(4)略		
	(5)平台板	$l/150$	—
5	墙架构件(风荷载不考虑阵风系数)		
	(1)支柱	—	$l/400$
	(2)抗风桁架(作为连续支柱的支承时)	—	$l/1000$
	(3)砌体墙的横梁(水平方向)	—	$l/300$
	(4)支承压型金属板、瓦楞铁和石棉瓦墙面的横梁(水平方向)	—	$l/200$
	(5)带有玻璃窗的横梁(竖向和水平方向)	$l/200$	$l/200$

注：1. l 为受弯构件的跨度（对悬臂梁和伸臂梁为悬伸长度的 2 倍）。

2. $[\nu_T]$ 为永久和可变荷载标准值产生的挠度（如有起拱应减去拱度）的容许值； $[\nu_Q]$ 为可变荷载标准值产生的挠度的容许值。

② 冶金工厂或类似车间中设有工作级别为 A7、A8 级吊车的车间，其跨间每侧吊车梁或吊车桁架的制动结构，由一台最大吊车横向水平荷载（按荷载规范取值）所产生的挠度不宜超过制动结构跨度的 1/2200。

③ 在冶金工厂或类似车间中设有 A7、A8 级吊车的厂房柱和设有中级和重级工作制吊车的露天栈桥柱，在吊车梁或吊车桁架的顶面标高处，由一台最大吊车水平荷载（按荷载规范取值）所产生的计算水平变形值，不宜超过表 19-2-11 所列的容许值。

表 19-2-11 柱水平位移（计算值）的容许值

项次	位移的种类	按平面结构图形计算	按空间结构图形计算
1	厂房柱的横向位移	$H_c/1250$	$H_c/2000$
2	露天栈桥柱的横向位移	$H_c/2500$	—
3	厂房和露天栈桥柱的纵向位移	$H_c/4000$	—

注：1. H_c 为基础顶面至吊车梁或吊车桁架顶面的高度。

2. 计算厂房或露天栈桥柱的纵向位移时，可假定吊车的纵向水平制动力分配在温度区段内所有柱间支撑或纵向框架上。

3. 在设有 A8 级吊车的厂房中，厂房柱的水平位移容许值宜减小 10%。

4. 在设有 A6 级吊车的厂房柱的纵向位移应符合表中的要求。

2.2 《起重机设计规范》的规定

GB/T 3811—1983（2004 年审定）《起重机设计规范》对一般起重不校核动态刚度，仅对静态刚度提出如下要求，可供设计者设计各种有动载荷的机架时参考。

① 电动单、双梁桥式起重机（包括门式起重机和装卸桥）。当满载小车（或电动葫芦）位于跨中时，主梁（主桁架）由于额定起升载荷和小车（或电动葫芦）自重引起的垂直静挠度 Y_L 应满足下述要求：

工作级别为 A5 或 A5 以下的起重机， $Y_L \leq L/700$ ；

工作级别为 A6 的起重机， $Y_L \leq L/800$ ；

工作级别为 A7、A8 的起重机， $Y_L \leq L/1000$ ；

其中 L 为起重机跨度。

对于具有悬臂的门式起重机和装卸桥，当满载的小车位于悬臂上的有效工作位置时，该处由于额定起升载荷和小车自重引起的垂直静挠度 Y_L 应不大于 $1/350L_c$ （ L_c 为悬臂有效工作长度）。

② 塔式起重机在额定起升载荷作用下，塔身在臂架连接处（或在臂架转柱连接处）的水平静位移 Δ_L 应不大于 $H/100$ 。其中 H ，对自行式塔式起重机为塔身在臂架连接处至轨面的垂直距离，对附着式塔式起重机为塔身在臂架连接处至最高一个附着点的垂直距离。

③ 采用箱形伸缩式臂架的轮胎起重机和汽车起重机，在不考虑底架变形及变幅油缸回缩等因素的情况下，当起吊额定起升载荷并处于相应的工作幅度时，臂端在吊重平面内的静位移 Y_L 应不大于 $L_c^2 \times 10^{-5} \text{ cm}$ ，其中 L_c 为臂长（cm），计算时应同时考虑轴向压力的影响。此外，臂架在上述载荷和端部附加额定起升载荷的 5% 的侧向载荷同时作用下，臂端的侧向静位移 Z_L 应不大于 $7L_c^2 \times 10^{-6} \text{ cm}$ 。

其中工作级别是根据载荷状态和利用等级确定的，详见 GB/T 3811—1983。

对于起重机主梁跨中截面的水平挠度应小于 $L/2000$ 。对于手动单梁起重机，在垂直静载荷作用下，中点的许用挠度为 $Y_p = L/400$ 。

除对精度有特殊要求因而挠度必须控制在很小范围内的设备机架（如机床立柱等）之外，对一般机架，建议在垂直方向挠度与长度之比或水平方向位移与高度之比都可限制在 1/500 ~ 1/1000 以下。

关于挠度的计算，对于简单的梁或连续梁，可参见第 1 卷的力学公式；对于各类桁架见本篇第 5 章。

2.3 提高刚度的方法

提高结构刚度的主要措施可有以下几点：

① 用构件受拉、压代替受弯曲；

- ② 合理布置受弯曲零件的支承, (包括支承点数量、支承点的位置) 避免对刚度不利的受载形式;
- ③ 合理设计受弯曲零件的断面形状, 使在相同截面面积的条件下, 能有尽可能大的断面惯性矩;
- ④ 正确采用肋板以加强刚度, 尽可能使肋板受压;
- ⑤ 用预变形 (由预应力产生的) 抵消工作时的受载变形;
- ⑥ 选用合适的结构, 例如用桁架、板结构代替梁等。

3 强度要求

一般说来, 机架通过挠度校核, 强度是不会有问题的。但为了设计选材方便, 都进行初步强度计算。

必须说明, 《钢结构设计规范》所规定的强度设计值是不可直接应用的。因为《钢结构设计规范》的制定是按全概率分析, 极限状态设计法, 分项系数表达式而来的。而机械设计尚未应用极限状态设计法。《起重机设计规范》的制定是按半概率分析, 许用应力法而来的。可以作为参考, 但非标准机架设计是以许用应力法为准, 还是以偏安全为是。下面首先介绍我们的方法, 再介绍起重机设计规范的许用应力值。要说明的是, 在实际的非标准设备机架中, 或一些定型的设备机架中, 机架的强度是相当大的, 校算它们的许用应力往往都远小于下面所述的许用应力的数值。原因是凭习惯选用且担心机架不结实而盲目加大。这是设计者普遍存在的问题。

3.1 许用应力

$$\sigma_p = \sigma_{ip} / K$$

式中 σ_p ——许用应力;
 σ_{ip} ——基本许用应力;
 K ——折减系数。

3.1.1 基本许用应力

① 基本许用应力:

塑性材料

$$\sigma_{ip} = \sigma_s / n_s$$

脆性材料

$$\sigma_{ip} = \sigma_b / n_b$$

式中, n_s 、 n_b 按表 19-2-12 选取。

表 19-2-12

基本安全系数

n_s		n_b	
轧、锻钢	铸 钢	钢	铸 铁
1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	3.5

② 名义计算的弯曲、剪切或扭转时的基本许用应力应乘以表 19-2-13 的系数 A 。

表 19-2-13

系数 A

变形情况	弯曲 σ_{ip}	剪切 τ_{ip}	扭转 τ_{ip}
塑性材料	1.0 ~ 1.2	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.7
脆性材料	1.0	0.8 ~ 1.0	0.8 ~ 1.0

③ 受偶然骤加载荷, 许用弯曲应力可为屈服极限 σ_s ; 拉应力可为 $0.9\sigma_s$ 。

3.1.2 折减系数 K

折减系数 K 按构件的重要性、耐用性、刚性、受力的波动情况选取 (表 19-2-14)。

表 19-2-14

折减系数 K

要 求	一 般	稍 高	较 高
K	1 ~ 1.1	1.1 ~ 1.2	1.2 ~ 1.4

通常以 $K = 1.1 \sim 1.2$ 为宜。

3.1.3 基本许用应力表

表 19-2-15 ~ 表 19-2-17 分别为钢、铸钢及灰铸铁的基本许用应力。表中 I、II、III 分别为载荷类型。通常，机架所受的载荷为第 I 类载荷，即

$$0.85 \leq r \leq 1$$

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

式中， σ_{\min} 、 σ_{\max} 分别为载荷引起的最小、最大应力。

第 II、III 类分别为脉动循环载荷 ($-0.25 \leq r \leq 0.25$) 和对称循环载荷 ($-1 \leq r \leq -0.7$)。基本许用应力已按疲劳极限计算，但许用应力仍应乘以折减系数 (根据载荷振动强度、表面及开孔等情况选取)。

表 19-2-15

普通碳钢及优质碳钢构件基本许用应力

MPa

材料类别	材料 标号	截面尺寸 /mm	热 处 理	材料性能	拉 压			弯 曲			扭 转			剪 切		
				抗拉强度 σ_b 屈服强度 σ_s /MPa	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
								σ_{Ijp}	σ_{IIjp}	σ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}
普通 碳 钢	Q215	100	热轧	$\sigma_b 335 \sim 410$ $\sigma_s 185 \sim 215$	145	125	90	175	140	105	95	90	60	100	90	60
	Q235			$\sigma_b 375 \sim 460$ $\sigma_s 205 \sim 235$	160	140	100	190	160	120	105	95	65	110	100	70
	Q275			$\sigma_b 490 \sim 610$ $\sigma_s 235 \sim 275$	175	150	110	210	170	130	115	105	70	120	110	80
优 质 碳 钢	20	≤ 100	正 火	$\sigma_b 410$ $\sigma_s 245$	175	145	105	210	165	125	115	105	70	120	105	75
	25			$\sigma_b 450$ $\sigma_s 275$	195	160	115	230	175	135	125	115	75	135	120	80
	35			$\sigma_b 530$ $\sigma_s 315$	210	180	125	250	200	150	135	120	80	145	120	85
	45		调 质	$\sigma_b 550 \sim 750$ $\sigma_s 320 \sim 370$	210	185	130	250	205	155	135	125	85	145	120	85
				$\sigma_b 600$ $\sigma_s 355$	230	200	145	270	220	170	150	135	90	160	140	95
				$\sigma_b 630 \sim 800$ $\sigma_s 370 \sim 430$	250	215	150	300	235	180	160	150	100	175	150	100
50	≤ 25	正 火	$\sigma_b 630$ $\sigma_s 375$	250	215	150	300	235	180	160	150	100	175	150	100	
	≤ 100	调 质	$\sigma_b > 700$ $\sigma_s > 400$	265	235	165	310	260	195	170	155	105	180	160	110	

注：1. 本表数值不应直接作为“许用应力”采用，应根据构件不同情况取表值并引入相应的 K_1 、 K_2 、 K_3 折减系数以求得所需的“许用应力”值。

2. 本表选自 HG/T 22812—1998《化工矿山非标设备设计规范》。机架设计中一般只用到第 I 类或第 II 类载荷。 K_1 可取表 19-2-14 中稍高的 K 值； K_2 可取较高的折减系数。

表 19-2-16

碳钢铸件基本许用应力

MPa

材料标号	截面尺寸 /mm	热处理	材料性能 抗拉强度 σ_b 屈服强度 σ_s /MPa	拉 压			弯 曲			扭 转			剪 切		
				I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
				σ_{Ijp}	σ_{IIjp}	σ_{IIIjp}	σ_{Ijp}	σ_{IIjp}	σ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}
ZG200-400	100	正火及回火	σ_b 400 σ_s 200	135	120	90	160	135	105	90	80	60	95	85	60
ZG230-450			σ_b 450 σ_s 230	155	140	100	185	155	120	100	85	65	110	90	65
ZG270-500			σ_b 500 σ_s 270	175	160	115	210	175	135	115	100	75	120	105	75
ZG310-570			σ_b 570 σ_s 310	190	170	125	230	190	145	125	105	80	130	110	80
ZG340-640			σ_b 640 σ_s 340	200	180	130	240	205	155	130	115	87	140	120	87

注：见表 19-2-15 注 1、2。

表 19-2-17

灰铸铁基本许用应力

MPa

材料标号	壁厚 /mm	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	中 心 拉 压					弯 曲			扭 剪		
				压		拉		拉-压	弯 曲			扭 剪		
				I	II	I	II	III	I	II	III	I	II	III
				σ_{Ijp}	σ_{IIjp}	σ_{Ijp}	σ_{IIjp}	σ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}	τ_{Ijp}	τ_{IIjp}	τ_{IIIjp}
HT-150	>2.5-10	500-700	175	140	80	50	28	20	50	30	23	45	24	18
	>10-20		145	140	80	41	24	17	41	25	19	37	20	15
	>20-30		130	140	80	37	21	15	37	22	17	33	18	13
	>30-50		120	140	80	34	19	14	34	21	15	31	17	12
HT-200	>2.5-10	600-800	220	170	100	63	36	25	63	38	28	57	31	23
	>10-20		195	170	100	56	32	22	56	33	25	50	27	20
	>20-30		170	170	100	49	28	19	49	29	22	44	24	17
	>30-50		160	170	100	46	26	18	46	27	21	41	22	16
HT-250	>4.0-10	800-1000	270	230	130	77	44	31	77	46	35	69	37	28
	>10-20		240	230	130	69	39	27	69	41	31	62	33	25
	>20-30		220	230	130	63	36	25	63	38	28	57	31	23
	>30-50		200	230	130	57	32	23	57	34	26	51	28	21
HT-300	>10-20	1000-1200	290	285	160	83	47	33	83	50	37	75	40	30
	>20-30		250	285	160	71	41	29	71	43	32	64	35	26
	>30-50		230	285	160	66	37	26	66	39	30	59	32	24
HT-350	>10-20	1100-1300	340	315	180	97	55	39	97	58	44	87	47	35
	>20-30		290	315	180	83	47	33	83	50	37	75	40	30
	>30-50		260	315	180	74	42	30	74	44	33	67	36	27

注：见表 19-2-15 注 1、2。

3.2 起重机钢架的安全系数和许用应力

起重机钢架是用表 19-2-2 的各种组合载荷分别用不同的许用应力进行计算的。各组合的安全系数和许用应力见表 19-2-18。

表 19-2-18

起重机钢架的安全系数和许用应力

载荷组合类别	安全系数	拉伸、压缩 弯曲许用应力	剪切许用应力	端面承压许用应力 [磨平顶紧]
组合 I	$n_I = 1.5$	$\sigma_{IP} = \frac{\sigma_s}{1.5}$	$\tau_{IP} = \frac{\sigma_{IP}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{edIP} = 1.5\sigma_{IP}$
组合 II	$n_{II} = 1.33$	$\sigma_{IIP} = \frac{\sigma_s}{1.33}$	$\tau_{IIP} = \frac{\sigma_{IIP}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{edIIP} = 1.5\sigma_{IIP}$
组合 III	$n_{III} = 1.15$	$\sigma_{IIIP} = \frac{\sigma_s}{1.15}$	$\tau_{IIIP} = \frac{\sigma_{IIIP}}{\sqrt{3}}$	$\sigma_{edIIIP} = 1.5\sigma_{IIIP}$

注：如采用沸腾钢，对型钢厚度大于 15mm 和钢板厚度大于 20mm 的许用应力应乘以 0.95 予以降低。

3.3 铆焊连接基本许用应力

表 19-2-19 为铆焊连接的基本许用应力。结构承受移动载荷或振动载荷及其他载荷产生变化内力时，还应与表 19-2-20 的折减系数 K_r 相乘以折减其许用应力。注意，本手册用于非标准设计较广，所以许用应力比一般规范要低。

表 19-2-19

铆焊连接的基本许用应力

MPa

铆 或 焊	应力种类	结 构 钢		
		Q195、Q215	Q235	
铆钉(冲孔)	剪 切	100	100	
	挤 压	240	280	
铆钉(钻孔)	剪 切	140	140	
	挤 压	280	320	
铆钉	钉头拉断	90	90	
焊 缝	应力种类	薄涂焊条 手工焊接	厚涂焊条及熔剂下自动焊	
			结构钢 Q195、Q215	结构钢 Q235
	压 力	110	125	145
	拉 力	100	110	130
	剪 切	80	100	110

表 19-2-20

铆焊连接许用应力折减系数 K_r 值

铆 接	变 号 应 力		同 号 应 力	
	Q195、Q215、Q235、Q255	Q275		
	按式(19-2-13)	按式(19-2-14)	—	
焊 接	对 接 焊		填 角 焊	
	变号应力	同号应力	变号应力	同号应力
	按式(19-2-13)	1	按式(19-2-14)	0.85

$$K_r = \frac{1}{1 - 0.3 \frac{N_{\min}}{N_{\max}}} \quad (19-2-13)$$

$$K_r = \frac{1}{1.2 - 0.8 \frac{N_{\min}}{N_{\max}}} \quad (19-2-14)$$

式中， N_{\min} 、 N_{\max} 为载荷在被连接杆件中产生的最小及最大内力，代入式中计算，应加上作用力本身的正负号。

4 机架结构的简化方法

机架结构计算的内容涉及三个方面：把实际机架抽象为力学模型；对力学模型进行力学分析和计算；把力学分析和计算结果用于机架的结构设计。

4.1 选取力学模型的原则

选定机架结构的力学模型时，一方面要反映结构的工作情况，使计算结果与实际情况足够接近；同时也要略去次要的细节，使计算工作得以简化。

实际机架结构往往比较复杂，各部分之间存在着多种多样的联系。如何对各种联系进行合理的简化，是确定结构力学模型的一个主要问题。为此需要分析联系性质，并找出决定联系性质的主要因素。决定联系性质的主要因素是结构各部分刚度的比值，即结构各部分的相对刚度。

力学模型的选择，受到多种因素的影响。虽有一般规律可以遵循，但在运用时要注意灵活性。影响力学模型的主要因素如下。

- ① 结构的重要性 对重要的结构应采用比较精确的力学模型。
- ② 设计阶段 在初步设计阶段可使用粗糙的力学模型，在技术设计阶段再使用比较精确的力学模型。
- ③ 计算问题的性质 一般说来，对结构作静力计算时，可使用比较复杂的力学模型；对结构作动力计算和稳定计算时，由于问题比较复杂，要使用比较简单的力学模型。
- ④ 计算工具 使用的计算工具愈先进，采用的力学模型就可以愈精确。计算机的应用使许多复杂的力学模型得以采用。

此外，还应注意，从实际结构得出合理的力学模型，这只是一个方面。另一方面，在选定力学模型之后，还应采取适当的构造措施，使所设计的结构体现出力学模型的要求。

4.2 支座的简化

计算中选用的支座简图必须与支座的实际构造和变形特点相符合。支座通常可简化为活动铰支座、固定铰支座、固定端支座三种。有时需精确计算而简化为弹性支座。弹性支座所提供的反力与结构支承端相应的位移成正比。

在对实际支座进行简化时，有的支座构造特征明显，很容易简化，例如图 19-2-6 所示的车辆常用的叠板弹簧的左支座 A 和右支座 B 就分别是活动铰支座和固定铰支座。有的并不明显。因为铰支座的计算比较方便，因此，对于非标准设计的机架，在满足下列条件下都可按活动铰支座或固定铰支座计算：

- ① 该支座简化为铰支座后，结构仍是稳定的；
- ② 该支座简化为铰支座后，结构杆件内的应力仍在许用应力范围之内。

一般地基上部的基础是结构的支座。如以不在一条直线上的三个和三个以上的螺钉牢固安装在基础上，且支架座有足够的刚度时，视为固定端支座。例如本章 5.2 节中的图 19-2-25、图 19-2-26 为固定端支座。除此两图外，本章 5.1、5.2 节各种支座图皆可作为铰支座而使计算工作量大为简化。对于插入混凝土的钢支柱，当插入基础深度是柱宽边宽度 1.5 倍以上，且不小于 500mm 时，可作为固定支座。否则仍可作为铰支座。除了是悬臂的支柱支座无法简化为铰支座外，为简化计算也可以简化为铰支座（铰支点一般以插入长度的 1/2 处计算）。

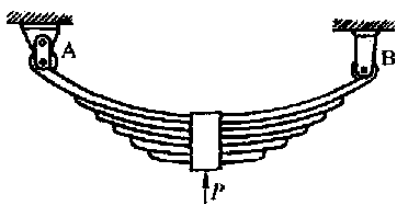


图 19-2-6

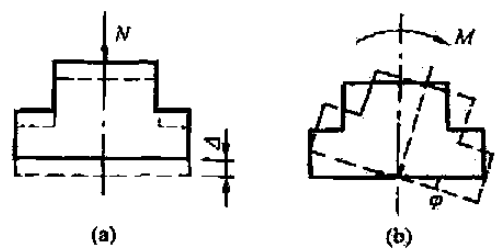


图 19-2-7

有的支座构造特征很不明显，需要具体分析支座处构件和基础的相对变形或刚度。有时，支座的计算简图决定于基础的构造。当地基土壤比较坚实，其变形可以忽略时，地基上部的支座中心即支点。当地基土壤较软，变形比较显著时，可以把基础简化为弹性支座（如图 19-2-7）。

例如一根受均布荷载 q 的连续梁，各支点都固结时（这是比较难实现的），按两端固定梁计算，最大内弯矩发生在支点处，为 $M = ql^2/12$ （ l 为两支点间跨度）；按各支点为铰结的连续梁来计算，最大内弯矩也发生在支点处，为 $M = ql^2/10$ 。应力相差约 20%。

4.3 结点的简化

计算中选用的结点简图要考虑结点的实际构造，通常将结点简化为铰结点和刚结点两种。

对实际结点进行简化时，一般都把用铆接连接钢构件的结点（图 19-2-8）和连接木构件的结点简化为铰结点。至于焊接结点和螺栓连接的结点，就需按连接的具体方式进行简化，一般，把无加劲肋的焊接结点（图 19-2-9）简化为铰结点，把有加劲肋的焊接结点（图 19-2-10）简化为刚结点；把沿构件截面局部位置用螺栓连接的结点（图 19-2-11）简化为铰结点，此时螺栓主要起定位作用；把沿构件整体截面用螺栓连接的结点（图 19-2-12）简化为刚结点，此时螺栓起刚性固结作用，但计算中为方便起见，也常简化为铰结点，这样，梁的内力加大了。

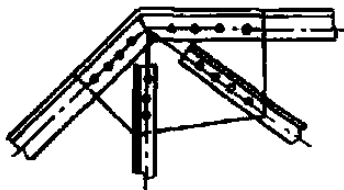


图 19-2-8

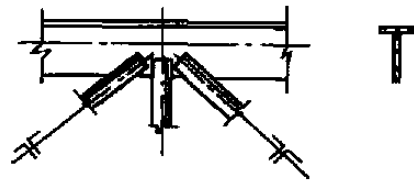


图 19-2-9

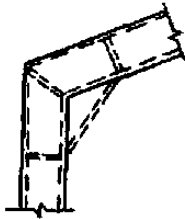


图 19-2-10

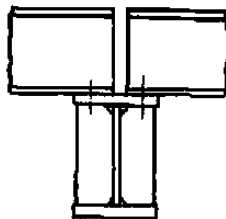


图 19-2-11

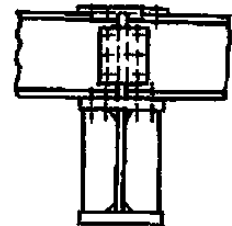


图 19-2-12

总之，结点简图是根据结点的受力状态而确定的。影响结点受力状态的因素主要有两个：一个是结点的构造情况；另一个是结构的几何组成情况。凡是由于结点构造上的原因，或者由于几何组成上的原因，在结点处各杆的杆端弯矩较小而可以忽略时，都可以简化成铰结点。

4.4 构件的简化

杆件的截面尺寸（宽度、厚度）通常比杆件长度小得多，截面上的应力可根据截面的内力（弯矩、轴力、剪力）来确定。因此，在计算简图中，杆件用其轴线表示，杆件之间的连接区用结点表示，杆长用结点间的距离表示，而荷载的作用点也转移到轴线上。以上是构件简化的一般原则。下面再说明几个具体问题。

(1) 以直杆代替微弯或微折的杆件

图 19-2-13a 所示为一门式刚架。因为杆件是变截面的，梁截面形心的连线不是直线，柱截面形心的连线不是竖直线。为了简化，在计算简图（图 19-2-13b）中，横梁的轴线采用从横梁顶部截面形心引出的平行于上皮的直线，柱的轴线采用从柱底截面形心引出的竖直线。

还需指出，按以上计算简图算出的内力是计算简图轴线上的内力。因为计算简图的轴线并不是各截面形心的连线，因此在选择截面尺寸时，应将算得的内力转化为截面形心轴处的内力。例如在图 19-2-13c 中，某截面求得的内力为 M 和 N 。因为计算简图的轴线与截面形心有偏心距 e 。故截面形心处的内力为 $M' = M - Ne$ 和 N 。

(2) 以实体杆件代替格构式杆件

在比较复杂的结构中，常以实体的杆件代替格构式杆件，使计算简化。此时，杆件横截面的面积和惯性矩，

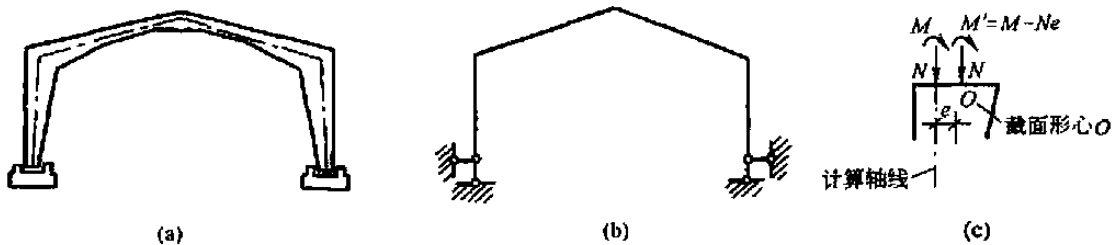


图 19-2-13

应以相应长度上的当量值来代替：

$$\text{当量截面积 } A = \frac{l}{\sum_{i=1}^n (l_i/A_i)} \tag{19-2-15}$$

$$\text{当量惯性矩 } I = \frac{\sum_{i=1}^n I_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \tag{19-2-16}$$

- 式中 n —— 格构式杆中肢杆个数；
- l_i —— 第 i 个肢杆的长度；
- A_i —— 第 i 个肢杆的截面积；
- I_i —— 第 i 个肢杆的截面惯性矩；
- l —— 格构或杆长度。

(3) 杆件刚度的简化

结构中某一构件与其他构件相比，如果它的刚度大很多，则可把它的刚度设为无限大；反之，如果它的刚度小很多，则可把它的刚度设为零。采用这种假设，可使计算得到简化。

图 19-2-14a 为矿山工程中常遇到的有贮仓的框架结构。由于贮仓的刚度很大，计算刚架时，可以假设它的刚度为无限大（图 19-2-14b）。计算简图如图 19-2-14c 所示。横梁 CD 的 $EI = \infty$ ， A 、 B 、 C 和 D 点的转角为零。

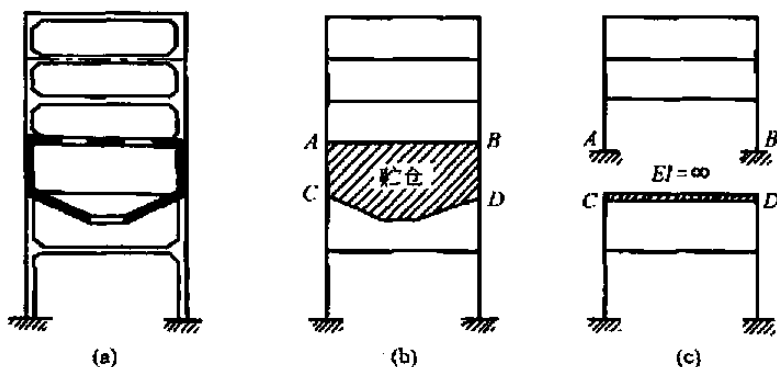


图 19-2-14

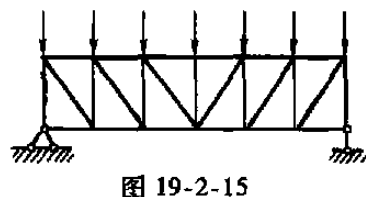


图 19-2-15

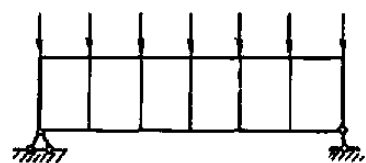


图 19-2-16

4.5 简化综述及举例

确定结点简图时，除要考虑结点的构造情况外，还要考虑结构的几何组成情况。例如图 19-2-15 所示结构，结点可取为铰结点，按桁架计算；图 19-2-16 所示结构，结点却必须取为刚结点，按刚架计算，否则为几何可变体系。

桁架和刚架的基本区别是：桁架的所有结点虽然都是铰结点，但由于杆件布置方面的原因，仍能维持几何不变；刚架则不同，如果所有结点都改成铰结点，固定支座都改成铰支座，则不能维持几何不变。即桁架的几何不变性依赖于杆件的布置，而不依靠结点的刚性；而刚架的几何不变性则依靠结点的刚性。工程中的钢桁架和钢筋混凝土桁架，虽然从结点构造上看接近于刚结点，但其受力状态与一般刚架不同，轴力是主要的，而弯曲内力是次要的，因此计算时可把它简化为铰结点。

桁架即使具有刚结点，但按铰结体系计算所求得的内力仍是主要内力。所以在一般情况下，桁架按铰结体系计算是可以满足设计要求的。另一方面，这里也指出了次内力的存在及其产生的来源。

下面是汽车车身简化计算的具体方法见图 19-2-17。

(1) 非承载式车身

承载载荷只作用在车架平面上，其余各构件不作为垂直载荷的受力件，载荷由地板传到车架的纵梁及横梁，纵、横梁均简化为简支梁。乘客重量与一部分车身（顶与侧壁）重量成为集中于横梁两端的载荷。由于横梁刚度比立柱大得多，立柱引起的弯矩可以不计，立柱与横梁连接点可认为是铰接点。

按静载荷计算，安全系数取 3-4。由于未计算车身骨架的承载能力，实际应力比计算应力小，安全系数可取下限。

(2) 半承载式车身

车身自重和乘客重量由横梁传到桁架各结点，根据平衡条件算出悬架的反作用力，对于桁架（图 19-2-17b）可直接计算各杆件内力；对于刚架（图 19-2-17c、d）可将其作为超静定刚架计算。刚性侧板也作为简支梁计算。

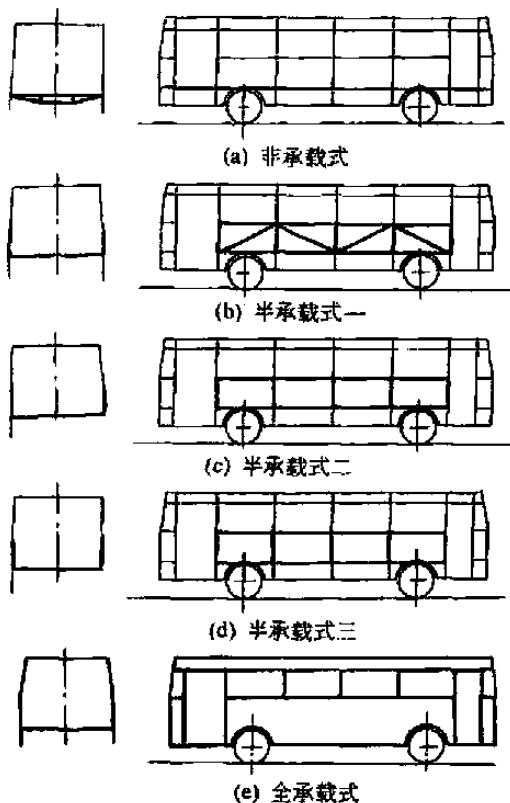


图 19-2-17 汽车的承载系统

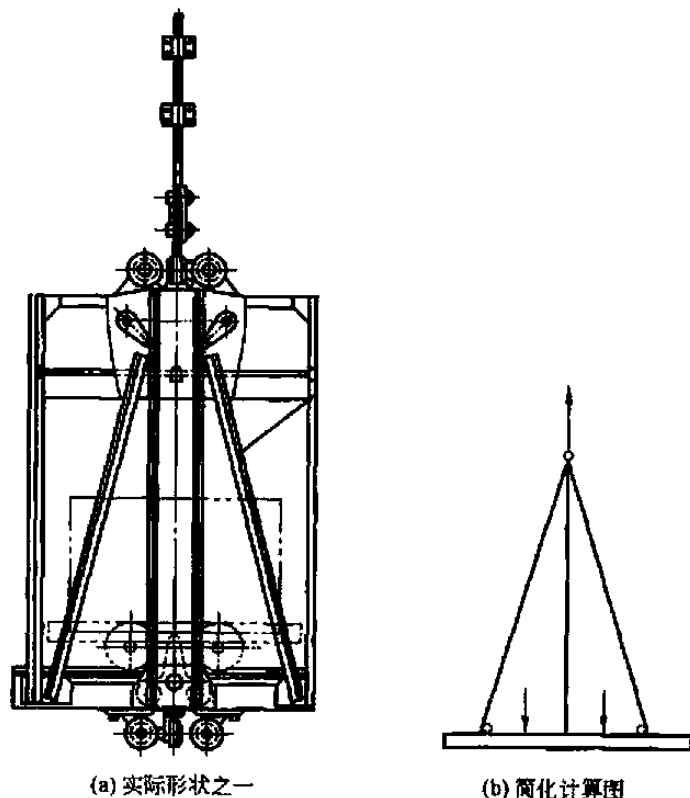


图 19-2-18 矿山提升罐笼

(3) 承载式车身

将车身作为空心简支梁，支点为悬架支点，先计算出悬架的支承反作用力，并作出弯矩和剪力计算，然后按预定的杆件断面计算出中轴位置和惯性矩。

又如图 19-2-18a 为矿山提升罐笼中最简单的一种实际形状。笼体的计算可分成两片架子，每片架子承受矿车车轴的一半压力，以铰结来简化杆件的计算，如图 b 所示。甚至，中间的竖杆与底盘的连接亦可用铰来代替。这样只要求出竖杆和斜杆内的拉力或压力就可以了。应力是增加了许多，但是偏向安全。

5 杆系结构的支座形式

5.1 用于梁和刚架的支座

图 19-2-19 是几种轻型铰支座，其中平板或圆弧板可使结构绕支座微小转动，并沿水平方向微小移动；图 19-2-20 和图 19-2-21 分别是几种重型铰支座和重型辊轴支座，它们都有较大的支承面以传递大的载荷，又有较完善的可转动和可移动的机构；图 19-2-22 是专门用于连续梁非端部的支座，虽然仍是活动铰支座。

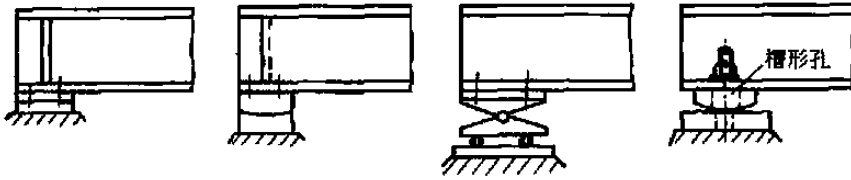


图 19-2-19

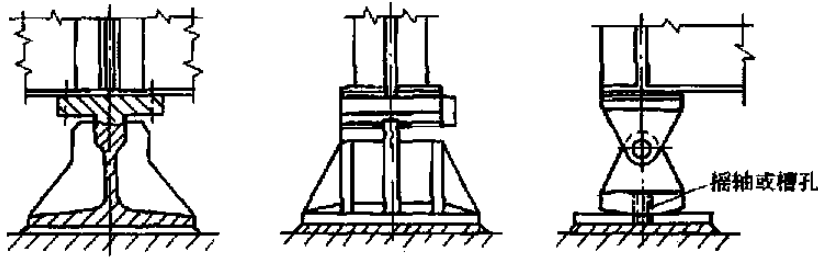


图 19-2-20

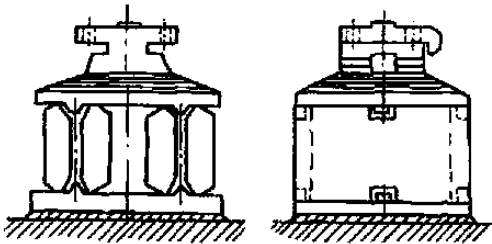


图 19-2-21

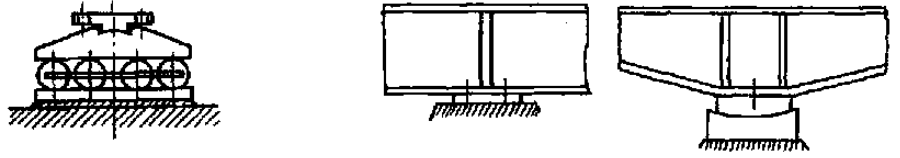


图 19-2-22

实际的支座结构要复杂得多，图 19-2-23 为大型挖掘机单梁动臂支持于回转平台的连接图。

动臂 2 的支腿不是直接与回转平台相连，而是将其叉子插在球面轴承 3 上，轴承 3 用销轴 4 装在平台支腿 1 的铰销孔中。动臂在回转过程中承受的惯性扭矩及其他载荷传到支腿上，此时振动则由缓冲装置来吸收，使动臂支腿可以绕球铰向上及向前稍微移动。

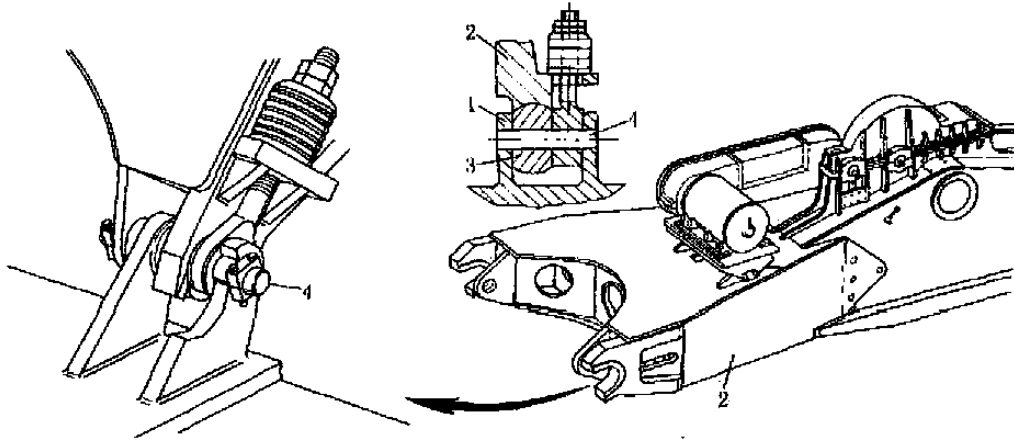


图 19-2-23 大型挖掘机单梁动臂支持于回转平台的连接

1—支腿；2—动臂；3—球面轴承；4—销轴

5.2 用于柱和刚架的支座

图 19-2-24 是几种固定铰支座，其中图 a 是轻型的，柱的压力由焊缝传给底板，再由底板传给基础；图 b-d 是重型的，在柱端与底板之间增设靴梁、肋板和隔板等中间传力零件，以增加柱与底板之间的焊缝长度，并将底板分隔成几个区格，使底板所受弯矩减小；图 19-2-25 和图 19-2-26 分别是整体式和分离式固定端支座，其中整体式用于实腹柱和柱肢间距小于 1.5m 的格构柱。为了保证柱端与基础之间形成刚性连接，锚栓应固定在刚度较大的零件上。

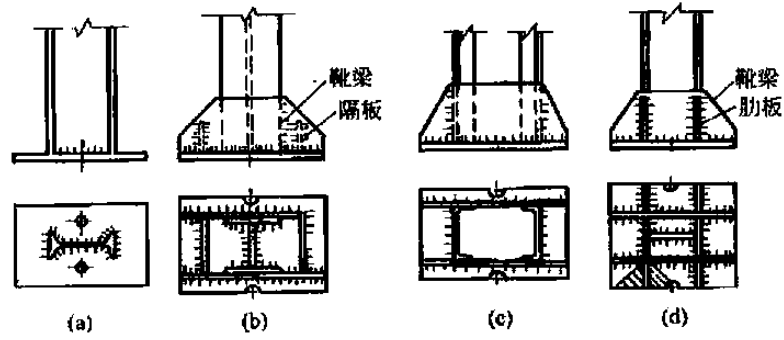


图 19-2-24

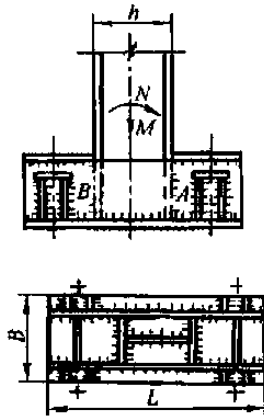


图 19-2-25

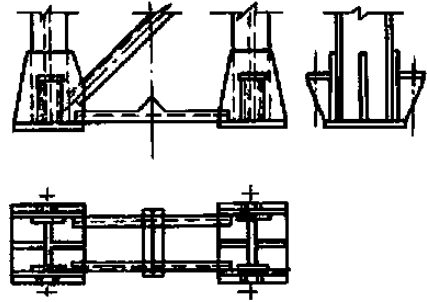
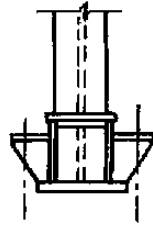


图 19-2-26

5.3 用于桁架的支座

图 19-2-27 是平板式固定铰支座，适宜于跨度小于 20m、支承于砖石墙和未加钢筋的柱或基础上的桁架；图 19-2-28 是弧形面活动铰支座，适宜于跨度小于 40m（支承条件同上）的桁架；图 19-2-29 是辊轴式活动铰支座，适宜于跨度大于 40m（支承条件同上）的桁架；图 19-2-30 是走轮式活动铰支座，适宜于多跨桁架。

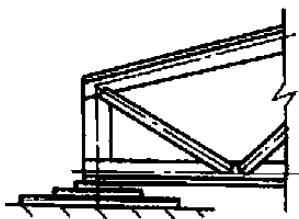


图 19-2-27

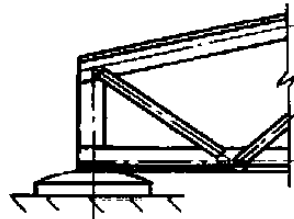


图 19-2-28

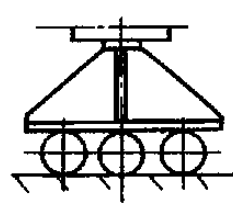


图 19-2-29

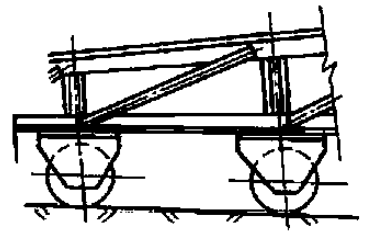


图 19-2-30

6 技术要求

- ① 材质应符合国家标准的规定。根据需要情况进行复验、补项检验，包括强度试验、化学成分检验等。
- ② 型材尺寸与偏差应符合国家标准。不得有裂纹、分层、重皮、夹渣等缺陷，麻条或划痕深度不得大于钢材厚度负公差的一半，且不得大于 0.5mm，并有出厂合格证书与标号说明。
- ③ 各连接件、焊条、焊丝、焊剂应按被焊材料选定，并符合国家标准。
- ④ 钢架焊接零件的下料加工尺寸应根据要求确定，对一般钢桁架的下料尺寸，极限偏差不得大于 2mm。在焊接、组装、涂漆前必须清除表面的油污、飞溅、毛刺、铁锈等污物。切口必须整齐，缺棱不得大于 1mm。
- ⑤ 热处理要求，例如对铸铁机架的时效处理；铸钢机架的热处理，一般有正火加回火，退火，高温扩散退

火, 补焊后回火等。

⑥ 工艺技术要求, 如加工误差要求, 铸件的圆角要求, 焊缝的形式等。

⑦ 涂漆前的表面处理要求, 一般用工具或喷砂或加除锈剂将表面处理干净, 再涂漆。涂漆的次数和厚度为: 一般为底漆两遍、面漆两遍, 漆膜的总厚度为 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ (室内)、 $125 \sim 175 \mu\text{m}$ (室外)。大型桁架在现场涂漆时, 要在出厂前涂一遍底漆, 厚度不小于 $25 \mu\text{m}$ 。油漆的材料要注明。涂漆前要对油漆进行抽样检查。涂后不得有漆液流痕、皱褶等。

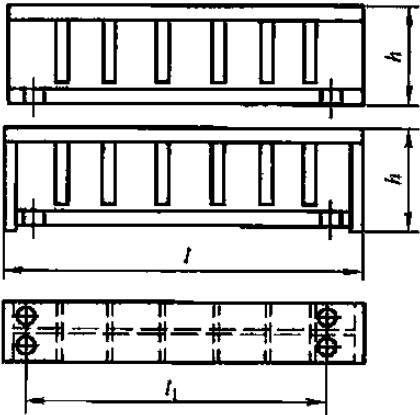

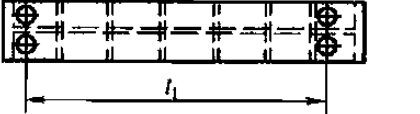
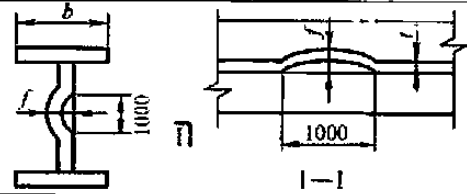
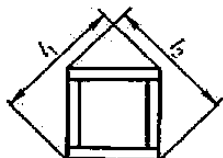
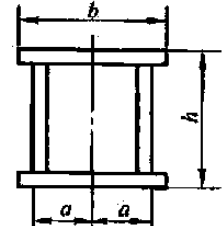
⑧ 完工后要进行检查和验收。并且施工验收文件应齐全, 包括钢材、连接件 (或焊接材料)、油漆等的合格证明与检验报告, 焊工及无损检验人员的资料复印件, 焊缝的检验报告, 施工记录, 设计文件及修改文件等。

钢结构制造尺寸的极限偏差, 如无特殊要求可按机械零件的各种规定执行, 或按 GB 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》的附录中的钢结构各种制作组装的尺寸、外形尺寸的允许偏差选取, 这里仅举二例, 见表 19-2-21、表 19-2-22。

表 19-2-21

焊接实腹钢梁外形尺寸的允许偏差

mm

项	目	允许偏差	检验方法	图 例
梁长度 l	端部有凸缘 支座板	0 -5.0	用钢尺检查	
	其他形式	$\pm 1/2500$ ± 10.0		
端部高度 h	$h \leq 2000$	± 2.0		
	$h > 2000$	± 3.0		
拱度	设计要求起拱	$\pm 1/5000$	用拉线和 钢尺检查	
	设计未要求起拱	10.0 -5.0		
侧弯矢高		$l/2000$, 且 不应大于 10.0	用拉线吊线 和钢尺检查	
扭曲		$h/250$, 且 不应大于 10.0		
腹板局部 平面度 f	$l \leq 14$	5.0	用 1m 直尺 和塞尺检查	
	$l > 14$	4.0		
翼缘板对腹板的垂直度		$b/100$, 且不应大于 3.0	用直角尺和 钢尺检查	
吊车梁上翼缘与 轨道接触面平面度		1.0	用 200mm、1m 直尺和塞尺检查	
箱型截面对角线 l_1 与 l_2 之差		5.0	用钢尺检查	
箱型截面两腹 板至翼缘板 中心线距离 a	连接处	1.0		
	其他处	1.5		

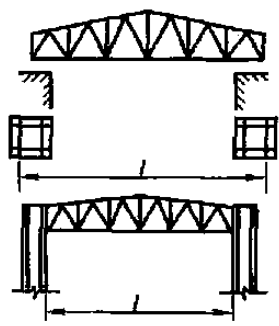
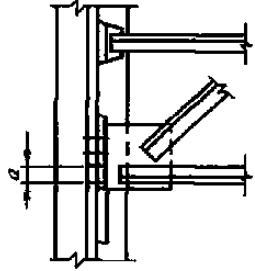
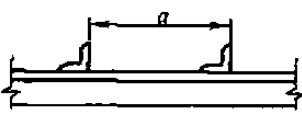
续表

项 目	允许偏差	检验方法	图 例
梁端板的平面度 (只允许凹进)	$h/500$, 且不应大于 2.0	用直角尺和 钢尺检查	
梁端板与腹板的 垂直度	$h/500$, 且不应大于 2.0	用直角尺和 钢尺检查	

表 19-2-22

钢桁架外形尺寸的允许偏差

mm

项 目	允许偏差	检验方法	图 例	
桁架最外端两个孔或 两端支承面最外侧距离	$l \leq 24\text{m}$	+3.0 -7.0		
	$l > 24\text{m}$	+5.0 -10.0		
桁架跨中高度	± 10.0	用钢尺检查		
桁架跨中拱度	设计要求起拱			$\pm l/5000$
	设计未要求起拱			10.0 -5.0
相邻节间弦杆弯曲(受压除外)	$L/1000$			
支承面到第一个安装孔距离 a	± 1.0	用钢尺检查		
檩条连接支座间距 a	± 5.0			

第 3 章 梁的设计与计算

机架结构的主要构件是梁。桁架可看作是一个组合的梁。立式塔梁也可看作是一个直立的悬臂梁。

1 梁的设计

1.1 纵梁的结构设计

1.1.1 纵梁的结构

纵梁形状一般中部断面较大，两端较小，与所受的弯矩大体适应。不用大型压制设备时，也可采用等断面纵梁。对于大断面的梁，可用钢板焊接、铆接或螺钉连接。图 19-3-1 为汽车纵梁的外形和断面图。有时，将纵梁前端适当下弯以简化横梁的设计，或将下翼缘局部加宽以增加横梁的紧固件数。在汽车的多品种系列化生产中，为了适应轴距与汽车总重的变化，常使各种槽形纵梁的变断面部分和等断面部分的内高保持不变，而只改变其等断面部分的长度。改用不同强度的材料，采用加强板（图 19-3-1b）改变板厚或翼缘宽度，以便横梁可以通用。

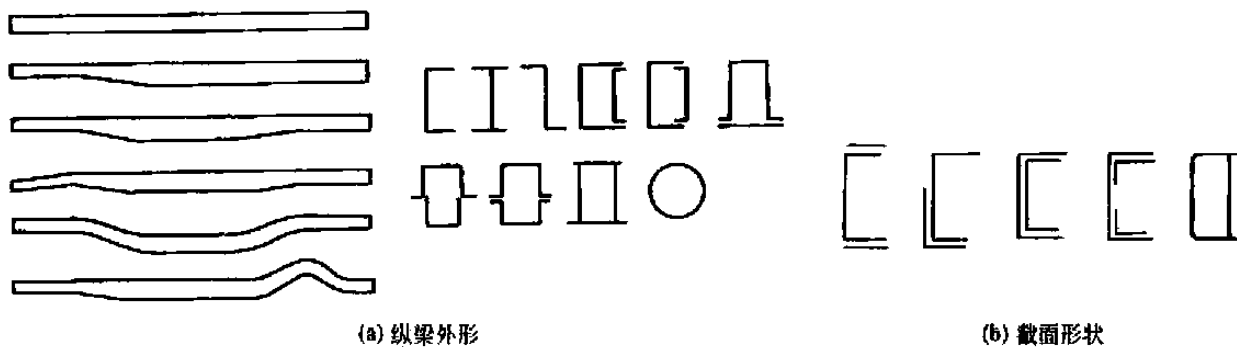


图 19-3-1 汽车纵梁

图 19-3-2 和图 19-3-3 为起重机主梁的断面形状。其中图 19-3-2a~f 为手动梁式起重机常用的主梁截面型式简图；图 g~k 为电动单梁起重机主梁截面型式简图；图 l、m 为电动葫芦双梁起重机主梁常用的截面型式。图 19-3-3 为桥式起重机桥架主梁的截面基本形式。

对于焊接的梁，通常还有如图 19-3-4 所示的外形及图 19-3-5 所示的截面形状。在图 19-3-5 中，m 为日本生产的起重机主梁截面形状；n 为天津起重设备厂生产的电动葫芦双梁起重机主梁截面形状。

对于大型梁，可以采用拼接、焊接或铆接。为了拆装运输方便，也可以采用螺栓连接。此时，大多数采用变截面梁。但端部的高度不宜小于 0.5 倍梁高。变截面长度约为全长的 1/6。梁的连接见图 19-3-6a~f，但必须保证焊接工艺，使拼接的截面与没有拼接的截面能承受同样大小的外力。板梁为对接拼接时，腹板和翼缘板焊缝可相互错开约 $S = 200\text{mm}$ ，以免使焊缝过于密集，见图 19-3-6b。或在腹板上开间隔圆弧，见图 19-3-6b、c。

其他设备的梁截面形状见本章 1.5 节。

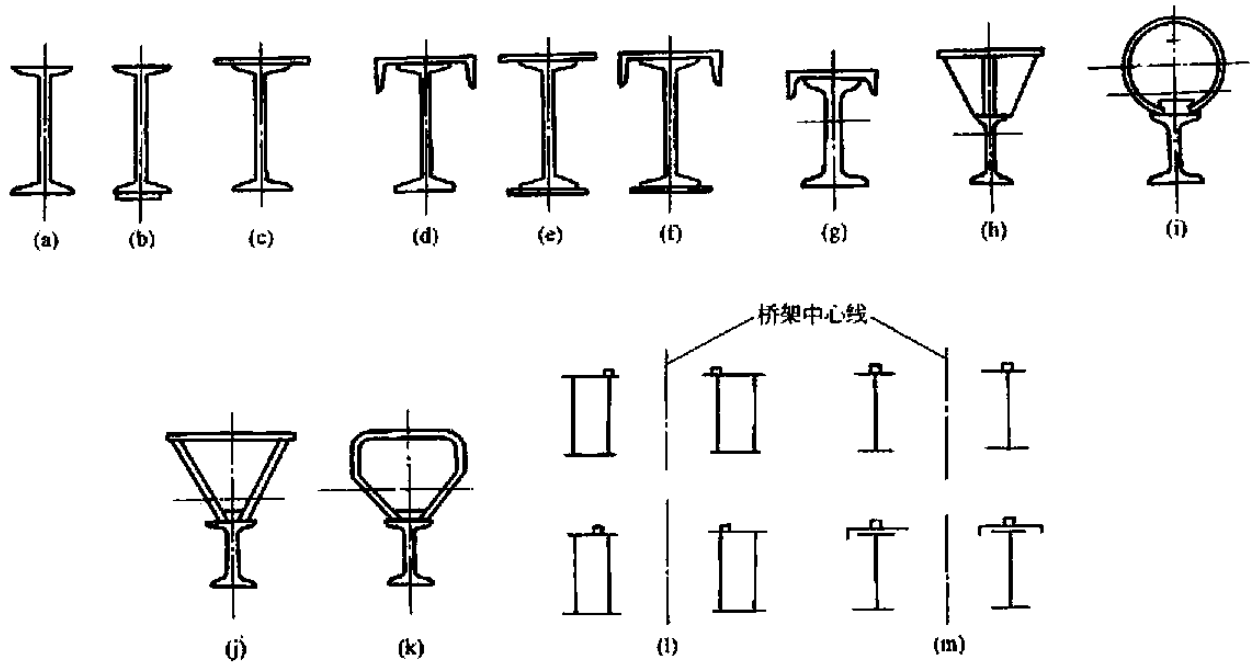


图 19-3-2 起重机主梁断面形状 (之一)

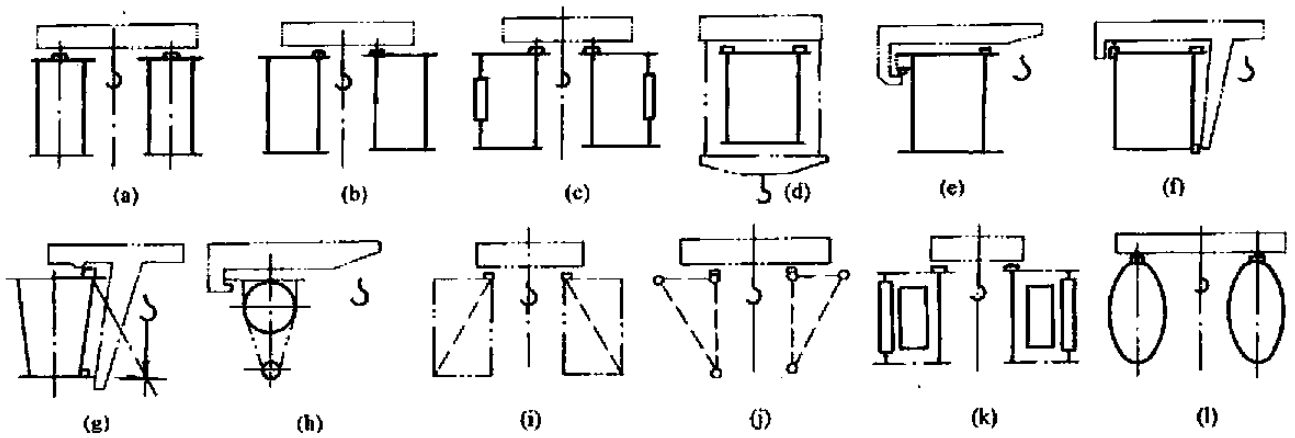


图 19-3-3 起重机主梁断面形状 (之二)

(a) 正轨箱形双梁; (b) 偏轨箱形双梁; (c) 偏轨空腹箱形; (d) 正轨单主梁箱形; (e) - (g) 偏轨单主梁箱形; (h) 管形单主梁; (i) 四桁架结构; (j) 三角形截面桁架结构; (k) 空腹副桁架结构; (l) 椭圆管双梁结构

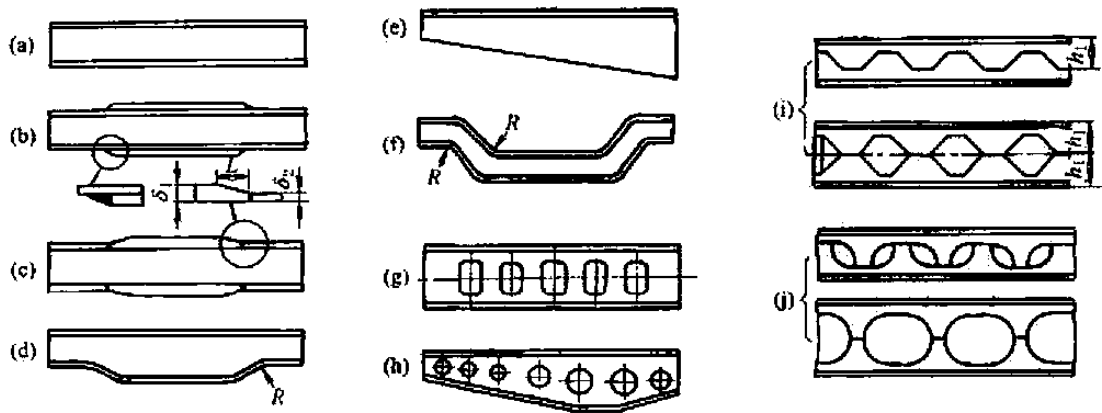


图 19-3-4 焊接梁的外形

(a) 等断面梁; (b) 多翼缘梁; (c) 不等厚翼缘对接梁; (d) 角腹梁; (e) 悬臂梁; (f) 曲形梁; (g) 等高空腹梁; (h) 不等高空腹梁; (i), (j) 锯齿梁

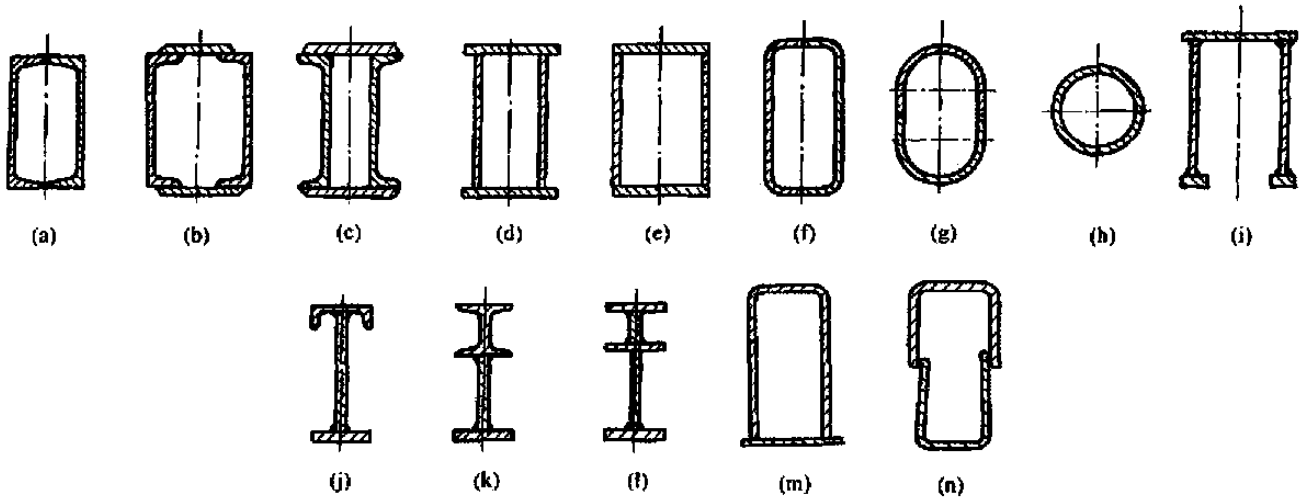


图 19-3-5 焊接梁的截面形状

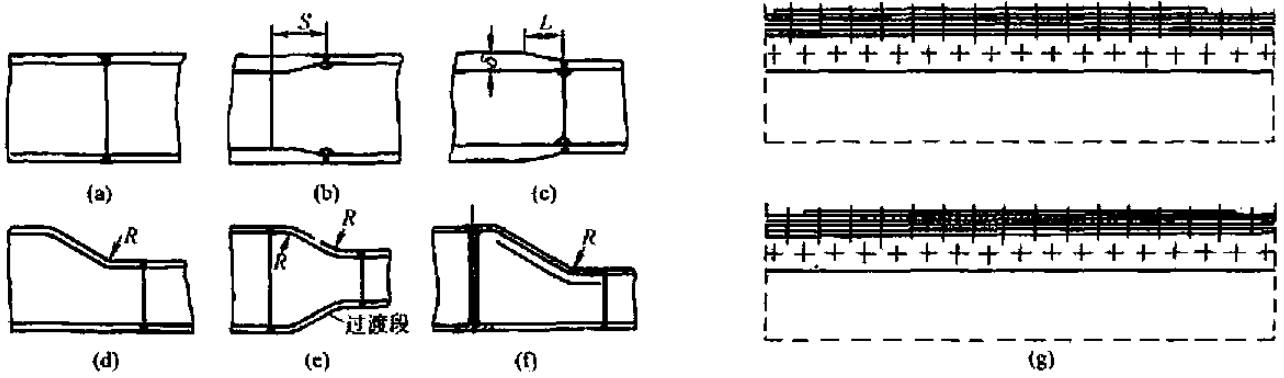


图 19-3-6 梁的连接

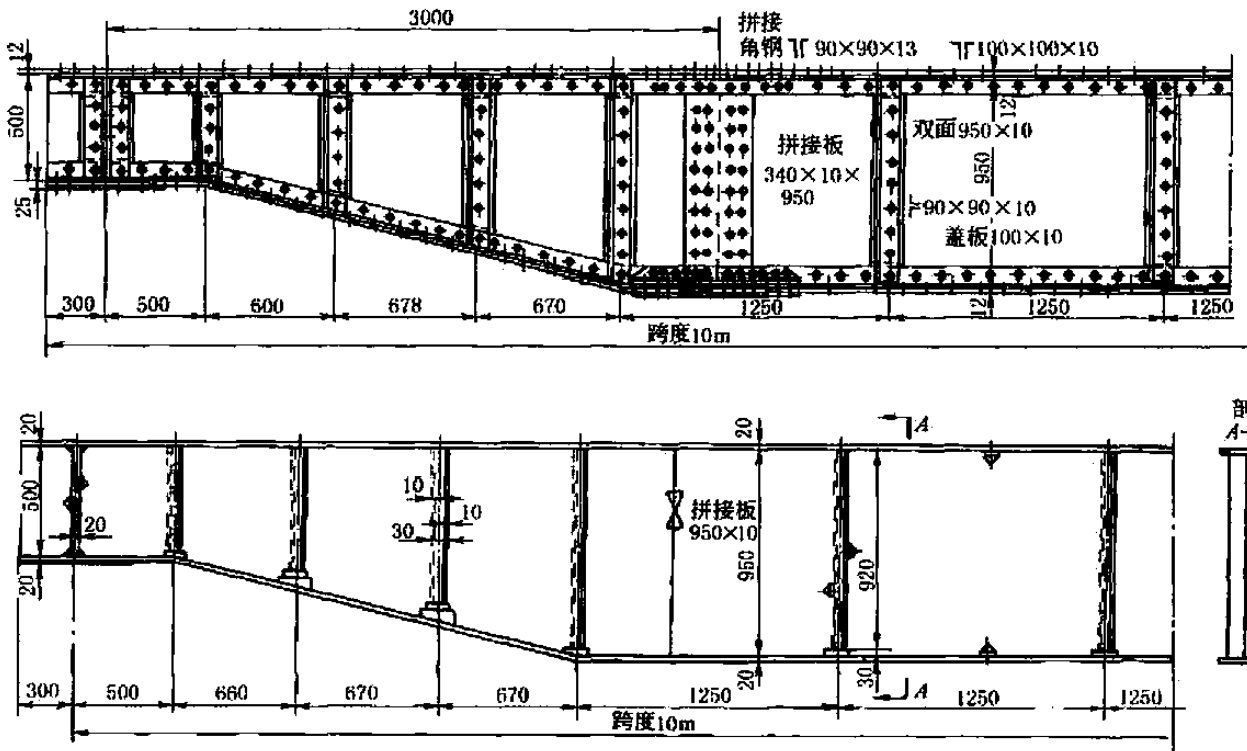


图 19-3-7 变截面板式梁局部详图

对于不同高度的梁的对接, 应有一过渡段, 焊缝应尽量不在拐角部位 (图 19-3-6d ~ f)。图 19-3-6g 为翼缘板的阶梯形焊接拼接形式。图 19-3-7 绘出了变截面板式梁的局部详图。

图 19-3-8 为铆接板梁的拼接形式。对于铆接梁, 简支梁的经济高度为 $(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{15})L$ (L 为跨度), 常用值为 $(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12})L$ 。连续梁可用较小的腹板高度, 最低可达 $\frac{1}{25}L$ 。

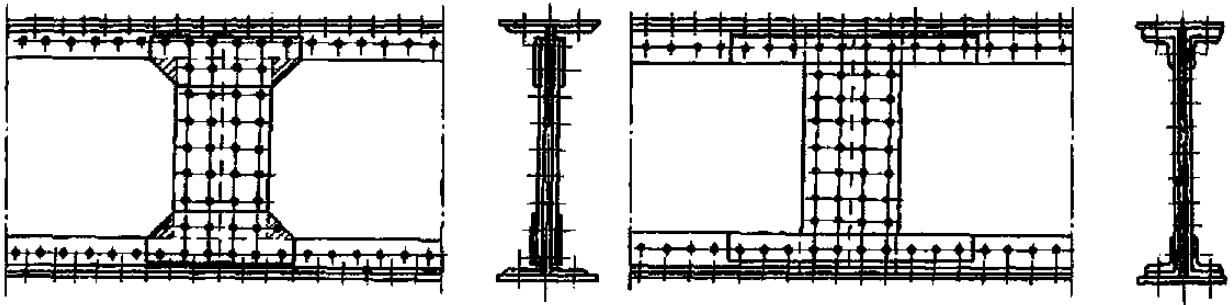


图 19-3-8

1.1.2 梁的连接

(1) 节点设计原则 (对立柱也适用)

- ① 节点受力明确, 减少应力集中, 避免材料三向受力;
- ② 节点连接设计应采用等强度或强连接弱构件的原则, 不致因连接弱而使结构破坏;
- ③ 节点构造一定要简化, 以便于制造及安装时容易就位和调整;
- ④ 构件的拼接一般采用与构件等强度或比等强度更高的设计原则;
- ⑤ 要考虑到节点的设计是铰接连接节点还是刚性连接节点或半刚性连接节点;
- ⑥ 节点应尽可能布置在应力较小的地方。

(2) 连接节点的拼接或连接方法

对于常用的工字形、H 形和箱形截面的梁和柱, 通常下列几种连接方法都可采用:

- ① 翼缘和腹板都采用完全焊透的坡口对接焊缝连接;
- ② 翼缘采用完全焊透的坡口对接焊缝连接, 而腹板采用角焊缝连接或摩擦型高强度螺栓连接;
- ③ 翼缘和腹板都采用摩擦型高强度螺栓连接或都采用角焊缝连接。

(3) 主梁的截面尺寸

对于通用桥式起重机, 主梁的截面尺寸一般按以下要求选取, 设计其他机架时可以参考。

主梁高度 h $h = (1/14 \sim 1/18)L$ 。

腹板间距 b $b = (1/50 \sim 1/60)L; h/b \leq 3$, 以便于进行焊接。

盖板宽度 B 用手工焊时 $B = b + 2(10 + \delta)$ (mm);

用自动焊时 $B = b + 2(20 + \delta)$ (mm)。

为考虑锈蚀和控制波浪度, 主梁腹板厚度一般取为 $\delta \geq 6\text{mm}$ 。

设计中常取: 当 $Q = 5 \sim 63\text{t}$ 时, $\delta \geq 6\text{mm}$;

当 $Q = 80 \sim 100\text{t}$ 时, $\delta \geq 8\text{mm}$;

当 $Q = 125 \sim 200\text{t}$ 时, $\delta \geq 10\text{mm}$;

当 $Q = 250\text{t}$ 时, $\delta \geq 12\text{mm}$ 。

主梁受压盖板宽度 b 和厚度 δ 之比宜取为: $b/\delta \leq 60$ 。

梁与柱的连接可参看第 4 章 2.3 节。

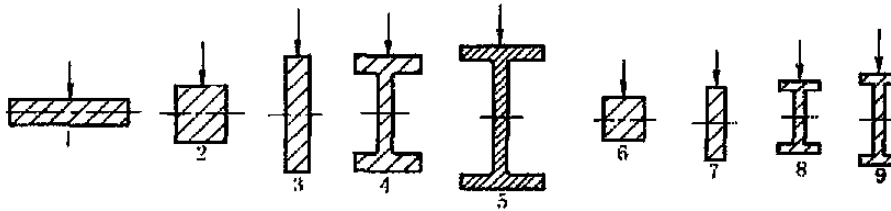
1.1.3 梁截面的有关数据

表 19-3-1 为非圆形截面形状的强度、刚度与质量的对比。

表 19-3-2 为几种不同截面形状的惯性矩比较。

表 19-3-1

非圆形截面的强度、刚度与质量对比



$F(G) = \text{常数}$				$W = \text{常数}$			
图号	G	W	I	图号	G	W	I
1	1	1	1	6	0.6	1	1.7
2	1	2.2	6	7	0.33	1	3
3	1	6	25	8	0.2	1	3
4	1	9	40	9	0.12	1	3.5
5	1	12	70				

注： F —截面积； G —单位长度重量； W —截面模数； I —截面惯性矩。

表 19-3-2

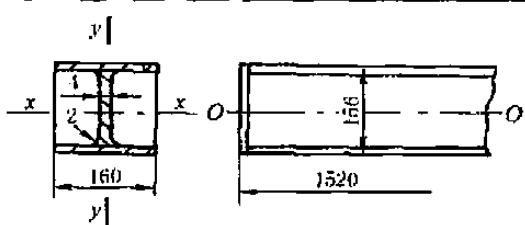
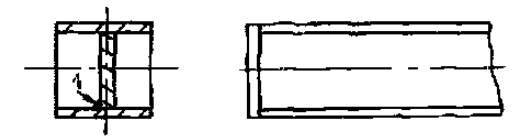
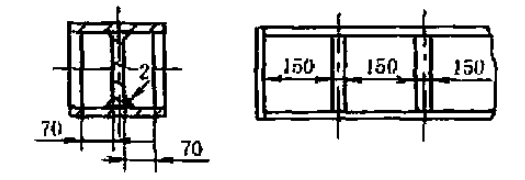
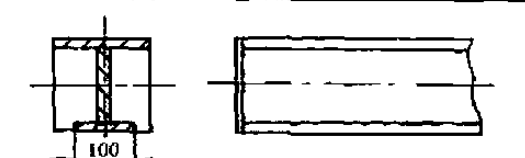
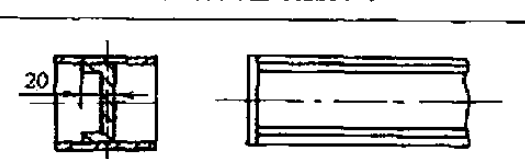
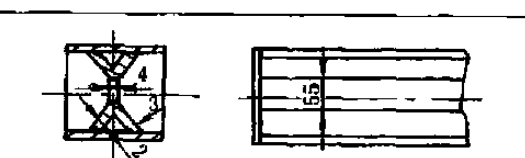
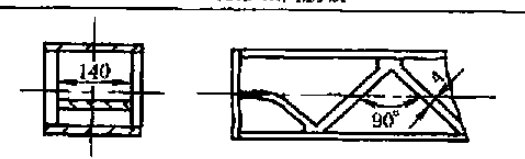
几种不同截面形状的惯性矩比较

序号	截面形状	抗弯惯性矩 (相对值)	抗扭惯性矩 (相对值)	序号	截面形状	抗弯惯性矩 (相对值)	抗扭惯性矩 (相对值)
1		1	1	5		1.04	0.88
2		3.03	2.88	6		4.13	0.43
3		5.04	5.37	7		2.45	1.27
4			0.07	8		7.35	0.82

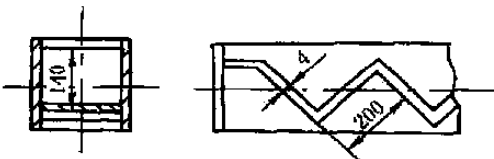
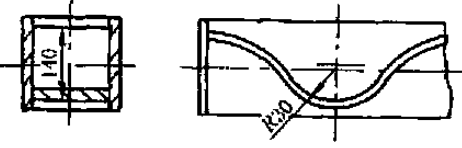
表 19-3-3 为各种开式断面的梁类构件的刚度比较表。还可以参看第 7 章第 1.3 节“布肋形式对刚度影响”的表格。

表 19-3-3

各种开式断面的梁类构件的刚度比较

序号	结构简图	抗弯刚度 (相对值)		抗扭刚度 (相对值)	弯曲振动固有频率 /Hz		扭振固有 频率/Hz
		绕 xx	绕 yy	绕 OO	xx	yy	OO
1	 <p>纵向肋板与外壁单侧焊接</p>	1	1	1	195	135	50.5
2	 <p>纵向肋板与外壁双侧焊接</p>	1.14	1	1.6	209	135	54.5
3	 <p>同 2, 另加 9 条横向肋板</p>	1.14	1	1.6	190	128	53.5
4	 <p>相对两外壁的宽度不等</p>	0.94		1	196		50.5
5	 <p>Π形纵向肋板</p>	1.12	1.03	1.75	194	132.5	58
6	 <p>X形纵向肋板</p>	1.12	1.22	11.6	187	137.6	129.5
7	 <p>Z形肋板(垂直)</p>	0.5	1.03	22.3	118	134	183

续表

序号	结构简图	抗弯刚度 (相对值)		抗扭刚度 (相对值)	弯曲振动固有频率 /Hz		扭振固有 频率/Hz
		绕 <i>xx</i>	绕 <i>yy</i>	绕 <i>OO</i>	<i>xx</i>	<i>yy</i>	<i>OO</i>
8	 Z形肋板(水平)	0.97	1.16	2.9	181	134.5	70
9	 波形肋板(水平)	0.92	1.12	3.7	178	136	78.5

1.2 主梁的上拱高度

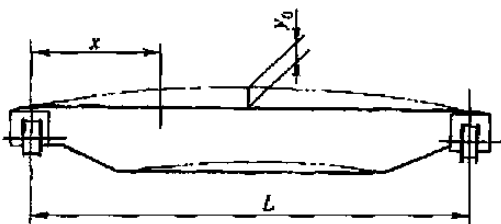


图 19-3-9

对于大型机架,例如起重机主梁,在起重机运行机构组装完成后,必须在主梁跨中有一上拱度 y_0 , $y_0 = (0.9 \sim 1.4)L/1000$,且最大拱度应控制在跨度中部的 $1/10L$ 范围内(见图 19-3-9)。上拱曲线按式(19-3-1)计算。

$$y = \frac{4y_0(L-x)x}{L^2} \quad (19-3-1)$$

考虑桥架自重(主梁、走台等)及组装焊接的变形,常取的

腹板下料的上拱度为: $Q = 5 \sim 63t$ 时, $y_0 = \frac{L}{250} \sim \frac{L}{450}$; $Q = 80 \sim 100t$ 时, $y_0 = \frac{L}{500} \sim \frac{L}{550}$,对于起重量大,跨度小者取小值。轨道按多支承超静定连续梁计算。

1.3 端梁的结构设计

当机架有两个纵梁时,需要用横梁或端梁将两个纵梁连在一起,构成一个完整的框架,以限制其变形,降低其应力或为总成提供悬置点。例如双梁桥式起重机的桥架由两根主梁和位于跨度两边的各一根端梁组成。图 19-3-10 为几种汽车的横梁断面和连接形式,可供参考。其中最后一个图无扭转刚度较大的箱形纵梁与管形横梁相焊接的形式。选定横梁时应注意其特点:直的或弯度不大的槽形断面梁,沿腹板方向弯曲刚度较大,且较易冲压成型。直的或大弯度帽形断面梁可用矩形坯料直接压制,连接宽度较大。当空间受到限制时,采用厚板可得到较大的弯曲刚度。封闭断面梁、X形梁、K形梁的扭转刚度很大,对限制车架扭转变形作用较好。

纵横梁连接(节点)处,一般应力较高,应注意横梁连接方式的选择。当横梁同纵梁翼缘连接时,可以提高纵梁的扭转刚度,但当车架扭转时纵梁应力往往较大。一般车架两端的横梁多用这种连接方式。横梁同纵梁腹板相连时则相反。腹板翼缘综合连接则兼有两者的特征。后两种连接方式适应性强。

横梁与纵梁连接时多用铆接。螺栓连接装配不便,且较易松动。采用电弧焊接或点焊时,可以减少纵横梁的孔数。采用塞焊,则较易实现装配自动化。

起重机的端梁截面则常为箱形。其高度 h_0 根据主梁的高度 h 选取,常为 $h_0 = (0.4 \sim 0.6)h$,其宽度 $b_0 = (0.5 \sim 0.8)h_0$,见图 19-3-11。端梁常用压弯成型的钢板焊成的箱形梁或型钢焊成的组合断面梁。与汽车机架不

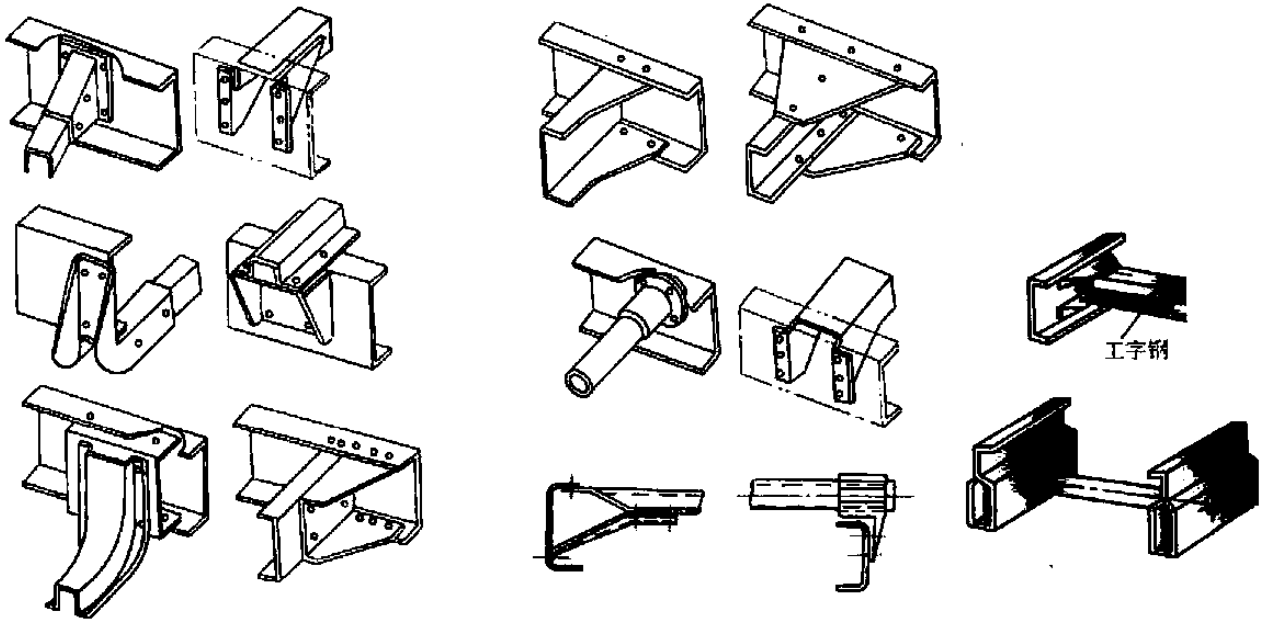


图 19-3-10 汽车横梁断面和连接形式

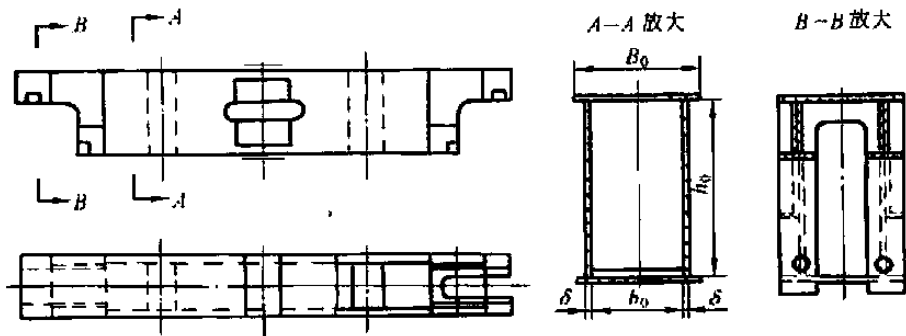


图 19-3-11 起重机端梁箱形截面

同，为便于运输和存放，常将主梁与端梁的连接做成螺栓连接，也可做成焊接结构，见图 19-3-12。梁与梁的 T 形连接形式见图 19-3-13。在第 4 章中还将谈及梁和柱或梁和梁的连接（主要是螺栓连接），可参阅。

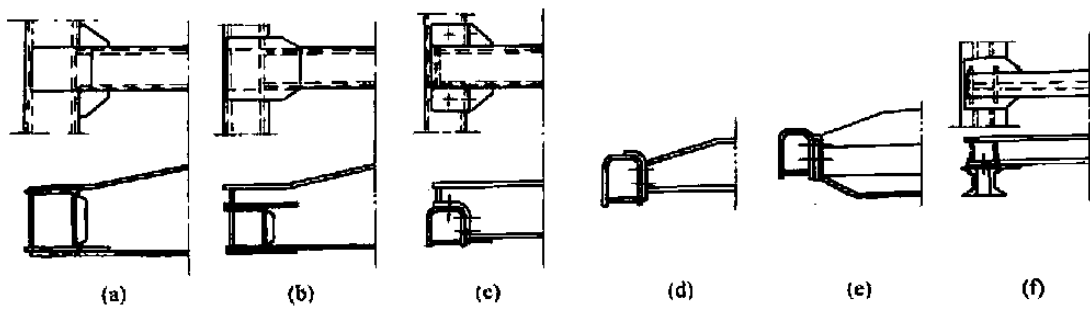


图 19-3-12 电动单梁起重机主梁与端梁的连接形式
(a)、(b) 焊接；(c) - (f) 螺栓连接

1.4 梁的整体稳定性

① 梁的支座处，应采取构造措施以防止梁端截面的扭转。

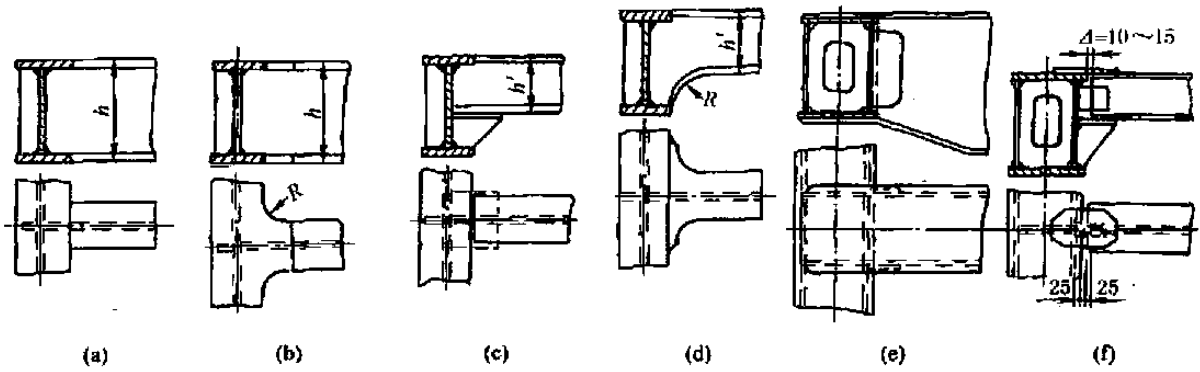


图 19-3-13 梁与梁的 T 形连接

② 一般机架结构的梁是组合形式的，并有铺板密铺在梁的受压翼缘上并与其牢固相连，能阻止梁受压翼缘的侧向位移，所以不必计算梁的整体稳定性。

③ 在 1.1 节中已推荐了梁的结构尺寸与跨度的关系，符合该要求时一般可保证梁的稳定性。

④ 对于用钢板焊接的箱形截面的简支梁，如图 19-3-14 所示，其截面尺寸满足如下要求时，可不计算整体稳定性：

$$h/b_0 < 6, L/b_0 < 95 \quad (L\text{—梁的跨度})$$

上式是对 Q235 钢的，对其他钢材，95 应改为 $95 \times 235/\sigma_s$ 。（ σ_s —该钢材的名义屈服点）。

⑤ 对两端简支的工字形截面结构件尺寸满足如下要求（表 19-3-4）时，可不计算整体稳定性（《起重机设计规范》）。

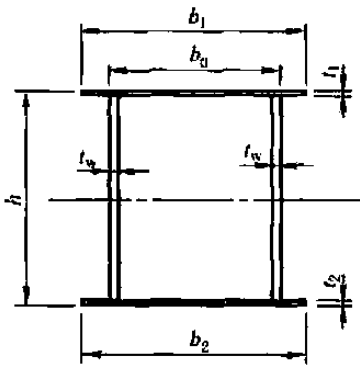


图 19-3-14

表 19-3-4 两端简支的工字形截面结构件不需要验算侧向屈曲稳定性的最大 l/b 值

h/b	$h/\delta_b = 100$			$h/\delta_b = 30$		
	载荷作用在上翼缘板	载荷作用在下翼缘板	跨内有侧向支承点, 不论载荷作用在何处	载荷作用在上翼缘板	载荷作用在下翼缘板	跨内有侧向支承点, 不论载荷作用在何处
2	16/13	25/21	19/16	17/14	26/22	20/17
4	15/12	23/19	17/14	16/13	24/20	18/15
6	13/11	21/17	16/13	15/12	22/18	17/14

注：1. 表中符号意义为：

h —结构件全高；

l —受压翼缘的自由长度，对跨中无侧向支承点的结构件，即为其跨度；对跨中有侧向支承点的结构件，为受压翼缘侧向支承点间距；

b —结构件受压翼缘的宽度；

δ_b —结构件受压翼缘的厚度。

2. 分子数值是对 Q235 钢的，分母数值是对 16Mn 钢的，对其他钢材，上述分子数值应乘以 $\sqrt{235/\sigma_s}$ 。

⑥ 在不符合上述④、⑤两条时要进行梁的稳定性计算。

梁上受有倾斜载荷或偏心载荷时，应力（包括横向力和扭矩）应合成计算，并考虑受压部件的许用应力相应降低。

由于非标准机架的许用应力定得较低，允许挠度又很小，在一般情况下不会出现整体不稳定的问题。在实际使用中， l/b 往往远大于表 19-3-4 所列数值。

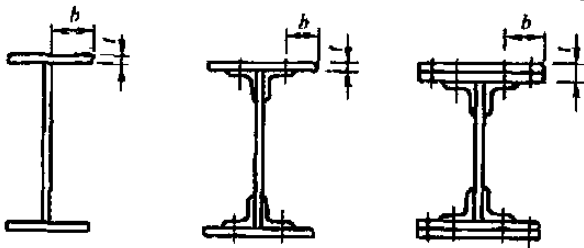
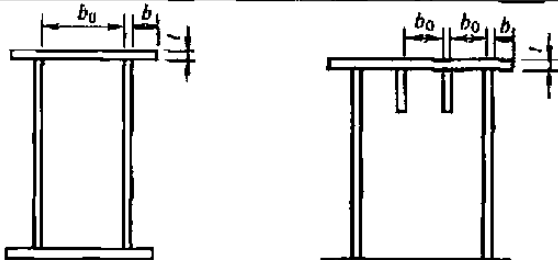
1.5 梁的局部稳定性

按强度计算，梁的腹板可取得很薄，以节约金属和减轻结构重量。但梁易失稳，常用肋板提高其局部稳定性。组合工字梁的翼缘受压时也可能失稳，因而规定其翼缘的伸出长度。表 19-3-5 为工字梁及箱形梁受压翼缘宽厚比的规定值。

受弯构件腹板配置加强肋板的规定见表 19-3-6；加强肋布置见图 19-3-15；肋板的横截面形状与配置见图 19-3-16。对于表 19-3-6 中 1 项有局部压应力的梁及其他各项无局部压应力的梁，其配肋尺寸的一般原则如下。

- ① $0.5h_0 \leq a \leq 2h_0$ ，且 $a \leq 3m_0$ 。
- ② 短加肋板 $a_1 > 0.75h_1$ 。
- ③ 肋板宽度 $b \geq \frac{h_0}{30} + 40\text{mm}$ ，且不得超过翼缘宽度（应离翼缘 5~10mm）。

表 19-3-5 受压翼缘的宽厚比

截 面 形 式	规 定 值
	$\frac{b}{t} \leq \begin{cases} 15 & (\text{Q235}) \\ 12.4 & (16\text{Mn}, 16\text{Mnq 钢}) \\ 11.6 & (15\text{MnV}, 15\text{MnVq 钢}) \\ 15 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}} & (\text{其他钢号}) \end{cases}$
	$\frac{b_0}{t} \leq \begin{cases} 40 & (\text{Q235}) \\ 33 & (16\text{Mn}, 16\text{Mnq 钢}) \\ 31 & (15\text{MnV}, 15\text{MnVq 钢}) \\ 40 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}} & (\text{其他钢号}) \end{cases}$

注：表中 σ_s 为钢的屈服点。对 Q235 钢，取 $\sigma_s = 235\text{N/mm}^2$ ；对 16Mn、16Mnq 钢，取 $\sigma_s = 345\text{N/mm}^2$ ；对 15MnV、15MnVq 钢，取 $\sigma_s = 390\text{N/mm}^2$ 。

表 19-3-6 受弯构件腹板配置加强肋板的规定

项 次	配置规定	备 注
1. $\frac{h_0}{t_w} \leq 80 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$ 时	可不配置加强肋，但对有局部压应力的梁应配加强肋	加强肋间距按计算确定 h_0 ——腹板的计算高度，按图 19-3-15 采用 t_w ——腹板的厚度 σ_s ——钢材的屈服点， N/mm^2
2. $80 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}} < \frac{h_0}{t_w} \leq 170 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$ 时	应配置横向加强肋	
3. $\frac{h_0}{t_w} > 170 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$ 时	应配置： (1) 横向加强肋 (2) 受压区的纵向加强肋 (3) 必要时尚应在受压区配置短加强肋	
4. 支座处和上翼缘受有较大固定集中荷载处，宜设置支承加强肋		

④ 肋板的厚度 $t_w \geq \frac{1}{15}b$ ，但不得超过腹板厚度。

⑤ 梁需加纵向肋板时， h_1 值宜为 $\frac{h_0}{4} \sim \frac{h_0}{5}$ 。纵向肋板应连续，长度不足时应预先接长，并保证对接焊缝。

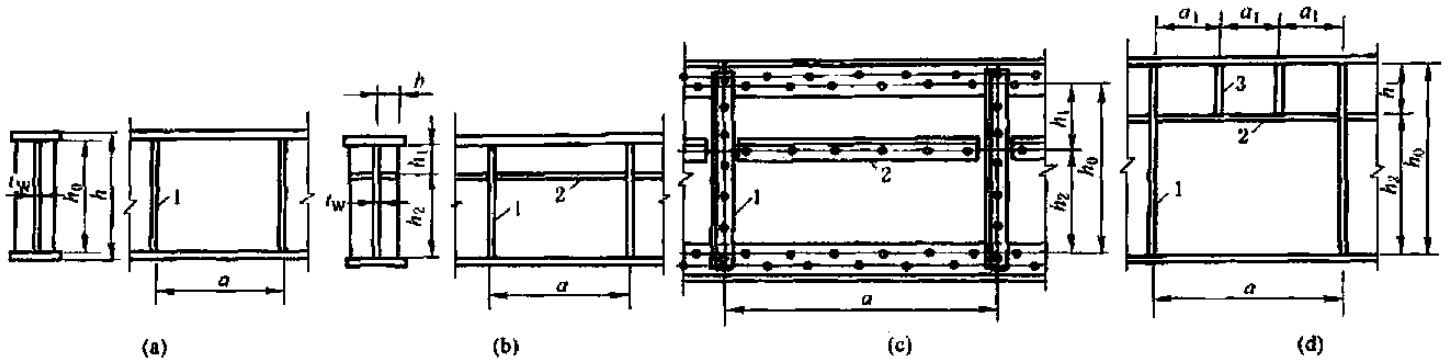


图 19-3-15 加强肋布置

1—横向加强肋；2—纵向加强肋；3—短加强肋

⑥ 连接肋板的焊缝宜用小焊脚的连续角焊缝，对于只承受静载荷或动载荷不大的梁，可用断续焊缝。

⑦ 为了易于装配和避免焊缝汇交于一点，通常在肋板上切去一个角（图 19-3-16），角边高度约为焊脚高度的 2~3 倍。图中 C—C 剖面所示的短肋板，其端部易产生裂纹，动载梁不宜采用，应设计成通高的长肋板（见 B—B 剖面）。肋板与受拉翼缘连接的角焊缝会降低疲劳强度，对重要的动载梁可用 A—A 剖面的结构，即肋板下部放垫板并与之焊接，垫板与受拉翼缘不焊，或焊缝平行于内力。

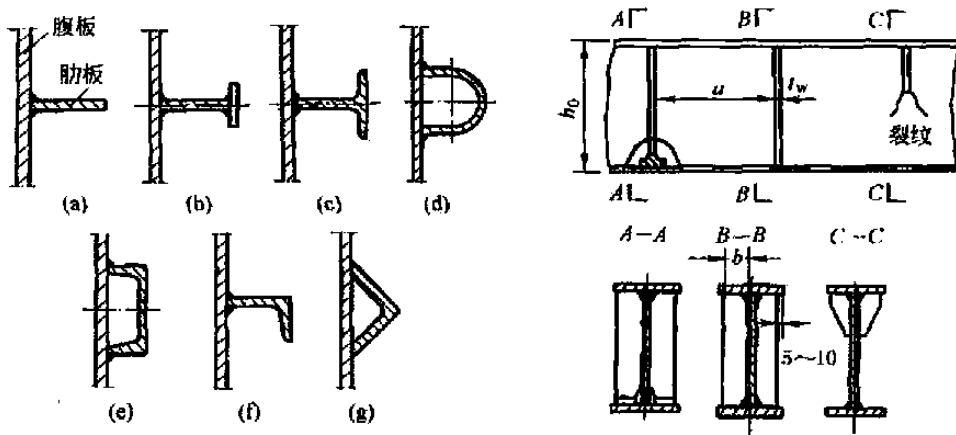


图 19-3-16 肋板的横截面形状与配置

⑧ 对于局部受压的梁，受压处的加强肋板必须有足够的厚度或要计算使其有足够的强度和稳定性。

1.6 举例

1) 图 19-3-17 为大型挖掘机的单梁动臂。

由于动臂承载较大，为加强其强度和刚度，采用了整体箱形焊接结构。材料为高强度合金钢板，并经淬

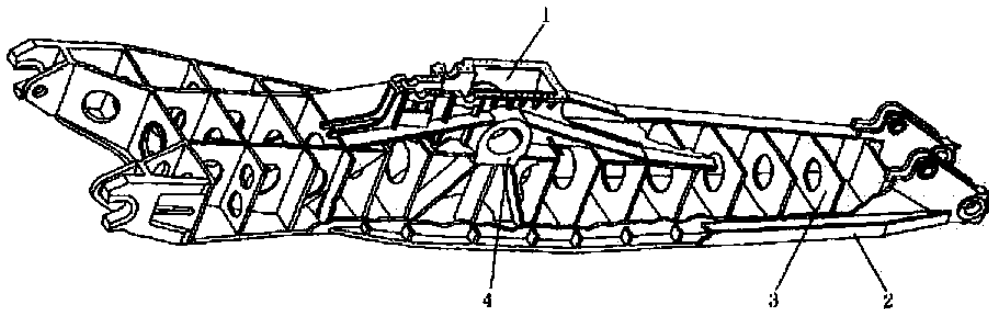


图 19-3-17 挖掘机单梁动臂

1—推压减速机下箱体；2—侧面耐磨箱；3—横向隔板；4—推压轴轴承座

火、回火处理。图示为带增强板的单梁动臂臂体。该结构呈鱼腹式，动臂根部有两个宽斜支腿。在动臂内部全长范围内，为加强其空间强度，焊有许多隔板，把动臂分隔成若干个小箱形结构，使动臂整体坚固，可承受较大的弯曲力。为减轻动臂质量，各隔板中部都挖掉一部分。为加强动臂外缘的刚度和强度，在动臂底部两侧分别焊有高强度合金钢板隔成的许多小箱体，犹如人体的脊椎，使动臂沿纵向有较高的强度，同时，也使动臂上部与下部质量协调。另外，在动臂两侧设有耐磨箱，以防斗杆沿两侧运动时动臂受损。

2) 图 19-3-18 为国产 WK-4 型挖掘机动臂。臂体 1 是一根由钢板焊成的箱形结构件，其后端焊有支腿 2，通过 2 与挖掘机回转平台铰接。因支腿两铰销孔之间距离较短，为平衡因工作装置回转而引起的惯性力，在臂体与回转平台之间还设置有两根拉杆 4。动臂前端安装有端部滑轮 6，旁侧有绳轮 8，动臂中部装有推压机构和开斗底机构。为防止工作时铲斗和斗杆与动臂直接相撞，动臂下部还敷有缓冲木 10。

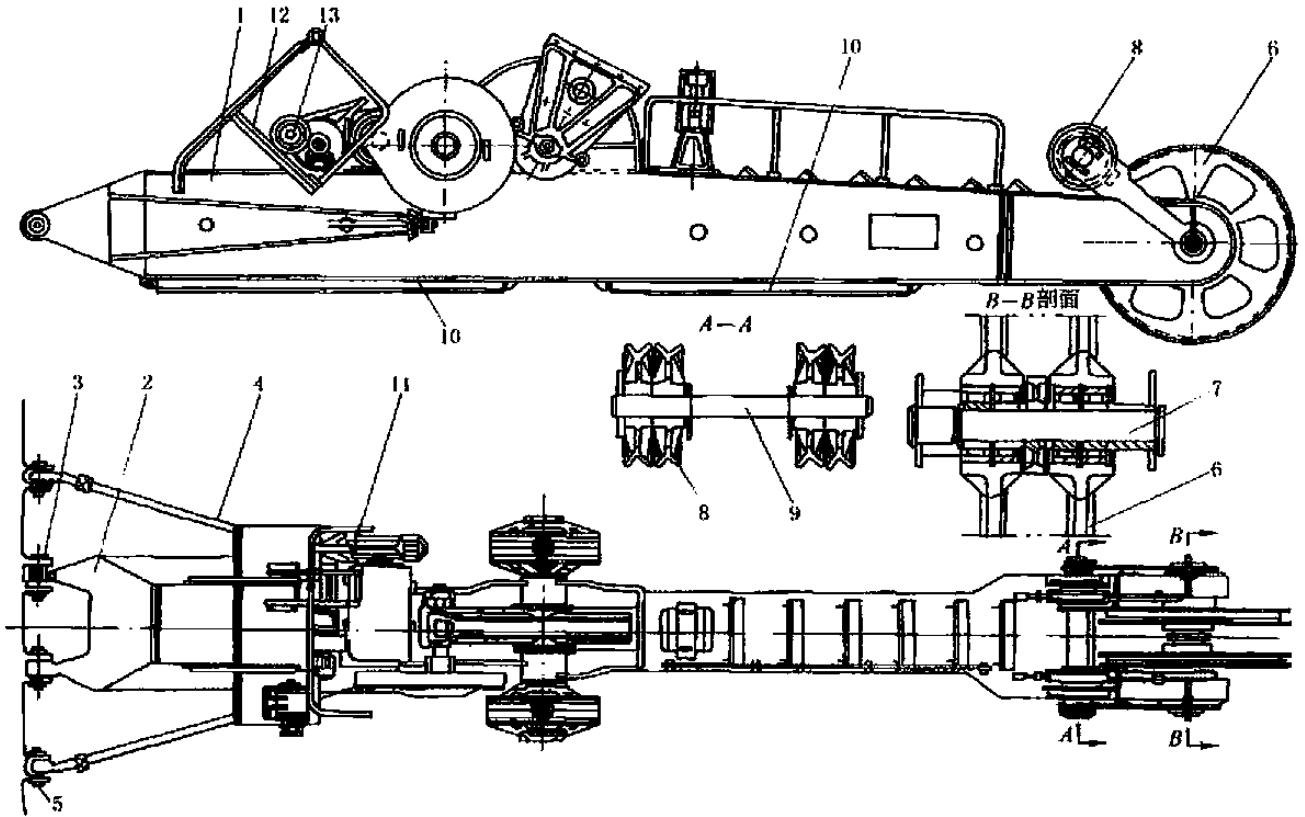


图 19-3-18 WK-4 型挖掘机动臂

1—箱体结构；2—支腿；3,5—销轴；4—拉杆；6—端部滑轮；7—端部轴；
8—绳轮；9—轴；10—缓冲木；11—制动器；12—小平台；13—开斗电机

3) 图 19-3-19 为立车的焊接横梁，是封闭箱形截面结构。内部加强肋板交叉布置，用断续焊缝与壁板连接。交叉处设圆管以免焊缝密集。肋的标准可参看本章 1.5 节。

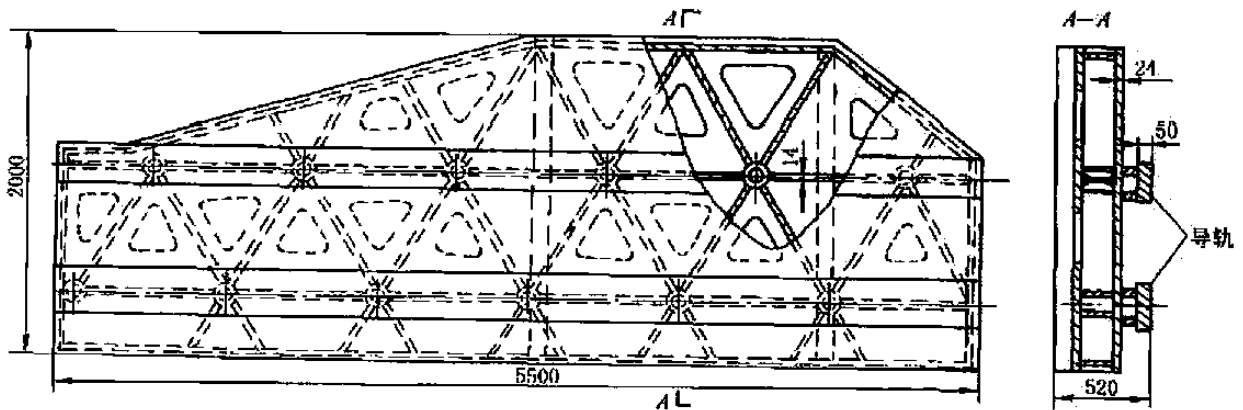


图 19-3-19 立车的焊接横梁

图 19-3-20 为专用机床的焊接床身，采用开式截面。内部肋板之字形布置以提高抗扭刚度。地脚螺栓孔附近焊有肋板以提高局部刚度肋板受力，计算如同桁架。见第 5 章及第 7 章。

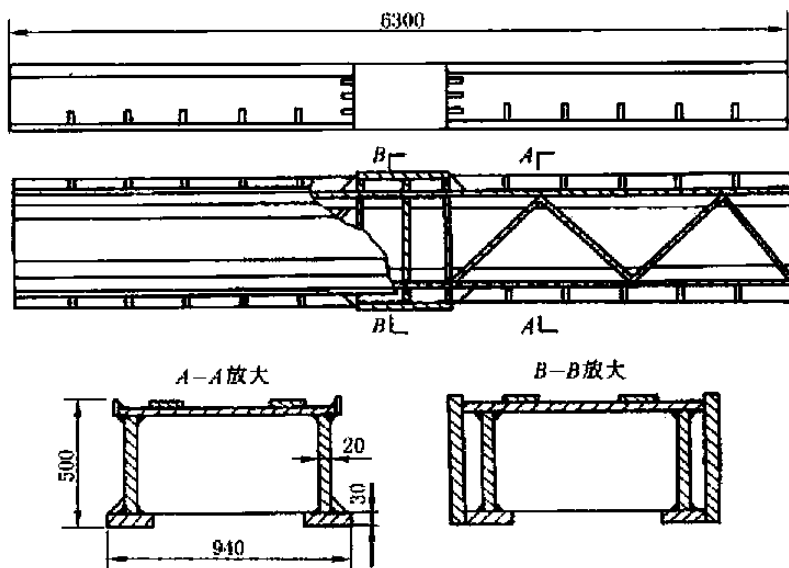


图 19-3-20 专用机床的焊接床身

各种截面的应用实例见图 19-3-21、图 19-3-22。还可参看第 4 章 1.3.2 节的图。

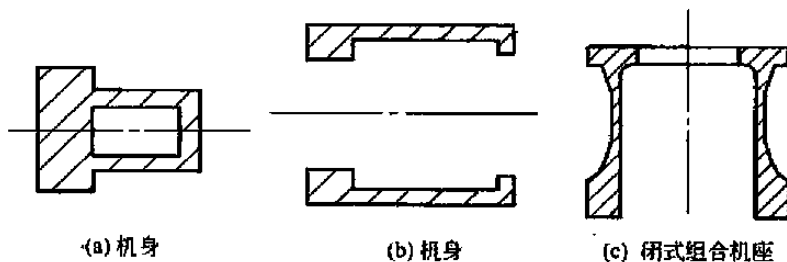


图 19-3-21 曲柄压力机机身与组合机座

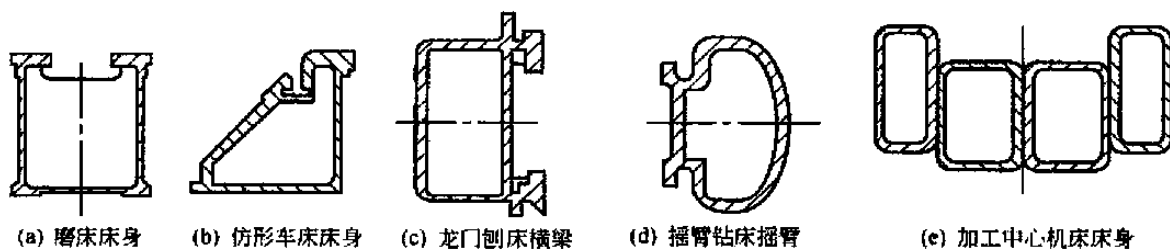


图 19-3-22 金属切削机床床身

2 梁的计算

梁的计算以满足刚度要求为主。刚度要求见第 2 章第 2 节。挠度的计算见本章 2.2 及表 19-3-7。桁架形式的梁的挠度计算见以下相关章节。梁还须进行强度计算。

2.1 梁的强度计算

梁的强度计算主要是考虑受弯时的正应力：

$$\text{单向受弯时 } \sigma = \frac{M}{I}y \leq \sigma_p \quad (19-3-2)$$

$$\text{双向受弯时 } \sigma = \frac{M_x}{I_x}y + \frac{M_y}{I_y}x \leq \sigma_p \quad (19-3-3)$$

式中 M ——所计算截面的弯矩；

I ——横截面对中性轴的惯性矩；

σ ——横截面上的最大拉伸或压缩正应力；

y ——横截面上距中性轴最远的点， y 表示与 x 的垂直方向；

σ_p ——许用应力。

如果梁上还作用有纵向拉、压力 F ，则还应增加一项应力：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (19-3-4)$$

式中 A ——横截面积。

理论上说来，该拉应力的作用使梁受弯矩作用的变形减少，不能分别计算相加，在特殊情况下才这样考虑。

在需要计算剪切、扭转或合成应力的特殊情况，可根据通常的力学公式进行，见本手册第 1 卷第 1 篇。对于薄壁杆件，特别是开口断面的梁，如载荷不作用在弯曲中心时，还应计算其扭转变形。

2.2 连续梁计算用表^[24]

① 一般机架梁的计算按悬臂梁、简支梁、两端固定梁等简单形式的梁来分析就已足够了。有关这方面公式请参见本书第 1 卷第 1 篇。表 19-3-7 编入等截面连续梁的计算系数表，可供计算 2-3 跨连续梁的内力和挠度时直接查找。

② 对于无限多跨的连续梁，在都有均布载荷 q 作用下，支座的弯矩为 $-0.095ql^2$ ；最大弯矩出现在只连续两跨有载荷时；支座处梁的弯矩为 $-0.106ql^2$ 。在中点都作用有集中力 P 时，支座的弯矩为 $-0.125Pl$ 。其他参数可根据其支座跨距及上面的载荷按简支梁算得。当载荷与表 19-3-7 所载不相同，可按表 19-3-8 将对称载荷化作等效均布载荷计算。

③ 连续水平圆弧梁在均布载荷作用下的弯矩、剪力及扭矩见表 19-3-9。

④ 井式梁的最大弯矩及剪力系数见表 19-3-10 及表 19-3-11。

等跨梁在常用载荷作用下的内力及挠度系数

1) 在均布及三角形载荷作用下

$$M = \text{表中系数} \times ql^2$$

$$Q = \text{表中系数} \times ql$$

$$y_0 = \text{表中系数} \times \frac{ql^4}{100EI}$$

2) 在集中载荷作用下

$$M = \text{表中系数} \times Pl$$

$$Q = \text{表中系数} \times P$$

$$y_0 = \text{表中系数} \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

3) 当载荷组成超出本表所示的形式时，对于对称载荷，可利用表 19-3-8 中的等效均布载荷 q_E ，计算支座弯矩；然后按单跨简支梁在实际载荷及求出的支座弯矩共同作用下计算跨中弯矩和剪力。

4) 内力正负号说明

M ——弯矩，使截面上部受压，下部受拉者为正；

y_0 ——挠度，向下变位者为正；

Q ——剪力，对邻近截面所产生的力矩沿顺时针方向者为正。

表 19-3-7

载 荷 图	跨内最大弯矩		支座弯矩	剪 力			跨度中点挠度	
	M_1	M_2	M_B	Q_A	$Q_{B左}$ $Q_{B右}$	Q_C	γ_1	γ_2
	0.070	0.0703	-0.125	0.375	-0.625 0.625	-0.375	0.521	0.521
	0.096	—	-0.063	0.437	-0.563 0.063	0.063	0.912	-0.391
	0.048	0.048	-0.078	0.172	-0.328 0.328	-0.172	0.345	0.345
	0.064	—	-0.039	0.211	-0.289 0.039	0.039	0.589	-0.244
	0.156	0.156	-0.188	0.312	-0.688 0.688	-0.312	0.911	0.911
	0.203	—	-0.094	0.406	-0.594 0.094	0.094	1.497	-0.586
	0.222	0.222	-0.333	0.667	-1.333 1.333	-0.667	1.466	1.466
	0.278	—	-0.167	0.833	-1.167 0.167	0.167	2.508	-1.012

载 荷 图	跨内最大弯矩		支座弯矩		剪 力				跨度中点挠度		
	M_1	M_2	M_B	M_C	Q_A	$Q_{B左}$ $Q_{B右}$	$Q_{C左}$ $Q_{C右}$	Q_D	γ_1	γ_2	γ_3
	0.080	0.025	-0.100	-0.100	0.400	-0.600 0.500	-0.500 0.600	-0.400	0.677	0.052	0.677
	0.101	—	-0.050	-0.050	0.450	-0.550 0	0 0.550	-0.450	0.990	-0.625	0.990
	—	0.075	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050 0.500	-0.500 0.050	0.050	-0.313	0.677	-0.313
	0.073	0.054	-0.117	-0.033	0.383	-0.617 0.583	-0.417 0.033	0.033	0.573	0.365	-0.208
	0.094	—	-0.067	0.017	0.433	-0.567 0.083	0.083 -0.017	-0.017	0.885	-0.313	0.104

注：表中 γ 、 l 单位为 mm； Q 、 P 单位为 N； M 单位为 N·mm； q 单位为 N/mm。

表 19-3-8

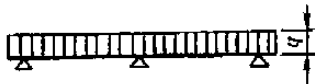
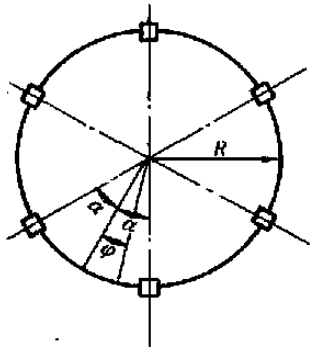
各种载荷化成具有相同支座弯矩的等效均布载荷

实际载荷	支座弯矩 等效均布 载荷 q_E	实际载荷	支座弯矩 等效均布 载荷 q_E	实际载荷	支座弯矩 等效均布 载荷 q_E
	$\frac{3P}{2l}$		$\frac{19P}{6l}$		$\frac{11q}{16}$
	$\frac{8P}{3l}$		$\frac{2n^2 + 1}{2n} \times \frac{P}{l}$		$\frac{\gamma}{2}(3 - \gamma^2)q$
	$\frac{15P}{4l}$		$\frac{n^2 - 1}{n} \times \frac{P}{l}$		$\frac{14q}{27}$
	$\frac{9P}{4l}$		$\frac{13q}{27}$		$2\alpha^2(3 - 2\alpha)q$

注：1. 表中 $\alpha = \frac{a}{l}$ ； $\gamma = \frac{c}{l}$ ； l 为梁的跨度。

2. 表中 l 、 a 、 c 单位为 mm； P 单位为 N； q 单位为 N/mm。

连续水平圆弧梁在均布载荷作用下的弯矩、剪力及扭矩



最大剪力 = $\frac{R\pi q}{n}$;

任意点弯矩 = $\left(\frac{\pi}{n} \times \frac{\cos\varphi}{\sin\alpha} - 1\right)qR^2$;

跨度中点弯矩 = $\left(\frac{\pi}{n} \times \frac{1}{\sin\alpha} - 1\right)qR^2$;

支座弯矩 = $\left(\frac{\pi}{n} \cot\alpha - 1\right)qR^2$;

任意点扭矩 = $\left(\frac{\pi}{n} \times \frac{\sin\varphi}{\sin\alpha} - \varphi\right)qR^2$ 。

式中 n ——支座数量。

因载荷及支点均对称，扭矩在支座及跨度中点均为零。

表 19-3-9

圆弧梁支柱数	最大剪力	弯 矩		最大扭矩	支柱轴线与最大扭矩截面间的中心角
		在二支柱间的跨中	支 柱 上		
4	$R\pi q/4$	$0.03524\pi qR^2$	$-0.06831\pi qR^2$	$0.01055\pi qR^2$	$19^\circ 12'$
6	$R\pi q/6$	$0.01502\pi qR^2$	$-0.02964\pi qR^2$	$0.00302\pi qR^2$	$12^\circ 44'$
8	$R\pi q/8$	$0.00833\pi qR^2$	$-0.01653\pi qR^2$	$0.00126\pi qR^2$	$9^\circ 32'$
12	$R\pi q/12$	$0.00366\pi qR^2$	$-0.00731\pi qR^2$	$0.00037\pi qR^2$	$6^\circ 21'$

注：表中 R 单位为 mm； q 单位为 N/mm。

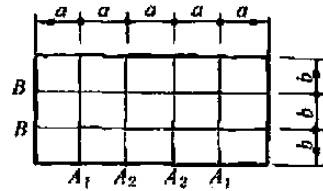
表 19-3-10

井式梁最大弯矩及剪力系数之一

b/a		A 梁		B 梁		A 梁		B 梁		A ₁ 梁		A ₂ 梁		B ₁ 梁		B ₂ 梁	
		M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q
0.6	0.480	0.730	0.040	0.290	0.410	0.660	0.090	0.340	1.410	1.330	1.970	1.730	0.260	0.505	0.360	0.600	
0.8	0.455	0.705	0.090	0.340	0.330	0.580	0.170	0.420	1.110	1.115	1.580	1.460	0.540	0.710	0.770	0.890	
1.0	0.420	0.670	0.160	0.410	0.250	0.500	0.250	0.500	0.830	0.915	1.170	1.170	0.830	0.915	1.170	1.170	
1.2	0.370	0.620	0.260	0.510	0.185	0.435	0.315	0.565	0.590	0.745	0.840	0.940	1.060	1.080	1.510	1.410	
1.4	0.325	0.575	0.350	0.600	0.135	0.385	0.365	0.615	0.420	0.620	0.600	0.770	1.240	1.210	1.740	1.570	
1.6	0.275	0.525	0.450	0.700	0.100	0.350	0.400	0.650	0.300	0.535	0.420	0.640	1.370	1.300	1.910	1.690	

b/a		A ₁ 梁		A ₂ 梁		B 梁		A ₁ 梁		A ₂ 梁		B 梁		A 梁		B 梁	
		M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q
0.6	0.460	0.710	0.545	0.795	0.035	0.285	0.455	0.705	0.530	0.780	0.030	0.280	0.820	1.070	0.180	0.430	
0.8	0.435	0.685	0.555	0.805	0.075	0.325	0.425	0.675	0.535	0.785	0.080	0.330	0.660	0.910	0.340	0.590	
1.0	0.415	0.665	0.550	0.800	0.120	0.370	0.400	0.650	0.540	0.790	0.120	0.370	0.500	0.750	0.500	0.750	
1.2	0.395	0.645	0.530	0.780	0.180	0.430	0.375	0.625	0.540	0.790	0.170	0.420	0.370	0.620	0.630	0.880	
1.4	0.370	0.620	0.505	0.755	0.255	0.505	0.360	0.610	0.530	0.780	0.220	0.470	0.270	0.520	0.730	0.980	
1.6	0.345	0.595	0.475	0.725	0.360	0.610	0.340	0.590	0.520	0.770	0.280	0.530	0.200	0.450	0.800	1.050	

b/a		A ₁ 梁		A ₂ 梁		B ₁ 梁		B ₂ 梁		A ₁ 梁		A ₂ 梁		B 梁	
		M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q
0.6	1.800	1.500	2.850	2.160	0.360	0.580	0.570	0.760	0.820	1.070	1.090	1.340	0.135	0.385	
0.8	1.420	1.260	2.290	1.820	0.700	0.800	1.150	1.120	0.750	1.000	1.020	1.270	0.240	0.490	
1.0	1.060	1.030	1.720	1.470	1.060	1.030	1.720	1.470	0.660	0.910	0.910	1.160	0.430	0.635	
1.2	0.760	0.840	1.250	1.180	1.360	1.220	2.190	1.760	0.550	0.800	0.780	1.030	0.670	0.810	
1.4	0.550	0.700	0.890	0.960	1.590	1.370	2.540	1.970	0.460	0.710	0.640	0.890	0.900	0.970	
1.6	0.390	0.600	0.620	0.790	1.770	1.480	2.800	2.130	0.370	0.620	0.520	0.770	1.110	1.120	



b/a	A ₁ 梁		A ₂ 梁		B 梁	
	M	Q	M	Q	M	Q
0.6	0.790	1.040	1.080	1.330	0.130	0.380
0.8	0.720	0.970	1.070	1.320	0.210	0.460
1.0	0.660	0.910	1.020	1.270	0.320	0.570
1.2	0.600	0.850	0.950	1.200	0.500	0.700
1.4	0.540	0.790	0.860	1.110	0.740	0.850
1.6	0.480	0.730	0.760	1.010	1.000	1.010

注：1. 跨中弯矩用表中 M 栏的系数，乘数分别按下式采用：

$$M_A, M_{A1}, M_{A2} = \text{表中系数} \times qab^2;$$

$$M_B, M_{B1}, M_{B2} = \text{表中系数} \times qa^2b;$$

2. 梁端剪力用表中 Q 栏的系数，乘数均为 qab ，即 Q_A 或 $Q_B = \text{表中系数} \times qab$ 。

3. q 为单位面积上的计算荷载，在计算中近似假定集中在梁交点处 ($P = qab$)，为减小误差，计算最大剪力时，一律增加一项梁端节点荷载 ($0.25qab$)。

4. 表中数据计算时，假定井式梁四边均为简支。

5. 表中 a, b 单位为 mm ； q 单位为 N/mm^2 。

表 19-3-11

井式梁的最大弯矩及剪力系数之二

梁名	乘数	Diagram 1		Diagram 2			Diagram 3			
		AA	BB	AA	BB	CC	AA	BB	CC	DD
最大弯矩	qal^2	0.0382	0.0746	+0.0425 -0.0308	0.0378	0.0729	+0.0389 -0.0487	0.0426	0.0456	0.0713
最大剪力	qa^2	0.306	0.847	1.069	0.840	1.561	2.004	0.850	1.709	2.532

注：1. 最大弯矩 = 表中系数 $\times qal^2$ ，最大剪力 = 表中系数 $\times qa^2$ 。

2. 其他见表 19-3-10 注 3、4。

3. 表中 a, l 单位为 mm ； q 单位为 N/mm^2 。

2.3 举例

下面为汽车货车车架的简略计算。汽车车架的计算是很复杂的。目前的方法是将整个车架，即将横梁与纵梁联合在一起考虑。同时还要考虑悬挂装置、轮胎和路面的影响，工作载荷的影响等等。现在的计算多用有限元方法来分析，并且最终还要以实际检测作为依据。所以下面的计算只能作为初步设计比较的参考。因这是很专业的问题，应由专业人士来设计。一般说来，机架采用封闭断面纵梁或局部扭转小的纵梁，是可根据弯曲计算来初步确定梁断面尺寸的。对于某些机架结构的扭转问题，可以用薄壁杆件理论加以补充分析。本手册介绍这种计算方法是用来说明一般梁的弯曲和扭转设计计算的内容。

(1) 纵梁弯曲应力

$$\sigma = M/W$$

式中 W ——截面系数。

弯矩 M 可用弯矩差法或力多边形法求得。对于载重汽车，可假定空车簧上重量 G_s 均布在纵梁全长上，载重 G_e 均布在车厢中，因有两根梁，每根梁的均布载荷各为（见图 19-3-23）

$$q_s = \frac{G_s}{2(a+L+b)}; q_e = \frac{G_e}{2(c_1+c_2)}$$

其产生在 x 处的弯矩各为：

$$M_s = \frac{q_s}{2} \left[(Lx - x^2 - a^2) + (a^2 - b^2) \frac{x}{L} \right]; M_e = \frac{q_e}{2} \left[(c_1^2 - c_2^2) \frac{x}{L} - (x - L + c_1)^2 \right]$$

总弯矩为 $M = M_s + M_e$ 。

计算应力同使用中实际应力很难完全符合。典型轻型货车架纵梁在碎石路上实测应力如图 19-3-24。

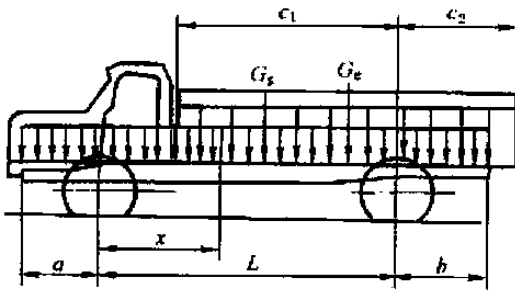


图 19-3-23 纵梁载荷图

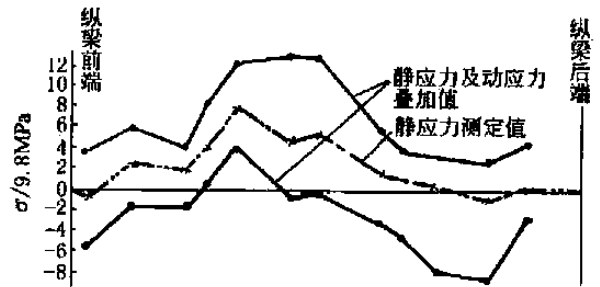


图 19-3-24 货车纵梁应力图

(2) 局部扭转应力

相邻两横梁如果都同纵梁翼缘连接，扭矩 T 作用于该段纵梁的中点，则在开口断面梁中扇形应力可按下式计算：

$$\sigma_w = \frac{BZ}{I_w}$$

式中 I_w ——扇形惯性矩；

Z —— Z 是薄壁曲杆受弯的截面特性， mm^2 ；

对于槽形断面 $Z = \frac{hb}{2} \times \frac{h+3b}{h+6b}$

对于工字形断面 $Z = -\frac{hb}{4}$

B ——双力矩，沿杆件长度的分布情况如图 19-3-25a 所示。 B 的最大值在杆件的中点和两端为

$$B_{\max} = \frac{TL}{2}n$$

n —— kL 的函数，有专门表格可查，见参考文献 [19]，而 $kL = L \sqrt{\frac{GI_e}{EI_w}}$ ，当 $kL = 0 \sim 2.5$ 时， $n = 0.25 \sim 0.22$ 。

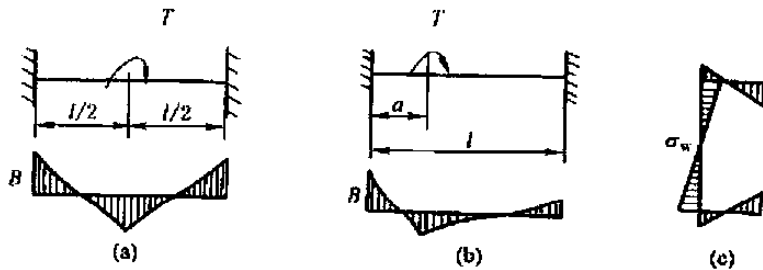


图 19-3-25 双力矩及扇形应力 σ_w 图

扭矩 T 不在杆件中点时, B 的分布情况如图 19-3-25b, σ_w 沿杆件断面的分布特点同 W 相似, 对于槽形断面如图 19-3-25c 所示。

(3) 车架扭转时纵梁应力

如横梁同纵梁翼缘相连, 则在节点附近, 纵梁的扇形应力为:

当车架的弯曲度可略去不计时

$$\sigma_w = a \frac{E\alpha}{L} \times \frac{Z}{l}$$

式中 E ——弹性模量;

α ——车架轴间扭角;

L ——汽车轴距;

l ——节点间距;

a ——系数, 当 $kL=0$ 时, $a=6$; $kL=1-2$ 时, $a=5.25$ 。

车架扭转时, 纵梁还将出现弯曲应力, 须和 σ_w 相加。典型中型货车车架扭转时纵梁应力如图 19-3-26 所示。

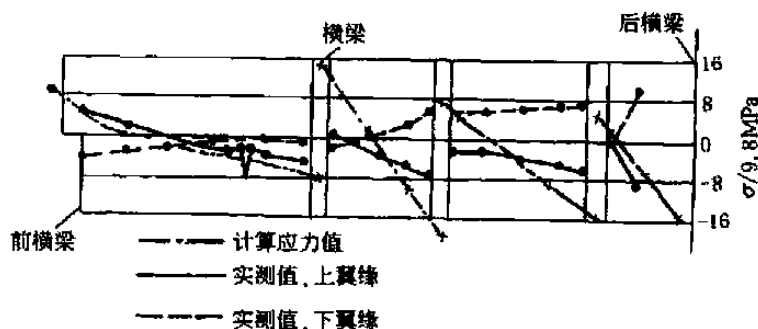


图 19-3-26 典型中型货车车架扭转应力

上述计算方法将汽车车架简化成为两根互不相干的纵梁, 用简支梁理论计算其弯曲强度。实际车架是空间结构, 其弯曲必然要引起扭转, 而车架的危险工况是扭转而不是弯曲, 因此, 20 世纪 50 年代开始对车架进行抗扭转的计算分析。这种计算方法假定车架在扭转时不发生弯曲变形, 并假定在扭转时各构件的单位扭角相等。这些假定都不符合实际情况, 而且只能计算扭转工况, 不能计算扭转与弯曲联合作用工况, 计算时也不能考虑车架上的油箱、蓄电池、备胎的载荷影响及悬架支承的局部载荷影响, 所以计算的结果仍然误差很大, 只能供初选数据时分析比较用。

近年来基本上都用电子计算机以有限元来计算车架。计算结果虽可以得到较接近实际应力分布情况的数值解, 但仍然要以实际检测为准。

2.4 弹性支座上的连续梁

在工程结构中常会遇到支承在弹性支座上的连续梁。在载荷的作用下, 各个支座有弹性伸长或缩短, 即支点处产生竖直位移。一般考虑支点的伸缩量与支点反力的大小成正比。例如在以连续梁作为纵梁, 而此纵梁又支承在具有弹性的横梁上; 连续梁浮桥支承在浮动桥墩上; 矿山用振动放矿机的机架支承在橡胶弹簧上等。在必须作较精确计算时, 就要按弹性支座来计算。设图 19-3-27a 所示的连续梁支承在弹性支座上, 其各跨的截面相同, 跨度相等, 支座的柔度系数 C (即弹簧在单位力作用下的伸缩量) 相等。

写出在支点 n 之上的截面内弯力 M_n 作用方向内的相对角位移等于零的正则方程式 $\theta_n = 0$ 。这个相对角位移包括两部分。第一部分是在刚性支承的连续梁中, 弯力 M_n 方向内的相对角位移。它包括以下几项:

$$M_{n-1}\delta_{n,n-1} + M_n\delta_{n,n} + M_{n+1}\delta_{n,n+1} + \Delta_{np} = \frac{l}{6EI}M_{n-1} + \frac{2l}{3EI}M_n + \frac{l}{6EI}M_{n+1} + \frac{1}{EI}(B_n^\phi + A_{n+1}^\phi) \quad (19-3-5)$$

这一部分的相对角位移仅受到支点 n 左右两跨上的弯力与载荷的影响。

其中

$$B_n^\phi = \frac{\Omega_n a_n}{l_n} \quad (19-3-6)$$

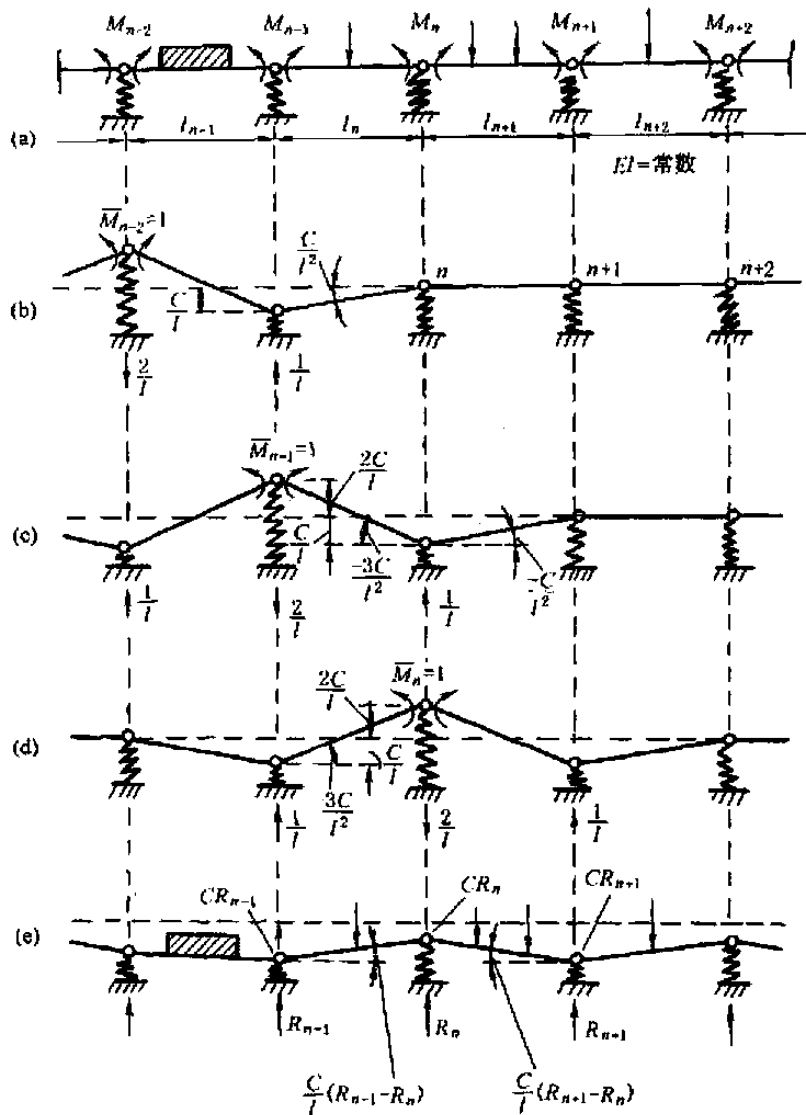


图 19-3-27

$$A_{n+1}^\phi = \frac{\Omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}} \tag{19-3-7}$$

式中， Ω_n 与 Ω_{n+1} 分别为在跨度 l_n 与 l_{n+1} 内由于载荷所引起的力矩图面积； a_n 与 b_{n+1} 分别为这两个力矩图面积的重心至各该跨度的左支点与右支点的距离。

式 (19-3-6) 表示将 Ω_n 视作在跨度 l_n 内的虚梁载荷，跨度 l_n 内的右端虚梁反力；式 (19-3-7) 表示将 Ω_{n+1} 视作在跨度 l_{n+1} 内的虚梁载荷，跨度 l_{n+1} 内左端的虚梁反力。

在冗力 M_n 作用方向内所产生的相对角位移数值的第二部分，是由于支点的竖直位移所引起的。冗力与载荷不仅直接产生在 M_n 方向内的相对角位移，并且能够使弹簧伸缩而间接地影响到 θ_n 的数值。图 19-3-27b 表示在单位力 $\bar{M}_{n-2} = 1$ 作用下，基本结构的支点位移与受力情形。在支点 $n-1$ 处的反力为 $1/l$ ，它使该处的弹簧压缩 C/l 的数值，从而使跨度 l_n 转动，因此在 M_n 作用方向内产生一相对角位移 $\frac{C}{l} \times \frac{1}{l} = \frac{C}{l^2}$ 。图 19-3-27c 表示在单位力 $\bar{M}_{n-1} = 1$ 作用下，基本结构的支点位移与受力情形；由此可得，在 M_n 作用方向内的相对角位移为 $-\frac{3C}{l^2} - \frac{C}{l^2} = -\frac{4C}{l^2}$ 。由图 19-3-27d 可知，在单位力 $\bar{M}_n = 1$ 作用下， M_n 作用方向内的相对角位移为 $2 \times \frac{3C}{l^2} = \frac{6C}{l^2}$ 。至于在 $\bar{M}_{n+2} = 1$ 与 $\bar{M}_{n+1} = 1$ 作用下，支点位移对 θ 的影响是与支点 n 相对称的，它们的数值分别为 $\frac{C}{l^2}$ 与 $-\frac{4C}{l^2}$ 。图 19-3-27e 表示在载荷作用下，基本结构的支点位移与受力情形，其中 R_{n-1} 、 R_n 、 R_{n+1} 分别为在载荷作用下支点 $n-1$ 、

n 、 $n+1$ 的简支梁反力；它们使各该支点处的弹簧缩短 CR_{n-1} 、 CR_n 、 CR_{n+1} ，从而在 M_n 作用方向内产生一相对角位移 $\frac{C}{l}(R_{n-1} - 2R_n + R_{n+1})$ 。由上述可知，第二部分的相对角位移受到支点 n 左右四个跨度上的冗力与载荷的影响。其他跨度上的冗力与载荷并不影响 θ_n 。

以上两部分相对角位移之和，即为 θ_n 的总值，按诸力法原理，它应该等于零。故得：

$$\frac{C}{l^2}M_{n-2} + \left(\frac{l}{6EI} - \frac{4C}{l^2}\right)M_{n-1} + 2\left(\frac{l}{3EI} + \frac{3C}{l^2}\right)M_n + \left(\frac{l}{6EI} - \frac{4C}{l^2}\right)M_{n+1} + \frac{C}{l^2}M_{n+2} + \frac{B_n^\phi + A_{n+1}^\phi}{EI} + \frac{C}{l}(R_{n-1} - 2R_n + R_{n+1}) = 0 \quad (19-3-8)$$

令 $\frac{6EIC}{l^3} = \alpha$ ，则在各项乘以 $\frac{6EI}{l}$ 之后，上式可改写为五弯矩方程：

$$\alpha(M_{n-2} + M_{n+2}) + (1 - 4\alpha)(M_{n-1} + M_{n+1}) + (4 + 6\alpha)M_n = -\frac{6B_n^\phi}{l} - \frac{6A_{n+1}^\phi}{l} - \alpha l(R_{n-1} - 2R_n + R_{n+1}) \quad (19-3-9)$$

在第 n 个支点处，弹性支承的下沉量 Δ_n 为：

$$\Delta_n = \frac{C}{l}(M_{n-1} - 2M_n + M_{n+1} + R_n l) \quad (19-3-10)$$

由上两公式可知，在 $\alpha=0$ 的情况下，式 (19-3-9) 与刚性支承的连续梁三弯矩方程式相符合；而由式 (19-3-10) 得 $\Delta_n=0$ 。

例 图 19-3-28a 为一搁置于橡胶块 A 、 B 、 C 上的振动放矿机槽台的载荷分布图。图 19-3-28b 为槽台构件组合截面的基本结构参数，求弹性支座上连续梁的支点反力 A 、 B 、 C 。反力求出后则整个构体的强度皆可设计●。

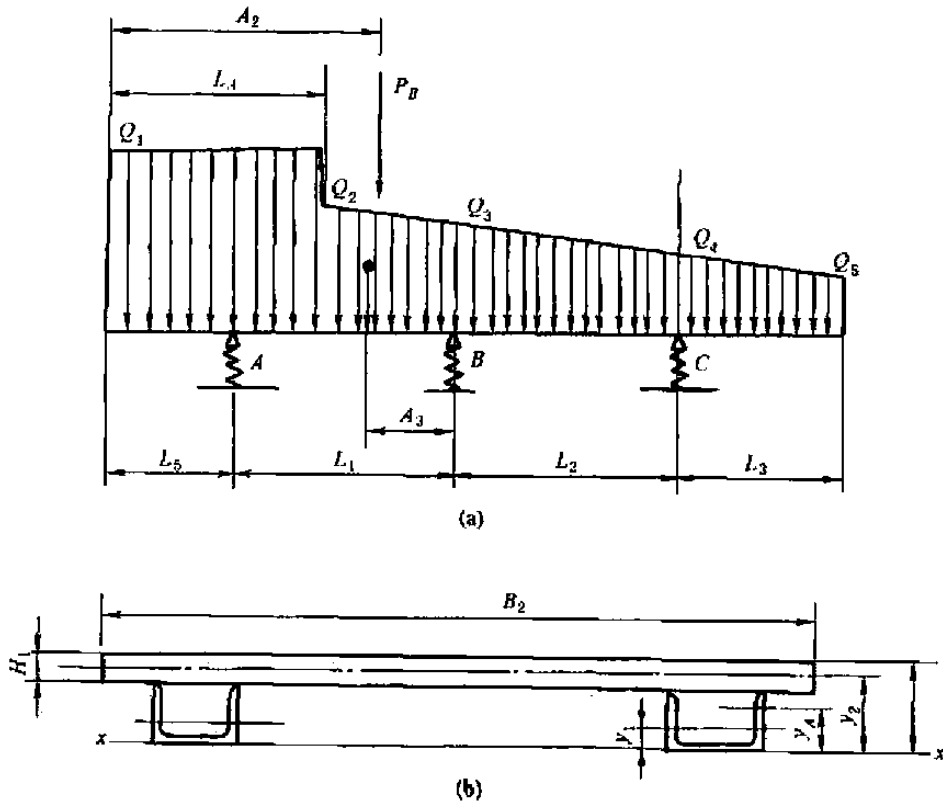


图 19-3-28

载荷：

集中力 $P_B = 14050\text{N}$ ；

均布力 $Q_1 = 298.5\text{N/cm}$ ， $Q_2 = 153.6\text{N/cm}$ ， $Q_3 = 142.1\text{N/cm}$ ， $Q_4 = 76.6\text{N/cm}$ ， $Q_5 = 12.0\text{N/cm}$ 。

图中尺寸 $A_2 = 67\text{cm}$ ， $L_4 = 60\text{cm}$ ， $L_5 = 0$ ， $L_1 = 73\text{cm}$ ， $L_2 = 74\text{cm}$ ， $L_3 = 73\text{cm}$ ， $H_1 = 1\text{cm}$ ， $B_2 = 86\text{cm}$ 。槽钢截面参数 惯性

● 本例已于振动放矿机系列设计中实际应用。

矩 $J_1 = 2 \times 11.872 = 23.744 \text{ cm}^4$, 面积 $F_1 = 2 \times 8.44 = 16.88 \text{ cm}^2$, 截面形心至 x 轴距离 $y_1 = 1.36 \text{ cm}$ 。槽板截面参数 惯性矩 $J_2 = B_2 H_1^3 / 12 = 7.167 \text{ cm}^4$, 面积 $F_2 = B_2 H_1 = 86 \text{ cm}^2$, 截面形心至 x 轴距离 $y_2 = 4.5 \text{ cm}$ 。

组合截面参数 组合截面形心至 x 轴距离 $y_A = (F_1 y_1 + F_2 y_2) / (F_1 + F_2) = 3.985 \text{ cm}$ 。

惯性矩 $J = J_1 + J_2 + F_1 (y_A - y_1)^2 + F_2 (y_A - y_2)^2 = 170.034 \text{ cm}^4$ 。

截面材料弹性模量 $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa} = 2.1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ 。

橡胶块的静刚度 $K_j = 17380 \text{ N/cm}$; 柔度系数 $C = \frac{1}{K_j} = 0.000575 \text{ cm/N}$ 。

本问题的求解不能直接套用上述的五弯矩方程。因为五弯矩方程提供的是等跨度 $l_{n-1} = l_n = l_{n+1}$ 的计算公式。本题为不等跨的弹性支承连续梁。因此式 (19-3-8) 需作修改。主要是对多余力 M_n 作用方向内所产生的相对角位移数值的第二部分, 即式 (19-3-8) 中带 $\frac{C}{l^2}$ 部分的各值进行修改: 由图 19-3-27b 可知, 在单位力 $\bar{M}_{n-2} = 1$ 作用下, 在支点的反力为 $1/l_{n-1}$, 它使该

弹簧变形为 C/l_{n-1} , 因此, 使 l_n 跨转动, 在 M_n 作用方向内产生一相对角位移: $\frac{C}{l_{n-1}} \times \frac{1}{l_n} = \frac{C}{l_{n-1} l_n}$; 由图 19-3-27c 可知, 在单

位力 $\bar{M}_{n-1} = 1$ 作用下, M_n 方向内产生的相对角位移为 $-\frac{3C}{l_n^2} - \frac{C}{l_n l_{n+1}}$; 由图 19-3-27d 可知, 在单位力 $\bar{M}_n = 1$ 作用下, 在 M_n 作用

方向产生的相对角位移为 $\frac{3C}{l_n^2} + \frac{3C}{l_{n+1}^2} = \frac{3C(l_n^2 + l_{n+1}^2)}{l_n^2 l_{n+1}^2}$; 在 $\bar{M}_{n+1} = 1$ 和 $\bar{M}_{n+2} = 1$ 作用下, 支点位移对 M_n 作用方向产生的角位移参

照上面的式子 (即 $\bar{M}_{n-1} = 1$, $\bar{M}_{n-2} = 1$ 所产生的角位移公式, l_n 与 l_{n+1} 替换, l_{n+2} 替换 l_{n+1}) 分别为: $\frac{-3C}{l_{n+1}^2} - \frac{C}{l_n l_{n+1}}$ 和 $\frac{C}{l_{n+1} l_{n+2}}$ 。

由此, 对比式 (19-3-8), 可得不等跨弹性支承连续梁的五弯矩方程:

$$\begin{aligned} & \frac{C}{l_{n-1} l_n} M_{n-2} + \left(\frac{l_n}{6EJ} - \frac{3C}{l_n^2} - \frac{C}{l_n l_{n+1}} \right) M_{n-1} + \left[\frac{l_n + l_{n+1}}{3EJ} + \frac{3(l_n^2 + l_{n+1}^2)}{l_n^2 l_{n+1}^2} \right] M_n + \\ & \left(\frac{l_{n+1}}{6EJ} - \frac{3C}{l_{n+1}^2} - \frac{C}{l_n l_{n+1}} \right) M_{n+1} + \frac{C}{l_{n+2} l_{n+1}} M_{n+2} + \frac{B_n^\phi + A_{n+1}^\phi}{EJ} + \\ & \frac{CR_{n-1}}{l_{n-1}} - 2R_n \frac{C}{l_n} + R_{n+1} \frac{C}{l_{n+1}} = 0 \end{aligned} \quad (19-3-11)$$

本题为三支点梁, 因而 $M_{n-2} = 0$, $M_{n+2} = 0$, 上式可大为简化, 并令 R_A 、 R_B 、 R_C 表示 R_{n-1} 、 R_n 、 R_{n+1} , M_A 、 M_B 、 M_C 表示 M_{n-1} 、 M_n 、 M_{n+1} , L_1 、 L_2 表示 l_n 、 l_{n+1} , 则可得

$$\begin{aligned} & \left(\frac{L_1}{6EJ} - \frac{3C}{L_1^2} - \frac{C}{L_1 L_2} \right) M_A + \left[\frac{L_1 + L_2}{3EJ} + \frac{3C(L_1^2 + L_2^2)}{L_1^2 L_2^2} \right] M_B + \left(\frac{L_2}{6EJ} - \frac{3C}{L_2^2} - \frac{C}{L_1 L_2} \right) M_C + \\ & \frac{B_n^\phi + A_{n+1}^\phi}{EJ} + \frac{C}{L_1} R_A - \left(\frac{C}{L_1} + \frac{C}{L_2} \right) R_B + \frac{C}{L_2} R_C = 0 \end{aligned} \quad (19-3-12)$$

该方程中首先要推求槽台构件按简支梁计算的支座反力 (见图 19-3-28a):

$$R_A = \frac{Q_1 L_A \times (L_3 + L_1 - L_A/2)}{L_1} + \frac{(L_3 + L_1 - L_A)^2 (Q_3 + 2Q_2)}{6L_1} + \frac{P_B (L_3 + L_1 - A_2)}{L_1} \quad (19-3-13)$$

$$\begin{aligned} R_B = & \frac{Q_1 L_A \left(\frac{L_A}{2} - L_5 \right)}{L_1} + \frac{P_B (A_2 - L_5)}{L_1} + \frac{(Q_2 + Q_3)}{2} (L_3 + L_1 - L_A) \left(\frac{L_1 - A_3}{L_1} \right) + \\ & \frac{L_2 (Q_4 + 2Q_3)}{6} - \frac{(2Q_3 + Q_4) L_2^2}{6L_2} \end{aligned} \quad (19-3-14)$$

式中, A_3 为梯形载荷 Q_2 、 Q_3 的重心距离 (见图 19-3-28),

$$\begin{aligned} A_3 = & (L_1 + L_5 - L_A) \cdot \frac{(2Q_2 + Q_3)}{3(Q_2 + Q_3)} \\ R_C = & \frac{(2Q_3 + Q_4) (L_2 + L_3)^2}{6L_2} \end{aligned} \quad (19-3-15)$$

将已知数据代入, 可求得:

$$R_A = 11878 \text{ N}; R_B = 25247 \text{ N}; R_C = 8084 \text{ N}$$

然后, 还要求出梁上虚载荷在 B 点反力, 由式 (19-3-6) 及式 (19-3-7), 按 L_2 跨内载荷引起的力矩图面积载荷对 B 的虚反力 A_{n+1}^ϕ , 及按 L_1 跨内载荷引起的力矩图载荷对 B 点的虚反力 B_n^ϕ (可分别查图表)。

对 L_2 跨: $A_{n+1}^\phi = L_2^3 (7Q_4 + 8Q_3) / 360$

对 L_1 跨: 按图 19-3-28a, 梁上载荷分四部分分别列表: ①局部均布载荷 Q_1 ; ②局部均布载荷 Q_3 ; ③局部三角形载荷 $(Q_2 - Q_3)$; ④集中力 P_B 为简化起见, 令 $a = L_A - L_5$, $b = L_1 + L_5 - L_A$, $a_1 = A_2 - L_5$; $b_1 = L_1 + L_5 - A_2$, $\alpha = a/L_1$, $\beta = b/L_1$,

$\alpha_1 = a_1/L_1$, 查表得:

$$B_n^\phi = \frac{Q_1 a^2 L_1}{24} (2 - \alpha^2) + \frac{Q_3 b^2 L_1}{24} (2 - \beta)^2 + \frac{(Q_2 - Q_3) b^2 L_1}{360} (40 - 45\beta + 12\beta^2) + \frac{P_B a_1 b_1 (1 + \alpha_1)}{6}$$

将已知数据代入后, 得 $A_{n+1}^\phi = 1883166 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$, $B_n^\phi = 6389617 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$ 。

从图 19-3-28 可看出, 只有三个支点, 真实弯矩 M_A 、 M_C 可直接求得:

$$M_A = -Q_1 L_1^2 / 2 = 0$$

$$M_C = -(Q_4 + 2Q_5) L_3^2 / 6 = 89350 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

由式 (19-3-12) 即可求得 M_B :

$$M_B = \left[\left(\frac{3C}{L_2^2} + \frac{C}{L_1 L_2} - \frac{L_2}{6EJ} \right) M_C + \left(\frac{3C}{L_1^2} + \frac{C}{L_1 L_2} - \frac{L_1}{6EJ} \right) M_A - \frac{B_n^\phi + A_{n+1}^\phi}{EJ} - \frac{C}{L_1} R_A + \left(\frac{C}{L_1} + \frac{C}{L_2} \right) R_B - \frac{C}{L_2} R_C \right] / \left[\frac{L_1 + L_2}{3EJ} + \frac{3C(L_1^2 + L_2^2)}{L_1^2 L_2^2} \right]$$

$$= 322246 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

支座反力 A 、 B 、 C 为:

$$A = R_A + (M_B - M_A) / L_1 = 16292 \text{ N}$$

$$B = R_B - M_B / L_1 - M_B / L_2 + M_C / L_2 + M_A / L_1 = 17685 \text{ N}$$

$$C = R_C + (M_B - M_C) / L_2 = 11231 \text{ N}$$

真实反力和弯矩都已求出, 槽台强度校核即可进行, 橡胶块变形也可算得。

对于每侧有 5 个橡胶块的槽台计算方法同上。但必须得到中间三个支点的弯矩方程, 联立求解 3 个方程即可求得三个弯矩, 然后再求出 5 个支点的反力。

说明: 这种计算方法对于槽台强度校核来说, 并不是主要的, 因为其机架梁 (槽台) 的强度是足够的, 即使用简支梁校核也会满足强度要求。关键的问题是, 用这种方法才能确定弹性支座 (这里为橡胶块) 的受力状况。

第 4 章 柱和立架的设计与计算

1 柱和立架的形状

1.1 柱的外形

焊接柱按外形分为实腹柱和格构柱。

(1) 实腹柱

实腹柱分为型钢实腹柱（图 19-4-1）和钢板实腹柱（图 19-4-2）两种。前者焊缝少，应优先选用。后者适应性强，可按使用要求设计成各种大小尺寸。当腹板的计算高度 h_0 与腹板厚度 δ 之比大于 80 时，应有横向隔板加强，间距不得大于 $3h_0$ ；柱肢外伸自由宽度 b_0 不宜超过 $15t$ ，箱形柱的两腹板间宽度 b 也不宜超过 $40t$ （ t 为板厚）。

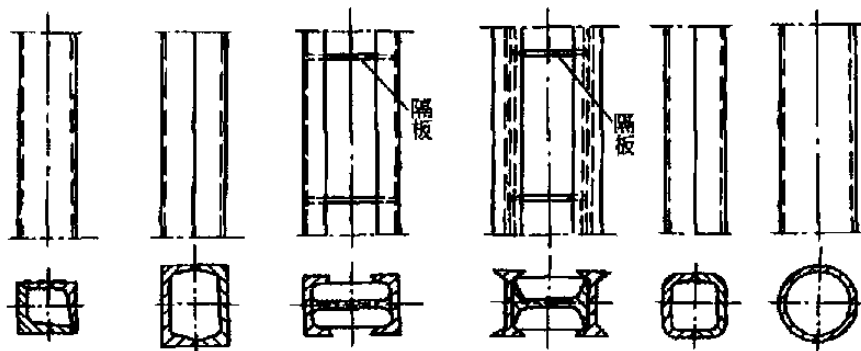


图 19-4-1 型钢实腹柱

柱的每一施工或运输单元，不得少于两块隔板。大型的并受弯曲的箱形柱，工作时有较大弯曲应力，推荐用图 19-4-3 所示的结构。其纵向筋板不管是用钢板、角钢或槽钢，都不许断开，长度不足时，须预先对接并焊透。

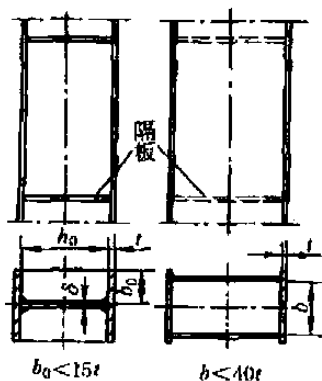


图 19-4-2 钢板实腹柱

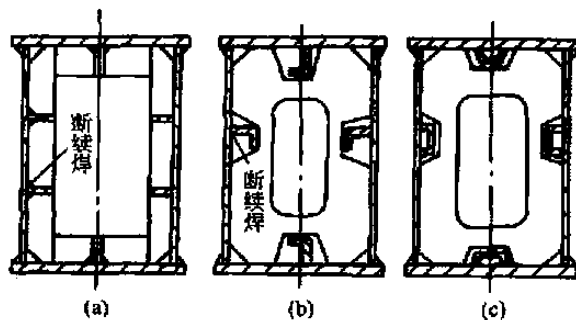


图 19-4-3 大型箱形柱断面结构

(2) 格构柱

格构柱分缀板式和缀条式两种 (图 19-4-4)。前者的承载能力较后者低, 但焊接较为方便。格构柱的重量轻, 省材料, 风的阻力小。但焊缝短, 不利于自动化焊接。在缀材面内剪力较大或宽度较大的格构式柱, 宜用缀条柱。格构式柱或大型实腹式柱, 在受有较大水平力处和运送单元的端部应设置横膈。横膈间距不得大于柱截面较大宽度的 9 倍或 8m。缀板宽度 $b \geq \frac{2}{3}h$ (h 为柱截面宽度); 缀板厚度 $\delta \geq \frac{1}{40}h$, 但不小于 6mm。缀板间距 l 由主柱局部长度的稳定性及缀板受力分析决定。

1.2 柱的截面形状

按轴心受压构件的截面分类如表 19-4-1。按机架上常用的柱的截面形状, 可分为等断面柱和变断面柱。

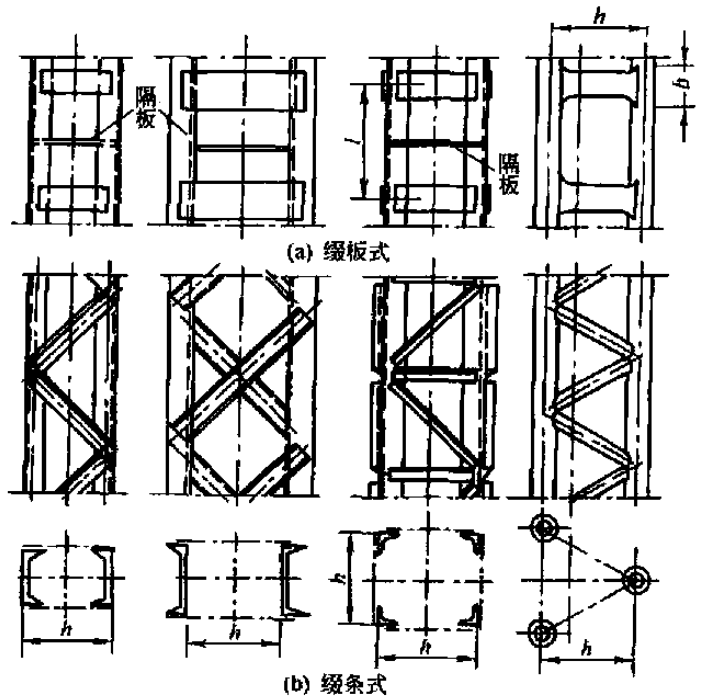
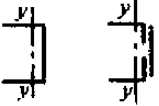
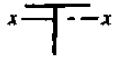
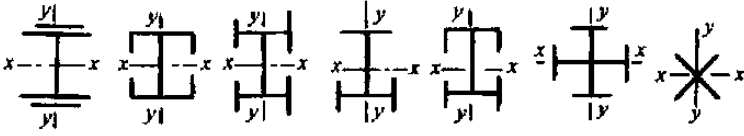
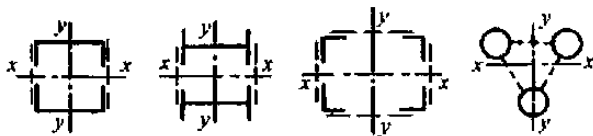
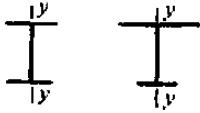

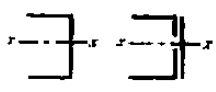


图 19-4-4 焊接格构柱

表 19-4-1

轴心受压构件的截面分类

截面形式和对应轴		类别
<p>轧制, $b/h \leq 0.8$ 对 x 轴</p>	<p>轧制, 对任意轴</p>	a 类
<p>轧制, $b/h \leq 0.8$ 对 y 轴</p>	<p>轧制, $b/h > 0.8$, 对 x, y 轴</p>	b 类
<p>焊接, 翼缘为焰切边, 对 x, y 轴</p>	<p>焊接, 翼缘为轧制或 剪切边, 对 x 轴</p>	
<p>轧制, 对 x, y 轴</p>	<p>轧制, 对 x, y 轴</p>	
<p>轧制(等边角钢), 对 x, y 轴</p>	<p>焊接, 对任意轴</p>	

截面形式和对应轴		类别
 <p>轧制或焊接, 对 y 轴</p>	 <p>轧制或焊接, 对 x 轴</p>	b 类
 <p>焊接, 对 x, y 轴</p>		
 <p>格构式, 对 x, y 轴</p>		
 <p>焊接, 翼缘为轧制或剪切边, 对 y 轴</p>	 <p>轧制或焊接, 对 y 轴</p>	c 类
 <p>轧制或焊接, 对 x 轴</p>	<p>无任何对称轴的截面, 对任意轴</p> <p>板件厚度大于 40mm 的焊接实腹截面, 对任意轴</p>	

注: 当槽形截面用于格构式构件的分肢、计算分肢对垂直于腹板轴的稳定性时, 应按 b 类截面考虑。

1.3 立柱的外形与影响刚度的因素

1.3.1 起重机龙门架外形

第 1 章图 19-1-15 已示出起重机龙门架结构类型; 图 19-4-5 为起重机龙门架中一种较详细的结构; 图 19-4-6 为 $Q=150t$ 门座起重机的八杆门架。起重机龙门架桁架的结构形式可参看第 5 章。

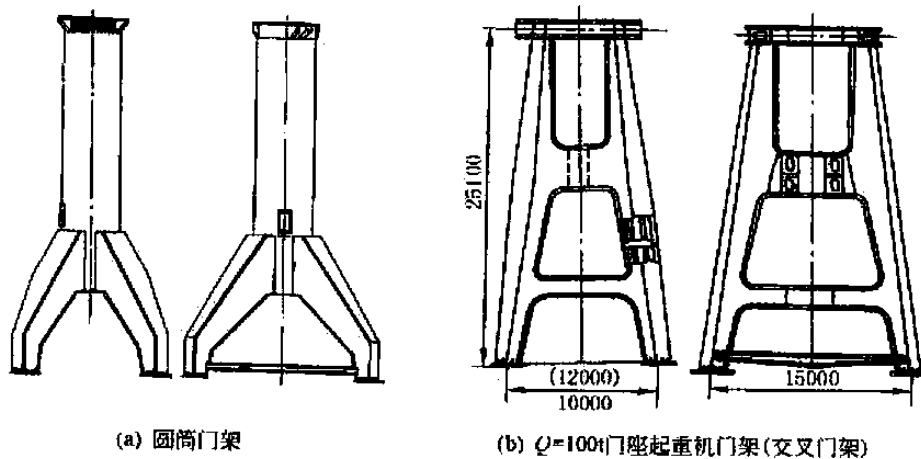


图 19-4-5 起重机龙门的门架

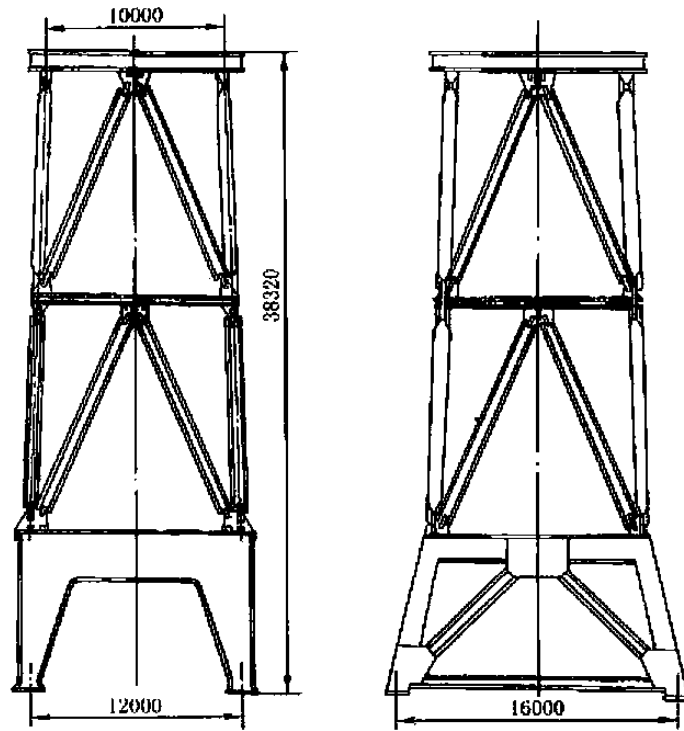


图 19-4-6 $Q = 150t$ 门座起重机的八杆门架

图 19-4-7 则是 Π 形截面桁架式龙门架的示意图。该桁架结构的龙门架或装卸桥桥梁；主架在跨度范围内（两支腿之间）的主桁架高度 $H_1 = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{8}\right)L$ ，在悬臂靠近支腿处的主桁架高度 $H_1 = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right)L_1$ ，对有悬臂的主梁，其悬臂的有效长 $L_1 = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right)L$ ，此时，两片主桁架之间的距离 A_0 常取为 $A_0 = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{15}\right)L$ ， Π 形面桁架的下水平桁架宽度 b_0 常取为 $b_0 \geq \frac{L}{35}$ ，所有斜杆的倾角取为 $\alpha = 40^\circ \sim 50^\circ$ 。轮距 $B = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{4}\right)L$ 。

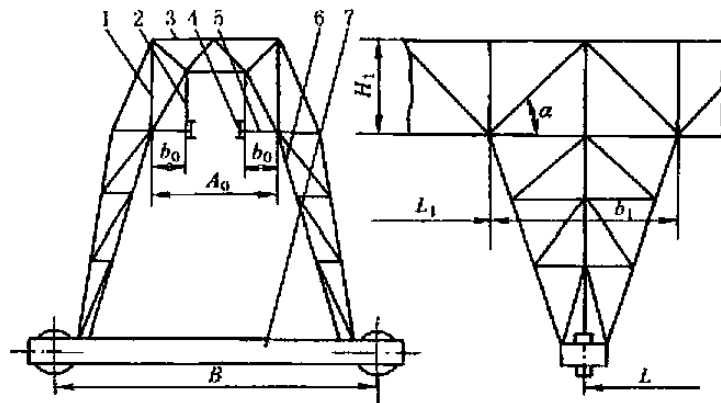


图 19-4-7 Π 形截面桁架式龙门架示意图

1—主桁架；2— Π 形框架；3—上水平桁架；4—承轨梁；
5—下水平桁架；6—支腿；7—支腿下横梁

1.3.2 机床立柱及其他

各种形状的机床立柱见图 19-4-8。

图 19-4-9 为大型落地镗铣床的焊接立柱，是封闭箱形截面结构。前面为双层壁板结构，用以承受安装导轨的载荷。图 19-4-10 为各种压力机机身和机床的立柱截面形状。

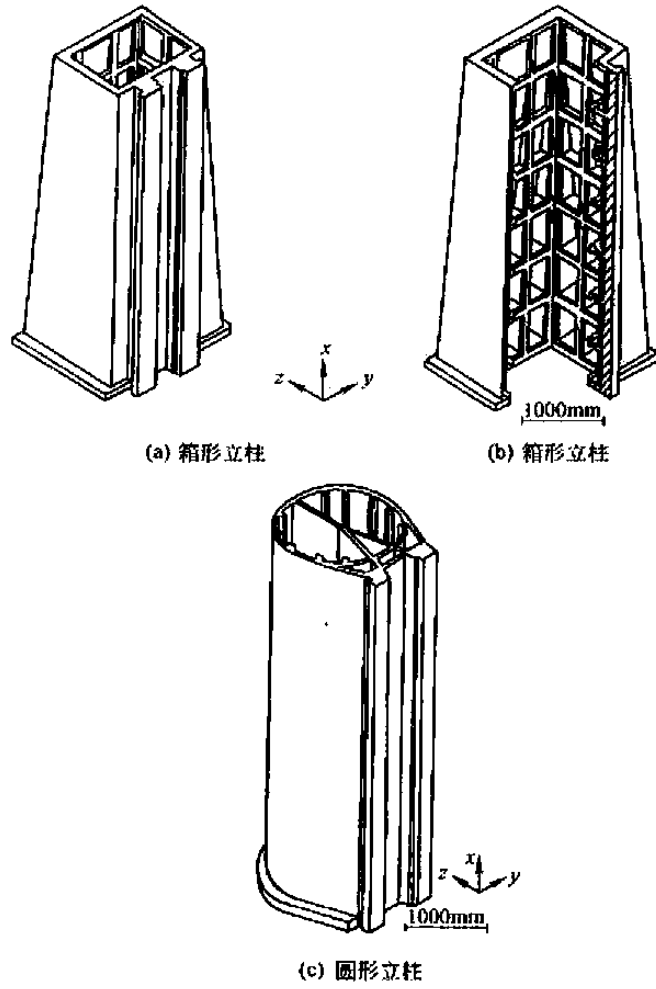


图 19-4-8 机床的立柱

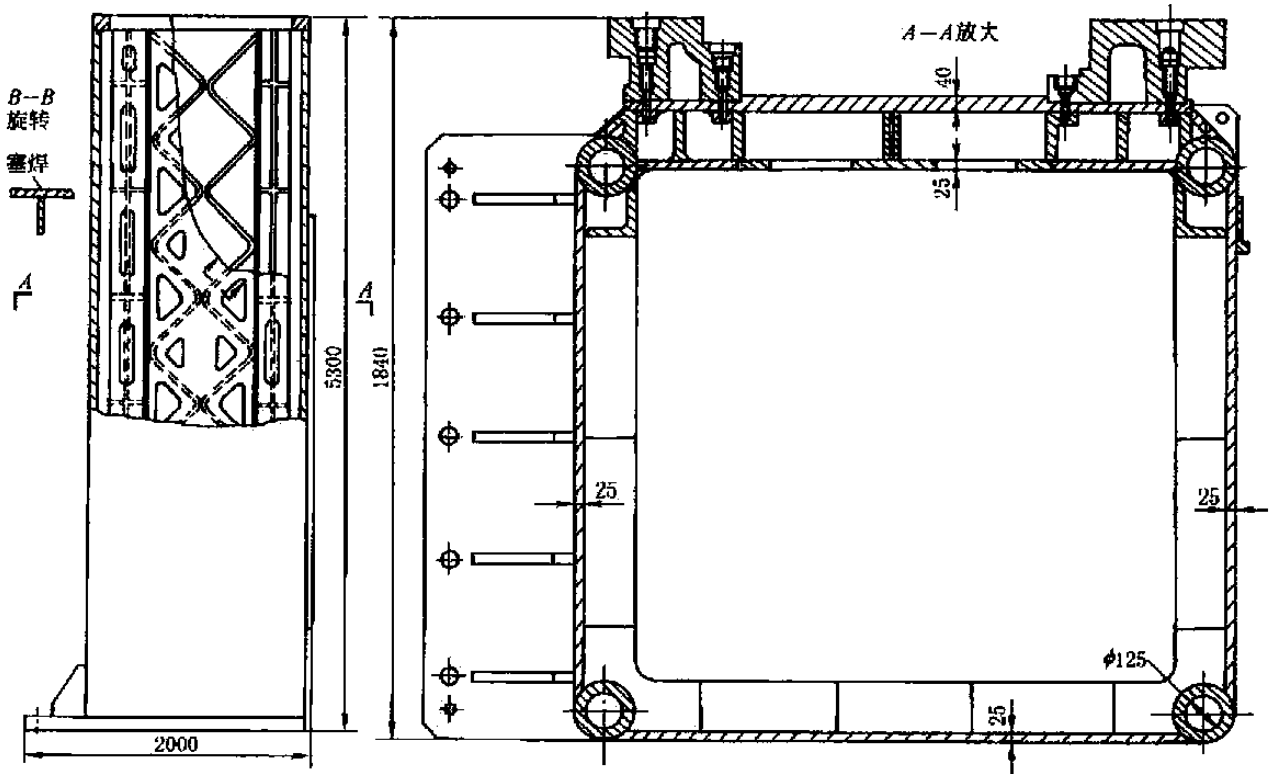


图 19-4-9 大型落地镗铣床的焊接立柱

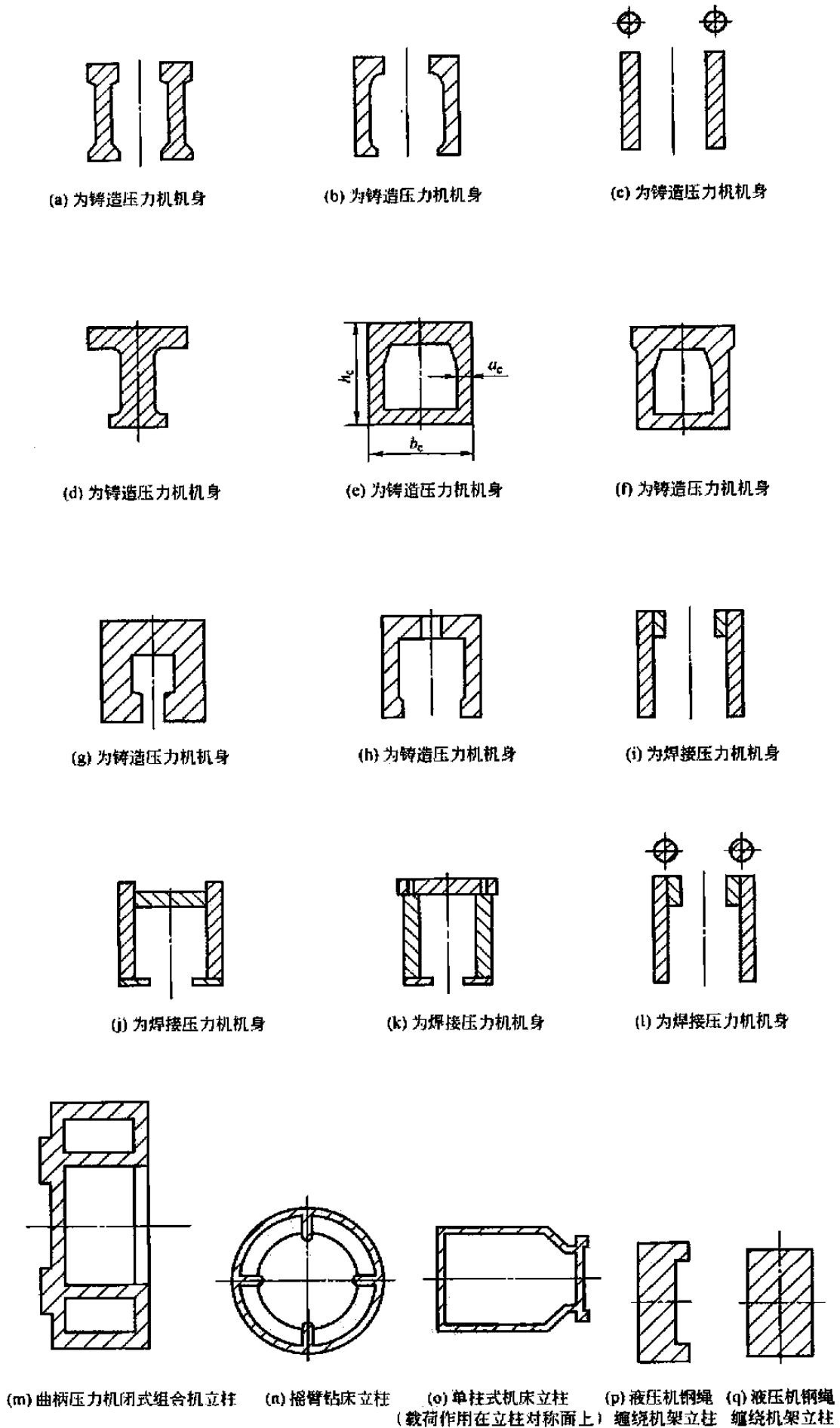


图 19-4-10 各种压力机机身和机床的立柱截面形状

从本节的图形可以看出，许多立柱的断面不是由计算确定的，而是根据实际检测及其适用性在实践中修改设计的，以保证有良好的刚度和使用性能。

1.3.3 各种立柱类构件的刚度比较

表 19-4-2 各种立柱类构件的刚度比较

简 图														
	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有	无	有
相对抗弯刚度	1	1	1.17	1.13	1.14	1.21	1.19	1.32	0.91	0.85				
单位重量的相对抗弯刚度	1	1	0.94	0.90	0.76	0.90	0.83	0.85	0.85	0.75				
相对抗扭刚度	1	7.9	1.4	7.9	2.3	10	12.2	18	19.4	15	17			
单位重量的相对抗扭刚度	1	7.9	1.1	6.5	1.54	7.54	9.3	10.8	12.2	14	14.6			
相对抗弯动刚度	1	2.3	1.2		3.8	5.8		3.5		3.0	2.75	3.0		
相对抗扭动刚度(振型 I)	1.22				3.76	10.5				12.2	11.7			
相对抗扭动刚度(振型 II)	7.7	44			6.5			61.5	6.1	42	6.1	26.3		

注：振型 I—固有频率为 450~750Hz 的严重畸变扭振；振型 II—固有频率为 1300Hz 的纯扭转的扭振。

1.3.4 螺钉及外肋条数量对立柱连接处刚度的影响

表 19-4-3 螺钉及外肋条的数量对立柱连接处刚度的影响

简 图										
	相对抗弯刚度(x 向)	1	1	1.4	1.37	1.37				
相对抗弯刚度(y 向)	1	1.1	1.2	1.3	1.43					
相对抗扭刚度	1	1.25	1.35	1.42	1.52					

2 柱的连接及柱和梁的连接

2.1 柱的拼接

第 3 章 1.1 节中结点设计原则及连接节点的拼接或连接方法也适用于柱的连接及柱和梁的连接。柱的拼接连

接示意图见图 19-4-11。

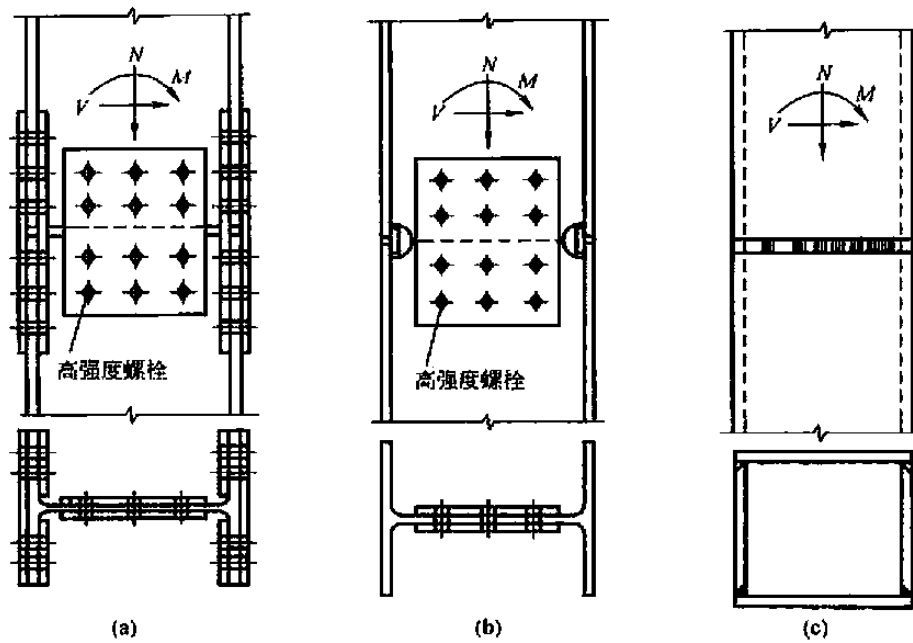


图 19-4-11 柱的拼接连接示意图

2.2 柱脚的设计与连接

柱脚的连接分铰结柱脚和刚结柱脚。

铰结柱脚只承受柱子的轴心压力和水平剪力。铰结柱脚示意图见图 19-4-12。

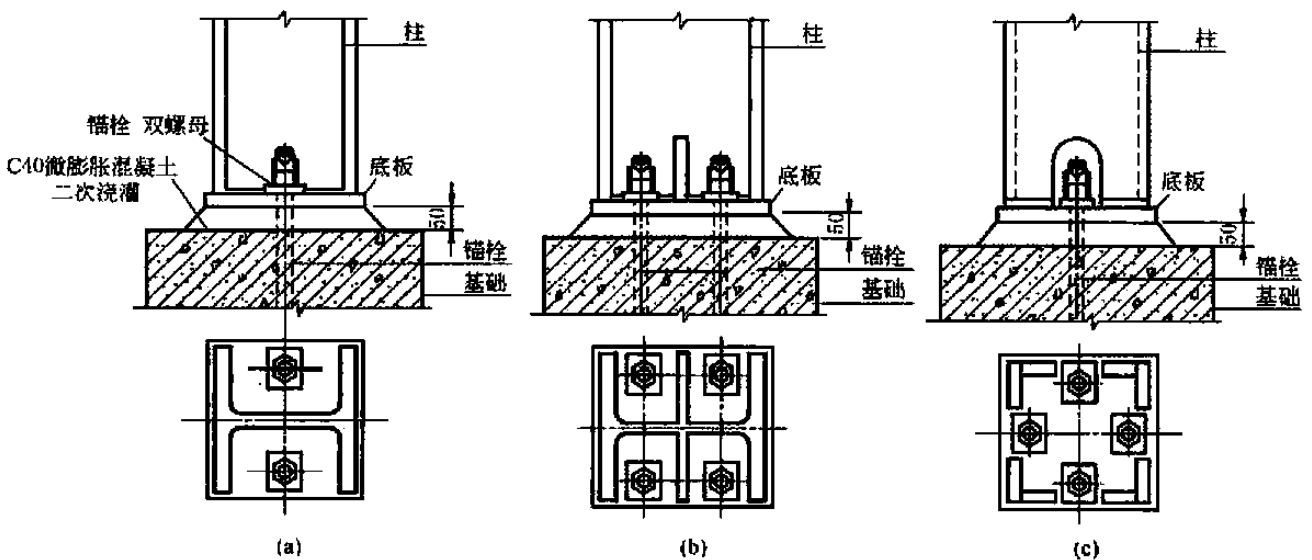


图 19-4-12 铰结柱脚示意图

刚性固定柱脚不仅承受柱子的轴心压力和水平剪力，还要承受柱子的弯矩，如图 19-4-13 所示。图中，图 a、b 是连接露于基础外面的；图 c、d 是连接埋于基础的（属大型结构，由土建设计）。

对于机械结构而言，一般分有铰柱脚和无铰柱脚。无铰柱脚在受力分析时有时仍按铰结来处理。

① 有铰柱脚（图 19-4-14）这类柱脚的支承环通常用锻件或铸件，它和柱子连接处应采用肋板或补强板，以提高局部强度和刚性。图 c 的铸造支承环宜用对接的连接，使焊缝避开工作应力复杂的区域。

② 无铰柱脚（图 19-4-15）图 a、b 是需要与基体直接焊成一体的结构；图 c、d 是靠铆钉或螺钉固定到基体上的结构。

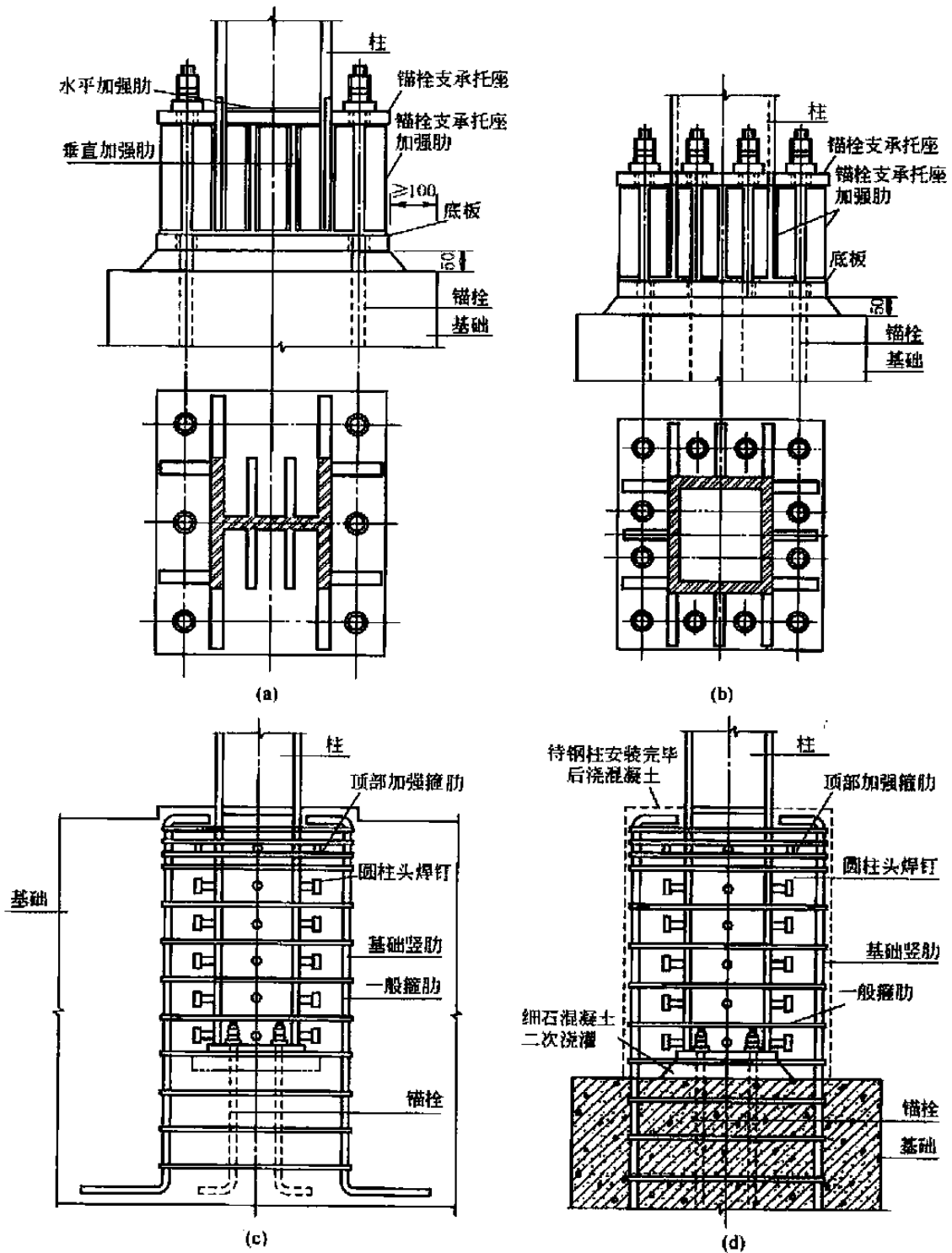


图 19-4-13 刚性固定柱脚示意图

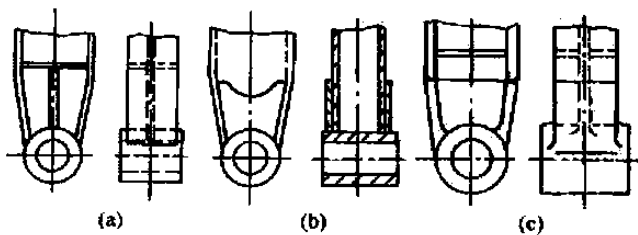


图 19-4-14 有铰柱脚

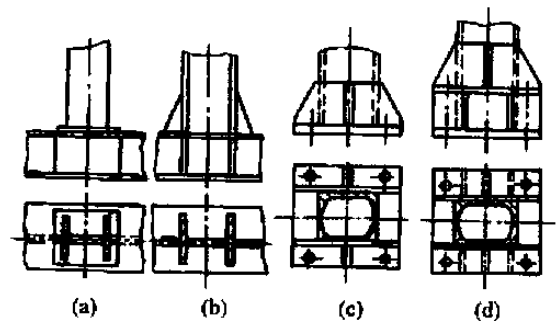


图 19-4-15 无铰柱脚

2.3 梁和柱的连接

梁和梁的连接分铰接和刚性连接两种。同样，铰接只传递拉力和剪力而不传递力矩；刚接则还传递力矩。还有一种半刚性连接，可传递部分力矩，但在机械计算中为简便起见，也按铰接考虑。

连接是以焊接连接为主，很少用螺钉或铆接。焊接方法可参看有关焊接规范。下面主要介绍用螺栓的连接方法。焊接连接结构可参看第3章第1节“梁的设计”，或仿此设计。

图19-4-16为梁和梁采用螺钉或铆钉的连接形式，有的梁有承载薄板，皆属于铰接接头。

图19-4-17为梁与柱的连接形式。其中a~d为铰接连接；e、f为半刚性连接。

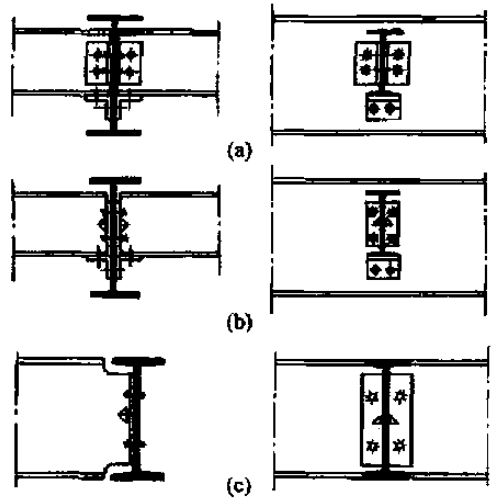


图19-4-16 梁和梁的连接形式

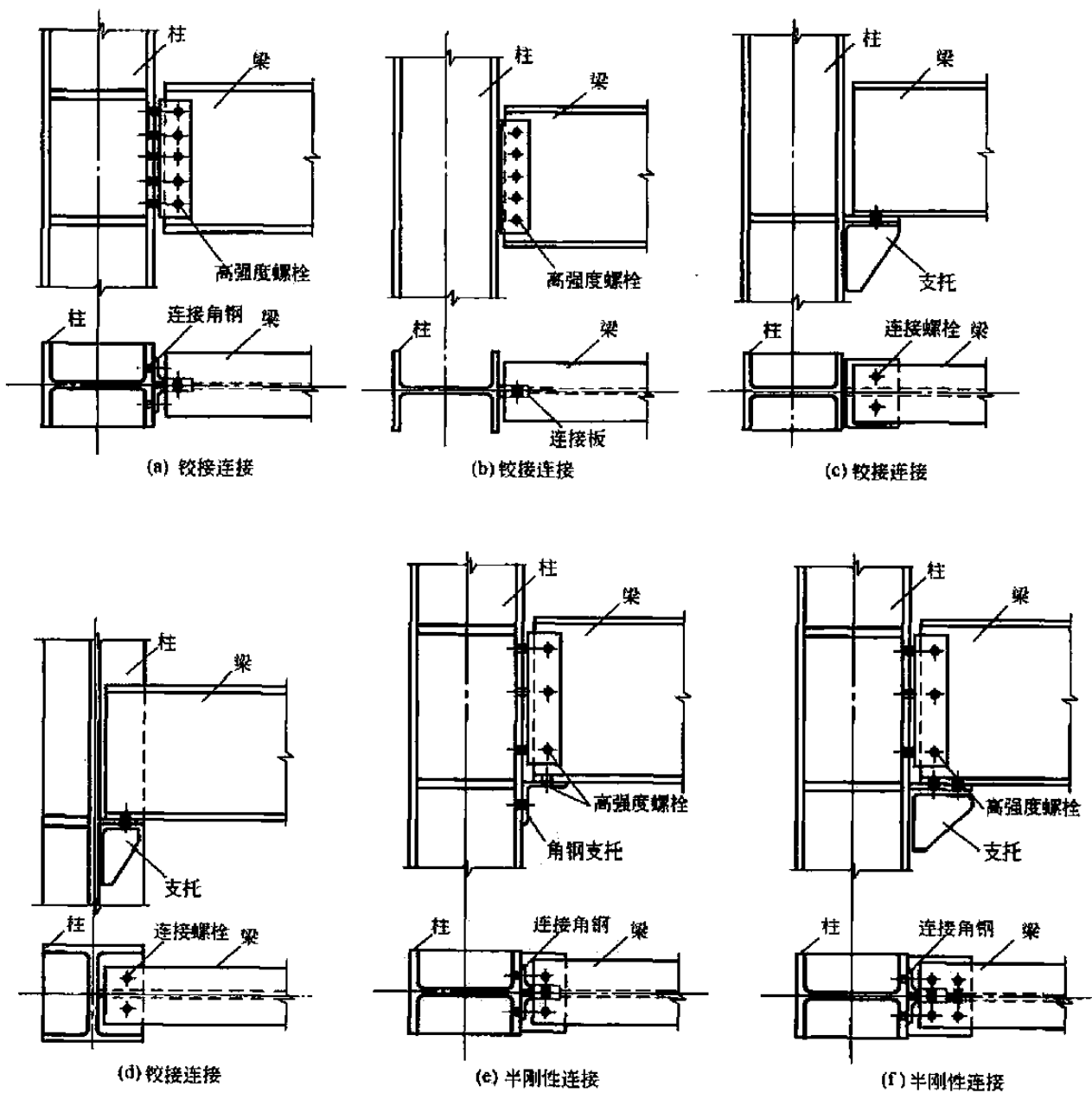


图19-4-17 梁与柱的连接形式

梁与梁或梁与柱的刚性连接即抗弯连接必须保证弯矩的传递。图 19-4-18 所示为越过一根大梁的抗弯的梁连接，关键是梁的翼缘必须用盖板相连。此时，大梁的腹板是可能有间隙的。图 19-4-19 则是梁的相互连接之间有支座时的螺栓连接情况。

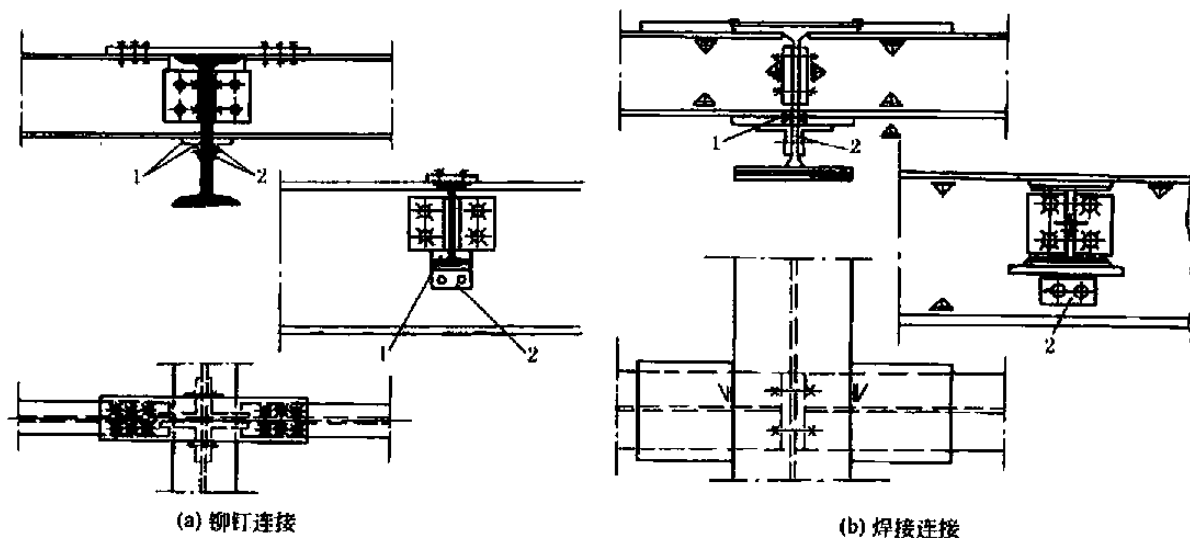


图 19-4-18 越过一根大梁的抗弯的梁连接
1—压块；2—安装角钢

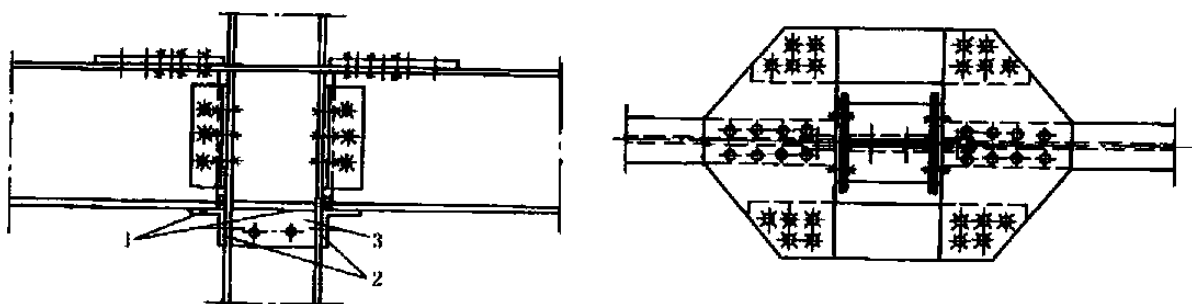


图 19-4-19 梁通过支座时的相互连接
1—压块；2—安装角钢；3—装配角钢

图 19-4-20 为梁和柱的连接示例。

斜梁与柱连接成门式刚架时，端板可以采用竖放、横放或斜放三种形式，如图 19-4-21 所示。

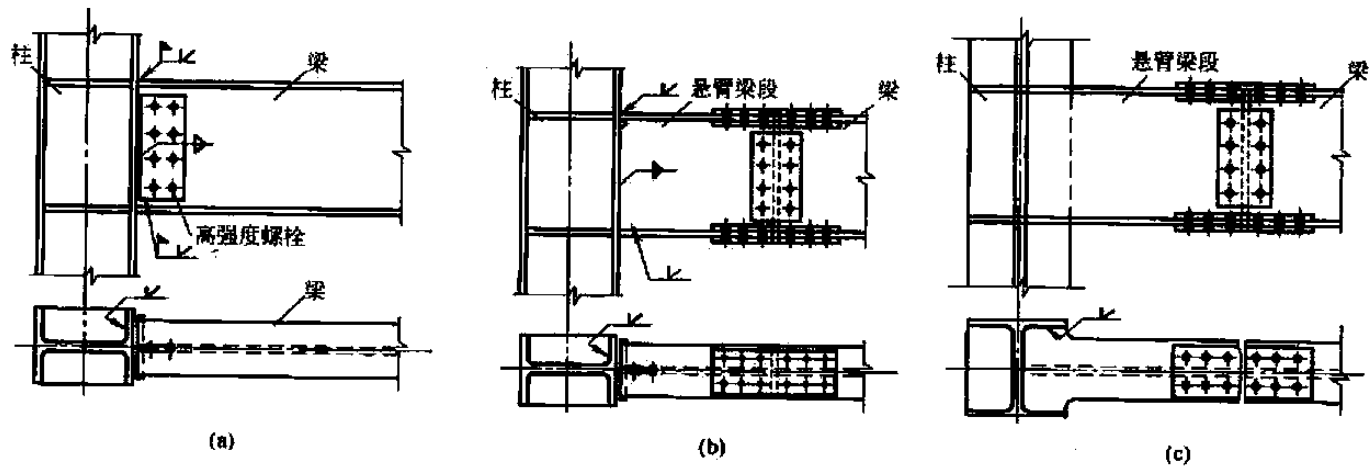


图 19-4-20 梁和柱的连接示例

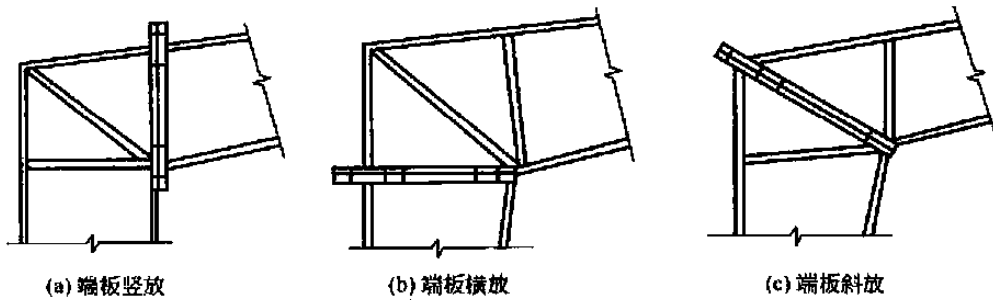


图 19-4-21 斜梁与柱连接成门式刚架

螺栓或铆钉的最大、最小允许距离见表 19-4-4。螺钉及外肋条的数量对立柱连接处刚度的影响见表 19-4-3。

表 19-4-4 螺栓或铆钉的最大、最小允许距离

名称	位置和方向		最大允许距离 (取两者的较小值)	最小允许距离	
中心间距	任意方向	外排	$8d_0$ 或 $12t$	$3d_0$	
		中间排	构件受压力		$12d_0$ 或 $18t$
			构件受拉力		$16d_0$ 或 $24t$
中心至构件 边缘的距离	顺内力方向		$4d_0$ 或 $8t$	$2d_0$	
	垂直内力方向	切割边		$1.5d_0$	
		轧制边		高强度螺栓	$1.2d_0$
				其他螺栓或铆钉	

注：1. d_0 为螺栓或铆钉的孔径； t 为外层较薄板件的厚度。

2. 钢板边缘与刚性构件（如角钢、槽钢等）相连的螺栓或铆钉的最大间距，可按中间排的数值采用。

3 稳定性计算

立架或柱的计算方法与梁的计算相似，但受压杆件必须进行稳定性校核计算。对于受弯构件的梁来说，若受到轴向压力，也必须进行稳定性校核。

3.1 不作稳定性计算的条件

关于梁的局部稳定性见第 3 章 1.5 节，关于梁的整体稳定性见第 3 章 1.4 节。该两节的规定对于柱也是适用的。主要是两点：

① 有铺板（各种钢筋混凝土板和钢板）密铺在梁或柱的受压翼缘上并与其牢固相连，能阻止其侧向位移时，可不必进行稳定性校核；

② 工字形截面简支梁受压翼缘的自由长度与其宽度之比不超过表 19-3-4 所规定的数值，钢板焊接的箱形截面的简支梁的截面尺寸在图 19-3-14 上面的规定的数值范围之内，可不必进行稳定性校核。

关于单根杆件的临界载荷、临界应力和稳定性计算及计算举例可参看本手册第 1 章有关内容。本节只少量重复与本节相关的内容和介绍第 1 章中未涉及的资料。

3.2 轴心受压构件的稳定性验算公式

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} < \sigma_p \quad (19-4-1)$$

式中 A ——构件的毛截面面积, mm^2 ;

N ——计算轴向压力, N ;

φ ——根据构件的最大长细比或最大的换算长细比选取的轴心受压构件稳定系数, φ 值按表 19-4-5 选取 (长细比 λ 的计算见本章 3.3 节)。

当钢材的屈服点 σ_s 高于 $350\text{N}/\text{mm}^2$ 时, 可近似用构件的假想长细比 λ_F , 按 16Mn 钢选取 φ 。 λ_F 的计算公式如下:

$$\lambda_F = \lambda \sqrt{\frac{\sigma_s}{350}} \quad (19-4-2)$$

式中 σ_s ——所选材料的屈服点, N/mm^2 。

表 19-4-5

轴心受压构件的稳定系数 φ 值

λ	材 料		λ	材 料	
	Q235	16Mn		Q235	16Mn
0	1.000	1.000	130	0.401	0.279
10	0.995	0.993	140	0.349	0.242
20	0.981	0.973	150	0.306	0.213
30	0.958	0.940	160	0.272	0.188
40	0.927	0.895	170	0.243	0.168
50	0.888	0.840	180	0.218	0.151
60	0.842	0.776	190	0.197	0.136
70	0.789	0.705	200	0.180	0.124
80	0.731	0.627	210	0.164	0.113
90	0.669	0.546	220	0.151	0.104
100	0.604	0.462	230	0.139	0.096
110	0.536	0.384	240	0.129	0.089
120	0.466	0.325	250	0.120	0.082

3.3 结构件长细比的计算

(1) 结构件的长细比按式 (19-4-3) 计算:

$$\lambda = \frac{l_c}{r} \leq \lambda_p \quad (19-4-3)$$

式中 l_c ——结构件的计算长度, 其计算方法见 (下面) 3.4 节, mm ;

r ——构件毛截面对某轴的回转半径, mm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (19-4-4)$$

I ——结构件对某轴的毛截面惯性矩, mm^4 ;

λ_p ——结构件的许用长细比, 见表 19-4-6。

表 19-4-6

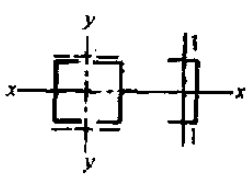
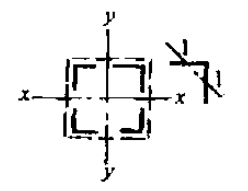
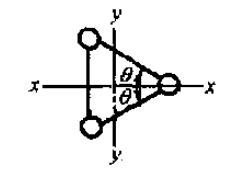
结构件许用长细比 λ_p

构 件 名 称		受拉结构件	受压结构件
主要承载结构件	对桁架的弦杆	150	120
	对整个结构	180	150
次要承载结构件 (如主桁架的其他杆、辅助桁架的弦杆等)		200	150
其他 构 件		350	250

(2) 当结构件为格构式的组合结构件时, 其整个结构件的换算长细比可按表 19-4-7 计算。

表 19-4-7

格构式构件换算长细比 λ_h 计算公式

构件截面形式	缀材类别	计算公式	符号意义
	缀板	$\lambda_{hy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$	λ_y —— 整个构件对虚轴的长细比 λ_1 —— 单肢对 1-1 轴的长细比, 其计算长度取缀板间的净距离 (铆接构件取缀板边缘铆钉中心间的距离)
	缀条	$\lambda_{hy} = \sqrt{\lambda_y^2 + 27 \frac{A}{A_1}}$	A —— 构件横截面所截各弦杆的毛截面面积之和 A_1 —— 构件横截面所截各斜缀条的毛截面面积之和
	缀板	$\lambda_{hx} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2}$ $\lambda_{hy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$	λ_1 —— 单肢对最小刚度轴 1-1 的长细比, 其计算长度取缀板间的净距离 (铆接构件取缀板边缘铆钉中心间的距离)
	缀条	$\lambda_{hx} = \sqrt{\lambda_x^2 + 40 \frac{A}{A_{1x}}}$ $\lambda_{hy} = \sqrt{\lambda_y^2 + 40 \frac{A}{A_{1y}}}$	A_{1x} —— 构件横截面所截垂直于 xx 轴的平面内各斜缀条的毛截面面积之和 A_{1y} —— 构件横截面所截垂直于 yy 轴的平面内各斜缀条的毛截面面积之和
	缀条	$\lambda_{hx} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{42A}{A_1(1.5 - \cos^2 \theta)}}$ $\lambda_{hy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{42A}{A_1 \cos^2 \theta}}$	θ —— 缀条所在平面和 x 轴的夹角

注: 1. 缀板组合结构件的单肢长细比 λ_1 不应大于 40。缀板尺寸应符合下列规定: 缀板沿柱纵向的宽度不应小于肢件轴线间距离的 2/3, 厚度不应小于该距离的 1/40, 并不小于 6mm。

2. 斜缀条与结构件轴线间倾角应保持在 $40^\circ \sim 70^\circ$ 范围内。

3.4 结构件的计算长度

3.4.1 等截面柱

(1) 等截面杆件只考虑支承影响, 受压构件计算长度按式 (19-4-5) 计算:

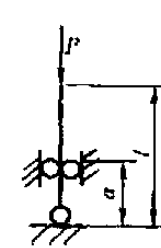
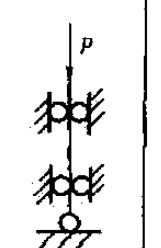
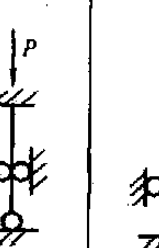
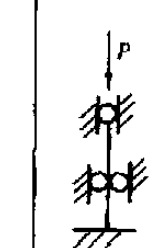
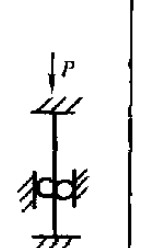


$$l_c = \mu_1 l \quad (19-4-5)$$

式中 l —— 构件的实际几何长度;

μ_1 —— 与支承方式有关的 (在两个平面内不一定相同) 长度系数, 见表 19-4-8。

表 19-4-8

长度系数 μ_1 值

a/l	构件支承方式							
								
0	2.00	0.70	0.50	2.00	0.70	0.50	1.00	1.00
0.1	1.87	0.65	0.47	1.85	0.65	0.46	0.93	0.93
0.2	1.73	0.60	0.44	1.70	0.59	0.43	0.87	0.85
0.3	1.60	0.56	0.41	1.55	0.54	0.39	0.80	0.78
0.4	1.47	0.52	0.41	1.40	0.49	0.36	0.75	0.70
0.5	1.35	0.50	0.44	1.26	0.44	0.35	0.70	0.64
0.6	1.23	0.52	0.49	1.11	0.41	0.36	0.67	0.58
0.7	1.13	0.56	0.54	0.98	0.41	0.39	0.67	0.53
0.8	1.06	0.60	0.59	0.85	0.44	0.43	0.68	0.51
0.9	1.01	0.65	0.65	0.76	0.47	0.46	0.69	0.50
1.0	1.00	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.70	0.50

(2) 作用力作用于柱的中部时的稳定系数计算见第 1 卷。

3.4.2 变截面受压构件

变截面受压构件计算长度按式 (19-4-6) 计算, 构件的截面惯性矩取原构件的最大截面惯性矩:

$$l_c = \mu_1 \mu_2 l \tag{19-4-6}$$

式中 μ_2 —— 变截面长度系数, 见表 19-4-9 ~ 表 19-4-11, 等截面时 $\mu_2 = 1$ 。

表 19-4-9 变截面长度系数 μ_2 值



变截面形式	I_{min}/I_{max}	μ_2	变截面形式	I_{min}/I_{max}	μ_2
 I_x 呈线性变化	0.1	1.45	 I_x 呈抛物线变化	0.1	1.66
	0.2	1.35		0.2	1.45
	0.4	1.21		0.4	1.24
	0.6	1.13		0.6	1.13
	0.8	1.06		0.8	1.05

表 19-4-10 变截面长度系数 μ_2 值





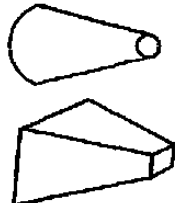
变截面形式	μ_2						
	I_{min}/I_{max}	n	m				
			0	0.2	0.4	0.6	0.8
 $\frac{I_x}{I_{max}} = \left(\frac{x}{x_1}\right)^n, m = \frac{a}{l}$ $n=1$  $n=2$  $n=3$  $n=4$ 	0.1	1	1.23	1.14	1.07	1.02	1.00
		2	1.35	1.22	1.10	1.03	1.00
		3	1.40	1.31	1.12	1.04	1.00
		4	1.43	1.33	1.13	1.04	1.00
	0.2	1	1.19	1.11	1.05	1.01	1.00
		2	1.25	1.15	1.07	1.02	1.00
		3	1.27	1.16	1.08	1.03	1.00
		4	1.28	1.17	1.08	1.03	1.00
	0.4	1	1.12	1.07	1.04	1.01	1.00
		2	1.14	1.08	1.04	1.01	1.00
		3	1.15	1.09	1.04	1.01	1.00
		4	1.15	1.09	1.04	1.01	1.00
	0.6	1	1.07	1.04	1.02	1.01	1.00
		2	1.08	1.05	1.02	1.01	1.00
		3	1.08	1.05	1.02	1.01	1.00
		4	1.08	1.05	1.02	1.01	1.00
	0.8	1	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00
		2	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00
		3	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00
		4	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00

表 19-4-11

变截面长度系数 μ_2 值 (箱形伸缩臂)

伸缩臂几何特性	<p>(a)</p>					<p>(b)</p>												
	β_2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	β_2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5						
β_3	—	—	—	—	—	β_3	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5				
μ_2	1.015	1.030	1.046	1.062	1.078	μ_2	1.052	1.090	1.100	1.145	1.145	1.195	1.190	1.244	1.230	1.290		
伸缩臂几何特性	<p>(c)</p>																	
	β_2	1.3					1.6											
β_3	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9										
β_4	1.3	2.5	1.3	2.54	1.34	2.5	1.3	2.5	1.39	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.085	1.100	1.115	1.140	1.140	1.170	1.165	1.200	1.190	1.230	1.150	1.170	1.180	1.208	1.210	1.245		
β_2	1.6					1.9					2.2							
β_3	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3										
β_4	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.240	1.278	1.270	1.310	1.205	1.235	1.245	1.275	1.280	1.315	1.310	1.350	1.345	1.390	1.260	1.290		
β_2	2.2					2.5												
β_3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5				
β_4	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.300	1.338	1.340	1.380	1.380	1.422	1.412	1.465	1.315	1.350	1.360	1.396	1.400	1.444	1.440	1.490	1.480	1.535
伸缩臂几何特性	<p>(d)</p>																	
	β_2	1.3					1.6											
β_3	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9										
β_4	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.160	1.255	1.215	1.325	1.270	1.395	1.320	1.460	1.365	1.520	1.250	1.360	1.310	1.440	1.370	1.515		
β_2	1.6					1.9					2.2							
β_3	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3										
β_4	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.430	1.590	1.480	1.660	1.330	1.450	1.400	1.545	1.465	1.630	1.530	1.710	1.590	1.790	1.410	1.540		
β_2	2.2					2.5												
β_3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5				
β_4	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5	1.3	2.5		
μ_2	1.490	1.645	1.560	1.730	1.630	1.820	1.690	1.900	1.485	1.625	1.565	1.735	1.640	1.830	1.715	1.925	1.785	2.010

注: 1. I_i 为第 i 节臂的截面平均惯性矩。

2. 若 β 值处在 1.3 和 2.5 之间, 可用线性插值法查得 μ_2 值。

3. 取表中 (d) 栏里的数值时, β_5 可为任意值。

3.4.3 桁架构件的计算长度

1) 确定桁架交叉腹杆的长细比时, 在桁架平面内的计算长度应取节点中心到交叉点间的距离, 在桁架平面外的计算长度应按表 19-4-12 的规定采用。

表 19-4-12 桁架交叉腹杆在桁架平面外的计算长度

项次	杆件类别	杆件的交叉情况	桁架平面外计算长度
1	压杆	当相交的另一杆受拉, 且两杆在交叉点均不中断	$0.5l$
2		当相交的另一杆受拉, 两杆中有一杆在交叉点中断并以节点板搭接	$0.7l$
3		其他情况	l
4	拉杆		l

注: 1. l 为节点中心间距 (交叉点不作为节点考虑)。

2. 当两交叉杆都受压时, 不宜有一杆中断。

3. 当确定交叉腹杆中单角钢压杆斜平面内的长细比时, 计算长度应取节点中心至交叉点间距离。

2) 确定桁架弦杆和单系腹杆的长细比时, 其计算长度 l_0 应按表 19-4-13 的规定采用。

如桁架弦杆侧向支承点之间的距离为节间长度的 2 倍 (图 19-4-22), 且侧向支承点之间的轴心压力有变化时, 则该弦杆在桁架平面外的计算长度应按式 (19-4-7) 确定:

$$l_0 = l_1 \left(0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (19-4-7)$$

但不小于 $0.5l_1$ 。

式中 N_1 ——较大的压力, 计算时取正值;

N_2 ——较小的压力或拉力, 计算时压力取正值, 拉力取负值。

桁架再分式腹杆体系的受压主斜杆 (图 19-4-23a) 及 K 形腹杆体系的竖杆 (图 19-4-23b) 等, 在桁架平面外的计算长度也应按式 (19-4-7) 确定 (受拉主斜杆仍取 l_1); 在桁架平面内的计算长度则取节点中心间距。

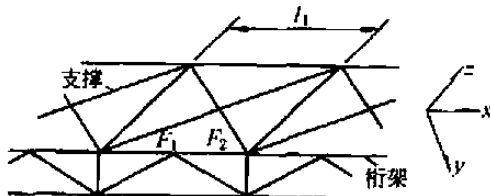


图 19-4-22 弦杆轴心压力在侧向支承点之间有变化的桁架简图



图 19-4-23 受压腹杆压力有变化的桁架简图

表 19-4-13 桁架弦杆和单系腹杆的计算长度 l_0

项次	弯曲方向	弦杆	腹杆	
			支座斜杆和支座竖杆	其他腹杆
1	在桁架平面内	l	l	$0.8l$
2	在桁架平面外	l_1	l	l
3	斜平面	—	l	$0.9l$

注: 1. l 为构件的几何长度 (节点中心间距); l_1 为桁架弦杆侧向支承点之间的距离。

2. 第 3 项斜平面是指与桁架平面斜交的平面, 适用于构件截面两主轴均不在桁架平面内的单角钢腹杆和双角钢十字形截面腹杆。

3. 无节点板的腹杆计算长度在任意平面内均取其等于几何长度。

3.4.4 特殊情况

在特种情况下,例如,考虑到起重机吊臂端部有变幅拉臂钢丝绳或起升钢丝绳的有利影响,吊臂在回转平面内的计算长度还要考虑长度系数,按式(19-4-8)计算:

$$l_c = \mu_1 \mu_2 \mu_3 l \quad (19-4-8)$$

式中 μ_3 ——由于拉臂钢丝绳或起升钢丝绳影响的长度系数。当吊臂由拉臂钢丝绳变幅时(图19-4-24a),长度系数可由式(19-4-9)求得。若计算值小于1/2时,则 μ_3 取1/2。

$$\mu_3 = 1 - \frac{A}{2B} \quad (19-4-9)$$

当吊臂由变幅油缸变幅时(图19-4-24b),起升绳影响的长度系数可由式(19-4-10)求得:

$$\mu_3 = 1 - \frac{c}{2} \quad (19-4-10)$$

$$c = \frac{1}{\cos\alpha + a\sin\theta} \cdot \frac{l}{H}$$

式中 a ——起升滑轮组倍率;
 l ——吊臂长度;
 θ, α, A, B, H ——几何尺寸,见图19-4-24。

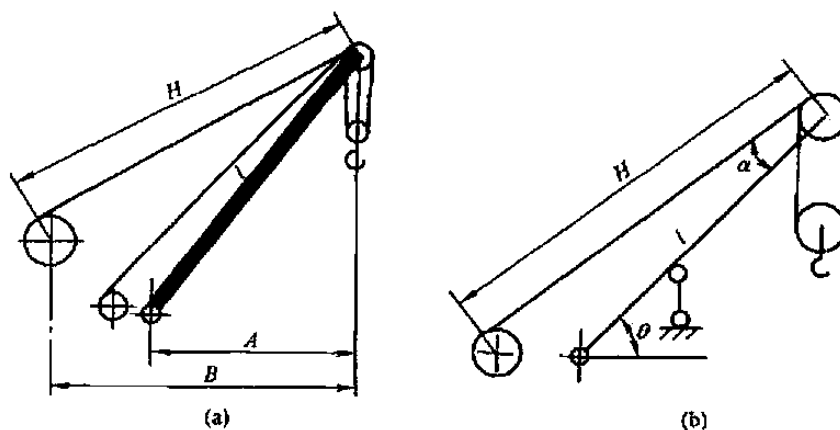


图 19-4-24

3.5 偏心受压构件

对于偏心受压构件,因为在机架结构强度方面都设计得偏于安全,且通常都有其他设备和构件相互接触或限制,一般说来计算受压和受弯的合成应力就足够了。但有些情况下,例如结构比较单薄,或偏心弯矩和压力都很大时,或者构件受轴向力及受绕强轴(x 轴)和弱轴(y 轴)的双向弯矩时,特别是对绕弱轴的弯矩较大时,则为了安全起见,除用一般强度公式验算强度外,还验算其稳定性。详细计算可参看GB/T 3811—1983(2004 审认)《起重机设计规范》。可以先采用如下的方法简单计算,再按下面第④条来实行(只举一个轴向为例):

- ① 首先确定该立杆允许的最大位移量 f_0 ;
- ② 设杆端的偏心压力是 Y ,偏心距为 e ,则中心压力 Y_1 数值上等于 Y ,偏心弯矩为 $M_1 = Y_1 e$;
- ③ 求杆件作用有纯弯矩 $M = M_1 + (2/3)Y_1 \times f_0 = Y_1(e + 2f_0/3)$ 时的位移 f ;
- ④ 如 $f < f_0$ 则说明杆件是稳定的;如 $f > f_0$ 则进行详细计算或直接加大杆件尺寸或改变结构布置。受弯杆件的侧向翼缘的稳定性已在第3章1.4节“梁的整体稳定性”中谈及,可参看。

3.6 板的局部稳定性计算

对于薄板的局部稳定性和配肋板的要求,已在梁板的加强肋板中说明,不必进行计算。如果用很薄的板子或是主要受力板且受到很大的压力时,则必须对该板的局部稳定性作详细的验算,计算方法如下。

(1) 压应力 σ_1 、切应力 τ 和局部压应力 σ_m 分别作用时的临界应力:

$$\sigma_{1,cr} = \chi K_\sigma \sigma_E \quad (19-4-11)$$

$$\tau_{cr} = \chi K_\tau \sigma_E \quad (19-4-12)$$

$$\sigma_{m,cr} = \chi K_m \sigma_E \quad (19-4-13)$$

式中 $\sigma_{1,cr}$ ——临界压应力, N/mm^2 ;

τ_{cr} ——临界切应力, N/mm^2 ;

$\sigma_{m,cr}$ ——临界局部挤压应力, N/mm^2 ;

χ ——板边弹性嵌固系数;一般可在 1~1.26 范围内选取,当一对边受强翼板或强纵向加劲肋嵌固时取大值;

K_σ , K_τ , K_m ——四边简支板的屈曲系数,取决于板的边长比 $\alpha = a/b$ 和板边载荷情况,对于用加劲肋分隔的局部区格按表 19-4-14 求得,对于包括加劲肋在内的带肋板按表 19-4-15 求得;

σ_E ——欧拉应力, N/mm^2 ,按式 (19-4-14) 计算,

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 = 19 \left(\frac{100\delta}{b} \right)^2 \quad (19-4-14)$$

δ ——板厚, mm;

b ——区格宽或板宽, mm;

E ——材料的弹性模量, N/mm^2 ;

ν ——泊松比。

当加劲肋符合本节 (4) 的规定时,只需要按局部区格计算稳定性,否则应同时计算局部区格和带肋板两种情况的稳定性。

(2) 压应力 σ_1 、切应力 τ 和局部压应力 σ_m 同时作用时的临界复合应力按式 (19-4-15) 计算:

$$\sigma_{1,cr} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_m^2 - \sigma_1 \sigma_m + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1,cr}} \right) + \sqrt{\left[\frac{3-\psi}{4} \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1,cr}} \right) + \frac{\sigma_m}{\sigma_{m,cr}} \right]^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2}} \quad (19-4-15)$$

式中, ψ 的含义见表 19-4-14。

特殊情况: $\tau = 0$, $\sigma_m = 0$, $\sigma_{1,cr} = \sigma_{1,cr}$;

$$\sigma_1 = 0, \sigma_m = 0, \sigma_{1,cr} = \sqrt{3} \tau_{cr};$$

$$\tau = 0, \sigma_1 = 0, \sigma_{1,cr} = \sigma_{m,cr}.$$

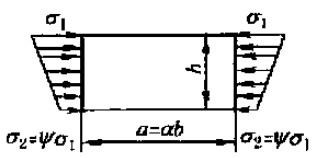
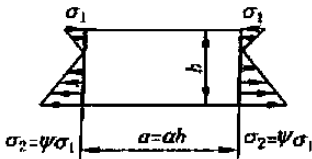
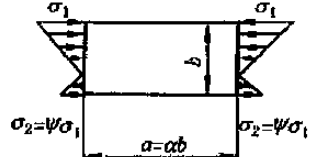
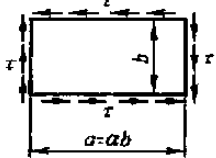
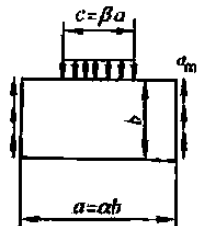
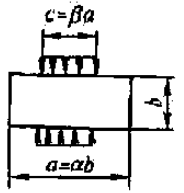
当局部压力作用于板的受拉边缘时, σ_1 与 σ_m 不相关,可分别取 $\sigma_m = 0$ 或 $\sigma_1 = 0$ 进行计算。当临界复合应力 (包括上述特殊情况) 超过 $0.75\sigma_s$ 时,应按式 (19-4-16) 求得折减临界复合应力 σ_{cr} :

$$\sigma_{cr} = \sigma_s \left(1 - \frac{\sigma_s}{5.3\sigma_{1,cr}} \right) \quad (19-4-16)$$

式中 σ_s ——材料的屈服点, N/mm^2 。

表 19-4-14

局部区格板的屈曲系数

序号	载 荷 情 况	$\alpha = a/b$	K
1	均匀或不均匀压缩 $0 \leq \psi < 1$		$\alpha \geq 1$ $K_\sigma = \frac{8.4}{\psi + 1.1}$
			$\alpha < 1$ $K_\sigma = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \frac{2.1}{\psi + 1.1}$
2	纯弯曲或以拉为主的弯曲 $\psi \leq -1$		$\alpha \geq \frac{2}{3}$ $K_\sigma = 23.9$
			$\alpha < \frac{2}{3}$ $K_\sigma = 15.87 + \frac{1.87}{\alpha^2} + 8.6\alpha^2$
3	以压为主的弯曲 $-1 < \psi < 0$		$K_\sigma = (1 + \psi)K_\sigma' - \psi K_\sigma'' + 10\psi(1 + \psi)$ K_σ' —— $\psi = 0$ 时的屈曲系数(序号 1) K_σ'' —— $\psi = -1$ 时的屈曲系数(序号 2)
4	纯剪切		$\alpha \geq 1$ $K_\tau = 5.34 + \frac{4}{\alpha^2}$
			$\alpha < 1$ $K_\tau = 4 + \frac{5.34}{\alpha^2}$
5	单边局部压缩		$\alpha \leq 1$ $K_m = \frac{2.86}{\alpha^{1.5}} + \frac{2.65}{\alpha^2 \beta}$
			$1 < \alpha \leq 3$ $K_m = \left(2 + \frac{0.7}{\alpha^2}\right) \left(\frac{1 + \beta}{\alpha \beta}\right)$ 注: 当 $\alpha > 3$ 时, 按 $a = 3b$ 计算 α, β, K_m 值
6	双边局部压缩		$K_m = 0.8K_m'$ K_m' ——按序号 5 计算的 K_m 值

注: 1. σ_1 为板边最大压应力, $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ 为板边两端应力比; σ_1, σ_2 各带自己的正负号。

2. 对有一条纵向加强肋, 受局部压应力作用的腹板, 其上区格可参照序号 6 栏计算屈曲系数, 其下区格在确定局部压应力的扩散区宽度后可参照序号 5 栏计算屈曲系数。对有两条和两条以上纵向加强肋的情况, 也可按照上述原则进行计算。

(3) 局部稳定性许用应力及局部稳定性验算:

局部稳定性许用应力 σ_{crp} 按式 (19-4-17) 或式 (19-4-18) 计算:

$$\text{当 } \sigma_{i,cr} \leq \sigma_p \text{ 时 } \sigma_{crp} = \frac{\sigma_{i,cr}}{n} \quad (19-4-17)$$

$$\text{当 } \sigma_{i,cr} > \sigma_p \text{ 时 } \sigma_{crp} = \frac{\sigma_{cr}}{n} \quad (19-4-18)$$

式中 n ——安全系数, 取与强度安全系数一致, 见第 2 章;

σ_p —— $0.75\sigma_s$ (假想比例极限)。

表 19-4-15

带肋板的屈曲系数

序号	载 荷 情 况	K																								
1		$K_\sigma = \frac{(1 + \alpha^2)^2 + r\gamma_s}{\alpha^2(1 + r\delta_s)} \times \frac{2}{1 + \psi}$																								
2		<table border="1"> <thead> <tr> <th>m</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> <th>60</th> <th>70</th> <th>80</th> <th>90</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_τ</td> <td>6.98</td> <td>7.7</td> <td>8.67</td> <td>9.36</td> <td>9.6</td> <td>10.4</td> <td>10.8</td> <td>11.1</td> <td>11.4</td> <td>11.7</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table> $m = 2 \sum_{i=1}^{r-1} \sin^2 \left(\frac{\pi y_i}{b} \right) \gamma_s, \text{ 加强肋等距离平分板宽时 } 2 \sum_{i=1}^{r-1} \sin^2 \left(\frac{\pi y_i}{b} \right) = r$	m	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	K_τ	6.98	7.7	8.67	9.36	9.6	10.4	10.8	11.1	11.4	11.7	12
m	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100															
K_τ	6.98	7.7	8.67	9.36	9.6	10.4	10.8	11.1	11.4	11.7	12															
3		$K_m = K_m'(1 + \eta)$ $K_m' \text{ —— 按表 19-4-14 中的序号 5 计算的 } K_m \text{ 值}$ $\eta = \frac{\sum_{i=1}^{r-1} \left(\sin \frac{\pi y_i}{b} - \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi y_i}{b} \right)^2}{\alpha^4 + \frac{5}{4}\alpha^2 + \frac{17}{32}} \gamma_s$																								

注: $\gamma_s = \frac{EI_x}{bD}$, $\delta_s = \frac{A_s}{b\delta}$;

I_x ——加强肋截面对于板中面轴线的惯性矩, mm^4 ;

A_s ——加强肋截面面积, mm^2 ;

r ——加强肋的分隔数;

$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)}$ (ν 为材料的泊松比)。

局部稳定性按式 (19-4-19) 验算:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_m^2 - \sigma_1\sigma_m + 3\tau^2} \leq \sigma_{crp} \quad (19-4-19)$$

(4) 起重机机架对加强肋构造尺寸的要求

在满足上述的板的局部稳定性的前提下, 板横向加强肋间距 a 不得小于 $0.5b$, 且不得大于 b 和 $2m$ 两值中的大值, b 为板的总宽度。

板横向加强肋的尺寸按式 (19-4-20) 和式 (19-4-21) 确定:

$$b_1 \geq \frac{b}{30} + 40 \quad (19-4-20)$$

$$\delta_1 \geq \frac{1}{15} b_1 \quad (19-4-21)$$

式中 b_1 ——横向加强肋的外伸宽度, mm ;

δ_1 ——横向加强肋的厚度, mm ;

b ——板的总宽度, mm 。

在板同时采用横向加强肋和纵向加强肋时, 横向加强肋除尺寸应符合上述规定外, 还应满足式 (19-4-22)

的要求:

$$I_{z1} \geq 3b\delta^3 \quad (19-4-22)$$

式中 I_{z1} ——横向加强肋的截面对该板板厚中心线的惯性矩, mm^4 ;
 δ ——板厚, mm 。

此时, 腹板纵向加强肋应同时满足式 (19-4-23)、式 (19-4-24) 的要求:

$$I_{z2} \geq \left(2.5 - 0.45 \frac{a}{b}\right) \frac{a^2}{b} \delta^3 \quad (19-4-23)$$

$$I_{z2} \geq 1.5b\delta^3 \quad (19-4-24)$$

式中 I_{z2} ——板纵向加强肋的截面对板厚中心线的惯性矩, mm^4 。

翼缘板纵向加强肋应满足式 (19-4-25) 的要求:

$$I_{z3} \geq m \left(0.64 + 0.09 \frac{a}{b}\right) \frac{a^2}{b} \delta^3 \quad (19-4-25)$$

式中 I_{z3} ——翼缘板纵向加强肋的截面对翼缘板板厚中心线的惯性矩, mm^4 ;
 m ——翼缘板纵向加强肋数。

3.7 圆柱壳的局部稳定性计算

受轴压或压弯联合作用的薄壁圆柱壳体, 当壳体壁厚 δ 与壳体中面半径 R 的比值 $\frac{\delta}{R}$ 不大于 $25 \frac{\sigma_s}{E}$ 时, 必须计算它的局部稳定性。

1) 圆柱壳体受轴压或压弯联合作用时的临界应力:

$$\sigma_{c,cr} = 0.2 \frac{E\delta}{R} \quad (19-4-26)$$

式中 $\sigma_{c,cr}$ ——圆柱壳体受轴压或压弯联合作用时的临界应力, N/mm^2 , 当按式 (19-4-26) 算得的临界应力超过 $0.75\sigma_s$ 时, 可按式 (19-4-16) 进行折减;

R ——圆柱壳体中面半径, mm ;

δ ——圆柱壳体壁厚, mm 。

2) 受轴压或压弯联合作用的薄壁圆柱壳体的局部稳定性验算:

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq \frac{\sigma_{c,cr}}{n} \quad (19-4-27)$$

式中 N ——轴向力, N ;

M ——弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

A ——圆柱壳的横截面净面积, mm^2 ;

W ——圆柱壳的横截面净截面抗弯模量, mm^3 ;

n ——安全系数, 取与强度安全系数一致, 对于起重机机架见第 2 章表 19-2-18。

3) 加强环 圆柱壳两端应设置加强环或设置有相应作用的结构件; 当壳体长度大于 $10R$ 时, 需设置中间加强环。加强环的间距不大于 $10R$, 加强环的截面惯性矩 I_z 应满足式 (19-4-28) 的要求:

$$I_z \geq \frac{R\delta^3}{2} \sqrt{\frac{R}{\delta}} \quad (19-4-28)$$

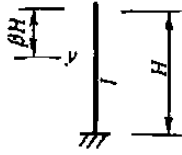
式中 I_z ——圆柱壳加强环的截面惯性矩, mm^4 。

4 柱的计算用表

- ① 等截面柱的位移计算公式见表 19-4-16;
- ② 单阶柱的位移计算公式见表 19-4-17;
- ③ 顶部铰支等截面柱的柱顶支座反力计算公式见表 19-4-18;

④ 顶部铰支单阶柱的柱顶支座反力计算公式见表 19-4-19。

等截面柱的位移计算公式



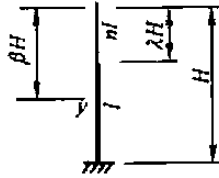
α ——力作用点的距离（自柱顶点算起）与柱高之比；

β ——变形点的距离（自柱顶点算起）与柱高之比

表 19-4-16

序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移	序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移
1		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{MH^2}{2EI}$	5		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} \alpha (8 - 6\alpha + \alpha^3) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta < 1$	$\Delta_y = \frac{1}{2} (1 - \beta)^2 \frac{MH^2}{EI}$			$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} [(1 - \beta)^2 (3 + 2\beta + \beta^2) - (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha - 4\beta)] \frac{\omega H^4}{EI}$
2		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2} (1 - \alpha^2) \frac{MH^2}{EI}$			$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha (1 - \alpha)^2 (4 - \alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{2} (1 - \alpha) (1 + \alpha - 2\beta) \frac{MH^2}{EI}$			$\beta > \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \beta)^2 [3 + 2\beta + \beta^2 - 2(1 - \alpha)^2 - (1 + \beta - 2\alpha)^2] \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{2} (1 - \alpha)^2 \frac{MH^2}{EI}$				
$\beta > \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{2} (1 - \beta)^2 \frac{MH^2}{EI}$	6		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$		
3				$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{TH^3}{3EI}$	$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha - 4\beta) \frac{\omega H^4}{EI}$
				$\beta < 1$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1 - \beta)^2 (2 + \beta) \frac{TH^3}{EI}$	$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{8} (1 - \alpha)^4 \frac{\omega H^4}{EI}$
4		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1 - \alpha)^2 (2 + \alpha) \frac{TH^3}{EI}$	$\beta > \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \beta)^2 [2(1 - \alpha)^2 + (1 + \beta - 2\alpha)^2] \frac{\omega H^4}{EI}$		
		$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1 - \alpha)^2 (2 + \alpha - 3\beta) \frac{TH^3}{EI}$		7		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{\omega H^4}{8EI}$
		$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{3} (1 - \alpha)^3 \frac{TH^3}{EI}$	$\beta < 1$			$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \beta)^2 (3 + 2\beta + \beta^2) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta > \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1 - \beta)^2 (2 + \beta - 3\alpha) \frac{TH^3}{EI}$				

单阶柱的位移计算公式

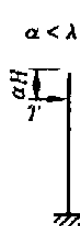


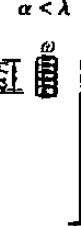


$$\mu = \frac{1}{n} - 1$$

- α ——力作用点的距离(自柱顶点算起)与柱高之比;
 β ——变形点的距离(自柱顶点算起)与柱高之比;
 λ ——单阶柱变截面点到顶点距离与柱高之比;
 n ——两截面惯性矩之比

表 19-4-17

序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移	序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移
1		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 + \mu\lambda^2) \frac{MH^2}{EI}$	4		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \alpha^2) \frac{MH^2}{EI}$
		$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}[(1 - \beta)^2 + \mu(\lambda - \beta)^2] \frac{MH^2}{EI}$			$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \alpha)(1 + \alpha - 2\beta) \frac{MH^2}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \lambda)^2 \frac{MH^2}{EI}$			$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \alpha)(1 + \alpha - 2\lambda) \frac{MH^2}{EI}$
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \beta)^2 \frac{MH^2}{EI}$			$\lambda < \beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \alpha)(1 + \alpha - 2\beta) \frac{MH^2}{EI}$
2		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2}[1 - \alpha^2 + \mu(\lambda^2 - \alpha^2)] \frac{MH^2}{EI}$	5		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{3}(1 + \mu\lambda^3) \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{2}[(1 - \alpha)(1 + \alpha - 2\beta) + \mu(\lambda - \alpha)(\lambda + \alpha - 2\beta)] \frac{MH^2}{EI}$			$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6}[(1 - \beta)^2(2 + \beta) + \mu(\lambda - \beta)^2(2\lambda + \beta)] \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2}[(1 - \alpha)^2 + \mu(\lambda - \alpha)^2] \frac{MH^2}{EI}$			$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6}(1 - \lambda)^2(2 + \lambda) \frac{TH^3}{EI}$
		$\alpha < \beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}[(1 - \beta)^2 + \mu(\lambda - \beta)^2] \frac{MH^2}{EI}$			$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6}(1 - \beta)^2(2 + \beta) \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \lambda)^2 \frac{MH^2}{EI}$				
3		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \lambda^2) \frac{MH^2}{EI}$				
		$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \lambda)(1 + \lambda - 2\beta) \frac{MH^2}{EI}$				
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \lambda^2) \frac{MH^2}{EI}$				
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{2}(1 - \beta)^2 \frac{MH^2}{EI}$				

序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移	序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移
6		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{6} [(1-\alpha)^2(2+\alpha) + \mu(\lambda-\alpha)^2(2\lambda+\alpha)] \frac{TH^3}{EI}$	8		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\alpha)^2 (2+\alpha) \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{6} [(1-\alpha)^2(2+\alpha-3\beta) + \mu(\lambda-\alpha)^2(2\lambda+\alpha-3\beta)] \frac{TH^3}{EI}$			$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\alpha)^2 (2+\alpha-3\beta) \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{3} [(1-\alpha)^3 + \mu(\lambda-\alpha)^3] \frac{TH^3}{EI}$			$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\alpha)^2 (2+\alpha-3\lambda) \frac{TH^3}{EI}$
		$\alpha < \beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6} [(1-\beta)^2(2+\beta-3\alpha) + \mu(\lambda-\beta)^2(2\lambda+\beta-3\alpha)] \frac{TH^3}{EI}$			$\lambda < \beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\alpha)^2 (2+\alpha-3\beta) \frac{TH^3}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{3} (1-\alpha)^3 \frac{TH^3}{EI}$			$\beta > \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\beta)^2 (2+\beta-3\alpha) \frac{TH^3}{EI}$
7		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\lambda)^2 (2+\lambda) \frac{TH^3}{EI}$	9		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} \alpha [8-6\alpha+\alpha^3 + \mu(8\lambda^3-6\lambda^2\alpha+\alpha^3)] \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\lambda)^2 (2+\lambda-3\beta) \frac{TH^3}{EI}$			$\beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} \{ (1-\beta)^2 (3+2\beta+\beta^2) - (1-\alpha)^3 (3+\alpha-4\beta) + \mu [(\lambda-\beta)^2 (3\lambda^2+2\lambda\beta+\beta^2) - (\lambda-\alpha)^3 (3\lambda+\alpha-4\beta)] \} \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{3} (1-\lambda)^3 \frac{TH^3}{EI}$			$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha [(1-\alpha)^2 (4-\alpha) + \mu(\lambda-\alpha)^2 (4\lambda-\alpha)] \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{6} (1-\beta)^2 (2+\beta-3\lambda) \frac{TH^3}{EI}$			$\alpha < \beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha [(1-\beta)^2 (4+2\beta-3\alpha) + \mu(\lambda-\beta)^2 (4\lambda+2\beta-3\alpha)] \frac{\omega H^4}{EI}$
						$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha (1-\lambda)^2 (4+2\lambda-3\alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha (1-\beta)^2 (4+2\beta-3\alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$	$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \alpha (1-\beta)^2 (4+2\beta-3\alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$		

续表

序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移	序号	载荷图形	y 点的位置	y 点的位移
10		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} \lambda [8 - 6\lambda + (1 + 3\mu) \lambda^3] \frac{\omega H^4}{EI}$	12		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} [3 - \beta(4 - \beta^3) - (1 - \lambda)^3 (3 + \lambda - 4\beta) + \mu [3\lambda^4 - \beta(4\lambda^3 - \beta^3)]] \frac{\omega H^4}{EI}$			$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha - 4\beta) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \lambda (1 - \lambda)^2 (4 - \lambda) \frac{\omega H^4}{EI}$			$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha - 4\lambda) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{12} \lambda (1 - \beta)^2 (4 + 2\beta - 3\lambda) \frac{\omega H^4}{EI}$			$\lambda < \beta < \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \alpha)^3 (3 + \alpha - 4\beta) \frac{\omega H^4}{EI}$
							$\beta = \alpha$	$\Delta_y = \frac{1}{8} (1 - \lambda)^4 \frac{\omega H^4}{EI}$
11		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \lambda)^3 (3 + \lambda) \frac{\omega H^4}{EI}$	13		$\beta = 0$	$\Delta_y = \frac{1}{8} (1 + \mu \lambda^4) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \lambda)^3 (3 + \lambda - 4\beta) \frac{\omega H^4}{EI}$			$\beta < \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} [(1 - \beta)^2 (3 + 2\beta + \beta^2) + \mu (\lambda - \beta)^2 (3\lambda^2 + 2\lambda\beta + \beta^2)] \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{8} (1 - \lambda)^4 \frac{\omega H^4}{EI}$			$\beta = \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \lambda)^2 (3 + 2\lambda + \lambda^2) \frac{\omega H^4}{EI}$
		$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \beta)^2 [2(1 - \lambda)^2 + (1 + \beta - 2\lambda)^2] \frac{\omega H^4}{EI}$			$\beta > \lambda$	$\Delta_y = \frac{1}{24} (1 - \beta)^2 (3 + 2\beta + \beta^2) \frac{\omega H^4}{EI}$

顶部铰支等截面柱的柱顶支座反力计算公式

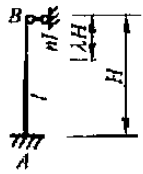


α ——力作用点的距离（自柱顶点算起）与柱高之比

表 19-4-18

序号	变形或 载荷图形	柱顶支座反力	序号	变形或 载荷图形	柱顶支座反力
1		$R_B = \frac{3EI}{H^3}$	6		$R_B = -\frac{1}{8}\alpha(8-6\alpha+\alpha^3)\omega H$
2		$R_B = -\frac{3EI}{H^2}$	7		$R_B = -\frac{1}{8}(1-\alpha)^3(3+\alpha)\omega H$
3		$R_B = -\frac{3M}{2H}$	8		$R_B = -\frac{3}{8}\omega H$
4		$R_B = -\frac{3}{2}(1-\alpha^2)\frac{M}{H}$	9		$R_B = -\frac{1}{40}(1-\alpha)^3(4+\alpha)\omega H$

顶部铰支单阶柱的柱顶支座反力计算公式



$$\mu = \frac{1}{n} - 1$$

$$k_0 = \frac{3}{1 + \mu\lambda^3}$$

α ——力作用点的距离(自柱顶点算起)与柱高之比;
 β ——变形点的距离(自柱顶点算起)与柱高之比;
 λ ——单阶柱变截面点到顶点距离与柱高之比;
 n ——两截面惯性矩之比。

表 19-4-19

序号	变形或 载荷图形	柱顶支座反力	序号	变形或 载荷图形	柱顶支座反力
1		$R_B = k_0 \frac{EI}{H^3}$	8		$R_B = -\frac{k_0}{6}(1-\lambda)^2(2+\lambda)T$
2		$R_B = -k_0 \frac{EI}{H^2}$	9		$R_B = -\frac{k_0}{6}(1-\alpha)^2(2+\alpha)T$
3		$R_B = -\frac{k_0}{2}(1+\mu\lambda^2)\frac{M}{H}$	10		$R_B = -\frac{k_0}{24}\alpha[8-6\alpha+\alpha^3+\mu(8\lambda^3-6\lambda^2\alpha+\alpha^3)]\omega H$
4		$R_B = -\frac{k_0}{2}[1-\alpha^2+\mu(\lambda^2-\alpha^2)]\frac{M}{H}$	11		$R_B = -\frac{k_0}{24}\lambda[8-6\lambda+(1+3\mu)\lambda^3]\omega H$
5		$R_B = -\frac{k_0}{2}(1-\lambda^2)\frac{M}{H}$	12		$R_B = -\frac{k_0}{24}(1-\lambda)^3(3+\lambda)\omega H$
6		$R_B = -\frac{k_0}{2}(1-\alpha^2)\frac{M}{H}$	13		$R_B = -\frac{k_0}{24}(1-\alpha)^3(3+\alpha)\omega H$
7		$R_B = -\frac{k_0}{6}[(1-\alpha)^2(2+\alpha)+\mu(\lambda-\alpha)^2(2\lambda+\alpha)]T$	14		$R_B = -\frac{k_0}{8}(1+\mu\lambda^4)\omega H$
			15		$R_B = -\frac{k_0}{120}(1-\alpha)^3(4+\alpha)\omega H$

第5章 桁架的设计与计算

工程中由一些细长杆件通过焊接、铆接或螺栓连接而成的几何形状不变的结构，称为“桁架”。假定桁架的细长杆的连接为铰接，即令结点为铰接中心；而杆的轴线通过铰的中心，则这些杆件不承受弯矩，即构成桁架的杆件均为二力杆。桁架上的载荷均作用于节点上。杆的自重不计，如果需考虑的话，将其分配到两个节点上。如果桁架所有杆件的轴线与其受到的载荷均在一个平面内，则称平面桁架，否则称空间桁架。

桁架可以是静定的或超静定的。在工程中许多机架的计算往往可简化为桁架的计算，使内力分析和挠度的计算很简便。在各种杆件的连接中，各种结点都具有一定的刚性，在杆端或多或少存在力矩，严格说不算是铰。由各种原因产生的杆端力矩所引起的内力为次应力。但从实验和计算结果得知，当较长杆件的截面宽度不大于节间长度的 $1/10$ 时，桁架的次应力是较小的，所以只讨论桁架的基本内力。

1 静定梁式平面桁架的分类

1) 桁架可按其弦杆的轮廓形状分为以下几种。

① 平弦桁架 其上下弦杆是互相平行的直杆(图19-5-1a)。

② 曲弦桁架 其轮廓线上的各结点中心，位于按某种规律变化的曲线上，例如圆弧形(图19-5-1b)抛物线形(图19-5-1c)等。

③ 折弦桁架 其上弦或下弦为折线形，或上下弦均为折线形，这种折线的形状，常决定于结构的理论分析以及在建造上或美观上的要求。图19-5-1d所示的多角形桁架和图19-5-1e所示的三角形桁架都属于折弦桁架。

2) 桁架也可以按其腹杆系统的繁简而分为简单腹杆桁架和复杂腹杆桁架。

具有单一的腹杆系统的桁架称为简单腹杆桁架，分为以下几类。

① N式桁架 其腹杆系统由竖杆与斜杆相排列，使每个节间的腹杆形成正N形或反N形(图19-5-1b)。

② V式桁架 其腹杆系统仅由斜杆组成，使每个节间的腹杆形成正V形或倒V形(图19-5-1a)。

③ K式桁架 其腹杆系统中的竖杆将桁架分为若干节间，在每个节间有两根较短的斜杆，这两根斜杆的一端与节间一边的竖杆上下两端相连，而另一端则相交于节间另一边的竖杆的长度等分点处，使每个节间的腹杆形成正K形或反K形(图19-5-1f)。

在简单腹杆系统上叠加其他的腹杆系统或增加其他的腹杆，由此所形成的桁架，称为复杂腹杆桁架。它分为以下几类。

① 多重腹杆桁架 其腹杆系统由两个以上的同一类型的简单腹杆系统叠合而成。由两个同一类型的简单腹杆系统所形成的桁架，可称为双重腹杆桁架。图19-5-1g所示的双重腹杆桁架，包含着两个N式腹杆系统；图19-5-1h所示者具有两个V式腹杆系统；图19-5-1i为一多重腹杆桁架，包含八个V式腹杆系统。包含在复杂腹杆中的简单腹杆系统的数目决定于桁架的挺直截面，被截面所切断的腹杆数目即为腹杆系统的数目。例如图19-5-1g所示的桁架，按截面SS，显然知其具有两个腹杆系统，因为该截面切断两根斜杆或两根竖杆。

② 再分析架 在一个简单腹杆桁架内增添一些杆件或增添一些小桁架，把原有的几个大节间分割成为数目更多的小节间；或用一个或几个独立静定稳定的小桁架来代替简单桁架中一个或几个杆件，这样形成的桁架，称为再分析架。如图19-5-1d及图19-5-1j所示。

如图19-5-2所示的这些分析架称为分析架。如载荷仅作用于主桁架的结点处，则引入分析架后不改变其受力情形。如载荷作用在结点之间如图中 P_2 、 P_3 ，则取出13杆，将其看作是简支梁和受轴向力的杆件，反力A、

B 加于结点 1、3 之上。为了避免杆件 13 受挠，将 13 做成分桁架，使载重弦的大节间再分成几个小节间，并使大节间内的载荷作用在分节间的诸点上，如图 19-5-2c 所示。受力分析如图所示，按常规方法进行。

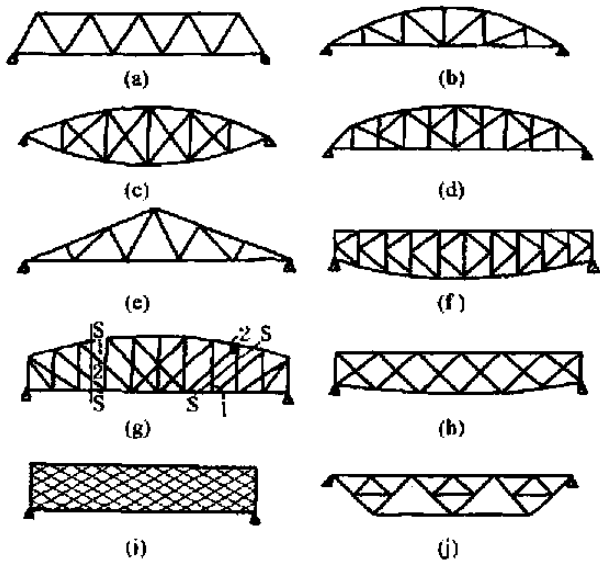


图 19-5-1

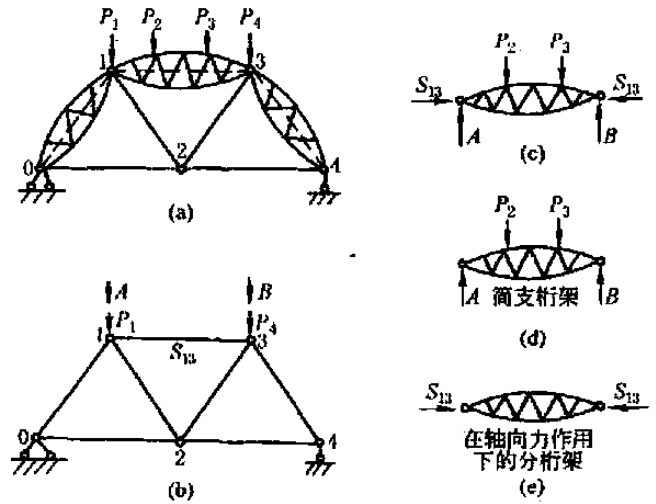


图 19-5-2

2 桁架的结构

2.1 桁架结点

由于桁架结点在理论上都假定为铰接，不传递力矩，在设计桁架的结点时，应使所有被连接构件的几何轴线都汇交于一点，防止偏心承载（图 19-5-3）。为了便于制造和管理，通常各杆件和结点的结构尽量做到系列化和

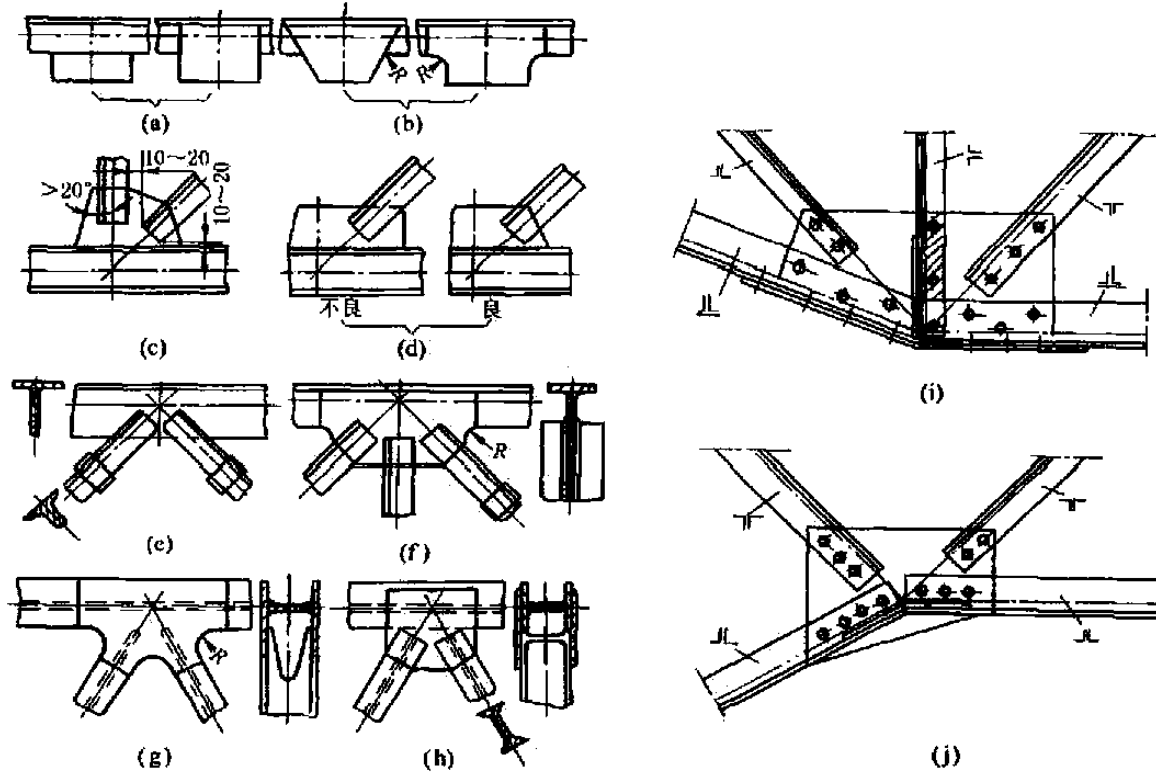


图 19-5-3 焊接桁架的结点

标准化,不同规格数列尺寸应最少;连接角焊缝的焊脚高度尽量统一;结点板的形状应有利于力流的传递、减少应力集中和便于制造(图 19-5-3a~d)。特别是承受动载荷的结点,宜用嵌入式的对接结点板,拐角处应圆滑过渡,使对接焊缝移到过渡圆弧以外(见图 19-5-3b、f、g)。杆件与结点板的搭接,不许只用端面角焊缝,承受动载荷的桁架结点,应三面围焊。结点板边界与杆件轴线的夹角不得小于 20° ,杆件的相互距离不小于 $10\sim 20\text{mm}$,避免焊缝重叠(图 c)。承受静载荷的结点,可用图 19-5-3a、c、d、e、h 的结构。图 19-5-3i、j 为节点上有转折的弦杆的拼接。图 19-5-3j 说明如弦杆外形有凹角,则节点板不可做成有凹角,应用直线形成边界。

图 19-5-4 为架设管子用的桁架(跨度 $16\sim 18\text{m}$)的各结点图。

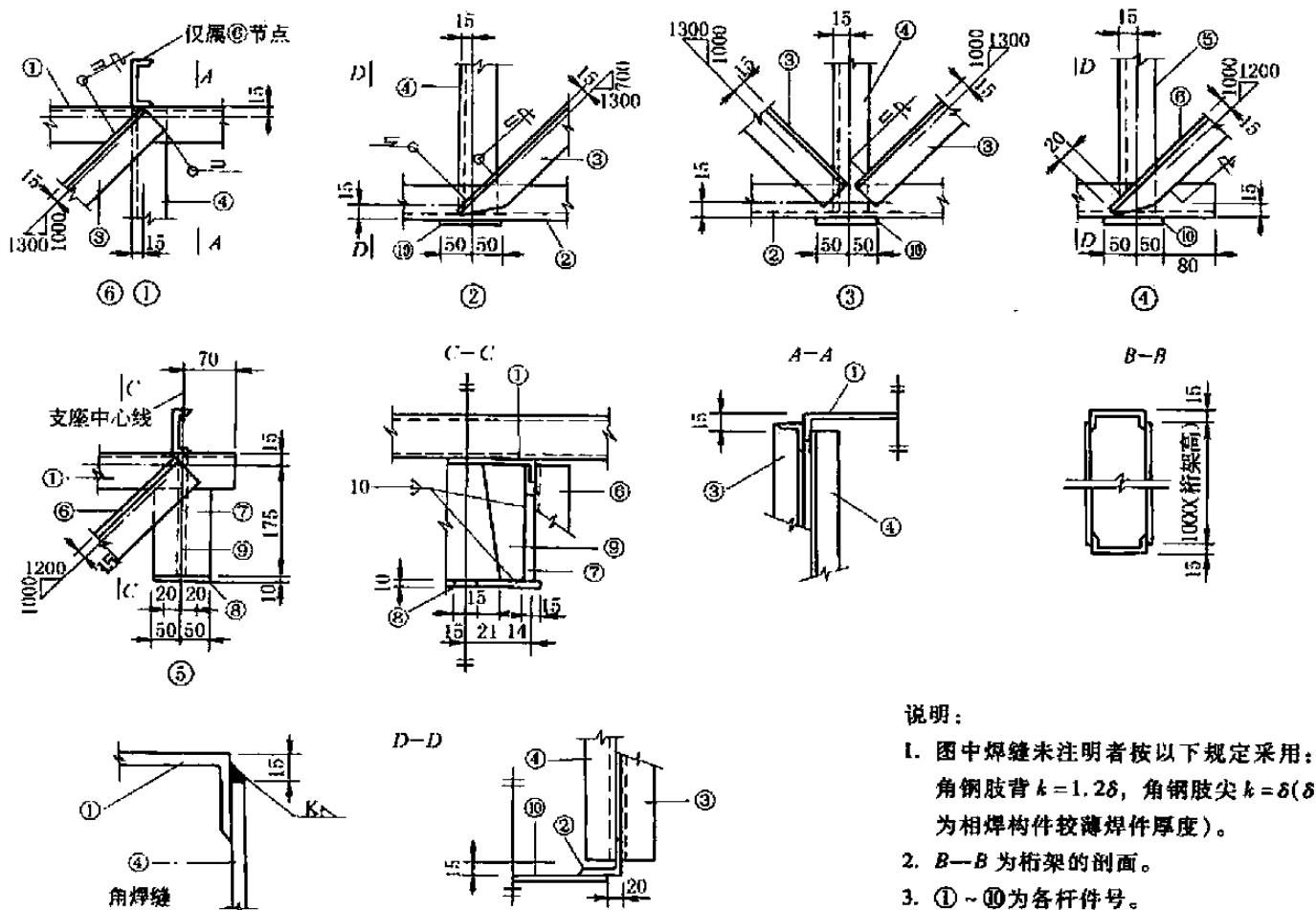


图 19-5-4 桁架(跨度 $16\sim 18\text{m}$) 结点图

2.2 管子桁架

管子桁架的优点是管子的惯性半径各向相等,稳定性好,刚性较大,相对重量轻,对风阻力小,容易防锈。但造价贵,管端形状复杂,焊前准备和焊接施工都较困难。

管子桁架结点的设计除前述要求外,还应注意:管端的焊缝要求密封,避免水或潮气进入,引起锈蚀而降低寿命。管壁通常较薄,要防止局部失稳而产生塌皱。

图 19-5-5 是管子桁架焊接结点的典型结构。图 a 是直接焊接的,要求 $d \geq \frac{D}{4}$; 图 b 是带有筋板的; 图 c 用补板提高局部刚性; 图 d 使用连接板,可使管端形状统一; 为了提高大型管子桁架结点的强度和刚性,可采用图 e 的结构; 对于空间管子桁架结点,应采用球形或其他立体形状的连接件(见图 f 和 g),这样备料和焊接施工均较方便。

还要特别指出管截面的拼接,图 19-5-6 所示为最常用结构。

图 19-5-6a 是两个截面边缘用对接缝简单制造的连接,它构成一个无绕道而清楚的力流,但由于根部不能焊透,疲劳强度值很差。如按图 19-5-6b 插入一个环,可使强度提高一定程度。图 19-5-6c 和 d 的构造很一般,当

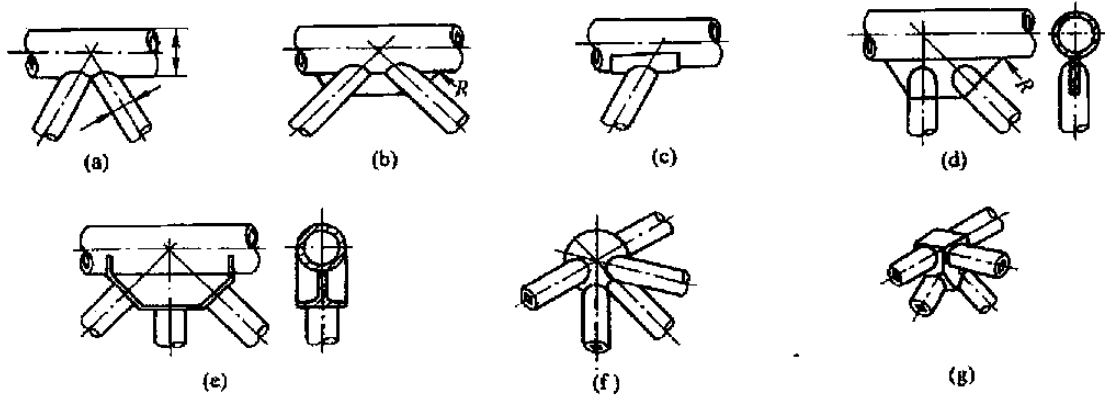


图 19-5-5 管子桁架的结点

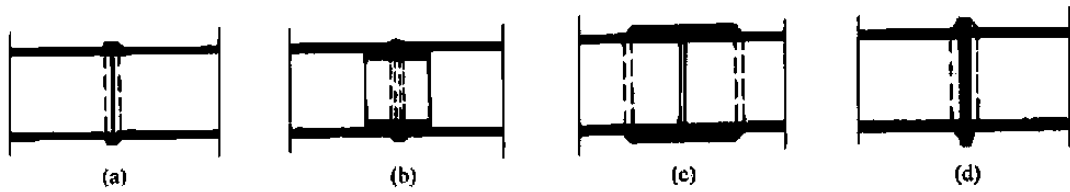


图 19-5-6 管截面的拼接

然贴角缝连接有一定的缺点。

2.3 几种桁架的结构形式和参数

2.3.1 结构形式

(1) 上承式起重机桁架的结构几何图形

如图 19-5-7 所示, 上承式起重机桁架由劲性上弦、下弦和腹杆组成, 一般不宜在腹杆系中再设分桁架。起重机桁架的高度 (H) 以经济和挠度来确定, 其与跨度 (L) 的关系一般为:

$L = 18 \sim 24\text{m}$ 时, $H = (1/6 \sim 1/8)L$; $L = 24 \sim 36\text{m}$ 时, $H = (1/8 \sim 1/10)L$ 。桁架跨度大或载荷轻时取小值。桁架的节间划分以斜杆大约成 45° 来确定。

劲性上弦、下弦和腹杆常用的截面形式见图 19-5-8。

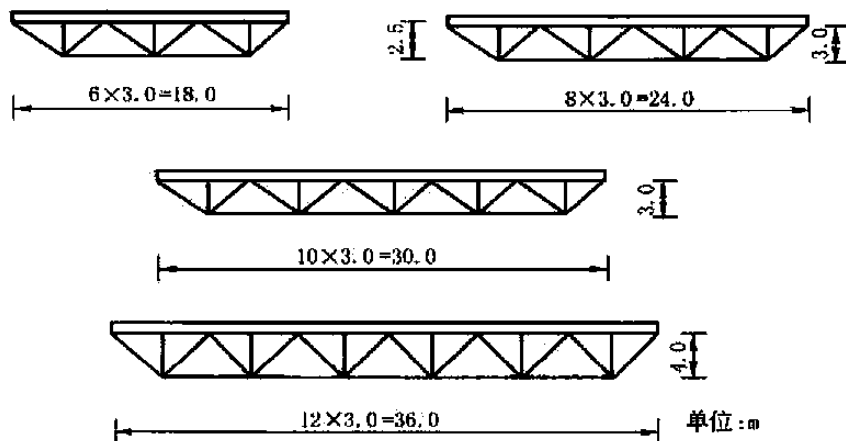


图 19-5-7 上承式起重机桁架的结构几何图形

(2) 几种桁架的结构形式

图 19-5-9 为双梁桁架式门式起重机的钢结构。门架主要由马鞍 1、主梁 2、支腿 3、下横梁 4 和悬臂梁 5 等部分组成。以上五部分均为受力构件。为便于生产制作、运输与安装, 各构件之间多采用螺栓连接。

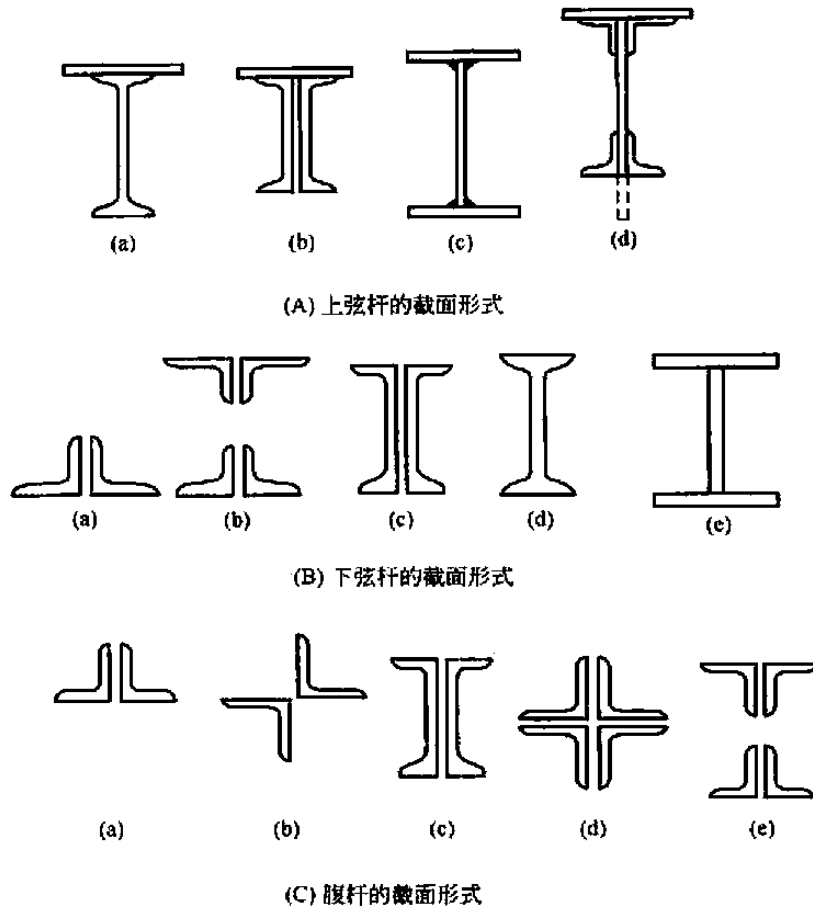


图 19-5-8 上承式起重机桁架劲性上弦、下弦和腹杆常用的截面形式

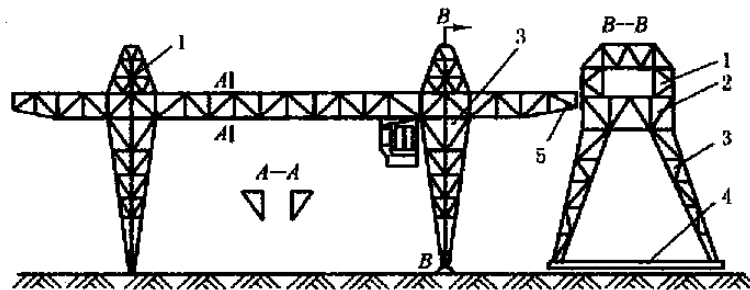


图 19-5-9 双梁桁架式门式起重机钢结构
1—马鞍；2—主梁；3—支腿；4—下横梁；5—悬臂梁

门式起重机的门架还有采用箱形梁的形式，其支腿对于跨度大于 35m 时多采用一刚一柔支腿。

图 19-5-10 是工字钢在上部水平桁架下面的桁架式桥架。

图 19-5-11 是带式输送机的活动机头架及起重机桁架式悬臂架结构。

图 19-5-12 是起重机的桁架式大拉杆的详细结构。

2.3.2 尺寸参数

起重机桁架的高度根据跨度进行选取，2.3.1 节已作了介绍。对于各种桁架，由于桁架的用途与结构形式的多样性，尺寸参数的变化很大，可以参考上面的推荐数据或参考下面的结构参数考虑选取。

对于简支桁架，其高度 H 一般在 $\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{10}\right)L$ (L 为跨度) 的范围内；

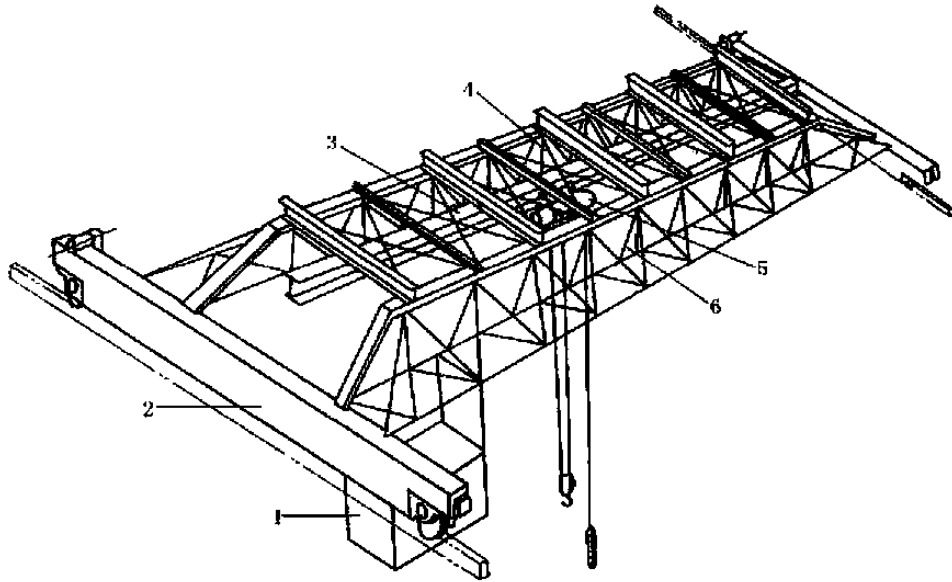
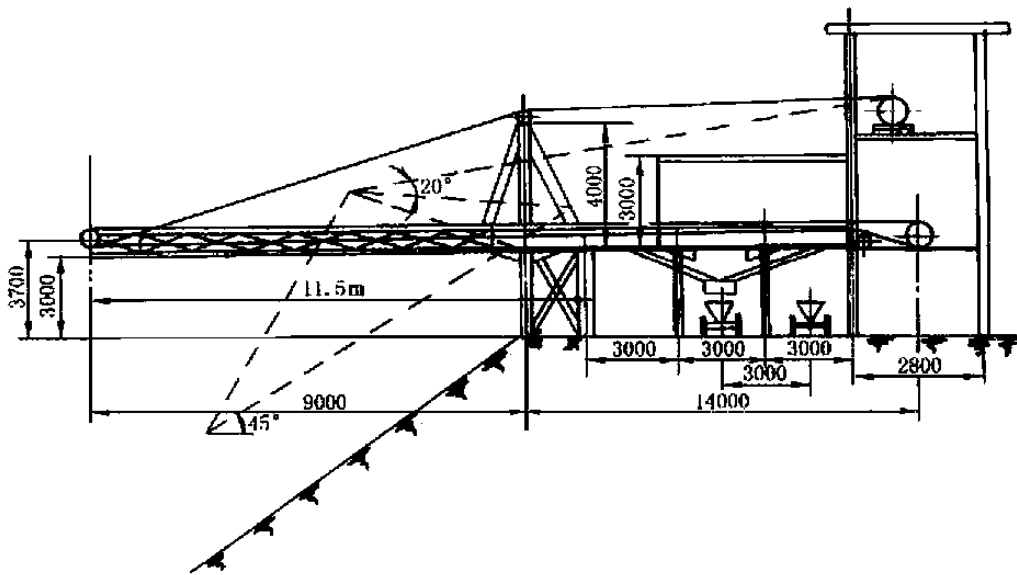
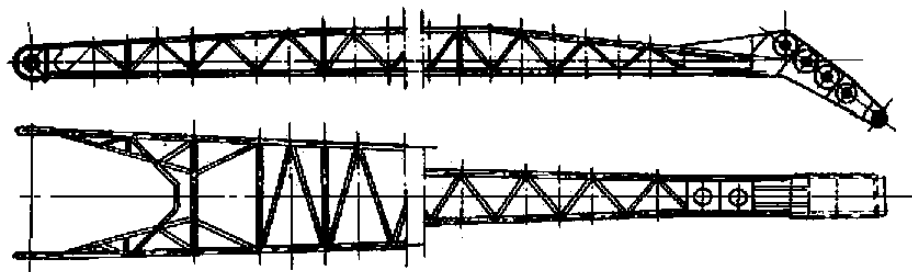


图 19-5-10 工字钢在上部水平桁架下面的桁架式桥架

1—司机室；2—端梁；3—电动葫芦运行轨道工字钢；4—上水平桁架；5—电动葫芦；6—垂直桁架



(a) 带式输送机的活动机头架



(b) 起重机桁架式悬臂架

图 19-5-11 悬臂架结构

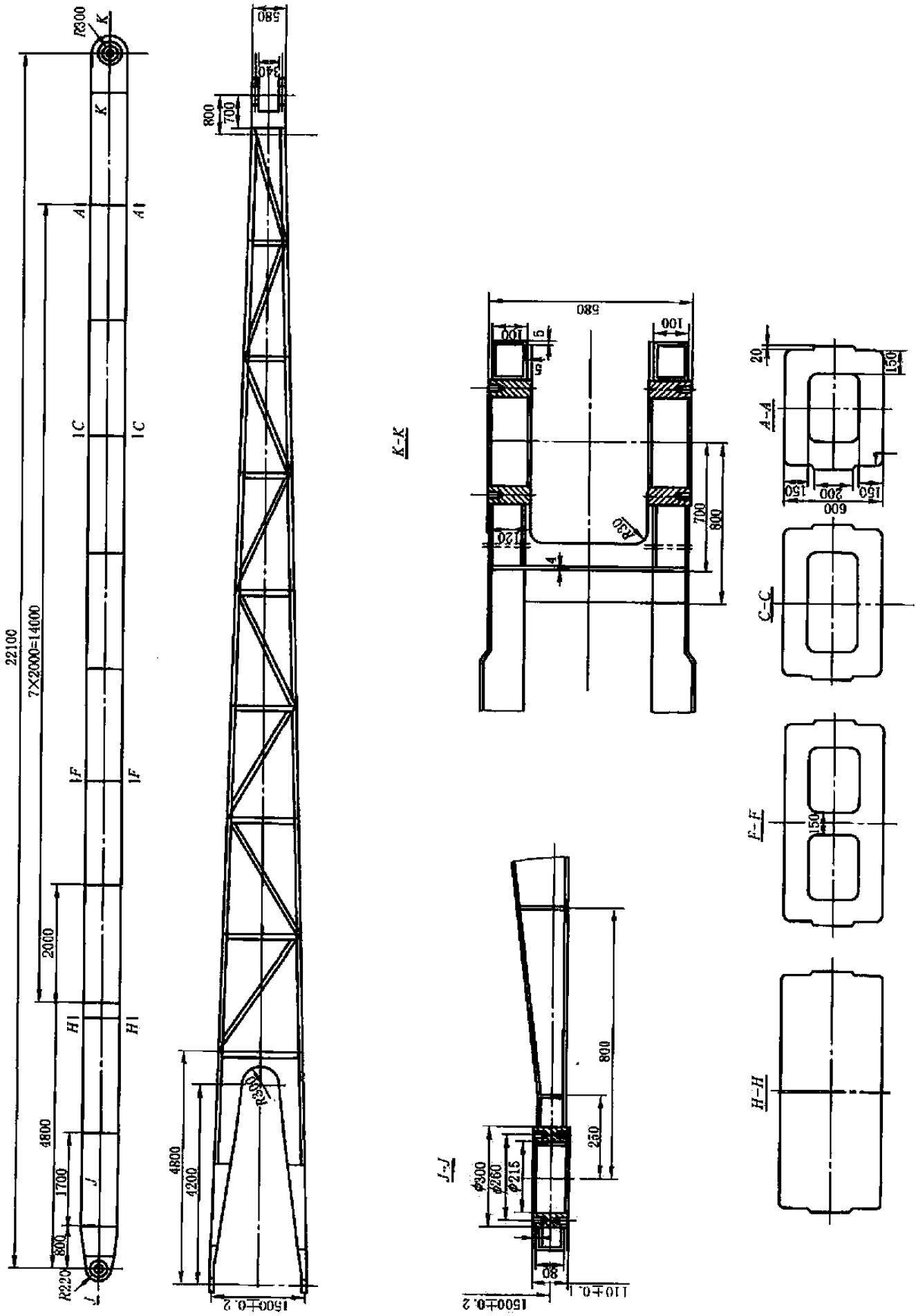


图 19-5-12 桁架式大拉杆

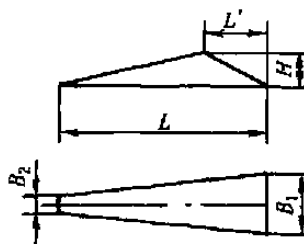
对于连续梁桁架，其高度 H 一般在 $(\frac{1}{10} - \frac{1}{16})L$ 的范围内。

桁架的节间划分一般总是将节间距离做成同样大小，尽可能做成对梁中央成对称的杆件网络结构。节间距离一般为 $(0.8 - 1.7)H$ ，即腹杆对水平方向的倾斜角大约成 $30^\circ - 50^\circ$ 为合理，最大可达 60° ，即 $0.6H$ 。倾斜角太小，虽可使节间数减少，但腹杆长度增加，使节点距离增大，而使受压弦杆折算长度变长。对于大型桁架，必要时采用两分式来缩短受压弦杆。

表 19-5-1 为起重机悬臂架的外形尺寸参考值。

表 19-5-1 起重机悬臂架外形尺寸参考值

臂架类型		臂架几何参数			
		H/L	B_1/L	B_2/L	L'/L
单臂架		0.04 - 0.10	0.08 - 0.13	≤ 0.02	
带象鼻梁式	柔性拉索	0.06 - 0.10	0.09 - 0.16	0.03 - 0.06	0.13 - 0.43 ^①
	刚性拉杆	0.10 - 0.17	0.14 - 0.26	0.06 - 0.16	



① 对于大部分臂架取 $\frac{L'}{L} = 0.2 - 0.3$ 。

2.4 桁架的起拱度

桁架在自重和载荷作用下将产生变形，为了抵消此变形量，一般在桁架制造时造成一反向的拱度。桁架变形量（即挠度允许值）见第 2 章第 2 节刚度要求及第 3 章第 1 节梁的设计。起拱变形一般采用抛物线函数或圆函数，使最大的反向起拱量与最大变形（挠度）相等。

3 静定平面桁架的内力分析

在进行桁架内力分析以前，应首先检查桁架的稳定性（已在第 1 章中谈及）。桁架杆件的强度计算除压杆应计算其稳定性外，其他无特殊要求。关于桁架杆件的稳定性计算，其计算长度的确定见第 4 章。

桁架内力分析法有三类：①解析法；②图解法；③机动法。各种方法详见结构力学。本文只简单介绍常用的解析法。在解析法中，又有力矩法、投影法、结点法、代替法、通路法及混合法。原理都是相同的，无非是用力或力矩的平衡 $\sum X = 0$ 、 $\sum Y = 0$ 或 $\sum M = 0$ 来求得桁架杆件的内力。问题是如何运用得法，使求解更为方便。

一般来说，在计算桁架各杆内力之前，已算出支承点的反力。反力的计算方法和梁的反力计算相同。

欲求桁架某一根或几根杆件的内力，必须把桁架截断成几部分。把其中一个或几个部分看成自由体，画上作用于其上的外力及内力，自由体在这些力的作用下维持静力平衡。

截断桁架的方法有以下两种。

① 截面法 作一截面将桁架切断成两部分，使每一部分的自由体形成一个平面力系。

② 结点法 截取一个结点为自由体，使其形成一平面共点力系。

结点法有两个方程式，截面法有三个方程式，所求的未知力分别为 2 和 3 个。截面选择得好，可使一个方程式只包括一个未知数，使计算简便。如果用力矩平衡来计算，即为力矩法 $\sum M = 0$ 。如果用力平衡来计算， $\sum X = 0$ ， $\sum Y = 0$ ，即为投影法。联合应用即为混合法。

3.1 截面法（用力矩平衡法计算）

如图 19-5-13 所示，求杆 24、34、35 的内力 F_{24} 、 F_{34} 和 F_{35} 。

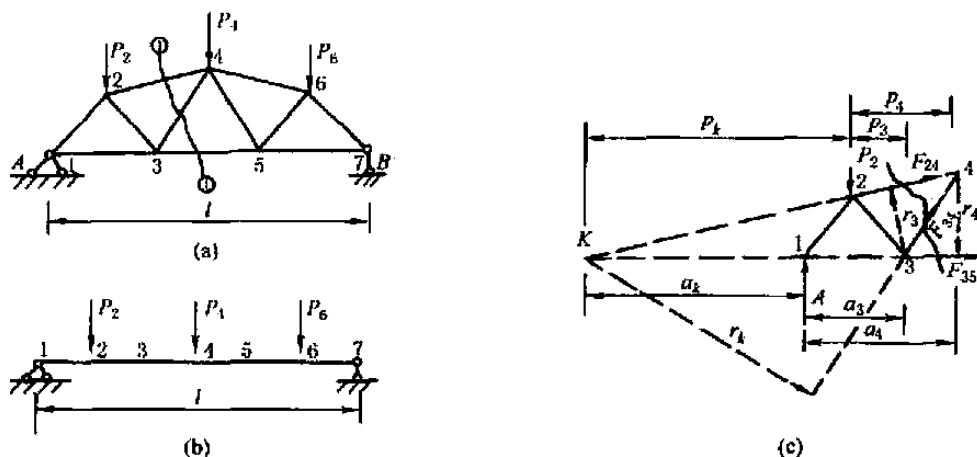


图 19-5-13

作截面①-①，切断欲求内力的三根杆件，取截面的左边部分为自由体（图 19-5-13c），并在自由体上，除了反力和载荷外，还画上未知内力。这些内力在未求得其有向值以前，均假定为拉力。如果所得的结果为负值，则表明这个内力为压力。以杆件 34 和 35 的交点为力矩中心，写出 $\sum M_3 = 0$ ，得：

$$Aa_3 - P_2p_3 + F_{24}r_3 = 0$$

或

$$F_{24} = -\frac{Aa_3 - P_2p_3}{r_3} = -\frac{M_3}{r_3} \quad (a)$$

同样，可以求得其他两根杆件的内力。以结点 4 为力矩中心，用 $\sum M_4 = 0$ ，得：

$$Aa_4 - P_2p_4 - F_{35}r_4 = 0$$

或

$$F_{35} = \frac{Aa_4 - P_2p_4}{r_4} = \frac{M_4}{r_4} \quad (b)$$

以杆件 24 和 35 的交点 K 为力矩中心，用 $\sum M_k = 0$ ，得

$$-Aa_k + P_2p_k - F_{34}r_k = 0$$

或

$$F_{34} = \frac{-Aa_k + P_2p_k}{r_k} = \frac{M_k}{r_k} \quad (c)$$

力矩中心 K 落在跨度之外；力矩 M_k 是可正可负的，它的正负决定了杆件 F_{34} 是否受拉或受压。

3.2 截面法（用力平衡法计算）

设一个截面切断某一桁架的三根杆件，其中二杆互相平行，则第三根杆件的内力就不能利用力矩法求得。这种情形，在平弦桁架中常常遇到。例如在图 19-5-14a 所示平弦桁架中，欲求竖杆 F_{34} 的内力。在载重弦节间 46 取截面①-①，切断 F_{34} ；取截面以左的部分为自由体，如图 19-5-14c 所示。取竖直轴为投影轴，并利用 $\sum Y = 0$ ，就可求得竖杆内力为：

$$F_{34} = A - P_2 - P_4 = Q_{46} \quad (d)$$

如果用同一个跨度简支梁来代替桁架，把桁架各载重弦结点投影到梁上，并令载荷作用于相对应的结点（图 19-5-14b），则简支梁节间 46 的剪力 Q_{46} （图 19-5-14d）与 F_{34} （图 19-5-14c）相等。因为 Q_{46} 是正的，故 F_{34} 为拉力。

斜杆 F_{58} 与水平线成 φ 的倾角，其内力可按截面②-②由桁架左部（图 19-5-14c）的平衡条件求得：

$$F_{58} = -\frac{A - P_2 - P_4 - P_6}{\sin\varphi} = -\frac{Q_{68}}{\sin\varphi}$$

Q_{68} 是载重弦节间 68 的简支梁剪力（图 19-5-14d）。

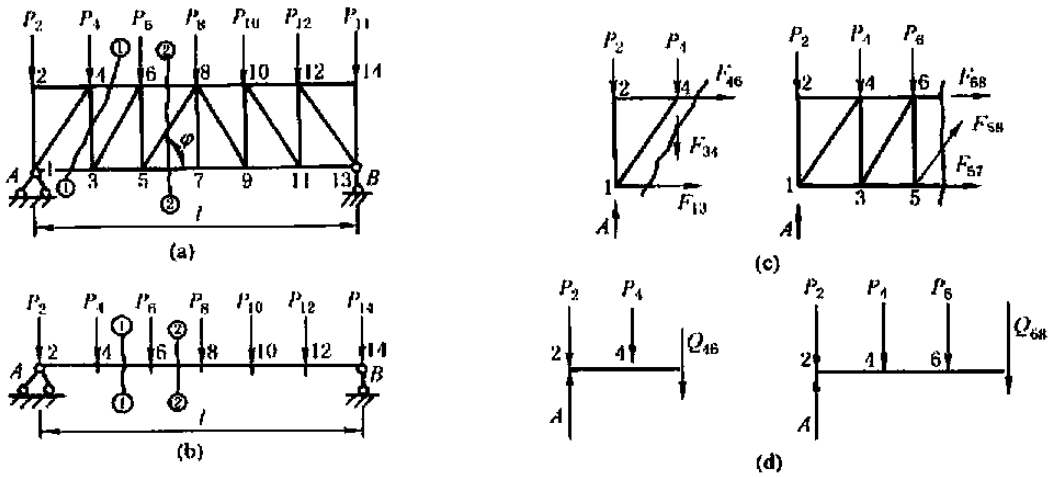


图 19-5-14

F_{58} 的内力也可以用其竖直分力 Y_{58} 表示出来:

$$Y_{58} = F_{58} \sin\varphi = -(A - P_2 - P_4 - P_6) = -Q_{68}$$

3.3 结点法

设用一闭合截面，割取桁架中的某一结点为自由体，当在这个自由体上仅有两个未知内力时，则这两个未知内力的计算用结点法最为有利。

例如，在图 19-5-15a 所示的桁架中，仅有两根杆件 12 和 13 相交于结点 1。如割取结点 1 为自由体（图 19-5-15b），并用投影法，即可求得杆件 12 和 13 的内力如下：

$$F_{12} = -\frac{A}{\sin\varphi}$$

$$F_{13} = -F_{12} \cos\varphi$$

当三根杆件相交于一个结点时，一般地说，必须用其他方法先求出其中一根或两根杆件的内力，然后可以用结点法求出其他杆件的内力。然而，当三杆相交于一结点，而其中有二杆在同一直线内时，则第三杆内力仍可用结点法求出。在图 19-5-15a 中，杆件 23 的内力就是属于这种情形。取结点 3 为自由体（图 19-5-15c）；虽然下弦杆的内力不能在这个自由体上单独求得，然而 F_{23} 的内力可用 $\Sigma Y = 0$ 算出：

$$F_{23} = P_3$$

以上计算中，采用了水平轴和竖直轴为投影轴。最合适的投影轴方向不一定是水平和竖直的，应视结构的具体情况而定。

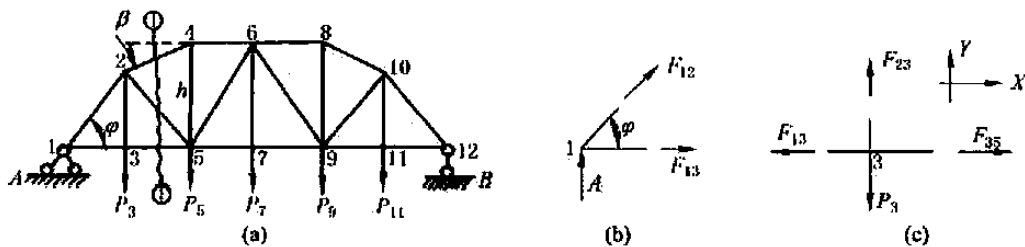


图 19-5-15

3.4 混合法

在比较复杂的桁架中，欲求某一杆件的内力，常常需要把结点法与截面法混合起来使用，或者一个方法需要连续使用几次。

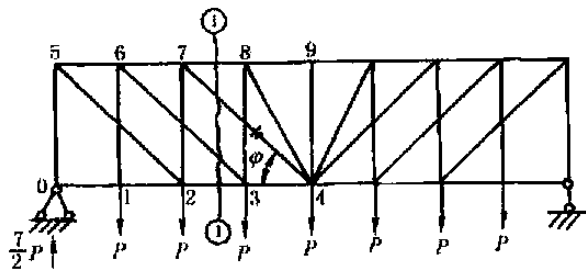


图 19-5-16

图 19-5-16 为一多重腹杆桁架，欲求其中的杆件 47 的内力 F_{47} 。作截面①-①，切断四根杆件，显然不能直接求得 F_{47} 的内力。如果用投影法求 F_{47} ，那么就必须先算出 F_{36} 。后者可于结点 1 和 6 处连续应用结点法二次而求得其垂直分量为 $V_{36} = -P$ 。于是作截面①-①，用投影法得其垂直分量为

$$V_{47} = \frac{7}{2}P - 2P + P = \frac{5}{2}P$$

$$F_{47} = \frac{5P}{2\sin\varphi}$$

3.5 代替法

代替法或通路法都是用于计算复杂桁架的。在桁架中有许多结点处有三根杆件相交于一点，在无法用结点法或截面法来分析桁架内力时，可用代替法。不必解许多未知数的方程组，只需设法求出桁架杆件中某一杆的内力，则其他各杆的内力就容易算出了。

现举例说明如下。

为了计算（图 19-5-17a）某一杆 14 的内力 X ，可将杆件 14 自桁架中截出，成为两个自由体（图 19-5-17b）。于是杆件 14 的内力 X 即作为外力而出现在截断处。这种做法，并不改变桁架的静力平衡条件，当然也不影响各杆的内力；然而，就桁架的几何图形来说，它变成为一个具有自由度的机构，因此是不稳定的。为了要恢复桁架图形的稳定性，必须添上一根杆件，如图 19-5-17b 中的杆件 35。

如果，在外力 P 与 X 的共同作用下，增添的杆件 35 的内力等于零，则改变之后的桁架（图 19-5-17b）非但是稳定的，而且各杆的受力情形也是与原桁架（图 19-5-17a）完全相同的。代替桁架必须是稳定的桁架，并且为了易于计算代替杆内的内力，因此它常常是一个简单桁架。很明显，代替杆的插入，必须不改变桁架结点的数目。

计算代替桁架的内力方法如图 19-5-18 所示，计算 P 作用下 35 杆的内力 N_c^0 （图 19-5-18a），再计算 $\bar{X} = 1$ 单位力作用下 35 杆的内力 \bar{N}_{cx} （图 19-5-18c），则根据 $N_c = 0$ 的条件，得

$$N_c = N_c^0 + \bar{N}_{cx}X = 0$$

即

$$X = -\frac{N_c^0}{\bar{N}_{cx}}$$

式中， N_c^0 等均可用前面的截面法或结点法等求出。

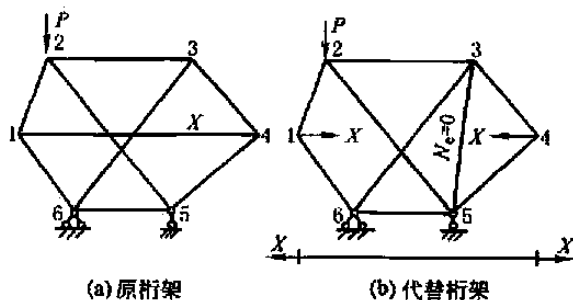


图 19-5-17

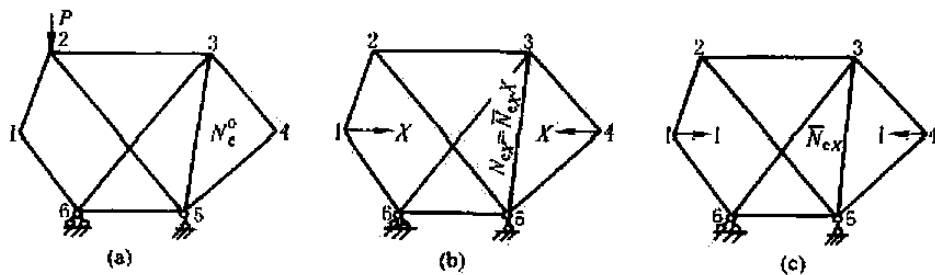


图 19-5-18

其他杆件的内力 N_i 可以由原桁架的 X 力已知而求出，或仍由代替桁架的内力由 P 及 X 作用叠加：

$$N_i = N_i^0 + \bar{N}_{ix}X$$

式中 \bar{N}_{ix} ——代替桁架 i 杆由 $\bar{X} = 1$ 作用产生的内力；

N_i^0 ——代替桁架 i 杆由 P 作用产生的内力。

在更复杂的桁架中，有时需要撤换二根或更多的杆件。例如于图 19-5-19a 所示桁架中，如果撤换两根杆件 14 与 25，而以杆件 13 与 35 来代替（图 19-5-19b），则有两个条件 $N_1 = 0$ 与 $N_2 = 0$ ，以求解两个未知数 X_1 与 X_2 ：

$$\begin{cases} N_1 = N_1^0 + \bar{N}_{11}X_1 + \bar{N}_{12}X_2 = 0 \\ N_2 = N_2^0 + \bar{N}_{21}X_1 + \bar{N}_{22}X_2 = 0 \end{cases} \quad (19-5-1)$$

由联立方程式可得未知数 X_1 与 X_2 。公式中符号的意义示于图 19-5-19。

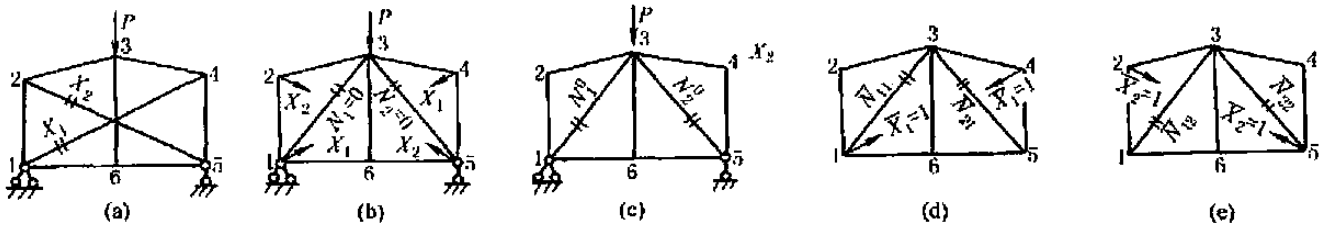


图 19-5-19

桁架构件受压稳定性计算长度见第 4 章第 3.4 节结构件的计算长度。

4 桁架的位移计算

要计算桁架的刚度，必须先算得其受力后的位移量。

4.1 桁架的位移计算公式

桁架的位移，按式 (19-5-2) 计算：

$$\Delta_{kP} = \sum \frac{\bar{N}_k N_P l}{EA} \quad (19-5-2)$$

式中 \bar{N}_k ——单位虚载荷 $S_k = 1$ 所产生的桁架各杆件的内力，拉力为正，压力为负（ S_k 应作用于桁架位移所求点，其方向应与所求的桁架位移的方向相同）；

N_P ——外载荷 S_P 所产生的桁架各杆件的内力，拉力为正，压力为负；

E ——桁架杆件材料的弹性模量；

A ——桁架各杆件的截面积；

l ——桁架各杆件的轴线长度；

Δ_{kP} ——桁架的位移。

在计算时，采用列表的方式较为方便。

求非竖直方向的位移时，单位虚载荷的作用方向如下。

- ① 当求任意节点沿任意方向的线位移时，则沿该方向上作用 $S_k = 1$ （图 19-5-20a）。
- ② 当求两节点间的距离改变（如节点 B 及 D ）时，则于该两节点的连线上作用两个方向相反的 $S_k = 1$ （图 19-5-20b）。
- ③ 当求任一杆件（如杆件 CE ）的转角（以弧度计）时，则该杆件的两端点处垂直杆件作用两个大小相等

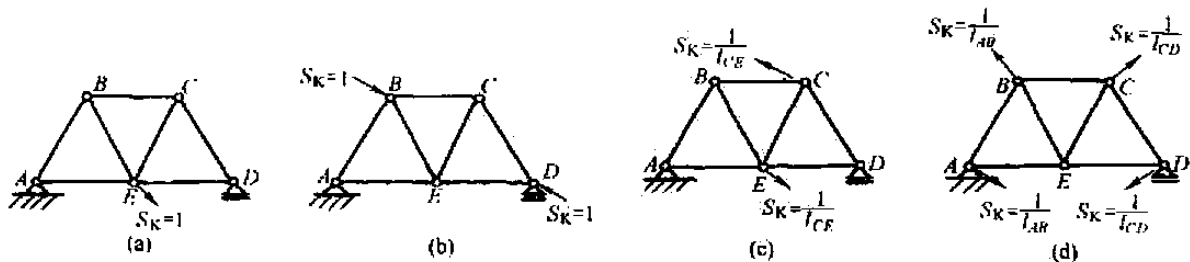


图 19-5-20

方向相反的力，这一对力形成一个单位力偶（即力矩 $M=1$ ），每一个力的大小等于 $\frac{1}{l_{CE}}$ （图 19-5-20c）。

④ 当求两杆件间（如 AB 与 CD 间）角度变化，则于该两杆件的端点分别作用两个方向相反的单位力偶（即力矩 $M=1$ ），如图 19-5-20d 所示。

4.2 几种桁架的挠度计算公式

桁架的受力分析计算一般可在手册中查到。而机架结构设计则主要有足够的刚度要求，必须进行挠度的计算以校核其刚度是否足够，但一般手册中都无现成的数表或公式可查。为便于读者使用，将编者工作中所推导的常用的一些等节间桁架的挠度计算公式推荐如下，推导的过程从略^[20]。空腹桁架挠度计算公式见第 6 章。

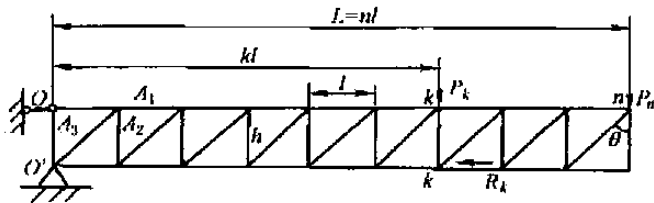


图 19-5-21

(1) 集中力产生的挠度（图 19-5-21）

1) 在点 n 作用有 P_n 时的挠度

$$\Delta_p = \frac{nP_n h}{E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(2n^2 + 1) l^3}{3A_1 h^3} \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-3)$$

2) 在点 k 作用有 P_k 时 n 点的挠度

$$\Delta_k = \frac{kP_k h}{E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{[k(3n-k) + 1] l^3}{3A_1 h^3} \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-4)$$

3) 在点 k 作用有水平力 R_k 引起的 n 点挠度

$$\Delta_n = \frac{R_k l^2}{EA_1 h} \left(\frac{2n-k-1}{2} \right) k \quad (\text{mm}) \quad (19-5-5)$$

式中 A_1 ——上下弦杆的截面面积， mm^2 ；

A_2 ——竖杆的截面面积， mm^2 ；

A_3 ——斜杆的截面面积， mm^2 ；

E ——弹性模数， MPa ；

P_n, P_k, R_k ——集中力， N ；

h, l ——长度， mm 。

对于斜杆方向与图示方向相反（即自左上角向右下角倾斜）的桁架，上述公式中仅差竖杆 n 未计算，因影响很小，同样可用上述公式计算。

4) 如果要计算作用在 n 点的力 P 在任意点 k 所产生的挠度，则根据位移互等原理，该挠度等于力 P 作用在 k 点所产生的 n 点的挠度。因此可以用式 (19-5-4) 来计算。

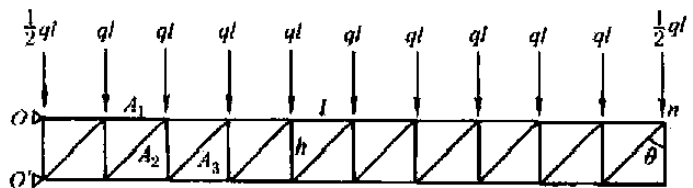


图 19-5-22

l —节间长度； n —节间数

(2) 均布载荷产生的悬臂桁架的挠度（图 19-5-22）

n 点的挠度

$$\Delta_q = \frac{n^2 q l h}{2E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(n^2 + 1) l^3}{2A_1 h^3} \right] \quad (19-5-6)$$

式中 q ——均布载荷， N/mm ；

其他符号意义同前。

(3) 简支桁架的挠度（图 19-5-23）

由均布载荷产生的中点挠度

$$\Delta_q = \frac{q l^4 (5n^2 + 4) n^2}{192EA_1 h^2} \approx 0.026 \frac{n^4 l^4}{EA_1 h^2} \quad (\text{mm}) \quad (19-5-7)$$

式中各符号意义同前。

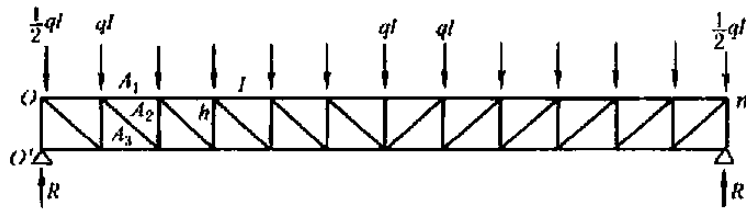


图 19-5-23

l—节间长度；n—节间数

这种桁架受集中力作用时，如为对称载荷，可将此桁架分解为两个悬臂桁架（从桁架中点分开），则节点数为 $n_1 = n/2$ 。然后按式 (19-5-3) 或式 (19-5-4) 计算该半桁架（悬臂桁架），由支座反力 R 及该悬臂桁架上的集中载荷作用引起的挠度，代数相加即可。

(4) 桁架旋转时动力加速度引起的挠度（图 19-5-24）

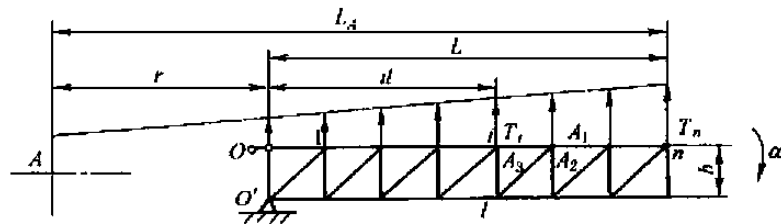


图 19-5-24

对于集中质量，加速度求出来后，集中力即可求得，此集中力引起的挠度按式 (19-5-3) 或式 (19-5-4) 计算即可。均布质量的计算则因距旋转中心的距离不同而加速度呈梯形分布（图 19-5-24）。设桁架绕机器中心作角加速度 α (rad/s²) 旋转，则：

n 点挠度

$$\Delta_o = \frac{aq_0 l b n}{2E \times 10^3} \left\{ \left(nL_A - \frac{n^2 - 1}{3} l \right) \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} \right) + \frac{n^2 + 1}{6} \times \frac{l^3}{b^3} \times \frac{1}{A_1} \left[3nL_A - \frac{4(n^2 - 1)l}{5} \right] \right\} \quad (\text{mm}) \quad (19-5-8)$$

当 $n \geq 10$ 时，式 (19-5-8) 可简化为：

$$\Delta_o = \frac{aq_0 b n L}{2E \times 10^3} \left(L_A - \frac{4}{15} L \right) \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{n^2 l^3}{2b^3 A_1} \right) \quad (\text{mm}) \quad (19-5-9)$$

惯性力是按下式计算的：

$$T_i = \frac{r + il}{10^3} a q_0 l \quad (\text{N}) \quad (19-5-10)$$

$$T_n = \frac{1}{2} \times \frac{r + nl}{10^3} a q_0 l \quad (\text{N}) \quad (19-5-11)$$

$$nl = L, \quad L_A = L + r \quad (\text{mm})$$

式中 q_0 ——均布质量，kg/mm。

(5) 豪式屋架形桁架（图 19-5-25）

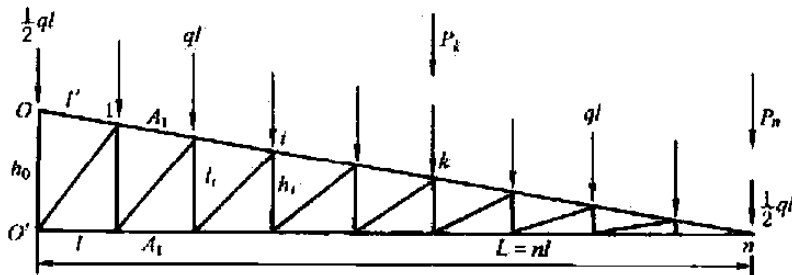


图 19-5-25

以图 19-5-25 中 O、O' 为铰接支点，n 点的挠度计算公式如下：

由集中力 P_n 产生的 n 点挠度

$$\Delta_n = \frac{P_n L^3}{EA_1 h_0^2} \left[\frac{n-1}{n} + \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-12)$$

由 k 点作用集中力 P_k 产生的 n 点挠度

$$\Delta_k = \frac{P_k l L^2}{EA_1 h_0^2} \left[D - \frac{k}{n} + D \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-13)$$

由均布载荷 q 引起的 n 点挠度

$$\Delta_q = \frac{q l^2 L^2}{4EA_1 h_0^2} \left[(n-1)(n+2) + n(n+3) \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-14)$$

$$D = \sum_{i=0}^k \frac{k-i}{n-i} \quad (19-5-14a)$$

式中 l —— 每节间长, mm;

l' —— 上弦杆每节间长 (斜长), mm;

n —— 节间数, 桁架为等节间的;

A_1 —— 上、下弦杆的截面积, mm^2 。

(6) 倒豪式屋架形桁架 (图 19-5-26)

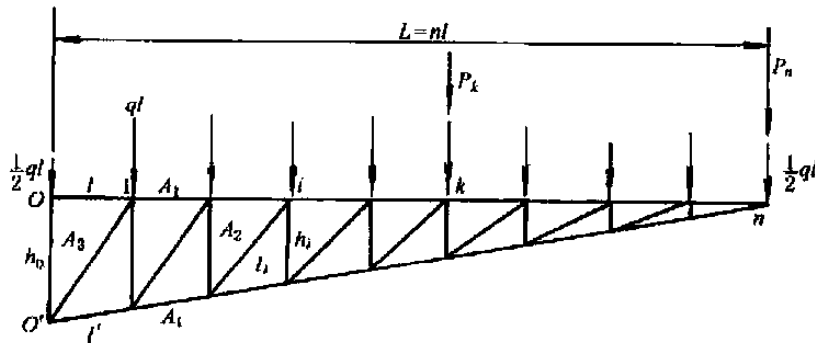


图 19-5-26

倒豪式屋架是常用的桁架结构, 以 O 、 O' 为铰接支点, 计算公式如下:

由集中力 P_n 引起的 n 点的挠度

$$\Delta_n = \frac{P_n L^3}{EA_1 h_0^2} \left[1 + \frac{n-1}{n} \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-15)$$

由 k 点作用集中力 P_k 引起的 n 点的挠度

$$\Delta_k = \frac{P_k l L^2}{EA_1 h_0^2} \left[D + \left(D - \frac{k}{n} \right) \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-16)$$

由均布载荷 q 引起的 n 点的挠度

$$\Delta_q = \frac{q l^2 L^2}{4EA_1 h_0^2} \left[n(n+3) + (n-1)(n+2) \left(\frac{l'}{l} \right)^3 \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-17)$$

式中, D 含义同前。

(7) 斜桁架 (图 19-5-27)

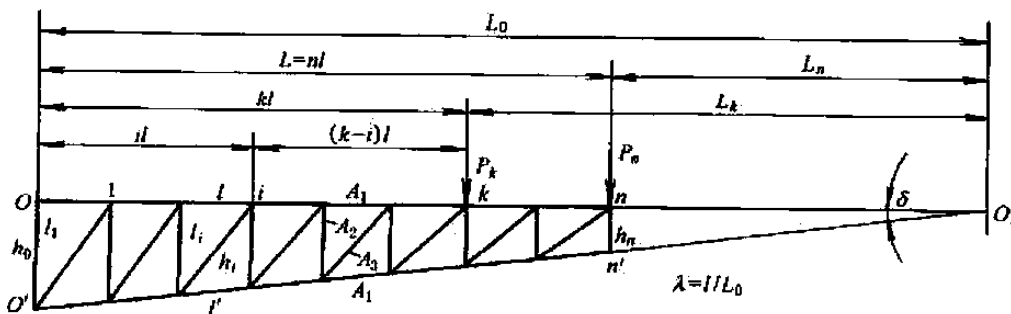


图 19-5-27

挠度公式可化简成如下的中间形式:

由集中力 P_n 引起的 n 点挠度

$$\Delta_n = \frac{P_n}{Eh_0} \left[\frac{1}{A_1 h_0} (D_{1,n} l^3 + D_{2,n} l'^3) + h_n^2 \left(\frac{B_n}{A_2} + \frac{C_n}{A_3} \right) \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-18)$$

由 k 点作用集中力 P_k 引起的 n 点的挠度

$$\Delta_k = \frac{P_k}{Eh_0} \left[\frac{1}{A_1 h_0} (D_1 l^3 + D_2 l'^3) + h_k h_n \left(\frac{B}{A_2} + \frac{C}{A_3} \right) \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-19)$$

可粗略地按

$$\Delta_k = \frac{P_k l^3}{EA_1 h_0^2} D \quad \left(D = D_1 + D_2 \frac{l'^3}{l^3} \right) \quad (\text{mm}) \quad (19-5-20)$$

由均布载荷 q 引起的 n 点的挠度

$$\Delta_q = \frac{ql}{E} \left[\frac{1}{A_1 h_0^2} (D_1' l^3 + D_2' l'^3) + h_n \left(\frac{B'}{A_2} + \frac{C'}{A_3} \right) \right] \quad (\text{mm}) \quad (19-5-21)$$

$n \geq 10$ 时

$$\Delta_q = \frac{2qlD_1'}{EA_1 h_0^2} (l^3 + l'^3) \quad (19-5-22)$$

其中, 令 $\lambda = l/L_0$,

$$\left. \begin{aligned} D_{1,n} &= \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(n-i)^2}{(1-i\lambda)^2} \\ D_{2,n} &= D_{1,n} - n^2 \\ B_n &= \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{1-i\lambda} \\ C_n &= \sum_{i=1}^n \frac{1-(i-1)\lambda}{(1-i\lambda)^2} \left(\frac{l_i}{h_{i-1}} \right)^3 \end{aligned} \right\} \quad (19-5-18a)$$

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(n-i)(k-i)}{(1-i\lambda)^2} \\ D_2 &= D_1 - nk \\ B &= \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{1-i\lambda} \\ C &= \sum_{i=1}^k \frac{1-(i-1)\lambda}{(1-i\lambda)^2} \left(\frac{l_i}{h_{i-1}} \right)^3 \end{aligned} \right\} \quad (19-5-19a)$$

$$\left. \begin{aligned} D_1' &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{i^2(i+1)}{[1-(n-i)\lambda]^2} \\ D_2' &= D_1' - \frac{n^2(n+1)}{2} \\ B' &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(n-i)[2-(n+i+1)\lambda]}{1-i\lambda} \\ C' &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{[n-(i-1)][1-(i-1)\lambda][2-(n+i)\lambda]}{(1-i\lambda)^2} \left(\frac{l_i}{h_{i-1}} \right)^3 \end{aligned} \right\} \quad (19-5-21a)$$

4.3 举例

例1 如图 19-5-28 桁架, 用牵绳在 K 点拉住, 求其端部的挠度。

由式 (19-5-3) 算得 P 力的挠度 Δ_P ; 由式 (19-5-6) 算得均布载荷 q 的挠度 Δ_q ; 由平衡条件算得牵绳拉力 R , 再将 R 分解为垂直力 R_1 和水平力 R_2 , 如 R_1 不在结点上, 可再分解为 R_1' 、 R_1'' 。再用式 (19-5-4) 求 Δ_k (R_1' 引起) 及 Δ_k (R_1'' 引起); 同样, 再用公式 (19-5-5) 求水平力 R_2 引起的挠度 Δ_R ; 以上各挠度相加 (考虑正反相减) 即得总挠度。

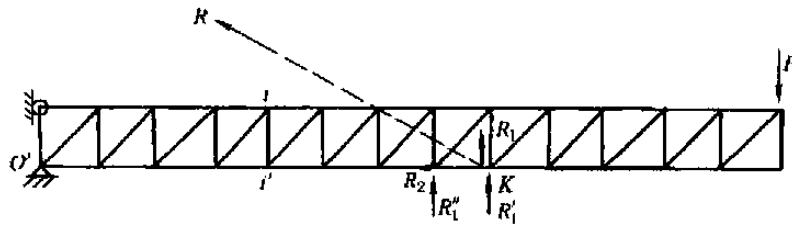


图 19-5-28

例 2 图 19-5-29 为一带式输送机的悬臂桁架, 求在图示载荷作用下, 悬臂的刚度是否符合要求。

因为 OO' 固定 (铰接) 于行走机械的机架上, 油缸可以动作以保证带输出端位置, 挠度的计算应该是 n 点相对于 OO' 连线的向下位移量。则

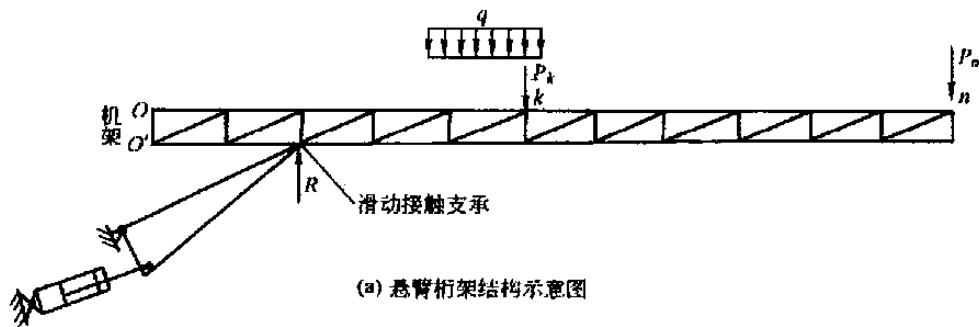
$$n = 10$$

$$A_1 = A_2 = 10.24 \text{ cm}^2$$

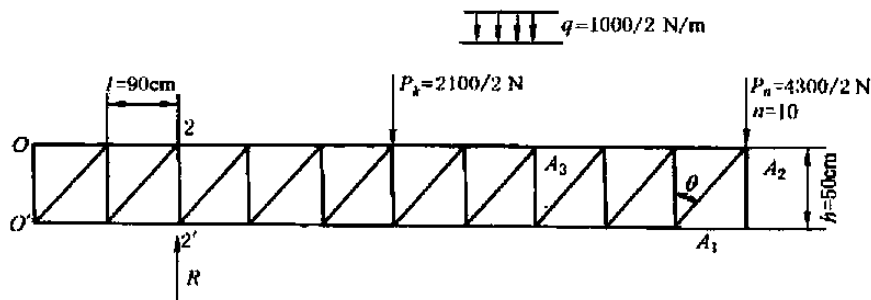
$$A_3 = 3.086 \text{ cm}^2$$

$$h = 50 \text{ cm}, l = 90 \text{ cm}$$

$$\text{则 } \tan \theta = \frac{l}{h} = 1.8, \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+1.8^2}} = \frac{1}{2.06}$$



(a) 悬臂桁架结构示意图



(b) 受力图

图 19-5-29 带式输送机悬臂桁架

桁架有两侧, 空载时抬起, P_k 、 P_n 为滚筒等重力:

$$P_n = 4300/2 = 2150 \text{ N}$$

$$P_k = 1050 \text{ N}$$

$$q = 500 \text{ N/m}$$

$$R = (2150 \times 10 + 1050 \times 5 + 500 \times 10 \times 0.9 \times 5)/2 = 24600 \text{ N}$$

运用式 (19-5-3) - 式 (19-5-6) 得

集中力 P_n 引起的变形量 (以 cm 作单位代入, 下同):

$$\Delta_P = \frac{10 \times 2150 \times 50}{2.1 \times 10^3 \times 100} \left(\frac{1}{10.24} + \frac{1}{3.086} \times 2.06^3 + \frac{201 \times 1.8^3}{3 \times 10.24} \right)$$

$$= 0.051 \times (0.1 + 2.83 + 38) = 2.08 \text{ cm}$$

集中力 P_k 引起的变形量:

$$\Delta_k = \frac{5 \times 1050 \times 50}{2.1 \times 10^3} \left(0.1 + 2.83 + \frac{5 \times 25 + 1}{3 \times 10.24} \times 1.8^3 \right)$$

$$= 0.0125 \times (0.1 + 2.83 + 23.9) = 0.33 \text{ cm}$$

集中力 R 引起的向上的变形量 (方向向上):

$$\Delta_n = \frac{2 \times 24600 \times 50}{2.1 \times 10^7} \left(0.1 + 2.83 + 0.568 \times \frac{2 \times 28 + 1}{3} \right) = 1.58 \text{ cm}$$

均布载荷 q 引起的变形量:

$$\Delta_q = \frac{10^2 \times 5 \times 90 \times 50}{2 \times 2.1 \times 10^7} \left(0.1 + 2.83 + 0.568 \times \frac{101}{2} \right) = 1.68 \text{ cm}$$

总挠度为

$$\Delta = 2.08 + 0.33 + 1.68 - 1.58 = 2.51 \text{ cm}$$

悬臂长 9m, 挠度为全长的 $\frac{2.51}{900} = 2.8\%$ 。挠度不算小, 但此时为不工作状态。在工作时, 悬臂端部下面有支撑, 故符合要求。

例 3 用悬臂桁架挠度计算公式来计算图 19-5-30a 简支梁的挠度。

将图 a 变换成图 b, 用悬臂梁式 (19-5-3) ~ 式 (19-5-6) 计算挠度。令桁架中线为 $O_1 O_1'$ 。

由 $P_n = n_1 ql$, 代入式 (19-5-3) 得

$$\Delta_p = \frac{n_1^2 qlh}{E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(2n_1^2 + 1)l^3}{3A_1 h^3} \right]$$

由式 (19-5-6) 得

$$\Delta_q = \frac{n_1^2 qlh}{2E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(n_1^2 + 1)l^3}{2A_1 h^3} \right]$$

悬臂梁中点的挠度 (略去较小的前两项, 以 $n_1 = \frac{n}{2}$ 代入) 为

$$\delta = \Delta_p - \Delta_q = \frac{ql^4 (5n^2 + 4)n^2}{192EA_1 h^2}$$

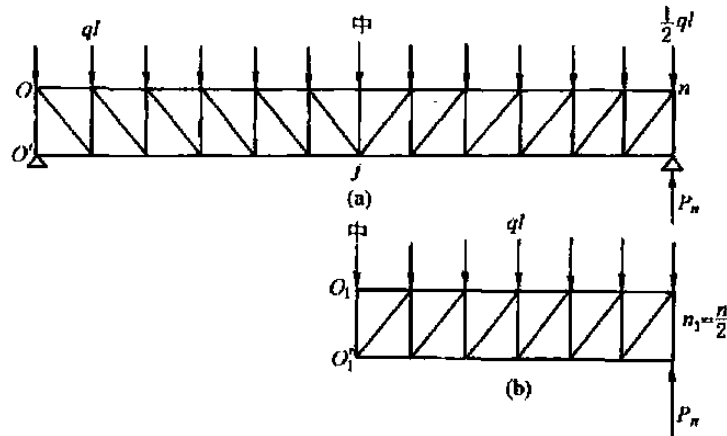


图 19-5-30

如果用 n 节间悬臂梁的计算公式来计算上梁 n 点对 OO' 的变位置, 则可以求得:

$$\Delta_p = \frac{n^2 qlh}{2E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(2n^2 + 1)l^3}{3A_1 h^3} \right]$$

$$\Delta_q = \frac{qlhn^2}{2E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(n^2 + 1)l^3}{2A_1 h^3} \right]$$

$$\begin{aligned} \delta_1 = \Delta_q - \Delta_p &= \frac{qlhn^2}{2E} \left[\frac{l^3}{A_1 h^3} \left(-\frac{2n^2 + 1}{3} + \frac{n^2 + 1}{2} \right) \right] \\ &= -\frac{ql^4 n^2 (n^2 - 1)}{12EA_1 h^2} \end{aligned}$$

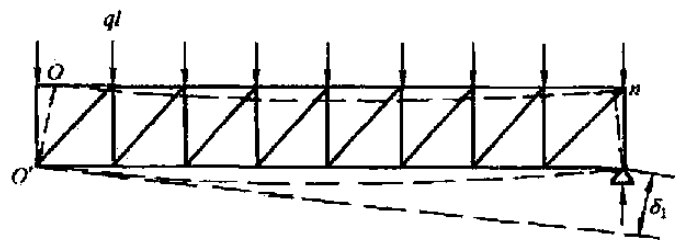


图 19-5-31

请注意, 上式算得的是图 19-5-31 所示的 δ_1 , 而非 n 点的挠度。

例 4 以上的挠度计算是相对于 OO' 线的位置, 如要使 OO' 保持垂直, 则桁架要转动。如果所要求的是 k 点 (k 表示 R 力所作用的节间数) 不动时的桁架挠度, 如图 19-5-32 所示, OO' 线是歪斜的, 此时的挠度可用下面两种方法求得。

- (1) 令 $\delta_{n,n}$ 为 n 点作用单位力 $P_n = 1$ 时 n 点的变形;
- $\delta_{k,n}$ 为 n 点作用单位力 $P_n = 1$ 时 k 点的变形;
- $\delta_{n,k}$ 为 k 点作用单位力 $P_k = 1$ 时 n 点的变形;

$\delta_{k,k}$ 为 k 点作用单位力 $P_k = 1$ 时 k 点的变形。

由式 (19-5-4), 则

$$\delta_{k,n} = \delta_{n,k} = \frac{hk}{E} \left\{ \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{[k(3n-k)+1]l^3}{3A_1 h^3} \right\}$$

由式 (19-5-3), 得

$$\delta_{n,n} = \frac{nh}{E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(2n^2+1)l^3}{3A_1 h^3} \right]$$

当 n 改为 k 后, 即

$$\delta_{k,k} = \frac{kh}{E} \left[\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3 \cos^3 \theta} + \frac{(2k^2+1)l^3}{3A_1 h^3} \right]$$

当只在 n 点有作用力时, n 点的挠度为

$$\delta_n = \delta_{n,n} P_n - \delta_{n,k} R \quad (a)$$

而此时, k 点实际移动了

$$\delta_k = \delta_{n,k} P_n - \delta_{k,k} R \quad (b)$$

如要求 k 点不动, 须 k 点移回 δ_k , 则 n 点必定上升

$$\delta_n' = \delta_k \frac{L}{a} \quad (c)$$

故由于 OO' 倾斜及 k 点不动, 实际使 n 点的挠度等于式 (a) - 式 (c) (见图 19-5-32):

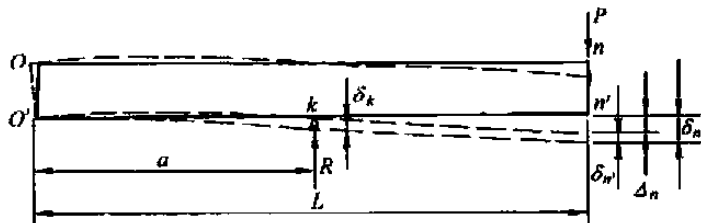


图 19-5-32

$$\Delta_n = \delta_n - \delta_n' = \delta_{n,n} P_n - \delta_{n,k} R - \delta_k \frac{L}{a}$$

式 (b) 代入后, 得

$$\begin{aligned} \Delta_n &= P_n \delta_{n,n} \left(1 + \frac{LR \delta_{k,k}}{\alpha P_n \delta_{n,n}} \right) - R \delta_{n,k} \left(1 + \frac{LP_n}{\alpha R} \right) \\ &= \alpha P_n \delta_{n,n} - \beta R \delta_{n,k} \end{aligned} \quad (d)$$

式 (d) 与式 (a) 比较, 只多两个系数, 即

$$\alpha = 1 + \frac{LR \delta_{k,k}}{\alpha P_n \delta_{n,n}} \quad (e)$$

$$\beta = 1 + \frac{LP_n}{\alpha R} \quad (f)$$

当只考虑端部 n 处有载荷时

$$LP_n = \alpha R, \quad \beta = 2$$

$$\alpha = 1 + \frac{L^2}{a^2} \times \frac{\delta_{k,k}}{\delta_{n,n}} \approx 1 + \frac{a}{L}$$

因 $\delta_{k,k}$ 、 $\delta_{n,n}$ 中起主要作用的是第三项, 约与 k^3 及 n^3 成正比。

或由式 (d)

$$\Delta_n = P_n \delta_{n,n} \alpha_1 - R \delta_{n,k} \beta_1$$

式中

$$\alpha_1 = 1 - \frac{L}{a} \times \frac{\delta_{n,k}}{\delta_{n,n}} \quad (e_1)$$

$$\beta_1 = 1 - \frac{L}{a} \times \frac{\delta_{k,k}}{\delta_{n,k}} \quad (f_1)$$

(2) 为简便起见, 从式 (19-5-3)、式 (19-5-6) 可看出, 端点挠度基本上与外力 (P 或 ql_n) 成正比, 和 $(nl)^3$ 成正比。从式 (19-5-3) - 式 (19-5-6) 的第二项起主要作用考虑, 设按计算得的 n 点的总挠度是 Δ_n' , 则 R 力作用点的挠度约为:

$$\delta_R = \Delta_n' \frac{a^3}{L^3} \quad (g)$$

R 力位置不变, 上升 δ_R , n 点挠度则减少 $\delta_R = \frac{L}{a}$ 。故 n 点的总挠度实际为

$$\Delta_n = \Delta_n' - \delta_R \frac{L}{a} = \Delta_n' \left(1 - \frac{a^2}{L^2} \right) \quad (h)$$

对于本章第 5 节的计算, 本说明同样适用。

5 超静定桁架的计算

超静定桁架是桁架中有多余约束 (多余联系, 超过静定所必需的杆件与连接) 的桁架。多余约束可以是内

部杆件也可以是外部支座，或二者都有。

机架采用超静定形式桁架往往是为了结构的需要，使机架更为稳定，或考虑到载荷的方向变化。在计算的时候，往往可以将多余的次要杆件去掉不计，这样计算就方便得多了。

如果一定要按超静定桁架计算时，则一般采用力法来计算其杆件内力或支座反力。计算步骤及方法如下。

① 去掉多余约束，确定基本结构，以多余的未知力 X_i 来代替相应的多余约束。

② 建立力法的典型方程。

设 δ_{ii} 为基本结构中单位未知力 \bar{X}_i 单独作用时，沿 \bar{X}_i 本身方向所引起的位移； δ_{ij} 为基本结构中由于单位未知力 $\bar{X}_j = 1$ 引起的沿 \bar{X}_i 方向的位移。 $\delta_{ij} = \delta_{ji}$ 。

Δ_{iP} 为基本结构中由于载荷 P 作用时（或其他原因如温度变化等）所引起的沿 \bar{X}_i 方向的位移。

则典型方程组为：

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \cdots + \delta_{1n}X_n + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \cdots + \delta_{2n}X_n + \Delta_{2P} &= 0 \\ \cdots & \\ \delta_{n1}X_1 + \delta_{n2}X_2 + \cdots + \delta_{nn}X_n + \Delta_{nP} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19-5-23)$$

由于桁架中各杆件只产生轴向力，故典型方程中的各系数按莫尔公式为

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ii} &= \sum \frac{\bar{N}_i^2 l}{EA} \\ \delta_{ij} &= \sum \frac{\bar{N}_i \bar{N}_j l}{EA} \end{aligned} \right\} \quad (19-5-24)$$

当桁架只承受载荷时

$$\Delta_{iP} = \sum \frac{\bar{N}_i N_P l}{EA} \quad (19-5-25)$$

当桁架只有温度改变时

$$\Delta_{iP} = \Delta_{ii} = \sum \bar{N}_i \alpha t l \quad (19-5-26)$$

式中 A ——桁架杆的截面积；

l ——杆长；

E ——材料的弹性模量；

α ——杆的热膨胀系数；

t ——温度改变量；

\bar{N}_i ——在基本结构中杆件 i 的未知力 $N_i = 1$ 时产生的各杆件的内力；

N_P ——在基本结构中由外载荷 P 产生的各杆件内力。

为此，必须作出基本结构的各单位内力图和载荷内力图，然后计算典型方程组中的各系数和自由项。

③ 解典型方程式，求出各多余内力 X_i 。

④ 由叠加原理求出最后内力或绘出最后内力图。桁架各杆件的最后内力为

$$N = \bar{N}_1 X_1 + \bar{N}_2 X_2 + \cdots + \bar{N}_n X_n + N_P \quad (19-5-27)$$

在选择基本结构时，应尽量使在单位力或载荷的作用下，基本结构中有较多杆件的轴力为零，以简化典型方程组的求解。

6 空间桁架

机架基本上都是空间桁架。但由于结构较简单或结构的对称性，计算起来比较方便。空间桁架尽可能简化为平面桁架来计算。与平面桁架相似，可以用结点法、截面法或代替法来计算内力。

6.1 平面桁架组成的空间桁架的受力分析法

如图 19-5-33 所示的网状结构由几个平面桁架所组成，而每个平面桁架本身，在其各自的平面内，又是静定

稳定的，它们能够单独承受作用于该平面内的载荷。故当载荷作用于某一平面桁架所在的平面内时，其他平面内的杆件内力为零。任意一力均可分解为两个分力，一力作用于某一个平面内，另一力则作用于该平面以外的某方向内。如图 a 中的任意一结点作用有一载荷 P 时，可将其分解为作用于平面 ABB_3A_3 内的分力 P_2 (图 d) 和作用于杆件 B_1C_1 方向内的分力 P_1 (见图 b)。 P_1 仅使平面桁架 BCC_3B_3 内的某些杆件受力 (图 c)，而 P_2 则仅使平面桁架 ABB_3A_3 内的某些杆件受力 (图 d)。载荷 P 不作用在结点上而作用在某杆件上，可按力学分配到两个或多个结点上分别计算。只是该承受载荷的杆件要进行受力分析，例如抗弯的能力是否足够。

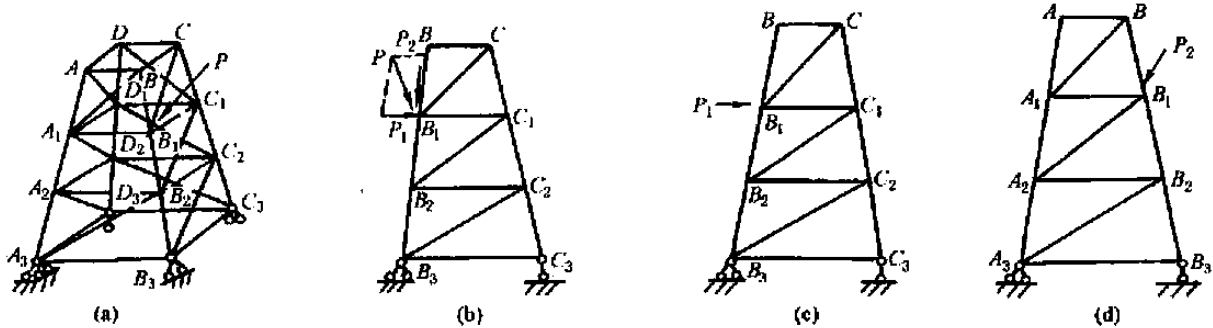


图 19-5-33

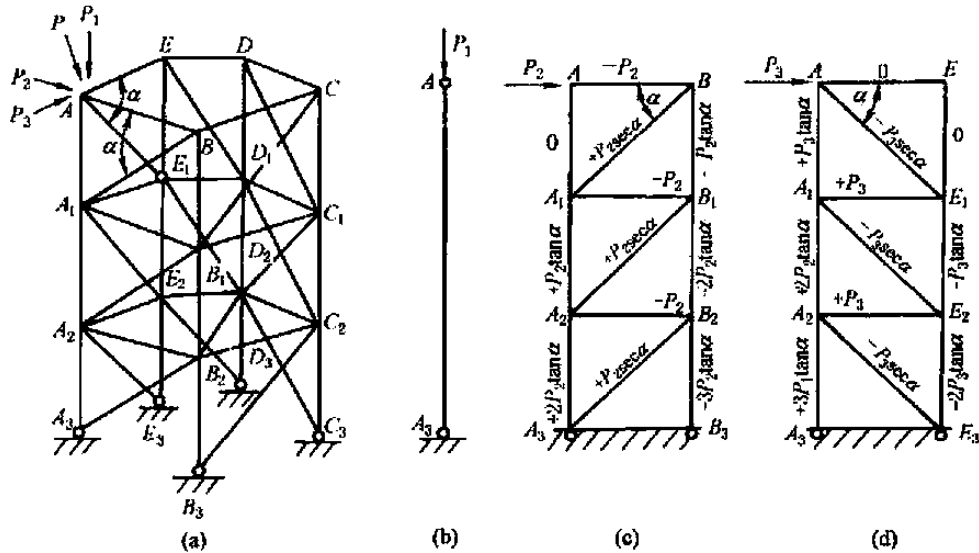


图 19-5-34

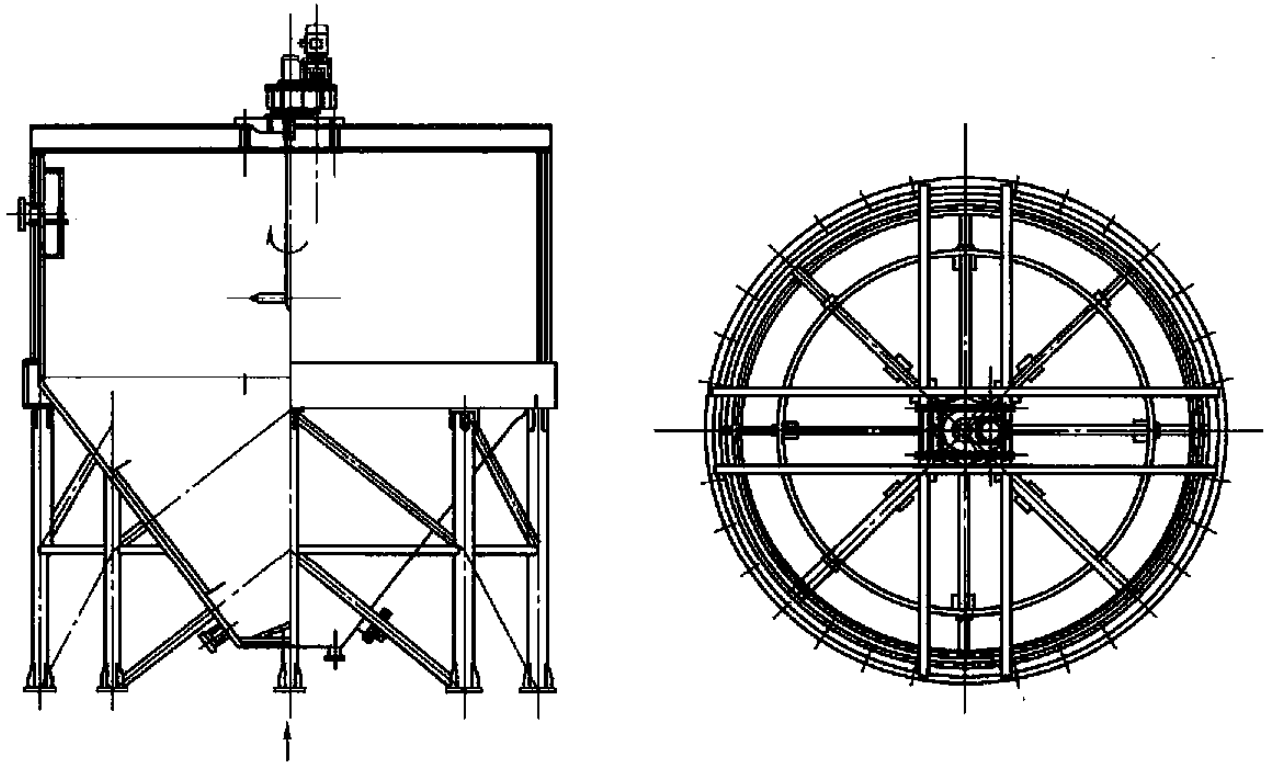
例 如图 19-5-34 所示的桁架，将载荷 P 分解为 P_1 、 P_2 、 P_3 。 P_1 在 AA_3 方向； P_2 在平面 ABB_3A_3 内； P_3 在 AEE_3A_3 平面内。然后按平面桁架的内力分析法，分别算出分力所在平面内的各杆件内力，如图 b、c、d 所示。最后按叠加原理算出各杆件的轴向力。因 P 力作用于 A 点，除图 b、c、d 所示的杆件受有轴向力外，其他平面内的杆件内力皆等于零。

6.2 圆形容器的支承桁架

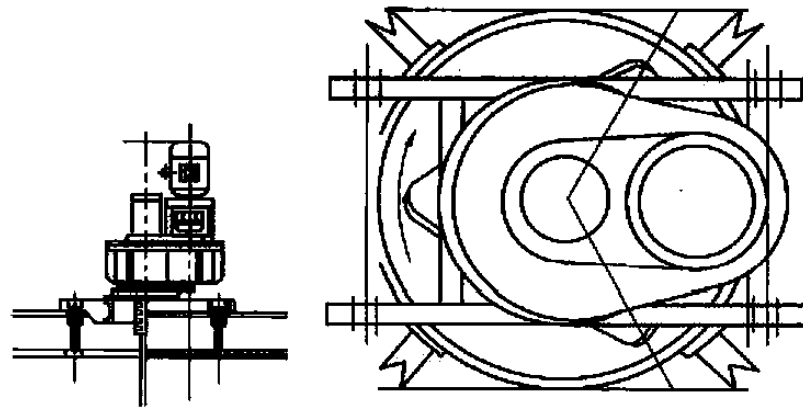
非标准机架结构用到最多的一种是圆形或准圆形容器的支承桁架。其特点是径向对称性。只要将载荷合理分配就可以简单地计算。例如第 1 章图 19-1-33 浓密机支座 (实例)，将浓密机的总载荷等分为 16 个扇形，由 1 根筒支梁和 2 个立柱支承来计算。梁上为连续的不均布载荷 (考虑高度变化及扇形的影响)。先求得筒支梁在该载荷的作用下，两支点最合理的位置 (一般说来，靠中心的立柱位置是由设备结构要求确定的，所以只要确定外立柱的位置就可以了。用微分法求出某位置可以使梁受到最小的弯矩即可)。再分别按筒支梁和单个立柱来计算其受力就很简单了。

图 19-5-35 为反应器设计建造的实例。两个反应器其规格各为：

- ① 外直径 9400mm，容器高 10750mm（不包括上面搅拌器高），架高 5240mm，加载荷后总重约 500t；
- ② 外直径 6900mm，容器高 8010mm（不包括上面搅拌器高），架高 4330mm，加载荷后总重约 180t。



(a) 总图

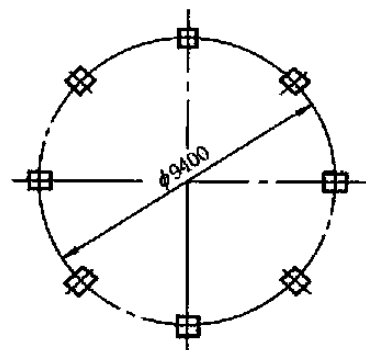
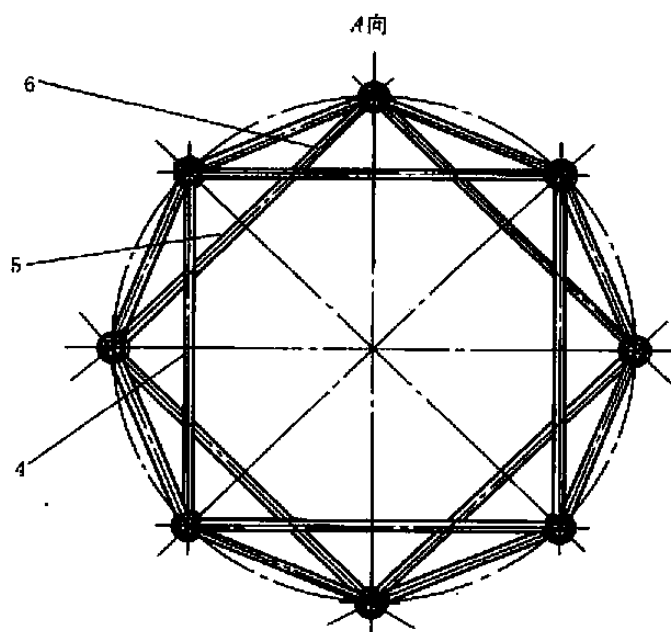
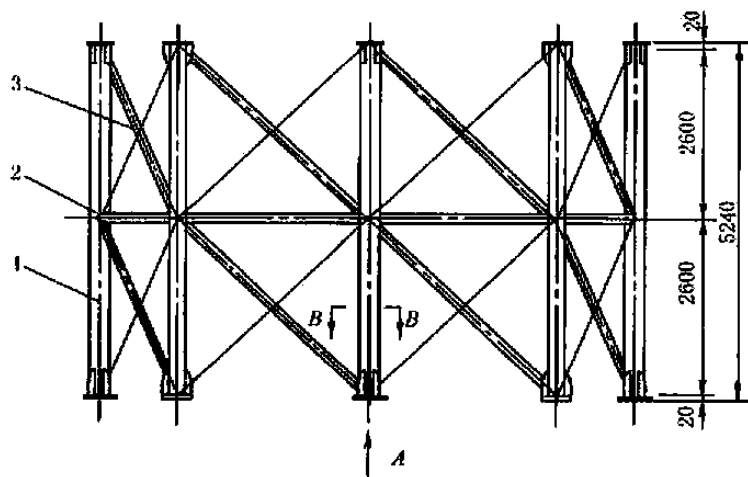


(b) 局部放大图

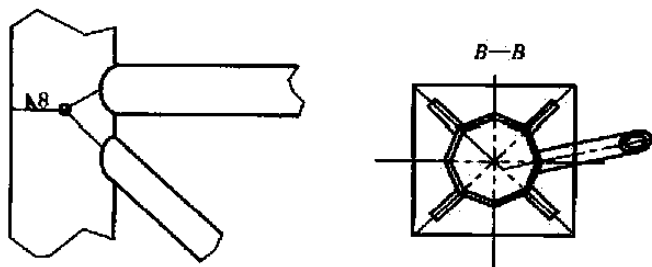
图 19-5-35 反应器

可以采用几种方案来实现支架的结构设计和建造。

【方案 1】 图 19-5-36 为采用圆形钢管作支架的结构，A 容器采用 8 根立柱（图 a）；B 容器采用 6 根立柱（图 b）。根据计算，立柱尺寸 A 容器立柱 $\phi 219 \times 14$ ；B 容器立柱 $\phi 168 \times 10$ 足够。实际采用：A 容器立柱 $\phi 219 \times 18$ ；B 容器立柱 $\phi 219 \times 12$ ，是过于结实了。为了立柱的稳定性，周向用管子 2 连接；径向用周向辅助管子 4、5（或 4~6）连接（因为中心有容器的锥体通过不能直接连接，这些管子尺寸可以相应小一些）；管子 3 为斜撑。（架上面有用以支承反应器的圈梁，未画出，下同。）

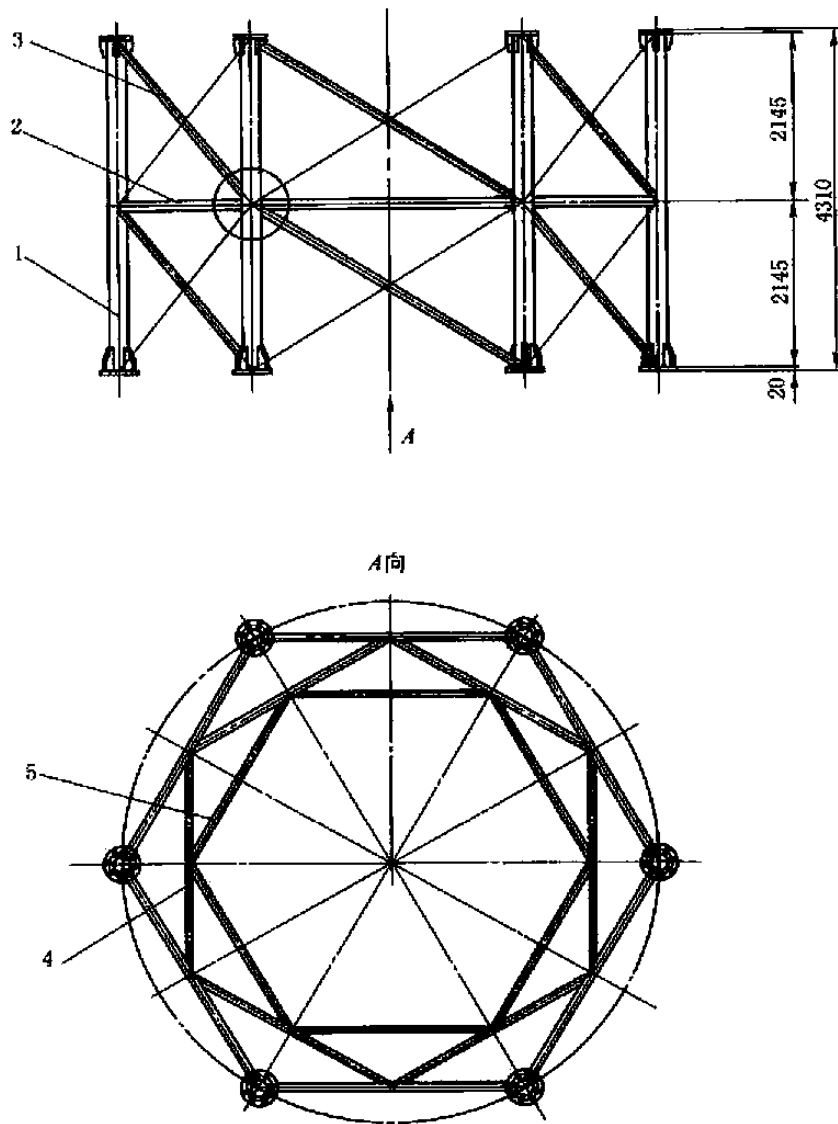


结点图



(a) 容器 A 支架结构图 (8 立柱)

- 1—立柱 $\phi 219 \times 18$ 共 8 根；2—周向支撑 $\phi 168 \times 10$ ，8 根；3—斜撑 $\phi 168 \times 10$ ，16 根；4—周向支撑 $\phi 121 \times 10$ ，4 根；5—周向辅助支撑 $\phi 121 \times 10$ ，4 根；6—周向辅助支撑 $\phi 121 \times 1$ ，8 根



(b) 容器 B 支架结构图 (6 立柱)

1—立柱 $\phi 219 \times 18$ 共 6 根；2—周向支撑 $\phi 168 \times 10$ ，6 根；
3—斜撑 $\phi 168 \times 10$ ，12 根；4、5—周向辅助支撑 $\phi 121 \times 10$ ，6 根

图 19-5-36 容器支架结构图

【方案 2】结构形式相似：A 容器立柱用 32a 号工字钢，B 容器立柱用 22 号槽钢；斜撑 3 可用同型号的或小二号的型材；周向横梁 2 都可采用槽钢；各杆接头用连接板连接。而由于工字钢或槽钢的腹板向心布置，该向的立柱稳定性已足够，上图中的辅助支撑 4~6 都取消了（图略）。

【方案 3】结构如图 19-5-37 所示（仅画出 B 反应器）。材料与方案 2 相似。斜撑 3 一直撑到地面，而周向横梁 2 是断开的。本方案的优点是能直接承受和传递因机器转动和反应器内液态物料转动冲击挡板的扭力和振动至地面；材料较省一些。对于周向横梁 2 的布置，槽钢腹板 2 可以是立放的，撑向立柱 1 或斜撑 3 的中间或贴与其侧面。本图所示的周向横梁 2 是横放的。周向横梁采用与立柱及斜撑相同尺寸的槽钢，则部分要用连接钢板连接，如局部放大图所示。

以上几种方案都已有建造并在使用中。

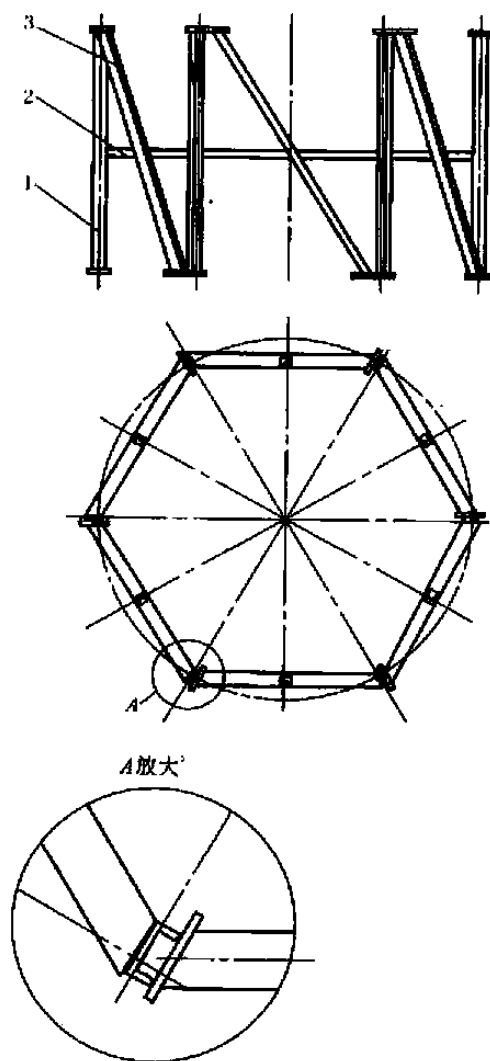


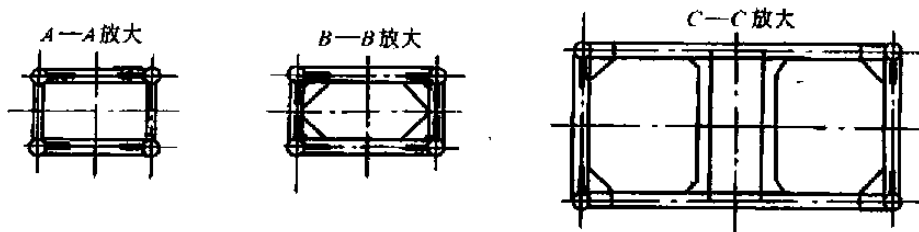
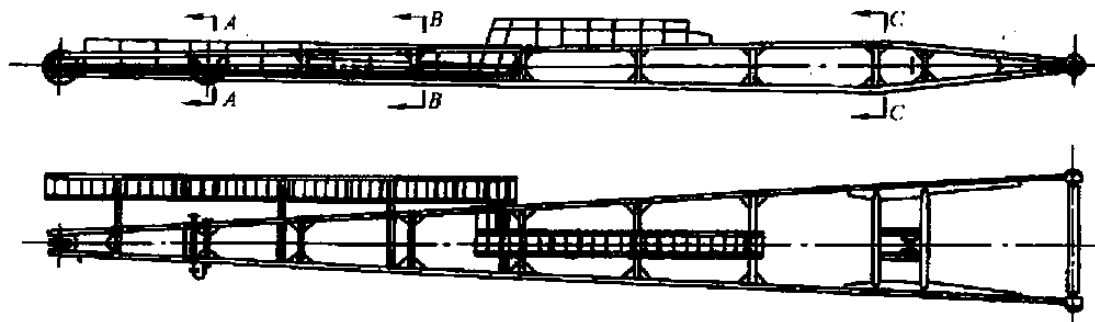
图 19-5-37 容器 B 支架结构图
1—主柱 (槽钢); 2—周向横梁 (槽钢); 3—斜撑 (槽钢)

第6章 框架的设计与计算

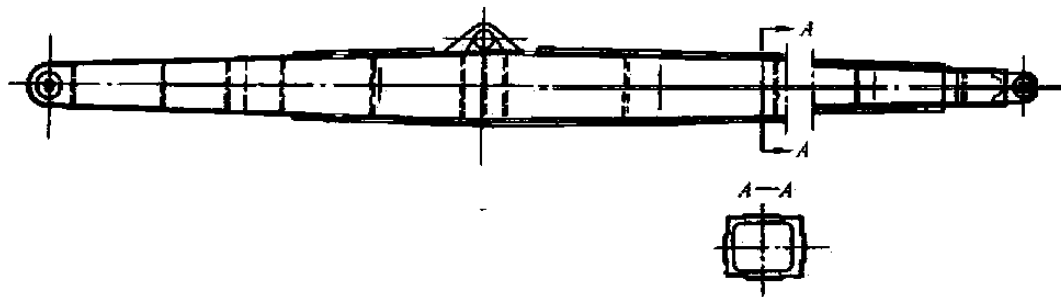
框架是由梁和柱组成的结构。框架的结点有铰结、刚结；有静定、超静定。带刚性连接的框架一般称刚架。刚架的特点是：各杆件主要受弯；载荷作用使刚架变形后，其某些杆与杆之间的夹角仍保持不变。刚架同样有静定和超静定的，但一般是超静定的。刚架结构上也可以有部分是铰接结点或组合结点。

对静定刚架的计算方法与静定梁的计算方法相同。通常先根据整体或某部分的平衡条件，求出各支座的反力及各铰接处的内力，然后再逐杆计算其内力，并绘制内力图。

图 19-6-1 为悬臂起重机的臂架结构形式，空腹式框架起重机见本篇第 1 章图 19-1-16b。



(a) 无斜杆式臂架结构



(b) 箱形截面式主臂架结构

图 19-6-1 悬臂起重机臂架结构形式

1 刚架的结点设计

铰接框架的结点与前面几章相同，本节只介绍刚接框架结点的设计。

刚架转角或结点是要传递弯矩的。梁与柱组成的刚架转角形式见第4章图19-4-18~图19-4-21。有弯矩翼缘的刚架转角大多如图19-6-2所示。外翼缘或多或少呈锐角形式(图19-6-2b)，内翼缘为连续的曲线。这种刚架转角可理想化为弯曲很大的曲梁，并按曲梁的理论来计算。理论计算表明在受压翼缘变形失稳时，应力部分集中在腹板上，所以这些腹板必须加强。对于锐角形式的转角，有时采用图19-6-2c形式的设计对提高腹板的刚性较为有效。

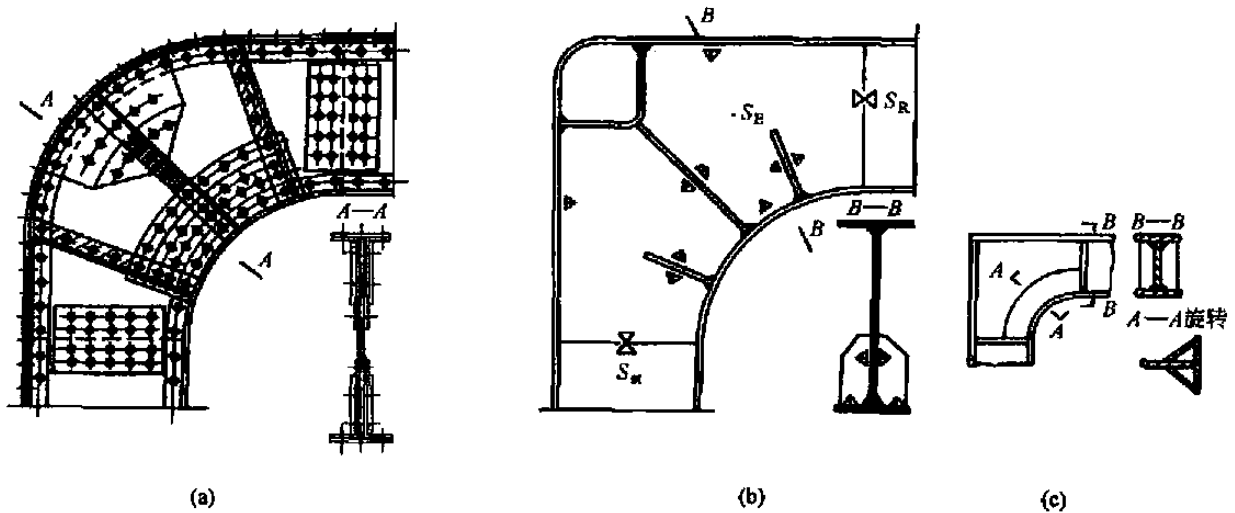


图 19-6-2 弯曲翼缘的刚架转角

图19-6-3是几种焊接形式的内翼缘为弯曲的转角和结点。图a是箱形断面刚架的结点，把对接缝布置在过渡圆弧之外，焊缝受力较小。图b是钢板和型钢焊接的刚架结点，把钢板构件的下翼缘以圆弧延伸过渡再和型钢焊接。这样制造方便，过渡平缓。图c是型钢焊成的刚架结点，在该处另焊上具有过渡圆弧的连接钢板，既增加结点的刚性，又减少应力集中。

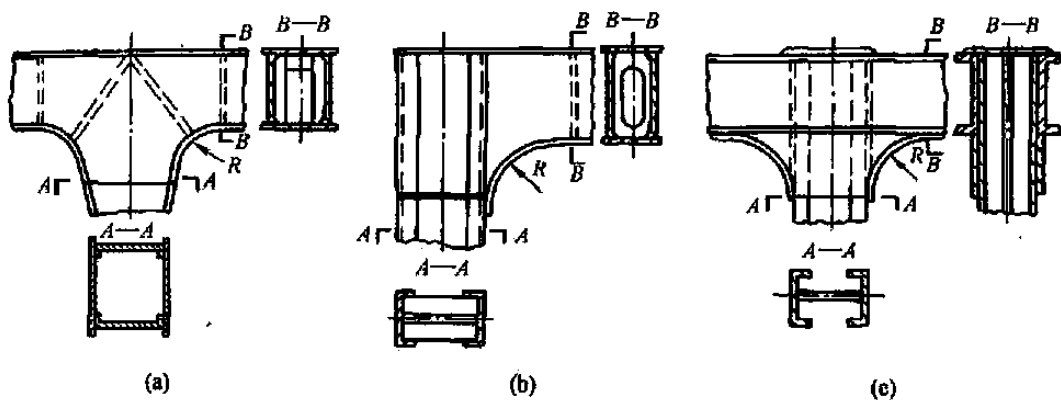


图 19-6-3

多边形翼缘的刚架转角如图19-6-4。

如果出现焊接和紧配螺栓作为连接件，则图19-6-4a、b中的转角必须在工厂中制成，安装拼接放在转角附近的横梁上、立柱上或两者之上。在结构a中，由于腹板的应力较大，故在转角中布置一块比横梁或立柱中的腹板还厚一些的腹板。图c是最简单的一种型式：用两工字钢对接来组成刚架结点。为对焊方便，使用连接板，拐角处用槽钢作筋，以提高结点的刚性。对于图c所示的刚架结点，采用焊接或采用螺栓连接，其焊接或螺栓连接如图19-6-5中a和b所示。根据此图形可以计算连接的强度。

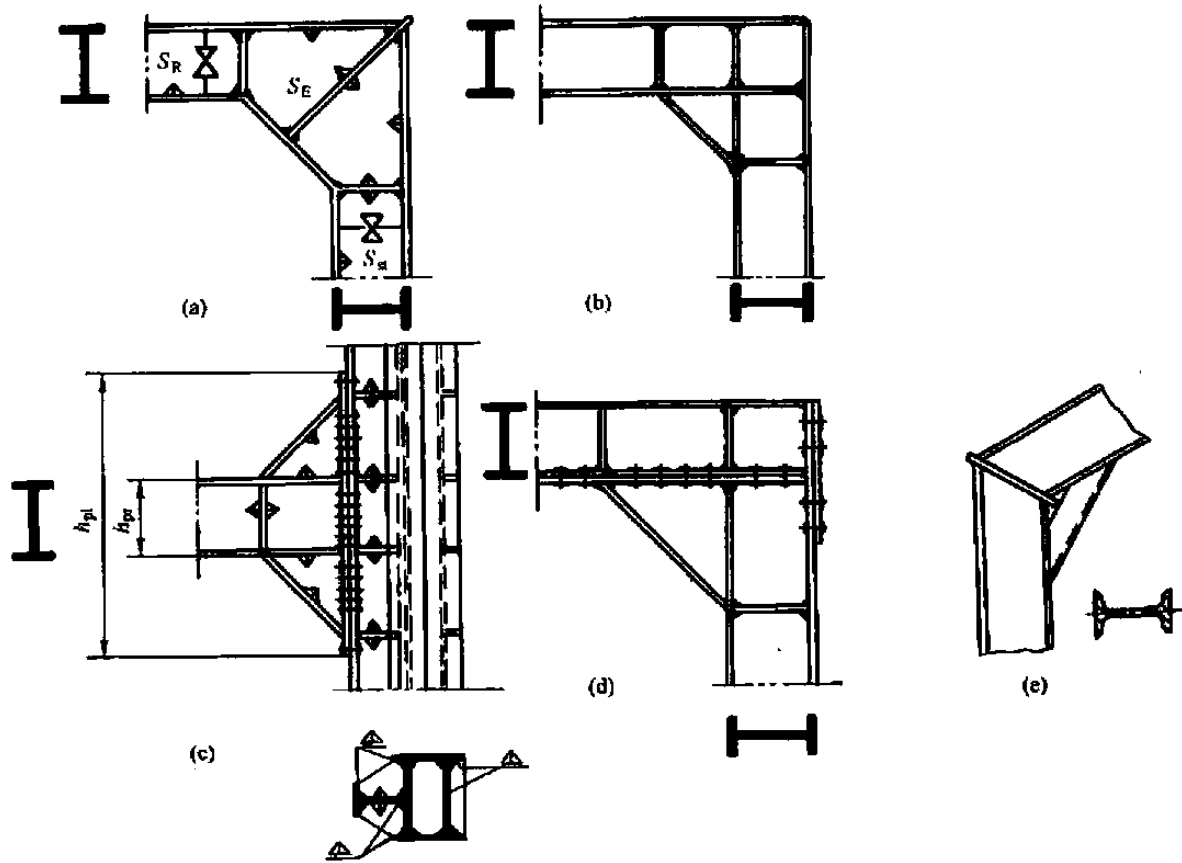


图 19-6-4

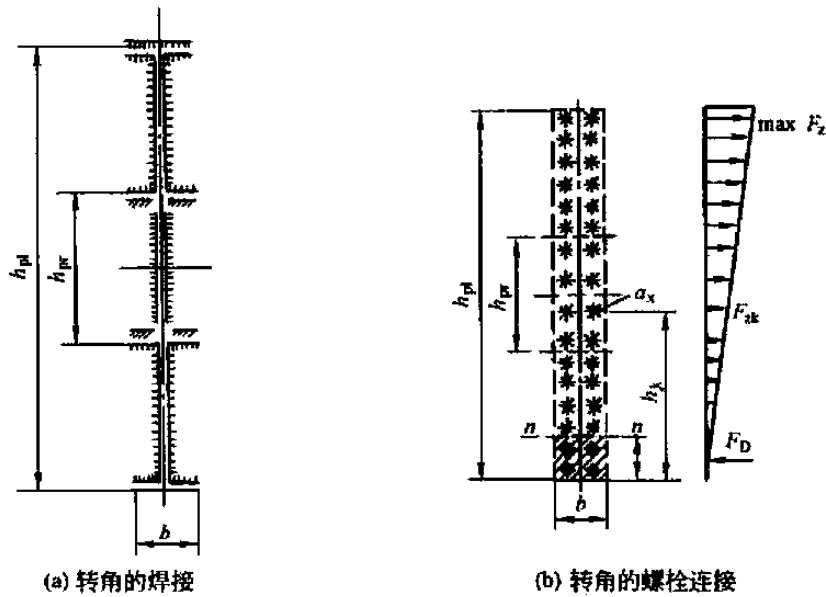


图 19-6-5

2 刚架内力分析方法

超静定刚架的内力分析，普遍使用力法和位移法，这是最基本的方法。在结构计算中还采用弯矩分配法、卡尼法和混合法。混合法是力法和形变法的联合应用。弯矩分配法对于无侧位移的刚架，是一个很简便的计算方法。卡尼法亦称迭代法，也是形变法的发展，属于渐近法的一种。鉴于后面几种方法在机械结构计算中运用较

如图 19-6-7a 所示的结构, 在计算其各截面的弯矩时, 从自由端处的作用力 W 算起较为方便。从 A 点直到 C 点只考虑 W 的作用, 在 C 点以右还应考虑均布载荷的作用, 得

$$M_A = 0$$

$$M_B = 20 \times 4 = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_C = 20 \times 4 = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_D = 20 \times 4 + \frac{40 \times 3^2}{2} = 260 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_E = 20 \times 2 + \frac{40 \times 3^2}{2} = 220 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

弯矩图如图 19-6-7b。

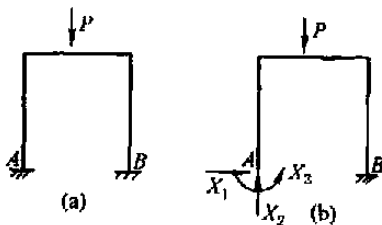


图 19-6-6

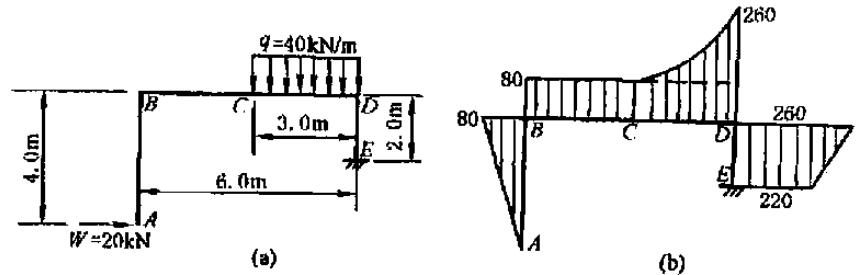


图 19-6-7

b. 剪力图 杆件截面上的剪力 Q 为该截面的任一側所有外力沿该截面方向投影的代数和。剪力图必须注明正负号, 剪力图可绘在杆件的任一面上。

杆端剪力: 对邻近截面所产生的力矩沿顺时针方向者为正。

图 19-6-8a 所示的刚架, 其弯矩图如图 19-6-8b。取出梁 AB 作为与其他构件无关的单跨梁 (图 19-6-9a), 则该梁杆端剪力:

$$Q_{AB} = Q_{AB}^0 - \left(\frac{M_{AB} + M_{BA}}{l_{AB}} \right) \quad (19-6-3)$$

$$Q_{BA} = Q_{BA}^0 - \left(\frac{M_{AB} + M_{BA}}{l_{AB}} \right) \quad (19-6-4)$$

式中 M_{AB}, M_{BA} —— 作用于杆端的弯矩, 沿顺时针方向者为正;

Q_{AB}^0, Q_{BA}^0 —— AB 梁两端视为简支时的杆端剪力; 剪力图见图 19-6-9b。

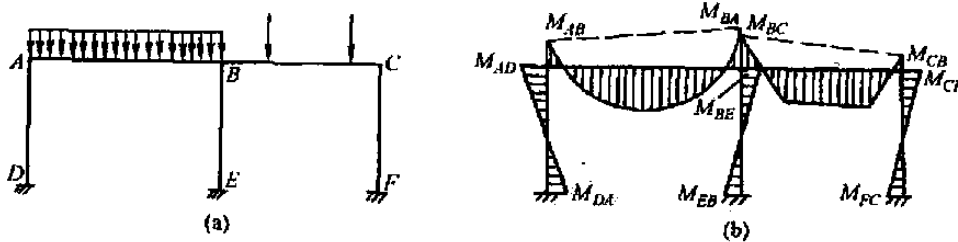


图 19-6-8

c. 轴向力图 在绘出剪力图后, 将刚架的各节点分别截取出来, 把作用于该节点上的载荷、轴向力及已求得的剪力都加上, 应用静力平衡条件即可求得各未知的轴向力。

轴向力图需注明正负号, 通常将轴向压力作为正。轴向力图可绘在杆件的任一面上。

图 19-6-8 所示的刚架, 对于节点 A (图 19-6-10a), 由平衡条件得: $N_{AB} = Q_{AD}$, $N_{AD} = Q_{AB}$, 轴向力图见图 19-6-10b。

2.1.3 简化计算的处理

刚架常是多次超静定的结构, 方法典型方程的未知数将随多余联系数目的增加而增多, 计算工作量也将迅速

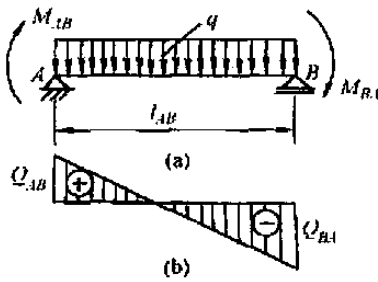


图 19-6-9

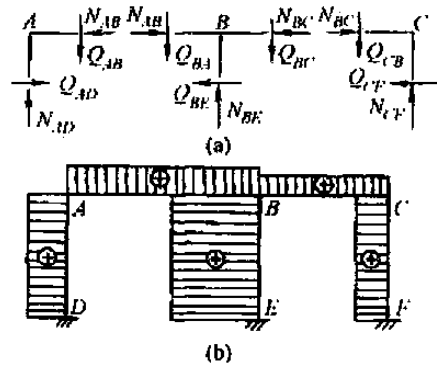


图 19-6-10

增加。为缩短计算时间，同时也提高计算的精确度，应尽量简化计算工作。简化计算的主要手段是使力法典型方程组中尽可能多的副变位等于零。使某些副变位等于零的主要措施是合理地选择基本结构，也就是恰当地选择多余力。

① 利用刚架的对称性。对称刚架是指刚架的几何形状对某一几何轴对称，而且支承条件、杆件截面及弹性模量对此轴也是对称的刚架。

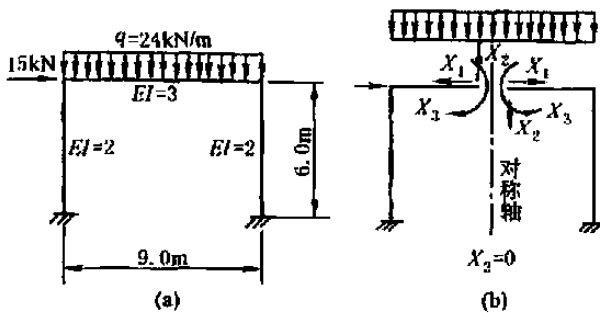


图 19-6-11

a. 选取对称多余力及反对称多余力。两个力在对称轴两边作用点对称、数值相等且方向也对称者称为对称力；两个力在对称轴两边作用点对称、数值相等而方向反对称者称为反对称力。图 19-6-11a 所示的刚架有一个对称轴，将其沿对称轴上横梁的中间截面切开，则 X_1 及 X_3 为对称多余力， X_2 为反对称多余力（图 19-6-11b）。

对称多余力在反对称多余力方向引起的变位等于零，反对称多余力在对称多余力方向引起的变位也等于零。

所以，在计算对称刚架时，如在选取的多余力当中有一部分是对称的，而另一部分是反对称的，则可简化力法典型方程组。

b. 将载荷分为对称载荷及反对称载荷，并分别计算。图 19-6-12a 所示的刚架承受的载荷可分解为对称载荷（图 19-6-12b）及反对称载荷（图 19-6-12c）两部分，分别进行计算，然后将内力图叠加。

对称载荷在基本结构上所产生的弯矩图 M_P' 是对称的；反对称载荷所产生的弯矩图 M_P'' 则是反对称的。

在对称载荷作用下，反对称多余力等于零；在反对称载荷作用下，对称多余力也等于零。

② 选择基本结构使单位弯矩图限于局部。在计算多跨刚架时，若将基本结构分为几个独立的部分，此时，单位弯矩图仅限于局部而互相分开，因而使许多副变位等于零。

③ 使用组合多余力。组合多余力是单独的多余力的线性组合。使用组合多余力可扩大简化计算的应用范围。

a. 在多跨对称刚架中使用对称的及反对称的组合多余力。图 19-6-13a 所示的多跨对称刚架的基本结构（图 19-6-13b）中有 4 个组合多余力： X_1 为一对数值相等而方向相反的水平力； X_2 为一对数值相等而方向相同的水平力； X_3 为一对数值相等而方向相同的竖向力； X_4 为一对数值相等而方向相反的竖向力。 X_1 及 X_3 是对称多余力， X_2 及 X_4 是反对称多余力，则

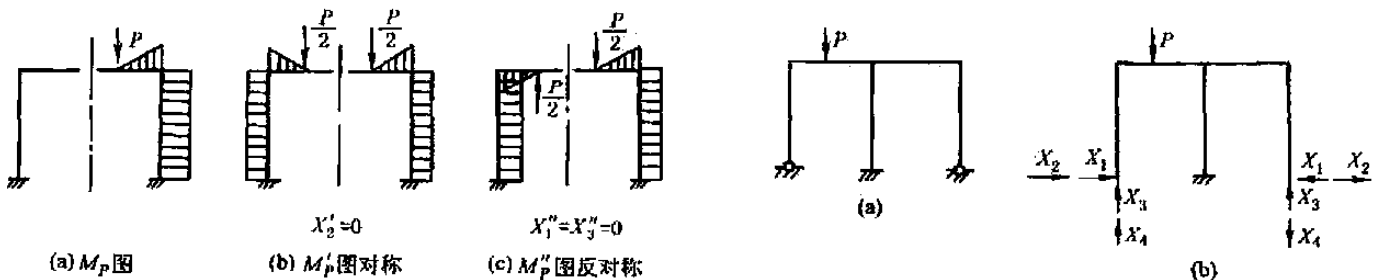


图 19-6-12

图 19-6-13

$$\delta_{12} = \delta_{14} = \delta_{23} = \delta_{34} = 0$$

力法典型方程简化为两组：

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} X_1 + \delta_{13} X_3 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{31} X_1 + \delta_{33} X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

及

$$\left. \begin{aligned} \delta_{22} X_2 + \delta_{24} X_4 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{42} X_2 + \delta_{44} X_4 + \Delta_{4P} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

b. 还可以应用组合多余力使基本结构的单位弯矩图限于局部，请参阅结构力学。

2.2 位移法

位移法也称形变法，是以变形（结点的转角及独立线位移）作为基本未知量，在求出各结点的变形后，计算框架的内力。

用位移法计算刚架，有两种不同的计算方式：第一种是应用基本体系及典型方程进行计算；第二种是应用节点及截面的平衡方程进行计算。两者的表达方法不同，但原理是相通的。

2.2.1 角变位移方程

角变位移方程是刚架的杆端弯矩与变形的关系式。用位移法计算刚架，要直接或间接地应用角变位移方程；还有许多分析刚架的计算方法（如弯矩分配法、迭代法等）在其公式推导过程中也要运用角变位移方程。

① 正负号规定：

对于杆端弯矩，作用于杆端的弯矩沿顺时针方向者为正；

对于转角，节点转角（从杆轴原有位置量至杆端切线）沿顺时针方向旋转者为正；

对于线位移，线位移 Δ 的方向以使 AB 杆的连线沿顺时针方向旋转者为正（图 19-6-14a 所示为正）。

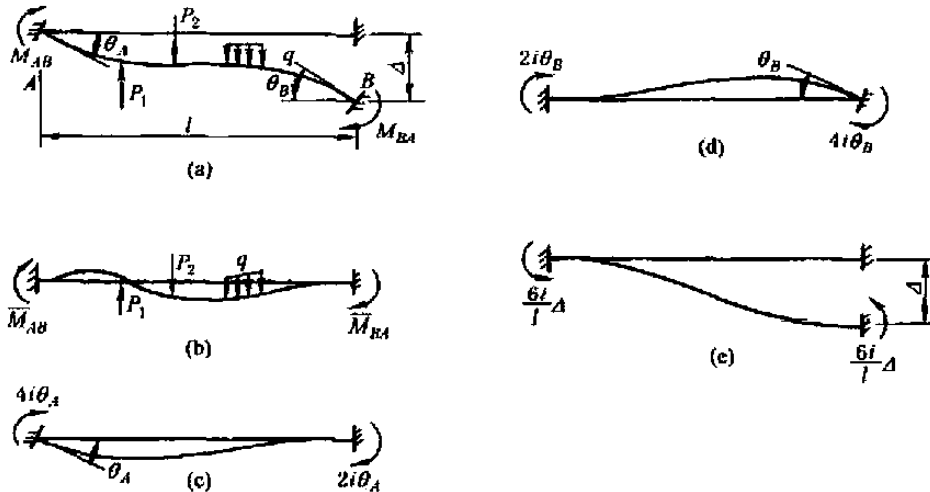


图 19-6-14

② 两端均为固定的等截面杆件，在载荷及支座位移共同作用下（图 19-6-14a），载荷及变形的状况可分解为四个部分，如图 b、c、d、e 所示。根据叠加原理，将这四部分叠加，即得该杆件的角变位移方程：

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= 4i\theta_A + 2i\theta_B - \frac{6i\Delta}{l} + \bar{M}_{AB} \\ M_{BA} &= 2i\theta_A + 4i\theta_B - \frac{6i\Delta}{l} + \bar{M}_{BA} \end{aligned} \right\} \quad (19-6-5)$$

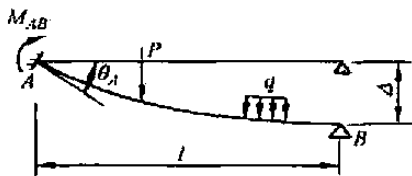


图 19-6-15

式中 θ_A, θ_B ——分别为杆件 A 端和 B 端的转角；

Δ ——杆件 A、B 两端在垂直于杆轴方向的相对线位移；

$\overline{M}_{AB}, \overline{M}_{BA}$ ——两端固定的杆件在载荷作用下，A 端和 B 端的固端弯矩；固端弯矩应包含正负号，其正负号的规定与杆端弯矩相同；

i ——杆件的单位刚度， $i = \frac{EI}{l}$ 。 (19-6-6)

③ 一端固定而另一端铰接的等截面杆件（图 19-6-15）的角变位移方程为：

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= 3i\theta_A - \frac{3i\Delta}{l} + \overline{M}'_{AB} \\ M_{BA} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19-6-7)$$

式中 \overline{M}'_{AB} ——A 端固定、B 端铰接的杆件在载荷作用下 A 端的固端弯矩。

常见的等截面直杆杆端弯矩和剪力表见本手册第 1 篇。一端固定另一端铰支的等截面梁及双截面梁的杆端弯矩与剪力也可从表 19-4-16 ~ 表 19-4-19 中推算出来。

2.2.2 应用基本体系及典型方程计算刚架的步骤

1) 基本结构。取刚架节点的变形（节点的转角及独立线位移）作为未知量。未知转角数等于刚架的刚节点数（刚架支座为固定支座时，其转角等于零，属于已知数）；独立线位移数等于将刚架节点改为铰接时，保证结构几何不变所需要增加的支承连杆数。

在刚架（图 19-6-16a）上增加足够而必要的附加联系（即在刚节点处放置附加刚臂以阻止节点的旋转，放置支承连杆以阻止节点的线位移），使刚架变成一系列的单跨超静定梁，这就将刚架变换成了基本结构（图 19-6-16b）。

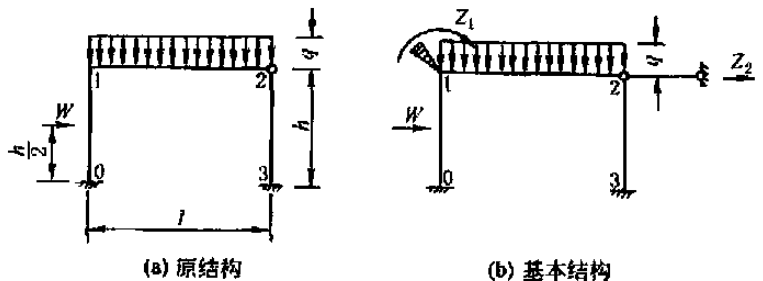


图 19-6-16

2) 建立典型方程。根据基本结构在附加

刚臂内所产生的总反矩及在支承连杆内所产生的总反力均等于零的条件列出变形法典型方程组。对于有 n 个未知变形的超静定结构，就需要增加 n 个附加联系，故可列出 n 个变形法典型方程，即

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + \dots + r_{1n}Z_n + R_{1P} &= 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + \dots + r_{2n}Z_n + R_{2P} &= 0 \\ r_{31}Z_1 + r_{32}Z_2 + \dots + r_{3n}Z_n + R_{3P} &= 0 \\ \dots & \\ r_{n1}Z_1 + r_{n2}Z_2 + \dots + r_{nn}Z_n + R_{nP} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19-6-8)$$

式中 Z_i ——刚架节点 i 的未知转角或未知线位移；

r_{ik} ——由于 $Z_k = 1$ 的作用，在基本结构的附加联系 i 内产生的反矩或反力称为系数，且 $r_{ik} = r_{ki}$ ；

R_{iP} ——由于载荷 P 的作用，在附加联系 i 内产生的反矩或反力，称为自由项；反矩或反力的方向与结点发生变形（转角或线位移）的方向相同为正，方向相反则为负。

3) 用静力法计算系数及自由项。首先分别绘出基本结构的各杆件由于载荷及单位变形所产生的弯矩图。其基本结构由载荷产生的弯矩图以 M_P 表示，由单位转角 $Z_1 = 1$ 产生的弯矩图以 \overline{M}_1 表示，由单位线位移 $Z_2 = 1$ 产生的弯矩图以 \overline{M}_2 表示。作 \overline{M}_1 图和 \overline{M}_2 图时，只要运用角变位移方程，即可知任一杆端弯矩的数值。

4) 将求得各系数及自由项代入典型方程组（19-6-8），即可求出各未知变形量 Z_1, Z_2, \dots, Z_n 。

5) 绘制内力图。由叠加原理计算最终弯矩图。

$$M = \overline{M}_1 Z_1 + \overline{M}_2 Z_2 + \dots + \overline{M}_n Z_n + M_P \quad (19-6-9)$$

绘出弯矩图后,就可顺序绘出剪力图和轴力图。

2.2.3 应用结点及截面平衡方程计算刚架的步骤^[19]

① 确定结构的结点位移未知量数。当一杆件的一端为铰接或铰支时,可利用转角位移方程写出它端的弯矩,这样可以减少一个结点转角未知量。

② 顺序写出各杆端弯矩的转角位移方程。在此之前,须算出承受载荷各杆的固端弯矩。写转角位移方程时,可先假定所有结点转角和位移的符号都是正号。

③ 建立结点及截面的平衡方程。所谓结点平衡方程,即连结任一刚结点的各杆近端作用于该结点的弯矩的代数和应等于零。所谓截面平衡方程,即在刚架任一层内作一水平截面而取其上部为隔离体,则在此隔离体上各被截柱内的水平剪力与所有水平载荷的总代数和应等于零。任一竖柱下端的剪力可在其隔离体上对其上端取弯矩的平衡方程求出。

④ 解联立方程,求出各结点位移未知量。

⑤ 将求得的未知量数值及其正负号代回各转角位移方程,算出各杆端弯矩。

⑥ 作出结构的弯矩图、剪力图和轴力图。

例 试绘出图 19-6-17a 所示刚架的弯矩图。

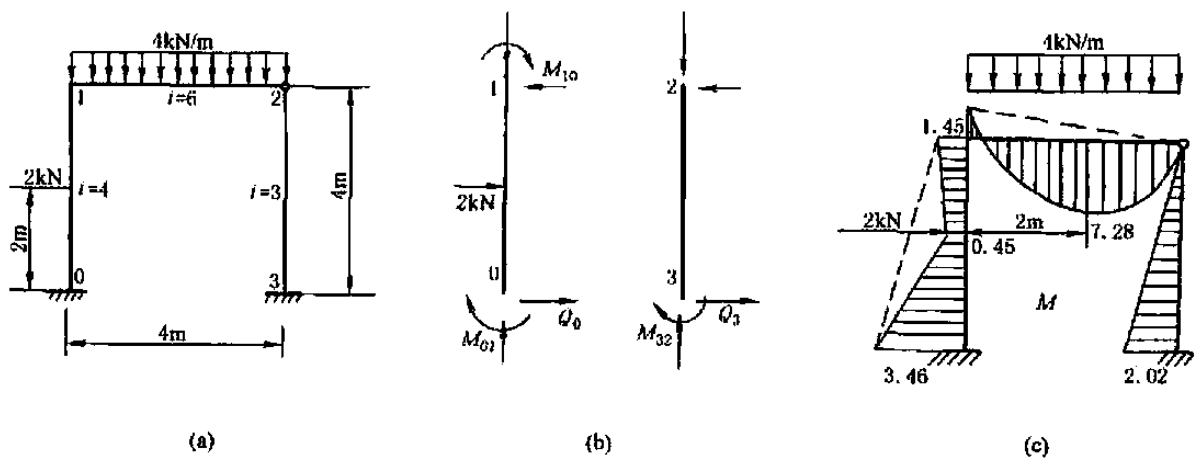


图 19-6-17

解 在此刚架中,结点 2 为铰接点; $\theta_0 = \theta_3 = 0$, 只有两个未知量 θ_1 及 Δ , 固端弯矩为:

$$\bar{M}_{01} = -\frac{1}{8}Pl_{01} = -\frac{1}{8} \times 2 \times 4 = -1 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\bar{M}_{10} = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\bar{M}_{12} = -\frac{1}{8}ql_{12}^2 = -\frac{1}{8} \times 4 \times 4^2 = -8 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

转角位移方程为,由式 (19-6-5):

$$M_{01} = 2i\theta_1 - \frac{6i\Delta}{l} + \bar{M}_{01} = 2 \times 4 \times \left(\theta_1 - \frac{3\Delta}{4}\right) - 1 = 8\left(\theta_1 - \frac{3\Delta}{4}\right) - 1 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$M_{10} = 4i\theta_1 - \frac{6i\Delta}{l} + \bar{M}_{10} = 2 \times 4 \times \left(2\theta_1 - \frac{3\Delta}{4}\right) + 1 = 8\left(2\theta_1 - \frac{3\Delta}{4}\right) + 1 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

一端固定一端铰支按式 (19-6-7):

$$M_{12} = 3i\theta_1 + \bar{M}_{12} = 3 \times 6 \times \theta_1 - 8 = 18\theta_1 - 8 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$M_{32} = -\frac{3i\Delta}{l} = -\frac{3 \times 3\Delta}{4} = -\frac{9}{4}\Delta \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

利用结点平衡方程 $\sum M_1 = 0$, 即 $M_{10} + M_{12} = 0$ 得:

$$34\theta_1 - 6\Delta - 7 = 0 \tag{a}$$

设通过竖柱 01 及 32 的下端作一截面并考虑其上部为隔离体，则得截面平衡方程为：

$$Q_0 + Q_3 + 2 = 0$$

代入有关数值，则得：

$$96\theta_1 - 57\Delta + 16 = 0 \tag{b}$$

式 (a) 和 (b) 联立，求得：

$$\theta_1 = 0.364$$

$$\Delta = 0.897$$

代回到各杆端弯矩式中，则得：

$$M_{01} = -3.46\text{kN} \cdot \text{m}; M_{10} = 1.45\text{kN} \cdot \text{m}; M_{12} = -1.45\text{kN} \cdot \text{m}; M_{32} = -2.02\text{kN} \cdot \text{m}$$

弯矩图见图 19-6-17c。

2.3 简化计算举例

① 图 19-6-18 为门座起重机的单臂架受力简图。在臂架起伏摆动平面内的载荷有：变幅绳拉力 S_b ，起升绳拉力 S_Q ，水平力 F_{H1} 和起重量 Q 的合力 S ，臂架自重 G ，风载荷 F_f 。计算时，将 F_f 及 G 分配到节点上（对格子结构），或作为均布载荷（对箱形结构）。在水平平面内，有货载横向摆动引起的水平力 F_{H2} ，回转制动时的惯性力 F_{gh} ，风载荷 F_f 等，这些水平载荷可以认为由臂架的上下两片水平桁架承受。在计算臂架整体稳定性时，臂架起伏摆动平面内可以认为是铰支的，螺杆或齿条与臂架的联接点作为一支承点，在水平平面内，可认为臂架根部固接，而端部是自由端。这样可按静定计算桁架。

② 无斜杆式臂架内力计算属多次超静定问题，可按下简化计算：将每个节间弦杆的中点及竖杆的中点当做铰接点，从而转化为静定结构计算，如图 19-6-19。例如要求 i 节间的弦杆内力时，取右边部分的隔离体，在 i 节间上弦杆的假想铰点处作用有垂直力 $S_{1,i}$ 和 $S_{2,i}$ ，在下弦杆对称点亦作用有 $S_{1,i}$ 和 $S_{2,i}$ ，如图 19-6-20a。设水平外载荷为 P ，则

$$S_{1,i} = \frac{1}{2}P \tag{a}$$

$$S_{2,i} = \frac{Pl_i}{h_i} \tag{b}$$

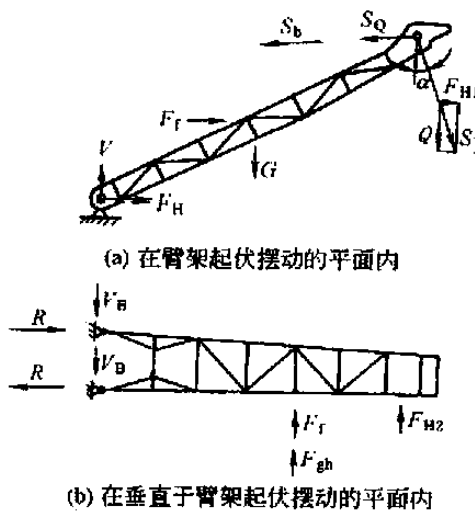


图 19-6-18 单臂架受力简图

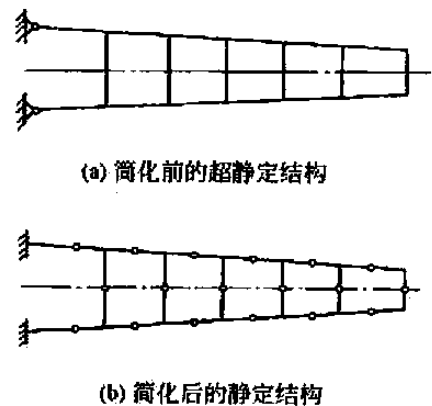


图 19-6-19 无斜杆结构臂架的简化计算

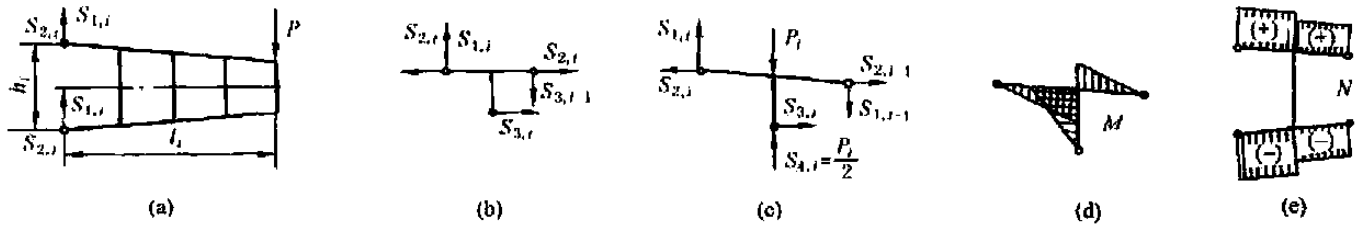


图 19-6-20 无斜杆臂架内力计算

同样可求出第 $i-1$ 节间铰点处的作用力 $S_{1,i-1}$ 和 $S_{2,i-1}$ 竖杆上的作用力由于结构对称, 外载荷 P 亦可分成两个 $\frac{P}{2}$, 即 $S_{1,i-1} = \frac{P}{2}$, 方向与 $S_{1,i}$ 相反, 水平力只有 $S_{3,i}$ 。

$$S_{3,i} = S_{2,i} - S_{2,i-1} \quad (c)$$

当有数个外载时, 可用将各外载荷的计算结果叠加的方法来计算。

在图 19-6-20c 中, 在外力 P_i 作用处的竖杆内具有轴向内力, 其值为 $\frac{P_i}{2}$ 。

图 19-6-20d、e 分别表示两相邻节间上的弯矩和轴向力分布图。

3 框架的位移

框架的位移指结构在载荷作用下其截面形心所产生的线位移 Δ 和截面的角位移 φ 。除由载荷产生的位移外, 还有一些其他因素, 例如温度的改变、支座的移动、材料收缩、制造误差等, 也能使结构产生位移。

计算结构位移的目的, 主要是校核结构的刚度, 以确认其是否超过允许的变形 (或挠度)。另一个目的是在超静定结构的计算中要用到位移量。

3.1 位移的计算公式^[19]

在计算结构的位移时, 为了使计算简化, 常假定:

- ① 结构的材料服从虎克定律;
- ② 结构的变形是微小的。

满足上述假定的结构称为线性弹性体系。计算时可采用叠加原理。结构位移的计算是以虚功原理为基础的。

与桁架的位移计算公式 (19-4-2) 不同, 对于受载荷作用的刚架而言, 通常轴力和剪力对位移的影响远较弯矩的影响为小。因此, 在实际计算中, 常常只根据弯矩来计算刚架的位移。

3.1.1 由载荷作用产生的位移

$$\Delta_{kP} = \sum \int \frac{\overline{M}_k M_P}{EI} ds \quad (19-6-10)$$

式中 M_P ——由载荷 P 作用所产生的弯矩;

\overline{M}_k ——在 k 处单位作用力所产生的弯矩;

Δ_{kP} ——载荷 P 作用下在 k 处所产生的位移。

积分号表示沿一杆的全长求积分。总和号表示对刚架各杆的积分求代数和。积分计算通常使用图乘法。见本章 3.2 节及表 19-6-1。

例 计算图 19-6-21a 所示刚架 C 点的转角和垂直位移。

解 外载荷作用下的弯矩图如图 19-6-21b 所示。欲求 C 点截面的转角及垂直位移, 可在 C 点分别加上单位力偶及垂直单位集中力, 其弯矩图见图 19-6-21c、d 所示。

应用公式, 并用图乘法, 可求得:

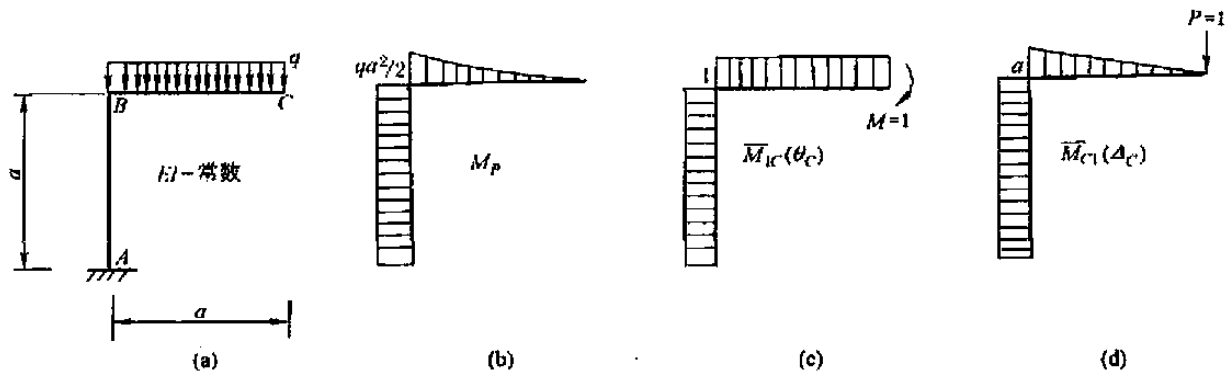


图 19-6-21

$$\theta_C = \sum \int \frac{\bar{M}_{1C} M_P}{EI} ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{qa^2}{2} \times \frac{a}{3} \times 1 + \frac{qa^2}{2} \times a \times 1 \right) = \frac{2qa^3}{3EI}$$

$$\Delta_C = \sum \int \frac{\bar{M}_{C1} M_P}{EI} ds = \frac{1}{EI} \left(\frac{qa^2}{2} \times \frac{a}{3} \times \frac{3}{4}a + \frac{qa^2}{2} \times a^2 \right) = \frac{5qa^4}{8EI}$$

θ_C 和 Δ_C 均为正号，其方向与单位力偶和单位力的方向相同。

3.1.2 由温度改变所引起的位移

静定结构由于温度改变将产生变形，从而产生位移。若温度均匀改变，则结构的各杆件只产生轴向变形。若温度非均匀改变，则杆件不仅发生轴向变形，而且还将产生弯曲变形。

计算位移的公式如下：

$$\Delta_{kt} = \sum \int \bar{N}_k \alpha t_0 ds + \sum \int \bar{M}_k \frac{\alpha \Delta t}{h} ds = \sum \alpha t_0 \int \bar{N}_k ds + \sum \frac{\alpha \Delta t}{h} \int \bar{M}_k ds \quad (19-6-11)$$

式中 α —— 材料的线胀系数；

\bar{N}_k —— k 处作用单位力时所产生的轴力；

t_0 —— 轴线处温度的升高值；

Δt —— 杆件上下侧温度改变之差；

h —— 杆件截面高度。

应用式 (19-6-11) 时，应注意正负号。若虚拟状态的变形与由于温度改变所引起的变形方向一致，则取正号，反之则取负号。

对于刚架，在计算温度改变所引起的位移时，一般不能略去轴向变形的影响。

如令

$$\omega_{\bar{N}} = \int \bar{N}_k ds \quad \text{为 } \bar{N} \text{ 图的面积}$$

$$\omega_{\bar{M}} = \int \bar{M}_k ds \quad \text{为 } \bar{M} \text{ 图的面积}$$

则式 (19-6-11) 可表示为：

$$\Delta_{kt} = \sum \alpha t_0 \omega_{\bar{N}} + \sum \frac{\alpha \Delta t}{h} \omega_{\bar{M}} \quad (19-6-12)$$

例 试求图 19-6-22a 所示刚架 C 点的水平位移。已知刚架各杆外侧温度无变化，内侧温度上升 10°C ，刚架各杆的截面相同且与形心轴对称，线胀系数为 α 。

解 在 C 点沿水平方向加单位力 $P=1$ ，作出 \bar{N} 、 \bar{M} 图，如图 19-6-22b、c 所示。

$$t_0 = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) = 5^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 10 - 0 = 10^\circ\text{C}$$

$$\omega_{\bar{N}} = 2a$$

$$\omega_{\bar{M}} = a^2$$

代入式 (19-6-12)

$$\Delta_C = \alpha \times 5 \times 2a + \alpha \times \frac{10}{h} \times a^2 - 10\alpha a \left(1 + \frac{a}{h} \right)$$

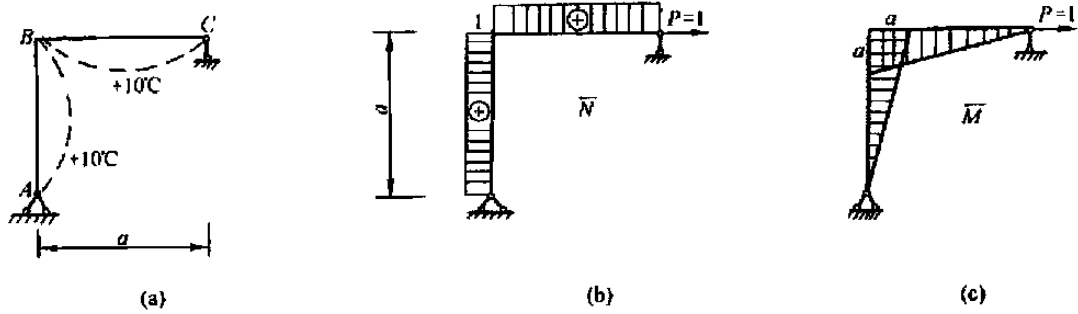


图 19-6-22

所得结果为正值，表示 C 点位移与单位力方向相同。

3.1.3 由支座移动所引起的位移

结构在载荷作用下支座产生移动，因支座移动而使 k 点的位移应在式 (19-6-10) 的基础上加一项，即变为式 (19-6-13)。

$$\Delta_{kPC} = \sum \int \frac{\bar{M}_k M_P}{EI} ds + \Delta_{kC} \quad (19-6-13)$$

$$\Delta_{kC} = - \sum \bar{R}_k C \quad (19-6-14)$$

式中 \bar{R}_k —— k 处作用有单位力时所产生的支座反力，其指向与支座移动 C 方向相同为正，反之为负；
 C —— 支座的位移。

在没有载荷的情况下，仅支座移动而使 k 点产生的位移按式 (19-6-14) 计算。

3.2 图乘公式

在梁或平面刚架的位移计算公式 (19-6-15) 中略去下标，则

$$\Delta = \sum \int \frac{\bar{M}M}{EI} ds \quad (19-6-15)$$

积分是指遍布全杆件的。总和表示为所有杆件的。若杆件为直杆且 EI 为常数，则有如下形式的积分：

$$\int \bar{M}M ds \quad (19-6-16)$$

式 (19-6-16) 包括两个图形，即 \bar{M} 图和 M 图。只要有一个图形，例如 \bar{M} 图 (图 19-6-23a) 是直线变化的，则该积分式可以简化成为：

$$\int \bar{M}M ds = \Omega \bar{y} \quad (19-6-17)$$

式中 Ω —— M 图的面积；

\bar{y} —— 对应于 M 图形心处，在 \bar{M} 图上的纵坐标。

于是积分式 (19-6-16) 可以用图形相乘来代替，简称为“图乘法”。

如果 \bar{M} 图是由几根直线组成时，则必须将 \bar{M} 图分成几个直线段，如图 19-6-23b 所示。同时，还须将 M 图相应地分成几段，分别求出各段的 $\Omega \bar{y}$ 值，然后叠加。

M 图可以是直线的或曲线的，如果由直线所组成，则可以和 \bar{M} 图互换，结果是相同的。

表 19-6-1 给出常用积分 $\int \bar{M}M ds$ 的图乘公式。

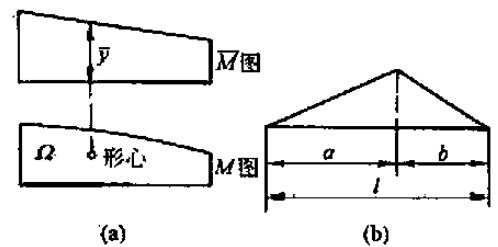
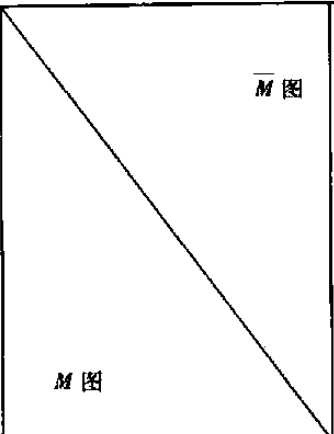
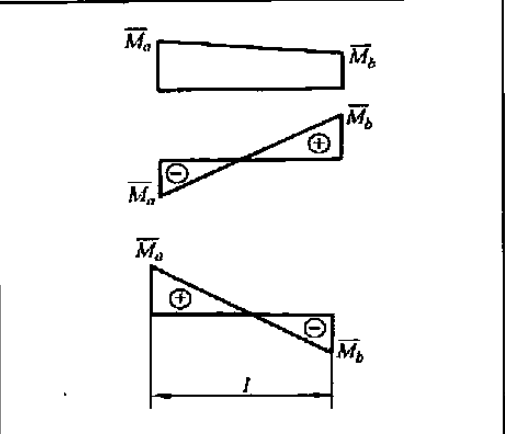
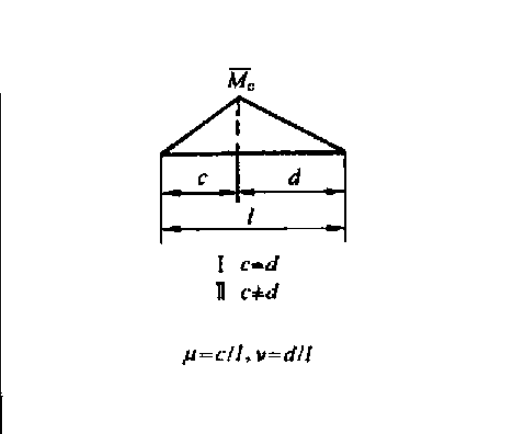
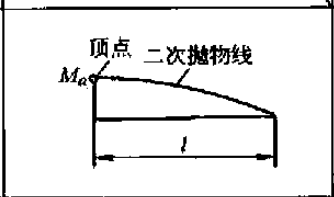
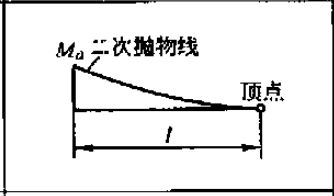
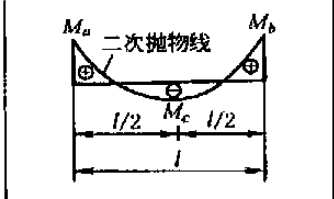
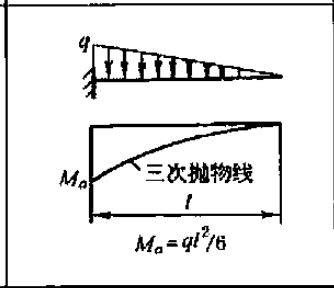
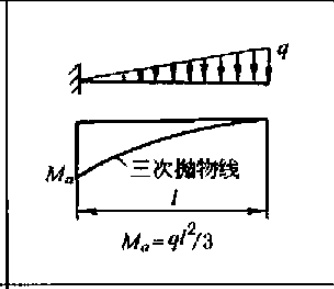
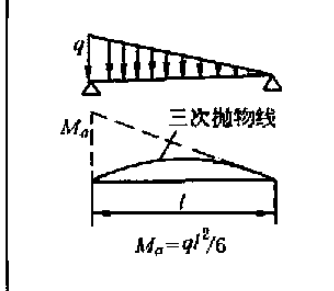


图 19-6-23

表 19-6-1

积分式 $\int_1 \overline{M}Mds$ 的图乘公式

序号	<p>M 图</p> <p>\overline{M} 图</p>	$\frac{l}{6} [2(\overline{M}_a M_a + \overline{M}_b M_b) + \overline{M}_a M_b + \overline{M}_b M_a]$	<p>I $c=d$ II $c \neq d$</p> $u=c/l, v=d/l$
1		$\frac{l}{6} [2(\overline{M}_a M_a + \overline{M}_b M_b) + \overline{M}_a M_b + \overline{M}_b M_a]$	<p>I $\frac{l}{4} \overline{M}_c (M_a + M_b)$ II $\frac{l}{6} \overline{M}_c [M_a(1+v) + M_b(1+\mu)]$</p>
2	<p>$\alpha=a/l, \beta=b/l$</p>	$\frac{l}{2} M_c (\overline{M}_a + \overline{M}_b) \beta$	<p>I $\frac{l}{6} \overline{M}_c M_c (3-4\alpha^2)$ II $\frac{l}{6} \overline{M}_c M_c (3-\frac{\alpha^2}{\mu\nu})$</p>
3	<p>$\alpha=a/l, \beta=b/l$</p>	$\frac{l}{6} M_c (\overline{M}_a - \overline{M}_b) \beta$	<p>I 0 II $\frac{l}{6} \overline{M}_c M_c \frac{v-\mu}{\beta-\alpha} (1-\frac{a^2}{\mu\nu})$</p>
4	<p>$\alpha=a/l, \beta=b/l$</p>	$\frac{l}{6} M_c [\overline{M}_a(1+\beta) + \overline{M}_b(1+\alpha)]$	<p>I 若 $\alpha \leq \frac{1}{2}$: $\frac{l}{12} \overline{M}_c M_c \frac{3-4\alpha^2}{\beta}$ II $\frac{l}{6} \overline{M}_c M_c [2 - \frac{(\mu-\alpha)^2}{\mu\beta}]$</p>
5		$\frac{l}{2} M_a [\overline{M}_a - \frac{\alpha}{3} (\overline{M}_a - \overline{M}_b)] \alpha$	<p>—</p>
6	<p>二次抛物线 顶点</p>	$\frac{l}{3} M_c (\overline{M}_a + \overline{M}_b)$	<p>I $\frac{5l}{12} \overline{M}_c M_c$</p>

序号			 <p>I $c=d$ II $c \neq d$ $\mu=c/l, \nu=d/l$</p>
7		$\frac{l}{12} M_a (5\bar{M}_a + 3\bar{M}_b)$	<p>I $\frac{17l}{48} \bar{M}_c M_a$ II $\frac{l}{12} \bar{M}_c M_a (3 - 3\nu - \nu^2)$</p>
8		$\frac{l}{12} M_a (3\bar{M}_a + \bar{M}_b)$	<p>I $\frac{7l}{48} \bar{M}_c M_a$ II $\frac{l}{12} \bar{M}_c M_a (1 + \nu + \nu^2)$</p>
9		$\frac{l}{6} [\bar{M}_a (M_a + 2M_c) + \bar{M}_b (M_b + 2M_c)]$	<p>I $\frac{l}{24} \bar{M}_c (M_a + M_b + 10M_c)$ II $\frac{l}{6} \bar{M}_c [M_a \nu^2 + M_b \mu^2 + 2M_c (1 + \mu\nu)]$</p>
10	 <p>$M_a = ql^2/6$</p>	$\frac{l}{20} M_a (4\bar{M}_a + \bar{M}_b)$	<p>I $\frac{3l}{32} \bar{M}_c M_a$ II $\frac{l}{20} \bar{M}_c M_a (1 + \nu)(1 + \nu^2)$</p>
11	 <p>$M_a = ql^2/3$</p>	$\frac{l}{40} M_a (11\bar{M}_a + 4\bar{M}_b)$	<p>I $\frac{11l}{64} \bar{M}_c M_a$ II $\frac{l}{10} \bar{M}_c M_a (1 + \nu + \nu^2 - \frac{\nu^3}{4})$</p>
12	 <p>$M_a = ql^2/6$</p>	$\frac{l}{60} M_a (8\bar{M}_a + 7\bar{M}_b)$	<p>I $\frac{5l}{32} \bar{M}_c M_a$ II $\frac{l}{20} \bar{M}_c M_a (1 + \nu) \times (\frac{7}{3} - \nu^2)$</p>

3.3 空腹框架的计算公式^[21]

空腹刚架（习惯称为空腹框架）的计算方法是假定上、下两杆在力的作用下有共同的变形，这和一般结构力学计算单跨对称多层刚架在水平荷载作用下的计算方法相同。由此假定，竖杆中点为拐点，并且变形后和上下节点处于同一条直线上。轴向力引起的变形与通常计算一样也是略去的。下面介绍几个计算公式。因为是应用差分方程推得的，公式中略去了某些影响较小的项，所以有可能与其他方法推得的公式稍有差别，但误差不大。

(1) 悬臂空腹桁架（图 19-6-24）

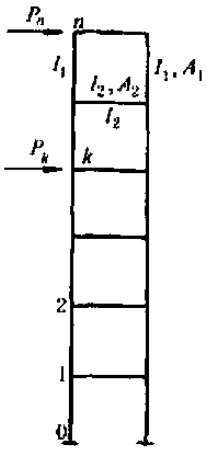
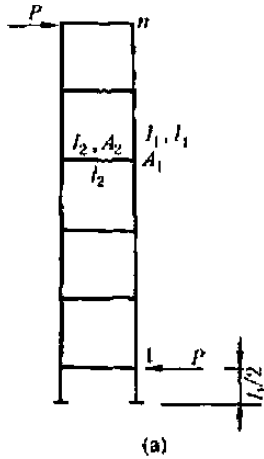
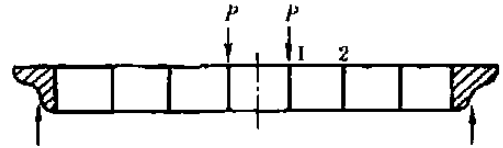


图 19-6-24



(a)



(b)

图 19-6-25

集中力 P_n 作用于 n 点时， n 点的挠度近似计算公式：

$$\Delta_n = \frac{P_n l_1^3}{24EI_1} \left[n + 2(n-1 + 2\beta_2) \frac{l_1 l_2}{l_2 l_1} \right] \quad (19-6-18)$$

集中力作用于 k 点时 n 点的挠度

$$\Delta_k = \frac{P_k l_1^3}{24EI_1} \left[k + (2k-3 - 4\beta_2) \frac{l_1 l_2}{l_2 l_1} \right] \quad (19-6-19)$$

其中

$$\beta_2 = \alpha - \sqrt{\alpha^2 - 1}$$

$$\alpha = 1 + \frac{3I_2 l_1}{I_1 l_2}$$

式中 k ——图中从下向上数的节间数；

I_1, I_2 ——弦杆或腹杆的截面惯性矩；

l_1, l_2 ——弦杆或腹杆的长度。

(2) 起重机空腹框架式梁，节间数为奇数（图 19-6-25）

图 a 为等效悬臂桁架。

挠度的计算公式为（节间数为 $2n-1$ ）：

$$\Delta = \frac{Pl_1^3(n-1)}{24EI_1} \left(1 + 2 \frac{l_1 l_2}{l_2 l_1} K_1 \right) \quad (19-6-20)$$

$$\text{式中, } K_1 = 1 - \frac{1}{4(n-1)}$$

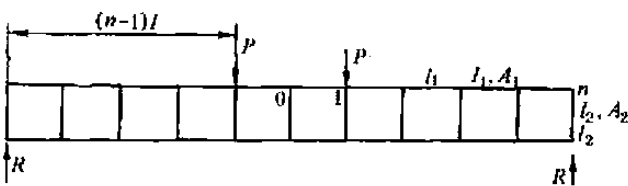


图 19-6-26

其他符号意义同前。

(3) 起重机空腹框架梁，节间数为偶数（图 19-6-26）

挠度的近似计算公式（节间数为 $2n$ ）：

$$\Delta = \frac{Pl_1^3}{24EI_1} (n-1) \left(1 + 2 \frac{l_1 l_2}{l_2 l_1} \right) \quad (19-6-21)$$

符号意义同前。

4 等截面刚架内力计算公式

4.1 等截面单跨刚架计算公式

表 19-6-2 列出了铰接和固定支座的等截面单跨刚架不同载荷时及温度变化时的内力公式^[24]。

表 19-6-2 等截面刚架的内力计算公式

反力和内力的正负号规定如下：

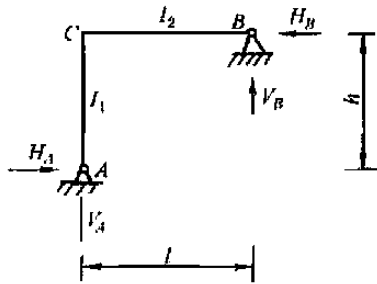
V ——支座反力，向上者为正

I_1, I_2 ——杆件的截面惯性矩

H ——支座反力，向内者为正

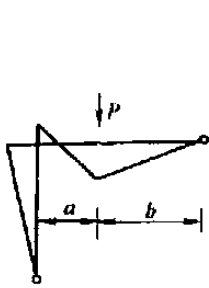
M ——刚架的弯矩，刚架内侧受拉者为正，弯矩图画受拉一面

(1)



$$K = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l}$$

$$N = K + 1$$



$$\beta = \frac{b}{l}$$

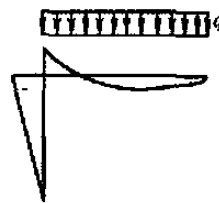
$$\omega = \beta - \beta^3$$

$$\phi = \frac{\omega}{N}$$

$$\left. \begin{matrix} V_A \\ V_B \end{matrix} \right\} = \frac{P}{2} [1 \mp (1 - 2\beta - \phi)]$$

$$H_A = H_B = \frac{Pl}{2h} \phi$$

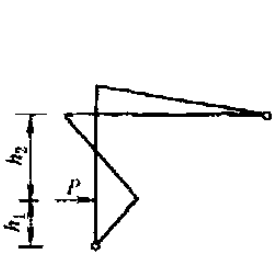
$$M_C = -\frac{Pl}{2} \phi$$



$$\left. \begin{matrix} V_A \\ V_B \end{matrix} \right\} = \frac{ql}{2} \left(1 \pm \frac{1}{4N} \right)$$

$$H_A = H_B = \frac{ql^2}{2h} \times \frac{1}{4N}$$

$$M_C = -\frac{ql^2}{2} \times \frac{1}{4N}$$



$$\alpha = \frac{h_1}{h}$$

$$\omega = 3\alpha^2 - 1$$

$$\phi = \frac{K\omega}{2N}$$

$$V_A = V_B = 0$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = \frac{P}{2} [2(\alpha + \phi) - 1 \mp 1]$$

$$M_C = -Ph\phi$$



$$\phi = \frac{K}{4N}$$

$$V_A = V_B = 0$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = \frac{qh}{2} (\mp 1 + \phi)$$

$$M_C = -\frac{qh^2}{2} \phi$$



$$\phi = \frac{3EI_2\alpha_l t}{h^2 N} \left(1 + \frac{h^2}{l^2} \right)$$

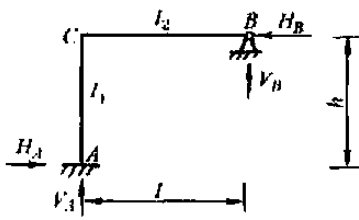
α_l ——线胀系数
 t ——加热温度, °C

$$V_A = -V_B = \frac{h}{l} \phi$$

$$H_A = H_B = \phi$$

$$M_C = -h\phi$$

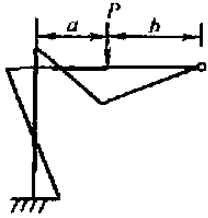
(2)



$$K_1 = \frac{l_1}{h}$$

$$K_2 = \frac{l_2}{l}$$

$$\mu = \frac{1}{K_1 + 0.75K_2}$$



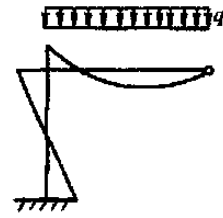
$$V_A = \frac{Pb\mu K_1}{4l^3} \left[\frac{4l^2}{\mu K_1} + 2a(l+b) \right]$$

$$V_B = \frac{Pa\mu K_1}{4l^3} \left[\frac{4l^2}{\mu K_1} - 2b(l+b) \right]$$

$$H_A = H_B = \frac{3Pab\mu K_1}{4hl^2} (l+b)$$

$$M_A = \frac{Pab\mu K_1}{4l^2} (l+b)$$

$$M_B = -\frac{Pab\mu K_1}{2l^2} (l+b)$$



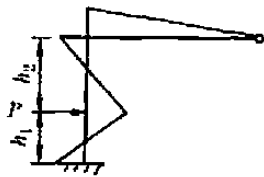
$$V_A = \frac{ql\mu}{8} (3K_2 + 5K_1)$$

$$V_B = \frac{3ql\mu}{8} (K_2 + K_1)$$

$$H_A = H_B = \frac{3ql^2\mu K_1}{16h}$$

$$M_A = \frac{ql^2\mu K_1}{16}$$

$$M_C = -\frac{ql^2\mu K_1}{8}$$



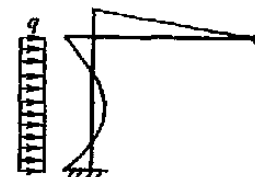
$$V_A = -V_B = \frac{3Ph_1^2 h_2 \mu K_2}{4h^2 l}$$

$$H_A = -(P - H_B)$$

$$H_B = \frac{Ph_1^2 \mu K_1}{4h^3} \left[\frac{3K_2}{K_1} (3h_2 + h_1) + 2(3h_2 + 2h_1) \right]$$

$$M_A = -\frac{Ph_1 h_2}{h^2} \left(\frac{1}{2} h_1 \mu K_1 + h_2 \right)$$

$$M_C = -\frac{3Ph_1^2 h_2 \mu K_2}{4h^2}$$



$$V_A = -V_B = \frac{qh^2 \mu K_2}{16l}$$

$$H_A = -\frac{qh\mu}{8} (3K_2 + 5K_1)$$

$$H_B = \frac{3qh\mu}{8} (K_2 + K_1)$$

$$M_A = -\frac{qh^2 \mu}{16} (K_2 + 2K_1)$$

$$M_C = -\frac{qh^2 \mu K_2}{16}$$



α_t —— 线胀系数
 t —— 加热温度, °C

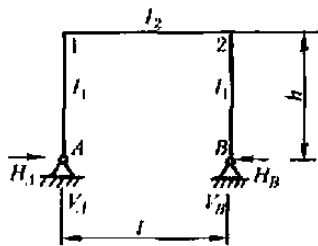
$$V_A = -V_B = \frac{3EI_1 \mu K_2}{2h^2 l^2} (3l^2 + 2h^2) \alpha_t t$$

$$H_A = H_B = \frac{3EI_1 \mu}{2h^3 l} (6K_2 l^2 + 2K_1 l^2 + 3K_2 h^2) \alpha_t t$$

$$M_A = \frac{3EI_1 \mu}{2h^2 l} (3K_2 l^2 + 2K_1 l^2 + K_2 h^2) \alpha_t t$$

$$M_C = -\frac{3EI_1 \mu K_2}{2h^2 l} (3l^2 + 2h^2) \alpha_t t$$

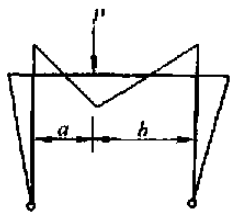
(3)



$$\lambda = \frac{l}{h}$$

$$K = \frac{h}{l} \times \frac{I_2}{I_1}$$

$$\mu = 3 + 2K$$



$$\alpha = \frac{a}{l}$$

$$\beta = \frac{b}{l}$$

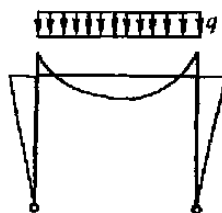
$$\omega = \alpha\beta$$

$$V_A = P\beta$$

$$V_B = P\alpha$$

$$H_A = H_B = \frac{3P}{2\mu} \lambda \omega$$

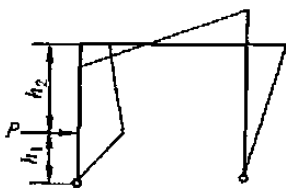
$$M_1 = M_2 = -\frac{3Pl}{2\mu} \omega$$



$$V_A = V_B = \frac{ql}{2}$$

$$H_A = H_B = \frac{ql}{4\mu}$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql^2}{4\mu}$$



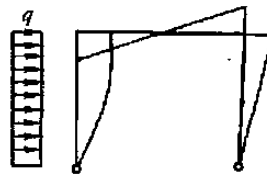
$$\alpha = \frac{h_1}{h}$$

$$\phi = \frac{1}{\mu} [3(1+K) - K\alpha^2]$$

$$V_A = -V_B = -\frac{Ph_1}{l}$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = -\frac{P}{2} (1 \pm 1 - \alpha\phi)$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{Ph\alpha}{2} (1 \pm 1 - \phi)$$



$$\phi = \frac{1}{2\mu} (6 + 5K)$$

$$-V_A = V_B = \frac{qh^2}{2l}$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = -\frac{qh}{2} (1 \pm 1 - \frac{\phi}{2})$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{qh^2}{4} (1 \pm 1 - \phi)$$



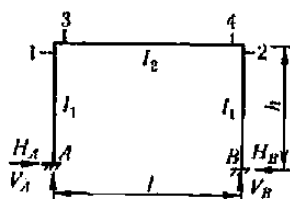
α_1 —— 线胀系数
 t —— 加热温度, °C

$$V_A = V_B = 0$$

$$H_A = H_B = \frac{3EI_2}{h^2\mu} \alpha_1 t$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{3EI_2}{h\mu} \alpha_1 t$$

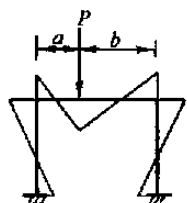
(4)



$$K = \frac{h}{l} \times \frac{I_2}{I_1}$$

$$\mu_1 = 2 + K$$

$$\mu_2 = 1 + 6K$$



$$\alpha = \frac{a}{l}$$

$$\beta = \frac{b}{l}$$

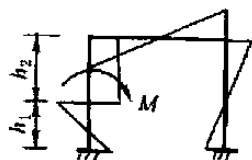
$$\omega_{R\alpha} = \alpha\beta$$

$$\Phi = \frac{1}{\mu_2}(1 - 2\alpha)$$

$$H_A = H_B = \frac{3Pl}{2h\mu_1}\omega_{R\alpha}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = \frac{Pl}{2} \left(\frac{1}{\mu_1} \mp \Phi \right) \omega_{R\alpha}$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Pl}{2} \left(\frac{2}{\mu_1} \pm \Phi \right) \omega_{R\alpha}$$



$$\alpha = \frac{h_1}{h} \quad \omega_{M\alpha} = 3\alpha^2 - 1$$

$$\beta = \frac{h_2}{h} \quad \omega_{M\beta} = 3\beta^2 - 1$$

$$H_A = H_B = \frac{M}{2h} \left\{ 1 - \frac{1}{\mu_1} [K\omega_{M\alpha} + (1+K)\omega_{M\beta}] \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{M}{2} \left\{ \frac{1}{3\mu_1} [K\omega_{M\alpha} + (3+2K)\omega_{M\beta}] \pm \left(1 - \frac{6K\alpha}{\mu_2} \right) \right\}$$

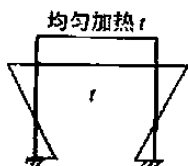
$$\left. \begin{matrix} M_3 \\ M_4 \end{matrix} \right\} = \frac{MK}{2} \left\{ \frac{1}{3\mu_1} (2\omega_{M\alpha} + \omega_{M\beta}) \pm \frac{6\alpha}{\mu_2} \right\}$$

当 $h_1 = h$ 时:

$$H_A = H_B = \frac{3M}{2h\mu_1}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = \frac{M}{2} \left(\frac{1}{\mu_1} \mp \frac{1}{\mu_2} \right)$$

$$\left. \begin{matrix} M_3 \\ M_4 \end{matrix} \right\} = \frac{MK}{2} \left(\frac{1}{\mu_1} \pm \frac{6}{\mu_2} \right)$$



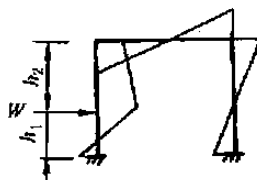
α_1 —— 线胀系数
 t —— 加热温度, °C

$$\Phi = \frac{3EI_2}{h\mu_1}\alpha_1 t$$

$$H_A = H_B = \frac{2K+1}{hK}\Phi$$

$$M_A = M_B = \frac{K+1}{K}\Phi$$

$$M_1 = M_2 = -\Phi$$



$$\alpha = \frac{h_1}{h} \quad \omega_{R\alpha} = \alpha\beta$$

$$\omega_{D\alpha} = \alpha - \alpha^3$$

$$\beta = \frac{h_2}{h} \quad \omega_{D\beta} = \beta - \beta^3$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = -\frac{W}{2} \left\{ 1 \pm 1 - \alpha - \frac{1}{\mu_1} [K\omega_{D\alpha} - (1+K)\omega_{D\beta}] \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{Wh}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [(1+K)\omega_{D\beta} - K\omega_{D\alpha}] \pm \alpha \left(1 - \frac{3K\alpha}{\mu_2} \right) \right\}$$

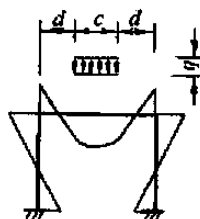
$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Wh}{2} K\alpha^2 \left\{ \frac{1}{\mu_1} (1 - \alpha) \mp \frac{3}{\mu_2} \right\}$$

当 $h_1 = h$ 时:

$$H_A = -H_B = -\frac{W}{2}$$

$$M_A = -M_B = -\frac{3Wh}{2} \left(\frac{1}{3} - \frac{K}{\mu_2} \right)$$

$$M_1 = -M_2 = \frac{3WhK}{2\mu_2}$$



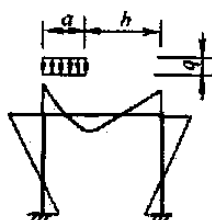
$$\gamma = \frac{c}{l}$$

$$\Phi = \frac{1}{2\mu_1} (3\gamma - \gamma^3)$$

$$H_A = H_B = \frac{ql^2}{4h}\Phi$$

$$M_A = M_B = \frac{ql^2}{12}\Phi$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql^2}{6}\Phi$$



$$\alpha = \frac{a}{l} \quad \omega_{R\alpha} = \alpha - \alpha^2$$

$$\Phi = \frac{1}{\mu_1} (3\alpha^2 - 2\alpha^3)$$

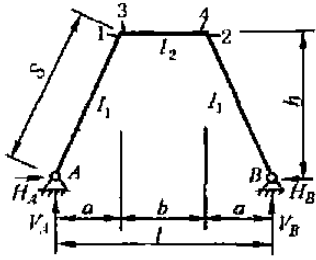
$$H_A = H_B = \frac{ql^2}{4h}\Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = \frac{ql^2}{12} \left(\Phi \mp \frac{3}{\mu_2} \omega_{R\alpha}^2 \right)$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{ql^2}{12} \left(2\Phi \pm \frac{3}{\mu_2} \omega_{R\alpha}^2 \right)$$

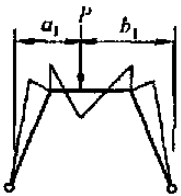
当 $a = l$ 时: $\Phi = \frac{1}{\mu_1}$

(5)



$$\lambda_1 = \frac{a}{l} \quad \lambda_2 = \frac{b}{l} \quad \lambda = \frac{l}{h}$$

$$K = \frac{b}{s} \times \frac{I_1}{I_2} \quad \mu = 1 + \frac{3K}{2}$$



$$a \leq a_1 \leq a + b$$

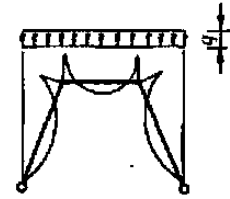
$$\alpha = \frac{a_1}{l} \quad \omega_{R\alpha} = \alpha\beta$$

$$\beta = \frac{b_1}{l}$$

$$\Phi = \frac{1}{2\mu} \left[2\lambda_1 + \frac{3K}{\lambda_2} (\omega_{R\alpha} - \lambda_1^2) \right]$$

$$V_A = P\beta; V_B = P\alpha; H_A = H_B = \frac{P}{2} \lambda \Phi$$

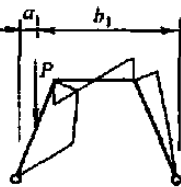
$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{Pl}{2} \{ [1 \pm (1 - 2\alpha)] \lambda_1 - \Phi \}$$



$$\Phi = \frac{1}{4\mu} [2\lambda_1(2 + K) - \lambda_1^2(3 + 2K) + K]$$

$$V_A = V_B = \frac{ql}{2} \quad H_A = H_B = \frac{ql}{2} \lambda \Phi$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql^2}{8\mu} (\lambda_1^2 + K\lambda_2^2)$$



$$0 \leq a_1 \leq a$$

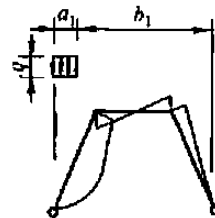
$$\alpha = \frac{a_1}{l}$$

$$\beta = \frac{b_1}{l}$$

$$\Phi = \frac{1}{2\mu} \left[3(1 + K) - \left(\frac{\alpha}{\lambda_1} \right)^2 \right]$$

$$V_A = P\beta; V_B = P\alpha; H_A = H_B = \frac{P\alpha}{2} \lambda \Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{Pl\alpha}{2} (1 \pm \lambda_2 - \Phi)$$



$$\alpha = \frac{a_1}{l}$$

$$\beta = \frac{b_1}{l}$$

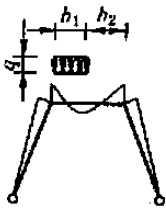
$$\Phi = \frac{1}{4\mu} \left[6(1 + K) - \frac{\alpha^2}{\lambda_1^2} \right]$$

$$V_A = \frac{qa_1}{2} (1 + \beta); V_B = \frac{qa_1\alpha}{2}$$

$$H_A = H_B = \frac{ql\alpha^2}{4} \lambda \Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{ql^2\alpha^2}{4} (1 \pm \lambda_2 - \Phi)$$

$$\text{当 } a_1 = a \text{ 时: } \Phi = \frac{1}{4\mu} (5 + 6K)$$



$$\alpha = \frac{b_1}{b}$$

$$\beta = \frac{b_2}{b}$$

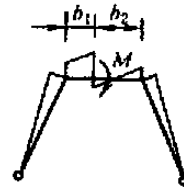
$$\Phi = \frac{1}{4\mu} [4\lambda_1 + K[6\lambda_1 + \lambda_2\alpha(3-2\alpha)]]$$

$$\left. \begin{matrix} V_A \\ V_B \end{matrix} \right\} = \frac{qb\alpha}{2} (1 \pm \lambda_2\beta)$$

$$H_A = H_B = \frac{qb\alpha}{2} \lambda \Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = \frac{qbl\alpha}{2} [\lambda_1(1 \pm \lambda_2\beta) - \Phi]$$

当 $b_1 = b$ 时: $\Phi = \frac{1}{4\mu} [4\lambda_1(1+K) + K]$



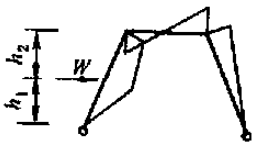
$$\alpha = \frac{b_1}{b}$$

$$\Phi = \frac{3K}{4\mu} (1-2\alpha)$$

$$V_A = -V_B = -\frac{M}{l}$$

$$H_A = H_B = \frac{M}{h} \Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -M(\pm\lambda_1 + \Phi)$$



$$\alpha = \frac{h_1}{h}$$

$$\beta = \frac{h_2}{h}$$

$$\Phi = \frac{\beta}{2\mu} [3(K+\beta) - \beta^2]$$

$$V_A = -V_B = -\frac{Wh_1}{l}$$

$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = -\frac{W}{2} (\Phi \pm 1)$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Wh}{2} (\beta \mp \alpha\lambda_2 - \Phi)$$

当 $h_1 = h$ 时: $\Phi = 0$



$$\alpha = \frac{h_1}{h}$$

$$\Phi = \frac{3}{2\mu} (1+K-\alpha^2)$$

$$V_A = -V_B = -\frac{M}{l}$$

$$H_A = H_B = \frac{M}{2h} \Phi$$

$$\left. \begin{matrix} M_3 \\ M_4 \end{matrix} \right\} = \frac{M}{2} (1 \pm \lambda_2 - \Phi)$$

当 $h_1 = h$ 时: $\Phi = \frac{3K}{2\mu}$

当 $h_1 = 0$ 时: $\Phi = \frac{3}{2\mu} (1+K)$

α_1 —— 线胀系数

t —— 加热温度, °C

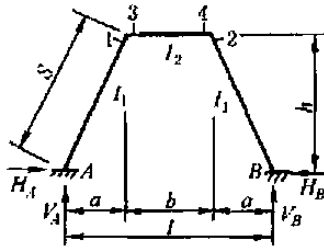


$$V_A = V_B = 0$$

$$H_A = H_B = \frac{3EI_1 l}{2Sh^2 \mu} \alpha_1 t$$

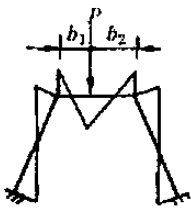
$$M_1 = M_2 = -\frac{3EI_1 l}{2Sh\mu} \alpha_1 t$$

(6)



$$\lambda_1 = \frac{a}{l} \quad \lambda_2 = \frac{b}{l} \quad \lambda_3 = \frac{a}{b} \quad \lambda_4 = \frac{l}{b}$$

$$K = \frac{b}{s} \times \frac{I_1}{I_2} \quad \mu_1 = 1 + 2K \quad \mu_2 = K\lambda_2^2 + 2(1 + \lambda_2 + \lambda_2^2)$$



$$\alpha = \frac{b_1}{b}$$

$$\omega_{R\alpha} = \alpha - \alpha^2$$

$$\Phi = \frac{1 - 2\alpha}{\mu_2} [K\lambda_2^2 \omega_{R\alpha} - \lambda_1(2 + \lambda_2)]$$

$$H_A = H_B = \frac{Pb}{2h} \left(\frac{3K\omega_{R\alpha}}{\mu_1} + \lambda_3 \right)$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = \frac{Pb}{2} \left\{ \frac{K\omega_{R\alpha}}{\mu_1} \mp [\lambda_3(1 - 2\alpha) + \lambda_4 \Phi] \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Pb}{2} \left(\frac{2K\omega_{R\alpha}}{\mu_1} \pm \Phi \right)$$



$$\alpha = \frac{h_1}{h} \quad \omega_{M\alpha} = 3\alpha^2 - 1$$

$$\beta = \frac{h_2}{h} \quad \omega_{M\beta} = 3\beta^2 - 1$$

$$\Phi = \frac{6\alpha}{\mu_2} (1 - \lambda_1 \alpha)$$

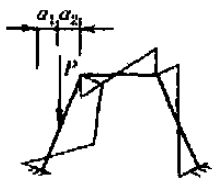
$$H_A = H_B = -\frac{M}{2h} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [(1 + K)\omega_{M\beta} + \omega_{M\alpha}] - 1 \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{M}{2} \left\{ \frac{1}{3\mu_1} [(2 + 3K)\omega_{M\beta} + \omega_{M\alpha}] \pm (1 - \Phi) \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_3 \\ M_4 \end{matrix} \right\} = \frac{M}{2} \left\{ \frac{1}{3\mu_1} (2\omega_{M\alpha} + \omega_{M\beta}) \pm \lambda_2 \Phi \right\}$$

当 $h_1 = h$ 时: $\Phi = \frac{6}{\mu_2} (1 - \lambda_1)$

$\omega_{M\alpha} = 2; \omega_{M\beta} = -1$



$$\alpha = \frac{a_1}{a} \quad \omega_{D\alpha} = \alpha - \alpha^3$$

$$\omega_{D\beta} = \beta - \beta^3$$

$$\beta = \frac{a_2}{a} \quad \omega_{R\alpha} = \alpha\beta$$

$$\Phi = \frac{\alpha^2}{\mu_2} (3 - 2\lambda_1 \alpha)$$

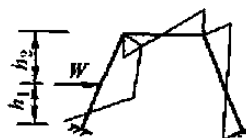
$$H_A = H_B = \frac{Pa}{2h} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [\omega_{D\alpha} - (1 + K)\omega_{D\beta}] + \alpha \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{Pa}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [(1 + K)\omega_{D\beta} - \omega_{R\alpha}] \pm (\alpha - \Phi) \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Pa}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} (\omega_{D\alpha} - \omega_{R\alpha}) \mp \lambda_2 \Phi \right\}$$

当 $a_1 = a$ 时: $\Phi = \frac{1}{\mu_2} (3 - 2\lambda_1)$

当 $\alpha = 1, \beta = 0$ 时: $\omega_{D\alpha} = \omega_{D\beta} = 0$



$$\alpha = \frac{h_1}{h} \quad \omega_{D\alpha} = \alpha - \alpha^3$$

$$\omega_{D\beta} = \beta - \beta^3$$

$$\beta = \frac{h_2}{h} \quad \omega_{R\alpha} = \alpha\beta$$

$$\Phi = \frac{\alpha^2}{\mu_2} (3 - 2\lambda_1 \alpha)$$

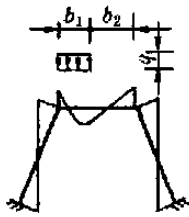
$$\left. \begin{matrix} H_A \\ H_B \end{matrix} \right\} = \frac{W}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [\omega_{D\alpha} - (1 + K)\omega_{D\beta}] - \beta \mp 1 \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{Wh}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [(1 + K)\omega_{D\beta} - \omega_{R\alpha}] \pm (\alpha - \Phi) \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{Wh}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_1} (\omega_{D\alpha} - \omega_{R\alpha}) \mp \lambda_2 \Phi \right\}$$

当 $h_1 = h$ 时: $\Phi = \frac{1}{\mu_2} (3 - 2\lambda_1)$

当 $\alpha = 1, \beta = 0$ 时: $\omega_{D\alpha} = \omega_{D\beta} = 0$



$$\alpha = \frac{b_1}{b}$$

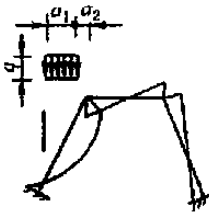
$$\Phi = \frac{\omega_{\kappa\alpha}}{\mu_2} [K\lambda_2^2 \omega_{\kappa\alpha} - 2\lambda_1(2 + \lambda_2)]$$

$$H_A = H_B = \frac{qb^2}{4h} \left[\frac{K}{\mu_1} (3\alpha^2 - 2\alpha^3) + 2\lambda_3\alpha \right]$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = \frac{qb^2}{4} \left[\frac{K}{3\mu_1} (3\alpha^2 - 2\alpha^3) \mp (2\lambda_3\omega_{\kappa\alpha}' + \lambda_4\Phi) \right]$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{qb^2}{4} \left[\frac{2K}{3\mu_1} (3\alpha^2 - 2\alpha^3) \pm \Phi \right]$$

当 $b_1 = b$ 时: $\Phi = 0$



$$\alpha = \frac{a_1}{a} \quad \beta = \frac{a_2}{a}$$

$$\Phi_1 = \frac{\alpha^3}{\mu_2} (2 - \lambda_1\alpha) \quad \Phi_2 = \frac{1}{2} - \omega_{\rho\beta}$$

$$H_A = H_B = \frac{qa^2}{4h} \left\{ \frac{1}{\mu_1} [\omega_{\rho\alpha} - (1 + K)\Phi_2] + \alpha^2 \right\}$$

$$\omega_{\rho\alpha} = \alpha^2 - \frac{1}{2}\alpha^4$$

$$\omega_{\rho\beta} = \beta^2 - \frac{1}{2}\beta^4$$

$$\left. \begin{matrix} M_A \\ M_B \end{matrix} \right\} = -\frac{qa^2}{4} \left\{ \frac{1}{3\mu_1} [(2 + 3K)\Phi_2 - \omega_{\rho\alpha}] \pm (\alpha^2 - \Phi_1) \right\}$$

$$\left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{qa^2}{4} \left[\frac{1}{3\mu_1} (2\omega_{\rho\alpha} - \Phi_2) \mp \lambda_2\Phi_1 \right]$$

当 $a_1 = a$ 时: $\Phi_1 = \frac{1}{\mu_2} (2 - \lambda_1)$ $\Phi_2 = \frac{1}{2}$ $\omega_{\rho\alpha} = \frac{1}{2}$ $\omega_{\rho\beta} = 0$



α_t —— 线胀系数

t —— 加热温度, $^{\circ}\text{C}$

$$\Phi = \frac{3El_1 l}{5h\mu_1} \alpha_t t \quad H_A = H_B = \frac{2 + K}{h} \Phi$$

$$M_A = M_B = (1 + K)\Phi \quad M_3 = M_4 = -\Phi$$

4.2 均布载荷等截面等跨排架计算公式^[25]

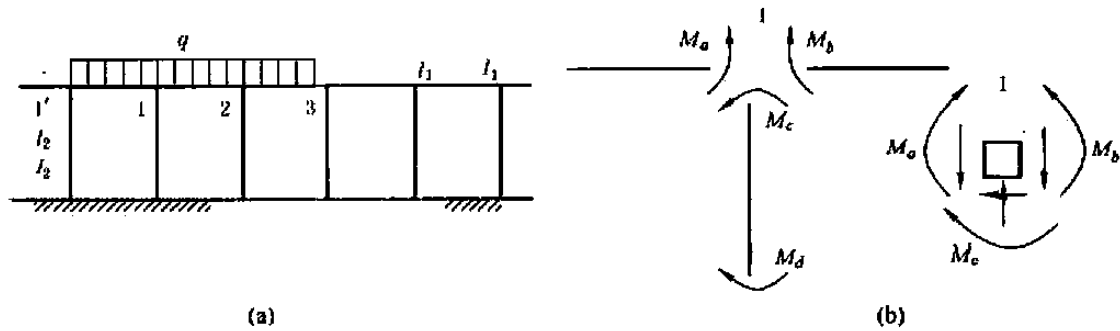


图 19-6-27 均布载荷等截面等跨排架计算图

令 梁的刚度 $i_1 = \frac{E_1 I_1}{l_1}$; 柱的刚度 $i_2 = \frac{E_2 I_2}{l_2}$

式中 E, I, l ——分别为相应的弹性模量、截面系数和长度。

$$\lambda = \frac{i_2}{i_1}; \quad \beta = -(2 + \lambda) + \sqrt{(2 + \lambda)^2 - 1} \quad (19-6-22)$$

$$\varphi = \frac{q l_1^2}{24 i_1} \times \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (19-6-23)$$

(1) 只有一跨有载荷时, 即图示仅结点 1 左边有载荷 q 时

1) 1 点各处的弯矩为 (以图示方向为正)●:

$$M_a = -\frac{q l_1}{12} \left(1 + \frac{1}{1 + \beta} \right) \quad (19-6-24)$$

$$M_b = -2 i_1 \varphi (2 + \beta)$$

$$M_c = 4 i_2 \varphi$$

$$M_d = -\frac{1}{2} M_c$$

因用结点不移动只转动求得, 故 M_c 与 M_d 不等, 且有水平推力, 见图。它和柱的垂直力及梁的剪力根据弯矩都可以求得。

2) 2 点的弯矩为:

$$M_{a,2} = \beta M_a; \quad M_{b,2} = \beta M_b; \quad M_{c,2} = \beta M_c; \quad M_{d,2} = \beta M_d; \quad (19-6-25)$$

3) 再往右, 3 点的弯矩为:

$$M_{a,3} = \beta^2 M_a; \quad M_{b,3} = \beta^2 M_b; \quad M_{c,3} = \beta^2 M_c; \quad M_{d,3} = \beta^2 M_d \text{ 等} \quad (19-6-26)$$

(2) 有两跨有载荷时, 即图示 1、2 跨有载荷 q 时, 此情况下梁内的弯矩最大。最大弯矩发生于 1 点:

$$M_a = M_b = -\frac{q l_1^2}{12} (1 - \beta) \quad (19-6-27)$$

柱的弯矩最大发生在 1 点或 2 点:

$$M_c = \frac{q l_1^2 i_2}{6 i_1} \times \frac{\beta}{1 - \beta^2}$$

(3) 当许多跨都有载荷时, 即如平常管子排架的状况:

● 文献 [25] 中有符号错误, 但结果是正确的, 见《起重运输机械》1977.4。

$$M_a = -\frac{ql_1^2}{12} \times \frac{1-\beta-3\beta^2}{1-\beta^2} \quad (19-6-28)$$

说明：① 如柱子刚度足够大，则 $\beta=0$ ， $M_a = -\frac{ql_1^2}{12}$ ，就等同于两端固定的梁。

② 如令 $i_2=0$ ，即柱不参与变形计算，则 $\lambda=0$ ， $\beta = -2 + \sqrt{3} = -0.268$

最大在两跨有载荷时：

$$M_a = -0.106ql_1^2 \quad (19-6-29)$$

多跨有载荷时： $M_a = -0.095ql_1^2$ ，即与连续梁的计算相近。因此，管子排架可按连续梁进行计算，此时

$M_a = -\frac{ql_1^2}{10} = -0.1ql_1^2$ 。但两端则按式 (19-6-29) 计算。

第7章 其他形式的机架

前面几章所叙述的钢架的结构形式，是机械非标准设备机架最常用的结构形式。本章补充一些前面未包括或较简略的内容。

1 整体式机架

1.1 概述

型钢焊接机架之外，还有铸造的整体式机架和由轧制材料、铸件或锻件组合焊接而成的巨型机器的床身。

图 19-7-1 为铸-轧-焊水压机下横梁结构示意图。

图 19-7-2 为铸-轧-锻件焊接的锻压机床身结构图。

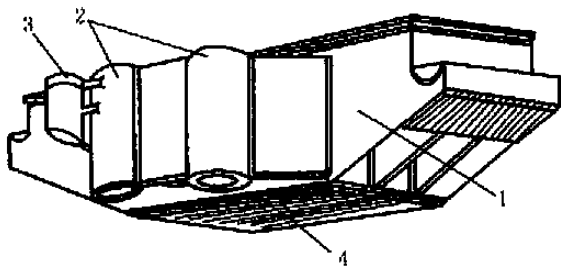


图 19-7-1 铸-轧-焊水压机下横梁结构

1—厚轧板焊接件；2—铸钢柱套；3—提升缸套；4—顶出器座

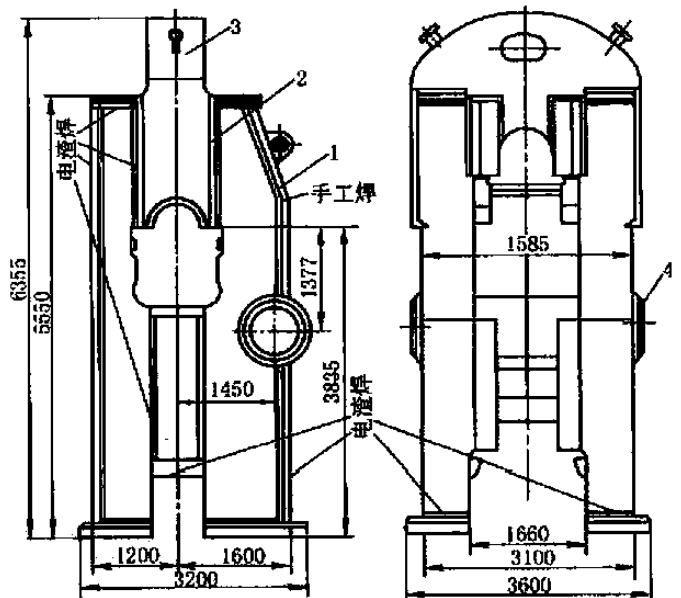


图 19-7-2 铸-轧-锻件焊接的锻压机床身结构图

1,2—厚板件；3—铸钢上横梁；4—锻钢管子

对于这种大件的机架设计和计算，与前面所述的原理是一样的。都要求有足够的强度和刚度，有足够的精度，有较好的工艺性，有较好的尺寸稳定性和抗振性，外形美观等。还要考虑到吊装，安放水平，电器部件安装位置等问题。综合起来必须考虑：

- ① 材料的选择；
- ② 大型机架的分割与连接设计；
- ③ 制作工艺与制造方法的选择，这里包括工艺过程系统的分析、热处理工艺、冷却以后变形的情况；
- ④ 精度要求及机械加工工艺本身的顺序的分析；

- ⑤ 定位、装配、调整、固紧、检验、修改等问题，包括大型机架在现场组装、安装的试组装；
- ⑥ 防腐的处理；
- ⑦ 存放、运输等。

由于整体式大件形状和受力情况复杂，过去常因计算困难只靠经验设计和简略计算。近年来由于有限元计算方法的发展和模型试验的研究成果，已经可以用计算机和模型试验的方法，在设计阶段根据计算和实验结果，改进大件结构，使之符合设计要求，因而可以使设计一次成功。

1.2 有加强肋的整体式机架的肋板布置

肋板布置的原则如下。

1) 肋板布置的目的是要提高机架的强度和刚度。

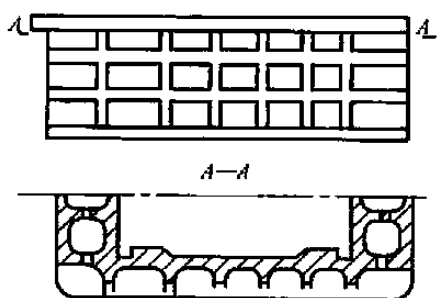


图 19-7-3 破碎机下架体的外壁布肋

例如，前面图 19-4-8 所示的机床立柱为一整体式机架，其计算方法虽然可以按悬臂立柱的屈曲或扭转刚度来校核，但由于作用在导轨上的是单边力，使立柱断面形状发生变形，立柱的侧壁产生屈曲、立柱的棱角不能保持直角，这种变形称为断面形状的畸变。为了尽量减少断面畸变，主要通过加强肋来提高刚度和改进导轨结构。图中的板壁纵向肋主要用来提高立柱的弯曲刚度，而横向肋则可起到减少断面形状畸变的作用。它们组合后起到了阻止各段壁板的变形与振动的作用。

图 19-7-3 为破碎机下架体的外壁布肋形式，使整个机架及侧壁的强度和刚度得以提高。

2) 肋板布置的位置根据材料力学的原理，使主材的内力能尽量减小。

例如，大件的支承点直接作用在肋板上，或直接与肋板相联系，如图 19-7-4 所示；或者使局部载荷分散传递，如图 19-7-5 所示，肋板如同桁架的斜杆将上板受的载荷直接传递到下板，使上板本来会受到弯曲的作用变为肋板的受压。

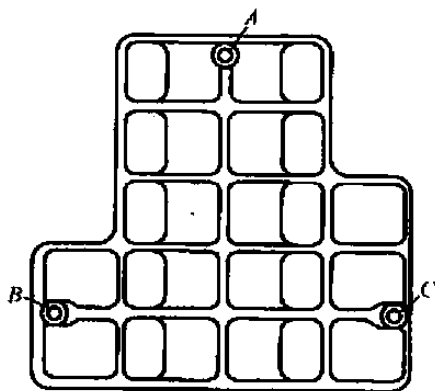


图 19-7-4 大件的支承点直接与肋板相联系

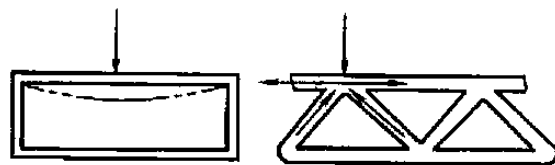


图 19-7-5 局部载荷分散传递示意图

3) 经济性。使材料尽可能少，加工方便、经济。

肋的布置方式对刚度影响很大。例如图 19-7-6 所示，图 a 的抗弯矩能力较低，图 b 较高，图 c 最高。但后者工艺要求也较复杂。图中 α 角一般取 $45^\circ \sim 55^\circ$ 。

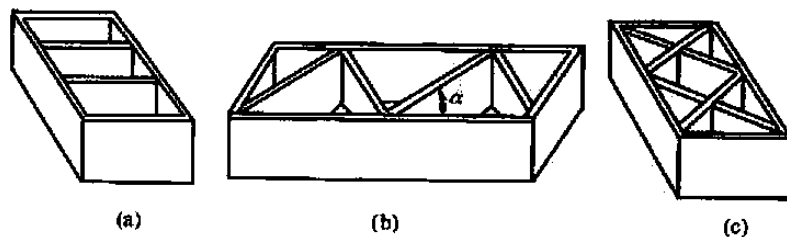


图 19-7-6 机床基础件内肋板的布置

各种布肋形式对刚度影响比较见本章 1.3 节。

壁板与肋板的厚度见本章 2.1 节。壁板的布肋形式见本章 2.2 节。

4) 有时配肋还要考虑机架的弹性匹配, 对机器的性能影响。

5) 对于像大型机床的基础件以及承载较大的导轨支承壁, 宜用双层板结构。如图 19-7-7 所示。不同尺寸双层壁与单层平板的静刚度和固有频率的对比见表 19-7-12。

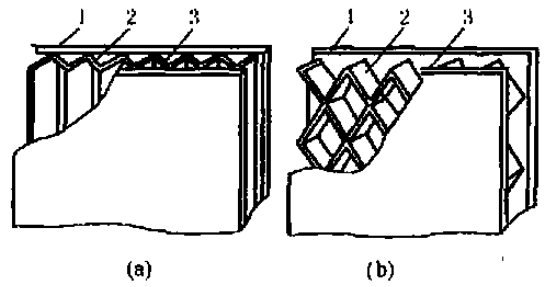


图 19-7-7 双层壁板结构

1—外壁板; 2—肋板; 3—内壁板

1.3 布肋形式对刚度影响

表 19-7-1 为四种断面的刚度比较。由于肋板横方向布置不合材料力学的分析没有列入。

表 19-7-1 四种断面的刚度比较

断面	$I_{\text{弯}}$	$I_{\text{扭}}$	断面	$I_{\text{弯}}$	$I_{\text{扭}}$
	1	1		1.55	3
	1.17	2.16		1.78	3.7







各种开式断面的梁类构件的刚度比较见表 19-3-1。肋板的横截面形状与配置可参见图 19-3-16。纵横隔板(或肋)对立柱刚度的影响见本篇第 4 章表 19-4-2 及表 19-4-3。

各种立柱类构件的刚度比较见表 19-4-2; 螺钉及外肋条的数量对立柱连接处刚度的影响见表 19-4-3。

布肋对闭式梁类结构刚度的影响见表 19-7-2。

表 19-7-2 布肋对闭式梁类结构刚度的影响

序号	模型	模型体积		弯曲刚度 ($x-x$)		扭转刚度	
		$/10^{-6} \text{m}^3$	指数	$/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	指数	$/\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$	指数
1		1077	1.0	3700	1.0	2490	1.0
2		1220	1.13	4290	1.16	3580	1.44
3		1220	1.13	4390	1.18	3970	1.59
4		1220	1.13	5190	1.40	4470	1.80
5		1148	1.06	3790	1.02	3300	1.33

序号	模 型	模型体积		弯曲刚度(x-x)		扭转刚度	
		/10 ⁻⁶ m ³	指数	/N·mm ⁻¹	指数	/N·m·rad ⁻¹	指数
6		1146	1.06	3840	1.03	3640	1.46
7		1148	1.06	3860	1.04	4680	1.88
8		1236	1.15	4120	1.11	4150	1.67
9		1236	1.15	4210	1.13	5020	2.02
10		1278	1.19	4220	1.14	左扭 4570 右扭 5010	1.84 2.02
11		1278	1.19	4370	1.18	5460	2.02

1.4 肋板的刚度计算

(1) 有横隔板框架的弯曲计算

① 如图 19-7-8, 当横隔板厚度 t_1 对框架长度 l 的比值很小时, 横隔板的数目及厚度对抵抗垂直载荷的能力是很小的。这种框架的弯曲刚度主要取决于平行中性轴的两块纵向侧板。考虑到隔板对侧壁的支承作用, 刚度计算时, 两块侧壁可不作为简支梁而作为两端固定梁来计算。

垂直变形为:
$$\Delta = \frac{Fl^3}{32Et_1^3} \quad (19-7-1)$$

式中 F ——框架上的集中力;

l ——支架总长度;

其他参数见图。

② 当图 19-7-8 框架承受侧向 (x 向) 载荷时, 框架的刚度和横隔板数目与壁厚有关。实验表明, 在横隔板尺寸给定的条件下, 框架的变形随着隔板数目 n 的增加而减小。见实验公式 (19-7-2):

$$\Delta_x = ax^b \quad (19-7-2)$$

式中 a ——常数, $a = 140.8$;

b ——常数, $b = -1.224$ 。

$$x = l/l_1 \quad (19-7-3)$$

式中 l_1 ——隔板之间的距离;

l ——框架长度。

(2) 横隔板底座的弯曲计算

如图 19-7-9 为带有面板的横隔板框架, 可以把它看作是由两种梁组成的。即图 19-7-9b 分解为图 c、d, 当

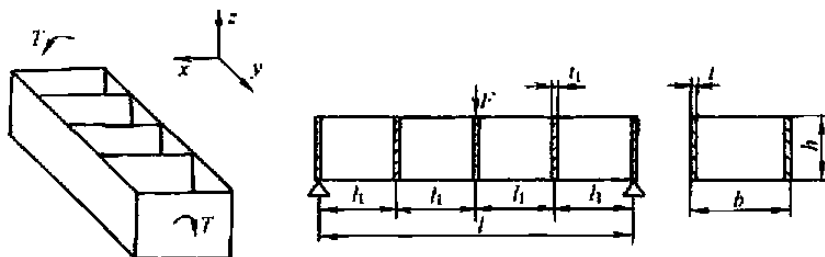


图 19-7-8 横隔板框架

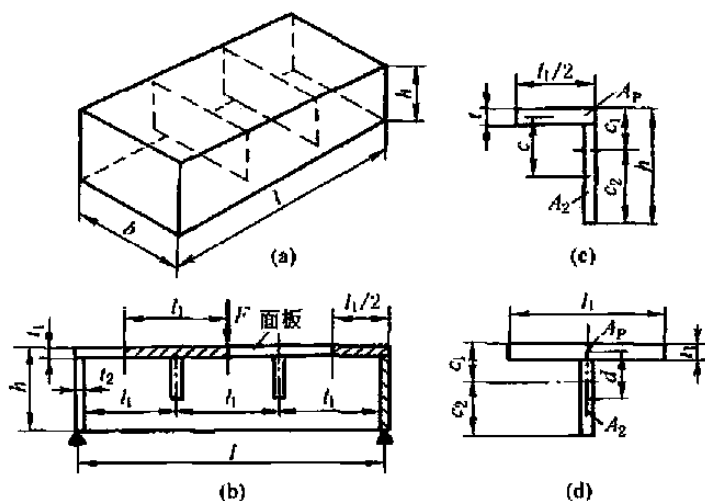


图 19-7-9 横隔板底座的弯曲计算简图

隔板的数目为 n 时，底座的惯性矩为（以长边 l 为支承边时）：

$$I = nl_1 + 2I_2 \quad (19-7-4)$$

式中 I_1 ——图 d 梁的截面惯性矩， mm^4 ；

I_2 ——图 c 梁的截面惯性矩， mm^4 。

垂直变形为：

$$\Delta = \frac{Fb^3}{192EI}$$

若以短边 b 为支承边时，则

垂直变形为：

$$\Delta = \frac{Fl^3}{192EI}$$

此时计算 I 仅考虑面板和两长边侧板组成的惯性矩。

(3) 对角肋和横隔板结构的扭转计算

① 对角肋的扭转刚度 图 19-7-10b 以两根交叉的对角肋作为分离体，则它分别承受着方向相反的作用力 F ，此分离体产生如图 c 的变形 Δ ，则可按简支梁的计算公式求得：

$$\Delta = 2 \frac{Fl^3}{48EI} \quad (19-7-5)$$

式中 l ——对角肋的长度；

I ——对角肋的截面惯性矩。

结构所受的扭矩 T 为：

$$T = Fb \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

对角肋的弯曲变形而使结构产生的扭转角 φ_1 为：

$$\varphi_1 = \frac{2\Delta}{b}$$

以 $l = \sqrt{2}b$ 及 T 、 φ_1 代入式 (19-7-5)，得：

$$\varphi_1 = 0.236 \frac{Tb}{EI} \quad (\text{rad}) \quad (19-7-6)$$

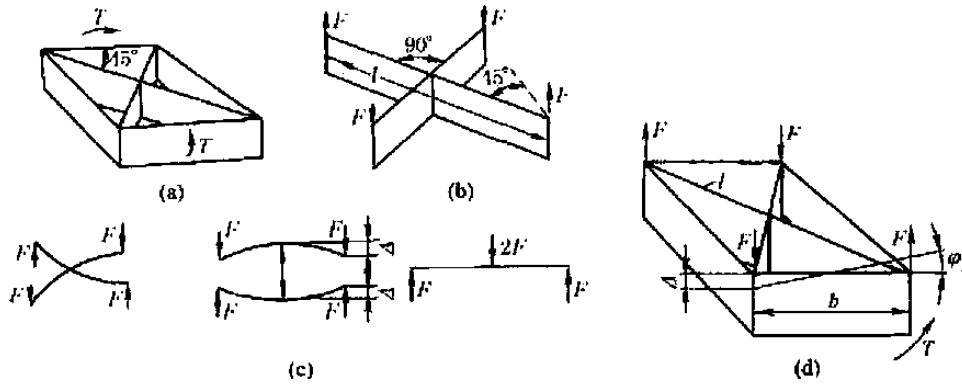


图 19-7-10 45°对角肋受力和变形分析

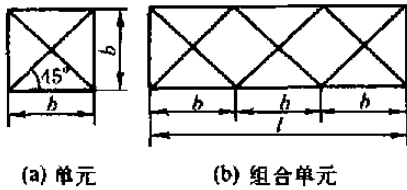


图 19-7-11 对角肋的单元组件

如果结构如图 19-7-11 所示，由 n 个对角肋并联，扭矩 T 作用于长边，则并联对角肋的总扭转角为：

$$\varphi_1 = 0.236n \frac{Tb}{nEI} \quad (\text{rad}) \quad (19-7-7)$$

如果结构由 n 个对角肋串联，扭矩 T 作用于短边，则串联对角肋的总扭转角为：

$$\varphi_1 = 0.236n \frac{Tb}{EI} \quad (\text{rad}) \quad (19-7-8)$$

② 侧壁的扭转刚度 设矩形侧壁高 h ，厚 t ，长度 $l = nb$ ，则两块侧壁的扭转角为：

$$\varphi_2 = \frac{Tnb}{2kChl^3} \quad (\text{rad}) \quad (19-7-9)$$

式中 G ——材料的切变模量；

k ——矩形截面扭转常数，即扭转截面惯性矩 $I = kt^3h$ 中的常数，见表 19-7-3；

n ——对角单元数。

表 19-7-3

k 值

h/t	1	1.5	2	3	4	6	8	10	∞
k	0.141	0.196	0.229	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

③ 对角肋框架总的扭转刚度 k 等于对角肋和侧壁两者刚度的代数和：

$$k = \frac{T}{\varphi} = \frac{T}{\varphi_1} + \frac{T}{\varphi_2} = \frac{EI}{0.236nb} + \frac{2kGht^3}{nb}$$

则对角肋框架的扭转角为：

$$\varphi = \frac{0.236nbT}{EI + 2 \times 0.236kGt^3} \quad (\text{rad}) \quad (19-7-10)$$

(4) 横隔板框架的扭转刚度

如图 19-7-8，横隔板对扭转阻抗影响很小，这种框架的扭转阻抗，主要取决于两纵向侧壁，两侧壁的扭转刚度按公式 (19-7-9) 计算。

(5) 十字肋的刚度

如图 19-7-12，十字肋的惯性矩为：

$$I = \frac{(b_1 - b_2)h_1^3 + b_2h_2^3}{12} \quad (19-7-11)$$

在设计十字肋梁时应考虑与矩形梁比较：在提高强度和刚度时应使材料用得最少。一般 b_2/b_1 应取小一些 (0.3 以下)， h_1/h_2 应适当 (一般 0.2 左右)。

(6) T形肋板 (图 19-7-13)

结构可分成许多 T 形单元来计算 (如图 19-7-13b), 每个单元相当于图 19-7-9 中的 d 图。

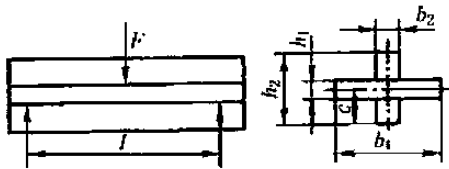


图 19-7-12 十字肋结构

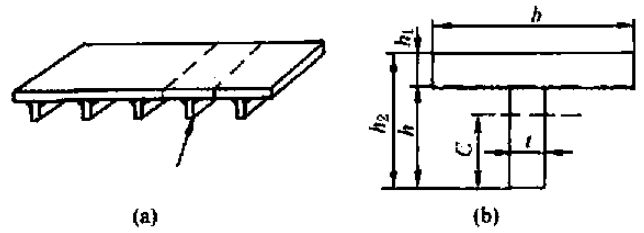


图 19-7-13 T形肋结构

同十字肋板一样, 也要分析 T 形断面的参数尺寸的比例, 以求得在强度和刚度都较好而材料最节约的断面。对于三角肋, 可看作多 T 形肋的特例, 每个不同断面都可视为高度不同的 T 形肋来计算。为了减少三角肋的应力集中, 实用的三角肋应去掉锐角, 如图 19-7-14。

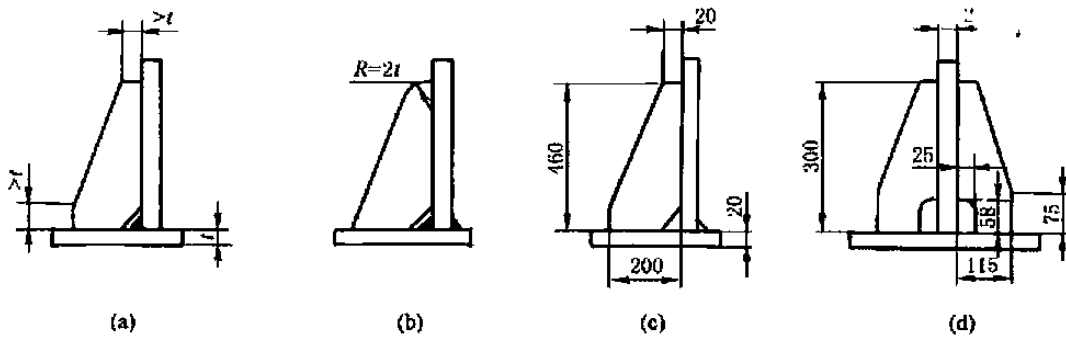


图 19-7-14 常见的实用三角肋结构

2 箱形机架

箱体机架也属于整体式机架, 它可分为:

- ① 支架箱体, 如机床的支座、立柱等箱体零件;
- ② 传动箱体, 如减速器、汽车变速箱及机床主轴箱等的箱体, 主要功能是包容和支承各传动件及其支承零件, 除刚度和强度外还要求有密封性, 要考虑散热性能和热变形问题;
- ③ 泵体和阀体, 如齿轮泵的泵体, 各种液压阀的阀体, 内燃机、空气压缩机等的机壳, 这类箱体除有对前一类箱体的要求外, 还要求能承受箱体内流体的压力。

一般说来本篇只涉及箱形的支承构件, 再扩大到一些齿轮箱的箱壳。内燃机、空气压缩机等的机壳一般不算是机架, 虽然在铸造的设计和工艺方面都有许多值得借鉴的内容, 但一般它们都有专门的论著和手册, 不在本篇阐述范围之列。

2.1 箱体结构参数的选择 [12, 22]

箱体壁厚的设计和前面的一样多采用类比法, 对同类产品进行比较, 参照设计者的经验或设计手册等资料提供的经验数据, 确定壁厚、肋板和凸台等的布置和结构参数。对于重要的箱体, 可用计算机的有限元法计算箱体的刚度和强度, 或用模型和实物进行应力或应变的测定, 直接取得数据或作为计算结果的校核手段。

2.1.1 壁厚的选择

铸铁、铸钢和其他材料箱体的壁厚可以先按下式计算当量尺寸 N , 再按表 19-7-4 选取:

$$N = (2L + B + H) / 3000 \quad (\text{mm})$$

式中 L ——铸件长度, mm;

B ——铸件宽度, mm;

H ——铸件高度, mm。

L 、 B 、 H 中, L 为最大值。

按经验, 焊接基础件壁板厚度可取相应铸铁基础件壁厚的 $\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}$ 。

仪器仪表铸造外壳的最小壁厚参考表 19-7-5 选取。

表 19-7-4

铸造箱体的壁厚

mm

当量尺寸 N	箱体材料			当量尺寸 N	箱体材料		
	灰铸铁	铸钢	铸铝合金		灰铸铁	铸钢	铸铝合金
0.3	6	10	4	2.0	16	25~30	10
0.75	8	10~15	5	3.00	20	30~35	≥ 12
1.00	10	15~20	6	4.00	24	35~40	—
1.50	12	20~25	8				

注: 1. 此表为砂型铸造数据。

2. 球墨铸铁、可锻铸铁壁厚减少 20%。

表 19-7-5

仪器仪表铸造外壳的最小壁厚

mm

合金种类	铸造方法				
	砂型	金属型	压力铸造	熔模铸造	壳模铸造
铝合金	3	2.5	1~1.5	1~1.5	2~2.5
镁合金	3	2.5	1.2~1.8	1.5	2~2.5
铜合金	3	3	2	2	—
锌合金	—	2	1.5	1	2~2.5

2.1.2 加强肋

肋板的高度 H 不应超过壁厚 t 的 4~5 倍, 超过此值对提高刚度无明显效果。加强肋的尺寸见表 19-7-6。

表 19-7-6

加强肋的尺寸

外表面肋厚	内腔肋厚	肋的高度
$0.8t$	$(0.6 \sim 0.7)t$	$\leq 5t$

注: t —肋所在壁厚。

2.1.3 孔和凸台

箱体壁上的开孔会降低箱体的刚度, 实验证明, 刚度的降低程度与孔的面积大小成正比。详见 2.3 节。

在箱壁上与孔中心线垂直的端面处附加凸台, 可以增加箱体局部的刚度; 同时可以减少加工面。当凸台直径 D 与孔径 d 的比值 $D/d \leq 2$ 和凸台高度 h 与壁厚 t 的比值 $t/h \leq 2$ 时, 刚度增加较大; 比值大于 2 以后, 效果不明显。如因设计需要, 凸台高度加大时, 为了改善凸台的局部刚度, 可在适当位置增设局部加强肋。

2.1.4 箱体的热处理

铸造或箱体毛坯中的剩余应力使箱体产生变形, 为了保证箱体加工后精度的稳定性, 对箱体毛坯或粗加工后要用热处理方法消除剩余应力, 减少变形。常用的热处理措施有以下三类。

- ① 热时效。铸件在 500~600℃ 下退火, 可以大幅度地降低或消除铸造箱体中的剩余应力。
- ② 热冲击时效。将铸件快速加热, 利用其产生的热应力与铸造剩余应力叠加, 使原有剩余应力松弛。
- ③ 自然时效。自然时效和振动时效可以提高铸件的松弛刚性, 使铸件的尺寸精度稳定。

2.2 壁板的布肋形式

肋的形式很多如图 19-7-15 所示，实际上可分三大类种，即直交肋（井字形肋）、斜交肋（包括角形肋、叉形肋、米字形肋）与蜂窝形肋。模型实验和计算结果表明，采用米字形肋与采用井字形肋的零件相比，前者的抗扭刚度高两倍以上，抗弯刚度则相近。但米字形肋铸造工艺性较差，铸造费时间且容易出废品，多用于焊接工艺。蜂窝形肋在连接处不易堆积金属，所以内力小，不易产生裂纹，刚度也高。

肋板的厚度一般取为大件壁厚的 0.8 倍左右，高度一般取为壁厚的 4-5 倍。见表 19-7-6。

图 19-7-16 为平板类布肋的实例。图 b 为摇臂钻床的底座，其中的环形肋与径向肋为安装立柱的部位；图 c 为双层壁结构，上下板之间有序地焊上一段一段管子，

以条钢构成对角肋网。用于大型、精密机架；图 d 为管形结构，它的特点是重量轻，抗扭刚度高。

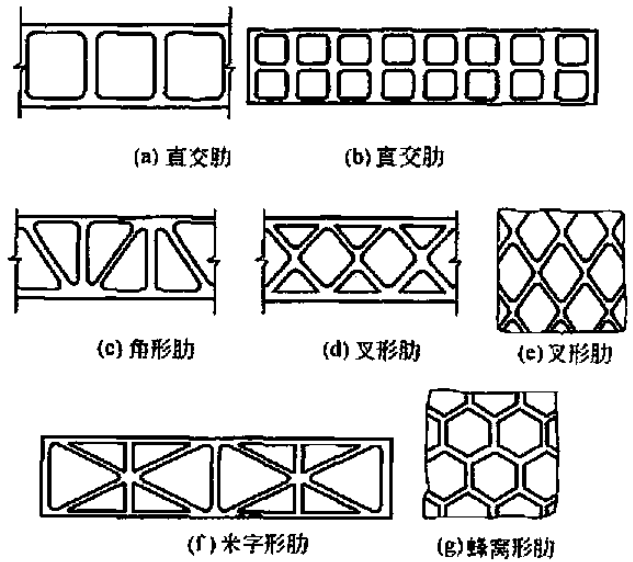
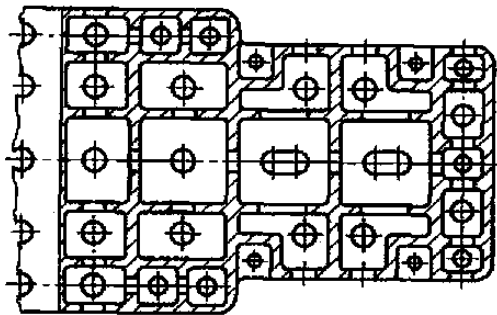
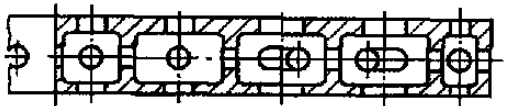
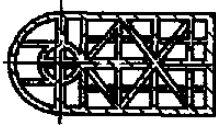


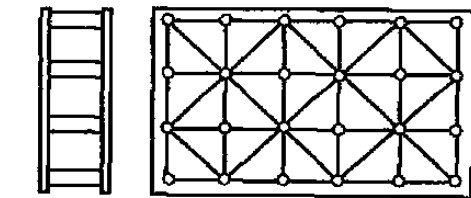
图 19-7-15 肋的形式



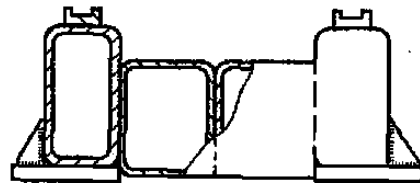
(a) 模锻水压机平台



(b) 摇臂钻床的底座



(c) 双层壁结构



(d) 管形结构

图 19-7-16 平板类布肋的实例

2.3 箱体刚度^[22]

2.3.1 箱体刚度的计算

箱体刚度是壁板抵抗局部载荷引起变形的能力。箱体刚度的计算公式为平板刚度计算公式乘以板壁孔的影响系数 k_0 。对于壁厚为 t 的箱板，变形量 δ_0 的计算式为：

$$\delta_0 = k_0 \frac{F a^2 (1 - \mu^2)}{E t^3} \quad (19-7-12)$$

考虑到板壁孔、凸台和肋条的影响，箱体变形的近似计算式为：

$$\delta = \delta_0 k_1 k_2 k_3 \quad (19-7-13)$$

式中 F ——垂直于箱壁的作用力, N;

a ——受力箱壁长边的一半, mm;

t ——受力箱壁的厚度, mm;

E ——材料弹性模量, MPa;

μ ——材料的泊松比;

k_0 ——着力点位置系数, 见表 19-7-7;

k_1 ——孔和凸台对箱体刚度的影响系数, 见本章 2.3.2 节 (2) 和表 19-7-9;

k_2 ——其他孔的影响系数, $k_2 = 1 + \sum \Delta\delta/\delta$, $\Delta\delta/\delta$ 值 (按各孔分别计算) 见 2.3.2 节 (2) 和表 19-7-10;

k_3 ——肋系影响系数; 对加强受力孔的凸台筋条, 取 0.8~0.9; 对加强整个箱体壁面的肋条, 互相交叉的取 0.80~0.85, 不交叉的取 0.75~0.80。

箱体刚度:

$$K_i = \frac{F}{\delta}$$

2.3.2 箱体刚度的影响因素

(1) 着力点位置的影响

着力点位置对箱壁变形的影响系数 k_0 见表 19-7-7。表中插图分别为箱体五个板壁的展开图, 图中直线为两个面的交界边, 弧线为开口边。

(2) 孔和凸台的影响

孔和凸台对箱体刚度的影响, 虽随孔的中心线至板边 (近侧) 距离 r 与边长之半 a 的比值 (r/a) 的减小而加大, 但在 $r/a > 1$ 的情况下其影响比较小, 可忽略不计。而在 $r/a \leq 1$ 的条件下, 必须考虑孔和凸台对箱体刚度的影响系数 k_1 。

在查 k_1 时, 应按表 19-7-8 确定凸台的有效高度 H_e 与箱体壁厚 t 的比 H_e/t 。 H_e 的值决定于凸台实际高度 H 与 a'/a 的比值, 再按 H_e/t 查表 19-7-9 得 k_1 。 $\Delta\delta/\delta$ 值也按 H_e/t 查阅表 19-7-10。

表 19-7-7

着力点位置对箱壁变形的影响系数 k_0

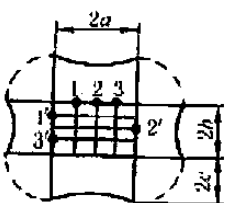
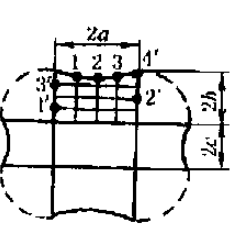
(1) 受力面的边长为 $2a \times 2b$, 四边均与其他面交接																
受力面的边长比 $a:b$		1:1									1:0.75					
箱体的尺寸比 $a:b:c$		1:1:1			1:1:0.75			1:1:0.5			1:0.76:0.75			1:0.75:0.5		
着力点的坐标		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	1'	0.18	0.24	0.18	0.20	0.28	0.20	0.21	0.31	0.21	0.13	0.18	0.13	0.13	0.20	0.13
	2'	0.24	0.35	0.24	0.28	0.44	0.28	0.31	0.50	0.31	0.21	0.30	0.21	0.22	0.33	0.22
	3'	0.18	0.24	0.18	0.20	0.28	0.20	0.21	0.31	0.21	0.13	0.18	0.13	0.13	0.20	0.13
(2) 受力面的边长为 $2a \times 2b$, 三面与其他面交接, 一面为开口																
受力面的边长比 $a:b$		1:1						1:0.75								
箱体的尺寸比 $a:b:c$		1:1:1			1:0.75:1			1:0.75:0.75			1:0.5:1			1:0.5:0.75		
着力点的坐标		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	1'	0.16	0.25	0.16	0.15	0.20	0.15	0.15	—	0.15	0.08	0.09	0.08	0.08	—	0.08
	2'	0.30	0.48	0.30	0.29	0.45	0.29	0.28	0.42	0.28	0.19	0.28	0.19	0.18	0.27	0.18
	3'	0.43	0.70	0.43	0.39	0.62	0.39	—	0.62	—	0.34	0.51	0.34	—	0.48	—
	4'	0.95	1.40	0.95	0.77	1.16	0.77	—	0.16	—	0.62	0.92	0.62	—	0.69	—

表 19-7-8

凸台和肋条有效高度与壁厚比值(H_e/t)的确定

凸台实际高度与壁厚之比 H/t	受力点至凸台孔中心线与受力点至箱板边缘距离的比(R/a')			肋条实际高度与壁厚之比 H/t	肋条宽度与壁厚之比 $b/t=1$ 时的 H_e/t
	0	0.3	0.5		
	H_e/t				
1.2	1.19	1.16	1.14	1.2	1.18
1.4	1.37	1.29	1.25	1.4	1.36
1.6	1.53	1.41	1.35	1.6	1.53
1.8	1.67	1.52	1.44	1.8	1.69
2.0	1.78	1.62	1.50	2.0	1.83
2.2	1.88	1.69	1.55	2.2	1.96
2.4	1.96	1.76	1.60	2.4	2.08
4.0	2.15	1.90	1.70		
10.0	2.25	2.00	1.75		

注: R —凸台孔中心线至受力点(或受力孔的中心线)的距离; a' —受力点(或受力孔的中心线)至箱板边缘(靠近凸台孔的一侧)的距离。

表 19-7-9

孔和凸台对箱体刚度的影响系数 k_1

D/d	H_e/t	$D^2/(2a \times 2b)$							
		0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16
1.2	1.4	1.0							
	1.5	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.86	0.83
	1.6	0.95	0.93	0.91	0.88	0.85	0.81	0.77	0.75
	1.8	0.91	0.86	0.83	0.78	0.74	0.69	0.65	0.62
	2.0	0.86	0.80	0.77	0.71	0.67	0.61	0.57	0.53
1.6	3.0	0.79	0.71	0.65	0.56	0.50	0.43	0.37	0.33
	1.1	1.0							
	1.2	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.86	0.83
	1.4	0.91	0.88	0.85	0.80	0.76	0.72	0.66	0.65
	1.6	0.87	0.82	0.77	0.71	0.66	0.60	0.55	0.51
2.0	0.82	0.75	0.70	0.62	0.56	0.49	0.43	0.38	
3.0	0.78	0.70	0.63	0.54	0.47	0.38	0.32	0.27	

对无凸台的孔

$d^2/(2a \times 2b)$	0.05	0.01	≥ 0.015
k_1	1.1	1.15	1.2

注: D —凸台直径; d —孔径; $2a$ —箱体受力面的长边长度; $2b$ —受力面的短边长度; H_e/t —凸台有效高度与箱壁厚度之比, 见表 19-7-8。

表 19-7-10

确定系数 k_2 的 $\Delta\delta/\delta$ 的值

(1) 当 H_0/t 较大时, $\Delta\delta/\delta$ 取负值

D/d	H_0/t	$D^2/(2a \times 2b)$				
		0.01	0.02	0.04	0.07	0.10
1.2	1.4	0				
	1.6	0.02 ~ -0.01	0.03 ~ -0.02	0.05 ~ -0.03	0.07 ~ -0.04	0.09 ~ -0.05
	1.8	0.06 ~ -0.03	0.08 ~ -0.04	0.11 ~ -0.06	0.16 ~ -0.08	0.19 ~ -0.10
	2.0	0.08 ~ -0.04	0.11 ~ -0.06	0.16 ~ -0.09	0.21 ~ -0.13	0.26 ~ -0.17
	3.0	0.12 ~ -0.07	0.18 ~ -0.10	0.25 ~ -0.15	0.34 ~ -0.20	0.41 ~ -0.24
1.6	1.2	0				
	1.4	0.06 ~ -0.04	0.08 ~ -0.05	0.11 ~ -0.07	0.14 ~ -0.10	0.16 ~ -0.12
	1.6	0.09 ~ -0.05	0.12 ~ -0.07	0.17 ~ -0.10	0.22 ~ -0.13	0.27 ~ -0.16
	2.0	0.12 ~ -0.07	0.17 ~ -0.09	0.23 ~ -0.13	0.31 ~ -0.18	0.37 ~ -0.21
	3.0	0.14 ~ -0.08	0.20 ~ -0.12	0.29 ~ -0.17	0.38 ~ -0.23	0.35 ~ -0.28

(2) 当 H_0/t 较小时, $\Delta\delta/\delta$ 取正值

D/d	H_0/t	$D^2/(2a \times 2b)$				
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
1.2	1.1	0.06 ~ -0.03	0.11 ~ -0.05	0.14 ~ -0.08	0.18 ~ -0.11	0.21 ~ -0.13
1.6	1.2	0.07 ~ -0.03	0.11 ~ -0.05	0.13 ~ -0.07	0.13 ~ -0.08	0.14 ~ -0.09
	1.0	0.08 ~ -0.03	0.14 ~ -0.06	0.22 ~ -0.10	0.30 ~ -0.13	0.37 ~ -0.17

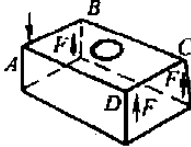
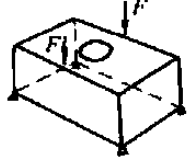
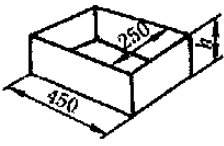
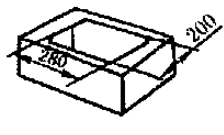
注: R —所计算的凸台孔中心到受力孔中心的距离; a' —受力孔中心至靠近所计算凸台孔一侧的板边距离。当 $R/a' = 0.3$ 时, 表中数据取大值; 当 $R/a' = 0.5$ 时, 取小值; 当 $R/a' = 0.7$ 、 $H_0/t = 3$ 时, $\Delta\delta/\delta = -0.1$ 。

(3) 孔对箱体刚度的综合影响

通过模型试验所得的板壁孔对箱体刚度影响的数据如表 19-7-11 和表 19-7-12 所示。

表 19-7-11

箱体高度、顶部开孔面积对刚度的影响

箱体加载简图	扭转: 箱体两端加力偶, 测量 A 点相对于由 B、C、D 三点决定 的平面的位移	扭转:		弯曲:									
		箱体两端加力偶, 测量 A 点相对于由 B、C、D 三点决定 的平面的位移		箱体两侧壁中部加 载; 在加载处测量 箱壁位移									
													
箱体模型结构简图 (模型壁厚 6mm)	顶部开口 面积的百分 比/%	箱体高度 $h = 210\text{mm}$				箱体高度 $h = 140\text{mm}$				箱体高度 $h = 43\text{mm}$			
		扭 转		弯 曲		扭 转		弯 曲		扭 转		弯 曲	
		相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz
	100	0.005	118	0.44	0.007	142	0.50	446	0.015	177	0.40	428	
	50	0.08	368	0.57	295	0.08	452	0.65	560	0.07	347	0.60	458

续表

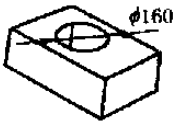
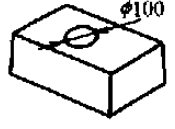
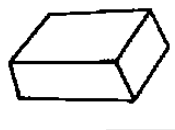
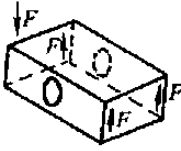
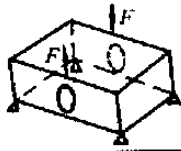
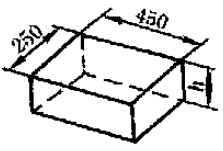
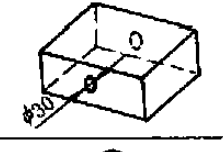
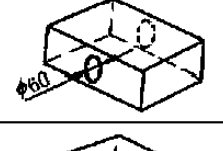
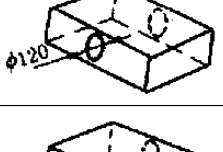

箱体模型结构简图 (模型壁厚 6mm)	顶部开口 面积的百 分比/%	箱体高度 $h = 210\text{mm}$				箱体高度 $h = 140\text{mm}$				箱体高度 $h = 43\text{mm}$			
		扭 转		弯 曲		扭 转		弯 曲		扭 转		弯 曲	
		相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz	相对刚 度比	固有频 率 /Hz
	18	0.74	1390	0.80	350	0.78	1460	0.80	580	0.63	965	0.82	462
	7	0.97		0.83	412	0.93		0.85	522	0.90	970	0.89	482
	0	1.0		1.0	419	1.0		1.0	495	1.0	1030	1.0	459

表 19-7-12

箱体两侧壁孔面积对刚度的影响

箱体加载简图	扭 转		弯 曲					
								
箱体模型结构简图 (箱体壁厚 6mm)	箱体高度 $h = 210\text{mm}$				箱体高度 $h = 140\text{mm}$			
	侧壁孔面积 的百分比 /%	相对刚度比		侧壁孔面积 的百分比 /%	相对刚度比			
扭 转		弯 曲	扭 转		弯 曲			
	0	1	1	0	1	1		
	0.75	0.91	0.84	1.1	0.98	0.97		
	3	0.86	0.60	4.5	0.95	0.93		
	12	0.77	0.44	18	0.43	0.33		
	27	0.23	0.10	35 ^①	0.06	0.04		

① 箱体侧壁孔接近矩形, 长边 180mm, 短边 120mm。

从表中看到：

① 箱体开孔的面积小于板壁面积的 10% 时，不会显著地降低箱体的刚度，当孔的面积大于 10% 时，随着孔的面积加大，刚度急剧降低；

② 孔的面积达到 30% 左右时，扭转刚度下降到只有 20% ~ 10%，扭转固有频率下降了 2/3 ~ 3/4；

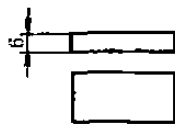
③ 箱体孔位于侧壁（在弯曲平面内）时，对箱体抗弯刚度的影响比顶壁孔大，因此孔的位置尽量不要摆在受载大的部位上。

不同尺寸双层壁与单层平板的静刚度和固有频率的对比见表 19-7-13。

箱体或半开式结构肋条布置对静刚度和固有频率的影响见表 19-7-14。

不同尺寸双层壁与单层平板的静刚度和固有频率的对比见表 19-7-15。

表 19-7-13 不同尺寸双层壁与单层平板的静刚度和固有频率的对比

双层壁和单层平板的尺寸				扭 转					弯 曲			
				相对刚度	单位重量的相对刚度	固有频率 /Hz	相对刚度		单位重量的相对刚度		固有频率 /Hz	
							x-x	y-y	x-x	y-y		
单层平板 				1	1	84	1	1	1	1	148	
双层壁	t = 3mm b = 1mm	h	20	18	15	300	8.6	27	7.2	23	366	
			30	25	20	362	13	41	10	33	425	
			40	29	23	318	13	62	10	50	340	
			50	34	25	383	14	136	10	102	419	
	h = 40mm b = 1mm	t	1	—	16	389	7.0	26	3.2	12	—	
			2	25	25	405	12	36	11	36	468	
			3	29	23	318	13	62	10	50	340	
			4	37	23	373	16	65	9.9	40	401	
	h = 40mm t = 3mm	b	1.5	5.2	4.9	168	2.7	32	2.4	29	200	
			1	29	23	318	13	62	50	10	340	
			2	67	43	520	43	179	28	116	705	

2.4 齿轮箱箱体刚度计算举例

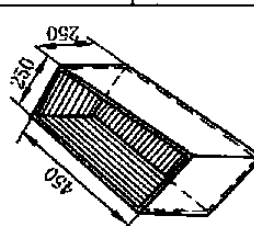
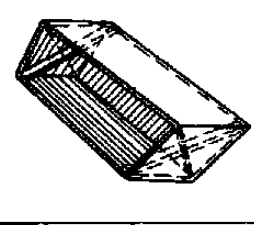
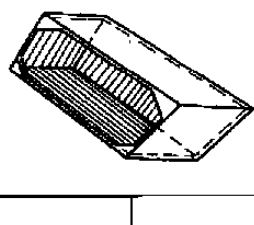
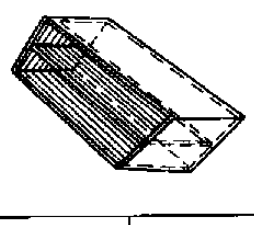
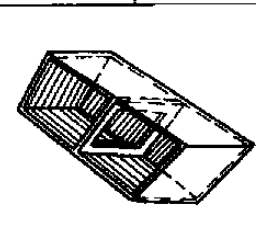
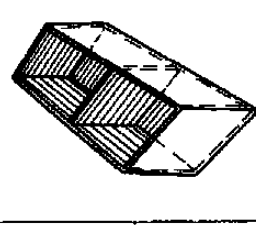
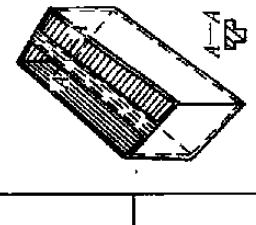
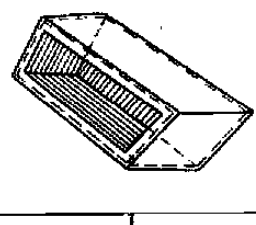
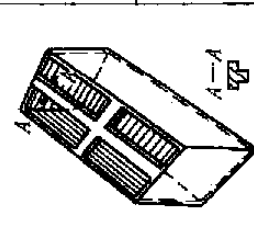
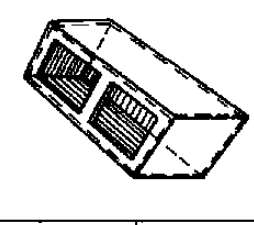
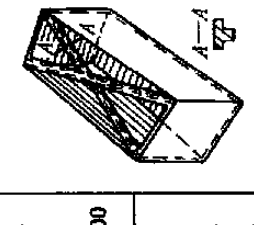
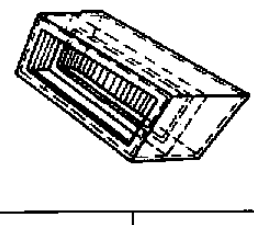
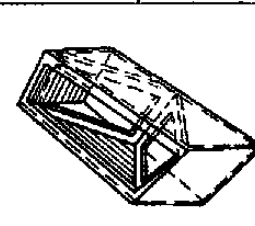
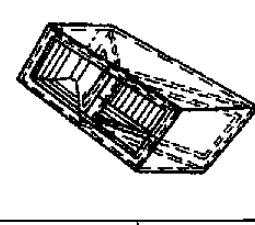
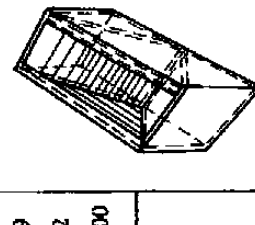
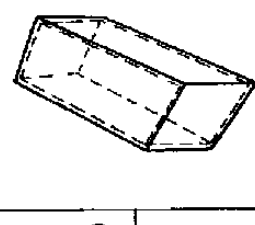
2.4.1 齿轮箱箱体的计算^[22]

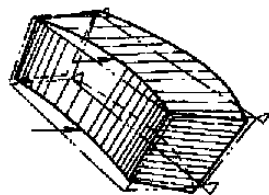
齿轮箱箱体属箱壳式结构，箱内零件工作时，箱体所受的外力有：

- ① 与箱壁垂直的力，如斜齿分力，止推轴承传来的力；
- ② 位于箱壁平面内的力，如径向轴承施加的压力；

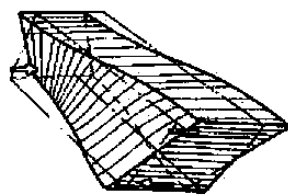
箱体或半开式结构肋条布置对静刚度和固有频率的影响

表 19-7-14

扭转变形	相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	1 1 120		1.3 1.2 125		1.5 1.5 126		1.4 1.2 131	
弯曲变形	相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	1 1 174		1.2 1.1 204		1.1 — —		1.2 1.1 198	
扭转变形	相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	1.3 1.2 127		1.6 1.4 138		2.1 2.0 149		9.9 8.3 290	
弯曲变形	相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	23 21 387		>23 >21 589		1.1 1.1 240		1.9 1.7 323	
扭转变形	相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	6.8 6.0 288		19 16 425		154 133 >1000		10.5 8.9 318	
弯曲变形	相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	3.3 2.8 343		2.8 2.4 513		1.3 1.2 298		4.8 4.1 432	
扭转变形	相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	8.2 7.0 290		14.4 11.5 387		61.9 45.2 >1000		199 160 >1000	
弯曲变形	相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	3.3 2.8 442		4.8 3.8 484		— — —		— — 350	



(a) 弯曲变形

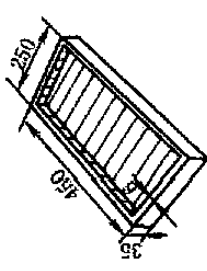
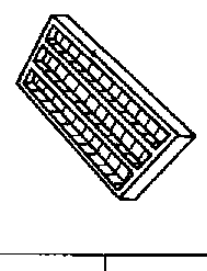
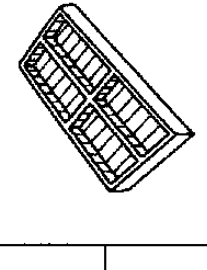
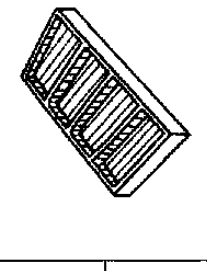
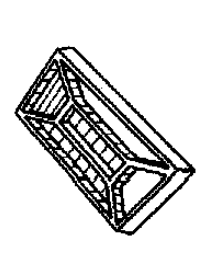
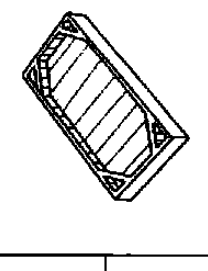
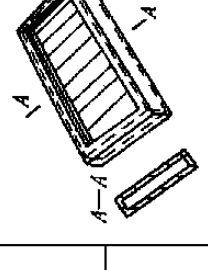
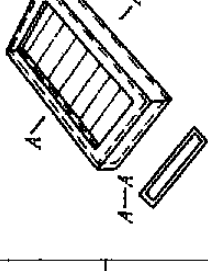
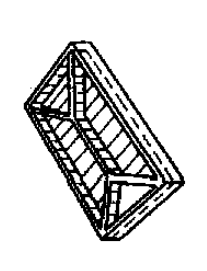
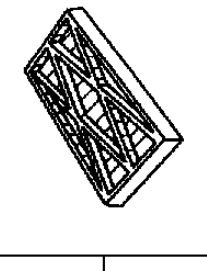
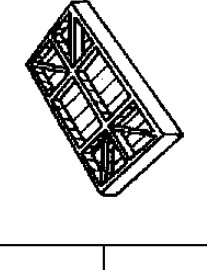
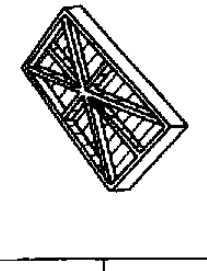
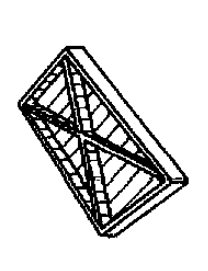
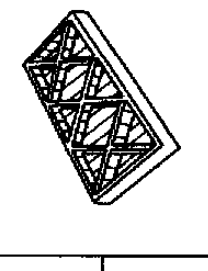
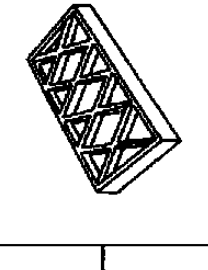
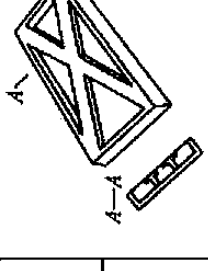
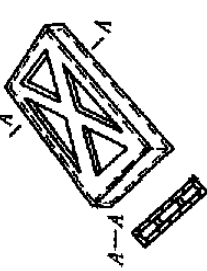
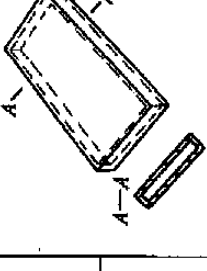
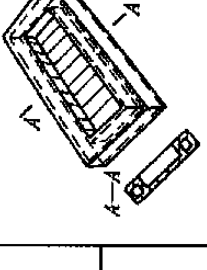
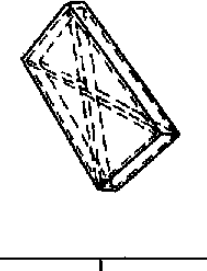
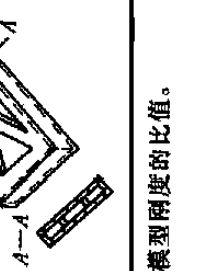
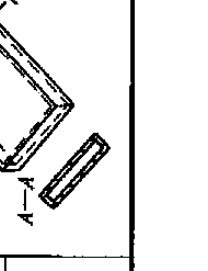
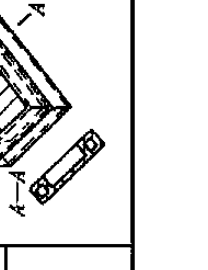
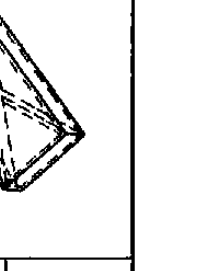






(b) 扭转变形

注: 1. 结构模型壁厚 6mm, 肋条尺寸按相同的比例尺绘出, 材料为铝板。

2. 相对刚度指该模型刚度与未加肋条模型刚度的比值。

表 19-7-15 半开式及闭式断面平板类构件的肋条布置对静刚度和固有频率的影响

相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	1		1.2		1.3											
	168		1.1		1.2			1.4	1.2	1.1	1.2	1.4	1.2	1.1	1.2	1.4
相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	1		1.4		1.4											
	422		1.3		1.2			1.4	1.2	1.1	1.2	1.4	1.2	1.1	1.2	1.4
相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	2.6		1.5		1.7											
	231		1.5		1.5			1.7	1.5	1.5	1.7	1.5	1.5	1.7	1.5	1.5
相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	1.6		1.1		1.2											
	680		1.1		1.1			1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2
相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	4.7		6.3		6.9											
	310		4.5		4.8			6.3	4.8	6.3	4.5	4.8	6.3	4.5	4.8	6.3	4.5	4.8	6.3	4.5	4.8
相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	1.3		2.2		1.5											
	632		1.6		1.1			1.5	1.1	1.6	1.1	1.5	1.1	1.6	1.1	1.5
相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	7.8		12.3		11.9											
	409		8.8		8.6			14.2	8.6	14.2	8.8	8.6	14.2	8.8	8.6	14.2	8.8	8.6	14.2	8.8	8.6
相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	1.1		1.3		1.1											
	654		0.9		0.8			2.0	0.8	2.0	0.9	0.8	2.0	0.9	0.8	2.0	0.9	0.8	2.0	0.9	0.8
相对扭转刚度 单位重量的相对扭转刚度 扭转固有频率/Hz	23.4		61.1		22											
	640		35.5		14			47.5	35.5	14	47.5	35.5	14	47.5	35.5	14	47.5	35.5	14	47.5	35.5
相对弯曲刚度 单位重量的相对弯曲刚度 弯曲固有频率/Hz	2.8		3.4		4.0											
	840		2.0		2.5			6.1	2.5	6.1	2.0	2.5	6.1	2.0	2.5	6.1	2.0	2.5	6.1	2.0	2.5

注：相对刚度指该模型刚度与未加肋条模型刚度的比值。

③ 扭矩、如径向力偏离壁板中心的作用力，长度较大的滑动轴承在轴向平面上的力偶等。

齿轮减速箱箱体的设计准则，主要是刚度。影响箱壁变形的主要因素是垂直于箱壁的力。第②、③种力对箱体的变形影响较小，可不考虑，在结构设计布置肋板时考虑即可。国外大型精密高速齿轮箱普遍改为钢板焊接结构，因此对齿轮箱的研究很重视。例如典型的齿轮箱振动频率为 1000Hz，振幅为 0.25 ~ 1.25 μm 时，噪声约为 100dB，当壁厚增加一倍时，阻尼比增加 141%。试验表明，壁厚为 15mm 的齿轮箱，比壁厚为 5 ~ 10mm 的噪声为小。实际上，增加壁厚能降低噪声 12dB，增加加强肋同样可以减少噪声 5 ~ 12dB。

2.4.2 车床主轴箱刚度计算举例

例 试计算车床主轴箱体刚度。图 19-7-17 为车床主轴箱的计算简图。已知主轴孔 I 的最大轴向力 $F = 3000\text{N}$ ，箱体尺寸： $2a:2b:2c = 550:360:560$ 。材料为铸铁， $E = 1 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

解 (1) 先确定无孔箱壁的变形量 δ

由 $a = 275\text{mm}$, $t = 10\text{mm}$, $2a:2b:2c = 1:0.6:1$

箱体受力面的边长比： $2a:2b = 1:0.6$

着力点坐标为 $x = 0.5a$, $y = 1.1b$ (相当于 1、2' 点)

查表 19-7-7，受力面边长比 $a:b = 1:0.75$ 时

$$x = 0.5a, y = 1.0b, \text{为 } 1, 2' \text{ 点}, k_0 = 0.29$$

$$x = 0.5a, y = 1.5b, \text{为 } 1, 3' \text{ 点}, k_0 = 0.39$$

$$\text{当 } x = 0.5a, y = 1.1b \text{ 时}, k_0 = \frac{0.39 - 0.29}{0.5} \times 0.1 + 0.29 = 0.31$$

受力面边长比 $a:b = 1:0.5$ 时

$$1, 2' \text{ 点}, k_0 = 0.19$$

$$1, 3' \text{ 点}, k_0 = 0.34$$

$$\text{当 } x = 0.5a, y = 1.1b \text{ 时}, k_0 = \frac{0.34 - 0.19}{0.5} \times 0.1 + 0.19 = 0.22$$

所以 $a:b = 1:0.75$ 时, $k_0 = 0.31$; $a:b = 1:0.5$ 时, $k_0 = 0.22$

$$\text{则 } a:b = 1:0.6 \text{ 时}, k_0 = \frac{0.31 - 0.22}{0.75 - 0.5} \times (0.6 - 0.5) + 0.22 = 0.26$$

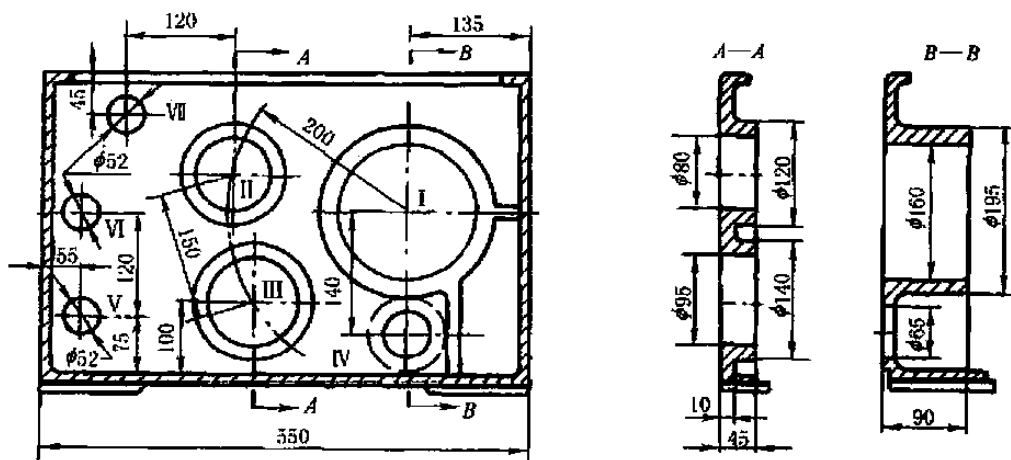


图 19-7-17 车床主轴箱前壁结构计算简图

将已知值代入式 (19-7-12)，无孔箱壁在 $F = 3000\text{N}$ 垂直力作用下的变形量 δ_0 为：

$$\begin{aligned} \delta_0 &= k_0 \frac{Fa^2(1-\mu^2)}{Et^3} \\ &= 0.26 \times \frac{3000 \times 275^2(1-0.09)}{1 \times 10^5 \times 10^3} = 0.54\text{mm} \end{aligned}$$

(2) 确定修正系数 k_1 、 k_2 、 k_3

孔 I：已知 $H/t = 90/10 = 9$, $R/a' = 0$ ，由表 19-7-8 查得 $H_1/t = 2.2$ 。

已知 $D^2/(2a \times 2b) = 195^2/(550 \times 360) = 0.19$, $D/d = 195/160 = 1.2$ ，由表 19-7-9 查得 (用插入法延伸)： $k_1 = 0.45$ 。

孔 II：已知 $H/t = 40/10 = 4$; $R/a' = 200/415 = 0.48$ ，其中 a' 为孔 I 中心至靠近孔 II 的左箱壁距离； $H_1/t = 1.7$; $D^2/(2a \times 2b) = 120^2/(550 \times 360) = 0.073$; $D/d = 120/80 = 1.5$ 。

从表 19-7-10 中得: $\Delta\delta/\delta = -0.15$ 。

孔 III: 同孔 II 计算程序, 得 $\Delta\delta/\delta = -0.18$ 。

孔 IV: $\Delta\delta/\delta = +0.02$ 。

孔 V、孔 VI: 已知 $D^2/(2a \times 2b) = 52^2/(550 \times 360) = 0.0135$, $R/a' = 360/415 = 0.87$, 取 $\Delta\delta/\delta = 0.01$ 。

孔 VII: 因距开口边缘较近, 故不计其影响。

因此, 修正系数 k_2 值为:

$$k_2 = 1 + \Sigma\Delta\delta/\delta = 1 - 0.15 - 0.18 + 0.02 + 2 \times 0.01 = 0.71$$

取修正系数 k_3 为 0.9。

(3) 计算有孔箱壁的变形量 δ

$$\delta = \delta_0 k_1 k_2 k_3 = 0.54 \times 0.45 \times 0.71 \times 0.9 = 0.155 (\text{mm})$$

$$\text{箱体刚度 } K_1 = \frac{P}{\delta} = \frac{3000}{0.155 \times 10^{-3}} = 19.4 (\text{N}/\mu\text{m})$$

(4) 箱体刚度验算

根据车床刚度要求, 取车床刚度 $K \geq 20 \text{N}/\mu\text{m}$; 主轴箱变形在综合位移中所占比例 $\epsilon = 10\% \sim 15\%$, 取 $\epsilon = 0.15$, 主轴箱的最小刚度值为:

$$K_1 \geq K \frac{1}{\epsilon} = 20 \times \frac{1}{0.15} = 130 (\text{N}/\mu\text{m})$$

显然, 主轴箱结构刚度不足, 应适当增加壁厚和肋条。

3 轧钢机类机架设计与计算方法

3.1 轧钢机机架形式与结构^[30]

轧钢机机架主要由上、下横梁及左右两立柱组成。在轧制过程中, 金属作用于轧辊的全部压力和水平方向的张力、铸锭或板坯的惯性冲击以及轧辊平衡装置所产生的作用力, 最后都为机架所承受。机架受力后产生的变形, 将直接影响到板材和带材的轧制精度, 因此, 在设计中既要满足强度要求, 又要保证足够的刚度。

轧机机架的型式有闭口式和开口式两种。闭口式为一封闭的刚架, 多用于初轧机、板轧机等。开口式机架的上盖可以拆卸, 特别是中小型型钢轧机大多采用开口式机架。常用的开口式机架的型式见图 19-7-18。

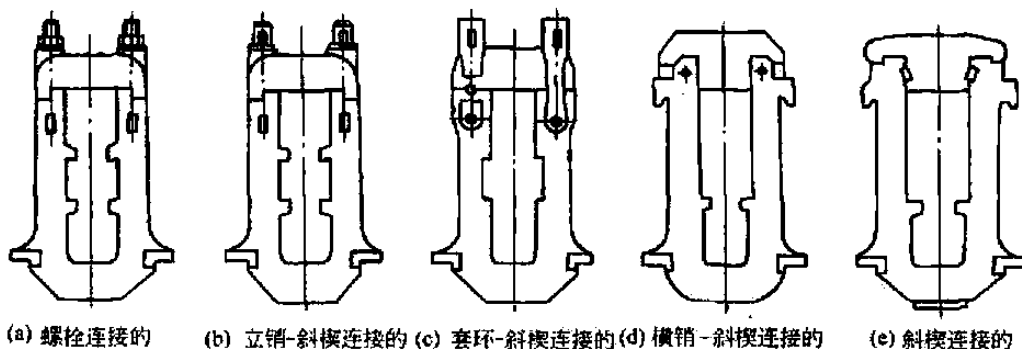


图 19-7-18 型钢轧机常用开口式机架的型式

机架立柱断面的形状一般采用抗弯能力较大的长方形或工字形 (图 19-7-19a、b), 由于它们的刚度较大, 最好用在较宽的机架上 (如二辊轧机), 尤其是受水平力很大的机架。在较宽的闭式机架上, 这种断面也可以显著地减小横梁承受的弯曲力矩。

在高且窄的机架 (如四辊轧机) 以及承受水平力不大的机架上, 采用正方形 (图 19-7-19c) 或长边较短的矩形断面, 对于机架的强度和重量来讲是比较合理的, 这种断面惯性矩较小, 故作用于立柱全长上的弯曲力矩变小。由于立柱长度较大, 因此立柱上所能节省的材料将超过横梁上稍增加的材料。

从固定滑板的方式来看,采用工字形断面较方便,这时可以用螺栓把滑板固定在翼缘上(图 19-7-20)。若采用矩形断面,则滑板必须用螺钉来固定,这时要在窗口表面加工螺孔,而加工螺孔较困难,更换滑板也较麻烦。

设计机架应注意的其他问题,请参考专门文献。

图 19-7-21 为 2300 型中板轧机的机架实例。

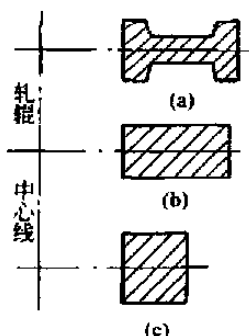


图 19-7-19 机架立柱的各种断面

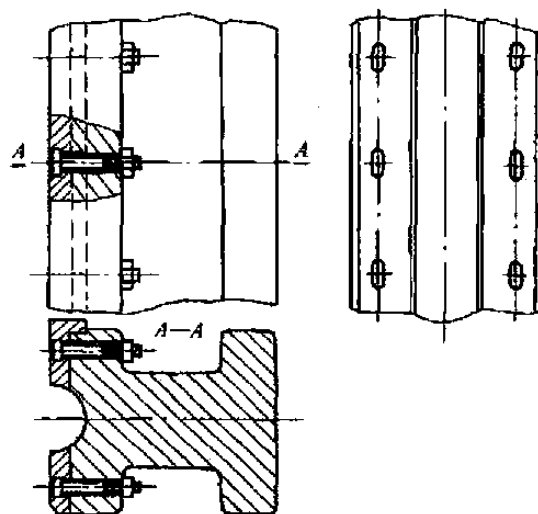


图 19-7-20 工字形断面机架的滑板固定方式简图

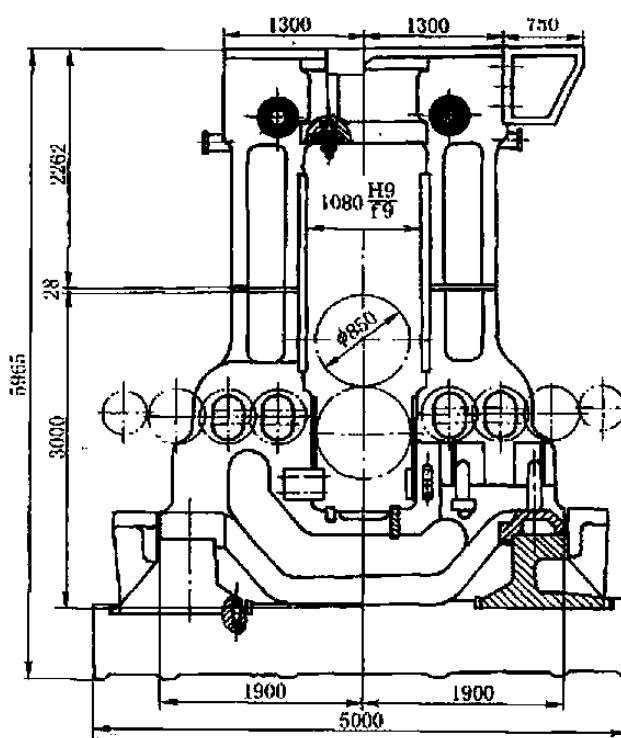
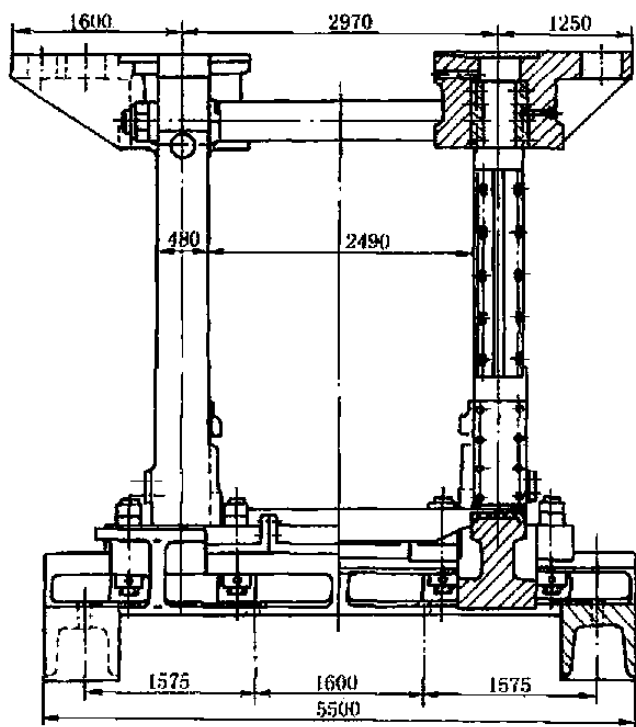


图 19-7-21 2300 型中板粗轧机座工作机架

3.2 短应力线轧机 [28, 29]

影响轧制质量的是机座的弹性变形。它包括轧辊的弹跳、变形和除轧辊外的工作机座的弹跳,即零件的压缩、拉伸和弯曲变形。因此,在现代小型与线材轧机的设计上,轧辊均设计成短辊身及降低每次的轧制变形量以减少轧制力和轧辊的变形。这是由工艺决定的。而为了减少工作机座的变形,除提高各承载体本身的刚度外,减少机座中承载体的数量及尽量缩短应力线是合理的途径。这里所说的应力回线(简称应力线)是轧机在轧制力的作用下机座受力件的内力所连成的回线。所谓短应力线轧机是泛指应力回线缩短了轧机。短应力线轧机的种类很多,基本上可分为两种。

① 取消牌坊(即机架)或虽有机架而机架不受力,用拉紧螺杆将两个刚性很大的轴承座连在一起。

图 19-7-22 所示为短应力线轧机的一种，它虽有机架，但不承受上下轧辊的压力，只承受侧向的倾翻力矩。

② 利用刚性拉杆在轧制前对机架施加预加应力，使其处于受力状态。在轧制时，由于预应力的作用，机架的弹性变形减少，从而提高了轧机的刚度，是为预应力轧机。它也是一种缩短应力线方法的高刚度轧机。

两种轧机所使用的方法是相互渗透的。即无牌坊的轧机也使用预加应力的方法。例如 CW 型无牌坊高刚度轧机的另一个特点就是施加了预应力。

我国使用的预应力轧机多数是半机架式结构。如图 19-7-23 为二辊式半机架预应力轧机。上辊轴承座和半机架由拉杆拉紧成一体。下轴承座可在半机架窗口内上下调整。辊子缠有压上装置实施调整，也与一般的开式轧机相同。

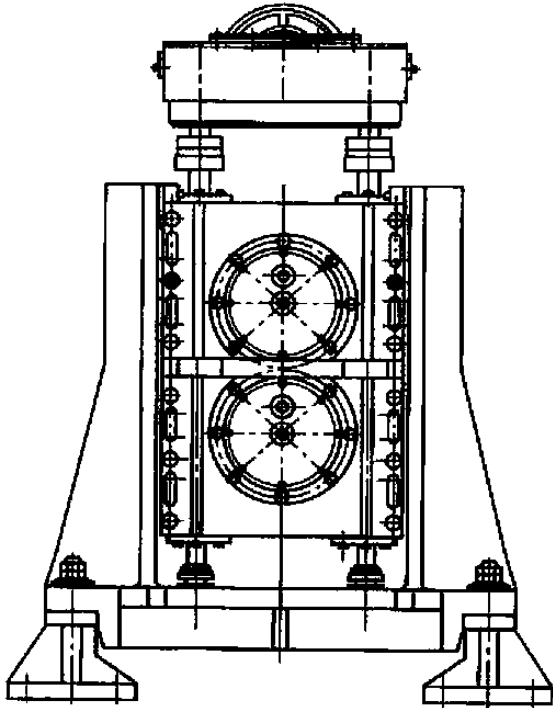


图 19-7-22 U 型架式短应力线轧机

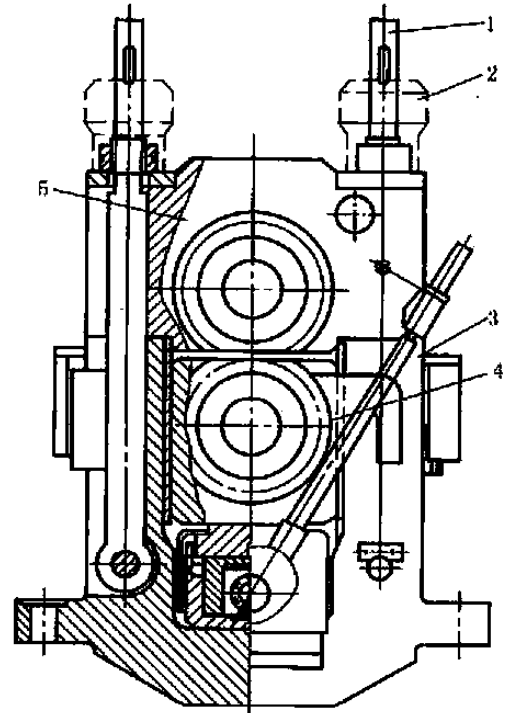


图 19-7-23 二辊预应力轧机

1—拉杆；2—油压千斤顶；3—半机架；4—下轴承；5—上轴承

3.3 闭式机架强度与变形的计算

计算依据和计算方法如下：

- ① 各种工作过程中可能出现的力的大小/方向和作用点，包括反力位置和分布情况；
- ② 机架各截面中心的连线作为一框架来分析，且要经过简化处理；
- ③ 按平面变形计算。

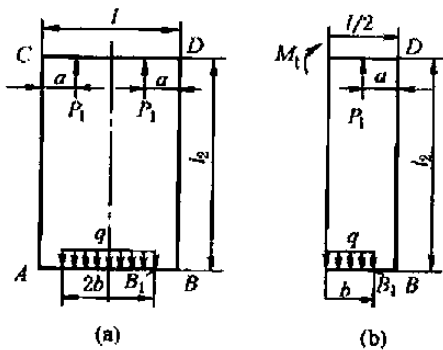


图 19-7-24

经过以上的处理，对于非轧钢机类的机架，其机座底横梁不是悬挂而是固定在地基上的大型机架，如压力机等机架，可以对每个外力分别用直接查第 6 章刚架计算图表来综合其内力情况。轧钢机机架虽有地脚座落于地基，但只考虑承受机器的重量和不平衡的横向倾覆力矩。

3.3.1 计算原理

1) 首先，要根据结构来确定轧制力的位置是在机架的中心线还是偏离中心线。另外，下横梁的反力是按集中载荷还是按均布载荷考虑，如图 19-7-24a 所示，图中可以是 P 或 q ：

$$qb = P = 2P_1 \quad (19-7-14)$$

2) 因为这种静不定结构只有一个多余未知力, 最方便的方法是在中心线处切开, 附加一个未加的截面弯矩 M_1 , 如图 19-7-24b 所示。计算由 P 及 q 力和 M_1 对该切面产生的变形 (平面转动), 令其等于零, 就可求得 M_1 。

转角 D 处的弯矩为:
$$M_2 = M_1 + P_1 a \quad (19-7-15)$$

令转角 θ 顺时针方向为正, 使上梁产生的转角为:
$$\theta_1 = \frac{M_1 l + P_1 a^2}{2EI_1} \quad (19-7-16)$$

使立柱产生的转角为:
$$\theta_2 = \frac{M_2 l_2}{EI_2} \quad (19-7-17)$$

使下梁产生的转角为:
$$\theta_3 = \frac{M_2 \frac{l}{2} - \frac{P_1}{2} \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{qb^3}{6}}{EI_3} \quad (19-7-18)$$

由
$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 0 \quad (19-7-19)$$

可求得 M_2 为:

$$M_2 = \frac{P_1 \left(\frac{al - a^2}{I_1} + \frac{l^2}{4I_3} - \frac{qb^3}{3EI_2} \right)}{\frac{l}{I_c} + \frac{l_2}{I_2}} \quad (19-7-20)$$

其中
$$\frac{1}{I_c} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_3} \quad (19-7-21)$$

式中 I_1, I_3, I_2 ——分别为上、下横梁、立柱的截面惯性矩 (其他参数见图);

E ——弹性模量。

再由式 (19-7-15) 求得:
$$M_1 = M_2 - P_1 a \quad (19-7-22)$$

M_1 为负数, 说明弯矩的方向与图示相反。

3) 若立柱由几段不同的截面组成, 各段高度为 l_1, l_2, l_3, \dots , 其相应的截面惯性矩各为 $I_{21}, I_{22}, I_{23}, \dots$ 则 θ_2 的式 (19-5-17) 中 l_2/I_2 改用 $(l_1/I_{21} + l_2/I_{22} + l_3/I_{23} + \dots)$ 代入即可。

4) 以上是假设转角处刚度很大不发生变形的情况。在这种情况下, 相当于四连杆的刚架, 其计算是有图表可查的。在第 1 篇《常用力学计算公式》的“单跨刚架计算公式”表的后部分可供使用。但单根构件的截面是不变的。

5) 当转角的刚度不是很大, 计算时要考虑其变形时, 即所谓的半刚度框架。转角由几段折线或曲线组成, 如图 19-7-25 所示, 将曲线段划为几段, 计算各段的长度 Δs 及 P 力至截面中心的距离 y , 该段的弯矩为:

$$M_x = M_1 + P_1 y$$

偏角为:
$$\theta_x = \frac{M_x \Delta s}{EI_x} \quad (19-7-23)$$

各段综合起来加于式 (19-7-19) 中, 即可求得 M_1 。当然上面其他几个公式中的长度也要相应改动。

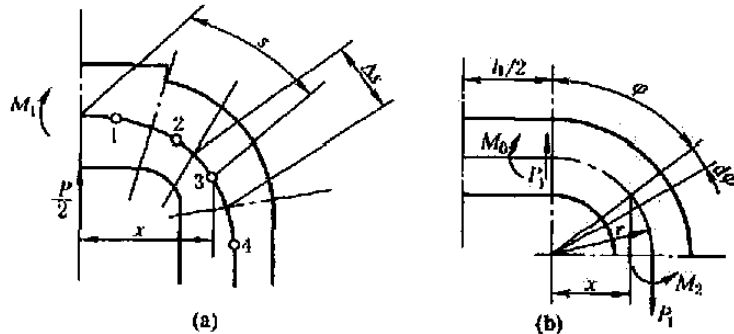


图 19-7-25

6) 对于特殊情况, 如转角为四分之一圆弧, 则如图 19-7-25b, 令圆角处的弯矩为 M_0 :

$\Delta s = r d\varphi$, $x = r \sin\varphi$, $M_x = M_0 + P x$ 代入式 (19-7-21), 积分得该段圆弧的偏角:

$$\theta_x = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(M_0 + P_1 r \sin\varphi) r d\varphi}{EI_x} = \frac{r\pi M_0 + 2r^2 P_1}{2EI_x} \quad (19-7-24)$$

下横梁的偏角按相同方法处理。同样把这些公式加于式(19-7-19)中,即可求得 M_1 。这里, M_0 为曲线起点处的弯矩:见图19-7-25b。

$$M_2 = M_0 + P_1 r \quad (19-7-25)$$

式中 r ——断面中心曲率半径。

7) 这里没有计及立柱受到的水平方向的外力,该力虽由机架支座承受,但其与支座反力将组成力矩同样作用在机架上,有必要时是应加入计算的。因为计算原理是相同的,只不过在转角公式中增加一项或几项,不再赘叙。

3.3.2 计算结果举例

为了简化计算,作如下假设。

① 每片机架(牌坊)只在上横梁的中间断面处受有垂直力 P ,或对称作用有 P_1 ,且此两力大小相等,机架的外载是平衡的。这时机架没有倾翻力矩,机架脚不受力。

② 严格地说,由于轧制速度的变化和咬入时的冲击引起的惯性力,或在张力轧制时,轧制力的方向都不是垂直的。不过水平分力的数值一般都比较小(约为垂直分力的3%~4%),因而可以忽略不计;只有当水平分力较大时,才应考虑水平分力的影响。

③ 上、下横梁和立柱的交界处(拐角处)是刚性的(一般机架拐角处的刚性都是比较的),即机架变形后,拐角仍保持不变。

根据上述假设条件,可将每片牌坊看成一个外载和几何尺寸都是相对垂直中心线对称的由中性轴线组成的弹性框架。

(1) 直角形框架(图19-7-26)

将 $P_1 = P/2$, $a = l_1/2$, $q = 0$ 代入式(19-7-20),得:

$$M_2 = \frac{Pl_1}{8 \left(1 + \frac{2l_2 I_c}{l_1 I_2} \right)} \quad (19-7-26)$$

$$M_1 = M_2 - Pl_1/4 \quad (19-7-27)$$

式中, I_c 见式(19-7-21)。

(2) 小圆角形框架(图19-7-27)(注意尺寸标注)

将 $P_1 = P/2$, $a = l_1/2$, $b = 0$ 代入式(19-7-16)~式(19-7-18),及利用式(19-7-25)的关系式, $M_0 = M_2 - P_1 r$ 再运用式(19-7-24)两次,加到式(19-7-19)中,得:

$$M_2 = P \frac{\frac{1}{16} \left(\frac{l_1^2}{I_1} + \frac{l_3^2}{I_3} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{l_1 r_1}{I_1} + \frac{l_3 r_3}{I_3} \right) + \frac{\pi - 2}{4} \left(\frac{r_1^2}{I_1} + \frac{r_3^2}{I_3} \right)}{\frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_3}{I_3} \right) + \frac{\pi}{2} \left(\frac{r_1}{I_1} + \frac{r_3}{I_3} \right) + \frac{l_2}{I_2}} \quad (19-7-28)$$

对于很小的圆弧,可各用 I_1' 或 I_3' 代替上式的 I_1 或 I_3 (见注)。

(3) 圆弧形框架(图19-7-28)

设 I_1 、 I_3 不等,令 $l_1 = l_3 = 0$ 代入上式,得:

$$M_2 = \frac{Pr \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right)}{\pi + \frac{2I_2 I_c}{I_2}} \quad (19-7-29)$$

① 严格地说来,曲线段截面中心的曲率半径 $r \leq 4h$ (h —截面高度)时,截面惯性矩 I_c 应该用 I_c' 来代替:

$$I_c' = \int \frac{r}{r+y} y^2 dF$$

式中 F ——截面面积。

但这种计算方法较麻烦,计算应力时用系数处理。

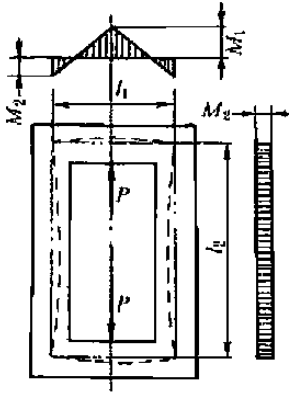


图 19-7-26 直角形框架

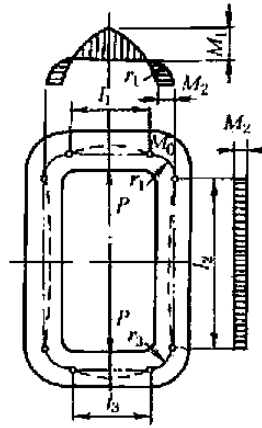


图 19-7-27 小圆角形框架

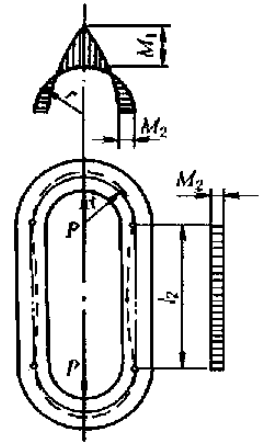


图 19-7-28 圆弧形框架

3.3.3 机架内的应力与许用应力

(1) 内应力

上面已解出了唯一的未知数，构件内任意点的弯矩 \$M\$ 和正压（拉）力 \$N\$ 及剪力 \$Q\$ 都可以求得。对每一个构件所受最大的力各令其为 \$M\$、\$N\$、\$Q\$。

1) 按常规计算，直杆内的应力为：
$$\sigma = \frac{M}{W} \pm \frac{N}{F} \quad (19-7-30)$$

式中 \$W\$——相应截面的截面系数；

\$F\$——该截面面积。

2) 曲线段内的应力（如图 19-7-29 所示）：

① 曲线段截面中心的曲率半径 \$r > 4h\$ (\$h\$—截面高度) 时按直杆计算；

② 曲线段截面中心的曲率半径 \$r \leq 4h\$ 时：

对任意形状的横截面：
$$\sigma = \frac{M}{Z} \pm \frac{N}{F} \quad (19-7-31a)$$

式中， $\frac{1}{Z} = \frac{1}{rF} + \frac{y_1}{I} \times \frac{r}{r+y_1}$ 。

或（较方便）
$$\sigma = \frac{My_1}{SR_1} \pm \frac{N}{F} = \frac{My_1}{Fy_0R_1} \pm \frac{N}{F} \quad (19-7-31b)$$

式中 \$r\$——断面中心的原始弯曲半径；

\$R_1\$——截面最外层的原始曲率半径，\$R_1 = r_0 + y_1\$；

\$r_0\$——截面惯性中心的原始曲率半径；

\$F\$——截面面积；

\$Z\$——曲梁修正的抗弯截面系数；

\$y_1\$——截面最外层至截面惯性中心的距离；

\$S\$——面积中性轴以上部分对面积中性轴的静面矩；

\$y_0\$——面积中性轴与截面惯性中心的距离。

曲杆外侧和内侧的应力不同，上面公式用不同的 \$y_1\$ (\$y_1\$ 在内侧为负号) 和 \$R_1\$ 代入即可。

③ 对圆形及圆形类（例椭圆）截面、矩形截面亦可按下式计算：

$$\sigma = k_1 \frac{M_1}{W} \pm \frac{N}{F} \quad (19-7-32)$$

式中 \$W\$——截面系数，内侧与外侧可能是不同的；

\$k_1\$——校正系数，对于曲杆外侧约为 0.8~0.9；对内侧约为 1.1~1.3。详细可查阅第 1 卷“材料力学的基本公式”。

注意：这里关键的问题是求 \$I\$ 或 \$r_0\$，要用级数展开积分求任一的近似值。再用下列关系式求另一个：

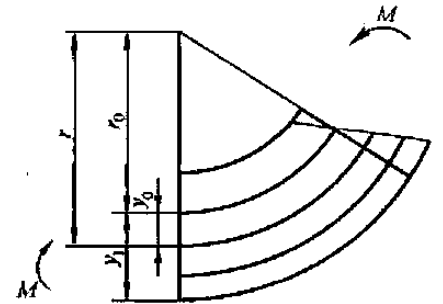


图 19-7-29

$$y_0 = r - r_0 = \frac{l'r}{l' + r^2 F^\circ}$$

已求得的几种截面的 r_0 如下:

$$\text{圆形截面: } r_0 = \frac{d^2}{4(2R_0 - \sqrt{4R_0^2 - d^2})}$$

$$\text{矩形截面: } r_0 = \frac{h}{\ln \frac{R_1}{R_2}}$$

$$\text{梯形截面: } r_0 = \frac{h \frac{a_1 + a_2}{2}}{\left(a_1 + R_1 \frac{a_2 - a_1}{h} \right) \ln \frac{R_1}{R_2} - (a_2 - a_1)}$$

式中 h ——截面高度;

a_2 ——梯形底长, 底边较长一般弯曲是在内侧;

a_1 ——梯形顶长;

d ——圆形截面直径;

R_0 ——圆形截面中心原始弯曲半径;

R_1 ——外侧原始弯曲半径;

R_2 ——内侧原始弯曲半径。

3) 剪应力

曲杆内的剪应力最大在截面中心处:

$$\tau = k_0 \frac{Q}{F} \quad (19-7-33)$$

式中 k_0 ——最大剪应力修正系数, 对于圆形及圆形类(例椭圆)截面, $k_0 = 1.33$; 对矩形截面, $k_0 = 1.5$; 对轧制工字钢, 一般约为 $k_0 = 1.17$ (面积 F 只算高度乘腹板宽度);

Q ——截面的剪切力;

F ——截面积。

通常情况下剪应力不必验算。只验算要求有高强度的组合梁的腹板和支座处的受力状态。

(2) 许用应力

说明: 无论如何设定, 计算与实际状况都是有偏差的, 即使采用有限元法来计算也避免不了这种情况。并且, 对于轧钢机来说, 关键的问题是变形量必须很小才能保证轧制的精度。因此许用应力推荐较小的数值, 当材料为 ZG270-500 时, 在一般情况下:

对大型轧钢机机架, 横梁 $[\sigma] = 30 \sim 50 \text{MPa}$, 立柱 $[\sigma] = 20 \sim 30 \text{MPa}$;

对小型轧钢机机架, 横梁 $[\sigma] = 50 \sim 70 \text{MPa}$, 立柱 $[\sigma] = 30 \sim 40 \text{MPa}$ 。

3.3.4 闭口式机架的变形(延伸)计算

1) 因构件内任意点的弯矩和正压(拉)力及剪力都已求得, 各构件的变形可按梁的材料力学计算表查得后累加起来求得。

我们关心的是机架在 P_1 作用点的垂直方向的变形 f 。它由三部分组成, 即立柱变形、上横梁变形和下横梁变形。而上、下横梁变形又由弯曲力矩及垂直力作用所引起的变形与由剪切力作用所引起的变形两部分所组成。故机架在垂直方向的总变形为:

$$f = f_2 + f_1 + f_1' + f_3 + f_3' \quad (19-7-34)$$

式中 f_2 ——在立柱上由于垂直力的作用所引起的变形;

f_1 (f_3)——在上(或下)横梁上由于弯曲力矩及垂直力的作用所引起的变形;

f_1' (f_3')——在上(或下)横梁上由于剪切力的作用所引起的变形。

例如, 图 19-7-24 所示的机架, 立柱的伸长为:

$$f_2 = \frac{P_1 l_2}{EF} \quad (19-7-35)$$

上横梁 P_1 处变形以图示 D 点为固定点,

$$f_1 = \frac{M_1 a^2}{2EI_1} + \frac{P_1 a^3}{3EI_1} \quad (19-7-36)$$

$$f_1' = \frac{kP_1 a}{GF_1} \quad (19-7-37)$$

式中 G ——切变模量;

k ——影响剪切的断面形状系数, 对矩形 $k=1.2$ 。

下横梁应以计算均布载荷终端 B_1 点 (见图 19-7-24) 的变形为准, 以中心线 OO_1 为固定线, 悬臂梁 B_1 点的挠度为:

$$f_3 = -\frac{M_2 \left(\frac{l_1}{2} - b\right)^2}{2EI_3} + \frac{P_1 l_1^3}{24} \left(1 + \frac{6b}{l_1} - \frac{2b^2}{l_1^2}\right) - \frac{qb^4}{8EI_3} \quad (19-7-38)$$

$$f_3' = \frac{kP_1 \left(\frac{l_1}{2} - b\right)}{GF_3} \quad (19-7-39)$$

说明: f_3' 中未计算 b 段的剪力变形, 因为假设下梁该部分是贴于机座的, 并且 b 段的压力变化是很复杂的, 既然已经按均布受力计算是个概略的数值, 而剪力变形本来就又比弯曲变形小很多, 所以就没有必要再计算了。

2) 对于图 19-7-26, 令 $P_1 = P/2$, $a = l_1/2$, $b = 0$ 代入上面的式子即可。

3) 对于圆弧段, 如图 19-7-27, 则增加 M_0 处端面相对于 M_2 处端面的变形。可用虚位移法求得如下式:

$$f_i = \frac{\pi Pr^3}{8EI_r} + \frac{M_0 r^2}{EI_r} + \frac{3\pi Pr}{EF_r} + \frac{M_0}{EF_r} + \frac{k\pi Pr}{8GF_r} \quad (19-7-40)$$

最后一项为剪切产生的延伸。对于下横梁的圆弧, 用不同的参数代入即可。

4) 对于图 19-7-28, 不计算上、下横梁, 只计算圆弧和立柱就可以了。

说明: ① 忽略了水平力对机架垂直方向变形的作用。

② 对于非圆弧的转角必须计算时, 用分段积分累加求得。

3.4 开式机架的计算

如图 19-7-23 的机架只要外力确定后, 就可以像对简支梁一样来进行计算, 不必叙述。

如图 19-7-30 的二辊开式机架, 在轧制过程中, 设轧辊上受有垂直力 P , 当力 P 作用在下横梁时, 机架立柱的上部显然会向机架窗口的内侧变形, 通常机盖带有外止口, 立柱的上端带有内止口, 所以机盖将不阻碍立柱向内变形。当立柱向机架内侧弯折变形后, 将夹紧上辊轴承座 (轴承座与机架窗口间一般采用转动配合)。如图 19-7-30 所示, 作用在下横梁中的弯曲力矩为:

$$M_1 = \frac{Px}{2} - Tc \quad (19-7-41)$$

其最大弯曲力矩将发生在下横梁的中间, 即当 $x = \frac{l_1}{2}$ 时。

机架立柱将同时在拉伸及弯曲下工作, 立柱中的弯曲力矩为:

$$M_2 = T(c - y) \quad (19-7-42)$$

关键的问题是推求 T ;

立柱向内弯曲时, 由于轴承座和机架立柱间有间隙 Δ , 当立柱受到力 P 的作用时, 如果变形量 $2f \leq \Delta$, 就不可能产生 T 力; 这时的计算和前面的相同。只有当 $2f > \Delta$ 时才有如下的计算。

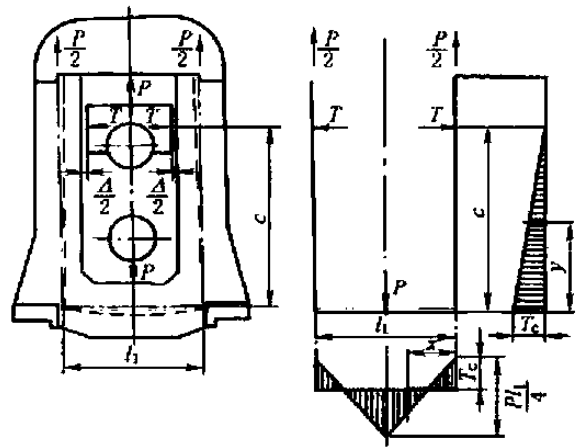


图 19-7-30 作用在二辊开式机架上的力及弯矩

计算 P 力作用时立柱在 T 力作用点处的自由水平挠度, 由下横梁端的转角形成, 每侧

$$f = c \times \theta = \frac{cPl_1^2}{16EI_1}$$

$2f = \Delta$ 时, 每侧位移仍为 f , 设此时的垂直力为 P_0 :

$$P_0 = \frac{8EI_1\Delta}{l_1^2 c} \quad (19-7-43)$$

式中 c —— T 力作用点高度, 见图 19-7-30;

I_1 ——下横梁的截面惯性矩;

I_2 ——立柱的截面惯性矩。

以后 P_0 增加到 P , 增量为 $P - P_0$, 而立柱对轴承座的压力由 0 增加到 T , 但 T 处的变形量不变, 即在两力的增量下变形为 0, 因此由挠度计算公式 (最后一项为两边 T 力使下横梁偏转而可能产生的位移):

$$f = 0 = \frac{1}{EI_1} \left[\frac{(P - P_0)cl_1^2}{16} \right] - \frac{Tc^3}{3EI_2} - \frac{Tc^2l_1}{6EI_1}$$

可求得:

$$T = \frac{3}{8}(P - P_0) \frac{l_1}{c} \times \frac{1}{1 + \frac{2cl_1}{l_1I_2}} \quad (19-7-44)$$

其他就都可以计算了。内力分布如图 19-7-30 中所示。

4 桅杆缆绳结构

对于用纤绳的桅杆结构, 其计算方法和压杆的基本区别是要考虑到如下一些因素。

1) 桅杆杆身按纤绳节点处有弹性支承的连续压弯杆件计算, 并应考虑纤绳在杆身节点处的偏心弯矩和杆身刚度的折减系数 ψ 。

$$\psi = \frac{l}{i \lambda_0} \quad (19-7-45)$$

式中 l ——杆身支座间的几何长度;

i ——杆身截面的回转半径;

λ_0 ——杆身支座间的换算长细比。

2) 纤绳按一端连接于杆身的抛物线计算。

活动的纤绳, 如起重机、卷扬机中的钢丝绳应按有关规定进行选择计算。

对于固定的纤绳, 在最大静拉力作用下, 其强度安全系数一般不得小于 2.5 (有时可不小于 2.1)。采用 1×7 型钢丝绳时其安全系数不得小于 2.0。这里采用钢丝绳的破断拉力为钢丝总破断拉力与调整系数 φ_1 的乘积。按钢丝绳型式不同, φ_1 约为 0.8 ~ 0.86。即

$$N \leq \varphi_1 \sigma_1 A / n \quad (19-7-46)$$

式中 N ——纤绳最大静拉力, N;

σ_1 ——钢丝的破断强度, N/mm^2 ;

A ——钢丝绳钢丝的总截面积, mm^2 ;

n ——安全系数;

φ_1 ——钢丝缠绕成钢丝绳后总强度的调整系数, 约为 0.8 ~ 0.86, 随钢丝绳断面构造不同而变。

钢丝绳的初拉力宜在 $0.10 \sim 0.25 kN/mm^2$ 范围内选用。

3) 固定钢丝绳端锚固的安全系数不小于 2。

5 柔性机架

5.1 钢丝绳机架

5.1.1 概述

这种机架与前面所述的各种机架最大的区别是非刚性的，而是柔性的。利用钢丝绳的张紧作为机架来承受机件的运转和载荷。由于机架是柔性的，其上安置的零部件所受到的动载荷明显降低，因而大大延长了这些构件的使用寿命。目前，在国外地下矿山和露天矿山中，采用带钢丝绳机架和铰接悬挂的挠性或刚性托辊组的带式输送机已广泛地得到应用。美国的煤矿有90%的工作面和平巷输送机装有钢丝绳机架和铰接悬挂托辊组。英国新建的煤矿井下运煤的带式输送机均使用钢丝绳机架。波兰制造的带有三节铰接式悬挂托辊组和钢丝绳机架的输送机，带宽为1400mm、1600mm和2250mm，带速为3.22~5.24m/s，生产率为3950~19000t/h。我国煤矿也已使用钢丝绳机架的带式输送机，有的煤矿直接利用井下的坑道支柱作为支腿，将钢丝绳直接架设于坑木立柱旁，安装极为方便。

钢丝绳机架的带式输送机的优点，除上述的动载荷小、机件使用期限长之外，还有如下三点：这种机架能保证输送机的运行可靠、稳定，在水平式倾斜的运输条件下能做到不撒落物料；最为突出的是这种机架不用调心托辊组，因为它有自动调心对中的作用，甚至物料在输送带上堆积偏心的情况下，输送带也能在运行时对中；另外由于槽形加深和采取更高的带速，使输送机的运量也提高。

这种机架的计算方法尚无规范可查，下面提供的是参考有关资料建议的计算方法。

5.1.2 输送机钢丝绳机架的静力计算^[38]

图19-7-31为悬挂有三个托辊组的钢丝绳机架。计算目的在于：确定输送带正常运行时钢丝绳所需的拉力；根据计算拉力选择钢丝绳；确定钢丝绳的预紧力。根据柔性力学的原理，在受力分析过程中可先不考虑钢丝绳的弹性变形；两点用拉力拉紧的柔线，在垂直载荷作用下，其变形量可看作是简支梁在相同载荷作用下所产生的弯矩除以绳中水平拉力，即

$$y = \frac{\sum M}{H} \quad (19-7-47)$$

式中 H ——绳中水平拉力，N；

y ——绳中任意点的垂度，mm；

$\sum M$ ——绳上载荷按相同跨度的简支梁在该点产生的弯矩，N·mm。

由于钢丝绳机架的钢丝绳跨度都不大，计算时可忽略钢丝绳的重量及因其重力而产生的挠度，设钢丝绳上托辊组的载荷（包括托辊组重量及所运物料总重所产生的重力载荷）为 P （N），钢丝绳内的张力（由于钢丝绳张得紧，通常以水平拉力代替钢丝绳中的拉力）为 H 。则钢丝绳由于静载荷作用而允许产生的挠度与钢丝绳跨度之比为：

$$m = \frac{y_{\max}}{l} \quad (19-7-48)$$

式中 y_{\max} ——钢丝绳允许产生的最大垂度，mm；

l ——钢丝绳两相邻支架的间距，mm。

令 l_0 为托辊间距。通常，绳支架间距为托辊间距的整数倍。

即 $l = nl_0$ ， n 为每跨的托辊组数。一般规定取 $m = 0.01 \sim 0.02$ 。在

固定式的大运量输送机中， m 可以加大到0.04或更大。但此时为保证物料输送面的直线性，各托辊组的悬挂装置应做成可适当调整或有不同悬挂高度。

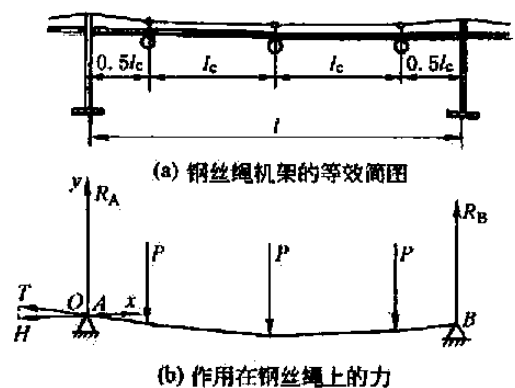


图 19-7-31

5.1.3 钢丝绳的拉力

1) 钢丝绳的拉力由式 (19-7-49) 决定。机架两侧各一根钢丝绳, 每根钢丝绳的拉力为:

$$H = \frac{K_1 P}{8m} \quad (19-7-49)$$

根据表 19-7-16, 选择钢丝绳的拉力系数 K_1 。

表 19-7-16

K_1 的数值

每一绳跨内的托辊组数 n	1	2	3	4	5	6	7	8
K_1 值	1	1	1.7	2	2.6	3	3.6	4

实际选用的钢丝绳拉力 H_1 应较 H 为大, 即

$$H_1 = KH \quad (19-7-50)$$

式中 K ——考虑钢丝绳两侧会水平移近的系数, 目的是使钢丝绳的张力增大。当采用三节托辊组和侧托辊倾角为 20° 时, $K=2$; 侧托辊倾角为 30° 时, $K=1.5$ 。

根据选用的钢丝绳拉力 H_1 选择钢丝绳。所选钢丝绳的破断力应满足如下要求。

$$T \geq nK_g(H_1 + \Delta H) \quad (19-7-51)$$

式中 T ——所选钢丝绳的破断力, N;

n ——钢丝绳的安全系数, 2.5~3.0;

K_g ——考虑温度变化的影响系数; 如在设计中已计算到温度的变化引起钢丝绳张力的变化, 可不再考虑; 此时, 应按钢丝绳两端固定的情况, 计算温度下降影响张力的增大值; 如在设计中未计算温度的变化引起的张力增大, 可取如下系数: 当温度未低于 -10°C 时, $K_g=1$; 当温度为 $-10 \sim -15^\circ\text{C}$ 时, 取 $K_g=1.15$; 当温度下降到 -25°C 时, 取 $K_g=1.2$; 当温度下降到 -40°C 时, 取 $K_g=1.25$;

ΔH ——输送机运转时所产生的水平力; 此力为输送带和物料运动时带动托辊组运动而由托辊组阻力引起的, 在粗略计算中此项可以略去。

2) 对于倾斜的输送机, 上述公式同样可用, 式中水平力 H_1 则代表钢丝绳的张力。

5.1.4 钢丝绳的预张力

在钢丝绳机架安装时, 钢丝绳上是没有载荷的, 钢丝绳的预张紧力 H_0 必须正好保证在载荷作用时能达到 H_1 。用式 (19-7-52) 计算 H_0 。

表 19-7-17

K_2 的数值

跨间托辊组数	1	2	3	4	5	6	7	8
K_2	3	6	11	18	27	38	51	66

$$H_0 = H_1 - K_2 \frac{EF}{96} \times \frac{P^2}{H_1^2} \quad (19-7-52)$$

式中 E ——每根钢丝绳的弹性模量, N/mm^2 ;

F ——每根钢丝绳的截面积, mm^2 ;

K_2 ——计算系数, 按表 19-7-17。

说明: 由于新钢丝绳受拉力后变形很大, 在安装时最好预先要有预伸长, 否则在以后运转过程中要调整张力, 以免松弛。

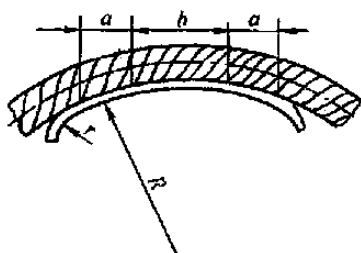


图 19-7-32

5.1.5 钢丝绳鞍座尺寸

支腿上承载钢丝绳的鞍座如图 19-7-32 所示, 建议采取下列尺寸:

$$R_{\min} = (4 \sim 6)d; \alpha_{\min} = (0.2 \sim 0.3)R$$

$$r = 10 \sim 20\text{mm}$$

式中 d ——钢丝绳直径, mm。

5.2 浓密机机座柔性底板 (托盘) 的设计

浓密机机座的底板像个大圆盘, 第1章5.7节曾谈到机座的设计按板结构计算图19-1-33。对一个直径达12m或以上的圆盘, 底板的厚度最少要16mm。除了有许多必需的放射状径向梁外, 还要有一些辅助的梁和肋板。如采用索线的理论来设计计算, 只需要厚度为4mm的钢板来作底板, 且免除了一些辅助的梁和肋板, 大大地节省了材料。

(1) 理论依据

由于浓密机为中心搅拌式, 机器的重量由机座两侧的立架承受, 机器不直接与底板相接触, 底板只承受所盛液体的重量和液体的搅动, 给出了用索线的理论来设计计算的保证。

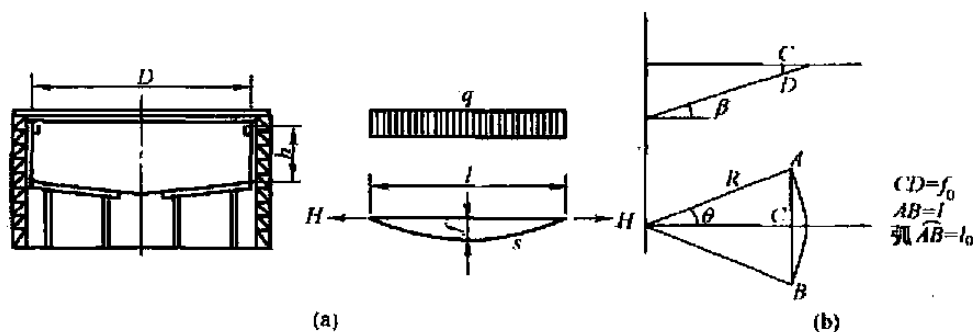


图 19-7-33

设 R ——底板外半径, cm (见图 19-7-33);

n ——放射状径向梁根数;

l_0 ——外径梁中心的弧距, cm;

l ——外径梁中心的弦距, cm;

θ ——两相邻径向梁中心的夹角之半。

则 $\theta = \pi/n$ 得:

$$l = 2R\sin\theta; l_0 = 2R\theta \quad (19-7-53)$$

两者相差不大。取外径径向 1cm 宽一条底板, 展开如图 19-7-33a。如图 19-7-33b 所示, 索线的计算公式为:

$$f = \frac{ql^2}{8H} \quad (19-7-54)$$

式中 f ——索线中点的垂度, 即最大垂度, cm;

q ——底板上的均布载荷, N/cm^2 ;

$$q = h\rho g \times 10^{-5} \quad (19-7-55)$$

h ——底板上液体高度, m;

ρ ——液体的密度, g/cm^3 ;

g ——重力加速度, $g = 980\text{cm}/\text{s}^2$;

H ——板中的周向 1cm 水平拉力, 由于悬线与水平所成的角度很小, 该水平拉力即可以作为板中的拉力, N/cm ;

$$\text{而} \quad H = \sigma_p \delta \quad (19-7-56)$$

σ_p ——钢板的许用应力, N/cm^2 ;

δ ——钢板的实际厚度, cm。

因此, 只要外形与结构布置确定以后, 根据钢板的许用应力 σ_p 的大小, 将上式代入式 (19-7-54) 即可确定钢板的实际厚度 δ 与最大垂度 f 的关系:

$$f = \frac{ql^2}{8\delta\sigma_p} \quad (19-7-57)$$

(2) 钢板垂度的设置

1) 索线的长度 S 为:

$$S = l + \frac{q^2 l^3}{24H^2}$$

因此, 钢板的周向最外面直径处应增长:

$$\Delta S = \frac{q^2 l^3}{24H^2} \quad (19-7-58)$$

式 (19-7-57) 与式 (19-7-58) 中, 随直径的变化 q 的变化不大; 而 l 随直径的变小成正比地减小; f 与 ΔS 就更迅速地减小。

2) 在下面的情况下, 钢板是可以不先设垂度的。

由于钢板周向全部受到 H 的拉力, 其变形量 (增长量) 为:

$$\varepsilon = \frac{Hl}{EA} = \frac{\sigma_p l}{E} \quad (19-7-59)$$

式中 E ——材料的弹性模量, N/cm^2 ;

A ——一小条钢板的截面积; $A = \delta$, cm^2/cm 。

因底呈圆锥状, 在两根梁之间 AB 弦处本来就应该有下垂度 (图 19-7-31b), 按计算为:

$$f_0 = R \tan \beta (1 - \cos \theta) \quad (19-7-60)$$

因此, ①如果由式 (19-7-60) 算得的下垂度大于或等于由式 (19-7-57) 算得的下垂度 (一般来说下垂度 f_0 都很小); 或②如果由式 (19-7-59) 算得的变形量 ε 等于或大于式 (19-7-58) 钢板因下垂度要求的生长量, 则钢板是可以不先设垂度的 (但必须能让搅拌叶片通过)。最好是使 AB 弧也有相等的下垂度 (虽然 AB 弧与 AB 弦是并不相等的, 但因为 AB 弧在最周边, 可强力固定的)。

(3) 举例

例 1 $D=15$ 的浓密机机座, 设了 24 根放射状径向梁, 外圈处液体高 4m, 液体的密度为 $1.3g/cm^3$, 底板的设计如下。

$$l_0 = \frac{1500\pi}{24} = 196.3 \text{ cm}; l = 1500 \sin 7.5^\circ = 195.8 \text{ (cm)}$$

$$q = h\rho g \times 10^{-5} = 400 \times 1.3 \times 980 \times 10^{-5} = 5.1 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

取钢板厚度 6mm, 钢板的实际厚度 $\delta = 0.55 \text{ cm}$ 。取钢板的许用应力 $\sigma_p = 9800 \text{ N/cm}^2$, 则

$$H = 0.55 \times 9800 = 5390 \text{ (N/cm)}$$

$$f = \frac{5.1 \times 196^2}{8 \times 5390} = 4.54 \text{ (cm)}$$

$$\Delta S = \frac{q^2 l^3}{24H^2} = \frac{ql}{3H} f = \frac{5.1 \times 196}{3 \times 5390} 4.54 = 0.28 \text{ (cm)}$$

按变形量计算:

$$\varepsilon = \frac{Hl}{EA} = \frac{\sigma_p l}{E} = \frac{9800}{2.1 \times 10^7} 196 = 0.093 \text{ (cm)}$$

圆锥的下垂度为

$$f = 750 \tan 10^\circ (1 - \cos \pi/24) = 1.13 \text{ (cm)}$$

$\varepsilon < \Delta S$, 因此设计时外径处预先设置钢板的下垂度 4.5cm (即比形成圆锥还要大 31mm 的下垂度)。此时, 钢板的长度仅增加 0.28cm。在直径为 $1/2$ 的位置, 只要设置钢板下垂度 $4.5 \times 0.5^2 = 1.1 \text{ cm}$ 。

说明: 本设计是保守的设计。实际上, 可以采用厚度为 4mm 的钢板, 其实际厚度 $\delta = 0.37 \text{ cm}$ 。此时, $f = 4.54 \times 5.5/3.7 = 6.75 \text{ cm}$; $\Delta S = 0.28 \times (5.5/3.7)^2 = 0.62 \text{ cm}$ 。底钢板厚度为 4mm 的及底钢板厚度为 6mm 的储槽都已在工程中应用。

例 2 $D=12 \text{ m}$, $h=1.7 \text{ m}$, 16 根放射状径向梁, 液体的密度为 $1.3g/cm^3$ 。取钢板厚度 4mm, 钢板的实际厚度 $\delta = 0.37 \text{ cm}$, 取钢板的许用应力 $\sigma_p = 12700 \text{ N/cm}^2$, 求得:

$$H = 0.37 \times 12700 = 4700 \text{ (N/cm)}$$

$$l_0 = \frac{1200\pi}{16} = 235.6 \text{ (cm)}; l = 1200 \sin 11.25^\circ = 234.1 \text{ (cm)}$$

$$q = h\rho g \times 10^{-5} = 170 \times 1.3 \times 980 \times 10^{-5} = 2.17 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

$$\text{由式 (19-7-57), } f = \frac{2.17 \times 235^2}{8 \times 4700} = 3.18 \text{ (cm)}$$

$$\text{由式 (19-7-60), } f_0 = 600 \times \tan 10^\circ (1 - \cos 180^\circ/16) = 2.0 \text{ (cm)}$$

$$\Delta S = \frac{ql}{3H} f = \frac{2.17 \times 235}{3 \times 4700} \times 3.18 = 0.115 \text{ (cm)}$$

而按变形量计算

$$\varepsilon = \frac{\sigma_p}{E} l = 0.142 (\text{cm})$$

变形量 $\varepsilon > \Delta S$ (或 $f > f_0$) 已可弥补钢板的垂度, 设计时外径处不必预先设置钢板的垂度。本设计也已在工程中的应用。

(4) 注意事项

① 钢板的径向焊缝最好布置在梁上, 并且必须有足够的强度。如径向焊缝布置在梁与梁之间, 则要计算焊缝的强度降低系数。

② 底板外径处与侧板的连接要有适当的强度, 特别是在不预先设置钢板垂度的情况下。一般来说, 有一定的加固就可以了。

参 考 文 献

- 1 牟在根主编, 孙仁范, 崔正秀副主编. 《简明钢结构设计与计算》. 北京: 人民交通出版社, 2005
- 2 关文达主编. 汽车构造. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2004
- 3 师昌绪, 李恒德. 材料科学与工程手册(上卷), 第6篇, 金属材料篇. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 4 李廉垠. 结构力学. 北京: 高等教育出版社, 1983
- 5 清华大学建筑工程系. 结构力学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1974
- 6 罗邦高等. 钢结构设计手册. 第3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- 7 刘济庆, 王崇宇. 结构力学. 北京: 国防工业出版社, 1985
- 8 黄小清, 曾庆教主编. 《工程结构力学 I》. 北京: 高等教育出版社, 2001
- 9 M. M. 费洛宁柯. 材料力学. 陶学文译. 北京: 高等教育出版社, 1956
- 10 《机械工程手册》编委会. 机械工程手册. 第1版. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 11 《机械工程手册》编委会. 机械工程手册. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 12 吴宗泽主编. 机械丛书, 机构结构设计. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 13 管彤贤主编. 起重机典型结构图册. 北京: 人民交通出版社, 1990
- 14 M. 舍费尔等. 起重运输机械设计基础. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 15 巴拉特等. 缆索起重机. 杨福新, 蔡学熙译. 北京: 机械工业出版社, 1959
- 16 张毓. 带式输送机的原理和应用. 贵阳: 贵州出版社, 1980
- 17 周振喜, 曲昭嘉. 管道支架设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- 18 吴森, 黄民. 机械系统的载荷识别方法与应用. 北京: 中国矿业大学出版社, 1995
- 19 袁文伯主编. 工程力学手册. 北京: 煤炭工业出版社, 1988
- 20 蔡学熙. 皮带转载机悬臂桁架的挠度计算. 矿山机械, 1979, (4)
- 21 蔡学熙. 差分方程法推求起重机空腹桁架的挠度公式. 物料搬运学会起重机金属结构专题学术报告会, 1982
- 22 叶瑞汶. 机床大件焊接结构设计. 北京: 机械工业出版社, 1986
- 23 黄东胜等. 现代工程机械系列丛书, 现代挖掘机械. 长沙: 理工大学出版社, 2003
- 24 《建筑结构静力计算手册》编写组. 建筑结构静力计算手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 25 蔡学熙. 绳轮内力分析. 起重运输机械, 1975, (1)
- 26 蔡学熙. 对“绳轮内力分析”一文的说明. 起重运输机械, 1977, (4)
- 27 邹家祥主编. 高等学校教学用书, 轧钢机械. 第3版. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- 28 刘宝珩. 轧钢机械设备. 北京: 冶金工业出版社, 1984
- 29 钟廷珍. 短应力线轧机的理论与实践. 第2版. 北京: 冶金工业出版社, 1999
- 30 施东成. 轧钢机械理论与结构设计. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- 31 马鞍山钢铁设计院等. 中小型轧钢机械设计与计算. 北京: 冶金工业出版社, 1979
- 32 廖效果, 朱启速. 数字控制机床. 第7版. 广州: 华中理工大学出版社, 1999
- 33 王爱玲主编. 现代数控机床结构与设计. 北京: 兵器工业出版社, 1999
- 34 恭积球等. 机车强度计算(下), 车体车架部分. 北京: 中国铁道出版社, 1990
- 35 蔡学熙主编. 现代机械设计方法实用手册. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 36 刘敏杰等. 车载武器发射底架的结构特性分析. 机械科学与技术, 2000, 19 (1)
- 37 蔡学熙. 钢绳机架的设计计算的理论依据. 化工矿山技术, 1994, (3)
- 38 蔡学熙. 索线理论用于浓密机机座底板的设计. 化工矿物与加工, 2003, (2)
- 39 GB 150—1994 钢制压力容器(2004年审认)
- 40 GB 50017 钢结构设计规范
- 41 GB 50205—2001 钢结构工程施工质量验收规范
- 42 GB 50009—2001 建筑结构荷载规范
- 43 GB/T 3811—1983 起重机设计规范(2004年审认)
- 44 GB/T 17116.1—1997 ~ GB/T 17116.3—1997 管道支吊架
- 45 GB/T 3668.2—1983 组合机床通用部件 支架尺寸(2004年确认有效)
- 46 CBJ 11—2001 建筑抗震设计规范

- 47 GBJ 135—1990 高耸结构设计规范
- 48 GY 5001—2004 钢塔桅结构设计规范
- 49 JB 4710—2004 钢制塔式容器
- 50 HG/T 21629—1999 管架标准图
- 51 HG/T 22812—1998 化工矿山非标准设备设计规范
- 52 PCauto. 汽车造型设计简介. 车架篇. 汽车制造业, 2003, (8)
- 53 《汽车制造业》杂志社编. 轻型的 NSB 车架. 汽车制造业, 2004, (9)



第 20 篇 塑料制品与塑料注射成型 模具设计

主要撰稿 付宏生 张海臣

审 稿 詹茂盛 张海臣

HANDBOOK

第1章 塑料制品设计

塑料是以树脂为主要成分,添加一定数量和一定类型的助剂、填料和增强材料,在一定温度、压力下加工塑制成型材料或制品。塑料原料易得,制造方便,成本低廉,品种繁多,可以构成极其广泛的性能谱系,应用极其广泛,当今已发展成为继钢铁、木材、水泥之后的第四大工业基础材料。

随着塑料的生产及应用的不断扩大,塑料成型工艺得到逐步发展,相继产生了浇注成型、压缩成型、粉末成型、层压成型、压注成型、挤压成型、注射成型、压延成型、吹塑成型、发泡成型、热成型、气辅成型等成型加工方法。与此相配套的成型设备和模具也得到迅速发展,塑料成型设备生产能力、质量和水平都有较大程度提高,例如出现了万克以上的大型注射机、小型精密注射机、数控热固性塑料注射机、地膜机组、计算机群控注射机等。在模具设计及制造上已经采用了CAD/CAM/CAE等先进技术。

1 塑料制品材料选择

1.1 塑料的一般特性

塑料的品种很多,性能迥异,但与其他材料比较起来具有其共同的特性(见表20-1-1)。

表 20-1-1 塑料的一般特性

序号	塑料的一般特性	特性的说明
1	质轻	塑料一般都比较轻,各种泡沫塑料的相对密度在0.01~0.05之间,普通塑料的相对密度一般在0.9~2.3之间。在要求减轻自重的用途中,塑料材料有着特殊重要的意义
2	优异的电绝缘性能	在电性能方面,塑料包含着极其宽广的指标范围。塑料的介电常数常常小到2左右,体积电阻率高达 $10^{16} \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$,介电损耗低到 10^{-4} 。总之,大多数塑料具有良好的电绝缘性,一些塑料在高频、高压条件下也能作为电气绝缘材料和电容器介质材料
3	耐化学腐蚀性好	塑料的特点之一是耐化学腐蚀性优于金属和木材,它们一般有较好的化学稳定性,对酸、碱、盐溶液、蒸汽、水、有机溶剂等具有不同程度的稳定性。因此,塑料广泛地用作防腐材料。其中,聚四氟乙烯耐蚀性最好,被称为“塑料王”,能耐“王水”等极强的腐蚀性介质的腐蚀
4	减振、消声作用强	许多塑料由于柔软而富于黏弹性,当它受到外界的机械冲击震动或频繁的机振、声振等机械波作用时,塑料内部产生黏弹内耗,将机械能转变为热能而散发。如泡沫塑料可用来作隔声材料和减振材料
5	隔热性能好	塑料的热导率极小,比金属小上百倍甚至上千倍,是热的不良导体或绝热体,因而常被用作绝热保温材料。泡沫塑料的热导率与静止的空气相当。因此,聚苯乙烯、聚氨酯等泡沫塑料广泛应用于冷藏、建筑、节能装置和其他绝热工程
6	力学强度范围宽	塑料的力学强度范围宽广,从柔顺到坚韧甚至到刚、脆都有。大多数塑料的模塑制品的刚度与木材相近。塑料的比强度接近或超过传统的金属材料的比强度。因此,普通塑料特别适用于受力不大的结构件
7	耐磨性能好	大多数塑料摩擦因数很小,有些塑料还具有优良的减摩、耐磨和自润滑特性。许多工程塑料制品的摩擦零件可以在各种条件下有效地工作。有些塑料的耐磨性为许多金属材料所不及,如各种氟以及用氟塑料增强的聚甲醛、聚酰胺塑料就是良好的耐磨材料
8	透光性及其防护性能良好	许多塑料制品可以制成透明或半透明材料。像聚苯乙烯和丙烯酸类塑料和玻璃一样透明,常被用作玻璃的替代品。聚丙烯、聚乙烯等材料大量用于既保暖又透光的农用薄膜

尽管塑料材料有很多优点,但它同时也存在很多缺点。例如,耐热性差,温度升高后强度很快下降,有些还会在温度升高和燃烧时释放出具有毒性、刺激性或腐蚀性的气体;导热性较差;受热时线胀系数较大;容易变形,热塑性塑料在载荷作用下发生蠕变;在日光、大气、热等的作用下会发生老化;有些塑料品种机械强度低等。然而,可以通过各种手段对塑料进行改性,增强和改善其性能,以满足各种需要。

1.2 塑料分类

表 20-1-2

塑料分类

序号	分类方法	分 类	说 明
1	按塑料的组成	单组分塑料 多组分塑料	单组分塑料除加入大量树脂外,还加入少量的辅助材料,如着色剂、润滑剂、抗氧剂等。属于这种塑料的有未加填料的聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等。也有的塑料除树脂外完全不加任何添加剂,如聚四氟乙烯塑料等 多组分塑料则以树脂、填料、增塑剂等为主要成分,如酚醛塑料、软质聚氯乙烯塑料等
2	按塑料材料受热后的性能表现	热塑性塑料 热固性塑料	热塑性塑料是指能反复加热软化和反复冷却硬化的塑料,如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯等。热固性塑料则是经加热或其他方法固化时,能变成基本不溶、不熔产物的塑料,如酚醛塑料、脲醛塑料等
3	按用途	通用塑料 工程塑料 特种塑料	通用塑料一般指产量大、用途广、成型好、价廉的塑料,如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、酚醛等塑料 工程塑料指凡是可以作为工程材料的塑料或者说凡是可以作为结构材料的塑料,并有良好力学性能和尺寸稳定性及在高、低温下仍具有优良性能的塑料,如聚酰胺、聚砜、聚碳酸酯等 特种塑料是指具有特种功能(如耐热、自润滑),可满足特殊要求的塑料,如氟塑料、有机硅塑料等

1.3 热塑性塑料的性能与应用

热塑性塑料一般为线型聚合物,可反复受热软化、熔融和冷却硬化,在软化、熔融状态下可进行各种成型加工,熔体冷却至软化点以下能保持一定的形状而成为制品。由于热塑性塑料在成型加工过程中几乎没有化学反应,因而能反复成型加工。

表 20-1-3

热塑性塑料的性能与应用

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)	<ol style="list-style-type: none"> 力学性能和热性能均好,硬度高,表面易镀金属 耐疲劳和抗应力开裂、冲击强度高 耐酸、碱等化学性腐蚀 价格较低 加工成型、修饰容易 	<ol style="list-style-type: none"> 耐候性差 耐热性不够理想 	一般结构零件	机器盖、罩,仪表壳、手电钻壳、风扇叶轮,收音机、电话和电视机等的壳体,部分电器零件、汽车零件、机械及常规武器的零部件
聚苯乙烯(PS)	<ol style="list-style-type: none"> 透明 刚硬 易于成型 成本低 	<ol style="list-style-type: none"> 易破裂 易刮伤 在紫外线下易老化 	一般结构零件	电器及指示灯罩、盖、手柄,建筑装饰品,日用品
有机玻璃(PMMA)	<ol style="list-style-type: none"> 光学性极好 耐候性好;能耐紫外线和耐日光老化 	<ol style="list-style-type: none"> 比无机玻璃易划伤 不耐有机溶剂 	一般结构零件	仪表透明外罩,大型透明屋顶、墙板、灯罩,汽车、机器及建筑物安全玻璃,航空、航海装饰材料等

续表

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
聚 4-甲基戊烯-1 (TPX)	1. 密度很小 2. 可在 146℃ 下长期使用	1. 抗拉强度低 2. 耐候性差	一般结构零件	用于仪表罩壳、部分零件及电器零件等
高密度聚乙烯 (HDPE)	1. 密度小, 在 -70℃ 下保持软质 2. 耐酸、碱及有机溶剂 3. 介电性能很好 4. 成本低, 成型加工方便	1. 胶结和印刷困难 2. 自熄性差	一般结构零件	机器罩、盖、手柄, 机床低速导轨、滑道、工具箱, 日用品及周转箱
聚丙烯 (PP)	1. 刚硬有韧性。抗弯强度高, 抗疲劳、抗应力开裂 2. 质轻 3. 在高温下仍保持其力学性能	1. 在 0℃ 以下易变脆 2. 耐候性差	一般结构零件	化工容器、管道、片材, 泵叶轮、法兰、接头, 绳索、打包带, 纺织器材, 电器零件, 汽车配件
聚丁烯 (PB)	1. 密度小 2. 可在 105℃ 下长期使用 3. 抗冲击强度高 4. 耐化学腐蚀性好	1. 耐候性差 2. 自熄性差	一般结构零件	化工管道、化工散热器衬里、接头、容器、仪器仪表壳等
尼龙 6 (PA6)	1. 具有高强度和良好的冲击强度 2. 耐蠕变性好和疲劳强度高 3. 耐石油、润滑油和许多化学溶剂与试剂 4. 耐磨性优良	1. 吸水性大, 饱和吸水率在 11% 左右, 影响尺寸稳定, 并使一些力学性能下降 2. 在干燥环境下冲击强度降低	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	各种轴套、轴承、密封圈、垫片、联轴器、管道等
尼龙 66 (PA66)	1. 强度高于一切聚酰胺品种 2. 比尼龙 6 和尼龙 610 的屈服强度大, 刚硬 3. 在较宽的温度范围内仍有较高的强度、韧性、刚性和低摩擦因数 4. 耐油和许多化学试剂与溶剂 5. 耐磨性好	1. 吸湿性高 2. 在干燥环境下冲击强度降低 3. 成型加工工艺不易控制	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	各种齿轮、凸轮、蜗轮、轴套、轴瓦等耐磨零件
尼龙 610 (PA610)	1. 力学性能介于尼龙 6 和尼龙 66 之间 2. 吸水性较小, 尺寸稳定 3. 比尼龙 66 稍硬且韧	抗拉强度及伸长率比尼龙 6 低	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	齿轮、轴套、机器零部件等
尼龙 1010 (PA1010)	1. 半透明, 韧而硬 2. 吸水性比尼龙 6 和尼龙 66 小 3. 力学性能与尼龙 6 相似 4. 耐磨性好 5. 耐油类性能突出	1. 完全干燥条件下变脆 2. 受气候影响强度下降	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	泵叶轮、齿轮、保持架、凸轮、蜗轮、轴套等 机械零件, 汽车、拖拉机零件等
MC 尼龙	1. 吸水性小, 尺寸稳定 2. 机械强度高, 抗拉强度可达 90MPa 以上 3. 减摩、耐磨性能优于其他尼龙品种 4. 适应大型铸件成型	冲击强度差	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	蜗轮、蜗杆、轴承、齿轮、轴瓦等大型受力部件
聚甲醛 (POM)	1. 抗拉强度较一般尼龙高, 耐疲劳, 耐蠕变 2. 尺寸稳定性好 3. 吸水性比尼龙小 4. 介电性能好 5. 可在 120℃ 正常使用 6. 摩擦因数小 7. 弹性极好, 类似弹簧作用	1. 没有自熄性 2. 成型收缩率大	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	各种齿轮、轴承、轴套、保持架, 汽车、农机、水暖零件等

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
填充聚甲醛 (POM)	<ol style="list-style-type: none"> 除保持聚甲醛特性外还改善了抗蠕变性能 提高了耐磨性能 具有润滑性 	冲击强度差	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	制造各种要求高的轴承、齿轮、凸轮等
聚碳酸酯 (PC)	<ol style="list-style-type: none"> 抗冲击强度高,抗蠕变性能好 耐热性好,脆化温度低(-130℃),能抵制日光、雨淋和气温变化的影响 化学性能好,透明度高 介电性能好 尺寸稳定性好 	<ol style="list-style-type: none"> 耐溶剂性差 有应力开裂现象 长期浸在沸水中易水解 疲劳强度差 	一般结构零件	使用温度范围宽的仪器仪表罩壳,飞机、汽车、电子工业中的零件,纺织卷丝管,汽化器,计时器部件,小模数齿轮,电器零件,安全帽,耐冲击的航空玻璃等。也常用于日用品方面
玻璃纤维增强聚碳酸酯 (FRPC)	<ol style="list-style-type: none"> 部分机械强度成倍提高 应力开裂现象减少 耐燃性提高 质刚硬 成型收缩率小 有较大的耐疲劳强度 	<ol style="list-style-type: none"> 失去透明性 冲击强度下降 	耐磨传动受力零件及减摩、自润滑零件	电动机集电环、刷杆,接线板,插接件,齿轮、凸轮、齿条,电器、电子和其他零件
玻璃纤维增强尼龙 (FRPA)	<ol style="list-style-type: none"> 机械强度成倍提高,冲击强度也相应提高 线胀系数小 热性能提高1倍以上 吸水性小,尺寸稳定 质硬而韧 	表面光泽差	耐磨传动受力零件及减摩自润滑零件	泵叶轮,螺旋桨,机床零件,螺母、轴瓦,电动机风扇,手电钻壳体,齿轮、凸轮,以及要求耐高温的机械零部件
聚四氟乙烯 (PTFE)	<ol style="list-style-type: none"> 在高温下仍具有特殊的耐化学性能 耐阳光和耐候性极好 耐高温,到350℃能长期使用 摩擦因数比任何固体材料都低 介电性能很好 	<ol style="list-style-type: none"> 冷流性大 强度低 成本较高 	减摩自润滑零件	在高温下或腐蚀介质中的各种无油润滑活塞环,填料密封圈,低转速摩擦轴承
填充聚四氟乙烯(用玻璃纤维,二硫化钼、石墨、青铜粉、铝粉、氧化铝等填充)	<ol style="list-style-type: none"> 承载能力较高,且刚性大 PV 极限值提高 		减摩自润滑零件	应用场合同上,并具有较高的承受载荷能力
聚全氟代乙丙烯 (FEP, F46)	<ol style="list-style-type: none"> 在高温下有极好的耐化学性 摩擦因数略高于 PTFE 耐阳光和耐候性好 在200℃能连续使用 与热塑性塑料一样加工 	<ol style="list-style-type: none"> 成本很高 强度低 	减摩自润滑零件	要求大批量生产或外形较复杂的零件。可以注射或挤出成型,以代替 PTFE 冷压烧结成型
聚三氟氯乙烯 (PCTFEF3)	<ol style="list-style-type: none"> 耐各种强酸、强碱和强氧化剂 耐阳光和耐候性极好 比 PTFE 或 PEP 强韧和刚硬 能用一般塑料的加工方法成型 压缩强度大,耐冷流性能好 具有比铝和陶瓷更优的阻气性 透明性稳定 	<ol style="list-style-type: none"> 成本很高 介电性能不如 PTFE 好 	耐化学腐蚀塑料	各种耐酸泵壳体,叶轮、阀瓣,化工测量仪表,各种化工设备的防腐涂层,结构材料及高真空中的密封填料,光学窗等

续表

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
超高分子量聚乙烯 (UHMWPE)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 密度小、耐磨 2. 耐冲击性优良 3. 摩擦因数很小, 自润滑性优良 4. 耐候性优良 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 胶黏性差 2. 流动性差 	减摩自润滑零部件, 耐冲击、耐化学品部件	小载荷、低速度、低温下工作的摩擦零件, 如衬套、密封圈、导轨、轴、偏心块、轴瓦轴套、垫片, 还可作涂层用
聚苯醚 (PPO)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 综合性能优良, 耐水蒸气, 尺寸稳定性优异, 并有优良的电绝缘性能 2. 硬度比尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛高, 蠕变性小 3. 对酸、碱几乎不起作用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成型流动性差 2. 价格高 	用于潮湿、有负荷以及电绝缘的场合	电子仪表、汽车、机械设备零件
聚苯硫醚 (PPS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 长期使用温度在 180℃ 以上 2. 耐化学品性好, 与 PTFE 近似 3. 有特殊的刚性 4. 加工时一般不需要干燥 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 韧性较差 2. 冲击强度较低 3. 熔体黏度不够稳定 	减摩自润滑零部件	用于电器材料、结构材料、耐蚀材料。作为电器构件, 用量约占 60%
氟化聚醚 (CPT)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高温下有良好的耐化学性和耐溶剂的侵蚀 2. 吸水性很小 3. 耐磨性优于尼龙 6、尼龙 66 4. 尺寸稳定性好 5. 有自熄性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本高 2. 冲击强度低 	耐化学腐蚀塑料	耐蚀摩擦传动件, 管道, 塔衬里, 设备涂层
聚砜 (PSF)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工程性能好, 包括蠕变尺寸稳定性 2. 能在 160℃ 条件下长期使用 3. 高温下介电性能好 4. 耐化学品性好, 在湿热条件下尺寸稳定性好 	耐有机溶剂欠佳	耐热塑料	电子电器零件, 如断路元件、恒温容器、绝缘电刷、开关、插头, 汽车零件、排气阀、加水器插管, 以及高温下的结构零件
聚芳砜 (PPSU)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能在 240~260℃ 保持结构强度良好的性能 2. 在 316℃ 下短期使用 3. 耐蠕变、疲劳、尺寸稳定性好 4. 耐化学品性好 	成本高	耐热塑料	喷气飞机上的零件, 线圈芯子, 印制电路板, 高温电器材料, 高温高负荷轴承, 齿轮垫片等
聚酰亚胺 (PI)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能在 260℃ 下长期工作或间歇使用 2. 耐磨性优良 3. 能在高温下保持良好的电绝缘性能 4. 质硬而韧, 耐蠕变性能好 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加工困难 2. 成本高 	耐热塑料	高温下工作的轴承、活塞环, 电器元件的薄膜, 辐射条件下工作的零部件
聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能在较高温度下长期使用 2. 综合性能好 3. 机械强度高, 在长时间高负荷下变形小 4. 阻燃性好, 耐化学品性优良 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 翘曲变形 2. 冲击强度较低 	电绝缘性塑料	电子电器、汽车和机械零件、连接器开关、电动机罩盖
聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 耐磨性好, 吸水性小 2. 尺寸稳定性好 3. 刚性好, 硬度高 4. 耐疲劳性能好 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冲击性能较差 2. 成型加工性差 3. 脱模性差 	耐热塑料	包装材料、电容器、磁带、工程塑料、汽车零件、熔断器开关、电视机和电动机零件、齿轮、叶轮、泵体等

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
聚醚醚酮(PEEK)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能在 240℃ 以上长期使用 2. 有较高的结晶性 3. 耐化学腐蚀性能好 4. 有优良的耐蠕变和耐疲劳性能 5. 可在 200℃ 蒸汽中长期使用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加工困难 2. 应用范围窄 	高绝缘、耐热性、耐化学品塑料	磁导线、接线板、活塞环、传感器及飞机零件等
聚苯酯(Ekonol)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 与金属性能十分接近 2. 热导率在空气中的热稳定性最高 3. 在高温下还呈现与金属相似的非黏性流动 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加工困难 2. 工艺条件不易控制 	新型耐热工程塑料	活塞环、耐高温高速摩擦零部件
聚芳酯(PAR)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 优良的耐热性能 2. 耐蠕变性、耐磨性优良 3. 冲击性能优异 4. 阻燃、耐焊接性好 5. 在潮湿环境中电性能稳定 6. 具有优良的耐紫外线辐射性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成型困难 2. 耐应力、耐化学品性较差 	电子、电器、汽车、机械设备零件	汽车灯光反射器灯座, 各种塑料泵接头, 光学零件, 叶轮, 二极管、继电器外壳, 日用梳子、镜框等

1.4 热固性塑料的性能及应用

热固性塑料的分子最终是呈体型结构。它在受热之初, 因分子呈线型结构, 故具有可塑性和可熔性, 可成型为一定形状, 当继续加热时, 线型高聚物分子主链间形成化学结构(即交联), 分子呈网状结构, 当温度达到一定值后, 交联反应进一步发展, 分子变为体型结构, 树脂即变为既不熔融也不溶解, 形状固定下来不再变化, 称为固化。如果再加热, 也不再软化, 不再具有可塑性。

表 20-1-4

热固塑料的性能及应用

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
酚醛塑料(PF)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机械强度高, 坚硬耐磨 2. 尺寸稳定 3. 耐热、阻燃、耐蚀 4. 电绝缘性能优良 5. 价格低廉 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 脆性大 2. 色深, 难于着色 3. 成型时需排气 	电器、电热、机械零件	插座、接线器、开关、基板、灯头、绝缘配件、仪表壳体、手柄、滚轮、外壳、制动器块、齿轮、凸轮、支架、骨架、厨房用具、水壶把柄、勺柄
脲甲醛塑料(UF)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原料易得, 成本低, 用途广泛 2. 色泽呈玉色, 有“电玉”之称 3. 硬度较高 4. 耐电弧性好 5. 能耐弱酸、弱碱 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 吸湿性强 2. 耐水性较差 	电器、日用品零件	旋钮、开关、插座、电话机壳、文具、计时器、瓶盖、纽扣、手把、装饰件
三聚氰胺甲醛塑料(MF)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 耐冲击性能优于 UF 2. 电绝缘性能优良 3. 制品表面光滑, 与瓷器相当 4. 硬度高, 超过 PF 5. 耐热性、耐水性高于 UF 	成本较高	电器、日用品、厨房用具零件	防爆电器、电信器材、耐电弧器件、厨房用具、食具、桌、化妆品容器、耐热电器零件、照明器材、日用品

续表

材料名称	特 征		应用分类	应用情况
	优 点	缺 点		
环氧树脂(EP)	1. 耐磨损,韧性优异 2. 耐热、耐候性好 3. 电性能优异 4. 黏结性能极佳,黏结强度高		机械零件,黏结材料	槽、管、船体、机体、储罐、气瓶、简易模具、汽车构件、电容器及电阻等塑封件、各种构件黏结剂、防腐涂料
不饱和聚酯(UP)	1. 固化后硬度高,刚性大 2. 抗电弧性极优 3. 高温下力学及电性能不变 4. 可用多种方法成型,亦可在常温下成型 5. 填充玻璃纤维后,机械强度十分优异	交联剂的成分会影响其性能	交通运输设备、电器、日用品类零件、涂料	电弧隔板、大功率开关、电视调频器、电容器塑封、火车座椅与卧铺床、汽车车身、燃料箱、仪表板、渔船、游艇、浮体、管道、浴盆、净化槽、化工槽罐、钓竿、琴弓、滑雪板、高尔夫球、涂料
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	1. 电性能优良,高湿度下下降也很少 2. 耐热、耐候、耐化学药品性优 3. 色泽鲜艳,在干湿交替的环境中仍能保持 4. 制品尺寸稳定	需加入增强剂(如玻璃纤维)方能提高强度	电器、机械、装饰零件	接线器、配电盘、印制电路板、仪表板、线圈骨架、泵叶轮、化工槽罐、食品柜、家具、装饰板、箱体

2 塑料制品的设计

2.1 塑料制品设计原则和方法

塑料制品(以后简称塑件或塑料件)的设计不仅要具有机械设计等方面的知识,而且更需要有塑件造型、塑料材料及配方、塑料加工、塑料成型模具和成型机械等方面的知识。综合考虑这些因素,才能设计并开发出美观、合理、可行、实用的塑件和塑料产品。

2.1.1 拟定设计方案

表 20-1-5

设计方案

序号	步 骤	说 明
1	了解塑件设计任务	
2	调研,并收集有关资料	经过调研和收集有关资料,确定塑件的功能和性能。功能包括使用功能和环境功能,例如在一定时间、空间和环境下需要具备结构支承、机械传动和电气绝缘等功能。塑件的性能有力学性能、热学性能、物理性能和化学性能等 要注意的是许多塑料材料都有经加热熔融和冷却固化成型后,原材料的性能会损失下降的现象,出现新的内在缺陷,影响塑件的性能
3	选择合适的塑料材料	选择合适的塑料材料,不仅要保证实现制品的功能和性能,同时还要考虑可加工性和生产的成本
4	确定塑件的加工方法	不同的加工方法适用于不同形状和尺寸的塑件。加工精度和生产率,要有相应成型模具和设备作保障。同时还应确定塑件的装配方法和表面修饰要求
5	对塑件进行失效分析	目的是保证在使用期限内塑件功能和性能的可靠,针对塑件对时间、温度 and 环境的敏感性,按主要失效形式进行预测性的理论计算和相应的试验测试。例如塑件压力装配后,计算温度升高和应力松弛后的传递力矩;理论上计算塑料齿轮在弯曲疲劳、接触点蚀、齿面磨损或热膨胀下的模数和中心距等

经过上述步骤并经过多个方案分析比较和逐步优化,确定最优方案。

2.1.2 塑件的结构设计

造型结构、功能结构、工艺结构是塑件结构设计时应考虑的三个方面。

表 20-1-6 结构设计方法

序号	设计方法	说 明
1	造型结构设计	对塑件进行外部造型设计并给予装饰和美化。如机壳、面板、仪表板和日用塑件,它们常常要经过滚花、抛光、彩饰、植绒、镀覆金属和模塑图案等修饰,从而可给人以美感。塑件的造型设计,需要设计人员掌握美学、电脑绘图、塑件设计等方面的知识以及塑料模具设计方面的知识
2	功能结构设计	确定实现塑件使用功能的形状、尺寸和壁厚。塑件结构设计要作静载荷下短时间和长时间的形变校核;要作动载荷下冲击、疲劳、滞后热和磨损等校核
3	工艺结构设计	此项设计是否合理是塑件生产的前提,它不仅关系到塑件的质量,而且还关系到塑件的生产率和成本。聚合物流变学是工艺结构设计的理论基础,用以考虑模塑成型的可行性。必须合理地处理好塑件的流动性、收缩率以及嵌件和脱模等技术问题。为了简化单个塑件,并实现塑件与非塑料件的连接,保证在流水线上对塑件的高速装配,塑件还要进行合理的连接件设计

塑件的结构设计要用工程制图进行形体的空间表达。各种草图、轴测图和三视图是交流的工程语言。现代的电子计算机绘图和三维造型,不但保证了设计质量,为下一步的计算机数值模拟分析准备了形体数据,而且还可以做出一些模型,通过模型帮助结构设计。另外,设计中要与各有关专业人员和模具设计人员合作。计算机技术为塑件设计提供了各种专业软件与数据库,如弹性卡夹、塑料铰链和塑料齿轮等辅助设计软件。慎重确定塑料件的尺寸精度、形位公差和表面质量要求,是结构设计最后阶段的重要工作。

2.1.3 生产准备和定型

塑件的图纸设计完成后,要不断修改完善,要听取工艺专业和模具专业人员的意见,并与之合作,对制品进行计算机模拟和生产验证,直至定型。

有各种 CAE/CAD 分析与设计软件在对塑件进行二维或三维造型后,可用数值方法模拟注射工艺过程,从而可对塑料熔体充模流动、保压冷却、固化收缩和翘曲变形的分析结果进行修正和优化。

塑件与金属零件设计一样有规模效应。塑料成型模具成本高,因此更应该考虑生产批量的大小。还应该考虑塑件的制造周期以及新产品的试制周期。塑件的生产周期应该包括金属模具的机械加工周期。

在塑件的设计中,应遵循表 20-1-7 所列基本原则。

表 20-1-7 塑件设计基本原则

序号	塑件设计基本原则
1	为了保障塑件在使用过程中的功能和性能,在塑件设计时,要对塑件进行必要的失效分析及计算校核
2	为了保障塑件的功能和性能,要正确选择材料。选用的材料要具有可加工性,并且,尽量选择较低成本的材料
3	大多数塑件均经过加热成型,而后固化定型,在塑件设计时,一定要考虑聚合物的流变过程和形态变化对塑件的影响
4	许多塑件是各种装置和设备中的配件或组合件,它的设计应统一在整机产品之中。在保证整机质量的前提下,降低塑件的成本
5	在设计中要充分体现标准化、系列化

2.1.4 热塑性塑料注射成型

注射成型分为一般注射成型、共注射成型、结构发泡注射成型和多工位注射成型。

表 20-1-8

热塑性塑料注塑成型的方法及特点

序号	注射成型类型	成型方法特点
1	一般注射成型	<p>几乎不受制件形状的限制,允许模具内有不同塑件的成型型腔</p> <p>可注射高精度的塑件,但它必定比金属零件的尺寸精度低。为保证制品有较好的表面质量和尺寸稳定性,需有高精度的模具和精确的注射机相配套</p> <p>生产的制品可大可小,小的可不足 1g,大的可以是几十千克。塑件的壁厚与熔体充模流程比有关</p> <p>生产率中等。生产过程的循环时间主要由塑件壁厚决定,最短的可在 10s 内。通常可通过增加每模的型腔数来提高生产率</p> <p>适用于在一定温度范围内具有适宜流动性的热塑性塑料</p>
2	共注射成型	<p>具有两个注射装置,控制两种熔体的充模流动,使塑件表层和心部具有不同材质。例如表层是增强塑料,心部是发泡的未增强塑料,或外层是耐磨塑料,心部是高强度塑料,或外层是绝缘材料且可电磁屏蔽,心部是导电和导磁塑料等</p>
3	结构发泡注射成型	<p>适用于不带深坑的平面状的厚壁制品。这种塑件具有封闭致密的表层,心部为微孔泡沫。制品的精度:平行于塑件平面的尺寸, $\pm 0.05\text{mm}$; 开模方向尺寸, $\pm 0.10\text{mm}$。其尺寸主要受锁模力限制。一般适宜的壁厚在 5mm 以上</p> <p>生产率中等</p> <p>经常使用的材料有 ABS、聚碳酸酯、聚苯醚和聚烯烃等</p>
4	多工位注射成型	<p>具有两个或更多工位的塑化注射装置。随行的注塑模具在一个工位上注射后,移至下一个工位注射,可用于将不同品种或不同着色的塑料先后注射成一个塑件,一般称为双色注射,如成型双色数码按键</p>

2.1.5 热固性塑料的加工

表 20-1-9

热固性塑料常用的加工方法

序号	加工方法	说 明
1	压缩模塑	<p>将粉状、粒状或碎屑状塑料加入到模具型腔中,加热使模塑料受热,熔体在压力作用下流入型腔,固化交联而固化成型,脱模成为制品。这种方法可制作大平面的制品。生产率中等偏低。制品的尺寸精度受模具精度和加工参数的影响</p> <p>常用材料有酚醛塑料、氨基塑料、醇酸塑料等</p>
2	传递模塑	<p>将经预热的热固性塑料加入传递料筒中,熔体在压力作用下通过模具的浇注系统充满型腔,模具温度升高,熔体发生交联反应而固化成型</p> <p>常用的材料有不饱和聚酯、酚醛、脲醛、三聚氰胺等</p> <p>可用于加工带细小嵌件的电器接插件和细长成型孔。其生产率中等偏下</p>
3	层压成型	<p>将多层浸渍树脂的片材叠合送入热压机内,在一定温度和压力下压制层压板。常用树脂有酚醛和环氧树脂。增强物有纸张、棉布、玻璃纤维和石棉布。层压板用于电气绝缘和建筑材料</p>
4	注射成型	<p>将松散的粉状或碎屑状热固性塑料从料斗加入加热料筒,经加热熔融成熔体,通过喷嘴以高速度注入模具型腔。模具加热升温,使熔体交联固化成型,开模取出制品。交联反应需要加热,并且交联反应过程中有水汽和低分子气体释放,所以模具要注意加热和排气</p>

2.1.6 塑料件的失效分析

塑料件的性能与所用材料的性能常有较大差别。这是因为:测试试样的材料和测试环境条件并不能完全代表日后的实际材料和使用环境;塑料件的加工使材料经历了一次性能损失;由于塑料件对负载响应的特殊性,其对温度、时间、形状和尺寸很敏感,条件稍有变化就会引起性能的差异。所以,在塑料件的设计过程中,必须进行失效分析来预测失效形式和寿命,以保证塑件在使用期内其功能和性能满足使用要求。由于塑料制品的多样性及工作条件,环境的复杂多变,塑料制品的失效形式很多。在实际应用中,要分析起决定作用的一个或几个主要失效形式,进行理论分析计算和实验预测,以保证制品在使用中性能稳定可靠。常见失效形式见表 20-1-10。

表 20-1-10

常见失效形式

序号	常见失效形式	说 明
1	屈服失效	屈服点是塑性变形的起点。塑料件破坏的先兆是剪切屈服和银纹屈服。当塑料件短时间受到静态负载作用时,一般是取一定的安全系数,以屈服点以下的许用应变或许用应力,作为塑件危险截面的极限应变或极限应力
2	蠕变失效和松弛失效	塑件若长期受到负载的作用,会产生较大的蠕变变形,而最终会导致蠕变断裂。蠕变塑料件材料的弹性模量称蠕变模量或表观模量,它会随着时间的延长而下降。对于压力装配的连接件和有预应力的密封件,产生应力松弛会使连接松动、密封失效
3	冲击失效	当塑件受到冲击时,变形和断裂是常见的失效形式。虽然冲击负载的作用时间极短,但塑件的变形速率却很高。材料、取向、缺口、温度、冲击速度等因素都直接影响着塑料件的冲击性能。在实际测试中,塑件的破坏性冲击性能测试是常用的
4	力学致热	塑件在振动负载的作用下,塑料响应的滞后会使一部分能量转化为热能,一旦塑料件工作系统的热平衡被破坏,塑件就会因热软化而失效
5	疲劳失效	若塑件长时间受到交变应力的作用,由疲劳而生成的裂纹会迅速扩展,最终导致塑料件断裂。使塑料件疲劳破坏的交变载荷的作用频率在 10Hz 以下,过高的频率会产生力学致热的失效
6	摩擦与磨损	摩擦使运动塑料件的工作能量损失,还导致塑件表面材料的损失和损伤。摩擦会造成塑性变形、热软化和热熔化、裂纹和撕裂;由摩擦造成的磨损会使塑料件过早失去表面接触运动的功能
7	环境失效	气体和液体对塑件的渗透、抗散和溶解,会使整体力学性能变得恶劣,并随时会引发塑件产生环境应力裂缝
8	成型加工形成的损伤	熔合缝是注塑成型塑件的重要缺陷,造成了塑件与原材料力学性能的差距。注塑成型制品分子的取向、残余应力和收缩,都会影响塑件的内部和表面质量、形状和尺寸精度

2.2 注塑制品的细部设计

2.2.1 分模线位置的确定

为了从密闭的模具内取出塑件和浇注系统凝料等,或为了安放嵌件,将模具适当地分成两个或若干个主要部分,这些可分离部分的接合缝,称为分模线。

由于模具接合缝的存在,模塑过程中熔体进入模具型腔后,就会有少量熔体从分模线缝隙中溢出,在制品上

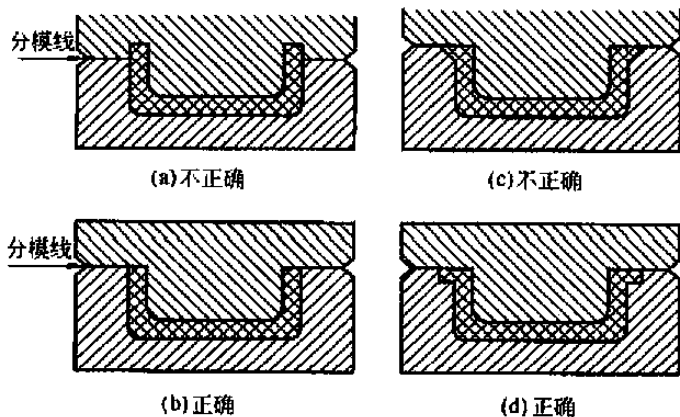


图 20-1-1 分模线位置的选择

产生极薄的飞边。需采用刀削、锉、磨或丸冲等方法去除以改善制品外观,这道工序无形中加长了制品的生产周期。尽管如此,在制品上最终还是会留下分模线痕印,使产品的外观受到一定影响。因此,要合理选择分模线的位置,减少去除飞边的修整工作量及提高产品的外观质量。

杯形或圆筒形制品的分模线应选择在圆筒或杯的口缘部位,这个部位上的飞边去除后,留下的分模线痕印对制品外观不会产生影响,如图 20-1-1b 所示。若将分模线选在圆柱面上如图 a 所示,飞边去除后,留下的分模线痕印直接影响到制品的外观。

如图 20-1-1c 所示,模具分模线处制品的壁面太薄,去除薄壁面上的飞边后,易引起制品壁面裂纹和碎裂。正确的设计如图 20-1-1d 所示。

2.2.2 制件口缘设计

制品的口缘有多种形状,其形状直接影响注射模具分模线位置的选择。制品设计中,如果口缘形状发生变化,那么模具分模线的位置也将随之改变。下面介绍常用的几种制品口缘形式及分模线位置选择。

(1) 标准形口缘

如图 20-1-2a 所示,模塑制品口缘的顶面为平面,模具分模线位于制品口缘顶面,这种口缘既简单又适用。

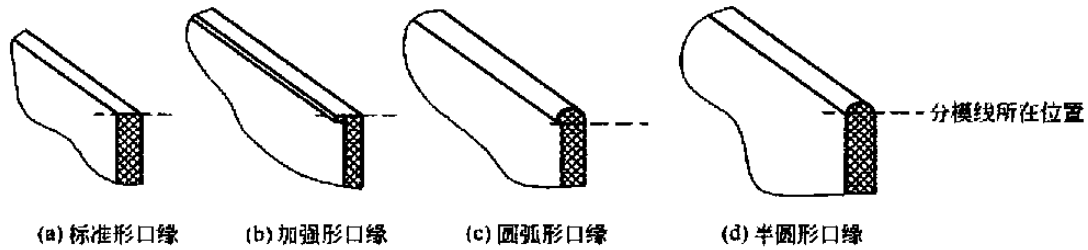


图 20-1-2 注射模塑制品口缘形式与分模线位置

(2) 加强形口缘

如图 20-1-2b 所示, 模塑制品口缘的顶面为平面, 口缘处壁厚略大于制品本体壁厚, 形成外翻形式, 提高制品口缘的强度和实用性。注射模具分模线位于口缘顶面。这种口缘适合于盆、桶类塑料制品。

(3) 圆弧形口缘

如图 20-1-2c 所示, 模塑制品口缘顶部为圆弧面, 其圆弧直径略大于制品壁厚, 口缘内侧圆弧面与制品壁面以圆弧相接。这种口缘的注射模具分模线应选择在制品口缘圆弧的直径位置。圆弧形口缘适合于饮料杯类塑料制品。

(4) 半圆形口缘

如图 20-1-2d 所示, 模塑制品口缘顶部为圆弧面, 圆弧直径等于制品壁厚, 口缘内、外侧圆弧面与制品壁面相切, 称为半圆形口缘。注射模具分模线位于制品口缘圆弧直径位置。

2.2.3 塑件的尺寸精度

塑料制品的尺寸公差大小, 直接影响到塑料制品在装配时的互换性和使用性能。通常, 制品设计图要标注尺寸公差和形状、位置公差。影响塑料制品尺寸精度的因素如下。

(1) 塑料材料

塑料熔体在高温高压熔融状态下流动并充满型腔 (通常各种熔体温度在 170 ~ 300℃ 之间), 后被冷却固化, 脱模温度在 20 ~ 100℃ 之间。塑料材料有比金属材料大 2 ~ 10 倍的线胀系数。不同塑料有不同的成型收缩率, 热固性塑料的成型收缩率较小, 在 1% 以下。表 20-1-11 列出了常用注射塑料的成型收缩率。成型收缩率愈大, 其收缩率的波动范围也愈大。

表 20-1-11 常用塑料的成型收缩率

塑 料	成型收缩率	塑 料	成型收缩率
注射用酚醛塑料	0.008 ~ 0.011	聚甲苯	0.020 ~ 0.025
聚苯乙烯	0.002 ~ 0.006	高密度聚乙烯	0.020 ~ 0.050
高抗冲聚苯乙烯	0.002 ~ 0.006	低密度聚乙烯	0.015 ~ 0.050
ABS	0.003 ~ 0.008	聚酰胺 6	0.007 ~ 0.014
AS	0.002 ~ 0.007	聚酰胺 66	0.015 ~ 0.022
聚甲基丙烯酸甲酯	0.002 ~ 0.008	聚酰胺 610	0.010 ~ 0.020
聚碳酸酯	0.005 ~ 0.007	聚酰胺 1010	0.010 ~ 0.020
硬聚氯乙烯	0.002 ~ 0.005	聚对苯二甲酸乙二醇酯	0.012 ~ 0.020
聚苯乙烯	0.007 ~ 0.010	聚对苯二甲酸丁二醇酯	0.014 ~ 0.027
聚丙烯	0.010 ~ 0.025		

(2) 塑件的结构

合理设置加强筋, 可提高塑件的刚性; 塑件壁厚均匀一致、结构对称, 可使塑件收缩均衡; 采用金属嵌件, 能减小塑件翘曲变形, 这些都有利于提高塑件精度。

(3) 塑料模具

对于小尺寸塑件, 模具的制造误差占塑件公差的 1/3。模具型腔与型芯的磨损, 包括型腔表面的修磨和抛光, 所造成的零件误差占塑件公差的 1/6。单个型腔模塑的成型制品精度较高。模具的型腔数目每增加一个, 就要降低塑件 5% 的精度。由模具上运动的零件所成型的塑件尺寸, 其精度较低。模具上浇注系统和冷却系统设计不当, 会使成型塑件的收缩不均匀。脱模系统的作用力不当, 会使被顶出塑件变形。这些都会影响注塑件的质量。

(4) 加工工艺

注射周期各阶段的温度、压力和时间都会影响塑件的收缩、取向和残余应力。

2.2.4 塑料件的尺寸公差

塑件的公差等级可按表 20-1-12 选用。表 20-1-13 所示, 将塑件尺寸分成 7 个精度等级, MT1 级精度较高, 一般不采用。表 20-1-13 只列出公差值, 基本尺寸的上、下偏差可根据工程的实际需要分配。应该指出, 对于塑件上孔的公差可采用基准孔, 可取表中数值冠以 (+) 号, 对于塑件上轴的公差可采用基准轴, 可取表中数值冠以 (-) 号。

一般配合部分尺寸精度高于非配合部分尺寸精度, 受塑件收缩率波动的影响, 小尺寸易达到高精度。塑件的精度要求越高, 模具的制造难度及成本亦越高, 模具的制造精度要求也越高, 同时塑件的废品率也会越大。因此, 在塑件材料和工艺条件一定的情况下, 应该参照表 20-1-12 合理地选用公差等级。

表 20-1-12 常用塑件公差等级和选用 (摘自 GB/T 14486—1993)

材料代号	模 塑 材 料		公 差 等 级		
			标注公差尺寸		未注公差尺寸
			高精度	一般精度	
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
AS	丙烯腈-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
CA	醋酸纤维素塑料		MT3	MT4	MT6
EP	环氧树脂		MT2	MT3	MT5
PA	尼龙类塑料	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PBTP	聚对苯二甲酸丁二醇酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PC	聚碳酸酯		MT2	MT3	MT5
PDAP	聚邻苯二甲酸二丙烯酯		MT2	MT3	MT5
PE	聚乙烯		MT5	MT6	MT7
PESU	聚醚砜		MT2	MT3	MT5
PETP	聚对苯二甲酸乙二醇酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PF	酚醛塑料		MT2	MT3	MT5
			MT3	MT4	MT6
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯		MT2	MT3	MT5
POM	聚甲醛		MT3	MT4	MT6
			MT4	MT5	MT7
PP	聚丙烯		MT3	MT4	MT6
			MT2	MT3	MT5
			MT2	MT3	MT5
PPO	聚苯醚		MT2	MT3	MT5
PPS	聚苯硫醚		MT2	MT3	MT5
PS	聚苯乙烯		MT2	MT3	MT5
PSU	聚砜		MT2	MT3	MT5
RPVC	硬质聚氯乙烯(无强塑剂)		MT2	MT3	MT5
SPVC	软质聚氯乙烯		MT5	MT6	MT7
VF/MF	氨基塑料和氨基酚醛塑料	无机填料填充	MT2	MT3	MT5
		有机填料填充	MT3	MT4	MT6

表 20-1-13

塑件尺寸公差 (摘自 GB/T 14486—1993)

mm

公差等级	公差种类	基本尺寸																								
		大于0到3	3到6	6到10	10到14	14到18	18到24	24到30	30到40	40到50	50到65	65到80	80到100	100到120	120到140	140到160	160到180	180到200	200到225	225到250	250到280	280到315	315到355	355到400	400到450	450到500
MT1	A	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.70	0.78	0.86
	B	0.14	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.74	0.80	0.88	0.96
MT2	A	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.66	0.72	0.76	0.84	0.92	1.00	1.10	1.20
	B	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.70	0.76	0.82	0.86	0.94	1.02	1.10	1.20	1.30
MT3	A	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.46	0.52	0.58	0.64	0.70	0.78	0.86	0.92	1.00	1.10	1.20	1.30	1.44	1.60	1.74
	B	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90	0.98	1.06	1.12	1.20	1.30	1.40	1.50	1.64	1.80	1.94
MT4	A	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.48	0.56	0.64	0.72	0.82	0.92	1.02	1.12	1.24	1.36	1.48	1.62	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
	B	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.62	0.68	0.76	0.84	0.92	1.02	1.12	1.22	1.32	1.44	1.56	1.68	1.82	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
MT5	A	0.20	0.24	0.28	0.32	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.74	0.86	1.00	1.14	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92	2.10	2.30	2.50	2.80	3.10	3.50	3.90
	B	0.40	0.44	0.48	0.52	0.58	0.64	0.70	0.76	0.84	0.94	1.06	1.20	1.34	1.48	1.64	1.80	1.96	2.12	2.30	2.50	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10
MT6	A	0.26	0.32	0.38	0.46	0.54	0.62	0.70	0.80	0.94	1.10	1.28	1.48	1.72	2.00	2.20	2.40	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.30	4.70	5.30	6.00
	B	0.46	0.52	0.58	0.68	0.74	0.82	0.90	1.00	1.14	1.30	1.48	1.68	1.92	2.20	2.40	2.60	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	4.50	4.90	5.50	6.20
MT7	A	0.38	0.48	0.58	0.68	0.78	0.88	1.00	1.14	1.32	1.54	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10	4.50	4.90	5.40	6.00	6.70	7.40	8.20
	B	0.58	0.68	0.78	0.88	0.98	1.08	1.20	1.34	1.52	1.74	2.00	2.30	2.60	3.10	3.20	3.50	3.90	4.30	4.70	5.10	5.60	6.20	6.90	7.60	8.40

		未注公差的尺寸允许偏差																											
MT5	A	±0.10	±0.12	±0.14	±0.16	±0.19	±0.22	±0.25	±0.28	±0.32	±0.37	±0.43	±0.50	±0.57	±0.64	±0.72	±0.80	±0.88	±0.96	±1.05	±1.15	±1.25	±1.40	±1.55	±1.75	±1.95			
	B	±0.20	±0.22	±0.24	±0.26	±0.29	±0.32	±0.35	±0.38	±0.42	±0.47	±0.53	±0.60	±0.67	±0.74	±0.82	±0.90	±0.98	±1.06	±1.15	±1.25	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05			
MT6	A	±0.13	±0.16	±0.19	±0.23	±0.27	±0.31	±0.35	±0.40	±0.47	±0.55	±0.64	±0.74	±0.86	±1.00	±1.10	±1.20	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.90	±2.15	±2.35	±2.65	±3.00			
	B	±0.23	±0.26	±0.29	±0.33	±0.37	±0.41	±0.45	±0.50	±0.57	±0.65	±0.74	±0.84	±0.96	±1.10	±1.20	±1.30	±1.40	±1.55	±1.70	±1.85	±2.00	±2.25	±2.45	±2.75	±3.10			
MT7	A	±0.19	±0.24	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.50	±0.57	±0.66	±0.77	±0.90	±1.05	±1.20	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05	±2.25	±2.45	±2.70	±3.00	±3.35	±3.70	±4.10			
	B	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.49	±0.54	±0.60	±0.67	±0.76	±0.87	±1.00	±1.15	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.95	±2.15	±2.35	±2.55	±2.80	±3.10	±3.45	±3.80	±4.20			

2.2.5 塑件的壁厚

模塑制品的壁厚应满足强度、结构、重量、刚度及装配等各项要求，同时其他的形体和尺寸如加强筋和圆角等，也都是以壁厚为参照的。若壁厚不均匀，会使塑料熔体的充模速率和冷却收缩不均匀。由此产生许多质量问题，如凹陷、真空泡、翘曲甚至开裂。确定合适的制品壁厚是设计的主要内容之一。

如图 20-1-3 所示，当制品冷却时，由于制品壁厚不均匀，会导致薄壁部分的冷却速度快于厚壁部分，使制品脱模后厚壁部分产生缩痕和翘曲。为解决制品壁厚不均匀的问题，设计时可考虑厚壁部分局部挖空或在壁面交界处逐步过渡，使制品的壁厚尽可能均匀一致或过渡平缓。

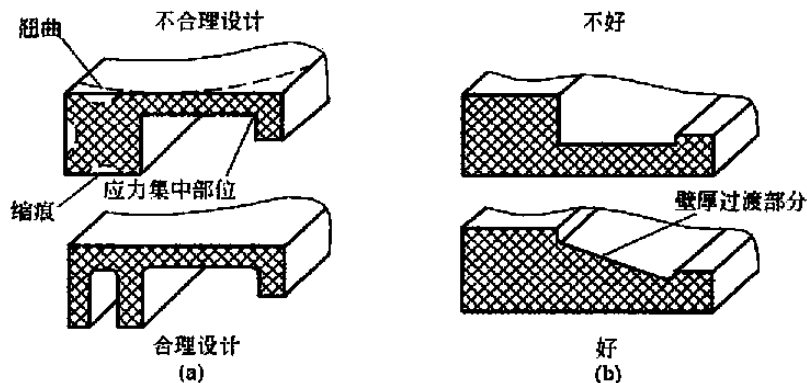


图 20-1-3 塑料模塑制品壁厚的设计

对于壁厚厚一些的制品，应让制品在模具中多停留一段时间，目的是使它能充分固化或冷却定型，使脱模后快速冷却，引起的变形和收缩相对减少。

通常热塑性塑料的注塑件壁厚为 2~4mm，热固性塑料件的壁厚是 1~6mm。如果壁厚取得较小，装配紧固时将对制件的强度和刚度产生影响。电器制品壁厚的选择与绝缘性能有关。另外，在脱模顶出过程中，较小的壁厚会使塑件受到变形的损伤。为提高注塑件的刚性，通常不是采用增加塑件壁厚的方式，而是采用增设加强筋或以形体的刚性结构设计来满足。

设计制品应尽量减少壁厚和壁厚不均匀。由于热塑性塑料注射模塑制品必须在模内冷却变硬后才能启模取出制品，厚壁制品冷却变硬时间比薄壁制品的长，因此，减小壁厚有利于缩短模塑周期，提高生产效率及节省材料。

如图 20-1-4 所示，塑料模塑制品应避免壁厚不均匀的设计形式。

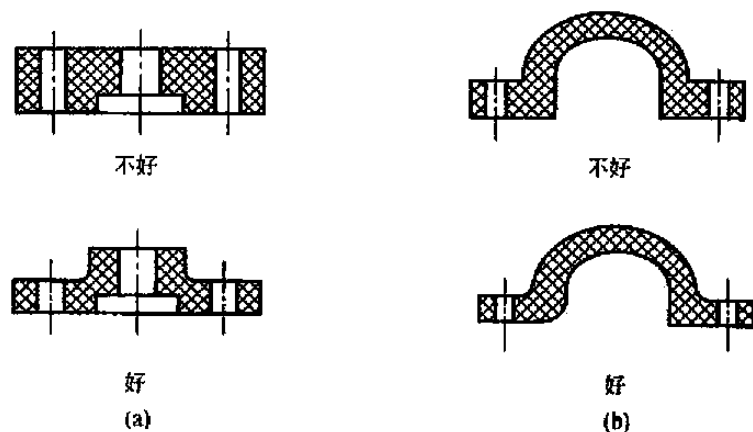


图 20-1-4 塑料模塑制品应避免壁厚不均匀的设计形式

表 20-1-14、表 20-1-15 分别是热固性塑料件与热塑性塑料件壁厚的推荐值。

对于手柄、把手这样壁面特别厚或实心断面制品，由于模塑周期长，模塑困难，可设计成剖分式，由两半组合成型，如图 20-1-5 所示。

2.2.6 塑件的圆角和圆角半径

塑件上所有转角处应尽可能采用圆弧过渡，以避免应力集中，提高强度，改善熔体在型腔中的流动状况，有利于充满型腔，便于脱模。

表 20-1-14

热固性塑料件的壁厚推荐值

mm

塑料材料		最小塑件	小塑件	中等塑件	大塑件
酚醛塑料	一般及棉纤维填料	1.25	1.60	3.20	4.80~25
	碎布填料	1.60	3.20	4.80	4.80~10
	无机物填料	3.20	3.20	4.80	5.00~25
聚酯塑料	玻璃纤维填料	1.00	2.40	3.20	4.80~12.5
	无机物填料	1.00	3.20	4.80	4.80~10
	纤维素填料	1.90	1.60	2.50	3.20~4.8
氨基塑料	碎布填料	1.25	3.20	3.20	3.20~4.8
	无机物填料	1.00	2.40	4.80	4.80~10

表 20-1-15

热塑性塑料件的壁厚推荐值

mm

塑料材料	最小塑件	小塑件	中等塑件	大塑件
聚酰胺	0.45	0.76	1.50	2.40~3.20
聚乙烯	0.60	1.25	1.60	2.40~3.20
聚苯乙烯	0.75	1.25	1.60	3.20~5.40
高抗冲聚苯乙烯	0.75	1.25	1.60	3.20~5.40
硬聚氯乙烯	1.20	1.60	1.80	3.20~5.80
聚甲基丙烯酸甲酯	0.80	1.50	2.20	4.00~6.50
聚丙烯	0.85	1.45	1.75	2.40~3.20
氯化聚醚	0.90	1.35	1.80	2.50~3.40
聚碳酸酯	0.95	1.80	2.30	3.00~4.50
聚苯醚	1.20	1.75	2.50	3.50~6.40
醋酸纤维素	0.70	1.25	1.90	3.20~4.80
乙基纤维素	0.90	1.25	1.60	2.40~3.20
丙烯酸类	0.70	0.90	2.40	3.00~6.00
聚甲醛	0.80	1.40	1.60	3.20~5.40

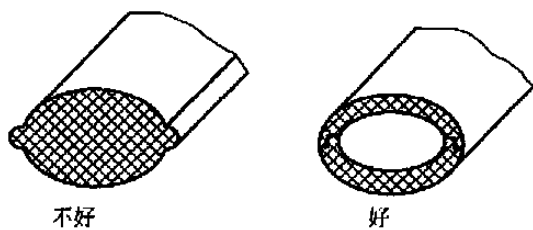


图 20-1-5 部分组合制品

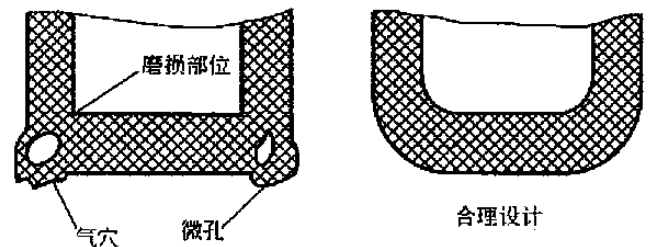


图 20-1-6 塑料制品圆角的设计

图 20-1-6 所示为塑件圆角的设计。型腔角为直角，在角顶处会造成熔体不能流入的封闭区域，致使塑件外圆角处产生凹痕。此外，对于热固性塑件，熔体在型腔中发生交联固化反应并释放气体，气体在封闭区域内形成气穴。对于热塑性塑件，型腔中熔体流经直角处流速瞬时减慢和冷却，熔体表面局部凝固收缩，在封闭区域内形成微孔，这些都会影响塑件外观和内在质量。

如图 20-1-7a、b 所示，塑件内、外圆角半径一般不小于制品壁厚的 $1/4$ 。

如图 20-1-7c 所示，塑件上凸台或筋与底面相交的地方应为圆角，该圆角称为内圆角，一般内圆角半径不小于 $0.7 \sim 0.8 \text{ mm}$ ，最小内圆角半径不小于 0.25 mm 。

如图 20-1-7d 所示，塑件圆角半径应尽可能增大，以提高塑件和模具的强度，使塑件的造型为流线型，圆角内积灰也易清除。

2.2.7 塑件的加强筋和凸台

为了确保塑件的强度和刚度而又不致使制品的壁厚过大，可在塑件适当的位置上设置加强筋。另外，加强

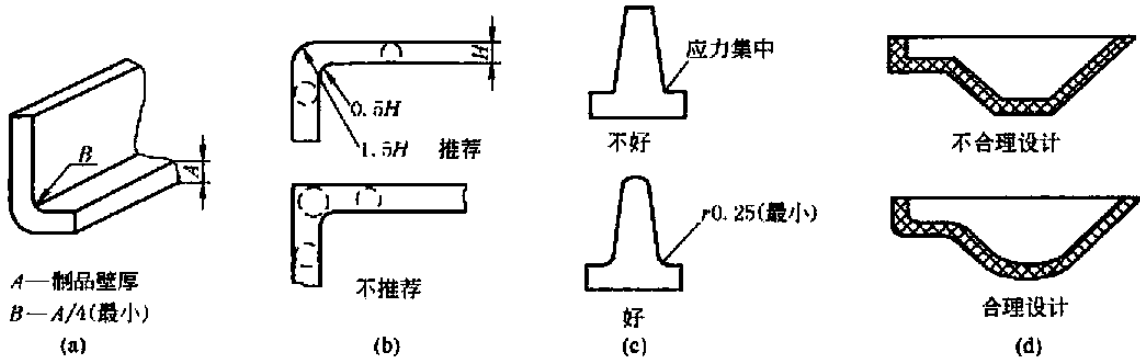


图 20-1-7 塑料模型制品圆角半径

筋的添加还改善了塑料熔体的充模流动，增加了流程的截面积，缩短了流程。

加强筋的形状一定要正确。如图 20-1-8 所示，一般筋的高度不超过 $5a$ ，筋的根部厚度不超过 $0.75a$ ，如果筋的根部过厚会在塑件外表面产生凹陷，在材料中央产生真空泡。

为减少塑料在局部汇集过多而形成凹陷和真空泡，加强筋应相互错开，如图 20-1-9 所示，尽量避免两条加强筋十字相汇。

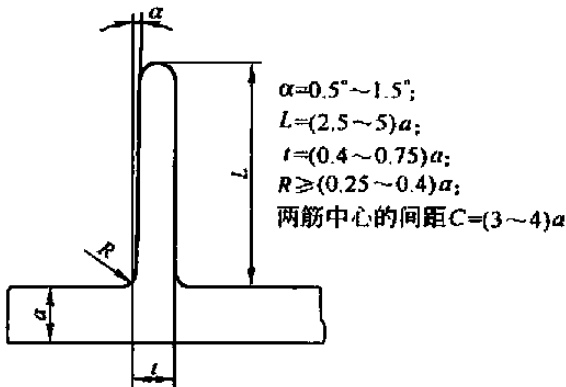


图 20-1-8 注塑件上加强筋的形状和尺寸

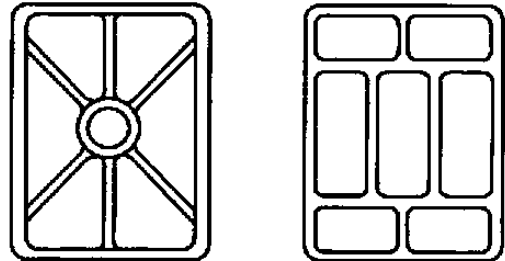


图 20-1-9 加强筋的合理布置

对于有并列多条筋板框式结构的塑件，其尺寸比例应按图 20-1-10 设计，图中两筋板之间距离 d 至少是 $2.5a$ 。这种结构犹如中空矩形截面梁，用料虽不多，但有较大的抗弯截面模量，能承受一定的弯曲负载。

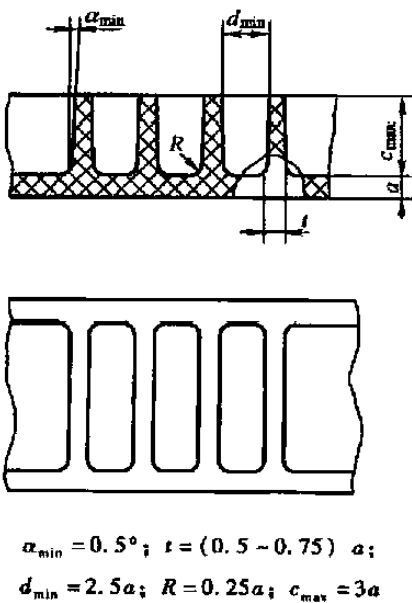


图 20-1-10 多筋板加强筋结构尺寸

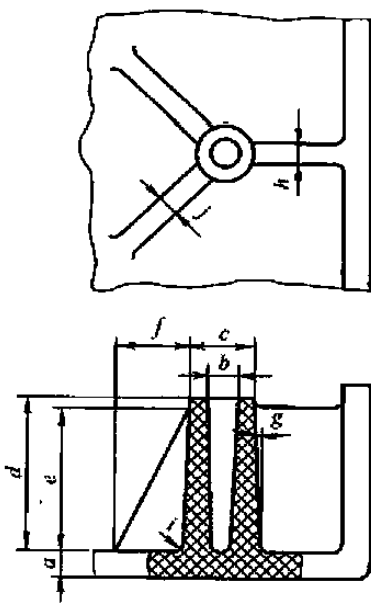


图 20-1-11 凸台的结构尺寸

a 为塑件壁厚； b 为装配孔孔径；
 $c = 2.5b$ ； $d = 3a$ ； $e = 0.9d$ ；
 $f = (0.3 \sim 1)e$ ； $g = 0.5^\circ$ ；
 $h = 0.6a$ ； $i = 0.25a$ ； $j = 0.6a$

当塑件要与其他零件装配连接时,为能承受较大的紧固力,常要在塑件壁上设计出柱状凸台。若设计成图 20-1-11 ~ 图 20-1-13 所示结构,不仅加强了凸台,而且改善了凸台的流动充模。

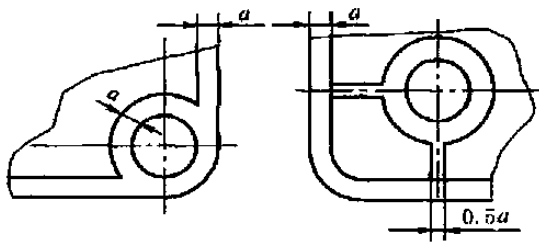
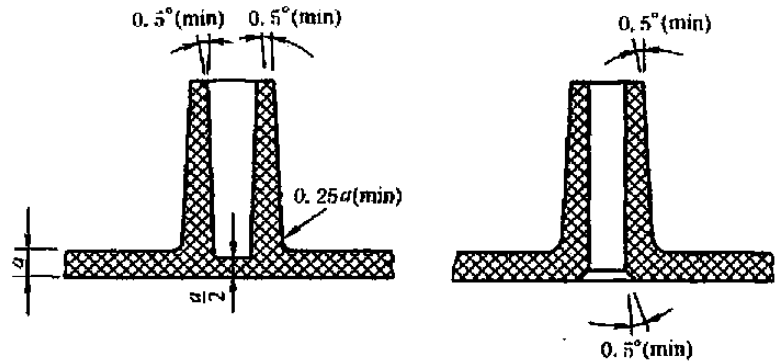


图 20-1-12 圆角上的凸台结构



(a) 不通孔凸台,内孔与外圆斜度方向相反 (b) 通孔凸台,内孔与外圆斜度方向相同

图 20-1-13 通孔与不通孔的凸台结构

2.2.8 塑件的角撑

角撑起支撑制品壁面、增大制品强度和刚度的作用。它一般位于塑件的边缘,其设计尺寸按制品壁面的厚度来确定。通常通过增加角撑的个数、减小角撑间距的方法来增强角撑的作用,其设计及尺寸见图 20-1-14。

2.2.9 塑件的脱模斜度

塑料从熔融状态转变为固体状态将产生一定量的尺寸收缩,制品在冷却或固化过程中围绕凸模和型芯产生收缩而抱紧。为了便于塑料制品脱模,防止脱模时划伤制品表面,与脱模方向平行的塑件表面一般应具有合理的脱模斜度。

脱模斜度的大小与塑料的收缩率、塑件的形状、塑件的壁厚及部位有关。常用塑件的脱模斜度见表 20-1-16。

图 20-1-15 所示为注塑件的脱模斜度。

图 20-1-15a 所示为模塑制品壁面的脱模斜度。制品内、外壁面都应有脱模斜度。如图 20-1-15b 所示,若只有内壁面脱模斜度,脱模时制品将黏附在凹模表面。如图 20-1-15c 所示,若只有外壁面脱模斜度,脱模时制品将黏附在凸模表面。如图 20-1-15d 所示,模塑制品上布置平行于模具启闭方向筋的壁面应有脱模斜度。

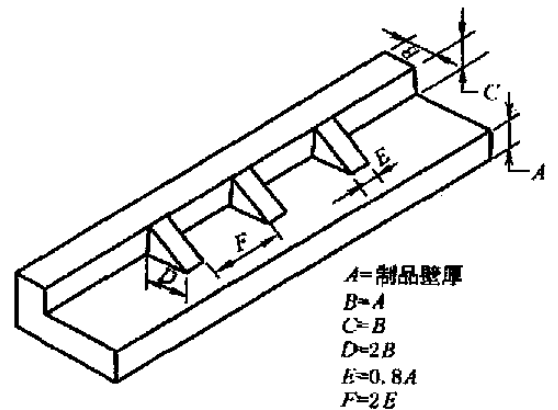


图 20-1-14 塑料模塑制品角撑的设计尺寸

表 20-1-16

塑件的脱模斜度

塑 料	脱模斜度
聚乙烯、聚丙烯、软聚氯乙烯	$30' \sim 1^\circ$
ABS、聚酰胺、聚甲醛、聚苯醚、氯化聚酯	$40' \sim 1^\circ 30'$
聚碳酸酯、聚砜、聚苯乙烯、硬聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯	$50' \sim 2^\circ$
热固性塑料	$20' \sim 1^\circ$

在确定脱模斜度的过程中,要注意考虑以下三方面的关系:

① 在必须保证塑件尺寸精度或制品有特殊要求时,脱模斜度造成的制品尺寸误差必须限制在该尺寸精度公差范围内或满足制品特殊要求。

② 为避免或减小脱模力过大而损伤注塑件,对于收缩较大、形状复杂、型芯包紧面积较大的塑件,应该考虑较大的脱模斜度。

③ 为使注塑开模后,塑件留在动模一侧的型芯上,可以考虑塑件的内表面取较小的脱模斜度。

另外,对有花纹的侧表面需特大的脱模斜度,如 $4^\circ \sim 5^\circ$ 。每 0.025mm 花纹深度要取 1° 以上脱模斜度。壳类

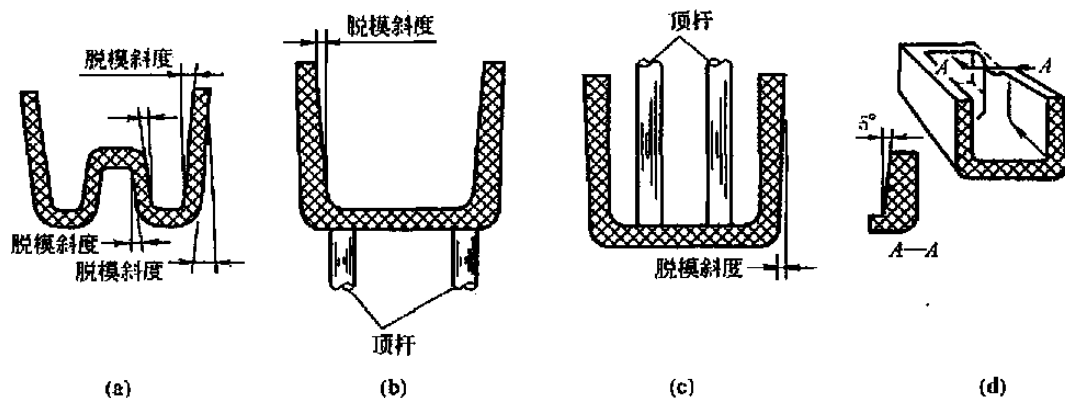


图 20-1-15 注塑件的脱模斜度

塑件上有成排网格式孔板时,要取 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 以上脱模斜度。孔愈多、愈密,脱模斜度愈大。

2.2.10 塑件的顶出部位

当从模具中取出塑件时,常有制品黏附在模具动模上的现象。因此,模具脱模机构的设计必须根据塑件形状选择合适的顶推部位。

塑件顶出脱模要求顶出力在制品上分布均匀,顶出面要尽可能大,顶出部位尽量靠近型芯,以免造成塑件变形、碎裂。模具的脱模机构依模具的结构、模塑方法不同而不同。

3 塑件的结构设计

3.1 塑件孔和凹凸设计

塑件上常有许多不同形状和尺寸的孔,这些孔有的是与其他零件装配、连接用孔,有的是制品装饰性孔或功能性孔等。

塑件上的孔是用模具的型芯成型的,理论上讲,可以成型任何形状的孔,但是形状复杂的孔,其模具制造困难,成本提高。因此,用模具成型的孔,应采用工艺上易于加工的孔。

塑件上常见的孔有通孔、盲孔、形状复杂的孔等。这些孔均应设置在不会削弱塑件强度的地方。各孔之间和孔与边缘之间均应有足够的距离(一般应大于孔径)。装配、连接用孔和其他受力孔的周围可设计一凸边来加强,如图 20-1-16 所示。

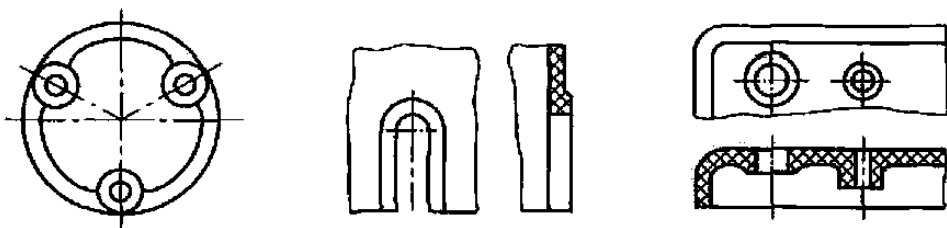


图 20-1-16 孔的加强

通孔的成型方法如图 20-1-17 所示。图 20-1-17a 中通孔由一端固定的型芯成型,孔的一端有不易修整的飞边,由于型芯系一端支撑,故孔深时型芯较长,容易产生弯曲变形。图 20-1-17b 由两个一端分别固定的型芯来成型,同样在两型芯对接处有飞边,而且修整比前一种成型方法困难。由于两段孔同轴度不易保证,此时应将其中的一个型芯设计成比另一个大 $0.5\sim 1\text{mm}$,这样即使稍有同轴度误差,也不致引起安装和使用上的困难。这种成型方法因型芯较短,增加了型芯的稳定性。图 20-1-17c 由一端固定、另一端导向支撑的型芯来成型,这样,型芯有较好的强度和刚性,从而保证同轴。此法较为常用,但导向部分若磨损会引起导向误差,从而导致在型芯与导向孔配合处产生溢料。

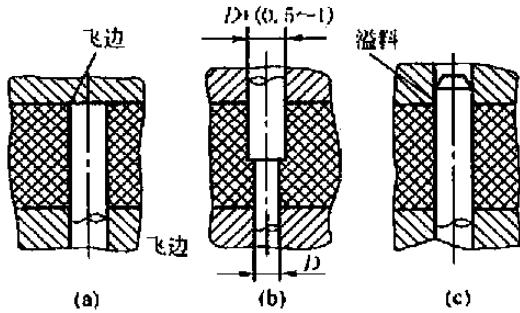


图 20-1-17 通孔的成型

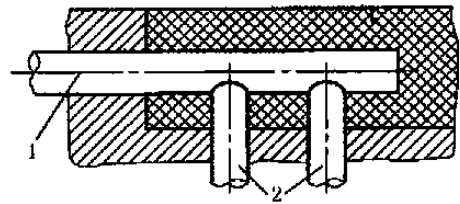


图 20-1-18 防止型芯变形的支撑柱

1—型芯; 2—支撑柱

盲孔只能用一端固定的型芯来成型。为了避免型芯弯曲或折断, 盲孔的深度不宜太深。对于挤塑或注射成型, 孔深不得大于孔径的 4 倍。压塑成型时, 孔深应更浅些, 平行于压塑方向的孔深一般不超过孔径的 2.5 倍, 垂直于压塑方向的孔深为孔径的 2 倍。如塑件上确实需要较深的盲孔, 且孔的位置垂直于压塑方向, 为防止型芯弯曲, 在型芯下面应设置支撑柱, 如图 20-1-18 所示。支撑柱的形状将要复制在塑件上, 此种工艺孔应在设计时考虑。

对斜孔或形状复杂的孔, 可采用拼合的型芯来成型, 以避免侧面抽芯, 从而简化模具结构, 如图 20-1-19 所示。

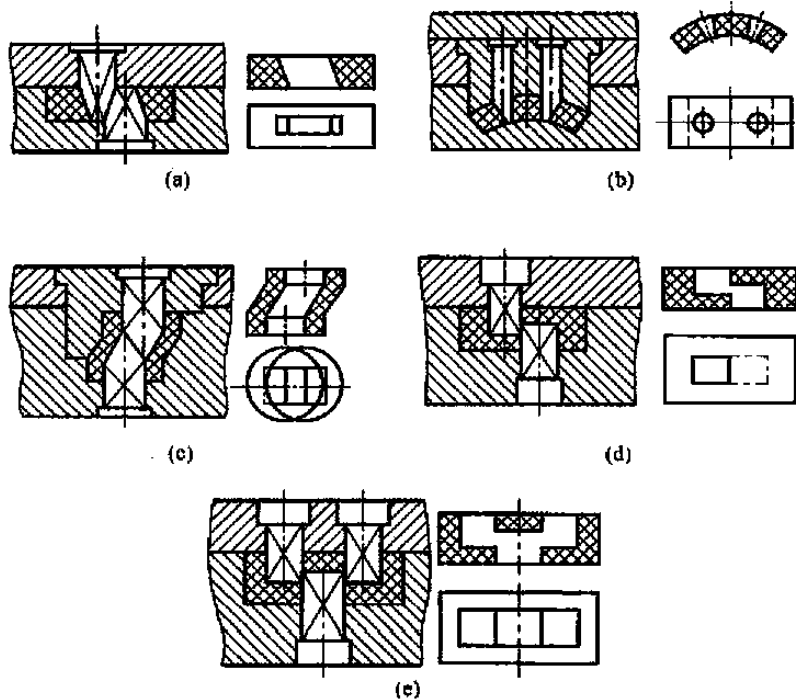


图 20-1-19 形状复杂的孔的成型

3.2 塑件凸凹设计

塑料模塑制品壁面有局部凸起或凹缺部分, 凸凹分为内凸、外凸、环形凹槽和侧向凸凹等, 如图 20-1-20 所示。

带凸凹的模塑制品模具结构, 通常采用对开式凹模、伸缩式凸模、侧向抽芯、侧向滑块等。壁面局部凸凹形状造成模具结构复杂化, 制造费用增大, 模塑周期延长, 模具分模线缝溢料产生的制品溢边增多。因此, 无特殊的情况, 制品应尽量避免凸凹, 特别是侧向凸凹。

图 20-1-20a 所示为制品上环形内凸, 较难成型, 一般如无特殊使用功能, 应尽量避免。环形内凸采用伸缩式凸模成型, 模具结构复杂, 操作麻烦。

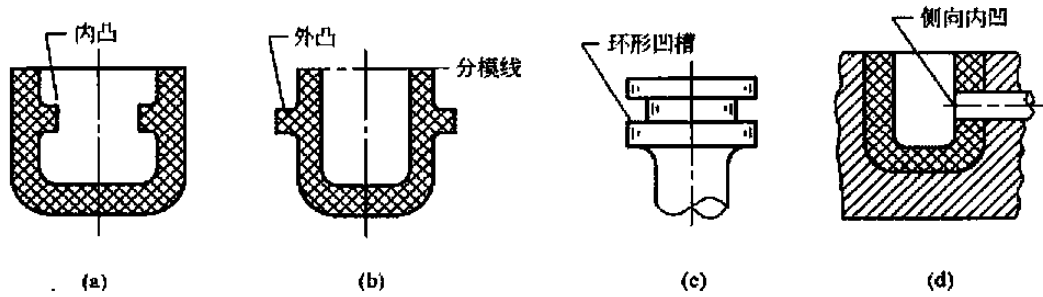


图 20-1-20 塑料模塑制品成型凸凹的形式

图 20-1-20b 所示为制品上环形外凸，可采用对开式凹模成型，模塑后分离凹模取出制品。对开式凹模成型时，模具分模线增加，分模线缝溢料，在制品上产生溢边，而去除溢边后，制品上留下两条对称的分模线迹印，影响制品外观。

图 20-1-20c 所示为模塑制品上环形外凹（环形凹槽）。环形凹槽成型类似环形外凸。

图 20-1-20d 为模塑制品上侧向内凹。侧向内凹相当于侧面非圆形孔，其成型方法类似于垂直孔，使用模具侧向抽芯机构或滑块。

图 20-1-21 所示为几种模塑制品上特殊形式凸凹的设计及相应的模具结构。

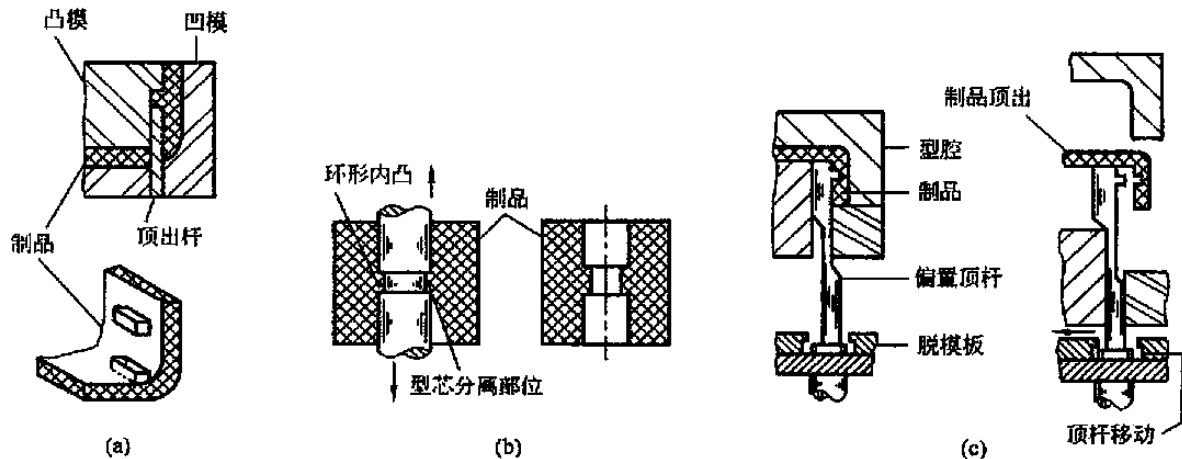


图 20-1-21 内凹的设计及模具结构

图 20-1-21a 所示为模塑制品侧壁上内凸，模具结构采用移动滑杆。滑杆沿模具启闭方向移动，既是内凸型又是制品脱模顶出杆。凸模上开设滑槽，与滑杆相配。这是一种简单而又巧妙的内凸设计形式和成型方法，但是制品底面上多了一个与内凸相同尺寸的孔。

图 20-1-21b 所示为模塑制品上平行通孔中环形内凸，成型通孔型芯采用的形式为，在凹模和凹模上各支撑固定一根型芯，闭模时两型芯拼合，启模时分离，便于顶出制品。该成型方法具有模具结构简单、操作方便的优点，但是两根型芯的拼合缝隙处有熔体溢入产生溢边，孔中溢边去除困难。

图 20-1-21c 所示为模塑制品内凹，采用偏置顶杆成型。顶杆上部为内凸型块，顶杆下部与脱模板相连，顶杆上、下部轴线偏置一定距离，凸模上开有顶杆滑槽。启模时，凹模移动脱开，制品留在凸模上，顶杆随凸模移动触碰顶出机构，使顶杆向上偏移，顶出制品脱离凸模，并使内凸型块分离。

3.3 嵌件模塑制品

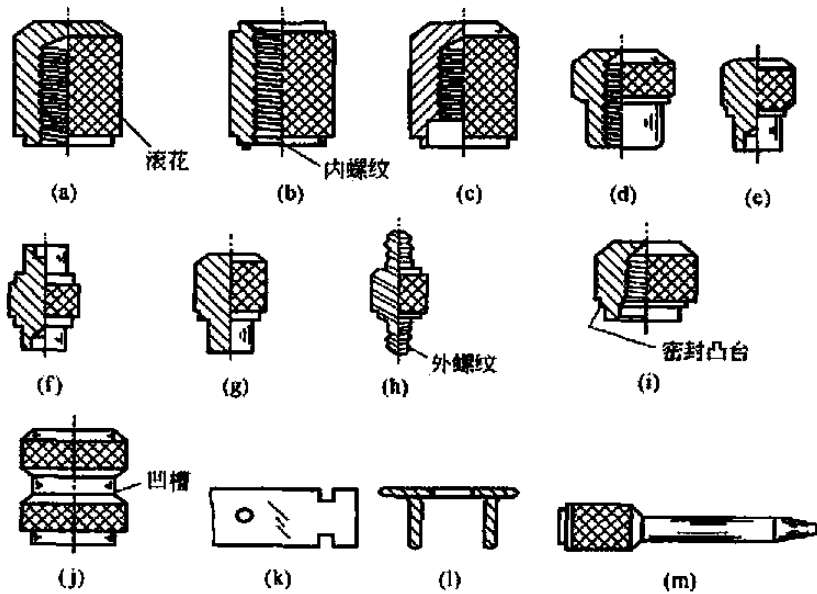
3.3.1 金属嵌件的形式

在塑料模塑制品中配置金属或其他材料的零件，或将零件压入制品中，或将零件放在模具型腔中，成型后成为模塑制品不可拆卸的组成部分。该制品为嵌件模塑制品，嵌入制品中的零件称为嵌件。

镶入嵌件的主要目的是为了增加塑件局部的强度、硬度、耐磨性、导电性、导磁性；为提高塑件尺寸和形状的稳定性和精度；降低塑料的消耗等。嵌件的材料有有色金属、黑金属、玻璃及木材等。

嵌件可分为接触塑料和不接触塑料两部分。接触塑料部分是指嵌入制品中的部分，此时应设法加大塑料对嵌件的握固强度和嵌件的抗拔出能力。为此对圆柱形零件，可采取表面滚花、车凹槽等措施；对片状或板状嵌件，可考虑钻孔、冲缺口或打弯等。不接触塑料部分是指嵌件外露部分，主要为了嵌件使用方便以及便于将嵌件牢固地置于模具中。

表 20-1-17 金属嵌件的不同结构形式



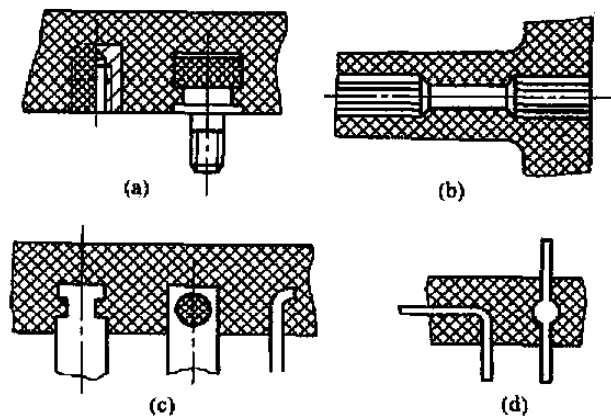
序号	金属嵌件图号	金属嵌件名称	序号	金属嵌件图号	金属嵌件名称
1	图 a	内螺纹盲孔阴嵌件	8	图 h	双头外螺纹阳嵌件
2	图 b	内螺纹通孔阴嵌件	9	图 i	内螺纹盲孔双凸台阳嵌件
3	图 c	内螺纹带凹台盲孔阴嵌件	10	图 j	凹槽阳嵌件
4	图 d	内螺纹盲孔螺栓形阳嵌件	11	图 k	板或片状嵌件
5	图 e	单端孔阳嵌件	12	图 l	带孔拱形片状嵌件
6	图 f	双端孔阳嵌件	13	图 m	杆形阳嵌件
7	图 g	铆钉阳嵌件			

3.3.2 嵌件与塑件的设计

在嵌件与塑件的设计中，要考虑两者之间持久的连接牢度和注射过程的可行性。

① 嵌件的形状和表面应设计适当伏陷结构，以提高嵌件与塑件的连接牢度，其主要形式见表 20-1-18。

表 20-1-18 嵌件上的伏陷结构



序号	主要形式	说明
1	圆柱表面滚花(图 a)	交叉滚轧的麻粒状花纹,连接效果比直纹滚花好。直纹滚花在轴线方向易松动
2	开槽(图 b)	可在圆柱表面开圆环槽,但周向易松动
3	切口和冲孔(图 c)	对于片条嵌件,可冲压切口或孔作为伏陷结构
4	压扁和弯折(图 d)	细圆条嵌件,可局部压扁,也可折弯

② 嵌件在模具内要可靠定位,在动模的合模运动中嵌件要不产生松动,以保证在高压熔体冲压下不偏移不漏料。

表 20-1-19

嵌件在模具内的定位

序号	示意图	说明
1		<p>模具上的圆柱孔与螺杆嵌件上轴段有 H9/f9 配合定位尺寸</p> <p>图 a、b 所示,螺杆嵌件的轴线方向定位较差,熔料有溢入螺纹牙的可能</p> <p>图 c 所示,图上轴线方向有凸肩定位,熔料不会溢入螺纹牙</p>
2		<p>图 a 所示螺母嵌件为不通孔,嵌件插入模具上的定位芯棒。若为通孔,如图 b 所示,采用可拆卸的螺钉芯棒,在模外旋入螺母嵌件,然后一起定位到模具上</p>
3		<p>为防止柱状嵌件被高压熔体压歪,嵌件高度 h 不宜超过直径 d 的 2 倍。必要时给以支撑,如图所示。对面积较大片状嵌件,对全埋在塑件中的嵌件如汽车方向盘,都用模具上的芯柱支撑</p>

由于金属与塑料的线胀系数等热性能差异较大,在冷却固化后嵌件周围的塑料有较大的残余应力。嵌件周围同时存在熔合缝,会降低材料的力学性能。因此,金属嵌件周围的塑料要有足够的厚度,其推荐值列于表 20-1-20。

表 20-1-20

金属嵌件周围塑料层的最小壁厚

mm

塑料材料	金属嵌件的外径 D 范围		塑料材料	金属嵌件的外径 D 范围	
	1.5 ~ 16	16 ~ 25		1.5 ~ 16	16 ~ 25
酚醛塑料	0.8D	0.5D	聚丙烯、聚酰胺、聚甲基丙烯酸甲酯	0.5D	0.3D
尼龙 66、聚乙烯	0.4D	0.3D	醋酸纤维素	0.9D	0.8D
尼龙 6	0.5D	0.4D	ABS	1.0D	0.8D

3.3.3 塑件中嵌件的位置

嵌件在模塑制品中的位置直接关系到制品外观、强度及使用性能等。因此在设计嵌件模塑制品时,必须考虑嵌件在制品中的合适位置,见表 20-1-21。

表 20-1-21

塑件中嵌件的位置

序号	项 目	示 图	说 明
1	嵌件底面离制品壁面的距离		如图 a 所示,若嵌件底面紧挨制品壁面,制品壁面会产生波纹形缩痕
2	在模塑制品边缘的嵌件		<p>在模塑制品边缘的嵌件,若嵌件离制品壁面很近,要考虑到嵌件外伸部分插入凸模定位孔中,孔壁离凸模表面距离太小时,会引起孔口附近模具边缘损坏。为避免这一缺陷,嵌件离制品壁面内侧的距离应大于 0.5mm。如图 a 所示</p> <p>凸台中嵌件见图 b 所示。此类嵌件应伸到凸台底部,嵌件底部为球头,以避免制品中局部应力集中。凸台应增设加强筋</p> <p>对于受力嵌件,制品中嵌件承受的应力超过塑料材料的强度,设计制品时应考虑使嵌件受力而嵌件周围塑料不受力。图 c 所示,金属板用螺钉紧固在塑料制品上,为使拧紧螺钉产生的压缩力直接作用在嵌件凸肩上,金属板上孔径应小于嵌件凸肩外径</p>

3.3.4 嵌件周围塑料裂纹

塑料制品在使用过程中,由于环境温度变化和塑料老化的影响,在嵌件周围的塑料可能产生裂纹。为防止和减少裂纹,合理设计嵌件模塑制品结构极为重要。

对于金属嵌件模塑制品,嵌件的周围壁面应有足够的厚度,若壁面太薄,易引起裂纹,表 20-1-22 列出了不同塑料品种模塑制品中金属嵌件周围最小壁厚。

表 20-1-22

不同塑料品种模塑制品中金属嵌件周围最小壁厚设计推荐值

mm

塑 料	嵌 件 直 径					
	4	6	10	12	20	25
ABS	4	6	10	12	20	25
聚甲醛	1.6	4	5	6	10	12
丙烯酸塑料	2.4	4	5	6	10	12
纤维素塑料	4	6	10	12	20	25
FVA	1	2	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐
FEP(四氟乙烯-六氟丙烯共聚物)	0.6	1.5	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐
尼龙	4	6	10	12	20	25
聚苯醚(改性)	1.6	4	5	6	10	12
PC	4	6	10	12	20	25
HDPE	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐
PS	不推荐	不推荐	10	12	20	25
PP	4	6	5	5.5	8	9

塑 料	嵌 件 直 径					
	4	6	10	12	20	25
酚醛(通用级)	2.4	4	4	5	7	8
酚醛(中等冲击强度)	2	3.5	3.5	5	7	8
酚醛(高冲击强度)	1.6	3	5	5.5	8	9
脲醛	2.4	4	1.0	1.3	1.5	1.8
环氧	0.5	0.75	5	8	9	10
醇酸	4	5	6	8	9	10
DAP	4	5	4.5	5	6	7
聚酯(热固性)	2.4	4	5	6	10	10
聚酯(热塑性)	1.6	4	5.5	8	9	10
密封胶	4	5				

在制品中, 尽量不使用带锐边的嵌件如方形、矩形或六边形断面的嵌件, 因为制品中嵌件锐边附近易产生局部应力集中, 而使塑料产生裂纹, 如图 20-1-22a 所示。

热固性塑料模塑制品, 同一断面上相邻两嵌件之间的最小距离应大于 4mm (图 20-1-22b)。若相邻两嵌件离得太近, 易引起嵌件之间塑料产生裂纹, 若嵌件用于传导电流, 裂纹会引起短路。

如图 20-1-22c、d 所示, 金属嵌件用作制品凸台支撑时, 嵌件周围凸台最小壁厚尺寸按表 20-1-22 数据确定。

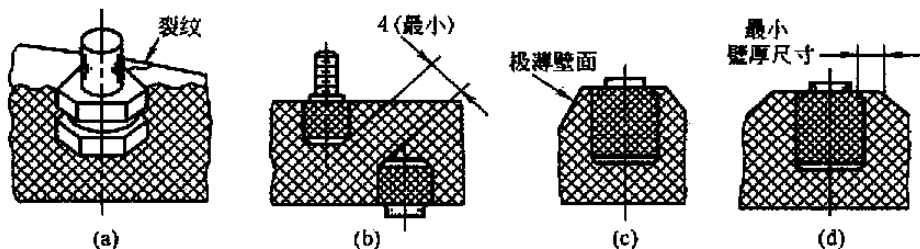


图 20-1-22 不合理的嵌件形式和位置引起制品裂纹

3.3.5 热插嵌件

热插嵌件是利用模塑制品出模瞬时塑料的弹性膨胀和冷却收缩, 将嵌件插入而固定在制品成型孔中。热插嵌件操作简单。对于热固性塑料制品, 适合采用热插嵌件。熔体在模具型腔中固化成型即可启模取出制品, 此时制品温度较高, 将嵌件插入成型孔中, 制品温度下降产生冷却收缩抱紧嵌件。热插嵌件不适用于热塑性塑料模塑制品, 因为制品必须在模具型腔中充分冷却定型后才能启模取出, 取出的制品温度较低, 弹性膨胀量小, 冷却收缩对嵌件抱紧作用不大。

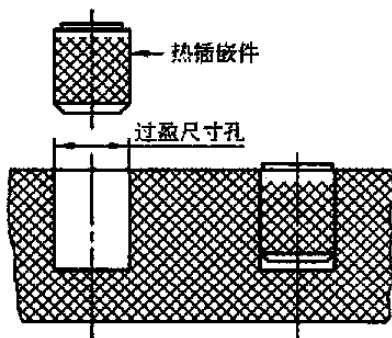


图 20-1-23 热插嵌件

热插嵌件必须正确确定塑料的弹性膨胀量, 以避免超出弹性变形范围, 引起嵌件周围塑料开裂, 因此, 必须严格控制模塑制品上热插嵌件用成型孔及嵌件直径公差。成型孔直径公差通过型芯直径公差保证。

热插嵌件表面有直条滚花, 以提高嵌件在制品孔中的握固强度。若使用过程中嵌件脱落, 可使用黏结剂粘接。

第 2 章 塑料注射成型工艺

1 成型前的准备工作

为了使注射过程顺利进行并保证产品质量,在成型前有一系列准备工作,包括原材料分析、着色、原材料干燥、嵌件预热、脱模剂的选用、机筒清洗等。

表 20-2-1 成型前的准备

序号	准备项目	说明
1	原料熔体指数的测定	<p>熔体指数常用 MI 表示,作为热塑性塑料质量控制和成型工艺条件的参数。它是在规定温度和恒定载荷下,塑料熔体在一定时间通过标准毛细管的质量数,用 $g/(10min)$ 来表示</p> <p>熔体指数可用以区别各种热塑性材料在熔融状态时的流动性。对同一种树脂,可以用熔体指数来比较其相对分子质量的大小,作为生产的质量控制指标。一般来说熔体指数与相对分子质量成反比关系,即该树脂的熔体指数愈大,相对分子质量愈小,它的流动性也愈好,成型加工较容易,但力学性能相对偏低</p> <p>注射用塑料材料的熔体指数多数选择为 $1-10g/(10min)$,比较简单的制件而强度要求较高时,选小值;复杂、薄壁、流程长的制件,通常熔体指数选择偏大一些</p>
2	塑料的着色	<p>注射制件着色最常见的方法是色母料着色法,这种方法简单易行,着色均匀,但是成本偏高一些。色母料着色法是将热塑性塑料颗粒与色母料颗粒按一定比例混合均匀即可用于生产,色母料的加入量通常为 $1\% \sim 5\%$</p> <p>第二种方法是将热塑性塑料颗粒与分散剂(也可称稀释剂、助染剂)、颜色粉均匀混合成着色颗粒。这种方法成本较低、简单易行,但需要增加混合机,用手工混合则增加劳动强度。分散剂多用白油,每 $25kg$ 塑料用白油 $20 \sim 30mL$,着色剂 $0.1\% \sim 5\%$。塑料材料不同,分散剂的使用也不尽相同,可用作分散剂的还有松节油、酒精以及一些酯类等。热固性塑料的着色较为容易,一般将颜料混入即可</p>
3	原材料的干燥	<p>塑料材料分子结构中含有酰胺基、酯基、醚基、氟基等基团,具有吸湿倾向。当吸入的水分超过一定量时,注射制品就会产生银纹、收缩孔、气泡等缺陷,严重时会引起材料降解。这时产品外观和内在质量都会有不同程度的下降。易吸湿的塑料品种有:聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚砜、聚苯醚、氯化聚醚、ABS 等,一般地说这些塑料成型前都应干燥,干燥条件见表 20-2-2</p> <p>有些塑料如聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚甲基醚等不易吸湿,如果包装、储存较好,一般可不干燥</p> <p>塑料的干燥方法很多,可采用循环热风干燥、红外线加热干燥、真空加热干燥、沸腾床干燥、气流干燥等,主要根据塑料批量及具体条件进行选择。通常批量较小的采用循环热风 and 红外线加热干燥法;而大批量的干燥多选用沸腾床法和气流法。高温下易氧化降解的聚酰胺则采用真空加热干燥法为好。干燥温度多控制在材料的玻璃化温度以下,干燥时间较长,这样干燥效果较好。应注意的是干燥后的物料应防止再次吸湿</p>

序号	准备项目	说明
4	嵌件的预热	<p>为了装配和使用的要求,塑料制件内常常嵌入金属制的嵌件。注射前,金属嵌件应先放进模具内的预定位置,经注射成型塑料熔体均匀包覆在嵌件四周,冷却后成为一整体。由于塑料材料与金属材料的热性能差异很大,两者比较起来塑料热导率小,线胀系数大,成型收缩率较大。因此,有嵌件的塑料制品在嵌件周围易产生裂纹,致使制品强度较低。要解决上述问题,设计制件时,应加大嵌件周围塑料的厚度,同时要对金属嵌件进行预热,以减少塑料熔体与金属嵌件的温差,使嵌件及其四周的塑料冷却变形收缩相对较均匀,产生一定的熔料补缩作用,以防止嵌件周围产生较大的内应力</p> <p>嵌件是否需要预热由塑料的性质、嵌件的大小和种类决定。对具有刚性分子链的塑料,如聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚砜、聚苯醚等,当有嵌件时必须预热,因为这些塑料本身就容易产生内应力而引起应力开裂。而含柔性分子链的塑料且嵌件较小时,嵌件易被熔融塑料在模内加热,可不预热</p> <p>嵌件预热温度一般为 110 ~ 130℃,以不损伤嵌件表面的镀层为限,对非钢质嵌件,如铝、铜预热温度可提高至 150℃左右,嵌件形状最好为圆形,若在表面开一些径向沟槽就更好了</p>
5	脱模剂的选用	<p>脱模剂是使塑料制件容易从模具中脱出而喷涂在模具表面上的一类助剂或复合物。其原理是利用润滑剂分子的极性基团对金属表面取向,因吸附作用形成一个静止的润滑剂膜层,在塑料熔体与金属表面之间产生类似“界面润滑”作用</p> <p>脱模剂目前常见的是雾化脱模剂,它是由主组分掺入适量溶剂经共混并充以适量雾化剂罐装而成。雾化脱模剂喷涂均匀,涂层较薄,脱模效果较好。一般喷涂一次可脱模 15 模左右。雾化脱模剂适应性较强,可用于各种塑料包括热固性塑料。雾化脱模剂的种类和性能见表 20-2-3。传统脱模剂主要有硬脂酸锌、白油、硅油,一般用手工涂刷,往往不均匀,脱模次数大大低于雾化脱模剂。手工涂刷方法已逐渐被雾化脱模取代</p> <p>硬脂酸锌除聚酰胺外,一般塑料均可使用。白油作聚酰胺的脱模剂效果较好。硅油脱模效果好,但使用不方便,需要配制成甲苯溶液,涂刷在模具表面经干燥后才能显现良好的效果,因此使用上受到限制。手工涂刷过量或不均匀都会影响制件的外观和性能,其中对透明制品影响更大,易使制件产生混浊。目前,一些小型工厂还在使用手工涂刷脱模剂</p>
6	机筒的清洗	<p>生产中需要改变品种、更换原料、调换颜色,或者发现塑料有分解现象时,都需要对注射机机筒进行清洗或拆换</p> <p>柱塞式注射机机筒的清洗比较困难,因为柱塞式注射机机筒内存料大,分流梭不易拆卸,清洗时必须采用拆卸清理</p> <p>螺杆式注射机机筒多采用机筒清洗剂进行清洗。机筒清洗剂的组成是聚甲基丙烯酸甲酯及有关助剂。清洗原理是聚甲基丙烯酸甲酯在较高温度下产生化学和物理两方面的变化,在机筒及螺杆上形成十分粗糙的表面,同时伴有少量降解所产生的低分子物质和单体气体,对机筒壁和螺杆表面及黏附物料产生刷洗和剥离作用。机筒清洗剂无毒、节能、高效,使用简便,利于文明生产,与传统清洗方法比较,可节省原材料 90%、节能 30%,提高工效 2 倍以上,并能显著降低因染色、混料造成的废品率</p> <p>机筒清洗剂的主要品种、用量、适用温度范围见表 20-2-4</p> <p>传统的机筒清洗,通常采用直接换料清洗法,清洗料多选用低密度聚乙烯。这种方法造成较大的浪费</p> <p>机筒清洗剂使用方法如下。首先将正常生产条件下的机筒温度提高 10 ~ 20℃,挤尽机筒内残余物料,然后加入清洗剂,随后加入要更换的正常用料,或者等待清洗剂被挤到螺杆前端之后,再加入正常用料,用预塑方式连续挤出一段时间即可。若一次清洗效果不令人满意,可再重复上述清洗过程。例如在 60cm³ 注射机注射黑色 ABS,要换成白 ABS 料,可先将黑料挤尽,然后加入 1009 清洗剂,再加入白色 ABS,挤压一段时间,即得白色 ABS 制品。该清洗剂亦可用于挤出成型的机筒清洗</p>

表 20-2-2

塑料干燥条件

塑料名称	干燥条件	干燥温度/℃	干燥时间/h	干燥厚度/mm	干燥要求 (水分含量)/%
ABS		80 ~ 85	2 ~ 4	30 ~ 40	0.1
聚酰胺		95 ~ 105	12 ~ 16	< 50	< 0.1
聚甲醛		75 ~ 85	3 ~ 5	< 30	—
聚碳酸酯		120 ~ 130	> 6	< 30	0.015
聚甲基丙烯酸甲酯		70 ~ 80	2 ~ 4	30 ~ 40	—
聚对苯二甲酸乙二醇酯		130	5	—	—
聚对苯二甲酸丁二醇酯		120	< 5	< 30	—
聚砜		120 ~ 140	4 ~ 6	20	0.05
改性聚苯醚		120 ~ 140	2 ~ 4	25 ~ 40	—

表 20-2-3

雾化脱模剂的种类及性能

种 类	脱模效果	制件表面后处理 (电镀、喷涂等)的适用性
甲基硅油(TG 系列)	优	差
白油(TB 系列)	良	良
蓖麻油(TM 系列)	良	优

表 20-2-4

机筒清洗剂品种、适用温度范围及用量

品 种	适用温度范围/℃	清洗剂用量	
		注射机型号	用量/g
LQ-1 型	180 ~ 200		
LQ-2 型	200 ~ 220	Z-S-60	50 ~ 100
LQ-3 型	220 ~ 240	XS-ZY-125	100 ~ 150
LQ-4 型	240 ~ 260	XS-ZY-250	150 ~ 200
LQ-5 型	260 ~ 280	XS-ZY-500 以上	适当增加

2 注射成型过程

注射成型过程包括塑化与流动、注射和模塑三个阶段。

2.1 塑化与流动

塑料在机筒内经加热达到流动状态，再通过螺杆的旋转或者柱塞的推挤，达到组分均匀并具有良好可塑性的过程。塑化与流动是注射模塑的准备过程，主要要求有：达到规定的成型温度；温度、组分应均匀一致并能在规定的时间内提供足够数量的熔融塑料；分解物控制在最低限度。塑化与流动和注射制件的产量、质量都有直接而密切的关系。现将柱塞式和螺杆式注射机（也称注塑机）的塑化与流动进行分析比较。

2.1.1 热均匀性

柱塞式注射机中塑料依靠机筒外部热源加热熔化，被柱塞推挤入模，几乎没有混合作用，熔料在机筒内的流动处于层状流动，不利于热的传递，更不利于消除温差。又由于塑料导热性差，塑料熔化所需要的热量主要是由机筒外部加热装置提供，会造成靠近机筒壁处温度高，而中心处温度偏低，形成温差，这样对制件性能有影响，一般地说用该机成型的制件内应力较大，成型热敏性塑料较为困难。

螺杆式注射机由于螺杆的混合和剪切作用，不仅提供了大量的摩擦热，而且还能加快热的传递，从而使物料温升较高，温差较小。制品的性能较好，成型的材料品种及制品种类较多。柱塞式与螺杆式注射机温升曲线比较见图 20-2-1。

从图 20-2-1 可以看出：柱塞式注射机温升较低，温差较大，而螺杆式注射机温升较高。

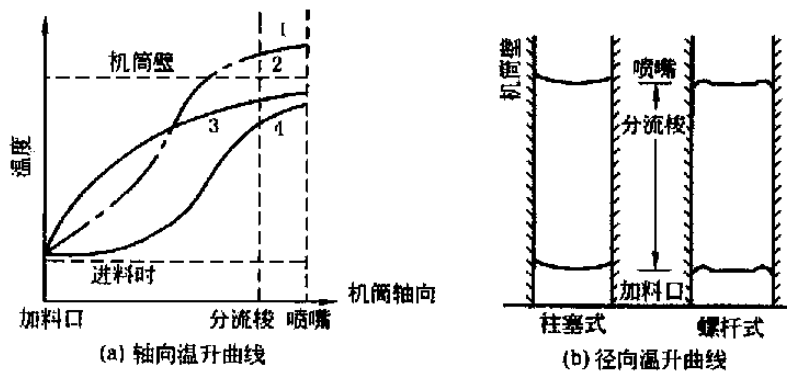


图 20-2-1 注射机机筒内塑料温升曲线

- 1—螺杆式注射机（剪切作用强烈）；2—螺杆式注射机（剪切作用和缓）；
3—柱塞式注射机（靠近机筒壁）；4—柱塞式注射机（中心部位）

2.1.2 塑化量

塑化量（塑化能力）是指单位时间内注射机可提供的熔体量。在一个成型周期内，塑化的熔体量必须与注射量相平衡。柱塞式注射机塑化量与注射量的关系式为：

$$Q_m = \frac{3.6Q}{t} \quad (20-2-1)$$

式中 Q_m ——塑化量，kg/h；

Q ——注射量，g；

t ——循环时间，s。

由上式可见，对于一定的注射量来说，塑化能力受到循环时间的限制，若循环时间短，则物料与机筒接触时间短，塑化能力高，但是物料的热历程缩短，会影响塑化质量。

塑化能力除与物料在机筒中停留时间有关外，还与加热温度及塑料材料性质有关。

柱塞式注射机仅仅依赖机筒外部加热，温度低，温差大，而缩短循环时间是不可行的，因而它的塑化能力就必然低。

而螺杆式注射机塑化过程的特点是，塑化螺杆在预塑时，不仅有旋转运动，而且还有后退的直线运动，螺杆一边后退一边旋转，把熔体从均化段的螺槽中向前挤出，使之集聚在螺杆头部的空间里，形成熔体计量室并建立起熔体压力，此压力称预塑背压。螺杆旋转时，正是在此背压的作用下克服系统阻力而使螺杆后退的，后退动作一直进行到螺杆所控制的计量行程为止。当螺杆后退停止时，螺杆旋转运动也就终止，预塑阶段结束，程序等待进入下一注射循环。

与柱塞式注射机挤出类似，塑料材料从螺杆式注射机机筒加料人口到喷嘴，由于热历程不同，物料也有三种聚集态：入口处为玻璃态，喷嘴处为黏流态，中间为高弹态。与之相对应的标准螺杆也分为固体输送段、均化段和压缩段。物料热能来源主要是机械能转换和机筒的外部加热，在此过程螺杆转速起着重要作用，螺杆式注射机机筒内物料受到加热、剪切作用，塑化较为充分，同时又可采用不同背压和螺杆转速以改善塑化质量，因此塑化能力较高。柱塞式与螺杆式注射机塑化能力比较见图 20-2-2。

2.2 注射

注射过程是用柱塞或者螺杆的推挤作用，使具有流动性、温度均匀、组分均匀的熔体入模的过程。塑料熔体注射入模需要克服一系列的流动阻力，包括熔体与机筒、喷嘴、浇注系统、模具的摩擦阻力以及熔体的内摩擦阻力，同时还要对熔体进行保压，因此，注射压力是很高的。注射历程虽然时间很短，但是熔体的变化并不小，对产品质量有很大影响。熔体流经流道示意图见图 20-2-3。

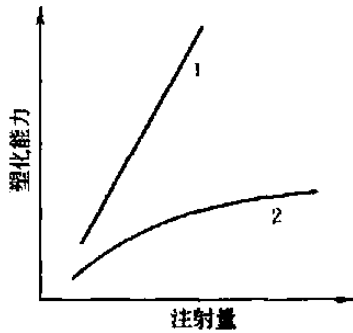


图 20-2-2 柱塞式与螺杆式注射机塑化能力比较
1—螺杆式注射机；2—柱塞式注射机

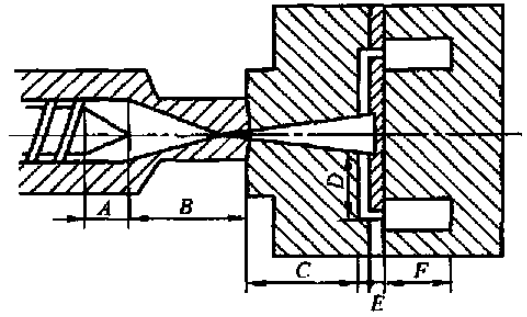


图 20-2-3 熔体流经流道示意图
A—计量变流道；B—喷嘴流道；C—主流道；
D—分流道；E—浇口；F—模腔

塑料在柱塞式注射机中受热、受压时，首先将粒状物料挤压成柱状固体，在受热过程中逐渐变成固体与熔融的混合体，最后成熔融体，熔化慢，阻力大，注射时压力损失较大。增大机筒直径虽能减小注射压力损失，但是塑化质量大大下降。所以柱塞式注射机注射压力损失大，注射速率较低。

在螺杆式注射机中，物料在固体输送段已经形成固体塞，阻力较小，而在计量段物料已经熔化，由于料层较薄，摩擦因数较小，所以熔化快，注射压力损失小，注射速率较高。

物料在柱塞式与螺杆式注射机中注射速率对比见图 20-2-4。

2.3 模塑

模塑阶段是指塑料熔体进入模腔开始，经过型腔注满，熔体在控制条件下冷却定型，直到制品从模腔脱出为止。

不管是哪种形式的注射机，其模塑阶段均可分为充模、压实、倒流和冷却四个阶段，见表 20-2-5。在连续的四个阶段中塑料熔体的温度将不断下降，而时间、压力的变化则如图 20-2-5 所示。

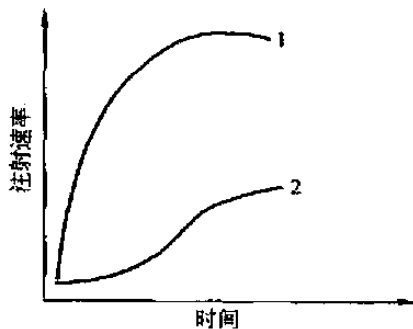


图 20-2-4 柱塞式与螺杆式注射机注射速率比较
1—螺杆式注射机；2—柱塞式注射机

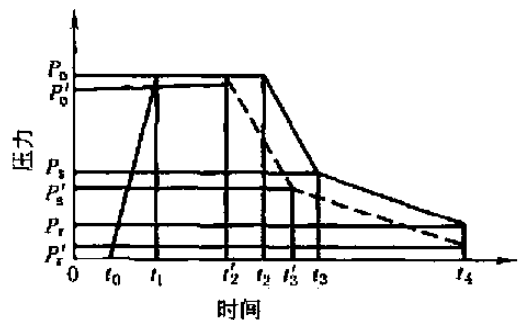


图 20-2-5 模塑时间-压力曲线
 P_0 —模塑最大压力； P_0' —浇口凝封压力； P_r —脱模残余压力； $t_0 \rightarrow t_1$ —充模阶段； $t_1 \rightarrow t_2$ —保压阶段； $t_2 \rightarrow t_3$ —倒流阶段； $t_3 \rightarrow t_4$ —冷却阶段

表 20-2-5 塑料熔体进入模腔内的流动情况

序号	阶段	说明
1	充模阶段	<p>这一阶段从柱塞或者螺杆开始向前移动(时间为 t_0)起直至塑料熔体充满模腔(时间为 t_1)为止。充模阶段包括引料入模期、充模期、挤压增密期,因引料入模期和挤压增密期时间很短,所以通常把充模时间称为注射时间。$t_0 \rightarrow t_1$ 通常为 3~5s。</p> <p>充模阶段,随着物料不断被充入模腔,模腔内压力逐渐增大,待模腔充满后,料流压力迅速上升达到最大值。充模时间与模塑压力有关。充模时间长,也就是慢速充模,先进入模内的熔料(熔融塑料)受到较多的冷却,黏度升高,后面的熔料就需要较高的压力才能入模,模内被冷却的物料受到较高的剪应力,分子定向程度较高,如果定向分子被冻结,制品就会出现各向异性和产生内应力,严重时产生裂纹。充模时间过长,制品的热稳定性便较低。充模时间短,也就是快速充模,熔料经过喷嘴及浇注系统时产生较高的摩擦热,料温便较高。当注射压力达到最大值时,塑料熔体的温度高,分子定向程度可减小,制品熔接强度较高。但是充模速度太快,则在嵌件后部的熔接不好,致使制品强度变劣,裹入空气也会使制品产生气泡。</p>

序号	阶段	说明
2	保压阶段	<p>保压阶段也称压实增密阶段。这一阶段从熔体充满模腔(时间 t_1)起到柱塞或螺杆在最前位置(时间 t_2)止。这段时间内塑料熔体会受到冷却而产生收缩,但是熔料仍处于柱塞或螺杆的稳压下,机筒内的熔料必然会向模腔内继续流入,以补充因收缩而留出的空隙。如果柱塞或螺杆停在原位不动,压力曲线略有下降;如果柱塞或螺杆保持压力不变,也就是随着熔料入模的同时向前移动,则模内压力也有所下降</p> <p>保压时间通常为 20 - 120s</p> <p>保压压力提高,保压时间延长,有利于提高制品密度、减小收缩、克服制品表面缺陷。此外,由于塑料熔体还在流动,而且温度在不断下降,定向分子容易被冻结,所以这一阶段是大分子定向形成的主要区间,保压时间愈长,浇口凝封压力愈大,分子定向程度也愈高</p>
3	倒流阶段	<p>这一阶段从柱塞或螺杆后退时(时间 t_2)开始到浇口处熔料凝封(时间 t_3)为止。这时模腔内的压力比流道压力高,因此塑料熔体就会发生倒流,这时模内压力不断下降,如果柱塞或螺杆后退时,浇口处熔料已凝封,或者喷嘴中装有止逆阀,则倒流阶段就存在,也就不会出现 $t_2 \rightarrow t_3$ 段压力下降曲线,所以倒流多少或有无倒流是由保压时间决定的</p> <p>浇口凝封压力用 P_s 表示。保压时间长,凝封压力高,倒流少,制品收缩率低。倒流阶段有塑料熔体的流动,就会增加分子定向程度,凝封压力愈高,分子定向程度也愈大,制品的内应力较高</p>
4	冷却阶段	<p>这一阶段是从浇口处熔料凝封(时间 t_3)时起到制品从模腔中顶出(时间 t_4)止。通常情况冷却时间为 20 - 120s</p> <p>模内塑料熔体在这一阶段内主要是继续进行冷却,以便制品脱模时有足够的刚度,不致产生变形。在这一阶段,虽然无塑料熔体从浇口流入或流出,但模内还可能有熔料少量流动,依然会产生分子定向。由于模内塑料熔体的温度、压力和体积在这一阶段均有变化,到制品脱模时,模内压力不一定等于外界压力。模内压力与外界压力的差值称残余压力,用 P_r 表示</p> <p>残余压力的大小与保压阶段时间长短有关,保压时间长,凝封压力高,残余压力也大。残余压力为正值时,脱模比较困难,强行顶出制品容易被刮伤,甚至破裂。残余压力为负值时,制品表面容易产生凹陷或内部有真空泡。残余压力为零有如下几种情况。若在冷却初期等于零,因制品外表壳层较薄,无足够强度抵抗内部随后出现的负压而使制品产生凹痕;若冷却中期为零,制品内部未凝固熔体,会在足够厚的外壳的拉应力作用下形成缩孔,若冷却后期残余压力等于零,则脱模较顺利并能获得满意的制品</p>

3 制件的后处理

注射制件经脱模或者机械加工、修饰之后,常要进行适当的后处理,以提高制件的性能。制件后处理主要包括热处理(退火)和调湿处理。

表 20-2-6

制件后处理

序号	后处理项目	说明
1	热处理(退火)	<p>由于塑料在机筒内塑化不均匀或在模腔内冷却速度不同,因此常会产生不均匀的结晶、定向和收缩,致使制品存在着内应力,这在生产厚壁或带有金属嵌件的制品时更明显</p> <p>制件存在着内应力,在储存和使用过程中,常常会使力学性能下降、光学性能变坏,制件表面产生银纹、开裂。解决这些问题的方法是对制件进行热处理</p> <p>热处理的方法是将制件置于热介质中,如循环热风干燥室、干燥箱中或者热的水、矿物油、甘油、乙醇、白油等,静置一定时间,通常为几个到数十个小时。热处理时间决定于塑料品种、模塑条件、制品形状和热处理温度</p> <p>塑料材料大分子中分子链刚性较大及玻璃化温度较高的制品、厚壁制品、带金属嵌件的制品和使用温度范围较宽、尺寸精度要求较高、内应力较大又不易自行消失的制品,均须进行热处理。而对于分子链比较柔顺且玻璃化温度较低的制品,虽然也会产生内应力,但是内应力能缓慢自消,如聚甲醛、氯化聚醚,如果使用要求不高,也可不进行热处理</p> <p>一般热处理温度控制在制品使用温度以上 10 - 20℃ 或者热变形温度以下 10 - 20℃。温度过高制品易产生翘曲、变形;温度太低又达不到热处理的目的。热处理时间视制品厚度来决定,以达到消除制品内应力为准。热处理后,制品应缓慢冷却到室温,冷却太快,有可能再次引起内应力。表 20-2-7 列出各种塑料热处理参考条件</p> <p>热处理的实质是:使强迫冻结的分子链得到松弛,凝固的大分子链段转向无规位置,消除这一部分内应力;提高结晶度,稳定结晶构型,从而提高结晶塑料制品的硬度、弹性模量,降低断裂伸长率</p>

续表

序号	后处理项目	说明
2	调湿处理	<p>聚酰胺类塑料在高温下与空气接触时常会氧化变色,此外,在空气中使用和储存时又易吸收水分而膨胀,需要经过较长时间后才能得到稳定的尺寸。如果将刚脱模的制品放在热水中进行处理,不仅可隔绝空气防止制品氧化,同时可以加快制品吸湿达到吸湿平衡,使制品尺寸稳定,这种方法称为调湿处理</p> <p>适量的水分对聚酰胺类产品起着类似增塑作用,从而改善了它的韧性和柔软性,某些刚性指标也能提高,如冲击强度、拉伸强度均有不同程度的提高。调湿温度、时间随制品品种、形状而异,可在醋酸钾溶液(沸点 120℃ 左右)中或油中进行调湿处理</p>

表 20-2-7

热处理条件参考值

塑料名称	热处理温度/℃	时间/h	热处理方法
ABS	70	4	烘箱
聚碳酸酯	110 ~ 135	4 ~ 8	红外灯、烘箱
聚甲醛	100 ~ 110	8 ~ 12	
聚甲酯	140 ~ 145	4	红外线加热或烘箱
尼龙 66	100 ~ 110	4	油、盐水
聚甲基丙烯酸甲酯	70	4	红外线加热、烘箱
聚砜	110 ~ 130	4 ~ 8	红外线加热、甘油、烘箱
聚对苯二甲酸丁二醇酯	120	1 ~ 2	烘箱

4 注射成型工艺条件

获得优质高产的注射制品涉及的生产因素很多,一般情况下,当提出一件注射制件时,首先就应在经济合理和技术可行的原则下,选择最合适的原材料,确定生产设备和模具结构。在这些条件确定之后,工艺条件的选择、确定就是主要考虑的因素了。

4.1 温度

注射成型需要控制的温度有机筒温度、喷嘴温度、模具温度、油温等,前两个温度主要影响塑料的塑化与流动,而模具温度对塑料的流动与冷却定型起决定性作用。另外,注射机的油温控制是工艺参数实现的重要条件。

表 20-2-8

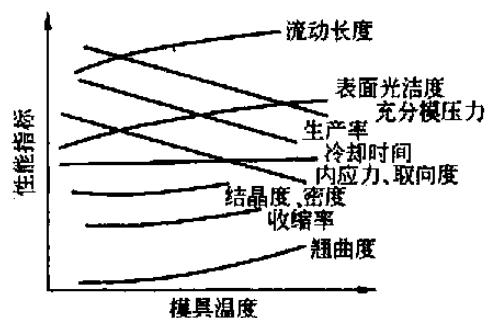
注射成型需要控制的温度

序号	需要控制的温度	说明
1	机筒温度	<p>机筒温度的选择与各种塑料的特性有关,每种塑料材料都有自己的黏流温度(T_f)和熔点(T_m)。对无定形塑料来说,机筒末端温度应高于黏流温度(T_f),而结晶型塑料应高于熔点(T_m),但是都必须低于分解温度(T_d)。因此机筒最合适的温度范围应在 $T_f \sim T_d$ 或 $T_m \sim T_d$ 之间。对于 $T_f \sim T_d$ 范围较窄的塑料,机筒温度应偏低些,可比 T_f 稍高一些;而对 $T_f \sim T_d$ 范围较宽的塑料,机筒温度可适当提高,可比 T_f 高。例如聚氯乙烯受热易分解,机筒温度应尽可能低一些;而聚苯乙烯 $T_f \sim T_d$ 范围宽,机筒温度范围可较宽且较高一些</p> <p>塑料在高温下易产生热氧化降解而影响制品的性能,给成型加工也带来困难。有时虽然机筒温度低于塑料的分解温度,但是在高温下,物料在机筒内停留时间过长,同样会发生降解,所以对热敏性材料如聚氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等,除应严格控制加热温度外,对加热时间也应有所限制</p> <p>同一种塑料由于来源不同、牌号不一样,其流动温度和分解温度也是有差异的。凡是平均相对分子质量较高,相对分子质量分布较窄的塑料材料,其熔体黏度较大,流动性较差,机筒温度应偏高一些,反之则可偏低一些</p>

序号	需要控制的温度	说明
1	机筒温度	<p>添加剂对成型温度也有影响,凡是材料中加入刚性添加剂,如增强剂、填充剂等,由于其软化温度提高,流动性变小,机筒温度应选择高一些;而加入韧性添加剂,如增塑剂、软化剂等,在塑料大分子中起到了润滑作用,这时机筒温度可偏低一些</p> <p>注射机种类不一样,注射机机筒温度也不相同。柱塞式注射机,塑料完全靠机筒壁和分流梭传热,传热效率低且不均匀,为了提高材料流动性,机筒温度应较高。螺杆式注射机,塑料在螺槽中经历复杂的运动,受到较强的剪切作用,剪切摩擦热较大,而且机筒内料层薄,传热较容易,因此机筒温度可偏低些,一般比柱塞式机筒温度低 10~20℃</p> <div data-bbox="422 459 837 795"> </div> <p>薄壁制件、复杂制件、带金属嵌件的制件,由于熔体充模流程长且曲折,充模时间较长,流动阻力大,冷却快,机筒温度应高一些,这样物料流动性较好;简单制件、厚壁制件,机筒温度可适当低一些</p> <p>机筒温度的分布原则,通常从料斗到喷嘴温度由低到高,使塑料逐步加热、熔化。机筒料斗座处应设置冷却夹套,防止物料结块堵塞下料</p> <p>机筒温度的选择对制品性能有直接的影响,如图所示。从图可看出,机筒温度提高以后,制品的表面光洁度、冲击强度、成型时流动长度增加,而注射压力降、制品收缩率、翘曲度、取向度、内应力减小。从这点看,机筒温度提高对提高产品质量、产量是有好处的。因此,在允许的情况下,可适当提高机筒温度</p>
2	喷嘴温度	<p>喷嘴和浇口的作用一样,是为了加速熔体的流动,把势能转变为动能,并有调整熔体温度和均化的作用。喷嘴对熔体温度的影响如下。如果注射压力不变,喷嘴长度、喷嘴直径对温度没有明显的影响;喷嘴附近温度的升高,与塑料熔体平均流速成正比</p> <p>实验证明,注射压力对熔体流经喷嘴的温升有很大影响,而喷嘴直径对熔体温度升高影响并不大(见表 20-2-9)。塑料熔体的注射压力又取决于熔体温度和通过喷嘴的速率,如果喷嘴直径一定,熔体温度愈高,熔体压力也愈大。但是,机筒温度也不宜太高,因为喷嘴温度太高,熔料产生流涎现象。一般注射成型前都通过“对空注射法”或“直观分析法”来调整成型工艺条件,确定合适的机筒温度和喷嘴温度</p> <p>从表 20-2-9 可看出,喷嘴直径小,由于剪切摩擦热大,温升高。设计喷嘴温度时,通常以略低于机筒温度为好</p>
3	模具温度	<p>模具温度对制品的外观和内在质量都有很大影响。模具温度的高低取决于塑料的特性、制品的形状、尺寸、性能的要求以及其他工艺条件</p> <p>模具的冷却加热方法很多,可以采用自然散热、水冷却、冷冻水冷却及电热丝、电热棒加热等。控制模具温度的目的是使熔体温度达到玻璃化温度或者工业上常用的热变形温度以下,使塑料冷却定型同时利于制件的脱模</p> <p>无定形塑料熔体注入模腔后,随着模温降低而固化,模具温度主要影响充模速度。对熔体黏度较高的塑料,如聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜、氟塑料、聚酰亚胺等,模具温度应高一些,因为提高模温可以调整制品的冷却速率,使其缓慢冷却,从而使应力得到充分松弛,防止制品产生凹痕、裂纹等疵病。提高模温,由于取向的分子得到充分松弛,取向应力较小</p> <p>注射无定形塑料,如聚苯乙烯及其共聚物时,模温对制品力学性能影响比较小</p> <div data-bbox="406 1601 861 1859"> </div> <p>(a) 不同模温尼龙 6 的密度与放置时间关系(在 20℃、相对湿度 75% 条件下放置 7 天) 1—低模温;2—高模温</p> <p>结晶型塑料注入模后,模具温度对结晶度、结晶条件起着决定性的作用。结晶度的变化可根据结晶塑料密度的变化来判断,因为对于许多塑料,如聚乙烯、聚酰胺、聚对苯二甲酸乙二酯等,已确定了其密度与结晶度之间存在着线性关系。因此,根据模具温度或注射过程其他工艺参数变化时制品密度的变化,就可确定对热塑性塑料结晶构型、结晶度的影响</p> <p>从图 a 可见,对注射的尼龙 6 制品来说,在注射周期结束后,密度会随放置时间的延长而逐渐发生变化,低模温条件下注射制品的密度可高于高模温注射制品的密度。这是因为尼龙 6 从完全非晶态比部分晶态更容易结晶</p>

续表

序号	需要控制的温度	说明
3	模具温度	<p>表 20-2-10 说明了模温对聚酰胺力学性能的影响。熔体黏度较低的无定形塑料,成型较容易,为防止脱模变形,提高生产效率,模具一般都选择低模温。一些结晶型塑料玻璃化温度较低,如聚丙烯,为防止出现后期结晶过程,引起制品产生后收缩及性能的变化,一般也选择低模温。而一些熔体黏度较高和结晶型的工程塑料,则采用高模温,模具都需要加热。一些塑料模温参考值见表 20-2-11</p> <p>由上述可知,模具温度的选择对制品性能有很大影响,适当提高模具温度可增加流动长度,提高制品表面光洁度、密度、结晶度,减小内应力和充模压力。但是,如图 b 所示,由于冷却时间延长,生产效率降低,制品的收缩增大</p>
4	油温	<p>液压系统压力油温度,对注射工艺参数有着重要的影响。油温升高,黏度变小,增加油的泄漏量,导致液压系统压力和流量产生波动,这样注射压力和注射速率也会不稳定,影响产品质量。所以,在调整注射工艺参数时,应注意油温的变化,对油冷却器的冷却水进行调节,将油温控制在 55℃ 以下</p>



(b) 塑件性能与模具温度的关系

表 20-2-9 喷嘴直径、注射压力与喷嘴温度的关系

喷嘴直径/mm	注射压力/MPa	温度升高数/℃	喷嘴直径/mm	注射压力/MPa	温度升高数/℃
0.5	50	26	1.46	50	23
	100	46		100	43
0.7	50	26	2.0	50	19
	100	47	3.0	50	18
1.0	50	25			
	100	46			

表 20-2-10 模温对聚酰胺力学性能的影响

品种	模温/℃	弹性模量/MPa	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	硬度/MPa
尼龙 6	20	2450	70	100	96
	120	2550	80	60	100
尼龙 11	20	1400	40	200	52
	120	1500	50	150	60
尼龙 66	20	2200	—	—	100
	120	2850	82	50	102
尼龙 610	20	1900	—	—	70
	120	2700	65	70	90

表 20-2-11 塑料模具温度参考值

塑料名称	模具温度/℃	塑料名称	模具温度/℃
ABS	60 ~ 70	尼龙 6	110
聚碳酸酯	90 ~ 110	尼龙 66	120
聚甲醛 (POM)	90 ~ 120	尼龙 1010	110
聚砜	130 ~ 150	聚对苯二甲酸丁二醇酯	70 ~ 80
聚苯醚	110 ~ 130	聚甲基丙烯酸甲酯	40 ~ 65
聚三氟氯乙烯	110 ~ 130		

4.2 压力

表 20-2-12

注射成型压力

序号	注射成型压力	说明
1	塑化压力(背压)	<p>螺杆头部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力称为塑化压力,亦称背压,其大小可以通过液压系统中的溢流阀来调节。预塑时,只有螺杆头部的熔体压力,克服了螺杆后退时的系统阻力之后,螺杆才能后退。在此系统阻力中,除了螺杆和机筒的阻力之外,还有注射油缸的回油阻力,因此可用调节器油阻力来达到对背压的控制</p> <p>注射熔体黏度较高的塑料材料,如聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚等时,背压、螺杆转速太高,易引起动力过载。注射熔体黏度特别低的塑料,如聚酰胺等时,背压太高,一方面易流涎,另一方面塑化能力大大下降。以上情况背压选择都不宜太高</p> <p>一些热稳定性比较好、熔体黏度适中的塑料,如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等,背压可选择稍高一些。通常情况下,背压一般以不超过 2MPa 为宜</p> <p>背压高低还与喷嘴种类、加料方式有关,选用直通式喷嘴或后加料方式,背压应低,防止因背压太高而造成流涎。自锁式喷嘴或前加料、固定加料方式,背压可稍稍提高</p>
2	注射压力和保压压力	<p>注射压力是柱塞或者螺杆顶部对塑料所施的压力,其主要作用是,克服塑料熔体从机筒向型腔的流动阻力;给予熔体一定的充模速率。这些作用不仅与制品的质量、产量有密切的关系,而且还受塑料品种、注射机类型、模具结构及其他工艺条件的影响</p> <p>保压压力的作用是在模腔充满后对模内熔料压实、补缩。如果保压压力较高,往往会使制品的收缩率减小,制品表面光洁,密度增加,熔接痕强度提高,制品尺寸稳定;缺点是脱模时残余压力较大,成型周期延长</p> <p>塑料品种不同,制件形状不一样,注射压力的选择也不相同,一般情况下,注射压力选择范围见表 20-2-13</p>
3	合模力	<p>在注射充模阶段和保压补缩阶段,模腔压力会产生使模具分开的胀模力。为了克服这种胀模作用,合模系统必须对模具施以闭紧力,此为合模力。合模力的大小将直接影响到制品的表面质量和尺寸精度,合模力不足,会导致模具开缝,发生溢料;合模力太大,会使模具变形,制品不合要求,能量消耗也高。注射产品时所需要的合模力简称工艺合模力,它必须小于注射机额定合模力,一般为 0.8~0.9 倍的额定合模力,以保证合模可靠。工艺合模力可根据模腔压力和制品投影面积来确定</p> <p>成型容易、壁厚均匀的日用品模腔压力为 25MPa;一般民用产品为 30MPa;工业制品为 35MPa;精度高、形状较复杂的工业制品为 40MPa;而模腔流长比小于 50 的,为 20~30MPa,大于 50 的,为 35~40MPa 较适宜</p>
4	顶出力	<p>当制品从模具上落下时,需要一定的外力来克服制品和模具的附着力。制品的顶出力、顶出速度和顶出行程要根据制品的结构、形状与尺寸、制品材料的性质及工艺条件来调整。顶出力太小制品无法脱下;顶出力太大,顶出速度太快,会使制品产生翘曲变形,甚至断裂破坏</p>

表 20-2-13

注射压力选择范围参考表

制件形状要求	注射压力/MPa	适用塑料品种
1. 熔体黏度较低、流动性好、精度一般、形状简单的厚制品	70~100	聚乙烯、聚苯乙烯等
2. 中等黏度、精度有要求、形状较复杂	100~140	聚丙烯、ABS、聚碳酸酯等
3. 黏度高、薄壁、长流程、精度高且形状复杂	140~180	聚砜、聚苯醚、聚甲基丙烯酸甲酯
4. 优质、精密、微型	180~250	工程塑料

4.3 成型周期（时间、速度）

完成一次注射成型过程所需要的时间称为成型周期。它实际包括以下几部分（见图 20-2-6）。成型周期直接影响劳动生产率和设备利用率。因此，在生产中在保证质量的前提下，尽量缩短成型周期中各有关时间。

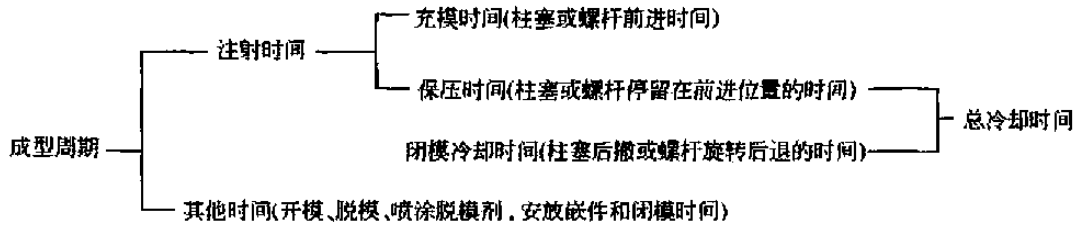


图 20-2-6 成型周期

注射时间中的充模时间短，注射速率高，熔料密度较高、温差较小，熔料压力传递性好，对多型腔制品尺寸误差小，但是制品易产生飞边、毛刺及银纹、气泡。通常情况下，充模时间为 3~5s。对熔体黏度高、玻璃化温度高、冷却速度快的大型、薄壁、精密制件以及加工温度范围窄、玻璃纤维增强的低发泡制品，应采用快速注射，常用值为 15~20cm/s，其他情况采用 8~12cm/s。

保压时间在整个注射时间内占的比例较大，一般约为 20~120s，特别厚的制品可达 3~5min。在浇口处熔料冻结之前，保压时间的多少，对制品尺寸的准确性有影响，以聚苯乙烯为例，保压时间与制品尺寸的关系见表 20-2-14。

表 20-2-14 聚苯乙烯制件保压时间与制品尺寸的关系

性能指标	制品编号				
	1	2	3	4	5
保压时间/s	5	7	9	13	17
制品质量/g	142	144	146	150	153
制品宽度/mm	72.9	73	73.1	73.2	73.7
收缩率/%	0.88	0.64	0.56	0.40	0.20
凝封压力/MPa	7.03	11.2	21.1	35.2	63.5
残余压力为零的时间/s	9	11	15	28	开模时残余压力 14MPa
制品质量情况	表面有较大缩孔	缩孔变小	外观质量好	外观质量好	脱模困难

保压时间与物料温度、模具温度、主流道及浇口尺寸也有密切关系，如果工艺条件是正常的，浇注系统设计合理，通常以制品收缩率波动范围最小时为保压时间最佳值。保压时间短，制品密度低，尺寸偏小，易出现缩孔；保压时间长，制品内应力大，强度降低，脱模困难。表 20-2-10 中，保压时间超过 17s 时，浇口凝封压力高，模内残余压力过大，以致不能开模，这时开模力大大增加，两者关系如下：

模内残余压力/MPa	10	14	21
开模力/kN	9	25	54

成型周期内压力的变化如图 20-2-7 所示。

冷却时间主要取决于制品的厚度、塑料的热性能、结晶性质及模具温度。冷却时间的终点应以保证制品脱模时不变形为原则。通常情况冷却时间为 10~100s。

一般来说，材料玻璃化温度高，结晶型塑料冷却时间较短。冷却时间太长不仅会降低生产率，而且会造成复杂制件脱模困难，强行脱模会产生脱模应力，严重时甚至损坏制品。在保证产品质量的前提下，应寻求最短的冷却时间。

在整个循环周期中，温度条件影响十分显著，如图 20-2-8 所示，a、b 线表示相同模温和脱模温度条件下，熔体温度高，周期长；在相同脱模温度条件下，模具温度低的周期短，如 c 线。

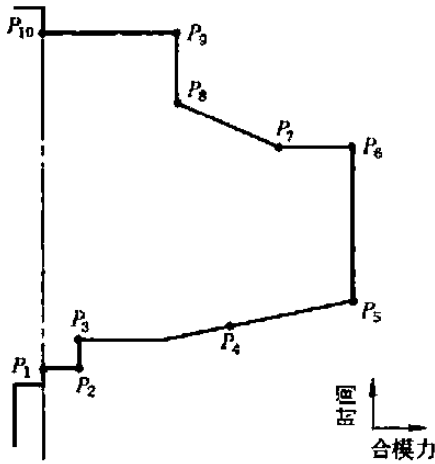


图 20-2-7 成型周期内压力的变化

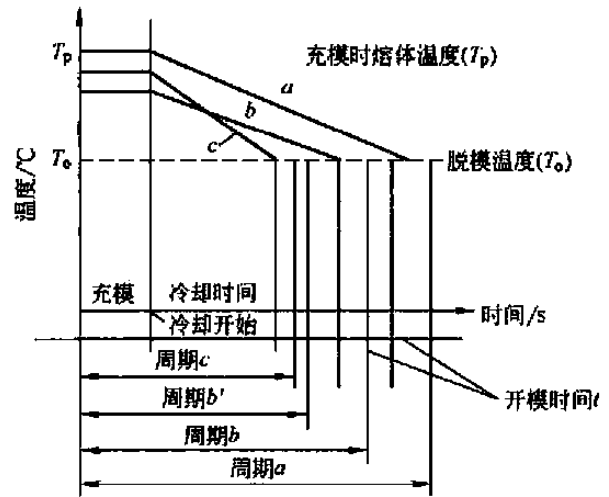


图 20-2-8 温度对成型周期的影响示意图

5 典型塑件的塑料注塑工艺参数

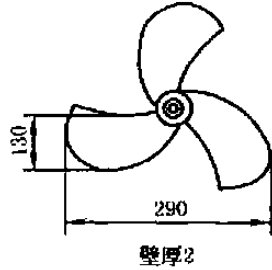
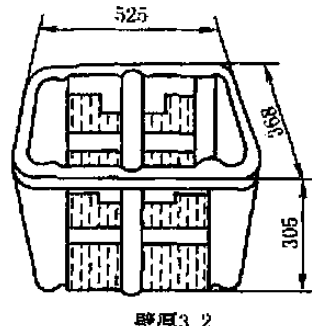
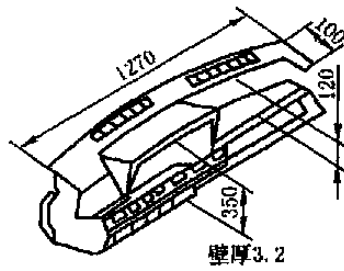
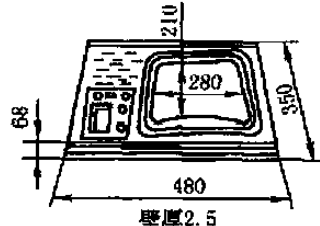
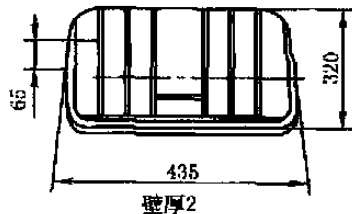
塑料注塑成型机的规格大小、性能参数应尽可能与注塑工艺参数相接近，以最低的能源和原材料消耗，获得最高的生产率和经济效益。从表 20-2-15 可以查出典型注塑制件的主要工艺条件，从表 20-2-16 可以查出常用塑料的工艺参数。

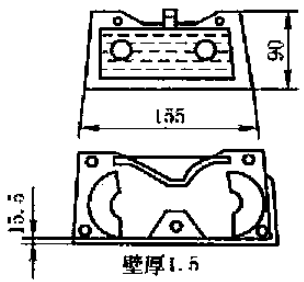
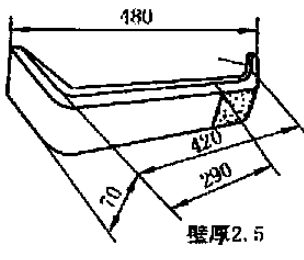
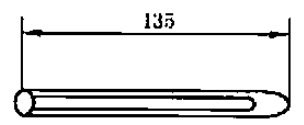
表 20-2-15

典型注塑制件的主要工艺条件

名称	材料	形状及尺寸	注射工艺
汽车保险杠	PP + 填充		注塑机: JI250-8000S 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, $\phi 140\text{mm}$ 螺杆转速: 43r/min 模具温度: 31 ~ 35℃ 成型周期: 117s 其中, 闭模 5s、注射 20s、塑化 + 冷却 80s、开模 6s、取件 6s 日产量: 738 件
汽车挡泥板	PP		注塑机: JI250-5400S 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型 螺杆转速: 60r/min 模具温度: 45℃ 成型周期: 47s 其中, 闭模 4s、注射 18s、塑化 + 冷却 18s、开模 4s、取件 3s 日产量: 1838 件
转向盘	PP		注塑机: N300B II 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, B 螺杆转速: 70r/min 模具温度: 42℃ 成型周期: 70s 其中, 闭模 4s、注射 25s、塑化 + 冷却 30s、开模 4s、取件 7s 日产量: 1234 件

续表

名称	材料	形状及尺寸	注射工艺
风扇叶	SAN	 <p>壁厚2</p>	注塑机: N200B II 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, A 螺杆转速: 37r/min 模具温度: 42℃ 成型周期: 38s 其中, 闭模 2s、注射 10s、塑化 + 冷却 22s、开模 3s、取件 1s 日产量: 2273 件
运输箱	HDPE	 <p>壁厚3.2</p>	注塑机: J800-5400S 模腔数: 1 螺杆形式: HDPE 用螺杆 RSP 螺杆转速: 70r/min 模具温度: 32 ~ 35℃ 成型周期: 62.8s 其中, 闭模 6s、注射 13.6s、塑化 + 冷却 30.1s、开模 4.1s、取件 9s 日产量: 1375 件
汽车仪表板	PPO	 <p>壁厚3.2</p>	注塑机: M1600S/1080-DM 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, $\phi 140\text{mm}$ 螺杆转速: 45r/min 模具温度: 65 ~ 80℃ 成型周期: 71s 其中, 闭模 7s、注射 16s、塑化 + 冷却 30s、开模 9s、取件 9s 日产量: 1080 件
电视机前框	HIPS	 <p>壁厚2.5</p>	注塑机: N550B II 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, B 螺杆转速: 70r/min 模具温度: 60 ~ 65℃ 成型周期: 52s 其中, 闭模 4s、注射 16s、塑化 + 冷却 25s、开模 4s、取件 3s 日产量: 1661 件
箱盖	HDPE	 <p>壁厚2</p>	注塑机: N400B II 模腔数: 1 螺杆形式: HDPE 用螺杆 A 型 螺杆转速: 60r/min 模具温度: 30℃ 成型周期: 37s 其中, 闭模 3s、注射 9s、塑化 + 冷却 19s、开模 4s、取件 2s 日产量: 2335 件

名称	材料	形状及尺寸	注射工艺
磁带盒	ABS		注塑机: N300B II 模腔数: 1 螺杆形式: 标准型, A 螺杆转速: 80r/min 模具温度: 45 ~ 50℃ 成型周期: 23s 其中, 闭模 2s、注射 9s、塑化 + 冷却 9s、开模 2s、取件 1s 日产量: 15026 件
挡板	SAN		注塑机: N200B II 模腔数: 2 螺杆形式: 标准型, A 螺杆转速: 50r/min 模具温度: 50 ~ 60℃ 成型周期: 37s 其中, 闭模 3s、注射 7s、塑化 + 冷却 20s、开模 3s、取件 4s 日产量: 4760 件
笔套	PS		注塑机: N200B II 模腔数: 44 螺杆形式: 标准型, B 螺杆转速: 100r/min 模具温度: 35℃ 成型周期: 30s 其中, 闭模 2.5s、注射 7s、塑化 + 冷却 15s、开模 3s、取件 2.5s 日产量: 126720 件

注: 注射时间在这里包括充填时间与保压时间。

表 20-2-16

常用塑料的注塑工艺参数

项 目	LDPE	HDPE	乙丙共聚 PP	PP	玻璃纤维 增强 PP	软 PVC	硬 PVC	PS
注塑机类型	柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	柱塞式
螺杆转速/r · min ⁻¹	—	30 ~ 60	—	30 ~ 60	30 ~ 60	—	20 ~ 30	—
喷嘴形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式
喷嘴温度/℃	150 ~ 170	150 ~ 180	170 ~ 190	170 ~ 190	180 ~ 190	140 ~ 150	150 ~ 170	160 ~ 170
机筒温度/℃	前段	170 ~ 200	180 ~ 190	180 ~ 200	190 ~ 200	160 ~ 190	170 ~ 190	170 ~ 190
	中段	—	180 ~ 200	190 ~ 220	200 ~ 220	—	165 ~ 180	—
	后段	140 ~ 160	140 ~ 160	150 ~ 170	160 ~ 170	160 ~ 170	140 ~ 150	160 ~ 170
模具温度/℃	30 ~ 45	30 ~ 60	50 ~ 70	40 ~ 80	70 ~ 90	30 ~ 40	30 ~ 60	20 ~ 60
注射压力/MPa	60 ~ 100	70 ~ 100	70 ~ 100	70 ~ 120	90 ~ 130	40 ~ 80	80 ~ 130	60 ~ 100
保压力/MPa	40 ~ 50	40 ~ 50	40 ~ 50	50 ~ 60	40 ~ 50	20 ~ 30	40 ~ 60	30 ~ 40
注射时间/s	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	2 ~ 5	0 ~ 3	2 ~ 5	0 ~ 3
保压时间/s	15 ~ 60	15 ~ 60	15 ~ 60	20 ~ 60	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40
冷却时间/s	15 ~ 60	15 ~ 60	15 ~ 50	15 ~ 50	15 ~ 40	15 ~ 30	15 ~ 40	15 ~ 30
成型周期/s	40 ~ 140	40 ~ 140	40 ~ 120	40 ~ 120	40 ~ 100	40 ~ 80	40 ~ 90	40 ~ 90

续表

项 目	HIPS	ABS	高抗冲 ABS	耐热 ABS	电镀级 ABS	阻燃 ABS	透明 ABS	ACS
注塑机类型	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	30 ~ 60	30 ~ 60	30 ~ 60	30 ~ 60	20 ~ 60	20 ~ 50	30 ~ 60	20 ~ 30
喷嘴	形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	160 ~ 170	180 ~ 190	190 ~ 200	190 ~ 200	190 ~ 210	180 ~ 190	190 ~ 200
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	170 ~ 190	200 ~ 210	200 ~ 210	200 ~ 220	210 ~ 230	190 ~ 200	200 ~ 220
	中段	170 ~ 190	210 ~ 230	210 ~ 230	220 ~ 240	230 ~ 250	200 ~ 220	220 ~ 240
	后段	140 ~ 160	180 ~ 200	180 ~ 200	190 ~ 200	200 ~ 210	170 ~ 190	190 ~ 200
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	20 ~ 50	50 ~ 70	50 ~ 80	60 ~ 85	40 ~ 80	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 60
注射压力/MPa	60 ~ 100	70 ~ 90	70 ~ 120	85 ~ 120	70 ~ 120	60 ~ 100	70 ~ 100	80 ~ 120
保压力/MPa	30 ~ 40	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 80	50 ~ 70	30 ~ 60	50 ~ 60	40 ~ 50
注射时间/s	0 ~ 3	3 ~ 5	3 ~ 5	3 ~ 5	0 ~ 4	3 ~ 5	0 ~ 4	0 ~ 5
保压时间/s	15 ~ 40	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30	20 ~ 50	15 ~ 30	15 ~ 40	15 ~ 30
冷却时间/s	10 ~ 40	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30	15 ~ 30
成型周期/s	40 ~ 90	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 90	30 ~ 70	30 ~ 80	40 ~ 70
项 目	SAN (AS)	PMMA		PMMA/PC	氯化聚醚	均聚 POM	共聚 POM	PET
注塑机类型	螺杆式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20 ~ 50	20 ~ 30	—	20 ~ 30	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
喷嘴	形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	180 ~ 190	180 ~ 200	180 ~ 200	220 ~ 240	170 ~ 180	170 ~ 180	250 ~ 260
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	200 ~ 210	180 ~ 210	210 ~ 240	230 ~ 250	180 ~ 200	170 ~ 190	260 ~ 270
	中段	210 ~ 230	190 ~ 230	—	240 ~ 260	180 ~ 200	170 ~ 190	260 ~ 280
	后段	170 ~ 180	180 ~ 200	180 ~ 200	210 ~ 230	180 ~ 190	170 ~ 180	240 ~ 260
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	50 ~ 70	40 ~ 80	40 ~ 80	60 ~ 80	80 ~ 110	90 ~ 120	90 ~ 100	100 ~ 140
注射压力/MPa	80 ~ 120	50 ~ 120	80 ~ 130	80 ~ 130	80 ~ 110	80 ~ 130	80 ~ 120	80 ~ 120
保压力/MPa	40 ~ 50	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60	30 ~ 40	30 ~ 50	30 ~ 50	30 ~ 50
注射时间/s	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	2 ~ 5	2 ~ 5	0 ~ 5
保压时间/s	15 ~ 30	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	15 ~ 50	20 ~ 80	20 ~ 90	20 ~ 50
冷却时间/s	15 ~ 30	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 50	20 ~ 60	20 ~ 60	20 ~ 30
成型周期/s	40 ~ 70	50 ~ 90	50 ~ 90	50 ~ 90	40 ~ 110	50 ~ 150	50 ~ 160	50 ~ 90
项 目	PBT	玻璃纤维 增强 PBT	PA6	玻璃纤维 增强 PA6	PA11	玻璃纤维 增强 PA11	PA12	PA66
注塑机类型	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 50	20 ~ 40	20 ~ 50	20 ~ 40	20 ~ 50	20 ~ 50
喷嘴	形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	自锁式
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	200 ~ 220	210 ~ 230	200 ~ 210	200 ~ 210	180 ~ 190	190 ~ 200	170 ~ 180
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	230 ~ 240	230 ~ 240	220 ~ 230	220 ~ 240	185 ~ 200	200 ~ 220	185 ~ 220
	中段	230 ~ 250	240 ~ 260	230 ~ 240	230 ~ 250	190 ~ 220	220 ~ 250	190 ~ 240
	后段	200 ~ 220	210 ~ 220	200 ~ 210	200 ~ 210	170 ~ 180	180 ~ 190	160 ~ 170
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	60 ~ 70	65 ~ 75	60 ~ 100	80 ~ 120	60 ~ 90	60 ~ 90	70 ~ 110	60 ~ 120
注射压力/MPa	60 ~ 90	80 ~ 100	80 ~ 110	90 ~ 130	90 ~ 120	90 ~ 130	90 ~ 130	80 ~ 130
保压力/MPa	30 ~ 40	40 ~ 50	30 ~ 50	30 ~ 50	30 ~ 50	40 ~ 50	50 ~ 60	40 ~ 50
注射时间/s	0 ~ 3	2 ~ 5	0 ~ 4	2 ~ 5	0 ~ 4	2 ~ 5	2 ~ 5	0 ~ 5
保压时间/s	10 ~ 30	10 ~ 20	15 ~ 50	15 ~ 40	15 ~ 50	15 ~ 40	20 ~ 60	20 ~ 50
冷却时间/s	15 ~ 30	15 ~ 30	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
成型周期/s	30 ~ 70	30 ~ 60	40 ~ 100	40 ~ 90	40 ~ 100	40 ~ 90	50 ~ 110	50 ~ 100

项 目	玻璃纤维 增强 PA-66		PA-610	PA-612	PA-1010		玻璃纤维 增强 PA-1010		透明 PA
	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	
注塑机类型	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20~40	20~50	20~50	20~50	—	20~40	—	20~50	
喷嘴	形式	直通式	自锁式	自锁式	自锁式	直通式	直通式	直通式	
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	250~260	200~210	200~210	190~200	190~210	180~190	180~190	220~240
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	260~270	220~230	210~220	200~210	230~250	210~230	240~260	240~250
	中段	260~290	230~250	210~230	220~240	—	230~260	—	250~270
	后段	230~260	200~210	200~205	190~200	180~200	190~200	190~200	220~240
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	100~120	60~90	40~70	40~80	40~80	40~80	40~80	40~60	
注射压力/MPa	80~130	70~110	70~120	70~100	70~120	90~130	100~130	80~130	
保压力/MPa	40~50	20~40	30~50	20~40	30~40	40~50	40~50	40~50	
注射时间/s	3~5	0~5	0~5	0~5	0~5	2~5	2~5	0~5	
保压时间/s	20~50	20~50	20~50	20~50	20~50	20~40	20~40	20~60	
冷却时间/s	20~40	20~40	20~50	20~40	20~40	20~40	20~40	20~40	
成型周期/s	50~100	50~100	50~110	50~100	50~100	50~90	50~90	50~110	

项 目	PC		PC/PE		玻璃纤维 增强 PC	PSU	改性 PSU	玻璃纤维 增强 PSU	
	螺杆式	柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	
注塑机类型	螺杆式	柱塞式	螺杆式	柱塞式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20~40	—	20~40	—	20~30	20~30	20~30	20~30	
喷嘴	形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	230~250	240~250	220~230	230~240	240~260	280~290	250~260	280~300
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	240~280	270~300	230~250	250~280	260~290	290~310	260~280	300~320
	中段	260~290	—	240~260	—	270~310	300~330	280~300	310~330
	后段	240~270	260~290	230~240	240~260	260~280	280~300	260~270	290~300
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	90~110	90~110	80~100	80~100	90~110	130~150	80~100	130~150	
注射压力/MPa	80~130	110~140	80~120	80~130	100~140	100~140	100~140	100~140	
保压力/MPa	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	
注射时间/s	0~5	0~5	0~5	0~5	2~5	0~5	0~5	2~7	
保压时间/s	20~80	20~80	20~80	20~80	20~60	20~80	20~70	20~50	
冷却时间/s	20~50	20~50	20~50	20~50	20~50	20~50	20~50	20~50	
成型周期/s	50~130	50~130	50~140	50~140	50~110	50~140	50~130	50~110	

项 目	聚芳砜	聚醚砜	PPO	改性 PPO	聚芳酯	聚氨酯	聚苯硫醚	
	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	
注塑机类型	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20~30	20~30	20~30	20~50	20~50	20~70	20~30	
喷嘴	形式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	380~410	240~270	250~280	220~240	230~250	170~180	280~300
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	385~420	260~290	260~280	230~250	240~260	175~185	300~310
	中段	345~385	280~310	260~290	240~270	250~280	180~200	320~340
	后段	320~370	260~290	230~240	230~240	230~240	150~170	260~280
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	230~260	90~120	110~150	60~80	100~130	20~40	120~150	
注射压力/MPa	100~200	100~140	100~140	70~110	100~130	80~100	80~130	
保压力/MPa	50~70	50~70	50~70	40~60	50~60	30~40	40~50	
注射时间/s	0~5	0~5	0~5	0~5	2~8	2~6	0~5	
保压时间/s	15~40	15~40	30~70	30~70	15~40	30~40	10~30	
冷却时间/s	15~20	15~30	20~60	20~50	15~40	30~60	20~50	
成型周期/s	40~50	40~80	60~140	60~130	40~90	70~110	40~90	

续表

项 目	聚酰胺	醋酸纤维素	醋酸丁酸纤维素	醋酸丙酸纤维素	乙基纤维素	F46
注塑机类型	螺杆式	柱塞式	柱塞式	柱塞式	柱塞式	螺杆式
螺杆转速/ $r \cdot \min^{-1}$	20 ~ 30	—	—	—	—	20 ~ 30
喷嘴	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式	直通式
喷嘴温度/ $^{\circ}\text{C}$	290 ~ 300	150 ~ 180	150 ~ 170	160 ~ 180	160 ~ 180	290 ~ 300
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	前段	170 ~ 200	170 ~ 200	180 ~ 210	180 ~ 220	300 ~ 330
	中段	300 ~ 330	—	—	—	270 ~ 290
	后段	280 ~ 300	150 ~ 170	150 ~ 170	150 ~ 170	170 ~ 200
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	120 ~ 150	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 70	110 ~ 130
注射压力/MPa	100 ~ 150	60 ~ 130	80 ~ 130	80 ~ 120	80 ~ 130	80 ~ 130
保压力/MPa	40 ~ 50	40 ~ 50	40 ~ 50	40 ~ 50	40 ~ 50	50 ~ 60
注射时间/s	0 ~ 5	0 ~ 3	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 5	0 ~ 3
保压时间/s	20 ~ 60	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40	20 ~ 60
冷却时间/s	30 ~ 60	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40	15 ~ 40	20 ~ 60
成型周期/s	60 ~ 130	40 ~ 90	40 ~ 90	40 ~ 90	40 ~ 90	50 ~ 130

6 注塑成型常见缺陷及对策

注塑成型是制造塑料制品最常用的生产方法。所谓注塑成型，是指在高温高压下将处于熔融状态的塑料原料注入模具型腔然后冷却成型塑料制品的过程。该生产过程受人员、原料、模具、成型工艺、注塑设备和管理方法等多种因素的综合影响（如图 20-2-9 所示），常常导致塑料制品出现各式各样的成型缺陷。为了获得合格的塑料制品，分析塑料制品的成型缺陷从而找出相应的对策便成为注塑生产必须考虑的一个重要课题。表 20-2-17 将主要从原料、模具、成型工艺及注塑设备四个方面分析常见的注塑成型缺陷产生的原因，并简要介绍相应的解决方法。

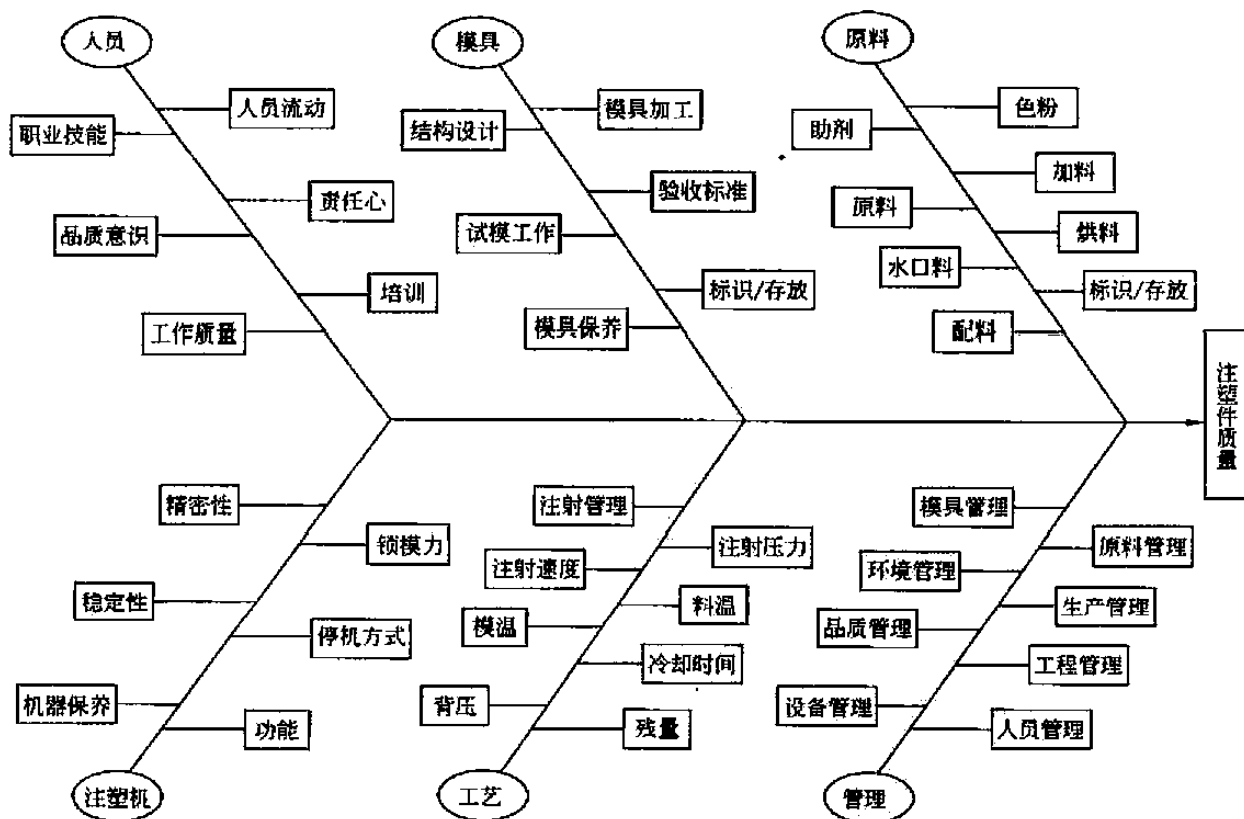


图 20-2-9 影响塑料制品注塑质量的因素

表 20-2-17

充填不足		原因	
充填不足是指在压力足够大和原料充足的前提下,塑料熔体未能充满模具型腔而得到不完整塑料制品的现象。其可能的诱因主要涉及三个方面:原料、模具和注塑设备			
原料因素	塑料原料种类繁多,其性能差异较大。若原料在熔融状态下流动性较差,则易导致注塑过程中熔体未流到模具型腔的末端就已经冷却固化,从而造成充填不足缺陷的出现。在此情况下,可以通过加快注射速度、增大注塑压力、提高模具温度及料筒温度等工艺方法来改善塑料熔体的流动性以避免该类缺陷的出现。若通过工艺方法仍旧不能获得理想的效果,则只有更换原料,选择流动性较强的原料用于注塑生产		
	型腔分布不平衡	塑料制品壁厚过薄导致模具型腔分布不平衡,造成注塑过程中压力损失较大,致使充模不足 建议增大塑料制品壁厚,或者在充填不足处开设辅助分流道以增加塑料熔体的流动渠道来避免充填不足的缺陷	
	流道大小	模具流道太小易造成注塑压力损失太大,而流道太大时则造成注射乏力,导致模具型腔充填不足 建议根据材料及注塑设备合理选择流道类型及大小;在流道过渡处及型腔转弯处采用圆弧过渡	
	排气不良	在注塑过程中,若模具型腔内的气体不能顺利排除,则在气体占据的空间出现充填不足。这对于精度较高的模具影响较大 建议增加大小合适的排气隙或排气孔,且排气隙大小以不溢料为准 增加排气隙的方式有:(1)在分型面上加工排气槽;(2)使整体结构的较深的凹陷部位变位镶块;(3)增设顶杆、推管等,利用间隙排气	
模温过低	模具整体或局部温度过低时,造成注入型腔的塑料熔体迅速冷却而无法继续前进 建议提高模温或者采用模温机等外部设备保证模温的稳定		
注塑设备因素	注塑设备造成的充填不足的可能原因有三个方面:(1)注塑机喷嘴内孔太小或喷嘴中心调节不当造成喷嘴阻力加大,致使注射压力损失较多,降低了模腔内塑料熔体的流动动力,造成充填不足。(2)注塑机加热系统如热电偶、发热圈等故障导致料筒实际注塑温度太低,降低塑料熔体流动性造成充填不足。(3)锁模力不足。因在注射时动模稍有后退,制品产生飞边,壁厚加大,使制品重量增加而引起的缺料。建议增大锁模力,保证正常的塑料制品的重量 另外,由于注塑机机械故障的原因,如:注射油缸密封组件磨损造成漏油或回流而不能提供注塑所需的注塑压力;螺杆与料筒等由于磨损造成回料导致实际充模原料不足等原因也可能导致充填不足		
飞边,又称溢边、溢料、毛刺、披锋等。多出现在模具的分型面、动静模之间、滑块的滑配部位、镶件的缝隙、顶杆孔间隙等位置上,是由于模具结合缝隙(或孔隙)超过了塑料的溢边值而导致塑料制品表面出现多余的塑料片体。因此,解决飞边的关键就是使模具的结合缝隙小于塑料的溢边值			
原料因素	从理论上分析,塑料流动性过好或添加太多的润滑剂并非产生飞边的原因。但是,从注塑的角度看,若塑料的流动性过好,模具结合处的微小缝隙都有可能流入塑料熔体,待注塑完成时,缝隙中的熔体冷却便形成飞边。因此,要消除飞边,可以考虑降低塑料流动性的影响因素,如:降低注射温度或压力、减小注射速度、降低模具温度等。若有必要,还可选择流动性较低的塑料原料		
模具因素	模板翘曲变形	若模板刚度不足,在注塑过程中受注射压力的作用将会产生弹性变形甚至塑性变形,导致分型面上间隙增大,产生飞边。推荐采用增大模板厚度或添加紧固螺钉等方法减小模板的翘曲变形,消除过大的间隙	
	模具局部配合不佳	由模具结构所决定的模具平行度较差或锁模装置不良,产生左右不平衡的现象,飞边由此产生。改变模具锁模机构,将模具分型面及镶块配合不严部分重新研作,即可从根本上解决局部飞边的现象	
	模具表面有异物	若模具合模面上存在异物,则合模面的间隙增大,甚至导致模具合模不平衡,所以极易产生飞边。建议合模前应仔细清洁模具表面,不留任何杂质	
	排气结构设计不当	若模具的排气间隙设置不当,导致注塑时受压气体胀开模具的分型面而出现飞边。另外,若模具的排气槽设置过大时也会导致飞边的产生	
注塑工艺	注射速度太快	降低注射速度	
	保压压力太高	降低保压压力	
	塑料熔体温度太高	(1)降低料筒温度 (2)调整喷嘴温度的设定 (3)调整热浇道温度设定	
	注射过量	注射过量是为了避免缩孔,但是这种方法极易产生飞边。建议增加注射时间或增加保压时间来防止缩孔,同时避免飞边	
注塑设备	在不考虑注塑设备故障的前提下,注塑机锁模力不足是导致塑料制品产生飞边的主要原因。在注塑过程中,当模腔的胀力在注射压力的作用下超过合模力时,动定模之间的缝隙加大导致飞边的产生。降低注射压力,加大合模力都可以消除这种现象。另外,改用流动性较好的原料,采用低压成型也可以取得较好的效果		

续表

熔接痕		熔接痕是指在塑料熔体充填型腔时,两股或多股熔体相遇时因不能完全熔合而在冷却的塑料制品表面留下的线形痕迹。熔接痕常发生在带有孔或嵌件以及采用多浇口注塑的塑料制品上。熔接痕不能从根本上消除,只能改变其位置或降低其清晰度,从而减少对制品外观质量的影响。熔接痕的产生原因及对策如下所示	
		产生原因	解决方法/检查要点
		塑料熔体流动性不好	(1)提高射出速度 (2)提高射出压力 (3)提高模具温度 (4)提高喷嘴温度 (5)提高料筒温度 (6)检查浇口尺寸
		排气不良	(1)在融点线位置增加排气孔 (2)检查浇口尺寸
		熔体流动的前缘受污染	(1)清洁模具表面以去除污染 (2)减少使用或不用润滑剂
翘曲、弯曲和扭曲		<p>注塑生产的塑料制品发生翘曲、弯曲和扭曲等变形的原因在于塑料自身的各向异性。在注塑成型时,塑料熔体在流动方向与其垂直方向上的收缩率存在较大差异。这种差异导致注塑成型的塑料制品在冷却过程中在不同的方向上产生不同的收缩应力,从而导致制品发生各种形式的变形。另外,塑料制品的壁厚不均及结构复杂也是导致变形的一个重要因素。防止塑件变形的的方法主要有以下几种:</p> <p>(1)由成型条件引起残余应力造成变形时,可通过降低注射压力、提高模具温度并使模具温度均匀及提高熔体温度或采用退火方法予以消除应力</p> <p>(2)脱模不良引起应力变形时,可通过增加推杆数量或面积、设置脱模斜度等方法加以解决</p> <p>(3)由于冷却方法不当致使冷却不均匀或冷却时间不足时,可调整冷却方法及延长冷却时间等。例如,可尽可能地在贴近变形的地方设置冷却回路</p> <p>(4)对于成型收缩所引起的变形,必须考虑模具结构的修正。其中,最重要的是应使制品壁厚一致。有时,在不得已的情况下,只好通过测量制品的变形,按相反的方向修整模具,加以校正</p>	
银丝		<p>在塑料制品表面塑料熔体流动方向上产生的银白色纹理称为银丝。这种现象产生的主要原因是原料中含有较多的水分。如果原料彻底干燥后仍旧发现有银丝产生,可以从下面所示的几个方面进行排查</p>	
		产生原因	原因分析及对策
		由塑料分解引起	塑料自身分解,或者添加的稳定剂、抗静电剂分解,结果产生气体,这与未完全干燥的情形相同,往往也产生银丝。解决的方法是降低熔体的温度,尽量缩短熔体在机筒内的停留时间
		由模具表面水分或挥发成分引起	模腔表面沾有水分,被高温的熔体汽化之后很有可能产生银丝。这时,塑件表面发黑,若消除发黑缺陷,则同时也消除了银丝
		由粉料造成	当注塑机采用粉料直接成形时,空气与熔融原料一同运送至喷嘴,从喷嘴注射出来的熔体夹有气体,导致熔体与模腔表面贴合不密切,从而产生银丝。通过降低料筒后部温度或者使料筒下部充分冷却可解决该类问题;还可以降低螺杆的转速,提高背压以防止银丝的出现
喷流纹		<p>喷流纹是指塑料制品表面残留的、从浇口开始与流动方向一致的弯曲如蛇形的痕迹。它主要是由注射速率过高所致。因此,扩大浇口横截面或降低注射速度都可以避免该类缺陷。另外,提高模具温度也能减缓与型腔表面接触的塑料熔体的冷却速率,这对防止在充填初期形成表面硬化皮有较好的效果</p>	
表面凹陷(缩凹变形)		<p>表面凹陷(缩凹变形)是指塑料制品表面因收缩而产生的凹陷现象。缩凹变形易出现在远离浇口的位置及制品壁厚、肋、凸台和内嵌件处,其主要诱因是材料的收缩没有得到有效的补偿。因此,收缩率较大的结晶型塑料易于产生缩凹变形,而非结晶型塑料或通过填充添加剂降低塑料收缩率的材料则不易出现该类现象</p>	
		原料因素	表面凹陷产生的主要原因是塑料自身由液态凝固成固态时的“模塑收缩率”。换言之,收缩率大的塑料注塑成型时产生缩凹变形的概率要大。所以,收缩率较大的结晶型塑料在注塑产品时极易产生缩凹变形。对这种材料可以考虑添加适当的添加剂来加快结晶,降低收缩率,以减少缩凹变形的出现
		模具因素	塑料制品壁厚的均匀一致性较好时有利于避免缩凹变形的出现。因此在模具设计时可以尽量保持壁厚的均匀性。除此之外,保持均匀稳定的模温、保持流畅的浇注系统、合理的冷料井位置及大小等都有利于避免该类缺陷的出现

表面凹陷(缩凹变形)	通过注塑成型参数的调整可较好地解决塑料制品的缩凹变形缺陷。具体方法如下	
	注 塑 工 艺	压缩不足 当注射压力偏低时,难以将塑料制品压缩至适当的密度,同时由于气体未能充分从物料中排除而导致缩凹。推荐提高注射压力或加大浇口直径
		熔体温度偏高 塑料熔体处于较高温度时,其分子间距较大,分子密度降低。当熔体固化时,分子由远程状态排列成紧密连接的状态将会产生较大的收缩。因此,适当降低熔体的温度可以有效的避免缩凹变形
		注射量调整不当 注射終了时,必须在螺杆头与喷嘴之间留有适当数量的塑料熔体来做缓冲。若这个缓冲为零,当又把注射量调整到了終了位置时,螺杆也顶到底,这样保压时螺杆无法前进,无法补充料,起不到保压的作用。推荐的方法是:使注射结束时螺杆仍能前进数毫米甚至十几毫米,保压时仍有熔料补进,以此解决缩凹变形问题
		其他辅助冷却方式 对于不要求精度的制件,在注射保压完毕,外层基本冷凝硬化而夹心部分尚柔软又能顶出的制件,应及早出模,让其在空气或热水中缓慢冷却,从而使收缩凹陷平缓而不那么显眼又不影响使用
注 塑 设 备	喷嘴问题	喷嘴孔大小必须选择合适。孔太大时易出现熔体回流而造成收缩;孔太小时因阻力太大易造成料量不足而出现收缩
	锁模力问题	锁模力不足时易出现飞边,同时也会出现缩凹,所以应检查锁模系统是否正常
	塑化量问题	塑化量不足易造成缩凹,故应选用塑化量大的机台。另外,应仔细检查螺杆与料筒是否有磨损
表面白化(顶白)	表面白化(顶白)是指因模具设计不当造成塑料制品局部脱模困难而使制品某些部位产生内应力,从而出现发白的现象。顶白的产生原因及对策如下所示	
	产生原因	解决方法/检查要点
	料量太多,使成品件粘住模腔表面而顶出不易	(1)降低射量 (2)降低保压压力 (3)缩短保压时间
	因成品收缩而顶出不易	(1)调整冷却时间 (2)调整模具温度
	成品与模腔面粘合太紧而无法顶出	(1)检查模腔表面是否受损 (2)使用润滑剂 (3)检查模具: 1)调整拔模斜度 2)调整倒角 3)调整圆弧 (4)避免产生真空 (5)使用空气顶出针使顶出更容易
顶针太小或不正确的顶针位置	(1)调整顶针及其位置 (2)可能需要采用多次顶出方式顶出塑件	
开裂(龟裂)	开裂(龟裂)是因塑件内应力变形所导致的一种塑料制品常见缺陷。龟裂产生的应力类型可分为三类:残余应力、外部应力和外部环境使塑料变质所产生的应力	
	塑料制品残余应力产生的原因主要有三种:填充过剩、脱模推出和金属嵌件。这三种情况下的解决方案如下所述	
	填充过剩	填充过剩造成的龟裂可以从以下几个方面进行排查 (1)如果龟裂最主要产生在直浇口附近,那么依据直浇口压力损失最小的特点,可考虑改用多点分布点浇口、侧浇口及柄形浇口等方式 (2)在保证塑料熔体不分解、不劣化的前提下,适当提高熔体温度可以降低熔体黏度,提高流动性,同时也可以降低注射压力,以减小应力 (3)一般情况下,模温较低时容易产生应力,故可适当提高模温。但当注射速度较高时,即使模温低一些,也可减少应力的产生 (4)注射和保压时间过长也会产生应力,将其适当缩短或进行多次保压切换效果较好
	脱模推出	对于脱模推出时产生的应力,主要是由于脱模斜度小、模具型腔及凸模粗糙使推出力过大所致。有时甚至在推出杆周围产生白化或破裂现象。只要仔细观察龟裂产生的位置,即可确定原因
	金属嵌件	对于金属嵌件造成的应力,主要是由于金属和树脂的热膨胀系数相差悬殊而产生的应力,而且随着时间的推移,应力超过逐渐劣化的塑料材料的强度而产生裂纹。这种情况下,龟裂易在经过一段时间后才产生,危害极大。由于玻璃纤维增强树脂材料的热膨胀系数较小,比较适合嵌件。另外,成型前对金属嵌件进行预热,也会收到较好的效果

续表

龟裂	外部应力引起的龟裂	外部应力主要是指因设计不合理而造成的应力集中。通常在塑料制品的尖角处易出现应力集中。另外,尖角位置亦常在电镀过程后引起不希望出现的物料聚积。应力集中部位通常在受负载或撞击时才会破裂,其危害性较大。解决这类问题的方法是采用大圆角过渡替代尖角,这样不但能减轻应力集中,还能使塑料熔体在注塑过程中流动顺畅,使成型制品脱模时更加容易								
	外部环境引起的龟裂	化学药品、吸潮引起的水降解,以及再生料的过多使用都会使物性劣化,产生龟裂								
表面光泽度不佳	注塑出来的塑料制品表面粗糙、发暗,没有达到应有的表面光泽程度,甚至表面出现白霜等缺陷均属于表面光泽度不佳。究其原因主要有三个:一是模具型腔抛光不佳;二是塑料熔体过早冷却;三是由于脱模剂或挥发性气体导致。具体原因及解决方法如下所述									
	模腔抛光不佳	对于表面光泽度要求较高的塑料制品,模具型腔表面抛光必须严格要求。通常采用的手工抛光难以满足工作要求,必须采用化学抛光或机械抛光等方式。另外,还可以采用电镀工艺对模具型腔表面进行镀铬等处理,这些方法都有利于提高模具型腔的粗糙度,提高制品表面光泽度								
	塑料熔体过早冷却	在注塑过程中,塑料熔体流动性不佳致使过早冷却,会使熔体与模腔接触的表面出现细微的凹凸导致塑件表面光泽度下降。建议修正措施有 (1)提高塑料熔体温度、注射压力与注射速度以及模具温度。模具温度对塑料制品表面光泽度有着显著的影响,应考虑寻找能产生最佳光泽度的模具温度 (2)改善浇口位置,保证熔体在型腔内流动通畅								
	脱模剂或挥发性气体	脱模剂	模具型腔内存在的脱模剂阻碍了塑料熔体与模腔的紧密贴合,使塑件表面模糊发暗。因此,对表面光泽度要求较高的塑料制品,建议注射前少用或不用脱模剂							
		挥发性气体	对于某些聚苯乙烯类塑料制品,脱模时会靠近分型面的局部表面发现附着一层薄薄的白霜样物质。该物质大多可经抛光除去。这些白霜样物质同样会附在型腔表面,这是由于塑料原料中的易挥发物或可溶性低分子量的添加剂受热后变成气态,从塑料熔体中释出进入型腔后被挤迫到有排气作用的分型面附近沉淀或结晶出来的。这些白霜状的粉末和晶粒粘附在模面上,不单会刮伤下一个脱模塑件,而且次数多了还将影响模面的粗糙度。不溶性填料和着色剂大多与白霜的出现无关 白霜的解决方法:加强原料的干燥,降低成型温度,加强模具排气,减少再生料的掺加比例等。当出现白霜时,特别要注意模具型腔表面的清洁							
尺寸不合要求	通常在模具设计时都按照理想的注塑工艺参数选取收缩率范围的适当数值,但是实际的注塑工艺往往难以达到这种要求,因此注塑出来的制品尺寸很难完全符合设计尺寸的要求。对于某些要求不高的尺寸超差可不必过于苛求,但是对需要严格的尺寸必须考虑相应的对策以保证尺寸合格。当制品尺寸不合要求时,一般应考虑调整注塑工艺参数,不要轻易修改模具,以防发生无法挽回的损失									
	尺寸过大	注塑时注射压力过高或模温过低都将减小熔体冷却时的收缩率,导致塑件尺寸偏大。因此,可调整注射压力和模温来避免塑件尺寸过大的缺陷								
	尺寸偏小	尺寸偏小与尺寸偏大的诱因相反,当注射压力过低或模温过高时易使塑料熔体的收缩率变大导致塑件尺寸偏小。同样可以通过修正注射压力和模温来避免								
试模常见缺陷及原因	上文主要介绍了常见的注塑成型塑料制品的缺陷,在实际生产中,塑料制品成型缺陷的表现形式五花八门,经常是多种缺陷综合在一起表现在制品上。因此,必须综合考虑多个因素,并结合实践经验进行多次试模才能解决。下面给出了试模时部分常见的缺陷及原因,希望能给注塑生产提供参考									
		缺陷	充填不足	飞边	凹痕	银丝	熔接痕	气泡	裂纹	翘曲变形
	原因									
	料筒温度太高			✓	✓	✓		✓		✓
	料筒温度太低	✓					✓		✓	
	注射压力太高			✓					✓	✓
	注射压力太低	✓			✓		✓	✓		
	模具温度太高				✓					✓
	模具温度太低	✓			✓		✓	✓	✓	
	注射速度太慢	✓							✓	
	注射时间太长				✓	✓	✓		✓	
	注射时间太短	✓					✓			
	成型周期太长			✓		✓				
	加料太多			✓						
	加料太少	✓			✓					
	原料含水过多				✓					
	分流道或浇口太小	✓			✓	✓	✓			
	模腔排气不好	✓				✓		✓		
	塑件太薄	✓			✓				✓	
	塑件太厚或变化大							✓		✓
注塑机能力不足	✓			✓	✓					
注塑机锁模力不足			✓							

第 章 塑料注射成型模具设计

1 塑料成型模具设计概论

1.1 塑料成型模具的分类方法

塑料成型模具的分类方法很多,由于模具安装方式、成型方法、加料室的形式、分型面特征、型腔数量等不同,塑料成型模具的总体分类见表 20-3-1。

表 20-3-1 塑料成型模具的分类方法

序号	分类方法	分 类	说 明
1	按模具的安装方式	移动式模具	<p>模具不是固定安装在设备上的,又称为机外装卸式模具。在整个模塑成型周期中,加热和加压的过程在设备上进行,而安装嵌件、装料、合模、开模、取出塑件、清理模具等过程均在机外进行。常见移动式模具有:小型热固性塑件成型用的压缩模和立式注射机上的小型注射模</p> <p>这类模具结构简单,制造方便,但生产效率低,工人劳动强度大</p>
		固定式模具	<p>模具是固定在塑料成型机上的。使用这种模具时,在整个生产过程中,装料、合模、成型、开模及推出塑件等均在机床上进行</p> <p>这类模具使用方便,生产效率高,工人劳动强度小,模具结构复杂,主要用于批量生产中</p>
		半固定式模具	<p>模具的部分工作部件(如凹模)在开模时可以取出,而其他部分则始终固定在成型设备上</p> <p>兼有移动式和固定式模具的优点,主要应用于热固性塑料成型的压缩模和压注模</p>
2	按塑件成型方法	压缩模	<p>将塑料装在受热的型腔或加料室内,然后加压。也可称为压塑模或压模。在压制时直接对型腔内的塑料施加压力。这类模具的加料室一般与型腔是一体的</p> <p>主要用于热固性塑件的成型,有时也用于热塑性塑件的成型</p>
		压注模	<p>塑料在加料室内受热成为黏流状态,在柱塞压力的作用下,熔料经过注射系统进入并充满闭合的型腔。也称为传递模、挤塑模。这类模具结构比压缩模复杂,造价较高</p>
		注射模	<p>又称为注塑模。塑料在注射机上装有螺杆搅拌的料筒内受热达到半熔融状态,在压力的作用下,熔料通过模具的浇注系统进入有一定温度的型腔内固化成塑件。该工艺成型周期短,生产效率高</p> <p>这种模具在热固性塑料注射机上用,结构比较复杂,造价较高</p> <p>除了上述塑料成型模具外,还有中空吹塑模、热成型模、发泡模、浇铸模、挤出机头机口模等</p>

续表

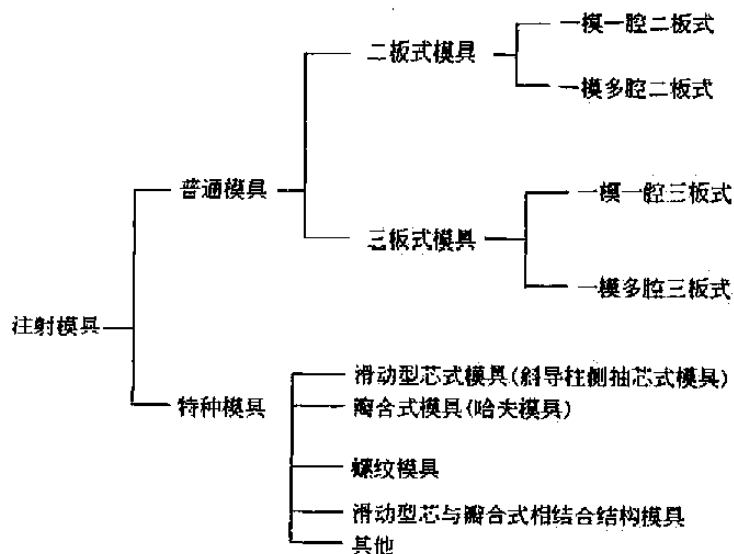
序号	分类方法	分类	说明
3	按加料室的形式	敞开式模具	没有单独的加料室,型腔就是加料室。压塑时,塑料自由地向外溢出 这种模具不能压制形状复杂和质量要求高的塑件,要求加料量大于塑件总量(超出5%以内),因此原料有一定浪费
		半封闭式模具	型腔上方设有加料室。压塑时余料形成飞边 这种模具可压制形状较为复杂的塑件,塑件致密度较高。操作方便,应用广泛
		封闭式模具	加料室是型腔的延续部分。压塑时压机的压力全部作用在塑件上,制品组织密实,形成垂直飞边,易清除 适用于压制形状复杂的塑件。但是,每模都要严格称量原料
4	按模具分型面的特征	垂直分型面模具	模具的分型面平行于压机的工作压力方向
		水平分型面模具	模具的分型面垂直于压机的工作压力方向
5	按型腔数目	单型腔模具	一副模具中只有一个型腔,一个模塑周期内只能生产一个塑件 主要用于成型大型塑件和形状复杂或有嵌件的塑件,或小批量生产及试生产
		多型腔模具	一副模具中有两个以上的型腔,一个模塑周期内可同时生产两个以上的塑件 主要用于生产批量较大的场合或小型塑件的成型

1.2 塑料注射成型模具的分类和结构

注射成型是颗粒状或粉状熟料经注射成型机的料斗加到加热的料筒内,塑料受热熔融,在注射机的螺杆或活塞的压力推动下,经喷嘴进入模具型腔,在模具内硬化定型,脱模后得到具有一定形状的塑件。注射成型所用的模具称为注射成型模具。注射成型是用于热塑性塑料成型的一种重要方法,近年来也成功用于某些热固性塑料的成型。

塑料注射成型模具的分类方法较多,按塑件所用的材料不同可分为热塑性塑料注射成型模具和热固性塑料注射成型模具;按塑料注射机的类型不同可分为卧式、立式和直角式注射模具;按其塑料注射机上的安装方式不同可分为移动式注射模具(主要在立式注射机)和固定式注射模具;按模具的型腔数量不同可分为单型腔塑料注射模和多型腔注射模。

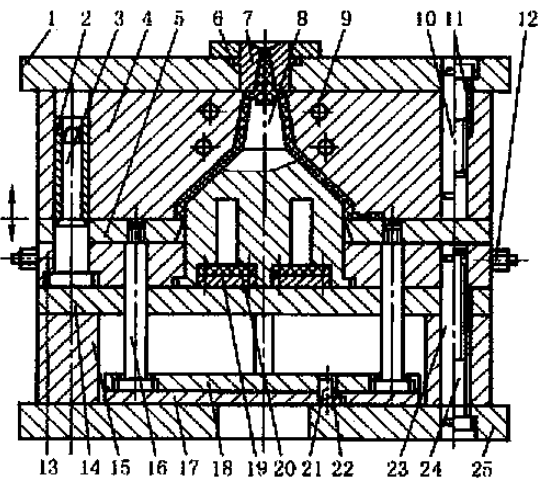
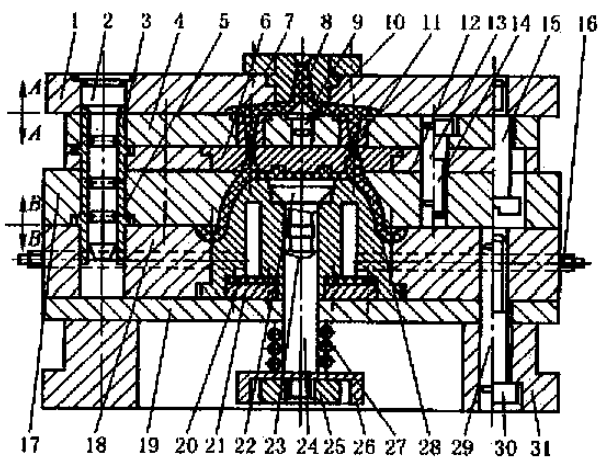
通常,按塑料注射成型模具总体结构上的某些特征分类如下。

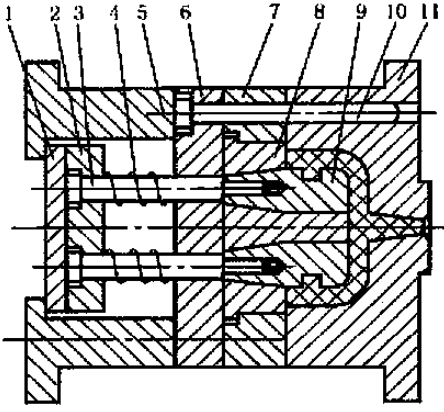
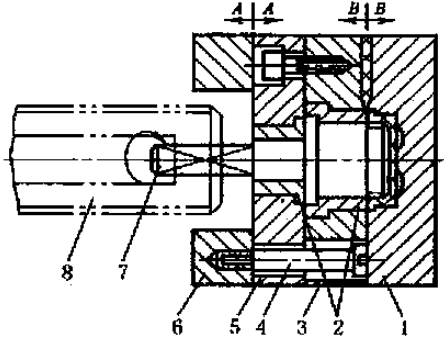
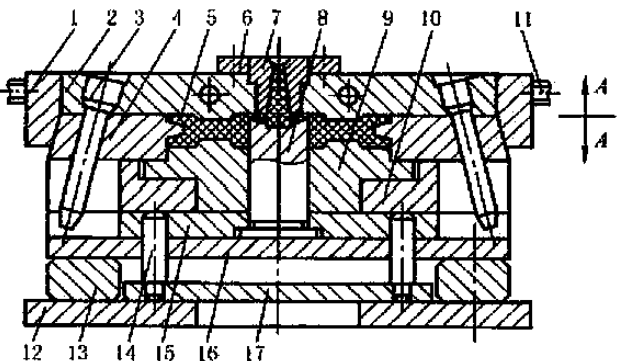


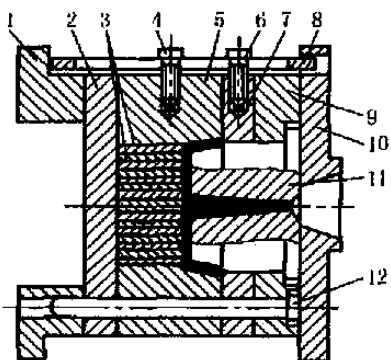
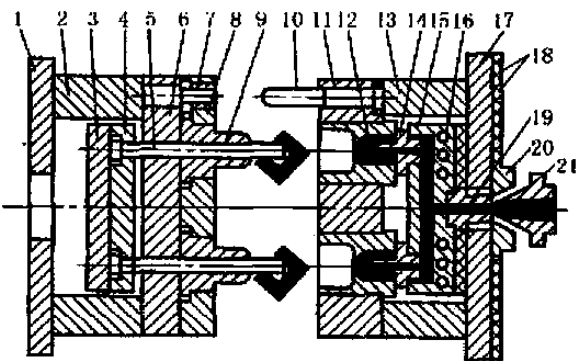
塑料注射模具典型结构见表 20-3-2。

表 20-3-2

塑料注射成型模具典型结构

名称	结构	说明
单分型面塑料注射模	 <p>1—定模板;2—导套;3—导柱;4—型腔;5,17—推板;6—定位圈;7—浇口套;8—凸模;9—水道;10,21,23—销钉;11,22,24—螺钉;12—水嘴;13—凸模固定板;14—垫板;15—支块;16—推杆;18—推杆固定板;19—盖板;20—密封垫;25—动模板</p>	<p>单分型面塑料注射成型模也称为二板式塑料注射成型模,如图所示。</p> <p>单分型面塑料注射模是塑料注射模具中最简单的一种,由动模和定模组成。其型腔一部分设在动模上,一部分设在定模上,主流道设在定模上,分流道和浇口设在分型面上,开模后塑件连同流道凝料一起留在动模一侧。动模一侧设有推出机构,用以推出塑件及流道凝料(又称脱模)。这类模具的特点是结构简单,对塑件成型的适应性很强,应用十分广泛</p>
多分型面注射模	 <p>1—定模板;2—导柱;3,5—双联导套;4—活动模板;6—塑件;7—定位圈;8—浇口套;9—点浇口废料;10—分流锥;11—分流口套;12—塑件固定板;13,23,29—销钉;14,30—螺钉;15—拉板螺钉;16—水嘴;17—大型腔;18—型芯固定板;19—动模垫板;20—橡胶密封圈;21—压板;22—推板;24—推杆;25—螺母;26—托簧板;27—弹簧;28—塑料制品;31—支块</p>	<p>多分型面注射模是指有 2 个以上分型面的注射模具。这类模具又可分为双分型面和三分型面(包括垂直分型面和水平分型面),以双分型面注射模最为常见。双分型面塑料注射成型模又称为三板式塑料注射成型模,如图所示。双分型面塑料注射成型模用途广泛,主要用于:设点浇口的单型腔或多型腔注射模,侧向分型抽芯机构设在定模一侧的注射模,及因塑件结构特殊需要顺序分型的注射模</p> <p>多分型面注射模与单分型面注射模相比,在动模和定模之间增加了一个可移动的活动模板 4(又称浇注板),其浇注系统凝料和制品一般是由不同分型面上取出。开模时,活动模板 4 与定模板 1 首先沿 A—A 分型面定距分型,其分型距离由定距拉板螺钉 15 控制,以便取出这两块板之间的浇注系统凝料。随着开模的继续,沿 B—B 面分型,然后在注射机推出机构作用下,连接推杆 24 推动塑件从型芯上脱出。闭模时,A—A 和 B—B 分型面自动闭合,推板 22 在弹簧 27 的作用下复位,完成一次注射过程</p>

名称	结构	说明
带有活动镶块的注射模	 <p>1—推板;2—推杆固定板;3—推杆;4—弹簧;5—支架;6—支架板;7—动模板;8—型芯座;9—活动镶块;10—导柱;11—定模座板(型腔)</p>	<p>当塑件带有内侧凸、凹槽或螺纹时,在模具上需要设置活动型芯、螺纹型芯、型环或哈夫块等。如图所示,塑件内壁带有凸台,模具采用活动镶块9成型。开模时,塑件与流道凝料同时留在活动镶块9上,随同动模一起运动,当模具的动模与定模打开一定距离后,注射机上的顶出机构推动推板1,从而推动推杆3,使活动镶块9随同塑件一起推出模外,然后用手或其他装置使塑件与活动镶块分离。再将活动镶块重新装入动模,在活动镶块装入动模前推杆3由于弹簧4的作用已经复位。型芯座8上的锥孔(面)保证镶块定位准确可靠</p>
自动卸螺纹的注射模	 <p>1—定模座板;2—衬套;3—动模板;4—定距螺钉;5—支承板;6—支架;7—螺纹型芯;8—注射机合模螺杆</p>	<p>当成型带有内、外螺纹的塑件时,模具可采用自动卸螺纹装置。在模具结构设计中,设置可转动的螺纹型芯和螺纹型环,利用注射机的往复运动或旋转运动,或设置专门的驱动装置(如电动机、液压马达及传动装置)与模具连接,开模后带动螺纹型芯或型环转动,使塑件脱出。图示是直角式注射机上用的自动卸螺纹注射模。螺纹型芯的旋转由注射机开合模的丝杠带动,使其与塑件分离。为防止制品与螺纹型芯一起旋转,一般要求塑件外形具有防转结构,图示是利用塑件顶面的凸出图案来防止塑件随着螺纹型芯转动而转动。开模时,在A—A分型面处先分开,与此同时,螺纹型芯7由注射机的开合螺杆带动而旋转,从而开始脱出塑件(设计塑件时,开合螺杆的螺距数大于制品螺纹的螺距数),此时B—B分型面也随螺纹型芯的拧出而分型,塑件暂时还留在型腔内不动。当螺纹型芯在制品内尚有一个螺距时,定距螺钉4拉着支承板5使B—B分型面加速打开,塑件即被带出凹模。继续开模,塑件全部脱离型芯和凹模</p>
侧向分型抽芯的注射模	 <p>1—楔紧块;2—定模板;3—斜导柱;4—哈夫块;5—塑料制品;6—定位圈;7—浇口套;8—型芯;9—型腔镶块;10—型腔镶件固定板;11—水嘴;12—动模固定板;13—支块;14—推杆;15—型芯固定板;16—动模垫板;17—推板</p>	<p>当塑件带有侧孔或侧凹时,在机动抽芯分型的模具里设有斜导柱、斜滑块或哈夫块等侧向分型抽芯机构。图示模具主要用于成型有侧孔或内凹的塑件,哈夫块的运动方向与模具开模方向垂直</p> <p>开模时,固定在定模板2上的斜导柱3作用于哈夫块4,使哈夫块4外移,并脱离塑料制品5的环形槽。与此同时注射机的顶出系统顶动推板17,推板17推动推杆14,将型腔镶件固定板10顶起,使塑料制品5脱离型芯8</p>

名称	结构	说明
定模设置推出机构的注射模	 <p data-bbox="279 672 933 772">1—支架;2—支承板;3—成型镶件;4,6—螺钉;5—动模板; 7—推件板;8—拉板;9—定模板;10—定模座板;11—型芯; 12—导柱</p>	<p data-bbox="965 336 1492 705">有时因塑件的特殊要求或受塑件的限制,开模后塑件将留在定模上。但是由于注射机的顶出机构位于模具的动模一边,所以注射模的推出机构宜设在动模一侧,开模后让塑件留在动模,以便脱出塑件。这种情况下,如果塑件留在定模上,则应在定模一侧设置推出机构。图示塑料牙刷注射模,由于塑件形状特殊,开模后塑件留在定模上。在定模一侧设置推件板7,开模时由设在动模一侧的拉板8带动,使塑件从型芯11上拉脱下来</p>
无流道注射模	 <p data-bbox="279 1377 933 1556">1—动模座板;2—垫块;3—推板;4—推杆固定板;5—推杆; 6—支承板;7—导套;8—动模板;9—型芯;10—导柱;11—定模板; 12—凹模;13—垫块;14—二级喷嘴;15—热流道板; 16—加热器孔;17—定模座板;18—绝热层;19—主流道衬套; 20—定位圈;21—喷嘴</p>	<p data-bbox="965 1064 1492 1467">在成型过程中,使用无流道注射模(又称无流道凝料注射模),可使模具浇注系统中的塑料始终保持熔融状态,这是一种成型后只需取出塑件而无流道凝料的注射模。图示塑料从喷嘴21进入模具后,在流道中加热保温(使其仍保持熔融状态),每一次注射完毕,只有型腔内的塑料冷凝成型,没有流道的冷凝料,取出塑件后又可继续注射,大大节省了塑料用量,提高了生产效率,有利于实现自动化生产,并保证塑件质量。但热流道注射模结构复杂,造价高,模温控制要求严格,因此仅适用于大批量生产</p>

1.3 注射模具与注射机的关系

注射机合模部分的基本参数包括模板尺寸、拉杆间距、模板间最大开距、动模板的行程、模具最大厚度和最小厚度等。这些参数规定了注射机所安装模具的尺寸范围。

图 20-3-1 所示为国产 XS-ZY-125 塑料注射机合模部分的基本尺寸。

塑料注射机分为卧式塑料注射机、立式塑料注射机和直角式塑料注射机。各种塑料注射机基本技术参数见表 20-3-3 ~ 表 20-3-5。

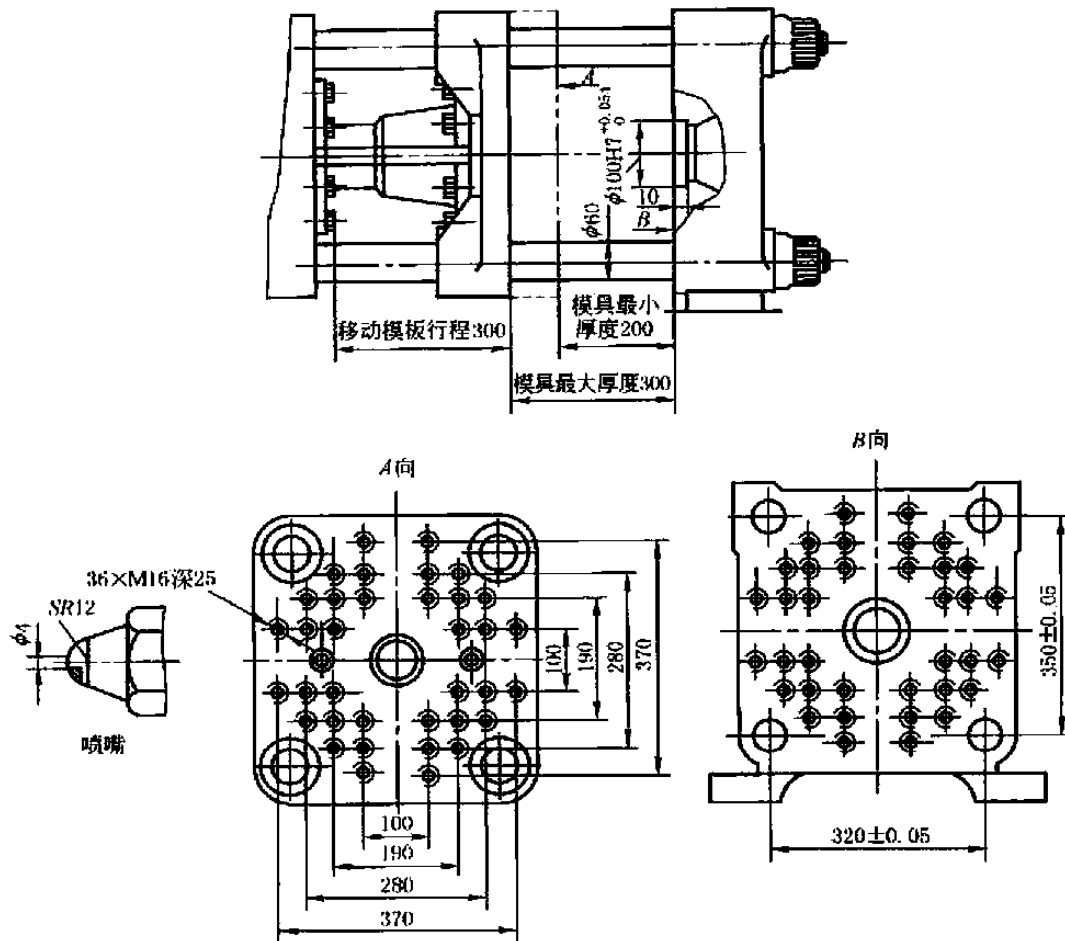


图 20-3-1 XS-ZY-125 塑料注射机合模部分的基本尺寸

表 20-3-3

卧式塑料注射机主要技术参数

技术参数	国际通用规格(国内型号)					
	60/32 (SZ-30/32)	90/40 (SZ-68/40 ^①)	250/80 (SZ-160/80)	450/160 (SZ-250/160 ^①)	880/200 (XS-ZY-500C ₃ ^①)	1600/300 (SZ-1000/300)
理论注射容积/cm ³	37,49	58,77	125,163	200,254,314	536,630,730	1030,1200
实际注射量/g	33,44	53,68	110,145	187,266,280	478,560,650	920,1070
螺杆直径/mm	26,30	26,30	35,40	40,45,50	60,65,70	75,80
塑化能力/g·s ⁻¹	3,6,5,4	5,6,8,3	11,13	13,8,16,7,21	22,7,29,5,36,7	41,6
注射速率/g·s ⁻¹	43,57	61,78	100,130	145,184,227	180,210,250	450,525
注射压力/MPa	170,130	160,123	205,157	229,180,147	166,140,122	155,136
螺杆转速/r·min ⁻¹	10~160	40~250	10~220	10~200	10~150	10~145
螺杆行程/mm	70	110	130	160	190	240
锁模力/kN	320	400	800	1600	2000	3000
拉杆有效间距/mm	300×300	250×230	330×310	415×385	540×440	670×600
模板行程/mm	110	220	260	280	560	660
模具最小厚度/mm	80	130	170	205	180	310
模具最大厚度/mm	110	240	320	400	390	600
最大开距/mm	220	460	580	680	950	1260
模板尺寸/mm	400×400	410×390	550×520	690×650	790×690	1030×1030
顶出行程/mm	50	40	55	70	100	130
液压顶出力/kN		17	28	40	79	89

① 除常规控制外, 还有电脑控制注射机。

表 20-3-4

立式塑料注射机主要技术参数

技术参数	型号		技术参数	型号	
	SYS-10	SYS-30		SYS-10	SYS-30
注射量/g	10	30	拉杆间距/mm	300 × 250	300 × 190
注射柱塞直径/mm	22	28	模具最大厚度/mm	180	200
注射压力/MPa	150	157	模具最小厚度/mm	100	70
锁模力/kN	15	50	模板行程/mm	120	180
注射面积/cm ²	45	130			

表 20-3-5

直角式塑料注射成型机主要技术参数

技术参数	型号			技术参数	型号		
	SYS-20	SYS-45	SYS-60		SYS-20	SYS-45	SYS-60
注射量/g	20	45	60	注射面积/cm ²	45	95	140
注射柱塞直径/mm	22	28		模具最大厚度/mm	250	180	
注射压力/MPa	120	125	130	模具最小厚度/mm	50	70	
锁模力/kN	20	40	60	模板行程/mm	150	280	

1.4 注射机有关工艺参数的校核

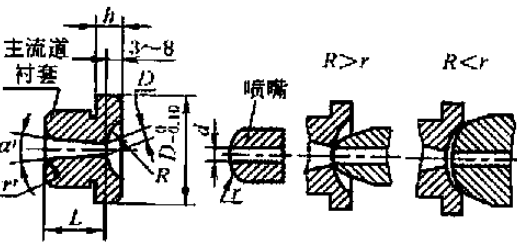
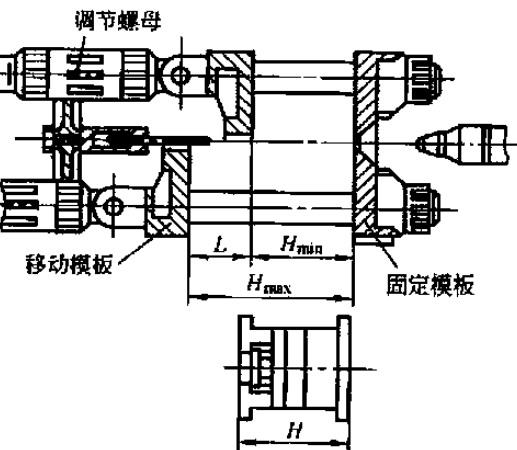
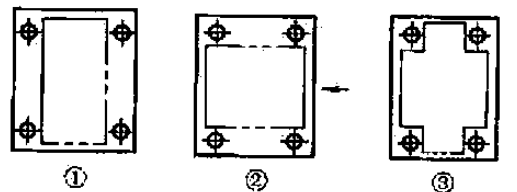
表 20-3-6

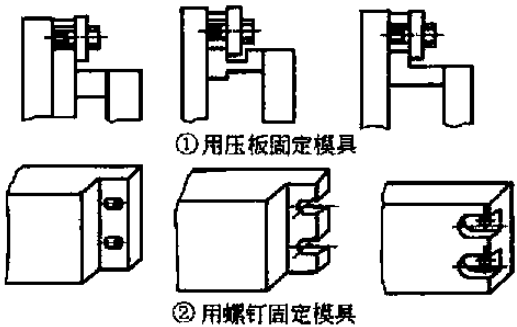
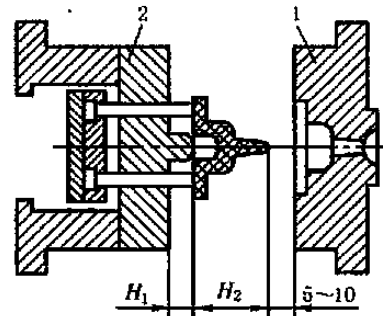
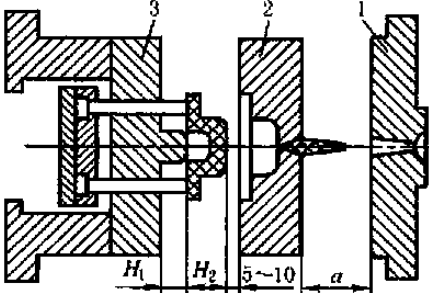
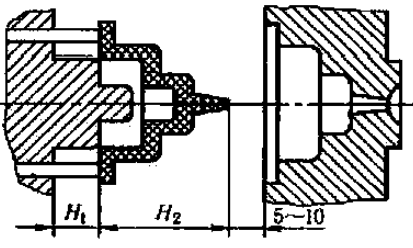
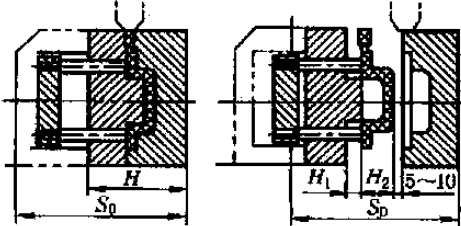
注射机有关工艺参数的校核

序号	校核项目	校核公式	校核说明与图示
1	最大注射量的校核	$KV_0 \geq V = \sum_{i=1}^n V_i + V_{\text{溢}} \quad (20-3-1)$ <p>式中 V_0——塑料注射机最大注射容积, cm³; V——塑件的体积(包括塑料制品、浇道凝料和飞边), cm³; V_i——单个塑件的体积, cm³; $V_{\text{溢}}$——浇道凝料的飞边体积, cm³; n——型腔数; K——塑料注射机最大注射量的利用系数, 取 $K=0.8$</p> <p>因塑料的体积与压缩比有关, 故所需塑料体积为:</p> $V_{\text{料}} = K_{\text{压}} V \quad (20-3-2)$ <p>式中 $K_{\text{压}}$——压缩比, $K_{\text{压}}$ 可查表 20-3-7; $V_{\text{料}}$——塑料的体积, cm³</p> <p>把注射机的最大注射容积换算为最大注射质(重)量时, 其值为:</p> $m_0 = \rho' V_0 \quad (20-3-3)$ $\rho' = C\rho$ <p>式中 ρ'——在料筒温度和压力下熔融塑料的密度, g/cm³; ρ——塑料在常温下的密度, g/cm³; C——在料筒温度下塑料体积膨胀的校正系数(未考虑压力的影响), 对结晶型塑料, $C=0.85$, 对非结晶塑料, $C=0.93$</p>	<p>塑件的重量(或体积)必须与所选择注射机的最大注射量相适应, 不然会影响塑件的产量和质量。若注射量过大, 注射机利用率降低, 浪费电能, 且可能导致塑料分解, 反之, 最大注射量小于塑件的质(重)量时, 就会造成塑件的形状不完整或内部组织疏松、塑件强度下降等缺陷。为保证正常的注射成型, 注射机的最大注射量应稍大于塑件的质(重)量或体积(包括流道凝料和飞边)。通常注射机的实际注射量最好在注射机的最大注射量的 80% 以内</p>

续表

序号	校核项目	校核公式	校核说明与图示
1	最大注射量的校核	<p>同理,如果注射机以最大注射质(重)量标定时,按下式校核:</p> $Km_0 \geq m = \sum_{i=1}^n m_i + m_{\text{浇}} \quad (20-3-4)$ <p>式中 m_0——注射机最大注射质(重)量, g; m——塑件的总质(重)量, g; m_i——单个塑件的质(重)量, g; n——型腔数; $m_{\text{浇}}$——浇注系统中凝料的质(重)量, g</p> <p>以上计算中,注射机的最大注射量是以成型聚苯乙烯为标准规定的。由于各种塑料的密度和压缩比不同,因而实际最大注射量是随着塑料种类的不同而不同的。当注射其他塑料时,按换算关系最大注射量为:</p> $m_0' = m_0 \frac{\rho}{\rho_0} \quad (20-3-5)$ <p>式中 m_0'——他种塑料的最大注射量, g; m_0——注射机规定的最大注射量, g; ρ_0——聚苯乙烯的密度; ρ——他种塑料密度</p> <p>实践证明,塑料密度和压缩比对最大注射量的影响不大,一般可以不考虑</p>	<p>塑件的重量(或体积)必须与所选择注射机的最大注射量相适应,不然会影响塑件的产量和质量。若注射量过大,注射机利用率降低,浪费电能,且可能导致塑料分解,反之,最大注射量小于塑件的质(重)量时,就会造成塑件的形状不完整或内部组织疏松、塑件强度下降等缺陷。为保证正常的注射成型,注射机的最大注射量应稍大于塑件的质(重)量或体积(包括流道凝料和飞边)。通常注射机的实际注射量最好在注射机的最大注射量的 80% 以内</p>
2	注射压力的校核	$p_0 \geq p \quad (20-3-6)$ <p>式中 p_0——注射机的最大注射压力, MPa; p——塑件成型所需的注射压力, MPa</p>	<p>注射压力校核的目的是校核注射机最大注射压力能否满足塑件成型的需要。注射机最大注射压力应稍大于塑件成型所需要的注射压力</p>
3	锁模力的校核	$F_0 \geq p = p_{\text{模}} A_{\text{分}} \times 100 \quad (20-3-7)$ <p>式中 F_0——注射机的公称锁模力, N; $p_{\text{模}}$——模内平均压力(型腔内的熔体平均压力), MPa, 见表 20-3-8; p——柱塞或螺杆施加于塑料上的注射压力, MPa; $A_{\text{分}}$——塑件、流道、浇口在分型面上的投影面积之和, cm^2</p>	<p>锁模力又称合模力,是指注射机的合模机构对模具所能施加的最大夹紧力。当熔体充满型腔时,注射压力在型腔内所产生的作用力总是力图使模具沿分型面胀开,为此,注射机的锁模力必须大于型腔内熔体压力与塑件及浇注系统在分型面上的投影面积之和的乘积</p> <p>在注射成型过程中,型腔内熔体压力的大小及其分布与很多因素有关,如塑料的流动性、注射机类型、喷嘴形式、模具流道阻力、注射压力、保压压力与保压时间、熔体温度、模具温度、注射速度、塑件壁厚与形状、流程长度、浇口形式及大小等。以上几种压力损耗系数的变化很大,很难确定,在实际设计中,可用模内平均压力来校核</p>
4	模具型腔数的确定	<p>(1)按注射机的最大注射量确定型腔数 n,可按下式计算:</p> $n = \frac{Km_0 - m_{\text{浇}}}{m_i} \quad (20-3-8)$ <p>式中 m_0——注射机最大注射量; m_i——单个塑件的质(重)量; $m_{\text{浇}}$——模具浇注系统中凝料质(重)量; K——利用系数</p> <p>(2)按注射机的锁模力大小确定型腔数 n:</p>	<p>模具的型腔数可根据塑件的产量、精度高低、模具制造成本以及所选用注射机的最大注射量和锁模力大小等确定。小批量生产,采用单型腔模具;大批量生产,宜采用多型腔模具。但塑件尺寸较大时,型腔数将受所选用注射机允许最大成型面积和注射量的限制。由于多型腔模的各个型腔的成型条件以及熔体到达各型腔的流程难以取得一致,所以件精度较高时,一般采用单型腔模具</p> <p>如果采用多型腔注射模,则应根据所选用注射机的主要参数来确定型腔数 n</p>

序号	校核项目	校核公式	校核说明与图示
4	模具型腔数的确定	<p>在塑件质(重)量相同的条件下,薄壁板形塑件以锁模力确定型腔数为宜,即按下式计算:</p> $n = \frac{F_0 - p' A_{\text{浇}} \times 100}{p' A_i \times 100} \quad (20-3-9)$ <p>式中 p'——单位投影面积所需的锁模力,MPa,数值可查表 20-3-3 ~ 表 20-3-5;</p> <p>$A_{\text{浇}}$——浇注系统及飞边在分型面上的投影面积,cm²;</p> <p>A_i——单个塑件在分型面上的投影面积,cm²</p>	<p>模具的型腔数可根据塑件的产量、精度高低、模具制造成本以及所选用注射机的最大注射量和锁模力大小等确定。小批量生产,采用单型腔模具;大批量生产,宜采用多型腔模具。但塑件尺寸较大时,型腔数将受所选用注射机允许最大成型面积和注射量的限制。由于多型腔模的各个型腔的成型条件以及熔体到达各型腔的流程难以取得一致,所以件精度较高时,一般采用单型腔模具</p> <p>如果采用多型腔注射模,则应根据所选用注射机的主要参数来确定型腔数 n</p>
5	模具与注射机合模部分相关尺寸的校核	<p>(1) 喷嘴尺寸(图 a)</p> <p>塑料注射成型模具主流道衬套的小端孔径 D 和球面半径 R,要与塑料注射机喷嘴前端孔径 d 和球面半径 r 满足下列关系:</p> $R = r + (1 \sim 2) \text{ mm}$ $D = d + (0.5 \sim 1) \text{ mm}$ <p>(2) 定位孔尺寸</p> <p>两者按 H9/9 配合实现定位,以保证模具主流道的轴线与注射机喷嘴轴线重合,否则将产生溢料并造成流道凝料脱模困难。定位圈的高度 h,小型模具为 8 ~ 10mm,大模具型模具为 10 ~ 15mm</p> <p>(3) 模具厚度与注射机模板壁和厚度</p> <p>各种规格的注射机,可安装模具的最大厚度和最小厚度一般都有限制(国产机械合模的直角式注射机的最小厚度无限制),所设计的模具闭合厚度必须在最大与最小厚度之间,如图 b 所示,即应满足下列关系:</p> $H_{\text{max}} = H_{\text{min}} + L \quad (20-3-10)$ $H_{\text{min}} \leq H \leq H_{\text{max}} \quad (20-3-11)$ <p>式中 H——模具闭合厚度;</p> <p>H_{min}——注射机允许模具最小厚度;</p> <p>H_{max}——注射机允许模具最大厚度;</p> <p>L——注射机在模厚方向长度的调节量</p> <p>若 H 大于 H_{max} 时,则模具无法锁紧或影响开模行程,尤其是以液压肘杆式机构合模的注射机,其肘杆无法撑直,这是不允许的。若 H 小于 H_{min} 时,则可采用垫板来调整,以使模具闭合</p> <p>同时,模具外形尺寸不应超过注射机模板尺寸,并小于注射机拉杆的间距,以便于模具的安装与调整</p> <p>(4) 模板规格与拉杆间距</p> <p>模具模板规格应不超出注射机的模板规格,也就是模具的长和宽方向的底面不得超出工作台面。通常,模具的安装是从注射机上方直接吊装进入机内,或者从注射机的侧面推入机内安装,如图 c 中 ①、②所示。由图可知,模具的外形尺寸受到拉杆间距的限制。图 c 中 ③所示结构只有模具厚度比拉杆间距尺寸小且装入机内后能够旋转(转到图示位置)时,才能安装</p>	<p>设计模具时应加以校核的主要参数有:喷嘴尺寸、定位圈尺寸、模具最大厚度和最小厚度、模板上安装螺孔尺寸等</p>  <p>(a) 塑料注射机喷嘴与模具主流道衬套的关系</p> <p>保证注射成型时在主流道衬套处不形成死角,无熔料积存,并便于主流道凝料的脱模。图 a 中 $R < r$ 的结构是错误的</p>  <p>(b) 模具闭合厚度与注射机允许模具厚度的关系</p>  <p>(c) 模具模板尺寸与注射机拉杆间距的关系</p>

序号	校核项目	校核公式	校核说明与图示
5	模具与注射机合模部分相关尺寸的校核	<p>(5) 安装螺孔尺寸</p> <p>模具的定模部分安装在注射机的固定模板上, 动模部分安装在注射机的移动模板上。模具的安装固定形式有两种, 图 d 中①表示用压板固定, 这种固定形式安装方便灵活, 应用最广泛。图 d 中②表示用螺钉直接固定, 这时模具座板上孔的位置和尺寸应与注射机模板上的安装螺孔完全吻合, 否则无法固定。螺钉和压板动、定模各用 2~4 个</p>	 <p>① 用压板固定模具</p> <p>② 用螺钉固定模具</p> <p>(d) 螺钉和压板固定模具的形式</p>
6	开模行程的校核	<p>塑料注射机的开模行程是有限的, 开模行程应该满足分开模具取出塑件的需要。因此, 塑料注射机的最大开模距离必须大于取出塑件所需的开模距离。开模距离的校核分为下面几种情况</p> <p>(1) 注射机最大开模行程与模具厚度无关</p> <p>主要是指液压机机械联合作用的合模机构的注射机, 如 XS-Z-30、XS-Z-60、XS-ZY-125、XS-ZY-350、XS-ZY-500、XS-ZY-1000 和 G54-S200/400 等, 其开模行程大小由连杆机构 (或移动缸) 的最大冲程决定, 而与模具厚度无关</p> <p>对于单分型面模具 (图 e), 开模行程可按下式校核:</p> $S \geq H_1 + H_2 + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-12)$ <p>式中 S——注射机最大开模行程 (移动模板行程);</p> <p>H_1——塑件的推出距离;</p> <p>H_2——塑件的总高度</p> <p>对于双分型面注射模 (图 f), 开模行程需要增加取出浇注系统凝料时, 定模座板与中间板的分离距离 a。此时, 可按下式校核:</p> $S \geq H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-13)$ <p>式中 a——取出浇注系统凝料所需的定模座板与中间板分离的距离</p> <p>塑件推出距离 H_1 一般等于型芯高度。但对于内表面为阶梯形的塑件, 有时不必推出到型芯的全部高度就可以取出塑件, 如图 g 所示。这时 H_1 可以根据具体情况而定, 以能顺利取出塑件为宜</p> <p>(2) 注射机最大开模行程与模具厚度有关</p> <p>这主要是指全液压合模机构的注射机, 如 XS-ZY-250 和机械合模的 SYS-45、SYS-60 等角式注射机, 其移动模板和固定模板之间的最大开距 S_0 减去模具闭合厚度 H 等于注射机的最大开模行程 S (即 $S = S_0 - H$)</p> <p>对单分型面注射模 (图 h), 开模行程可按下式校核:</p> $S_0 \geq H + H_1 + H_2 + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-14)$ <p>式中 S_0——固定模板与移动模板之间的最大开距</p> <p>同理, 对于双分型面注射模, 开模行程可按下式校核:</p> $S_0 \geq H + H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-15)$	 <p>(e) 单分型面模具开模行程的校核 1—定模; 2—动模</p>  <p>(f) 双分型面模具开模行程的校核 1—定模; 2—流道板; 3—动模</p>  <p>(g) 塑件内表面为阶梯状时开模行程的校核</p>  <p>(h) 注射机开模行程与模具厚度有关时开模行程校核</p>

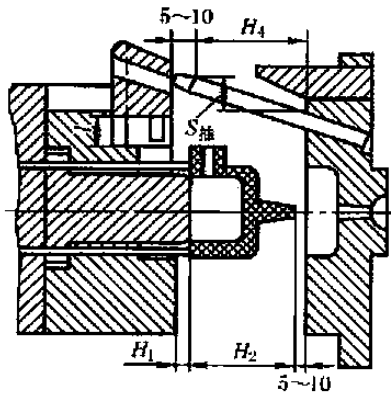
序号	校核项目	校核公式	校核说明与图示
6	开模行程的校核	<p>(3) 模具具有侧向抽芯时开模行程的校核</p> <p>有的模具侧向分型或侧向抽芯是利用注射机的开模动作,通过斜导柱(或齿轮齿条等)分型抽芯机构来完成的。这时所需开模行程必须根据侧向分型抽芯机构抽拔距离的需要和塑件高度、推出距离、模厚等因素来确定。如图 i 所示的斜导柱侧向抽芯机构,为了完成侧向抽芯距离 $S_{抽}$ 所需要的开模行程为 H_4,当 H_4 大于 H_1 与 H_2 之和时,开模行程按下式校核:</p> $S \geq H_4 + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-16)$ <p>若 H_4 小于 H_1 与 H_2 之和时,则仍按式(20-3-12)校核</p> <p>若 $H_4 \geq H_1 + H_2$,且又是双分型面模具,则按下式校核:</p> $S \geq H_4 + a + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-17)$ <p>式中 a——取出浇注系统凝料所需行程</p> <p>注意,当抽芯方向不与开模方向垂直,而成一定角度时,其开模行程计算公式与上述有所不同,应根据抽芯机构的具体结构及几何参数进行计算</p>	 <p>(i) 模具具有侧向抽芯时开模行程的校核</p>
7	注射机顶出装置与模具推出机构关系的校核	<p>国产注射机的顶出装置大致可分以下几类:</p> <p>(1) 中心顶杆机械顶出,如卧式 XS-Z-60、XS-ZY-350、立式 SYS-30、直角式 SYS-45 等</p> <p>(2) 两侧双顶杆机械顶出,如卧式 XS-Z-30、XS-ZY-125</p> <p>(3) 中心顶杆液压顶出与两侧双顶杆机械联合顶出,如 XS-ZY-250、XS-ZY-500 等</p> <p>(4) 中心顶杆液压顶出与其他开模辅助液压缸联合作用,如 XS-ZY-1000 等</p>	<p>各种型号注射机顶出装置的结构形式、最大顶出距离等是不同的。设计模具时,应保证模具的推出机构与注射机的顶出装置相适应。设计者必须了解注射机顶出装置类型、顶杆直径和顶杆位置</p> <p>总之,注射机顶出装置的最大顶出距离应满足模具推出塑件的需要。在以中心顶杆顶出的注射机上使用的模具,应对称地固定在移动模板中心位置上,以便注射机的顶杆顶在模具的推板中心位置上。而以两侧双顶杆顶出的注射机上使用的模具,模具的推板长度应足够长,以便注射机的顶杆能顶到模具的推板</p>

表 20-3-7

常用热塑性塑料的密度和压缩比

塑料名称	密度 $\rho/g \cdot \text{cm}^{-3}$	压缩率 $K_{压}$	塑料名称	密度 $\rho/g \cdot \text{cm}^{-3}$	压缩率 $K_{压}$
高压聚乙烯	0.91 ~ 0.94	1.84 ~ 2.30	尼龙	1.09 ~ 1.14	2.0 ~ 2.1
低压聚乙烯	0.94 ~ 0.965	1.725 ~ 1.909	聚甲醛	1.4	1.8 ~ 2.0
聚丙烯	0.90 ~ 0.91	1.92 ~ 1.96	ABS	1.0 ~ 1.1	1.8 ~ 2.0
聚苯乙烯	1.04 ~ 1.06	1.90 ~ 2.15	聚碳酸酯	1.2	1.75
硬聚氯乙烯	1.35 ~ 1.45	2.3	醋酸纤维素	1.24 ~ 1.34	2.40
软聚氯乙烯	1.16 ~ 1.35	2.3	聚丙烯酸酯	1.17 ~ 1.20	1.8 ~ 2.0

表 20-3-8

模内的平均压力

制品特点	模内平均压力 $p_{模}/\text{MPa}$	举 例
容易成型制品	24.5	PE、PP、PS 等壁厚均匀的日用品、容器类制品
一般制品	29.4	在模温较高情况下,成型薄壁容器类制品
中等黏度塑料和有精度要求的制品	34.3	ABS、PMMA 等有精度要求的工程结构件,如壳体、齿轮等
加工高黏度塑料、高精度、充模难的制品	39.2	用于机器零件上高精度的齿轮或凸轮等

2 浇注系统设计

2.1 浇注系统设计的基本要点

浇注系统是指模具中从接触注射机喷嘴开始到型腔为止的塑料流动通道，其作用是把熔体平稳地引入型腔，使之按要求填充型腔，而将型腔内的气体顺利地排出。在熔体填充型腔和凝固的过程中，能充分地把压力传到型腔各部位，以获得组织致密、外形清晰、尺寸稳定的塑件。因此，浇注系统十分重要，它的设计正确与否是注射成型能否顺利进行、能否得到高质量塑件的关键。设计者应充分认识到这一点。

浇注系统可分为普通浇注系统和无流道凝料浇注系统两类。设计前首先要对塑件所采用的塑料品种、制品的几何形状与尺寸、使用的机床设备，以及注射时可能产生的缺陷及填充条件等作全面的分析。模具的分型面选择与浇注系统也有密切关系。设计浇注系统基本要点见表 20-3-9。

表 20-3-9 设计浇注系统基本要点

序号	基本要点	说明
1	适应塑料的工艺性	设计者应深入了解塑料的工艺性，分析浇注系统在充模、保压补缩和倒流各阶段中，型腔内塑料的温度、压力变化情况，以便设计出适合塑料工艺特性的理想的浇注系统，保证塑件的质量
2	流程要短	在保证成型质量和满足良好排气的前提下，尽量缩短熔体的流程，以减少熔体压力和热量损失，保证必需的充填型腔的压力和速度，缩短充填及冷却时间，缩短成型周期，从而提高效率，减少塑料用量，提高熔接痕强度或使熔接痕不明显
3	排气良好	模具中气体不能顺利排出，会使注射成型过程充型不满或产生明显的熔接痕等缺陷。因此，浇注系统应能顺利地引导熔体充满型腔，使型腔内的气体能顺利地排出
4	避免料流直接冲击型芯或嵌件	高速熔融塑料进入型腔时，要尽量避免料流直接冲击小型芯或嵌件，以防型芯产生弯曲、折断或嵌件产生变形和位移
5	浇注系统在分型面上的投影面积应尽量小	这样容积也能小，既能减少塑料耗量，又能减小所需锁模力
6	浇注系统的位置尽量与模具的轴线对称	在设计浇注系统时，应避免在模具的单面开设浇口，否则会造注射时受力不均匀的现象
7	保证制品修整方便，外观质量良好	设计浇注系统时要结合塑件大小、结构形状、壁厚及技术要求，综合考虑浇注系统的结构形式、浇口数量和位置。使去除、修整浇口方便，无损塑件的美观和使用。浇口绝不能开设在对外观有严重影响的外表面上，而应设在隐蔽处
8	防止塑件变形	由于冷却收缩的不均匀性，或需要采用多浇口进料各浇口收缩不同等原因，可能引起塑件变形。如果主流道有收缩现象，主流道应留有加工余量或者修正余量

2.2 主流道与分流道设计

2.2.1 浇注系统的组成

浇注系统如图 20-3-2 所示，一般由主流道、分流道、浇口及冷料穴四个部分所组成。在特殊情况下可不设分流道或冷料穴等。图 20-3-2a 为卧式注射机用模具的普通浇注系统；图 20-3-2b 为直角式注射机用模具的普通浇注系统。

(1) 主流道

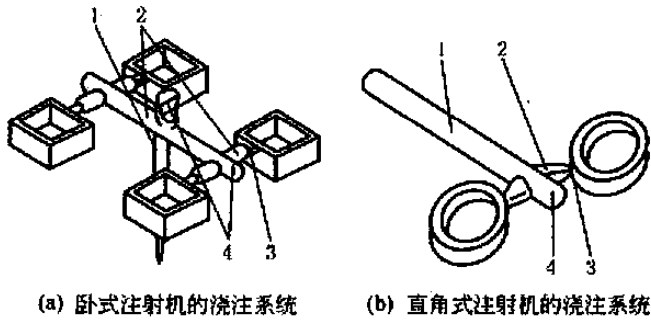


图 20-3-2 浇注系统的组成

1—主流道；2—分流道；3—浇口；4—冷料穴

主流道（也叫进料口）是指从注射机的喷嘴与模具接触的部位起到分流道为止的一段流道。它与注射机喷嘴在同一轴线上，熔体在主流道中不改变流动方向。主流道是熔融塑料最先经过的流道，所以它的大小直接影响熔体的流动速度和充模时间。

(2) 分流道

分流道是主流道与型腔进料口（浇口）之间的一段流道。它是熔体由主流道流入型腔的过渡段通道，也是使浇注系统截面变化和熔体流动转向的过渡通道。

(3) 浇口

浇口是料流进入型腔最狭窄部分，也是浇注系统中最短的一段。浇口尺寸狭小且短，目的是使由分流道流进的熔体产生加速，形成理想的流动状态而充满型腔，又便于注射成型后的塑件与浇口分离。

(4) 冷料穴

在每个注射成型周期开始时，最前端的料流接触低温模具后会变硬，被称为冷料。为了防止在下一注射成型时，将冷料带进型腔而影响塑件质量，一般在主流道或分流道的末端设置冷料穴，以储藏冷料并使熔体顺利充满型腔。

2.2.2 浇注系统的设计

(1) 主流道的设计

主流道是熔融塑料进入模具型腔最先经过的部位，按主流道的轴线与分型面的关系分，浇注系统有直浇注系统和横浇注系统。在卧式和立式注射机中，主流道轴线垂直于分型面，属于直浇注系统，如图 20-3-2a 所示；在直角式注射机中，主流道轴线平行于分型面，属于横浇注系统，如图 20-3-2b 所示。

主流道一般位于模具中心线上，它与注射机喷嘴的轴线重合，以利于浇注系统的对称布置。主流道一般设计得比较粗大，以利于熔体顺利地向分流道流动，但不能太大，以避免造成塑料消耗增多。反之，主流道也不宜过小，以避免引起熔体流动阻力增大，压力损失加大，对充模不利。因此，主流道尺寸必须恰当。对于黏度大的塑料或尺寸较大的塑件，主流道截面尺寸应设计得大一些；对于黏度小的塑料或尺寸较小的塑件，主流道截面尺寸设计得小一些。

直浇注系统主流道结构及尺寸参数见图 20-3-3。主流道横截面通常采用圆形。为便于流道凝料的脱出，主流道设计成圆锥形，其锥度 $\alpha = 2^\circ \sim 6^\circ$ ，内壁粗糙度 R_a 小于 $0.4 \mu\text{m}$ ；小端直径 d 一般取 $4 \sim 8 \text{mm}$ ，且大于注射机喷嘴直径约 $0.5 \sim 1 \text{mm}$ 。主流道的长度 L 由定模座板的厚度确定，如前所述在能够实现成型的条件下尽量短，以减少压力损失和塑料耗量，通常 L 不能超过 60mm 。

主流道大端与分流道相接处应有过渡圆角（通常 r 取 $1 \sim 3 \text{mm}$ ）以减少料流转向时的阻力。由于结构的需要主流道需穿过两块模板时，为防止在模板结合面处溢料造成主流道凝料脱出困难，应尽量采用浇口套。当不宜采用浇口套时，应在模板结合面处做出 $0.2 \sim 0.5 \text{mm}$ 阶梯，如图 20-3-4 所示。

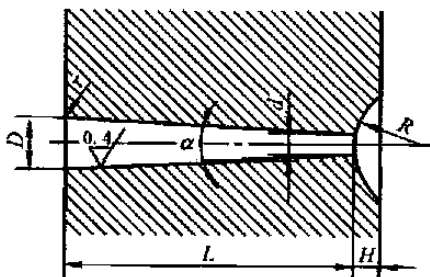


图 20-3-3 主流道的形状

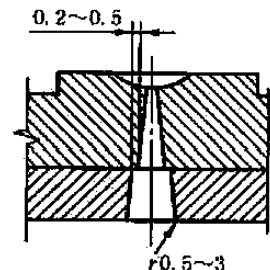


图 20-3-4 穿过两块模板的主流道

由于主流道需要与高温塑料和喷嘴频繁接触与相碰，设置主流道衬套是很有必要的，尤其是当主流道需要穿过几块模板时，否则在模板接触面可能溢料，致使主流道凝料难以取出。常用主流道衬套有 I 型、II 型两种，如图 20-3-5 所示。

为保证模具安装在注射机上后，其主流道与喷嘴对中，通常须采用定位环定位。对于小型注射模具，直接利用

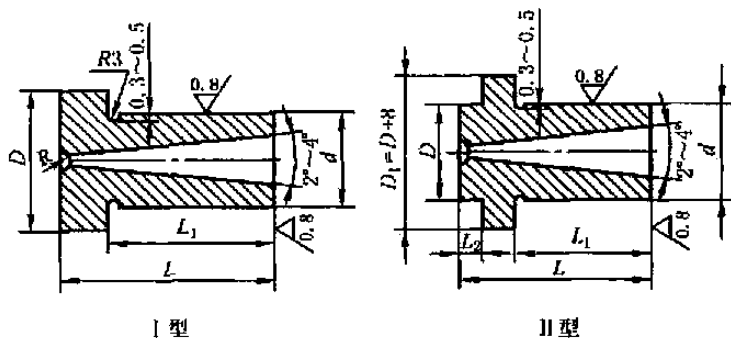


图 20-3-5 主流道衬套形式

主流道衬套的台肩作为模具定位环；对于大中型模具，常常将模具的定位环与主流道衬套分开设计，如图 20-3-6 所示。定位环与注射机定位配合直径，设计时应按选用注射机的定位孔直径和考虑塑模的拆装方便进行确定。

主流道衬套与定位环配合的结构形式如图 20-3-7、图 20-3-8 所示，定位环直径 D_1 与注射模上固定孔的配合

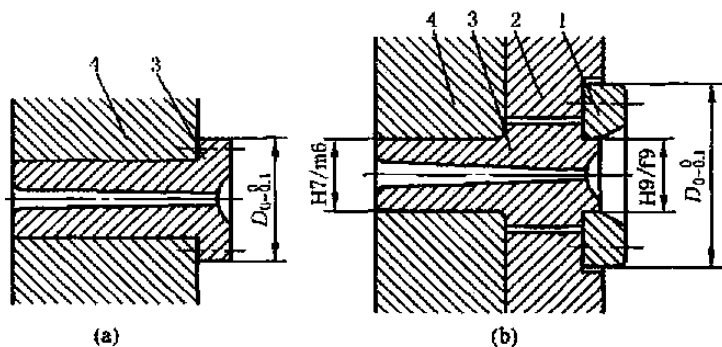
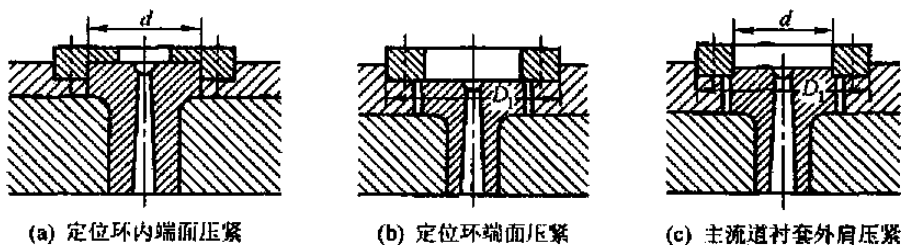


图 20-3-6 主流道衬套与定位环

1—定位环；2—定位垫板；3—主流道衬套；4—定模板

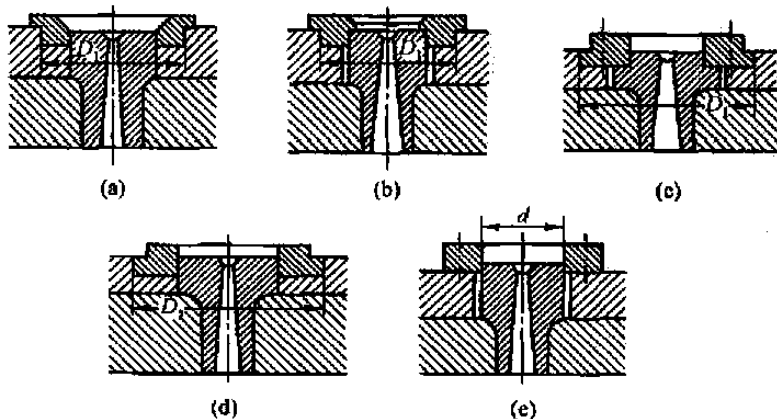


(a) 定位环内端面压紧

(b) 定位环外端面压紧

(c) 主流道衬套外肩压紧

图 20-3-7 定位环压紧主流道衬套



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

图 20-3-8 定位环与主流道衬套配合

直径，定位环的固定螺钉一般取 M6 - M8，螺钉通常选用 2 个以上。

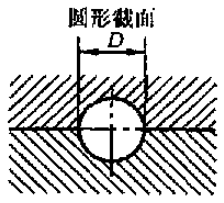
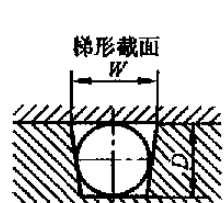
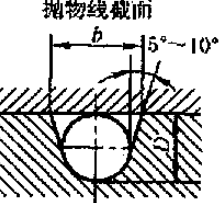
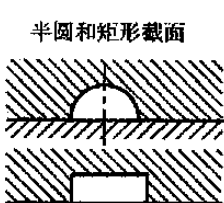
主流道衬套与注射机喷嘴的配合见表 20-3-6。应该注意的是主流道衬套常因受到型腔或分流道塑料的反压力而脱出，因而衬套与定模座板连接必须可靠，反压力过大时，可设计成图 20-3-8d 所示的结构。

(2) 分流道的设计

小型塑件的单型腔模不设分流道，而塑件尺寸较大采用多浇口进料或多型腔模时，需设分流道。分流道应使熔体较快地充满整个型腔，流动阻力小，流动过程中温降尽可能低，同时应能将塑料熔体均衡地分配到各个型腔。

1) 分流道截面形状和尺寸。常见的分流道的截面形状和尺寸如表 20-3-10 所示。根据流体力学和传热学原理可知，在同等的过流横截面面积 A 的条件下，横截面为正方形的流动阻力最大，传热最快，热量损失最大，因此对热塑性塑料注射模而言，不宜采用正方形的分流道。而圆形横截面流动阻力最小，热量损失最小，熔体降温也最慢，因而，对热塑性塑料注射模而言，分流道截面形状宜采用圆形。但就加工来说，圆截面需要同时在动模和定模上开设半圆截面，要使两者完全吻合，制造较困难。梯形截面、U 形截面的分流道，加工容易，且热量散失和流动阻力也不大。半圆形和矩形截面的分流道比表面积较大，较少采用。究竟采用哪一种横截面的分流道，既要考虑各种塑料注射成型的需要，又要考虑制造难易程度。从传热面积考虑，热固性塑料注射模宜用矩形截面分流道，而热塑性塑料宜用圆形截面分流道。从压力损失考虑，圆形截面分流道最好，从加工方便考虑，宜采用梯形、矩形截面分流道。

表 20-3-10 分流道截面形状和尺寸

图形截面	分流道截面特点	图形截面	分流道截面特点
 <p>圆形截面 $D = S_{max} + 1.5$ S_{max} —— 塑件最大壁厚</p>	<p>优点: 表面积/体积比最小, 冷却速度最低, 热量及摩擦损失小。进料流道中心冷凝慢, 有利于保压</p> <p>缺点: 同时在两半模上加工圆形凹槽, 难度大, 费用高</p>	 <p>梯形截面 $W = 1.25D$</p>	<p>可用来替代抛物线截面</p> <p>缺点: 比抛物线截面流道的热损失及冷凝料都多</p>
 <p>抛物线截面 $D = S_{max} + 1.5$</p>	<p>优点: 截面近似于圆弧, 在单边加工较容易 (由于推出的原因, 通常放在动模上)</p> <p>缺点: 与圆形截面流道相比, 热损失大, 冷凝料多</p>	 <p>半圆和矩形截面</p>	<p>表面积/体积比较大, 一般不常用</p>

2) 分流道的布置。分流道的布置形式，取决于型腔的布局，其遵循的原则应是：排列紧凑，能缩小模板尺寸，减少流程，力求锁模力平衡。在多型腔注射模具中，要求由各型腔成型的制品表面质量和内部性能差异小，这就必须保证各型腔在成型塑件时工艺条件相同。为此，分流道的布置形式应能达到如下要求：从主流道来的熔体能均衡到达各浇口并同时充满各型腔。型腔与分流道的排列有平衡式和非平衡式两种。

平衡式布置如表 20-3-11 所示。主要特征是：分流道的长度、截面形状和尺寸都相同，各个型腔同时均衡进料，同时充满型腔。显然，对成型同一种塑件的多型腔模，分流道以平衡式为佳。

非平衡式布置如表 20-3-12 所示。主要特征是：分流道截面形状和尺寸相同，但分流道长度不同，成型过程中充满型腔有先后，难以实现均衡进料。当然，也可以通过调节各浇口的截面尺寸来实现均衡进料，但这种方法比较麻烦，需要多次试模和修整才能实现，故不适用模塑精度较高的塑件。非平衡式布局的分流道的优点是能缩短分流道的长度。

3) 分流道设计基本要点

① 在保证正常的注射成型工艺条件下，分流道与型腔排列要紧凑，以减小模具尺寸和缩短流程，使熔体到达浇口时，温度和压力降低最少。

表 20-3-11

分流道平衡式布置形式

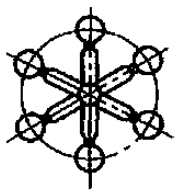
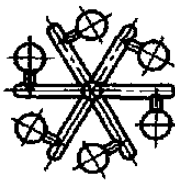
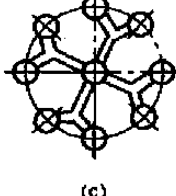
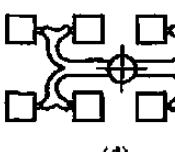
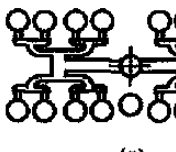


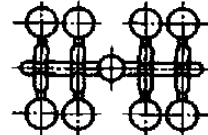
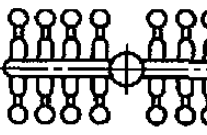

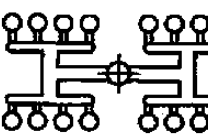
分型面为圆形时的环形排列			分型面为矩形时的排列		
					
(a) 布局简单,加工方便,但只能布置有限的型腔	(b) 好于图 a 形式,分流道末端有冷料穴	(c) 与图 a、b 形式不同之处在于同样型腔数目时流道冷料少	(d)	(e)	(f)
			与环形排列相比,在同样型腔数目时,模板尺寸可减小。但流道转弯较多,压力损失大,加工也较困难,同时冷料多		

表 20-3-12

分流道非平衡布置形式

				
	(a)	(b)	(c)	(d)

② 较长的分流道应该在末端开设冷料穴 (图 20-3-9), 其作用是, 容纳注射开始时产生的冷料和空气, 以避免其进入模具型腔内, 开设冷料穴形式, 如图 20-3-9 所示。

③ 在多型腔注射模具中, 设计分流道应能保证各型腔均衡进料, 为此, 同一模具成型同一塑件时, 各分流道截面积和长度应相等; 当同一模具成型不同塑件时, 应调整各分流道的截面积和长度, 使之与塑件相适应, 以保证各型腔成型条件相同。

④ 分流道表面粗糙度 R_a 一般为 $1.6\mu\text{m}$ 。实践经验证明, 流道内料流的外层流速较低, 容易冷却而形成固定表皮层, 有利于流道保温 (相当于外层塑料起绝热层作用)。

⑤ 分流道可开设在动模或定模上, 也可以在动模和定模上同时开设, 这主要根据塑料特性、加工性和模具结构确定。当分流道开设在定模一侧, 并浇口处延伸很长时, 要加设分流道拉杆, 便于开模时冷料脱模。

⑥ 在考虑型腔与分流道布置时, 最好使塑件和流道在分型面上总投影面积的几何中心和锁模力的中心相重合。这对于锁模的可靠性和锁模机构受力的均匀性都有利, 而且还可以防止发生溢料现象。图 20-3-10 中, 图 a 流道布置不合理, 图 b 流道布置合理。

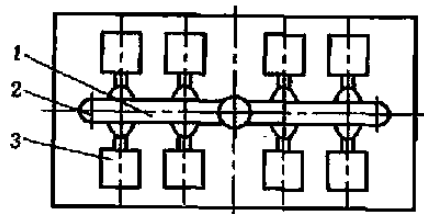


图 20-3-9 分流道的冷料穴
1—分流道; 2—冷料穴; 3—塑件

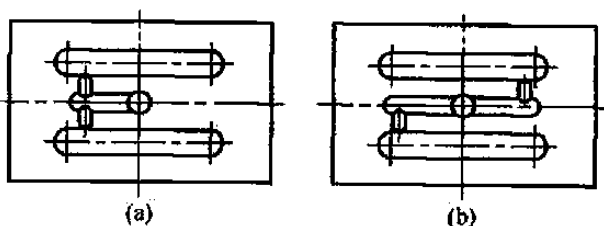


图 20-3-10 分流道布置形式与锁模力的关系

2.3 浇口设计

2.3.1 浇口的作用

浇口是分流道和型腔之间的连接部分, 也是注射模具浇注系统的最后部分熔融塑料经过浇口进入型腔。浇口

的基本作用是使从分流道来的熔体产生加速,以快速充满型腔。一般浇口尺寸比型腔部分小得多,因此,型腔充满塑料后,浇口能迅速冷却封闭,防止熔料倒流,而且也便于浇口凝料与塑件的分离。另外,当熔体通过狭小浇口时,剪切速率增高,熔体的流速增大,充模容易,这对于塑料熔体黏度对剪切速率较敏感的塑料,如聚乙烯、聚苯乙烯、ABS等尤其有利;小浇口对熔体有较大的摩擦阻力,结果使熔体温度明显上升,黏度降低,流动性增加,有利于薄壁复杂制品的成型和获得外形清晰的塑件;小浇口有利于流道凝料与塑件的分离,便于自动切断浇口,从而便于修整塑件,痕迹小;小浇口缩短了成型周期,提高生产效率。小浇口可以控制并缩短保压补缩时间,以减少塑件内应力,防止变形和破裂。因为小浇口优点较多,应用较广泛。

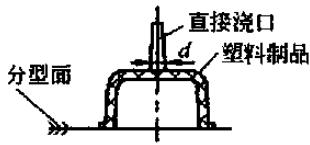
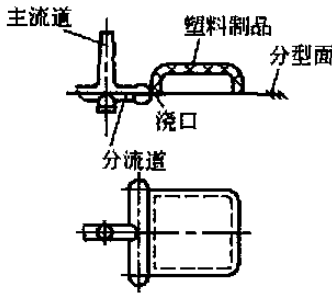
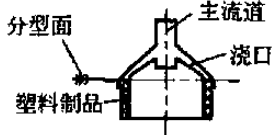
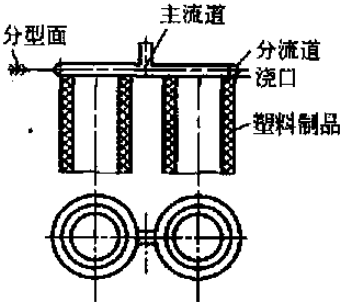
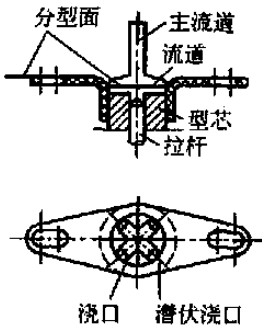
小浇口的缺点是熔体流动阻力大,压力损失大,会延长充模时间。因此,浇口截面尺寸过小,压力损失大,冷凝快,补缩困难,会造成塑件缺料、缩孔等疵病,甚至还会产生熔体破裂形成喷射现象,塑件表面出现凹凸不平。

2.3.2 浇口类型

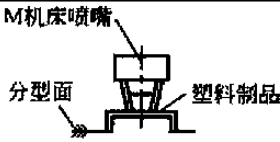
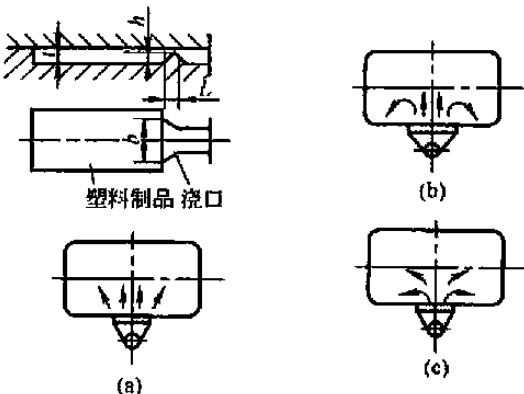
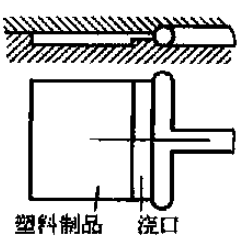
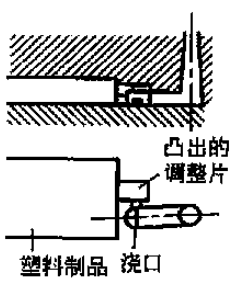
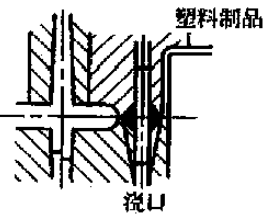
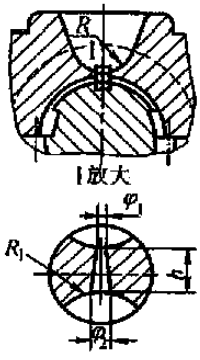
按注射模浇口形状、大小、位置不同,浇口的形式有很多种,见表20-3-13。部分塑料适用的浇口形式见表20-3-14。

表 20-3-13

各类浇口形式

浇口形式	简图	特 性
直接浇口		应用范围:用于加工热敏性及高黏度材料成型高质量的大型制品 浇口长大于30mm时,取 $d=9\text{mm}$,小于30mm时,取 $d=6\text{mm}$
侧浇口		应用范围:用于成型板条之类的大面积制品 优点:制品无熔合线,质量好,精度高 缺点:浇口切除需后加工 $L=0.7\sim 2\text{mm}$, $h=(1/3\sim 2/3)T$, 中小件 $b=(5\sim 10)h$,大型塑料制品 $b>10h$
盘形浇口		应用范围:应用于型芯安装一侧的轴对称塑料制品 优点:塑料制品上无熔合线,对强度无影响 $h=(0.6\sim 1)T$
环形浇口		应用范围:用于型芯装在两侧的管状塑料制品 优点:周向壁厚均匀 缺点:有轻微的熔合线,浇口切除需后加工 $h=0.8\sim 2\text{mm}$ $L=0.5\sim 1.5\text{mm}$
隧道式浇口(潜伏浇口)		应用范围:主要用于多型腔小零件模具以及成型弹性体材料 优点:自动去浇口 缺点:对单个零件来讲,压力损失较高 $d=0.7\sim 2.5\text{mm}$

浇口形式	简图	特性
点浇口 (三板式模具)		<p>应用范围:多型腔中心进料模具 优点:浇口自动去除 缺点:回料多,模具费用高 $L=0.3 \sim 2\text{mm}, d=0.7 \sim 1.2\text{mm}$ $\alpha=6^\circ \sim 15^\circ$</p>
点浇口 (带有反向主流道浇口)		<p>应用范围:自动去除浇口塑料制品 优点:不需后加工 缺点:只适用于温度稳定的材料(PE、PS),不适用于其他材料 $L=0.6 \sim 1.2\text{mm}, d=0.6 \sim 1.2\text{mm}$</p>
平缝式浇口 (薄片式)		<p>(1)特性与侧向浇口相似,一般多用于垂直分型面及立式或直角式注射模,成型骨架类薄壁塑料制品 (2)浇口一般设置在制品中部,有利于排气,但按需要也可设置在两端等部位 (3)模具磨损或合模不良,易产生飞边,去除浇口困难 (4)主流道常用圆形或椭圆形截面,截面积按塑料流动性及塑料制品壁厚、形状而定。圆形截面直径常取$5 \sim 9\text{mm}$;椭圆截面A常取$4.8 \sim 6\text{mm}$,B为$(4/5)A$; H为冷料穴尺寸,宜取$4 \sim 5\text{mm}$。分流道一般为椭圆形截面,$D=A, h=(1/2)A, l$按需要而定,一般取$5 \sim 8\text{mm}$,α按需要而定,对环形塑料制品取$40^\circ \sim 50^\circ$,对平片状塑料制品取90°;浇口尺寸a, b, c与侧向浇口相同</p>
限制式直接浇口		<p>(1)适用于成型深壳、箱、筒形中间有通孔的制品 (2)流程短,环形流向分型面有利于排气,减少熔接痕 (3)一般只能用于单型腔模具,而且去除浇口困难 (4)图a为分流锥式进料口,浇口厚度一般为制品壁厚的$1/3 \sim 2/3$ 图b为圆环形进料口,浇口厚一般取$0.2 \sim 1.2\text{mm}$ 图c为爪式浇口,即在分流锥上开设流道,适用于成型高管状制品或同轴度要求高的制品。对多处进料型芯起定位作用,防止弯曲,同轴度好,去除浇口方便,但易发生熔接痕 图d是圆薄片状浇口,浇口厚度一般取$0.2 \sim 1.2\text{mm}$ 图e是螺旋爪式浇口,熔接质量好,同心度高,料头在浇口脱模板离开即可取出,不必另行修整,但只宜成型软质塑料</p>

浇口形式	简图	特性
无流道浇口		<p>应用范围: 薄壁塑料制品, 成型快速连续</p> <p>优点: 没有流道系统的材料损失</p> <p>缺点: 塑料制品上留有喷嘴痕迹, 喷嘴直径小于 6 ~ 12mm</p>
扇形浇口		<p>(1) 适用于成型平板薄形制品, 对流程短的效果较好</p> <p>(2) 注意选择浇口位置, 使料流向不致引起塑料制品变形</p> <p>(3) 扇角大小按塑料制品形状而定, 图 a 较合理, 图 b、c 都导致旋涡, 不利熔料流动</p> <p>(4) 浇口截面积不得大于浇道截面积, $h = (1/3 - 2/3)t, L = 1.3mm$</p>
宽薄浇口		<p>(1) 适用于成型薄板大面积塑料制品</p> <p>(2) 流程较长, 熔料能平衡填充型腔, 塑料制品变形小, 减少气泡及缺料, 特别对聚乙烯防止变形更有效</p> <p>(3) 要注意选择浇口位置, 防止导致塑料制品变形</p> <p>(4) 进料口厚度一般取 0.2 ~ 1.5mm, 宽度为塑料制品长度的 25% ~ 100%, 浇口长一般小于 1.5mm</p>
调整片式浇口		<p>(1) 适用于聚碳酸酯、聚乙烯、有机玻璃、ABS 等流动性差、对应力敏感的塑料, 可减少成型时浇口处的残余应力及防止浇口处破裂, 有利于提高料温</p> <p>(2) 在浇口与塑料制品之间设置调整片, 使浇口处残余力不致直接影响制品</p> <p>(3) 调整片宽一般取 6mm, 长为宽的 2 倍, 厚为塑料制品壁厚的 3/4 左右。浇口厚度一般为调整片厚度的 80%, 宽为厚度的 1.5 ~ 2 倍, 浇口长度一般在 1.5mm 以下</p>
阻尼式浇口		<p>(1) 设置两个浇口, 利用料二次流经浇口产生摩擦热, 可有效地改善流动性和可塑化程度, 适用于成型温度范围狭、流动性差的塑料及注射无增剂的聚氯乙烯等, 但注射压力损失大</p> <p>(2) 浇口尺寸应按普通浇口调节到良好时为止</p>
微型浇口		<p>(1) 延长喷嘴, 缩短主流道, 开模时微型浇口随塑料制品一起出模</p> <p>(2) 消耗塑料少, 成型时热量散失及注射压力损耗小, 适用于自动成型</p> <p>(3) 模具冷却不良时浇口附近塑料制品表面易出皱纹, 同时也要防止微型浇口过早冷却, 浇口处 R 与喷嘴 R 要吻合, 并应防止喷嘴压力过大或模具用久后该处型腔变形</p> <p>(4) $h \approx 4mm, \varphi_1 \approx 0.5 - 0.8mm, \varphi_2 \approx 0.8 - 1.5mm, R_1 \approx 0.2 - 0.5mm$</p>

续表

浇口形式	简图	特 性
叠式模具浇口		<p>应用范围:多腔,质轻、扁平零件</p> <p>优点:能较好地应用机器的塑化速度</p> <p>缺点:流道系统冷凝料多,模具费用高</p> <p>说明:目前一般使用热浇道,冷凝料少,但费用高</p>
绝热流道模具		<p>应用范围:所有从软化到熔化的熔程宽、并能快速连续生产的材料</p> <p>优点:自动分离浇口,冷凝料只是冷流道部分</p> <p>缺点:中间停顿后冷料有进入型腔的危险</p>
热流道板		<p>应用范围:成型技术条件要求高的制品、成型周期短以及难加工的材料</p> <p>优点:无流道系统的材料损失,自动分离浇口</p> <p>缺点:费用高,尤其是对控制设备</p>

表 20-3-14

部分塑料适用浇口形式

塑 料	直接浇口	侧浇口	限制性侧浇口	护耳浇口	薄片式浇口	环形浇口	圆盘浇口	点浇口	潜伏式浇口
硬聚氯乙烯	○	○	○	○					
聚乙烯	○	○						○	
聚丙烯	○	○						○	
聚碳酸酯	○	○						○	
聚苯乙烯	○	○					○	○	○
橡胶改性苯乙烯									○
聚酰胺	○	○					○	○	○
聚甲醛	○	○		○	○	○		○	○
丙烯腈-苯乙烯	○	○		○			○	○	
ABS	○	○		○	○	○	○	○	○
丙烯酸酯	○	○		○					

注: 1. ○表示塑料与浇口适应。

2. 圆盘浇口属环形浇口。

2.3.3 浇口截面形状及尺寸

(1) 浇口截面形状

常见浇口截面形状有矩形和圆形，也有三角形的（如爪形浇口）。矩形和圆形浇口便于加工，精度容易保证，因此应用广泛。

(2) 浇口截面尺寸

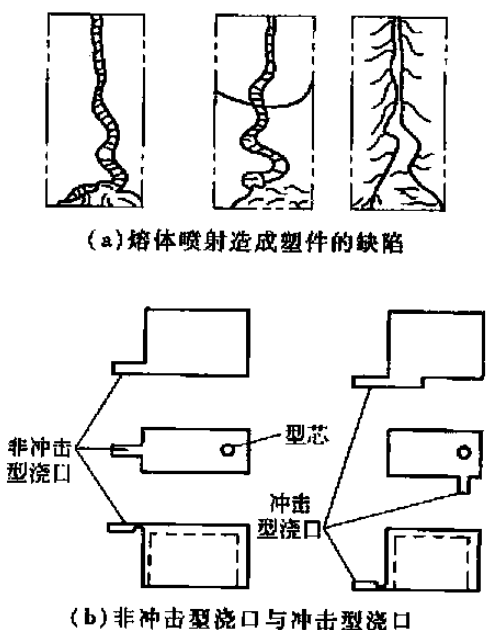
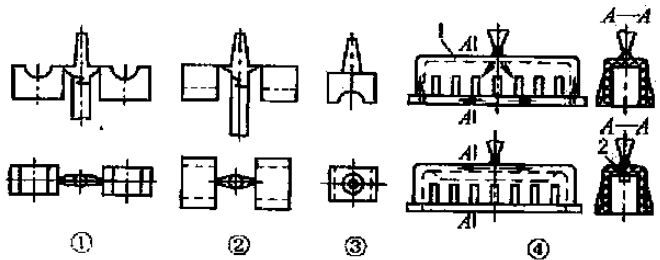
在截面积相同的情况下，浇口厚度的大小对料流压力损失和流速的大小、对成型难易和气体排出影响很大。设计浇口时，一般可取浇口截面积与分流道截面积之比为 0.03 ~ 0.09。浇口的表面粗糙度 R_a 不大于 $0.4\mu\text{m}$ 。对于流动性差的塑料和尺寸较大、壁厚厚的塑件，其浇口尺寸应取较大值，反之取较小值。一般，在制造模具时，先制作较小的浇口尺寸，通过试模后再逐步修改增大。

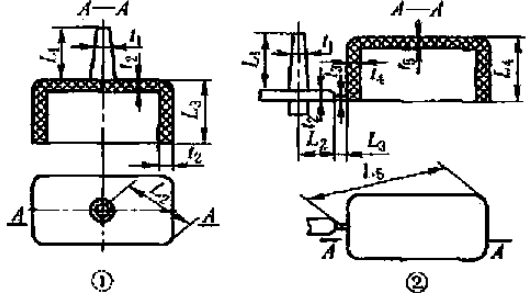
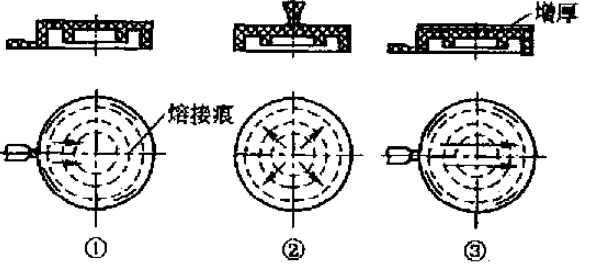
2.3.4 浇口位置选择原则

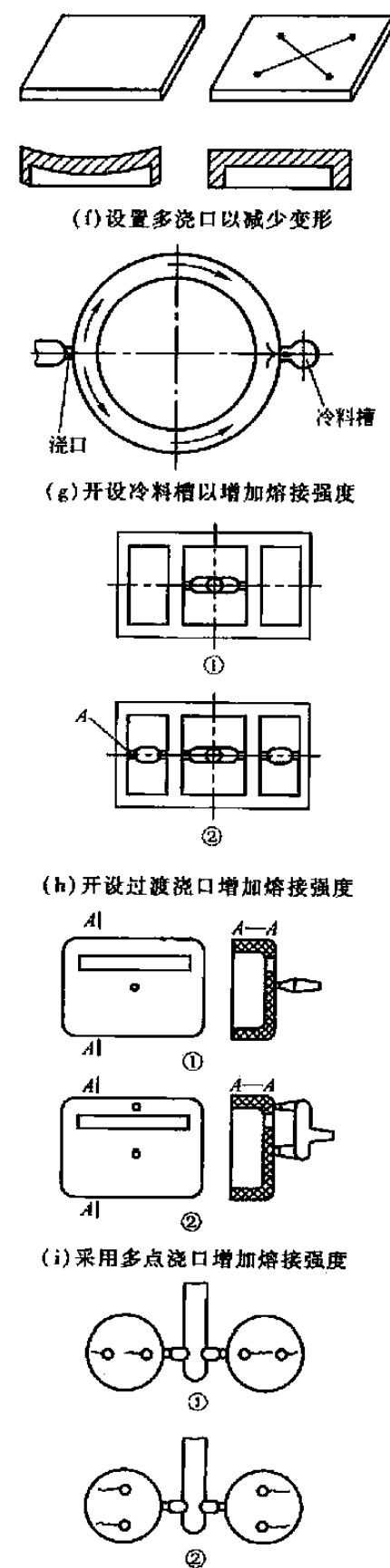
浇口开设位置对塑件的质量影响很大，主要根据制品的几何形状和技术要求，并分析熔体在流道和型腔中的流动状态、填充、补缩及排气等因素作全面考虑。浇口位置的选择原则见表 20-3-15。

表 20-3-15

浇口位置选择原则

序号	选择原则	图 示	说 明
1	避免引起熔体破裂	 <p>(a) 熔体喷射造成塑件的缺陷</p> <p>(b) 非冲击型浇口与冲击型浇口</p>	<p>截面尺寸较小的浇口正对着一个宽度和厚度都较大的型腔，则高速料流流过浇口时，由于受到很高的剪应力作用，将会产生喷射和蠕动（蛇形流）等熔体破裂现象。这些喷射出的高度定向的细丝或断裂物很快冷却变硬，与后进入型腔的熔体不能很好熔合而使制品出现明显的熔接痕。有时熔体直接从型腔一端喷射到另一端，造成折叠，使塑件形成波纹状痕迹，如图 a 所示。此外，喷射还会使型腔内气体难以排出，形成气泡</p> <p>克服上述缺陷的办法是，采用冲击型浇口，或者浇口位置设在正对型腔壁或粗大型芯的方位，如图 b 所示，使高速料流直接冲击型腔和型芯壁上，从而使料流平稳地充满型腔，避免熔体断裂，以保证塑件质量</p>
2	有利于熔体流动和补缩口	 <p>(c) 浇口位置对塑料熔体流动及塑件收缩的影响</p> <p>1—气囊; 2—加强筋</p>	<p>当塑件的壁厚相差较大时，为保证注射过程最终压力有效地传递到塑件较厚部位以防止缩孔，在避免产生喷射的前提下，浇口的位置应开设在塑件截面最厚处，以利于熔体填充及补缩。如图 c 所示，塑件厚薄不均匀，图 c 中①的浇口位置，由于收缩时得不到补料，塑件会出现凹痕；图 c 中②的浇口位置选在厚壁处，可以克服凹痕的缺陷；图 c 中③为直接浇口，可以大大改善熔体充模条件，补缩作用大，但去除浇口凝料比较困难。如果塑件上设有加强筋，浇口的位置应设在使熔体顺着加强筋开设的方向，以改变熔体流动条件，如图 c 中④所示</p>

序号	选择原则	图 示	说 明
3	保证流动比在允许范围内	 <p>(d) 浇口位置不同对流动比的影响</p>	<p>熔体流程长度与厚度之比称为流动比,也可称流程比。显然,流程比越大,充填型腔越困难。在保证型腔得到良好填充的前提下,应使熔体流程最短,流向变化最少,以减少能量的损失。如图 d 中②所示浇口位置,其流程长,流向变化多,充模条件差,且不利于排气,往往造成制品顶部缺料或产生气泡等缺陷。对这类制品,一般采用中心进料为宜,可缩短流程,有利于排气,避免产生熔接痕。图 d 中①为直接浇口,可克服图 d 中②可能产生的缺陷</p> <p>设计浇口位置时,为保证熔体完全充型,因而流程比不能太大,实际流程比应小于许用流程比。而许用流程比是随着塑料性质、成型温度、压力、浇口种类等因素而变化的。表 20-3-16 为常用塑料流程比允许值,供设计时参考。如果发现流程比大于允许值,需改变浇口位置或增加制品的壁厚,或采用多浇口进料等方式来减小流动比</p>
4	有利于型腔内气体的排出	 <p>(e) 浇口位置对排气的影响</p>	<p>如果进入型腔熔体过早地封闭排气途径,型腔内的气体就不能顺利排出,会使塑件上产生气泡、疏松、充不满、熔接不牢等缺陷,或者在注射时由于气体被压缩而产生高温,使塑件局部碳化烧焦。如图 e 所示,是一个盒型塑件,侧壁厚度大于顶部。如按图 e 中①所示设置侧浇口位置,在进料时,熔体沿侧壁流速比顶部的快,因而侧壁很快被充满,而顶部形成封闭的气囊,结果在顶部留下明显的熔接痕或烧焦的痕迹。如果从排气角度出发,改用图 e 中②所示中心浇口,使顶部最快充满,最后充满的部位在分型面处。若不允许中心进料,仍采用侧浇口时,则应增大顶部厚度或减小侧壁厚度,如图 e 中③所示,使料流末端在浇口对面的分型面处,以利于排气。另外,也可在空气汇集处镶入多孔的粉末冶金材料,利用微孔的透气作用排气;或在顶部开设排气结构,如利用配合间隙排气,采用组合型腔,效果都很好</p>

序号	选择原则	图 示	说 明
5	减少塑件熔接痕, 增加熔接强度	 <p>(f) 设置多浇口以减少变形</p> <p>(g) 开设冷料槽以增加熔接强度</p> <p>(h) 开设过渡浇口增加熔接强度</p> <p>(i) 采用多点浇口增加熔接强度</p> <p>(j) 熔接痕在塑件上的方位</p>	<p>熔体在充型过程中都有料流间的熔接存在。浇口位置设计时应该考虑: 增加熔接的强度, 尽量减少产生熔接痕, 以保证塑件的强度。产生熔接痕的原因很多, 就浇口数目的设置而言, 浇口数目多, 产生熔接痕的可能就增加。因而在熔体流程不太长的情况下, 如无特殊要求, 最好不设两个或两个以上浇口。但浇口数多后, 料流的流程缩短, 熔接的强度有所提高。因此, 对大型制品而言, 采用多点进料有利于提高熔接的强度; 对于大型板状塑件, 为减少内应力和翘曲变形, 必要时也设置多个浇口, 如图 f 所示</p> <p>在可能产生熔接痕的情况下, 应采取工艺和模具设计的措施, 增加料流熔接强度。如图 g 所示, 可在熔接处的外侧开一冷料槽, 以便料流前端的冷料溢进槽内。另外, 还可避免产生熔接痕</p> <p>图 h 和图 i 所示为箱形壳体塑件, 浇口位置的不同, 不仅影响流程长短, 而且影响熔接的方位和熔接的强度, 这时可增加过渡浇口 (图 h) 或采用多点浇口 (图 i 中 ② 所示浇口位置)。此外, 浇口位置也应考虑熔接痕方位对塑件的影响。图 j 所示为带有两个圆孔的平板塑件, 图 j ① 的浇口位置在注射成型后, 熔接痕与小孔连成一线, 使塑件的强度大大削弱。图 j 中 ② 设置的浇口方位比较合理</p>

序号	选择原则	图 示	说 明
6	防止料流将型芯或嵌件挤压变形		<p>对于筒形塑件来说,应避免偏心进料以防型芯弯曲。如图 k 中①是单侧进料,料流单边冲击型芯,使型芯偏斜导致塑件壁厚不均;图 k 中②为两侧对称进料,可防止型芯弯曲,但与图 k 中①一样,排气不良。采用图 k 中③所示的中心进料,效果好。</p> <p>图 l 为壳体塑件,当由顶部进料时(图 l 中①),如果浇口较小,因中部进料快、两侧进料慢,从而产生侧向力 F_1 和 F_2,如型芯的长径比大于 5,则型芯会产生较大弹性变形,成型后熔体冷凝,塑件因难以脱模而破裂。图 l 中②浇口较宽,图 l 中③采用正对型芯的两个冲击型浇口,进料都比较均匀,可克服图 l 中①的缺点</p>
7	高分子取向对塑件性能的影响		<p>注射成型时,应尽量减少高分子沿着流动方向上的定向作用,必须恰当设置浇口位置,尽量避免由于定向作用造成的不利影响,而应尽量利用定向作用产生的有利影响。图 m 中①是口部带有金属嵌件的聚苯乙烯制品,由于成型收缩使金属嵌件周围的塑料层产生很大的切向拉应力,如果浇口开设在 A 处,则高分子定向与切向拉应力方向垂直,该塑件容易开裂。图 m 中②为一个聚丙烯盒子,具有“铰链”(塑料合页),把浇口设在 A 处(两点),注射成型时,熔体通过很薄的铰链(约 0.25mm)充满盖部,在铰链处产生高度的定向,可达到几千万次弯折而不断裂的性能</p>

表 20-3-16

常用塑料的流程比 (L/t) 允许值

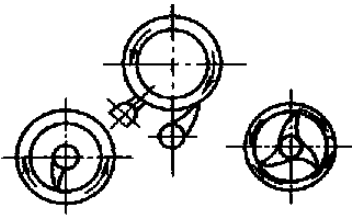
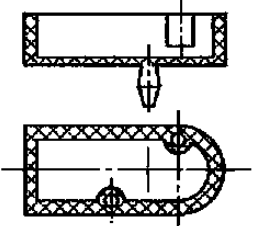
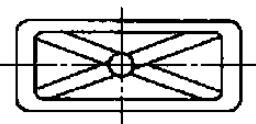
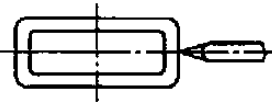
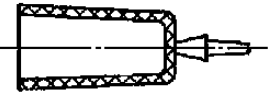
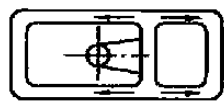
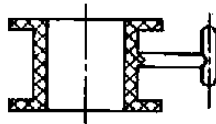
塑料名称	注射压力/MPa	L/t	塑料名称	注射压力/MPa	L/t
聚乙烯	150	250 ~ 280	硬聚氯乙烯	130	130 ~ 170
	60	100 ~ 140		90	100 ~ 140
聚丙烯	120	280		70	70 ~ 110
	70	200 ~ 240	软聚氯乙烯	90	200 ~ 280
聚苯乙烯	90	280 ~ 300		70	100 ~ 240
聚酰胺	90	200 ~ 360	聚碳酸酯	130	120 ~ 180
聚甲醛	100	110 ~ 210		90	90 ~ 130

注: L —熔体流程长度; t —熔体流程厚度。

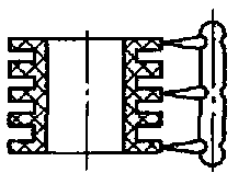
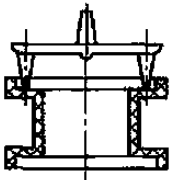

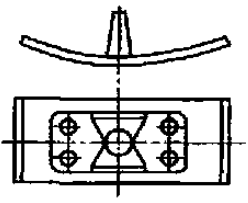
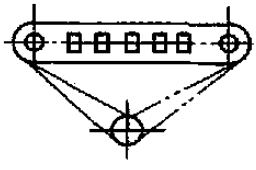
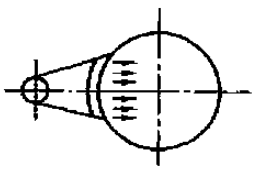
2.3.5 浇口位置选择实例

表 20-3-17

浇口位置选择实例

塑料制品形状	简 图	说 明
圆环形		<p>对于圆环形塑件采用切向浇口可减少熔接痕,提高熔接强度,有利于排气</p>
箱体形		<p>对于箱体形的塑件应用这种浇口,流程短,熔接痕少,熔接强度高</p>
框形		<p>对于框形塑件,浇口最好对角设置,这样可以改善收缩引起的塑件变形,圆角处有返料作用,可增大流速,有利于成型</p>
长框形		<p>对于长框形塑件设置浇口时,应考虑产生熔接痕的部位,选择浇口位置应不影响塑件的强度</p>
圆锥形		<p>对于外观无特殊要求的塑料制品采用点浇口进料较为合适</p>
壁厚不均匀		<p>对于壁厚不均匀的塑件,浇口位置应保证流程一致,避免涡流而造成明显熔接痕</p>
骨架形		<p>对于骨架形塑件,设置浇口使塑料从中部分两路填充型腔,缩短了流程,减少了填充时间,适用于壁厚而大的塑件</p>

续表

塑料制品形状	简 图	说 明
多层骨架形		<p>对于多层骨架形的塑件,可采用多点浇口,以便改善填充条件</p>
有突缘圆柱形		<p>可采用两个浇口进料,塑件成型良好,适用于大型塑件及流动性好的塑料</p>
圆形齿轮		<p>对齿轮类塑件,可采用直接浇口进料,不仅能避免接缝的产生,同时齿轮齿形不会受到损坏</p>
薄壁板形		<p>薄壁板形的塑件的外形尺寸较大时,浇口设在中间长孔中,由于两面有浇口,缩短了流程,防止缺料和熔接痕,塑件质量较好,缺点是去浇口困难</p>
长条形		<p>塑件有纹向要求时,可以采用从一端切线进料,单流程较长,如无纹向要求,可以采用两端切线方向进料,这样流程可以缩短</p>
圆片形		<p>对于圆片形塑件,可采用径向扇形浇口,这样进料可以防止旋涡,并且可获得良好的塑件</p>

2.4 冷料穴设计

2.4.1 冷料穴

注射机刚开始注射塑料时，喷嘴最前端的熔融塑料首先接触低温模具，温度降低而形成冷凝料（简称冷料），为了防止这些冷料进入型腔而影响塑件质量，一般在进料口末端的动模板上开设一洞穴或者在流道的末端开设洞穴，这个洞穴就是冷料穴。

直角式注射机用注射模的冷料穴，通常为主流道的延长部分，如图 20-3-11 所示。卧式或立式注射机注射模的冷料穴，一般都设在主流道正面的动模板上，如图 20-3-12 所示，其直径稍大于主流道的大端直径。当分流道较长时，可在料流方向的末端延长一小段作为冷料穴。

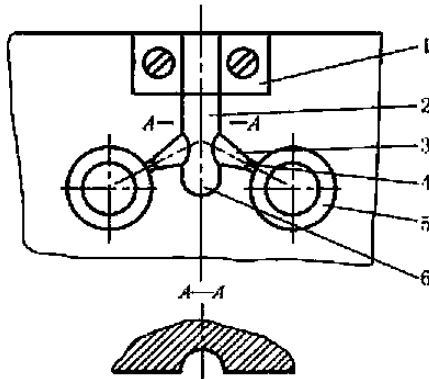


图 20-3-11 直角式注射机用注射模的冷料穴

- 1—镶块；2—主流道；3—分流道；
- 4—浇口；5—型腔；6—冷料穴

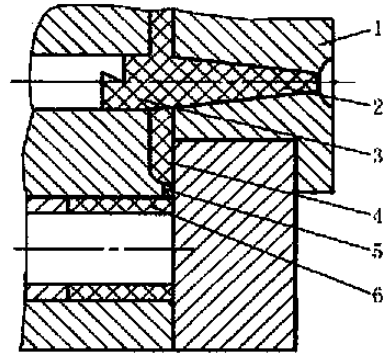


图 20-3-12 卧式注射机用注射模的冷料穴

- 1—主流道衬套；2—主流道；3—冷料穴；
- 4—分流道；5—浇口；6—冷料穴

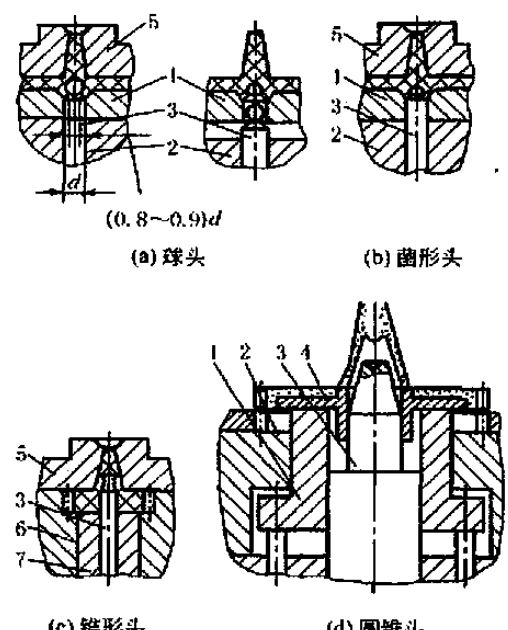
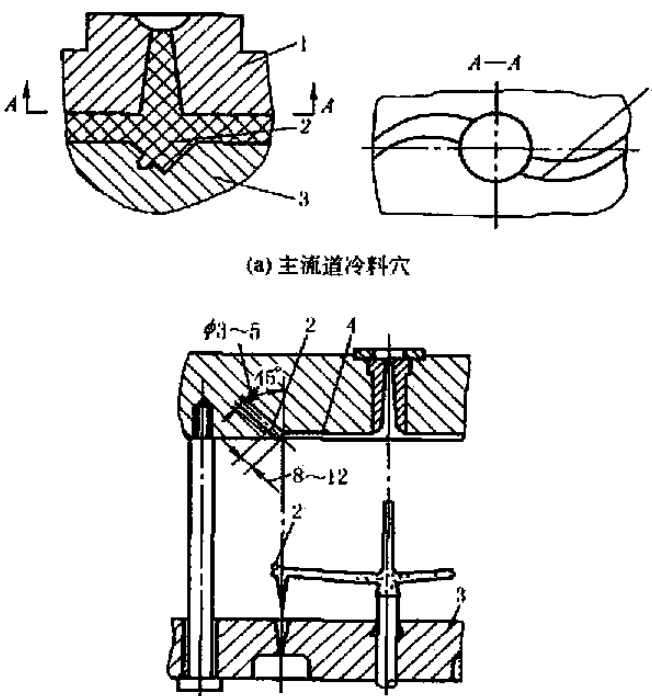
2.4.2 拉料杆

为了使主流道凝料能顺利地的主流道衬套中脱出，往往使冷料穴兼有开模时将主流道凝料从主流道拉出而附在动模一边的作用，根据拉料的方式不同，常见的冷料穴与拉料杆结构形式见表 20-3-18。

表 20-3-18

常见的冷料穴与拉料杆结构形式

冷料穴与拉料杆结构形式	结 构	说 明
带钩形拉料杆的冷料穴	<p>1—定模；2—冷料穴；3—动模；4—拉料杆（推杆）</p>	<p>如图 a 所示，开模时，由于 Z 形部分将冷凝料钩住，使主流道冷凝料从主流道衬套中拔出。因拉料杆的另一端固定在推杆固定板上，所以在塑件推出的同时将冷凝料从动模中推出。取出塑件时，用手工朝着 Z 形的侧向稍加移动，就可将浇注系统和塑件一起取下。这种拉料杆常与推杆、推管等推出机构同时使用。属于同类型的有带推杆的倒锥形冷料穴（图 b）和圆环槽冷料穴（图 c），其冷凝料都是由固定在推杆固定板上的推杆推出的，开模时，倒锥和圆环槽起拉料作用。这两种结构在取出主流道冷凝料时无需横向移动，利用推杆强制推出冷凝料，容易实现自动化操作。应该注意倒锥和圆环槽尺寸不宜太大，这两种结构适用于弹性较好的塑料成型</p>

冷料穴与拉料杆结构形式	结 构	说 明
带球头拉料杆的冷料穴	 <p>(0.8~0.9)d</p> <p>(a) 球头 (b) 菌形头</p> <p>(c) 锥形头 (d) 圆锥头</p> <p>1—推件板; 2—动模板; 3—拉料杆; 4—金属嵌件; 5—定模板; 6—凹模; 7—推管</p>	<p>熔体进入冷料穴后, 紧包在球头上, 如左图所示。这种拉料杆用于塑件以推件板推出的模具中, 开模时, 就可以将主流道冷凝料从主流道衬套中拉出。由于球头拉料杆的另一端固定在动模一边的型芯固定板上, 并不随推件板而动, 所以在推件板推动制品时就把流道冷凝料从球头上强行脱出, 如图 a 所示。为了减少球头的制造难度, 由球头拉料杆演变出了菌形头拉料杆 (图 b) 和锥形头拉料杆 (图 c) 两种形式。锥形头拉料杆无储存冷料作用, 它是靠塑料收缩的包紧力而将主流道冷凝料脱出的, 所以可靠性较差, 但其锥形可起分流作用, 常用于单型腔模成型带有中心孔的塑件</p>
无拉料杆的冷料穴	 <p>(a) 主流道冷料穴</p> <p>(b) 分流道冷料穴</p> <p>1—定模; 2—冷料穴; 3—动模; 4—分流道</p>	<p>如图 a 所示, 在主流道对面动模板上开一锥形凹坑, 为拉出主流道冷凝料, 在锥形凹坑的锥壁上平行于另一锥边钻一个深度不大的小孔, 开模时就利用小孔对冷凝料的带动作用, 将主流道冷凝料从主流道衬套中拉出。推出时推杆顶在塑件或分流道上, 使冷凝料推出动模。为了使冷凝料在推出时产生料向移动, 分流道必须设计成 S 形或类似的带有挠性的形状</p> <p>分流道上的冷料穴通常布置在熔体流动方向的转折处, 以便将冷料导入穴中存储, 冷料穴长度一般为分流道直径 d 的 1.5~2 倍。若太短, 则部分冷料将流入型腔, 使塑件产生缺陷</p>

冷料穴 与拉料杆 结构形式	结 构	说 明																																			
拉料杆 的组合 形式	<p style="text-align: center;">主流道拉料杆尺寸 mm</p> <table border="1" data-bbox="379 1037 815 1328"> <thead> <tr> <th colspan="2">公称尺寸 d</th> <th rowspan="2">D</th> <th rowspan="2">$H_{-0.1}^0$</th> <th colspan="2">与拉料杆配合的型板孔</th> </tr> <tr> <th>尺寸</th> <th>公差</th> <th>尺寸</th> <th>配合长度 L_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>-0.015</td> <td>10</td> <td rowspan="2">4</td> <td>+0.03</td> <td rowspan="2">10</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>-0.055</td> <td>13</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td rowspan="2">-0.020</td> <td>15</td> <td rowspan="2">5</td> <td>+0.035</td> <td rowspan="2">20</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>17</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>-0.070</td> <td>19</td> <td>6</td> <td>0</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	公称尺寸 d		D	$H_{-0.1}^0$	与拉料杆配合的型板孔		尺寸	公差	尺寸	配合长度 L_1	6	-0.015	10	4	+0.03	10	8	-0.055	13	0	10	-0.020	15	5	+0.035	20	12	17	0	14	-0.070	19	6	0	22	<p>主流道拉料杆组合形式,同时还具有脱除主流道冷凝料的作用。一般拉料杆安装在主流道对面,开模时,拉料杆将主流道冷凝料拉出,主流道拉料杆的尺寸见表</p>
公称尺寸 d		D	$H_{-0.1}^0$			与拉料杆配合的型板孔																															
尺寸	公差			尺寸	配合长度 L_1																																
6	-0.015	10	4	+0.03	10																																
8	-0.055	13		0																																	
10	-0.020	15	5	+0.035	20																																
12		17		0																																	
14	-0.070	19	6	0	22																																

3 成型零件结构设计

3.1 模具分型面

3.1.1 模具分型面及类型

为方便塑件的脱模和安放嵌件,模具型腔由两部分或更多部分组成,这些可分离部分的接触表面称为分型面。

在图纸上表示分型面的方法如图 20-3-13 所示,是在分型面的延长面上画出一短直线表示分型面的位置,并用箭头表示开模方向或可移动的方向。如果是多分型面,则用罗马数字(也可用大写字母)表示开模的顺序。

一副塑料模具根据需要可能有一个或两个以上分型面。分型面可能是垂直于合模方向或倾斜于合模方向,也可能是平行于合模方向。合模方向通常是指上模与下模、动模与定模闭合的方向。

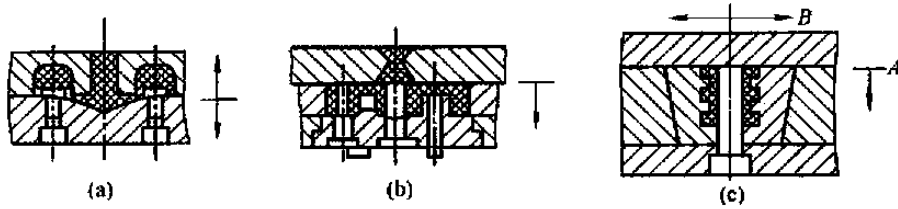


图 20-3-13 分型面的表示方法

分型面的形状有水平分型面、阶梯分型面、斜分型面、垂直分型面、曲面分型面，如图 20-3-14 所示。分型面应尽量选择水平分型面的，但是为了适应塑件成型的需要与便于塑件脱模，也可以采用其他类型的分型面。后几种分型面虽然加工较麻烦，但型腔加工却比较容易。

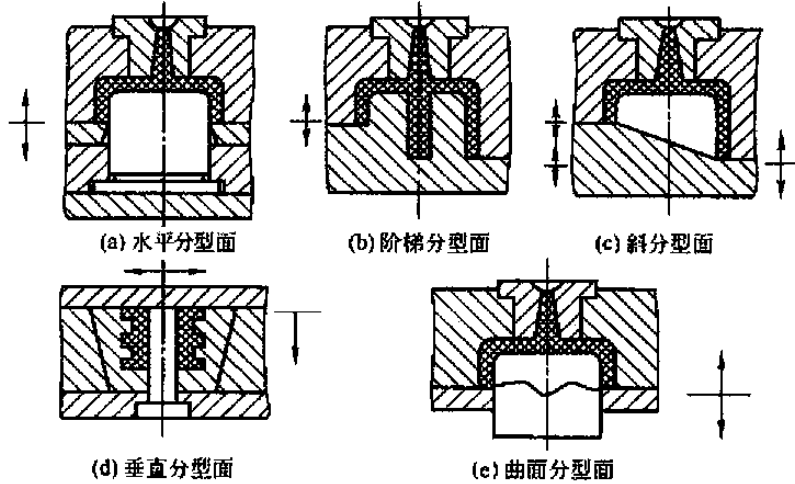


图 20-3-14 分型面形状

3.1.2 分型面的选择

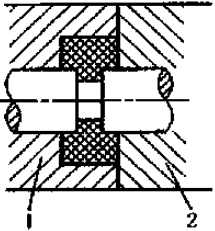
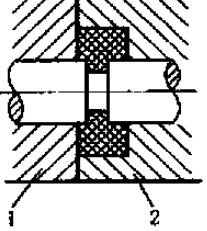
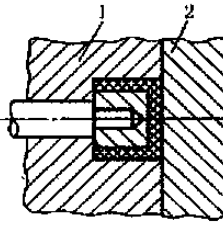
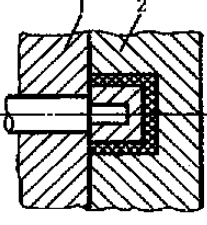
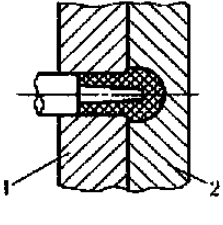
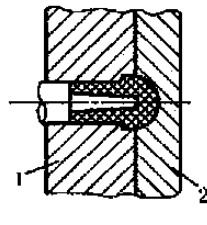
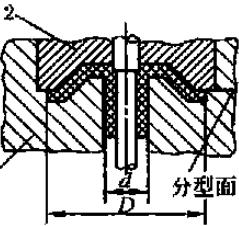
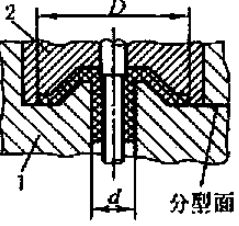
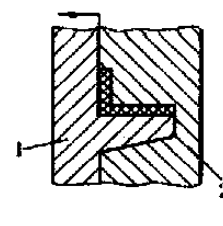
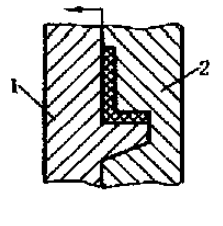
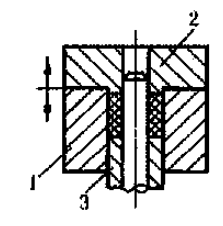
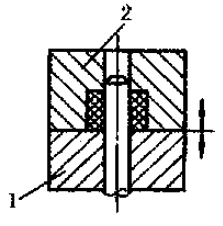
分型面的选择很重要，它对塑件的质量、操作难易、模具结构及制造影响很大。在选择分型面时一般应考虑以下因素：

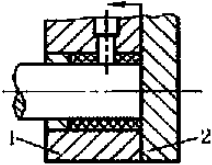
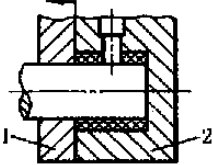
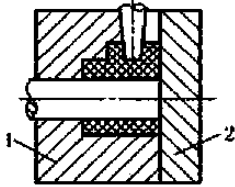
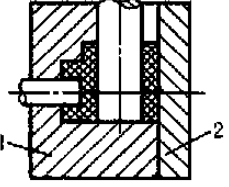
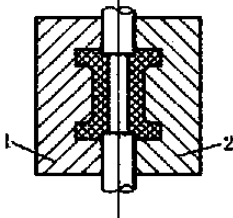
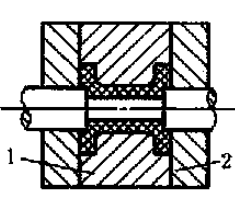
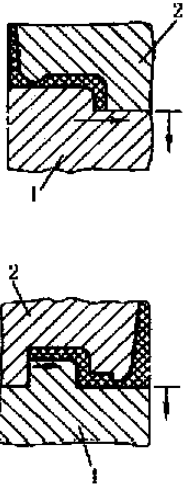
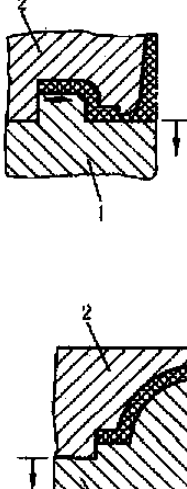
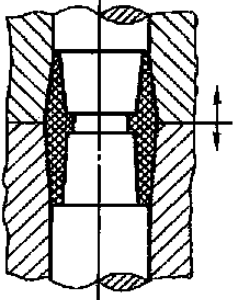
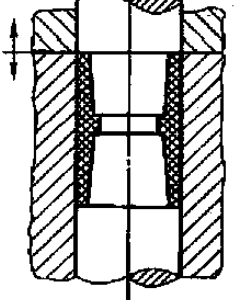
- ① 塑件的形状、尺寸和壁厚；
- ② 塑件性能及填充条件；
- ③ 浇注系统的布局；
- ④ 成型效率及成型操作；
- ⑤ 排气及脱模；
- ⑥ 模具结构简单、使用方便、制造容易。

模具分型面选择的实例见表 20-3-19。

表 20-3-19 模具分型面选择实例

序号	推荐形式	不妥形式	说明
1			分型面选择应满足动模(或下模)分离后,塑件尽可能留在动模(或下模)内的要求,因为脱模机构一般都在动模(或下模)部分,否则会增加脱模的困难,势必使模具结构复杂化
2			塑件外形较简单,但内形有较多的孔或复杂孔时,塑件成型收缩后必留于型芯上。这时型腔可设在定模(或上模)内,采用推件板即可完成脱模,且模具结构简单

序号	推荐形式	不妥形式	说明
3			<p>当塑件的型芯对称分布时,如果要迫使塑件留在动模(或下模)内,可将型腔和大部分型芯设在动模(或下模)内,采用推管脱模</p>
4			<p>当塑件设有金属嵌件时,由于嵌件不会收缩,对型芯无包紧力,结果带嵌件的塑件留在型腔内而不会留在型芯上。采用左图中推荐形式脱模比较容易</p>
5			<p>当塑件头部带有圆弧时,如果采用圆弧部分分型,会损伤塑件表面质量,若改用左图边的推荐形式,塑件表面质量较好</p>
6			<p>为了满足塑件同轴度的要求,尽可能将有同轴度要求的部分设在同一模板内。如采用右图形式,必须提高模具的同轴度</p>
7			<p>当塑件在分型面上的投影面积超过注射机允许的投影面积时,会造成锁模困难,发生严重溢料。此时尽可能选择投影面积小的一方</p>
8			<p>如果塑件采用流动性好的材料,成型时溢边会较严重,因此采用推管结构形式</p>

序号	推荐形式	不妥形式	说明
9			<p>当塑件有侧抽芯时,应尽可能放在动模部分,避免定模抽芯</p>
10			<p>当塑件有多组抽芯时,应尽量避免大端侧向抽芯,因为除了液压抽芯机构能获得较大的抽拔距离外,一般的侧向分型抽芯的抽拔距离都较小。在选择分型面时,应将抽芯或分型距离大的放在开模方向上</p>
11			<p>大型线圈骨架塑件的成型,采用拼块形式,当拼块的投影面积较大时,会造成锁模不紧,产生溢边,因此最好将型腔设于动、定模上,在受力小的侧面作抽芯</p>
12			<p>一般分型面应尽可能设在塑料流动方向的末端,以利排气</p>
13			<p>选择分型面时,应考虑减小由于脱模斜度造成塑件的大小端尺寸差异。若塑件对外观无严格要求,可将分型面选在塑件中部</p>

注: 1—动模(下模); 2—定模(上模); 3—推件板(推管)。

3.2 成型零件的结构形式及设计

成型零件是指直接用来成型塑件的零件，主要包括凹模（型腔）、凸模、型芯等。成型零件形状复杂、精度高，表面粗糙度低，一般用工具钢制造，需经处理。

3.2.1 凹模（型腔）的结构设计

凹模是成型塑件外形的主要零件。它一般装在定模板上。根据塑件成型的需要和加工与装配的工艺要求，凹模有整体式和组合式两类。

(1) 整体式凹模

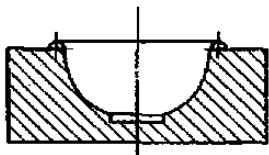


图 20-3-15 整体式凹模

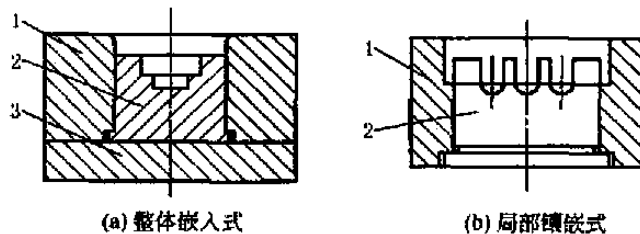


图 20-3-16 组合式凹模

1—模套；2—镶块；3—底板

图 20-3-15 所示为整体式凹模，结构简单，成型的塑件质量较好。它是由整块钢材直接加工而成的，对于形状复杂的凹模，其机械加工工艺性较差。但随着数控加工技术和电加工技术的发展与应用，采用整体式凹模将会愈来愈多。

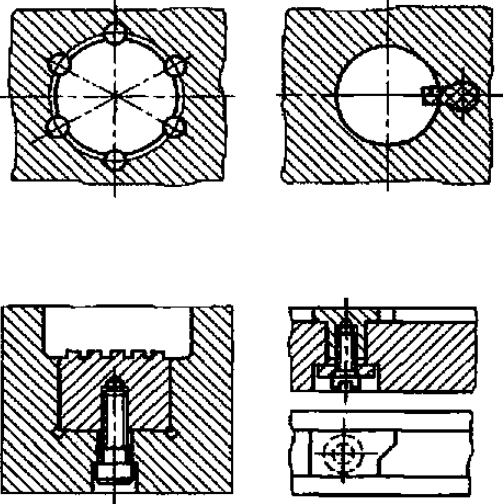
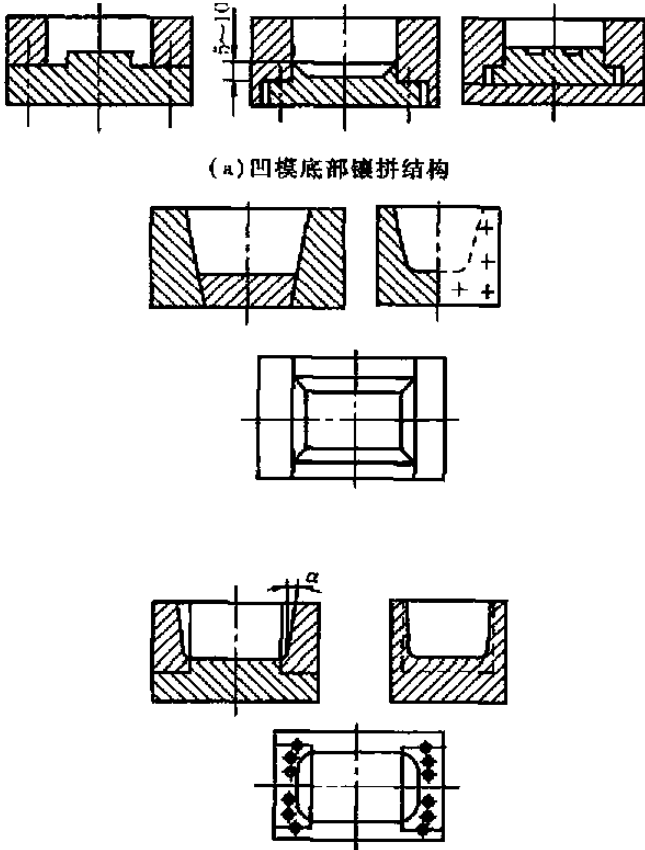
(2) 组合式凹模

图 20-3-16 所示为组合式凹模，这种凹模改善了加工性，节约了模具钢，减少了热处理变形，但有时塑件表面可能存在拼块的拼接线痕迹，装配调整较麻烦。因此，组合式凹模主要用于形状复杂的塑件的成型。

组合式凹模的组合方式是多种多样的，常见的组合方式见表 20-3-20。

表 20-3-20 常见组合式凹模的组合方式

组合凹模的组合方式	结 构	说 明
整体嵌入式组合凹模		<p>对于小型的塑件采用多型腔塑料模具成型时，各单个凹模通常采用冷挤压、电加工、电铸或超塑性成型等方法制成，然后整体嵌入模板中，如图所示。这种结构的凹模形状、尺寸一致性好，更换方便。凹模的外形通常是圆柱形，与模板的装配及配合见图</p>

组合凹模的 组合方式	结 构	说 明
局部镶 嵌式组 合凹模		<p>有些塑件成型用凹模,其某些部位特别容易磨损,或者难以加工,这时常把凹模这些部位制成单独的镶件,然后嵌入模体,如图所示</p>
镶拼组 合式凹模	 <p>(a) 凹模底部镶拼结构</p> <p>(b) 凹模侧壁镶拼结构</p>	<p>为便于切削加工、抛光、研磨和热处理,整个凹模型腔可由几个部分镶拼而成。镶拼的方法如下。当凹模型腔底部比较复杂或尺寸较大时,可把凹模制成通孔型的,再镶上底部,如图 a 所示。对于大型凹模,为便于加工,有利于淬透,减少热处理变形和节省模具钢,凹模侧壁也采用拼块结构,如图 b 所示。侧壁之间采用扣锁连接以保证装配的准确性,减少塑料挤入接缝。在中小型注塑模中,侧壁拼块之间可直接用螺钉和销钉固定而不用模套紧固</p>

组合凹模的 组合方式	结 构	说 明
瓣合式 凹模	<p>(a) (b)</p>	<p>为便于侧壁带凹的塑件脱模,可将凹模制成两瓣或多瓣组合式,成型时瓣合,脱模时瓣开。常见的瓣合式凹模是两瓣组合式,由两瓣对拼镶块、定位导销和模套组成。这种凹模通常称为哈夫(Half)凹模</p>
	<p>(c) (d)</p>	<p>图 a 用于移动式压缩模。使用时首先拼块合拢,利用模套与拼块的 $8^\circ \sim 10^\circ$ 的斜面配合而紧锁拼块,压制成型后松开模套,然后水平分开拼块,取出塑件</p>
	<p>(e) (f)</p>	<p>图 b 用于单型腔压制小型塑件以及成型压力不大的场合</p>
	<p>1—导套;2—拼块;3—导销</p>	<p>对于多型腔的凹模宜用矩形拼块结构,如图 c 所示</p>
	<p>图 d 和图 e 为封闭式模套的瓣合模,在推出凹模拼块时,利用如图所示的 12° 斜面或斜滑槽,使拼块分开,以便取出塑件。这种结构的凹模用于成型尺寸较大的塑件或多型腔成型压力较大的场合</p>	<p>图 e 和图 f 为注射模上的瓣合结构,在实际生产中应用效果很好</p>
	<p>斜滑槽</p>	

综合表 20-3-20 所述,组合式凹模的优点是,简化了复杂凹模的加工工艺,减少了热处理变形,有利于排气,便于模具的维修,节约贵重的模具钢。但是,为保证组合式模具型腔精度和装配的牢固性,减少塑件上留下镶拼的痕迹,提高塑件的质量,对于拼块的尺寸、形状和位置公差要求较高,组合结构必须牢靠,分型面位置应有利于防止成型时熔体的挤入,拼块加工工艺性要好,模塑时操作必须方便。可见,要真正发挥组合结构的优越性,对某些方面的要求是比较高的。

3.2.2 型芯的结构设计

型芯是成型塑件内表面的零件。根据型芯所成型零件内表面大小不同,通常又有型芯(压缩模中称凸模)和成型杆之分。型芯一般是指成型塑件中较大的主要内形的零件,又称主型芯;成型杆一般是指成型塑件上较小孔的零件,又称小型芯。下面介绍型芯和成型杆的主要结构形式。

(1) 型芯形式

型芯有整体式和镶拼组合式,见表 20-3-21。

表 20-3-21

常见型芯的形式

型芯的形式	结构	说明
整体式型芯 (整体凸模)	<p style="text-align: center;">1—凸模; 2—凸模固定板; 3—垫块</p>	<p>图 a 表示型芯与模板为一整体,其结构牢固,成型的塑件质量较好,但是不便加工,消耗模具钢多,主要用于形状简单的型芯。图 b-d 表明为节约模具钢和便于加工采用不同材料制作模板和型芯,然后连接起来。图 b 所示用螺钉、销钉连接,结构较简单。图 c 所示采用局部嵌入固定,其牢固性比图 b 好。图 d 所示采用台阶连接,牢固可靠,是一种常用的连接方法,但结构较复杂,防止固定部分为圆形而成型部分为非圆形的型芯在固定板内旋转,必须装防转销</p>
镶拼组合式型芯		<p>对于复杂形状的型芯,如果采用整体式结构加工较困难,采用拼块组合可简化加工工艺</p> <p>设计和制造这类组合式型芯时,必须注意提高拼块的加工和热处理工艺性,拼接必须牢靠严密。图 a 两个小型芯如果靠得太近,则不宜采用这种结构,而应采用图 b 的结构,以免热处理时薄壁处开裂</p>

(2) 成型杆

塑件上的孔或槽通常用小型芯来成型。通孔的成型方法如图 20-3-17 所示,其中,图 20-3-17a 表示由一端固定的型芯成型,这种结构的型芯容易在孔的一端 A 处形成难以去除的飞边,如果孔较深则型芯较长,容易弯曲。图 20-3-17b 是由两个直径相差 0.5~1mm 的型芯成型的,即使两个型芯稍有不同心,也不致影响装配和使用,而且每个型芯长度较短,稳定性较好;图 20-3-17c 型芯一端固定,另一端为导向支撑,强度和刚度较好,如果因溢料形成圆形飞边,也较容易去除。盲孔的成型方法只能用一端固定的型芯来成型。

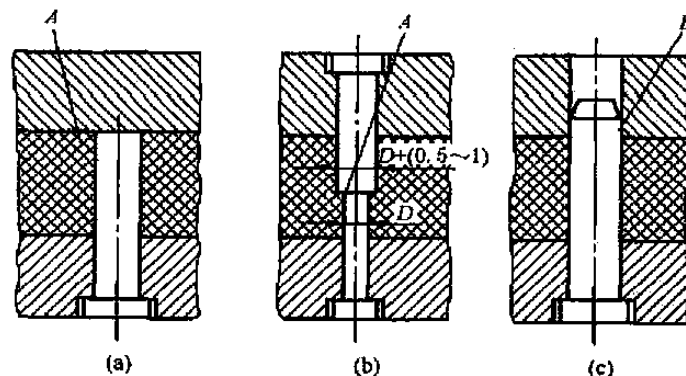


图 20-3-17 通孔的成型方法

为保证型芯具有足够的稳定性，孔不宜太深。对于注射模塑和传递模塑，孔深度应小于孔径的4倍；对于压缩模塑，平行压制方向的孔深应小于孔径的2.5倍，垂直于压制方向的孔深应小于孔径的2倍。直径过小或孔深过大的孔宜在成型后用机械加工的方法得到。

从孔的成型方法中可看出，对于成型孔和槽的小型芯，通常是单独制造，然后以嵌入方法固定。具体结构如图20-3-18所示。其中图a为带推板的型芯固定方法；图b是常用的固定方式。型芯与固定板间留有0.5mm的双边间隙，这是为加工和装配的方便。型芯下段加粗是为了提高小而长的型芯的强度。图c和图d采用带顶销或紧定螺钉的固定方法。图e为铆接式，它可以防止在制品脱模时型芯被拔出。

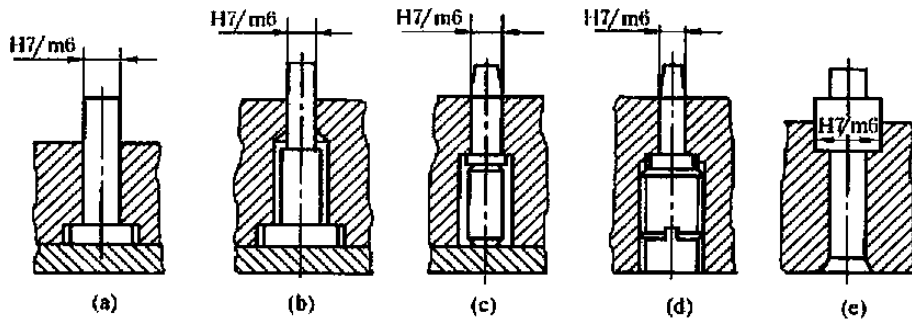


图 20-3-18 小型芯的固定方式

3.3 成型零件工作尺寸计算方法

在一般情况下，模具制造公差、磨损和成型收缩波动是影响塑件公差的主要因素，因此，计算工作零件时需考虑这三个因素。

计算成型零件工作尺寸的方法有两种：一种是按平均收缩率、平均制造公差和平均磨损量计算；另一种是按极限收缩率、极限制制造公差和极限磨损量计算。前一种计算方法简便，但存在误差，在精密塑件的模具设计中受到一定限制；后一种计算方法能保证所成型的塑料制品在规定的公差范围内，但计算比较复杂。本书仅介绍按平均值的计算方法。

在计算成型零件型腔和型芯的尺寸时，塑料制品和成型零件尺寸均按单向极限制，如果塑件上的公差是双向分布的，则应按要求予以换算。而孔心距尺寸则按公差带对称分布的原则计算。

图20-3-19为模具成型零件工作尺寸与塑件尺寸的关系。

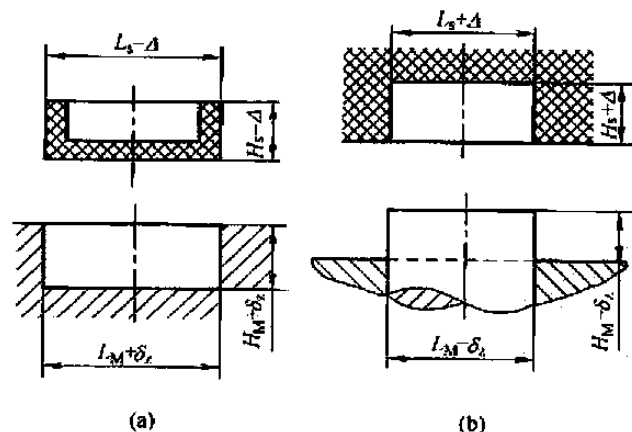


图 20-3-19 塑件尺寸与模具成型零件工作尺寸的关系

3.4 成型零件工作尺寸计算实例

图20-3-20所示塑件，用最大收缩率1%、最小收缩率0.6%的材料成型，试确定型芯的直径、型腔的内径、型腔深度、型芯高度及两小孔中心距。

表 20-3-22

模具成型零件工作尺寸计算

序号	成型零件工作尺寸计算项目	计算公式	说明
1	型腔径向尺寸	$L_M = \left(L_s + L_s S_{cp} - \frac{3}{4} \Delta \right)_0^{+\delta_1}$ (20-3-18)	L_M ——型腔径向尺寸; L_s ——塑件尺寸; S_{cp} ——平均收缩率; Δ ——塑料制品的公差值; δ_1 ——模具成型零件的制造公差, 对于中小型塑件, 取 $\delta_1 = \Delta/3$
2	型芯的径向尺寸	$L'_M = \left(L_s + L_s S_{cp} + \frac{3}{4} \Delta \right)_{-\delta_2}^0$ (20-3-19)	L'_M ——型芯径向尺寸
3	型腔深度尺寸	$H_M = \left(H_s + H_s S_{cp} - \frac{2}{3} \Delta \right)_0^{+\delta_3}$ (20-3-20)	H_s ——塑件尺寸; H_M ——型腔深度尺寸
4	型芯高度尺寸	$H'_M = \left(H_s + H_s S_{cp} + \frac{2}{3} \Delta \right)_{-\delta_3}^0$ (20-3-21)	H'_M ——型芯深度尺寸
5	中心距工作尺寸的计算	$L_1 = (L_s + L_s S_{cp}) \pm \frac{\delta_2}{2}$ (20-3-22)	L_1 ——模具型芯中心距或孔的中心距; δ_2 ——孔心距误差见表 20-3-23
6	凹模内的型芯或孔中心到侧壁距离	$L_2 = \left(L_s + L_s S_{cp} - \frac{\delta_c}{4} \right) \pm \frac{\delta_2}{2}$ (20-3-23)	L_2 ——凹模内的型芯或孔中心到侧壁距离; δ_c ——最大磨损量
7	型芯上的小型芯或孔的中心到型芯侧面距离	$L_3 = \left(L_s + L_s S_{cp} + \frac{\delta_c}{4} \right) \pm \frac{\delta_2}{2}$ (20-3-24)	L_3 ——型芯上的小型芯或孔的中心到型芯侧面距离

表 20-3-23

孔间距公差

mm

孔间距	制造公差	孔间距	制造公差	孔间距	制造公差
<80	± 0.01	80~220	± 0.02	220~360	± 0.03

平均收缩率 $S_{cp} = 0.8\%$, 模具成型零件的制造公差取 $\delta_1 = \Delta/3$ 。

(1) 型腔尺寸

① 型腔直径 (径向尺寸) 计算公式为

$$L_M = \left(L_s + L_s S_{cp} - \frac{3}{4} \Delta \right)_0^{+\delta_1}$$

当模具成型零件的制造公差取 $\delta_1 = 0.20$ 时,

$$L_M = \left(50 + \frac{50 \times 0.8}{100} - \frac{3}{4} \times 0.6 \right)_0^{+0.20}$$

$$= 49.95_0^{+0.20} \text{ (mm)}$$

② 型腔深度计算公式为

$$H_M = \left(H_s + H_s S_{cp} - \frac{2}{3} \Delta \right)_0^{+\delta_3}$$

当模具成型零件的制造公差取 $\delta_3 = 0.073$ 时,

$$H_M = \left(22 + \frac{22 \times 0.8}{100} - \frac{2}{3} \times 0.22 \right)_0^{+0.073}$$

$$= 22.03_0^{+0.073} \text{ (mm)}$$

(2) 型芯尺寸

① 型芯直径计算

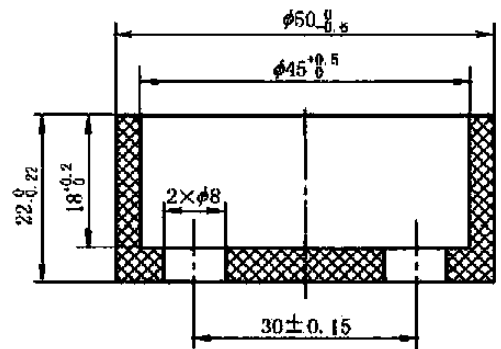


图 20-3-20 塑件图

$$L'_M = \left(L_s + L_s S_{cp} + \frac{3}{4} \Delta \right)_{-\delta_s}^0$$

当模具成型零件的制造公差取 $\delta_s = 0.167$ 时,

$$\begin{aligned} L'_M &= \left(45 + \frac{45 \times 0.8}{100} + \frac{3}{4} \times 0.5 \right)_{-0.167}^0 \\ &= 45.74_{-0.167}^0 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

② 型芯高度计算

$$H'_M = \left(H_s + H_s S_{cp} + \frac{2}{3} \Delta \right)_{-\delta_s}^0$$

当模具成型零件的制造公差取 $\delta_s = 0.067$ 时,

$$\begin{aligned} H'_M &= \left(18 + \frac{0.8 \times 18}{100} + \frac{2}{3} \times 0.2 \right)_{-0.067}^0 \\ &= 18.27_{-0.067}^0 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(3) 中心距尺寸

$$L_1 = (L_s + L_s S_{cp}) \pm \frac{\delta_s}{2}$$

当模具成型零件的制造公差取 $\delta_s = 0.10$ 时,

$$\begin{aligned} L_1 &= \left(30 + \frac{0.8 \times 30}{100} \right) \pm 0.05 \\ &= 30.24 \pm 0.05 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

4 导向机构设计

4.1 导向零件的作用

导向零件是保证动模与定模或上模与下模合模时正确定位和导向的零件。导向零件主要有导柱导向和锥面定位。通常采用导柱导向,如图 20-3-21 所示。其主要零件是导柱和导套,有的在模板上镗孔代替导套,该孔俗称导向孔。导向机构设计和制作的好坏直接影响塑件精度和模具使用寿命。

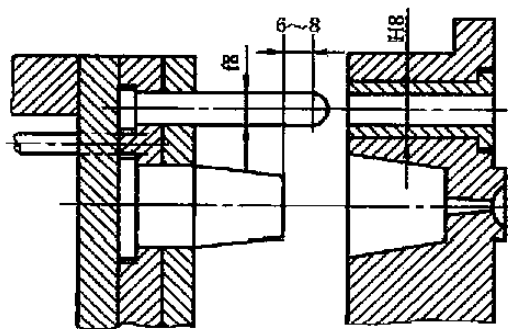


图 20-3-21 模具导柱导向

4.1.1 导向作用

动模和定模(或上模和下模)合模时,首先是导向零件插入,引导动、定模准确合模,避免凸模或型芯先进入凹模可能造成凸模或凹模的损坏。

4.1.2 定位作用

导向机构保证动、定模(或上、下模)合模位置的正确性,保证模具型腔的形状和尺寸的精确,从而保证塑件的精度。导向机构在模具装配过程中也起了定位作用,便于装配和调整。

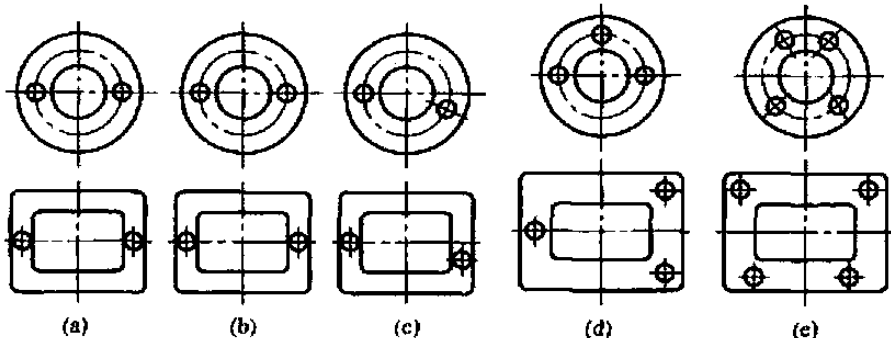
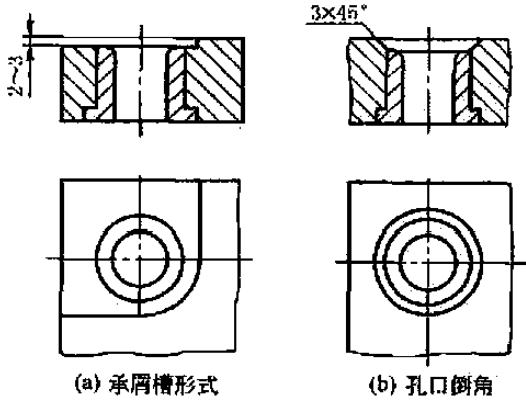
4.1.3 承受一定的侧向压力

由于塑料熔体充模过程中可能产生单向侧压力,或由于成型设备精度低的影响,使导柱在工作过程承受一定侧压力,因而在模塑过程中需要导向装置承受一定的单向侧压力,以保证模具正常工作。

4.2 导向零件设计原则

表 20-3-24

导向零件设计原则

导向零件设计原则	说 明
1. 导向机构类型的选用	导向机构通常采用导柱导向。当模塑尺寸大、精度要求高、需要深型腔成型的塑件,尤其是薄壁容器和非轴对称的塑件时,模塑过程会产生较大的侧压力,如果单纯由导柱承受,会发生导柱导套卡住和损坏,因而所用模具应增设锥面定位结构
2. 导柱数量	塑料注射成型模具的导柱数量一般需要 2~4 个,尺寸较大的注射成型模具一般采用 4 个导柱,小型注射成型模具通常用 2 个导柱
3. 导柱形状及尺寸	导柱直径应根据模具尺寸选用,必须保证有足够的强度、刚度和足够大的抗弯强度
4. 导柱在模具上的布置方式	 <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p> <p>对于动、定模或上、下模合模时无方位要求的情况,可采用直径相同并对称布置(图 a);对于合模时有方位要求的情况,则应采用直径不同的导柱(图 b)或直径相同导柱不对称布置(图 c);对于大中型模具,为简化加工工艺,可采用 3 个或 4 个直径相同的导柱不对称布置(图 d),或对称布置但中心距不同(图 e)。现在注射模一般都采用 4 个导柱对称布置。导柱可以安装在动模,也可安装在定模,通常是安装在主型芯周围</p>
5. 导柱零件的设置位置	导柱和导向孔的位置应避开型腔板在工作时应力最大的部位;导柱和导向孔中心至模板边缘应有足够距离,以保证模具强度和导向刚度
6. 导向装置必须考虑加工的工艺性	固定导柱的孔径与固定导套的孔径相等,便于加工,有利于保证同轴度和尺寸精度
7. 导向装置必须有良好的导向性能	 <p>(a) 承肩槽形式 (b) 孔口倒角</p> <p>为使导向装置具有良好的导向性能,除必须按上述原则设置导向装置之外,还应注意导向零件的结构设计及制造要求。如导柱的先导部分应制成球状或有锥度;导柱的导向部分应比型芯稍高;导柱和导套在分型面处应具有承肩槽(图 a),或在导套的孔口倒角(图 b)。各导柱、导套的轴线相互平行度及与模板的垂直度均应达到一定要求;导柱和导套的导向部分表面粗糙度要小;导向表面应硬而耐磨,并且材料中心具有足够的韧性等</p>

4.3 导柱的结构、形式及应用

导柱的结构形式随模具的结构、大小及塑件生产批量要求的不同而不同，目前在生产中常用的结构如图 20-3-22 所示。

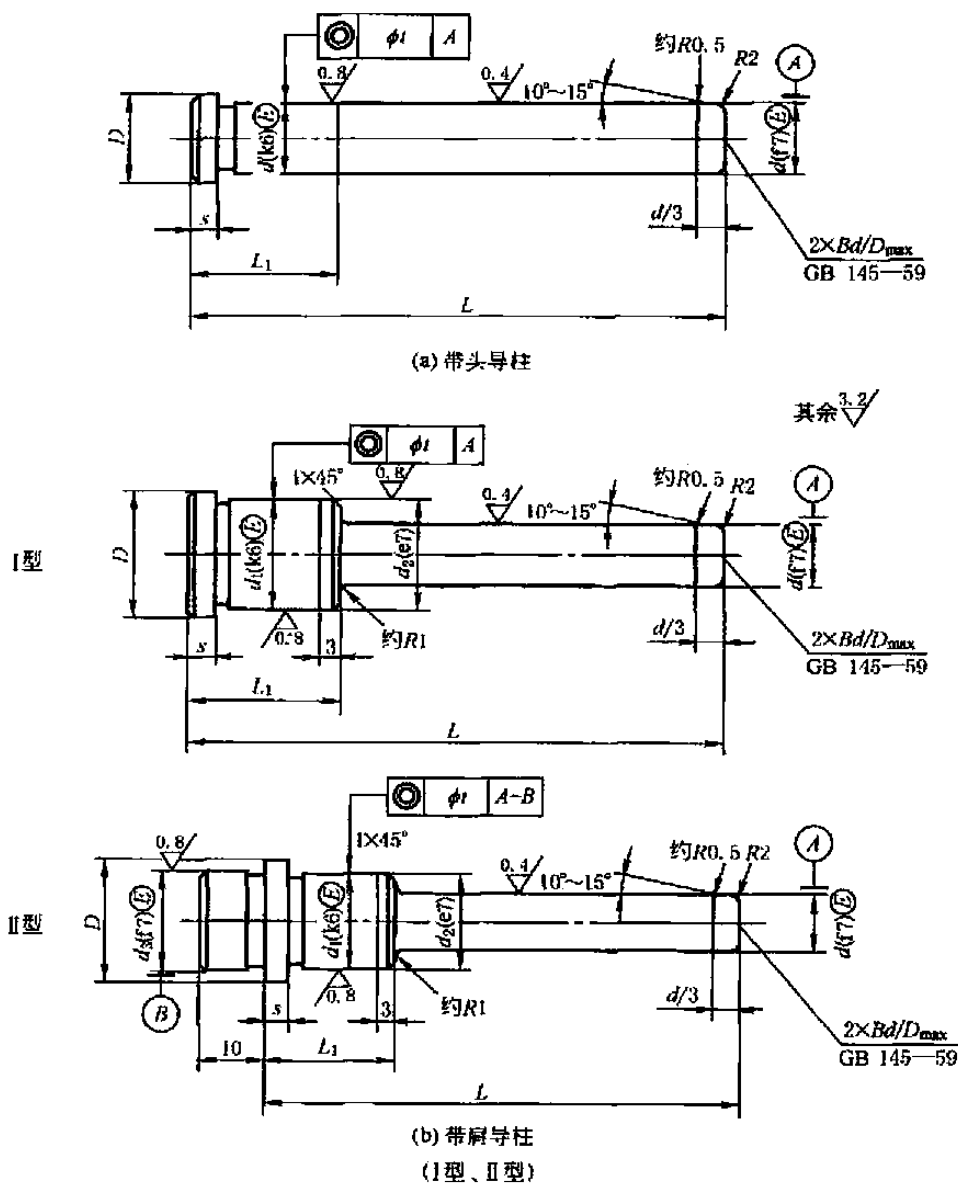
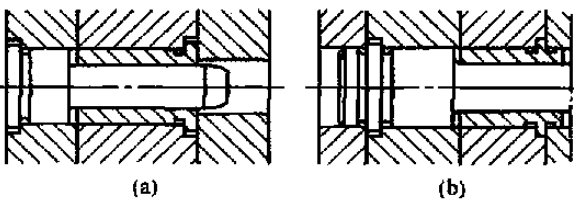
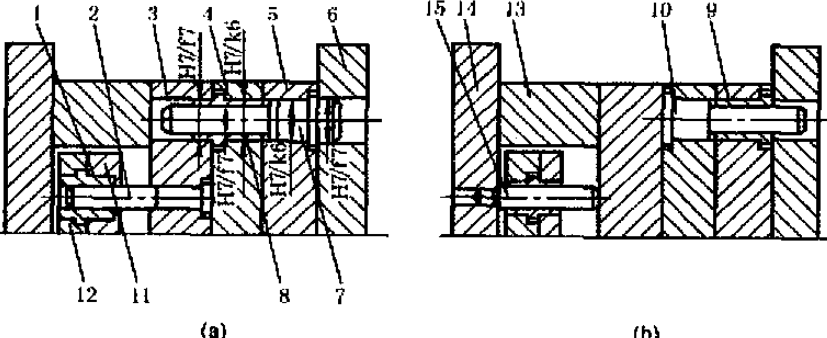
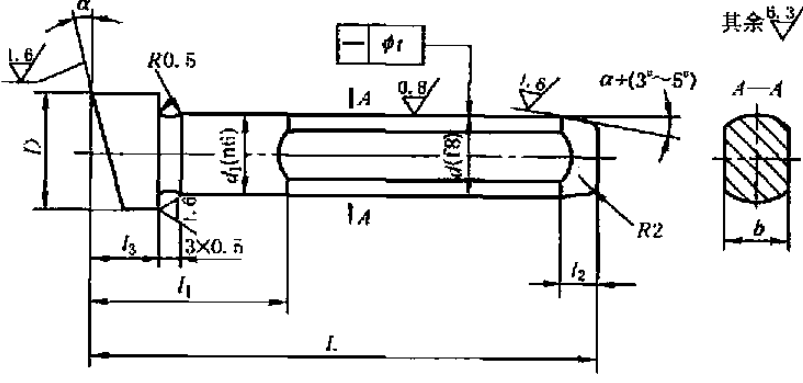


图 20-3-22 台阶式导柱的结构形式

表 20-3-25

导柱的结构、形式及用途

导柱形式	结构	说明
1. 带头导柱 (台阶式导柱 导向装置)		小批量生产，一般不需要导套，导柱直接与模板导向孔配合，如图 a 所示。也可以与导套配合，如图 b 所示。这种导柱常用材料为 20 钢和 T8A。热处理方法为，20 钢经渗碳淬火处理，T8A 经淬火处理，硬度达到 56-60HRC

导柱形式	结 构	说 明
2. 带肩导柱	 <p style="text-align: center;">(a) (b)</p>	<p>带肩导柱一般用于大型或精度要求高、生产批量大的模具，一般与导套配合使用，如图 a 所示，导套的外径与导柱直径 d_1 相等，便于导柱固定孔和导套固定孔的加工。如果导柱固定板较薄，可采用图 b 所示结构，其固定部分有两段，分别固定在两块模板上。根据需要，以上导柱的导滑部分可以加工出油槽</p>
3. 推板导柱	 <p style="text-align: center;">(a) (b)</p> <p>1,8,9—带头导套;2,7,10—带头导柱;3—支承板;4—动模板;5—定模板;6—定模座板;11—推杆固定板;12—推板;13—垫块;14—动模座板;15—推板导柱</p>	<p>为保证顶出机构的运动平稳性，一般在顶出机构中设有推板导柱或带头导柱，如图所示</p>
4. 斜导柱	 <p style="text-align: center;">I 型</p>	<p>斜导柱用于具有斜导柱分型与抽芯机构的注射模具上。α角取决于导柱的斜角，所用材料和热处理方法与带头导柱一样</p>
5. 合模销		<p>为保证锥模套中拼块相对位置的准确性，常用两个合模销。分模时，为了使合模销不被拔出，其固定端部分别采用 H7/k6 过渡配合，另一滑动端部分别采用 H9/d9 间隙配合</p>

4.4 导套和导向孔的结构、固定方法及应用

导套主要有直导套和带头导套。图 20-3-23 为塑料注射模具常用的标准导套。图 20-3-23a 为直导套，结构简单，制造方便，用于小型简单模具。其固定方法见图 20-3-24a~c。图 20-3-23b 为带头导套，结构较复杂，主要用于精度较高的大型模具。对于大型注射模具，为防止导套被拔出，导套头部安装方法如图 20-3-24c 所示。如果导套头部无垫板时，则应在头部加装盖板，如图 20-3-24d 所示。在实际生产中，可根据需要，在导套的导滑部分开设油槽。对导套的要求见表 20-3-26。

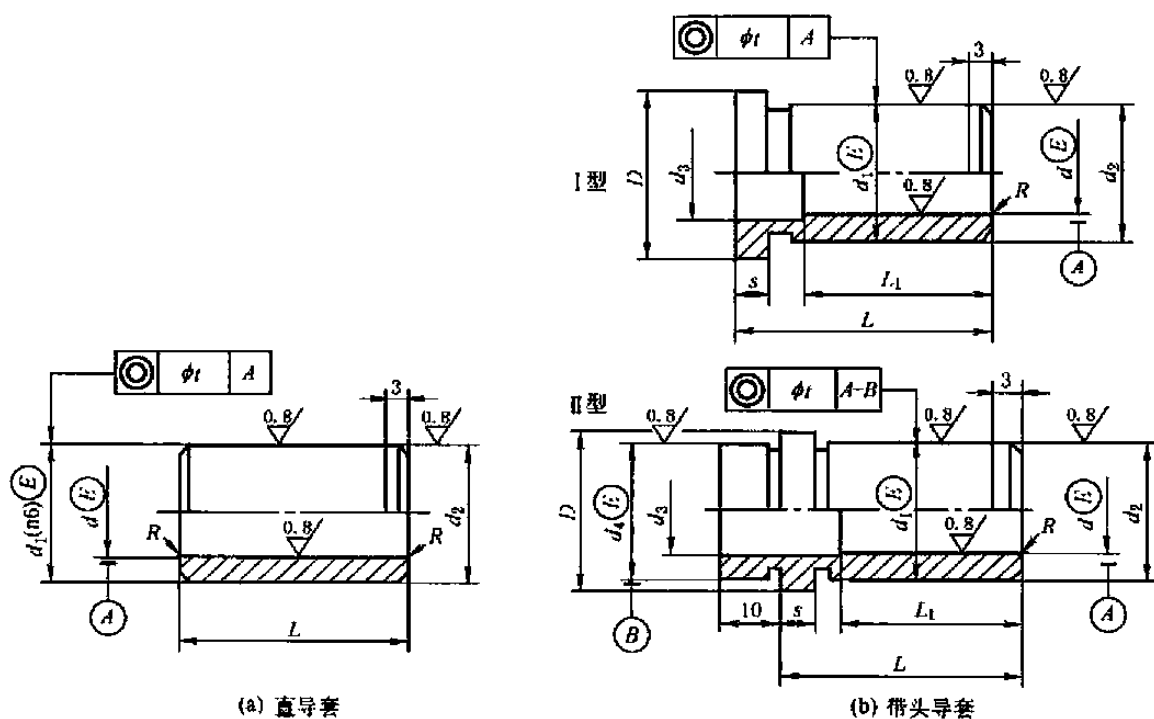


图 20-3-23 导套的结构形式

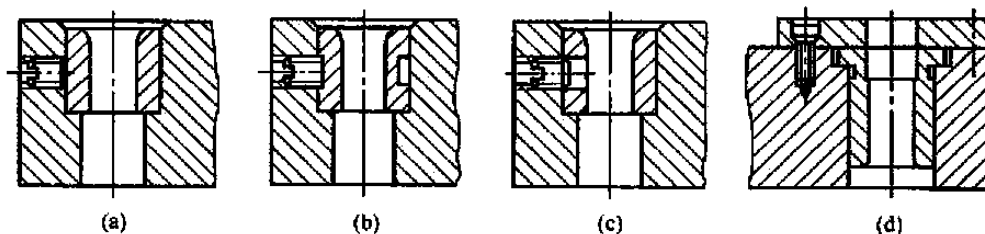


图 20-3-24 导套的固定方式

表 20-3-26

对导套的要求

序号	要求及说明	
1	形状	为使导柱进入导套顺利，在导套的前端倒一圆角。导柱最好打通，否则导柱进入未打通的导柱孔（盲孔）时，孔内空气无法逸出，而产生反压力，给导柱的进入造成阻力。当结构需要开的是盲孔时，就要在盲孔的侧面增加通气孔，或在导柱的侧壁磨出排气槽
2	材料	可用淬火钢（20 钢或 T8A 淬火 50~55HRC）或铜等耐磨材料制造，但其硬度应低于导柱硬度，这样可改善摩擦情况
3	导套的精度与配合	导套与模板之间的配合一般是过盈配合。导套与导柱之间的配合一般是间隙配合

5 推出机构设计

5.1 推杆结构设计

5.1.1 推出机构的分类

表 20-3-27

推出机构的分类表

序号	分类方法	类别	说明
1	按动力来源	手动推出机构	开模后,由人工操作推出机构推出定模中的塑件。推出动作平稳,但工人劳动强度大,生产效率低。常用于注射机不带顶出装置的定模一边,有时在复杂模具结构中也采用手动脱模
		机动推出机构	利用注射机开模动作,通过推出机构推出塑件。具有生产效率高、推出力大等优点,广泛应用于生产之中。但会对塑件产生撞击
		液压推出机构	靠注射机上设置专用的液压推出装置进行脱模。推出动作平稳,推出力可以控制,但需设置专用的液压装置
		气动推出机构	利用压缩空气将塑件吹出。其推出力也可以控制,而且在塑件上不留顶出痕迹。但需要设置专用的气动装置
2	按模具结构	推杆推出机构	推出机构中最简单、最常用的一种形式
		推板推出机构	一般用于深腔薄壁的容器、罩子、壳体形以及透明制品等不允许有推杆痕迹的塑件
		推管推出机构	推出工件均衡、可靠,并且在塑件上不留任何痕迹
		双推出机构	如果由于塑件结构形状的关系,塑件会留在定模或留在动、定模上的可能性都存在时,就必须考虑在动、定模上都设置推出机构
		二级推出机构	在有些情况下,由于塑件的形状特殊或生产自动化的需要,在一次推出动作后,塑件不能取出或自由落下,因此,需要增加一次推出动作
		带螺纹塑件的推出机构	按脱模形式可分为手动和机动两类。机动脱模螺纹机构利用开模时的直线运动,通过齿轮齿条或丝杠的传动、或直角式注射机开合模螺杆传动,带动螺纹型芯作旋转运动而脱出塑件

5.1.2 推出机构的设计原则

表 20-3-28

推出机构的设计原则

序号	设计原则	说明
1	尽量使塑件留在动模上	要利用注射机顶出装置来推出塑件,必须在开模过程中保证塑件留在动模上,这样模具结构较为简单。若因塑件结构形状关系不便留在动模时,应考虑对塑件的形状进行修改或在模具结构上采取强制留模措施
2	结构可靠	推出机构应工作可靠,运动灵活,具有足够的强度和刚度,足以克服脱模阻力

序号	设计原则	说明
3	保证塑件外观良好	推出塑件的位置应尽量选在塑件的内部或对塑件外观影响不大的部位,尤其在使用推杆时要注意这个问题
4	保证塑件不变形、不损坏	要做到这一点,必须正确分析塑件与型腔各部位的附着力的大小,选择合理的推出方式和推出部位,使脱模力合理分布。一般在塑件收缩率大,壁厚、型芯尺寸大而复杂,脱模斜度小以及型腔表面粗糙度大的情况下,脱模阻力就大;反之则小。在确定脱模零件结构时,应综合考虑,以保证塑件顺利脱模

5.1.3 推杆推出机构

推杆推出机构是推出机构中最简单、最常用的一种形式。推杆的截面形式可以根据塑件的情况而定,如圆形、矩形等。圆推杆制造简单,更换方便,滑动阻力小,脱模效果好,设置的位置自由度大,且容易实现标准化,所以在生产中应用广泛。但因推杆和塑件接触面积小,容易引起应力集中,可能损坏塑件或使之变形,因此不宜用于脱模斜度小和脱模力大的管形和箱形塑件的脱模。

(1) 推杆的形状及尺寸

塑件的几何形状及型腔、型芯结构不同,设置在型腔、型芯上的推杆截面形状也不尽相同,常见的推杆截面形状有圆形、方形、半圆形等。在设计模具时,为便于加工,应尽可能采用圆形截面的推杆;在某些不宜采用圆形截面推杆或推杆承担成型塑件某一形状时,可采用如图 20-3-25 所示的推杆。A 型推杆的截面尺寸不应过细或过薄,以免影响强度和刚度。细长形推杆可将后部加粗成台阶形,如 B 型推杆,一般使 $d_1 = 2d$ 。此外,根据结构需要、节约材料和制造方便的原则,还有组合式的 C 型推杆。对于一些要求配合间隙很小的推杆,其工作端可设计成锥形,如 D 型推杆。虽然带锥形推杆的加工比圆柱形困难,但它在注射成型时无间隙,推出时无摩擦,工作端与塑件接触面积大,推出塑件表面平整,而且在推出塑件时,在型腔表面与塑件之间迅速进气,便于脱模。锥角一般设计为 60° 。

(2) 推杆的固定形式

图 20-3-26 所示,为推杆与固定板的连接形式。图 20-3-26a 是一种常见的固定形式,适用于各种不同结构形式的推杆;图 20-3-26b 是用垫圈来代替固定板上的沉头孔以简化加工;图 20-3-26c 是用紧定螺钉顶紧推杆,用于直径大的推杆和固定板较厚的场合;图 20-3-26d 用螺钉紧固推杆,适用于较大的各种截面形状的推杆。

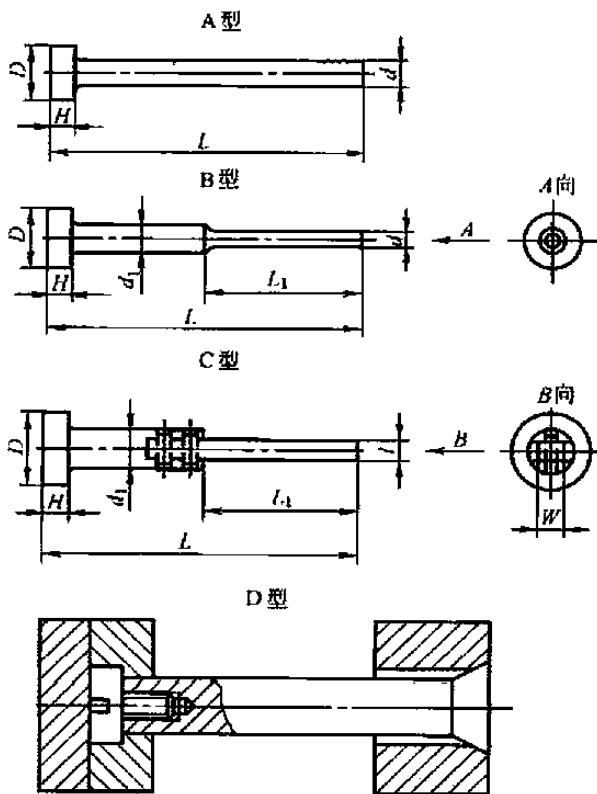


图 20-3-25 推杆的外形

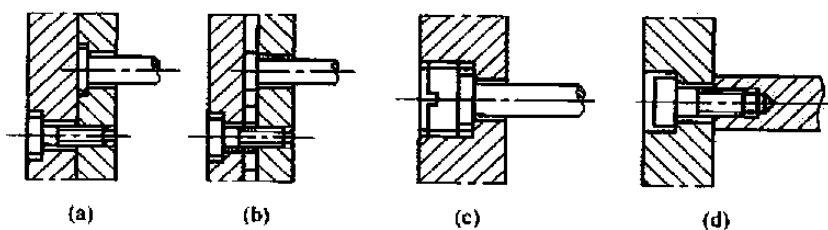


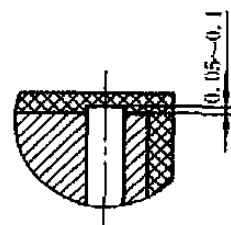
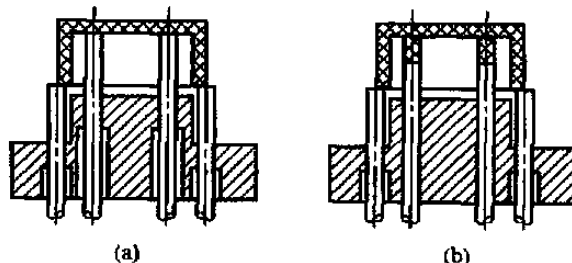
图 20-3-26 推杆的固定形式

(3) 推杆设计注意事项 (表 20-3-29)

表 20-3-29

推杆设计注意事项

序号	注 意 事 项
1	在确保塑件质量与顺利脱模的前提下,推杆数量不宜过多,以简化模具和减少对塑件表面质量的影响
2	推杆与其配合孔一般采用 H8/f7 的配合并保证一定的同轴度,配合长度取推杆直径的 1.5~2 倍,通常不小于 10mm
3	<p>推杆的位置应选在脱模阻力最大的地方以及塑件强度和刚度最大的地方,以免塑件变形损坏。图 a 所示,塑件成型时对型芯的包紧力很大,所以推杆应设在型芯外侧塑件的端面上,或布置在型芯内靠近侧壁处。图 b 所示,推杆应布置在塑件的加强筋下面,可保证塑件不变形</p>
4	<p>推杆端面应高出型芯、型腔表面 0.05~0.1mm,否则会影响塑件的使用</p>



5.2 推管推出机构

对于中心有孔的薄壁圆筒形塑件或局部是圆筒形的塑件,可用推管推出机构进行脱模,如图 20-3-27 所示,推管推出机构和推杆推出机构的运动方式基本相同,只是推管中间有一个固定型芯。图 20-3-27a 是推管推出机构的典型结构,模具的闭合高度大,多用于推出塑件距离不大的场合;图 20-3-27b 是将较长型芯固定在动模板上,此结构紧凑。

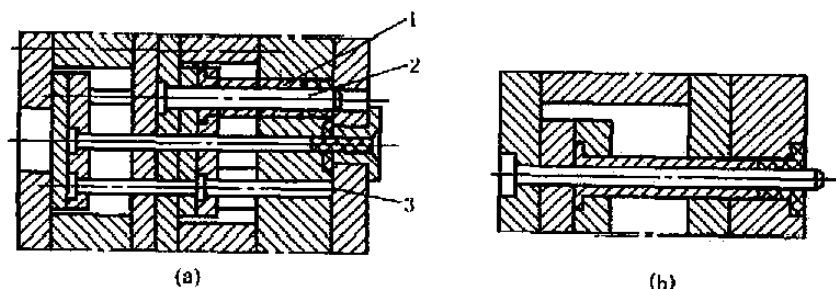


图 20-3-27 推管推出机构实例一

1—推管; 2—型芯; 3—复位杆

图 20-3-28 是推管推出机构的其他组合形式。图 20-3-28a 是让推管在型腔板内活动,可有效缩短推管的长度和型芯的长度,但凹模板厚度增加。图 20-3-28b 是用销或键固定型芯,推管中部开有销槽,长度应大于推出的距离。这类推管推出机构的特点是型芯较短,模具结构紧凑,但型芯紧固力小,而且要求推管与型芯和凹模板间的配合精度较高 (IT7),适用于型芯直径较大的模具。

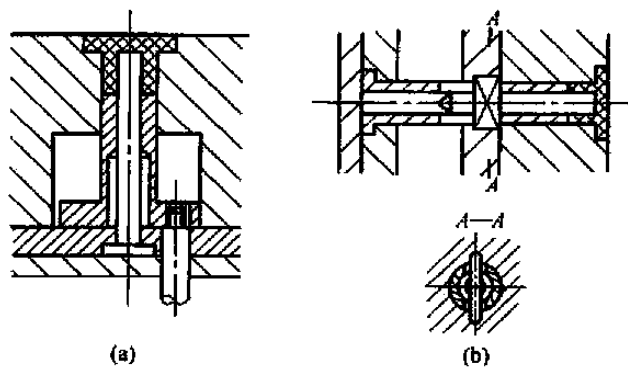


图 20-3-28 推管推出机构实例二

推管推出机构推出工作均衡、可靠，并且在塑件上不留任何痕迹。但对成型一些软质塑料如软聚氯乙烯、聚乙烯等塑件，不宜采用单一的推管脱模，尤其是对一些薄壁深筒形塑件，要采用联合推出机构才能达到理想效果。联合推出机构是指对同一塑件采用多种不同推出零件一起推出的机构。

5.3 推板推出机构

推板推出机构一般用于深腔薄壁的容器、罩子、壳体形，以及透明制品等不允许有推杆推出痕迹的塑件。推板推出机构如图 20-3-29 所示。其中图 20-3-29a 是应用最广泛的形式，推板借助于动、定模的导柱导向；图 20-3-29b 中推件板由定距螺钉拉住，以防脱落。

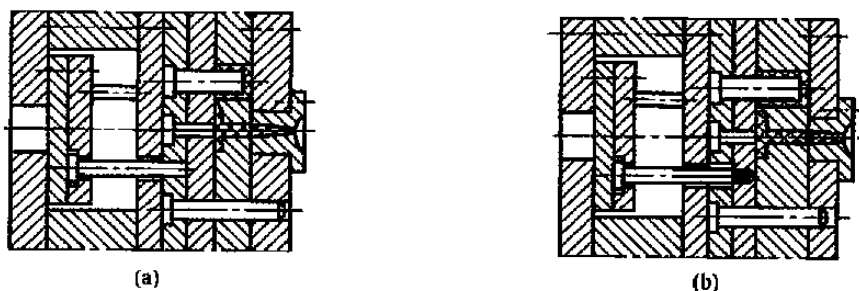
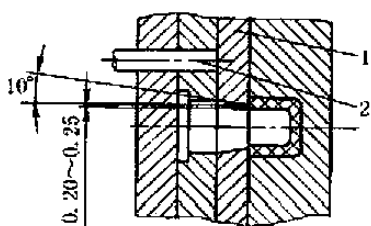
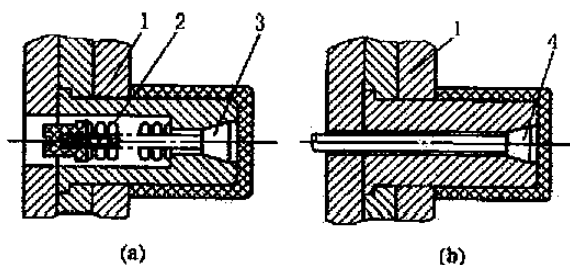


图 20-3-29 推板推出机构

推板推出机构不设复位机构，在合模过程中，推板依靠合模力的作用而复位。这种机构的特点是，在塑件的整个周边进行推出，因而脱模力大而且均匀，运动平稳，无明显推出痕迹。但在使用过程中要处理好两个关键问题，即推板和型芯之间摩擦与咬合以及推板与型芯间隙中的溢料问题。推板与型芯表面摩擦拉毛之后，既影响塑件的表面粗糙度，又造成塑件脱模困难，所以应根据塑件的形状和尺寸正确设计推板与型芯的配合形式及配合间隙。常用的配合形式如图 20-3-30 所示，配合间隙可适当放大，两者接触面摩擦机会少，加工又方便，适用于塑件高度尺寸小并有一定脱模斜度、塑料流动性较差的场合。

推板与型芯接触的部位一般需要有一定的硬度和粗糙度要求，如采用整体淬硬，会因淬火变形而影响孔的位置精度，故常采用局部镶嵌或组合结构。在实际生产中，镶嵌方法应用较为广泛。

对于大型深腔的容器，特别是软质塑料成型时，若用推板脱模，应考虑附设引气装置，以防在脱模过程中塑件内腔形成真空，致使脱模困难，甚至使塑件变形损坏。图 20-3-31 为推板推出机构的引气装置。

图 20-3-30 推板与型芯的配合形式
1—推板；2—推杆图 20-3-31 推板推出机构的引气装置
1—推板；2—弹簧；3—引气阀；4—推盘

上述介绍的推出机构都是单一推出元件的推出方式。对于复杂塑件的成型往往需要几种推出元件同时使用。图 20-3-32 所示为推管与推板联合推出机构，图 20-3-33 所示为推杆与推管联合推出机构。推出时，成型推管、推板或推杆同时起作用，这样可避免塑件的变形和损坏。联合推出机构的优点是推出平稳、可靠，推出力大，但结构复杂。

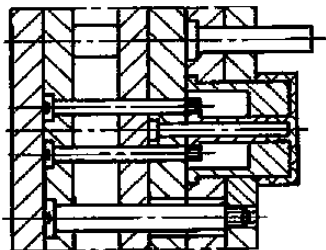


图 20-3-32 推管与推板联合推出机构

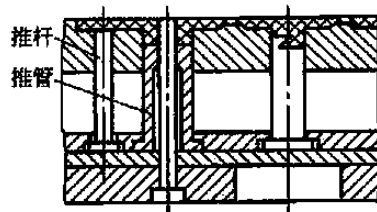


图 20-3-33 推杆与推管联合推出机构

5.4 推出机构的导向与复位

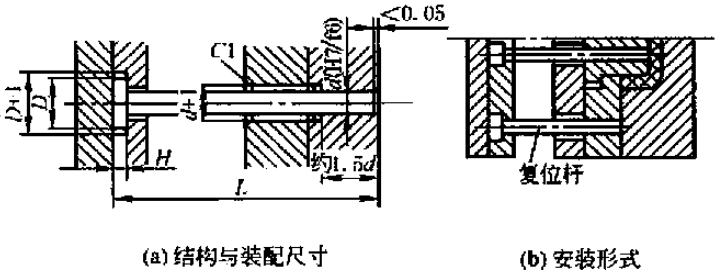
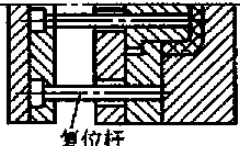
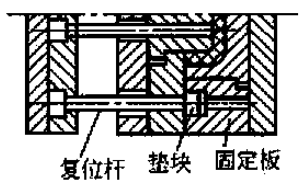
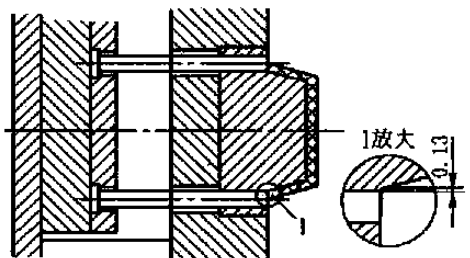
为保证塑件顺利脱模和推出机构各部分运动灵活，以及推出元件的可靠复位，必须有以下辅助零件的配合作用。

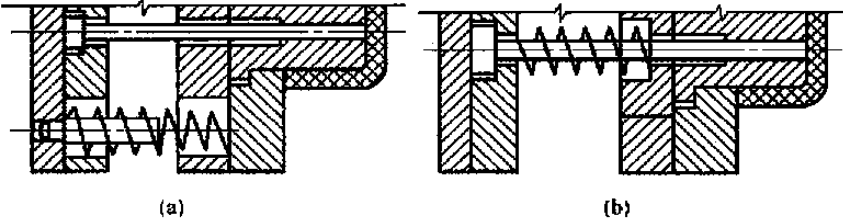
5.4.1 复位零件

为使推出机构合模后能回到原来位置，推杆或推管推出机构中通常设有复位杆，或者推杆兼复位杆。

表 20-3-30

复位杆机构

复位机构	结 构	说 明
1. 复位杆	  	<p>复位杆在结构上与推杆相似，所不同的是它与模板的配合间隙较大，同时复位杆顶面不应高出分型面。图 a 是复位杆的结构与装配尺寸；图 b 是常用的安装形式；图 c 是当复位杆的顶面顶在不淬火的定模固定板上时，在固定板上镶入一淬火垫块，以免在工作中复位杆将定模固定板顶出凹坑而影响准确复位。</p>
2. 推杆的兼用形式		<p>在塑件的几何形状和模具结构允许的情况下，可利用推杆使推出装置复位。由于推杆的兼用，不需要另设复位杆，可使模具结构简单。兼用推杆的边缘应与型芯侧壁隔 0.1 ~ 0.15mm，以免兼用推杆因推杆孔的摩擦而擦伤型芯侧壁。</p>

复位机构	结 构	说 明
3. 弹簧复位机构		<p>利用弹簧力使推出机构复位。图 a 中, 弹簧内装有一定位杆或把弹簧套在复位杆上, 以免工作时弹簧偏移; 图 b 中, 因为推杆周围的空间位置允许, 弹簧可直接套在推杆上。弹簧复位方式结构简单, 但须注意弹力要足够, 一旦弹簧失效, 要及时更换</p>

5.4.2 导向零件

推出机构通常用导柱导向, 其结构和装配形式见图 20-3-34。另参见本章第 4 节有关导向机构部分内容。

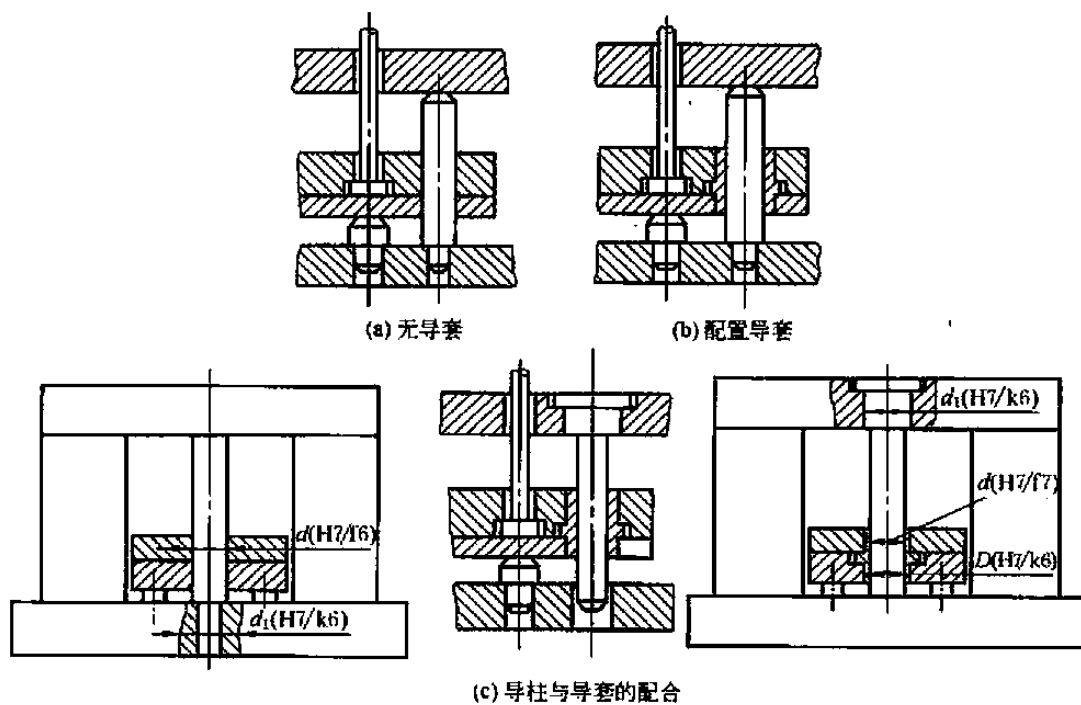


图 20-3-34 推出机构的导向零件

6 抽芯机构设计

6.1 侧向分型抽芯机构

当塑件上具有外侧孔或内、外侧凹时, 塑件不能直接从模具中脱出, 此时必须将成型侧孔或侧凹的零件制成活动的, 这种零件称为侧型芯 (俗称活动型芯)。在塑件脱模前必须抽出侧型芯, 然后再从模具中推出塑件。完成侧型芯的抽出和复位的机构称为侧向分型与抽芯机构。

6.1.1 侧向分型与抽芯机构工作过程

图 20-3-35 为斜导柱侧向分型与抽芯机构工作过程。图 20-3-35a 为注射完毕时的闭模状态; 图 20-3-35b 为

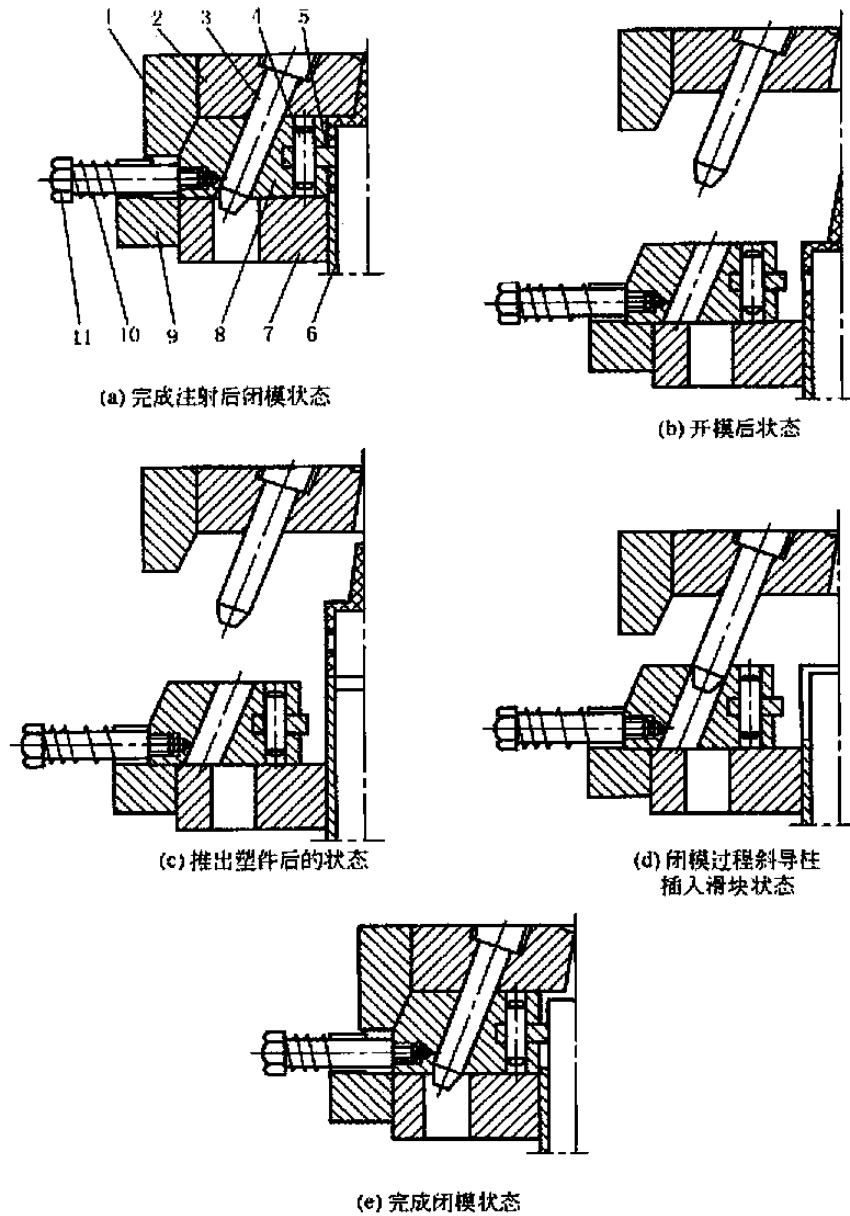


图 20-3-35 斜导柱侧向分型与抽芯机构工作过程

1—楔紧块；2—定模座板；3—斜导柱；4—销钉；5—侧型芯；6—推管；7—动模板；
8—滑块；9—限位挡块；10—弹簧；11—螺钉

开模后的状态；图 20-3-35c 为推出塑件后的状态；图 20-3-35d 为闭模过程中斜导柱重新插入滑块时的状态；图 20-3-35e 为闭模完成时的状态。

6.1.2 侧向分型与抽芯机构的分类

侧向分型与抽芯机构按其动力来源可分为手动、机动、气动或液压三大类，见表 20-3-31。

表 20-3-31

侧向分型与抽芯机构分类

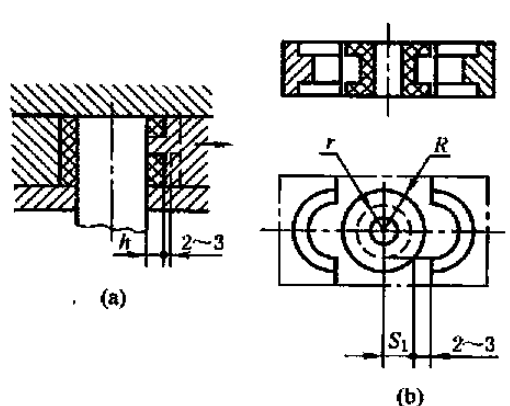
序号	类型	说明
1	手动侧向与分型抽芯机构	依靠人工抽出侧型芯。在开模前依靠人工直接抽拔或通过传动装置抽出侧型芯，也可在开模后，依靠人工将侧型芯或镶块连同塑件一起取出，在模外使塑件与型芯分离。结构简单，制造方便，但操作麻烦，生产率低，劳动强度大且抽拔力受到人力限制。因此，只有在小批量生产时，或因塑件形状的限制无法采用机动抽芯机构时才采用。有时为降低模具成本和采用机动抽芯难以实现时，也采用手动抽芯

序号	类型	说明
2	机动侧向分型与抽芯机构	依靠注射机的开模力,通过传动零件实现侧向分型与抽芯的机构。机动抽芯具有较大的抽芯力和抽芯距,生产效率高,操作简便,动作可靠,因而被广泛采用。机动侧向分型与抽芯机构按传动方式可分为斜导柱、斜滑块、弯销和齿轮齿条等多种形式。斜导柱与斜滑块分型抽芯机构最为常用
3	气动或液压侧向分型与抽芯机构	依靠液压系统或气动系统抽出侧型芯。其特点是根据抽芯力的大小和抽芯行程来设置液压和气动系统,可得到较大的抽芯力和较长的抽芯行程。这种机构传动平稳。新型注射机本身已设置了液压抽芯装置,使用时只需将其与模具中的侧向分型与抽芯机构连接,调整后就可以实现侧向分型与抽芯。如果注射机不带这种装置,需要时可另行配置

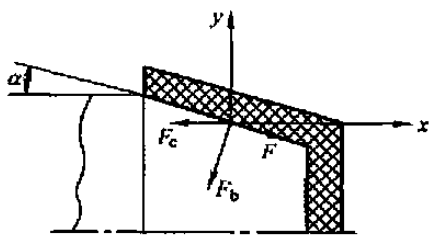
6.1.3 抽芯距与抽芯力的计算

表 20-3-32

抽芯距与抽芯力的计算

序号	计算项目	计算公式
1	抽芯距的确定	<p>抽芯距是指侧型芯从成型位置抽到不妨碍塑件取出位置时,侧型芯在抽拔方向所移动的距离。抽芯距一般应比塑件的侧孔深度或侧凸台高度 h 大 $2 \sim 3$ mm,如图 a 所示,即抽芯距 S 等于</p> $S = h + (2 \sim 3) \text{ mm} \quad (20-3-25)$ <p>式中 S——抽芯距,mm; h——塑件侧孔深度或侧凸台高度,mm</p> <p>当按上式算得的抽芯距妨碍塑件的脱模时,则应根据塑件的侧孔抽芯距尺寸及模具结构确定。图 b 所示为圆形骨架件,采用二等分侧滑块合模,滑块的抽芯距应为:</p> $S = S_1 + (2 \sim 3) \text{ mm} = \sqrt{R^2 - r^2} + (2 \sim 3) \text{ mm} \quad (20-3-26)$ <p>式中 R——塑件最大外形半径,mm; r——阻碍塑件推出的外形最小半径,mm</p>  <p style="text-align: center;">塑件的抽芯距计算附图</p>
2	抽芯力的计算	<p>脱模时塑件收缩包紧侧型芯,此时型芯受力情况可分析如下。</p> $F = f(F_b - F_c \sin \alpha) \quad (20-3-27)$ <p>式中 F——摩擦阻力; f——摩擦因数,一般 f 等于 $0.15 \sim 1.0$; F_b——因塑件收缩产生对侧型芯的正压力; F_c——因塑件冷却收缩产生的对侧型芯的包紧力造成的抽芯阻力; α——型芯脱模斜度, $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$</p> <p>根据受力图可列出平衡方程式:</p> $\sum F_x = 0$ <p>则</p> $F_c + F_b \sin \alpha = F \cos \alpha \quad (20-3-28)$

续表

序号	计算项目	计算公式
2	抽芯力的计算	<p>将式(20-3-27)代入式(20-3-28)得:</p> $f(F_b - F_t \sin\alpha) \cos\alpha = F_c + F_b \sin\alpha$ $F_c = \frac{F_b \cos\alpha (f - \tan\alpha)}{1 + f \sin\alpha \cos\alpha} \quad (20-3-29)$ $F_b = pA \quad (20-3-30)$ <p>式中 p——塑件收缩对型芯单位面积的正压力,塑件在模内冷却时 $p = 19.6\text{MPa}$,塑件在模外冷却时 $p = 3.92\text{MPa}$;当塑件壁厚较大,收缩率大,注射压力高,冷却时间长,且塑料质硬,取大值;反之,取小值;</p> <p>A——塑件包紧侧型芯的侧面积</p>  <p style="text-align: center;">型芯的受力分析</p>
3	侧型芯导滑机构的摩擦力	<p>抽芯机构在抽动侧型芯过程中,导滑机构必然产生摩擦力 F_t</p> $F_t = f_1 F_k \quad (20-3-31)$ <p>式中 f_1——导滑机构的摩擦因数;</p> <p>F_k——抽出侧型芯所需要的开模力</p>
4	侧型芯在大气压力作用下的阻力	<p>当成型不通侧孔时,还需要克服大气压力造成的阻力,计算如下。</p> $F_q = 0.1A_1 \quad (20-3-32)$ <p>式中 F_q——由于大气压力造成的抽芯阻力, N;</p> <p>A_1——垂直于抽芯方向型芯的投影面积, mm^2</p> <p>当型芯较小时, F_q 可忽略</p> <p>因此,要将侧型芯从塑件中抽出所需要的抽芯力 F_k 为:</p> $F_k = F_b + F_t + F_q \quad (20-3-33)$

6.2 斜导柱分型与抽芯机构

6.2.1 斜导柱分型抽芯原理

斜导柱分型抽芯机构工作过程见图 20-3-35。斜导柱侧分型与抽芯机构具有结构简单、制造方便、安全可靠的特点,因而是最常用的一种结构形式。图 20-3-35 中与模具开合方向成一定角度的斜导柱 3 固定在定模座板 2 上,滑块 8 可以在动模板 7 的导滑槽内滑动,侧型芯 5 用销钉 4 固定在滑块 8 上。开模时,开模力通过斜导柱作用于滑块上,迫使滑块在动模导滑槽内向左滑动,直至斜导柱全部脱离滑块,即完成抽芯动作。塑件由推出机构中的推管 6 推离型芯。在注射成型时,滑块 8 受到型腔熔体压力的作用,有产生移位的可能,因此用楔紧块 1 来保证滑块在成型时的位置。限位挡块 9、弹簧 10 及螺钉 11 组成滑块定位装置,使滑块保持抽芯后的最终位置,以确保再次合模时斜导柱能顺利地插入滑块的斜导柱孔,使滑块回到成型时的位置。

6.2.2 斜导柱、滑块、锁紧块的设计

(1) 斜导柱的设计

1) 斜导柱的形式。常用的斜导柱截面形状有圆形和矩形。圆形截面加工方便, 装配容易, 应用较广, 如图 20-3-36a 所示。在图 20-3-36b 中, 为减少斜导柱与滑块斜孔之间的摩擦, 在圆导柱上铣去两侧面, 铣出的两平面间距约为直径的 0.8 倍。图 20-3-36c 为在模内抽拔的矩形截面斜导柱; 图 20-3-36d 为在模外抽拔的矩形斜导柱; 图 20-3-36e 为起延时作用的矩形斜导柱。在相同截面面积条件下, 矩形截面具有较大的抗弯截面模量, 能承受较大的弯矩, 强度、刚度好, 但加工与装配较难, 适用于抽拔力较大的场合。

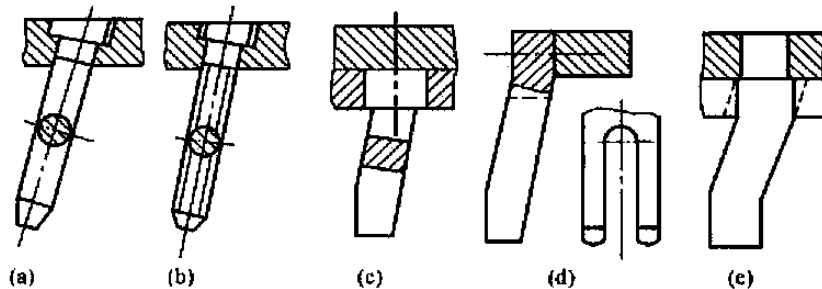


图 20-3-36 斜导柱形式

2) 斜导柱斜角的确定。斜导柱的尺寸参数示于图 20-3-37。斜导柱斜角 α 是斜导柱抽芯机构的一个主要参数, 它的大小涉及开模力 F_k 、斜导柱所受的弯曲力 F_w 、滑块抽芯力 F_x 以及开模行程的大小, 如图 20-3-38 所示。斜导柱尺寸和参数的计算见表 20-3-33。

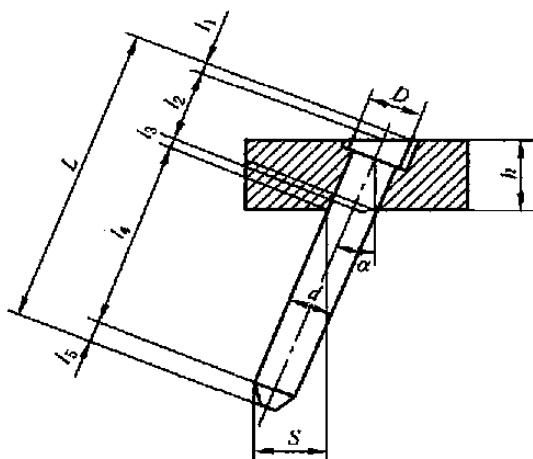


图 20-3-37 斜导柱尺寸参数

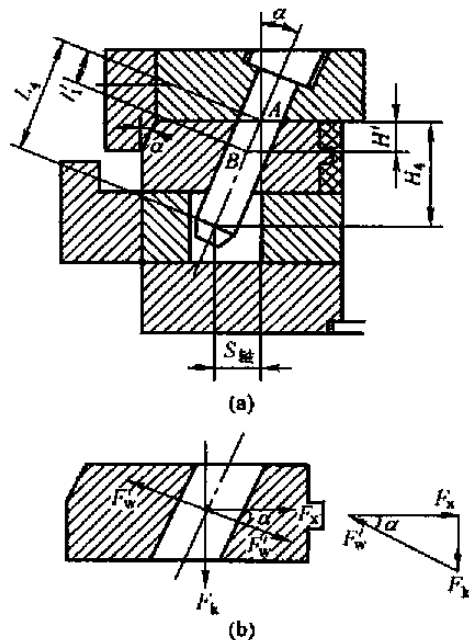
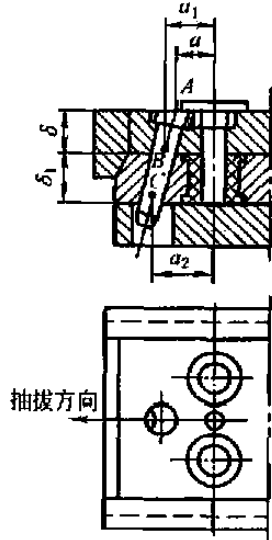


图 20-3-38 斜导柱斜角的确定

表 20-3-33

斜导柱分型抽芯机构设计计算

序号	计算项目	计算公式	说明
1	斜导柱的工作长度	$L_4 = S / \sin\alpha$ (20-3-34)	斜导柱所受的弯曲力 F_w 、抽芯力 F_x 和开模力 F_k 与斜角 α 的相互关系, 可由图 20-3-38b 求得 (不考虑斜导柱与滑块孔间的摩擦力) L_4 ——斜导柱的工作长度, mm; S ——抽拔距, mm; α ——斜导柱的倾斜角, ($^\circ$); H_4 ——完成抽芯距 S 所需的开模行程, mm
2	完成抽芯距 S 所需的开模行程	$H_4 = S / \tan\alpha$ (20-3-35) α 取 $22^\circ 30'$ 为宜, 在生产中斜角 α 一般为 $15^\circ \sim 20^\circ$, 最大不超过 25°	

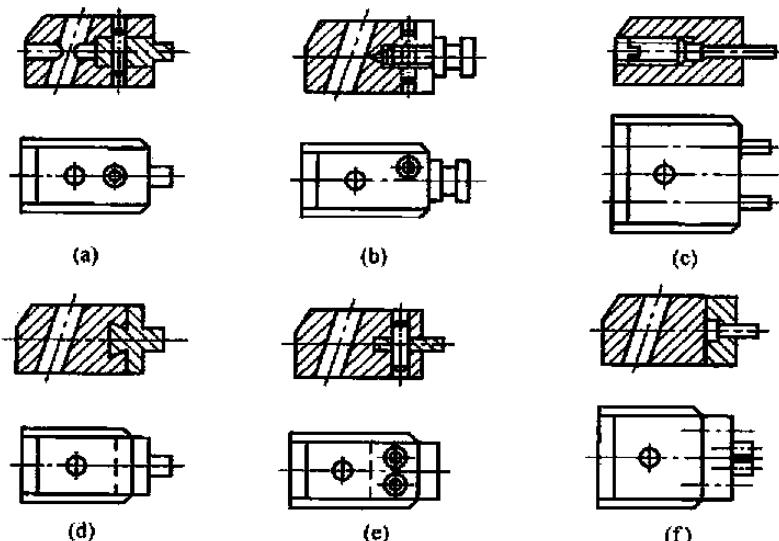
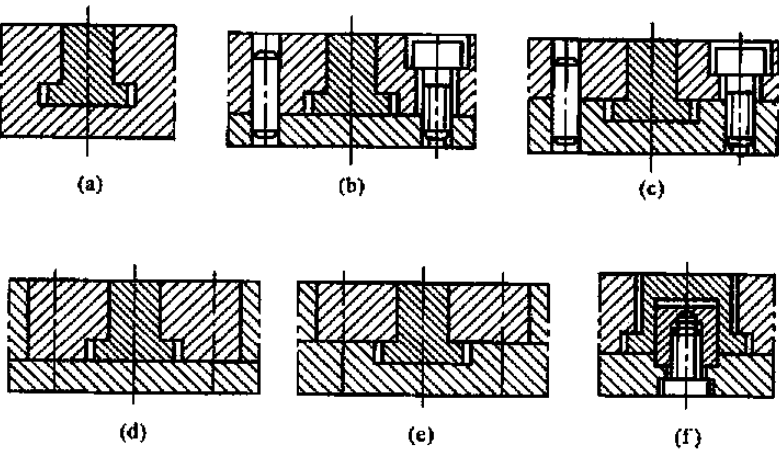
序号	计算项目	计算公式	说明
3	斜导柱的截面尺寸的计算	对圆形截面: $d = \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{0.1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{F_w l_1'}{0.1[\sigma]}} \quad (20-3-36)$ 对矩形截面: $h = \sqrt[3]{\frac{9M_{max}}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{9F_w l_1'}{[\sigma]}} \quad (20-3-37)$	M_{max} ——最大弯矩; F_w ——斜导柱所受的弯曲力; $[\sigma]$ ——许用弯曲应力; l_1' ——弯曲力作用点(B)距斜导柱伸出部分根部(A)的距离(图 20-3-38)
4	斜导柱长度计算	斜导柱长度根据抽芯距、固定端模板厚度、斜导柱直径以及斜角大小确定,如图 20-3-37 所示。 $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$ $= \frac{D}{2} \tan \alpha + \frac{h}{\cos \alpha} + \frac{d}{2} \tan \alpha + \frac{S}{\sin \alpha} + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (20-3-38)$	l_1, l_2 ——斜导柱固定部分长度; l_3 ——斜导柱与斜导柱固定板接触到斜导柱轴线的垂直距离; l_4 ——斜导柱工作部分长度, mm; l_5 ——斜导柱引导部分长度(5~10mm); L ——斜导柱总长, mm; d ——斜导柱工作部分的直径, mm; D ——斜导柱固定部分台肩直径, mm; h ——斜导柱固定板的厚度, mm; α ——斜导柱斜角, ($^\circ$); S ——抽芯距, mm
5	斜导柱孔位置的确定		斜导柱位置需要确定的尺寸有 a, a_1, a_2 , 可查下表 滑块分型面上斜导柱孔的位置, 除应位于滑块的中心线上外, 斜导柱中心线的投影应与滑块抽芯方向平行 加工斜导柱孔时, 一般将滑块装入模具的导滑槽内, 在定、动模合紧后一起加工

α	10°	15°	18°	20°	22°	25°
a_1	$a + 0.1768$	$a + 0.2688$	$a + 0.3298$	$a + 0.3648$	$a + 0.4048$	$a + 0.4668$
a_2	$a_1 + 0.1768_1$	$a_1 + 0.2688_1$	$a_1 + 0.3298_1$	$a_1 + 0.3648_1$	$a_1 + 0.4048_1$	$a_1 + 0.4668_1$

(2) 滑块的设计 (表 20-3-34)

表 20-3-34

滑块的设计

滑块设计	结构	说明
1. 侧型芯与滑块的连接形式		<p>为便于加工和修配以及节省优质钢材,在生产中广泛应用组合式滑块,即将侧型芯安装在滑块上。侧型芯与滑块的连接方式如图所示。对于尺寸较小的侧型芯,为了增加型芯的强度,往往将型芯嵌入滑块部分的尺寸加大,用轴销固定,如图 a 所示;当侧型芯尺寸较大时,可采用螺纹连接,并加销钉防止转动,如图 b 所示;螺纹连接位置精度较低,若型芯是圆形且直径较小时,可用紧定螺钉顶紧的形式,如图 c 所示;对于较大的型芯可以采用图 d 所示的燕尾槽连接的形式;图 e 所示为用通槽加销钉固定型芯,当型芯为薄片时可以采用这种结构;图 f 所示为用固定板固定的方法,用于多个型芯的连接,可先把型芯镶入一固定板后用螺钉、销钉与滑块连接和定位</p>
2. 滑块的导滑形式		<p>为保证滑块在移动过程中平稳,确保侧型芯可靠地抽出和复位,滑块与导滑槽必须很好地配合和导滑。滑块与导滑槽的配合结构形式主要根据模具大小、模具结构和塑件的产量选择,配合一般采用 H7/f7,常见形式如图所示。图 a 所示为整体式滑块与整体式导滑槽,结构紧凑,但制造困难,精度难控制,主要用于小型模具的抽芯机构;图 b 所示为整体盖板式结构,在盖板上加工出台肩的导滑部分;图 c 所示为整体盖板式结构,台肩的导滑部分在与之相配的模板上加工出来,克服了整体式导滑加工困难的缺点;图 d 和图 e 所示为整体盖板结构的变型,即采用局部盖板,这样导滑部分淬火后便于磨削加工,精度较高,而且便于装配;图 f 是把导滑基准放在中间块上,这样可减少加工基准</p> <p>滑块斜导孔与斜导柱的配合一般有 0.5mm 的间隙,在开模瞬间有一个很小的空行程,因此,在未抽芯前强制塑件脱出定模型腔或型芯,并使楔紧块首先脱离滑块,然后进行抽芯。滑块与导滑槽的配合间隙一般为 H7/h8,也可采用 H8/f8 的间隙配合</p>

滑块设计	结构	说明
3. 滑块的定位装置		<p>合模时为保证斜导柱伸出端准确可靠地进入滑块斜孔,滑块在完成抽芯动作后必须停留在终止位置上。为此,滑块需有灵活、可靠、安全的定位装置。图 a 所示为依靠弹簧的弹力使滑块靠在限位块上定位,这在模具的任意方向抽芯均可采用,尤其向上抽芯的模具;图 b 所示为利用滑块自重停靠在挡板上达到定位目的,适用于卧式注射机向下和向左、右抽芯的模具;图 c 所示为利用弹簧、活动定位销定位,其优点是不易磨损;图 d 所示为以钢球代替定位销。图 c 与图 d 所示结构形式一般不宜用于滑块较大的上、下抽芯模具中</p>

(3) 楔紧块的设计 (表 20-3-35)

表 20-3-35

楔紧块的设计

楔紧块的设计	结构示意图	说明
1. 楔紧块的形式		<p>注射成型过程中,侧型芯在抽芯方向受到熔体较大的推力作用,并通过滑块传递给斜导柱,而一般斜导柱为细长杆,受力后容易变形。因此,必须设置楔紧块,以压紧滑块,使滑块不致产生位移,从而保护斜导柱和保证滑块在成型时的位置精度。楔紧块的型式视滑块的受力大小、磨损情况及塑件精度要求而定。图示为常用楔紧块形式。图 a 所示为楔紧块与定模板制成整体,特点是材料耗量大,加工不便,磨损后修复困难,但牢固可靠,刚性好,适用于楔紧力要求很大的模具;图 b 所示为用螺钉、销钉固定形式,便于制造、装配和调整,适用于楔紧力不大的场合;图 c 所示为用 T 形槽固定并用销钉定位,能承受较大的侧向力,但加工不方便,尤其是装拆困难,所以不常用;图 d 所示为整体镶入式,刚性较好,修配方便,适用于模板尺寸较大的模具;图 e 与图 f 都是对楔紧块起加强作用的结构,适用于锁紧力较大的场合</p>

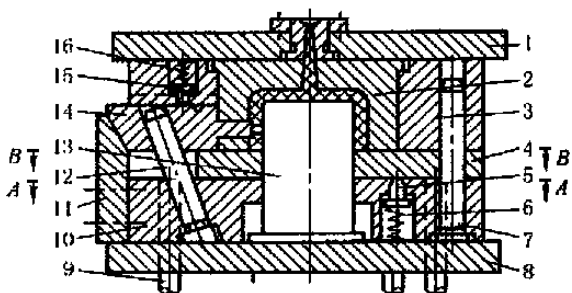
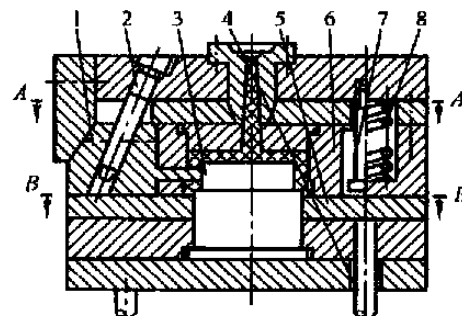
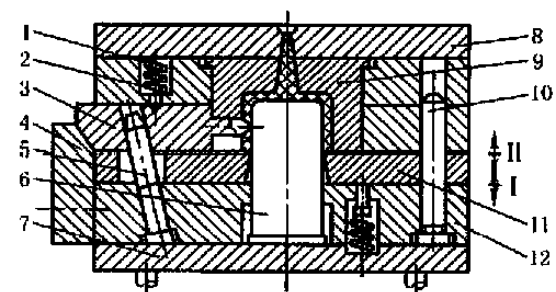
楔紧块的设计	结构示意图	说明
2. 楔紧块楔角		要求楔紧块的楔角 α' 必须大于斜导柱的斜角, 这样, 模具一开模, 楔紧块就让开, 否则斜导柱将无法带动滑块作抽芯动作。一般 $\alpha' = \alpha + (2^\circ \sim 3^\circ)$
3. 抽芯时的干涉现象及其解决办法	<p style="text-align: center;">滑块与推杆干涉示意图</p> <p style="text-align: center;">推杆先于活动型芯复位示意图</p> <p style="text-align: center;">1—推杆(推块); 2—复位杆; 3—滑块</p>	<p>在一般注射成型中, 推出塑件后, 推杆复位通常采用复位杆(在合模时, 复位杆先碰到定模, 使推杆固定板复位)来完成。但在斜导柱抽芯结构中, 侧型芯的水平投影面积与推杆相重合或推杆推出距离大于侧型芯的底面时, 如果仍采用复位杆复位, 则可能会产生图示的推杆与侧型芯互相干涉的现象。因为这种复位方式往往是滑块先于推杆复位, 致使侧型芯与推杆损坏。</p> <p>判别出现干涉现象的准则是, 当推杆端面到侧型芯最近距离(底面) h' 和 $\tan\alpha$ 的乘积, 小于侧型芯与推杆(或推管)间在水平方向的重合距离 s', 即 $h'\tan\alpha \leq s'$ 时, 就会产生干涉现象。</p> <p>当 $h'\tan\alpha > s'$ (一般大于 0.5mm) 时, 则不会产生干涉。模具不允许发生干涉, 因此, 在模具结构允许的情况下, 应尽量避免推杆位置与侧型芯的水平投影重合; 或使推杆推出距离 H 小于侧型芯底面到推杆端面的距离 h'。若模具结构不允许, 推杆位置无法移开或推出距离 $H > h'$, 则推杆的复位必须采用推杆先复位机构以消除干涉现象。</p>

6.2.3 斜导柱分型与抽芯机构的结构形式

表 20-3-36

斜导柱分型与抽芯机构的结构形式

序号	结构形式	图示	说明
1	斜导柱在定模、滑块在动模的结构	<p style="text-align: center;">靠定模上斜导柱操作的哈夫块模具</p> <p>1—锁紧块; 2—定模块; 3—斜导柱; 4—活动型芯滑块; 5—塑件; 6—定位块; 7—浇口套; 8—型芯; 9—顶模; 10—堆料板; 11—支块; 12—推杆; 13—型芯固定板; 14—垫板; 15—推杆固定板</p>	在开模的同时, 侧型芯与滑块被斜导柱侧向抽出, 在侧型芯完全抽出塑件时, 再由推出机构将塑件推出。这种结构应用非常广泛。在设计这种结构时, 必须避免在复位时滑块与推杆出现干涉

序号	结构形式	图 示	说 明
2	斜导柱在动模、滑块在定模的结构	 <p>1—定模座板;2—凹模镶件;3—定模板;4—推板;5—顶销; 6,16—弹簧;7—导柱;8—支承板;9—推杆;10—动模板; 11—楔紧块;12—斜导柱;13—凸模; 14—侧型芯滑块;15—定位顶销</p>	<p>凸模 13 与动模板 10 有一定距离的相对运动。开模时首先从 A 面分型,凸模 13 被塑件包紧不动,动模板 10 相对型芯移动,塑件仍留在定模型腔内。与此同时,侧型芯滑块 14 在斜导柱 12 的作用下从塑件中抽出。继续开模,凸模台肩与动模板相碰,带动塑件从定模型腔中脱出,模具从 B 面分型。最后由推板 4 将塑件推出</p> <p>适用于抽芯力不大,抽芯距小的塑件的成型</p>
3	斜导柱与滑块同在定模的结构	 <p>弹簧螺钉式定距分型拉紧机构</p> <p>1—侧型芯滑块;2—斜导柱;3—凸模;4—推杆; 5—推板;6—凹模板;7—定距螺钉;8—弹簧</p>	<p>斜导柱与滑块同在定模时,若不使滑块带着侧型芯先从塑件中抽出,待到动模和定模分型时才抽芯,将会损坏塑件的侧孔或凸台,或者使塑件留在定模上,难以取出。因此,在动模型芯带着塑件脱离型腔前,型腔板与定模座板应先脱开(定模部分先分型)</p> <p>如图所示为弹簧螺钉式定距分型拉紧机构。开模时,凹模板 6 在弹簧 8 的作用下,使分型面 A 先分开。侧型芯滑块 1 在斜导柱 2 的带动下开始抽芯。当凹模板 6 移动到起限位作用的定距螺钉 7 的台肩时,即停止移动,同时抽芯动作也结束。这时动模继续移动,分型面 B 分开,塑件脱出定模,留在凸模 3 上,由推板 5 推出塑件</p> <p>这种机构的特点是结构简单,加工方便,适用于抽芯力不大的场合。当然,弹簧也可设置在模具外侧,也可用拉板代替定距螺钉实现定距分型</p>
4	斜导柱与滑块同在动模的结构	 <p>导柱式定距分型拉紧结构</p> <p>1—弹簧;2—定位钉;3—滑块;4—锁紧块;5—斜导柱; 6—凸模;7—支承板;8—定模板;9—凹模; 10—导柱;11—推板;12—导柱固定板</p>	<p>这种结构可以通过推出机构或顺序分型机构来实现斜导柱与滑块的相对运动。如图所示,滑块 3 装在推板 11 的滑槽内,开模时,装在导柱固定板 12 上的斜导柱 5 使滑块 3 向左移动,抽出型芯,模具沿分型面 I 分开。开模继续进行,导柱固定板 12 与凸模 6 的台阶相碰,使凸模 6 带着塑件脱出凹模 9,分开分型面 II,然后推板 11 把塑件推出。在开模时,为确保塑件留在凹模上,在推板后面应安装弹簧销</p>

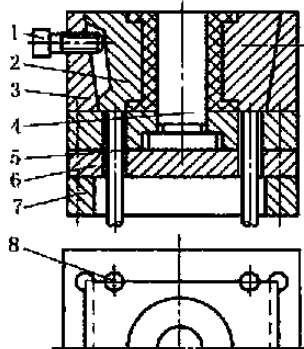
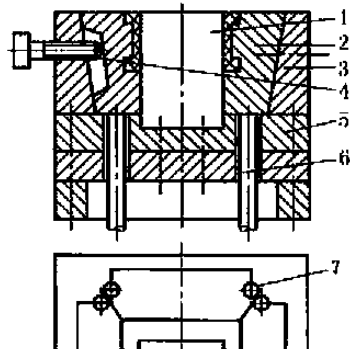
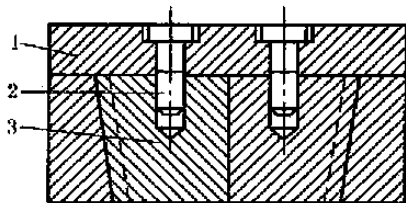
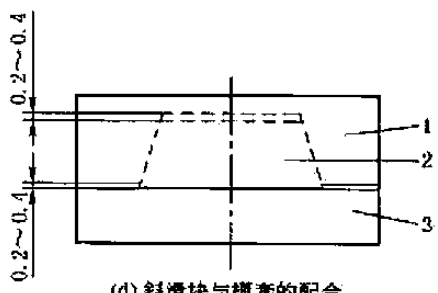
6.3 斜滑块分型与抽芯机构

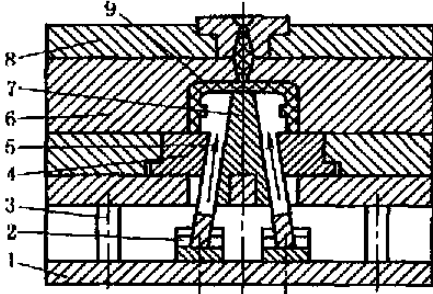
斜滑块分型与抽芯机构的结构简单，安全可靠，制造方便，因此在塑料注射成型模具中应用较广。常用于塑件的侧凹槽较浅、所需的抽芯距小但侧凹的成型面积较大的场合。此机构按导滑部分的结构不同可分为斜滑块式、斜导杆式、导板式等。

6.3.1 滑块导滑的斜滑块分型与抽芯机构

表 20-3-37

滑块导滑的斜滑块分型与抽芯机构类型

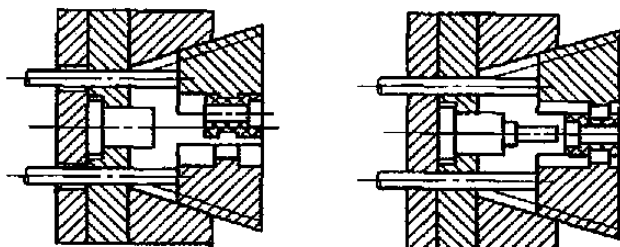
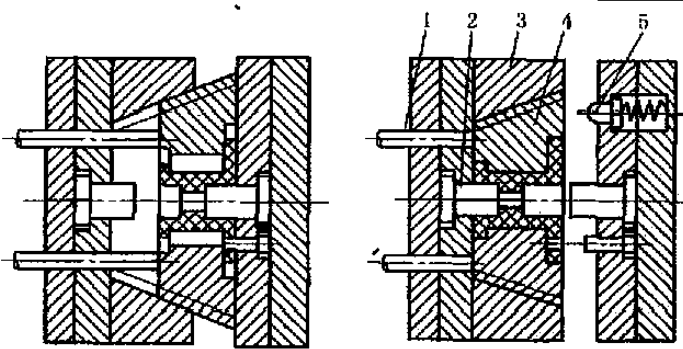
序号	类型	说明
1	斜滑块外侧分型与抽芯结构	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) 两块斜滑块结构</p> <p>1—限位螺钉;2—斜滑块;3—模套;4—型芯; 5—推杆;6—动模垫板;7—支块;8—导滑圆销</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) 四块斜滑块结构</p> <p>1—型芯;2—斜滑块;3—模套;4—限位螺钉; 5—型芯固定板;6—推杆;7—导滑圆销</p> </div> </div> <p>图 a 所示模具结构是由两块斜滑块拼合而成的。图 b 所示模具结构是由四块斜板拼合而成的。推出时，在推杆 5 的作用下，固定在斜滑块外侧的导滑圆销 8 沿着模套 3 上的半圆导滑槽向斜上方移动，同时完成侧抽芯和塑件的推出。限位螺钉 1 的作用是对斜滑块限位，以防止斜滑块脱出模套。导滑圆销与半圆导滑槽的方向应与斜滑块的斜面平行</p> <p>当塑件侧面的孔或凹槽较浅，所需抽芯距不大，但成型面积较大，需要抽芯力较大时，常采用滑块导滑的分型与抽芯机构。这种机构的特点是，当推杆推动斜滑块时，推出塑件与抽芯（或分型）动作同时进行。另外，因斜滑块的刚性好，能承受较大的抽芯力，所以斜滑块的斜角可比斜导柱的斜角大些，但一般不大于 30°。斜滑块的推出长度通常不超过导滑槽长度的 2/3，不然斜滑块容易倾斜，影响导滑精度</p> <p>使用以上抽芯结构时，要防止初始开模时斜滑块被定模带动。为了防止这种现象，可采用图 c 所示结构。图中止动销 2 固定在定模板 1 上，与斜滑块 3 配合。开模时，因止动销的作用使斜滑块不能斜向移动。在这种情况下，塑件留在动模上而有利于脱模</p> <p>如图 d 所示，为保证斜滑块闭模时拼合紧密，不发生溢料，斜滑块底部与模套之间留间隙 0.2~0.4mm，同时还要高出模套 0.2~0.4mm。这样的配合能保证斜滑块与模套的密合，即使在磨损后仍能保持密合</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>(c) 斜滑块止动结构</p> <p>1—定模板;2—止动销;3—斜滑块</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(d) 斜滑块与模套的配合</p> <p>1—模套;2—斜滑块;3—定模板</p> </div> </div>

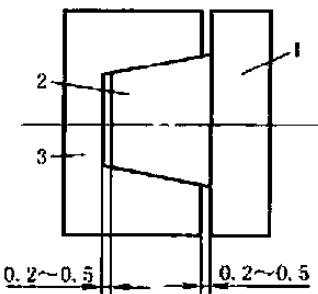
序号	类型	说明
2	斜滑块内 侧分型与抽 芯结构	 <p>1—动模板;2—滑座;3—反推杆;4—镶件;5—斜滑块;6—凹模;7—型芯;8—定模浇口板;9—塑件 用于成型带有内侧凸形的塑件。在推杆作用下,两侧活动斜滑块以动模板内斜孔导向,在内侧抽芯的同时推出塑件</p>

6.3.2 斜滑块侧向分型抽芯机构的设计要点

表 20-3-38

滑块侧向分型抽芯机构的设计要点

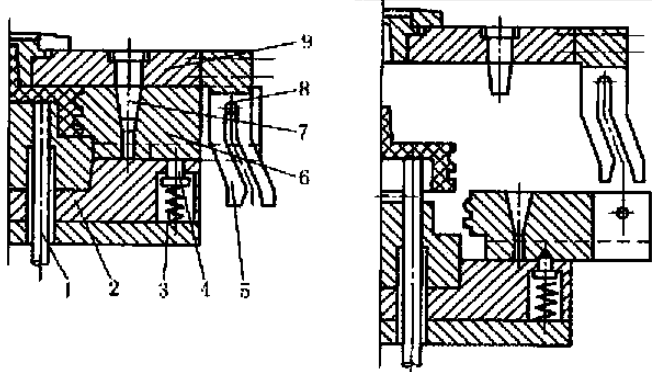
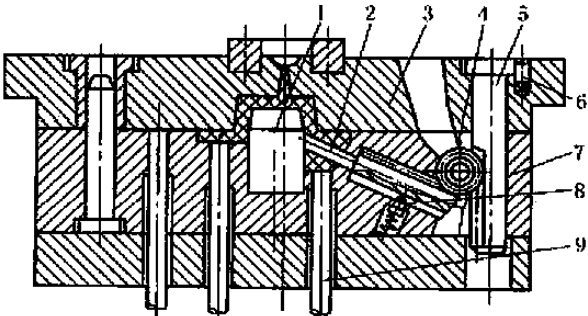
序号	要点	说明
1	合理选择 塑件的位置	 <p>(a) 难脱模 (b) 易脱模</p> <p>塑件在斜滑块中的位置选择是否合理,对能否顺利脱模影响很大。图 a 所示结构为成型塑件孔的型芯设置在定模,在开模时,型芯首先从塑件中抽出,然后推杆推动外滑块而分型。这种情况下,塑件必然会黏附在附着力较大的斜滑块一侧,使塑件不易脱模取出。图 b 所示结构是将塑件调头,型芯设在动模上,因有较长型芯定中,所以塑件能顺利地模内脱出</p>
2	开模时要 止动斜滑块	 <p>(a) 难脱模 (b) 易脱模</p> <p>弹簧止动销止动装置 1—推杆;2—型芯;3—模套;4—斜滑块;5—止动销</p> <p>通常斜滑块设置在动模,希望塑件对动模的包紧力大于定模部分。但由于塑件结构特点,定模部分包紧力可能大于动模部分,在这种情况下开模时,斜滑块可能被定模带动,使塑件损坏或留在定模上难以脱出,如图 a 所示。因此,在模具结构上需设置止动装置,如图 b 所示。开模时,止动销 5 在弹簧力的作用下,压紧斜滑块 4,使斜滑块在开模时不动,待到塑件脱离定模型芯后,在推杆 1 的作用下,斜滑块才分型抽芯,取出塑件</p>

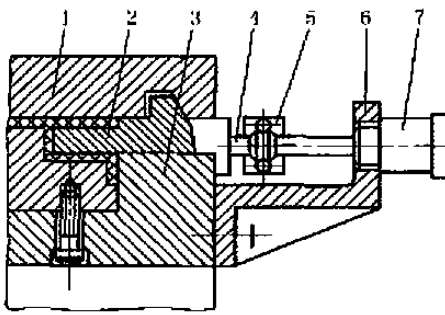
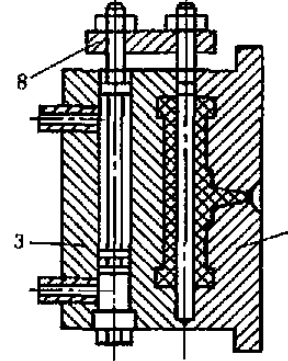
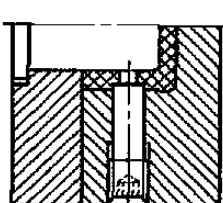
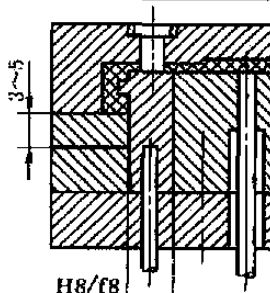
序号	要点	说明
3	斜滑块的斜角和推出行程	由于斜滑块的强度较高,斜滑块的斜角可比斜导柱的斜角大一些,一般在小于 30° 内取。斜滑块推出模套的行程,一般以模具不大于斜滑块高度的 $1/3$ 为准
4	斜滑块的装配要求	 <p style="text-align: center;">斜滑块的装配要求</p> <p style="text-align: center;">1—定模板;2—斜滑块;3—模套</p> <p>外滑块在合模时,设计要求拼合紧密。为保证这一要求,斜滑块的底部与模板之间留有$0.2\sim 0.5\text{mm}$的间隙,同时还必须高出模套$0.2\sim 0.5\text{mm}$。这还可以保证当斜滑块与模套的配合面出现磨损时,仍保持紧密拼合</p>

6.4 其他形式的侧向分型与抽芯机构

表 20-3-39

其他形式的侧向分型与抽芯机构类型

序号	机构类型	说明
1	斜导槽板侧分型与抽芯结构	 <p style="text-align: center;">(a) 合模状态 (b) 分模状态</p> <p style="text-align: center;">1—推杆;2—动模板;3—弹簧;4—顶销;5—斜导槽板; 6—侧型芯滑块;7—止动销;8—滑销;9—定模板</p> <p>在侧型芯滑块6的外侧用斜导槽板5代替斜导柱。斜导槽的倾斜角α同样在25°以下为宜。如抽芯距大,必须超过这个角度时,可将倾斜角制成两段。这种结构适用于抽拔力不大但抽芯行程较长的场合</p>
2	齿轮齿条侧向抽芯机构	 <p style="text-align: center;">齿轮齿条侧向抽芯机构</p> <p style="text-align: center;">1—凸模;2—齿条型芯;3—定模板;4—齿轮;5—传动齿条;6—止转销;7—动模板;8—导向销;9—推杆</p> <p>适用于要求抽芯力大、抽芯距长或有侧抽芯的场合,但结构复杂,加工较困难,因此只有在其他抽芯机构不适用时才采用。齿轮齿条侧向抽芯机构利用开模力或推件力通过齿条齿轮传动,带动侧型芯来完成抽芯动作</p> <p>齿条齿轮全部安装在动模。要推出塑件,须先将斜向型芯抽出。动作顺序如下。开模后,传动齿条5通过齿轮4使齿条型芯2行走,完成抽芯工作。最后,推杆9将塑件顶出模外。由于齿条与齿轮在整个抽芯推件运动中始终啮合,所以齿轮轴上不需设置定位装置。合模时,传动齿条5插入动模板对应孔内与齿轮4啮合,顺时针转动的齿轮4带动齿条型芯2复位,然后锁紧装置将齿轮或齿条型芯锁紧</p>

序号	机构类型	说明
3	液压或气动式抽芯机构	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(a) (b)</p> <p style="text-align: center;">1—定模;2—型芯;3—动模;4—拉杆;5—连接器;6—支架; 7—液压缸(或汽缸);8—型芯固定板</p> <p>通过液压缸或汽缸、活塞及控制系统来实现抽芯。当塑件有较深的侧孔时,侧向的抽芯力和抽芯距都很大,用一般的侧抽芯机构往往无法解决,此时宜采用液压或气压侧向抽芯机构。这种抽芯机构动作平稳,抽芯动作与模具开合模无关,可通过加长抽芯距离、增大液压或气压和增大液压缸或汽缸内径来获得大的抽芯力。但受模具结构限制,一般液压缸或汽缸直径不能很大。在缸体直径相同条件下,由于液压高于气压,所以液压抽芯力大于气压抽芯力</p> <p>如图 a 所示液压缸(或汽缸)7 以支架 6 固定于动模 3 的侧面,型芯 2 通过拉杆 4 和连接器 5 与活塞杆连接。由活塞的往复运动带动拉杆和型芯实现抽芯和复位。合模时型芯 2 上凸出的斜面与定模相应斜面楔紧,起锁紧作用。图 b 为液压抽长型芯的结构。由于采用了液压抽芯,可避免采用瓣合模组合形式,使模具结构大为简化</p>
4	手动分型与抽芯机构	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(a) 模内手动分型与抽芯机构 (b) 模外手动分型与抽芯机构</p> <p>主要用于小批量生产的模具,或塑件处于试制阶段。手动抽芯多用于一般型芯、螺纹型芯、成型镶块的抽出,可分为两大类,一类是模内手动抽芯,另一类是模外手动抽芯</p> <p>(1) 模内手动分型与抽芯结构</p> <p>图 a 为模内手动分型与抽芯结构。在开模前,先用手扳动模具上的带有螺纹的侧型芯,使分型与抽芯机构完成抽芯动作,然后开模,推出塑件。此外还可以用手动齿轮齿条等分型与抽芯机构</p> <p>(2) 模外手动分型与抽芯结构</p> <p>图 b 为模外手动分型与抽芯结构。将镶块或型芯、螺纹型芯等和塑件一起推出模外,然后用人工或简单机械将型芯或镶块从塑件中取出</p>

7 加热和冷却装置的设计

在注射成型模具成型过程中,模具温度会直接影响塑料的充模、塑件的定型、模塑周期和塑件的质量和生产率。

① 模具温度对塑件质量的影响。模温过低,熔体流动性差,塑件轮廓不清晰甚至充不满型腔或形成熔接痕,塑件表面不光泽,缺陷多,力学性能降低。对于热固性塑料,模温过低造成固化程度不足,降低塑件的物理、化学和力学性能。对于热塑性塑料注射成型时,在模温过低、充模速度又不高的情况下,塑件内应力增大,易引起翘曲变形或应力开裂,尤其是黏度大的工程塑料。

模温过高,成型收缩率大,脱模和脱模后塑件变形大,并且易造成溢料和粘模。对于热固性塑料会产生“过熟”,导致变色、发脆、强度低等。

模具温度不均匀,型芯和型腔温度差过大,塑件收缩不均匀,导致塑件翘曲变形,影响塑件的形状及尺寸精度。模具温度波动对塑件的成型收缩率、尺寸稳定性、力学性能、变形、应力开裂和表面质量等均有影响。因此,为保证塑件质量,模具温度必须适当、稳定、均匀。

② 模具温度对模塑周期的影响。塑料注射成型过程中,注射时间约占成型周期的5%,冷却时间约占80%,推出(脱模)时间约占15%。由此可见,缩短模塑周期的关键在于缩短冷却硬化时间,可通过调节塑料和模具的温差来缩短冷却时间。因此,在保证塑件质量和成型工艺顺利进行的前提下,降低模具温度有利于缩短冷却时间,从而缩短模塑周期,提高塑料注射成型的生产效率。

在塑料注射成型过程中,要保持模具温度稳定,就应保持输入热和输出热平衡。为此,必须设置模具温度调节系统,对模具进行加热和冷却,以调节模具温度。

7.1 对模具温度控制系统设计的基本要求

表 20-3-40

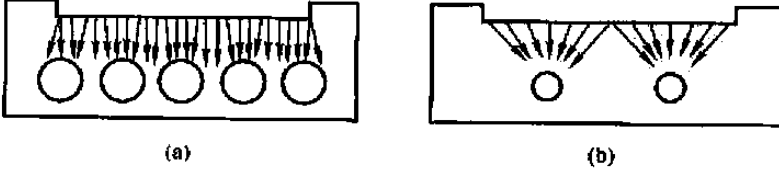
模具温度控制系统设计的基本要求

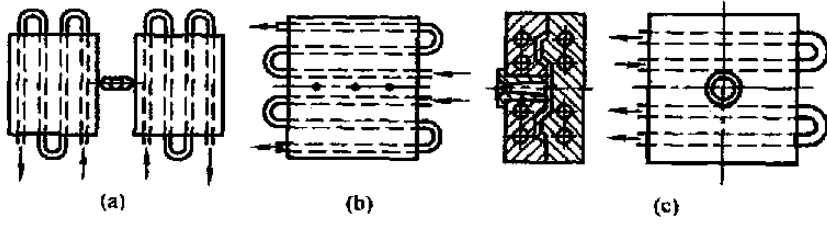
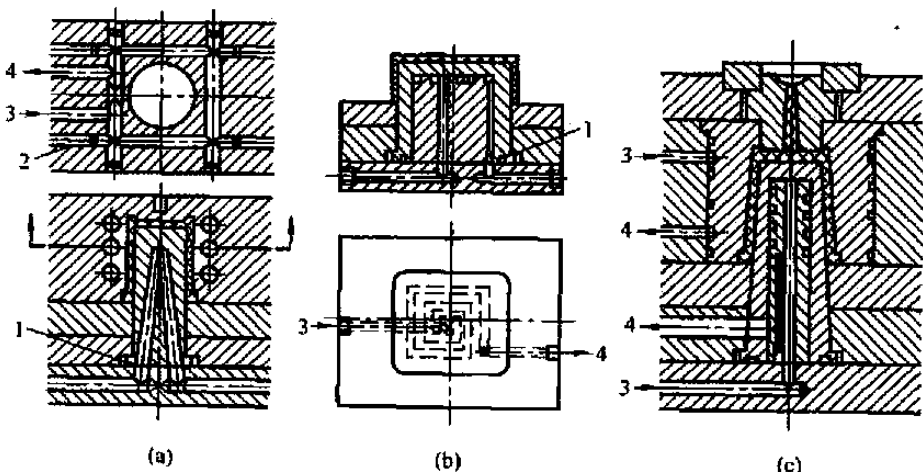
序号	设计基本要求	说 明
1	模具冷却回路 的分布	塑件形状往往很复杂,相应的型腔也很复杂。塑件的壁厚不均匀,各部位散热条件不一样,浇口处与远离浇口处温度有差别,因此,应注意冷却通道直径和位置的布置,以保证型腔和型芯表面迅速而均匀地冷却
2	模具温度	模具温度对塑件冷却速度及冷却时间的影响较大。而模具温度要依靠冷却装置来控制
3	塑料品种	不同塑料的热含量和传热性能是不同的,因而冷却时间也就不一样。热含量大的或热导率小的,冷却时间长
4	塑件的壁厚	塑件壁厚越大,需要的冷却时间越长。通常冷却时间与塑件厚度的平方成正比
5	模具材料	不同模具材料,其热导率不同。根据需要可在型腔的需要加快散热的部位,选用热导率大的材料作为镶件,以加快该部位的冷却
6	冷却液温度 及流动状态	为使模具冷却均匀,冷却水入口与出口的温差越小越好,一般制品的温差应控制在 5°C 以下,精密成型模具应控制在 2°C 左右。因此,要求控制回路长度在 $1.2\sim 1.5\text{m}$ 以内,并增加冷却回路数量,从而增大冷却液流量 冷却水在通道中的流速越高越好。因为流速高,冷却水的流动状态为湍流,传热效率高;相反,流速低,冷却水流动状态为层流,传热效率低。另外,为了使冷却水容易呈湍流状,入口水温不宜太低,以 $10\sim 18^{\circ}\text{C}$ 为宜

7.2 冷却装置设计原则

表 20-3-41

冷却装置设计原则

序号	设计原则	说 明
1	冷却回路数量应尽量多,冷却通道孔径要尽量大	<p>图 a 所示结构冷却回路数量多,孔径大,型腔散热均匀,因而型腔表面温度较均匀,制品内应力小,变形小,精度高。图 b 所示结构效果不好</p>  <p style="text-align: center;">水孔数量及孔径</p>

序号	设计原则	说明
2	冷却通道的布置应合理	<p style="text-align: center;">冷却水道的出、入口布置</p>  <p>塑件的壁厚基本均匀时,冷却通道与型腔表面的距离最好相等,分布尽量与型腔轮廓相吻合,如图 a 所示。当塑件的壁厚不均匀时,则在厚壁处加强冷却。为此,冷却通道应间隔小些且更靠近型腔,如图 b 所示。塑料熔体在充填型腔过程中,一般在浇口附近温度最高,因而应加强浇口附近的冷却。为此,冷却水应从浇口附近开始流向其他地方,如图 c 所示</p> <p>冷却回路排列的方式应根据塑件的形状和塑料特性以及对模具温度的要求而定。对于圆筒形塑件的模具宜采用图 a 所示的间歇循环式冷却,冷却效果较好,但出、入口数量较多,加工费时;图 b 所示为连续循环式装置,是对于图 a 的改进,只有一个入水口和出水口。对于收缩率大的塑料(如聚乙烷)的成型模具,应沿收缩方向设置冷却回路,如图 c 所示。它也是连续循环式装置,将冷却槽加工成螺旋状,型腔和型芯同时冷却,且只有一个入口和出口</p> <p style="text-align: center;">循环式冷却装置</p> <p style="text-align: center;">1—密封圈;2—堵塞;3—入口;4—出口</p> 
3	冷却回路应有利于减小冷却水进、出口水温的差值	如果冷却水道较长,则入水与出水的温差就较大,这样就会使模具的温度分布不均匀,为了避免这种现象,应合理布置水道
4	冷却回路结构应便于加工和清理	其通道孔径一般取 8~12mm
5	冷却水道至型腔表面的距离应尽可能相等	
6	冷却水道要避免接近熔接痕部位	

第 4 章

热固性塑料注射成型模具

1 概 述

过去热固性塑料主要采用压缩成型和传递成型方法。这类成型方法成型周期长、生产效率低，工人劳动强度大。20 世纪 60 年代初出现了热固性塑料注射成型，它与压缩模塑和传递模塑工艺相比较，具有生产率高、塑件质量好、自动化程度高、模具寿命长等优点，因此在热固性塑料模塑成型中的应用，占有相当重要的地位。大多数热固性塑料都可采用注射成型，这使热固性塑料成型技术获得了新的生命力。

图 20-4-1 所示为热固性塑料注射模结构。热固性塑料注射模结构与热塑性塑料注射模结构相似，也包括型芯、型腔、浇注系统、导向零件和推出机构等部分，但模具要安装在专用的热固性塑料注射机上才能模塑成型。模塑成型的过程如下。将粉状或粒状原料加入注射机的料筒内，料筒外通热水加热，加热温度在料筒前段为 90℃ 左右，后段为 70℃ 左右。原料料粒同时还受螺杆旋转时的剪切摩擦作用，塑化成熔融状态，然后在螺杆的推动下，经注射机喷嘴和模具浇注系统进入温度比料筒温度高得多的模具型腔内，熔体通过喷嘴时由于强烈摩擦，温度可达 110 ~ 130℃，模温通常保持在 160 ~ 190℃。用于注射模塑的热固性塑料应具有较高的流动性，以使塑料在注射过程中顺利地通过浇注系统而填充型腔。塑料在型腔内发生交联反应，并固化成型，成型后的塑件由推出系统推出模外。注射成型过程与热塑性塑料注射成型十分相似，但工艺条件完全不同，这是由于两种塑料在热性能方面有本质的区别所致。

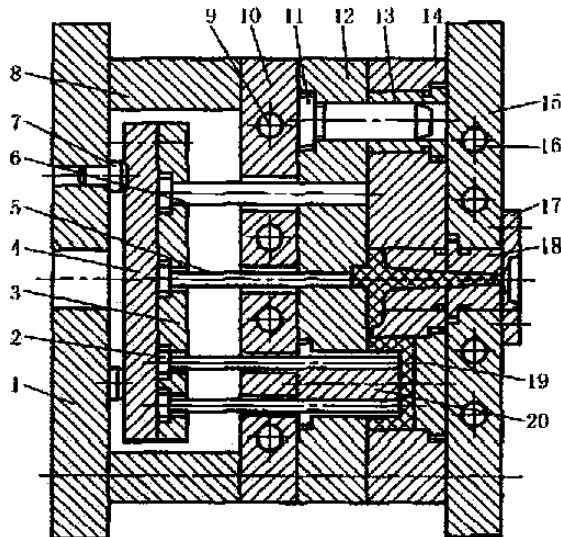


图 20-4-1 热固性塑料注射模结构

- 1—动模座板；2—推杆；3—推杆固定板；4—推板；5—主流道推杆；6—复位杆；
- 7—支承杆；8—垫块；9、16—加热器安装孔；10—支承板；11—导杆；
- 12—动模板；13—导套；14—定模板；15—定模座板；17—定位圈；
- 18—浇口套；19—定模镶块；20—凸模

2 热固性塑料注射模塑对注射机的要求

热固性塑料与热塑性塑料注射成型的根本区别在于前者在模具型腔内发生交联反应,产生必须排除的气体;模具需要加热,以满足塑料固化的需要;塑料进入型腔前既要有较好的流动性,又不能在料筒内固化。为适应这些成型特性,对热固性塑料用注射机提出了一些要求,见表 20-4-1。

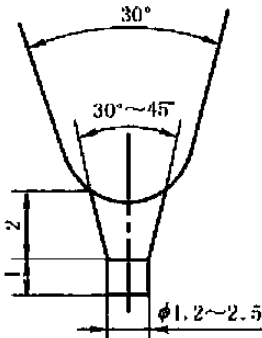
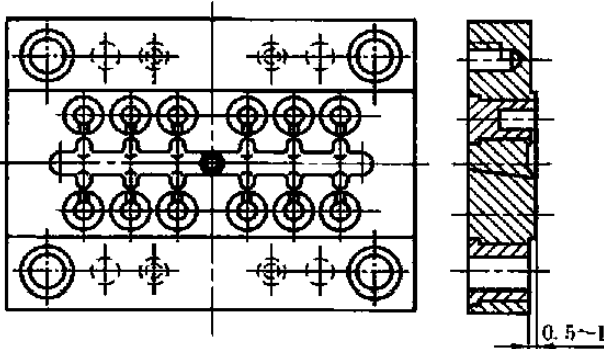
表 20-4-1 热固性塑料注射模塑对注射机的要求

序号	要 求	说 明
1	注射机螺杆的压缩比和长径比均小	生产热固性塑料注射机的压缩比取 0.8~1.4,长径比为 14~20。螺杆的螺槽较深,以防止热固性塑料在料筒内输送过程中,受到螺杆过大的剪切摩擦作用而发生固化。螺杆内应设有冷却水道,便于通水冷却以控制温度
2	注射机应能够严格控制塑料加热温度和时间	在料筒里的热固性塑料若温度和时间超过一定范围,便会产生固化,给生产带来较多麻烦,即便加热的温度波动很小,对注射成型质量也会造成不良影响。为了保证原料的均匀加热和温度恒定,目前多采用水加热循环系统。其优点是以水作加热介质,温度均匀稳定(可控制达到 $\pm 1^\circ\text{C}$),“加热后效”较小,能实现自动控制
3	对注射机合模机构的要求	合模机构应满足快速排气操作的要求,即应具备能迅速降低锁模力的执行机构。通常采用增压油缸对快速开模和合模动作进行控制。注射机应有较大的锁模力
4	要防止因塑料在注射机料筒内固化而扭断螺杆	注射机螺杆驱动装置宜采用带过载保护装置的液压马达或带摆线针轮减速器结构。这样可达到 0~90r/min 的无级变速,符合塑料预塑要求

3 热固性塑料注射模设计要点

表 20-4-2 设计要点

要 点	说 明
1. 主流道与冷料穴	<p>在注射成型热固性塑料时,塑料从温度较低的喷嘴进入高温的模具主流道,并迅速加热,同时由于熔体流经喷嘴摩擦生热,使塑料黏度降低,流动性增加,有利于充模,所以一般可将主流道设计得比较小。另外,流道凝料无法回收利用。为减少浪费,主流道直径应尽可能减小。卧式注射机用注射模具的主流道一般设计成圆锥形,其锥角为 $1^\circ\sim 2^\circ$,小端直径为 5~8mm。直角式注射机主流道为圆柱形</p> <p>为使间歇注射过程中喷嘴头部出现的老化料不进入模具型腔,应在主流道对面设置冷料穴和拉料结构。常见的结构形式如图所示。其中倒锥形冷料穴应用较广</p> <p style="text-align: center;">(a) 钩形 (b) 倒锥形 (c) 环槽形</p> <p style="text-align: center;">冷料穴和拉料结构</p>
2. 分流道	<p>热固性塑料注射模分流道一般选择平衡式布局为好。分流道的截面形状常见的有圆形、梯形、正方形、半圆形等。梯形和半圆形的流道易于加工,且易于脱模,应用最广。梯形截面尺寸为宽 $b=4\sim 6\text{mm}$,深度 $h=(2/3)b$,两斜边与分模线成 $15^\circ\sim 20^\circ$ 的斜角。半圆形截面半径一般取 $R=2\sim 4\text{mm}$。对于多型腔的模具,应该尽量使分流道的截面尺寸和长度一致,以保证塑料同时充满每一个型腔,使各型腔的塑料压力相同固化</p>

要 点	说 明
3. 浇口	<p>热固性塑料注射模浇口位置、形状选择原则与热塑性塑料注射模基本相同。但由于成型后的热固性塑料较脆,浇口容易去除,所以浇口厚度可取厚一些,一般深0.8~1.5mm,宽2.5~5mm,长1~3mm。点浇口形状与热塑性塑料注射模的点浇口形状有所区别,如图所示,在最狭部位前有一引导部分,以减少浇口的磨损。点浇口的直径不宜小于1.2mm,可在1.2~2.5mm之间选取。浇口部位是模具中磨损最严重的部位,在生产一段时间后,常用氩弧焊修补。如果塑件的批量较大,也可用硬质合金镶块嵌在浇口部位,可提高耐用度,减少修模工作</p>  <p style="text-align: center;">热固性塑料注射模用点浇口形状和尺寸</p>
4. 排气槽的开设	<p>热固性塑料不仅原料本身含有水分和挥发物,而且在固化过程中还会产生低分子挥发性气体,再加上模具型腔内有空气存在,因此在注射成型时,必须将气体排出模外,否则将影响注射成型,并使塑件留下气泡。表面出现凹痕、麻点及光洁度降低等缺陷,甚至局部浇焦碳化。所以,排气对热固性塑料注射成型是非常重要的</p> <p>开设排气槽的位置一般在料流最后到达的地方。开设在分型面上的排气槽应开在浇口的对面。为不致溢料,槽深应严格控制,一般为0.03~0.05mm,宽度为4~6mm。除排气槽外,还可利用推杆等配合间隙排气</p>
5. 对分型面的要求	<p>(1) 尽量减少接触面积</p>  <p style="text-align: center;">减少分型面接触面积以改善溢边</p> <p>热固性塑料在注射过程中,流动性很好。注射压力较高时,即使分型面间只有很小的间隙,也会产生溢料。由于溢料,胀模力有可能超过注射机公称锁模力,促使缝隙增大,溢料更加严重。所以,在设计分型面时,可采用减少分型面的接触面积提高压强的方法,改善型腔周围贴合状况,以防溢流,如图所示,型腔周围10mm以外的部分低0.5~1mm</p> <p>(2) 分型面上尽量减少孔穴或凹坑</p> <p>热固性塑料熔体如流入孔穴或凹坑后,黏附力很强,难以清理干净,结果高出分型面,导致严重溢料,因此,有关孔不应穿通到分型面,而应制成盲孔,便于飞边的铲除</p> <p>(3) 分型面的表面要求</p> <p>分型面硬度一般不低于40HRC,分型面表面粗糙度R_a应小于$0.2\mu\text{m}$或进行镀铬处理。由于在分型面上的飞边极易与塑件分离,而飞边的硬度很高,小块碎片如若留在分型面上,合模时,可使分型面压出印痕,多次重复,分型面变得凹凸不平,造成飞边进一步增多。所以,对于分型面的表面有一定要求</p>

要 点	说 明
6. 模具加热	<p>成型热固性塑料可使用温流道系统,具有这种流道的热固性塑料注射模称为温流道模。鉴于热固性塑料模具的模板和成型零件的温度高达170°C,为使流道内的热固性塑料在连续成型作业中,始终保持熔融流动状态而不固化,不产生浇注系统废料,以节省原材料,采用主流道和分流道所在的流道板通水冷却,并与型腔板绝热的办法,使流道板保持低温(一般设定为低于100°C)。在此温度下,塑料不但不会固化,而且具有适宜的黏度,可保证注射成型的顺利进行</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="395 459 890 840"> <p>(a) 温流道热固性塑料注射模</p> </div> <div data-bbox="938 421 1460 840"> <p>(b) 主流道衬套型的温流道模</p> </div> </div> <p>1—凹模板;2—凸模板;3—加热器安装孔;4—动模绝热板;5—定模绝热板;6—温流道板;7—主流道冷却水孔;8—主流道衬板;9—定模座板;10—分流道冷却水孔;11—温流道喷嘴;12—冷、热模绝热层</p> <p>1—成型塑件;2—流道系统</p> <p>温流道系统不一定是模具的一个部件。实际上,通常可将注射机喷嘴设计成具有温流道功能的结构,如图 a 所示。这种结构模具和温流道喷嘴的绝热效果好,且容易保养。对于单型腔模具来说,适于采用这种结构。对于多型腔模具,温流道系统通常仿照热塑性塑料注射模的热流道系统设计方法,只不过温流道模的流道板需要冷却系统,以进行温度控制</p> <p>也可将温流道结构设计成主流道衬套形式,如图 b 所示。设计这种结构的温流道模时,主流道衬套侧面与模板不接触,留$0.3 \sim 0.5\text{mm}$的间隙,以空气绝热,主流道衬套端面与模板接触面积尽量小,使传热量减少到最低程度。目前国外温流道模的应用已比较广泛</p>
7. 模具材料	<p>热固性塑料注射模温度高于熔体温度,因此,熔体进入模具后与模壁接触处温度升高(热固性塑料注射模的工作温度通常在$165^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$范围内,加热器周围的局部温度更高,会超过$250^{\circ}\text{C}$)。黏度降低,流速很高,容易使流道和型腔磨损。因此,热固性塑料注射模成型零件的材料,应采用强度高、耐磨性好、耐热性较好的材料制造</p>
8. 对滑动零件的要求	<p>热固性塑料注射模中有很多滑动配合件,如复位杆、推杆、推板、拉料杆、滑块、侧型芯等,要求它们在较高温度下工作,不产生过大磨损、咬合而影响配合精度。要求如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 配合零件表面粗糙度 R_a 应小于$0.2\mu\text{m}$,特别是与塑料接触的推杆和拉料杆表面的 R_a 值,最好在$0.1\mu\text{m}$以下 (2) 提高零件表面硬度,一般要求表面硬度为$54 \sim 58\text{HRC}$,特殊情况可提高到60HRC以上。零件表面涂覆固体润滑剂,工作零件表面镀铬,可增强抗咬合能力。采用耐高温的石墨类润滑剂,可降低滑动摩擦因数 (3) 各种滑动零件的配合间隙应在0.03mm以下,这样基本上不溢料,如产生飞边也是极薄的一层半透明状树脂,中间没有填料,对滑动零件的正常工作影响不大 (4) 缩短配合长度,配合长度只要有直径的$2 \sim 3$倍就能满足导向要求,其余部分可进行扩孔,把间隙加大到1mm左右,以减少摩擦

要 点	说 明
9. 对安放嵌件的要求	<p>热固性塑件上应用嵌件较多,但在注射模具中安装嵌件很不方便,且容易发生位移,推件时难以取出,并延长操作时间,影响生产率。因此,一般情况下采用模外“热插”嵌件的方式比较恰当,但有时为满足使用要求,仍需在模内安放嵌件,此时,必须注意以下几点:</p> <ul style="list-style-type: none">(1) 增强嵌件定位稳定性,例如设计可以与推杆相联系的嵌件杆,以强固嵌件位置(2) 提高嵌件与模具的配合精度,保证两者有合理间隙,防止嵌件位移和塑件粘模(3) 将模具中固定嵌件的部分设计成活动镶块,以解决难以定位的嵌件安放问题

第 5 章 塑料注射成型模具实例

1 一般结构的注射成型模具实例

1.1 单分型面注射成型模具

(1) 水桶盖塑料注射成型模具

图 20-5-1 所示为水桶盖塑料注射成型模具。此模具采用单分型面，直接浇口。塑料注射成型后，开模，动模和定模分开，由于塑件收缩，保留在动模一侧的凸模 7 上。注射机的推出机构推动推板 20、推杆 9 和边缘上六个推杆 5，将塑件从凸模 7 上推出。

(2) 水桶塑料注射成型模具

图 20-5-2 所示为水桶塑料注射成型模具。此模具采用单分型面，直接浇口。由于塑件高、壁薄，在注射成型时不易保证，机构必须可靠。除利用导柱和导套导向外，还要利用凹模 29 和凸模 27 的斜面部位定位。若上述导向机构及定位斜面还不能保证塑件质量，可以采用辅助导向，例如增设四个对称小短导柱导向定位，这样可以提高定位及导向的准确性。试生产效果良好。模具的整个冷却系统设在凹模和凸模内，进行循环冷却。

在塑料注射成型后，经过一段时间的保压，开模时，凸模 27 带着塑件一起离开凹模 29。在分离过程中，由拉板 1 把型芯 19 抽出，然后推出机构推动推杆 23 把塑件推出。合模时，压缩弹簧 18，目的是控制型芯 19 正确的位置。

1.2 侧向分型抽芯注射成型模具

图 20-5-3 所示为线轮侧向分型抽芯注射成型模具。此模具采用环形浇口，为单分型面。在定模两侧都装有弯板机构，弯板 3 的斜度和两侧活动型芯滑块 4 及 10 的斜度一致。锁紧块 1 的斜度应大于弯板 3 的斜度。活动型芯滑块 4 和 10 与推料板 20 用 T 形槽配合。

当塑料注射成型后，动模首先移动，然后定模板 2 上的弯板 3 迫使活动型芯滑块 4 及 10 向外移动。这时注射机推出系统推动推板 15、推杆 14、推料板 20，塑件从型芯上脱出。

1.3 定模设置推出机构的注射模

图 20-5-4 所示为双缸洗衣机水桶盖板塑料注射成型模具。熔体在绝热状态下流入注射模。由于外表面为装饰面，故模具的浇口和推出机构均设在塑件内表面，并在定模设置推出机构。

当开模至一定距离后，动模开始带动拉板 15，继而在开模侧由拉板 15 带动推板 13，并通过复位杆 1、推杆固定板 7 带动推杆 3 与推板 13 同时推动塑件脱离定模镶块 11 及 12。合模时，推杆由复位杆带动而复位，这种定模推出机构简单，应用广泛。

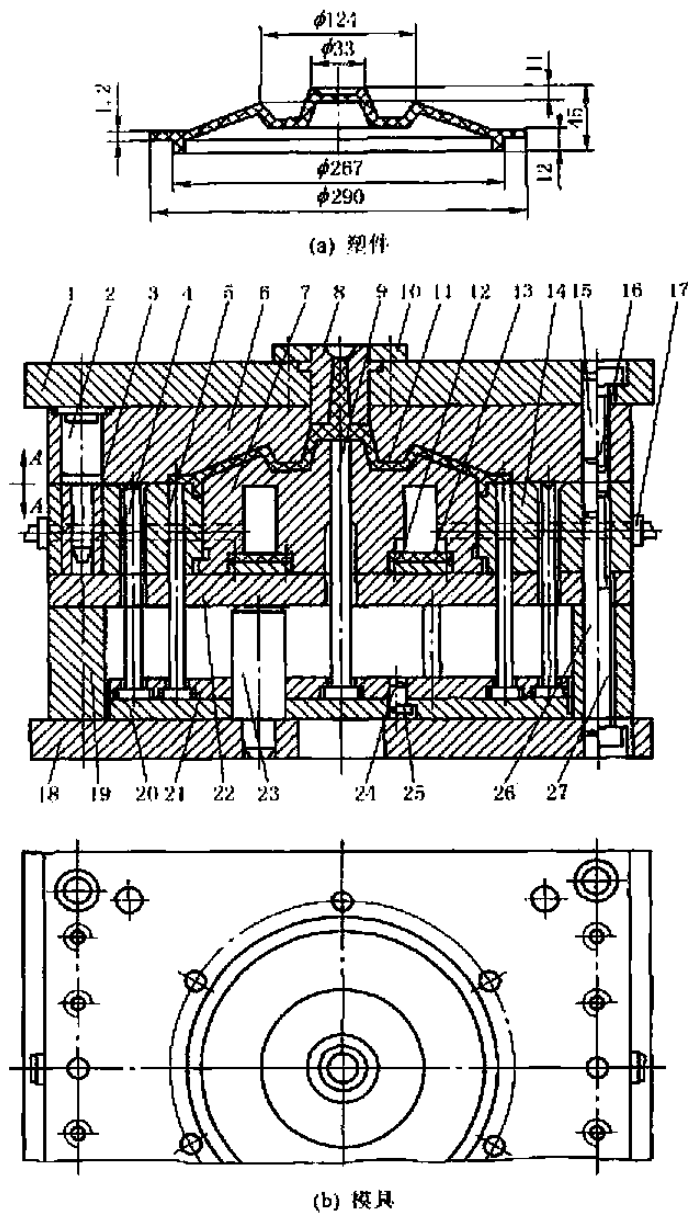


图 20-5-1 水桶盖塑料注射成型模具

- 1—定模板；2—导柱；3—导套；4—回程杆；5,9—推杆；6—凹模；
 7—凸模；8—浇口套；10—定位圈；11—塑件；12—密封垫；
 13—盖板；14—凸模板；15,24,26—销钉；
 16,25,27—螺钉；17—水嘴；18—动模
 板；19—支块；20—推板；21—推杆固
 定板；22—垫板；23—顶柱

1.4 双分型面注射成型模具

图 20-5-5 所示为汽车坐垫塑料注射成型模具。此模具有四个分点浇口，为双分型面模具。由于塑件投影面积大，在注射成型时，为防止凹模变形，在凹模下面增设四个对称顶柱 29。塑件要求成型面外观好，故塑件的背面设在定模上，浇口痕迹也留背面，因此，模具采用拉板式结构。

塑料注射成型后，动模首先沿分型面 A 离开定模一定距离，主流道脱开；动模部分继续移动，由卸料螺钉 16 限位，动模与凹模 27 沿分型面 B 分开；动模仍继续移动，螺钉 39 碰到拉板 22，带动推板 7、推杆 4、13 把塑件推出。然后合模，由复位杆 14 复位，完成整个注射成型以及脱模过程。

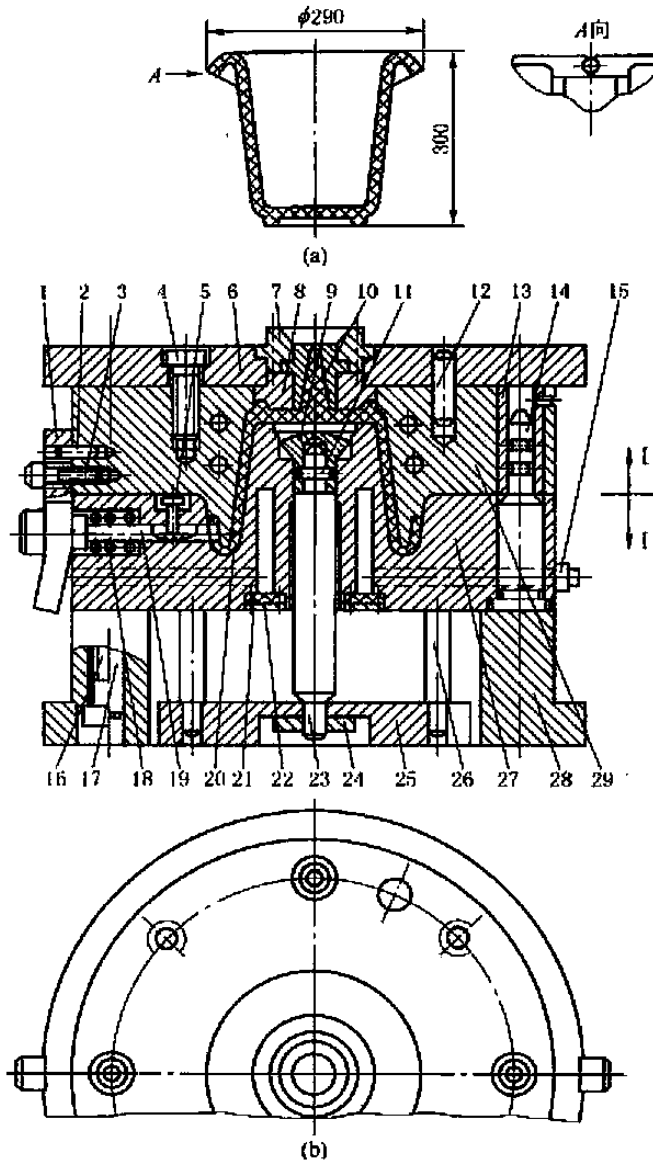


图 20-5-2 水桶塑料注射成型模具

- 1—拉板；2,11,12,17—销钉；3,4,16—螺钉；5—限位钉；6—定模板；7—定位圈；8—镶件；9,25—推板；
 10—浇口板；13—导套；14—导柱；15—水嘴；18—弹簧；19—型芯；20—塑件；21—密封圈；
 22—盖板；23—推杆；24—螺母；26—回程杆；27—凸模；28—支板；29—凹模

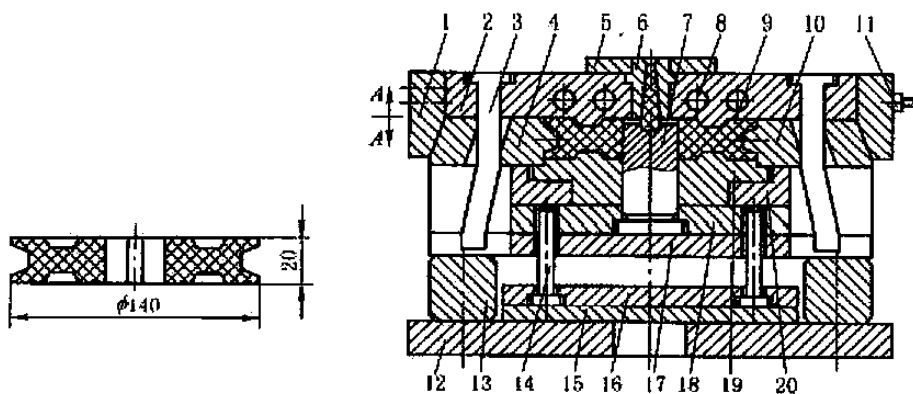


图 20-5-3 线轮侧向分型抽芯注射成型模具

- 1—锁紧块；2—定模板；3—弯板；4,10—活动型芯滑块；5—定位块；6—浇口套；7—型芯；
 8—冷却水道；9—塑件；11—水嘴；12—动模板；13—支块；14—推杆；15—推板；
 16—推杆固定板；17—垫板；18—型芯固定板；19—型芯；20—推料板

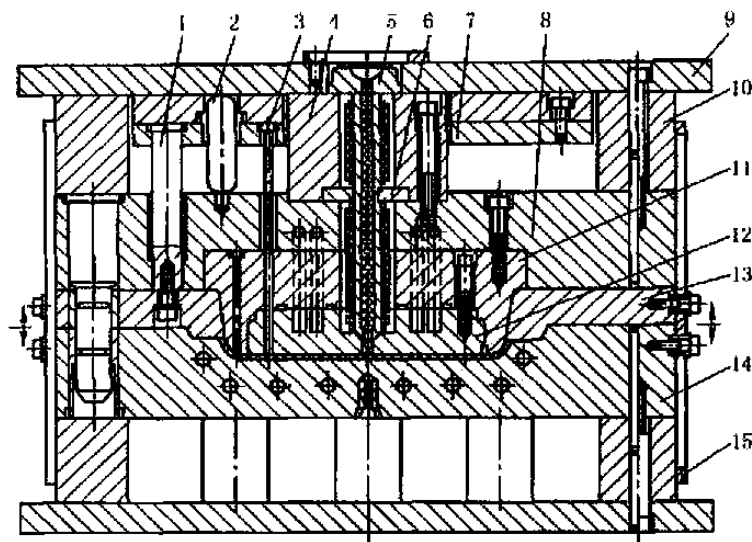


图 20-5-4 双缸洗衣机水桶盖板塑料注射成型模具

- 1—复位杆；2—导柱；3—推杆；4,10—支架；5—绝热喷嘴；6—卡环；
7—推杆固定板；8—定模板；9—定模座板；11,12—定模镶块；
13—推板；14—动模型腔板；15—拉板

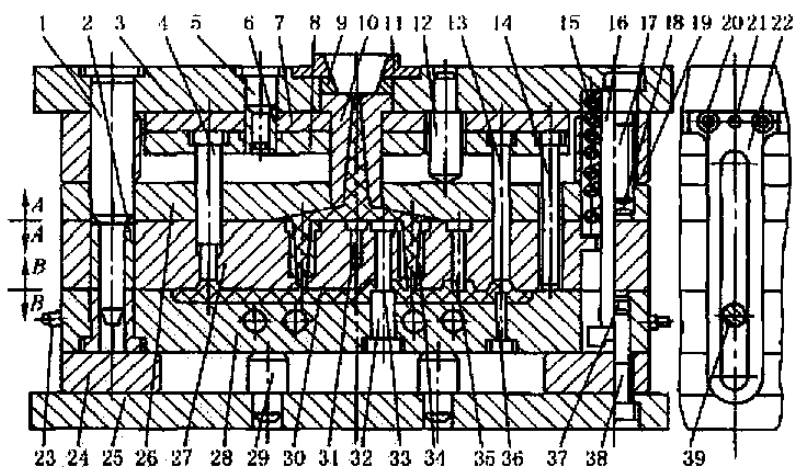
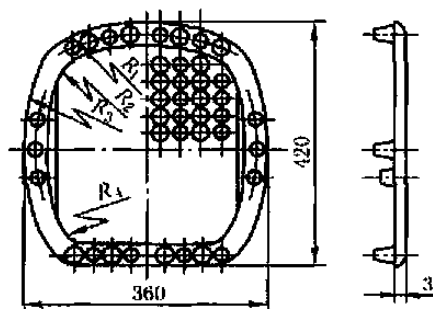


图 20-5-5 汽车坐垫塑料注射成型模具

- 1,5—导柱；2—导套；3—定模板；4,13—推杆；6—双联导套；7—推板；8—推
杆固定板；9—调整垫圈；10,34—浇口套；11—定位圈；12,29—顶柱；
14—复位杆；15—弹簧；16—卸料螺钉；17,20,38,39—螺钉；
18,21,37—销钉；19—支块；22—拉板；23—水嘴；24—支块；
25—动模板；26—定模浇口板；27,28—凹模；30—塑件；
31—分流锥；32,33,35,36—型芯

1.5 潜伏式浇口全自动塑料注射成型模具

图 20-5-6 所示为盒潜伏式浇口全自动塑料注射成型模具。由于塑件材料采用聚碳酸酯，因此，模具分型面选择在塑件顶部，目的是为了增加塑件外观美，成型表面必须镀铬抛光。为提高塑件的透明度，克服塑件表面产生气束、云雾、熔接痕等缺陷，在流程的末段开设排气槽，并在相邻两型腔之间设储气室。

塑料注射成型后，动模首先沿分型面 A 与定模分开，与此同时，靠凹模 8 的浇口剪切作用，使塑件和分流道分开。然后推杆 23 通过推杆 27 的作用使推板 10 向上运动，沿分型面 B 面完成第二次分型动作，使塑件从凸模 9 上脱出。此时由于钢球和限位钉 22 的共同作用，推杆 27 和推板 10 停止运行，推杆 23 继续推出，实现了全自动操作及自动切断浇口。

1.6 具有自动卸螺纹结构的注射成型模具

图 20-5-7 所示为塑料螺母注射成型模具。此模具采用模内卸螺纹结构。开模时，齿条 12 带动齿轮 13 转动，通过与齿轮 13 同轴的圆锥齿轮 2、与圆锥齿轮 2 啮合的圆锥齿轮 3 驱动拉料螺杆 11 转动，而使流道脱出。同时，通过与圆锥齿轮 3 同轴的齿轮 5 以及与之啮合的齿轮 4 的转动，使螺纹型芯 8 转动而脱离塑件。

应该指出，拉料螺杆 11 与螺纹型芯 8 的旋转方向相反。塑件防转动是靠塑件自身形状来保证的。

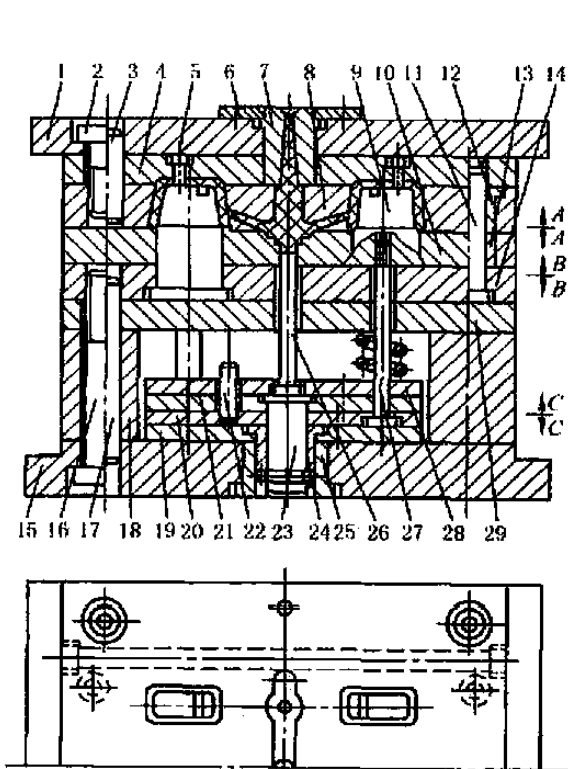


图 20-5-6 盒潜伏式浇口全自动塑料注射成型模具

1—定模板；2,16—螺钉；3,17—销钉；4,8—凹模；5—型芯；6—定位圈；7—浇口套；9—凸模；10,19,21—推板；11—导柱；12,13—导套；14—凸模固定板；15—动模板；18—支块；20,28—推杆固定板；22—限位钉；23,26,27—推杆；24,25—套；29—垫板

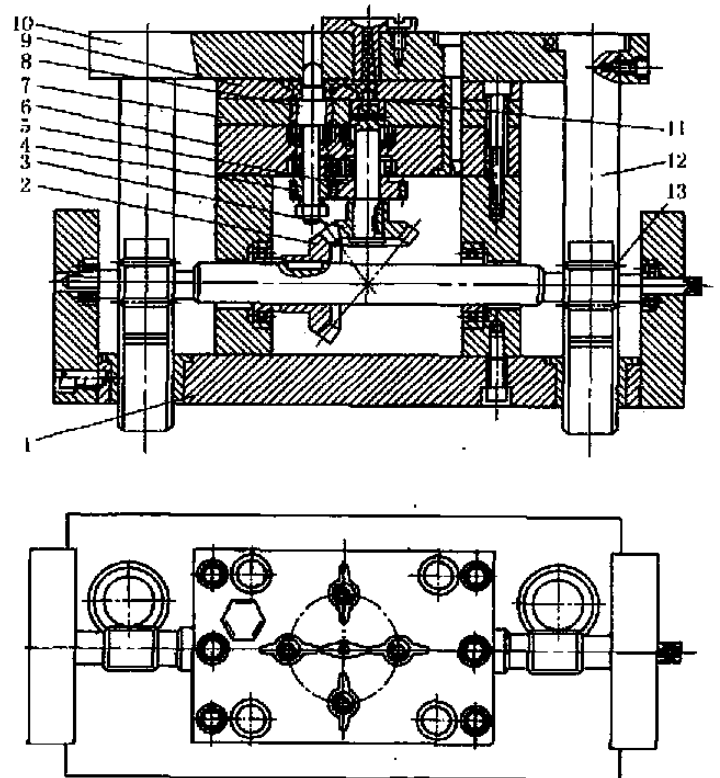


图 20-5-7 塑料螺母注射成型模具

1—动模座板；2,3—圆锥齿轮；4,5,13—齿轮；6—支承板；7—动模板；8—螺纹型芯；9—动模板型腔；10—定模座板；11—拉料螺杆；12—齿条

1.7 气动脱模注射成型

图 20-5-8 所示为气动脱模机构注射成型模具。塑件材料为 PVC，内含 50%~70% 的橡胶，是接枝改性的材料。该材料弹性比较好，通过吹胀使塑件脱出头粗颈细的型芯。开模时，模具 I、II、III 三个分型面依次打开，打开的距离由限位杆 8 与阶梯螺钉 9 限位；分型面打开完成后，模具四周的侧型芯机构已经完成了抽芯，流道凝料也在浇口板 2 与定模套板 30 之间自动落下。推出时，由注射机的推出机构推动模具推板 21，并带动模芯 17 一起向前推移 5mm，使塑件外型脱离型腔镶块 26。此时打开进气开关，压缩空气通过模芯内孔顶动阀杆，弹簧 15 被压缩，阀杆 45° 斜面离开阀座，压缩空气进入模芯与塑件内表面之间，由于有密封圈 23，压缩空气无法外泄，迫使塑件胀大，继而被吹出模芯，达到脱模的目的。阀杆复位是在关闭压缩空气后经弹簧复位。模具推出机构复位也由弹簧复位，同时模具上也设置了复位杆 22。

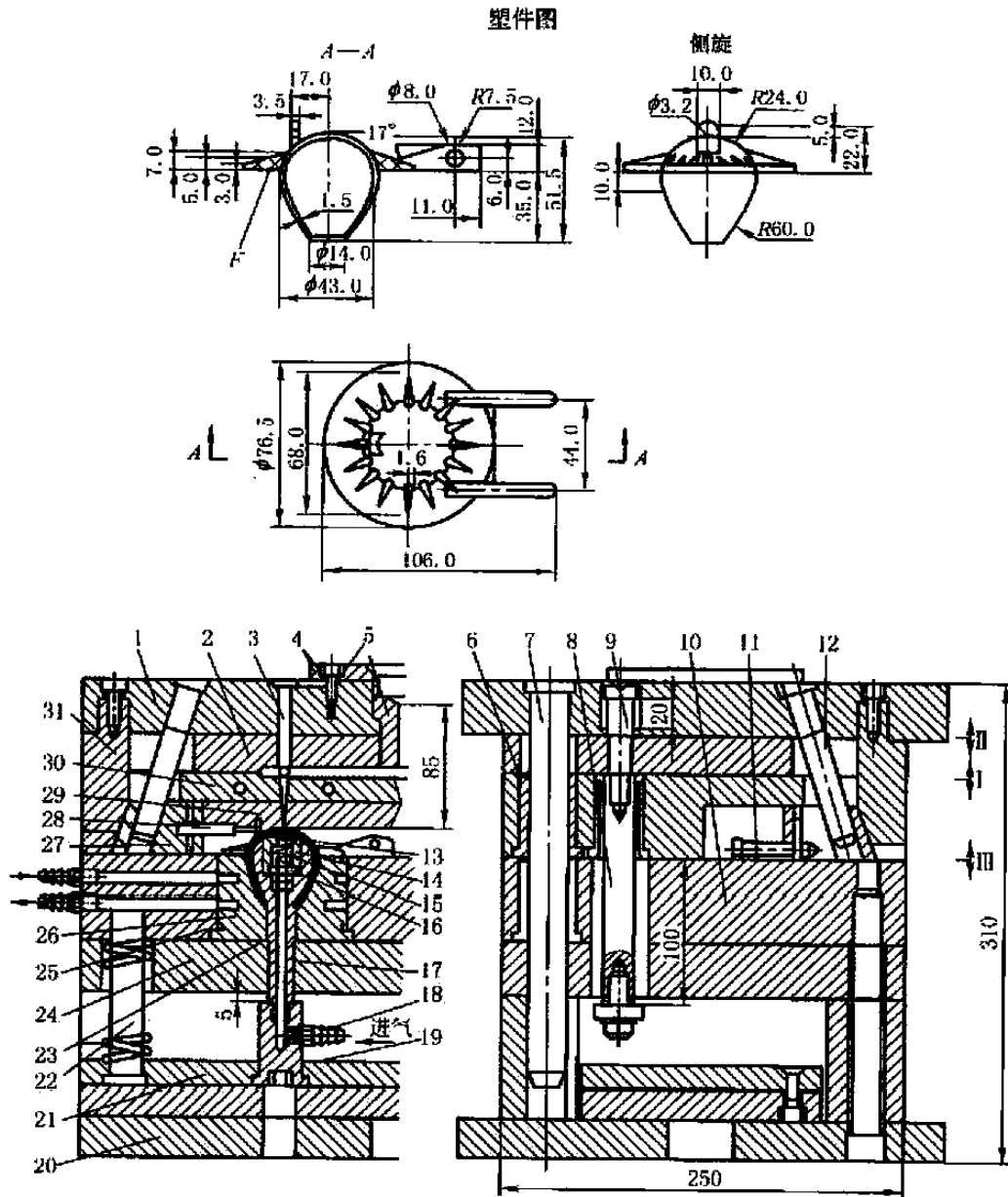


图 20-5-8 气动脱模机构塑料注射成型模具

- 1—定模座板；2—浇口板；3—流道拉料板；4—定位圈；5—浇口套；6—导套；7—导杆；8—限位杆；9—阶梯螺钉；
10—动模套板；11, 28—侧型芯；12—斜导柱；13—阀杆；14—阀座；15—弹簧；16—阀杆固定板；17—模芯；
18—进气接头；19—通气座；20—动模座板；21—推板；22—复位杆；23, 25—密封圈；24—垫板；
26—型腔镶块；27—滑块；29—定模镶板；30—定模套板；31—锁紧块

2 结构较为复杂的注射成型模具实例

2.1 洗衣机搅水轮塑料注射成型模具

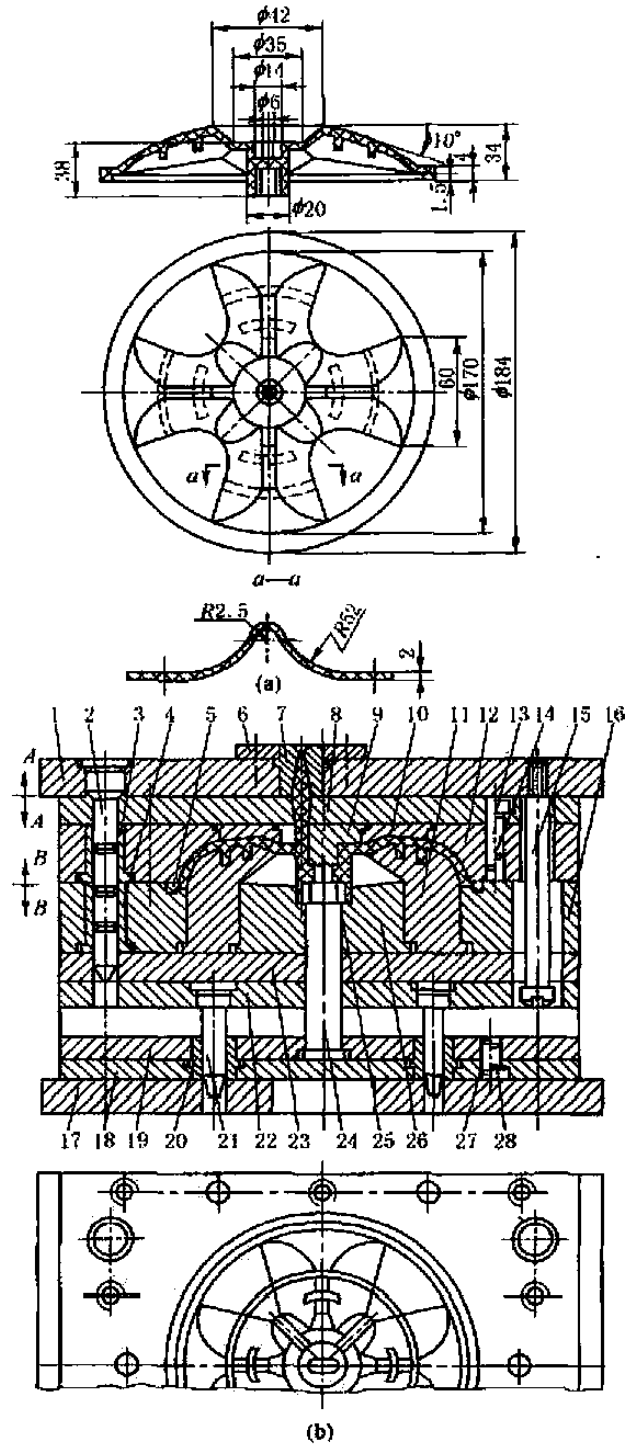


图 20-5-9 洗衣机搅水轮塑料注射成型模具

1—定模板；2,21—导柱；3,4—导套；5—型件；6—定位圈；7—浇口套；8—定模板；9,10—镶件；11—凸模；12—凹模；13,27—销钉；14,28—螺钉；15—卸料螺钉；16—凸模固定板；17—动模板；18—推板；19—推杆固定板；20—双联导套；22—导柱固定板；23—动模垫板；24—嵌件；25—中间型芯；26—型芯

图 20-5-9 所示为洗衣机搅水轮塑料注射成型模具。洗衣机搅水轮材料为 ABS。此模具采用偏心点浇口，双分型面，在镶件 9 上设有浇道。为了使浇口料脱落，模具上装有卸料螺钉 15。

塑料在注射成型后，动模首先沿分型面 A 与定模板脱开，以卸料螺钉 15 限位，取出塑件浇口；然后，动模与定模沿分型面 B 脱开，进行第二次开模，这时注射机的推出机构推动推板 18，塑件从凸模 11 和中间型芯 25 上退出。

2.2 电话机机身底座注射成型模具

图 20-5-10 所示为电话机机身底座注射成型模具。塑件采用材料为 ABS。此模具的特点是：设计了浇注系统凝料自动脱落机构和模具的安全搬运与装卸装置。

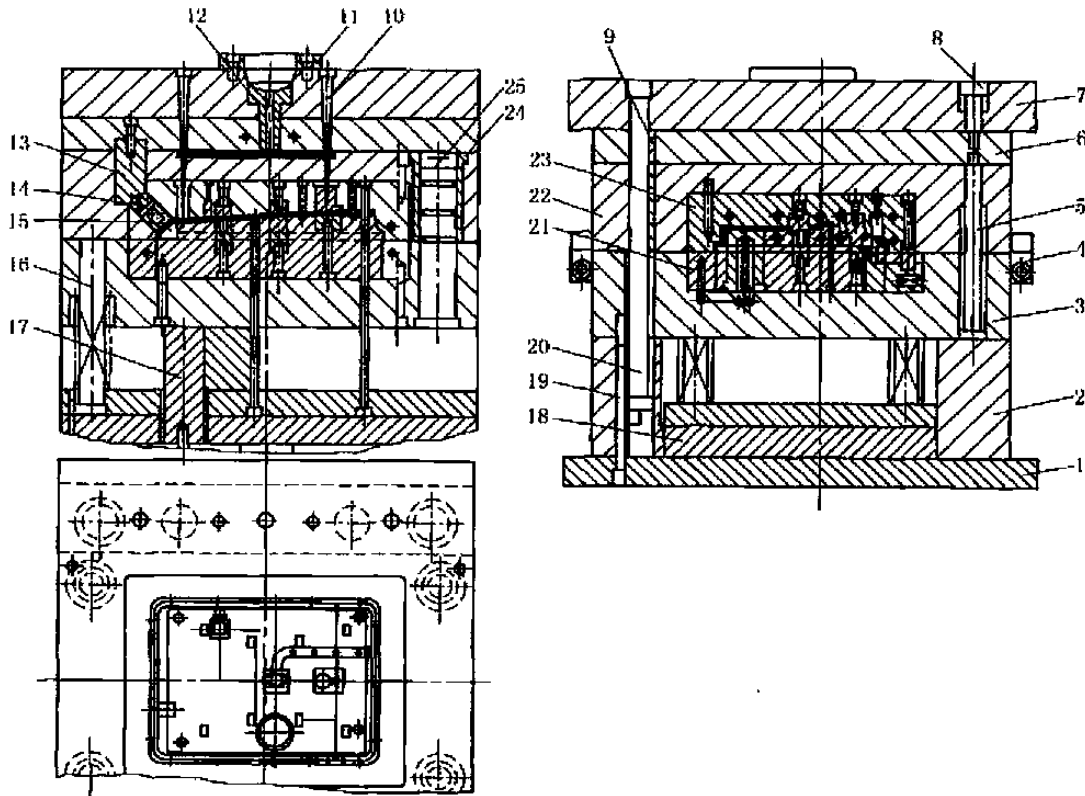


图 20-5-10 电话机机身底座注射成型模具

- 1—动模安装板；2—支承板；3—动模板；4—模具锁紧块；5,8,20—拉杆；6—卸料板；
7—定模安装板；9,24—导套；10—流道锁杆；11—定位圈；12—浇口套；13—锁紧斜楔；
14—滑动型芯；15—弹簧；16—复位杆；17—支柱；18—推板；19—螺钉；
21—动模镶块组；22—定模板；23—定模镶块组；25—导柱

塑料在注射成型后，开模时，流道锁杆 10 将塑料冷凝料把锁在定模一侧，这时料把在浇口处与塑件分离。继续开模，这时拉杆 5 与定模板 22 相遇限位，与此同时卸料板 6 被拉动，使冷凝料把与流道锁杆 10 分离，冷凝料把自动脱落。

为了搬运与拆卸模具，在模具上设有模具锁紧块 4。模具的型芯与型腔都采用了镶块式结构。

2.3 电话机外壳注射成型模具

图 20-5-11 所示为电话机外壳注射成型模具。塑件采用材料为 ABS。此模具的特点是：采用直接浇口，单分型面。模具的凹模与凸模的大部分由镶件组成，侧抽芯机构由滑块 3、斜导柱 16 及侧抽芯镶件 20 组成。

塑料在注射成型后，开模时，动模离开定模，斜导柱 16 使滑块 3 向左移动，侧抽芯镶件 20 从塑件内抽出，这时注射机推出机构推动推板 25，带动推杆将塑件从凹模上顶出。

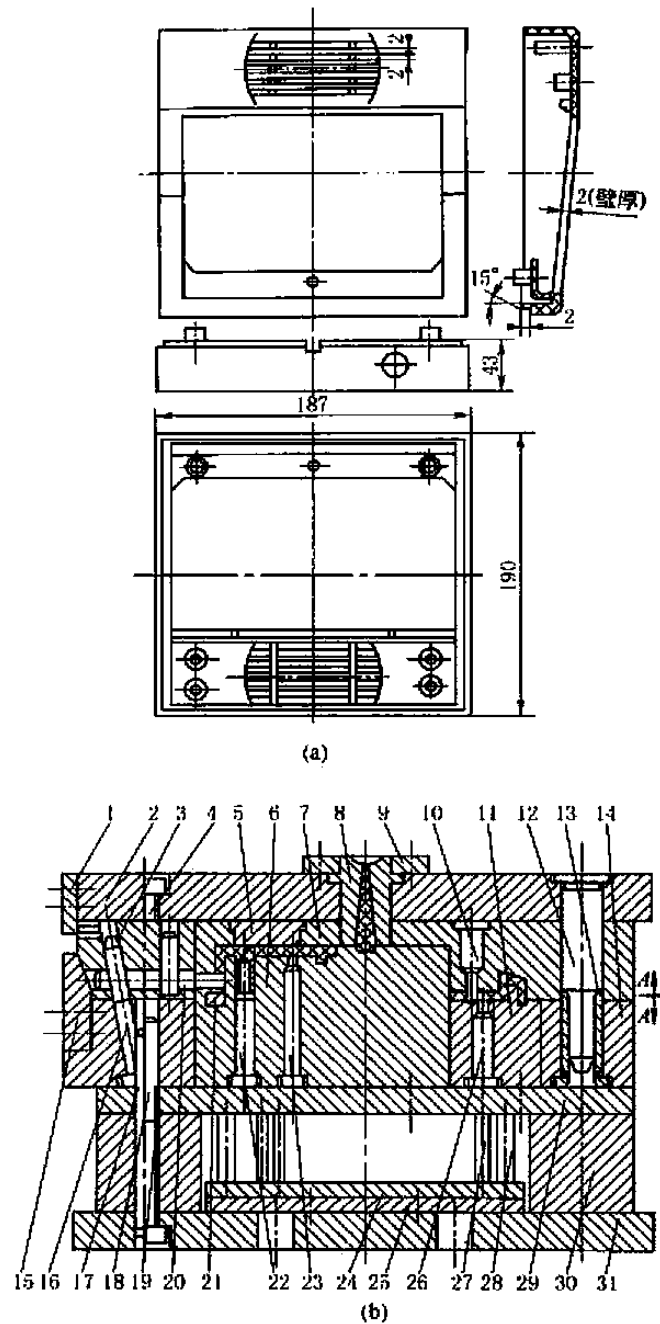


图 20-5-11 电话机外壳注射成型模具

- 1—挡块；2—定模板；3—滑块；4—螺钉；5—长方孔镶件；6,11—凸模；7—凹模；8—浇口套；
 9—定位圈；10—镶件；12—导柱；13—导套；14—凸模固定板；15—锁紧块；16—斜导柱；
 17,19—销钉；18—螺钉；20—侧抽芯镶件；21~23,26—镶件；24—推杆固定板；
 25—推板；27—推杆；28—复位杆；29—动模垫板；30—支块；31—动模板

2.4 电话机手柄注射成型模具

图 20-5-12 所示为电话机手柄注射成型模具。塑件采用材料为 ABS。此模具特点在于将手柄的上、下设计在一套模具中；成型零件采用镶块方式；模具设有内侧抽芯机构；塑件冷凝料把采用自动脱落装置。

开模时，内抽芯镶块 20 的抽芯动作由推杆 22 实现，复位动作由内抽芯镶块复位杆 21 实现。模具的浇注系统冷凝料把脱模的分模面开启动作，由定模拉板 18、动模拉板 17、滑动楔 15 及弹簧 16 控制。开启距离由拉杆 12 确定。

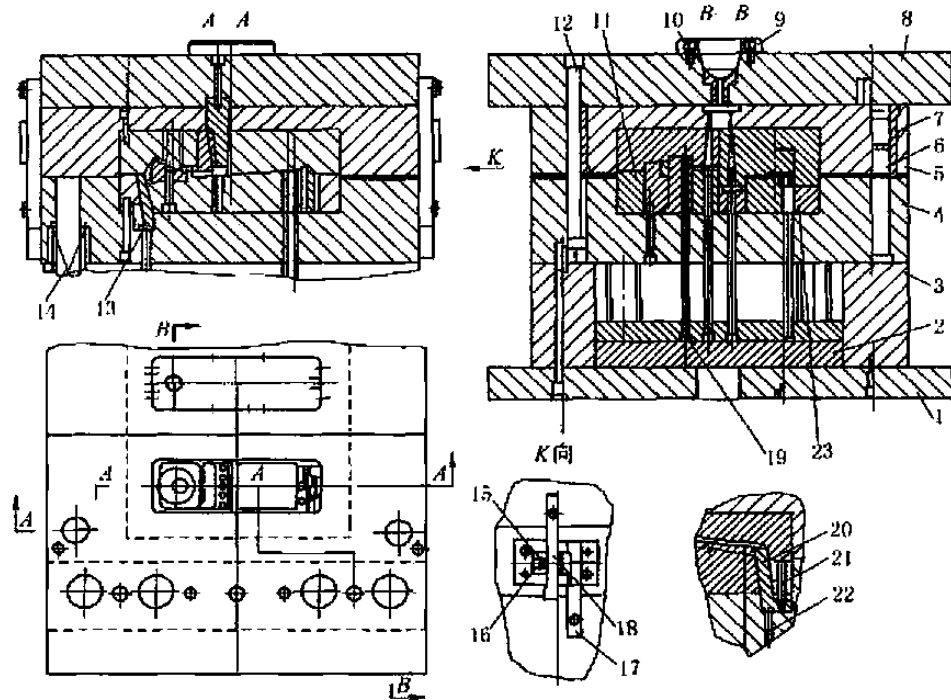


图 20-5-12 电话机手柄注射成型模具

- 1—动模安装板；2—推板；3—支承板；4—动模板；5—定模板；6—导柱；7—导套；8—定模安装板；
 9—定位圈；10—浇口套；11—动模镶块组；12—拉杆；13—外抽芯镶块；14—复位杆；
 15—滑动楔；16—弹簧；17—动模拉板；18—定模拉板；19,22—推杆；20—内
 抽芯镶块；21—内抽芯镶块复位杆；23—定模镶块组

2.5 按键注射成型模具

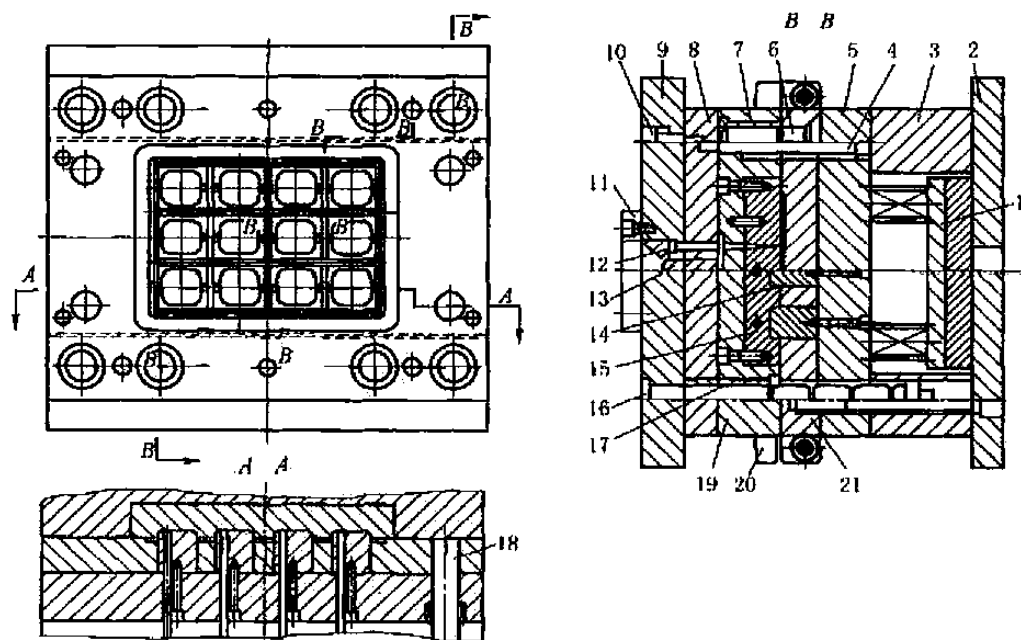


图 20-5-13 按键注射成型模具

- 1—推板组；2—动模安装板；3—支承板；4,16—拉杆；5—动模垫块；6—导柱；7—导套；8—流道脱模板；9—定模
 安装板；10—限位钉；11—定位圈；12—流道锁杆；13—浇口套；14—型芯；15—定模镶块；
 17—拉杆导套；18—复位杆；19—定模板；20—模具锁紧组件；21—动模板

图 20-5-13 所示为按键注射成型模具。塑件采用材料为 ABS。此模具特点在于以针点式浇口将熔融的塑料注射到分流道，然后从棋盘形的分流道注射到各个型腔的浇口，设计成这种浇注系统，有利于实现平衡式浇注。另外，此浇注系统采用了流道脱模板 8，可实现自动脱模。

2.6 电视机外壳后盖塑料注射成型模具

图 20-5-14 所示为电视机外壳后盖塑件示意图，塑件采用材料为 ABS。图 20-5-15 所示为电视机外壳后盖塑料注射成型模具。此模具的特点是采用直浇口，为单分型面；斜导柱抽芯设在动模上，避免定模上的二次分型；动模和定模采用镶块拼合形式，以便于加工和更换。

塑料注射成型后，动模与定模分离，斜导柱 35 带动滑块 36 进行抽芯，然后由推出机构推动推板 21，将塑件从镶块 16 中推出。

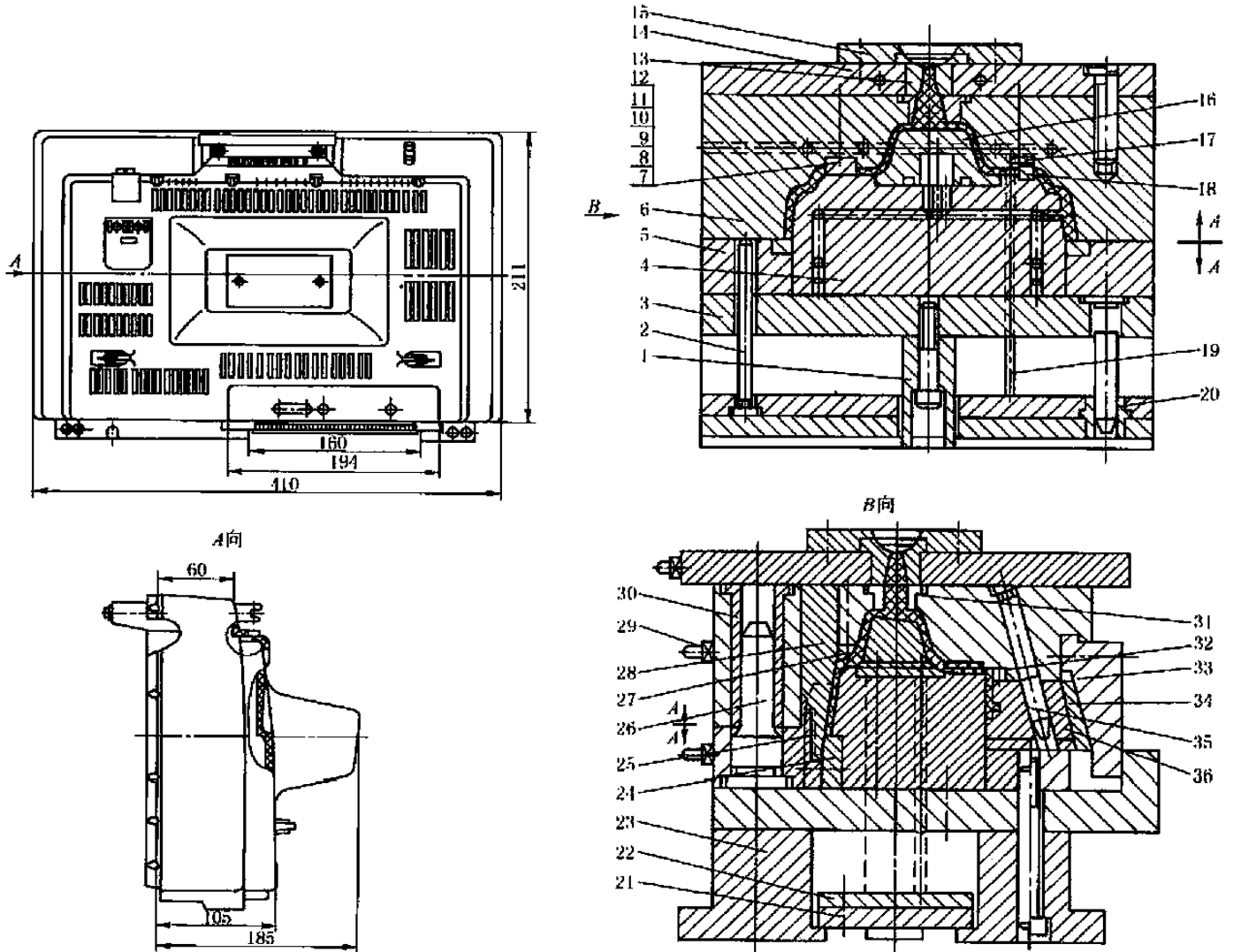


图 20-5-14 电视机外壳后盖塑件示意图

图 20-5-15 电视机外壳后盖塑料注射成型模具
 1—顶柱；2—复位杆；3—动模垫板；4—凸模；5—动模板；
 6—凹模；7~12, 16~18, 24, 25, 27, 28, 32, 34—镶块；
 13, 31—浇口套；14—定模板；15—定位圈；19—推杆；
 20—双联导套；21—推板；22—推杆固定板；23—支块；
 26—导柱；29—水嘴；30—导套；33—锁紧块；
 35—斜导柱；36—滑块

2.7 电视机前罩塑料注射成型模具

图 20-5-16 所示为电视机前罩塑料注射成型模具。塑件采用材料为 ABS。此模具的特点是，模具外表面要求较高，而内表面可以留浇口的痕迹，所以此模具采用多点潜伏浇口注射成型。

塑料注射成型后，斜导柱 11 带动侧滑块 10 分型与抽芯，塑件及浇口均留在动模一边。推出时，由推杆 8、推块 6 与 13 同时推动塑件，使塑件脱模。浇口由推杆推出并自动切断。当塑件脱模后，弹簧 3 继续推动连接推杆 2 及推块 6 和 13，使塑件自行脱落。弹簧 3 的另一作用是保证以推块推出为主，以防脱模时塑件产生变形。弹簧 1 用以保证推出系统预先复位，楔紧块 12 的作用是加强定模板的强度和刚度。

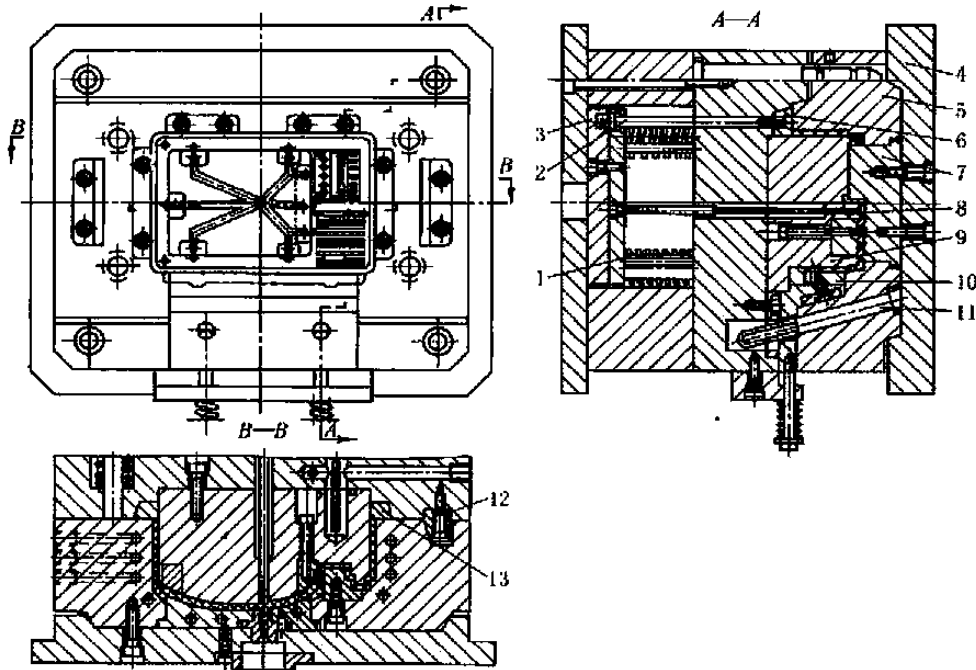


图 20-5-16 电视机前罩塑料注射成型模具

1,3—弹簧；2—连接推杆；4—定模板座；5—定模型腔板；6,13—推块；7—凹模镶块；
8—推杆；9—型芯；10—侧滑块；11—斜导柱；12—楔紧块

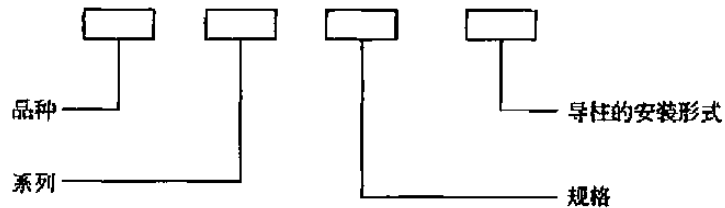
第 6 章 塑料注射成型模具标准模架

模板尺寸 $B \times L \leq 560\text{mm} \times 900\text{mm}$ 为中小型模架，模板尺寸 $B \times L = (630\text{mm} \times 630\text{mm}) - (1250\text{mm} \times 2000\text{mm})$ 为中小型模架。国家规定两个塑料注射成型模具模架标准，即 GB/T 12556—1900《塑料注射模中小型模架及技术条件》和 GB/T 12556—1900《塑料注射模大型模架及技术条件》。

1 中小型模架

1.1 中小型模架的标记方法

塑料注射成型模具中小型模架规格的标记方法如下：



1.2 中小型模架的结构形式（品种）

(1) 中小型模架的分类

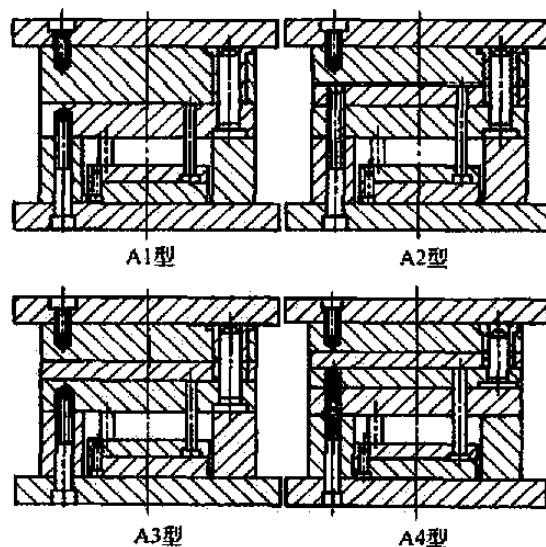


图 20-6-1 基本型模架结构 (A1 ~ A4 型)

① 按结构特征可分为基本型和派生型。基本型有四种，即 A1、A2、A3 和 A4，如图 20-6-1 所示；派生型有九种，即 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8 和 P9，如图 20-6-2 所示。

② 按导柱和导套的安装形式可分为正装和反装两种，正装代号为 Z，反装代号为 F。序号 1、2、3 为分别采用带头导柱、带肩导柱和带肩定位导柱，如图 20-6-3 所示。

③ 按动、定座板的尺寸可分为带肩和无肩两种。

(2) 各种模架的特点和用途见表 20-6-1。

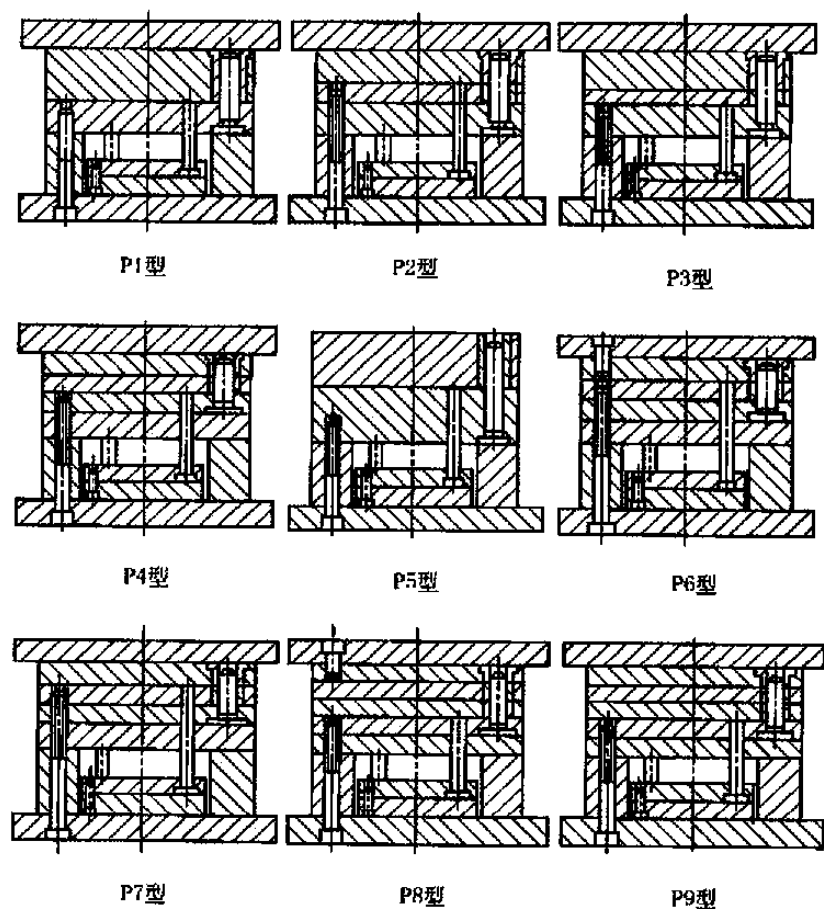


图 20-6-2 派生型模架结构 (P1 ~ P9 型)

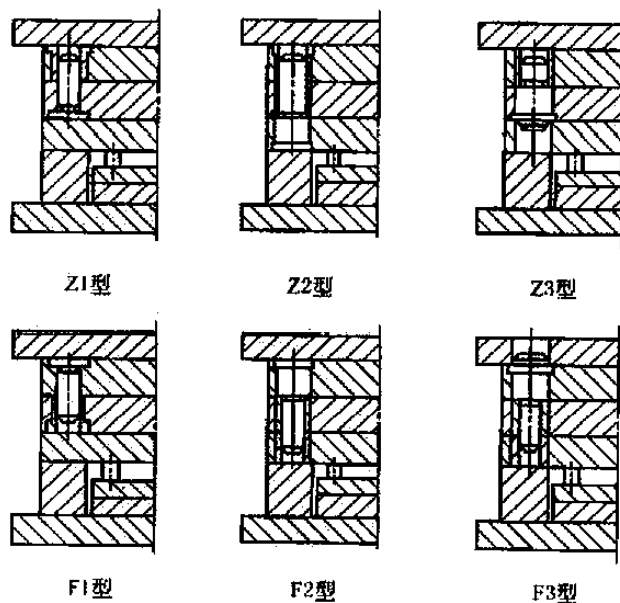


图 20-6-3 正装和反装导柱模架结构

表 20-6-1

各种模架的特点和用途

类型	基本型				派生型		
型号	A1	A2	A3	A4	P1 ~ P4	P5	P6 ~ P9
特点和用途	定模为两块模板,动模为一块模板,采用推杆推出机构。适用于单分型面注塑模	定模和动模均为两块模板,采用推杆推出机构。适用于直浇道、斜导柱抽芯的注塑模	定模为两块模板,动模为一块模板,采用推板推出机构。适用于脱模力大的塑件、薄壳塑件、塑件表面不允许有推出痕迹的注塑模	定模和动模均为两块模板,采用推板推出机构。适用范围类似 A1 型	P1 ~ P4 型由基本型 A1 ~ A4 对应派生而成,不同点在于取掉了定模板上的固定螺钉,使定模部分增加了一个分型面而成为三板式模具。多用于需要点浇口场合。其他特点及用途同 A1 ~ A4	定、动模板均为一块模板。主要适用于直浇道且整体简单型腔的注塑模	P6 对应 P7, P8 对应 P9,只是去掉了定模座板上的固定螺钉。它们均适用于复杂的注塑模(如定距分型自动脱浇口的注塑模)

1.3 中小型模架的尺寸组合

中小型模架系列依模板的宽和长 ($B \times L$) 划分,除了模板的厚度需由设计者从标准中选定外,模架的其他相关尺寸在标准中都已规定。图 20-6-4 所示为模架有关的周界尺寸,表 20-6-2 列出了中小型模架标准的尺寸组合。

1.4 模架的规格系列

中小型模架规定依同品种、宽度系列所选模板 (A、B 板) 和垫板 (C) 的厚度划分。

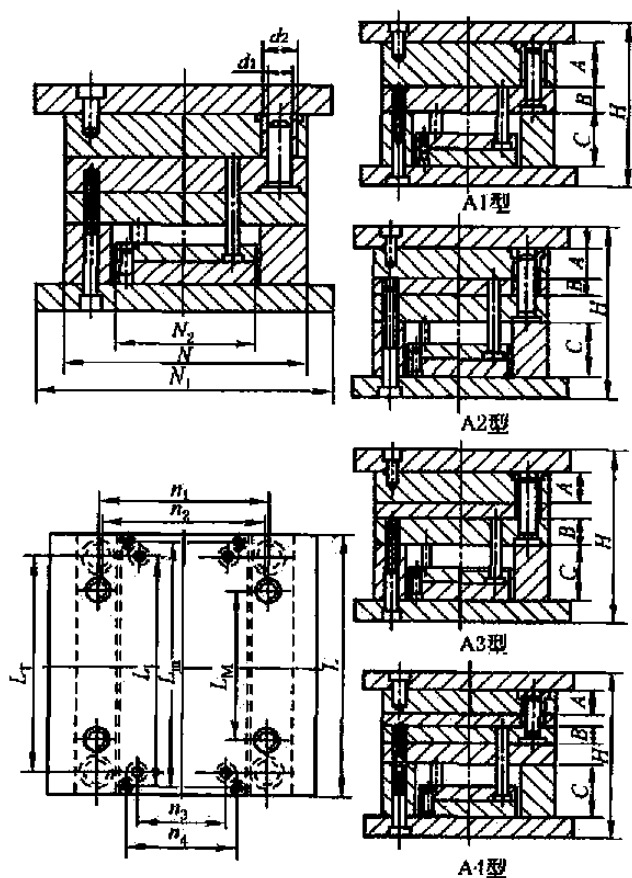


图 20-6-4 模架周界尺寸

表 20-6-2

塑料注射成型模具中小型模架标准的尺寸组合

mm

序号	系列 $B \times L$	L	编号数	导柱直径	模板尺寸 A, B	垫块高度 C
1	$100 \times L$	100, 125, 160	01 ~ 64	12	12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	40, 50, 63
2	$125 \times L$	125, 160, 200	01 ~ 64	12	12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	40, 50, 63
3	$160 \times L$	160, 200, 250, 315	01 ~ 64	16	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80	50, 63, 80
4	$180 \times L$	200, 250, 315	01 ~ 49	16	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80	50, 63, 80
5	$200 \times L$	200, 250, 315, 355, 400	01 ~ 64	20	20, 25, 32, 40, 50, 63, 100	50, 63, 80
6	$250 \times L(1)$	450, 500, 560	01 ~ 49	25	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	50, 63, 80
7	$250 \times L(2)$	315, 355, 400, 450, 500	01 ~ 49	25	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	63, 80
8	$315 \times L(1)$	560, 630	01 ~ 49	25	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	80, 100, 125
9	$315 \times L(2)$	355, 400, 450, 500, 560	01 ~ 36	32	32, 40, 50, 63, 80, 100	80, 100, 125
10	$355 \times L(1)$	630, 710	01 ~ 64	32	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	80, 100, 125
11	$355 \times L(2)$	400, 450, 500, 560	01 ~ 49	32	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	80, 100, 125
12	$400 \times L(1)$	630, 710	01 ~ 64	32	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	80, 100, 125
13	$400 \times L(1)$	630, 710	01 ~ 64	32	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	80, 100, 125
	$400 \times L(2)$	450, 500, 560	01 ~ 49	32	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
14	$450 \times L(1)$	630, 710, 800	01 ~ 64	40	32, 40, 50, 63, 80, 125, 160	100, 125, 160
15	$450 \times L(2)$	500, 560, 630	01 ~ 49	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
16	$500 \times L(1)$	710, 800	01 ~ 64	40	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
17	$500 \times L(2)$	560, 630, 710, 800, 900	01 ~ 49	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
18	$560 \times L$		01 ~ 64	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200	100, 125, 160, 200

表 20-6-3

355mm $\times L$ (L) 模架

mm

L	L_T	L_1	L_M	L_m
355	284	300	200	330
400	329	345	245	375
450	379	395	295	425
500	429	445	345	475
560	489	505	405	535

表 20-6-4

周界尺寸为 355mm $\times L$ ($L \leq 560$ mm) 的模架规格

mm

编号	模 板		垫块 C	编号	模 板		垫块 C
	A	B			A	B	
01	25	25	80	09	32	25	80
02		32		10		32	
03		40	100	11		40	
04		50		12		50	
05		63		13		63	
06		80	125	14		80	125
07		100		15		100	
08		125		16		125	

续表

编号	模 板		垫块 C	编号	模 板		垫块 C
	A	B			A	B	
17	40	25	80	41	80	25	100
18		32		42		32	
19		40	100	43		40	
20		50		44		50	
21		63	125	45		63	125
22		80		46		80	
23		100		47		100	
24		125		48		125	
25	50	25	100	49	100	25	100
26		32		50		32	
27		40		51		40	
28		50		52		50	
29		63	125	53		63	125
30		80		54		80	
31		100		55		100	
32		125		56		125	
33	63	25	100	57	125	25	100
34		32		58		32	
35		40		59		40	
36		50		60		50	
37		63	125	61		63	125
38		80		62		80	
39		100		63		100	
40		125		64		125	

H

A1 型	A2 型	A3 型	A4 型
$64 + A + B + C$	$114 + A + B + C$	$96 + A + B + C$	$146 + A + B + C$

2 大型模架

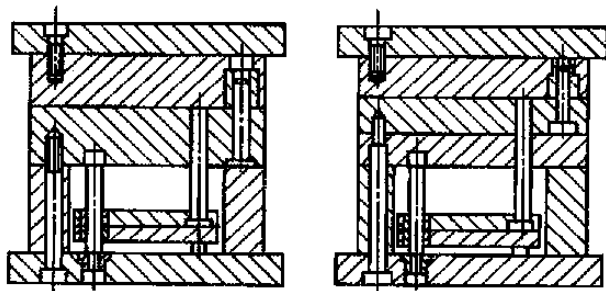
2.1 大型模架的标记方法

塑料注射成型大型模架规格的标记方法和中小型模架的标记基本相同，只是模板尺寸 $B \times L$ 表示的长度单位是厘米 (cm)，而不是毫米 (mm)，另外也不标记导柱的安装方式。

2.2 大型模架的结构形式

塑料注射成型大型模架的结构形式有以下几种。

① 按结构特征分为基本型和派生型，基本型模架有 A 和 B 两种，如图 20-6-5 所示，其派生型模架有 P1、P2、P3 和 P4 四种。



A型

B型

图 20-6-5 基本型模架结构 (A、B 型)

A 型：由定模两模板、动模一模板组成。

B 型：由定模二模板、动模二模板组成。

P1 型：由定模二模板、动模二模板组成的脱件板结构。

P2 型：由定模二模板、动模三模板组成的脱件板结构。

P3 型：由定模二模板、动模一模板组成的点浇口结构。

P4 型：由定模二模板、动模二模板组成的点浇口结构。

② 定模座板、动模可以制成带肩型，也可以制成无肩型（压板槽尺寸及位置由承制单位决定）。

③ 模架的导向零件、导杆可以采用带头导柱或带肩导柱，导套采用直导套。

2.3 大型模架的尺寸组合

大型模架的尺寸组合原则和中小型模架相同。表 20-6-5 是 GB/T 12555—1990《塑料注射模大型模架》的全部尺寸组合系列，表 20-6-6 为 1000mm × L 系列模架的标准，表 20-6-7 为 1000mm × L 模架规格。

表 20-6-5

注射模大型模架标准的尺寸组合

mm

序号	系列 B × L	L	编号数	导柱直径	模板 A, B 尺寸	垫块高度 C
1	630 × L	630, 710, 800, 900, 1000	01 ~ 64	50	63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250	125, 160, 200, 250
2	710 × L	710, 800, 900, 1000, 1250	01 ~ 64	63	63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250	125, 160, 200, 250
3	800 × L	800, 900, 1000, 1250	01 ~ 64	63	80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315
4	900 × L	900, 1000, 1250, 1600	01 ~ 64	71	80, 100, 125, 140, 180, 224, 250, 315	160, 200, 250, 315
5	1000 × L	1000, 1250, 1600	01 ~ 64	71	100, 125, 140, 180, 224, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315
6	1250 × L	1250, 1600, 2000	01 ~ 64	80	100, 125, 140, 180, 224, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315

表 20-6-6

1000mm × L 模架

mm

L	L _T	L _i	L _M	L _m	L _p	N
1000	860	910	710	970	760	10
1250	1110	1160	960	1220	1010	12
1600	1460	1510	1310	1570	1360	12

表 20-6-7

1000mm × L 模架规格

mm

编号	模 板		垫块 C	编号	模 板		垫块 C
	A	B			A	B	
01	100	100	160	09	125	100	250
02		125		10		125	
03		140	200	11		140	315
04		180		12		180	
05		224	160	13		224	200
06		250		14		250	
07		315	200	15		315	250
08		355		16		355	

续表

编号	模 板		垫 块 C	编号	模 板		垫 块 C	
	A	B			A	B		
17	160	100	315	41	100	250	250	
18		125		42	125			
19		140		43	140			
20		180	200	44	180		315	
21		224		45	224			
22		250		46	250			
23		315	250	47	315			
24		355		48	355			
25	180	100	315	49	100	315		250
26		125		50	125			
27		140	250	51	140		315	
28		180		52	180			
29		224		53	224			
30		250		54	250			
31		315	315	55	315			
32		355		56	355			
33	100	224	250	57	100	355	250	
34	125			58	125		315	315
35	140			59	140			
36	180			60	180			
37	224		61	224				
38	250		62	250				
39	315		63	315				
40	355		64	355				
H								
A 型				B 型				
$134 + A + B + C$				$25.9 + A + B + C$				

第 7 章

塑料注射成型模具设计程序与CAD

塑料注射成型模具设计步骤如下。首先,根据塑件的要求和塑料的工艺性能,认真分析塑件的工艺性,正确确定成型方法及成型工艺;其次,选择合适的塑料注射成型机;最后,进行塑料注射成型模具的设计。

1 塑料模具设计程序

表 20-7-1

塑料模具设计程序

序号	设计程序	说 明
1	接受设计任务	塑料注射成型模具设计任务有两种类型:根据给定塑件图样和技术要求设计塑料注射成型模具;根据塑件样品,测绘塑件图并设计塑料注射成型模具
2	原始资料的分析	设计前,必须取得如下基本资料和数据:符合标准的塑件图或塑件;塑件产量;塑料品种牌号;塑件生产车间设备型号及参数;模具制造设备及制造技术水平;估算塑件的体积和重量;分析塑件的成型工艺等。进而认真分析消化这些原始资料和数据及其与成型工艺、与模具设计的关系
3	塑件基本参数的计算及注射机选用	根据塑件图样及产量等要求,确定一副模具的型腔数目;计算单件塑件的体积和质(重)量;计算塑件浇注系统在分型面上的投影面积;计算必要的锁模力或模压所需的成型压力;初步选用成型机械类型及其参数
4	模具结构的确定	根据塑件的成型工艺方案确定模具结构方案,包括:确定型腔数量及排列方式;选择分型面;确定浇注系统与排气系统,包括浇注系统的类型;脱模机构和拉料杆的结构形式;确定塑件侧向分型与抽芯机构的结构形式;确定模具的加热、冷却方式;确定模具成型零件和主要结构形式
5	模具设计的有关计算	塑料注射成型模具设计中的主要计算内容: (1)型腔和型芯工作尺寸的计算; (2)型腔侧壁和动模垫板厚度的计算; (3)斜导柱等侧向分型与抽芯的计算; (4)模具冷却或加热系统的有关计算
6	绘制模具结构草图	根据以上模具结构方案和有关尺寸,初步绘制模具结构草图,确定模具零部件主要结构尺寸和模具轮廓尺寸及功能尺寸(如抽芯距、斜导柱或斜滑块角度、定距分型距离、脱模推出距离等)。在设计模具时,尽量采用模具的标准组合结构和选用标准零件
7	模具与成型机械关系的校核	根据塑件的基本参数和所选成型机械的基本参数,进行两者之间适应性校核,最后调整、确定模具结构与参数

续表

序号	设计程序	说 明
8	绘制模具装配图	<p>模具的装配图应有足够说明结构的投影图和必要的剖面图、剖视图,且应严格贯彻机械制图国家标准。除应把以上设计计算正确表达出来,把各零部件装配关系、紧固、定位表达清楚之外,还应注意:</p> <p>(1)装配图能够采用 1:1 比例的应尽量采用,正确选择足够的视图,以表示模具整体结构、各零部件之间的装配关系及紧固、定位方法;</p> <p>(2)按各种塑料注射成型模具的习惯表示方法绘制装配图,但均不能违反机械制图国家标准,塑料注射成型模具技术条件应按国家标准,应恰当地、正确地拟定所设计模具的技术要求和必要的使用说明;</p> <p>(3)应标注出必要的尺寸,如轮廓尺寸、配合尺寸、与注射机关系的一些尺寸(如定位圈尺寸等)、模具功能尺寸等;</p> <p>(4)图的右上角绘制塑件图,复杂的塑件则将塑件图绘制在另一图样上。按国家机械制图标准并根据目前生产实际需要,拟定模具标题栏和零件明细表内容</p>
9	绘制模具零件工作图	<p>模具零件图是指绘制非标准的模具零件,尤其是成型零件,符合国家标准的标准零件不必绘制模具零件图。模具零件图的绘制除了应符合机械制图国家标准外,还要注意:</p> <p>(1)绘图顺序一般为先绘制成型零件然后绘制结构零件;</p> <p>(2)一般模具零件图按 1:1 的比例绘制,必要时可以放大比例或缩小比例,模具零件图形方位尽可能与其在模具装配图中的一致,视图选择与表达应合理、正确,布置得当;</p> <p>(3)除结构形体尺寸之外,对于型腔型芯的设计基准、定位尺寸、形状、位置尺寸及公差、脱模斜度、圆角半径、镶块尺寸、表面粗糙度等均应足够重视,并充分考虑工艺要求与实际生产的需要;</p> <p>(4)合理确定零件材料,正确确定热处理要求及表面处理要求,并且要拟定模具零件在加工制造中的技术要求及其他说明</p>
10	全面审核后投产制造	<p>装配图和零件图绘制之后应认真进行全面审核,尤其应注意审定成型零件和模具零件的配合关系;注意审核模具工作过程中各零部件动作正常性与稳定性。模具设计人员还应参加模具的加工制造、组装、试模、修模、投产等全部过程</p>
11	塑料模设计的标准化	<p>模具标准化是专业化的基础,是模具发展的方向之一。目前,对于塑料模,已颁布了不少国家标准,注射模模架、常用零部件均有国家标准,标准对主要零件的规格与材料有统一的规定。如果在设计制造中能完善灵活地应用标准模具,则可缩短模具设计周期和制造周期,提高模具质量和经济性</p>

2 塑料注射成型模具 CAD

随着计算机技术的广泛普及, CAD/CAE/CAM 技术正在逐步应用于注射成型领域,为模拟注射成型过程、优化注射成型工艺参数、提高模具设计与制造质量、降低生产成本、缩短模具设计制造周期提供了有效手段。而传统的经验设计方法往往很难做到这点。采用计算机辅助技术进行产品开发时,设计师先根据用户要求进行产品构思,采用几何造型技术进行产品初步设计,运用有限元分析方法预测产品在工作状态下的强度和刚度,进行成本估算,满足要求后再进行模具和注射成型工艺的优化设计。

2.1 塑料注射成型模具 CAD 的内容与特点

塑料注射成型模具的结构设计是模具设计的主要内容,而系统中的 CAD 或 CAE 软件是直接或间接为模具结构设计服务的。塑料注射成型模具 CAD 的起点是塑件形状的描述,根据塑件的形状、尺寸和精度要求设计型芯与型腔,设计终点是获得满意的整个模具结构。

2.1.1 塑料注射成型模具 CAD 的主要内容

表 20-7-2

模具 CAD 的主要内容

序号	内 容	说 明
1	塑件造型设计	塑件造型设计主要采用几何造型,如线框、表面、实体和特征等,由设计人员运用计算机生成塑件的几何模型。由于塑件大多是薄壁件且又具有复杂的表面,因此往往采用表面造型方法来生成塑件的几何模型
2	型腔、型芯表面形状的设计	由于塑件的材料、形状、尺寸不同,导致塑件成型后收缩也不同。另外,还存在模具磨损及加工精度的影响,塑件的内外表面尺寸并不一定就是模具的型腔面、型芯面,通常需要经过比较繁琐的转换方能获得型芯和型腔表面。如何将塑件图方便、准确地转换成型腔和型芯,这是塑料注射成型模具 CAD 所要解决的问题
3	型腔方案及布局	实现塑料注射成型模具 CAD,模具设计人员可以采用计算机软件来确定型腔的数目和布置其位置,构思浇注系统、冷却系统及推出结构,为选择标准模架和设计动模、定模部装图作准备
4	选择标准模架	选择标准模架的软件一般应具有两个功能:一是能引导模具设计人员输入模架生产厂家的模架数据,以建立自己的标准模架库;二是能方便地从已建好的专用标准模架库中选出在本次设计中所需的模架类型及全部模具标准件的图形及数据
5	模具装配图的设计	根据所选用标准模架及已完成的型腔布置,设计软件以交互方式引导模具设计人员生成模具装配图。模具设计者在完成装配图时能利用光标在屏幕上拖动模具零件,以“搭积木”的方式装配模具总图
6	模具零件图的设计	设计软件能引导模具设计人员根据装配图以及相应的图形库和数据库,完成模具零件的设计、绘图以及标注尺寸、公差、形位公差和表面粗糙度
7	模具零件计算和校核	模具设计软件可将理论计算和行之有效的设计经验相结合,为模具设计人员提供对模具零件全面的计算和校核,以验证模具结构等有关参数的正确性

2.1.2 塑料注射成型模具 CAD 的特点

表 20-7-3

模具 CAD 的特点

序号	CAD 特点	说 明
1	要求模具标准化	在建立塑料注射成型模具 CAD 系统时必须解决标准化问题,包括设计准则的标准化,模具结构的标准化和模具零件标准化。有了标准化的模具结构,在设计注射模具时可以选用典型的模具结构、标准模架,调用标准零件,而设计时,只需设计少数与工作有关的零件
2	描述物体几何形状	塑料注射成型模具的成型零件即型腔和型芯,是根据塑件的形状设计的,所以在设计前,必须提供塑件准确的几何形状和尺寸,这就要求塑料注射成型模具 CAD 系统必须具备描述物体几何形状的能力,能够根据塑件的几何形状,构造出塑料注射成型模具的型腔与型芯的图形
3	设计数据的处理	采用人工设计塑料注射成型模具时,所用的设计数据大部分是从各种模具设计手册上查得的,而手册上数据都是以表格和线图形式给出的。采用计算机辅助设计,必须对这些表格和线图进行恰当的处理,将其变为计算机能够处理的表达形式。程序化和公式化是处理表格和线图形式设计数据的基本方法,对于那些难以程序化和公式化的经验数据,就只能通过人机交互的方式予以解决
4	适应性要广泛	塑料注射成型模具的结构随产品的不同而变化,同时模具设计人员的设计方法和方式也不同;模具设计标准还未达到真正统一,各个行业乃至每个厂所采用的模架标准、结构标准、零件标准均不一致;模具的生产方式为单件或小批量生产,产品更新换代快,模具的设计速度也应相应跟上——所有这些,都要求注射模结构 CAD 系统必须具有广泛的适应性

2.2 塑料注射成型模具 CAD 中的几何造型

几何造型是研究物体形状及其几何特征方法的总称。几何造型是用计算机及其图形系统表示物体形状、模拟物体动态处理过程的一门技术，也称几何建模。

表 20-7-4

几何造型方法

序号	几何造型方法	说 明
1	线框造型	<p>线框造型是几何造型中最简单的一种模型,线框造型的方法及其模型都较简单,便于处理,图形显示速度快,容易修改。它是利用产品形体的棱(或轮廓线)和顶点表示产品几何形状的一种造型方法。轮廓线由连接几何形体各点的直线段和圆弧等组合而成。给出各点在空间的位置,并给出各点间的连接关系,就可确定形体的基本形状</p> <p>线框造型在某种情况下,不能唯一地确定其所代表的形体。另外,由于只存储了顶点和棱边的信息,因而难以进行形体表面交线计算、物性计算和消隐处理,不能显示物体的真实图像</p>
2	表面造型	<p>表面造型(又称曲面造型)是在线框造型的基础上发展起来的一种造型方法,以物体的表面来表示其形状特征,它在线框模型的基础上增加面与边的有关信息。在表面造型中,一个重要的功能就是自由曲面的造型,主要用于塑料注射成型模具曲面的设计。可进行消隐、求交处理。与线框造型相比,表面造型增加了面的信息</p> <p>表面造型不能指明物体是实心还是空心,某部分是内部还是外部,对表面间的相互关系等拓扑信息也未给出。因而这种模型所包含的信息依然是不完全的,只能用于物体外壳的描述</p>
3	实体造型	<p>实体造型的基本构思是用球、柱、锥、立方体等简单形体作为基本体素,应用这些简单形体的组合构造复杂实体。应用实体造型可以自动计算模型的几何性质、检测干扰、消除隐藏线(面)和剖切形体等</p> <p>当然,实体造型也有它不足的地方,由于实体造型中基本体素类型简单,不能较好地处理复杂曲面,操作繁琐,稳定性差</p> <p>三维实体模型是关于物体几何信息和拓扑信息的完整描述。三维模型代表了 CAD 技术发展的主流,与二维模型相比具有显著的优越性。例如 UC-II 软件可用于来建立整个飞机的电子样机,完全省去了实物模拟和试切工序</p> <p>国外历史较久的 CAD 软件,一般都有三维线框、表面、实体三种建模方法,而如 I-DEAS、Pro/Engineer、Euclid 这类软件则更侧重于实体模型,主要用体素拼合等局部操作来构造复杂的形体</p>
4	特征造型	<p>特征造型是运用特征概念描述更抽象的几何实体和非几何信息(尺寸、公差、热处理等)的方法。特征,指的是反映产品零件特点的、可按一定原则加以分类的产品描述信息。它要求针对原设计零件的功能和总体布局,直接组装功能形素,并在设计过程中利用形素固有属性进行自动推理与决策,实现 CAD/CAPP/CAM 一体化</p> <p>特征造型是最近发展起来的一种造型方法。在几何造型系统中引入特征造型概念的目的在于增加几何实体的工程意义,为各种工程应用提供更丰富的信息。基于特征的造型把特征作为产品零件定义的基本单元,将产品零件描述为特征的集合</p> <p>在特征模型中,形状特征是非几何特征信息的载体,非几何特征信息一般作为属性或约束附加在形状特征上</p> <p>常用的特征造型方法有:</p> <p>(1)人工辅助特征标识</p> <p>人工辅助特征标识是将特征识别或特征映射任务提交给人来完成,它的优点是,可以很方便地将现有实体造型系统和各种应用处理系统联系在一起。它的缺点是需要人工输入和定义大量的信息,因此产品数据难以共享,自动化程度低</p> <p>(2)自动特征识别</p> <p>它通过特定程序自动地处理几何数据库,搜索并提取几何特征信息,解决了人工辅助特征标识的不足</p> <p>(3)基于特征的设计</p> <p>以特征库中标准的特征或用户定义特征的实例为基本单元建立特征模型,从而完成产品设计</p> <p>特征可以是形状特征、有限元特征、材料特征、加工特征、精度特征等,特征造型使所描述的形体更具工程意义,所以特征造型系统设计灵活,操作方便,信息完备,数据统一,是几何造型的发展方向之一</p>

2.3 塑料注射成型模具设计与结构图的绘制

表 20-7-5

结构图的绘制

序号	绘图步骤	说明
1	标准模架的选择	<div data-bbox="742 347 1149 627" style="text-align: center;"> <p>(a) 标准模架的结构与组成</p> </div> <p>1—定模座板;2—定模板;3,9—推板;4—动模板;5—支承板;6—垫板;7—内六角螺钉; 8—动模座板;10—推杆固定板;11—复位杆;12—导柱;13—导套</p> <p>塑料注射成型模具的典型标准模架系列是根据型腔形状及布置方案确定注射模的总体结构选定的。这是塑料注射成型模具 CAD 的一个主要设计步骤。这些模架系列及其标准零件,在设计工作开始之前均应存放在模具数据库中供调用。标准模架的结构与组成如图 a 所示</p> <div data-bbox="470 884 1428 1288" style="text-align: center;"> <p>(b) 标准模架选择程序流程</p> </div> <p>选择所需要的标准模架的方法通常是建立图 b 所示的标准模架选择程序流程图,利用流程图能很容易地选择出所需要的标准模架系列模架。下一步是确定其模具零件尺寸,通常是把各种模架系列中的全部模具零件尺寸均存放在数据库中以供查询,而存放的方式是建立一种简明的编码系统</p> <div data-bbox="686 1478 1204 1870" style="text-align: center;"> <p>(c) 模具零件的两种编码系统结构</p> </div> <p>根据模具零件尺寸之间的联系和隶属关系,在编码系统里一般可采用两种数据结构:①链表结构;②树状结构,如图 c 所示</p>

序号	绘图步骤	说 明
1	标准模架的选择	<p>链表结构属于顺序关系结构,通过指针对数据逐个访问,以选取合适的数据库。模具设计人员可以利用链表结构存储某一模具零件(如推板)的所有不同的规格尺寸。树状结构属于层次关系结构,根据隶属关系,可将不同类型的模具零件安排在不同的层次里。模具设计人员若将推板放在第一层则动模板可放在第二层。因为一旦推板宽度确定,则可进入第二层查找某一宽度下合适的动模板长度(因为动模板的宽度隶属于推板宽度)</p> <p>在编码系统的基础上,需制定一组原则来选择模具零件尺寸,并根据这些原则编制计算机程序,使模具零件尺寸的选择过程能够自动地或者以人机交互的形式完成</p>
2	模具型腔、型芯形状及模具图的设计	<p>(1)型腔和型芯形状的设计</p> <p>设计模具型腔、型芯形状时,首先需要定义塑件的形状,建立形状模型。然后,需要输入分型面的信息,利用分型面的数据,可将塑件的形状模型进行分解,得到型腔和型芯形状。这样就可很容易地生成型腔和型芯形状</p> <p>(2)镶块结构型腔、型芯的设计</p> <p>复杂塑料注射成型模具的型腔或型芯常常采用镶块结构,即从型腔或型芯中取出其中一部分,形成镶块结构。这种操作和型腔、型芯的分解处理是类似的。首先需要定义镶块形状及断面,然后取出镶块并修改型腔和型芯的形状。</p> <p>(3)尺寸与公差标注</p> <p>当型腔、型芯和镶块的几何形状设计完毕后,便可利用程序确定其尺寸和公差,再利用图形系统提供的尺寸标注功能,以人机交互方式依次完成各个尺寸的标注</p>
3	浇注系统的交互设计	<p>(1)浇注系统 CAD 的目的</p> <p>浇注系统 CAD 的目的是,通过计算机程序,使模具内每一个型腔均能在同一时刻以近似相同的压力和温度被熔体充满,或者使多浇口型腔内熔体的熔接痕处于理想位置</p> <p>(2)浇注系统的几何布置</p> <p>浇注系统可采用平衡式或非平衡式两种形式进行布置。在平衡式浇注系统中,由于其完全对称,故每个型腔在大致相同的温度、压力条件下同时被充满。而采用非平衡式浇注系统,则每个型腔会在不同的条件下充模。对多浇口型腔来说,不同的浇注系统将导致不同的熔接痕位置</p> <p>模具设计人员先利用模具 CAD 系统提供的交互图形功能,利用初始流道和浇口设计程序,决定各流动路径中流道半径和浇口半径,由此获得等温状态下的流道和浇口的初始数据。利用该结果,再运行注射过程熔体流动模拟程序,通过迭代计算,修正初始设计时每一条流动路径的最后一个流道元素半径和浇口半径</p>
4	冷却系统设计	<p>利用 CAD 技术可以合理确定冷却管道布置、尺寸大小、冷却水流量、温度及冷却时间等</p> <p>(1)冷却系统 CAD 方案设计</p> <p>输入初始条件,计算冷却系统水管布置所需参数,在冷却水管回路设计模块中,选择相应的水管布置特征加以组合,即可得到所需的水管布置形式。标准件选择模块是根据用户的条件,利用实体建模功能,生成冷却回路的实体模型,并选择与水管回路相匹配的冷却系统标准件。经过实验证明,塑料熔体传给模具的热量约有 5% 传向大气中,其余 95% 被冷却介质带走。在系统初始化设计中,通过冷却系统公式定量计算得到冷却系统的各个参数。</p> <p>(2)冷却水管回路设计</p> <p>冷却水管回路布置是相当复杂的。对型腔和型芯要分别布置,有时还要布置多层回路。实践证明,型芯的冷却水管回路布置更为重要,因为在塑件成型过程中,型芯在塑件中间,若其热量不能被带走,将导致塑件生产效率低或产生质量问题</p> <p>通过分析注射模冷却系统的各种情况,设计时,用户根据冷却水管回路的几种基本特征形式,进行回路类型选择,再加以组合,就可得出复杂的冷却回路</p> <p>(3)标准零件选择模块</p> <p>系统用数据库和参数化技术相结合的方法,组成标准件库,供模具设计人员选择。冷却系统中的标准件有水管接头、密封圈等</p> <p>(4)交互式冷却系统设计流程</p> <p>通过上述设计,可初步确定冷却系统的结构,但要完整了解冷却的效果,则必须进行冷却分析</p>

序号	绘图步骤	说 明
4	冷却系统设计	<p>利用人机交互的方法输入塑料材料、塑件厚度、塑件重量、模具材料等,根据系统中已有的公式及数据,算出其余的设计参数,并等待模具设计人员的修改。如果进行修改,系统将重新进行计算,再给出相应的设计参数,如此反复,直至达到满意</p>
5	模具零件强度和刚度校核	<p>为保证模具能正常工作并生产出符合尺寸精度要求的塑件,模具各零件应能承受各种作用力和拉伸、挠曲、压缩变形量,在允许范围内具有一定的强度和刚度。为此,在模具结构设计初步完成以后,必须进行强度和刚度校核</p> <p>塑料注射成型模具工作时,型腔内要承受较高的注射压力。模具设计人员应该注意受力后的模具型腔各部分不要发生过量的变形或破坏。检查模具型腔是否发生过量变形的原则是:</p> <p>①型腔在垂直于合模方向的弹性变形必须小于同方向的塑件收缩率引起的收缩量,以免开模困难造成塑件难以取出等</p> <p>②型腔在合模方向的挠度必须小于允许值,以免发生飞边逸出,造成塑件难以取出或塑件尺寸不合要求</p> <p>在注射模 CAD 系统中,根据不同的模具要求,可采用不同方法进行强度和刚度校核。最简单的方法是用材料力学中的一些基本加载公式计算。这种方法简单、快速,但采用的基本加载模式必须与模具零件和受载条件相符,否则会产生较大误差</p> <p>对于尺寸精度要求高的注射模,可采用有限元应力分析软件进行校核。该方法的优点是计算结果准确,能适应各种复杂受载条件,缺点是计算量大,在三维应力分析时对计算机的要求较高,前置处理较复杂</p>
6	塑料注射成型模具图的绘制	<p>经过上述步骤后,模具设计人员可利用三维图形软件的拼合功能,将型腔、型芯、浇注系统、推出系统、冷却水孔以及模板拼合起来,生成塑料注射成型模具图</p>

参 考 文 献

- 1 中国材料工程大典编委会编. 中国材料工程大典, 第6卷. 高分子材料工程(上). 北京: 化学工业出版社, 2006
- 2 《塑料模具技术手册》编委会编. 塑料模具技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 3 李军, 马瑞伍. 注射成型制品常见缺陷分析及其处理方法. 模具工业, 2006, 32(3): 61