

过程装备实践教学

高清PDF网站
www.gqpdf.com
原创

张亚新 编著

西安交通大学出版社

内容简介

本书较系统地介绍了常见化工过程装备的结构设计过程及过程装备与控制过程专业学生应掌握的专业实验内容。教材共分为三篇。第一篇为典型化工过程装备设计,内容包括课程设计的目的、要求、内容和步骤等,编写了统一的课程设计任务书。第二篇为过程装备专业实验部分。第三篇列入了过程装备部分零部件相关标准,以便学生在设计时查取。本书可作为过程装备与控制过程专业及化学工程与工艺、高分子材料、环境工程等相关专业本科生和教师的教材,也可作为从事化工过程设备设计和实验研究的相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备实践教学/张亚新主编. —西安:
西安交通大学出版社,2012.5
ISBN 978-7-5605-4258-4

I. ①过… II. ①张… III. ①化工过程-化工设备-
高等学校-教材 IV. ①TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 066358 号

书 名 过程装备实践教学
主 编 张亚新
责任编辑 王 欣

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 西安交通大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 字数 295 千字
版次印次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-4258-4/TQ·10
定 价 22.00 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlyg@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

过程装备是一切流程工业得以实现的基本保障。过程装备(化工设备机械基础)课程主要讲解化学工业中常见的各类设备(如各类反应器、塔器、换热器和储存类设备等)的设计理论、结构特点和制造技术。实践教学是该课程中十分重要的组成部分,该课程的基本实践教学内容包括课程设计和课程实验两大部分。

本教材共分为三篇。第一篇为过程装备课程设计,目的是使学生能综合运用过程装备(化工设备机械基础)课程所学的知识,树立正确的设计思想,综合运用各种有关设计手册、规范、标准、图册等设计技术资料,运用化工单元设备设计的基本方法,完成典型化工设备的设计。本部分内容包括课程设计的目的、要求、内容、步骤等,还包括统一的课程设计任务书。为了方便学生进行课程设计,列举了板式精馏塔结构设计、列管式换热器结构设计、储罐类设备结构设计、搅拌反应器结构设计等典型设备结构设计示例。

本教材的第二篇为过程装备专业实验部分。本篇内容的编写是为了更系统、全面地指导本课程的实验教学,不断提高本课程实验教学水平。编写过程中充分结合我校现有实验装备,突出重点,力求达到通过实验巩固所学知识和提高学生实践能力的目的。本篇内容共包括压力容器应力测试实验、外压容器失稳实验、材料静密封性能实验、金属材料的超声波探伤实验、刚性转子的动平衡实验、离心泵性能实验、容积式压缩机性能测试实验等实验内容,涵盖了该课程涉及的典型验证实验,每个实验由实验讲义和实验报告组成。

本教材第三篇罗列了过程装备部分零部件的相关标准,以便学生在设计时查取。

本书编写过程中,参考了大连理工大学刁玉玮等编写的《化工设备机械基础》、蔡纪宁等编写的《化工设备机械基础》和四川大学宋树波等编写的《过程装备与控制工程专业实验》,米克拉义·卡哈尔、古丽娜尔·图尔逊、夏丁月、杨涛、潘海丽、高琪等在本书编写过程中做了大量的辅助工作,新疆大学化学化工学院管民教授、马凤云教授对本书提出了许多宝贵建议,在此一并表示感谢。

本教材得到新疆维吾尔自治区高等学校特色和民文教材项目、西安交通大学与新疆大学对口支援教材建设项目、新疆大学精品课程建设项目的资助,在此特表感谢。

限于编写时间仓促,加上水平有限,疏漏之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2011年9月

目 录



第一篇 过程装备课程设计

第1章 绪论	(3)
1.1 课程设计的目的	(3)
1.2 课程设计的要求	(3)
1.3 课程设计的内容	(4)
1.4 课程设计的步骤	(4)
1.5 课程设计的实施与管理	(5)
第2章 课程设计选题与任务书	(7)
2.1 选题一 板式精馏塔结构设计	(7)
2.2 选题二 列管式换热器结构设计	(10)
2.3 选题三 卧式储罐结构设计	(12)
2.4 选题四 夹套式搅拌反应器结构设计	(16)
第3章 典型设备结构设计示例	(19)
3.1 板式精馏塔结构设计	(19)
3.2 列管式换热器结构设计	(36)
3.3 液氨储罐设计	(44)
3.4 搅拌釜式反应器结构设计	(52)

第二篇 过程装备专业实验

第4章 外压容器失稳实验	(77)
4.1 实验目的	(77)
4.2 实验原理简介	(77)
4.3 实验装置与器材	(80)
4.4 实验步骤	(80)
4.5 实验数据及结果分析	(80)
第5章 金属材料的超声波探伤实验	(82)
5.1 实验目的	(82)
5.2 超声波检测原理	(82)

5.3	超声波检测技术简介	(83)
5.4	实验内容	(88)
5.5	实验仪器、探头和标准试块	(88)
5.6	实验注意事项	(88)
5.7	实验报告要求	(89)
5.8	实验数据记录及结果分析	(89)
第6章	刚性转子的动平衡实验	(90)
6.1	实验目的	(90)
6.2	实验内容	(90)
6.3	实验原理	(90)
6.4	实验器材	(91)
6.5	实验装置	(93)
6.6	实验步骤	(95)
6.7	实验数据记录及结果分析	(96)
第7章	压力容器应力测试实验	(97)
7.1	实验目的	(97)
7.2	实验基本原理	(97)
7.3	实验要求	(99)
7.4	实验仪器及装置	(99)
7.5	实验步骤	(100)
7.6	实验报告要求	(100)
7.7	实验数据记录及结果分析	(100)
第8章	材料静密封性能实验	(101)
8.1	实验目的	(101)
8.2	实验装置系统简介	(101)
8.3	实验操作程序	(102)
第9章	离心泵性能测试实验	(105)
9.1	常规测试法	(105)
9.2	自动化测试技术简介	(111)
9.3	热力学法测试简介	(111)
9.4	离心泵性能测定试验	(111)
第10章	容积式压缩机性能测试实验	(113)
10.1	容积式压缩机的主要性能指标	(113)
10.2	压缩机性能测试装置与参数测量方法	(113)

10.3	试验结果的计算	(120)
10.4	示功图的采集与分析	(125)
10.5	压缩机性能测定实验	(127)
第11章	换热器性能测试实验	(129)
11.1	实验目的	(129)
11.2	实验内容	(129)
11.3	实验装置	(129)
11.4	注意事项	(130)

第三篇 附录 常用参考资料选编

附录 A	钢制压力容器设计常用标准	(133)
附录 B	钢板、钢管、锻件的许用应力一览表	(137)
附录 C	塔体及裙座-人孔截面集合特征参数表	(141)
附录 D	压力容器常用零部件	(151)
附录 E	机械传动常用零部件	(169)
参考文献		(189)

第一篇

过程装备课程设计





第1章 绪论

高清PDF网站
www.gqpdf.com

过程装备(化工设备机械基础)课程设计(以下简称化机课程设计)是针对高等院校过程装备与控制工程专业、化工工艺专业、化学工程专业、高分子材料专业、环境工程专业学生学习化工设备类课程而设置的重要实践环节,其目的是在学生学习了有关化工机械课程的基本理论后,通过过程装备设计技能的综合性训练,使其工程设计能力和解决实际问题能力得到提高。通过化机课程设计,使过程装备与控制工程专业、化工工艺专业及其他相关专业学生掌握化工过程典型设备的结构设计和强度计算方法,了解机械结构对化工工艺参数的影响。

1.1 课程设计的目的

化机课程设计应达到以下目的:

①培养学生把所学化工设备机械基础及相关课程的基本理论知识,在课程设计中综合地加以运用,把化工工艺条件与化工设备设计有机地结合起来,巩固和强化有关机械课程的基本理论和基本知识。

②使学生树立正确的设计思想,掌握化工单元设备设计的基本方法和步骤,培养学生化工设备设计的基本技能以及独立分析问题、解决问题的能力,为其今后创造性地研发、设计化工设备打下一定的基础。

③培养学生熟悉、会查阅并综合运用各种有关的设计手册、规范、标准、图册等设计技术资料的能力;进一步培养学生识图、制图、运算、编写设计说明书等基本技能;帮助学生完成作为工程技术人员在机械设计方面所必备的设计能力的基本训练。

1.2 课程设计的要求

对化机课程设计的要求如下:

①树立正确的设计思想。在设计中要自始至终本着对工程设计负责的态度,从难从严要求,综合考虑经济性、实用性、安全可靠性和先进性,严肃认真地进行设计,高质量地进行设计,高质量地完成设计任务。

②注重能力的培养。在课程设计中学生应具有积极主动的学习态度和进取精神,遇到问题不敷衍,通过查阅资料和有关教科书,学会收集、理解、熟悉和使用各种资料,积极思考,提出个人见解,主动解决问题。设计中强调独立思考,鼓励有创造性的设计。

③学会正确使用标准和规范,使设计有法可依、有章可循。当设计与标准规范相矛盾时,必须严格计算和验证,直到符合设计要求,否则应优先按标准选用。

④学会正确的设计方法,统筹兼顾,抓主要矛盾。初学设计者往往把设计片面地理解为是理论上的强度、刚度等的计算,认为这些计算结果不可改变。实际上,对于设备的合理设计,其计算结果只是设计时某方面的依据,设计时还要考虑结构等方面的要求。

在设计中还应注意处理好尺寸的圆整。若按几何等式关系计算而得的尺寸,一般不能随意圆整变动。若按经验公式得来的尺寸,一般应圆整到标准规格尺寸。对于强度、刚度等计算结果,从设备安全性出发,应向上圆整。同时,要兼顾到经济性,即圆整要适度。

在设计中还要处理好计算与结构设计的关系。设计中要求计算、制图、选型、修改同步进行,但零件的尺寸以最后图样标注的为准。对尺寸作出修改后,可以根据修改幅度、原强度裕度及计算准确程度等来判断是否有必要再进行强度计算。

1.3 课程设计的内容

根据教学大纲要求,完成一种典型设备的机械设计,工作量应包括:完成设计计算书1份,完成绘制设备总装图1张,零部件图1~2张。

1.4 课程设计的步骤

1.4.1 准备阶段

①设计前应预先准备好设计资料、手册、图册、计算和绘图工具、图纸及报告纸等。

②认真研究设计任务书,分析设计题目的原始数据和工艺条件,明确设计要求和设计内容。

③设计前应认真复习有关教科书、熟悉有关资料,明确设计步骤。

④有条件的应结合现场参观,熟悉典型设备的结构,比较其优缺点,以便选出较适当的结构为己所用。没有现场条件的,也要先读懂几张典型设备图,对所设计的设备结构有较全面的了解。

1.4.2 机械设计阶段

化工设备的机械设计是在设备的工艺设计后进行的。根据设备的工艺条件(包括工作压力、温度、介质特性、结构形式和尺寸、管口方位及标高等),围绕着设备内、外附件进行机械结构设计或选型,围绕着确定厚度大小进行强度、刚度和稳定性的设计和校核计算。这一步往往采用“边算、边选、边画、边改”的做法来进行,一般步骤如下:

①全面考虑按压力大小、温度高低和腐蚀性大小等因素来选材。通常先按压力因素来选材;当温度高于 200°C 或低于 -40°C 时,温度就是选材的主要因素;在腐蚀强烈或对反应物及物料污染有特定要求时,腐蚀因素又成了选材的依据。在综合考虑以上几方面的同时,还要考虑材料的加工性能、焊接性能及材料的来源和经济性。

②设计方案及设备总体尺寸设计。根据给定的工艺设计条件,确定设计方案,大体上对设备的外形尺寸(如总高、直径、开孔位置、支撑形式等)进行技术选定,绘制大体设备外形图。

③选用零部件。设备内部附件结构类型,如塔板、搅拌器型式常由工艺设计而定;外部附件结构形式,如法兰、支座、加强圈、开孔附件等,在满足工艺要求的条件下,由受力条件、制造、安装等因素决定。

④外载荷,包括内压、外压、设备自重,零部件的偏载、风载、地震载荷等,常用列表法、分项

统计的方法来进行计算。

⑤强度、刚度、稳定性设计和校核计算。根据结构形式、受力条件和材料的力学性能、耐腐蚀性能等进行强度、刚度和稳定性计算,最后确定出合理的结构尺寸。因大多数工况下强度是主要矛盾,所以有的设备设计常不作后两项计算。

⑥传动设备的选型、计算。设备中带有机械传动、液压传动时,由于这部分零部件也大都标准化,设计时可参考本书和有关手册进行选型、计算。

⑦绘制设备总装图。对初学者,常采用“边算、边选、边画、边改”的方法。初步计算后,确定大体结构尺寸,分配图纸幅面,绘出视图底稿,待尺寸最终确定后正式绘制设备总装图。

⑧绘制零部件图。根据总装图绘制零部件图的作法常称拆图。对于标准零部件,有专门厂家生产的,可以不必拆图,对于具有独立结构的零部件要进行拆图,绘制零部件以便加工制造。

⑨提出技术要求。对设备制造、装配、检验和试车等工序提出合理的要求,以文字形式标注在总装图上。

1.4.3 设计说明书

设计计算说明书是图纸设计的理论依据,是设计计算的整理过程和总结,是审核设计的技术文件之一,其内容大致包括:

- ①目录;
- ②设计任务书;
- ③设计方案的分析 and 拟定;
- ④各部分结构尺寸的确定和设计计算;
- ⑤设计小结;
- ⑥参考资料。

设计计算说明书要求计算正确,论述清楚,文字精炼,插图简明,书写工整,装订成册。

1.4.4 课程设计答辩

课程设计的图样及说明书全部完成后,须经指导老师审阅,得到认可后方可参加答辩。课程设计的成绩要根据图样、说明书和答辩所反映的设计质量和能力以及设计过程中的学习态度综合评定。

1.5 课程设计的实施与管理

①时间:本科专业化机课程设计通常在学习完化工设备相关专业课程后进行,建议安排在第6学期第20周后,全停课一周内完成。

②面向对象:过程装备与控制工程、化学工程、化工工艺、环境工程、高分子材料等专业学生。

③设计题目:化机课程设计的主要选题为塔设备设计、换热器设计、蒸发器设计、干燥器设计、搅拌反应釜设计、化工储存设备设计等,设计参数可以来源于工程实际或正确的假设。

④考核方法:学生的最终成绩由平时成绩(建议占总成绩的 20%)、设计计算书(含相关设计图)成绩(建议占总成绩的 50%)、学生口试成绩(建议占总成绩的 30%)组成,按百分制计分。

⑤资料保管:设计结束后,学生的课程设计原始文件统一交相关部门保管,以备调用。



第 2 章 课程设计选题与任务书

2.1 选题一 板式精馏塔结构设计

2.1.1 设计任务书

1. 设计题目

某板式精馏塔的结构设计。

2. 设计任务

试设计一台板式精馏塔,用来分离苯-甲苯混合液。常压操作,原料中含苯_____ % (均为质量百分含量),料液处理量为_____ t/h,要求塔顶浓度大于_____ %,釜液中含苯为_____ %。

3. 设计条件

设计条件见表 2-1。

4. 设计内容

- ①正确选择塔体材料,确定设计参数和设计方案。
- ②分析确定塔的总体结构尺寸。
- ③对塔盘、进出料接管、裙座等零部件进行设计计算和选型。
- ④对塔体进行强度和稳定性计算,校核塔的最危险截面。
- ⑤绘制塔设备总装配图和相关零件图,编写设计计算说明书。

5. 设计要求

- ①编写设计计算说明书,填写计算结果列表(见表 2-2、表 2-3)。
- ②绘制塔设备总装配图及必要零部件图。

6. 设计时间安排(共 1 周)

时 间	完成任务
第 1 天	借阅资料,确定用材及设计思路
第 2 天	完成塔的总体结构设计
第 3 天	完成塔的强度设计计算
第 4 天	完成塔的稳定性计算,绘制塔总装配图和相关零件图
第 5 天	整理、撰写设计说明书,提交全部内容,考核

7. 设计参考文献

- ①国家标准委员会. GB 159—98 压力容器设计规范. 北京: 中国标准出版社, 1999
- ②贺匡国. 化工容器及设备简明设计手册. 北京: 化学工业出版社, 2002
- ③刁玉玮. 化工设备机械基础. 大连: 大连理工大学出版社, 2008
- ④化学工业部设备设计技术中心站. 化工设备零部件. 内部资料, 1996
- ⑤化工设备设计全书编辑委员会. 化工容器设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1987
- ⑥化工设备设计全书编辑委员会. 塔设备设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1988

2.1.2 主要设计参数及设计结果表

主要设计参数及设计结果填入表 2-1、表 2-2、表 2-3 中。

表 2-1 板式精馏塔结构设计条件表

设计参数			
项目	参数	项目	参数
工作压力/MPa		设计寿命/y	
设计压力/MPa		保温材料厚度/m	
工作温度/°C		保温材料密度/m	
设计温度/°C		塔盘上存留介质高度/m	
介质名称		基本风压/ $N \cdot m^{-2}$	
介质密度/ $kg \cdot m^{-3}$		地震基本烈度	
年腐蚀速率/ $m \cdot y^{-1}$		场地类别	
焊接形式		塔型	
偏心质量/kg		塔板数	
进料口位置		塔板间距/m	

表 2-2 板式精馏塔结构设计管口表

接管用途	管口代号	公称尺寸	连接面形式
进料管			
出料管			
气体入口管			
气体出口管			
回流管			
温度计接管			
压力计接管			

表 2-3 板式精馏塔结构设计计算结果一览表

项 目	结 果	项目结果		
塔体材料		1—1 危险截面应力 /MPa	迎风面	
塔体壁厚/m			背风面	
封头壁厚/m		2—2 危险截面应力 /MPa	迎风面	
塔高/m			背风面	
塔径/m		3—3 危险截面应力 /MPa	迎风面	
内件质量/kg			背风面	
保温材料质量/kg		补强接管及补强圈		
平台质量/kg		人孔型号		

板式精馏塔结构示意简图如图 2-1 所示。

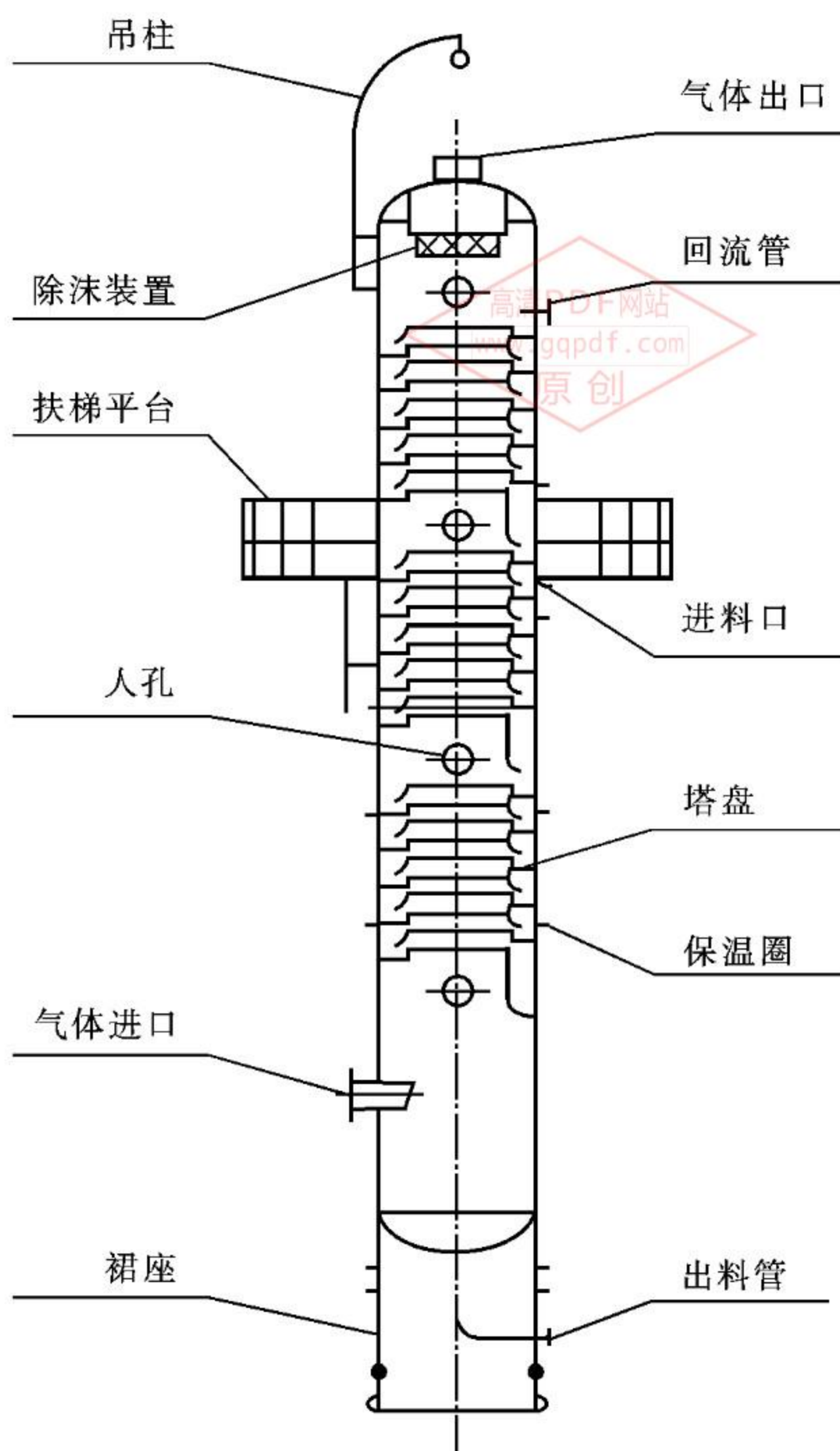


图 2-1 板式精馏塔结构示意简图

2.2 选题二 列管式换热器结构设计

2.2.1 设计任务书

1. 设计题目

某列管式换热器结构设计。

2. 设计任务

某厂用_____℃冷水作冷却介质,将流量为_____kg/h的_____流体(热介质)自_____℃冷却至_____℃,冷却水终温不超过_____℃。试设计一固定管板式列管换热器,用以完成以上换热任务。

3. 设计条件

如表 2-4 所示。

4. 设计内容

- ①正确选择换热器的材料,确定设计方案。
- ②完成换热器的总体结构尺寸设计。
- ③对管板、进出料接管、裙座等零部件结构进行设计和选型。
- ④对换热器壳体、封头、列管热应力等进行强度设计。
- ⑤绘制换热器总装配图和相关零部件图,撰写设计说明书。

5. 设计要求

- ①编写设计计算说明书,填写设计计算结果(见表 2-5、表 2-6)。
- ②绘制换热器结构装配图及必要零部件图。

6. 设计时间安排(共 1 周)

时 间	完成任务
第 1 天	借阅资料,确定用材及设计方案
第 2 天	完成换热器总体结构尺寸设计
第 3 天	完成换热器相关强度设计计算
第 4 天	完成换热器零部件选型,绘制换热器总装配图和相关零部件图
第 5 天	整理、完成设计说明书,提交设计资料,考核

7. 设计参考文献

- ①化工设备设计全书编辑委员会. 换热器设计. 上海:上海科学技术出版社,1988
- ②其余设计参考资料同塔设备设计参考资料①~⑤。

2.2.2 主要设计参数及设计结果表

主要设计参数及设计结果见表 2-4、表 2-5 和表 2-6。

表 2-4 列管式换热器结构设计参数表

设计参数				
项目	参数		项目	参数
	壳层:	管层:		
工作压力/MPa			管程数	
设计压力/MPa			壳程数	
工作温度/°C			总传热系数/ $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$	
设计温度/°C			换热器传热面积/ m^2	
介质名称			折流板间/m	
介质密度/ $kg \cdot m^{-3}$			折流板形式	
年腐蚀速率/ $m \cdot y^{-1}$			列管线膨胀系数/ $^\circ C^{-1}$	
焊接形式			壳体线膨胀系数/ $^\circ C^{-1}$	
设计寿命/y			管、壳材料弹性模量/MPa	

表 2-5 列管式换热器结构设计接管表

用途	管口代号	公称尺寸	连接面形式
冷介质入口管			
冷介质出口管			
热介质入口管			
热介质出口管			
其他接管			

表 2-6 列管式换热器结构设计主要结果一览表

项目	结果	项目	结果
材料		换热管尺寸及数量	
壳体直径/m		拉杆尺寸及数量	
壳体壁厚/m		折流板尺寸及数量	
壳体质量/kg		列管与管板拉脱力/N	
封头壁厚/m		筒体容器法兰代号	
内件质量/kg		封头容器法兰代号	
设备总长/m		管板尺寸及数量	
设备总重/kg		补强接管及补强圈尺寸	
膨胀节形式及代号		支座形式及代号	

固定管板列管式换热器结构如图 2-2 所示。

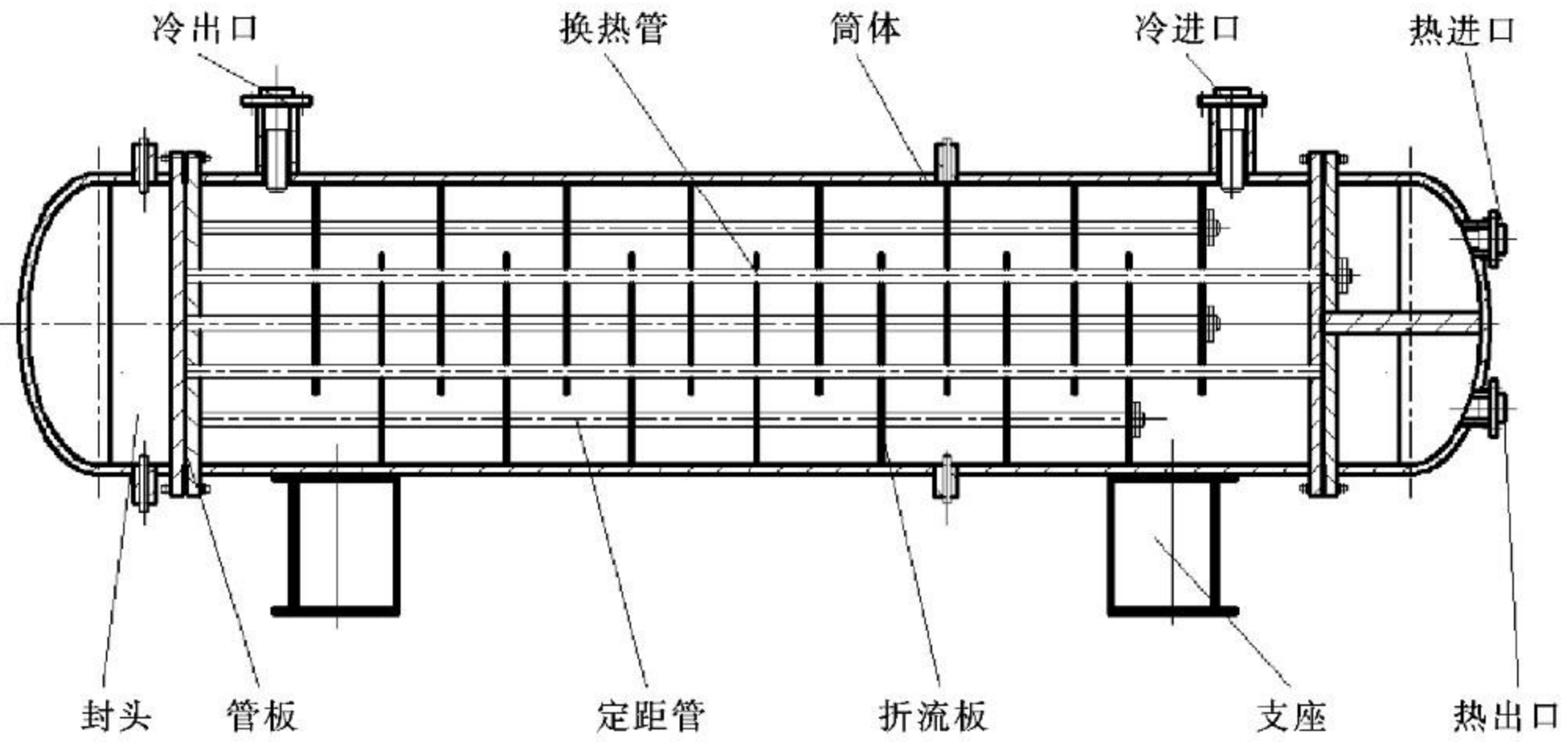


图 2-2 固定管板列管式换热器结构示意图



2.3 选题三 卧式储罐结构设计

2.3.1 设计任务书

1. 设计题目

卧式储罐的结构设计。

2. 设计任务

试设计某卧式石油液化汽储罐。要求在_____地区室外安放,当地最高温度为_____℃,最低温度为_____℃。要求储罐的储存容量达到_____m³。

3. 设计条件

如表 2-7 所示。

4. 设计内容

- ① 正确选择储罐的材料,确定设计参数和设计方案。
- ② 确定储罐的总体结构尺寸。
- ③ 对罐体、进出料接管、人孔、支座等零部件进行计算和选型。
- ④ 对储罐进行稳定性计算,校核其危险截面。
- ⑤ 绘制储罐总装配图及部分零部件图,完成设计计算说明书。

5. 设计要求

- ① 撰写设计计算说明书,填写计算结果表(见表 2-8、表 2-9)。
- ② 绘制储罐总装配图及部分零部件图。

6. 时间安排(共1周)

时 间	完 成 任 务
第 1 天	借阅资料,确定用材及设计方案
第 2 天	完成储罐总体结构设计,零部件选型
第 3 天	储罐的强度计算及危险截面计算
第 4 天	绘制总装配图及部分零部件图
第 5 天	整理、完成设计说明书,提交全部内容,考核

7. 设计参考文献

- ①化工设备设计全书编辑委员会. 大型储罐设计. 上海:上海科学技术出版社,1988
 ②其余设计参考资料同塔设备设计参考资料①~⑤。

2.3.2 主要设计参数及设计结果表

主要设计参数及设计结果如表 2-7、表 2-8、表 2-9 和表 2-10 所示。

表 2-7 储罐结构设计参数表

设 计 参 数			
项 目	参 数	项 目	参 数
设计压力/MPa		介质名称	
工作温度/°C		介质密度/kg·m ⁻³	
设计温度/°C		介质年腐蚀速率/m·y ⁻¹	
设计容积/m ³		设备焊接形式	
装填系数		设计寿命/y	
安全装置		设备保温材料	

表 2-8 储罐结构设计接管表

名称	公称尺寸	连接面形式	材料
进料口			
压料口			
安全阀接管			
排污口			
人孔			
压力表接管			
液面计接管			

表 2-9 储罐结构设计部分计算结果一览表

项 目	结 果	项 目	结 果
罐体材料		设备总长/m	
筒体壁厚/m		设备总高/m	
封头壁厚/m		鞍座型号	
筒体内径/m		人孔型号	
空罐质量/kg		液位计型号	
水压试验质量/kg		安全阀型号及数量	
设备总重/kg		补强接管及补强圈	

储罐的总装配示意图如图 2-3 所示。

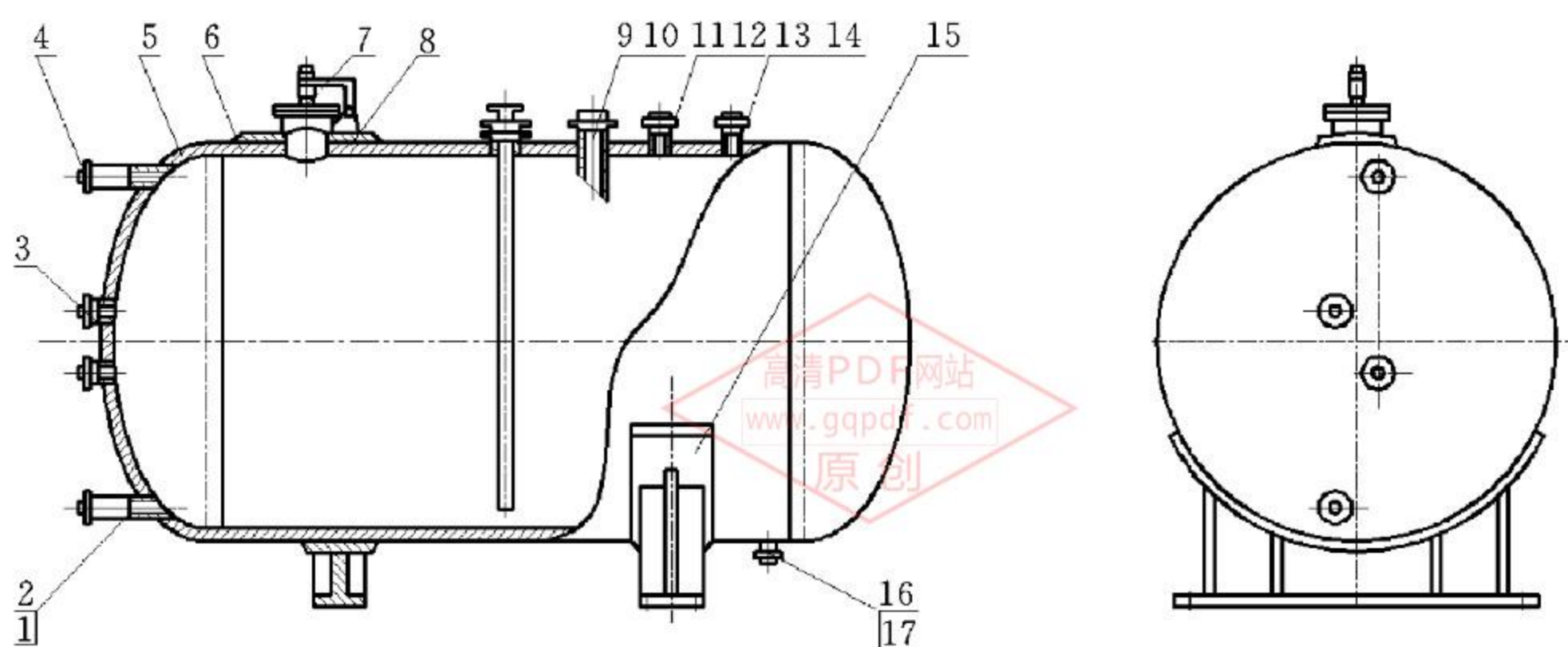


图 2-3 储罐总装配示意图

1—液面计接管 a; 2—法兰; 3—液面计接管 b; 4—防霜液面计; 5—封头; 6—罐体;
 7—人孔; 8—补强圈; 9—进料管接管; 10—法兰; 11—安全阀接管; 12—法兰;
 13—放空阀接管; 14—法兰; 15—鞍座; 16—法兰; 17—排污管

表 2-10 液化石油气、液氨储罐常见模拟设计参数表

序 号	最高工作压力 /MPa	介质工作温度 /°C	储罐容积 /m ³	介质种类
1	1.25	-40~30	20	液化石油气
2	1.25	-40~30	20	液化石油气
3	1.36	-40~35	25	液氨
4	1.36	-40~35	25	液氨
5	1.15	-30~30	28	液化石油气
6	1.15	-30~30	28	液化石油气

序号	最高工作压力 /MPa	介质工作温度 /℃	储罐容积 /m ³	介质种类
7	1.3	-40~30	30	液氨
8	1.3	-40~30	30	液氨
9	1.28	-40~35	34	液化石油气
10	1.28	-40~35	34	液化石油气
11	1.38	-30~40	38	液氨
12	1.38	-30~40	38	液氨
13	1.16	-40~50	35	液化石油气
14	1.16	-40~50	35	液化石油气
15	1.34	-30~30	26	液氨
16	1.34	-30~30	26	液氨
17	1.33	-40~50	40	液化石油气
18	1.33	-40~50	40	液化石油气
19	1.12	-40~30	43	液氨
20	1.12	-40~30	43	液氨
21	1.18	-40~35	45	液化石油气
22	1.18	-40~35	45	液化石油气
23	1.32	-30~35	48	液氨
24	1.32	-30~35	48	液氨
25	1.26	-40~40	50	液化石油气
26	1.26	-40~40	50	液化石油气
27	1.32	-40~50	52	液氨
28	1.32	-40~50	52	液氨
29	1.3	-40~35	46	液化石油气
30	1.3	-40~35	46	液化石油气
31	1.24	-30~35	54	液氨
32	1.24	-30~35	54	液氨
33	1.4	-40~50	55	液化石油气
34	1.4	-40~50	55	液化石油气

2.4 选题四 夹套式搅拌反应器结构设计

2.4.1 设计任务书

1. 设计题目

某夹套式搅拌反应器结构设计。

2. 设计任务

试设计一夹套式搅拌反应器,其主要功能如下:反应器内介质为_____,压力为_____ MPa,夹套内换热介质为_____,压力为_____ MPa,反应器容积不小于_____ m^3 ,采用立式电机与减速器配合,搅拌速度为_____ r/min。

3. 设计条件

如表 2-11 所示。

4. 设计内容

- ① 正确选择搅拌反应器的材料,确定设计参数和设计方案。
- ② 确定搅拌反应器的总体结构尺寸,对釜体、夹套进行强度计算。
- ③ 对搅拌反应器进出料接管、人孔、支座等零部件进行设计计算和选型。
- ④ 对搅拌反应器搅拌系统进行设计及主轴稳定性计算。
- ⑤ 绘制设计的搅拌反应器总装配图和部分零部件图,完成设计计算说明书撰写。

5. 设计要求

- ① 撰写设计计算说明书,填写设计结果表(见表 2-12、表 2-13)。
- ② 绘制搅拌反应器总装配图及必要零部件图。

6. 时间安排(共 1 周)

时 间	完成任务
第 1 天	借阅资料,确定用材及设计方案
第 2 天	完成搅拌反应器总体结构设计
第 3 天	完成搅拌反应器的强度计算及零部件选型
第 4 天	完成搅拌反应器的传动系统设计及零部件选型
第 5 天	绘制搅拌反应器总装配图及必要零部件图,整理、完成设计说明书,提交全部内容

7. 设计参考文献

- ① 化工设备设计全书编辑委员会. 搅拌设备设计. 上海:上海科学技术出版社,1988
- ② 其余设计参考文献同塔设备设计参考文献①~⑤。

2.4.2 主要设计参数及结果表

主要设计参数及结果见表 2-11、表 2-12 和表 2-13。

表 2-11 夹套式搅拌反应器结构设计参数表

项 目	参 数	项 目	参 数
釜内介质名称		反应器容积/ m^3	
釜内设计压力/MPa		釜内介质年腐蚀速率/ $\text{m} \cdot \text{y}^{-1}$	
釜内工作温度/ $^{\circ}\text{C}$		材料焊接形式	
釜内设计温度/ $^{\circ}\text{C}$		设计寿命/y	
夹套介质名称		搅拌速度/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	
夹套设计压力/MPa		保证传热面积/ m^2	
夹套工作温度/ $^{\circ}\text{C}$		夹套安装方式	
夹套设计温度/ $^{\circ}\text{C}$			

表 2-12 夹套式搅拌反应器主要接管管口表

名 称	公称尺寸	连接面形式	材 料
进料口			
压料口			
安全阀接管			
排污口			
人孔			
压力表接管			
液面计接管			

表 2-13 夹套式搅拌反应器结构设计部分设计结果一览表

项 目	结 果	项 目	结 果
材 料		设备空罐质量/kg	
釜体筒体壁厚/m		水压试验质量/kg	
釜体封头壁厚/m		设备工作总重/kg	
釜体内径/m		人孔型号及数量	
夹套筒体壁厚/m		支座型号及数量	
夹套封头壁厚/m		补强接管及补强圈	
容器法兰代号		搅拌轴尺寸/m	
设备总高/m		减速器代号	
设备总宽/m		电机型号	

夹套式搅拌反应器如图 2-4 所示。

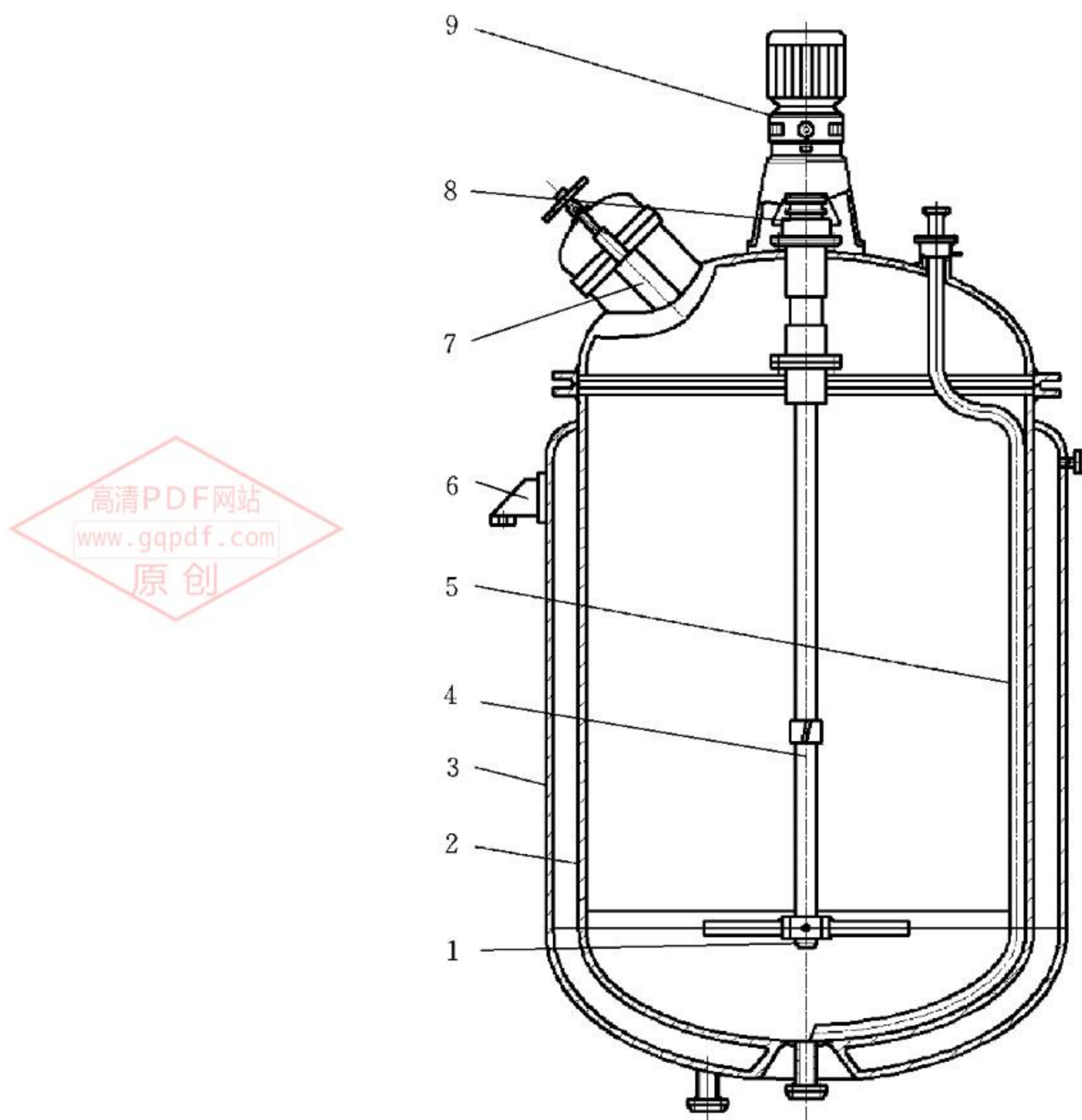


图 2-4 夹套式搅拌反应器示意图

1—搅拌桨；2—内筒封头；3—夹套筒体；4—搅拌轴；5—进料管；6—支座；
7—人孔；8—联轴器；9—减速器

第3章 典型设备结构设计示例

3.1 板式精馏塔结构设计

3.1.1 设计条件

①塔体内径 1800 mm,设计压力为 1.2 MPa,设计温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 。

②塔板采用浮阀结构,每块塔盘设置 F-1 型浮阀 75 个。塔板数 $N = 75$,塔盘间距 350~400 mm,板上液层高度 $h_w = 100$ mm,塔内物料密度为 $\rho_1 = 850$ kg/m³。进料口位于从上向下第 28 块塔盘处。

③不考虑再沸器和冷凝器的偏心质量影响。

④塔在乌鲁木齐市郊安装、使用,地震设防烈度为 9 度,场地土类为 II 类,设计地震分组为第二组,设计地震基本加速度为 0.3g。

⑤塔体应设外保温层,保温层厚度原则上为 100 mm,保温材料密度为 $\rho_2 = 295$ kg/m³。

⑥塔体上每 5 m 设置一个人孔,在人孔处设置检修平台,平台选用半圆形,平台宽度 $B = 900$ mm,扶梯高度为 1000 mm。

⑦塔内介质腐蚀状况较为严重,腐蚀裕量考虑取 2 mm。焊缝系数取 0.9。

3.1.2 塔的总体结构设计

1. 塔体材料选择

本设计中,由设计条件可知,设备在低压、常温下工作,考虑到塔内介质有一定的腐蚀性,选择塔体材料为 16MnR,裙座材料为 Q235-B,保温材料选用保温棉,外加薄铁皮包扎固定。

2. 塔的基本工艺尺寸确定

①塔板间距及人孔设计:由设计条件,确定无人孔处两相邻塔板间距取 400 mm,若开设人孔,两相邻塔板间距扩大到 1000 mm。共开设 5 个人孔,其中第一块塔盘上方(塔顶)和最底部塔盘下方(塔釜)各开一个人孔,塔体中间开设三个人孔。人孔处设置半圆形检修平台。

②塔板布置:最底部塔盘距下封头顶部保留 3500 mm 间距,以保证塔釜液储存空间。最顶塔盘距上封头顶部保留 3500 mm 间距,以保证有足够空间安装丝网除沫器。

③裙座的确定:选对接裙座连接,裙座距地基 1 m 处对开两个人孔,裙座与塔体对接的焊缝与塔体与封头的焊缝错边 300 mm。

④吊柱选择:在塔顶部安装回转式吊柱,吊柱焊接位置在塔顶封头与塔体焊接焊缝以下 200 mm。

⑤进料位置确定:由设计条件,在自上向下第 28 块塔板处设置进料口;在塔顶、塔底分别

开设塔顶轻组分、塔底重组分出料口,每个人孔处设置温度计、压力计接管。

3. 塔高的估算

(1) 塔体高度的基本组成

塔的高度包括裙座高度 H_1 、塔体内塔板部分高度 H_2 、塔体内最底塔板距下封头顶部间距 H_3 、塔体内最上塔板距上封头顶部间距 H_4 、吊柱高度 H_5 等部分组成,在计算时应除去相互的重叠量。

(2) 各部分高度尺寸的确定

H_1 :参考《塔设备设计手册》和上述设计可确定,本设计取 $H_1=3000$ mm。

H_2 :塔体内塔板部分高度 H_2 的计算较为复杂,工程中使用 $H_2=n_1 \times h_1+n_2 \times h_2$,其中:

n_1 ——未开人孔相邻塔板数,本设计 $n_1=68$;

h_1 ——未开人孔相邻塔板间距,本设计为 400 mm;

n_2 ——塔板区开人孔数量,本设计 $n_2=3$;

h_2 ——开人孔处相邻塔板间距,本设计为 1000 mm;

故 $H_2=68 \times 400+3 \times 1000=27200+3000=30200$ mm。

H_3 :塔顶空间是为满足安装塔板和开人孔的需要,也可使气体中的液滴自由沉降。本设计取 $H_3=3500$ mm。

H_4 :塔底空间具有中间贮槽的作用,塔釜料液最好能在塔底有 10~15 分钟的储量,以保证塔釜料液不致排完。若塔的进料设有缓冲的容量,塔底容量可取为 3~5 分钟的储量。本设计取 $H_4=3500$ mm。

(3) 塔体高度的确定

塔身总高(含上、下封头)为

$$H=H_2+H_3+H_4=30200+3500+3500=37200 \text{ mm}$$

考虑到塔身安装温度计、压力计接管和筒体与封头焊接、安装余量,取塔身高为 37690 mm。

考虑裙座、安装吊柱高度及预留余量,取 $H_1=2500$ mm, $H_5=2000$ mm,除去 H_1, H_5 与塔身重合部分高度,最终取塔高

$$H=H_1+H_2+H_3+H_4+H_5 \approx 40000 \text{ mm}$$

3.1.3 塔体和封头的强度设计



1. 塔体壁厚计算

根据塔内介质和操作工况,选用 16MnR 材料制造。由设计压力和操作温度可知该容器属一、二类容器范畴,故设备焊接采用单面焊,100%探伤,即 $\phi=0.9$ 。

设计参数: $P_c=1.2$ MPa, $D_i=1800$ mm, $[\sigma]^\prime=170$ MPa, $\phi=0.9$ 。

$$\text{塔体壁厚: } \delta = \frac{P_c D_i}{2[\sigma]^\prime \phi - P_c} = \frac{1.2 \times 1800}{2 \times 170 \times 0.9 - 1.2} = 7.09 \text{ mm.}$$

由设计条件,腐蚀裕量为 2 mm,取 $C=2$ mm。考虑钢板负偏差及加工减薄量,经圆整,最终取 $\delta_n=12$ mm。

2. 封头壁厚计算

采用标准椭圆形封头,封头形状系数 $K=1$ 。封头与筒体焊接采用单面焊,100%探伤,即 $\phi=0.9$ 。

设计参数: $D_i=1800$ mm, $P_c=1.2$ MPa, $[\sigma]'=170$ MPa, $\phi=0.9$ 。

$$\text{封头壁厚: } \delta_c = \frac{P_c D_i K}{2 [\sigma]' \phi - 0.5 P_c} = \frac{1.2 \times 1800 \times 1}{2 \times 170 \times 0.9 - 0.5 \times 1.2} = 7.07 \text{ mm}。$$

同理,圆整后取 $\delta_{cn}=12$ mm。

3.1.4 塔设备质量载荷计算

1. 塔体圆筒、封头、裙座质量 m_{01}

由上述结果可知,塔体圆筒总高度为 36.79 m,查附录 D-1 得知,厚度 12 mm 的圆筒为 536 kg/m;查附录 D-2 查得 DN 为 1800 mm,厚度 12 mm 的标准椭圆形封头质量为 338.4 kg/mm(按封头曲面深度为 450 mm,直边高度为 40 mm 计);裙座厚度按 12 mm 计,高度参考《塔设备设计》,取 3060 mm。故:

$$\text{塔筒体质量: } m_1 = 536 \times 36.79 = 19719.44 \text{ kg}$$

$$\text{封头质量: } m_2 = 338.4 \times 2 = 676.8 \text{ kg}$$

$$\text{裙座质量: } m_3 = 536 \times 3.06 = 1640.16 \text{ kg}$$

$$m_{01} = m_1 + m_2 + m_3 = 22036 \text{ kg}$$

2. 塔内构件质量 m_{02}

塔体内件质量包含塔盘质量、浮阀质量、塔盘支承件质量等。采用 F-1 型标准浮阀,塔盘内径 $D_i=1800$ mm,考虑每块塔盘采用正三角形排布浮阀 75 个,由表 3-1 查得浮阀塔盘质量为 75 kg/m²。初步估算塔体内件质量为

$$m_{02} = \frac{\pi}{4} D_i^2 \times 75 \times 75 = 14307 \text{ kg}$$

表 3-1 塔设备部分部件质量

名称	笼式扶梯	开式扶梯	钢制平台	圆泡罩塔盘	舌形塔盘
质量	40 kg/m	15~24 kg/m	150 kg/m ²	150 kg/m ²	75 kg/m ²
名称	筛板塔盘	浮阀塔盘	塔盘填充液	保温层	瓷环填料
质量	65 kg/m ²	75 kg/m ²	70 kg/m ²	30 kg/m	700 kg/m

注:本表选自《化工设备机械基础》,刁玉玮,王立业等编著,大连理工大学出版社 2008 出版

3. 保温层质量 m_{03}

塔体采用外包保温层设计,保温层材料选保温棉,密度为 $\rho_2=295$ kg/m³,保温层厚度取 $\delta=100$ mm,保温层覆盖整个塔体,即保温层高为 $H_0=36.97$ m。设 m'_{03} 为封头保温层质量,按封头展开面积计算, $m'_{03}=70.6$ kg,则保温层总质量为

$$m_{03} = \frac{\pi}{4} [(D_i + 2\delta_n + 2\delta)^2 - (D_i + 2\delta_n)^2] H_0 \rho_2 + 2m'_{03} = 6884 \text{ kg}$$

4. 平台、扶梯质量 m_{04}

采用鼠笼式扶梯,扶梯在距地面 1 m 处向上搭建,扶梯宽度 $B=900 \text{ mm}$,考虑到塔体和裙座高度,笼式扶梯总高为 $H_f=39 \text{ m}$ 。在每个人孔处设操作平台,共设平台数量 $n=5$,由设计条件,平台选用半圆形。由表 3-1 查得平台质量为 $q_p=150 \text{ kg/m}^3$,笼式扶梯质量为 $q_f=40 \text{ kg/m}^2$,则平台、扶梯质量为

$$m_{04} = \frac{\pi}{4} [(D_i + 2\delta_n + 2\delta + 2B)^2 - (D_i + 2\delta_n + 2\delta)^2] \frac{1}{2} n q_p + q_f \times H_f = 4658 \text{ kg}$$

5. 操作时物料质量 m_{05}

操作时物料质量包括以下几部分。

(1) 塔盘上物料质量

$$m'_{05} = \frac{\pi}{4} D_i^2 h_w N \rho_1$$

式中:塔板上液层高度为 $h_w=0.1 \text{ m}$;塔板层数为 $N=75$;物料密度为 $\rho_1=850 \text{ kg/m}^3$ 。

(2) 塔釜物料质量

塔釜物料可分为两部分,分别为塔釜封头内物料质量和塔釜筒体部分物料质量,其中:

① 塔釜封头内物料质量,按物料填满封头的体积乘以物料密度计算,即

$$m''_{05} = V_f \rho_1$$

查附录 4.2 可得,封头容积为 $V_f=0.827 \text{ m}^3$ 。

② 塔釜筒体部分物料质量,由经验,考虑塔釜圆筒部分填充物料深度为 $h_0=1.8 \text{ m}$,则物料质量为

$$m'''_{05} = \frac{\pi}{4} D_i^2 h_0 \rho_1$$

所以,操作时物料质量 m_{05} 为

$$m_{05} = m'_{05} + m''_{05} + m'''_{05} = \frac{\pi}{4} D_i^2 h_w N \rho_1 + V_f \rho_1 + \frac{\pi}{4} D_i^2 h_0 \rho_1 = 20808 \text{ kg}$$

6. 附件质量 m_a

塔体附件质量包括人孔质量、物料接管质量、压力表接管、温度表接管质量等,按经验取附件质量为塔体质量的 25%,则

$$m_a = 0.25 m_{01} = 5509 \text{ kg}$$

7. 充水质量 m_w

塔体在水压试验时,全充水状态下质量为塔体全容积乘以水的密度,即

$$m_w = \frac{\pi}{4} D_i^2 H_0 \rho_w + 2V_f \rho_w = 0.785 \times 1.8^2 \times 36.79 \times 1000 + 2 \times 0.827 \times 1000 = 95226 \text{ kg}$$

式中: ρ_w 为水的密度,按 1000 kg/m^3 计; H_0 为塔身高度(不含封头)。

8. 塔的各种质量载荷汇总

如图 3-1 所示,将全塔分成 6 段,计算各质量载荷(计算中略有近似)的结果如表 3-2 所示。

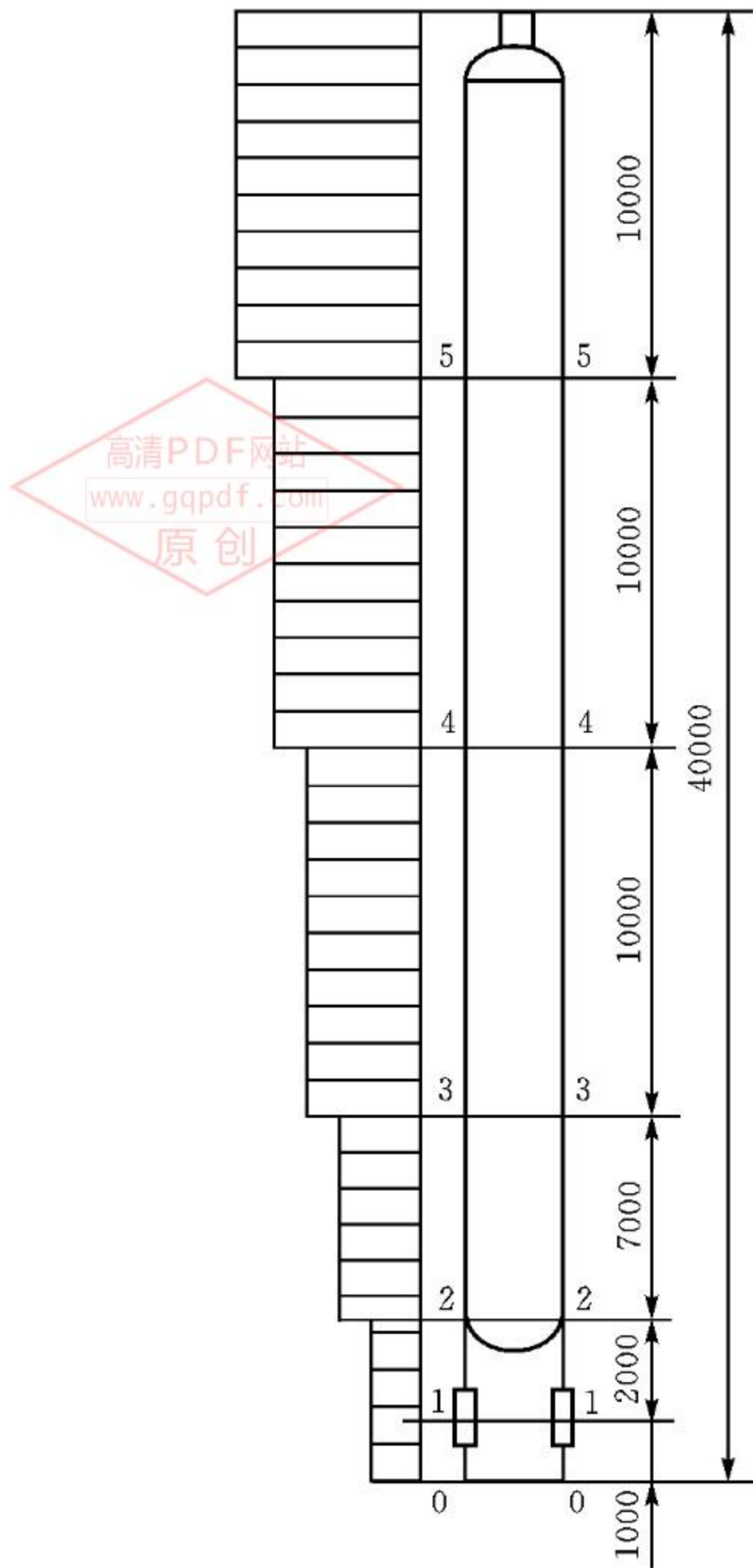


图 3-1 塔的分段示意图

表 3-2 塔质量计算汇总表

塔 段	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—顶	合计
塔段长度/mm	1000	2000	7000	10000	10000	10000	40000
人孔与平台数	0	0	1	1	1	2	5
塔板数	0	0	9	25	25	16	75
m_{01}^i/kg	536	1410	3752	5360	5360	5618	22036
m_{02}^i/kg	—	—	1717	4769	4769	3052	14307
m_{03}^i/kg	—	202	1269	1813	1813	1601	6698
m_{04}^i/kg	40	80	898	1018	1630	986	4652
m_{05}^i/kg	—	703	5837	5404	5404	3459	20808
m_a^i/kg	154	246	1092	1057	1485	1485	5509

塔 段	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—顶	合计
m_w^i/kg	—	827	17804	25434	25434	25727	95226
m_e^i/kg	—	—	—	—	—	—	—
m_o^i/kg	730	2641	14565	19421	20461	16201	74019
各塔段最小质量/kg	730	1938	8728	14017	15057	12742	53212
全塔最小质量/kg	$m_{\min} = m_{o1} + 0.2m_{o2} + m_{o3} + m_{o4} + m_a + m_e = 41948$						
全塔操作质量/kg	$m_o = m_{o1} + m_{o2} + m_{o3} + m_{o4} + m_{o5} + m_a + m_e = 74202$						
水压试验时最大质量/kg	$m_{\max} = m_{o1} + m_{o2} + m_{o3} + m_{o4} + m_a + m_w + m_e = 148620$						

3.1.5 塔的风载荷与风弯矩计算

1. 塔的风载荷计算

按塔的分段,在每段内风载荷可按作用于该段中心的集中载荷计算,现以塔的第3段风载荷 p_3 计算为例加以说明。

$$p_3 = K_1 K_{23} q_0 f_3 l_3 D_{e3} \times 10^{-6} \text{ N}$$

风载荷计算中各系数的确定:

① K_1 ——体型系数(又称空气动力系数),与塔的截面形状有关,查《塔设备设计》可得,对圆筒形容器, $K_1 = 0.7$;

② q_0 ——塔体 10 m 高处基本风压值,根据设计条件取 $q_0 = 600 \text{ N/m}^2$;

③ f_3 ——风压高度变化系数,查表 3-3 得, $f_3 = 1$;

表 3-3 风压高度变化系数 f_i

距地面高度 h_{it}	地面粗糙度类别			距地面高度 h_{it}	地面粗糙度类别		
	A	B	C		A	B	C
5	1.17	0.80	0.54	50	2.03	1.67	1.36
10	1.38	1.00	0.71	60	2.12	1.77	1.46
15	1.52	1.14	0.84	70	2.20	1.86	1.55
20	1.63	1.25	0.94	80	2.27	1.95	1.64
30	1.80	1.42	1.11	90	2.34	2.02	1.72
40	1.92	1.56	1.24	100	2.40	2.09	1.79

④ l_3 ——计算段长度, $l_3 = 7000 \text{ mm}$;

⑤ ν_i ——脉动影响系数,由表 3-4 查得, $\nu_3 = 0.35$;

表 3-4 脉动影响系数 ν_i

粗糙度 类别	高度 h_{it}/m					
	10	20	40	60	80	100
A	0.78	0.83	0.87	0.89	0.89	0.89
B	0.72	0.79	0.85	0.88	0.89	0.90
C	0.66	0.74	0.82	0.86	0.88	0.89

⑥ T_i ——塔的基本自振周期,对等直径、等厚度圆截面塔,按第一自振周期计算

$$T_1 = 90.33H \sqrt{\frac{m_0 H}{E \delta_e D_i^3}} \times 10^{-3} = 1.87 \text{ s}$$

⑦ ξ ——脉动增大系数,根据自振周期 T ,由表 3-5 查得: $\xi=2.8$;

⑧ ϕ_{z3} ——振型系数,由表 3-6 查得, $\phi_{z3}=0.11$;

表 3-5 脉动增大系数 ξ

$q_1 T_1^2 / N^2 \cdot s \cdot m^{-2}$	10	20	40	60	80	100	200	400	600
ξ	1.47	1.57	1.69	1.77	1.83	1.88	2.04	2.24	2.36
$q_1 T_1^2 / N^2 \cdot s \cdot m^{-2}$	800	1000	2000	4000	6000	8000	10000	20000	30000
ξ	2.46	2.53	2.80	3.09	3.28	3.42	3.54	3.91	4.14

注:计算 $q_1 T_1^2$ 时,对 B 类 $q_1 = q_0$,对 A 类 $q_1 = 1.38q_0$,对 C 类 $q_1 = 0.71q_0$

表 3-6 振型系数 ϕ_{zi}

相对高度 h_{it}/H	塔顶、塔底有效直径比 u			相对高度 h_{it}/H	塔顶、塔底有效直径比 u		
	1	0.8	0.6		1	0.8	0.6
0.1	0.02	0.02	0.01	0.6	0.48	0.44	0.41
0.2	0.07	0.06	0.05	0.7	0.60	0.57	0.55
0.3	0.15	0.12	0.11	0.8	0.73	0.71	0.69
0.4	0.24	0.21	0.19	0.9	0.87	0.86	0.85
0.5	0.35	0.32	0.29	1.0	1.00	1.00	1.00

⑨ K_{z3} ——风振系数,由《塔设备设计》可知

$$K_{z3} = 1 + \frac{\nu_3 \xi}{f_3} = 1 + \frac{0.35 \times 2.8}{1} = 1.98$$

⑩ D_{e3} ——塔有效直径。

设笼式扶梯与塔顶管线成 90° ,取式(3-1)、式(3-2)中较大者

$$D_{e3} = D_0 + 2\sigma + k_3 + k_4 \quad (3-1)$$

$$D_{e3} = D_0 + 2\sigma + k_4 + d_0 + 2\sigma \quad (3-2)$$

其中： $k_3=400\text{ mm}$ ， $d_0=400\text{ mm}$ ， $\sigma=100\text{ mm}$ ；

$$k_4 = \frac{2 \sum A}{L_3} = 2 \times 1 \times 900 \times \frac{1000}{7000} = 257\text{ mm}。$$

按(3-1)式计算： $D_{e3}=1824+2 \times 100+400+257=2681\text{ mm}$ ；

按(3-2)式计算： $D_{e3}=1824+2 \times 100+257+400+2 \times 100=2881\text{ mm}$ ；

取 $D_{e3}=2881\text{ mm}$ 。

将上述系数代入风载荷计算公式，可得

$$p_3 = K_1 K_{23} q_0 f_3 l_3 D_{e3} = 0.7 \times 1.98 \times 600 \times 1 \times 7000 \times 2881 \times 10^{-6} = 16771\text{ N}$$

本设计中，将塔分为6段，具体分段如图3-2所示。以上述方法计算出各段风载荷汇总表3-7。

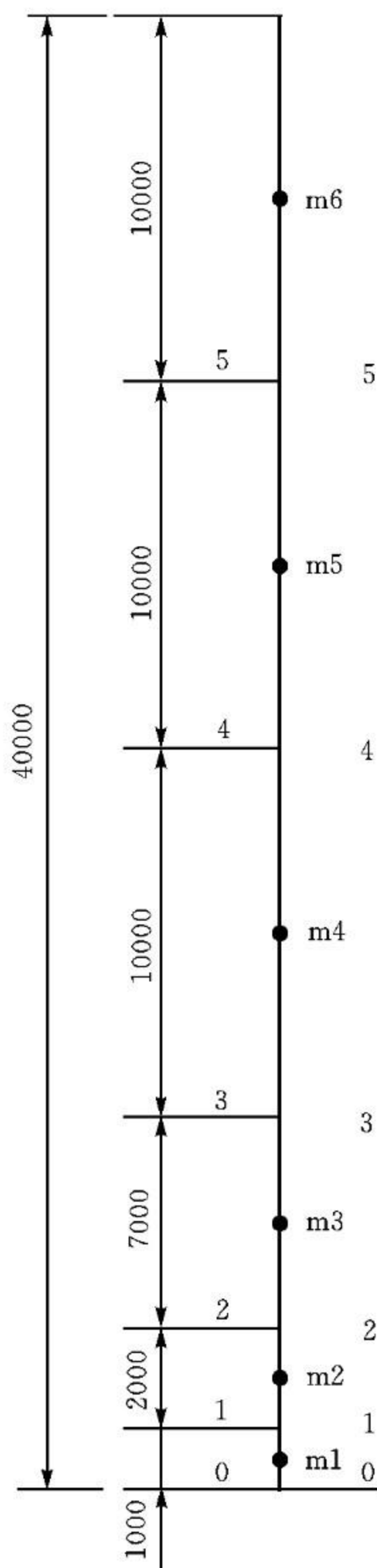


图3-2 塔分段及风载荷计算示意

表 3-7 塔各段风弯矩计算汇总表

计算段	l_i / mm	q_0 / $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	k_1	ν_i	ϕ_{zi}	ξ	k_{2i}	f_i	h_{it} / mm	平台数	k_4 /mm	D_{ei} / mm	p_i /N
1	1000	600	0.7	0.35	0.0075	2.8	1.78	0.78	1	0	0	2624	1530
2	2000	600	0.7	0.35	0.0375	2.8	1.78	0.78	3	0	0	2624	3060
3	7000	600	0.7	0.35	0.110	2.8	1.98	1	10	1	257	2881	14992
4	10000	600	0.7	0.35	0.350	2.8	1.98	1.25	20	1	180	2804	26203
5	10000	600	0.7	0.34	0.665	2.8	1.75	1.41	30	2	360	2984	30925
6	10000	600	0.7	0.31	1.000	2.8	1.7	1.54	40	1	180	2804	30832

2. 塔的风弯矩的计算

塔的风弯矩是指塔各段集中载荷对 0—0 截面、1—1 截面、2—2 截面所产生的弯矩。

(1) 截面 0—0 处计算

$$\begin{aligned}
 M_w^{0-0} &= p_1 \frac{l_1}{2} + p_2 (l_1 + \frac{l_2}{2}) + \dots + p_6 (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + \frac{l_6}{2}) \\
 &= 1530 \times \frac{1000}{2} + 3060 \times (1000 + \frac{2000}{2}) + 14992 \times (1000 + 2000 + \frac{7000}{2}) + 26203 \\
 &\quad \times (1000 + 2000 + 7000 + \frac{10000}{2}) + 30925 \times (1000 + 2000 + 7000 + 10000 + \frac{10000}{2}) \\
 &\quad + 30825 \times (1000 + 2000 + 7000 + 10000 + 10000 + \frac{10000}{2}) \\
 &= 2.35 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

(2) 截面 1—1 处计算

$$\begin{aligned}
 M_w^{1-1} &= p_2 \frac{l_2}{2} + p_3 (l_2 + \frac{l_3}{2}) + \dots + p_6 (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + \frac{l_6}{2}) \\
 &= 3060 \times \frac{2000}{2} + 14992 \times (2000 + \frac{7000}{2}) + 26203 \times (2000 + 7000 + \frac{10000}{2}) \\
 &\quad + 30925 \times (2000 + 7000 + 10000 + \frac{10000}{2}) + 30825 \times (2000 + 7000 + 10000 \times 2 \\
 &\quad + \frac{10000}{2}) = 2.24 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

(3) 截面 2—2 处计算

$$\begin{aligned}
 M_w^{2-2} &= p_3 \frac{l_3}{2} + p_4 (l_3 + \frac{l_4}{2}) + \dots + p_6 (l_3 + l_4 + l_5 + \frac{l_6}{2}) \\
 &= 14992 \times \frac{7000}{2} + 26203 \times (7000 + \frac{10000}{2}) \\
 &\quad + 30925 \times (7000 + 10000 + \frac{10000}{2}) + 30825 \times (7000 + 10000 + 10000 + \frac{10000}{2}) \\
 &= 2.03 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

3.1.6 地震弯矩计算

1. 地震弯矩计算方法

①对 0—0 截面,地震弯矩的计算式为

$$M_E^{0-0'} = \frac{16}{35} C_z \alpha_1 m_0 g H$$

②对 1—1、2—2 截面,地震弯矩的计算式为

$$M_E^{2-2'} = \frac{8C_z \alpha_1 m_0 g}{175H^{2.5}} \times (10H^{3.5} - 14H^{2.5}h + 4h^{3.5})$$

式中: C_z ——塔的结构影响系数;

α_1 ——地震影响系数;

m_0 ——塔操作质量, kg;

H ——计算截面高度, mm。

由前面设计已知,塔高 $H = 40000$ mm,全塔操作质量 $m_0 = 74202$ kg。取结构影响系数 $C_z = 0.5$ (见《塔设备设计》P353 表 7-9),重力加速度 $g = 9.81$ m/s²。地震影响系数 α_1 由表 3-8 和表 3-9 得:地震设防烈度按 9 度考虑, $\alpha_{\max} = 0.9$ 。

$$T_1 = 1.87 \text{ s}, T_g = 0.3, \alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T_1}\right)^{0.9} \times \alpha_{\max} = 0.17。$$

表 3-8 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

表 3-9 场地土的特征周期 T_g

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	0.4	IV	0.65	0.85

2. 各计算截面距地面高度确定

由前述裙座设计可知 0—0、1—1、2—2 截面高度,具体如下:

0—0 截面(裙座基础环板与地面接触面): $h_{0-0} = 0$;

1—1 截面(裙座上人孔中心截面): $h_{1-1} = 1000$ mm;

2—2 截面(裙座与塔体焊缝截面): $h_{2-2} = 3000$ mm

3. 振型影响系数确定

本设计中, $\frac{H}{D_i} = \frac{40000}{1800} = 22 > 5$, 且 $H > 20$ m, 故须考虑高振型影响, 取振型影响系数为

1.25, 即在计算地震弯矩时, 将弯矩结果乘以 1.25。

4. 各截面地震弯矩的计算

①0—0 截面：

$$M_E^{0-0'} = \frac{16}{35} C_z \alpha_1 m_0 g H = \frac{16}{35} \times 0.5 \times 0.17 \times 74202 \times 9.81 \times 40000 = 1.1979 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_E^{0-0} = 1.25 M_E^{0-0'} = 1.497 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

②1—1 截面：

$$\begin{aligned} M_E^{1-1'} &= \frac{8 C_z \alpha_1 m_0 g}{175 H^{2.5}} \times (10 H^{3.5} - 14 H^{2.5} h + 4 h^{3.5}) \\ &= \frac{8 \times 0.5 \times 0.17 \times 74202 \times 9.81}{175 \times 40000^{2.5}} \\ &\quad \times (10 \times 40000^{3.5} - 14 \times 40000^{2.5} \times 1000 + 4 \times 1000^{3.5}) \\ &= 1.156 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$M_E^{1-1} = 1.25 M_E^{1-1'} = 1.445 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

③2—2 截面：

$$\begin{aligned} M_E^{2-2'} &= \frac{8 C_z \alpha_1 m_0 g}{175 H^{2.5}} \times (10 H^{3.5} - 14 H^{2.5} h + 4 h^{3.5}) \\ &= \frac{8 \times 0.5 \times 0.17 \times 74202 \times 9.81}{175 \times 40000^{2.5}} \\ &\quad \times (10 \times 40000^{3.5} - 14 \times 40000^{2.5} \times 3000 + 4 \times 3000^{3.5}) \\ &= 1.07 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$M_E^{2-2'} = 1.25 M_E^{2-2'} = 1.3375 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.1.7 偏心弯矩计算

根据设计要求,不考虑再沸器引起的偏心质量,即 $M_e = 0$ 。

3.1.8 各种载荷引起轴向力计算

1. 塔体内压引起的轴向薄膜拉应力 σ_1

$$\sigma_1 = \frac{p D_i}{4 \delta_e} = \frac{1.2 \times 1800}{4 \times 10} = 54 \text{ MPa}$$

其中： $\delta_e = \delta_n - C = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$ 。

2. 塔体操作质量引起的轴向压应力 σ_2

①截面 0—0：

$$\sigma_2^{0-0} = -\frac{m_0^{0-0} g}{A_{sb}} = -\frac{m_0^{0-0} g}{3.14 D_{is} \delta_{es}} = -\frac{74202 \times 9.81}{3.14 \times 1800 \times 10} = -12.879 \text{ MPa}$$

其中：裙座壁厚 $\delta_e = 12 \text{ mm}$, 有效壁厚 $\delta_{es} = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$, $A_{sb} = 3.14 D_{is} \delta_{es}$ 。

②截面 1—1：

$$\sigma_2^{1-1} = -\frac{m_0^{1-1} g}{A_{sm}} = -12.29 \text{ MPa}$$

其中： $m_0^{1-1} = 74202 - 730 = 73472 \text{ kg}$ ；

A_{sm} ——裙座人孔截面的截面积,查附录 C-2 得: $A_{sm}=58630 \text{ mm}^2$ 。

③截面 2—2:

$$\sigma_2^{2-2} = -\frac{m_0^{2-2}g}{A} = -12.29 \text{ MPa}$$

其中: $m_0^{2-2}=74202-730-2641=70831 \text{ kg}$, $A=3.14D_i\delta_e$ 。

3. 最大弯矩引起的轴向应力 σ_3

①截面 0—0:

$$M_{\max}^{0-0} = M_w^{0-0} = 2.35 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\max}^{0-0} = M_E^{0-0} + 0.25M_w^{0-0} = 1.497 \times 10^9 + 0.25 \times 2.35 \times 10^9 = 2.0845 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Z_{sb} 为裙座圆筒底部截面的抗弯截面系数, $Z_{sb}=0.785D_{is}^2\delta_{es} \text{ mm}^3$,故

$$\sigma_3^{0-0} = \pm \frac{M_{\max}^{0-0}}{Z_{sb}} = \pm \frac{M_{\max}^{0-0}}{0.785D_{is}^2\delta_{es}} = \pm 81.83 \text{ MPa}$$

②截面 1—1:

$$M_{\max}^{1-1} = M_w^{1-1} = 2.24 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\max}^{1-1} = M_E^{1-1} + 0.25M_w^{1-1} = 1.445 \times 10^9 + 0.25 \times 2.24 \times 10^9 = 2.005 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Z_{sm} 为人孔截面的抗弯截面系数,查附录 C-2 得 $Z_{sm}=27677000 \text{ mm}^3$

$$\sigma_3^{1-1} = \pm \frac{M_{\max}^{1-1}}{Z_{sm}} = \pm \frac{M_{\max}^{1-1}}{27677000} = \pm 72.44 \text{ MPa}$$

③截面 2—2:

$$M_{\max}^{2-2} = M_w^{2-2} = 2.03 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\max}^{2-2} = M_E^{2-2} + 0.25M_w^{2-2} = 1.3375 \times 10^9 + 0.25 \times 2.03 \times 10^9 = 1.845 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_3^{2-2} = \pm \frac{M_{\max}^{2-2}}{Z_{sb}} = \pm \frac{M_{\max}^{2-2}}{0.785D_{is}^2\delta_{es}} = \pm 72.54 \text{ MPa}$$

3.1.9 塔体和裙座危险截面校核

1. 最大组合轴向拉应力校核

塔体的最大组合轴向拉应力出现在正常操作时的 2—2 截面上,且

$$\sigma_{amax}^{2-2} = \sigma_1 - \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2} = 54 - 12.29 + 72.54 = 114.25 \text{ MPa}$$

因为 $[\sigma]' = 170 \text{ MPa}$,裙座焊接系数定为 $\phi = 0.85$,安全余量系数 $K = 1.2$,所以

$$K [\sigma]' \phi = 1.2 \times 170 \times 0.85 = 173.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{amax}^{2-2} = 114.25 \text{ MPa} < K [\sigma]' \phi = 173.4 \text{ MPa}$$

结论:最大组合轴向拉应力校核安全。

2. 塔体与裙座的稳定校核

(1)2—2 截面校核

塔体 2—2 截面上的最大组合轴向压应力

$$\sigma_{amax}^{2-2} = \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2} = -12.29 - 72.54 = -84.83 \text{ MPa}$$

按外压计算, $A = \frac{0.094}{R_i/\delta_e} = \frac{0.094}{900/10} = 0.00104$,查外压容器计算图,得 $B = 130 \text{ MPa}$, $[\sigma]' =$

170 MPa,安全余量系数 $K = 1.2$ 。

$$[\sigma]_{cr} = \min\{KB, K[\sigma]'\} = \min\{156, 204\} = 156 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max}^{2-2} = 84.83 \text{ MPa} < [\sigma]_{cr}$$

结论:塔体 2—2 截面在最大组合轴向压应力作用下安全。

(2) 1—1 截面校核

塔体 1—1 截面上的最大组合轴向压应力

$$\sigma_{\max}^{1-1} = \sigma_2^{1-1} + \sigma_3^{1-1} = -12.29 - 72.44 = -84.73 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{0.094}{900/10} = 0.00104, \text{ 查外压容器计算图, } B = 108 \text{ MPa, 按 Q235 - B 考虑, 取 } [\sigma]' =$$

113 MPa, 安全余量系数 $K = 1.2$ 。

$$[\sigma]_{cr} = \min\{KB, K[\sigma]'\} = \min\{129.6, 135.6\} = 129.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max}^{1-1} = 84.73 < [\sigma]_{cr}$$

结论:塔体 1—1 截面在最大组合轴向压应力作用下安全。

(3) 截面 0—0 校核

塔体 0—0 截面上的最大组合轴向压应力

$$\sigma_{\max}^{0-0} = \sigma_2^{0-0} + \sigma_3^{0-0} = -12.879 - 81.83 = -94.709 \text{ MPa}$$

其中, $B = 108 \text{ MPa}$, $[\sigma]' = 113 \text{ MPa}$, 安全余量系数 $K = 1.2$ 。

$$[\sigma]_{cr} = \min\{KB, K[\sigma]'\} = \{129.6, 135.6\} = 129.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max}^{0-0} = 94.709 \text{ MPa} < [\sigma]_{cr}$$

结论:塔体 0—0 截面在最大组合轴向压应力作用下安全。

各危险截面强度与校核汇总见表 3-10。

表 3-10 塔的各危险截面强度与校核汇总表

项目 (计算截面)	0—0	1—1	2—2	
塔体与裙座有效厚度 $\delta_e, \delta_{es}/\text{mm}$	10	10	10	
截面以上的操作质量 m_0^{i-i}	74202	73280	70639	
计算截面面积 A^{i-i}/mm^2	56520	58630	56520	
计算截面的抗弯截面系数 $Z^{i-i}/\times 10^7, \text{mm}^3$	2.54	2.7677	2.54	
最大弯矩 $M_{\max}^{i-i}/\times 10^9, \text{N}\cdot\text{mm}$	2.0845	2.005	1.845	
最大允许轴向拉应力 $[\sigma]'$	170	—	—	
最大允许轴向压应力	KB/MPa	129.6	129.6	156
	$K[\sigma]'/\text{MPa}$	135.6	135.6	204
计算压力引起的轴向拉应力 σ_1/MPa	0	0	54	
操作质量引起的轴向压应力 $\sigma_2^{i-i}/\text{MPa}$	-12.879	-12.29	-12.29	

项目 (计算截面)	0—0	1—1	2—2
最大弯矩引起的 轴向应力 σ_3^{i-i} /MPa	±81.83	±72.44	±72.54
最大组合轴向 拉应力 σ_{\max}^{i-i} /MPa	—	—	114.25
最大组合轴向 压应力 σ_{\max}^{i-i} /MPa	-94.709	-84.73	-84.83
强度与稳定 校核	强度	满足要求	满足要求
	稳定性	满足要求	满足要求

3.1.10 塔体水压试验和吊装时的应力校核

1. 试验压力和液柱静压力引起的环向应力

$$\sigma_T = \frac{(P_t + \text{液柱静压力})(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} = \frac{(1.5 + 0.4) \times (1800 + 10)}{2 \times 10} = 171.95 \text{ MPa}$$

$$P_t = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} = 1.25 \times 1.2 \times \frac{170}{170} = 1.5 \text{ MPa}$$

液柱静压力: $\rho g H = 1000 \times 40 = 0.4 \text{ MPa}$ 。

① 试验压力引起的轴向拉应力:

$$\sigma_1 = \frac{P_t D_i}{4\delta_e} = \frac{1.5 \times 1800}{4 \times 10} = 67.5 \text{ MPa}$$

② 水压实验时最大质量引起的轴向压应力: 原创

$$\sigma_2^{2-2} = -\frac{m_{\max}^{2-2} g}{3.14 D_i \delta_e} = -\frac{148428 \times 9.81}{3.14 \times 1800 \times 10} = -25.76 \text{ MPa}$$

③ 弯矩引起的轴向应力:

$$\sigma_3^{2-2} = \pm \frac{0.3 M_w^{2-2} + M_e}{0.785 D_i^2 \delta_e} = \pm 23.94 \text{ MPa}$$

2. 水压试验时应力校核

① 筒体环向应力校核:

$$0.9\sigma_s \phi = 0.9 \times 345 \times 0.9 = 279.45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = 171.95 < 0.9\sigma_s \phi = 279.45 \text{ MPa}$$

满足要求。

② 最大组合轴向拉应力校核:

$$\sigma_{\max}^{2-2} = \sigma_1 + \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2} = 67.5 - 25.76 + 23.94 = 65.68 \text{ MPa}$$

$$0.9\sigma_s \phi = 0.9 \times 345 \times 0.9 = 279.45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max}^{2-2} = 65.68 \text{ MPa} < 0.9\sigma_s \phi$$

满足要求。

③最大组合轴向压应力校核：

$$\sigma_{\max}^{2-2} = \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2} = -25.76 - 23.94 = -49.7 \text{ MPa}$$

$$0.9\sigma_s = 0.9 \times 345 = 310.5 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\max}^{2-2}| = 49.7 \text{ MPa} < [\sigma]_{\text{cr}} = \min\{KB, 0.9\sigma_s\} = \min\{130, 310.5\} = 130 \text{ MPa}$$

满足要求。

3. 吊装时应力校核

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{\left(\frac{m_{\min}g}{H-h}\right)H^2/8}{0.785D_i^2\delta_n} = \frac{m_{\min}gH^2}{6.28D_i^2\delta_n(H-h)} = 82.97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} < [\sigma]_{\text{cr}} = \min\{KB, 0.9\sigma_s\} = \min\{130, 310.5\} = 130 \text{ MPa}$$

满足要求。

3.1.11 基础环设计

1. 基础环尺寸确定

基础环的内、外径一般可参考下式选取

$$D_{\text{ob}} = D_{\text{is}} + (160 \sim 400) \text{ mm}$$

$$D_{\text{ib}} = D_{\text{is}} - (160 \sim 400) \text{ mm}$$

本例选取系数为 300，故有

$$D_{\text{ob}} = D_{\text{is}} + 300 = 1800 + 300 = 2100 \text{ mm}$$

$$D_{\text{ib}} = D_{\text{is}} - 300 = 1800 - 300 = 1500 \text{ mm}$$

由此确定的基础环结构示意如图 3-3 所示。

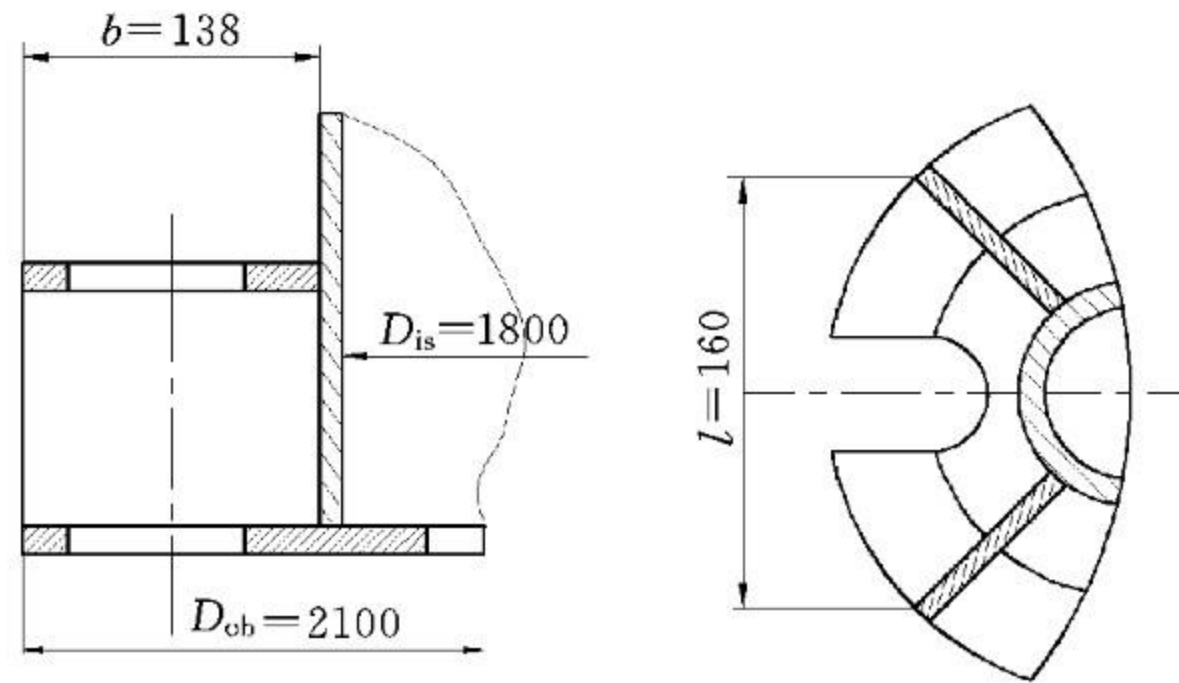


图 3-3 塔的基础环板结构示意图

2. 基础环的应力校核

$$\sigma_{\max} = \left\{ \frac{M_{\max}^{0-0}}{Z} + \frac{m_0g}{A_b}, \frac{0.3M_w^{0-0}}{Z_b} + \frac{m_{\max}g}{A_b} \right\}$$

其中, $A_b = 0.785(D_{\text{ob}}^2 - D_{\text{ib}}^2) = 0.785 \times (2100^2 - 1500^2) = 1695600 \text{ mm}^2$

$$Z_b = \frac{3.14(D_{\text{ob}}^4 - D_{\text{ib}}^4)}{32D_{\text{ob}}} = 6.72 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\text{bl}} = \frac{M_{\max}^{0-0}}{Z_b} + \frac{m_0g}{A_b} = 3.5319 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{0.3M_w^{0-0}}{Z_b} + \frac{m_{\max}g}{A_b} = 1.9088 \text{ MPa}$$

取以上两者中的较大值 $\sigma_{b\max} = \sigma_{b1} = 3.5319 \text{ MPa}$, 选用 100 号混凝土, 查表 3-11 得其许用应力: $R_a = 5.0 \text{ MPa}$, $\sigma_{b\max} = 3.532 < R_a = 5.0 \text{ MPa}$, 满足要求。

表 3-11 混凝土基础的许用应力 R_a

混凝土标号	75	100	150	200	250
R_a/MPa	3.5	5.0	7.5	10.0	13.0

3. 基础环的厚度计算

假设螺栓直径为 M42, 由表 3-13 查得 $l = 160 \text{ mm}$, 当 $b/l = 138/160 = 0.86$ 时, 由表 3-12 查得

$$M_x = -0.1536\sigma_{\max}b^2 = -0.1536 \times 1.9088 \times 138^2 = -5583.54 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_y = 0.08266 \times 1.9088 \times 160^2 = 4039.20 \text{ N} \cdot \text{m}$$

取两者中较大值, 故 $M_s = |M_x| = 5583.54 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

按有筋板时计算基础环厚度:

$$\delta_b = \sqrt{\frac{6M_s}{[\sigma]_b} + C} = \sqrt{\frac{6 \times 5583.54}{140} + 3} = 18 \text{ mm}, \text{圆整后取 } \delta_b = 20 \text{ mm}。$$

表 3-12 矩形板力矩计算表

b/l	$M_x(x=b, y=0)$	$M_y(x=0, y=0)$	b/l	$M_x(x=b, y=0)$	$M_y(x=0, y=0)$
0	$-0.5000 \sigma_{b\max} b^2$	0	1.6	$-0.0485 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1260 \sigma_{b\max} l^2$
0.1	$-0.5000 \sigma_{b\max} b^2$	$0.000002 \sigma_{b\max} l^2$	1.7	$-0.0430 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1270 \sigma_{b\max} l^2$
0.2	$-0.4900 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0006 \sigma_{b\max} l^2$	1.8	$-0.0384 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1290 \sigma_{b\max} l^2$
0.3	$-0.4400 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0051 \sigma_{b\max} l^2$	1.9	$-0.0345 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1300 \sigma_{b\max} l^2$
0.4	$-0.3850 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0151 \sigma_{b\max} l^2$	2.0	$-0.0312 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1300 \sigma_{b\max} l^2$
0.5	$-0.3190 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0293 \sigma_{b\max} l^2$	2.1	$-0.0283 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1310 \sigma_{b\max} l^2$
0.6	$-0.2600 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0453 \sigma_{b\max} l^2$	2.2	$-0.0258 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1320 \sigma_{b\max} l^2$
0.7	$-0.2120 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0610 \sigma_{b\max} l^2$	2.3	$-0.0236 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1320 \sigma_{b\max} l^2$
0.8	$-0.1730 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0751 \sigma_{b\max} l^2$	2.4	$-0.0217 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1320 \sigma_{b\max} l^2$
0.9	$-0.1420 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0872 \sigma_{b\max} l^2$	2.5	$-0.0200 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.0	$-0.1180 \sigma_{b\max} b^2$	$0.0972 \sigma_{b\max} l^2$	2.6	$-0.0185 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.1	$-0.0995 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1050 \sigma_{b\max} l^2$	2.7	$-0.0171 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.2	$-0.0846 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1120 \sigma_{b\max} l^2$	2.8	$-0.0159 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.3	$-0.0726 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1160 \sigma_{b\max} l^2$	2.9	$-0.0149 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.4	$-0.0629 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1200 \sigma_{b\max} l^2$	3.0	$-0.0139 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1330 \sigma_{b\max} l^2$
1.5	$-0.0550 \sigma_{b\max} b^2$	$0.1230 \sigma_{b\max} l^2$			

注: l ——两相邻筋板最大外侧间距, mm

b ——基础环在整体外面的径向宽度, $(D_{ob} - D_c - 2\delta_c)/2$, mm

表 3-13 螺栓座尺寸

螺栓	M24	M27	M30	M36	M42	M48	M56
d_1	30	34	36	42	48	56	62
d_2	36	40	42	48	54	60	68
S_a	24	26	28	32	36	40	46
S_n	12			16	18	20	22
h_i	300			350		400	
l	120			160		200	
l_1	$l+50$			$l+60$		$l+70$	
b	$(D_{ob} - D_c - 2\delta_c)/2$						

3.1.12 塔的地脚螺栓计算

1. 地脚螺栓承受的最大拉应力

$$\sigma_B = \left\{ \frac{M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{M_{\min}g}{A_b}, \frac{M_E^{0-0} + 0.25M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{m_0g}{A_b} \right\}$$

其中

$$M_{\min} = 41948 \text{ kg}$$

$$M_0 = 74202 \text{ kg}$$

$$Z_b = 6.72 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$M_E^{0-0} = 1.497 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_w^{0-0} = 2.35 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_B = \frac{M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{M_{\min}g}{A_b} = 3.739 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = \frac{M_E^{0-0} + 0.25M_w^{0-0} + M_e}{Z_b} - \frac{m_0g}{A_b} = 3.10 - 0.43 = 2.67 \text{ MPa}$$

取两者中较大值, $\sigma_B = 3.739 \text{ MPa}$ 。

2. 地脚螺栓的螺纹根径确定

选取地脚螺栓个数 $n=40$, 查表选地脚螺栓许用应力 $[\sigma]_{bt} = 147 \text{ MPa}$, 取参数 $C_4 = 2 \text{ mm}$, 则地脚螺栓直径

$$d_1 = \sqrt{\frac{4\sigma_B A_b}{3.14n [\sigma]_{bt}}} + C_4 \sqrt{\frac{4 \times 3.739 \times 1695600}{3.14 \times 40 \times 147}} + 2 = 39.06 \text{ mm}$$

由表 3-14 查得 M42 螺栓的螺纹小径 $d_1 = 37.129 \text{ mm}$, 故选用 40 个 M42 的地脚螺栓, 满足要求。

表 3-14 螺栓根径与公称直径对照表

螺栓工程直径/mm	M24	M27	M30	M36	M42	M48	M56
螺栓根径/mm	20.752	23.752	26.211	31.670	37.129	42.588	50.046

3.2 列管式换热器结构设计

3.2.1 设计条件

试设计一固定管板式列管换热器,主要工艺参数如下。

①换热器流程及介质工作参数:换热器介质类别、压力、温度等工作参数见表3-15所示。

表 3-15 换热器流程及气体工作参数表

流程	介质	压力/MPa	温度/°C
管程	半水煤气	0.70	180~370
壳程	变换气	0.68	300~220

②壳、管壁温差 50°C , $t_t > t_s$ (t_t ——换热器管层温度, t_s ——换热器壳层温度)。

③工艺换热面积不小于 110 m^2 。

3.2.2 传热面积及换热管数计算

1. 传热面积确定及换热管选择

本设计条件中给定工艺换热面积为 110 m^2 ,考虑到换热管因泄露在维修中的堵管带来的换热面积减小,设计时通常将工艺换热面积放大一定倍数,以保证维修不致使换热面积不足,本设计选放大系数 1.2。

故实际设计面积: $F = 1.2 \times 110 = 132\text{ m}^2$,最终确定传热面积为 130 m^2 。

换热管选用 $\phi 25 \times 2.5$ 的无缝钢管制造而成,材质为 20 号钢,管长 $L = 3\text{ m}$ 。由

$$F = \pi d_{\text{均}} L n$$

可得换热管数量

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{均}} L} = \frac{130}{\pi \times 0.0225 \times 3} = 613$$

其中 6 根设计成拉杆,实际管数 607 根。

2. 管子排列方式、管间距的确定

采用正三角形排列,参考《化工设备机械基础》P208 表 7-4 可确定列管层数为 13 层,管间距 $a = 32\text{ mm}$ 。

3.2.3 换热器直径计算

换热器直径与管间距、管数、边缘管中心距与壳体间距均有关系,具体如下式

$$D_i = a(b-1) + 2L$$

式中 D_i ——换热器内径, mm;

a ——换热管间距, mm;

b ——正六角形对角线上的管子数, 由《化工设备机械基础》P208 表 7-4, 查得 $b=27$ mm;

L ——最外层管子的中心到壳壁边缘的距离, 通常取 $L=2d_0$ 。

计算可得: $D_i = 32 \times (27-1) + 2 \times 2 \times 25 = 932$ mm, 圆整, 换热器内径取 $D_i = 1000$ mm。

3.2.4 换热器壳体壁厚计算

计算壁厚按内压容器壁厚计算进行, 即

$$\delta_n = \frac{P_c D_i}{2 [\sigma]^t \phi - P_c} + c + \Delta$$

式中: P_c 为计算压力, 本设计在换热器壳体设置安全阀装置, 按 GB 150—98 标准, $P_c = P_w \times 1.3$, 取 $P_c = 1.0$ MPa。

按工作压力, 本设备属于二类容器, 设备焊接采用双面对接焊、局部探伤检验, 即 $\phi = 0.85$ 。

换热器材料选用 20R 钢, 设壳壁温度 300°C (按壳程介质最高温度考虑, 即选用壳壁最高温度), 查附录 B 得: $[\sigma]^{300} = 101$ MPa。

由上述计算, 换热器内径 $D_i = 1000$ mm, 故换热器壳体壁厚

$$\delta_0 = \frac{P_c D_i}{2 [\sigma]^t \phi - P_c} = \frac{1.0 \times 1000}{2 \times 101 \times 0.85 - 1.0} = 5.86 \text{ mm}$$

取 $C_2 = 1.2$ mm, $C_1 = 0.25$ mm, 圆整后实取 $\delta_n = 8$ mm。

结论: 选 8 mm 的 20R 钢板制造换热器壳体。

3.2.5 换热器壳体封头选择

换热器封头均选用标准椭圆形封头, 材料选用 20R 钢。经封头壁厚计算, 用 8 mm 厚钢板制成。根据 JB/T 4746—2002 标准, 封头曲面高度 $h_1 = 250$ mm, 直边高度 $h_2 = 40$ mm, 具体形状如图 3-4 所示。

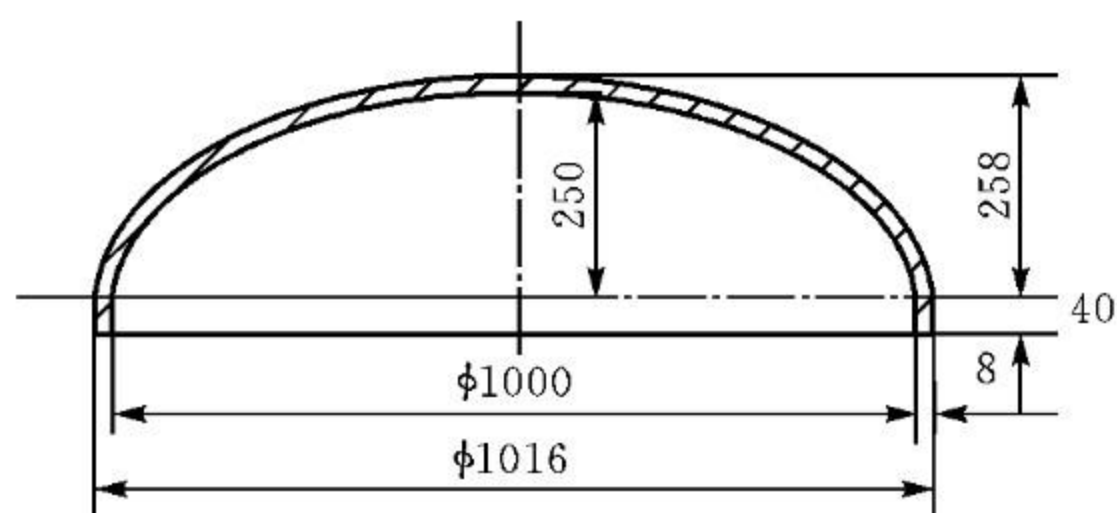


图 3-4 椭圆形封头

3.2.6 容器法兰的选择

容器法兰材料选 16MnR。根据 JB 4703—92 标准,选用 DN1000 mm、PN1.6 MPa 的榫槽密封长颈对焊法兰结构。法兰尺寸如图 3-5 所示。

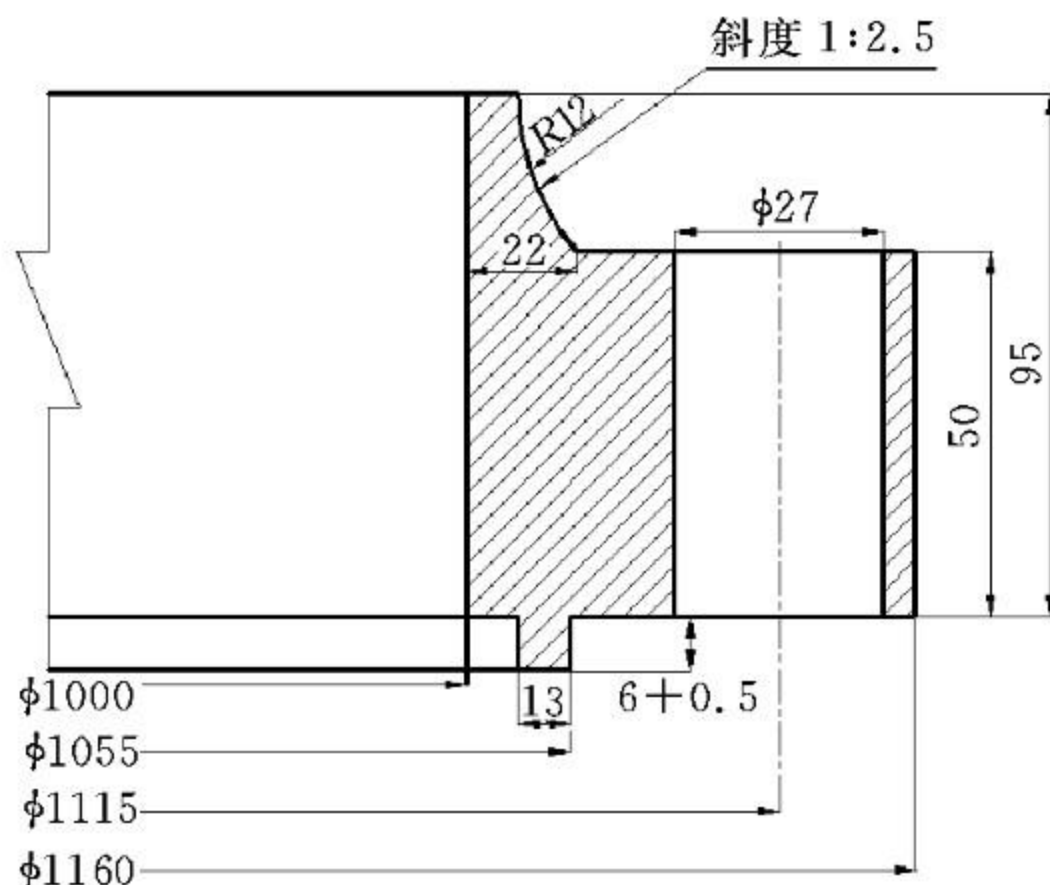


图 3-5 容器法兰

3.2.7 管板尺寸确定

由设计条件,本设计选用固定管板式换热器、管板兼做法兰结构。由《钢制列管式固定管板换热器结构设计手册》查得,当 $P_t = P_s = 1.6 \text{ MPa}$ (取管板的公称压力为 1.6 MPa) 时的碳钢管板尺寸,如图 3-6 所示。

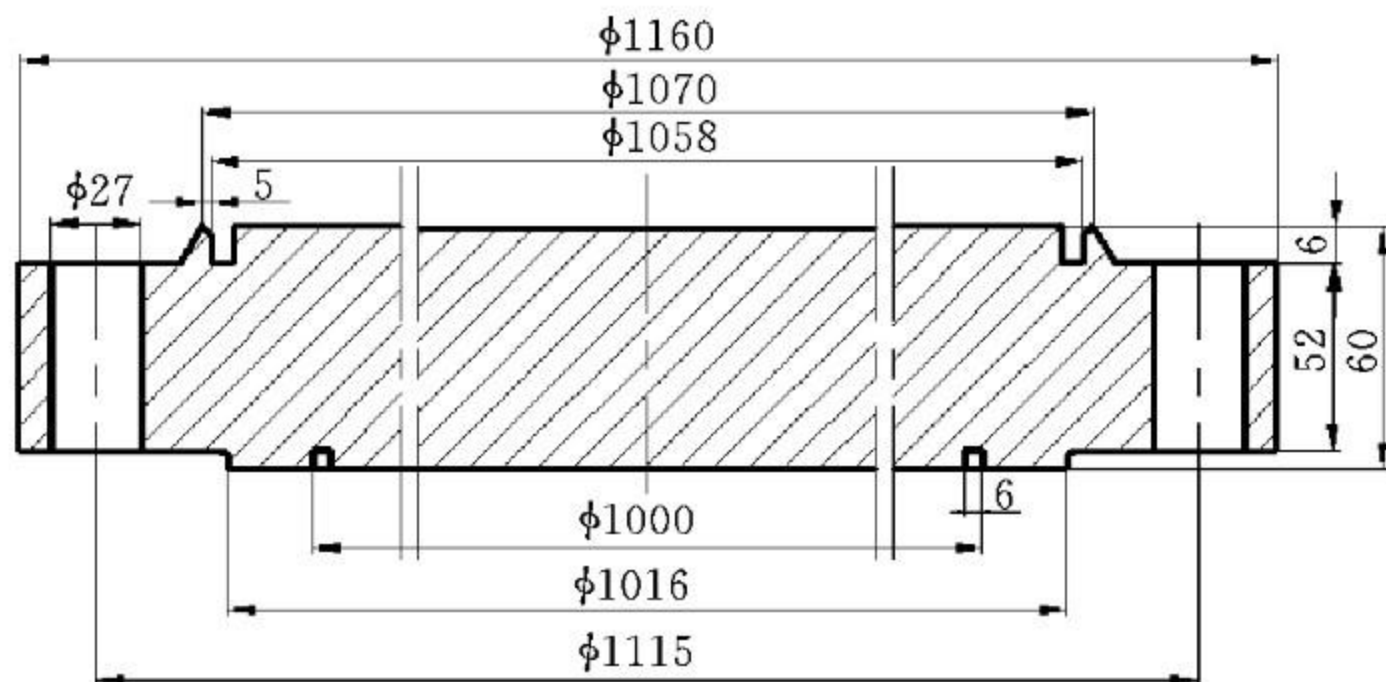


图 3-6 管板结构示意图

3.2.8 管子拉脱力计算

本设计换热管与管板间采用胀接连接,故需进行管子拉脱力核算。

①在操作压力下,每平方米胀接周边所产生的力 q_p :

$$q_p = \frac{pf}{\pi d_o l} \quad \text{MPa}$$

式中: $f = 0.866a^2 - \frac{\pi}{4d_o^2} = 0.866 \times 32^2 - \frac{\pi}{4 \times 25^2} = 396 \text{ mm}^2$

$$p = 0.7 \text{ MPa}$$

$$l=50 \text{ mm}$$

$$q_p = \frac{0.7 \times 396}{\pi \times 25 \times 50} = 0.07 \text{ MPa}$$

②温差应力导致的每平方米胀接周边上的拉脱力 q_t :

$$q_t = \frac{\sigma_t (d_o^2 - d_i^2)}{4d_o l}$$

式中:

$$\sigma_t = \frac{\alpha E (t_t - t_s)}{1 + \frac{A_t}{A_s}} \text{ MPa}$$

$$A_s = \pi \times D_{\text{中}} \times \delta_n = \pi \times 1008 \times 8 = 25400 \text{ mm}^2$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) n = \frac{\pi}{4} \times (25^2 - 20^2) \times 607 = 107100 \text{ mm}^2$$

则

$$\sigma_t = \frac{11.8 \times 10^{-6} \times 0.21 \times 10^6 \times 50}{1 + \frac{107100}{25400}} = 23.8 \text{ MPa}$$

$$q_t = \frac{23.8 \times (25^2 - 20^2)}{4 \times 25 \times 50} = 1.07 \text{ MPa}$$

由已知条件可知, q_p 与 q_t 的作用方向相同, 都使管子受压, 则合拉脱力

$$q = q_p + q_t = 1.14 < [q] = 4.0 \text{ MPa}$$

因此, 拉脱力在许用范围内。

3.2.9 膨胀节设计

①管、壳壁温度差所产生的轴向力:

$$F_1 = \frac{\alpha E (t_t - t_s)}{A_s + A_t} \cdot A_s \cdot A_t = \frac{11.8 \times 10^{-6} \times 0.21 \times 10^6 \times 50}{25400 + 107100} \times 25400 \times 107100$$

$$= 2.56 \times 10^6 \text{ N}$$

式中: α ——管子和壳体材料的温度膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$, 取 11.8×10^{-6} ;

E ——管子和壳体材料的弹性模量, MPa, 取 0.21×10^6 ;

A_s ——壳体横截面面积, mm^2 ;

A_t ——换热管总截面面积, mm^2 。

②压力作用于壳体上的轴向力:

$$F_2 = \frac{QA_s}{A_s + A_t}$$

其中

$$Q = \frac{\pi}{4} [(D_i^2 - nd_o^2) p_s + n(d_o - 2\delta_t)^2 p_t]$$

$$= \frac{\pi}{4} [(1000^2 - 607 \times 25^2) \times 0.68 + 607 \times (25 - 2 \times 2.5)^2 \times 0.7]$$

$$= 0.465 \times 10^6 \text{ N}$$

则

$$F_2 = \frac{465000 \times 25400}{107100 + 25400} = 0.087 \times 10^6 \text{ N}$$

③压力作用于管子上的轴向力:

$$F_3 = \frac{QA_t}{A_t + A_s} = \frac{465000 \times 107100}{107100 + 25400} = 0.378 \times 10^6 \text{ N}$$

则

$$\sigma_s = \frac{F_1 + F_2}{A_s} = 104.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{-F_1 + F_3}{A_t} = -19.8 \text{ MPa}$$

根据《钢制管壳式换热器设计规定》:

$$\sigma_s = 104.2 < 2\phi[\sigma]_s' = 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = -19.8 < 2[\sigma]_t' = 206 \text{ MPa}$$

$$q < [q] = 4.0 \text{ MPa}$$

故本换热器不必设置膨胀节。

3.2.10 折流板与拉杆设计

折流板结构采用弓形结构, 缺口高度 $h = \frac{3}{4}D_i = 750 \text{ mm}$, 折流板间距取 600 mm 。参考《化工设备机械基础》P213 表 7-7, 选折流板最小厚度为 6 mm , 折流板外径为 995.5 mm , 折流板开孔直径为 $\phi 25.8 \text{ mm}$, 材料为 Q235-A 钢, 具体结构见图 3-7。

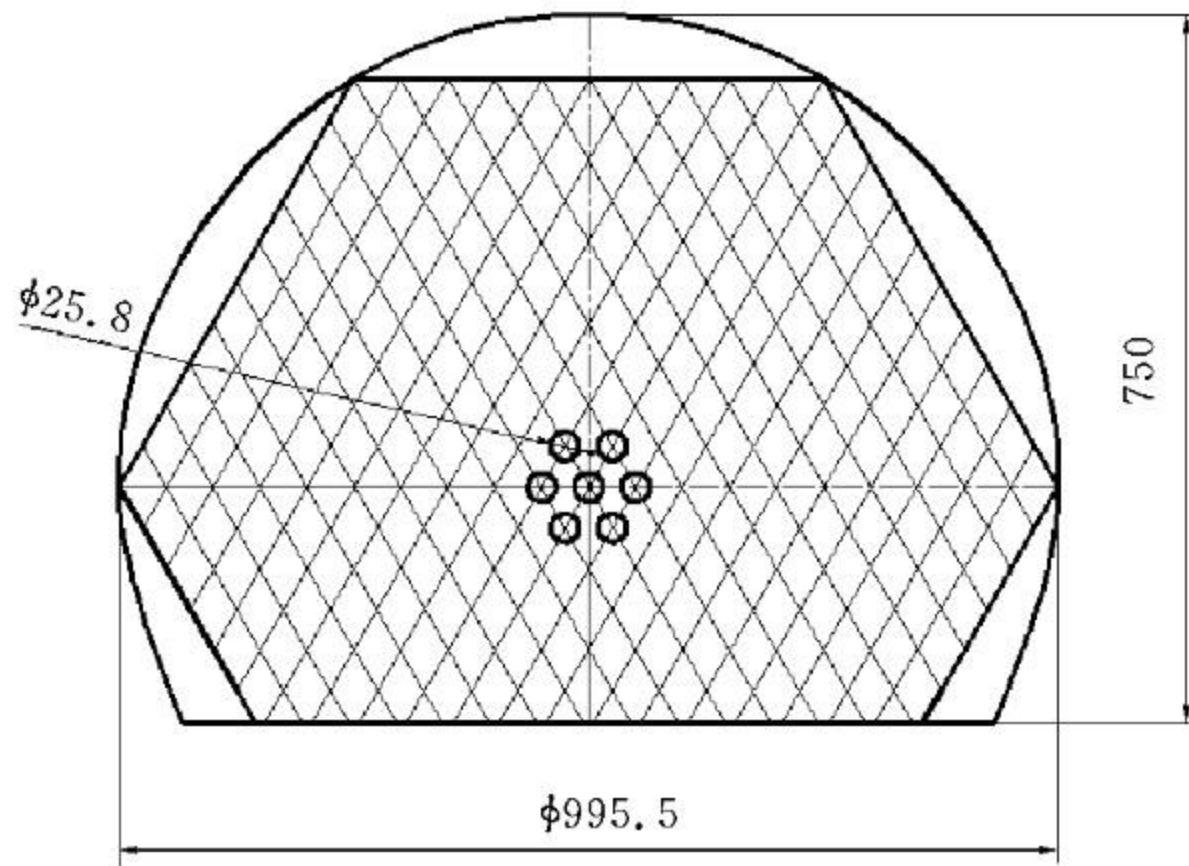


图 3-7 弓形结构折流板

拉杆选用 Q235-AF 材料制成, 直径 $\phi 12 \text{ mm}$, 共设 6 根, 采用均布分布。

3.2.11 开孔补强

换热器壳体和封头上的接管开孔处需要补强计算, 补强采用补强圈补强方式, 补强圈材料为 20R, 根据 JB/T 4736—2002 查得补强圈板厚为 8 mm , 查《化工容器设计手册》P269 表 6-1, 可得补强圈主要结构尺寸, 如表 3-16 及图 3-8 所示。

表 3-16 补强圈内外径尺寸一览表

管口代号	管口名称	管口尺寸/mm	接管外径/mm	补强圈内径/mm	补强圈外径/mm
a	变换气进口	DN250	273	277	480
b	半水煤气进口	DN200	219	223	400
c	变换气出口	DN250	273	277	480
d	半水煤气出口	DN200	219	223	400

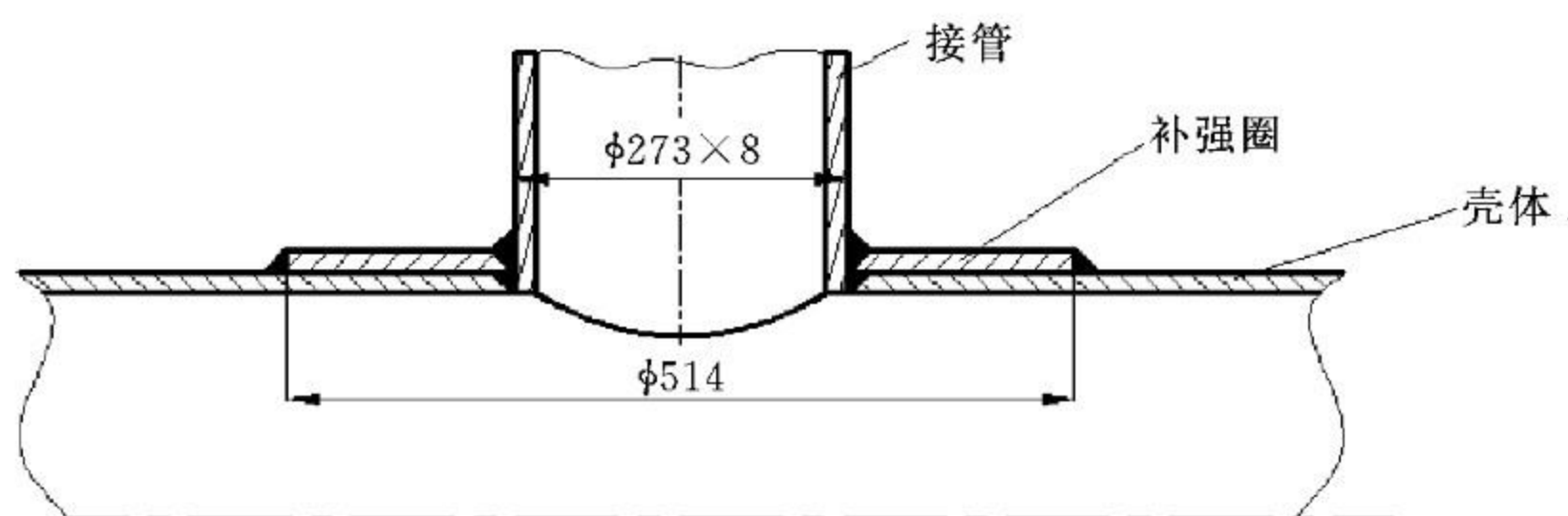


图 3-8 换热器开孔补强结构示意图

3.2.12 支座选择

由于换热器工作中立式安装,故采用裙座支撑结构。按 HG 21515—95 标准,选裙座材料 Q235-A,板厚为 8 mm,座体尺寸为:DN1000×8(mm×mm),裙座人孔为 $\phi 426 \times 8$ (mm×mm)。具体结构见图 3-9 所示。

3.2.13 图纸技术要求

①本设备按《管壳式换热器》(GB 151—1999)进行制造、试验和验收,并接受国家质量技术监督局颁布的《压力容器安全技术监察规程》的监督。

②焊接采用电弧焊,焊条标号:16MnR 间为 J507,16MnR 与 20 钢间为 J427;

③焊接接头形式及尺寸除图中注明外,按 HG 20583—1995 中的规定,不带补强圈的接管与筒体的接头为 G2,带补强圈的接管与筒体的接头为 G29,每个焊缝的焊角尺寸按较薄板的厚度,法兰的焊接按相应法兰标准中的规定;

④列管与管板的连接采用开槽胀接;

⑤壳体焊缝应进行射线探伤检查,探伤长度不得少于各条焊缝长度的 20%,且不小于 250 mm,符合《压力容器无损检测》(JB 4730—1994),Ⅱ级为合格;

⑥制造完毕后,进行水压试验,壳程试验压力 1.65 MPa(表压);

⑦图纸上的技术特性、接管表及标题栏明细表见表 3-17、表 3-18 和表 3-19。

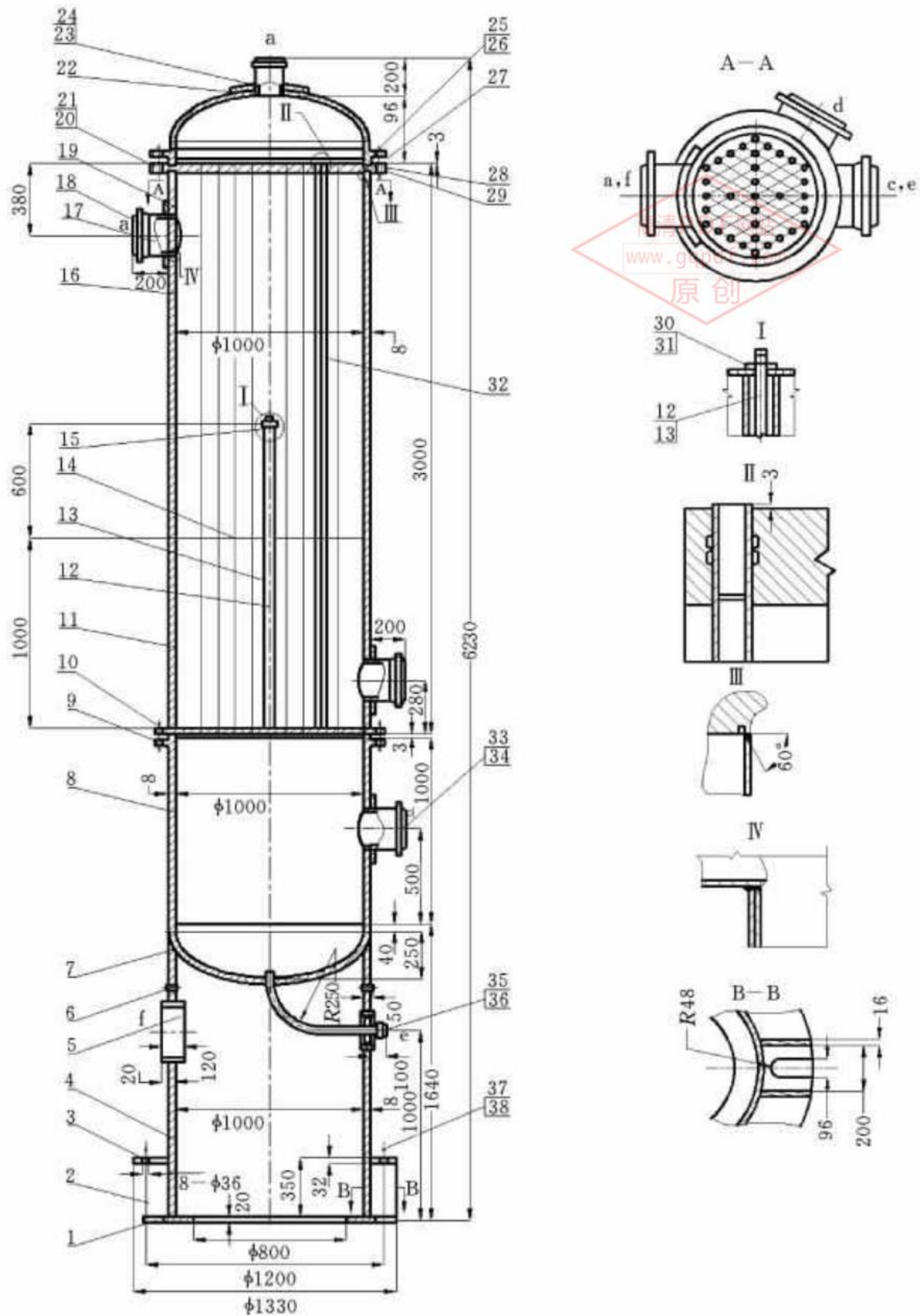


图 3-9 换热器装配图

表 3-17 换热器技术特性表

序号	名称	指 标	
		管程	壳程
1	物料名称	半水煤气	变换气
2	工作压力/MPa	0.7	0.68
3	工作温度/°C	180~370	300~220
4	传热面积/m ²	130	

表 3-18 换热器接管表

接管代号	接管法兰标准	密封面形式	用途
a	PN1.6 DN250—HG 20592—2009	平面	变换气进口
b	PN1.0 DN200—HG 20592—2009	平面	半水煤气进口
c	PN1.6 DN250—HG20592—2009	平面	变换气出口
d	PN1.0 DN200—HG20592—2009	平面	半水煤气出口

表 3-19 换热器零部件明细表

序号	图号或标准号	名称	材料	数量	单重	总重	备注
1		基础环 $\sigma=20$	Q235-A	1		103	
2		筋板 $252 \times 157 \times 12$	Q235-A	16	3.8	60.6	
3		盖板 $260 \times 160 \times 32$	Q235-A	8	9.1	73	
4		座体 $DN1000 \times 8, L=1560$	Q235-A	1		311	
5	HG21515—95	人孔 $\phi 4268, l=120$	20R	1		11.1	
6	GB/T 8163	排气孔 $\phi 573.5, L=80$	10A	2	0.369	0.74	
7	JB/T 4746—2002	封头 $DN1000 \times 8$	20R	2	74.1	148.2	
8	GB 9019—88	筒体 $DN1000 \times 8$	20R	1		174.5	
9	JB 4703—2000	榫面法兰 $PN1.6, DN1000$	16MnR	1		112	
10	30—017—02	下管板 $\delta=60$	16MnR	1		300	
11	GB 9019—2000	下筒体 $DN1000 \times 8, L=2060$	20R	1		410	
12	30—017—03	拉杆 $\phi 12$	Q235-A	6	2.03	12.18	
13	GB 8163	定距管 $\Phi 25 \times 25$	20			17.2	
14	30—017—04	折流板 $\Phi 99.5, \delta=6$	Q235-A	1		96.6	
15	30—017—05	折流板 $\Phi 99.5, \delta=6$	Q235-A	1		96.6	
16	GB/T 9019—2001	上筒体 $DN1000 \times 8, L=654$	20R	1		120	
17	GB 8163	接管 $\Phi 273 \times 8, L=140$	20	2	7.32	14.6	
18	HG 20592	法兰 $PN1.6, DN250$	16MnR	2	17.8	35.6	
19	JB/T 4736—2002	补强圈 $DN250 \times 8$	16MnR	2		7.58	
20	GB 64—62	六角螺塞 $A12 \times 1.25$	Q235-A	2	0.03	0.06	
21	GB/T 95—12—100HV	垫圈 A12	Q235-A	2	0.006	0.012	
22	JB/T 4736—2002	补强圈 $DN200 \times 8$	16MnR	2		5.44	
23	GB 8163	接管 $\Phi 219 \times 6, L=210$	20	1		6.62	
24	HG 20592	法兰 $PN1.0 DN200$	20	1		8.24	

序号	图号或标准号	名称	材料	数量	单重	总重	备注
25	JB 4707—2000	双头螺柱 M24×130	40MnVB	88	0.39	34.4	
26	GB/T 6170	螺母 AM24 8级	40Mn	88	0.112	9.86	
27	JB 4703—2000	榫面法兰 PN1.6 DN1000	16MnR	1		112	
28	JB 4705—2000	缠绕垫片 Φ1054—Φ1026		2			
29	30—017—06	上管板 δ=60	16MnR	1			300
30	GB/T 6170	螺母 AM12 8级	Q235-A	6	0.016	0.10	
31	GB/T 95—12—100HV	垫圈 A12	Q235-A	6	0.006	0.036	
32	GB/T 8163	列管 Φ25×2.5, L=3000	20	607	4.17	2531	
33		接管 Φ219×6, L=210	20	1		6.62	
34	HG 20592	法兰 PN1.0 DN200	20	1		8.24	
35		接管 Φ57×3.5, L=858	20	1		4.00	
36	HG 20592	法兰 PN1.0 DN50	20	1		2.08	
37	GB/T 799—1988	地角螺栓 M30×1000	Q235-A	8	5.52	44.2	
38	GB/T 41—2000	螺母 M30	Q235-A	8	0.234	1.86	

3.3 液氨储罐设计

3.3.1 设计条件

设计一液氨储罐, 体积为 30 m^3 , 罐体设置安全阀。使用地点: 新疆, 室外安放。

3.3.2 罐体及封头壁厚设计

(1) 材料选择

本储罐罐体和封头选用 16MnR 制作, 鞍式支座选用 Q235-B 材料制作。

(2) 罐体工艺尺寸的确定

确定罐体内径和罐体筒长(不包括直边)为主要工艺尺寸, 选标准椭圆封头, 则储罐总体积为

$$V = 2V_{\text{封}} + V_{\text{筒}}$$

由经验, 初选储罐内径为 2600 mm, 查《化工容器及设备简明设计手册》P313~316 可得, 每个标准椭圆封头的体积为 2.56 m^3 , 每米筒体积为 5.309 m^3 , 设筒体长度为 L , 则罐体体积为

$$V = 2 \times 2.56 + 5.309 \times L \geq 30$$

计算得筒体长度 $L \geq 4.68$ m, 圆整取 $L = 4.8$ m。

结论: 储罐内径为 2600 mm, 筒体长度(不含直边段)为 4800 mm。

(3) 罐体壁厚设计

壁厚 δ 按下式计算

$$\delta_n = \frac{P_c D_i}{2 [\sigma]^t \phi - P_c} + C_1 + C_2 + \Delta$$

式中: P_c 为本储罐在夏季最高温度按(50℃考虑)时氨的饱和蒸汽压, 为 2.07 MPa(绝对压力), 储罐上需要安装安全阀, 故取 $P_c = 2.16$ MPa(《压力容器安全技术监察规程》规定液氨储罐设计压力为 2.16 MPa)。

由工艺尺寸设计结果可知, $D_i = 2600$ mm。选材料为 16MnR, 查附录 B 可知, 16MnR 材料 $[\sigma]^t = 163$ MPa; $\sigma_s = 325$ MPa。罐体采用双面焊对接接头, 100%探伤, 故取 $\phi = 1.0$ 。考虑到介质腐蚀状况, 取 $C_2 = 2$ mm。故

$$\delta_0 = \frac{2.16 \times 2600}{2 \times 163 \times 1.0 - 2.16} = 17.3 \text{ mm}$$

$$\delta_d = \delta_0 + C_2 = 17.3 + 2 = 19.3 \text{ mm}$$

根据 $\delta_d = 19.3$ mm, 初选 $C_1 = 0.25$ mm, 则

$$\delta_d + C_1 = 19.3 + 0.25 = 19.55 \text{ mm}$$

圆整后取 $\delta_n = 20$ mm。按相应钢板标准选取原则, 当钢板厚度的负偏差不大于 0.25 mm, 且不超过 δ_n 的 6% 时, 钢板厚度的负偏差可忽略不计。

$\delta_n \times 6\% = 1.2 > 0.25$, 故最终板厚应有 19.3 mm, 圆整后得到。

结论: 选用 $\delta_n = 20$ mm 厚的 16MnR 钢板制作罐体。

(4) 封头厚度设计

本设计采用标准椭圆形封头。封头厚度 δ_{nc} 按下式计算

$$\delta_{nc} = \frac{P_c D_i}{2 [\sigma]^t \phi - 0.5 P_c} + C + \Delta$$

式中: $\phi = 1.0$ (钢板最大宽度为 3000 mm, 该储罐直径为 2600 mm, 故封头需将钢板拼焊后冲压, 封头拼焊和封头与筒体焊接均采用双面焊对接接头, 100%探伤)。其他符号含义同筒体计算, 不再赘述。

于是

$$\delta_{0c} = \frac{P_c D_i}{2 [\sigma]^t - 0.5 P_c} = \frac{2.16 \times 2600}{2 \times 163 \times 1.0 - 0.5 \times 2.16} = 17.3 \text{ mm}$$

圆整后取 $\delta_{nc} = 20$ mm。

结论: 确定选用 $\delta_{nc} = 20$ mm 厚的 16MnR 钢板制作封头。

(5) 罐体与封头水压试验校核

水压试验校核按下式进行

$$\sigma_T = \frac{P_T (D_i + \delta_c)}{2 \delta_c \phi} \leq 0.9 \phi \sigma_s$$

式中: P_T ——试验压力, MPa, $P_T = 12.5 P_c = 2.7$ MPa;

δ_c ——有效壁厚, mm, $\delta_c = \delta_n - C = 20 - 2.25 = 17.75$ mm。



则

$$\sigma_T = \frac{P_T(D_i + \delta_c)}{2\delta_c\phi} = 199.1 \leq 0.9\phi\sigma_s = 292.5 \text{ MPa}$$

结论：水压实验强度足够。

3.3.3 鞍座选择计算

1. 储罐总质量计算

储罐总质量表达式可写成： $m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$ 。

式中： m ——储罐总质量，kg；

m_1 ——罐体质量，kg；

m_2 ——封头质量，kg；

m_3 ——液氨质量，kg；

m_4 ——附件质量，kg。

各部分质量计算分别如下。

(1) 筒体质量 m_1

由前结论，罐体为 $D_i = 2600 \text{ mm}$ 、 $\delta_n = 20 \text{ mm}$ 的筒节制成，查附录表 D-1 可得，每米该尺寸筒节质量 $q_1 = 1290 \text{ kg/m}$ ，故筒体质量

$$m_1 = q_1 L = 1290 \times 4.8 = 6192 \text{ kg}$$

(2) 封头质量 m_2

$D_i = 2600 \text{ mm}$ 、 $\delta_n = 20 \text{ mm}$ ，直边高度 $h = 40 \text{ mm}$ 的标准椭圆形封头，查附录 D-2 可知其质量为： $m'_2 = 1230 \text{ kg}$ （每只），故封头总质量

$$m_2 = 2m'_2 = 2 \times 1230 = 2460 \text{ kg}$$

(3) 液氨质量 m_3

液氨质量的计算表达式为

$$m_3 = \varphi V \rho$$

式中： φ ——装量系数，根据《压力容器安全技术监察规程》规定：介质为液化气体的固定式压力容器，装量系数一般取 0.9，本设计取 $\varphi = 0.9$ ；

V ——储罐容积， $V = 2V_{\text{封}} + V_{\text{筒}} = 2 \times 2.51 + 4.8 \times 5.309 = 30.52 \text{ m}^3$ ；

ρ ——液氨在 -20°C 时的密度， $\rho = 665 \text{ kg/m}^3$ 。

故液氨质量为： $m_3 = 0.9 \times 30.52 \times 665 \approx 18266 \text{ kg}$ 。

(4) 附件质量 m_4

选水平吊盖带颈对焊法兰人孔，人孔质量约 200 kg，其他接管等质量总和按 300 kg 计。于是， $m_4 = 500 \text{ kg}$ 。

综上所述，设备总质量为

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 6192 + 2460 + 18266 + 500 = 27418 \text{ kg}$$

2. 鞍座负荷计算与选型

选用双鞍座支撑，考虑支座承载最危险状况，每个支座承担载荷

$$F = mg/2 = 27418 \times 9.81/2 \approx 134.5 \text{ kN}$$

查《鞍式支座》(JB/T 4712—92) 国家规范, 选用轻型带垫板、包角为 120° 的鞍座, 其中一个为固定式、一个为活动式。

鞍座代号如下:

JB/T4712—92 鞍座 A2600—F

JB/T4712—92 鞍座 A2600—S

3.3.4 人孔选择

根据储罐的设计温度、最高工作压力、材料、介质特点及使用要求等条件, 查标准 HG 21524—95, 选用公称压力 $PN=2.5$ MPa 的水平吊盖带颈对焊法兰人孔, 人孔公称直径选定为 $DN=450$ mm。人孔法兰采用榫槽密封面 (TG 型) 和石棉橡胶板垫片。人孔结构如图 3-10 所示, 人孔各零件名称、材质、数量及尺寸见表 3-20。

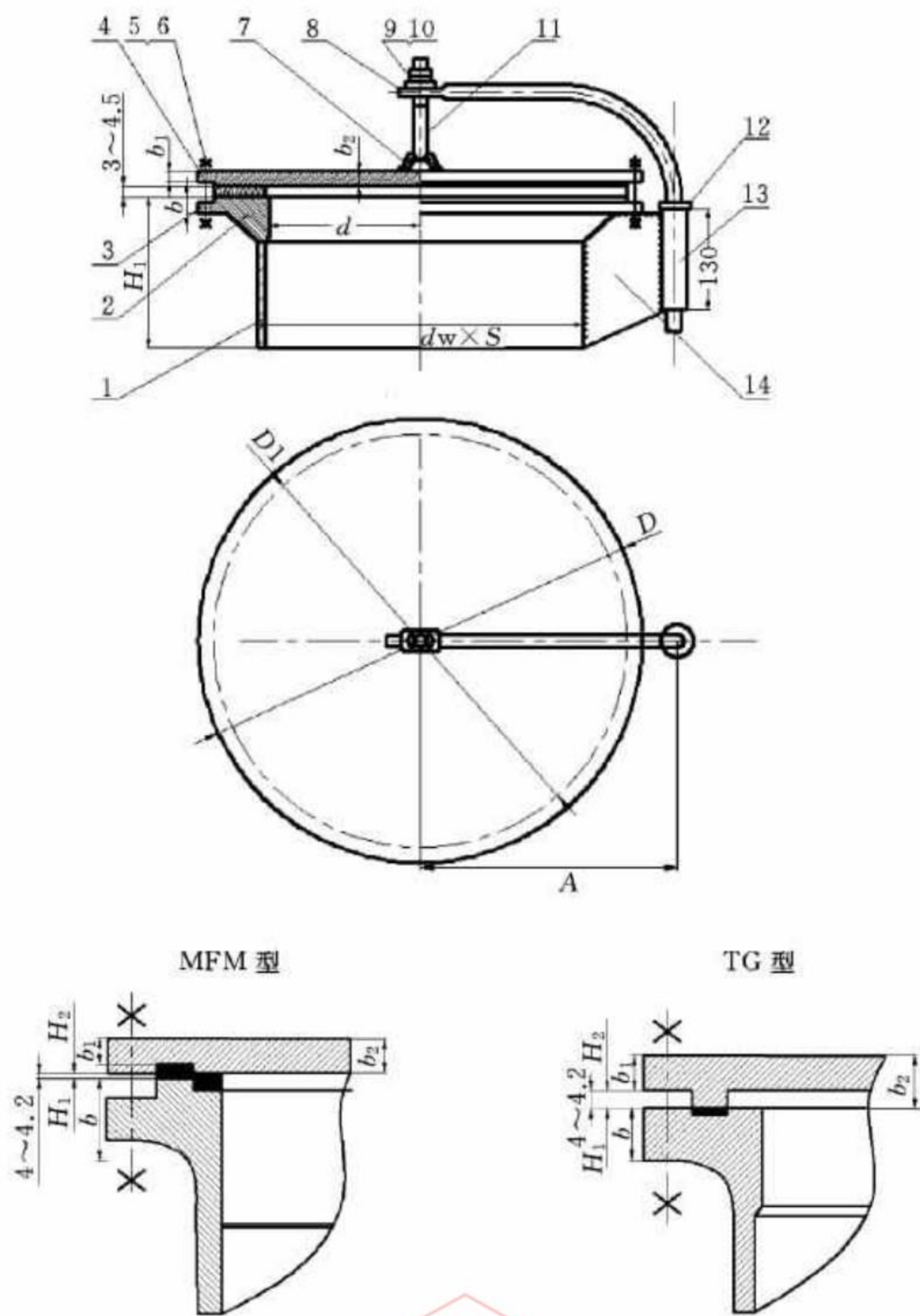


图 3-10 水平吊盖带颈对焊法兰人孔(HG 21524—95)

该水平吊盖带颈对焊法兰人孔的标记为：

人孔 TGⅧ(A·G) 450—2.5 HG 21524—95

表 3-20 人孔 PN2.5 DN450(HG 21524—95)明细表

件号	标准号	名称	数量	材料	尺寸/mm
1		筒节	1	16MnR	$d_w \times S = 480 \times 12, H_1 = 320$
2	HGJ 52—91	法兰	1	16Mn(锻件)	
3	HGJ 69—91	垫片	1	石棉橡胶板	$\delta = 3$ (代号 A·G)
4	HGJ 63—91	法兰盖	1	16MnR	$b_1 = 39, b_2 = 44$
5	HGH 75—91	螺柱	20	35	M33×2×175
6	HGJ 75—91	螺母	40	25	M33
7		吊环	1	Q235 - AF	
8		转臂	1	Q235 - AF	$d_0 = 36$
9	GB 95—85	垫圈 20	1	100HV	
10	GB 41—88	螺母 M20	2	4 级	
11		吊钩	1	Q235 - AF	
12		环	1	Q235 - AF	
13		无缝钢管	1	20	
14		支承板	1	16MnR	

3.3.5 人孔补强

人孔开孔补强采用补强圈补强结构,补强圈材质为 16MnR,根据 JB/T 4736—2002,确定补强圈内径 $D_1 = 484$ mm,外径 $D_2 = 760$ mm,补强圈厚度为 20 mm。

3.3.6 接管设计

(1)液氨进料管

采用 $\Phi 57$ mm×3.5 mm 无缝钢管制成。管的一端切成 45° ,伸入储罐内少许(小于 200 mm)。另一端配用 16Mn 制凸面板式平焊管法兰,标记为:HG 20592 法兰 PL50—2.5 RF 16Mn。

因为该接管为 $\Phi 57$ mm×3.5 mm,厚度小于 5 mm,需进行开孔补强计算。经计算,该接管不需要补强。

(2)液氨出料管

采用可拆的压出管 $\Phi 25$ mm×3 mm,将它套入罐体的固定接口管 $\Phi 38$ mm×3.5 mm 内,并用一非标准法兰固定在接口法兰上。

罐体的接口法兰采用 HG 20592 法兰 PL32—2.5 RF 16Mn,与该法兰相配并焊接在

压出管的法兰上,其连接尺寸和厚度与法兰:HG 20592 法兰 PL32—1.6 RF 16Mn 相同,但其内径为 25 mm。

液氨压出管的端部法兰(与氨输送管相连)采用 HG 20592 法兰 PL20—2.5 RF 16Mn。液氨出料管也不必补强。

(3) 排污管

储罐右端最底部,安设排污管一个,管子规格是 $\Phi 57 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$,管端装有一与截止阀 J41W—16 相配的管法兰:HG 20592 法兰 PL50—2.5 RF 16Mn。

(4) 液面计接管

本储罐采用玻璃管防霜液面计 AI2.5—1260—50 HG/T 21550—93 两支。其标记符号意义如下:

第一项 AI 表示防霜液面计类型;

第二项 2.5 表示液面计公称压力等级, MPa;

第三项 1260 表示液面计的公称长度, mm;

第四项 50 表示防霜翅片高度, mm;

第五项 HG/T 21550—93 表示该液面计的标准编号。

(5) 放空管接管

采用 $\Phi 32 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 无缝钢管,管法兰为:HG 20592 法兰 PL25—2.5 RF 16Mn。经计算,该接管不需要补强。

3.3.7 设备总装配图

储罐的总装配图见图 3-11,图纸中技术要求、技术特征、各零部件的名称、规格、尺寸、材料及接管表等分别列于表 3-21、表 3-22、表 3-23 和表 3-24 中。

本储罐应按《钢制压力容器》(GB 150—1998)进行制造、试压和验收。

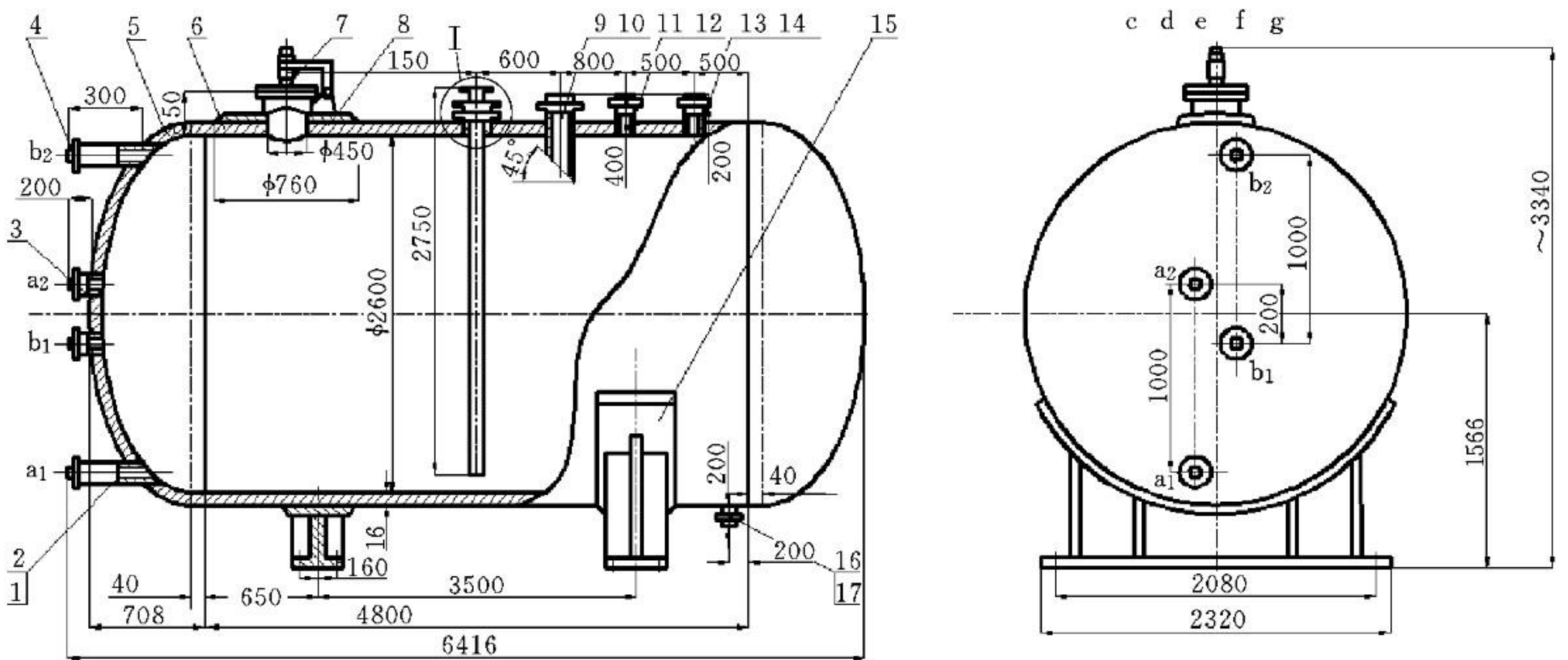


图 3-11 储罐总装配图

表 3-21 技术要求表

1. 本设备按《钢制压力容器》(GB 150—1998)和《钢制化工容器制造技术要求》(HG 20584—1998)进行制造、检验和验收,并接受国家质量技术监督局颁发的《压力容器安全技术监察规程》的监督
2. 焊接采用电弧焊,焊条牌号 16MnR 间为 J507,16MnR 与碳钢间为 J427
3. 焊接接头形式及尺寸除图中注明外,按 GB 20583 中的规定,不带补强圈的接管与筒体的焊接接头为 G2,角焊缝的焊角尺寸按较薄板的厚度,法兰的焊接按相应法兰标准中的规定
4. 设备筒体的 A、B 类焊接接头应进行无损探伤检测,探伤长度为 100%,射线检测不低于 JB 4730—94 为合格,且射线照相质量不低于 AB 级
5. 设备制造完毕,以 2.7 MPa 表压进行水压试验

表 3-22 技术特性表

序号	名称	指标
1	设计压力	2.16 MPa
2	工作温度	≤50℃
3	物料名称	液氨
4	容积	30.52 m ³

表 3-23 设备材料明细表

序号	图号或标准号	名称	材料	数量	单重	总重	备注
					重量/kg		
1		GB 8163 接管 $\Phi 57 \times 3.5$ $L=400$	10	2	0.44	0.88	
2	HG 20592—97	法兰 PL15—2.5 RF 20	20	4	0.7	2.8	
3		GB 8163 接管 $\Phi 57 \times 3.5$, $L=210$	10	2	0.23	0.46	
4	HG/T 21550—93	防霜液面计 AI2.5—1260—50	组合件	2	12.6	25.2	
5	JB/T 4746—2002	封头 DN2600×20, $h=40$	16MnR	2	1100	2460	
6	GB9019—2001	罐体 DN2600×20, $L=4800$	16MnR	1		6192	
7	G12524—95	人孔 PN2.5 DN450	组合件	1		178	
8	B1207—73	补强圈 760/484 =20	16MnR	1		33.9	

序号	图号或标准号	名称	材料	数量	单重	总重	备注
					重量/kg		
9		GB 8163 进料管接管 $\Phi 57 \times 3.5$ $L=400$	10	1		1.85	
10	HB 20592—97	法兰 PL50—2.5 RF 16Mn	16MnR	1		2.61	
11		GB 8163 安全阀接管 $\Phi 32 \times 3.5$ $L=210$	20	1		0.58	
12	HB 20592—97	法兰 PL25—2.5 RF 16Mn	16MnR	1		1.2	
13		GB 8163 放空管接管 $\Phi 32 \times 3.5$ $L=210$	20	1		0.58	
14	HB 20592—97	法兰 PL25—2.5 RF 20	20	1		1.2	
15	JB/T 4712—92	鞍座 A2600—F 鞍座 A2600—S	Q235 - AF	2	420	840	
16	HG 20592—97	法兰 PL50—2.5 RF 20	20	1		2.16	
17		GB 8163 排污管接管 $\Phi 57 \times 3.5$ $L=210$	10	1		1.0	
18	HG 20592—97	法兰 PL20—2.5 RF 20	20	1		0.87	
19	GB 8163	压料管 $\Phi 25 \times 3$, $L=2750$	10	1		4.5	
20	HG 20592—97	法兰 PL32—2.5 RF 20	20	1		1.8	
21	HG 20592—97	法兰 PL32—2.5 RF 20	20	1		1.6	
22		GB 8163—87 出料接管 $\Phi 38 \times 3.5$, $L=200$	10	1		0.5	

表 3-24 接管管口表

符 号	公称尺寸	接管法兰标准	密封面形式	用 途
a ₁₋₂	DN15	PN2.5 HG 20592—97	平面	液面计接口管
b ₁₋₂	DN15	PN2.5 HG 20592—97	平面	液面计接口管
c	DN450	PN2.5 HG 12524—95	榫面	人孔
d	DN32	PN2.5 HG 20592—97	平面	出料口
e	DN50	PN2.5 HG 20592—97	平面	进料口
f	DN25	PN2.5 HG 20592—97	平面	安全阀接口管
g	DN25	PN2.5 HG 20592—97	平面	放空口
h	DN50	PN2.5 HG 20592—97	平面	排污口

3.4 搅拌釜式反应器结构设计

3.4.1 设计条件

搅拌反应器设计参数和接管表如表 3-25 和表 3-26 所示。

表 3-25 搅拌反应器设计参数表

指 标	釜体内	夹套内	备 注
工作压力/ MPa	≤ 0.3	≤ 0.4	
设计压力/ MPa	0.3	0.4	
工作温度/°C	-40~60	-40~60	
设计温度/°C	≤ 110	≤ 150	
工作介质	有机溶剂	冷却水或蒸汽	
全容积 V/m^3	1.875		
操作容积 V_1/m^3	1.5		按装填系数 0.8 计
传热面积 F/m^2	5.5		
腐蚀状况	轻微	轻微	
搅拌器型式	桨式		
搅拌器转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	50		
轴功率/kW	1.4		
推荐材料	Q235-A		

表 3-26 搅拌反应器接管表(主要接管及尺寸)

管口代号	公称尺寸 DN/mm	连接面形式	用 途
a	25	设计确定	蒸汽入口
b	25	设计确定	加料口
c	400	设计确定	人孔
d	70	设计确定	温度计接口
e	40	设计确定	备用管口
f	25	设计确定	压缩空气管口
g	100	设计确定	压料管
h	50	设计确定	压料管套管
m	40	设计确定	放料口
n	25	设计确定	凝液出口

搅拌反应釜的结构示意图如图 3-12 所示。

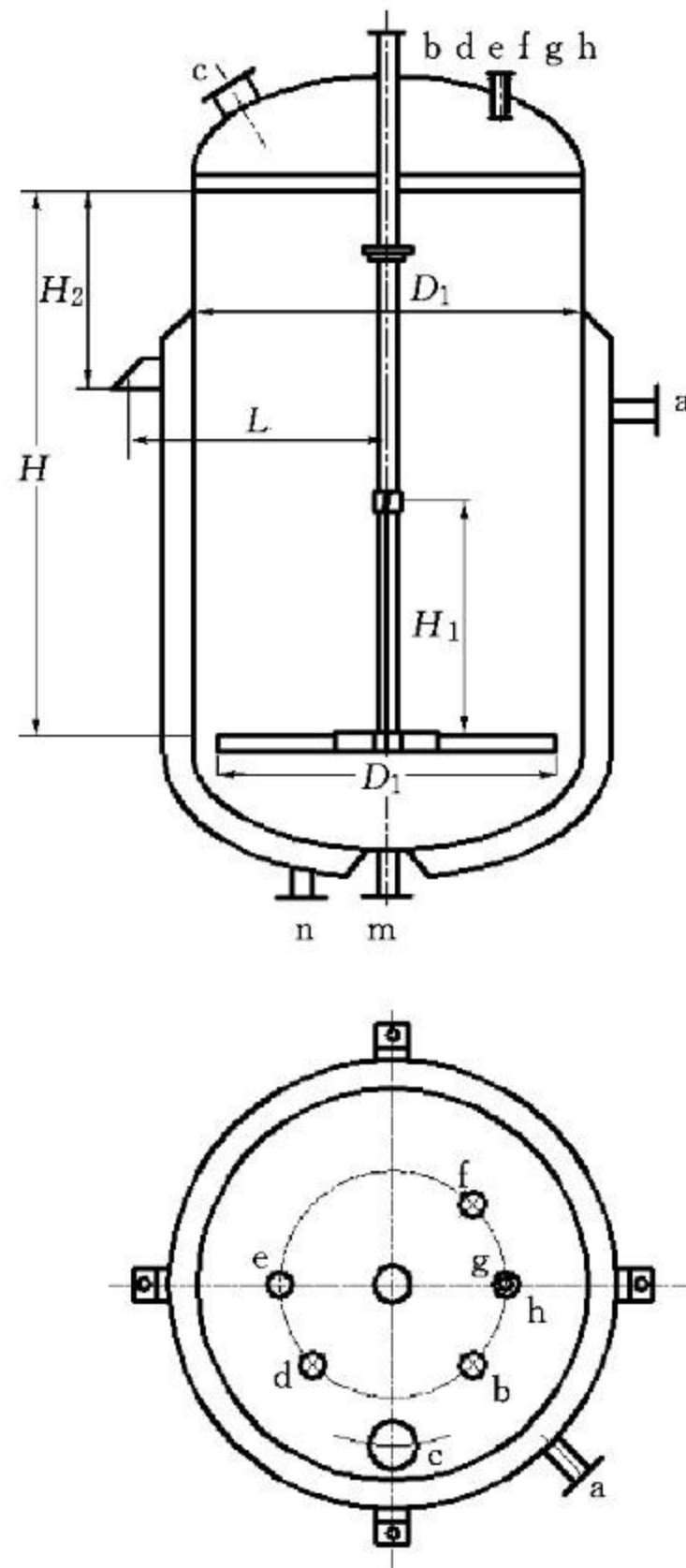


图 3-12 搅拌反应釜的结构示意图

3.4.2 釜体选材

本设计的最高压力为 0.5 MPa,且介质具有轻微腐蚀性,即为一类压力容器。

通用材料:在强度设计为主的场合应根据压力、温度、介质等使用限制,依次选用 Q235-A、20R、16MnR 等钢板,其中 Q235-A 钢板的适用于容器设计压力小于或等于 1.6 MPa,设计温度为 0~350℃,介质毒性程度较低或危害程度较低的容器的制造。Q235-A 条件皆满足设计要求,故在这选择设计材料为 Q235-A。

3.4.3 釜体几何尺寸的确定

釜体的尺寸设计是指筒体内径 D_i 、高度 H_i 、反应釜的长径比 $i(i=H_i/D_i)$,设计时反应釜的 i 值可按表 3-27 选取。

表 3-27 几种搅拌反应釜的长径比 i 值($i=H_i/D_i$)

种 类	设备内物料类型	i
一般搅拌釜	液-固相或液-液相物料	1~1.3
	气液相物料	1~2
发酵罐类		1.7~2.5

对直立反应釜,其容积通常取筒体和下封头两部分容积之和来计算。筒体部分高度为

$$H_i = \frac{V - V_{1封}}{V_{1米}}$$

式中: $V_{1封}$ ——釜体封头容积, m^3 ;

$V_{1米}$ ——1 m 高筒体的容积, m^3 。

将计算后经过圆整所得的筒体直径 D_i 及筒体高度 H_i 代入 H_i/D_i 校核,符合原定范围即可。

由经验,选取反应釜装料系数 $\eta=0.8$,由 $V=V_1/\eta$ 可得设备体积

$$V = V_1 / \eta = 1.5 / 0.8 = 1.875 \text{ m}^3$$

根据设计要求(液-液相物料),查表 3-27 可得 $i=1.2$,故有

$$i = \frac{H_i}{D_i} = 1.2$$

估算筒体内径

$$D_i \approx \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi H_i/D_i}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 1.875}{\pi \times 1.2}} = 1.258 \text{ m}$$

将计算结果圆整至公称直径标准系列,选筒体直径 $D_i=1200 \text{ mm}$,查附录 D 表 D-2, $DN=1200 \text{ mm}$ 时的标准椭圆封头曲面高度 $h_1=300 \text{ mm}$,直边高度 $h_2=40 \text{ mm}$,封头容积 $V_{1封}=0.2714 \text{ m}^3$,表面积 $F_{封}=1.7117 \text{ m}^2$ 。查附录 D 表 D-1 可得每一米高的筒体容积为 $V_{1米}=1.131 \text{ m}^3$,表面积 $F_{1米}=3.77 \text{ m}^2$ 。

$$H_i = \frac{V - V_{1封}}{V_{1米}} = \frac{1.875 - 0.2714}{1.131} = 1.418 \text{ m}$$

取筒体高度圆整为 1400 mm。

复核:按以上设计结果, $i = \frac{H_i}{D_i} = \frac{1400}{1200} = 1.16$,基本符合原定范围。

反应釜实际容积: $V = V_{1米} \times H_i + V_{1封} = 1.131 \times 1.4 + 0.2714 = 1.85 \text{ m}^3$ 。

3.4.4 夹套的结构和尺寸设计

1. 整体夹套的结构类型

常用的夹套形式为整体夹套,结构类型有四种,如图 3-13 所示,其中(a)型仅圆筒的一部分有夹套,用在需加热面积不大的场合。(b)型为圆筒的一部分和下封头包有夹套,是最常用的典型结构。(c)型是考虑到筒体受外压时为了减小筒体的计算长度 L 、或者为了实现分段控制而采用分段夹套。(d)型为全包式夹套,与前三种比较,有最大传热面积。

2. 整体夹套连接型式

夹套封头根据夹套直径及所选封头型式按标准选取。整体夹套与筒体的连接方式分为两种。

(1) 可拆卸式

可拆卸整体夹套结构如图 3-14 所示。

(2) 不可拆卸式

不可拆卸式整体夹套结构如图 3-15 所示。

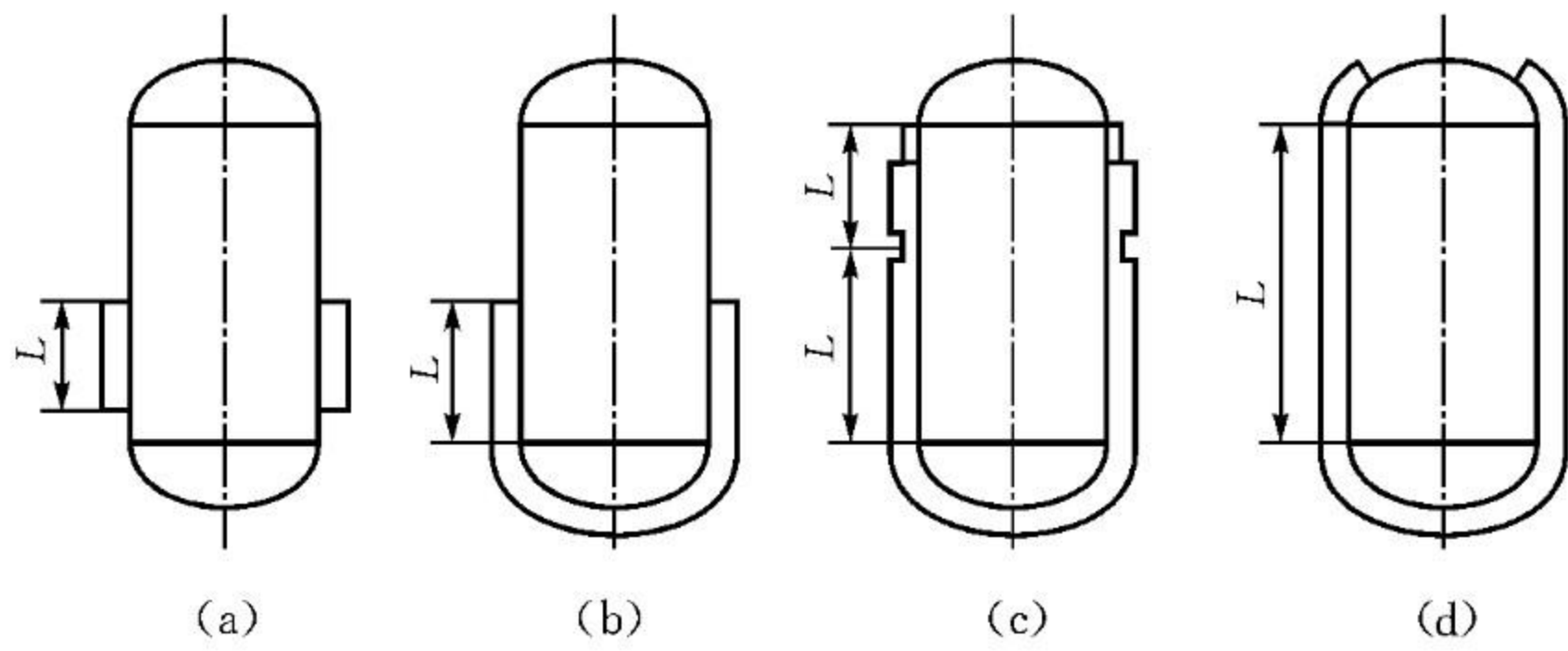


图 3-13 整体式夹套结构示意图

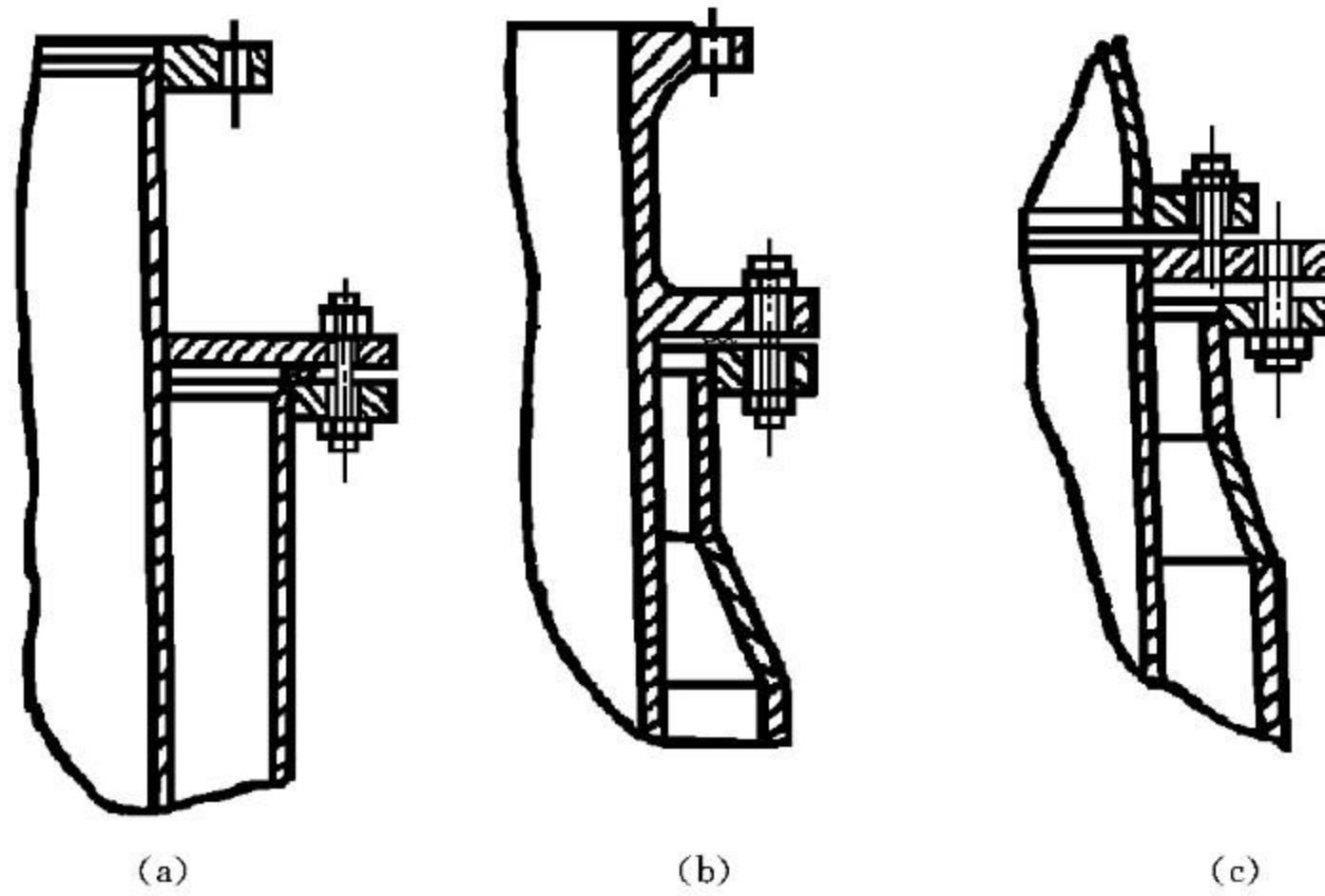


图 3-14 可拆卸整体夹套结构

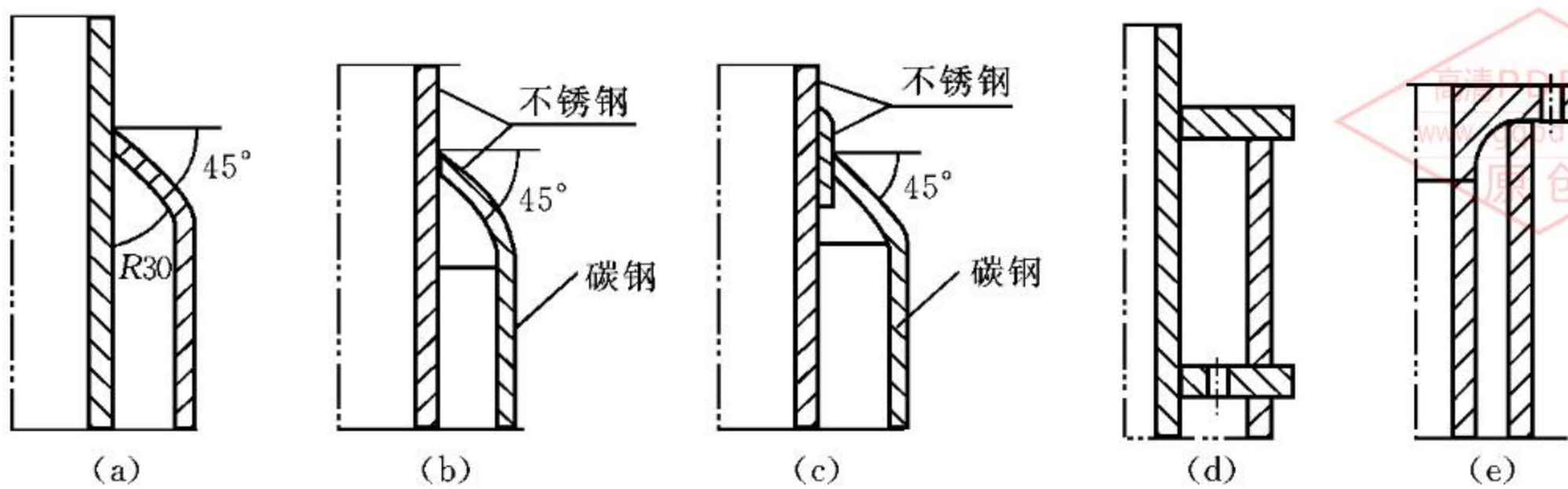


图 3-15 不可拆卸整体夹套结构

(3) 夹套封闭构件厚度的确定或计算

常用的夹套封闭件结构为 A、B、C 三种,其使用范围及结构示意图如下:

A 型:结构如图 3-16 所示。适用范围:

①适用于各种型式夹套;

② $d_0 \geq d_1$;

③当夹套封闭件不是由夹套筒体直接弯制成形,如图 3-16(b)时,封闭件与夹套筒体之

间应采用全焊透的对接焊,为保证焊透宜加垫板。

B型:结构如图3-17所示。适用范围:

- ①仅用于图3-15(a)所示夹套;
- ② δ_0 按无折边的锥形封头。

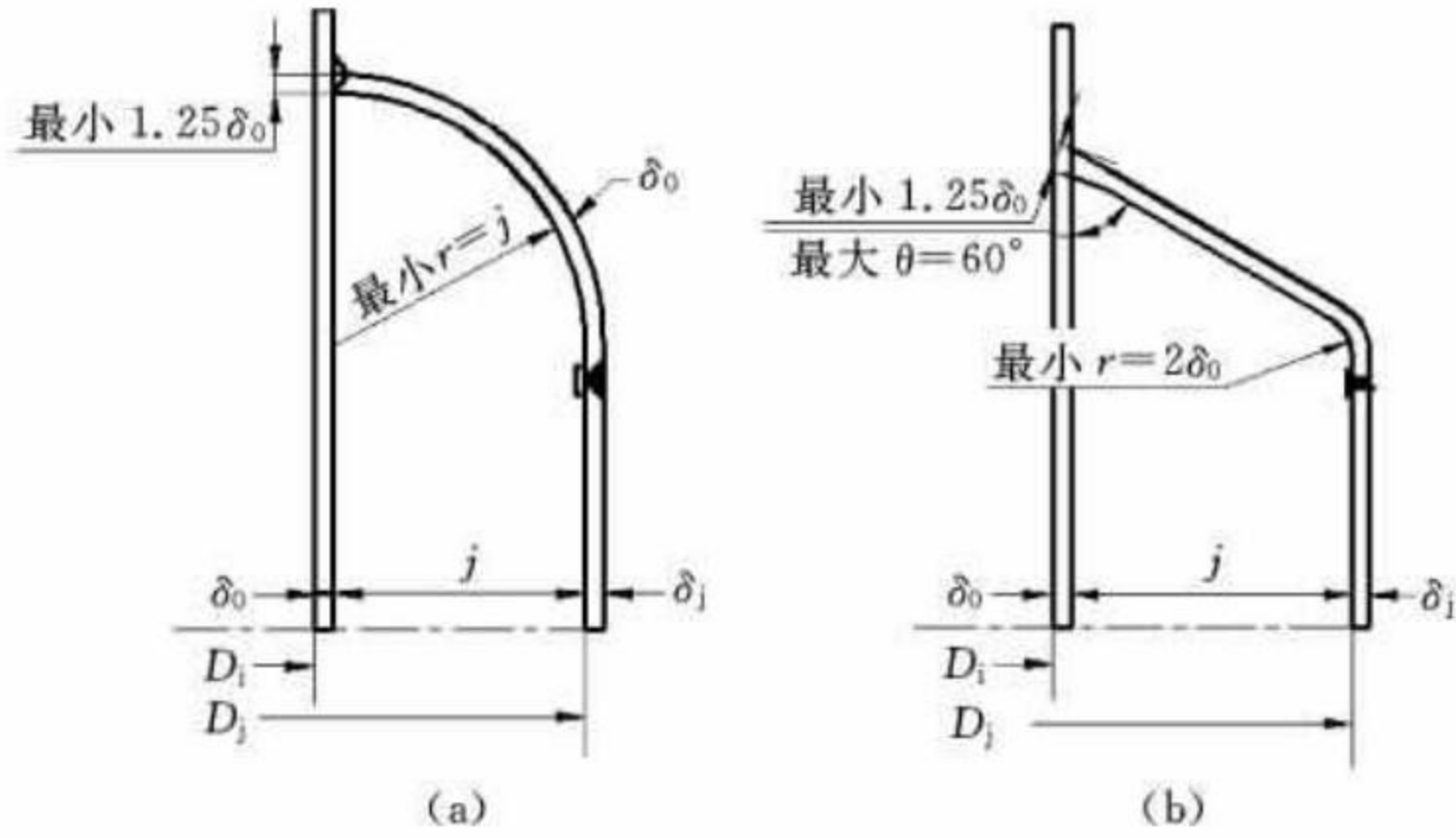


图3-16 A型夹套结构

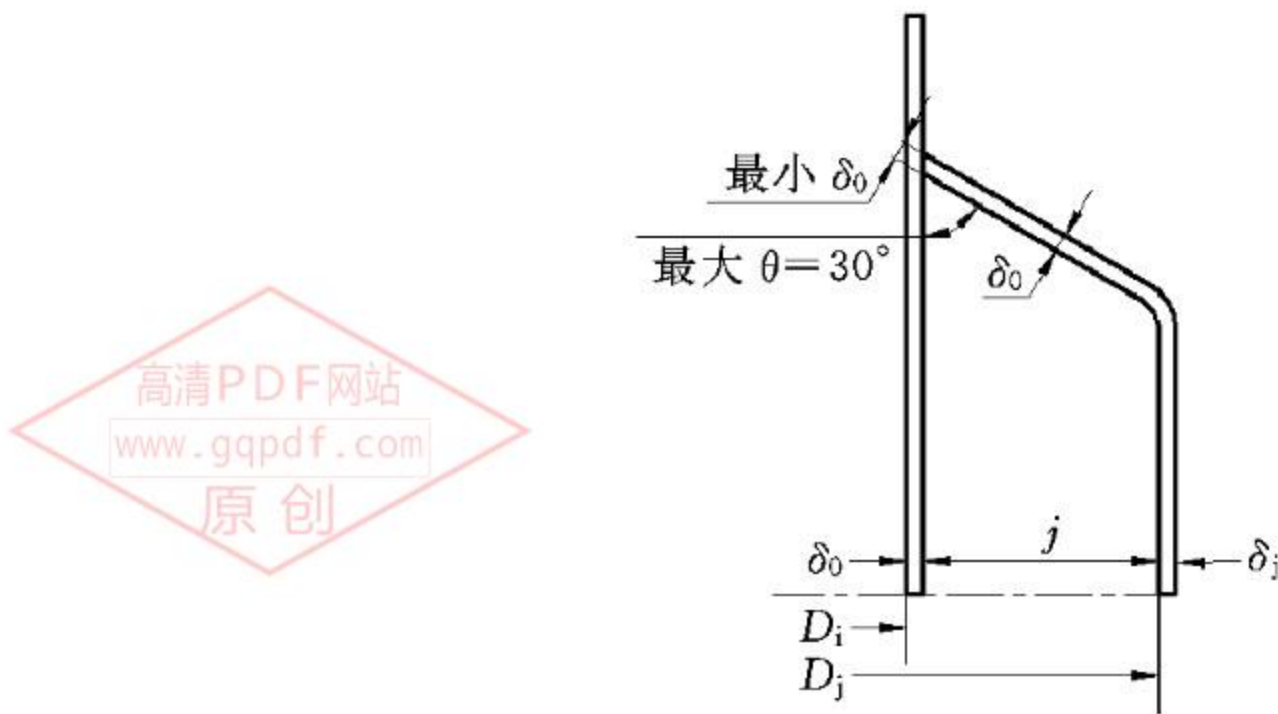


图3-17 B型夹套结构

C型:结构如图3-18所示。适用范围:

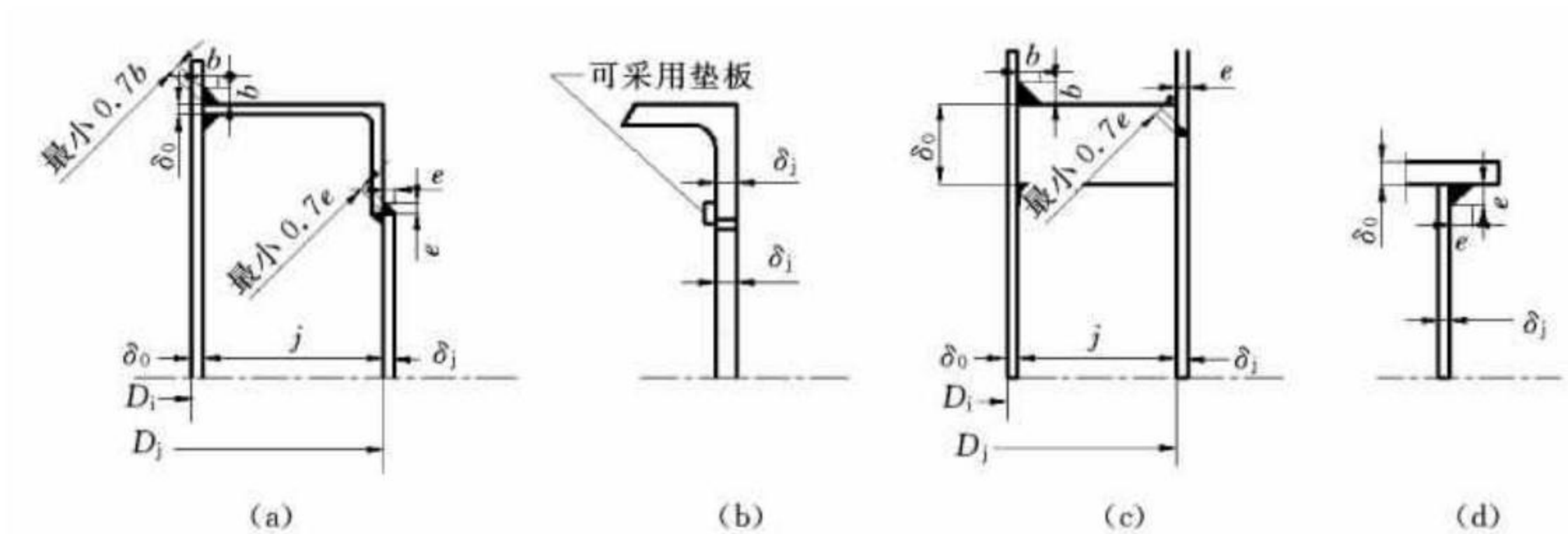


图3-18 C型夹套结构

- ①适用于图3-18(a)型夹套;
- ② $(\delta_j - C) \leq 16 \text{ mm}$;

③ δ_0 取下两式中较大值

$$\delta_0 = 0.707j \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + C \text{ mm}$$

$$\delta_0 = 2(\delta_1 - C) \text{ mm}$$

④ b 不小于 δ_0 与 δ 中的较小值, C 不小于 δ_j 。

(4) 夹套底部的封闭结构

夹套底部的封闭结构有三种, 分别如图 3-19(a)、(b)、(c) 所示。

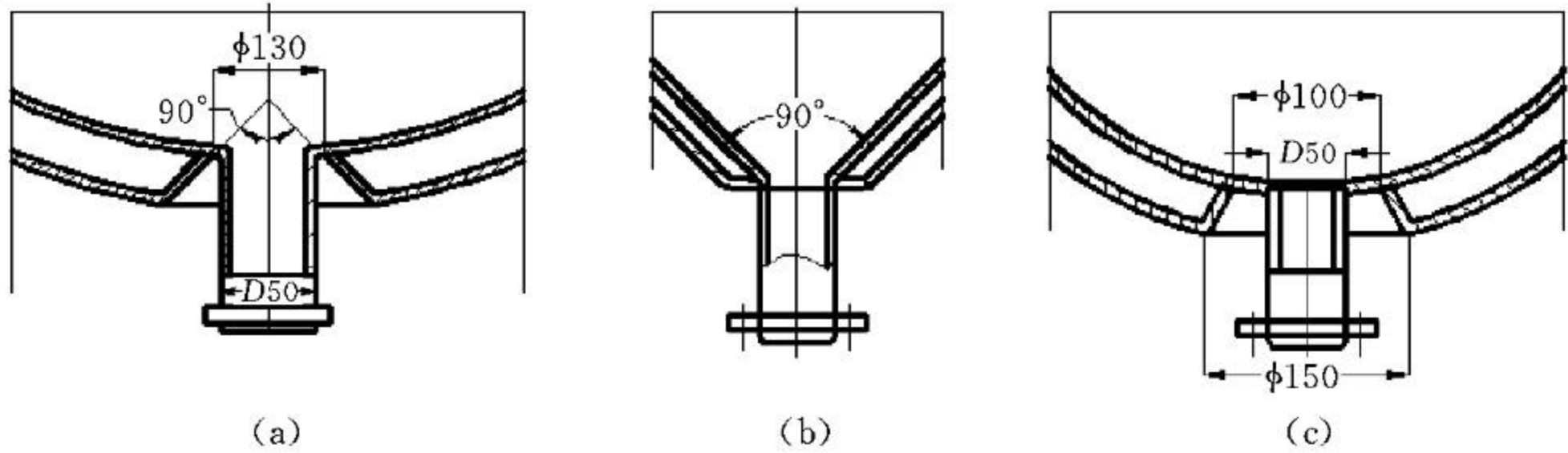


图 3-19 夹套底部的封闭结构

(5) 穿越夹套的接管形式

穿越夹套的接管有三种结构形式, 分别见图 3-20(a)、(b)、(c) 所示。

a 类型: 制造较麻烦, 但对筒体有加强作用; b 类型: 制造方便, 但传热面有损失, 强度差; c 类型: 用于在夹套边缘有接管的场合, 制造麻烦, 非不得已勿用。

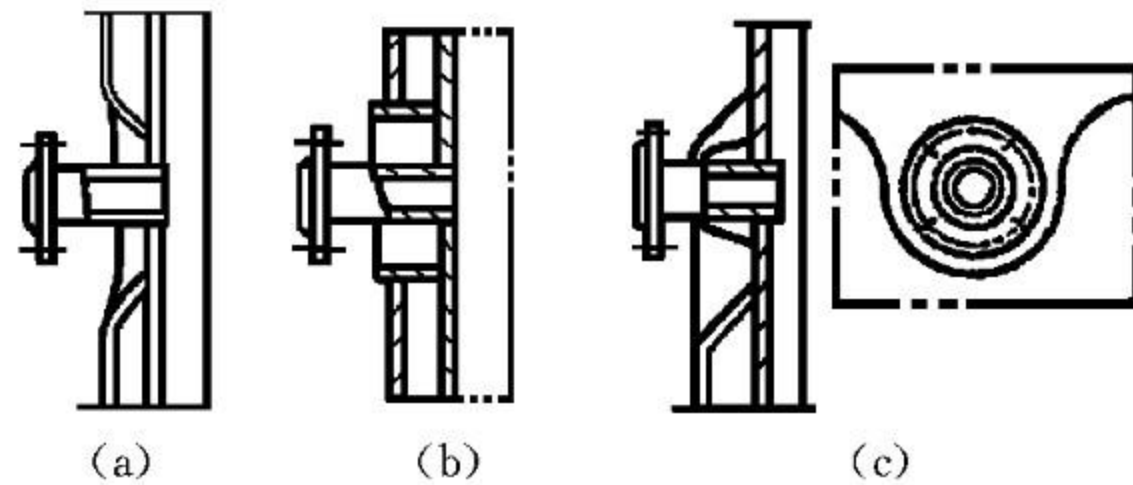


图 3-20 穿越夹套接管的结构

3. 夹套结构尺寸计算

夹套的结构尺寸通常根据工艺和安装两方面的要求而定, 夹套内径 D_2 与釜体的内径 D_1 有关, 可按表 3-28 选取。

表 3-28 夹套直径与筒体直径的关系

釜体内径 D_1 /mm	500~600	700~1800	2000~3000
夹套内径 D_2 /mm	$D_1 + 50$	$D_1 + 100$	$D_1 + 200$

夹套筒体高度 H_2 由传热面积决定, 不能低于料液高, 以保证充分传热。通常由工艺给定装料系数 η 或根据操作容积进行计算

$$H_2 \approx \frac{\eta V - V_{\text{封}}}{V_{1\text{米}}}$$

夹套封头直径等于 D_2 , 其形式与釜体封头相同。

夹套筒体的高度 H_2 也应圆整, 并注意夹套顶部与釜体法兰间应留有足够的距离 $H_0 = H_1 - H_2 > 200 \text{ mm}$, 使釜体法兰的螺栓装拆方便。

由表 3-28 确定, $D_2 = 1200 + 100 = 1300 \text{ mm}$ 。

夹套高度

$$H_2 = \frac{\eta V - V_{\text{封}}}{V_{1\text{米}}} = \frac{V_1 - V_{\text{封}}}{\frac{\pi}{4} \times D_1^2} = \frac{1.5 - 0.2714}{\frac{3.14}{4} \times 1.2^2} = 1.09 \text{ m}$$

选取夹套高度 $H_2 = 1100 \text{ mm}$, 则 $H_0 = H_1 - H_2 = 1400 - 1100 = 300 \text{ mm}$ 。

验算夹套传热面积为 $F = F_{1\text{米}} H_2 + F_{1\text{封}} = 3.77 \times 1.1 + 1.7177 \approx 5.86 \text{ m}^2 > 5.5 \text{ m}^2$, 夹套传热面积符合设计要求。

3.4.5 釜体与封头壁厚计算

工作中, 反应釜的釜体承受釜内内压及夹套内的外压, 因此釜体和釜体封头壁厚的计算采取先忽略夹套压力, 只考虑釜体内压, 将釜体当成单纯内压容器计算壁厚的方法; 然后忽略釜体内压, 只考虑夹套压力, 将釜体当成单纯承受夹套外压的外压容器计算壁厚; 最终选取两种计算结果的最大值。

1. 按内压计算壁厚

(1) 釜体筒体计算

由于夹套内的介质为水或蒸汽, 介质对材料有轻微腐蚀, 故选用 Q235-B 为夹套材料, 查附录 B 可知, 设计温度为 150°C 时 Q235-B 的许用应力 $[\sigma]' = 113 \text{ MPa}$, 取釜体及夹套焊接接头系数 $\phi = 0.85$, 取壁厚附加量中的钢板厚度负偏差 $C_1 = 0.8 \text{ mm}$, 取腐蚀余量 $C_2 = 2 \text{ mm}$ 。厚度附加量 $C = C_1 + C_2 = 2.8 \text{ mm}$ 。

液柱静压力: $p_{1H} = \rho gh \times 10^{-6} = 1.0 \times 10^3 \times 9.8 \times 1.4 \times 10^{-6} = 0.014 \text{ MPa}$;

计算压力: $p_{1c} = p_1 + p_{1H} = 0.3 + 0.014 = 0.314 \text{ MPa}$;

釜体筒体计算厚度: $\delta_1 = \frac{p_{1c} D_1}{2 [\sigma]' \phi - p_{1c}} = \frac{0.314 \times 1200}{2 \times 113 \times 0.85 - 0.314} = 1.96 \text{ mm}$;

釜体筒体设计厚度: $\delta_{1c} = \delta_1 + C = 1.96 + 2.8 = 4.76 \text{ mm}$;

釜体筒体名义厚度: $\delta_{1n} = 6 \text{ mm}$ 。

(2) 釜体封头计算

选用标准椭圆封头, 釜体封头计算厚度 δ'_1

$$\delta'_1 = \frac{p_{1c} D_1}{2 [\sigma]' \phi - 0.5 p_{1c}} = \frac{0.314 \times 1200}{2 \times 113 \times 0.85 - 0.5 \times 0.314} \approx 1.96 \text{ mm}$$

釜体封头设计厚度

$$\delta'_{1c} = \delta'_1 + C = 1.96 + 2.8 = 4.76 \text{ mm}$$

釜体封头名义厚度

$$\delta'_{1n} = 6 \text{ mm}$$

2. 按外压计算壁厚

(1) 釜体筒体壁厚计算

假设釜体筒体名义壁厚: $\delta_{1n} = 8 \text{ mm}$, 按外压工程算法计算;

厚度附加量： $C=C_1+C_2=2.8\text{ mm}$ ；

釜体筒体有效厚度： $\delta_{1e}=\delta_{1n}-C=8-2.8=5.2\text{ mm}$ ；

釜体筒体外径： $D_0=D_1+2\delta_{1n}=1200+2\times 8=1216\text{ mm}$ ；

筒体计算长度： $L=H_2+h_2+\frac{1}{3}h_1=1100+40+\frac{1}{3}\times 300=1250\text{ mm}$ ；

式中， h_1 ——椭圆封头短半轴长度，mm；

h_2 ——椭圆封头直边段长度，mm。

$$\frac{L}{D_0}=\frac{1250}{1216}=1.03$$

$$\frac{D_0}{\delta_e}=\frac{1216}{5.2}=233.8$$

查图 3-21(a)，由系数 $D_0/\delta_e=233.8$ ， $L/D_0=1.03$ ，可以查得系数 $A=0.0004$ ；再查图 3-21(b)，由系数 A 查得系数 $B=55$ 。

筒体的许用外压为

$$[P]=\frac{B}{D_0/\delta_e}=\frac{55}{1216/5.2}=0.235\text{ MPa}<P=0.3\text{ MPa}$$

不符合要求，需重设名义厚度，假设釜体筒体名义壁厚 $\delta_{1n}=10\text{ mm}$ ，有：

厚度附加量： $C=C_1+C_2=2.8\text{ mm}$ ；

釜体筒体有效厚度： $\delta_{1e}=\delta_{1n}-C=10-2.8=7.2\text{ mm}$ ；

釜体筒体外径： $D_{10}=D_1+2\delta_{1n}=1200+2\times 10=1220\text{ mm}$ ；

筒体计算长度： $L=H_2+h_2+\frac{1}{3}h_1=1100+40+\frac{1}{3}\times 300=1250\text{ mm}$ ；

$$\frac{L}{D_{10}}=\frac{1250}{1220}=1.02$$

$$\frac{D_0}{\delta_e}=\frac{1216}{7.2}=169$$

查图 3-21(a)，由系数 $D_0/\delta_e=169$ ， $L/D_{10}=1.02$ ，可以查得系数 $A=0.0005$ ；再查图 3-21(b)，由系数 A 查得系数 $B=70$ 。

筒体的许用外压为

$$[P]=\frac{B}{D_{10}/\delta_e}=\frac{70}{1220/7.2}=0.4131\text{ MPa}>P=0.3\text{ MPa}$$

满足外压不失稳条件。

结论：确定釜体筒体名义厚度 $\delta_{1n}=10\text{ mm}$ 。

(2) 釜体封头壁厚计算

假设釜体封头名义壁厚 $\delta'_{1n}=10\text{ mm}$ ，有：

厚度附加量： $C=C_1+C_2=2.8\text{ mm}$ ；

釜体封头有效厚度： $\delta'_{1e}=\delta'_{1n}-C=10-2.8=7.2\text{ mm}$ ；

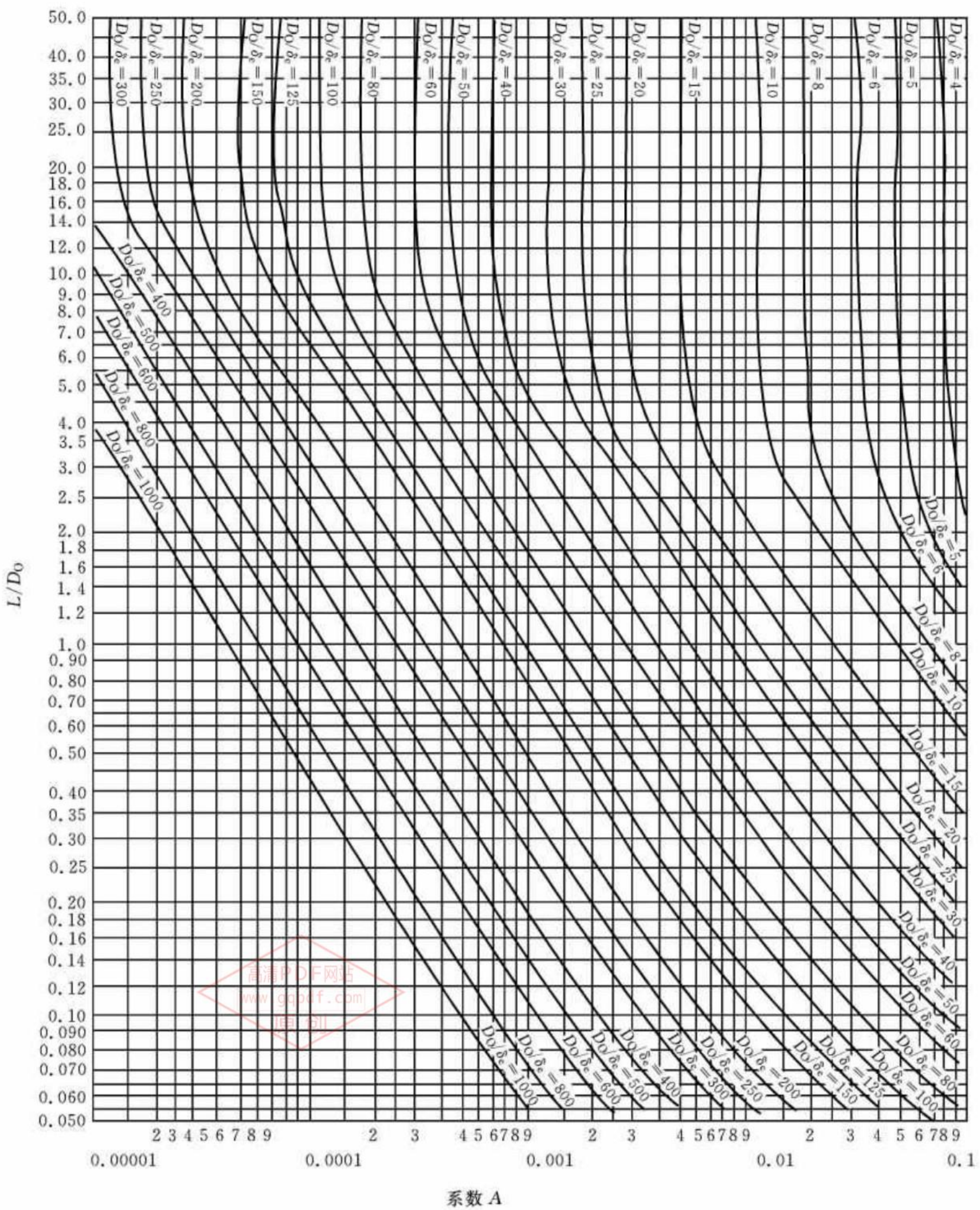
釜体筒体外径： $D'_{10}=D'_1+2\delta'_{1n}=1200+2\times 10=1220\text{ mm}$ ；

标准椭圆封头当量球壳外半径： $R'_0=0.9D'_{10}=0.9\times 1220=1098\text{ mm}$

$$\frac{R'_0}{\delta'_e}=\frac{1098}{7.2}=152.5$$

查图 3-21(a), 可以查得系数 $A = \frac{0.125}{(R'_o/\delta'_e)} = \frac{0.125}{152.5} = 0.0008$;

再查图 3-21(b), 由系数 A 查得系数 $B = 98$ 。



(a)

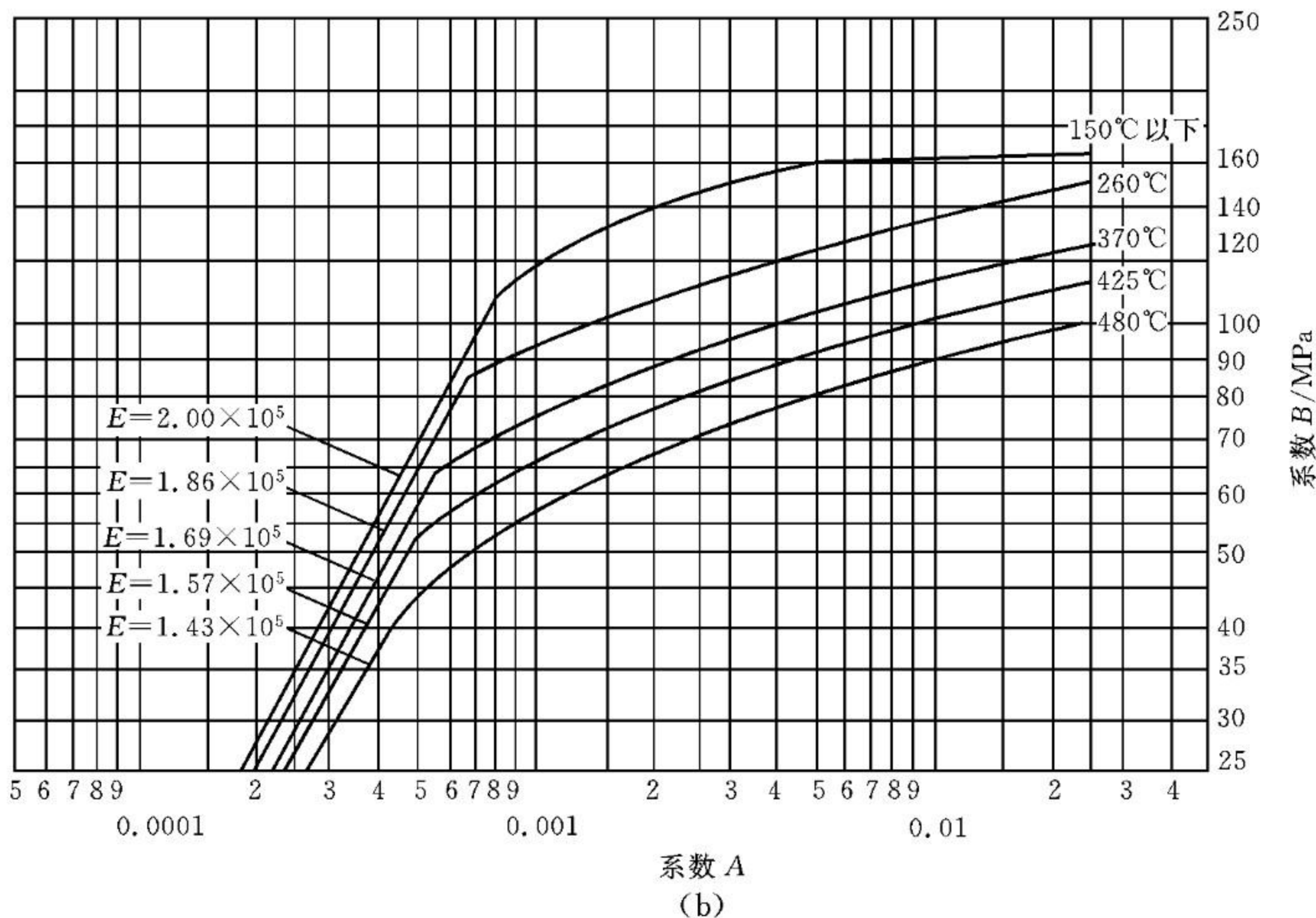


图 3-21 外压圆筒厚度计算图

釜体封头的许用外压为

$$[P] = \frac{B}{R'_o/\delta'_e} = \frac{98}{1098/7.2} = 0.643 \text{ MPa} > P = 0.3 \text{ MPa}$$

因为 $[P] > P$, 计算稳定, 确定釜体封头名义厚度 $\delta'_{1n} = 10 \text{ mm}$ 。

3.4.6 夹套筒体与封头壁厚计算

夹套的壁厚计算完全按内压容器进行。

(1) 计算压力的确定

夹套内液柱静压力: p_{2H} (可忽略);

夹套内计算压力: $p_{2c} = p_2 = 0.4 \text{ MPa}$ 。

(2) 夹套筒体壁厚计算

夹套筒体计算厚度

$$\delta_2 = \frac{p_{2c} D_2}{2 [\sigma]' \phi - p_{2c}} = \frac{0.4 \times 1300}{2 \times 113 \times 0.85 - 0.4} = 2.71 \text{ mm}$$

夹套筒体设计厚度

$$\delta_{2c} = \delta_2 + C = 2.71 + 2.8 = 5.51 \text{ mm}$$

夹套筒体名义厚度

$$\delta_{2n} = 6 \text{ mm}$$

(3) 夹套封头壁厚计算

选标准椭圆封头, 则夹套封头计算厚度

$$\delta'_2 = \frac{p_{2c} D_2}{2 [\sigma]' \phi - 0.5 p_{2c}} = \frac{0.4 \times 1300}{2 \times 113 \times 0.85 - 0.5 \times 0.4} = 2.71 \text{ mm}$$



夹套封头设计厚度： $\delta'_{2c} = \delta'_2 + C = 2.71 + 2.8 = 5.51 \text{ mm}$ ；

夹套封头名义厚度： $\delta'_{2n} = 6 \text{ mm}$ 。

3.4.7 水压试验校核

釜体水压试验压力： $P_{1T} = 1.25P_1 \frac{[\sigma]}{[\sigma]_t} = 1.25 \times 0.3 = 0.375 \text{ MPa}$ ；

夹套水压试验压力： $P_{2T} = 1.25P_2 \frac{[\sigma]}{[\sigma]_t} = 1.25 \times 0.4 = 0.5 \text{ MPa}$ ；

Q235-A 的屈服强度 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ ， $\sigma_T \leq 0.9\phi\sigma_s = 0.9 \times 0.85 \times 235 = 179.8 \text{ MPa}$ ；

釜体水压试验应力

$$\sigma_{1T} = \frac{P_{1T}(D_1 + \delta_c)}{2\delta_c} = \frac{0.375 \times (1200 + 7.2)}{2 \times 7.2} = 31.4 \text{ MPa} < \sigma_T = 179.8 \text{ MPa}$$

夹套水压试验应力

$$\sigma_{2T} = \frac{P_{2T}(D_2 + \delta_c)}{2\delta_c} = \frac{0.5 \times (1300 + 7.2)}{2 \times 7.2} = 45.4 \text{ MPa} < \sigma_T = 179.8 \text{ MPa}$$

故水压试验安全。

结论：釜体筒体厚度：10 mm；夹套筒体厚度：6 mm；

釜体封头厚度：10 mm；夹套封头厚度：6 mm。

3.4.8 反应釜的搅拌装置设计

搅拌反应釜的搅拌装置主要包括：搅拌器、搅拌轴、支承结构。

1. 搅拌器设计

常见的搅拌器主要有：桨式、推进式、框式、涡轮式、螺杆式等，本设计选择推进式搅拌器。

推进式搅拌器的直径 D_j 常取罐体内径 D_i 的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{2}$ ，以 $D_j = 0.33D_i$ 最为常见，常用于转速 $n = 100 \sim 500 \text{ r/min}$ 场合。

高清PDF网站
www.gqpdf.com
原创

表 3-29 推进式搅拌器的主要尺寸

D_j/mm	d/mm	d_1/mm	d_0/mm	键槽		H/mm	质量/kg	$N/n/[\text{kW}/(\text{r}/\text{min})]$
				b/mm	T/mm			不大于
150	30	60	M12	8	33.1	40	1.77	0.01
200						45	1.93	
250	40	80	M16	12	43.6	55	3.38	0.02
300						65	3.62	
400	50	90	M16	16	55.1	95	4.59	0.025
500	65	110		18	70.6	105	10.42	0.05
600			M20	24	87.2	125	12.11	0.075
700	80	140		150	13.57			

推进式也称旋桨式,常为整体铸造,采用焊接时,模锻后再与轴套焊接,加工较困难。制造时应做静平衡实验。可用轴套、平键和紧定螺钉与轴连接,如图 3-22 所示。

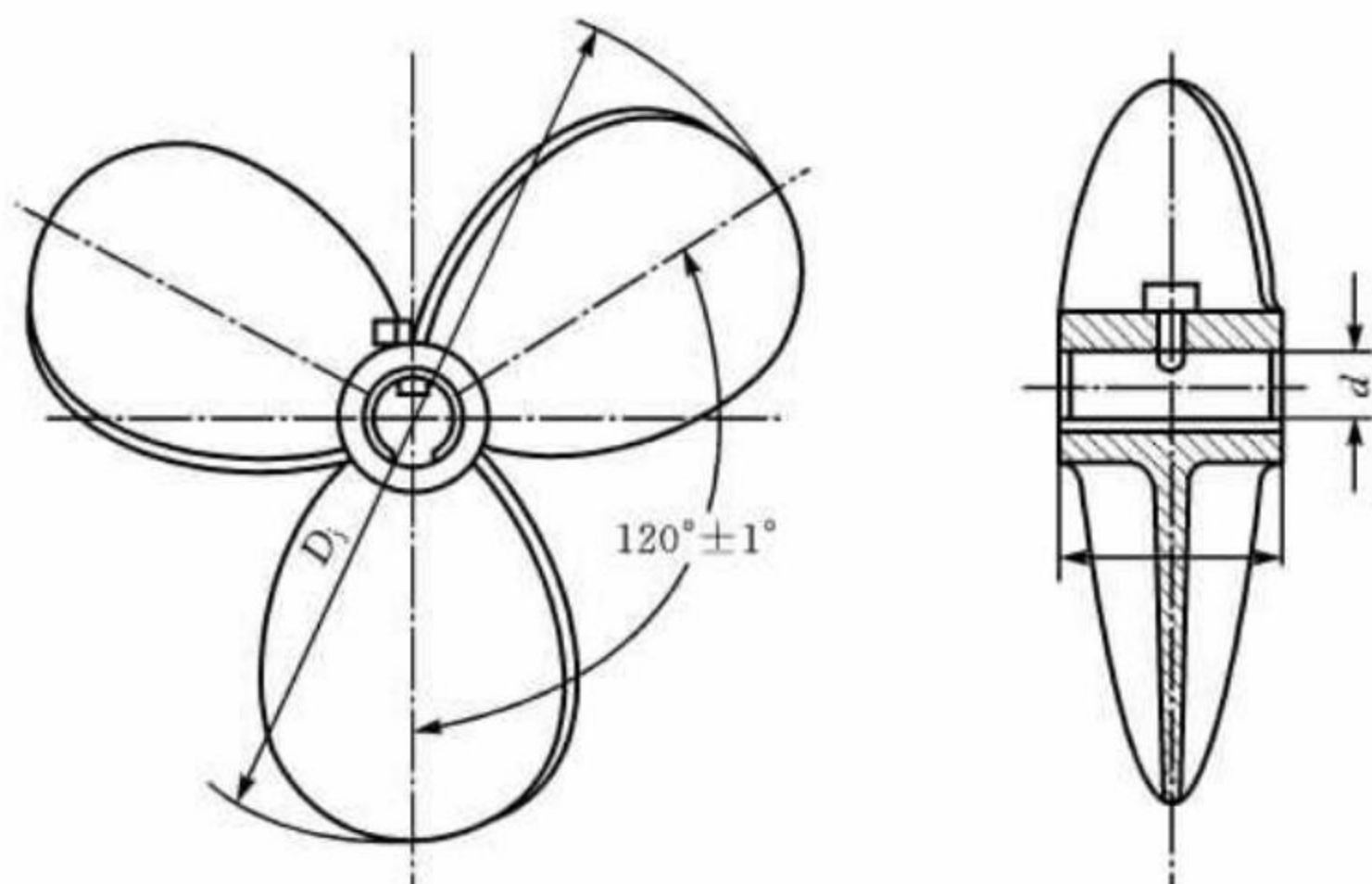


图 3-22 推进式旋桨式结构示意图

本设计的要求是搅拌器转速为 50 r/min,根据工艺条件要求

$$D_j = 0.33D = 0.33 \times 1200 = 396 \text{ mm}$$

选取搅拌器外径 $D_j = 400 \text{ mm}$ 的推进式桨板。

2. 搅拌轴设计

搅拌轴的机械设计内容同一般传动轴。主要是结构设计(包括轴的支承结构)和强度校核,当转速 $n > 200 \text{ r/min}$ 时,还应进行临界转速的校核。

(1) 搅拌轴的材料

材料选择应考虑介质的腐蚀状况。如介质腐蚀性强,一般选择不锈钢;介质腐蚀不强时,通常选择碳素钢或 Q235-A。本设计选用 45 号钢。

(2) 搅拌轴的结构

常用实心或空心直轴,其结构型式根据轴上安装的搅拌器类型、支承的结构和数量以及与联轴器的连接要求而定,还要考虑腐蚀等因素的影响。

本设计采用实心轴结构,轴上安装一层搅拌器,搅拌器的轴头需车削台肩、开键槽,轴端还要车螺纹。

① 轴径的计算:

$$d \geq A_0 \sqrt[3]{\frac{p}{n}} = 110 \times \sqrt[3]{\frac{7.5}{200}} = 36.81 \text{ mm}$$

由设计要求, $p = 7.7 \text{ kW}$, $n = 200 \text{ r/min}$,查表 3-30 可得: $A_0 = 110$ 。计算结果取 $d = 37 \text{ mm}$ 。

表 3-30 轴常用材料的 $[\tau]$ 及 A_0

轴材料	Q235、20	40Cr、35SiMn、2Cr13	45	1Cr18Ni9Ti
$[\tau]$	12~20	40~52	30~40	15~25
A_0	135~160	98~107	107~118	125~148

当轴的转速达到轴的自振频率时,会发生强烈振动,并出现很大的弯曲,这个速度为临界转速。轴在接近临界转速的时候,常因强烈的振动而损坏,因此,工程上要求轴的工作转速应避开临界转速,并应采取具体措施,如对搅拌器进行静平衡或动平衡,减少横向干扰力,或在搅拌器轴上安装稳定器等,以防止强烈的振动的产生。反应釜搅拌轴的工作转速一般多在 200 r/min 以下,对于大多数反应釜来说,此转速下工作临界转速问题可以不予考虑,故在这里临界转速不予计算。

②轴的校核计算:轴的扭转强度条件为

$$\tau = \frac{T}{W_T} \leq [\tau] \quad \text{MPa}$$

式中: T ——轴所受扭矩,在已知轴转速和传递功率的情况下,其计算如下

$$T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n} \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

W_T ——轴抗扭截面因数,对圆轴结构来说, $W_T = \frac{\pi}{16} d^3$;

$[\tau]$ ——许用扭转切应力, MPa。

$$T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n} = 9.55 \times 10^6 \times \frac{7.5}{200} = 0.358 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W_T = \frac{\pi}{16} d^3 \approx 0.2 d^3 = 10130.6 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{T}{W_T} = 35.3 \leq [\tau]$$

故轴径取 37 mm 满足设计要求,综合考虑,选取轴径为 40 mm。

③搅拌轴的支承。一般搅拌轴可依靠减速器内的一对轴承支承。为保证搅拌轴悬臂稳定性,轴的悬臂长 L_1 、轴径 d 和两轴承间距 B 应满足下列关系

$$L_1/B \leq 4, L_1/d \leq 40$$

由于 $H_1 = 1418 \text{ mm}$, $d = 40 \text{ mm}$,选用 $L_1 = 1200 \text{ mm}$ 。

由 $1200/B \leq 4$ 且 $B \geq 300$,取 $B = 250 \text{ mm}$ 。

若轴封处能起支承作用, B 应算至轴封处,当 d 的裕量较小和轴转速较高时, L_1/B 及 L_1/d 取偏小值。

反应釜搅拌轴的滚动轴承,通常根据转速、载荷的大小及轴径综合考虑选择,高转速、轻载荷可选用角接触球轴承,低速、重载荷可选用圆锥滚子轴承。

安装轴承的公差带常采用 K6,外壳孔的公差带长采用 H7。安装轴承处的轴配合表面粗糙度 Ra 取 0.8~1.6,外壳孔与轴承配合表面粗糙度取 1.6。

④搅拌器的临界转速校核计算。搅拌轴上装有搅拌器,往往由于结构不对称、加工安装有

误差等原因,使回转中心离开其几何轴线而产生回转离心力,使轴受到周期性载荷干扰。当周期载荷的频率与搅拌轴的自然频率接近时,轴便发生剧烈振动,这种现象称为轴的共振。产生共振时,搅拌轴的转速称为临界转速。

通常当搅拌轴的工作转速 $n \geq 200$ r/min 时,需要进行搅拌器的临界转速校核计算。

一般搅拌轴常设计成刚性轴,使 $n \leq (0.75 \sim 0.8)n_{cl}$ 。当轴上装有单层且经过很好平衡的搅拌器时,其一阶临界转速 n_{cl} 为

$$n_{cl} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{3EIg}{W_1 L_1^2 (L_1 + B)}}$$

式中: E ——轴材料弹性模量,Pa, $E = 2.01 \times 10^{11}$ Pa;

I ——轴的惯性矩, $I = \frac{1}{64}(\pi d)^2$, m^4 ;

d ——轴径,m, $d = 0.04$ m;

B ——两支点间距离,m, $B = 0.26$ m;

W_1 ——搅拌器重,N, $W_1 = 4.59$ N;

n ——搅拌器转速,r/min, $n = 50$ r/min;

$$n_{cl} = \frac{60}{2 \times 3.14} \sqrt{\frac{3 \times 2.01 \times 10^5 \times 10^6 \times \pi \times (0.04)^4}{4.59 \times (1.00)^2 (1.00 + 0.22) \times 64}} = 370.1 \text{ r/min}$$

$n = 50 < 0.75n_{cl} = 277.6$ r/min,搅拌轴工作转速下不会发生共振,符合要求。

3. 联轴器设计

用于立式搅拌轴上的联轴器主要有以下几种。

(1) 凸缘联轴器

结构:由两个带凸缘的圆盘组成,圆盘称为半联轴器,半联轴器与轴通过键完成周边固定,通过轴上的螺纹与锁紧螺母实现二者轴向固定。两个半联轴器靠螺栓连接。

优点:结构简单,成本低,制造方便,传递较大扭矩。

缺点:无减振性,适于低速、振动小和刚性大的轴。

标定符号:GT—轴径,如:GT—90。

(2) 夹壳联轴器

结构:两个半圆夹壳组成,材质为铸铁,用一组螺栓锁紧,用平键完成周边固定,用两个半环组成的悬吊环完成轴边固定。

优点:拆装方便,不用作轴向移动。

缺点:不适用于有冲击的场合。

标定符号:JQ—轴径,如:JQ—90。

(3) 套筒联轴器

结构:用键或销钉将套筒与轴联接起来组成一体。

优点:结构简单、同心度高。

缺点:拆装时轴须作轴向移动。

(4) 弹性圈柱销联轴器

结构:与凸缘联轴器相似,区别在于用一个套有弹性圈的柱销代替联接螺栓,弹性圈材料为橡胶或皮革等。

优点:吸振能力强,可用于频繁正反转场合。

L_1 ——搅拌器外伸端长度,1.00 m。

查阅《搅拌传动装置——联轴器》(HG/T 21570—95)标准中夹套式联轴器型式、尺寸、技术要求,选用立式夹壳式联轴器。

3.4.9 反应釜的传动装置设计

反应釜式搅拌器是由传动装置来带动的。传动装置通常设置在釜顶封头的上部。传动装置的设计内容一般包括:电动机、减速机的选型、选用和设计机架和底盖等。

1. 电动机选择

通常电动机与减速机配套供应,搅拌设备选用电动机时,主要是确定电动机系列、功率、转速以及安装形式和防爆要求等几项内容。电动机功率必须满足搅拌器运转功率与传动系统、轴封系统功率损失的要求。最常用的是Y系列全封闭自扇冷式三相异步电动机,见附录表E-4。

本设计选电机型号:Y160M—4,其额定功率为11 kW,转速1460 r/min。电机功率按下式计算

$$P_d = \frac{P + P_m}{\eta}$$

式中: P_d ——电机功率,kW;

P ——搅拌器功率,kW;

P_m ——轴封系统的摩擦损失,kW;

η ——传动系统的机械效率,通常取95%。

已知 $P_d=11$ kW, $P=7.5$ kW, $\eta=0.95$, 则 $P_m=2.95$ kW。

2. 减速装置选择

目前我国已颁布的标准反应釜用立式减速机,有摆线针轮行星减速机、两级齿轮减速机、三角皮带减速机和谐波减速机四种。

①摆线针轮行星减速机:减速比9~87,转速16~160 r/min,功率0.6~30 kW。特点是传动效率高,结构紧凑,拆装方便,寿命长,承载能力高,工作平稳,允许正反转。

②两级齿轮减速机:为两级同中心距并流式斜齿轮减速传动装置。减速比5.63~11.6,转速125~250 r/min,功率0.6~30 kW。体积小,效率高,制造成本低,结构简单,装配检修方便,可以正反转。

③三角皮带减速机:为单级三角皮带传动的减速装置。减速比2.9~4.53,转速320~550 r/min,功率0.6~5.5 kW。结构简单,过载时打滑,起保护作用,允许反转。

④谐波减速机:减速比90~359,转速4~16 r/min,功率0.6~13 kW。结构简单,体积小,重量轻,承载能力高,运转平稳,封闭性好,可用于有防爆要求的场合。

立式搅拌反应釜用减速机外形及尺寸,可根据电动机功率和转速查表3-31和表3-32获得。

本设计反应釜用减速装置选用二级齿轮减速机。

表 3-31 标准减速机的功率、转速范围、类型代号及特性参数

序号	标准号	减速机类型	转速范围 /r·min ⁻¹	电机功率 范围/kW	类型 代号	特性参数
1		谐波减速机	4~16	0.6~13	XB	柔轮分度圆直径
2	HG 5—745—78	摆线针轮行星减速机	16~160	0.6~30	BLD	电机功率,机型号,减速比
3	HG 5—746—78	两级齿轮减速机	125~250	0.6~30	LC	中心距
4	HG 5—747—78	三角皮带传动减速机	320~500	0.6~5.5	P	三角皮带型号及根数

表 3-32 釜用立式减速机的基本特性

特 性	两级齿轮减速机
减速比范围	11.6~5.63
输出轴转速范围 /r·min ⁻¹	125~250
功率范围/kW	0.6~30
效 率	≥0.96
主要特点	本机为两级同中心距并流式斜齿轮减速传动装置,传动比准确,寿命长。在相同速比范围内,较之于其他传动来说,具有体积小,效率高,制造成本低,结构简单,装配检修方便等
特性参数	中心距
应用条件	允许反正旋转,可采用夹壳式联轴器(HG 5—213—65)或弹性块式联轴器(HG 5—743—78)与搅拌轴联接,不许承外加轴向载荷或允许轴向力小的场合,可用于有防爆要求的场合,与电机直连供应
标定符号	LC 中心距—顺序号,输出轴结构 I 或 II
标准图号	HG 5—746—78

表 3-33 传动机械效率

类 别	传动形式	效率/%
圆柱齿轮传动	双级圆柱齿轮减速器	0.95~0.96

3. 凸缘法兰设计

凸缘法兰一般焊接于搅拌器封头上,用于连接搅拌传动装置,亦可兼作安装、维修、检查用

孔。凸缘法兰分整体和衬里两种结构形式,密封面分突面(R)和凹面(M)两种,其形式见附录图 D-4,其尺寸可由附录表 D-6 查找。本设计选用的凸缘法兰的尺寸如表 3-34。

表 3-34 凸缘法兰主要尺寸

公称直径 DN	d_1	d_2	k	d_3	d_4	h_1	h_2	h_4	螺栓		d_5	R_1	R_2	质量 /kg	R 型		M 型	
									数量	螺纹					d_6	h_3	d_7	t_1
300	280	445	400	325	350	36	65	5	12	M20	22	4	2	33.5	370	4	354	5

本设计选择 R 型突面凸缘法兰,其尺寸如下: $DN=400$ mm, $d_1=410$ mm, $d_2=565$ mm, $k=515$ mm, $d_3=430$ mm, $d_4=455$ mm。螺栓数量:16;螺纹尺寸:M24。

4. 安装底盖设计

安装底盖采用螺柱等紧固件,上面和基架连接,下面和凸缘法兰连接,是整个搅拌传动装置与容器连接的主要连接件。

安装底盖的常用形式为 RS 和 LRS 型,其结构(整体或衬里)、密封面形式(突面或凹面)以及传动轴的安装形式(上装或下装),按 HG 21565—95 选取。RS 型主要尺寸查附录图 D-7、附录表 D-7 和 D-8,安装底盖的公称直径与凸缘法兰相同。形式选取时应注意于凸缘法兰的密封面配合(突面配突面,凹面配凹面)。安装底盖的主要尺寸见表 3-35。

表 3-35 安装底盖的主要尺寸

安装底盖 公称直径 DN	机架公称 直径	d_2	k	d_5	$d_6(h_7)$	k_1	d_7	S
300	300	445	400	12~22	320	—	—	50

本设计选取 RS 型安装底盖。其主要尺寸如下: $DN=400$ mm, $d_2=565$ mm, $k=515$ mm, $d_5=16\sim 26$ mm, $d_6=415$ mm, $S=50$ mm。

5. 机架设计

机架是安装减速机用的,它与减速机底座尺寸应匹配。V 带减速机自带机架,选用其他类型标准釜用减速机按标准选配机架,常用标准有三种。

(1) 无支点机架

无支点机架的选用条件:

①电动机或减速机具备两个支点,并经核算确认轴承能够承受由搅拌传递而带来的径向和轴向载荷者;

②电动机或减速机有一个支点但釜内设有底轴承、中间轴承或轴封本体设有可以作为支点的轴承,上下组成一对轴支承者。

无支点机架一般仅适用于传递小功率和小的轴向载荷的条件。减速器输出轴联轴器形式为夹壳式联轴器或刚性凸缘联轴器。

(2) 单支点机架

单支点机架的选用条件:

- ① 电动机或减速机有一个支点,经核算可承受搅拌轴的载荷;
- ② 搅拌器内设置底轴承,作为一个支点;
- ③ 轴封本体设有可以作为支点的轴承;
- ④ 在搅拌容器内、轴中部设有导向轴承,可以作为一个支点者。

当按上述条件选用单支点机架时,减速器输出与搅拌器之间采用弹性联轴器连接;当不具备上述条件而选用单支点机架时,减速器输出轴与搅拌器之间采用刚性联轴器连接。

(3) 双支点机架

在不宜采用单支点机架或无支点机架时,可选用双支点机架,但减速器输出与搅拌器之间必须采用弹性联轴器连接。

本次选用选用 WJ90 型无支点机架,其结构尺寸如下:

$H_1 = 40 \text{ mm}$, $H_2 = 25 \text{ mm}$, $H_3 = 7 \text{ mm}$, $H_4 = 8 \text{ mm}$, $D_1 = 400 \text{ mm}$, $D_2 = 450 \text{ mm}$, $D_3 = 490 \text{ mm}$, $D_4 = 430 \text{ mm}$, $D_5 = 515 \text{ mm}$, $D_6 = 565 \text{ mm}$, $H = 660 \text{ mm}$, 质量为 170 kg。常用的无支点机架尺寸可查阅附录表 E-6。

3.4.10 反应釜的轴封装置设计

轴封是搅拌设备的一个重要组成部分。其任务是保证搅拌设备内处于一定的正压和真空状态以及防止反应物料溢出和杂质的渗入。鉴于搅拌设备以立式容器中心顶插式搅拌为主,很少满釜操作,轴封的对象主要为气体,而且搅拌设备由于反应工况复杂,轴的偏摆振动较大,运转稳定性差,故不是所有形式的轴封都能用于搅拌设备上。

1. 填料密封

填料密封是搅拌设备最早用的一种轴封结构。它的基本结构是由填料、填料箱、压盖、压紧螺栓及油杯等组成,如图 3-23 所示。因其结构简单、易于制造,在搅拌设备上曾得到广泛应用。一般应用于常压、低压、低转速及允许定期维护的搅拌设备。

当采用填料密封时,应优先选用标准填料箱。HG 21537.7—92 为碳钢填料箱标准, HG 21537.8—92 为不锈钢填料箱标准,在选择、设计时可参考。填料箱密封的选用还应注意以下几方面:

- ① 当填料箱的结构和填料的材料的选择合理,并有良好润滑和冷却条件时,可用于较高的工作压力、温度和转速条件下;
- ② 当填料无冷却、润滑时,转轴线速度不应超过 1 m/s;
- ③ 当搅拌容器内介质温度大于 200℃ 时,应对填料密封进行有效的冷却;
- ④ 当从填料箱油杯中压注密封润滑液时,润滑液压力一般应略高于被密封介质的压力,以防止容器内介质的泄露;采用密封润滑液且润滑液流入容器内对工艺性能有影响时,应在填料箱下端轴上设置储油杯;
- ⑤ 填料箱一般可不设支承套,应将搅拌轴的支承设置在机架上。

反应釜搅拌轴处的密封,属于动密封,常采用的有填料密封和机械密封两种形式,它们都有标准,本设计选用的填料密封选用标准碳钢填料箱,其主要尺寸如表 3-36 所示。

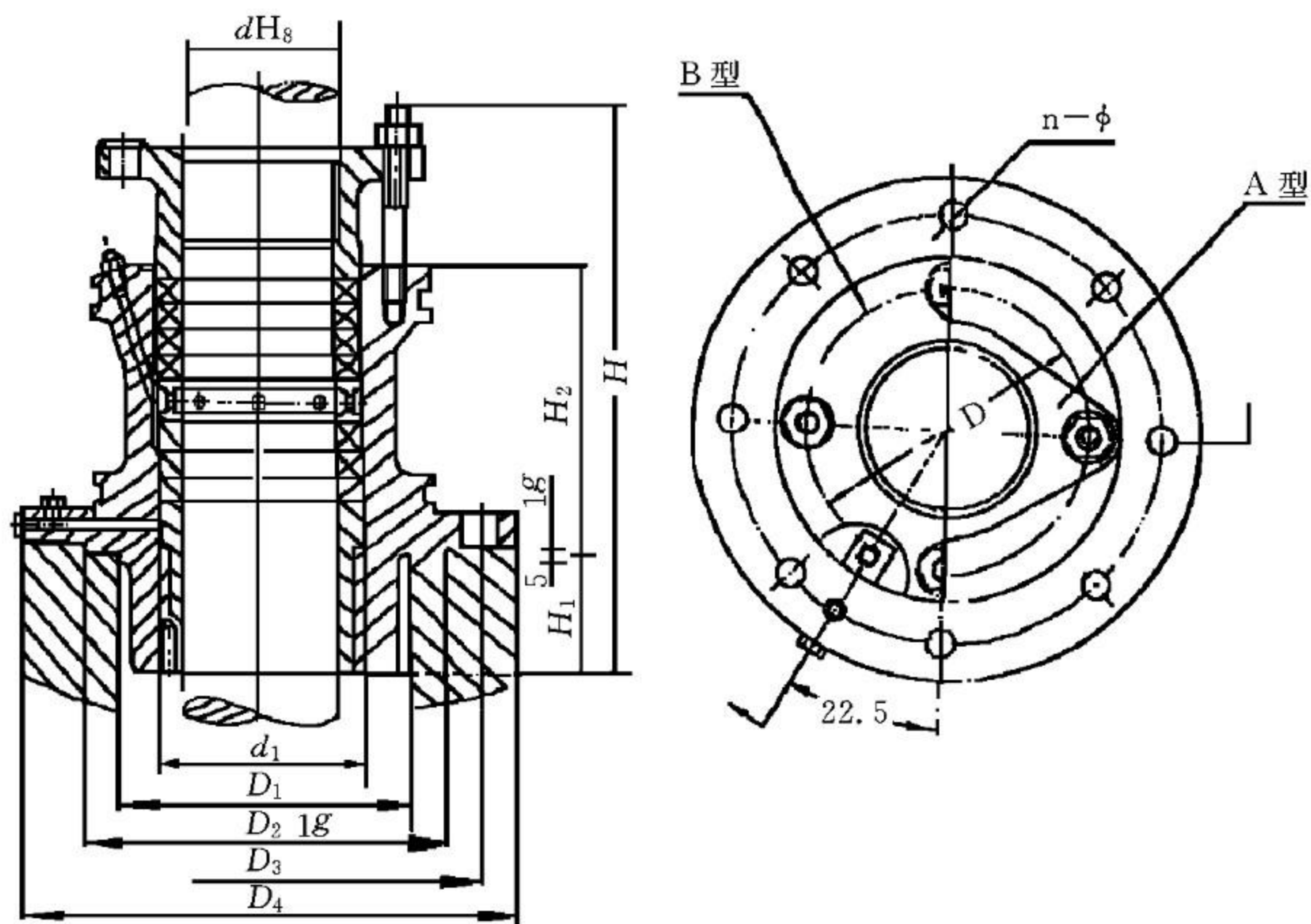


图 3-23 轴封部件结构示意图

表 3-36 标准填料箱主要尺寸

单位: mm

轴径	D_1	D_2	$D_3 (h_6)$	H		法兰螺栓孔		填料规格	质量/kg	
				PN0.6	PN1.6	n	Φ		PN0.6	PN1.6
40	175	145	110	147	167	4	18	10×10	7.5	7.9

2. 机械密封

(1) 工作原理及结构

工作原理: 用垂直于轴的两个密封元件相互贴合(依靠介质压力或弹性力), 并作相对运动达到密封。

结构: 由动环、静环、弹簧加荷装置(包括弹簧、弹簧座、动环压垫、紧定螺钉等)、销钉和密封圈(动环密封圈、静环压盖)等部分组成, 如图 3-24 所示。

(2) 釜用机械密封特点

釜用机械密封适用于气体和液体介质, 转轴转速高, 一般为 200~300 r/min, 最高可达 500 r/min; 搅拌轴通过活动联轴器(对半结构)连接于传动轴上, 搅拌轴与传动轴间拆装方便, 机械密封多采用夹壳联轴器(用于皮带轮减速机)及短轴联轴器(用于齿轮减速机、摆线针轮减速机)。

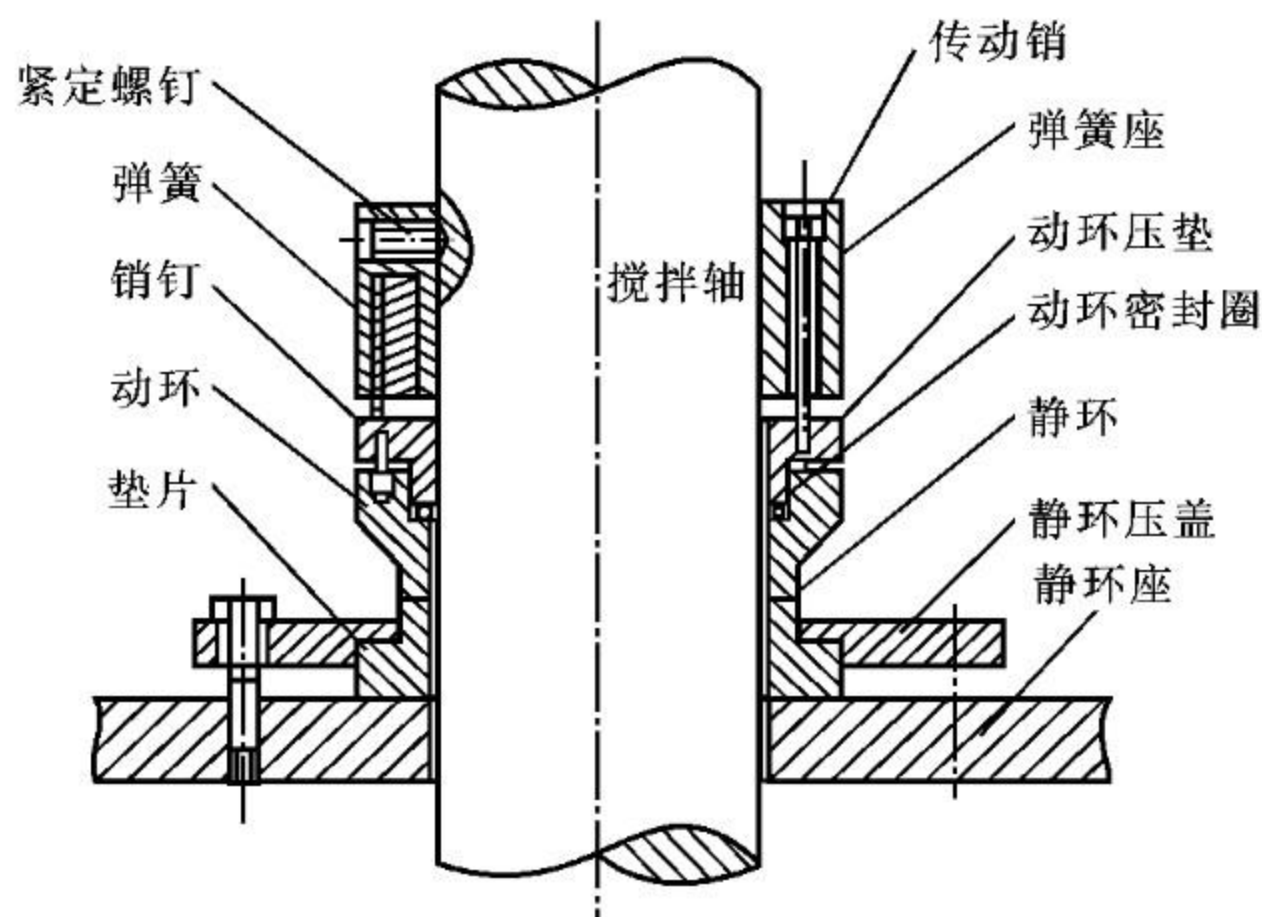


图 3-24 釜用机械密封结构示意图



3.4.11 反应釜的其他附件

1. 支座的选用及计算

夹套反应釜多为立式安装,最常用的支座为耳式支座。标准耳式支座(JB/T 4725—92)分为 A 型和 B 型两种。当设备需要保温或直接支承在楼板上时选 B 型,否则选 A 型。本设计选 A 型,其主要尺寸见表 3-37。

表 3-37 支座尺寸表

单位: mm

允许载荷 Q/kN	适用容器公称直径 DN	高度 H	底板				垫板			
			l_1	b_1	δ_1	s_1	l_3	b_3	δ_3	e
60	1000~2000	250	200	140	14	70	315	250	8	40
A 型筋板			地脚螺栓				支座质量/kg			
l_2	b_2	δ_2	d		M					
160	160	8	30		24		11.1			

每台反应釜常用 4 个支座,但承重计算时,考虑安装误差造成的最危险受力情况,应按两个支座计算。

耳式支座实际承受载荷是近似计算

$$Q = \left[\frac{m_0 g + G_e}{kn} + \frac{4(Ph + G_e S_e)}{nD} \right] \times 10^{-3}$$

式中: Q ——支座实际承受的载荷, kN;

D ——支座安装尺寸, mm;

g ——重力加速度,取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$;

G_e ——偏心载荷, N;

h ——水平力作用点至底板高度, mm;

k ——不均匀系数, 安装 3 个支座时, 取 $k=1$, 安装 3 个以上时, 取 $k=0.83$;

m_0 ——设备总质量(包括壳体及其附件, 内部介质及保温层的质量), kg;

n ——支座数量;

S_e ——偏心距, mm;

P ——水平力, 取 P_e 和 P_w 中的较大值, N。

①当容器高径比不大于 5, 且总高度 H_0 不大于 10 m 时, P_e 和 P_w 可按下式计算:
水平地震力 P_e :

$$P_e = 0.5\alpha_e m_0 g$$

式中: α_e ——地震系数。

水平风载荷 P_w :

$$P_w = 0.95 f_i q_0 D_0 H_0 \times 10^{-6}$$

式中: D_0 ——容器外径, 有保温层时取保温层外径, mm;

f_i ——风压高度变化系数, 按设备质心所处高度取;

H_0 ——容器总高度, mm;

q_0 ——10 m 高度处的基本风压值, N/m²。

②当容器高径比小于 5, 或总高度 H_0 大于 10 m 时, 不推荐使用耳座。

本设计中

$$Q = \left[\frac{m_0 g + G_e}{kn} + \frac{4(Ph + G_e S_e)}{nD} \right] \times 10^{-3} \approx 17.1 \text{ kN} < 60 \text{ kN}$$

小于允许载荷, 所选支座符合要求。

2. 手孔和人孔

设置手孔和人孔是为了检查设备, 便于安装与拆卸设备内部结构件。其设计规则如下:

①当设备内径 $300 \text{ mm} \leq D_i \leq 500 \text{ mm}$ 时, 至少开设 $\phi 75$ 的手孔;

②当设备内径 $500 \text{ mm} \leq D_i \leq 1000 \text{ mm}$ 时, 至少开设一个 $\phi 400$ 的人孔或两个 $\phi 100$ 的手孔;

③当设备内径 $D_i \geq 1000 \text{ mm}$ 时, 至少开设 1 个 $\phi 400$ 的人孔或两个 $\phi 150$ 的手孔。

人孔的形状有圆形和椭圆形两种。圆形人孔制造方便, 应用较为广泛。人孔的大小及位置应以人进出设备方便为原则。对于反应釜, 还要考虑搅拌器的尺寸, 以便搅拌轴及搅拌器能通过人孔放入罐体内。

本设计选择一个人孔, 根据设计压力、温度, 人孔形式选择为回转盖带颈平焊法兰人孔(HG 21517—95), 主要结构尺寸如下:

公称压力: 1.0 MPa, 公称直径: $DN=450 \text{ mm}$, 总质量: 125 kg; 螺柱: 20 个, 尺寸 M24~125; 螺栓: 40 个。

3. 设备接管与管法兰密封面设计

化工容器及设备, 往往由于工艺操作等原因, 在筒体和封头上需要开各种用途的孔, 接管和法兰是用来与管道和其他设备连接的, 在设计接管及法兰时应注意:

①选择管法兰的主要参数是公称直径和公称压力。

②接管的伸长度一般为从法兰密封面到壳体外径为 150 mm。

③开孔后通常带来补强问题,GB 150—98 规定:当在设计压力小于或等于 2.5 MPa 的壳体上开孔,两相邻开孔中心的间距(对曲面间距以弧长计算)大于两孔直径之和的两倍且接管公称外径小于或等于 89 mm 时,只要接管最小厚度满足表 3-38 要求,就可以不另行补强。

表 3-38 不另行补强的接管最小厚度

接管外径/mm	最小厚度/mm	接管外径/mm	最小厚度/mm
25,32,38	3.5	57, 65	5.0
45,48	4.0	76, 89	6.0

④法兰选择:法兰分为板式平焊法兰、带颈平焊法兰、带颈对焊法兰等。

化学反应容器的密封一般都是采用法兰连接达到密封的。法兰的选型主要是根据工艺条件、密封口径以及准备采用的热处理方式决定的。常用的三种连接方式:

a. 平面型压紧面:结构简单,加工方便,便于进行防腐衬里施工,适用的压力范围小于或等于 2.5 MPa,密封性较差。

b. 凹凸型压紧面:适用的压力范围小于或等于 6.4 MPa。

c. 榫槽型压紧面:密封性非常好,适用于易燃、易爆、有毒的介质以及较高的压力场合。

以上三种密封面所用的垫片大都是各种非金属垫片或非金属与金属混合制的垫片。

综上所述,因为设计的最大压力 $P=0.5$ MPa,所装储的是液体且无毒,故在这里选择平面型压紧面足够了。本设计选用接管如表 3-39 所示。

表 3-39 接管表

主要接管及尺寸/mm

符号	公称直径 DN/mm	连接面形式	用途
a	25	凸面板式平焊法兰(RF)	蒸汽入口
b	25	凸面板式平焊法兰(RF)	加料口
c	400	组合件	人孔
d	70	凸面板式平焊法兰(RF)	温度计接口
e	40	凸面板式平焊法兰(RF)	备用管口
f	25	凸面板式平焊法兰(RF)	压缩空气管口
g	100	凸面板式平焊法兰(RF)	压料管
h	50	凸面板式平焊法兰(RF)	压料管套管
m	40	凸面板式平焊法兰(RF)	放料口
n	25	凸面板式平焊法兰(RF)	凝液出口

4. 补强圈

容器开孔后由于壳体材料的削弱,出现开孔应力集中的现象。因此,要考虑补强。补强圈

就是用来弥补设备壳体因开孔过大而造成大的强度损失的一种最常用形式,补强圈形状应与被补强部分相符,使之与设备壳体密切贴合,焊接后能与壳体同时受力。补强圈上有一小螺孔(M10),焊后通入压缩空气,以检查焊缝气密性。补强圈的厚度和材料一般均与设备壳体相同。补强圈结构、坡口型式及外径尺寸如附录图 D-13 所示。当采用补强圈补强时其接管壁厚可参照下列数值选取:

$\phi 108 \times 6, \phi 133 \times 6, \phi 159 \times 8, \phi 219 \times 8, \phi 273 \times 8, \phi 325 \times 10, \phi 377 \times 10$ 。

5. 视 镜

按照安全、经济、适用的原则,视镜的选择可参考本书附录 D 表 D-14 选取,更多信息可查《化工设备标准手册(第二册)——化工设备零部件》P166~179 页,本设计选取视镜 II P_g6D_g50JB 593—64—2。

注:

①本视镜玻璃按 SJ—6 技术条件制造,允许最高介质温度为 200℃,最大急变温差为 180℃。

②密封用衬垫材料可以根据操作条件改变,但必须在设备总图上注明。

③视镜衬里材料与所在设备衬里相同,其厚度小于或等于 3 mm。



第二篇

过程装备专业实验





第4章 外压容器失稳实验

4.1 实验目的

- 形成对外压容器的失稳现象的感性认识,掌握外压容器失稳压力的理论计算方法。
- 学习掌握圆筒形容器直径、壁厚的测试方法。
- 掌握外压容器失稳压力的实验测试方法。
- 通过对外压容器失稳压力理论计算结果与实测结果比较,分析产生误差的原因。

4.2 实验原理简介

4.2.1 外压容器的受力与失稳

①外压容器的定义:理论上,将外部压力大于内部压力的容器均称为外压容器。

②容器在外压作用下的受力特征:即容器受到外压作用时,在筒壁内即产生径向和环向压应力,其值与内压圆筒计算方法一样,当这个应力达到屈服极限时,容器出现屈服现象。

$$\sigma_m = \frac{PD}{4S}, \sigma_\theta = \frac{PD}{2S}$$

式中: σ_m ——筒壁内径向应力,MPa;

σ_θ ——筒壁内环向应力,MPa。

实际上,当压缩应力远小于屈服极限时,容器会被突然压瘪,这种现象称为外压失稳。

③外压失稳现象:在外压作用下,突然发生的筒体失去原形,即突然失去原来的稳定性的现象。

4.2.2 容器失稳的分类

1. 侧向失稳

容器受均匀侧向外压引起的失稳现象称为侧向失稳。侧向失稳时壳体断面被压瘪由原来的圆形变得呈现出波形,其波形数可以等于两个、三个、四个等。侧向失稳的波形数可由经验公式事先计算得出。

2. 轴向失稳

若一薄壁圆筒承受轴向外压,当载荷达某一数值时,也能导致圆筒丧失稳定性,此时,容器仍具有圆形的环截面,但母线的直线性被破坏,即圆筒发生了褶皱。

3. 局部失稳

外压容器由于局部承受过大的外压而引起的局部失稳现象。

4.2.3 临界压力及其影响因素

1. 基本概念

临界压力:外压容器失稳瞬间承受的外压称为该容器的临界压力,通常以 P_{cr} 表示。

临界应力:在临界压力作用下,筒体内壁产生的压应力称临界压应力,通常以 σ_{cr} 表示。

2. 影响临界压力的因素

(1) 筒体几何尺寸的影响

如 L , D_o , S 分别为外压容器的有效计算长度、外径、壁厚,则:

- ①当 L/D_o 一定时, S/D_o 越大,则临界压力越高;
- ②当 S/D_o 一定时, L/D_o 越小,则临界压力越高;
- ③当 S/D_o 、 L/D_o 均相同时,有加强圈者临界压力高。

(2) 筒体材料性能的影响

材料的弹性模量 E 和泊松比 μ 越大,其抵抗外压变形的能力就越强,临界压力也越高。

(3) 筒体椭圆度和材料不均匀性的影响

筒体椭圆度越大,即容器形状越不规整,容器越易失稳,即临界压力越小;容器材料质地越均匀,越不易失稳,临界压力越大。

(4) 其他因素

外压载荷的不对称性、边界条件变化等因素均会影响外压容器的临界压力。载荷施加不对称、边界条件的变化均会减小临界压力。

(5) 封头支撑作用

封头可以对外压容器起到加强作用,相当于延长了外压容器的有效长度。

4.2.4 长圆筒、短圆筒和刚性圆筒的判定及临界压力计算

1. 不同类型圆筒的划分标准及特点

按与直径 D_o , 壁厚 S_e 等有关的相对长度,将受压的圆筒形壳体分为长圆筒、短圆筒和刚性圆筒。

容器的临界长度的计算公式

$$L_{cr} = 1.17D_o \sqrt{D_o/S_e} \text{ mm}, \quad L'_{cr} = \frac{1.3E'S_e}{[\sigma]^t \sqrt{D_o/S_e}} \text{ mm}$$

当 $L > L_{cr}$ 时,属长圆筒;当 $L'_{cr} < L < L_{cr}$ 时,属短圆筒;当 $L < L'_{cr}$,属刚性圆筒。

其中: L ——容器的计算长度,mm;

S_e ——容器的有效壁厚,mm;

D_o ——容器的外径,mm。

(1) 长圆筒

特点: L/D_o 值较大,两端边界影响可忽略,临界压力 P_{cr} 仅与 S_e/D_o 有关。失稳时波形数 $n=2$ 。

(2) 短圆筒

特点:两端边界影响显著,临界压力 P_{cr} 与 $S_e/D_o, L/D_o$ 都有关。失稳时波形数 n 为大于 2 的整数。

(3) 刚性圆筒

特点: L/D_o 较小, S_e/D_o 较大,刚性好。由于器壁内的应力超过了材料的屈服点导致容器破坏,但不会失稳。这类容器只需满足强度条件即可。

2. 临界压力理论计算

长圆筒:

$$P_{cr} = \frac{2E}{1-\mu^2} \left(\frac{S_e}{D} \right)^3 \text{ MPa}$$

短圆筒:

$$P_{cr} = \frac{2.59E'S_e^2}{LD_o \sqrt{D_o/S_e}} \text{ MPa}$$

3. 外压圆筒和管子壁厚的图算法

(1) $D_o/S_e \geq 20$ (假设试算法)

① 假设 S_n , 准确计算筒体计算长度 L 和 S_e ($S_e = S_n - C$), 得出 L/D_o 和 D_o/S_e 的值。

② 查外压或轴向受压圆筒几何参数计算图(参见相关教材), 在图的左方找到 L/D_o 值, 过该点沿水平方向向右与 D_o/S_e 线相交, 确定交点。若 $L/D_o > 50$, 则用 $L/D_o = 50$ 查图; 若 $L/D_o < 0.05$, 则用 $L/D_o = 0.05$ 查图;

③ 过该交点垂直向下, 在图的下方得到系数 A ;

④ 根据容器所用材料, 选定外压圆筒、管子和球壳厚度计算图(参见相关教材), 在图的下方找出由③所得的系数 A 。

若 A 落在设计温度下材料线的右方, 则过该点垂直上移, 与设计温度下材料线相交, 再过此交点水平向右, 在图的右方得到系数 B , 并用下式计算许用外压 $[P]$

$$[P] = \frac{B}{D_o/S_e} \text{ MPa}$$

若 A 落在设计温度下材料线的左方, 则用下式计算许用外压 $[P]$

$$[P] = \frac{2AE'}{3D_o/S_e} \text{ MPa}$$

⑤ 比较 P 与 $[P]$ 若 $P > [P]$, 则须再假设壁厚 S_n , 重复以上步骤, 直至 $[P]$ 大于且接近 P 为止。

(2) $D_o/S_e < 20$ 的圆筒和管子

① 用与 $D_o/S_e \geq 20$ 时相同的步骤得到系数 B 值。

但当 $D_o/S_e < 4.0$ 时, 则系数 A 用下式计算

$$A = \frac{1.1}{(D_o/S_e)^2}$$

当系数 $A > 0.1$ 时, 取 $A = 0.1$ 。

② 用①所得的系数 B 按下式计算 $[P]_1$ 和 $[P]_2$

$$[P]_1 = \left[\frac{1.625}{D_o/S_e} - 0.0625 \right] B \text{ MPa}$$

$$[P]_2 = \frac{2\sigma_0}{D_o/S_e} \left[1 - \frac{1}{D_o/S_e} \right] \text{ MPa}$$

其中 σ_0 取以下两值中较小值

$$\sigma_0 = 2[\sigma]^t \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_0 = 0.9\sigma'_s \quad \text{MPa}$$

③ $[P]_1$ 和 $[P]_2$ 中的较小值即为许用压力 $[P]$ 。

比较 P 和 $[P]$, 若 $P > [P]$, 则须再假设壁厚 S_e , 重复以上步骤, 直至 $[P]$ 大于且接近 P 为止。

4.3 实验装置与器材

- ① 外压失稳装置, 1 套 (见图 4-1);
- ② 外压容器试件, 1~2 套;
- ③ 游标卡尺、螺旋测微计、深度尺各一套。

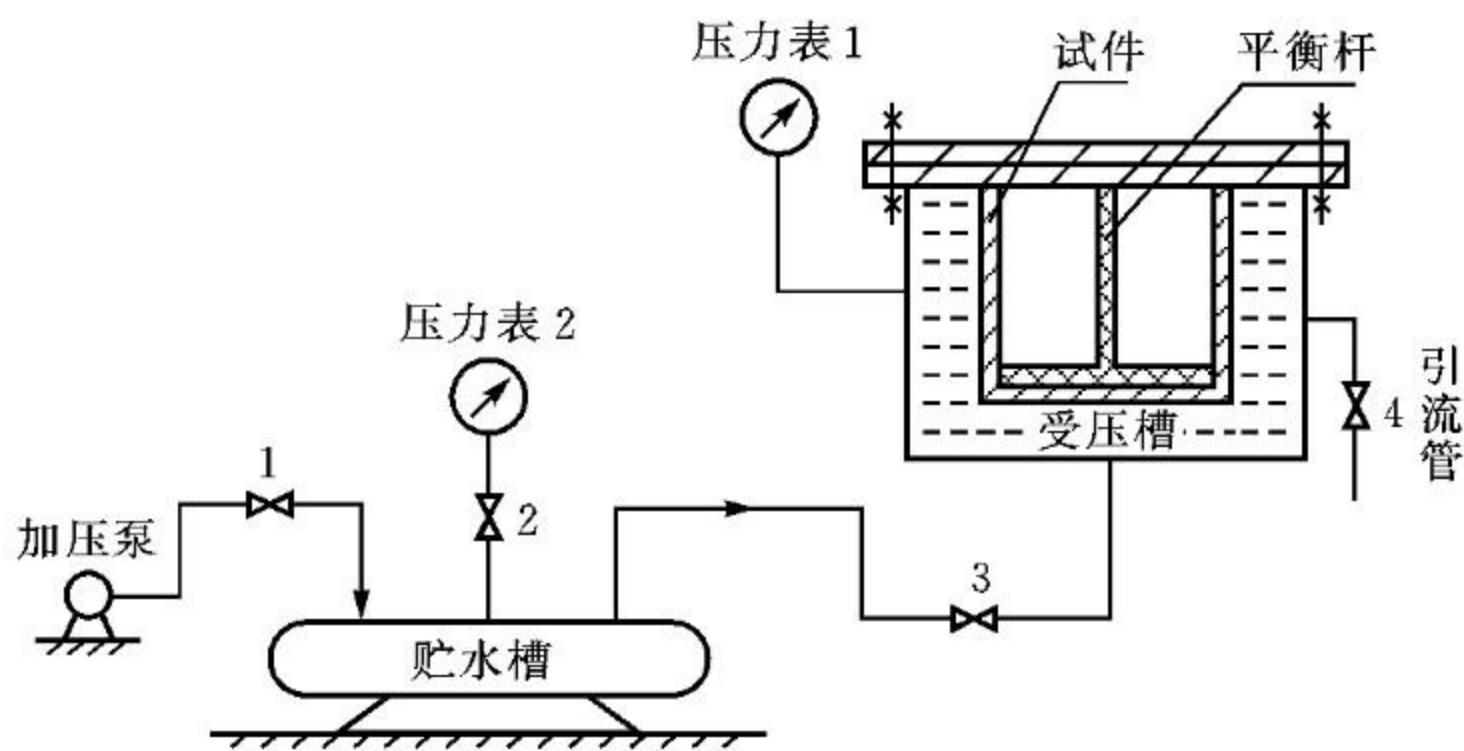


图 4-1 外压容器失稳实验装置示意图

4.4 实验步骤

- ① 准确测量试件的长度、直径和壁厚, 按每隔 90° 测量一次, 每方向测量三次, 取其平均值;
- ② 将试件放入实验装置的受压槽内, 使橡皮圈扣在试件的开口端, 以达到自紧密封作用, 放入压杆用压盖顶紧;
- ③ 开启 1 号阀, 升压至槽中空气排除、有液体流出为止, 并关闭 1 号阀;
- ④ 转动 3 号阀缓慢升压, 随时观察压力表上指针的读数, 指针下降时压力即是该容器的临界压力;
- ⑤ 关闭仪器, 取出试件, 观察失稳现象并归还工具、整理现场。

4.5 实验数据及结果分析

临界压力理论计算值: _____ 临界压力实测值: _____

误差(%)：_____

表 4-1 实验原始数据记录表

试件尺寸 测量次数	外径 D_o /mm	长度 L /mm	壁厚 S_e /mm	$L_{cr} = 1.17D_o \sqrt{\frac{D_o}{S_e}}$
1				
2				
3				
4				
平均值				

误差分析：



第 5 章 金属材料的超声波探伤实验

5.1 实验目的

- 了解超声波探伤的基本原理与方法。
- 了解典型超声波探伤仪的主要性能及调节方法。
- 掌握纵波探伤和斜波探伤的基本操作,并对超声波探伤的国家标准有一定的了解。

5.2 超声波检测原理

无损检测技术是在不破坏被检测对象的前提下,检查工件宏观缺陷或测量工件特征的各种技术方法的统称,对于控制和改进生产过程和产品质量,保证材料、零件的可靠性及提高生产率起着关键的作用,是现代工业不可缺少的重要检测技术手段之一。常规无损检测方法有:超声检测(UT)、射线检测(RT)、磁粉检测(MT)、渗透检测(PT)和涡流检测(ET)。

超声波检测是利用超声波能在物质中传播,并且像光束一样产生反射及折射的性质实现的。图 5-1 给出了双探头检测的基本原理。探头 1 用于发射超声波,探头 2 用于接收。在无缺陷部位,探头 1 发射的超声波经物体衰减后传至探头 2,通过在探头 2 后连接(图中未画出)的放大器、显示器等,就可以确定探头 2 的超声波强度。当将两探头移至有缺陷位置时,由于缺陷对超声波的反射,将使探头 2 处所收到的超声波强度下降,甚至消失。从这一现象就可以确定在探头 1 与 2 之间的连线上有缺陷存在。从探头 2 处超声波强度下降的幅度,可以进一步推断缺陷的位置和大小。

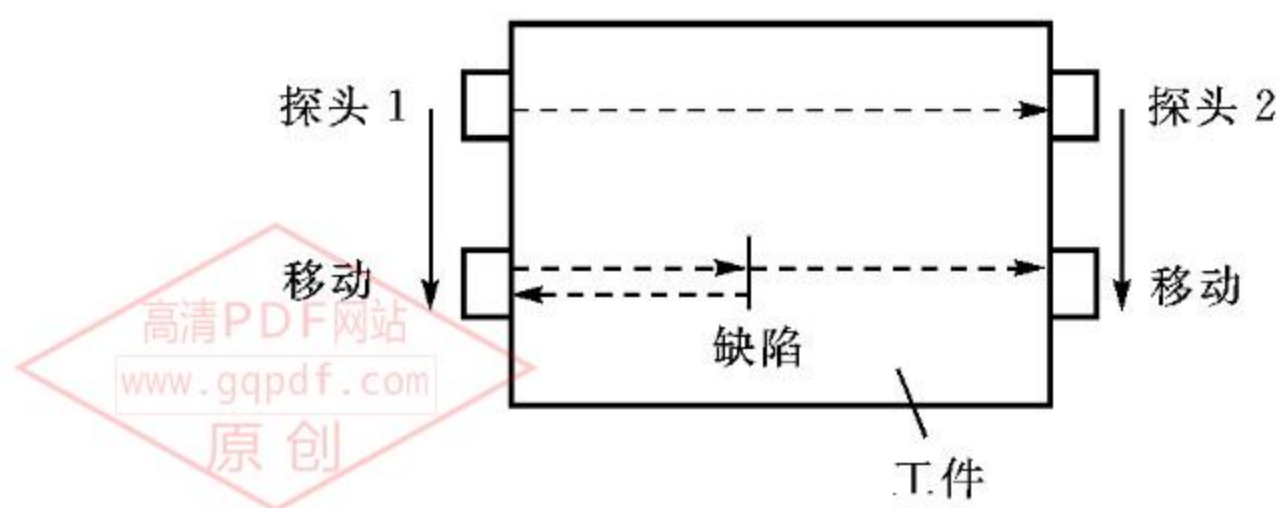


图 5-1 双探头探伤原理图

工业现场应用的超声波检测大多数不同于图 5-1 所示的双探头法,而是采用单探头法,如图 5-2 所示。这里的探头兼作发射及接收。在无缺陷部位,探头发射的超声波经底面反射后被自身接收,从接收到的回波与发射波之间的时间差,就可以确定超声波经过的距离(称为声程)。当探头位于有缺陷位置时,由于缺陷对超声波的反射作用,部分超声波将在底面反射波到达之前被探头接收到。根据缺陷回波到达时刻与发射时刻之间的时间差以及缺陷回波的强度,就可以确定缺陷的位置和大小。

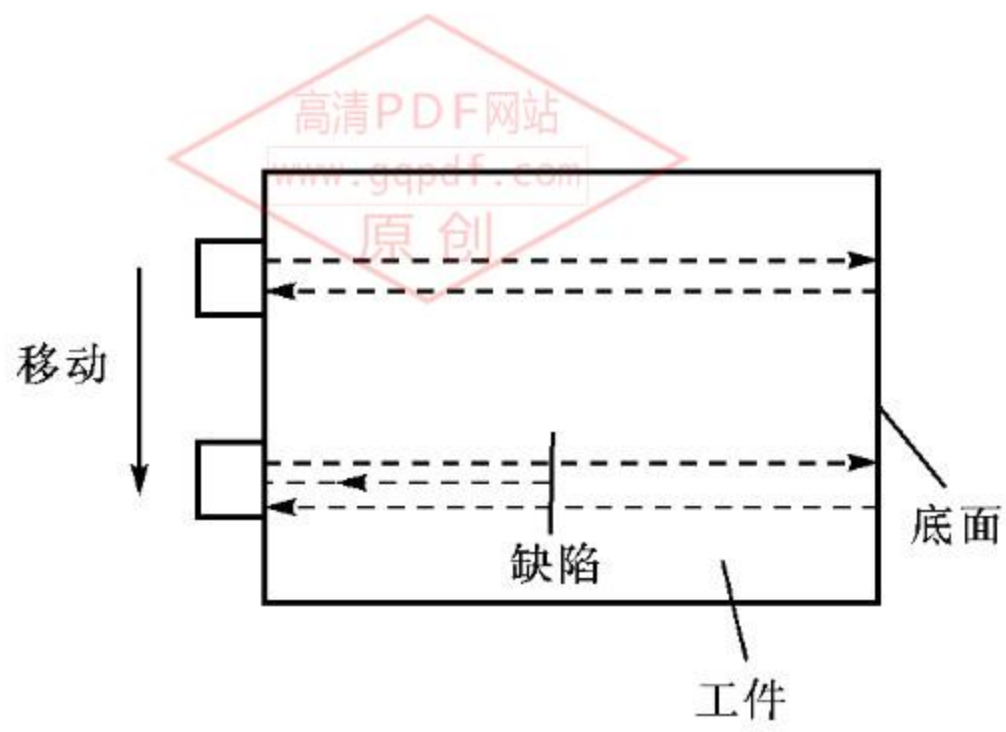


图 5-2 单探头探伤原理图

斜探头探伤是现场中大量应用的另一种超声波探伤法。超声波的发射方向与被检测工件的探伤面之间不成直角,如图 5-3 所示。当探头发射的超声波遇到缺陷时,由于缺陷表面产生的反射及散射,将使仪器收到缺陷回波,从而达到探伤的目的。此方法多用于焊缝的超声波探伤。

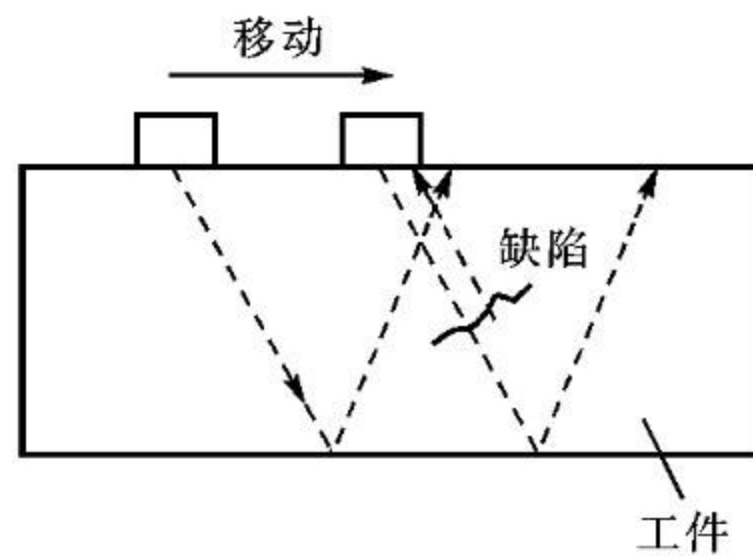


图 5-3 斜探头探伤原理图

5.3 超声波检测技术简介

5.3.1 超声波探头

超声波探头是电-声换能器。它的主要作用是在高频振荡电脉冲激发下,发射和接收超声波信号,以及探伤时搜索工件材料中的缺陷或参考反射体。

(1) 超声波探头的分类

超声波探头按型式、晶片尺寸、功用、使用条件基本上可分成直探头、斜探头、单晶探头、双晶探头、聚焦探头等。探伤中最常用的是单晶片直探头(纵波)和单晶片斜探头(横波)。

(2) 常用探头的结构

探头由压电晶片(电-声换能元件)、楔块、阻尼块(兼作晶片支体)、接插件及外壳等组成。

①纵波单晶片直探头基本结构见图 5-4。纵波单晶片直探头主要用于锻件、焊缝超声波探伤。

②纵波双晶片直探头基本结构见图 5-5。

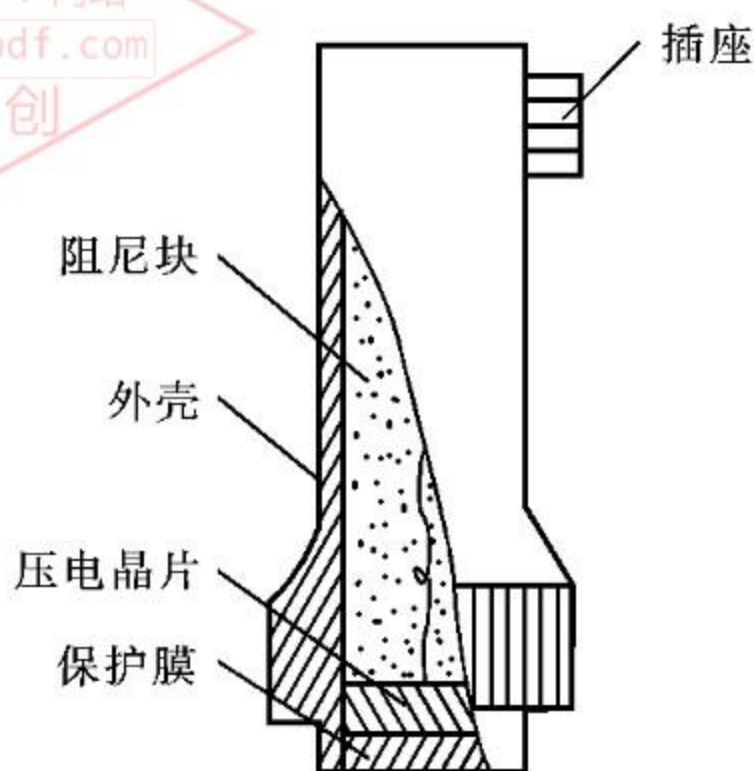


图 5-4 直探头基本结构

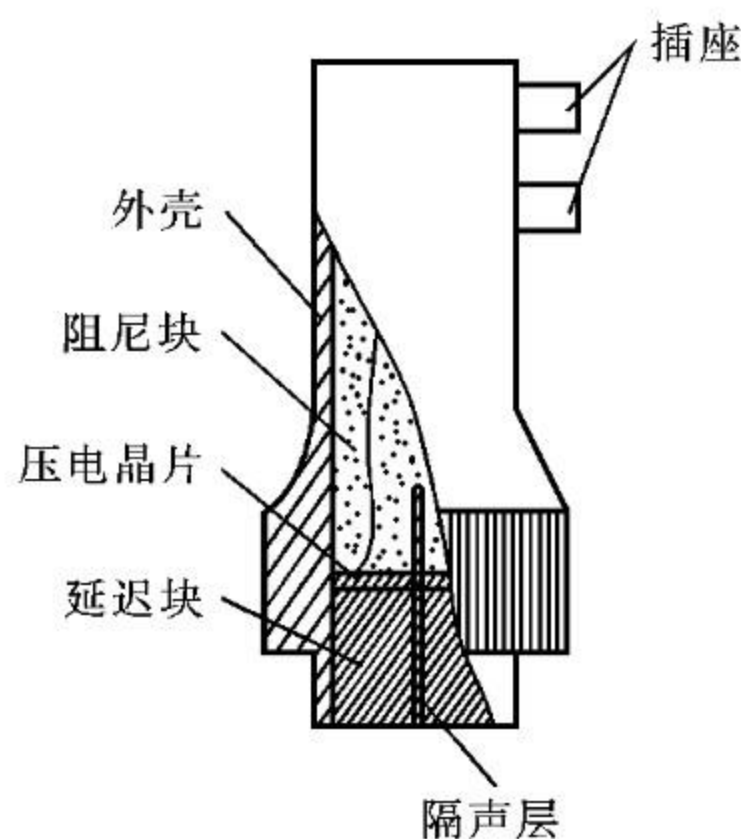


图 5-5 双晶直探头基本结构

③冲水纵波直探头:在单晶片直探头或双晶片直探头外增设水套,即可组成冲水直探头。冲水直探头的基本结构见图 5-6。冲水直探头有单晶片与双晶片之分,主要用于钢板的超声波探伤。

④斜探头:斜探头的基本结构见图 5-7。斜探头中的斜楔通常采用有机玻璃制作,它的主要作用是与试件材料组成异质界面,使超声波产生折射,倾斜入射试件材料进行探伤。

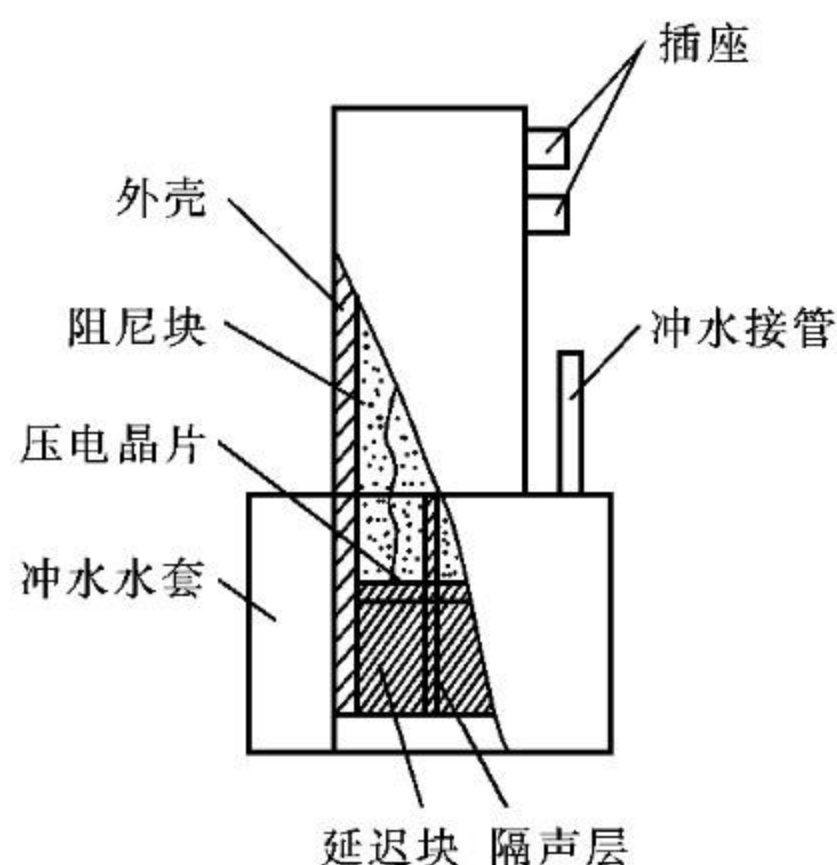


图 5-6 冲水双晶直探头基本结构

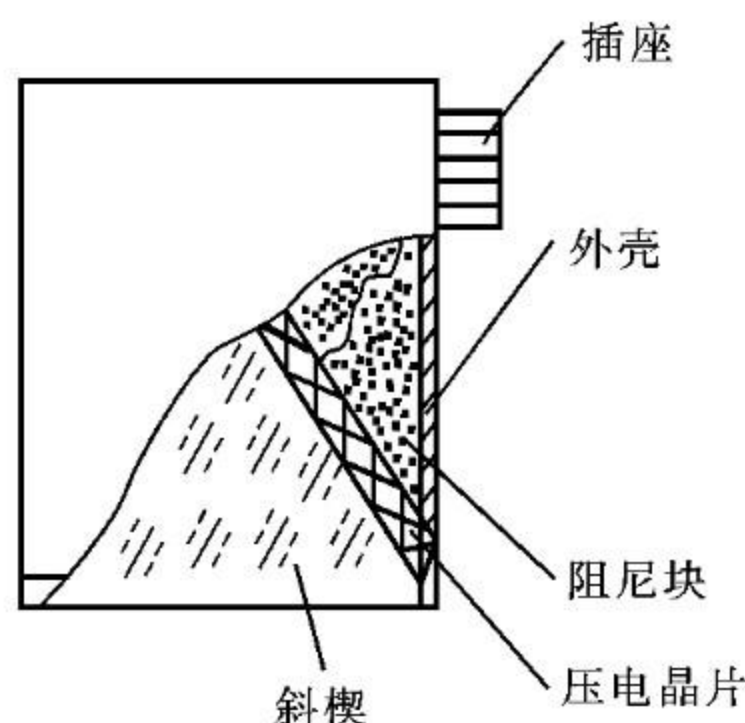


图 5-7 斜探头基本结构

目前国内斜探头主要使用 K 值系列探头, K 值定义如下

$$K = \tan\beta$$

式中: β ——超声波的折射角,单位 $^{\circ}$ 。

探伤中使用 K 值系列斜探头的最突出优点是简化操作过程中的计算,可以非常方便地对缺陷进行定位计算。但该探头存在对斜楔制作精度要求高的缺点。斜探头主要用于焊缝超声波探伤。

⑤水浸聚焦探头:水浸聚焦探头的基本结构见图 5-8,其中声透镜一般使用环氧树脂浇注成形,其主要作用是使声波沿一定方向聚焦,形成聚焦声束,提高探伤精度。

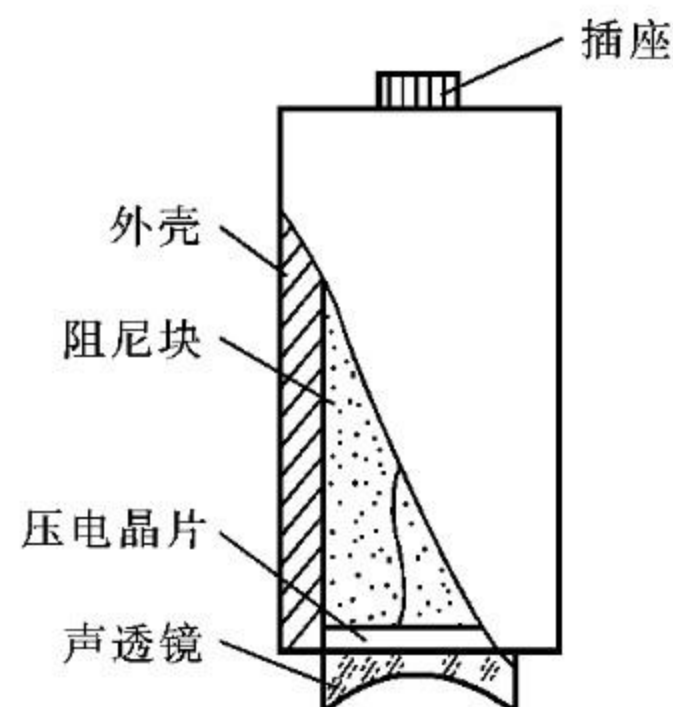


图 5-8 水浸聚焦探头基本结构

5.3.2 超声波探伤仪及其设定

随着科技水平的不断提高,超声波探伤仪有了很大的发展。目前主要使用的探伤仪分为模拟信号式和数字信号式两种,这里以模拟信号式为例介绍超声波探伤仪最基本的组成及其设定方法。需要说明的是,对各种具体的仪器,还应借助使用说明书来熟悉其操作要点。

(1) 探伤仪基本组成及功能

- ①发射电路:产生短的电脉冲。
- ②探头:把电脉冲变成超声波,并能接收缺陷等产生的反射声压,并把它变成电压。
- ③放大电路:将接收到的信号电压放大。
- ④示波管:显示放大后的信号。
- ⑤时间扫描电路:产生扫描线,从而能从时间轴上换算出缺陷的位置。
- ⑥电源及附属电路:提供整机电源及其他附属功能。

(2) 超声波探伤仪的面板与调节

超声波探伤仪的原理见图 5-9。面板上的重要控制旋钮大致如图 5-10 所示,其主要功能如下。

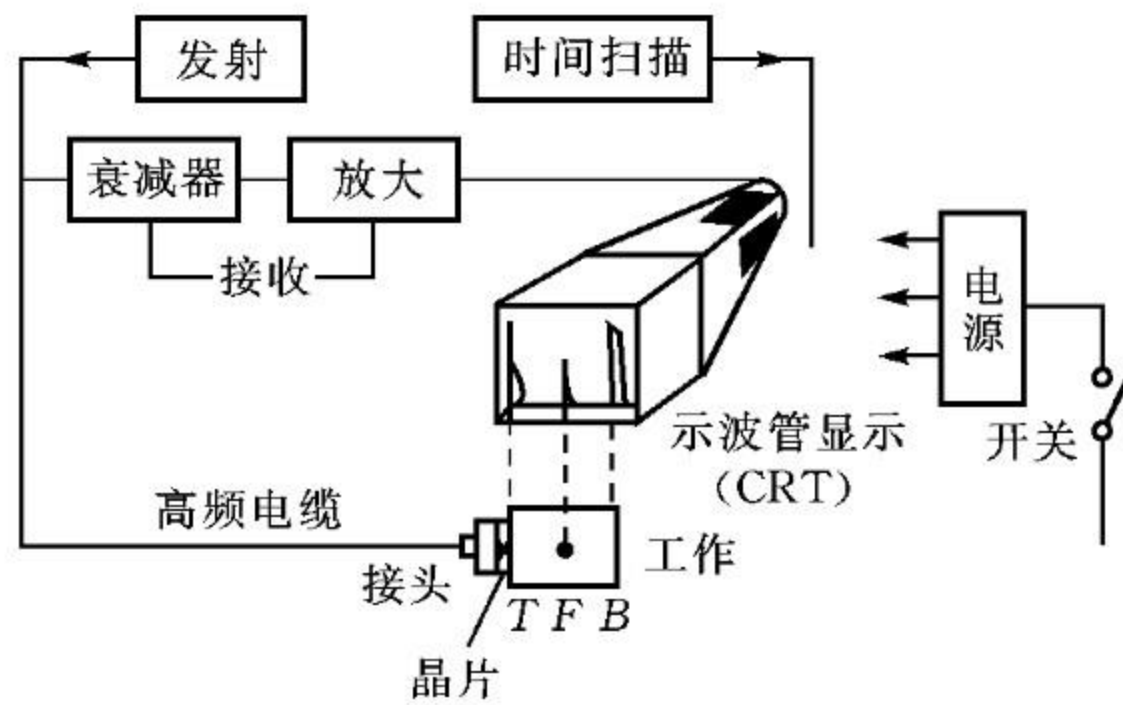


图 5-9 超声波探测仪原理

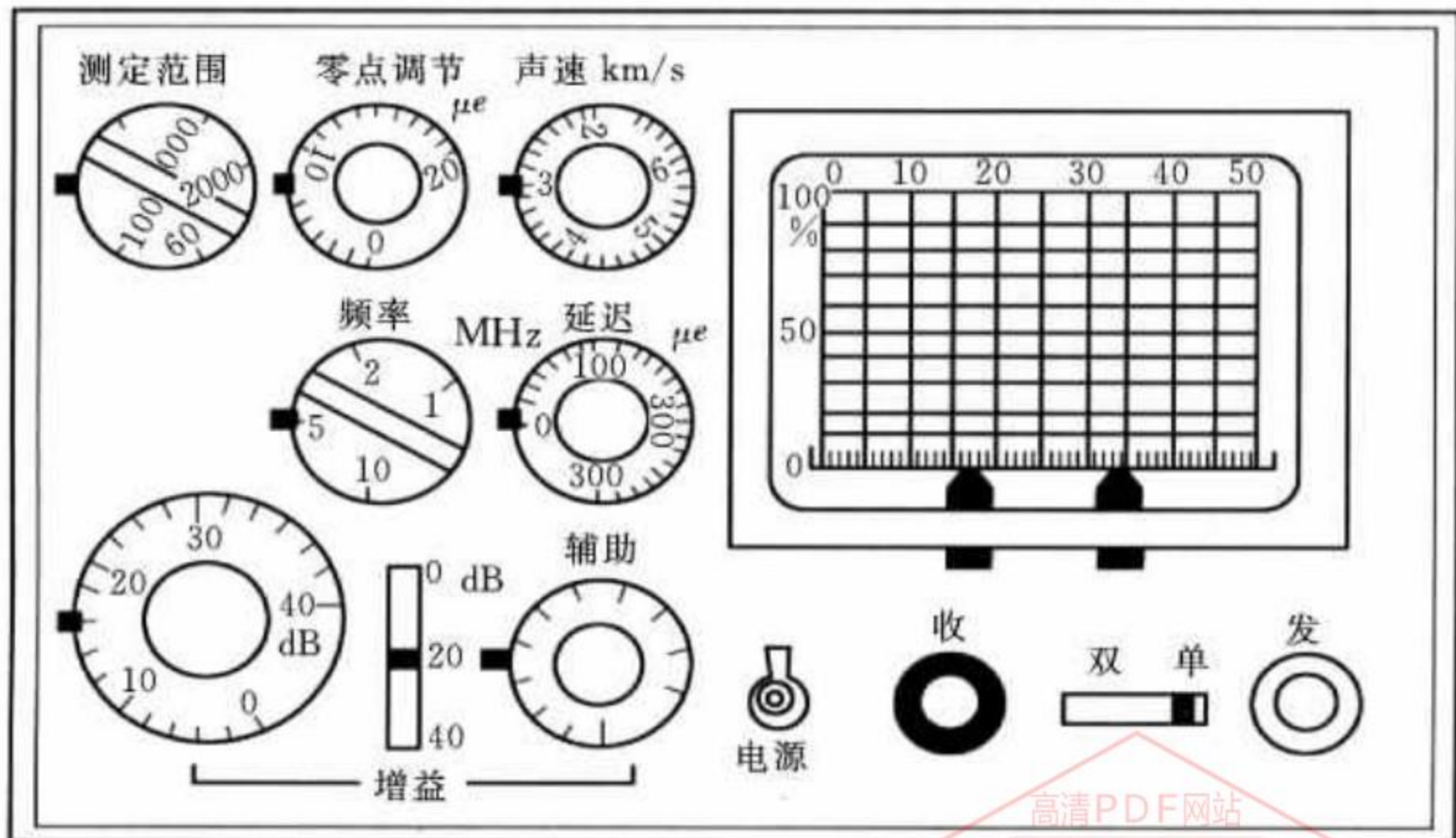


图 5-10 超声波探伤仪的控制面板

① 测定范围旋钮:它能大致确定示波屏水平刻度所代表的测定范围,常被称为粗调旋钮。例如,当被测工件厚度为 25 mm,则选用粗调为 50 mm 的挡,此时水平轴(时间轴)零点和满刻度(50)之间所代表的测量范围大致为 50 mm。

② 声速旋钮:它是测定范围的微调旋钮。旋钮上有声速刻度,一般通过试块来确定。例如厚度为 20 mm 的试块,置粗调钮在 50 mm 挡,调节声速旋钮,使示波屏上始波前沿与一次底波前沿之间的距离为 20 刻度值,则满刻度被正确地调为 50 mm。同理,也可以调节声速旋钮,使满刻度代表 40 mm 或 60 mm。

③ 零点调节旋钮:在测定范围调节好后,不改变它的间距,而使整个范围左右移动使声程的原点(即始波的前沿)与刻度板的零点重合。

④ 增益调节旋钮:增益就是放大的程度,也称为灵敏度。一般是采用校正后的多级开关式衰减器(每挡 1~2 dB)同辅助旋钮配合来调节。此外还有 10 dB、20 dB 表示的大衰减量开关。总衰减量为各衰减器衰减量之和。辅助旋钮用来调节 dB 的中间值。

⑤ 频率旋钮:即调节探测频率的旋钮,应使之符合探头频率。

⑥ 单探/双探开关:用单探头法时,拨此开关在“单探”一侧。双探头法时,开关拨在“双探”一侧。用单探头法时,探头一般接在发射插座上。

超声波探伤仪的设定主要是水平比例尺度(即显示屏横坐标刻度所代表的工件厚度值)及灵敏度的设定。水平比例尺靠粗调及声速旋钮来调节。一般垂直探伤时调节水平满刻度到代表 1.5~2 倍被测工件厚度,斜探伤时则被调整到声束从入射至底面所经过的距离的 2~3 倍。斜探伤的水平比例尺度不能像垂直探伤那样用矩形试块方便地进行调节,而需要采用标准试块,如 CSK-I A 所提供的圆弧面或小孔来进行设定。当然,在确定具体比例尺时,还可以将比例尺设定成正比于声速、水平距离或深度。

灵敏度的设定是依靠标准试块或标准孔来进行的。探伤所用的灵敏度应该保证足以发现需要进行评定的最小缺陷。



5.3.3 耦合剂

超声波探头所发射的超声波几乎不能在空气中传播。为了能使由探头发射的超声波进入工件材料,并返回被探头接收,必须在探头和工件之间加入称为耦合剂的透声介质,以填充探头与工件之间的空隙、排除空气,使超声波能通过耦合剂进入工件材料并经反射返回被探头接收。除此之外,耦合剂还具有减少探头磨损及方便探头在工件表面(探伤面)上移动的作用。

直接接触法超声波探伤中常用的耦合剂有:水、机油、甘油、化学糨糊(CMC)和胶水等。耦合剂的选用应根据其使用条件而定。

5.3.4 超声检测标准试块

采用的标准试块为 CSK-I A, CSK-II A, CSK-III A 和 CSK-IV A。CSK-I A, CSK-II A 系列试块适用于壁厚范围为 8~120 mm 的焊缝,CSK-III A 系列试块适用于壁厚范围为大于 120~300 mm 的焊缝,其形状和尺寸如图 5-11 和图 5-12 所示。

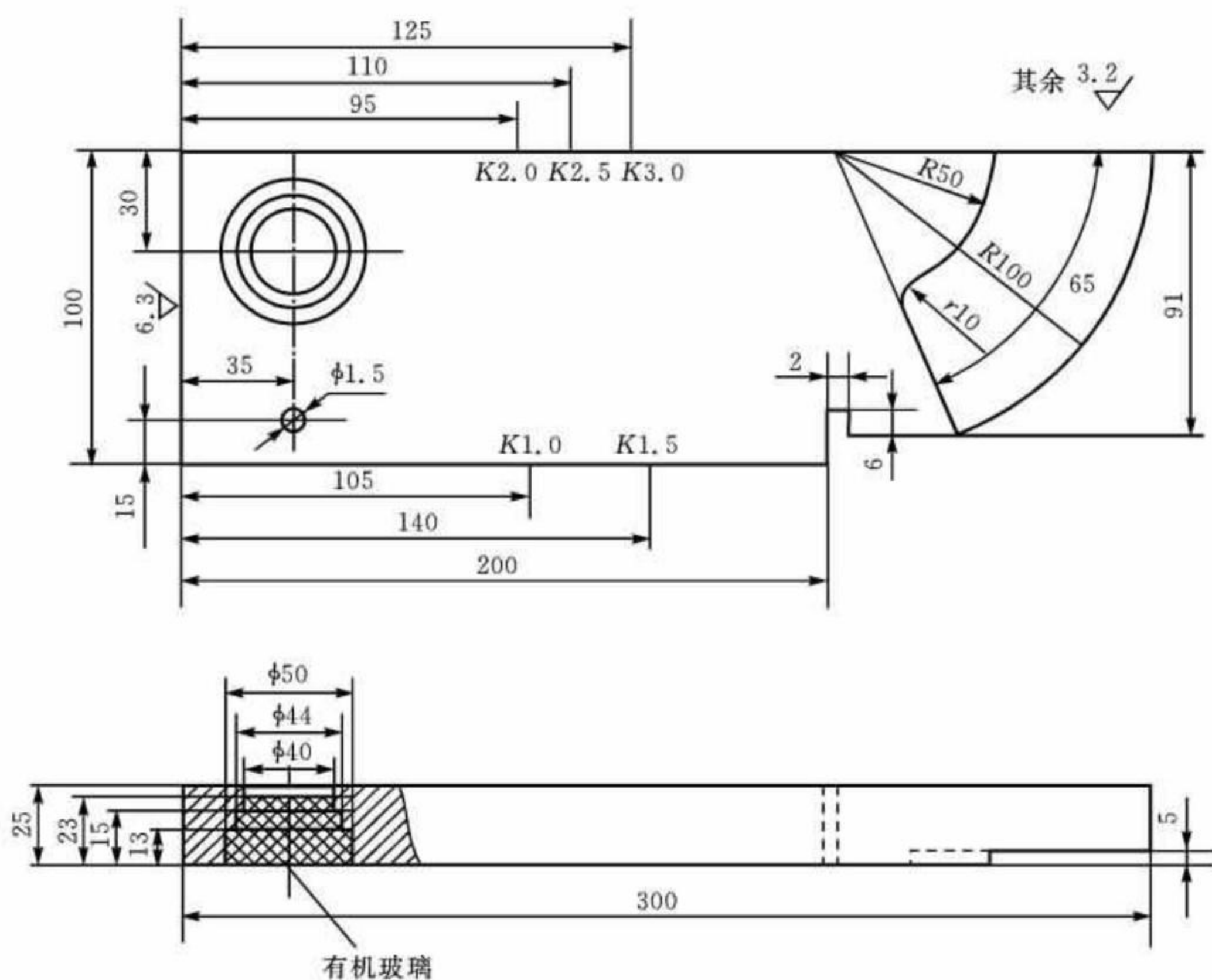


图 5-11 CSK-I A 标准试块

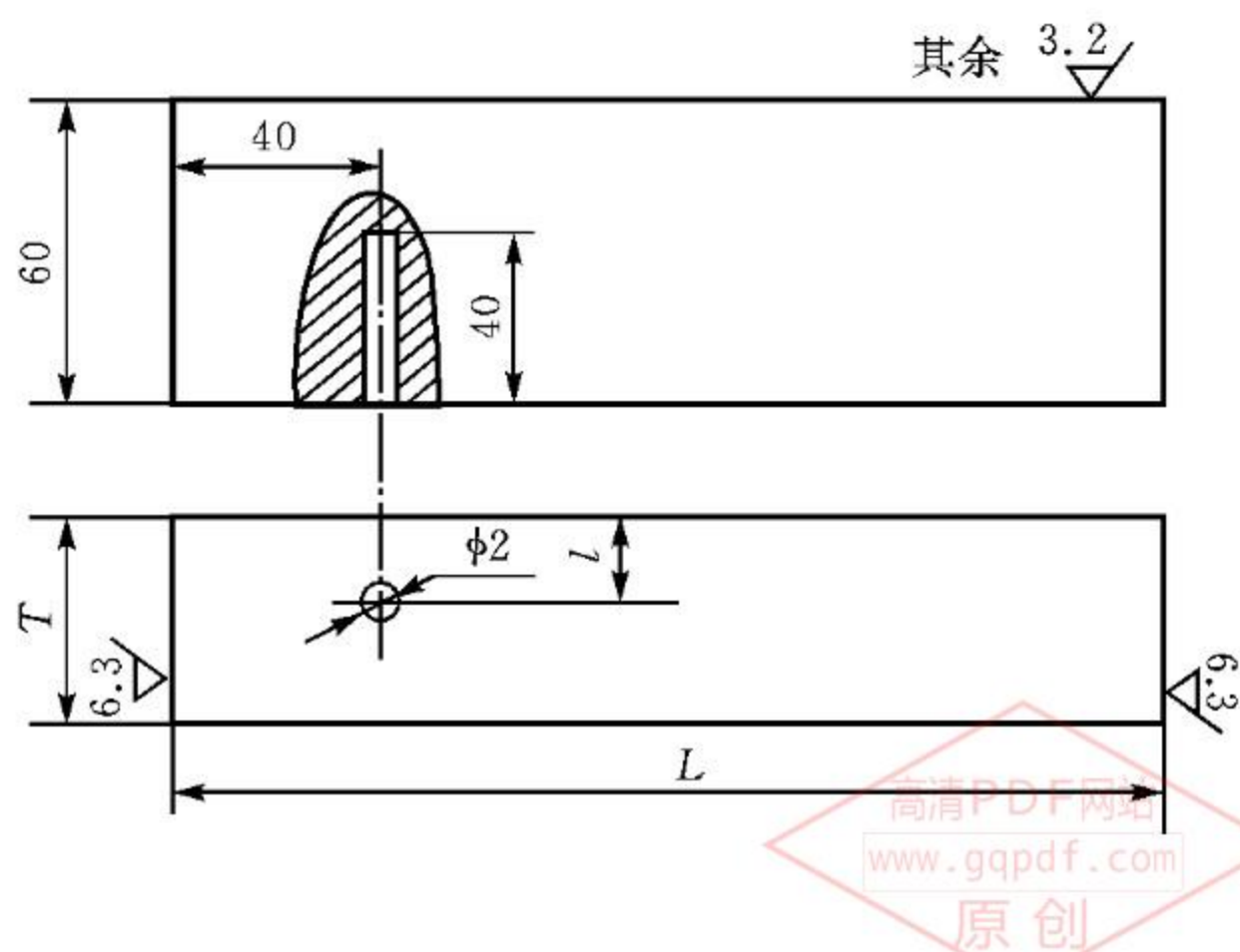


图 5-12 CSK-II A 标准试块

L —试块长度,由使用的声程确定; T —试块厚度,由被检材料厚度确定;
 l —标准孔位置,由被检材料厚度确定

5.4 实验内容

5.4.1 纵波探伤实验

- ①测试一块无缺陷平板,探测该板两个坐标方向的厚度,观察其始波和底波之间距离与试件厚度的关系。
- ②探测同一深度下不同直径的平底孔,观察伤脉冲高度与平底孔面积的关系。
- ③探测同一深度下同样直径的一个平底孔和一个横孔,观察其伤脉冲有何不同。
- ④探测一块带有人工预制缺陷的钢板或锻件,并对被探测缺陷进行定位与定量。

5.4.2 横波探伤实验

- ①测定斜探头的入射点和折射角。
- ②根据单斜探头在 CSK - II A 或 CSK - III A 标准试块上实测的数据绘制距离-波幅曲线。
- ③用单斜探头探测单面 V 形对接焊缝有无缺陷存在。

5.5 实验仪器、探头和标准试块

- ①仪器:A 型脉冲反射式超声波探伤仪一台。
- ②探头:直探头和斜探头若干个。
- ③试块:标准试块 CSK - I A, CSK - II A 和 CSK - III A。

5.6 实验注意事项

- ①测试前应检查所测试件表面情况,清除锈污等脏物。表面粗糙度通常要求在 6.3 以上。
- ②根据探测材料的性质,合理选择探头的频率。
- ③斜探头入射点和折射角的测定:
 - a. 取 CSK - I A 试块,将探头放置在试块顶面,使超声波对准圆弧面,并作前后缓慢移动,找出 R100 的最大反射波(用增益旋钮把该反射波调到满幅度的 80%),固定探头。
 - b. 用钢直尺测量出探头前沿到试块边沿的距离,求出圆弧曲率半径与上述距离之差: $l_0 = 100 - \text{测量值}$,即得斜探头的入射点。
 - c. 在 CSK - I A 试块上探测出 $\phi 50$ 的最高反射波(用增益旋钮把该反射波调到满幅度的 80%)。
 - d. 用钢直尺测量出探头前沿到试块边沿的距离,代入下面公式便可求出折射角。
$$\beta = \arctan[(l_0 + \text{测量值}) - 35]/30$$
 - e. 以上步骤最好重复三次,求其平均值。
- ④距离-波幅曲线是 JB 1152—81 标准中规定制作的一组曲线。其用途是为了判定缺陷的大小,给验收标准提供依据,它由三条线组成:
 - a. 判废线:判定缺陷的最大允许当量;

b. 定量线:判定缺陷大小、长度的控制线;

c. 测长线:判定缺陷的最小当量控制线。

距离-波幅曲线根据所用探头和仪器在 CSK - II A 或 CSK - III A 试块上实测的数据绘制而成。判废线以上称为 III 区,定量线与判废线之间称为 II 区,定量线与测长线之间称为 I 区。不同板厚范围的距离-波幅曲线的灵敏度按表 5 - 1 规定。

表 5 - 1 不同板厚范围的距离-波幅曲线的灵敏度

试块型式	板厚/mm	测长线	定量线	判废线
CSK - II A	8~16	$\Phi 2 \times 40 - 18$ dB	$\Phi 2 \times 40 - 12$ dB	$\Phi 2 \times 40 - 4$ dB
	46~160	$\Phi 2 \times 40 - 14$ dB	$\Phi 2 \times 40 - 8$ dB	$\Phi 2 \times 40 + 2$ dB
CSK - III A	8~15	$\Phi 1 \times 6 - 12$ dB	$\Phi 1 \times 6 - 6$ dB	$\Phi 1 \times 6 + 2$ dB
	15~46	$\Phi 1 \times 6 - 9$ dB	$\Phi 1 \times 6 - 3$ dB	$\Phi 1 \times 6 + 5$ dB
	46~120	$\Phi 1 \times 6 - 6$ dB	$\Phi 1 \times 6$	$\Phi 1 \times 6 + 10$ dB

⑤距离-波幅曲线绘制完后,在探头和仪器旋钮未变动情况下,对焊缝进行探伤并按 JB 1152—81标准作出评定。

5.7 实验报告要求

①整理实验数据;

②将实验中探测到的曲线绘制出来。

高清PDF网站

www.gqpdf.com

原创

5.8 实验数据记录及结果分析

第6章 刚性转子的动平衡实验

6.1 实验目的

- 掌握刚性转子动平衡的基本原理和步骤。
- 掌握虚拟基频检测仪和相关测试仪器的使用。
- 了解动静法的工程应用。

6.2 实验内容

采用两平面影响系数法对一多圆盘刚性转子进行动平衡测试,计算支座反力及不平衡质量,采用添加配重法平衡测试试件。

6.3 实验原理

工作转速低于最低阶临界转速的转子称为刚性转子,反之称为柔性转子。本实验采取一种刚性转子动平衡常用的方法——两平面影响系数法。该方法可以不使用专用平衡机,只要求一般的振动测量,适合在转子工作现场进行平衡作业。

两平面影响系数法测量的过程如下:

①在额定的工作转速或任选的平衡转速下,检测原始不平衡引起的轴承或轴颈 A、B 在某方位的振动量 $V_{A0} = V_{A0} \angle \psi_A$ 和 $V_{B0} = V_{B0} \angle \psi_B$,其中 V_{A0} 和 V_{B0} 是振动位移(也可以是速度或加速度)的幅值, ψ_A 和 ψ_B 是振动信号对与转子上参考标记有关的参考脉冲的相位角。

②根据转子的结构,选定两个校正面 I,II 并确定校正半径 r_1, r_2 。先在平面 I 上加一“试重”(测试质量) $Q_1 = m_{t1} \angle \beta_1$,其中 $m_{t1} = Q_1$ 为试重质量, β_1 为试重相对参考标记的方位角,以顺转向为正。在相同转速下测量轴承 A、B 的振动量 V_{A1} 和 V_{B1} 。

显然,矢量 $V_{A1} - V_{A0}$ 及 $V_{B1} - V_{B0}$ 为平面 I 上加试重 Q_1 所引起的轴承振动的变化,称为试重 Q_1 的效果矢量。方位角为零度的单位试重的效果矢量称为影响系数。因而,我们可由下式求得影响系数

$$\alpha_{A1} = \frac{V_{A1} - V_{A0}}{Q_1}$$
$$\alpha_{B1} = \frac{V_{B1} - V_{B0}}{Q_1}$$

③校正平面 I, II 上所需的校正矢量 $p_1 = m_1 \angle \theta_1$ 和 $p_2 = m_2 \angle \theta_2$,可通过解下列矢量方程组求得

$$\begin{cases} \alpha_{A1} p_1 + \alpha_{A2} p_2 = -V_{A0} \\ \alpha_{B1} p_1 + \alpha_{B2} p_2 = -V_{B0} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_{A1} & \alpha_{A2} \\ \alpha_{B1} & \alpha_{B2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{B0} \end{bmatrix}$$

式中, $m_1 = p_1, m_2 = p_2$ 为校正质量, θ_1, θ_2 为校正质量的方位角。

求解矢量方程最好能使用计算机, 本试验采用专用的动平衡计算程序。

④根据计算结果, 在转子上安装校正质量, 重新起动转子, 如振动已减小到满意程度, 则平衡结束, 否则可重复上面步骤, 再进行一次修正平衡。

6.4 实验器材

测试系统如图 6-1 所示, 其主要组成部分名称及技术指标见表 6-1, 主要部分连线如图 6-2 所示。

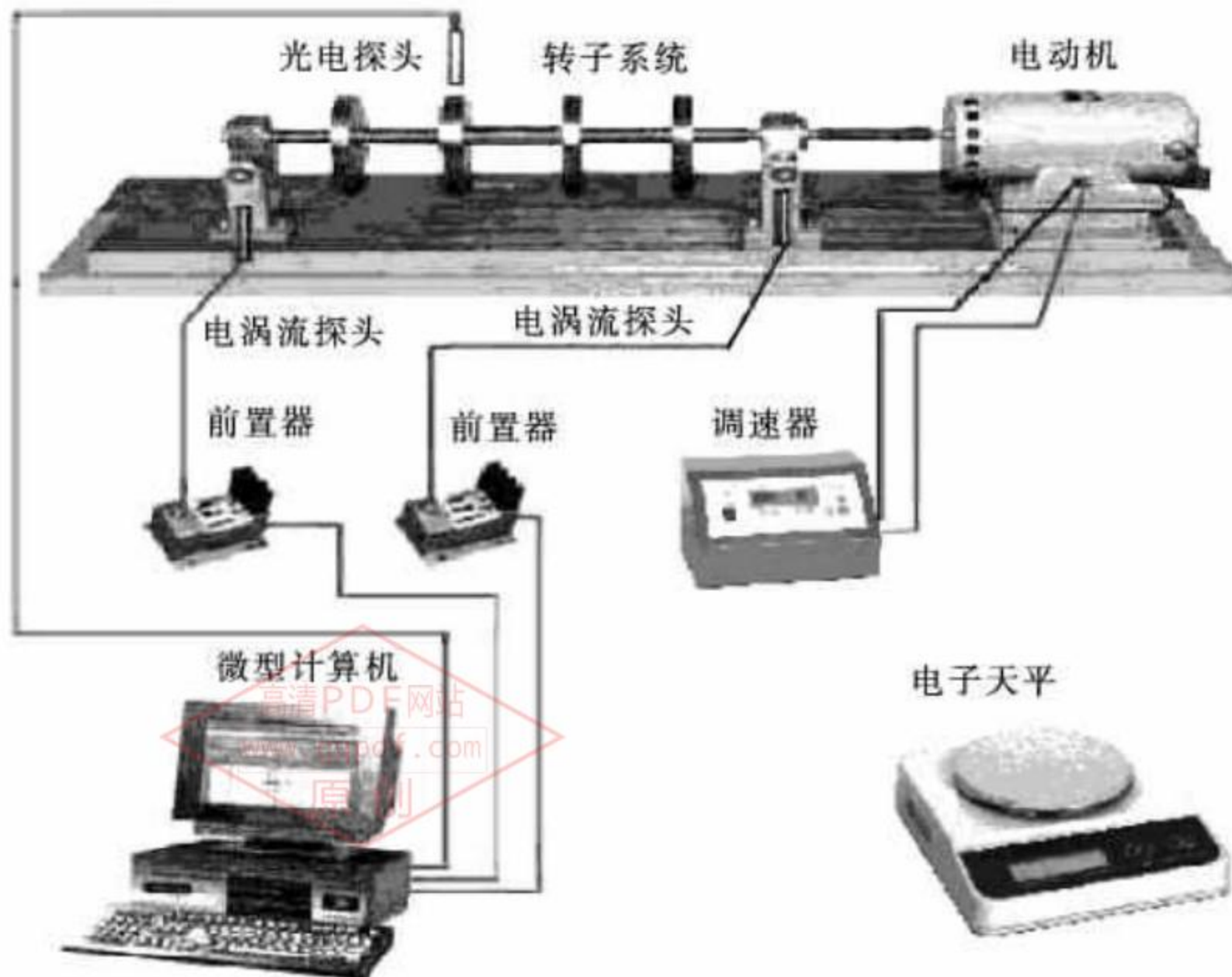


图 6-1 测试系统示意图

表 6-1 测试系统组成

序号	名称	数量	主要技术指标	参考型号
1	转子系统	1	转速: 0~4000 r/min 临界转速 ≥ 5000 r/min	R4A
2	调速器	1	调速: 500~4100 r/min	定制
3	光电探头	1	位移: 0.1~2000 μm	通用型
4	电涡流位移探头	2	频率: 0~1000 Hz 位移: 2 mm(峰峰值)	85811
5	电子天平	1	200 \pm 0.01g	ES-200A
6	微型计算机	1		通用型

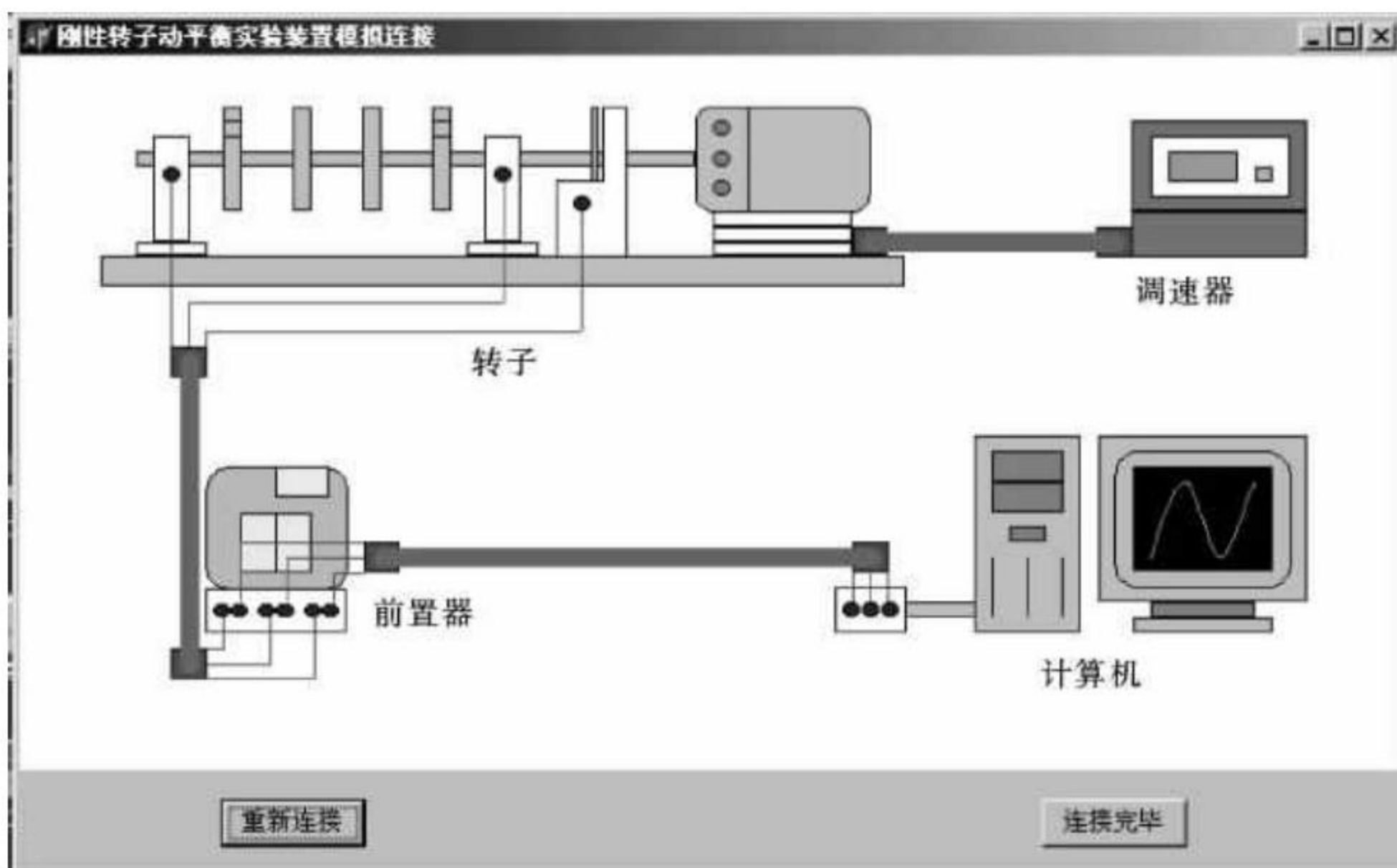


图 6-2 测试虚拟设备连线图

部分设备的原理和功用说明如下。

(1) 转子系统

转子轴上固定有四个圆盘，两端用含油轴承支承。电动机通过橡胶软管拖动转轴，用调速器调节转速。最高工作转速为 4000 r/min，远低于转子-轴承系统的固有频率。

(2) 光电探头、电涡流位移探头及计算机虚拟动平衡仪

与计算机虚拟动平衡仪相连接的光电探头，给出入射光和反射光。在转子的测速圆盘贴上一定宽度的黑纸。调整探头方位使入射光束准确指向圆盘中心。当圆盘转动时，由于反射光的强弱变化，光电探头产生对应黑带的电脉冲，馈入计算机虚拟动平衡仪作为转速测量和相位测量的基准信号(图 6-3)。

电涡流位移探头包括探头和前置器。探头前端有一扁形线圈，由前置器提供高频(2 MHz)电流。当它靠近金属导体测量对象时，后者表面产生感应电涡流。探头与被测对象表面间隙变化，电涡流的强弱随之变化，线圈的供电电流也发生变化，从而在串联于线圈的电容上产生被调制的电压信号，此信号经过前置器的解调、检波、放大后，成为在一定范围内与间隙大小成比例的电压信号。本实验使用两个电涡流位移探头，分别检测两个轴承座的水平振动位移。两路位移信号通过切换开关依次馈入计算机虚拟动平衡仪，以光电探头给出的电脉冲为参考，进行同频检测(滤除谐波干扰)和相位比较后，在计算机虚拟动平衡仪面板上显示出振动位移的幅值、相位及转速数据(图 6-3)。同频检测前后的振动位移波形，通过计算机虚拟电子示波器随时观察(图 6-3)。

(3) 动平衡计算软件

两平面影响系数法的核心是通过求解矢量方程来计算平衡校正量，求解方程涉及复数的矩阵运算。本实验采用专用动平衡计算软件。实验者也可用 MATLAB 等语言自行编制解算程序。

(4) 电子天平

用以量测平衡加重的质量。

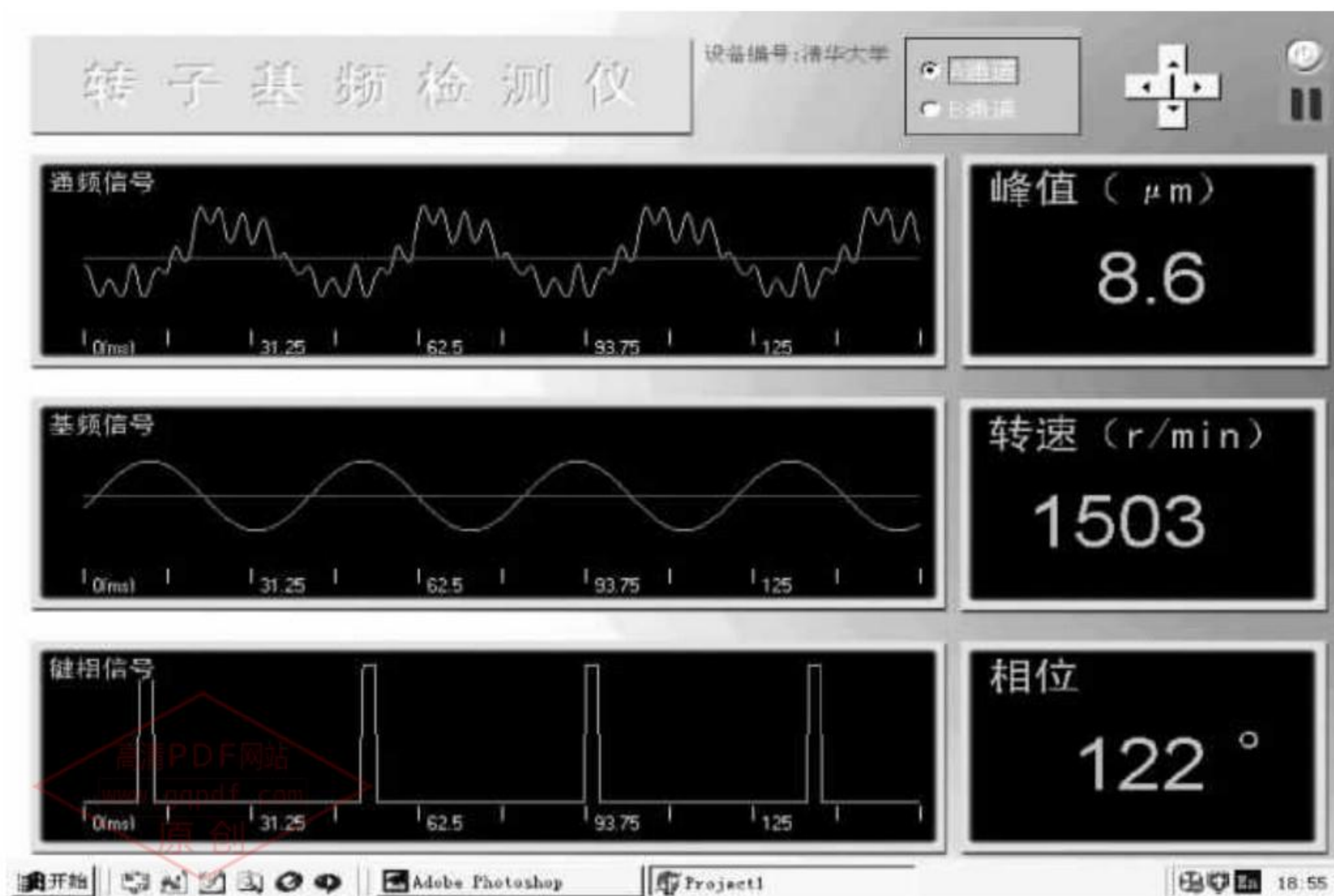


图 6-3 计算机虚拟动平衡仪显示界面

6.5 实验装置

刚性转子动平衡实验装置如图 6-4~图 6-9 所示。

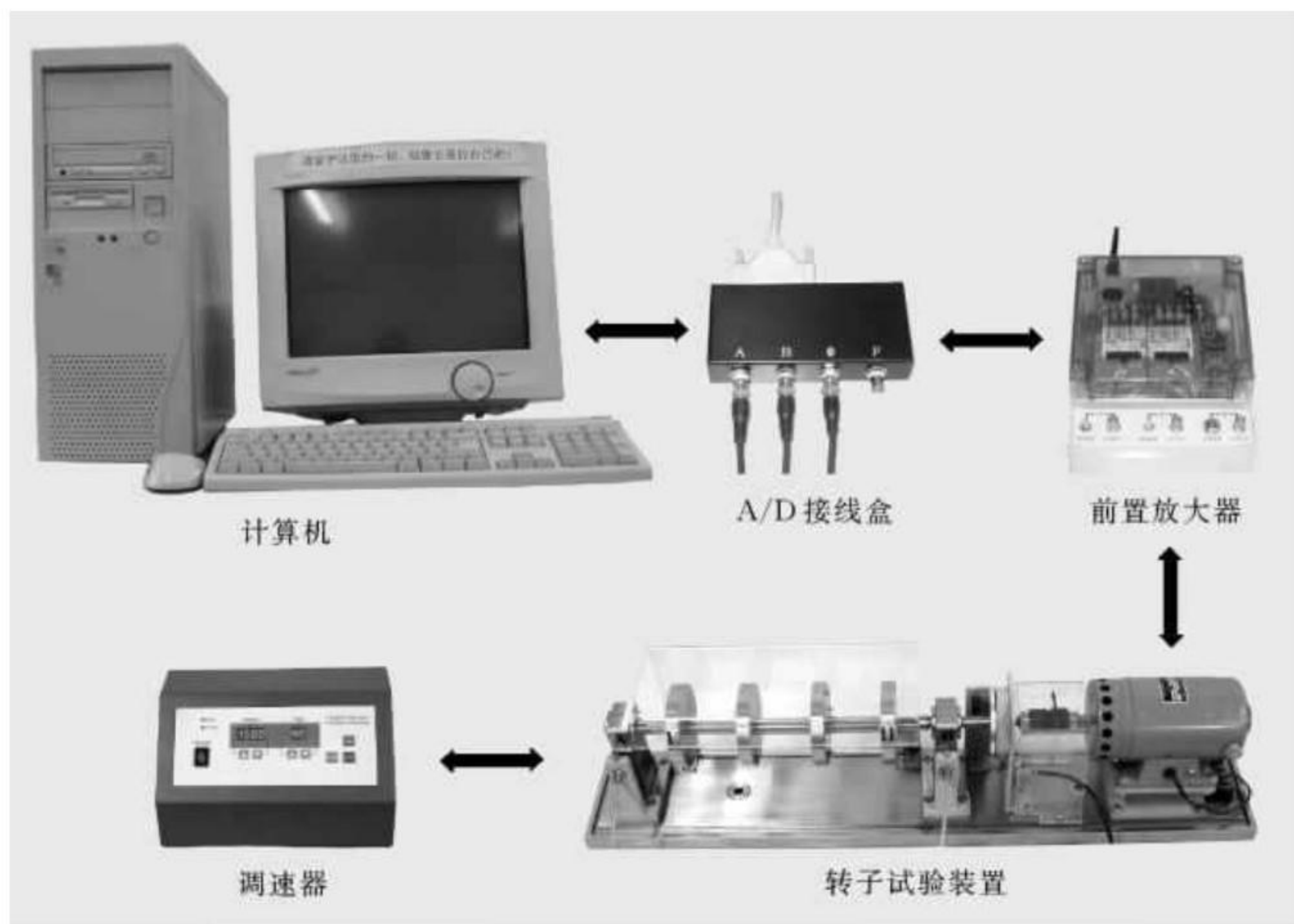


图 6-4 刚性转子动平衡实验总框图

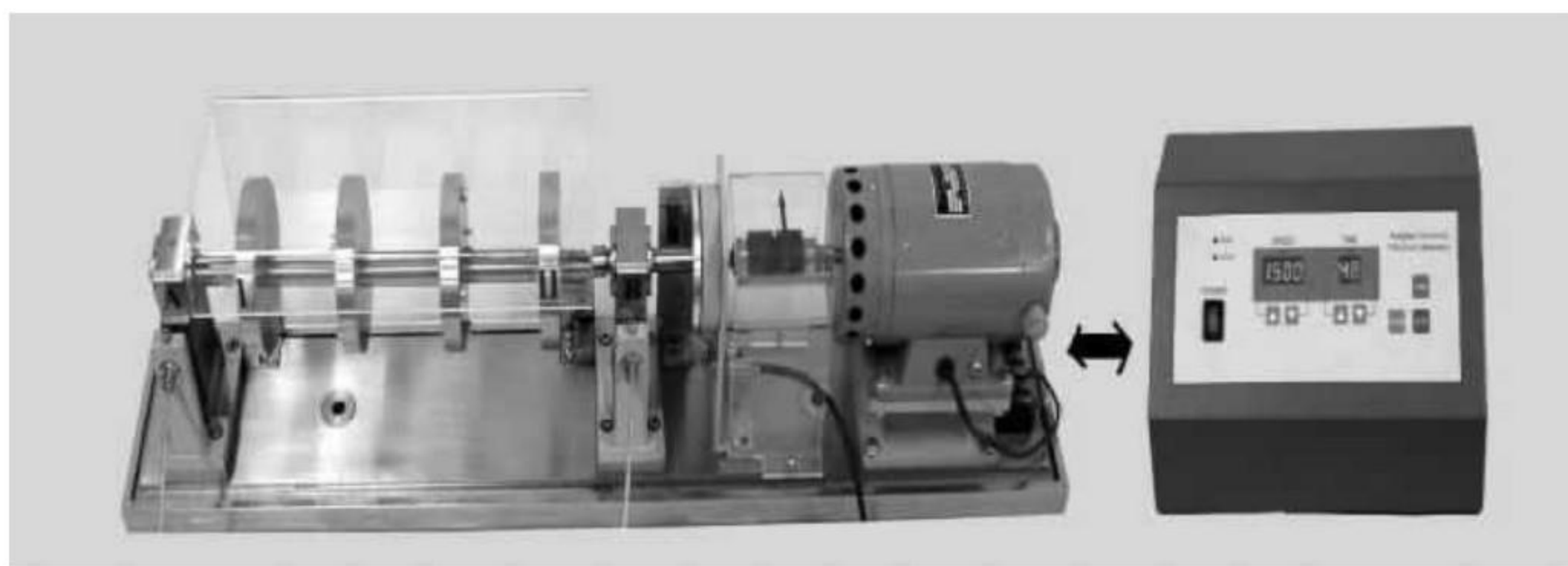


图 6-5 转子试验装置与调速器连接

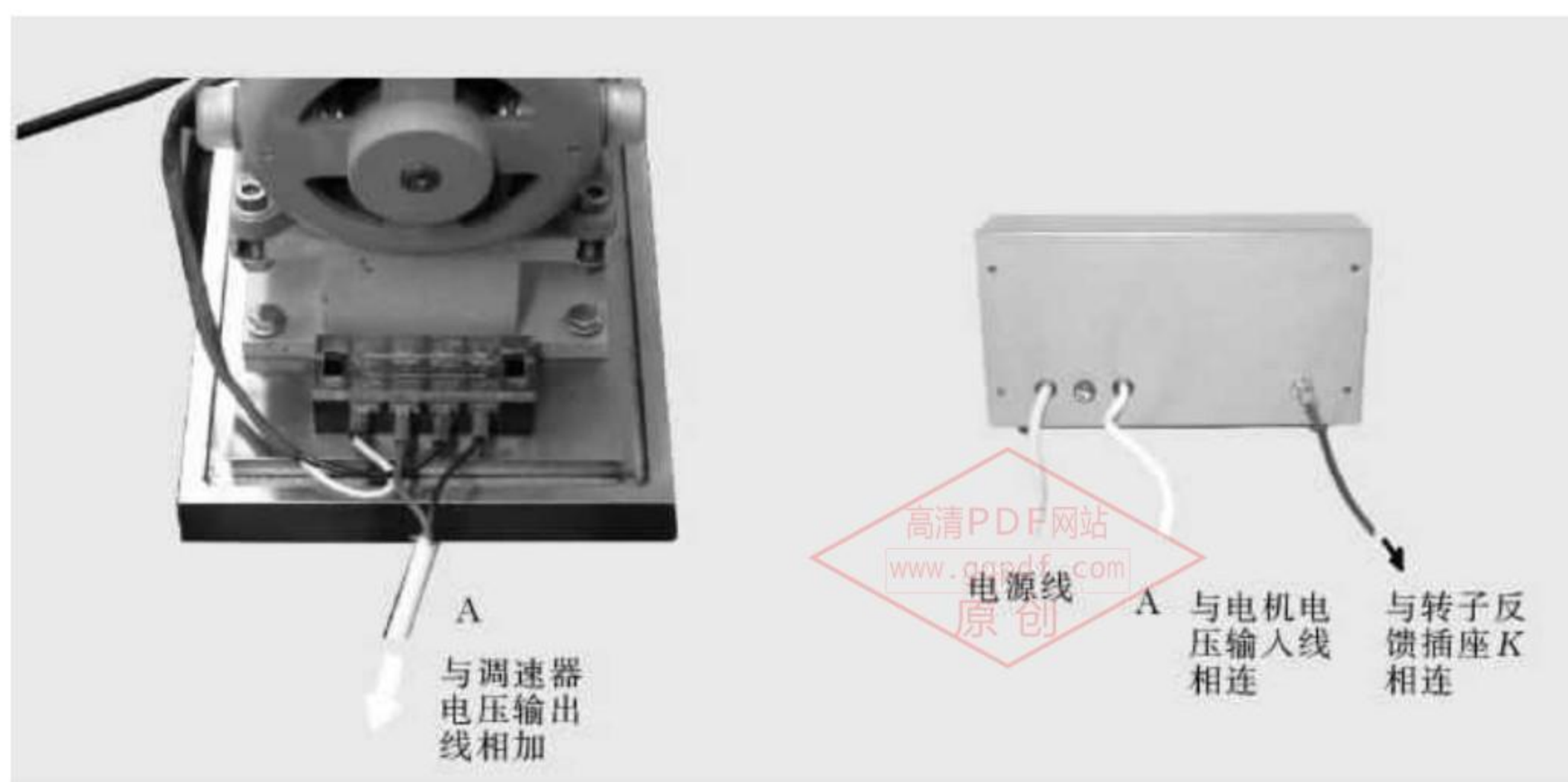


图 6-6 试验台电机连接

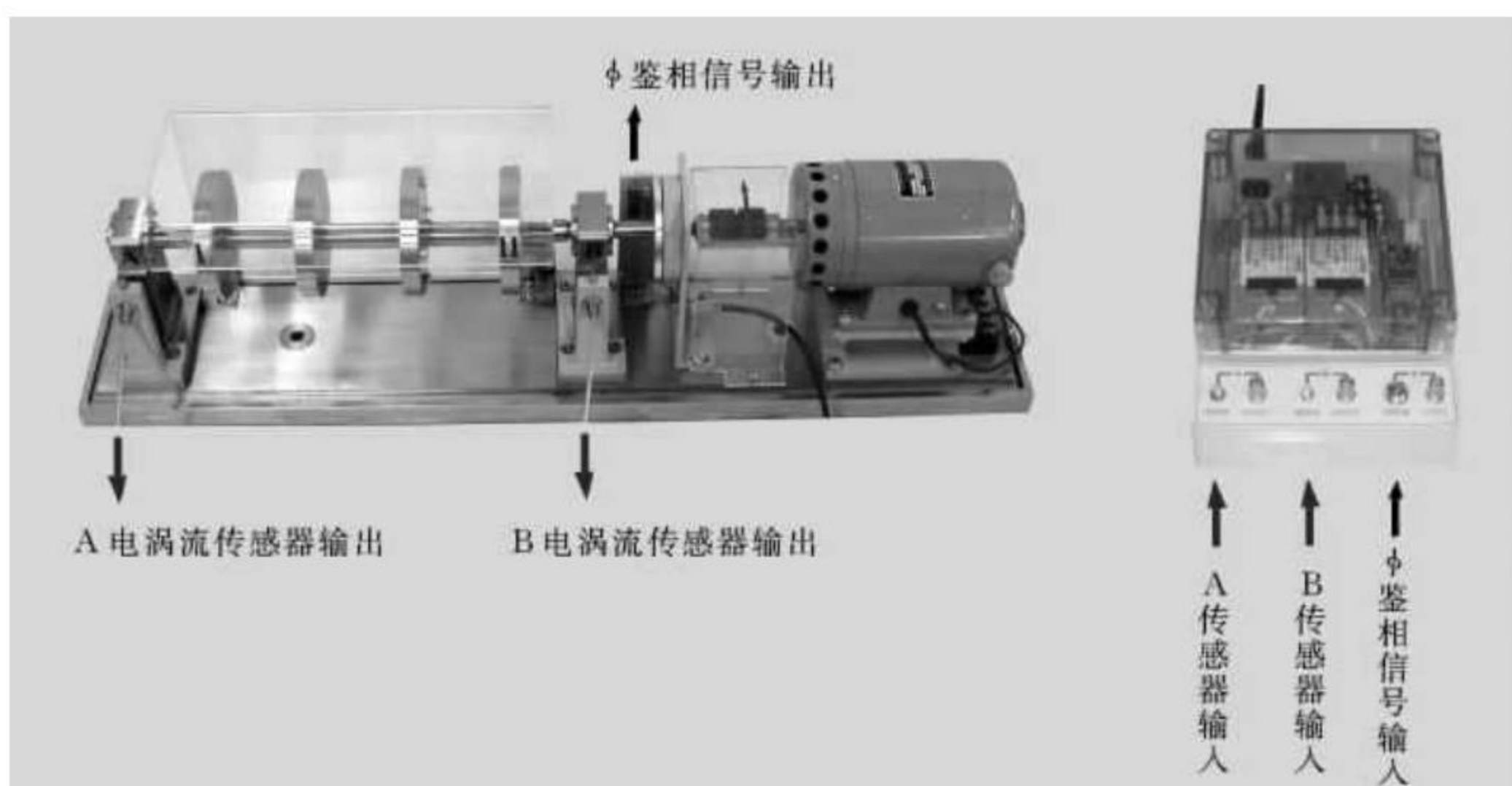


图 6-7 转子实验装置与前置放大器连接

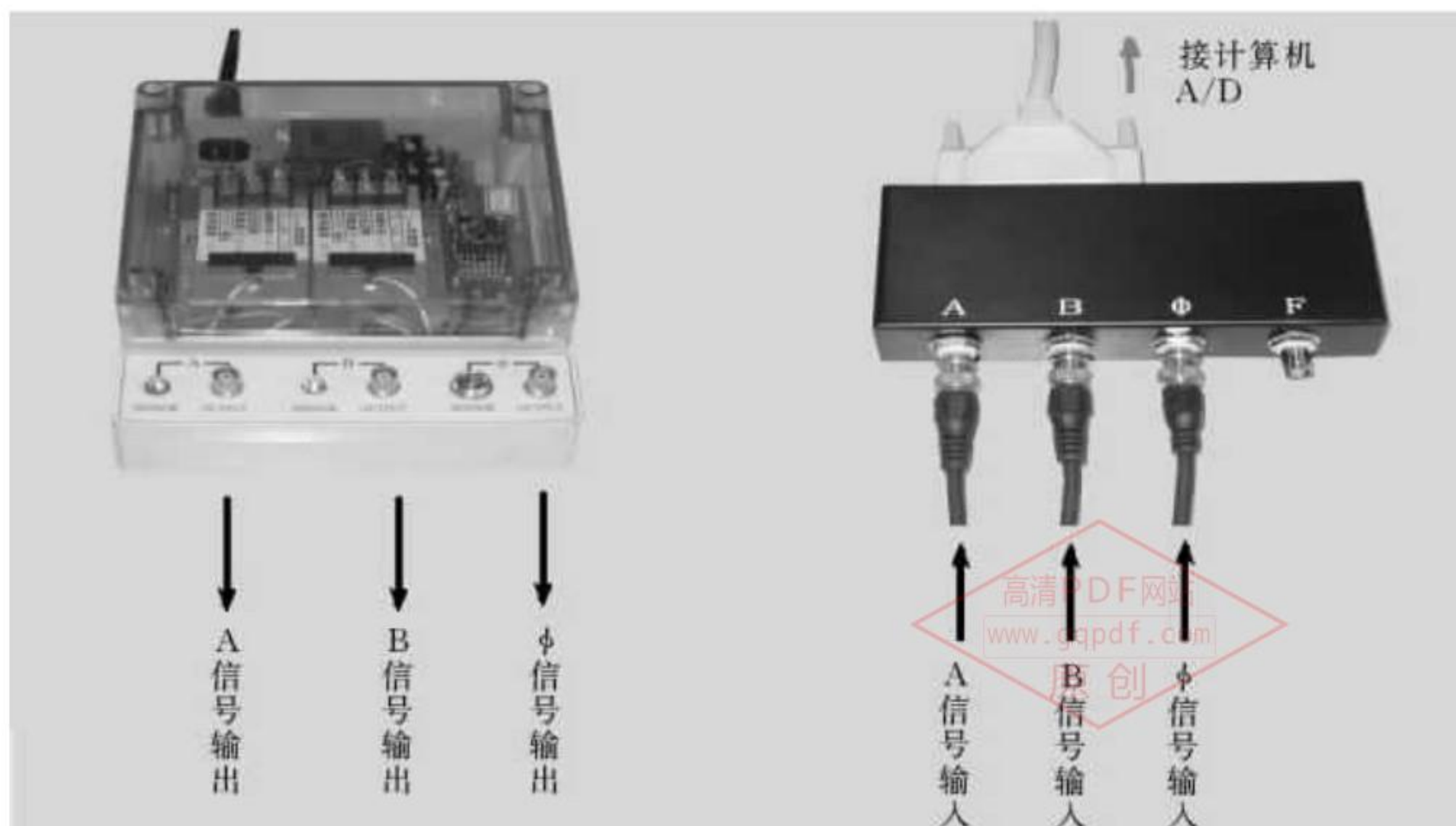


图 6-8 前置放大器与计算机 A/D 接线盒连接



图 6-9 计算机 A/D 接线盒与计算机 A/D 板连接

6.6 实验步骤

- ①按照实验装置总框图准确连接实验设备,检查电源是否接好。
- ②启动计算机,从开始菜单中打开实验设备连接界面。
- ③打开调速器电源开关,将转子转速设定为 1500 r/min ,时间为 15 min,按 Run 键启动转子。
- ④转子旋转 2 min,转速稳定后,在设备连接界面下连接设备,点击连接完毕,进入基频检测界面。

⑤ 点击画面左上角开始键(绿色小三角), 屏幕上有数据和波形显示, 点击“ A 通道”“ B 通道”进行通道切换, 待数据基本稳定后, 记录转子原始不平衡引起 A、B 轴承座振动位移基频成份的幅值和相位角 $V_{A0} \angle \psi_A, V_{B0} \angle \psi_B$ 。

⑥ 按调速器 Stop 键, 转速回零。选质量 m_{t1} , 记录 m_{t1} 的值(用天平测量, 可取在 6~10 g 间)及固定的相位角 β_1 (按平面上刻度任取, 顺转为正)。

注意: 在加试重时, 不要触碰轴承座上的探头, 启动转子之前先用手慢慢转动圆盘, 确认转子与探头没有碰触现象, 间隙在 1 mm 左右, 否则报告教师重新调整探头位置。

⑦ 启动转子, 方法同上, 测得 I 平面加试重后的幅值和相位角 (V_{A1}, V_{B1})。

⑧ 转速回零, 取走 m_{t1} , 同样在 II 平面上任加试重 m_{t2} 并记录所选方位角。

⑨ 启动转子, 同法记录所测数据。

⑩ 转速回零, 取走 m_{t2} , 调出已装在机内的动平衡计算程序, 输入上述测量值。在 CRT 显示计算结果后, 抄录校正值 p_1, p_2 的质量和方位角。

⑪ 按校正数值同时在两平面上加质量, 启动转子, 记录两轴承振动的幅值和方位角。

⑫ 转速回零, 再将所测值输入计算程序, 得到平衡率(即平衡前后振动幅值的差与未平衡振幅的百分比), 若大于 70%, 实验可结束, 否则应寻找平衡效果不良的原因并重做。

⑬ 停机, 关闭仪器电源, 拉电闸。拆除平衡质量, 使转子系统复原。

6.7 实验数据记录及结果分析

转子动平衡实验数据记入表 6-2 中。

表 6-2 转子动平衡试验数据记录表

平衡转速 $n_b =$ _____ r/min

实验日期: _____

	A 轴承 I 平面		B 轴承 II 平面	
	幅值	相位	幅值	相位
原始振动 V_{A0}, V_{B0}	μm	°	μm	°
I 平面试重 Q_1	g	°		
V_{A1}, V_{B1}	μm	°	μm	°
II 平面试重 Q_2			g	°
V_{A2}, V_{B2}	μm	°	μm	°
计算校正量 p_1, p_2	g	°	g	°
实际加重质量 m_1, m_2	g	°	g	°
平衡后振动 V_A, V_B	μm	°	μm	°
平衡率 η_A, η_B	%		%	

第7章 压力容器应力测试实验

7.1 实验目的

- 了解“应变电测法”测定容器应力的基本原理和测试技术。
- 测定薄壁容器承受内压作用时,筒体及封头上的应力分布。
- 对实测应力与理论计算应力进行比较,分析产生误差的原因。

7.2 实验基本原理

7.2.1 薄壁容器及其应力特点

1. 薄壁容器的基本概念

习惯上,将壁厚 δ 与其最大截面圆的内径 D_i 之比小于0.1的容器称为薄壁容器。反之则称为厚壁容器。

2. 薄壁容器受力分析的几个假设

- ① 认为沿壁厚方向没有应力的差别梯度。
- ② 在设备拐弯处的壁厚变形量忽略,不考虑此处的附加应力,即边缘应力。
- ③ 认为壳体任一点上在内压状态下受力为双向应力,即环向应力、轴向应力。

3. 薄壁容器的应力特点

- ① 环向应力或周向应力,用 σ_θ 表示,单位 MPa,方向为垂直于纵向截面;
- ② 轴向应力或径向应力,用 σ_m 表示,单位 MPa,方向为垂直于横向截面;
- ③ 由于厚度 δ 很小,认为 σ_m, σ_θ 是沿壁厚均匀分布的,并把它们称为薄膜应力。

轴向应力 σ_m 的计算公式

$$\sigma_m = \frac{pD}{4\delta}$$

环向应力 σ_θ 的计算公式

$$\sigma_\theta = \frac{pD}{2\delta}$$

式中: P ——筒体所受内压, MPa;

D ——筒体平均直径(中径), m;

δ ——筒体壁厚, m。

4. 薄壁容器的微体平衡方程和区域平衡方程

薄壁容器受内压作用时,壁面上任一点处轴向应力、环向应力满足区域平衡方程和微体平

衡方程,其表达式如下:

$$\text{区域平衡方程式} \quad \sigma_m = \frac{pR_2}{2\delta}$$

$$\text{微体平衡方程式} \quad \frac{\sigma_m}{R_1} + \frac{\sigma_\theta}{R_2} = \frac{p}{\delta}$$

式中: R_1 、 R_2 ——计算区域的第一、第二曲率半径,mm。

5. 薄壳理论的应用范围

首先,只有对没有(或不大的)弯曲变形情况下的轴对称回转壳体,薄壳理论结果才正确;其次,还应满足下列条件:

①回转壳体曲面在几何上是轴对称的,壳壁厚度无突变,曲率半径连续变化,材料是各向同性,且物理性能应当相同;

②载荷在壳体曲面上的分布是轴对称和连续的,没有突变情况;

③壳体边界的固定形式应为自由支撑;

④壳体边界力应当在壳体曲面切平面内,要求在边界上无横剪力和弯矩作用。

7.2.2 应变片法应力测试原理

由中低压容器设计的薄壳理论分析可知,薄壁回转容器在承受内压作用时,在离开与封头连接边缘处的器壁厚度上将产生径向(轴向)和周向(切向)主薄膜应力 σ_m 、 σ_φ ,相应的主薄膜应变为 ϵ_m 、 ϵ_φ 。当它们超过材料的极限强度时,就导致容器的破坏或大面积屈服。另一方面,在圆筒与封头连接的边缘地区,由于几何形状不连续而造成附加的弯曲应力(边缘应力),这种应力具有局部性,一离开边缘就很快衰减。边缘应力对疲劳失效和断裂失效有重大影响,其大小与容器的结构形式、制造质量和操作条件有关,因此常常需要通过理论计算或用实验方法测定其数值大小和分布状况。

对于应变,在材料力学实验中已知道,当应变片型号确定后,其电阻变化与变形量之间满足如下关系

$$\frac{\Delta R}{R} = k \times \epsilon$$

式中: k ——应变片的灵敏系数。

通过测量应变片电阻 R 的电阻变化率 ΔR 来确定应变片的实际变形量。电阻片的电阻变化率 ΔR 通过应变仪直接变为应变的读数。又根据弹性理论的胡克定理可知

$$\begin{cases} \epsilon_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{E} - \mu \frac{\sigma_\theta}{E} \\ \epsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E} - \mu \frac{\sigma_\varphi}{E} \end{cases}$$

或

$$\begin{cases} \sigma_\varphi = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_\varphi + \mu\epsilon_\theta) \\ \sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_\theta + \mu\epsilon_\varphi) \end{cases}$$

因此,只要通过应变仪测得容器受压时贴片部位的应变值,根据以上应力和应变的关系,



就可推算出该部位的应力值。

7.3 实验要求

- ①了解各种典型容器封头应变测量时布片原则和测量方法；
- ②测定容器封头分别在如下内压时，封头上各测点的应变值：
平板和锥形封头：0.25MPa、0.5 MPa、0.75 MPa、1.0 MPa；
椭圆和球形封头：0.4 MPa、0.8 MPa、1.2 MPa、1.6 MPa；
- ③根据实测的应变值求取测点处的应力值；
- ④根据薄壳理论计算容器壳体测点处的理论应力值；
- ⑤绘制容器壳体实测与理论的应力分布曲线；
- ⑥分析理论计算与实测产生误差的原因。

7.4 实验仪器及装置

1. 各薄壁容器的尺寸参数

各容器的筒体尺寸为： $D_{内}=400\text{ mm}$ ， $\delta=6\text{ mm}$ ；

锥形封头容器： $D_{内}=400\text{ mm}$ ， $\delta=6\text{ mm}$ ； $\alpha=60^\circ$ ；

平板封头容器： $D_{内}=400\text{ mm}$ ， $\delta=21\text{ mm}$ ；

球形封头容器： $D_{内}=400\text{ mm}$ ， $R_{内}=200\text{ mm}$ ； $\delta=6\text{ mm}$ ；

椭圆封头容器： $D_{内}=400\text{ mm}$ ， $\delta=6\text{ mm}$ ，标准椭圆封头。

2. 实验装置

实验装置如图 7-1 所示。

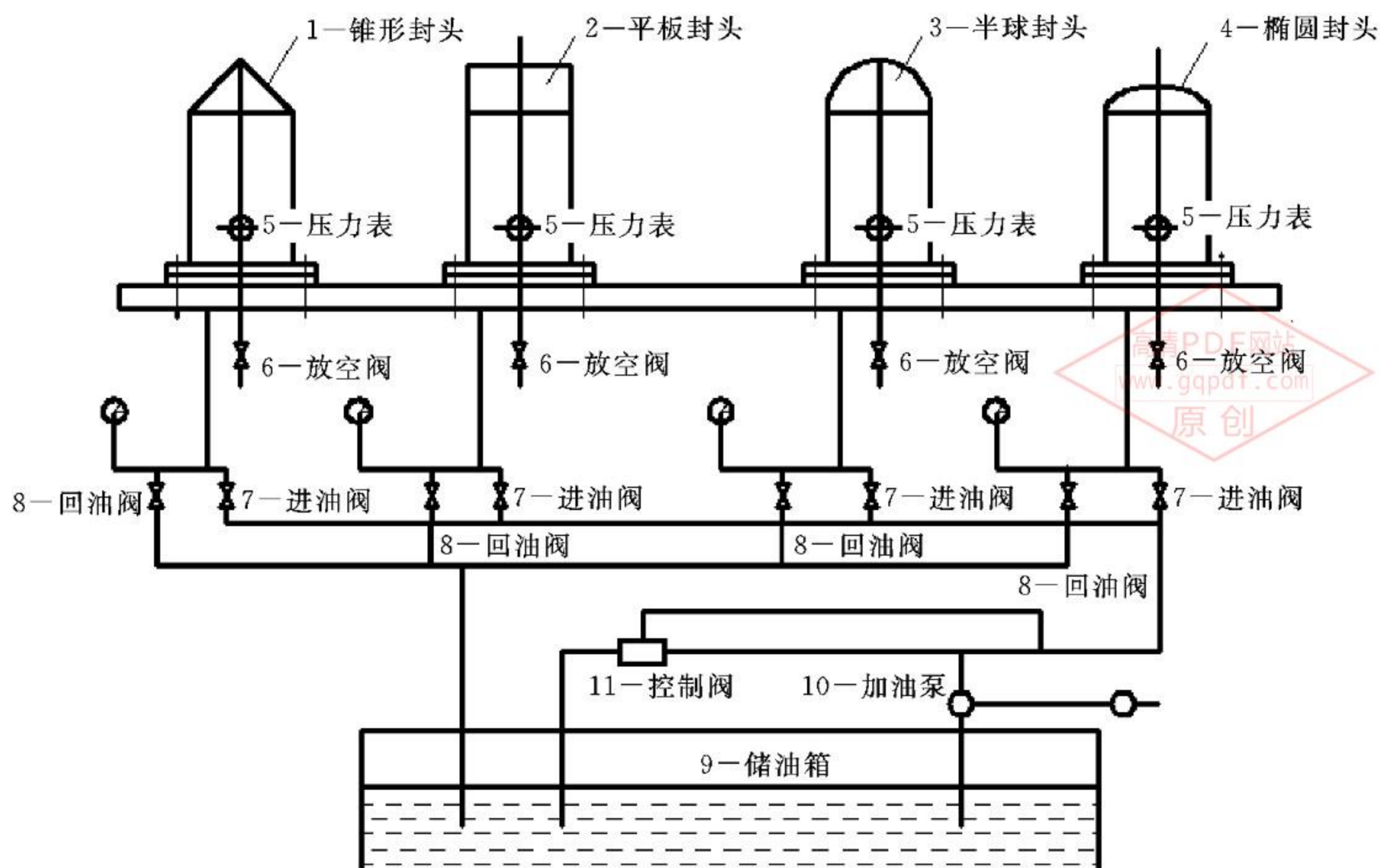


图 7-1 压力容器应力测试实验装置示意图

3. 应变电测系统

应变电测系统包括传感元件(电阻应变片)和测量仪器两部分:

①电阻应变片:根据各容器受压作用时产生理论应力的特点,分析选定各测点的位置,将应变片粘贴于各指定部位,将引出线接口与相关仪器相连。

②DH—3818 静态应变测试仪:本实验采用 DH—3818 静态应变测试仪,具体操作可参见使用手册,在此不再赘述。

7.5 实验步骤

①了解测试容器壳体应变片分布情况和位置尺寸。

②熟悉加载装置的工作原理,掌握容器加压、卸压的操作方法。

③完成电阻应变片(包括测量应变片和温度补偿片)的引出线连接。

④掌握 DH—3818 静态应变测试仪使用方法,开机检查正常后再进行下一步工作。

⑤打开放空阀 6 和进油阀 7,启动加油泵将油注入容器,待容器中的空气排净后,停止油泵运转。关闭进油阀 7,开启回油阀 8,关闭放空阀 6,容器内无压力时再关闭回油阀 8。

⑥将电阻应变仪的灵敏系数旋钮置于应变片的 k 值上。然后将各测试点的应变片依次接入电阻应变仪进行预调平衡。

⑦打开进油阀 7,启动油泵加压至所要求的值,关闭进油阀 7,停泵。

⑧待压力稳定后,用应变仪测定该压力下各点的应变值。注意,径向和环向的测点位置与读数对应。

⑨重复⑦、⑧两操作过程,测定各压力下的应变值。

⑩打开回油阀 8,使容器卸压。

⑪仪器各旋钮回零,关闭电源,拆除专用连接线,整理现场。

7.6 实验报告要求

①按实验要求,整理实验记录和数据,并绘制被测容器应变片布置图。

②简述静态应变测量的基本原理和方法。

③根据应变测量数据,计算实测应力,并与理论计算值比较。

④用 A5 或 A4 方格纸画出理论应力和实测应力分布曲线,对测量结果进行讨论并分析产生误差的原因。

7.7 实验数据记录及结果分析

第 8 章 材料静密封性能实验

8.1 实验目的

- 了解国内外密封垫片的相关标准,如 ASTM - F36、ASTM - F586。
- 掌握密封垫片综合性能试验机的基本结构和实验原理。
- 掌握各种金属、非金属及其复合密封材料与垫片进行压缩回弹性能和气(油)密封性能测试的方法。

8.2 实验装置系统简介

本密封垫片综合性能试验机结构如图 8-1 所示,装置主要由加载系统、测试系统、数据采集系统和计算机数据处理系统四部分组成。

加载系统由气源、气体增压系统、油压缸和支承框架组成,加载系统结构见图 8-2 所示。

测试系统由上下压板、位移传感器、载荷传感器、差压传感器等组成,试验数据经数据采集系统采集后传入计算机,最后可由计算机数据处理系统进行数据处理和分析,获得相应的测试结果。

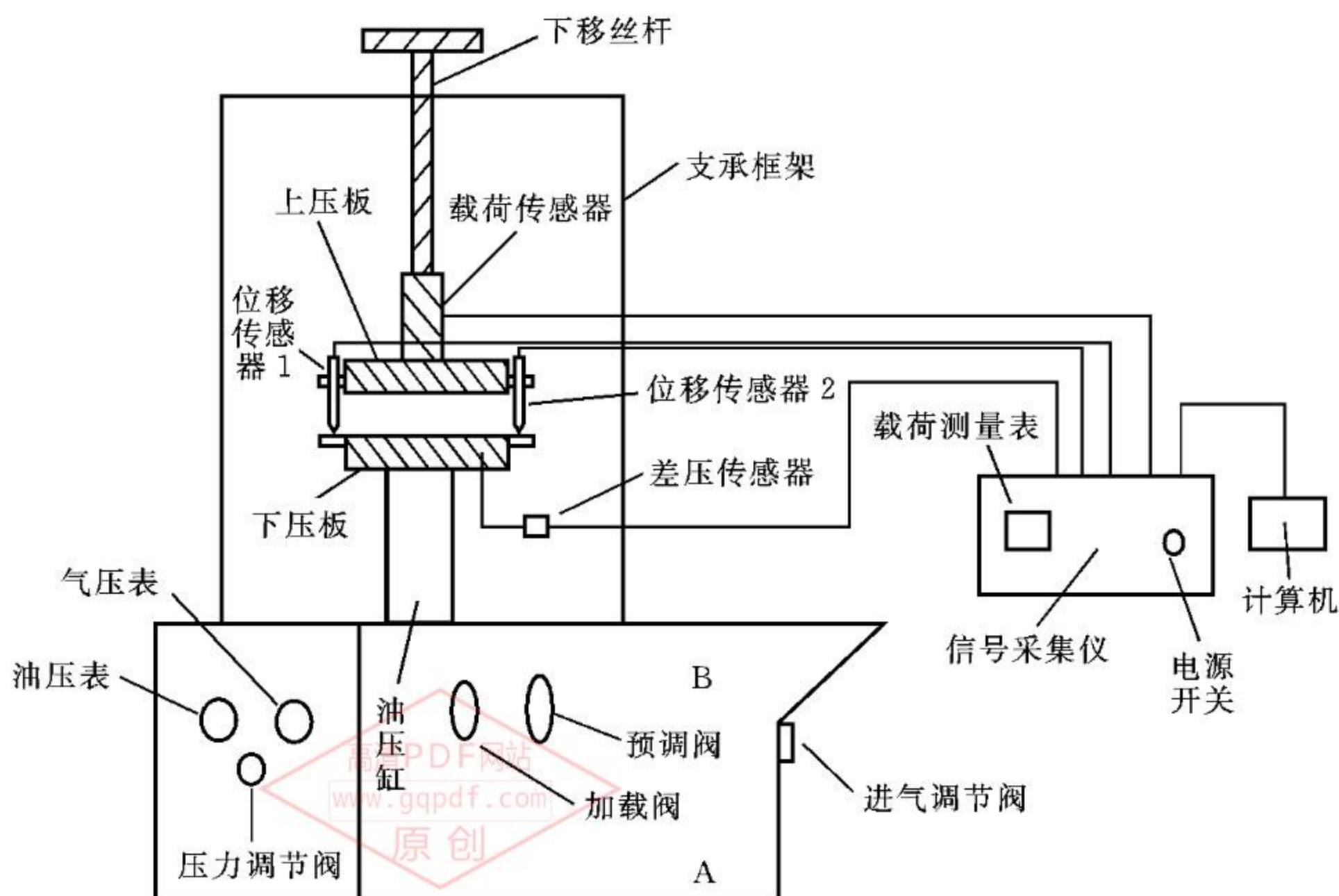


图 8-1 密封垫片综合性能试验机结构简图

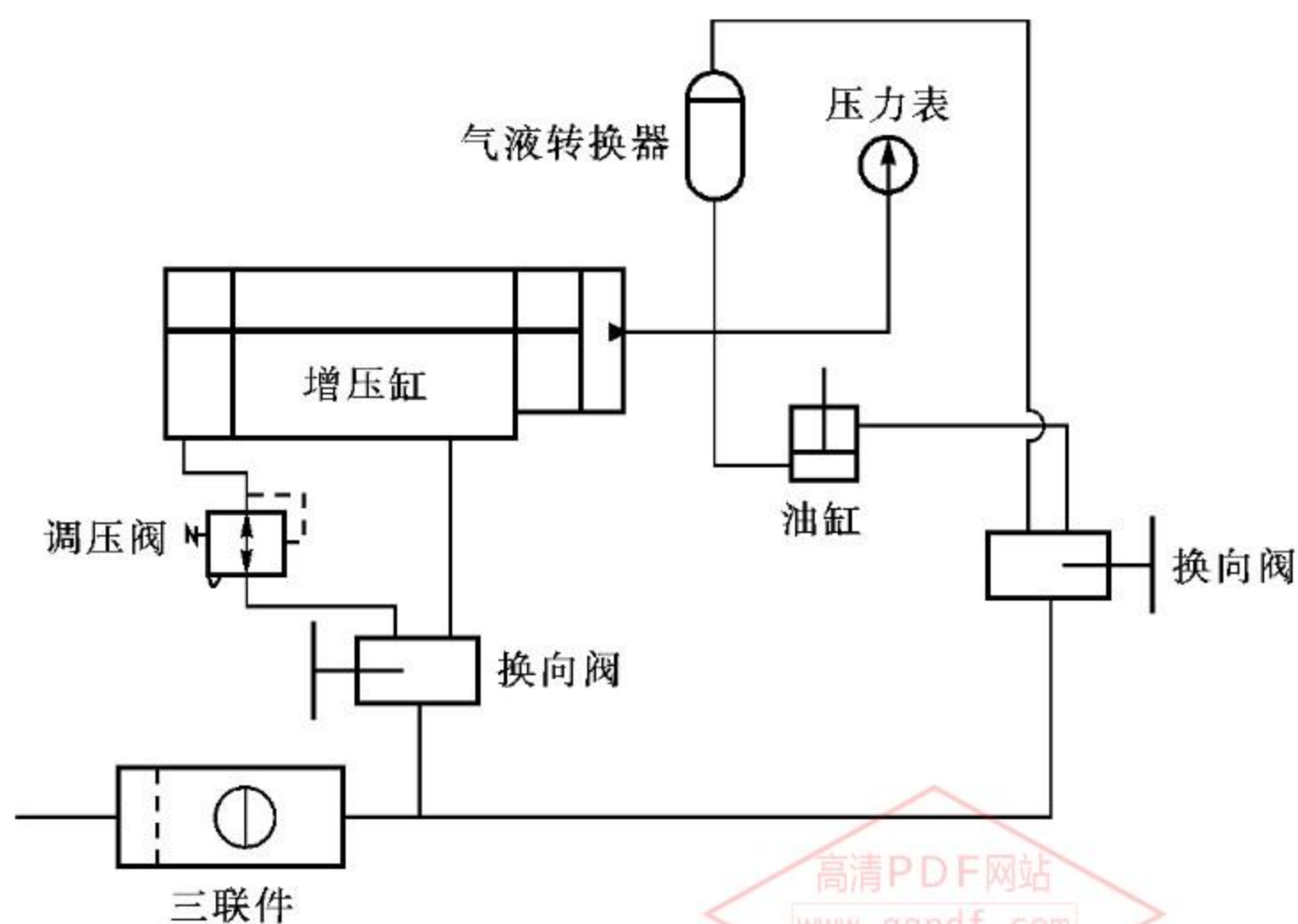


图 8-2 加载系统简图

8.3 实验操作程序

8.3.1 装置加载操作

①检查试验装置,包括加载系统、测试系统、数据采集系统和计算机数据处理系统是否正常,特别是检查传感器的连接情况是否正常;

②打开信号采集系统电源开关后,系统预热约半小时,以使系统达到稳定;

③检查进气调节阀,确保其进气压力不高于 0.6 MPa,防止压力过高。进气源可采用普通空气压缩机,也可采用氮气钢瓶供气,氮气钢瓶供气要严格控制进气压力,以防压力过大;

④调节下移丝杆高度,将测试元件放入上下压板之间,测试元件放入压板之间前应进行必要的预处理和测试工作,如测试元件的基本尺寸、试验条件、预处理条件等,具体根据测试要求和相关标准决定;

⑤调节丝杆高度使上下压板基本靠拢,调节阀门B使油压缸上升使测试元件加入预载,调节阀门A至加载位置,逐步调节压力调节阀使测试元件所受压力达到试验所需垫片比压。

8.3.2 垫片压缩回弹试验操作

①根据试验垫片选用适宜的试验标准(试验要求),确定垫片的试验应力;

②测定试验垫片的尺寸,包括内径、外径和垫片厚度;

③将试验垫片置于试验台正中,调节丝杆使上下压板接触;

④打开计算机测试软件,根据载荷显示修改载荷零点,输入相应测试参数,开始加载测试,按标准要求达到测试载荷后卸载,待载荷按标准卸载完毕后结束测试,计算机将自动计算测试结果;

⑤利用测试软件,测试结果可储存于计算机中,也可由打印机打印输出。

8.3.3 垫片密封性能试验操作

- ①根据试验垫片选用适宜的试验标准(试验要求),确定垫片的试验应力;
- ②测定试验垫片和采集用橡胶 O 形圈的尺寸,包括内径、外径和垫片厚度等相应参数,按测试软件要求输入计算机;
- ③系统加载至所需垫片比压,待稳定后,调节介质压力至所需值;
- ④由于测试密封所用差压传感器极其精密,为确保差压传感器的安全,可先将泄漏集气管浸于水中,检查系统是否存在很大泄漏,以防止传感器被高压损毁;
- ⑤系统正常后将泄漏集气管与差压传感器连接,开始泄漏测试,按标准要求在规定时间内进行数据采集,如系统泄漏较小可适当延长试验时间,如泄漏较大可适当缩短试验时间,泄漏测试以泄漏量不超过差压传感器量程为原则;
- ⑥试验结束后首先将差压传感器与系统分离,然后关闭测试介质进口阀,最后卸载,结束试验,测试结果由计算机自动采集和计算。

8.4 实验报告

1. 垫片压缩回弹性能试验报告单

试验日期: _____ 试件名称: _____

①实验压力 $PN =$ _____ MPa, $DN =$ _____

②垫片尺寸/mm:

外径 $D_o =$ _____ 内径 $D_i =$ _____ 厚度 $t =$ _____

③环境条件:

试验温度 $T/^\circ\text{C} =$ _____ 环境压力 $P/\text{MPa} =$ _____

④实验控制:

载荷控制

最大载荷 $P_{\max}/\text{MPa} =$ _____

⑤计算结果

压缩率 = _____ %

回弹率 = _____ %

压缩回弹曲线:

2. 垫片密封性能试验报告单

试验日期: _____ 试件名称: _____

① 垫片规格: $PN=$ _____ $DN=$ _____

② 垫片尺寸/mm:

外径 $D_o=$ _____ 内径 $D_i=$ _____ 厚度 $t=$ _____

③ 环境条件: 试验温度 $T/^\circ\text{C}=$ _____ 环境压力 $P/\text{MPa}=$ _____

④ 介质类型: _____ 介质压力/MPa: _____

⑤ 实验控制:

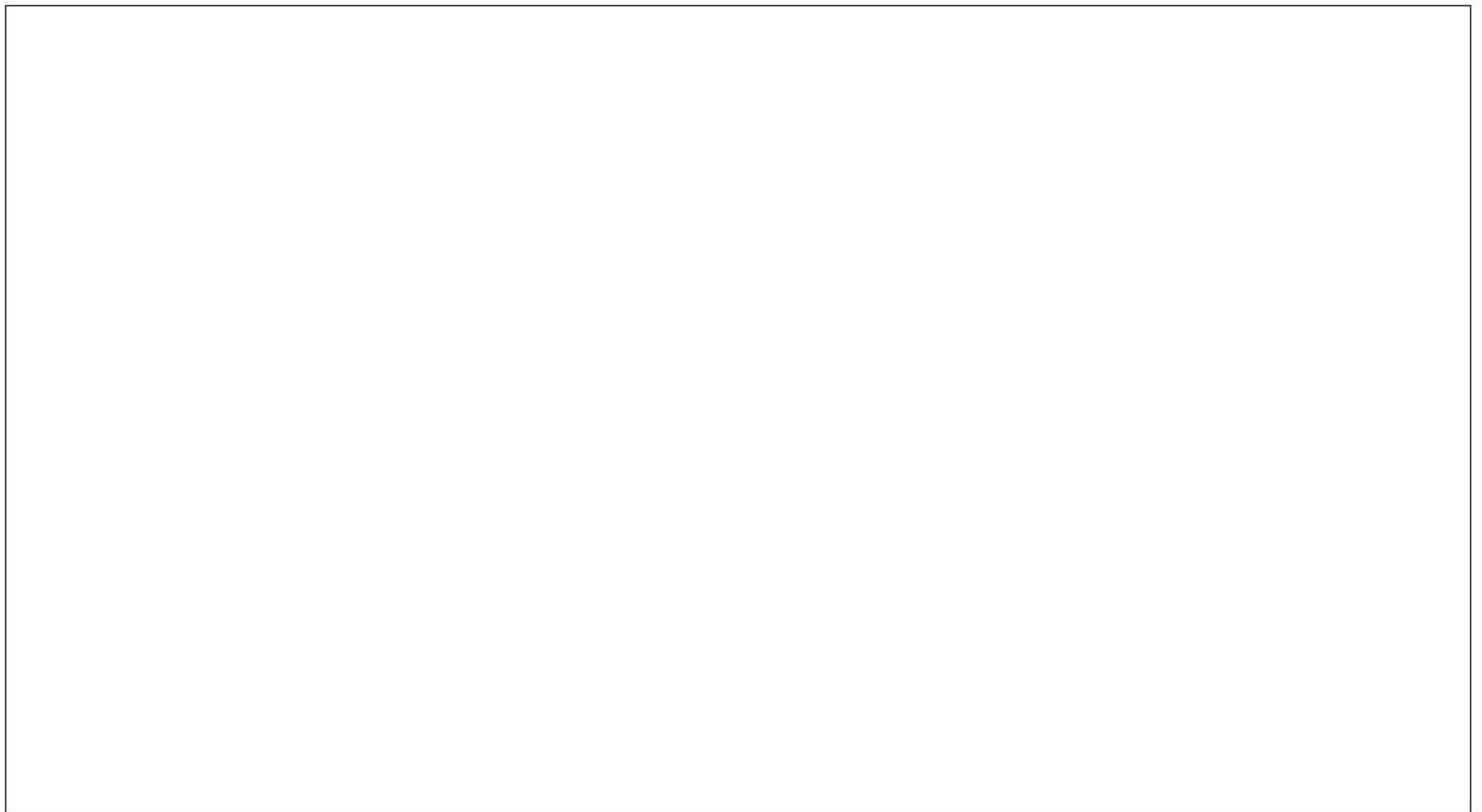
载荷控制

最大载荷 $P_{\max}/\text{MPa}=$ _____

⑥ 计算结果

泄漏率 = _____ cm^3/s

密封性能试验曲线:



第9章 离心泵性能测试实验

离心泵是常见的流体输送设备,离心泵性能曲线测试是离心泵性能测试的最基本内容。由于泵内部液体流动的复杂性,用理论计算方法所确定的性能曲线与实际性能曲线通常存在差异。因而,为了得到泵的可靠技术性能,通常采用实验的方法来确定性能曲线。常用的试验方法有常规测试法、自动化测试法以及热力学法。

9.1 常规测试法

9.1.1 试验装置简介

图9-1为某封闭式系统测试装置,水泵1自水箱2中吸水,水经过吸水管路3进入水泵,由水泵得到能量后,进入压水管路4,经压水管路4又回到水箱2中形成闭路循环系统。当水泵1进行试验时,水就在这一系统中循环流动。

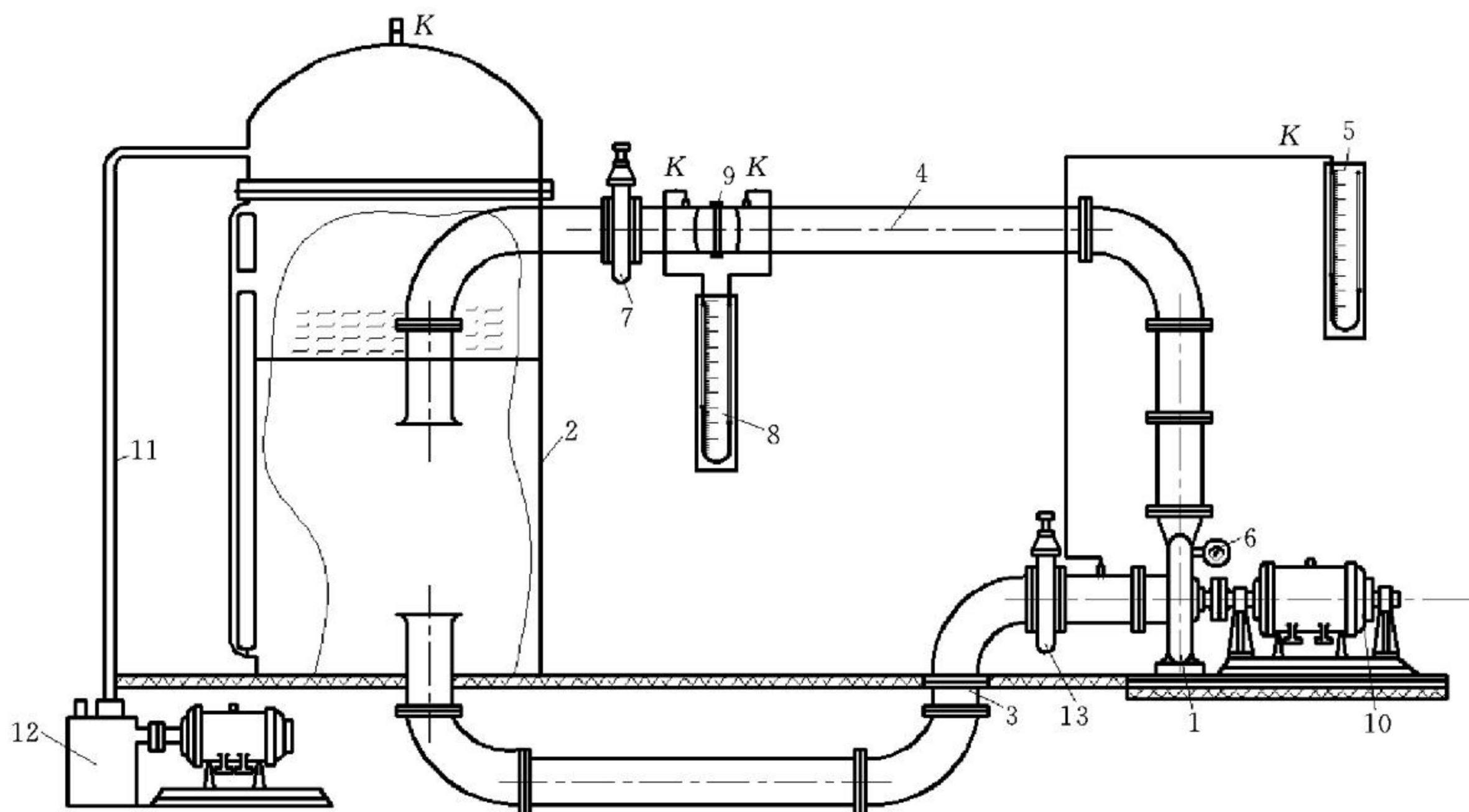


图9-1 封闭式试验装置

- 1—水泵;2—水箱;3—吸水管路;4—压水管路;5—水银真空计;6—压力表;7,13—阀门;
8—水银差压计;9—节流孔板;10—电动机;11—管路;12—真空泵

在水泵1吸入室进口处安装一水银真空计5,用来测量水泵1进口处的真空度(如水泵进口的压力大于大气压力,则装压力表)。在水泵1出口装一压力表6,用来测量水泵出口处的压力。在压水管路4上装有调节阀7,用来调节流量。调节阀7前装有一带有水银差压计8的节流孔板9,用来测量流量。调节阀7必须装在流量测定仪表的后面,以避免调节时

干扰水流,提高测量的准确度。在所有测压计的引水管上都有一个小阀 K ,以便试验前排除空气。在水箱 2 上也装有一个阀门 K 以接通大气。水泵用电动机 10 驱动。当进行汽蚀试验时,在水泵进口装一节流阀门 13,并在水泵水面之上接一根通到真空泵 12 的管路 11。而在作水泵性能试验时,进口节流阀门 13 全开,真空泵不工作。

9.1.2 性能参数的测量及计算

(1) 流量的测量及计算

水泵通常采用节流式流量计来测量流体的流量。节流式流量计可分为三种:①孔板流量计,如图 9-2 所示;②文丘里管流量计,如图 9-3 所示;③喷嘴流量计,如图 9-4 所示。现以孔板流量计为例来说明其工作原理及流量的计算。

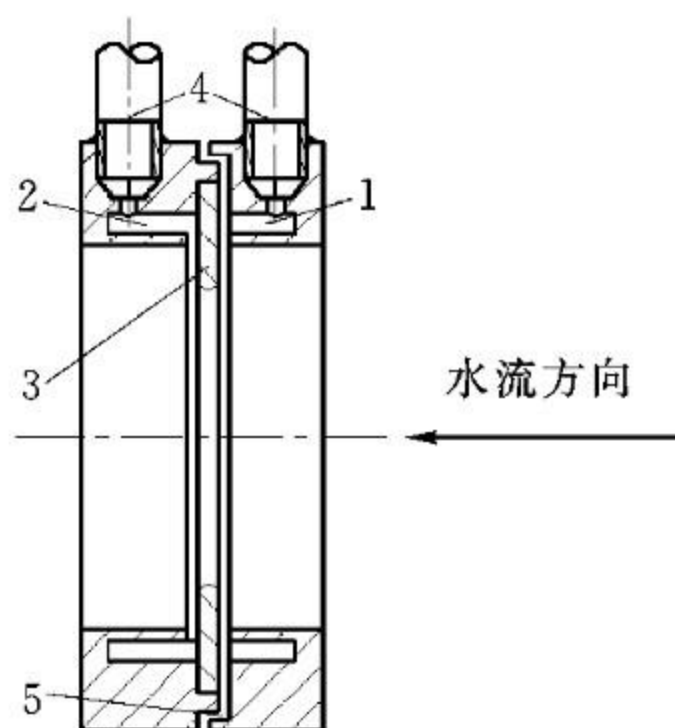


图 9-2 孔板流量计

1—切压室(甲);2—切压室(乙);3—孔板;4—接头;5—垫片

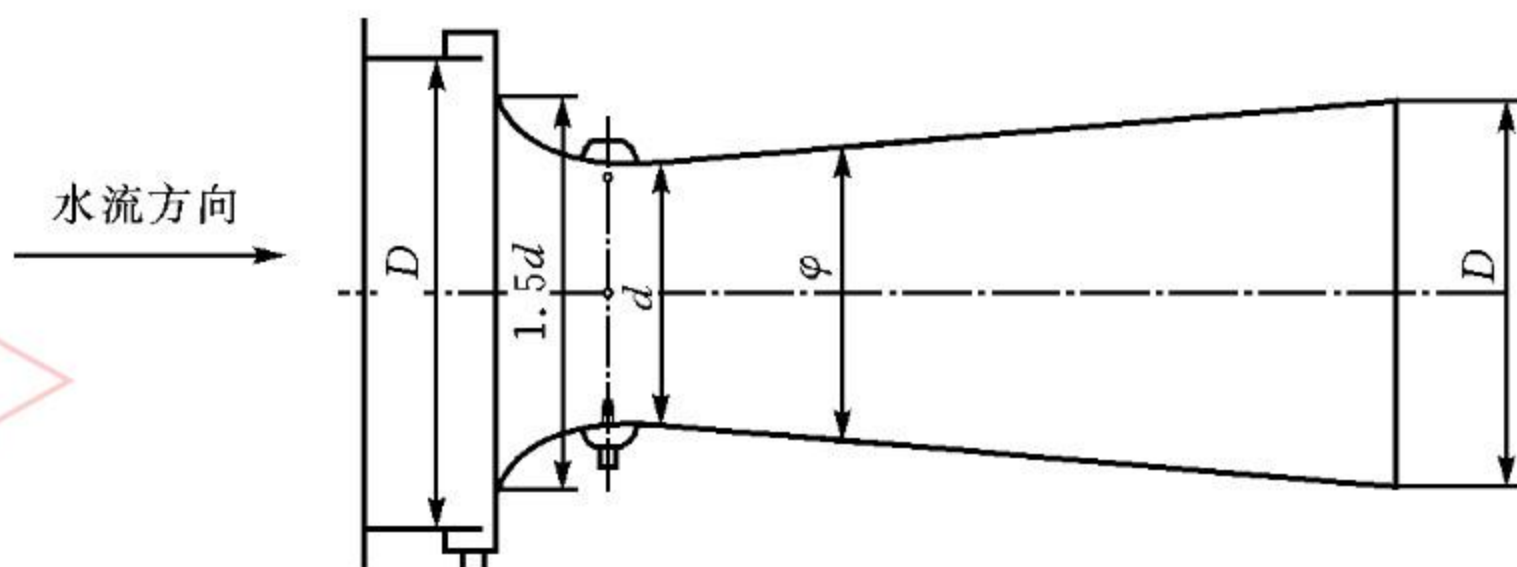


图 9-3 文丘里管流量计

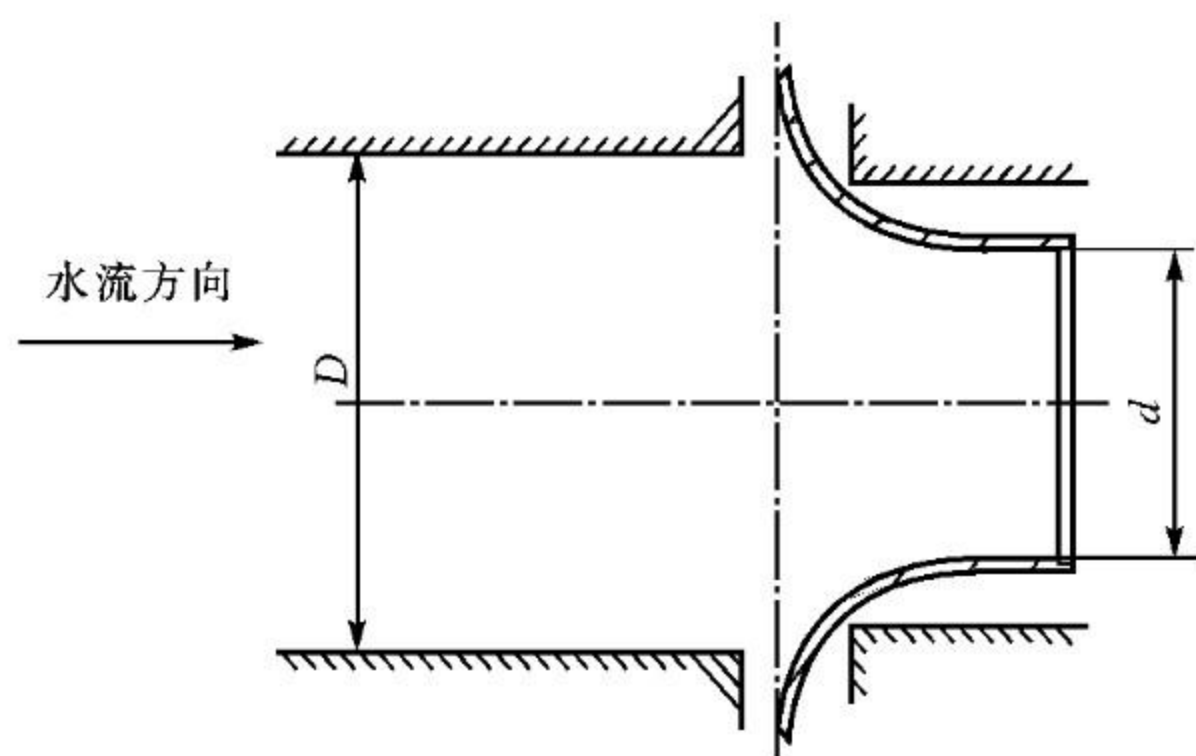


图 9-4 喷嘴流量计

将孔板装需要测量的管路上。当流体通过孔板时,由于节流作用,在孔板前后造成压力差,该压差可以用液柱差压计来测量,压差随流量变化。流量的计算公式为

$$q_v = \mu A_0 \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (9-1)$$

式中: μ ——流量系数;

A_0 ——孔板的内孔截面积, m^2 ;

ρ ——被输送流体的密度, kg/m^3 ;

Δp ——喉部前后的压力差, Pa。

如输送冷水,并用水银压差计测量压差时,则式(9-1)可简化为

$$q_v = 0.0014 \mu d^2 \sqrt{h} \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (9-2)$$

或

$$q_v = 0.00039 \mu d^2 \sqrt{h} \quad \text{L}/\text{h} \quad (9-3)$$

式中: d ——孔板的内径, mm;

h ——水银差压计的读数, mmHg(133.322 Pa)。

如输送高温水,并用水银压差计测量压差时,则

$$q_v = 0.1392 \mu d^2 \sqrt{\frac{h}{\rho g}} \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (9-4)$$

式中: h ——水银差压计的读数, mmHg(133.322 Pa);

ρ ——被输送热水的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

(2) 扬程的测量及计算

泵扬程是指单位质量流体通过泵后所增加的能量。因此,在水泵进出口法兰处取截面1—1及2—2,如图9-5所示。

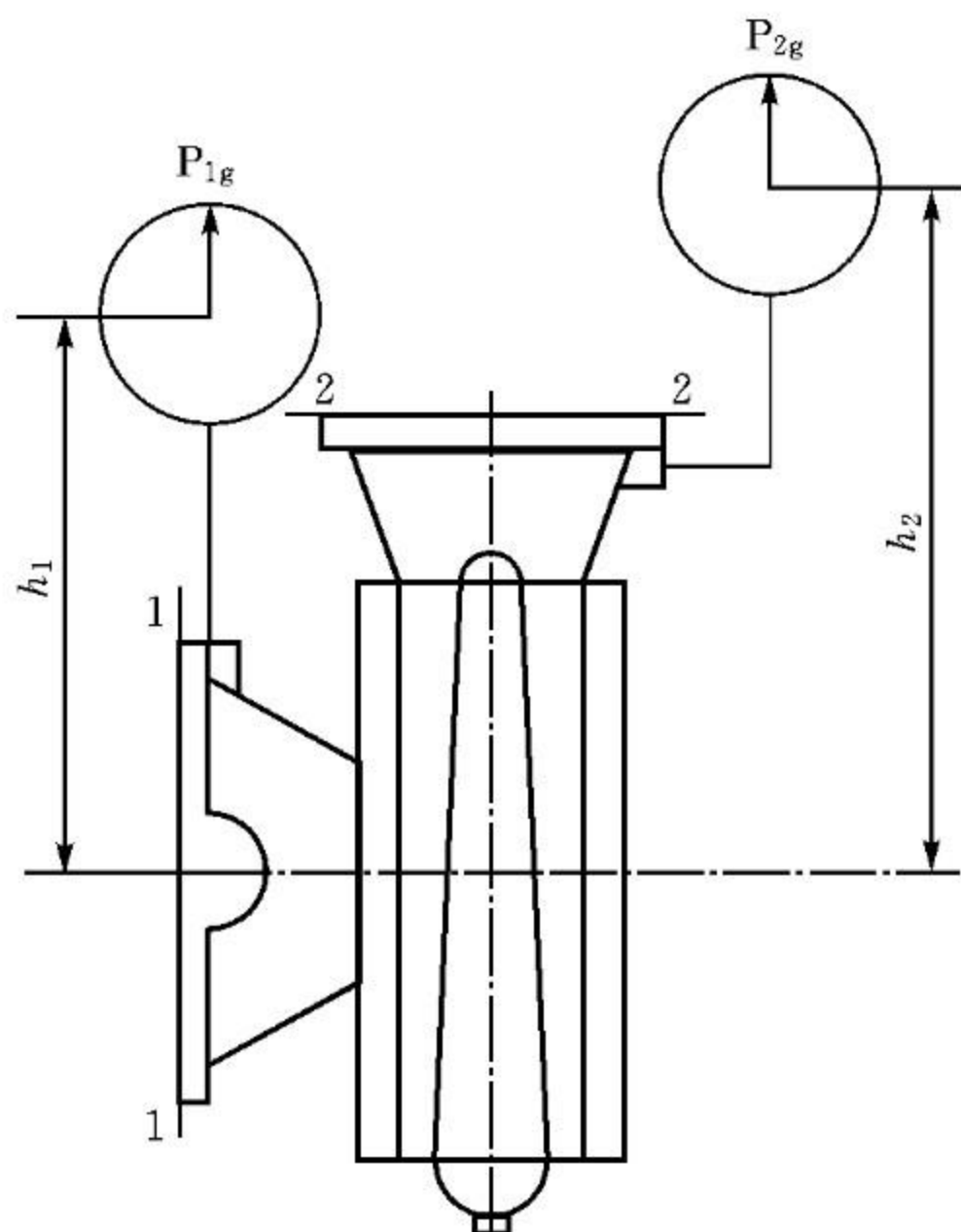


图 9-5 用压力表和真空表测量进出口压力

写出该两截面的伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 + H = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (9-5)$$

式中： p_1, p_2 ——泵进出口断面处液体的表压力，Pa；

v_1, v_2 ——泵进出口断面处液体的平均速度，m/s；

ρ ——流体密度，kg/m³；

g ——重力加速度，m/s²；

H ——泵的扬程，m；

h_1, h_2 ——压力表中心到基准面的垂直距离，m。

当泵入口压力大于大气压力时，有

$$p_2 = p_a + p_{2g}, \quad p_1 = p_a + p_{1g}$$

将以上两式代入式(9-5)并移项得

$$H = H_2 - H_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (9-6)$$

$$H_2 = \frac{p_{2g}}{\rho g} \pm h_2, \quad H_1 = \frac{p_{1g}}{\rho g} \pm h_1$$

式中： p_{2g}, p_{1g} ——出口及入口压力表读数，Pa；

p_a ——当地大气压，Pa；

H_1 ——入口水头，m；

H_2 ——出口水头，m。

当泵入口压力小于大气压力时，有

$$p_2 = p_a + p_{2g}, \quad p_1 = p_a - p_m$$

将以上两式代入式(9-5)并移项得

$$H = H_2 + H_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (9-7)$$

$$H_2 = \frac{p_{2g}}{\rho g} \pm h_2, \quad H_1 = \frac{p_m}{\rho g} \pm h_1$$

式中： p_{2g} ——出口压力表读数，Pa；

p_m ——入口真空表读数，Pa；

h_1, h_2 ——入口真空表出口压力表零点到基准面的垂直距离，m。

如果用压力表和真空表测量压力和真空，当压力表和真空表的零点(表面中心)高于基准面时，如图9-5所示，则 h_2 取正值， h_1 取负值。

如果用水银差压计测量时，如图9-6所示，则

$$H_2 = 13.1h \pm h_2, \quad H_1 = 13.1h \pm h_1$$

式中： h ——差压计中水银柱读数，m；

h_1, h_2 ——水银压力计零点(不通压力时的平衡位置)到基准面的垂直距离，m。

计算 H_1 时，零点在基准面以下取正号，在基准面以上取负号。计算 H_2 时，零点在基准面以下取负号，在基准面以上取正号。

(3) 功率的测量及计算

测量电动机输入功率的方法一般有以下几种。

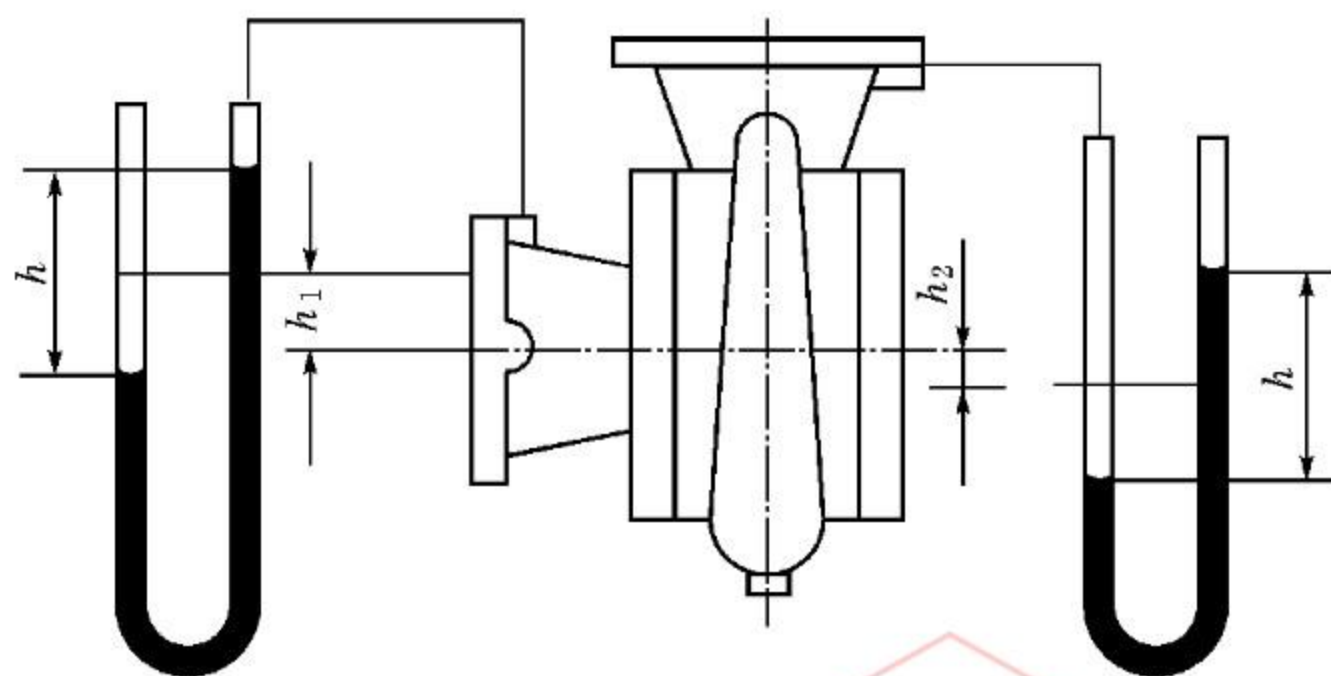


图 9-6 用水银压力计测量泵进出口压力

①用电能表测量：

$$P'_g = \frac{KnA_T U_T}{t} \quad \text{kW} \quad (9-8)$$

式中： P'_g ——电动机输入功率，kW；

t ——时间，s；

A_T, U_T ——电流互感器变比和电压互感器变比；

K ——电能表常数，为每一转所需的 kW·h 数；

n ——在 t 时间内（以秒计）电能表转盘转数，一般采用电能表转盘每转 10 转所用的秒数。

②用三相两瓦法功率表测量：

$$P'_g = \frac{A_T U_T C (W_1 + W_2)}{1000} \quad \text{kW} \quad (9-9)$$

式中： A_T, U_T ——电流互感器变比和电压互感器变比；

W_1, W_2 ——三相电源用两瓦法测取功率表读数，W；

C ——功率表刻度常数。

③用电流，电压表测量：

$$P'_g = \frac{\sqrt{3}UI \cos\varphi}{1000} \quad \text{kW} \quad (9-10)$$

式中： $\cos\varphi$ ——功率因数；

I ——每相或每线的电流，A；

U ——相间或线间电压，V。

泵的轴功率为

$$P = P'_g \eta_g \eta_{tm} \quad \text{kW} \quad (9-11)$$

式中： P'_g ——电动机输入功率，kW；

η_g ——原动机效率；

η_{tm} ——传动效率。

(4) 转速的测量

泵的转速一般可采用机械式转速表、数字式转速表或频闪测速仪进行测量。

9.1.3 泵的汽蚀试验

汽蚀试验的目的是确定水泵在工作范围内，流量与汽蚀余量 Δh 或吸上真空高度 H_s 之间

的关系。

(1) 试验原理与步骤

在一定的转速和流量下,泵必须汽蚀余量 Δh_r 是一个定值,而有效汽蚀余量 Δh_a 却随着吸入装置情况的变化而改变。所以,汽蚀试验就是通过改变吸入装置的情况,使有效汽蚀余量 Δh_a 等于泵的必须汽蚀余量 Δh_r 而造成汽蚀,从而求得泵的临界汽蚀余量 Δh_c 。

改变有效汽蚀余量的方法通常有三种:①改变储水池的水位,即改变泵的几何安装高度;②调节进水管路上的阀门,以增加吸入管道的阻力;③在封闭水箱内用真空泵抽真空以改变吸入压力。国内一般采用后两种方法。

现以闭式装置为例说明其试验方法。如图 9-11 所示,试验时保持转速不变,并在工作范围内取 3 个以上的流量(包括小流量、设计流量、大流量)进行试验。在每一流量下,均应记录压力表、真空表、功率表及转速的读数,由此,可以算得试验曲线上的一个点(这些参数的测量和计算方法与性能试验时相同)。在每一流量时至少应测得 15 个点的 Δh 值或 H_s 值,在接近断裂工况时,所取试验点尽可能密集,以便正确的确定 Δh_c 或 H_{smax} 。

试验开始时,调节阀 7 开到最小开度,并打开密闭水箱盖上的阀门 K ,使之通大气,这点即是测量的第一点,此时,记录上述各数值。然后将水箱盖上的阀门 K 关闭,并启动真空泵 12,使水箱内液面上的压力降低,从而增加泵入口的吸上真空高度,待稳定后记录以上数值。重复上述试验,直到断裂工况,此时扬程、流量、功率下降。当扬程(多级泵为第一级扬程)下降 $(2+K/2)\%$ 时(K 为型式数),该点即为断裂工况所对应的临界汽蚀余量 Δh_c 或最大吸上真空高度 H_{smax} 。然后开大调节阀 7,在另一流量下进行上述试验。

(2) 绘制汽蚀性能曲线

试验结束后,根据不同试验曲线、点的读数算出扬程 H 、流量 q_v 、功率 P ,然后计算出汽蚀余量 Δh 或吸上真空高度 H_s ,即可绘制出以汽蚀余量 Δh 或吸上真空高度 H_s 为横坐标,以扬程 H 、流量 q_v 、功率 P 及效率 η 为纵坐标的汽蚀性能曲线,并用垂直于横坐标的虚线标出 Δh_c 或 H_{smax} 值,如图 9-7、图 9-8 所示。然后再把每一流量下所对应的临界汽蚀余量 Δh_c 绘制出以流量 q_v 为横坐标,以临界汽蚀余量为纵坐标的 $q_v - \Delta h_c$ 性能曲线,如图 9-9 所示。如果在 Δh_c 上加一安全量即得 $q_v - [\Delta h]$ 汽蚀性能曲线,如图 9-10 所示

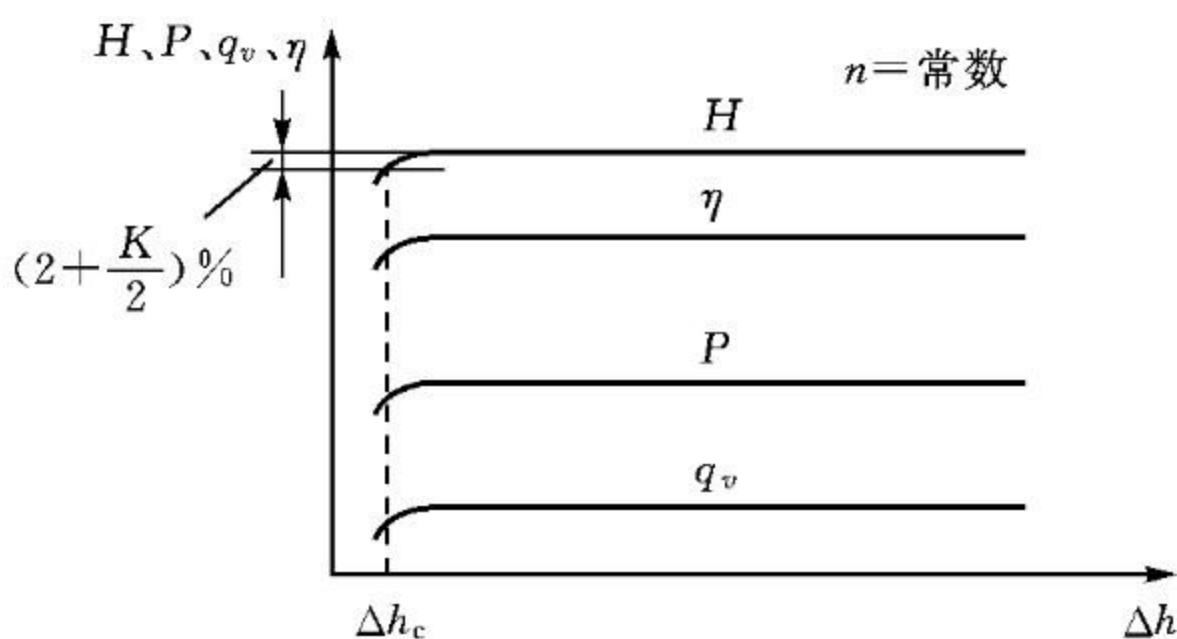


图 9-7 由 Δh 表示的汽蚀性能曲线

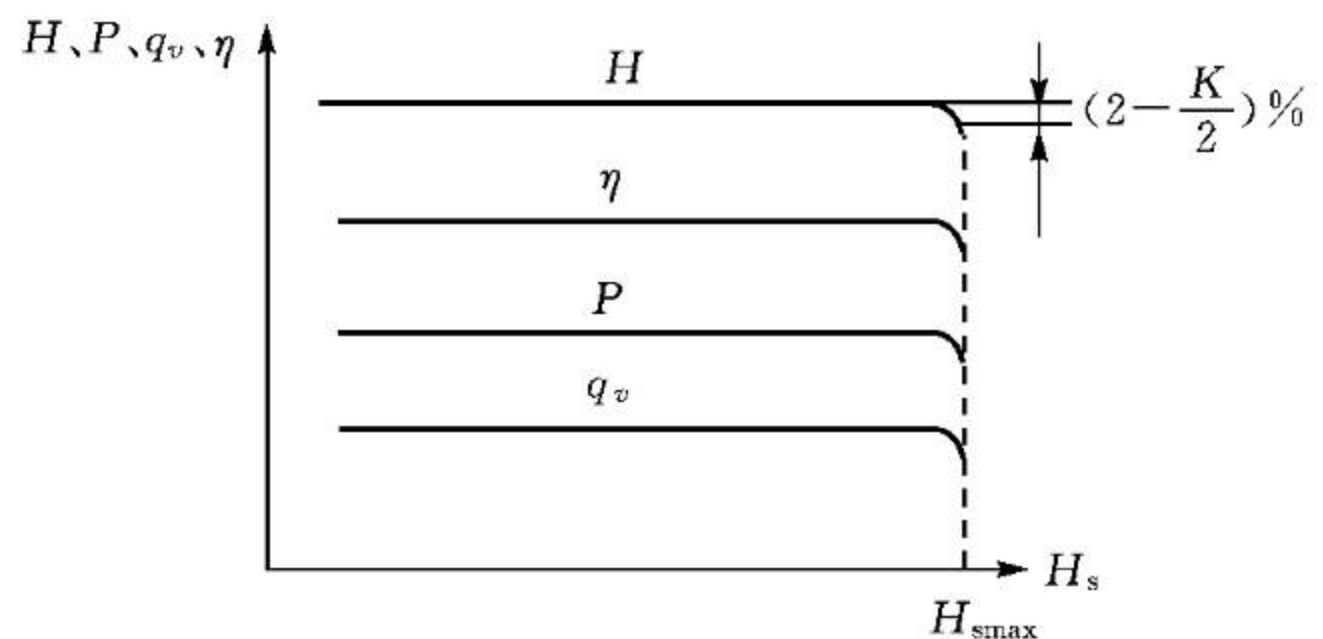


图 9-8 由 H_s 表示的汽蚀性能曲线

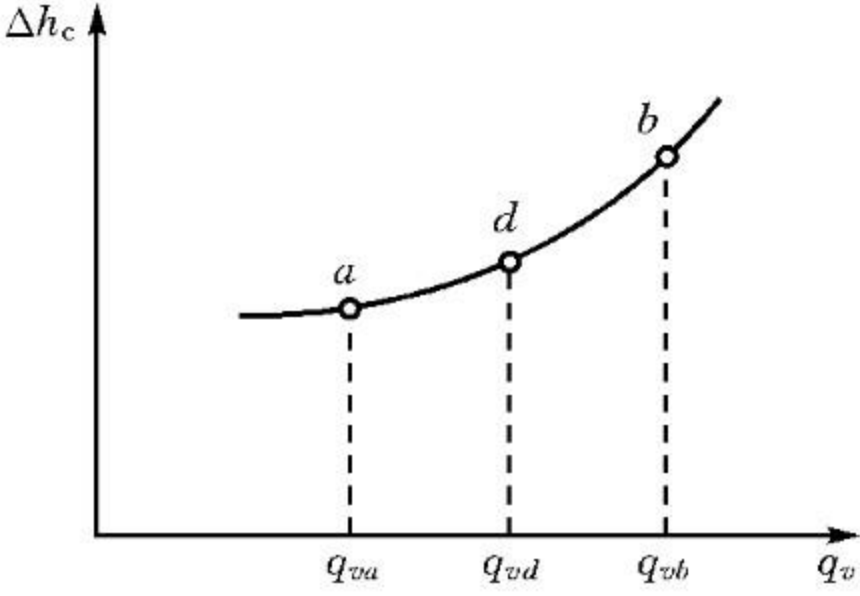


图 9-9 $q_v - \Delta h_c$ 汽蚀性能曲线

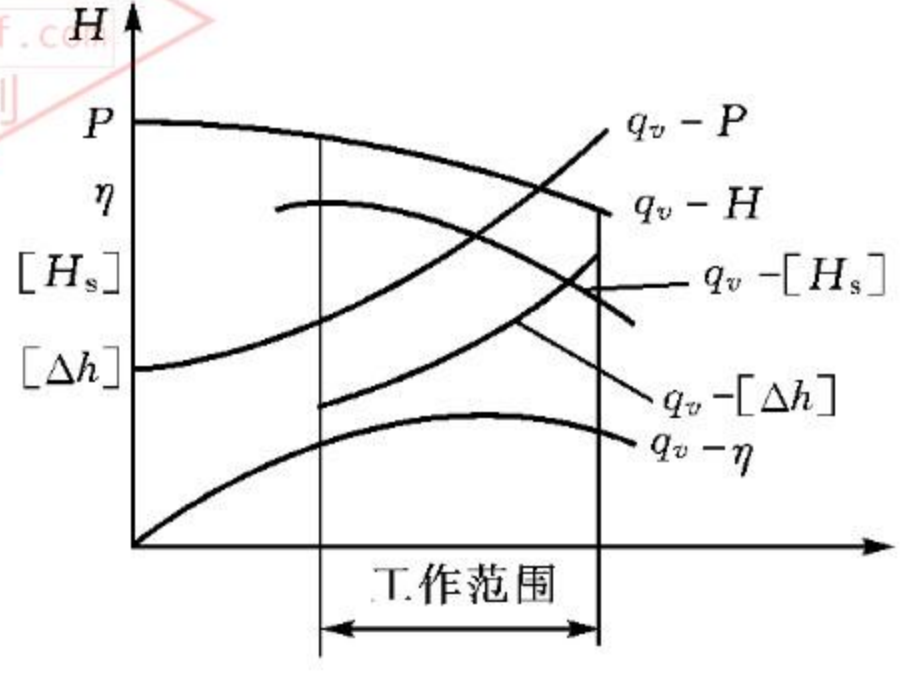


图 9-10 $q_v - [H_s]$ 和 $q_v - [\Delta h]$ 的关系曲线

9.2 自动化测试技术简介

随着电子数字计算机的出现及广泛应用,近年来在泵的试验方面,已用微型计算机实现了实验自动化。在自动化的装置上,能对试验样机(模型或原型的泵)的工作参数进行自动获取、处理、显示以及输入输出值的打印、制表或绘制曲线。这样不仅大大减轻了人的劳动,缩短了试验的时间,提高了试验台的利用率,更重要的是避免了人工看表、抄表引入的各种误差,提高了数据的准确性。

9.3 热力学法测试简介

热力学测试泵效率是 20 世纪 60 年代末期发展起来的一种新的测试方法。由于考虑了流体的压缩性,因而其测试精度较常规方法高,并可在现场运行条件下进行测试。同时,不必测出水泵的流量,即可求得泵效率。因此,这种测试方法具有广阔的发展前景。

9.4 离心泵性能测定试验

1. 实验目的

- ① 加深对离心泵的性能理解,掌握测定离心泵特性曲线的方法;
- ② 了解离心泵的正确操作及使用方法。

2. 实验内容

测定离心泵的流量、扬程、转速、轴功率等参数,绘制离心泵特性曲线。

3. 实验装置

封闭式离心泵性能测试试验装置如图 9-11 所示。

4. 实验步骤

用出水管上的阀门 7 来调节流量,以取得各种工况下的数据。对离心泵来说,为避免启动电流过大应从出口阀门全关状态开始,并记录流量 $q_v = 0$ 时的压力表、功率表、真空表及转速的读数,由此可以算得试验曲线上第一点。以后逐渐开启出口阀门,增加流量,待稳定后开始

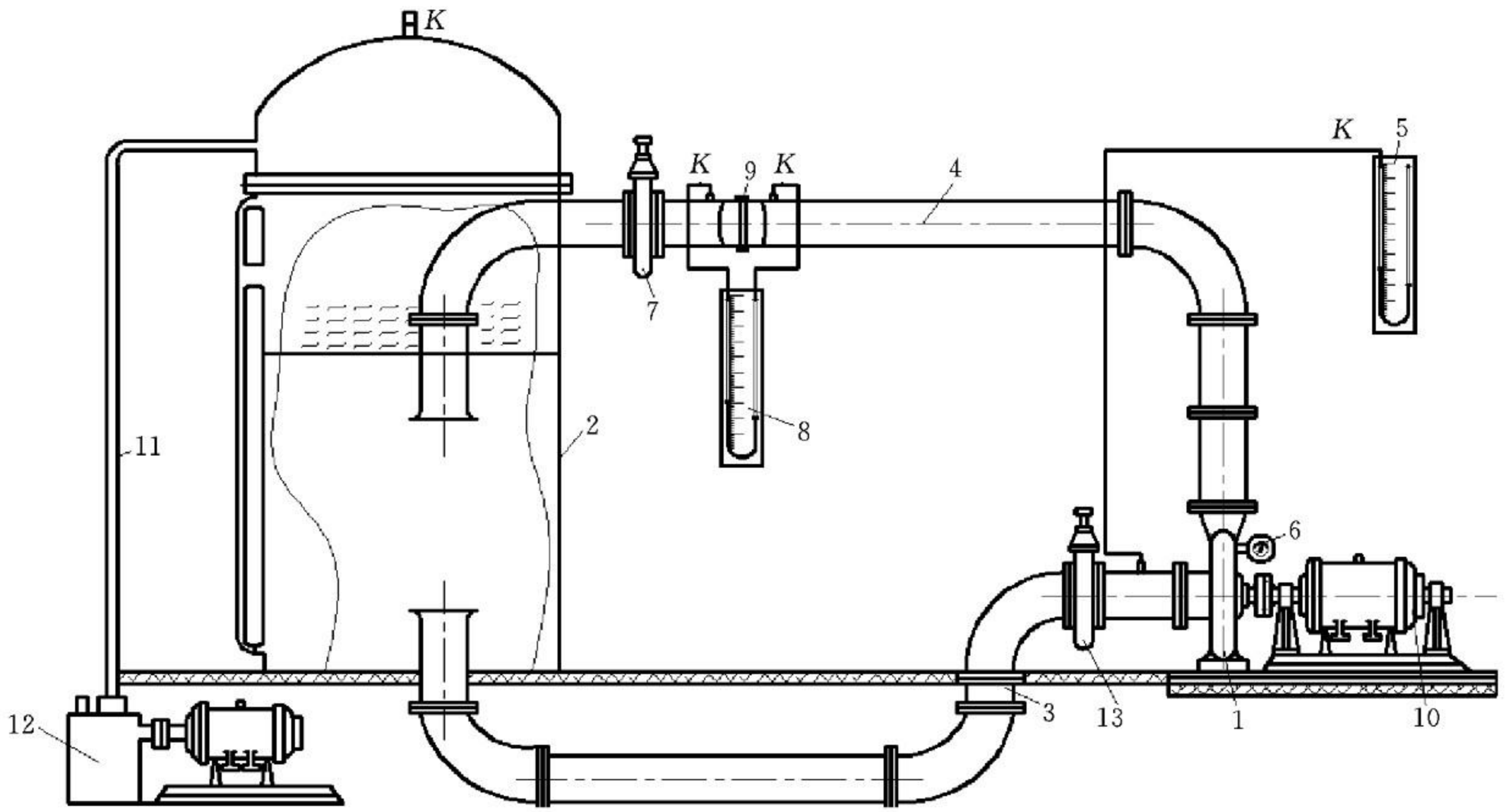


图 9-11 封闭式离心泵性能测试试验装置

1—水泵；2—水箱；3—吸水管路；4—压水管路；5—水银真空计；6—压力表；7,13—阀门；
8—水银差压计；9—节流孔板；10—电动机；11—管路；12—真空泵

记录该工况下的各种数据。试验最少应均匀取得 10 点以上的读数。由每点测得的数据，计算出该流量下所对应的扬程 H 、功率 P 、效率 η 后，即可绘出 $q_v - H$ 、 $q_v - P$ 、 $q_v - \eta$ 性能曲线。

5. 实验注意事项

- ① 检查泵的机械结构，泵轴应该可以自由转动。启动前水泵内应注满水，且保证泵的出口阀门处于关闭状态。
- ② 电机启动后，打开泵的出口阀门，水泵应立即出水。如果没有出水，则表示泵内空气还未排尽，应停泵重新注水。
- ③ 水泵正常运转后，将出水阀门开至最大，检视各个仪表的最大读数。测量时，尽量使每两个测点之间的流量间距相等。

6. 实验数据及结果分析



第 10 章 容积式压缩机性能测试实验

10.1 容积式压缩机的主要性能指标

10.1.1 吸气压力和排气压力

压缩机的吸气和排气压力分别指第一级吸入管道处和末级排出管处的气体压力。

10.1.2 容积流量和供气量

(1) 容积流量

压缩机的容积流量,通常是指单位时间内压缩机最后一级排出的气体体积,换算到第一级进口状态的压力和温度时的气体容积值,单位是 m^3/min 或 m^3/h 。

(2) 供气量

容积流量随压缩机的进口状态而变,它不反映压缩机所排气体的物质数量。化工工艺中使用的压缩机,由于工艺计算的需要,需将容积流量折算到标准状态($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 0°C)时的干气容积值。此值称为供气量或称标准容积流量(在空气动力计算中标准温度为 15°C)。

10.1.3 排气温度

压缩机的排气温度是指压缩机末级排出气体的温度,它应在末级气缸排气管外测得。多级压缩机末级之前各级的排气温度称为该级的排气温度,在相应级的排气接管外测得。

10.1.4 功率和效率

(1) 功与功率

压缩机消耗的功,一部分直接用于压缩气体,另一部分是用于克服各种摩擦阻力。前者称为指示功,后者称为摩擦功,两者之和为主轴需要的总功,称为轴功。

单位时间所消耗的功为功率。压缩机的比功率是指排气压力相同的机器,单位容积流量所消耗的功,单位为 $\text{kW} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ 或 $\text{kW} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

比功率常用于比较同一类型压缩机的经济性,它很直观,特别是空气动力用压缩机常采用比功率作为经济性评价的重要指标。

(2) 效率

压缩机的机械效率是指示功率与轴功率之比。

10.2 压缩机性能测试装置与参数测量方法

图 10-1 为某水冷式两级两缸压缩机性能测试实验装置,有两级压缩机、中间冷却器、后

冷却器、储气罐、喷嘴装置、冷凝水收集器、测试仪表、阀门、管道组成。

10.2.1 压力测量

测量压力的部位和每一部位的测点数按图 10-1 的规定。压缩机吸气压力采用大气压力计或压差计测量,中间冷却器气流阻力采用压差计测量,其余部位气体或液体压力一般采用压力表、压力传感器等测压仪表测量。

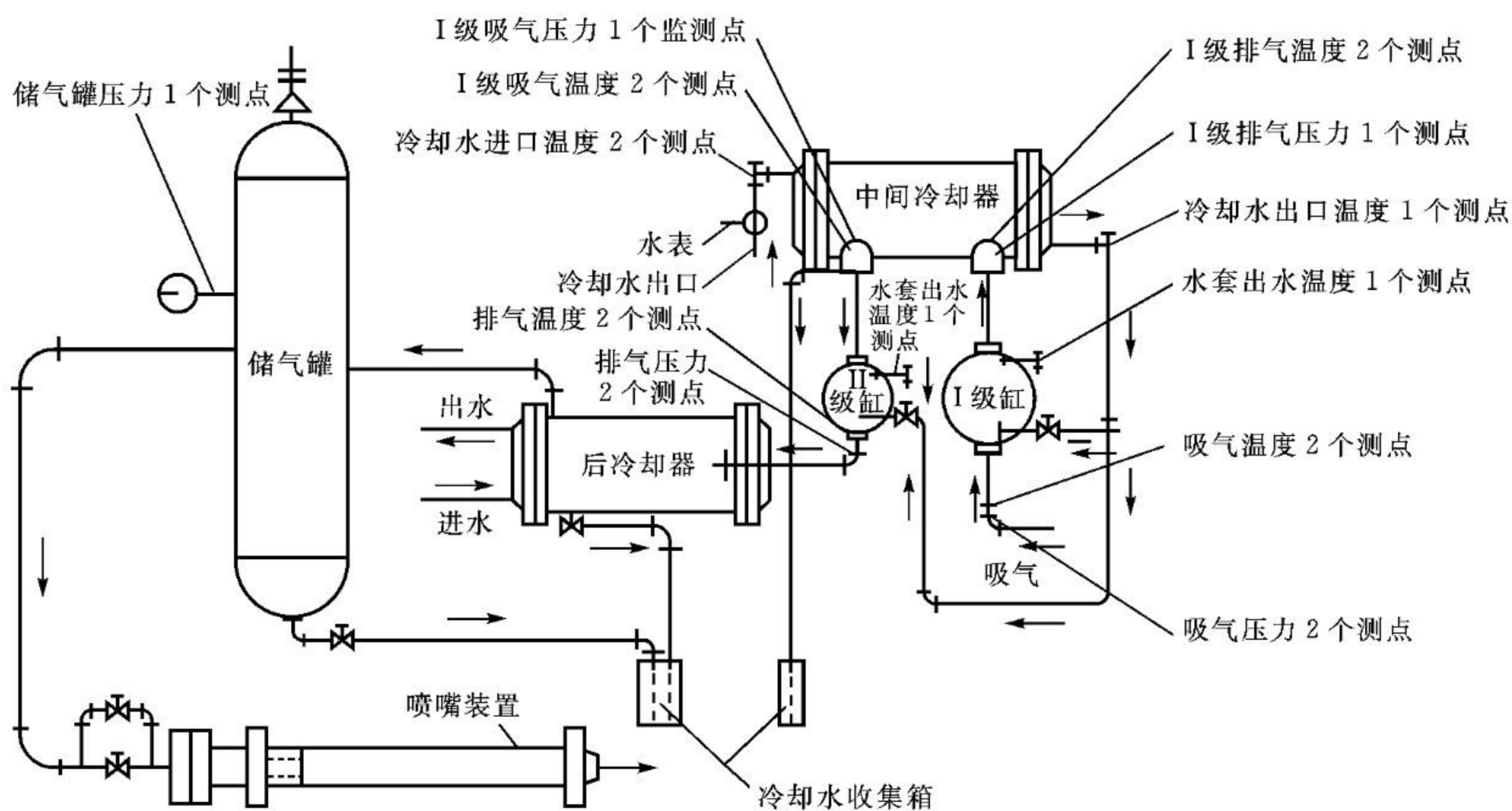


图 10-1 水冷式两级两缸压缩机试验系统简图

压力测量点位置的规定：

试验时压缩机若无吸气接管,其吸气压力规定等于试验处大气压力;若有吸气接管,则其吸气压力应在压缩机吸气法兰(吸气口有减荷阀时为减荷阀法兰)前,距离等于一个管直径处测量(图 10-2)。

压缩机排气压力测点应在距压缩机排气法兰一个管直径处(图 10-2)。I级排气和II级吸气压力测点分别规定在中间冷却器进、出气口处(图 10-1)。

同一部位有两个压力测点时,两个测点应在圆周方向相错 90° 角处(图 10-2)。

压力表应用引压管通过缓冲器与测压点连接。缓冲器最小容积为 5 L,直径至少为高度的 $1/4$ 。引压管最小内直径为 6 mm。可以增大缓冲器或加长引压管以消除测量时的压力波动(图 10-3)。

10.2.2 温度测量

气体或液体的温度可采用水银温度计、热电偶或电阻温度计测量。其测量部位和测点数按图 10-1、测温点布置按图 10-2 所示布设。

压缩机吸、排气温度测点距压缩机吸、排气口法兰的距离为两倍管直径以上(图 10-2)。

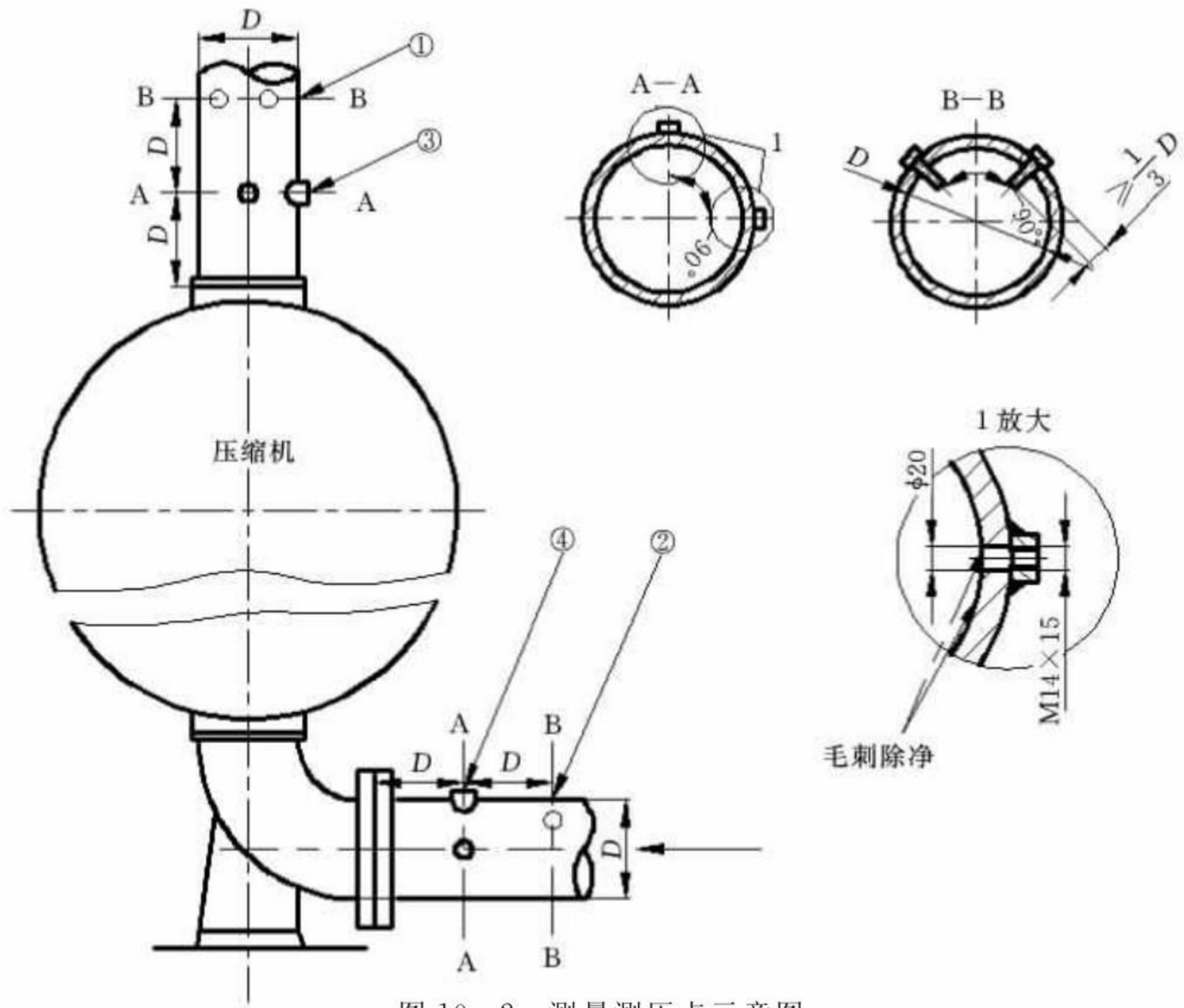


图 10-2 测量测压点示意图

- ①—排气温度测点(2个); ②—吸气温度测点(2个); ③—排气压力测点(2个);
④—吸气压力测点(2个)

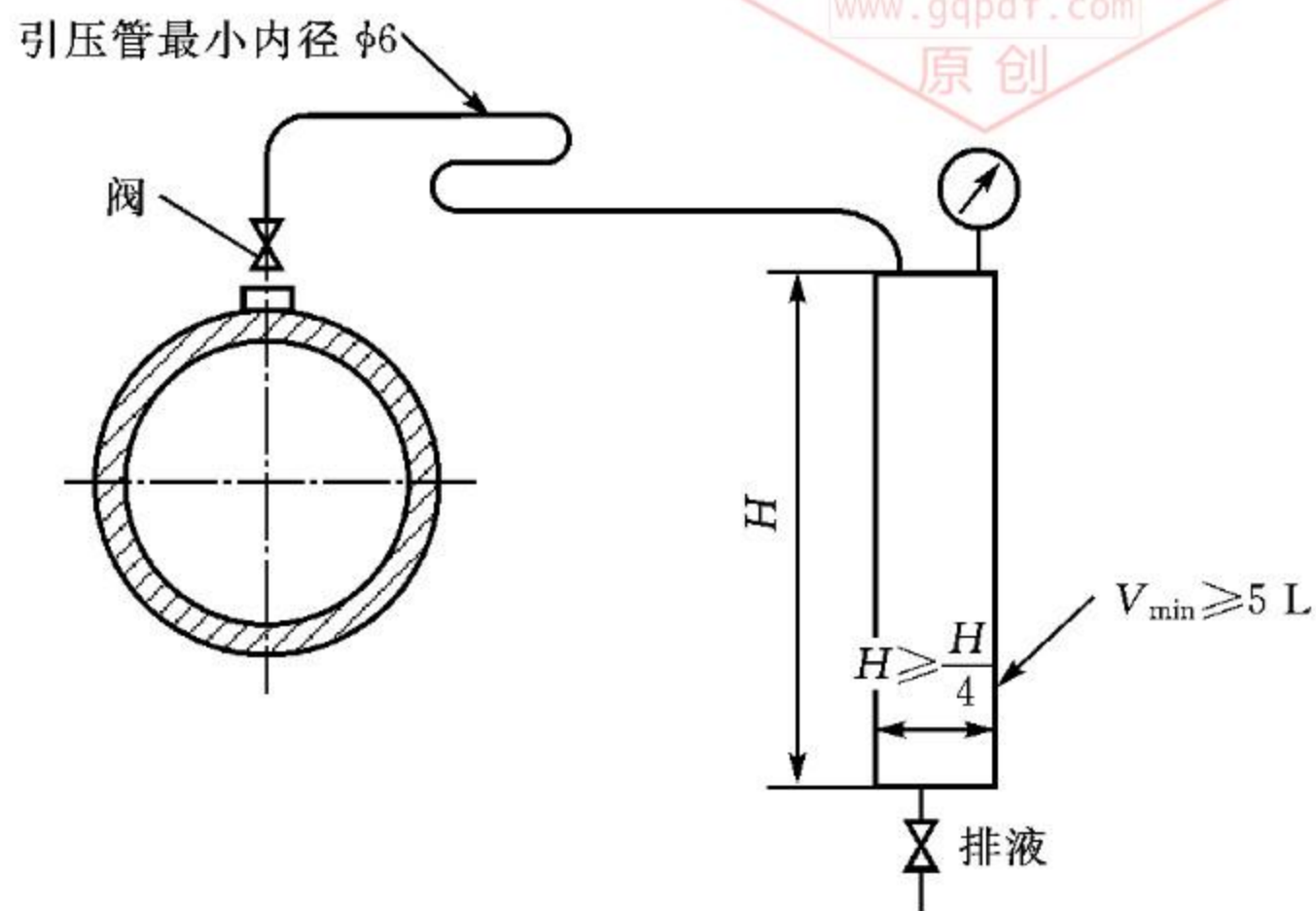


图 10-3 供测压用的缓冲器

I 级排气和 II 级吸气温度在中间冷却器进、出气口处测量(图 10-1)。

10.2.3 湿度和冷凝水量测量

空气湿度可用通风干湿表(阿斯曼湿度计)或其他同等精度的仪器测量。压缩机吸入空气的湿度测量位置应在离压缩机吸气口的最近处,否则应将所测得的湿度换算为压缩机吸气状态的值。在压缩机各级和流量测量装置中的空气湿度应按所测得的冷凝水量决定。考虑到空

气湿度对压缩机性能的影响,每一工况试验后应收集低压箱、储存罐、油水分离器、冷却器等处空气的冷凝水,分别测出单位时间内各级的冷凝水量。

10.2.4 容积流量测量

可以采用 GB/T 2624 所规定的任一方法测量压缩机流量,但必须完全满足 GB/T 2624 的要求。如果不能全部满足 GB/T 2624 推荐的一次装置的安装要求时,允许缩短其上游直管段长度,但应增设整流器。

如采用 ISA 1932 喷嘴为节流件时,按 ISA 1932 喷嘴加整流器的测量装置测量压缩机流量。对于动力用空气压缩机以及其他压缩介质允许放空的气体压缩机,推荐采用 ASME 喷嘴测量装置测量压缩机流量。在要求用简单、快速且经济的方法测量空压机流量的场合,当测量精度要求不严格时,可以采用圆弧文丘里喷嘴测量临界流状态下空气容积流量的装置。在上述几种测量方法都不合适时,还可以采用充罐法、称瓶法、气柜法及流量计法。

下面介绍如何用 ASME 喷嘴法测量压缩机流量。

(1) 测量装置

测量装置的结构如图 10-4 所示。喷嘴形状和尺寸应符合图 10-5 和表 10-1 规定,收缩曲面与圆柱部分应相切,并过度圆滑。储气罐应符合 ZB J72 041 的规定。对于直管段,在喷嘴上游至少 2 倍管径长度内的管道任何截面的内径与其平均管径的偏差不大于平均管径的

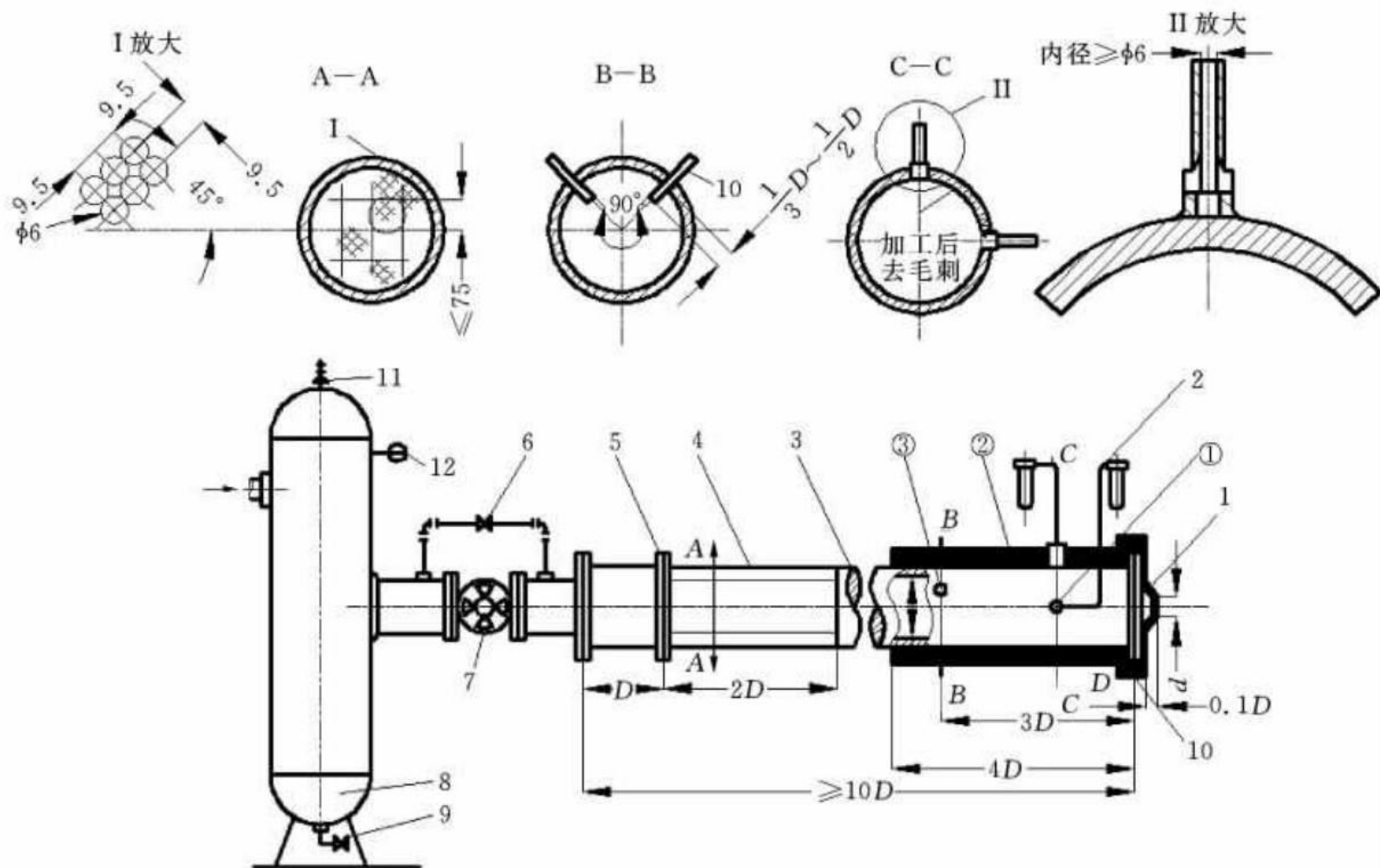


图 10-4 ASME 喷嘴测量装置示意图

- 1—喷嘴;2—压差计;3—直管段;4—导板;5—隔板;6—调节阀(微调);7—调压阀;
8—储气罐;9—排液阀;10—水银温度计;11—安全阀;12—压力表;
①—测压点;②—保温层;③—测温点; d —喷嘴直径; D —管径, $D \geq 4d$

0.3%。管径应大于等于4倍的喷嘴直径,但不得大于630 mm,且不小于50 mm。

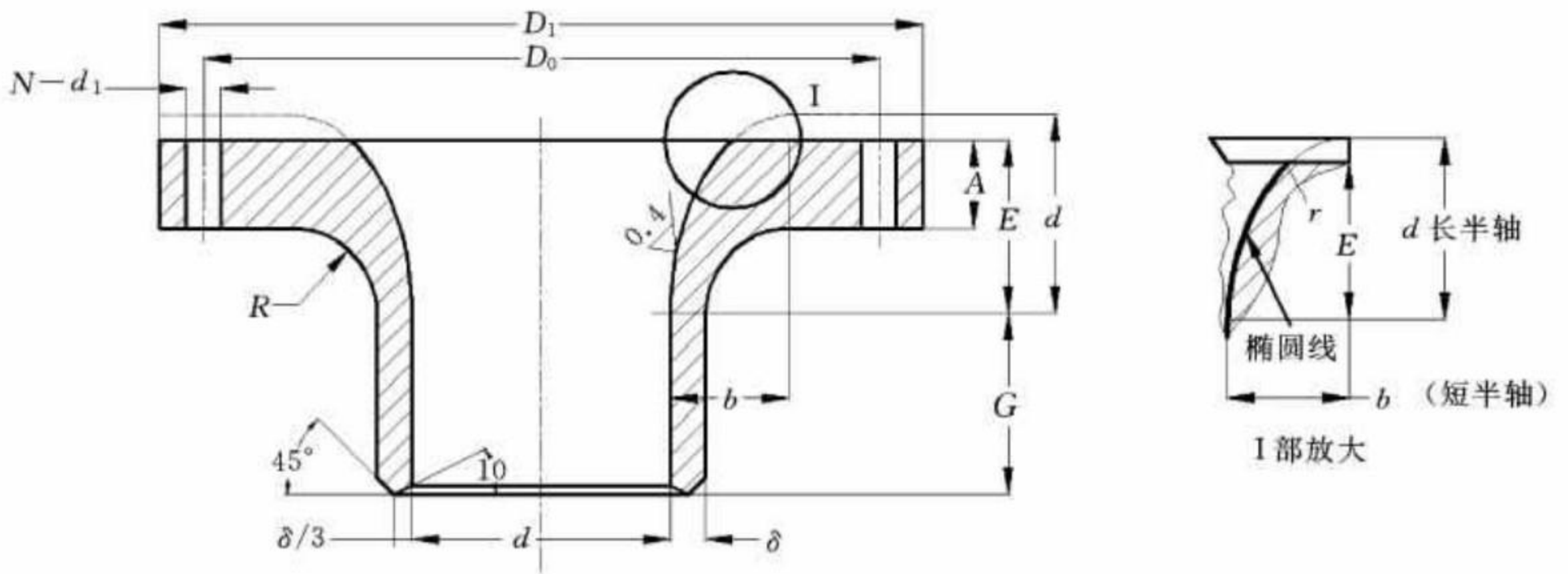


图 10-5 喷嘴结构图

表 10-1 喷嘴结构常见尺寸表

单位: mm

d	A	δ	b	E	r	G	R	D_1	D_0	N	d_1	容积流量监测范围/($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	
												最小	最大
3.18	11.10	6.35	2.29	3.07	0.25	11.10	5	108	80	4	12.5	0.028	0.057
4.76			3.30	4.60		11.89					12.5	0.057	0.113
6.35			4.32	6.15		12.70					0.113	0.226	
9.52	15.88		6.35	9.22	0.51	14.27	10	190	152	4	16.5	0.255	0.510
12.70			8.64	12.29	0.76	15.88					16.5	0.453	0.906
19.05			12.70	18.44	1.02	19.05					1.019	2.011	
25.40	23.80		17.02	24.61	1.27	22.22	12	228	190	8	20.5	1.756	3.597
34.92	25.40		23.37	33.83	1.78	27.00	15	280	242			3.370	6.768
50.80			7.95	33.78	49.22	2.54	38.10					24	7.165
63.50			9.52	42.42	61.52	3.30	47.62			34	11.243	22.373	
76.20	50.80	73.81	73.81	3.81	57.15	44	16.001	31.917					
101.60	28.58	11.12	67.82	98.42	5.08	76.20	60	342	298	28.603	57.206		
127.00	30.18	12.70	84.58	123.04	6.35	95.25	82	406	362	12	24.5	45.029	89.491
152.40	31.75		101.60	147.62	7.62	114.30	103	482	432			64.003	127.723

(2) 流量计算

对于空压机,末级冷凝水的容积流量按式(10-1)计算

$$Q_0 = 18.82Cd^2 \frac{T_{x1}}{p_{x1}} \sqrt{\frac{\Delta p p_b}{T_1}} \quad (10-1)$$

若空压机吸气压力等于试验处大气压力时,按(10-2)计算

$$Q_0 = 18.82Cd^2 T_{x1} \sqrt{\frac{\Delta p}{p_b T_1}} \quad (10-2)$$

式中: Q_0 ——末级冷凝水的容积流量, m^3/s ;

C ——喷嘴系数,按图 10-6 的规定从表 10-2 中选取;

d ——喷嘴直径, m ;

T_{x1} ——第 1 级吸气温度, K ;

p_{x1} ——第 1 级吸气压力, Pa ;

Δp ——喷嘴压差, Pa ;

p_b ——试验处的大气压力, Pa ;

T_1 ——喷嘴上游气体温度, K 。

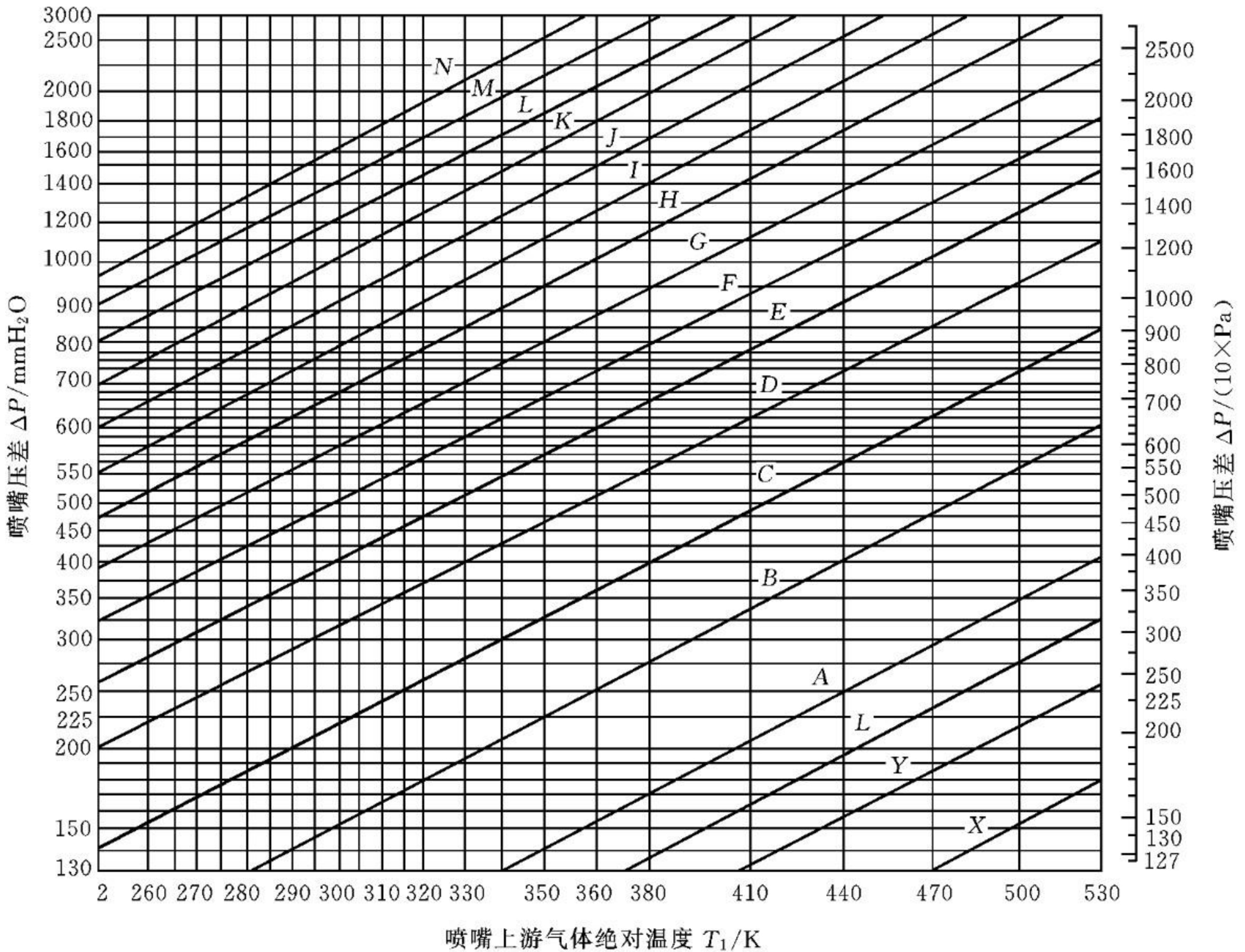


图 10-6 选择喷嘴系数特性线图

注:本图纵坐标的单位换算关系为 $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.806 \text{ Pa}$

表 10-2 喷嘴系数

特性线	喷嘴直径/mm													
	3.18	4.76	6.35	9.52	12.70	19.05	25.40	34.92	50.80	63.50	76.20	101.60	127.00	152.40
A	0.938	0.946	0.951	0.957	0.963	0.968	0.973	0.977	0.982	0.984	0.986	0.990	0.993	0.994
B	0.942	0.948	0.955	0.960	0.965	0.971	0.975	0.979	0.984	0.987	0.989	0.992	0.994	
C	0.944	0.952	0.959	0.964	0.968	0.974	0.978	0.981	0.986	0.990	0.991	0.994		
D	0.947	0.954	0.961	0.966	0.970	0.976	0.980	0.983	0.988	0.991	0.993			
E	0.950	0.957	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.985	0.990	0.992	0.994			
F	0.953	0.958	0.964	0.969	0.973	0.978	0.983	0.986	0.991	0.993				
G	0.956	0.960	0.966	0.970	0.974	0.979	0.984	0.988	0.992	0.994				
H	0.958	0.962	0.967	0.972	0.976	0.980	0.985		0.993					
I	0.959	0.964	0.968	0.974	0.978	0.982	0.986	0.989						
J	0.960	0.965	0.970	0.975	0.979	0.983	0.987	0.990	0.994					
K	0.961	0.966	0.971	0.976	0.980	0.984	0.988	0.991		0.995				
L	0.962	0.967	0.972	0.977	0.981	0.985	0.989	0.992						
M	0.963	0.968	0.973	0.978	0.982	0.986	0.990	0.993	0.995					
N	0.964	0.969	0.974	0.979	0.983	0.987	0.991	0.994						

10.2.5 转速测量

压缩机转速用转速计、光电测速仪或其他仪器测量,测量的相对误差应不大于 $\pm 0.2\%$ 。

10.2.6 功率测量

压缩机轴功率按下列方法测定:

①直接测定压缩机轴的输入转矩和转速,例如采用扭矩转速仪或直流测功仪,仪器相对误差应不大于 $\pm 1\%$;

②用校正过的直流电动机法测定电动机输出功率,然后乘以传动效率;

③用损耗分析法间接测定电动机输出功率,然后乘以传动效率。

为提高测定压缩机轴功率时的精度,原动机与压缩机应直联,其传动效率按如下规定选取:

当采用精密齿轮传动(每一级)时,传动效率取 0.98;

当采用皮带传动时,传动效率取 0.97。

10.2.7 冷却水流量测量

冷却水流量用经过校验、相对误差小于 $\pm 0.2\%$ 的流量计测量,或用同等精度的其他方法测量。

10.3 试验结果的计算

10.3.1 温度计算

水冷两级压缩机的标准进口冷却水温按式(10-3)计算。对满足一般用固定式往复式空气压缩机技术条件的,如 I 级凝水系数在 0.99~1.00 范围内,标准进口冷却水温可按简化式(10-4)计算。

$$(T_{w1}) = \left[\frac{(1 - [E])[T_{x1}] \frac{T_{p1}}{T_{x1}} + [T_{w1}](e^{[a]} - 1)}{[T_{x1}](e^{[a]} - [E])} (e^a - E) \frac{T_{x1}}{\lambda_{s1}} - T_{p1}(1 - E) \right] \frac{1}{e^a - 1} \quad (10-3)$$

$$(T_{w1}) = HT_{x1} - p_{x1} \left[2931.2 \left(H - I \frac{1 - \lambda_{s1}}{\lambda_{s1}} \right) - \frac{2881.2}{\lambda_{s1}} \right] \quad (10-4)$$

式中: λ_{s1} ——I 级凝水系数;

e ——自然对数的底;系数 H 和 I 的数值按表 10-3、10-4 查取。

$$\begin{aligned} E &= \frac{836 p_{x1}}{T_{x1} q_w}, & [E] &= \frac{836 [p_{x1}]}{[T_{x1}][q_w]} \\ a &= \frac{(1 - E)B}{Eq_w}, & [a] &= \frac{(1 - [E])B}{[E][q_w]} \\ B &= \frac{Eq_w}{1 - E} \ln \frac{T_{p1} - T_{w1} - E(T_{p1} - T_{x2})}{T_{x2} - T_{w1}} \end{aligned} \quad (10-5)$$

式中: p_{x1} ——压缩机第一级吸气压力,MPa;

$[T_{w1}]$ ——标准进口冷却水温度,K;

T_x ——级吸气温,下角标数字表示级别,K;

T_p ——级排气温,下角标数字表示级别,K;

T_{w1} ——进口冷却水温,K;

q_w ——压缩每立方米空气所需的冷却水质量,kg/m³;

注:加 $[]$ 表示规定工况下的相应参数。

表 10-3 H 系数

T_{p1}/T_{x1} B/H (4186.8J·m ⁻³ K ⁻¹)	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.3	1.31	1.32	1.33	1.35	1.40
0.30	1.1369	1.1427	1.1484	1.1542	1.156	1.1657	1.1715	1.1773	1.183	1.1946	1.2234
0.35	1.1226	1.1278	1.133	1.1383	1.1435	1.1487	1.154	1.1592	1.1644	1.1749	1.201
0.40	1.1093	1.1141	1.1188	1.1235	1.1283	1.133	1.1377	1.1425	1.1472	1.1566	1.1803
0.45	1.0971	1.1014	1.1057	1.1099	1.1142	1.1185	1.1128	1.127	1.1313	1.1399	1.1613
0.50	1.0859	1.0898	1.0936	1.0975	1.1013	1.1052	1.109	1.1129	1.1167	1.1245	1.1437
0.52	1.0817	1.0854	1.0891	1.0928	1.0965	1.1002	1.1039	1.1076	1.1113	1.1186	1.1371

B/H ($4186.8\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\text{K}^{-1}$)	$T_{\text{pl}}/T_{\text{x1}}$										
	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.3	1.31	1.32	1.33	1.35	1.40
0.54	1.0776	1.0811	1.0847	1.0882	1.0918	1.0953	1.0989	1.1024	1.106	1.113	1.1308
0.56	1.0737	1.0771	1.0805	1.0839	1.0873	1.0907	1.0941	1.0974	1.1008	1.1076	1.1246
0.58	1.0669	1.0731	1.0764	1.0796	1.0829	1.0861	1.0894	1.0927	1.0959	1.1024	1.1189
0.60	1.0662	1.0693	1.0724	1.0756	1.0787	1.0818	1.0849	1.088	1.0912	1.0974	1.113
0.62	1.0627	1.0657	1.0687	1.0716	1.0746	1.0776	1.0806	1.0836	1.0866	1.0925	1.1075
0.64	1.0593	1.0621	1.065	1.0679	1.0707	1.0736	1.0764	1.0793	1.0822	1.0879	1.1022
0.66	1.056	1.0587	1.0615	1.0642	1.067	1.0697	1.0724	1.0752	1.0779	1.0834	1.097
0.68	1.0529	1.0555	1.0581	1.0607	1.0633	1.066	1.0686	1.0712	1.0738	1.079	1.0921
0.70	1.0498	1.0523	1.0548	1.0573	1.0598	1.0624	1.0649	1.0674	1.0699	1.0749	1.0874
0.72	1.0469	1.0493	1.0517	1.0514	1.0565	1.0589	1.0613	1.0637	1.0661	1.07	1.0828
0.74	1.0441	1.0464	1.0487	1.051	1.0533	1.0556	1.0579	1.0601	1.0624	1.067	1.0785
0.76	1.0414	1.0436	1.0458	1.048	1.0502	1.0524	1.0546	1.0567	1.0589	1.0633	1.0743
0.78	1.0388	1.0409	1.043	1.0451	1.0472	1.0493	1.0514	1.0535	1.0556	1.0597	1.0702
0.80	1.0363	1.0383	1.0403	1.0423	1.0443	1.0463	1.0483	1.0503	1.0523	1.0563	1.0663
0.85	1.0305	1.0323	1.00314	1.0359	1.0377	1.0394	1.0412	1.043	1.0448	1.0484	1.0573
0.90	1.0253	1.0269	1.0285	1.0301	1.0317	1.0333	1.0348	1.0364	1.038	1.0412	1.0491

表 10-4 I 系数

B/H ($4186.8\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\text{K}^{-1}$)	$T_{\text{pl}}/T_{\text{x1}}$										
	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.3	1.31	1.32	1.33	1.35	1.40
0.30	0.7063	0.7119	0.7176	0.7233	0.7289	0.7346	0.7402	0.7459	0.7515	0.7628	0.7911
0.35	0.5510	0.5555	0.5599	0.5613	0.5687	0.5731	0.5775	0.5819	0.5863	0.5951	0.6172
0.40	0.4380	0.4415	0.4450	0.4485	0.4520	0.4555	0.4590	0.4625	0.4660	0.4730	0.4905
0.45	0.3529	0.3558	0.3586	0.3614	0.3642	0.3671	0.3699	0.3727	0.3755	0.3812	0.3953
0.50	0.2874	0.2897	0.2920	0.2943	0.2966	0.2989	0.3012	0.3035	0.3058	0.3104	0.3219
0.52	0.2654	0.2675	0.2696	0.2718	0.2739	0.2761	0.2781	0.2802	0.2824	0.2866	0.2972
0.54	0.2453	0.2473	0.2493	0.2512	0.2532	0.2551	0.2571	0.2591	0.2610	0.2650	0.2748
0.56	0.2270	0.2288	0.2307	0.2325	0.2343	0.2361	0.2379	0.2397	0.2416	0.2432	0.2543

B/I ($4186.8\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\text{K}^{-1}$)	T_{p1}/T_{x1}										
	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.3	1.31	1.32	1.33	1.35	1.40
0.58	0.2103	0.2120	0.2137	0.2154	0.2170	0.2187	0.2204	0.2221	0.2238	0.2271	0.2355
0.60	0.1950	0.1965	0.1981	0.1997	0.2012	0.2028	0.2043	0.2059	0.2075	0.2106	0.2184
0.62	0.1809	0.1824	0.1838	0.1853	0.1867	0.1882	0.1896	0.1911	0.1925	0.1954	0.2026
0.64	0.1680	0.1694	0.1707	0.1721	0.1734	0.1747	0.1761	0.1774	0.1788	0.1815	0.1882
0.66	0.1561	0.1574	0.1586	0.1599	0.1611	0.1624	0.1636	0.1649	0.1661	0.1686	0.1749
0.68	0.1452	0.1463	0.1475	0.1487	0.1498	0.1510	0.1522	0.1533	0.1545	0.1568	0.1626
0.70	0.1351	0.1362	0.1372	0.1383	0.1394	0.1405	0.1416	0.1427	0.1437	0.1459	0.1513
0.72	0.1258	0.1268	0.1278	0.1288	0.1298	0.1308	0.1318	0.1328	0.1338	0.1358	0.1408
0.74	0.1171	0.1181	0.1190	0.1199	0.1209	0.1218	0.1227	0.1237	0.1246	0.1265	0.1312
0.76	0.1091	0.1100	0.1109	0.1118	0.1126	0.1135	0.1144	0.1153	0.1161	0.1179	0.1222
0.78	0.1017	0.1026	0.1034	0.1042	0.1050	0.1058	0.1066	0.1074	0.1083	0.1099	0.1140
0.80	0.0949	0.0956	0.0964	0.0972	0.0979	0.0987	0.0994	0.1002	0.1010	0.1025	0.1063
0.85	0.0798	0.0805	0.0811	0.0817	0.0824	0.0830	0.0837	0.0843	0.0849	0.0862	0.0894
0.90	0.0673	0.0678	0.0684	0.0689	0.0694	0.0700	0.0705	0.0711	0.0716	0.0727	0.0754

风冷式两级压缩机的标准吸气温度按式(10-6)计算

$$(T_{x1}) = \frac{[T_{x1}]}{[p_{x1}]} p_{x1} \quad (10-6)$$

单级和没有中间冷却的两级压缩机中,水冷式的标准进口冷却水温度按式(10-7)计算;
风冷式的标准吸气温度按式(10-8)计算

$$(T_{w1}) = T_{x1} - [T_{x1}] + [T_{w1}] \quad (10-7)$$

$$(T_{x1}) = [T_{x1}] \quad (10-8)$$

10.3.2 流量计算

(1)计算规定工况下的容积流量

按式(10-9)计算计入冷凝水的压缩机容积流量

$$Q_1 = Q_0 + \frac{q_{mcd}}{\rho_{vs1}} \times \frac{p_{vs1}}{p_{x1}} \quad (10-9)$$

式中: Q_1 ——计入冷凝水的压缩机容积流量, m^3/min ;

q_{mcd} ——压缩机吸气口与喷嘴间收集到的单位时间内的冷凝水质量, kg/min ;

p_{vs1} ——I级吸气温度下的饱和水蒸气压力, MPa ;

ρ_{vs1} ——I级吸气温度下的饱和水蒸气密度, kg/m^3 。

(2) 转速修正后的容积流量

当压缩机试验时的转速与规定转速不同时,按式(10-10)修正。

$$[Q] = Q_1 \frac{[n]}{n} \quad (10-10)$$

式中: $[Q]$ ——规定工况下压缩机容积流量, m^3/min ;
 $[n]$ ——规定工况下压缩机试验时的转速, r/min ;
 n ——压缩机试验时的转速, r/min 。

10.3.3 功率计算

1. 规定工况下的压缩机轴功率的计算

(1) 根据实测值计算轴功率

当直接测定压缩机输入转矩和转速时,按时(10-11)计算轴功率。

$$P_z = \frac{M_\tau n}{9549} \quad (10-11)$$

式中: P_z ——压缩机轴功率, kW ;
 M_τ ——压缩机轴输入的平均扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

(2) 由电动机输出功率计算轴功率

$$P_z = P_{d2} \eta_c \quad (10-12)$$

式中: P_{d2} ——电动机输出功率, kW ;
 η_c ——电动机轴与压缩机轴间的传动效率。

(3) 规定工况下的轴功率计算

按式(10-13)计算规定工况下压缩机的轴功率

$$[P_z] = \frac{[P_{s1}] + [P_{s2}]}{P_{s1} + P_{s2}} P_z \quad (10-13)$$

式中: P_s ——级等熵功率, 右下角标数字表示级别, kW 。

2. 压缩机级等熵功率的计算

(1) 各级气体质量流量的计算

$$q_{mi} = Q_0 \rho_p + q_{\text{mcd}, i} \quad (10-14)$$

当规定工况符合 GB/T 13279 的规定时,有

$$[q_{mi}] = [Q] [\rho_p] \quad (10-15)$$

式中: q_{mi} ——第 i 级的气体质量流量, kg/min ;
 $q_{\text{mcd}, i}$ ——第 i 级吸气口之后实测的单位时间的冷凝水质量, kg/min ;
 ρ_p ——通过喷嘴气体换算到压缩机吸气状态下的密度, kg/m^3 。

密度 ρ_p 按式(10-16)、式(10-17)计算

$$\rho_p = \frac{10^6 P_{x1}}{RT_{x1}} \left[1 - \left(1 - \frac{18}{M} \right) \varphi_p \frac{P_{\text{vs1}}}{P_{x1}} \right] \quad (10-16)$$

当工况符合 GB/T 13279 的规定时,有

$$[\rho_p] = \frac{10^6 \times [P_{x1}]}{R[T_{x1}]} \quad (10-17)$$

式中： R ——干空气的气体常数， $R=287.1\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ；

M ——干空气分子量， $M=28.96$ ；

φ_p ——通过喷嘴气体换算到压缩机吸气状态下的相对蒸汽压。

(2) 计算规定工况下各级参数

规定工况下各级参数按式(10-18)~式(10-22)计算

$$[T_{x2}] = \frac{T_{x2}\lambda_{s1}}{T_{x1}} [T_{x1}] \quad (10-18)$$

$$[P_{p1}] = \frac{P_{p1}}{P_{x1}} [T_{x1}] \quad (10-19)$$

$$[P_{x2}] = \frac{P_{x2}}{P_{x1}} [P_{x1}] \quad (10-20)$$

$$[T_{p1}] = \frac{T_{p1}}{T_{x1}} [T_{x1}] \quad (10-21)$$

$$[T_{p2}] = \frac{T_{p2}}{T_{x2}} [T_{x2}] \quad (10-22)$$

(3) 压缩机级等熵功率计算

压缩机级等熵功率按式(10-23)、式(10-24)计算

$$P_{si} = 1.666 \times 10^{-5} q_{mi} \frac{k}{k-1} R_i T_{xi} \left[\left(\frac{P_{pi}}{P_{xi}} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] \quad (10-23)$$

$$[P_{si}] = 1.666 \times 10^{-5} [q_{mi}] \frac{k}{k-1} R_i [T_{xi}] \left[\left(\frac{[P_{pi}]}{[P_{xi}]} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] \quad (10-24)$$

式中： P_{si} ——第*i*级的等熵功率，kW；

k ——级平均温度和平均压力下的等熵指数，对于空气 $k=1.40$ ；

R_i ——第*i*级吸气状态的气体常数， $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ，湿空气可按式(10-25)计算

$$R_i = \frac{287.1}{1 - 0.378 \varphi_{xi} \frac{p_{vsi}}{p_{xi}}} \quad (10-25)$$

式中： φ_{xi} ——第*i*级吸气的相对蒸汽压；

p_{vsi} ——第*i*级吸气温度的饱和水蒸气压力，MPa；

p_{xi} ——第*i*级吸气压力，MPa。

3. 计算规定工况下压缩机比功率

按式(10-26)计算规定工况下压缩机的比功率

$$[\omega] = \frac{[P_z]}{[Q]} \quad (10-26)$$

式中： $[\omega]$ ——规定工况下压缩机比功率， $\text{kW}/(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$ ；

$[P_z]$ ——按式(10-13)计算得的规定工况下压缩机轴功率，kW；

$[Q]$ ——按式(10-10)计算得的规定工况下压缩机容积流量， m^3/min 。

10.4 示功图的采集与分析

10.4.1 示功图的形式

示功图通常有以下三种形式：

- ① $p-s$ 图(压力-行程图),反映气缸内压力与活塞行程间的关系;
- ② $p-\alpha$ 图(压力-转角图),反映气缸内压力与曲轴转角间的关系;
- ③ $p-t$ 图(压力-时间图),反映气缸内压力和时间的关系。

第一种示功图,曲线是封闭的,计算与分析都很方便;后两种示功图,曲线是展开的,但可用分析法或作图法转换成封闭曲线。

10.4.2 示功器类型与使用

示功器(或指示器)是用来采集压缩机示功图的仪器,常用的有机械式与电子式两种。

(1)机械式示功器

机械式示功器可分为螺旋弹簧示功器和杆形弹簧示功器。

(2)电子式示功器

电子式示功器主要由传感器、放大器和记录器组成。其工作原理如图 10-7 所示。气缸内压力、活塞行程或曲轴转角的变化通过传感器转换成电的模拟信号,信号经电压放大或电流放大与示波器、记录仪或打印机等连接起来,描绘出压缩机的示功图。

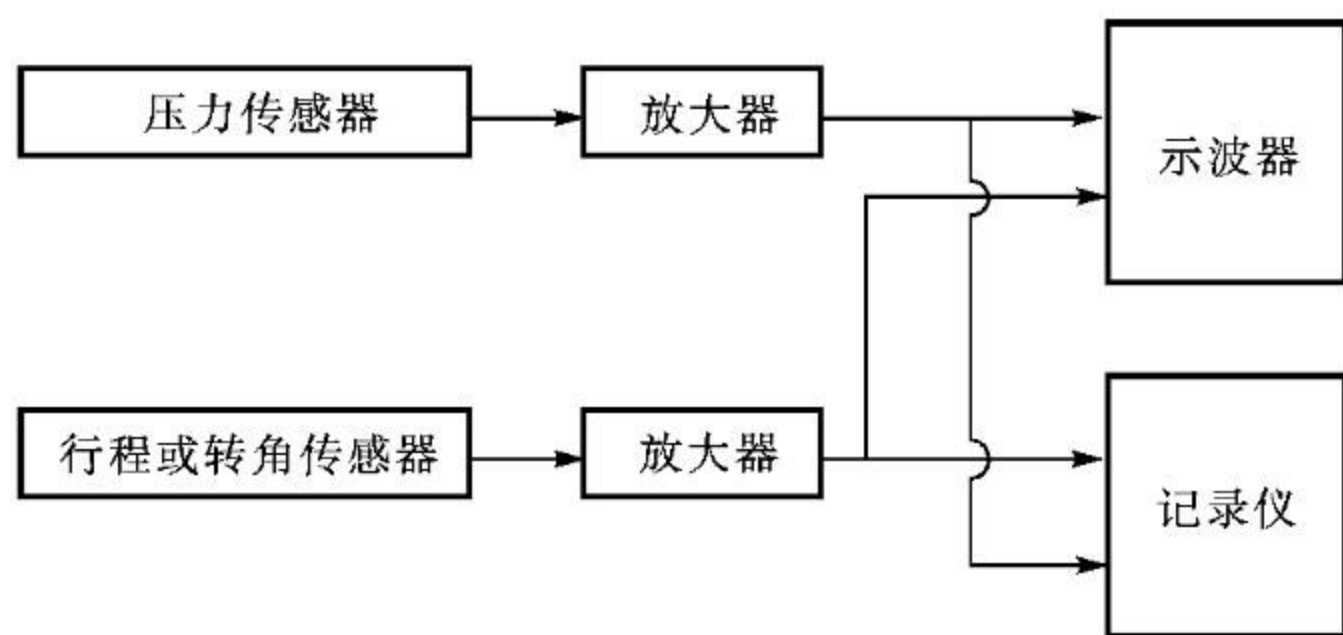


图 10-7 电子式示功器方框原理图

电子式示功器依传感器的不同而有多种,这里简要介绍电阻应变式。

电阻应变式示功器由电阻式压力传感器、放大器和示波器三部分组成。常用的国产电阻应变式压力传感器有 BPR-2 型、BPR-3 型,与 Y6D-3A 型动态应变仪、转角变换器及 SC14 或 SC16 型光线示波器配套,可获得展开式示功图。在使用压力传感器时应注意以下几点。

①选型。气缸压力不应超出传感器允许的范围,也不要高压传感器测量低压。对于一般动力用空压机,可选择 BPR-2/10 传感器。

②安装。压力传感器与气缸测功孔间最好接一个三通阀,可以不停车拆装传感器,便于用大气压力或已知压力标定。

③标定。用标准微应变标定。首先应知道压力传感器的灵敏度系数 K 值。它是静标定

时获得的,表示单位压力所产生的微应变,可作为被测压力信号的比较标准。在录取示功图前,先用应变仪向示波器发出标准微应变的信号 A,如图 10-8 所示。这个信号的高度代表标准压力值 $P_n = \frac{A}{K}$ 。用此压力与示功图对比,就可知道示功图上各点的压力值。

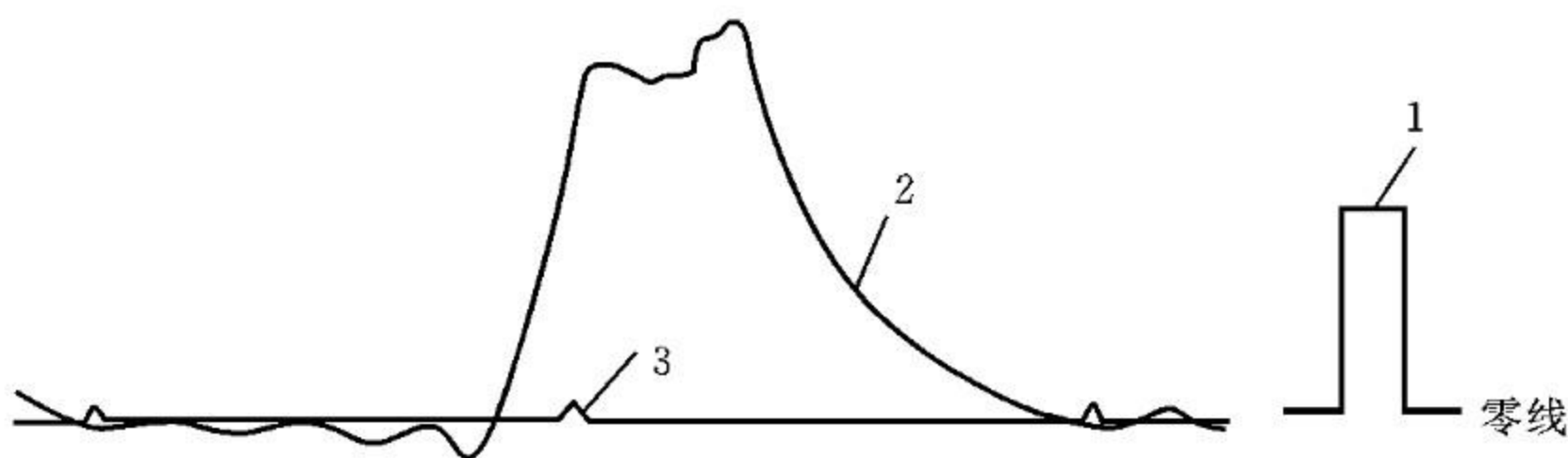


图 10-8 示功图及标定信号

1—标定信号;2—气缸压力变化曲线;3—活塞止点信号

用已知压力标定,观察在已知压力下示波器显示的高度,以此高度与示功图对比,同样可得到示功图上各点的压力值。这是简单而常用的方法。

10.4.3 示功图的整理、计算与分析

展开式示功图转换为封闭式示功图。对于横坐标为转角的示功图,由于转角 $\alpha = \omega t$,且匀速运转时角速度 ω 是常数,故 $p-\alpha$ 图与 $p-t$ 图本质上是一样的,仅差一个常数。为了得到以压力 p 为纵坐标、行程 s 为横坐标的封闭示功图,首先应将 $p-\alpha$ 展开图转变为 $p-s$ 展开图。

根据活塞式压缩机动力学特性知道活塞的位移 x 与转角 α 之间有一定的关系,可以根据不同的转角算出相应的位移值,从而可作出相应的 $p-s$ 展开图。也可以利用布瑞克司(Brix)近似作图法,找到转角在行程坐标上对应的位置,从而可作出相应的 $p-s$ 展开图。

根据 $p-s$ 展开图(图 10-9),利用过内死点的垂线为对称线,可得到封闭的 $p-s$ 示功图。

(1) 平均指示压力 p_i

$$p_i = K_p h_i \quad \text{Pa} \quad (10-27)$$

式中: K_p ——示功图的压力比例, Pa/cm;

h_i ——(即 F/L) 示功图平均高度, cm;

F ——示功图面积,可用求积仪测出, cm^2 ;

L ——示功图长度, cm。

(2) 指示功

$$P_i = \frac{FK_p K_v}{60 \times 10^3} \quad \text{kW} \quad (10-28)$$

式中: K_v ——(即 $K_s A_n$) 示功图容积比例, $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} / \text{cm}$;

K_s ——示功图行程比例, m/cm;

A ——活塞工作面积, m^2 ;

n ——压缩机工作转速, r/min。

示功图 10-10 上的小面积 $F_{吸}$ 、 $F_{排}$ 表示消耗在进、排气阀上的功率。用指示功率损失系数 ΔC 表示气阀功率损失的相对值

$$\Delta C = (F_{吸} + F_{排}) / F_{名义}$$

容积系数 λ_v 是吸入线长度 l' 与活塞行程长度 l 之比(如图 10-10 所示)。

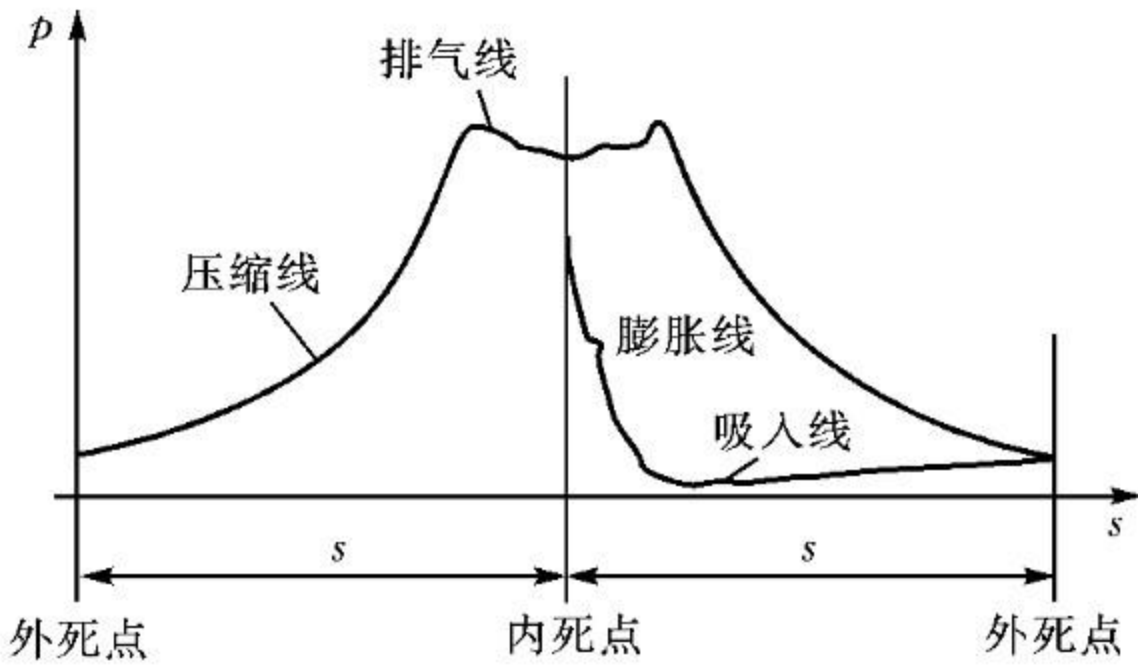


图 10-9 $p-s$ 展开图

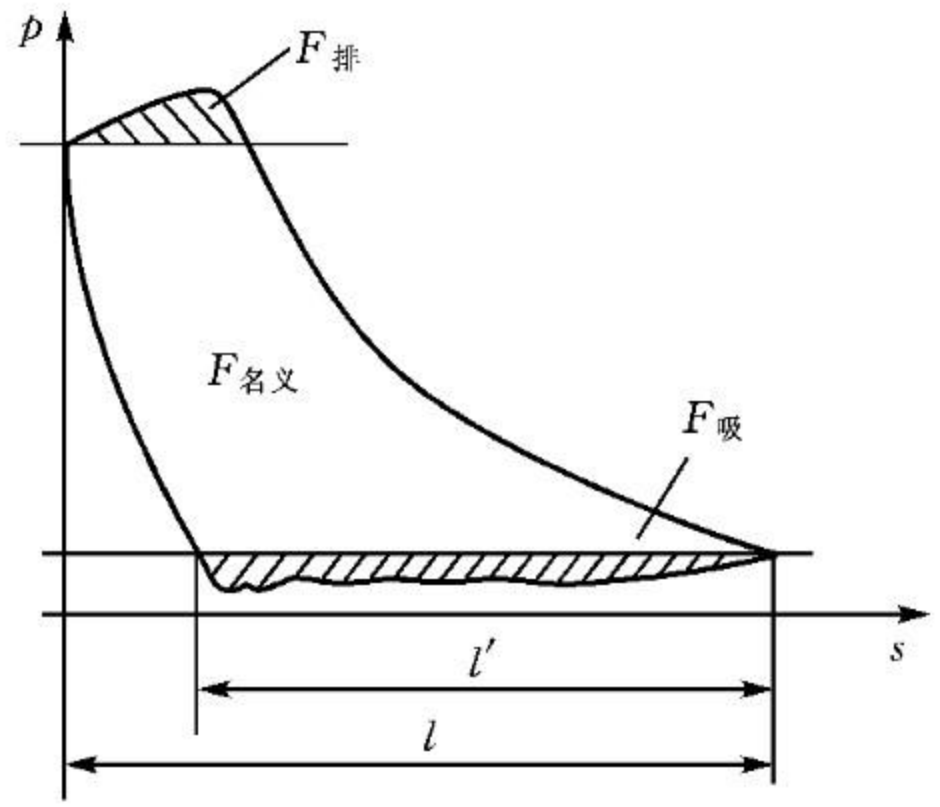


图 10-10 气阀功率损失示意图

10.5 压缩机性能测定实验

DF网站
www.gqpdf.com
原创

10.5.1 实验目的

- ①基本掌握测定压缩机容积流量、吸排气压力、温度、轴功率、指示功率等的方法,加深对压缩机主要部件结构及工作性能的理解。
- ②掌握测定压缩机示功图的基本方法。
- ③分析比较理论值与实际测定值的结果。
- ④分析示功图和容积流量的变化及压缩机的运行情况。

10.5.2 实验内容

测定压缩机容积流量、吸排气压力、温度、轴功率、指示功率等性能指标,用电子式示功器测定压缩机的示功图。

10.5.3 实验装置及主要步骤

测试装置见图 10-1 所示,示功图测试装置框图见图 10-11。主要步骤:

- ①检查实验装置是否完备,各仪器接线是否正确。
- ②接通动态电阻应变仪、阴极射线示波器、光线示波器的电源,预热、并对仪器进行调试待用。
- ③打开气缸冷却水进出水阀,确保冷却系统畅通。
- ④盘车后,启动压缩机,待运转正常后,接通瓦特表开关,使阴极示波器出现波形、光线示波器显示信号。
- ⑤用压力调节阀调节缓冲罐压力,待压力稳定后开始测示功图。
- ⑥实验结束,关闭压缩机及仪器电源。剪下示功图,并记录当时的大气压及室温,清理现场。

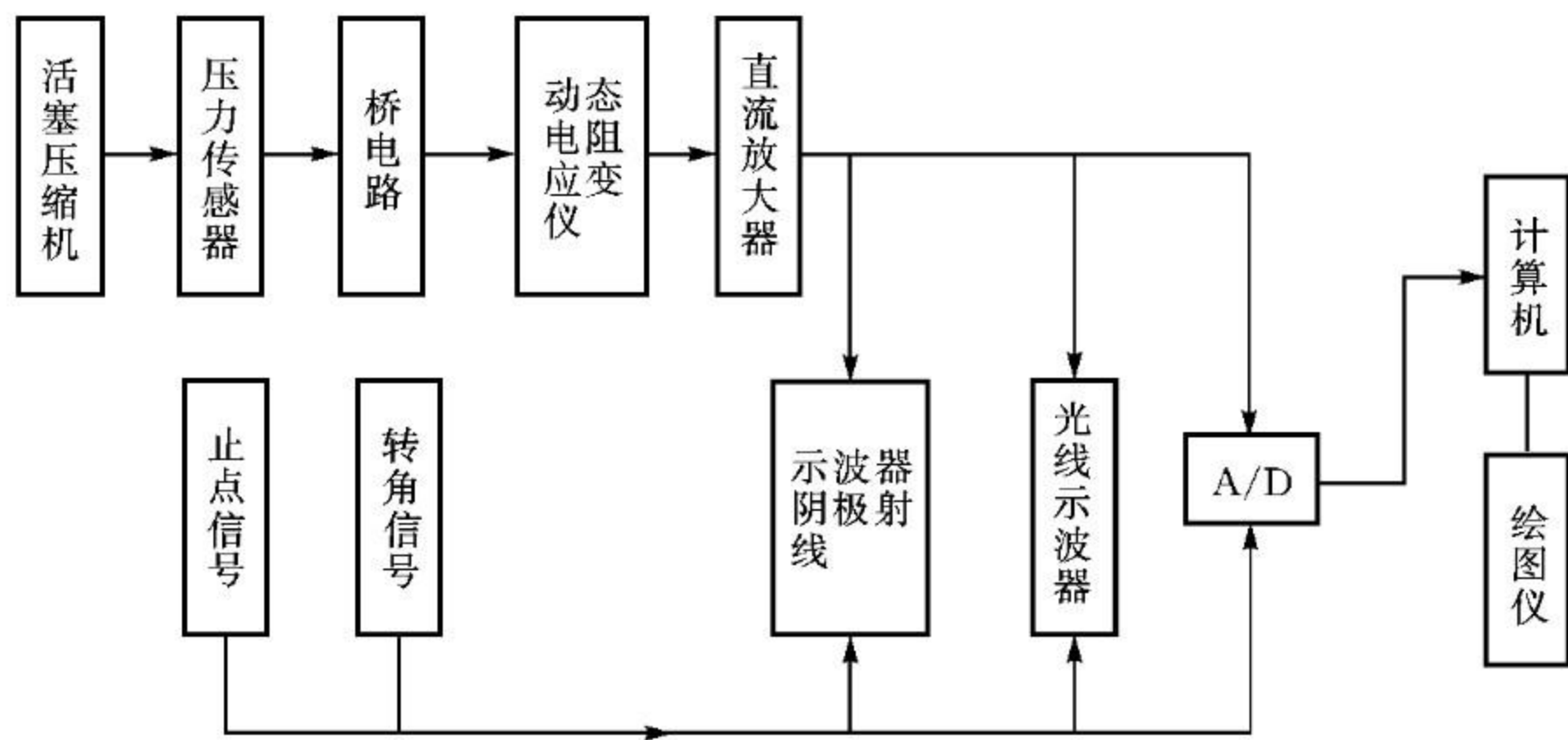


图 10 - 11 示功图测试装置图

10.5.4 实验注意事项

① 实验前必须了解压缩机的结构、型号、主要技术性能参数及测试装置流程,并仔细检查装置中仪器是否完整无损,开机必须遵照压缩机操作规程。

② 压缩机运转后,至少运转 30 min,并使压力保持稳定后,才可开始测试。

③ 轴功率若采用瓦特表法测定,即测定电机输入功率,然后考虑电机效率及传动效率,最后推算出轴功率。若采用扭矩-转速测功仪在压缩机主轴直接测定轴功率则更方便。



第 11 章 换热器性能测试实验

本实验以板式换热器中的螺旋板换热器、管壳式换热器中的光滑管换热器和波纹管换热器为对象,通过进行传热与阻力性能对比,使学生更深刻地了解换热器结构对性能的影响,掌握换热器的测试技术。

实验采用变压器油和水为工作流体,以便更接近工程实际情况。



11.1 实验目的

- 了解螺旋板换热器、光滑管管壳式换热器、波纹管管壳式换热器的结构特点以及结构对性能的影响。
- 掌握换热器性能测试的原理和方法。
- 掌握测试装置中各种仪器,仪表的使用。

11.2 实验内容

1. 螺旋板换热器性能的测试

固定冷流体的流量,保持冷流体的雷诺数 Re 基本不变。在稳定工况下,通过计算机自动采集数据,并绘制出顺流及逆流状态下热流体雷诺数 Re 与传热系数 K 的关系曲线、热流体雷诺数 Re 与热流体压力降 ΔP_h 的关系曲线以及热流体压力降 ΔP_h 与 K 的关系曲线。

2. 光滑管及波纹管管壳式换热器性能的测试

热流体走管程,冷流体走壳程,保持壳程流体雷诺数 Re 基本不变。在稳定工况下,通过计算机自动采集数据,并绘制出顺流及逆流状态下热流体雷诺数 Re 与传热系数 K 的关系曲线、热流体雷诺数 Re 与热流体压力降 ΔP_h 的关系曲线以及热流体压力降 ΔP_h 与 K 的关系曲线。

3. 三台换热器综合性能对比

比较三台换热器的传热与阻力性能曲线,评价它们的综合性能。

11.3 实验装置

试验装置示意图如图 11-1 所示。

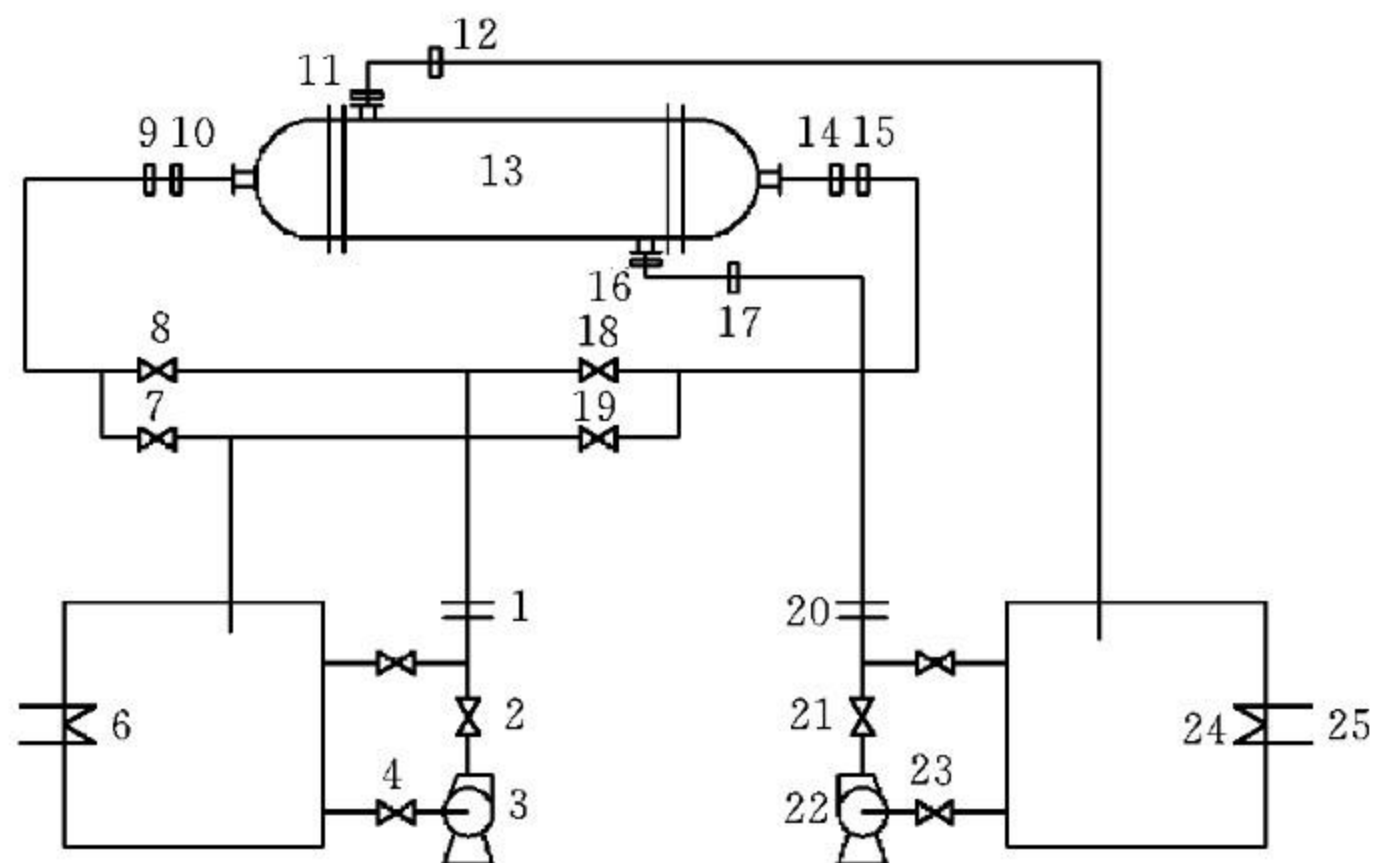


图 11-1 换热器测试装置图

6—油储罐；5, 25—加热器；2, 4, 7, 8, 18, 19, 21, 23—阀门；24—水储罐；
1, 20—流量计；9, 12, 15, 17—温度传感器；10, 11, 14, 16—压力传感器；
13—测试换热器；3, 22—泵

11.4 注意事项

① A/D 接口板采用的模拟开关是 COMS 电路, 容易因静电击穿或过流造成损坏, 所以在安装或用手接触时, 应事先将人体所带静电荷对地释放, 同时应避免直接用手接触器件管脚, 以免损害器件。

② 禁止带电插拔接口卡。设置接口卡开关、跨接套和安装接口电缆时均应在停电状态下进行。

③ 当模入通道不全部使用时, 应将不使用的通道就近对地短接, 不要悬空, 避免造成通道间串扰和损坏通道。

④ 为保证安全及采集精度, 应确保系统地线(计算机及外接仪器机壳)接地良好。

⑤ 压差式流量计三阀组的主要作用是开关仪表时防止差压机或变送器单边受力而损坏检测元件。开车的步骤是先开平衡阀(中间阀), 再开低压阀(左侧阀), 再关平衡阀, 最后开高压阀(右侧阀)。停车反之。

⑥ 将每个检测点的温度、压力、流量恒定在某一数值附近并保持 5 min, 达到热平衡状态再采集数据。



第三篇

附录 常用参考资料选编



附录 A 钢制压力容器设计常用标准

本附录给出中国钢制压力容器设计常用的法规、国家标准、化工行业标准和机械行业标准。随着科学研究的深入和生产实践经验的积累,这些规范标准会不断得到修改、补充和更新,设计师应关注规范标准的变动情况,采用最新的规范标准。

(1) 法规

国发[1982]22号 锅炉压力容器安全监察暂行条例
劳人锅[1982]6号 锅炉压力容器安全监察暂行条例实施细则
质技监局锅发[1999]154号 压力容器安全技术监察规程
劳部发[1993]370号 超高压容器安全监察规程(试行)

(2) 设计、制造和检验标准

GB 150 钢制压力容器
GB 151 管壳式换热器
GB 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸
GB 986 埋弧焊缝坡口的基本形式与尺寸
GB 12337 钢制球形储罐
GB 16409 板式换热器
GB/T 324 焊缝符号表示法
GB/T 9019 压力容器公称直径
GB/T 15386 空冷式换热器
GB/T 17261 钢制球形储罐形式与基本参数
HG 20580~20585 钢制化工容器设计、材料、强度、结构和制造
HG/T 5-1571~1580 普通碳素钢和低合金钢储罐标准系列
HG/T 2123 搅拌器形式及主要参数
HG/T 20569 机械搅拌设备
JB 2536 压力容器油漆、包装和运输
JB 3356 低温液体容器容积和参数
JB 4708 承压设备焊接工艺评定
JB 4710 钢制塔式容器
JB 4730 承压设备无损检测
JB 4731 钢制卧式容器
JB 4732 钢制压力容器——分析设计标准
JB 4744 钢制压力容器产品焊接试板的力学性能试验
JB/T 4709 钢制压力容器焊接规程
JB/T 4711 压力容器涂敷和运输包装
JB/T 4714 浮头式换热器和冷凝器形式与基本参数



JB/T 4715 固定管板式换热器形式与基本参数
JB/T 4716 立式热虹吸式重沸器形式与基本参数
JB/T 4717 U形管式换热器形式与基本参数
JB/T 4722 管壳式换热器用螺纹换热管基本参数与技术条件
JB/T 4723 不可拆式螺旋板换热器形式与基本参数
JB/T 4735 钢制焊接常压容器
JB/T 4740 空冷式换热器形式与基本参数
JB/T 4734 铝制焊接容器
JB/T 4745 钛制压力容器
JB/T 4750 制冷装置用压力容器
JB/T 4751 螺旋板式换热器
JB/T 4780 液化天然气罐式集装箱

(3) 零部件标准

GB 38 螺栓技术条件
GB 41 I型六角螺母——C级
GB 61 螺母技术条件
GB 567 拱形金属爆破片技术条件
GB 901 等长双头螺柱
GB 1237 紧固件标记方法
GB 6170 I型六角螺母——A级和B级
GB 16749 压力容器波形膨胀节
GB/T 1168 螺柱技术条件
GB/T 5780 六角头螺栓——C级
GB/T 5782 六角头螺栓——A级和B级
GB/T 12241 安全阀一般要求
GB/T 12242 安全阀性能试验方法
GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
GB/T 13402 大直径碳钢管法兰
GB/T 13403 大直径碳钢管法兰用垫片
GB/T 13404 管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片
GB/T 12353 拱形金属爆破片装置分类与安装尺寸
GB/T 14566 正拱形金属爆破片形式与参数
GB/T 14567 反拱形金属爆破片形式与参数
GB/T 14568 开缝形金属爆破片形式与参数
HG 20592~20635 钢制管法兰、垫片、紧固件
HG 21506 补强圈
HG 21514 碳素钢、低合金钢人孔和手孔类型与技术条件
HG 21515~21536 容器人孔和手孔
HG 21537 填料箱



HG 21550 防霜液面计

HGJ 501 视镜

HGJ 502 带颈视镜

HGJ 518 衬里视镜

HG/T 21588 玻璃板液面计标准系列及技术条件

HG/T 21589 透光式玻璃板液面计

HG/T 21590 反射式玻璃板液面计

HG/T 21591 视镜式玻璃板液面计

HG/T 21592 玻璃管液面计标准系列及技术条件

JB 576 碟形封头

JB 579~592 人孔和手孔

JB 4700 压力容器法兰分类与技术条件

JB 4701 甲型平焊法兰

JB 4702 乙型平焊法兰

JB 4703 长颈对焊法兰

JB 4704 非金属软垫片

JB 4705 缠绕垫片

JB 4706 金属包垫片

JB 4707 等长双头螺栓

JB 4721 外头盖侧法兰

JB/T 4712 鞍式支座

JB/T 4713 腿式支座

JB/T 4718 管壳式换热器用金属包垫片

JB/T 4719 管壳式换热器用缠绕垫片

JB/T 4720 管壳式换热器用非金属垫片

JB/T 4724 支承式支座

JB/T 4725 耳式支座

JB/T 4736 补强圈

JB/T 4076 钢制压力容器用封头

(4)材料标准

GB 3531 低温压力容器用低合金钢钢板

GB 5310 高压锅炉用无缝钢管

GB 6479 化肥设备用高压无缝钢管

GB 6654 压力容器用钢板

GB 9948 石油裂化用无缝钢管

GB 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管

GB/T 699 优质碳素结构钢技术条件

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 912 碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带

GB/T 1220 不锈钢棒
GB/T 1591 低合金高强度结构钢
GB/T 3077 合金结构钢技术条件
GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带
GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板
GB/T 4237 不锈钢热轧钢板
GB/T 4238 耐热钢板
GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
GB/T 8165 不锈钢复合钢板
GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
JB 4726 压力容器用碳素钢和低合金钢锻件
JB 4727 低温压力容器用碳素钢和低合金钢锻件
JB 4728 压力容器用不锈钢锻件
JB 4733 压力容器用爆炸不锈钢复合钢板

附录 B 钢板、钢管、锻件的许用应力一览表

表 B-1 钢板许用应力

钢号	钢板标准	使用状态	厚度/mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力/MPa															
				σ_b /MPa	σ_s /MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
碳素钢板																					
Q235-B	GB 912	热轧	3~4	375	235	113	113	113	105	94	86	77	—	—	—	—	—	—	—	—	
	GB 3274		4.5~16	375	235	113	113	105	94	86	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			>16~40	375	225	113	107	99	91	83	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Q235-C	GB 912	热轧	3~4	375	235	125	125	116	104	95	86	79	—	—	—	—	—	—	—	—	
	GB 3274		4.5~16	375	235	125	125	116	104	95	86	79	—	—	—	—	—	—	—	—	
			>16~40	375	225	125	119	110	101	92	83	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20R	GB 6654	热轧,正火	6~16	400	245	133	132	123	110	101	92	86	86	83	61	41	—	—	—	—	
			>16~36	400	235	133	126	116	104	95	86	79	79	78	61	41	—	—	—	—	
			>36~60	400	225	133	126	110	101	92	83	77	77	75	61	41	—	—	—	—	
			>60~100	390	205	128	115	103	92	84	77	71	71	68	61	41	—	—	—	—	
低合金钢板																					
16MnR	GB 6654	热轧,正火	6~16	510	345	170	170	170	156	144	134	125	93	66	43	—	—	—	—	—	
			>16~36	490	325	163	163	159	147	134	125	119	119	93	66	43	—	—	—	—	
			>36~60	470	305	157	157	150	138	125	116	109	109	93	66	43	—	—	—	—	
			>60~10	460	285	153	150	141	128	116	109	103	93	66	43	—	—	—	—	—	
			>100~120	450	275	150	147	138	125	113	106	100	100	93	66	43	—	—	—	—	

在下列温度(°C)下的许用应力/MPa

钢号	钢板标准	使用状态	厚度/mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																
				σ_b /MPa	σ_s /MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	
低合金钢板																						
16MnDR	GB 3531	正火	6~16	490	315	163	163	163	156	144	131	122	—	—	—	—	—	—	—	—		
				470	295	157	156	147	134	122	113	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				450	275	150	147	138	125	113	106	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				450	255	147	138	128	116	106	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
钢号	钢板标准	使用状态	厚度/mm	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	600	625	650	675	
高合金钢板																						
0Cr13Al	GB 4237	退火	2~15	118	105	101	100	99	97	95	90	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0Cr13	GB 4237	退火	2~60	137	126	123	120	119	117	112	109	105	100	89	72	53	38	26	16	—	—	
0Cr18Ni9	GB 4237	固溶	2~60	137	137	137	130	122	114	111	107	105	103	101	100	98	91	79	64	52	42	32
				137	114	103	96	90	85	82	79	78	76	75	74	73	71	67	62	52	42	32
0Cr18Ni10Ti	GB 4237	固溶, 稳定化	2~60	137	137	137	130	122	114	111	108	106	105	104	103	101	83	58	44	33	25	18
				137	114	103	96	90	85	82	80	79	78	77	76	75	74	74	58	44	33	25
00Cr19Ni10	GB 4237	固溶	2~60	118	118	118	110	103	98	94	91	89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				118	97	87	81	76	73	69	67	66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 B-2 钢管许用应力

钢号	钢管标准	厚度/mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																
			σ_b /MPa	σ_s /MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	
					σ_b /MPa	σ_s /MPa															
碳素钢管																					
10	GB 8163	≤10	335	205	112	112	108	101	92	83	77	71	69	61	41	—	—	—	—	—	
10	GB 9948	≤16	335	205	112	108	101	92	83	77	71	69	61	41	—	—	—	—	—	—	
10	GB 6479	≤16	335	205	112	108	101	92	83	77	71	69	61	41	—	—	—	—	—	—	
		17~40	335	195	112	104	98	89	79	74	68	66	61	41	—	—	—	—	—	—	
20	GB 8163	≤10	390	245	130	130	123	110	101	92	86	83	61	41	—	—	—	—	—	—	
20	GB 9948	≤16	410	245	137	132	123	110	101	92	86	83	61	41	—	—	—	—	—	—	
20G	GB 6479	≤16	410	245	137	132	123	110	101	92	86	83	61	41	—	—	—	—	—	—	
		17~40	410	235	137	126	116	104	95	86	79	78	61	41	—	—	—	—	—	—	
低合金钢管																					
16Mn	GB 6479	≤16	490	320	163	163	159	147	135	126	119	93	66	43	—	—	—	—	—	—	
		17~40	490	310	163	163	153	111	129	119	116	93	66	43	—	—	—	—	—	—	
高合金钢管																					
0Cr13	GB/T 14976	≤18	137	126	123	119	117	112	109	105	100	89	72	53	38	26	16	—	—	—	
		≤13	137	137	130	122	114	111	107	105	103	101	100	98	91	79	64	52	42	32	27
0Cr18Ni9	GB/T 14976	≤18	137	114	103	96	85	82	79	78	76	75	74	73	71	67	62	52	42	32	27
		≤13	137	137	130	122	114	111	108	106	105	104	103	101	83	58	44	33	25	18	13
0Cr18Ni10Ti	GB/T 14976	≤18	137	114	103	96	85	82	80	79	78	77	76	75	74	58	44	33	25	18	13
		≤13	137	137	130	122	114	111	108	106	105	104	103	101	83	58	44	33	25	18	13

表 B-3 锻件许用应力

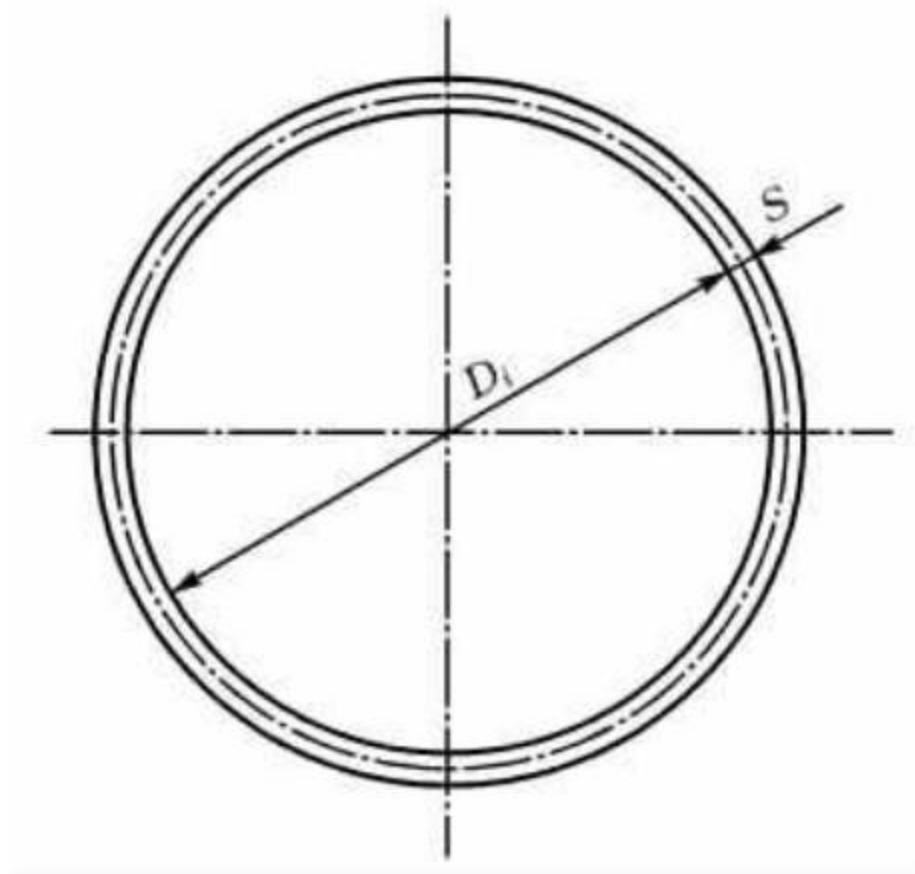
钢号	锻件标准	公称厚度/mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																	
			σ_b /MPa	σ_s /MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600		
碳素钢锻件																						
20	JB 4726	≤ 100	370	215	123	119	113	104	95	86	79	74	72	61	41	—	—	—	—	—		
35	JB 4726	≤ 100	510	265	166	147	141	129	116	108	98	92	85	61	41	—	—	—	—	—		
		$> 100 \sim 300$	490	255	159	144	138	126	113	104	95	89	85	61	41	—	—	—	—	—		
低合金钢锻件																						
16Mn	JB 4726	≤ 300	450	275	150	150	147	135	129	116	110	104	93	66	43	—	—	—	—	—		
20MnMo	JB 4726	≤ 300	530	370	177	177	177	177	177	177	171	163	156	131	84	49	—	—	—	—		
		$> 300 \sim 500$	510	355	170	170	170	170	170	169	163	153	147	131	84	49	—	—	—	—		
20MnMoNb	JB 4726	$> 500 \sim 700$	490	340	163	163	163	163	163	163	159	150	144	131	84	49	—	—	—	—		
		≤ 300	620	470	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	177	117	—	—	—	—		
$> 300 \sim 500$			610	460	203	203	203	203	203	203	203	203	203	177	117	—	—	—	—	—		
在下列温度(°C)下的许用应力/MPa																						
钢号	锻件标准	公称厚度/mm	≤ 20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700
高合金钢锻件																						
0Cr13	JB 4728	≤ 100	137	126	123	120	119	117	112	109	105	100	89	72	53	38	26	16	—	—	—	—
0Cr18Ni9	JB 4728	≤ 200	137	137	137	130	122	114	111	107	105	103	101	100	98	91	79	64	52	42	32	27
			137	114	103	96	90	85	82	79	78	78	76	75	74	73	71	67	62	52	42	32
0Cr18Ni10Ti	JB 4728	≤ 200	137	137	137	130	122	114	111	108	106	105	104	103	101	83	58	44	33	25	18	13
			137	114	103	96	90	85	82	80	79	78	77	76	75	74	58	44	33	25	18	13

附录 C 塔体及裙座-人孔截面集合特征参数表

原创

1. 塔体截面特征参数表

表 C-1 塔体截面特征参数表



塔体横截面积 $F(\times 10^2 \text{ cm}^2)$:

$$F = \pi(D_i + S)S$$

塔体横截面的抗弯断面模数 $W(\times 10^3 \text{ cm}^3)$:

$$W = \frac{\pi(D_i + S)^3 S}{4(D_i + 2S)}$$

塔体横截面对中心轴的惯性矩 $I(\times 10^4 \text{ cm}^4)$:

$$I = \frac{\pi}{8}(D_i + S)^3 S$$

式中： D_i ——塔体内直径，mm；

S ——塔体壁厚，mm。

D_i/mm		600			800			1000		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	1.142	1.714	5.244	1.519	3.039	12.34	1.896	4.741	23.99
	8	1.528	2.293	7.061	2.031	4.062	16.57	2.533	6.334	32.18
	10	1.916	2.875	8.914	2.545	5.090	20.87	3.173	7.933	40.46
	12	2.307	3.462	10.80	3.061	6.124	25.23	3.815	9.539	48.84
	14	2.701	4.053	12.73	3.580	7.162	29.65	4.460	11.152	57.32
	16	3.096	4.648	14.69	4.102	8.206	34.14	5.107	12.771	65.90
	18	3.495	5.247	16.68	4.626	9.256	38.69	5.757	14.396	74.57
	20	3.896	5.849	18.72	5.152	10.310	43.30	6.409	16.028	83.35
	22	4.299	6.457	20.79	5.681	11.371	47.98	7.064	17.667	92.22
	24	4.705	7.068	22.90	6.213	12.436	52.73	7.721	19.313	101.20
	26	5.113	7.683	25.05	6.747	13.507	57.54	8.381	20.965	110.27
	28	5.524	8.303	27.23	7.283	14.584	62.42	9.043	22.624	119.45
30	5.938	8.927	29.46	7.823	15.666	67.36	9.708	24.289	128.73	
D_i/mm		1200			1400			1600		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	2.273	6.820	41.33	2.650	9.276	65.49	3.027	12.109	97.60
	8	3.036	9.109	55.38	3.539	12.386	87.69	4.041	16.165	130.62
	10	3.801	11.405	69.57	4.430	15.505	110.08	5.058	20.233	163.89
	12	4.569	13.709	83.90	5.323	18.632	132.66	6.077	24.310	197.40
	14	5.339	16.020	98.37	6.219	21.769	155.43	7.099	28.397	231.15
	16	6.112	18.340	112.97	7.118	24.914	178.39	8.123	32.195	265.16
	18	6.888	20.667	127.72	8.019	28.070	201.54	9.150	36.603	299.41
	20	7.665	23.003	142.62	8.922	31.234	224.88	10.179	40.721	333.92
	22	8.446	25.346	157.65	9.828	34.407	248.42	11.210	44.850	368.67
	24	9.229	27.697	172.83	10.737	37.589	272.15	12.245	48.989	403.67
	26	10.014	30.056	188.15	11.648	40.781	296.07	13.281	53.139	438.93
	28	10.802	32.423	203.62	12.560	43.982	320.19	14.321	57.299	474.44
30	11.592	34.798	219.23	13.477	47.192	344.50	15.362	61.470	510.20	

D_i/mm		1800			2000			2200		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	3.404	15.32	138.79	3.781	18.91	190.20	4.158	22.87	252.95
	8	4.544	20.45	185.67	5.047	25.23	254.36	5.549	30.52	338.18
	10	5.686	25.59	232.86	6.315	31.57	318.90	6.943	38.19	423.87
	12	6.831	30.74	280.36	7.585	37.93	383.82	8.339	45.87	510.03
	14	7.978	35.90	328.17	8.858	44.29	449.12	9.738	53.56	596.65
	16	9.128	41.08	376.29	10.13	50.67	514.82	11.14	61.27	683.74
	18	10.28	46.27	424.73	11.41	57.06	580.89	12.54	68.99	771.29
	20	11.44	51.47	473.53	12.69	63.47	647.36	13.95	76.73	859.31
	22	12.59	56.68	522.55	13.98	69.88	714.21	15.36	84.47	947.80
	24	13.75	61.90	571.93	15.26	76.31	781.45	16.77	92.24	1036.75
	26	14.92	67.13	621.64	16.55	82.76	849.09	18.18	100.02	1126.18
	28	16.08	72.38	671.66	17.84	89.21	917.11	19.60	107.81	1216.08
30	17.25	77.63	72.200	19.13	95.68	958.53	21.02	115.62	1306.46	
D_i/mm		2400			2600			2800		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	4.535	27.21	328.17	4.912	31.93	417.00	5.289	37.02	520.56
	8	6.052	36.31	438.65	6.555	42.61	557.28	7.057	49.40	695.57
	10	7.571	45.43	549.68	8.200	53.30	698.20	8.828	61.80	871.32
	12	9.093	54.56	661.26	9.847	64.01	839.77	10.060	74.21	1047.82
	14	10.62	63.71	773.39	11.50	74.73	981.98	12.38	86.64	1225.07
	16	12.14	72.87	886.08	13.15	85.47	1124.85	14.15	99.09	1403.07
	18	13.67	82.05	999.31	14.80	96.23	1268.36	15.94	111.55	1581.81
	20	15.21	91.24	1113.10	16.46	107.01	1412.52	17.72	124.04	1761.13
	22	16.74	100.45	1227.45	18.12	117.80	1557.33	19.50	136.54	1941.57
	24	18.28	109.67	1342.36	19.78	128.61	1702.80	21.29	149.06	2122.59
	26	19.82	118.91	1457.83	21.45	139.44	1848.92	23.08	161.60	2304.36
	28	21.36	128.11	1573.85	23.12	150.28	1995.69	24.88	174.15	2486.89
30	22.90	137.43	1690.44	24.79	167.14	2143.13	26.67	186.73	2670.18	

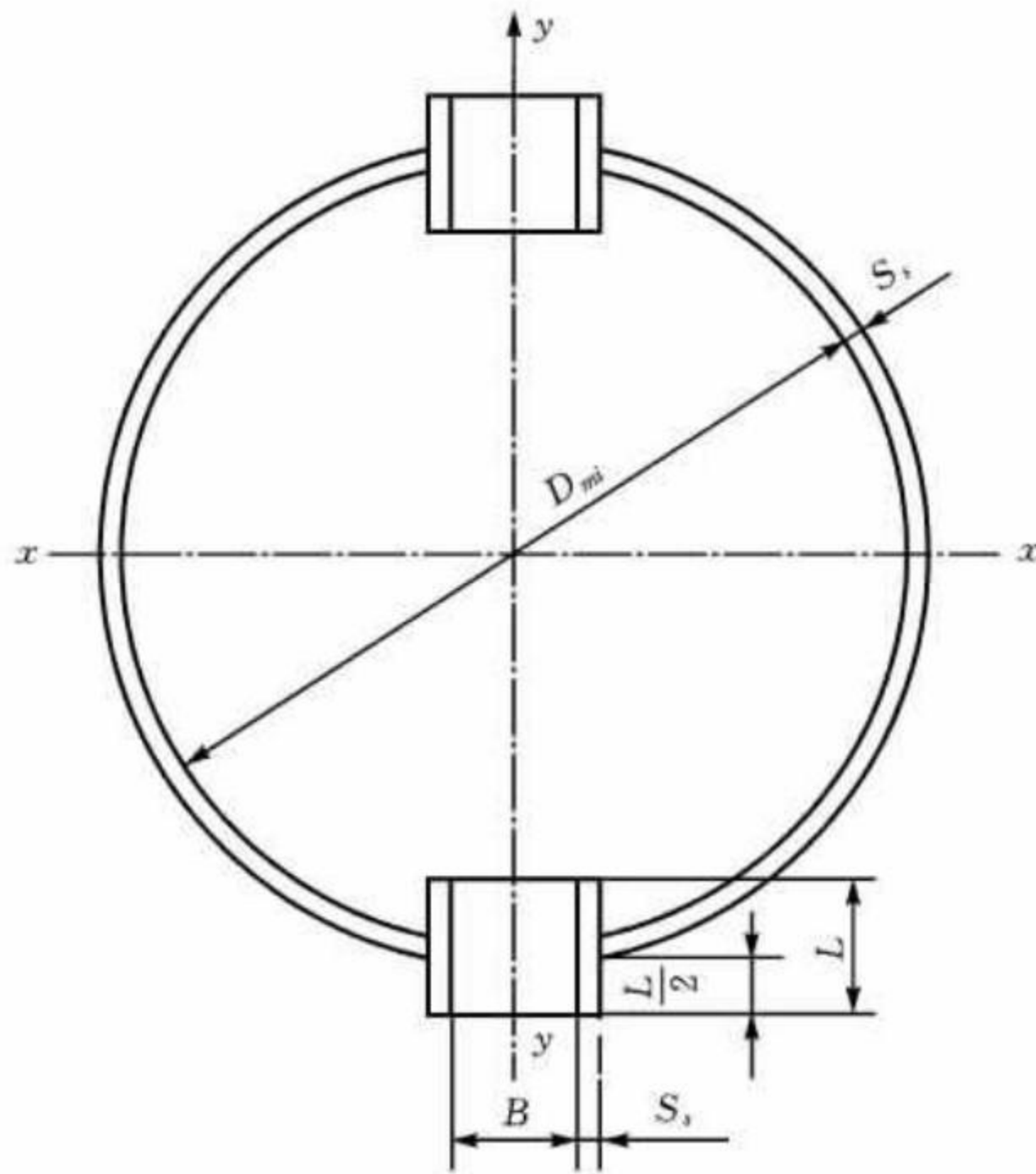
D_i/mm		3000			3200			3400		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	5.666	42.50	640.0	6.043	48.35	776.4	6.420	54.57	931.0
	8	7.560	56.70	855.0	8.063	64.50	1037.2	8.565	72.80	1243.5
	10	9.456	70.92	1070.9	10.09	80.68	1298.9	10.71	91.06	1557.1
	12	11.36	85.16	1287.7	12.11	96.87	1560.6	12.86	109.34	1871.8
	14	13.26	99.42	1505.3	14.14	113.09	1825.3	15.02	127.63	2187.7
	16	15.16	113.70	1723.7	16.17	129.33	2089.9	17.17	145.95	2504.6
	18	17.07	128.00	1943.1	18.20	145.58	2355.5	19.33	164.30	2822.6
	20	18.98	142.32	2163.3	20.23	161.86	2622.1	21.49	182.66	3141.7
	22	20.89	156.66	2384.3	22.27	178.16	2889.7	23.65	201.04	3462.0
	24	22.80	171.01	2606.3	24.31	194.48	3158.3	25.82	219.45	3783.3
	26	24.72	185.39	2829.0	26.35	210.82	3427.9	27.98	237.88	4105.8
	28	26.64	199.78	3052.7	28.39	227.18	3698.4	30.15	256.33	4429.4
30	28.56	214.20	3277.2	30.44	243.56	3970.0	32.33	274.80	4754.0	
D_i/mm		3600			3800			4000		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	6	6.797	61.17	1104.8	7.174	68.15	1299.0	7.51	75.51	1514.8
	8	9.068	81.61	1475.5	9.571	90.92	1734.8	10.07	100.73	2022.7
	10	11.34	102.07	1847.5	11.97	113.71	2171.9	12.60	125.98	2532.2
	12	13.62	122.55	2220.7	14.37	136.52	2610.4	15.12	151.25	3043.2
	14	15.90	143.06	2595.1	16.71	159.36	3050.2	17.65	176.55	3555.7
	16	18.18	163.59	2970.7	19.18	182.23	3491.4	20.19	201.87	4069.7
	18	20.46	184.14	3347.6	21.59	205.11	3934.1	22.72	227.22	4585.2
	20	22.75	204.71	3725.8	24.00	228.02	4378.0	25.26	252.59	5102.3
	22	25.03	225.31	4105.1	26.42	250.96	4823.4	27.80	277.99	5620.9
	24	27.32	245.93	4485.8	28.83	273.92	5270.2	30.34	303.41	6141.1
	26	29.62	266.57	4867.6	31.25	296.90	5718.3	32.88	328.86	6662.8
	28	31.91	287.24	5250.7	33.67	319.91	6167.8	35.43	354.34	7186.0
30	34.21	307.93	5635.1	36.10	342.94	6618.8	37.98	379.84	7710.7	

D_i/mm		4200			4400			4600		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	8	10.58	111.05	2340.9	11.08	121.86	2690.8	11.58	133.18	3073.9
	10	13.23	138.87	2930.3	13.85	152.40	3368.0	14.48	166.55	3847.4
	12	15.88	166.73	3521.3	16.63	182.96	4047.1	17.39	199.95	4622.8
	14	18.53	194.61	4114.1	19.41	213.55	4728.1	20.29	233.38	5400.3
	16	21.19	222.52	4708.5	22.20	244.17	5410.9	23.20	266.83	6179.8
	18	23.85	250.45	5304.6	24.98	274.82	6095.5	26.11	303.32	6961.4
	20	26.52	278.41	5902.4	27.77	305.49	6782.0	29.03	333.83	7744.9
	22	29.18	306.40	6501.6	30.56	336.20	7470.3	31.94	367.38	8530.5
	24	31.85	334.42	7103.0	33.36	366.93	8160.5	34.86	400.95	9318.0
	26	34.52	362.46	7705.9	36.15	397.69	8852.5	37.79	434.55	10107.6
	28	37.19	390.53	8310.4	38.95	428.48	9546.4	40.71	468.18	10899.3
	30	39.87	418.62	8916.7	41.75	459.29	1242.2	43.64	501.84	11693.0
D_i/mm		4800			5000			5200		
截面特性		F	W	I	F	W	I	F	W	I
S/mm	8	12.08	145.01	3491.8	12.59	157.33	3945.9	13.09	170.16	4437.7
	10	15.11	181.33	4370.1	15.74	196.74	4938.2	16.37	212.78	5553.6
	12	18.14	217.69	5250.7	18.89	236.19	5933.0	19.65	255.44	6672.0
	14	21.17	254.08	6133.5	22.05	275.66	6930.1	22.93	298.12	7792.9
	16	24.21	290.50	7018.4	25.21	315.17	7929.6	26.22	340.84	8916.5
	18	27.25	326.95	7905.6	28.38	354.71	8931.5	29.51	383.60	10042.6
	20	30.28	363.43	879.49	31.54	394.28	9935.8	32.80	426.38	11171.2
	22	33.33	399.94	968.64	34.71	433.88	10942.4	36.09	469.20	12302.5
	24	36.37	436.48	10580.2	37.88	473.51	11951.4	39.39	512.06	13436.3
	26	39.42	473.05	11476.1	41.05	513.18	12962.9	42.69	554.94	14572.7
	28	42.47	509.65	12374.3	44.23	552.87	13976.7	45.99	597.86	15711.8
	30	45.52	546.28	13274.6	47.41	592.60	14992.9	49.29	640.81	16853.3

D_i/mm		5400			5600		
截面特性		F	W	I	F	W	I
S/mm	8	13.59	183.49	4968.9	14.09	197.32	5540.8
	10	17.00	229.45	6218.0	17.62	246.74	6933.4
	12	20.40	275.44	7469.9	21.16	296.20	8329.0
	14	23.81	321.46	8724.5	24.69	345.69	9727.6
	16	27.22	367.52	9982.0	28.22	395.21	11129.1
	18	30.64	413.62	11242.2	31.77	444.77	12533.7
	20	34.05	459.75	12505.1	35.31	494.37	13941.2
	22	37.47	505.91	13770.9	38.86	544.00	15351.7
	24	40.90	552.11	15039.4	42.40	593.67	16765.1
	26	44.32	598.34	16310.7	45.95	643.37	18181.6
	28	47.75	644.60	17584.8	49.51	693.11	19601.1
30	51.18	690.90	18861.7	53.06	742.88	21023.6	
D_i/mm		5800			6000		
截面特性		F	W	I	F	W	I
S/mm	8	14.60	211.66	6155.0	15.10	226.50	6813.0
	10	18.25	264.66	7701.7	18.88	283.22	8524.8
	12	21.91	317.71	9251.6	22.66	339.97	10240.0
	14	25.57	370.79	10804.7	26.45	396.77	11958.5
	16	29.23	423.90	12361.0	30.24	453.60	13680.5
	18	32.90	477.05	13920.5	34.03	510.47	15406.0
	20	36.57	530.24	15483.1	37.82	567.38	17134.8
	22	40.24	583.47	17049.0	41.62	624.32	18867.1
	24	43.91	636.73	18618.1	45.42	681.31	20602.8
	26	47.59	690.03	20190.4	49.22	738.33	22341.9
	28	51.27	743.37	21765.9	53.03	795.39	24084.5
30	54.95	796.74	23344.6	56.83	852.49	25830.5	

2. 裙座-人孔截面特征参数表

表 C-2 裙座-人孔截面特征参数表



裙座人孔中心处横截面积 F_m ($\times 10^2 \text{ cm}^2$) 为:

$$F_m = \pi(D_{mi} + S_s)S_s - 2S_s(B - 2L)$$

裙座人孔中心处横截面对 $x-x$ 轴抗弯断面模数 W_m ($\times 10^3 \text{ cm}^3$) 为:

$$W_m = \frac{\frac{\pi}{4}(D_{mi} + S_s)^3 S_s - BS_s(D_{mi} + S_s)^2 + 2S_s L [(D_{mi} + S_s)^2 - B^2]}{\sqrt{(D_{ms} + S_s)^2 - B^2}}$$

式中: D_{mi} ——裙底筒体内径, mm;

B ——人孔宽度, 当 $D_{mi} \leq 800 \text{ mm}$ 时, $B = 300 \text{ mm}$; 当 $D_{mi} > 800 \text{ mm}$ 时, $B = 500 \text{ mm}$;

L ——人孔圈宽度, 取 $L = 100 \text{ mm}$;

S_s ——裙座筒体及人孔圈厚度, mm。

续表 C-2

D_{mi}/mm		600		800		1000		1200		1400	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	6	1.022	1.368	1.399	2.633	1.536	3.065	1.913	4.873	2.290	7.031
	8	1.368	1.839	1.871	3.530	2.053	4.109	2.556	6.524	3.059	9.406
	10	1.716	2.317	2.345	4.436	2.573	5.164	3.201	8.188	3.830	11.796
	12	2.067	2.802	2.821	5.352	3.095	6.230	3.849	9.865	4.603	14.203
	14	2.421	3.295	3.300	6.278	3.620	7.307	4.499	11.555	5.379	16.625
	16	2.776	3.796	3.782	7.214	4.147	8.394	5.152	13.259	6.158	19.062
	18	3.135	4.304	4.266	8.160	4.677	9.493	5.808	14.977	6.939	21.516
	20	3.496	4.819	4.752	9.115	5.209	10.604	6.465	16.708	7.722	23.985
	22	3.859	5.342	5.241	10.080	5.744	11.725	7.126	18.452	8.508	26.471
	24	4.225	5.873	5.733	11.055	6.281	12.857	7.789	20.210	9.297	28.972
	26	4.593	6.411	6.227	12.040	6.821	14.001	8.454	21.981	10.088	31.489
	28	4.964	6.957	6.723	13.035	7.363	15.156	9.122	23.766	10.881	34.022
	30	5.338	7.5011	7.223	14.040	7.908	16.323	9.792	25.565	11.677	36.571
D_{mi}/mm		1600		1800		2000		2200		2400	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	6	2.667	9.551	3.044	12.439	3.421	15.698	3.798	19.329	4.175	23.333
	8	3.561	12.771	4.064	16.627	4.567	20.977	5.069	25.823	5.572	31.167
	10	4.458	16.009	5.086	20.835	5.715	26.278	6.343	32.342	6.971	39.028
	12	5.357	19.265	6.111	25.064	6.865	31.603	7.619	38.887	8.373	46.918
	14	6.259	22.540	7.138	29.313	8.018	36.951	8.898	45.457	9.777	54.836
	16	7.163	25.832	8.168	33.583	9.174	42.322	10.179	52.954	11.184	62.782
	18	8.070	29.143	9.201	37.873	10.332	47.716	11.462	58.675	12.593	70.756
	20	8.979	32.472	10.235	42.185	11.492	53.133	12.749	65.323	14.005	78.758
	22	9.890	35.819	11.273	46.517	12.655	58.574	14.037	71.996	15.420	86.789
	24	10.805	39.185	12.313	50.870	13.821	64.038	15.329	78.695	16.837	94.848
	26	11.721	42.569	13.355	55.244	14.989	69.525	16.622	85.420	18.256	102.935
	28	12.641	45.972	14.400	59.638	16.159	75.036	17.919	92.171	19.678	111.050
	30	13.562	49.393	15.447	64.054	17.332	80.570	19.217	98.948	21.102	119.194

D_{mi}/mm		2600		2800		3000		3200		3400	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	6	4.552	27.712	4.929	32.465	5.306	37.594	5.683	43.099	6.060	48.979
	8	6.075	37.010	6.577	43.353	7.080	50.197	7.583	57.541	8.085	65.387
	10	7.600	46.339	8.228	54.274	8.856	62.835	9.485	72.022	10.113	81.835
	12	9.127	55.698	9.881	65.228	10.635	75.508	11.389	86.540	12.143	98.323
	14	10.657	65.088	11.537	76.215	12.416	88.217	13.296	101.096	14.176	114.852
	16	12.189	74.508	13.195	87.235	14.200	100.962	15.206	115.691	16.211	131.422
	18	13.724	83.960	14.855	98.288	15.986	113.742	17.117	130.324	18.248	148.033
	20	15.262	93.441	16.519	109.374	17.775	126.558	19.032	144.995	20.288	164.684
	22	16.802	102.954	18.184	120.494	19.567	139.410	20.949	159.704	22.331	181.376
	24	18.344	112.497	19.852	131.647	21.360	152.298	22.868	174.451	24.376	198.108
	26	19.890	122.072	21.523	142.833	23.157	165.221	24.790	189.237	26.424	214.882
	28	21.437	131.677	23.196	154.053	24.956	178.180	26.715	204.061	28.474	231.696
	30	22.987	141.313	24.872	165.306	26.757	191.176	28.642	218.924	30.527	248.552
D_{mi}/mm		3600		3800		4000		4200		4400	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	6	6.437	55.236	6.814	61.869	7.191	68.878				
	8	8.588	73.734	9.091	82.582	9.593	91.933	10.096	101.785	10.599	112.139
	10	10.741	92.275	11.369	103.341	11.998	115.036	12.626	127.357	13.254	140.306
	12	12.897	110.859	13.651	124.147	14.405	138.187	15.159	152.981	15.913	168.527
	14	15.055	129.486	15.935	144.997	16.814	161.387	17.694	178.654	18.574	196.800
	16	17.216	148.156	18.221	165.893	19.227	184.634	20.232	204.379	21.237	225.127
	18	19.379	166.870	20.510	186.835	21.641	207.930	22.772	230.154	23.903	253.507
	20	21.545	185.626	22.802	207.823	24.058	231.274	25.315	255.980	26.572	281.941
	22	23.713	204.426	25.096	228.856	26.478	254.666	27.860	281.857	29.243	310.427
	24	25.884	223.270	27.392	249.936	28.900	228.107	30.408	307.784	31.916	338.967
	26	28.058	242.156	29.691	271.061	31.325	301.596	32.959	333.763	34.592	367.560
	28	30.234	261.086	31.993	292.232	33.752	325.134	35.511	359.792	37.271	396.207
	30	32.412	280.060	34.297	313.449	36.182	348.719	38.067	385.872	39.952	424.907

D_{mi}/mm		4600		4800		5000		5200	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	8	11.101	122.995	11.604	134.354	12.106	146.214	12.609	158.577
	10	13.883	153.883	14.511	168.087	15.139	182.919	15.768	198.379
	12	16.667	184.826	17.421	201.879	18.175	219.685	18.929	238.244
	14	19.453	215.825	20.333	235.729	21.213	256.511	22.092	278.172
	16	22.243	246.880	23.248	269.637	24.253	293.398	25.258	318.164
	18	25.034	277.990	26.165	303.603	27.296	330.346	28.427	358.219
	20	27.828	309.156	29.085	337.628	30.342	367.354	31.598	398.337
	22	30.625	340.378	32.007	371.711	33.390	404.424	34.772	438.518
	24	33.424	371.656	34.932	405.852	36.440	441.554	37.948	478.763
	26	36.226	402.990	37.859	440.052	39.493	478.745	41.127	519.071
	28	39.030	434.380	40.789	474.309	42.549	515.998	44.308	559.443
30	41.837	465.825	43.722	508.626	45.607	553.311	47.492	599.878	
D_{mi}/mm		5400		5600		5800		6000	
截面特性		F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m	F_m	W_m
S_s/mm	8	13.112	171.442	13.614	184.810	14.117	198.679	14.620	213.052
	10	16.396	214.467	17.024	231.182	17.653	248.526	18.281	266.497
	12	19.683	257.557	20.437	277.623	21.191	298.443	21.945	320.016
	14	22.972	300.113	23.852	324.132	24.731	348.431	25.611	373.608
	16	26.264	343.934	27.269	370.709	28.274	398.489	29.280	427.274
	18	29.558	387.222	30.689	417.355	31.820	448.619	32.951	481.013
	20	32.855	430.575	34.112	464.069	35.368	498.819	36.625	534.825
	22	36.154	473.994	37.536	510.851	38.919	549.090	40.301	588.710
	24	39.456	517.479	40.964	557.702	42.472	599.432	43.980	642.669
	26	42.760	561.030	44.394	604.621	46.028	649.845	47.661	696.701
	28	46.067	604.647	47.826	651.608	49.586	700.329	51.345	750.807
30	49.377	648.330	51.261	698.665	53.146	750.884	55.031	804.987	

附录 D 压力容器常用零部件

1. 筒体(摘自 JB 1153—73)

表 D-1 筒体的容积、面积和质量

公称直径 DN /mm	1米高的容积 V /m ³	1米高的内表面积 F _B /m ²	1米高筒节钢板理论质量,kg															
			厚度 δ,mm															
			3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
300	0.071	0.94	22	30	37	44	59											
400	0.126	1.26	30	40	50	60	79	99	119									
500	0.196	1.57	37	50	62	75	100	125	150	175								
600	0.283	1.88	45	60	75	90	121	150	180	211								
700	0.385	2.20		69	87	105	140	176	213	250								
800	0.503	2.51		79	99	119	159	200	240	280								
900	0.636	2.83		89	112	134	179	224	270	315	363	408						
1000	0.785	3.14			124	149	199	249	296	348	399	450	503					
1200	1.131	3.77			149	178	238	298	358	418	479	540	602	662				
1400	1.539	4.40			173	208	278	348	418	487	567	630	700	770	840	914	986	1058
1600	2.017	5.03			198	238	317	397	476	556	636	720	800	880	960	1040	1124	1206
1800	2.545	5.66				267	356	446	536	627	716	806	897	987	1080	1170	1263	1353
2000	3.142	6.28				296	397	495	596	695	795	895	995	1095	1200	1300	1400	1501
2200	3.801	6.81				322	436	545	655	714	874	984	1093	1204	1318	1429	1540	1650
2400	4.524	7.55				356	475	596	714	834	960	1080	1194	1314	1435	1556	1677	1798
2600	5.309	8.17					514	644	774	903	1030	1160	1290	1422	1553	1684	1815	1946
2800	6.159	8.80					554	693	831	970	1110	1250	1390	1531	1671	1812	1953	2094
3000	7.030	9.43					593	742	881	1040	1190	1338	1490	1640	1790	1940	2091	2242
3200	8.050	10.05					632	791	950	1108	1267	1425	1587	1745	1908	2069	2229	2390
3400	9.075	10.08					672	841	1008	1177	1346	1517	1687	1857	2027	2197	2367	2533
3600	10.180	11.32					711	890	1070	1246	1424	1606	1785	1965	2145	2325	2505	2685
3800	11.340	11.83					751	939	1126	1315	1514	1693	1884	2074	2263	2453	2643	2834
4000	12.566	12.57					790	988	1186	1383	1582	1780	1980	2185	2380	2585	2785	2985

2. 椭圆封头(摘自 JB/T 4737—95)

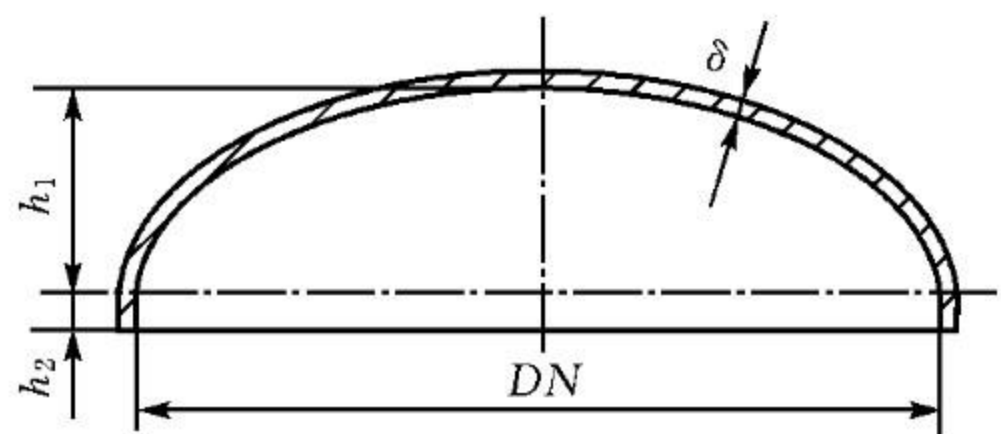


表 D-2 以内径为公称直径的椭圆封头的型式和尺寸

公称直径 DN/mm	曲边高度 h ₁ /mm	直边高度 h ₂ /mm	内表面积 A/m ²	容积 V /m ³	公称直径 DN/mm	曲边高度 h ₁ /mm	直边高度 h ₂ /mm	内表面积 A/m ²	容积 V /m ³
300	75	25	0.1211	0.0053	400	100	25	0.2049	0.0115
350	88	25	0.1608	0.0080			40	0.2237	0.0134

续表 D-2

公称直径 DN/mm	曲边高度 h_1 /mm	直边高度 h_2 /mm	内表面积 A/m^2	容积 V $/m^3$	公称直径 DN/mm	曲边高度 h_1 /mm	直边高度 h_2 /mm	内表面积 A/m^2	容积 V $/m^3$
450	112	25	0.2548	0.0159	1200	300	25	1.6652	0.2545
		40	0.2761	0.0183			40	1.7117	0.2714
500	125	25	0.3103	0.0123	1300	325	50	1.7494	0.2827
		40	0.3338	0.0242			25	1.9340	0.3208
		50	0.3495	0.0262			40	1.9953	0.3407
550	137	25	0.3711	0.0277	1400	350	50	2.0361	0.3540
		40	0.3970	0.0313			25	2.2346	0.3977
		50	0.4143	0.0337			40	2.3005	0.4202
600	150	25	0.4374	0.0353	1500	375	50	2.3445	0.4362
		40	0.4656	0.0396			25	2.5568	0.4860
		50	0.4845	0.0424			40	2.6275	0.5125
650	162	25	0.5090	0.0442	1600	400	50	2.6746	0.5301
		40	0.5397	0.0492			25	2.9007	0.5864
		50	0.5601	0.0525			40	2.9761	0.6166
700	175	25	0.5861	0.0545	1700	425	50	3.0263	0.6367
		40	0.6191	0.0603			25	3.2662	0.6999
		50	0.6411	0.0641			40	3.3463	0.7339
750	188	25	0.6686	0.0663	1800	450	50	3.3998	0.7566
		40	0.7040	0.0729			25	3.6535	0.8270
		50	0.7276	0.0773			40	3.7383	0.8652
800	200	25	0.7566	0.0796	2000	500	50	3.7949	0.8906
		40	0.7943	0.0871			25	4.4930	1.1257
		50	0.8194	0.0922			40	4.5873	1.1729
900	225	25	0.9487	0.1113	2200	550	50	4.6501	1.2043
		40	0.9911	0.1209			25	5.4193	1.4889
		50	1.0194	0.1272			40	5.5229	1.5459
1000	250	25	1.1625	0.1505	2400	600	50	5.5921	1.5839
		40	1.2096	0.1623			25	6.4323	1.9227
		50	1.2411	0.1702			40	6.5453	1.9905
1100	275	25	1.3980	0.1980			50	6.6207	2.0358
		40	1.4499	0.2122					
		50	1.4844	0.2217					

注:当封头厚度 $\delta < 10$ mm 时,封头直边高度 h_2 取 25,当封头厚度 $10 \leq \delta \leq 20$ mm 时,封头直边高度 h_2 取 40,当封头厚度 $\delta \geq 20$ mm 时,封头直边高度 h_2 取 50。

表 D-3 以内径为公称直径的椭圆封头的质量

公称直径 DN/mm	厚度 δ /mm	质量 m /kg	公称直径 DN/mm	厚度 δ /mm	质量 m /kg	公称直径 DN/mm	厚度 δ /mm	质量 m /kg	公称直径 DN/mm	厚度 δ /mm	质量 m /kg				
300	6	5.79	750	6	31.09	1200	6	76.37	1800	10	287.91				
	8	7.84		8	41.72		8	102.24		12	346.41				
350	6	7.62		10	55.29		10	132.79		14	405.22				
	8	10.29		12	66.75		12	159.97		16	464.35				
400	6	9.69		14	78.35		14	187.38		18	523.78				
	8	13.06		16	90.08		16	214.97		20	592.50				
	10	18.03		18	101.95		18	242.78		22	653.46				
	12	21.87		20	132.15		20	279.83		24	714.74				
450	6	12.01		800	8		47.13	1300		22	305.68	1900	26	776.33	
	8	16.17			10		62.26			10	154.53		28	838.24	
	10	22.12			12		75.14			12	186.11		10	319.52	
	12	26.80			14		88.16			14	217.92		12	384.39	
500	6	14.57	16		101.33	16	249.96		1400	16	249.96		2000	12	424.34
	8	19.61	18		114.64	18	282.22			18	282.22			14	496.26
	10	22.62	20		132.15	20	321.22			20	321.22			16	568.52
	12	32.23	6		43.97	10	177.92			12	214.23			18	641.12
	14	37.92	8		58.93	12	214.23			14	250.78			20	724.02
550	6	17.38	900		10	77.42	1500		14	250.78	2100		22	798.32	
	8	23.37			12	93.39			16	287.57			24	872.96	
	10	31.52			14	109.51			18	324.61			26	947.96	
	12	38.14		16	125.79	20		368.90	28	1023.30					
	14	44.86		18	142.24	10		202.95	12	466.27					
	20	163.39		20	163.39	12		244.31	14	545.23					
600	8	27.47		1000	6	53.78	1600	14	285.94	2200	12	510.17			
	10	36.86			8	72.05		16	327.82		14	596.50			
	12	44.56			10	94.24		18	369.96		16	683.21			
	14	52.37			12	113.61		20	419.87		18	770.29			
	16	60.29			14	133.16		22	463.29		20	868.70			
	6	23.75			16	152.89		10	229.63		22	957.65			
650	8	31.89	1100		18	172.79	1700	12	276.37	2400	24	1046.98			
	10	42.59			20	197.91		14	323.40		26	1136.68			
	12	51.46			22	218.69		16	370.70		28	1226.77			
	14	60.45			6	64.58		18	418.27		12	603.88			
	16	69.56			8	86.49		20	474.12		14	705.95			
700	6	27.30			10	112.69	22	523.06	16	808.42					
	8	36.64		12	135.80	12	310.41	18	911.31						
	10	48.73		14	159.11	14	363.16	20	1026.54						
	12	58.86		16	182.61	16	416.21	22	1131.45						
	14	69.11		18	206.31	18	469.55	24	1236.77						
	16	79.49		20	235.73	20	531.66	26	1342.51						
	18	90.01		22	260.38	22	586.45	28	1448.66						

3. 压力容器法兰(摘自 JB 4701—92)

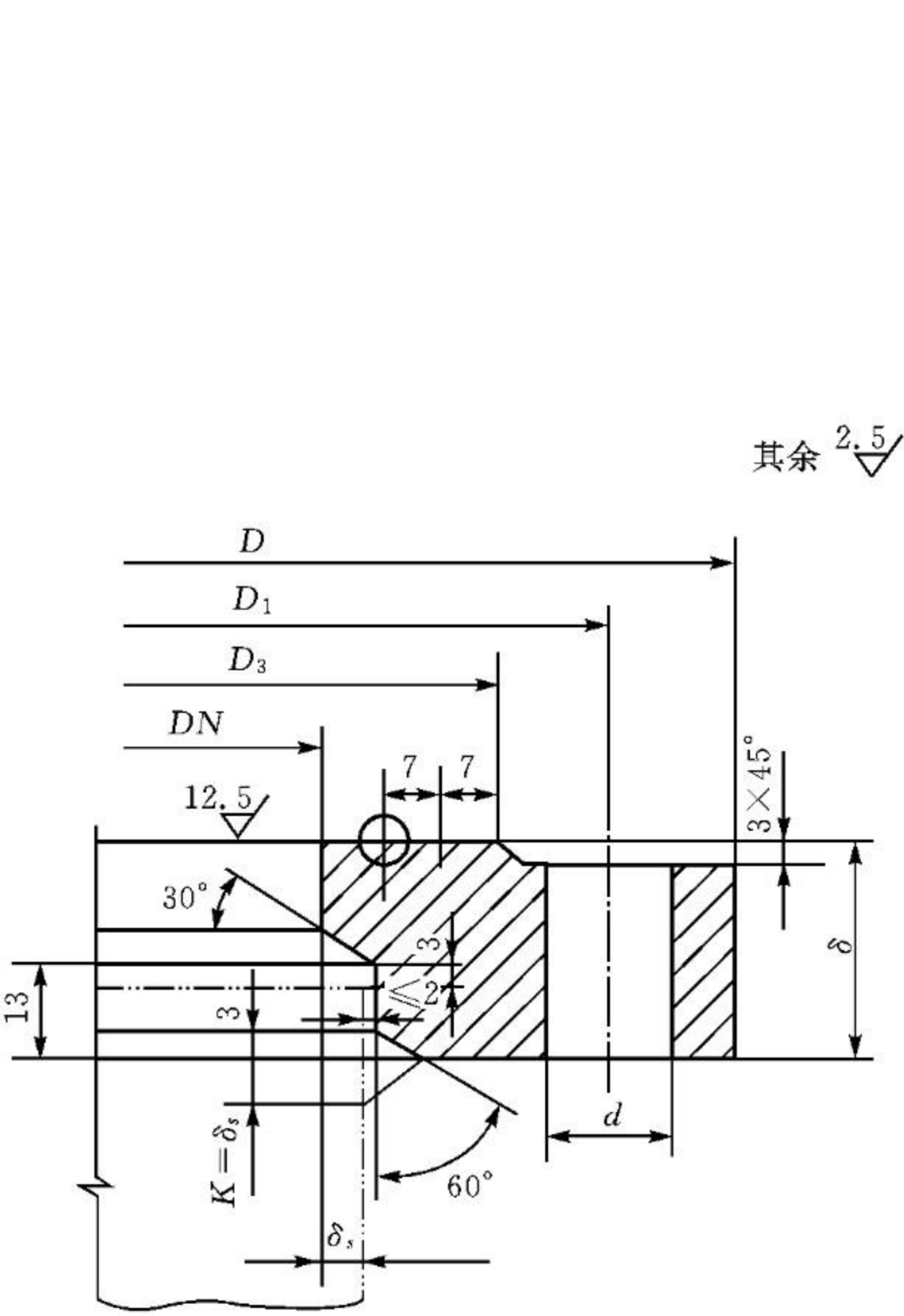


图 D-1 甲型平焊法兰(平密封面)

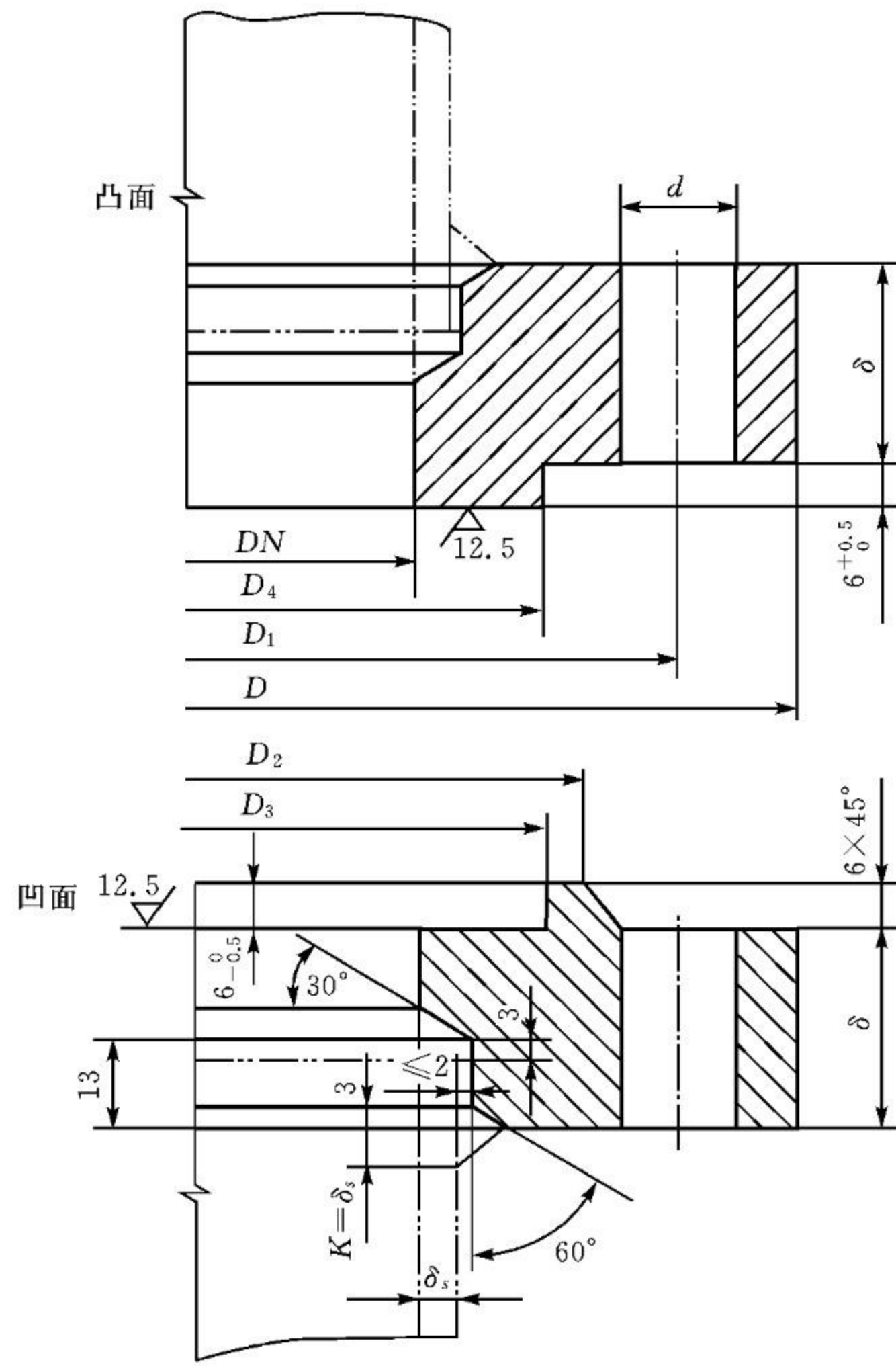


图 D-2 甲型平焊法兰(凸凹密封面)

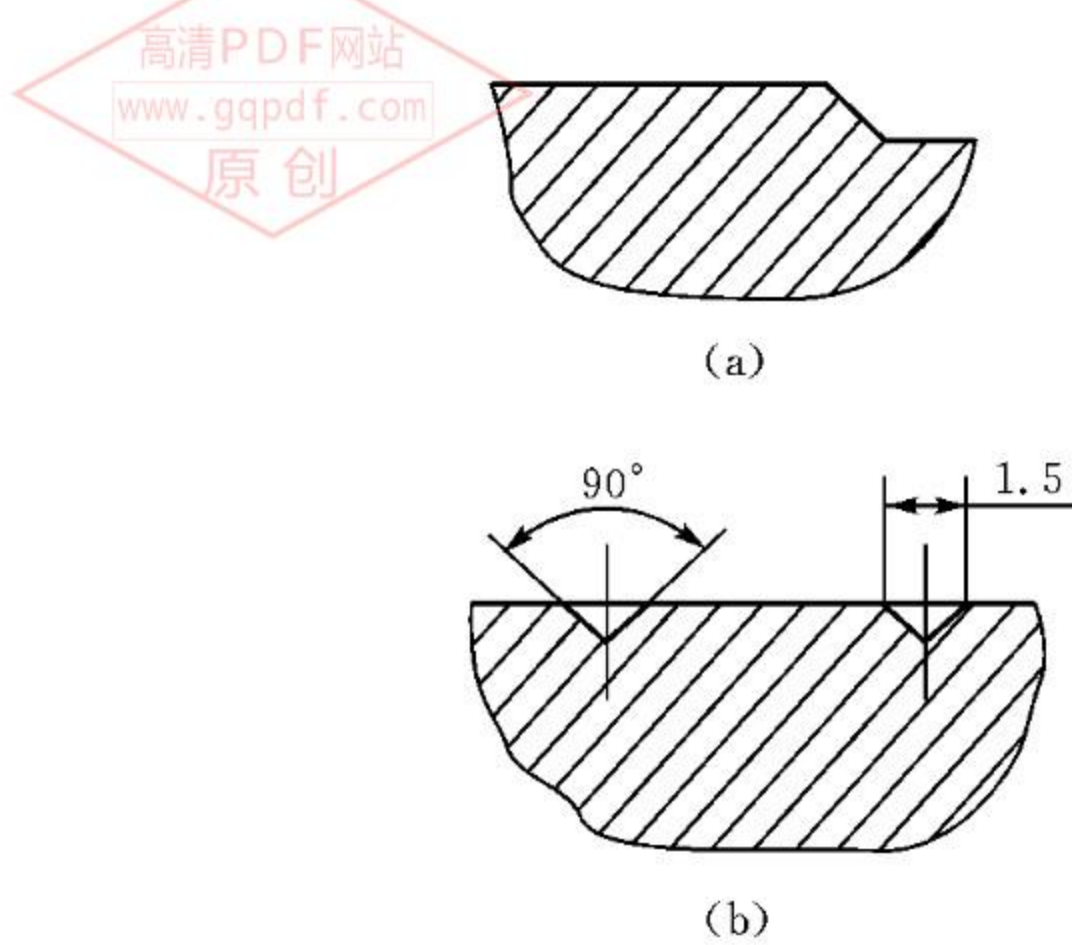


图 D-3 平密封面详图

(a) P I 型密封面; (b) P II 型密封面

表 D-4 甲型平焊法兰系列尺寸

单位: mm

公称直径 DN	法兰							螺柱	
	D	D_1	D_2	D_3	D_4	δ	d	规格	数量
$PN=0.25$ MPa									
700	815	780	750	740	737	36	18	M16	28
800	915	880	850	840	837				32
900	1015	980	950	940	837				36
1000	1130	1090	1055	1045	1042	40	23	M20	32
(1100)	1230	1190	1155	1141	1138				
1200	1330	1290	1255	1241	1238	44			36
(1300)	1430	1390	1355	1341	1338	46			40
1400	1530	1490	1455	1441	1438				
(1500)	1630	1590	1555	1541	1538	48			44
1600	1730	1690	1655	1641	1638	50			48
1800	1930	1890	1855	1841	1838	56			52
2000	2130	2090	2055	2041	2038	60			60
$PN=0.6$ MPa									
500	615	580	550	540	537	30	18	M16	20
600	715	680	650	640	637	32			
700	830	790	755	745	742	36	12	M20	24
800	930	890	855	845	842	40			
900	1030	990	955	945	942	44			32
1000	1130	1090	1055	1045	1042	48			36
(1100)	1230	1190	1155	1141	1138	55			44
1200	1330	1290	1255	1241	1238	60			52
$PN=1.0$ MPa									
500	630	590	555	545	542	34	23	M20	20
600	730	690	655	645	642	40			24
700	830	790	755	745	742	46			32
800	930	890	855	845	842	54			40
900	1030	990	955	945	942	60			48
$PN=1.6$ MPa									
300	430	390	355	345	342	30	23	M20	16
(350)	480	440	405	395	392	32			16
400	530	490	455	445	442	36			20
(450)	580	540	505	495	492	40			24
500	630	590	555	545	542	44			28
(550)	680	640	605	595	592	50			36
600	730	690	655	645	642	54			40
(650)	780	740	705	695	692	58			44

表 D-5 甲型平焊法兰质量

单位:kg

公称直径 DN/mm	法兰质量			公称直径 DN/mm	法兰质量		
	平面	凸面	凹面		平面	凸面	凹面
$PN=0.25$ MPa				$PN=0.25$ MPa			
700	37.07	39.04	37.63	(1100)	96.74	99.89	97.93
800	44.28	46.52	44.91	1200	113.9	117.4	115.2
900	52.03	54.55	52.73	$PN=1.00$ MPa			
1000	65.13	68.30	65.90	300	12.52	13.39	12.77
(1100)	71.54	74.68	72.73	(350)	14.36	15.37	14.65
1200	85.31	88.74	86.60	400	18.51	19.66	18.84
(1300)	96.11	99.82	97.51	(450)	23.18	24.46	23.54
1400	103.4	107.4	104.9	500	29.11	30.73	29.52
(1500)	115.2	119.4	116.8	(550)	35.21	36.98	35.65
1600	127.5	132.0	129.2	600	40.27	42.20	40.75
(1700)	140.4	145.2	142.4	(650)	47.39	49.47	47.01
1800	160.2	165.3	162.1	700	52.77	55.01	53.33
(1900)	168.6	174.0	170.6	800	69.54	72.10	70.17
2000	189.7	195.4	191.8	900	84.28	87.14	84.98
$PN=0.60$ MPa				$PN=1.60$ MPa			
(450)	20.64	21.92	21.00	300	16.36	17.36	16.62
500	22.76	24.18	23.17	(350)	20.02	21.17	20.32
(550)	26.35	27.91	26.79	400	25.05	26.36	25.39
600	28.62	30.31	29.10	(450)	30.65	31.11	31.02
(650)	34.52	36.35	35.04	500	36.81	38.43	37.21
700	42.01	44.25	42.57	(550)	43.95	45.73	44.40
800	47.78	50.33	48.41	600	52.23	54.16	52.71
900	64.59	67.45	65.29	(650)	60.18	62.26	60.70
1000	77.68	80.85	78.46				

4. 凸缘法兰(摘自 HG 21564—95)

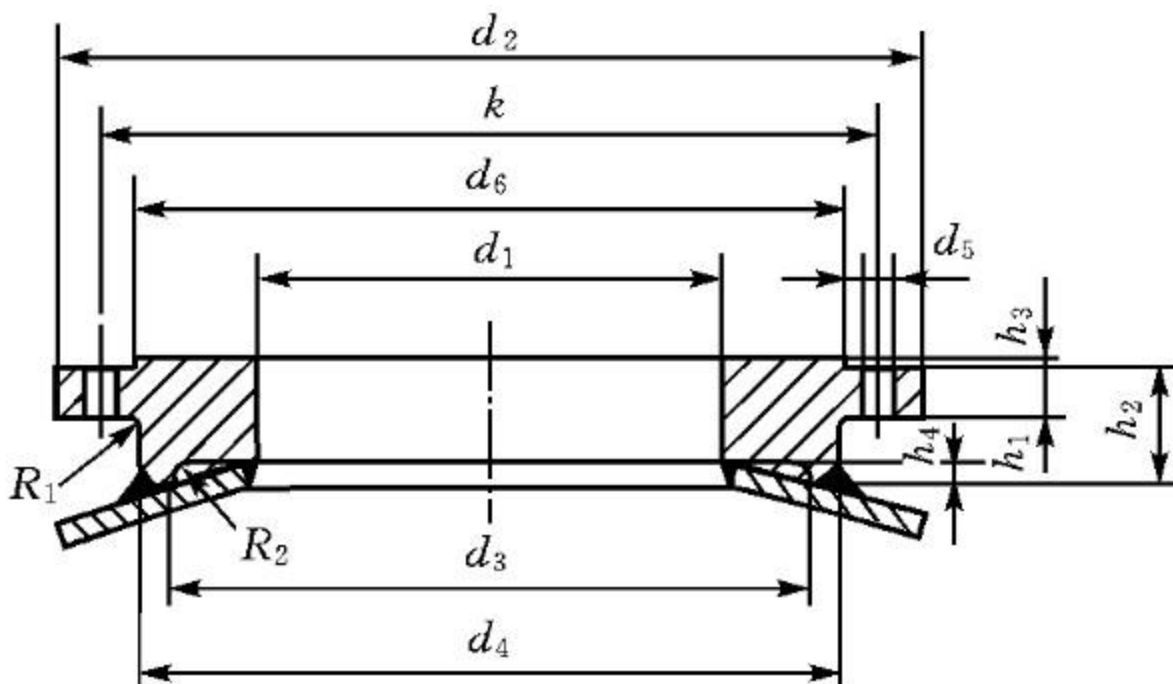


图 D-4 R 型突面凸缘法兰

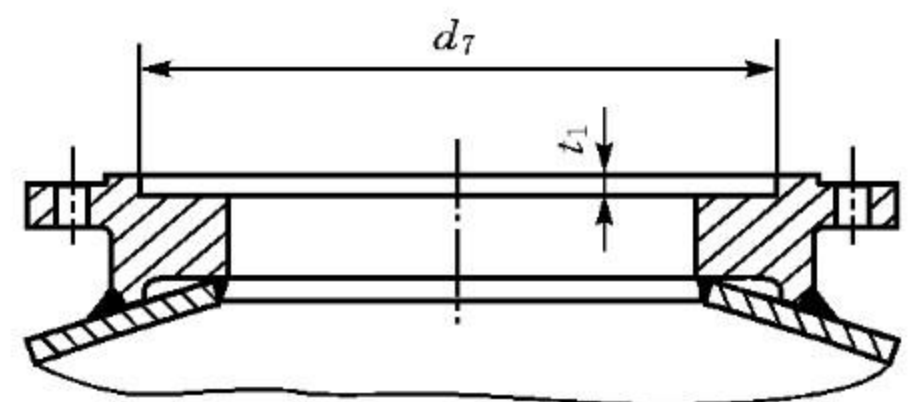


图 D-5 M 型凹面凸缘法兰

表 D-6 凸缘法兰主要尺寸

mm

公称直径 DN	d_1	d_2	k	d_3	d_4	h_1	h_2	h_4	螺栓		d_5	R_1	R_2	质量 kg	R 型		M 型	
									数量	螺 纹					d_6	h_3	d_7	t_1
200	200	340	295	220	245	34	65	4	8	M20	22	4	2	19	266	3	250	4.5
250	245	395	350	280	300	36			12					26	320	304		
300	280	445	400	325	350	36		5	12					33.5	370	354	5	
400	410	565	515	430	455	42	85	7	16	46	481	462						
500	430	670	620	520	560	46	90	8	20	102	585	566						
700	530	830	780	670	720	60	100	14	28	M24	26	5	4	198	745	725	5.5	
900	720	1045	990	860	920	68	110	15	36					M27	30	417		945

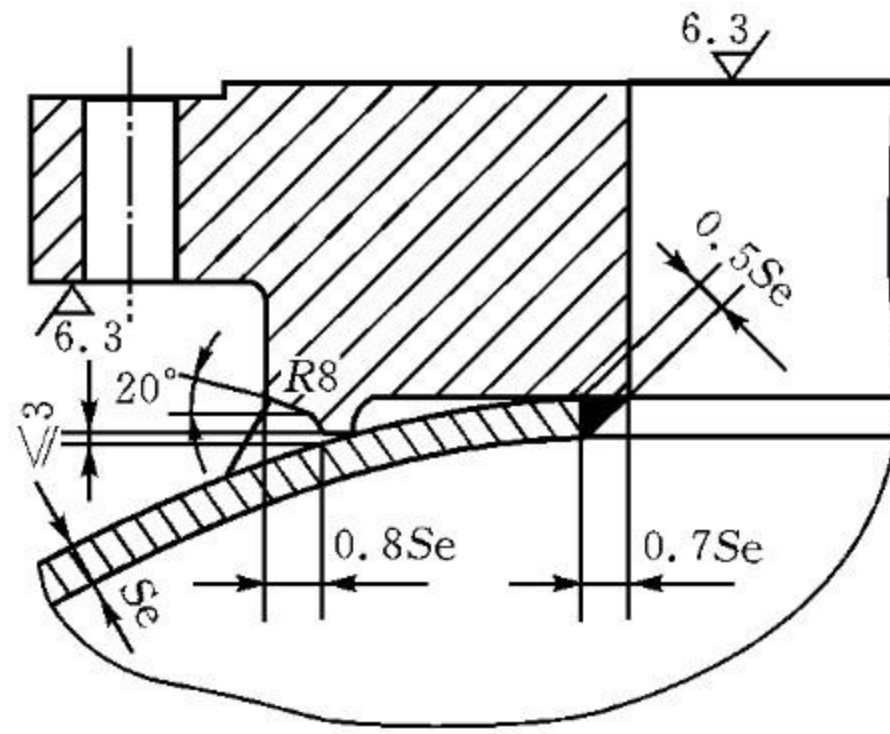


图 D-6 凸缘法兰结构详图

5. 安装底盖(摘自 HG 21565—95)

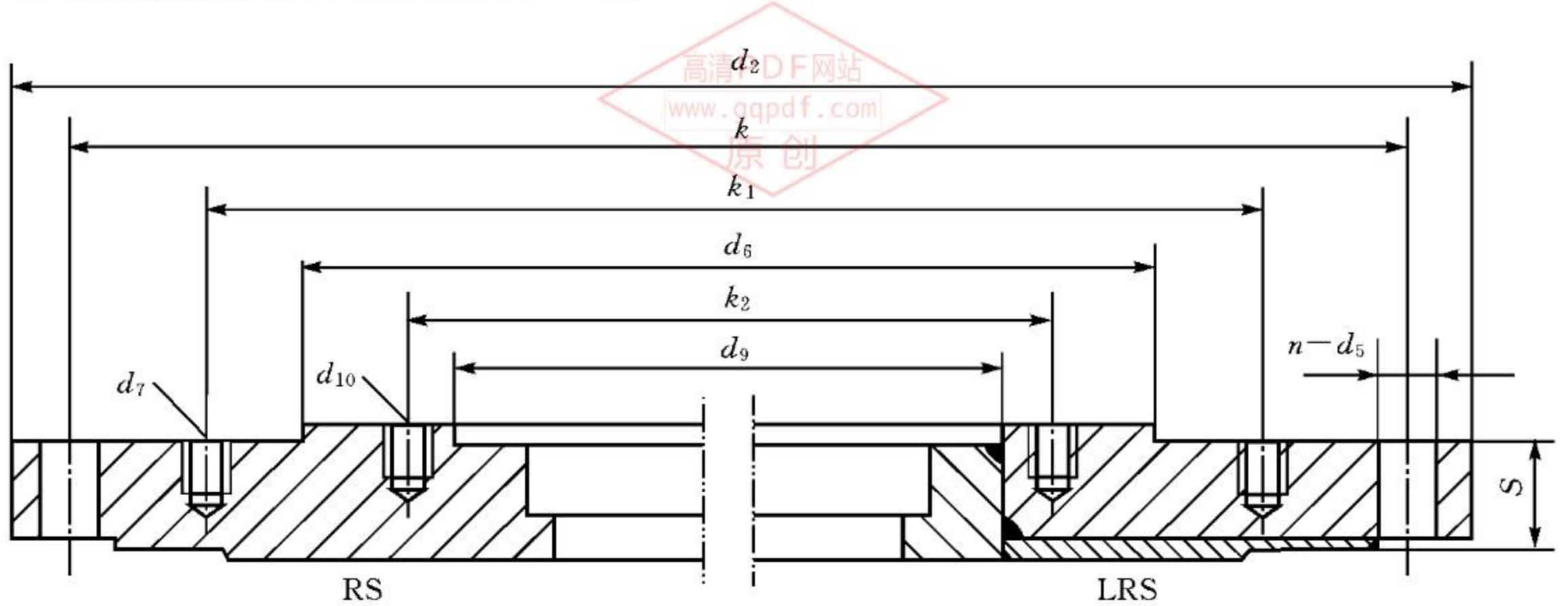


图 D-7 RS 和 LRS 型安装底盖

表 D-7 安装底盖的主要尺寸

单位: mm

安装底盖公称直径 DN	机架公称直径	d_2	k	d_5	d_6 (h7)	k_1	d_7	S
200	200	340	295	8~22	245	—	—	40
250	250	395	350	12~22	290	—	—	40
300	300	445	400	12~22	320	—	—	50
400	250	565	515	16~26	290	350	12-M20	50
	300				320	400	12-M20	
	400				415	—	—	

安装底盖公称直径 DN	机架公称直径	d_2	k	d_5	d_6 (h7)	k_1	d_7	S
500	300	670	620	20~26	320	400	12-M20	65
	400				415	515	16-M24	
	500				520	—	—	
700	300	830	780	28~26	320	400	12-M20	82
	400				415	515	16-M24	
	500				520	620	20-M24	
	700				670	—	—	
900	400	1054	990	36~30	415	515	16-M24	100
	500				520	620	20-M24	
	700				670	780	28-M24	

表 D-8

传动轴直径 d	D_6 (H7)	k_2	d_{10}	传动轴直径 d	D_6 (H7)	k_2	d_{10}
30	110	145	4-M16	100	234	270	8-M20
40	110	145	4-M16	110	260	295	8-M20
50	176	210	8-M16	120	260	295	8-M20
60	176	210	8-M16	130	260	295	8-M20
70	176	210	8-M16	140	313	350	12-M20
80	204	240	8-M20	160	313	350	12-M20
90	234	270	8-M20				

6. 耳式支座 (摘自 JB/T 4725—92)

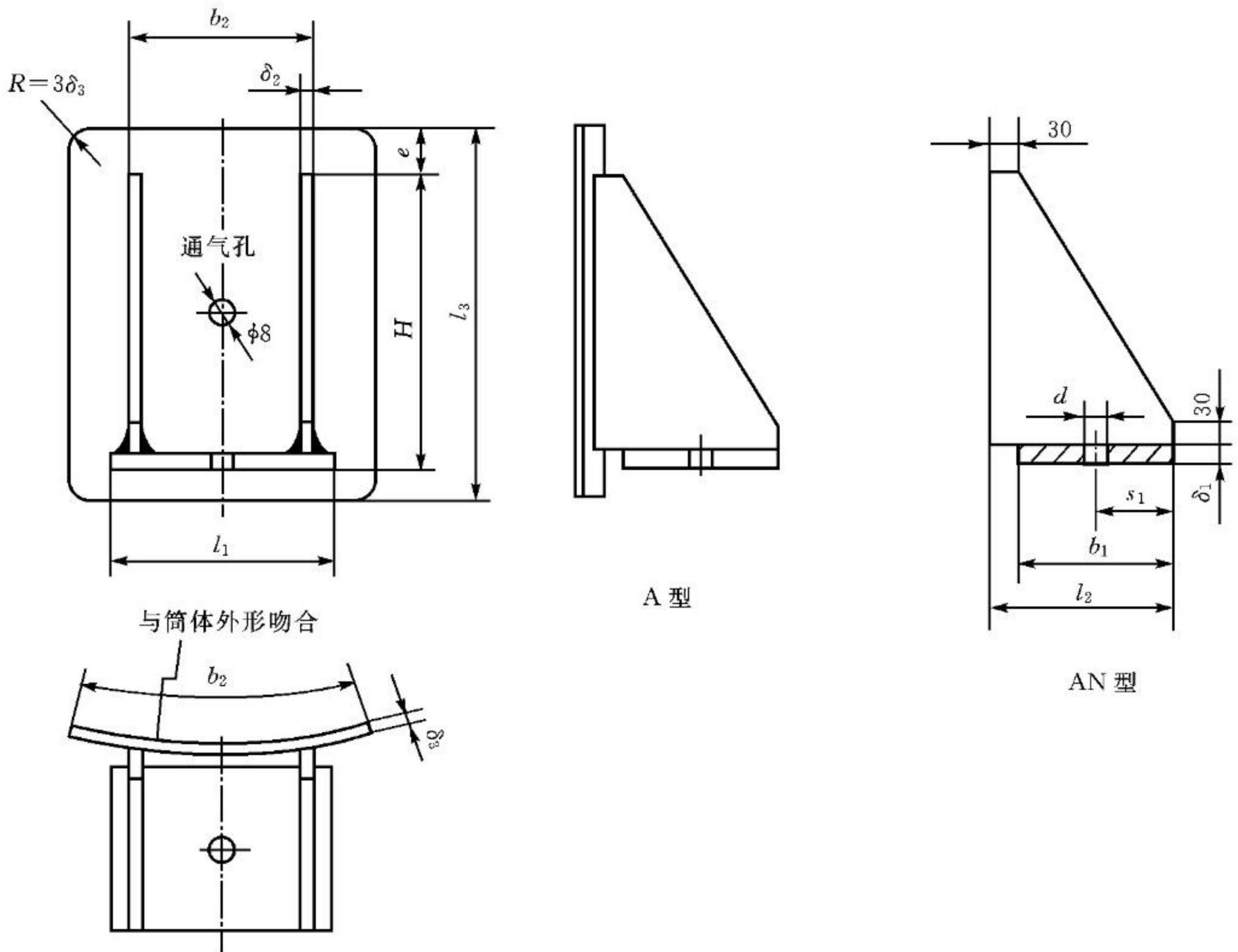


图 D-8 A型耳式支座

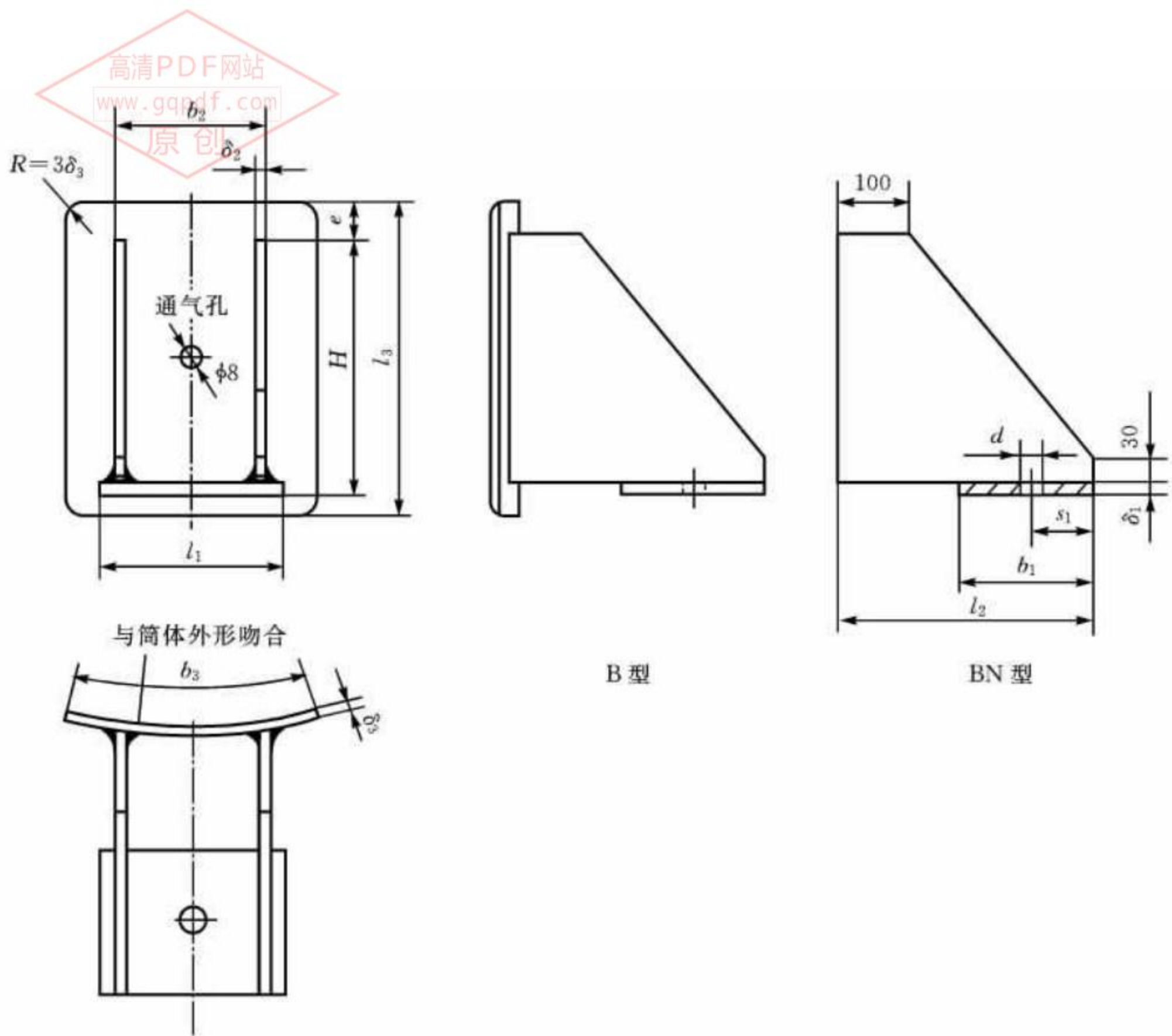


图 D-9 B 型耳式支座

表 D-9 耳式支座主要尺寸

单位: mm

允许载荷 Q/kN	适用容器公称 直径 DN	高度 H	底板				垫板					
			l_1	b_1	δ_1	s_1	l_3	b_3	δ_3	e		
10	300~600	125	100	60	6	30	160	125	6	20		
20	500~1000	160	125	80	8	40	200	160	6	24		
30	700~1400	200	160	105	10	50	250	200	8	30		
60	1000~2000	250	200	140	14	70	315	250	8	40		
100	1300~2600	320	250	180	16	90	400	320	10	48		
150	1500~3000	400	315	230	20	115	500	400	12	60		
200	1700~3400	480	375	280	22	130	600	480	14	70		
250	2000~4000	600	480	360	26	145	720	600	16	72		
允许载荷 Q/kN	支座号	A 型筋板			B 型筋板			地脚 螺栓	支座质量/kg			
		l_2	b_2	δ_2	l_2	b_2	δ_2		A 型	AN 型	B 型	BN 型
10	1	80	80	4	160	80	5	24-M20	1.7	0.7	2.5	1.6
20	2	100	100	5	180	100	6	24-M20	3.0	1.5	4.3	2.8
30	3	125	125	6	205	125	8	30-M24	6.0	2.8	8.3	5.2
60	4	160	160	8	290	160	10	30-M24	11.1	—	15.7	—
100	5	200	200	10	330	200	12	30-M24	21.6	—	28.7	—
150	6	250	250	12	380	250	14	36-M30	40.8	—	51.8	—
200	7	300	300	14	430	300	16	36-M30	67.3	—	81.5	—
250	8	380	380	16	510	380	18	36-M30	120.4	—	140.8	—

7. 带颈平焊法兰手孔(摘自 HG 21530—95)

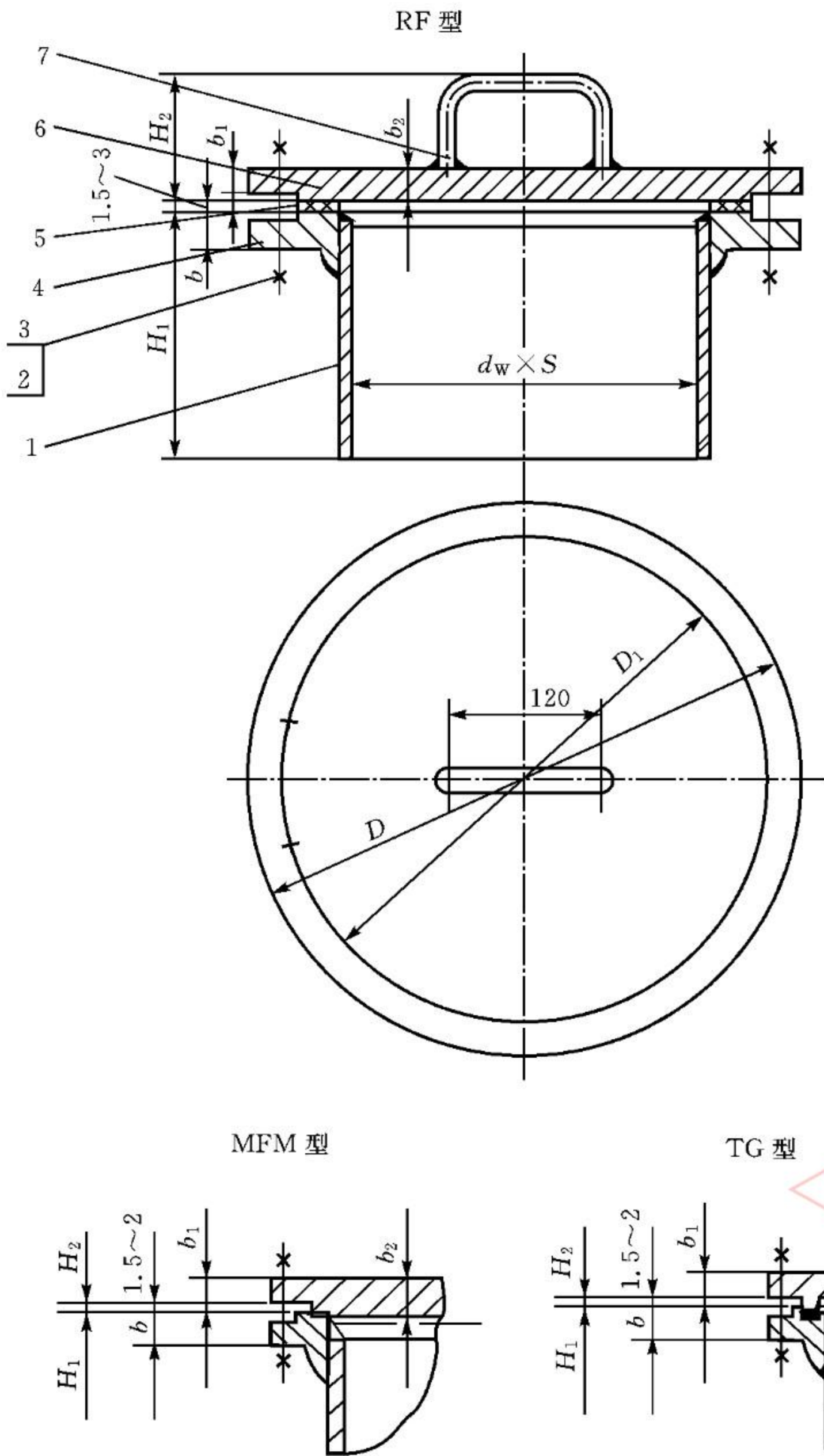


图 D-10 带颈平焊法兰手孔的基本结构

表 D-10 带颈平焊法兰手孔的主要尺寸

单位: mm

密封面型式	公称压力 PN /MPa	公称直径 DN	$d_w \times S$	D	D_1	b	b_1	b_2	H_1	H_2	螺柱	螺母	螺柱	总质量/kg
											数量		直径×长度	
突面 (RF 型)	1.0	150	159×4.5	285	240	22	21	24	160	90	8	16	M20×105	24.2
		250	273×8	395	350	26	23	26	190	92	12	24	M20×110	49.3
	1.6	150	159×6	285	240	22	21	24	170	90	8	16	M20×105	25.3
		250	273×8	405	355	26	23	26	200	92	12	24	M24×120	53.9

密封面型式	公称压力 PN /MPa	公称直径 DN	$d_w \times S$	D	D_1	b	b_1	b_2	H_1	H_2	螺柱	螺母	螺柱 直径×长度	总质量/kg
											数量			
凹凸面 (MFM 型)	1.0	150	159×4.5	285	240	22	19.5	24	160	85.5	8	16	M20×105	23.3
		250	273×8	395	350	26	21.5	26	190	87.5	12	24	M20×110	47.9
	1.6	150	159×6	285	240	22	19.5	24	170	85.5	8	16	M20×105	24.3
		250	273×8	405	355	26	21.5	26	200	87.5	12	24	M24×115	52.3
榫槽面 (TG 型)	1.6	(150)	159×6	285	240	22	19.5	24	170	85.5	8	16	M20×105	24.5
		(250)	273×8	405	355	26	21.5	26	200	87.5	12	24	M24×120	52.5

注:1. 手孔高度 H_1 系根据容器的直径不小于手孔公称直径的两倍而定;如有特殊要求,允许改变,但需注明改变后的 H_1 尺寸,并修正手孔总质量。
2. 表中带括号的公称直径尽量不采用。

8. 回转盖带颈平焊法兰人孔(摘自 HG 21517—95)

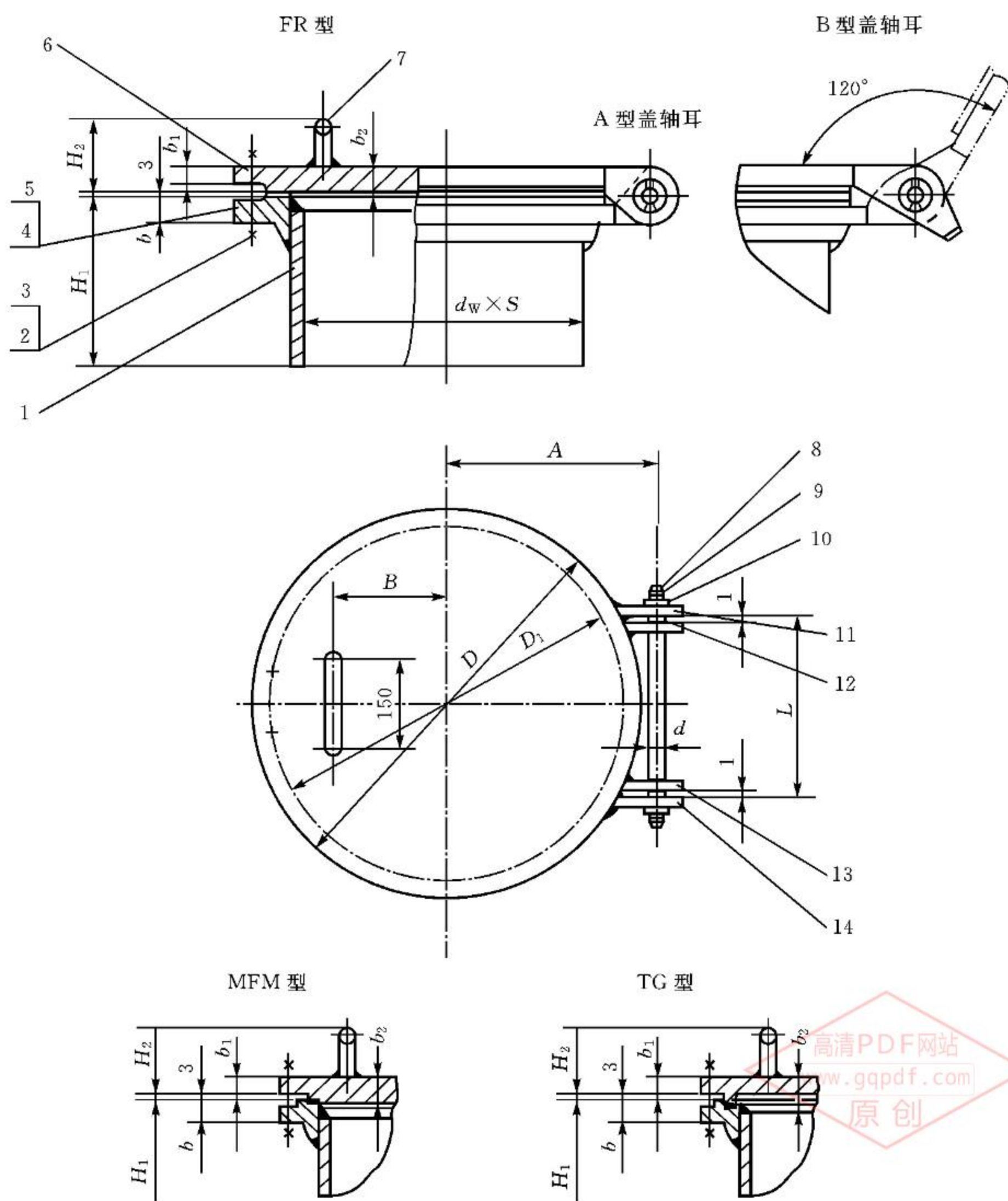


图 D-11 回转盖带颈平焊法兰人孔的基本结构

表 D-11 回转盖带颈平焊法兰人孔的主要尺寸

单位: mm

密封面型式	公称压力 PN /MPa	公称直径 DN	$d_w \times S$	D	D_1	A	B	L	b	b_1	b_2	H_1	H_2	d	螺柱 数量	螺母	螺柱 直径× 长度	总质量 /kg
突面 (RF型)	1.0	(400)	426×8	565	515	310	125	200	26	24	28	220	108	20	16	32	M24×120	103 104
		450	480×8	615	565	340	150	250	28	26	30	230	110	20	20	40	M24×125	125 125
		500	530×8	670	620	365	175	250	28	28	32	250	112	24	20	40	M24×125	153 154
		600	630×8	780	725	420	225	350	28	31	36	270	116	24	20	40	M27×130	216 216
	1.6	(400)	426×10	580	525	320	150	200	36	28	32	230	112	24	16	32	M27×150	134 134
		450	480×10	640	585	350	175	250	38	32	36	240	116	24	20	40	M27×150	171 171
		500	530×10	715	650	390	200	300	42	36	40	260	120	24	20	40	M30×2 ×160	235 235
		600	630×10	840	770	450	250	350	46	39	44	280	124	30	20	40	M33×2 ×175	341 341
凹凸面 (MFM型)	1.0	(400)	426×8	565	515	310	125	200	26	23	28	220	103	20	16	32	M24×120	101 101
		450	480×8	615	565	340	150	250	28	25	30	230	105	20	20	40	M24×125	122 123
		500	530×8	670	620	365	175	250	28	27	32	250	107	24	20	40	M24×125	151 151
	1.6	(400)	426×10	580	525	320	150	200	36	27	32	230	107	24	16	32	M27×150	131 132
		450	480×10	640	585	350	175	250	38	31	36	240	111	24	20	40	M27×150	168 168
		500	530×10	715	650	390	200	300	42	35	40	260	115	24	20	40	M30×2 ×160	231 232
榫槽面 (TG型)	1.6	(400)	426×10	580	525	320	150	200	36	27	32	230	107	24	16	32	M27×150	131 131
		(450)	480×10	640	585	350	175	250	38	31	36	240	111	24	20	40	M27×150	168 168
		(500)	530×10	715	650	390	200	300	42	35	40	260	115	24	20	40	M30×2 ×160	232 232

注:1. 人孔高度 H_1 系根据容器的直径不小于人孔公称直径的两倍而定;如有特殊要求,允许改变需注明改变后的 H_1 尺寸,并修正人孔总质量。

2. 表中带括号的公称直径尽量不采用。

3. 表中斜线上数值为 A 型盖轴耳人孔的总质量,斜线下为 B 型盖轴耳人孔的总质量。

9. 钢制管法兰(摘自 HG 20593—97)

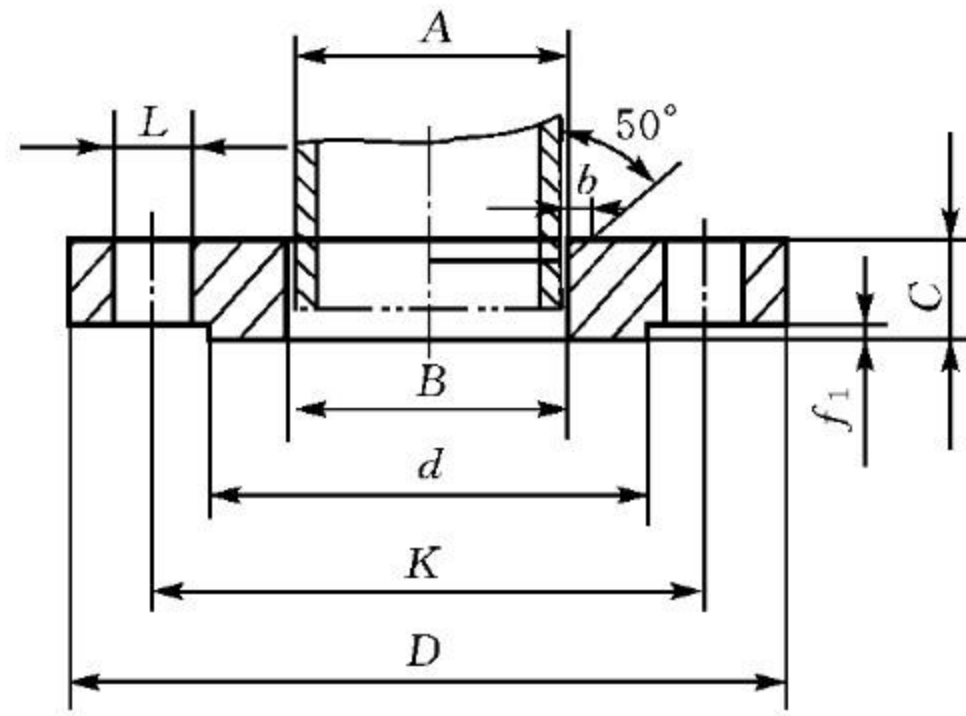


图 D-12 标准突面板式平焊钢制管法兰

表 D-12 标准突面板式平焊钢制管法兰主要尺寸

单位: mm

公称 口径 DN	管子 外径 A	连接尺寸				六角头螺栓、螺柱			密封面尺寸		法兰 厚度 C	法兰 内径 B	坡口 宽度 b	法兰 理论 质量 /kg
		法兰 外径 D	螺栓孔 中心圆 直径 K	螺栓孔 直径 L	螺栓孔 数量 n	螺纹 Th	螺栓 长度 l	螺柱 长度 l	d	f ₁				
10	14	75	50	11	4	M10	45	60	35	2	12	15		0.32
15	18	80	55	11	4	M10	45	60	40	2	12	19		0.36
20	25	90	65	11	4	M10	50	60	50	2	14	26		0.54
25	32	100	75	11	4	M10	50	60	60	2	14	33		0.65
32	38	120	90	14	4	M12	55	70	70	2	16	39		1.09
40	45	130	100	14	4	M12	55	70	80	3	16	46		1.20
50	57	140	110	14	4	M12	55	70	90	3	16	59		1.31
65	76	160	130	14	4	M12	55	70	110	3	16	78		1.61
80	89	190	150	18	4	M16	65	85	128	3	18	91		2.60
100	108	210	190	18	4	M16	65	85	148	3	18	110		3.02
125	133	240	200	18	8	M16	70	90	178	3	20	135		4.10
150	159	265	225	18	8	M16	70	90	202	3	20	161		4.65
200	219	320	280	18	8	M16	70	95	258	3	22	222		6.24
250	273	375	335	18	12	M16	75	95	312	3	24	276		8.23
300	325	440	395	22	12	M20	80	105	365	4	24	328		10.5
350	377	490	445	22	12	M20	85	110	415	4	26	381		12.8
400	426	540	495	22	16	M20	90	115	465	4	28	430		15.4
450	480	595	550	22	16	M20	95	120	520	4	30	485		18.7
500	530	645	600	22	20	M20	95	125	570	4	32	535		21.7
600	630	755	705	26	20	M24	110	140	670	5	36	636		30.4
700	720	860	810	26	24	M24	120	150	775	5	40	724		45.3
800	820	975	920	30	24	M27	130	165	880	5	44	824		63.1
900	920	1075	1020	30	24	M27	135	170	980	5	48	924		77.6
1000	1020	1175	1120	30	28	M27	145	180	1080	5	52	1024		92.5
1200	1220	1405	1340	33	32	M30×2		200	1295	5	60	1224		155.1
1400	1420	1630	1560	36	36	M33×2		220	1510	5	68	1424		234.0
1600	1620	1830	1760	36	40	M33×2		235	1710	5	76	1624		297.6
1800	1820	2045	1970	39	44	M36×3		265	1920	5	84	1824	17	394.9
2000	2020	2265	2180	42	48	M39×3		285	2125	5	92	2024	16	521.9

10. 补强圈(摘自 HG 21506—92)

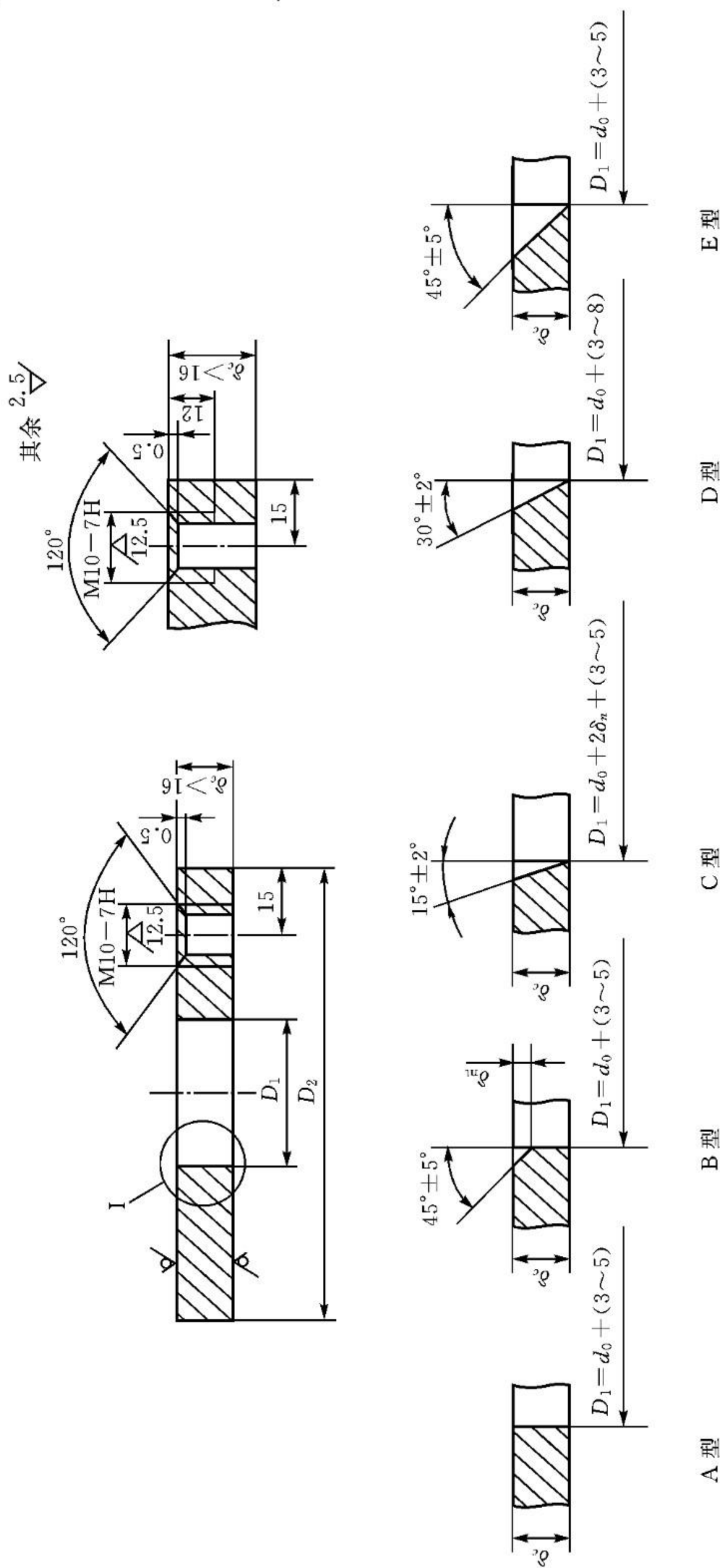


图 D-13 补强圈及其坡口型式



表 D-13 补强圈尺寸系列

接管公称直径 DN	外径 D_o	内径 D_i	厚度 δ /mm												
			4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
尺寸/mm			质量/kg												
50	130	按补强圈坡口类型确定	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.28	1.43	1.59	1.75	1.91	2.07	2.23
65	160		0.48	0.73	0.97	1.21	1.45	1.70	1.94	2.18	2.42	2.67	2.91	3.15	3.39
80	180		0.59	0.88	1.17	1.46	1.76	2.05	2.34	2.63	2.93	3.22	3.51	3.81	4.10
100	210		0.78	1.17	1.56	1.94	2.33	2.72	3.11	3.50	3.89	4.28	4.67	5.06	5.44
125	250		1.08	1.62	2.16	2.69	3.23	3.77	4.31	4.85	5.39	5.93	6.47	7.01	7.55
150	300		1.56	2.35	3.13	3.91	4.69	5.47	6.25	7.04	7.22	8.60	9.38	10.2	10.9
175	360		2.23	3.34	4.46	5.57	6.68	7.78	8.91	10.0	11.1	12.3	13.4	14.5	15.6
200	400		2.72	4.08	5.44	6.80	8.15	9.51	10.9	12.2	13.6	14.9	16.3	17.7	19.0
225	440		3.24	4.87	6.49	8.11	9.73	11.4	13.0	14.6	16.2	17.8	19.5	21.1	22.7
250	470		3.55	5.33	7.11	8.88	10.7	12.4	14.2	16.0	17.8	19.5	21.3	23.1	24.9
300	540		4.52	6.78	9.04	11.3	13.6	15.8	18.1	20.3	22.6	24.9	27.1	29.4	31.6
350	610		5.59	8.39	11.2	14.0	16.8	19.6	22.4	25.2	28.0	30.8	33.6	36.4	39.2
400	680		6.84	10.3	13.7	17.1	20.5	23.9	27.4	30.8	34.2	37.6	41.0	44.5	47.9
450	760		8.46	12.7	16.9	21.2	25.4	29.6	33.9	38.1	42.3	46.5	50.8	55.0	59.2
500	840		10.4	15.5	20.7	25.9	31.1	36.3	41.5	46.6	51.8	57.0	62.2	67.4	72.5
600	980	13.8	20.6	27.5	34.4	41.3	48.2	55.1	61.9	68.8	75.7	82.6	89.5	96.4	

注：内径 D_i 为补强圈成型后的尺寸。

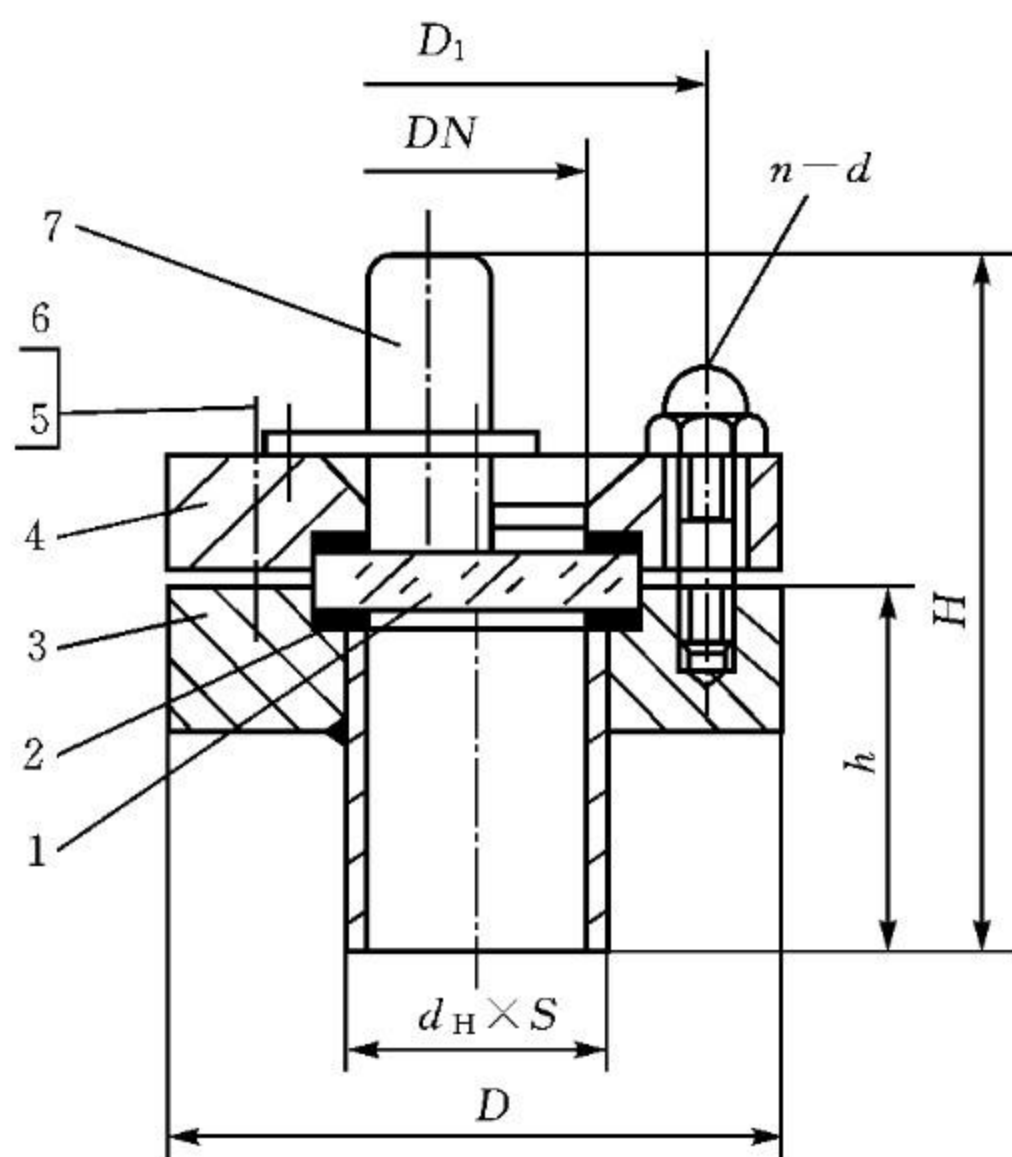


图 D-14 带灯有颈视镜

1—视镜玻璃；2—衬垫；3—有颈接缘；4—压紧环；
5—双头螺栓；6—盖形螺母；7—视灯镜

表 D-14 带灯有颈视镜主要尺寸

单位: mm

公称直径 DN /mm	公称压力 PN /MPa	D	D ₁	d _H ×S	h	≈H		n×d	视镜重 /kg	总质量/kg	
						防腐型	防爆型			防腐型	防爆型
100	0.6	180	150	108×4	84	204	264	8×M12	4.7	5.7	7.7
	1.0	200	165	108×4	105	225	285	8×M16	10.7	11.7	13.7
125	0.6	205	175	133×4	91	211	275	8×M12	6.8	7.8	9.8
	1.0	225	190	133×4	117	237	297	8×M16	13.6	14.6	16.6
150	0.6	230	200	159×4.5	90	210	270	8×M12	9.1	10.1	12.1
	1.0	250	215	159×4.5	130	250	310	12×M16	18.2	19.2	21.2

12. 地脚螺栓座(摘自 HG 20652—1998)

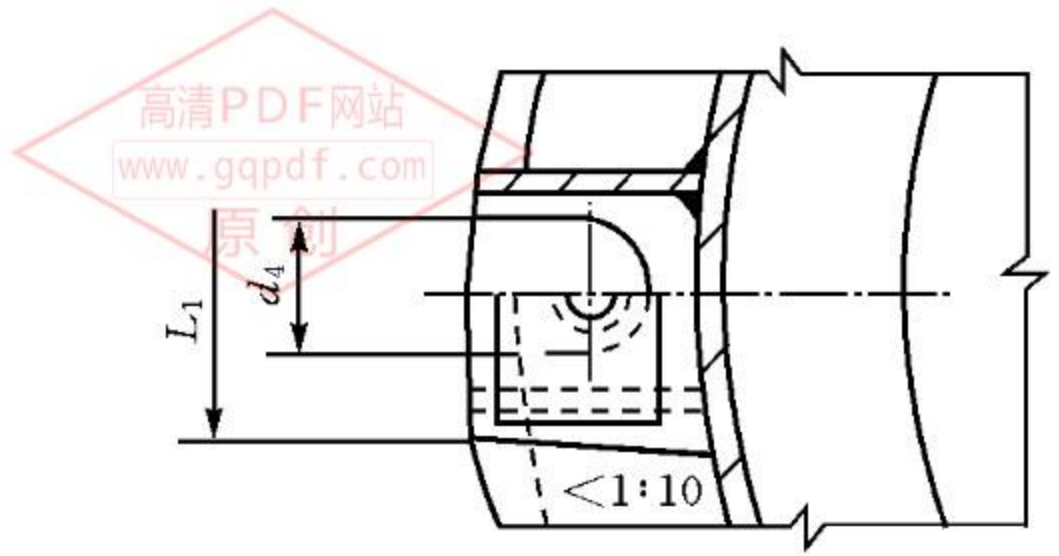
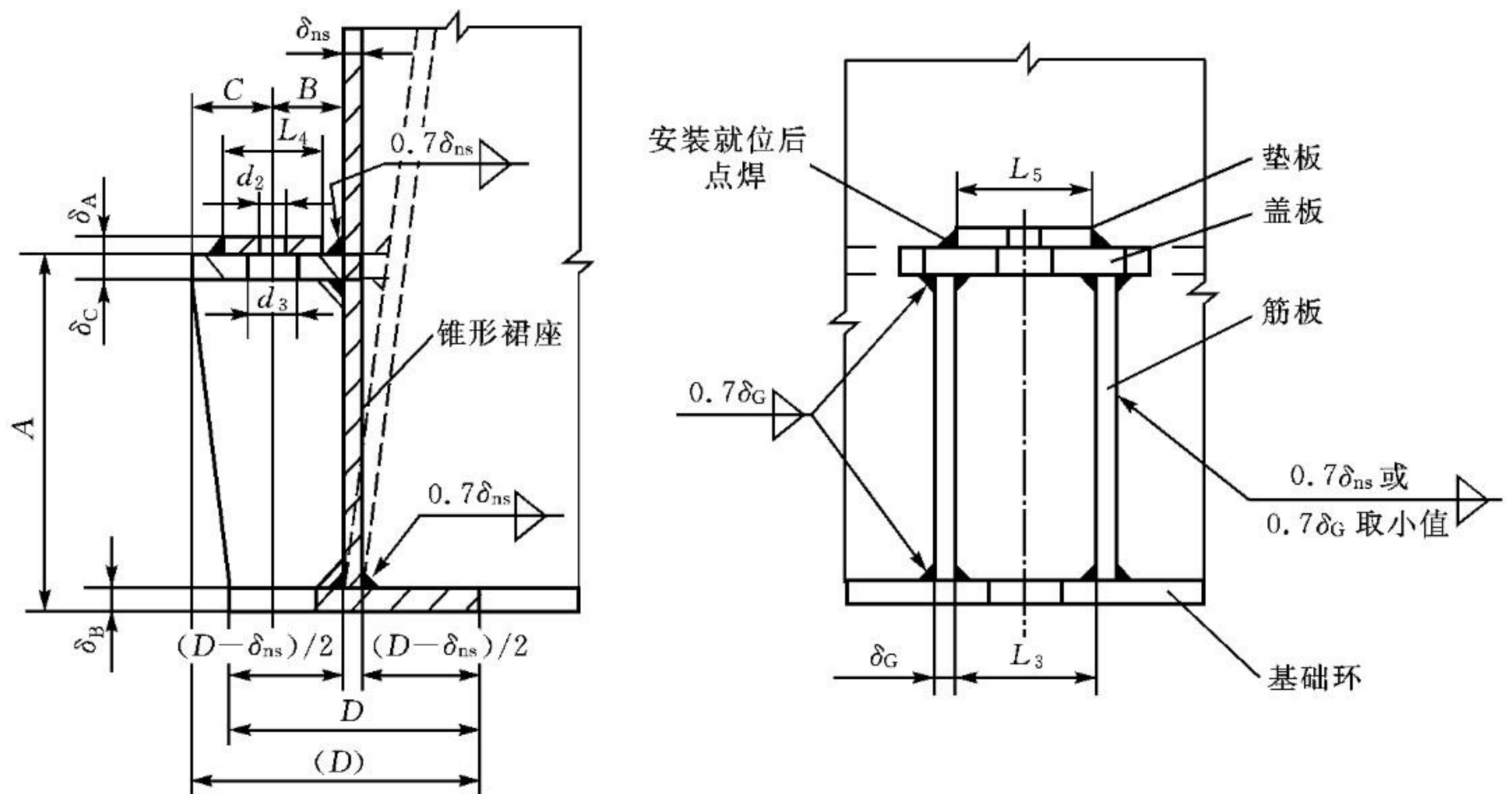


图 D-15 外螺栓座结构型式

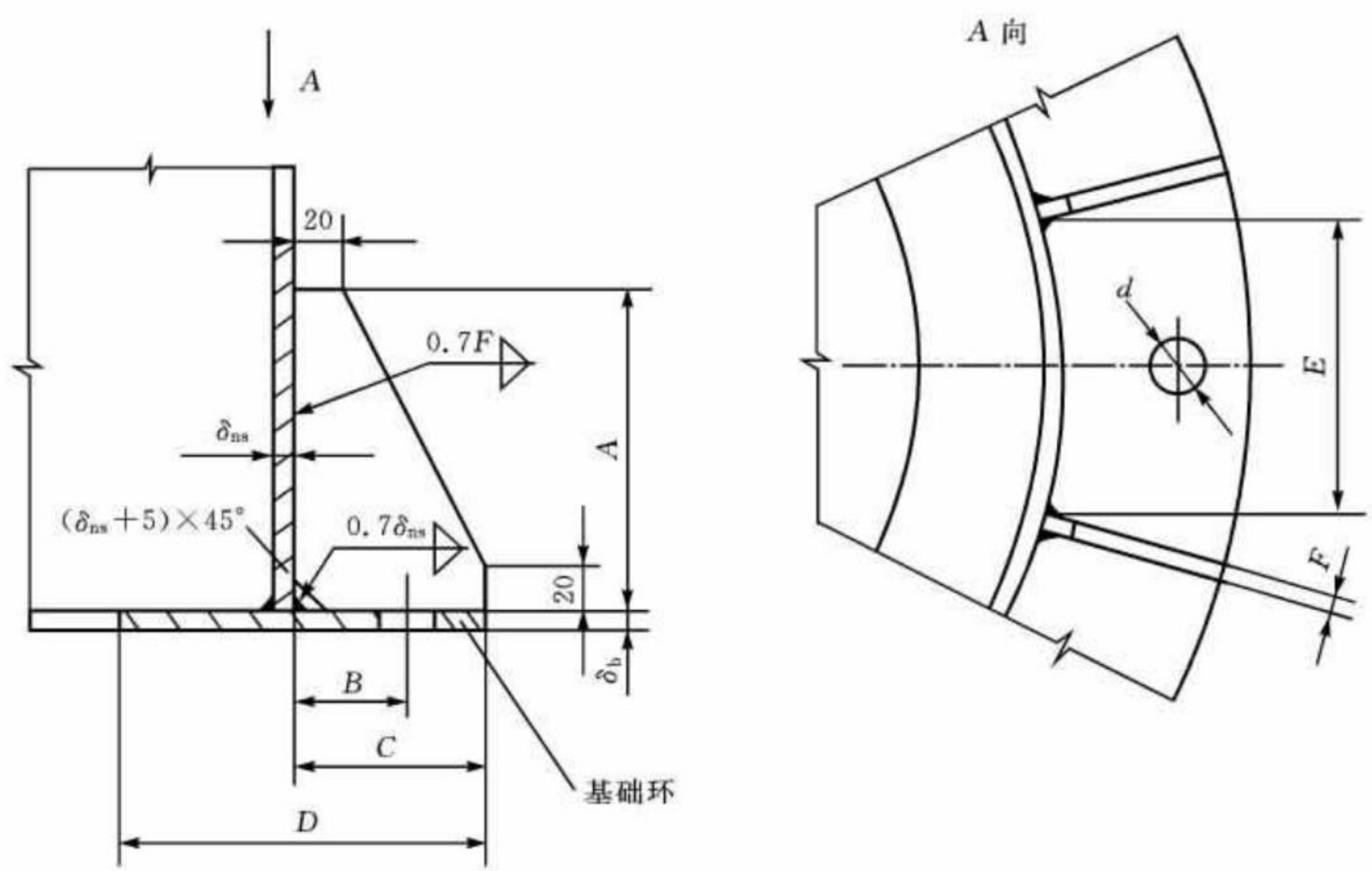


图 D-16 单环板螺栓座结构型式

表 D-15 外螺栓座结构型式主要尺寸

单位: mm

螺栓规格	A	B	C	D (D)	L_3	δ_G	δ_C	δ_Z	L_1	L_5	L_4	d_2	d_3	d_4	δ_b
M24×3	200	55	45	160 (190)	70	12	16	12	130	100	50	27	40	50	见注
M27×3	200	60	50	170 (200)	75	12	18	12	140	110	60	30	43	50	
M230×3.5	250	65	55	180 (210)	80	14	20	14	150	120	70	33	45	50	
M36×34	250	70	60	200 (230)	85	16	22	16	160	130	80	39	50	50	
M42×4.5	300	75	65	210 (240)	90	18	24	18	170	140	90	45	60	60	
M48×5	300	80	70	220 (260)	100	20	26	20	190	150	100	51	65	70	
M56×5.5	350	85	75	240 (280)	110	22	30	22	210	170	110	59	75	80	
M64×6	350	90	80	260 (300)	120	22	32	24	220	180	120	67	85	90	
M72×6	400	95	85	280 (320)	130	24	36	26	240	190	130	75	95	100	
M76×6	400	100	90	290 (340)	135	24	40	26	250	200	140	79	100	110	
M80×6	450	105	95	310 (360)	140	26	40	28	270	220	150	83	110	120	
M90×6	450	115	105	330 (380)	150	28	46	30	280	230	160	93	120	130	

注: 盖板厚度 δ_C , 筋板厚度 δ_G , 基础环板厚度 δ_b 应按 JB 4710《钢制塔式容器》的相应规定计算确定。

高清PDF网站
www.gqpdf.com

表 D-16 单环板螺栓座结构型式主要尺寸

单位: mm

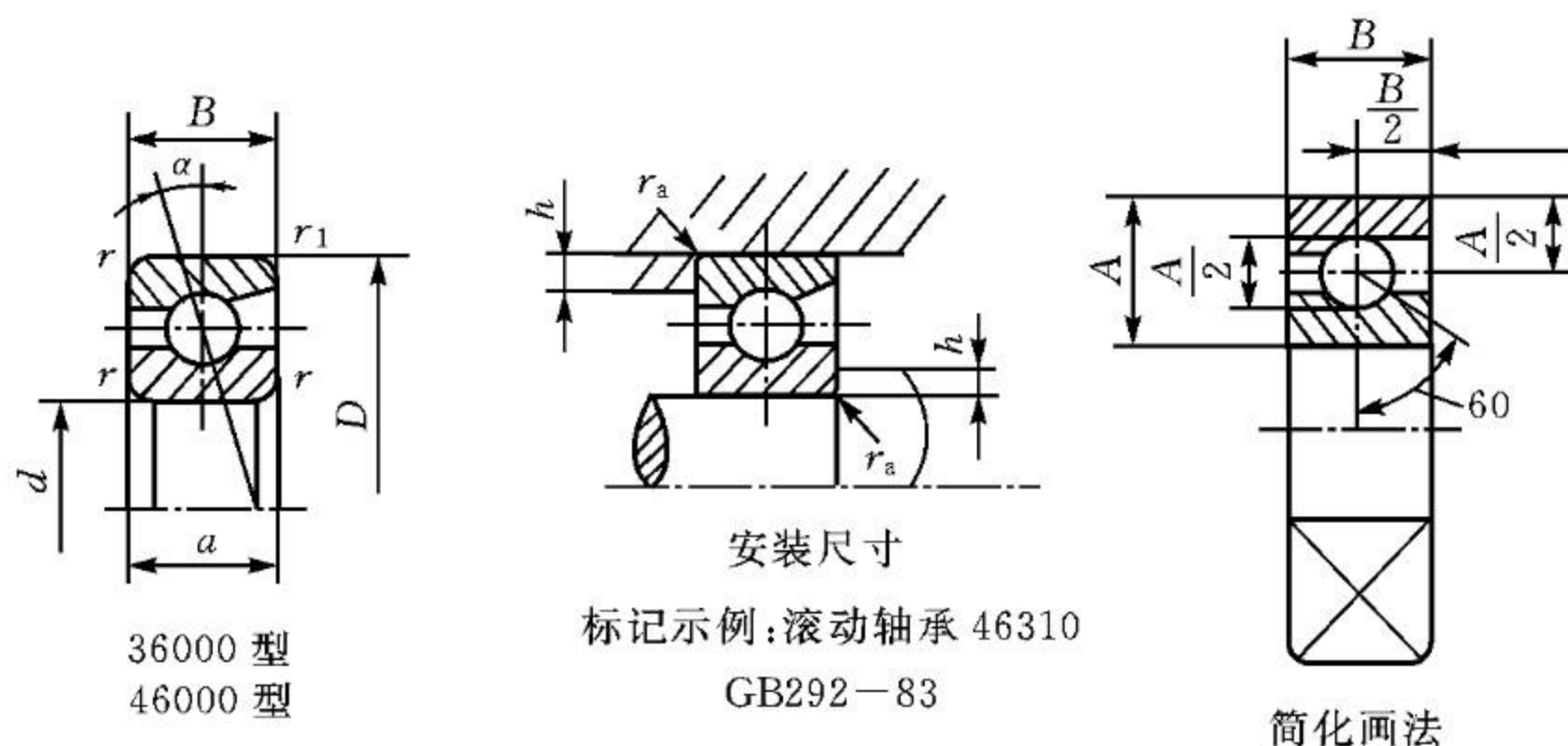
螺栓规格	d	A	B	C	D	E	F
M16×2	20	110	40	70	130	80	6
M20×2.5	25	120	45	75	150	100	8
M24×3	29	140	50	85	170	120	8
M27×3	32	160	55	95	180	140	10

注: 基础环板厚度 δ_b 应按 JB 4710《钢制塔式容器》的相应规定计算确定, 但不应小于 16 mm。

附录 E 机械传动常用零部件

1. 轴 承

表 E-1 角接触球轴承(摘自 GB 292—83)



iF_a/C_{0r}	e	Y	36000 型	46000 型
0.015	0.38	1.47	径向当量动负荷 当 $F_a/F_r \leq e$ $P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r > e$ $P_r = 0.44F_r + YF_a$	径向当量动负荷 当 $F_a/F_r \leq 0.68$ $P_r = F_r$ 当 $F_a/F_r > 0.68$ $P_r = 0.41F_r + 0.87F_a$
0.029	0.40	1.40		
0.058	0.43	1.30		
0.087	0.46	1.23		
0.12	0.47	1.19		
0.17	0.50	1.12		
0.29	0.55	1.02		
0.44	0.56	1.00		
0.58	0.56	1.00		

轴承型号	尺寸/mm					安装尺寸/mm			额定动负荷 C_r /kN		额定静负荷 C_{0r} /kN		极限转速 k /r/min			
	d	D	B	r_{smin}	r_{1smin}	a		h 最小		r_a 最大	36000	46000	36000	46000	脂润滑	油润滑
						36000	46000	一般情况	特殊情况*							

轻(2)窄系列

36206	46206	30	62	16	1	0.3	12.9	19.2	3	2.5	1	18.20	17.10	13.30	12.20	9.0	13
36207	46207	35	72	17	1.1	0.6	14.2	21.5	3.5	3.3	1	25.40	23.90	19.60	18.00	8.0	11
36208	46208	40	80	18	1.1	0.6	15.4	23.6	3.5	3.3	1	30.60	28.80	23.70	21.80	7.5	10
36209	46209	45	85	19	1.1	0.6	16.4	25.4	3.5	3.3	1	32.30	30.40	25.60	23.60	6.7	9.0
36210	46210	50	90	20	1.1	0.6	17.4	27.1	3.5	3.3	1	33.90	31.90	27.60	25.40	6.3	8.5
36211	46211	55	100	21	1.5	0.6	18.7	29.4	4.5	4	1.5	41.90	39.20	34.90	32.10	5.6	7.5
36212	46212	60	110	22	1.5	0.6	20	31.7	4.5	4	1.5	50.70	47.60	43.10	39.60	5.3	7.0
36213	46213	65	120	23	1.5	0.6	21.3	34.1	4.5	4	1.5	57.90	51.90	51.00	43.70	4.8	6.3
36214	46214	70	125	24	1.5	0.6	22.4	35.8	4.5	4	1.5	62.90	59.10	55.90	51.40	4.5	6.0
36215	46215	75	130	25	1.5	0.6	23.4	37.5	4.5	4	1.5	65.50	61.40	59.60	54.80	4.3	5.6
36216	46216	80	140	26	2	1	24.7	39.8	5	4.5	2	73.50	68.90	66.50	61.10	4.0	5.3

轴承型号	尺寸/mm						安装尺寸/mm					额定动负荷 C_r /kN		额定静负荷 C_{0r} /kN		极限转速 k /r/min	
	d	D	B	r_{smin}	r_{1smin}	a		h 最小		r_a 最大	36000	46000	36000	46000	脂润滑	油润滑	
						36000	46000	一般情况	特殊情况*								
中(3)窄系列																	
36305	46305	25	62	17	1.1	0.6	13.1	19.1	3.5	3.3	1	22.00	21.10	16.20	14.90	9.5	14
36306	46306	30	72	19	1.1	0.6	15.0	22.2	3.5	3.3	1	27.00	25.60	20.40	18.70	8.5	12
36307	46307	35	80	21	1.5	0.6	16.6	24.5	4.5	4	1.5	35.10	33.40	27.50	25.20	9.5	10
36308	46308	40	90	23	1.5	0.6	8.5	27.5	4.5	4	1.5	41.40	39.20	33.40	30.70	6.7	9.0
36309	46309	45	100	25	1.5	0.6	20.2	30.2	4.5	4	1.5	50.50	48.10	41.00	37.70	6.0	8.0
36310	46310	50	110	27	2	1	22.0	33.0	5	4.5	2	59.20	56.20	48.80	44.90	5.6	7.5
36311	46311	55	120	29	2	1	23.8		5	4.5	2	72.50		62.50	(5.0)	(6.7)	
36312	46312	60	130	31	2.1	1.1	25.6	38.7	6	5.5	2.1	83.00	78.80	72.50	66.60	4.8	6.3
36313	46313	65	140	33	2.1	1.1	27.4	41.5	6	5.5	2.1	94.30	89.20	83.20	76.50	4.3	5.6
36314	46314	70	150	35	2.1	1.1	29.2	44.3	6	5.5	2.1	106.00	100.00	94.60	87.00	4.0	5.3
重(4)窄系列																	
	46406	30	90	23	1.5	0.6		26.1	4.5	4	1.5		43.30		32.60	7.5	10
	46407	35	100	25	1.5	0.6		29.0	4.5	4	1.5		54.70		43.10	6.3	8.5
	46408	40	110	27	2	1		31.8	5	4.5	2		62.90		50.00	6.0	8.0
	46409	45	120	29	2	1		34.6	5	4.5	2		67.70		53.60	5.3	7.0
	46410	50	130	31	2.1	1.1		37.4	6	5.5	2		77.50		65.00	5.0	6.7
	46412	60	150	35	2.1	1.1		43.1	6	5.5	2		103.00		91.80	4.3	5.6
	46414	70	180	42	3	1.1		51.5	7	6.5	2.5		128.00		125.00	3.6	4.8
	46416	80	200	48	3	1.1		58.1	7	6.5	2.5		154.00		163.00	3.2	4.3
	46418	90	215	54	4	1.5		64.8	9	8	3		181.00		206.00	2.6	3.6
36000 型											46000 型						
iF_a/C_{0r}		0.015	0.029	0.058	0.087	0.12	0.17	0.29	0.44	0.58	$X_0=1$ $Y_0=0.92$ F_r, F_a 取为 作用在该 支承上的 总负荷	$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.68$	X	1	$X_0=1$ $Y_0=0.76$ F_r, F_a 取 为作用在 该支承上 的总负荷		
e		0.38	0.40	0.43	0.46	0.47	0.50	0.55	0.56	0.56			Y	0.92			
$F_a/F_r \leq e$	X	1										$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.68$	X	0.67			
	Y	1.65	1.57	1.46	1.38	1.34	1.26	1.14	1.12	1.12	Y		1.41				
$F_a/F_r > e$	X	0.72										$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.68$	X	0.67			
	Y	2.39	2.28	2.11	2.00	1.93	1.82	1.66	1.63	1.63	Y		1.41				

注:1. GB 292—83 仅给出轴承型号及尺寸,安装尺寸摘自 GB 5868—86。

2. 括号()中为 36000 型的数值。

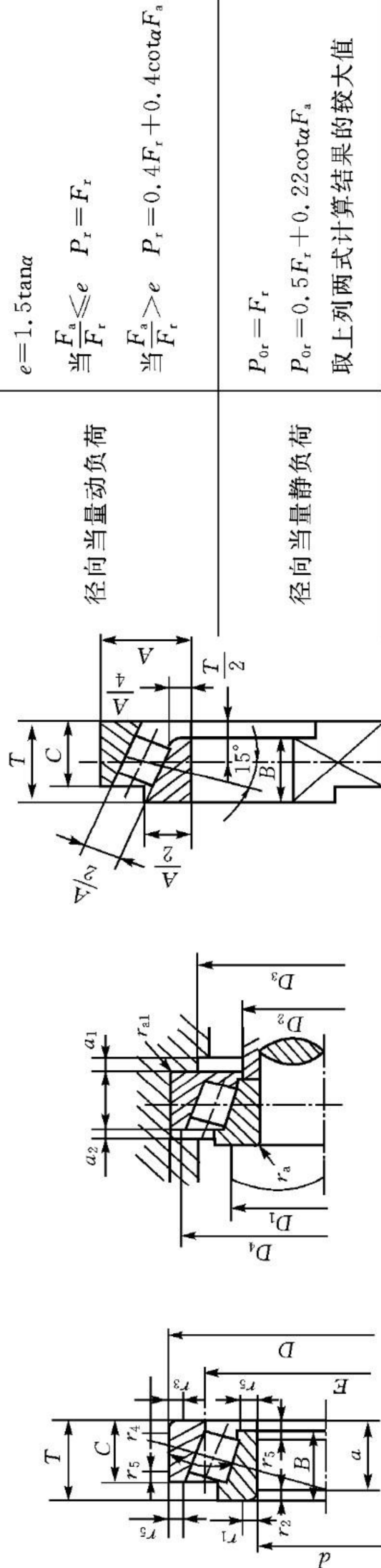
3. * 特殊情况是指推力负荷极小,或设计上要求挡肩必须小的情况。

4. r_{smin} 和 r_{1smin} 分别为 r 和 r_1 的单向最小倒角尺寸。

5. 两套相同的角接触球轴承安装在同一支点上,“背靠背”或“面对面”配置作为一个整体(成对安装),这对轴承的径向当量动(静)负荷计算公式中 $X, Y(X_0, Y_0)$ 见上表。

6. i 为轴承中滚动体的列数,对单列轴承 $i=1$ 。

表 E-2 圆锥滚子轴承 (摘自 GB 297—84)



7000 型 安装尺寸 简化画法 标记示例: 滚动轴承 7520 GB 297—84

轴承型号	尺寸/mm										安装尺寸 (GB 5868—86)/mm	额定动负荷 C_r /kN	额定静负荷 C_{or} /kN	极限转速 $k/(r/min)$										
	d	D	T	B	$r_{1\min}$	$r_{2\min}$	C	$r_{3\min}$	$r_{4\min}$	α				$\alpha \approx$	D_1	D_2	脂润滑		油润滑					
																	min	max		min	max			
7203E	17	4	13.25	12	1	11	1	1	1	12°57'10"	10	23	23	34	34	37	2	2.5	1	1	11.4	11.4	9	12
7204E	20	47	15.25	14	1	12	1	1	1	12°57'10"	12	26	27	40	41	43	2	3.5	1	1	15.8	15.8	8	10
7205E	25	52	16.25	15	1	13	1	1	1	14°2'10"	13	31	31	44	46	48	2	3.5	1	1	19.9	17.9	7	9.0
7206E	30	62	17.25	16	1	14	1	1	1	14°2'10"	14	36	37	53	56	58	2	3.5	1	1	24.8	22.3	6	7.5
7207E	35	72	18.25	17	1.5	15	1.5	1.5	1.5	14°2'10"	16	42	44	62	65	67	3	3.5	1.5	1.5	29.4	26.3	5.3	6.7
7208E	40	80	19.75	18	1.5	16	1.5	1.5	1.5	14°2'10"	18	47	49	69	73	75	3	4.0	1.5	1.5	34.0	31.0	5.0	6.3
7209E	45	85	20.75	19	1.5	16	1.5	1.5	1.5	15°6'34"	19	52	53	74	78	80	3	5.0	1.5	1.5	38.2	36.1	4.5	5.6
7210E	50	90	21.75	20	1.5	17	1.5	1.5	1.5	15°38'32"	20	57	58	79	83	86	3	5.0	1.5	1.5	44.4	40.6	4.3	5.3
7211E	55	100	22.75	21	2	18	2	1.5	1.5	15°6'34"	22	64	64	88	91	95	4	5.0	2.0	1.5	48.5	46.1	4.0	5.0
7212E	60	110	23.75	22	2	19	2	1.5	1.5	15°6'34"	22	69	69	96	101	103	4	5.0	2.0	1.5	60.4	58.5	3.6	4.5

续表 E-2

轴承型号	尺寸/mm										安装尺寸(GB 5868—86)/mm										额定动负荷 C_r /kN	额定静负荷 C_{or} /kN	极限转速			
	d	D	T	B	r_{1smin} r_{2smin}	C	r_{3smin} r_{4smin}	α	$\alpha \approx$	D_1 min	D_2 max	D_3		D_4	min			r_a max	r_{al}	负荷			负荷	$k/(r/min)$	脂润滑	油润滑
												min	max		a_1	a_2	a_1									
7213E	65	120	24.75	23	2	20	1.5	15°6'34"	24	74	77	106	111	114	4	5.0	2.0	1.5	65.4	65.4	3.2	4.0				
7214E	70	125	26.25	24	2	21	1.5	15°38'32"	25	79	81	110	116	119	4	5.5	2.0	1.5	77.8	78.6	3.0	3.8				
7215E	75	130	27.25	25	2	22	1.5	16°10'20"	27	84	85	115	121	125	4	5.5	2.0	1.5	80.3	83.1	2.8	3.6				
7216E	80	140	28.25	26	2.5	22	2	15°38'32"	30	90	90	124	130	133	4	6.0	2.1	2.0	91.7	100.0	2.6	3.4				
7217E	85	150	30.50	28	2.5	24	2	15°38'32"	33	95	96	132	140	142	5	6.5	2.1	2.0	102.0	107.0	2.4	3.2				
7218E	90	160	32.50	30	2.5	26	2	15°38'32"	33	100	102	140	150	151	5	6.5	2.1	2.0	120.0	128.0	2.2	3.0				
7219E	95	170	34.50	32	3	27	2.5	15°38'32"	34	107	108	149	158	160	5	7.5	2.5	2.1	136.0	146.0	2.0	2.8				
中(3)窄系列																										
7303E	17	47	15.25	14	1	12	1	10°45'29"	12	23	25	40	41	43	3	3.5	1	1	15.7	13.2	8.5	11				
7304E	20	52	16.25	15	1.5	13	1.5	11°18'36"	12	27	28	44	45	48	3	3.5	1.5	1.5	17.2	16.0	7.5	9.5				
7305E	25	62	18.25	17	1.5	15	1.5	11°18'36"	14	32	34	54	55	58	3	3.5	1.5	1.5	26.3	22.8	6.3	8.0				
7306E	30	72	20.75	19	1.5	16	1.5	11°51'35"	16	37	40	62	65	66	3	5.0	1.5	1.5	33.4	30.0	5.6	7.0				
7307E	35	80	22.75	21	2	18	1.5	11°51'35"	18	44	45	70	71	74	3	5.0	2.0	1.5	39.8	35.2	5.0	6.3				
7312E	60	130	33.5	31	3	26	2.5	12°57'10"	27	72	76	112	118	121	5	7.5	2.5	2.1	101.0	101.0	3.2	4.0				
7313E	65	140	36	33	3	28	2.5	12°57'10"	29	77	83	122	128	131	5	8.0	2.5	2.1	115.0	115.0	2.8	3.6				
7314E	70	150	38	35	3	30	2.5	12°57'10"	31	82	89	130	138	141	5	8.0	2.5	2.1	128.0	128.0	2.6	3.4				
7315E	75	160	40	37	3	31	2.5	12°57'10"	33	87	95	139	148	150	5	9.0	2.5	2.1	149.0	150.0	2.4	3.2				
7316E	80	170	42.5	39	3	33	2.5	12°57'10"	36	92	102	148	158	160	5	9.5	2.5	2.1	165.0	171.0	2.2	3.0				
轻宽(5)系列																										
7504E	20	47	19.25	18	1	15	1	12°28"	14								1	1	18.8	16.8	8.0	10.0				
7505E	25	52	19.25	18	1	16	1	13°30'	14								1	1	23.1	21.7	7.0	9.0				
7506E	30	62	21.25	20	1	17	1	14°2'10"	16	36	36	52	56	58	3	4.5	1	1	29.9	28.4	6.0	7.5				
7507E	35	72	24.25	23	1.5	19	1.5	14°2'10"	18	42	42	61	65	68	3	5.5	1.5	1.5	41.9	40.6	5.3	6.7				

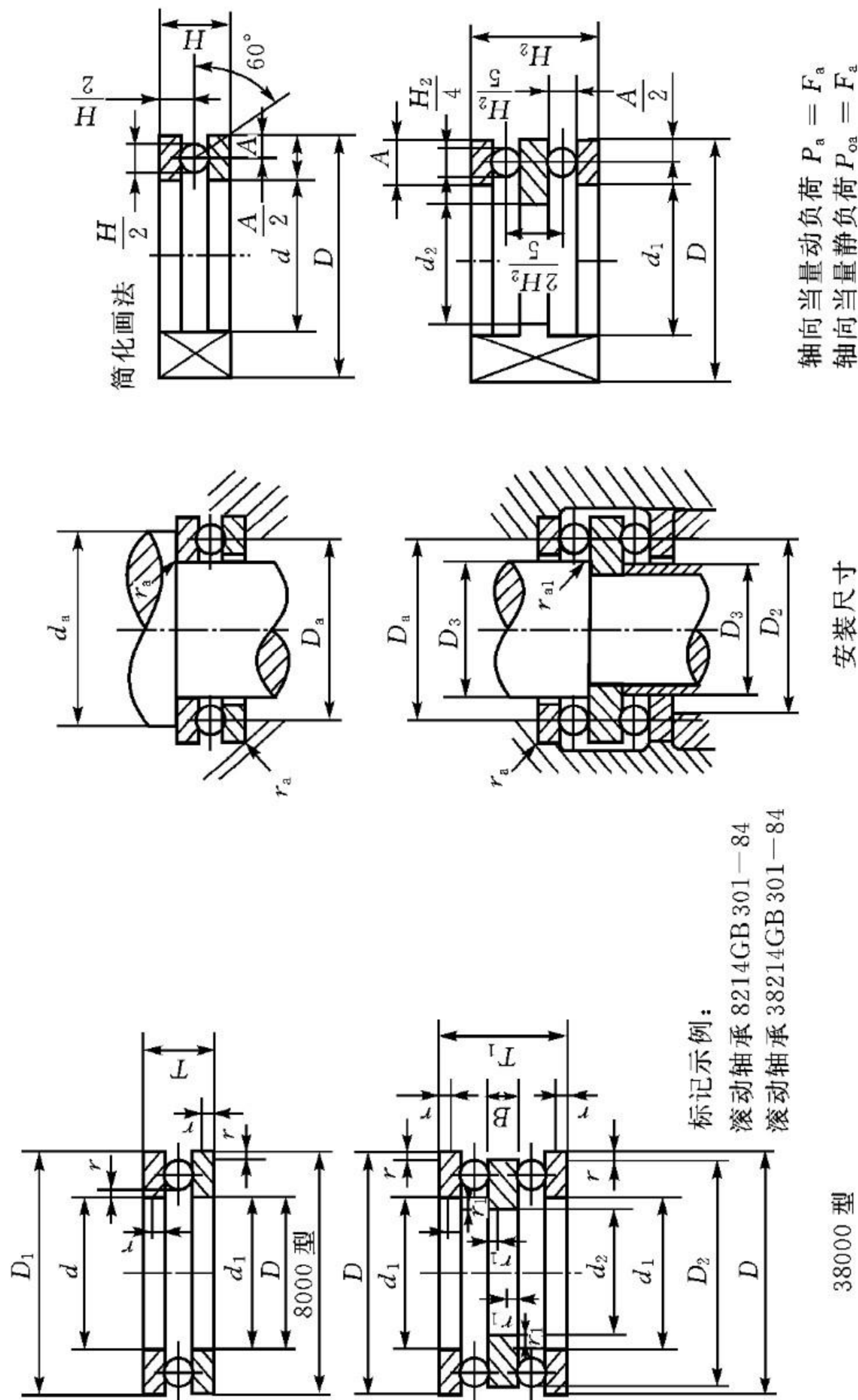
续表 E-2

轴承型号	尺寸/mm										安装尺寸(GB 5868—86)/mm										额定动负荷 C_r /kN	额定静负荷 C_{0r} /kN	极限转速 k /(r/min)	
	d	D	T	B	r_{1smin} r_{2smin}	C	r_{3smin} r_{4smin}	α	$\alpha \approx$	D_1 min	D_2 max	D_3		D_4	a_1	a_2	r_a	r_{a1}	max	min				
												min	max											
7508E	40	80	24.75	23	1.5	19	1.5	14°2'10"	20	47	48	68	73	75	3	6.0	1.5	1.5	45.1	46.4	5.0	6.3		
7509E	45	85	24.75	23	1.5	19	1.5	15°6'34"	21	52	53	73	78	81	3	6.0	1.5	1.5	45.1	48.3	4.5	5.6		
7510E	50	90	24.75	23	1.5	19	1.5	15°38'32"	22	57	57	78	83	86	3	6.0	1.5	1.5	47.2	51.1	4.3	5.3		
7511E	55	100	26.75	25	2	21	1.5	15°6'34"	23	64	62	87	91	96	4	6.0	2.0	1.5	62.2	63.8	3.8	4.8		
7512E	60	110	29.75	28	2	24	1.5	15°6'34"	26	69	68	95	101	105	4	6.0	2.0	1.5	66.6	79.7	3.6	4.5		
7513E	65	120	32.75	31	2	27	1.5	15°6'34"	28	74	75	104	111	115	4	6.0	2.0	1.5	94.2	103.0	3.2	4.0		
7514E	70	125	33.25	31	2	27	1.5	15°38'32"	29	79	79	108	116	120	4	6.5	2.0	1.5	98.0	109.0	3.0	3.8		
7515E	75	130	33.25	31	2	27	1.5	16°10'20"	31	84	84	115	121	126	4	6.5	2.0	1.5	102.0	115.0	2.8	3.6		
中宽(5)系列																								
7605E	25	62	25.25	24	1.5	20	1.5	11°18'36"	17	32	32	52	55	58	3	5.5	1.5	1.5	34.9	32.9	6.3	8.0		
7606E	30	72	28.75	27	1.5	23	1.5	11°51'35"	20	37	38	59	65	66	4	6.0	1.5	1.5	47.0	45.4	5.6	7.0		
7607E	35	80	32.75	31	2	25	1.5	11°51'35"	22	44	43	66	71	74	4	8.0	2.0	1.5	57.7	58.8	5.0	6.3		
7608E	40	90	35.25	33	2	27	1.5	12°57'10"	24	49	49	73	81	83	4	8.5	2.0	1.5	68.8	70.0	4.5	5.6		
7609E	45	100	38.25	36	2	30	1.5	12°57'10"	26	54	56	82	91	93	4	8.5	2.0	1.5	87.8	91.6	4.0	5.0		
7610E	50	110	42.25	40	2.5	33	2	12°57'10"	29	60	61	90	100	102	5	9.5	2.1	2.0	102.0	107.0	3.8	4.8		
7611E	55	120	45.5	43	2.5	35	2	12°57'10"	32	65	66	99	110	111	5	10.5	2.1	2.0	116.0	128.0	3.4	4.3		
7612E	60	130	48.5	46	3	37	2.5	12°57'10"	34	72	72	107	118	122	6	11.5	2.5	2.1	137.0	150.0	3.2	4.0		
7613E	65	140	51	48	3	39	2.5	12°57'10"	37	77	79	117	128	131	6	12.0	2.5	2.1	150.0	168.0	2.8	3.6		
7614E	70	150	54	51	3	42	2.5	12°57'10"	38	82	84	125	138	141	6	12.0	2.5	2.1	187.0	212.0	2.6	3.4		

注:1. r_{1smin} 、 r_{2smin} 、 r_{3smin} 和 r_{4smin} 分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 的单向最小倒角尺寸。

2. 型号后加注“E”字以示轴承公称接触角 α 和外滚道小端公称直径E与老产品有区别。

表 E-3 推力球轴承 (摘自 GB 301-84)



轴承型号	尺寸/mm											额定动负荷 C_a /kN	额定静负荷 C_{0a} /kN	极限转速 $k/r/min$						
	d	d_2	D	T	T_1	d_{1min}	D_{1max}	B	r_{smin}	r_{1smin}	D_{2smax}			d_a min	D_a max	r_a max	r_{a1} max	D_3^*	脂润滑	油润滑
8000 型 38000 型																				
8205	25	20	47	15	28	27	47	7	0.6	0.3	47	38	34	0.6	0.3	25	21.70	41.0	3.4	4.8
8206	30	25	52	16	29	32	52	7	0.6	0.3	52	43	39	0.6	0.3	30	22.00	44.1	3.2	4.5

轻(2)系列

高清PDF网站
 www.gqpdf.com
 原创

续表 E-3

轴承型号	尺寸/mm											安装尺寸(GB 5868—86)/mm					额定 动负荷 C_a /kN	额定 静负荷 C_{0a} /kN	极限转速 $k/r/min$	
	d	d_2	D	T	T_1	d_{1smin}	D_{1smax}	B	r_{smin}	r_{1smin}	D_{2smax}	d_a min	D_a max	r_a max	r_{a1} max	D_3^*			脂润滑	油润滑
8000 型 38000 型																				
8207	35	30	62	18	34	37	62	8	1	0.3	62	51	46	1	0.3	35	2.8	4.0		
8208	40	30	68	19	36	42	68	9	1	0.6	68	57	51	1	0.6	40	2.4	3.6		
8209	45	35	73	20	37	47	73	9	1	0.6	73	62	56	1	0.6	45	2.2	3.4		
8210	50	40	78	22	39	52	78	9	1	0.6	78	67	61	1	0.6	50	2.0	3.2		
8211	55	45	90	25	45	57	90	10	1	0.6	90	76	69	1	0.6	55	1.9	2.0		
8212	60	50	95	26	46	62	95	10	1	0.6	95	81	74	1	0.6	60	1.8	2.8		
8213	65	55	100	27	47	67	100	10	1	0.6	100	86	79	1	0.6	65	1.7	2.6		
中(3)系列																				
8304	20	—	47	18	—	22	47	—	1	—	—	—	—	1	—	—	3.6	4.5		
8305	25	20	52	18	34	27	52	8	1	0.3	52	41	36	1	0.3	25	3.0	4.3		
8306	30	25	60	21	38	32	60	9	1	0.3	60	48	42	1	0.3	30	2.4	3.6		
8307	35	30	68	24	44	37	68	10	1	0.3	68	55	48	1	0.3	35	2.0	3.2		
8308	40	30	78	26	49	42	78	12	1	0.6	78	63	55	1	0.6	40	1.9	3.0		
8309	45	35	85	28	52	47	85	12	1	0.6	85	69	61	1	0.6	45	1.7	2.6		
8310	50	40	95	31	58	52	95	14	1.1	0.6	95	77	68	1	0.6	50	1.6	2.4		
8311	55	45	105	35	64	57	105	15	1.1	0.6	105	85	75	1	0.6	55	1.5	2.2		
8312	60	50	110	35	64	62	110	15	1.1	0.6	110	90	80	1	0.6	60	1.4	2.0		
8313	65	55	115	36	65	67	115	15	1.1	0.6	115	95	85	1	0.6	65	1.3	1.9		

续表 E-3

轴承型号	尺寸/mm											安装尺寸(GB 5868—86)/mm			额定 动负荷 C_a /kN	额定 静负荷 C_{0a} /kN	极限转速 $k/r/min$	
	d	d_2	D	T	T_1	d_{1smin}	D_{1smax}	B	r_{smin}	r_{1smin}	D_{2smax}	d_a min	D_a max	r_a max			r_{a1} max	D_s^*
8000 型 38000 型																		
8405	25	15	60	24	45	27	60	11	1	0.6	60	46	39	1	0.6	25	2.2	3.4
8406	30	20	70	28	52	32	70	12	1	0.6	70	54	46	1	0.6	30	1.9	2.0
8407	35	25	80	32	59	37	80	14	1.1	0.6	80	62	53	1	0.6	35	1.7	2.6
8408	40	30	90	36	65	42	90	15	1.1	0.6	90	70	60	1	0.6	40	1.5	2.2
8409	45	35	100	39	72	47	100	17	1.1	0.6	100	78	67	1	0.6	45	1.4	2.0
8410	50	40	110	43	78	52	110	18	1.5	0.6	110	86	74	1.5	0.6	50	1.3	1.9
8411	55	45	120	48	87	57	120	20	1.5	0.6	120	94	81	1.5	0.6	55	1.1	1.7
8412	60	50	130	51	93	62	130	21	1.5	0.6	130	102	88	1.5	0.6	60	1.0	1.6
8413	65	50	140	56	101	68	140	23	2	1	140	110	95	2.0	1	65	0.90	1.4
8414	70	55	150	60	107	73	150	24	2	1	150	118	102	2.0	1	70	0.85	1.3
8415	75	60	160	65	115	78	160	26	2	1	160	125	110	2.0	1	75	0.80	1.2
8417	85	65	180	72	128	88	177	29	2.1	1.1	179.5	141	124	2.1	1	85	0.70	1.0

重(4)系列

注:1. 表中 D_{1smin} 为座圈最小单一内孔直径; D_{1smax} 为轴圈最大单一外径; D_{2smax} 为中轴圈最大单一外径; r_{smin} 、 r_{1smin} 为 r 、 r_1 的最小单向尺寸。

2. * 非 GB 5868—86 内容,供参考。

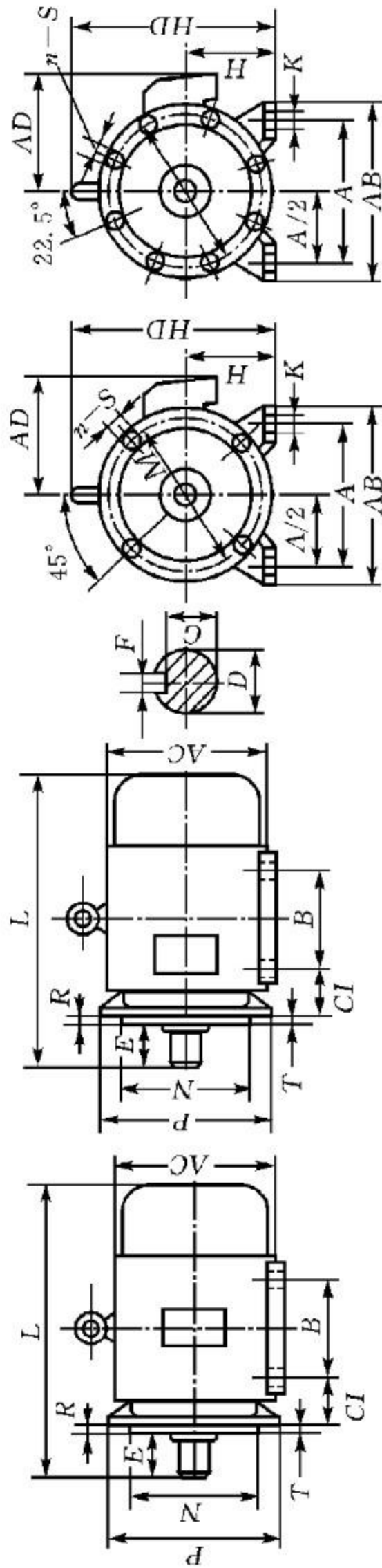
2. Y 系列三相异步电动机

表 E-4 Y 系列三相异步电动机主要技术数据

电动机 型号	额定功率 /kW	满载转速 /(r/min)	堵转转矩	最大转矩	电动机 型号	额定功率 /kW	满载转速 /(r/min)	堵转转矩	最大转矩
			额定转矩	额定转矩				额定转矩	额定转矩
同步转速 3000 r/min, 2 极					同步转速 1500 r/min, 4 极				
Y801-2	0.75	2825	2.2	2.2	Y801-4	0.55	1390	2.2	2.2
Y802-2	1.1	2825	2.2	2.2	Y802-4	0.75	1390	2.2	2.2
Y90S-2	1.5	2840	2.2	2.2	Y90S-4	1.1	1400	2.2	2.2
Y90L-2	2.2	2840	2.2	2.2	Y90L-4	1.5	1400	2.2	2.2
Y100L-2	3	2880	2.2	2.2	Y100L1-4	2.2	1420	2.2	2.2
Y112M-2	4	2890	2.2	2.2	Y100L2-4	3	1420	2.2	2.2
Y132S1-2	5.5	2920	2.0	2.2	Y112M-4	4	1440	2.2	2.2
Y132S2-2	7.5	2920	2.0	2.2	Y132S-4	5.5	1440	2.2	2.2
Y160M1-2	11	2930	2.0	2.2	Y132M-4	7.5	1440	2.2	2.2
Y160M2-2	15	2930	2.0	2.2	Y160M-4	11	1460	2.2	2.2
Y160L-2	18.5	2930	2.0	2.2	Y160L-4	15	1460	2.2	2.2
Y180M-2	22	2940	2.0	2.2	Y180M-4	18.5	1470	2.0	2.2
Y200L1-2	30	2950	2.0	2.2	Y180L-4	22	1470	2.0	2.2
Y200L2-2	37	2950	2.0	2.2	Y200L-4	30	1470	2.0	2.2
Y225M-2	45	2970	2.0	2.2	Y225S-4	37	1480	1.9	2.2
Y250M-2	55	2970	2.0	2.2	Y225M-4	45	1480	1.9	2.2
同步转速 1000 r/min, 6 极					Y250M-4	55	1480	2.0	2.2
Y90S-6	0.75	910	2.0	2.0	Y280S-4	75	1480	1.9	2.2
Y90L-6	1.1	910	2.0	2.0	Y280M-4	90	1480	1.9	2.2
Y100L-6	1.5	940	2.0	2.0	同步转速 750 r/min, 8 极				
Y112M-6	2.2	940	2.0	2.0	Y132S-8	2.2	710	2.0	2.0
Y132S-6	3	960	2.0	2.0	Y132M-8	3	710	2.0	2.0
Y132M1-6	4	960	2.0	2.0	Y160M1-8	4	720	2.0	2.0
Y132M2-6	5.5	960	2.0	2.0	Y160M2-8	5.5	720	2.0	2.0
Y160M-6	7.5	970	2.0	2.0	Y160L-8	7.5	720	2.0	2.0
Y160L-6	11	970	2.0	2.0	Y180L-8	11	730	1.7	2.0
Y180L-6	15	970	1.8	2.0	Y200L-8	15	730	1.8	2.0
Y200L1-6	18.5	970	1.8	2.0	Y225S-8	18.5	730	1.7	2.0
Y200L2-6	22	970	1.8	2.0	Y225M-8	22	730	1.8	2.0
Y225M-6	30	980	1.7	2.0	Y250M-8	30	730	1.8	2.0
Y250M-6	37	980	1.8	2.0	Y280S-8	37	740	1.8	2.0
Y280S-6	45	980	1.8	2.0	Y280M-8	45	740	1.8	2.0
Y280M-6	55	980	1.8	2.0	Y315S-8	55	740	1.6	2.0

注:电动机型号意义:以 Y132S2-2-B3 为例,Y 表示系列代号,132 表示机座中心高,S 表示短机座,第二种铁心长度(M-中机座,L-长机座),2 为电动机的极数,B3 表示安装型式。

表 E-5 Y 系列 B35 型电动机主要连接型式和尺寸



Y80-132

Y160-315

Y80-200

Y225-315

机座号	国际标准机座号		D	F		G		E		K	M	N	P	T	H	n-S	R	A	B	C ₁	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																	
80	80-19F165	4,6,8,10极	19	6	15.5	40				10	165	130	200	3.5	80	4-φ12		125	100	50	165	165	150	170	2极	4,6,8,10极
90S	90S24F165		24	8	20	50									90			140	125	56	180	175	155	190		310
90L	90L24F165		24	8	20	50									90			140	125	56	180	175	155	190		335
100L	100L28F195		28	8	24	60									100			160		63	205	200	180	245		380
112M	112M28F215		28	8	24	60				12	215	180	250	4	112			190	140	70	245	230	190	265		400
132S	132S38F265		38	10	33	80					265	230	300		132			216	178	89	280	270	210	315		475
132M	132M38F265		38	10	33	80									132			216	178	89	280	270	210	315		515
160M	160M42F300		42	12	37	110									160			254	210	108	330	325	255	385		600
160L	160L42F300		42	12	37	110									160			254	210	108	330	325	255	385		645
180M	180M48F300		48	14	42.5	110				15	300	250	350		180			279	279	121	355	360	285	430		670
180L	180L48F300		48	14	42.5	110									180			279	279	121	355	360	285	430		710
200L	200L55F350		55	16	49	110					350	300	400	5	200			318	305	133	395	400	310	475		775
225S	225S60F400		60	18	53	140				19	400	350	450		225			356	286	149	435	450	345	530		825
225M	225M60F400		55	16	49	110									225			356	311	149	435	450	345	530		845
250M	250M55F500		60	18	53	140									250			406	349	168	490	495	385	575		930
280S	280S65F500		75	20	67.5	140				24	500	450	550		280			457	368	190	550	555	410	640		1000
280M	280M65F500		65	18	58	140									280			457	419	190	550	555	410	640		1050
315S	315S65F600		80	22	71	170				28	600	550	660	6	315			508	406	216	640	660	530	760		1200
315M	315M65F600		80	22	71	170									315			508	457	216	640	660	530	760		1250

3. 机 架

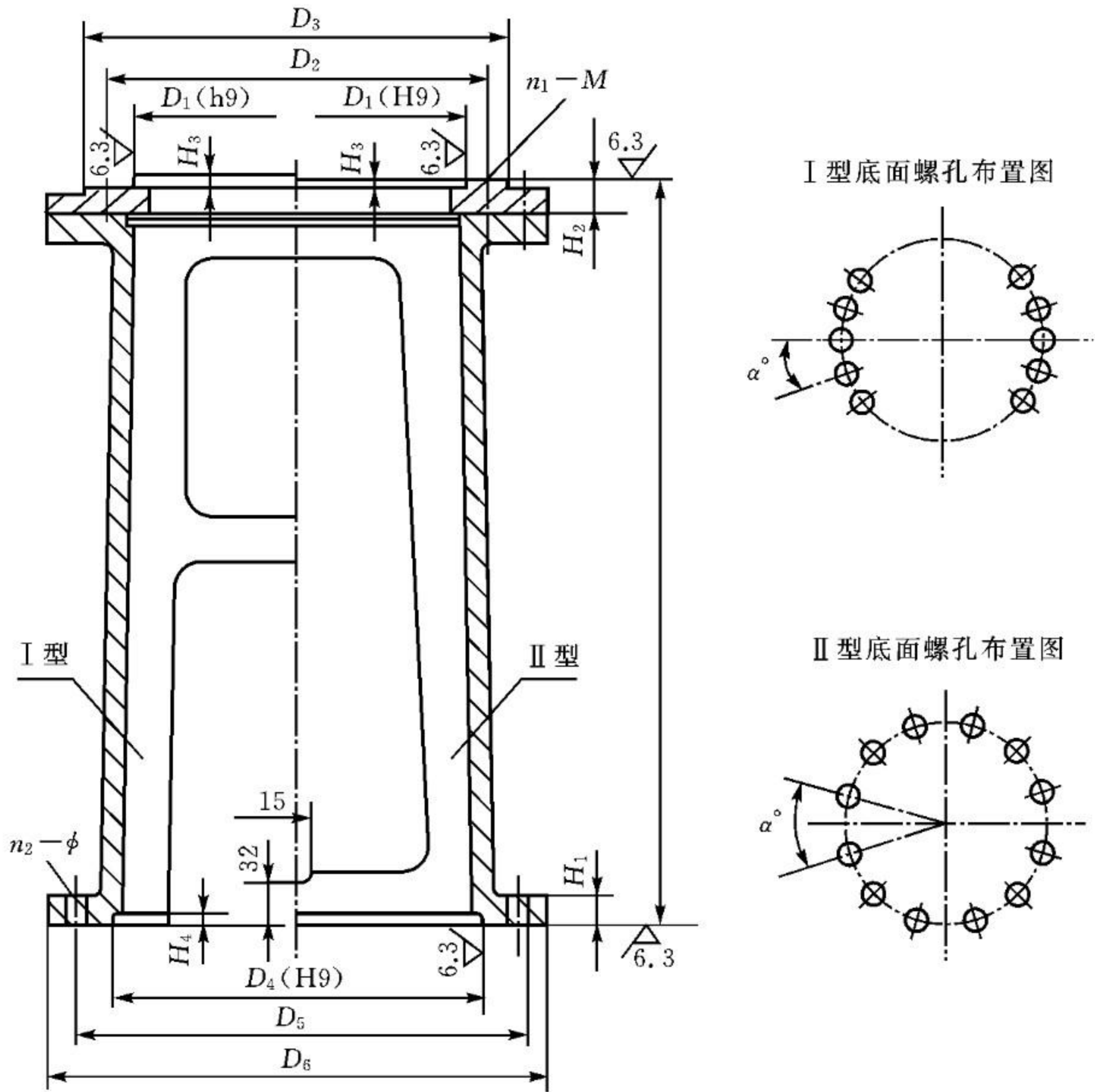


图 E-1 WJ 型无支点机架

表 E-6 WJ 型无支点机架主要尺寸

单位: mm

机架代号	H_1	H_2	H_3	H_4	输入端接口				输出端接口				WJ 型		
					D_1	D_2	D_3	n_1-M	D_4	D_5	D_6	α°	$n_2-\phi$	H	质量/kg
WJ30	20	15	4	6	140	160	190	4-M10	240	285	315	I 20	10- ϕ 14	450	35
WJ35	24	15	5	6	170	200	230	6-M10	260	320	360	I 20	10- ϕ 14	500	45
WJ45	24	15	5	6	200	230	260	6-M10	260	320	360	I 20	10- ϕ 14	500	48
WJ55	30	20	6	6	270	310	340	6-M10	325	400	435	30	12- ϕ 14	540	75
WJ65	34	20	6	6	316	360	400	8-M14	350	420	460	30	12- ϕ 18	600	96
WJ70	34	20	6	6	316	360	400	8-M12	350	420	460	30	12- ϕ 18	600	96
WJ80	38	25	6	8	345	390	430	8-M16	380	455	495	30	12- ϕ 18	640	130
WJ90	40	25	7	8	400	450	490	12-M16	430	510	555	30	12- ϕ 23	660	170
WJ100	40	25	9	10	455	520	580	12-M20	480	560	600	22.5	16- ϕ 23	700	206
WJ110	40	30	11	10	520	590	650	12-M20	560	650	700	22.5	16- ϕ 27	800	260
WJ130	44	30	11	10	680	800	880	12-M30	720	810	880	18	20- ϕ 27	900	320

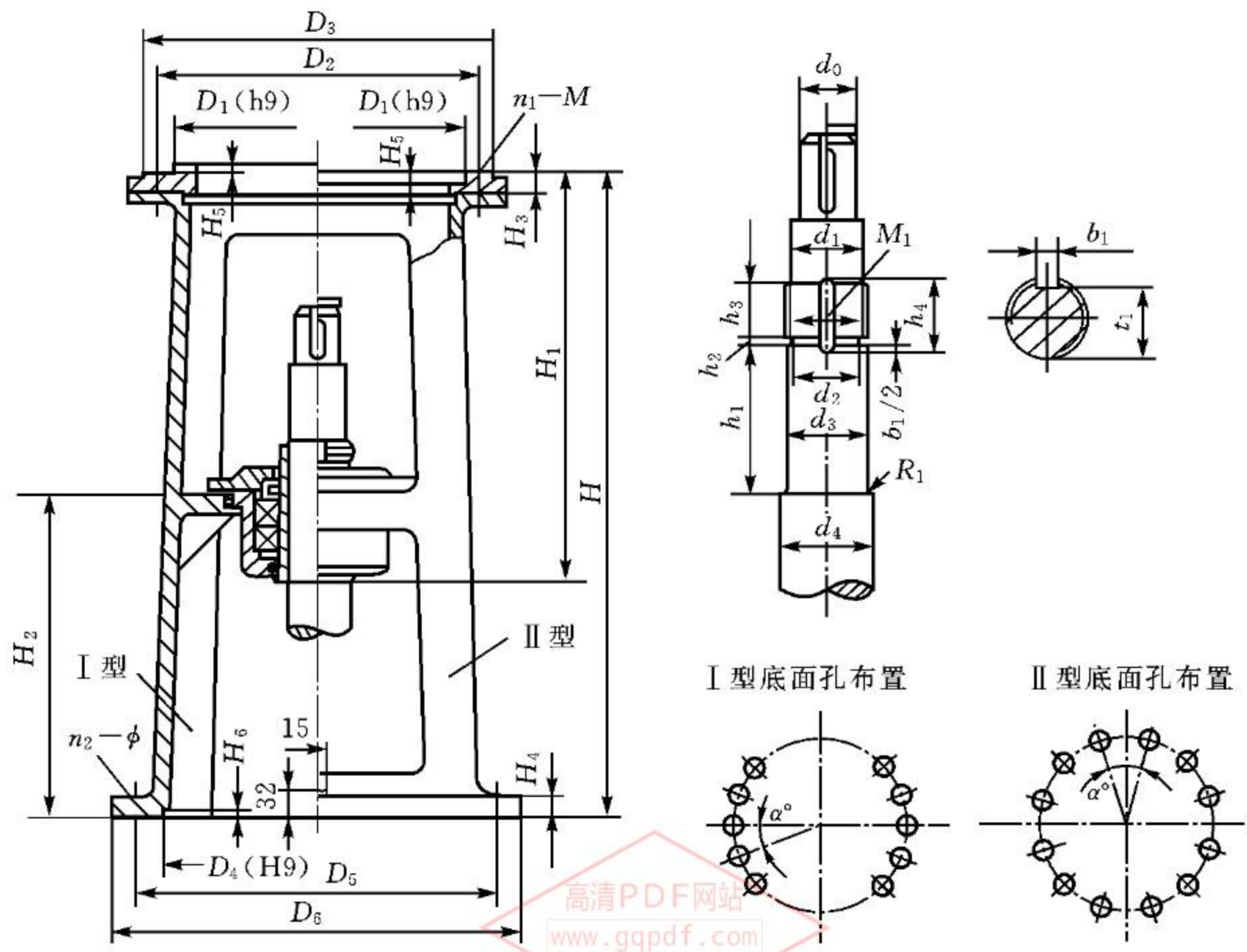


图 E-2 DJ 型单支点机架

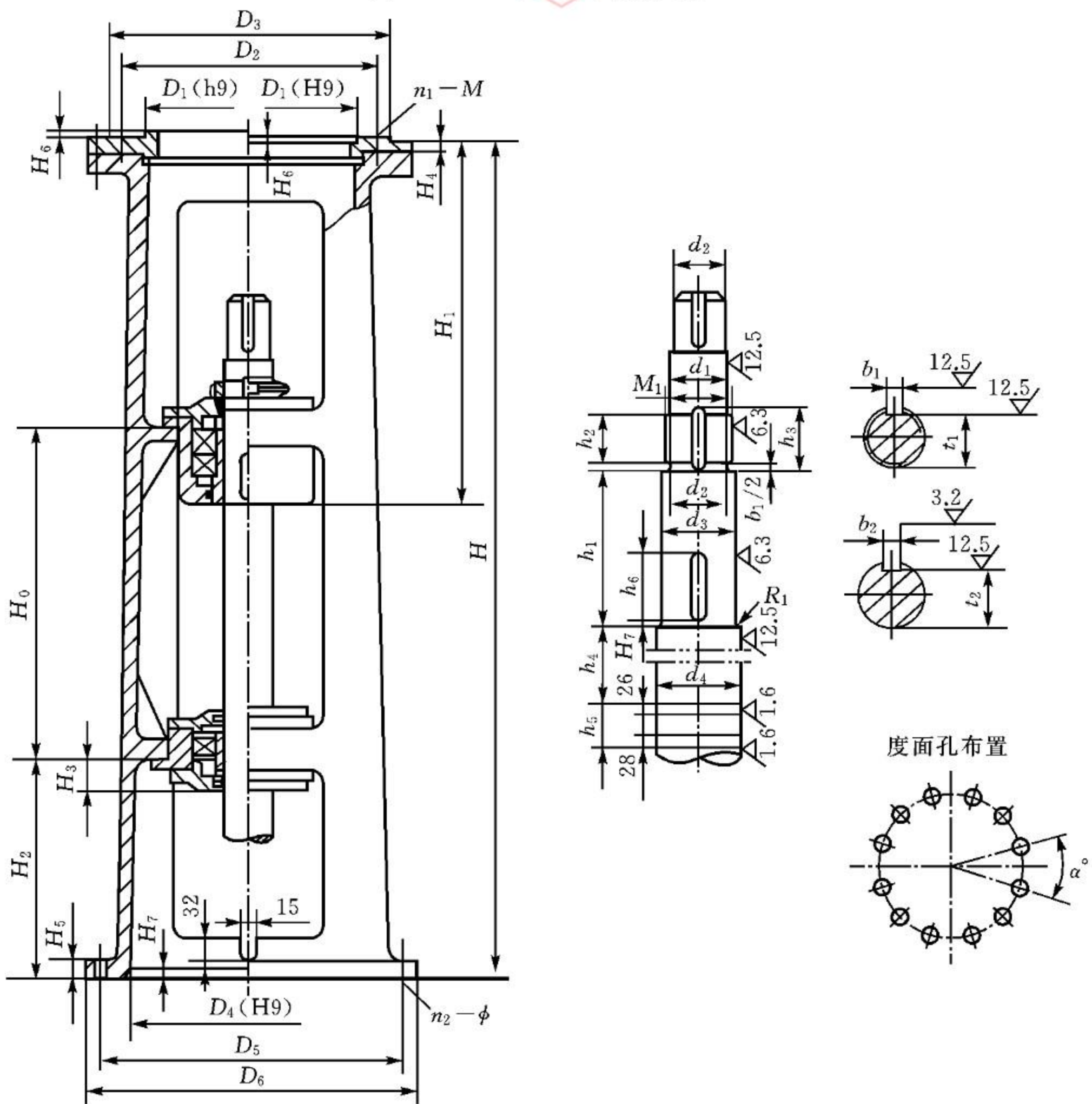


图 E-3 SJ 型双支点机架

表 E-7 DJ 型单支点机架主要尺寸

单位: mm

机架 代号	H_1	H_3	H_4	H_5	H_6	输入端接口				输出端接口						
						D_1	D_2	D_3	n_1-M	D_4	D_5	D_6	α°	$n_2-\phi$		
DJ30	320	15	20	4	6	140	160	190	4-M10	240	285	315	I 20 II 30	10- ϕ 14 12- ϕ 14		
DJ35	334	15	24	5	6	170	200	230	6-M10	260	320	360	I 20 II 30	10- ϕ 14 12- ϕ 14		
DJ45	338	15	24	5	6	200	230	260	6-M10	260	320	360	I 20 II 30	10- ϕ 14 12- ϕ 14		
DJ55	372	20	30	6	6	270	310	340	6-M10	325	400	435	30	12- ϕ 14		
DJ65	447	20	34	6	6	316	360	400	8-M14	350	420	460	30	12- ϕ 18		
DJ70	447	20	34	6	6	316	360	400	8-M12	350	420	460	30	12- ϕ 18		
DJ80	495	25	38	6	8	345	390	430	8-M16	380	455	495	30	12- ϕ 18		
DJ90	519	25	40	7	8	400	450	490	12-M16	430	510	555	30	12- ϕ 18		
DJ100	535	25	40	9	10	455	520	580	12-M20	480	560	600	22.5	16- ϕ 23		
DJ120	660	30	40	11	10	520	590	650	12-M20	560	650	700	22.5	16- ϕ 27		
DJ140	800	45	45	12	10	680	800	880	12-M30	720	810	880	18	20- ϕ 27		
机架 代号	搅拌轴轴端尺寸														DJ 型	
	h_1	h_2	h_3	h_4	d_0	d_1	d_2	M_1	$d_3(h_8)$	d_4	R_1	t_1	b_1	H	H_2	质量/kg
DJ30	103	3	13	22	30	32	32.8	M35 \times 1.5	35	40	1	31	6	550	300	46
DJ35	113	3	15	24	35	42	42.8	M45 \times 1.5	45	50	1	41	6	600	340	78
DJ45	113	3	15	28	45	47	47.8	M50 \times 1.5	50	65	1	46	8	600	340	83
DJ55	118	4	15	28	55	57	57	M60 \times 2	60	65	1	56	8	660	370	150
DJ65	143	4	18	32	65	71	72	M75 \times 2	75	80	1	69	10	720	370	170
DJ70	143	4	18	32	65	71	72	M75 \times 2	75	80	1	69	10	720	370	170
DJ80	163	4	18	32	80	81	82	M85 \times 2	85	90	1.5	79	10	785	405	205
DJ90	168	4	20	36	90	91	92	M95 \times 2	95	110	1.5	89	12	805	405	265
DJ100	178	4	24	42	100	111	112	M115 \times 2	115	125	2	109	14	820	410	345
DJ110	178	4	24	42	110	112	112	M115 \times 2	115	125	2	109	14	1100	560	535
DJ120	178	4	24	42	120	122	122	M125 \times 2	125	140	2	119	14	1200	600	555
DJ130	208	4	28	46	130	135	137	M140 \times 2	140	150	2	132	14	1200	600	725
DJ140	208	4	28	46	140	145	147	M150 \times 2	150	160	2	142	16	1200	600	745

注: DJ30、DJ35、DJ45 三种机架底面为 I 型和 II 型(I 型不须标注, II 型在型号后面注 II), 其余机架底面为 II 型。

表 E-8 SJ 型双支点机架主要尺寸

单位: mm

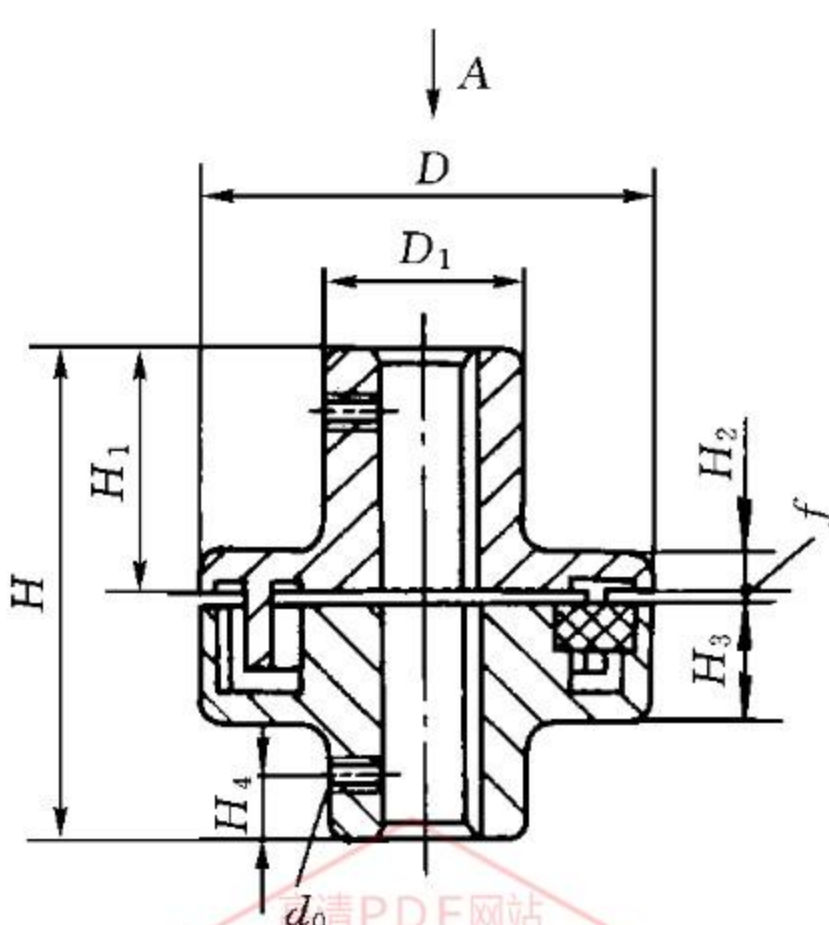
机架代号	H_0	H_1	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	输入端接口				输出端接口					
								D_1	D_2	D_3	n_1-M	D_4	D_5	D_6	α°	$n_2-\phi$	
SJ55	450	402	46	20	30	6	6	270	310	340	6-M10	325	400	435	30	12- ϕ 14	
SJ65	450	487	51	20	34	6	6	316	360	400	8-M14	350	420	460	30	12- ϕ 18	
SJ70	450	487	51	20	34	6	6	316	360	400	8-M12	350	420	460	30	12- ϕ 18	
SJ80	450	545	56	25	38	6	8	345	390	430	8-M16	380	455	495	30	12- ϕ 23	
SJ90	600	569	56	25	40	7	8	400	450	490	12-M16	430	510	555	30	12- ϕ 23	
SJ100	600	685	61	25	40	9	10	455	520	580	12-M20	480	560	600	22.5	16- ϕ 23	
SJ110 120	600	685	61	25	40	11	10	520	590	650	12-M20	560	650	700	22.5	16- ϕ 27	
SJ130 140	650	761	66	28	45	11	10	680	800	880	12-M30	720	810	880	18	20- ϕ 27	
机架代号	搅拌轴轴端尺寸														SJ 型		
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	d_0	d_1	d_2	M_1	$d_3(h_8)$	d	R	b_1	t_1	H	H_2	质量/kg
SJ55	118	15	24	300	120	55	57	57	M60 \times 2	60	65	1	8	56	1070	300	170
SJ65	143	18	32	275	135	65	72	72	M75 \times 2	75	80	1	10	69	1140	300	260
SJ70	143	18	32	275	135	70	72	72	M75 \times 2	75	80	1	10	69	1140	300	260
SJ80	163	18	32	250	139	80	81	82	M85 \times 2	85	90	1.5	10	79	1230	350	370
SJ90	168	20	36	380	162	90	91	92	M95 \times 2	96	110	1.5	12	89	1400	350	370
SJ100	178	24	42	360	182	100	110	112	M115 \times 2	115	125	2	14	109	1510	350	512
SJ110	178	24	42	380	182	110	111	112	M115 \times 2	115	125	2	14	109	1510	350	631
SJ120	178	24	42	380	182	120	122	122	M125 \times 2	125	140	2	14	119	1510	350	641
SJ130	208	28	46	370	200	130	135	137	M140 \times 2	140	150	2	14	132	1610	350	990
SJ140	208	28	46	370	200	140	145	147	M150 \times 2	150	160	2	14	132	1610	350	1020

高清PDF网站

www.gqpdf.com

原创

4. 联轴器



说明：紧定螺钉与键槽的位置为逆时针120°

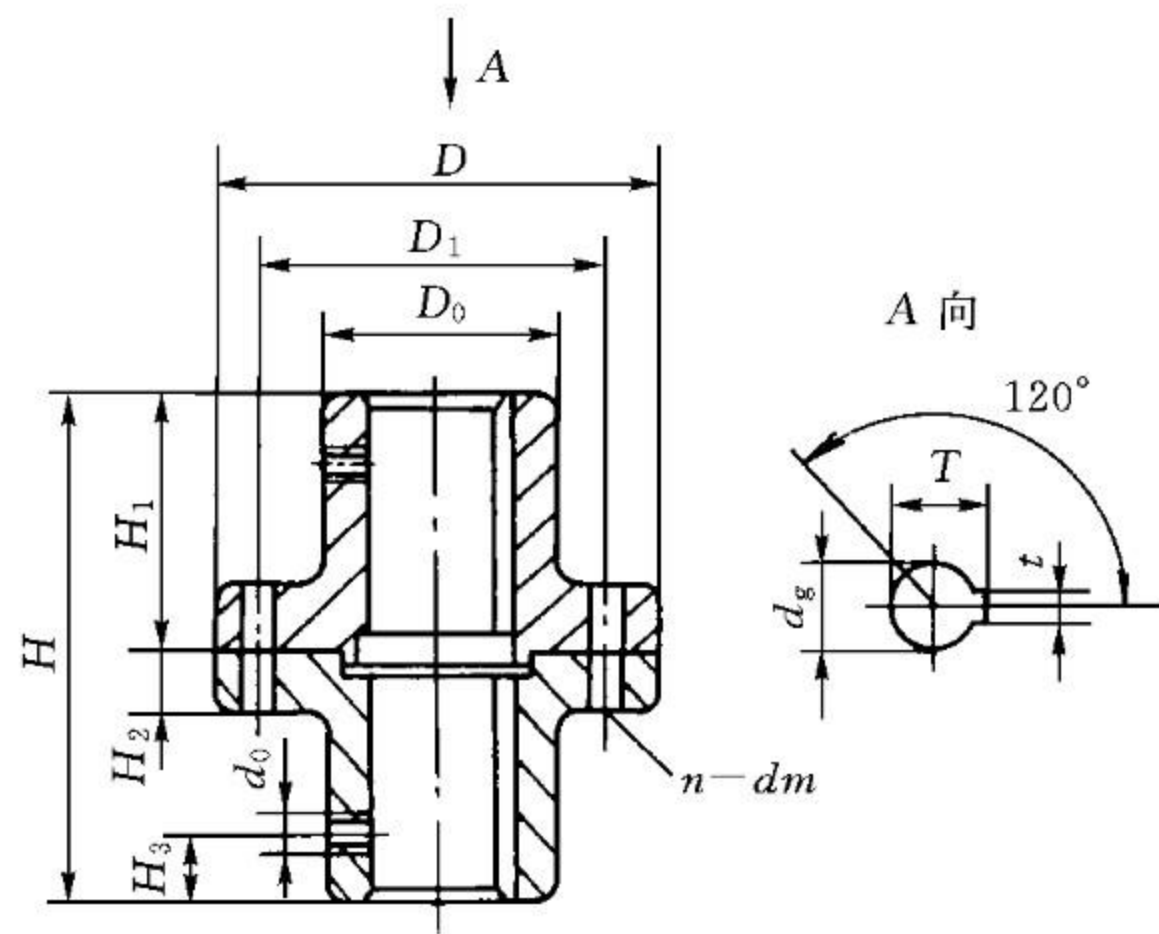


图 E-4 弹性块式联轴器

图 E-5 弹性块式联轴器

表 E-9 TK 型弹性块式联轴器主要参数及尺寸

标定符号	孔径 d_g (H7)	M_{\max} /N·m	mm											质量/kg
			D	D_1	H	H_1	H_2	H_3	H_4	f	T	t	d_0	
TK-35	35	350	170	75	162	80	15	42	20	2±1	38.3	10	M8	10
TK-45	45	860	205	90	202	100	15	50	25	2±1	48.3	14	M12	17
TK-55	55	860	205	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-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-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-130	130	35500	450	220	444	220	40	80	35	4±1	137.4	32	M16	285

表 E-10 GT 型凸缘联轴器主要参数及尺寸

标定符号	孔径 d_g (H7)	M_{\max} /N·m	主要尺寸/mm											质量/kg
			D	D_1	D_0	H	H_1	H_2	H_3	d_0	n	dm	r	
GT-35	35	900	115	90	60	130	65	18	20	M8	4	M10	38.3	10
GT-45	45	1600	145	115	75	162	85	20	25	M12	4	M12	48.3	16
GT-55	55	2000	160	130	90	204	102	23	25	M12	6	M12	59.3	20
GT-65	65	4000	200	160	110	264	132	26	25	M12	6	M16	69.4	35
GT-80	80	7500	220	180	130	324	162	30	30	M12	8	M18	85.4	50
GT-90	90	9000	260	210	150	384	192	35	35	M16	12	M20	95.4	75
GT-100	100	12000	280	230	170	384	192	35	35	M16	12	M20	106.4	110
GT-110	110	18000	325	265	190	444	222	40	35	M16	12	M24	116.4	130
GT-130	130	28000	375	315	240	444	222	45	35	M16	12	M24	137.4	240

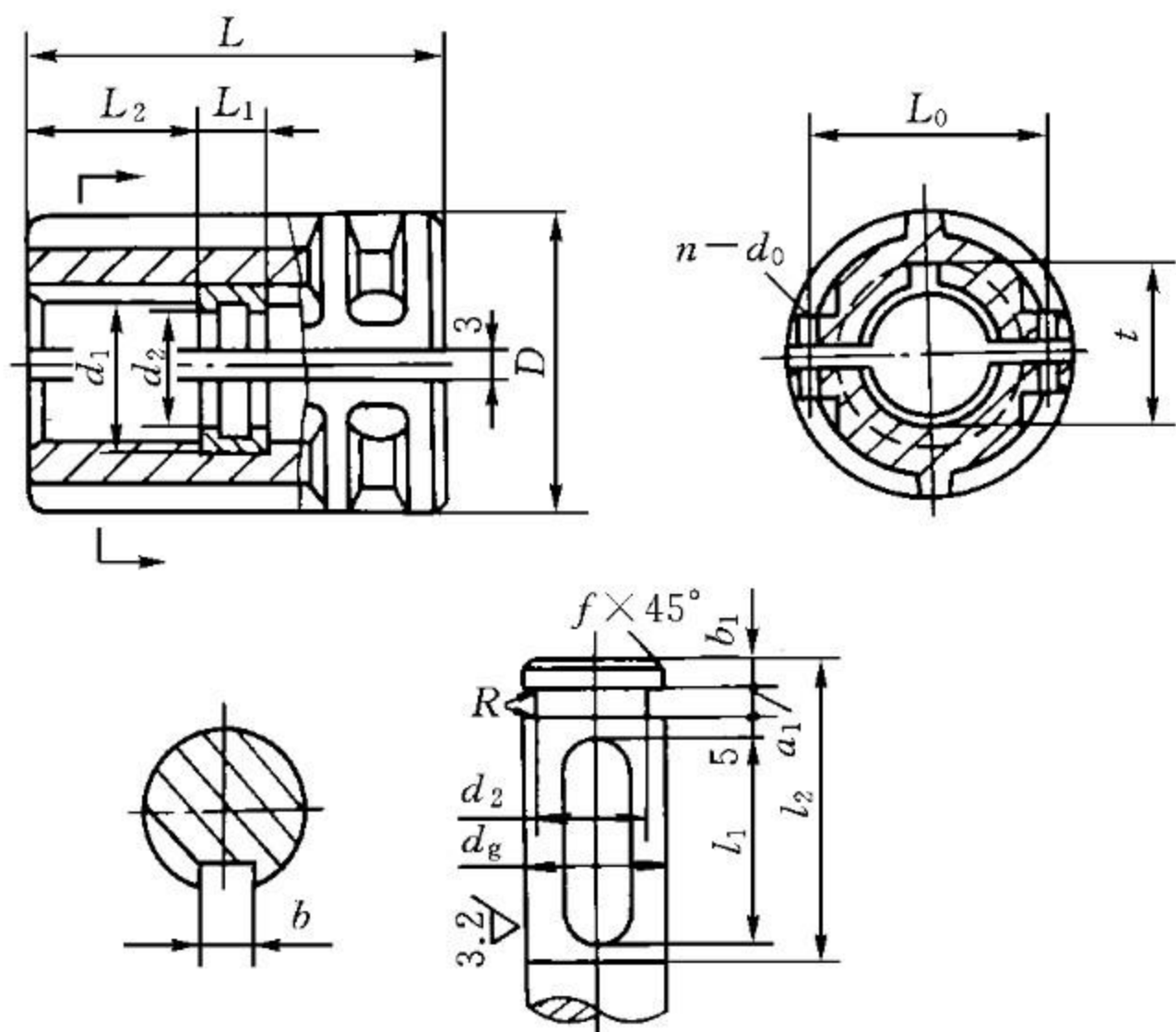


图 E-6 夹壳联轴器

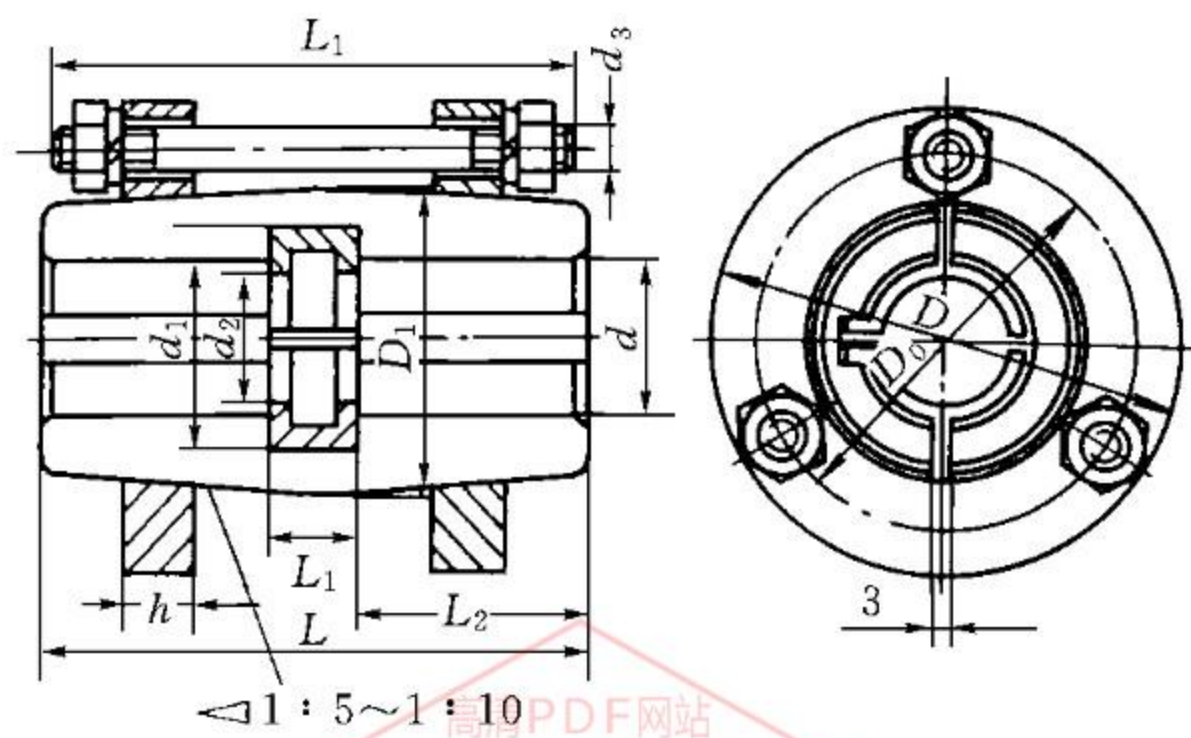


图 E-7 紧箍夹壳联轴器

表 E-11 夹壳联轴器主要参数及尺寸

单位: mm

孔径 d_g (H7)	M_{max} /N·m	D	L	L_1 (H8/j7)	L_2	L_0	$n-d_0$	d_1 (H11/h11)	d_2 (H11)
25	90	95	110	20	45	58	4-12	32	20
30		102	130		55	64	4-14	38	25
35	236	118	162		71	80	6-14	43	30
40				48	35				
45	530	135	190	24	83	94		57	37
50							62	42	
55							67	47	
60	1400	172	250	30	110	124	8-18	73	50
65								78	55
70								83	60
80	2650	185	280	38	121	138	8-23	94	70
85								99	75
90								105	80
95	5200	230	330	46	146	164	8-23	110	85
100								115	90
105								120	95
110	9000	260	390	46	172	190	8-23	125	100
115								130	105

孔径 d_g (H7)	a_1 (H11)	b_1	l_1	l_2	R	f	b	t	质量/kg
25	5	4	35	60	0.2	0.4	8	28.3	4.47
30			45	70				33.3	
35			55	85				38.3	7.60
40	6	5	70	100	0.4	0.6	43.3		
45							48.8		
50							53.8	10.85	
55	59.3								
60	8	6	100	130	0.6	1	14	64.4	25.06
65							18	69.4	
70							20	74.9	
80	10	8	110	145	0.6	1	22	85.4	30.16
85			90.4						
90			140	170			25	95.4	56.38
95	100.4								
100	106.4								
105	12	10	160	200	0.6	1	28	111.4	90
110							116.4		
115							42	122.4	

表 E-12 紧箍夹壳联轴器主要参数及尺寸

单位: mm

轴径 d	$M_{\max}/N \cdot m$	D	D_0	D_1	h	L	l_1	d_3	质量/kg
25 30	180	90	70	55	16	130	120	M10	3.2
35 40	560	105	85	70	20	162	150		6.3
45 50 55	900	120	100	85	24	190	170		8.9
65 70	1400	160	135	115	30	250	220	M12	21
80 85	3150	180	155	135	36	280	250		31
90 95 100 105	5600	210	180	160	45	330	290	M16	63
110 115 120	12500	240	210	185	45	390	350		79

注:表中未列出尺寸同表 E-11。

5. 填料密封(摘自 HG 21537—92)

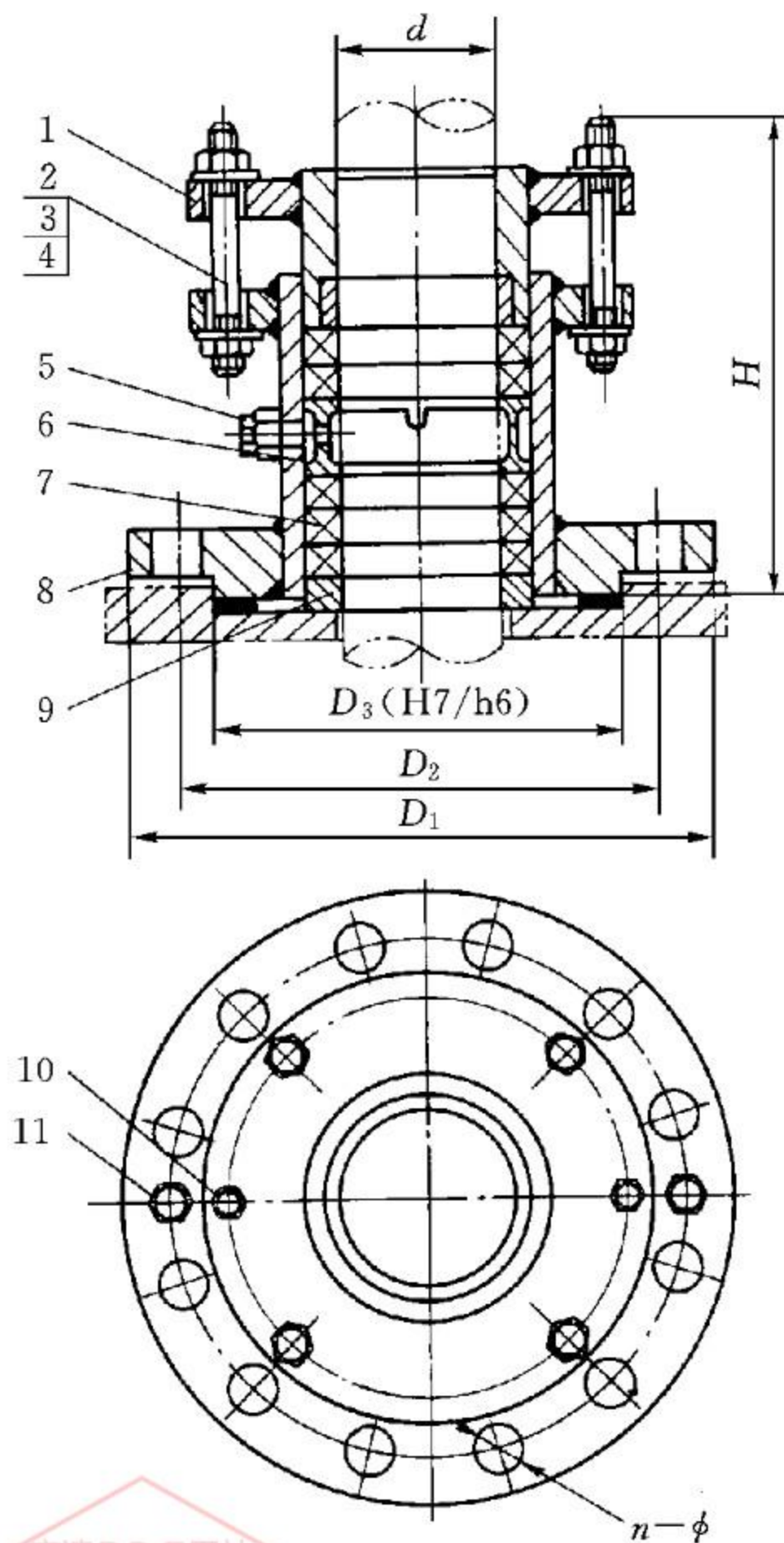


图 E-8 标准填料箱
表 E-13 标准填料箱明细表

件号	名称	数量	材料		备注
			HG 21537.7	HG 21537.8	
1	压盖	1	20/16Mn	不锈钢/20	
2	双头螺栓	4	6.8级		GB 901—88
3	螺母	8	6级		GB 6170—86
4	垫圈	8	140HV		GB 97.1—85
5	油环 M10×1	1			GB 1153—89
6	油环	1	20/16Mn	不锈钢/20	
7	填料	5 或 7			
8	本体	1	20/16Mn	不锈钢/20	
9	底环	1	10/16Mn	不锈钢	
10	螺钉	2	33H级		GB 83—88
11	螺钉	2	33H级		GB83—88

表 E-14 标准填料箱主要尺寸

单位: mm

轴径 d	D_1	D_2	D_3 (h6)	H		法兰螺栓孔		填料规格	质量/kg	
				PN0.6	PN1.6	n	ϕ		PN0.6	PN1.6
30	175	145	110	147	167	4	18	10×10	7.7	8.1
40									7.5	7.9
50									15.4	16.3
60	240	210	176	176	202	8	13×13	16.2	17.3	
70			17.1					18.3		
80	275	240	204	234	266	8	22	16×16	24.1	25.9
90	305	207	234						30.3	34.5
100									29.8	34

6. 机械密封

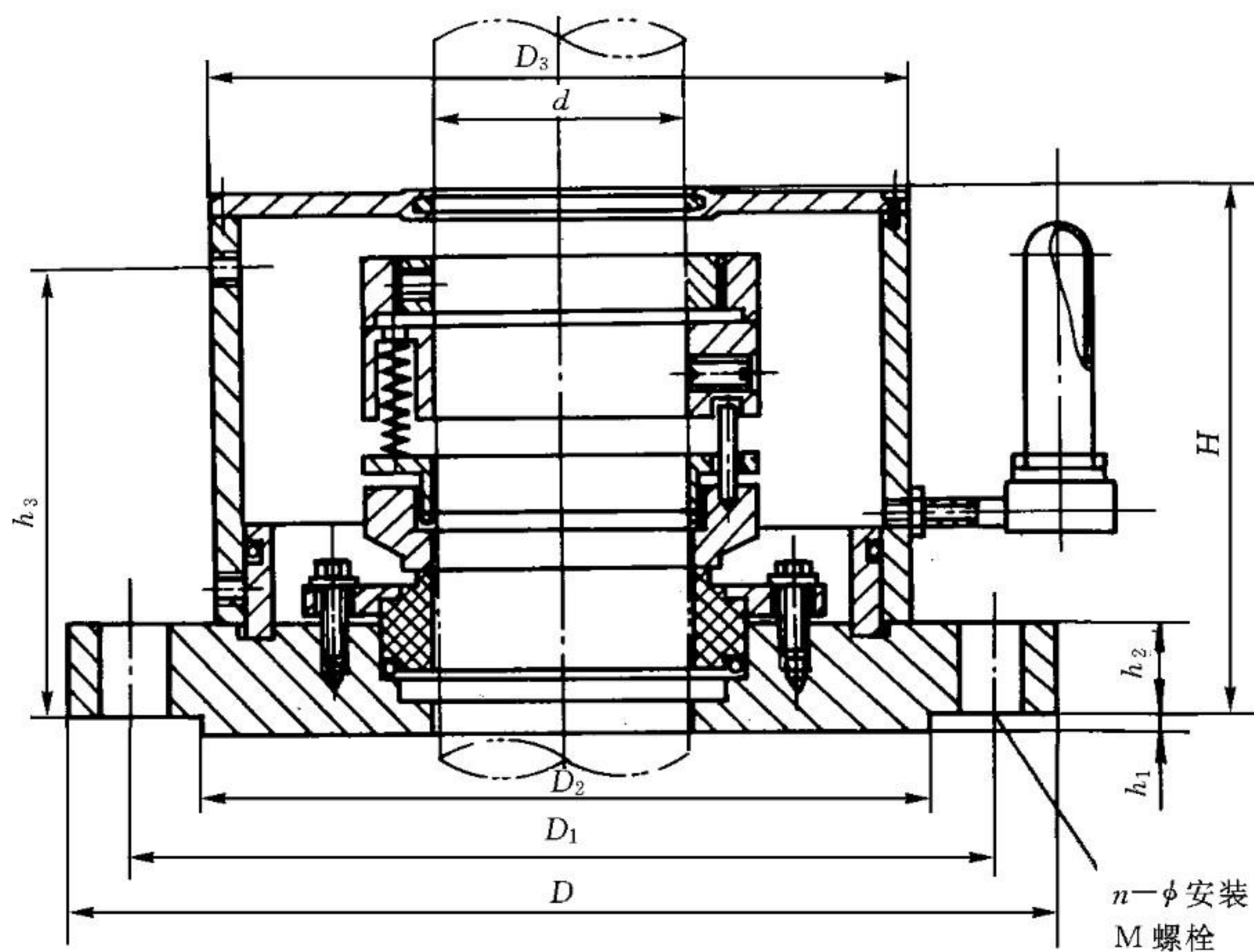


图 E-9 202 型标准机械密封结构

表 E-15 202 型标准机械密封主要尺寸

单位: mm

搅拌轴轴径	d	D	D_1	D_2	D_3	h_1	h_2	h_3	H	$n-\phi$	M			
30	30	235	200	164	150	4.5	20	100	160	8-18	16			
40	40				160									
50	50	260	225	188	180									
60	60				180									
65	65	315	280	245	185		22							
70	70				210									
80	80				215									
90	90	370	335	298	230		24			100	160	12-18	16	
95	95				235									
100	100				240									
110	110	435	395	353	260	5		26	100			160	12-23	20
120	120				270									
130	130	485	445	403	280									



参考文献

- [1] 刁玉玮,等. 化工设备机械基础. 6 版. 大连:大连理工大学出版社,2006
- [2] 蔡纪宁,张秋翔,等. 化工设备机械基础课程设计指导书. 北京:化学工业出版社,2000
- [3] 宋树波,等. 过程装备与控制工程专业实验. 北京:化学工业出版社,2005
- [4] 郑津洋,等. 过程设备设计. 2 版. 北京:化学工业出版社,2005
- [5] 余国棕. 化工机械手册. 天津:天津大学出版社,1991
- [6] 贺匡国. 化工容器及设备简明设计手册. 2 版. 北京:化学工业出版社,2002

