

ZHONGXING-SHEBEI-DIAOZHANG-SHOUCE

重型设备 吊装手册

樊兆馥 编著

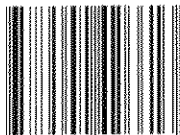


冶金工业出版社



ZHONGXING SHEBEI DIAOZHANG SHOUCE

ISBN 7-5024-2661-2



9 787502 426613 >

ISBN 7-5024-2661-2
TH·246 定价59.00元

79.78
4422

重型设备吊装手册

樊兆馥 编著

北 京
冶金工业出版社

2001

067649

内 容 简 介

工业设备吊装是设备安装的重要环节。重型设备吊装是安装界关注的重大技术关键问题之一。本手册着重介绍了吊装机具的选用与计算、吊装机械及其应用、重型设备吊装、设备吊装方案的编制与实施等内容。本手册还列举了数十个重型设备的吊装实例,系统归纳了多种吊装工艺方法。本手册介绍的重型设备吊装内容涉及到冶金、电力、石油化工、建材和轻工等部门。本手册可供从事设备吊装工作的人员使用,也可供大中专院校相关专业教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

重型设备吊装手册/樊兆馥编著. —北京:冶金工业出版社, 2001. 4

ISBN 7-5024-2661-2

I. 重... II. 樊... III. 重型-起重机械-技术手册
IV. TH21-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 48946 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 郭庚辰 美术编辑 王耀忠 责任校对 王贺兰

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2001 年 4 月第 1 版,2001 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 28 印张; 676 千字; 429 页; 1-3000 册

59.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

50年来,特别是改革开放20年来,在我国的经济建设中,基础工业、一般工业产业和高新技术产业均得到了极大发展,半个世纪只是人类历史发展长河中的一瞬,而奋起的中国人民经过不懈的奋斗、拼搏,已在世界的东方创造了人类高速建设自己国家的奇迹,举世瞩目,震惊寰宇,炎黄子孙无不为之骄傲和自豪。

在我国工业的发展建设过程中,广大的工程建设者消化、吸收国外高新技术,并结合国情,在运用中提高,在实践中创新,逐步形成了具有中国特色的施工工艺、操作方法和技术规程。

在工业项目建设中,机械设备安装是工程的重要组成部分,重型设备常有高、大、精、尖的特点,这就决定了在设备吊装中必须根据设备的尺寸、形状、重量和特点,施工场地及周边情况,起吊机械的性能,吊装指挥者和操作人员的素质等条件来选择先进、科学、实用、经济又安全的吊装工艺方法,认真编制吊装方案并组织实施,以边到高速、优质、低耗地完成设备吊装工作。

《重型设备吊装手册》一书的编者,曾任万人建筑安装企业的副总工程师多年,在自身多年从事设备吊装工作实践积累的基础上,参阅了相关的设备吊装书籍、技术刊物和一些工法并收集了许多重大吊装实例,经过系统归纳、萃选精华,增加技术含量而编著成书。此书文字简练,内容丰富,图文并茂,实用性强,不失为一本有用之书。现推荐给读者,阅后您定会边到开卷有益的目的。

中色建设集团有限公司董事长兼总经理



2001年3月

前 言

工业设备吊装是设备安装工作的重要环节,而重型设备吊装工艺方法复杂,技术难度大,安全要求高,耗用巨大的人力物力。因此,重型设备吊装工作是安装界关注的重大技术关键问题。总结成熟的吊装技术、创造新的吊装工艺、推动重型设备吊装技术的发展和解决一些设备吊装难题,一直是安装界不断探索的问题之一。在长期的设备安装实践中,广大的建设者创造了许多优秀的设备吊装工艺,积累了丰富的吊装经验,完成了大量的设备吊装工程,做出了重大的贡献。重型设备吊装技术作为一种财富,应该加以总结、提高和推广应用,而对广大从事设备吊装工作的工程技术人员和工人来说,也确实需要有一本重型设备吊装方面的工具性手册,它可起到方便查阅、提供知识、开拓思路、指导吊装施工的作用。

基于以上目的,笔者编写了这本《重型设备吊装手册》。本手册着重介绍了吊装机具的选用与计算、吊装机械及其应用、重型设备吊装、设备吊装方案的编制与实施等内容。

本手册涉及冶金、电力、石油化工、建材和轻工等部门的重型设备吊装技术,有桥式起重机、龙门起重机、塔类设备、立式罐类设备,高炉、转炉、轧机、水压机、压力机、电动机、发电机、电站锅炉、回转窑、球磨机等重型设备的吊装技术。

为便于读者查阅和应用,增加实用性和可操作性,本手册列举了数十个重型设备的吊装实例,并系统归纳了多种吊装工艺方法,还较为详细地叙述了起

重作业的操作技术。为增加可读性,本手册图文并茂,全书结合文字绘制插图400余幅,为读者展现直观的吊装技术知识。

对在本书编辑过程中直接和间接提供资料的同行,对中色建设集团有限公司给本书出版的支持均表诚挚的谢意。

本手册可供从事设备吊装工作的人员使用,也可供大中专院校师生参考。

由于编者水平所限,书中不足之处,诚望广大读者指正,深表感谢。

编 者

2000年12月

目 录

第一章 吊装机具的选用与计算

第一节 起重绳索和附件	1
一、麻绳	1
(一) 油浸麻绳	1
(二) 白棕绳	1
二、钢丝绳	2
(一) 设备吊装用钢丝绳的种类和用途	2
(二) 钢丝绳的规格	3
(三) 钢丝绳的许用拉力	5
(四) 旧钢丝绳的折减使用和报废	6
三、钢丝绳附件	7
(一) 钢丝绳用套环	7
(二) 钢丝绳绳夹	9
四、吊索	11
(一) 吊索的形式	11
(二) 吊索钢丝绳直径、根数及吊重的选择	11
第二节 滑车与滑车组	13
一、滑车类型及作用	13
(一) HQ 系列起重滑车(ZBJ80008—87)	13
(二) H 系列起重滑车(JB1204—71)	18
二、滑车的用途和计算	20
(一) 定滑车	20
(二) 动滑车	20
(三) 导向滑车	20
三、滑车组	21
(一) 滑车组绳索引出端拉力计算	21
(二) 滑车组在拉紧时的最短极限尺寸	23
(三) 起重钢丝绳长度的计算	24
(四) 起重滑车组钢丝绳的穿绕方法	24

第三节 起重机具	26
一、卸扣	26
二、吊钩与吊环	27
三、索具螺旋扣	29
四、牵引设备	31
(一) 电动慢速卷扬机	31
(二) 手动卷扬机	32
(三) 绞磨	33
五、千斤顶	33
(一) 螺旋千斤顶	34
(二) 液压千斤顶	34
(三) 分离式液压起顶机	35
(四) 齿条千斤顶	35
(五) 使用千斤顶的注意事项	35
六、手拉葫芦	36
(一) 普通手拉葫芦	36
(二) 环链手扳葫芦	36
(三) 使用手拉葫芦的注意事项	37
第四节 锚碇装置	37
一、桩式锚碇	37
二、埋置式锚碇	38
(一) 埋置式锚碇许用拉力的计算	38
(二) 埋置式锚碇的选用	40
三、压置式锚碇	40
四、利用建筑物作锚碇	42
(一) 利用混凝土柱脚作锚碇	42
(二) 利用钢柱脚作锚碇	43
五、灌注锚碇	43
六、设置和使用锚碇的注意事项	43

第二章 吊装机械及其应用

第一节 桥式起重机及其应用	45
一、普通桥式起重机	45
(一) 类型和主要参数	45
(二) 起重量 5 ~ 250t 普通桥式起重机的参数	45
二、冶金专用桥式起重机	49
三、吊装特点、要求和安全措施	50
(一) 吊装特点	50

(二) 吊装要求和安全措施	50
四、增加桥式起重机起重量的方法和措施	51
(一) 天车允许超额起重量吊装	51
(二) 限制天车超负荷吊装能力的因素	51
(三) 天车的载荷	51
(四) 天车主梁的强度和刚度核算	52
(五) 增加天车起重量的方法和措施	52
五、吊装实例	54
(一) 大型立式水压机吊装	54
(二) 大型球磨机吊装	59
(三) 轧机机架吊装	66
(四) 大型电动机和发电机吊装	70
第二节 自行式起重机及其应用	77
一、自行式起重机的类型和参数	77
(一) 类型	77
(二) 参数	78
二、吊装特点、要求和安全措施	79
(一) 特点	79
(二) 吊装要求和安全技术措施	79
三、起升高度和工作幅度的计算	79
四、稳定性的类别及其计算	80
(一) 起重机稳定性的类别	81
(二) 汽车吊、轮胎吊和履带吊稳定性计算的差异	81
(三) 汽车吊、轮胎吊静稳定状态的计算	81
(四) 履带吊静稳定状态的计算	82
(五) 关于吊车起重臂在不同方位时的稳定性	83
五、起重机加辅助装置吊装设备	83
(一) 起重臂杆上加缆风绳吊装	84
(二) 起重臂杆加立柱吊装设备	86
(三) 两台起重机臂杆用横梁连接吊装设备	86
(四) 加宽履带, 采用支腿的方法	87
(五) 增加配重或后移配重的方法	87
(六) 将起重机改装成人字臂架平衡起重装置	87
(七) 支撑圈起重装置	88
六、吊装实例	88
(一) 大型钢铁厂容积 1350m ³ 高炉系统机械化吊装	88
(二) 高炉改造工程机械化吊装	90
第三节 桅杆及其应用	94
一、单桅杆	94

(一)桅杆的组成及结构形式	94
(二)桅杆的规格和性能	101
(三)桅杆受力计算	106
(四)桅杆强度及稳定性计算	111
(五)吊装实例	116
二、人字桅杆	119
(一)圆木人字桅杆	119
(二)钢管人字桅杆	120
(三)格构式人字桅杆	123
(四)人字桅杆受力计算	123
三、门式桅杆	127
(一)门式桅杆的结构	127
(二)门式桅杆吊装设备的基本参数	128
(三)门式桅杆的受力计算	129
四、系缆式桅杆	130
(一)系缆式桅杆的组成和结构	130
(二)系缆式桅杆的规格及性能	131
(三)系缆式桅杆受力计算	131
五、缆风绳	132
(一)设置缆风绳的一般原则	132
(二)缆风绳的数量及分布方式	133
(三)缆风绳的预紧力	134
(四)缆风绳的长度	134
(五)缆风绳的分配系数 K'	135
(六)对称缆风绳受力	136
六、桅杆的竖立、拆除与位移	136
(一)竖立桅杆	137
(二)拆除桅杆	139
(三)移动桅杆	139

第三章 重型设备吊装

第一节 吊装方法	141
一、吊装方法的选择原则	141
二、吊装方式和吊具受力	141
(一)吊具位置固定者	141
(二)吊具位置移动者	142
三、吊点及其选择	143
四、吊索于吊点处的绑挂方式	143

(一)由圆柱体组成的轴、辊类零件的吊装	143
(二)矩形断面的圆圈、轮带、大齿圈类零件的吊装	143
(三)带轴轮类零件的吊装	144
五、吊件的平衡	145
(一)吊件的平衡方法	145
(二)平衡梁与抬吊梁	146
第二节 吊装桥式起重机	148
一、吊装方法汇总	149
二、天车主梁吊索的绑扎方法及临时端梁	150
(一)天车主梁吊索的绑扎方法	150
(二)临时端梁	151
三、吊装方法	151
四、吊装桥式起重机实例	166
[例 1]吊装铜电解专用桥式起重机	166
[例 2]吊装大型铸锭起重机	169
第三节 吊装龙门起重机	170
一、吊装方法的特点	172
二、吊装方法	172
第四节 吊装塔类设备	180
一、塔类设备的主要构成部分	180
二、吊点	180
(一)钢丝绳吊索缠绕捆扎法	180
(二)吊耳法	180
(三)塔顶端吊具	184
(四)抱箍式吊耳	184
三、吊点的设置	184
四、塔体裙座的加固	185
五、塔类设备整体吊装方法的类型及工艺原理	186
(一)滑移吊装法	186
(二)回转扳吊法	187
(三)吊推法吊装	188
(四)无锚点吊装法	190
(五)跨步式液压提升法	190
六、塔类设备的吊装方法汇总	191
七、塔类设备滑移法吊装	191
(一)滑移装置及其牵引	192
(二)用自行式起重机滑移吊装法	195
(三)用桅杆滑移吊装法	198
八、塔类设备扳转法吊装	207

(一)桅杆单转扳吊法	207
(二)桅杆双转扳吊法	215
九、用吊车吊装塔类设备	221
(一)单机旋转法	221
(二)双机抬吊滑移法	222
(三)双机抬吊移送法	222
(四)三机抬吊法	222
十、塔类设备分段吊装法	224
(一)用自行式起重机正装法	224
(二)斜立单桅杆倒装法	224
(三)直立双桅杆倒装法	225
(四)直立双桅杆正装法	225
十一、塔类设备吊装实例	225
(一)三机抬吊塔设备	225
(二)双桅杆扳吊反应器	227
(三)门式桅杆滑移法吊装反应器	231
(四)吊推法吊装初分馏塔	235
第五节 吊装立式贮罐类设备	239
一、立式贮罐类设备的种类	239
二、立式贮罐类设备结构简介	239
(一)固定顶贮罐	239
(二)浮顶贮罐	239
(三)湿式气柜	240
(四)干式气柜	240
(五)双层贮罐	241
(六)啤酒发酵罐	241
三、吊装方法	241
(一)吊装方法分类	241
(二)吊装方法的选择	241
(三)正装法和倒装法	241
四、用吊车、桅杆正装法	243
(一)小型贮罐分段正装	243
(二)大型贮罐分块正装	243
五、用桅杆倒装法	243
(一)中心柱提升倒装法	243
(二)罐内立多桅杆倒装法	244
(三)罐外立多桅杆倒装法	246
六、充气顶升倒装法	247
(一)充气顶升原理	247

(二)方法特点	247
(三)充气顶升法的主要装置及其选用	247
(四)壁板对接焊贮罐的充气顶升倒装法	252
(五)以内浮盘为底的充气倒装法	254
(六)充气顶升法施工易出现的问题及其对策	254
(七)干式气柜充气顶升倒装法	257
七、水浮法	258
(一)水浮正装法	258
(二)水浮倒装法	259
八、液压法	261
(一)液压提升倒装法	261
(二)液压顶升倒装法	263
九、啤酒发酵罐群吊装法	264
(一)用移动式龙门架在基础上分件倒装	264
(二)用移动式龙门架整体吊装罐群	265
(三)用大型自行式起重机整体吊装罐群	266
(四)双桅杆递夺法整体吊装罐群	266
(五)用桅杆摆动法移吊罐群	267
十、实例	268
【例 1】5000m ³ 油罐充气顶升法安装	268
【例 2】2 万 m ³ 贮罐液压提升法安装	272
【例 3】容积 330m ³ 的大型啤酒发酵罐群的现场吊装	274
第六节 某些重型设备吊装	276
一、吊装回转窑	276
(一)回转窑的吊装特点	277
(二)吊装方法	277
(三)回转窑吊装实例	282
【例 1】用滚动法吊装长 36m 回转窑	282
【例 2】用自行式起重机吊装大型回转窑	282
二、吊装电站锅炉	284
(一)电站锅炉的工作原理	285
(二)电站锅炉的型式和构成	286
(三)电站锅炉的结构	286
(四)电站锅炉的吊装	288
三、吊装转炉	300
(一)转炉正装法	301
(二)转炉倒装法	301
(三)液压顶升移入法安装转炉	302
(四)转炉接钩吊装法	304

四、吊装压力机	305
(一)斜立双桅杆摆动拾吊法吊装压力机上横梁	305
(二)桥式起重机和桅杆联合吊装大型压力机部件	306
(三)桥式起重机和自行式起重机联合拾吊大型冲床上横梁	307
(四)扩大桥式起重机吊装能力吊装冲床上横梁	309
(五)大型热压机吊装	312
五、因地制宜吊装重型设备	314
(一)吊装发电机定子	315
(二)吊装锅炉锅筒	316
(三)向高处吊装设备的方法	316
(四)居高临下扳吊地面设备	318
(五)吊装小型轧钢厂设备	319
(六)用动臂桅杆在室内吊装 20t/h 和 35t/h 锅炉设备	319
(七)超高空承载索吊运上海东方明珠电视塔上球体内设备	321
(八)狭窄空间吊装 385m ² 叶滤机	324
(九)利用回转伸缩桅杆吊装金属贮槽或贮罐	329
(十)捆绑式桅杆群倒装大型不锈钢储罐	331
(十一)利用建筑物框架吊装巨型塔	333

第四章 设备吊装方案的编制与实施

第一节 设备吊装方案的编制	339
一、编制设备吊装方案的原则	339
二、编制设备吊装方案的依据	339
三、设备吊装方案的内容	340
(一)工程概况	340
(二)吊装进度计划	340
(三)吊装工艺方法	343
(四)技术措施	346
(五)安全措施	347
(六)吊装机具需用计划	348
(七)材料需用计划	350
(八)劳动力需用计划	350
(九)设备吊装成本预测	351
第二节 设备吊装方案的实施与安全技术措施	351
一、设备吊装方案的实施	351
(一)方案的审批程序和变更权限	351
(二)建立组织机构,全面组织设备吊装工作	351
(三)吊装方案的交底是重要的技术环节	351

(四)加强检查是确保方案实施的必要手段	352
(五)试验和试吊均是重要的技术措施	352
(六)吊装就位和收尾	352
二、设备吊装安全技术措施	352

附 录

附录一 数学用表及三角形计算公式	355
附表 1-1 平方、立方、平方根、立方根、圆周长、圆面积、倒数	355
附表 1-2 三角函数($0^\circ \sim 90^\circ$)	358
附表 1-3 三角形公式表	362
附录二 常用单位换算	364
附录三 常用几何体的面积、体积及重心位置	365
附录四 截面的几何及力学特性	367
附录五 常用受静载荷梁的计算	371
附录六 钢材及连接的强度设计值	375
附表 6-1 钢材的强度设计值(N/mm^2)	375
附表 6-2 3号钢材分组尺寸(mm)	375
附表 6-3 焊缝的强度设计值(N/mm^2)	375
附表 6-4 螺栓连接的强度设计值(N/mm^2)	376
附录七 钢材的容许应力	376
附表 7-1 钢材的容许应力(MPa)	376
附表 7-2 焊缝的容许应力(MPa)	376
附表 7-3 松木和枞木的容许应力	377
附表 7-4 除松木和枞木外其他木材容许应力修正系数	377
附表 7-5 随木材的湿度而定的容许应力	378
附录八 轴心受压钢构件的稳定系数	378
附表 8-1 轴心受压钢构件的截面分类	378
附表 8-2 Q235 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	379
附表 8-3 Q235 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	379
附表 8-4 16Mn 钢、16Mnq 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	380
附表 8-5 16Mn 钢、16Mnq 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	381
附录九 桅杆钢管断面常数	381
附录十 钢管桅杆的中心受压容许压应力折减系数	382
附录十一 几种钢材的断面常数	383
附表 11-1 等边角钢断面常数	383
附表 11-2 热轧普通槽钢断面常数	386
附表 11-3 热轧普通工字钢断面常数	387
附表 11-4 钢轨断面常数	389

附表 11-5	起重机钢轨断面常数	390
附表 11-6	圆形钢管截面的断面常数	391
附录十二	工字钢容许荷重	392
附表 12-1	工字钢悬臂梁容许荷重	392
附表 12-2	工字钢简支梁容许荷重	393
附录十三	用算法确定简支梁的容许荷重	394
附录十四	滚动、滑动摩擦系数	395
附表 14-1	滚动摩擦系数 μ	395
附表 14-2	滑动摩擦系数 f	395
附录十五	重型自行式起重机	396
附表 15-1	起重能力参数表(t)	396
附表 15-2	KH150-2 型起重机起重能力参数表(t)	396
附表 15-3	KH180-3 型起重机起重能力参数表(t)	398
附表 15-4	KH300-2 型起重机起重能力参数表(t)	399
附表 15-5	P&H7150 型起重机主吊臂额定起重能力参数表(t)	399
附表 15-6	P&H7150 型起重机主臂起重能力参数表(t)	400
附表 15-7	CG2000 型起重机主吊臂起重能力参数表(t)	402
附表 15-8	QY25A 型起重机起重能力参数表	403
附表 15-9	QY25B 型起重机起重能力参数表(t)	404
附表 15-10	QY32 型起重机起重能力参数表(t)	404
附表 15-11	QY50 型起重机起重能力参数表(t)	405
附表 15-12	NK-450 型起重机主臂起重能力参数表(t)	406
附表 15-13	TG-452 型起重机起重能力参数表(t)	407
附表 15-14	LT1080 型起重机起重能力参数表(t)	408
附表 15-15a	TC-900E 起重机起重能力参数表(t)	409
附表 15-15b	TG-900E 起重机起重能力参数表(t)	410
附表 15-16	PQH9125 型起重机起重能力参数表(t)	410
附表 15-17	KMK6140 型起重机起重能力参数表(一)(t)	411
附表 15-18	KMK6140 型起重机起重能力参数表(二)(t)	412
附表 15-19	KMK6140 型起重机起重能力参数表(三)(t)	413
附表 15-20	QLD20、QLD20A 型起重机起重能力参数表	413
附表 15-21	QLY25 型起重机(放支腿)起重能力参数表	414
附表 15-22	QL ₃ -40 型轮胎起重机起重能力表	415
附录十六	牵引平板拖车	416
附录十七	慢速建筑卷扬机	417
附录十八	起重工程名词术语	418
参考文献		428

第一章 吊装机具的选用与计算

本章萃选设备吊装常用的机具、索具、锚碇装置的有关资料并进行使用计算。

第一节 起重绳索和附件

一、麻绳

麻绳有质轻、柔软、易绑扎、价格低、抗拉强度小、易磨损等特点,故只能用于小型设备吊装,也用于做溜绳、平衡绳和缆风绳等。设备吊装中常用油浸麻绳和白棕绳。

(一)油浸麻绳

油浸麻绳的规格和性能见表 1-1。

表 1-1 油浸麻绳技术规格

直径 /mm	特 制		加 重		普 通	
	每百米质量/kg	最小拉断力/N	每百米质量/kg	最小拉断力/N	每百米质量/kg	最小拉断力/N
9.6	8.3	5850	8.3	5050	—	—
11.1	10.6	7000	10.4	6250	10.3	5750
12.7	14.2	8950	14.0	7950	13.8	7350
14.3	17.5	10900	17.1	9700	17.2	8950
15.9	22.4	14000	20.9	11500	20.5	10650
19.1	33.0	20250	31.4	17050	29.3	14900
20.7	38.4	22600	36.6	18900	34.6	16650
23.9	50.7	30600	49.9	25020	46.6	22260
28.7	72.0	42400	70.8	35430	67.5	32230
31.8	89.1	50300	87.3	42190	82.6	37670
36.6	118.0	65700	118.3	55440	108.6	48510
39.8	139.2	73800	134.5	62700	129.6	55250
47.8	198.2	106800	192.3	90450	184.1	70600
55.7	273.8	134500	265.5	115850	254.9	101850
63.7	356.4	174250	345.7	149500	330.4	130900

(二)白棕绳

白棕绳的规格和性能见表 1-2。

表 1-2 白棕绳技术规格

直径 /mm	每百米质量 /kg	最小破断拉力/kN			许用拉力/kN					
					K=3			K=5		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
6	3	4.05	2.68	1.76	1.35	0.89	0.59	0.81	0.54	0.35
8	6	6.66	4.40	2.90	2.22	1.47	0.97	1.33	0.88	0.58
10	8	9.20	6.10	4.00	3.07	2.03	1.33	1.84	1.22	0.80
12	11	11.66	7.75	5.09	3.88	2.58	1.70	2.33	1.55	1.02
14	14	16.30	10.90	7.22	5.43	3.63	2.40	3.26	2.18	1.44
16	18	19.60	13.40	8.71	6.53	4.47	2.90	3.92	2.68	1.74
18	23	24.60	16.60	11.00	8.20	5.53	3.67	4.92	3.32	2.20
20	28	31.20	21.10	13.90	10.40	7.03	4.63	6.24	4.22	2.78
22	34	37.60	24.50	16.80	12.53	8.17	5.60	7.52	4.92	3.36
24	40	43.80	29.60	19.60	14.60	9.87	6.53	8.76	5.92	3.92
26	48	49.70	33.80	22.30	15.97	11.27	7.43	9.94	6.76	4.46
28	55	57.10	38.90	25.60	19.03	12.97	8.53	11.40	7.78	5.12
30	63	66.20	44.50	29.90	22.07	14.83	9.97	13.24	8.90	5.98
32	72	74.40	50.10	33.70	24.80	16.70	11.23	14.88	10.02	6.74
34	81	82.40	55.60	37.40	27.47	18.53	12.47	16.48	11.12	7.48
36	91	90.00	60.90	41.00	30.00	20.30	13.67	18.00	12.18	8.20
40	112	109.70	74.40	50.10	36.57	24.80	16.70	21.94	14.88	10.02
44	136	120.10	81.60	54.90	40.03	27.20	18.30	24.02	16.30	10.98
48	161	140.00	95.60	64.30	46.67	31.87	21.43	28.00	19.12	12.86
52	190	162.00	110.30	74.10	54.00	36.77	24.70	32.40	22.06	14.82
56	220	181.50	112.40	83.70	60.50	37.47	27.90	36.30	22.48	16.74
64	287	230.00	158.90	109.70	76.66	52.97	36.57	46.00	31.78	21.94

二、钢丝绳

钢丝绳有抗拉强度高、弹性大、挠性好、耐磨损、寿命长、价格适中等诸多优点,故用得非常广泛。

视组成钢丝绳股数和钢丝数目的多少、捻制方法的差异及有无麻芯等,把钢丝绳分成十余种。设备吊装中一般只使用其中由 6 股组成的 3 种。

(一) 设备吊装用钢丝绳的种类和用途

设备吊装中常用由 1 根麻芯和 6 股钢丝组成的 3 种钢丝绳,以 $6 \times 19 + 1$ 、 $6 \times 37 + 1$ 和 $6 \times 61 + 1$ 表示其组成,其中 6 表示为 6 股、1 表示有 1 根麻芯,而 19、37、61 则表示每股内的钢丝数。以同直径者相比较,钢丝多且细,则绳的挠性好,而耐磨性则稍差。

此 3 种钢丝绳的用途和标记举例:

- (1) 6×19 钢丝绳:作拉索、缆风绳及在其他少弯曲、受磨损时采用;
- (2) 6×37 钢丝绳:宜用于滑车组及其他呈弯曲时采用;

(3)6×61 钢丝绳:用于滑车组,制作吊索、起吊绑绳和重型起重机械。

标记举例(GB1102—74),标记简化如下:

钢丝绳 6×19-15-1700 表示 6 股,每股 19 丝,钢丝绳直径 $\phi 15\text{mm}$,钢丝绳抗拉强度为 1700MPa。

(二)钢丝绳的规格

表 1-3 为钢丝绳(6×19+1)的主要技术参数。

表 1-3 钢丝绳(6×19+1)主要技术参数

直径/mm		钢 丝 总断面积 /mm ²	每百米参考 质量/kg	钢丝绳公称抗拉强度/MPa				
钢丝绳	钢丝			1400	1550	1700	1850	2000
				钢丝绳破断拉力(不小于)/kN				
6.2	0.4	14.32	13.53	17.0	18.8	20.7	22.4	24.3
7.7	0.5	22.37	21.14	26.6	29.4	32.3	35.1	38.0
9.3	0.6	32.22	30.45	38.3	42.4	46.5	50.6	54.7
11	0.7	43.85	41.44	52.1	57.7	63.3	68.9	74.5
12.5	0.8	57.27	54.12	68.1	75.4	82.7	89.7	97.3
14	0.9	72.49	68.5	85.9	95.2	104.6	113.9	122.8
15.5	1.0	89.49	84.57	106.3	117.7	129.2	140.7	151.7
17	1.1	108.28	102.3	128.8	142.4	156.4	170.0	184.0
18.5	1.2	128.87	121.8	153.0	169.6	186.2	202.3	218.9
20	1.3	151.24	142.9	179.8	198.9	218.5	237.6	256.7
21.5	1.4	175.40	165.8	208.7	230.8	253.3	275.4	297.9
23	1.5	201.35	190.3	239.3	265.2	290.7	316.2	342.1
24.5	1.6	229.09	216.5	272.4	301.8	330.7	359.9	389.3
26	1.7	258.63	244.4	307.7	340.6	373.6	406.3	439.4
28	1.8	289.95	274.0	344.7	381.7	418.6	455.6	492.6
31	2.0	357.96	338.3	425.9	471.3	517.2	562.7	608.2
34	2.2	433.13	409.3	515.1	570.4	625.6	680.8	
37	2.4	515.46	487.1	613.3	671.1	744.6	810.4	
40	2.6	604.95	571.7	719.5	796.9	871.3	947.7	
43	2.8	701.60	663.0	834.7	922.3	1011.5	1100.7	
46	3.0	805.41	761.1	956.3	1058.3	1160.3	1266.5	

表 1-4 为钢丝绳(6×37+1)的主要技术参数。

表 1-4 钢丝绳(6×37+1)主要技术参数

直 径/mm		钢 丝 总断面 面积 /mm ²	每百米参考 质量/kg	钢丝绳公称抗拉强度/MPa				
钢丝绳	钢丝			1400	1550	1700	1850	2000
				钢丝绳破断拉力(不小于)/kN				
8.7	0.4	27.88	26.21	32.0	35.4	38.8	42.2	45.7
11.0	0.5	43.57	40.96	49.9	55.4	60.7	66.1	71.4
13.0	0.6	62.74	58.98	72.0	79.7	87.3	95.1	102.5
15.0	0.7	85.39	80.27	98.0	108.2	118.9	129.2	139.8
17.5	0.8	111.53	104.8	127.0	141.5	155.4	168.9	182.8
19.5	0.9	141.16	132.7	162.0	179.2	196.46	214.0	231.2
21.5	1.0	174.27	163.8	199.7	221.4	242.7	264.0	285.7
24.0	1.1	210.87	198.2	241.9	267.7	293.6	319.8	345.6
26.0	1.2	250.95	235.9	287.8	318.6	349.7	380.5	411.2
28.0	1.3	294.52	276.8	337.8	374.3	410.4	446.5	483.0
30.0	1.4	341.57	321.1	392.0	433.8	476.0	517.8	560.0
32.5	1.5	392.11	368.6	450.0	498.2	546.5	594.5	642.9
34.5	1.6	446.13	419.4	512.1	567.0	621.6	676.5	731.4
36.5	1.7	503.64	473.4	578.1	642.0	701.9	763.8	824.1
39.0	1.8	564.63	530.8	647.8	717.5	786.8	852.8	922.5
43.0	2.0	697.08	655.3	799.9	885.6	971.7	1053.7	1139.8
47.5	2.2	843.47	792.9	967.6	1070.1	1172.6	1279.2	
52.0	2.4	1003.80	943.6	1152.1	1275.1	1398.1	1521.1	
56.0	2.6	1178.07	1107.4	1348.9	1496.5	1640.0	1783.5	
60.5	2.8	1366.28	1284.3	1566.2	1734.3	1902.4	2070.5	
65.0	3.0	1568.43	1474.3	1799.9	1992.6	2185.3	2378.0	

表 1-5 为钢丝绳(6×61+1)的主要技术参数。

表 1-5 钢丝绳(6×61+1)主要技术参数

直 径		钢 丝 总断面 面积 /mm ²	每 100m 质 量 /kg	钢丝绳公称抗拉强度/MPa									
钢丝绳 /mm	钢丝 /mm			1400		1550		1700		1850		2000	
				钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN
11.0	0.4	45.97	43.21	64.3	51.44	71.2	56.96	78.1	62.48	85	68	91.9	73.52
14.0	0.5	71.83	67.52	100.5	80.4	111	88.8	122	97.6	132.5	106	143.5	114.8
16.5	0.6	103.43	97.22	144.5	115.6	160	128	175.5	140.4	191	152.8	206.5	165.2
19.5	0.7	140.78	132.3	197	157.6	218	174.4	239	191.2	260	208	281.5	225.2

续表 1-5

直 径		钢 丝 总断面 面 积 /mm ²	每 100m 质 量 /kg	钢丝绳公称抗拉强度/MPa									
钢丝绳 /mm	钢丝绳 /mm			1400		1550		1700		1850		2000	
				钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN	钢丝绳 破断力 /kN	钢丝绳 破断拉 力/kN
22.0	0.8	183.88	172.8	257	205.6	285	228	312.5	250	340	272	367.5	294
25.0	0.9	232.72	218.8	325.5	260.4	360.5	288.4	395.5	316.4	430.5	344.4	465	372
27.5	1.0	287.31	270.1	402	321.6	445	356	488	390.4	531.5	425.2	574.5	459.6
30.5	1.1	347.65	326.8	486.5	391.2	538.5	430.8	591	472.8	643	514.4	695	556
33.0	1.2	413.73	388.9	579	463.2	641	512.8	703	562.4	765	612	827	661.6
36.0	1.3	485.55	456.4	679.5	543.6	752.5	602	825	660	898	718.4	971	686.8
38.5	1.4	563.13	529.3	788	630.4	872.5	698	957	765.6	1040	832	1125	900
41.5	1.5	646.45	607.7	905	724	1000	800	1095	876	1195	956	1290	1032
44.0	1.6	735.51	691.4	1025	820	1140	912	1250	1000	1360	1088	1660	1328
47.0	1.7	830.33	780.5	1160	928	1285	1028	1410	1128	1535	1228	1860	1488
50.0	1.8	930.88	875.0	1300	1040	1440	1152	1580	1264	1720	1376	2295	1836
55.5	2.0	1149.24	1080.3	1605	1284	1780	1424	1950	1560	2125	1700		
61.0	2.2	1390.58	1307.1	1945	1556	2155	1724	2360	1888	2570	2056		
66.5	2.4	1654.91	1555.6	2315	1852	2565	2052	2810	2248	3060	2448		
72.0	2.6	1942.22	1825.7	2715	2172	3010	2408	3300	2640	3590	2872		
77.5	2.8	2252.51	2117.4	3150	2520	3490	2792	3825	3060	4165	3332		
83.0	3.0	2585.79	2430.6	3620	2896	4005	3204	4395	3316	4780	3824		

注：在黑线之下只有普通钢丝绳，无镀锌钢丝绳。

(三) 钢丝绳的许用拉力

钢丝绳的许用拉力可按式(1-1)计算

$$P = \frac{T}{K} \quad (1-1)$$

式中 T ——钢丝绳的破断拉力, N;

K ——钢丝绳的安全系数, 按表 1-6 选用。

如钢丝绳的规格表中给出钢丝绳破断拉力总和时, 应先求钢丝绳破断拉力, 再计算钢丝绳的许用拉力, 即:

钢丝绳破断拉力 = 换算系数 × 钢丝绳破断拉力总和

按 GB1102—74 标准, 换算系数 c 值为:

6 × 19 钢丝绳	$c = 0.85$
6 × 37 钢丝绳	$c = 0.82$
6 × 61 钢丝绳	$c = 0.80$

表 1-6 钢丝绳安全系数

起重机类型	特性和使用范围		最小安全系数
桅杆式起重机、自行式起重机及 其他类型的起重机和卷扬机	手动		4.5
	机械传动	轻型	5
		中型	5.5
		重型	6
10kN 以下手动卷扬机			4
缆索式起重机	承担重量的钢丝绳		3.5
各种用途的钢丝绳	运输热金属、易燃物、易爆物		6
	捆绑设备		6
	缆风绳		3
	千斤绳(绳扣)		6~10

(四)旧钢丝绳的折减使用和报废

久用后的钢丝绳会出现磨损、锈蚀和断丝,使其破断拉力明显减小,但一般还可折减使用,如损坏严重时必须报废。

1. 折减

按钢丝绳的断丝数,从表 1-7 中查得折减系数,对其破断力进行折减,若钢丝绳表面又有磨损,则按表 1-8 对折减系数向更小方向修正。

表 1-7 钢丝绳断丝的折减系数(一个节距内)

钢丝绳破断力的 折减系数	钢丝绳的股丝数					
	6 × 19 + 1		6 × 37 + 1		6 × 61 + 1	
	捻 绕 方 式					
	交 捻	顺 捻	交 捻	顺 捻	交 捻	顺 捻
0.95	5	3	11	6	18	9
0.90	10	5	19	9	19	14
0.83	14	7	28	14	40	20
0.80	17	8	33	16	43	21
0	> 17	> 8	> 33	> 16	> 43	> 21

注:一个节距的含义如多头螺纹的导程。

表 1-8 钢丝绳表面磨损时折减系数的修正系数

钢丝绳表面磨损占直径的分数/%	10	15	20	25	30	30 以上
修正系数	0.8	0.7	0.65	0.55	0.50	0

注:表中磨损比率按单根钢丝绳或整根钢丝绳计算均可。

2. 报废

如钢丝绳有断股、锈蚀严重、断丝和磨损超过标准、受热退火和发生各种严重变形时,钢丝绳应报废。按国家规定,在一个节距内断丝根数达到表 1-9 所列根数时,钢丝绳即应报废。

表 1-9 钢丝绳在一个节距内断丝的报废标准

强度安全系数	钢丝绳结构					
	6×19+1		6×37+1		6×61+1	
	交捻	顺捻	交捻	顺捻	交捻	顺捻
<7	12	6	22	11	36	18
6~7	14	7	26	13	38	19
>7	16	8	30	15	40	20

3. 例题:旧钢丝绳折减后的破断拉力计算

有一直径 21.5mm 6×37-21.5 顺捻旧钢丝绳,钢丝绳的公称抗拉强度为 1550MPa,在一个节距内断丝 6 根,钢丝绳表面磨损 15%,试计算其折减后的破断拉力。

$$T = 0.82 \times 270 \times 0.95 \times 0.7 = 147.2$$

式中 T ——折减后钢丝绳的破断拉力, kN;

0.82——换算系数 C ;

270——钢丝绳的钢丝破断拉力总和, kN;

0.95——断丝折减系数,查表 1-7 得;

0.7——表面磨损修正系数,查表 1-8 得。

三、钢丝绳附件

在使用钢丝绳时常需用套环和绳卡作为附件。

(一) 钢丝绳用套环(图 1-1)

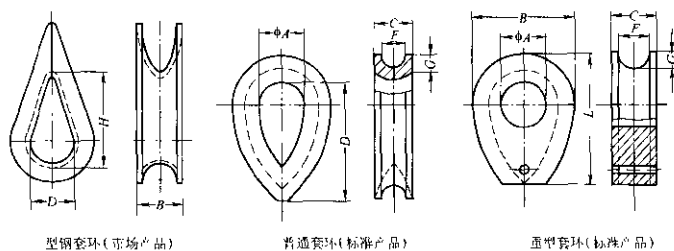


图 1-1 钢丝绳用套环

钢丝绳用套环有型钢套环、普通套环和重型套环 3 种,市场均有售。使用时,钢丝绳的一端嵌在套环的凹槽中,形成环状,用以保护钢丝绳承载时免受损伤。套环的规格见表 1-10 和表 1-11。

表 1-10 标准产品(GB5974.1.5974.2—86)

公称尺寸	槽宽 F		侧面 宽度 C	槽深 C \geq		孔径 A	孔高 D	宽度 B	高度 L	每件质量	
	最大	最小		普通	重型					普通	重型
	/mm										
6	6.9	6.5	10.5	3.3	—	15	27	—	—	0.032	—
8	9.2	8.6	14.0	4.4	6.0	20	36	40	56	0.075	0.08
10	11.5	10.6	17.5	5.5	7.5	25	45	50	70	0.150	0.17
12	13.8	12.9	21.0	6.6	9.0	30	54	60	84	0.250	0.32
14	16.1	15.1	24.5	7.7	10.5	35	63	70	98	0.393	0.50
16	18.4	17.2	28.0	8.8	12.0	40	72	80	112	0.605	0.78
18	20.7	19.4	31.5	9.9	13.5	45	81	90	126	0.867	1.14
20	23.0	21.5	35.0	11.0	15.0	50	90	100	140	1.205	1.41
22	25.3	23.7	38.5	12.1	16.5	55	99	110	154	1.563	1.96
24	27.6	25.8	42.0	13.2	18.0	60	108	120	168	2.045	2.41
26	29.9	28.0	45.5	14.3	19.5	65	117	130	182	2.620	3.46
28	32.2	30.1	49.0	15.4	21.0	70	126	140	196	3.290	4.30
32	36.8	34.4	56.0	17.6	24.0	80	144	160	224	4.854	6.46
36	41.4	38.7	63.0	19.8	27.0	90	162	180	252	6.972	9.77
40	46.0	43.0	70.0	22.0	30.0	100	180	200	280	9.624	12.94
44	50.6	47.3	77.0	24.2	33.0	110	198	220	308	12.81	17.02
48	55.2	51.6	84.0	26.4	36.0	120	216	240	336	16.60	22.75
52	59.8	55.9	91.0	28.6	39.0	130	234	260	361	20.95	28.41
56	64.4	60.2	98.0	30.8	42.0	140	252	280	392	26.31	35.56
60	69.0	64.5	105	33.0	45.0	150	270	300	420	31.40	48.35

注:1.套环的公称尺寸,即等于该套环适用的钢丝绳最大直径;2.套环的最大承载能力,普通套环(GB5974.1—86)应不低于钢丝绳最小破断拉力的32%,重型套环(GB5974.2—86)应不低于钢丝绳最小破断拉力。

表 1-11 型钢套环(市场产品)

套环 号码	适用钢丝绳 公称直径	套环尺寸			套环 号码	适用钢丝绳 公称直径	套环尺寸		
		槽宽 B	孔宽 D	孔高 H			槽宽 B	孔宽 D	孔高 H
/mm				/mm					
0.1	6.5(6)	9	15	26	1.7	21.5(22)	27	55	88
0.2	8	11	20	32	1.9	22.5(24)	29	60	96
0.3	9.5(10)	13	25	40	2.4	28	34	70	112
0.4	11.5(12)	15	30	48	3.0	31	38	75	120
0.8	15.0(16)	20	40	64	3.8	34	48	90	144
1.3	19.0(20)	25	50	80	4.5	37	54	105	168

注:1.将套环号码乘以1000,即等于该号码套环的许用负荷值(kgf),例:号码为0.1的套环,其许用负荷即为100kgf(1kN);2.适用钢丝绳公称直径括号里数字为过去习惯称呼的直径。

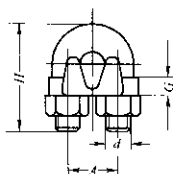
(二) 钢丝绳绳夹

绳夹供固定钢丝绳末端时卡接之用。用时把绳端弯成圆环状以后,在并列压紧的状态下,以箍卡的方式连接起来,承受拉力,其连接强度应大于该钢丝绳的许用拉力。虽然绳夹有数种结构形式,但最常用的是标准绳夹,即 GB5976—86 型。常用于缆风绳、吊索等固定端的连接上,一般与套环一起使用。

1. 标准绳夹

标准绳夹见表 1-12,市场产品见表 1-13。

表 1-12 标准绳夹(GB5976—86)



公称尺寸/mm	主要尺寸/mm				公称尺寸/mm	主要尺寸/mm			
	螺栓直径 <i>d</i>	螺栓中心距 <i>A</i>	螺栓全高 <i>H</i>	夹座厚度 <i>G</i>		螺栓直径 <i>d</i>	螺栓中心距 <i>A</i>	螺栓全高 <i>H</i>	夹座厚度 <i>G</i>
6	M6	13.0	31	6	26	M20	47.5	117	20
8	M8	17.0	41	8	28	M22	51.5	127	22
10	M10	21.0	51	10	32	M22	55.5	136	22
12	M12	25.0	62	12	36	M24	61.5	151	24
14	M14	29.0	72	14	40	M27	69.0	168	27
16	M14	31.0	77	14	44	M27	73.0	178	27
18	M16	35.0	87	16	48	M30	80.0	196	30
20	M16	37.0	92	16	52	M30	84.5	205	30
22	M20	43.0	108	20	56	M30	88.5	214	30
24	M20	45.5	113	20	60	M36	98.5	237	36

注:1.绳夹的公称尺寸,即等于该绳夹适用的钢丝绳直径;2.当绳夹用于起重机上时,夹座材料推荐采用 Q235A 或 ZG270-500 碳素钢铸件制造。其他用途绳夹的夹座材料有 KTH350-10 可锻铸铁或 QT450-10 球墨铸铁。

表 1-13 市场产品(上海产品)

型号	适用钢丝绳最大直径/mm	主要尺寸/mm							
		螺栓直径 <i>d</i>	螺母厚度 <i>h</i>	一般可锻铸铁制造			高强度可锻铸铁制造		
				螺栓中心距 <i>A</i>	螺栓全高 <i>H</i>	底板厚度 <i>S</i>	螺栓中心距 <i>A</i>	螺栓全高 <i>H</i>	底板厚度 <i>S</i>
Y-6	6	M6	5	14	35	8	13	30	5
Y-8	8	M8	6	18	44	10	17	38	6
Y-10	10	M10	8	22	55	13	21	48	7.5

续表 1-13

型 号	适用钢丝绳 最大直径 /mm	主要尺寸/mm							
		螺栓直径 d	螺母厚度 h	一般可锻铸铁制造			高强度可锻铸铁制造		
				螺栓中心 距 A	螺栓全 高 H	底板厚 度 S	螺栓中心 距 A	螺栓全 高 H	底板厚 度 S
Y-12	12	M12	10	28	69	16	25	58	9
Y-15	15	M14	11	33	83	19	30	69	11
Y-20	20	M16	13	39	96	22	37	86	13
Y-22	22	M18	14	44	108	24	41	94	14
Y-25	25	M20	16	49	122	27	46	106	16.5
Y-28	28	M22	18	55	137	31	51	119	18
Y-32	32	M24	19	60	149	33	57	130	19
Y-40	40	M24	19	67	164	35	65	148	19.5
Y-45	45	M27	22	78	188	40	73	167	23
Y-50	50	M30	24	88	210	44	81	185	25

注:夹座制造材料,一般可锻铸铁的牌号为 KTH330-08,高强度可锻铸铁的牌号为 KTH350-10。

2. 绳夹装设方法及主要要求

(1)装卡绳夹的数量,绳夹间的距离与钢丝绳的直径有关,直径越大,需绳夹数越多,其间距也增大,可参照表 1-14 的数值选用。

表 1-14 绳夹的数量和绳夹间距

公称尺寸/mm	绳夹数量/个	绳夹间距/mm	公称尺寸/mm	绳夹数量/个	绳夹间距/mm
6	2	70	26	5	170
8	2	80	28	5	180
10	3	100	32	6	200
12	3	100	36	7	230
14	3	100	40	8	260
16	3	120	44	9	290
18	4	120	48	10	310
20	4	120	52	11	330
22	4	140	56	12	350
24	5	150	60	13	370

注:公称尺寸,即等于该绳夹适用的钢丝绳直径。

(2)装设绳夹时,需将 U 形螺栓圆环处装卡在绳端头一侧,如图 1-2a 所示。图 1-2b 为安装保安绳夹的方法示意,装它的目的,一是便于及时发现绳夹的松动,二是使保安绳夹在非正常受力时,自动投入工作,起保险作用。

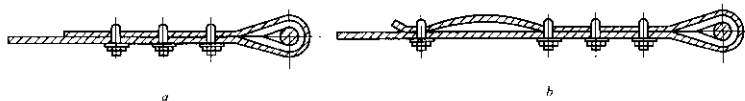


图 1-2 绳夹使用方法

(3)各绳夹均应拧紧至一定的紧度,以将钢丝绳直径压扁 1/3 左右为宜。

(4)严禁使用与钢丝绳直径不相匹配的绳夹。

四、吊索

吊索又称千斤绳、绳扣,用其挂在起重机吊钩上或悬挂于滑车组的下滑车上,吊装设备等重物。吊索用钢丝绳制成。

(一)吊索的形式

吊索用钢丝绳制作,其端头以插接法制成封闭形式的万能吊索和两端成环状的轻便吊索,如图 1-3 所示。其插接长度 a 约等于 20~30 倍钢丝绳直径,而长度 L 应根据吊装需要而定,其规格参见表 1-15 和表 1-16。轻便吊索的环内可装上套环,也可不装套环。

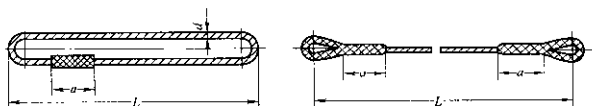


图 1-3 吊索示意图

(二)吊索钢丝绳直径、根数及吊重的选择

为查阅和使用方便,在已知吊重时,可从表 1-15 中查找所需吊索的直径、根数及受力角度。此表是根据 $6 \times 37 + 1$ 钢丝绳、钢丝绳公称抗拉强度为 1400MPa、安全系数 $K = 6$ 进行编制的。


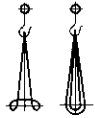
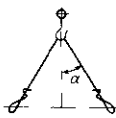
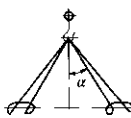
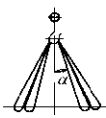
表 1-15 万能吊索

钢丝绳直径 d/mm	连接处长度 a/m	每侧的长度 L/m	钢丝绳长度 L/m
19.5	0.40	8	16.5
19.5	0.40	10	20.5
22	0.45	8	16.5
22	0.45	12	24.5
25	0.50	8	16.5
25	0.50	12	24.5
30	0.75	10	21.0
30	0.75	15	31.0

表 1-16 轻便吊索

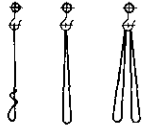
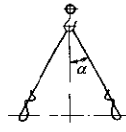
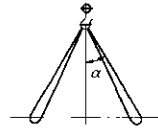
钢丝绳直径 d/mm	钢丝绳的编织长度 a/mm	钢丝绳长度 L (按需要定)/m
12	300	$L + 2.00$
16	350	$L + 2.60$
19	400	$L + 3.20$
22	450	$L + 3.80$
25	500	$L + 4.50$
30	600~800	$L + 5.50$

表 1-17 根据吊物重量选择吊索直径

吊物质量 / t																	
	吊索分支数 n			垂直夹角 $\alpha/(\circ)$			垂直夹角 $\alpha/(\circ)$			垂直夹角 $\alpha/(\circ)$							
	1	2	4	30	45	60	30	45	60	30	45	60					
	$6 \times 37 + 1$ 钢丝绳直径 / mm																
1	15			11	13	15											
2	19.5	15		15	17.5	19.5											
3	24	17.5	13	19.5	21.5	24	13	15	17.5								
4	28	19.5	15	21.5	24	28	15	17.5	19.5								
5		21.5	15	24	26		17.5	19.5	21.5								
6		24	17.5	26	28		19.5	21.5	24								
7		26	19.5	28			19.5	21.5	26								
8			19.5				21.5	24	28								19.5
9			21.5				24	26	30								21.5
10			21.5				24	26	32.5				19.5				21.5
11			24				26	28	32.5				19.5				24
12			24				26	28	34.5			19.5	21.5				24
13			26				28	30	36.5			19.5	21.5				24
14			26				28	32.5	36.5			21.5	21.5				26
15							30	32.5	39			21.5	24				28
20							34.5	36.5				24	26				32.5
25												26	30				34.5
30												30	32.5				39
35												32.5	34.5				43
40												34.5	36.5				43
45												36.5	39				47.5
50												36.5	43				52
60												43	47.5				
70												43	52				
80												47.5					
90												52					
100												52					

如已知吊索直径、根数和吊装受力角度时可从表 1-18 中查找容许起吊的质量。此表是根据 $6 \times 19 + 1$ 钢丝绳、钢丝绳公称抗拉强度为 1400MPa 、安全系数 $K = 6$ 编制的。

表 1-18 根据吊索钢丝绳直径选定容许吊重

钢丝绳直径 /mm									
	吊索分支数 n			垂直夹角 $\alpha/(\circ)$			垂直夹角 $\alpha/(\circ)$		
	1	2	4	30	45	60	30	45	60
	$6 \times 19 + 1$ 钢丝绳容许吊重/t								
9.3	0.6	1.3	2.6	1.1	0.9	0.6	2.2	1.8	1.3
11.0	0.9	1.7	3.5	1.5	1.2	0.9	3.0	2.5	1.7
12.5	1.1	2.3	4.5	2.0	1.6	1.1	3.9	3.2	2.3
14.0	1.4	2.9	5.8	2.5	2.0	1.4	5.0	4.1	2.9
15.5	1.8	3.5	7.1	3.1	2.5	1.8	6.1	5.0	3.5
17.0	2.1	4.3	8.6	3.7	3.0	2.1	7.4	6.1	4.3
18.5	2.6	5.1	10.2	4.4	3.6	2.6	8.8	7.2	5.1
20.0	3.0	6.0	12.0	5.2	4.2	3.0	10.4	8.5	6.0
21.5	3.5	7.0	13.9	6.0	4.9	3.5	12.0	9.8	7.0
23.0	4.0	8.0	16.0	6.9	5.6	4.0	13.8	11.8	8.0
24.5	4.5	9.1	18.2	7.9	6.4	4.5	15.7	12.9	9.1
26.0	5.1	10.3	20.5	8.9	7.2	5.1	17.8	14.5	10.3
29.0	5.8	11.5	23.0	10.0	8.1	5.8	19.9	16.3	11.5
31.0	7.1	14.2	28.4	12.3	10.0	7.1	24.6	20.1	14.2
34.0	8.6	17.2	34.4	14.9	12.1	8.6	29.8	24.3	17.2

第二节 滑车与滑车组

滑车与滑车组是一种重要的吊装工具,在设备吊装中用得非常广泛。

一、滑车类型及作用

按滑车头部结构形式可分为吊钩型、链环型、吊环型和吊梁型;按滑车的轮数可分为单轮滑车、双轮滑车和多轮滑车,其中单轮滑车有闭口和开口两种。

滑车有 HQ 系列(ZBJ80008—87)、HY 系列——林业滑车和 H 系列(JB1204—71),设备吊装用 HQ 系列和 H 系列。

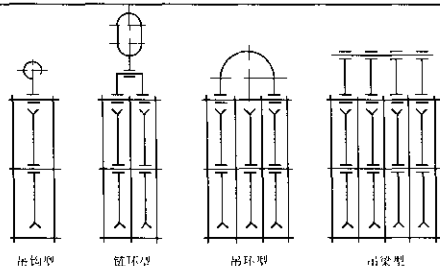
使用滑车的目的—是承受吊装力和牵引力,二是改变牵引绳索的方向。

滑车一般用于做定滑车、动滑车、导向滑车、平衡滑车等,也常由两个滑车组成滑车组。

(一)HQ 系列起重滑车(ZBJ80008—87)

1. 起重滑车规格系列(表 1-19,表 1-20)

表 1-19 HQ 系列起重滑车(ZBJ80008-87)



滑轮直径/mm	额定起重量/t																钢丝绳直径范围/mm		
	0.32	0.5	1	2	3.2	5	8	10	16	20	32	50	80	100	160	200		250	320
	滑轮数量																		
63	1																	6.2	
71		1	2															6.2~7.7	
85			1	2	3													7.7~11	
112				1	2	3	4											11~14	
132					1	2	3	4										12.5~15.5	
160						1	2	3	4	5								15.5~18.5	
180								2	3	4	6							17~20	
210								1		3	5							20~23	
240									1	2	4	6						23~24.5	
280											2	3	5	8				26~28	
315										1		4	6	8				28~31	
355											1	2	3	5	6	8	10	31~35	
400																8	10	34~38	
450																	10	40~43	

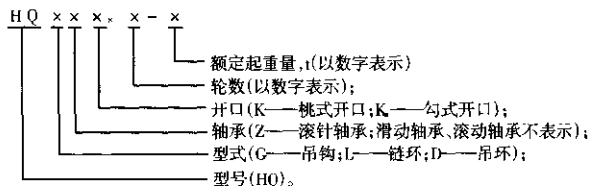
表 1-20 HQ 系列起重滑车规格

	结构型式		代号	额定起重量/t		
	开口	滚针轴承				
单 轮	开口	滚针轴承	吊钩型	HQCZK1	0.32, 0.5, 1, 2, 3, 2.5, 5, 8, 10	
		滚针轴承	链环型	HQLZK1		
		滑动轴承	吊钩型	HQGK1		
		滑动轴承	链环型	HQLK1		
	闭口	滚针轴承	吊钩型	HQGZ1	0.32, 0.5, 1, 2, 3, 2.5, 5, 8, 10	
		滚针轴承	链环型	HQTZ1		
		滑动轴承	吊钩型	HQC1		0.32, 0.5, 1, 2, 3, 2.5, 5, 8, 10, 16, 20
		滑动轴承	链环型	HQL1		
		吊环型	HQD1	1, 2, 3, 2.5, 5, 8, 10		

续表 1-20

结构型式			代号	额定起重量/t	
双轮	双开口	滑动	吊钩型	HQGK2	1,2,3,2.5,8,10
			链环型	HQLK2	
	闭口	轴承	吊钩型	HQG2	1,2,3,2.5,8,10,16,20
			链环型	HQL2	
			吊环型	HQD2	
三轮	闭口	滑动轴承	吊钩型	HQC3	3,2,5,8,10,16,20
			链环型	HQL3	
			吊环型	HQD3	
四轮	闭口	滑动轴承	吊环型	HQD4	8,10,16,20,32,50
HQD5				20,32,50,80	
HQD6				32,50,80,100	
HQD8				80,100,160,200	
HQD10				200,250,320	

2. 滑车标记形式及代号



3. HQ 系列起重滑车规格和性能(表 1-21)

表 1-21 HQ 系列起重滑车规格

型号	额定起重量/t	试验载荷/kN	全高 H/mm	钩口直径 D/mm	质量/kg	型号	额定起重量/t	试验载荷/kN	全高 H/mm	钩口直径 D/mm	质量/kg
HQGZK1-0.32	0.32	5.12	230	28	1.78	HQGZK1-1	1	16.00	310	37.5	4.40
HQLZK1-0.32					1.64	HQLZK1-1					4.08
HQGK1-0.32					1.33	HQGK1-1					3.6
HQLK1-0.32					1.99	HQLK1-1					3.23
HQGZK1-0.5	0.5	8.00	260	31.5	2.25	HQGZK1-2	2	32.00	405	45	7.98
HQLZK1-0.5					2.03	HQLZK1-2					7.40
HQGK1-0.5					1.76	HQGK1-2					7.41
HQLK1-0.5					1.58	HQLK1-2					6.8

续表 1-21

型号	额定起重量 /t	试验载荷 /kN	全高 H /mm	钩口直径 D /mm	质量 /kg	型号	额定起重量 /t	试验载荷 /kN	全高 H /mm	钩口直径 D /mm	质量 /kg
HQGZK1-3.2	3.2	51.20	470	50	12.91	HQGZ1-3.2	3.2	51.20	470	50	10.24
HQLZK1-3.2					12.16	HQLZ1-3.2					9.50
HQGK1-3.2					12.22	HQG1-3.2					12.17
HQLK1-3.2					11.48	HQL1-3.2					11.43
HQGZK1-5	5	80.00	570	60	23.79	HQGZ1-5	5	80.00	570	60	16.94
HQLZK1-5					22.82	HQLZ1-5					15.97
HQGK1-5					19.85	HQG1-5					18.46
HQLK1-5					18.88	HQL1-5					17.49
HQGZK1-8	8	128.00	730	75	41.00	HQGZ1-8	8	128.00	730	75	31.28
HQLZK1-8					38.93	HQLZ1-8					29.21
HQGK1-8					36.40	HQG1-8					35.98
HQLK1-8					34.33	HQL1-8					33.91
HQGZK1-10	10	160.00	810	85	62.98	HQGZ1-10	10	16.00	810	85	46.49
HQLZK1-10					60.92	HQLZ1-10					44.43
HQGK1-10					54.10	HQG1-10					46.40
HQLK1-10					52.04	HQL1-10					44.17
HQGK1-16	16	224.00	1010	106	113.50	HQG1-16	16	224.00	1010	106	109.84
HQLK1-16					107.16	HQL1-16					103.23
HQGK1-20	20	280.00	1150	118	162.20	HQG1-20	20	280.00	1150	118	155.17
HQLK1-20					152.15	HQL1-20					145.12
HQGZ1-0.32	0.32	5.12	230	28	1.58	HQD1-1	1	16.00	275	—	3.25
HQLZ1-0.32					1.44	HQD1-2	2	32.00	350	—	5.35
HQG1-0.32					1.80	HQD1-3.2	3.2	51.20	430	—	9.42
HQL1-0.32					1.66	HQD1-5	5	80.00	520	—	16.04
HQGZ1-0.5	0.5	8.00	260	31.5	2.32	HQD1-8	8	128.00	655	—	30.10
HQLZ1-0.5					2.10	HQD1-10	10	160.00	735	—	49.98
HQG1-0.5					2.30	HQCK2-1	1	16.00	335	37.5	3.59
HQL1-0.5					2.08	HQLK2-1	—	—	—	—	3.21
HQCZ1-1	1	16.00	315	37.5	3.78	HQCK2-2	2	32.00	420	45	6.70
HQLZ1-1					3.41	HQLK2-2	—	—	—	—	6.29
HQG1-1					3.75	HQCK2-3.2	3.2	51.20	525	50	11.44
HQL1-1					3.38	HQLK2-3.2	—	—	—	—	10.67
HQCZ1-2	2	32.00	405	45	6.64	HQCK2-5	5	80.00	625	60	19.97
HQLZ1-2					6.06	HQLK2-5	—	—	—	—	18.94
HQG1-2					6.71	HQCK2-8	8	128.00	775	75	35.51
HQL1-2					6.13	HQLK2-8	—	—	—	—	33.33

续表 1-21

型号	额定起重重量 /t	试验载荷 /kN	全高 H /mm	钩口直径 D /mm	质量 /kg	型号	额定起重重量 /t	试验载荷 /kN	全高 H /mm	钩口直径 D /mm	质量 /kg
HQK2-10	10	160.00	845	85	47.38	HQL3-10	10	160.00	810	85	46.86
HQLK2-10					45.15	HQG3-16					74.28
HQG2-1	1	16.00	335	37.5	4.83	HQL3-16	16	224.00	960	106	67.67
HQL2-1					4.45	HQG3-20					105.14
HQG2-2	2	32.00	420	45	6.54	HQL3-20	20	280.00	1080	118	94.63
HQL2-2					5.93	HQD3-3.2					9.24
HQG2-3.2	3.2	51.20	525	50	10.67	HQD3-5	5	80.00	435	—	15.35
HQL2-3.2					9.90	HQD3-8					25.27
HQG2-5	5	80.00	625	60	18.81	HQD3-10	10	160.00	610	—	45.32
HQL2-5					17.78	HQD3-16					58.17
HQG2-8	8	128.00	775	75	34.43	HQD3-20	20	280.00	770	—	85.59
HQL2-8					32.25	HQD3-32					187.86
HQG2-10	10	160.00	845	85	48.70	HQD3-50	50	700.00	1220	—	359.98
HQL2-10					46.47	HQD4-8					29.00
HQG2-16	16	224.00	1090	106	99.79	HQD4-10	10	160.00	540	—	40.95
HQL2-16					93.18	HQD4-16					75.56
HQG2-20	20	280.00	1195	118	138.92	HQD4-20	20	280.00	735	—	93.59
HQL2-20					128.42	HQD4-32					196.0
HQD2-1	1	16.00	245	—	3.05	HQD4-50	50	700.00	1155	—	347.9
HQD2-2	2	32.00	315	—	5.96	HQD5-20	20	280.00	650	—	90.66
HQD2-3.2	3.2	51.20	400	—	10.00	HQD5-32	32	448.00	815	—	151.5
HQD2-5	5	80.00	490	—	15.90	HQD5-50	50	700.00	997	—	303.0
HQD2-8	8	128.00	590	—	30.10	HQD5-80	80	1040.00	1210	—	516.5
HQD2-10	10	160.00	675	—	41.0	HQD6-32	32	448.00	760	—	122.3
HQD2-16	16	224.00	805	—	82.3	HQD6-50	50	700.00	980	—	277.4
HQD2-20	20	280.00	930	—	118.0	HQD6-80	80	1040.00	1190	—	507.3
HQD2-32	32	448.00	1145	—	237.5	HQD6-100	100	1300.00	1325	—	691.3
HQG3-3.2	3.2	51.20	456	50	9.87	HQD8-80	80	1040.00	1150	—	530.0
HQL3-3.2					9.09	HQD8-100					653.5
HQG3-5	5	80.00	575	60	16.71	HQD8-160	160	2080.00	1470	—	1137.4
HQL3-5					15.68	HQD8-200					1363.0
HQG3-8	8	128.00	710	75	28.65	HQD10-200	200	2500.00	1630	—	1552.0
HQL3-8					26.47	HQD10-250					2033.0
HQG3-10	10	160.00	810	85	49.09	HQD10-320	320	4000.00	2015	—	2974.0

4. HY 系列起重滑车(ZBJ80008—87)(表 1-22)

表 1-22 HY 系列起重滑车(ZBJ80008—87)

滑轮 直径 /mm	额定起重量/t										钢丝绳直径范围 /mm	
	1	2	3.2	5	8	10	16	20	32	50		
	滑 轮 数 量											
85	1	2	3								7.7~11	
112		1	2	3	4						11~14	
132			1	2	3	4					12.5~15.5	
160				1	2	3	4	5			15.5~18.5	
180						2	3	4	6		17~20	
210					1			3	5		20~23	
240							1	2		4	6	23~24.5
280									2	3	5	26~28
315								1			4	28~31
355									1	2	3	31~35

(二) H 系列起重滑车(JB1204—71)

H 系列滑车起重量系列符合起重机械起重量系列国家标准 GB783—65。

1. 滑车的规格系列

本系列有 14 种起重量, 11 种滑轮配成 17 个品种 103 个规格, 参见表 1-23 和表 1-24。

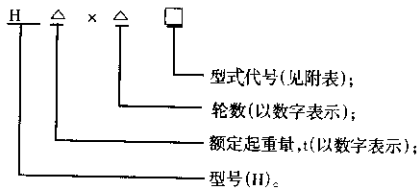
表 1-23 H 系列起重滑车

滑轮底 径/mm	额定起重量/t														钢丝绳直 径范围/mm		
	0.5	1	2	3	5	8	10	16	20	32	50	80	100	140			
	滑 轮 数 量																
70	1	2													5.7~7.7		
85		1	2	3											7.7~11		
115			1	2	3	4									11~14		
135				1	2	3	4								12.5~15.5		
165					1	2	3	4	5						15.5~18.5		
185							2	3	4	6					17~20		
210						1				3	5				20~23.5		
245								1	2			4	6		23.5~25		
280											2	3	5	7	26.5~28		
320									1				4	6	8	30.5~32.5	
360											1	2	3	5	6	8	32.5~35

表 1-24 H 系列滑车代号一览表

滑车代号		滑车吨位													
滑车型式		0.5	1	2	3	5	8	10	16	20	32	50	80	100	140
开式	吊钩	H0.5× 1K _B G	H1× 1K _B G	H2× 1K _B G	H3× 1K _B G	H5× 1K _B G	H8× 1K _B G	H10× 1K _B G	H16× 1K _B G	H20× 1K _B G					
	链环	H0.5× 1K _B L	H1× 1K _B L	H2× 1K _B L	H3× 1K _B L	H5× 1K _B L	H8× 1K _B L	H10× 1K _B L	H16× 1K _B L	H20× 1K _B L					
闭式	吊钩	H0.5× 1G	H1× 1G	H2× 1G	H3× 1G	H5× 1G	H8× 1G	H10× 1G	H16× 1G	H20× 1G					
	链环	H0.5× 1L	H1× 1L	H2× 1L	H3× 1L	H5× 1L	H8× 1L	H10× 1L	H16× 1L	H20× 1L					
双轮	吊钩		H1× 2G	H2× 2G	H3× 2G	H5× 2G	H8× 2G	H10× 2G	H16× 2G	H20× 2G					
	链环		H1× 2L	H2× 2L	H3× 2L	H5× 2L	H8× 2L	H10× 2L	H16× 2L	H20× 2L					
	吊环		H1× 2D	H2× 2D	H3× 2D	H5× 2D	H8× 2D	H10× 2D	H16× 2D	H20× 2D	H32× 2D				
三轮	吊钩				H3× 3G	H5× 3G	H8× 3G	H10× 3G	H16× 3G	H20× 3G					
	链环				H3× 3L	H5× 3L	H8× 3L	H10× 3L	H16× 3L	H20× 3L					
	吊环				H3× 3D	H5× 3D	H8× 3D	H10× 3D	H16× 3D	H20× 3D					
四轮	吊环						H8× 4D	H10× 4D	H16× 4D	H20× 4D	H32× 4D	H50× 4D			
	吊环									H20× 5D	H32× 5D	H50× 5D	H80× 5D		
五轮	吊梁										H32× 5W	H50× 5W	H80× 5W		
	吊环										H32× 6D	H50× 6D	H80× 6D	H100× 6D	
六轮	吊环														
	吊环														
	吊环														
七轮	吊环														
	吊梁													H100× 8D	H140× 8D
八轮	吊环														
	吊梁													H100× 8W	H140× 8W

2. 滑车标记型式及代号



附表:型式代号

型式	开口	吊钩	链环	吊环	吊梁	桃式开口	闭口
代号	K	G	L	D	W	KB	不加 K

二、滑车的用途和计算

滑车按其用途和装设目的有定滑车、动滑车和导向滑车 3 种。

(一) 定滑车

定滑车安装在固定处,其滑轮只转动不位移,故只能改变力的方向,而力的大小不变,绳索的速度不变,如图 1-4a,定滑车一般用其做平衡滑车和导向滑车。考虑转动摩擦力其拉力 P 略有增加,即:

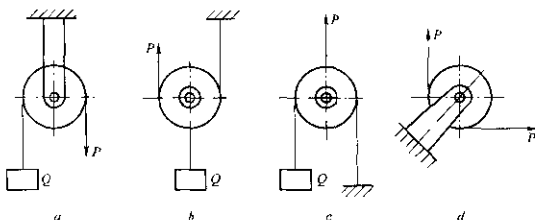


图 1-4 滑车计算简图

$$P = \frac{Q}{\eta} \quad (1-2)$$

式中 Q ——重物重力, kN;

η ——单滑车效率,其值:

用于钢丝绳: $\eta = 0.94 \sim 0.98$;

用于棕绳: $\eta = 0.80 \sim 0.94$ 。

(二) 动滑车

动滑车随吊物同步移动,按其装设目的有省力动滑车图 1-4b 和增速动滑车图 1-4c 两种。如不计摩擦力,单轮可省力一半,即:

$$P = \frac{Q}{2}$$

而增速动滑车可使重物运动速度较滑车高 1 倍。

(三) 导向滑车

其实,导向滑车是定滑车的用途之一,只起改变受力方向的作用,图 1-4d。导向滑车的受力大小,取决于进绳和出绳方位间夹角的大小,夹角愈大则受力愈小,即:

$$P = P_1 Z \quad (1-3)$$

式中 P_1 ——牵引绳的拉力;

Z ——角度系数,见附表。

附表:角度系数 Z

$\alpha/(\circ)$	0	15	22.5	30	45	60
Z	2	1.94	1.84	1.73	1.41	1

三、滑车组

滑车组是由定滑车和动滑车用绳索串连地穿绕于滑轮之间而组成。使用时滑车组中的定滑车位置不动,只滑轮转动,而动滑车随重物同步移动,起省力作用,且滑车组中滑轮愈多,省力也愈大,但重物的移动速度亦相应愈慢。

(一)滑车组绳索引出端拉力计算

1.用载荷系数法计算出绳端拉力

按工作绳的数量和导向滑车的数量,计算出载荷系数,并列成表格,同时,从中选取,以简单方法计算出绳端拉力 S ;

$$S = KP \quad (1-4)$$

式中 K ——载荷系数,见表 1-25;

P ——计算载荷。

表 1-25 载荷系数 K

工作绳索数	滑轮个数 (定、动滑轮 之和)	导向滑车						
		0	1	2	3	4	5	6
1	0	1.00	1.040	1.082	1.125	1.170	1.217	1.265
2	1	0.507	0.527	0.549	0.571	0.594	0.617	0.642
3	2	0.346	0.360	0.375	0.390	0.405	0.421	0.438
4	3	0.265	0.276	0.287	0.298	0.310	0.323	0.335
5	4	0.215	0.225	0.234	0.243	0.253	0.263	0.274
6	5	0.187	0.191	0.199	0.207	0.215	0.224	0.330
7	6	0.160	0.165	0.173	0.180	0.187	0.195	0.203
8	7	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181
9	8	0.129	0.134	0.140	0.145	0.151	0.157	0.163
10	9	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139	0.145	0.151
11	10	0.110	0.114	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139
12	11	0.102	0.106	0.111	0.115	0.119	0.124	0.129
13	12	0.096	0.099	0.104	0.108	0.112	0.117	0.121
14	13	0.091	0.094	0.098	0.102	0.106	0.111	0.115
15	14	0.087	0.090	0.083	0.091	0.100	0.102	0.108
16	15	0.084	0.086	0.090	0.093	0.095	0.100	0.104

2.用阻力系数法计算出绳端拉力

按工作绳的数量、导向滑车的数量及阻力系数 E^n (表 1-26)计算出绳端拉力 S ;
绳头从定滑车引出时:

$$S = P E^n \frac{E-1}{E^n-1} \quad (1-5)$$

绳头从动滑车引出时:

$$S = P E^{n-1} \frac{E-1}{E^n-1} \quad (1-6)$$

式中 S ——出绳端拉力;

P ——计算载荷;

n ——工作绳数;

E ——阻力系数(滚动轴承 $E = 1.02$, 青铜衬套 $E = 1.04$, 无轴套的 $E = 1.06$)。

表 1-26 滑车组的阻力系数 E^n 值

E	n																	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.02	1.00	1.02	1.040	1.061	1.083	1.104	1.126	1.149	1.172	1.195	1.219	1.243	1.268	1.294	1.320	1.345	1.372	1.400
1.04	1.00	1.04	1.082	1.125	1.170	1.217	1.266	1.316	1.368	1.423	1.480	1.540	1.601	1.665	1.732	1.800	1.872	1.947
1.06	1.00	1.06	1.124	1.192	1.262	1.338	1.419	1.504	1.593	1.690	1.791	—	—	—	—	—	—	—

3. 以滑车组效率 η 计算出绳端拉力

若滑车用铜质滑动轴承, 其 E 值为 1.04, 按工作绳数和滑车组效率计算出绳端拉力 S :

$$S = \frac{P}{n\eta} \quad (1-7)$$

式中 P ——计算载荷;

n ——工作绳数;

η ——滑车组效率, 表 1-27。

表 1-27 滑车组效率 η 与所需拉力值

工作绳根数 n	滑车组效率 η	起吊所需拉力 S	工作绳根数 n	滑车组效率 η	起吊所需拉力 S
1	0.96	1.04 Q	9	0.83	0.13 Q
2	0.94	0.53 Q	10	0.82	0.12 Q
3	0.92	0.36 Q	11	0.79	0.114 Q
4	0.90	0.28 Q	12	0.78	0.106 Q
5	0.88	0.23 Q	13	0.775	0.099 Q
6	0.87	0.19 Q	14	0.765	0.094 Q
7	0.86	0.17 Q	15	0.74	0.09 Q
8	0.85	0.15 Q	16	0.72	0.086 Q

4. 引出端拉力计算实例

一设备重量 500kN, 用 HQD5-50 滑车组吊装, 工作绳数 10 根, 并带有 4 个导向滑车, 求引出端拉力及牵引绳直径?

解:

(1) 用载荷系数法计算:

$$\begin{aligned} S &= KP \\ &= 0.139 \times 500 = 69.5(\text{kN}) \end{aligned}$$

式中 $K=0.139$, 查表 1-25 得。

(2) 用阻力系数法计算:

$$S = P E^n \frac{E-1}{E^n-1}$$

式中 $E^n = 1.04^{10} = 1.48$

$$\begin{aligned} \text{则 } S &= 500 \times 1.48 \times \frac{1.04-1}{1.48-1} \\ &= 61.7(\text{kN}) \end{aligned}$$

(3) 用滑车组效率法计算:

$$S = \frac{P}{n\eta}$$

式中 η ——查表 1-27, 得 $\eta=0.82$

$$\begin{aligned} S &= \frac{500}{10 \times 0.82} \\ &= 61.0(\text{kN}) \end{aligned}$$

(4) 求牵引钢丝绳直径:

安全系数值表 1-6 取 $K=5.5$ 。

需钢丝绳破断拉力:

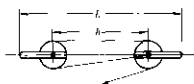
$$\begin{aligned} T &= KS = 5.5 \times 61.8 \\ &= 339.9(\text{kN}) \end{aligned}$$

选用 $6 \times 37 + 1$ 型钢丝绳, 公称抗拉强度 1550MPa, 直径 $\phi 30\text{mm}$, 其破断拉力为 433.8kN。

(二) 滑车组在拉紧时的最短极限尺寸

滑车组在受力拉紧状态下其最短极限尺寸是计算吊装高度的重要参数之一, 可按表 1-28 中的尺寸选用。

表 1-28 滑车组在拉紧时其最小极限尺寸



续表 1-28

起重量/t	滑轮轴中心的最小距离 h /mm	拉紧状态下的最小长度 l /mm
1	700	1400
5	900	1800
10	1000	2000
16	1000	2000
20	1000	2100
32	1200	2600
50	1200	2600
80	1400	2900
100	1400	2900

注:1.最小极限尺寸中尚有 500~800mm 的安全距离;2.表中数字适用于 HQ 和 H 系列滑车顺穿法。

(三)起重钢丝绳长度的计算

所需起重钢丝绳的长度可由下式计算:

$$L = n(h + 3d) + l + 10 \quad (1-8)$$

式中 L ——钢丝绳长度, m;

n ——工作绳数, 根;

h ——提升高度(或移动长度), m;

d ——滑轮直径, m;

l ——定滑车至卷扬机间距离, m;

10——安全裕量, m。

(四)起重滑车组钢丝绳的穿绕方法

起重滑车组钢丝绳穿绕方法分顺穿法和花穿法两种。它是一项非常重要而且较为复杂的起重操作技术。

1. 顺穿法(图 1-5)

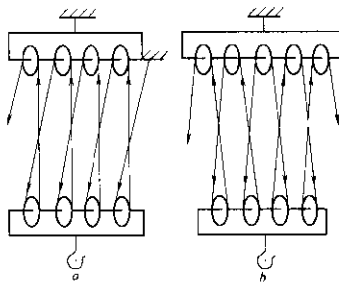


图 1-5 滑车组钢丝绳顺穿方法

顺穿法就是将绳索的一端按顺序逐个绕过定滑车和动滑车各滑轮的一种简单穿绳方法,视卷扬机的台数不同,可抽出单头,如图 1-5a;也可有一个不转动的平衡滑轮而抽出双头,如图 1-5b。单头顺穿法会因各段绳索受力不相等——固定端受拉力最小,而后逐段受力递增,引出端受力最大,从而易造成滑车歪斜。此种穿绕方法虽有穿绕简单容易的优点,

但宜用于 4 个滑轮以下的滑车组。

而双抽头顺穿法则不但能避免滑车发生歪斜,而且工作平稳、减少阻力,加快吊装速度。

2. 花穿法(图 1-6)

在滑车组滑轮数量较多,又用一台卷扬机牵引时可用花穿法,用以改善滑车组的工作条件并降低抽出头的拉力,还可保证滑车组受力均匀而起吊平稳。

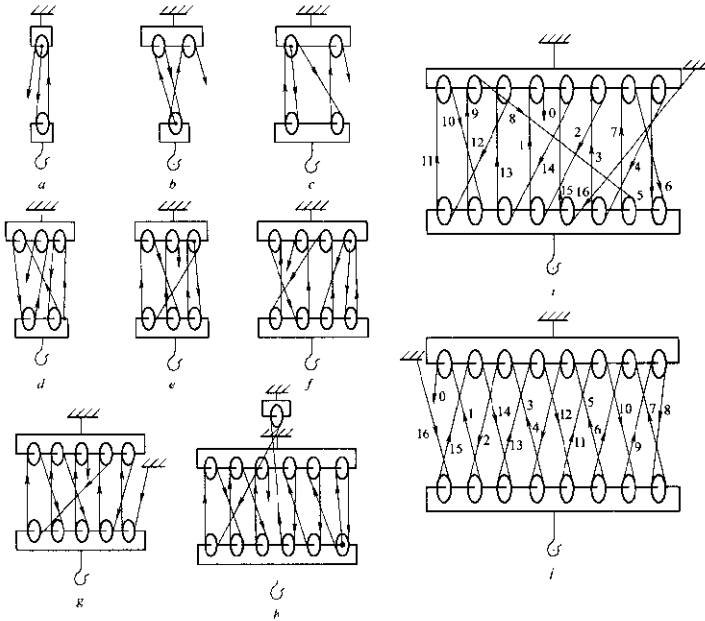


图 1-6 滑车组钢丝绳花穿方法示例

a—1×1; b—2×1; c—2×2; d—3×2; e—3×3; f—4×4; g—5×5; h—6×7; i—8×8; j—8×8

许多施工企业,在长期的吊装实践中,验证了一些有效的花穿方法,图 1-6 仅为其中的一部分,起示例作用。

3. 穿绕方法的选择

在选择起重滑车组钢丝绳穿绕方法时应综合考虑以下要求,视具体情况选用。

- (1) 穿绕方法应简单,容易操作,尽量避免采用过分复杂的穿绕方法;
- (2) 在负载后滑车组应不产生歪斜,或只发生轻度歪斜,避免随吊装的进行而使滑车组歪斜加剧的情况发生;
- (3) 牵引钢丝绳进入滑轮的偏角应控制在不大于 4° 的范围内;
- (4) 在动滑车移动过程中,各段穿行的钢丝绳之间只能发生轻度摩擦,切不可产生危及安全的严重摩擦,更不可缠绕在一起;
- (5) 在卸载后靠吊具和动滑车的质量应能达到动滑车和绕绳顺利下降;

(6)一般花穿法要求吊物达到预定位置后,其定滑车和动滑车之间距离要稍大些。

第三节 起重机具

在起重作业中,常用卸扣、吊钩与吊环、索具螺旋扣等为连接工具。还经常使用卷扬机、千斤顶和手拉葫芦。

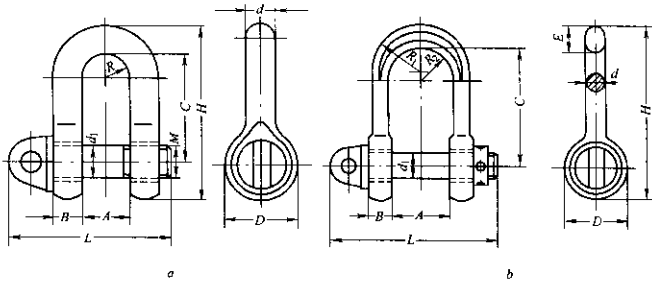


图 1-7 卸扣

一、卸扣(图 1-7)

卸扣也称卸甲或卡扣,是在起重作业中用得最多的连接工具之一。有用普通碳素钢制成的卸扣,分 15 种规格,最大者许用负荷为 210kN(21tf),为市场产品,其技术规格见表 1-29。还有用优质碳素钢制成的较大规格的卸扣,也有 15 种规格,最大者许用负荷为 500kN(50tf),其技术规格见表 1-30。我国也有制造厂家生产更大规格的卸扣,有 13 种规格,最大者许用负荷 2000kN(200tf),其技术规格列表 1-31,供参考选用。如需自行制造卸扣时,其弯环可用 Q235-A、20 号钢、30 号钢经锻造而成,横销材料用 40 号钢或 45 号钢制造。卸扣的构成尺寸,可参照以上数表中的数字。对弯环和横销均需进行强度计算。制成后应以 1.5 倍许用负荷进行拉力试验。

表 1-29 普通碳素钢索具卸扣(图 1-7a)

号码	许用负荷 /kN(tf)	适用钢丝绳 最大直径/mm	主要尺寸				
			M	d	L	A	C
0.2	2(0.2)	4.7	M8	6	35	12	35
0.3	3.3(0.33)	6.5	M10	8	44	16	45
0.5	5(0.5)	8.5	M12	10	55	20	50
0.9	9.3(0.93)	9.5	M16	12	65	24	60
1.4	14.5(1.45)	13	M20	16	86	32	80
2.1	21(2.1)	15	M24	20	101	36	90
2.7	27(2.7)	17.5	M27	22	111	40	100
3.3	33(3.3)	19.5	M30	24	123	45	110
4.1	41(4.1)	22	M33	27	137	50	120
4.9	49(4.9)	26	M36	30	153	58	130
6.8	68(6.8)	28	M42	36	176	64	150
9.0	90(9.0)	31	M48	42	197	70	170
10.7	107(10.7)	34	M52	45	218	80	190
16	160(16)	43.5	M64	52	262	100	235
21	210(21)	43.5	M76	65	321	99	256

表 1-30 碳素钢螺纹式卸扣(图 1-7a)

许用负荷 /kN(tf)	A	B	C	d_1	d	D	M	R	H	L
10(1)	28	14	82	20	14	40	M18	14	102	79
20(2)	36	18	108	25	20	48	M22	18	132	103
30(3)	44	24	129	33	24	65	M30	22	164	128
40(4)	56	28	143	37	28	72	M33	25	182	145
50(5)	64	32	163	40	32	80	M36	25	210	150
80(8)	72	36	174	43	36	80	M38	25	225	154
100(10)	50	38	183	45	38	84	M42	25	228	174
150(15)	60	46	208	54	46	100	M52	30	274	214
200(20)	70	52	240	62	52	114	M60	35	314	246
250(25)	80	60	270	70	60	130	M68	40	355	245
300(30)	90	65	303	78	65	144	M76	45	395	270
350(35)	100	70	330	85	70	156	M80	50	428	295
400(40)	110	76	355	90	76	166	M85	55	459	320
450(45)	120	82	380	96	82	178	M95	60	491	346
500(50)	130	88	408	104	88	192	M100	65	527	371

表 1-31 大型索具卸扣(图 1-7b)

许用负荷/kN(tf)	A	B	C	D	E	d	H	d_1	L	R_1	R_2
200(20)	100	60	219	132	70	55	355	66	272	108	53
250(25)	105	65	277	140	90	60	437	70	320	115	55
300(30)	115	70	300	150	95	65	470	75	345	125	60
320(32)	120	73	305	160	102	68	487	80	357	130	63
400(40)	125	75	315	172	105	70	506	86	377	135	65
500(50)	130	80	325	190	110	80	530	90	395	145	65
600(60)	130	90	366	210	125	85	596	105	426	152	67
750(75)	140	95	393	220	135	90	638	110	453	163	73
800(80)	155	105	440	235	150	100	708	116	495	180	80
1000(100)	165	115	465	260	160	110	755	130	534	195	85
1400(140)	185	135	532	280	185	130	857	140	597	225	95
1500(150)	190	136	565	320	190	130	915	150	612	228	98
2000(200)	240	146	640	350	210	140	1025	175	691	263	123

注:许用负荷 200~800kN(20~80t)者按两倍负荷,1000~2000kN(100~200t)者按 1.5 倍负荷进行拉力试验。

二、吊钩与吊环(图 1-8)

吊钩常用在各类起重机械上,用其钩挂设备或重物。起重机械通过吊钩才能发挥其功能,因而吊钩是重要的起重部件。

吊钩有单钩和双钩两种,一般用锻造方法制成;也有用多片钢板经铆接成整体的叠板式

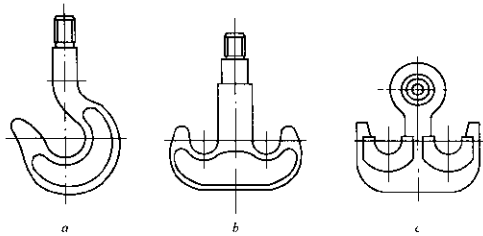


图 1-8 吊钩

a—锻造单钩；b—锻造双钩；c—叠板双钩

吊钩。一般单钩用于起重量小于 80t 的中小型起重机中，双钩用于起重量大于 80t 的大型起重机械中，双钩有受力均匀的优点。吊钩应由国家定点的工厂制造。如需自制时，其材质和制造工艺均应符合有关要求。如锻造吊钩的材质通常都用 20 号钢、20SiMn、36Mn2Si；而叠板式吊钩用厚度不小于 20mm 的 Q235-A、20 号钢板制成，轴套用 35 号钢、40 号钢、45 号钢，垫板用 ZG270-550 制造。

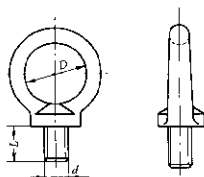
吊钩的主要技术规格见表 1-32。

表 1-32 吊钩的主要技术规格

设备种类	起重量/t	型 式		主要尺寸/mm			质量/kg		
				D	s	t			
电动葫芦	0.1, 0.25	锻造单钩	短钩型	20	14	—	0.32		
	0.5			30	22	—	0.45		
	1			40	30	—	1.2		
	2			50	40	—	2.5		
	3			60	50	—	3.2		
	5			75	60	—	7		
	10			100	80	—	22		
桥式起重机	3		长钩型	短钩型	65	50	—	8	
	5				85	65	—	15	
	8				110	85	—	30	
	12.5				130	100	—	40	
	16				150	120	—	55	
	短钩型			20	170	130	—	84	
				32	210	160	—	185	
		50		270	205	—	319		
		75		双钩	锻造	240	—	435	471
		100		双钩	叠片	250	—	550	1200

在设备吊装中也常用吊环螺钉为起重连接工具,用时将螺纹拧入设备的螺孔中,其安全承载能力见表 1-33。

表 1-33 吊环螺钉的技术规格



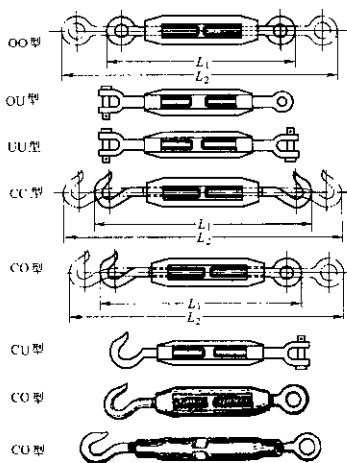
螺纹规格 d/mm	吊环内径 D/mm	螺纹长度 L/mm	允许静载荷 /kN	螺纹规格 d/mm	吊环内径 D/mm	螺纹长度 L/mm	允许静载荷 /kN
M8	20	16	1.2	M24	50	45	12.5
M10	25	20	2.0	M30	60	50	20.0
M12	30	25	3.0	M36	70	60	30.0
M16	35	30	5.5	M42	80	70	40.0
M20	40	40	8.5	M48	90	80	50.0

三、索具螺旋扣

索具螺旋扣也称花篮螺丝、紧线扣,按两端头形状分为 OO、CC、UU、CO、CU、OU 等 6 种,还分为开式和闭式螺旋扣,如反扣螺纹外露则叫开式索具螺旋扣,不外露则为闭式索具螺旋扣。

索具螺旋扣用于拉紧钢丝绳,并可起调节松紧作用,O 型头用于不经常拆卸的连接,而 C 型头则用于经常拆卸的连接。索具螺旋扣的规格和性能见表 1-34-1~表 1-34-3。

表 1-34-1 开式螺旋扣规格之一



续表 1-34-1

型式	螺旋扣 号码	许用负荷 /kN (kgf)	适用钢 丝绳 最大直径 /mm	左右螺 纹直径	螺旋扣 本体长度 /mm	全 长/mm					
						OO型		UU型		OU型	
						最小	最大	最小	最大	最小	最大
OO型	0.1	1(100)	6.5	M6	100	164	242	184	262	174	252
	0.2	2(200)	8	M8	125	199	291	229	321	214	306
	0.3	3(300)	9.5	M10	150	246	358	260	368	255	363
	0.4	4.3(430)	11.5	M12	200	314	456	330	476	320	466
	0.8	8(800)	15	M16	250	386	582	422	614	406	598
UU型	1.3	13(1300)	19	M20	300	470	690	530	750	500	720
	1.7	17(1700)	21.5	M22	350	540	806	600	866	570	836
	1.9	19(1900)	22.5	M24	400	610	922	700	1012	655	967
OU型	2.4	24(2400)	28	M27	450	680	1030	760	1110	720	1070
	3.0	30(3000)	31	M30	450	700	1050	790	1140	745	1095
	3.8	38(3800)	34	M33	500	770	1158	880	1260	830	1218
	4.5	45(4500)	37	M36	550	840	1270	960	1410	910	1340

注:UU型0.8号的许用负荷为8.5kN(850kgf)。

表 1-34-2 开式螺旋扣规格之二

型式	螺旋扣 号码	许用负荷 /kN (kgf)	适用钢 丝绳 最大直径 /mm	左右螺 纹直径	螺旋扣 本体 长度 /mm	全 长 /mm					
						CC型		CO型		CU型	
						最小	最大	最小	最大	最小	最大
CC型	0.07	0.7(70)	2.2	M6	100	180	258	172	250	182	260
	0.1	1.0(100)	3.3	M8	125	225	317	212	304	227	319
CO型	0.2	2.3(230)	4.5	M10	150	266	378	256	368	265	337
	0.3	3.2(320)	5.5	M12	200	334	476	324	466	332	478
CU型	0.6	6.3(630)	8.5	M16	250	442	638	414	610	434	626
	0.9	9.8(980)	9.5	M20	300	520	740	495	715	525	745

注:CU型0.1号的许用负荷为1.7kN(170kgf)。

表 1-34-3 闭式螺旋扣规格

型式	螺旋扣 号码	许用负荷 /kN(kgf)	适用钢丝绳 最大直径/mm	左右螺 纹直 径	螺旋扣本 体长度/mm	全 长 /mm	
						最小	最大
OO型	0.2	2(200)	8	M8	125	199	291
	0.3	3(300)	9.5	M10	150	246	385
	0.4	4.3(430)	11.5	M12	200	314	462
	0.8	8(800)	15	M16	250	386	578
	1.3	13(1300)	19	M20	300	470	686
	1.7	17(1700)	21.5	M22	350	540	806
	1.9	19(1900)	22.5	M24	400	610	914

续表 1-34-3

型 式	螺旋扣 号码	许用负荷 /kN(kgf)	适用钢丝绳 最大直径/mm	左右螺纹 直径	螺旋扣本 体长度/mm	全 长 /mm	
						最小	最大
OC 型	0.1	1.7(170)	3.3	M8	125	225	317
	0.2	2.3(230)	4.5	M10	150	266	378
	0.3	3.2(320)	5.5	M12	200	334	482
	0.6	6.3(630)	8.5	M16	250	442	634
	0.9	9.8(980)	9.5	M20	300	520	736
CO 型	0.1	1.7(170)	3.3	M8	125	212	304
	0.2	2.3(230)	4.5	M10	150	256	368
	0.3	3.2(320)	5.5	M12	200	324	472
	0.6	6.3(630)	8.5	M16	250	414	606
	0.9	9.8(980)	9.5	M20	300	495	711

注：螺旋扣本体中间眼已取消，改为轧方符合板手尺寸。

四、牵引设备

在设备吊装中常用的牵引设备有电动卷扬机、手动卷扬机和绞磨，一般大、中型设备吊装均用电动卷扬机。手动卷扬机和绞磨只用在设备质量不大，要求起重速度较低或没有电源的吊装作业中。

(一) 电动慢速卷扬机

电动卷扬机广泛用于设备吊装中，它具有牵引力大、速度快、结构紧凑、操作方便和安全可靠等特点。

电动卷扬机有单筒和双筒两种，又分可逆式和摩擦式两类。设备吊装中常用齿轮传动的可逆式慢速卷扬机，它由电动机、联轴器、制动器、减速器、带大齿轮的卷筒、控制开关和机架等组成。钢丝绳额定拉力(kN)有 3.5、10、15、30、50、80、100、120、160、200、320、500 等 13 种，其中设备吊装最常用的有 30kN、50kN、80kN、100kN 等几种。

1. 电动慢速卷扬机的规格和性能

因我国有多家工厂生产卷扬机，虽同型号，但各厂产品的技术参数有同有异，现综合归纳成表 1-35。选购时应以机械产品目录为准。(见附录十六)

2. 电动卷扬机的安装和使用注意事项

在设备吊装中，卷扬机直接承受较大的牵引力，其安装是否稳固和正确，将危及吊装安全，必须引起我们足够的重视，其安装和使用注意事项如下：

(1) 电动卷扬机应安装在平坦、开阔、前方无障碍物的地方，操作人员应能直视设备吊装过程，同时又可接受指挥信号；

(2) 卷扬机的安装位置宜离开吊装中心稍远一些，如用桅杆吊装时，其距离不得小于桅杆的高度；

(3) 第一个导向滑轮距卷筒轴线距离应大于卷筒长度的 25 倍，以保证偏角 $\alpha < 2^\circ$ ，如图 1-9 所示，这样绕上卷筒的钢丝绳才可按顺序排列，不致缠绕在一起；

(4) 卷扬机的固定应可靠，严防倾覆和移动。一般用地锚、车间柱基和重物施压等为锚固点，绑缚卷扬机底座的固定绳索应从两侧引出，以防底座受力后移动；

表 1-35 电动慢速卷扬机技术性能和规格

型号	钢丝绳 额定拉力 /kN	钢丝绳 额定速度 /m·min ⁻¹	卷筒容 绳量 /m	钢丝绳 直径 /mm	外形尺寸 (长×宽×高) /mm	电动机 功率 /kW	整机质量 /kg
JM1	10	18~25	100~150	7.7, 9.3, 11	1000×1000×600	5.5~7.5	350~550
JM3	30	9~16	100~200	15.5, 17.5	1400×1100×780	7.5	700~1100
JM5	50	9~12	200~300	20, 21.5, 24	1800×1200×800	11	1000~1700
JM8	80	9~12	400~450	26, 28, 30	2200×2100×1200	22	2700~3000
JM10	100	9~12	350~1000	28, 31, 32	3800×2300×1800	22, 30	3300~8000
JM20	200	10~11	600~1200	40, 43	4300×2400×2018	55	12600~13524
JM32	320	8~12	1300	52	5000×2720×2430	75, 100	23100
JM50	500	9	800	72	7700×3200×3000	130	28000

注:型号中字母含义:J—卷扬机;M—慢速。

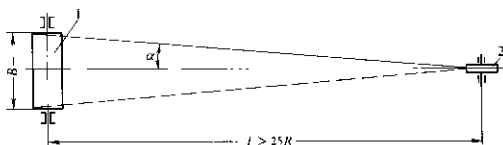


图 1-9 第一个导向滑轮的位置示意图

1—卷筒;2—第一个导向滑轮

(5)用调整导向滑轮位置的方法,使牵引钢丝绳从卷筒底面水平地绕入卷筒;

(6)严禁超负荷使用卷扬机,在重大的吊装作业中,于牵引绳上应装有测力计,用其定量地检测其拉力值;

(7)在使用前应全面检查卷扬机的机械装置和电气系统。机械装置应润滑充分、动作灵活、声音正常,特别是制动器应松紧适度、制动可靠。电气系统应绝缘良好、控制开关操作灵活、切换正确无误;

(8)在起吊重型设备试吊时,应着重检查卷扬机的受力和稳固状态、牵引绳拉力值、电动机的电流值等。还应检查绳头在卷筒上固定是否牢靠,初始绕绳数是否多于3圈等。

(二)手动卷扬机

手动卷扬机钢丝绳额定拉力有5kN、10kN、30kN和50kN等几种,其技术规格和性能见表1-36。

手动卷扬机仅用于无电源和起重量不大的起重作业。它靠改变齿轮传动比来改变起重量和升降速度。手动卷扬机的安装和使用注意事项,可参照电动卷扬机的有关内容。

表 1-36 手动卷扬机的技术性能和规格

型号	钢丝绳额定拉力 /kN	卷筒容绳量 /m	钢丝绳直径/mm	外形尺寸 (长×宽×高)/mm	整机质量 /kg
JSB0.5	5	100	7.7	705×500×595	118
JS1	10	150	11	1490×775×990	234
JS3	30	200	15.5	1813×863×1265	287
JS5	50	200	18.5	2105×866×1547	352

注：型号中字母含义：J—卷扬机；S—手动。

(三) 绞磨(图 1-10)

绞磨是一种人力驱动的牵引机械,它具有结构简单、易于制作、操作容易、移动方便等优点,一般用于起重重量不大、起重速度较慢又无电源的起重作业中。使用绞磨作为牵引设备,需用较多的人力,劳动强度也大,且工作的安全性不如卷扬机。

绞磨是由鼓轮、中心轴、支架和推杆 4 部分组成。

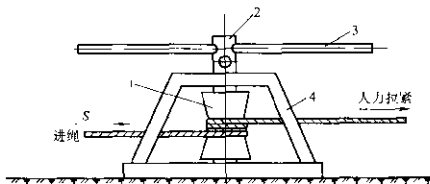


图 1-10 绞磨示意图

1—鼓轮;2—中心轴;3—推杆;4—支架

其拉力 S 按式(1-9)计算:

$$S = \frac{Pl}{R} \quad (1-9)$$

式中 S ——钢丝绳拉力, N;

P ——推力, N;

l ——推力作用点至中心轴距离, mm;

R ——鼓轮半径, mm。

绞磨使用注意事项:(1)绞磨应放于平整的场地,并用封绳锁牢;(2)绞磨前面的第一个导向滑车应与鼓轮在同—水平线上;(3)绳索要始终保持在鼓轮上有 4~6 圈,出绳端须借助人力始终拉紧;(4)推磨的人员应协同动作,出力均匀,围着磨中心绕行;(5)工作停止后须将出绳端封住。

五、千斤顶

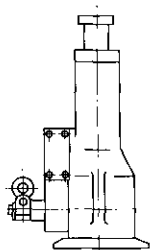
千斤顶是一种用得非常普遍的起重工具,具有结构轻巧、搬运方便、机小能力大、操作简便等特点。千斤顶的顶升高度一般在 100~400mm,起重能力在 3~320t 之间,也有用起重能力达 500t 的液压千斤顶的实例。

千斤顶有机械式和液压式两类,前者又有螺旋千斤顶和齿条千斤顶两种;液压式一般分普通液压千斤顶和分离式液压起顶机两种类型。

(一)螺旋千斤顶(JB2592—91)

螺旋千斤顶的技术规格和性能见表 1-37。

表 1-37 螺旋千斤顶的技术规格和性能



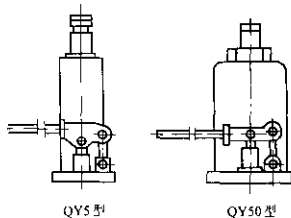
型 号	起重量 /t	最低高度 /mm	起重高度 /mm	质量 /kg	型 号	起重量 /t	最低高度 /mm	起重高度 /mm	质量 /kg
QL3.2	3.2	170	110	6	QJ32	32	320	180	20
Q1.5	5	250	130	7.5	Q1.50	50	452	250	56
QL10	10	280	150	11	QLD50	50	330	150	52
QL16	16	320	180	15	QL100	100	452	200	109
QL32	32	395	200	27	QJ100	100	800	400	250

注:表中字母 QL—千斤顶;D—低型;J—机动型。

(二)液压千斤顶(JB2104—91)

液压千斤顶的技术规格和性能见表 1-38。

表 1-38 液压千斤顶的技术规格和性能



型 号	起重量/t	最低高度/mm	起重高度/mm	螺旋调整高度/mm	底座面积/cm ²	自身质量/kg
QY1.5	1.5	165	90	60	90	2.5
QY3	3	200	130	80	110	3.5
QY5G	5	235	160	100	120	5.0

续表 1-38

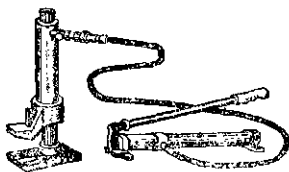
型号	起重量/t	最低高度/mm	起电高度/mm	螺旋调整高度/mm	底座面积/cm ²	自身质量/kg
QY5D	5	200	125	80	120	4.5
QY8	8	240	160	100	150	6.5
QY10	10	245	160	100	170	7.5
QY12.5	12.5	245	160	100	200	9.5
QY16	16	250	160	100	220	11
QY20	20	285	180	—	260	18
QY32	32	290	180	—	390	24
QY50	50	305	180	—	500	40
QY100	100	350	180	—	780	95
QW100	100	360	200	—	φ222	120
QW200	200	400	200	—	φ314	250
QW320	320	450	200	—	φ394	435

注:1.表中字母代表意义,Q—千斤顶;Y—液压;G—高型;D—低型;2.QW100—320型为卧式千斤顶(市场产品)。

(三)分离式液压起顶机

分离式液压起顶机,除具有顶举重物和用钩脚起重外,如配上其他附件尚可进行侧顶、横顶、倒顶以及拉压、扩张、夹紧等作业,较普通液压千斤顶增加了使用功能,其技术规格和性能见表 1-39。

表 1-39 分离式液压起顶机的技术规格及性能(上海产品)



型号	起重量/t		工作压力最大行程		起顶机尺寸/mm			油泵尺寸/mm			自身总质量/kg
	顶举	钩脚	/MPa	/mm	长	宽	高	长	宽	高	
LQD-5	5	2.5	40	100	180	120	225	583	110	118	16
LQD-10	10	5	63	125	180	120	310	583	110	118	20
LQD-30	30	—	63	150	95	95	287	714	140	145	19

注:LQD-5附拉马一只;LQD-30起顶机不带钩脚

(四)齿条千斤顶

齿条千斤顶的最大起重量有 5t 和 15t 两种,它多用于铁道、桥梁和建筑中。

(五)使用千斤顶的注意事项

(1)千斤顶必须安放于稳固平整结实的基础上,通常应在座下垫以木板或钢板,以加大承压面积,防止千斤顶下陷或歪斜;

(2)千斤顶头部与被顶物之间可垫以薄木板、铝板等软性材料,用以增加摩擦,防止千斤顶受力后滑脱;

(3)设置千斤顶时,应使其头部与被顶物全面接触,防止出现点接触和偏接触的情况;

(4)当数台千斤顶同时并用时,操作中应保持同步,达到每台千斤顶所承受的负荷均低于其额定负荷;

(5)千斤顶应在允许的顶升高度内工作,螺旋千斤顶出现红色警告线时,应停止顶升;

(6)为防止千斤顶长时间受力,在操作暂时中断后,应设临时支承,使其卸荷;

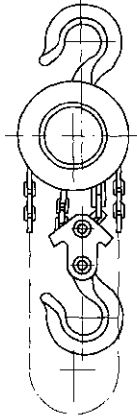
(7)应加强千斤顶的维护和保养,使其经常处于完好备用状态。

六、手拉葫芦

(一)普通手拉葫芦(ZBJ80014—89)

手拉葫芦又称神仙葫芦、倒链、斤不落等,是一种广泛用于起重作业的简单起重工具。其技术规格和性能见表 1-40。

表 1-40 手拉葫芦的技术规格和性能



型号	HS0.5	HS1	HS1.5	HS2	HS2.5	HS3	HS5	HS10	HS20
起重量/t	0.5	1	1.5	2	2.5	3	5	10	20
提升高度/m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3
质量/kg	8	10	15	14	25	24	36	68	155

(二)环链手扳葫芦(JB3928.1—85)

它是一种携带型小巧轻便的牵引设备,有容易携带、固定方便、适应性强等特点,但其起重量和起重高度均不大。其技术规格和性能如表 1-41 所示。

表 1-41 HSH 环链手扳葫芦技术规格和性能

型 号		HSH0.8	HSH1.6	HSH3.2	HSH6.3
额定起重量/t		0.8	1.6	3.2	6.3
标准起重高度/m		1.5			
起重链行数	一级齿轮传动	1	1	2	
	二级齿轮传动	1	1	1	2
两钩间最小距离 H/mm		320	380	490	590
满载时手扳力	一级齿轮传动/N	196	243	363	
	二级齿轮传动/N	206	216	353	363

(三)使用手拉葫芦的注意事项

(1)使用前须检查其结构的完好性、运转部分的灵活性及润滑是否良好,拉动时应灵活自如,不许有跑链、掉链和卡滞现象;

(2)上下吊钩和起重链应悬挂妥当,不能歪扭;

(3)手拉葫芦应在其额定起重量内工作,不许超负荷使用;

(4)手拉葫芦在垂直、水平或倾斜状态使用时,手拉链的施力方向均应与链轮方向一致,以防卡链或掉链;

(5)一般情况起重量 3t 以下手拉葫芦由 1 人施力拉动手拉链,再大者由 2 人施力,如遇拉不动时,应查找原因,切不可再增加拉链人数;

(6)为了使手拉链非施力边能顺利进入链轮槽中,必要时可用 1 人以手导正方向,避免卡滞;

(7)如承受负荷的手拉葫芦需停留时间较长时,必须将手拉链绑在起重链上,以防自锁装置失灵;

(8)通常,已经使用 3 个月以上或长期闲置未用的手拉葫芦,应进行拆卸、清洗检查并注油,对于缺件、结构损坏或严重磨损机件等必须经修复或更换后,方可使用。

第四节 锚碇装置

在设备吊装和运输中,常需用锚碇装置,用以固定卷扬机、缆风绳、定滑车和导向滑车等。锚碇装置是吊装设施的重要组成部分,它有桩式锚碇、埋置式锚碇、压置式锚碇、利用已有建筑物锚碇和灌注锚碇等多种形式。

一、桩式锚碇(图 1-11)

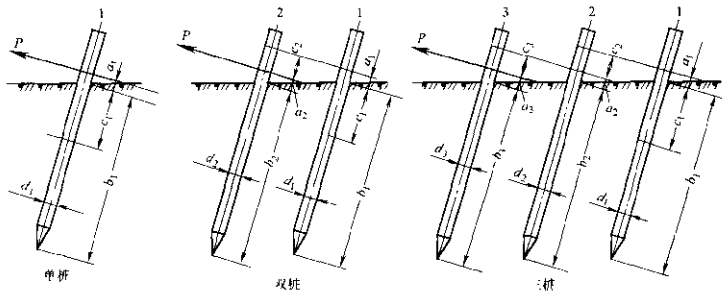


图 1-11 桩式锚碇

按锚桩需承受的拉力大小,桩式锚碇一般有单桩、双桩和三桩等3种型式,其许用拉力和尺寸见表1-42。

表1-42 桩式锚碇的许用拉力和尺寸

许用 拉力 /kN	尺寸											
	第一根桩				第二根桩				第三根桩			
	a_1	b_1	c_1	d_1	a_2	b_2	c_2	d_2	a_3	b_3	c_3	d_3
10	30	150	40	18								
15	30	150	40	20								
20	30	150	40	26								
30	30	150	40	20	30	150	90	22				
40	30	150	40	22	30	150	90	25				
50	30	150	40	24	30	150	90	26				
60	30	150	40	20	30	150	90	22	30	150	90	28
80	30	150	40	22	30	150	90	25	30	150	90	30
100	30	150	40	24	30	150	90	26	30	150	90	33

二、埋置式锚碇

埋置式锚碇是在地上挖受力边垂直的地锚坑,在坑底横置圆木为地垄,有的再加若干个挡板,并填土夯实。

(一)埋置式锚碇许用拉力的计算

埋置式锚碇的许用拉力值在理论计算上应满足两个条件:其一,许用拉力的垂直分力值应小于地锚坑楔形体积土块的重力;其二,许用拉力的水平分力应小于地垄埋深处地锚坑土壤的抗压力。

由于土壤类别的判定、回填土的密实度、地垄埋设的尺寸偏差等多种原因的影响,埋置式锚碇许用拉力的理论计算值常与实际有较大差值,为安全计必须考虑2~3的安全系数。许用拉力的计算见图1-12。

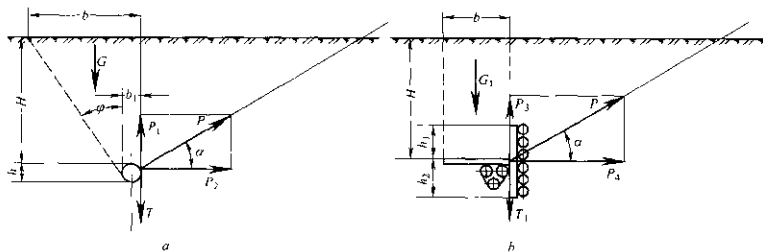


图1-12 埋置锚碇计算图

a—无挡板埋置锚碇; b—有挡板埋置锚碇

1. 无挡板加固的埋置式锚碇(图 1-12a)

(1) 在垂直分力作用下, 锚碇的稳定条件:

$$G + T \leqslant KP_1$$

$$G = \frac{b + b_1}{2} H l \gamma \quad (1-10)$$

式中 G ——土的重量, kN;

T ——摩擦力, kN,

$T = fP_2$ 。其中 f ——木料对土壤的摩擦系数, 取 $f = 0.5$, $P_2 = P \cos \alpha$;

K ——安全系数, 取 $K \geqslant 3$;

P_1 ——垂直分力, $P_1 = P \sin \alpha$, kN;

l ——圆木横梁的长度, m;

γ ——土单位体积重量, kN/m³, 查表 1-43 进行换算;

H ——锚的埋置深度, m;

b, b_1 ——基坑尺寸, m, 按土坑后坡倾角 φ 计算, 一般 $\varphi < 30^\circ$ 。

表 1-43 土单位体积质量

γ /t·m ⁻³	砂				砾石		腐殖土			砂土			粘土		
	粗砂	细砂	湿砂	含水饱和和	干的	湿的	松干的	湿的	含水饱和和	松干的	湿的	含水饱和和	松干的	松湿的	自度的湿
	1.5	1.6	1.8	2.0	1.8	1.9	1.4	1.6	1.8	1.5	1.6	2.0	1.6	2.0	2.5

(2) 在水平力作用下, 锚碇的稳定条件:

$$[\sigma] \eta = \frac{P_2}{hl} \quad (1-11)$$

式中 $[\sigma]$ ——深度 H 处土壤的许用承载力, kN/m²;

η ——折减系数(因土壤压力不均造成), 取 $\eta = 0.25$;

h ——圆木横梁的高度, m。

2. 有挡板加固的埋置式锚碇(图 1-12b)

(1) 在垂直分力作用下, 锚碇的稳定条件:

$$G_1 + T_1 \geqslant KP_3 \quad (1-12)$$

式中 G_1 ——土壤的重量, kN;

T_1 ——摩擦力, $T_1 = f_1 P_3$ 。其中 f_1 ——木料与木料的摩擦系数, 取 $f_1 = 0.4$, $P_3 = P \cos \alpha$, kN;

K ——安全系数, 取 $K \geqslant 2$;

其余符号意义同上。

(2) 在水平分力作用下, 锚碇的稳定条件:

$$[\sigma] \eta \geqslant \frac{P_2}{(h_1 + h_2)l} \quad (1-13)$$

式中 h_1 ——竖向加固木挡板高出水平板的高度, m;

h_2 ——竖向加固木挡板低于水平板的高度, m;

其余符号意义同上。

3. 岩石和土的承载力

岩石的承载力因岩石的种类和风化程度的不同,其差别很大,而土石的承载力的大小取决于土石的类别、孔隙比、含水量等诸多因素。较常见的岩石和土的承载力见表 1-44。

表 1-44 常见岩石和土的承载力

岩石、土的种类	承载力/kPa
硬质岩石(中等风化)	1500~2500
软质岩石(中等风化)	700~1200
卵石	300~500
碎石	250~300
粘性土	200~400
粉土(含水率 15%)	150~200
粉土(含水率 25%)	140~170
中、粗砂土	180~250
粉、细砂土	140~180
素填土	80~150
淤泥质土	40~100

注: $1t/m^2 = 9.8kPa$ 。

(二) 埋置式锚碇的选用

埋置式锚碇的规格和许用拉力可从图 1-13 和表 1-45 中按需要选用。

表 1-45 埋置式锚碇规格尺寸

许用拉力/kN	28	50	75	100	150	200	300	400
出绳与地面的夹角 $\alpha/(^\circ)$	30	30	30	30	30	30	30	30
横木($\phi 24$)根数 \times 长度/cm	1 \times 250	3 \times 250	3 \times 320	3 \times 320	3 \times 270	3 \times 350	4 \times 400	4 \times 400
埋深 H/m	1.7	1.7	1.8	2.2	2.5	2.75	2.75	3.5
横木上系绳点数	1	1	1	1	2	2	2	2
挡木($\phi 24$)根数 \times 长度/cm					4 \times 270	4 \times 350	5 \times 400	5 \times 400
柱木、根数 \times 长度 \times 直径/cm					2 \times 120 \times $\phi 20$	2 \times 120 \times $\phi 20$	4 \times 150 \times $\phi 22$	4 \times 155 \times $\phi 22$
压板、密排 $\phi 10$ 圆木, 长 \times 宽/cm			80 \times 320	80 \times 320	140 \times 270	140 \times 350	150 \times 400	150 \times 400

注: 1. 回填土单位体积质量 $\gamma = 1.6t/m^3$; 2. 木料许用应力 11MPa。

三、压置式锚碇(图 1-14)

利用起重作业现场附近的重物作压置式锚碇,是简便又经济的有效方法。压置式锚碇的许用拉力取决于重物的质量大小和重物与地面间的摩擦系数大小。此种锚碇的稳定条件

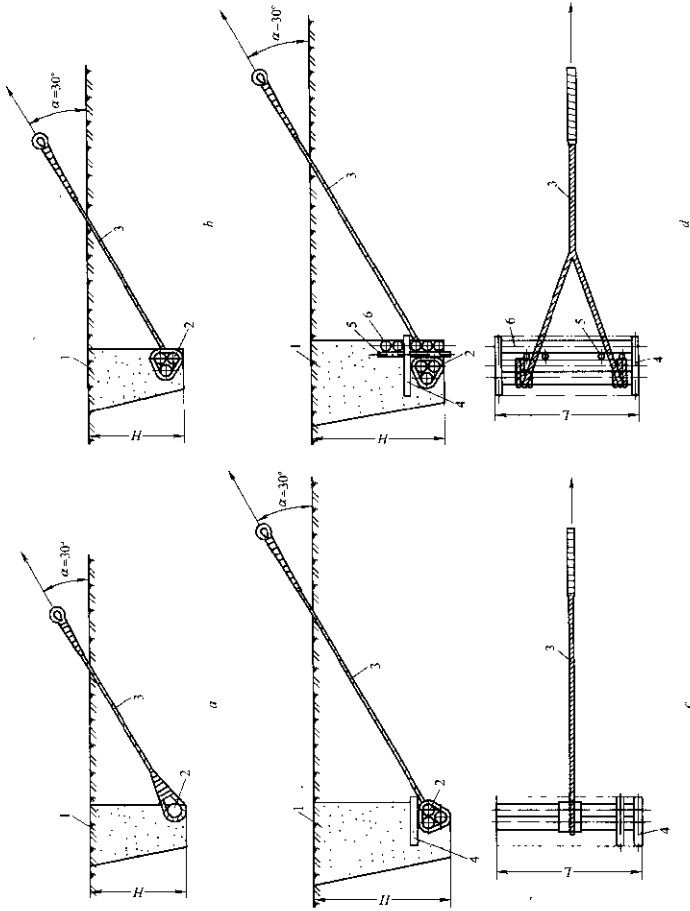


图 1-13 埋置锚碇

α —拉力 30kN 以下; b —拉力 50kN 以下; c —拉力 100kN 以下; d —拉力 100~400kN

1—回填土; 2—锚头; 3—牵引钢丝绳; 4—压板; 5—柱木; 6—挡木

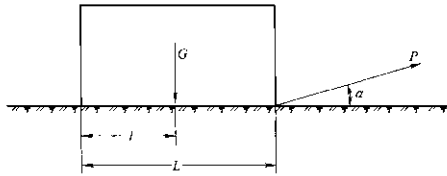


图 1-14 压置式锚碇示意图

应取垂直分力和水平分力小者为许用拉力。

$$P \leq \frac{Gl}{KL \sin \alpha} \quad (1-14)$$

$$P \leq \frac{Gf}{K(\cos \alpha + \sin \alpha f)} \quad (1-15)$$

式中 G ——重物重量, kN;

L ——重物长度, m;

l ——重物重心至边缘的距离, m;

α ——拉力方向与水平面间夹角, ($^{\circ}$);

f ——滑动摩擦系数, 从附录十四中选取;

K ——安全系数, 取 $K = 2$ 。

四、利用建筑物作锚碇

在吊装作业中, 如有条件, 可利用已有建筑物作锚碇, 最常用的是厂房柱脚。这是一种方便经济的好方法。为安全计, 一般均须验算其许用拉力。

如拉力较大也可采用两点或多点受力方法, 但各受力点间应有平衡措施, 以保持各点受力值基本相等。

(一) 利用混凝土柱脚作锚碇(图 1-15)

利用混凝土柱脚作锚碇, 其受力点必须贴紧柱子根部, 且受力方向应水平, 其许用拉力可按式(1-16)计算:

$$P \leq bhf_t \quad (1-16)$$

式中 b ——柱子宽度, mm;

h ——柱子截面高度, mm;

f_t ——柱子混凝土的抗拉强度计算值, 按表 1-46 选用;

P ——许用拉力, N。

表 1-46 混凝土抗拉强度计算值

(N/mm²)

强度种类	混凝土强度等级											
	C7.5	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
抗拉 f_t	0.55	0.65	0.9	1.1	1.3	1.5	1.65	1.8	1.9	2	2.1	2.2

(二) 利用钢柱脚作锚碇(图 1-16)

利用钢柱脚作锚碇,其受力点应尽量靠近柱基,且受力方向应水平,其许用拉力按两根地脚螺栓承受剪切计算:

$$P \leq 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 [\tau] \quad (1-17)$$

式中 P ——许用拉力;

d ——地脚螺栓直径,cm;

$[\tau]$ ——地脚螺栓材质的剪切容许应力,按材质从附录七中查得。

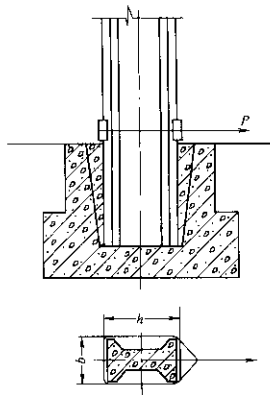


图 1-15 利用混凝土柱脚作锚碇

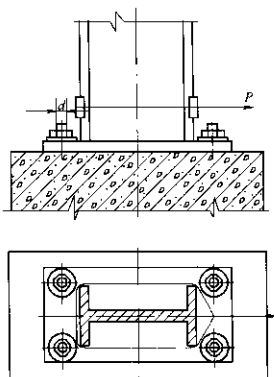


图 1-16 利用钢柱脚作锚碇

五、灌注锚碇(图 1-17)

如选定的锚碇位置其下为不易挖坑的岩石,则可在岩石上凿孔,其中插入用圆钢制成的锚棒,孔比棒的直径略大,在两者的间隙中灌注砂浆或细石混凝土,待灌注料达到一定强度后即可使用。如拉力较大时除加大锚棒直径和锚固深度外,还可在 1 个锚碇处锚固 2 个或多个锚棒,使它们共同承受拉力。如拉力较小也可只凿孔插棒而不灌浆,也可视拉力值大小设 1 个或数个锚棒,图 1-17b 为 4 根锚棒共同承受拉力的示意图。

灌注锚碇的许用拉力可以用试拉法确定。

六、设置和使用锚碇的注意事项

- (1) 锚碇埋设地点应平整、不积水,以免积水浸泡回填土壤,降低锚碇的许用拉力。
- (2) 决定埋置式锚碇位置时,在 2.5 倍坑深范围内,不得有地沟、电缆、地下管网等。
- (3) 锚碇回填时,应使用净土,每填入 30cm 厚则应夯实一次,回填高度应高出基坑周围地面 40cm 以上。
- (4) 各式锚碇均应有足够大的安全裕度,以保证起重工作安全。
- (5) 不能使用腐朽或有伤损的圆木为锚碇用料,使用周期较长时,木料应用沥青浸渍法

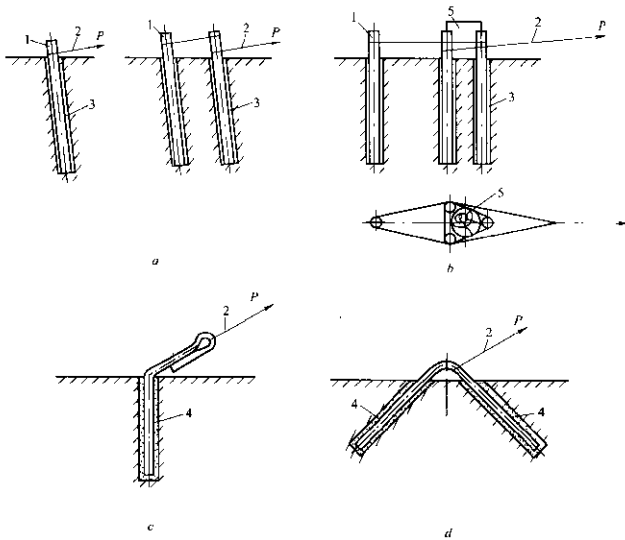


图 1-17 灌注锚碇示意图

- a—1根和两根锚棒(孔内不灌浆); b—4根锚棒(不灌浆);
 c—1根锚棒(灌浆); d—1根V形锚棒(灌浆)
 1—锚棒; 2—钢丝绳; 3—岩石孔; 4—砂浆; 5—圆木

防腐。

(6) 系结锚碇的受力钢丝绳和圆钢环,因其受力状态复杂,工作环境恶劣,其绑扎、焊接、钢丝绳插接等工作均应牢固可靠。

(7) 锚碇拉绳与地面的水平夹角宜较小,一般最大不应超过 30° 。

(8) 当选择建筑物或构筑物作锚碇时,必须进行许用拉力的核算,并应征得有关单位的同意。

(9) 用厂房混凝土柱或钢柱作锚碇时,其棱角应用方木或锯开的钢管段保护后,再捆绑锚碇拉绳。

(10) 在多缆风绳受力系统中,宜全部采用刚性锚碇(即受力后可视为不产生位移的锚碇,如厂房柱脚、设备基础等),或全部采用埋置式锚碇。两种兼用时需采取防止埋置式锚碇产生位移的措施。

(11) 为减小埋置式锚碇的位移量,可用预拉法,即预先按等于或大于缆风绳工作载荷时的拉力数值进行预拉紧,在保持一段时间后,再恢复至初拉力的数值。

(12) 重要的锚碇均需经试拉后,方可投入使用。

(13) 重要的锚碇应在缆风绳上装设测力计,并派人记录其受力和变化情况,还应观察锚碇的稳定状态,如出现危及安全的异常情况,应立即采取应急措施,以保安全。

第二章 吊装机械及其应用

第一节 桥式起重机及其应用

一、普通桥式起重机

(一) 类型和主要参数

普通桥式起重机又称天车、行车,有以下类型:

(1) 电动单梁桥式起重机,用电葫芦进行吊重提升,起重重量在 0.25 ~ 10t 之间,常用的有 0.5、1、2.5、10t 等几种,一般起升高度在 6 ~ 30m 之间。

(2) 电动双梁桥式起重机,是用得最广泛的一种,其起重重量一般在 5 ~ 500t 之间,我国生产的标准桥式起重机,其起重重量有以下 12 种,即 5、10、15/3、20/5、30/5、50/10、75/20、100/20、125/20、150/30、200/30、250/30t。10t 以上者有主副两钩。

近期更新换代产品其起重重量系列为:5、8、12.5/3、16/3、20/5、32/8、50/12.5、80/20、100/32、125/32、160/50、200/50、250/50t。

标准的电动双梁桥式起重机的跨度为 10.5 ~ 31.5m,每隔 3m 有一个规格:10.5、13.5、16.5、19.5、22.5、25.5、28.5 和 31.5m,一般起升高度在 12 ~ 32m 之间。

从普通桥式起重机还派生有电磁吸盘桥式起重机、抓斗桥式起重机、冶金专用桥式起重机等。

(3) 单主梁桥式起重机。

(4) 电葫芦双梁桥式起重机,其起重重量有 5、10、16/5、20/5、32/10、40/10 和 63/10t 等 7 种。跨度在 7.5 ~ 22.5m 之间。大起重量的规格由于电葫芦技术性能的限制尚处试制试用阶段。

桥式起重机的主要性能参数有:起重重量、大车跨距、起升高度、工作速度和工作级别等。

(二) 起重重量 5 ~ 250t 普通桥式起重机的参数

起重重量 5 ~ 250t 普通桥式起重机的参数如表 2-1 所示。

表 2-1 桥式起重机有关参数

起重重量/t	跨 度/m	质 量/t				尺 寸/mm											
		中 级 工 作 制		重 级 工 作 制		操 纵 室	小 车 轨 距	小 车 宽 度	小 车 轮 距	小 车 长 度	大 车 轮 距	起 重 机 最 大 宽 度	至 起 重 机 外 端 大 车 轨 道 中 心	重 机 顶 面 距 离 大 车 轨 道 面 至 起	小 车 高 度	大 车 底 面 距 离 至 大	主 梁 底 面 距 离 至 全
		小 车	起 重 机 总 质 量	小 车	起 重 机 总 质 量												
5	10.5	18.3	10.8	11.4	0.325 (开式)	1400	1793 (中 级)	1100	1610 (中 级)	3400	4500	230	1754	1035	-24	2350	
	13.5		12.5	13.2											126	2220	
	16.5		14.6	15.2											226	2170	
	19.5		16.9	17.6											376	2180	
	22.5		19.3	20.1											526		
	25.5		23.7	24.4											676		
	28.5		26.9	27.6											826		2010
	31.5		29.8	30.5											976		
				0.725 (闭式)		1930 (重 级)		1830 (重 级)	5000	6100							

续表 2-1

起重量/t	跨 度 /m	质 量/t			操 纵 室	尺 寸/mm												
		中级工作制		重级工作制		小车 轴距	小车 宽度	小车 轮距	小车 长度	大车 轮距	起 重 机 最 大 宽 度	大 车 轨 道 中 心 距	重 机 顶 面 距 离 大 车 轨 道 中 心	小 车 高 度	大 车 轨 道 面 距 离 大 车 底 面 至 轨 道 面	主 梁 底 面 距 离 至 轨 道 面		
		小 车	起 重 机 总 质 量	小 车													起 重 机 总 质 量	
10	10.5	3.56	13.2	3.72	0.325 (开式)	2000	2400	1400	2000	4050	5150	230	1876	1148	-24	2350		
	13.5														15.0	15.2	126	2222
	16.5														17.2	17.4	226	2170
	19.5														19.5	19.8	376	2180
	22.5														22.1	22.3	526	
	25.5														26.7	26.9	628	
	28.5														30.0	30.2	778	2010
31.5	33.0	33.3	928															
15/3	10.5	7.32	18.4	8.4	0.325 (开式)	2000	2500	2400	3350	4100	5300	230	2095	1298	80	2240		
	13.5														19.9	21.9	80	
	16.5														22.0	24.2	180	2170
	19.5														25.9	28.4	240	2180
	22.5														28.4	31.0	390	
	25.5														32.8	35.2	540	
	28.5														36.2	39.0	690	2010
31.5	39.3	42.3	840															
20/5	10.5	7.72	18.9	8.4	0.325 (开式)	2000	2500	2400	3350	4100	5300	230	2095	1295	80	2240		
	13.5														20.6	22.6	84	
	16.5														22.9	25.4	184	2170
	19.5														26.9	29.9	242	2180
	22.5														29.5	32.7	392	
	25.5														34.1	37.4	542	
	28.5														37.8	41.3	694	2010
31.5	41.1	44.8	842															
30/5	10.5	11.68	25.8	12.24	0.325 (开式)	2500	3030	2700	3730	4650	6080	260	2340	1421	90	2230		
	13.5														28.6	29.9	96	
	16.5														31.8	33.0	246	2170
	19.5														36.1	38.0	266	2180
	22.5														39.7	41.5	416	
	25.5														44.9	46.6	566	
	28.5														48.4	50.5	716	2010
31.5	52.8	55.0	816															

续表 2-1

起重量/t	质 量/t				尺 寸/mm																			
	中级工作制		重级工作制		操 纵 室	小 车 轨 距	小 车 宽 度	小 车 轮 距	小 车 长 度	大 车 轮 距	起 重 机 最 大 宽 度	大 车 轨 道 中 心 至 起 重 机 外 端	重 机 顶 面 至 起 重 机 底 面 至 起 重 机 底 面 至 起	小 车 高 度	大 梁 底 面 至 大 梁 底 面 至 大	主 梁 底 面 至 主 梁 底 面 至								
	小 车	起 重 机 总 质 量	小 车	起 重 机 总 质 量																				
50/10	10.5	35.7	36.0	0.325 (开式)	2500	3120	3580	4260	4800	6300	300	2778	1650	-129	2153									
	13.5	38.6	39.2											48	2230									
	16.5	42.9	44.0											54										
	19.5	47.1	48.5											204	2180									
	22.5	51.1	52.5	0.725 (闭式)																	2784		354	
	25.5	57.0	58.0											504										
	28.5	61.0	62.0											654	2010									
	31.5	66.5	68.0											754										
75/20	13.5	59.2	60.0	0.325 (开式)	4400	4500 (轻级) (中级)	2600	5030	6100	8616	400	3654	1934	-8	2472									
	16.5	61.9	62.6											132	2612									
	19.5	69.0	69.8											136	2616									
	22.5	73.5	74.3											138	2618									
	25.5	80.0	80.8	0.725 (闭式)										4600 (重级)	218	2338	220	2392	220	3885			218	
	28.5	85.4	86.2																				220	2392
	31.5	91.0	91.8																				220	
100/32	13	84		1	4400	6600	2920	3700	5240	9200	400	3931	2035										76	2824
	16	90																						
	19	99																						
	22	100																						
	25	106																						
	28	122																						
100/32	13	88		1	5800	6600	2920	3700	6640	10600	400	3931	2035	76	2824									
	16	92																						
	19	102																						
	22	103																						
	25	118																						
	28	126																						
	31	134																						

续表 2-1

起重量/t	跨 度/m	质 量/t				尺 寸/mm											
		中级工作制		重级工作制		操 纵 室	小 车 轨 距	小 车 宽 度	小 车 轮 距	小 车 长 度	大 车 轮 距	起 重 机 最 大 宽 度	大 车 轨 道 中 心 至 起 重 机 外 端	重 机 顶 面 距 离 大 车 轨 道 面 至 起 重 机 外 端	小 车 高 度	大 梁 底 面 至 大 车 轨 道 面	主 梁 底 面 距 离 操 纵 室 底 面
		小 车	起 重 机 总 质 量	小 车	起 重 机 总 质 量												
125/32	13		84									400				70	2830
	16		94													500	2400
	19		100										3931	2035			
	22	39.6	107		1	4400		2920	3700	5240	9200		460			520	2380
	25		115														
	28		123														
	31		141											4230		605	2295
125/32	13		89									400				70	2830
	16		98													500	2400
	19		103										3931	2035			
	22	42.6	112		1	5800		2920	3700	6640	10600		460			520	2380
	25		120														
	28		128														
	31		146											4230		605	2295
160/50	13		112								6340	10300	400			90	2810
	16		122													510	2390
	19		144											2612			
	22	63.3	151		1	5500	8200	3100	5000				460			150	2750
	25		160							8540	10380						
	28		176														
	31		187											5190		230	2670
200/50	13		138														
	16		140														
	19		147											4885		145	2755
	22	66.5	156		1.2	5500	8750	3100	5400	8540	10380	460			2755		
	25		176														
	28		183														
	31		196											5205		250	2650

续表 2-1

起重量/t	跨 度/m	质 量/t			尺 寸/mm												
		中级工作制		重级工作制	操 纵 室	小 车 轨 距	小 车 宽 度	小 车 轮 距	小 车 长 度	大 车 轮 距	起 重 机 最 大 宽 度	大 车 轨 道 中 心	至 起 重 机 外 端	重 机 顶 面 至 起 重 机 底 面 至 起	小 车 高 度	大 车 轨 道 面 至 大 梁 底 面 至 大	主 梁 底 面 至 操 纵 室 底 面 至
		小 车	起 重 机 总 质 量	小 车													
200/50	13	74	146		1.2	6700	8750	3700	5400	9740	11580	460		2755	145	2755	
	16		152										5030				
	19		160														
	22		165														
	25		185														
	28		193										5345				
	31		207														
250/50	16	76.7	154		1.2	6700	8750	3700	5400	9740	11580	460		2755	145	2755	
	19		161										5024				
	22		178														
	25		186														
	28		202										5344				
	31		220														

注:起重量为 75t 和 75t 以上的桥式起重机的大车轮距指的是大车外侧轮距。

二、冶金专用桥式起重机

冶金专用桥式起重机在黑色和有色金属生产中承担特定的工艺操作,其基本结构与普通桥式起重机相似,但在小车或吊钩上装有特殊的机构或装置。

冶金专用桥式起重机的种类及用途如下:

(1)铸造起重机,供吊运铁水、钢水、铜液、铝液等用,主小车吊运盛桶,副小车用于翻转盛桶等辅助操作。主小车挂有双钩,可直接用于设备吊装工作。

(2)夹钳起重机,用于吊运金属热锭。一般须改装后,方可用于设备吊装。

(3)脱锭起重机,用于从铸模中脱出铸锭,一般不用于设备吊装工作。

(4)加料机,有悬挂和落地式两种,专用于向平炉内加料,一般不用于设备吊装工作。

(5)锻造起重机,用于和大型锻锤水压机配合锻造大型工件,卸下吊钩上悬挂的翻料器,可作为设备吊装之用,但吊钩下降的极限位置较高,如需吊装地面上的重物,还应采取更换长绳等措施。

(6)铜电解专用起重机,专用于电解极板的出槽和装槽。因其无吊钩,但可用其吊架进

行较轻负荷的吊装工作。也可在采取改制措施后用于设备吊装。

(7)铝电解多功能起重机,专用于铝电解生产,用于加料、出铝、更换阳极、打壳等项作业,不能用于设备吊装。

三、吊装特点、要求和安全措施

(一)吊装特点

吊装特点如下:

(1)用桥式起重机吊装设备是应用最普遍的一种吊装方法;

(2)因大车可沿厂房纵向全程运行,小车可在主梁桥架上横向运行,即在车间内构成一矩形工作范围;

(3)起重量和起重高度可以很大;

(4)允许在一定范围内超额定起重重量吊装(静载可达125%,动载为110%);

(5)可采取某些加强、加固措施,以增加其起重能力;

(6)起重作业简便,灵活机动,安全可靠;

(7)吊装工作效率高,辅助机具少,消耗吊装费用较低;

(8)在某些重型工厂或车间,对一些重型设备,因受桥式起重机起重重量限制,尚难达到整体起吊;

(9)可利用厂房建筑物与桅杆等起吊机具进行联合吊装,以增加其利用率;

(10)对具有主、副双钩的桥式起重机,增加了其吊装作业能力和灵活性;

(11)桥式起重机吊装作为室内作业,可不受风、雨、雪等自然现象的干扰。

(二)吊装要求和安全措施

(1)要保证桥式起重机的提升系统、走行系统、制动系统等工作正常可靠;

(2)确保桥式起重机的安全机构,如大、小车的行程开关、提升和走行机构的制动器、吊钩提升限位、超重报警等工作可靠;

(3)严格控制超负荷吊装的超载量和超载次数。如需超载吊装,应编制超载吊装方案并严格执行;

(4)对超负荷吊装必须进行试吊,并测量其主要梁无负荷时的上拱度和吊重后的下挠度以及上拱度减少量;

(5)吊装作业时,要使吊钩与被吊物的重心在一条铅垂线上;

(6)在中等以上吊重,并须进行偏吊作业时,应有可靠的放悠措施,以防引发安全事故;

(7)在吊装作业中应谨慎操作,须动作平稳,注意稳钩,以减少动荷载的影响;

(8)吊索捆绑处要尽量避免设备的精加工表面,如无法避开时,应用工业羊毛毡或橡胶运输带等加以保护;

(9)一般情况下吊点处均须用方木或锯开的钢管管段等进行保护,防止吊索与被吊物直接接触;

(10)须自制吊具时,应绘制图纸,进行强度、刚度等验算,并通过试吊后方可使用;

(11)在吊装设备前应检查并确认大车轨道的安装偏差,如跨距、轨道标高、钢轨横向水平度、轨道接头等的偏差,均应在允许范围内;

(12)使用露天的桥式起重机时,不得在5级以上风力下吊装设备,较大雨雪天气也应停

止吊装作业；

(13)一台桥式起重机的两个吊钩同时吊同一重物时,其总负荷不得超过主钩的最大额定起重重量。

四、增加桥式起重机起重重量的方法和措施

桥式起重机是用得最广泛的起重机械之一,在其起重重量不能满足吊装要求的情况下,采取某种方法和措施,以增加其起重重量,在吊装工作中有很大的实用价值,许多吊装实践也证明了这是一种行之有效的好方法,确能既科学又经济地解决一些吊装难题。

(一)天车允许超额定起重重量吊装

我国现行的《起重设备安装工程施工及验收规范》(GB50278—98)中规定,在天车安装完毕后必须进行吊升额定起重重量1.1倍的负荷作动负荷试运转,吊升额定起重重量1.25倍的负荷作静负荷试运转。

“规范”的条文规定:“各机构的动负荷试运转应在全行程上进行。起重重量应为额定起重重量的1.1倍,累计启动及运行时间,对电动的起重机应不小于1h。各机构的动作应灵敏、平稳、可靠,安全保护、连锁装置和限位开关的动作准确、可靠。”

该规范的条文还规定:“将小车停在桥式类型起重机的跨中,无冲击地起升额定起重重量的1.25倍的负荷,在离地面高度为100~200mm处,悬吊停留时间不应小于10min,并应无失稳现象……”,以上试验不得超过三次,第三次应无永久变形。测量主梁的实际上拱度,其中:通用桥式起重机、冶金起重机、通用门式起重机和装卸桥的上拱度应大于 $0.7s/1000\text{mm}$ ……”。

由以上可见,天车允许在一定范围内超负荷吊装。如系较新天车,又在试运转允许超负荷范围内,吊装次数又不多时,可确保吊装安全。如系使用多年的天车欲超负荷吊装,则应对其进行全面检查和试验,可视其结果再决定可否进行超负荷吊装及其最大的超负荷程度。

一般应检查天车大车和小车的走行轮、起升机构、制动机构、安全保护装置、电气操作系统及其原件等,必要时应更换磨损件。应进行半负荷、额定负荷和超负荷吊装时桥架下挠度的测量,以及上拱度和超负荷吊装后上拱度减少量的测量。还应在超负荷起升时测量提升电动机的电流值。根据检查和试验结果进行综合分析,即可得出此天车可否用于超负荷吊装和可超多大额度吊装的结论。

(二)限制天车超负荷吊装能力的因素

如上述,天车可以进行超额定起重重量吊装,但其超负荷能力是有一定限度的,其限制因素是:桥架金属结构的承载能力、起升系统的卷升能力、天车的新旧程度和车间土建结构的承载能力等。可通过分析以上诸因素以寻求提高天车超负荷吊装的方法,并应通过必要的计算和试验取得科学依据。

(三)天车的载荷

天车的载荷由垂直载荷和水平惯性力两部分组成。垂直载荷又分为固定载荷和活动载荷两部分。故定载荷包括桥架自重(主梁、走台、栏杆、滑触线)、操纵室、大车走行机构以及电气控制盘柜的质量。活动载荷包括起升载荷和小车自重。

水平惯性力是由大车和小车启动或制动而产生的,如天车运行发生偏斜时还会产生侧向力。

从一些论述起重机的专著中得知,在天车桥架结构计算时,使用的是组合载荷。如主梁的组合载荷,在大车平稳制动、小车在跨中、小车满载下降制动的工作状态下,由以下4个部分组成:

桥架自重—— $K_1 G_q$;

小车自重—— $K_1 G_x$;

起升载荷—— $\psi_{II} Q_q$;

大车起动、制动时的惯性力 F_{dq} 。

K_1 ——冲击系数,与运行速度有关,其关系如下:

运行速度/m·s ⁻¹	< 1.0	1.0~1.5	> 1.5~3.0	> 3.0
冲击系数 K_1	1.0	1.1	1.2	1.3

ψ_{II} ——起升动力系数;

$$\psi_{II} = 1 + 1.3cv$$

式中 c ——操作系数,对吊钩取 $c = 0.5$;

v ——额定起升速度 m/s, $v > 1$ 时取 $v = 1$ 。

(四)天车主梁的强度和刚度核算

在欲进行超负荷吊装时应按有关专著进行天车主梁的强度和刚度核算。

强度核算的基本方法是:用组合载荷计算主梁产生的合成应力(由弯曲应力和剪应力组成),其值应小于主梁材料的许用应力。

刚度核算的基本方法是:当满载小车(不计动力系数)位于主梁跨度中间位置时计算垂直静挠度 f_1 和水平挠度 f_2 ,此两挠度值应分别小于允许挠度 $[f_1]$ 和 $[f_2]$ 。

(五)增加天车起重量的方法和措施

从以上分析可见,欲增加天车的起重量可采取以下方法:

1. 用吊梁代替小车吊装

天车小车是主梁的活载荷,用吊梁代替小车吊装,其活载荷可减少小车和吊梁的质量差,如图 2-1a 所示,在天车两个主梁间横担两根吊梁,其上可挂 2~4 套升降滑车组,牵引绳通过导向滑车由卷扬机牵引。此方法应置小车于主梁一端,能较大的提高天车的吊装能力。因天车小车的质量较大,如 30t 天车小车质量约 12t,50t 天车小车质量约 17t,而 100t 天车小车质量可达 35t。各种规格天车小车的质量可从表 2-1 中查到。也可用下式进行估算:

$$G = \alpha Q \quad (2-1)$$

式中 G ——小车质量,t;

α ——系数($Q = 5 \sim 100t$ 的吊钩小车 $\alpha = 0.35$; $Q = 5 \sim 30t$ 的电磁盘小车 $\alpha = 0.45$;
 $Q = 5 \sim 20t$ 的抓斗小车 $\alpha = 1$);

Q ——天车的额定起重量,t。

2. 偏离主梁中心吊装

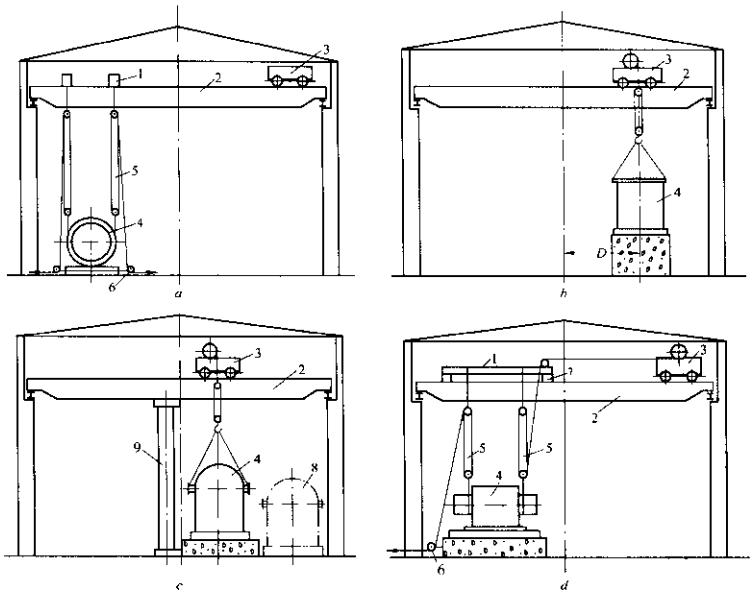


图 2-1 增加天车起重能力方法示意图

1—吊梁；2—天车主梁；3—小车；4—吊物；5—滑轮组；6—导向滑轮；7—横梁；8—待吊吊物；9—立柱

从上面天车载荷的叙述可知,天车桥梁的承载能力是按小车在跨中受力状态下计算的,如图 2-1b,小车在距跨中 D 距离处吊装,则可视 D 的大小,适当提高天车的起重能力。

3. 用立柱支撑天车主梁吊装

从上面天车主梁核算方法的叙述可知,主梁内产生的应力大小取决于主梁所受弯矩大小,而弯矩大小又决定于载荷大小、位置和两支点间的距离。据此,用缩小两支点间距离的方法提高主梁的承载能力。如图 2-1c 所示,在主梁下靠近吊件处,直立两根立柱,其下支承在车间地坪上,其上支撑于两主梁下部。用此方法天车大车需固定于一处,只能用小车移动来完成吊件的吊装和就位。另在必要时亦应在大车受力端的端梁处采取支垫等加固措施,以适当减少大车轮压。

4. 用小车和吊梁联合吊装

如图 2-1d 所示,置小车子于主梁的一端,并用手拉葫芦或钢丝绳等加以固定,使小车可承受水平拉力。在天车两主梁间横担两根横梁 7,其上置一根或两根吊梁,吊梁下挂两套滑轮组,其中 1 套由小车牵引,另一套的牵引绳通过导向滑轮去卷扬机。此方法改善了天车主梁的受力状态,以达到提高天车起吊能力的目的。

5. 降低吊物提升速度提高小车卷升能力

从以下提升电动机功率计算的公式得知：

$$N = \frac{(Q + G_0)v}{1000\eta} \quad (2-2)$$

式中 N ——电动机功率, kW;

Q ——提升载荷, N;

G_0 ——取物装置自重, N;

v ——提升速度, m/s;

η ——起升机构总效率(齿轮传动, 当用滚动轴承时 $\eta = 0.80 \sim 0.90$)。

在提升电动机功率不变的情况下, 降低吊物提升速度即可增加提升载荷的数量。为降低提升速度可采用以下方法: (1) 更换减速器内的齿轮副, 增大减速器的传动比; (2) 增加吊钩的滑轮数量, 即等于增加提升钢丝绳根数; (3) 增大提升滑轮的直径。

不管采用以上哪种方法提高天车的起吊能力, 均应在进行必要的理论核算以后, 再通过逐级加载荷的方法进行试吊, 并测量天车主梁的下挠度和提升电动机的电流值, 最后确认天车可以超负荷的额度。

还必须对厂房柱子和天车梁进行核算, 也可请厂房设计人员协助, 或参阅其设计计算书。

五、吊装实例

(一) 大型立式水压机吊装

125000kN(12500t)自由锻造水压机是典型的3梁(下横梁、活动横梁、上横梁)4柱立式水压机, 总高23m, 其中地下有6.5m, 工作台长52m, 总质量达2632t。三个横梁均因体积和质量很大而分块铸造, 加工后用热装螺栓拼成整体。

为吊装水压机设备和进行锻造生产作业, 水压机车间装有1台起重量250/30t普通天车和2台起重量300t的锻造天车。

1. 吊装下横梁

下横梁由5块大铸钢件组成, 总质量为411t, 其中两块最大的每块有102t, 其余有73t两块, 63t一块。

吊装方法:

在基坑-6.5m的混凝土基础面上设6个铸铁支座, 其上放8个斜铁器和4个200t的液压千斤顶。用起重量250/30t天车分5次把5大块吊装就位, 如图2-2所示。其吊装顺序是先吊中间一块, 而后依次向两边吊装。在吊第2~5钩时为防止撞动已就位的部分, 应在离开10cm左右距离落下, 然后, 用斜铁器和千斤顶缓慢靠近, 平稳对接, 达到止口吻合。

当横梁5大块拼接合格后, 用桥式起重机吊起热装拉紧螺栓从一侧孔内穿入, 由于螺栓较长又必须保护连接螺纹, 可在横梁上平面设一个轻便的三脚架, 其上挂手拉葫芦, 吊索从横梁铸孔穿入, 活套在螺栓上, 天车与手拉葫芦协同动作, 分数次挪动吊点把螺栓装入, 如图2-3所示。

2. 吊装立柱

此水压机有4根直径 $\phi 890$ mm, 长度19000mm, 每根质量132t的相同立柱。立柱端头有大直径螺孔, 用其连接专用吊具。

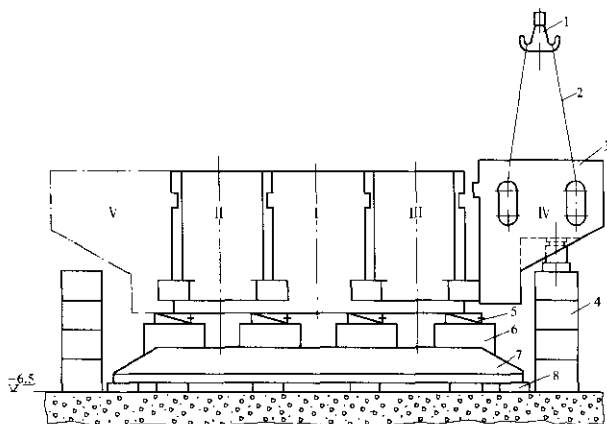


图 2-2 下横梁吊装示意图

- 1—人车主钩;2—吊索;3—下横梁(第4块);4—铸铁支座;5—斜铁器;
6—铸铁支座;7—立柱支承座;8—垫铁

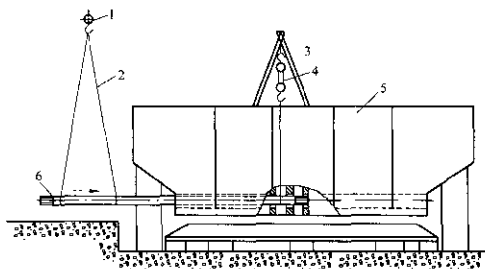


图 2-3 下横梁热装螺栓吊装示意图

- 1—天车吊钩;2—吊索;3—三角架;4—手拉葫芦;5—下横梁;6—热装连接螺栓

由于 250t 天车起吊高度不够,需采取两个措施解决吊装高度问题。(1)把 250t 天车的主吊钩卸掉后与吊具直接相接;(2)在车间基础坑边地坪上开挖深 600mm、宽 1000mm 的通道,立柱在此通道内的枕木上立直。在立柱由躺卧到立直的全过程中,要随时调整天车大车的位置,如图 2-4 所示。

立柱立直后,再直立着吊入基础坑内,并从下横梁上方穿入其柱孔中,立柱下端面落在立柱支承上,如图 2-5 所示。用相同方法吊装 4 根立柱。

3. 吊装活动横梁

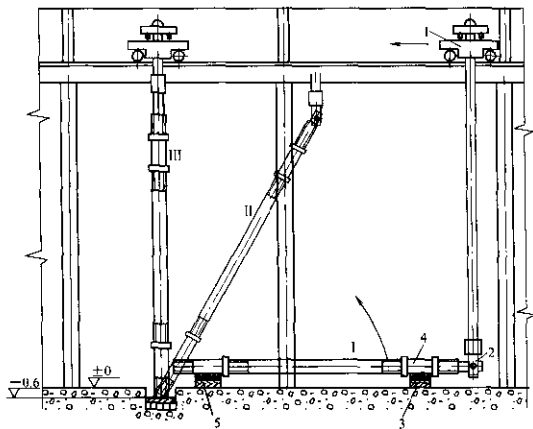


图 2-4 立柱立起示意图

1—天车；2—吊具；3—枕木；4—立柱；5—枕木

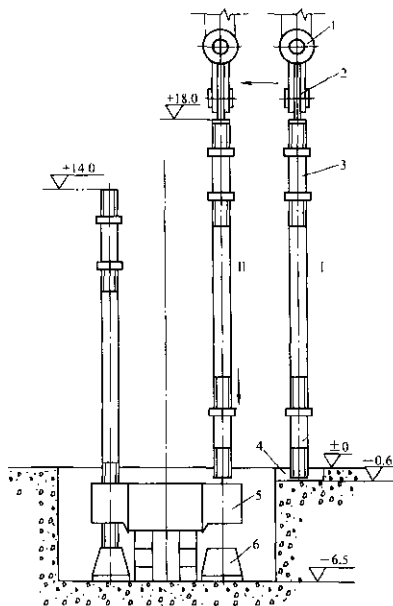


图 2-5 立柱起吊示意图

1—吊钩滑轮；2—吊具；3—立柱；4—地沟；5—下横梁；6—立柱支承

活动横梁由两块铸钢件组成,总质量 210t,在车间地坪上将两半直立着组对后,用热装螺栓连成整体。就位前需把立着的活动横梁翻转 90°变成卧态,如图 2-6 所示。用直径 $\phi 52\text{mm}$ 钢丝绳把活动横梁大捆 6 圈。随着起吊和翻转要调整大车的位置,减少重心偏转瞬间的冲击。翻转时需用枕木垫在横梁下,以保护设备。

将活动横梁水平吊起,用框架式水平仪测量其水平度,调整吊索达到水平后,从 4 根立柱的顶面将活动横梁套入,并放在支座和 6 个斜铁器上,如图 2-7 所示。

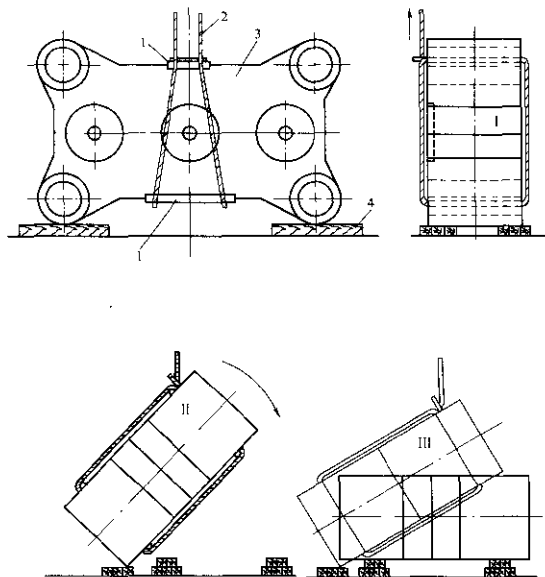


图 2-6 活动横梁翻转 90°示意图

1—半圆钢管段;2—吊绳;3—活动横梁;4—枕木

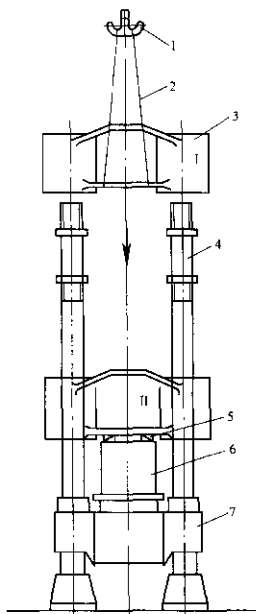


图 2-7 活动横梁吊装就位示意图

1—天车吊钩;2—吊绳;3—活动横梁;
4—立柱;5—斜铁器;6—钢锭模;
7—横梁

4. 吊装柱塞、工作缸

主柱塞质量 62t,吊装时在柱塞上端圆孔内插入直径比孔略小的圆钢,吊索绑在圆钢上,如图 2-8 所示。用相同方法吊装两个比主柱塞小些的副柱塞。

主工作缸和两个副工作缸的吊装方法如图 2-9 所示。用吊装主柱塞的吊具吊装主缸和副缸,主缸吊起后必须呈直立状态,可用框架式水平仪测量其铅垂度,然后缓慢平稳地套入柱塞中,再用相同方法吊装两个副工作缸。

5. 吊装上横梁

上横梁由二大块铸钢件组成,用热装螺栓连成整体。取立式组立方法,如图 2-10 所示。

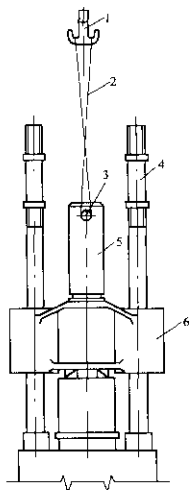


图 2-8 主柱塞吊装图

1—天车吊钩；2—吊绳；3—圆钢；4—立柱；
5—主柱塞；6—活动横梁

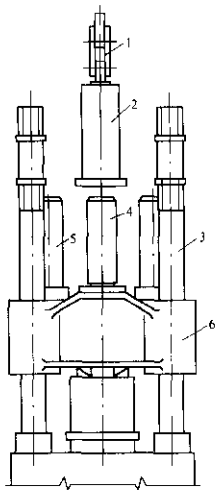


图 2-9 主工作缸吊装图

1—吊具；2—主工作缸；3—立柱；4—主柱塞；
5—副柱塞；6—活动横梁

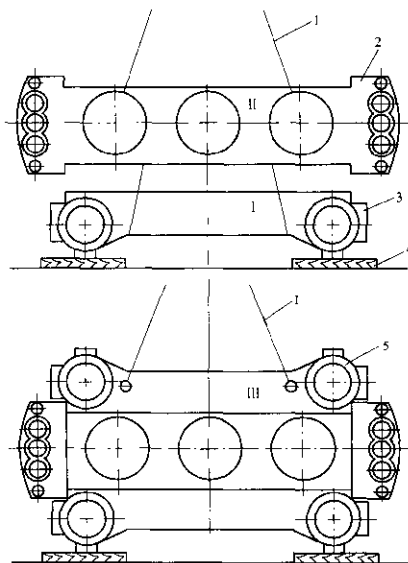


图 2-10 上横梁吊装组立图

1—吊绳；2—上横梁中间一块；3、5—上横梁两边两块；4—枕木

组装后的上横梁在安装前须由立态转 90°成卧态,其翻转方法如表 2-11 所示。将活动横梁吊起一定高度后,其一角支撑于枕木垛上,天车落钩,上横梁则呈倾斜状,而后随着天车的大车边前行边落钩,即可完成翻转作业。

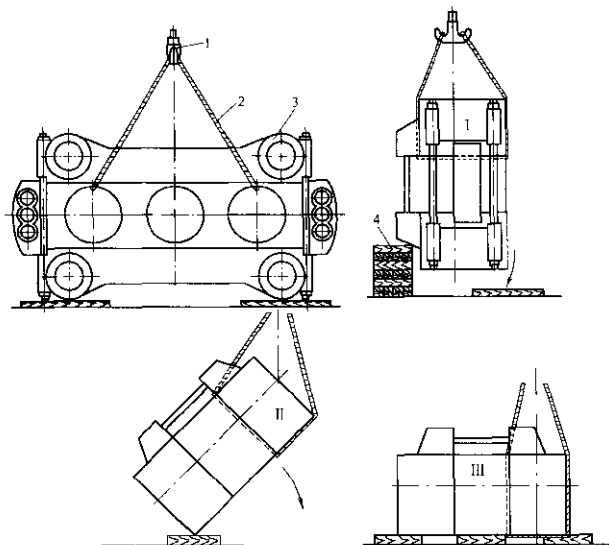


图 2-11 上横梁翻转 90°示意图

1—天车吊钩;2—吊索;3—上横梁;4—枕木

上横梁总质量为 235t,用 8 根直径 $\phi 52\text{mm}$ 的钢丝绳大捆,吊索尽量短些,用 250t 天车主钩水平吊起上横梁,高度达到其底面高出立柱顶面 100~200mm 后,平稳下落天车主钩,套装于 4 根立柱中,并落在立柱螺母上,如图 2-12 所示。上横梁调整作业完成后,应把主缸和两个副缸提升起来并与上横梁连接,如图 2-13 所示。至此大压机主要部件吊装完毕,其余件的吊装不再赘述。

(二)大型球磨机吊装

在某矿山铜选厂安装有数台直径 $\phi 5\text{m} \times$ 长度 6.4m 的大型球磨机,总质量 250t,筒体分两个筒节、两个耳轴端盖 4 件到货,需在安装中接成整体。

在该选厂磨浮车间磨矿跨内有 1 台 30/5t 桥式起重机,可供吊装使用。球磨机最重件为一个筒节,其质量是 36.6t,需用此天车超负荷吊装。

1. 设计和制造弧形托座和专用吊具

为了筒体的分件吊装和顺利组接,须制作如图 2-14 所示的带滚轮的弧形托座两个,不带滚轮的弧形托座两个。设置滚轮的目的是为了在对接法兰螺栓孔时筒节可沿自身轴线滚动。

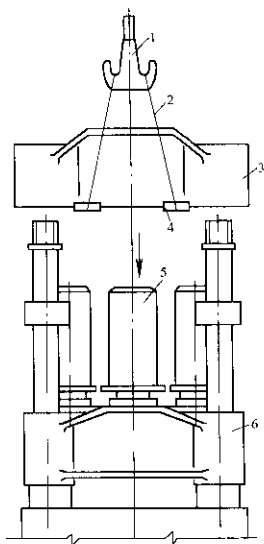


图 2-12 上横梁吊装图

1—天车吊钩; 2—吊绳; 3—上横梁;
4—锯开的半钢管段; 5—土缸; 6—活动横梁

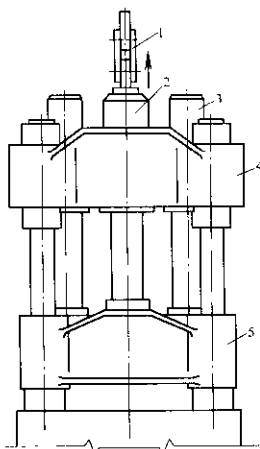


图 2-13 主缸吊装示意图

1—吊具; 2—主工作缸; 3—副工作缸;
4—上横梁; 5—活动横梁

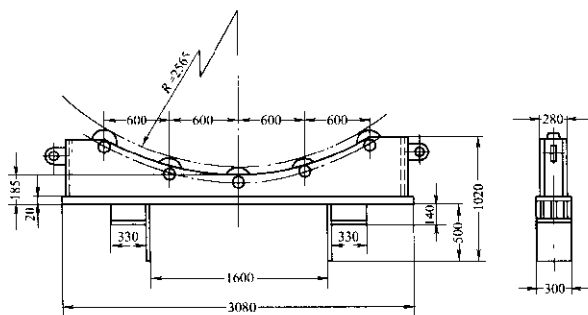


图 2-14 带滚轮弧形托座图

为了吊装耳轴端盖须制作如图 2-15a 所示的专用吊具; 为实现筒节翻转 90° 须制作如图 2-15b 所示的专用吊具。在吊装时吊具连接在衬板螺栓孔上。

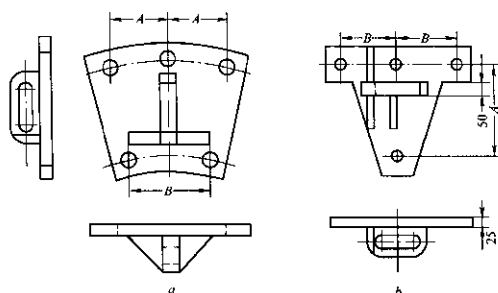


图 2-15 专用吊具图

a—耳轴端盖吊具；b—筒节吊具

2. 筒节翻转 90°

筒节用平板拖车平卧着运入车间,用天车卸车落于地坪上,安装前需凌空翻转 90°,其方法如图 2-16 所示。天车主钩吊在偏离筒节重心处。在天车主梁上挂一个滑车组由卷扬机牵引助吊,天车主钩与滑车组配合作业即可实现筒节翻转的目的。

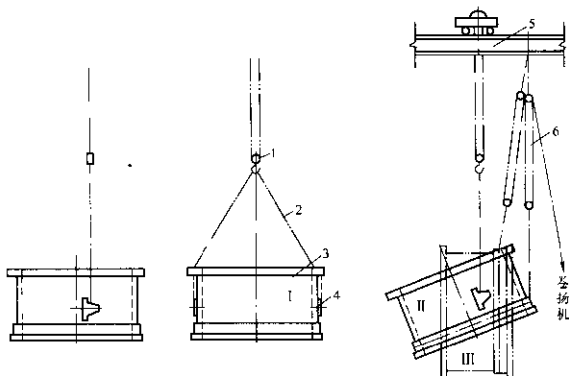


图 2-16 筒节凌空翻转方法示意图

1—天车吊钩；2—吊索；3—筒节；4—专用吊具；5—天车；6—滑车组

3. 吊装筒节、吊装耳轴端盖

如图 2-17 所示,在基础坑内摆设枕木垛,其上放 10 根 24kg/m 钢轨,钢轨上放 $\phi 108\text{mm} \times 7\text{mm}$ 的无缝钢管滚杠,上面满铺 2 块厚 20mm 钢板,再其上是 8 个 30t 液压千斤顶和 4 个弧形托座。

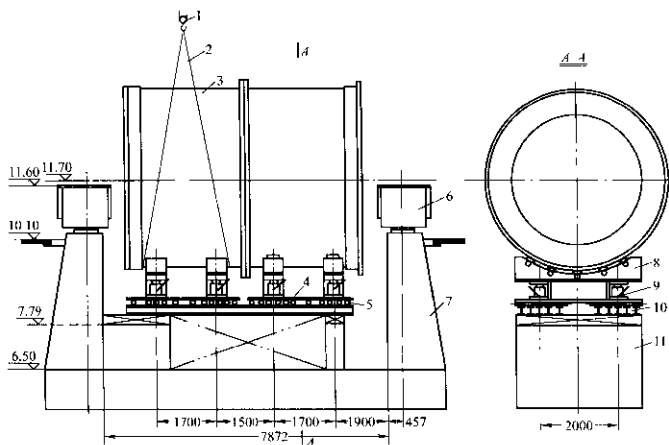


图 2-17 吊装筒节示意图

1—天车吊钩；2—吊索；3—筒节；4—钢板；5—滚杠；6—轴承座；7—基础；8—弧形托座；
9—千斤顶；10—钢轨；11—枕木垛

因需超负荷吊装，故在吊装前需用其他重物作试吊，验证天车主梁上拱度减少量在允许范围内后，用两直径 $\phi 34\text{mm}$ 的长钢丝绳吊索大捆筒节两端，吊起筒节放在弧形托座上。

两个筒节对接后，将其移向一端轴承座，以加大另一端的操作空间。用专用吊具和吊索吊装端盖，为使端盖能调成铅垂状态，需设一个 5t 手拉葫芦，如图 2-18 所示。在吊装质量

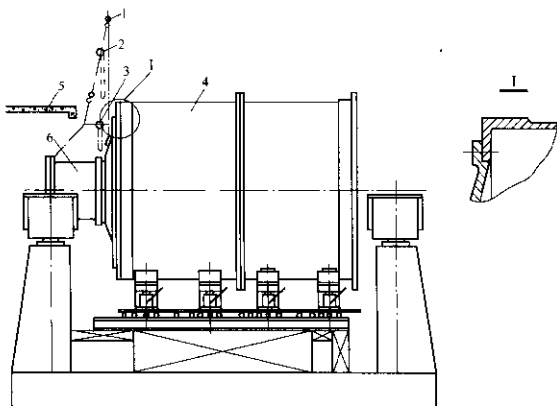


图 2-18 耳轴端盖吊装图

1—天车吊钩；2—手拉葫芦；3—手拉葫芦；4—筒节；5—混凝土平台；6—耳轴端盖

27.2t 的进料端耳轴端盖时,因其斜上方有混凝土平台影响,需再加一个 3t 手拉葫芦,把 5t 手拉葫芦向主吊索方向拉紧后,实现了顺利吊装。进料端耳轴端盖与筒体对接后,三件一体向进料端靠近,再吊装出料端耳轴端盖。

筒体组装合格后,移至两个轴承的正上方,同步下落 8 个液压千斤顶,即可实现筒体达到安装轴瓦的合适高度。

4. 吊装轴瓦和筒体就位

用两个 2t 手拉葫芦挂在天车吊钩上,其下连于瓦背的两个吊环螺钉,如图 2-19 所示。扣着吊起轴瓦后并放在耳轴上,而后缓慢放松两个手拉葫芦并调整天车吊钩位置,使轴瓦沿着耳轴下滑,到瓦背快同轴承鞍座接触时,应精细调整筒体位置,使固定端轴瓦端面与耳轴轴肩精确对中,入槽后缓慢放松两个手拉葫芦,轴瓦则可下滑到安装位置。以同样方法安装浮动端轴瓦。此时两轴瓦上面在耳轴轴肩中,下面骑在鞍座上,在轴瓦的导向下,同步下落 8 个液压千斤顶,则筒体耳轴落于轴瓦上,此方法可有效地保护轴瓦不被碰伤。

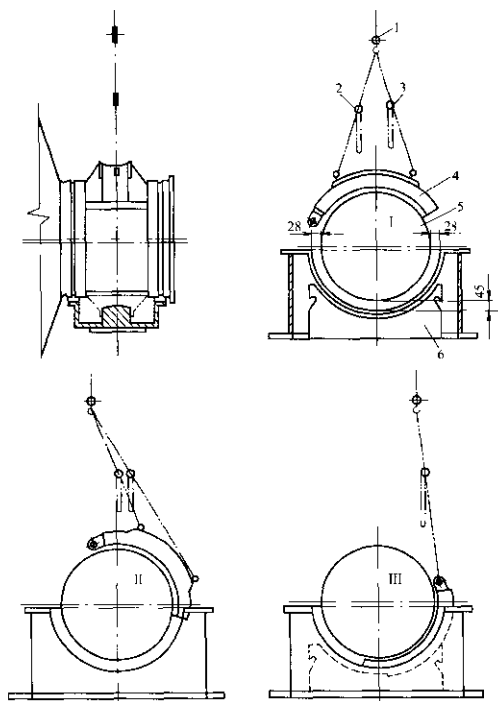


图 2-19 轴瓦安装就位图

1—天车吊钩;2—手拉葫芦 1;3—手拉葫芦 2;4—轴瓦;5—耳轴;6—轴承座

5. 吊装大齿轮

大齿轮齿顶圆直径 $\phi 7734\text{mm}$ ，质量为 29.6t，分两半制造，顺斜齿方向剖分，用定位螺栓和热装固定螺栓连成整体，如图 2-20 所示。先吊前一半大齿轮，半个齿轮吊起后与筒体法兰用 40 个螺栓连接并以手拧紧。其中 13 个螺栓用扳手紧固，用手动高压泵向主轴承供高压油。然后以天车将齿轮和筒体转动，转到一定角度后，在轮辐孔和平台间卡以枕木制动，将半齿轮支卡在稍偏位置，把吊点移至筒体吊耳上。再设一 3×3 15t 滑车组，跑绳通向卷扬机，以天车和滑车组配合，使半齿轮继续转动，到半齿轮立直以后，再把天车吊绳移至剖分面附近的轮辐处，并撤掉滑车组，用天车降钩方法把半个齿轮转向下方。

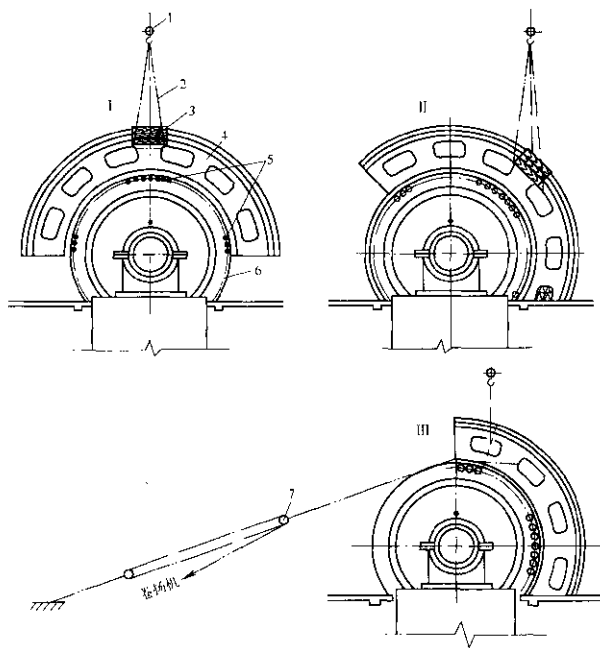


图 2-20 前一半大齿轮吊装图

I—大车吊钩；2—吊索；3—枕木；4—大内轮；5—连接螺栓；6—筒体法兰；7—滑车组

后半个大齿轮以同样方法吊装，落于前半大齿轮上，穿上三根连接螺栓，然后进行两半齿轮对接，并连接全部螺栓，如图 2-21 所示。

6. 吊装同步电动机

功率 2625kW 的大同步电动机，其质量 7.3t 的定子和 8.9t 的转子分体供货，需在施工现场组装成一体。将转子穿入定子的吊装方法如图 2-22 所示，(1)一吊索上面挂在天车吊钩上，下面吊在转子轴上，另一吊索用 5t 手拉葫芦，吊于空气离合器接盘，吊起后移走包装

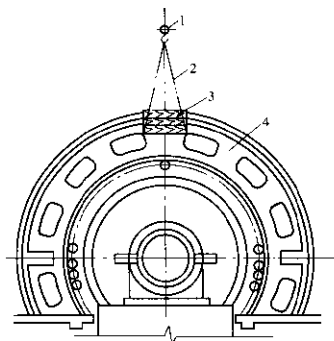


图 2-21 后半大齿轮吊装图

1—天车吊钩；2—吊索；3—方木；4—大齿轮

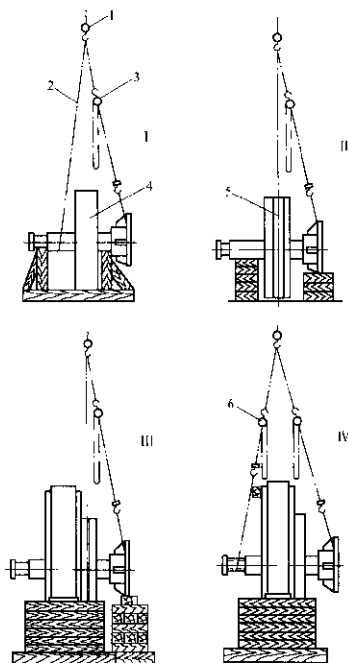


图 2-22 转子装入定子吊装图

1—天车吊钩；2—吊索；3—手拉葫芦；4—转子；5—橡胶运输带；6—手拉葫芦

木排落在枕木垛上。(2)在转子铁芯表面围一层旧橡胶运输带加以保护,将吊索移至转子铁芯处。(3)在定子一侧地坪上设枕木垛,其高度到定子孔的下圆弧面。吊起转子并穿入定子中,在离合器接盘下用枕木垫起,然后落下转子。(4)用1个5t手拉葫芦换下吊索,下端吊于转子轴颈处。为防止轴颈精工加工表面被碰伤,必须用工业毛毡保护轴颈。用两个手拉葫芦把转子调平、对正,再移动天车主钩即可把转子穿入定子中。为保护定子内孔表面,可在下左右三个方向垫橡胶石棉板加以保护。(5)在同步电动机定子吊耳上再挂两个吊索,调整吊转子的两个手拉葫芦,使4根吊绳同时受力,但吊定子的吊索要受力大些,吊转子的手拉葫芦受力小些,以保证转子轻压在定子上。以天车吊起同步电动机平稳地落在转子轴的两个轴瓦上,如图2-23所示。

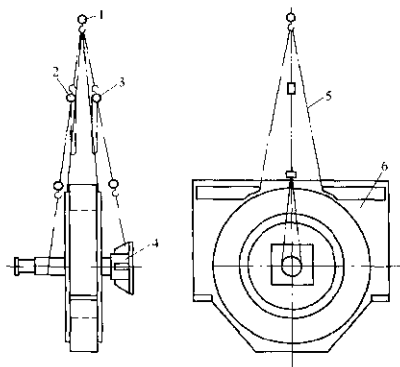


图2-23 同步电动机吊装图

1—大车吊钩;2—手拉葫芦;3—手拉葫芦;4—转子;5—定了吊索;6—定子

7. 吊装衬板

球磨机衬板有6种规格共360块,需贴满筒体内壁,用衬板螺栓紧固在筒体和端盖上。将衬板吊入筒体有两种方法:其一,用图2-24所示的液压机械手(球磨机的附属设备)从耳轴孔内运入并就位,因是机械施工既有很高的工作效率又安全可靠;其二,用图2-25所示的方法,在贯穿耳轴孔内支架起一根工字钢,其上悬挂电动葫芦或移动小车和手拉葫芦,衬板亦从耳轴孔内运入。

衬板可分4次进行安装,如图2-26所示。第1次安装1/4,然后以微拖装置(实现球磨机慢速转动的随机附属设备)将筒体旋转180°,已完的衬板到了正上方,为安全计在偏重状态下,除微拖装置可制动外,还应采取其他措施制动。再在底面安装第2个1/4衬板,再旋转筒体安装第3个1/4衬板,同样方法安装最后余下的衬板。

(三) 轧机机架吊装

轧机机架(牌坊)常是轧机中体积和质量均大的关键部件,其底部和窗口都经过精细加工,吊装过程中需采取可靠措施加以保护,免受损伤。一般情况轧制跨配有桥式起重机的

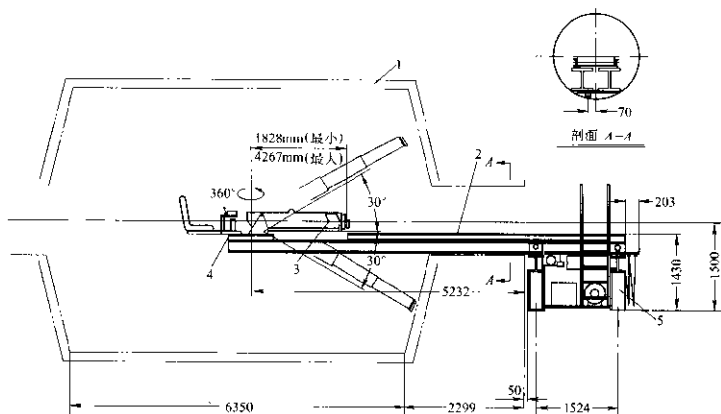


图 2-24 用液压机械手吊装衬板

1—筒体;2—滚道;3—可伸缩吊臂;4—操纵座椅;5 液压装置

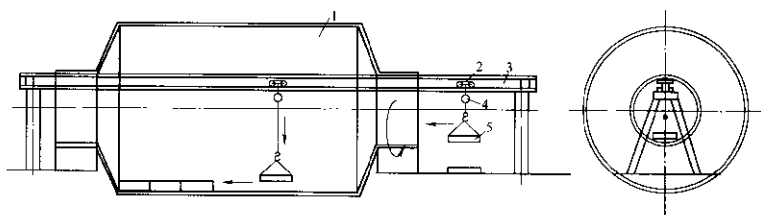


图 2-25 用工字梁吊装衬板

1—筒体;2—猫头小车;3—工字钢吊架;4—手拉葫芦;5—衬板

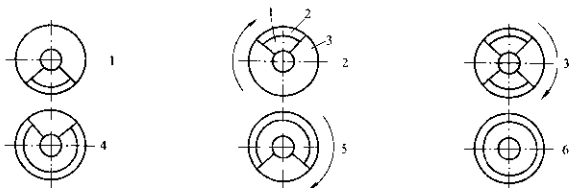


图 2-26 衬板安装顺序示意图

1—端盖衬板;2—筒体衬板;3—筒体

起重量均可满足吊装要求,也常有需超负荷吊装的情况。在中型以上轧制车间常配有数台天车,在用一台天车吊装超载过多时,可采用双机抬吊法吊装机架。不用天车,用其他类起重机械吊装机架的情况较少见。

1. 初轧机机架吊装

某大型钢厂初轧厂装有 $\phi 1300\text{mm}$ 初轧机,其机架的外形尺寸为 $9250\text{mm} \times 5000\text{mm} \times 2580\text{mm}$,总质量为 118t 。此车间有起重量 110t 的桥式起重机,两个机架的卸车、立直、吊装就位均用此天车去完成。

用 110t 天车吊装 118t 机架属超负荷吊装,但在允许范围内,故安全可行。机架从拖车上卸车时仍将其平放在枕木上。用 $\phi 52\text{mm}$ 钢丝绳吊索,双股吊装,长度各 21m 。吊索活套在机架窗口上部,机架窗口套接处用橡胶运输带和薄铁皮保护,如图2-27所示。随着提升吊钩和小车的移动,机架由抬头、斜置并逐渐扳起立直,在机架由卧态到立直的全过程中,吊索也随之串动,并自动平衡。

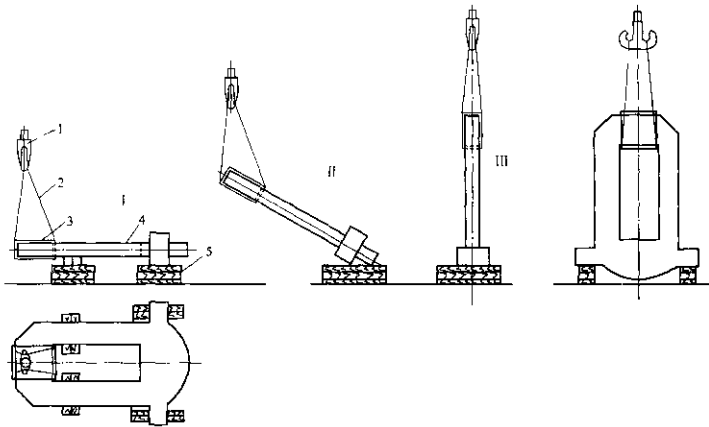


图 2-27 机架吊装示意图

1—天车吊钩;2—吊索;3—橡胶运输带、薄铁皮;4—机架;5—枕木

机架立直并吊起后,用框式水平仪在其加工面上测量其水平度,如有偏差,可在吊索与机架接触处垫加铝板或硬木板方法调整,至机架的水平调整好以后,在确保机架处于铅垂状态下,将其落于机座上,它与轧制中心线间的精确尺寸可用千斤顶微调。

2. 轧板机机架吊装

某钢厂 1450mm 热轧板机,其机架外形尺寸为 $9230\text{mm} \times 4000\text{mm} \times 1500\text{mm}$,总质量为 130t 。此车间有起重量 $100/20\text{t}$ 天车两台,天车轨道标高为 12m 。

如用1台 $100/20\text{t}$ 天车吊装,超负荷过大,不允许。而选用两台天车抬吊方案则可行。但因天车轨道面标高限制,须在轧机地坑内将机架立直,而后再吊装。

(1) 吊梁

吊梁用碳钢板焊成,截面为箱形。上方两端两个吊耳挂在天车主钩上,下面有4个吊点,两个用于卸车,两个用于吊装,吊点偏向一端布置,其目的是改善吊梁受力状态。吊梁的结构和尺寸,如图2-28所示。

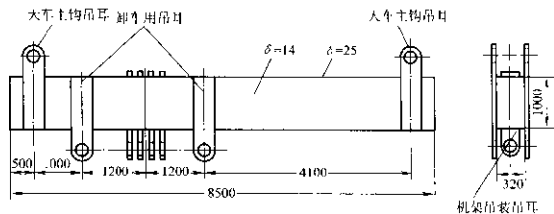


图2-28 吊梁结构示意图

(2) 机架卸车

机架进车间时,先进传动侧机架,后进换辊侧机架,头部朝向换辊侧。卸车时机架取平卧状态,用两台100/20t天车通过吊梁抬吊(如图2-29所示),将机架平放于轧机地坑的枕木垛上。

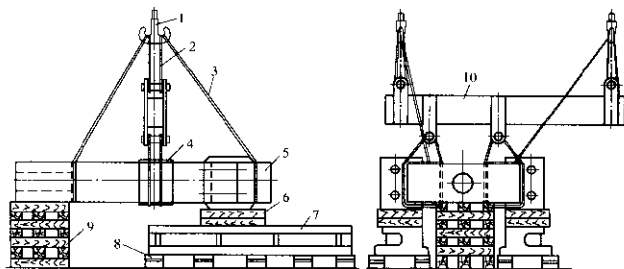


图2-29 机架卸车示意图

1—天车吊钩;2—主吊索;3—副吊索;4—橡胶运输带;5—机架;6—枕木;7—机座;
8—垫铁;9—枕木垛;10—吊梁

(3) 机架吊装就位

为保护机架不被吊索刮伤,可在机架压下装置圆孔内装上厚度20mm橡胶运输带和薄铁皮卷成的两层圆筒,紧贴压下装置内孔孔壁,铁皮筒在内圈。用 $\phi 65$ 钢丝绳作成两根等长吊索,其上部挂于吊耳圆钢上,下部从压下孔穿入套在200mm方钢上,卡在压下孔两侧,如图2-30所示。随着吊钩提升和天车小车移动,机架将从平卧而逐渐立直于枕木上。就位前要用框架式水平仪测量机架的铅垂度,调整后,将机架平稳地落于机座上。

3. 冷轧机架吊装

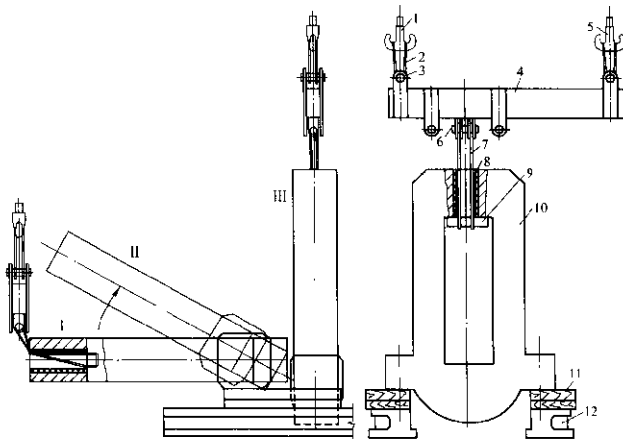


图 2-30 机架吊装示意图

1—天车吊钩 2—吊索 3—圆钢 4—吊梁 5—天车吊钩 2; 6—圆钢 7—吊索 2;
8—橡胶运输带; 9—方钢; 10—机架; 11—枕木; 12—机座

某铝厂 1850mm 冷轧板机, 机架外形尺寸为 7775mm × 2900mm × 650mm, 质量为 65t。在此车间内有起重量为 50/10t 的桥式起重机。用 50/10t 天车吊 65t 机架超负荷 30%, 超出规范允许范围。但可通过试吊来验证, 天车能否在达到允许超载范围后再多超一些。经负荷 65t 试吊后, 天车主梁下挠仍在允许范围内, 而且上拱度也未减少, 实践验证此天车可胜任超载 30% 的吊装作业, 为安全计, 应尽量减少吊装钩数和超载持续时间。

机架用拖车运入车间后, 用天车卸车落于车间地坪上。在机座上搭枕木垛, 高度同附近要利用的混凝土基础基本一致, 如图 2-31 所示。用天车吊起机架, 头部放在基础上, 底部扣放在枕木垛上。机架头部用钢丝绳和 10t 手拉葫芦制动, 其目的是防止在撤掉枕木垛时机架下滑。

用天车主钩吊起机架底部, 分几次把枕木抽掉, 在此作业时要要用 10t 手拉葫芦配合, 如图 2-32 所示。在地脚板上平面放上一层铝板, 机架底部落在铝板上。

拆去手拉葫芦后, 在机架上部孔内用橡胶运输带和薄铁皮保护, 吊索从上方孔内穿入套上方钢, 卡在孔的两侧。吊索上面挂于主钩上, 随着主钩提升和天车的移动, 机架由抬头、扳起到立直在底脚板的铝板上。再把早铅垂状态的机架吊运到安装位置就位。可用相同的吊装方法吊装换辊侧机架。

(四) 大型电动机和发电机吊装

大型整体定子的电动机、定子和转子常分箱装运, 需在安装时将转子穿入定子中, 此种作业称穿心。电动机的穿心吊装方法有数种, 应根据电动机的结构不同进行选用。不管采用将转子固定, 将定子移入转子的方法或将定子固定, 将转子穿入定子的方法都应达到既简

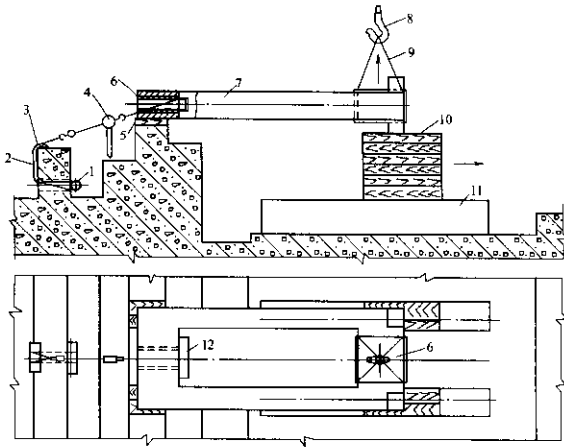


图 2-31 机架吊装示意图

- 1—圆钢；2—绳索；3—锯开管段；4—手拉葫芦；5—枕木；6—橡胶运输带；7—机架；
8—天车吊钩；9—吊索；10—枕木；11—机座；12—方钢

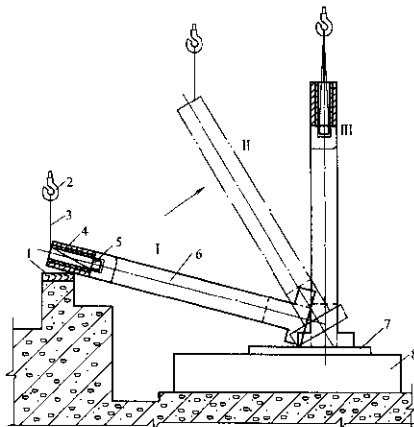


图 2-32 机架就位示意图

- 1—枕木；2—天车吊钩；3—吊索；4—橡胶运输带；5—方钢；6—机架；7—铝板；8—机座

便又安全的穿心目的。

1. 方法之一

電動機的结构特点是：在整体式定子安在电动机底座上时，定子内孔下部圆弧面在底座上平面以下，而且转子轴长度较短。此种电动机穿心时，可在车间内、安装地点附近，选一宽敞的场地进行，其穿心步骤与方法如下：

(1) 将定子用枕木垛支垫在地坪上，如图 2-33a 所示，用框架式水平仪测量，将定子找水平。

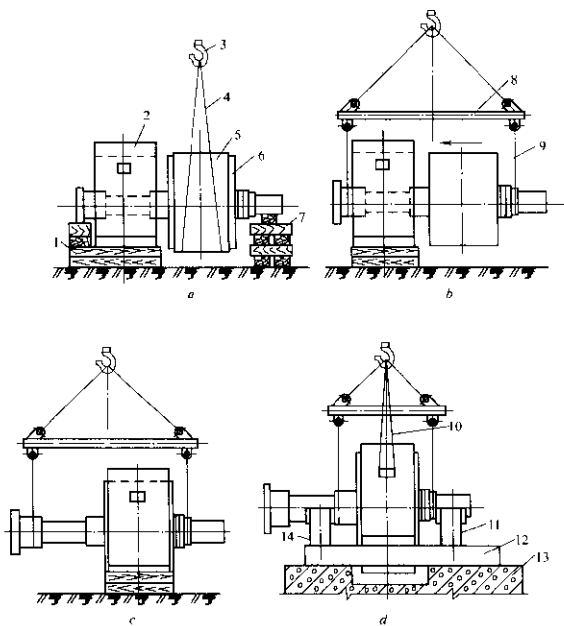


图 2-33 电动机穿心方法之一

1—枕木垛；2—定子；3—天车吊钩；4—吊索；5—橡胶运输带；6—转子；7—枕木垛；8—吊梁；9—吊索；10—定子吊索；11—后轴承座；12—底座；13—基础；14—前轴承座

(2) 在转子圆柱表面用橡胶运输带保护，将吊索吊在转子上，吊起转子并使其一端轴穿入定子孔中，用枕木垛将转子两端的轴支垫起，如图 2-33a 所示，卸下吊索和橡胶运输带。

(3) 用特制的吊梁和可调长度的吊索，吊挂转子轴的两端。如吊点在转子轴的精加工面处，应用工业毛毡保护轴颈，如图 2-33b 所示。

(4) 为防止转子外表面和定子内表面在穿心时被刮伤，可在定子内孔表面垫上半圆铜纸或薄橡胶石棉板，其厚度应远小于气隙的尺寸。调整吊索长度，使转子呈水平状态，调整

天车吊钩位置,使转子对准定子孔。然后,缓慢移动天车吊钩,把转子穿入定子中,如图 2-33c 所示。

(5)在定子吊耳上再挂两根吊索,并调节 4 根吊索的长度,使转子轻压在定子上,用 4 根吊索同时受力的方法吊起电动机,将定子放在底座上,转子轴颈放在轴承上。抽出橡胶石棉板,调整气隙。

在某大型矿山铜选厂中安装有 10 余台直径 $\phi 5.5\text{m}$ × 长度 8.5m 球磨机的大型电动机,其功率为 4100kW,和直径 $\phi 5\text{m}$ × 长度 6.4m 球磨机的大型电动机,其功率为 2625kW 的电机,均采用以上方法吊装穿心。吊装实践证明这种方法简便安全。

2. 方法之二

电动机的结构特点是:在整体式定子安在电动机底座上时,定子孔下部圆弧面在底座上平面以下,转子轴较短,底座上有支撑电机定子的位置,两转子轴承座与定子间距离较大。此种情况可在电动机底座上进行穿心操作。其步骤与方法如下:

(1)将定子用枕木支垫在底座上,其纵向和横向位置大致在就位后的正上方,高度达到定子孔下部圆弧面略高出底座上平面,如图 2-34a 所示。

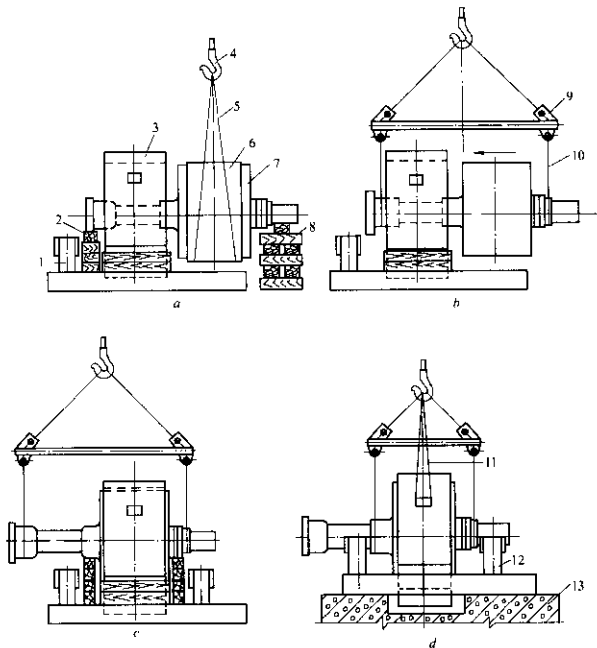


图 2-34 电动机穿心方法之二

- 1—前轴承座;2—枕木垛;3—定子;4—天车吊钩;5—吊索;6—橡胶板;7—转子;
8—枕木垛;9—吊梁;10—吊绳;11—定子吊索;12—后轴承座;13—基础

(2) 拆下后部轴承座。在转子圆柱外表面用橡胶运输带保护,将吊索吊在转子上,转子被吊起后其轴一端穿入定子孔中,并用枕木支垫在底座上,另一端支垫在地面上,如图 2-34a 所示。卸下吊索和橡胶运输带。

(3) 用特制的吊梁和可调长度的吊索,吊挂转子轴的两端,吊起转子,撤去支垫的枕木,如吊点设在轴颈处,应用工业毛毡保护轴颈,免受损伤,如图 2-34b 所示。

(4) 为防止定子内表面和转子外表面被刮伤,可在定子内孔表面垫上一层大半圆周的钢纸或薄橡胶石棉板,其厚度约等于气隙的一半。调整吊索长度,使转子呈水平状态,调整天车吊钩位置,使转子对准定子圆孔。而后,缓慢移动天车吊钩,把转子穿入定子中,如图 2-34c 所示。再次把转子用枕木支垫起。

(5) 装上后部轴承座,在定子吊耳上再挂两根吊索,并调节 4 根吊索的长度,用其共同受力的方法吊起电机转子和定子,撤掉支垫的枕木,落定子于底座上,落转子于轴承座上,抽出橡胶石棉板,调整电动机气隙,如图 2-34d 所示。

3. 方法之三

在采用以上两种方法穿心时,若转子轴较短,一端不能伸出定子以外,吊索无法挂上时,则需用临时接轴将轴接长,然后吊装,如图 2-35 所示。如转子半个联轴器尚未安装时,亦可用内径略大于转子轴外径的无缝钢管,套接在转子轴上,然后吊装,如图 2-35 中局部视图所示。

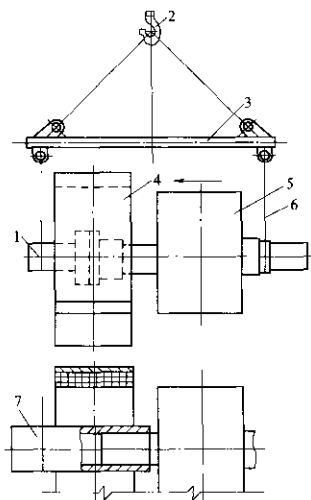


图 2-35 转子接轴穿心法

1—接轴;2—天车吊钩;3—吊梁;4—定子;5—转子;6—吊绳;7—钢管

4. 方法之四

利用定子移动进行穿心的方法和步骤如下:

- (1) 吊起定子, 将其落在木排和滚杠之上, 滚杠摆在枕木轨道上, 如图 2-36 所示。
- (2) 采取保护措施后, 用天车挂吊索将转子吊起并使其一端穿入定子孔中。用枕木将转子两端垫牢。
- (3) 用吊梁吊起转子的两端, 撤去支垫的枕木, 调整转子的高度和水平, 使之与定子孔对正。在定子上施以轴向推力, 定子落在木排上, 通过滚杠在枕木轨道上前移, 达到穿心的目的。

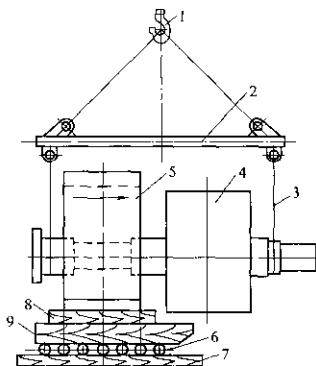


图 2-36 移动定子穿心方法

1—天车吊钩; 2—吊梁; 3—吊索; 4—转子; 5—定子; 6—滚杠; 7—枕木; 8—枕木; 9—木排

(4) 在电动机底座上装好两个轴承座, 再用两根吊索挂在定子吊耳上, 用 4 个吊点同时受力的方法吊起定子和转子, 然后落在电动机底座和轴承座上, 撤去吊具, 调整气隙。

5. 方法之五

电动机的结构特点是: 在整体式定子安装在电动机底座上时, 定子孔在底座以上, 电动机底座较长, 两轴承座间距离较大, 定子和转子可同时摆放其间。对这种结构的电动机穿心工作, 可在底座上, 用移动定子的方法去完成。其步骤和方法如下:

- (1) 用天车吊钩通过吊索挂在定子吊耳上, 吊起定子并放在靠近非传动侧轴承座附近, 如图 2-37a 所示。
- (2) 用吊索吊在用橡胶运输带保护表面的转子上, 吊起转子并将转子轴一端穿入定子孔中, 如图 2-37b 所示。使转子轴颈正对其下方的轴承座。
- (3) 安上传动侧轴承座, 并将转子落在两个轴承座上, 撤去吊索, 如图 2-37c 所示。
- (4) 用两个躺卧着的螺旋千斤顶在定子一个端面的两侧施予轴向推力, 则定子即可缓慢地逐渐套入转子之中, 达到安装位置后, 调整气隙。

6. 方法之六

大型发电机的结构特点是: 定子与转子之间的气隙小, 配合部位较长, 有外轴承座。其

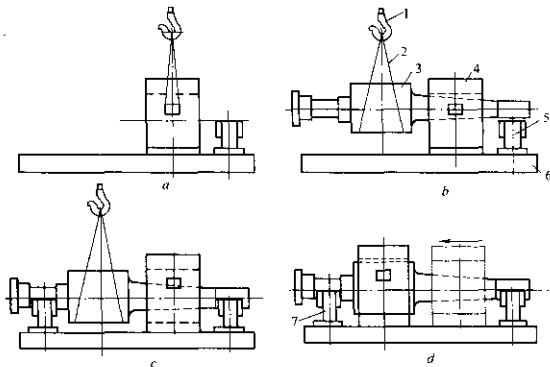


图 2-37 在底座上移动定子穿心法

1—天车吊钩；2—吊索；3—转子；4—定子；5—后侧轴承座；6—底座；7—前侧轴承座

穿心方法如图 2-38 所示。常用滑移法进行穿心作业，其作业步骤和方法如下：

(1) 在转子一端的联轴器上接装两段假轴 1 和 2，其目的是增加转子的长度。

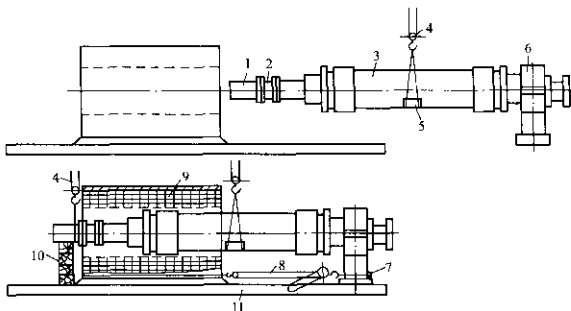


图 2-38 用滑移法穿心发电机转子

1—假轴 1；2—假轴 2；3—转子；4—天车吊钩；5—橡胶运输带；6—轴承座；7—横梁；

8—手拉葫芦；9—定子；10—枕木；11—底板

(2) 转子的另一端安装轴承座 6。

(3) 在转子底部，以橡胶运输带 5 保护转子表面，用天车吊钩挂吊索吊于转子重心处，平移转子并穿入定子孔中。

(4) 置轴承座 6 于底板 11 上，伸出定子外的假轴 1 支承在枕木 10 上。

(5) 移天车吊索于第一段假轴处。

(6) 在轴承座根部横担横梁 7，其两端用两个手拉葫芦牵引，轴承座则在底板上滑动，天车配合作，待第 2 段假轴露出后，移吊索于其上，继续穿心作业。

(7) 在转子联轴器露出定子后，移吊索于其上，最后以手拉葫芦牵引和天车配合作，完成穿心作业。

7. 方法之七

用专用工具进行穿心作业,是大型发电机常用的穿心方法之一,如图 2-39 所示,专用工具——圆弧钢板 *a*、滚动支撑 *b* 和专用小车 *c* 常由发电机制造厂家以专用工具方式提供。用滚动引进法进行穿心作业的方法和步骤如下:

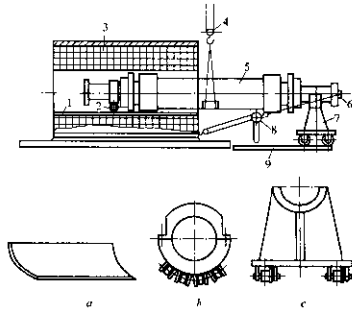


图 2-39 用滚动引进法穿心发电机转子示意图

1—圆弧钢板;2—滚动支撑;3—定子;4—天车吊钩;5—转子;6—横梁;7—专用小车;
8—手拉葫芦;9—钢轨

- (1) 连接滚动支撑于转子的一端,转子的另一端支承在可沿轨道前行的专用小车上。横担于转子端头的横梁 6 的两端各挂 1 个手拉葫芦。铺圆弧钢板于定子孔下部表面上。
- (2) 天车吊钩挂吊索吊于转子重心处。向定子引进转子,滚动支撑落在圆弧钢板上。
- (3) 撤掉天车吊索。
- (4) 同步收拉两个手拉葫芦,则转子在滚动支撑和专用小车的引导下逐渐引伸转子于定子孔中,至完成穿心作业为止。

第二节 自行式起重机及其应用

一、自行式起重机的类型和参数

(一) 类型

1. 汽车起重机

汽车起重机,又称汽车吊。大中型汽车起重机有两台发动机,1 台驱动各工作机构,1 台驱动行走机构,两个司机室分别操纵上车和下车。小型汽车起重机用汽车原有的发动机作动力。汽车起重机都有 4 个外伸式支腿,用以提高其工作时的稳定性。汽车起重机有机械传动和液压传动两种型式,大、中型汽车起重机多用液压传动,它有动作灵活迅速、起升平稳、操作轻便、伸缩臂可任意调节伸杆长度、节省操作时间等优点。汽车起重机行驶速度在 50km/h 以上,在中等级公路上可迅速转移到较远的作业现场。汽车起重机在吊装作业时伸出并垫好支腿,不能吊重移动车位。

桁架式臂架的汽车起重机的最大额定起重量已达 1000t,液压传动伸缩臂架式的可达 300t。主桁架臂加副臂的最大长度已达到 200m,伸缩臂的最大长度达 50 多米。

我国国产的汽车起重机其额定起重量为:5t、8t、10t、12t、16t、20t、25t、32t、40t、45t、50t、80t、125t等。引进的车型中有起重重量更大者。

2. 轮胎起重机

轮胎起重机,又称轮胎吊。起重作业部分安装在特别设计的轮胎底盘上,一般只有一个发动机和一个司机室,有4个外伸支腿。其特点是重心低,起吊作业平稳,既可支起支腿作业,又可在平坦地面上,用短臂杆,在吊重小于额定起重重量75%情况下,吊重缓慢行驶;并可回转360°作业。其空载行驶速度一般在30km/h以下,适合在比较固定的地点作业,应避免频繁远程调动。桁架式臂架的轮胎起重机,最大额定起重重量达500t。

我国国产的轮胎起重机其额定起重量为:1t、2t、3t、5t、8t、16t、20t、25t、40t等。引进的车型中,有起重重量更大者。

3. 履带起重机

履带起重机,又称坦克吊。早些年履带起重机是在单斗挖掘机上装设起重臂架而形成的,后来发展成专用履带起重机,其特点是:(1)履带因接地面积大而压强低,可在松软、泥泞和不其平坦的地面上行走。(2)稳定性好,不装外伸支腿。(3)在平坦和坚硬地面可在额定起重重量80%情况下,吊重缓慢行驶。(4)有的履带起重机可利用特备的液压伸缩装置增大两履带的间距,进一步增加其稳定性。(5)行驶速度低,一般小于4km/h;而且行走和转弯时要损坏路面,需较远转移作业场地时,应用平板车拖运。

履带起重机也在向全液压传动方向发展,最大额定起重重量达300t。

我国国产的履带起重机其额定起重量为:5t、10t、15t、25t、32t、40t、50t、140t、150t、300t、400t等,其中140t以上者为引进技术。

以上三种起重机部分车型的起重能力请见附录十五。

4. 铁路起重机

铁路起重机,又称铁道吊,是在铁路轨道上行驶的起重机。早年用蒸汽机驱动,现为内燃机驱动。一般都装有外伸支腿,以保证在臂杆与轨道呈垂直情况下进行吊装作业时的稳定性。其作业范围受铁路的局限,多用于沿铁路装卸作业,少用于吊装。其额定起重重量有15t、25t、45t、50t等数种。

5. 随车起重机

随车起重机,是安装在货运汽车上的一种臂架式起重机,用于为自身和其他货运汽车装卸货物。随车起重机由汽车发动机驱动,常采用液压传动,曲臂式机构,曲臂既能曲折,又可围绕转柱回转和俯仰。动作灵活。工作时放下支腿。此种起重机在设备吊装作业中很少应用,在小型设备和机器零部件出库时较常用。其额定起重重量有1t、1.4t、2t、3t、3.2t等几种。

(二) 参数

自行式起重机的主要性能参数有:

- (1) 起重重量;
- (2) 起升高度;
- (3) 回转半径;
- (4) 工作速度(起重速度、回转速度和走行速度);
- (5) 起重机自重;
- (6) 行驶时最小回转半径等。

二、吊装特点、要求和安全措施

(一)特点

- (1)用自行式起重机进行设备吊装作业系机械化施工,有很高的工作效率;
- (2)具有高度的灵活性,可自行进入车间内或行驶到整个施工现场的任何地方进行吊装作业;
- (3)起重量和起重高度可以很大,在一个停机点可以吊装很大区域的物件;
- (4)可采取各种辅助措施,增加其额定起重量,以扩展其使用功能;
- (5)在一定条件下,可使用双机抬吊或多机联合吊装的方法解决吊装难题;
- (6)轮胎起重机和履带起重机允许在一定的负荷下吊重行驶的性能,进一步扩展了其吊装的灵活性和使用功能;
- (7)稳定性小。这是因为自行起重机仅浮摆在地面上,不生根,又无扶绳。而其稳定性受负荷量、臂杆和吊物回转、地面耐压力、风力等的影响较大;
- (8)一般台班费用较高,如长期使用其经济上可能会失去合理性。

(二)吊装要求和安全技术措施

- (1)必须在起重机额定起重量、回转半径、允许作业角度等主要技术性能参数以内进行吊装作业;
- (2)装有外伸支腿的汽车吊,在没伸出并垫牢支腿前,严禁起杆、转杆和进行吊装作业;
- (3)如果支腿受力处地面耐压力低于规定要求,应采取垫枕木排、中厚钢板等措施增加承压面积;
- (4)在额定负荷吊装作业前应进行试吊,观察其稳定状态无异常后,方可进行吊装作业;
- (5)吊装作业时要使吊钩与被吊物重心在一条铅垂线上;
- (6)进行双机抬吊作业时,其吊重应小于两台吊车额定起重量之和的 75%,任一台吊车所负担的负荷不得超过其额定起重量的 80%;
- (7)双机抬吊要用平衡梁、平衡滑轮等措施,进行负荷的合理分配;
- (8)使用自制的吊具需绘制图纸,进行强度、刚度、稳定等计算,按有关工艺要求加工制作,并经荷载试验后方能使用;
- (9)起吊作业时,一般不允许同时操作两个动作,尤其在满负荷或接近满负荷的情况下严禁同时操作两个动作;
- (10)重物提升时速度应均匀平稳,落下时应低速轻放,不得忽快忽慢或突然制动;
- (11)吊着重物行走或回转时,速度应均匀平稳,不得突然制动或在没有停稳前作反向行走或回转,不得在斜坡上吊着重物回转;
- (12)当风力达到 5 级时,不得露天进行迎风面大或重量接近额定负荷的起重工作。当风力达到 6 级以上时,不得在露天进行起重工作;
- (13)遇有大雪,夜间照明不足,指挥人员看不清工作地点,或操作人员看不到指挥人员时,不得进行起重工作。

三、起升高度和工作幅度的计算

用自行式起重机吊装设备时,需计算起升高度、起重臂长度和角度、工作幅度等,其方法如下:如图 2-40a 和 b 所示。起升高度系指吊车吊钩的升起高度,以 H 表示:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (2-3)$$

- 式中 h_1 ——设备高度；
 h_2 ——吊索高度；
 h_3 ——吊装余裕高度(设备底面到地脚螺栓顶面的距离,一般可取 200mm 左右)；
 h_4 ——设备基础高度(如为预埋地脚螺栓应是其顶面与地面之间的距离)。

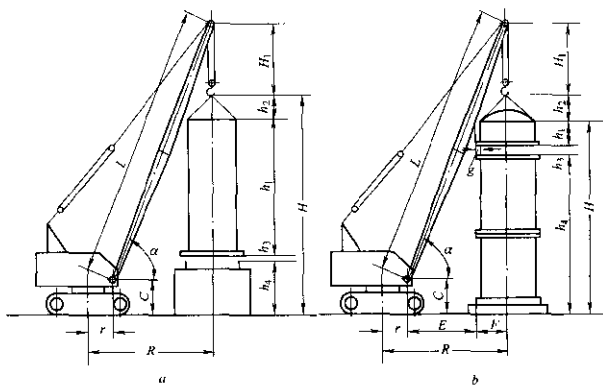


图 2-40 起升高度和工作幅度计算方法简图

吊车在起重臂长度为 L , 其仰角为 α 的工况下, 其吊钩极限起升高度为 H'

$$H' = L \sin \alpha + C - H_1 \quad (2-4)$$

- 式中 L ——起重臂长度；
 α ——起重臂仰角；
 C ——起重臂根铰距地面距离；
 H_1 ——滑轮中心距吊钩底面允许的最小距离。

工作幅度是指吊车旋转轴至吊钩间的垂距, 以 R 表示:

$$R = r + E + F \quad (2-5)$$

- 式中 r ——旋转轴心至起重臂根铰间距离；
 F ——设备中心至其边缘的距离；
 E ——起重臂根铰至设备边缘的距离；
 $E = g + (H - C) \cot \alpha$
 其中 g ——起重臂与设备边缘之间应留有的距离, 视具体情况而定, 一般应为 0.5m 左右；
 H ——吊装时地面距设备顶端的距离；
 C ——起重臂根铰距地面距离；
 α ——起重臂仰角。

四、稳定性的类别及其计算

用自行式起重机吊装设备时, 是受其整体稳定性限制的, 如果出现倾覆力矩超出稳定力

矩的情况,起重机必然会丧失稳定而倾翻。稳定力矩的大小取决于起重机和配重的质量及其分布尺寸。而倾覆力矩则和吊重、臂杆质量、风载、惯性力、离心力、地面坡度、工作幅度等有关。通常把稳定力矩和倾覆力矩之比值称为稳定系数,以其大小衡量起重机的稳定程度。

$$K(\text{稳定系数}) = \frac{M_{\text{稳}}}{M_{\text{倾}}} \quad (2-6)$$

(一) 起重机稳定性的类别

通常按以下一些状态分析起重机的稳定性:

(1) 行驶状态的稳定性。此种稳定性受道路坡度、道路弯度、风力、起重机行驶速度等因素的影响;

(2) 自重状态的稳定性。在非工作状态时,它由起重机自重、风载、地面坡度决定,其稳定系数应大于 1.15,即:

$$K_{\text{自}} = \frac{M_{\text{自}}}{M_{\text{风}}} \geq 1.15 \quad (2-7)$$

式中 $M_{\text{自}}$ ——在允许的坡度内,起重机自身的稳定力矩;

$M_{\text{风}}$ ——风力和风力作用点的乘积。

(3) 工作于静止状态的稳定性。它是在载荷和自身重力作用下的稳定性。其稳定系数应大于 1.4,即:

$$K_{\text{静}} = \frac{M_{\text{静}}}{M_{\text{倾}}} \geq 1.4 \quad (2-8)$$

(4) 工作于运动状态的稳定性。它是在吊重并运动状态下的稳定性。此种稳定性除受载荷和起重机自身重量为主要因素影响以外,还应考虑风载、惯性力、离心力、地面坡度等对起重机稳定性的影响,其稳定系数应大于 1.15,即:

$$K_{\text{动}} = \frac{M_{\text{动}}}{M_{\text{倾}}} \geq 1.15 \quad (2-9)$$

式中 $M_{\text{动}}$ ——在一定的载荷、风荷、速度、加速度、坡度时的动稳定力矩;

$M_{\text{倾}}$ ——起重机吊重和起重臂重量与其至起重侧两支腿连线间距离乘积之和。

(二) 汽车吊、轮胎吊和履带吊稳定性计算的差异

如均以起重机动臂垂直于同侧两支腿连线(汽车吊、轮胎吊)或履带吊(坦克吊)的情况分析其稳定性时。汽车吊和轮胎吊由 4 个支腿着地点形成一个保持其稳定的平面,其支腿可简化成通过其中心的 4 个受力点,用与起重臂同侧的两支腿中心的连线为计算力矩的基准,见图 2-41 中的 A 线。而履带吊是由两条具有相当宽度和长度的履带以平面的形式压于地面上的,因此,其整体稳定性优于汽车吊和轮胎吊。故选择与起重臂同侧履带的外边缘线为计算力矩的基准,见图 2-42 中的 A 直线。

(三) 汽车吊、轮胎吊静稳定状态的计算

汽车吊和轮胎吊在其动臂垂直于同侧两支腿中心连线(侧向)的静作业状态下,其稳定性的计算如图 2-41 所示。稳定系数等于上车、下车、配重重量对 A 线的各力矩和与吊物吊钩重量、动臂重量对 A 线的各力矩和之商:

$$K_{\text{静}} = \frac{M_{\text{静}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{G_3(l_2 + l_3) + G_2 l_2 + G_4(l_2 + l_4)}{(Q + G)(R - l_2) + G_1(l_1 - l_2)} \geq 1.4 \quad (2-10)$$

式中 $Q + G$ ——吊物和吊钩重量, kN;

G_1 ——起重臂重量, kN;

G_2 ——下车重量, kN;

G_3 ——上车重量, kN;

G_4 ——配重重量, kN;

R ——工作幅度, m;

l_1 ——起重臂重心至回转轴中心的距离, m;

l_2 ——支腿至回转中心的距离, m;

l_3 ——上车重心至回转轴中心的距离, m;

l_4 ——配重重心至回转轴中心的距离, m。

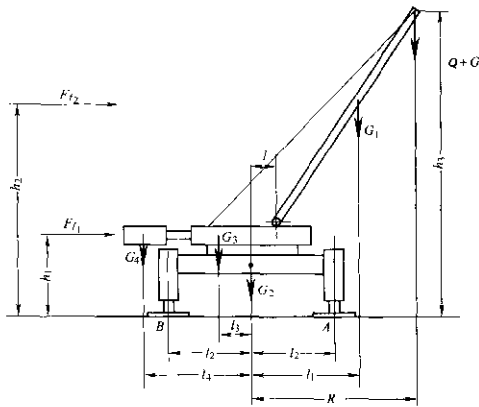


图 2-41 静态稳定计算图

(四)履带吊静稳定状态的计算

履带吊在其动臂垂直于同侧履带的静作业状态下,其稳定性的计算如图 2-42 所示。稳定系数等于上车、下车、配重重量对履带外缘 A 边力矩之和与吊物吊钩重量、动臂重量对同一 A 边力矩之商:

$$K_{\text{静}} = \frac{M_{\text{静}}}{M_{\text{倾}}} = \frac{G_2(l_2 + \frac{n}{2}) + G_3(l_2 + l_3 + \frac{n}{2}) + G_4(l_4 + l_2 + \frac{n}{2})}{(Q + G)(R - l_2 - \frac{n}{2}) + G_1(l_1 - l_2 - \frac{n}{2})} \geq 1.4 \quad (2-11)$$

式中 $Q + G$ 、 G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_4 、 R 、 l_1 、 l_3 、 l_4 代表的意义与式(2-10)相同;

- l_2 ——履带宽度中心至回转轴中心的距离；
 n ——每侧履带的宽度。

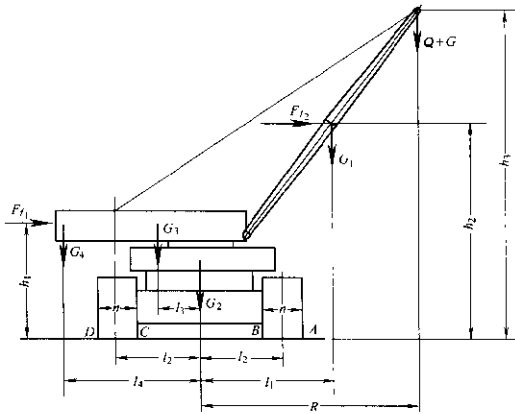


图 2-42 履带吊静态稳定计算图

(五)关于吊车起重臂在不同方位时的稳定性

上述对吊车稳定性的计算是基于起重臂在侧向方位进行的。其实，起重臂处于不同方位时吊车的稳定程度是不一样的，其差异大小与吊车种类、吊车的设计参数等有关。一般情况是起重臂在后方（以下车前进方向为前方）稳定性最好，在侧向居中，在前方最差。其差额大小，因车而异，小者可差 10%~20%，大者可到 30% 多，有的汽车吊规定不许吊重转向前方，甚至在前方某个区域内禁止使用。

在吊车性能表中给出的某工作幅度下的额定起重量，均是确保吊车稳定并有一定安全裕度下给出的。

如 LT1080，起重量 80t 的全液压汽车起重机的性能表中有“表中额定起重量不超过倾翻载荷的 75% 或 85%”；“75% 的倾翻载荷考虑了 7 级风即风压为 125N/m² 允许达 7 级风时起重机仍可作业”等说明。

KH700-2 型起重量 150t 的液压履带起重机的性能表中有“其额定总起重量是在倾翻载荷的 78% 之内，及移动式起重机所规定的前方稳定度在 1.15 以上”的说明。

五、起重机加辅助装置吊装设备

利用自行式起重机吊装设备无疑是较理想的吊装方法，但往往会受其起重能力不够的限制而不能使用。众所周知，不管或大或小的自行式起重机的起重能力，均受其工作稳定性的制约，基于这一事实，我国的建设者们在工作实践中，在探索和寻求一些提高自行式起重机起重能力的方法和措施。如适当增设一些辅助装置，以增加起重机的稳定性，就能在原额定起重量的基础上，显著地提高其吊装能力。诸如在起重臂杆上加缆风绳、加支柱、加支腿、加大配重、在两台起重机起重臂杆上加横梁等都是简单易行而有效的措施，如图 2-43 所示。

也应看到,在增设了辅助装置以后,改变了原起重机的稳定状况,有的还组成了新的稳定系统,其力系平衡关系发生了变化。因此,应通过核算去求得能提高起重能力的额度,以保证起重机各部件的计算应力值在许用范围以内。

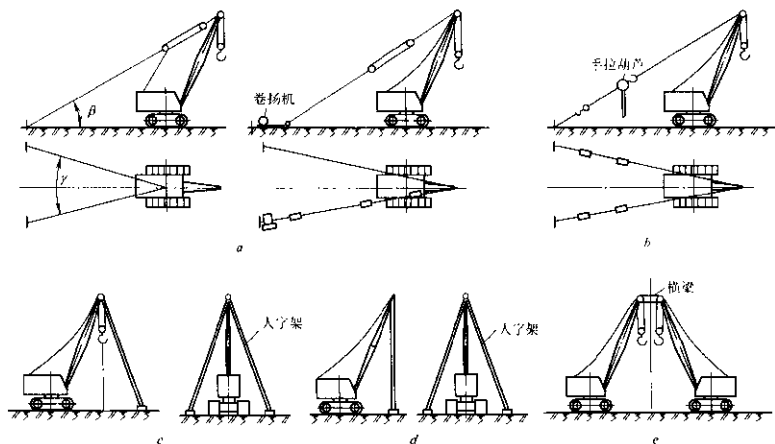


图 2-43 起重机加辅助装置示意图

a、b——起重臂杆上加缆风绳法；c——加支腿法；d——加支柱法；e——两臂杆间加横梁法

(一)起重臂杆上加缆风绳吊装(图 2-43 a、b)

在起重臂杆顶加缆风绳代替变幅滑车组,缆风绳拴系于远离起重机的锚碇上,缆风绳与地面间的夹角远小于变幅滑车组与地面间的夹角,因而起重臂杆上的受力也大为减少,故而能提高起重机的起重能力。另外,在加上缆风绳以后,起重臂类似斜立桅杆,主要由缆风绳承受倾覆力,从而增加了起重机的稳定性。加缆风绳以后,起重臂杆受力变化情况如图 2-44 所示,即因 $\alpha_1 > \beta$, 则 $N_0 > N$ 。

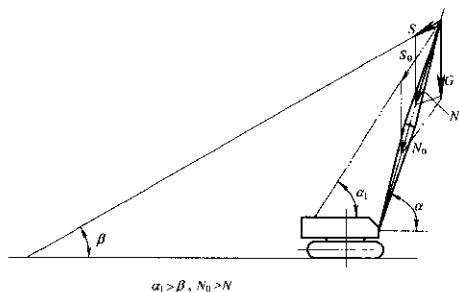


图 2-44 加缆风绳后臂杆受力变化简图

依据被吊设备的情况和吊装工艺方法的要求,加缆风绳法有3种具体方法。

1. 固定起重臂杆吊装方法(图2-43b)

此种方法简单可靠,用缆风绳代替变幅滑车,缆风绳系结于锚碇上,在吊装中起重臂杆不变幅,亦不转杆,宛如斜立桅杆。应注意使起重臂杆处于两根缆风绳平分线的吊装平面内。还需将起重机的回转系统和走行系统均制动锁住。

起重臂杆受力 N 和缆风绳受力 S 可用式(2-12)和式(2-13)求得:

$$S = \frac{G \cos \alpha}{2 \sin(\alpha - \beta) \cos \frac{\gamma}{2}} \quad (2-12)$$

$$N = \frac{1.1 G \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta_1)} \quad (2-13)$$

式中 S ——缆风绳的拉力, N;

N ——作用于起重臂杆上的外力, N;

α ——起重臂杆的倾角, (°);

G ——设备计算载荷, N;

β_1 ——缆风绳在通过臂杆立面上的投影角, (°);

$$\beta_1 = \sin^{-1} \frac{\sin \beta}{\cos \frac{\gamma}{2}}$$

β ——缆风绳与地面夹角, (°);

γ ——左右两根缆风绳的平面夹角, (°)。

2. 活动起重臂杆吊装方法(图2-43a)

用此种方法是在起重臂杆通过变幅滑车组和平衡装置拉挂缆风绳以后,起重臂杆尚能在一定范围变幅,并可在一定角度内转杆。由于加挂了缆风绳,在进行变幅和转杆操作时,应精心谨慎。切不可大幅度变幅和超越缆风绳夹角范围转杆。

用缆风绳后起重臂杆的变幅有两种方法:

(1)用卷扬机牵引,通过平衡装置变幅,如图2-45a,此种方法,起重臂杆和缆风绳上的作用力可用式(2-13)和式(2-12)求得。

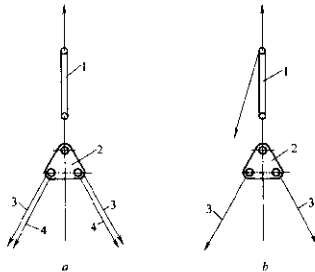


图2-45 加缆风绳连接方式示意图

1—变幅滑车组;2—平衡连板;3—缆风绳(去地锚);4—缆风绳(去卷扬机)

(2)用變幅滑車組,以起重機上的變幅卷揚機進行操作,如圖 2-45b。

此種方法應計算附加在變幅滑車組上的力,可按下式計算:

$$T = \frac{G \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta_1)} \quad (2-14)$$

在最大伸距和最大回轉角時,變幅滑車組上的力與纜風繩的拉力值應相等,即 $T = S$, 用式(2-14)計算。

臂杆上的受力值按式(2-15)計算:

$$N = \frac{1.1 G \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta_1)} \quad (2-15)$$

為避免在較大變幅時,使起重機在纜風繩水平分力作用下向纜風繩錨碇方向位移,應在反方向設置錨碇拉住起重機,用以平衡纜風繩的水平分力。

(二)起重臂杆加立柱吊裝設備(圖 2-43c、d)

在單台或兩台起重機臂杆旁均可加立柱,進行臂杆和立柱聯合吊裝。用一台起重機時立柱傾角應同臂杆傾角大致相等,頂部連在一起組成人字架,此時起重機臂杆上受力僅為載荷的一半,其壓应力可減少 2/3 ~ 3/4。可允許起重機額定負荷或微超額定起重重量吊裝。

此時起重臂杆和立柱內所受的力可按式(2-16)和式(2-17)計算,即:

$$N = \frac{G \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (2-16)$$

$$S = \frac{G \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (2-17)$$

式中 α ——臂杆與起重滑車組軸線間的夾角, (°);

β ——立柱與起重滑車組軸線間的夾角, (°)。

用兩台起重機並加立柱進行聯合吊裝時,其外載荷整個由立柱承擔,起重臂杆像纜風繩而承受拉力,此種情況,起重臂杆和立柱上所受的力,可按式(2-18)和式(2-19)計算:

$$N = \frac{G \tan \beta}{2 \sin \alpha} \quad (2-18)$$

$$S = \frac{G \sin(\alpha + \beta)}{2 \cos \beta \sin \alpha} \quad (2-19)$$

式中 N ——起重臂杆上的拉力, N;

S ——立柱上的壓力, N;

β ——立柱與起重滑車組間的夾角, (°);

α ——臂杆與立柱間的夾角, (°)。

(三)兩台起重機臂杆用橫梁連接吊裝設備(圖 2-43e)

兩台起重機臂杆用特制橫梁連接後,放松變幅滑車組,當吊重時所產生的傾覆力矩在橫梁內平衡。因形成穩定系統,故可以增大兩台起重機的總起重能力。

因橫梁與兩臂杆組成了鉸鏈式的四連杆機構,在放松變幅滑車組的條件下,當其負載後,四連杆機構會自行變化,達到平衡,可保證被吊設備在垂直平面內始終保持水平,此特點可實現設備順利就位。

施於起重臂杆和橫梁上的作用力可用式(2-20)和式(2-21)進行計算:

$$N = \frac{Gl}{2} \sqrt{\frac{1}{l^2 - a^2}} \quad (2-20)$$

$$S = \frac{Ga}{2} \sqrt{\frac{1}{l^2 - a^2}} \quad (2-21)$$

式中 N ——起重臂杆上所受的力, N;
 S ——横梁上所受的力, N;
 l ——臂杆长度, m;
 a ——臂杆距回转中心线的伸距, m。

此方法用于吊装载荷超过两台起重机吊装能力的总和,且基础高度低于 3m 的双机抬吊中。因系超额定起重重量吊装,故需用有较多滑轮的滑车组,替代原吊钩的滑车组,以减小出绳端的牵引力,这样才仍能使使用起重机的卷扬机吊装。一般横梁铰接于起重臂杆端头的孔中。用此种方法抬吊设备时,应使两台起重机的中心线和基础中心线重合。并将两台起重机的回转机构锁死,以防其发生转动。如两台起重机中有一台有鹅头式臂杆,则拆装横梁会更加方便。

(四)加宽履带、采用支腿的方法

从对履带式起重机倾覆力矩的计算中得知,只要采取措施加大履带外边缘对起重机中心的尺寸,即可增大起重机的稳定性,也就提高了起重机的起重能力。因此,履带起重机既可以采用加宽和加长履带的方法,又可以采用增加机械式或液压式支腿的方法,以提高其起重能力。

(五)增加配重或后移配重的方法

增加配重或后移配重后,会增加起重机的稳定力矩,也就等于增加了起重能力。此种方法较简单,容易实现,但增加量要适度,一般应限制稳定力矩增加 20% 左右为宜,这样仍可保证整机的安全性能,因为起重机的额定起重重量约等于倾覆载荷的 80% 左右。在起重机因增加配重而增加其起重重量以后,其受力部件的应力值,仍应在设计计算应力值之内。

(六)将起重机改成人字臂架平衡起重装置

用两个动臂及附加配重构成人字臂架的平衡式起重机,如图 2-46 所示。此种改装方法适用于履带式起重机、带格构式臂杆的汽车式起重机和轮胎式起重机。图 2-46 中的实线是 CC-1200 履带式起重机改成人字臂架后的性能,虚线是原机性能。由图可见,前者的起重力矩约为后者的两倍。这是由于增大了主臂与吊臂钢丝绳间的夹角,减小了主臂的

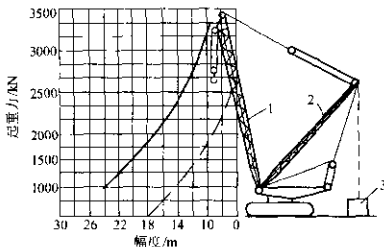


图 2-46 人字臂架平衡起重装置图
 实线—人字臂架平衡起重装置;虚线—普通起重装置
 1—主臂;2—添加臂;3—附加配重

受力,从而可提高起重能力。此优点体现在小幅度时,因动臂在小幅度时的承载能力对起重量起决定性作用。但在较大幅度时,稳定性对于起重量起决定性作用,可用附加配重来提高稳定力矩。

附加配重用钢丝绳直接挂在添加臂的端部。吊重未提升前,配重放在地上,吊重被吊起以后,用提升添加臂方法提起附加配重,使整个系统可以回转。此种装置因尾部回转半径较大,需有较宽阔的吊装作业场地。另外,对司机的操作技术要求较高。

(七) 支撑圈起重装置

由于利用上述人字臂架平衡起重装置提高起重量,仍会受到其自身结构强度和刚度的限制。国外曾采用一种支撑圈装置,用其与入字臂架装置配合使用,如图 2-47 所示,在起重机外圈设置一个环形轨道。在起重机转盘前方铰接一个辅助转台,并用车轮支承在轨道上,主臂和添加臂均装在辅助转台上,因此两臂的受力通过支撑圈传递于基础,为转台支承转盘和下部结构卸载。

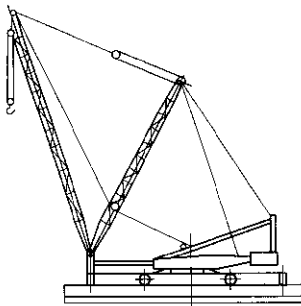


图 2-47 支撑圈起重装置示意图

以上对大型起重机械进行全面改装的方法,会大幅度地提高其起重能力,但也会耗用较多的资金。因此,此方法仅适用于巨型设备的吊装工作。采用前应同调用或租赁大型起重机械相比较,改装方案可能会有一定的经济合理性。

六、吊装实例

以高炉及热风炉吊装为例。

随着我国钢铁事业的大发展,炼铁高炉的容积也由建国初期的数百立方米,相继发展成 1386m^3 、 1513m^3 、 2500m^3 等规格,近年在我国宝钢成功地建成了 4063m^3 和 4350m^3 的巨型高炉,开创了我国高炉建设的新篇章。高炉的吊装方法也由早期用桅杆吊装,发展成全机械化的自行式起重机吊装。

中型以上的高炉和热风炉均为庞然大物,其净高由数十米到 120m。一般均用大型自行式起重机分段正装,处于炉顶高处的下降管还常常需用两台吊车抬吊。

(一) 大型钢铁厂容积 1350m^3 高炉系统机械化吊装

1. 高炉结构概况

高炉炉壳由 21 带钢板组焊成,钢板厚度在 32~56mm 之间。炉壳上有风口 20 个,铁口 2 个,渣口 1 个。高炉炉缸直径 8.4m,炉腰直径 9.6m,炉喉直径 6.4m。高炉炉底板标高 5.6m,炉口标高 38.72m,下降管中心标高 72.5m。

2. 高炉本体钢结构安装(图 2-48)

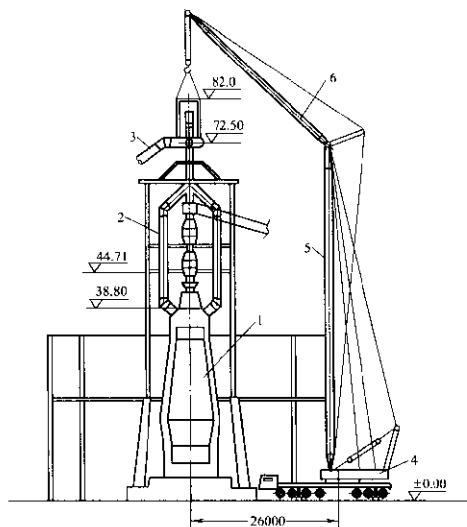


图 2-48 高炉本体钢结构吊装示意图

1—高炉本体;2—上升管;3—下降管;4—300t 汽车吊;5—吊车主杆长 60m;6—吊车副杆长 42m

在高炉基础东侧(180°侧)设立一台起重量为 300t 的 TC-2000 型汽车吊(工作半径 26m),用于安装高炉本体钢结构,先接主杆 66m,吊装标高 44.71m 炉顶平台以下结构。再将吊车改为塔式吊,接主杆 60m,副杆 42m,吊装标高 44.71m 以上的炉顶结构,选用两台 CH500 履带吊配合地面组装。高炉炉壳每一环带为一吊装单元,炉头为一单元,在地面组装后整体吊装。炉身框架、炉顶钢架及上升管,采取在 90°和 270°两侧分段分片组装后安装。

3. 渣口、风口装置及冷却壁、支梁式冷却箱的安装(图 2-49)

炉壳安装至高 34.8m 炉喉时,安装暂停,在炉内设置一专用吊盘,吊盘用 $\phi 15.5\text{mm}$ 钢丝绳分 6 处挂在炉壳上,并可升降,用它进行渣口、风口法兰安装和冷却壁及支梁式冷却箱法兰安装。用挂滑车组由 JM5 卷扬机牵引的方法安装渣口、风口装置和支梁式冷却箱。在北侧风口平台上设置一台 CH500 履带吊,接主杆 31m,副杆 6m,往炉壳内吊送冷却壁,再由 300t 吊接过吊装就位。

4. 重力除尘器钢结构吊装

重力除尘器内、外壳在地面组装成筒体单元后再吊装。由于壳体的环梁支座与第 6~7

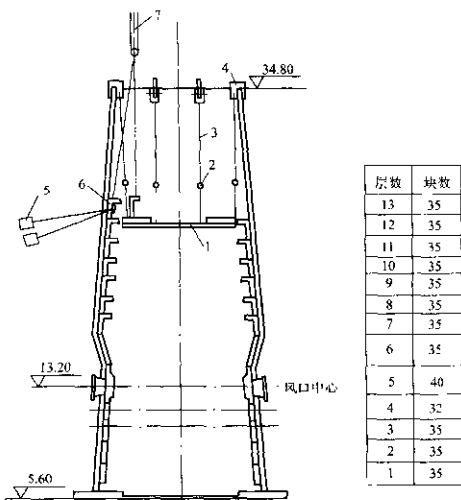


图 2-49 冷却壁安装示意图

1—吊盘;2—手拉葫芦;3— $\phi 15.5$ 钢丝绳;4—挂钩;5—手扳葫芦;6—冷却壁块;7—吊车

带壳板组合后质量很大,故采用 1495-3A 履带吊与 CH500 履带吊双机抬吊。其余采用 1495-3A 履带吊单机吊装,主杆接长 39.62~51.83m,吊装标高在 43m 以下的结构。除尘器顶部的煤气遮断阀起落架采用整体吊装。

5. 下降管吊装(图 2-50)

下降管在地面组成整体,用 TC-2000 汽车吊与 1495-3A 履带吊双机抬吊。

6. 热风炉吊装(图 2-51)

4 座相同规格的热风炉,由 16~40mm 厚钢板分 30 个带板组焊而成。热风炉炉顶标高为 40.6m,总质量 258t。在地面上铺设 4 个组装平台,用两台起重量 50t 的 CH500 履带吊配合组装。每座热风炉组装成 11 个筒体吊装单元。吊装标高在 20.946m 以下的结构用起重量 100t 的 1495-3A 型履带吊,吊装标高在 20.946m 以上的改用起重量为 150t 的 CCH1500E 型履带吊。

(二)高炉改造工程机械化吊装

我国某钢铁公司曾对老厂进行了全面的、大规模的技术改造、更新换代,产量递增,取得了很好的效果。炼铁厂的 4 座高炉历经数年的大修改造,均已建成容积为 2500m³ 的现代化大型高炉。

在高炉大修改造中,充分发挥了机械化吊装的高效率而取得了高速度。在停炉改造施工中,在暂短的 55 天里,不仅完成了 900t 高炉围板,450t 平台钢梁,3050t 出铁场钢罩棚及工作走廊,550t 钢环形吊轨梁,2000t 标准及非标准设备,6300m 工艺管道等的安装工程,而

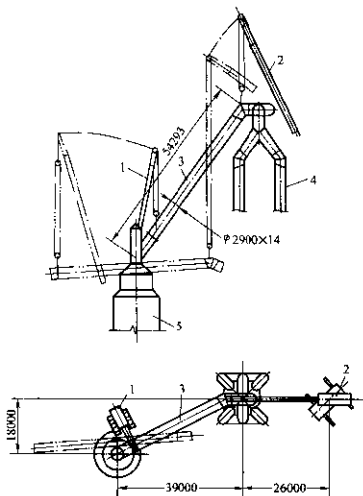


图 2-50 下降管吊装示意图

1—100t 履带吊, $R = 10\text{m}$; 2—300t 汽车吊, 主臂长 60m, 副臂长 42m; 3—下降管;
4—上升管; 5—重力除尘器

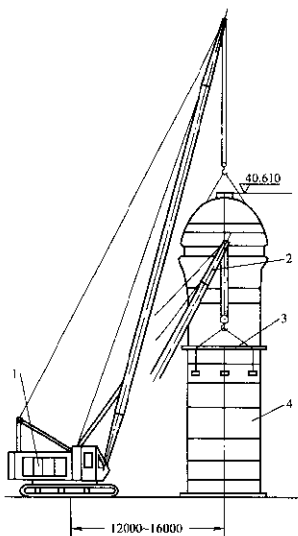


图 2-51 热风炉吊装示意图

1—150t 履带吊; 2—100t 履带吊; 3—吊梁; 4—热风炉

钩数	钩质量 /t	板厚 /mm	带数
11	31.2	28	3
10	27.9	30 28 40	3
9	32.5	40	1
8	30.9	40 30 16 20	5
7	28.0	36	3
6	13.4	20	2
5	17.7	20.10	3
4	17.1	16	3
2	15.8	10.20	3
2	15.2	32	1
1	28.2	32	3

且完成了大量的拆除任务。在实际施工中采用了 14 台起重吊装机械。

1. 起重吊装机械的配备

起重吊装机械的布局与配备如图 2-52、图 2-53 和表 2-2 所示。共配备履带吊 6 台、汽车吊 4 台、轮胎吊 1 台、塔吊 3 台,共 14 台,其中起重重量百吨以上的有 5 台。

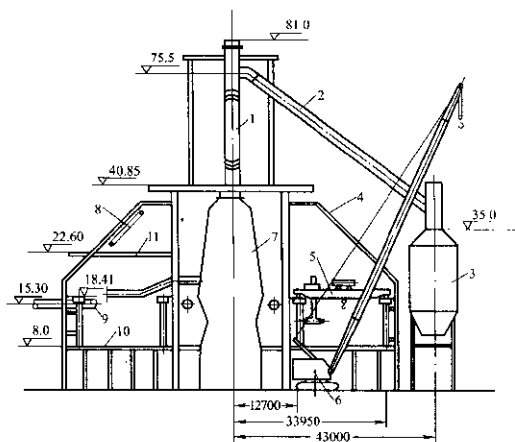


图 2-52 出铁场、除尘器工程示意图

1—上升管;2—下降管;3—重力除尘器;4—罩棚;5—环形吊;6—4100WS₁履带吊;7—高炉;8—给水管;
9—热风总管;10—环形出铁场;11—喷煤平台

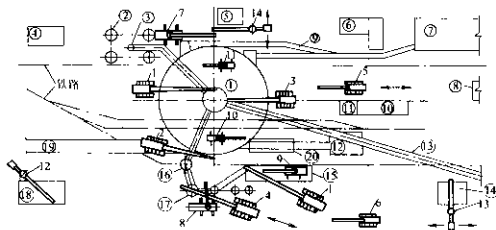


图 2-53 二高炉改造吊车布局示意图

①—高炉及出铁场;②—热风炉;③—热风管;④—热风炉控制楼;⑤—喷煤塔;⑥—变电所;⑦—冲渣池;⑧—冲渣泵房;⑨—冲渣沟;⑩—除尘风机房;⑪—综合楼;⑫—除尘器及除尘总管;⑬—上料皮带廊;⑭—除尘泵房;⑮—干法除尘;⑯—重力除尘器下降管;⑰—湿法洗气;⑱—软化水泵站;⑲—公路引桥;⑳—高炉主控室;1—4100WS₁履带吊;2—7707履带吊;3—LS248履带吊;4—7150履带吊;5—W1001履带吊;6—KU1206B履带吊;7—NK1200汽车吊;8—NK800汽车吊;9—TC500F汽车吊;10—QY20汽车吊;11—QLY25轮胎吊;12—TQ80A塔吊;13—11-16塔吊;14—TQ20/S塔吊

表 2-2 起重吊装机械配备及其吊装部位

起重机械	台数	吊装部位
4100WS ₃ 履带吊, 181 (272)t, 加环梁最长吊杆 91.4m, 76m 杆	1	南出铁场罩棚拆安, 炉顶上升管、四通管拆安, 炉顶检修吊车梁接长, 炉顶环梁、环形吊轨梁安装, 炉顶工艺配管及各层钢平台安装, 下降管抬吊, 洗气煤气管吊装 最大吊高 81m, 工作半径 57.9m 用于干法除尘器(质量 33t, 工作半径 39m, 吊装高度 35m)的 9 个罐体及工艺配管吊装, 旧除尘管拆除
67.1m 杆		用于高炉炉体 6 个组合段共 872t 及设备 1655t 吊装
7707 履带吊, 272t, 70.1m 吊杆	1	重力除尘器 7 个组合件吊装, 下降管及旧重力除尘器拆除; 新下降管抬吊(与 4100WS ₃ 抬吊), 东部出铁场罩棚吊装
LS248 履带吊, 150t, 杆 45m	1	北出铁场罩棚钢结构安装。租赁
7150 履带吊, 150t, 杆 71m	1	北出铁场罩棚拆除, 高炉停产转入洗气工段拆装洗气设备, 后又转北出铁场罩棚, 环形吊轨梁吊装, 60m 排气筒安装
KU1206B 履带吊, 15t	1	配合洗气塔塔体现场拼装
W1001 履带吊, 15t	2	北出铁场罩棚屋架现场拼装、洗气污水处理加药间预制混凝土结构吊装
TQ2015 塔吊, 20t	1	用于新喷煤塔结构吊装, 设备、工艺管道安装, 高 60m 排气筒吊装
TQ80A 塔吊, 10t	1	用于软水系统上部空冷器设备结构安装
II-16 塔吊, 2t	2	高压水泵站配电室改造; 干法除尘及洗气泵站
NK1200 汽车吊, 120t	1	喷煤罐、贮煤罐安装及除尘器管道安装, 出铁场罩棚拆除等零星配合
NK800 汽车吊, 80t	1	洗气系统工艺配管安装
TG500E 汽车吊, 50t	2	干法除尘器钢结构框架平台吊装, 炉台摆动溜槽、液压泥炮吊装
QLY-25 轮胎吊, 25t	1	8m 出铁场钢梁安装
QY-20 汽车吊, 20t	1	8m 出铁场钢梁安装

2. 主要技术措施

(1) 充分利用起重机械的最大能力, 如将高炉围板由 7 个改为 6 个单元, 使最重吊装单元达 155t, 从而充分利用了 4100WS₃ 型履带吊的能力。仅减少一钩就缩短了两天工期。

(2) 在 76m 高炉炉顶部位安装四通管时, 因重心偏离中心位置, 故采取附加平衡配重使之顺利吊装就位。

(3) 长达 44m, 质量有 74t 的炉顶煤气下降总管, 呈 44° 倾角与出铁场外 39m 高的重力除尘器相连接, 其吊装难度很大。选用 4100WS₃ 和 7707 两台履带吊抬吊方案, 制定了周密的技术作业方案, 并作了技术交底。在吊装作业中选准吊点, 两吊车提升与转杆协调配合, 仅用 4h 就顺利吊装就位。

(4) 由于出铁场条件限制, 作业须要上述两台大型坦克吊站位相距仅 25m, 由于及时规定了两台吊车的回转、变幅作业协调指挥和监护工作要点, 从而确保了两台吊车不会发生相撞事故。

(5) 在高炉改造过程中, 共编制、审批、执行了 20 项 41 件吊装方案, 保证了吊装安全和高速度。

(6) 加强大型吊装机械进场前的检查、保养和检修, 以确保机械的正常完好状态, 以适应连续作业的需要。

第三节 桅杆及其应用

桅杆别称抱杆或扒杆,是用得比较广泛的一种简单起重机具,须与卷扬机(或绞磨)、滑车组、导向滑车、缆风绳、牵引绳、地锚等构成一个完整的吊装和稳定系统,担负起重吊装工作。按桅杆的腿数及构成方式的不同可分成单桅杆、人字(或A形)桅杆、门式桅杆、系缆式桅杆、三叉杆(俗称三木搭)等。按桅杆的材质和横断面形状又可分为木质桅杆和钢质桅杆以及圆钢管式和格构式桅杆等。

由于桅杆有结构简单、容易制作、拆装方便、起重能力大、对作业场地适应性强等特点,因此,广泛用于设备吊装中。而移动较困难,灵活性较差,须设置缆风绳和地锚等为其不足。

一、单桅杆

(一)桅杆的组成及结构形式(图 2-54)

桅杆由桅杆本体(头部节、中间节、尾部节)、底座和缆风绳帽三部分组成。本体有格构式结构和钢管两种,而底座和缆风绳帽,其结构可繁可简有多种不同的形式。

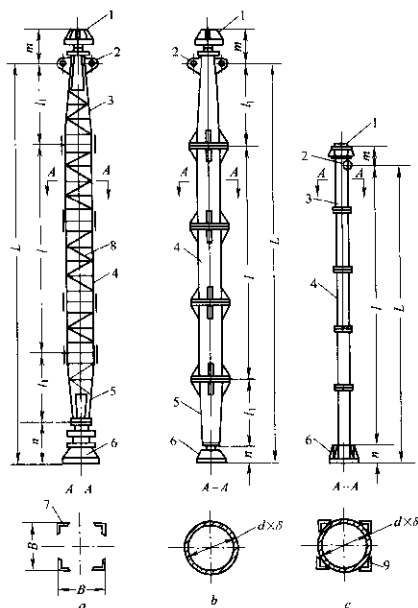


图 2-54 桅杆的组成和结构示意图

a—格构式; b—钢管式; c—钢管加角钢式

1—缆风绳帽; 2—吊耳; 3—头部节; 4—中间节; 5—尾部节; 6—底座; 7—主角钢; 8—支撑角钢; 9—加强角钢

1. 桅杆高度

一般称吊耳孔中心至底座底面的长度为桅杆工作高度。在吊装作业中所需桅杆的高度取决于设备就位前的吊装高度、吊索高度、滑车组在收紧状态下的最小长度尺寸、桅杆倾斜后吊升高度的减小量和应留的安全裕度等。常用的桅杆高度在 12~80m 之间。

2. 横断面尺寸

(1) 格构式结构

格构式中间节□×头、尾节□(mm),可从以下匹配尺寸中选用:

450×250,650×350,700×400,720×500,750×450,800×500,900×600,1000×600,1000×700,1200×600,1200×800,1300×650,1600×850,1800×800 等。

4 根等边主角钢,图 2-54 中件号 7,角钢边长×(厚度)(mm):

∟63×(8)、∟75×(10)、∟90×(10)、∟100×(12)、∟130×(12)、150×(12,20)、∟160×(14,16)、200×(16,20,24)等。

横撑和斜撑角钢,图 2-55 中件号 8,角钢边长×(厚度)(mm):

∟50×(5)、∟63×(6,9)、∟75×(6,8)等。

(2) 无缝钢管式

无缝钢管外径 $d \times \delta$ (壁厚)(mm),图 2-54 中件号 4:

φ152×(6,8)、φ159×(4,5)、φ194×(8,10)、φ219×(7,8,10)、φ245×(8,10)、φ273×(8)、φ299×(10,11,13)、φ325×(8,9,10,12)、φ377×(8)、φ426×(8,9)等。

4 根加强角钢,边长×(厚度)(mm),图 2-54 中件号 9:

∟50×(4)、∟63×(8)、∟75×(8)、∟100×(10)等。

3. 头节、尾节和中间节的长度

其长度应根据使用要求,以及装配、拆卸、运输、保管和受力状况等综合考虑决定,一般每节在 3~7m 之间选用。

4. 底座

格构式和钢管桅杆底座可设计成多种结构形式,但可分成固定底座和回转底座两类,前者结构较简单,后者结构较复杂并有可全方位回转的球铰式底座和只能在某一个方向转动的铰链式底座。

图 2-55 所示为球铰式底座结构,图 2-55a 带有桅杆回转轮,牵引绳由桅杆中间经导向滑轮引出去卷扬机。图 2-55b 为结构较简单的球铰式底座,格构式和钢管桅杆均可使用。

在有关技术资料中,球窝底座如图 2-56 所示,其规格和结构尺寸见表 2-3。

同上球窝底座相配套的球头,其下与球窝相配合,其上的法兰盘式结构与桅杆根部相连接,其结构如图 2-57 所示,尺寸如 2-4 所列。使用时在球窝和球头之间涂抹润滑油,以减少回转阻力。

表 2-3 球窝底座结构尺寸(mm)

桅杆/kN	A	B	C	d	R	R ₂	F	G	H	M
200~300	650	500	300	80	80	105	140	150	25	10
500	755	550	350	80	80	125	150	185	35	15
1000	1050	1000	550	100	100	180	200	300	40	20
2000		1600	600	100	100	205	300	400	50	20

注:1. R₂ 为球窝球半径;2. 材质:ZG310-570,钢板为 Q235-A₃。

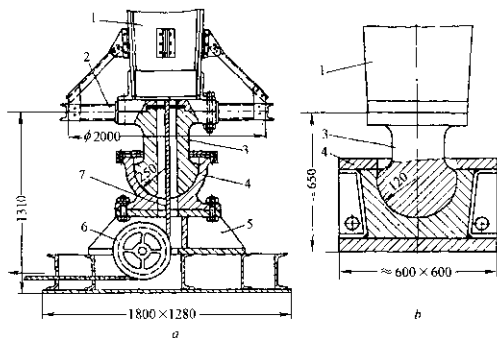


图 2-55 球铰式底座结构

1—桅杆；2—回转轮；3—球头；4—球窝底座；5—支座；6—导向滑车；7—牵引绳

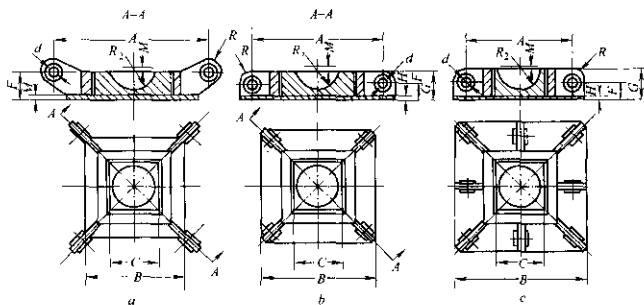


图 2-56 球窝底座及尺寸图

a—200—500kN 底座；b—1000kN 底座；c—2000kN 底座

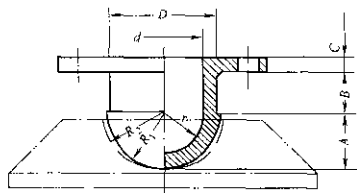


图 2-57 球头尺寸图

表 2-4 球头尺寸表 (mm)

桅杆/kN	A	B	C	R ₁	R ₂	r	D	d	材料
200	100	60	40	100	105	60	190	120	HT300
300	100	80	40	100	105	60	190	120	
500	120	70	60	120	125	70	230	140	
1000	175	110	75	175	180	125	320	250	
2000	200	300	75	200	205	100	330	200	

钢管桅杆底座可根据不同的吊装工艺要求,设计成各种结构形式,图 2-58 所示为几种较常见的形式。图 2-58a 和 e 为固定式底座,后者桅杆钢管插入底座套管中,并且底座上装有导向滑轮。图 2-58b 为简易回转底座,用时在桅杆底板和垫圈中加入润滑脂,以减少回转阻力,此种底座宜用于小型桅杆,且在吊装中桅杆不倾斜的情况。图 2-58c 和 d 为两种铰链式结构,在吊装中桅杆可进行较大角度的倾斜作业,但此种结构不能实现桅杆回转。图 2-58f 为较简易的球铰式底座,其结构简单、容易制作、较为实用。

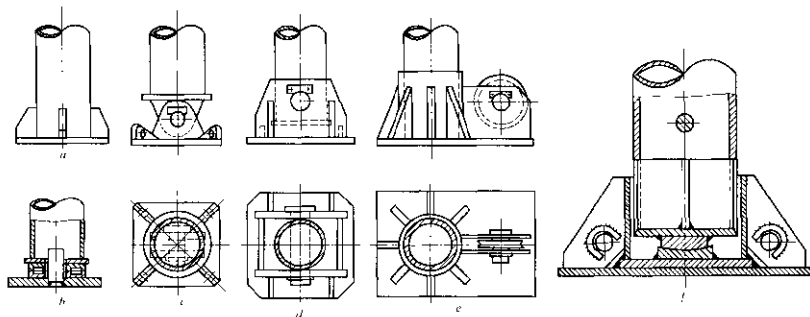


图 2-58 钢管桅杆底座结构示意图

5. 桅杆顶部结构

桅杆顶部有缆风绳帽和吊耳等,图 2-59 为大型格构式桅杆顶部结构图。其牵引绳通过固定在桅杆内的导向滑轮引至球铰底座的导向滑车再引往卷扬机,双吊点的吊耳由两个横贯桅杆的吊耳板组成,其缆风绳帽设计成可绕杆顶回转的结构。

钢管桅杆其杆顶部结构按吊装工艺要求可繁可简,图 2-60 为其几种结构形式,图 2-60a 为最简单的形式,吊绳用绑绳捆扎。图 2-60b 和 c 为缆风绳绑结点固定在桅杆上的简易形式,前者吊耳焊在桅杆上,后者吊耳挂在顶板上。图 2-60d 为缆风绳帽可在桅杆顶短柱上回转的结构形式,其结构简单、轻巧、实用。图 2-60e 为缆风绳帽套在杆顶的结构形式,吊点用绑绳捆扎,在捆扎部位设有加强护板。

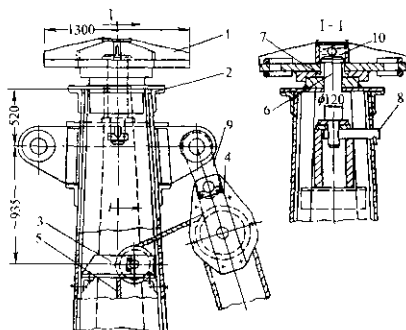


图 2-59 桅杆顶部结构图

1—挽风绳帽；2—加固角钢框；3—滑轮支架；4—滑车组的上滑车；5—牵引绳；6—轴；7—轴套；
8—拆帽装置；9—卸扣；10—润滑油

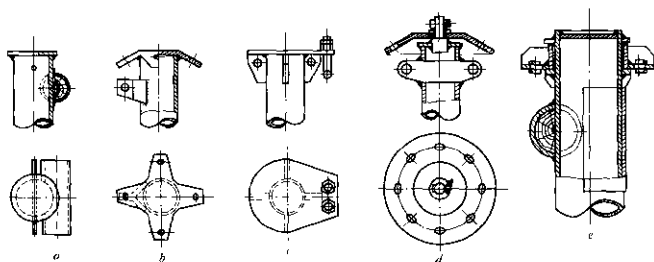


图 2-60 钢管桅杆杆顶结构示意图

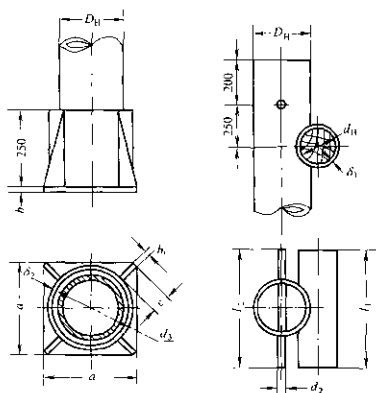


图 2-61 钢管桅杆底座和顶部结构尺寸图

钢管桅杆底座和顶部结构的参考尺寸,如图 2-61 所示,表 2-5 所列。

表 2-5 钢管桅杆底座和顶部结构尺寸(mm)

钢管 $D_{11} \times \delta$	横 管		圆 钢		套 管	底 板		肋 板	
	$d_{11} \times \delta_1$	l_1	d_2	l_2	$d_3 \times \delta_2$	a	b	c	b_1
$\phi 159 \times 4.5$	$\phi 159 \times 5.5$	360	20	360	$\phi 219 \times 7$	250	10	65	8
$\phi 219 \times 7$	$\phi 159 \times 5.5$	420	24	420	$\phi 273 \times 8$	300	10	70	8
$\phi 273 \times 8$	$\phi 159 \times 5.5$	470	30	470	$\phi 325 \times 8$	360	12	75	10
$\phi 325 \times 8$	$\phi 159 \times 5.5$	525	30	525	$\phi 377 \times 8$	420	12	80	10
$\phi 377 \times 8$	$\phi 219 \times 9$	580	40	580	$\phi 426 \times 9$	480	14	85	12
$\phi 426 \times 9$	$\phi 219 \times 9$	630	40	630	$\phi 470 \times 10$	550	14	90	12

据有关资料所载,一种缆风绳帽的结构、规格和尺寸如图 2-62 所示、表 2-6 所列。

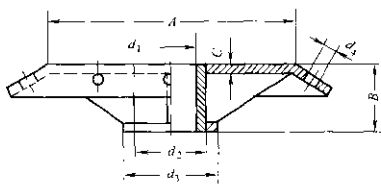


图 2-62 一种缆风绳帽

表 2-6 缆风绳帽主要尺寸(mm)

桅杆/kN	A	B	C	d_1	d_2	d_3	d_4	孔数
200	800	135	15	102	132	300	60	6
300	800	120	15	102	132	300	60	6
500	1000	150	15	162	192	350	60	8
1000	860	140	15	202	232	360	60	8
2000	2400	400	15	155	190	400	70	8

注:材质为 Q235A。

6. 桅杆杆节间连接结构

杆节间的连接结构应有可靠的连接强度,并应便于拆装。格构式桅杆常用的几种连接形式如图 2-63 所示。图 2-63a 为连接板式,此种结构连接可靠,杆表面平滑,常用于大型格构式桅杆的连接。图 2-63b 为法兰盘式,接口加强肋板和连接螺栓的数量应根据桅杆的规格大小而定,在设计桅杆时,可通过简单的计算确定。为减轻法兰盘的重量在其上割圆孔。此种结构多用于中型桅杆,也可用于大型桅杆。图 2-63c 为由 4 块钢板与主角钢焊成钢板脚形式,亦用螺栓连接。此种连接方式结构简单、重量轻、耗料少,多用于小型格构式桅杆的连接。

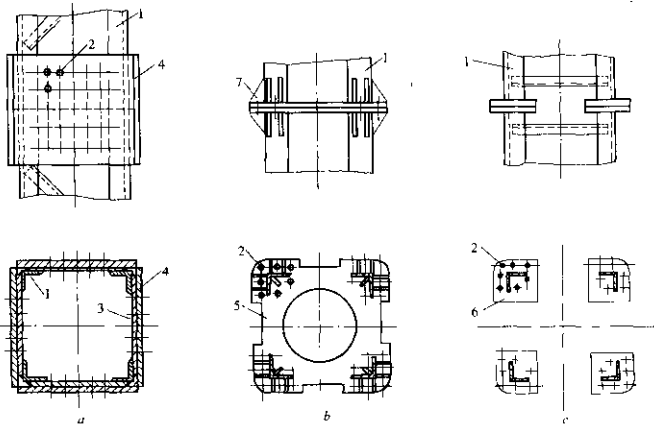


图 2-63 格构式桅杆杆节连接结构示意图

1—主角钢；2—螺栓；3—围板；4—连接板；5—法兰盘；6—钢板脚；7—加强筋板

钢管桅杆杆段接口之间多用法兰盘方式连接。筋板和螺栓的数量应根据桅杆直径大小而定，图 2-64 为较大型钢管桅杆的杆端结构，为增加端头强度，管内应焊圆形封板。

钢管桅杆需对接接长时，除对接钢管需切割坡口对焊外，焊缝处还需用 4 根角钢加固，如图 2-65 示，角钢的大小和长度见表 2-7 所列。

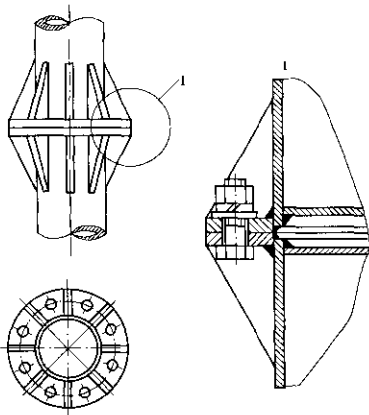


图 2-64 桅杆杆节连接结构示意图

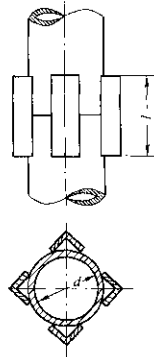


图 2-65 用角钢加固图

表 2-7 钢管桅杆接口加固角钢(mm)

项目	钢管外径 d								角钢根数	
	152-168	194	219-245	273	299	325	351	377		426
等边角钢	50×6	63×6	65×8	65×8	75×8	90×8	90×8	90×8	100×6	4
角钢长度 l	500	500	500	600	600	600	600	600	600	4

7. 圆木桅杆结构

木桅杆一般用圆木制成,常用树种为挺直、质轻、根径和梢径变化较小的落叶松。如桅杆较高可用两根短杆以搭接方法接成高杆,用 8 号镀锌铁丝捆绑 5~6 束,每束需缠绕 10 多圈。如用将接口锯成半圆的对接方式连接,则接口处应用 4 个以上的铁箍箍紧。木桅杆的缆风绳、吊耳绳、导向滑车等都用钢丝绳捆绑方式连接。起重量较大的圆木桅杆其脚处应设底座以增加承压面积。

(二) 桅杆的规格和性能

1. 木桅杆的规格和性能(表 2-8,表 2-9)。

表 2-8 木桅杆的规格及性能之一

桅杆高度 /m	起重量 4t		起重量 6t		起重量 8t		起重量 10t	
	杆顶直径 $\phi 220\text{mm}$		杆顶直径 $\phi 240\text{mm}$		杆顶直径 $\phi 260\text{mm}$		杆顶直径 $\phi 280\text{mm}$	
	双侧	单侧	双侧	单侧	双侧	单侧	双侧	单侧
	起吊物质量 /t							
6	5	2.5	10	5	12	6	18	9
8	4	2	8	4	10	5	14	7
10	3	1.5	6	3	8	4	10	5

注:1.单侧用时偏心距按 $e = d$ (杆顶直径),倾角 $\theta = 10^\circ$; 2.木材许用应力 $[\sigma_1] = 10\text{MPa}$,密度 $\gamma = 0.6\text{g/cm}^3$; 3.资料来源:机械设备起重工作手册。

表 2-9 木桅杆的规格及性能之二

起重量/t	桅杆长度 /m	桅杆顶直径 /mm	缆风绳直径 /mm	起重滑车组			卷扬机钢丝绳拉力/kN
				钢丝绳直径/mm	定滑车门数	动滑车门数	
3	8.5	220	15.5	11.5	2	1	10
	11.0	220	15.5	11.5	2	1	10
	13.0	220	15.5	11.5	2	1	10
	15.0	240	15.5	11.5	2	1	10
5	8.5	240	15.5	15.5	2	1	30
	11.0	260	20.0	15.5	2	1	30
	13.0	260	20.0	15.5	2	1	30
	15.0	270	20.0	15.5	2	1	30
10	8.5	300	21.5	17.5	3	2	30
	11.0	300	21.5	17.5	3	2	30
	13.0	310	21.5	17.5	3	2	30

注:资料来源——建筑结构吊装。

2. 钢管桅杆的规格和性能(表 2-10~表 2-13)

表 2-10 钢管桅杆的规格及性能之一

起重量/t	高度 / m					
	8	10	15	20	25	30
	钢管规格 $d \times \delta$ (外径 \times 壁厚)/mm					
3	152 \times 6	152 \times 6	219 \times 8	299 \times 9	351 \times 10	426 \times 10
5	152 \times 8	168 \times 10	245 \times 8	299 \times 11	351 \times 11	426 \times 10
10	194 \times 8	194 \times 10	245 \times 10	299 \times 13	351 \times 12	426 \times 12
15	219 \times 8	219 \times 10	273 \times 8	325 \times 9	351 \times 13	426 \times 12
20	245 \times 8	245 \times 10	299 \times 10	325 \times 10	377 \times 12	426 \times 14
30	325 \times 9	325 \times 9	325 \times 9	325 \times 12	377 \times 14	426 \times 14

注:资料来源——起重架 1.技术。

表 2-11 钢管桅杆的规格及性能之二(单侧吊装)

钢管规格 外径 \times 壁厚/mm	高度 / m					
	8	10	12	15	20	25
	起重重量 / t					
$\phi 159 \times 4.5$	2.5	2				
$\phi 219 \times 7$	11	7	5	3		
$\phi 273 \times 8$	22	16	14	10		
$\phi 325 \times 8$		25	19	16	12	
$\phi 377 \times 8$		25	26	21	16	10
$\phi 426 \times 8$				30	24	15

注:摘自设备安装起重工。

表 2-12 钢管桅杆的规格及性能之三

高度 /m	起重重量 3t		起重重量 5t		起重重量 10t		起重重量 15t		起重重量 20t	
	$\phi 159 \times 4.5\text{mm}$		$\phi 219 \times 6\text{mm}$		$\phi 273 \times 10\text{mm}$		$\phi 325 \times 8\text{mm}$		$\phi 377 \times 8\text{mm}$	
	双侧	单侧	双侧	单侧	双侧	单侧	双侧	单侧	双侧	单侧
起吊物质量 / t										
6	8	4								
8	5	2.5	20	10						
10	3	1.5	13	6	40	20	50	25		
15			5	2.5	20	10	30	15	40	20
20					10	5	15	8	20	10

注:1. 双侧起吊允许倾角 2° ;单侧起吊允许倾角 10° ;2. 固定吊耳,单侧偏心距按 $e \leq d$ (d 为管外径)计;3. 材料:Q235-A;

4. 资料来源:机械起重工作手册。

表 2-13 带加强角钢的钢管桅杆规格及性能之四

规格/mm	高度/m	双侧吊装/t	单侧吊装/t
φ159×4.5 L50×4	6	14	5.2
	8	9	4.5
	10	6.5	3.6
	12	4.5	3.0
φ273×8 L63×8	10	38	20
	13	29	17
	15	25	13
	17	20	11
φ273×8 L75×8	10	38	21
	13	29	17.5
	15	26	16
	17	19	14
	20	16	11.5
φ377×8 L75×8	25	10	8
	10	50	30
	13	50	26
	15	48	25
	17	34	22
20	30	21	
25	20	15	

注：摘自设备安装起重工。

3. 格构式桅杆的规格和性能(表 2-14~表 2-16)

表 2-14 格构式桅杆的规格和性能之一

序号	桅杆结构尺寸/mm	安装高度/m	单侧吊重能力/t	单侧吊时缆风绳总力/kN	双侧吊重能力/t	双侧吊时缆风绳总力/kN
1	L100×12 □中 720/尾 500 e = 450	15	30	250	50	85
		18	28	230	48	80
		22	26	220	45	75
		26	25	210	40	70
		28	22	180	32	55
2	L150×12 □中 720/尾 500 e = 450	18	48	400	80	150
		22	45	380	75	125
		26	40	340	70	120
		30	35	300	62	100
3	L150×20 □中 1000/尾 600 e = 550	18	85	700	145	250
		22	82	680	140	240
		26	80	650	135	230
		30	78	640	130	220
		35	75	630	120	200
		40	65	550	110	180

续表 2-14

序号	桅杆结构尺寸 /mm	安装高度 /m	单侧吊重能力/t	单侧吊时缆风 绳总力/kN	双侧吊重能力 /t	双侧吊时缆风绳 总力/kN
4	L160×14 □中 1000/尾 600 e = 550	18	65	540	100	170
		22	65	540	95	160
		26	60	500	92	150
		30	60	500	90	150
		35	55	450	80	130
5	L160×16 □中 1000/尾 600 e = 550	18	75	630	120	200
		22	70	590	115	190
		26	70	590	110	180
		30	65	550	105	180
		35	65	500	100	170
6	L160×16 □中 1200/尾 600 e = 600	20	80	670	125	210
		25	78	650	120	200
		30	75	630	115	190
		35	70	600	110	180
		40	70	600	105	180
		45	65	550	100	170
		50	60	500	95	150
7	L200×16 □中 1600/尾 850 e = 750	35	100	840	165	280
		40	95	800	160	270
		45	90	750	155	260
		50	85	700	150	250
		60	80	670	140	230
8	L200×20 □中 1300/尾 650 e = 650	20	125	1050	210	350
		25	120	1000	200	340
		30	115	950	200	340
		33	110	920	195	330
		40	100	840	185	310
		45	90	750	175	280
		50	80	700	155	260
9	L200×16 □中 1800/尾 800 e = 750	50	125	1050	180	300
		60	115	950	165	280
		70	105	900	150	250
		80	95	800	130	220

注:摘自设备安装起重工。

表 2-15 格构式桅杆的规格和性能之二

桅杆高度/m	吊梁形式	起重量 30t 桅杆 L90×10 □700		起重量 50t 桅杆 L125×12 □800		起重量 100t 桅杆 L160×14 □1000		起重量 200t 桅杆 L200×24 □1200	
		双侧	单侧 $e=430$	双侧	单侧 $e=500$	双侧	单侧 $e=750$	双侧	单侧 $e=800$
		起吊物质重/t							
12	固定	40	20	75	30	120	50		
	杆杆		30		50		90		
15	固定	35	19	70	29	115	48	230	90
	杆杆		29		48		88		173
20	固定	33	18	68	28	110	45	220	88
	杆杆		27		45		85		165
25	固定	30	17	64	27	105	43	210	85
	杆杆		26		43		83		
30	固定		15	60	25	100	40		
	杆杆		25		40		80		
32	固定							200	80
	杆杆								150

注:1.单侧按桅杆倾斜 $Q_{max}=15^\circ$ 计算;2.双侧起吊允许桅杆倾斜 2° ;3.杆杆吊梁按力臂为 1:2 杆杆计算;4.材质: Q235-A;5.摘自机械设备起重工作手册。

表 2-16 格构式桅杆的规格和性能之三

起重量/t	高度/m	主角钢/mm	横撑、斜撑 角钢/mm	桅杆断面尺寸/mm	
				中节	头、尾节
20	25	4×L75×10	L50×5	650×650	350×350
20	40	4×L90×12	L50×5	900×900	600×600
25	40	4×L100×12	L50×5	1000×1000	700×700
30	25	4×L90×12	L50×5	900×900	600×600
30	30	4×L100×12	L50×5	750×750	450×450
30	35	4×L100×12	L50×5	1000×1000	700×700
35	30	4×L100×12	L50×5	1000×1000	700×700
40	25	4×L100×12	L50×5	1000×1000	700×700
40	45	4×L125×14	L50×5	1200×1200	800×800
45	20	4×L125×12	L50×5	1000×1000	700×700
45	40	4×L160×12	L63×6	1200×1200	800×800
50	35	4×L125×14	L63×6	1200×1200	800×800
50	40	4×L160×12	L70×6	1000×1000	800×800
50	45	4×L160×14	L63×6	1200×1200	800×800
55	30	4×L125×14	L63×6	1200×1200	800×800
55	40	4×L160×14	L63×6	1200×1200	800×800
60	25	4×L125×12	L63×6	1200×1200	800×800
65	20	4×L125×12	L63×6	1200×1200	800×800

注:摘自设备安装起重工。

(三) 桅杆受力计算

1. 直立单桅杆双侧吊装受力计算

(1) 载荷 $P(N)$

$$P = (Q + q)K_1K_2 \quad (2-22)$$

式中 Q ——吊物重量, N ;

q ——吊具重量, 可按吊物重量的 2.5% 估算, N ;

K_1 ——动载系数, 取 $K_1 = 1.1$;

K_2 ——超载系数, 取 $K_2 = 1.1$ 。

(2) 滑车出绳端拉力 S

$$S = KP \quad (2-23)$$

式中 K ——载荷系数, 查表 1-25。

(3) 缆风绳预拉力的垂直分力之和 $T(N)$

$$T = 0.7t(n_0 - 2)\sin\beta \quad (2-24)$$

式中 n_0 ——缆风绳根数;

t ——对称缆风绳受力, 见图 2-82。

(4) 对称缆风绳受力计算

$$t = \frac{(P + G)\sin\alpha}{\cos(\alpha + \beta) - T\sin\alpha} \quad (2-25)$$

式中 α ——桅杆倾斜角, ($^\circ$);

β ——缆风绳与水平面夹角, ($^\circ$);

G ——桅杆重量, 可按每米重为吊重能力的 0.4% 估算, N ;

P ——载荷, N 。

(5) 弯矩

双侧起吊直立桅杆, 由于制作、组装以及吊物重心偏移, 桅杆难于绝对立直等原因, 造成在起吊时重心偏移起吊轴线, 因此, 虽为直立双侧吊装, 除受正压力之外, 还应考虑附加弯矩的作用, 一般可取偏心距 $e = 10\text{cm}$ 。

$$M = Pe \quad (2-26)$$

式中 M ——弯矩, $N \cdot \text{m}$;

P ——载荷, N ;

e ——偏心距, 取 $e = 10\text{cm}$ 。

(6) 求正压力 P_2

$$P_2 = (P + \frac{G}{2} + T)[\cos\alpha + \sin\alpha \text{tg}(\alpha + \beta)] + \sum S \quad (2-27)$$

式中 T ——缆风绳预拉力的垂直分力, N ;

S ——滑车出绳端拉力, N 。

2. 直立单桅杆单侧吊装受力计算(图 2-66)

(1) 载荷 P

$$P = (Q + q)K$$

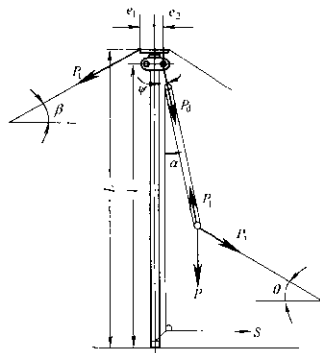


图 2-66 直立单桅杆受力简图

式中 Q ——吊物重量, N;
 q ——吊具重量, N;
 K ——动载系数, 取 $K = 1.1$ 。

(2) 滑车组受力 P_1

$$P_1 = \frac{P \cos \theta}{\cos(\alpha + \theta)}$$

式中 α ——滑车组与桅杆中心线夹角, ($^\circ$);
 θ ——夺吊索与地面间夹角, ($^\circ$)。

(3) 滑车组出绳端牵引力 S

$$S = KP$$

式中 K ——载荷系数, 见表 1-25。

(4) 夺吊力 P_y

$$P_y = \frac{P_1 \sin \alpha}{\cos \theta} \quad (2-28)$$

(5) 桅杆主缆风绳受力 P_i

$$P_i = \frac{P_d(l \sin \psi + e_2 \cos \psi)}{L \cos \beta + e_1 \sin \beta} \quad (2-29)$$

式中 P_d ——滑车组处绑绳受力, N;

$$P_d = \sqrt{P_1^2 + S^2} + 2P_1 S \cos \alpha$$

e_1 ——缆风绳系结点至桅杆中心距离, m;

e_2 ——滑车组系结点至桅杆中心距离, m;

L ——缆风绳系结点至桅杆底铰的距离, m;

l ——滑车组系结点至桅杆底铰的距离, m;

β ——缆风绳与水平面的夹角, ($^\circ$);

ψ ——滑车组上部绑绳与桅杆中心线夹角, ($^\circ$)。

(6) 桅杆底座的垂直压力 P_c

$$P_c = P_1 \cos \alpha + P_1 \sin \beta + G + T + S \quad (2-30)$$

式中 G ——桅杆的重量, N;

T ——缆风绳预紧力施于桅杆顶部总的垂直压力, N;

$$T = (n-1)t \sin \beta$$

n ——缆风绳根数;

t ——每根缆风绳的预紧力, N。

(7) 桅杆所受的正压力 P_z

$$P_z = P_1 \cos \alpha + P_1 \sin \beta + G_1 + T + S \quad (2-31)$$

式中 G_1 ——计算截面以上部分的桅杆重量, N。

(8) 桅杆所受弯矩 M

$$M = P_d(l_1 \sin \psi + e_2 \cos \psi) - P_1(l_2 \cos \beta + e_1 \sin \beta) \quad (2-32)$$

式中 l_1 ——滑车组系点至计算截面间的距离, m;

l_2 ——缆风绳系点至计算截面间的距离, m。

3. 斜立单桅杆受力计算(图 2-67)

(1) 载荷 P

$$P = (Q + q)K$$

式中符号代表意义同前式(2-22)。

(2) 滑车组出绳端拉力 S

$$S = KP$$

式中符号代表意义同前式(2-24)。

(3) 滑车组上部吊耳(绑绳)受力 P_d

$$P_d = \sqrt{P^2 + S^2 + 2PS\cos\alpha} \quad (2-33)$$

式中符号代表意义同前。

(4) 桅杆主缆风绳受力 P_1

$$P_1 = \frac{(P + G + T)\sin\alpha}{\cos(\alpha + \beta)} \quad (2-34)$$

式中 P —— $P = (Q + q)K$;

G ——桅杆的质量, N;

T ——缆风绳预紧力施于桅杆顶部总的垂直压力, N;

$$T = (n - 1)t\sin\beta$$

(5) 桅杆底座的垂直压力 P_c

$$P_c = P + G + T + P_1\sin\beta \quad (2-35)$$

(6) 桅杆底座的水平推力 P_y

$$P_y = P_1\cos\beta \quad (2-36)$$

(7) 桅杆所受的正压力 P_2

$$P_2 = (P + G_1 + T)\cos\alpha + S + P_1\sin(\alpha + \beta) \quad (2-37)$$

(8) 桅杆所受弯矩 M

$$M = P(L_1\sin\alpha + e_2\cos\alpha) + G_1l_{o1}\sin\alpha + Se_2 + TL_1\sin\alpha \\ - P_1[L_1\cos(\alpha + \beta) + e_1\sin(\alpha + \beta)] \quad (2-38)$$

式中 L_1 ——缆风绳系点至计算截面的距离, m;

l_1 ——滑车组上部绑绳系点至计算截面的距离, m;

l_{o1} —— G_1 的重心至计算截面的距离, m;

e_1 ——缆风绳系点至桅杆中心线的距离, m;

e_2 ——滑车组上部绑扎点至桅杆中心线的距离, m。

(9) 斜立单桅杆受力计算实例(图 2-68)

在某工程中,需吊装一台设备,重量 200kN,用斜立单桅杆吊装,钢管桅杆为 $\phi 273 \times 10$ mm,高度 10m,用 8 根缆风绳。试进行受力计算。

1) 载荷 P , 根据式(2-22):

$$P = (Q + q)K = (20 + 0.025Q) \times 1.1 \\ = 22.55(t) = 225.5(\text{kN})$$

2) 滑车组出绳端拉力 S , 根据式(2-24):

$$S = KP = 0.149 \times 225.5 = 33.6(\text{kN})$$

式中 K ——按有效绳 8 根, 1 个导向滑轮, 从表 1-25 中查得 $K = 0.149$ 。

选择钢丝绳: 用机动卷扬机牵引取安全系数 $K = 5$, 钢丝绳的破断拉力为 $5S = 5 \times 33.6 = 168(\text{kN})$ 。

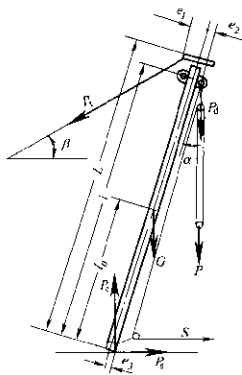


图 2-67 斜立单桅杆受力简图

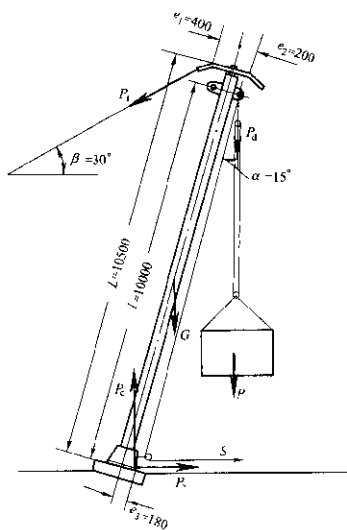


图 2-68 斜立单钢管桅杆起吊设备图

从表 1-4 中查得钢丝绳 $\phi 21.5\text{mm}$ 的 $6 \times 37 + 1$ 抗拉强度为 1550MPa 者其破断力为 221.4kN , 可用。

3) 滑轮组上部吊耳受力 P_d , 根据式(2-33):

$$\begin{aligned} P_d &= \sqrt{P^2 + S^2 + 2PS\cos\alpha} \\ &= \sqrt{225.5^2 + 33.6^2 + 2 \times 225.5 \times 33.6 \times \cos 15^\circ} \\ &= 258(\text{kN}) \end{aligned}$$

4) 桅杆主缆风绳受力 P_t , 根据式(2-34):

$$P_t = \frac{(P + G + T)\sin\alpha}{\cos(\alpha + \beta)}$$

式中 桅杆重量 $G = 10\text{m} \times 64.86\text{kgf/m} = 640.86\text{kgf} = 6.4\text{kN}$;

$$T = (n - 1)tsin\beta = (8 - 1) \times 10 \times 0.5 = 35(\text{kN});$$

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{(225.5 + 6.4 + 35)\sin 15^\circ}{\cos(30^\circ + 15^\circ)} \\ &= 97.7(\text{kN}) \end{aligned}$$

5) 桅杆底座的垂直压力 P_c , 根据式(2-35):

$$\begin{aligned} P_c &= P + G + T + P_1 \sin \beta \\ &= 225.5 + 6.4 + 35 + 97.7 \times 0.5 = 315.75 (\text{kN}) \end{aligned}$$

6) 桅杆底座的水平推力 P_s , 根据式(2-36):

$$P_s = P_1 \cos \beta = 97.7 \times 0.8660 = 84.6 (\text{kN})$$

7) 桅杆所受的正压力 P_1 , 根据式(2-43)计算:

$$\begin{aligned} P_1 &= (P + G + T) \cos \alpha + S + P_1 \sin(\alpha + \beta) \\ &= (225.5 + 6.4 + 35) \times 0.9659 + 33.6 + 97.7 \times 0.7071 \\ &= 360.5 (\text{kN}) \end{aligned}$$

4. 斜立双桅杆吊重物受力计算(图 2-69)

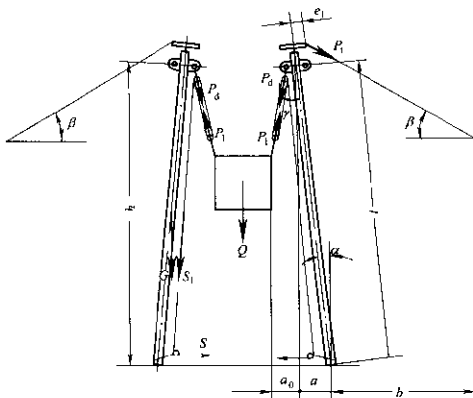


图 2-69 斜立双桅杆吊重物受力简图

(1) 载荷 P

$$P = (Q + q)K$$

(2) 吊物侧滑车组受力 P_1

$$P_1 = \frac{P}{2 \cos \gamma} \quad (2-39)$$

式中 γ ——吊物侧滑车组中心与桅杆中心线间夹角, ($^\circ$), 一般按 $\gamma = 5^\circ$ 。

(3) 滑车组出绳端拉力 S_1

$$S_1 = \frac{P_1 \dots K_0}{m \cos \gamma_0} \quad (2-40)$$

式中 γ_0 ——吊物侧两滑车组中心线夹角之半, ($^\circ$), 一般按 $\gamma_0 = 15^\circ$;

m ——吊物侧滑车组组数;

K_0 ——荷载系数, 按 1 个导向滑车计算, 由表 1-25 查取。

(4) 卷扬机所需牵引力 S

$$S = \frac{P_1}{m \cos \gamma_0} K_0 \quad (2-41)$$

式中 K_0 ——按三个导向滑车计算。

(5) 滑车组上部吊耳受力 P_d

$$P_d = \sqrt{P_1^2 + (mS_1)^2 + 2P_1 m S_1 \cos(\alpha + \gamma)}$$

式中 α ——桅杆倾斜角, ($^\circ$), 一般取 $\alpha = 5^\circ$ 。

(6) 缆风绳预紧力施于桅杆顶部总的垂直力 T

$$T = (n - 1) t \sin \beta \quad (2-42)$$

式中 n ——缆风绳根数;

t ——每根缆风绳的预紧力, N。

(7) 主缆风绳受力 P_1

$$P_1 = \frac{P_1 [\sin(\gamma + \alpha) + \sin \gamma \cos \alpha] + (G + T) \sin \alpha}{\cos(\alpha + \beta)} \quad (2-43)$$

式中 G ——桅杆重量, N。

(8) 桅杆承受的正压力 P_z

$$P_z = P_1 [\cos(\gamma + \alpha) - \sin \gamma \sin \alpha] + (G + T) \cos \alpha + m s_1 + P_1 \sin(\gamma + \alpha) \quad (2-44)$$

(9) 桅杆倾斜幅度 a

$$a = l \sin \alpha \quad (2-45)$$

式中 l ——桅杆吊耳孔中心至底座中心, m。

(10) 缆风绳锚点至桅杆底座中心的距离, b

$$b = (l + e_1) \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} + e_1 \quad (2-46)$$

式中 e_1 ——缆风绳系点至桅杆中心的距离, m。

(四) 桅杆强度及稳定性计算

按桅杆受力状态的不同, 桅杆有轴心受压和偏心受压两种情况, 前者仅受轴向正压力作用, 后者除受正压力作用外, 还须受弯矩的作用。以下计算适用于钢管桅杆和格构式结构桅杆。

1. 轴心受压桅杆的计算

(1) 桅杆截面强度计算, 桅杆截面强度按式(2-53)进行计算:

$$\frac{P_z}{A_n} \leq [\sigma] \quad (2-47)$$

式中 P_z ——轴向正压力, N;

A_n ——净截面面积, mm^2 ;

$[\sigma]$ ——钢材的许用应力, N/mm^2 , 按本书附录七附表 7-1 采用。

(2) 桅杆稳定性验算

桅杆稳定性按式(2-48)进行验算:

$$\frac{P_z}{\varphi A} \leq [\sigma] \quad (2-48)$$

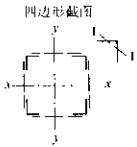
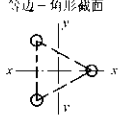
式中 A ——桅杆毛截面面积, mm^2 ;

φ ——轴心受压构件稳定系数, 可根据构件长细比 λ 按本书附录八采用。

(3) 格构式轴心受压桅杆稳定性验算

格构式轴心受压桅杆的稳定性应按式(2-48)验算, 此时对虚轴长细比应采用换算长细比 λ_0, λ_0 应按表 2-17 计算。

表 2-17 格构式构件换算长细比 λ_0

构件截面形式	缀材	计算公式	符号说明
 <p>四边形截面</p>	缀板	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2}$ $\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$	λ_x, λ_y ——整个构件对 $x-x$ 轴或 $y-y$ 轴的长细比; λ_1 ——单肢对最小刚度轴 I_1 的长细比
	缀条	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 40 \frac{A}{A_{1x}}}$ $\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 40 \frac{A}{A_{1y}}}$	$\lambda_{1x}, \lambda_{1y}$ ——构件截面中垂直于 $x-x$ 轴或 $y-y$ 轴各斜缀条毛截面面积之和
 <p>等边三角形截面</p>	缀板	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2}$ $\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$	λ_1 ——单肢长细比
	缀条	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 56 \frac{A}{A_1}}$ $\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 56 \frac{A}{A_1}}$	A_1 ——构件截面中各斜缀条毛截面面积之和

注: 1. 缀板式构件的单肢长细比 λ_1 不应大于 40; 2. 斜缀条与构件轴线间的倾角应保持在 $40^\circ \sim 70^\circ$ 范围内。

(4) 计算长细比 λ

桅杆的长细比 λ 除与桅杆长度、惯性半径有关外, 还与桅杆上下两端支承方式有关, 如系变截面的格构式桅杆还应考虑长度换算系数, 桅杆的长细比可按下式计算:

$$\lambda = \frac{cul}{i} \quad (2-49)$$

式中 c ——与两端支承方式有关的折算长度系数, 查表 2-18;

μ ——变截面桅杆的长度换算系数, 两端铰支, 查表 2-19 和表 2-20;

l ——桅杆长度, cm ;

i ——桅杆截面的惯性半径, 按式 2-50 计算, cm ;

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2-50)$$

I ——截面惯性矩, 钢管桅杆查本书附录九; 格构式桅杆按式(2-51)计算:

$$I = 4(I_0 + A_0 h^2) \quad (2-51)$$

I_0 ——桅杆主肢单肢惯性矩, cm^4 , 查附录十一, 附表 11-1;

A_0 ——桅杆主肢单肢截面积, cm^2 , 查附录十一;

h ——单肢惯性轴至中心惯性轴的距离, cm ;

B ——横截面宽度, cm ;

Z_0 ——单肢的重心距离, cm , 查本书附录十一。

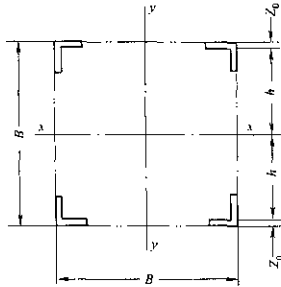


图 2-70 格构式桅杆惯性矩计算图

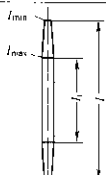
表 2-18 与两端支承方式有关的折算长度系数 c

简图	桅杆端部支承方式		c 值
	上端	下端	
	自由	固定	2~2.2
	铰支	铰支	1~1.1
	铰支	固定	0.7~0.8

表 2-19 格构式变截面桅杆的长度换算系数 μ (两端铰支)

示意图	I_{min}/I_{max}	l_1/l				
		0	0.2	0.4	0.6	0.8
	0.01	1.69	1.45	1.23	1.07	1.01
	0.1	1.35	1.22	1.11	1.03	1.01
	0.2	1.25	1.15	1.07	1.02	1.00
	0.3	1.18	1.11	1.05	1.02	1.00
	0.4	1.14	1.08	1.04	1.01	1.00
	0.5	1.10	1.06	1.03	1.01	1.00
	0.6	1.08	1.05	1.02	1.01	1.00
	0.7	1.05	1.03	1.01	1.00	1.00
	0.8	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00
	0.9	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00
1.0	1.00					

表 2-20 圆钢管式变截面桅杆的长度换算系数 μ (两端铰支)

示意图	J_{\min}/J_{\max}	l_1/l				
		0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
	0.01	—	1.78	1.44	1.15	1.017
	0.1	1.35	1.27	1.13	1.05	1.007
	0.2	1.22	1.17	1.08	1.027	1.003
	0.4	1.12	1.09	1.04	1.013	1.001
	0.6	1.07	1.05	1.02	1.007	1.00
	0.8	1.03	1.02	1.01	1.003	1.00

2. 偏心受压桅杆的计算

(1) 桅杆截面强度计算

偏心受压桅杆的截面强度, 设定其弯矩作用在主平面内时, 可按下列式验算:

$$\frac{P_z}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq [\sigma] \quad (2-52)$$

式中 M ——弯矩, $N \cdot m$;

W_n ——对对称轴的净截面抵抗矩, cm^3 ;

$$W_n = \frac{2I}{B} \quad (2-53)$$

A_n ——桅杆净截面面积, cm^2 。

(2) 桅杆稳定性验算

偏心受压桅杆的稳定性可按下列式计算:

$$\frac{P_z}{\varphi A} + \frac{M}{W} < [\sigma] \quad (2-54)$$

式中 P_z ——所计算构件段范围内的轴心压力, N ;

M ——弯矩, 取所计算段范围内的最大值, $N \cdot m$;

φ ——轴心受压构件稳定系数, 按附录八采用;

W ——毛截面抵抗矩, mm^3 , 取 $W = I_y/x_0$;

I_y ——对虚轴 y 的毛截面惯性矩;

x_0 ——虚轴 y 对压力较大分肢轴线距离。

3. 桅杆强度及稳定性验算实例

试验算起重量为 1000kN(100t) 格构式桅杆的强度和稳定性

(1) 桅杆结构和参数

球铰支座格构式桅杆, 上部有缆风绳帽, 桅杆全长 30m, 其中上、下节各 6m。为变截面结构, 上、下端截面尺寸为 70cm × 70cm, 中间节截面尺寸为 100cm × 100cm, 为 4 根主肢组成的正方形截面, 如图 2-70。

主肢用 Q235A 材质, 角钢尺寸 $\angle 160mm \times 14mm$, 缀条角钢 $\angle 75mm \times 8mm$ 。

此桅杆双侧负载时, 起重能力 100t, 吊点偏心距 $e = 75cm$, 8 根对缆风绳。

(2) 计算其断面性质参数

1) 截面惯性矩 I , 按式(2-51)计算:

$$I = 4(I_0 + A_0 h^2)$$

从附录 I 查得 $\angle 160\text{mm} \times 14\text{mm}$ 角钢的断面常数

$$I_0 = 1048.36\text{cm}^4$$

$$A_0 = 43.296\text{cm}^2$$

$$Z_0 = 4.47\text{cm}$$

$$\begin{aligned} \text{则: } I_{\max} &= 4[1048.36 + 43.296 \times (50 - 4.47)^2] \\ &= 363201(\text{cm}^4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\min} &= 4[1048.36 + 43.296 \times (35 - 4.47)^2] \\ &= 165615(\text{cm}^4) \end{aligned}$$

$$\frac{I_{\min}}{I_{\max}} = \frac{165615}{363201} = 0.456$$

2) 净截面抵抗矩 W_n , 按式(2-53)计算:

$$W_n = \frac{2I}{B} = \frac{2 \times 363201}{100} = 7264(\text{cm}^3)$$

3) 横截面总面积 A_n

$$A_n = 4 \times A_0 = 4 \times 43.296 = 173.2(\text{cm}^2)$$

4) 惯性半径 i , 按式(2-50)计算:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_n}} = \sqrt{\frac{363201}{173.2}} = 45.8(\text{cm})$$

(3) 长细比 λ , 按式(2-49)计算:

$$\lambda = \frac{c\mu l}{i}$$

式中 $c = 1$, 查表 2-19 得;

$\mu = 1.01$, 查表 2-20 得:

$$l = 3000\text{cm};$$

$$i = 45.8\text{cm}$$

$$\text{则 } \lambda = \frac{1 \times 1.01 \times 3000}{45.8} = 66.16$$

按表 2-17, 计算格构式桅杆换算长细比 λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda^2 + 40 \frac{A_n}{A_1}} = \sqrt{66.16^2 + 40 \frac{173.2}{2 \times 11.503}} = 68.4$$

式中 A_1 —— $\angle 75\text{mm} \times 8\text{mm}$ 角钢截面积。

(4) 求正压力 P_x , 按式(2-27)计算

$$P_x = (P + \frac{G}{2} + t)[\cos\alpha + \sin\alpha \operatorname{tg}(\alpha + \beta)] + \sum S_1$$

式中 $P = (1000000 + 1000000 \times 0.025) \times 1.1 \times 1.1 = 1240250(\text{N})$

$$G = 30 \times 1000000 \times 0.004 = 120000(\text{N})$$

$$t = 0.7 \times 55000 \times (8 - 2) \sin 30^\circ$$

$$= 115500(\text{N})$$

α , 设定其为 2°

$$\sum S_1 = 1240250 \times 0.149 = 184797(\text{N})$$

$$P_z = (1240250 + 60000 + 115500)[\cos^2 2^\circ + \sin^2 2^\circ \tan^2 32^\circ] + 184797 \\ = 1630559(\text{N})$$

(5) 求桅杆受弯矩 M

$$M = P \times e = 1240250 \times 0.1 = 124025(\text{N} \cdot \text{m})$$

(6) 稳定性验算, 按式(2-54)计算

$$\sigma = \frac{P_z}{\varphi A} + \frac{M}{W} = \frac{1630559}{0.763 \times 173.2} + \frac{124025 \times 100}{7264} \\ = 14046(\text{N}/\text{cm}^2) \\ = 140(\text{N}/\text{mm}^2) < [\sigma] = 170\text{N}/\text{mm}^2$$

可见桅杆最大应力小于许用应力, 可保证使用安全。

(五) 吊装实例

1. 用直立单桅杆和双桅杆吊装大型桥式起重机

在某厂安装了起重量 400/80t 大型天车, 其吊装方法是用直立单桅杆整体吊装天车主桥架(用临时端梁连接), 再用两个直立桅杆抬吊小车。

(1) 厂房和天车的有关数据

厂房跨距 36m, 柱距 12m, 屋架间距 6m, 屋架下弦标高 28.40m, 轨道标高 21.20m。天车跨距 34m, 小车轨距 6.7m, 天车总质量 359t, 其中桥架与运行机构 217t, 小车 142t。

(2) 吊装机具

- 1) 起重能力 240t 格构式桅杆 1 个, 高 32m, 150t 桅杆 1 个, 高 32m;
- 2) 卷扬机: 牵引力 80kN 的 6 台, 50kN 的 1 台;
- 3) 滑车组: HQD6-50 6 套, 导向滑车: HQGK1-16;
- 4) 缆风绳: 每个桅杆 8 根, 规格 $6 \times 37-26-1550$;
- 5) 卷扬机牵引绳: $6 \times 37-26-1550$;
- 6) 捆绑绳: 每点捆绑 3 道即 6 根, 规格 $6 \times 37-39-1550$ 。

(3) 吊装工艺

1) 吊装主桥架(图 2-71)

240t 桅杆直立于车间纵向中心线上, 设 8 根对称布置的缆风绳, 从屋架穿入转折并固定在柱基上。两片天车主桥架用临时端梁连成整体组装于桅杆的两侧。一侧主梁设三吊点挂三套滑车组, 用一根绳串联, 两绳头至卷扬机。起动 4 台主吊卷扬机, 试吊。为安全计, 试吊时加上 18t 附加载荷, 吊至 2m 高停留 30min, 检查各受力点无异状后, 卸下附加载荷后继续吊升, 至天车走行轮高出轨道高度以后, 用卷扬机牵引使桥架转动, 待其纵向中心与车间横向中心垂直后, 将桥架落于轨道上, 并拆去临时端梁, 并将两片主梁分开一定的距离。

2) 吊装小车

240t 桅杆不动, 再立一根 150t 桅杆, 两桅杆在车间同一横向中心上。两桅杆各挂两套, 共 4 套 500kN 滑车组, 用 4 台 80kN 卷扬机牵引。起动卷扬机, 当小车被吊升至高出主梁后, 接临时电源, 驱动天车走行机构, 使两个主梁合拢, 连接正式端梁, 将小车落于天车主梁上。

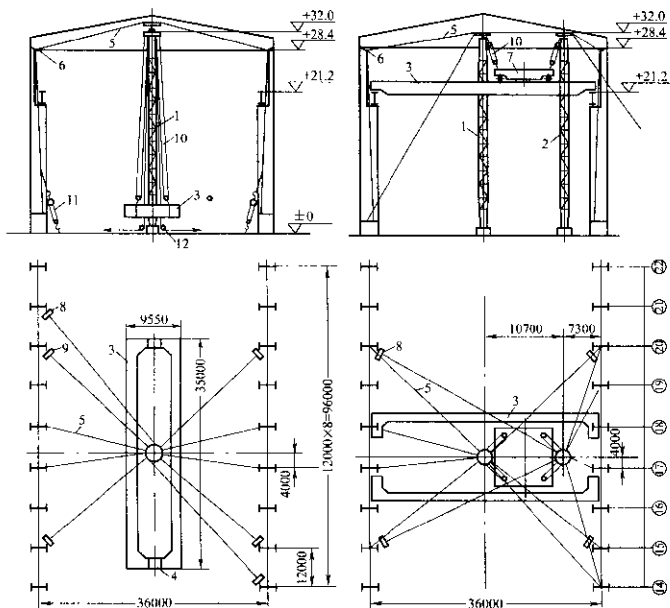


图 2-71 天车吊装图

1—240t 桅杆;2—150t 桅杆;3—天车桥架;4—临时端梁;5—缆风绳;6—20t 家具卸扣;7—小车;8—80kN 卷扬机 4 台;9—80kN 卷扬机 2 台;10—500kN 滑车组(大车 6 套、小车 4 套);11—50kN 手拉葫芦;12—导向滑车

(4) 受力计算结果

1) 吊天车主桥架

- 载荷 $P = 2300\text{kN}(230\text{tf})$;
- 每组滑车组受力 $P_1 = 392\text{kN}$;
- 卷扬机牵引力 $S = 54\text{kN}$;
- 每个吊点捆绑绳受力 $P_d = 445\text{kN}$;
- 缆风绳受力 $P_f = 92\text{kN}$;
- 桅杆对基础的总压力 $P_r = 2810\text{kN}$ 。

2) 吊天车小车

- 载荷 $P = 132\text{t}$;
- 每组车轮组受力 $P_1 = 330\text{kN}$;
- 卷扬机牵引力 $S = 45\text{kN}$;
- 滑车组捆绑绳受力 $P_d = 375\text{kN}$;
- 主缆风绳受力 $P_f = 75\text{kN}$;

2. 用双斜立桅杆抬吊大型锻造桥式起重机

在某厂安装了起重重量 300t 大型锻造天车,其一根主梁重 1300kN(130t),用双斜立桅杆抬吊。

(1)厂房和天车的有关数据

厂房跨度 24m,柱距 12m,屋架下弦标高 26.50m,轨道标高 19.20m。

天车跨距 22.5m,小车轨距 6.7m,天车主梁 1 根重 1300kN(130t)。

(2)吊装机具

1)起重能力 200t 格构式桅杆 1 根,高 30m;100t 桅杆 1 根,高 30m;

2)卷扬机:牵引力 50kN 的 5 台;

3)滑车组:HQD6-50 4 套,导向滑车 HQGK1-10;

4)缆风绳:每个桅杆 7 根,200t 桅杆两根主缆风绳 $6 \times 37 - 39 - 1550$,其余为 $6 \times 37 - 26 - 1550$;

5)卷扬机牵引绳: $6 \times 37 - 21.5 - 1550$;

6)捆绑绳:每点捆 3 道即 6 根,规格为 $6 \times 37 - 34.5 - 1550$ 。

(3)吊装工艺(图 2-72)

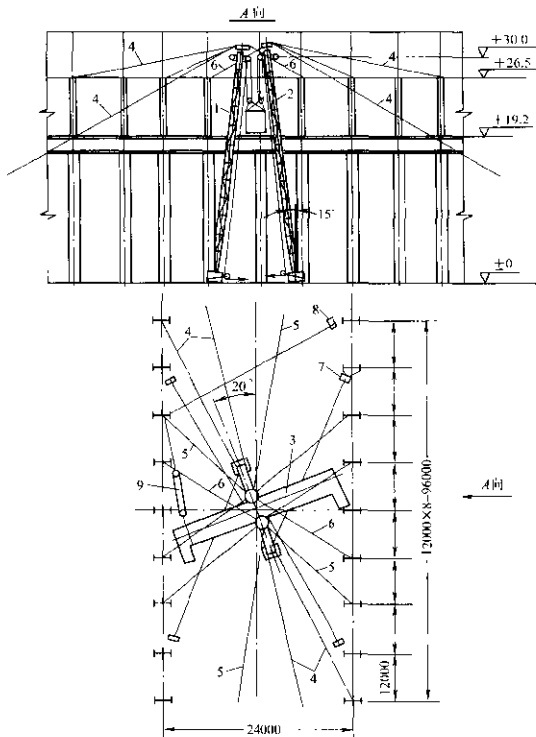


图 2-72 双斜桅杆抬吊天车主梁

1—200t 桅杆;2—100t 桅杆;3—天车主梁;4—主缆风绳(2 根);5—辅缆风绳(3 根);6—平衡缆风绳(2 根);
7—吊装卷扬机(4 台);8—夺正卷扬机;9—夺正滑车组

起重量 200t 桅杆和 100t 桅杆均倾斜 15°立于和车间纵向中心线成 20°角的一条中心线上。每根桅杆均设 7 根缆风绳,其中主缆风绳 2 根,辅缆风绳 3 根,平衡缆风绳 2 根。每个桅杆挂两套滑车组。在用捆绑绳形成吊点时,要使 200t 桅杆承担 2/3 负荷。设 4 台吊升卷扬机,1 台夺正卷扬机。

经常规方法试吊无异常后,将天车主梁吊升至超过天车轨道高度以上。用夺正滑车组和卷扬机将主梁拉至与车间横向中心重合,对正走行轮和轨道,落主梁于轨道上。

二、人字桅杆

人字桅杆,亦称“两木搭”、“人字架”。为提高其稳定性,也有将人字桅杆做成 A 字形的。人字桅杆的横向稳定性好、起吊能力大、缆风绳较少、搭设容易、移动方便,又可改变吊装角度。因此,较广泛地用于设备吊装和装卸等作业中。人字桅杆有用圆木绑成、钢管焊成和格构式三类,按其吊装工艺要求,其头部有多种不同的连接形式。

(一)圆木人字桅杆

圆木人字桅杆用两根长度一致,根径和梢径尺寸基本相同的圆木组成。两杆上部的交叉处用细钢丝绳捆扎,视圆木直径可捆绕 30~40 圈。滑车组或手拉葫芦用索具悬挂于头部的交叉处,牵引绳通过绑于 1 根脚处的导向滑车引向卷扬机或绞磨。人字桅杆两脚要用钢丝绳连在一起。

圆木人字桅杆两脚的开度略等于人字桅杆交叉处垂直高度的 1/3。圆木人字桅杆的规格和性能列于表 2-21 和表 2-22。

表 2-21 圆木人字桅杆规格和起重能力(t)

圆木梢径/cm	桅杆木长度/m				
	6.0	7.5	9.0	12.0	15.0
φ15	3.0	1.8	1.2		
φ20	8.0	6.5	5.0	3.0	1.8
φ25	18.0	13.5	9.8	5.6	3.6
φ30			18.0	12.4	7.5

注:1.按新木材,含水率不大于 10%~20%计算;2.两脚宽度 $b \approx \frac{h}{3}$, h 指人字桅杆交叉点至地面的垂直距离;3.摘自起重吊装技术手册。

表 2-22 圆木人字桅杆规格和性能

桅杆起重量/t	圆木规格		桅杆高/m	缆风绳直径/mm	滑车组			卷扬机牵引力/kN
	长度/m	圆木梢径/cm			牵引钢丝绳直径/mm	滑轮数量		
						定滑车	动滑车	
3	7.0	16	6.0	15.5	12.5	2	1	15
4.5	6.0	16	5.0	15.5	15.5	2	1	20
6	4.0	16	3.2	15.5	17.5	3	2	30
10	8.0	20	7.0	15.5	19.5	2	1	30
11	6.0	20	5.0	15.5	19.5	3	2	30
19	10.0	30	9.0	19.5	24	3	3	50
31	8.0	30	7.0	24	24	5	4	50

注:1.木材许用应力 11MPa;2.桅杆底宽为桅杆高的 $\frac{1}{3}$;3.两根后缆风绳夹角为 45°~60°,与地面夹角为 30°;4.摘自吊装工一书。

(二) 钢管人字桅杆

按起重量和吊装工艺的要求,钢管人字桅杆的构造型式有许多种,可做成整体式的,也可做成可拆卸的型式。

1. 构造型式(图 2-73)

用钢管绑扎成的人字桅杆如图 2-73a 所示,用两根直径和长度均相等的钢管,交叉成 $25^\circ \sim 35^\circ$ 角,其交叉部分长度在 600~900mm 之间,用细钢丝绳捆绑数十圈即可形成人字桅杆。为避免钢管受力后交叉部位被挤扁,钢管顶端应塞入圆木 为增强两脚的刚性,钢管内亦应塞入圆木,或在脚的末端焊接钢底板。为防止交叉捆绑处绑绳下滑,可在钢管外焊上 $\phi 8 \sim 10$ mm 圆钢筋筋圈。在用此种人字桅杆起吊重物时,其两脚间应连接钢丝绳绳索,以防受力后两脚向外滑开。

可拆卸的 A 字形人字桅杆如图 2-73b 所示。此种桅杆用焊接方式组成,当 H 大于 9m 时,应作成可拆卸式的结构,以便于转移运输。立起后,其钢丝绳拴绑于桅杆头部。

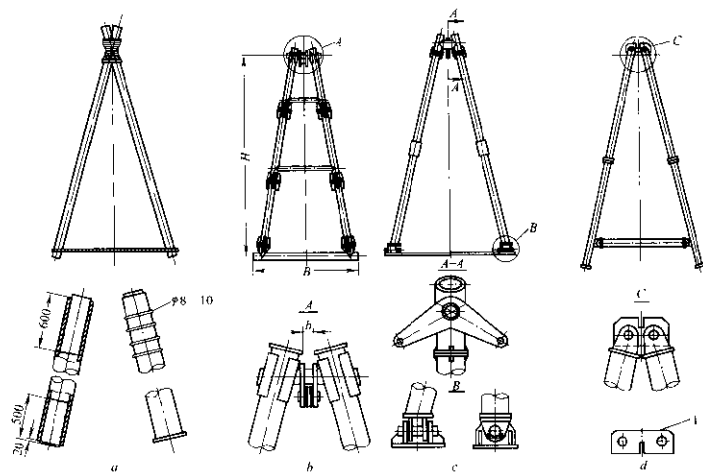


图 2-73 钢管人字桅杆的构造型式

带铰接支座的人字桅杆如图 2-73c 所示。此种带铰接支座的人字桅杆,在吊装负重状态下可变更其倾斜角,以适应摆动吊装工艺的要求。吊装工作时,其两支座间应用钢丝绳连接起来,以防两腿滑开。固定起吊滑车组的钢丝绳需捆绕在桅杆的头部交叉处,缆风绳则固定在杆顶零件的两边。此种桅杆一般也作成可拆卸的型式。

用于双转法扳吊作业的人字桅杆,用双转法扳吊时所使用的的人字桅杆有数种不同的结构型式。图 2-73d 为其中较轻便的一种型式,因较轻巧又可拆卸,所以特别适用于扳吊野外作业的输电杆塔类细高的重物。其杆顶用 1 带凹槽的厚钢板将两杆头钢管铰接。零件 1

亦带凹槽并与杆顶钢板卡接,两孔固定起吊绳索和牵引绳索。此种结构工作可靠,脱杆时灵活。

2. 规格和性能

可拆卸的 A 字形人字桅杆,图 2-73b 所示结构的规格和性能列于表 2-23 和表 2-24。

表 2-23 A 字形人字桅杆规格和性能

桅杆高度 H /m	起重量/t	钢管外径 \times 壁厚/mm	有关尺寸/mm		组成段数	人字桅杆质量 /kg
			b	B		
6	10	$\phi 108 \times 8$	154	2100		380
9	20	$\phi 168 \times 8$	222	3050		837
12	20	$\phi 219 \times 8$	220	4220	4	1267
15	30	$\phi 273 \times 10$	254	5200	4	2430

注:1.表中 B 、 b 符号代表意义见图 2-73b,2.摘自起重吊装技术手册。

表 2-24 钢管人字桅杆的规格和性能

起重量/t	人字桅杆垂直高度/m						
	8	10	12	16	20	24	28
	钢管外径 \times 壁厚/mm						
5	$\phi 159 \times 6$	$\phi 159 \times 8$	$\phi 219 \times 6$	$\phi 219 \times 6$	$\phi 273 \times 7$		
10	$\phi 219 \times 6$	$\phi 219 \times 6$	$\phi 219 \times 7$	$\phi 273 \times 7$	$\phi 273 \times 10$		
15	$\phi 219 \times 10$	$\phi 273 \times 7$	$\phi 273 \times 7$	$\phi 273 \times 9$	$\phi 325 \times 8$		
20		$\phi 273 \times 9$	$\phi 273 \times 10$	$\phi 325 \times 8$	$\phi 325 \times 10$	$\phi 377 \times 8$	
25			$\phi 325 \times 8$	$\phi 325 \times 10$	$\phi 377 \times 9$	$\phi 426 \times 9$	$\phi 426 \times 10$
30			$\phi 325 \times 10$	$\phi 377 \times 8$	$\phi 377 \times 10$	$\phi 426 \times 9$	$\phi 426 \times 11$
起重量 /t	滑车组串绕 (上-下)		滑车组牵引绳直径 /mm		卷扬机牵引力 /kN		缆风绳直径 /mm
5	3-2		15.5		14.4		13
10	4-3		17.5		20.98		17.5
15	4-3		19.5		31.87		21.5
20	4-4		21.5		37.65		24
25	5-5		24		40.10		26
30	6-6		26		43.34		30

注:1.杆长(m)选择,为 $1.03H - (0.4 - 0.6)$, H ——人字桅杆的垂直高度,2.钢管材质为 20 号钢,3.钢丝绳采用 D 型 $6 \times 37 + 1$,其公称抗拉强度为 1400MPa,4.后方缆风绳按一根计,如两根以上应换算;5.摘自设备安装起重工;6.上表所列数值是根据下列数据计算:(1)缆风绳与地面夹角 $\beta = 30^\circ$,人字桅杆交叉角 $\theta = 30^\circ$,人字桅杆向前倾斜角 $\alpha = 10^\circ$ 。(2)索具重量:当起重量为 50kN(5t)、100kN(10t)时,取 2kN(0.2t);当起重量为 150kN(15t)、200kN(20t)时取 5kN(0.5t);当起重量为 250kN(25t)、300kN(30t)时,取 10kN(1t)。(3)动载系数 $K = 1.1$ 。

鋼管人字桅杆起吊設備時,按吊物質量,桅杆高度,兩腳開度及其傾斜幅度的不同,計算其受力值,並列於表 2-25 中,以便在選用時參考。

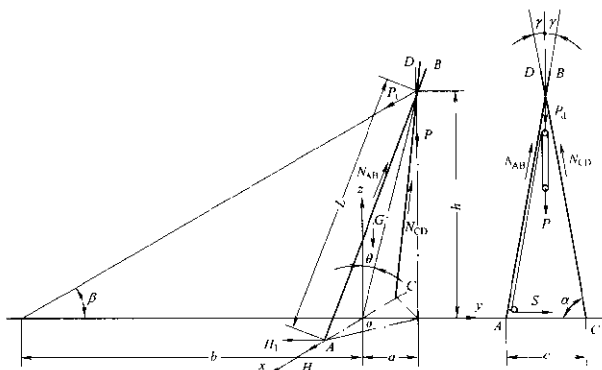


圖 2-74 人字桅杆受力簡圖

Q —吊物質量; P_1 —主纜風繩受力; h —人字桅杆高度; H_1 —人字桅杆向後傾斜時向後的水平推力; P_2 —滑車組上部繩索受力; β —主纜風繩與水平面間夾角; H —人字桅杆底部的水平推力; a —人字桅杆傾斜幅度; b —主纜風繩錨點至人字桅杆跨距中心的距離; ϕ —鋼管直徑; L —桅杆有效長度; P_3 —桅杆所承受的頂壓力; S —卷揚缸所需牽引力; c —桅杆兩腿開距。

表 2-25 人字桅杆吊裝設備的基本參數

Q/t	L/m	c/m	a/m	h/m	工作繩數	S/kN	$\phi \times t$ /mm	P ₃ /kN	P ₁ /kN		P ₂ /kN		H/kN		H ₁ /kN		b/m	
									30	45	30	45	30	45	30	45	30	45
									α/(°)									
5	4	0.70	0.35	3.8	手拉滑車	50	108 × 5	50	7.5	9.2	36	39	9.3	10	3.0	3.3	6.6	3.8
			0.49	3.8					10	13	37	40	9.6	10	4.4	4.7	6.6	3.8
			0.69	3.8					14	20	39	43	10	11	6.5	7.2	6.6	3.8
	7	1.2	0.61	6.7					7.1	9.3	37	39	9.6	10	3.1	3.3	11.6	6.7
			0.85	6.7					10	14	38	41	9.8	11	4.5	4.8	11.6	6.7
			1.2	6.7					14	21	39	44	10	11	6.5	7.4	11.6	6.7
	10	1.7	0.87	9.6					7.2	18	37	43	9.6	11	3.1	3.6	16.6	9.6
			1.2	9.6					10	26	38	47	9.8	12	4.5	5.5	16.6	9.6
			1.7	9.6					14	40	40	53	10	14	6.7	8.9	16.5	9.5

续表 2-25

Q/t	l/m	c/m	a/m	h/m	工作 绳数	S /kN	φ × t /mm	P _d /kN	P ₁ /kN		P ₂ /kN		H/kN		H ₁ /kN		b/m						
									30	45	30	45	30	45	30	45	30	45					
									α/(°)														
10	5	0.87	0.43	4.8	4	37	127 × 6	157	14	18	123	128	32	33	10	11	8.3	4.8					
			0.60	4.8					20	28	125	132	32	34	15	16	8.3	4.8					
			0.86	4.8					28	41	128	138	33	36	21	23	8.3	4.8					
			0.87	9.6					14	19	125	130	32	34	11	11	16.6	9.6					
			1.2	9.6					21	27	128	134	33	35	15	16	16.6	9.6					
			1.7	9.6					29	42	131	140	34	36	22	23	16.5	9.5					
	15	2.6	1.8	1.3					14.4	6	38	219 × 6	221	15	19	128	132	33	34	11	11	24.9	14.4
				0.43					4.8					21	28	130	136	34	35	15	16	24.9	14.4
				0.86					4.8					30	43	133	143	34	37	22	24	24.9	14.4
				0.87					9.6					21	28	162	170	42	44	14	14	8.3	4.8
				1.2					9.6					30	40	165	175	43	45	19	21	8.3	4.8
				1.7					9.5					42	61	170	185	44	48	29	32	8.3	4.8
15	5	0.87	0.43	4.8	6	38	219 × 6	221	22					28	166	173	43	45	14	15	16.6	9.6	
			0.86	4.8					31					41	169	179	44	46	20	21	16.6	9.6	
			0.87	9.6					43					63	174	188	45	49	29	32	16.5	9.5	
			1.3	14.4					22					29	169	176	44	46	14	15	24.9	14.4	
			1.8	14.4					32					43	172	182	45	47	20	21	24.9	14.4	
			2.6	14.4					45					65	177	192	46	50	30	32	24.9	14.4	
	20	10	1.7	0.87					9.6	8	40	219 × 8	284	29	38	204	214	53	55	17	18	16.6	9.6
				1.2					9.6					42	55	209	221	54	56	25	26	16.6	9.6
				1.7					9.5					58	84	215	234	56	61	36	39	16.5	9.5
				1.3					14.4					30	39	209	218	54	56	18	18	24.9	14.4
				1.8					14.4					43	57	213	226	55	58	25	27	24.9	14.4
				2.6					14.4					59	87	220	240	57	62	37	41	24.9	14.4
15		2.6	1.8	1.7	19.2	8	40	373 × 7	284					31	40	213	223	55	58	18	19	33.3	19.2
				2.6	14.4									44	58	218	231	56	60	26	27	33.3	19.2
				3.5	19.0									61	89	224	245	58	63	38	41	32.9	19.0
				1.1	11.5									44	57	291	309	75	80	24	26	19.9	11.5
				1.5	11.5									63	83	298	320	77	83	35	38	19.9	11.5
				2.1	11.4									88	128	308	341	80	88	52	57	19.7	11.4

(三)格构式人字桅杆

格构式人字桅杆一般用于吊装大型设备,其结构型式、尺寸和起重量应按所吊设备各项参数及吊装工艺方法而定。也可用两个相同规格的独脚桅杆改制成人字桅杆。

(四)人字桅杆受力计算(图 2-74)

1. 载荷 P

$$P = (Q + q)K$$

此载荷对每根杆的轴向压力为 N_1

$$N_1 = \frac{P}{2} \sin \alpha$$

式中 α ——桅杆轴线与地面夹角。

2. 滑车组出绳端拉力 S

$$S = KP$$

此力施于系导向滑车的桅杆,其轴向压力为 N_2

$$N_2 = S$$

3. 滑车组绑绳绳受力 P_d

因 S 和 P 间有 γ 夹角, 所以 P_d 应为 S 和 P 的合力即:

$$P_d = \sqrt{P^2 + S^2 + 2PS\cos\gamma}$$

式中 γ ——两杆交叉角的一半。

4. 卷扬机牵引力 S_1

$$S_1 = KP$$

式中 K ——载荷系数, 见表 1-25;

P ——计算载荷。

5. 主缆风绳受力 P_t

$$P_t = \frac{(P + G)\sin\theta}{\cos(\theta + \beta)}$$

式中 θ ——桅杆倾斜角;

β ——缆风绳与水平面间夹角;

G ——1 根桅杆重量。

P_t 施于桅杆的轴向压力

$$N_3 = P_t \sin(\theta + \beta)$$

6. 桅杆重量对桅杆的轴向压力 N_4

$$N_4 = \frac{G}{2} \sin\alpha$$

7. 施于桅杆上的总轴向压力 N_{AB}, N_{CD}

因 AB 杆有滑车组出绳拉力, 则

$$N_{AB} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (2-55)$$

而 CD 杆无以上受力, 故:

$$N_{CD} = N_1 + N_3 + N_4 \quad (2-56)$$

但在桅杆根部, 即拴系导向滑车以下部分两杆承受压力相同, 均为:

$$N_{AB} = N_{CD} = N_1 + N_3 + N_4$$

8. 人字桅杆底脚向外的水平推力 H

$$H = N_{AB} \sin\gamma$$

9. 人字桅杆倾斜时桅杆底脚向后的水平推力 H_1

$$H_1 = N_{AB} \cos\gamma \sin\theta$$

10. 人字桅杆倾斜幅度 a

$$a = L \cos\gamma \sin\theta$$

式中 L ——人字桅杆支腿的工作长度。

11. 人字桅杆两腿的底脚跨距 c

$$c = 2L \sin\gamma$$

12. 人字桅杆的高度 h

$$h = L \cos\gamma \cos\theta$$

13. 人字桅杆两腿的底脚跨距中心 O 至主缆风绳锚点的距离 b

$$b = h \operatorname{ctg} \alpha$$

14. 人字桅杆受力计算实例——用钢管人字桅杆吊装卧式水压机主柱塞

在某厂 25000kN 卧式水压机安装中,因吊车起重重量较小,不能满足吊装需要,故采用人字桅杆吊装该水压机的几大部件,如用双人字桅杆吊吊质量 60t 的后横梁和主工作缸组件;用人字桅杆吊装 22t 的主柱塞等。现叙述主柱塞的吊装方法进行人字桅杆的受力计算:

(1) 主柱塞参数

主柱塞直径为 $D = \phi 100\text{cm}$; 长度 $L = 359\text{cm}$; 质量 $W = 22\text{t}$

(2) 吊装机具

1) 钢管人字桅杆: 其尺寸为 $\phi 273\text{mm} \times 9\text{mm}$, 工作高度 8m, 钢管两端孔内塞入圆木, 交叉处用细钢丝绳捆扎, 由有关性能表中选用, 故不需验算。

2) 卷扬机: 最大牵引力为 50kN 的慢动卷扬机;

3) 滑车组: HQD4-32 1 组, 导向滑车: HQGK1-5;

4) 卷扬机牵引绳: $6 \times 37 - 19.5 - 1550$;

5) 缆风绳: $6 \times 37 - 24 - 1550$, 共 6 根;

6) 手拉葫芦: HSS 3 个, HS3 4 个;

7) 液压千斤顶: QY20。

(3) 吊装方法和步骤(图 2-75)

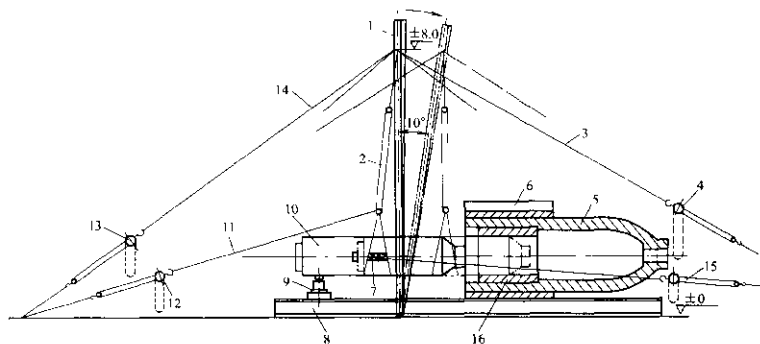


图 2-75 水压机主柱塞吊装图

1—人字桅杆; 2—起重滑车组; 3—后方主缆风绳; 4、12、13—手拉葫芦; 5—水压机缸; 6—后横梁; 7—方木; 8—底座; 9—液压千斤顶; 10—主柱塞; 11—牵吊绳; 14—前方主缆风绳; 15—手拉葫芦; 16—衬套

钢管人字桅杆直立于设备基础上, 前后两个方向系 6 根缆风绳, 其中前后各 1 根为主缆风绳, 它通过手拉葫芦固定于地锚上。起重滑车组通过 2 根等长吊索吊于主柱塞重心的两侧。为防止吊索损伤主柱塞精加工过的圆柱表面, 可在吊索上穿套夹布橡胶管。用两根适当长度的方木, 将两根吊索撑开, 以防两吊索滑近后失稳。两桅杆脚需用钢丝绳封固。

1)用图中手拉葫芦 12 适度牵引,将主柱塞偏离人字桅杆中心吊起,其高度达到主柱塞与主工作缸中心基本一致;

2)缓慢放松手拉葫芦 12,将主柱塞穿入主缸孔中,至起重滑车组自然垂直;

3)缓慢放松前方缆风绳的手拉葫芦 13 并相应放松同侧另两根缆风绳,使人字桅杆逐渐后倾,将主柱塞穿入衬套。在此过程中要随时调整主柱塞的高度,始终使其中心与衬套中心一致,并用框式水平仪测量主柱塞的水平度;

4)主柱塞头部用液压千斤顶顶起,则主柱塞两端被支担在千斤顶和衬套上,松开起重滑车组,恢复人字桅杆的直立状态;

5)再次用起重滑车组吊起主柱塞的前部,并在主柱塞的两侧向再挂两个手拉葫芦,用其将主柱塞引入衬套中。

(4)受力计算并验算吊装机具的合理性

已知: $Q = 220\text{kN}$; $q = 5\text{kN}$; $L = 8.21\text{m}$; $G = 5\text{kN}$; $\gamma = 13^\circ$; $\beta = 30^\circ$; $\alpha = 77^\circ$; $\theta = 10^\circ$ 。

按图 2-75,在人字桅杆后倾 10° 时计算其受力值,并验算机具选用的合理性。

1)载荷对桅杆的轴向压力 N_1

$$P = (Q + q)K = (220 + 5) \times 1.1 = 247.5(\text{kN})$$

此载荷对每根杆的轴向压力

$$N_1 = \frac{P}{2} \sin \alpha = \frac{247.5}{2} \times \sin 77^\circ = 120.6(\text{kN})$$

2)出绳端拉力对桅杆的轴向压力 N_2

$$N_2 = S = KP = 0.149 \times 247.5 = 36.87(\text{kN})$$

式中 K ——查表 1-25,8 根绳,滑轮为青铜轴套,1 个导向滑车。

此力施于系有导向滑车的桅杆腿上。

3)滑车组绑绳受力 P_d

$$\begin{aligned} P_d &= (P^2 + S^2 + 2PS \cos \gamma)^{\frac{1}{2}} \\ &= (247.5^2 + 36.87^2 + 2 \times 247.5 \times 36.87 \times \cos 13^\circ)^{\frac{1}{2}} \\ &= 283.5(\text{kN}) \end{aligned}$$

HQD4-32 滑车组,可用。

4)卷扬机牵引力 S_1

$$S_1 = KP = 247.5 \times 0.161 = 39.85(\text{kN})$$

式中 K ——查表 1-25,8 根绳,3 个导向滑车。

50kN 卷扬机,可用。牵引绳用 $6 \times 37 - 19.5 - 1550$ 其破断拉力总和为 218.5kN,选安全系数为 5.5,其许用拉力为 39.72kN,可用。

5)主缆风绳受力 P_t

$$P_t = \frac{(P + G) \sin \theta}{\cos(\theta + \beta)} = \frac{(247.5 + 5) \sin 10^\circ}{\cos(10^\circ + 30^\circ)} = 57.24(\text{kN})$$

因有 3 根缆风绳受力,故主缆风绳用 50kN 手拉葫芦安全。

缆风绳选 $6 \times 37 - 24 - 1550$,其破断拉力总和为 326.5kN,取安全系数 $K = 5.5$,则许用拉力为 59.3kN,可用。

P_1 施于桅杆的轴向压力

$$\begin{aligned} N_3 &= P_1 \sin(\theta + \beta) = 57.24 \times \sin 40^\circ \\ &= 36.8(\text{kN}) \end{aligned}$$

6) 桅杆重量对桅杆的轴向压力 N_4

$$\begin{aligned} N_4 &= \frac{G}{2} \sin \alpha = \frac{5}{2} \times \sin 77^\circ \\ &= 2.4(\text{kN}) \end{aligned}$$

7) 施于人字桅杆两腿上的轴向压力 N_{AB} 和 N_{CD}

因 AB 杆承受滑车组出绳拉力, 则

$$\begin{aligned} N_{AB} &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 120.6 + 36.77 + 36.8 + 2.4 \\ &= 196.6(\text{kN}) \end{aligned}$$

而 CD 杆承受的轴向压力

$$\begin{aligned} N_{CD} &= N_1 + N_3 + N_4 = 120.6 + 36.8 + 2.4 \\ &= 159.8(\text{kN}) \end{aligned}$$

8) 人字桅杆底脚向外的水平推力 H

$$\begin{aligned} H &= N_{AB} \sin \gamma = 196.6 \times \sin 13^\circ \\ &= 44.2(\text{kN}) \end{aligned}$$

9) 人字桅杆后倾 10° 后桅杆底脚向后的水平推力 H_1

$$\begin{aligned} H_1 &= N_{AB} \cos \gamma \sin \theta = 196.6 \times \cos 13^\circ \times \sin 10^\circ \\ &= 33.3(\text{kN}) \end{aligned}$$

三、门式桅杆

门式桅杆的特点是吊升高, 起重能力大, 整体稳定性好, 需用缆风绳较少, 吊装安全可靠, 但其移动不够方便。因以上特点, 门式桅杆既用于重型设备的装卸作业, 也用于大型设备的吊装, 如吊装压力机、锻锤的底座, 大型门式起重机等, 尤其在石油化工工程的巨型塔类设备吊装中, 有着明显的优越性。我国曾用高达 50 多米的门式桅杆成功的吊装过质量 400 ~ 560t 的巨型塔类设备多台。此方法与双桅杆抬吊法相比具有稳定性好, 吊装平稳; 缆风绳可少用 1/2 以上; 且受力也相对较小; 并可减小主吊滑车组和卷扬机的规格等优点。

(一) 门式桅杆的结构(图 2-76)

门式桅杆由两个单桅杆和横梁组成, 起重滑车组挂在横梁吊点上。它的主要性能参数是额定起重量 Q , 高度 h 和宽度 b 。按吊重质量大小和吊装工艺方法的不同, 门式桅杆的规格差别很大, 小的仅吊重几十吨, 而大者可吊数百吨, 其高度由几米到数十米。如在吊装实践中用过 $h = 56\text{m}, b = 8.5\text{m}, h = 53\text{m}, b = 7.0\text{m}, h = 46\text{m}, b = 8.0\text{m}$ 等巨型门式桅杆, 其本身就是一个庞然大物, 自重均超百吨。竖立和放倒都是具有一定难度的吊装作业。

可专门制作门式桅杆, 但一般常用单桅杆改制。如其底座为铰接结构, 在吊装作业中, 其最大摆动角度应控制在 10° 以内。

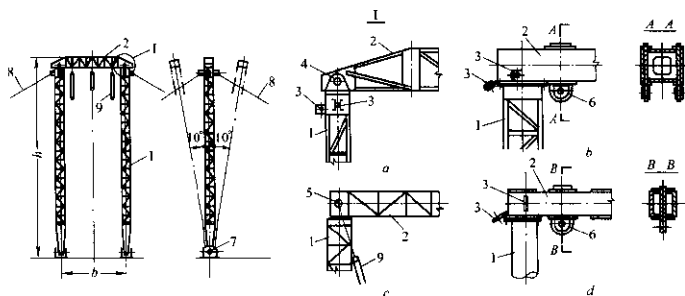


图 2-76 门式桅杆结构

1—打腿;2—横梁;3—缆风绳系点;4—铰接结构;5—圆钢;6—吊耳;7—铰接底座;
8—缆风绳;9—起重滑车组

杆腿和横梁的连接可用铰接结构,如图 2-76 中的 *a* 和 *c*, *c* 中圆钢兼作吊耳用。也可用法兰形式以高强螺栓实现连接。横梁断面可用格构式(图中 *a* 和 *c*);箱形结构(图中 *b*);型钢组焊成的结构(图中 *d*)等。箱形和型钢组焊结构横梁的吊耳应用整块钢板制作,并贯穿横梁断面。缆风绳的系点可在横梁上,也可在杆腿的头部。吊点在横梁上的位置,应以横梁所受弯矩较小为原则,并结合吊装工艺要求而确定。

(二) 门式桅杆吊装设备的基本参数

高度 6~10m 的门式桅杆在吊装设备时其基本参数如表 2-26 所示。高大门式桅杆在吊装设备时,其受力和各项参数可通过计算求得。

(三) 门式桅杆的受力计算(表 2-26)

1. 载荷 P

$$P = (Q + q)K$$

2. 滑车组受力 P_1

$$P_1 = \frac{P}{2\cos\alpha}$$

3. 滑车组出绳端拉力 S_1

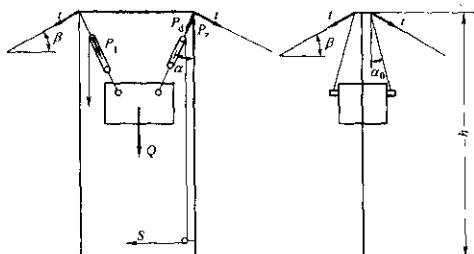
$$S_1 = \frac{P_1}{m\cos\alpha_0}K$$

式中 α_0 ——吊物一侧两滑车组中心线夹角之半,按 15° 计算;
 m ——吊物一侧滑车组组数(如用一组滑车则 α_0 为零度);
 K ——荷载系数。

4. 卷扬机牵引力 S

$$S = \frac{P_1}{m\cos\alpha_0}$$

表 2-26 门式桅杆吊装设备的基本参数



Q—吊物质量；h—桅杆底部至吊点距离；S—卷扬机所需牵引力； P_d —滑车组上部吊具受力； P_1 —桅杆承受的轴向压力； t —对称缆风绳所受工作拉力； β —缆风绳与地平面间夹角

Q/t	h/m	工作绳数	S/kN	P_d /kN	P_r /kN		t /kN	
					α			
					30°	45°	30°	45°
50	6	2×8	50	354	399	410	28	36
	7				401	412		
	8				403	414		
70	6	2×12	50	478	508	574	38	48
	7				452	578		
	8				544	580		
100	6	2×2×8	50	712	801	854	56	71
	7				805	858		
	8				809	862		
150	6	2×4×8	45	1054	1187	1268	84	107
	7				1200	1280		
	10				1211	1292		
200	6	2×4×8	50	1424	1602	1709	111	142
	7				1618	1725		
	10				1634	1741		

5. 滑车组上部吊具受力 P_d

$$P_d = [P_1^2 + (mS_1)^2 + 2P_1 mS_1 \cos\alpha]^{1/2}$$

6. 对称缆风绳预紧力给予桅杆顶部垂直压力之和 T

$$T = 0.7t(n_0 - 2)\sin\beta$$

式中 n_0 ——桅杆缆风绳的总根数；

t ——对称缆风绳的工作拉力。

7. 桅杆受轴向压力 P_z

$$P_z = \frac{P}{2} + mS_1 + G + T + P_1 \sin\beta \quad (2-57)$$

式中 P_1 按 l 计算。

四、系缆式桅杆

系缆式桅杆又称回转桁架式桅杆起重机、转盘桅杆、地灵机起重设备等。其特点是：构造较简单；桅杆可回转 360° ，回转桅杆可变幅，作业范围大，机动灵活；移动桅杆位置较方便；需用的卷扬机等机具较多；桅杆自身质量较大，一般用于吊装中等质量的设备。

(一) 系缆式桅杆的组成和结构(图 2-77)

它由主桅杆、回转变幅桅杆、顶部缆风绳帽及缆风绳、球面铰链底座、起重滑车组、变幅滑车组、转盘和移动排子等组成。

1. 桅杆主体结构

一般主桅杆和变幅桅杆均为由角钢焊成的格构式结构，每节做成 $6 \sim 8\text{m}$ 长，两节间用接口板以精制螺栓或高强螺栓实现连接。为方便检修，在主桅杆上装有梯子，桅杆顶端还有简易工作平台。

2. 顶部结构(图 2-78)

顶部结构的功能是拴系缆风绳，悬挂变幅桅杆滑车组的上滑车，并实现主桅杆绕自身轴线回转。图 2-78 中的桅杆上盘和支座是由铸钢件制成，也可用相似形状的焊接件。为减少主桅杆回转时的摩擦阻力，利用了青铜轴套和油杯，以润滑脂实现润滑。

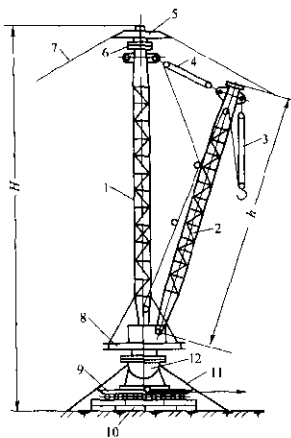


图 2-77 系缆式桅杆机构示意图
1—主桅杆；2—回转变幅桅杆；3—起重滑车组；
4—变幅滑车组；5—缆风绳帽；6—顶部结构；
7—缆风绳；8—转盘；9—木排；10—枕木；
11—底座封固设施；12—底座

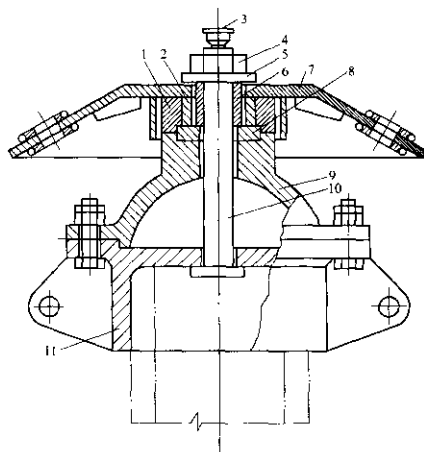


图 2-78 顶部结构

1—铜套；2—轴套；3—油杯；4—螺母；5—垫圈；6—套；7—缆风绳帽；8—铜垫圈；9—支座；10—轴；11—桅杆上盘

3. 球面铰链底座(图 2-79)

底座需承受计算载荷、桅杆自身重量、缆风绳拉力施于桅杆的轴向力等负荷。又因来自变幅桅杆的载荷对底座产生水平推力,因此底座必须有足够的强度。它由桅杆端套,球铰副座,转盘等 3 部分组成,前两者一般用铸钢件制成,转盘常用槽钢煨制而成,其直径视桅杆规格大小在 3~5m 间选用。球铰副座中间有孔,滑车组的牵引绕出绳从孔中穿出,经过固定于底座下的导向滑车引往卷扬机。为减少桅杆回转的摩擦阻力,亦设有铜套和干油润滑装置。

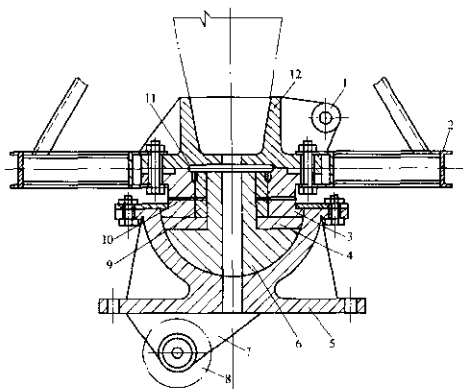


图 2-79 底座结构

- 1—回转桅杆轴框;2—转盘;3—环套;4—铜套圈;5—底座体;6—球形座头;
7—导向滑轮架;8—导向滑轮;9—铜套;10—油孔;11—固定螺钉;12—端套

一般情况底座置于木排和滚杠之上,并需用封固措施固定底座,以防其产生位移而使桅杆失稳。在需回转桅杆时,应在转盘上绕以钢丝绳 3~4 圈,用卷扬机牵引。

(二) 系缆式桅杆的规格及性能

我国某冶金安装企业早些年曾用过的系缆式桅杆的规格和性能列于表 2-27 供参考。

表 2-27 系缆式桅杆的规格和性能

起重量 /t	桅杆高度及断面				缆风绳		起重滑 车组钢 丝绳 /mm	卷扬机 规格 /kN
	主桅杆		回转桅杆		根数	直径/mm		
	高度/m	断面/mm	高度/m	断面/mm				
15	45	□800×800, L100×12	40	□800×800, L100×12	9	φ28	φ17.5	50
18	24.7	□800×800, L100×10	20	□800×800, L100×10	8	φ32.5	φ21.5	50
30	50	□900×900, L120×12	45	□900×900, L120×12	9	φ32.5	φ19.5	50
35	64	□1200×1200, L150×12	58	□1200×1200, L150×12	13	φ34.5	φ21.5	50
40	32.1	□1000×1000, L150×12	27	□900×900, L130×12	9	φ37	φ21.5	50
45	85	□1600×1600, L200×20	77	□1600×1600, L200×20	12	φ39	φ28	50

注:额定起重量是在一定的回转半径内的数值,当回转半径再增大时,则起重量逐渐减少。

(三) 系統式桅杆受力計算

系統式桅杆受力情況示於圖 2-80。

1. 計算載荷 P

$$P = (Q + q)K$$

2. 滑車組出繩端拉力 S

$$S = KP$$

3. 起重滑車組上部吊具受力 P_d

$$P_d = \sqrt{P^2 + S^2 + 2PS \sin \alpha}$$

式中 α ——回轉桅杆與水平面之間的夾角。

4. 變幅滑車組受力 P_f

$$P_f = \frac{(P + G) \cos \gamma}{\sin(\alpha + \gamma)}$$

式中 γ ——變幅滑車組與水平面之間的夾角。

5. 變幅滑車組出繩端拉力 S_2

$$S_2 = KP_f$$

式中 K ——荷載係數, 表 1-25。

6. 變幅滑車組上部吊具受力 P_d'

$$P_d' = \sqrt{P_f^2 + S_2^2 + 2P_f S_2 \sin \gamma}$$

7. 回轉桅杆所受軸向力 P_z

$$P_z = (P + G) \sin \alpha + S + P_f \cos \theta \quad (2-58)$$

式中 θ ——變幅滑車組中心線與回轉桅杆中心線的夾角。

8. 纜風繩受力 P_1

$$P_1 = \frac{P \cos \gamma}{\cos \alpha}$$

9. 主桅杆所受軸向力 P_z'

$$P_z' = P_f \sin \gamma + S_2 + G_1 + P_1 \sin \alpha + t$$

10. 回轉桅杆支座所受的垂直壓力 P_c

$$P_c = P_z \sin \alpha$$

11. 回轉桅杆支座所受的垂直壓力 P_s

$$P_s = P_z \cos \alpha$$

五、纜風繩

纜風繩也稱拖拉繩、浪風繩, 它是形成桅杆起重能力的重要組成部分, 起穩定桅杆作用, 並承受桅杆起重吊裝中的部分載荷。

(一) 設置纜風繩的一般原則

設置纜風繩時應遵守以下一般原則, 但由於諸多吊裝條件的千差萬別, 也應視情況的差異, 作具體處置。可是, 無論採取何種方法都必須使其起到纜風繩應起的作用。

(1) 纜風繩必須保證桅杆在無載和有載狀態下的穩定。

(2) 纜風繩的根數, 應視桅杆的種類、高度、起重量和受力狀態而定。原則上桅杆均勻受

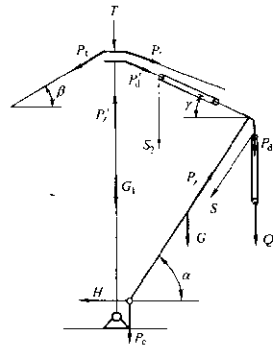


圖 2-80 系統式桅杆受力簡圖

力缆风绳可少些,偏向受力多些;桅杆高度低、起重量小缆风绳可少些,反之,桅杆高、起重量大则多些,一般在4~13根中选择。

(3)一般情况单桅杆缆风绳不少于5根,回转式桅杆不少于6根,人字桅杆和门式桅杆不少于4根。

(4)回转桅杆(包括系缆式桅杆)、直立单桅杆双侧吊装等缆风绳应均匀分布,门式桅杆的缆风绳常对称分布,其余情况可不均匀分布。

(5)如吊装场地开阔平坦,多个缆风绳的地锚点应在距桅杆同一半径的圆周上。

(6)利用厂房车间柱子或吊装现场其他设施为锚点时,其缆风绳的分布可视具体情况而定,但要合理得当。

(7)缆风绳的长度一般是桅杆的2~2.5倍。缆风绳与地平面间的夹角规定为30°,因具体条件的不同,可适当加大些,但不得大于45°。

(8)在全部缆风绳中有主要受力的主缆风绳和次要受力的辅缆风绳以及偶而受力的平衡缆风绳。因此,在布置缆风绳时,应尽量增加受力缆风绳占总缆风绳的比例。

(9)在桅杆立起后,应对全部缆风绳施以预紧力,并达到适当的数值。可用测力计进行定量计量。也可以手捺压缆风绳,凭经验用手感估计其紧度。

(10)缆风绳和串于其间的索具螺旋扣、手拉葫芦、滑车组等均应有足够的安全裕度,必须达到规定的安全系数。

(11)选取缆风绳的直径,可按算法得出的最大总拉力,用力学分解法分配到各缆风绳上,取其中受力最大者为决定缆风绳直径大小的依据。

(二)缆风绳的数量及分布方式(图2-81)

缆风绳的数量和其分布方式应按桅杆的种类、高度、起重量和受力状态而定。一般数量为4~13根,而分布方式有时应均匀分布,有时又必须非均匀分布。由于诸多吊装情况的不同,缆风绳的数量差别较大,其分布方案也有许多种。现列举其中一些,以示例作用进一步阐述此问题。

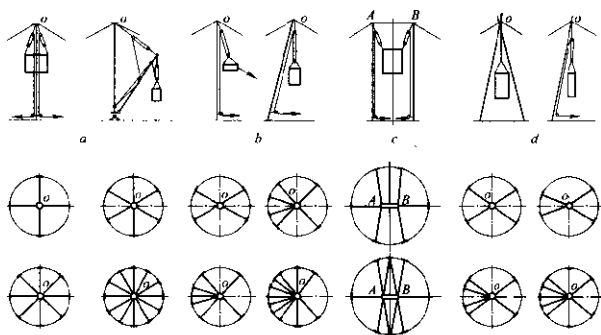


图2-81 桅杆缆风绳分布示例图

1. 均匀分布缆风绳(图 2-81a)

在回转桅杆、单直立桅杆双侧吊装中,缆风绳应均匀分布。其根数可按桅杆的高度和起重量大小在 4~12 根中选用。其中推荐优先选用 4 根(两相邻缆风绳隔 90°)、6 根(60°)、8 根(45°)和 12 根(30°)等几种。

2. 非均匀分布缆风绳(图 2-81b、d)

在单直立桅杆奇吊、斜立桅杆吊装中,因只有 1 侧缆风绳受力,另一侧缆风绳起平衡和稳定作用,所以缆风绳必须非均匀分布,其分布方案有多种,如图所示的几种,有两根受力缆风绳相隔 60° 的 4 根方式;4 根受力相隔 30° 的 6 根方式;5 根受力的 7 根方式和 7 根受力的 11 根方式。

在人字桅杆倾斜吊装中,缆风绳也应非均匀分布,其数量可相对少些,如图所示的几种,有两根受力缆风绳相隔 30° 或 60° 的 4 根式,4 根受力的 6 根式和 5 根受力的 9 根方式。

3. 对称分布缆风绳(图 2-81c)

门式桅杆因其横向稳定性较好,其缆风绳多采取对称分布方式,图中的 6 根和 10 根分布方式较常用。其中 4 根主要受力的缆风绳与门式桅杆纵向中心成 $5^\circ \sim 10^\circ$ 的角度。

(三) 缆风绳的预紧力

在设置桅杆时必须对缆风绳施以适量的预紧力,其目的是在桅杆负载后仍可基本保证预定的吊装参数,如直立桅杆不产生超出允许范围的歪斜,斜立桅杆仍可基本保持预定的倾斜角度等。一般,缆风绳的预紧力可根据钢丝绳的直径尺寸从表 2-28 中选用。但在用门式桅杆、双桅杆滑移法吊装或用扳转法吊装数百吨的巨型塔类设备时,缆风绳的预紧力要增加到常规预紧力的两倍左右。例如,在用高度 53m 的门式桅杆,采用滑移法吊装质量 560t 的巨塔时,所用 $\phi 47.5\text{mm}$ 缆风绳的预紧力达到 150kN。

表 2-28 缆风绳预紧力

钢丝绳直径/mm	预紧力/kN
$d \leq 21.5$	10-25
$21.5 < d < 37$	30-45
$d > 37$	50

在重大吊装工程中缆风绳的预紧力应用测力计进行定量测得。至于达到预紧力的方法,一般视缆风绳的直径大小,用串连于缆风绳中的索具螺旋扣、手拉葫芦、滑车组用卷扬机牵引等机具在缆风绳中施力。

(四) 缆风绳的长度

缆风绳的长度可根据桅杆高度、缆风绳与地平面的夹角,通过简单的计算求得。也可从已计算成表(表 2-29)的数据中查得。以上算得或查得的缆风绳长度均为理论数值,实际需要的长度还应加上缆风绳因挠度的增长量、缆风绳与桅杆顶拴系所需长度和缆风绳与锚点连接需要的长度等。

表 2-29 桅杆高度与缆风绳长度关系表

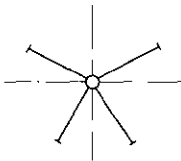
桅杆高度 /m	缆风绳与地面的夹角									
	25°		30°		35°		40°		45°	
	L/m	a/m	L/m	a/m	L/m	a/m	L/m	a/m	L/m	a/m
10	23.8	21.5	20	17	17	14	16	12	14	10
12	28.6	25.8	24	20.4	20.4	16.8	19.2	14.3	16.97	12
14	33.3	30.1	28	23.8	23.8	19.6	22.4	16.7	20	14
16	38.1	34.4	32	27.2	27.2	22.4	25.6	19.2	22.6	16
18	42.8	38.7	36	30.6	30.6	25.2	28.8	21.6	25.4	18
20	47.6	43	40	34	34	28	32	24	28.3	20
22	52.4	47.3	44	37.4	37.4	30.8	35.2	26.4	31.1	22
24	57.2	51.6	48	40.8	40.8	33.6	38.4	28.8	34	24
26	62	55.9	52	44.2	44.2	36.4	41.6	31.2	36.8	26
28	66.6	60.3	56	47.6	47.6	39.2	44.8	33.6	40	28
30	71.4	64.5	60	51	51	42	48	36	42.4	30
32	76.2	68.8	64	54.4	54.4	44.8	51.2	38.4	45.3	32
35	83.3	79.5	70	59.5	59.5	49	56	42	50	35
40	95.2	86	80	68	69.7	56	64	48	56.6	40
45	107.1	96.7	90	76.5	78.5	63	72	54	63.6	45
50	119	107.5	100	85	85	70	80	60	70.7	50

注：L—缆风绳长度；a—桅杆距锚点间距离。

(五) 缆风绳的分配系数 K'

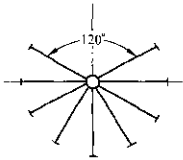
分配系数是用来简易计算缆风绳受力值的一种方法。用分配系数 K' (表 2-30, 表 2-31) 与缆风绳总拉力 P_1 的乘积来计算缆风绳受力值, 进而决定其直径。

表 2-30 受力缆风绳与缆风绳总数之比小于 50% 的分配系数 K' 值

缆风绳布置简图	缆风绳根数	
	根数	分配系数 K' 值
	4	1
	5	0.828
	6	0.667
	7	0.546
	8	0.415
	9	0.369
	10	0.342
	11	0.301
	12	0.248

注：1. 缆风绳等分布置；2. 各缆风绳与地平面夹角 β 均相同。

表 2-31 缆风绳 240° 等分布置时其分配系数 K' 值

缆风绳布置简图	缆风绳根数	分配系数 K' 值
	6	0.448
	7	0.370
	8	0.314
	9	0.278
	10	0.241
	11	0.214
	12	0.193
	13	0.170

注：各缆风绳与地平面夹角均为 30° 。

(六) 对称缆风绳受力

对称缆风绳受力,可按桅杆吊物质量大小,缆风绳与地面间夹角 β 的数字,从图 2-82 中查出粗略的数值。此图宜用于直立单桅杆、斜立单桅杆、直立双桅杆、斜立双桅杆、门型桅杆吊装。

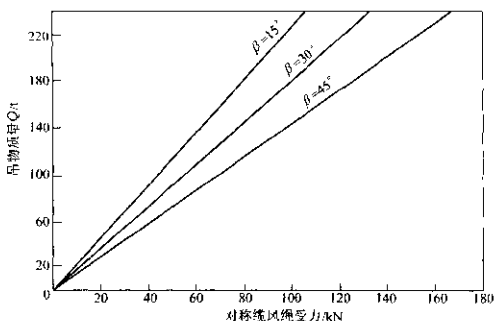


图 2-82 对称缆风绳受力估算表

六、桅杆的竖立、拆除与位移

竖立桅杆的方法,按其起吊原理分只有提吊滑移法和旋转扳吊法两类。一般用自行式起重机、桥式起重机或桅杆为起吊机具,在具备利用条件时,也可用厂房建筑物,如车间天车梁、柱子作腿、屋架等为受力点竖立桅杆。

由于桅杆的高度和质量大小差别极大,轻型桅杆高仅数米,人力可以抬起;而大型桅杆高达数十米,质量逾百吨。显然,竖立它们的吊装工程量和吊装技术也是截然不同的。竖立轻型桅杆只需简单的机具,用人力即可胜任。而竖立大型桅杆等同于进行大型杆塔类设备的吊装,应该编制起吊方案,设置完善的起吊工机具,并采取一切必要的吊装安全技术措施,以保证吊装安全。

(一) 竖立桅杆

一般用以下方法竖立桅杆。

1. 自行式起重机竖立桅杆(图 2-83)

利用自行式起重机竖立桅杆应为首选的最佳方法,此方法安全可靠,操作简单,工作效率高。如吊车的起重量和臂杆长均可满足吊装要求时,桅杆经提吊滑移后可直接竖起,如图 2-83a。如吊车臂杆长度不够,可用吊车将桅杆吊至倾斜状态,如图 2-83b,再用桅杆自身的滑车组,继续将桅杆竖起。因后半个吊装过程属扳吊作业,故需设置桅杆底封固措施、防自倾绳(也可用缆风绳代替)和两侧向平衡绳。

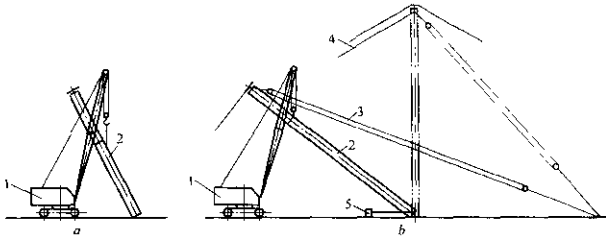


图 2-83 用自行式起重机竖立桅杆

1—吊车;2—桅杆;3—滑车组;4—防自倾绳;5—封固桅杆底部

2. 旋转扳吊法竖立桅杆(图 2-84)

用旋转扳吊法竖立桅杆,是常用的方法之一。此方法的特点是可利用较低的工具性桅杆竖立起高大的桅杆,前者高仅为后者的 1/3 左右。按吊装方式的不同,有单转扳吊法(图 2-84a)和双转扳吊法(图 2-84b)的差别。前种方法仅被起吊的桅杆旋转扳起,后种方法两桅杆均旋转,一个扳起另一个倾倒。一般用人字桅杆为扳吊机具,用其扳吊单桅杆、门型桅杆、人字桅杆等。用扳转法时,桅杆纵向中心线、滑车组、吊索、工具性桅杆和主地锚均需处于一个吊装平面之内。桅杆脚需封固,只许旋转,不能位移。两侧需设平衡绳,并随吊装的进行,始终使其处于轻度收紧的状态,以防扳转中的桅杆失稳。在桅杆被扳至自倾角以前,需收紧防倾绳索。旋转扳吊法的较详细扳吊过程,请阅读本书塔类设备扳吊法的有关章

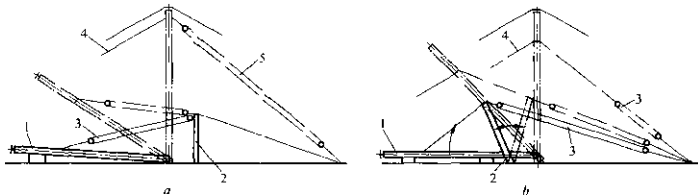


图 2-84 用旋转扳吊法竖立桅杆

1—桅杆;2—起机具作用的桅杆;3—起吊滑车组;4—防自倾绳;5—滑车组

节。

3. 滑移法竖立桅杆(图 2-85)

此种方法工具性桅杆的高度应大于被吊桅杆高度的 $2/3$, 吊索系于桅杆重心以上 $1 \sim 2\text{m}$ 处。起吊滑车组由卷扬机牵引, 将桅杆滑移提吊至基本立直的程度, 收紧缆风绳, 将桅杆立直。此方法的不足是需设立较高的工具性桅杆, 耗用较多的机具和人力。

4. 扳起法竖立人字桅杆(图 2-86)

由于人字桅杆有两支分开一定宽度的脚呈两点受力, 故其横向稳定性较好, 竖立起来也方便简单些。图 2-86 所示为中小型人字桅杆用自身的滑车组或缆风绳直接扳起的方法。图 2-86a 为用滑车组扳起法, 将人字桅杆头部用支架支起至一定的高度, 两脚采取措施制动, 用绞磨或卷扬机牵引扳起桅杆。图 2-86b 是用缆风绳为牵引绳用绞磨或卷扬机牵引扳起人字桅杆。若为小型钢管或木杆组成的人字桅杆, 可直接由数人拉起, 若人力不足, 可用麻绳挂 2×2 滑车组, 用人力将人字桅杆拉起。如需竖立大型人字桅杆, 可用自行车式起重机等吊装机具将人字桅杆头部吊得更高些, 以减小扳吊力和制动力。当然, 也可用自行车式起重机吊装或桅杆扳转法吊装人字桅杆。

5. 用厂房建筑物竖立桅杆

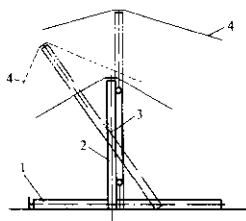


图 2-85 用滑移法竖立桅杆
1—桅杆; 2—工具性桅杆; 3—滑车组;
4—缆风绳

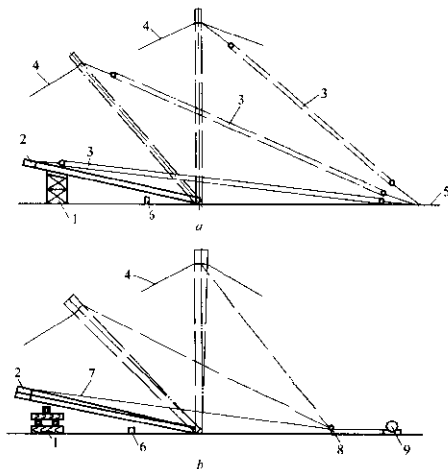


图 2-86 直接扳起法竖立人字桅杆

1—支架或枕木垛; 2—人字桅杆; 3—滑车组; 4—缆风绳; 5—地锚; 6—制动装置;
7—扳起缆风绳; 8—导向滑车; 9—卷扬机

在桅杆需设立于厂房内部时,应首先选用桥式起重机竖立桅杆的方法,如果因桅杆较高大,天车起吊高度不够而无法实现此种机械化吊装时,一般情况可利用厂房建筑物的某些部位,如天车梁、柱子牛腿、屋架等为受力点,挂数组滑车组,以扳吊或提吊方式竖立桅杆。若滑车系点受力较大,应进行建筑结构的强度核算,必要时可采取加固或补强措施,以保证吊装安全。

若桅杆需设立在厂房附近,或周围近处有可利用的其他构筑物、高大设备时,应视具体条件,因地制宜地加以利用,以减少吊装成本、缩短工期。

(二) 拆除桅杆

一般情况桅杆的拆除方法较简单,常用滑车组或绳索加以控制,靠桅杆自重使其向预定方向缓慢放倒。当然,有时也需利用吊车或其他机具拆除。在许多工程实践中,均利用已吊起的设备来拆除桅杆。若设备虽然高大坚固,为稳妥起见,可在放倒桅杆的反方向在设备顶部加临时缆风绳,然后,用其放倒桅杆。应注意同竖立桅杆一样,桅杆脚应设制动设施,两侧向设平衡绳,以防杆脚滑动,杆体摆动,进而使桅杆失稳。

对体高质大的巨型桅杆,其拆除作业亦有难度,应和竖立同样重视,也需编制拆除方案,设置必需的机索具,采取各项安全技术措施,以保拆除作业顺利安全。

(三) 移动桅杆(图 2-87)

移动桅杆通常是指在桅杆竖立的状态下,向某一方向作较小距离的位移,至新的杆位再次进行吊装作业。移动桅杆的作业方式有两种,第一种是连续移动方式,一般用于只有一支脚的单桅杆移动,要求两侧缆风绳或松或紧必须与杆脚拖排的移动协调同步,始终保持桅杆在基本上直立的状态下移动,显见,由桅杆和多根缆风绳组成的系统,在连续移动中,时时保持稳定,其操作难度较大,对作业和指挥能力要求较高。为确保安全,除具有娴熟的起重技术以外,尽量放慢桅杆的移动速度亦是关键,只要卷扬机通过多轮滑车组牵引拖排前行,就可达到缓慢移动的目的。

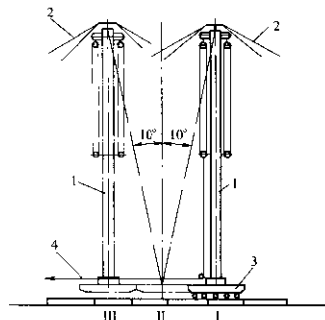


图 2-87 分次移动桅杆方法示意图

1—桅杆;2—缆风绳;3—拖排;4—牵引轮

移动桅杆的第二种方式是分次移动,即分数次移动后将桅杆移至预定的新杆位。此方式可用于各种桅杆的移动。具体的操作步骤有两种,一种是先倾桅杆后移动拖排;另一种是先移动拖排后倾桅杆。

先倾桅杆后移动拖排方法的操作步骤是:(1)放松后侧各缆风绳,同时收紧移动方向各缆风绳,桅杆向移动方向倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$; (2)用手拉葫芦或卷扬机将拖排向移动方向牵引,即从 I 移至 II 的位置,则桅杆又呈直立状态; (3)继续向移动方向牵引拖排,由 II 至 III 的位置,此时桅杆向后倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$; (4)收紧移动方向各缆风绳,放松后侧各缆风绳,则桅杆再次呈直立状态; (5)重复以上各步骤,将桅杆移至新杆位。

先移动拖排后倾桅杆方法的操作步骤是:(1)适当放松全部缆风绳以后,向移动方向牵动拖排,即拖排从 I 至 II 的位置,此时桅杆向后倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$; (2)收紧移动方向各缆风绳,

放松后侧各缆风绳,使桅杆立直;(3)再向移动方向牵动拖排,即从Ⅱ到Ⅲ的位置,桅杆再次向后倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$;(4)再次收紧移动方向各缆风绳,放松后侧各缆风绳,则桅杆再次立直;(5)重复以上各步骤,将桅杆移至新杆位。

第三章 重型设备吊装

第一节 吊装方法

设备、容器、塔类的吊装方法,按使用不同的吊装机械可大致分为桥式起重机吊装、自行式起重机吊装、各式桅杆吊装、建筑物吊装以及一些特殊的吊装方法等几大类。但根据吊件自身的不同特征、选用吊装工艺的差别,以及千变万化的具体吊装条件的差异,在具体吊装作业中,从以上几大类吊装方法中派生出许许多多各具特色的吊装方法。

一、吊装方法的选择原则

影响选择吊装方法的因素有:

- (1) 吊装作业的性质:是新建、扩建、续建或是改建吊装。
- (2) 作业现场:是室内作业或露天吊装、场地开阔或狭小、作业区附近有无影响吊装工作的障碍物,在作业空间范围内有无架空的管线,架空的高低电压输电线路、进出场道路情况、作业现场地形和地耐力等。
- (3) 吊物的特征:体积大小、质量大小、体形特征(细高、粗短或是扁平)、重心位置。
- (4) 吊物的数量:是单台或是同规格多台,还是相近规格多台。
- (5) 工艺方法:采用整体吊装还是分段、分节吊装或是现场单件组装;是选用正装法或选用倒装法。
- (6) 机具状况:需新增大中型起吊设备;已有合用的起吊设备;有经组合或改制可用的起吊机具;可就近租赁到需要的起吊设备。
- (7) 人员素质:工程技术人员、指挥吊装人员以及操作工人的技术素质和吊装技术状况。
- (8) 吊装工期:机械化吊装程度高低,决定吊装工期的长短。
- (9) 经济效果:吊装费用合理,施工成本正常。
- (10) 安全可靠程度:起重吊装工作必须确保安全可靠,把安全摆在第一位。

吊装方法的选择原则是:

- (1) 方法应安全可靠并科学合理。
- (2) 尽量提高机械化吊装程度。
- (3) 应充分利用已有的吊装机械和机具。
- (4) 综合各种因素,拟定多种吊装方案,并相互比较,从中优选。
- (5) 对吊装工期、吊装费用进行综合评估选取经济合理,工期正常的最佳方案。
- (6) 利用一切有利条件,促进吊装方案科学先进。

二、吊装方式和吊具受力

根据吊具和吊物的相对位置和吊起方法,大致可把吊装方式分为以下7种,如图3-1所示:

(一) 吊具位置固定者

吊具位置固定者有以下几种:

- (1) 吊具通过吊物重心。吊具在吊装吊物时,吊具和吊物重心在一条铅垂线上,如图3-1 a所示,则吊物起吊过程平稳,吊具受力等于和略大于吊物重量(因要考虑动载荷的影响)。

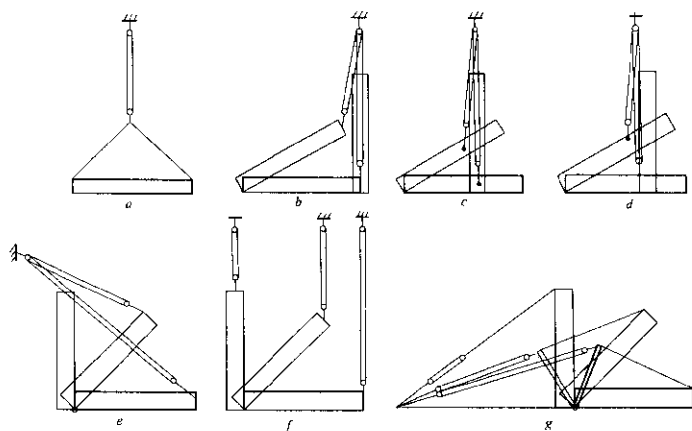


图 3-1 吊装方式示意图

(2) 吊物平卧, 吊具吊于吊物一端中心处, 在吊起过程中, 吊物一端接触地面并因其摩擦力而使吊具微偏离铅垂状态, 致使吊具所受力大于吊物重量的一半, 继而吊具受力渐小, 到快立直时, 吊具受力迅速加大, 到完全吊离地面后, 吊具受力则略大于吊物重量, 如图 3-1 b 所示。

(3) 吊物平卧, 吊具吊于吊物重心上方某点纵向中心处, 如图 3-1 c 所示, 在吊装过程中吊具受力远大于吊物重量的一半, 其受力大小取决于吊点距吊物重心的距离。距离愈小则吊具受力愈大, 反之则小。继而吊具受力渐小, 到吊物快立直时, 吊具受力迅速加大, 到完全吊离地面后, 吊具受力则略大于吊物重量。

(4) 吊物平卧, 吊具吊于吊物重心上方一侧面处, 如图 3-1 d 所示, 其吊装过程中吊具受力与(3)相似, 但吊具偏斜略有加大, 则受力也略大。在吊物吊离地面后吊物呈倾斜状态, 其倾角达到吊具与吊物重心重合于一条铅垂线上后平衡。此方式要达到吊物立直, 尚需在吊物上施加另一作用力。

(5) 吊物平卧, 吊具吊于吊物一端, 吊物另一端铰接于固定处, 如图 3-1 e 所示, 用扳吊法使吊物旋转立直。吊具受力远大于吊物重量的一半, 而且随吊点位置而变化, 吊点越高, 越接近铰接上方, 则吊具受力越小。另外, 此种吊装方式在吊物刚抬头吊起时, 对铰接处水平推力最大, 随着逐渐吊起立直此推力渐小。

(二) 吊具位置移动者

吊具位置移动的有以下几种:

(1) 吊物平卧, 吊具吊于吊物一端中心处, 如图 3-1 f 所示, 刚吊起时吊具受力为吊物重量的一半, 随着吊物逐渐立直, 吊具亦随之移动, 经常保持吊具呈垂直状态, 其受力亦渐小。此种方式可确保吊物在起吊过程中始终处于稳定状态, 吊具受力状态也优于吊具固定的方式。在吊物立直并吊起后, 吊具受力略大于吊物重量。

(2)双转法扳吊之一,如图3-1_g所示,吊物平卧,吊具斜立于吊物上方,吊具与吊物共用一铰接点为回转轴,一般吊具高度应大于吊物长度的1/3,吊具高度大些则扳吊力减小。在扳吊过程中,吊物与吊具相对位置不变,保持一定夹角,只是一同以铰接轴为中心回转,当吊物被扳吊到一定角度后,吊绳地锚与吊点成一直线,则吊具完成吊装功能,由吊绳继续受力把吊物扳起并立直。

(3)双转法扳吊之二,此方式与上述扳吊法的差别在于吊物与吊具不共用一个铰接回转点,吊具回转点向吊点方向移动一个距离,此方法可适当减小吊具高度,并可使吊具受力减小一些。

三、吊点及其选择

选择吊点的要求是:

- (1)吊点一般均应位于吊件的重心以上;
- (2)选用的吊点位置应能保证吊件的稳定与平衡;
- (3)如设备已设有吊点,则应利用,一般不可再另设吊点;
- (4)所选的吊点位置应确保不会因吊件的自重而引起塑性变形;
- (5)选择吊点时应尽量避开设备的精加工表面;
- (6)在吊件起吊过程中,受力变化的吊点,应按其最大受力进行设计;
- (7)细长吊件利用多吊点法吊装时,各吊点间应设有平衡滑轮等装置,使各吊点间自动平衡;
- (8)要在确认设备上已有的吊耳、吊钩、板眼和吊环螺钉等是为吊装设备整体而设,还是为吊装部分而设或仅为吊装某零部件而设后,才可利用。

四、吊索于吊点处的绑挂方式

应根据吊件的形状特征、质量大小、有无吊耳和吊装目的来决定吊装方式和吊索在吊点处的绑挂方法。对设备自身已带有吊耳的,应根据吊耳的种类,可用吊索直接挂于吊耳、通过卸扣连接吊索与吊耳、用圆钢将吊索卡挂在吊耳上等方法实现吊耳与吊索的连接。

对无吊耳的吊装,现列举以下最常见的吊装方式和吊索绑挂方法。

(一)由圆柱体组成的轴、辊类零件的吊装

此类零件一般无吊耳,需用吊索绑挂方式吊装。图3-2_a为两根吊索捆绑在轴两端粗加工面处,吊索与水平夹角 α 一般应大于 45° 。图3-2_b中两根吊索活套在圆柱表面上,两吊索要在重心两侧平均布置,它们间的距离 b 大小要合适,吊起后两吊索既不会互相再滑动靠近,又可保持吊件稳定。两根吊索要等长,其与水平夹角 α 一般应在 60° 以上。图3-2_c为轧辊类零件,其特点是中间部分与两端直径相差较大,可用两根等长吊索活套在两端圆柱上,其吊索应有足够的长度,如图示,吊起后吊索应不碰中间大直径部分。图3-2_d为用吊装横梁吊装轴、辊类零件的方法。

(二)矩形断面的圆圈、轮带、大齿圈类零件的吊装

此类零件一般无吊耳,常需用吊索绑挂方式吊装。图3-3_a为轮带零件需套入另一圆筒形零件的吊装方法。应视零件质量大小,可用一根或数根吊索捆绑于轮带外表面进行吊装。图3-3_b为用一根吊索穿套于圆圈内吊装,其内圆棱角处应用方木等保护吊索和零件免受损伤。图3-3_c为用两根等长的吊索穿套于圆圈内吊装。此方法更便于调整零件的平衡和铅垂度。图3-3_d亦为需将此零件套入另一圆筒形零件的吊装方法。可在零件两

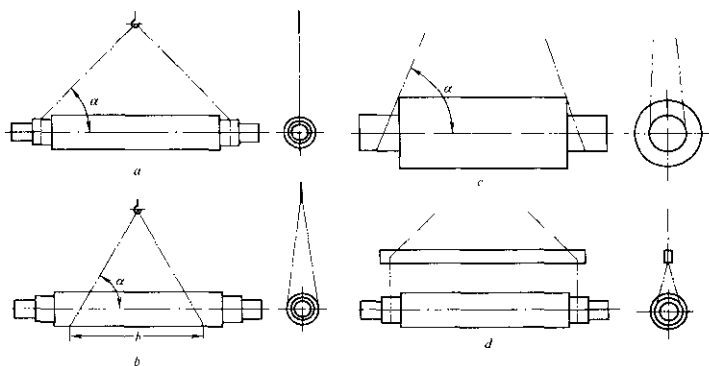


图 3-2 轴、辊形零件吊装

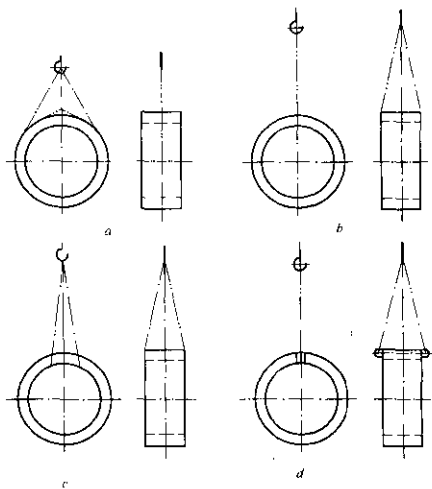


图 3-3 圆圈、轮带类零件吊装

侧面焊接两个吊耳,用两等长吊索挂于吊耳上进行吊装,此法虽是安全可靠的方法,但却增加了焊接吊耳,以及在吊装就位后再切去吊耳的工作。

(三)带轴轮类零件的吊装

在吊装作业中常有带轴齿轮、链轮、飞轮等零部件需要吊装。此类零件自身无吊耳,均需吊索绑挂方式吊装。图 3-4 a 中吊索从一侧套在零件轮辐上,从另一侧穿出挂于吊钩上,用此方法如欲达到轴完全呈水平状态尚需采取其他辅助措施。图 3-4 b 中用 4 根吊索

吊装大型带轴轮类零件的方法,吊索下端捆绑在轮辐上,其上端每侧两个吊索挂于同一个吊钩上,用两吊钩4吊索进行吊装。图3-4c为用一横担支撑于两吊索之间的吊装方法,此方法所用横担的长度只比轮宽略大即可,横担底面可贴在带轴轮类零件的外圆上。图3-4d为用横梁吊装带轴轮类零件的吊装方法。

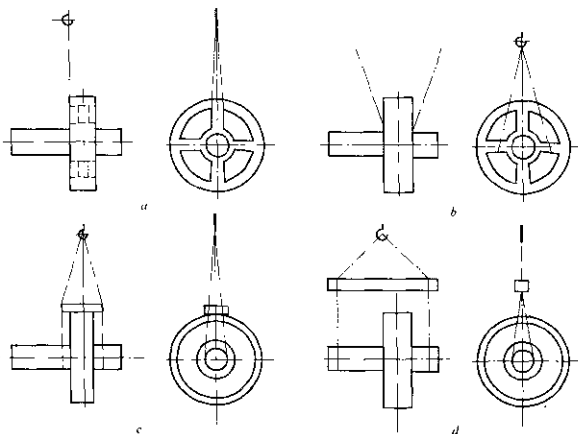


图3-4 带轴轮类零件吊装

五、吊件的平衡

(一)吊件的平衡方法

因安装工艺的需要,在设备吊装中,常须使吊件达到平衡,有时还须将吊件调整至精确的水平状态,如汽轮机转子的吊装,大型分体式电动机转子向定子的穿心吊装,减速器带轴齿轮的装配吊装等。为使吊件达到基本平衡可用吊索的不同绑结法来达到,如可用3根吊索串联法吊装;可用两根等长吊索吊装等。但要使吊件能达到精确的水平状态,还须借助一些可以进行微调的工机具才可实现。

1. 利用手拉葫芦为平衡工具的吊装方法

用手拉葫芦调节吊件水平度是最常用的方法之一,如图3-5所示,其中图a为吊装带轴齿轮的方法,一根吊索绑在轴上,另一根吊索通过手拉葫芦绑于联轴器上,此方法的手拉葫芦起受吊装力和调整吊件水平两个作用。而图3-5b则不同,吊装力基本上由吊索承担,手拉葫芦主要起调整吊件水平度的作用。图3-5c为球磨机耳轴端盖的吊装方法,主吊索连接在固定于衬板螺栓孔上的专用吊具上,主要承受吊装力,副吊索间串联手拉葫芦吊挂于端头法兰上,主要起调整吊件水平的作用。图3-5d为用手拉葫芦吊装并调整轴、辊类零件水平度的吊装方法。图3-5e是用索具螺旋扣(花篮螺丝)串联于一根吊索之中,用以调整吊件的水平度。

2. 利用横梁和索具螺旋扣为平衡工具的吊装方法

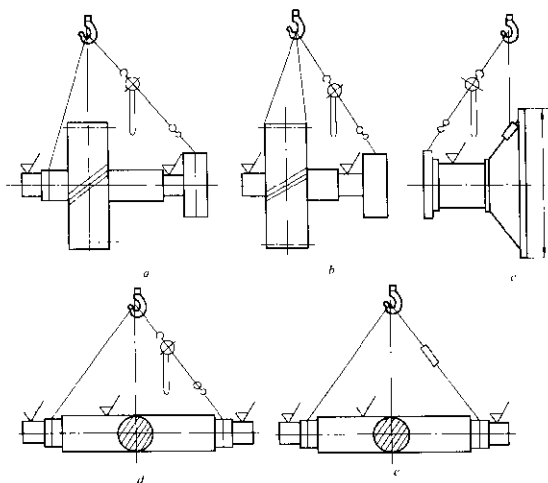


图 3-5 用手拉葫芦调节水平度的吊装方法

此方法如图 3-6 所示,一根吊索中串联有索具螺旋扣,用其调节横梁的水平度,横梁下两根等长的吊索绑挂在吊件两端。

(二)平衡梁与抬吊梁

在设备吊装中常需用平衡梁方法将吊件调整成水平状态。也用双机抬吊法完成一些设备的吊装工作,这就需要平衡梁和抬吊梁。平衡梁用于单机吊装,而抬吊梁则用于双机抬吊,它们虽然用途不同,但梁本身的结构却相似,均可简称吊梁。

吊梁应按吊件的形状特征、尺寸和质量大小、吊装机械的性能以及吊装方法等条件进行设计。可用无缝钢管、型钢、钢板箱形结构等制作而成,其具体结构可多种多样。现列举有代表性的结构如下:

1. 用无缝钢管制作的吊梁(图 3-7)

如图 3-7 所示,无缝钢管两端焊有端板,上下吊耳用一块钢板制成,吊耳圆孔边焊有圆钢圈,既起加强作用、又可保护吊索免受损伤。吊梁用全焊接结构。此种吊梁常用于吊件质量不大的吊装中。

2. 用双槽钢制作的吊梁(图 3-8)

如图 3-8 所示,上、下吊耳均用厚钢板制成,夹于两槽钢之间,通过上下盖板与槽钢连接,两下吊点间距离 l 按需要设计。此梁属上下均为单吊耳的吊梁,用全焊接结构。此种吊梁多用于中等质量吊件的吊装。

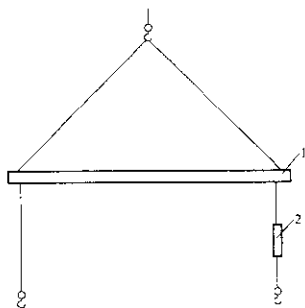


图 3-6 用吊梁和索具螺旋扣调水平示意图

1—吊梁;2—索具螺旋扣

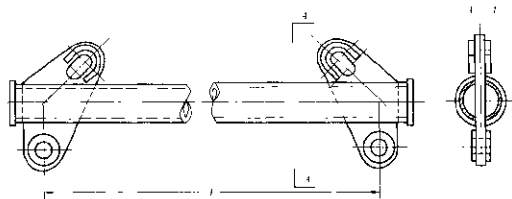


图 3-7 钢管结构吊梁

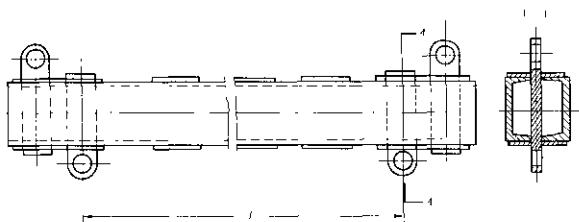


图 3-8 双槽钢结构吊梁

3. 用工字钢制作的吊梁

如图 3-9 所示, 上、下两种结构均为双吊耳吊梁, 其上吊耳焊接在工字钢上, 而下吊耳

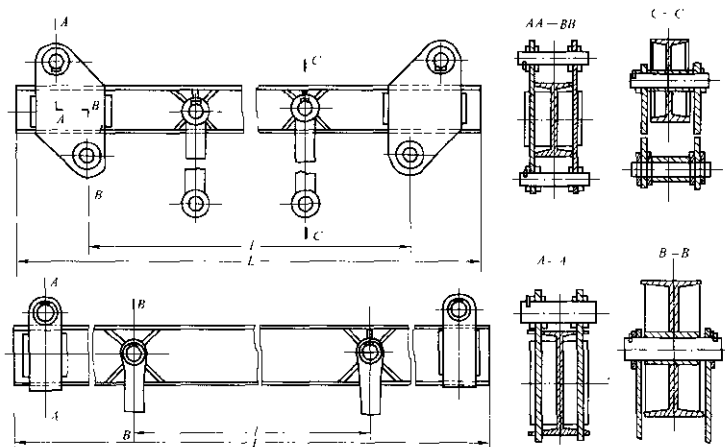


图 3-9 工字钢结构吊梁

则铰接于工字钢腹板上。上述的这种结构、下部有 4 对吊耳,从而增加了使用功能。此种吊梁全长 L 可大到 10m 左右,而吊装质量可达 100 余吨。

4. 用钢板制成的箱形结构吊梁

如图 3-10 所示,吊梁由钢板焊接成箱形结构,其箱形断面为立边大于横边的矩形,采用全焊接结构。此种吊梁可根据需要设计成尺寸和吊重能力均大的大型吊梁。

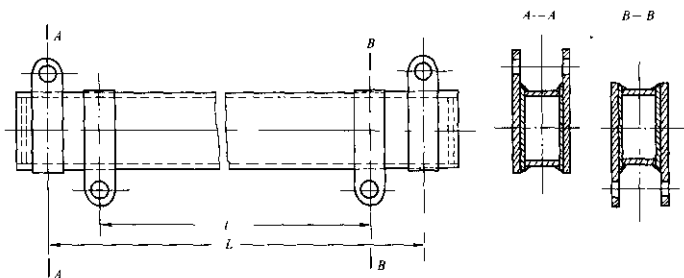


图 3-10 钢板箱形结构吊梁

5. 吊点可调节的吊梁

将吊梁的吊点作成可以调节的形式,使用起来会更加灵活方便,如图 3-11 所示,可用钢管、型钢或钢板焊成吊梁,其下设两个可调距离的吊点,图 3-11 a 和 b,吊点可在吊梁上移动;而图 3-11 c 的一种,吊点钢板与吊梁用螺栓连接。

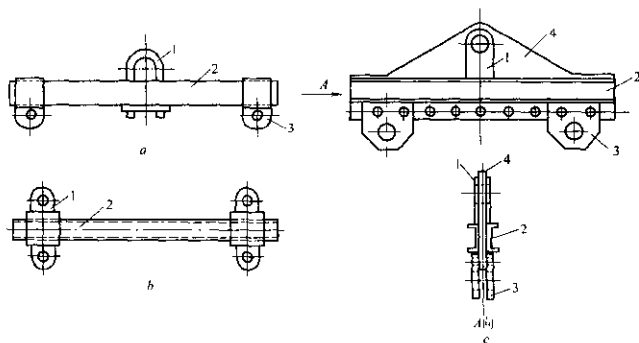


图 3-11 吊点可调节的吊梁

1—上吊耳;2—吊梁;3—下吊耳;4—钢板

第二节 吊装桥式起重机

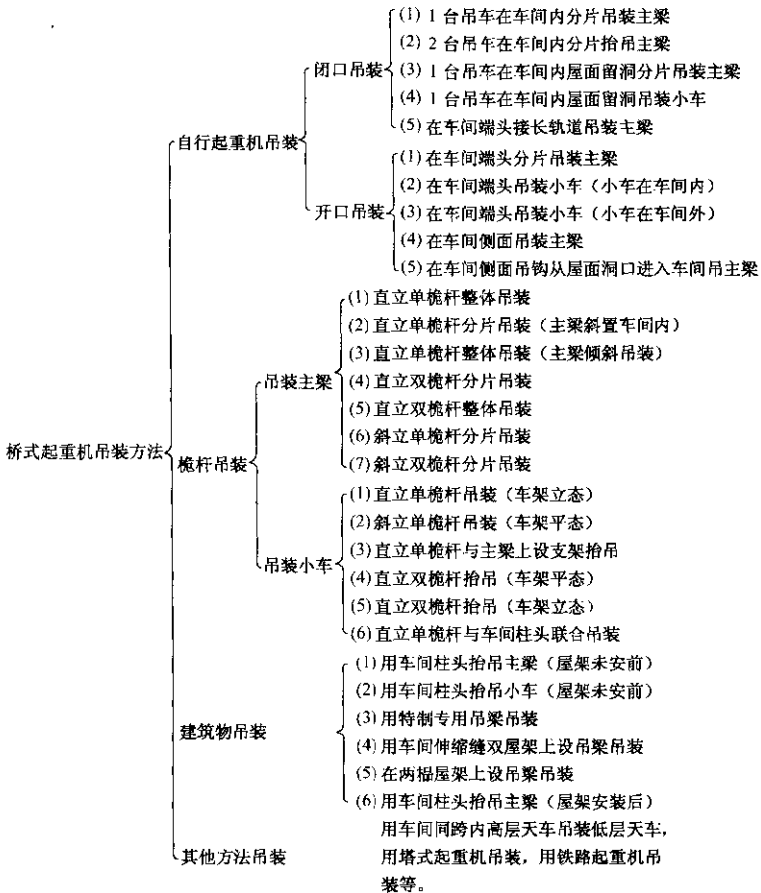
桥式起重机是用得最为普遍的机械设备之一。桥式起重机均应有主梁和小车,但因其

结构不同,可有单梁、双梁和多梁之分,也有电葫芦、单小车和双跑小车等种类。有些冶金起重机还在小车或吊钩上装有各自不同的特殊机构和装置。

虽然就桥式起重机本身而言有许多种类和规格,但其吊装方法是可以归纳成以下几类的,即自行式起重机(汽车吊、履带吊、轮胎吊)吊装、各式桅杆吊装(单桅杆、双桅杆、直立桅杆、斜立桅杆等)、建筑物吊装和其他吊装方法 4 大类。

一、吊装方法汇总

吊装桥式起重机方法很多,比较常见的并具有一定代表性的方法可归纳如下:



二、天车主梁吊索的绑扎方法及临时端梁

(一)天车主梁吊索的绑扎方法

在起吊前必须用钢丝绳索具将主梁绑扎起来以形成吊点。其绑扎方法应根据主梁的截面形状、重量大小、单根或双根吊装、吊装极限高度要求等条件而定。图 3-12 a 为单根箱形主梁且其重量较小的绑扎方法。单根吊索 2 在箱形梁四角垫有方木 3 的情况下活绑于主梁上,也可用锯开的钢管管段代替方木扣放在箱形主梁四角,以保护吊索免受损伤。图 3-12 b 为单根箱形主梁的绑扎方法。主梁 1 上下和四角垫以方木 3,吊索 2 绑扎其上数圈。此方法用在主梁质量较大的情况,且吊索再不会活动。图 3-12 c 为双箱形梁的绑扎方法,两主梁 1 之间用型钢 7(或钢管、方木亦可)支撑,主梁四角垫以方木 3,两根等长的吊索 2 分别绑扎两根主梁,并都挂在吊钩上。若箱形主梁外侧具有走台时,需在走台板上割孔,吊索从孔中通过。

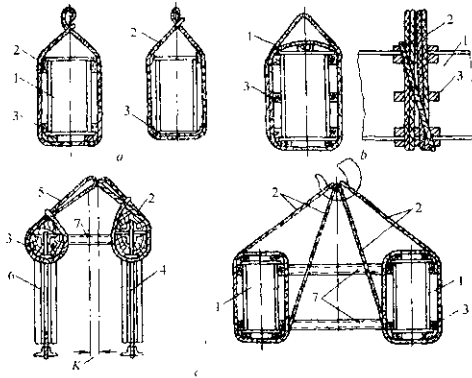


图 3-12 主梁绑扎方法之一

为降低吊点的高度可用图 3-13 所示方法绑扎两根箱形主梁。两主梁下部用钢管 2 支撑,两端用钢板 4 限位,在主梁上部的枕木上横担两根钢轨 5,绑绳一端套在钢轨上,另一端连于滑车 6 的轴上。

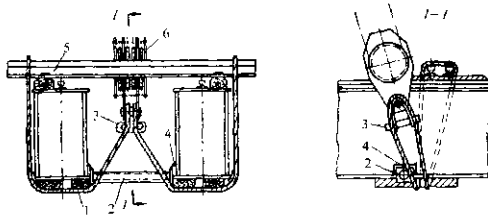


图 3-13 主梁绑扎方法之二

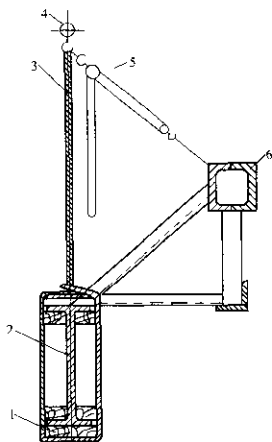


图 3-14 主梁绑扎方法之一

1—方木;2—工字钢主梁;3—吊索;
4—吊钩;5—手拉葫芦;6—天车桁架梁

单工字钢梁式天车其绑扎方法如图 3-14 所示,工字梁 2 的上面和下面垫以方木 1,吊索 3 绑扎于工字钢上,为保持梁架成水平状态,应在吊钩上挂以手拉葫芦,其下端吊在桁架上,并调整其长短达到主梁呈水平状态。

(二)临时端梁

在用桅杆同时起吊两个箱形主梁的吊装方法时,常出现两主梁内边的宽度小于桅杆的截面尺寸的情况,此时可用钢板作成临时端梁,连接于原端梁接口上,以加大两主梁间的宽度尺寸,如图 3-15 所示。

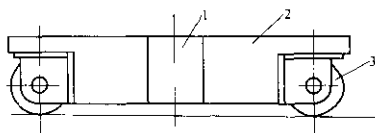


图 3-15 临时端梁示意图

1—临时端梁;2—天车端梁;3—天车走行轮

三、吊装方法

吊装桥式起重机各种方法的简图及吊装要点见表 3-1。

表 3-1 桥式起重机的吊装方法

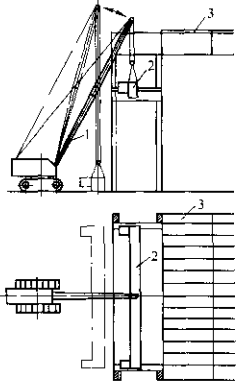
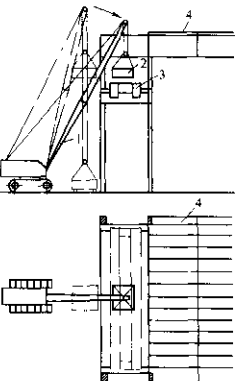
序号	名称	简图	方法要点及说明
(一)		用自行式起重机吊装	
1.	吊车在车间内分片吊装主梁		<p>适用条件:车间内地面平整,厂房高大开阔,吊车梁上平面距屋架有足够的高度。</p> <p>吊装机械:自行式起重机,优先选用臂杆可伸缩的汽车吊。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置吊车 1 于封闭的车间内,常常将臂杆伸入屋架下弦以上(一般需拆去两临屋架之间的水平拉筋); (2)置天车梁 2 于车间内地坪上,其纵向与车间横向中心线成 α 角; (3)先吊装远离吊车的一根主梁 3,后吊装接近吊车的一根主梁 2; (4)吊装时吊车臂杆不能碰触屋架下弦; (5)当将天车主梁吊到底面略高出天车轨道后,用溜绳拉动主梁,使之与车间横向中心线平行; (6)天车主梁走行车轮对准天车轨道后,将主梁放下轨道上; (7)将第一片主梁 3 推离吊装位置,再吊第二片主梁 2; (8)推回第一片主梁并将两片主梁用端梁连接成整体

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
2.	两台吊车在车间内分片抬吊主梁		<p>适用条件:车间内地面平整,厂房高大宽阔,吊车梁上平面距屋架下弦距离 H 有足够大,此方法一般用于大、中型天车吊装</p> <p>吊装机械:自行式起重机,其中应有一台是吊重物可行走的履带吊。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置两台吊车 1 和 2 于封闭的车间内,其在车间横向位置应按两台吊车的起重量分配荷载决定,两台吊车一前一后错开布置; (2)置天车主梁 3 于车间内地坪上,其纵向中心线与车间横向中心线成 α 角; (3)先吊装远离吊车的一根主梁 4,后吊装接近吊车的另一根主梁 3; (4)吊车臂杆顶端高度应在屋架下弦以下; (5)当将天车主梁吊到其底面略高出天车轨道后,后面的履带吊吊着主梁沿车间纵向前行,使主梁与车间横向中心线平行; (6)天车主梁走行车轮对准天车轨道后,将主梁放于轨道上; (7)将第一片主梁推离吊装位置,再吊第二片主梁; (8)推回第一片主梁,并用端梁将两片主梁连接成整体
3.	吊车在车间内屋面留洞分片吊装主梁(参见第三章第一节四、桥式起重机吊装实例(例一))		<p>适用条件:车间内地面平整,厂房高大开阔,吊车梁上平面距屋架上弦顶点高度尺寸适中,此方法常用于中型天车吊装。</p> <p>吊装机械:自行式起重机,优先选用起重臂杆可伸缩的汽车吊。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置吊车 1 于封闭的车间内,其起重臂杆顶部由屋面留洞 3 中伸出屋面以上; (2)置天车梁 2 于车间内地坪上,其纵向与车间横向中心线成 α 角; (3)先吊装远离吊车的另一根主梁 4,后吊装接近吊车的另一根主梁 2; (4)吊装时天车主梁不能碰到吊车臂杆,吊车臂杆变幅时注意不能碰撞屋架; (5)当将天车梁吊到其底面略高出天车轨道后,用溜绳拉动主梁,使之与车间横向中心线平行; (6)天车主梁走行车轮对准天车轨道后,将主梁放于轨道上; (7)将第一片主梁 4 推离吊装位置,再吊第二片主梁 2; (8)推回第一片主梁并用端梁将两片主梁连接成整体

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
4.	吊车在车间内屋面留洞吊装小车(参见第三章第一节四、桥式起重机吊装实例)		<p>适用条件: 车间内地面平整, 坚实, 厂房高大开阔, 吊车梁上平面距屋架上弦顶点高度大小适中, 此方法常用于中型天车小车吊装。</p> <p>吊装机械: 自行式起重机, 优先选用起重臂杆可伸缩的汽车吊。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 置吊车 1 于封闭的车间内, 其起重臂杆顶部由屋面留洞 4 中伸出屋面以上; (2) 置天车小车 2 于车间地坪上, 并位于吊车吊钩的正下方; (3) 置已连成整体的天车大车 3 于吊装作业的前方, 以不妨碍小车垂直吊起为度; (4) 吊起作业中小车不能触碰吊车臂杆, 吊车臂杆不能碰撞厂房屋架; (5) 将小车吊到其车轮底部略高于天车大车上的小车轨道后, 将大车沿轨道推至吊起的小车正下方, 并将小车落在大车轨道上; (6) 推开天车大车, 收起吊车臂杆
5.	在车间端头接长轨道吊装主梁		<p>适用条件: 车间内有设备基础、料仓坑、地沟等障碍物, 吊车无法进入车间内, 并且车间不够高大宽阔, 车间已安好屋面板 7, 车间端头无立柱。此方法常用于小型大车吊装。</p> <p>吊装机械和机具: 自行式起重机, 手拉葫芦, 千斤顶等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 将两根轨道 6 接至需要长度, 其底面用槽钢或工字钢托起, 并用钢管 4(或型钢)垂直支顶于千斤顶 5 上, 再用钢丝绳 8 扶正支顶立柱; (2) 置吊车 1 于车间端头的空地上; (3) 置天车主梁 2 于车间端头地面上, 其方向与车间横向中心线平行; (4) 吊起主梁, 当其高度达到车轮略高于接长的轨道顶面高度后, 落钩使主梁轻压于轨道上; (5) 主梁两端头设两个手拉葫芦 3; (6) 随着拉紧手拉葫芦, 吊车主钩下落和倾杆, 则逐渐把主梁引入车间内的轨道上; (7) 用同样方法吊装两根天车上梁

序号	名称	简图	方法要点及说明
6.	在车间端头分片吊装主梁		<p>适用条件:车间端头地面平整、坚实、开阔,车间一端无端头立柱,天车梁顶面与屋架下弦垂直距离不够大。此方法一般用于中型天车吊装,如吊车有很大的起重能力,也可用于大型天车吊装。</p> <p>吊装机械:自行式起重机。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在车间端头留有一樘或数樘屋架和屋面板 3 不安装(开口); (2)置吊车 1 于车间端头空地上; (3)置天车主梁 2 于吊车和车间端头之间,主梁可平行车间横向摆放,也可斜放,使其一端进入车间内; (4)吊起主梁,当其高度达到车轮高出天车轨道后,可用吊车扒杆或前行(履带吊)方法将主梁放于天车轨道上; (5)先吊装远离吊车的根主梁 2,再吊装接近吊车的第二根主梁。 (6)将两根主梁用端梁连接成整体
7.	在车间端头吊装小车方法之一		<p>适用条件:车间端头地面平整、坚实、开阔,天车梁顶面与屋架下弦垂直距离不够大,此方法一般用于吊装中型天车的小车。</p> <p>吊装机械:自行式起重机。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在车间端头留有一樘或数樘屋架和屋面板 4 不安装(开口); (2)置吊车 1 于车间端头的空地上; (3)置小车 2 于车间外(或车间端头内)的地坪上,位置在吊车吊钩垂直的正下方; (4)天车大车推送至车间端头处(或将天车大车推离车间端头); (5)将小车吊到其车轮底部略高于大车上的小车轨道后用扒杆法将小车落于轨道上(或将大车推回到小车正下方并将小车落下); (6)将天车推至已装好的屋面下,再安装尚未安装的屋架和屋面板

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
8.	在车间端头吊装小车方法之一		<p>适用条件:车间端头地面平整、坚实、开阔,天车梁顶部与屋架下弦垂直距离不够大,此方法用于小车重量较大,主梁用分片吊装法时。</p> <p>吊装机械:自行式起重机。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在车间端头留有一幅或数幅屋架和屋面板 5 不安装(开口); (2)置吊车 1 于车间端头地坪上; (3)置小车 2 于车间端头内的地坪上; (4)两片天车大梁 3 和 4 稍许分开置于小车的斜上方,分开距离应比小车宽度略大; (5)吊车吊钩从两片天车主梁间垂下,并吊于小车上; (6)将小车吊到其车轮底部略高于大车 1 的小车轨道; (7)将分开的两片大车主梁推至小车下,并迅速用端梁连接成整体; (8)下落吊车吊钩将小车放在天车大梁的轨道上; (9)将天车推至已装好的屋面下,再安装尚未安装的屋架和屋面板
9.	在车间侧面吊装主梁(开口)		<p>适用条件:在车间侧面有平整、坚实并开阔的场地,车间端头有不便吊装的情况,天车梁顶部与屋架下弦垂直距离不够大。一般中型天车的吊装常用此方法。</p> <p>吊装机械:自行式起重机。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在车间中段留有一幅或数幅屋架和屋面板 3 不安装(开口); (2)置吊车 1 于车间侧面的地面上; (3)置天车主梁 2 于吊车的前方,其摆放位置和方向以使下吊装为度; (4)在车间外将主梁吊起,高度达到略高于天车梁轨道; (5)用吊车转杆的方法把天车主梁的方向摆成大致同车间横向相同; (6)转动吊车臂杆,将天车主梁从开口处送入车间上空; (7)将天车上梁下的走行轮对准天车轨道后将其落于轨道上; (8)将天车推至已安装好的屋面下,再安装尚未安装的屋架和屋面板

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
2.	直立单桅杆分片吊装主梁		<p>适用条件: 车间内地面平整, 天车梁顶面到屋架下弦垂直距离适中。此方法多用于中小型天车吊装。</p> <p>吊装机械与机具: 桅杆(有可回转的底座和顶部)、卷扬机、滑车组、手拉葫芦、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 桅杆 1 直立于车间纵向中心线上; (2) 天车主梁 3 和 4 斜置于车间地面上, 其纵向与车间横向中心线成 α 角; (3) 设置牵引滑车组 5; (4) 在整个起吊过程中牵引滑车组要自始至终配合吊装, 达到经常保持天车主梁不与桅杆相碰; (5) 当吊到主梁走行轮略高出天车轨道后, 用手拉葫芦或设滑车组将天车主梁绕桅杆转一个 α 角, 使之同车间横向中心线平行; (6) 调整主梁位置使其走行轮处于轨道正上方, 然后落主梁于轨道上; (7) 主梁 4 落于轨道上后, 即移开吊装作业区一段距离; (8) 吊装主梁 3; (9) 拆去桅杆等吊装机具; (10) 将两根主梁用端梁连接成整体
3.	直立单桅杆整体吊装主梁		<p>适用条件: 车间内地面平整, 天车梁上平面与屋架下弦垂直距离 H 有足够大, 车间一侧天车梁上部一个柱间维护结构(砖墙、挂板等)未安装。此方法多用于中小型天车吊装。</p> <p>吊装机械与机具: 桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 桅杆 1 直立于车间纵向中心线上; (2) 天车主梁 3 夹着桅杆两面组成整体, 若两根主梁间的距离小于桅杆的截面尺寸, 则可用型钢或钢板制成的较长临时端梁把两根天车主梁连成整体。主梁摆放方向与车间横向中心线平行; (3) 设两套牵引滑车组 4; (4) 用调整两套起吊滑车组 2 快慢, 并用牵引滑车组 4 配合, 使天车主梁一端高另一端低呈倾斜状态吊升; (5) 主梁高的一端吊升到超过天车梁后, 用牵引滑车组将此端拉至车间两柱子间的维护结构洞口; (6) 待主梁低的一端高度也超过天车梁后, 则用调整起吊滑车组并放松牵引滑车组的方法将主梁吊落于天车梁上方; (7) 天车主梁走行轮对正天车轨道后, 将主梁放在轨道上; (8) 拆除桅杆等吊装机具

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
4.	直立双桅杆分片吊装主梁		<p>适用条件: 车间内地面平整, 天车梁顶面与屋架下弦垂直距离 H 应足够大。此方法的特点是机具多, 并且吊装步骤也多, 因此, 此方法多用在一片天车主梁重量较大的大型天车吊装中。</p> <p>吊装机械与机具: 两个桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 一片天车主梁 3 斜置于车间地坪上, 其纵向中心线与车间纵向中心线成 α 角; (2) 在主梁一侧立桅杆 5 于车间纵向中心线上; (3) 在主梁另一侧再立桅杆 4, 其位置在与车间纵向中心线成 β 角的线上; (4) 设两套牵引滑车组 6 和 7; (5) 用两个桅杆抬吊起升, 当主梁走行车轮高出天车轨道后, 用两套牵引滑车组牵引, 使主梁纵向中心线平行于车间纵向中心线, 此时起吊滑车组脱离桅杆铅垂中心; (6) 主梁走行轮对正天车轨道后放主梁于轨道上; (7) 拆除桅杆 5, 并将第一片主梁移开作业区; (8) 运第二根主梁到原吊装第一片主梁的位置; (9) 第二次立起桅杆 5; (10) 用相同方法吊装第二片主梁并放在轨道上; (11) 拆除两个桅杆的吊装系统; (12) 将两片主梁推拢并用端梁连成整体
5.	直立双桅杆整体吊装主梁		<p>适用条件: 车间内地面平整, 厂房宽大开阔, 天车梁顶面与屋架下弦垂直距离 H 应有足够大, 此方法多用在大型天车吊装中。</p> <p>吊装机械与机具: 两个桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 直立桅杆 4 和 5 于车间同一条纵向中心线上, 它们与车间纵向中心线的距离要合适, 若两桅杆起重能力相同, 则对称布置; 若起重重量有差异, 则用所立位置的角不同以分担荷载; (2) 在桅杆两侧, 平行车间纵向中心线将两片主梁组成一体 (若宽度不够, 可用临时端梁); (3) 桅杆 4 的起吊滑车组先起吊, 使主梁一端高一端低呈倾斜状, 以保证主梁垂直投影长度 B 小于于两车梁间的宽度 A; (4) 当主梁低的一端其底面高度超出天车轨道后, 用滑车组 1 和 2 将主梁平吊于天车梁上方; (5) 使主梁走行车轮对正天车轨道, 将主梁落于轨道上; (6) 拆除桅杆吊装系统

续表 3-1

序号 名称	简图	力法要点及说明
<p>6.</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 135px; top: 265px;">斜立单桅杆分片吊装主梁</p>		<p>适用条件:车室内地面平整,天车梁顶面与车间屋架下弦垂直距离适中。此方法多用于中型天车吊装。</p> <p>吊装机械:桅杆、滑车组、卷扬机等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆 2 斜立于车间纵向中心线上,其斜角 α 一般在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 之间; (2)两根主背绳 1 受力很大,钢丝绳要有足够的抗拉强度,地锚应达到要求,桅杆前方亦需设缆风绳 6; (3)天车主梁 5 斜置丁车间地面上,其纵向中心线与车间横向中心线成 β 角; (4)设牵引滑车组 4,拉住主梁保持 β 角; (5)先吊装的一片主梁推离吊装作业区,再吊装第二片主梁; (6)在吊升过程中天车主梁既不能碰桅杆也不能碰天车梁; (7)当主梁吊至走行轮略高于天车轨道时,用牵引滑车组将主梁拉至其纵向中心线处,并使之平行于车间横向中心线; (8)当走行轮对正天车轨道时,将主梁落于轨道上; (9)两片主梁用端梁接成整体; (10)拆去桅杆等吊装机具
<p>7.</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 135px; top: 570px;">斜立双桅杆分片抬吊主梁 参见第二章第三节(一)、五、(2)</p>		<p>适用条件:车室内地面平整,天车梁顶面与车间屋架下弦垂直距离适中。此方法的特点是机具多,吊装步骤也多,因此,此方法多用在一片天车主梁重量较大的大型天车吊装中。</p> <p>吊装机械:两个桅杆、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆 3 和桅杆 5 均斜立于车间纵向中心线上;其倾角 α 一般在 $75^\circ \sim 80^\circ$ 间; (2)4 根主背绳 7 和 8 均受力很大,因此,钢丝绳和地锚均应有足够的抗拉强度; (3)用钢丝绳将两桅杆顶部连起,以保证两桅杆的稳定; (4)天车主梁 4 斜放于车间地面上,两个桅杆之间,其纵向中心线与车间横向中心线成 β 角; (5)设牵引滑车组 6,在起吊过程中牵引主梁,并使之始终保持斜向状态; (6)在吊升过程中主梁既不许碰桅杆,也不能碰天车梁; (7)当主梁吊至走行轮略高于轨道时,松开牵引滑车组则主梁会自行到其纵向中心线处且平行于车间横向中心线的位置; (8)走行轮对正天车轨道,并将主梁落于轨道上; (9)拆除桅杆 5,将第一片主梁沿轨道推离作业区,并将第二片主梁运到原第一片主梁待吊装的位置; (10)再次立起桅杆 5; (11)用相同方法吊装第二片主梁; (12)拆除桅杆 3 和 5 全部吊装机具; (13)用端梁将两片主梁连接成整体

序号	名称	简图	方法要点及说明
8.	直立单桅杆吊装小车		<p>适用条件: 车间内地面平整, 主梁顶面与屋架下弦垂直距离有足够大。此方法多用在吊装中小型天车的小车上。</p> <p>吊装机具: 桅杆、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 利用吊装主梁的桅杆 1 吊装小车, 此时桅杆位于已连接成整体的主梁间; (2) 设牵引滑车组 5; (3) 小车主架取直立状态吊装; (4) 在吊升过程中小车沿桅杆方向上升, 直至其底面略高于天车主梁; (5) 设牵引滑车组 5 并与吊装滑车组 2 配合, 将小车摆平并放在大车轨道上; (6) 拆除桅杆等吊装机具
9.	直立单桅杆吊装小车		<p>适用条件: 车间内场地平整, 主梁上平面与车间屋架间有足够的高度。此方法常用于在中型天车小车的吊装上。</p> <p>吊装机械: 桅杆、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 利用吊装主梁的桅杆 1 吊装小车; (2) 将两片主梁分开一定距离, 稍大于小车宽度; (3) 置平放的小车于桅杆吊钩的正下方; (4) 在厂房柱头处设牵引滑车组 4, 用其牵引小车, 使具始终同桅杆稍许离开; (5) 当小车吊装高度超过主梁以后, 推回两片主梁, 并用端梁连接, 落小车于其上; (6) 拆除桅杆等吊装机具

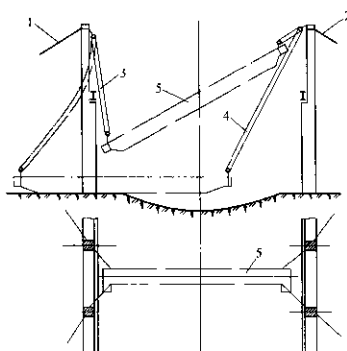
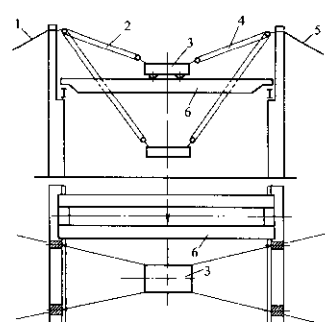
续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
10.	直立单桅杆与主梁上设支架抬吊小车		<p>适用条件: 车间内地面平整, 主梁上平面与屋梁间有足够大的高度。此方法多用于吊装中型火车的小车上。</p> <p>吊装机具: 桅杆、卷扬机、滑车组、支架等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 一般是利用吊装主梁的桅杆 5, 有时也可能为吊装小车而设桅杆; (2) 在天车主梁上立起用钢管或型钢制作的支架 1, 其顶部设缆风绳; (3) 置小车于主梁 4 的正下方, 从桅杆和支架上垂下两个滑车组 2 和 3, 分别吊于小车侧面的两端; (4) 小车呈斜立状态从两片主梁之间吊起至其底面超过主梁以上; (5) 若摆平小车困难时, 可在两主梁间搭设枕木或型钢, 先把小车放在其上, 调整起吊滑车吊点后, 平着吊起小车, 撤去枕木等; (6) 小车走行轮对正轨道, 并将小车落下轨道上; (7) 拆除桅杆、支架等起吊机具
11.	直立双桅杆抬吊小车 参见第三章第一节		<p>适用条件: 车间内地面平整, 主梁顶面与屋梁间高度适中。此方法多用于吊装大型火车的小车。</p> <p>起吊机具: 桅杆两个、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 利用吊装主梁的桅杆 1 和桅杆 2 抬吊小车; (2) 两片主梁向两侧稍许分开, 其距离应使小车能从中通过为度; (3) 置平放的小车于两桅杆之间; (4) 吊升小车至其走行轮略高于主梁上的小车轨道; (5) 将两片主梁推至已吊起的小车正下方, 并迅速用端梁将两主梁连成整体; (6) 小车走行轮对正轨道, 并将小车落于轨道上; (7) 拆除桅杆等起吊机具

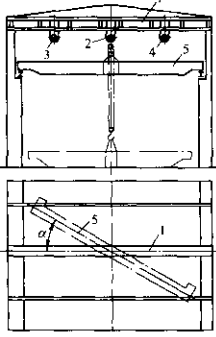
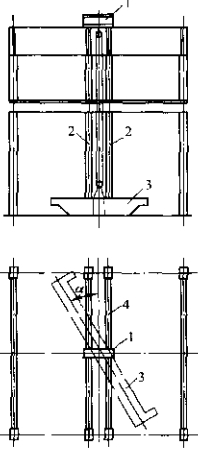
续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
12.	直立双桅杆抬吊小车		<p>适用条件: 车间内地面平整, 主梁顶面距屋架间净空高度适中。此方法多用于吊装大型天车的小车上。</p> <p>吊装机具: 两个桅杆、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 利用吊装主梁的桅杆 3 和桅杆 5 吊装小车; (2) 置小车于主梁 6 和两个桅杆的正下方; (3) 两吊装滑车组从主梁同垂下, 其下端固定在小车侧面的两端; (4) 小车呈斜立状态起升, 并从两主梁之间通过, 吊至略高于主梁顶面的高度; (5) 在两主梁间搭设枕木排(或型钢), 将小车平落在其上; (6) 改变吊装滑车组的吊点, 将小车呈水平状态吊起, 撤去枕木; (7) 小车走行轮对正轨道, 并将小车落在轨道上; (8) 拆除桅杆等起吊机具
13.	直立单桅杆与车间柱头联入吊装小车		<p>适用条件: 车间内地面平整, 主梁顶面距屋架间净空高度适中。此方法多用于中小型天车的小车吊装中。</p> <p>吊装机具: 桅杆、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 利用吊装主梁的桅杆 2 吊装小车 5; (2) 两片主梁向两侧稍许分开, 其距离应能使小车从中间通过为度; (3) 置平放的小车 5 于桅杆根部附近; (4) 在车间柱头上挂 1 组或 2 组滑车组 4; (5) 桅杆的吊装滑车组 3 和滑车组 4 的下端固定于小车上; (6) 同时起升 4 套滑车组, 调节其起升速度, 始终使小车处于稍离开桅杆表面的状态下提升; (7) 小车提升的高度略超过主梁顶面的高度; (8) 将两片主梁推送至小车的正下方, 并用端梁将两片主梁连成整体; (9) 小车走行轮对正轨道, 将小车落在轨道上; (10) 拆除桅杆等起吊机具

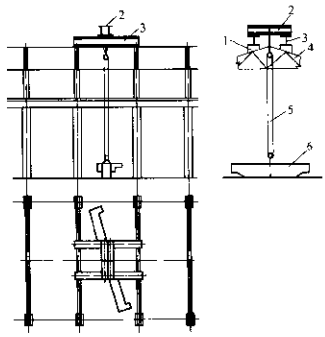
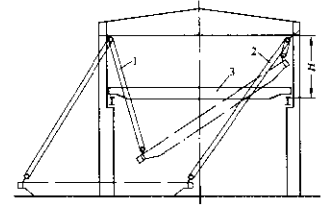
续表 3-1

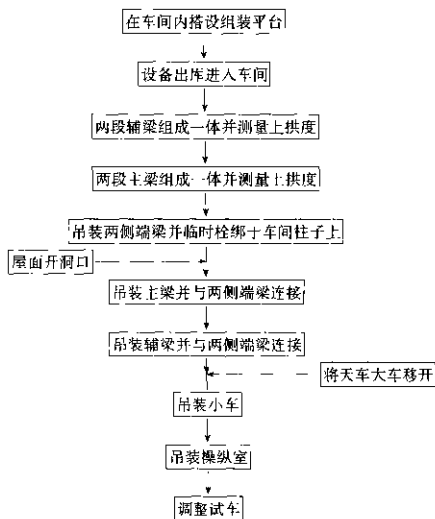
序号	名称	简图	方法要点及说明
(三)		用建筑物吊装	
1.	用车间柱头抬吊主梁		<p>适用条件：厂房地面不平整，天车梁已安装完毕，屋架尚未安装。此方法可用在因某种原因需提前安装天车的工程中，一般用于小型天车的吊装，若车间柱子粗大，也可用于中型天车吊装。</p> <p>吊装机具：滑车组、卷扬机(或绞磨)、钢丝绳等。</p> <p>吊装要点：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在利用吊装的柱头外侧需设置缆绳 1 和 2； (2)置天车主梁 5 于车间外或车间内； (3)在主梁两端吊起滑车组 3 和 4，其跑绳通向卷扬机或绞磨； (4)主梁在一端高一端低呈倾斜状态下吊升； (5)吊升至高端越过天车梁后，低端继续吊升，直至其高度也高出天车梁顶部； (6)调整 4 套滑车组将主梁吊平，走行车轮对正天车轨道后，落主梁于轨道上； (7)把第一片主梁移开吊装作业区； (8)用吊装第一片方法吊装第二片主梁； (9)对接两片天车上梁成整体； (10)拆除起吊机具。
2.	用车间柱头抬吊小车		<p>适用条件：厂房地面大致平整，天车主梁已安装完毕，屋架尚未安装，天车梁距柱头要有足够的高度。此方法一般用于小型天车小车的吊装，若柱子粗大，也可用于中型天车小车的吊装。</p> <p>吊装机具：卷扬机(或绞磨)、滑车组、钢丝绳等。</p> <p>吊装要点：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)在车间外侧设置缆绳 1 和 5，钢丝绳根数取决于小车重量，每个吊点至少要有两根； (2)将主梁 6 移出吊装作业区以外； (3)置小车 3 于车间内的地面上，位置在对称于 4 个柱子的车间纵向中心线处； (4)挂 4 套吊装滑车组 2 和 4 于小车的四角，若天车梁至柱头高度不够，也为减小对柱头的受力，小车上的绑吊点可下移至小车底盘下部； (5)吊升小车，使其高度达到走行轮略高于主梁小车轨道； (6)推移主梁至小车的正下方； (7)小车轮对正轨道，并落小车于轨道上； (8)拆除起吊机具。

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
3.	用特制专用吊梁吊装天车(参见第三章第二节四、例2)		<p>适用条件:车间内地面平整、坚实,厂房高大开阔,天车梁到屋梁有足够的高度。此方法用于大型天车的吊装,若车间同跨内有数台大中型天车需吊装,则更能显示出此方法安全、高效经济的优越性。此方法是诸多吊装天车方法中最好的方法。</p> <p>吊装机具:用钢板和型钢制造用于起吊天车的专用吊梁,宜与厂房一同设计,吊梁是厂房的组成部分,其起重能力由天车起吊时最重件决定。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置天车主梁 5 于车间地面上,处于专用吊梁 1 的正下方,其摆放方向为主梁纵向中心线与车间横向中心线成 α 角; (2)起吊滑车组挂于吊梁中点的吊点 2 处,跑绳通过吊梁端头的导向滑车去柱子根部,再经导向成水平后去卷扬机; (3)起重滑车组的下滑车用带吊钩的一种,则主梁容易以吊点为中心回转,则可不设牵引滑车组,用溜绳溜住即可。否则在主梁吊升时需用牵引滑车组保持主梁的 α 角度。在主梁吊到要求的高度后,又需用牵引滑车组把主梁拉正。 (4)吊升主梁到其高度略超出天车梁顶面; (5)转动主梁使其纵向中心线与车间横向中心线平行; (6)走行轮对正天车轨道后,放主梁于轨道上; (7)用同样方法吊装第二片主梁并和第一片主梁连接成整体; (8)把主梁推移出吊装作业区; (9)用专用吊梁的吊点 2 挂滑车组吊升小车到要求的高度; (10)推天车主梁至小车的正下方; (11)小车走行轮对正轨道并落小车于轨道上
4.	用伸缩缝处双屋梁吊装天车		<p>适用条件:车间内地面平整,车间较长并设计有伸缩缝和双屋梁,天车梁顶面距屋梁高度尺寸适中。此方法多用于中小型天车吊装。在北方严寒的冬季用此方法时,必须考虑钢材在低温下强度降低变脆的因素。</p> <p>吊装机具:在双屋梁的中间最高点横置一由型钢制成的吊梁,滑车组挂于其中点上。双屋梁和横梁所能承受的安全荷载必须经过核算方法确认。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置天车主梁 3 于车间地面上,处于吊梁 1 的正下方,其摆放方向为主梁纵向中心线与车间横向中心线成 α 角度; (2)起吊滑车 2 的上滑车挂于吊梁上,下滑车从两榀屋梁 4 间垂于车间地面,并吊于天车主梁上。跑绳通过柱头的导向滑车垂直到柱子根部,再经导向滑车早水平后去卷扬机; (3)起重滑车组的下滑车用带吊钩的一种,则主梁易绕吊点为中心回转,则不用设牵引滑车组,如下滑车用闭口吊环型,则需设牵引滑车组用以保持主梁的 α 角度和主梁就位时用其拉正; (4)吊升主梁到其高度略超出天车梁顶面; (5)转动主梁使其纵向中心线平行于车间横向中心线; (6)走行轮对正天车轨道后,放上梁于轨道上; (7)用相同方法吊装两片主梁,并用端梁将两片主梁连成整体; (8)把主梁推离吊装作业区; (9)用吊梁以和吊主梁相同方法将小车吊至其走行轮略高出主梁轨道的高度; (10)推天车主梁至小车的正下方; (11)小车走行轮对正主梁上的两根轨道后,把小车落于其上

续表 3-1

序号	名称	简图	方法要点及说明
5.	在相邻两榀屋架上设吊装吊装天车		<p>适用条件:车间内地面平整,天车梁顶面距屋架高度尺寸适中。此方法可用于中小型天车吊装。在我国北方严寒季节用此方法时,必须考虑钢材在低温下强度降低变脆的因素。</p> <p>吊装机具:在两相邻屋架4上面沿着车间纵向,于屋架节点处,以枕木1垫平,其上放两根用型钢或钢板制作的相同横梁3,在此两根横梁上垂直放置钢质吊梁2,起吊滑车组的上滑车并吊在吊梁的中点。屋架、横梁、吊梁系统所能承受的安全荷载必须经过核算方法确认,必要时应征得设计单位同意。</p> <p>吊装要点: 其吊装要点与用伸缩缝处双屋架吊装天车方法基本相同,请参照,故不赘述。</p>
6.	用车间柱头抬吊主梁和小车		<p>适用条件:厂房地面平整,天车梁和屋架均已安装完毕,天车梁顶面距车间柱头尺寸H有足够大。此方法无需设置起吊机具,因此方法简单,常用于中小型天车吊装。若车间柱子粗大、屋面系统结构牢固也可用于中型天车的吊装。</p> <p>吊装机具:一般需在4个柱头上挂4个滑车组1和2。柱头的许用安全荷载必须经过核算求得。</p> <p>吊装要点: (1)置天车主梁3于车间内、车间外或部分在车间内,另外部分在车间外; (2)在车间4个柱头上挂4套滑车组1和2,下滑车吊于主梁两端; (3)若主梁放置在车间外,可用车间一侧的两个滑车组将其拖入车间内; (4)主梁用4套滑车组吊着呈一端高,另一端低的状态吊升; (5)吊升至主梁高端高度超出天车梁顶面后,低端继续吊升,直至其高度也超出天车梁; (6)调整4套滑车组将主梁吊平,走行轮对正天车轨道后,落主梁于轨道上; (7)把第一片主梁移出吊装作业区; (8)用吊装第一片方法吊装第二片主梁; (9)对接两片主梁成整体并将其移出吊装作业区; (10)用4套滑车组抬吊小车至其走行轮略高出主梁上的小车轨道; (11)推回主梁至已吊起的小车正下方; (12)小车走行轮对正轨道后,落小车于主梁两根轨道上。</p>



(一) 主梁、辅梁组装

用起重重量 25t 的 TL-250E 型汽车吊将主梁、辅梁吊至车间内用枕木和钢板搭设的平台上,用千斤顶调整其标高和直度,以普通螺栓将主梁、辅梁连接成整体,测量其上拱度,设计值最大拱度为 33.16mm,并检查直线度。再用手 L 电弧焊焊接小车轨道。然后以高强螺栓分批替换下普通螺栓,再复查上拱度。

(二) 吊装端梁

因端梁质量只有 3.5t,用 25t 汽车吊将其吊至天车轨道上,并用绳索和手拉葫芦将端梁栓绑在车间柱子上,其位置刚好是吊装主梁和辅梁的位置。

(三) 吊装主梁、辅梁(图 3-16)

用 80t 汽车吊吊装主梁、辅梁,吊主梁时使用杆长 21.6m,回转半径 6.0m,起重能力为 38.5t,可胜任 37.5t 的吊物质量(加索具质量)。但因屋架上弦为 19.2m,故需在屋面上预留 6000mm×6000mm 的吊装孔。将主梁吊升至与端梁相同高度后,在高空进行主梁和端梁的连接。

以相同方法吊装辅梁,亦同端梁连接而形成天车主桥架。

(四) 吊装小车(图 3-17)

用 80t 汽车吊吊装小车,使用杆长 19.5m,回转半径 10m,起重能力 24t,可胜任 18t 的吊物质量。在小车吊高至车轮底面为 12.5m 后,将主桥架移回至小车下方,用落吊钩方法将小车落于天车主桥架上。

(五) 吊装操纵室

在天车主、辅梁间横担钢轨,其上挂两套滑车组,以两台 JM-5 型牵引力为 50kN 的卷扬机吊装。在操纵室吊离地面一定高度后,在其下安装承液盘,然后一起吊升,并将操纵室连接于小车之上。

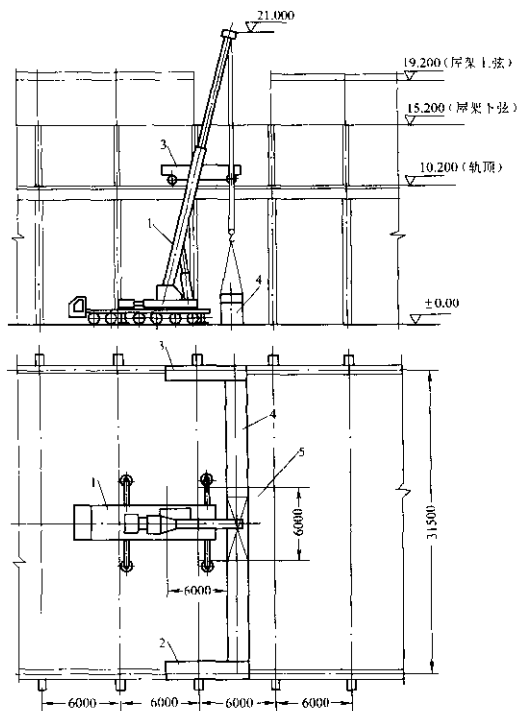


图 3-16 主梁吊装图

1—80t 汽车吊; 2—端梁; 3—端梁; 4—主梁; 5—屋面留洞

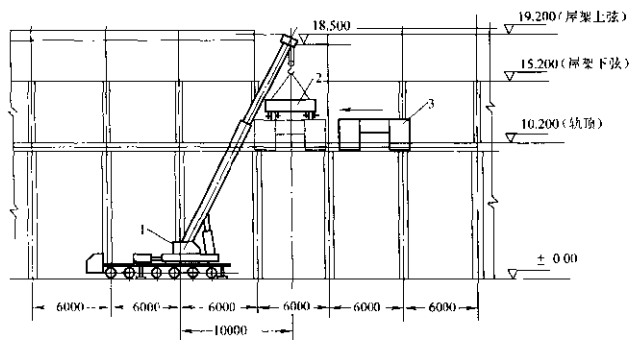


图 3-17 小车吊装图

1—80t 汽车吊; 2—小车; 3—主桥架

〔例 2〕 吊装大型铸锭起重机

在我国某钢铁厂安装有起重重量 440/80t 的巨型铸锭起重机,用厂房设计的实腹梁进行吊装,此种吊装方法亦有称之为“梁工法”的,是一种吊装桥式起重机方便、高效、安全的吊装方法,但使用的先决条件是,厂房应有为吊装桥式起重机而设的实腹梁。

此铸锭起重机由大车和主、副小车三部分组成,主、副小车各有独自运行轨道的内外主梁,形成四梁结构的桥梁形式。主小车载于两根外主梁上,副小车则在两根内主梁上,副小车可在主小车下方往返运行。主桥架长度为 23400mm,宽度 11400mm,其比值达 0.49。大车运行机构有 32 个车轮,以三级平衡,按 4 组分配,为减轻大车车轮轮缘与轨道的摩擦,设有自动涂油器。大车桥架主梁与端梁间用摩擦型高强度螺栓连接。

此铸锭起重机总质量 684t, 部件最大的主小车 163.8t, 其次是两根外主梁分别为 124.3t 和 111.2t。

(一) 实腹梁及吊点

为吊装而设计的厂房实腹梁及其上的 6 个吊点如图 3-18 所示。实腹梁为高度 2000mm 的上字形断面,其上、下翼板宽度为 400mm,其上 6 个吊点的位置和许用荷载按铸锭起重机几大部件的尺寸和质量而设计。

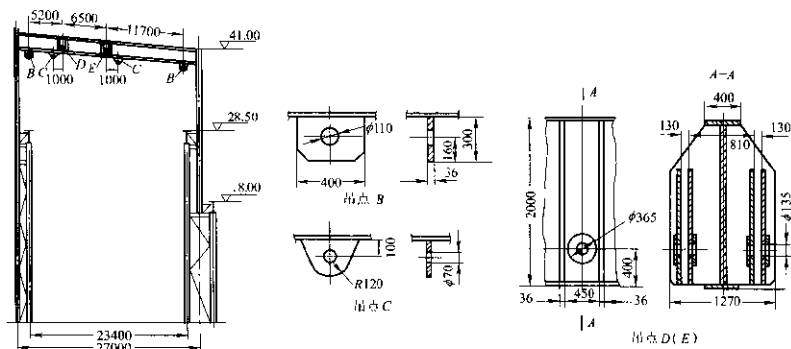


图 3-18 实腹梁及吊点图

(二) 吊装方法和机具设置

此吊装方法共用卷扬机 11 台,挂 7 套滑车组如图 3-19 所示,其吊装方法和机具如下:

(1) 用吊点 B 和 C,挂 4 和 5 滑车组联合吊装大车车轮,端梁系统,分别以 JM5 型牵引力 50kN 卷扬机,用 6×37-22-1700 型钢丝绳吊装和 JM3 型牵引力 30kN 卷扬机,用 6×37-17.5-1700 型钢丝绳吊装。

(2) 用吊点 E,挂 1 滑车组(HQD8-160)。抽出双头,用 2 台 JM16 型牵引力 160kN 卷扬机,以 6×37-39-1700 型钢丝绳牵引吊装外主梁。

(3) 用吊点 D 和 E,挂 1 和 2 滑车组,抽出双头,用两台 JM16 型卷扬机抬吊主小车。

(4) 用吊点 E,挂滑车组 3 吊装内主梁和副小车。

(5) 驾驶室用吊点 B,以 JM3 卷扬机牵引,用 50kN 手拉葫芦配合吊装。

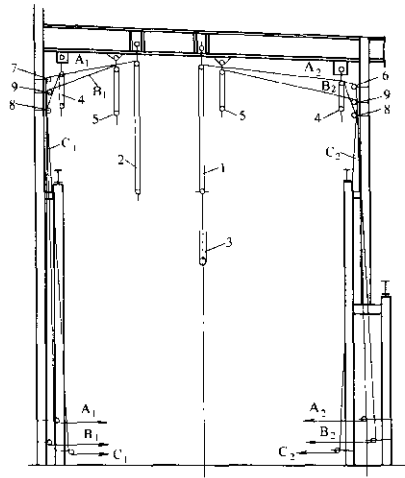


图 3-19 吊装滑车组设置示意图

1.2.3.4.5—吊装滑车组;6.7.8.9—导向滑车;

A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 —卷扬机牵引绳

(三) 几项主要的技术措施

(1) 为减少 JM16 型卷扬机的承载牵引力和提高吊装速度,滑车组 1 和 2 均抽出双头,每套滑车组用两台卷扬机牵引。

(2) 在吊装前对吊点 E 进行 130t 质量的试吊,应上升下降往返不少于 3 次,累计时间应有 30min。

(3) 为实现顺利吊装,应对铸锭起重机的外主梁、内主梁、主小车、副小车、端梁、大车运行机构、驾驶室等主要部件以及吊装用的卷扬机进行合理的场地规划和平面布置。

(4) 在主梁与第三级平衡车销轴组装时,要用两台 500kN 千斤顶和 3 个 30kN 手拉葫芦配合,以利销轴和半圆叉口的对位和安装。

在移动已装好的车轮系统和主梁离开实腹梁正下方(为安装端梁)时,必须采取防止其倾翻的安全措施以后,方可用两台 JM3 型卷扬机牵引移位。

(5) 为减少高处作业,应在桥梁组装前,在地面时把两根外主梁的附件(如空调装置、主小车电缆滑车及梯子栏杆)安装好。

第三节 吊装龙门起重机

龙门起重机广泛用于各种工矿企业、交通运输和建筑施工。主要用在露天贮料场、建筑构件加工厂、船坞、电站、港口和铁路货站等处,用其进行装卸及搬运货物、设备以及建筑构件安装等。

一般把龙门起重机分为普通龙门起重机、水电站龙门起重机、造船龙门起重机和集装箱龙门起重机 4 类,其中普通龙门起重机用得非常广泛,其他 3 类则专用于特定的作业。同龙门起重机结构相似的还有装卸桥,其工作对象多是大批量的散状物料或同类性质的成件物品。

龙门起重机和装卸桥其规格和种类很多,其中常用的、其结构又具有代表性的几种如图 3-20 所示。图 3-20 a 为电葫芦单梁式龙门起重机,其结构和电动单梁桥式起重机相似,电葫芦沿门架下部的工字钢下翼缘运行。图 3-20 b 为单梁箱形“L”型支腿龙门起重机,其起重小车的垂直车轮沿梁上轨道运行,并用水平滚轮和垂直反滚轮保持小车不致倾翻。图 3-20 c 为箱形双梁式龙门起重机,其两根箱形主梁支承在门架的牛腿上,起重小车需穿过门形架上部封闭的框架运行。图 3-20 d 为“门”形截面桁架式龙门起重机,其门形架和主桥架均为桁架结构,起重小车在桥架的轨道上运行。图 3-20 e 为箱形双梁半龙门起重机,只有一个门形支腿,另一端支承在高处的轨道上,其结构类似普通桥式起重机。图 3-20 f 为单箱形梁式装卸桥,其起重小车在箱形梁上平面的轨道上运行。

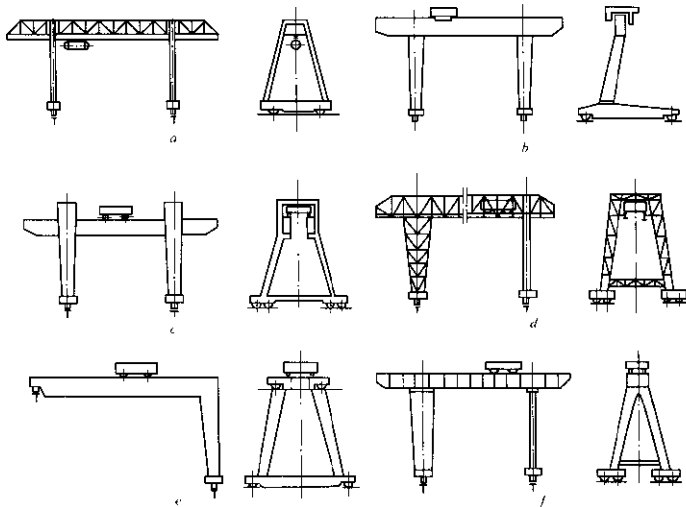


图 3-20 龙门起重机几种常用型式

龙门起重机有双悬臂、单悬臂和双悬臂 3 种,设置悬臂的目的是扩大工作区域。跨度小的龙门起重机两个均为刚性支腿,大跨度的则一为刚性支腿,另一为柔性支腿。一般用以下三种方式实现支腿与桥架的连接:

- (1) 刚性连接:刚性和柔性支腿均与桥架焊接或用螺栓连接,常用于板结构的龙门架和装卸桥桥架和支腿的连接。
- (2) 立柱滑板-球铰连接:刚性支腿处用立柱和滑板连接;柔性支腿用球形铰连接,常用

于格构型的龙门架和装卸桥桥架中。

(3)刚固-柱铰连接,刚性支腿与桥架做成一体或刚性连接,柔性支腿用水平圆柱铰连接。此种连接方式在板结构或格构式的龙门架和装卸桥桥架中均有应用。

吊装龙门起重机和装卸桥的方法很多,一般多用自行式起重机和各种桅杆为吊装机具。应根据龙门起重机和装卸桥的结构特点、起重量、跨度、起吊机械的起重能力和吊装施工现场情况进行综合分析,选择适用的吊装方法。

一、吊装方法的特点

- (1)露天作业,场地开阔,便于吊装施工;
- (2)龙门起重机和装卸桥的构件进场条件好,有宽敞的地面可以摆放;
- (3)大中型龙门起重机和装卸桥的构件常分件、分段进场,需在吊装时组成整机;
- (4)一般吊件长度较大,重量较大,吊装时需有大起重能力的起吊设备;
- (5)对超长、大质量的支腿和主梁,可考虑用多吊点的双机抬吊方法和双桅杆抬吊方法;
- (6)易受自然条件风、雨、雪的影响,尤其在沿海飓风多发季节,应采取必要的措施,防止飓风侵袭造成损失。

二、吊装方法

龙门起重机和装卸桥其结构、起重量和跨度不同,其吊装方法也相应不同,比较常见并具有一定代表性的吊装方法如表 3-2 所示。

表 3-2 龙门起重机及装卸桥的吊装方法

序号	名称	简图	方法要点及说明
1.	自行式起重机分件吊装法之		<p>适用条件:此方法适用于单主梁在支腿上部支承的中小规格的龙门起重机和装卸桥吊装。</p> <p>吊装机具:自行式起重机。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)置龙门吊主梁 2 于自行式吊车斜前方,两个支腿 3 放在便于起吊作业的位置; (2)用自行式起重机 1 将两个支腿立在轨道 5 上,并用缆风绳 4 扶直,注意两个支腿需在同一横向中心线上; (3)用吊车吊起主梁超过支腿顶面高度; (4)吊车转杆,对正主梁和支腿中心,放主梁于两支腿上; (5)迅速将主梁与支腿连接起来; (6)拆除缆风绳等起吊机具

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
2.	自行式吊车分件吊装法之一		<p>适用条件:此方法适用于龙门吊和装卸桥的单主梁在支腿上部的中小规格龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:自行式吊车、手拉葫芦、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用自行式吊车 1 先后将两个支腿 3 分别立在两根轨道 7 上,每个支腿用 4 个手拉葫芦和缆风绳扶点;要求缆风绳 5 的地锚距支腿横向中心线近些; (2)置主梁 2 于支腿旁,其方向与轨道横向中心平行; (3)自行式吊车 1 立于轨道纵向中心线处,吊起主梁,其高度略高于支腿顶部; (4)设手拉葫芦和缆风绳 6(两根); (5)拆去缆风绳 5; (6)用 8 个手拉葫芦一侧松,另一侧拉紧的方法,将两个支腿沿轨道移至主梁的正下方; (7)落主梁于支腿上,并进行两者连接; (8)用人工盘车法移开龙门架; (9)用自行式吊车吊起小车; (10)用人工盘车移回龙门架于已吊起的小车正下方,并落小车于主梁轨道上。
3.	双自行式吊车分件吊装法之一		<p>适用条件:此方法适用于大中型单主梁在支腿上方的龙门吊和装卸桥的分件吊装。</p> <p>吊装机具:自行式吊车 2 台、手拉葫芦、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用自行式吊车 1 或 2 先后将两个支腿 5 分别立在两根轨道 7 上,每个支腿用 4 根缆风绳和手拉葫芦 4 扶直;其中缆风绳 6 的地锚距支腿横向中心线近些; (2)置主梁 3 于支腿旁,其方向与轨道纵向中心线垂直; (3)两台自行式吊车 1 和 2 所处的横向位置应视其起重重而定,应按其起重能力分配荷载,但应达到双机抬吊作业时,其吊重应小于两台吊车额定起重重之和的 75%,任 1 台吊车的负荷不得超过其额定起重重 80% 的规定; (4)双机抬吊吊起主梁至高度略高出支腿顶部; (5)设手拉葫芦 4 和缆风绳两根; (6)拆去缆风绳 6; (7)用缆风绳中的 8 个手拉葫芦一侧松、另一侧拉紧的方法,将两个支腿沿轨道移至主梁的正下方; (8)落主梁于两支腿上,并连接两者; (9)用人工盘车移开龙门架; (10)用单台吊运或双机抬起小车至高出主梁轨道; (11)用人工盘车移近龙门架于已吊起的小车正下方,落小车于主梁轨道上。

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
4.	双自行式吊车分件抬吊法之二		<p>适用条件:此方法适用于大中型单主梁在支腿上方的龙门吊和装卸桥的分件吊装。</p> <p>吊装机具:履带吊两台(或轮胎吊)、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用履带吊 1 或 2 将两个支腿 4 和 5 吊起并立于两侧轨道 7 上,每个支腿用 4 根缆风绳 6 扶正; (2)调整两支腿的位置,使它们的中心处于平行轨道纵向中心线的一条中心线上; (3)置主梁 3 于两支腿附近,其方向与轨道纵向中心线大致垂直; (4)两台履带吊 1 和 2 在主梁上的吊点位置应视其起重能力而定,应按其起重能力分配负荷。两履带吊所承担的负荷均应小于其自身额定起重重量的 80% (轮胎吊的 75%) ; (5)双机抬吊吊主梁,其高度略高于支腿顶部; (6)两台履带吊重同步、平稳缓慢的前行,达主梁至两支腿正上方; (7)主梁对正两支腿的位置,并落主梁于两支腿上。在落钩不撤吊绳的情况下实现主梁与支腿的连接; (8)后退两台履带吊,用其中 1 台(或两台抬吊)吊起小车至高度达主梁以上; (9)履带吊吊重前行或用转杆法送小车至主梁正上方,并落小车于两根主梁轨道上。
5.	自行式吊车分件吊装法之一		<p>适用条件:此方法适用于中小型主梁在支腿顶部封闭框内的龙门吊和装卸桥的分件吊装。</p> <p>吊装机具:自行式吊车、手拉葫芦、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用自行式吊车 1 将两根主梁 2 和 3 吊起并放在枕木墩(或钢支架)8 上,其高度略高出两支腿 4 和 5 下部横梁。如主梁分段供货应接成整体; (2)用自行式吊车先后吊起两个支腿并立于两侧轨道 7 上;若为分件供货,应在轨道上将两支腿拼成整体。每个支腿用 4 根缆风绳和手拉葫芦扶正。此时待吊的第 1 根主梁 2 应处于两支腿的牛腿中心处的正下方; (3)自行式吊车置于轨道纵向中心线上; (4)吊车平着吊升第一根主梁通过两牛腿间至其底面略高出牛腿的高度; (5)用放松一侧手拉葫芦,拉紧另一侧手拉葫芦的方法,使两个支腿沿轨道向离开吊车的方向移动,至主梁到牛腿正上方; (6)落主梁于牛腿上,并实现第一根主梁和牛腿的刚性和柔性连接; (7)自行式吊车前行一个距离其主钩在第 2 根待吊主梁的正上方,调整两侧支腿的位置,使对正待吊第 2 根主梁; (8)重复以上(4)、(5)、(6)项要点完成第 2 根主梁吊装。只是要注意第 5 项要点中的两支腿应向吊车方向移动一个距离; (9)用自行式吊车吊起小车到高出主梁高度,并落小车于主梁轨道上。

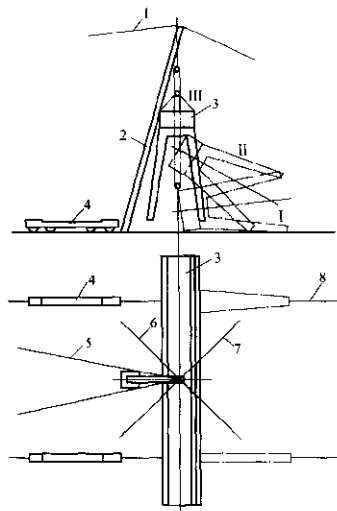
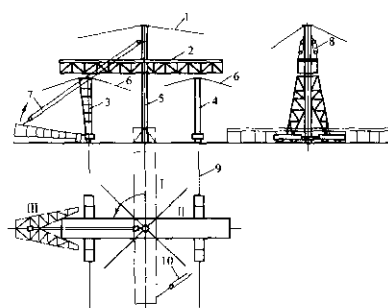
续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
6.	双自行式吊车分件抬吊法之四		<p>适用条件:此方法适用于大中型主梁位于支腿顶部封闭框内的龙门吊和装卸桥的分件吊装。</p> <p>吊装机具:自行式吊车两台、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用吊车 1 或 2 将分段供货的主梁 3 和 4 吊起并放在枕木垛(或钢支架)7 上,其高度略高出两支腿 5 和 6 下部横梁,把两主梁接成整体; (2)用吊车在两个轨道上方将支腿拼成整体,每个支腿用 4 根缆风绳扶正。此时待吊的第 1 根主梁 3 应处于两支腿的牛腿中心处的下方; (3)两吊车在主梁上的吊点位置应视其额定起重重量而定,需按其起重能力分配负荷,并且其负载程度应在允许范围内; (4)两吊车抬吊主梁 3 至略高出牛腿的高度; (5)两吊车同步撑杆送主梁处于牛腿正上方,落主梁于牛腿上,继而完成主梁与支腿的刚性和柔性连接; (6)两吊车执杆吊升主梁 4,通过两牛腿空间至略高出牛腿处; (7)两吊车再执杆,使主梁达牛腿正上方,并将主梁落于牛腿上,继而完成主梁与支腿的连接; (8)用单机吊起或双机抬吊小车到高主梁高度,再用吊车执杆法或桥架向吊车靠近方法使小车达主梁正上方,并将小车落于主梁上。
7.	用自行式吊车分段拼装法之五		<p>适用条件:此方法适用于大跨度的主梁和支腿均为格构式结构的龙门吊和装卸桥的吊装。此方法的特点是在支架上分段拼装,因此组重量较大,但所用自行式吊车的额定起重重量可相对的小些。</p> <p>吊装机具:自行式吊车(优先选用吊重可行走的履带吊和轮胎吊)、钢支架等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)吊装场地四周应平整、坚实,其上可走行吊车,围绕龙门吊组装位置四周应留一圈吊车通道; (2)吊车通道外按顺序摆放龙门吊需组装的部件; (3)摆放钢结构支架 4,两支腿处空开; (4)在支架上从中心向两端分段组装主梁 2,留下小车吊入的位置; (5)组装刚性支腿和柔性支腿 1 和 3; (6)吊起小车从预留处放入主梁的两根轨道上; (7)完成主梁预留处的组装; (8)撤去钢支架

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
8.	自行式吊车吊装法之六		<p>适用条件:此方法适用于小型单梁式龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:自行式吊车、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用自行式吊车 2 吊起主梁 1 的一端,其下垫支腿 4, 见左图 a; (2)用自行式吊车吊起另一端,高度略超出支腿 3 高度,支腿用缆风绳 6 校正,见左图 b; (3)在吊车配合下连接主梁和支腿 3, 见左图 c; (4)用自行式吊车再吊起主梁一端,随着吊起,调整支腿 3 的缆风绳; (5)吊平主梁,立起支腿 5 并与主梁连接; (6)用自行式吊车吊装小车
9.	单桅杆吊装法之		<p>适用条件:此方法适用 J 形主梁结构的小型龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆 1 斜立于两轨道的纵向中心线上,由两根主缆风绳 5 主要承受吊装力,因此,它和地锚要有足够的抗拉强度,还需设次缆风绳 7 和扶正缆风绳 6; (2)在地面上将 J 形主梁 2 组装成整体; (3)在主梁两侧将两个支腿 3 和两个支腿 4 组成整体; (4)将 4 个支腿顶端与 J 形梁上角铰接,其下端置于走行轮轴上; (5)吊升 J 形主梁带起 4 个支腿,同时 4 个走行轮组也沿轨道互相靠近; (6)连接主梁和支腿,连接 J 形梁两个底梁; (7)人工盘车移走龙门架,用桅杆吊起小车至超出主梁高度,移回龙门架至小车下方,将小车落丁两根主梁轨道上;

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
10.	单桅杆吊装法之二		<p>适用条件:此方法一般用于小型龙门吊和装卸桥的吊装。若立两个桅杆也可用于中型龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆 2 斜立于两根轨道的纵向中心线上,两根主缆风绳 1 受力很大,其钢丝绳和地锚要有足够的抗拉强度,还需设立次缆风绳 6 和扶正缆风绳 7; (2)在地面上躺卧着将龙门架组装好,如左图中 I 的位置,支腿下端扣于两根轨道 8 上; (3)置两组走行轮组 4 于桅杆一侧的轨道上; (4)吊升龙门架,由躺卧到逐渐立起,如左图中 II 的位置,支腿一脚沿轨道滑行; (5)吊升龙门架到足够安装走行轮组的高度,如左图中 III 的位置; (6)沿轨道推移两走行轮组于两人字叉腿的正下方; (7)落龙门架于走行轮组横梁上,继而进行两者连接; (8)人工盘车移走龙门架,用桅杆吊起小车至超出主梁高度,移回龙门架至小车正下方,将小车落于主梁轨道上
11.	单桅杆吊装法之三		<p>适用条件:此方法适用于格构式主梁的小型龙门吊和装卸桥的吊装,若桅杆起重能力和高度均大,也可用于中型龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:桅杆、卷扬机、滑车组、缆风绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆 5 直立于两根轨道 9 的纵向中心线上,需设缆风绳 14~8 根; (2)主梁 2 沿着轨道方向组装成整体,桅杆则立于主梁之间,如右图中 I 的位置; (3)人字形支腿 3 和 4 顶端朝外在地面上组装成整体,如左图中 II 的位置; (4)在桅杆上挂滑车组 7 将支腿扳起,立直于轨道上,用缆风绳 6 扶正; (5)用滑车组 8 吊升主梁至其底面略高于支腿顶面的高度; (6)用牵引滑车组 10 拉动主梁以桅杆为中心在空中回转 90°,达到左图中 II 的位置; (7)落主梁于两支腿上并进行连接

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
12.	双桅杆吊装方法之一		<p>适用条件:此方法适用于格构式主梁的大中型龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:2个桅杆、卷扬机、滑车组、钢丝绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆1和桅杆2均直立在垂直于轨道的一条中心线上,其位置由两桅杆的起吊能力决定,达到按能力分配负荷; (2)将主梁5垂直于轨道9的方向组装成整体,两桅杆则立于主梁格构构件的空格间; (3)在两桅杆上挂滑车组抬吊主梁到一定高度; (4)运两个支腿到主梁下方,其方向为两支腿在外侧; (5)在两桅杆上挂滑车组6,它通过主梁格构构件的空格挂于支腿上部,吊升支腿由平卧到斜立; (6)主梁和支腿同时吊升至要求的高度; (7)将两走行轮组10沿轨道9推入两支腿的下方,并将支腿和桥架落于其上; (8)调整主梁、支腿和走行轮组的位置,并将它们连接起来
13.	双桅杆吊装方法之二		<p>适用条件:此方法一般用于无悬臂或短悬臂的大中型龙门吊和装卸桥的吊装。</p> <p>吊装机具:两个桅杆、手拉葫芦、卷扬机、滑车组等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)桅杆1和桅杆2均直立在垂直轨道的一条中心线上,其位置在轨道外侧; (2)将主梁5在两桅杆的脚处组成整体; (3)支腿6、7用自行式吊车或立桅杆等方法吊起,立直于轨道9上,用钢丝绳和手拉葫芦扶正; (4)用两桅杆挂滑车组于主梁端头吊升主梁至略高出支腿顶面高度; (5)用松一边手拉葫芦、拉紧另一边手拉葫芦的方法,将两支腿1沿轨道移至主梁正下方; (6)落主梁与两支腿上并将它们连接起来

续表 3-2

序号	名称	简图	方法要点及说明
14.	双门形桅杆吊装法		<p>适用条件:此方法多用于双梁位于支腿顶部封闭柜内的大型龙门吊或装卸桥的分件吊装。</p> <p>吊装机具:门式桅杆两个、卷扬机、手拉葫芦、钢丝绳等。</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用自行式吊车将主梁 4 和土梁 5 分段摆放在枕木垛 9(或钢支架)上,其高度应略高于两支腿 3 的下部横梁,把两根主梁接成整体。 (2)骑跨于两支梁上方立两个门形桅杆,其横向位置按两门形桅杆的起重能力确定,要求按能力分配负荷,门形桅杆上用钢丝绳扶正,要达到每个门形桅杆的横梁和两支腿在同一铅垂平面内。 (3)用吊车将两个支腿 3 在轨道上拼接立直,用 4 根钢丝绳和手拉葫芦 6 扶正两侧支腿,此时待吊的第 1 根主梁 4 应在两支腿的正下方; (4)用两门形桅杆挂滑车组抬吊主梁至高出支腿上的牛腿高度; (5)采用两支腿钢丝绳中的手拉葫芦一侧放松另一侧同时拉紧的方法,使两支腿沿轨道移动一个距离至主梁处于牛腿正上方; (6)落主梁于牛腿上,并进行主梁和支腿的连接; (7)用相同方法吊装第二根主梁 5,并连接主梁和支腿及两主梁两端头的两个端梁。
15.	用台灵架分段吊装人跨度装卸桥		<p>适用条件:此方法多用在 60m 以上跨度的装卸桥的吊装中,其主要多为桁架结构,而且常为分段供货。</p> <p>吊装机具:双臂杆方形台灵架、支承架等</p> <p>吊装要点:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1)用台灵架吊起第 1 段桁架主梁(节点 17~21),在端头 21 节点处支以支承架,用钢丝绳扶正,在 17 节点处再支以支架。 (2)用台灵架吊起支腿并用钢丝绳扶正,落主梁于支腿上; (3)沿轨道移台灵架至 17 节点处,替下方支承架; (4)吊起第 2 段(节点 15~17),并连接 17 节点,在节点 15 处支以支承架; (5)再沿轨道移台灵架至节点 13 和 14 之间,并吊起第 3 段(节点 12~15); (6)用以上相同方法吊装第 4 至第 6 段,并吊装第二个支腿,并落主梁于支腿上; (7)连接主梁与两个支腿

第四节 吊装塔类设备

塔类设备广泛用于化工、石油化工、轻工(人造纤维、油脂工业、油漆、涂料及橡胶等)、化肥、医药等行业,它是生产工艺中的最主要设备。在以上工业的一些大型工厂中,真是塔体林立、高低错落有致,蔚为壮观。

塔类设备一般均由裙座、上下封头、塔筒和内部装置等几个主要部分组成,但其高度和直径之比却差别甚大,有的细高,有的粗短。在有关专著中,常把塔类设备划分成板式塔和填料塔两大类。

一、塔类设备的主要构成部分

塔类设备除了内部繁多的构件外,其余构件则是大致相同的,它们是:(1)塔体。塔体即塔的外壳。常见的塔体是由等直径、等壁厚的圆筒形塔筒和头盖、底盖的椭圆封头组成。也有不等径和不等壁厚的塔体。(2)塔体支座。塔体支座是塔体稳固于设备基础上的支承部件,需有足够的刚度和强度以及与基础连接的可靠性。裙式支座是最常用的塔体支座。(3)吊耳。吊耳一般焊在塔体上,用其进行塔类设备的运输和吊装。(4)吊柱。为了方便塔内件的吊运,大型塔在塔顶常装有吊柱。(5)手孔、接管、人孔和除沫器等。

二、吊点

吊点是指在塔类设备吊装时,吊具在塔体上的绑结受力点。实现吊点连接的方式有:

(1)钢丝绳吊索缠绕捆扎法;(2)吊耳法;(3)塔顶端吊具法;(4)抱箍法等。而吊耳法又有板式吊耳、箱式吊耳和管轴式吊耳不同的结构型式。

(一)钢丝绳吊索缠绕捆扎法

其方式是用钢丝绳拦腰捆扎塔体以形成吊点,此种方法有作业困难、操作麻烦、不甚可靠、拆除用后的吊索需高处作业等缺点,故近年已逐渐用其他吊点连接方式所代替。

(二)吊耳法

吊耳法广泛用于塔类设备吊装,并且有的已形成不同规格的系列,可根据塔本体最大起吊重量从有关的性能表中选用。

1. 板式吊耳

板式吊耳用钢板制成,分Ⅰ型为装于塔顶的板式吊耳和Ⅱ型装于塔体的板式吊耳,其标准型式如图 3-21 所示。

板式吊耳的最大允许负荷和结构尺寸如表 3-3 所示。其最大起吊角度为 15° ;当塔体板厚度小于 $\frac{2}{3} T$ 时应考虑增加补强垫板。

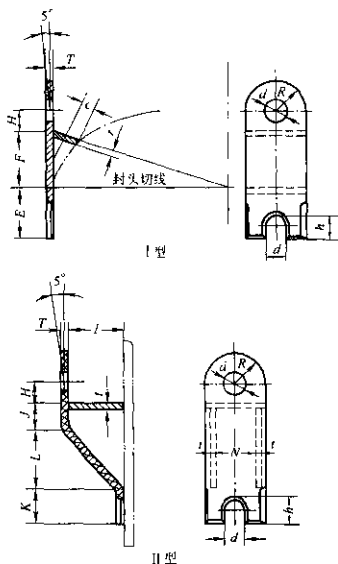


图 3-21 板式吊耳

【Ⅰ—装于塔顶的板式吊耳;Ⅱ—装于塔体的板式吊耳】

表 3-3 板式吊耳的最大允许负荷和结构尺寸(mm)

序号	本体最大起吊重量/kN	T	t	d	R	h	E	H	J	K	L	N	S	卡扣销径	F(2:1 椭圆封头)								需要的吊耳数量				
															本体外径												
															1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500		5000			
0	10	19	10	50	70	70	140	80	60	90	160	100	7	45													
1	20	25	12	70	100	90	180	100	80	120	200	140	9	65	160	210	260	300	330	370	400	400	480				
2	35	28	16	90	130	110	220	120	100	150	240	180	12	80													
3	50	36	19	110	160	130	260	140	120	180	280	220	15	100	160	230	280	340	360	430	470	510	550	2			
4	75	45	22	130	190	160	300	170	140	220	300	260	18	120													
5	100	55	28	150	220	200	340	190	160	260	340	300	20	140													
6	200	80	40	190	280	250	430	260	200	350	400	360	30	180	250	300	350	400	450	500	550	600					
7	300	100	50	220	330	320	520	300	250	420	460	420	35	210													

2. 管轴式吊耳

管轴式吊耳结构简单,刚性好,钢丝绳可沿吊耳轴滑移,以适应外力方向的变化。因此,吊装塔类设备时多用。常用的结构型式有无筋板管轴式、带十字筋板管轴式和带井字形筋板管轴式吊耳等数种。还有加更多个筋板的超大型管轴式吊耳。其结构和尺寸如图 3-22 所示。其允许荷重和系列尺寸列于表 3-4、表 3-5 及表 3-6 中。

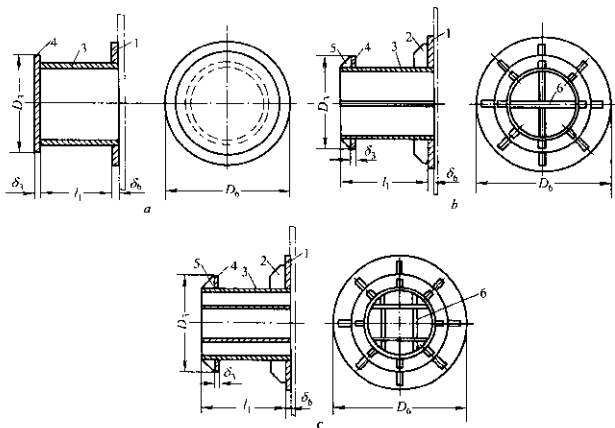


图 3-22 管轴式吊耳

a—无筋板式; b—带十字筋板式; c—带井字形筋板式
 1—加强板; 2—筋板; 3—管轴; 4—挡板; 5—筋板; 6—撑筋

表 3-4 无筋板管轴式吊耳的结构尺寸(mm)

荷重/ 10kN	管轴 1		挡圈 3		加强板 6		钢丝绳	
	$\phi D_1 \times \delta_1$	l_1	D_3	δ_3	D_6	δ_6	直径	圈数
10	159 × 8	173	259	15	300	5	22.0	3
15	168 × 11	183	268	15	300	5	24.0	3
20	219 × 10	211	319	15	350	5	24.0	4
30	273 × 10	239	373	20	400	5	30.5	4
40	325 × 10	274	425	20	450	5	30.5	4

表 3-5 带十字筋板管轴式吊耳的结构尺寸(mm)

荷重/ kN	管轴 1		十字筋板 2		挡圈 3		筋板 4		筋板 5		加强板 6		钢丝绳	
	$\phi D_1 \times \delta_1$	l_1	$h \times l_1 \times \delta_2$	D_3	δ_3	$a_4 \times b_4 \times \delta_4$	n_4	$a_5 \times b_5 \times \delta_5$	n_5	D_6	δ_6	直径	圈数	
500	325 × 10	384	305 × 384 × 10	445	12	60 × 60 × 8	8	90 × 90 × 16	8	655	25 - δ_1 , 且 ≥ 12	32.5	5	
700	377 × 10	418	357 × 418 × 10	497	14	60 × 60 × 8	8	90 × 90 × 16	8	720	28 - δ_1 , 且 ≥ 12	37	5	

表 3-6 带井字筋板管轴式吊耳的结构尺寸(mm)

荷重/ kN	管轴 1		井字筋板 2		挡圈		筋板 4		筋板 5		加强板 6		钢丝绳	
	$\phi D_1 \times \delta_1$	l_1	$h \times l_1 \times \delta_2$	D_3	δ_3	$a_4 \times b_4 \times \delta_4$	n_4	$a_5 \times b_5 \times \delta_5$	n_5	D_6	δ_6	直径	圈数	
1000	426 × 12	472	372 × 472 × 10	566	16	70 × 70 × 10	8	90 × 90 × 16	8	790	32 - δ_1 , 且 ≥ 14	43.5	5	
1250	478 × 14	526	415 × 526 × 12	618	18	70 × 70 × 10	8	100 × 100 × 18	8	880	34 - δ_1 , 且 ≥ 16	43.5	6	
1500	529 × 14	571	464 × 571 × 12	679	18	75 × 75 × 10	8	100 × 100 × 20	8	990	36 - δ_1 , 且 ≥ 16	47.5	6	
1750	630 × 14	621	554 × 621 × 12	780	18	75 × 75 × 10	8	100 × 100 × 18	8	1150	38 - δ_1 , 且 ≥ 16	47.5	7	
2000	720 × 14	665	640 × 665 × 12	870	20	75 × 75 × 12	8	100 × 100 × 20	8	1250	40 - δ_1 , 且 ≥ 16	52	7	
2250	720 × 16	705	634 × 705 × 14	870	20	75 × 75 × 12	8	100 × 100 × 18	12	1250	40 - δ_1 , 且 ≥ 18	56.5	7	
2500	820 × 14	754	732 × 754 × 12	980	22	80 × 80 × 14	8	100 × 100 × 20	12	1350	40 - δ_1 , 且 ≥ 18	60.5	7	
2750	820 × 16	784	726 × 784 × 14	980	22	80 × 80 × 14	8	100 × 100 × 22	12	1350	40 - δ_1 , 且 ≥ 20	65	7	

在管轴式吊耳承受最大载荷下,其吊装角 α_0 一般小于 15° 。对管轴的危险截面及焊缝进行弯曲应力、拉伸应力及剪切应力校核。

(1) 管轴危险截面

管轴与衬板连接的端面为危险截面,如图 3-23 所示。

计算最大垂直分力 $P_{V_{\max}}$ 和最大水平分力 $P_{H_{\max}}$:

$$P_{V_{\max}} = Q_n$$

$$P_{H_{\max}} = P_{V_{\max}} \operatorname{tg} \alpha_0$$

式中 Q_n ——吊耳的设计载荷;

α_0 ——吊装角。

弯曲应力为:

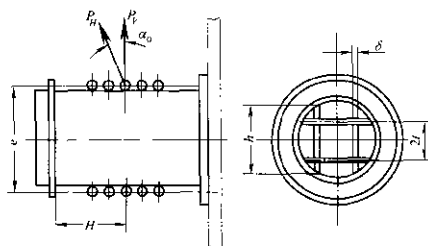


图 3-23 管轴的受力分析

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

式中 M ——弯矩, $M = P_V H - P_H \times \frac{e}{2}$;

W ——管轴的断面模数, $W = \frac{I}{d_1}$;

I ——惯性矩。

对于井字筋板:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4) + \frac{2bh^3}{12} + 2\left(\frac{b^3h}{12} + t^2bh\right)$$

对于十字筋板:

$$I = \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4) + \frac{b^3h}{12} + \frac{bh^3}{12}$$

式中 d_1, d_2 ——管子的外径、内径, cm;

b, h ——筋板的厚度、高度, cm;

t ——筋板至管轴中心的距离, cm;

H, e ——吊耳的结构尺寸, 见图 3-23, cm。

断面上的拉应力为:

$$\sigma_t = \frac{P_H}{F}$$

式中 F ——管子与筋板断面积之和, cm^2 。

校核弯曲应力与拉应力的合成应力:

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_M \leq \frac{\sigma_b}{4} \quad (3-1)$$

校核剪应力 τ :

$$\tau = \frac{P_V}{F} \leq \frac{\sigma_b}{5} \quad (3-2)$$

式中 σ_b ——材料的抗拉强度极限。

能满足式(3-1)及式(3-2)的吊耳,其强度是足够的。

(2)校核焊缝截面

为安全计,仅以吊耳顶端周边的焊缝承受载荷,不计筋板的焊缝,焊缝所承受的剪应力为:

$$\tau = \frac{P_H}{0.7\pi d_1 s} + \frac{M}{0.5bd_1^2 s} \leq \frac{\sigma_b}{8}$$

式中 s ——焊缝高度,cm。

3. 箱式吊耳

箱式吊耳其结构较复杂,呈矩形箱状焊于塔外壁上,塔壁和吊耳均需采取加固措施。因此种吊耳受力状态复杂,且棱角处应力集中严重,故应慎用。其结构形式如图 3-24 所示。

(三) 塔顶端吊具

在具有顶端法兰结构的塔类吊装时,也可用塔顶端吊具为吊装受力点进行吊装。此种吊具的结构如图 3-25 所示,法兰盖 7 与塔顶端法兰用螺栓相连接,其上部结构在互相垂直的两个方向均为铰接,以适应塔体在吊装过程中角度变化的需要,图示一种为 4 吊点的型式,也可做成单吊点和双吊点的型式。

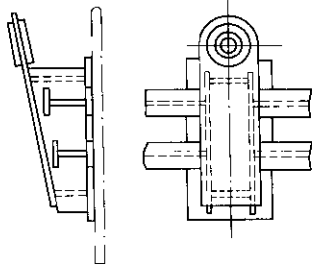


图 3-24 箱式吊耳

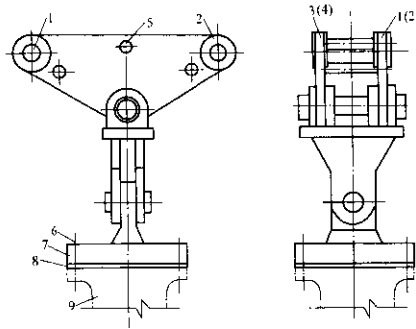


图 3-25 塔顶端吊具

1、2、3、4—吊点;5—钢管支承;6—螺栓;7—法兰盖;8—垫片;9—塔顶端法兰

(四) 抱箍式吊耳

在塔本身不能焊接吊耳,或因采用不同的吊装方法需改变吊点位置时,以及因塔体局部刚度不够等情况,可采用抱箍式吊耳,如图 3-26 所示。抱箍由两个半圆箍组成,用螺栓连成一体箍抱在塔体上,靠抱箍与塔体间的摩擦力承受载荷。此种吊耳对塔壁因板薄而刚度不够的情况尤有其优越性。图 3-26 中的尺寸可根据塔体直径的大小决定。

三、吊点的设置

吊点,也就是吊耳在塔身上的固定点,在确定其在塔身上的具体位置时,应考虑以下因素:

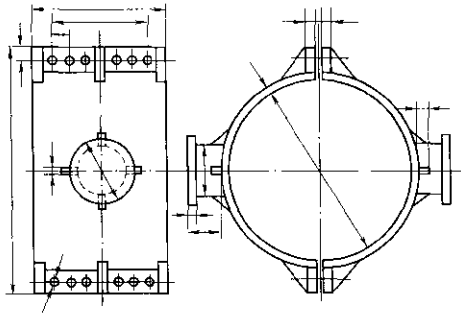


图 3-26 抱箍式吊耳

- (1)吊耳一般设置在塔的整体重心以上,在同一直径的对称两端设置一对;
- (2)吊耳在重心以上的距离大小应综合考虑诸因素后决定:1)从吊装机具受力考虑,塔的吊点越高,则起吊力越小,卷扬机牵引绳的负荷也相应减小;2)吊点增高,则需要相应的增加吊装机具的高度,致使吊装机具的承载能力降低;3)吊点增高,则塔身承受的最大弯矩也将增大,对塔体不利;相反,吊点降低,弯矩减小,对塔体有利。

(3)凡塔的制作图要求制造厂整体热处理后交货的高塔,不得在安装现场临时再焊接吊耳;

(4)吊耳与塔体相焊接部位的材质,一般应与塔体的材质相同;

(5)如塔体由不锈钢或复合钢板制造,而裙座为碳钢时,可把吊耳焊在裙座上,吊装时在塔体上部适当位置安以卡环,形成防止塔体倾翻的受力点,如图3-27所示。

(6)我国有的建筑安装企业曾成功地用高位吊装法完成过特型塔的吊装。所谓高位吊装就是把4个吊点均设在塔的重心以下,吊装时始终形成一个稳定的平面,使塔体的倾角始终小于塔体稳定的临界角。用此种吊装方法,其吊点位置应由计算得出。

(7)用吊推法吊装塔类设备时,其吊点位置应在方案设计中用计算方法得出。

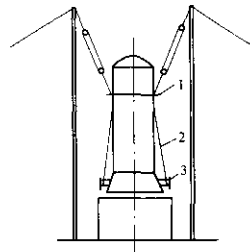


图 3-27 裙座上设置吊耳起吊方法示意图

1—下环;2—起吊绳;3—吊耳

四、塔体裙座的加固

裙座是塔体同基础的连接部分,也是在吊装中受力最大的部位,在编制吊装方案时须进行必要的验算。在塔设备设计的专著中,关于裙座的强度和稳定性的设计,是以裙座承受轴向载荷和弯矩联合作用为计算基础的。在塔设备投入生产后,其轴向载荷来自塔的自重和塔内的介质重量,弯矩则来自工作压力、风荷载、地震突加载荷等。安装时裙座的受力,虽然会因为吊装方法不同而有所差异,但其受力情况复杂、恶化并加大了。进行进一步定性分析可见,若采用滑移法吊装塔体,因塔的自身重力施于拖排,并传至地面。地面则给塔体裙座

一个反力,其大小与塔的尺寸、重量、吊点位置等有关。最大受力是在塔身刚吊起的初期,此时,可视塔为一端铰接的悬臂梁。应用此时裙座的受力校核塔体与裙座的焊缝强度和裙座与拖排接触处裙座基础环的强度和刚度。

在用回转法和吊推法吊装塔类设备时,其铰接点除了要承受因塔自重形成的反力外,还附加以因吊装而引起的推力,其受力情况更加复杂。

由以上分析可见,在裙座设计时并未考虑吊装时的一些复杂受力情况。因此,在进行塔体的吊装前,常对裙座采取加固措施,最常用的方法是在裙座内加支撑,可视塔的直径和质量大小加不同形式的支撑,如图 3-28 所示。一般直径 4m 以下的塔用一字形和十字形加固;直径 4~5m 的塔裙座用三角形加固;直径大于 5m 塔的裙座用 H 形和双 H 形加固。

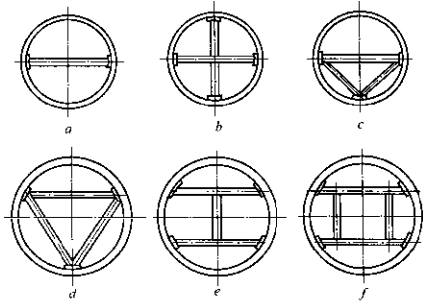
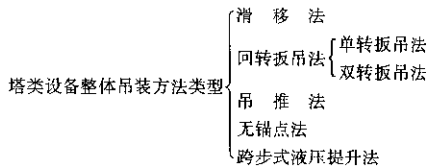


图 3-28 裙座加固的支撑形式

a—一字形;b—十字形;c、d—三角形;e—H形;f—双 H 形

五、塔类设备整体吊装方法的类型及工艺原理

塔类设备可以用不同的方法进行吊装,按其吊装工艺原理的不同可分成以下几个类型:



以上类型中滑移法和回转扳吊法用得十分广泛,曾用这两种方法成功地吊装过许多巨塔。至于吊推法、无锚点法和跨步式液压提升法近年我国亦有一些吊装尝试,均取得了较好效果。由于此几种方法各有其独到的特点,今后随着吊装技术的不断发展,会得到更广泛的应用,更多的施工企业和工程技术人员会逐步掌握这些较新的吊装技术。

(一)滑移吊装法

1. 吊装工艺原理

滑移法吊装时,平置塔于地面,吊装机具挂于设在塔上部的吊耳上,塔尾摆在拖排上面,随着塔体的吊升,拖排始终支撑着塔体向前方滑移前行,直至脱排后,才由吊装机具承担塔

的全部质量。

2. 吊装特点

(1) 塔体本身的最大受力是在起吊初始,即塔头刚抬起离开支垫物的时候;

(2) 吊装机具所承受的最大负荷是在脱排后,塔体呈直立吊升时;

(3) 在脱排前的整个吊装过程中,塔尾始终不离开拖排,因此吊装较稳定;

(4) 滑移法不适用于既高又刚性不够的高塔吊装;

(5) 某些滑移吊装法,如单机(或单桅杆)偏心提吊滑移法、双桅杆抬吊法等,可用较低的吊装设备吊装较高的塔体;

(6) 有的滑移吊装法,如双直立桅杆滑移法、双人字桅杆滑移法等,需设置大量的起吊机具和设施,并要求有宽阔的吊装作业场地。

(二) 回转扳吊法

1. 分类及吊装工艺原理

回转扳吊法有单转法(吊装机具不动,吊物回转扳起)和双转法(吊装机具和吊物均回转扳起)之分,还有无铰点、有铰点和共用铰点的不同。

单转法有铰点扳吊的工艺原理是:吊装机具不动,其扳吊滑车组吊于塔的头,部的,塔尾部的裙座与基础间设铰接,当收紧扳吊滑车组时,塔体以铰接点为回转轴,由抬头、斜立到直立。

双转法共铰点扳吊的工艺原理如图 3-29A 所示,塔平置于基础和垫木上,人字桅杆呈略前倾态骑跨在塔尾上方,塔与桅杆共用一个铰点。前方,桅杆顶与塔吊耳间以吊索相连接;后方,桅杆顶设扳吊滑车组,牵引绳由卷扬机牵引。当收紧扳吊滑车组时,人字桅杆与塔体始终保持其相对状态不变,共同绕一个铰接点回转,塔体则由抬头、斜立到直立,人字桅杆由前倾、直立到后倾,直至结束吊装过程。如果,人字桅杆较短,如图 3-29A,当人字桅杆后倾到一定程度以后,则吊索与扳吊滑车组成一直线,此后,人字桅杆将失去作用,由吊索与扳吊滑车组继续扳吊。用此种吊装方式,吊索与扳吊滑车组应通过一个装置(既能卡在桅杆顶又可脱开的装置)连接在一起。如桅杆较高,则由始至终均由桅杆进行扳吊。

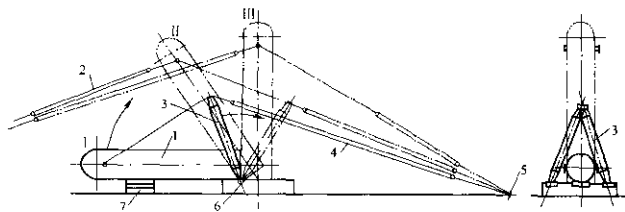


图 3-29A 双转扳吊法之一

1—塔体;2—制动滑车组;3—人字桅杆;4—扳吊滑车组;5—地锚与导向滑车;6—铰接点;7—枕木垛

双转法扳吊还有塔与桅杆均不设铰点,或塔设铰点桅杆不设铰点以及桅杆设铰点塔不设铰点等 3 种情况。而且桅杆可呈向前微倾状骑跨在塔身的下部,也可倾斜状立于塔的后方,如图 3-29B 所示。这些由双转法派生出的方法,各自应用于不同的吊装条件。

2. 吊装特点

(1) 最大的起扳力发生在扳吊的起始时刻,此时,吊装机具承受最大负荷,随着塔体逐渐扳起,受力渐减。因此,扳吊法吊装有较大的安全性;

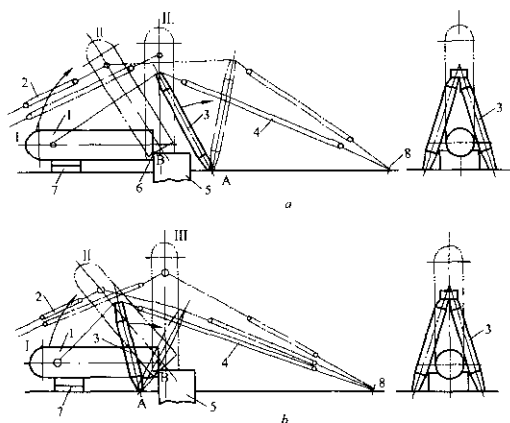


图 3-29B 双转扳吊法之二

1—塔体;2—防倾滑车组;3—人字桅杆;4—扳吊滑车组;5—基础;6—回转点;7—枕木垛;8—地锚、导向滑车

(2)可用较低的桅杆,扳起高大的设备,此种吊装方法特别适用于既高又柔,需多点吊装的格构塔类,如电视塔、微波塔和输电塔等;

(3)在整个扳吊过程中塔裙座的铰接处或裙座与基础接触的部位(无铰接点时)要承受巨大的水平推力,其最大值发生在塔体扳吊的起始时刻,另外,扳吊滑车的主地锚也要承受巨大拉力;

(4)当塔体扳立至 70° 左右时,如塔的重心线越过铰接点或旋转支点时,塔会因自重而自行回转。因此,要在塔体扳立至一定角度后,适当收紧前方的制动滑车组,在塔体超过自倾角后,用放松制动滑车组的方法,使塔体平稳地自倾回转至立直;

(5)在整个吊装过程中塔体始终支压在铰接点或地面上,不需用起吊机具将塔吊离地面,从而减少了起吊机索具的负荷(与滑移法相比,约减少30%左右);

(6)对吊装场地无特殊要求,在较狭窄的、情况较复杂的吊装场地也可进行吊装;

(7)扳吊法不适用于高基础塔类设备的吊装。

(三)吊推法吊装

1. 吊装工艺原理

吊推法吊装的工艺原理如图3-30所示。在框式门架的顶梁上,前挂两套滑车组于塔体的前吊耳上,后挂两套滑车组于塔体的后吊耳上,收紧此两组滑车组,使框式门架呈后倾状斜立。在门架两腿的根部挂两套推举滑车组,一端拴在设备基础上(如图3-30a),以塔的铰接处为轴,用牵引前滑车组方法,扳转塔体由平卧到斜立(如图3-30b)所示,继而牵引后滑车组,门架向后方倾倒,塔体进一步被扳起(如图3-30c)所示。牵引推举滑车组,将门架沿轨道向基础方向拉近,塔体被继续推起,用制动滑车组防止塔体自倾产生冲击,最后将塔体立直(如图3-30d所示)。

2. 门架和塔间的尺寸关系

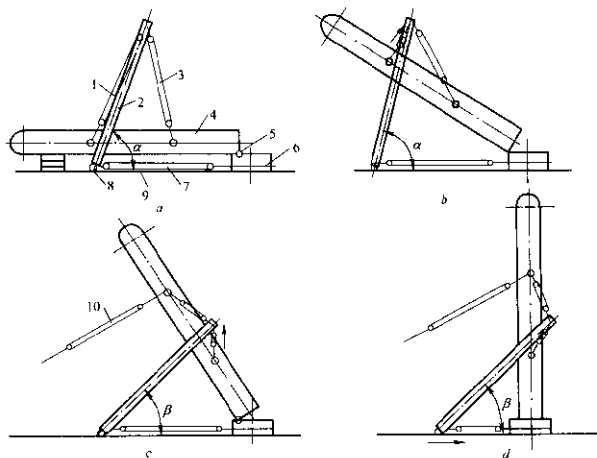


图 3-30 吊推法吊装工艺原理图

1—前滑车组；2—框式门架；3—后滑车组；4—塔体；5—铰接点；
6—基础；7—推举滑车组；8—门架底部滚轮；9—轨道；10—制动滑车组

吊推法门架和塔间的尺寸关系如图 3-31 所示， C 点为塔的重心位置， O 为塔的回转铰接点，可按以下尺寸确定门架的尺寸和竖立位置。

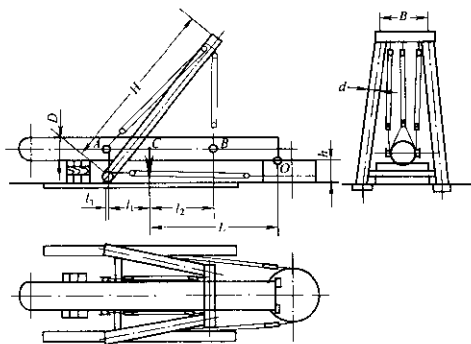


图 3-31 吊推法门架和塔间的尺寸关系图

- (1) 前吊点 A ，在重心上方，一般取 $l_1 = 3 \sim 5\text{m}$ ；
- (2) 后吊点 B ，在重心下方，一般取 $l_2 = 4.5 \sim 7.0\text{m}$ ；
- (3) 门架高 H ， $H = L + h + (3 \sim 4)\text{m}$ ；
- (4) 门架宽度 B ， $B = D + d + (1.5 \sim 2)\text{m}$ ；

(5) 门架两立柱间夹角 λ , $\lambda = 6^\circ \sim 10^\circ$;

(6) 门架零点位置, 可设在塔的前吊点外侧, 即 $l_3 = 0.5 \sim 1\text{m}$ 处。

以上数值高塔取大值, 低塔取小值。

3. 吊装特点

(1) 不需设置缆风绳、地锚等桅杆不可缺少的稳定系统, 因此可节省大量的索具及设置它们的工作量;

(2) 适用于吊装作业场地狭窄, 甚至可在稠密的构筑物群中进行吊装作业, 吊装工具占用的长度不超过塔的高度, 其宽度约等于塔直径的两倍;

(3) 起吊机索具用量较桅杆滑移法少, 约等于被吊推设备质量的 15% ~ 20%;

(4) 推举滑车组安装在地面上, 装拆方便, 减少了高处作业量;

(5) 因前吊点比较靠近塔体的重心, 一般在重心前方 3 ~ 5m 处, 因此, 在用前滑车组开始吊升时, 其负荷比较大。

(四) 无锚点吊装法

1. 吊装工艺原理

无锚点吊装法的吊装工艺原理如图 3-32 所示。无锚点吊装法是由回转板吊法演变发展成的一种吊装方法, 此方法要求门架滑车组在塔体上的吊点和门架底座铰接点在同一立面内, 由吊升滑车组支撑门架呈略倾斜斜立, 当牵引吊升滑车组时, 门架以底部铰链为轴向后倾倒, 塔体则由抬头、斜立。再拉牵引滑车组, 使门架进一步倾倒, 塔被拉起至直立。

2. 吊装特点

(1) 不用设置缆风绳和地锚, 因此, 可节省大量的机索具和设置它们的工作量;

(2) 吊装作业占地面积小;

(3) 起吊机具用量较少, 不用铺设轨道;

(4) 要求精心设计吊装方案, 合理地决定有关尺寸和吊装参数;

(5) 要求有比较高的吊装技术和操作能力;

(6) 门架的回转铰链受力较大;

(7) 一旦门架脚下下沉将失去吊装系统的稳定性。因此, 无锚点吊装法不宜吊装超过 60m 高的塔类设备。

(五) 跨步式液压提升法(图 3-33)

1. 吊装工艺原理

跨步式液压提升吊装法, 两根结构相同的特制桅杆上有许多凹槽, 其根部同各自的底座铰接, 两桅杆间用两根平行的横梁连起, 横梁中部设铰接支点同塔体顶推点铰接, 横梁上装有液压提升装置, 桅杆底座用钢丝绳与塔体回转铰链底盘连接起来, 这样就形成一个由塔体、桅杆—钢丝绳—回转铰链组成的封闭的三角形系统, 此系统中的内力随遇平衡, 图 3-33 1 为待吊装的状态。当起动液压系统后, 液压提升装置的卡爪沿桅杆上凹槽一格一格向上

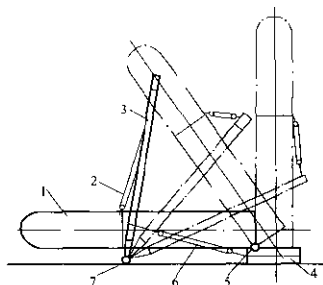


图 3-32 无锚点吊装法

1—塔; 2—吊升滑车组; 3—门架; 4—基础;
5—塔铰点; 6—牵引滑车组; 7—门架铰点

爬升,则将塔体提起,如图 3-33 II 所示。继续提升则桅杆渐倾,塔体则逐渐立直。

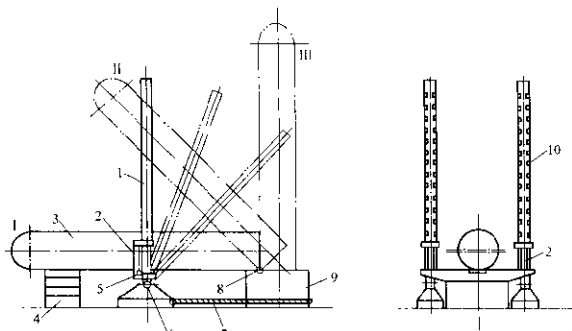


图 3-33 跨步式液压提升吊装法示意图

1—桅杆;2—液压提升装置;3—塔;4—枕木垛;5—铰点;6—桅杆铰链;7—钢丝绳;
8—铰接轴;9—基础;10—凹槽

2. 提升特点

- (1) 不用缆风绳、地锚、滑车组、卷扬机等常备的机具;
- (2) 液压机构的推力大、吊升平稳、安全、可靠;
- (3) 吊装作业场地小;
- (4) 液压提升装置的结构比较复杂,操作技术要求高,设备价格较昂贵;
- (5) 要求有较高的吊装技术理论和操作水平,此种方法宜用于高度 50m 以下的塔体提升,如欲吊升更高的塔体,则需较大的吊升设备。

六、塔类设备的吊装方法汇总

塔类设备的吊装方法可如上述分成几种类型,但其具体的吊装方法,会因所用吊装机具的种类、数量和配置方法的不同以及吊装工艺原理的差异而分成许多种,可以将塔类设备的滑移、扳转、抬吊方法归纳成如下页所示。

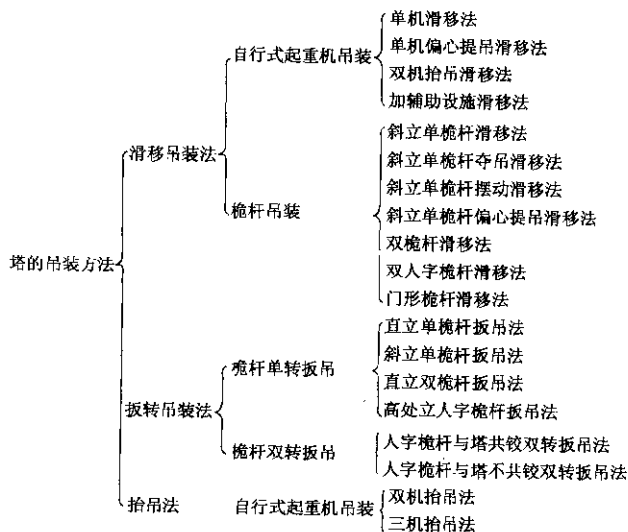
在编制塔类设备的吊装方案时,应根据以下的具体条件选择合适的吊装方法:

- (1) 塔类设备自身的条件:如直径、高度、已有吊耳高度、塔的总质量、整体重心位置、塔体的刚度、裙座的结构等;
- (2) 吊装作业场地情况,是狭窄还是宽阔,附近有否构筑物、架空输电线路、管廊以及道路和地坪情况等;
- (3) 已有起吊机具的种类、起重能力、数量,采取改制措施的可行性;
- (4) 就近租赁起吊机具的途径及其经济合理性的评估;
- (5) 吊装作业的技术水平,操作能力和指挥才能。

七、塔类设备滑移法吊装

在塔类设备吊装中带有共性的问题,如吊耳、裙座等前面已叙述过,而滑移法吊装还必须设置滑移装置——拖排、支座、滚杠和轨道。

塔类设备的滑移、扳转、抬吊方法分类：



(一) 滑移装置及其牵引

1. 尾部拖排受力

由于塔体的质量施力于拖排上,因而拖排承受支反力。最大的支反力应发生在起吊的起始时刻,如图 3-34 所示。其支反力可由下式求得

$$R = Q \frac{L_2}{L_1} \text{ 或 } R = Q - P_1 \quad (3-3)$$

式中 Q ——塔的计算总重力;

$$Q = (Q_1 + q) K_1 K_2$$

Q_1 ——设备重量;

q ——吊具重量;

K_1 ——动载系数;

K_2 ——不平衡系数;

L_1 ——吊点和支点间距离;

L_2 ——重心和支点间距离;

$$P_1 \text{——总提升力, } P_1 = Q \frac{L_2}{L_1}.$$

2. 拖排的种类、结构和承载能力

拖排有木质和钢质两种,前者多用于中小负荷、后者用于大负荷。

(1) 木质拖排

木质拖排由硬木制成,按其承载能力设 2~6 根排脚,各排脚间用型钢制成的横梁将两

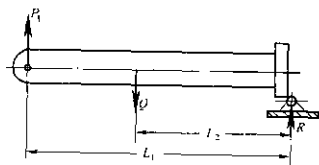


图 3-34 塔体吊装起始时的受力状况

端卡在一起,其上放枕木排和钢板,枕木间和枕木与排脚间用扒钉钉牢。排脚两端锯成 30° 斜面,便于“吃”入滚杠。木拖排的规格和承载能力见表 3-7。

表 3-7 木拖排的技术规格

允许负荷/kN	排脚截面尺寸/mm	排脚根数	排脚长度/mm	拖排宽度
300 ~ 500	280 × 350	2	4000 ~ 5000	按需要决定
500 ~ 800	300 × 400	2	4000 ~ 5000	
800 ~ 1000	350 × 450	2	5000 ~ 6000	
1000 ~ 2000	400 × 500	2	5000 ~ 6000	
2000 ~ 4000	400 × 500	4 ~ 6	5000 ~ 6000	

(2) 钢质拖排

钢质拖排用型钢、钢轨加钢梁或钢板焊成箱形为排脚,两排脚间亦用钢材连成一体,其结构和尺寸由承受的负荷经设计计算决定。

3. 滚杠

滚杠用无缝钢管切割成一定的长度而制成,按其使用方法不同分长型和短型两种,如用一根滚杠担于两根轨道上就是长型,每根轨道上各置一根较短的滚杠则称短型。所需滚杠的数量可按每根滚杠可承受的压力和轨道的材质从表 3-8 中选定。滚杠间距一般为 250 ~ 350mm,滚杠的技术规格列于表 3-8。

表 3-8 滚杠技术规格(长型)

无缝钢管规格 /mm	材质	每根滚杠允许 承受的压力/kN	长度/mm	单位长度质量 /kg·m ⁻¹
φ108 × 6	10	40	2000	15.0
φ114 × 8	10	65	2300	20.91
φ114 × 10	20	109	2300	25.65
φ114 × 12	35	160	2500	30.19
φ114 × 14	35	250	2500	34.52

注:1. 滚杠允许承受的压力,是按各排脚宽度和均匀受力而得出的;

2. 滚杠的长度一般比排脚外边宽度大 500 ~ 1000mm。

所需滚杠的数量也可按式(3-4)计算:

$$n \geq \frac{Q}{WL} \tag{3-4}$$

式中 Q——塔的计算总重力, N(同前);

n——滚杠数量;

L——每根滚杠有效承压长度的总和, cm;

W——滚杠每 cm 有效长度上容许载荷, N/cm;

按以下经验公式计算:

$$W = 4.5 \sim 5.3 d \text{ kgf/cm}$$

对于松木: $W = 4 \sim 4.5 d \text{ N/cm}$;

对于硬木: $W = 6 d \text{ N/cm}$;

对于厚壁无缝钢管: $W = 35 d \text{ N/cm}$;

对于圆钢: $W = 53 d N/cm$;

d ——各种滚杠的外径, cm 。

4. 轨道

轨道用多排枕木排成,其宽度要大于排脚的宽度,视载荷大小,其上应铺钢板,滚杠通过钢板压在轨道上,以扩大承压面积,减小摩擦阻力和减少枕木的损坏。也可用滚杠直接压在枕木轨道上。

5. 塔尾部的回转托架

在用滑移法吊装塔时,塔尾部的底脚环需压在拖排上,此处还随着塔的吊起而回转,因此,需设回转托架,根据尾部支反力的大小,在许多吊装实践中使用了不同的结构,可繁可简,列举如图 3-35 所示的几种结构,供选用。

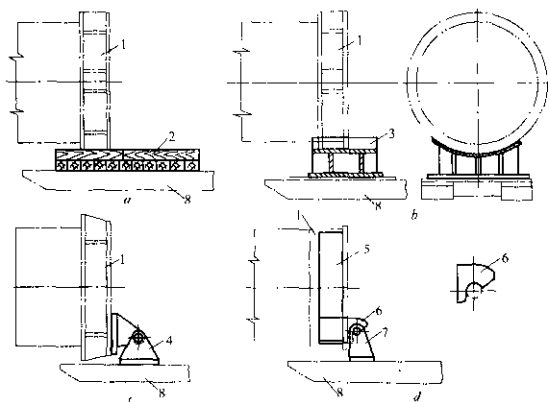


图 3-35 塔尾支座结构示意图

1—裙座; 2—枕木; 3—钢鞍座; 4—回转铰链支座; 5—加固梁; 6—钩形板; 7—铰接支座; 8—排脚

图 3-35a 为用枕木搭设鞍座,此方法最简单,仅适用于支反力较小的情况。图 3-35b 为钢鞍座,将塔的底脚环置于鞍座之上,形成近似的铰支座,底脚环的圆弧在鞍座的圆柱面内接触,如支反力较大,会形成线接触,甚至造成点接触,致使挤压强度不够。此种鞍座结构简单,加工容易,用于中等大小反力的情况为宜。图 3-35c 为回转铰链支座,其结构是在塔的底脚环处设加固梁,在加固梁和拖排间设回转支座,此种结构用加固梁对底脚环进行了加固,由铰接副承受其挤压力,结构和受力状况均较合理。但美中不足的是,在塔吊至脱排立直后,需先拆除它才可就位,从而延长了塔体悬空的时间,增加了不安全因素。我国有的建筑安装企业在巨型塔的滑移吊装中,使用了钩式回转铰链支座,对称安装两个,其结构如图 3-35d 所示,此种支座入扣容易,脱扣十分安全平稳。而且由于钩式铰链的约束作用,两拖排脚的纵向对称轴始终处于塔的轴线同一垂直平面内,有利于拖排运行方向的控制。此种结构适用于支反力巨大的巨型塔的吊装。

6. 前牵引方式及牵引力

前牵引滑车组、地锚和与拖排连接点均应在塔的滑移中心线上。其牵引力的大小取决于拖排支反力的大小和拖排与滚杠、滚杠与轨道间滚动摩擦系数的大小,也与滚杠的直径大小有关,可按(3-5)式计算:

$$S = K_3 R \frac{f_1 + f_2}{d} \quad (3-5)$$

式中 R ——拖排的支反力, N;

K_3 ——启动系数,木质轨道时, $K_3 = 2.5$;

f_1 ——滚杠与排脚间的摩擦系数,查附录十四;

f_2 ——滚杠与轨道间的摩擦系数,查附录十四;

d ——滚杠外径, cm。

(二)用自行式起重机滑移吊装法

用吊车滑移吊装塔类设备常见的方法有:单机滑移法、单机偏心提吊滑移法、双机抬吊滑移法和吊车加辅助装置滑移法等。这些方法虽有些相似之处,但各有特点。

众所周知,吊车吊装的特点是灵活、机动、高效、安全和占用吊装作业面积小等。但由于受吊车起吊能力的制约,加之大型吊车拥有量尚有限,因此,一些巨大的塔类设备仍需用桅杆吊装。

下面叙述几种用吊车滑移吊装塔类设备的方法:

1. 一台吊车滑移吊装法(图 3-36)

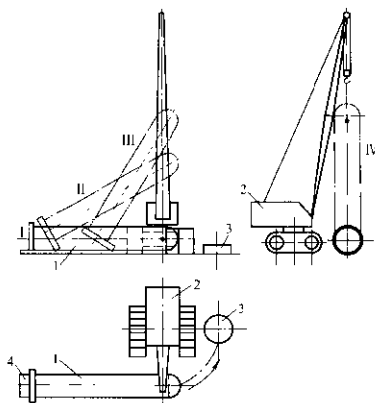


图 3-36 单机滑移法

1—塔;2—吊车;3—基础;4—拖排

此种吊装方法在塔就位时,其吊钩在塔顶上方,因此需要较大的、有足够长臂杆的吊车,就位容易。

(1)吊车站位。吊车站位如图 3-36 所示,吊车的回转中心在设备基础同一中心线上,臂杆在塔顶正上方。

(2) 吊装。吊车吊钩在吊耳正上方进行垂直吊升,边吊边拖动塔前行,转至基础上方就位。

2. 单机偏心提吊滑移法(图 3-37)

此种吊装方法的最大特点是,可用较短的吊车臂杆吊装较高的塔体。

用此种方法吊装时,要通过计算确定吊点的位置(计算方法见单桅杆偏心提吊滑移法),它同臂杆高度、塔的重心高度及塔脱排后的自然倾斜状态有关。吊点可设在塔一个断面同侧的两点上,两点相隔约 60° ,这样吊装会更加平稳。在吊升过程中要注意使吊升的速度与拖排前移的速度同步,以保证吊钩滑车组保持铅垂状态。在吊塔至脱排以后,用就位拉正滑车组牵引,将塔体拉正,并落钩就位。

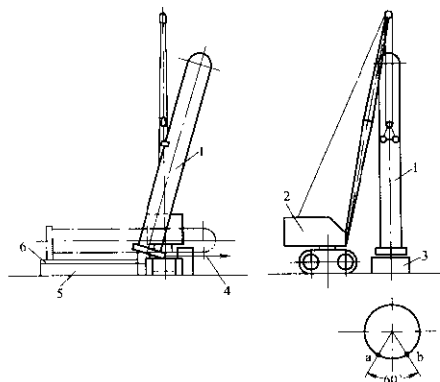


图 3-37 单机偏心提吊滑移法

1—塔;2—吊车;3—基础;4—就位拉正滑车组;5—轨道;6—拖排

3. 双机抬吊滑移法

此种吊装方法因是用两台吊车同时滑移起吊,其吊点可设在侧面,因此可用较短的臂杆,吊装较高的塔体,而且其质量由两台吊车承担,所以每台吊车的起重量可相对小些。最好用两台型号、规格相同的吊车抬吊,这样更便于实现同步提升。

4. 吊车加辅助装置滑移吊装法

为增加吊车的起吊能力,用较小的吊车吊装较大重量的塔类设备,可在吊车上加不同的辅助装置,如一台吊车加斜立人字桅杆吊装法(图 3-38),两台吊车加直立双人字桅杆吊装法(图 3-39)和两台吊车加横梁吊装法(图 3-40)等。

这些吊装方法的共同特点是吊车站位以后,臂杆不再变幅和转动,单靠提钩进行滑移吊装,因此,更加严格地要求滑移必须与吊升同步,以保证吊钩始终处于铅垂状态受力。其中双机加直立双人字桅杆吊装方法,可用较短臂杆吊装较高的塔体。另外,这些方法均适用于设备基础较低的情况。

采用吊车加辅助装置吊装塔类设备,一般均应制定吊装方案,其中应有吊车加辅助装置后的吊车和辅助装置的有关受力计算,必要时须对吊车的稳定进行校核,其方法可参照本书有关部分的内容。

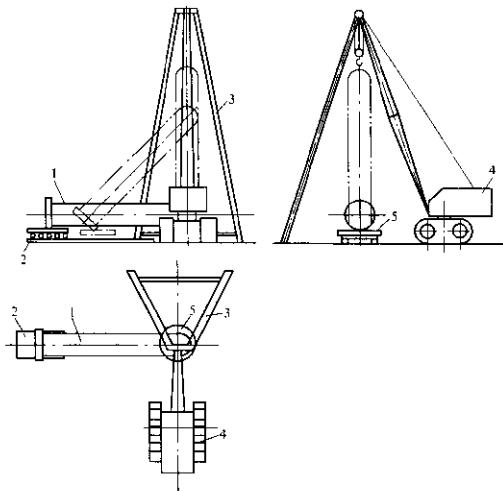


图 3-38 一台吊车加斜立人字桅杆吊装法
1—塔;2—拖排;3—人字桅杆;4—吊车;5—基础

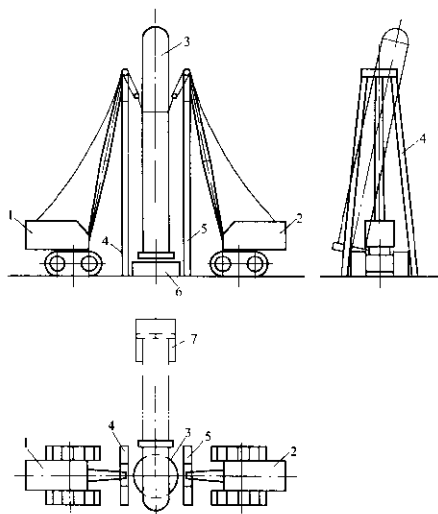


图 3-39 两台吊车加直立双人字桅杆吊装法
1—吊车 1;2—吊车 2;3—塔;4—人字桅杆 1;5—人字桅杆 2;6—基础;7—拖排

(三)用桅杆滑移吊装法

用桅杆滑移法吊装塔类设备,尤其是吊装巨塔,无疑是塔类设备的最主要吊装方法。所用的具体吊装方法较多,均达到了工艺成熟、技术先进、安全可靠的程度。而且在一些巨型塔的吊装实践中,还不断地有所发展和创新。

1.单桅杆滑移法(图3-41)

单桅杆斜立,其吊装侧吊耳,铅垂于基础中心正上方,塔体吊耳亦处于同一垂线内,以保证滑车组呈垂直状态吊升。桅杆需设主缆风绳、副缆风绳和平衡缆风绳。此种吊装方法因须在就位前将塔悬空直立吊起,故需较高大的桅杆。由于是垂直状态就位,因此较容易。

2.单桅杆夺吊滑移法(图3-42)

此种吊装方法适用于设备基础较高的情况。桅杆斜立,其吊耳铅垂于基础中心正上方,塔体上端接近设备基础或斜卧于基础外侧,吊装滑车组呈一定斜角吊于塔的吊耳上,为避免塔体施力于基础,须在后方(或侧

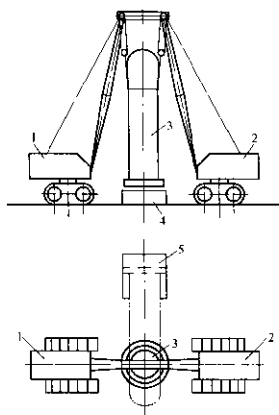


图3-40 两台吊车加横梁吊装法
1—吊车;2—吊车;3—塔;4—基础;5—拖排

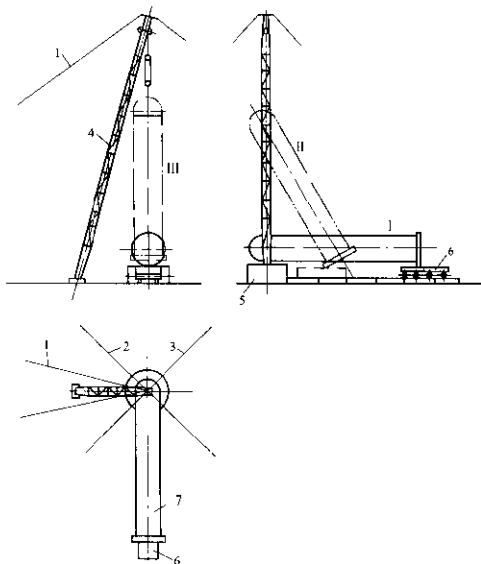


图3-41 单桅杆滑移吊装法

1—主缆风绳;2—副缆风绳;3—平衡缆风绳;4—桅杆;5—基础;6—拖排;7—塔体

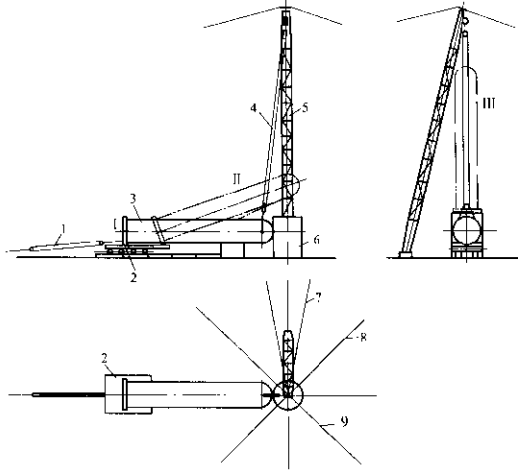


图 3-42 单桅杆夺吊滑移法

1—夺吊滑车组；2—拖排；3—塔；4—吊装滑车组；

5—桅杆；6—基础；7—主缆风绳；8—副缆风绳；9—平衡缆风绳

向)设夺吊滑车组,在其牵制下,当塔体吊升至基础以上后,用向前牵引拖排的方法,使吊装滑车组早铅垂状态吊升。与上种吊装方法相同,就位前将塔悬空直立吊起,故需较高的桅杆。

3. 单桅杆摆动滑移法(图 3-43)

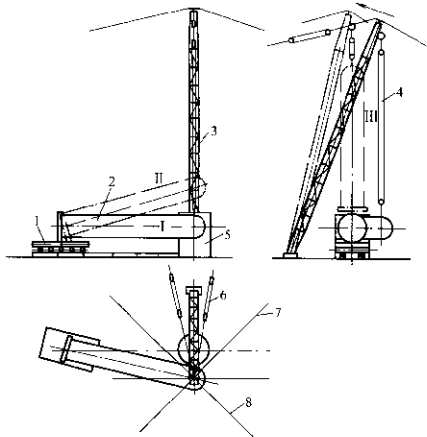


图 3-43 单桅杆摆动滑移法

1—拖排；2—塔；3—桅杆；4—吊升滑车组；5—基础；

6—主缆风绳和滑车组；7—副缆风绳；8—平衡缆风绳

此种方法亦适用于基础较高的情况。桅杆斜立,其杆顶吊耳向外侧偏离塔基础中心,起吊滑车组垂直吊于塔的吊耳上,垂直吊升至塔的基础以上后,用收紧主缆风绳中的滑车组的方法,使桅杆在负重下摆动一个角度,至桅杆吊耳于基础中心的铅垂线上方,继而与低基础单桅杆滑移方法相同吊装。同前两种方法一样也需要较高的桅杆。

4. 单桅杆偏心提吊滑移法(图 3-43-1)

此种吊装方法与以上 3 种滑移吊装法相比其特点是:可以用较低的桅杆(桅杆高度可降低 30%左右)吊装高大的塔类设备,桅杆高度变小,其承载能力相应提高;又因吊点比较靠近塔的重心(一般在塔的重心以上的距离大于 2m),可改善塔的受力状态,从而适宜于细高塔类设备(如高度与直径的比大于 40)的吊装;另外与几种双桅杆抬吊滑移法相比,可节省 1 根桅杆及其相应的机索具及设立它们的费用;如用双吊耳双吊点法吊装方式,可大大减少桅杆所受的偏心弯矩,等于提高了桅杆的吊装能力。

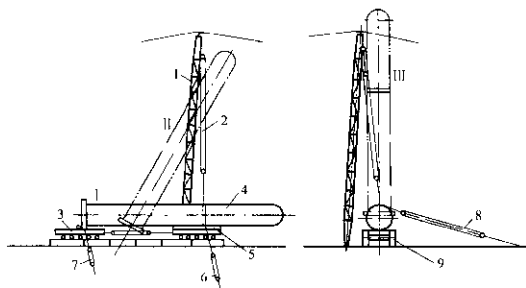


图 3-43-1 单桅杆偏心提吊滑移法

1—桅杆;2—提升滑车组;3—拖排;4—塔;5—滚排;
6—吊耳处侧牵引;7—塔尾侧牵引;8—就位拉正滑车组;9—基础

(1) 单桅杆偏心提吊滑移法的几种形式

根据桅杆站位、塔初始卧置方位和基础三者之间的关系,可把此种方法分成正交法、斜交法、侧正交法和侧斜交法 4 种

因吊耳数量的不同分成单吊耳单吊点法和双吊耳双吊点法。根据就位时桅杆的状态不同分成固定就位法和扒杆就位法。

(2) 实现偏心的作法

1) 塔的吊点位置,对单吊耳吊点法,应在塔卧置时的中心线上;对双吊耳双吊点法,应在塔卧置时中心线的两侧,其距离与桅杆吊耳间距相等。吊升后其连接点均应在塔的一侧,并与桅杆站位、倾斜方向和塔拉直校正方向相对应。

2) 桅杆倾斜方向的平面与塔卧置中心面正交或斜交;单吊耳法的桅杆顶部吊耳分别在其倾斜方向的上下两边,双吊耳法则在其左右两边;桅杆倾斜后吊耳均应在塔直径(或基础)的外侧。

(3) 桅杆站位偏心距

桅杆站位偏心距离按式(3-6)确定:

$$b_1 = R + r + b \quad (3-6)$$

式中 R ——塔半径(或塔半径加平台宽);

r ——桅杆最大断面尺寸的 1/2;

b ——塔与桅杆间的余量。

(4)塔吊点高度

吊点高度与桅杆高度、塔整体重心高度及塔脱排后的自然倾斜状态有关,一般按下式计算确定,再按桅杆高度验算其倾斜角:

$$L = c + c'$$

式中 L ——塔吊点高度;

c ——塔重心高度;

c' ——塔重心至吊点间距离,一般取 $c' \geq 2m$ 。

(5)桅杆高度及其倾斜角度

桅杆倾斜角是以塔吊至悬空时塔连接吊点的高度处不碰桅杆为依据确定的。塔在重心高加基础高处与桅杆间的宽度 b_3 应满足:

双吊点法时(图 3-44a)

$$b_3 \geq R + \frac{B}{2\cos\alpha} + B'$$

则

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b_3}{m} = \frac{R + B/2\cos\alpha + B'}{m}$$

当 $\alpha = 10^\circ$ 时 $\cos\alpha \approx 1$

所以

$$\alpha \approx \operatorname{tg}^{-1} \frac{R + B/2 + B'}{m} \quad (3-7)$$

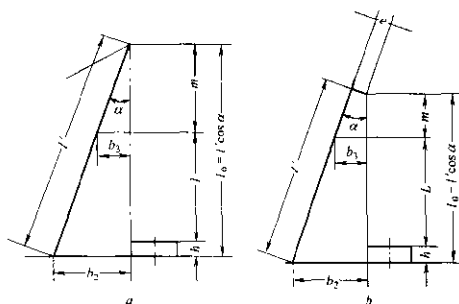


图 3-44 桅杆高度计算图

a—双吊耳法; b—单吊耳法

单吊点法时(图 3-44b)还应加入桅杆吊耳偏心距 e 的因素,则:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{R + B/2\cos\alpha + B'}{m + e/\sin\alpha}$$

当 $\alpha = 10^\circ$ 时, 则上式可近似为:

$$\alpha \approx \text{tg}^{-1} \frac{R + B/2 + B'}{m + 5.76e} \quad (3-8)$$

式中 R ——塔半径;
 B ——桅杆最大宽度;
 α ——桅杆倾斜角;
 m ——起吊滑车组(包括上下索具)长度;
 B' ——桅杆与塔外壁水平安全距离, 一般取 $0.3 \sim 0.5\text{m}$;
 h ——塔基础高度及比悬空略高的距离;
 b_2 ——桅杆倾斜时的水平垂距;
 桅杆高度按(3-9)式计算:

$$l' = \frac{L + h + m}{\cos \alpha} \quad (3-9)$$

式中 l' ——桅杆底部至吊耳轴间的距离;
 L ——塔吊点高度。

(6) 塔自然倾斜角 β (图 3-45)

在塔脱排后会呈自然倾斜状, 其倾斜角 β 与桅杆高、吊点高和塔重心高度有关。一般 β 角在 $10^\circ \sim 20^\circ$ 之间为宜, 过大会增加就位时夺吊滑车组的拉力而加大就位难度。 β 角可按 3-10 式求得:

$$\text{tg} \beta = \frac{a}{h} \quad (3-10)$$

式中 a ——设备轴线到吊点间的距离, 可近似的取 $a \approx R$;
 R ——塔半径;
 h ——吊点至塔重心之间的垂直距离。

(7) 辅助夺吊点的位置 (图 3-46)

为将倾斜的塔体拉正就位, 必须在起吊滑车组的相反方向设夺吊滑车组, 一般夺吊施力

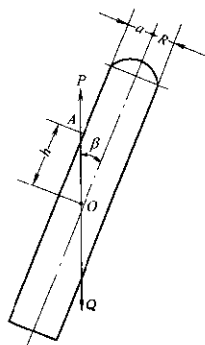


图 3-45 塔脱排后的自然倾斜状态
 A —吊点; O —重心

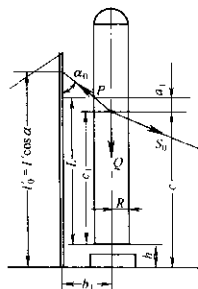


图 3-46 夺吊点的位置

点在塔中心的两侧,这样可保持塔体稳定。夺吊点的位置应设在起吊拉力、塔重力和夺吊力三力的交汇处,其位置可按(3-11)式确定。

$$c = \frac{b_1(L+h) - Rl' \cos \alpha}{b_1 - R} \quad (3-11)$$

$$c_1 = \frac{b_1(L+h) - Rl' \cos \alpha}{b_1 - R} - h \quad (3-12)$$

或

$$a_1 = \frac{R[l' \cos \alpha - (L+h)]}{b_1 - R}$$

$$c_1 = L - \frac{R[l' \cos \alpha - (L+h)]}{b_1 - R}$$

- 式中 b_1 ——桅杆站位偏心距离;
 R ——塔半径;
 c_1 ——夺吊滑车组辅助吊点高度;
 c ——夺吊滑车组吊点至地面距离;
 a_1 ——起吊滑车组吊点和夺吊滑车组吊点间距离;
 α ——起吊滑车组轴线与垂直轴线间的夹角;
 l' ——桅杆吊耳轴至地面的距离。

(8) 夺吊力

夺吊力 S_0 ,其值可用(3-13)式求得

$$S_0 = \frac{QR}{L \cos \gamma - 2R \sin \gamma} \quad (3-13)$$

- 式中 Q ——塔的计算总重力;
 γ ——夺吊滑车组与地面之间的夹角;
 L ——塔吊点至塔底的距离。

如果夺吊点设在塔底裙座处则 S_0 按(3-14)式计算:

$$S_0 = \frac{QR}{L \cos \gamma - R \sin \gamma} \quad (3-14)$$

(9) 吊装过程的控制

- 1) 起吊时。起吊时设备伸出多、防止碰周围建筑物;起吊初始,吊装机具受力最大,拖排受力较小;
- 2) 吊装中。吊装中注意使起吊滑车组的提升与拖排前进速度同步,始终保持起吊滑车组早铅垂状态;
- 3) 脱排时。脱排时用侧牵引滑车组控制塔缓慢转动,并避免塔与桅杆相碰;
- 4) 就位时。就位时吊升至可就位的高度后,牵引夺吊滑车组,并放松溜尾滑车组,侧牵引滑车组也适度放松配合就位。

5. 双桅杆滑移法(图3-47)

此种吊装方法用于吊装重量、高度、直径均比较大的巨型塔类设备,可以吊装高度比桅杆还高的塔体。由于要设立两套独立的桅杆系统,故桅杆、地锚、缆风绳、吊升滑车组等数量较多。因机具多,费工时,故吊装工程成本较高。从吊装受力方面分析,后背主缆风绳

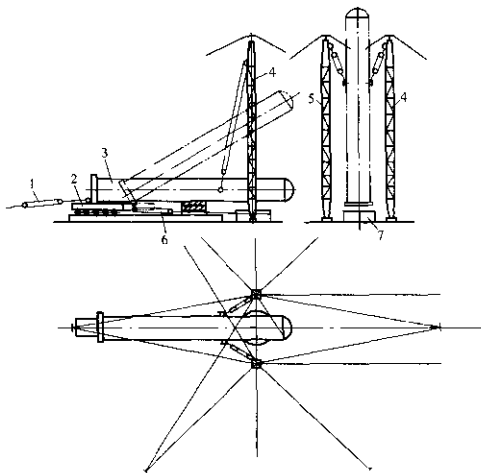


图 3-47 双桅杆滑移法

1—溜尾滑车组;2—拖排;3—塔;4—桅杆 1;5—桅杆 2;6—前移牵引滑车组;7—基础

受力很大,主吊滑车组受力也很大,并需选配大型卷扬机。

采用双桅杆滑移法的滑移吊装是:牵引起吊滑车组,塔体抬头,用牵引前移滑车组方法向前拉动拖排配合吊装。在塔体脱排前要轻度收紧溜尾滑车组,防止塔体在脱排时产生大幅度摆动而增加动负荷或与基础碰撞。用两个桅杆的起吊滑车组将塔体直立着悬空吊起,几套吊升滑车组的动滑车同步下降,将塔体平稳地落在基础之上。

双桅杆滑移法一般用两个等高、相同规格的桅杆吊装,也可用两个不等高的桅杆吊装,此种情况,两个桅杆的站位和吊点位置应不同,可用以下方法,通过计算(图 3-48)得出:

先确定低桅杆的站位及吊点位置,再调整高桅杆。达到塔的计算总重力 Q 、高桅杆滑车组提升力 P_2 和低桅杆滑车组提升力 P_1 三力汇交于塔中心线上某点并平衡。这是塔呈直立状态的必要条件,从图中可见有以下几何关系:

三力汇交点的高度:

$$c = \frac{b_1(n_1 + h) - RL}{b_1 - R} \quad (3-15)$$

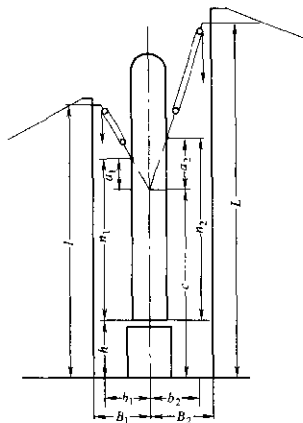


图 3-48 两桅杆的站位和吊点计算图

高桅杆在塔上的吊点高度是：

$$n_2 = c - h + a_2$$

高桅杆站位与塔吊点的关系是：

$$a_2 b_2 = \frac{a_1 b_1 (L - c)}{l - c} \quad (3 - 16)$$

式中 a_1 ——低桅杆塔上吊点至力汇交点距离, $a_1 = n_1 + h - c$

b_1 ——低桅杆滑车组系点的垂线至基础中心的距离；

a_2 ——高桅杆塔上吊点至力汇交点距离；

b_2 ——高桅杆滑车组系点的垂线至基础中心的距离；

n_1 ——低桅杆塔上吊点高度；

h ——塔底座吊离地面的高度；

R ——塔的半径；

l ——低桅杆滑车组系点至地面的高度；

L ——高桅杆滑车组系点至地面的高度。

式(3-16)右边为一常数,左边的 a_2 和 b_2 为可匹配变更的数,可按实际要求匹配选择。

6. 双人字桅杆滑移法(图 3-49)

此种吊装方法用于吊装重量、高度、直径均比较大的塔类设备,可用其吊装超出桅杆高度的塔体。人字桅杆与独脚桅杆相比有稳定性较好,承载能力较大,缆风绳数量较少等优点。因此,用在不便设较多缆风绳的场合尤为合适。

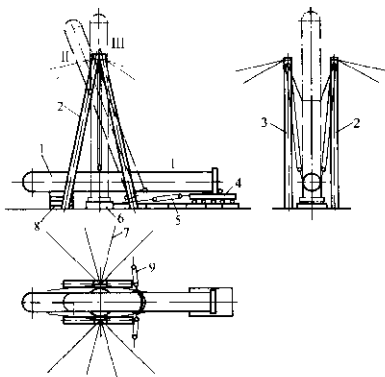


图 3-49 双人字桅杆滑移法

1—塔；2、3—人字桅杆；4—拖排；5—前移牵引滑车组；

6—基础；7—缆风绳；8—枕木梁；9—平衡滑车组

采用双人字桅杆滑移法的滑移吊装是：吊升滑车组呈铅垂状态吊于塔体吊点上,随着吊升的进行,前移牵引滑车组要同步牵引配合,使吊升速度与拖排前行速度吻合,始终保持吊升滑车组呈铅垂状态受力,以保人字桅杆稳定和两腿受力均匀。在吊升至快脱排时,要调整

两侧的两套平衡滑车组,以达到塔体脱排时平稳,不产生大幅度摆动。继而将塔体悬空吊起,并摆正立直,最后将塔体平稳地落在基础之上。

7. 门式桅杆滑移法(图 3-50)

门式桅杆滑移吊装法宜用于重量和直径大,而高度适中的巨型塔类设备吊装,一般用塔顶单吊点吊装方式。此方法的特点是:(1)由两根立柱和横梁组成的门式桅杆,其稳定性和受力状态均优于双独脚桅杆,如果两者等断面、等高度,则门式桅杆承载能力大得多;(2)缆风绳数量较少,若用双桅杆法缆风绳一般要 14~16 根,而门式桅杆法只用 6~10 根;(3)缆风绳和地锚受力较小,与双桅杆法相比要小得多,这样可使缆风系统规格缩小,并避免设置大地锚;(4)塔顶双向铰链的回转吊具,将单吊点分解成 4 个吊点,用 4 套吊升系统,避免使用特大规格的卸扣、滑车组和卷扬机;(5)门式桅杆的设立精度要求较高。门式桅杆的两腿和横梁必须设置在一个与地面铅垂的平面内,不许歪斜,更应绝对避免一腿在前,一腿在后的“迈步”现象,否则其受力状态恶化,承载能力降低。一般用经纬仪对立起的门式桅杆进行测量,并作必要的调整,以确保其平面性和铅垂性。

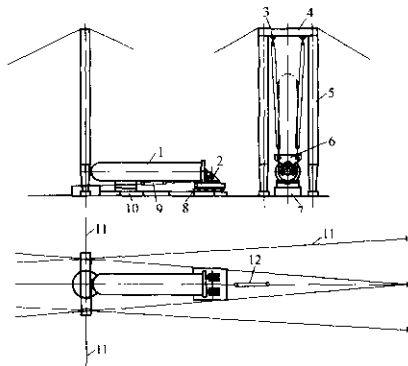


图 3-50 门式桅杆滑移法

1—塔;2—回转托架;3—吊耳;4—横梁;5—立柱;6—塔顶端吊具;

7—基础;8—拖排;9—前牵引滑车组;10—枕木垛;11—缆风绳;12—溜尾滑车组

在用门式桅杆滑移法吊装巨型塔时,除吊装常规措施外,还应采取以下主要措施:(1)在门式桅杆脚下应浇灌混凝土上基础,以承受巨大的吊装负荷;(2)为确保门式桅杆的稳定,应加大缆风绳的预紧力,其加大后的预紧力约为常规的二倍,为尽量缩小两侧缆风绳预紧力的差值,在缆风滑车组跑绳端安放测力计,以便按值调整;(3)用经纬仪测量并调整,把门式桅杆的平面铅垂度偏差控制在 1/1000 以内;(4)应进行门式桅杆卧态的承载试验,其最大试验载荷应为门式桅杆立态承受的全部荷载。还应对自己设计和制作的塔顶端吊具进行负荷试验;(5)要在整个吊装系统全部设置完成后,例如用钢锭类的吊重,以最大载荷进行试吊。

采用门式桅杆滑移法,在吊升过程中要用前牵引滑车组向前牵引塔体,使吊升速度与托排前移速度协调,始终保持塔顶端吊具处在门式桅杆的平面内,使门式桅杆支腿基本上承受

正压力。在塔体接近脱排时,应用溜尾滑车组控制塔体,不使其产生大幅度的摆动。吊升至足够的高度以后,迅速拆去回转支座,将塔体平稳地落在设备基础之上。

八、塔类设备扳转法吊装

塔类设备扳转法吊装有两大类——单转扳吊法和双转扳吊法,本书前面已叙述过其吊装工艺原理和吊装特点,现分述其具体吊装技术和方法。

(一) 桅杆单转扳吊法

此种方法是扳吊塔类设备常用方法之一。现从扳吊系统的受力开始分析其吊装原理和方法。

1. 扳吊力、支反力和制动力(图 3-51)

单转扳吊法的最大扳吊力和支点最大水平分力均发生在扳吊的起始时刻,而最大制动力则发生在即将就位时,它们的计算方法如下:

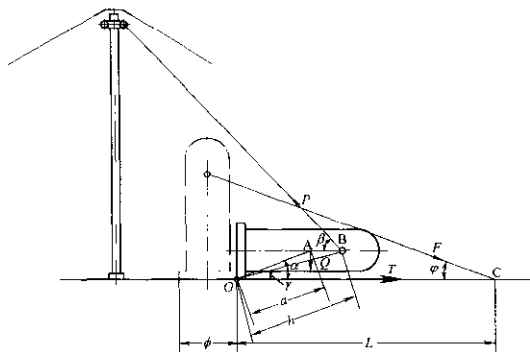


图 3-51 受力计算图

最大扳吊力 P_{\max} , 对回转点 O 取力矩 $\sum MO = 0$

$$P_{\max} = \frac{Qa \cos \alpha}{h \sin(\beta + \gamma)} \quad (3-17)$$

式中 Q ——计算总重力, $Q = (Q_1 + q) K_1 K_2$ (同前) kN;

a —— O 点距重心 A 点的距离, m;

h —— O 点距吊耳 B 点的距离, m;

α —— OA 与水平线间夹角, ($^\circ$);

β —— 起吊力 P 与水平线间夹角, ($^\circ$);

γ —— OB 与水平线间的夹角, ($^\circ$);

最大制动力 F_{\max} (kN):

$$F_{\max} = \frac{Qd}{L \sin \varphi} \quad (3-18)$$

式中 d —— 塔体裙座直径, m;

L —— O 点至制动地锚间的距离, m;

φ ——制动力 F 与水平线间夹角, ($^{\circ}$)。

最大支反力的水平分力 T_{\max} (kN) 发生在扳吊的起始时刻:

$$T_{\max} = P_{\max} \cos \beta$$

支点反力的最大垂直分力 R_{\max} (kN) 发生在即将就位时:

$$R_{\max} = Q_1 + q + F_{\max} \sin \varphi$$

式中 Q_1 ——塔的重量, kN;

q ——索具重量, kN。

从式(3-17)可见决定扳吊力大小的诸参数中, 塔的计算总重力 Q 、支间距塔重心 A 点的距离 a 是塔固有的, 不可变的, 而扳吊角度 γ 和支点与吊耳间的距离 h 是可变的。要想减小最大扳吊力, 必须增大 γ 和 h 。可见, 吊点越靠近塔的头, 则 h 加大, P_{\max} 减小; 而 γ 的大小取决于桅杆高度和桅杆站位与吊点的距离。从理论上讲, 桅杆越高, 并且越靠近塔体, 则最大扳吊力越小。实则受塔自身的强度、桅杆的强度和稳定、卷扬机的容量、设备基础等条件的制约, 只能对诸多因素分析比较而定。

2. 铰链、回转支点和基础加固

在塔类设备扳吊中, 塔的裙座基部某点必须始终绕铰链或回转支点回转, 这是扳转吊装的最大特点, 也是其吊装方法命名的由来。扳转中产生的水平分力和垂直分力由铰链或回转支点传给设备基础。可见, 铰链或回转支点的可靠性将是确保扳吊安全的关键所在。

(1) 回转铰链

回转铰链的结构型式和尺寸要通过设计决定, 其设计要满足以下要求:

1) 要有足够的承载能力;

2) 回转铰链必须可靠地与设备基础连接在一起, 能将负荷传给设备基础或为吊装而临时增加的基础上;

3) 回转铰链的三维坐标位置应能满足塔体准确就位的要求。如回转铰链的转轴高度与基础上平面不一致(低下或高出), 亦应满足图 3-52 所示的尺寸关系;

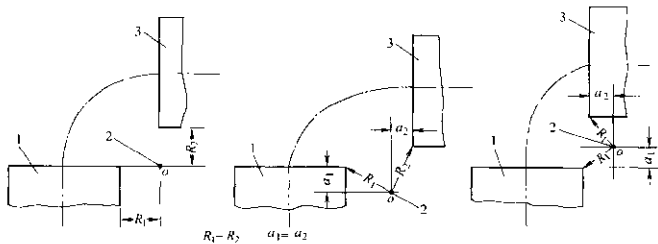


图 3-52 基础、塔体、铰链三者的位置关系

1—基础; 2—铰链; 3—塔体

4) 回转铰链要有足够的宽度, 以约束塔体中心与扳吊系统平面相重合。如为两支点式回转铰链应保证它们的同轴度。

仅举图 3-53 所示的一种结构作为设计回转铰链的参考。

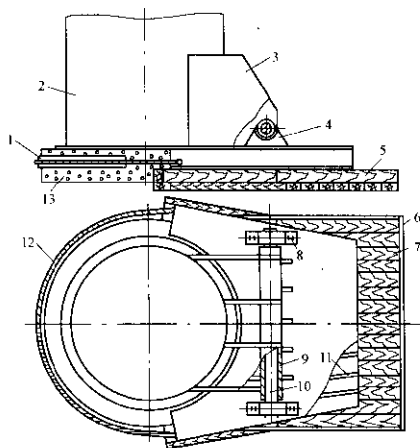


图 3-53 一种回转铰链结构示意图

1—保护盖；2—塔；3—主筋板；4—轴托；5—枕木；6—钢板；7—枕木；
8—轴承；9—钢管袖套；10—轴；11—筋板；12—钢丝绳；13—基础

(2) 回转支点

从受力分析中所称的回转支点,具体到塔体上就是回转支撑,它是塔体裙座底部的一个部位,通常要采取如前所述的裙座加固措施。为了便于栓系制动滑车组和加强裙座受力部位的刚度,也有用图 3-54 示结构的,供考虑回转支撑时参考。

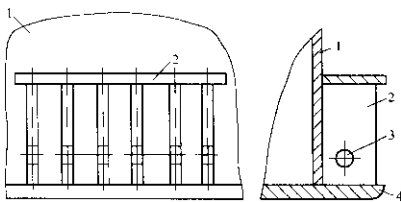


图 3-54 一种回转支撑结构示意图

1—裙座；2—回转支撑；3—圆孔；4—圆弧面

(3) 基础加固

要根据塔基础的设计资料进行基础能承受垂直载荷和水平载荷的验算。一般用有回转铰链法吊装时,基础的承载能力可以平衡吊装负荷。而用回转支点法(无回转铰链)时,若支点设在基础上,则垂直载荷可由基础承受,而施加于回转支点部位的水平力,则必须设防止支点发生位移的约束系统,常用滑车组、地锚和卷扬机组成。一般设两套完全相同的约束系统,用以控制两个方向的水平位移,以达到塔体中心、桅杆扳吊系统和回转支点均在一个铅

垂于地面的平面内。

若回转支点不设在基础上,则支点下的地面需采取浇灌临时基础、打桩、夯实、摆枕木排,再铺钢板等措施。

3. 单转扳吊法机具系统及其布置原则

单转扳吊法所用机具按其作用分为单桅杆扳吊(图 3-55)和双桅杆扳吊(图 3-56)两种。

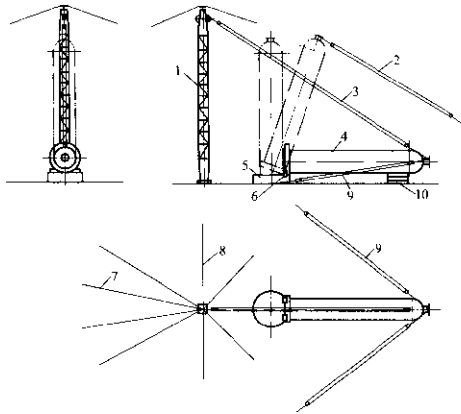


图 3-55 单桅杆扳转法机具组成示意图

1—桅杆;2—制动滑车组;3—扳吊滑车组;4—塔体;5—基础;
6—回转铰链;7—缆风绳;8—平衡缆风绳;9—侧向平衡滑车组;10—枕木排

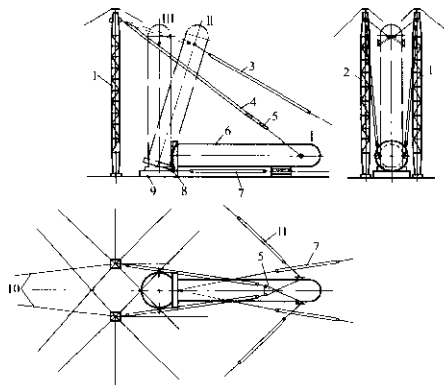


图 3-56 双桅杆扳转法机具组成示意图

1、2—桅杆;3—制动滑车组;4—扳吊滑车组;5—平衡架;6—塔体;
7—约束回转支点滑车组;8—回转支点;9—基础;10—缆风绳;11—侧向平衡滑车组

(1) 扳起系统

由桅杆、卷扬机、滑车组、地锚、牵引绳、导向滑车、卸扣、平衡装置等组成。

1) 桅杆。一般用一根或两根直立桅杆,其高度视塔的细长比和塔的质量大小而定,可比塔略高或高出很多。单桅杆立在由塔中心线和桅杆组成的回转扳起平面内;双桅杆对称地立在回转扳起平面的两侧,桅杆站位在满足其他条件下,尽量靠近基础,以减小扳吊力。

2) 滑车组。视扳吊力的大小和塔上吊耳的情况,每根桅杆可设置一套或两套滑车组,若用两套时,其间应连接有平衡架或平衡滑车、卷扬机、地锚、牵引绳应与滑车组配套。

(2) 稳定系统

1) 桅杆的稳定系统。杆顶有缆风绳,一般一根桅杆不少于 8 根,后向的 4 根用来平衡扳吊力,称主缆风绳。侧向和前向的 4 根用来防止桅杆倾倒,称平衡缆风绳,也有称为辅缆风绳的。4 根主缆风绳的地锚位置可视吊装场地具体情况而定,其原则是要适当靠近主扳吊平面,使主缆风绳与扳吊中心线间的平面夹角要小些,这样可更好地发挥缆风绳的作用。另外,桅杆底要封住,可用大起重能力的手拉葫芦、滑车组(用卷扬机牵引)等固定杆底。

2) 塔的稳定系统。对无铰链的回转支点扳吊,必须设置能防止回转支点处发生位移的机具,由滑车组、卷扬机、地锚、手拉葫芦等组成的约束系统要能承受很大的拉力,足以平衡最大的水平分力。约束回转支点产生纵向位移的机索具的合力作用线应与扳吊平面重合,而约束横向位移的机索具则与扳吊平面相垂直。

在塔较高、仅一个回转支点等情况时,需在侧向设两组平衡滑车组,用其防止塔向侧向倾斜。

(3) 制动系统

制动系统由滑车组、卷扬机、地锚和牵引绳等组成,视制动力的大小,设一套或两套,其制动力作用线应在扳吊平面内。

(4) 监视系统

1) 在塔体上便于观察的位置装回转角度指示器,以便随时了解塔的回转角度;

2) 在塔上部回转平面的两侧装标尺,用经纬仪监视塔中心偏离回转平面的数值,以便及时进行调整。

3) 在扳起受力索具处装上测力计,用以观察吊装过程中受力的大小和变化情况。

由以上叙述可归纳出,用桅杆单转法扳吊塔类设备时,其机索具布置必须达到的要求是:使单桅杆的中心线或双桅杆的对称中心线、扳起机索具的合力作用线、制动机索具的合力作用线、主缆风绳组的合力作用线、控制回转支点纵向位移机索具的合力作用线以及设备基础中心线均处于一个铅垂于地面的扳吊平面内。而防止塔体产生侧向倾斜的侧向平衡滑车组则应与扳吊平面相垂直。塔体的纵向中心线亦应重合于扳吊平面之中。

4. 单转扳吊法需计算和校核的项目

计算项目包括:(1)塔设备的整体重心位置;(2)塔设备的吊点位置;(3)最大扳吊力;(4)最大水平支反力和最大垂直支反力;(5)最大制动力;(6)塔设备的自动回转角;(7)桅杆缆风绳、地锚受力;(8)其余有关的受力计算。

校核项目包括:(1)塔设备的强度、刚度;(2)裙座和基础的强度;(3)桅杆的强度和稳定。

5. 用单转法扳吊塔类设备

可将整个扳吊过程分解成试吊、扳吊、自倾和就位 4 个连续的阶段,分别说明其吊装方

法。

(1) 试吊与检查

依次交叉收紧主缆风索具、回转支点控制索具和扳起索具,使桅杆处于直立状态。当桅杆的头部抬起离开地面 10~20cm 时,停机进行试吊检查,包括:1)用经纬仪测量桅杆纵向和侧向的直立情况;2)各地锚的稳定情况;3)裙座、回转铰链、回转支点的受力情况;4)塔的纵向中心与扳吊平面的重合程度;5)所有机索具有否异常;6)卷扬机的运转情况及其电流值;7)塔基础和桅杆脚下承压措施有无异常等。因塔处于此位置时全部扳吊设施受力最大,故停留时间不宜过长,一般控制在 15min 以内。如出现危及吊装安全的异常情况,应放下塔体,排除异常后再次试吊,重点检查曾发生异常的部位,稍事停留后再继续扳吊。

(2) 回转扳吊

起动扳起卷扬机,塔体回转扳起,此时要按测力计的读数调整两套滑车组使其均匀受力,以保塔中心始终处于扳吊平面之内。随着塔体的扳升其扳吊力渐小,要适时地依次微量放松主缆风绳和控制回转支点位移的滑车组,以保证桅杆的直立状态和避免由于防位移滑车组因位置变化所产生的附加力造成回转支点发生位移。

(3) 自倾回转

当呈斜立状的塔体至其自倾临界角前 15°左右时(按回转角度指示器的指示值),适当收缩制动滑车组,并跟随塔体回转竖立而适度放松。当达到塔自倾角后,主扳吊滑车组停止牵引,塔在制动滑车组控制下,靠塔本身的自重自倾直立。

(4) 塔体就位

用扳起索具和制动索具使塔体前倾或后仰,并藉助滚杠和对裙座施以平面力矩的方法,使塔体微量挪动,找好中心、标高后,撤出滚杠,连接地脚螺栓并灌浆。

也有的在基础和裙座底板间垫以十几块聚四氟乙烯板,用以减小摩擦系数,然后用数个百吨级的大千斤顶,向要调整的方向顶移以达到正确就位。

6. 减小最大扳吊力的方法

从上面对最大扳吊力影响的分析可知,要想减小最大扳吊力,一是增大起扳角;二是增大吊点和回转支点间的距离。基于此,可采取以下措施适当减小最大扳吊力:

(1) 加大起扳角度

1) 增加扳起桅杆的高度(图 3-57)

在一些细长比较小的巨型塔的吊装中,桅杆高度等于塔高 2~3 倍的不乏其例,如用 51m 高的双桅杆扳吊高 16.33m、质量 454t 的塔类设备;用高 50m 的双桅杆扳吊高 13.41m,直径 $\phi 5370\text{mm}$,质量 513t 的塔类设备等。

2) 将桅杆设置在附近的建筑物上(图 3-58)

如图示,将人字桅杆,以向前微倾状立于高处的建筑物上,居高临下扳吊。

3) 改变桅杆的站位(图 3-59,图 3-60)

图 3-59 所示为斜立单桅杆立于扳吊平面的一

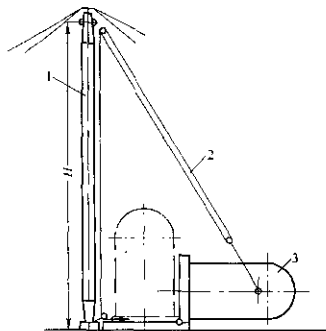


图 3-57 加大桅杆高度方法示意图

1—桅杆;2—扳吊滑车组;3—塔

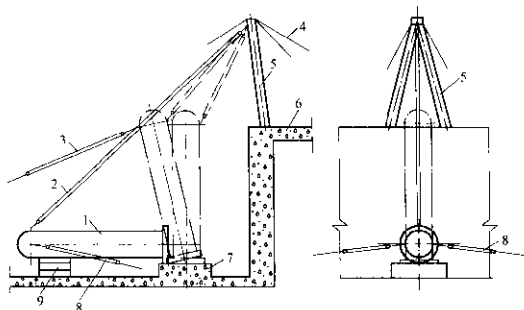


图 3-58 将桅杆立于建筑物上的扳吊方法

- 1—塔；2—吊升滑车组；3—制动滑车组；4—缆风绳；
5—人字桅杆；6—建筑物；7—基础；8—侧向防倾滑车组；9—枕木垛

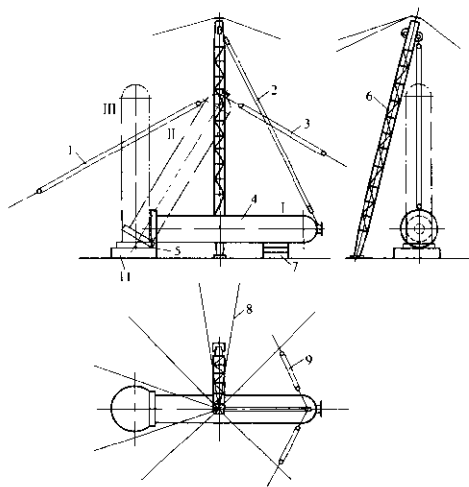


图 3-59 桅杆站在侧向的扳吊方式示意图

- 1—后向扳吊滑车组；2—扳吊滑车组；3—制动滑车组；4—塔；5—回转铰链；
6—桅杆；7—枕木垛；8—缆风绳；9—侧向防倾滑车组

侧,取侧向扳吊的方式。此种扳吊方法尚须在另一侧设置接替扳吊滑车组,即在塔被扳起至一定角度以后,用其接替原扳吊滑车组继续扳吊至塔的自倾角,再用逐渐放松制动滑车组方法完成扳吊作业。由桅杆的设置方式可见,此种扳吊方法最适用于中、小型成排塔群的扳吊。

图 3-60 所示为改变双桅杆站位的一种扳吊方法,与前述正常站位方法不同的是,须在另一侧设置接替扳吊滑车组,即在塔被扳起一定角度以后,由接替扳吊滑车组继续扳吊至塔的自倾角,再用制动滑车组立直塔体。

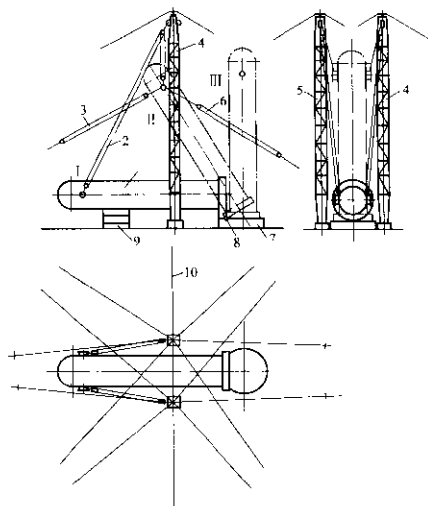


图 3-60 双桅杆站位丁塔侧面扳吊方法示意图

1—塔;2—扳吊滑车组;3—制动滑车组;4—桅杆 1;5—桅杆 2;
6—接替扳吊滑车组;7—基础;8—回转铰链;9—枕木垛;10—缆风绳

(2) 初始阶段助吊(图 3-61)

由于扳转法吊装其最大扳吊力发生在初始时刻,随着塔体抬头并被扳起而渐小。故可用自行式起重机、人字桅杆等吊装机械在初始阶段助吊,用以适当减小最大扳吊力,若塔自身有足够的刚度,则助吊点越靠近塔顶越可发挥助吊的作用。

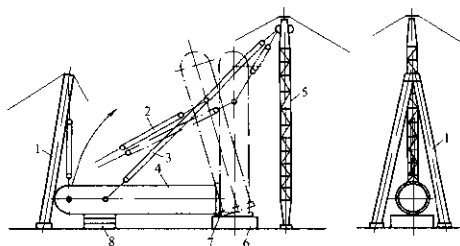


图 3-61 初始阶段助吊方法示意图

1—人字桅杆;2—制动滑车组;3—扳吊滑车组;4—塔;5—桅杆;6—基础;7—铰链回转点;8—枕木垛

7. 塔群的一种扳吊方法(图 3-62)

对成排的塔群,将装完直立的塔作为直立桅杆使用,扳吊下一个塔,其方法如图 3-62 所示。用此种方法也要同使用桅杆一样,在直立塔的后方要加装数根缆风绳。成排的塔群可用与此相同的方法,由后向前逐个扳吊,直至全部吊装完毕。

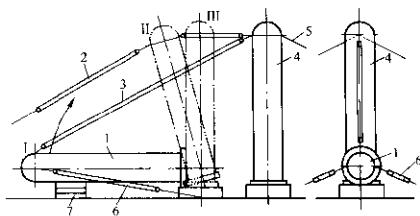


图 3-62 塔群的一种扳吊方法

1—塔;2—制动滑车组;3—扳吊滑车组;4—已就位的塔;5—缆风绳;6—侧向防倾斜滑车组;7—枕木垛

8. 用自行式起重机扳吊塔类设备(图 3-63)

自行式起重机稳定性较差,对倾覆较敏感,但要在其臂杆上加两根主背绳,也可构成一个稳定系统用于扳吊作业,用履带式起重机较好,其他类起重机应慎用。同用桅杆扳吊一样,也须设回转铰链(或支点)、制动滑车组、防侧向倾斜滑车组等。用此种方法还必须依据吊车的性能和塔的有关参数进行全面的核算,以确保吊装安全。

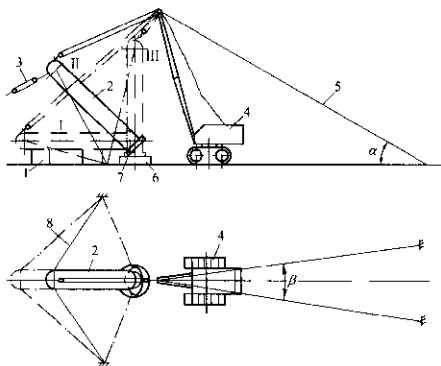


图 3-63 用自行式起重机扳吊塔类设备

1—枕木垛;2—塔;3—制动滑车组;4—吊车;5—主背绳;
6—基础;7—铰链或支点;8—防侧向倾斜滑车组

(二) 桅杆双转扳吊法

此种方法是高大塔类设备常用的吊装方法之一,特别适用于高大的电视塔、输电塔、钢烟囱等的吊装,其吊装工艺原理和吊装特点在本书前面已有所叙述,现较具体地叙述其吊装

方法和有的一些措施。

1. 扳吊力、支反力和制动力(图 3-64)

双转扳吊法的最大扳吊力和支点处最大水平分力均发生在扳吊的起始时刻,而最大制动力则发生在塔体已基本立直的即将就位时,这与单转扳吊法是完全相同的。可按下列方法进行计算:

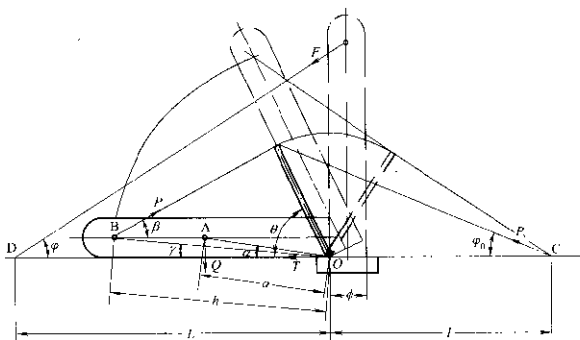


图 3-64 受力计算图

最大扳吊力 P_{\max} :

$$P_{\max} = \frac{Q a \cos \alpha}{h \sin(\beta + \gamma)} \quad (3-19)$$

式中 Q ——计算总重力, $Q = (Q_1 + q) K_1 K_2$ (同前), kN;

a ——回转点 O 距重心 A 的距离, m;

h ——回转点 O 距吊点 B 的距离, m;

α —— OA 连线与水平线间夹角, ($^\circ$);

β ——扳吊力 P 与水平线间夹角, ($^\circ$);

γ —— OB 与水平线间夹角, ($^\circ$)。

最大制动力 F_{\max} (kN):

$$F_{\max} = \frac{Q d}{L \sin \varphi} \quad (3-20)$$

式中 d ——塔体裙座直径, m;

L —— O 点至制动地锚 D 点间距离, m;

φ ——制动力 F 与水平线间夹角, ($^\circ$);

最大支反力的水平分力 T_{\max} (kN) 发生在扳吊的起始时刻:

$$T_{\max} = P_{\max} \cos \beta \quad (3-21)$$

支点反力的最大垂直分力 R_{\max} (kN) 发生在塔体即将就位时:

$$R_{\max} = Q_1 + q + F_{\max} \sin \varphi \quad (3-22)$$

式中 Q_1 ——塔的重量, kN;

q ——索具重量, kN。

后向滑车组最大牵引力 P_{smax} :

$$P_{smax} = \frac{Ph \sin(\theta - \gamma)}{l \cos \varphi_0} \quad (3-23)$$

式中 θ ——桅杆与地面之间的夹角, ($^\circ$);

φ_0 ——后向牵引滑车组与地面间夹角, ($^\circ$);

l ——主地锚 C 点与回转点 O 之间的距离, m 。

2. 自动回转角(图 3-65)

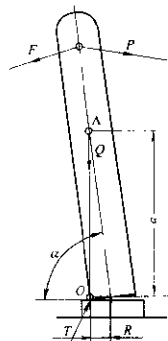
塔体在扳转过程中,在塔的总重力 Q 、扳吊力 P 和支反力 T 的作用下平衡。当塔体斜立至一定程度以后,其整体重心 A 点和回转支点 O 点处于同一铅垂平面内的瞬间,即塔的总重力 Q 与支反力 T 处于一个平面内,两力方向相反大小相等而平衡。此时塔体的平衡是不稳定的,继而塔会因自身的重力作用绕 O 点自动回转,发生自动回转的角度则称自动回转角,也可称为自倾角。为使塔能平稳自倾,需加以约束,即吊装中施加制动力 F 。自动回转角可按下式计算:

$$\alpha = \arctan \frac{a}{R} \quad (3-24)$$

式中 α ——自动回转角, ($^\circ$);

a ——塔重心 A 至回转点 O 间的距离, m ;

R ——塔裙座直径的一半, m 。



从上式可见,塔的直径越大,其自动回转角越小。另外,由图 3-65 自动回转角计算图于种种原因,理论计算的自动回转角的大小,往往与实际发生的有些差别。

3. 人字桅杆、回转点和脱杆装置

在双转法扳吊中一般均用人字桅杆(或 A 形桅杆),在桅杆脚、塔脚(或裙座)处均需有回转支点,而用较低桅杆扳吊时,又必须有脱杆装置。

(1) 人字桅杆和 A 形桅杆

应视塔类设备的质量大小、结构差异和吊装场地的不同,选用不同材质和结构的桅杆。

如在野外丘陵或丛山峻岭间吊装输电杆塔时,要尽量把吊装机具作得既轻巧,又可拆装,便于在杆塔位之间搬运。对质量不大的轻型杆塔可用木质人字桅杆,中型杆塔用无缝钢管制成人字桅杆等。

对于安装于厂区的中型塔类设备的扳吊可用无缝钢管制成人字或 A 形桅杆。在大型塔类设备的扳吊中,一般用格构式结构的 A 形桅杆,有时还须在桅杆腰部增设吊点。

(2) 回转支点

由双转扳吊的工艺方法决定了在桅杆脚、塔脚(或裙座)处必须有回转支点。对回转支点的要求是既能承受垂直和水平方向的支反力,又能只回转而不发生任何方向的水平位移。为此,回转支点可作成铰接方式,也可采用其他措施进行控制。

铰链方式有共铰和单铰的区别,共铰是桅杆和塔公用铰链(图 3-66 a、b),单铰则各用自身的铰链,图 3-66 c 为结构最简单的铰链,常用于桅杆脚处。对塔而言应根据塔脚(或裙座)的结构特点进行设计,尚无通用的型式。

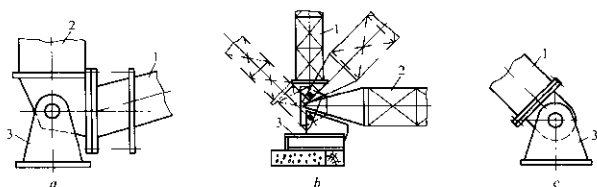


图 3-66 共铰和单铰结构示例示意图

1—桅杆脚;2—塔脚;3—支座

其他措施控制方式常用封底绳索、手拉葫芦、挂滑车组用卷扬机牵引等。

(3) 脱杆装置

当用较低的人字桅杆扳吊较高的塔类设备时,在扳转的前阶段起扳的吊绳与扳起滑车组以桅杆顶为折点呈折线状。在扳转到某一角度时吊绳与滑车组成一直线,则桅杆将不再起作用,须脱离扳吊系统、放于地面。此后,由吊绳与滑车组继续扳吊。因此,需要一个既能卡在桅杆顶部上,又可脱开的装置即脱杆装置。

脱杆装置可根据桅杆顶部的形状和负荷大小,做成托环式、凸形圆弧式、榫槽卡板式和用于木人字桅杆的斜双帽式等。

4. 平衡架、多吊点与腰吊点

在大型塔类设备扳转吊装中,有时须用两套起扳滑车组,其间应设平衡架,图 3-67 所示为一种三角形叉式平衡架,它结构简单、轻便灵活,承载能力较大。

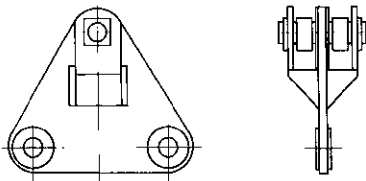


图 3-67 三角分叉形平衡架

对细长比特别大的塔类设备,尤其一些格构式结构的高塔,其特点是平卧时侧向刚性较差,极易产生挠度。因此,在扳吊时必须采用多吊点方法,为使各吊点间受力均衡,可用平衡滑车、两滑车组间钢丝绳串绕或使用三角分叉式平衡架等方法。

桅杆在斜立状态时,因自身质量、杆头机具质量和轴向力使桅杆承受弯矩而发生挠度。从受力分析看,是由垂直于桅杆的横向分力引起桅杆产生挠度的,挠度矢量方向在起吊滑车组方向,为平衡此横向力而减少桅杆挠度,可在桅杆腰处设一吊点,因此吊点产生的横向力与上述横向力相反,故可适度减小桅杆的挠度。

5. 双转扳吊法机具系统及其布置原则

双转扳吊法所用机具按其作用分以下系统,为便于说明其组成和布置原则,请参阅共铰人字桅杆双转法扳吊(图 3-69)和无铰链双转法扳吊(图 3-70)。

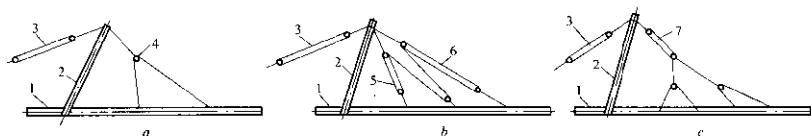


图 3-68 吊点间平衡受力方法示意图

a—单滑车法；b—钢丝绳串绕法；c—双层滑车法

1—杆塔；2—人字桅杆；3—扳吊滑车组；4—滑车；5—7—滑车组

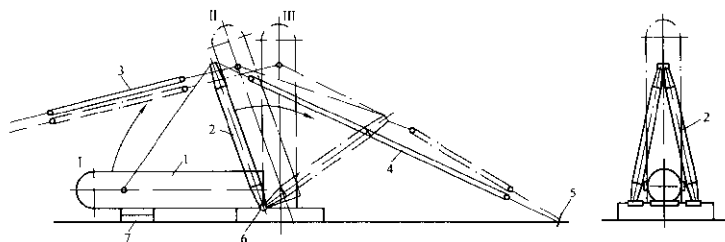


图 3-69 共铰双转法扳吊图

1—塔；2—人字桅杆；3—制动滑车组；4—扳吊滑车组；5—主地锚；6—共用铰链；7—枕木垛

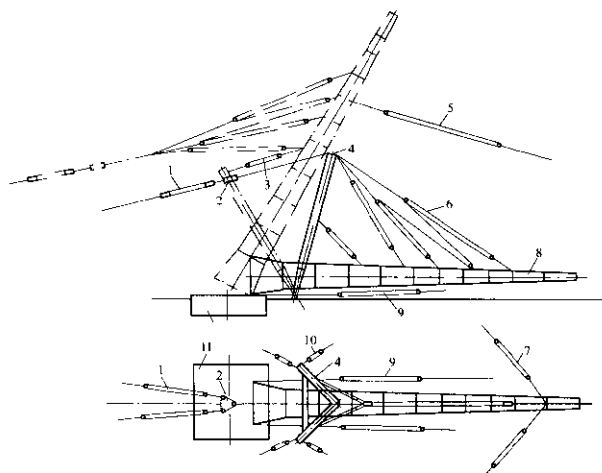


图 3-70 无铰链双转法扳吊示意图

1—扳吊滑车组；2—平衡架；3—放倒 A 形桅杆滑车组；4—A 形桅杆；5—制动滑车组；
6—吊绳系统；7—防侧倾滑车组；8—塔；9—封塔底措施；10—封桅杆脚措施；11—基础

(1) 扳起系统

由人字桅杆、卷扬机、滑车组、地锚、牵引绳、导向滑车、平衡装置等组成。

1) 桅杆一般用人字或 A 形桅杆,其高度等于塔高的 $1/2 \sim 1/3$,呈 15° 左右前倾状态骑跨在塔尾附近上方。对无铰链人字桅杆的两腿均应用机索具封固,使其只能回转而不能产生水平位移。封固机索具的方位及其合力方向应与扳吊力产生的水平分力方向相反,得以平衡。

2) 主扳机索具由滑车组、扳吊绳、卷扬机和主副地锚组成。视扳吊力的大小和吊点设置的不同可用一套、两套或数套滑车组,其间应有平衡装置。卷扬机与地锚的数量应与滑车组相配套。

扳起系统中人字桅杆的中心线,扳起机索具的合力作用线、主副地锚中心线均应与塔体纵向中心在一个铅垂于地面的扳吊平面内。

(2) 制动系统

由滑车组、卷扬机、地锚和牵引绳组成的制动系统,其作用是在塔体扳转至自动回转角以后,控制塔的自倾速度,使塔体平稳直立。制动系统应设在扳吊系统的相反方向,它也必须处于扳吊平面之内。

(3) 塔的稳定系统

在无铰链扳吊时,塔脚(或裙座)应用机索具封固,使其只能回转而不能发生水平位移。而在塔的上部两侧应设侧向防倾绳或滑车组,用其控制塔设备的中心始终处于总体的扳吊平面之内。

(4) 人字桅杆的稳定系统

在设立人字桅杆时须设置缆绳和地锚,在开始扳吊前再拆除。如扳吊较大的塔类设备时,人字桅杆两脚下需浇灌混凝土基础。若地基有足够的耐压力,又经夯实等处理,再铺枕木排、钢板等亦可用于人字桅杆脚处的承压措施。另对无铰链的杆脚,须采取措施封固。

(5) 监视系统

须装回转角度指示器、标尺、测力计等,其设置方法和作用见单转扳吊法。

(6) 人字桅杆脱落后的控制索具

用低桅杆双转扳吊高塔时,人字桅杆后倾至某角度后,会自行脱落。为避免其急速下落,在塔上设置吊点,用索具控制,使其缓慢地落在地面上。

6. 双转扳吊法须计算和校核的项目

双转扳吊法的计算项目包括:(1)塔的整体重心位置;(2)塔的吊点位置;(3)最大扳吊力;(4)塔支点部位最大水平和垂直支反力;(5)人字桅杆两脚处的最大水平和垂直支反力;(6)最大制动力;(7)塔的自动回转角;(8)扳吊、制动、防侧倾地锚的受力;(9)其余有关的受力计算。

双转扳吊法的校核项目包括:(1)塔设备的强度、刚度;(2)裙座、塔脚和基础的强度;(3)人字桅杆的强度、稳定性和脚处耐压强度。

7. 用双转法扳吊塔类设备

可将整个扳吊过程分解成试吊、扳吊、脱杆、自倾和就位几个连续的阶段分别说明其吊装方法。

在正式扳吊之前应对扳吊、制动、稳定、脱杆、防侧倾和监视系统作全面检查,均应达到

吊装方案的要求,无任何异常现象。

(1) 试吊与检查

启动扳吊卷扬机,扳吊塔体头部抬起离开地面 10~20cm,停机作试吊检查:1)扳吊系统中地锚的稳定情况,主扳滑车组、平衡架的工作情况,人字(或 A 形)桅杆的头部受力点是否在扳吊平面之内。2)检查铰链工作情况,若为无铰链方法应检查塔脚(或裙座)、桅杆脚封固措施的可靠性,脚下基础的稳固情况。3)检查卷扬机电流是否超过其额定值,卷扬机制动器的工作是否可靠,卷扬机稳固地锚的可靠性。4)各监视装置工作是否正常,指挥信号是否好用等。因塔处于此位置时全部扳吊设施受力最大,故不宜停留时间过长,一般控制在 15min 内。然后缓慢放下塔体,处理和加固试吊中出现的异常状况。然后再次试吊,重点检查曾发现异常或对其有怀疑的部位,如一切正常,稍事停留即应正式扳吊。

(2) 回转扳吊

启动扳起卷扬机,塔体回回转扳起,要观察平衡架的工作状况并结合测力计的读数,随时调整两台卷扬机的牵引绳,使其同步。用设置于扳吊中心线延长线上两端的经纬仪。随时监视 A 形桅杆头部和塔体纵向中心的偏离数据。如为无铰链扳吊法,设于左右两侧的防侧倾滑车组应随着塔体的扳起,随时进行调整,始终处于适度收紧状态,扶正塔体处于扳吊平面内,也可兼用它调整塔纵向中心的偏离。还要监视桅杆的挠度值,必要时通过控制挠度的机索具进行控制。

(3) 脱杆

在用低桅杆扳吊高塔中,当扳到某一角度时,吊绳与起扳滑车组成一直线后,则桅杆失去作用,应脱离扳吊系统,此时,扳吊工作应暂时停止,用预先设置的机索具缓慢地将桅杆放于地面后,再继续扳吊。

(4) 自倾回转

因种种原因自倾临界角的理论计算值常与实际发生值有所差异。当回转角度指示器的指示值比理论计算值小 15°左右时,就开始适度收紧制动滑车组,并跟随塔体的回转竖立而适度放松。但决不可出现扳吊滑车组和制动滑车组对拉的情况。当塔开始自倾以后,要放松扳吊机索具,只用制动机索具缓慢溜放塔体。在塔底螺栓孔接近基础螺栓顶部时,应暂停溜放,核对螺栓孔能否顺利套入螺栓后,再溜放立直塔体。

(5) 塔体就位

用设在塔基础中心延长线上互成 90°的两台经纬仪测量塔两个方向的垂直偏差,视偏差方位用扳吊机索具或制动机索具牵动,用加垫片等方法调整塔的垂直度,合格后拧紧地脚螺栓。拆除全部机具,完成扳吊作业。

九、用吊车吊装塔类设备

用吊车吊装塔类设备除上面已叙述过的滑移法和扳吊法之外,尚有单机旋转法、双机抬吊旋转法、双机抬吊移送法和多机抬吊法等。由于受吊车起重能力的制约,一般常用吊车吊装中小型塔类设备,而一些特大的巨型塔仍需桅杆吊装。

(一) 单机旋转法(图 3-71)

塔平置于地面的枕木支撑上,使吊点、吊车杆头和设备基础同处于以吊车回转中心为圆心的圆周上,塔底在基础近旁处,基本上也在此圆周上。用边提吊钩边转杆的方法将塔体立直,并继续转杆将塔落在基础之上。

(二) 双机抬吊滑移法(图 3-72)

此种抬吊方法可用两台相同的吊车,也可用一大一小不相同的吊车,大者为主机,小者做辅机。两机停在基础中心线和设备吊点连线的两侧,两机吊装时的运行方向与此连线平行。

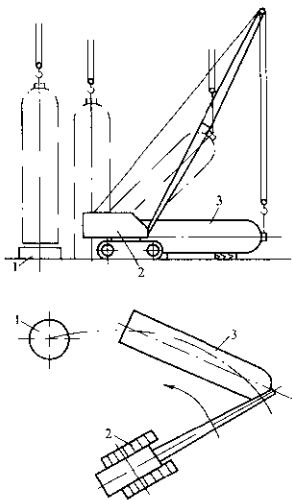


图 3-71 一台吊车旋转法吊装

1—基础;2—吊车;3—塔

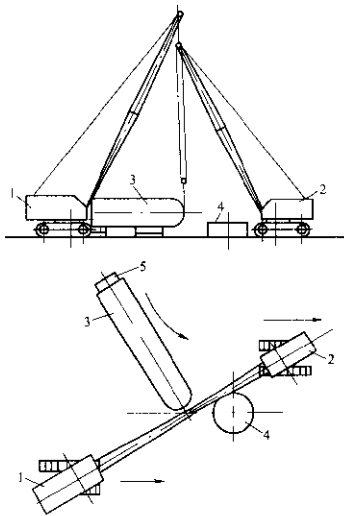


图 3-72 双机抬吊滑移法

1—吊车 1;2—吊车 2;3—设备;4—基础;5—拖排

设备尾部设置拖排,两吊车垂直提升时,尾部拖排向前滑行,至脱排后设备离开地面。

两台吊车负重以相同速度向基础方向移动或升降臂杆,应注意移动和变幅不可同时进行,将设备吊至基础正上方以后,两吊车缓慢落钩,使设备就位于基础之上。

(三) 双机抬吊移送法(图 3-73)

塔体斜置于基础旁,主机转杆时,其杆顶可达到基础中心正上方。辅机在基础的对面,其臂杆和吊车的前进方向均对正基础。用主辅两台吊车配合吊装。主机边吊装边转杆,辅机边吊装边负重前行(辅机应用履带吊),将塔移送至基础上方并就位。

(四) 三机抬吊法(图 3-74, 图 3-75)

二台吊车中两台主吊吊车应完全相同,一台辅吊吊车可稍小些。三台吊车的站位方法因塔的高度不同而有所区别。如图 3-74 所示,塔体较低时,两主吊吊车对称站在基础的侧后方,臂杆斜置,吊钩在基础中心正上方,吊装时两主吊吊车同时起钩,而吊于塔尾部的辅吊吊车则配合将塔体向前送进。最后由两台主吊吊车将塔体直立着吊起并放于设备基础之上。用此种吊装方法两台主吊吊车臂杆不变幅不转杆,故吊装较安全可靠。

如塔体较高,则用图 3-75 所示的方法抬吊,塔体置于基础的正上方,两主吊吊车站于

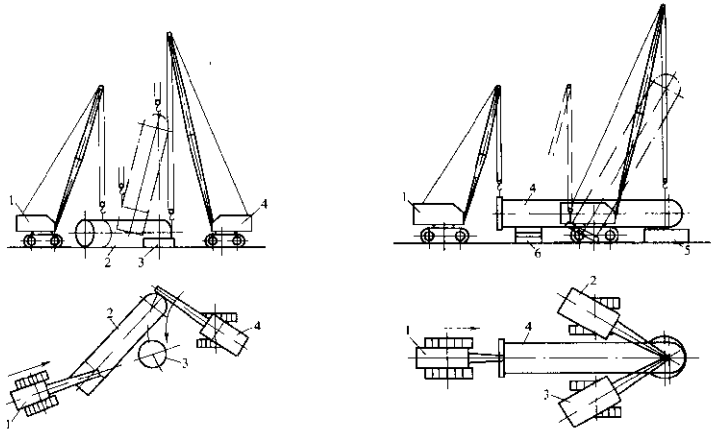


图 3-73 双机抬吊移送法
1—辅吊车;2—塔;3—基础;4—主吊车

图 3-74 三台吊车抬吊方法之一
1—辅吊车;2,3—主吊车;4—塔;
5—基础;6—枕木墩

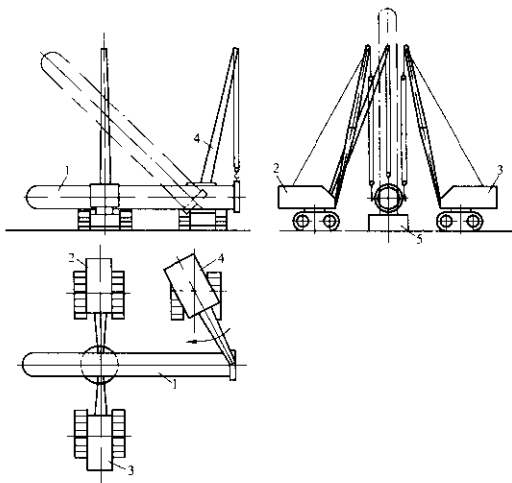


图 3-75 三台吊车抬吊方法之二
1—塔;2,3—主吊车;4—辅吊车;5—基础

垂直塔体的基础两侧,其吊钩分别吊于塔侧向的两个吊耳上。辅吊吊车立丁塔的侧后方,其吊钩吊于塔的尾部。吊装时两台主吊吊车起钩,辅吊吊车用转杆法配合向基础方向送进塔体。最后由两台主吊吊车将塔体吊起立直并落在基础之上。此种三机抬吊方法,可吊装比吊车臂杆高的塔体。两主吊吊车臂杆不变幅不转杆,辅吊吊车只转杆不前进,故吊装亦安全可靠。

十、塔类设备分段吊装法

塔类设备分段吊装也是较常用的一种吊装方法,最适用于吊装分段结构的空塔或内件也可分段的情况。用正装法时,将塔体分成若干段吊装,大大减轻每次的吊装质量,从而可用起重能力较小的吊装机具。分段吊装法与整体吊装法相比较,加大了现场组装的工程量,这对提高制作质量、加快工程进度、降低工程成本均不利。尤其是分段正装法,高处作业量很大,增加了安全事故的隐患。

塔类设备分段吊装一般用自行式起重机、斜立单桅杆、直立双桅杆、直立双人字桅杆(或A形)等作为吊装机具。可根据塔的各项参数、起吊机具的性能,起吊作业现场的具体情况等选用。

按塔类设备分段吊装中塔段吊装的先后顺序不同,分成正装法和倒装法。前者先安装塔的最下一段,再按顺序由下向上一段一段地吊装接高,此种方法每次的吊升质量仅为一个塔段的质量,起重重量较小,但最后要求吊装的高度较高,而且基本上处于高处作业。后者先安装塔最上一段的塔顶,再按由上而下的顺序在地面上接高塔体,此种方法每次的吊装质量随着塔的提高而逐渐增加,最后需吊起塔体的全部质量,可见需要较大起重量的吊装机具。但由于每次吊装的吊点均在与地面接触的一段上,由于吊点低,可使用较低的吊装机具,这实际上等于增加了吊装机具的吊装能力。倒装法均在地面作业,对安全施工有利。下面列举几种较常用的分段吊装法。

(一)用自行式起重机正装法(图3-76)

用吊车正装法吊装塔类设备时,吊车动臂要有足够的高度和起重能力。吊车站位应保证转杆后可吊到待吊装的塔段,吊起后又不会碰到动臂。为减少在高处作业的工程量,应视吊车的允许起重能力,把数段塔段在地面上组装成较大段后再吊装。

(二)斜立单桅杆倒装法

此方法因可将每段塔段均运抵基础之上,以确保桅杆的吊装滑车组呈铅垂状态吊装,从而改善桅杆受力状况。因桅杆斜立又倒装,所以,要求桅杆的起重能力和高度均应有足够大。实际上,此种方法只能用于中、小型塔类设备的分段吊装。

若用单斜立桅杆正装法,须设置夺吊滑车组,迫使吊升滑车组呈倾斜状,偏离吊装主平面吊装,而且越往上接高塔体则偏离越大,越加不利,除非有吊装能力较大的桅杆,其吊装能力又有较大安全裕度时才可用此方法,否则慎用。

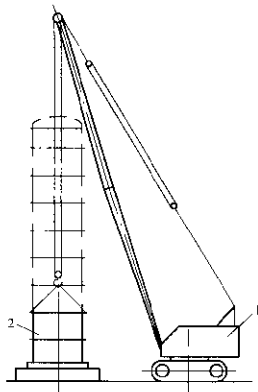


图3-76 用吊车正装法

1—吊车;2—塔段

(三) 直立双桅杆倒装法(图 3-77 a)

用直立双桅杆分段倒装塔类设备时,两桅杆要完全相同,并对称地尽量靠近基础处直立。桅杆高度要适中,以减小吊装滑车组偏离铅垂状态的角度。一般用两套或 4 套滑车组吊装,吊点布置要能形成稳定的平面。为保证塔体吊升稳定,必须设置防倾滑车组,视塔的大小设 2~4 套,与塔的吊升相配合,以确保塔能成铅垂直立状态吊升。此种方法可吊装塔高大于桅杆高的塔类设备。其吊装方法和吊装特点如前述的通用倒装吊装工艺。

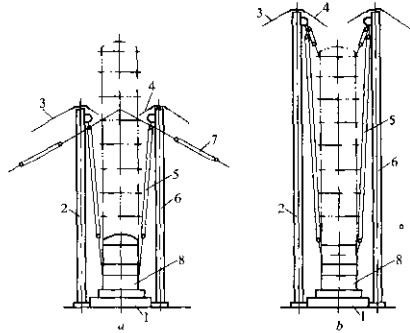


图 3-77 直立双桅杆正(倒)装法

a—倒装法;b—正装法

- 1—基础;2—桅杆 1;3—主绳风绳;4—平衡绳风绳;
5—吊装滑车组;6—桅杆 2;7—防倾滑车组;8—塔段

(四) 直立双桅杆正装法(图 3-77 b)

用直立双桅杆正装塔类设备时,两桅杆要规格相同,并对称地尽量靠近基础处直立。桅杆高度要能吊起塔的最上一段,而且要确保吊装滑车组不受过大的水平分力。由于正装法要由下而上往高处接高塔段,已装塔段会影响待装塔段的吊升,故要设吊滑车组,造成吊升滑车组偏离吊装平面,使受力复杂,在吊最上面的塔段时,此情况尤甚,在计算桅杆受力时,必须考虑此不利因素。

从图 3-77 上可见,如吊装相同高度的塔体。正装法需用桅杆的高度要比倒装法高得多。

如用双人字桅杆(或 A 形桅杆)抬吊塔类设备,其稳定性优于双直立桅杆。

十一、塔类设备吊装实例

(一) 三机抬吊塔设备

在某石化总厂扩建中,有 33 台塔类设备需吊装,其中 16 台塔高 35m 左右,质量约 70t,最大者 95t,按要求的计划工期为 42 天。因工期短,吊装场地四周有装置在运行,若用桅杆吊装,大量绳风绳和锚碇无法设置。故选用 3 台大型汽车吊(起重量 127t 2 台,70t 1 台)抬吊的全机械化工艺,通过精心施工,仅用 23 天时间即吊完 16 台塔类设备。

1. 吊车站位(图 3-78)

两台吊车布置在基础两侧,使两吊车站位连线、两吊耳和基础中心相重合,溜尾吊车亦站于一侧(最好用负重可行走的履带吊)。此种布置的特点是,两台主吊吊车只提升吊钩,不需转杆和变幅,较可靠。而溜尾吊车先转杆,再数次移位为其不足,如改用履带吊则更加合理。

2. 确定吊装参数及选用吊车

用吊车吊装,不必像用桅杆吊装需进行复杂的空间受力分析、各特殊位置的力学计算、吊具设计和选用,只需计算吊装质量和就位时需要的吊装高度。即计算:

$$P = (Q_1 + Q_2 + Q_3)K$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

式中 P ——计算质量;

Q_1 ——塔本体质量;

Q_2 ——配管、平台和保温质量;

Q_3 ——吊具质量;

K ——不均衡系数,取 $K = 1.2$;

H ——吊臂顶点最小高度;

h_1 ——吊耳到塔底的距离;

h_2 ——基础高;

h_3 ——捆绑绳占据的长度;

h_4 ——吊钩到吊臂顶点的最小距离。

由于吊车的设计已考虑了吊装时的动荷系数,故只计算两台吊车抬吊不同步时所产生的不均衡的影响。实例如下:

(1)塔 PT-1:高 27m,直径 4m,吊耳高 22m,本体质量 82t,其它质量 12.53t,吊具质量 0.8t,基础高 1.5m, $h_3 = 1\text{m}$, $h_4 = 3\text{m}$,

$$\begin{aligned} \text{则: } P &= (Q_1 + Q_2 + Q_3)K \\ &= (82 + 12.5 + 0.8) \times 1.2 \\ &= 114.4(\text{t}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \\ &= 22 + 1.5 + 1 + 4 = 28.5(\text{m}) \end{aligned}$$

根据 P 和 H 值选用神户 127t 汽车吊,查其性能表,当臂长 $L = 27.43\text{m}$,回转半径 7m 时最大吊重 62t,仰角 75.2° ,吊车高 2m。

即:两台吊车吊装能力 $P' = 2 \times 62 = (124)\text{t} > P$;

吊车吊装高度 $H' = L \cdot \sin 75.2^\circ + \text{车高} = 28.52(\text{m}) > H$

故吊车参数可满足吊装要求,安全可用。

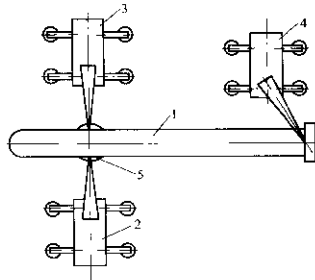


图 3-78 3台吊车抬吊塔设备吊车布置示意图

1—塔体;2,3—127t 汽车吊;4—70t 汽车吊;5—基础

(2)塔 CT-401;塔高 47m,直径 1.6m,吊耳高 32.5m,本体质量 35t,其它质量 24t,基础高 1.5m,吊具质量 0.8t, $h_3 = 1.5\text{m}$, $h_4 = 3\text{m}$,

$$P = (Q_1 + Q_2 + Q_3)K \\ = (35 + 24 + 0.8) \times 1.2 = 71.8(\text{t})$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \\ = 32.5 + 1.5 + 1.5 + 3 = 38.5(\text{m})$$

查神户 127t 汽车吊性能表,当臂长为 $L = 39.62\text{m}$ 、回转半径为 10m 时,最大吊装能力为 37.8t,仰角 75.4° 。

即:两台吊车抬吊能力

$$P' = 2 \times 37.8 = 75.6(\text{t}) > P;$$

吊车吊装高度

$$H' = L \sin \alpha + 2 \\ = 39.62 \times \sin 75.4^\circ + 2 \\ = 40.3(\text{m}) > H$$

故可满足吊装要求,安全可用。

3. 溜尾

溜尾吊车以单吊点吊于裙座上。在塔刚起吊时载荷最大,一般为总载荷的 2/5,此 16 吨塔的溜尾载荷在 25~46t 之间。根据神户 70t 汽车吊性能表,当杆长 18.29m,回转半径 6~9m 时,其起吊能力为 25~48t。随着塔体的竖立,溜尾的载荷则逐渐减小,回转半径可相应增大,则溜尾距离也可增大。实际吊装中第一次溜尾距离为 14m,第二次达 20m,对高 40m 的塔只需移车两次即可。

4. 吊装要点

通过正确的指挥,3 台吊车协调同步动作,尽量保证吊车不受侧向力,使塔体在基础旁垂直腾空,再慢慢转向基础就位。还应注意在吊车杆头和塔顶间留有安全距离,避免碰撞。

(二)双桅杆扳吊反应器

反应器质量 513t,外径 5370mm,高度 13.410mm 反应器悬挂于 41m 长、15m 宽的钢结构框架中,就位标高 13m。

吊装单位经多种吊装方案比较以后,选定用双桅杆扳吊工艺,由于不需将反应器全部吊离地面,吊装力比滑移提升法减少 35% 以上,相应地整套吊装设施的规格也大大减少。由于扳吊法的特点是设备头部刚刚离开地面时,整套机索具受力最大,即在吊装之初即对机索具进行了最大负荷的考核,即使出现问题也易于发现并处理,这对实现安全吊装非常有利。

1. 扳吊力分析及双杆平衡问题

在所有吊装参数中,扳吊力是最重要的参数。如图 3-79,依据静力平衡方程式,可求得扳吊力

$$P = K_1 K_2 (Q + q) \frac{l_1 \cos(\alpha + \varphi_1)}{l_2 \sin(\alpha + \gamma + \varphi_2)}$$

式中 K_1 为动荷系数; K_2 为不均衡系数, $(Q + q)$ 为设备及吊索重量; α 为起升角;其余符号见图 3-79。

其中,扳起吊装滑车与水平线的夹角 γ 为:

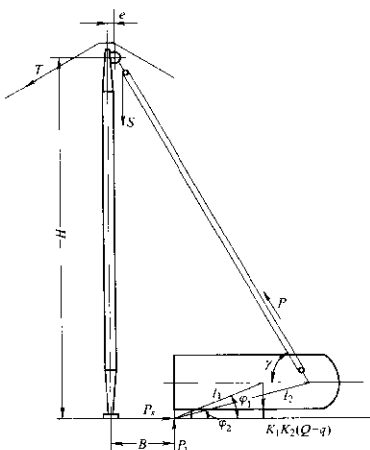


图 3-79 双桅杆扳吊受力简图

$$\gamma = \lg^{-1} \frac{H - l_2 \sin(\alpha + \varphi_2)}{B - e + l_2 \cos(\alpha + \varphi_2)}$$

从以上两式可见,在决定扳吊力大小的诸因素中,除了计算荷载 $K_1 K_2 (Q + q)$ 及重心位置 l_1 为固有因素外,还取决于起扳角 γ 和吊点与回转支撑点间的距离 l_2 的大小。显然,只要卷扬机容绳量和设备强度允许,吊点越靠近设备的头部, l_2 越大,吊装力就越小。而要加大 γ 角,就要使桅杆尽量靠近吊点,并尽可能增加桅杆的高度。但这要按实际情况具体分析后决定。

本次吊装中,考虑到桅杆还将吊装框架上的其他设备,故桅杆高度选为 50m,两桅杆站位于反应器临时裙座后方,吊点设于反应器支撑圈上,为重心高度的 1.44 倍,吊装质量约为设备计算质量的 70%。

双桅杆扳吊的不均衡问题,要靠增大不均衡系数 K_2 去解决,会很经济。若设平衡吊梁或用平衡滑轮串通两套吊装索具,又会增加制作平衡梁的费用,加大卷扬机的规格。吊装单位没采用以上传统方法,而采取了以下解决不均衡问题的措施。

- 1) 严格找正反应器起吊前的方位,使其中心与回转平面重合;
 - 2) 两根桅杆及其索具以回转平面为中心面保持对称;
 - 3) 每组扳起索具的牵引绳设拉力表,用以度量两滑车组在预紧及扳吊阶段的受力值,并据此作必要的调整;
 - 4) 事先测定主吊卷扬机的卷取速度,进行必要的调整,并测定两套滑车组的摩擦系数;
 - 5) 用经纬仪测量桅杆纵横两个方向的垂直度,超差时需调整;
 - 6) 事先训练卷扬机运转人员的操作技术,使各卷扬机尽可能同步操作;
 - 7) 建立良好的通讯指挥系统,保证卷扬机运转人员及时准确地执行指挥命令。
- 吊装实践证明,以上措施虽不复杂,却很有效,拉力表的读数表明,两套索具最大不均衡

程度仅为 3%，低于计算取用的 10% 的不均衡系数。

2. 设备回转控制及裙座处理

在反应器吊装中支撑点承受的最大垂直压力为 4560kN，最大水平推力为 1388kN，为承受以上巨大的作用力，设临时裙座，并放于临时基础上，还在裙座上加焊 6 块耳板，用两个滑车组两端各系于耳板和地锚上，以平衡水平推力，如图 3-80 所示。

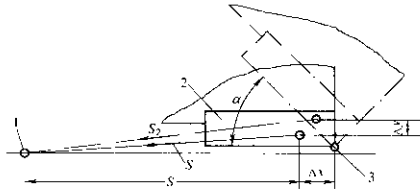


图 3-80 水平推力索具位置变化示意图

从图 3-80 中可见，随着设备的不断回转竖立，止推索具的长度 S 将逐渐变长。因此在吊装过程中必须适时适量地逐渐放松止推索具，以保证地锚和索具不承受非正常负荷，也不致使支撑点出现位移。至于放松数量可按下式控制：

$$\Delta S = n(S_2 - S_1)$$

- 式中 ΔS ——卷扬机牵引绳放松量；
 n ——止推滑车组的工作绳数；
 S_2 ——反应器竖立状态止推索具长度，

$$S_2 = \sqrt{(S + \Delta x)^2 + \Delta y^2}$$

S_1 ——反应器平卧状态止推索具长度。

当设备不断回转竖立至其重心达支撑点铅垂正上方时，设备会因自重而向桅杆方向自倾，此角称自倾临界角。为控制自倾速度，需设两套自倾控制索具，并按理论计算当自倾角度值提前 15° 时就逐渐收紧自倾控制索具。发生自倾后停止起扳滑车组的收紧，只需放松自倾控制索具，即可使反应器缓慢地自倾至直立。

在反应器整个回转竖立过程中，由于两套扳起滑车组始终平行于回转平面，除风荷外反应器基本上不受侧向力，因此就无需加设侧向控制机索具。吊装实践也证明反应器头部未出现左右偏摆。

3. 机索具布置及操作步骤

(1) 机索具布置

根据吊装受力分析计算选择的机索具列于表 3-9 中。机索具的布置采用全对称形式。因主缆风绳受力较大，共设 3 组 6 根主缆风绳，两根为 1 组共用 1 个 1000kN 的埋置式锚碇。主缆风绳用 3 个地锚，组与组间夹角为 15° 。

侧向缆风绳 4 组 8 根，互相同夹角为 $40^\circ \sim 50^\circ$ ，前缆风绳 2 组 4 根，夹角为 35° ，地锚共用。

止推控制索具及自倾控制索具共用地锚，为 1000kN 级。因止推和自倾控制是先后分开受力的，故可共用地锚。

表 3-9 双桅杆扳吊反应器主要机具表

项目	名称	受力值	选用规格及数量
起扳系统	吊装桅杆	最大止压力 $N = 3450\text{kN}$ $\sigma = 178\text{MPa}$	200t/50m 格构桅杆 2 根
	扳起滑车组	2167kN/每组	HQD8 - 250.2 组
	卷扬机牵引绳	167kN	6 × 37-37-170, 2 × 1000m
	卷扬机	167kN	JM20, 额定拉力 200kN, 4 台
桅杆稳定系统	主缆风绳	384kN/每根	6 × 37-52-170, 6 × 200m
	主缆风绳调节滑车组	384kN/每组	HQD6 - 50.6 组
	卷扬机	39.2kN	JM5, JM8, 共 6 台
	调节滑车组牵引绳	39.2kN	6 × 37-21.5-170, 6 × 200m
	次缆风绳	196kN/每根, 294kN/每根	6 × 37-35-170, 6 × 37-37-170, 12 × 100m
	次缆风绳调节滑车组	196kN, 294kN	HQD4-20.8 组; HQD4-32, 4 组
	卷扬机	20kN, 30kN	JM5, 额定拉力 50kN, 8 台
设备控制系统	止推滑车组	1017kN/每组	HQD8 - 100.2 组
	卷扬机(止推用)	87.2kN	JM10 额定拉力 100kN, 2 台
	自倾控制滑车组	716kN/每组	HQD6-80.2 组
	卷扬机(自倾控制用)	74kN	JM10 额定拉力 100kN, 2 台

地锚为坑埋管式,利用了废混凝土管桩,地锚的结构如图 3-81 所示,其允许拉力在 600 ~ 1000kN 之间。

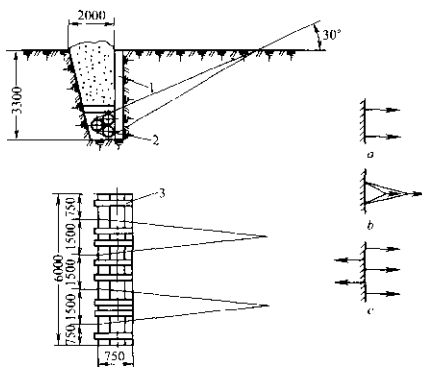


图 3-81 1000kN 埋管式地锚结构

a—平行共用; b—前后共用; c—反向共用

1—站木 12 根; 2— $\phi 550$ 混凝土管桩 3 根; 3—压木 8 根

(2) 吊装主要操作步骤

吊装操作主要有以下 4 步:

1) 试吊。试吊时,先分次交叉收紧止推索具,扳起索具和主缆风索具,将桅杆侧向垂直度控制在 5cm 以内,纵向微前倾 2°左右,以充分发挥桅杆的吊装能力,设备底部应控制在预定位置上。试吊开始后,当设备头部离开地面约 10~20cm 时,全套吊装设施受力最大,应立即进行全面检查,且时间不宜过长。

2) 吊装。吊装应尽可能连续进行,应用拉力表、经纬仪、角度指示器和望远镜等密切监视设备的回转情况、基础支承情况及各吊装系统的运转情况。

由于吊装力随吊装角 α 的加大而减小,主缆风绳拉力和水平推力也相应减小,因此需分次放松主缆风绳及水平推力的控制绳,放松量以桅杆垂直度及止推索具长度变化为依据。

3) 自倾。在到达自倾临界角前 15°左右,开始轻微地收紧自倾控制索具,并跟随设备回转适度放松,到自倾临界角后,即可停止扳吊索具的牵引,设备在自倾控制索具控制下,自倾至直立。

4) 就位找正。利用扳起索具和自倾控制索具,使设备前倾后仰,在裙座下放入滚杠,用临时加设的控制索具将设备找止、找垂直。

(三) 门式桅杆滑移法吊装反应器

该反应器质量为 520.7t, 外径 $\phi 4069\text{mm}$, 壁厚 202mm, 高度 27.8m, 筒体材质为 12CrMo 910。在设备制造时已对裙座采取了加固措施。因制造材质关系,不在筒体上加焊吊耳,而需在设备顶端管口处连接特制的吊架,吊架为双铰链 4 吊点式。反应器的重心高 14.6m, 计算质量为 674.4t, 吊装单位经多方案比较后,选择门式桅杆滑移吊装方法。

1. 吊装平面布置(图 3-82)

门式桅杆用 10 根缆风绳对称布置,共 6 台卷扬机,4 台用于吊装,1 台用于前拉,1 台用于后围,图中还设定有指挥人员的位置。

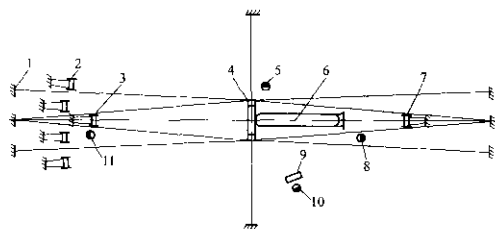


图 3-82 吊装平面布置图

- 1—地锚;2—上吊卷扬机;3—前拉卷扬机;4—门式桅杆;5—中部副指挥;
6—反应器;7—后围卷扬机;8—尾部副指挥;9—灯光信号指挥台;10—指挥

2. 几项技术措施和技术方法

(1) 加设桅杆基础

由于反应器的计算质量为 674.4t, 门式桅杆质量 121.8t, 桅杆基础的受力很大, 须采取

必要的措施。在桅杆基础下打桩以后,浇灌混凝土基础,并和反应器设备基础联合起来,其耐压强度为686kPa。

(2) 双铰链回转吊架(图3-83)

通过双铰链回转吊架将单吊点受力转化为4个吊点受力,即把6605kN(674t)的力转化为每点受力1651kN,从而避免了使用特大规格的机索具,而且因有铰接结构,受力比较均匀。

(3) 设置铰链回转托架(图3-84)

在反应器的尾部设置铰链回转托架,用其增加设备提升滑移过程中的稳定性。并设置垫木堆,防止设备产生后翻的突然冲击力,以保证吊装后期的平稳过渡。

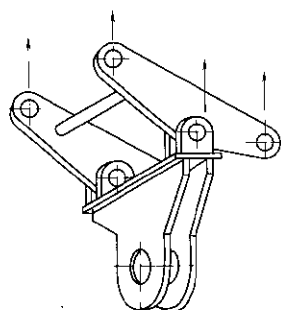


图 3-83 双铰链回转吊架

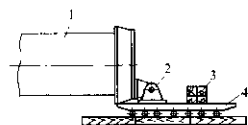


图 3-84 铰链回转托架

1 反应器;2—铰链回转托架;3—垫木堆;4 钢拖排

(4) 主吊滑车组采用“花”穿法(图3-85)

主吊滑车共4组,每两组在一边,在同一边的两组滑车之间,设1单轮滑车作平衡用,两组滑车用1根钢丝绳串联,为防止滑车倾斜,采用“花”穿法。

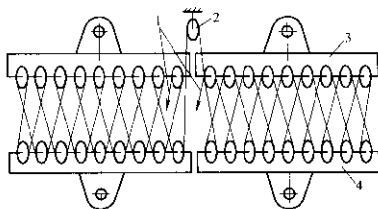


图 3-85 8轮滑车组钢丝绳“花”穿法示意图

1—引出绳;2—平衡滑车;3—上滑车;4—下滑车

3. 门式桅杆的技术数据

门式桅杆组装总高度	45.9m(立柱高44m)
门式桅杆横梁吊耳孔高度	43.91m
门式桅杆横梁两组吊耳纵向中心距	4.5m
门式桅杆横梁两组吊耳横向距离	1.495m
门式桅杆组装总质量	121.8t
门式桅杆组合重心高度	28.6m
门式桅杆立柱截面尺寸	□1800/□1000mm
门式桅杆立柱主肢	无缝钢管 φ306mm×16mm
缆风绳与地面夹角	24°

4. 反应器吊装的主要技术数据(图 3-86, 表 3-10)

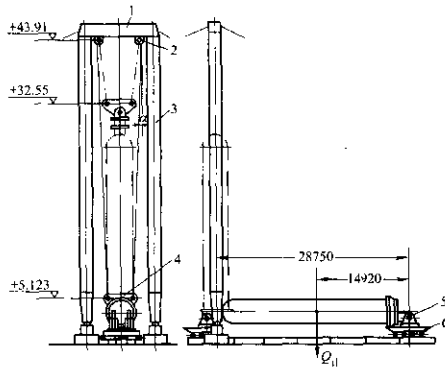


图 3-86 反应器滑移提升吊装图

1—横梁;2—吊耳;3—桅杆立柱;4—双铰链回转吊架;5—铰链回转托架;6—钢拖排

表 3-10 反应器吊装的主要技术数据

序号	项 目	吊装瞬间			计算公式或来源
		起吊时	腾空时	就位时	
1	计算载荷 Q_{it}/kN				$Q_{it} = (Q + q) K_1 K_2 = 6621$
2	吊装角 $\alpha/(\circ)$	0.738	2.463	2.52	滑车组轴线与横梁吊耳中心线夹角
3	腾空角 $\alpha_j/(\circ)$		2.583		
4	总提升力 P_1/kN	3436	6627	6627	起吊时 $\frac{Q_{it} \times 14.92}{28.75}$; 就位时 $Q_{it}/\cos\alpha$
5	每组滑车受力 P/kN	859	1657	1657	$P_1/4$
6	卷扬机牵引力 S/kN	72.5	147	147	$S = P \frac{f-1}{f^n-1} f^{n+1}$
7	横梁吊耳受力 P_2/kN	931.5	1804	1804	$P_2 = P + S$

续表 3-10

序号	项 目	吊装期间			计算公式或来源
		起吊时	腾空时	就位时	
8	尾部托架受力 R/kN	3185			$R = Q_{11} - P_1$
9	拖尾滑车组受力 S_1/kN		299		$P_1 \sin \alpha_1$
10	拉前滑车组受力 S_2/kN	98			$S_2 = K_1 R \frac{\sqrt{f_1 + f_2}}{D}$
11	缆风绳总受力 T/kN		326		$\frac{P_1 \sin \alpha_1 \times 43.9!}{\cos 24^\circ \times 44}$

5. 工艺流程及吊装工艺方法

工艺流程请参阅本书第四章用门式桅杆以滑移法吊装塔类设备的吊装工艺流程(图 4-1)。

吊装工艺方法与滑移法相同,须经过吊装准备和机具设置、试吊装、正式吊装、设备找正、收绳等阶段。其吊装工艺方法要点如下:

(1)设置高为 55m、起重量 100t 的辅助桅杆,用它吊装门式桅杆。而拆除门式桅杆(解体拆卸)是用起重量为 110t 和 91t 的吊车。

(2)通过受力分析计算吊架、尾架、门式桅杆横梁等承载件,计算桅杆总承载力,为桅杆基础设计提供数据,缆风绳受力可依桅杆倾斜 $1^\circ \sim 2^\circ$ 计算。

(3)须对主要的吊装机具进行考核和试吊,如:1)对门式桅杆进行卧态模拟应力测试。2)对主吊的 HQD8-200 滑车进行每门绳轮负载 25t、跑合 1h 的运转试验。3)对双铰链回转吊架进行 620t 的吊物试验。4)对 JM20 卷扬机作性能测试。5)门式桅杆横梁上的 4 个吊点分别挂 HQD8-200 滑车组,200t 卸扣,起重量 40t 的单轮导向滑车及其耳板进行 170t 钢锭荷载的联动试吊,同时考核 JM20 卷扬机和 6×37-43-170 的卷扬机牵引绳。

(4)须配置完善的通讯指挥系统。反应器的吊装作业面积为 8000m² 以上,各缆风绳锚点远在设备基础 100m 外,有近 50 台的吊装机具需随时观察联络。为此,将 10 台话机调为相同的频率,可同时互相通话,以提高通讯效率。同时再利用灯光信号指挥台,辅以播音放大器、红绿灯等,组成 1 个较为完整的通讯指挥系统。

(5)在找正设备时,可利用主吊滑车组稍稍受力,以便调整垫铁,找正设备的垂直度。

6. 机具设备

吊装质量为 520.7t 反应器需要的机索具种类见表 3-11。

表 3-11 主要吊装机械和索具

序号	名 称	型号规格	序号	名 称	型号规格
1	门式桅杆	2×250t/44m	8	单轮滑车	HQD1-40
2	辅助桅杆	100t/55m	9	钢丝绳(主滑车用)	6×37-43-170
3	门式桅杆横梁	现配	10	钢丝绳(辅滑车用)	6×37-36.5-170
4	双铰链回转吊架	现配	11	缆风绳	6×37-32.5-170
5	尾部铰链回转托架	现配	12	七卷扬机	MJ20
6	主吊滑车组	HQD8-200	13	副卷扬机	MJ10
7	辅助滑车组	HQD8-140	14	桅杆基础板	5m×1.7m×0.45m

7. 劳动力需要量

(1) 准备阶段人员安排(工期约 60 天)

起重工 40 人; 钳工(铆工) 6 人;

焊工 4 人; 辅助工 2 人。

(2) 正式吊装时人员安排

起重工 28 人; 钳工 6 人;

机修保养工 8 人; 测量工 6 人;

通讯联络 2 人; 辅助工 12 人;

指挥人员 3 人(其中一人总指挥)。

8. 安全措施

(1) 执行国家和上级部门制订的各种安全规程。

(2) 各起重机械使用前,应作检查,确认其性能、质量可靠,特制的吊架、横梁、托架必须严格检查焊缝质量,在可能的条件下作单体受力试验。

(3) 在吊装中,要用经纬仪监视桅杆的垂直度,其头部偏移应控制在 100mm 以内。桅杆还须设防雷接地措施。

(4) 地锚埋设应严格按图施工,并认真分层夯实回填土,要由专人负责检查确认。

(四) 吊推法吊装初分馏塔

我国某化学建筑公司近年曾用吊推法成功地吊装了 5 台高塔设备,从而开创了此项吊装新工艺在我国应用的先例。

初分馏塔的直径 3.8m,高 46.77m,质量 151.1t,基础高 4.5m,安装在上面施工一面生产的狭窄环境中。

1. 吊装方案的编制

(1) 精确计算设备的重心位置。整体吊装时,附塔平台、栏杆、梯子、管道、保温层、电器、仪表等均应计算在内。

(2) 一般前吊点位于重心上方 3~4.5m,后吊点位于重心下方 4.5~7m,可视设备高度选择,高的取上限,低的取下限。

(3) 初选门架外形尺寸及零点位置:

门架高 $H = \text{设备重心高} + \text{基础高} + h$, h 为附加高度,取 $h = 3 \sim 4\text{m}$;

上横梁宽度 $B = \text{设备中下部外径} + \text{门架立柱直径(或宽)} + b$, b 为附加宽度,取 $b = 1.5 \sim 2\text{m}$ 。两立柱夹角 λ 取 $6^\circ \sim 10^\circ$ 。

门架底部的零点位置(即门架在滚道上的初始位置),应在设备前吊点外侧 0.5~1m 处。

(4) 绘制吊装过程图并进行受力分析,以便掌握门架抬头,设备抬头,前、后滑车组收紧、推举过程,重心过铰链,设备就位时的各部相对位置及受力大小,如图 3-87 所示。

(5) 建立数学模型、编制计算机程序,对吊推全过程进行精确计算。用吊推法吊装初分馏塔的计算结果如表 3-12 所示。

(6) 据最大受力情况,对门架、吊轴、铰链及基础预埋件等进行强度核算,同时选用相应的机械和索具。

(7) 编制操作规程和安全规程。

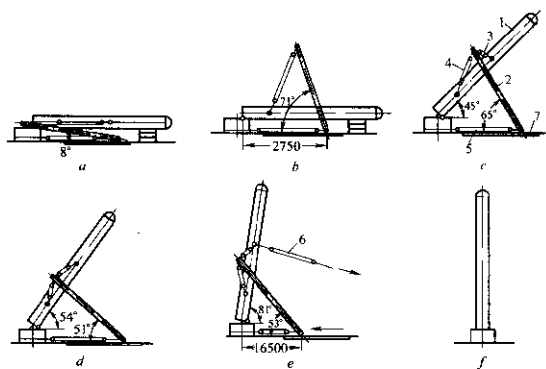


图 3-87 初分馏塔吊推过程示意图

a—待吊；b—竖立门架；c—前挂滑车组收紧结束；d—后挂滑车组收紧结束；e—推举滑车组收紧结束；f—吊推完毕
1—初馏塔；2—门架；3—前挂滑车组；4—后挂滑车组；5—推举滑车组；6—制动滑车组；7—轨道

表 3-12 初馏塔吊装过程中各工序最大受力(kN)

吊推工序	门架对地夹角	设备对地夹角	前挂滑车组力	门架力	推举滑车组力	门架对地压力	后挂滑车组力
竖立门架	8°	0	777	1035	1055	123	0
起吊设备	71°34'	0	1494	1648	512	1486	0
前挂滑车组收紧结束	65°39'	45°33'	1144	1391	568	1181	0
后挂滑车组收紧结束	51°25'	54°20'	864	1053	654	997	910
推举滑车组收紧结束 ^①	52°55'	81°35'	91	286	172	489	0

①此时设备与门架的合重心通过设备铰链的上方。

2. 初分馏塔吊推步骤

(1)调整门架底部位置,使其处于零点状态,适度收紧两套推举滑车组,产生适当的预紧力(图 3-87 a)。

(2)收紧两套前挂滑车组,使门架绕零点旋转扳起,同时适当地放松后挂滑车组,达到松紧适度(图 3-87 b)。

(3)当门架升至起吊角 71.5°时,设备开始抬头,随着前挂滑车组陆续收紧,设备也随之升起,同时门架自行回倾,当它回至 65°时停止收紧(图 3-87 c)。

(4)收紧后挂滑车组,随着门架被扳倒,设备将继续升起,至门架到 51°时停止(图 3-87 d)。

(5)收紧推举滑车组,将门架逐渐拉向基础,致使门架和设备都将升起,至设备倾角接近 77° (门架角 53.5°)时,收紧制动滑车组,以防设备发生无控制的自倾(图3-87e)。

(6)门架再稍前行,并相应地放松制动滑车组,当设备重心通过铰链上方后,停止推举,靠设备的自倾,在制动滑车组控制下,自行立直(图3-87f)。

(7)找正设备,拧紧地脚螺栓,松开前挂滑车组和推举滑车组,以塔的前吊点为支点,靠门架的自重将它放至地面,并拆除全部机具。

3. 技术要求

(1)各吊点及门架位置应符合吊装方案要求,误差应小于 $\pm 20\text{mm}$ 。

(2)两侧轨道在同一断面上的偏差应在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,平行偏差小于 $0.5/1000\text{mm}$ 。

(3)设备铰链轴的水平偏差小于 $0.5/1000\text{mm}$;与基础中心线的平行偏差小于 $0.5/1000\text{mm}$ 。

(4)在吊推过程中,门架两立柱的倾角差不大于 0.5° ,为此要求两台卷扬机必须同步。

(5)门架两立柱在推举时应同步,它们的位移偏差不得大于 100mm 。

(6)门架顶部横梁的轴向位移,在吊装过程中不应大于门架高度的 $2/1000$,设备顶部的最大摆动量不应大于塔高的 $1.5/1000$ 。为此应用两台经纬仪跟踪测量,并据实进行调整。

(7)设备底部的铰链轴不得悬空,它应始终压在轴套的下方。

4. 吊推法的优点

(1)提高了施工安全性。此种方法吊装工作都在地面上进行,避免了高处作业。并因门架和设备在刚抬头时受力最大,以后逐渐减小,即在试吊时已对设备和全部吊装机械、门架、索具及受力零部件进行了考核,从而增加了安全性。

(2)因不用高大桅杆,也就无须再用缆风绳和锚点,可节省40%的钢丝绳用量。并可在较小的吊装场地上施工,最适用老厂扩建。

(3)不用设立其他吊装机具,竖立和放倒门架,均由吊装系统自行完成。总工期可缩短15天。

(4)由于门架相对较低,无缆风绳压力,受对称无偏心载荷,因此承载能力较大,与相同断面桅杆相比,起重能力可提高1倍。

(5)由于设备底部始终不离开铰链,其部分质量由基础承担,加之前吊点可远高于设备重心,从而减小了吊装机具的负荷,因此能用较小的机具吊装质量较大的设备。

(6)应用电子计算机进行静力计算,吊装方案编制速度快、精度高、可靠性强,而且软件具有兼容性和通用性。

(7)本工艺的操作过程可用门架角度为单一控制依据,便于实现吊装过程的集中操纵和自动控制。

(8)可实现吊装机具、索具及吊耳、铰链等的通用化与配套设计,使吊装工艺完全达到标准化施工的目标。

(9)因减少了吊装机具的设置数量,提高了地面作业劳动效率,进而可缩短工期等原因,故可节约大量的吊装费用。

吊推法与双桅杆抬吊法的技术对比如表3-13所示。

表 3-13 拾吊法和吊推法吊装水洗塔的技术比较

吊 装 方 法		门式(双)桅杆拾吊法			无锚点吊推法				
设备直径×高/m		φ3×28			φ2.8×29				
设备质量/t		92.6(单体)			93.1(组合)				
基础高/m		2.5			1.8				
桅杆高度/m		50.5	46	20					
桅杆断面/mm		1200×1200	1100×1100		φ530×12 卷管				
桅杆质量/t		22.2	21	8.6					
桅杆缆风绳数		8	8	0					
缆风绳对桅杆压力/kN		102.9	102.9	0					
对缆风绳锚点作用力/kN×数量		98.1×2+73.6×6			0				
设备上的吊点高/m		25.4	25	19					
滑车组最大受力/ kN×组	起吊力	584.80×1	566.44×1	前挂 394.94×2 后挂 470.4×1 推举 164.64×2					
	制动力	50.37×1			60.67×1				
主要跑绳拉力/kN		59.486	57.624	前挂 57.57 后挂 43.708					
主要跑绳轮数		8×8	8×8	前挂 6×6 后挂 8×8					
每侧桅杆受力/kN		727	706	394					
每侧桅杆对地压力/kN		944	911	436					
桅杆底间距/m		8.5			8.5				
卷扬机	用途	起吊	制动	合计/台	前挂	后挂	推举	制动	合计/台
	牵引力/kN×台	78.5×2	29.4×1	3	49×2	49×1	29.4×2	29.4×1	6
轨道长度/m		0			14×2				
数据来源		石油化工吊装工作手册(下)			兰州化学建设公司				

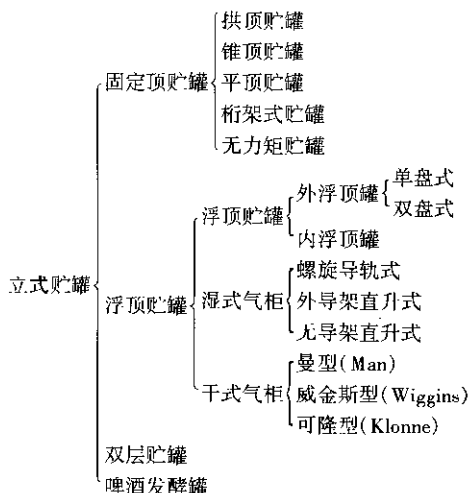
第五节 吊装立式贮罐类设备

在各类贮罐中立式贮罐是应用最多的一种,近年正向系列化和大型化方向发展。由于各种立式贮罐的结构不尽相同,因此其吊装方法各异。当然,同一种贮罐,也会因结构特点、容积大小、吊装机械现状、吊装场地作业条件、吊装技术熟练程度、吊装工期、吊装成本等的不同而采用不同的吊装方法,从多方案比较中优选最适于诸多条件的吊装方案。

在我国的经济建设中,许多建筑安装企业在立式贮罐类设备的吊装实践中,开发运用了许多种吊装方法,而且基本都达到了成熟的程度。

一、立式贮罐类设备的种类

立式贮罐可以用不同的方法进行分类,出于归纳和叙述的方便,现按此类贮罐的结构特征进行分类如下:



二、立式贮罐类设备结构简介

为叙述立式贮罐吊装方法的需要,对各类贮罐的结构作以下简单介绍,欲了解其详细结构,请阅读有关专著或设备制造图纸。

(一) 固定顶贮罐

固定顶贮罐本体由罐底、罐壁和罐顶组成,大型罐其罐壁常由不同厚度的钢板以对接方式焊接成整体,壁板厚者在底部,向上厚度递减。小型罐壁板厚度一般相同,常以搭接方式焊接。罐顶有平顶、锥顶、桁架顶、无力矩顶、拱顶等数种,如图 3-88 所示。其中用得最多的是拱顶罐,我国已成功地建成 2 万 m³ 的大型拱顶贮罐。

(二) 浮顶贮罐

顾名思义,浮顶贮罐的顶不固定,而是随罐内介质的多少而上下浮动,如图 3-89 所示。其本体由罐底、罐壁、浮盘、密封装置等组成。内浮顶罐较外浮顶罐增加了罐顶,因此,克服了外浮顶罐沙尘、雨雪易侵入的不足,但也增加了设备造价。

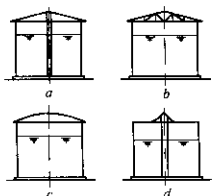


图 3-88 罐顶形状示意图

a—锥顶；b—桁架顶；
c—拱顶；d—无力矩顶

(三) 湿式气柜

湿式气柜用来贮存煤气，有直升式和螺旋上升式两类，其中螺旋式煤气柜结构较复杂，它的浮升和密封原理如图 3-90 所示，它主要由水槽、塔节（包括密封挂圈和平台）、螺旋导轨、导轮等组成。柜内没充气时，各塔节下部均淹没于水槽的水中，充气后，一塔（钟罩）在导轮和导轨的引导下，呈螺旋运动方式上升，直至一塔挂圈与二塔上挂圈挂上，则由一塔带动二塔继续上升，此时由相挂两挂圈内的水实现密封。二塔与一塔的螺旋运动方向相反。继而以相同方式实现各塔节的浮升。

(四) 干式气柜

干式气柜又称活塞式气柜，一般容积很大，常用它贮存煤气。气柜的主要构成如图 3-91 所示，由圆形或多棱柱形外筒、底板、活塞、顶盖和密封装置组成。其外筒由立柱和许多块用钢板压制成型的侧板焊接而成，这是此种气柜构造上的最大特点。密封是采用稀油密封结构，这和其他密封方式也不相同。

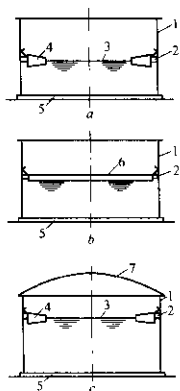


图 3-89 浮顶罐示意图

a—单盘式；b—双盘式；c—内浮顶式
1—罐壁；2—密封装置；3—浮盘；4—浮船；
5—罐底；6—双浮盘；7—拱顶

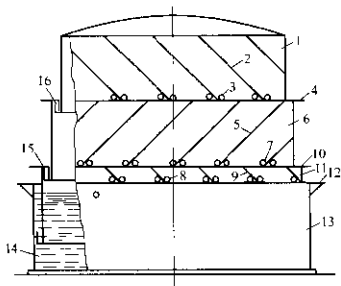


图 3-90 浮升和密封原理图

1—塔；2—螺旋导轨；3—导轮；4—二塔平台；
5—一塔导轨；6—二塔；7—导轮；8—导轮；
9—三塔导轨；10—三塔平台；11—三塔；12—水槽平台；
13—水槽；14—水；15—密封挂圈；16—密封挂圈

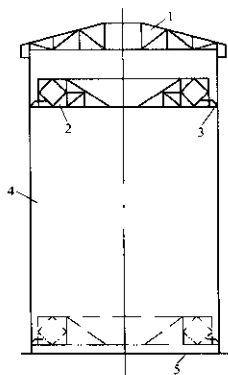


图 3-91 干式气柜构成示意图

1—顶盖；2—活塞；3—密封装置；
4—外筒；5—底板

(五) 双层贮罐

双层贮罐用于生产工艺对介质有隔热和保温要求的场所。其贮罐壁板有内外两层,其间填充保温材料,亦有罐底板也为双层的,还有拱形顶盖。

(六) 啤酒发酵罐

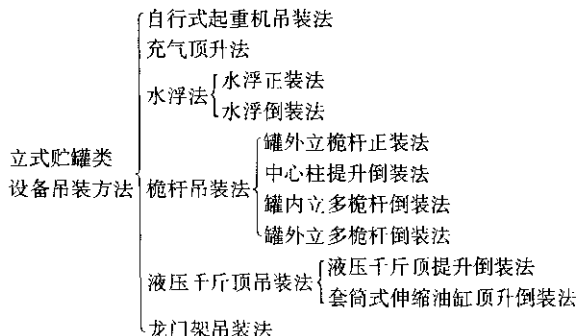
在啤酒生产工艺流程中,均需用发酵罐,而且多为立式结构。罐体由罐顶封头、罐筒和锥形尖底组成,一般用不锈钢材质制造。发酵罐常由数十台组成罐群,安装于露天的大面积混凝土台式基础上,也有每个罐安装于独立基础之上的情况。

三、吊装方法

立式贮罐类设备的具体吊装方法有许多种,其吊装特点和吊装作业细节亦各不相同。但仍可把常用的吊装方法归纳成几大类。

(一) 吊装方法分类

可以把常用的吊装方法归纳如下:



(二) 吊装方法的选择

如前所述,立式贮罐类设备的吊装方法有几大类,许多种。在选择吊装方法时,应全面分析比较各方面的具体条件,拟定数种吊装方案,进行比较和论证,从中优选最佳方案。

笔者以自己的工作实践为基础,结合书籍、刊物上的有关资料,将罐类设备的吊装方法归纳如表 3-14,供读者参阅选用。

(三) 正装法和倒装法

正装和倒装是指对构成设备各部分的吊装顺序,对贮罐而言,在安装完罐底板以后,若先安筒壁的下层壁板,然后依次向上接高,最后吊装罐顶,则称正装法。相反,若先安顶盖和最上层壁板,吊升后,再在地面上连接下面的壁板,从上到下依次连接壁板直至完成筒壁吊装,最后完成底板和筒壁的连接,此法则称倒装法。

正装法和倒装法相比较,后者的特点是在地面作业,很少高处施工,这对达到安全施工,确保工程质量,提高工作效率都十分有利。但倒装法需要有比正装法多许多倍的吊升力。有的倒装法还需要采取较多的辅助措施。正装和倒装同一事物一样,有利有弊,应视多种具体因素,权衡选用。

表 3-14 立式罐类设备吊装方法选择

方法	罐型	固定顶罐		浮顶罐	螺旋导航气柜		干式气柜	双层贮罐		啤酒发酵罐	
		小型	大型		水槽	塔节		外层	内层		
自行式起重分段正装		○									
自行式起重机械分段正装			○			○					
罐外立柱杆正装		○									
中心柱提升倒装		○									
罐内立柱多桅杆倒装			○			○					○
罐外立柱多桅杆倒装			○			○					○
液床千斤顶提升倒装			○								
充气顶升倒装		○									○
水浮法正装						○					
水浮法倒装						○					
龙门架整体吊装											○
龙门架分段倒装											○
自行式起重机械整体吊装		○									○

注:○为较常用的吊装方法。

四、用吊车、桅杆正装法

(一) 小型贮罐分段正装

小型贮罐,因其直径较小,组成筒圈后具有一定的刚度,可在地面上按吊装设备的起升能力,将筒壁制成数个圆圈筒段,为防止筒圈变形,可用十字形吊梁方法吊装,如图3-92a所示。如为有盖贮罐就最后吊装罐盖。吊装机械可用吊车,也可用具有悬臂的桅杆。

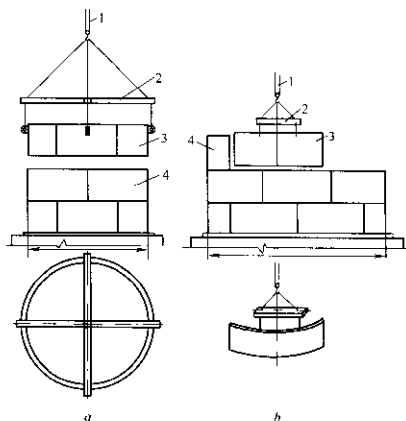


图3-92 贮罐正装法示意图

1—吊钩(或滑轮组);2—吊梁;3—筒段;4—已安筒壁

热风炉亦可用此种方法吊装。

(二) 大型贮罐分块正装

大型贮罐,因其直径较大,受起吊机械工作幅度的制约,加之若组成圆圈其刚度差,易变形,其圆度亦难控制。故一般常采取分块方法吊装,如图3-92b所示。为保持已卷成圆弧状壁板块的曲率,可用图示吊梁的方法。若为有盖贮罐,最后仍成散件吊装罐盖,在罐上就地组装。此种方法,最好用吊车吊装。如贮罐四周有场地,吊车能在罐四周绕行,则更能发挥吊车机动灵活的特性。若用具有悬臂的桅杆为吊装机具,则需设立数个桅杆。

此种吊装方法也常用于湿式煤气柜水槽和塔节的吊装,在组装罐顶时,需在罐内设立中心支架。

五、用桅杆倒装法

(一) 中心柱提升倒装法

此方法是在罐底板中心处直立一钢管制成的桅杆,其钢管规格可按罐大小选用,一般吊容积为 1000m^3 的贮罐可选用 $\Phi 273\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的无缝钢管;吊容积小于 1000m^3 的贮罐选用 $\Phi 219\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的无缝钢管;吊容积为 2000m^3 的贮罐选用 $\Phi 325\text{mm} \times 12\text{mm}$ 的无缝钢管。中心柱要分成数节,用法兰和螺栓连成整体,以便于从吊装完毕的罐中拆出,如图3-93所示。因此倒装法吊点设于罐顶中心部位,由罐顶带起全部壁板的重量,因而罐顶吊点处受力很大,必须采取相应的方法:1)伞形架法。此法如图3-93所示,在罐顶板下部设伞形

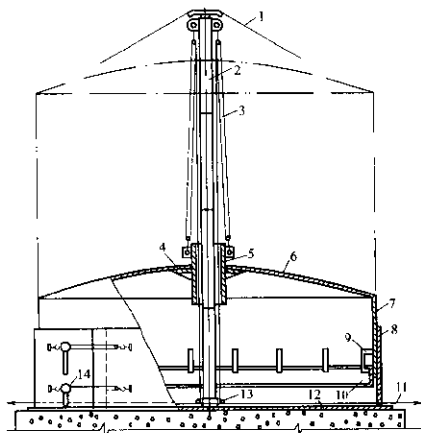


图 3-93 中心柱倒装贮罐示意图

1—钢丝绳；2—钢管桅杆；3—滑车组；4—伞架；5—套管；6—顶盖；7—下层罐壁；
8—待装罐壁；9—柱板；10—胀圈；11—牵引绳；12—底板；13—导向滑车；14—手拉葫芦

架,其外径可视罐容积大小在 1000~2500mm 之间选用。伞形架内圆焊在套管上。2) 辐射拉筋法。此法是用十数对呈辐射状布置的拉筋,均布于罐顶,一端连于中心套管上,另一端连接于罐顶角钢圈。两套滑车组下吊点在套管上,牵引绳经桅杆底部导向滑车引至罐外,由卷扬机牵引吊装。

中心柱提升倒装法的吊装顺序是:

- (1) 底板铺设,立中心柱等吊装机具;
- (2) 组装罐顶和最上一带壁板;
- (3) 安装胀圈和挂板,若壁板用对接方式焊接,胀圈在图示位置,即胀圈一半露于壁板下沿,则可方便对接。若壁板为搭接,则胀圈可收进上层壁板之中;
- (4) 将上数第二带壁板围在第一带壁板之外,留有 1~2 个活口,并用手拉葫芦适当收紧;
- (5) 吊升罐顶和第一带壁板至适当高度;
- (6) 连接第一和第二带壁板;
- (7) 重复(3)~(5)的吊装工序,直至吊完全部壁板;
- (8) 连接最下层壁板和底板;
- (9) 拆除中心柱等吊装工具。

中心柱提升倒装法多用于吊装罐容积在 2000m³ 以下的中、小型贮罐。但也有用此法吊装上万立方米贮罐的实例。

(二) 罐内立多桅杆倒装法

多桅杆倒装法,是在罐内距罐壁适当距离处的同一个圆周上均布若干个小桅杆,以多点承重的方式倒装贮罐的一种方法。其特点是用多套相同的小机具完成大载荷的吊装,如图

3-94-1所示。小桅杆一般用钢管制作,为了承重和稳定其后向设拉绳,两侧向设支撑。用手拉葫芦、电动葫芦、挂滑车组以卷扬机牵引等为提升机具,它们上挂桅杆吊耳,下吊挂板。桅杆的个数及其承载能力,应根据最大载荷确定;其高度一般为1.5~2倍壁板的节高,如图3-94-2所示。亦可用罐内立多个人字桅杆的方法倒装贮罐。人字桅杆较独脚桅杆稳定,其承重可大些。

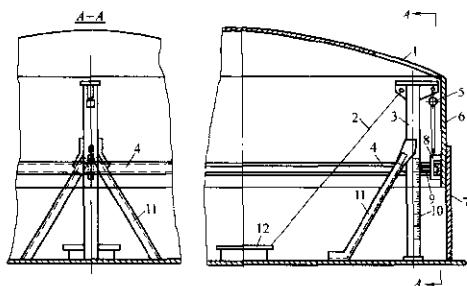


图 3-94-1 罐内立多桅杆倒装法示意图

1—罐顶洞口;2—拉绳;3—桅杆;4—胀圈;5—手拉葫芦;6—第一带壁板;
7—待装壁板;8—拼板;9—指针;10—刻度;11—角钢支撑;12—中心锚柱

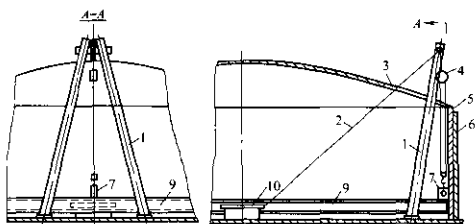


图 3-94-2 罐内立多个人字桅杆倒装法示意图

1—人字桅杆;2—拉绳;3—罐顶洞口;4—手拉葫芦;5—最上带壁板;
6—待装壁板;7—吊耳板;8—底板;9—胀圈;10—锚柱

罐内立多桅杆倒装法的吊装顺序和步骤是:

- (1) 底板铺设;
- (2) 设立桅杆等吊升机具;
- (3) 组装最上一带壁板和罐顶,在桅杆处顶板留洞;
- (4) 安装胀圈和挂板,若壁板为搭接方式连接,可按图示方法安装;如为对接,胀圈下滑后,一半宽度露出壁板下沿,使胀圈成为对接的靠模;
- (5) 把上数第二带壁板围在第一带壁板之外,视罐直径大小,留下数个活口,其间以手拉葫芦适当收紧;
- (6) 吊升罐顶和第一带壁板至适当高度。为使罐壁呈铅垂状态,各吊点能同步均匀上

升,可在胀圈上装一指针,在桅杆表面划上以底板为基准的高度格线,按各桅杆处指针的位置不同,随时调整各点高度,始终使其趋向一致;

- (7) 连接二带壁板;
- (8) 重复(4)~(6)的吊装步骤,直至吊完全部壁板;
- (9) 连接最下一带壁板和底板;
- (10) 拆除桅杆等吊装工具。

罐内立多桅杆倒装法适用于各种贮罐倒装施工,如用于固定顶贮罐、煤气柜、双层贮罐内层壁等。此种吊升方法简便、安全、可靠。其不足处是需用较多的施工人员,且劳动强度也较大。

(三) 罐外立多桅杆倒装法

此方法是在罐外距罐壁适当距离的同一个圆周上均布若干个桅杆,以多点承重的方式倒装贮罐的一种方法,其特点是用多套相同的机具完成大载荷的吊装,如图 3-95 所示。桅杆可用钢管制作,用缆风绳扶正直立。以手拉葫芦、电动葫芦、挂滑车组用卷扬机牵引等为提升机具,它们上挂桅杆吊耳,下连吊耳板。桅杆高度 H 以 2.5~3 倍一带壁板高度为宜。桅杆的个数及其承载能力,应以最大载荷为依据经计算确定。若用于吊装气柜,则桅杆数量可与外导轨数量相同,但桅杆间距不大于 8m 为宜。

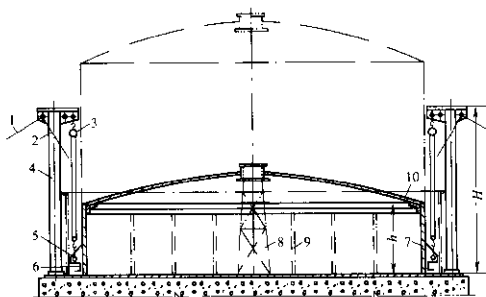


图 3-95 罐外立多桅杆倒装法示意图

- 1—缆风绳;2—平衡缆风绳;3—手拉葫芦;4—桅杆;5—吊耳板;
6—挂圈;7—壁板;8—支承架;9—临时支柱;10—顶板

罐外立多桅杆倒装法的吊装顺序和步骤是:

- (1) 铺设底板;
- (2) 设立桅杆等吊升机具;
- (3) 以临时支承架和临时立柱为支撑组装罐顶和最上一带壁板;
- (4) 吊升罐顶和最上一带壁板至适当高度;
- (5) 围装上数第二带壁板并与第一带连接;
- (6) 移挂圈至第二带壁板下部,并焊接吊耳板;
- (7) 吊升罐顶和最上两带壁板至适当高度;

(8) 重复(5)~(7)的吊升步骤,直至吊完各带壁板;

(9) 进行底板和最下一带壁板的连接;

(10) 拆除桅杆等吊装机具。

罐外立多桅杆倒装法常用于吊装直立式气柜和双层贮罐的外层罐壁,也可用于螺旋导轨气柜水槽的吊装。

六、充气顶升倒装法

充气顶升倒装法已广泛用于大、中型拱顶贮罐的吊装,并在许多施工单位长期、大量的顶升实践中得以改进和完善。至今,已达工艺成熟、方法多样、安全可靠、经济合理的至臻程度。

(一) 充气顶升原理

利用封顶罐在采取密封措施以后,可形成密闭空间的结构特点,用鼓风机设备向此密闭空间强制送入大风量低压力的空气,在空气总浮升力大于罐体重量和动与不动壁板间的摩擦阻力后,罐体必然会顶升而上浮,至要求的高度。其实,充气顶升法的工作原理,酷似多塔气柜的工作过程。

(二) 方法特点

- (1) 无高处作业,安全可靠,工作效率高;
- (2) 工艺成熟,方法简单,操作方便;
- (3) 不需大型吊装机具;
- (4) 措施材料耗量小,均需一般材质和常用规格,易于得到;
- (5) 施工进度快、质量好、经济合理。
- (6) 需用装置较多;
- (7) 若遇停电易发生安全事故。

(三) 充气顶升法的主要装置及其选用

充气顶升法的主要装置由鼓风机装置、密封装置、稳升装置、限位装置、收紧装置、定型装置、固定装置、通讯和照明装置等组成,如图3-96所示。

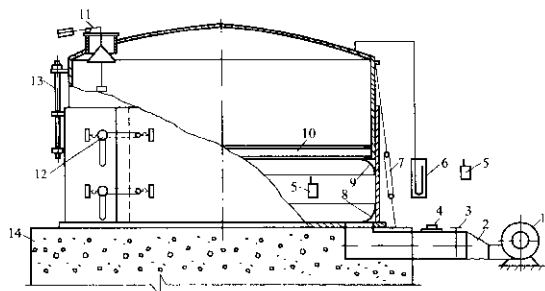


图 3-96 充气顶升法主要装置构成示意图

1—风帆;2—软接管;3—插板;4—人孔;5—对讲机;6—U形测压计;7—稳升装置;

8—固定密封;9—活动密封;10—胀圈;11—放气装置;12—收紧装置;13—限位装置;14—基础

1. 鼓风装置

鼓风装置由风机、风管(风道)、软接管、风量调节插板、人孔等组成。风道口开在罐底板处。风机的风压、风量计算及其选择如下:

(1) 风压

在理论上风压应按式(3-25)计算:

$$P = \frac{W + q + F}{A} \quad (3-25)$$

式中 P —— 风压, kPa;

W —— 顶升的罐体重量, kN;

q —— 需随罐浮升装置的重置, kN;

A —— 顶升面积, 取罐的铅垂投影面积, m^2 ,

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

D —— 罐内径, m;

F —— 动与不动壁板间的摩擦阻力, kN。

因动与不动壁板间的摩擦阻力 F 与外层壁板的收紧程度、罐体壁板的椭圆度和粗糙程度等因素有关, 难于准确计算。因此, 常按以下经验公式计算风压:

$$P = (1.15 \sim 1.2) \frac{W + q}{A}$$

(2) 风量

理论上应按下式计算平均有效风量:

$$Q = \frac{P_b \cdot V_b - P_a \cdot V_a}{P_a \cdot T} \quad (3-26)$$

式中 Q —— 平均有效风量, m^3/h ;

P_a —— 顶升前风压, kPa;

P_b —— 顶升后风压, kPa;

V_a —— 顶升前罐体容积, m^3 ;

V_b —— 顶升后罐体容积, m^3 ;

T —— 每带壁板顶升时间, 一般在 $T = 10 \sim 40min$ 之间选取。

实际上, 因密封装置较简易, 外带壁板留有活口等原因, 致使风量漏损很严重。一般, 风量安全系数 $K = 4 \sim 5$, 即风机最大风量应为理论计算风量的 $4 \sim 5$ 倍。

$$Q_{max} = KQ \quad (3-27)$$

式中 Q_{max} —— 风机最大风量, m^3/h ;

K —— 风量安全系数, $K = 4 \sim 5$;

Q —— 平均有效风量, m^3/h 。

在具体选择风机时, 可根据具体情况用一台或几台风机作为充气顶升用。若用一台风机风量不足, 则可用相同风压的两台风机并联送风。此举措在大型贮罐顶升中尤有其优越性, 可缩短最后几带壁板的顶升时间。

2. 密封装置及其安装

如图 3-96 所示,用厚度 2~3mm 薄橡胶板为密封材料。壁板与底板间的角形环缝,用宽度 300~400mm 的橡胶板沿环缝围贴,其多块橡胶板的接头搭接长度为 400mm 左右。并用扁钢等材料将橡胶板水平边压在底板上。上、下壁板间的环缝用 350~450mm 宽的橡胶板密封,可用扁钢和卡具将其卡在胀圈上,为确保橡胶板能跟随胀圈一起向上滑动,其卡具间距在 400~450mm 为宜。另外,壁板活口缝亦用橡胶板密封。在顶升过程中,如有局部漏风处也可用密封填料、破布或黄泥等封堵,还可用塑料布沾水贴紧盖住。

3. 稳升装置的类型及设置

稳升装置亦称平衡装置,其作用是保证悬浮上升的罐体自始至终保持平衡和稳定,不致发生倾斜,甚至倾覆。

稳升装置有自动平衡和手工平衡两类多种。自动平衡类有滚轮导轨式、立柱滑轮式和同步牵引式;手工平衡类有罐内挂若干个手拉葫芦和罐外挂若干个手拉葫芦等方法。

(1) 立柱滑轮式自动平衡装置

此种平衡装置是根据绘图平行尺的原理设计的,在罐体浮升中,可以自动保持罐体平衡。如图 3-97 所示,它由立柱、滑轮组、平衡用钢丝绳以及索具螺旋扣组成。每组平衡立柱对称罐底中心焊在罐底板上。第一根平衡绳始端固定于 A 点,并沿 B、C、D、E 顺序穿绕于各滑轮间,终端固定于 F 点;第二根平衡绳始端固定于 a 点,并沿 b、c、d、e 顺序穿绕于各滑轮间,终端固定于 f 点。在安装平衡装置时要使各组平衡绳的松紧度基本一致,并使 A、B、a、b 和 E、F、e、f 4 点分别在一条铅垂线上。

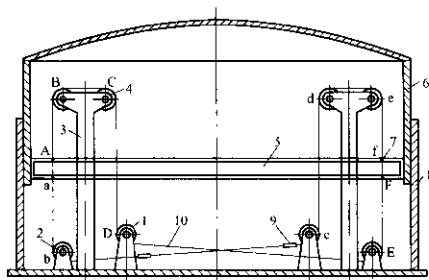


图 3-97 立柱滑轮式自动平衡装置

1—里侧下滑轮;2—外侧下滑轮;3—立柱;4—上滑轮;5—胀圈;

6—上带壁板;7—平衡绳与胀圈上连接点;8—下带壁板;9—索具螺旋扣;10—平衡钢丝绳

自动平衡装置的组数应根据罐直径大小确定。一般按以下经验公式计算求得:

$$n = \frac{\pi D}{2 \times 8} \quad (3-28)$$

式中 D ——贮罐直径, m;

8 ——间隔距离, m;

平衡钢丝绳的直径按下式计算出其受力后,再从钢丝绳的性能表中选取:

$$f = \frac{K_1 K_2 (PA - W)}{n\eta} \quad (3-29)$$

- 式中 f ——平衡钢丝绳受力, kN;
 K_1 ——上、下带板间摩擦系数, 可取 $K_1 = 1.25 \sim 1.4$;
 K_2 ——安全系数, 可取 $K_2 = 5$;
 P ——计算最大风压, kPa;
 A ——浮升层罐的截面积, m^2 ;
 W ——最大顶上层重量, kN;
 n ——平衡钢丝绳组数;
 η ——导向轮系统机械效率, 可取 $\eta = 0.8 \sim 0.85$ 。

(2) 导轨式稳升(平衡)装置

导轨式稳升装置由某化学建设公司研制成功后, 已成功用于容积 3 万 m^3 浮顶贮罐的施工中。如图 3-98 所示, 导轨式稳升装置由立柱和上、下导轮组成。立柱垂直焊在罐内底板上, 上导轮装于立柱上端, 下导轮装在胀圈上。在罐体向上浮升时, 上导轮以罐内壁为导轨; 下导轮则以立柱为导轨, 并随顶升而上移, 从而起平衡和稳升作用。此种稳升装置较之钢丝绳类柔性稳升装置有较大的刚性, 在控制罐体椭圆度上有其优越性。

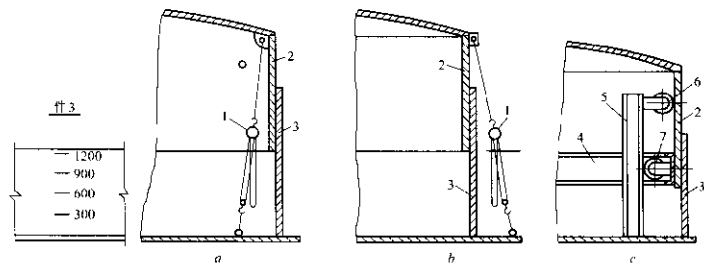


图 3-98 平衡装置示意图

1—手拉葫芦; 2—罐体; 3—下罐体; 4—胀圈; 5—立柱; 6—上导轮; 7—下导轮

立柱的组数视贮罐直径大小而定, 一般为偶数, 在罐的直径上对称布置, 最少不应少于 4 组(8 根立柱)。

(3) 手拉葫芦平衡法

此方法是在罐内或罐外设置多个手拉葫芦, 随着罐体浮升, 各手拉葫芦同步放松, 如图 3-98a 所示为罐内设手拉葫芦平衡法, 图 3-98b 为罐外设手拉葫芦平衡法。为保证罐体能平稳、均匀上升, 应根据在浮升壁板外面划出的格线, 随时调节罐的平衡, 保持罐体垂直上升, 不发生倾斜。此种平衡法的手拉葫芦兼起浮升限位作用。

手拉葫芦的数量应根据罐的直径大小而定, 一般在 4、6、8、12 等偶数中选用。在大型贮罐顶升时也可按以下经验公式计算所需手拉葫芦的数量。

所需最大平衡力:

$$N = PF \quad (\text{kN}) \quad (3-30)$$

式中 N ——所需最大平衡力, kN;

P ——超压压力, MPa; 取 $P = 1.2 P_{\max}$ (P_{\max} ——顶升中的最大工作压力);

F ——罐顶铅垂投影面积, m^2 ;

根据平衡力, 选择手拉葫芦的数量和额定起重量。

$$n = \frac{N}{N_0} \quad (3-31)$$

式中 N ——所需最大平衡力, kN ;

N_0 ——每个手拉葫芦的额定起重量, kN ;

n ——手拉葫芦的数量, 个。

4. 限位装置

限位装置用于控制顶升行程, 使罐体在顶升到限定位置时, 能停止在预定的高度, 防止罐体倾斜或“冒顶”。常用在罐壁上等距离设置若干个限位拉杆的方法达到限位的目的。如图 3-99 所示, 限位尺寸 L 应通过计算求得, 并需精确地调节量, 减少误差。限位尺寸 L

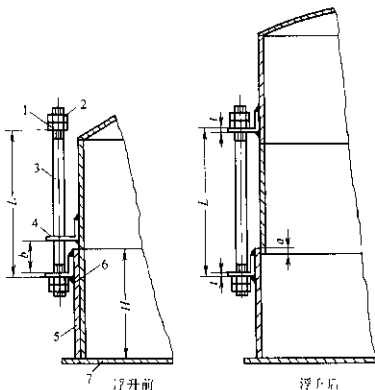


图 3-99 一般常用的限位装置

1—螺母; 2—锁紧螺母; 3—限位拉杆; 4—限位挡架; 5—下层壁板; 6—待升壁板; 7—罐底板

可用式(3-32)计算:

$$L = H - a + b + 2t \quad (3-32)$$

式中 L ——限位尺寸, mm ;

H ——下层壁板高度, mm ;

a ——上、下两层壁板的搭接长度, mm ; 如为对接, $a = 0$;

b ——两限位挡架之间的距离, mm ;

t ——限位挡架的厚度, mm 。

限位拉杆的根数可根据贮罐容积的大小, 在 8、12、16、20 根中选定, 一般两端的螺纹直径在 M16 ~ M30 之间。

选定拉杆根数和直径之后, 应以下列方法验算其强度值:

$$\sigma = \frac{N}{nf} \leq [\sigma]$$

式中 σ ——拉杆内的拉应力, N/mm^2 ;
 N ——所需最大起升力, N ;
 n ——限位拉杆根数;
 f ——每根限位拉杆截面积, mm^2 ;
 $[\sigma]$ ——限位拉杆材质的容许应力, N/mm^2 , 查附录七。

5. 收紧装置

因充气顶升法工艺要求, 在已装壁板外侧围装下带壁板。其直径必然会略大。同时下带壁板围成的板带也需成为密闭空间。因此需视罐直径大小, 留下 2~4 条立缝不焊, 并适当搭接, 作为“活口”。在充气顶升前需用收紧装置把活口两边的壁板适度拉紧。一般用手拉葫芦(每个活口处用 2~3 只)作收紧装置。因在顶升时罐内有压力, 加之罐体的倾斜, 使活口处受力较大, 选用手拉葫芦时需进行核算。

当留有两个活口时:

$$2N = 2RHP \quad (3-33)$$

式中 N ——活口处受力, kN ;
 R ——罐半径, m ;
 H ——罐带板高度, m ;
 P ——罐内最大风压, kPa 。

如每个活口有两只手拉葫芦, 则每个手拉葫芦的受力为 $1/2N$, 可根据其大小选择手拉葫芦的额定起重量。

6. 定型装置

为增加板带的环向强度, 防止变形。需用槽钢、工字钢 制成环状胀圈, 装于板带下部。为便于装卸, 通常将胀圈分成多段, 在安装时用千斤顶撑紧。

7. 固定装置

为防止在浮升时, 因摩擦力较大, 而将外围板带也带起, 一般需在外围板下部边缘处均布多组固定装置。

8. 排风装置

常用的排风装置有重锤式和滑轮式两种, 装设排风装置的目的是: (1) 快速排除罐内有压空气, 以提高工作效率; (2) 在紧急情况下用其控制风压; (3) 为罐内施工人员通风、透光。

9. 照明装置

照明电源引入罐内, 应在罐底板铺设前预埋穿线套管。并用安全电压灯具照明。

10. 通讯装置

因充气顶升法需要的压强很低, 一般只有数百毫米水柱的大小。在顶升时罐内必须有施工人员工作, 因此, 罐内外间应有通讯设备联系。可用声、光信号, 电话和对讲机等作为通讯工具。

11. 测压装置

以装水的 U 形压力计为测压装置。

(四) 壁板对接焊贮罐的充气顶升倒装法

内浮顶罐和有的拱顶罐设计成壁板以对接焊方式连接。这给充气顶升倒装法施工增加了一定的难度。为解决这一问题, 我国有些安装企业通过大量的实践, 试用了一些方法, 如

内模法、胀圈下移法、销板定位法和胀模法等。

1. 内模法(图 3-100a)

内模法的工作要点是:(1)在底板上设一带内模,其外径小于罐内径 10~20mm,高度较壁板带大 200mm 左右,厚度 8~12mm,内模段焊在底板上;(2)在内模外距底板高 500mm 左右处焊若干个支腿,在其上组装最上一带壁板和罐顶;也可正装两带壁板再焊罐顶;(3)充气顶升至适当高度割掉支腿;(4)围装第二带壁板;(5)顶升到位,以内模为胎进行两带壁板的对接。此方法有顶升平稳安全、施工快捷、密封装置只需安装一次、若内模有足够的厚度可不再设胀圈等优点,但内模材料耗量大、拆除又较困难为其美中不足。

2. 胀圈下移法(图 3-100b)

胀圈下移法的工作要点是:(1)在底板上组装最上一带壁板和顶板;(2)在第一带壁板外围装第二带壁板;(3)以相邻约 2m 的间隔焊上钩挂胀圈的挂板;(4)充气顶升,胀圈靠自重下落,达其高度的一半后,停挂在挂板上;(5)迅速顶紧胀圈,并安装上下密封装置;(6)充气顶升到位,收紧围板,上下壁板均以胀圈为靠模进行对接。此方法的上、下密封装置需多次安装,挂板和胀圈亦需多次拆装,此方法用料较少、施工安全较好。

3. 销板定位法(图 3-100c)

销板定位法的工作要点是:(1)在底板上组装最上一带壁板和罐顶;(2)在第一带壁板外围装第二带壁板;(3)在内层壁板距底边高 150mm 左右处焊一圈带槽的圆弧板,槽距 1m 左右;(4)充气顶升后,在圆弧板槽内装上带耳销板,并打入楔铁固定;(5)顶升到位后,收紧围板,上下壁板均以销板为挡块施行对接。此方法的上、下密封装置需多次安装,圆弧板可用边角料制作,且其量比胀圈少,销板和楔铁可重复使用,此方法用料少、操作简便、经济合理、施工安全。

4. 胀模法

胀模法是内模法的改进型,以

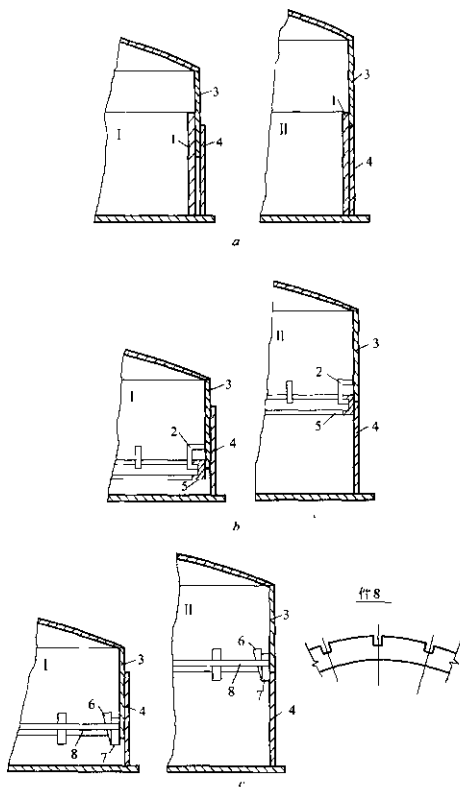


图 3-100 壁板对接方法示意图

1—内模;2—挂板;3—最上层壁板带;4—第二带壁板;5—胀圈;
6—楔铁;7—销板;8—圆弧板

最下一带壁板为内模。其目的是节省措施用料。

胀模法的工作要点是:(1)在底板上装最下一带壁板,若高度不够,其上沿加一圈;(2)在壁板外,距底板500mm左右高度处焊若干个支腿,在其上组装最上一带壁板和罐顶,也可止装两带壁板再焊罐顶;(3)安装上下密封;(4)充气顶升至适当高度割去支腿;(5)围装下一带壁板;(6)顶升到位,以最下一带壁板为内模进行对接;(7)当下面第二带顶升到位后,在最下一带壁板外焊若干个支撑,打开活口,借助罐内风压和底部千斤顶或铁楔将第一带壁板直径顶大,进行最后一个环缝的对接。

(五) 以内浮盘为底的充气倒装法

如图3-101所示,当罐体安装达到充气程度以后,将浮盘固定在高度2m左右处,浮盘与罐壁间用橡胶板密封,接风道于浮盘人孔处,这样浮盘与罐顶间就形成了密封空间,达到了充气顶升的条件。此方法罐壁的对口作业在浮盘以下进行。

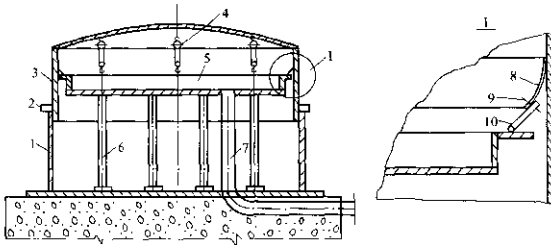


图3-101 以内浮盘为底充气倒装法

1—壁板;2—支撑架;3—最上一带壁板;4—手拉葫芦;5—浮盘;
6—支架;7—送风道;8—橡胶板;9—螺栓和压板;10—铆接钢板

以内浮盘为底充气倒装法的工作要点是:(1)铺设罐底板;(2)在底板上搭设高度1m左右的支架,在其上组装浮盘;(3)组装最上一带壁板和罐顶;(4)在第一带壁板外再围上第二带壁板;(5)充气顶升至第二带板上口约100mm处,在上带壁板上沿圆周焊多个支撑,使上罐体支撑在围板上;(6)用多个手拉葫芦上挂罐顶,下吊浮盘,将浮盘提升至2m以上的高度,接高支架并固定;(7)安装浮盘外缘和罐壁间的密封装置;(8)充气顶升倒装,到位后收紧围板,用内、外两侧限位板完成壁板对接。继之,逐带壁板倒装至全部壁板安装完毕。

此方法有易保证内浮顶组装质量,减少密封装置装拆次数,改善施焊环境,提高施工效率和能达到安全施工等优点。其不足是内浮盘支架等措施用料较多。

(六) 充气顶升法施工易出现的问题及其对策

1. 罐体浮升不起

虽然风机向罐体内鼓入最大的风量,但罐体仍然浮升不起来,出现此问题的原因及解决方法是:(1)选用的风机不够大。此现象易出现在顶升后期,原因是罐体质量增大后,风机的风量和风压显得不足。如前述,所需风量应为风机最大风量的5倍左右,而所需风压至少为计算风压的1.25倍以上。此问题可用更换大些的风机解决。若风压够,仅风量不足,也可采用在原风机旁再并联第二台风机的方法进行解决;(2)密封不良,风泄漏得过多。需检查各密封部位:看密封橡胶板铺设是否平整贴实;罐底板留为伸缩用的未焊焊缝,缝隙应尽

量小,必要时用塑料薄膜沾水封贴;底板四周与基础之间的接缝处、风道入口等处均应用沥青和水泥砂浆封堵等。(3) 收紧装置收得过紧。从而使动与不动壁板间缝隙过小,摩擦力过大。对此问题,应先检查焊缝,若过分凸出,应用砂轮磨平。在操作上,刚浮升时收紧装置可松些,随着浮升再适度收紧。(4) 有杂物卡滞。在动与不动壁板间嵌有焊条、木板、铁件、破布、小工具和小石子等,也会影响罐体的正常浮升。因此,施工时要防止以上杂物进入,若已嵌入,则设法取出。

2. 罐体突然坠落

罐体在浮升中突然发生坠落的原因可能是:(1) 大面积密封橡胶板脱落。从而大量漏风,致使罐体急速下落。这可造成罐体变形,严重时损坏罐体。要精心安装密封橡胶板,特别是底板和下壁板间的环缝,所用橡胶板必须用重物压挡住。上下两带壁板间的密封橡胶板因要随罐的浮升而向上滑动,就更应仔细安装,牢固地装卡在胀圈上。(2) 壁板“活口”处收紧装置脱落。活口被吹开,造成大量漏风。应注意将手拉葫芦钩挂的连接板焊牢,选用足够大的手拉葫芦。

3. 罐体不垂直

罐体在浮升中倾斜,不呈铅垂状态。可能是由于以下原因引起:(1) 各限位装置的限位尺寸没调成一致。在罐体限位尺寸偏小处,则罐体偏低,反之,大处则偏高,从而造成罐体倾斜。此问题可通过把全部限位装置的限位尺寸调成一致的方法加以解决;(2) 限位尺寸变化。可能因振动等原因,在罐体浮升中限位尺寸产生了变化。限位拉杆必须有锁紧螺母,并应拧紧;(3) 进风量操作不当。当顶升接近结束时,应用风机插板阀控制进风量达到适当的程度。若风量仍很大,会把个别限位装置顶坏,造成罐体倾斜。若风量偏小,浮升力不足以平衡罐体的重量,在点焊的过程中,会出现先点焊处罐体高,后点焊处罐体低,从而造成罐体偏斜。

4. 罐体浮升不平衡

可能由以下原因引起:(1) 自动平衡装置功能差,达不到自动平衡的目的;(2) 若用多个手拉葫芦作平衡装置,会因其放松动作不同步而造成罐体浮升不平衡;(3) 沿罐体圆周两层壁板间摩擦不均。摩擦力大的部位罐体浮升会慢,致使罐体浮升不平衡。应尽量减少壁板的椭圆度,使两层壁板间缝隙均匀。磨平罐体上凸出的焊肉和工具性焊件的焊肉,避免局部产生过大的摩擦阻力;(4) 漏风不均。在局部漏风大的部位,罐体浮升会慢些,致使罐体不平衡。应认真安装密封装置,使其工作可靠,并在浮升过程中随时检查其密封功能,排除发生的故障;(5) 重物分布不均。主要是罐顶四周的重物(如吊装工具、爬梯、施工人员等),不对称分布会引起罐体浮升不平衡。应尽量做到重物对称布置,如难于做到,也可用增加配重的方法来达到平衡。

5. 罐体在浮升过程中倾翻

罐体倾翻,亦称冒顶,是已浮升的罐体发生倾翻,呈倾斜状卡滞在下层壁板之间,如图3-102所示。冒顶是充气顶升法的恶性事故,会造成罐体的严重损坏,并且修复困难,还必然造成重大经济损失,因此应避免这种事故的发生。产生冒顶的主要原因有:(1) 限位装置强度不够,多个被拉坏。一种原因是限位拉杆直径过小,根数不够而被拉断;另一原因是限位挡架不够大或没同罐壁焊牢而被拉脱。为防止此种情况产生,在选用限位装置的数量、限位拉杆的直径时,均应通过强度核算后决定。且挡架要有足够大,还需将其牢固地焊在壁板上;(2) 限位尺寸设置过大,失去限位作用。因限位尺寸计算不准,或计算虽然准确,但安装

误差过大,致使限位尺寸大于下一层壁板的高度而失去限位作用。应强调限位尺寸必须通过计算求得,并精确安装在二带罐壁之间;(3) 进风阀开得过大,使浮升速度过快。因浮升过快,使限位装置承受冲击而损坏。避免的方法是控制进风量,使浮升速度在 $120 \sim 180\text{mm}/\text{min}$ 之间为宜。当罐体将接近预定的浮升位置时,应逐渐减少进风量,把浮升速度降至 $5 \sim 6\text{mm}/\text{min}$,使限位装置平缓受力。(4) 突然停电、风机故障或因意外原因关闭风阀。当罐体已浮升到位,正进行上、下带壁板点焊作业时,如发生停电、风机停转、阀门关闭等事故之一,均可导致罐体倾翻事故。避免发生此种事故的最有效办法是在胀圈和底板之间加若干个保护柱,图 3-103 为某 3000m^3 油罐的保护装置,起安全保险作用。此外,施工电源应稳定可靠,并设专人监护,防止意外事故发生;(5) 点焊强度不够。点焊作业结束后,如其强度不

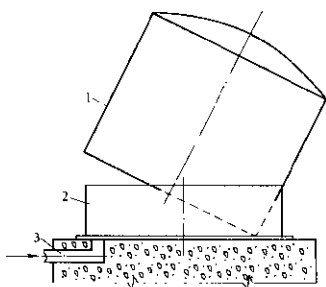
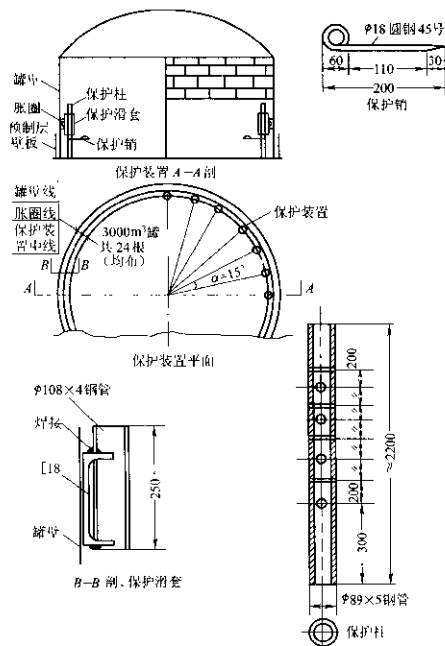


图 3-102 罐体倾翻示意图

1—浮升的罐体;2—下一带壁板;3—风管

图 3-103 3000m^3 油罐防罐体坠落保护装置

够,会在停风后因罐自重撕裂焊缝,造成罐体倾斜,严重时也会发生冒顶事故。可适当加长点焊长度和缩短点焊间距,必要时再增加若干段段焊即可安全无虑。

由以上叙述可见,用气顶法有较多的因素会危及施工安全,特别是有的突发性因素,其危险性就更大。在充气顶升中,贮罐倾翻事故不乏其例。因此,必须精心施工,加强安全防护措施,防患于未然。

(七) 干式气柜充气顶升倒装法

干式气柜一般采用充气顶升倒装法施工,但是它同普通拱顶贮罐所采用气顶法又有所差异,这是因为干式气柜内有浮升活塞可以利用,加之其罐壁的结构亦不同。其充气顶升法的施工方法和步骤(图3-104)如下:

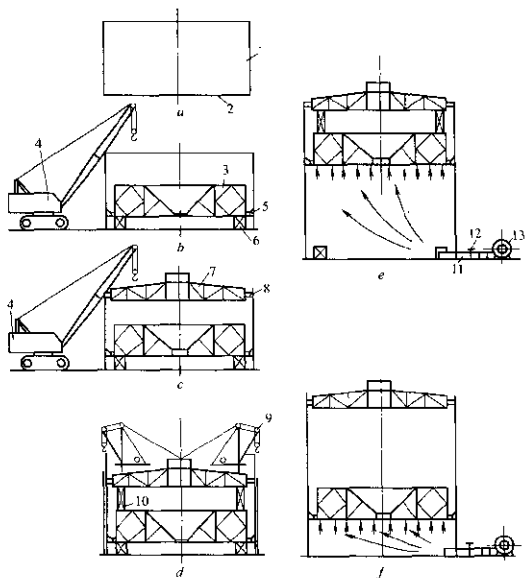


图3-104 干式气柜充气顶升倒装法示意图

1—罐壁;2—罐底;3—活塞;4—吊车;5—密封装置;6—垫木;7—顶盖;
8—顶盖固定处;9—回转小吊车;10—支承钢架;11—风道;12—插板;13—风机

- (1) 铺设罐底,立第一段立柱(图3-104a);
- (2) 安装底层侧板、活塞和密封装置(图3-104b);
- (3) 安装顶盖和换气设备(图3-104c),以上吊装用吊车进行;
- (4) 用支承钢架把顶盖支撑在活塞上,并在顶盖上安装若干个回转小吊车(图3-104d);
- (5) 用风机向活塞下面送入空气,则活塞和顶盖沿侧板上升,至一定高度后将活塞和顶盖固定在立柱上;
- (6) 用柜顶小吊车安装侧板等。这样一层一层的向上组装并顶升至安装完毕;

- (7) 最后将顶盖固定在立柱上,拆下支承钢架,放下活塞;
- (8) 重新调好密封装置,用工作气压进行活塞的升降试验。

七、水浮法

水浮法是利用浮顶的浮力为吊升力而进行罐体吊升和组装的一种施工方法,因其施工程序不同又分水浮正装法和水浮倒装法两类。水浮法多用于浮顶贮罐的施工。

(一) 水浮正装法

水浮正装法是以贮罐最下一带壁板和罐底为水槽,以浮顶为罐内操作平台,自下而上逐带接高壁板的一种施工方法,此方法的特点是:(1)利用浮顶为内操作平台,免除脚手架的搭设和拆除;(2)贮罐的抗风结构可兼作罐外工作平台,可节省施工用料;(3)以浮顶为罐内操作平台,其作业面宽大又安全;(4)由于水是分多次充入罐内,基础的载荷是逐级增加的,从而有利于罐基础的均匀沉降;(5)浮升载荷小,而用水量大。

水浮正装法的施工程序和步骤是:

- (1) 铺设罐底板,铺装单盘板;
- (2) 组装最下一带壁板,组焊船舱;
- (3) 安装充水和排水管道及装设水泵等;
- (4) 充水,用水浮法连接单盘板和船舱成浮顶;
- (5) 装设单轨电动旋转吊车,如图 3-105 所示,由卷扬机吊装,用电动机驱动旋转的吊车,可沿铺设在船舱上的轨道旋转 360°。如用吊车作吊装机械则可免设这种吊装工具。

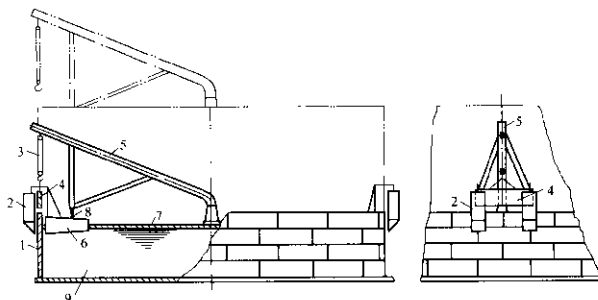


图 3-105 水浮正装法

- 1—罐壁;2—环形外平台;3—吊升滑轮组;4—吊装中的壁板块;
5—单轨电动旋转吊车;6—船舱;7—单盘;8—环形轨道;9—水

- (6) 装设多个立柱和外平台;
- (7) 当罐内充水至预定的高度后,用吊车或单轨旋转吊车逐段组装第二带壁板;
- (8) 用重复充水—浮升—组装下一带壁板的方法直至将壁板全部组装完毕;
- (9) 拆除平台、吊装工具等施工设施;
- (10) 按要求进行浮升和下降试验。

(二) 水浮倒装法

水浮倒装法是水槽以上先组装最上一带壁板,然后由上而下逐带接长壁板的一种倒装施工方法。如图 3-106 所示,水的浮升力由浮盘、立柱、胀圈传递给壁板带,当浮升力大于壁板带和措施用料的重量时,壁板即被浮盘带着上升,到预定高度,并连接二带壁板后,浮盘下降,再在地面水槽外围装下一带壁板、再浮升,直至完成壁板的吊升。此方法的特点是:(1) 其浮顶要承受很大的载荷,浮顶需进行必要的加固。并应进行浮升力的核算;(2) 不需进行高处作业,施工安全,劳动效率高;(3) 以最下层壁板为组装胎模,贮罐的圆度和垂直度易得到保证,以底板为安装基准,易保证每圈带板顶口的水平度;(4) 利用浮顶为操作平台,减少脚手架用料,降低施工成本;(5) 与水浮正装法相比,其耗水量相对小些。

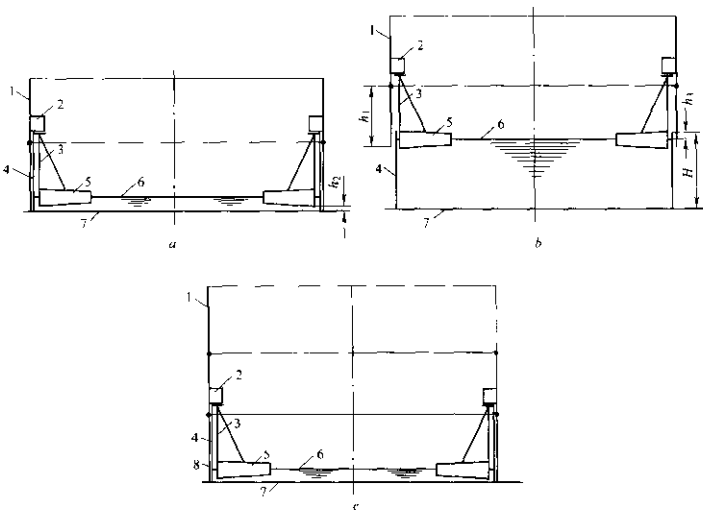


图 3-106 水浮倒装法示意图

1—壁板;2—胀圈;3—支架;4—水槽;5—船舱;6—单盘;7—罐底;8—待升壁板

1. 主要设施

(1) 顶升柱及胀圈。顶升立柱常用无缝钢管制作,其直径可从 $\phi 108\text{mm}$ 、 $\phi 133\text{mm}$ 、 $\phi 159\text{mm}$ 中选用,数量视罐直径大小和需顶升的重量大小而定,一般取船舱数量或加倍即选为 12、24 和 48 根,胀圈是将浮升力由顶升柱传给壁板的重要构件,需要有足够的刚度和强度,常用槽钢、钢板焊成矩形结构,其断面尺寸视罐容积大小取 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 或 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 做成长 8m 左右的圆弧梁,安装时梁端头间用下斤顶或反正扣丝杠顶紧,将胀圈外圆弧贴紧壁板内表面。

(2) 浮顶。利用设备本身浮顶的浮盘和船舱,并进行必要的加固而组成。

(3) 水槽。水槽可用三种方案:1) 用措施用料制作一个供组装用的临时水槽,待贮罐的全部壁板安装完成后将临时水槽拆除。此方法的优点是施工方便、壁板组焊质量易保证,但措施

用料数量很大,增加了工程成本;2) 利用贮罐自身第一带壁板为“水槽”,但会因其高度不够,需接高一段。待全部壁板顶升完成后,再切去接高部分,最后完成壁板的搭接方式焊接。此种方法较用临时水槽方法可节省大量措施用料,但第一带壁板和第二带壁板间的对接环缝需改为搭接形式;3) 以第一和第二带壁板为水槽,此方法如图 3-107 所示,需在第二带壁板外侧设一个临时环形钢平台,作为焊接环缝之用。此种方法,可不改变第一和第二带壁板的对接形式。如图 3-107 所示,将下数第三带壁板分段吊装就位,其上、下均以对接形式焊于第四带壁板下口和第二带壁板上口上。此方法可省去临时水槽或水槽接高的用料,但需增加环形钢平台用料。此方法主要施工作业处在约 3m 高的钢平台上,而不在地面。

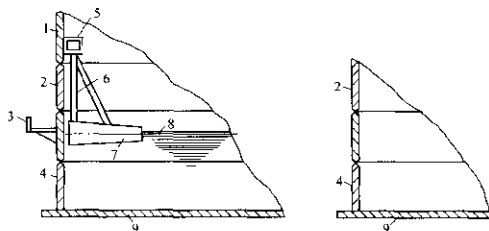


图 3-107 以第一和第二两带壁板为水槽施工法

- 1—第四带壁板;2—第二带壁板;3—环形钢平台;4—第一和第二带壁板;5—胀圈;
6—顶升柱;7—船舱;8—浮盘;9—罐底

(4) 导向装置:为防止贮罐在浮升中偏转和漂移,一般在浮顶和水槽内壁之间设 3 个互成 120° 等分的导向装置,它是由焊于水槽内壁的两根大角钢和焊于浮顶的厚钢板组成,厚钢板在两角钢之间上、下滑动,起着导向作用。

(5) 供排水设施。供排水设施由水泵、过滤器、阀门和管道组成,水泵规格应根据最大浮升高度时充水量和选定的浮升时间选择,充水管道的直径应与水泵配套,为缩短辅助时间,排水管道直径可大些。水泵的流量可用式(3-34)计算求得:

$$V_{\max} = \frac{\pi D^2}{4} h - \frac{\pi d^2}{4} H \quad (3-34)$$

式中 V_{\max} ——最大充水容积, m^3 ;
 D ——贮罐内壁直径, m ;
 d ——浮顶外径, m ;
 h ——浮顶浮升高度, m ;
 H ——浮顶吃水深度, m 。

按最大充水容积和充水时间计算水泵流量:

$$Q = \frac{V_{\max}}{T}$$

式中 Q ——水泵流量, m^3/h ;
 T ——充水时间, h , 可选 2h 左右。

2. 水浮倒装法的施工程序和步骤

底板、浮顶、壁板等均用自行式起重机分散件吊装就位,并拼接成整体。水浮倒装法的施工程序和步骤是:

- (1) 铺设罐底板并焊接、检漏;
- (2) 单盘铺设并焊接;
- (3) 最下一带壁板组装与焊接;
- (4) 船舱、单盘组对焊接;
- (5) 船舱加固及顶升柱安装;
- (6) 设置供、排水系统;
- (7) 最下一带壁板加高组成水槽;
- (8) 最上一带壁板组对(包括包边角钢圈);
- (9) 用顶升柱上加挑梁方法浮升最上一带壁板,至其下沿升至一带壁板高度停止充水;
- (10) 围上上数第二带壁板并与第一带壁板焊接;
- (11) 拆去挑梁排水使浮顶下落;
- (12) 安装胀圈后再次浮升至一带壁板高度;
- (13) 再围板、焊接、排水使浮顶下落,以重复以上方法至最下第二带壁板浮升,割去水槽加高部分,恢复第一带壁板高度,最后第一和第二带壁板以搭接方式连接;
- (14) 拆除顶升柱等设施;
- (15) 安装密封装置并进行浮升和下落试验。

对于容积 5~10 万 m^3 的特大型贮罐,因其壁板总重量很大,需要的充水量也很大,故宜用水浮正装法施工,以内脚手架和拌壁行走小车为施工用具,用自动焊机施焊。

以上水浮法也适用于内浮顶罐施工,如用水浮倒装法时,应先组装最上一带壁板和罐顶,然后逐带倒装

八、液压法

用液压法吊装贮罐按液压工具的动作原理可分成液压顶升倒装法和液压提升倒装法两种。

液压顶升倒装法,是在罐内沿圆周均布若干个直立的伸缩式套筒液压缸,其活塞挂顶在贮罐胀圈上,如向各液压缸同时供油,各活塞则同步将罐体往高处顶升,达要求的高度后,在地面上围装下一带罐壁,进行倒装作业,直至完成贮罐的吊装工作。

液压提升倒装法,是在罐内沿圆周均布若干个立柱,在立柱上端设置穿心式液压千斤顶,其爬杆提挂在贮罐胀圈上,如向各液压千斤顶同时供油,各爬杆同步进行拔升运动,则将罐体向高处提升,达要求的高度后,在地面上围装下一带罐壁,进行倒装作业,直至完成贮罐的吊装工作。

液压顶升和提升倒装法的特点是:(1) 液压系统工作可靠;(2) 罐体上升平稳,高度容易控制;(3) 施工速度快、工作效率高;(4) 施工安全,因液压系统有反向自锁功能,无虑因突然停电而造成事故;(5) 施工环境好、改善劳动条件;(6) 专用的液压设备制造价较高。

(一) 液压提升倒装法

用液压提升倒装法吊装贮罐的主要工具是穿心式液压千斤顶,它常用于土建专业滑模施工中。如图 3-108 所示,它由油缸、活塞、上卡、下卡、爬杆、调整螺母和弹簧等组成。其工作原理是,当向活塞下部供油时,下卡松开,上卡卡紧并带动爬杆向上拔升;反之下卡卡紧,上卡松开并由活塞带着下行,这就完成了一个工作循环,就这样逐节将爬杆向上拔升。

1. 主要设施(图 3-109)

(1) 穿心式液压千斤顶

所需液压千斤顶的数量可按下式求得:

$$n = \frac{P}{KG} \quad (3-35)$$

式中 n —— 千斤顶的数量, 个;

P —— 最大提升质量, t;

K —— 千斤顶额定起重重量折减系数, 取 $K=0.6$;

G —— 千斤顶的额定起重重量, t。

(2) 立柱

立柱可用钢板或两根槽钢焊成图 3-109 示形状, 也可作成三面封闭一边有槽的形状。立柱高度应大于 1.5 倍每带壁板的高度。自立的立柱用支撑加固, 千斤顶置于其上端。

(3) 胀圈、挡铁和钩板

若十个挡铁焊在罐内壁上, 胀圈安装在其下方。钩板固定在爬杆上, 并钩托于胀圈下部, 提升贮罐时由爬杆、钩板、胀圈和挡铁将提升力传给贮罐。

(4) 油泵、液压系统

油泵通过液压系统的管道和各种液压阀向各个千斤顶供出等量的压力油, 驱使各爬杆同步爬升。

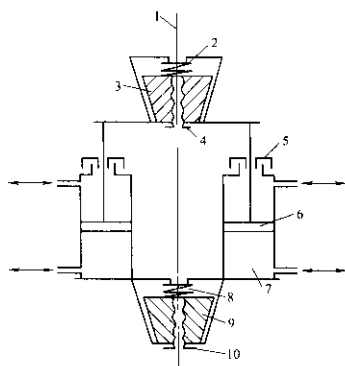


图 3-108 穿心式液压千斤顶工作原理示意图

1—爬杆; 2—弹簧; 3—上卡; 4、5、10—调整螺母;
6—活塞; 7—油缸; 9—下卡

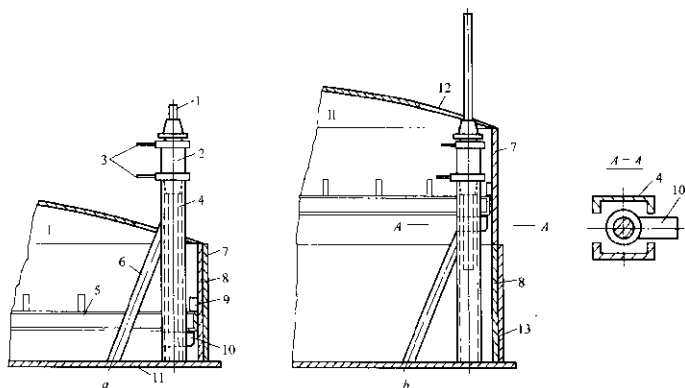


图 3-109 液压千斤顶提升倒装法

1—爬杆; 2—液压千斤顶; 3—进油、回油管; 4—立柱; 5—胀圈; 6—支撑; 7—上带板;
8—下带板; 9—挡铁; 10—钩板; 11—底板; 12—顶板洞口; 13—待装带板

2. 吊装程序和工艺过程

- (1) 铺设底板;
- (2) 组装最上一带壁板和顶盖,在千斤顶穿出顶盖处,在顶板上留洞;
- (3) 围装上数第二带壁板,留有数个活口,用手拉葫芦适当收紧;
- (4) 安装立柱、液压千斤顶及液压管道系统;
- (5) 焊接挡铁,组装胀圈,固定钩板,至此完成了提升前的准备工作,如图 3-109a 所示;
- (6) 起动油泵向各千斤顶供油,开始提升罐体,如出现有的千斤顶不同步的问题,可用调节其进油量和调节调整螺母的方法解决;
- (7) 最上一带壁板和顶盖提升至要求的高度以后,围装上数第二带壁板,并进行此两带壁板的连接;
- (8) 在已连接的壁板外再围上一带壁板,如图 3-109b 所示;
- (9) 放下胀圈,并安装于壁板下部;
- (10) 松开千斤顶的上卡和下卡,将爬杆逐根放下(两节爬杆之间用丝接);
- (11) 封好盖板上预留的洞口;
- (12) 调整各千斤顶,固定钩板;
- (13) 再次提升壁板,重复(8)~(13)的程序,直至将最后一带壁板提升完毕;
- (14) 组焊底板和最下一带壁板;
- (15) 拆除千斤顶、立柱等。

(二) 液压顶升倒装法

用液压顶升倒装法吊装贮罐的主要工具是伸缩式套筒液压油缸,一般有两级活塞,其行程在 2m 左右,此油缸的顶升能力比穿心式液压千斤顶大,因此,如吊装同样的贮罐其数量可少些,如某安装企业仅用 16 只油缸,就完成了容积 1 万 m^3 拱顶贮罐的液压顶升工程。

如图 3-110 所示,油缸装在直立的方形断面立柱内,油缸活塞顶部连接在托架上,通过托架、胀圈带动罐体上升。

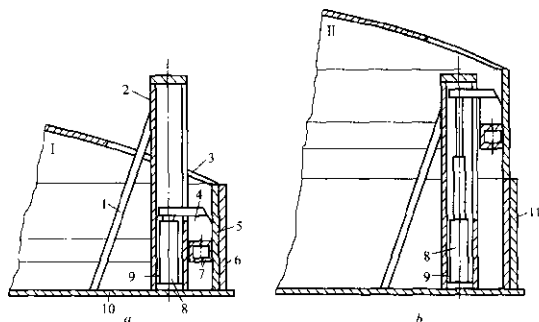


图 3-110 液压顶升倒装法

- 1—斜支撑;2—立柱;3—罐顶;4—托架;5—最上一带壁板;6—第二带壁板;
7—胀圈;8—伸缩式套筒油缸;9—油管;10—底板;11—第三带壁板

液压顶升倒装法的吊装程序和工艺过程为:

(1) 铺设底板;

(2) 组装最上一带壁板和顶盖,在立柱穿出顶盖处,在顶板上留洞。

也可先装两带壁板和顶盖,此方法可避免顶板留洞;

(3) 围装下一带壁板,留有两个以上的活口,并用手拉葫芦适当拉紧;

(4) 安装立柱、油缸及管道等液压系统;

(5) 焊接托架,组装胀圈,并与油缸柱塞顶端相连接,如图 3-110a 所示,至此完成了顶升前的准备工作;

(6) 起动油泵向各油缸供油,各活塞则同步平稳上升顶起罐体,如出现不同步问题,只需调节其进油量即可解决;

(7) 最上一带壁板和顶盖顶升至要求的高度后,连接两带壁板;

(8) 再围装一带壁板,如图 3-110b 所示;

(9) 封上盖板上预留的洞口;

(10) 落下柱塞和胀圈,重复(5)~(8)的程序,直至将最后一带壁板顶升完毕;

(11) 组焊底板和最下一带壁板;

(12) 拆除立柱、油缸等。

九、啤酒发酵罐群吊装法

啤酒发酵罐常呈罐群的形式安装于啤酒生产工艺流程中,罐群中发酵罐的数量由生产规模大小决定,少者十几台,多者数十台,其吊装方法有整体吊装和就地组装两类。前者可用自行式起重机、桅杆、龙门架等为吊装机具,分一次吊装就位和数次移吊就位两种。就地组装多用龙门架为机具,以倒装法施工。在选择吊装方法时应考虑以下诸条件:

(1) 设备基础的情况。如由钢结构或混凝土预制构件组成的单个基础,因吊装机具易靠近,可考虑用整体吊装法;如为大面积的混凝土捣制的台式基础,则用龙门架就地倒装法施工较合适。(2) 发酵罐本身的条件。如吊装数量多、体积和质量均大的发酵罐宜用分件组合法,相反,量少、体轻的可考虑用整体吊装法。(3) 吊装机具的能力。如吊装机具能力够,当然,整体吊装应为首选方案,因可提高作业效率,但也要考虑如用过大吊装设备,会失去经济的合理性。(4) 吊装现场情况及其作业条件。如吊装现场狭窄,尤其是扩建和续建性质的吊装,应优先考虑在场外组装、运至吊装现场整体吊装的方案,还可在基础平台上设立吊装机具,用数次移吊法吊装。如施工场地宽阔,可综合考虑其他因素进行整体就位或就地组装。

视诸多条件的差异,可用多种方法完成啤酒发酵罐的吊装,一般常用方法有以下几种:

(一) 用移动式龙门架在基础上分件倒装

根据罐的尺寸,制作可同时组装 2~4 台罐的龙门架,它可在铺于基础平台上的两根轨道上行走,以便吊装各排的罐体。如图 3-111 所示,吊升的工具,可用手拉葫芦、电葫芦(电动倒链)、排滑车组由卷扬机牵引等。龙门架沿轨道的运行,可设走行机构,也可在无载时用人工撬动,有载时用卷扬机牵引。

用移动式龙门架在基础上分件倒装的吊装程序和工艺方法是:

(1) 铺设轨道,设立移动式龙门架;

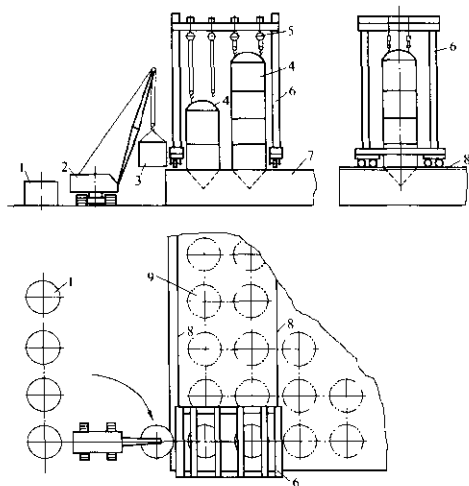


图 3-111 啤酒发酵罐倒装法

1—筒节；2—吊车；3—吊起的筒节；4—罐；5—电动葫芦；
6—龙门架；7—基础；8—轨道；9—待装位置

- (2) 用吊车将预制成数段的罐体吊上基础平台龙门架下；
- (3) 在罐的封头上设 4 个吊点，用葫芦吊升，按由上而下逐段倒装筒节，最后组装锥形罐底而完成罐体组装；
- (4) 吊起罐体至锥底高度超过基础高度以后，移动龙门架，将罐体吊至欲安装的位置。
- (5) 一个区域的罐吊装结束以后，将轨道和龙门架转移至下一安装区域；
- (6) 用相同方法吊装，直至完成全部罐的吊装工作。

(二) 用移动式龙门架整体吊装罐群

龙门架可由两个 A 形架和横梁组成，如图 3-112 所示，两根轨道铺在一排罐基础的两侧，龙门架用两套滑车组吊于罐的上部，为防止罐体变形，用型钢制成抱箍，内衬橡胶板紧固于吊装部位，两吊点设在抱箍上。另在罐的尾部设立人字形桅杆，其上挂滑车组，吊于罐的尾部，用它配合龙门架的吊装。龙门架在轨道上的移动，空载时用人力撬动，负载后用手拉葫芦牵引。

用移动式龙门架整体吊装罐群的吊装程序和吊装方法是：

- (1) 铺设轨道，设立移动式龙门架；
- (2) 将罐的裙座安装在基础上；
- (3) 用平板拖车等运输设备将组装好的罐体运至靠近基础的龙门架下；
- (4) 用龙门架卸车，将罐卧放在地面上；

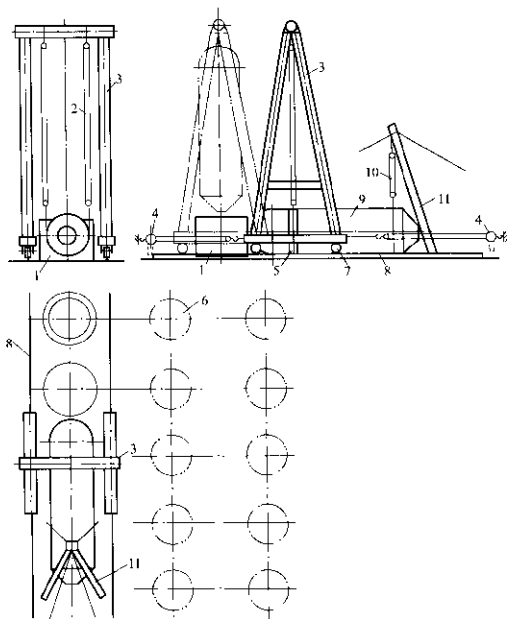


图 3-112 用移动式龙门架整体吊装法

1—独立基础；2—滑车组；3—龙门架；4—手拉葫芦；5—钢制抱箍；6—罐的安装位置；

7—走行轮；8—轨道；9—罐；10—滑车组；11—人字桅杆

(5) 装卡抱箍,用吊索连接滑车组与吊耳;

(6) 设立人字桅杆,用橡胶运输带保护罐体,捆绑吊索于罐的尾部;

(7) 用龙门架和人字桅杆的二套滑车组以卷扬机牵引吊装。

(8) 用手拉葫芦移动龙门架配合吊装,以达到两套主吊滑车组始终呈铅垂状态的要求。

随着卷扬机的牵引,罐则由抬头至斜立。人字桅杆要配合抬送罐体;

(9) 罐体斜立至一定程度后,人字桅杆失去作用,即可拆下尾部吊点;

(10) 继续吊升罐体至直立状态,并放于裙座之上;

(11) 拆除人字桅杆,移动龙门架至新的吊装位置,以相同方法吊装其余的发酵罐。

(三) 用大型自行式起重机整体吊装罐群

如果发酵罐的排数较少,其单台的体积和质量适中,作业场地允许,又有起重量和工作幅度均能胜任的大型吊车,采用整体吊装就位当然会是最好的方法。此方法有高效、安全、优质等诸多优点,不过此种情况可能较少。

(四) 双桅杆递夺法整体吊装罐群

在施工场地狭窄,罐的体积和质量均不大的条件下,可采用双杆递夺法整体吊装发酵罐

群。

如图 3-113 所示,在一排罐的两端,各直立一个桅杆。用自行式起重装卸车,并将罐一端担于基础上,另一端放枕木垛处,平卧着放置。用两套滑车组吊在罐顶部的两侧。罐的底部用吊车吊着送进,以免罐的底部接触地面损伤罐壁。以近处桅杆 7 主吊,远处桅杆 1 夺吊,将罐吊起并直立。调整两套滑车组,在罐底部稍高于基础上平面的直立状态下,罐悬空位移至欲安装的位置。在最后吊装靠近桅杆 7 处的一个罐时,会出现桅杆 1 滑车组压已立起的罐顶的情况。此问题可用桅杆 7 和已立起的邻罐联合吊装的方法加以解决。

当一排罐全部吊完以后,把两个桅杆移至下一排罐的中心延长线处,用吊装前一排罐的相同方法吊装,直至完成全部罐的吊装工作。

(五) 用桅杆摆动法移吊罐群

在吊装作业场地比较狭窄,罐的体积和质量均比较大时,可考虑用此种吊装方法。

吊装分两步进行,第一步如图 3-114 所示,用两台吊车,其起重量大者为主吊,起重量小者溜尾送进。在两台吊车协同配合下,将一台罐体直立着吊起,并放在靠近基础外边的一个罐位上。

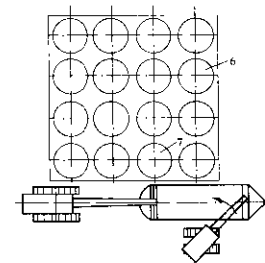
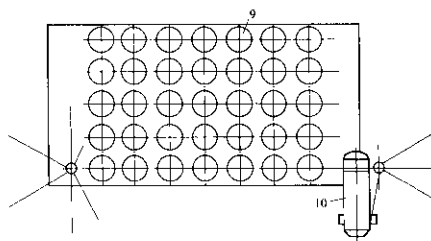
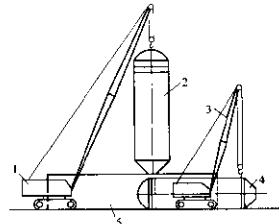
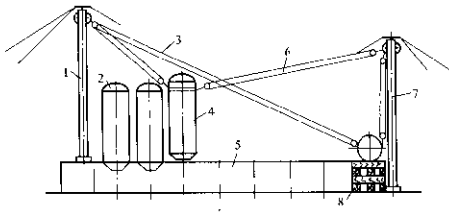


图 3-113 双桅杆连夺吊装法

1—桅杆 1; 2—已吊完罐体; 3—滑车组 1; 4—正吊装罐体; 5—基础;
6—滑车组 2; 7—桅杆 2; 8—枕木垛; 9—罐群的位置; 10—平置的罐体

图 3-114 第一步用吊车吊装图

1—吊车 1; 2—罐体; 3—吊车 2; 4—待吊罐体;
5—基础; 6—罐位; 7—吊装中的罐体

第二步如图 3-115 所示,在基础一边直立一个人字桅杆,在其前方斜立一个单桅杆,两桅杆的顶端以滑车组相连,起变幅作用。单桅杆脚要采取措施封住,其顶端两边各挂一套滑

车组,起转杆作用。为单桅杆移动方便,其底座可作成船形。

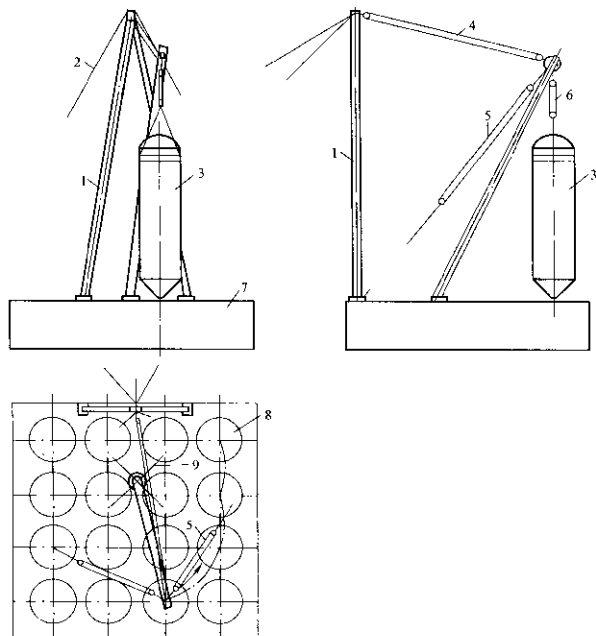


图 3-115 双桅杆移吊法吊装罐群

1—人字桅杆;2—缆风绳;3—罐体;4—滑车组;5—转杆滑车组;
6—吊升滑车组;7—基础;8—罐位;9—封底措施

用桅杆摆动法移吊罐群的吊装程序和方法是:

- (1) 用两台吊车将罐吊起,直立着暂时安放在邻近基础边的罐位上;
- (2) 将单桅杆前后移动到工作半径范围内,采取措施封固底座,牵紧变幅滑车组,用吊升滑车组吊起罐,达其底面略高出基础上平面;
- (3) 用横向滑车组一边松,另一边紧的方法转杆;
- (4) 用变幅滑车组使罐向侧后方移动,在吊杆最大工作半径时,将罐第二次临时放置于接近欲安装罐位的附近罐位处;
- (5) 向后移动单桅杆,依据上述相同方法,完成罐的最后就位;
- (6) 用相似的方法完成各台罐的吊装。

此方法是把一次吊装化为数次吊装,减小了吊装半径,达到了以小吊大的目的。同时,以人字桅杆承受主要吊装力,充分发挥了人字桅杆稳定的特性。

十、实例

[例 1] 5000m³ 油罐充气顶升法安装

某单位以充气顶升法安装 5000m^3 油罐,现简介其施工过程和方法:

(一) 5000m^3 油罐的有关参数

- (1) 罐体总高度 17.136m;
- (2) 罐壁直径,上口 $\phi 21.96\text{m}$,下口 $\phi 22.122\text{m}$;
- (3) 罐顶球面半径 $R = 25.03\text{m}$;
- (4) 罐体质量 117.27t(需顶升最大质量 84.216t);

其中罐顶质量 23.336t;

罐底质量 22.534t;

罐壁质量 70.52t;

加强圈质量 0.88t;

- (5) 顶升附件质量 1.437t;

(6) 罐壁由 10 圈壁板组成,其钢板厚度为 6、7、8、10、12、14mm,以搭接焊方式连接。

(二) 选用的工艺装置

1. 胀圈

用 16 号槽钢制成,分 6~8 节,接头处用 $T40 \times 6$ 螺丝连接,组成整环。

2. 密封装置

用厚度 2~3mm,宽度 250~300mm 橡胶板作密封装置,以实现两圈壁板间、壁板与底板间、壁板活口缝处的密封。

3. 平衡装置

用 6 个 2t 的手拉葫芦,在罐内等分地挂于底板和浮升壁板间,浮升时由 6 人同时操作,配合罐的浮升。

4. 限位装置

用 M22 螺杆制成 16 副限位拉杆,均布于罐内,其限位底座焊于罐底板上,到时限位板卡在胀圈上,起限位作用。

5. 送风装置

由离心鼓风机、风道、控制进风量插板、U 形压差计等组成。选用风机 G4-73-11-010 型,其风量为 $41200\text{m}^3/\text{h}$ 。全压 3.2kPa (327mm 水柱)。风道断面为 $500\text{mm} \times 700\text{mm}$,侧面设 1 人孔,兼作施工人员进出罐的通道。

6. 活口装置

围板活口搭接长度 300mm,以两个 2t 手拉葫芦收紧,半圆周设 1 个活口,共设两个。

7. 通风装置

在罐顶透光孔处装一锥形帽,以厚 3mm 钢板制成,表面敷一层厚 2mm 橡胶板,作为密封。锥形帽以重锤闭合。

8. 联络装置

选用多路有线对讲机作为罐内外联络工具。

(三) 顶升风压、风量计算

1. 风压计算

第九圈以上需顶升的最大质量:

$$Q = \text{总质量} - (\text{罐底质量} + \text{第十圈质量})$$

$$= 118.707 - (22.534 + 11.957) = 84.216t$$

第九圈横断面积

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (22.094)^2 = 383.4 \text{ (m}^2\text{)}$$

需顶升风压

$$p = \frac{Q}{F} = \frac{842.16}{383.4} = 2.19 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2.19 \text{ kPa (219mm 水柱)}$$

在实际顶升中测得风压为 2.2kPa (224mm 水柱), 与理论计算的差值用以克服壁板间的摩擦阻力。

2. 风量计算

以顶升时需要最大风量的第九圈为计算依据:

(1) 罐壁平均内径

$$D_{\text{平}} = \frac{21.96 + 22.122}{2} = 22.041 \text{ (m)}$$

第九圈以上罐壁高

$$\begin{aligned} H_9 &= \text{壁板总高} - (\text{第十圈壁板高} - \text{搭接处高}) \\ &= 14.07 - (1.8 - 0.045) = 12.315 \text{ (m)} \end{aligned}$$

罐顶球面半径 $R = 25.30\text{m}$ 、球面高 $h = 2.507\text{m}$

(2) 顶升罐体第九圈以上的容积

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi}{4} D_{\text{平}}^2 H_9 + \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h) \\ &= \frac{\pi}{4} (22.041)^2 \times 12.315 + \frac{1}{3} \pi (2.507)^2 (3 \times 25.3 - 2.507) \\ &= 5181.8 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(3) 第十圈需补加风量

$$V_{10} = \frac{\pi}{4} (22.122)^2 H_{10} = \frac{\pi}{4} (22.122)^2 \times 1.755 = 674.5 \text{ (m}^3\text{)}$$

(4) 第九圈以上密积空气在 $P_2 = 1.023\text{kgf/cm}^2$ 压力作用下, 其体积变成 V_2 (不计温度变化)

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{1 \times 5181.8}{1.023} = 5065.3 \text{ (m}^3\text{)}$$

(5) 在 P_2 作用下被压缩量

$$V_{\text{压}} = V_1 - V_2 = 5181.8 - 5065.3 = 116.5 \text{ (m}^3\text{)}$$

(6) 当第九圈升到 1.755m 高度时, 在 $P_2 = 1.023\text{kgf/cm}^2$ 压力作用下罐内真空体积

$$V_{\text{真}} = V_{\text{压}} + V_{10} = 116.5 + 674.5 = 791 \text{ (m}^3\text{)}$$

(7) 第九圈升到 1.755m 高度时, 在压力 P_2 的作用下所需鼓入的空气

$$V_{\text{鼓}} = \frac{P_2}{P_1} V_{\text{真}} = 1.023 \times 791 = 809.2 \text{ (m}^3\text{)}$$

即在不漏风的情况下, 只需向罐内鼓入 809.2m^3 的空气, 第九圈以上罐体即可被顶升 1.755m 的高度。

如拟用 10min 浮升一圈罐壁,则所需鼓风机的理论风量为:

$$Q = \frac{809.2}{10} = 80.92 \text{ (m}^3/\text{min)} = 4855.2 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

在实际施工中,密封不可能十分严密,甚至会漏风严重,一般按理论计算风量的 5 倍(即 $24276\text{m}^3/\text{h}$)选用风机。选用 G4-73-11-010 风机,其流量为 $41200\text{m}^3/\text{h}$,风压为 3.2kPa (327mm 水柱)。

(四) 施工程序

1. 罐底板、第一圈壁板、罐顶安装及下圈壁板的围装

- (1) 按施工图及规范要求验收油罐基础;
- (2) 在基础上放出罐底板、罐顶及罐体坐标大样;
- (3) 安装罐底板并施焊;
- (4) 用真空箱法对罐底板焊缝检漏(真空度 $\leq 40\text{kPa}$ (300mm 汞柱));
- (5) 在底板上划出壁板下口圆周线,并以每隔 800mm 的间距点焊壁板组装挡块;
- (6) 围装第一圈壁板,划出搭接安装标记线及圆周分点标记。组焊护边角钢,吊装罐顶瓣片并焊接;

(7) 组焊胀圈、平衡、限位、通风等装置,敷设密封橡胶板;

(8) 组焊第二圈壁板,划出搭接安装基准线,安装两个活口装置,并适度收紧。

2. 充气顶升

(1) 进行风机试运转、对讲机通话、安设压差计。检查胀圈、密封、平衡、限位、活口等装置。进行施工人员的现场技术和安全交底,并进行岗位分工;

指挥 1 人,负责罐内各岗位的操作,以对讲机下达送风、控制风量、调节风压及停风的指令,随时与副指挥互通罐内外情况;

副指挥 1 人,负责罐外各岗位的操作,掌握风量、风压及罐体浮升情况,以对讲机与罐内指挥保持联系;

平衡装置 6 人,按指挥的指令,以手拉葫芦保持罐体平衡;

密封、限位装置 8 人,负责密封橡胶板的敷设及限位装置的调整;

罐内巡视 2 人,随时巡视罐体浮升情况,并向指挥报告;

气、电焊各 1 人,负责罐内应急情况处理;

风机操作、风压记录各 1 人;

铆工 8 人,负责活口装置的调整,随时向指挥报告罐体各标记浮升高度,到位后处理壁板间搭接缝隙,配合电焊工进行点焊;

罐外巡视 2 人,负责观察罐体浮升情况,并向副指挥报告;

气、电焊工 2 人,负责罐外应急情况处理。

罐内备 15t 螺旋千斤顶 4 台,以便在罐体浮升中出现倾斜及局部卡阻时,配合平衡的手拉葫芦共同进行调整。

(2) 关闭风道入孔及通风装置锥形帽。

(3) 启动风机向罐内鼓风,罐体开始浮升,平衡装置的 6 个手拉葫芦应同步缓缓放松,配合罐体浮升。

(4) 当第一道密封橡胶板离开罐底后,应迅速铺设第二道密封橡胶板,将下圈罐壁与底

板间的环形角缝密封起来,同时装好活口处的密封橡胶板。

(5) 当罐体浮升到接近预定位置时,应适当减少风量,稳定风压,以限位和平衡装置调整圆周各点的高度,以安装基准线为依据,到位后收紧活口装置,并拧紧限位螺母,使罐停止浮升,在罐外同时分组进行上下壁板间接缝的处理及点焊工作。点焊完毕,风机停风,打开通风装置锥形帽及人孔。

(6) 进行上、下壁板搭接环缝及活口处纵缝焊接。

(7) 罐壁找圆,测量周长和半径差,进行罐外壁的除锈涂漆作业。

重复上述工序,直至浮升完全全部罐体。

(五) 施工中应注意的问题

(1) 施工组织应严密,需进行安全、技术交底,要明确岗位分工,各负其责,协调配合,服从指挥。

(2) 准备工作应充分,各项装置应正常。风机应运行良好;平衡、密封、限位装置需可靠;活口需收紧适度;压差计能指示真实压力;联络装置必须灵敏准确。

(3) 确保正常供电,应绝对避免在顶升过程中发生停电事故。

(4) 向罐内鼓风应由小到大,当已达到理论浮升风压时,应稳住风压,如罐尚不浮升,可适当加大进风量,开始浮升后,若实际风压超过计算值过多,且罐体浮升过快时,即应调小进风量,当罐体浮升到预定位置时,应稳住风压,直至点焊结束。

(5) 在浮升过程中,平衡装置的操作必须协调配合,随时进行调整,使罐体均匀浮升。

(6) 限位应按计算尺寸调整合适,当罐体浮升接近预定位置时,要调整限位螺母至各点均达到安装基准线。

(7) 点焊结束,方可停止鼓风。

[例 2] 20 000m³ 贮罐液压提升法安装(图 3-116)

贮罐容积 20 000m³,直径 40.5m,高 18m,由 10 圈带板组成,钢板厚由上而下分别为 12、14、16、18 及 20mm,需顶升的总质量为 368.72t。用 40 台 15t 穿心式液压千斤顶为提升工具,顺利安装成功。各圈带板的尺寸和质量见表 3-15。

表 3-15 各圈带板的尺寸和质量

提升顺序	1		2	3	4	5	6	7	8
各带板质量/t	10	9	8	7	6	5	4	3	2
	21.574	21.574	16.780	21.574	19.177	25.192	28.857	32.292	35.956
提升质量/t	170.906		189.364	213.095	234.190	261.901	293.644	329.165	368.717
带板高度/m	1.8	1.8	1.4	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8
带板厚度/mm	12	12	12	12	12	14	16	18	20

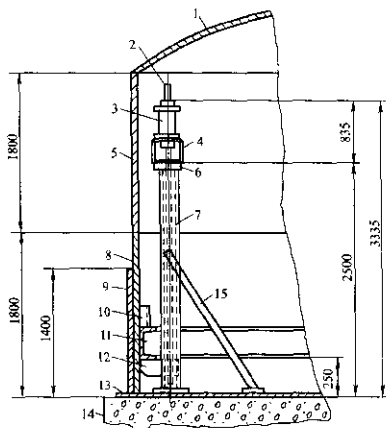


图 3-116 15t 液压千斤顶提升倒装油罐示意图

- 1—油罐顶盖;2—吊杆 $\phi 50\text{mm}$, $l = 3400\text{mm}$;3—千斤顶;4—千斤顶座;5—第 10 带板;
 6—球形铰座;7—立柱(2 根 200mm 槽钢, $l = 2500\text{mm}$);8—第 9 带板;9—待装带板(第 8、7、6……);
 10—防滑角钢 $L75 \times 8$, $l = 200\text{mm}$;11—胀圈 $380\text{mm} \times 160\text{mm}$;12—钩头;
 13—底板;14—基础;15—斜撑 $\phi 50\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管

(一) 工艺原理

当位于立柱顶部的液压千斤顶工作时,吊杆带动钩头向上运动,钩头则钩着胀圈并带动罐体也向上运动,当升至预定高度后即可与已围上的壁板进行组焊。然后胀圈下移,千斤顶的上下卡块松开,并取下吊杆,再次使钩头钩住已固定于下一圈带板上的胀圈,至此,已完成一个提升循环。重复以上循环,交替进行提升和组焊两个工序,直至全部完成罐体的组装工作。

(二) 工艺流程

验收基础→铺设底板→最上两圈带板及顶盖正装→围装下一圈带板→在罐体内设立柱、千斤顶、液压系统等提升装置→带板提升组焊→最下一圈带板与罐体组焊→拆除提升工具。

(三) 工艺布置

1. 计算最大提升重力

$$G_{\max} = (G_{\text{顶}} + G_{\text{附}} + G_2 + \cdots + G_{10})K$$

式中 $G_{\text{顶}}$ ——顶盖重量, 1052.2kN ;

$G_{\text{附}}$ ——附属件重量, 70kN ;

$G_2 \cdots G_{10}$ ——需提升的各圈带板重量,根据表 3-15 换算;

K ——系数,取 $K = 1.1$ 。

$$G_{\max} = (1052.2 + 70 + 215.74 + \cdots + 359.56) \times 1.1 = 3687.2 \text{ (kN)}$$

2. 计算千斤顶数量

$$n = \frac{G_{\max}}{KG}$$

式中 n ——千斤顶数量,台;

K ——千斤顶额定起重能力折减系数。取 $K = 0.6$;

G ——千斤顶额定起重能力, $G = 150\text{kN}$ 。

$$n = \frac{3687.2}{0.6 \times 150} = 40.96, \text{取 } 40 \text{ 台。}$$

3. 工艺布置

选用 40 台, 15t 千斤顶, 沿贮罐内壁呈环形均匀布置, 主油路及分油路由 $\phi 10\text{mm}$ 高压胶管及多头分油器组成, 为保证提升安全, 千斤顶油缸分 4 组串联, 每组 10 台。

(四) 实施结果

(1) 两座贮罐原计划工期为 50 天, 实际工期为 45 天(有效工作天数为 35 天), 比计划工期缩短 5 天。

(2) 一节带板(高 1.8m)每 2~3h 可提升就位。

(3) 贮罐带板对缝要求不超过 30mm, 采用本工艺对缝最高为 8mm, 一般在 5mm 左右, 行程控制比较准确。

(4) 提升时罐体上升平稳。

(五) 劳动组织

采用两班作业方式, 共有 99 人参加施工, 其中铆工 14 人, 电焊工 30 人, 气焊工 8 人, 电工 2 人, 起重工 6 人, 探伤工 2 人, 提升操作工 2 人, 空压机工 2 人, 吊车司机 2 人, 值班 2 人, 壮工 25 人, 管理人员 4 人。

(六) 方法特点

(1) 装置简单, 环节少, 操作容易。

(2) 机具可根据提升重量大小和需要灵活组合。

(3) 液压传动平稳, 可靠, 可控性好。

(4) 无需设立备用电源, 偶遇突然停电, 千斤顶可以自锁, 不会引发冒顶或坠落事故。

(5) 施工速度快, 可缩短工期。

(6) 可在罐外从事提升操作, 劳动条件好。

[例 3] 容积 330m^3 的大型啤酒发酵罐群的现场吊装

在某引进的大型啤酒厂, 安装有 54 台大型发酵罐, 罐群中容积 330m^3 的 24 台, 670m^3 的 30 台, 采用现场组装方法吊装。

(一) 概况(图 3-117)

在标高 5.6m, 大面积的(51m × 69m)露天台式基础上安装两个规格的发酵罐 54 台, 按纵向 6 列, 横向 9 排的方式排列。容积 330m^3 的发酵罐直径 $\phi 5500\text{mm}$, 高 16925mm, 每个质量 15.5t。发酵罐以散件方式供货, 分封头 1 件, 75°锥体 3 节, 筒体 6 节(单片)。本体材质为不锈钢。裙座材质为碳钢, 由供货方供图, 现场制作(图 3-118)。

(二) 工艺方法

在基础附近的组装场地上, 将发酵罐组装成 8 个吊装单元, 即封头 1 件、筒节 6 件、锥体

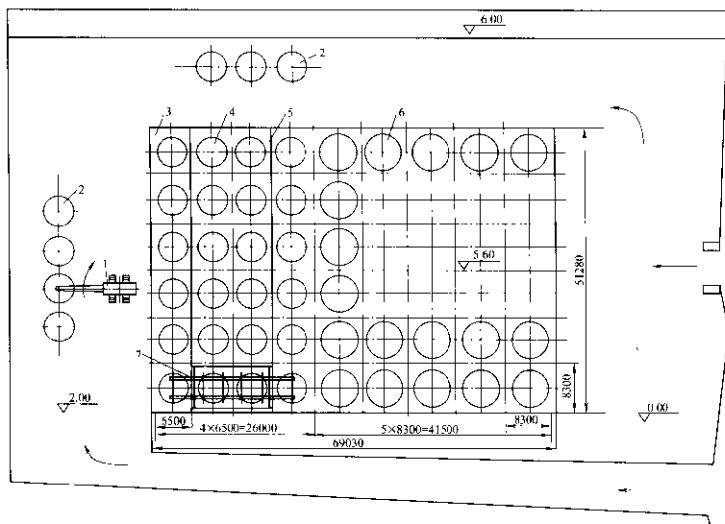


图 3-117 发酵罐吊装平面示意图

1—15t 坦克吊; 2—筒节; 3—基础; 4— $\phi 5500$ mm 发酵罐; 5—轨道; 6— $\phi 7200$ mm 发酵罐; 7—龙门架

和裙座 1 件。按组装顺序用履带吊分件吊上基础平台, 再以移动式龙门架为吊装机具, 以先正装后倒装两种方法吊装发酵罐。

(三) 工艺流程(图 3-119)

裙座制作→将三节锥体和裙座组成整体→将锥体吊上基础平台, 用龙门架翻转并就位→2/6 筒节与锥体正装→2/1 筒节吊上基础平台→将封头吊上基础平台并与 2/1 筒节正装→2/2 筒节倒装→2/3 筒节倒装→2/4 筒节倒装→2/5 筒节倒装→2/5 筒节和 2/6 筒节合拢→拆除吊装机具。

(四) 吊装机具

(1) 移动式龙门架 1 台, 起重能力 20t, 吊升高度 18.5m;

(2) 履带吊 1 台, 起重量 15t;

(3) 汽车吊 1 台(用于竖立龙门架), 起重量 25t;

(4) 环链电动葫芦 8 台, DLHA 型, 5t, 6m。

(五) 劳动力需要量

共需 116 人, 其中铆工 33 人, 电焊(氩弧焊)工 33 人, 气焊工 7 人, 起重工 12 人, 钳工 2

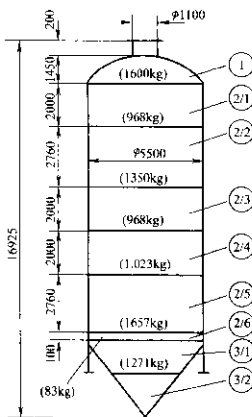
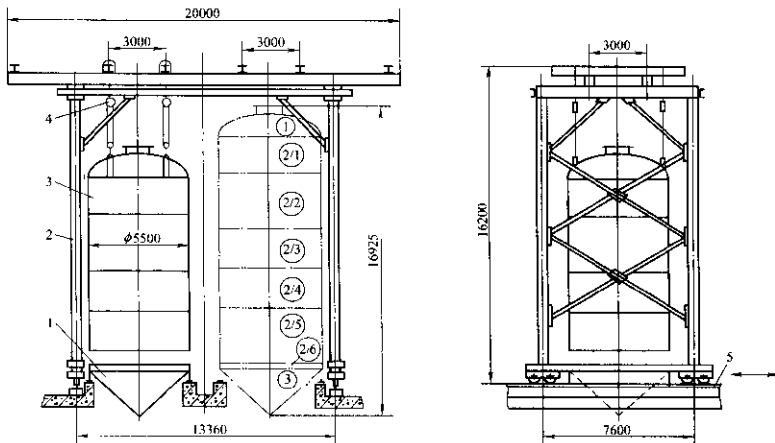


图 3-118 发酵罐外形示意图

图 3-119 直径 $\phi 5500\text{mm}$ 发酵罐吊装图

1—锥体；2—移动式龙门架；3—罐体；4—环链电动葫芦；5—轨道

人,电工 3 人,探伤工 2 人,壮工 14 人,汽车和吊车司机 5 人,机加工(车、铣、刨)3 人,管工 2 人。

(六) 方法特点

- (1) 不需使用大型自行式起重机,所需机械使用费适中;
- (2) 用移动式龙门架,每次可组装 4 排发酵罐,机动灵活;
- (3) 用环链电动葫芦为吊升机具,工作效率高,劳动强度小;
- (4) 可组织吊装与组装平行流水施工,提高劳动效率,缩短工期;
- (5) 用倒装法吊装,减少高处作业,施工安全,且易保证工程质量。

第六节 某些重型设备吊装

一、吊装回转窑

回转窑常用在建材、有色冶金、炭素、轻工等生产系统的工厂内,用其完成原材料的煅烧、烘干、冷却等作业。

按生产规模和工艺要求的不同回转窑有许多大小不同的规格,小者长度仅 10 余米,大者长度可达 150m。虽然回转窑的大小差异甚大,但其外形结构基本相同,从图 3-120 可见,它由托轮、挡轮、筒体(包括轮带)、传动部分组成。

回转窑一般有 2~5 组托轮、1 组挡轮,装有轮带和大齿圈的圆截面筒体在托轮上呈小角度倾斜状滚转。

(一) 回转窑的吊装特点

- (1) 多为露天作业,易受场地、气候(风、雨、雪)条件的影响;
- (2) 回转窑其基础的高度差异很大,有的基本上安装于地面,有的需要安装在 10 余米

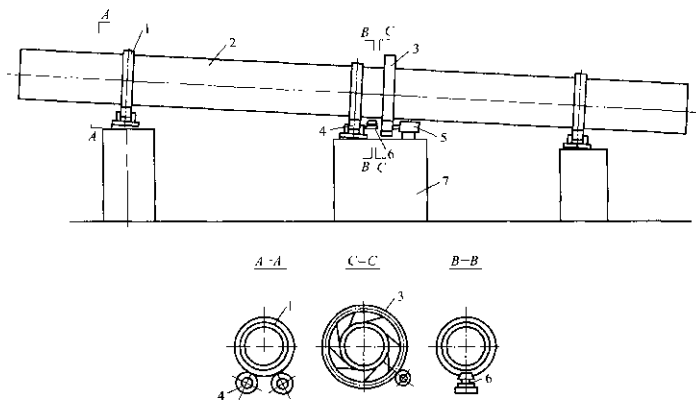


图 3-120 回转窑组成示意图

1—轮带;2—筒体;3—大齿轮;4—扎轮;5—传动机构;6—挡轮;7—基础

甚至更高的基础上;

- (3) 大中型回转窑都分段供货,需在安装中将筒体连接成一体;
- (4) 一般吊件的直径大、长度大、质量也大,常需大起重能力的吊装机具;
- (5) 对长度和质量均大的回转窑筒节可考虑用双机抬吊的方案;
- (6) 因回转窑的窑头和窑尾多伸入建筑物内,所以其吊装顺序应是:先吊装窑头或窑尾的一节,然后依次吊装,再吊装另一端的一节,最后吊装中间的一节;
- (7) 如有数台相同或相近规格的回转窑需吊装时,采取制作专用吊装机具的方案经济上是合理的。

(二) 吊装方法

由于回转窑大小不同、基础高度的差异,结合吊装机具的情况,其吊装方法也应不同,一般常用的吊装方法如下:

1. 用一台自行式起重机吊装

由于当今自行式吊车其起重能力已达数百吨,因此用其吊装回转窑已是近年最常用的一种方法,此方法有灵活、高效、准备工作量小等优点,应为首选方法。用1台自行式吊车(履带吊、轮胎吊、汽车吊)吊装回转窑其方法如图3-121所示。回转窑筒节摆放的位置和方向,应视基础尺寸、筒节直径和长度以及吊车的起重能力而定,或如图示垂直于窑的纵向中心摆放,或与其纵向倾斜一个角度摆放。但吊车一般均置于基础侧面。若吊车起重能力能胜任,则应将轮带在起吊前套装在筒节上,以减少高空作业量,并解决了在高空套装轮带的难题。在起吊过程中,筒节应既不碰基础,也与吊车臂杆保持一个适当距离。当吊升筒节至高出托轮后,用吊车转杆、扒杆、拉转筒节等方法,置筒节于托轮正上方,对正后落筒节轮带于托轮上。在吊车不松吊钩的情况下,将筒节一端与已吊装就位筒节相应端用螺栓连接。

2. 用两台自行式起重机吊装回转窑

由于大中型回转窑其筒节的直径、长度均大,几个套装上轮带的筒节质量更大。因此,常出现仅用一台吊车因能力不够而无法吊装的情况。所以,只好采用两台吊车抬吊的方案或用其他方法吊装。

如图3-122所示,用两台自行式吊车吊装回转窑时,因吊装作业方法需要,两台吊车中应有一台是吊起物件可行走的履带吊(或轮胎吊)。一般筒节可斜置于基础一侧,要尽量靠近基础。起吊前把有轮带的筒节套装上轮带。在确定两吊车吊点时,要先计算出筒节的重

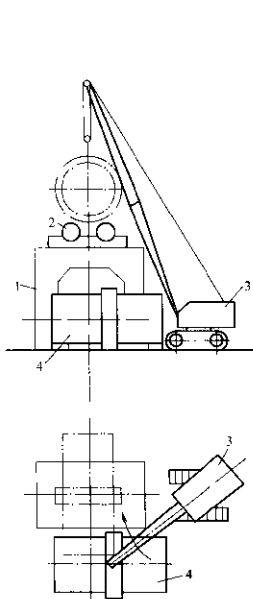


图3-121 用1台自行式吊车
吊装回转窑方法
1—基础;2—托轮;3—吊车;4—筒节

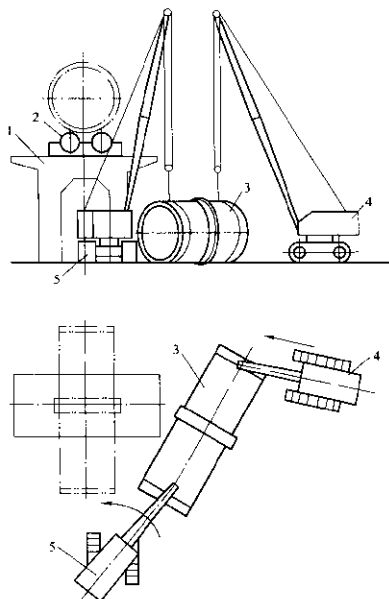


图3-122 用两台吊车抬吊回转窑方法
1—基础;2—托轮;3—筒节;4—吊车1;5—吊车2

心位置,再依据两台吊车的起重能力,用算法确定吊点位置,达到按吊车能力分配负荷的目的。吊车的负荷程度应达到有关要求,即吊重应小于两台吊车额定起重重量之和的75%,任意一台吊车所负担的负荷不得超过其额定起重重量的80%。吊索捆绑于筒节上的吊点处,两吊车同时吊升筒节至高度略超过托轮后,一台吊车转杆,另一台吊车负重前行,两吊车均应平稳操作,协同配合,吊筒节至托轮正上方,对正后放筒节于托轮上。继而将筒节一端与已吊装就位筒节相应端用螺栓连接。

若两台吊车均为履带吊或轮胎吊,而且其额定起重重量之和又足够大时,也可采用使筒节

轴线平行于回转窑纵向中心线且将其置于基础侧面、两台吊车均在其后的吊装方法。吊升筒节至高出基础顶面以后，两台吊车如采用迈步方法，先后分数次吊重前行，为安全和稳定计，应避免两吊车同步吊重前行的作业方法。待筒节靠近托轮时，再吊升些，使其略超出托轮高度。两吊车再迈步前行至筒节于托轮正上方，并落于托轮上。

3. 用桅杆吊装回转窑

一般桅杆法常用在中小型回转窑的吊装中，其方法如图 3-123 所示。小型回转窑可在地面上组装成整体后一次吊装，中型者可分两三次吊装，除两端头外每次应组装上两个轮

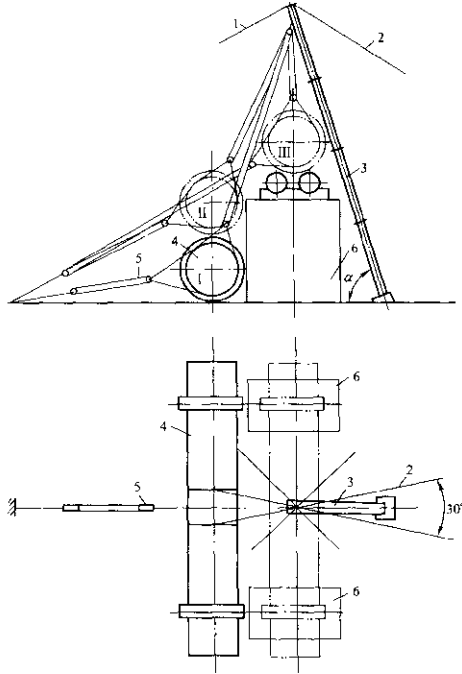


图 3-123 用桅杆吊装回转窑方法

1—缆风绳；2—主缆绳；3—桅杆；4—筒体；5—牵引滑轮组；6—基础

带。此方法需将桅杆斜立于回转窑基础侧面，两根主要承受吊装力的主缆风绳之间的夹角在 30° 左右为宜，其地锚要达到要求的抗拉稳定性。回转窑筒节置于同桅杆相对的另一侧面，并需挂牵引滑车组。在桅杆吊升筒节的同时牵引滑车组需拉住筒节，使筒节不接触基础表面。随着筒节吊升，牵引滑车组逐渐放松。此种吊装方法会因牵引滑车组的拉力，而增加桅杆的负荷，若桅杆起吊能力的安全裕度较大，则此吊装方法可行。为适当减少桅杆因牵引力而增加的附加负荷，可采取如下措施，即把桅杆脚向基础方向前移一个距离，桅杆头向筒

节方向偏移。为了在筒节就位时需加大桅杆倾角 α 的需要,应在两根主缆风绳中间各串联一个滑车组,并用卷扬机牵引,在其余缆风绳间各串联一个手拉葫芦。当筒节吊升至略高出托轮的高度后,用缆风绳中的手拉葫芦和滑车组配合动作,达到增大桅杆倾角要求。当桅杆头部处于两托轮的平分中心线上时,落筒节于托轮上。若为分几次吊装筒节,则需进行放倒桅杆,再在待吊筒节处竖立桅杆,再吊装其余筒节的吊装作业。

4. 用双桅杆吊装回转窑

此吊装方法同单桅杆法相似,在基础同一侧面斜立两个桅杆,位置按起重能力决定,设两套牵引滑车组。此吊装方法用于回转窑整体起吊,可使吊装作业一次完成,并能减少高处作业量。但此方法需要的起吊机具较多,设置起吊机具的工程量也较大。

5. 用龙门架吊装回转窑

在有多台相同或相近规格的大型回转窑需要吊装时,选用龙门架的吊装方案,能达到经济上合算、吊装方法简便、安全工作有保障等综合效果。视情况龙门架可做成吊升和走行全机械化的,也可做成半机械化的。其吊装方法如图 3-124 所示,龙门架骑跨于基础之上,能沿轨道在窑体上空从窑头至窑尾全程运行。待吊筒节可在地面上滚运至两轨道之间,龙门架行至其上方,吊升筒节至略高出托轮后,龙门架通过走行机构(也可每边挂两套滑车组,用卷扬机牵引往返运行)运行至吊装地点,调整筒节中心后与已就位筒节用螺栓连接。

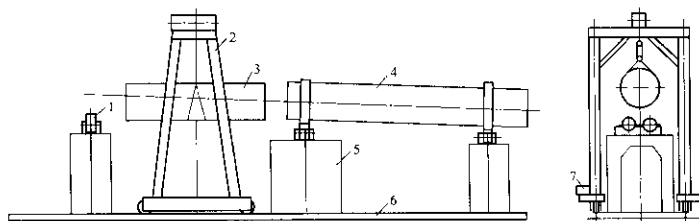


图 3-124 用龙门架吊装回转窑方法

1—托轮;2—龙门架;3—筒节;4—已就位筒节;5—基础;6—轨道;7—起升机构

由于龙门架的额定起重重量可以设计成很大,只要两基础间的距离允许,可把筒体在地面上尽量接长,以减少吊装次数。

因回转窑的窑头和窑尾常伸入建筑物内一段距离,所以第一节必须吊装窑头或窑尾的一节筒体,通常习惯于从低端(窑头)向高端(窑尾)顺次吊装,当筒节吊装接长大部分以后,则应吊装另一端头的一节,最后在中间把筒体接成整体,若把最后一节留在端头吊装,一定会造成很大的困难。

6. 用滚动法吊装回转窑

用滚动法吊装回转窑同以上一些吊装方法截然不同,此方法是把窑体沿斜道滚运至基础上方,而不需把窑体悬空吊起,因此不需要自行式起重机、桅杆、龙门架等大型吊装机具。

此方法如图 3-125 所示,在地面平台上将回转窑接成整体,并套装上几个轮带。底绳(图 3-125 中 8)一端固定于基础上,另一端从筒体下面绕过筒体至上方与滑车组相接。在基础和筒体间搭设斜道,枕木垛支墩(或钢支架)上铺一排钢轨,其上铺枕木。因回转窑的全长大于窑

头和窑尾厂房柱子之间的距离,所以摆放回转窑时,应使其一端在纵向上错动一个尺寸,以达到此端可在柱子跨距内滚上设备基础的要求。滚动法吊装回转窑需经以下几个步骤:

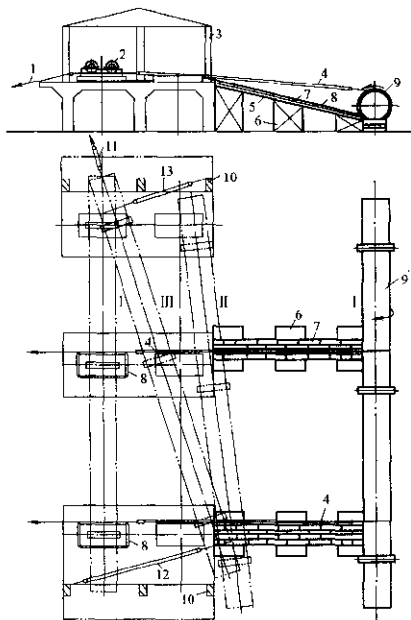


图 3-125 用滚动法吊装回转窑

1—跑绳;2—托轮;3—厂房;4—滑车组;5—钢轨;6—枕木垛(或钢支架);7—枕木;
8—钢丝绳;9—筒体;10—厂房柱子;11—牵引滑车组;12—摆正滑车组;13—制动滑车组

(1) 滚动

起动两台卷扬机,则筒体沿斜道向上滚动,当伸出柱子外的一端窑体移近柱子时,停止此端牵引,另一端则继续滚动,从柱子跨距内滚上基础,此时窑体斜置于基础上(图中Ⅱ的位置)。再继续向前滚动,筒体更斜,直至其端头超过中间柱子后停止滚动。

(2) 牵引

可用千斤顶将回转窑一端顶起的方法在中间基础上装排子。在回转窑端头挂牵引滑车组,使筒体穿入两柱子之间(图中Ⅲ的位置)。

(3) 摆正

挂摆正和制动两个滑车组(图中12和13)。二者配合动作,即可把筒体拉正于托轮的正上方。

(4) 就位

可用大起重量千斤顶支顶的方法,或在建筑物上挂滑车组的方法,达到回转窑筒体一端

一端就位的目的。

由以上方法可见,用滚动法吊装回转窑虽然有不用大型吊装机具等优越性,但其吊装作业步骤较多,而且诸如搭斜道、装拆排子等量大又繁重,需大量人工劳动。

(三) 回转窑吊装实例

[例 1] 用滚动法吊装长 36m 回转窑

在某铝厂煅烧车间用上述滚动法吊装直径 $\Phi 2.3\text{m}$, 长度 36m, 质量 50t 的中型回转窑。吊装有效工期 11 天, 耗用 275 个工作日。其吊装方法可参照图 3-125, 基础标高为 +4.65m, 回转窑组对后的底面标高为 1.5m。搭设水平长度 13m 的枕木斜道两个, 其上铺 43kg/m 钢轨 13 根(正放 6 根, 倒放 7 根), 挂两组 HQD4-20 额定起重量 20t 的滑车组, 用两台 MJ-5 型额定牵引力 50kN 的卷扬机牵引。

该回转窑吊装步骤如下:

1. 滚动

因建筑物柱子间的间距较窑长小 2.5m, 因此先将回转窑一端滚上基础, 即呈倾斜状(如图 3-125II 的位置)。在滚动中因两套滑车组的固定点较近, 只能将窑体滚动一半, 尚需用另两套滑车组和卷扬机接替后, 才可完成全部滚动工序, 因此, 需设置 4 套滑车组和 4 台卷扬机。

2. 牵引

在中间基础上将回转窑装排子, 在建筑物上挂 HQD4-20 滑车组, 用 MJ-5 卷扬机牵引将回转窑拉入建筑物柱子的空档间(如图 3-125 的 III 位置)。为保持窑体在前行中的稳定, 应在窑头和窑尾的适当部位用千斤顶支撑。

3. 摆正

挂摆正滑车组用卷扬机牵引将窑体拉正, 使其纵向中心处于三组托轮的上方。为防止已到位端窑体发生位移, 需挂制动滑车组, 拉住该端窑体(如图 3-125 中的 13)。

4. 就位

在回转窑高端用一套 HQD4-20 滑车组挂于建筑物上, 用一台 MJ-5 卷扬机牵引。回转窑低端和中部用起重量 30t 的千斤顶支顶, 用滑车组和千斤顶将窑体吊升并顶起, 撤去其下的支垫物, 分数次操作, 将窑体落于托轮上。若轮带和托轮的相对位置尚有误差, 应最后调整正确。

此滚动吊装法需用的主要工机具和施工材料有:

MJ-5 型额定牵引力 50kN 卷扬机 4 台;

HQD4-20 滑车 4 组(8 只);

钢丝绳 $6 \times 37 - 21.5 - 1700 \quad 600\text{m}$;

钢丝绳 $6 \times 37 - 26 - 1700 \quad 100\text{m}$;

枕木(标准型) 700 根(仅损耗 20% 左右);

钢轨, 43kg/m($l = 12.5\text{m}$) 26 根(可全部再利用)。

[例 2] 用自行式起重机吊装大型回转窑

在某造纸厂的扩建工程中, 用自行式起重机吊装直径 $\Phi 3\text{m}$, 长 88m 的大型回转窑。该窑从芬兰引进, 总质量 251t, 其中筒体包括轮带质量 227t, 分 9 段到货。窑体由三个独立的基础上安装的一组托轮支承, 窑头筒体中心标高 +8.50m, 窑尾为 +10.70m, 呈 2.5% 的倾斜度。

1. 轮带的套装和筒段地面对接

一般情况,轮带应在吊装前套装在筒段上,这样可加快工程进度,减少高处作业,避免高空套装的困难。对无轮带的两段需连接的筒段,尽量在地面上连接在一起,这样可减少吊装次数,以缩短工期,降低吊装成本。本例筒段和轮带的组装情况如表 3-16 所示。2、5、8 段将轮带套装在筒段上,其中最重者为 45.3t,此最大吊物质量即为选择起重设备吊装能力的依据。将 3 和 4 段、6 和 7 段对接在一起,其组接后的质量仍小于最大吊物质量。这样就将吊装次数减少到 7 次。一般岔头岔尾两个筒段,因其一端要伸入建筑物中,加之吊车的站位不便,一般不宜再接长。筒段短些,质量轻些,更便于吊装与就位。

表 3-16 筒体段质量和每钩吊物质量

段号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
段质量/t	16.3	35.6	17	17	35	18	17	31	11.3
轮质量/t	—	9.3	—	—	10.3	—	—	9.3	—
钩质量/t	16.3	44.9	34	—	45.3	35	—	40.3	11.3

2. 选择吊装机械

本例用型号 LT1080 全液压汽车吊,(起重量 80t)为主吊机械,用型号 IPD-90 履带吊(起重量 50t)为副吊机械,采用两台吊车抬吊的方法。选吊车的参数如下:

LT1080 汽车吊:幅度 6m,主臂长度 21.7m,起重量 36.5t;

IPD-90 履带吊:幅度 6m,主臂长度 22m,起重量 21.2t;

两吊车合计起重量为 57.7t,最大吊物质量 45.3t,为其 80%左右,可行。

3. 吊装方法和步骤

吊装顺序,先吊装第 9 段筒段而后顺序往前吊装,再吊装第 1 和第 2 段,最后对接 2~3 和 4~5 段之间的接口。

吊装最大吊重筒段的情况如图 3-126 所示。筒段斜置于基础旁,汽车吊站于基础一侧,履带吊站于基础的斜前方。两吊车的吊点按其应吊的起重量确定。其吊装步骤为:

(1) 支撑汽车吊的支腿,其位置按工作幅度 6m 而定,吊装时不变幅;平整并夯实履带吊站立处和移位范围的地面;

(2) 两个吊点均用 6×37-39-1770 钢丝绳两根捆绑筒段形成吊点,吊点位置按吊车起重量分配确定;

(3) 同时提升两吊车的吊钩,至筒段离开地面约 10cm 左右,进行试吊,检查两吊车的稳定情况。并读取每台吊车的实际吊装质量,若基本符合原定分配数值可开始正式吊装,若因某种原因,其分配误差较大,应放下筒段,调整吊点位置后再正式吊装;

(4) 用两台吊车吊升筒段,注意使吊升速度同步,保持筒段水平,两吊车不变幅只起钩将筒段吊升高度略高于基础;

(5) 汽车吊向基础方向转杆,履带吊转杆与小距离移动车位配合,为安全计两吊车应分开动作,不可同时操作;

(6) 再次将筒段抬升,其高度超过托轮,汽车吊转杆,履带吊向前移动车位,将筒段吊至

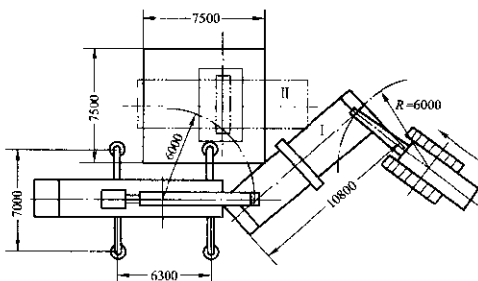
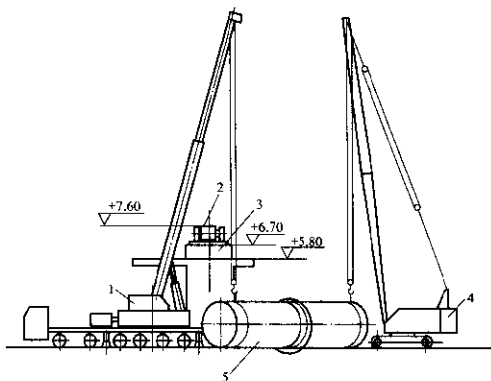


图 3-126 回转窑筒段抬吊图

1—80t 汽车吊;2—托轮;3—基础;4—50t 履带吊;5—筒段

托轮正上方,并将轮带落于托轮上。

二、吊装电站锅炉

电站锅炉专用于火力发电厂。用电站锅炉生产具有中压以上的过热蒸汽,驱动汽轮机并带动发电机发电。电站锅炉的容量以单位时间内连续生产的蒸汽量表示,通称蒸发量,其单位为 t/h。电站锅炉的容量一般与发电机的容量相匹配,随着发电机组电功率(MW)的迅速增大,电站锅炉的单机蒸发量也相应增大,已有蒸发量逾 2000t/h 的巨型电站锅炉。我国常见的电站锅炉其蒸发量有 35、75、130、220、410、670、1000t/h 等数种,也有与以上相近蒸发量的电站锅炉。电站锅炉的蒸汽出口压力是另一重要参数,我国现行的压力系列为:中压 3.9MPa;高压 10MPa;超高压 14MPa;亚临界压力 17MPa。过热蒸汽的温度常为 450℃和 540℃。电站锅炉的型号规格见表 3-17。

表 3-17 电站锅炉型号规格

名称	型号	主要技术规格				外形尺寸 高×宽×深 /m	金属部分 质量/t
		额定蒸 发量 /t·h ⁻¹	出口蒸汽 压力 /MPa	出口蒸汽 温度 /℃	锅炉给水 温度 /℃		
20t/h 低压煤粉锅炉	SIF20~25/400	20	2.5	400	105	11.4×5.01×8.0	59.6
35t/h 中压煤粉锅炉	BG35/39-M	35	3.9	390	104	22.0×9.5×11.0	165.0
65t/h 中压煤粉锅炉	BG65/39-M	65	3.9	390	104/150	25.6×12.5×16.13	290.0
	WG65/39-10-13	65	3.9	390	150	22.5×6.7×11.65	
75t/h 中压煤粉锅炉	BG75/39-MQ	75	3.9	450	104	28.1×16.0×10.7	324.0
130t/h 中压煤粉锅炉	F130/39-A·B	130	3.9	450	170	24.3×7.4×13.4	420.0
	BG130/39-M	130	3.9	450	170	30.0×13.5×18.0	450.0
	HG130/39-1	130	3.9	450	170	37.4×12.0×27.5	590.0
220t/h 高压液态 排渣锅炉	WG220/100-9-10	220	10.0	540	215	34.6×12.6×18.5	
220t/h 高压煤粉锅炉	HG220/100-10.6-7	220	10.0	540	220	36.3×9.3×18.1	1026.0
	WG220/100-3-6.8	220	10.0	540	215	37.0×12.6×17.6	875.0
300t/h 高压煤粉锅炉	DG300/100-4	300	10.0	540	220	37.2×10.3×16.5	950.0
410t/h 高压煤粉锅炉	HG410/100-7-9.11	410	10.0	540	220	46.8×24.0×42.2	1800.0
670t/h 超高压中间再热 液态排渣锅炉	DG670/140-6	670	14.0	540	240		
670t/h 超高压中间再热 煤粉锅炉	HG670/140-6-11	670	14.0	540	240	55.7×25.6×37.5	3700.00
1000t/h 亚临界压力中间 再热煤粉锅炉	SG1000/170-M306	1000	17.0	555	265	56.0×24.0×26.5	4200.0

(一) 电站锅炉的工作原理

自然循环锅炉的简要工作原理如图 3-127 所示,经过省煤器被加热的软化水,加入锅炉中并充满水系统,仅锅炉中留有部分空间,炉水在水冷壁内受热蒸发成饱和蒸汽,被导向过热器。炉水靠下降管形成自然对流循环。过热器将饱和蒸汽再次加热,形成过热蒸汽后送往汽轮机。为了提高热效率,炉水在省煤器内加热后再送向锅炉;由送风机将冷风送入空气预热器预热后再送入燃烧室。

辅助循环锅炉是在下降管系统内加装强制循环泵,用以加强蒸发受热面的水循环。而直流锅炉中没有锅筒,炉水由给水泵先送入省煤器,后经水冷壁和过热器等蒸发受热面变成过热蒸汽后送往汽轮机。我国已建成超高压 400t/h 直流锅炉和亚临界压力 1000t/h 锅炉。

(二) 电站锅炉的型式和构成

最常见的电站锅炉是单锅筒自然循环悬挂式,门形钢架结构,中型以下锅炉也有支承式的,其主要构成为:(1) 钢架。一般钢架成门形,用大规格型钢和钢板焊接面成,由立柱、横

梁、顶梁、顶板、拉筋、平台梯子栏杆等组成。大中型锅炉其钢架十分庞大坚固,其顶梁上要悬吊锅筒、水冷壁、过热器等重大荷载。(2) 锅筒。锅筒是锅炉的重要部件之一,它用优质厚钢板制成,其外连接水循环系统,其内除储水外,还设有内部装置,用其进行汽水分离、排除给水中的盐水和泥渣等。(3) 炉膛和水冷壁。炉膛又称燃烧室,断面呈正方形或矩形,燃料在炉膛内燃烧形成火焰和高温烟气,炉膛由耐高温的材料和保温材料构成。由较细钢管组成的水冷壁挂满炉膛内表面,它用集箱连接成组,形成若干个独立的水循环回路。水冷壁吸收燃料燃烧的辐射热量,使水成为蒸汽。(4) 过热器。过热器有高温过热器和低温过热器之分,它们均设置在水平烟道内,由锅筒导入的饱和蒸汽在过热器内经再次加热后成为过热蒸汽。过热器由许多较细的合金钢(如常用的 $12Cr1MoV$, $15CrMo$ 等)管弯成盘管形状并与集箱组成组,悬挂于钢架顶梁上。(5) 省煤器。它由许多平行的蛇形管组成,安置在尾部烟道的上部空间,设置它的目的是利用废气余热提高给水温度,以增加加热效率。(6) 空气预热器。它也置于尾部烟道内,在省煤器的下面,其作用是使空气进入炉膛前加热到一定的温度。(7) 燃烧器。燃烧器安置于炉膛内,一般有数个,用它喷出煤粉与空气混合后在炉膛内燃烧。

还有本体管路系统、除灰装置等,有的大型电站锅炉还有再热系统。

(三) 电站锅炉的结构

自然循环电站锅炉的结构基本相同,大多为单锅筒自然循环,「形结构,悬挂式,室内布置。锅炉的外形尺寸和设备质量随蒸发量的增加而加大,表3-18列举几个锅炉厂成套锅炉主要组成部分的质量情况。图3-128为蒸发量220t/h锅炉的结构简图。电站锅炉均形成炉膛(又称燃烧室)和尾部烟道(又称对流井)两大部分。炉膛的四周装有前水冷壁、后水冷壁、左侧水冷壁、右侧水冷壁和顶棚水冷壁,用以上水冷壁包围起炉膛空间,形成锅炉受热面。水冷壁悬挂于钢架顶梁上,它们用集箱组成若干组后再与锅筒连接。锅筒悬挂于钢架炉顶组件的锅筒梁上,锅筒下方连有下降管。低温过热器、高温过热器、尾部侧包墙过热器和屏式过热器均装于水平烟道内,它们也悬挂于钢架炉顶组件的次梁上。尾部烟道下段装有空气预热器,上段装有第一级省煤器和第二级省煤器。4个燃烧器装于炉膛四角。锅炉钢架由8根主立柱、8根副立柱和2根中柱为主框架支承载体,钢架顶端由主梁、次梁、锅筒梁等为主体组成炉顶组件,与各钢柱相连接,加上许多横梁、斜支撑等组成稳定的框架,以承受锅炉的巨大负荷。

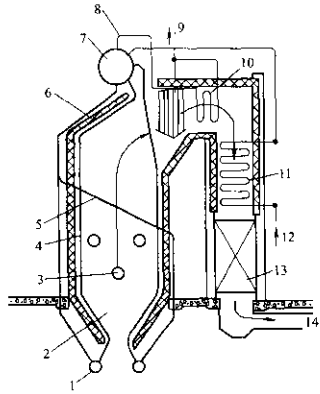


图3-127 锅炉简图

1—集箱;2—炉膛;3—燃烧器;4—水冷壁;5—下降管;6—炉膛;7—锅筒;8—饱和蒸汽引出管;9—过热蒸汽出口;10—过热器;11—省煤器;12—给水;13—空气预热器;14—烟气出口

表 3-18 成套锅炉质量参照表

容量-压力-温度	名称	型号	设备质量 / t											制造厂		
			钢架	筒筒	水冷系统	过热系统	再热系统	省煤器	空气预热器	本体管路系统	各种金属结构	本体平台扶梯	燃烧装置(炉排)		除尘装置	合计
35t/h-39-450	链条炉	L-35/39-W/1	20.30	13.40	15.10	13.00	—	17.50	10.10	4.70	16.80	10.10	130.00	4.00	254.90	北京锅炉厂
35t/h-39-450	煤粉炉	BC-35/39-M	23.50	13.40	15.10	10.68	—	7.80	42.70	4.70	12.80	17.60	1.45	4.60	154.30	北京锅炉厂
75t/h-39-450	煤粉炉	SG-75-29/450-S0492	51.90	17.90	32.06	24.28	—	31.10	49.50	5.53	29.45	18.20	17.60	11.57	328.80	上海锅炉厂
130t/h-39-450	煤粉炉	SG-130-39/450-S0235	38.10	17.00	71.89	43.50	—	52.90	125.70	9.70	18.00	17.10	15.20	6.80	415.85	上海锅炉厂
220t/h-100-540	煤粉炉	SG-220-100/540-S0292	132.80	56.50	158.30	94.4	—	76.73	248.40	11.25	42.80	61.60	27.50	27.30	957.60	上海锅炉厂
410t/h-100-540	煤粉炉	HG-410-100/540-9	223.00	67.30	297.60	277.50	—	148.50	407.00	31.10	41.50	91.70	17.20	31.20	1633.60	哈尔滨锅炉厂
400t/h-140-555	煤粉炉	SG-400-140/555-S0414	209.00	57.00	361.70	230.80	242.40	130.00	202.00	46.50	124.10	75.00	63.00	23.00	1764.50	上海锅炉厂
670t/h-140-555	煤粉炉	HG-670-140/555-6	778.30	72.70	589.70	494.00	346.20	235.90	683.82	35.87	91.05	160.43	146.90	92.34	3730.80	哈尔滨锅炉厂
1000t/h-170-555	直燃煤粉炉	SG-1000-170/555-S0306	347.00	80.0	533.80	931.30	339.20	319.70	523.00	169.00	206.50	261.80	157.60	86.80	3883.70	上海锅炉厂

注:资料来源——全国统一安装工程预算定额第十四册。

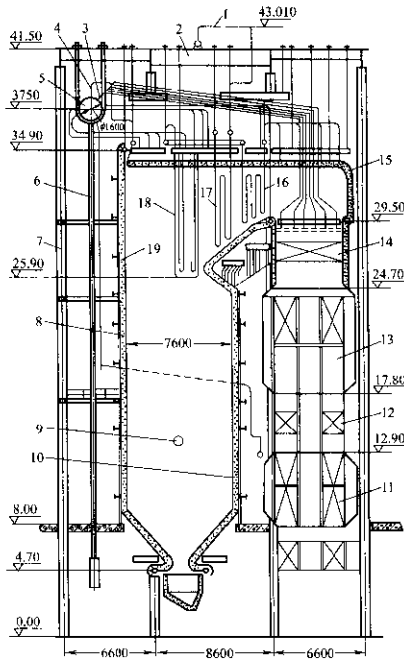


图 3-128 220t/h 锅炉结构简图

- 1—过热蒸汽;2—炉顶构架;3—给水;4—饱和蒸汽;5—锅筒;6—下降管;7—钢柱;
8—前水冷壁;9—侧水冷壁;10—后水冷壁;11—空气预热器;12—第一级省煤器;13—空气预热器上段;
14—第二级省煤器;15—顶棚水冷壁;16—低温过热器;17—高温过热器;18—屏式过热器;19—炉膛

电站锅炉有体积大、高度大、质量大、部件多等特点,从表 3-17 可见其质量由数百吨到数千吨,最大的蒸发量 2008t/h 亚临界压力锅炉,其金属部分总质量达 6000 余吨,炉顶标高高达 85m。其他蒸发量锅炉的炉顶标高也很大,如 1000t/h 为 51m、670t/h 为 46.5m、410t/h 为 45.8m、220t/h 为 41m、130t/h 为 27m、75t/h 为 25m 等。

巨大的吊装高度和吊装质量,无疑使锅炉吊装具有较大的难度,因此对吊装提出了很高的要求。吊装也成为加快安装速度和保证施工安全的关键之一,如果说电站锅炉安装的成功主要取决于吊装和焊接是有其道理的。

(四) 电站锅炉的吊装

吊装锅炉的一般程序是:先框架后“心脏”、先组合件后散件、先大后小、先下后上。吊装锅炉的具体吊装方法取决于锅炉的容量和结构特点;吊装机械的类型、数量和起重能力;设备供货状况;其他如施工人员的数量、技术能力、组装场地及施工用料等。

1. 组合吊装

组合吊装就是在地面的平台上,将相关零部件拼装成较大的组合体,再将组合体按顺序吊放到设备上拼装。此种方法可提高效率、缩短工期、减少高处作业、易保证工程质量。但是用组合吊装法需要较大的运输和吊装机械、需用较大面积的组合格地、耗用辅助性材料较多,而且应要求设备提早到货并供应齐全。

(1) 锅炉组合格地需用面积的估算

组合格地的面积应根据锅炉金属总质量、组合率(组合件质量占总质量的百分数)、设备的堆放面积、通道面积和土壤承载力等进行计算,常用的计算公式如下:

$$F = \frac{1.25 QK}{\eta q_k}$$

式中 F ——组合格地面积, m^2 ;

Q ——锅炉金属总质量, t ;

K ——锅炉组合率, %, 一般取 70% ~ 80%;

q_k ——土壤承载力, t/m^2 ;

η ——组合格地利用率系数, 一般按 0.78 ~ 0.82 计算;

1.25——保险系数。

若安装一台 220t/h 锅炉, 金属部分总质量为 940t, 组合率为 73%, 土壤承载力 $q_k = 0.5t/m^2$, 则需要组合格面积:

$$F = \frac{1.25 QK}{\eta q_k} = \frac{1.25 \times 940 \times 0.73}{0.8 \times 0.5} = 2144 (m^2)$$

(2) 组合件的划分和组合率

划分组合件应根据锅炉的结构特点, 起重机械的能力、组件吊装时所经路线和空间容许尺寸等条件来决定。在有足够大的组合格地、起吊机械又能胜任、设备到货及时的情况下, 应尽可能地提高组合率、减少组合件数量、增加地面作业量、减少高处作业量、充分发挥组合安装的高效率。

在划分组合件时还应考虑以下因素: 1) 使每一组合件的总质量尽量接近起重机械的起重能力; 2) 在组合件装配时, 可将不便单装且较为费工的零部件先组装上, 其余以后散件单装; 3) 尽量减少安装焊口和高空不易焊接的焊口数量, 增加地面组合焊口数; 4) 组合件本身应有一定的刚性, 以减少辅助材料用量; 5) 组合件应尽量达到一次起吊就位, 减少中间倒运, 减少“接钩”次数; 6) 吊装机械的工作范围, “开口”方位应与组合件的吊升和就位路线一起考虑。

随着我国各电力建设施工企业大型吊装机械的配备, 锅炉制造厂家设备制造质量的提高和出厂组合件比例的增加, 目前我国电站锅炉安装的组合率也在逐步提高, 中小型锅炉的组合率已达 80% ~ 90%, 400t/h 锅炉一般约为 60% ~ 70%, 670t/h 锅炉组合率约为 65% 左右。

下面列举几个组合件划分实例, 供参考:

130t/h 中压煤粉锅炉组合件划分情况见表 3-19 所示。

表 3-19 130t/h 锅炉组合件划分表

序号	组合件名称	件数	质量/t	说明
1	出渣装置	1	6~8	含配管与打料
2	钢架	4	12~22	左右杆间为一件,含相应的框架及支撑等
3	空气预热器	12	7~9.5	每管箱为一件,含打料
4	水冷壁	12	3~3.8	每一循环回路为一件
5	低温省煤器	1	9~10	含防磨装置及打料
6	高温省煤器	1	17~20	含防磨装置及打料
7	锅筒	1	22~25	含内部装置
8	高低温过热器	1	50~56	含平炉顶框架及打料、金属件
9	冷灰斗	2	14~16	每侧为一件,含砌筑
10	燃烧器	4	2.5~3	每组为一件,含打料
11	斜过道	1	8~10	含砌筑
12	斜炉顶	1	2.5~3	含打料、金属料

注:所用吊装机械:60t 系统式桅杆起重机,15t 履带吊,5t 叉车各一台。

型号 WGZ 220/9.8-1 220t/h 煤粉锅炉组合件划分情况如表 3-20 所示。

表 3-20 220t/h 锅炉组件及吊装顺序表

序号	组件名称	数量	质量/t			备注
			金属	保温	加固	
1	Z ₆ Z ₄ 钢架组件(左)下、中	1	37.2			
2	Z ₇ Z ₄ 钢架组件(右)下、中	1	37.2			
3	Z ₅ Z ₆ 钢架	1	6.1			
4	Z ₃ Z ₄ 钢架组件(左)上	1	17.3			
5	Z ₃ Z ₄ 钢架组件(右)上	1	17.3			
6	Z ₁ Z ₂ 钢架组件(左)下、中	1	32.2			
7	Z ₁ Z ₂ 钢架组件(左)上	1	15.5			
8	下部空气预热器两侧管箱吊装	4	4.0			
9	下部空气预热器中间管箱吊装	4	4.0			
10	中部空气预热器两侧管箱吊装	4	9.0			
11	中部空气预热器中间管箱吊装	4	9.0			
12	低温省煤器安装	2	24.3			

续表 3-20

序号	组件名称	数量	质量/t			备注
			金属	保温	加固	
13	上部空气预热器两侧管箱吊装	4	14.1			
14	上部空气预热器中间管箱吊装	4	14.0			
15	高温省煤器组件吊装	1	29.7			
16	Z ₁ Z ₂ 钢架组件(右)下、中	1	32.1			
17	Z ₁ Z ₂ 钢架组件(右)上	1	15.5			
18	钢筒临时就位吊装	1	36.7			
19	前炉顶构架吊装	1	21.0			
20	钢筒正式就位吊装	1	36.7			
21	中炉顶构架吊装	1	23.7			
22	左侧包墙水冷壁吊装	1	8.4			
23	左侧水冷壁组件吊装	1	38.8	10.0	10.0	
24	后水冷壁组件吊装	1	36.5	9.0	10.0	
25	前水冷壁组件吊装	1	38.7	10.0	10.0	
26	后炉顶钢架吊装	1	11.9			
27	尾部侧包墙过热器吊装	2	4.4			
28	顶棚过热器后段吊装	1	2.8		0.4	
29	尾部后包墙过热器吊装	1	4.8			
30	低温过热器吊装	1	34.4		0.15	
31	顶棚过热器前段吊装	1	5.7		0.4	
32	高温过热器吊装(冷段)	2	9.1		0.15	
33	高温过热器吊装(热段)	1	16.7		0.15	
34	屏式过热器吊装	10	1.5			
35	水冷壁右侧包墙组件吊装	2	8.3			
36	右侧水冷壁组件吊装	1	33.9	10.0	10.0	
37	顶棚过热器中段吊装	75根	0.025			

注:1.表中组件质量数值为单个组件的质量;

2.锅炉组装用起重量为400kN(40t)的龙门吊;吊装用起重量为750kN(75t)的塔吊。

型号HG410/100-11 410t/h 锅炉组合件划分情况如表3-21所示。

表 3-21 HG410/100-11 锅炉主要组合件划分表

序号	组合件名称	件数	质量/t				备注
			金属质量	保温质量	加固质量	总质量	
1	下省煤器	4	26		0.5	26.5	总质量为单件质量
2	上省煤器	1	54		2.6	56.6	
3	前后包墙	1	26	2.2	9.8	38	
4	侧包墙	2	14	2.7	1.8	18.5	总质量为单件质量
5	尾部护顶板梁及吊杆	1	35		0.2	35.2	
6	中部护顶板梁及吊杆	1	47.7		0.5	48.2	
7	前部护顶板梁及吊杆	1	40		0.5	40.5	
8	一级过热器	1	72.5		3.0	75.5	
9	二级过热器	1	31.4		1.6	33	
10	顶棚过热器	1	8.3		0.5	8.8	
11	前水冷壁	1	40	5.5	6.6	52.1	
12	侧水冷壁(前)	2	33.6	6.1	6.6	46.3	总质量为单件质量
13	侧水冷壁(后)	2	33.7	6.1	6.6	46.4	
14	后水冷壁(上)	1	3.6		0.2	3.8	
15	后水冷壁(下)	1	34.2	6.1	5	45.3	
16	锅筒(包括吊架)	1	76.9			76.9	φ1800×100×15000mm
17	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(左下)	1	33.8			33.8	
18	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(左中)	1	29.5			29.5	
19	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(左上)	1	28.9			28.9	
20	Z ₃ -Z ₄ 钢架组件(下)	2	41			41	总质量为单件质量
21	Z ₃ -Z ₄ 钢架组件(中)	2	33.8			33.8	
22	Z ₃ -Z ₄ 钢架组件(上)	2	31.7			31.7	
23	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(右下)	1	33.8			33.8	
24	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(右中)	1	29.5			29.5	
25	Z ₁ -Z ₂ 钢架组件(右上)	1	28.9			28.9	
26	中部护顶板梁组件	1	47.7			47.7	
27	炉前板梁组件	1	40			40	
28	炉尾板梁组件	1	35.2			35.2	

型号 DG-670/140-(10)锅炉组合件划分情况如表 3-22 所示。

表 3-22 670t/h 锅炉组合件划分表

序号	组合件名称	件数	质量/t			说 明
			金属 质量	加固 质量	合计	
1	DL ₁ 顶板梁组件	1	47		47	两根 7 号梁不组合
2	DL ₂ 顶板梁组件	1	52		52	
3	DL ₃ 顶板梁组件	1	62		62	
4	DL ₄ 顶板梁组件	1	61		61	两根 18 号梁不组合
5	左右包墙管组件	2	22		22	
6	后包墙管组件	1	45		45	
7	省煤器悬吊管	1	22.6	5	27.6	
8	再热器高温段	4	17	2.5	19.5	
9	一级过热器出口段	2	28.4	2.6	31	
10	一级过热器进口段	1	56.4	3.6	60	
11	顶棚管集箱组件	1	9		9	
12	左水冷壁	1	50	8	58	
13	前水冷壁侧	2	48	8	56	
14	前水冷壁中	1	42	8	50	
15	后水冷壁	2	50	8	58	
16	右水冷壁	1	50	8	58	
17	锅筒(含内部装置)	1	107		107	D = 1980mm, l = 22210mm
18	省煤器侧护板	2	11		11	
19	省煤器后护板	2	15		15	
20	空气预热器管箱	6	11.2		11.2	
21	预热器上部烟道组件	2	11		11	
22	集中下降管对接	6	11.5		11.5	
23	烟道伸缩管	1	2.4		2.4	

注:表中质量合计栏为单件的质量。

2. 小片组合件吊装及单装

大体上按锅炉制造厂家出厂件为单元的小片组合件吊装及单装有以下优点:(1) 不需大面积的组台场地只需设备堆放场地;(2) 不需耗用搭设组合平台、对组合件进行刚性加固等的辅助材料;(3) 不需设置大型组合、运输和吊装机械;(4) 可不用或少用“接钩”、“开口”等特殊措施;(5) 可避免在组焊中对地一面的仰焊操作,易保证焊接质量;(6) 在钢架安装后即可封闭厂房,使以后的安装免受自然条件的影响。因有以上的优点,此种吊装方法在

大型锅炉安装中亦常被采用。此种方法的不足是:(1)一般施工工期较长;(2)高处作业多,施工安全性差;(3)需用较多的小型机具;(4)需用较多的脚手架及施工用平台;(5)要求锅炉制作质量精良,加工精度高,尺寸偏差小;(6)安装单位需有娴熟的安装技术,需制定完善的施工方案,特别需仔细研究并确定合理的安装顺序和工序间的衔接,否则可能会造成返工,并给施工造成困难。

由于锅炉零部件繁多,彼此间又互相关联和制约,有的部件还穿插交错地组装在一起,因此,一般情况大型锅炉的组合率最高约70%,可见单件散装是不可避免的,这也是锅炉安装的一大特点。

3. 吊装中的“开口”

因为锅炉的“内脏”均装于由前后左右和顶部钢架所组成的闭合框架内,钢架又需最先安装作为内部装置的依托,因此就遇到一个“开口”问题,所说的“开口”就是指锅炉内部组件进入框架的入口,显然,不设“开口”不行,“开口”过大又会降低钢架的整体稳定性,如果“开口”的大小和位置不当,还会增加吊装就位的难度。因此“开口”的大小、方向和位置即成为锅炉吊装的重要技术问题之一。在预留“开口”时应注意以下几点:(1)“开口”的大小,应达到最大组合件可以顺利通过;(2)“开口”的方向要与吊装机械的站位和移动方向(塔吊)相配合;(3)“开口”的位置应不致过大地削弱钢架的稳定性,又需为吊装机械起升高度所容许;(4)“开口”部位应与组合件吊装顺序相配合,使组合件进入和就位的路径合理,“接钩”次数最少。

一般有侧向开口、顶部开口和组合开口等三种“开口”方式,如图3-129所示。侧向开口(图3-129a),钢架整体稳定性较差,但入口方便,且要求吊装机械的吊升高度较低,需采用部分“接钩”作业。顶部开口(图3-129b),钢架整体稳定性较好,大部分组合件进口顺畅,要求吊装机械有足够的吊升高度,许多组合件需临时固定,再进行就位吊装,“接钩”作业较少。组合开口(图3-129c),兼有以上两种“开口”的优点。

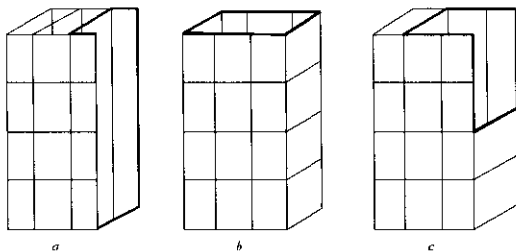


图3-129 “开口”形式示意图

a—侧向“开口”;b—顶部“开口”;c—组合“开口”

在吊装作业中,正处于“开口”位置的组合件暂不安装,先吊装远离“开口”处的组合件至安装位置直接就位,或吊近安装位置,经“接钩”后再就位。然后再逐件从远离“开口”位置向“开口”方向吊装,最后再吊装“开口”处的组合件。

在编制锅炉吊装方案时,不同的吊装方案应有不同的“开口”,也有不同的吊装顺序。应

综合考虑吊装方法、“开口”位置、吊装顺序、“接钩”措施、组合件临时固定、吊装机械站位、组合件进入现场等技术环节,达到方法得当、顺序合理,“开口”合适,瞻前顾后,科学衔接,形成整体。

4. 吊装机械的选择

大型吊装机械的合理选择和正确布置是顺利完成电厂施工的关键之一,同时,吊装机械的能力和数量也是制定施工方案的重要依据。选择大型吊装机械时,主要应考虑以下几点:

- (1) 起重能力(额定起重量、起升高度、工作幅度)应能满足吊装最大件的要求;
- (2) 吊装机械应有良好的性能,作业时稳定可靠,灵活机动,效率高,安全性好;
- (3) 吊装机具的安装、移动、拆除应方便;
- (4) 优先选用本企业已有的吊装机具,并应考虑经改制后使用的可能;
- (5) 如拟以桅杆等为吊装机械时,应考虑吊装作业场地的条件,如缆风绳的布置,公路和铁路运输的穿行和卷扬机的位置等;
- (6) 锅炉本体吊装机械和组合场起重机械的能力和数量应配套,形成组合与吊装连续作业线,以利加快吊装速度;
- (7) 考虑锅炉连续安装的台数、工程量的大小和工期要求的急缓等;
- (8) 必要时应考虑双机抬吊和机械与钢结构架联合吊装的可能性;
- (9) 一般考虑吊装机械的大小和数量时,应同时兼顾土建施工和设备吊装的共同需要。

锅炉本体吊装可用系缆式桅杆,各种自行式起重机(汽车吊、履带吊、轮胎吊)、塔式起重机等作吊装机械。许多大中型锅炉设备的吊装常用大型塔式起重机,而组合场则多用龙门起重机为主要吊装机械,再辅以中型的自行式起重机。

锅炉组合场的组合和运输机械规格:常用起重量 30~40t,跨距为 30~40m 的龙门起重机数台,用几辆载重量 30~50t 的铁路平板车运输大件和长件,还需适当配备数台起重量为 10~15t 的自行式起重机,尤以选用吊重可行走的履带起重机,工作时更方便。

锅炉本体设备吊装多用塔式起重机,这是因为塔吊既可在轨道上行走,扩大了吊装作业范围,又有很大的吊升高度和起重量。按锅炉的大小选配塔吊的规格如下:

- 220t/h 锅炉可选配 800~1000t·m 的 50t 塔吊;
- 400t/h 锅炉可选配 1000~1200t·m 的 60t 塔吊;
- 670t/h 锅炉可选配 1200~1500t·m 的 75t 塔吊;
- 1000t/h 锅炉可选配 2100~2500t·m 的 100t 塔吊。

5. 锅炉钢架吊装

锅炉钢架是锅炉的本体设备,是锅炉重荷的支承部分,又是锅炉各组成部件的定位依托,故必须最先安装。一般锅炉钢架由若干个立柱和炉顶钢架两个大部分组成,立柱群用许多横梁和支撑连接成稳固的空间框架,柱脚用地脚螺栓紧固在混凝土基础上,炉顶钢架安装于框架的顶端,其中有悬挂锅筒、水冷壁、过热器等的横梁。由锅炉钢框架形成炉膛和尾部烟道两个组装空间。

(1) 立柱吊装

一般在吊装前将数根立柱组成组合件,采用分段或成片的方法吊装,这样可以及早地形成具有一定刚性和稳定性的框架,图 3-130 为分段吊装立柱组件的示意图,用平衡滑车和滑车组将立柱组件调成铅垂状态,以便就位和对接。在已吊装的钢架尚未形成稳固的刚性

框架时,必须用缆风绳牵牢,防止产生摆动和倾覆,以确保施工安全。

(2) 炉顶钢架吊装

炉顶钢架应在地面平台上组装成整体,再根据塔吊的起重能力和“开口”方案,将炉顶钢架分成几个组合件,一般分炉前、中部和炉尾三个钢架组合件。常先吊装炉尾组合件,以便尽快展开尾部烟道内的设备安装。在炉尾组合件就位后,待前、后水冷壁组合件临时固定后再吊炉前组合件,待左、右水冷壁组合件就位后,最后吊中部炉顶组合件,以上为一般吊装顺序,应视具体情况和条件的不同而灵活运用。

6. 锅筒吊装

锅筒是锅炉的重要部件,质量和长度均大,其长度常大于钢架的间距尺寸,从而给吊装增加了难度。吊装锅筒的常用方法有吊装机械直接吊升法,此法吊钩从顶梁空档间放下,直接吊升锅筒,当遇到钢架横梁阻挡时,用穿躲的方法越过;也有在锅筒顶梁上挂两组滑车组用卷扬机牵引提升的方法,此方法如因用悬挂方式固定滑车组的上滑车造成吊装高度不够时,可使用接钩装置或在锅筒顶梁上再加辅助横梁的方法提高吊升高度;还有用吊装机械和滑车组抬吊的方法。用后两种吊装方法,解决钢架空档距离小于锅筒长度的问题,可采用两种常用措施,其一:使锅筒呈倾斜状吊升;其二:锅筒水平吊升,吊升至钢架横梁挡住时,可挂手拉葫芦或滑车组将锅筒向一侧牵引,越过横梁后再继续吊升,直至就位。

吊装实例 1:用起重重量 60t 塔吊单钩提升 220t/h 锅炉锅筒。锅筒质量 36.7t,长度 13m。锅筒下部外伸 4 个下降管头,中间两个外侧间距尺寸为 3160mm,两吊索挂其侧旁,见图 3-131。试计算吊索钢丝绳直径。

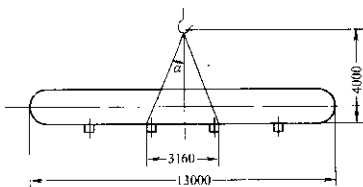


图 3-131 单钩吊装锅筒示意图

每根绳索上受力 S : ($\alpha = 21^\circ 30'$)

$$S = \frac{36.7 \times 9.8}{4} \times \frac{1}{\cos \alpha} = 90 \times 1.07 = 96.3 (\text{kN})$$

取安全系数 $K = 10$, 则吊索安全受力:

$$P = KS = 10 \times 96.3 = 963 (\text{kN})$$

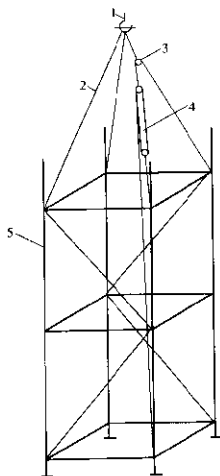


图 3-130 立柱分段吊装示意图

- 1—吊车吊钩; 2—吊绳;
3—平衡滑车; 4—滑车组

选 $6 \times 37 - 43 - 1700$ 钢丝绳,其破断拉力为 971kN ,安全可用。

吊装实例 2:用起重重量 60t 塔吊和滑车组抬吊 410t/h 锅炉锅筒。锅筒质量 67t ,长度 15m 。两吊点设在距锅筒重心 3700mm 处,用 $6 \times 37 - 39 - 1700$ 钢丝绳作吊索(筒身 2 股,卸扣内 6 股),吊索用 500kN 卸扣与塔吊吊钩和 $\text{HQD6} - 50$ 型滑车相连接,如图 3-132 所示。起动卷扬机和提升塔吊吊钩,将锅筒水平吊起约 100mm 进行试吊检查,无异常时继续吊升。因钢架空档距离小于锅筒长度,故需以倾斜状吊升,当吊升高度超过最上面一个横梁高度以后,即可把锅筒吊平,吊至要求的高度后,迅速连接好悬挂装置。

吊装实例 3:用起重重量 60t 塔吊和滑车组抬吊 670t/h 锅炉锅筒。锅筒质量 93t ,吊具 4t ,护板 4t ,合计总质量 101t 。锅筒长 22.21m ,比锅炉框架间距大 710mm 。利用 $900\text{t} - \text{m}$, 60t 塔吊与挂滑轮组($\text{HQD6} - 80$, 6 轮,额定起重重量 80t)用卷扬机牵引(JM10 型额定牵引力 100kN)联合吊装,载荷分配为塔吊 50t ,滑车组 61t 。在吊升中为减小锅筒的倾斜角度,在需超越横梁时,可用手拉葫芦将锅筒向一侧适当牵拉。当锅筒吊升至安装高度以后,应迅速连接锅筒悬挂装置,并调整其标高和水平度。

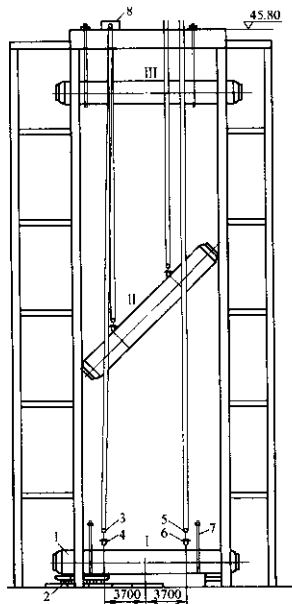


图 3-132 塔吊与滑车组抬吊锅筒示意图

1—锅筒;2—拖排;3—下滑车;4—卸扣;
5—吊钩;6—卸扣;7—悬挂装置;8—接钩滑轮装置

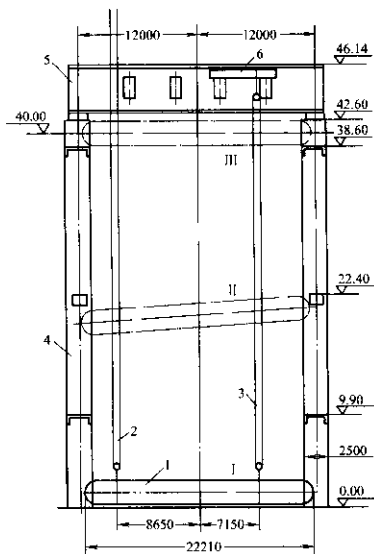


图 3-133 吊装 670t/h 锅炉锅筒示意图

1—锅筒;2—塔吊吊钩;3—滑车组;
4—混凝土柱;5—炉顶横梁;6—吊梁

7. 水冷壁吊装

水冷壁是锅炉的主要蒸发部件,其尺寸大而刚度小,吊装有一定的难度。为了保证焊接质量,减少施工现场拼接工作量,制造厂常以分段管屏供货,如图 3-134 所示为某 400t/h 锅炉一侧水冷壁分片的情况。水冷壁安装基本是采取组合安装法,即将分段管屏在地面上拼装成组合件,并将炉墙的耐火保温材料和护板等一起组装上去。

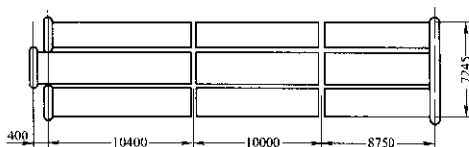


图 3-134 水冷壁分段管屏供货示意图

(1) 组合件的划分

水冷壁组合件的划分常以两端集箱为准,划分最小单元,然后根据吊装机械的起重能力,“开口”方案和吊装顺序等再划分,可以单片为一件,也可几片组合为一件。

例如,图 3-135 为数字划分方法示例,图 3-135 a、b、c 为 400t/h 锅炉划成 8 个、10 个和 6 个组合件的例子。图 3-135 d 为 670t/h 双炉膛锅炉共划成 11 个组合件的例子。图中

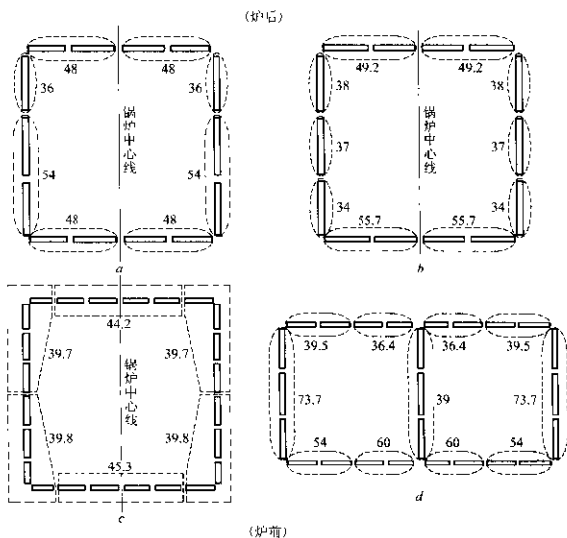


图 3-135 水冷壁组合件划分示意图

a、b、c—400t/h 锅炉划分方法示例;d—670t/h 双炉膛锅炉水冷壁划分方法示例
(图中数字计量单位为:t)

的数字为组合件的质量,其计量单位为“t”。

(2) 水冷壁的吊装

水冷壁组合件的质量大,外形长而扁平,结构单薄刚性差,且有弯曲部分,在搬运和起吊扳立中容易变形,一般均需采取加固措施,常用型钢焊制成桁架式加固梁予以加固。水冷壁的吊装程序和要点是:

1) 水冷壁组合件的凌空立直

水冷壁组合件由平卧至立起的过程应凌空进行,其下部集箱不能接触地面,如图3-136所示,可用主、副两钩抬吊,主钩一般为塔吊,副钩用龙门吊或自行车式起重机。主钩以两吊点吊于上集箱,副钩通过吊梁和平衡滑车吊于桁架加固梁下部的两个吊耳上。以双钩抬吊水冷壁组合件离开地面后,以主钩为主提升,副钩配合吊升,如两钩能力均够大,可用两钩共同吊装将组合件立直后,再脱掉副钩,如副钩起吊能力不够,可在组件吊至斜立 60° 左右时,副钩可徐徐松降,将下集箱放置在枕木支点上,拆除副钩吊索,由主钩将组合件扳直。

2) 加固桁架与组合件分离

将立直后的组合件,吊至可直立依靠的锅炉炉架、厂房或其他高大的混凝土结构旁边,下部垫以枕木,将加固桁架支承其上,用钢丝绳把加固桁架绑于依靠的构筑物上,如图3-137所示。拆除加固梁与组合件的连接,将组合件吊入炉膛。再用吊车将加固梁放倒,用其吊装下一个组合件。

3) 组合件吊装就位

由于悬挂式锅炉炉顶钢架中有数根用于悬挂锅炉部件的主梁和次梁,因此,在多数情况下,当水冷壁组件由“开口”进入炉膛后,不会毫无阻碍地直接吊装到安装位置,常需在吊往安装位置的途中,需要一次或数次的“接钩”,才能到达就位的位置。有时还需先进炉膛后临时放置,待有的相关件先安装以后再就位。“接钩”是锅炉吊装中的一种吊装作业方法,如图3-138所示,即用吊索接替吊车吊钩,将组合件临时悬挂于某梁上,移吊钩至前方的梁间空档,再次吊装,有时需“接钩”数次,方能将组合件吊至安装位置。有时尚需在顶部横梁上焊接数个吊耳,用挂滑车组以卷扬机牵引的方法使组合件就位。

8. 过热器吊装

低温过热器和高温过热器(又称一级和二级过热器),一般在地面平台上组装成整体,视具体情况再从“开口”吊入炉膛,或在地面上用拖排、滚杠以卷扬机牵引运进炉膛下面(在部分水冷壁组合件尚未吊装前)。吊装时可用塔吊单独吊装,或用塔吊与滑车组以卷扬机牵引联合吊装,也常需要进行“接钩”作业,方可就位。屏式过热器一般均单片吊装,可按吊装作

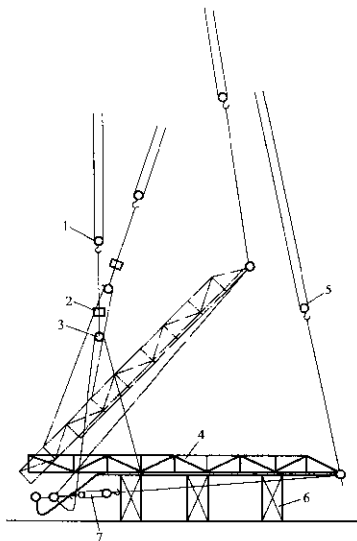


图3-136 水冷壁组合件扳吊示意图

1—副钩;2—吊梁;3—平衡滑车;
4—桁架加固梁;5—主钩;6—组装支架;7—手拉葫芦

业方便,从炉顶由上向下装入,也可从炉膛内由下向上提吊。一般后炉顶过热器已带在前后包墙管上,而前炉顶过热器应在前水冷壁尚未就位前吊装。

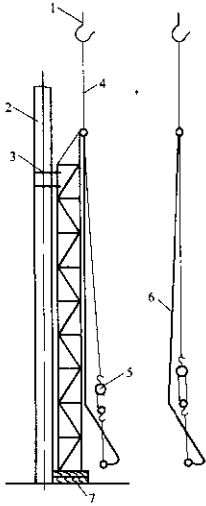


图 3-137 加固桁架与组合件脱离方法示意图

1—吊钩;2—构筑物;3—绑结点;4—吊索;
5—手拉葫芦;6—水冷壁组合件;7—枕木

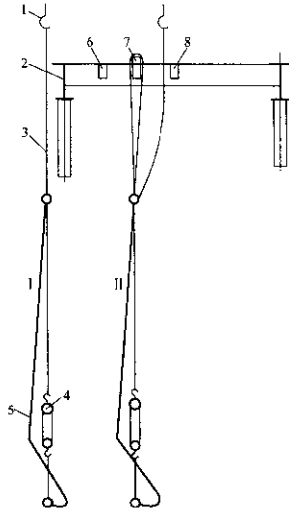


图 3-138 吊装水冷壁组件“接钩”方法示意图

1—吊钩;2—主梁;3—吊索;4—手拉葫芦;
5—组合件,6,7,8—次梁

9. 尾部组件吊装

尾部组件的吊装比较复杂,应视其结构因地制宜地进行,常用自下而上的单装,或用吊笼从上而下的逐件接装。一般不便使用塔吊吊装,多用在适当部位挂数组滑车组以卷扬机牵引的吊装方法。

三、吊装转炉

炼钢转炉是利用鼓入的氧气或空气,使氧气与液态铁水中的碳、硅、锰等元素氧化,以调节钢水的化学成分,并利用氧化反应产生的热量进行炼钢。转炉按氧气喷口在炉体上的位置不同可分为顶吹、侧吹、底吹和顶底复吹等几种。氧气顶吹转炉是在炉口插入水冷氧枪供工业纯氧。顶吹转炉的容量已达 400t,并向更大容量发展,我国已建成多座容量 300t 的巨型转炉。

炼钢转炉本体由梨形炉体、圆环形托圈、轴承装置、传动机构等主要部分组成。炉体由托圈支承,托圈两端的长轴和短轴均支承于轴承上。长轴与传动机构相连接,可使炉体绕轴线作 360° 回转,以适应转炉加料、出渣和出钢等生产工艺要求。传动机构有落地式、半悬挂式和全悬挂的多点啮合式等,以全悬挂式最常用。

大中型转炉的体积和质量都很大,如容量 210t 转炉炉壳直径为 $\Phi 8.16\text{m}$,高 10.6m,质量 206t,托圈直径 $\Phi 9.96\text{m}$,高 2.5m,质量 157t;而容量为 300t 的转炉就更加庞大,炉壳质量

达 298t,托圈质量为 289t。巨大的吊装质量和吊升高度需要使用大起重能力的吊装设备,还需要采用一些合理的吊装方法。一般中小型转炉多用正装法吊装,大中型转炉由于受吊装机械能力、厂房条件等的限制也采用倒装法或液压顶升移入法吊装。

(一) 转炉正装法

转炉正装法就是先安托圈后装炉壳的一种安装工艺。正装法安装转炉,是先将托圈安装就位,再吊装已组装成整体的炉壳,因此炉壳必须跨越托圈的高度方可就位,显见,吊升高度较大,要求使用起重量和吊升高度均大的起重设备。正装法安装转炉工艺成熟、工序合理、安全可靠、无须采用特殊的辅助设施,因此,被广泛采用,一般中小型转炉常用正装法安装。

(二) 转炉倒装法

转炉倒装法是将炉壳扣置(炉口在下)于安装位置的地面上,将托圈翻转 180°并就位,连接长轴和传动装置,把炉壳上提与托圈连接。倒装法解决了正装法要求巨大吊升高度的难题,也不需液压顶升移入法必备的、耗资巨大的转炉安装台车。下面以某施工企业用倒装法安装 210t 转炉为例说明此种吊装工艺。

210t 转炉为拆迁设备,异地安装,炉壳直径 $\Phi 8.16\text{m}$,高 10.6m,质量 206t;托圈直径 $\Phi 9.96\text{m}$,高 2.5m,质量 157t;长轴和二次减速装置质量 115t;炉壳与托圈用板式装置连接。

根据当时的设备到货进度和合理的施工工序,采用开口施工,用 CC2000 型履带起重机为吊装设备,其安装工艺是:

- (1) 安装轴承座;
- (2) 回填炉底车坑,搭建炉壳临时放置平台,固定炉中心定位板;
- (3) 设置托圈临时支柱和液压千斤顶;
- (4) 将炉壳吊装就位,倒置(炉口朝下)于平台上,如图 3-139 所示。因需避免球面支撑座与基础相碰,可暂将炉壳转约 15°放置,待吊装提升时再旋转到轴线方向;

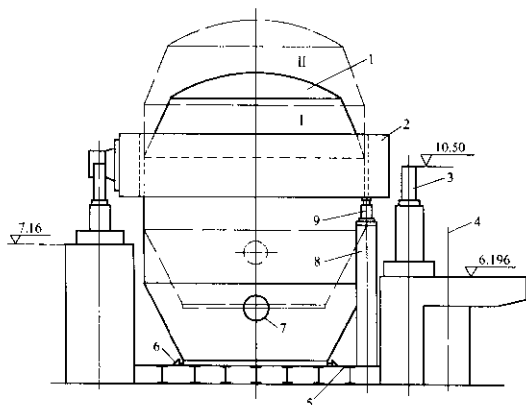


图 3-139 转炉倒装示意图

- 1—炉壳;2—托圈;3—传动侧轴承;4—二次减速器中心线;5—临时平台;
6—定位板;7—出口;8—临时支柱;9—200t 液压千斤顶

(5) 将托圈翻转 180°后,吊装就位,短轴支承于轴承座上,传动侧放在两个临时支柱的千斤顶上,构成三点支撑,用千斤顶升降配合,以便长轴和二次减速机构的安装和调整;

(6) 将倒置炉壳吊升约 3m,临时支撑,调整中心和标高;

(7) 以焊接法连接炉壳与托圈间的板式连接装置,将炉体旋转 180°立直。

(三) 液压顶升移入法安装转炉

液压顶升移入法安装转炉,是将托圈和炉壳上段在具有足够起重能力的跨距内,吊装于可沿轨道运行的组装台车上,台车运转炉至基础旁,用台车上的诸千斤顶将托圈和转炉炉壳上段顶起一个高度,至轴承箱超过支座,移动台车,落长、短轴于支座上。拆去台车的上段,吊炉壳下段于其上,亦用诸千斤顶支撑,牵引台车至炉壳上段正下方,调整位置并微顶起后将炉壳下段连接于上段之上。

液压顶升移入法安装转炉,需制作耗资颇大的移动台车,在安装同规格大型转炉多台时,因台车可多次使用,其经济上亦可行。现以我国某大钢厂安装容量 300t 的大型转炉为例,说明此种吊装工艺方法。

容量为 300t 的转炉体积庞大,机械安装量共达 872.8t,其中 4 大件,炉壳上段 220t,炉壳下段 78t,托圈 298t,倾动装置 150t。炼钢厂三座转炉的平面布置见图 3-140,位于 DE 跨间的 440/80t 铸锭起重机和 AB 跨间的 430/80t 兑铁水起重机均不能直接进行转炉设备的吊装,这正是转炉吊装技术的主要特点。

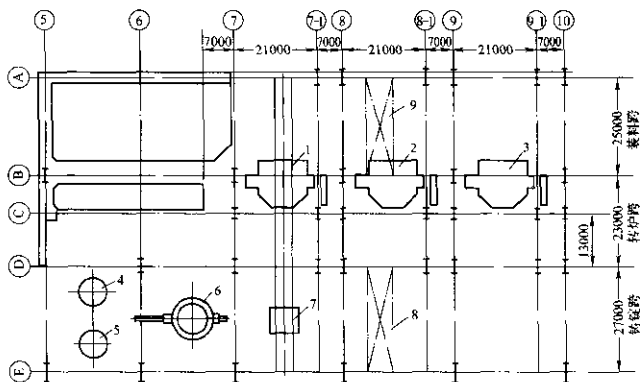


图 3-140 转炉吊装平面布置图

1—1 号转炉;2—2 号转炉;3—3 号转炉;4—炉壳上段;

5—炉壳下段;6 托圈;7—移动台车;8—铸锭起重机;9—兑铁水起重机

1. 移动台车

移动台车为立体桁架式结构,其承载能力为耳轴托圈与炉壳上段的组合质量 509t,车体高度方向由两段组成,以便拆除台车上段后,用台车下段安装炉壳,移动台车用滑车组以卷扬机牵引在轨道上运行。

2. 吊装耳轴托圈与炉壳上段

移动台车位于图 3-140 所示的 DE 跨轨道上,以铸锭起重机横梁轴(拆除主钩)挂钢丝绳吊起耳轴托圈,放在移动台车的 4 个支承墩柱上,见图 3-141,用 8 个 200t 液压千斤顶支撑并将耳轴托圈调成水平。仍用铸锭起重机吊装炉壳上段,就位后进行耳轴托圈和炉壳上段的连接。

用卷扬机将移动台车沿轨道从 DE 跨向 BC 跨方向牵引,见图 3-142。当耳轴距支座约 100mm 左右时停止牵引。

用台车上的 8 个 200t 液压千斤顶同步顶升,升高误差控制在 5mm 以下,为安全计,每将托圈和炉壳下段升起 30mm 左右时,即在台车的 4 个支墩柱上垫塞等厚的钢板,见图 3-142 中右侧的局部视图,然后让千斤顶卸载,降低千斤顶高度后,其下亦垫钢板,用相同方法反复数十次,将组件升高 $H = 860\text{mm}$ 左右,达到轴承箱底面略高于支座顶面。用卷扬机将台车牵引至安装位置,同步下降 8 个千斤顶将轴承箱落于支座上,并以螺栓相连接。在撤出台车前应用 4 根缆风绳将组件拉住,防止组件倾翻,见图 3-142b。

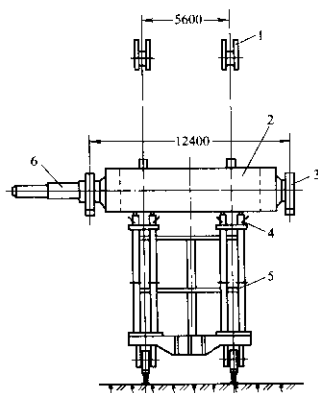


图 3-141 耳轴托圈吊装示意图
1—铸锭起重机横梁轴;2—耳轴托圈;3—轴承;
4—液压千斤顶;5—移动台车;6—长耳轴

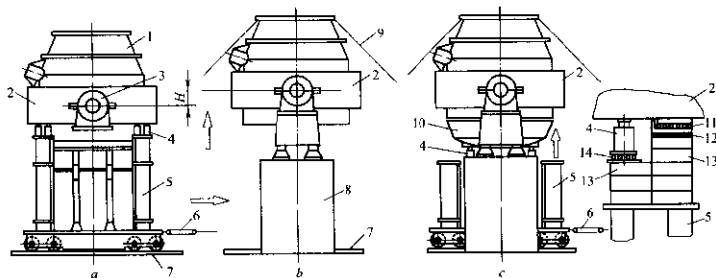


图 3-142 转炉吊装就位方法示意图

1—炉壳上段;2—耳轴托圈;3—轴承箱;4—千斤顶;5—移动台车;6—滑车组;7—轨道;
8—基础;9—缆风绳;10—炉壳下段;11—胶棒支承;12—薄垫板;13—厚垫板;14—支承辊

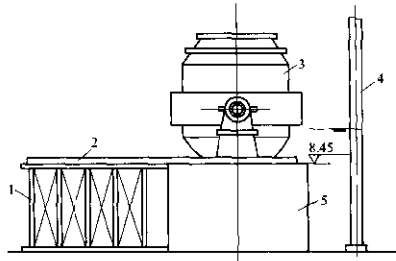
3. 吊装炉壳下段

将台车移回 DE 跨,拆除其上段桁架结构,其上置 4 个 200t 液压千斤顶,用铸锭起重机吊装炉壳下段,并将其放置于台车的 4 个千斤顶上。移动台车至安装位置(见图 3-142c),同步顶升 4 个千斤顶,实现炉壳上段和下段的对接。

4. 倾动装置吊装

带扭力杆缓冲全悬挂式倾动装置,质量 150t,从 AB 跨间进入车间,须移位至转炉中心

处方能安装,为此,搭设钢结构台架,其上铺设 H 型钢运载梁,见图 3-143。以兑铁水起重机横梁(卸掉主钩)挂钢丝绳将倾动装置吊装至 H 型钢上面的安装台架上,再沿 H 型钢运载梁用滑车和卷扬机牵引运送至耳轴位置。用 4 个 50t 千斤顶顶升倾动装置,至其大齿轮孔中心与耳轴中心一致时,再通过千斤顶底板下的滚杠,用挂 50kN 手拉葫芦牵引的方法,将其装于传动侧耳轴上。



(四) 转炉接钩吊装法

转炉炼钢车间一般由炉子跨、加料跨和铸锭跨等组成,因生产工艺需要,常在后两个跨间装有桥式起重机,而炉子跨不装桥式起重机。如在车间土建工程先施工,需在闭口车间内吊装转炉设备时,虽然自行式起重机可以进入车间,但因受场地、厂房空间等限制,也难于利用它们直接吊装转炉设备。因此,就产生了液压顶升移入法吊装转炉和接钩法吊装转炉的工艺,两者均用转炉邻跨的桥式起重机为吊装设备,采取一些措施将转炉吊装就位。

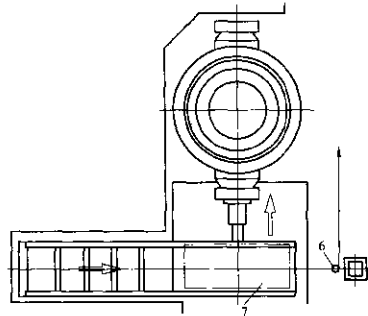


图 3-143 倾动装置吊装示意图

1—钢结构台架;2—H 型钢;3—转炉体;
4—柱;5—基础;6—牵引滑车;7—倾动装置

现以吊装 15t 转炉托圈为例说明接钩吊装工艺。15t 转炉托圈质量为 17t,从加料跨进入车间,见图 3-144,用 50/10t 桥式起重机卸车,放于车间地面上。在炉子跨厂房柱子牛腿上,横担两根 45 号工字钢,见图 3-145,其棱角用锯开的钢管段保护后,挂两组 HQD3-10 型额定起重量 10t 滑车组,用于接钩吊装。

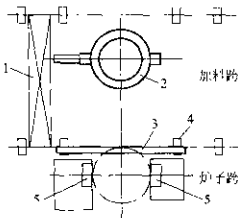


图 3-144 平面简图

1—桥式起重机;2—托圈;3—工字钢横梁;圈长耳轴时,可略向侧方牵引躲过;

4—车间柱子牛腿;5—轴承座

转炉托圈接钩吊装步骤如下:

- (1) 用桥式起重机吊起托圈,对准转炉轴承座的平分中心线(即转炉中心线),移动小车,将托圈靠近炉子跨的立柱;
- (2) 用吊索将两套滑车组亦捆绑于托圈耳轴处,形成吊点;
- (3) 用两台额定牵引力 50kN 的卷扬机,拉动滑车组,使之收紧;
- (4) 缓慢下落桥式起重机主钩,同时协调收紧两套滑车组,则托圈从加料跨逐渐移入炉子跨,若因车间柱子阻碍托圈长耳轴时,可略向侧方牵引躲过;
- (5) 当托圈重心移至工字钢横梁正下方时,摘去桥式起

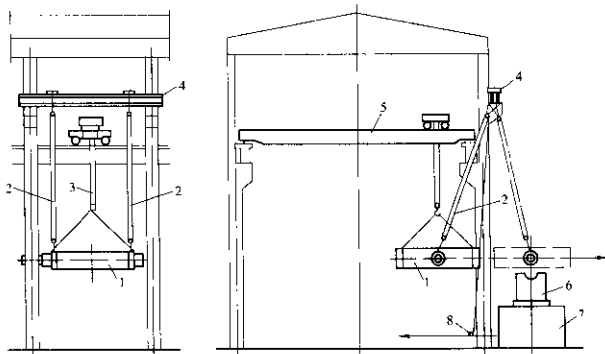


图 3-145 转炉托圈用接钩法吊装

1—托圈;2—滑车组;3—桥式起重机吊钩;4—双工字钢;5—桥式起重机;6—轴承座;7—基础;8—导向滑车

重机主钩,托圈吊于两滑车组上,至此接钩作业结束;

(6) 因工字钢横梁在转炉轴承座的斜上方,须用手拉葫芦等施以向侧方向的夺力方可实现托圈就位。

用接钩法吊装转炉时,须对工字钢横梁和厂房柱子进行强度和稳定性验算,应确保安全可靠。

因受厂房结构和稳定性的制约,接钩吊装法常用于小型转炉吊装,如厂房结构坚固稳定,也能用于中型转炉吊装,但要编制吊装方案,并应慎重对待。

四、吊装压力机

压力机是各类汽车制造厂的主要生产设备之一,用其冲压成型汽车外壳及其他零部件。一个汽车制造厂的钣金成型车间常装备有大小压力机数十台,甚至更多。其中大型压力机的单机压力可达数万 N,其主要部件的质量可超百吨。在大型压力机设备的安装中,其最大部件的质量常超过该车间桥式起重机的起吊能力,一般情况只用桥式起重机不能胜任吊装工作,还必须选用其他吊装机械,并采取适用的吊装方法。通常采用双桅杆摆动吊装法、桅杆和桥式起重机联合吊装法、自行式起重机与桥式起重机联合吊装法、采取措施增加桥式起重机的吊装能力吊装法等。

(一) 斜立双桅杆摆动抬吊法吊装压力机上横梁(图 3-146)

某轻型汽车制造厂扩建工程的冲压车间内安装有压力机 20 余台,其中有 1000+630 闭式四点双动机械压力机 8 台,其最重部件上横梁质量 92t,因桥式起重机吊装能力不够,用斜立双桅杆摆动抬吊法吊装压力机上横梁。

在用车间的桥式起重机吊装压力机底座、移动工作台、左和右立柱之后,为吊装横梁须竖立两根桅杆。桅杆设立在设备基础中心线与设备放置中心线之间,桅杆中心距基础中心线 1957mm,距基础边缘 800mm。根据安装单位已有起重设备的情况,选用起重量 100t、高 14m 和起重量 140t、高 15m 的两根桅杆,缆风绳用手拉葫芦拉紧。每根桅杆上挂一套

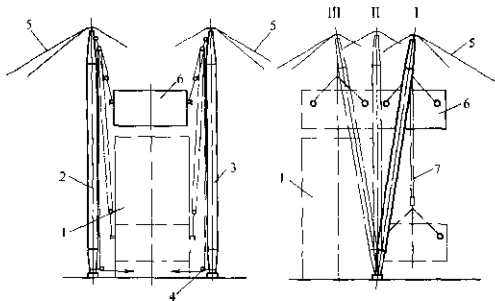


图 3-146 斜立双桅杆摆动抬吊压力机上横梁

1—压力机立柱；2—桅杆；3—桅杆；4—导向滑轮；5—缆风绳；6—上横梁；7—滑车组

HQD6-50型，额定起重量为50t的滑车组，用两台额定牵引力80kN的卷扬机，配6×37-26-1700型跑绳进行吊装。

压力机上横梁的吊装步骤和注意事项为：

(1) 用两台卷扬机牵引，通过两套滑车组将压力机上横梁吊离地面，高度100mm左右，进行试吊，检查缆风绳的锚固情况和各缆风绳的受力状况、检查卷扬机的稳固情况等，如发现异常现象，应排除后，再次进行试吊；

(2) 用两根桅杆抬吊上横梁，随时调整两套滑车组的快慢，以保证上横梁在整个起吊过程中保持水平状态；

(3) 当横梁吊装至其底面高出立柱上面的高度以后，停止吊升；

(4) 用手拉葫芦一边松缆风绳，另一边相应地收紧缆风绳的方法，使两桅杆同步向设备基础方向摆动，摆幅约为1957mm，摆角约为 $7^{\circ}30'$ ，使横梁到达安装位置；

(5) 在横梁和立柱位置对正以后，缓慢落横梁上立柱之上。

(二) 桥式起重机和桅杆联合吊装大型压力机部件(图3-147)

某汽车制造厂某车间安装一台35000kN(3500t)闭式双点压力机，其轮廓尺寸为：前后方向6520mm、左右方向12140mm、地面以上高度为10316mm，单机总质量达800t，其中单件最重部件的质量为164t。

该车间装有-台起重量为100/20t的桥式起重机，不可能单独用其吊装164t的部件，还必须设置其他吊装机械。根据厂房高度等条件，结合安装单位已有的吊装机械的情况，决定利用桥式起重机和桅杆联合吊装，如图3-147所示，在车间内再设置起重量为100t、高度14m的桅杆。

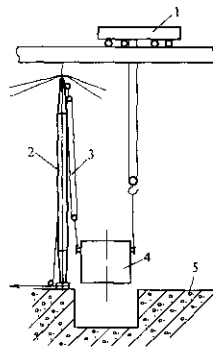


图 3-147 桅杆与桥式行车联合吊装

1—桥式起重机；2—桅杆；3—起重滑车组；4—最重部件；5—基础

桅杆安装在压力机一侧的基础地坑旁,缆风绳用车间的钢筋混凝土立柱为锚固点。桅杆上挂两套 HQD6-40 型起重量 40t 的滑车组,用两台额定牵引力为 200kN 的卷扬机牵引吊装。

抬吊方式应注意吊重的合理分配,使两种吊装机械均可胜任。还要随时调整卷扬机和桥式起重机吊钩的起升速度,使之协调配合,以保证吊件呈水平状态。

此种用桥式起重机和桅杆的联合抬吊法,只适用于原地抬吊,并在较低处就位。如需抬吊压力机的上横梁则桅杆需要摆动一定的角度,方能达到横梁就位的目的。

用桥式起重机和桅杆联合抬吊压力机上横梁的方法如图 3-148 所示。桅杆设立于安装位置和横梁放置位置之间,呈倾斜状,桅杆上部竖立在桥式起重机两根箱形主梁之间,其顶部桅杆缆风绳帽应在屋架下弦以下,其多根缆风绳从车间柱头附近向下,串联手拉葫芦并拴结在柱子根部。此种抬吊方法的重要技术环节是缆风绳的合理布置,应达到诸根缆风绳均能松紧自如,又不能妨碍桥式起重机的运行。在起始位置时桅杆向外倾斜,垂直吊装上横梁,如图 3-148 中 I 的位置。用桅杆和桥式起重机抬吊横梁,离开地面 100mm 左右进行试吊,如无异常则继续吊升,在吊升过程中应注意保持使上横梁处于水平状态,当吊升够高以后,如图 3-148 中 II 的位置,则吊升停止。用缆风绳中的手拉葫芦使桅杆平稳缓慢地向基础方向倾斜,与此同时桥式起重机也配合着向基础方向移动。当桅杆倾斜至一个角度以后,上横梁已达到安装位置,并将其落在立柱上,拆除桅杆后,完成吊装作业。

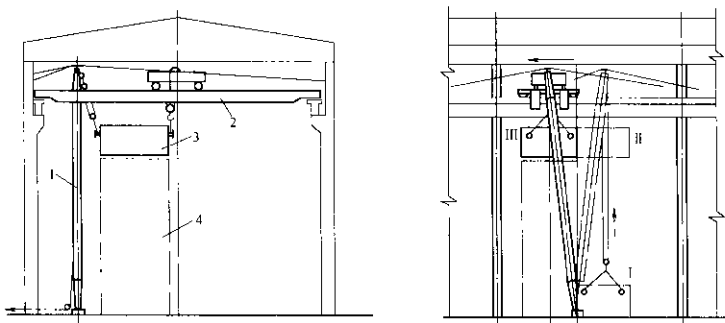


图 3-148 斜立桅杆与桥式行车摆动抬吊上横梁

1—桅杆;2—桥式起重机;3—上横梁;4—机座、立柱

(三) 桥式起重机和自行式起重机联合抬吊大型冲床上横梁

某轻型小客车制造厂的冲压车间续建工程需安装大型冲床数台,其中有 10000kN (1000t) 级冲床,其上横梁质量为 80t。此冲压车间已有 32/5t 桥式起重机可供吊装使用,只是起重能力过小,难于利用。由于是续建工程,须不影响生产工作,又要进行新的安装工程,加之车间内施工场地的局限,如选用桅杆吊装则很困难。经多种吊装方案比较,最后选定用桥式起重机和自行式起重机联合吊装。

由于上横梁的质量较大,吊装高度较高,只能选用抬吊的方法。为利用 32/5t 桥式起重机,吊物 40t,可不用其小车,这样可减少小车自身质量 11.68t,在其主梁上加两根垫梁,以

增加吊升高度,再横担一根吊梁,在吊梁两个吊耳上,各挂一个起重量为 20t 的手拉葫芦用于吊梁上横梁的一端。亦可在吊梁上挂两套 20t 的滑车组,用两台额定牵引力为 50kN 的卷扬机吊装。此两种方法相比,虽然手拉葫芦方法吊升速度慢一些,但可免去设置卷扬机、滑车组等,既可减少吊装工程量,又使吊装操作难度减小。

自行式起重机选用 LT1080 型,起重重量 80t 矩形臂杆全液压式,因其臂杆可伸缩,更便于实现抬吊作业。

1. 吊升力(吊重)的核算和分配

总吊升力:

$$P = (G + g)K = (800 + 10) \times 1.1 = 890(\text{kN})$$

式中 G —— 上横梁重量, kN;

g —— 吊具重量, kN;

K —— 动载荷系数,取 $K = 1.1$;

P —— 需要的吊升力, kN。

一半吊升力:

$$\frac{P}{2} = \frac{890}{2} = 445(\text{kN})$$

2. 32/5t 桥式起重机可吊质量

$$(32 \times 1.1) + (11.68 - 2) = 44.8(\text{t})$$

式中 32——桥式起重机额定起重重量, t;

1.1——允许超 1.1 倍动负荷(见《GB50278—98 起重设备安装工程施工及验收通用规范》);

11.68——小车质量, t;

2——垫梁和吊梁质量, t。

3. LT1080 汽车式起重机工作参数

80t 吊车须吊重 448kN,从其性能表中选取工作幅度 $R = 6\text{m}$,臂杆长 $L = 12.5\text{m}$,可吊 450kN。经计算在横梁就位时臂杆需摆动 15° 左右。

4. 吊装方法和步骤(图 3-149)

(1) 用 32/5t 行车和汽车吊抬吊质量约为 60t 的上横梁从拖车上卸车,放于安装位置附近;

(2) 组装飞轮等零部件,使冲上横梁质量达 80t;

(3) 用汽车吊将两根垫梁及吊梁吊至行车箱形主梁之上,并连接固定;

(4) 若横梁上原有的吊耳位置不适于双机抬吊,则应重新设置吊耳;

(5) 在吊梁吊耳下挂两个 20t 卸扣,其下各挂起重重量 20t 的手拉葫芦;

(6) 80t 汽车吊臂杆从行车两箱形主梁之间升起。吊车站位,如图示其臂杆先向外侧偏一个角度,用吊索和卸扣吊在上横梁两个吊耳上;

(7) 用行车和汽车吊抬吊横梁,使其离开地面 100mm 左右,进行试吊,检查是否有异常情况。读取汽车吊吊重的数值,以判明吊重分配是否合理;

(8) 吊升上横梁至其底面略高于立柱顶面后,停止抬吊作业;

(9) 80t 汽车吊平稳缓慢转杆,行车协同配合向设备方向移动大车,则横梁将被移至立

柱的正上方,此项起重操作是此抬吊方法的关键,应统一指挥,密切配合,仔细谨慎;

(10) 同步缓慢下落冲床上横梁至立柱上,并调整连接;

(11) 拆除吊装设施,完成吊装工程。

(四) 扩大桥式起重机吊装能力吊装冲床上横梁(图 3-150)

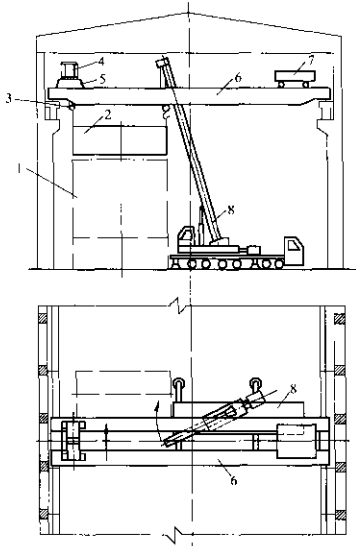


图 3-149 桥式起重机和自式起重机联合抬吊上横梁

1—压力机底座、立柱;2—上横梁;3—手拉葫芦;4—吊梁;
5—垫梁;6—桥式起重机;7—小车;8—汽车式起重机

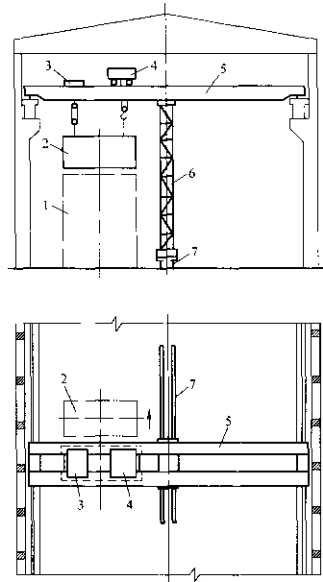


图 3-150 扩大桥式起重机吊装能力
吊装冲床上横梁

1—冲床底座、立柱;2—上横梁;3—增加卷扬机构;
4—小车;5—桥式起重机;6—支撑;7—滑移轨道

在桥式起重机具有较大的吊装能力,其起重量和上横梁的质量相差并不悬殊时,用此种吊装方法较为适宜。此种吊装方法是根据桥式起重机桥架钢结构的承载能力、小车卷扬的提升能力、厂房结构中柱和轨道梁的承载能力,在主梁下加支撑,缩小跨距,以增加桥架的吊升能力。视情况还需在桥架上另加一吊点,可再增加一套卷扬机械;或在桥架上加横梁,挂滑车组用卷扬机牵引吊装;亦可挂两个大起重能力的手拉葫芦进行吊装。

用此种吊装方法,在上横梁吊至超过立柱高度以后,桥式起重机须向设备基础方向移动,其支撑应始终支承在滑移轨道上,并与桥式起重机同步前移。若支撑较高,可用手拉葫芦挂于支撑根部,配合拉动,确保支撑保持铅垂状态。

在采用扩大桥式起重机吊升能力方案时,必须根据吊重的数值,对起重机主桥架、小车的卷升能力、厂房结构强度、支撑的强度和刚度等进行核算,在确认其安全性以后,方可采用此种吊装方法。

现以扩大桥吊能力吊装万吨螺杆压力机为例叙述如下:

工程概况:SPKA11200 离合器式螺杆压力机是从德国引进的大吨位螺杆锤。属世界第 3, 额定打击力为 112MN, 最大打击力达 180MN。

螺杆锤的机体为多部件组合结构, 由 4 根拉杆把底座、左右侧立柱和横梁固定在一起, 形成一个封闭框架, 安装处情况见图 3-151。

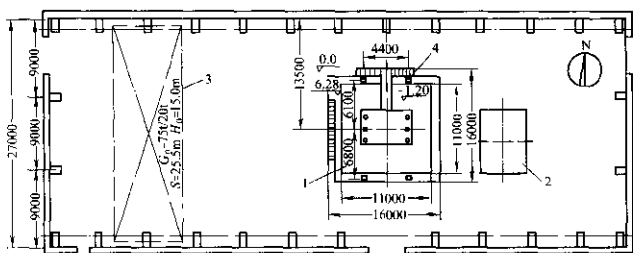


图 3-151 安装车间平面图

1—螺杆锤基础块; 2—切边机基础; 3—75t/20t 行车; 4—支撑立柱位置

螺杆锤底座质量 140t, 横梁质量 164t, 大大超出车间行车的吊装能力。安装单位对: (1) 大吨位汽车起重机吊装; (2) 现有行车和大吨位桅杆联合吊装; (3) 75t 行车加支撑; (4) 双小车加立柱支撑吊装 4 种方案进行全面比较后, 选定最后一种吊装方案。

1. 吊装方案计算

(1) 行车大梁计算

横梁质量 164t, 小车质量 26t, 自制小车质量 4t。按两小车轮距、横梁吊点位置和两支车的间距, 大梁受力如图 3-152a 所示。

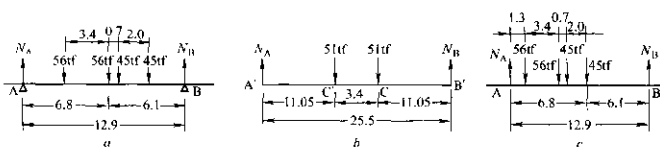


图 3-152 大梁受力计算图(尺寸单位: m)

当双小车移至横梁安装位置时, 行车大梁所受弯矩最大。计算如下:

A 支撑承载为:

$$N_A = \frac{56 \times 6.1 + 56 \times 9.5 + 45 \times 5.4 + 45 \times 3.4}{12.9} \times 9.8 = 98.4 \times 9.8 = 964 \text{ (kN)}$$

B 支撑承载为:

$$N_B = (56 + 56 + 45 + 45 - 98.4) \times 9.8 = 1015 \text{ (kN)}$$

C 点最大弯矩为: $M_C = M_{\max}$

$$M_C = (98.4 \times 6.8 - 56 \times 3.4) \times 9.8 = 478.7 \times 9.8 = 4691 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

75t 行车吊满负荷在大梁中部时,大梁受力如图 3-152b,此时大梁所受弯矩最大。计算如下:

$$N_A = N_B = 51 \times 9.8 = 500 \text{ (kN)}$$

$$M_C = 500 \times 11.05 = 5525 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

比较以上两计算数据,75t 加支撑吊横梁所受最大弯矩小于 75t 行车正常使用时所受的最大弯矩,安全,可用。

(2) 支撑部分计算

A 和 B 支撑受力计算:

当双小车处于(C)位置吊起横梁时,A 支撑受力最大。当双小车吊运横梁移至安装位置时,如图 3-152c 所示,B 支撑受力最大,计算如下:

$$\begin{aligned} N_{A_{\max}} &= \frac{56 \times 11.6 + 56 \times 8.2 + 45 \times 7.5 + 45 \times 5.5}{12.9} \times 9.8 \\ &= 131.3 \times 9.8 \\ &= 1287 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{B_{\max}} &= \frac{56 \times 3.4 + 56 \times 6.8 + 45 \times 7.5 + 45 \times 9.5}{12.9} \times 9.8 \\ &= 103.6 \times 9.8 \\ &= 1015 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

A 和 B 支撑的稳定性校核:

A 支撑由一根 50t 桅杆和一根 100t 桅杆组成,按 50t 桅杆计算,其截面尺寸为 80cm × 80cm,主肢角钢 L125mm × 12mm,桅杆长 13.4m,载荷按 1287kN 之半即 643.5kN 计算。经查表并计算,截面积 $A = 115.65\text{cm}^2$ 、惯性矩 $I = 155512\text{cm}^4$ 、截面系数 $W = 3888\text{cm}^3$ 、细长比 $\lambda = 38.3$ 。

考虑受偏心荷载,计算偏心距取 15cm,则偏心率 $e = 15 \times \frac{115.65 \times 40}{155512} = 0.45$ 。

根据 λ 和 e 查表算得稳定系数: $\phi_{\text{pr}} = 0.622$ 。

按稳定性校核,桅杆强度为:

$$\sigma = \frac{507.5}{0.622 \times 66.668} = 12.24 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

$< [\sigma] = 14.21 \text{ kN/cm}^2$,安全可用。

2. 吊装过程(图 3-153)

(1) 75t 行车小车和自制小车到吊装位置上方,75t 小车吊钩挂直径 $\phi 50\text{mm}$ 吊索 2 根(四股),自制小车上每套滑车组上挂直径 $\phi 50\text{mm}$ 吊索一根(两股),在其前后方各挂一个 10t 手拉葫芦,用于牵引小车。

(2) 启动 75t 吊钩和两台卷扬机,将设备稍稍起离开支撑钢梁。

(3) 检查支撑下千斤顶受力情况,调整后使其受力均匀,检查行车大梁挠度。

(4) 检查吊件水平和纵向中心线,调整合适。

(5) 将吊件吊起至安装高度后,用 10t 手拉葫芦一边松另一边紧配合协调,将吊件水平移位 3.8m 至安装位置。

(6) 在水平移位过程中,随时检查顶升千斤顶受力是否均匀,并作适当调整。

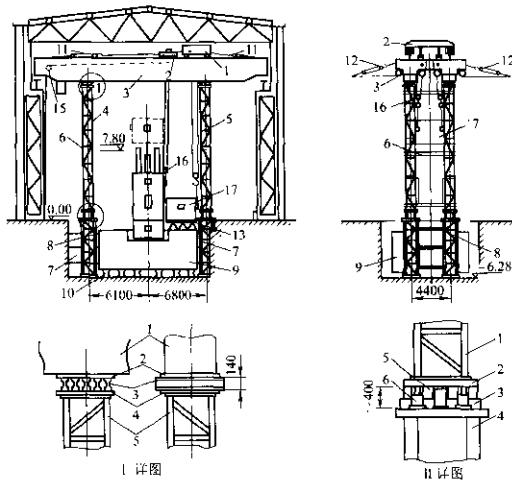


图 3-153 横梁吊装示意图

1—75t 小车;2—自制小车;3—75t 行车;4—支撑 1;5—支撑 2;6—上部支撑水平撑杆;
7—下部支撑;8—下部支撑水平撑杆;9—设备基础;10—缓冲器及阻尼器;11—10t 手拉葫芦;
12—5t 手拉葫芦;13—叉撑钢梁;14—5t 卷扬机;15—10t 导向滑轮;16—50t 滑车组;17—横梁

I 详图:1—行车大梁;2—钢垫板($\delta=50\text{mm}$);3—43kg/m 钢轨;4—钢垫板;5—支撑立柱

II 详图:1—支撑立柱;2—钢垫板($\delta=50\text{mm}$);3—垫木;4—钢支墩;6—32t 千斤顶

(7) 吊平吊件,利用大、小车的定位系统,用手拉葫芦将吊件纵横中心线与安装基准线对齐。

(8) 75t 吊钩和两套 50t 滑车组配合一致,将吊装部件落下就位。

(五) 大型热压机吊装

多层上推式热压机是中密度纤维板厂生产线最重要的设备,也是生产线上最重、最大,吊装和安装难度最高,最精密的设备。某安装公司用自行设计的井型吊装门架成功地吊装了大型热压机。

1. 热压机简况

多层上推式热压机从德国引进,工作压力为 $31.5 \times 10^4 \text{kN}$,设备总质量约 360t。由 H 型支承梁、机架、液压缸、压锤、热压板、压床、同步闭合装置等主要部分组成。

其中机架为中空框式结构,外形尺寸: $3.4\text{m} \times 1.0\text{m} \times 10.18\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高),单件质量 20.6t。液压缸直径 $\phi 830\text{mm}$,行程 4000mm,每件质量 20.38t,每个机架都装有 1 个液压缸,共 4 套。

热压机主体结构及布置见图 3-154。

2. 确定吊装方案

受车间高度和作业场地狭窄的限制,使用大型自行式起重机吊装热压机是不可能的。

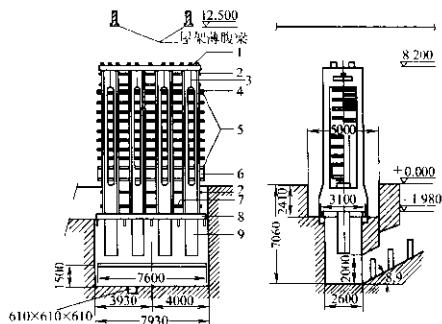


图 3-154 热压机主体结构及布置图

1—顶横梁;2—连接螺栓;3—吊杆;4—压床;5—热压板;6—压锤;7—连接套管;8—H型钢支承梁;9—液压缸

安装单位设计并制作了一台行走式井型吊装门架。

在井型门架四柱脚上各装一台同型号的 3t 卷扬机,并在门架架上相应设置 4 组 20t 滑车组,用于设备吊装。用槽钢作井型门架的走行导轨,沿热压机纵向中心线两侧平行铺设,门型架行走通过在车间两端各设一台 3t 卷扬机牵引来实现。

3. 吊装程序和方法

(1) 用行走式井型门架吊装 H 型钢支承梁,并测量纵向和横向水平度等安装精度达到要求的允差。

(2) 机架和液压缸吊装

机架和液压缸吊装应按由前至后顺序依次进行,直接用行走式井型门架吊装就位。每吊装一个机架,接着吊装该机架上的液压缸。

机架吊装方法如图 3-155 所示,用井型门架上 4 套滑车组将机架呈水平态吊起,然后逐渐收紧机架头部两套滑车组,尾部两套滑车组配合吊装,逐渐将机架由水平状态吊成垂直

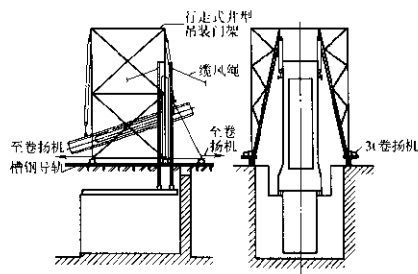


图 3-155 机架吊装示意图

状态,最后用两套头部滑车组将机架吊装就位。

液压缸吊装时,先用井型门架将液压缸吊至基坑内。然后拆下液压缸头部两套滑车组,此两套滑车组从机架顶两旁的方孔穿下,再用门架的4组滑车组将液压缸水平吊起,约至机架中部的高度,再收紧头部滑车组,放松尾部滑车组,直至液压缸垂直置于机架中空孔正中,卸去尾部滑车组,用两套滑车组将液压缸吊装就位。

(3) 压锤及热压板吊装

先吊装压锤,而后由上往下依次吊装各层热压板及压床。吊装方法见图3-157。

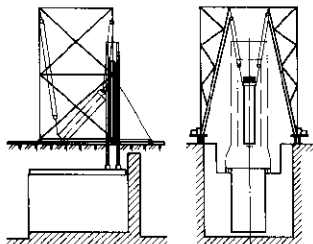


图3-156 液压缸吊装示意图

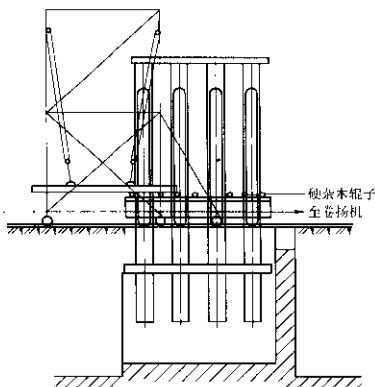


图3-157 压锤、热压板吊装示意图

压锤及热压板在吊装前,先在车间地坪上用井型门架将压锤或热压板水平吊起离地约200mm,然后用卷扬机牵引门架纵向行走,至临近机架时将热压板提升略高于安装高度,继续拖行门架将压锤(或热压板)伸入机架内近1/4长度,然后将伸入机架一端的压锤(或热压板)松下坐落于木辊子上,卸去该端一对滑车组,拖引行走式井型门架连同压锤或热压板到位,重新挂上滑车组并将压锤(或热压板)提升少许,除去木辊子,放下压锤(或热压板)并校正其前后左右位置。

五、因地制宜吊装重型设备

吊装重型设备时常采用已成熟的吊装工艺,因为众多的吊装实践已验证了其可行性。但在具体的吊装作业中,即使采用相同的吊装工艺方法,也会因诸多吊装条件的差异,而使方法和步骤有所不同,应视具体条件的差别而灵活运用。也应随着国家总体科学技术水平的不断提高而创新和发展。在几十年的大规模经济建设中,我国许多建筑安装企业的广大工程技术人员和工人,在千万次吊装实践中不断地总结、提高和创新,已使许多设备吊装工

艺方法日臻完善,还创新了一些更先进、更具科学性的设备吊装工艺。这些由千万人共同创造的技术财富,应进行认真的总结、提高、推广和应用。

实际上,在选择设备吊装工艺方法时,因地制宜应是一项必须遵守的原则,因地制宜就是要全面考虑和研究诸多具体条件,如吊装现场的作业环境和条件;设备的安装高度、结构特点和质量大小;吊装机械的种类、数量、能力和改制的可行性;利用建筑物的可能性;利用已有(续建、扩建等)或前期就位设备助吊的方法;采取其他措施的途径等。只要本着因地制宜的原则,对以上情况进行综合、研究和论证对比,就会优选出最佳的吊装方案,也可能创新出更为巧妙的吊装方法。在科学技术不发达的古代,我们伟大中华民族中的一些优秀占人,以其聪明和智慧,在许多古代建筑的营造中创造过许多巧妙的吊装方法,有的至今尚为谜津。而时值今日,科学技术已高度发展,同设备吊装密切相关的机械制造、材料科学、测试技术、计算手段和力学理论等也都高度发展,作为后人,理应继承和发扬民族的聪明和才智,利用现代的科学技术成果,不断创造出更先进、更新颖、更科学的设备吊装工艺方法。

关于吊装工艺方法本书前面已有大量论述,以下再列举一些因地制宜采用的吊装工艺,以帮助读者拓宽思路。

(一) 吊装发电机定子

在火力发电厂的建设中,发电机定子的吊装是安装发电机的一个重要环节。一般情况,发电机定子的质量均超过厂房桥式起重机的起重能力,其定子质量见表3-23。例如20万kW

表 3-23 汽轮发电机定子和转子质量

序号	型 号	冷却方式	有功功率/kW	电压/kV	电流/A	转速/r·min ⁻¹	外形尺寸(长×宽×高)/mm	质量/t	
								定子	转子
1	QFN-50-2	氢内冷	50000	6.3	5730	3000	8113×3616×3560	89	17.5
2	QFQ-50-2	氢内冷	50000	10.5	6440	3000	10240×4540×4350	98.9	25.1
3	QFS-60-2	双水内冷	60000	10.5	4125	3000	10760×3160×3320	52	18
4	QF-75-2	氢外冷	75000	10.5	4850	3000	7970×4492×3760	98.8	25
5	QFN-100-2	氢内冷	100000	10.5	6475	3000	8625×3940×3960	115	29.3
6	QFS-125-2	双水内冷	125000	13.8	6150	3000	12878×3640×3710	93	32
7	QFSN-200-2	水氢氢	200000	15.75	8625	3000	10680×4080×420	186	44.4
8	QFSN-200-2	水氢氢	200000	15.75	8625	3000	10680×4960×5334	194	43

发电机定子质量约为186t,60万kW发电机定子质量高达325t,而厂房内桥式起重机的最大起重能力,一般只有50~100t左右。因此应根据具体情况,采取其他的吊装方法。在桥式起重机上采取一些措施,吊装发电机定子,也是一种可行的方法,图3-158即为某20万kW发电机定子吊装实例。车间桥式起重机额定起重量为50t,不可能直接吊装质量大于起重能力数倍的发电机定子,但桥式起重机的两根箱形主梁可以利用。其方法是在主梁下加两根支撑立柱,使主梁形成简支梁,并特制吊装小车,其上挂4套HQD4-50型额定起重重量50t的滑车组,每两套间设平衡滑车,用4台额定牵引力100kN卷扬机吊装。特制小车沿天车轨道移动,是用两台额定牵引力50kN卷扬机挂滑车组去完成的。为防止在吊装过程中天车大车出现移位,还在端梁处采取了加固措施。用此种吊装方法应注意以下几点:(1)天

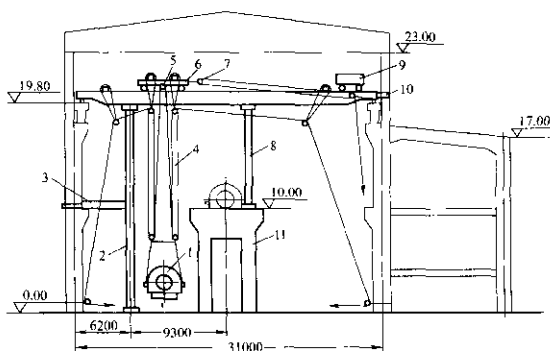


图 3-158 用桥式起重机主梁吊装发电机定子

- 1—发电机定子；2—支撑立柱；3—临时横梁；4—吊滑车组；5—平衡滑车；6—特制小车；
7—牵引滑车组；8—支撑立柱；9—小车；10—天车端梁横向固定装置；11—基础

车箱形主梁应经过强度核算，其应力值应小于该材料的强度设计值；(2) 支撑立柱要有足够的强度和刚度，特别是长立柱的柱脚必须坐落在坚固的基础上，严防下沉；(3) 必须采取可靠措施防止天车主梁产生位移；(4) 在定子吊至就位高度后，用滑车组牵引特制小车向基础方向移动中，应自始至终适度的松(小车离开方向)、紧(小车前进方向)起重滑车组，以保证定子的吊装高度和水平，这也是此种吊装方法操作的难度所在；(5) 在正式吊装前应通过试吊方法，验证其可靠程度和安全性。

关于发电机转向往定子的穿心方法，本书在前面已有较详尽叙述，需用时请参阅。

(二) 吊装锅炉锅筒

双筒锅炉是许多需用蒸汽的工矿企业最常用的一种锅炉，此种锅炉有上、下两个锅筒，上锅筒长而下锅筒短，锅筒支撑在钢架上，在两锅筒间，以胀接方式连接有数百根，甚至更多的对流管束。一般此种锅炉以闭口方式施工，锅炉间内难于进入自行式起重机，故多用桅杆等工具吊装。一般的吊装顺序是，先运锅筒至锅炉间内，再组立锅炉钢架，而后吊装锅筒，图 3-159 是用双人字桅杆吊装锅筒的一种方法。先以双人字桅杆，挂滑车组，用卷扬机牵引吊装上锅筒至略高于就位高度，并暂时支承在固定于人字桅杆的横梁上，然后安装钢架支承组件，找平找正并固定再落锅筒于其上。下锅筒是用在上锅筒上挂两个手拉葫芦的方法，以串吊的方式吊装的。

如某厂蒸发量为 10t 的锅炉，以 $\phi 159\text{mm} \times 4\text{mm}$ 无缝钢管组成两个 8m 高的人字桅杆，挂两套 HJD3-8 型额定起重量 8t 的滑车组，以两台 50kN 牵引力卷扬机牵引吊装上锅筒。用两个额定起重量为 5t 的手拉葫芦吊装下锅筒。

(三) 向高处吊装设备的方法

在某些情况下需向很高的高处吊装设备，虽然设备的质量不一定很大，但却有一定的难度。若有巨型自行式起重机，能胜任吊装高度的需要，理应为首选的吊装方案。若在无自行式起重机可用时，选用图 3-160 所示的方法吊装高处设备是可行的，加上桅杆的数次摆动

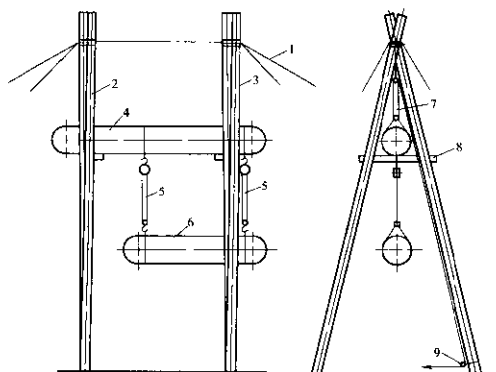


图 3-159 用双人字桅杆吊装锅炉锅筒

1—缆风绳；2、3—人字桅杆；4—上锅筒；5—手拉葫芦；6—下锅筒；7—吊升滑车组；8—横梁；9—导向滑车

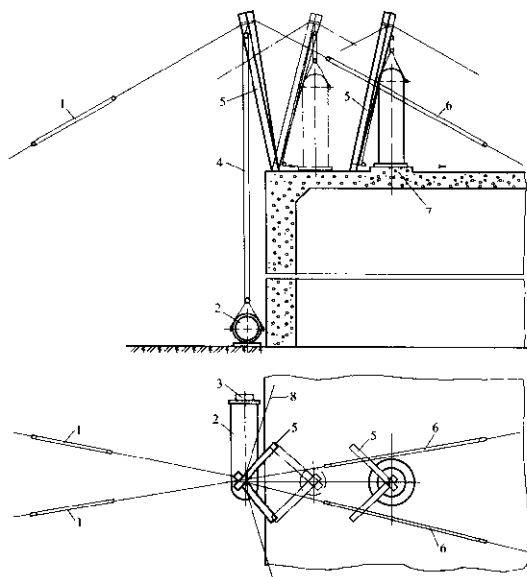


图 3-160 用人字桅杆摆动吊装高处设备

1—前滑车组；2—设备；3—拖排；4—吊装滑车组；5—人字桅杆；6—后滑车组；7—设备基础；8—平衡缆风绳

吊装,即可达到设备就位的目的。

此种吊装方法的人字桅杆需呈微前倾的状态立于建筑物的高处,挂滑车组,其下滑车铅垂于地面,并吊于设备的吊点上,卷扬机应设于顶面的平台上。将设备吊升至超过建筑物顶面的高度后,用桅杆摆动法,落设备于建筑物的顶面上。然后移动人字桅杆的站位,再次进行摆动吊装,视设备基础的位置距建筑物边缘距离的大小,经数次摆动吊装后,定可将设备吊至基础之上。为防止在吊升过程中因设备摆动而碰撞建筑物,可设置钢丝绳导向装置。其做法是,从地面到建筑物顶面,于起吊滑车组中心线两侧的适当距离处,各敷设一条施以一定张力的钢丝绳,用活套法与设备的适当部位连接,作为设备在提升中的导向设施。

此种吊装方法可吊装数十米高,甚至逾百米高处的设备。如向 36m 高处吊装电除尘变压器,向 42m 高处吊装贮料罐,向 157m 高处吊装 20t 的锅炉设备等。

(四) 居高临下扳吊地面设备

从扳吊设备的受力分析得知,用单转法扳吊设备时,其最大扳吊力发生在设备头部刚离开地面的初始时期,欲减小最大扳吊力可采取几项措施,增加扳吊角度是措施之一,基于这一考虑,将扳吊桅杆设置于建筑物的顶面,居高临下地扳吊地面设备,实际是一种可行方法。图 3-161 为某厂扳吊洗涤塔的实例。洗涤塔高 11m,质量 12t,安装于厂房附近的基础之上。

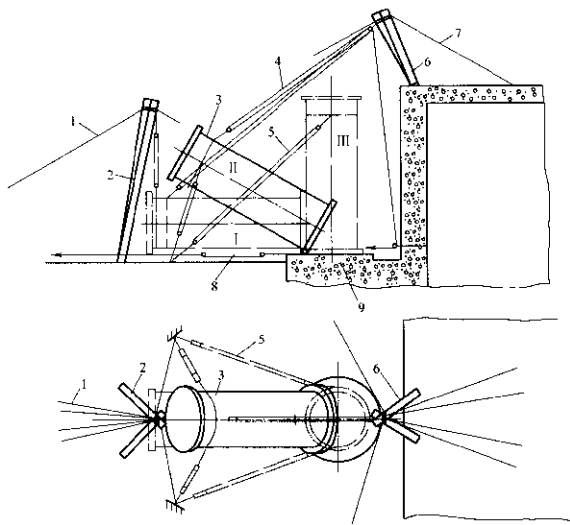


图 3-161 用人字桅杆在远处扳吊设备

1—缆风绳;2—地面助吊人字桅杆;3—设备;4—扳吊滑车组;5—侧向扶正滑车组;

6—上吊人字桅杆;7—缆风绳;8—制动滑车组;9—设备基础

在厂房顶面设置 5m 高的人字桅杆作为主扳机具,其上挂扳吊滑车组,用卷扬机牵引扳吊。为减小最大扳吊力,在地面再设置一个高 10m 的人字桅杆,挂滑车组,用卷扬机牵引,

将洗涤塔吊起至一定角度后,再由高处的主扳人字桅杆接替吊装。此扳吊方法,需设置制动滑车组,用其牵制洗涤塔,限制回转点产生位移。两侧还需设置扶正滑车组,用其牵制洗涤塔,使其在吊装平面内回转,在洗涤塔扳至自倾回转角后,此两扶正滑车组起制动作用,使洗涤塔缓慢平稳的落于基础之上。

(五) 吊装小型轧钢厂设备

某年产 10 万 t 线材的小型轧机厂,共有三机架 $\phi 480\text{mm}$ 轧机 1 台,四机架 $\phi 350\text{mm}$ 一中轧机 1 台,四机架 $\phi 320\text{mm}$ 二中轧机 1 台和四机架 $\phi 300\text{mm}$ 精轧机 1 台。因轧制跨内只装有 1 台起重量为 10t 的电动单梁起重机和 1 台 5t 电动桥式起重机,不能胜任轧机本体和联合齿轮箱的吊装工作,又因轧制跨天车轨道标高仅 7.5m,跨距 18m,因作业场地和空间限制,自行式起重机也难于利用,故采用不同方法吊装质量超过 10t 的设备。

1. 用两台天车抬吊 $\phi 480\text{mm}$ 二辊轧机本体(图 3-162)

$\phi 480\text{mm}$ 二辊轧机本体共有两个,每个质量为 14.2t。如图 3-162 所示,用两台天车抬吊的方法吊装。吊梁的下吊耳按轧机机架尺寸决定,上吊耳按两台天车的起重重量大小分配荷重,确定位置。

2. 用人字桅杆吊装 $\phi 480\text{mm}$ 三辊轧机本体(图 3-163)

$\phi 480\text{mm}$ 三辊粗轧机本体质量为 20t,用一个 $\phi 273\text{mm} \times 8\text{mm}$ 钢管人字桅杆,其上挂一套 HQD4-20 型四轮起重重量 20t 的滑车组,用额定牵引力为 50kN 的卷扬机牵引进行吊装。

3. 用双人字桅杆抬吊 $\phi 480$ 轧机联合齿轮箱(图 3-164)

$\phi 480\text{mm}$ 轧机联合齿轮箱其外形尺寸(长 \times 宽 \times 高)为 5330mm \times 2020mm \times 1900mm,质量达 33t,其双面均有接轴和联轴器。在联合齿轮箱的两端竖立两个由 $\phi 273\text{mm} \times 8\text{mm}$ 无缝钢管组成的人字桅杆,有效高度 7m,其上各挂 HQD4-20 型四轮 20t 滑车组,分别用两台额定牵引力为 50kN 的卷扬机牵引,进行吊装。

(六) 用动臂桅杆在室内吊装 20t/h 和 35t/h 锅炉设备(图 3-165)

一般低压锅炉在厂房已建成的条件下,需在室内安装时,因受作业场地限制,机械吊车难以发挥作用,可采用半机械化—动臂桅杆进行吊装,其方法如图 3-165 所示。动臂桅杆以锅炉房内钢筋混凝土立柱为主杆,在柱基楼板处设一桅杆座,动臂支承其上,并可在一定角度内摆动和变幅。动臂桅杆可视吊重大小,用直径 $\phi 377\text{mm} \times 8\text{mm}$,或 $\phi 426\text{mm} \times 10\text{mm}$ 无缝钢管制成,其高度按需要决定。桅杆顶部设起吊滑车组和变幅滑车组,一般用额定牵引力为 50kN 的卷扬机牵引。在吊装作业中,为将吊装的锅炉零部件吊到安装位置,动臂还需要摆动,一般用额定牵引力为 10kN 的卷扬机牵引。

用厂房结构立柱为主杆的这种吊装方法,必须对建筑结构受力状态进行复核,只有在强度和稳定允许的情况下才可利用。

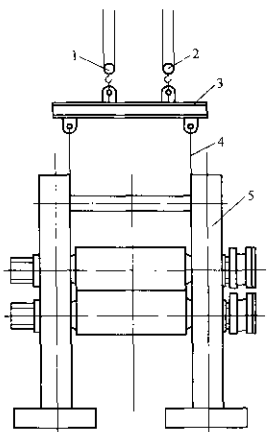
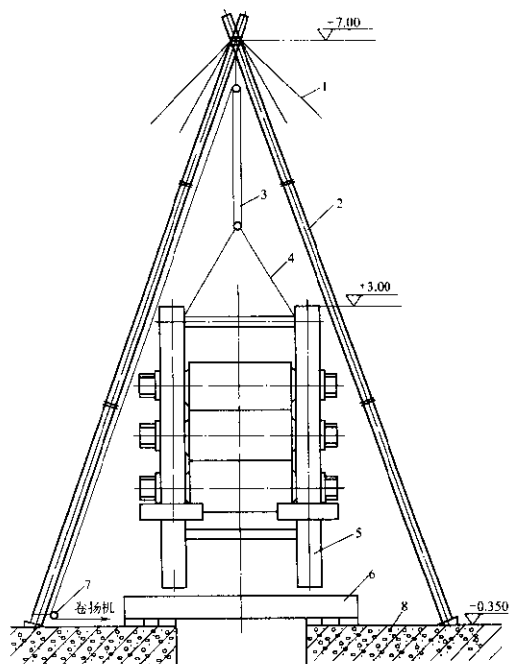
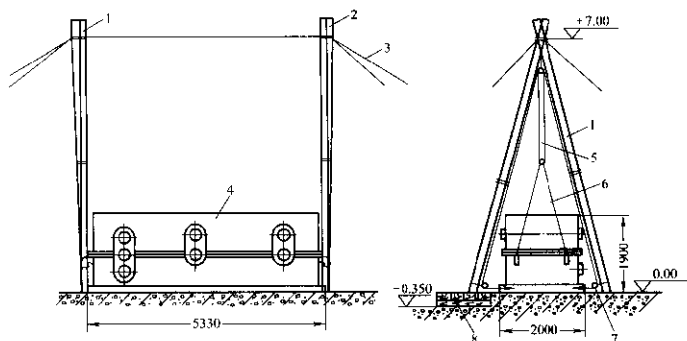


图 3-162 用两台天车抬吊 $\phi 480\text{mm}$ 二辊轧机机架

1—10t 单梁天车;2—5t 桥式天车;3—吊梁;
4—钢丝绳;5— $\phi 480$ 轧机机架

图 3-163 用人字桅杆吊装 $\phi 480\text{mm}$ 三辊轧机本体

1—缆风绳;2—人字桅杆;3—滑车组;4—钢丝绳;5—轧机本体;6—机座;7—导向滑车;8—基础

图 3-164 双人字桅杆抬吊 $\phi 480\text{mm}$ 轧机联合齿轮箱

1、2—人字桅杆;3—缆风绳;4—联合齿轮箱;5—滑车组;6—钢丝绳;7—导向滑车;8—枕木

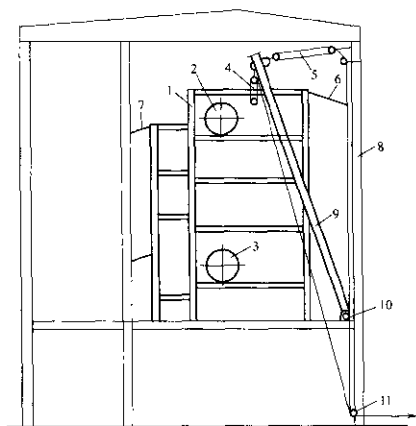


图 3-165 动臂桅杆安装锅炉示意图

1—锅炉钢架;2—上锅筒;3—下锅筒;4—吊升滑车组;5—变幅滑车组;6.7—临时加固支索;
8—车间立柱;9—动臂桅杆;10—桅杆底座;11—导向滑车

(七) 超高空承载索吊运上海东方明珠电视塔上球体内设备

向几百米高处吊运设备,往往是一般起重机械很难胜任的工作。因此,需要设计新型的起重吊运装置。由上海某安装公司为上海东方明珠广播电视塔设备吊装而采用的超高空承载索吊运方法,即是很成功的一例。

上海东方明珠电视塔全高 460m,其高度为世界第三,亚洲之首。在塔 272.5m 高处的直径 45m 钢结构圆球内,于其上部 288m 顶层楼面上安装有 5 台热泵机组(每台质量 5t,长 5.32m,宽 2m,高 2.3m),它们无法从塔体内部直接吊运上去,只能从塔体外部空间吊运。超高空承载索还要吊运一些球体内的广播电视工艺设备,并需承担塔吊的拆除工作。

1. 超高空承载索装置布置和结构(图 3-166、图 3-167)

超高空承载索的主要参数:

上部锚固标高位置:330m

地面锚桩水平距离:215m

承载索的直线仰角:56.915°

承载索的弛度范围:10%~20%(21.5~43m)

吊运设备最大质量:6t

承载索计算荷载:80kN (8tf)

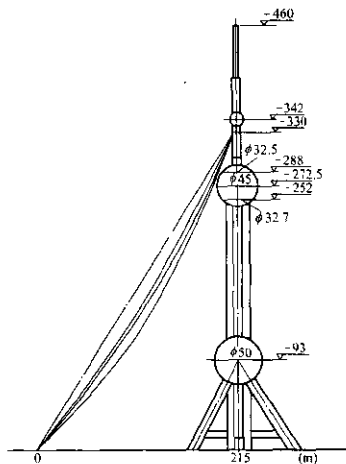


图 3-166 超高空承载索布置示意图

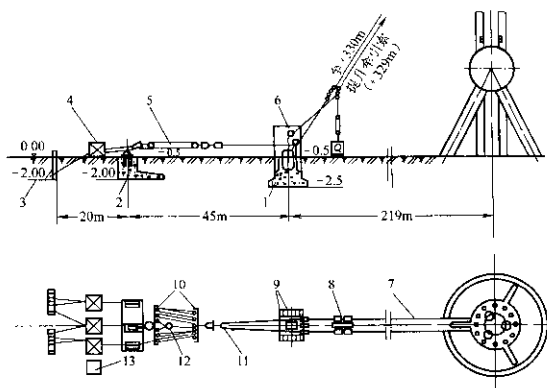


图 3-167 超高空承载索结构布置图

1—一级基础；2—二级基础；3—三级基础；4—卷扬机；5—弛度调控装置；6—返回牵引索；
7—承载索；8—小车；9—50t 压铁；10—滑轮组；11—平衡滑轮；12—10t 拉磅；13—配电箱

2. 结构原理

超高空承载索吊运装置由承载索、承载索弛度调控系统、牵引小车及其提升牵引系统、小车返回牵引系统 5 部分组成。被吊运设备通过承载索的弛度调整保证了地面装车和高空卸车的顺利进行。

3. 承载索弛度调控系统(图 3-168)

承载索弛度调控装置由卷扬机、滑车组、平衡滑轮、承载索、卸扣、导向滑轮等组成，其组成情况见图 3-168。

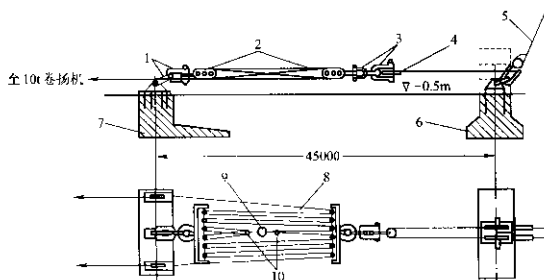


图 3-168 承载索弛度调控装置布置图

1—卸扣(2只,60t);2—滑车组(2只,HQD6-50);3—卸扣(3只,60t);4—平衡滑轮;5—承载索;6—一级基础;
7—二级基础;8—钢丝绳(6×19-24-1550);9—10t 拉磅;10—卸扣(16t)

4. 牵引小车提升系统(图 3-169)

悬挂于承载索上的行走小车,要承受被吊运设备的质量,还要承受小车及被吊运设备上行的牵引力。为使牵引小车车轮受力均匀,故设计成双轮双组铰支点形式,见图 3-169。

小车提升牵引系统如图 3-170 所示,两台 5t 卷扬机安装于上球内 259m 处,跑绳通过导向滑轮连于捆绑在 329m 处的滑车组上,起小车向上牵引作用。

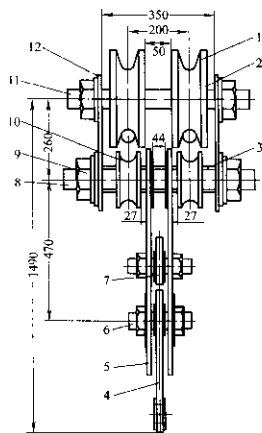


图 3-169 牵引小车结构示意图
1—滑轮;2—压盖;3—定位套筒;4—吊板;
5—耳环夹板;6—螺栓轴;7—牵引板;
8—螺栓轴;9—螺母;10—压绳轮;
11—螺栓轴;12—滑轮夹板

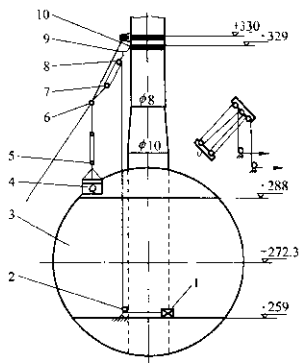


图 3-170 小车提升牵引系统布置示意图
1—卷扬机(2台,5t);2—导向滑轮;3—上球体;
4—吊物;5—手拉葫芦(10t);6—牵引小车;
7—滑车组下滑轮(HQD2-10);8—滑车组上滑轮(HQD3-16);
9—卸扣;10—捆绑绳索(3 匪 6×19-21.5-1550)

5. 小车返回牵引系统

小车靠自重不能返回地面,故需设置如图 3-171 所示的小车返回牵引系统。用锚固于三级基础上的 5t 卷扬机牵引连于小车上的钢丝绳上,使小车返回地面。

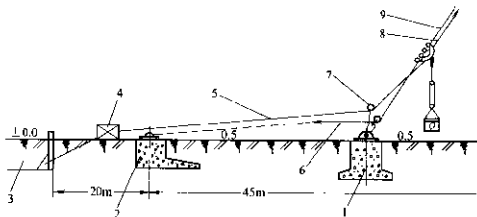


图 3-171 小车返回牵引系统布置图
1—一级基础;2—二级基础;3—三级基础;4—卷扬机(5t);5—牵引钢丝绳;
6—地锚调控装置;7—导向滑轮;8—提升牵引钢丝绳;9—承载索

6. 吊运施工操作过程

- (1) 松索装车;
- (2) 紧索吊设备离地面,同时放松返回牵引钢丝绳;
- (3) 提升牵引开始阶段适当松弛承载索;
- (4) 牵引小车提升通过水平跨度中心区域后适当张紧承载索;
- (5) 再适当放松承载索和放松提升牵引钢丝绳,使设备平稳地落在球设备层面,并脱钩卸下设备;
- (6) 牵引小车回落,适当张紧承载索;
- (7) 适当放松提升牵引钢丝绳,让牵引小车徐徐下滑;
- (8) 牵引小车通过水平跨度中心区后返回牵引钢丝绳,根据其松弛程度逐渐收紧,直至牵引小车返回地面;
- (9) 进行下一个吊装过程。

7. 对此方案的体会

- (1) 超高空承载索的高度达 330m,跨度 215m,吊运质量达 6.5t,堪称国内之最。
- (2) 设承载索弛度调控系统,方便了被吊运物体的装卸作业,免去超高空作业,确保生产安全,实属巧妙之举。

(3) 超高空承载索设备吊运施工投入费用高,安装拆除较困难,施工准备和清理时间较长,存在设备吊运方向惟一性缺点。

纵观超高空承载索方法是在特殊工程中才可使用的特殊施工技术。

(八) 狭窄空间吊装 385m² 叶滤机

2000 年,于某铝业公司氧化铝厂,在技术改造增加产量的项目中,设计在老厂房内安装两台大型叶滤机。过滤面积为 385m² 的叶滤机是法国技术,是中法技术合作在我国制作的氧化铝生产大型专用设备。

此叶滤机由下列主要部件组成,设备总质量 32t:

- (1) 机架(型钢焊接结构,长度 12500mm,低端高度 896mm,高端高度 1941mm,宽度 2700mm,两倾斜主梁上各有一根断面为矩形和三角形的导轨,质量 3.4t);
- (2) 壳体(直径 ϕ 2700mm,长度 6174mm,质量 9.8t);
- (3) 固定头(与壳体组成压力容器的端盖);
- (4) 叶片架及叶片组;
- (5) 液压站和液压缸;
- (6) 机头锁紧装置等。

385m² 叶滤机在生产时,因生产工艺要求,其壳体在打开机头锁紧装置以后,壳体在液压缸的驱动下,在机架上由低端移向高端,清渣后,再移回低端,与固定头连接起来成为压力容器,实现过滤功能。

1. 过滤车间概况

该过滤车间建设于 80 年代,厂房是钢筋混凝土结构。为适应生产需要,前些年曾对厂房进行改造,在钢筋混凝土柱子上接钢柱加高车间高度,在 7.5m 楼面上满铺 6mm 厚钢板,防止碱性生产液体流淌伤人或腐蚀钢筋混凝土结构。

如图 3-172 所示,两台 385 m² 叶滤机安装在车间④至⑤线, +7.50m 高楼面上,两侧均有 45 m² 叶滤机在生产。

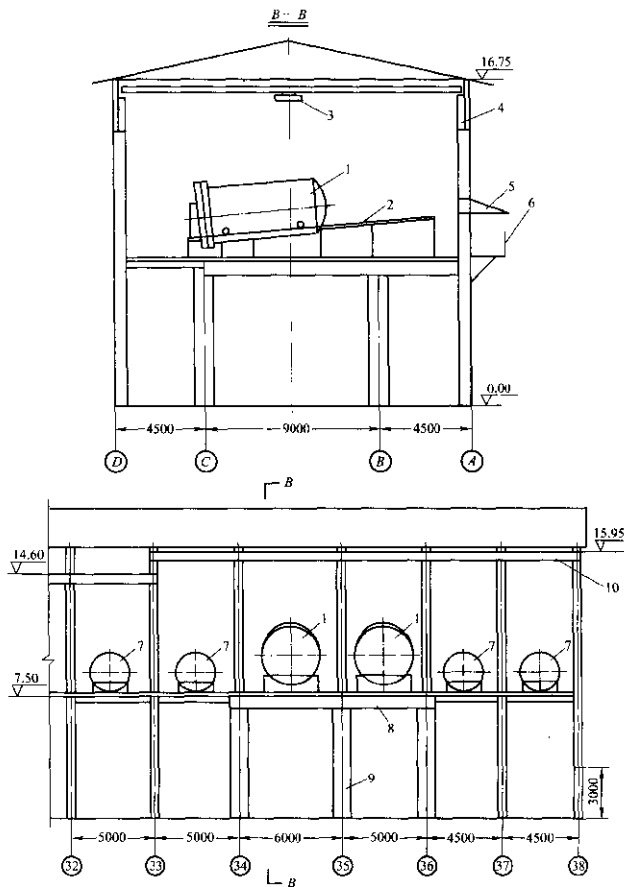


图 3-172 叶滤机安装位置及车间状况

- 1—385m²叶滤机;2—机架;3—3t单梁吊;4—钢牛腿;5—防雨棚;6—走台;7—45m²叶滤机;
8—H型钢梁;9—加固混凝土柱;10—吊车梁

该车间四周沿纵向一侧为管廊,另一侧为正在生产的罐群,大型自行式起重机不能靠近车间两侧进行吊装。叶滤机进入车间的惟一通道,只有⊗线的高3m宽4m的门洞。

由上述可见,因车间吊装场地十分狭窄,设备尺寸大且重量大,又要相邻安装两台叶滤机,自行式吊车无法使用,致使吊装十分困难。

2. 适应生产和安装要求土建需改造的项目

因车间外部空间不能利用,车间内部吊装空间十分狭窄,叶滤机机架尺寸较大,壳体重量较大,车间内单梁吊车起重重量只有3t,并且在只有11m的距离内要安装两台大型叶滤机,

可见其吊装难度是很大的。

厂房原有 7.5m 混凝土楼面对负荷承受力较小,新安装一台 385 m² 叶滤机荷载增加到 90t。因此需对土建的承重结构采取一些加固改造措施。

(1) 加固 6 根承重的钢筋混凝土立柱。加固④、⑤、⑥三跨 B 和 C 轴线的 6 根钢筋混凝土立柱。从柱基础至柱身全部进行加固,即增加配筋和基础与柱身的断面尺寸。

(2) 拆除 7.5m 楼面安装范围内的混凝土楼面和次梁,只保留柱间混凝土主梁。

(3) 增加由焊接 H 型钢构成的纵向和横向主梁和次梁。

(4) 用厚度 6mm 钢板铺装 7.5m 楼面。

(5) 用新加一段钢牛腿的方法,将天车轨道抬高 1350mm,并新增 1 台 3t 电动葫芦单梁吊车,以适应 385m² 叶滤机生产过程中装、拆滤网的作业需要。

(6) 为便于生产人员通行,在车间外增加钢走台和防雨棚。

(7) 为使叶滤机能顺利进入车间,需将⑧线门洞至⑨线设备运输通道的地坪下降 300mm,其上暂铺钢板,待两台叶滤机吊装完成后恢复 ±0.00m 混凝土地坪。

3. 叶滤机吊装方案的选择

由于车间外有管廊和罐群,车间两侧没有自行式起重机的站位位置,因此不可能用它们吊装。只能采取在车间内用桅杆的方法吊装。如用双人字桅杆抬吊,其站位需移动三次,多根缆风绳也需相应移位,加之车间两侧没有缆风绳的锚固点,可见此吊装方法较难实现,安全性也差。

采用龙门架方法吊装,可避免缆风绳无锚固点和移位的困难,由于龙门架整体稳定性较好,加上四角用缆风绳锚栓于 7.5m 楼面上的厂房柱脚处,其安全性会更好。

4. 龙门架吊装方法

385m² 叶滤机最长吊装件为机架,其长 12.5m,质量 3.4t。最重吊装件为壳体组合件,其质量约 19t,直径 φ2.7m,长度 6.174m。其吊装方法和机具组成见图 3-173。

(1) 吊装机具

吊装机具见表 3-24。

表 3-24 吊装机具

序号	名称及数量	规格型号	备注
1	龙门架,1个	起重量 30t,高 6m	腿 φ219×8 无缝钢管,吊梁 36 号工字钢
2	卷扬机,2台	JM5 型,50kN	吊装壳体组件
3	手拉葫芦,4个	HS5 型,50kN	吊装壳体组件
4	手拉葫芦,2个	HS3 型,30kN	吊装壳体组件
5	手拉葫芦,4个	HS2 型,20kN	收紧缆风绳
6	滑车组,2组	HQD3-20,20t	吊装滑车
7	单轮滑车,4个	HQCK1-5,5t	导向滑车
8	卸扣,10个	许用负荷 10.7t	连接吊点和吊耳

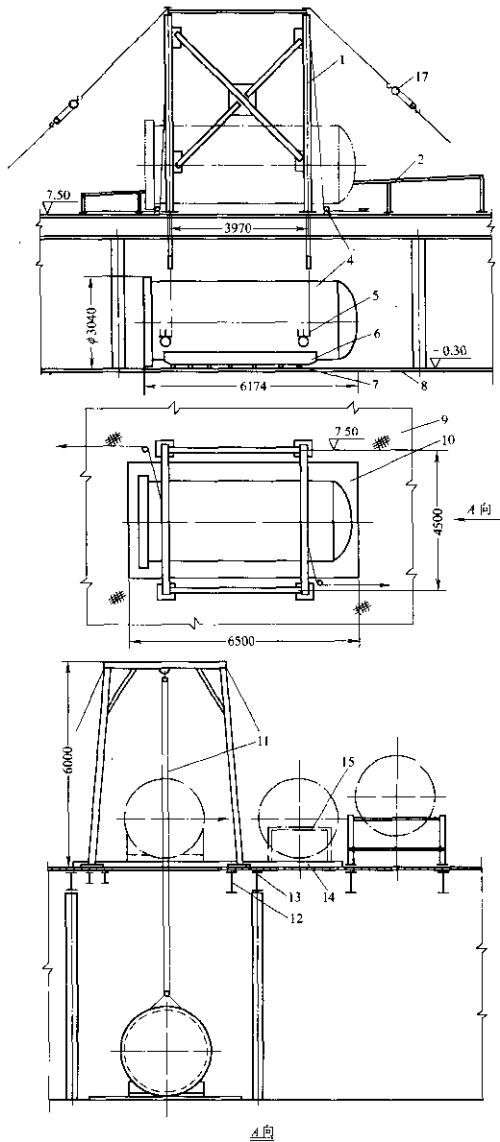


图 3-173 壳体组件吊装方法

1—龙门架; 2—机架; 3—导向滑车; 4—壳体组件; 5—吊点; 6—钢排; 7—滚杠; 8—钢板; 9—7.5m 钢板楼面;
10—留洞; 11—吊装滑车组; 12—H 型钢主梁; 13—垫板; 14—25 号工字钢; 15—临时支架

(2) 吊装方法

机架或壳体组件均从④线洞口以卷扬机牵引用滚杠运入车间内,在7.5m钢楼面留长6500mm,宽4000mm的吊装洞(4根H型钢主梁中的一根暂不安装),机架从洞口以串吊的方法用3t电葫芦单梁吊车吊至7.5m楼面上,并将第一台机架(④-⑤线间)安装就位。再将第二台机架用相同方法吊上7.5m楼面,暂取立式置于④线旁,若平放则会占据吊装洞口。

在吊装洞上方竖立龙门架,在壳体行走轮支承架筋板上割孔作吊点,用卸扣连接吊索,此方式比捆绑法有吊点固定、不会滑动的优点,在吊点上挂两套滑车组用两台50kN电动卷扬机牵引吊升壳体组件,吊升至7.5m楼面以后,用5根25号工字钢筒支于吊装洞口上方,将壳体放在工字钢上,实现吊装方法的第一步。全部吊装步骤和壳体组件就位过程见图3-174。

(3) 壳体组件吊装和就位步骤

如图3-174所示,壳体组件吊装和就位步骤是:

1) 运壳体组件进入车间(图3-174a)。在车间④线外厂内道路上将壳体组件用汽

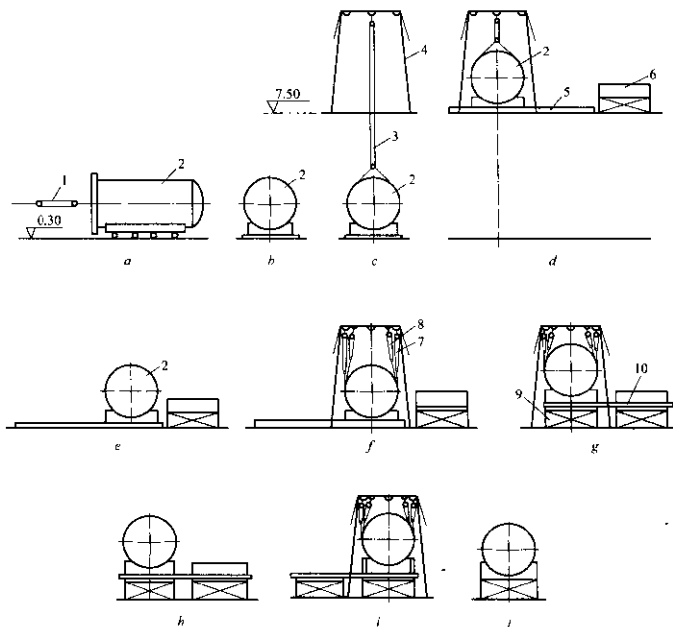


图3-174 壳体组件吊装和就位步骤示意图

1—牵引滑车组;2—壳体组件;3—吊装滑车组;4—龙门架;5—25号工字钢;6—机架;

7—5kN手拉葫芦;8—3kN手拉葫芦;9—临时支架;10—25号工字钢

车吊装排子和滚杠,方向对正门洞。挂滑车组用卷扬机牵引将壳体组件运至吊装洞下方。

2) 将壳体组件调转 90° (图3-174b)。用已设立的龙门架挂两套滑车组,缓慢启动两台卷扬机,擦着地面即可把壳体组件旋转 90° 。

3) 吊升壳体组件(图3-174c)。启动两台卷扬机,通过吊装洞口,平稳地将壳体组件吊升至7.5m楼面以上。

4) 落壳体组件于7.5m楼面上(图3-174d)。当壳体组件吊升至高出7.5m楼面以后,在其排子下于吊装洞口短边方向,横担5根25号工字钢,将壳体组件落于工字钢上,拆掉滑车组,用3t电葫芦单梁吊吊走龙门架。

5) 移壳体组件靠近机架(图3-174e)。挂两个20kN手拉葫芦,在工字钢上将壳体组件向机架方向拉动至机架旁。

6) 吊壳体组件于临时支架上(图3-174f)。由于7.5m楼面地面狭窄,用卷扬机提升系统不便设置,故改用手拉葫芦吊装。用电葫芦单梁吊将龙门架吊至壳体组件正上方,在壳体组件重端(法兰端)挂两个50kN和两个30kN共4个手拉葫芦,尾端挂两个50kN手拉葫芦,同时拉动6个手拉葫芦将壳体组件吊升至超过临时支架的高度。

7) 落壳体组件于临时支架上(图3-174g)。用3t电葫芦单梁吊将临时支架吊起并送入壳体组件以下,在机架和临时支架上面横担4根25号工字钢落壳体组件于工字钢上。由于壳体组件此时呈倾斜状态,需在车间柱子上挂两个手拉葫芦牵引壳体尾部,防止壳体组件因自重下滑。

8) 移壳体组件至机架正上方(图3-174h)。挂2个手拉葫芦,将壳体组件平移至机架上方,在整个位移过程中,尾部挂的两个手拉葫芦要配合动作,协调一致。

9) 吊装壳体组件并就位(图3-174i)。因3t电葫芦单梁吊车吊装高度不够,不能将龙门架吊出,可用3t单梁吊吊着龙门架随同壳体组件一起移向机架上方,落下龙门架,用挂6个手拉葫芦的方法吊起壳体组件,拆走钢排,把壳体组件最终就位。

10) 壳体组件就位,拆走龙门架(图3-174j)。壳体组件就位后,尾部防滑手拉葫芦一直要受力牵引,防止因壳体组件自重下滑。将龙门架解体拆走,至此完成了壳体组件的吊装工作。

11) 第二台叶滤机吊装。第二台叶滤机吊装时因吊装场地更加狭窄,吊装更加困难。其吊装步骤是,将壳体吊上7.5m平台并向第一台靠近,从 $\pm 0.00\text{m}$ 吊起尚未安装的H型主梁从下方吊升并就位,然后放平机架,再按吊装第一台壳体组件的方法吊装第二台壳体组件。

(九) 利用回转伸缩桅杆吊装金属贮槽或贮罐

我国某省工业设备安装公司曾用图3-175所示的回转伸缩桅杆为吊装机具,以正装法组装大型敞口金属贮槽,此种吊装方法有简单方便、吊装机具耗资少、对施工周围环境要求不高、特别适用于狭窄场地作业和工效较高等特点。

如图3-175所示的回转伸缩桅杆由中心支架、回转桅杆、滑动套筒杆头、行走支柱、桅杆头伸缩手动卷扬机、起吊电动卷扬机等组成。

铰接于中心支架上的回转伸缩桅杆,能在人力的推动下吊重物作 360° 回转,可把待组装的圆弧板吊至贮槽圆周的任何位置。

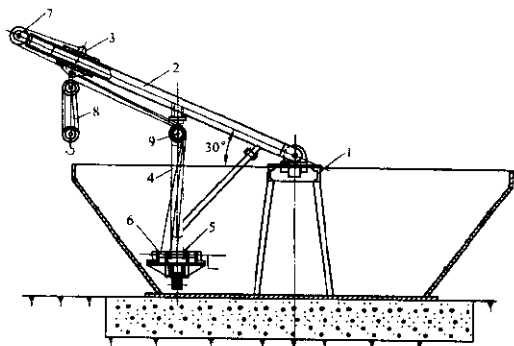


图 3-175 回转伸缩桅杆组成示意图

- 1—中心支架；2—回转桅杆；3—滑动套筒杆头；4—行走支柱(人字形)；5—桅杆头伸缩手动卷扬机；
6—起吊电动卷扬机；7—单轮滑车；8—吊装滑车；9—三轮导向滑车

为适应把金属圆弧板能从地面吊起,并进行变幅作业后将其吊装就位的要求,滑动套筒杆头上焊两个吊耳,分别为滑动套筒杆头上滑和下退牵引绳的固定点,手摇卷扬机卷筒上的钢丝绳为双出头绕法,两个绳头通过导向滑车,分别固定于滑动套筒的两吊耳上。

行走支柱是由两根立柱和一根横梁组成的三角形支架,其顶部与回转桅杆中部相连,如桅杆系统尺寸较大应再加两根斜支撑,以增加回转伸缩桅杆的稳定性。在横梁下设两组行走轮。应注意两组行走轮轴的向中心延长线与中心支架的中心线应交汇,以保证桅杆回转的灵活性。

起吊牵引机构一般用电动卷扬机,通过滑车组实现吊升作业。卷扬机装在支柱横梁上,其电动机用橡皮绝缘电缆供电。

在用回转伸缩桅杆分件正装较高的金属贮罐时,如图 3-176 所示为由不同厚度壁板(20、18、16、14、12、10mm,厚度由下向上递减)组焊成直径 $\Phi 7.85\text{m}$ 、高度 20m 的碳钢贮罐。如果仍然把吊装电动卷扬机放在回转伸缩桅杆支柱平台上,会出现因卷扬机卷筒距导向滑车距离较短,而使牵引绳在卷筒上不能按层有规则排列,造成吊装作业困难,贮罐如更高还会出现卷扬机卷筒容绳量不够的问题。

高大贮罐用回转伸缩桅杆正装方法组装及操作注意事项如下:

(1) 改变回转伸缩桅杆结构。把吊升用的电动卷扬机设置在贮罐外的地面上,吊装牵引绳经过 2 个或 3 个导向滑轮从桅杆回空中轴通过并引向卷扬机。在桅杆多次回转操作中避免总向一个方向旋转,防止牵引钢丝绳出现松股现象。

(2) 在设计回转伸缩桅杆时,其伸出罐外的长度要考虑罐外操作平台的宽度。按其最大吊装负荷确定回转桅杆钢管直径,尽量设计得轻巧一些,以减小对钢平台的偏向荷载。

(3) 在用手拉葫芦吊升钢平台时,应把回转伸缩桅杆暂时固定在平台上,防止发生其自行旋转情况。为解决平台吊升偏重的问题,应在桅杆两侧各加一个手拉葫芦,也可将电焊机等放置在桅杆对面,用以平衡偏重。

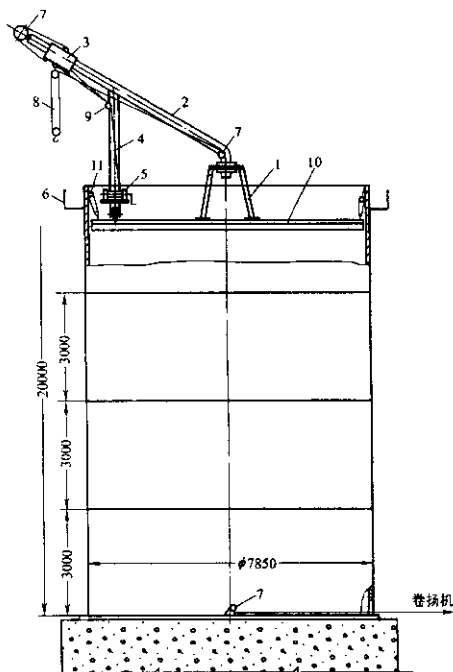


图 3-176 用回转伸缩桅杆吊装高大贮罐方法示意图

- 1—中心支架；2—回转桅杆；3—滑动套筒杆头；4—行走支柱（人字形）；5—桅杆头伸缩手动卷扬机；
6—罐外操作平台；7—单轮滑车；8—吊装滑车；9—二轮导向滑车；10—钢平台；11—手拉葫芦（3t，6个以上）

(4) 在钢平台吊升到位以后，应测量罐顶圈的椭圆度，如超差须调整。最后把钢平台与筒壁连接 6 个点以上，以增加平台的稳固性。

(5) 用手动卷扬机把滑动套筒拉向杆头，然后从地面吊起需组装的圆弧钢板，离开地面后，转动桅杆至待组装置位置，在罐外操作平台外侧吊升至要求高度，滑动套筒杆头回缩把圆弧钢板吊至组装置位置。组焊后，再吊装下一片圆弧钢板。

(十) 捆绑式桅杆群倒装大型不锈钢储罐

我国某安装建设股份有限公司，在一个化纤外资企业施工中，在吊装场地十分狭窄的条件下，曾用捆绑式桅杆群倒装法成功地安装了巨型不锈钢储罐。此种吊装方法因地制宜地设置桅杆群，方法实用，巧妙安全。

1. 储罐结构

如图 3-177 所示，储罐为不锈钢双锥头结构，其直径 $\phi 13\text{m}$ ，总高 36.5m，安装高度 45m，总容积 3400m^3 ，设备总质量 190t。

2. 预制件划分和组装顺序

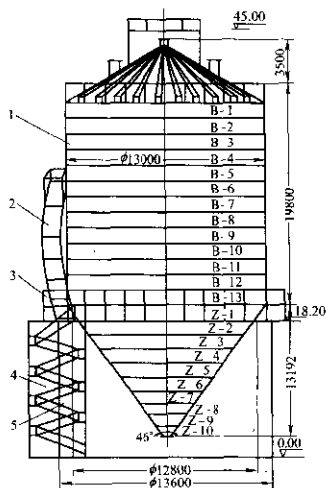


图 3-177 储罐结构示意图

1—罐体；2—旋转楼梯；3—钢平台；4—钢爬梯；5—混凝土基础

预制件分三件，第一件锥顶，质量约 19.5t；第二件为锥底第一、二节，质量约 22t；第三件为锥底第三到六节，质量约 16t。用起重量 120t 吊车先把第三件吊入基础内，再将第二件吊至基础支座上，最后将第一件吊到第二件之上，至此完成倒装罐体的施工准备。

3. 倒装吊升机具设置(图 3-178)

由 $\phi 325 \times 10$ 无缝钢管 20 根，高度 23.5m 组成桅杆群，在每根钢管桅杆高 15.2m 至 21.2m 间焊接 4 根 6m 长的 100mm × 100mm × 10mm 加固角钢。20 根钢管桅杆沿圆形基础外均布，于标高 18.2m 处沿圆周方向用 16 号槽钢把桅杆连成一个整体，在标高 9.5m 和 18.2m 两个高度处用钢丝绳把桅杆群捆绑在基础周围形成吊装用的桅杆群，每个桅杆上均挂起重重 10t 的手拉葫芦，作为吊升机具。

4. 储罐倒装法

在锥底和锥顶就位后，用 20 个手拉葫芦将锥顶吊升至高出 B-13 板的高度，然后把 B-13 圆弧壁板分段用吊车吊装就位后并组焊于锥底上，再次提升，再组焊，B-1 壁板于锥顶上，以提升—组焊—提升的顺序安装 B-2 至 B-12 圈壁板，最后完成 B-12 和 B-13 间的组装和焊接。

在罐体吊升过程中要同步调整每根缆风绳的长度，达到罐体能自由升高，又可扶正罐体的作用，也能确保偶遇大风时的施工安全。为防止因多人操作手拉葫芦提升高度发生偏差，导致罐体倾斜，可在手拉葫芦链条上作出每次拉动的起点和终点标记，每人都按标记拉动。拉动手拉葫芦时，要用哨声统一指挥，达到动作协调的目的。

还可在地面上互相垂直的两方向设置两台光学经纬仪，用以监视罐体的倾斜量，以便及

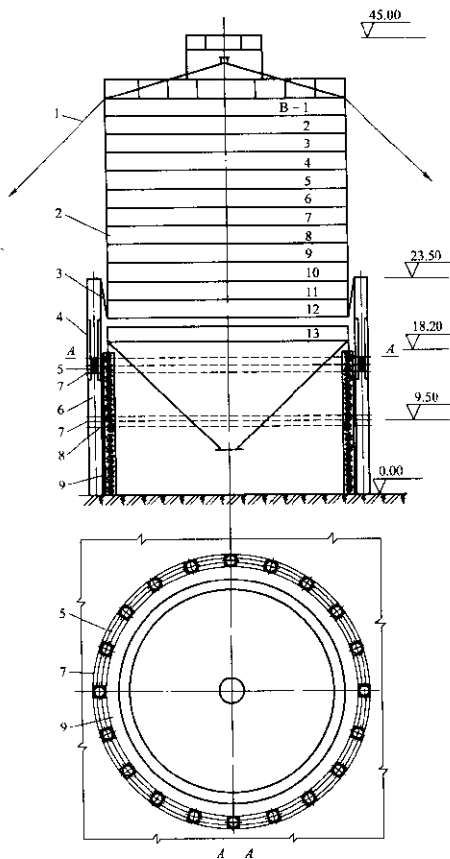


图 3-178 捆绑式桅杆群倒装法施工示意图

1—缆风绳(不少于6根);2—罐体;3—10t手拉葫芦;4—100mm×100mm×10mm角钢;5—16号槽钢;
6— $\phi 325 \times 10$ 无缝钢管桅杆;7—钢丝绳;8—垫板;9—混凝土基础

时调整。

(十一) 利用建筑物框架吊装巨型塔

某省设备安装公司在尿素工程中利用建筑物框架成功地吊装了直径 $\phi 3.044\text{m}$,长度36m,质量320t的巨大合成塔。

建筑主框架截面尺寸为12m×6m,总高65m,下部为钢筋混凝土结构,高47.5m,上部为钢结构框架,高17.5m。在狭窄的高耸框架内吊装长度、质量均大的巨型塔,其吊装难度

较大,吊装技术要求高,应编制吊装施工方案,并对框架承重进行验算。4 大件在框架内的位置如图 3-179 所示。

1. 吊装前的准备工作

(1) 吊装钢梁(图 3-180)

在建筑物框架最顶部设置两根吊装用钢梁,其上挂两组滑车组。钢梁用临时设置的桅杆吊至 65m 高的框架顶梁上。

钢梁下两端垫 $\phi 70\text{mm}$, 长度 800mm 的圆钢,形成铰接。两钢梁的间距与合成塔的吊耳间距一致。钢梁顶部局部做成半圆弧呈马鞍形,其目的是改善绑绳受力条件。

(2) 提升卷扬机设置(图 3-181)

为使建筑物框架受力平衡,4 台主吊卷扬机,1 台拖排牵引卷扬机和 2 台后溜卷扬机均设置在建筑物框架的两侧。

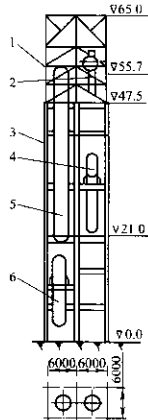


图 3-179 建筑物框架
及 4 大件位置简图

- 1—钢结构高框架;2—高压洗涤器;
3—钢筋混凝土框架;4—高压冷凝器;
5—合成塔;6—高压热交换器

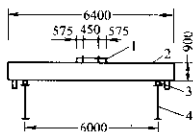


图 3-180 吊装用钢梁示意图

- 1—马鞍;2—钢梁;
3—支承圆钢;4—工字钢

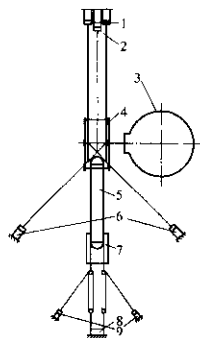


图 3-181 吊装机布置示意图

- 1—卷扬机(200 kN);2—卷扬机(100 kN);
3—选粒塔;4—建筑框架;5—合成塔;
6—卷扬机(200 kN);7—拖排;
8—地锚 300kN;9—卷扬机(50kN)

(3) 起吊滑车组(图 3-182)

用直径 $\phi 61\text{mm}$ 钢丝绳在钢梁上绕 7 圈形成上滑车组吊点,上下滑车组之间穿直径 $\phi 43\text{mm}$ 钢丝绳双出头,经 4 个导向滑车,由卷扬机牵引吊装。

(4) 框架底部加固

因为 300t 平板拖车载合成塔须从框架底下通过,为保证原有厚度 20mm 盖板不受损坏,对框架底部采取加固措施。在地梁上铺 46mm 厚硬木板,上面横向铺满 38kg/m 钢轨,其上再铺 20mm 厚钢板,长度达 21.5m。

(5) 合成塔钢座架预装(图 3-183)

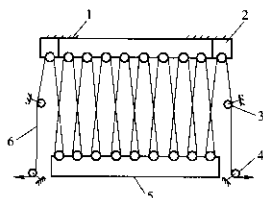


图 3-182 起重滑车系统示意图

- 1—上滑车(8轮,3200kN);2—导向滑车(单轮,400kN);3—导向滑车(单轮,100kN);
4—导向滑车(单轮,400kN);5—下滑车(9轮,2500kN);6—牵引绳

先在框架 19.5m 梁上组装质量 9t 的座架,找平找正,焊固垫铁,作好定位导轨,再吊起座架移到框架外的临时支架上,待合成塔吊装到位后,再迅速将钢座架移入安装位置。

钢座架吊具设在高 35.5m 框架梁上,挂 4 个单轮滑车,用 $\phi 17.5\text{mm}$ 钢丝绳,50kN 手拉葫芦及 30kN 卷扬机进行吊装。

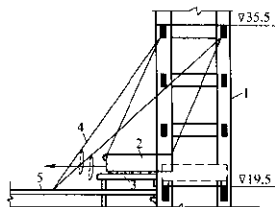


图 3-183 合成塔底架吊装移位

- 1—主框架;2—钢座架;3—支承钢架;4—吊装索具;5—低框架

(6) 主框架检查与验算

- 1) 设计院已根据吊装方案对主框架进行了承载强度验算。
- 2) 吊装前对主框架进行全面检查与鉴定验收。

(7) 合成塔卸车(图 3-184)

合成塔用 300t 拖车运输,路经的公路、桥梁、场地均经过承压强度核实,不足之处采取加固措施。

准备拖排、走道板、滚杠、道木及临时托架。300t 拖车倒退着进入框架预定位置,将拖排移至塔尾,牵引机车脱钩开走,塔尾与拖排高差间距垫道木,用 250t 卸扣连接吊耳与吊装滑车组,将塔架吊起少许,塔尾落在拖排上,拉走拖车,继而在塔身下安置道木和临时托架,利用中间托架支承点,起落吊具,降低塔身高度。

2. 主要吊装机具

主要吊装机具见表 3-24。

- (1) 起吊用机索具(表 3-25-1)。

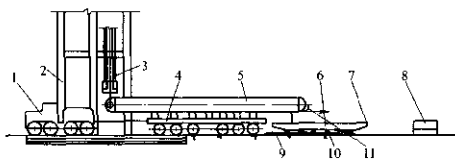


图 3-184 合成塔卸车

1—机车;2—主框架;3—吊装滑车组;4—300t拖车;5—合成塔;6—道木垛;7—拖排;
8—300kN地铺;9—钢板走道;10—滚杠;11—尾部托座

表 3-25-1 起吊用机索具

序号	名称及数量	规格型号
1	吊装钢梁(自制),2根	6400mm×600mm×900mm
2	卷扬机,4台	J1M-20,牵引力200kN
3	8轮滑车,2只	HQD8-320
4	9轮滑车,2只	HQD9-250
5	单轮滑车,8只	HQG1-40
6	单轮滑车,4只	HQG1-10
7	钢丝绳,200m	6×37-61-1700
8	钢丝绳,100m	6×37-52-1700
9	钢丝绳,2900m	6×37-43-1700
10	钢丝绳,100m	6×37-32-1700
11	卸扣,2只	D型安全负荷2500kN

(2) 拖排牵引机索具(表 3-25-2)。

表 3-25-2 拖排牵引机索具

序号	名称及数量	规格型号
1	卷扬机,1台	J1M-10,牵引力100kN
2	4轮滑车,2只	HQD4-20
3	钢丝绳,500m	6×37-17.5-1700
4	钢丝绳,250m	6×37-32.5-1700

续表 3-25-2

序号	名称及数量	规格型号
5	电感拉力计, 2只	150kN(中联用)
6	排拖, 1只	7800mm × 3600mm × 600mm
7	钢走道板, 16块	6000mm × 400mm × 140mm
8	钢走道板, 25块	4000mm × 400mm × 140mm
9	钢走道板, 4块	3000mm × 400mm × 140mm
10	滚杠, 40根	φ114 × 14, L = 4200mm

(3) 后溜机索具(表 3-25-3)。

表 3-25-3 后溜机索具

序号	名称及数量	规格型号
1	卷扬机, 2台	JJM-5, 牵引力 50kN
2	4轮滑车, 4只	HQD4-10
3	钢丝绳, 100m	6 × 37 - 13 - 1700
4	钢丝绳, 100m	6 × 37 - 26 - 1700
5	钢丝绳, 100m	6 × 37 - 32.5 - 1700

(4) 座架吊装机索具(表 3-25-4)。

表 3-25-4 座架吊装机索具

序号	名称及数量	规格型号
1	卷扬机, 1台	JJM-3, 牵引力 30 kN
2	手拉葫芦, 8台	SH5, 起重能力 50kN
3	钢丝绳, 200m	6 × 37 - 17.5 - 1700
4	单轮滑车, 5只	HQC1-5
5	卸扣, 12只	D型安全负荷 500 kN

3. 合成塔吊装(图 3-185)

合成塔吊装步骤如下:

(1) 对全部吊装设施进行全面检查, 均无异常后, 启动 4 台主吊卷扬机, 使塔头略抬起, 拆除塔身下的临时支承和道木, 铺上钢走道板和滚杠。随着合成塔徐徐吊起, 应间断地牵引后拖排, 始终保持主吊滑车组呈铅垂状态(允许偏角 $< 1^\circ$), 则框架顶水平推力不超过 60kN,

偏角可在框架下作出标记)。当塔尾支点移至吊装中心 $0.8 \sim 1.8\text{m}$ 时,收紧后溜绳,塔体脱排,并使塔体重量不施加到框架底部。塔体竖直并离开拖排 $200 \sim 300\text{mm}$ 时暂停提升,经检查无异常后,拆除托座与拖排。

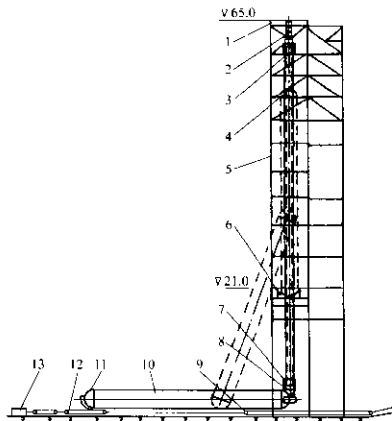


图 3-185 合成塔吊装

1—吊梁;2—捆扎绳扣;3—上滑车;4—钢丝绳;5—主框架;6—底座;7—下滑车;8—卸扣;
9—牵引索具;10—合成塔;11—托座;12—拖排;13—后溜地锚

(2) 4 台主吊卷扬机同时开动,保持速度一致,使塔体平稳上升,待尾部高度超过座架 $500 \sim 800\text{mm}$ 时,吊升停止,迅速移入座架,按预装位置正式就位,穿上地脚螺栓,使合成塔缓慢落至座架上,固定地脚螺栓,至此,吊装工作结束。此项吊装工作仅用时 $3\text{h}15\text{min}$,成为在狭窄空间,利用建筑物框架成功吊装巨型塔的一例。

第四章 设备吊装方案的编制与实施

第一节 设备吊装方案的编制

一般设备吊装方案有两种类型,其一是专为设备吊装而编制的方案;其二是其他专业安装方案的一个组成部分。前者用于吊装工程量较大,吊装工艺较复杂的大型设备的吊装,而后者用于安装和吊装均重要的设备安装。

一、编制设备吊装方案的原则

在编制设备吊装方案时应遵守以下几项基本原则:

(1)吊装安全为前提。保证设备吊装安全应为编制方案的前提,吊装的安全性应贯穿于方案的始终。吊装设备,特别是吊装工艺复杂的大型设备,从起吊开始到安全就位,要经历数个吊装步骤,闯过道道技术难关。诸多的环节和变化着的条件都可能转化为危及吊装安全的因素。因此,必须以科学的态度对待设备吊装方案的编制,在选择吊装工艺方法、起重设备的选型和能力的核算、吊装安全技术措施采用等几个关键问题上,必须达到安全可靠、科学合理并有效实用。

(2)技术可靠,工艺成熟为基础。在编制吊装方案时,选择吊装工艺方法是个核心的技术问题,而方法的技术可靠性和工艺的成熟程度又是首先应考虑的一般的作法是,依设备的形状、尺寸、质量等参数为主要条件,结合吊装场地的作业环境和吊装机械的能力等初拟数种可采用的工艺方法,继而从多方面进行可行性比较,从中优选。选择时应以安全为前提,以技术可靠、工艺成熟为基础,再兼顾其他。

(3)吊装效益应为追求的目标。设备吊装的经济效益如何,是吊装成果的综合反映,会受一些因素直接或间接的影响。一般讲由于科学的组织吊装施工而缩短工期;采用科学先进的吊装工艺方法;使用大型高效的吊装机械设备,提高机械化程度;利用已有的各种条件,减少吊装机械的使用量等都可促成吊装经济效益的提高。使用大型高效的吊装机械,必然会提高吊装效率而缩短工期,但其经济上不一定有合理性,要对可能缩短的工期和增加的机械使用费进行权衡对比。虽然我国已有众多的吊装机械可以利用,但以经济合理的尺度去衡量,一些半机械化的吊装方法仍具有一定的生命力。

建国数十年来,在我国规模宏大的经济建设中,许多大型施工企业,创造了一些优异的吊装工艺,近年在引进国外先进技术的同时,又引进一些新的吊装工艺,两相结合,使一些吊装新工艺日臻完善。如塔类设备的吊推法、液压顶升法;立式罐类设备的液压提升法、水浮法、气顶法;大型桥式起重机的厂房内设吊梁吊装法等吊装新工艺,有的已大量采用,有的已不乏吊装实例。

二、编制设备吊装方案的依据

编制设备吊装方案要依据有关的图纸、资料、规程、规范、起重设备状况等。

(1)设备制造图:包括设备的外形图、总装配图、主要部件图等。从中得到设备的外形尺寸、重心位置、总质量、吊耳情况、超高超长设备的分解部位等。

(2)设计图纸:土建专业的立面、平面、剖面图、设备基础图,设备安装图等。从中得到车间的跨距、屋架下弦和屋顶标高、大车轨道标高、设备在车间内的坐标位置、安装高度等。安

装于露天的设备还应有附近建筑物和构筑物的有关图纸。

(3)道路和水文地质资料:设备进入吊装场所须经过的道路情况,如等级、宽度、弯道半径、耐压力等。如在露天作业,应掌握作业场地的耐压力、地下埋设的地沟、管道、电缆等情况。

(4)起吊设备和机具清单:自行式起重机、桅杆、卷扬机等起重机械,千斤顶、手拉葫芦、滑车、卸扣、钢丝绳等的规格、数量和性能等。附近地区其他单位拥有的起重机械情况。

(5)建设工期:从建设单位的建厂规划资料、工程项目的施工组织总规划和单位工程的施工组织设计中了解计划网络工期。

(6)规范和规程:有关起重吊装方面的规范和规程,例如 HGJ201—83《化工工程建设起重施工规范》等。

(7)人员素质:有关起重吊装方面的工程技术人员、吊装指挥人员、起重技术工人的情况。

(8)经济资料:起重机械的台班费、租赁费、机械使用费(取自施工图预算)、有关的人工和材料消耗定额等。

还应参阅以下有关资料:如有关设备吊装的科技书籍,技术刊物上的文章,本单位或其他单位的吊装实例工程总结资料,吊装工法等。

三、设备吊装方案的内容

设备吊装方案一般应包括以下内容,视吊装的难易不同,内容可繁可简:(1)工程概况;(2)吊装进度计划;(3)吊装工艺方法及技术措施;(4)吊装平面布置;(5)安全技术措施;(6)起重吊装机械需用计划;(7)劳动力需用计划;(8)材料需用计划;(9)吊装成本预测。

(一)工程概况

简要说明该设备吊装工程总的概况,一般应包括:

- (1)建设项目名称、吊装地点、设备名称等。
- (2)工程特点:包括设备自身的特点、吊装工艺方法的特点、吊装难度、技术关键、工期要求、吊装作业场地情况等。
- (3)设备的各项技术参数:包括设备的质量、外形尺寸、重心位置、超长超高件的分件供货情况等。
- (4)工期、人数、主要吊装设备等。
- (5)有关的其他内容。

(二)吊装进度计划

吊装进度计划用横道图和网络图方式表示均可。前者绘制简单,直观易读,一目了然,且容易修改。后者更科学周密,能更好地反映吊装工序的衔接和与相关专业的配合要求。

对大型分件供货需在安装时组成整体的设备,如大型桥式起重机、发电机组、水压机、球磨机、回转窑等等,其安装和吊装进度安排应编成一个计划,吊装工序是安装和调整精度工序的前工序,所占工期一般是前者少于后者。而有些以吊装为主的设备安装,如整体吊装塔类和罐类设备则须单独编制吊装进度计划。

1. 安装进度计划编制的方法和步骤

(1)按上述编制依据的有关资料和设备实际到货情况,初步规划三个阶段的控制工期,即准备阶段、安装和吊装阶段、收尾和试运转阶段的阶段工期,在规划工期时应留有余地。

(2)按吊装方案中的吊装工艺方法,划分吊装工序和安装工序。大型设备各部件的组装顺序常由设备的结构特点而定,一般不能变更,如设备均须从其底座开始装起等,虽然吊装工序应服从安装工序。有时也会因吊装工艺方法的差异和使用吊装机械的不同而改变安装顺序。

安装工序的划分其多少应适度,项目过少则难于控制工程进度,项目过多又不便于记忆和检查,一般情况分三阶段十数项为好。下面试举实例进一步说明此问题。

本书第二章第三节一、(五)1.用双桅杆吊装起重量 400/80t 大型桥式起重机,其吊装和安装工序可参照表 4-1 的项目划分。

表 4-1 大型桥式起重机安装工序的划分

序号	吊装和安装工序
(1)	施工准备阶段:
1)	吊装机具进场,设置就位
2)	竖立第一根起重量 240t 桅杆
(2)	吊装安装阶段:
1)	两根大车主梁进场,检查测量就位
2)	整体吊装主梁(用临时端梁连接)
3)	竖立第二根起重量 150t 桅杆
4)	小车进场、检查、待吊
5)	用两根桅杆抬吊小车并就位
6)	司机室吊装,电气设备安装和调试
7)	拆除两桅杆等吊装机具
(3)	收尾试车阶段:
1)	安装吊钩,穿绕主副钩钢丝绳
2)	试运转(无负荷和负荷试运转)
3)	处理遗留问题
4)	交工验收

本书第二章第一节五、(二)安装筒体直径 $\phi 5\text{m}$, 长度 6.4m 大型球磨机,其吊装和安装工序可参照表 4-2 的项目划分。

表 4-2 大型球磨机安装工序的划分

序号	吊装和安装工序
(1)	施工准备阶段:
1)	设备清点、检查、进入车间
2)	基础、地脚螺栓检查验收
(2)	吊装、安装阶段:
1)	主底板安装
2)	主轴承安装(轴承座)
3)	筒体、端盖吊装

续表 4-2

序号	吊装和安装工序
4)	筒体、端盖安装、调整安装精度
5)	主轴承组合件安装(轴瓦、上盖)
6)	大齿轮吊装并调整安装精度
7)	小齿轮安装
8)	同步电动机吊装和安装调试
9)	润滑装置和系统安装调试
(3)	试车、收尾阶段:
1)	筒体无负荷试运转(未装衬板)
2)	衬板安装
3)	试运转(无负荷、带水试运转)
4)	处理遗留问题、验收交工

用门式桅杆以滑移法吊装巨型塔类设备时其吊装工序可参照表 4-3 的项目划分。

表 4-3 门式桅杆滑移法吊塔的工序划分

序号	吊 装 工 序
(1)	施工准备阶段:
1)	平整夯实吊装作业场地,桅杆混凝土基础浇筑
2)	制作或改制门式桅杆,并进行静态负荷试验
3)	制作吊具、尾部回转铰链
4)	吊装机具进场就位(卷扬机、锚碇等)
5)	竖立辅助桅杆(竖立门式桅杆用)
(2)	吊装阶段:
1)	竖立门式桅杆
2)	塔设备进场、拖运到位
3)	安装吊具、尾部回转托架
4)	灯光、信号、指挥台安装
5)	试吊、全面检查
6)	吊装塔体
7)	拆除尾部回转托架
8)	塔体就位、找正
(3)	收尾阶段:
1)	吊装机具拆除并出场
2)	处理遗留问题、验收交工

(3)计算工程量。按已划分的工序计算工程量,其计量单位应与人工、机械和材料定额相一致,以便直接套用。

(4)计算施工机械台班需要量。可按机械台班定额计算,并根据已有的实践经验综合考虑。

(5)计算劳动日需要量。可按劳动定额进行计算。然后根据具体情况进行必要的调整,使其达到平均先进水平,这样会使所排定的进度计划更符合实际。

(6)确定吊装和安装的持续时间。每个工序持续时间的长短取决于投入的人力和机械数量,若工期紧迫,也可采用两班制甚至多班制。

(7)绘制吊装和安装进度计划表。绘制时应周密地考虑各种可能影响进度的因素,还应注意各工序的衔接,实行平行、流水作业的可能性等。对编成的进度计划应认真征求各方面的意见,进行反复修改,使其尽量完善,并留有余地。

(三)吊装工艺方法

编制设备吊装方案时,吊装工艺方法的选择是个核心问题,它将决定方案的其余内容。而大型吊装机械的种类、数量和性能又是选择吊装工艺方法的基础。选择吊装方法应在确保计划工期的前提下,兼顾工艺方法的先进性和经济的合理性。一般选择吊装工艺方法时应综合考虑以下诸因素:(1)设备的结构、尺寸、形状、特点、数量和重量。(2)大型吊装机械的种类、数量、性能和完好状态,其他机具的规格和数量。(3)工程性质是新建、扩建、续建还是改建。(4)吊装作业现场的实际条件:是在车间内,还是露天,场地宽阔或狭窄,附近有无建筑物、构筑物,已安装的高大设备等可利用的条件等。(5)工程技术人员、吊装指挥人员、技术工人的素质情况,已有的技能程度和对新的吊装工艺的适应能力。(6)工期要求。(7)设计文件、设备本身、施工组织设计中规定的有关要求。

1. 吊装工艺流程图

吊装工艺流程图是设备吊装方案的重要组成部分。可用框图或网络的形式绘制,用此图表示各工序的衔接过程。如前述,常需把施工准备、设备安装和设备吊装绘制在一起形成安装流程图。试举实例,以示其绘制形式和内容。

【例1】用门式桅杆以滑移法吊装塔类设备的吊装工艺流程图,如图4-1所示为横式框图形式(见本书第三章第四节十一、(三))。

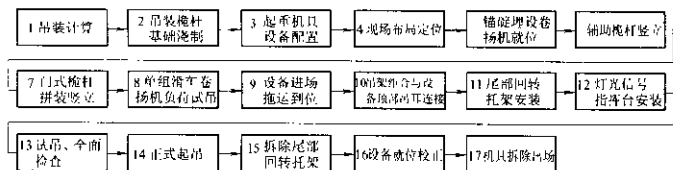


图4-1 用门式桅杆以滑移法吊装塔类设备的吊装工艺流程图

【例2】用双桅杆以滑移法吊装塔类设备吊装工艺流程图,如图4-2所示为网络绘制形式。

【例3】某厂直径 $\phi 3\text{m}$,长度 88m 回转窑,用自行式起重机吊装,其安装工艺流程竖式

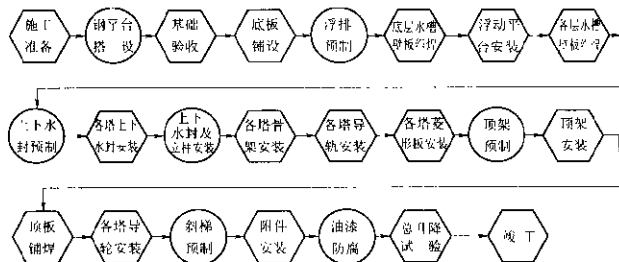


图 4-4 气柜钢水槽浮排充水正装法及塔体安装工艺流程图

机抬吊或多机吊装的途径。

(3) 自行式起重机应为首选的吊装机械,它有灵活、高效、安全等优点,选用时可按被吊设备的有关参数计算其质量和需吊升的高度,然后从该起重机的性能表中直接查取工作幅度和臂杆长度(吊升高度)。吊车进场对道路有一定的要求,站位处需达到要求的承载能力,周围要有足够的活动空间。如需租赁外单位的吊车,应核算其经济上的合理性,要对大型施工机械远程进出场费、机械台班费、闲置费、为吊车服务的车辆和人工费、可能发生的大临设施费(如修缮道路、夯实地基、填铺块石等)等进行全面核算,评估其经济上的合理性。当然,有时为了确保工期或满足一些其他吊装特点的要求,也需不顾经济结果而租用吊车。

(4) 桅杆是重要的吊装机械,它具有起重量大,吊装稳定可靠,吊装成本适中等特点。选用均衡承重的直立桅杆时,可直接从不同规格桅杆的性能表中查找,无需计算。对倾斜使用的桅杆或受偏载的直立桅杆,应根据桅杆的具体使用条件,进行受力计算,必要时还应作强度验算和稳定性验算。

(5) 在选择吊装机械,计算载荷时,应以设备质量为主,还必须加上吊钩、吊具、绑绳等的附加质量。不可忽略动载系数,在非单吊点吊装时,还应考虑不均衡因素的影响。

(6) 其他机械和索具的选择,如卷扬机、滑车组、牵引绳、缆风绳、卸扣、绑绳、锚碇等,都必须按其计算受力值,从有关的技术手册中查找后选用。

3. 绘制设备吊装图

设备吊装图是设备吊装方案的重要组成部分,可直观地指导吊装作业。一般根据土建设施工图、设备安装图、设备各项参数、已确定的吊装工艺方法和已选定的吊装机械、机索具等进行绘制。吊装图包括吊装平面布置图、设备吊装立面和平面图、技术方法图、技术措施图和受力分析计算简图等。图的数量多少和详细程度取决于吊装工艺方法和吊装技术的难易,一般以能表达主要的吊装瞬间、解决吊装难点、指导吊装作业为度,不必强求一致。对以上数种图应包含的主要内容和绘制方法,分述如下。

(1) 吊装平面布置图

以设计单位的车间或区域平面图为基础,舍去与吊装无关的细节和尺寸,按比例绘出吊装作业场地及有关区域内的建筑物、构筑物、道路、地形、地下埋设(暗沟、管道、电缆等)等。然后按一切已知数据和条件,合理布置主吊机械和其他机索具的平面位置。并规定设备的

进场路线,预组装场所和应到达的待吊位置。吊装平面布置图一般以单线条示意法绘制,但各组成要素的位置和尺寸应正确。图中应标有与吊装有关的内容:

- 1)设备的安装位置。
 - 2)设备的进场路线,到待吊位置的方位和顺序。
 - 3)解体供货设备的组装场地。
 - 4)主吊机械的站位、移动路线和方向。
 - 5)卷扬机的布置。
 - 6)缆风绳、锚碇的布置。
 - 7)吊装指挥人员的工作位置。
 - 8)各种临时设施的位置。
 - 9)方位标志等。
- (2)设备吊装图

设备吊装图一般以立面图为主,必要时辅以平面图或侧面图,用它来表示吊装机械和被吊设备的相对位置、吊系方式和吊装过程。常以试吊前的待吊状态为原始位置,再绘制最大受力瞬间、吊装阶段转换的瞬间和设备就位时等几个特定位置的情况。如用桅杆双转法扳吊塔类设备,要绘制待吊位置(也是受力最大瞬间)、桅杆脱杆时、塔体开始自倾时和直立就位时的情况。吊装图应大致按比例、局部需表示部位可适当放大,用示意方法绘制。一些吊装数据值,应以计算结果为准。

(3)技术方法图和技术措施图

一般在吊装中须采取与常规有别的措施或方法时可绘制技术方法图和技术措施图。以图的形式说明方法和措施的内容。此种图大致可分两类,一为需加工制造的,如吊具、吊梁、回转铰链、临时端梁、特种托座等应按机械图和结构图的要求绘制;另一类可用示意方法表示,如滑车组的穿绕方法,多吊索的平衡方法等。

(4)受力分析计算简图

据受力分析计算简图,用有关的计算公式,计算吊装机械及其稳定系统的受力值,并据此选择吊装机械的能力和其他机具的规格。受力计算应成为设备吊装方案的重要内容之一。在吊装中,吊装机械、被吊设备、地面、基础均处于受力状态下,其各施力点的受力值将随着被吊设备位置的不同而变化,但力系中各力会随时处于平衡状态。为保证吊装系统的稳定,吊装机械的起重能力应大于被吊设备施给它的最大荷载。并应留有一定的安全裕度。受力计算,实际上应为各施力点最大受力值的计算。可按照不同的吊装工艺方法,分析力系中各力间的关系,按最大受力瞬间的位置,如扳转法的起扳位置、滑移法的脱排位置、吊车在一定臂杆长度时的最大工作幅度位置、倒装法的最后一次吊升等绘制受力分析计算简图。简图可以大致的比例,定量的尺寸关系,用箭头表示力的方向,简化某些非重要因素等方法,以示意图的方式绘制。

(四)技术措施

设备吊装方案中的技术措施一般有以下内容:

(1)为实施某种吊装工艺方法所采取的措施。如用直立单桅杆整体吊装大型桥式起重機主桥架用的临时端梁;大型发电机组转子穿入定子用的滚动支撑和专用小车;气顶法吊装立式罐类设备用的密封、限位、平衡装置;双机抬吊的平衡梁;水浮法中的浮盘等技术措施。

(2)提高吊装机械起重能力的措施。如自行式起重机杆端加缆绳、臂杆下加直立人字桅杆等;桥式起重机大车桥梁上加吊梁用滑车组吊装、改变吊钩的提升速度等;履带起重机加长并放宽履带板的措施;人字桅杆改成A字桅杆;两根单桅杆加横梁改成门式桅杆等。

(3)防止被吊设备因受力变形或造成损伤的措施。如用滑移法或扳吊法吊装巨型塔类设备时其裙座应加固、设铰链;吊装刚性不够的容器内设支撑,外加保护圈;防止细长件吊装中弯曲,用多吊点法;轧钢机架架压下装置孔用橡胶运输带保护后再穿吊索;大型设备轴颈用工业羊毛毡保护;大型电动机或发电机转子向定子穿心时,在定子孔下半圆表面上垫薄圆弧钢板、薄橡胶石棉板;吊装桥式起重机主梁等结构件时其棱角处用锯开的钢管段保护等。

(4)为满足某种吊装机具使用要求而采取的措施。如用巨型桅杆在重大的吊装中,杆脚处的地面需有足够的承载力,必要时应浇灌混凝土基础;履带吊站位下的地面,汽车吊和轮胎吊支腿受力点处亦应有足够的承载力,用夯实、加块石、垫枕木排垫钢板等方法提高承载力。

(5)保护与设备吊装有关的建筑物的措施。如用车间混凝土柱根部作锚碇时,其缆风绳应在用木方等保护后再捆绑在柱子上,在建筑物附近吊装设备时,应采取防悠措施,以免设备撞损建筑物;在无法避免卷扬机牵引绳与建筑物接触时,其摩擦处应采取防护措施等;

(6)为直观的测量一些重要吊装参数而采取的措施。如测力,在主要受力绳索上安装测力计,用以测量力值和变化情况;测扳起角度,在扳吊塔类设备时,在塔上或桅杆上(双转法)安装角度指示器,以度量角度值,这对提前采取措施控制自倾速度甚为必要;测设备起升高度,在用气顶法顶升罐类设备时,用划于罐壁上的横格线,直观的显示已升高度值;测偏斜角度,用直立桅杆吊装设备时,以经纬仪测量桅杆受力后的倾斜角,如已超过容许范围,应采取措施纠正等。

(7)为快速、准确传递指挥人员的指令而采取的措施。为传递吊装指挥的各项指令,并及时反映执行结果,为使吊装指挥能随时了解各吊装要害环节监控人员反应的信息,以及各操作点的工作情况等,应设声光信号传递系统、无线对讲机等。

(五)安全措施

在设备吊装中须采用的安全措施内容多而面广,现只将其中几项较为重大的安全技术措施强调于下:

(1)因吊装工艺需要而自行设计和制作的起重机具,如吊梁、吊耳、特形吊具、回转铰链等应经过正规的设计,进行强度等计算,按加工工艺要求制作,并应达到有关的质量标准,完成后必须经过超负荷试验,合格后才能使用。

(2)对新设计制造的或长期闲置未用的起重机具应通过试验以确定其容许使用负荷,其试验项目、方法和标准应符合有关规定。

(3)对保证设备吊装安全的一些重要数据和状况必须进行监测,如桅杆的垂直度和挠度、主缆风绳的受力值、锚碇的稳定、电动卷扬机电机的电流值、自行式起重机吊钩的受力值及整机的稳定状态等。

(4)结合该项设备吊装的特点,重点突出的提出一些安全措施,如露天吊装中雷雨季节的防雷接地措施、沿海多风季节的防风措施、有触电威胁时的停电措施、气顶法中的安全支柱措施和预防停电措施等。

(5)许多吊装实践证明,吊装前的试吊是一项重要的安全技术措施。进行试吊并妥善处

理试吊中出现的问题,排除安全隐患对保证吊装安全至关重要。

(6)在用桥式起重机超负荷吊装设备前,应对其进行逐步增加负荷的超负荷试验,试验中应测量主桥架的下挠度和卸荷后上拱度的减少量,还应测量主卷电动机的电流值。只有在确认桥式起重机能胜任时,才可超负荷使用。

(7)根基和锚固是保证吊装系统稳定的重要环节,从吊装安全的角度出发,应视情况采取一些措施,如埋置式锚碇应严格按照方案图施工,并认真夯实回填土壤,在重大的吊装中,应对主要锚碇进行抗拉强度试验。桅杆的立足处、吊车的站位和支腿的受力点必须达到要求的承载力。否则应采取夯实、加填石料、垫枕木排、垫钢板等措施。视需要还应打桩,浇灌混凝土基础。用以上措施增加承载力和承压面积。

(8)认真贯彻执行有关的安全法规、安全管理制度和起重施工规范

(六)吊装机具需用计划

吊装机具需用计划一般可设以下栏目:序号、名称、规格型号、单位、数量、质量、备注等。对吊装工期较长的还应列出使用日期。本书第二章第三节一、(五)1.用双桅杆吊装起重量400/80t大型桥式起重机,其机具需用计划如表4-4所示。

表4-4 吊装机具需用计划

序号	名称	规格型号	单位	数量	质量/kg		备注
					单重	总重	
1	格构式桅杆	起重量 240t 高度 32m	根	1	25000	25000	吊主桥架、抬吊小车
2	格构式桅杆	起重量 150t 高度 32m	根	1	14200	14200	抬吊小车
3	卷扬机	JM8 额定拉力 80kN	台	4	2800	11200	
4	滑车	HQD6-50.50t	个	8	277	2216	主吊滑车
5	滑车	HQG1-16.16t	个	12	110	1320	导向滑车
6	卸扣	许用负荷、60t	个	10	79	790	
7	钢丝绳	6×37-39-1550	m	80	5.3	424	用作捆绑绳
8	钢丝绳	6×37-26-1550	m	1800	2.4	4320	卷扬机牵引绳、缆风绳
9	手拉葫芦	HS10,起重量 10t	个	10	68	680	缆风绳用

在一些特大型设备吊装中,若按几个主要吊装工序分列吊装机具需用计划,更清晰实用。现列出用双桅杆滑移法吊装高83.4m,质量580t的巨塔时,分竖立辅助桅杆、竖立主吊桅杆和塔设备吊装3个吊装工序分列吊装机具需用计划的实例——竖立辅助桅杆所需机具如表4-5。

表 4-5 100t×48m 辅助桅杆竖立机索具需用计划

序号	名称	规格、型号	单位	数量	用途	备注
1	轮胎吊	L2000,起重量 700kN	台	1	抬头	
2	滑车组	HQD6-50	套	1	起扳 机具	作导向滑车用
3	滑车	HQCK1-10	个	5		
4	卷扬机	JM5,额定牵引力 50kN	台	2	封底 机具	作卷扬机牵引绳
5	钢丝绳	6×37-24-1700	m	1100		
6	滑车组	HQD4-32	套	2	平衡 机具	作卷扬机牵引绳
7	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	800×2		
8	手拉葫芦	HSS,额定起重量 50kN	个	2	平衡 机具	作卷扬机牵引绳
9	滑车组	HQD4-32	套	2		
10	滑车	HQCK1-10	个	4	平衡 机具	作卷扬机牵引绳
11	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	300×2		
12	滑车组	HQD4-20	套	2	平衡 机具	作卷扬机牵引绳
13	钢丝绳	6×37-19.5-1700	米×根	300×2		
14	卷扬机	JM5,额定牵引力 50kN	台	4		

竖立主吊桅杆所需机具见表 4-6。

表 4-6 350t×64m 主吊桅杆竖立机索具需用计划

序号	名称	规格、型号	单位	数量	用途	备注
1	桅杆	起重量 100t,高度 48m	根	1	扳吊用	
2	滑车组	HQD8-160	套	2	起扳 机具	作卷扬机牵引绳
3	钢丝绳	6×37-30.5-1700	米×根	1200×2		
4	卷扬机	JM10,额定牵引力 100kN	台	4	封底 机具	作导向滑车用
5	滑车	HQCK1-20	个	12		
6	滑车组	HQD6-50	套	2	封底 机具	作卷扬机牵引绳
7	滑车组	HQD4-32	套	4		
8	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	500×2	封底 机具	作卷扬机牵引绳
9	手拉葫芦	HSS 额定起重量 50kN	个	4		
10	滑车组	HQD4-32	套	6	桅杆平 衡机具	作导向滑车用
11	滑车	HQCK1-10	个	12		
12	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	300×6	桅杆平 衡机具	作卷扬机牵引绳
13	卷扬机	JM5,额定牵引力 50kN	台	6		
14	滑车组	HQD4-20	套	4	辅助 机具	作卷扬机牵引绳
15	钢丝绳	6×37-19.5-1700	米×根	500×4		
16	卷扬机	JM5,额定牵引力 50kN	台	4		

双桅杆滑移法吊装塔体所需机索具如表 4-7 所示。

表 4-7 双桅杆滑移法吊装塔体机具需用计划

序号	名称	规格、型号	单位	数量	用途	备注
1	桅杆	起重量 350t, 高度 64m	根	2	提升 机具	提升塔体
2	滑车组	HQD10-320	套	2		
3	钢丝绳	6×37-43.5-1700	米×根	1400×2		作卷扬机牵引绳
4	卷扬机	JM20, 额定牵引力 200kN	台	4	滑引 机具	
5	滑车组	HQD4-32	套	2		
6	卷扬机	JM10, 额定牵引力 100kN	台	2		
7	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	600×2	平衡 机具	作卷扬机牵引绳
8	滑车组	HQD4-32	套	6		
9	钢丝绳	6×37-24-1700	米×根	300×6		作卷扬机牵引绳
10	卷扬机	JM5, 额定牵引力 50kN	台	6		
11	钢丝绳	6×37-52-170	米×根	200×6		作主要缆风绳

(七) 材料需用计划

在有些设备吊装工程中应编制材料需用计划, 主要是钢材和木材, 如设备组装用的钢平台材料——钢板、型钢(或钢轨)、枕木等; 设备运输需要的枕木、无缝钢管(作滚杠)、钢排材料; 锚碇用的木材; 制作吊具、铰链等措施用的钢材等。

(八) 劳动力需用计划

在确定劳动组织和劳动分工之后, 按吊装进度的工期和工序划分项目, 计算每个工序所需要的劳动量, 继而定出各工序的起重工、钳工、电工、气电焊工、吊装机械司机和力工的数量。

对吊装工期较长, 耗工较多的吊装工程, 可视需要把劳动力需用计划绘成图表的形式, 这样可形象地表示劳动力需要情况和高峰值。绘制图表时, 横坐标表示工期, 纵坐标表示需要人数, 各工种需要量叠加在一起。

以大型球磨机为例绘制劳动力需要图表。两台同型号球磨机同时安装, 两个钳工班组, 每组 10 人, 各安装一台; 一个起重班组, 起重工和力工 14 人, 负责两台球磨机吊装; 还有气电焊工 4 人; 电气维修工 2 人; 天车司机 2 人, 共 42 人。

计划工期: 施工准备、检验设备、验收基础 1 个月; 安装 4 个月; 试车装衬板 1 个月, 总工期半年。绘制劳动力需要图表如图 4-5。球磨机安装的工序划分请参阅本书表 4-2。

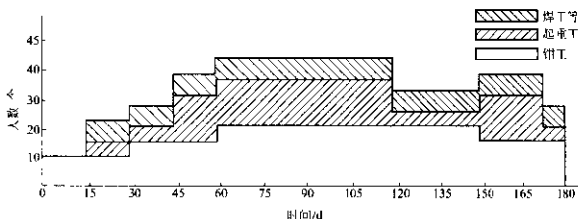


图 4-5 劳动力需要计划图表

(九) 设备吊装成本预测

按理在设备吊装方案的最后应有成本预测部分,以形成技术、经济兼备的完善方案。可是,许多设备吊装方案中并不编写这部分。分析其原因,可能是因为计算依据不足,情况常变,加之又无专用定额为依据等。笔者认为设备吊装方案中应有成本预测部分,可以类似编制安装施工图预算的方法编制。以方案所定的机械、人工和材料需要为主要依据,参考安装定额有关部分,沿用当时的取费标准进行编制。

第二节 设备吊装方案的实施与安全技术措施

一、设备吊装方案的实施

在设备吊装工程,尤其是重大的设备吊装工程施工前,编制能全面指导施工的吊装方案,是十分必要的。因为方案将成为施工准备工作的依据,吊装作业的指导、吊装工艺方法的规定和实现吊装安全的保证。虽然书面的吊装方案是为实施的前提,有如一副之本,而如何实施方案又如导演导戏,把书本文章变成生动的现实,不正是说明方案重要,而实施就更加重要吗。再用些笔墨阐述吊装方案实施的主要方法和措施似不为赘。

(一) 方案的审批程序和变更权限

在吊装方案编制的过程中,编撰者应认真听取来自各方面的意见和建议,还应得到上级技术主管的指导,对重大的方案还必须经过研究和论证。对编成的方案应视具体情况,分别由某级技术负责人审批。并视方案的重要程度,相应提高审批人员的技术职务,直至总工程师。审后批准的方案应具有执行的严肃性和技术的权威性,如需更改亦应履行必要的手续。许多设备吊装方案实施的实践证明,因吊装条件的千变万化,要达到百分之百的方案实现率是非常困难的,甚至是不太可能的。在实施中,对需作的较小变化,应通过吊装技术负责人和指挥人员。对一些重大变化,如吊装工艺方法的改变,吊装机具种类的改变以及主要机索具和材料的代用等,应写出书面变更申请,并附有必要的计算和说明,上报原方案批准单位和人员。待批准后,方可按变更后的内容实施。

(二) 建立组织机构,全面组织设备吊装工作

建立与吊装规模相适应的组织机构,是实施顺利吊装的组织保证。责任制和分工将把全体人员有机地组合成整体,各据岗位、各尽其责。组织机构的大小和人数,取决于设备吊装项目的大小和复杂程度,少则数人,多则 10 来人。

项目领导和指挥人员负责全面指挥、决策和协调。而工程技术人员、安全管理人员、质量监督人员、设备和材料管理人员等按分工分管各方面的业务工作。

操作人员如起重工、钳工、电气维修工、气电焊工、吊装机械司机等,在领导、指挥人员的组织安排下,按照吊装方案的施工程序和吊装方法进行吊装作业,完成起重吊装工作。

(三) 吊装方案的交底是重要的技术环节

吊装方案经批准后应下发给有关单位和人员,在初步了解方案内容后,一般在施工准备阶段进行技术交底。常由吊装技术负责人或方案编制者向全体有关人员,如领导、工程指挥、起重班组全部工人、配合工种的班长或骨干、质量安全设备管理人员等进行技术交底。交底以吊装方案的各项内容和设计图纸为内容,重点讲解工程特点、吊装程序、工艺方法、技术关键和安全措施。通过交底使全体人员了解吊装方案的基本内容,便于在操作中贯彻实施。技术交底常以讲解方式为主,并辅以书面方式。技术交底后,要认真做好交底记录,经

有关部门签证后,保存、归档、备查。

(四) 加强检查是确保方案实施的必要手段

一个吊装方案欲得到实施,设机构或专人从事检查工作是十分必要的。从准备工作开始到吊装结束,重要的施工和作业均应在检查人员的严格监督下进行。如任凭施工人员各行其是,随意操作,有可能会埋下安全隐患。以致促成事故。日常的检查工作应贯彻始终,对重要的技术环节和涉及吊装安全的重大技术措施,应按有关要求逐项检查,项项通过。尤其对一些隐蔽工程,如埋置式锚碇的施工,吊装场地的夯实、加固等,应在检查人员的监护下隐蔽,并填写隐蔽工程记录。

吊装机械和机索具是吊装作业的主要手段,应在对其进行检查并确认合格后方可进入安装位置(检查项目可参阅有关的规程、规范和设备使用说明书)。除上述检查机具完好状态外,还应对其设置是否规范进行检查。

(五) 试验和试吊均是重要的技术措施

试验和试吊都是保证吊装安全的重要措施。试验的目的是取得可靠的数据和确认机具的正常工作状态。在重大的设备吊装前,应对新设计制作的桅杆等吊装机械,自制的吊梁、吊具、卸扣等机具作起重能力试验,以确定其最大负荷能力。还应对主要的埋置式锚碇作拉力试验、对基础的耐压力作承压试验、对卷扬机进行运转和制动试验等。

在采用吊装新工艺时,如用吊堆法吊装塔类设备等,可按比例作成缩小的模型,以模拟法作吊装试验,旨在熟练掌握新的吊装工艺方法并用以确定一些主要的吊装参数。

试吊装也是一项重要的吊装工序,是在正式吊装前对吊装工作的一次总检验。通过试吊装既能检验所使用的机索具的安全性和设置的正确性,又是对吊装组织工作的全面考核,还可试验信号和指挥系统的灵活可靠性。应把试吊装当成吊装的总演习,全体吊装人员,均须按分工就位,并各负其责。在试吊中对一些重要的吊装环节均须设专人观察和监护,特别要注意一些异常情况的发生。试吊装的时间不宜过长,一般控制在10min左右。离开地面的距离应在10cm以下,扳吊角度在 5° ~ 10° 之间。试吊后要对各吊装机索具进行一次全面的检查。对所发生的异常情况,应采取措加以解决,必要时应再进行一次试吊装。

(六) 吊装就位和收尾

在试吊后无异常时即可正式吊装。对于重大的起吊工程应在得到总工程师的吊装指令后再进行正式吊装。

在开始吊装前还应对有关的供电部门提出保证供电的要求,必要时应采取一些保险措施,以防突然停电而引发事故。对吊装现场在吊装作业时有触电危险时,如架空线等应联系停电,并派人监护。对需要中断的道路应在路口处设警示牌,并派专人看守。还要对吊装现场周围圈起警戒区域,发放吊装工作证,禁止无关人员进入,以防不测。

设备落于基础上以后,应立即进行找正定位工作,并紧固地脚螺栓,继而完成一些其他零星收尾工作。

在拆除吊装机具时,如大型桅杆系统的拆除等,仍应按吊装方案的工艺方法进行,应同吊装一样重视,以善始善终,保证收尾阶段的安全。

二、设备吊装安全技术措施

设备吊装工作应认真执行起重施工规范和设备吊装方案,还应在起重机械和机具的允许负荷范围内开展起重作业,一般情况应禁止超负荷使用。由于设备吊装中吊机和吊重形

成空间力系,只要在整个吊装过程中能始终维持此变化力系的平衡,就可以保证吊装安全,如果因某种因素破坏了力系的平衡,就会发生安全事故,吊装事故危及人身安全和财产损失已是人所共知,故在设备吊装中应把安全工作放在第一位,给予足够的重视。在科学技术已高度发展的现代,已有完善的测试手段、先进的计算技术、性能优越的吊装机械和许多成熟的吊装工艺,只要坚持科学态度,认真做好各项安全工作,设备吊装事故是完全可以避免的。

设备吊装的安全技术措施和要求

(1) 对重大的吊装项目,应编制吊装方案,方案中应有根据该项目的具体情况,制定详尽的安全技术措施的内容;

(2) 在设备吊装中应设专职安全管理人员,并和基层兼职安全人员一起工作,形成安全管理网;

(3) 设备吊装起重工,起重机械操作人员必须持有政府劳动部门发给的操作证,方可上岗操作。

(4) 进行设备吊装的起重机械必须有完好的状态,严禁带“病”作业;

(5) 起重机械的操作人员应经常检查和保养设备,使之处于正常状态。在正式吊装前,应空转检查,必须确认制动器和保险装置正常后,才可工作;

(6) 工作前,应了解在机械工作范围内,有无妨碍起重机械回转及行走的障碍物,并应确认可能危及机械安全的架空输电线路已停电;

(7) 起重作业中应做到设备质量不明不吊,重心位置不明不吊,捆绑不牢不吊,超载荷不吊,视线不明不吊和指挥手势不清不吊;

(8) 操作人员应按指挥人员的旗语、手势或哨音进行操作。若指挥信号不清或将引起事故时,操作人员可拒绝执行,并应立即通知指挥人员。但对有关人员发出的危险信号均应听从;

(9) 遇有大雪,浓重的雾气,夜间照明不足,致使指挥人员看不清工作地点或操作人员看不清指挥人员时,不得进行设备吊装作业;

(10) 起重机械不得超负荷起吊设备,如必须超负荷起吊时,应经过计算、试验,采取有效的安全措施,并经技术负责人批准后方可进行;

(11) 起重机工作时,禁止无关人员进入操作室,操作人员应集中精力,不得与旁人谈笑、吸烟。未经指挥人员许可不得擅自离开起重机械;

(12) 起重吊装时,一般不允许同时操作两个动作,尤其在接近满负荷或满负荷时,更不允许同时操作两个动作;

(13) 起重机的主、副钩换用时,应在两个钩达到相同高度之后,一个钩一个钩地开动;

(14) 吊钩上升的极限位置,应距臂杆顶部不得小于1m。吊车停用后,空钩上不得挂钢丝绳;

(15) 起重机工作时,臂杆的最大仰角不得超过规定值,一般不得超过78°,若必须超过时,应采取安全措施,并由技术负责人批准;

(16) 起重机必须在各限制器的限制范围内工作,严禁利用安全装置去代替正规操作;

(17) 用两台起重机抬吊同一个重物时,荷重不得超过两台起重机允许起重量的总和的75%。吊点位置应根据起重机的允许起重重量按比例分配确定,任一台起重机分担的负荷不得超过该机起重量的80%;

(18) 双机抬吊作业时,应有专人统一指挥,在抬吊过程中,双机动作要协调一致,重物应保持水平,吊钩钢丝绳应保持垂直,以避免产生非正常的负荷;

(19) 一台起重机的两个吊钩同时抬吊同一重物时,其总负荷不得超过当时臂杆角度下主钩的最大允许负荷,也应遵守用两台吊车抬吊的各项规定;

(20) 吊钩钢丝绳不垂直时,不得进行起吊,不得用起重机吊装埋在地下或冻结在地面上的重物;

(21) 当起吊重物吊离地面约 100mm 时,应进行全面检查,确认各部情况正常后才可正式提升;

(22) 重物提升时速度应均匀平稳,落下时应低速轻放,不得忽快忽慢或突然制动;

(23) 吊着重物行走或回转,速度应均匀平稳,不得突然制动或在没停稳前作反方向行走和回转。不得在斜坡上吊着重物回转;

(24) 履带起重机应尽可能避免吊着重物行走,在需要时应将起重臂回转至与履带平行的方向,缓慢行走。被吊重物尽可能吊得低些,且起吊重量应控制在不超过允许起重量的 2/3;

(25) 起重机在沟边或坑边作业时,应与坑边沿保持必要的安全距离,一般要求为坑深的 1.2 倍以上;

(26) 起重工作区域内无关人员不得停留或通行。吊起重物的下方,任何人员不得通过或逗留;

(27) 起重机吊运重物时,一般应走吊运通道,不得从人头上越过。吊起的重物不得在空中长时间停留,操作人员和指挥人员不得离开工作岗位;

(28) 司机在起重机开动及起吊过程的每一个动作前,均须发出戒备信号。起吊物件时任何人不得站在被吊起的物件上或吊臂上;

(29) 在起吊过程中若起吊机械发生故障或出现不正常现象时,必须放下重物,停止运转,进行排除,严禁在运转中进行保养、调整及检修;

(30) 起重机工作过程中发生故障而不能放下重物时,应采取适当措施,以保安全;

(31) 起重机工作完毕后,应将吊钩升起(对无特殊装置的履带起重机,应将吊钩放至地面),钢丝绳呈收紧状态。起重臂放至 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 刹住制动器,操纵杆放在空档位置。切断电源,操作室门窗关闭上锁后方可离开。

在使用起重机索具(钢丝绳、滑车、卸扣、千斤顶、手拉葫芦等)时应采取的安全措施和要求请参见本书的有关章节。

在使用各式桅杆、设置缆风绳和锚碇及使用电动卷扬机时应采取的安全措施和要求亦请参见本书的有关章节。

附 录

附录一 数学用表及三角形计算公式

附表 1-1 平方、立方、平方根、立方根、圆周长、圆面积、倒数

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	$\frac{1}{n}$
1	1	1	1	1	3.142	0.785	1
1.1	1.21	1.331	1.049	1.032	3.456	0.95	0.909
1.2	1.44	1.728	1.095	1.063	3.77	1.131	0.8333
1.3	1.69	2.197	1.14	1.091	4.084	1.327	0.7692
1.4	1.96	2.744	1.183	1.119	4.398	1.539	0.7143
1.5	2.25	3.375	1.225	1.145	4.712	1.767	0.6666
1.6	2.56	4.096	1.265	1.17	5.027	2.011	0.625
1.7	2.89	4.913	1.304	1.193	5.341	2.27	0.5882
1.8	3.24	5.832	1.342	1.216	5.655	2.545	0.5555
1.9	3.61	6.859	1.378	1.239	5.969	2.835	0.5263
2	4	8	1.414	1.26	6.283	3.142	0.5
2.1	4.41	9.261	1.449	1.281	6.597	3.464	0.4762
2.2	4.84	10.649	1.483	1.301	6.912	3.801	0.4545
2.3	5.29	12.167	1.517	1.32	7.226	4.155	0.4348
2.4	5.76	13.824	1.549	1.339	7.54	4.524	0.4166
2.5	6.25	15.625	1.581	1.357	7.854	4.909	0.4
2.6	6.76	17.576	1.612	1.375	8.168	5.309	0.3846
2.7	7.29	19.683	1.643	1.392	8.482	5.726	0.3704
2.8	7.84	21.952	1.673	1.409	8.797	6.158	0.3571
2.9	8.41	24.39	1.703	1.426	9.111	6.605	0.3448
3	9	27	1.732	1.442	9.425	7.067	0.3333
3.1	9.61	29.79	1.761	1.458	9.739	7.548	0.3226
3.2	10.24	32.77	1.789	1.474	10.053	8.042	0.3125
3.3	10.89	35.94	1.817	1.489	10.367	8.553	0.303
3.4	11.56	39.3	1.844	1.504	10.681	9.079	0.2941
3.5	12.25	42.88	1.871	1.518	10.996	9.621	0.2857
3.6	12.96	46.66	1.897	1.533	11.31	10.179	0.2778

续附表 1-1

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	$\frac{1}{n}$
3	9	27	1.732	1.442	9.425	7.067	0.3333
3.7	13.69	50.65	1.924	1.547	11.624	10.752	0.2703
3.8	14.44	54.87	1.949	1.56	11.938	11.341	0.2632
3.9	15.21	59.32	1.975	1.574	12.252	11.942	0.2564
4	16	64	2	1.587	12.566	12.566	0.25
4.1	16.81	68.92	2.025	1.601	12.881	13.203	0.2439
4.2	17.64	74.09	2.049	1.613	13.195	13.854	0.2381
4.3	18.49	79.51	2.074	1.626	13.509	14.522	0.2326
4.4	19.36	85.18	2.098	1.639	13.823	15.205	0.2273
4.5	20.25	91.13	2.121	1.651	14.137	15.904	0.2222
4.6	21.16	97.34	2.145	1.663	14.451	16.619	0.2174
4.7	22.09	103.82	2.168	1.671	14.765	17.349	0.2128
4.8	23.04	110.59	2.191	1.687	15.08	18.096	0.2083
4.9	24.01	117.65	2.214	1.699	15.394	18.857	0.2041
5	25	125	2.236	1.71	15.708	19.635	0.2
5.1	26.01	132.65	2.258	1.721	16.022	20.428	0.1961
5.2	27.04	140.61	2.28	1.732	16.336	21.237	0.1923
5.3	28.09	148.88	2.302	1.744	16.65	22.062	0.1887
5.4	29.16	157.46	2.324	1.754	16.965	22.902	0.1852
5.5	30.25	166.38	2.345	1.765	17.279	23.758	0.1818
5.6	31.36	175.62	2.366	1.776	17.593	24.63	0.1786
5.7	32.49	185.19	2.387	1.786	17.907	25.518	0.1754
5.8	33.64	195.11	2.408	1.797	18.221	26.421	0.1724
5.9	34.81	205.38	2.429	1.807	18.535	27.34	0.1695
6	36	216	2.449	1.817	18.85	28.274	0.1667
6.1	37.21	226.98	2.47	1.827	19.164	29.225	0.1639
6.2	38.44	238.33	2.49	1.837	19.478	30.191	0.1613
6.3	39.69	250.05	2.51	1.847	19.792	31.173	0.1587
6.4	40.96	262.14	2.53	1.857	20.106	32.17	0.1563
6.5	42.25	274.63	2.55	1.866	20.42	33.183	0.1538
6.6	43.56	287.5	2.569	1.876	20.735	34.212	0.1515
6.7	44.89	300.76	2.588	1.885	21.049	35.257	0.1493
6.8	46.24	314.43	2.608	1.895	21.363	36.317	0.1471

续附表 1-1

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[n]{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	$\frac{1}{n}$
6	36	216	2.449	1.817	18.85	28.274	0.1667
6.9	47.61	328.51	2.627	1.904	21.677	37.393	0.1449
7	49	343	2.646	1.913	21.991	38.485	0.1429
7.1	50.14	357.1	2.665	1.922	22.305	39.592	0.1408
7.2	51.84	373.25	2.683	1.931	22.619	40.715	0.1389
7.3	53.29	389.02	2.702	1.94	22.934	41.854	0.137
7.4	54.76	405.22	2.72	1.949	23.248	43.008	0.1351
7.5	56.25	421.88	2.739	1.957	23.562	44.179	0.1333
7.6	57.76	438.98	2.757	1.966	23.876	45.365	0.1316
7.7	59.29	456.53	2.775	1.975	24.19	46.566	0.1299
7.8	60.84	474.55	2.793	1.983	24.504	47.784	0.1282
7.9	62.41	493.04	2.811	1.992	24.819	49.017	0.1266
8	64	512	2.828	2	25.133	50.266	0.125
8.1	65.61	531.44	2.846	2.008	25.447	51.53	0.1235
8.2	67.24	551.37	2.864	2.017	25.761	52.81	0.122
8.3	68.89	571.79	2.881	2.025	26.075	54.106	0.1205
8.4	70.56	592.7	2.898	2.033	26.389	55.418	0.119
8.5	72.25	614.13	2.915	2.041	26.704	56.745	0.1176
8.6	73.96	636.06	2.933	2.049	27.018	58.088	0.1163
8.7	75.69	658.5	2.95	2.057	27.332	59.447	0.1149
8.8	77.44	681.47	2.966	2.065	27.646	60.821	0.1136
8.9	79.21	704.97	2.983	2.072	27.96	62.211	0.1124
9	81	729	3	2.08	28.274	63.617	0.1111
9.1	82.81	753.57	3.017	2.088	28.588	65.039	0.1099
9.2	84.64	778.69	3.033	2.095	28.903	66.476	0.1087
9.3	86.49	804.36	3.05	2.103	29.217	67.929	0.1075
9.4	88.36	830.58	3.066	2.11	29.531	69.398	0.1064
9.5	90.25	857.38	3.082	2.118	29.845	70.882	0.1053
9.6	92.16	884.74	3.098	2.125	30.159	72.382	0.1042
9.7	94.09	912.67	3.114	2.133	30.473	73.898	0.1031
9.8	96.04	941.19	3.13	2.14	30.788	75.43	0.102
9.9	98.01	970.3	3.146	2.147	31.102	76.977	0.101
10.0	100	1000	3.162	2.154	31.416	78.54	0.1

附表 1-2 三角函数($0^\circ \sim 90^\circ$)

度	sin							度
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.00000	0.00291	0.00582	0.00873	0.01164	0.01454	0.01745	89
1	0.01745	0.02036	0.02327	0.02618	0.02908	0.03199	0.03490	88
2	0.03490	0.03781	0.04071	0.04362	0.04653	0.04943	0.05234	87
3	0.05234	0.05524	0.05814	0.06105	0.06395	0.06685	0.06976	86
4	0.06976	0.07266	0.07556	0.07846	0.08136	0.08426	0.08716	85
5	0.08716	0.09005	0.09295	0.09585	0.09874	0.10164	0.10453	84
6	0.10453	0.10742	0.11031	0.11320	0.11609	0.11898	0.12187	83
7	0.12187	0.12476	0.12764	0.13053	0.13341	0.13629	0.13917	82
8	0.13917	0.14205	0.14493	0.14781	0.15069	0.15356	0.15643	81
9	0.15643	0.15931	0.16218	0.16505	0.16792	0.17078	0.17365	80
10	0.17365	0.17651	0.17937	0.18224	0.18509	0.18795	0.19081	79
11	0.19081	0.19366	0.19652	0.19937	0.20222	0.20507	0.20791	78
12	0.20791	0.21076	0.21360	0.21644	0.21928	0.22212	0.22495	77
13	0.22495	0.22778	0.23062	0.23345	0.23627	0.23910	0.24192	76
14	0.24192	0.24474	0.24756	0.25038	0.25320	0.25601	0.25882	75
15	0.25882	0.26163	0.26443	0.26724	0.27004	0.27284	0.27564	74
16	0.27564	0.27843	0.28123	0.28402	0.28680	0.28959	0.29237	73
17	0.29237	0.29515	0.29793	0.30071	0.30348	0.30625	0.30902	72
18	0.30902	0.31178	0.31454	0.31730	0.32006	0.32282	0.32557	71
19	0.32557	0.32832	0.33106	0.33381	0.33655	0.33929	0.34202	70
20	0.34202	0.34475	0.34748	0.35021	0.35293	0.35565	0.35837	69
21	0.35837	0.36108	0.36379	0.36650	0.36921	0.37191	0.37461	68
22	0.37461	0.37730	0.37999	0.38268	0.38537	0.38805	0.39073	67
23	0.39073	0.39341	0.39608	0.39875	0.40141	0.40408	0.40674	66
24	0.40674	0.40939	0.41204	0.41469	0.41734	0.41998	0.42262	65
25	0.42262	0.42525	0.42788	0.43051	0.43313	0.43575	0.43837	64
26	0.43837	0.44098	0.44359	0.44620	0.44880	0.45140	0.45399	63
27	0.45399	0.45658	0.45917	0.46175	0.46433	0.46690	0.46947	62
28	0.46947	0.47204	0.47460	0.47716	0.47971	0.48226	0.48481	61
29	0.48481	0.48735	0.48989	0.49242	0.49495	0.49748	0.50000	60
30	0.50000	0.50252	0.50503	0.50754	0.51004	0.51254	0.51504	59
31	0.51504	0.51753	0.52002	0.52250	0.52498	0.52745	0.52992	58
32	0.52992	0.53238	0.53484	0.53730	0.53975	0.54220	0.54464	57
33	0.54464	0.54708	0.54951	0.55194	0.55436	0.55678	0.55919	56
34	0.55919	0.56160	0.56401	0.56641	0.56880	0.57119	0.57358	55
35	0.57358	0.57596	0.57833	0.58070	0.58307	0.58543	0.58779	54
36	0.58779	0.59014	0.59248	0.59482	0.59716	0.59949	0.60182	53
37	0.60182	0.60414	0.60645	0.60876	0.61107	0.61337	0.61566	52
38	0.61566	0.61795	0.62024	0.62251	0.62479	0.62706	0.62932	51
39	0.62932	0.63158	0.63383	0.63608	0.63832	0.64056	0.64279	50
40	0.64279	0.64501	0.64723	0.64945	0.65166	0.65386	0.65606	49
41	0.65606	0.65825	0.66044	0.66262	0.66480	0.66697	0.66913	48
42	0.66913	0.67129	0.67344	0.67559	0.67773	0.67987	0.68200	47
43	0.68200	0.68412	0.68624	0.68835	0.69046	0.69256	0.69466	46
44	0.69466	0.69675	0.69883	0.70091	0.70298	0.70505	0.70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

续附表 1-2

cos								
度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	1.00000	1.00000	0.99998	0.99996	0.99993	0.99989	0.99985	89
1	0.99985	0.99979	0.99973	0.99966	0.99958	0.99949	0.99939	88
2	0.99939	0.99929	0.99917	0.99905	0.99892	0.99878	0.99863	87
3	0.99863	0.99847	0.99831	0.99813	0.99795	0.99776	0.99756	86
4	0.99756	0.99736	0.99714	0.99692	0.99668	0.99644	0.99619	85
5	0.99619	0.99594	0.99567	0.99540	0.99511	0.99482	0.99452	84
6	0.99452	0.99421	0.99390	0.99357	0.99324	0.99290	0.99255	83
7	0.99255	0.99219	0.99182	0.99144	0.99106	0.99067	0.99027	82
8	0.99027	0.98986	0.98944	0.98902	0.98858	0.98814	0.98769	81
9	0.98769	0.98723	0.98676	0.98629	0.98580	0.98531	0.98481	80
10	0.98481	0.98430	0.98378	0.98325	0.98272	0.98218	0.98163	79
11	0.98163	0.98107	0.98050	0.97992	0.97934	0.97875	0.97815	78
12	0.97815	0.97754	0.97692	0.97630	0.97566	0.97502	0.97437	77
13	0.97437	0.97371	0.97304	0.97237	0.97169	0.97100	0.97030	76
14	0.97030	0.96959	0.96887	0.96815	0.96742	0.96667	0.96593	75
15	0.96593	0.96517	0.96440	0.96363	0.96285	0.96206	0.96126	74
16	0.96126	0.96046	0.95964	0.95882	0.95799	0.95715	0.95630	73
17	0.95630	0.95545	0.95459	0.95372	0.95284	0.95195	0.95106	72
18	0.95106	0.95015	0.94924	0.94832	0.94740	0.94646	0.94552	71
19	0.94552	0.94457	0.94361	0.94264	0.94167	0.94068	0.93969	70
20	0.93969	0.93869	0.93769	0.93667	0.93565	0.93462	0.93358	69
21	0.93358	0.93253	0.93148	0.93042	0.92935	0.92827	0.92718	68
22	0.92718	0.92609	0.92499	0.92388	0.92276	0.92164	0.92050	67
23	0.92050	0.91936	0.91822	0.91706	0.91590	0.91472	0.91355	66
24	0.91355	0.91236	0.91116	0.90996	0.90875	0.90753	0.90631	65
25	0.90631	0.90507	0.90383	0.90259	0.90133	0.90007	0.89879	64
26	0.89879	0.89752	0.89623	0.89493	0.89363	0.89232	0.89101	63
27	0.89101	0.88968	0.88835	0.88701	0.88566	0.88431	0.88295	62
28	0.88295	0.88158	0.88020	0.87882	0.87743	0.87603	0.87462	61
29	0.87462	0.87321	0.87178	0.87036	0.86892	0.86748	0.86603	60
30	0.86603	0.86457	0.86310	0.86163	0.86015	0.85866	0.85717	59
31	0.85717	0.85567	0.85416	0.85264	0.85112	0.84959	0.84805	58
32	0.84805	0.84650	0.84495	0.84339	0.84182	0.84025	0.83867	57
33	0.83867	0.83708	0.83549	0.83389	0.83228	0.83066	0.82904	56
34	0.82904	0.82741	0.82577	0.82413	0.82248	0.82082	0.81915	55
35	0.81915	0.81748	0.81580	0.81412	0.81242	0.81072	0.80902	54
36	0.80902	0.80730	0.80558	0.80386	0.80212	0.80038	0.79864	53
37	0.79864	0.79688	0.79512	0.79335	0.79158	0.78980	0.78801	52
38	0.78801	0.78622	0.78442	0.78261	0.78079	0.77897	0.77715	51
39	0.77715	0.77531	0.77347	0.77162	0.76977	0.76791	0.76604	50
40	0.76604	0.76417	0.76229	0.76041	0.75851	0.75661	0.75471	49
41	0.75471	0.75280	0.75088	0.74896	0.74703	0.74509	0.74314	48
42	0.74314	0.74120	0.73924	0.73728	0.73531	0.73333	0.73135	47
43	0.73135	0.72937	0.72737	0.72537	0.72337	0.72136	0.71934	46
44	0.71934	0.71732	0.71529	0.71325	0.71121	0.70916	0.70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

sin

续附表 1-2

tan								
度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.00000	0.00291	0.00582	0.00873	0.01164	0.01455	0.01746	89
1	0.01746	0.02036	0.02328	0.02619	0.02910	0.03201	0.03492	88
2	0.03492	0.03783	0.04075	0.04366	0.04658	0.04949	0.05241	87
3	0.05241	0.05533	0.05824	0.06116	0.06408	0.06700	0.06993	86
4	0.06993	0.07285	0.07578	0.07870	0.08163	0.08456	0.08749	85
5	0.08749	0.09042	0.09335	0.09629	0.09923	0.10216	0.10510	84
6	0.10510	0.10805	0.11099	0.11394	0.11688	0.11983	0.12278	83
7	0.12278	0.12574	0.12869	0.13165	0.13461	0.13758	0.14054	82
8	0.14054	0.14351	0.14648	0.14945	0.15243	0.15540	0.15838	81
9	0.15833	0.16137	0.16435	0.16734	0.17033	0.17333	0.17633	80
10	0.17633	0.17933	0.18233	0.18534	0.18835	0.19136	0.19438	79
11	0.19438	0.19740	0.20042	0.20345	0.20648	0.20952	0.21256	78
12	0.21256	0.21560	0.21864	0.22169	0.22475	0.22781	0.23087	77
13	0.23087	0.23393	0.23700	0.24008	0.24316	0.24624	0.24933	76
14	0.24933	0.25242	0.25552	0.25862	0.26172	0.26483	0.26795	75
15	0.26795	0.27107	0.27419	0.27732	0.28046	0.28360	0.28675	74
16	0.28675	0.28990	0.29305	0.29621	0.29938	0.30255	0.30573	73
17	0.30573	0.30891	0.31210	0.31530	0.31850	0.32171	0.32492	72
18	0.32492	0.32814	0.33136	0.33460	0.33783	0.34108	0.34433	71
19	0.34433	0.34758	0.35085	0.35412	0.35740	0.36068	0.36397	70
20	0.36397	0.36727	0.37057	0.37388	0.37720	0.38053	0.38386	69
21	0.38386	0.38721	0.39055	0.39391	0.39727	0.40065	0.40403	68
22	0.40403	0.40741	0.41081	0.41421	0.41763	0.42105	0.42447	67
23	0.42447	0.42791	0.43136	0.43481	0.43828	0.44175	0.44523	66
24	0.44523	0.44872	0.45222	0.45573	0.45924	0.46277	0.46631	65
25	0.46631	0.46985	0.47341	0.47698	0.48055	0.48414	0.48773	64
26	0.48773	0.49134	0.49495	0.49858	0.50222	0.50587	0.50953	63
27	0.50953	0.51319	0.51688	0.52057	0.52427	0.52798	0.53171	62
28	0.53171	0.53545	0.53920	0.54296	0.54673	0.55051	0.55431	61
29	0.55431	0.55812	0.56194	0.56577	0.56962	0.57348	0.57735	60
30	0.57735	0.58124	0.58513	0.58905	0.59297	0.59691	0.60086	59
31	0.60086	0.60483	0.60881	0.61280	0.61681	0.62083	0.62487	58
32	0.62487	0.62892	0.63299	0.63707	0.64117	0.64528	0.64941	57
33	0.64941	0.65355	0.65771	0.66189	0.66608	0.67028	0.67451	56
34	0.67451	0.67875	0.68301	0.68728	0.69157	0.69588	0.70021	55
35	0.70021	0.70455	0.70891	0.71329	0.71769	0.72211	0.72654	54
36	0.72654	0.73100	0.73547	0.73996	0.74447	0.74900	0.75355	53
37	0.75355	0.75812	0.76272	0.76733	0.77196	0.77661	0.78129	52
38	0.78129	0.78598	0.79070	0.79544	0.80020	0.80498	0.80978	51
39	0.80978	0.81461	0.81946	0.82434	0.82923	0.83415	0.83910	50
40	0.83910	0.84407	0.84906	0.85408	0.85912	0.86419	0.86929	49
41	0.86929	0.87441	0.87955	0.88473	0.88992	0.89515	0.90040	48
42	0.90040	0.90569	0.91099	0.91633	0.92170	0.92709	0.93252	47
43	0.93252	0.93797	0.94345	0.94896	0.95451	0.96008	0.96569	46
44	0.96569	0.97133	0.97700	0.98270	0.98843	0.99420	1.00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

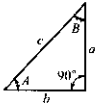
cot

续附表 1-2

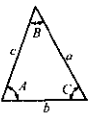
度	cot							度
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	∞	343.77371	171.88540	114.58865	85.93979	68.75009	57.28996	89
1	57.28996	49.10388	42.96408	38.18846	34.36777	31.24158	28.63625	88
2	28.63625	26.43160	24.54176	22.90377	21.47040	20.20555	19.08114	87
3	19.08114	18.07498	17.16934	16.34986	15.60478	14.92442	14.30067	86
4	14.30067	13.72674	13.19688	12.70621	12.25051	11.82617	11.43005	85
5	11.43005	11.05943	10.71191	10.38540	10.07803	9.78817	9.51436	84
6	9.51436	9.25530	9.00983	8.77689	8.55555	8.34496	8.14435	83
7	8.14435	7.95302	7.77035	7.59575	7.42871	7.26873	7.11537	82
8	7.11537	6.96823	6.82694	6.69116	6.56055	6.43484	6.31375	81
9	6.31375	6.19703	6.08444	5.97576	5.87080	5.76937	5.67128	80
10	5.67128	5.57638	5.48451	5.39552	5.30928	5.22566	5.14455	79
11	5.14455	5.06584	4.98940	4.91516	4.84300	4.77286	4.70463	78
12	4.70463	4.63825	4.57363	4.51071	4.44942	4.38969	4.33148	77
13	4.33148	4.27471	4.21933	4.16530	4.11256	4.06107	4.01078	76
14	4.01078	3.96165	3.91364	3.86671	3.82083	3.77595	3.73205	75
15	3.73205	3.68909	3.64705	3.60588	3.56557	3.52609	3.48741	74
16	3.48741	3.44951	3.41236	3.37594	3.34023	3.30521	3.27085	73
17	3.27085	3.23714	3.20406	3.17159	3.13972	3.10842	3.07768	72
18	3.07768	3.04749	3.01783	2.98869	2.96004	2.93189	2.90421	71
19	2.90421	2.87700	2.85023	2.82391	2.79802	2.77254	2.74748	70
20	2.74748	2.72281	2.69853	2.67462	2.65109	2.62791	2.60509	69
21	2.60509	2.58261	2.56046	2.53865	2.51715	2.49597	2.47509	68
22	2.47509	2.45451	2.43422	2.41421	2.39449	2.37504	2.35585	67
23	2.35585	2.33693	2.31826	2.29984	2.28167	2.26374	2.24604	66
24	2.24604	2.22857	2.21132	2.19430	2.17749	2.16090	2.14451	65
25	2.14451	2.12832	2.11233	2.09654	2.08094	2.06553	2.05030	64
26	2.05030	2.03526	2.02039	2.00569	1.99116	1.97680	1.96261	63
27	1.96261	1.94858	1.93470	1.92098	1.90741	1.89400	1.88073	62
28	1.88073	1.86760	1.85462	1.84177	1.82906	1.81649	1.80405	61
29	1.80405	1.79174	1.77955	1.76749	1.75556	1.74375	1.73205	60
30	1.73205	1.72047	1.70901	1.69766	1.68643	1.67530	1.66428	59
31	1.66428	1.65337	1.64256	1.63185	1.62125	1.61074	1.60033	58
32	1.60033	1.59002	1.57981	1.56969	1.55966	1.54972	1.53987	57
33	1.53987	1.53010	1.52043	1.51084	1.50133	1.49190	1.48256	56
34	1.48256	1.47330	1.46411	1.45501	1.44598	1.43703	1.42815	55
35	1.42815	1.41934	1.41061	1.40195	1.39336	1.38484	1.37638	54
36	1.37638	1.36800	1.35968	1.35142	1.34323	1.33511	1.32704	53
37	1.32704	1.31904	1.31110	1.30323	1.29541	1.28764	1.27994	52
38	1.27994	1.27230	1.26471	1.25717	1.24969	1.24227	1.23490	51
39	1.23490	1.22758	1.22031	1.21310	1.20593	1.19882	1.19175	50
40	1.19175	1.18474	1.17777	1.17085	1.16398	1.15715	1.15037	49
41	1.15037	1.14363	1.13694	1.13029	1.12369	1.11713	1.11061	48
42	1.11061	1.10414	1.09770	1.09131	1.08496	1.07864	1.07237	47
43	1.07237	1.06613	1.05994	1.05378	1.04766	1.04158	1.03553	46
44	1.03553	1.02952	1.02355	1.01761	1.01170	1.00582	1.00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

tan

附表 1-3 三角形公式表

图 形	已 知	求	公 式	符 号				
直角三角形  $S = \text{面积}$	a, c	A, B	$\sin A = \frac{a}{c}, \cos B = \frac{a}{c}$	直角三角形表解				
		b, S	$b = \sqrt{c^2 - a^2}, S = \frac{a}{2} \sqrt{c^2 - a^2}$	横	高	倾斜角	斜边长	
	a, b	A, B	$\tan A = \frac{a}{b}, \tan B = \frac{b}{a}$	b	c	A	c	
		C, S	$C = \sqrt{a^2 + b^2}, S = \frac{ab}{2}$	1/12	1	85°14'	1.0035	
	A, a	B, b	$B = 90^\circ - A, b = a \cot A$	1/11	1	84°50'	1.0041	
		C, S	$C = \frac{a}{\sin A}, S = \frac{a^2 + a \cot A}{2}$	1/10	1	84°17'	1.0050	
	A, b	B, a	$B = 90^\circ - A, a = c \sin A$	1/9	1	83°40'	1.0061	
		C, S	$C = \frac{b}{\cos A}, S = \frac{b^2 + \tan A}{2}$	1/8	1	82°53'	1.0088	
	A, c	B, a	$B = 90^\circ - A, a = c \sin A$	1/7	1	81°52'	1.0102	
		b, S	$b = c \cos A, S = \frac{c^2 \sin A \cos A}{2} = \frac{c^2 \sin 2A}{4}$	1/6	1	80°31'	1.0138	
	c, b	A, B	$\cos A = \frac{b}{c}, B = 90^\circ - A,$	1/5	1	78°41'	1.0195	
		a, S	$a = \sqrt{c^2 - b^2}, S = \frac{ab}{2}$	1/4	1	75°58'	1.0307	
	斜三角形	a, b, c	A	$\sin \frac{1}{2} A = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}},$ $\cos \frac{1}{2} A = \sqrt{\frac{p(p-c)}{bc}}$	1/2	1	63°26'	1.1180
			A, B	$\tan \frac{1}{2} A = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-a)}},$ $\sin \frac{1}{2} B = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{ac}}$	3/4	1	53°08'	1.2500
B			$\cos \frac{1}{2} B = \sqrt{\frac{p(p-b)}{ac}},$ $\tan \frac{1}{2} B = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}$	1	1	45°00'	1.4142	
C			$\sin \frac{1}{2} C = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{ab}},$ $\cos \frac{1}{2} C = \sqrt{\frac{p(p-c)}{ab}}$	1 1/4	1	38°40'	1.6000	
S			$\tan \frac{1}{2} C = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}},$ $S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$	1 1/2	1	33°42'	1.8000	

续附表 1-3

图 形	已 知	求	公 式	符 号			
				直角三角形表解			
	a, A, B	b, c	$b = \frac{a \sin B}{\sin A}, c = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{a \sin(A+B)}{\sin A}$	横	高	倾斜角	斜边长
		S	$S = \frac{1}{2} ab \sin C = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin A}$	2	1	29°44'	2.0160
	a, b, A	B	$\sin B = \frac{b \sin A}{a}$	2½	1	21°50'	2.6880
		C	$C = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{b \sin C}{\sin B}$ $= \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$	3	1	18°26'	3.1620
		S	$S = \frac{1}{2} ab \sin C$	3½	1	16°00'	3.6880
	a, b, c	A	$\tan A = \frac{a \sin C}{b - a \cos C}$	4	1	14°02'	4.1240
			$\tan \frac{1}{2}(A - B) = \frac{a - b}{a + b} \cot \frac{1}{2} C$	4½	1	12°32'	4.6081
		C	$C = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$ $= \frac{a \sin C}{\sin A}$	5	1	11°18'	5.1033
		S	$S = \frac{1}{2} ab \sin C = \frac{1}{2} bc \sin A$	5½	1	10°18'	5.6000
		$A + B + C = 180^\circ, \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$	6	1	9°25'	6.1121	
	$P = \frac{a+b+c}{2}$	$\sin A + \sin B + \sin C = 4x \cos \frac{A}{2} \cos \frac{B}{2} \cos \frac{C}{2}$	6½	1	8°45'	6.5733	
		$\cos A + \cos B + \cos C = 1 + 4x \sin \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} \sin \frac{C}{2}$	7	1	8°08'	7.0680	
		$\tan A + \tan B + \tan C = \tan A \tan B \tan C$	7½	1	7°36'	7.5601	
		$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A, b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$	8	1	7°07'	8.0717	
		$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C, \frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{1}{2}(A+B)}{\tan \frac{1}{2}(A-B)}$					

附录二 常用单位换算

附表 2-1 长度

单位名称	米	微米	毫米	厘米	千米(公里)
符号	m	μm	mm	cm	km
换算	1	0.000001m	0.001m	0.01m	1000m

面 积

体 积

单位名称	平方米	平方厘米	平方毫米	单位名称	立方米	立方厘米	升
符号	m^2	cm^2	mm^2	符号	m^3	cm^3	L
换算	1	10000	1000000	换算	1	1000000	1000

质 量(重量)

力

单位名称	千克(公斤)	毫克	克	吨	单位名称	牛顿	千牛顿	千克力	吨力
符号	kg	mg	g	t	符号	N	kN	kgf	tf
换算	1	0.000001kg	0.001kg	1000kg	换算	1	1000N	9.8N	9800N (9.8kN)

压 强

单位名称	牛顿每平方米 (帕斯卡)	千牛顿每平方米 (千帕斯卡)	千克力每平方米	吨力每平方米	毫米水柱	毫米汞柱
符号	$\text{N}/\text{m}^2(\text{Pa})$	$\text{kN}/\text{m}^2(\text{kPa})$	kgf/m^2	tf/m^2	mmH_2O	mmHg
换算	1	1000Pa	9.8Pa	9.8kPa	9.8Pa	133.3Pa

力 矩

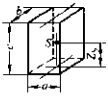

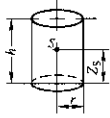
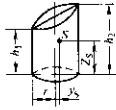
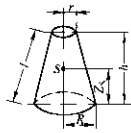
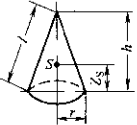
单位名称	牛·米	千牛·米	千克力·米	吨力·米
符号	$\text{N}\cdot\text{m}$	$\text{kN}\cdot\text{m}$	$\text{kgf}\cdot\text{m}$	$\text{tf}\cdot\text{m}$
换算	1	1000 $\text{N}\cdot\text{m}$	9.8 $\text{N}\cdot\text{m}$	9800 $\text{N}\cdot\text{m}$ (9.8 $\text{kN}\cdot\text{m}$)

应力材料强度

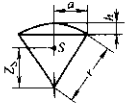
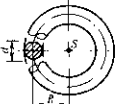
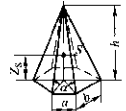
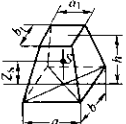
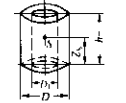
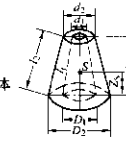
单位名称	兆帕斯卡	千帕斯卡	千克力每平方毫米	千克力每平方厘米	吨每平方米
符号	$\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)$	kPa	kgf/mm^2	kgf/cm^2	tf/m^2
换算	1	0.001MPa	9.8MPa	0.098MPa	9.8kPa

附录三 常用几何体的面积、体积及重心位置

附表 3-1 常用几何体的面积、体积及重心位置

简 图	表面积、体积	重心位置
1. 长方体 	$F_n = 2(ab + bc + ca)$ $V = abc$	$Z_S = \frac{c}{2}$
2. 球体 	$F_n = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6}$	球心
3. 正圆柱体 	$F_n = 2\pi r(h + r)$ $F = 2\pi rh$ $V = \pi r^2 h$	$Z_S = \frac{h}{2}$
4. 斜截圆柱体 	$F = \pi r(h_2 + h_1)$ $V = \frac{\pi r^2(h_2 + h_1)}{2}$	$y_S = \frac{r(h_2 - h_1)}{4(h_2 + h_1)}$ $Z_S = \frac{h_2 + h_1}{4} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{16(h_2 + h_1)}$
5. 平截正圆锥体 	$F_n = F + \pi(R^2 + r^2)$ $F = \pi l(R + r)$ $V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2)$ $l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$	$Z_S = \frac{h(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{4(R^2 + Rr + r^2)}$
6. 正圆锥体 	$F = \pi rl$ $V = \frac{\pi r^2 h}{3}$ $l = \sqrt{r^2 + h^2}$	$Z_S = \frac{h}{4}$

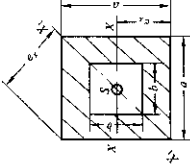
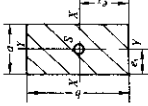
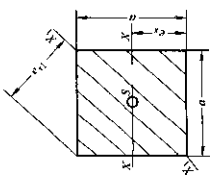
续附表 3-1

简 图	表面积、体积	重心位置
7. 球面扇形体 	$F_a = \pi r(2h + a)$ $F = \pi ar$ $V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$	$Z_s = \frac{3}{8}(2r - h)$
8. 圆环 	$F_a = 4\pi^2 Rr$ $V = 2\pi^2 Rr^2$	环心
9. 棱锥体 	$V = \frac{\pi a^2 h}{12} \cot^2 \frac{\alpha}{2}$ $a = \frac{360}{\pi}$	$Z_s = \frac{h}{4}$
10. 平截方锥体 	$V = \frac{h}{6}(2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1)$	$Z_s = \frac{h}{2} \times \frac{ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1}{2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1}$
11. 空心圆柱体 	$F = rh(D + d)$ $V = \frac{\pi h}{4}(D^2 + d^2)$	$Z_s = \frac{h}{2}$
12. 平截空心圆锥体 	$F = \frac{\pi}{2} [i_2(D_2 - d_2) + i_1(D_1 + d_1)]$ $V = \frac{\pi h}{12} (D_2^2 - D_1^2 + D_2d_2 - D_1d_1 + d_2^2 - d_1^2)$	$Z_s = \frac{h}{4} \times \left[\frac{D_2^2 - D_1^2 + 2(D_2d_2 - D_1d_1) + 3(d_2^2 - d_1^2)}{D_2^2 - D_1^2 + D_2d_2 - D_1d_1 + d_2^2 - d_1^2} \right]$

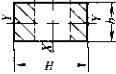
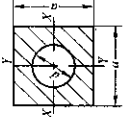
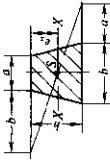
注: S —重心位置; F_a —全面积; F —侧面积; V —体积。

附录四 截面的几何及力学特性

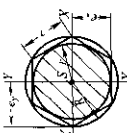
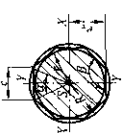
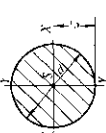
附表 4-1 截面的几何及力学特性

简图	面积 F	惯性矩 J	截面模数 $W = \frac{J}{e}$	重心 S 到相应边的距离 e_x, e_y	回转半径 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$
	$F = a^2 - b^2$	$J = \frac{a^4 - b^4}{12}$	$W_x = \frac{a^2 - b^2}{6a}$ $W_{x1} = 0.11179 \frac{a^4 - b^4}{a}$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_y = 0.7071a$	$i = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$
	$F = ab$	$J_x = \frac{ab^3}{12}$ $J_y = \frac{a^3b}{12}$	$W_x = \frac{ab^2}{6}$ $W_y = \frac{a^2b}{6}$	$e_x = \frac{b}{2}$ $e_y = \frac{a}{2}$	$i_x = 0.289b$ $i_y = 0.289a$
	$F = a^2$	$J = \frac{a^4}{12}$	$W_x = \frac{a^3}{6}$ $W_{x1} = 0.11179a^3$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x1} = 0.7071a$	$i = \frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$

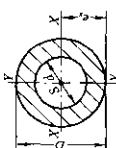
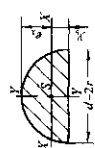
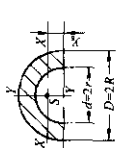
续附表 4-1

高 图	面 积 F	惯 性 矩 J	截 面 模 数 $W = \frac{J}{r}$	重 心 S 到 相 应 边 的 距 离 e_x, e_y	回 转 半 径 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$
	$F = b(h - h)$	$J_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{12}$ $J_y = \frac{b^3(H - h)}{12}$	$W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$ $W_y = \frac{b^3(H - h)}{6}$	$e_x = \frac{H}{2}$ $e_y = \frac{b}{2}$	$i_x = \sqrt{\frac{H^2 + Hh + h^2}{12}}$ $i_y = 0.289b$
	$F = \pi \frac{d^2}{4}$	$J = \frac{1}{12}(\pi^4 - \frac{3\pi d^4}{16})$	$W = \frac{1}{6\alpha}(\pi^4 - \frac{3\pi d^4}{16})$	$e_x = \frac{\alpha}{2}$	$i = \sqrt{\frac{16\alpha^4 - 3\pi d^4}{48(4\alpha^2 - \pi d^2)}}$
	$F = \frac{h(a+b)}{2}$	$J_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$	$W_{x0} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$ $W_{x0} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$	$e_x = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}$	$i_x = \frac{h}{3(a+b)}$ $\times \sqrt{\frac{a^2 + 4ab + b^2}{2}}$

续附表 4-1

简图	面积 F	惯性矩 J	截面模数 $W = \frac{J}{r}$	重心 S 到相应边的距离 e	回转半径 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$
	$F = 2.598 c^2$ $= 3.464 r^2$ $c = R$ $r = 0.866 R$	$J_x = 0.5413 R^4$	$W_x = 0.625 R^3$ $W_y = 0.5413 R^3$	$e_x = 0.866 R$ $e_y = R$	$i = 0.4566 R$
 <p style="text-align: center;">n 多边形边数</p>	$F = \frac{nR^2}{2} \times \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{4}}$ $c = 2\sqrt{R^2 - r^2}$ $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ $\beta = 180^\circ - \alpha$ 对八角形 $F = 2.828 R^2$ $= 4.828 c^2$ $r = 0.924 R$ $c = 0.765 R$	对八角形 $J = 0.638 R^4$ $= 0.8752 r^4$	对八角形 $W_x = 0.691 R^3$ $= 0.876 r^3$	$e_x = r$ $= \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{4}}$	对八角形 $i = 0.4749 R$
	$F = \frac{\pi d^2}{4}$	$J = \frac{\pi d^4}{64}$	$W = \frac{\pi d^3}{32}$	$e_x = \frac{d}{2}$	$i = \frac{d}{4}$

续附表 4-1

简图	面积 F	惯性矩 J	截面模数 $W = \frac{J}{e}$	重心 S 到相应边的距离 e	回转半径 $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$
	$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$W_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$	$e_x = \frac{D}{2}$	$i = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$
	$F = \frac{\pi d^2}{8}$	$J_x = 0.00686 d^4$ $J_y = \frac{\pi d^4}{128}$ $\approx 0.025 d^4$	$W_x = 0.0239 d^3$ $W_y = \frac{\pi d^3}{64}$ $\approx 0.05 d^3$	$e_x = 0.2878 d$ $e_y = 0.2122 d$	$i_x = 0.1319 d$ $i_y = \frac{d}{4}$
	$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{8}$	$J_x = 0.00686 (D^4 - d^4) - \frac{0.0177 D^2 d^2 (D - d)}{D + d}$ $J_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{128}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{64} (1 - \frac{d^4}{D^4})$	$e_x = \frac{2(D^2 + Dd + d^2)}{3\pi(D + d)}$ $e_y = \frac{2(D^2 + Dd + d^2)}{3\pi(D + d)}$	$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$ $i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$

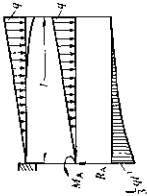
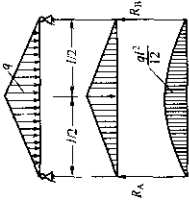
附录五 常用受静载荷载梁的计算

P ——集中荷载
 J ——截面轴惯性矩
 M ——弯矩
 q ——均布荷载
 R_A, R_B ——反力
 Y ——挠度
 E ——弹性模数
 M_A, M_B ——力矩
 θ_A, θ_B ——支点处转角

附表 5-1 常用受静载荷载梁的计算

简图	反力	力矩	弯矩	挠度	转角
	$R_A = P$ $M_A = Pl$		$M_x = P(Z-l)$ $M_{\max} = Pl$	$Y = \frac{P}{2EJ} \left(\frac{Z^3}{3} - lZ^2 \right)$ $Y_{\max} = -\frac{Pl^3}{3EJ}$ (当 $Z=l$) $\theta_A = 0; \theta_B = -\frac{Pl^2}{2EJ}$	
	$R_A = P$ $M_A = Pa$		$M_x = P(Z-a)$ ($0 \leq Z \leq a$) $M = 0$ ($a \leq Z \leq l$) $M_{\max} = Pa$	$Y = \frac{P}{2EJ} \left[\frac{Z^3}{3} - aZ^2 - \frac{(Z-a)^3}{3} \right]$ $Y_{\max} = -\frac{Pa^3}{6EJ} \left(3\frac{l}{a} - 1 \right)$ (当 $Z=a$) $\theta_A = 0; \theta_B = -\frac{Pa^2}{2EJ}$	
	$R_A = ql$ $M_A = \frac{1}{2} ql^2$		$M_x = q \left(lZ - \frac{l^2 + Z^2}{2} \right)$ $M_{\max} = \frac{1}{2} ql^2$	$Y = \frac{q}{12EJ} (2lZ^3 - 3l^2Z^2 - \frac{Z^4}{2})$ $Y_{\max} = -\frac{ql^4}{8EJ}$ (当 $Z=l$) $\theta_A = 0; \theta_B = -\frac{ql^3}{6EJ}$	

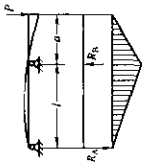
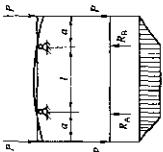
续附表 5-1

简 图	反力	弯 矩	弯 矩	挠 度	转 角
	$R_A = \frac{1}{2} ql$ $M_A = \frac{1}{3} ql^2$	$M_x = ql^2 \left(\frac{Z}{2l} - \frac{1}{3} - \frac{Z^2}{6l^2} \right)$ $M_{\max} = \frac{1}{3} ql^2$	$Y = \frac{q}{12EJ} (lZ^3 - 2l^2Z^2 - \frac{Z^5}{10l})$ $Y_{\max} = -\frac{11ql^4}{120EJ} \quad (\text{当 } Z=l)$ $\theta_A = 0; \theta_B = -\frac{ql^3}{8EJ}$	$Y = \frac{qZ}{12EJ} \left(\frac{l^2Z^2}{2} - \frac{Z^4}{5} - \frac{5l^4}{16} \right)$ $Y_{\max} = -\frac{qZ}{120EJ} \quad (\text{当 } Z = \frac{l}{2})$ $\theta_A = -\theta_B = -\frac{5ql^3}{192EJ}$	$Y = \frac{P}{6EJ} \left[\frac{(l-a)Z^3}{l} - (Z-a)^3 \right]$ $\theta_A = -\frac{Pa^2}{6EJ} \left[\frac{l-a}{l} - \left(\frac{l-a}{l} \right)^3 \right]$ $\theta_B = -\frac{P(l^2-a^2)a}{6EJ}$
	$R_A = R_B = \frac{1}{4} ql$	$M_x = \frac{qZ}{12} \left(3 - 4 \frac{Z^2}{l^2} \right) \quad (0 \leq Z \leq \frac{l}{2})$ $M_x = \frac{qZ}{12} \left[3(l-Z) - 4 \left(\frac{l-Z}{l} \right)^2 \right]$ $M_{\max} = \frac{1}{12} ql^2$	$M_x = P(1-a) \frac{Z}{l} \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_x = P(1-a) \frac{Z}{l} - P(Z-a) \quad (a \leq Z \leq l)$ $M_{\max} = P(1-a) \frac{a}{l}$	$R_A = P \frac{l-a}{l}$ $R_B = P \frac{a}{l}$	

续附表 5-1

简图	反力	力矩	弯矩	挠度	转角	
	$R_A = P_1 \frac{b+c}{l} + P_2 \frac{c}{l}$ $R_B = P_1 \frac{a}{l} + P_2 \frac{a+b}{l}$	$M_A = R_A Z \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_B = R_B Z \quad P_1(Z-a) \quad (a \leq Z \leq a+b)$ $M_C = R(1-Z) \quad (a+b \leq Z \leq l)$	$Y = \frac{1}{6EJ} [R_A Z^3 - P_1(Z-a)^3 - P_2(Z-a-b)^3]$ $+ P_1(1-a)^3 \frac{Z}{l} + P_2 \frac{c^2}{l} Z - R_A l^2 Z]$ $\theta_A = \frac{1}{EJ} [P_1 \frac{(1-a)^3}{6l} + P_2 \frac{c^3}{6l} - R_A \frac{l^2}{6}]$	$Y = \frac{q}{24EJ} [2lZ^3 - Z^4 - l^2 Z]$ $Y_{\max} = -\frac{5ql^4}{384EJ} \quad (\text{当 } Z = \frac{l}{2})$ $\theta_A = -\frac{ql^3}{24EJ}$ $\theta_B = \frac{ql^3}{24EJ}$	$M_A = R_A Z \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_B = R_A Z - \frac{1}{2} q(Z-a)^2 \quad (a \leq Z \leq a+b)$ $M_C = R_B(1-Z) \quad (a+b \leq Z \leq l)$ $M_{\max} = R_A(a + \frac{R_A}{2q})$	$Y = \frac{1}{24EJ} [4R_A Z^3 - q(Z-a)^4 + q(Z-a-b)^4 + q(1-a)^4 \frac{Z}{l} - 4R_A l^2 Z - 9c^4 \frac{Z}{l}]$ $\theta_A = \frac{1}{24EJ} [-4R_A l^2 + q \frac{(1-a)^4}{l} - 9c^4 \frac{c^2}{l}]$
	$R_A = R_B = \frac{1}{2} ql^2$	$M_A = \frac{1}{2} ql^2(1-Z)$ $M_{\max} = \frac{1}{8} ql^2$	$Y = \frac{q}{24EJ} [2lZ^3 - Z^4 - l^2 Z]$ $Y_{\max} = -\frac{5ql^4}{384EJ} \quad (\text{当 } Z = \frac{l}{2})$ $\theta_A = -\frac{ql^3}{24EJ}$ $\theta_B = \frac{ql^3}{24EJ}$	$M_A = R_A Z \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_B = R_A Z - \frac{1}{2} q(Z-a)^2 \quad (a \leq Z \leq a+b)$ $M_C = R_B(1-Z) \quad (a+b \leq Z \leq l)$ $M_{\max} = R_A(a + \frac{R_A}{2q})$	$Y = \frac{1}{24EJ} [4R_A Z^3 - q(Z-a)^4 + q(Z-a-b)^4 + q(1-a)^4 \frac{Z}{l} - 4R_A l^2 Z - 9c^4 \frac{Z}{l}]$ $\theta_A = \frac{1}{24EJ} [-4R_A l^2 + q \frac{(1-a)^4}{l} - 9c^4 \frac{c^2}{l}]$	
	$R_A = q \frac{b}{l} (\frac{b}{2} + c)$ $R_B = q \frac{b}{l} (\frac{b}{2} + a)$	$M_A = R_A Z \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_B = R_B(1-Z) \quad (a+b \leq Z \leq l)$ $M_C = R_A(a + \frac{R_A}{2q})$	$Y = \frac{1}{24EJ} [4R_A Z^3 - q(Z-a)^4 + q(Z-a-b)^4 + q(1-a)^4 \frac{Z}{l} - 4R_A l^2 Z - 9c^4 \frac{Z}{l}]$ $\theta_A = \frac{1}{24EJ} [-4R_A l^2 + q \frac{(1-a)^4}{l} - 9c^4 \frac{c^2}{l}]$	$Y = \frac{1}{24EJ} [4R_A Z^3 - q(Z-a)^4 + q(Z-a-b)^4 + q(1-a)^4 \frac{Z}{l} - 4R_A l^2 Z - 9c^4 \frac{Z}{l}]$ $\theta_A = \frac{1}{24EJ} [-4R_A l^2 + q \frac{(1-a)^4}{l} - 9c^4 \frac{c^2}{l}]$		

续附表 5-1

简图	反力	力矩	弯矩	挠度	转角
	$R_A = P \frac{a}{l}$ $R_B = P \frac{a+l}{l}$		$M_x = -P \frac{aZ}{l} \quad (0 \leq Z \leq l)$ $M_{\max} = -P(1+a-Z) \quad (l \leq x \leq a+l)$ $M_{\min} = Pa$	$Y = \frac{P}{6EJ} \left[a^2 Z - \frac{aZ^2}{l} + \frac{(a+l)(Z-l)^2}{l} \right]$ $\theta_A = \frac{Pa^2}{6EJ}$	
	$R_A = R_B = P$		$M_x = -Pz \quad (0 \leq Z \leq a)$ $M_x = -Pa \quad (a \leq Z \leq a+l)$ $M_{\max} = Pa$	$Y = \frac{P}{6EJ} [3a(a+l)Z - a^2(2a+3l) - Z^3 + (Z-a)^3 + (Z-a-l)^2]$ $Y = -\frac{Pa^2(2a+3l)}{6EJ} \quad (\text{当 } Z=0)$ $Y = \frac{3Pa^2 l^2}{8EJ} \quad (\text{当 } Z=a+\frac{l}{2})$ $\theta_A = -\theta_B = \frac{Pa(a+l)}{2EJ}$	

附录六 钢材及连接的强度设计值

附表 6-1 钢材的强度设计值(N/mm²)

钢号	组别	钢材厚度 或直径 /mm	抗拉、抗压、抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
3号钢	第1组		215	125	320
	第2组		200	115	320
	第3组		190	110	320
16Mn钢 16Mnq钢		≤16	315	185	445
		17~25	300	175	425
		26~36	290	170	410
15MnV钢 15MnVq钢		≤16	350	205	450
		17~25	335	195	435
		26~36	320	185	415

注:3号镇静钢第1、2组钢材的抗拉、抗压、抗弯以及抗剪强度设计值,应按表中的数值增加5%。

附表 6-2 3号钢材分组尺寸(mm)

组别	圆钢、方钢和扁钢的直径 或厚度	角钢、工字钢、槽钢和钢管 的厚度	钢板的厚度
第1组	≤40	≤15	≤20
第2组	>40~100	>15~20	>20~40
第3组		>20	>40~50

注:工字钢和槽钢的厚度系指腹板厚度。

附表 6-3 焊缝的强度设计值(N/mm²)

焊条型号	构件钢材			对接焊缝				角焊缝
	钢号	组别	厚度或直径 /mm	抗压 f_c^w	满足《钢结构工程施工 及验收规范》中下列级 别焊缝的检验质量标准 时抗拉和抗弯 f_t^w		抗剪 f_v^w	抗拉、抗 压和抗 剪 f_f^w
					I、II级	III级		
自动焊、半自动焊和用 E43××型焊条的手工焊	3号钢	第1组		215	215	185	125	160
		第2组		200	200	170	115	160
		第3组		190	190	160	110	160
自动焊、半自动焊和用 E50××型焊条的手工焊	16Mn钢 16Mnq钢		≤16	315	315	270	185	200
			17~25	300	300	255	175	200
			26~36	290	290	245	170	200
自动焊、半自动焊和用 E55××型焊条的手工焊	16MnV钢 15MnVq钢		≤16	350	350	300	205	220
			17~25	335	335	285	195	220
			26~36	320	320	270	185	220

附表 6-4 螺栓连接的强度设计值(N/mm²)

螺栓的钢号(或强度等级)和构件的钢号	构件钢材		普通螺栓						锚栓			
			粗制螺栓			精制螺栓			承压型高强度螺栓		承压	
	组别	厚度/mm	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	承压 f_p^b	抗拉 f_t^b	抗剪 f_v^b	1类孔 f_p^b	1类孔 f_p^b	抗拉 f_t^a		抗剪 f_v^a
普通螺栓	3号钢		170	130		170	170					
锚 栓	3号钢									140		
	16Mn钢									190		
承压型高强度螺栓	8.8级										250	
	10.9级											310
构 件	3号钢	第1~3组			305			400				465
			≤ 16		420			550		640		
			17~25		400			530		615		
	16Mn钢 16Mnq钢		26~36		385			510		590		
			≤ 16		435			570		665		
			17~25		420			550		640		
15MnV钢 15MnVq钢		26~36		400			530		615			

附录七 钢材的容许应力

附表 7-1 钢材的容许应力(MPa)

应力种类	符 号	钢 号						
		2号钢		3号钢		16锰钢或16锰桥钢		
		第1组	第2,3组	第1组	第2,3组	第1组	第2组	第3组
抗拉、抗压和抗弯	$[\sigma]$	155	140	170	155	240	230	215
抗剪	$[\tau]$	95	85	100	95	145	140	130
端面承压 (磨平顶紧)	$[\sigma_w]$	230	210	255	230	360	345	320

注:3号镇静钢第2组钢材的容许应力应按表中数值增加5%。

附表 7-2 焊缝的容许应力(MPa)

焊缝种类	应力种类	符 号	自动焊、半自动焊和用E43××型焊条 的手工焊						自动焊、半自动焊和用E50×× 型焊条的手工焊		
			构 件 的 钢 号								
			2号钢		3号钢		16锰钢或16锰桥钢				
			第1组	第2,3组	第1组	第2,3组	第1组	第2组	第3组		
对接焊缝	抗压	$[\sigma_w]$	155	140	170	155	240	230	215		
	抗拉		155	140	170	155	240	230	215		
	1.当用自动焊时	$[\sigma_w]$	155	140	170	155	240	230	215		

续附表 7-2

焊缝种类	应力种类	符号	自动焊、半自动焊和用 E43 × × 型焊条 的手工焊				自动焊、半自动焊和用 E50 × × 型焊条的手工焊					
			构件的钢号									
			2号钢		3号钢		16锰钢或16锰桥钢					
			第1组	第2、3组	第1组	第2、3组	第1组	第2组	第3组			
对接焊缝	2. 当用半自动焊或手工焊时, 焊缝的质量检查为:											
	(1) 精确方法	[σ ₁]	155	140	170	155	240	230	215			
	(2) 普通方法	[σ ₂]	130	120	145	130	205	195	185			
贴角焊缝	抗剪	[σ ₃]	95	85	100	95	145	140	130			
	抗拉、抗压和抗剪	[σ ₄]	110	110	120	120	170	170	170			

附表 7-3 松木和枞木的容许应力

应力的种类	容许应力 /MPa
弯曲	10
顺纹拉伸	7.5
顺纹压缩	10 ^①
顺纹挤压	10
沿整个表面和侧板切口中的横纹压缩	1.4
当挤压角由 90°到 60°时, 垫层下部的局部挤压	4
弯曲时的顺纹剪切	2.4
扭转	2.5

① 压缩应力与湿度关系见附表 7-5。

附表 7-4 除松木和枞木外其他木材容许应力修正系数

木材的种类	顺纹拉伸、弯曲、 压缩和挤压	横纹压缩和挤压	剪切
针叶树			
落叶松	1.2	1.2	1.0
杉松	0.9	0.9	0.9
银松	0.8	0.8	0.8
阔叶树			
榿树			
枫树	1.3	2.0	1.6
桦树, 山毛榉	1.1	1.6	1.3
白杨, 柳树	0.8	1.0	0.8






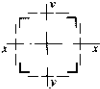
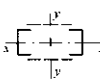


注: 除松木和枞木外其它木材容许应力应按附表 7-4 值乘以修正系数。

附表 7-5 随木材的湿度而定的容许应力

湿气含量以%计	10	15	20	25	30	40	50	60
容许压缩应力 /MPa	10	7.85	6	5	4.8	4.2	4.1	4

附录八 轴心受压钢构件的稳定系数

附表 8-1 轴心受压钢构件的截面分类

截面类别	截 面 形 式 和 对 应 轴 线	
a 类		轧 制
b 类	 双角钢	 双角钢
	 等边角钢	 等边角钢
	 格 构 式	 格 构 式
	 格 构 式	 格 构 式

附表 8-2 Q235 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996
10	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983
20	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964
30	0.963	0.961	0.959	0.957	0.955	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944
40	0.941	0.939	0.937	0.934	0.932	0.929	0.927	0.924	0.921	0.919
50	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.900	0.897	0.894	0.890	0.886
60	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863	0.858	0.854	0.849	0.844
70	0.839	0.834	0.829	0.824	0.818	0.813	0.807	0.801	0.795	0.789
80	0.783	0.776	0.770	0.763	0.757	0.750	0.743	0.736	0.728	0.721
90	0.714	0.706	0.699	0.691	0.684	0.676	0.668	0.661	0.653	0.645
100	0.638	0.630	0.622	0.615	0.607	0.600	0.592	0.585	0.577	0.570
110	0.563	0.555	0.548	0.541	0.534	0.527	0.520	0.514	0.507	0.500
120	0.494	0.488	0.481	0.475	0.469	0.463	0.457	0.457	0.445	0.440
130	0.434	0.429	0.423	0.418	0.412	0.407	0.402	0.397	0.392	0.387
140	0.383	0.378	0.373	0.369	0.364	0.360	0.356	0.351	0.347	0.343
150	0.339	0.335	0.331	0.327	0.323	0.320	0.316	0.312	0.309	0.305
160	0.302	0.298	0.295	0.292	0.289	0.285	0.282	0.279	0.276	0.273
170	0.270	0.267	0.264	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248	0.246
180	0.243	0.241	0.238	0.236	0.233	0.231	0.229	0.226	0.224	0.222
190	0.220	0.218	0.215	0.213	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
200	0.199	0.198	0.196	0.194	0.192	0.190	0.189	0.187	0.185	0.183
210	0.182	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.168
220	0.166	0.165	0.164	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.155	0.154
230	0.153	0.152	0.150	0.149	0.148	0.147	0.146	0.144	0.143	0.142
240	0.141	0.140	0.139	0.138	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131
250	0.130									

附表 8-3 Q235 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ


λ	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.667	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499
110	0.493	0.487	0.481	0.475	0.470	0.464	0.458	0.453	0.447	0.442
120	0.437	0.432	0.426	0.421	0.416	0.411	0.406	0.402	0.397	0.392
130	0.387	0.383	0.378	0.374	0.370	0.365	0.361	0.357	0.353	0.349
140	0.345	0.341	0.337	0.333	0.329	0.326	0.322	0.318	0.315	0.311
150	0.308	0.304	0.301	0.298	0.295	0.291	0.288	0.285	0.282	0.279

附表 8-5 16Mn 钢 16Mnq 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993	0.991
10	0.989	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.968	0.964	0.960
20	0.956	0.952	0.948	0.943	0.939	0.935	0.931	0.926	0.922	0.917
30	0.913	0.908	0.903	0.899	0.894	0.889	0.884	0.879	0.874	0.869
40	0.863	0.858	0.853	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.817	0.811
50	0.804	0.798	0.791	0.784	0.778	0.771	0.764	0.756	0.749	0.742
60	0.734	0.727	0.719	0.711	0.704	0.696	0.688	0.680	0.672	0.664
70	0.656	0.648	0.640	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583
80	0.575	0.567	0.559	0.551	0.544	0.536	0.528	0.521	0.513	0.506
90	0.499	0.491	0.484	0.477	0.470	0.463	0.457	0.450	0.443	0.437
100	0.431	0.424	0.418	0.413	0.406	0.400	0.395	0.389	0.384	0.378
110	0.373	0.367	0.362	0.357	0.352	0.347	0.343	0.338	0.333	0.329
120	0.324	0.320	0.315	0.311	0.307	0.303	0.299	0.295	0.291	0.287
130	0.283	0.280	0.276	0.273	0.269	0.265	0.262	0.259	0.256	0.253
140	0.249	0.246	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.229	0.226	0.224
150	0.221	0.218	0.216	0.213	0.211	0.208	0.206	0.204	0.201	0.199
160	0.197	0.195	0.193	0.190	0.188	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178
170	0.176	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167	0.166	0.164	0.162	0.161
180	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.151	0.150	0.148	0.147	0.145
190	0.144	0.142	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132
200	0.131	0.130	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.120
210	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110
220	0.109	0.108	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101
230	0.101	0.0998	0.0990	0.0982	0.0974	0.0966	0.0959	0.0951	0.0943	0.0936
240	0.0929	0.0921	0.0914	0.0907	0.0900	0.0893	0.0886	0.0879	0.0873	0.0866
250	0.0859									

附录九 桅杆钢管断面常数

附表 9-1 单钢管及用角钢加强的钢管的各种断面常数

断面型式	钢管断面 尺寸 $d_{外} \times \delta$ /mm	截面积 F /cm ²	截面惯性矩 J_x /cm ⁴	截面系数 W_x /cm ³	截面惯性 半径 r_x /cm	每米管子 质量 w /kg·m ⁻¹
 单钢管	159 × 4.5	21.8	656	82.5	5.5	17.15
	219 × 7	47.1	2560	242	7.5	36.60
	273 × 8	67.9	5860	430	9.3	59.28
	325 × 8	79.7	9980	613	11.2	62.54
	377 × 8	92.5	15620	830	13.0	72.80
	426 × 9	117.5	24600	1175	14.5	92.55




续附表 9-1

断面型式	钢管断面 尺寸 $d_{\text{外}} \times \delta$ /mm	截面积 F /cm ²	截面惯性矩 J_x /cm ⁴	截面系数 W_x /cm ³	截面惯性 半径 r_x /cm	每米管子 质量 w /kg·m ⁻¹
 用 75×75×8 的 角钢加强的钢管	159×4.5	67.8	2960	242	6.6	53.27
	219×7	93.1	6430	418	8.4	73.20
	273×8	113.9	11572	637	10.1	89.60
	325×8	125.4	17980	843	12.0	98.66
	377×8	138.5	26100	1050	13.7	108.72
426×9	163.5	37800	1430	15.2	128.90	
 用 100×100×10 的 角钢加强的钢管	159×4.5	98.6	4324	343	6.6	77.55
	219×7	123.9	9186	557	8.6	96.50
	273×8	144.7	15380	800	10.3	114.00
	325×8	156.5	23656	1050	12.3	122.94
	377×8	169.3	33380	1350	14.0	133.00
426×9	194.3	46960	1720	15.5	153.18	

注: $d_{\text{外}}$ ——钢管外径; δ ——管壁厚度。

附录十 钢管桅杆的中心受压容许压应力折减系数

附表 10-1 几种常用的钢管及用角钢加强的钢管桅杆的中心受压容许压应力折减系数 φ

断面型式	钢管直径 $d_{\text{外}}/d_{\text{内}}/mm$	桅杆的折算长度 $\mu l/m$												
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
 单钢管	159/150	0.333	0.232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	219/205	0.522	0.377	0.281	0.216	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	273/257	0.642	0.517	0.402	0.310	0.251	0.200	-	-	-	-	-	-	-
	325/309	0.729	0.625	0.528	0.427	0.341	0.284	0.238	0.198	-	-	-	-	-
	377/361	-	0.700	0.614	0.522	0.437	0.362	0.304	0.263	0.227	0.191	-	-	-
	426/408	-	0.752	0.677	0.594	0.522	0.442	0.377	0.319	0.281	0.246	0.216	-	-
 用 75×75×8 的 角钢加强的钢管	159/150	0.448	0.313	0.232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	219/205	0.594	0.460	0.341	0.268	0.214	-	-	-	-	-	-	-	-
	273/257	0.689	0.574	0.460	0.357	0.292	0.241	0.196	-	-	-	-	-	-
	325/309	0.758	0.666	0.568	0.471	0.382	0.316	0.268	0.227	0.191	-	-	-	-
	377/361	-	0.724	0.642	0.554	0.471	0.397	0.333	0.287	0.251	0.216	0.185	-	-
	426/408	-	-	0.695	0.625	0.545	0.477	0.402	0.345	0.301	0.263	0.234	0.203	-
 用 100×100×10 的 角钢加强的钢管	159/150	0.448	0.316	0.236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	219/205	0.608	0.477	0.357	0.279	0.223	-	-	-	-	-	-	-	-
	273/257	0.700	0.591	0.479	0.382	0.307	0.253	0.210	-	-	-	-	-	-
	325/309	0.769	0.677	0.585	0.494	0.402	0.329	0.279	0.238	0.203	-	-	-	-
	377/361	-	0.741	0.660	0.579	0.494	0.422	0.349	0.301	0.263	0.229	0.198	-	-
	426/408	-	-	0.706	0.637	0.568	0.494	0.427	0.362	0.313	0.279	0.246	0.218	-

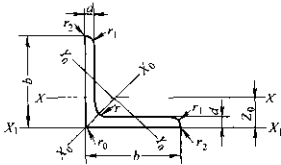
注: 1. $d_{\text{外}}$ ——钢管外径, mm; $d_{\text{内}}$ ——钢管内径, mm;

2. 本表适用于 2.3.4 号普通碳素结构钢。

附录十一 几种钢材的断面常数

(一) 热轧等边角钢

附表 11-1 等边角钢断面常数



符号意义: b ——边宽; d ——边厚;
 r ——内圆弧半径; r_1 ——边端内弧半径;
 r_2 ——边端外弧半径; r_0 ——顶端圆弧半径;
 I ——惯性矩; i ——惯性半径;
 W ——截面系数; Z_0 ——重心距离。

角钢 号数	尺寸 /mm		截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kgm ⁻¹	外表 面积 /m ² cm ⁻¹	参 考 数 值										
	b	d				$X-X$			X_0-X_0			Y_0-Y_0			X_1-X_1	Z_0
		r				I_x /cm ⁴	i_x /cm	W_x /cm ³	I_{x0} /cm ⁴	i_{x0} /cm	W_{x0} /cm ³	I_{y0} /cm ⁴	i_{y0} /cm	W_{y0} /cm ³	I_{x1} /cm ⁴	/cm
4	40	3	2.359	1.852	0.157	3.59	1.23	1.23	5.69	1.55	2.01	1.49	0.79	0.96	6.41	1.09
		4	3.086	2.422	0.157	4.60	1.22	1.60	7.29	1.54	2.58	1.91	0.79	1.19	8.56	1.13
		5	3.791	2.976	0.156	5.53	1.21	1.96	8.76	1.52	3.10	2.30	0.78	1.39	10.74	1.17
4.5	45	3	2.659	2.088	0.177	5.17	1.40	1.58	8.20	1.76	2.58	2.14	0.90	1.24	9.12	1.22
		4	3.486	2.736	0.177	6.65	1.38	2.05	10.56	1.74	3.32	2.75	0.89	1.54	12.18	1.26
		5	4.292	3.369	0.176	8.04	1.37	2.51	12.74	1.72	4.00	3.33	0.88	1.81	15.25	1.30
		6	5.076	3.985	0.176	9.33	1.36	2.95	14.76	1.70	4.64	3.89	0.88	2.06	18.36	1.33
5	50	3	2.971	2.332	0.197	7.18	1.55	1.96	11.37	1.96	3.22	2.98	1.00	1.57	12.50	1.34
		4	3.897	3.059	0.197	9.26	1.54	2.56	14.70	1.94	4.16	3.82	0.99	1.96	16.69	1.38
		5	4.803	3.770	0.196	11.21	1.53	3.13	17.79	1.92	5.03	4.64	0.98	2.31	20.90	1.42
		6	5.688	4.465	0.196	13.05	1.52	3.68	20.68	1.91	5.85	5.42	0.98	2.63	25.14	1.46
5.6	56	3	3.343	2.624	0.221	10.19	1.75	2.48	16.14	2.20	4.08	4.24	1.13	2.02	17.56	1.48
		4	4.390	3.446	0.220	13.18	1.73	3.24	20.92	2.18	5.28	5.46	1.11	2.52	23.43	1.53
		5	5.415	4.251	0.220	16.02	1.72	3.97	25.42	2.17	6.42	6.61	1.10	2.98	29.33	1.57
		8	8.367	6.568	0.219	23.63	1.68	6.03	37.37	2.11	9.44	9.89	1.09	4.16	47.24	1.68
6.3	63	4	4.978	3.907	0.248	19.03	1.96	4.13	30.17	2.46	6.78	7.89	1.26	3.29	33.35	1.70
		5	6.143	4.822	0.248	23.17	1.94	5.08	36.77	2.45	8.25	9.57	1.25	3.90	41.73	1.74
		6	7.288	5.721	0.247	27.12	1.93	6.00	43.03	2.43	9.66	11.20	1.24	4.46	50.14	1.78
		8	9.515	7.469	0.247	34.46	1.90	7.75	54.56	2.40	12.25	14.33	1.23	5.47	67.11	1.85
		10	11.657	9.151	0.246	41.09	1.88	9.39	64.85	2.36	14.56	17.33	1.22	6.36	84.31	1.93

续附表 11-1

角钢 号数	尺寸 /mm			截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kgm ⁻¹	外表 面积 /m ² m ⁻¹	参 考 数 值											Z ₀ /cm
	b	d	r				X - X			X ₀ - X ₀			Y ₀ - Y ₀			X ₁ - X ₁		
							I _x /cm ⁴	i _x /cm	W _x /cm ³	I _{x0} /cm ⁴	i _{x0} /cm	W _{x0} /cm ³	I _{y0} /cm ⁴	i _{y0} /cm	W _{y0} /cm ³	I _{x1} /cm ⁴		
7	70	6	8	4	5.570	4.372	0.275	26.39	2.18	5.14	41.80	2.74	8.44	10.99	1.40	4.17	45.74	1.86
				5	6.875	5.397	0.275	32.21	2.16	6.32	51.08	2.73	10.32	13.34	1.39	4.95	57.21	1.91
				6	8.160	6.406	0.275	37.77	2.15	7.48	59.93	2.71	12.11	15.61	1.38	5.67	68.73	1.95
				7	9.424	7.398	0.275	43.09	2.14	8.59	68.35	2.69	13.81	17.82	1.38	6.34	80.29	1.99
				8	10.667	8.373	0.274	48.17	2.12	9.68	76.37	2.68	15.43	19.98	1.37	6.98	91.92	2.03
(7.5)	75	7	9	5	7.367	5.818	0.295	39.97	2.33	7.32	63.30	2.92	11.94	16.63	1.50	5.77	70.56	2.04
				6	8.797	6.905	0.294	46.95	2.31	8.64	74.38	2.90	14.02	19.51	1.49	6.67	84.55	2.07
				7	10.160	7.976	0.294	53.57	2.30	9.93	84.96	2.89	16.02	22.18	1.48	7.44	98.71	2.11
				8	11.503	9.030	0.294	59.96	2.28	11.20	95.07	2.88	17.93	24.86	1.47	8.19	112.97	2.15
				10	14.126	11.089	0.293	71.98	2.26	13.64	113.92	2.84	21.48	30.05	1.46	9.56	141.71	2.22
8	80	7	9	5	7.912	6.211	0.315	48.79	2.48	8.34	77.33	3.13	13.67	20.25	1.60	6.66	85.36	2.15
				6	9.397	7.376	0.314	57.35	2.47	9.87	90.98	3.11	16.08	23.72	1.59	7.65	102.50	2.19
				7	10.860	8.525	0.314	65.58	2.46	11.37	104.07	3.10	18.40	27.09	1.58	8.58	119.70	2.23
				8	12.303	9.658	0.314	73.49	2.44	12.83	116.60	3.08	20.61	30.39	1.57	9.46	136.97	2.27
				10	15.126	11.874	0.313	88.43	2.42	15.64	140.09	3.04	24.76	36.77	1.56	11.08	171.74	2.35
9	90	8	10	6	10.637	8.350	0.354	82.77	2.79	12.61	131.26	3.51	20.63	34.28	1.80	9.95	145.87	2.44
				7	12.301	9.656	0.354	94.83	2.78	14.54	150.47	3.50	23.64	39.18	1.78	11.19	170.30	2.48
				8	13.944	10.946	0.353	106.47	2.76	16.42	168.97	3.48	26.55	43.97	1.78	12.35	194.80	2.52
				10	17.167	13.476	0.353	128.58	2.74	20.07	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	244.07	2.59
				12	20.306	15.940	0.352	149.22	2.71	23.57	236.21	3.41	37.12	62.22	1.75	16.49	293.76	2.67
10	100	10	12	6	11.932	9.366	0.393	114.95	3.10	15.68	181.98	3.90	25.74	47.92	2.00	12.69	200.07	2.67
				7	13.786	10.830	0.393	131.86	3.09	18.10	208.97	3.89	29.55	54.74	1.99	14.26	233.54	2.71
				8	15.638	12.276	0.393	148.24	3.08	20.47	235.07	3.88	33.24	61.41	1.98	15.75	267.09	2.76
				10	19.261	15.120	0.392	179.51	3.05	25.06	284.68	3.84	40.26	74.35	1.96	18.54	334.48	2.84
				12	22.800	17.898	0.391	208.90	3.03	29.48	330.95	3.81	46.80	86.84	1.95	21.08	402.34	2.91
				14	26.256	20.611	0.391	236.53	3.00	33.73	374.06	3.77	52.90	99.00	1.94	23.44	470.75	2.99
				16	29.627	23.257	0.390	262.53	2.98	37.82	414.16	3.74	58.57	110.89	1.94	25.63	539.80	3.06

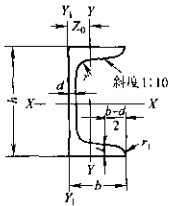
续附表 11-1

角钢 号数	尺寸 /mm			截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	外表 面积 /m ² ·m ⁻¹	参 考 数 值											Z ₀ /cm
	b	d	r				X - X			X ₀ - X ₀			Y ₀ - Y ₀			X ₁ - X ₁		
							I _x /cm ⁴	i _x /cm	W _x /cm ³	I _{x0} /cm ⁴	i _{x0} /cm	W _{x0} /cm ³	I _{y0} /cm ⁴	i _{y0} /cm	W _{y0} /cm ³	I _{x1} /cm ⁴		
11	110	7	12	15.196	11.928	0.433	177.16	3.41	22.05	280.94	4.30	36.12	73.38	2.20	17.51	310.64	2.96	
		8		17.238	13.532	0.433	199.46	3.40	24.95	316.49	4.28	40.69	82.42	2.19	19.39	355.20	3.01	
		10		21.261	16.690	0.432	242.19	3.38	30.60	384.39	4.25	49.42	99.98	2.17	22.91	444.65	3.09	
		12		25.200	19.782	0.431	282.55	3.35	36.05	448.17	4.22	57.62	116.93	2.15	26.15	534.60	3.16	
		14		29.056	22.809	0.431	320.71	3.32	41.31	508.01	4.18	65.31	133.40	2.14	29.14	625.16	3.24	
12.5	125	8	14	19.790	15.504	0.492	297.03	3.88	32.52	470.89	4.88	53.28	123.16	2.50	25.86	521.01	3.37	
		10		24.373	19.133	0.491	361.67	3.85	39.97	573.89	4.85	64.93	149.46	2.48	30.62	651.93	3.45	
		12		28.912	22.696	0.491	423.16	3.83	41.17	671.44	4.82	75.96	174.88	2.46	35.03	783.42	3.53	
		14		33.367	26.193	0.490	481.65	3.80	54.16	763.73	4.78	86.41	199.57	2.45	39.13	915.61	3.61	
14	140	10	14	27.373	21.488	0.551	514.65	4.34	50.58	817.27	5.46	82.56	212.04	2.78	39.20	915.11	3.82	
		12		32.512	25.522	0.551	603.68	4.31	59.80	958.79	5.43	96.85	248.57	2.76	45.02	1059.28	3.90	
		14		37.567	29.490	0.550	688.81	4.28	68.75	1093.56	5.40	110.47	284.06	2.75	50.45	1284.22	3.98	
		16		42.539	33.393	0.549	770.24	4.26	77.46	1221.81	5.36	123.42	318.67	2.74	55.55	1470.07	4.06	
16	160	10	16	31.502	24.729	0.630	779.53	4.98	66.70	1237.30	6.27	109.36	321.76	3.20	52.76	1365.33	4.31	
		12		37.441	29.391	0.630	916.58	4.95	78.98	1455.68	6.24	128.67	377.49	3.18	60.74	1639.57	4.39	
		14		43.286	33.987	0.629	1048.36	4.92	90.95	1665.02	6.20	147.17	431.70	3.16	68.24	1914.68	4.47	
		16		49.067	38.518	0.629	1175.08	4.89	102.63	1865.57	6.17	164.89	484.59	3.14	75.31	2190.82	4.55	
18	180	12	16	42.241	33.159	0.710	1321.35	5.59	100.82	2100.10	7.05	165.00	542.61	3.58	78.41	2332.80	4.89	
		14		48.896	38.383	0.709	1514.48	5.56	116.25	2407.42	7.02	189.14	621.53	3.56	88.38	2723.48	4.97	
		16		55.467	43.542	0.709	1700.99	5.54	131.13	2703.37	6.98	212.40	698.60	3.55	97.83	3115.29	5.05	
		18		61.955	48.634	0.708	1875.12	5.50	145.64	2988.24	6.94	234.78	762.01	3.51	105.14	3302.43	5.13	
20	200	14	18	54.642	42.894	0.788	2103.55	6.20	144.70	3343.26	7.82	236.40	863.83	3.98	111.82	3734.10	5.46	
		16		62.013	48.680	0.788	2366.15	6.18	163.65	3760.89	7.79	265.93	971.41	3.96	123.96	4270.39	5.54	
		18		69.301	54.401	0.787	2620.64	6.15	182.22	4164.54	7.75	294.48	1076.74	3.94	135.52	4808.13	5.62	
		20		76.505	60.056	0.787	2867.30	6.12	200.42	4554.55	7.72	322.06	1180.04	3.93	146.55	5347.51	5.69	
		24		90.661	71.168	0.785	3338.25	6.07	236.17	5294.97	7.64	374.41	1381.53	3.90	166.55	6457.16	5.87	

注: 1. $r_1 = \frac{1}{3}d$, $r_2 = 0$, $r_0 = 0$; 2. 角钢长度: 2~4号, 长 3~9m; 4.5~8号, 长 4~12m; 9~14号, 长 4~19m; 16~20号, 长 6~19m; 3. 一般采用材料, Q215-A, Q235-A, Q235-AF, Q275。

(二)热轧普通槽钢

附表 11-2 热轧普通槽钢断面常数



符号意义： h ——高度； Z_0 —— $Y-Y$ 与 Y_1-Y_1 轴线间距离；
 b ——腿宽； r ——内圆弧半径；
 d ——唇厚； r_1 ——腿端圆弧半径；
 \bar{t} ——平均唇厚； I ——惯性矩；
 i ——惯性半径； W ——截面系数。

型 号	尺 寸						截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	参 考 数 值								
	h	b	d	t	r	r_1			$X-X$			$Y-Y$			Y_1-Y_1	Z_0 /cm	
									W_x /cm ³	I_x /cm ⁴	i_x /cm	W_y /cm ³	I_y /cm ⁴	i_y /cm	I_y /cm ⁴		
5	50	37	4.5	7	7	3.5	6.93	5.44	10.4	26	1.94	3.55	8.3	1.1	20.9	1.35	
6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.75	8.444	6.63	16.123	50.786	2.453	4.59	11.872	1.185	28.38	1.36	
8	80	43	5	8	8	4	10.24	8.04	25.3	101.3	3.15	5.79	16.6	1.27	37.4	1.43	
10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.25	12.74	10	39.7	198.3	3.95	7.8	25.6	1.41	54.9	1.52	
12.6	126	53	5.5	9	9	4.5	15.69	12.37	62.132	391.466	4.953	10.242	37.99	1.567	77.09	1.59	
14	a	140	58	6	9.5	9.5	4.75	18.51	14.53	80.5	563.7	5.52	13.01	53.20	1.7	107.1	1.71
	b	140	60	8	9.5	9.5	4.75	21.31	16.73	87.1	609.4	5.35	14.12	61.10	1.69	120.6	1.67
16a	160	63	6.5	10	10	5	21.95	17.23	108.3	866.2	6.28	16.30	73.30	1.83	144.1	1.8	
16	160	65	8.5	10	10	5	25.15	19.74	116.8	934.5	6.10	17.55	83.40	1.82	160.8	1.75	
18a	180	68	7	10.5	10.5	5.25	25.69	20.17	141.4	1272.7	7.04	20.03	98.60	1.96	189.7	1.88	
18	180	70	9	10.5	10.5	5.25	29.29	22.99	152.2	1369.9	6.84	21.52	111.00	1.95	210.1	1.84	
20a	200	73	7	11	11	5.5	28.83	22.63	178	1780.4	7.86	24.20	128.00	2.11	244	2.01	
20	200	75	9	11	11	5.5	32.83	25.77	191.4	1913.7	7.64	25.88	143.6	2.09	268.4	1.95	
22a	220	77	7	11.5	11.5	5.75	31.84	24.99	217.6	2393.9	8.67	28.17	157.8	2.23	298.2	2.1	
22	220	79	9	11.5	11.5	5.75	36.24	28.45	233.8	2571.4	8.42	30.05	176.4	2.21	326.3	2.03	
25	a	250	78	7	12	12	6	34.91	27.47	269.597	3369.62	9.823	30.607	175.529	2.243	322.256	2.065
	b	250	80	9	12	12	6	39.91	31.39	282.402	3530.04	9.405	32.657	196.421	2.218	353.187	1.982
	c	250	82	11	12	12	6	44.91	35.32	295.236	3690.45	9.065	35.926	218.415	2.206	384.133	1.921
28	a	280	82	7.5	12.5	12.5	6.25	40.02	31.42	340.382	4764.59	10.91	35.718	217.989	2.333	387.566	2.097
	b	280	84	9.5	12.5	12.5	6.25	45.62	35.81	366.46	5130.45	10.60	37.929	242.144	2.304	427.589	2.016
	c	280	86	11.5	12.5	12.5	6.25	51.22	40.21	392.594	5496.32	10.35	40.301	267.602	2.286	426.597	1.951

续附表 11-2

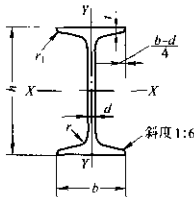
型 号	尺寸						截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	参 考 数 值								
	/mm								X-X			Y-Y			Y ₁ -Y ₁ /cm ⁴	Z ₀ /cm	
									W _X /cm ³	I _X /cm ⁴	i _X /cm	W _Y /cm ³	I _Y /cm ⁴	i _Y /cm			
32	a	320	88	8	14	14	7	48.7	38.22	474.879	7598.06	12.49	46.473	304.787	2.502	552.310	2.242
	b	320	90	10	14	14	7	55.1	43.25	509.012	8144.2	12.15	49.157	336.332	2.471	592.933	2.158
	c	320	92	12	14	14	7	61.5	48.28	543.145	8690.33	11.88	52.642	374.175	2.467	643.299	2.092
36	a	360	96	9	16	16	8	60.89	47.8	659.7	11874.2	13.97	63.54	455	2.73	818.4	2.44
	b	360	98	11	16	16	8	68.09	53.45	702.9	12651.8	13.63	66.85	496.7	2.7	880.4	2.37
	c	360	100	13	16	16	8	75.29	50.1	746.1	13429.4	13.36	70.02	536.4	2.67	947.9	2.34
40	a	400	100	10.5	18	18	9	75.05	58.91	878.9	17577.9	15.30	78.83	592	2.81	1067.7	2.49
	b	400	102	12.5	18	18	9	83.05	65.19	932.2	18644.5	14.98	82.52	640	2.78	1135.6	2.44
	c	400	104	14.5	18	18	9	91.05	71.47	985.6	19711.2	14.71	86.19	687.8	2.75	1220.7	2.42

注:1.槽钢长度:5-8号,长5-12m;10-18号,长5-19m;20-40号,长6-19m。

2.一般采用材料:Q215-A、Q235-A、Q235-AF、Q275。

(三)热轧普通工字钢

附表 11-3 热轧普通工字钢断面常数



符号意义: h ——高度; r_1 ——腿端圆弧半径;
 b ——腿宽; I ——惯性矩;
 d ——腰厚; W ——截面系数;
 t ——平均腿厚; i ——惯性半径;
 r ——内圆弧半径; S ——半截面的静力矩。

型 号	尺寸						截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	参 考 数 值							
	/mm								X-X				Y-Y			
									I _X /cm ⁴	W _X /cm ³	i _X /cm	I _X :S _X	I _Y /cm ⁴	W _Y /cm ³	i _Y /cm	
10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.3	11.2	245	49	4.14	8.59	33	9.72	1.52	
12.6	126	74	5	8.4	7	3.5	18.1	14.2	488.43	77.529	5.195	10.85	46.906	12.677	1.609	
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.5	16.9	712	102	5.76	12	64.4	16.1	1.73	
16	160	88	6	9.9	8	4	26.1	20.5	1130	141	6.58	13.8	93.1	21.2	1.89	
18	180	94	6.5	10.7	8.5	4.3	30.6	24.1	1660	185	7.36	15.4	122	26	2	
20	a	200	100	7	11.4	9	4.5	35.5	27.9	2370	237	8.15	17.2	158	31.5	2.12
	b	200	102	9	11.4	9	4.5	39.5	31.1	3500	250	7.96	16.9	169	33.1	2.06

续附表 11-3

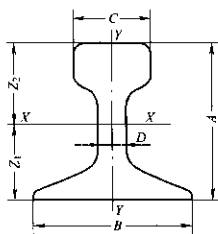
型 号	尺 寸							截面 面积 /cm ²	理论 质量 /kg·m ⁻¹	参 考 数 值								
	h	b	d	t	r	r ₁	X - X				Y - Y							
							I _x /cm ⁴			W _x /cm ³	i _x /cm	I _y :S _x	I _y /cm ⁴	W _y /cm ³	i _y /cm			
	/mm																	
22	a	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42	33	3400	309	8.99	18.9	225	40.9	2.31		
	b	220	112	9.5	12.3	9.5	4.8	46.4	36.4	3570	325	8.78	18.7	239	42.7	2.27		
25	a	250	116	8	13	10	5	48.5	38.1	5023.54	401.88	10.18	21.58	280.046	48.283	2.403		
	b	250	118	10	13	10	5	53.5	42	5283.96	422.72	9.938	21.27	309.297	52.423	2.404		
28	a	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.45	43.4	7114.14	508.15	11.32	24.62	345.051	56.565	2.495		
	b	280	124	10.5	13.7	10.5	5.3	61.05	47.9	7480	534.29	11.08	24.24	379.496	61.209	2.493		
32	a	320	130	9.5	15	11.5	5.8	67.05	52.7	11075.5	692.2	12.84	27.46	459.93	70.758	2.619		
	b	320	132	11.5	15	11.5	5.8	73.45	57.7	11621.4	726.33	12.58	27.09	501.53	75.989	2.614		
	c	320	134	13.5	15	11.5	5.8	79.95	62.8	12167.5	760.47	12.34	26.77	543.81	81.166	2.608		
36	a	360	136	10	15.8	12	6	76.3	59.9	15760	875	14.4	30.7	552	81.2	2.69		
	b	360	138	12	15.8	12	6	83.5	65.6	16530	919	14.1	30.3	582	84.3	2.64		
	c	360	140	14	15.8	12	6	90.7	71.2	17310	962	13.8	29.9	612	87.4	2.60		
40	a	400	142	10.5	16.5	12.5	6.3	86.1	67.6	21720	1090	15.9	34.1	660	93.2	2.77		
	b	400	144	12.5	16.5	12.5	6.3	94.1	73.8	22780	1140	15.6	33.6	692	96.2	2.71		
	c	400	146	14.5	16.5	12.5	6.3	102	80.1	23850	1190	15.2	33.2	727	99.6	2.65		
45	a	450	150	11.5	18	13.5	6.8	102	80.4	32240	1430	17.7	38.6	855	114	2.89		
	b	450	152	13.5	18	13.5	6.8	111	87.4	33760	1500	17.4	38	894	118	2.84		
	c	450	154	15.5	18	13.5	6.8	120	94.5	35280	1570	17.1	37.6	938	122	2.79		
50	a	500	158	12	20	14	7	119	93.6	46470	1860	19.7	42.8	1120	142	3.07		
	b	500	160	14	20	14	7	129	101	48560	1940	19.4	42.4	1170	146	3.01		
	c	500	162	16	20	14	7	139	109	50640	2080	19	41.8	1220	151	2.96		
56	a	560	166	12.5	21	14.5	7.3	135.25	106.2	65585.6	2342.31	22.02	47.73	1370.16	165.08	3.182		
	b	560	168	14.5	21	14.5	7.3	146.45	115	68512.5	2446.69	21.63	47.17	1486.75	174.25	3.162		
	c	560	170	16.5	21	14.5	7.3	157.85	123.9	71439.4	2551.41	21.27	46.66	1558.39	183.34	3.158		
63	a	630	176	13	22	15	7.5	154.9	121.6	93916.2	2981.47	24.62	54.17	1700.55	193.24	3.314		
	b	630	178	15	22	15	7.5	167.5	131.5	98083.6	3163.98	24.2	53.51	1812.07	203.60	3.289		
	c	630	180	17	22	15	7.5	180.1	141	102251.1	3298.42	23.82	52.92	1924.91	213.88	3.268		

注:1.工字钢长度:10~18号,长5~19m;20~63号,长6~19m。

2.一般采用材料:Q215-A、Q235-A、Q235-AF、Q275。

(四) 钢 轨

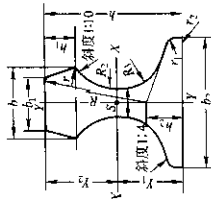
附表 11-4 钢轨断面常数



钢轨 类型 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$	主要尺寸				截面 面积 F $/\text{cm}^2$	重心距离		惯性矩		截面系数			斜 度	理论 质量 $/\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$	通常 长度 $/\text{m}$	标准代号	
	A	B	C	D		至轨底 Z_1	至轨顶 Z_2	J_x	J_y	轨底 $W_1 = \frac{J_x}{Z_1}$	轨顶 $W_2 = \frac{J_x}{Z_2}$	$W_3 = \frac{J_y}{B/2}$					
	/mm					/cm		/cm ⁴		/cm ³							
轻 轨	5	50	44	22	4.5	6.41	2.22	2.78	25.2	5.35	11.4	9.1	2.43	1:4	5.03	5~10	YB 222-63
	8	65	54	25	7	10.76	2.89	3.61	99.3	9.62	20.6	16.4	3.56	1:3.5	8.42	5~10	
	11	80.5	66	32	7	14.31	3.96	4.09	125	15.1	31.7	30.5	4.58	1:2.78	11.20	6~10	
	15	91	76	37	7	18.80	4.35	4.75	222	30.2	51	46.6	7.04	1:2	14.72	6~12	
	18	90	80	40	10	23.07	4.29	4.71	240	41.1	56.1	51.0	10.3	1:1.804	18.06	7~12	
	24	107	92	51	10.9	31.25	5.305	5.395	486	80.46	91.64	90.12	17.49	1:4	24.46	7~12	
重 轨	33	120	110	60	12.5	42.5	5.76	6.24	821.9	165.1	142.6	131.8	30.0	1:4	33.286	12.5	YB 350-63
	38	134	114	68	13	49.5	6.67	6.73	1204.4	219.3	180.6	178.9	36.7	1:3	38.733	12.5, 25	GB 183-63
	43	140	114	70	14.5	57.0	6.90	7.10	1489	260	217.3	208.3	45.0	1:3	44.653	12.5, 25	GB 182-63
	50	152	132	70	15.5	65.8	7.10	8.10	2037	377	287.2	251.3	57.1	1:4	51.514	12.5, 25	GB 181-63

(五) 起重机钢轨

附表 11-5 起重机钢轨断面常数



钢 轨 标 号	截 面 面 积 /cm ²	重 心 距 离 /cm		惯 性 矩 /cm ⁴		截 面 系 数 /cm ³		理 论 质 量 /kg·m ⁻¹	尺 寸 /mm														
		Y ₁	Y ₂	I _X	I _Y	W ₁ = $\frac{I_X}{Y_1}$	W ₂ = $\frac{I_Y}{Y_2}$		W ₃ = $\frac{I_Y}{b_2/2}$	b	b ₁	b ₂	s	h	h ₁	h ₂	R	R ₁	R ₂	r	r ₁	r ₂	
		Q U 70	67.3	5.93	6.07	1081.99	327.16		182.46	178.12	54.53	52.8	70	76.5	120	28	120	32.5	24	400	23	38	6
Q U 80	81.13	6.43	6.67	1547.40	482.39	240.65	235.52	74.21	63.69	80	87	130	32	130	35	26	400	26	44	8	6	6	1.5
Q U 100	113.32	7.60	7.40	2864.73	940.98	376.94	387.12	125.45	88.96	100	108	150	38	150	40	30	450	30	50	8	8	8	2
Q U 120	150.44	8.43	8.37	4923.73	1694.83	564.08	574.54	199.39	118.1	120	129	44	44	170	45	35	500	34	56	8	8	8	2

注：钢轨的标准长度为：9.5, 10, 5.11, 11.5, 12, 12.5m。

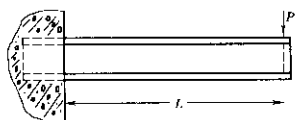
(六)圆形钢管

附表 11-6 圆形钢管截面的断面常数

钢管 直径 D /mm	钢管 壁厚 δ /mm	截面 积 F /cm ²	惯性 力矩 J /cm ⁴	截面 系数 W /cm ³	回转 半径 r /cm	单 位 长 度 质 量 g /kg·m ⁻¹	钢管 直径 D /mm	钢管 壁厚 δ /mm	截面 积 F /cm ²	惯性 力矩 J /cm ⁴	截面 系数 W /cm ³	回转 半径 r /cm	单 位 长 度 质 量 g /kg·m ⁻¹		
25.0	2.5	1.77	1.13	0.91	0.8	1.39	219	6	40.1	2279	208	7.53	31.5		
	3.0	2.07	1.28	1.02	0.79	1.63		7	46.6	2623	240	7.5	36.6		
32.0	2.5	2.32	2.54	1.59	1.05	1.76		8	53	2956	270	7.47	41.6		
	3.0	2.73	2.9	1.82	1.03	2.15		9	59.4	3280	299	7.43	46.6		
33.5	3.25	3.09	3.61	2.15	1.08	2.42		10	65.6	3594	328	7.40	51.5		
								11	71.9	3899	356	7.37	56.4		
38.0	2.5	2.79	4.41	2.32	1.26	2.19		12	78	4195	383	7.33	61.3		
	3.0	3.3	5.09	2.68	1.24	2.37		14	90.2	4760	435	7.27	70.8		
42.3	3.5	4.04	7.74	3.65	1.38	3.13		273	7	58.5	5177	379	9.41	45.9	
45.0	3.0	3.96	8.77	3.9	1.49	3.11			8	66.6	5853	429	9.37	52.3	
	3.5	4.56	9.89	4.4	1.47	3.58			9	74.6	6512	477	9.34	58.6	
48.0	3.5	4.89	12.19	5.08	1.58	3.84			10	82.6	7157	525	9.31	64.8	
57.0	3.5	5.88	21.14	7.42	1.90	4.62			11	90.5	7784	570	9.27	71.1	
60.0	3.5	6.21	24.88	8.3	2	4.88			12	92.4	8398	615	9.23	77.2	
75.5	3.8	8.56	55.16	14.59	2.54	6.64	14		114	9582	762	9.18	89.4		
							16		129	10710	785	9.12	101		
76	4.0	9.05	58.81	15.48	2.55	7.1	8		79.7	10010	616	11.2	62.5		
	5.0	11.15	70.62	18.59	2.52	8.75	9		89.3	11160	687	11.2	70.1		
88.5	4	10.62	94.99	21.44	2.99	8.34	10		99	12290	756	11.1	77.7		
89	4	10.68	96.68	21.73	3.01	8.4	11		109	13390	824	11.1	85.2		
	5	13.2	116.79	26.24	2.98	9.24	12		118	14470	891	11.1	92.6		
108	4	13.1	177	32.8	3.68	10.3	14		137	16570	1020	11	107		
	4.5	14.6	196	36.3	3.66	11.5	16	155	18590	1144	10.9	122			
	5	16.2	215	39.8	3.64	12.7	18	174	20530	1263	10.9	136			
	5.5	17.7	233	43.1	3.63	13.9									
	6	19.2	251	46.5	3.62	15.1									
	7	22.2	285	52.8	3.58	17.4	377	8	92.7	15820	839	13.1	72.8		
127	4	15.5	293	46.1	3.35	12.1		9	104	17600	934	13	81.6		
	4.5	17.3	325	51.2	4.33	13.6		10	115	19430	1031	13	90.5		
	5	19.2	357	56.3	4.32	15		11	126	21200	1125	13	99.3		
	5.5	21.2	388	61.2	4.3	16.5		12	138	22940	1217	12.9	108		
	6	22.8	418	65.9	4.28	17.9		14	160	26340	1397	12.9	125		
	7	26.4	477	75.1	4.25	20.7		16	181	29650	1573	12.8	142		
	8	28.9	532	83.8	4.22	23.5		18	203	32770	1739	12.7	159		
159	4.5	21.8	652	82	5.46	17.2		426	9	118	25650	1204	14.7	92.5	
	5	24.2	718	90.3	5.45	19			10	131	28290	1328	14.7	103	
	5.5	26.5	782	98.4	5.43	20.8			11	143	30900	1451	14.7	113	
	6	28.8	845	106	5.41	22.6			12	156	33470	1572	14.6	123	
	7	33.4	967	122	5.38	26.2			14	181	38500	1808	14.6	142	
	8	37.9	1085	136	5.35	29.8			16	206	43440	2039	14.5	162	
	9	42.4	1197	157	5.31	33.3	18		231	48110	2259	14.4	181		
		10	46.8	1304	164	5.28	36.8		20	255	52700	2474	14.4	200	

附录十二 工字钢容许荷重

附表 12-1 工字钢悬臂梁容许荷重

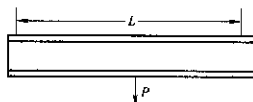


工字钢号码	悬 臂 长 度 L/m							
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
	容 许 荷 重 P/t							
10	1.4	0.68						
12.6	2.2	1.1	0.72	0.54				
14	2.9	1.4	0.95	0.71	0.57			
16	4.0	2.0	1.4	0.98	0.78	0.65	0.56	
18	5.2	2.6	1.7	1.3	1.0	0.86	0.74	0.64
20a	6.6	3.3	2.2	1.7	1.3	1.1	0.94	0.82
22a	8.7	4.3	2.9	2.2	1.7	1.4	1.2	1.1
25a	11.3	5.6	3.8	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4
28a	14.2	7.1	4.7	3.6	2.8	2.4	2.0	1.8
32a	19.4	9.7	6.5	4.8	3.9	3.2	2.8	2.4
32c	21.3	10.6	7.1	5.3	4.3	3.5	3.0	2.7
36a	24.5	12.2	8.2	6.1	4.9	4.1	3.5	3.1
36c	26.9	13.5	9.0	6.7	5.4	4.5	3.8	3.4
40a	30.5	15.3	10.2	7.6	6.1	5.1	4.4	3.8
40c	33.3	16.6	11.1	8.3	6.6	5.6	4.8	4.2
45a	40.0	20.0	13.3	10.0	8.0	6.7	5.7	5.0
45c	43.9	21.9	14.6	10.9	8.8	7.3	6.3	5.5
50a	52.0	26.0	17.4	13.0	10.4	8.7	7.4	6.5
50c	58.2	29.1	19.4	14.6	11.6	9.7	8.3	7.3
56a	65.5	32.7	21.9	16.4	13.1	10.9	9.4	8.2
56c	71.4	35.7	23.8	17.9	14.3	11.9	10.2	8.9
63a	83.5	41.7	27.8	20.9	16.7	13.9	11.9	10.4
63c	92.4	46.2	30.8	23.1	18.5	15.4	13.2	11.5

注:1. 材料为 Q235-A;

2. 允许应力为 140MPa。

附表 12-2 工字钢简支梁容许荷重



工字钢号码	支 点 间 的 距 离 L/m								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	容 许 荷 重 P /tf								
10	1.37	0.91	0.68						
12.6	2.2	1.4	1.1	0.86					
14	2.9	1.9	1.4	1.1	0.95	0.82			
16	3.9	2.6	2.0	1.6	1.3	1.1			
18	5.2	3.5	2.6	2.1	1.7	1.5	1.3	1.2	
20a	6.6	4.4	3.3	2.7	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3
22a	8.7	5.8	4.5	3.5	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7
25a	11.3	7.5	5.6	4.5	3.8	3.2	2.8	2.5	2.3
28a	14.2	9.5	7.1	5.7	4.7	4.1	3.6	3.2	2.8
32a	19.3	12.9	9.7	7.8	6.5	5.5	4.8	4.3	3.9
32c	21.2	14.2	10.6	8.5	7.1	6.1	5.3	4.7	4.3
36a	24.5	16.3	12.3	9.8	8.2	7.0	6.1	5.4	4.9
36c	26.9	17.9	13.5	10.8	8.9	7.7	6.7	5.9	5.4
40a	30.5	20.3	15.2	12.2	10.2	8.7	7.6	6.8	6.1
40c	33.3	22.2	16.6	13.3	11.1	9.5	8.3	7.4	6.6
45a	40.0	26.7	20.0	16.0	13.3	11.4	10.0	8.9	8.0
45c	43.9	29.3	21.9	17.6	14.6	12.6	10.9	9.8	8.7
50a	52.0	34.7	26.0	20.8	17.3	14.8	13.0	11.5	10.4
50c	58.2	38.8	29.1	23.3	19.4	16.6	14.6	12.2	11.6
56a	65.5	43.7	32.8	26.2	21.8	18.7	16.4	14.5	13.1
56c	71.4	47.6	35.7	28.6	23.8	20.4	17.8	15.9	14.3
63a	83.4	55.7	41.7	33.4	27.8	23.9	20.8	18.6	16.7
63c	92.3	61.6	46.2	36.9	30.7	26.4	23.0	20.5	18.5

注: 1. 材料为 Q235-A;

2. 允许应力为 140MPa。

附录十三 用算法确定简支梁的容许荷重

由工字钢、槽钢、圆钢、圆钢形成的简支梁，在跨度中央受集中荷重时，其容许值可按下式计算：

$$式 中 \quad Q = 50 \frac{W}{L}$$

Q ——容许集中荷重，kgf；

W ——断面系数，cm³；

L ——简支梁两支点间距离，m。

附表 13-1 各种梁的断面系数 W

工字钢	型号	10	12.6	14	16	18	20	22	24	25	28	30	32	36	40	45	50
	W/cm^3	49	77	102	141	185	250	325	400	422	534	657	760	962	1190	1570	2080
槽钢	型号	10	12.6	14	16	18	20	22	24	25	28	30	32	36	40		
	W/cm^3	40	62	87	117	152	191	234	254	295	393	409	543	746	986		
圆钢	型号	24	33	38	43	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	W/cm^3	92	143	181	213	287	182	241	377	584							
圆钢	直径/cm	10	15	18	20	24	26	30	40	50	50	50	50	50	50	50	50
	W/cm^3	98	331	573	785	1357	2155	2651	6280	12265							

注：大规格的工字钢、槽钢均为腹厚为最厚的规格，如 20b、40c 等；其他腹厚者，应查有关的表格。

附录十四 滚动、滑动摩擦系数

附表 14-1 滚动摩擦系数 μ

相互接触的物体	μ	相互接触的物体	μ
铸铁与铸铁	0.005	料车与钢轨(有滚珠轴承)	0.009
钢质车轮与钢轨	0.05	料车与钢轨(无滚珠轴承)	0.021
木材与钢	0.03~0.04	钢质车轮与木面	1.5~2.5
木材与木材	0.05~0.08	轮胎与路面	1~2
软钢和钢	0.05	带铁轮箍的大车与普通道路	0.04~0.15

注:启动时的摩擦力应增加 2.5~5 倍。

附表 14-2 滑动摩擦系数 f

序号	摩擦材料	静摩擦			滑动摩擦		
		干燥的	水湿的	有润滑剂	干燥的	水湿的	有润滑剂
1	钢与钢(压力小时)	0.15		0.11 ^①	0.11 ^①		0.1~0.08
2	钢与钢(压力大时)	0.25~0.15		0.12~0.11	0.09~0.07 ^①		
3	钢与铸铁或青铜	0.19		0.10	0.18~0.17		0.08~0.07
4	钢与砂岩				0.45~0.4		
5	钢与贝壳石灰岩	0.49~0.42			0.29~0.24		
6	钢与卵石	0.49~0.42					
7	钢与软木				0.65~0.5		
8	钢与冰	0.027			0.014		
9	铸铁与铸铁			0.18	0.15		0.07~0.12
10	铸铁与青铜				0.15~0.20		0.07~0.15
11	硬木(顺纹)	0.62		0.11	0.48		0.08
12	硬木(横纹)	0.54	0.71		0.34	0.25	
13	硬木端部	0.43			0.19		
14	硬木与钢	0.60	0.65	0.11	0.40	0.24	0.10
15	硬木与花岗石		0.50		0.30	0.10	0.06
16	硬木与贝壳石灰石	0.63			0.38		
17	硬木与卵石	0.60~0.46					
18	木材与土壤	0.50					
19	木材与木材	0.04~0.06		0.10	0.20~0.50		0.07~0.15
20	麻绳与木材(粗面)	0.80~0.50					
21	麻绳与木材(光面)	0.33					

① 指当移动速度在 25m/s 以内的 f_s 。

附录十五 重型自行式起重机

1. 履带式起重机

(1) QUY50 型履带式起重机(最大起重量 40t)

附表 15-1 起重能力参数表(t)

工作幅度 /m	主 臂 长 度/m													
	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	
3.0	40.0													
3.5	40.0	40.0												
4.0	33.0	32.9	32.8											
4.5	27.6	27.5	27.4	27.3										
5.0	23.6	23.5	23.4	23.3	23.2									
6.0	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5	17.4							
7.0	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6					
8.0	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	11.0			
9.0	10.3	10.2	10.1	10.0	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	9.2		
10.0		9.0	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.1	8.0	7.5	
12.0		7.0	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.5	
14.0			5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.4	
16.0				4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	
18.0					3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	
20.0						3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	
22.0							2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
24.0								2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7
26.0									1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
28.0										1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
30.0											1.4	1.3	1.2	1.1

起重量说明:

- 表中负荷值,是在平坦坚硬的地面上,全回转,前倾稳定性为 1.15 以上;
- 实际起吊质量应扣除吊钩等质量;40t 主钩扣除 380kg,起重 5t 副钩,扣除 120kg。

(2) KH150-2 型履带式起重机(最大起重量 40t)

附表 15-2 KH150-2 型起重机起重能力参数表(t)

臂长/m 工作半径/m	10	13	16	19	22	28	28	工作半径/m
	3.0	40.0						
3.5	40.0	40.0						3.5
4.0	32.60	32.50	32.40					4.0
4.5	26.70	26.60	26.50	26.40				4.5
5.0	22.60	22.50	22.40	22.30	22.20			5.0
6.0	17.20	17.10	17.00	16.90	16.80	16.70	16.60	6.0

续附表 15-2

臂长/m 工作半径/m	10	13	16	19	22	28	28	工作半径/m
7.0	13.85	13.75	13.65	13.55	13.45	13.35	13.25	7.0
8.0	11.55	11.45	11.35	11.25	11.15	11.05	10.95	8.0
9.0	9.90	9.80	9.70	9.60	9.50	9.40	9.30	9.0
10.0		8.45	8.35	8.25	8.20	8.15	8.05	10.0
12.0		6.65	6.55	6.45	6.40	6.30	6.25	12.0
14.0			5.35	5.25	5.15	5.05	5.00	14.0
16.0				4.35	4.25	4.15	4.10	16.0
18.0					3.60	3.50	3.40	18.0
20.0						3.00	2.90	20.0
22.0						2.60	2.50	22.0
24.0							2.15	24.0
26.0								26.0
28.0								28.0
30.0								30.0

续附表 15-2

臂长/m 工作半径/m	31	34	37	40	43	46	工作半径/m
3.0							3.0
3.5							3.5
4.0							4.0
4.5							4.5
5.0							5.0
6.0							6.0
7.0	13.15	13.05					7.0
8.0	10.85	10.75	10.65	10.55			8.0
9.0	9.20	9.10	9.00	8.90	7.55		9.0
10.0	7.95	7.85	7.75	7.65	7.55	5.0	10.0
12.0	6.15	6.05	5.95	5.85	5.75	5.0	12.0
14.0	4.90	4.85	4.75	4.65	4.55	4.45	14.0
16.0	4.00	3.95	3.85	3.75	3.65	3.55	16.0
18.0	3.30	3.25	3.20	3.10	3.00	2.90	18.0
20.0	2.80	2.70	2.60	2.55	2.45	2.35	20.0
22.0	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00	1.90	22.0
24.0	2.05	1.95	1.85	1.75	1.65	1.55	24.0
26.0	1.75	1.65	1.55	1.45	1.35	1.25	26.0
28.0		1.40	1.30	1.20	1.10	1.00	28.0
30.0		1.20	1.10	1.00	0.90	0.80	30.0

(3) KH180-3 型/履带式起重机(最大起重量 50t)

附表 15-3 KH180-3 型起重机起重能力参数表(t)

工作半径 /m	吊 臂 长 度 /m						
	13	16	19	22	25	28	31
3.7	50.0						
4.0	45.8	44.2 (4.1m)					
4.5	37.9	37.8	36.3 (4.6m)				
5.0	32.0	31.9	31.85	30.2 (5.15m)			
6.0	24.25	24.15	24.15	24.05	24.0	22.7 (6.2m)	
7.0	19.45	19.35	19.30	19.2	19.1	19.0	18.9
8.0	16.2	16.05	16.0	15.9	15.7	15.5	15.4
9.0	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.3	13.2
10.0	12.05	11.9	11.85	11.75	11.7	11.6	11.5
12.0	9.5	9.35	9.3	9.2	9.1	9.0	8.9
14.0	9.2 (12.3m)	7.65	7.55	7.45	7.4	7.25	7.2
16.0		6.8 (14.9m)	6.35	6.2	6.15	6.05	5.95
18.0			5.6	5.3	5.2	5.10	5.05
20.9			(17.5m)	4.6	4.5	4.35	4.3
22.0					3.9	3.8	3.7
24.0					3.75 (22.7m)	3.3	3.25
26.0						3.05	2.85
28.0						(25.3m)	2.55
30.0							(27.9m)
32.0							
34.0							

(4) KH300-2 型履带式起重机(最大起重量 80t)

续附表 15-5

条件	360°范围内工作										
	主 臂 长 度 /m										
工作半径 /m	51.82	54.86	57.91	60.96	64.01	67.06	70.10	73.15	76.20	79.25	82.30
12	46.9	43.5	40.0								
14	41.8	40.3	38.1	37.0	36.2	33.5	30.3				
16	35.2	35.1	33.8	35.6	35.2	32.7	29.6	27.1	25.0	22.8	20.3
18	30.0	29.8	29.6	30.3	30.1	29.9	28.8	26.4	24.4	22.1	19.7
20	25.9	25.7	25.5	26.2	25.9	25.9	25.9	25.7	23.8	21.6	19.2
22	22.8	22.5	22.3	22.9	22.6	22.7	22.6	22.4	22.3	21.0	18.6
24	20.2	19.9	19.7	20.2	20.0	20.0	20.0	19.7	19.6	19.4	18.0
26	18.0	17.7	17.6	18.0	17.8	17.8	17.7	17.5	17.4	17.2	16.7
28	16.2	15.9	15.8	16.2	15.9	15.9	15.9	15.6	15.5	15.3	15.2
30	14.7	14.4	14.3	14.6	14.3	14.3	14.3	14.0	13.9	13.7	13.6
32	13.4	13.1	12.9	13.2	13.0	13.0	12.9	12.6	12.5	12.3	12.3
34	12.2	11.9	11.8	12.0	11.8	11.8	11.7	11.4	11.3	11.1	11.1
36	11.2	10.9	10.8	11.0	10.7	10.7	10.7	10.4	10.3	10.1	10.0
38	10.3	10.1	9.9	10.1	9.8	9.8	9.8	9.5	9.3	9.1	9.1
40	9.6	9.3	9.1	9.3	9.0	9.0	8.9	8.6	8.5	8.3	8.2
42	8.9	8.6	8.4	8.5	8.2	8.2	8.2	7.9	7.8	7.6	7.5
44	8.2	7.9	7.7	7.9	7.6	7.6	7.5	7.2	7.1	6.9	6.8
46	7.7	7.4	7.2	7.3	7.0	7.0	6.9	6.6	6.5	6.2	6.1
48		6.9	6.6	6.7	6.4	6.4	6.4	6.0	5.9	5.6	5.4
50			6.2	6.2	5.9	5.9	5.9	5.5	5.3	5.0	4.9
52				5.8	5.4	5.4	5.3	4.9	4.7	4.5	4.5
54				5.4	5.0	5.0	4.8	4.4	4.2	4.0	3.8
56					4.5	4.5	4.4	4.0	3.8	3.5	3.4
58						4.1	4.0	3.6	3.4	3.1	2.9
60							3.6	3.2	3.0	2.7	2.5
62							3.2	3.8	2.6	2.4	2.2

附表 15-6 P&H7150 型起重机主臂起重能力参数表(t)

条 件	360°工作范围内,带平衡重和附加平衡重										
	主 臂 长 度 /m										
工作半径/m	18.29	21.34	24.38	27.43	30.48	33.53	36.58	39.62	42.67	45.72	48.77
5	150.0										
6	140.0	128.1	116.8								
7	123.6	121.7	111.5	102.5	94.4						
8	104.8	104.6	102.3	96.2	90.7	83.8	77.8				
9	90.0	90.4	89.8	87.1	82.7	79.5	75.2	69.6			
10	78.4	79.3	79.1	78.5	75.6	72.7	69.4	66.5	62.3	57.8	
12	61.1	62.9	63.4	63.3	62.6	61.8	59.3	56.8	54.7	52.2	50.2
14	48.5	51.2	52.3	52.6	52.3	51.8	51.1	49.5	47.7	45.5	43.8
16	38.4	42.1	43.9	44.4	44.2	44.0	43.7	43.3	42.1	40.2	38.7
18		34.6	37.1	38.2	37.9	37.7	37.5	37.4	37.1	36.0	34.7
20			31.3	32.9	33.1	32.9	32.7	32.5	32.3	32.2	31.2
22			26.0	28.3	29.3	29.1	28.9	28.7	28.5	28.4	28.1

续附表 15-6

条 件		360°工作范围内,带平衡重和附加平衡重										
工作半径/m	主 臂 长 度 /m											
	18.29	21.34	24.38	27.43	30.48	33.53	36.58	39.62	42.67	45.72	48.77	
24				24.1	25.5	26.1	25.8	25.7	25.4	25.3	25.0	
26					22.1	23.2	23.3	23.1	22.9	22.7	22.5	
28						20.3	21.0	21.0	20.8	20.6	20.3	
30						17.6	18.6	19.1	18.9	18.8	18.5	
32							16.3	17.1	17.4	17.2	16.9	
34								15.1	15.7	15.9	15.6	
36									14.0	14.4	14.4	
38									12.3	12.9	13.1	
40										11.5	11.8	
42											10.5	
条 件		360°工作范围内,带平衡重和附加平衡重										
工作半径/m	主 臂 长 度 /m											
	51.82	54.86	57.91	60.96	64.01	67.06	70.10	73.15	76.20	79.25	82.30	
12	46.9	43.5	40.0									
14	41.8	40.3	38.1	37.0	36.2	33.5	30.3					
16	36.9	35.6	33.8	35.6	35.2	32.7	29.6	27.1	25.0	22.8	20.3	
18	33.0	31.8	30.2	32.9	33.7	31.3	28.8	26.4	24.4	22.1	19.7	
20	29.8	28.7	27.2	29.5	31.8	30.5	27.6	25.7	23.8	21.6	19.2	
22	27.1	26.0	24.7	26.6	27.9	27.9	26.8	24.6	22.7	21.0	18.6	
24	24.7	23.8	22.5	24.2	24.7	24.7	24.7	23.9	21.4	19.6	18.0	
26	22.3	21.8	20.7	22.0	22.1	22.1	22.1	21.8	20.1	18.2	16.9	
28	20.2	19.9	19.0	20.1	19.9	19.9	19.8	19.6	18.8	17.0	15.7	
30	18.4	18.1	17.5	18.3	18.0	18.0	18.0	17.7	17.6	15.8	14.6	
32	16.8	16.5	16.1	16.6	16.4	16.4	16.3	16.1	15.9	14.8	13.5	
34	15.4	15.1	14.9	15.2	15.0	15.0	14.9	14.6	14.5	13.8	12.5	
36	14.2	13.9	13.8	14.0	13.7	13.7	13.7	13.4	13.3	12.7	11.5	
38	13.2	12.9	12.7	12.9	12.6	12.6	12.6	12.3	12.2	11.6	10.4	
40	12.0	11.9	11.7	11.9	11.6	11.6	11.6	11.3	11.2	10.6	9.7	
42	10.8	10.8	10.7	11.1	10.8	10.8	10.7	10.4	10.3	9.9	9.0	
44	9.7	9.8	9.7	10.3	10.0	10.0	9.9	9.6	9.5	9.3	8.5	
46	8.6	8.8	9.6	9.3	9.3	9.2	8.9	8.8	8.6	8.6	7.8	
48		7.8	7.9	8.9	8.6	8.6	8.5	8.2	8.1	7.9	7.4	
50			70.0	8.3	8.0	8.0	7.9	7.6	7.5	7.3	6.8	
52				7.8	7.5	7.5	7.4	7.1	7.0	6.8	6.3	
54				7.3	7.0	7.0	6.9	6.6	6.4	6.2	5.8	
56					6.5	6.5	6.4	6.1	5.9	5.6	5.4	
58						6.1	6.0	5.6	5.4	5.1	4.9	
60							5.2	5.2	5.0	4.7	4.5	
62								5.1	4.7	4.5	4.1	
64									4.3	4.1	3.7	

(6) CC2000 型履带式起重机(最大起重量 300t)

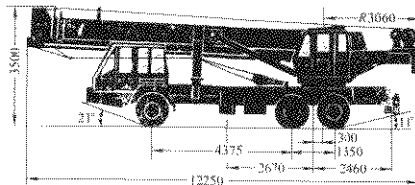
附表 15-7 CC2000 型起重机主吊臂起重能力参数表(t)

条件	配重 120t, 履带跨距 8m													
工作半径	主 臂 长 度 /m													
/m	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
6	300	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	284	282	280	277	235	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	252	250	249	248	217	203	-	-	-	-	-	-	-	-
9	221	220	219	217	202	190	179	-	-	-	-	-	-	-
10	194	193	192	191	188	179	170	151	132	109	90	78.5	-	-
12	144	143	143	142	141	140	140	137	123	102	83.8	72.3	61.3	50.2
14	-	114	113	112	111	110	110	109	109	96	78.5	67	56.4	45
16	-	94.6	93.7	92.7	91.9	91	90.3	89.8	89.2	88.8	73.2	62.6	52	41
18	-	80.7	79.6	78.6	77.8	76.9	76.2	75.6	75	74.5	68.8	58.2	48.5	37.9
20	-	-	69.1	68.1	67.2	66.3	65.6	64.9	64.4	63.9	63.4	54.7	45	34.8
22	-	-	61	59.9	59	58.1	57.3	56.7	56.1	55.6	55.1	51.1	41.9	32.6
24	-	-	-	53.4	52.4	51.5	50.7	50.1	49.5	49	48.5	47.6	38.8	30.4
26	-	-	-	48.1	47.1	46.2	45.4	44.7	44.1	43.5	43	42.7	36.1	28.6
28	-	-	-	43.8	42.7	41.7	40.9	40.2	39.6	39	38.5	38.1	34	26.1
30	-	-	-	-	39	38	37.1	36.4	35.8	35.2	34.7	34.3	31.7	25.3
34	-	-	-	-	-	32.1	31.2	30.4	29.8	29.2	28.6	28.2	27.8	22.9
38	-	-	-	-	-	27.7	26.7	25.9	25.2	24.6	24	23.5	23.2	19.8
42	-	-	-	-	-	-	23.3	22.4	21.6	21	20.4	19.9	19.5	17.6
46	-	-	-	-	-	-	-	19.6	18.8	18.1	17.4	16.8	16.3	15.8
50	-	-	-	-	-	-	-	-	16.5	15.7	14.9	14.3	13.8	13.3
54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.6	13.6	12.8	12.2	11.6
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	11.1	10.4	9.8
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6	8.9	8.2
66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	6.9
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	5.8
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1

2. 汽车式起重机

(1) QY25A 型汽车式起重机(最大起重量 25t)

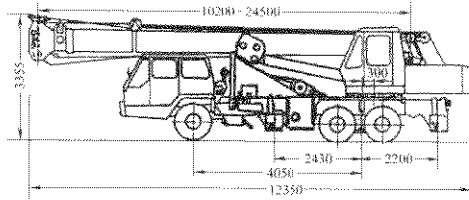
附表 15-8 QY25A 型起重机起重能力参数表



臂长/m	10.2		17.6		25	
工作半径/m	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t
3.2	10.0	25.0				
3.5	9.83	25.0	17.75	15.8		
4.0	9.55	23.0	17.60	14.3		
4.5	9.23	21.0	17.43	13.1		
5.0	8.86	19.0	17.25	12.1	25.0	9.6
5.5	8.45	17.0	17.05	11.2	24.87	8.8
6.0	7.98	15.0	16.84	10.4	24.73	8.2
7.0	6.79	12.35	16.35	9.1	24.4	7.1
8.0	5.1	10.2	15.77	8.0	24.03	6.2
9.0			15.11	7.1	23.6	5.5
10.0			14.34	6.38	23.13	4.9
11.0			13.35	5.62	22.59	4.4
12.0			12.38	4.93	22.0	4.0
14.0			9.59	3.25	20.61	3.3
16.0			4.29	2.95	18.9	2.7
18.0					16.75	2.25
20.0					13.97	1.84
22.0					9.99	1.42

(2) QY25B 汽车式起重机(最大起重量 25t)

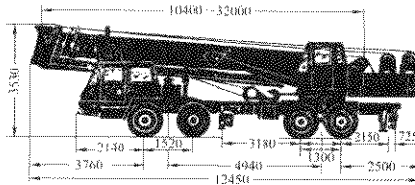
附表 15-9 QY25B 型起重机起重能力参数表(t)



臂长/m 工作半径/m	主 臂							主 + 副臂	
	10.2	12.58	14.97	17.35	19.13	22.12	24.5		
3.0	25.0							24.5 + 7.5	
3.5	20.2	16.15							
4.0	17.2	14.85	12.85						
4.5	14.8	12.95	11.95	10.75					
5.0	13.0	11.55	11.55	9.95					
5.5	11.6	10.25	10.25	9.35	8.35				
6.0	10.5	9.25	9.25	8.75	7.65	7.15			
7.0	8.3	7.55	7.66	7.45	6.95	6.35	5.75		
8.0	6.3	6.35	6.42	6.45	6.15	5.65	5.25		
9.0		5.38	5.46	5.5	5.55	5.05	4.75		
10.0		4.06	4.68	4.73	4.77	4.65	4.25		2.15
12.0			3.51	3.57	3.61	3.64	3.66		1.76
14.0				2.74	2.78	2.81	2.83		1.45
16.0					2.15	2.19	2.21		1.25
18.0						1.7	1.72		1.05
20.0							1.33		0.93
22.0							1.01	0.8	
24.0								0.68	
27.0								0.55	

(3) QY32 型汽车式起重机(最大起重量 32t)

附表 15-10 QY32 型起重机起重能力参数表(t)

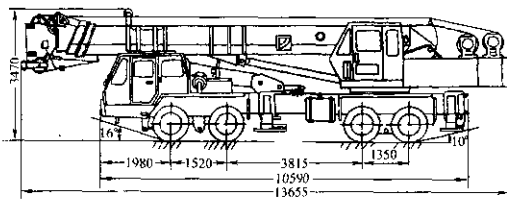


续附表 15-10

臂长/m	10.4		17.6		24.8		32	
	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m
3.0	32.0	10.6						
3.5	27.0	10.4						
4.0	23.7	10.1	17.0	17.98				
4.5	21.5	9.6	17.0	17.8				
5.0	19.6	9.49	16.5	17.63				
5.5	18.0	8.9	15.15	17.4	10.0	24.9		
6.0	16.5	8.82	13.85	17.21	10.0	24.8	7.0	32.35
6.5	15.15	7.65	12.7	16.92	10.0	24.7	7.0	32.17
7.0	13.8	7.49	11.7	16.72	10.0	24.56	7.0	32.0
8.0	11.2	5.89	10.2	16.14	8.75	24.18	7.0	31.8
8.5	9.6	4.3	9.1	15.8	8.1	23.96	6.6	31.64
9.0			8.1	15.47	7.65	23.75	6.5	31.49
10.0			6.6	14.69	6.85	23.27	6.0	31.13
11.0			5.6	13.79	6.00	22.73	5.4	30.73
12.0			4.6	12.73	5.2	22.13	4.85	30.29
14.0			3.3	9.91	3.9	20.71	4.2	29.3
16.0			2.3	4.49	2.85	18.96	3.4	28.11
18.0					2.2	16.77	2.5	26.72
20.0					1.5	13.9	2.0	25.07
22.0					1.05	9.7	1.5	23.13
24.0							1.00	20.79

(4) QY50 型汽车式起重机(最大起重量 50t)

附表 15-11 QY50 型起重机起重能力参数表(t)

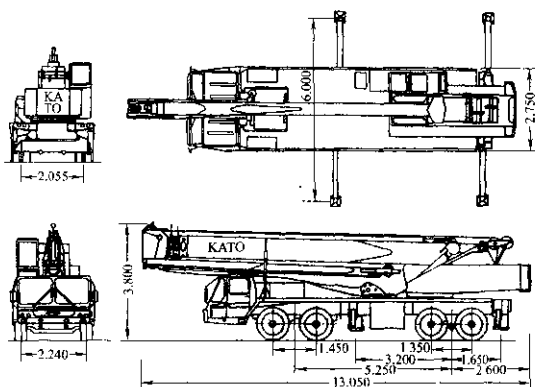


续附表 15-11

臂长/m	11		18.5		26		33.5	
	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m	起重量/t	起升高度/m
3.0	50.0	11.2						
4.0	38.0	10.7	25.0	18.8				
5.0	30.5	10.0	25.0	18.5				
6.0	24.0	9.2	21.4	18.1	14.0	26.0		
7.0	18.5	8.2	18.0	17.6	13.0	25.7	10.0	33.5
8.0	14.5	6.8	14.0	17.0	11.5	25.4	10.0	33.3
9.0	11.5	4.6	11.5	16.4	10.2	24.9	9.4	33.0
10.0			9.6	15.7	9.2	24.5	8.4	32.6
11.0			7.9	14.8	8.3	24.0	7.6	32.2
12.0			6.6	13.8	7.5	23.4	6.95	31.8
13.0			5.6	12.7	6.5	22.7	6.35	31.4
14.0			4.7	11.3	5.7	22.0	5.85	30.9
15.0			4.0	9.6	5.01	21.3	5.4	30.3
16.0			3.4	7.3	4.5	20.4	4.8	29.7
18.0					3.3	18.4	3.8	28.4
20.0					2.5	15.8	3.3	26.9
22.0					1.9	12.4	2.4	25.0
24.0							1.85	22.9
26.0							1.45	20.3
28.0							1.05	17.1

(5) NK-450 型汽车式起重机(最大起重量 45t)

附表 15-12 NK-450 型起重机主臂起重能力参数表(t)



续附表 15-12

工作半径/m	支腿全伸						不支腿
	11m	16m	22m	27m	31m	35m	
3.0	45.0						8.0
3.5	40.0	24.0					6.4
4.0	36.4	24.0	20.0				5.1
5.0	29.5	24.0	20.0	16.0			3.4
5.9	24.0	24.0	20.0	16.0	12.0		2.4
6.3	22.25	21.4	20.0	16.0	12.0	8.0	2.3
6.6	21.5	20.0	20.0	16.0	12.0	8.0	1.85
7.0	19.2	18.7	18.0	16.0	12.0	8.0	1.6
7.2	18.1	17.75	17.25	16.0	12.0	8.0	1.45
7.8	15.7	15.5	15.2	14.1	12.0	8.0	1.00
8.2	14.4	14.05	14.05	13.3	12.0	8.0	
9.0	11.9	11.6	11.25	11.15	10.95	8.0	
10.0		9.4	9.25	9.15	9.6	8.0	
10.7		8.1	8.1	8.0	8.45	8.0	
11.0		7.65	7.65	7.55	8.0	7.7	
12.0		6.4	6.4	6.35	7.0	6.85	
13.0		5.4	5.4	5.35	6.1	6.05	
14.0		4.55	4.55	4.45	5.3	5.35	
15.0			3.75	3.75	4.35	4.55	
16.0			3.15	3.15	3.6	4.05	
18.0			2.2	2.2	2.6	2.95	
20.0			1.4	1.4	1.88	2.18	
22.0				0.8	1.25	1.55	

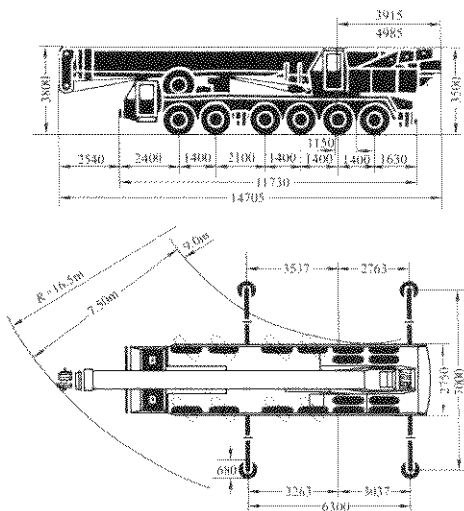
(6) TG-452型汽车式起重机(最大起重量 45t)

附表 15-13 TG-452型起重机起重能力参数表(t)

工作半径/m	主臂长度/m				仰角/ °	工作半径/m	主臂长度/m		
	10.4	17.6	24.8	32.0			17.6	24.8	32.0
3.0	45.0				80	10.0	10.2	10.3	9.2
3.5	40.0	25.0			78	12.0	7.2	7.5	7.6
4.0	36.0	25.0	18.0		75	14.0	5.4	5.6	6.0
4.5	32.5	25.0	18.0		70	16.0		4.2	4.7
5.0	29.5	25.5	18.0	12.0	65	18.0		3.2	3.7
5.5	27.0	23.0	18.0	12.0	60	20.0		2.5	2.9
6.0	25.0	21.0	18.0	12.0	55	22.0		1.8	2.3
6.5	23.0	19.5	16.7	12.0	50	24.0			1.8
7.0	20.5	18.0	15.6	12.0	45	26.0			1.3
7.5	18.1	16.5	14.6	12.0	40	28.0			0.9
8.0	16.3	15.2	13.6	11.3		30.0			0.6
9.0		12.9	12.0	10.2					

(7) LT1080 型汽车式起重机(最大起重量 80t)

附表 15-14 LT1080 型起重机起重能力参数表(t)



工作 幅度 /m	主 臂 长 度 /m									
	12.5		21.7		21.7		30.8		40	
	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸
3	80	80								
3.5	73	71								
4	67	63.5	43	43						
5	54	50.5	40	40						
6	44.5	41.5	36.5	36.5	30	25	25	25		
7	38	34.5	33.5	32.5	28	24.5	23	23		
8	32.5	29	30	28	26	23.5	21.5	21.5	15	15
9	28	24	27	23	24	22.5	20	19.6	14	14
10	23.5	19.5	24	18.7	22.5	20	18.4	17.7	13	13
12			17.8	12.8	18.8	14.5	15.2	13.5	11.6	11.4
14			13.2	9	14.8	10.7	13	9.9	10.5	9.8
16			10	6.3	11.6	8.1	10.8	7.8	9.6	7.8
18			7.5	4.4	9.2	6.1	8.8	5.9	8.6	6.2
20							7.1	4.4	7.6	5
22							5.7	3.2	6.4	4.1
24							4.5	2.3	5.4	3.2

续附表 15-14

工作 幅度 /m	主 臂 长 度 /m									
	12.5		21.7		21.7		30.8		40	
	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸	配重 13t	配重 6 t 全伸
26							3.5		4.5	2.4
28							2.8		3.6	1.8
30									3	1.2
32									2.2	
34									1.8	
36									1.4	

(8) TG-900E 型汽车起重机(最大起重量 90t)

附表 15-15a TG-900E 起重机起重能力参数表(t)

条件	支腿全伸、吊臂在起重机两侧及后方															
工作半径/m	12.0m 吊臂 ∠/(°)		18.0m 吊臂 ∠/(°)		24.0m 吊臂 ∠/(°)		30.0m 吊臂 ∠/(°)		36.0m 吊臂 ∠/(°)		40.0m 吊臂 ∠/(°)		44.0m 吊臂 ∠/(°)			
	3.2	73	90.0													
3.5	71	80.0	78	45.0												
4.0	68	70.0	76	45.0												
4.5	65	62.0	74	45.0	79	36.0										
5.0	63	56.0	73	45.0	78	36.0										
5.5	60	50.0	71	45.0	77	36.0										
6.0	57	45.0	69	42.0	76	36.0	79	27.0								
6.5	54	41.0	68	39.4	75	34.0	78	27.0								
7.0	51	38.0	66	37.0	74	32.2	77	25.7	80	22.0						
7.5	48	35.0	64	34.6	72	30.6	76	24.2	79	22.0						
8.0	44	32.5	62	32.5	70	29.0	75	22.9	78	20.7	80	18.0				
9.0	36	26.3	59	28.6	68	26.0	73	20.4	77	18.5	79	16.6	80	12.0		
10.0	26	21.5	55	21.9	66	22.0	71	18.4	75	16.6	77	15.3	79	12.0		
11.0	4	17.8	50	18.4	62	18.6	69	16.6	73	15.0	75	14.0	78	12.0		
12.0			46	15.7	60	15.8	67	15.2	71	13.8	74	12.8	76	11.4		
14.0			36	11.7	54	11.8	63	11.8	69	11.3	71	10.8	74	9.7		
16.0			21	8.9	48	9.0	58	9.1	65	9.1	68	9.2	70	8.4		
18.0					40	7.0	53	7.1	61	7.1	65	7.6	68	7.4		
20.0					32	5.5	48	5.5	57	5.5	61	6.1	65	6.3		
22.0					18	4.2	43	4.3	53	4.3	58	4.8	62	5.2		
24.0							36	3.3	48	3.3	54	3.9	53	4.2		
26.0							28	2.5	44	2.5	51	3.0	55	3.4		
28.0							17	1.7	39	1.8	46	2.3	52	2.7		
30.0											42	1.7	48	2.0		
32.0													44	1.5		

附表 15-15b TG-900E 起重机起重能力参数表(t)

条件	支腿全伸,在前方区域及360°旋转													
	12.0m 吊臂 ∠/(°)		18.0m 吊臂 ∠/(°)		24.0m 吊臂 ∠/(°)		30.0m 吊臂 ∠/(°)		36.0m 吊臂 ∠/(°)		40.0m 吊臂 ∠/(°)		44.0m 吊臂 ∠/(°)	
3.2	73	60.0												
3.5	71	60.0	78	36.0										
4.0	68	60.0	76	36.0										
4.5	65	60.0	74	36.0	79	27.0								
5.0	63	56.0	73	36.0	78	27.0								
5.5	60	48.6	71	36.0	77	27.0								
6.0	57	38.2	69	36.0	76	27.0	79	22.0						
6.5	54	31.1	68	31.4	75	27.0	78	22.0						
7.0	51	26.0	66	26.3	74	26.4	77	22.0	80	18.0				
7.5	48	22.1	64	22.4	72	22.5	76	22.0	79	18.0				
8.0	44	19.1	62	19.4	70	19.5	75	19.5	78	18.0	80	12.0		
9.0	36	14.6	59	14.9	68	15.0	73	15.1	77	15.1	79	12.0	80	10.0
10.0	26	11.4	55	11.8	66	11.9	71	12.0	75	12.0	77	12.0	79	10.0
11.0	4	8.9	50	9.5	62	9.6	69	9.7	73	9.7	75	10.3	78	10.0
12.0			46	7.8	60	7.9	67	7.9	71	7.9	74	8.5	76	9.0
14.0			36	5.2	54	5.3	63	5.4	69	5.4	71	5.9	74	6.4
16.0			21	3.4	48	3.6	58	3.6	65	3.6	66	4.2	70	4.6
18.0					40	2.3	53	2.4	61	2.4	65	2.9	68	3.3

注:粗线上方起重量由吊臂强度决定,粗线下方起重量由起重机整机稳定性决定。

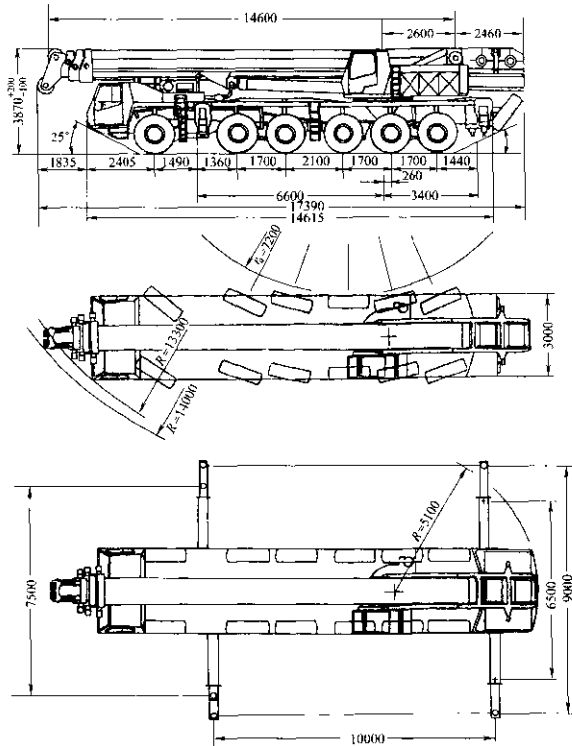
(9) PQH9125 型汽车式起重机(最大起重量 125t)

附表 15-16 PQH9125 型起重机起重能力参数表(t)

工作半径/m	主 臂 长 度/m					
	12.19	18.29	21.34	24.38	27.45	30.48
3.6	127.0					
4	113.5					
4.5	108.0	99.5				
5	98.0	91.0				
6	77.0	76.4	76.1			
7	62.0	61.6	61.5	61.4	61.3	
8	50.4	51.2	51.1	50.9	50.8	50.7
9	43.8	44.6	44.4	44.3	44.2	44.1
10	38.0	38.8	38.7	38.5	38.4	38.3
12	28.3	29.1	28.9	28.8	28.7	28.6
14		22.5	22.3	22.2	22.1	22.0
16		18.3	18.2	18.0	17.9	17.8

(10) KMK6140 型汽车式起重机(最大起重量 152t)

附表 15-17 KMK6140 型起重机起重能力参数表(一)(t)



条件	全伸展, 360°任意方向, 75%、平衡重 21t										
	14.6m			25.2m			34.8m	35.5m	44.6m	46.1m	
工作半径 /m											
3	140.0	124.0	99.0								
4	116.0	105.0	85.0	80.0	80.0						
5	99.0	91.0	74.0	80.0	73.0	47.5	41.0				
6	83.0	80.0	65.0	73.0	64.5	47.5	41.0				
7	64.5	69.0	58.0	66.0	57.5	44.5	41.0				
8	49.0	58.5	52.5	57.5	51.5	41.5	39.0	23.5		20.5	
9	39.0	48.5	48.0	47.0	46.5	38.5	36.5	23.5		20.5	
10	32.0	39.5	44.0	38.0	42.0	36.0	34.3	23.5		20.5	

续附表 15-17

条件		全伸腿,360°任意方向,75%、平衡重 21t							
工作半径 /m	14.6m			25.2m		34.8m	35.5m	44.6m	46.1m
	12				26.8	31.2	31.7	30.2	22.5
14				19.7	23.5	24.9	24.9	20.6	19.2
16				15.0	18.3	19.7	19.7	18.8	17.8
18				11.4	14.5	15.8	15.8	17.3	16.6
20				8.7	11.5	12.9	12.9	14.5	14.5
22				6.5	9.1	10.5	10.5	12.2	12.2
24						8.5	8.5	10.3	10.3
26						6.9	6.9	8.6	8.6
28						5.5	5.5	7.2	7.2
30						4.4	4.4	6.1	6.1
32							3.4	5.0	5.0
34								4.2	4.2
36								3.4	3.4
38								2.7	2.7
40								2.1	2.1

附表 15-18 KMK6140 型起重机起重能力参数表(二)(t)

条件		全伸腿,360°任意方向,85%、平衡重 21t							
工作半径 /m	14.6m			25.2m		34.8m	33.5m	44.6m	46.1m
	3	152.0	136.0	108.0					
4	127.0	115.0	93.0	88.0	88.0				
5	108.0	100.0	81.0	88.0	80.0	52.0	45.0		
6	91.0	88.0	71.5	80.0	70.5	52.0	45.0		
7	70.5	75.5	63.5	72.5	63.0	48.5	45.0		
8	53.5	64.0	57.5	63.0	56.5	45.5	42.5	25.5	22.0
9	42.5	53.5	52.5	51.5	51.0	40.0	40.0	25.5	22.0
10	35.0	43.5	48.0	42.0	46.0	39.5	37.5	25.5	22.0
12				29.4	34.3	34.8	33.2	24.5	22.0
14				21.6	25.8	27.4	27.4	22.5	21.1
16				16.5	20.1	21.6	21.6	20.5	19.6
18				12.5	15.9	17.3	17.3	19.0	18.2
20				9.5	12.6	14.2	14.2	15.9	15.9
22				7.1	10.0	11.5	11.5	13.4	13.4
24						9.3	9.3	11.3	11.3
26						7.6	7.6	9.4	9.4
28						6.0	6.0	7.9	7.9
30						4.8	4.8	6.7	6.7
32							3.7	5.5	5.5
34								4.6	4.6
36								3.7	3.7
38								2.9	2.9
40								2.3	2.3

附表 15-19 KMK6140 型起重机起重能力参数表(三)(t)

条 件	全伸腿、360°任意方向、85%平衡重 28t						
	工作半径/m	14.6m		25.2m		35.3m	46.1m
3	152.0	136.0	108.0				
4	133.0	115.0	93.0	88.0	88.0		
5	113.0	101.0	81.5	88.0	80.0	45.0	
6	94.0	89.0	72.5	86.5	70.5	45.0	
7	80.0	79.0	64.5	78.0	63.0	45.0	
8	62.0	69.0	58.0	67.5	56.5	42.5	22.0
9	49.5	59.0	52.5	58.0	51.0	40.0	22.0
10	40.5	50.0	48.0	48.0	46.0	37.5	22.0
12				34.0	38.9	33.2	22.0
14				25.0	29.7	29.7	21.1
16				19.5	23.3	24.7	19.6
18				15.0	18.7	20.1	18.2
20				12.0	15.1	16.6	16.9
22				9.3	12.1	13.7	15.5
24						11.4	13.2
26						9.4	11.3
28						7.8	9.6
30						6.3	8.2
32						5.1	7.0
34							5.9
36							5.0
38							4.1
40							3.5

3. 轮胎式起重机

(1) QLD20、QLD20A 型轮胎式起重机(最大起重量 20t)

附表 15-20 QLD20、QLD20A 型起重机起重能力参数表

臂长 /m	12			15			18			21		24	
	起重量/t		起升高度 /m	起重量/t		起升高度 /m	起重量/t		起升高度 /m	起重量 (支腿) /t	起升高度 /m	起重量 (支腿) /t	起升高度 /m
	支腿	不支腿		支腿	不支腿		支腿	不支腿					
3.2	20.0	6.5	10.8										
3.5	18.2	6.5	10.7										
4.0	16.0	5.7	10.6	15.8	5.5	13.9							
4.5	14.2	5.0	10.5	14.0	4.9	13.7	13.1	4.7	16.5				
5.0	12.8	4.3	10.4	12.6	4.1	13.6	12.1	3.9	16.4	10.9	19.7		
5.5	11.6	3.7	10.3	11.5	3.5	13.5	11.0	3.3	16.3	10.1	19.6	9.1	
6.5	9.5	2.9	9.7	9.4	2.7	13.2	9.3	2.5	16.1	8.8	19.4	8.2	
8.0	6.8	2.0	9.0	6.7	1.9	12.5	6.7	1.7	15.6	6.6	19.0	6.5	
9.5	5.3	1.5	8.1	5.2	1.4	11.6	5.2	1.2	15.0	5.1	18.4	5.0	
11.0	4.3		6.6	4.2	1.1	10.5	4.2	0.9	14.2	4.1	17.7	4.0	
12.5				3.5		9.0	3.5		13.1	3.4	16.8	3.3	
14.0							2.8		11.6	2.7	15.7	2.4	
15.5							2.5		10.2	2.4	14.5	2.2	
17.0											2.0	17.4	

(2) QLY25 型轮胎式起重机(最大起重量 25t)

附表 15-21 QLY25 型起重机(放支腿)起重能力参数表

臂 长 /m	8.3		13.8		19.3		24.8		主臂+副臂 31.45m	
	起重量 /t	起升高度 /m	起重量 /t	起升高度 /m	起重量 /t	起升高度 /m	起重量 /t	起升高度 /m	起重量 /t	起升高度 /m
3.0	25.0	9.67	16.0	15.39						
3.5	24.5	9.46	14.5	15.29						
4.0	21.7	9.21	13.3	15.13						
4.5	19.3	8.91	12.3	14.97	9.0	20.64				
5.0	17.0	8.56	11.3	14.78	8.3	20.52				
5.5	15.3	8.16	10.5	14.58	7.6	20.41	6.0	26.03		
6.0	12.6	7.68	9.8	14.35	7.1	20.22	5.6	25.94		
7.0			8.3	13.82	6.2	19.86	4.9	25.67	3.0	32.38
8.0			7.1	13.17	5.5	19.44	4.4	25.35	2.6	32.08
9.0			6.0	12.39	4.9	18.95	3.9	24.98	2.2	31.75
10.0			5.0	11.54	4.3	18.39	3.5	24.57	2.0	31.37
11.0			4.1	10.26	3.8	17.74	3.1	24.10	1.8	30.96
12.0			3.5	8.75	3.3	16.99	2.8	23.58	1.5	30.51
13.0					2.9	16.15	2.5	22.99	1.4	30.01
14.0					2.5	15.17	2.3	22.34	1.2	29.47
15.0					2.2	14.03	2.1	21.66	1.1	28.87
16.0					1.95	12.68	1.9	20.82	1.0	28.23
17.0					1.75	11.03	1.7	19.93	0.85	28.53
18.0							1.5	18.94	0.75	26.77
19.0							1.3	17.82	0.64	25.95
20.0							1.2	16.32	0.55	25.05
21							1.1	15.07	0.47	25.07
22							1.0	13.33	0.39	23.0
23							0.9	11.16	0.32	21.82
24									0.25	20.51
25									0.19	19.04

续附表 15-22

幅度/m	臂长 27m		臂长 30m		臂长 33m		臂长 36m		臂长 39m		臂长 42m	
	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m	起重量 (放支腿) /t	起升 高度 /m
5												
5.5												
6												
7												
8	18.9	22.35										
9	15.5	22.75	16.1	25.45								
10	13	23.05	13.5	25.85	13.3	28.65						
11.5	10.3	23.05	10.7	26.05	10.5	38.75	10.3	31.55	10.1	34.4	10	37.23
13	8.4	22.6	8.7	25.8	8.5	28.7	8.3	31.6	8.1	34.55	7.9	37.25
14.5	7	22.3	7.2	25.4	7	28.42	6.8	31.5	6.6	34.47	6.4	37.5
16	5.9	21.65	6	24.95	5.8	28.03	5.6	31.1	5.4	34.25	5.2	37.2
17.5	5	20.65	5.1	24.25	4.9	27.45	4.7	30.7	4.5	33.8	4.3	37
19	4.2	19.55	4.3	23.3	4.1	26.8	3.9	30.2	3.7	33.4	3.5	36.6
21			3.5	21.8	3.3	25.5	3.1	29.15	2.9	32.55	2.7	35.85
23					2.6	24	2.4	27.8	2.2	31.5	2	35
25									1.7	30.1	1.5	33.75

注:1. 臂长 15~27m,配重为 40t,臂长 30~42m,配重为 5.5t。

2. 起升钢丝绳直径 $d=23.5\text{mm}$,最大允许负荷为 400kN。

3. 当起重量臂长 15m 收支腿工作时,允许在平坦路面上按不放支腿额定起重量 75% 负荷行驶

附录十六 牵引平板拖车

附表 16-1 牵引平板拖车性能参数表

型 号			半 挂				全 挂				
			HY 955	HY 951B	HY 960	HY 962	HY 873	SSG 840	HY 882	SSG 880	QC 150
参数			HY462	HY462	HY471	HY413	XD980	TATRA 141	TATRA 141	XD160	SH980 220HD
载重量/t			20	25	50	50	25	40	50	80	150
主要 尺 寸 /mm	列车外形尺寸 货台尺寸	长	9150	10070	10945	10945	10990	9900	12030	11995	14800
		宽	2440	3050	3220	3220	2900	3200	3200	3550	3700
		高	1970	1950	3075	2920	1880	1543	1750	2050	1600
		宽	9020	7000	6965	6965	6000	6000	6200	7000	12600
		高	2350	3050	3220	3220	2900	3200	3200	3500	3560
最高行驶速度 /km·h ⁻¹			61	61	62	64	37	15	15	15	
最小转弯半径/m			9	9.75	11	14	12.5	9.2	11.7	10.7	10.4

附录十七 慢速建筑卷扬机

附表 17-1 慢速建筑卷扬机性能参数表

型号	钢丝绳 额定拉力 /kN	钢丝绳 额定速度 /m·min ⁻¹	卷筒容 绳量 /m	钢丝绳 直径 /mm	电动机			外形尺寸 (长×宽×高) /mm	整机 质量 /kg	生产厂	
					型号	功率 /kW	转速 /(r·min ⁻¹)				
JM5	50	9.7	250	21.5	YZR180L-8	11	700	1820×1880×1037	1700	如皋县建筑机械厂	
		9.8	250	20.5	YZR180L-8	11	700	1837×1834×1012 2056×2000×1233	1550	天津市卷扬机厂	
		9.9	250	21.5		11		1640×1300×880	1380	杭州市建筑机械厂	
		9.9	250	20	YZR180-8	11	715	1640×1330×880	1380	江苏省如皋工程机械厂	
		9.9	250	21.5		17		1640×1330×880	1380	南通市矿山机械厂	
		9.74	200	24		11	685	1650×1230×1120	1450	福建省建筑机械厂	
		9.96	250	20	Y180L-8	11	730	1405×1650×926	1500	广东省佛山市起重机械厂	
		12	200	17.5		11	935	1600×1360×700	1000	无锡县建筑机械设备厂	
		9.2	300	20		11	715	1800×1220×800	1550	浙江省平阳起重机械厂	
JM5	50	10~16	100	20		16		1500×1600×850	1000	上海市吴淞建筑机械厂	
		9	250	21.5	Y180L-8	11	750	1210×1800×850	1250	重庆华光矿山机械厂	
		10.8	250	20	YZ180L	11	694	1640×1330×880	1100	重庆新光机械厂	
		10	250	20		11		1825×1582×1015	1700	上海振兴电梯厂	
		9.7	250	20	YZR180L-8	11	700	1640×1510×880	1395	陕西省宝鸡叉车制造公司	
		10	250	21.5	YZ180L	13	694	1650×1210×930	1250	重庆矿山机器厂	
		9.7	250	21.5	YZR180L-8	11	711	1637×1630×928	1370	山西机器厂	
		9.2	250	20	JZR ₂ 41-8	11	712	1567×1380×1065	1500	长沙市建筑机械厂	
		9	190	20	YZR180L-8	11	715	1820×1800×1037	1700	南京建筑机械厂	
		10.5	250	21.5	YZR180L-8	11	750	1835×1800×1015	1700	阜新市矿山机械厂	
		JM5A	9	250	21.5		11		2005×1582×1010	1700	南通市矿山机械厂
		JM8	80	9.55	400	26		22		2160×2110×1176	2985
11.5	400			26	YZR225M-8	22	750	2170×2146×1185 2540×2200×1495	2857	天津市卷扬机厂	
9.9	400			26	YZR220-8	22	718	2160×2110×1176	2985	江苏省如皋县卷扬机械厂	
9.9	400			26	YZR225M ₁ -8	22	715	2160×2110×1176	2680	阜新市矿山机械厂	
9	450			28	YZR200L-8	18.5	701	2700×1780×1243	3844	重庆矿山机器厂	
9.9	400			30	YZR200L-6	22	964	2164×2110×1180	2857	齐齐哈尔第一机械厂	
(JMWB)	78	10.8	400	26	JZR ₂ 51-8	22	723	2195×1883×1290	2800	长沙市建筑机械厂	
(JM10)	100	32	660	32		30		2170×2234×1185.5 2540×2200×1495	3550	天津市卷扬机厂	
JM10	100	10~12	100	28		30		1605×1770×960		上海市吴淞建筑机械厂	

续附表 17-1

型号	钢丝绳		卷筒容绳量 /m	钢丝绳 直径 /mm	电动机		外形尺寸 (长×宽×高) /mm	整机 质量 /kg	生产厂家
	额定拉力 /kN	额定速度 /m·min ⁻¹			型号	功率 /kW			
JM10	100	6.5	1000	31	YZR225M	22	715	3840×2305×1800	重庆矿山机器厂
		8	1000	31		22		3839×2305×1798	江西矿山机械厂
		11.3	860	31		30		3960×2080×1850	南通市矿山机械厂
		9.1	350	31		22	718	2310×2170×1180	浙江省平阳起重机械厂
JM12	120	10	1200	33			28	3900×2200×1800	重庆矿山机器厂
JM12	120	9.9	600	32.5	YZR225M ₂ -8	27	750	7600×3120×1530	阜新市矿山机械
JM16	160	13.5	1400	39			55	4140×2430×1941	重庆矿山机器厂
JM20	200	10.9	1200	40			55	4340×2430×2018	重庆矿山机器厂
JM20	200	9.6	600	43	YR280S-8	55	723	3820×3360×2085	阜新市矿山机械
JM32	320	12	1300	52			100	5000×2720×2434	重庆矿山机器厂
		75							
JM50	500	9	800	72			130	7700×3200×3000	重庆矿山机器厂

附录十八 起重工程名词术语

一、起重机械

起重机械

以间歇周期的工作方式,通过起升、变幅、回转、行走四大机构完成重物的运输及吊装的机械设备,分为单动作和多动作两大类。

千斤顶(顶升器)

用刚性顶升件作为工作装置,通过顶部托座或底部托爪在小行程内顶升重物的轻小起重设备。

齿条千斤顶(齿条顶升器)

采用齿条作为刚性顶升件的千斤顶。

螺旋千斤顶(螺旋顶升器)

采用螺杆或由螺杆推动的升降套筒作为刚性顶升件的千斤顶。

手动螺旋千斤顶

采用人力作为动力的螺杆或推动的升降套筒,为刚性顶升件的千斤顶。

电动螺旋千斤顶

采用电动机为动力的螺杆或电动螺杆推动的升降套筒作为刚性顶升件的千斤顶。

液压千斤顶

采用柱塞或液压缸作为刚性顶升件的千斤顶。

活塞式液压千斤顶

采用活塞与液压缸作为刚性顶升件的千斤顶。

起重葫芦

安装在公共吊梁上的驱动装置、传动装置、制动装置以及挠性卷放、或夹持装置带动取物装置升降的轻小起重设备。

手动葫芦(神仙葫芦)(斤不落)(手拉葫芦)

由人力通过曳引链和链轮驱动,最后经呈轮或有槽链卷放起重链条,以带动取物装置升降的起重葫芦。

电动葫芦

由电动驱动,最后经卷筒、呈轮或有槽链轮卷放起重绳或起重链条带动取物装置升降的起重葫芦。

小车式电动葫芦(单轨电动葫芦)

电动葫芦沿一条悬挂于空中的轨道行走,进行吊运重物的轻小起重设备。

卷扬机(绞车)

由人力或机械动力驱动卷筒、卷绕绳索来完成牵引工作的装置。

手动卷扬机(手摇绞车)

以人力作为动力,通过驱动装置使卷筒回转的卷扬机。

电动卷扬机

由电动机作为动力,通过驱动装置使卷筒回转的卷扬机。

快速卷扬机

卷筒上的钢丝绳额定速度约 30m/min 的卷扬机。

慢速卷扬机

卷筒上的钢丝绳额定速度约 7~12m/min 的卷扬机。

桥架型起重机

取物装置悬挂在可沿桥梁架运行的起重小车或运行式葫芦上的起重机。

手动单梁起重机

通过手拉链条传动装置,桥架由单梁制作而成的起重机。

单梁悬挂起重机

悬挂在高架单梁下可以自由运行的起重机。

移动式起重机

整机可以沿着轨道或无轨道自由移动的起重机。

固定式起重机

固定在基础上或支撑在基座上只能原地工作的起重机。

缆索式起重机(走线滑车)

挂有取物装置的起重小车沿架空承载索运行的起重机。

通用桥式起重机

普通用途的桥式起重机,它的吊具是吊钩型、抓斗型、电磁吸盘型中的一种或同时使用其中的两种、一种。

单主梁桥式起重机

具有一根主梁的桥式起重机。

双梁桥式起重机

具有两根主梁的桥式起重机。

吊钩桥式起重机

用吊钩作为吊具的桥式起重机。

抓斗桥式起重机

用抓斗作为吊具的桥式起重机。

电磁吸盘桥式起重机

用电磁吸盘作为吊具的桥式起重机。

手动桥式起重机

由人力驱动的桥式起重机。

电动桥式起重机

由电力驱动的桥式起重机。

液压桥式起重机

由液压驱动的桥式起重机。

电动葫芦桥式起重机

采用电动葫芦作为小车上起升机构的桥式起重机。

塔式起重机

臂架安置在垂直的塔身顶部的可回转臂架型起重机。

汽车式塔式起重机

以汽车底盘为运行底架的塔式起重机。

履带式塔式起重机

以履带底盘为运行底架的塔式起重机。

自升式塔式起重机

依靠自身的专门装置,增、减塔身标准节或自行整体爬升的塔式起重机。

门式起重机(龙门式起重机)

用门架组成的起重机。

流动式起重机(自行式起重机)

可以配备立柱或塔架,能在带载或空载情况下沿无轨路面行走,依靠自重保持稳定的臂架型起重机。

臂架型起重机

取物装置悬挂在臂架顶端,或挂在可沿臂架运行的起重小车上的起重机。

桅杆起重机

臂架下端与桅杆下部铰接,上端通过钢丝绳与桅顶相连,桅杆本身依靠顶部和底部支承保持直立状态的可回转臂架型起重机。

固定式桅杆起重机

固定在基础或其它固定底座上的桅杆起重机。

缆绳式桅杆起重机(回转式桅杆起重机)(强令机)

由多条缆绳(伞索)支承桅杆顶部并使之保持直立的桅杆起重机。

移动式桅杆起重机

具有运行底座架的桅杆起重机。

单主梁门式起重机

有一根主梁的门式起重机。

双梁门式起重机

有两根主梁的门式起重机。

框架型门式起重机

在同一侧轨道的支腿上方的侧门架,用双型梁将两侧支腿门架联接起来的门式起重机。

爬升式起重机

装在正在修建的建筑物构件上,能随着建筑的增高,而依靠自身机构整体向上断续爬升的起重机。

悬臂起重机

取物装置悬挂在臂端或悬挂在可沿臂运行的起重小车上,悬臂不能俯仰的臂架型起重机。

墙式悬臂起重机

固定在墙壁上的悬臂起重机,或者可沿墙上或其他支承结构上的高架轨道运行的悬臂起重机。

汽车式起重机(汽车吊)

以通用或专用的汽车底盘为运行底架的流动式起重机。

轮胎式起重机(轮胎吊)

装有充气轮胎,以特制底盘为运行底架的流动式起重机。

履带式起重机(履带吊、坦克吊)

以履带为运行底架的流动式起重机。

铁路式起重机

在铁路上运行,从事装卸作业以及铁路机车、车辆颠覆等事故救援的臂架型起重机。

门座式起重机

桥架通过两侧支腿支承在地面轨道或地基上的桥架型起重机:具有沿地面轨道运行,下方可通过铁路车辆或其他地面车辆。

起重桅杆(抱子)(把杆)(抱杆)

是一根实体或构架或金属钢管所组成的竖直或略有倾斜的桅杆,用缆绳使其稳定,并有起升机构

或同时有变幅机构组成的起重设备。

独脚桅杆(单桅杆)

由缆绳支承的立柱兼臂架作用的桅杆,有的在桅杆上部设有小臂架。

人字桅杆

由两根木质杆或两根金属钢管杆或型钢构架杆,组成人字形的桅杆。一般两杆底脚的宽度 $b = h/3$, h 为桅杆交叉点到地面的垂直高度。

A字桅杆

由两副独脚桅杆组成人字形桅杆后,在中部再加上横梁,使其呈稳定的A字形桅杆。

门式桅杆(龙门桅杆)

由两副独脚桅杆在上部用横梁连接而成,呈门字形的桅杆。在横梁上安装起重滑车组,以便于吊装。

木桅杆

用整根坚韧圆木料或方木料制成的桅杆,粗细及高度按起重重量大小而定。

钢管桅杆

由金属钢管制成的桅杆。其钢管的直径和长度由起重量和提升高度而定。

格构式桅杆

由型钢制成框架形式的桅杆。其截面一般呈方形,为了便于搬运和装配,一般都分成几段,用精制螺栓连接紧固。在桅杆顶部有缆风盘、吊耳,底部有球铰底座。

二、吊索具

索具

吊装或移运物体时所必须的连接工具的统称。

白棕绳

用植物纤维龙舌兰麻为原料所制成的绳子。

尼龙绳

用化学纤维尼龙所制成的绳子。

钢丝绳

采用高强优质碳素钢丝,经过冷拔和热处理等工艺制成钢丝股,再用数条股围绕一个芯子捻成绳。

吊索(千斤绳)

利用钢丝绳(一般宜采用 6×37)按需要制成一定长度,两端按要求插接成圆环形,以便于捆绑重物

或吊装件。

滑动绳(移动绳)

吊装物体或移运物体时,用绳子来控制其速度或位置,此过程中所使用绳子的总称。

绳夹(绳卡)(轧头)

能夹牢绳子的一种夹子(卡子),常用于固定钢丝绳末端的夹接作用。

套环(三角圈)(桃子圈)

装在钢丝绳端头,作固定连接用的附件,以保护钢丝绳弯曲处呈一弧度,而不易被折断。

钢丝绳轧头(钢丝卡子)

用来夹紧钢丝绳末端或连接两根钢丝绳的一种夹子,可用螺栓来紧固其连接的牢度。

链条

用金属制成的环圈并相互连成绳子状。

松紧螺栓(花篮螺栓松紧器)

利用螺纹来调节松紧作用,使钢丝绳达到紧松要求的一种索具。

开式索具螺旋扣(花篮螺丝)

由两个相反螺旋组成两个螺栓与连接杆,用其调节索具的紧松程度。

吊具

吊装所需工具的总称。

卸扣(卸甲)(卸夹)

装在钢丝绳与吊装件之间,或构件与构件之间的临时连接的一种附件,是常用索具的一种。

螺旋式卸扣

利用螺纹连接使钢丝绳与附件或吊装件连接的一种常用索具。

销子式卸扣

利用销子连接使钢丝绳与附件或吊装件连接的一种常用索具。

吊耳

起重吊装时,采用金属板件或管件制作成便于索具接的特殊构件,焊接在设备、容器、塔类、桅杆、固定锚点、平衡梁等结构件上。

板式吊耳

起重吊装时,受力的系接点采用钢板或其它金属材料所制作成的吊耳。

管式吊耳

起重吊装时,受力的系接点采用钢管或其它金

属管件所制作成的吊耳。

吊钩

取物装置的一种类型。端部制作成钩状的吊具,常用的是金属锻造吊钩和叠片式吊钩两种。

吊环

取物装置的一种类型,是环状吊具的一种。吊装时安全可靠,但使用不如吊钩方便。

平衡梁

在吊装设备或构件时,为使一组钢丝绳或吊索受力均衡,并保持平衡,使其平衡起吊或者不致被绳索擦坏的一种吊具。

专用吊具

在吊装设备或构件时,为了使其平稳或方便吊装而专门设置的一种吊装工具。

滑轮(铁滑车)(铁葫芦)

吊装重物时,使其能省力的一种起重工具,其轮可自由转动,以改变牵引绳的方向,代号为“H”。

定滑轮(定滑车)

在起重吊装过程中,滑轮不随所吊重物运动而移动,即为定滑轮。定滑轮不能省力。

动滑轮(动滑车)

在起重吊装过程中,滑轮随所吊重物作用方向运动的即为动滑轮。动滑轮能省力。

导向滑轮(单门滑车)

吊装或牵引物体过程中,用来改变钢丝绳受力方向的滑轮。

平衡滑轮(过桥滑轮)

吊装或牵引物体过程中,使其受力得到平衡的滑轮。

吊钩式滑车

带有吊钩的滑车,结构形式代号为“G”(例如: $H10 \times 2G$ 即为 10t 二轮吊钩式滑车)。

吊环式滑车

带有吊环的滑车,结构形式代号为“O”(例如: $H10 \times 2O$ 即为 10t 二轮吊环式滑车)。

链环式滑车

带有链环的滑车,结构形式代号为“L”(例如: $H5 \times 1K1$, 即为 5t 单轮开口链环式滑车)。

吊梁式滑车

吊梁与滑车连成一体的滑车,结构形式代号为“W”。

开口式滑车

钢丝绳能自由放入滑车的轮槽内,结构形式代号为“K”,如果不带K即为闭口式滑车。

单轮滑车

仅有一个滑轮的滑车。

多轮滑车

带有多个滑轮的滑车。

滑车组(滑轮组)

由定滑车和动滑车通过绳索连贯地绕过滑轮的轮子所组成的整套吊索具。

起重滑车组

用于起重吊装过程中的主要受力滑车组,也称为主滑车组。

变幅滑车组

在主滑车组的两旁(左右或前后)附加的滑车组,使主体物起稳定作用。

制动滑车组

能制动主体物向相反方向运动而附加的滑车组。

缆风绳(镇绳)(稳绳)

连接桅杆顶部支承件与锚碇间的绳索,用以保持桅杆的稳定与直立。

地锚(锚碇)

用来锚固卷扬机、导向滑轮、缆风绳、溜绳、起重机或桅杆平衡绳等埋设于地下的特殊固定装置。

全埋式地锚

将地锚埋入一定深度的坑内,其上部应覆盖一定厚度的坚实土层,前部常设有挡墙构件。

重压式地锚(半埋式地锚)

地锚部分埋入坑内,其上部加以足够的重物,使其处于稳定工作状态。

活动式地锚(积木式地锚)

地锚全部露在地面上,不固定于某一定位点,而依靠重物使其锚碇临时固定,并处于稳定的工作状态。活动式地锚最大特点是转移方便。

锚固式地锚(永久性地锚)

采用钢筋混凝土浇灌或其它形式,固定于某一特定位置的地锚。

托排(托板)(拖排)

一种简便易行的重物搬运工具。托排不属于标准件,常用的有木托排和钢托排两种形式。

滚杠(滚管)(走管)

与托排配合使用的、长度按实际需要的一种金属直管。常采用无缝钢管作为滚杠的主材。

三角架

由三根棒状物体组成,在起重吊装使用时,将三根棒状一端紧固牢,另一端立在地上呈三角形。常采用三根圆木杆或三根钢管组成。

撬杠

采用棒状杆件,利用三点原理(力点、支点、作用点)将物体起升或抬起。撬杠常采用圆钢制成,一端锻成尖头状,另一端锻成扁状并略带翘角,以便于撬起物体。

道木(枕木)

截面为矩形的坚韧木材,在起重工程中用作荷重的临时支承。

走板(跳板)

截面呈扁状的矩形板材。

吊架(铁扁担)

采用型钢或钢管制成的一种吊装工具,按实际工作需要可制成不同形状。

起重横梁

对称地装有两个或两个以上的吊具,作为吊运长形的设备或构件的横梁。

滚靴(地牛)

采用滚珠(柱)等钢材制成靴状的结构件。可用作重物在平坦的场地中搬运。

跑绳

穿绕滑车组用的钢丝绳。

吊篮

用于垂直提升未加盖的简易载人装置。

吊笼

用于垂直提升有防护顶盖的载人装置。

三、起重工艺

静载荷

物体在静止状态下所受的载荷。

动载荷

物体在运动过程中受到震动、环境等因素影响下,所受的载荷。

动载系数

物体在吊装过程中受到震动、环境等因素的影响,用一个系数值加以修正。通常用 K 表示动载系数。

不平衡载荷

物体在吊装过程中,由于捆扎、吊点设置等因素的影响,使吊点的中心与物体的重心不相重合,从而使载荷产生不平衡。

不平衡载荷系数

物体在吊装过程中,使载荷产生不平衡现象,用一系数值加以修正。通常用 K_1 表示不平衡载荷系数。

计算载荷

被吊物体质量与吊索具质量之和,以及综合考虑到动载系数、不平衡载荷系数的影响后,通过计算所得的载荷。

牵引力

钢丝绳通过滑车组最后一个滑轮,并经过第一只导向滑轮后的工作拉力称为牵引力。

阻力系数

钢丝绳通过滑车时会产生绳索的刚性阻力和滑轮轴承的摩擦阻力,这些阻力通常用一个系数值加以修正,此系数称为阻力系数,用 ω 或 f 来表示。

滑车效率

被吊物体通过滑车组上升到一定高度后,所得到的有用功与它所作的功之比,称为滑车效率,常用 η 表示。

安全系数

进行工程设计时,或物体受到作用力时,为了防止因材料的缺陷和工作的偏差,或外力突增等因素所引起的后果,给予一定的安全值考虑,这一安全的倍数值称为安全系数。

起重量

被吊物体或被移物体的实际质量。

设备重心

被吊设备质量的中心点。

起升高度

吊具允许最高位置的垂直距离。

起升速度

稳定运动状态下,额定载荷的垂直位移速度。

幅度(回转半径)

空载时吊具垂直中心线至回转中心之间的水平距离。

起重机特性曲线

由起重机结构的承载能力、臂架的起重能力和整机抗倾覆稳定性三条曲线的包络线。

吊装角

被吊物件达到就位高度时,主滑轮组与桅杆之间夹角为吊装角(一般吊装角 $\alpha \leq 30^\circ$)。

起重倾覆力矩

起吊物件的重力和从载荷中心线至倾覆线距离的乘积。

桅杆倾斜角

由吊装工艺需要,桅杆与垂直线之间的一个倾角,称桅杆的倾斜角,一般控制在 15° 。

缆风绳地面夹角

缆风绳与地锚连接时,缆风绳与地平面之间的火角,一般控制在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 。

绳索滑轮组

改变力和速度的滑轮绳索系统。

绳轮比

钢丝绳通过滑轮时二者的直径之比为绳轮比(一般取值为 30 左右)。

钢丝绳变幅

用卷筒、钢丝绳滑轮组带动臂架改变幅度。

钢丝绳插接

钢丝绳连接的一种方法。钢丝绳用作吊索时,需要经过人工的插接后才能成为吊索,俗称小接法。

钢丝绳放绞

整卷钢丝绳在放出使用前,为了防止扭曲、打结,必须有正确的放松操作,这一过程称钢丝绳的放绞。

顺穿法

钢丝绳的端头从滑车组边上第一个滑轮穿入,然后按顺序绕过定滑轮和动滑轮,最后终端在定滑轮上固定,此种方法也称单跑头顺穿法。若滑车的门数较多,最后终端经过导向滑轮也进入卷扬机,称为双跑头顺穿法。

花穿法

为了改善滑车组的工作条件,钢丝绳的端头从滑车组中间滑车穿入,然后按花穿方法经定滑轮和动滑轮后,使滑车组受力均衡。常规有小花穿和大花穿等方法。

进出绳角

钢丝绳进入滑车组后,与滑车组钢丝绳索成一一定的角度,称为进绳角。出滑车组称为出绳角。

装卸方法

设备、构件或货物通过装卸机械,或其它起重机械装到运输工具上或卸到某一指定地点上的方法。

坡道法装卸

设备、构件或货物在装卸时,用道木或其它物件铺设一定坡度的斜面;再用滚杠等工具来进行装卸的方法。

顶升法装卸

设备、构件或货物在装卸时,采用千斤顶或其它顶升机械的方法来完成装卸作业。

提吊法装卸

设备、构件或货物在装卸时,通过起重机械的提吊来完成其装卸作业。

浮吊装卸法

设备、构件或货物在装卸时,通过浮吊起重机械等水上作业起重机来完成其装卸作业。

拖排搬运

二次运输的方法之一。常采用拖排、滚杠、钢丝绳、滑车组、卷扬机等工具来完成设备或构件的搬运。

滚杠搬运

二次运输的方法之一。主要用于中小型设备或构件的搬运。常采用滚杠、拖排、撬杠等工具由人力来完成作业。

拖车搬运

利用拖拉机、平板车或其它运输车辆来完成设备或构件的搬运作业。

漂浮于水中运输

设备、构件或货物借助于木排或竹排靠水的浮力来完成运输作业,或者设备直接抛在水中,加上不进水的措施使其漂浮水中来完成运输作业。

超限运输

被运输的设备、构件或货物,其外形尺寸、高度、重量、长度超过了运输部门或交通部门所规定的范围,而采用了特殊措施来进行运输作业。

超限运输许可证

采用特殊的措施来进行超限运输作业,并经有关部门审核批准所发的证明。

桅杆竖立

桅杆通过起重机具或起重机械,按一定的工艺

顺序,将其直立起来并加以稳定的固定,这一过程称为桅杆竖立。

桅杆移动

指桅杆已竖立后,或者已进行一段作业后,需要移动一个位置,则需要按一定的操作顺序,把直立桅杆移动一个距离,统称为桅杆移动。

桅杆拆除

吊装作业完成后,将直立的桅杆按一定的操作顺序,将其成为卧倒状态,并拆除相应的缆风系统。

滑移法立、拆

桅杆的竖立和拆除,是采用整体滑移法来进行的,并采用一定的起重机械象吊装构件一样的方法进行,一端沿地面滑移。

扳转法立、拆

桅杆的竖立和拆除,借助于一定的起重机具将桅杆直接扳立起来,拆除时也采用直接扳倒法来进行,此方法称扳转法。

单转法立、拆

桅杆的竖立和拆除,借助于已竖立好的另一付小桅杆,将其桅杆扳立起来,在扳立过程中,桅杆下端绕着支点作转动,直至桅杆竖立为止。

双转法立、拆

桅杆的竖立和拆除,借助于已竖立好的一副人字桅杆,其高度为桅杆高度的1/3,通过滑车组及缆风系统,使桅杆和人字桅杆同时进行扳转,当人字桅杆被扳倒时,桅杆下端绕支点作转动呈直立状态。

连续法移动

桅杆在移动时,其底座采用排子滚杠以及滑车组卷扬机来进行,使桅杆缆风配合控制其连续移动。

分段法拆除

在桅杆拆除时,由于环境条件的限制,不能进行整体倒下拆除,只能先在下部拆除一段或数段,然后再倒下拆除,此方法称为分段法拆除。

吊装方法

设备、构件或部件安装就位时所采用的方法。

分片吊装

设备或构件由数片分构(部)件组成,在整体吊装受到限制情况下而进行分片吊装。

整体吊装

设备或构件已经装配成整体后所进行吊装的过程。

分段吊装

设备总体或构件构架由分段组合而成,要进行安装就位时,就采用分段吊装。

扳吊法(扳立法)

设备构件在吊装过程中,始终在不离地的情况下,由卧着状态扳吊成垂直状态,最后正式就位固定。

单桅杆扳吊法

以单桅杆作为主要受力的起重机具,来进行对设备或构件的扳吊工艺操作过程,称为单桅杆扳吊法。

双桅杆扳吊法

以两支桅杆作为主要受力的起重机具,来进行对设备或构件的扳吊工艺操作过程,称为双桅杆扳吊法。

斜坡滑移法

设备或构件在安装过程中,由于就位高度的差异,必须搭设一定的斜坡,使设备或构件沿斜坡进行滑移安装就位。

提吊法(提升法)

设备或构件通过一定的起重机械和工具,使其按一定的方位和要求进行起吊、滑移、脱排、提升等过程,就位于规定的位置上。

顶升法

设备或构件通过液压顶升或机械顶升机构,再结合一定的起重工具,使其达到安装就位的目的。

双桅杆滑移吊装法

通过在基础中心线的两侧,竖立两根桅杆,配合滑车组、钢丝绳、卷扬机等起重机具,将设备或构件进行提吊就位,即双桅杆滑移方法。

单桅杆滑移吊装法

一般在单桅杆竖起后应有一个 10° 左右的倾角,通过滑车组、钢丝绳、卷扬机等起重机具,使设备或构件进行提吊就位,即单桅杆滑移吊装法。

扳起法吊装(扳拉法)

设备或构件借助于桅杆、滑车组、钢丝绳、卷扬机等起重机具,使设备或构件绕一个支点作转动,达到安装就位。

扳转法吊装(双转法)

设备或构件借助于桅杆的扳倒而围绕一个支点旋转就位,即桅杆旋转倒下的同时设备旋转起立的过程。

倾斜单桅杆直吊法

类似单桅杆滑移吊装法。适用于细长型设备或构件的吊装。

气举法

通过一定压力的空气,使其设备或构件能随之升举,直至到达安装就位的要求。

共铰座双转法

采用人字桅杆的旋转铰座与被吊设备或构件有一个共同支座,围绕这个共铰作双转运动,即设备或构件逐渐升起过程,同时人字桅杆作逐渐倒下的回转运动。

A形桅杆共铰双转法

A形桅杆的两个端脚和被吊设备或构件有一个共铰,当A形桅杆绕铰作旋转倒下的同时,设备或构件围绕铰作旋转扳起运动,直至安装就位。

无铰座单转法

设备或构件在起重机具作用下,围绕一个支点作回转运动时,采用卷扬机、滑车组、钢丝绳、地锚等措施,使设备或构件在无铰座情况下作回转运动而达到安装就位。

无锚点吊装法(无锚点吊推法)

采用框式门架桅杆与被吊设备用上下两套滑车组相连作为推举过程沿着铰链作回转运动,最后扳倒门架桅杆使设备达到安装就位的目的。

双机抬吊法

设备或构件采用两台起重机进行抬吊就位的方法。

三机抬吊法

设备或构件采用三台起重机进行抬吊,其中两台作为一端的吊点进行抬吊就位的方法。

正装法

设备或构件按工艺图纸的要求顺序进行安装,或者由下至上逐节逐段按顺序安装,此种安装方法称为顺装法。

倒装法

设备或构件在安装时,受环境或机具设备条件的限制,其安装顺序与工艺图纸的要求顺序相反,或者由上至下逐节逐段的安装,都称为倒装法。

空中翻转法

设备或构件在起吊时借助于起重机械和工具的配合,使其方位或位置进行颠倒的空中操作,称为空中翻转法。

转子穿芯

大电机的转子穿入定子中,或其它机械的转子需要穿入一定孔内等难度较高的吊装工作,统称为转子穿芯工作。

单吊点

设备或构件在起重吊装中只有一个主要受力吊装点,称为单吊点吊装。

双吊点

设备或构件在起重吊装中有两个主要受力吊装点,称为双吊点吊装。

多吊点

设备或构件在起重吊装中有几个受力吊装点,称为多吊点吊装。

高空平行移位法

设备或构件吊装到规定高度后而无法直接就位时,需要平行移位才能到达安装位置,统称为高空平行移位法。

高空转角移位法

设备或构件吊装到规定高度后而无法直接就位时,需要转角后才能到达安装位置,统称为高空转角移位法。

直升飞机吊装法

利用直升飞机对设备或构件进行吊装就位的方法。

直立单桅杆夺吊法

设备或构件通过单支桅杆和滑车组等素具配合直接吊装就位(常适合于桥式起重机的整体吊装)。

天车加辅助梁吊装法

两台不同起重量的天车,利用辅助梁加以平衡的办法来抬吊设备或构件。

天车加单桅杆吊装法

对超重的设备或零部件,可采用单桅杆与天车抬吊的办法来进行,此方法称为天车加单桅杆吊装法。

架空索道吊装法(走线滑子吊装法)(绳索式起重机吊装法)

对吊装跨度较大而重量不大的构件或设备,可利用钢丝绳在空中架设,两端加以一定拉力作相对固定,中间由滑车组加吊钩进行的吊装作业。

试吊

设备或构件在吊装准备工作全部完成后,在正式吊装前进行一次试验性的吊装,以检查准备工作

是否完善。

吊装工艺

吊装作业的操作技术。

吊装时间

从发出吊装令到吊装就位所经历的时间。

吊装就位

将设备或构件等吊装件平稳安放在基础上或指定的位置上。

找正

在纵向和横向校正设备或构件安装的位置偏差。

找平

校正设备或构件,使其平整地安置于基础上。

四、安全及其它

超载使用

超过额定载荷使用。

高处作业

在离地 3m 以上空间作业。

吊装指挥

在现场担负指挥吊装作业者。

吊装令

下达允许正式起吊的指令或指挥吊装作业的指令。

桅杆倾斜角

桅杆轴线与铅垂直线间夹角。

桅杆垂直度

桅杆轴线竖向垂直偏差与桅杆高度之比值。

安全帽

在施工现场戴的帽子,用以防护头部免受伤害。

安全带

高处作业工人预防坠落伤亡的防护用品。由带子、绳子和金属配件组成,总称为安全带。

安全网

在远处进行施工时,在其下或其侧设置的网,用以防止工作人员或物件坠下而发生事故。

安全区

不受作业安全威胁的区域。

安全信号装置

在吊装、搬运等起重工程作业中,保证安全的各

项措施通过信号来提示人们的注意,这种信号由特殊的装置给予反映出来,称为安全信号装置。

安全距离

从安全角度规定的最小允许距离。

警示牌

告诫人员注意和警惕的牌子。

围护栏杆

设置于通道和作业区周边防止高空跌落的护栏。

现场监护

在施工现场对操作者的操作进行监督和保护。

防滑鞋

为加大摩擦系数,鞋底具有较粗条纹的劳保用鞋。

起重信号

指挥起重作业的信号。

手势信号

用规定的手势传递的信号。

哨声信号

用规定的哨声传递的信号。

旗语信号

用指挥旗表达的信号。

报废标准

不再修复使用,允许作残值处理的标准。

整体稳定性

整体稳定的程度,一般用临界力与实际承载力的比值表示。

悬空

物体下方无所依附,不受支托。

滑落

滑动跌落。

高处坠落

坠落的垂直距离大于3m。

限位装置

阻止机构或设备超越极限位置的装置。

车挡

阻拦车辆自行滚移的装置。

保护装置

保护人身或设备安全的装置。

制动装置

使设备运动部分减速、停止或防止原位移动的装置。

力矩指示装置

用以指示起重机的起重量与吊臂回转半径乘积的装置。

中色建设集团有限公司概况

中色建设集团有限公司是中央企业工委 180 家大型骨干企业之一,前身是中国有色金属对外工程公司,成立于 1983 年,是国家最早的外经企业之一。公司现已发展成为以开发国内紧缺的有色金属资源和国内外工程承包为主业,网络信息、金融、房地产、旅游、实业开发、贸易等诸业共同发展的跨国性集团公司,于 1997 年以“中色建设”为名称在深交所上市。目前,集团公司拥有十多家境内外全资、控股子公司,在国内外 30 多个国家和地区设有代表处和经营机构。拥有总资产 29.2 亿元人民币。

中色建设集团有限公司拥有国家一级工程总承包资质和公路、桥梁一级施工资质,以及甲级设计资质,房地产开发资质,拥有对外经营权和中央级国际旅行社经营权。公司于 1998 年通过 ISO9001 国际质量标准体系认证,标志着公司已进入了规范管理和良性发展的轨道。

中色建设集团有限公司有着雄厚的技术力量,很强的融资能力,先进的企业管理机制和丰富的国际工程承包与有色金属资源开发经验,在国内外享有良好的声誉和市场信誉。

中色建设集团有限公司已完成和正在建设一批重大项目,诸如伊朗锌冶炼厂、伊朗铜冶炼厂、泰国铅铋合金厂、赞比亚谦比希铜矿(购得矿山产权和资源开采权)、蒙古图木尔廷敖包锌矿、国际招标世行投资的广州市内环路工程、西北三省公路项目等近百项国内外重大项目。

目前,中色建设集团有限公司拥有中国有色金属建设股份有限公司、中色非洲矿业公司、中色建设房地产开发公司、中国十五冶金建设有限公司、北京中色建筑工程有限公司、鑫海旅游公司、中华建规划设计院、广东丰粤经济发展有限公司、中色建设设备租赁公司、北京顺万乐科技发展公司等一些全资、控股子公司。

中色建设集团有限公司本着求实、诚信、创新、双赢的经营原则,热忱欢迎海内外工商界企业及人士与本公司开展业务合作,在人类跨入新千年之际,共同创造更加美好的明天。