

技术工人岗位培训读本

起重工

吉林化学工业集团公司 组织编写
黄璟一 主编

.7

化学工业出版社 
工业装备与信息工程出版中心

技术工人岗位培训读本

起 重 工

吉林化学工业集团公司 组织编写

黄璟一 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

起重工/黄璟—主编. --北京: 化学工业出版社,
2001.1
技术工人岗位培训读本
ISBN 7-5025-3017-7

I. 起… II. 黄… III. 起重机械: 运输机械-使
用-技术培训-教材 IV. TH21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75200 号

技术工人岗位培训读本

起 重 工

吉林化学工业集团公司 组织编写

黄璟—主编

责任编辑: 周国庆

责任校对: 李 丽 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982511
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8 $\frac{1}{2}$ 字数 228 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1--4000

ISBN 7-5025-3017-7/TH·79

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

为了满足企业技术工人岗位培训的需要，不断提高技术工人的理论技术水平和实际操作技能，增强技术工人在科技飞速发展形势下的技术素质以及在市场经济体制下的竞争能力，根据国家石油和化学工业局关于进行化工职业培训的要求，中国化工机械动力技术协会、吉林化学工业集团公司共同组织编写了这套《技术工人岗位培训读本》（以下简称《读本》），包括《电焊工》、《气焊工》、《检修钳工》、《管工》、《铆工》、《起重工》、《维修电工》、《仪表维修工》等8本。

这套《读本》主要具有以下特点：

（1）实用性。由长期工作在生产一线、具有丰富实践经验的工程师、高级技师编写，注重解决生产实践中的难题，注重提高技术工人的素质和能力，特别是技术工人取证后素质和能力的培养、提高。

（2）技能性。不刻意强调知识的系统性和完整性，而是注重知识和技能之间的紧密联系，突出技能和技巧。

（3）通用性。以化工行业为基础编写，但又不局限于化工行业，而是拓展到其他领域。特别是在举例方面，充分照顾到不同行业的通用性。

（4）新颖性。既介绍常用的、传统的技术、工艺、方法，又介绍新技术、新工艺、新方法。

（5）广泛性。既满足大型企业技术工人提高技能的要求，又照顾到中、小型企业技术工人生产实践的需要。

《起重工》是这套《读本》的其中之一。

起重工在工程建设、机械设备运输、检修安装及生产中发挥着重要的作用，是国家规定的特种作业工种。本工种要求从业人员具有较强的力学理论知识和丰富的实践经验。随着起重机械现代化水平的不断提高，对起重工自身素质的要求也越来越高。本书正是为了满足这

一要求而编写的。

本书主要内容包括绳索、滑轮与卡具、锚桩结构形式与能力、驱动机械与定型起重机、水平运输、吊装索具设立与实际操作、桅杆能力计算与吊装索具受力分析等。列举了大量工作实例，对起重吊装的作业程序、方法和计算进行了详尽的论述，力求简明实用，通俗易懂，便于自学。

本书主要供从事工程施工，从事各种机器和设备制造、安装、检修，以及从事各种运输作业的起重工人、工程技术人员和管理人员等学习使用。

本书由黄璟一主编，由李瑞山、乔瑞元、刘勃安等审核。

由于编者水平有限，漏误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2000年9月

目 录

绪论	1
1 设备安装的基本方法	1
1.1 分部安装法	1
1.2 整体吊装法	2
2 设备吊装过程	3
2.1 设备吊装的施工组织设计	3
2.2 起重工机具的布置	3
2.3 设备起吊前的现场准备工作	6
2.4 吊装过程	7
第 1 章 绳索	8
1 麻绳	8
1.1 麻绳种类及结构形式	8
1.2 麻绳抗拉能力计算	8
1.3 麻绳的使用注意事项	12
1.4 麻绳插接方法	12
2 钢丝绳	13
2.1 钢丝绳分类与结构形式	13
2.2 钢丝绳的技术规格	14
2.3 钢丝绳标记代号	17
2.4 钢丝绳抗拉能力计算	17
2.5 钢丝绳几种使用形式的受力变化	19
2.6 常用钢丝扣的插接形式与方法	21
2.7 钢丝绳的检验与报废标准	26
2.8 钢丝绳维护与保养	27
2.9 使用钢丝绳的一般要求	28
2.10 检验钢丝绳极限破断拉力的试验和计算方法	28
3 焊接链	29

3.1	焊接链结构和规格	29
3.2	焊接链的计算	30
3.3	焊接链末端接头	31
3.4	焊接链使用注意事项	31
第 2 章	滑轮与卡具	33
1	滑轮	33
1.1	滑轮类型与作用	33
1.2	滑轮穿绳形式	36
1.3	滑轮组最小拉紧距离的确定	36
1.4	滑轮组选用中应注意的几个问题	37
1.5	牵引绳拉力的计算	37
2	滑车	39
2.1	缆索滑车的种类与作用	40
2.2	缆索滑车使用形式和操作方法	40
2.3	链式滑车的种类与作用	42
3	滑轮与滑车的使用要求	45
4	吊环、绳卡扣和松紧螺丝	46
4.1	吊环	46
4.2	绳卡	49
4.3	松紧螺丝	52
第 3 章	锚桩结构形式与能力	54
1	坑锚的设置	54
2	坑锚能力计算	55
2.1	无挡木坑锚能力的核算	55
2.2	有挡木坑锚能力的核算	56
3	桩木抗弯能力的核算	57
4	拉力环的计算	60
5	不同结构形式的抗弯截面系数及惯性矩	60
6	埋设锚桩的注意事项	67
7	其他形式锚桩	68
第 4 章	驱动机械与定型起重机	72
1	千斤顶	72
1.1	螺旋千斤顶	72

1.2	液压千斤顶	74
1.3	使用千斤顶的注意事项	75
2	绞磨与电动卷扬机	76
2.1	绞磨	77
2.2	电动卷扬机	79
3	定型起重机	81
3.1	机动吊车使用方面问答	82
3.2	机动吊车性能表	86
3.3	吉化公司常用吊车类型及其性能	90
3.4	机动吊车吊装设备实例	113
第5章	水平运输	116
1	运输排子	116
1.1	运输排子的结构与使用	116
1.2	运输排子的拉力计算	118
1.3	滚杠的选择	120
2	运输设备的要求与操作注意事项	122
2.1	滚排运输的基本要求	122
2.2	机动车运输物件应考虑的技术问题	122
3	圆筒设备滚运和原位滑转动	123
3.1	圆筒设备滚运	123
3.2	圆筒设备的原地翻滚	125
4	东方红-75型和红旗-100型履带式拖拉机	126
5	排子水平运输实例	127
第6章	吊装索具设立与实际操作	130
1	桅杆结构形式	130
2	设立桅杆索具的形式与要求	132
3	桅杆组对与敷设索具	135
3.1	桅杆组对	135
3.2	起吊滑轮组敷设	136
3.3	拖拉绳敷设	136
3.4	场地准备	137
4	设备吊装类型与绳扣捆绑形式	138
5	桅杆竖立与移动	144

5.1	滑移法	144
5.2	旋转法	146
5.3	直角法	146
5.4	直接旋转法	147
5.5	竖立桅杆根部索具设置与起吊捆绑点的加强形式	148
5.6	桅杆的垂直移动	149
5.7	木桅杆和钢管桅杆接长方法与规定	150
5.8	桅杆的选用原则	152
第7章	桅杆能力计算与吊装索具受力分析	153
1	各种桅杆能力计算	153
1.1	独木桅杆垂直吊装能力计算	153
1.2	两木搭垂直吊装能力计算	153
1.3	独钢管桅杆垂直吊装能力计算	154
1.4	钢管人字架垂直吊装能力计算	155
1.5	角钢结构桅杆垂直吊装能力计算	155
1.6	倾斜与无偏心弯矩作用的桅杆吊装能力修正方法	156
1.7	桅杆能力计算理论	157
2	拖拉绳初张紧拉力与给桅杆压力的计算	161
3	各种桅杆吊装形式的索具受力分析与选择	164
3.1	无偏心弯矩作用的垂直独桅杆吊装	164
3.2	倾斜独桅杆吊装	169
3.3	双夺式桅杆吊装	175
3.4	回转桅杆吊装	184
3.5	平缆索起重机吊装	191
3.6	斜缆索起重机吊装	196
4	桅杆竖立与移动索具受力分析	199
4.1	旋转法竖立桅杆索具受力分析	199
4.2	移动桅杆牵引力计算	203
5	设备起吊前牵引拉力与后控制拉力计算	204
5.1	设备重心位置分析	204
5.2	设备起吊前牵引拉力计算	205
5.3	设备起吊后控制拉力计算	205
6	远离基础设备吊装索具简要受力分析	207

6.1	抬头时的受力分析	207
6.2	脱排时的受力分析	208
7	直立单桅杆板吊索具受力分析	209
8	桅杆底铺垫	212
8.1	桅杆基础的许用抗压应力	212
8.2	桅杆垫底板的核算	212
第8章	附录	219
1	起重吊装指挥信号	219
1.1	笛语	219
1.2	旗语	219
1.3	通用手势信号	219
1.4	专用手势信号	220
1.5	船舶起货机专用手势信号	221
2	常用材料密度表	222
3	常用金属材料机械性能	222
4	常用木材机械性能	223
5	热轧等边角钢	224
6	热轧普通槽钢	229
7	热轧普通工字钢	232
8	钢轨	235
9	热轧圆钢、方钢及六角钢	236
10	常用几何体的面积、体积及重心位置	238
11	截面的几种几何及力学特性	241
12	钢管的几何及力学特性	245
13	三角函数表	247

绪 论

工业企业的机器及设备形式比较繁多，有高达几十米的塔类，百余米的排气筒，有重几十吨至几百吨的压力容器等。这些大小机器设备的制造、运输、安装，及以后的检修都离不开起重吊装作业。尤其是在化工机器、设备的安装工作中，起重吊装工作量所占比重很大。为了提高起重吊装工作的效率，在起重吊装工作中必须结合当时的具体情况，因人、因地、因材制宜，选用相应可靠的起重工具和机械，编制切实可行的吊装方案。

目前起重吊装多采用以下几种方法：

①利用现有的吊装机械，如汽车吊、坦克吊、塔式吊、桥式吊等进行吊装，近年来汽车吊的发展应用更为广泛；

②利用厂房、构筑物的某些结构，如梁等作为吊点，配置简单起重机具，如倒链、卷扬机等进行设备吊装；

③设置两木搭、三木搭配置倒链或卷扬机进行设备吊装；

④设置桅杆进行吊装；

⑤设置缆索起重机进行吊装。

对于高大及重型设备，起重桅杆是一种最常用、最重要而又最简单的起重装置。下面将围绕起重桅杆进行力学方面的讨论，对起重吊装过程进行叙述和剖析。

1 设备安装的基本方法

1.1 分部安装法

即将设备分为若干元件，分别吊装后，在安装位置上进行组合。它又可分为以下两种。

(1) 拼装法 即将设备自下而上逐个部分吊装进行组合。

(2) 倒装法 就是将设备自上而下逐个部分吊装进行组合，即先

将设备上部第一节吊起和设备上部第二节进行组合，完毕后再将组合好的一、二节吊起，将设备上部第三节放入组合，依次逐步上升，直至全部组合完毕。采用这种方法，往往是为了降低对桅杆高度的要求。竖立桅杆时，可以根据情况把桅杆竖立在设备的外面或设备的里面。

1.2 整体吊装法

(1) 双桅杆吊装 即将桅杆立于基础两侧，桅杆高度允许比设备略低。此法简单可靠，普遍用于塔设备的吊装。

(2) 单桅杆吊装 桅杆竖立有倾角，倾角一般不大于 10° 。桅杆吊耳要正对基础中心。这种方法要求桅杆高出设备较多，也就是要有足够的空间设置吊装滑轮组及绑捆设备的吊绳。因此多用来吊装高度不大的设备。

(3) 扳装法 桅杆底部具有铰链装置，可以自由回转的桅杆一侧与被吊升设备相连接，另一侧与起吊滑轮组相连。吊装工作开始时，桅杆直立略成一倾角而设备则卧置于地上。收缩起吊滑轮组，桅杆即以底部铰链为中心旋转，设备随之拉起。当吊装工作结束时，设备直立而桅杆卧置于地上。这种方法多用来吊装轻型高塔设备。

(4) 递夺法 是吊装小型设备群的快速方法。若采用一般双桅杆吊装办法，则桅杆要移动多次，而且在设备群安装区域比较狭窄时，施工操作很不方便。在某种特定条件下，即或是一个设备吊装，在遇到建筑物等障碍物时，亦需采用此法。

递夺法就是双根桅杆竖立在基础群两侧。设备吊起时，一桅杆渐渐地放吊索，另一桅杆随之收紧吊索，使设备在空中平移而对正于位置基础上。

(5) 卷装法 大型贮罐采用拼装法的缺点是高空作业太多。目前在这方面已采用了卷装法代替拼装法。卷装法是在施工过程中先将整块卷板焊好，卷成一圈，运到工地上竖起，拉开成一卷筒。这一方法的优点是可以在工厂预制整套圆板，提高了劳动生产率。其施工分卷制与安装两步。

2 设备吊装过程

2.1 设备吊装的施工组织设计

设备吊装，由于所吊设备体积大，重量大，吊装现场面积大，操作人员又多，所以，每一项吊装工作，如果没有事先严密、周全的统筹安排，科学的检验论证，就会在吊装过程中造成人身或设备事故。因此，在设备吊装前必须根据总平面图，设备的外形、尺寸、重量、材质等基本情况，对起重工具、起重机械、安装要求、施工现场情况等，作出切实可行、安全可靠的吊装设计方案。

吊装方案的编制内容：

- ①工程概况与说明；
- ②吊装项目明细表；
- ③吊装典型形式与专用工、机具简图；
- ④吊装受力分析与机、索具选择；
- ⑤承吊设备或构件的能力；
- ⑥施工安全技术措施；
- ⑦施工程序网络计划；
- ⑧机、索具计划；
- ⑨施工用料计划；
- ⑩吊装形式与吊装专用工具施工附图。

吊装方案编制完毕后，须经有关部门审核批准，并向有关施工人员进行技术交底后方可施工。

2.2 起重工机具的布置

(1) 桅杆 使用桅杆时必须遵守桅杆性能说明书的规定。

应预先了解桅杆安装位置的地质情况，以及有无管道、沟穴、电缆等情况，周围上空有无化工管道、架空电缆，及管道的输送介质，电缆的输电电压等，以确保安全。

桅杆顶部应装避雷装置。

桅杆顶部设置拖拉绳的数量随桅杆的起重能力及拖拉绳的直径而定。但是最低不得少于 5 根，回转桅杆不少于 6 根。拖拉绳应均匀分

布，每根拖拉绳均应装设调整装置，如螺旋调整器、滑轮组等，以便调整桅杆的倾角及各拖拉绳受力大小。拖拉绳与地面夹角一般为 30° ，最大不超过 45° 。拖拉绳的初拉力应调节均匀一致。

桅杆底部应设枕木垛作为其基础。桅杆基础在使用过程中应作好防水措施，以免由于水浸降低了土质耐压力而影响桅杆的使用。桅杆倾斜起吊物件时，桅杆底座与基础之间应用一定角度的木楔垫紧，以增加两者间接触面积。应将桅杆用索具固定，索具不少于 2 套，各与桅杆中心线成 30° 角。

桅杆安装在基础上时，应保证桅杆中心线与基础中心线一致。若采用双桅杆吊装时，最好使两桅杆位置中心连线与设备中心一致。如果难以一致（如有障碍物等），则须采用双桅杆倾斜起吊。单桅杆位置与设备基础位置应使桅杆倾斜预定角度（ $7^\circ \sim 10^\circ$ ）时，桅杆吊耳位置正对设备基础中心；双桅杆起吊重物时，应注意两杆底中心与设备基础中心的距离相同；当用不等高桅杆时，高桅杆略远些以保证起吊角的相等。两桅杆之间距离以能使设备顺利通过为原则，不宜过大，以减少索具的受力和减少桅杆所受的弯矩。

桅杆的选用应根据全装置的起重吊装任务、工期进行全面考虑。其原则是：

① 根据能满足最大工件的吊装要求及其施工方法选用必要的吊具；

② 桅杆竖立的位置应符合吊装程序的要求；

③ 桅杆移动的路线应为最短，并应为其他工程施工创造条件；

④ 对于某些妨碍桅杆竖立、移动或工作的基础或构筑物，在制定施工计划时，应安排土建、吊装综合进度计划，待吊装作业完毕，再进行基础施工或先施工地下部分；

⑤ 施工场地布置，应为桅杆竖立和拆除留有必要的空间。

(2) 锚坑 锚坑承受拖拉绳所传递的因起重引起桅杆倾侧力、自身重量的悬垂力、预张紧力以及风力作用在桅杆上的力等，借以防止桅杆倾倒保证吊装安全进行，同时也具有固定卷扬机、桅杆底部、导向滑轮等作用，使其不至移动。

锚坑个数是根据受力情况使桅杆能获得最大稳定性来决定的。它的数量与能力是与拖拉绳卷扬机、桅杆底部溜绳等情况相适应的。

锚坑的重要技术特性是它的“吨位”，即它所允许承受的拉力大小。它所要求的承载力则根据受力情况而定，主拖拉坑受力大于其他拖拉坑。卷扬机的锚坑的承载力与卷扬机的最大允许力相适应。

锚坑位置应与拖拉绳配置相适应。决定锚坑位置应事先了解并保证：在锚坑基坑到出线点及基坑两侧 2m 范围内不得有地沟、电缆、地下管道等构筑物及临时挖沟等。

锚坑位置的标定：在一般起重吊装过程中锚桩所承受的力不太大时，可以用现场现有的构筑物进行标定。但对于大型物件起重和对吊装过程受力较大或位置要求严格时，则应根据所需位置确定坐标，施工时根据施工图用经纬仪测定锚坑的位置。

锚坑与桅杆底距离由桅杆高度及拖拉绳与地面夹角两者确定。距离太小时，拖拉绳短，而桅杆的稳定性不好，绳与锚坑受力也较大；距离太大时，拖拉绳难以预张紧，在桅杆吊装时易歪斜，稳定性易受到破坏，同时也由于锚坑过远增大了安装作业面积，吊装统一指挥发生困难。所以一般规定拖拉绳与地面夹角 30° ，最大 45° 。

(3) 卷扬机 卷扬机是起重吊装的重要动力来源。

每个桅杆设备、卷扬机台数是由采用的卷扬机的卷绳量和起吊时起吊滑轮组中为吊至指定高度所必须的绳量来决定的。例如 50kN 卷扬机的容绳量是 190m（指绳径 $d=24\text{mm}$ ），如果为了把设备吊至最高点时，容绳量不超过 190m，则只用一台卷扬机即可；而如果把设备吊至所需最高点，应卷入的钢丝绳超过 190m，就应备两台卷扬机，否则就不能完成设备就位目的。在这同时还应考虑所需牵引拉力与卷扬机能力相适应。

卷扬机位置的选择应使操作者能始终清晰地看到设备吊装过程，能看清指挥员的指挥。每个卷扬机都应有专设的 1~2 个封底锚坑，其锚坑吨位与卷扬机能力相同，而且应先卷扬机两侧设置防摆控制点。

装好的卷扬机滚筒的中心线应与引入钢绳方向垂直，卷扬机径向中心线应与距离卷筒最近的一个导向滑轮的轴向中心线垂直。绳从卷

扬机卷筒下面卷入,且卷筒长度 $\frac{1}{2}$ 位应在该导向滑轮的凹槽中心线上。

为使卷扬机正常工作,通常规定缠绕在卷筒上的钢绳与绳索螺旋线方向的倾斜偏差为:对于光滑卷筒不得大于1:40,而对于带有螺形绳槽的卷筒则不大于1:10。为达到此目的,须使卷扬机卷筒中心线到最近滑轮中心线的距离,前者为20倍,后者为5倍的卷筒长度。

(4) 其他 其他还有绞磨、滑轮组、牵引机动车,以及吊车等。

绞磨、滑轮组常配置在拖拉绳的调整上,用在桅杆底的固定溜绳调整上。牵引机动车用在设备尾部的牵引,桅杆移动的底部牵引。吊车用在设备的起吊前的抬头,大型滑轮组的移动上等等。

2.3 设备起吊前的现场准备工作

(1) 场地布置 清除一切有碍于起重操作进行的障碍物,平整运输道路。

拖拉绳穿过的上、下空间遇有化工管线、架空电线、房角等,有可能在吊装过程中造成危险及受到伤害时,要用脚手杆搭防护架。

(2) 设备基础验收 检查设备基础的位置、标高、外形尺寸、表面状况、水平度、地脚螺栓的位置及高度,并对照设备螺栓孔,不合要求的应予以改正。

(3) 设备运输 设备运到现场的运输方法将在第5章详述,并在现场组对。

(4) 设备验收 对设备进行水压气密试验,并检查结构有无变形。将管口对正,用千斤顶或用卷扬机等手段旋转设备筒体,使设备起吊后按设计方位就位。

(5) 桅杆竖立及锚坑埋设 见第3章和第6章有关章节详述。

(6) 设备吊点捆扎 设备吊点应位于设备重心以上,具体尺寸根据计算及经验结合设备的具体情况而定。一般对于形状规则的塔设备,吊点约在全高三分之二处(从塔底量起)。

除了安设提升滑轮组外,为使吊装过程平稳并保证不与基础相撞,还需在设备后方安设导向滑轮组,以控制所吊设备运动方向。

(7) 其他 准备好其他工具,向参加吊装工作的全体人员明确任

务，学习操作规程及安全教育。

2.4 吊装过程

①开始吊装前，必须确定一名有丰富经验的技术工人或工程技术人员作总指挥，参加人员应绝对服从指挥。

②吊装前，应设专人分工负责，对各种机、具，各种设置，各绑点进行严格检查验收。确认无误后方可下令起吊。

③起吊开始后至整个系统正常受力时，再严格检查一遍。如未发现任何不正常迹象时，方可继续吊升。当设备离开支承物 200mm 以后，还需进行第三次检查，若一切正常则一直将设备吊至最后，中途不得停止。

④整个过程设备上升应当平稳，几个滑轮上升速度应同步，应绝对防止摇摆、颤动。

⑤设备升至高于基础位置后，卸去尾部滑轮，将设备缓缓下降，用倒链或其他方式调整方位，对正地脚螺栓就位。

⑥只有在设备找正、固定之后才允许卸除起吊滑轮组。

⑦起吊操作严禁在六级风及以上级风的条件下进行，严禁在雾天、雨天、夜间进行。若必须在夜间进行时，则现场须有充分照明，并经有关部门批准。

⑧在吊装过程中，如因故中断施工，则必须采取措施保证现场安全及准备继续施工。如故障短期内难以解决时，则另采取措施，不得使重物悬空过夜。

第 1 章 绳 索

绳索是在起重吊装工作中用来捆绑、牵引、溜拉和提升物件的索具，常用的有麻绳、钢丝绳、尼龙绳、涤纶绳及链条等。

1 麻绳

麻绳具有轻便、柔软、携带方便、容易捆绑等优点。但这种绳索的性能比钢丝绳差，易于磨损、破断和腐蚀，而且新旧麻绳的强度变化也很大。因此，在起重吊装工作中只适用于系挂物体、人力搬运和起重量小于 500kg 的施工操作，重要施工作业一般是不采用的。

1.1 麻绳种类及结构形式

麻绳是用植物麻纤维搓捻成的一种绳索。在起重吊装施工中一般采用机制麻绳，因为机制麻绳搓捻均匀、紧密，抗拉力也比人工搓捻的麻绳大。

麻绳种类较多，常见的有白麻绳和棕绳。其编制形式分三股、四股和九股三种。

就机械性能来说，棕绳强度高于白麻绳；四、九股编制形式比三股编制形式强度好得多。一般施工现场多选用棕绳和九股编制形式的麻绳。但是，棕绳产量少，价格较高；九股编制形式比三股编制形式在制造上较为困难。因此，在施工当中应该根据情况合理选用。

麻绳又分浸油和不浸油两种。浸油麻绳有耐腐蚀和防潮特性，但由于受油中所含酸的影响，强度比未浸油麻绳大约下降 10%，同时挠性下降，自重增加，成本上升，故不常被采用。但根据化工基建施工和室外作业较多的特点，棕绳多数是采用浸油的。

1.2 麻绳抗拉能力计算

麻绳在起重吊装工作中主要是受拉伸作用，因此，选用麻绳时都要进行抗拉能力的计算。为了保证施工安全，考虑到麻绳可能存在制

造上的缺陷，容易磨损和受起重动力冲击等因素影响，麻绳许用拉力必须低于数倍产品规定的破断拉力。其验算公式如下：

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

式中 P ——麻绳允许最大承载能力，N；

S_b ——麻绳的破断拉力，N；

K ——麻绳的使用安全系数，见表 1-1。

表 1-1 麻绳使用安全系数 K

工 作 性 质	绳类名称	
	棕 绳	白麻绳
地面水平运输	3	5
吊装物件或高空系挂	5	8
慢速机动操作环境温度在 40~55℃ 和承载人的情况下	10	不准用

$$P = \frac{\pi d^2}{4} [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 P ——麻绳许用载荷，N；

d ——麻绳直径，mm；

$[\sigma]$ ——麻绳许用应力，N/mm²，见表 1-2。

故麻绳直径为：

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma]}} \quad (1-3)$$

表 1-2 麻绳许用应力值 $[\sigma]$ N/mm²

品 种	用 途	
	起重用绳	捆绑用绳
白麻绳	10	5
浸油麻绳	9	4.5

为了方便在施工中对绳载重能力的估计，推荐以下两个估算公式：

$$P = 7.85d^2 \quad (1-4)$$

式中 P ——白麻绳许用拉力，N；

d —— 绳的直径, mm。

$$P = 7.06d^2 \quad (1-5)$$

式中 P —— 浸油麻绳许用拉力, N;

d —— 绳的直径, mm。

此两估算式是由 $P = \frac{\pi d^2}{4} [\sigma]$ 代入麻绳许用应力值 $[\sigma]$ 导出的。

出厂时的白棕绳大都盘成卷, 每卷的长度一般为 200m。较粗的白棕绳一般为 100m。当缺少白棕绳的重量资料时, 也可用近似估算公式来估算其重量。

$$m = 0.07d^2 \quad (1-6)$$

式中 m —— 白棕绳的重量, kg/100m;

d —— 绳的标称直径, mm。

表 1-3 所列为国产旗鱼牌白麻绳的技术规格, 表 1-4 为白棕绳的技术规格。

表 1-3 国产旗鱼牌白麻绳的技术规格

直径 mm	每卷重量 (每卷长 220m) kg	破断拉力 N	直径 mm	每卷重量 (每卷长 220m) kg	破断拉力 N
6	6.5	2000	25	90	24000
8	10.5	3250	29	120	26000
11	17	5750	33	165	29000
13	23.5	8000	38	200	35000
14	32	9500	41	250	37500
16	41	11500	44	290	45000
19	52.5	13000	51	330	60000
20	60	16000	57	450	65000
22	70	18500	63	500	70000

表 1-4 白棕绳的技术规格 (SC-1)

直径 mm	重量 kg/100m	最小破断拉力, N		
		I	II	III
6	3	4050	2680	1760
8	6	6660	4400	2900
10	8	9200	6100	4000
12	11	11660	7750	5090

续表

直径 mm	重量 kg/100m	最小破断拉力, N		
		I	II	III
14	14	16300	10900	7220
16	18	19600	13400	8710
18	23	24600	16600	11000
20	28	31200	21100	13900
22	34	37600	24500	16800
24	40	43800	29600	19600
26	48	49700	33800	22300
28	55	57100	38900	25600
30	63	66200	44500	29900
32	72	74400	50100	33700
34	81	82400	55600	37400
36	91	90000	60900	41000
40	112	109700	74400	50100
44	136	120100	81600	54900
48	161	140000	95600	64300
52	190	162000	110300	74100
56	220	181500	112400	83700
60	252	207500	142500	95900
64	287	230000	158900	109700
68	324	255000	176900	119000
72	363	282000	195300	131300
80	448	333200	231500	156300
88	542	393000	273900	185000

注：1. "SC"为水产部标准。

2. I、II、III为白棕绳等级。

例：有一直径为 $d=14\text{mm}$ 的 I 级白棕绳，用来起吊设备时允许吊装多少重量？

解：查表得该棕绳的破断拉力 $S_b=16300\text{N}$ ，安全系数 $K=5$ 。

$$P = \frac{S_b}{K} = \frac{16300}{5} = 3260\text{N}$$

例：用一根三股白棕绳起吊 4000N 的重物，问应选用多大直径的

麻绳？

解：按表取 $[\sigma]=10\text{N}/\text{mm}^2$ 。

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 4000}{3.14 \times 10}} \\ = 22.57\text{mm}$$

查表应选用 $d=24\text{mm}$ 直径的麻绳。

查表 1-4, $d=24\text{mm}$ 的 I 级白棕绳最小破断拉力为 $43800\text{N} > 4000\text{N}$, 故可安全使用。

此题也可以用估算公式(1-4)去解：

$$d = \sqrt{\frac{P}{7.85}} = \sqrt{\frac{4000}{7.85}} = 22.57\text{mm}$$

1.3 麻绳的使用注意事项

①麻绳只适用于设置吊装工具及轻便工件的移动和起吊,或吊装工件的手拉溜绳。在机械驱动的起重机具中不得使用。

②麻绳不得向一个方向连续扭转,以免松散或扭劲。发现上述现象时,应及时消除。

③麻绳使用中,严禁与锐利的物体直接接触,如无法避免时应垫以保护物。

④麻绳在当作跑绳使用时,安全系数不得小于 10;当作绳扣使用时,安全系数不得小于 12。

⑤麻绳不得与酸、碱等腐蚀性介质接触。

⑥麻绳应存放在通风干燥的地方,不得受热受潮。

⑦麻绳使用前应认真检查,当表面均匀磨损不超过直径的 30%,局部触伤不超过同断面直径的 10%时,可按直径缩减程度折合降低使用。如局部触伤和局部腐蚀严重的,可截去受损部分插接使用。

⑧麻绳使用于滑车组时,滑轮的直径应大于麻绳直径的 10 倍,其绳槽半径应大于麻绳半径的 1/4。

1.4 麻绳插接方法

首先将插接绳的两端头按规定长度破股(按 20 倍的绳径),并按一

绳端等距股间对顶靠紧，然后从绳的一端将任意一股分别进绳编制捻向压被插绳前一股，穿过第二股，其他各股依次类推直到插完。另一端各股也用此法插接。

2 钢丝绳

钢丝绳是由若干根高强度的碳素钢丝分股和植物纤维芯捻成的一种绳索。

钢丝绳索具有强度高、重量轻、挠性好、能够灵活运用，弹性大、能承受冲击性载荷，高速运行时运转稳定、没有噪音，破断前有断丝预兆、整个钢绳不会立即折断，成本较低等优点，所以是起重吊装操作中最广泛使用的绳索之一。

2.1 钢丝绳分类与结构形式

钢丝绳是首先将若干根钢丝捻成钢丝股，然后再由几个钢丝股绕一绳芯捻制成绳索的。钢丝绳所用绳芯有麻芯、棉纱芯、化纤芯、软钢芯及石棉芯等。一般情况下，常用浸油的麻芯或棉纱芯，因为这种芯的钢丝绳挠性较好，又能含较多量润滑油，可经常从钢丝内部润滑钢丝。在高温条件下可采用含油石棉芯。

钢丝绳的种类很多，根据其结构形式，大致可分为普通型、复合型和闭合型三种，如图 1-1 (a)、(b)、(c) 所示。

普通型：钢丝绳是由等径钢丝通常分六股与一根绳芯捻制成的。

复合型：钢丝绳是由不等径钢丝分六股或多股与绳芯捻制成的。

闭合型：钢丝绳是由外层异形钢丝，内包一束等径钢丝，采用特殊方法捻制成的。

闭合型钢丝绳结构紧密、强度高、表面光滑、耐磨性好、内心钢丝不受磨损，但不易弯曲、柔性不好。因此，这种钢丝绳除了在绳索起重机上使用外，一般很少使用。

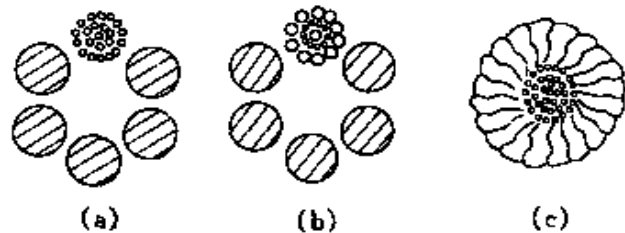


图 1-1 钢丝绳的结构形式

(a) 普通型；(b) 复合型；(c) 闭合型

复合型钢丝绳结构紧密、强度高、柔曲性好，但由于结构复杂、制造比较困难、价格昂贵，所以，除了特定场合和起重速度很快的机械上使用外，一般也很少使用。

普通型钢丝绳，虽然性能不及复合型钢丝绳，但是能满足一般工程施工需要的条件，价格又较低，因此，基建安装和检修吊装施工现场都采用这种钢丝绳。

在复合型和普通型钢丝绳的种类中，按其捻制形式又可分三种，即同相捻、交互捻、混合捻。

同向捻钢丝绳的股内钢丝捻向和钢丝绳股捻向相同。

交互捻钢丝绳的每股内钢丝捻向和钢丝绳股捻向相反。

混合捻钢丝绳的股内钢丝捻向与六股钢丝向同异交混。

同向捻钢丝绳柔曲性大、磨损小，但容易自旋、松弛、压扁和搭结。交互捻钢丝绳一般具有同向捻的钢丝绳优点，而不存在它的缺点。混合捻钢丝绳不仅具有上两种钢丝绳的优点，而且机械性能也比前两种好得多。虽然混合捻钢丝绳性能最好，但制造困难，价格高，所以，工程中多选用交互捻这一种。

2.2 钢丝绳的技术规格

国产钢丝绳均已标准化，常用的规格一般直径为 6.2~83mm，所用的钢丝直径为 0.3~3mm。钢丝的抗拉强度分为 1400N/mm²、1550N/mm²、1700N/mm²、1850N/mm² 及 2000N/mm² 五个等级。钢丝绳的技术规格见表 1-5，表 1-6，表 1-7。

表 1-5 6×19 钢丝绳主要数据

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg/100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm				钢丝破断拉力总和, kgf				
6.2	0.4	14.32	13.53	2000	2210	2430	2640	2860
7.7	0.5	22.37	21.14	3130	3460	3800	4130	4470
9.3	0.6	32.22	30.45	4510	4990	5470	5960	6440
11	0.7	43.85	41.44	6130	6790	7450	8110	8770
12.5	0.8	57.27	54.12	8010	8670	9730	10550	11450

续表

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg/100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm		钢丝破断拉力总和, kgf						
14	0.9	72.49	68.50	10100	11200	12300	13400	14450
15.5	1.0	89.49	84.57	12500	13850	15200	16550	17850
17	1.1	108.28	102.3	15150	16750	18400	20000	21650
18.5	1.2	128.87	121.8	18000	19950	21900	23800	25750
20	1.3	151.24	142.9	21150	23400	25700	27950	30200
21.5	1.4	175.40	165.8	24550	27150	29800	32400	35050
23	1.5	201.35	190.3	28150	31200	34200	37200	40250
24.5	1.6	229.09	216.5	32050	35500	38900	42350	45800
26	1.7	258.63	244.4	36200	40050	43950	47800	51700
28	1.8	289.95	274	40550	44900	49250	53600	57950
31	2.0	357.96	338.3	50100	55450	60850	66200	71550
34	2.2	433.13	409.3	60600	67100	73600	80100	
37	2.4	515.46	487.1	72150	79850	87600	95350	
40	2.6	604.95	571.7	84650	93750	102500	111500	
43	2.8	701.60	663	98200	108500	119000	129500	
46	3.0	805.41	761.1	112500	124500	136500	149000	

注: 1kgf \approx 10N; 1kgf/mm² \approx 10N/mm²。表 1-6 6 \times 37 钢丝绳主要数据

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg/100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm		钢丝破断拉力总和, kgf						
8.7	0.4	27.88	26.21	3900	4320	4371	5150	5570
11.0	0.5	43.57	40.96	6090	6750	7400	8060	8710
13.0	0.6	62.74	58.98	8780	9720	10650	11600	12500
15.0	0.7	85.39	80.27	11950	13200	14500	15750	17050
17.5	0.8	111.53	104.8	15600	17250	18950	20600	22300
19.5	0.9	141.16	132.7	19750	21850	23950	26100	28200
21.5	1.0	174.27	163.8	24350	27000	29600	32200	34850
24.0	1.1	210.87	198.2	29500	32050	35800	39000	62150
26.0	1.2	250.95	235.9	35100	38850	42550	46400	50150
28.0	1.3	294.52	276.8	41200	45650	50050	54450	58900

续表

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg/100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm				钢丝破断拉力总和, kgf				
30.0	1.4	341.57	321.1	47800	52900	58050	63150	68300
32.5	1.5	392.11	368.6	54850	60750	66650	72500	78400
34.5	1.6	446.13	419.4	62450	69150	75800	82500	89200
36.5	1.7	503.64	473.4	70500	78050	85600	93150	100500
39.0	1.8	564.63	530.8	79000	87500	95950	104000	112500
43.0	2.0	697.08	655.3	97550	108000	118500	128500	139000
47.5	2.2	843.47	792.9	118000	130500	143000	156000	
52.0	2.4	1003.80	943.6	140500	155500	170500	185500	
56.0	2.6	1178.07	1107.4	164500	182500	200000	217500	
60.5	2.8	1366.28	1284.3	191000	211500	232000	252500	
65.0	3.0	1568.43	1474.3	219500	243000	266500	290000	

注: 1kgf \approx 10N; 1kgf/mm² \approx 10N/mm².表 1-7 6 \times 61 钢丝绳主要数据

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg 100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm				钢丝破断拉力总和, kgf				
11.0	0.4	45.97	43.21	6430	7120	7810	8500	9190
14.0	0.5	71.83	67.52	10050	11100	12200	13250	14350
16.0	0.6	103.43	97.22	14150	16000	17550	19100	20650
19.5	0.7	140.78	130.3	19700	21800	23900	26000	28150
22.0	0.8	183.88	172.8	25700	28500	31250	34000	36250
25.0	0.9	232.72	218.8	32550	36050	39550	43050	46500
27	1.0	287.31	270.1	40200	44500	48800	53150	57450
30.5	1.1	347.65		48650	53850	59100	64300	69500
33.0	1.2	413.73	388.9	57900	64100	70300	76500	82700
36.0	1.3	485.55	456.4	67950	75250	82500	89800	97100
38.5	1.4	563.13	529.3	78800	87250	95700	104000	112500
41.5	1.5	646.45	607.7	90500	100000	109500	119500	129000
44.0	1.6	735.51	691.4	102500	114000	125000	136000	147000
47.0	1.7	830.33	780.5	116000	128500	141000	153500	166000
50.0	1.8	930.88	875.0	130000	144000	158000	172000	186000

续表

直 径		钢丝总 断面积 mm ²	参考重量 kg/100m	钢丝公称抗拉强度, kgf/mm ²				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
mm				钢丝破断拉力总和, kgf				
55.5	2.0	1149.24	1080.3	160500	178000	195000	212500	229560
61.0	2.2	1394.58	1307.1	194500	215500	236000	250000	
66.5	2.4	1654.91	1555.6	231500	256500	281000	306000	
73.0	2.6	1942.22	1825.7	271500	301000	330000	359000	
77.5	2.8	2252.51	2117.4	315000	349000	382500	416500	
83.0	3.0	2585.79	2430.6	362000	400500	439500	478000	

注: 1kgf \approx 10N; 1kgf/mm² \approx 10N/mm²。

2.3 钢丝绳标记代号

钢丝绳标记代号是按“GB 1120—74”标准制订的。

如: 绳 6 \times 37-19.5-170- I -光-右-GB 1120—74 中, 6—代表钢丝绳是由 6 股钢丝股捻制而成的; 37—代表钢丝绳每股是由 37 根钢丝组成的; 19.5—代表钢丝绳的直径, mm; 170—代表钢丝绳的钢丝公称抗拉强度, 公斤力/毫米², 也就是 170kgf/mm²(1700N/mm²); I—代表钢丝绳的韧性为 I 级; 光—代表钢丝绳表面光滑情况; 右—代表钢丝绳的捻向; GB 1120—74—钢丝绳的标准号。

2.4 钢丝绳抗拉能力计算

①钢丝绳与麻绳一样, 主要承受拉伸作用。因此, 选择钢丝绳时要进行抗拉能力的计算。公式如下:

$$P = \frac{S_b}{K} \quad (1-7)$$

式中 P ——钢丝绳许用拉力, N;

S_b ——钢丝绳破断拉力, N;

K ——安全系数, 见表 1-8。

表 1-8 安全系数 K

使用场合	拖拉绳	手动卷扬机	机动卷扬机	捆绑绳索
安全系数	3.5	4	5	6~10

②钢丝绳的破断拉力计算：

$$S_b = \frac{\pi d_1^2}{4} n \sigma \phi \quad (1-8)$$

式中 S_b ——钢丝绳的破断拉力，N；

d_1 ——钢丝绳中每根钢丝的直径，mm；

n ——钢丝绳中钢丝的总根数；

σ ——钢丝绳中钢丝的抗拉强度，N/mm²；

ϕ ——钢丝之间受载不均系数，绳 6×19 时， $\phi=0.85$ ；绳 6×37 时， $\phi=0.82$ ；绳 6×61 时， $\phi=0.80$ 。

当缺少钢丝绳有关数据资料时，也可用下列经验公式进行估算：

$$S_b = 52d^2 \quad (1-9)$$

此经验公式适用于钢丝抗拉强度为 170kgf/mm² 的钢丝绳。

其他等级的可按下式推导：

$$140\text{kgf/mm}^2 \text{ 时, } S_b = \frac{140}{170} \times 52d = 42.8d^2$$

$$155\text{kgf/mm}^2 \text{ 时, } S_b = \frac{155}{170} \times 52d = 47.4d^2$$

$$185\text{kgf/mm}^2 \text{ 时, } S_b = \frac{185}{170} \times 52d = 56.6d^2$$

$$200\text{kgf/mm}^2 \text{ 时, } S_b = \frac{200}{170} \times 52d = 61.2d^2$$

以上经验公式中， S_b 的单位是 kgf。1kgf≈10N。

例：吊装某一物件，已知起吊牵引绳通过滑轮组导向滑轮一直缠绕于电动卷扬机上，需要 40kN 拉力，试问采用哪种规格的钢丝绳能够合乎需要？

解：已知牵引绳拉力 40kN，电动卷扬机牵引绳安全系数应为 5，则绳破断拉力为：

$$S_b = PK = 40 \times 5 = 200\text{kN}$$

若钢丝绳取 6×37，受载不均系数 $\phi=0.82$ ，抗拉强度取 140kgf/mm²，查表 1-6 得，21.5mm 钢丝绳的钢丝破断拉力总和为 24350kgf，也就约等于 243500N。那么，钢丝绳破断拉力 $S_b = 243500 \times 0.82 = 199670\text{N} = 199.67\text{kN} \approx 20000\text{kgf}$ ，符合选绳要求。下面用估算公式算

一下：

$$S_b = 42.8d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{S_b}{42.8}} = \sqrt{\frac{20000}{42.8}} = 21.6\text{mm}$$

通过计算可以看出，估算公式的计算和查表的结果基本一致。

例：有一直径为 30mm 的 6×37 的钢丝绳，钢丝的抗拉强度为 $\sigma = 1700\text{N/mm}^2$ ，求钢丝绳的破断拉力。

解：查表 1-6 得，当钢丝绳直径 $d = 30\text{mm}$ 时，钢丝的直径 $d_i = 1.4\text{mm}$ 。受载不均系数 $\phi = 0.82$ ，钢丝总根数 $n = 6 \times 37 = 222$ 。

$$\begin{aligned} \text{则 } S_b &= \frac{\pi d_i^2}{4} n \sigma \phi = \frac{3.14 \times 1.4^2 \times 222 \times 1700 \times 0.82}{4} \\ &= 476147\text{N} \end{aligned}$$

按估算公式，则：

$$S_b = 52d^2 = 52 \times 30^2 = 46800\text{kgf} \approx 468000\text{N}$$

通过计算可以看出估算公式 (1-9) 与标准公式 (1-8) 算出的值差不多，而且估算公式算出的值略小些，所以在施工当中可以放心地使用估算公式。

2.5 钢丝绳几种使用形式的受力变化

工程上用钢丝绳的形式很多，运用和操作也比较普遍，但对实际受力大小往往搞不清楚而造成事故。这里略举几个例子加以说明。

(1) 导向滑轮 从图 1-2 所示受力分析可以明显看出，起吊绳受力相等，可是由于导向角度不同，则滑轮固定绳扣和锚桩受力就相应发

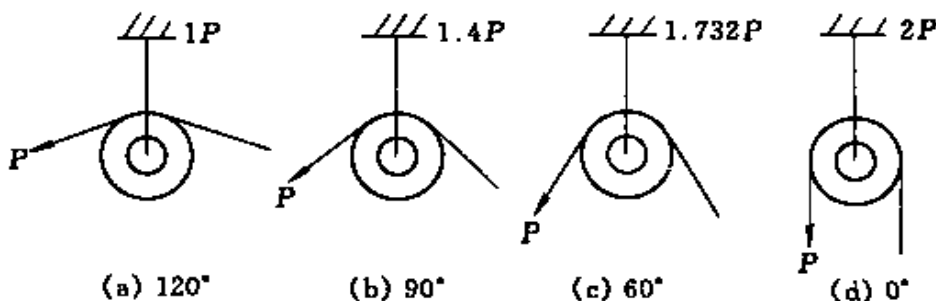


图 1-2 导向滑轮使用形式

生变化。因此，选用导向滑轮，固定钢丝绳扣和锚桩能力应特别注意导向的角度，绝对不能按照起吊绳受力大小简单地确定同等大小的力。

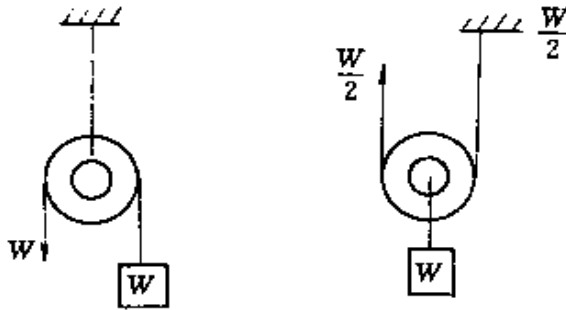


图 1-3 单滑轮吊装形式

(2) 单滑轮吊装 单滑轮吊装也和导向滑轮一样，使用形式不同，各部分受力也不同，如图 1-3 所示。另外，定滑轮能改变受力方向，而不能省力；动滑轮能省力，而不能改变力的方向。所以在实际使用中，对于它们的

受力大小及其作用特性应特别加以注意。

(3) 直绳受拉 直绳受拉，绳所受到的力都是一倍端拉力，不能误认为是两倍端拉力，其道理就是作用力与反作用力相平衡，如图 1-4 所示。

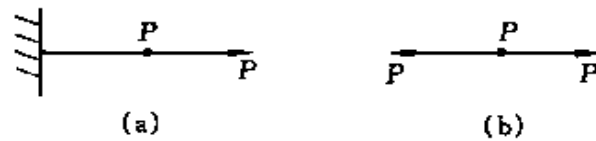


图 1-4 直绳受拉形式

(4) 带角度的捆绑绳扣受力 采用带角度的捆绑绳扣吊装设备、管道和金属构件等在施工中应用相当普遍，但是绳扣受力与吊钩处绳子夹角的大

小有直接关系，如图 1-5 所示。夹角大绳受力大，夹角小绳受力小。若夹角过小，则受吊装索具高度限制。因此，一般规定夹角不大于 60°，这样既有利于设施索具条件的需要，同时也避免了绳扣受力过大的因素存在。

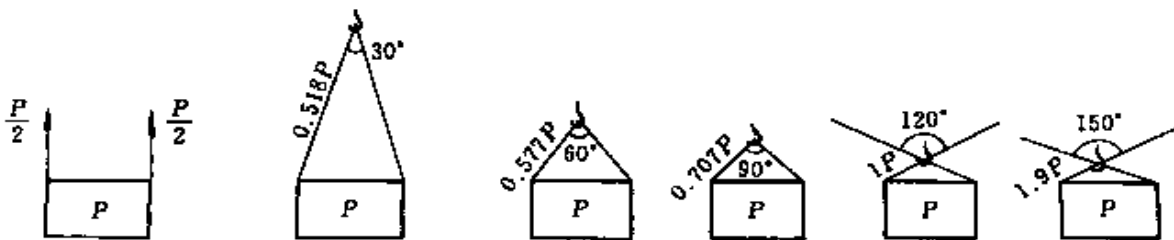


图 1-5 带角度捆绑绳扣受力形式

(5) 单点捆绑绳扣 单点捆绑绳扣的应用也十分普遍。它虽然没有角度因素影响，但是在弯曲处同时存在着拉剪作用，有效工作绳断面显著减小。因此，在选择绳扣时，必须按图 1-6 所示图例进行分析，找出其中的薄弱点，根据此来选择绳的规格。

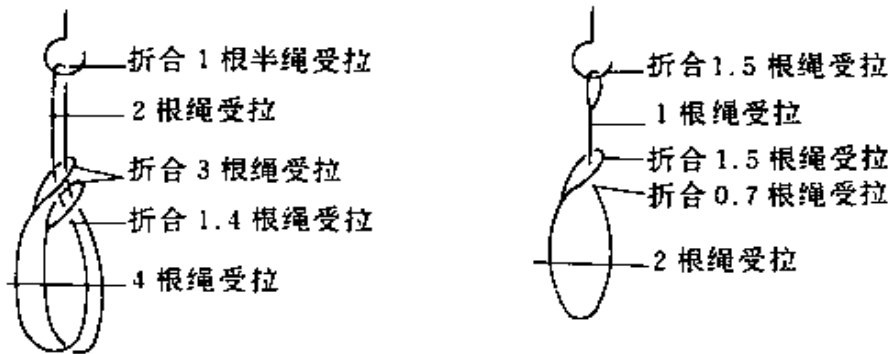




图 1-6 单点捆绑绳扣形式

2.6 常用钢丝扣的插接形式与方法

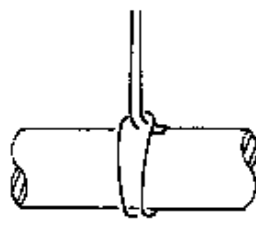
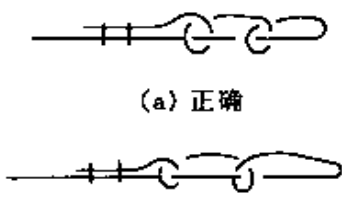

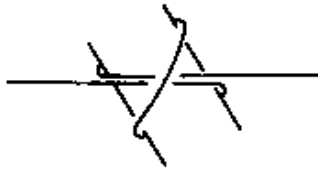

绳扣与绳插接在不同工作单位和操作现场，很难一致。现将施工现场习惯采用的几种类型简要介绍如下。

(1) 拴接绳扣 包括滑子扣、套死扣、倒扒扣、平接扣、八字扣、措扣、抬扣、压扣，见表 1-9。

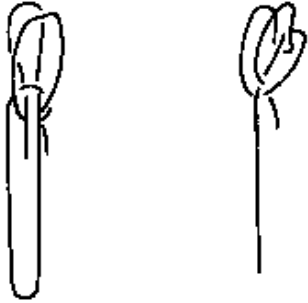

表 1-9 常用钢丝绳扣

绳扣名称	拴接形式	使用说明
滑子扣		滑子扣大多数是作为钢丝绳末端固定绳扣使用。但设置时应在扣环间塞以圆木或钢管，以减少绳子弯曲，降低承拉能力。其直径应不小于绳径的 5 倍
双滑扣 (双环扣)		双滑子扣大多数是作为钢丝绳中间固定绳扣使用。其他要求与单滑子扣相同

续表

绳扣名称	拴接形式	使用说明
套死扣		<p>套死扣大多数是作为设备吊装捆绑扣使用。但捆绑时必须与设备扣紧，不准留有空隙。为了防止吊装时发生滑脱，一般都采取在设备体上绕一圈后结扣，或在设备圆周垫些木板条</p>
倒扒扣	 <p>(a) 正确</p> <p>(b) 错误</p>	<p>倒扒扣大多数是作为拖拉绳末端固定扣使用。为了减少绳子弯曲过大和降低承拉能力，在倒扒扣环间塞以圆木或钢管，直径应不小于绳径5倍。值得注意的是倒扒扣有时容易拴错，如图(b)的形式</p>
平接扣		<p>平接扣大多数是作为拖拉绳连接的一种延长扣使用。这种绳扣容易拴接，不损坏绳子。但搭接时应注意绳子两头保持一左一右，避免塞木剪断，绳扣间四根绳受力不均</p>
八字扣		<p>八字扣是独木、钢管桅杆和两木塔顶端拴接拖拉绳的一种绳扣。搭设时应注意两绳头引出折向后方(如图所示)，以免绳子弯曲受剪，降低抗拉能力。这样搭设是最基本的形式，更具体的可参阅第6章拖拉绳拴接规定</p>
梢扣		<p>梢扣是用于小物件吊装的一种绳扣。如型钢和脚手杆子向高空递送。在大型桅杆顶端无拖拉绳拴接装置时也可采用这种形式拴接拖拉绳</p>

续表

绳扣名称	拴接形式	使用说明
抬扣	 <p>(a) 双抬 (b) 单抬</p>	<p>抬扣是在地面用人力搬运物件的一种扁担抬扣,包括单抬扣和双抬扣两种。使用抬扣要注意绳端向下拉紧,当缠绕绳环受力时能够压紧各绳股</p>
压扣		<p>压扣一般是拖拉地面上的物件时所用的绳扣。这种绳扣可以在钩头上缠绕一圈,也可以缠绕二圈(更安全)。使用时要注意绳在钩头上的位置,过高过低都会压不住的</p>

(2) 钢丝绳插接类型与操作方法 钢丝绳插接类型很多,各地采用形式和俗名也不一致。下面仅就经常使用的习惯用名和插接形式分为小插法和大插法两种作简要介绍。

小插法钢丝绳扣与直绳是将插接绳头分股插入被插绳内的一种方法。这种方法按其形式又分为跑插和花插两种。跑插适用于直径大于25mm的钢丝绳,花插适用于直径小于25mm的钢丝绳。绳扣与直绳插法基本一样,只不过直绳需要一头插完再插另一头。绳扣插接的长度不小于绳径的20倍。直绳插接的长度一头为20倍绳径的长度,二头一共是40倍绳径的长度。花插也可以按插钎数去考虑,一般插27钎子即可。实践证明插24钎子就可以安全使用了。

①跑插绳方法。首先从被插入钢丝绳的第一缝内分别插进破头1、2、3,见图1-9(a)所示。为了进一步说明钢丝绳第多少缝和破头是第几根,分别把它们进行编号(图1-7)。掌握了被插入钢丝绳的缝数编号和破绳头的编号(图1-8),就能了解插绳扣各种方法之间的关系。

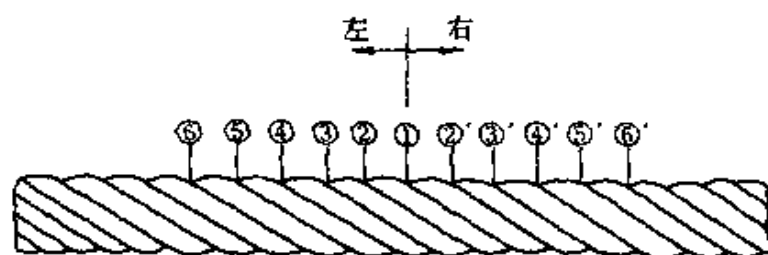


图 1-7 钢丝绳的缝数编号



图 1-8 破绳头

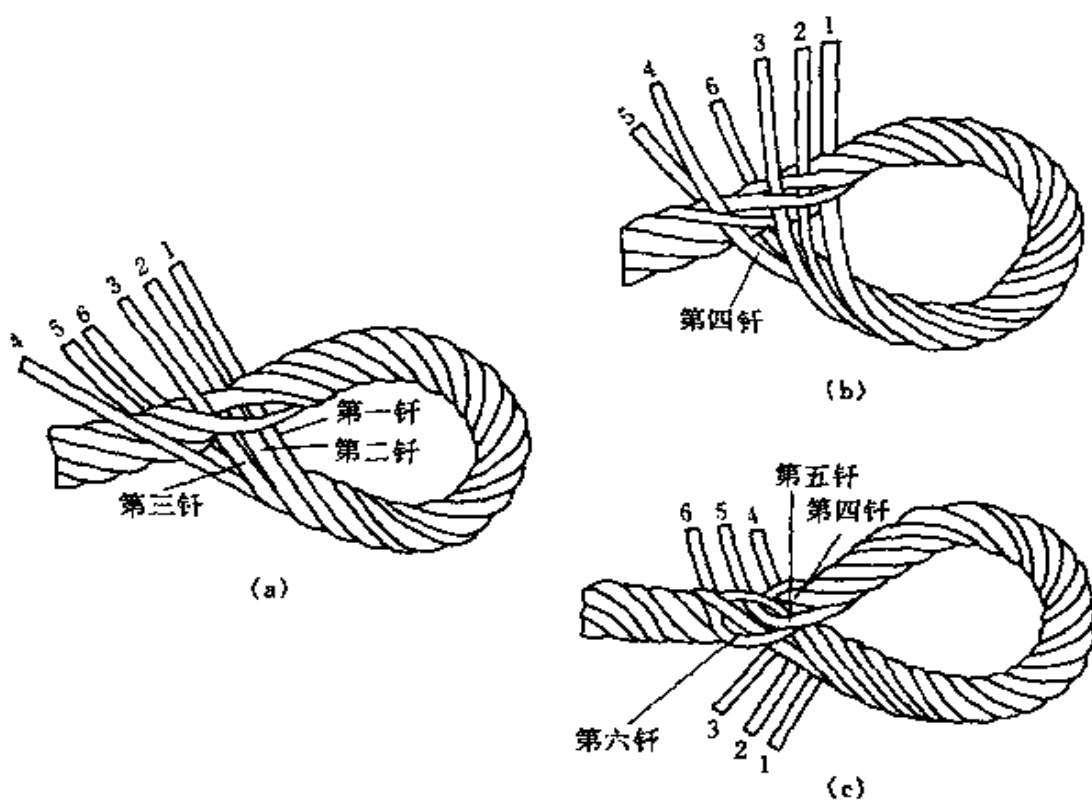


图 1-9 小插起头

设钢丝绳缝数编号从①第一缝（图 1-7）向左，分别为②③④⑤⑥…；从①向右为②'③'④'⑤'⑥'。设破绳头根数的编号（图 1-8）分别为 1、2、3、4、5、6。

如图 1-9 (a) 所示，第一钎从①进入，由④'引出；第二钎从①进入，由③'引出 2；第三钎从①进入，由②'引出 3。如图 1-9 (b) 所示，第四钎从②进入，由①引出 4。接着把 1、2、3、4 股拉紧，使被插绳紧靠预防松细铁线根部，这时如图 1-9 (c) 所示，第五钎从③进入，由②引出 5；第六钎从①进入，由③引出 6。这就完成了起头任务，随后麻芯用钎子赶入被插绳芯内（割掉也可以），然后按次序 1 绕⑤①间股，2 绕⑥⑤间股，……，顺钢丝绳编制捻向，大致相距绳外圆 120° 角位置插入，形成 1 对⑤①间股绕缠。其他股依此类推，剩余股头用剋刀切掉即可。

②花插绳方法。花插绳起头与跑插法完全一致，然后从⑥进钎挑二股由①引出 1；从⑦进钎挑二股由⑤引出 2，依此类推。这样就形成插股绕压前股，习惯上称这种插法为挑二压一。但这里必须注意，跑插法可以选任意一股自始至终一次插完，然后再换第二股；花插法只能按次序一股插一扣齐头并进，否则容易插错。

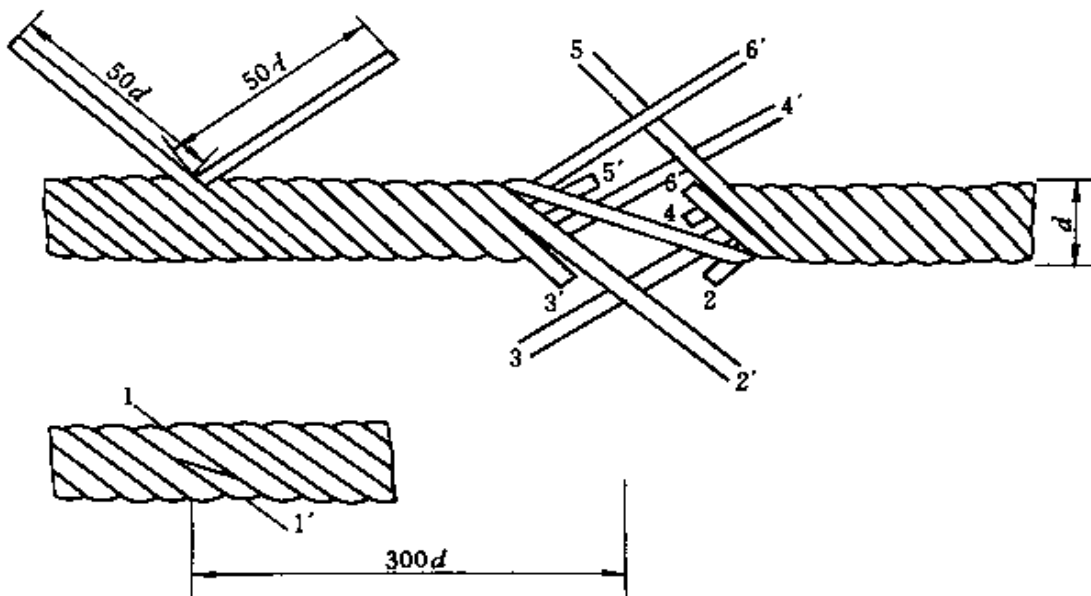


图 1-10 大插法钢丝绳

③大插绳方法。首先将插接绳的两端头按图 1-10 中的规定长度破股，切掉麻芯，并每隔一股切掉一股，使两插绳头按一长股一短股对顶，然后按短股后退，长股跟随。当长短股都留下 $50d$ 长时，再从这两股汇交点左右两侧的被插接绳中相当于余留股长 ($50d \times 2$) 取出麻芯切掉，并将这两根余留股当作绳芯赶入绳内即可。这种插法的最大特点是，不会增大绳的直径，适合穿滑轮组起吊绳的插接。这里要注意的问题是，接绳端每一侧有 3 对股头需要赶入绳芯内，所以赶入点的具体位置，应按绳破头股长的三分之一等距间隔，不准赶入股重叠和任意定距。

2.7 钢丝绳的检验与报废标准

(1) 直径减小 直径磨损不超过 40%，允许使用，但要折减；若超过 40%，应按报废处理。

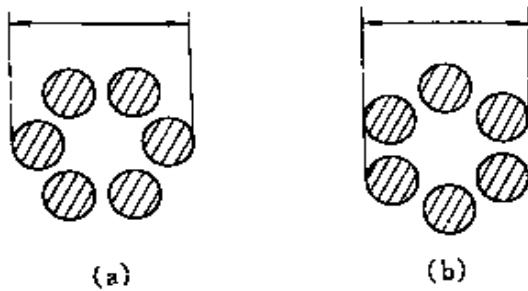


图 1-11 钢丝绳直径测定法
(a) 正确测法；(b) 不正确测法

钢丝绳直径测定方法见图 1-11。

(2) 表面腐蚀 钢丝绳长期使用后，受自然和化学腐蚀是不可避免的。当整根绳外表受腐蚀的麻面凭肉眼显而易见时，钢丝绳就不能使用。如果只是局部受腐蚀，可将其腐蚀部分切去，插接使用。受腐

蚀的钢丝绳也要根据腐蚀的程度折减使用，见表 1-10。

表 1-10 折减系数表

钢丝表面磨损量或锈蚀量	10%	15%	20%	25%	30%~40%	>40%
折减系数，%	85	75	70	60	50	0

(3) 结构破坏 钢丝绳使用一个时期后会有断丝的情况，断丝的处理可按表 1-11 进行。钢丝绳整股破断应报废，或者剋断切除插接使用。整根绳中间压扁和打结均不准使用，或可采取切除一段插接使用。

表 1-11 钢丝绳的报废标准

安全系数	钢丝绳结构					
	6×19		6×37		6×61	
	在一个捻距内破断钢丝根数					
	交绕	顺绕	交绕	顺绕	交绕	顺绕
小于 6	12	6	22	11	36	18
6~7	14	7	26	13	38	19
大于 7	16	8	30	15	40	20

捻距就是同一股钢丝绕钢丝绳一周的距离，如图 1-12 所示。捻距也叫节距。

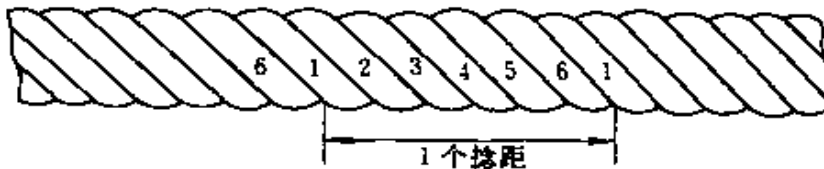


图 1-12 捻距

现在有些部门也有根据钢丝绳断丝情况在报废标准范围内折减使用。一般是按报废标准断丝数三分之一为一个范围，分别折减为 90%、70%、50%。

(4) 超载 超载使用过的钢丝绳不得再使用，如要使用也必须通过科学方法鉴定降低使用。对于未知超载使用过的钢丝绳，一般可通过检查外观有无严重变形、结构破坏、纤维芯挤出或有无明显的蜷缩、聚堆等现象来判断。

对于吊运炽热金属或危险品的钢丝绳的报废断丝数，取一般钢丝绳报废断丝数的一半，其中包括钢丝表面磨蚀进行的折减。

2.8 钢丝绳维护与保养

使用或储存钢丝绳时，钢丝绳的机械磨损、自然腐蚀和局部触伤等情况是经常发生的。为了减少或避免这种情况，一般规定使用和储存钢丝绳时，要定期涂刷保护油。对长期使用的钢丝绳，至少每隔 4 个月要涂刷一次，短期使用不超过一年的，原则上在使用前涂刷一次即可。

对于入库储存的钢丝绳，除了预先将绳表面污垢清除干净涂刷一层保护油外，还应把钢丝绳轻松卷成圆盘，平放在木板台上，以防受潮，造成损失。

保护油成分如下：

油膏-煤焦油 68%，石油沥青 10%，松香 10%，凡士林 7%，石墨 3%，石蜡 2%。

油膏-黄干油 90%，牛油 10%。

油液-黄干油 90%，石油沥青 10%。

浸油施工工艺是把油液加热至 200~250℃，将分成的小盘钢丝绳浸入油中加热 15~20min，然后取出凉干即可。

2.9 使用钢丝绳的一般要求

①计算钢丝绳能力应根据受载形式和施工现场来确定安全系数，不准任意降低。严禁超负荷使用。

②使用钢丝绳前应根据本章 2.7 的要求进行质量检查，作出评定和必要的处理。

③使用钢丝绳过程中，要经常注意避免打结、压扁、剋伤、电弧打伤、滑动摩擦、化学介质侵蚀和长时间被水浸泡等现象。

④钢丝绳表面应根据本章 2.8 的要求，定期涂刷保护油。

⑤钢丝绳通过卷筒和滑轮组，轮毂与绳径之比不得小于 10 倍。

⑥滑轮绳槽半径应大于绳半径的六分之一。

⑦接长钢丝绳应根据需要决定采用小插接和大插接形式，插接股长度不得小于本章 2.6 的规定。

⑧从卷扬机到第一个导向滑轮的距离不得小于 20 倍的卷筒长度。

⑨不同的用途要选择合理的钢丝绳结构形式，如拖拉绳可选择 6×19 结构形式的钢丝绳。做起吊绳则选择 6×37 结构形式的钢丝绳。

⑩新钢丝绳开卷解开时，方法要正确，如牵引车水平延拉放劲，吊车吊起绳盘空中旋转放劲，或人工手摇放劲。避免由于方法不当使钢丝绳形成环圈扭结，绳股产生弯曲疲劳，降低使用寿命。

2.10 检验钢丝绳极限破断拉力的试验和计算方法

新到现场的钢丝绳若无出厂技术证明，鉴定用过多次的钢丝绳能

力，可根据《化基规 308—62》的规定执行。即从钢丝绳每股中按 10% 取丝试验，再由其试验结果计算一根丝的平均破断拉力，则整根钢丝绳的钢丝总破断拉力等于一根丝的平均破断拉力乘以钢丝绳的钢丝总根数。最后，根据不同结构钢丝绳乘以受载不均系数便得出钢丝绳的破断拉力。即：

对绳 6×19

钢丝绳破断拉力 = 钢丝总破断拉力 $\times 85\%$

对绳 6×37

钢丝绳破断拉力 = 钢丝总破断拉力 $\times 82\%$

对绳 6×61

钢丝绳破断拉力 = 钢丝总破断拉力 $\times 80\%$

3 焊接链

3.1 焊接链结构和规格

焊接链是由一长串长圆形链环所组成。链环是由 Q215、Q235、20MnZ 和 20MnV 圆钢经锻焊或煨焊制成。

焊接链按节距 t （一节距 t 为一个链环长）与圆钢直径 d 的比值不同，分为长环链和短环链两种。 $t/d \geq 5$ ，称长环链，不适用于起重机上。短环链尺寸如图 1-13 所示，适用于起重机上，因为它绕在滑轮或卷筒上时，和链环相切处所产生的弯曲应力要比长环链小得多。

短环链焊制中，按制造精确度不同，又分为规格链（标准链）与非规格链两种。

当链条绕过滑轮光滑表面时，链环长度有些误差是无关紧要的，所以节距误差允许到 $\pm 0.1d$ 。这种链条称为非规格链。

因为链条用在平滑轮时，它能沿轮面滑动，所以，必须把它的末端固定才能负担载荷。反之，就需要链条绕过表面有椭圆凹槽的滑轮

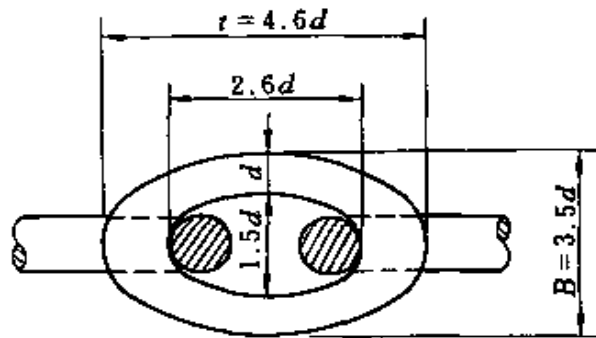


图 1-13 短环焊接链

(如链式滑车上的牵引拉链), 这就要求链环准确地落在凹槽中, 则节距误差不得大于 $0.03d$ 、宽度误差不得大于 $\pm 0.05d$ 。这种链条称为规格链。

焊接链的技术规格见表 1-12。

表 1-12 焊接链的技术规格

链环尺寸, mm			试验 拉力 kN	破断 拉力 kN	理论 重量 kg/m	链环尺寸, mm			试验 拉力 kN	破断 拉力 kN	理论 重量 kg/m
d	t	B				d	t	B			
5	19	17	3.2	6.4	0.5	23	76	64	105	210	12
6	21	19	5.0	10.0	0.8	26	84	72	133	266	15
7	21	21	7.5	15.0	1.2	28	91	78	156	312	17.4
8	27	23	11.0	22.0	1.5	30	98	84	178	356	20
9.5	32	27	15.5	31.0	2.0	32	104	91	205	410	22.1
11	36	31	22.0	44.0	2.7	35	114	98	232	464	27.5
13	43	36	33.0	66.0	3.9	38	123	106	274	548	32.5
15	53	44	51.0	102	5.0	41	133	114	318	636	38
18	58	50	64.0	128	7.3	44	148	123	366	732	43.5
20	66	56	80.0	160	9.2	48	151	134	435	872	52

焊接链的优点是对于任何方向都有较好的挠性, 在弯曲时产生的弯曲应力较其他挠性件小得多。但是焊接链有自重大、多磨损、对冲击负荷极为敏感和突然断裂等缺点。使用时应多加注意检查。

3.2 焊接链的计算

无论规格链与非规格链(皆指短环链), 每个链环所受的弯曲力是不完全一致的, 每一个链环焊接点的材料结构也是不完全相同的, 所以要想精确地计算出链条允许的承载能力是相当困难的。在工业应用中, 一般采用的破坏载荷计算法, 既简单又比较实用。

$$[S] = P/K \quad (1-10)$$

式中 $[S]$ ——链条允许的最大承载能力, kN;

P ——链条的破坏载荷, kN, 见表 1-12;

K ——链条使用安全系数, 见表 1-13。

表 1-13 焊接环形链的安全系数

使用情况	光卷筒或滑轮		链 轮		捆绑物品	吊挂用 (带小钩、小环等)
	手动	机动	手动	机动		
安全系数	3	6	4	8	6	5

式(1-10)是按拉伸的破坏载荷考虑的。实际上当焊接链在卷筒和链轮及滑轮上工作时,由于横向弯曲的缘故,对于焊接链的强度是有很大的影响的。为此,必须控制卷筒直径 D (或滑轮轮径)和链的钢材直径 d 之比,以减少横向弯曲的影响。

人力驱动: $D \geq 20d$

机械驱动: $D \geq 30d$

3.3 焊接链末端接头

与起重小车车架的联接方法见图 1-14(a)。

与起重钩的联接方法见图 1-14(b)(c)。

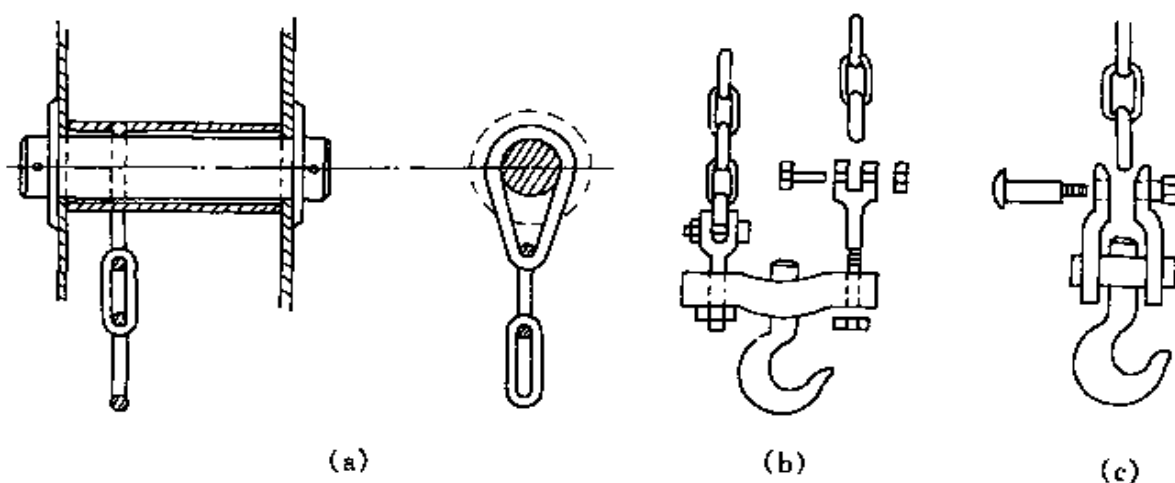


图 1-14 焊接链末端接头形式

3.4 焊接链使用注意事项

①焊接链使用前应搞清其技术质量标准,应有生产检验部门签发的合格证,并在链条上作出下述标记:

(a) 质量等级标志,每隔 20 个链环长度或每米长度(二者中取小值)上,明显地压印或刻印质量等级的代号;

(b) 在链条的所有端部，由检查人员作出明显的检验标志。

②使用时严禁超负荷、扭紧、横向受力，使用后要妥善保管，以防生锈、腐蚀。

③焊接链出现下述情况之一时，应报废：

(a) 裂纹；

(b) 链条发生塑性变形，伸长达原长度的 5%；

(c) 链环直径磨损达原直径的 10%。

第 2 章 滑轮与卡具

起重吊装索具包括的种类很多，除绳索之外，还有滑轮、滑车、吊环、绳卡扣等各种专用工具。根据使用形式和作用的不同，又有多种分类，如滑轮分单滑轮和滑轮组，滑车分平缆索滑车、斜缆索滑车和链式滑车等。为了对它们的结构形式、适用范围和作用特点有比较明确的了解，现分别简要介绍如下。

1 滑轮

滑轮是由外壳钢夹板、绳轮、轮轴和吊钩（吊环）四部分组成。它的主要作用是减小牵引力和改变拉力方向。

1.1 滑轮类型与作用

滑轮分为单滑轮和滑轮组。单滑轮根据使用形式不同，又分为动滑轮和定滑轮两种类型。

动滑轮能减小牵引拉力，不能改变拉力方向；定滑轮能改变拉力方向，而不能减小牵引拉力；滑轮组既能减小牵引力，又能改变拉力

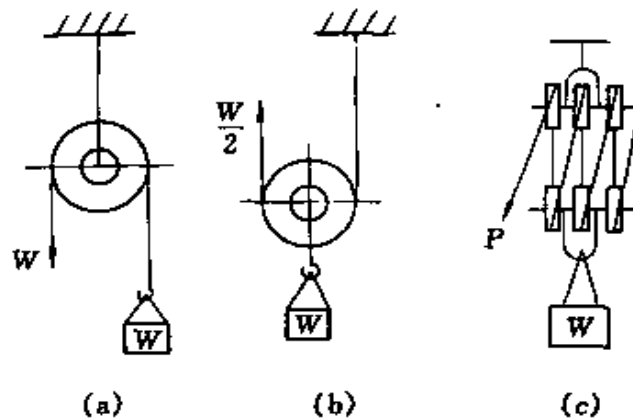


图 2-1 滑轮作用形式与作用

(a) 定滑轮；(b) 动滑轮；(c) 滑轮组

方向。因此，吊装较重物件时，使用滑轮组就可以达到用较小的力起吊重量大的物件。定滑轮、动滑轮及其作用形式与作用见图 2-1。

常用滑轮的规格与能力详见表 2-1。

表 2-1 国产滑轮标准系列化设计表示方法

型 号	代号排列次序								
	1	2	3	4	5	6			
	代号符号					吊头结构代号			
	H	数字	X	数字	K	G	D	L	W
	代号的含义或名称								
H50×5W H5×1KG	代表系列	代表起重量, t	间隔号	代表滑轮个数	表示滑轮是开口的	吊钩式	吊环式	链环式	吊梁式

滑轮外形尺寸见图 2-2 和表 2-2。

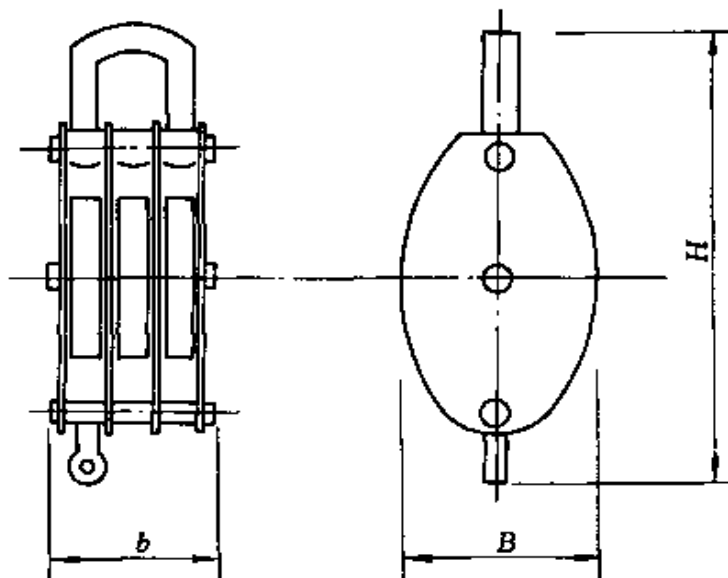


图 2-2 滑轮外形尺寸

表 2-2 常用滑轮规格

滑轮类别	型 号	起重量 t	轮槽底径 mm	轮轴直径 mm	外形尺寸, mm		
					H	B	b
单滑轮	H0.5×1K _B G	0.5	70	16	234.5	95	61.5
	H1×1K _B G	1	85	22	299	118	70.5
	H2×1K _B G	2	115	26	394	115	87.5
	H3×1K _B G	3	135	32	473	180	99.5
	H5×1K _B G	5	165	38	576	216	108.5
	H8×1K _B G	8	210	48	720	280	136.5
	H10×1K _B G	10	245	52	811	321	148
	H16×1K _B G	16	320	70	1008	416	180.5
	H20×1K _B G	20	360	80	1123	460	197.5
双滑轮	H1×2D	1	70	16	238.5	95	77
	H2×2D	2	85	22	319	118	93.5
	H3×2D	3	115	26	406	155	113.5
	H5×2D	5	135	32	506	180	130.5
	H8×2D	8	165	38	593.5	216	155.5
	H10×2D	10	185	42	681	244	165.5
	H16×2D	16	245	52	826.5	321	198.5
	H20×2D	20	280	60	948	364	212
	H32×2D	32	360	80	1176.5	460	260
三滑轮	H3×3D	3	85	22	332	118	128
	H5×3D	5	115	26	441	155	155
	H8×3D	8	135	32	527.5	180	180.5
	H10×3D	10	165	38	617	216	214
	H16×3D	16	185	42	689	244	228.5
	H20×3D	20	210	48	771	280	248.5
	H32×3D	32	280	60	951.5	364	293.5
	H50×3D	50	360	80	1253.5	460	359.5
四滑轮	H8×4D	8	115	26	486.5	155	206
	H10×4D	10	135	32	545	180	235
	H16×4D	16	165	38	677.5	216	285
	H20×4D	20	185	42	746	240	300
	H32×4D	32	245	52	943	321	366
	H50×4D	50	320	70	1187	416	420
五滑轮	H20×5D	20	165	38	673.5	216	343.5
	H32×5D	32	210	48	855.5	274	398
	H50×5D	50	280	60	1047	364	461.5
	H80×5D	80	360	80	1267.5	460	561.5

续表

滑轮类别	型 号	起重量 t	轮槽底径 mm	轮轴直径 mm	外形尺寸, mm		
					H	B	b
六滑轮	H32×6D	32	185	42	768	240	424
	H50×6D	50	245	52	982.5	321	518
	H80×6W	80	320	70	1219	416	591
	H100×6W	100	360	80	1368.5	460	661
七滑轮	H80×7W	80	280	60	1166	364	632.5
八滑轮	H100×8W	100	320	70	1296	416	778
	H140×8W	140	360	80	1474.5	460	860

注：以上均为天津市跃进滑轮厂生产的产品。

1.2 滑轮穿绳形式

滑轮穿绳，有顺穿和叉穿两种方法。顺穿法是从滑轮组一边的第一个轮入绳，以上下滑轮组对应排列位置按次序一直穿完。叉穿法是从上滑轮组中间一个轮入绳，以最少交叉次数隔一轮位形式穿绳。顺穿容易穿绳，绳与绳不交错摩擦，动、定滑轮可以接近至最小距离，但

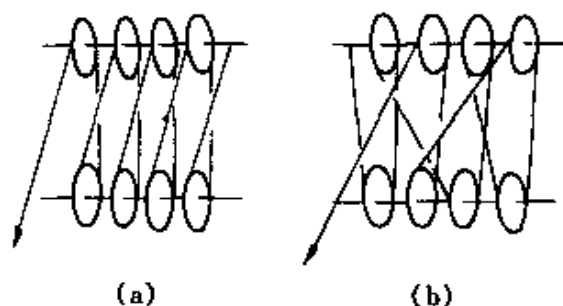


图 2-3 滑轮穿绳形式
(a) 顺穿绳；(b) 叉穿绳

由于受力偏重一侧，使滑轮组容易倾斜，扭转和轮轴磨损不均匀。叉穿能使滑轮组稳定，轮轴运转正常、不易磨损，但穿绳困难，绳与绳交叉有摩擦，动、定滑轮也不能靠得很近。

顺穿法和叉穿法都有其优缺点，可以根据实际情况选用。

穿绳形式见图 2-3。

一般情况下五轮以上的滑轮组就要用叉穿法穿绳，以保证滑轮的受力平衡。如果考虑到卷扬机的容绳量，以及加快提升、下降的速度，施行双抽头作业，也可以采用顺穿法穿绳。

1.3 滑轮组最小拉紧距离的确定

在制定起重方案时，不能不考虑在使用滑轮组时，它所必须占用的空间。一般上、下滑轮之间最小允许距离根据起重量的大小，取700~

1200mm，见表 2-3。这不仅考虑两滑轮所占有的长度，还考虑两滑轮间串穿的跑绳交错摩擦的情况。

表 2-3 滑轮组允许最小拉紧距离

起重量, t	1	5	10	15	20	25	30	40
最小距离, m	0.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

注：这是拉紧状态下的数据，距离是指滑轮轴间的长度。

滑轮组最小拉紧距离，也可以不小于其滑轮直径的 5 倍来估计。

1.4 滑轮组选用中应注意的几个问题

选配滑轮组的两滑轮规格时，是依据各自所受拉力来选择的。而两滑轮受力是不相等的。在滑轮组水平状态时，跑绳引出那个滑轮，除了工作载荷外，还要受到跑绳的拉力；滑轮组在垂直工作状态时，上滑轮还要比下滑轮多承受下滑轮的重量、绳索的重量。因而在起重吊装选配滑轮组时，下滑轮按其载荷重量来选择，上滑轮则要以载荷重量、跑绳拉力、下滑轮及绳索重三者之和来选择。

使用对称性起吊滑轮组时，两套或两套以上滑轮组承担同一个载荷时，应根据具体情况装设平衡轮或平衡装置。两钢绳末端必须可靠地固定在平衡装置上。平衡装置或平衡轮必须能自由转动，并保证有充分的润滑，同时还应增加护板，以防止钢绳相互缠绕。

使用对称性起吊滑轮组时，两个或两个以上滑轮组和动力机械的卷扬速度及效率等应力求相同，以保证起吊平稳。

1.5 牵引绳拉力的计算

用滑轮组起吊物件时的牵引力，除与起吊物件重量和滑轮组轮数有直接关系外，导向滑轮数、滑轮摩擦阻力、起吊牵引速度、物件稳定性等也有一定的影响。为了便于计算，特将各影响因素化为综合系数，用下列公式进行计算：

$$P = W\alpha \quad (2-1)$$

式中 P ——牵引绳拉力，kN；

W ——起吊物件重量，kN；

α ——综合系数，见表 2-4。

表 2-4 滑轮组牵引绳拉力综合系数

工作绳数, 根	导向滑轮数					
	0	1	2	3	4	5
1	1	1.04	1.082	1.125	1.17	1.217
2	0.507	0.527	0.549	0.571	0.594	0.617
3	0.346	0.360	0.375	0.390	0.405	0.421
4	0.265	0.270	0.287	0.298	0.310	0.323
5	0.215	0.225	0.234	0.243	0.253	0.263
6	0.184	0.191	0.199	0.207	0.215	0.224
7	0.160	0.165	0.173	0.180	0.187	0.195
8	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174
9	0.129	0.134	0.140	0.145	0.151	0.157
10	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139	0.145
11	0.110	0.114	0.119	0.124	0.129	0.134
12	0.102	0.106	0.111	0.115	0.119	0.124
13	0.096	0.099	0.104	0.108	0.112	0.117
14	0.091	0.094	0.098	0.102	0.106	0.111
16	0.082	0.086	0.090	0.095	0.099	0.102
18	0.070	0.072	0.075	0.080	0.088	0.094

几种起吊滑轮组的有效工作绳根数见图 2-4。

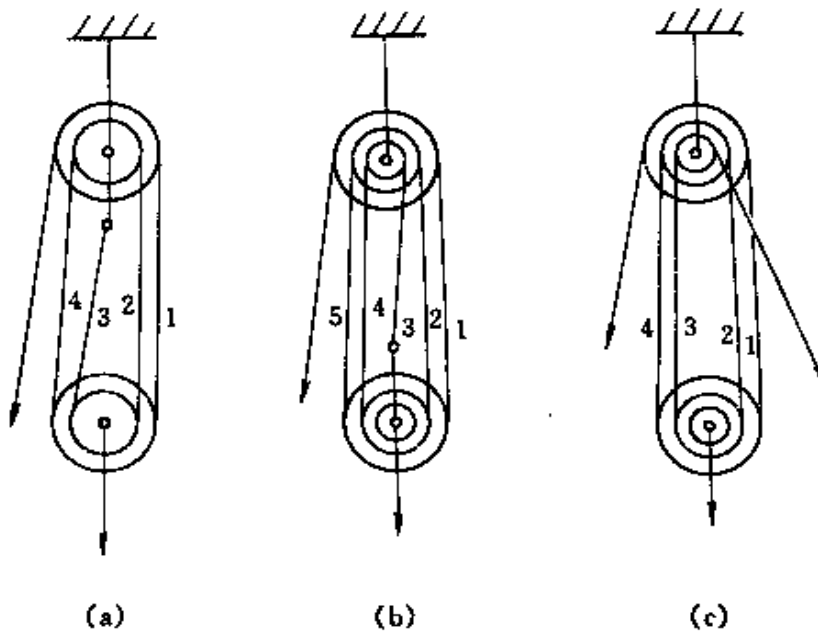


图 2-4 起吊滑轮组有效工作绳根数

滑轮组牵引绳拉力的计算，也可以用下列计算公式求得。

$$P = W \cdot f^{n-1} \frac{f-1}{f^n-1} f_0^x \quad (2-2)$$

式中 P ——牵引绳拉力，kN；

W ——起吊物件重量，kN；

f ——滑轮阻力系数，滚动轴承取 $f=1.02$ ，青铜衬套取 $f=1.04$ ，无青铜衬套取 $f=1.06$ ；

n ——滑轮组工作绳数，根；

f_0 ——导向轮摩擦系数，一般 $f_0=1.05$ ；

x ——导向滑轮个数。

例：已知一设备重量 200kN，吊至 16m 高度处，采用 25t4-4 滑轮组一对，起吊绳通过 90°导向滑轮 2 个，如果不考虑索具自重，试问需要多大牵引拉力才能吊起这台设备？

解：根据吊装物件重量 $m=20t$ ，4-4 滑轮组有效工作绳数 8 根，导向滑轮 2 个，查表得出牵引绳拉力综合系数 $\alpha=0.155$ ，所以牵引力为：

$$P = W \cdot \alpha = 200 \times 0.155 = 31\text{kN}$$

下面再用公式 (2-2) 来计算：

$$\begin{aligned} P &= 200 \times 1.04^{8-1} \times \frac{1.04-1}{1.04^8-1} \times 1.05^2 \\ &= 31.45\text{kN} \end{aligned}$$

由此可以看出，公式 (2-2) 的计算结果也是可靠的。

2 滑车

施工现场起重吊装常用滑车。滑车有缆索滑车和链式滑车等。

缆索滑车是由外壳钢夹板、绳轮和吊钩等件构成的承载重物的行车。这种行车必须设置在架空缆索上，依靠缆索垂直提升和沿着缆索横向运移物件。

链式滑车是由链轮、齿轮和钢链等件构成的一种小型起重机械，使用时用人力拉动钢链就能进行起重作业。

2.1 缆索滑车的种类与作用

缆索滑车分为平缆索滑车和斜缆索滑车等。平缆索滑车是沿着平缆索垂直提升和沿缆索横向运输物件，斜缆索滑车是沿着斜缆索垂直提升和沿斜缆索斜向运输物件的。

凡采用这两种缆索滑车吊装物件，均要求重量小、次数频繁、运输速度快以及跨度大等条件。根据起重机结构特点，平缆索滑车适用于成排设备安装；斜缆索滑车适用于高塔内物料充填。化工安装现场采用过的单绳平缆索滑车最大吊装能力一般是 10t，跨距是 100m，斜缆索滑车吊装能力一般是 10t，斜距 80m，平均速度每分钟 200m 以上。

2.2 缆索滑车使用形式和操作方法

缆索滑车的使用形式和操作方法，因具体情况不同和受机具配套条件的限制，可能有些差异。这里仅介绍化工安装检修使用这些缆索滑车的情况。

(1) 平缆索滑车使用形式和操作方法 平缆索滑车是将缆绳轮穿托在架空的平缆索绳上，再在缆索绳一侧的桅杆引起吊绳和行车牵引绳，其绳下端分别缠绕在一台双卷筒卷扬机上，上端的起吊绳穿在行车内的起吊滑轮组上，行车牵引绳通过它的导向轮引至缆索绳另一侧的桅杆导向轮，并返回行车内的行车轮，最后固定在前面导向轮的桅杆上。当吊装物件时，只开动起吊绳的卷筒使物件提至预定高度后停车。如果需要横向移动，就开动行车牵引绳的卷筒，在保持物件原来高度条件下，还要缓缓控制放松起吊绳，当物体被运移到要求位置并降落物件时，两卷筒要同时停车，再控制降落起吊绳，到此吊装就算完成了。第二次进行吊装时，仍按上述方法的逆向将行车返回原地，进行工作。敷设平缆索滑车的结构形式见图 2-5。

使用平缆索滑车的几点要求：

① 架空平缆索两端的非工作区段距离，一般规定为整个平缆索跨度距离的十分之一。因此采用这种形式吊装时，缆索跨距必须考虑两端非工作区（又称死区）距离的余量。

② 初设平缆索的挠度要调节在缆索跨度的三十分之一，吊起物件后的缆索绳中间挠度为缆索跨距的十二分之一。因此，采用这种形式

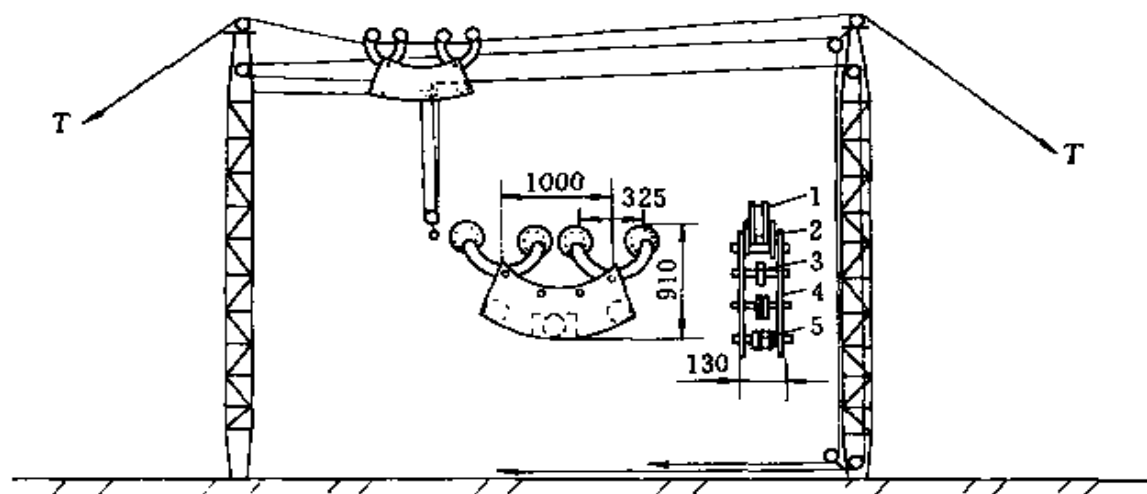


图 2-5 敷设平缆索滑车的结构形式

1—缆绳轮；2—缆绳轮夹板；3—导向轮；4—平缆索滑车夹板；5—起吊滑轮组

吊装，架空缆索高度必须考虑吊起重物后挠度高度的余留量。

(2) 斜缆索滑车使用形式和操作方法 斜缆索滑车使用形式是将缆绳轮穿托在一条与地面夹角不小于 40° 的斜缆索绳上，起吊绳由卷扬机通过斜缆索最高点处的导向轮和行车内的吊装单滑轮，最后拴接在吊装物件上。当吊装时，开动起吊绳卷扬机使物件靠近行车并联带行车，沿着斜缆索吊至最高点，这时用定距锁链挂住行车的制动挂钩，并立即停车，然后缓缓放松起吊绳，使物件垂直降落，至此吊装就算结束了。再开动起吊绳卷扬机，使吊钩靠近行车，并紧急停车，摘开定距锁链，放松起吊绳，使吊钩与行车返回原地，再依此进行下一轮吊装作业。敷设斜缆索滑车的结构形式见图 2-6。

使用斜缆索滑车的几点要求：

①初设斜缆索的挠度要调节在缆索长度的 1.5%。吊起物件后的挠度要保持在缆索长度的 5%。

②斜缆索靠近地面一段，根据行车与吊装物件的高度，在斜缆索上捆扎一定距木，制止行车降落地面。

③斜缆索顶端应搭设操作台，以便止动行车、挂钩和指挥吊装。

④行车体重必须大于吊装物件重量，以免吊装时，行车与物件脱节。

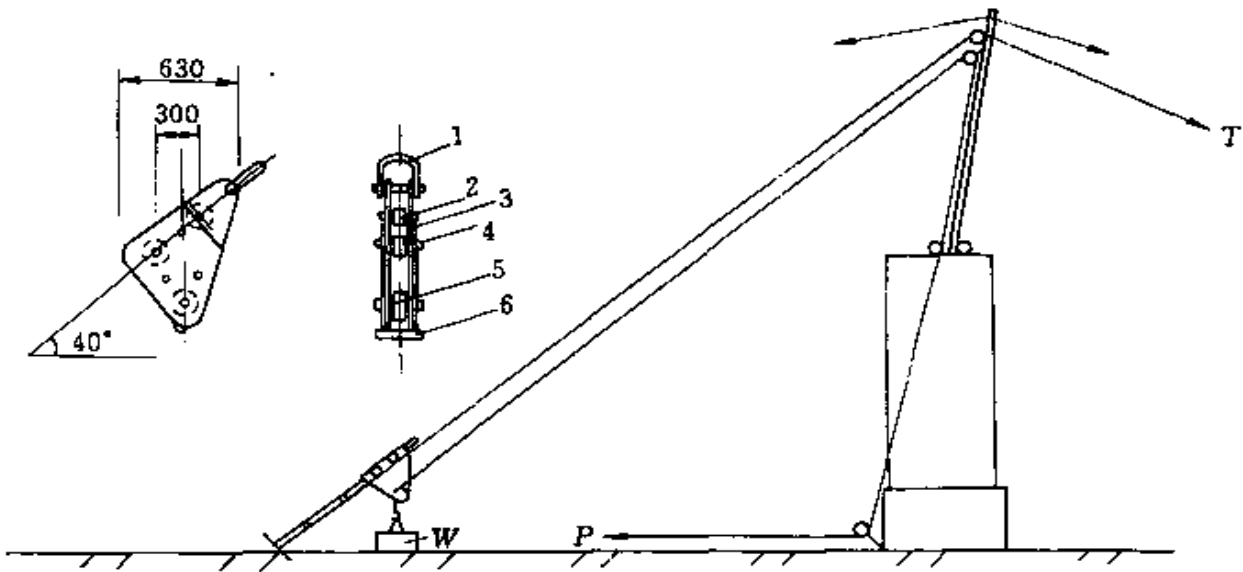


图 2-6 敷设斜缆索滑车的结构形式

1—挂钩；2—缆绳轮；3—斜缆索滑车夹板；4—斜缆索滑车配重；
5—起吊滑轮；6—卡梁

⑤斜缆索与地面夹角应保持 40° 角，以减少行车返回时间，提高行车速度。一般行车吊装速度每分钟可达 70m 以上，因此，这种行车轮必须装设滚动轴承。

2.3 链式滑车的种类与作用

链式滑车俗名手拉葫芦、倒链和斤不落，其种类分差动滑车、蜗轮滑车和齿轮滑车。

差动滑车是在一根轴上装设直径大小不同两个定滑轮和在另一根轴上装设承载重物的动滑轮。当吊重物件时，定滑轮轴在两个定滑轮正反扭转力矩作用下平衡，保持物件的升、降稳定。但是由于结构笨重，吊重量不宜超过 30kN，因此，适用性不大，目前已被淘汰。

蜗轮滑车是由双纹蜗杆、蜗轮和吊钩等构成的滑车。这种滑车有自锁性，工作起来既省力又灵活稳定。但是由于结构笨重，吊重量不宜超过 10t，尤其是在齿轮滑车出现之后，它的应用也逐渐减少。

齿轮滑车是由链轮、齿轮、轮轴、链子和吊钩等构成的滑车。这种滑车结构紧凑，速度快，效率高达 90%，工作起来既省力又灵活稳

定，起重能力可达 20t。因此，目前在施工现场应用比较广泛。

上述三种滑车结构，见图 2-7。

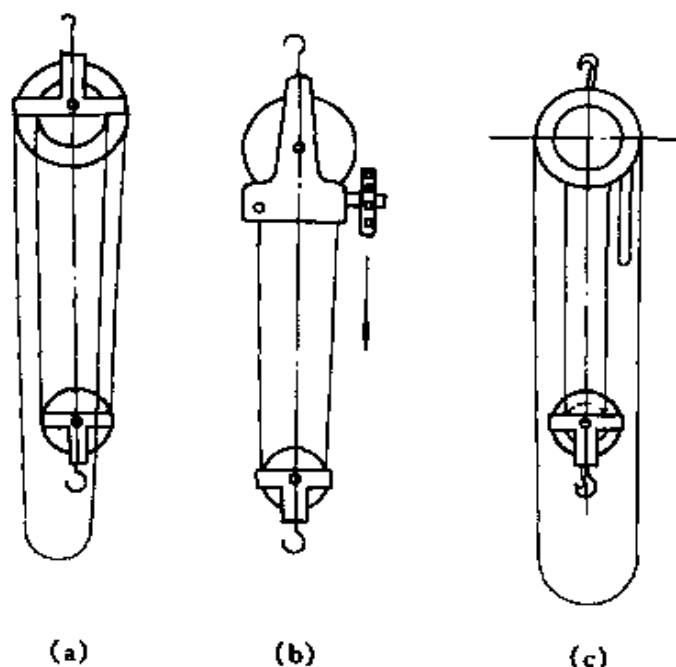


图 2-7 链式滑车结构形式

(a) 差动；(b) 蜗轮；(c) 齿轮

齿轮链式滑车自重轻，体积小，搬运方便，可垂直、横向使用，安全可靠，使用范围广。

下面就其机构传动原理作简要的介绍。当滑车提升重物时，牵引拉链使链轮按顺时针方向转动。链轮沿着圆盘套筒上的螺纹移动，而将棘轮圈和摩擦片都压紧于链轮轴上，使链轮轴和圆盘牢固形成一体，则链轮轴一侧的齿轮带动与其啮合的行星齿轮，与固定齿圈相啮合，使行星齿轮沿链轮轴为中心顺时针方向转动。同时带动驱动机构起重链轮转动，使起重链子上升。当松开牵引拉链之后，重物是靠物体自重产生的自锁现象停止在空中的。因为链轮停止转动时，起重链轮受物体自重而沿逆时针方向转动，则行星齿轮传动机构也沿逆时针方向转动，使圆盘、摩擦片、棘轮圈相互之间产生摩擦力作用于螺纹上，发生自锁，使重物停在空中。同理，当牵引轮沿顺时针方向转动时，棘轮圈、摩擦片之间摩擦力消除，此时，起重链轮靠物体自重随行星齿

轮机构转动而下降，直至链轮停止时，又靠自锁力而停止。

常用齿轮链式滑车的主要尺寸表示见图 2-8，技术规格、报废标准及其能力试验工艺标准分别见表 2-5~表 2-7。

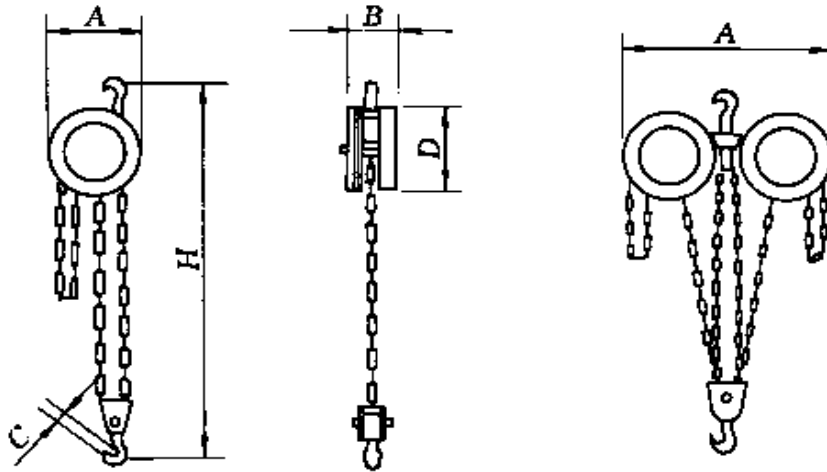


图 2-8 齿轮链式滑车的主要尺寸表示

表 2-5 齿轮链式滑车的技术规格

型 号		WA1	WA2	WA2½	WA3	WA5	WA10	WA20
起重量, t		1	2	2.5	3	5	10	20
起升高度, m		2.5	2.5	2.5	3	3	3	3
试验载荷, kN		12.5	25	31.3	37.5	62.5	125	250
两钩间最小距离 H, mm		270	380	370	470	600	700	1000
手拉力, kgf		31	32	38	35	38	39	39
起重 链条	直径 × 节距, mm	φ6	φ6	φ10	φ8	φ10	φ10	φ10
	行 数	1	2	1	2	2	4	8
主要 尺寸 mm	A	142	142	210	178	210	558	580
	B	120	120	160	136	160	160	186
	C	28	34	36	38	48	64	82
	D	142	142	210	178	210	210	210
重量, kg		10	14		24	36~38	68	150
起升高度每增加 1m 应增加 的重量, kg		1.7	2.5	3.1	3.7	5.5	9.7	19.4

表 2-6 齿轮链式滑车报废标准

吊钩开口度	轴弯曲度	轴径磨损	链节增长	齿轮厚度磨损	链轮厚度磨损
2.5%	0.05%	2%	5%	10%	20%

表 2-7 齿轮链式滑车能力试验工艺标准

静载试验 1.25Q	动载试验 1.1Q	额定荷载试验 1.0Q
吊高 300mm, 停留 10min	吊高 1m 起落三次	全高分三步吊, 停及落不跑链

3 滑轮与滑车的使用要求

①滑轮与滑车在使用前必须进行外观质量、结构完整性、运转部分的灵活性以及充油部分是否有油等检查,以免在工作中产生跑链、干磨,造成机械、人身事故。对于缺件、失灵和结构损坏的滑轮与滑车都必须修复后再使用,严禁设备带病工作。

②施工环境温度低于 -20C 的滑轮与滑车,应注意其各部分构件的冷脆性损坏。因此,在使用过程中不准敲打、扭曲、过载和冲击。一般在低温情况下吊装能力尚须按额定能力降低 20%使用。比如 10t 能力的链式滑车,在气温 -27C 条件下操作,吊重量最多只允许是 8t。

③吊装用的滑轮旋转线速度一般每分钟不超过 20m,对于每分钟 40m 以上的滑轮,必须采用滚动轴承。

④接近泥沙工作的滑轮,必须采取垫高措施,避免泥沙带进转动轴承间。

⑤链式滑车的驱动力在产品说明书中规定均不大于 400N,但由于人的体力和耐力关系,往往保证不了实际工作需要。根据现场实际操作经验,2t 以下链式滑车限一人驱动,3~5t 链式滑车限两人驱动,10t 以上的链式滑车限三人驱动是比较合适的,但是必须注意不准超载操作。

⑥链式滑车起吊前应检查上、下吊钩是否挂牢，吊钩不得歪斜，重物不准挂在吊钩尖端。起重链条应垂直悬挂，不得有错扭的链环，以免影响起重工作的正常运行。

⑦使用链式滑车如发现拉不动时，不可硬拉，更不能增加人员拉拽，而应立即停止使用，检查重物是否与其他物件牵连，滑车机件是否损坏。

⑧链式滑车吊钩提吊最终限位距离不少于 3 个链节，联合工作时不超过 80% 的能力。

⑨链式滑车拉链时用力要均匀，不得过快；拉链的人不得站在重物下面，以免造成不安全事故；起吊的重物停止时间较长时，要将手拉链拴在起重链轮的起重链上，以防跑链；连续工作不应过夜。

⑩经使用三个月以上即将入库贮存的滑轮与滑车，应进行拆卸、清洗、检查和注油。在没有检修补换部件前，不准按完好机具入库，或者挂牌单放。

4 吊环、绳卡扣和松紧螺丝

吊环、绳卡扣和松紧螺丝是联接索具间的一种附属专用件。如拴接滑轮组和绳索用的吊环，固定拖拉绳端头和其他绳索用的绳卡扣，以及调节伸缩距离用的松紧螺丝，都是起重工作中不可缺少的工具。为了便于现场选用，分别简介如下。

4.1 吊环

吊环是起重作业常用的取物构件，又名卸扣、卡环，外形似 U 字形，可用带螺丝的横栓来封闭开口。它用 Q235 或 15、20、40 钢等锻制而成。吊环的技术规格见表 2-8。

为了吊装大型设备，也有生产制造 75、100、125、150、200、300t 的吊环（卸扣）。

在使用吊环时不能超载使用，尤其是不能斜向受力，以免变形作废，甚至发生事故。

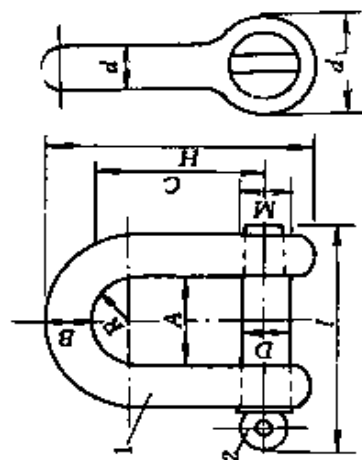
吊环的承载能力，可以从技术规格表中方便地查得。但是，往往需在施工现场对某一吊环的承载能力作出判断，手边又无表可查。为

表 2-8 U形吊环技术规格

mm

起重量, t	A	B	C	D	d	d ₁	M	R	H	l
1	28	14	68	20	14	40	18	14	102	79
2	36	18	90	25	20	48	22	18	132	103
3	44	24	107	33	24	65	30	22	164	128
4	56	28	118	37	28	72	33	25	182	145
5	64	32	138	40	32	80	36	25	210	150
8	72	36	149	43	36	80	38	25	225	154
10	50	38	148	45	38	84	42	25	228	174
15	60	46	178	54	46	100	52	30	274	214
20	70	52	205	62	52	114	60	35	314	246
25	80	60	230	70	60	130	68	40	355	245
30	90	65	258	78	65	144	76	45	395	270
35	100	70	280	85	70	156	80	50	428	295
40	110	76	300	90	76	166	85	55	459	320
45	120	82	320	96	82	178	95	60	491	346
50	130	88	343	104	88	192	100	65	527	371

简图



1 吊环, 20 钢

2 吊轴, 40 钢

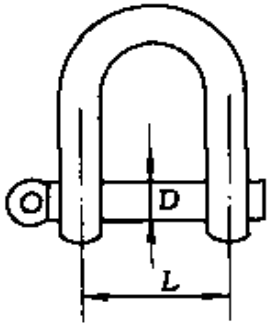
注: 产品出厂前均按本表额定能力

1.5 倍进行拉力试验

注: 此产品由天津市跃进滑车厂生产。

方便起见，下面介绍一个估算公式：

$$P = \frac{10D^3}{L} \quad (2-3)$$



式中 P ——吊环承载能力，kN；

D ——吊环横轴直径，cm；

L ——横轴间距，cm，如图 2-9 所示。

公式推导如下。把轴当作是中间受压的简支梁，这样，梁的最大弯矩为：

$$M_{\max} = \frac{PL}{4}$$

图 2-9 横轴直径和间距 横轴的截面系数： $W = 0.1D^3$

故截面应力为： $\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{PL}{0.4D^3}$

强度条件为：

$$\sigma = \frac{PL}{0.4D^3} \leq [\sigma]$$

如果取：

$$[\sigma] = 25000 \text{N/cm}^2$$

则得：

$$\begin{aligned} P &\leq \frac{0.4D^3[\sigma]}{L} = \frac{0.4D^3 \times 25000}{L} \\ &= \frac{10000D^3}{L} \text{N} \\ &= \frac{10D^3}{L} \text{kN} \end{aligned}$$

例：有一吊环，吊轴直径为 4.5cm，吊轴间距为 8.8cm，问此吊环承载能力多大？

解：根据估算公式 (2-3)：

$$\begin{aligned} P &= \frac{10D^3}{L} = \frac{10 \times 4.5^3}{8.8} \\ &= 103.6 \text{kN} \approx 10.36 \text{t} \end{aligned}$$

例：有一吊环，吊轴直径为 6.2cm，吊轴间距为 12.2cm，问此吊环承载能力多大？

解：根据式 (2-3)：

$$P = \frac{10D^3}{L} = \frac{10 \times 6.2^3}{12.2}$$

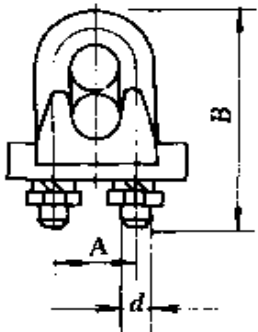
$$=195.4\text{kN} \approx 19.54\text{t}$$

通过查表得到吊轴直径为 4.5cm，吊轴间距为 8.8cm 的吊环承载能力为 10t；吊轴直径为 6.2cm，吊轴间距为 12.2cm 的吊环承载能力为 20t。由此可以看出，用估算公式计算出来的结果与查表得出的结果相差不太多。但值得注意的是 5t 以下吊环和计算出的结果相差较大。

4.2 绳卡

绳卡是固定拖拉绳端头及其他绳索的一种构件，又名卡子。绳卡有两种常用形式，一种是 U 形卡子，另一种是 L 形卡子。U 形卡又分骑马式和压板式，L 形卡又称拳握式。它的材料可用 Q235 以上碳钢。绳卡的技术规格见表 2-9。

表 2-9 绳卡的技术规格

简图	型号	适用最大 钢丝绳 直径,mm	螺栓直径 d ,mm	螺栓中距 A ,mm	螺栓全高 B ,mm	卡扣数量 个
	Y1-6	6.2	6	14	35	2
	Y2-8	8.7	8	18	44	2
	Y3-10	11	10	22	55	3
	Y4-12	13	12	28	69	3
	Y5-15	17.5	14	33	83	4
	Y6-20	19.5	16	39	96	4
	Y7-22	21.5	18	44	108	4
	Y8-25	26	20	49	122	5
	Y9-28	30	22	55	137	5
	Y10-32	36.5	24	60	149	5
	Y11-40	43	24	67	164	6
	Y12-45	47.5	27	78	188	6
	Y13-50	52	30	88	210	6

注：此产品由上海华丰钢铁厂生产。

绳卡应装有弹簧垫圈，以防螺帽在受力过程中松动。安装螺帽时应将螺纹预先用油稍加润滑。

固定钢丝绳时，头一个绳卡应靠近绳环，使绳环能充分夹紧。安装绳卡时，应使 U 形螺栓的弯曲部分在钢绳圈的短头处。绳卡间距不应小于钢丝绳直径的 6 倍。

绳卡的使用规格应和绳的规格相适应。

绳卡使用数量、间距应符合表 2-10 的规定。

表 2-10 绳卡使用数量、间距

适用绳径 mm	13~ 15	15~ 17	17~ 18.5	18.5~ 20.5	20.5~ 22.5	24.5~ 26.5	26.5~ 28.5	30.5~ 32.5	32.5~ 34	34.5~ 37
使用绳卡数 个	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8
绳卡间距 mm	100	100	120	120	140	150	180	200	230	250

当手里无资料可查时，也可以用下列估算式进行选择：

绳卡数 $\geq d$ (绳径) / 6 (mm)；

绳卡间距 = (6~8) d ；

绳头余留长度 = 10 d ；

拧紧力为看出绳径变形。

绳卡个数的选择，也可通过计算来确定。

绳端煨曲回头打绳卡形式见图 2-10。

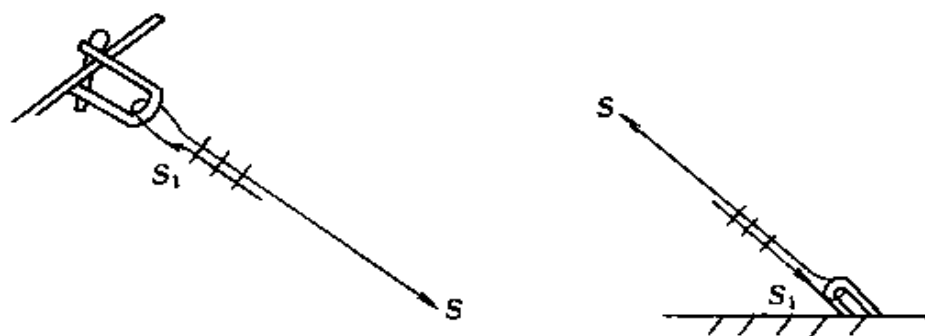


图 2-10 绳端煨曲回头打绳卡形式

在起重工作中，绳卡主要用于绳索末端联接时的固接。通过绳卡螺栓的拧紧，使钢丝绳间紧密接触，产生绳与绳间的摩擦。如果绳间摩擦力 $S_{\text{摩}}$ 的大小足以和绳上的拉伸力 S 平衡，则绳就不会发生串移。

从而达到固接的目的。

摩擦力 $S_{\#}$ 的大小取决于绳卡螺栓拧紧时产生的压力及绳之间的摩擦程度（即摩擦系数）。

$$N = 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 [\sigma] \quad (2-4)$$

式中 N ——一个绳卡产生的压紧力，N；

d ——绳卡 U 形体直径，mm；

$[\sigma]$ ——绳卡材料的许用应力，对 Q235 取 $140\text{N}/\text{mm}^2$ 。

所以，绳卡拧紧时产生的摩擦力：

$$S' = f_1 N = \frac{\pi}{2} d^2 f_1 [\sigma] \quad (2-5)$$

式中 f_1 ——绳间摩擦系数， $f_1 = 0.25$ ；

S' ——一个绳卡产生的摩擦力，N。

如果用 n 个绳卡，则总摩擦力为：

$$S_{\#} = nS' = \frac{1}{2} n \pi d^2 f_1 [\sigma]$$

钢丝绳穿过拴固物，如桅杆头上的卡环，锚坑的钢环等时，也会产生摩擦，使所需绳卡克服的力有所下降，但在一般计算中常略而不计。

所以，为了施工的安全，必须满足下式：

$$S_{\#} = \frac{1}{2} n \pi d^2 f_1 [\sigma] \geq S$$

从而导出所需绳卡个数：

$$n = \frac{2S}{\pi d^2 f_1 [\sigma]} \quad (2-6)$$

式中 n ——所需绳卡数，个；

S ——绳所受最大拉伸力，N；

f_1 ——绳间摩擦系数， $f_1 = 0.25$ ；

d ——U 形体直径，mm；

$[\sigma]$ ——U 形体材料的许用拉力，Q235 钢取 $140\text{N}/\text{mm}^2$ 。

在实际施工中，常常遇到绳卡不够用的情况，这时可以用打“倒扒扣”的办法来解决。

通过计算推导，可知打一个“倒扒扣”可以顶 2 个绳卡。

例：已知一拖拉绳拉力 210000N，直径 $\phi 39\text{mm}$ ，需要穿过桅杆顶端的耳环，用绳卡扣固定，卡扣螺丝直径为 M24，问最少需要几个绳卡扣？

解：根据式 (2-6)：

$$n = \frac{2S}{\pi d^2 f_1 [\sigma]} = \frac{2 \times 210000}{3.14 \times 24^2 \times 0.25 \times 140} \\ = 6.63 \text{ 个}$$

所以绳卡扣需要 7 个。

再用估算公式算一下：

$$n = \frac{39}{6} = 6.5 \text{ 个}$$

绳卡扣也是需要 7 个。

4.3 松紧螺丝

松紧螺丝是用来调整钢丝绳松紧的工具，又名拉紧器，如图 2-11 所示。松紧螺丝的技术规格见表 2-11。

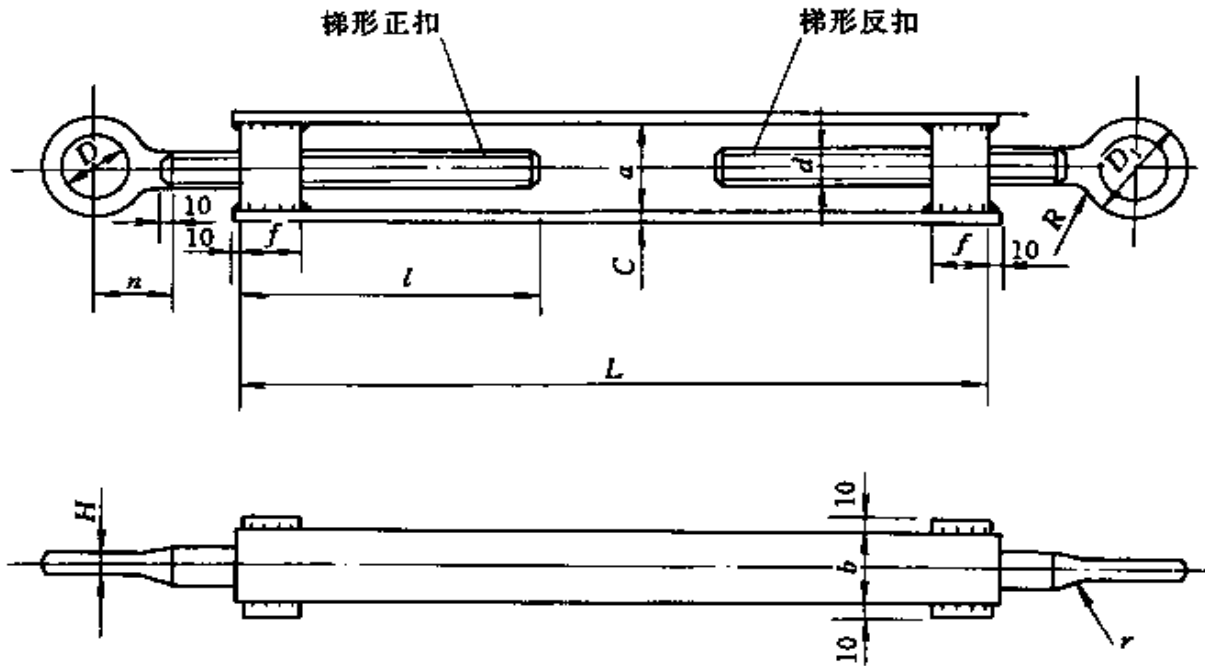


图 2-11 松紧螺丝示意

表 2-11 松紧螺丝技术规格

允许载荷 kN	尺 寸, mm												
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>f</i>	<i>n</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>D₁</i>	<i>l</i>	<i>L</i>
30	60	40	10	20	50	70	30	15	26	40	86	325	620
50	70	50	10	25	70	80	40	25	32	50	100	350	660
100	110	90	12	41	90	100	50	40	56	60	130	500	940
150	130	110	14	46	100	110	60	55	55	70	140	540	1050
200	150	130	14	54	120	130	70	70	65	80	170	690	1320

第 3 章 锚桩结构形式与能力

锚桩是用来固定卷扬机、导向滑轮、运输拖拉绳的滑车组及拴接桅杆拖拉绳等的固定点。目前锚桩种类有永久性钢筋混凝土锚桩、临时性木结构锚桩、预制混凝土构件锚桩、桩锚、地面浮重锚桩等。

1 坑锚的设置

坑锚的承载能力很大，可承受 500kN 内的拉力。因此，起重量较大的桅杆式起重机缆风绳的固定、拖运大型设备滑轮组的固定、卷扬机的固定等，常采用坑锚。坑锚可按加固形式分为无挡木坑锚、有挡木坑锚和混凝土坑锚三种，见图 3-1。

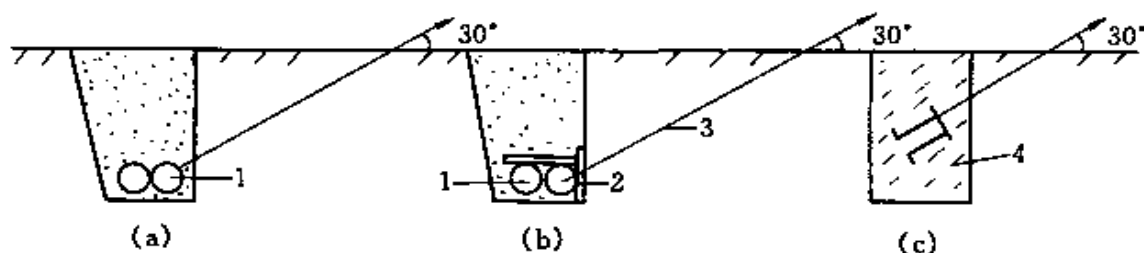


图 3-1 坑锚示意

(a) 无挡木坑锚；(b) 有挡木坑锚；(c) 混凝土坑锚

1—锚桩；2—挡木；3—引出钢丝绳；4—混凝土块

坑锚的结构形式和规格，与坑锚的承拉力、土壤的性质有直接关系。

坑锚在埋设前，要根据锚桩的长短先挖好锚坑，将钢丝绳或钢筋环系结在锚桩中间一点或系结在两边对称点上，再将锚桩横放在坑底。钢丝绳或钢筋环在坑前部倾斜引出地面，倾斜角一般在 30° ，最大 45° ，最后回填夯实。

为了安全地进行吊装施工，必须对坑锚进行核算。

①锚坑的稳定性，或叫抗拔力。即桩木上覆盖的土对桩木的压力，及由于拖拉绳拉力产生的桩木对土壤的水平压力与土壤间的摩擦力应足以抵抗拖拉绳上产生的垂直方向上的分力而不被拔出。

②土壤的抗挤压能力，或叫抗拉力。即锚坑侧面的挡土墙应足以抵抗拖拉绳拉力产生的水平方向分力的挤压作用，而不会被拖动。

③绳拴结在横桩木上，桩木应足以承受弯曲力矩而不会被破坏，也就是桩木的抗弯曲能力应足够。

对于承受较大外力的坑锚，为了加强其稳定性，可以采取加大埋设深度，加设压木以增大压在桩木上的土壤的压力，加设横木和立木以扩大对侧挡土墙的挤压面积。为了增大桩木的抗弯曲能力，可采用较高抗弯曲应力的材料如钢管等或多加桩木数量或增大桩木横截面。

2 坑锚能力计算

2.1 无挡木坑锚能力的核算

无挡木坑锚能力核算示意如图 3-2 所示。

(1) 坑锚抗拔力的核算 坑锚的抗拔力由两部分组成。一是锚桩上部的土壤重量 G ，另一部分为锚桩与土壤摩擦力 T 。因此，抗拔力 F 为：

$$F = G + T$$

其中 $G = \frac{b+b_1}{2} H L \rho g$

$$T = f P \cos \alpha$$

所以 $F = \frac{b+b_1}{2} H L \rho g + f P \cos \alpha$ (3-1)

式中 F ——抗拔力，N；

G ——土壤重量，N；

H ——锚桩埋设深度，m；

L ——锚桩长度，m；

ρ ——土壤密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， $g = 9.81 \text{m}/\text{s}^2$ ；

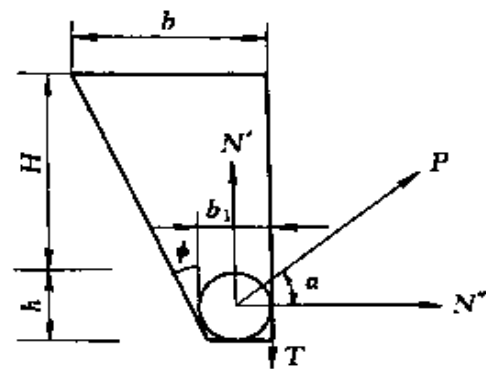


图 3-2 无挡木坑锚能力核算示意

b_1 ——锚坑底部宽，m， $b_1 = \text{桩木直径}$ ；

b ——锚坑上口宽，m， $b = b_1 + H \tan \phi$ ；

ϕ ——土壤抗拔角，查表可得；

f ——锚桩木与土壤的滑动摩擦系数，查表；

$P \cos \alpha$ ——锚桩受到的外力的水平分力 N' ，N。

故
$$F \geq KN' \quad (3-2)$$

式中 F ——抗拔力，N；

K ——安全系数， $K=2$ ；

N' ——桩木上滑动， $N' = P \sin \alpha$ ，N。

(2) 坑锚抗拉力的核算 坑锚抗拉力的大小与锚桩埋深度土层的耐压力和锚桩接触土壤的面积成正比，和锚桩的强度成反比。抗拉力可用下式表示：

$$N = hL\sigma_H\eta \quad (3-3)$$

式中 N ——抗拉力，kN；

h ——锚桩的高度，m；

L ——锚桩的长度，m；

σ_H ——锚桩在 H 深度时的土壤允许耐压力，查表可得，N/m²；

η ——由于锚桩变形引起的土壤允许耐压力的折减系数，查表可得。

抗拉力一定要大于外力的水平向前分力才能保证锚桩不向前移动，即：

$$N > N''$$

而 $N'' = P \cos \alpha$

所以
$$hL\sigma_H\eta > P \cos \alpha \quad (3-4)$$

2.2 有挡木坑锚能力的核算

有挡木坑锚能力核算示意如图 3-3 所示。

(1) 抗拔力的核算 有挡木坑锚的抗拔力的计算和无挡木坑锚的抗拔力的计算方法是一样

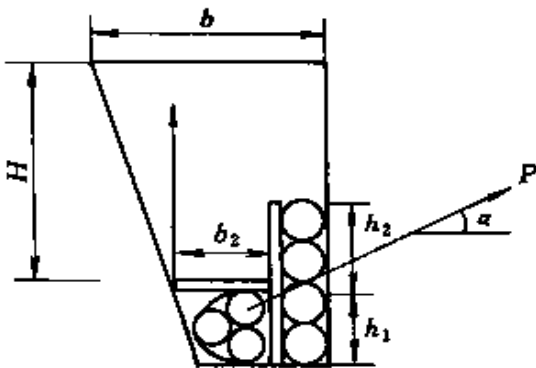


图 3-3 有挡木坑锚能力核算示意

的。即：

$$F = \frac{b+b_1}{2}HL\rho g + fP\cos\alpha$$

(2) 抗拉力的核算 有挡木坑锚因有挡木增加了承压面积，所以在计算时按实际承压面积考虑计算。即：

$$N > P\cos\alpha$$

而

$$N = (h_1 + h_2)L\sigma_H\eta$$

所以

$$(h_1 + h_2)L\sigma_H\eta < P\cos\alpha \quad (3-5)$$

3 桩木抗弯能力的核算

桩木拴接情况分两种，即一个拴接点，见图 3-4 (a)；和两个拴接点，见图 3-4 (b)。

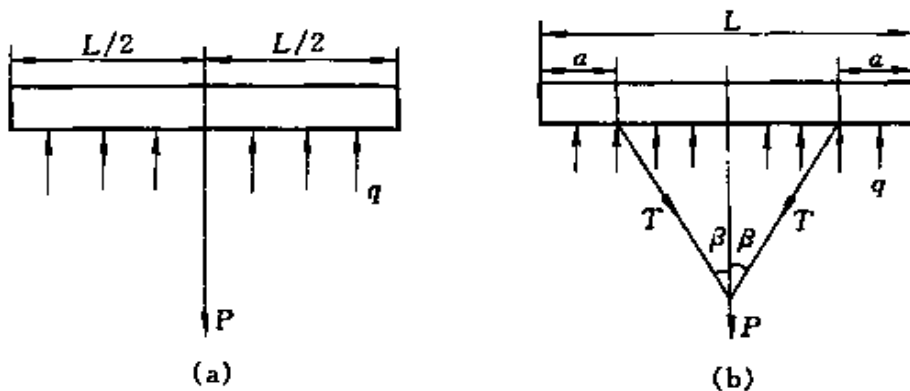


图 3-4 桩木拴接形式

(a) 一个拴接点；(b) 两个拴接点

横桩木受力可以看成是一个受均布载荷的简支梁。均布载荷 q 等于拖拉外力 P 在桩木 L 长度上的平均分配值。这是因为 P 通过桩木作用在土壤上，土壤反过来对桩木产生反作用力，反作用力的大小等于 P 。由于土壤覆盖了整个桩木，就有理由视反作用力均匀地作用在桩木上。桩木上的绑扎点视为这种“受均布载荷的梁”上的支点。

(1) 一个拴接点的情况 对于有一个拴接点的情况，桩木的最大弯矩是：

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8}$$

而

$$q = \frac{P}{L}$$

故

$$M_{\max} = \frac{PL}{8} \quad (3-6)$$

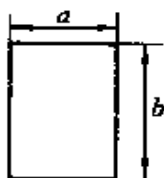


图 3-5 圆形和方形截面

计算弯曲应力时要知道所用材料的截面抗弯系数，所以，对常用的圆形和方形（见图 3-5）抗弯截面系数介绍如下。

圆形抗弯截面抗弯系数

$$W = \frac{\pi}{32} D^3 \approx 0.1 D^3$$

方形抗弯截面抗弯系数 $W = \frac{ab^2}{6}$

因此，对于一个拴接点的桩木，其弯曲应力为

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (3-7)$$

式中

q ——均布载荷，N/cm；

M ——桩木受到外力 P 作用而产生的弯矩，N·cm；

W ——材料的抗弯截面系数，cm³；

σ ——桩木的弯曲应力，N/cm²；

$[\sigma]$ ——材料的许用应力，N/cm²，对于木材取 1000N/cm²，对于 Q235 钢取 15500N/cm²。

(2) 两个拴接点的情况 由于拴接点是两个，所以应根据桩木的各段中所产生的弯矩相同来选择所系结的点，当系结点的位置 $a = 0.207L$ 的情况下为最好。

因为系结绳索与桩木轴线有一定的夹角，所以，有两个分力同时作用在桩木的结点上；一是平行于桩木轴线上的分力，此分力使桩木受压，二是垂直于桩木轴线上的分力，此分力使桩木受弯。

受压分力为：

$$T_x = T \sin \beta$$

而

$$T = \frac{P}{2 \cos \beta}$$

故
$$T_x = \frac{P}{2} \tan \beta \quad (3-8)$$

式中 P ——桩木受的外力，N；
 T ——系结绳索受到的拉力，N；
 β ——系结绳索中心线与绳索间的夹角；
 T_x ——桩木受到的轴向压力，N。

桩木的轴向压应力为：

$$\sigma_x = \frac{T_x}{F} \quad (3-9)$$

式中 σ_x ——桩木的轴向压应力，N/cm²；
 T_x ——桩木受到的轴向压力，N；
 F ——桩木的截面积，cm²。

受弯分力为：

$$T_y = T \cos \beta$$

而
$$T = \frac{P}{2 \cos \beta}$$

故
$$T_y = \frac{P}{2} \quad (3-10)$$

式中 T_y ——桩木系结点上受到的垂直分力，N；
 T ——系结绳索的拉力，N；
 P ——桩木受到的外力，N；
 β ——系结绳索中心线与绳索间的夹角。

对桩木产生的最大弯矩为：

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{47}$$

而
$$q = \frac{P}{L}$$

故
$$M_{\max} = \frac{PL}{47} \quad (3-11)$$

桩木的弯曲应力为：

$$\sigma_y = \frac{M_{\max}}{W} \quad (3-12)$$

桩木上的总应力为：

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_y = \frac{T_x}{F} + \frac{M_{max}}{W} \quad (3-13)$$

式中 σ ——桩木受到的总应力，N/cm²；

σ_c 、 σ_y ——分别为桩木受到的压应力、弯曲应力，N/cm²。

4 拉力环的计算

对拉力环在吊装施工使用前也应进行强度校核，以确保安全作业。

①对于绳制的“绳耳”，可根据钢丝绳计算方法进行校核，其安全系数取 3.5。但必须注意，与拖拉绳拴接处的绳弯曲部分曲率较大，此处受力并非完全是拉伸力，还存在弯矩和剪力，即通常所说的“受勒”。

②对于钢筋制的“绳耳”，因有焊接处，必须考虑焊接诸因素的影响，煨制时应严格注意不要造成裂纹、刻痕、内应力等缺陷。

下面介绍“绳耳”的计算。

(1) 单拉力环核算

$$[\tau] \geq \frac{P}{2FE} \quad (3-14)$$

式中 $[\tau]$ ——圆钢许用剪切应力，N/mm²；

F ——圆钢断面积，mm²；

E ——弯曲应力降低系数， $E=0.8$ 。

(2) 双拉力环核算

$$[\tau] \geq \frac{T}{2FE} \quad (3-15)$$

$$T = \frac{P}{2\cos\beta}$$

5 不同结构形式的抗弯截面系数及惯性矩

(1) 单根体 (图 3-6)

$$\text{圆形 } W = 0.1d^3; J_0 = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\text{矩形 } W = \frac{bh^2}{6}; J_0 = \frac{bh^3}{12}$$

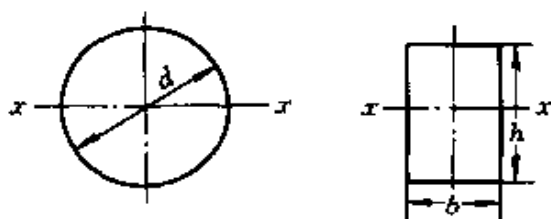


图 3-6 单根体

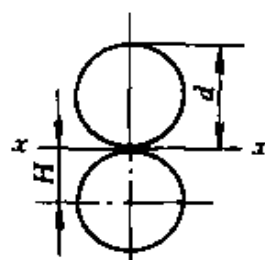


图 3-7 二根组体

(2) 二根组体 (图 3-7)

$$J_x = 2J_0 + 2F_0H^2$$

$$W_x = \frac{J_x}{d}$$

式中 J_x ——桩木组合体总断面惯性矩，受力方向由上至下， cm^4 ；

J_0 ——单根圆木惯性矩， cm^4 ；

F_0 ——单根圆木截面积， cm^2 ；

H 、 d ——分别为圆木半径和直径， cm 。

$$J_y = 2J_0, W_y = 2W$$

式中 J_y ——桩木组合体总断面惯性矩，受力方向由左向右， cm^4 。

(3) 三根组体 (图 3-8) 圆木 1 对 $x-x$ 重心轴线惯性矩：

$$J'_{1,x} = J_0 + F_0A^2$$

圆木 2、3 对 $x-x$ 重心轴线惯性矩：

$$J''_{2,3} = 2J_0 + 2F_0B^2$$

总惯性矩 $J_x = J'_{1,x} + J''_{2,3}$

组合截面抗弯截面系数：

$$W_x = \frac{J_x}{h}$$

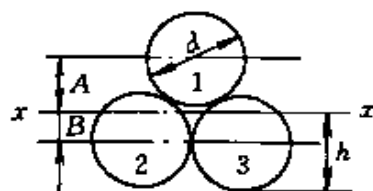


图 3-8 三根组体

式中 A ——圆木 1 中心至 $x-x$ 重心轴的距离， $A = 0.578d$ ， cm ；

B ——圆木 2、3 重心轴至 $x-x$ 重心轴的距离， $B = 0.289d$ ， cm ；

h ——重心轴 $x-x$ 至圆木 2、3 边缘的距离， $h = B + \frac{d}{2}$ ， cm 。

(4) 四根组体 (图 3-9) 总惯性矩：

$$J_x = 4J_0 + 4F_0H^2$$

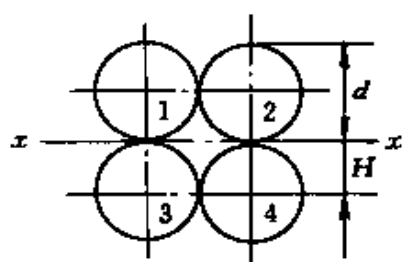


图 3-9 四根组体

$$W_x = \frac{J_x}{d}$$

式中 J_x ——组合体总惯性矩, cm^4 ;
 J_0 ——单根圆木的惯性矩, cm^4 ;
 F_0 ——单根圆木的截面积, cm^2 ;
 H ——圆木 1、2 和圆木 3、4 的中心轴至组体重心轴 $x-x$ 的距离, cm ;
 d ——圆木直径, cm 。

不同材料的滑动摩擦系数见表 3-1, 土壤许用应力见表 3-2, 土壤密度与抗拔角见表 3-3, 土层允许耐压力折减系数见表 3-4, 常用材料的许用应力见表 3-5, 一般坑锚规格及埋设物规格数量见表 3-6。

表 3-1 不同材料的滑动摩擦系数 f

摩擦材料	摩擦系数	摩擦材料	摩擦系数
硬木与硬木	0.35~0.55 (干燥)	钢与冰和雪	0.01~0.02
硬木与钢	0.4~0.65 (干燥)	钢与土	0.45
硬木与土壤	0.5	混凝土与土	0.6
硬木与冰和雪	0.02~0.04	混凝土与石板面	0.7
钢与钢	0.12~0.4 (干燥)	石头与土	0.6
钢与碎石路面	0.36~0.39	石头与石板面	0.5

表 3-2 土壤许用应力 $[\sigma_B]$ N/mm²

土壤种类	深度 $H=2\text{m}$	深度 $H=3\text{m}$
大粒干砂土	0.25	0.26
自然湿砂土	0.15	0.22
松软干砂粘土	0.22	0.25
自然湿度砂粘土	0.25	0.29
干燥密实的中砂地	0.35	0.35
自然湿度粘土	0.10	0.14
大块岩石及印石	0.4~0.6	0.4~0.6
粉土	0.08	---

表 3-3 土壤密度 ρ 与抗拔角 ϕ

土壤种类	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\phi, (^{\circ})$	土壤种类	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\phi, (^{\circ})$
干粗砂	1500	35	水分饱和黑土	1800	30
干细砂	1600	35	干砂质粘土	1500	40
天然湿度砂	1800	40	天然湿度砂粘土	1800	30
水分饱和砂	2000	20	水分饱和砂粘土	2000	20
干河卵石	1800	35	干粘土	1800	40
湿河卵石	1900	25	湿粘土	2000	20
干松黑土	1400	40	三合土	2500	10
天然湿黑土	1600	45	粉土淤泥	2500	10

表 3-4 土层允许耐压力折减系数

锚桩材料		木 材			钢 材		
锚桩应力, N/mm^2		$\sigma \leq 3.0$	$3.0 \leq \sigma \leq 7.0$	$7.0 \leq \sigma \leq 10.0$	$\sigma \leq 50.0$	$50.0 \leq \sigma \leq 100$	$100 \leq \sigma \leq 150$
折减系数	无挡木地锚	0.38	0.33	0.28	0.30	0.26	0.28
η	有挡木地锚	0.84	0.43	0.38	0.43	0.38	0.33

表 3-5 常用材料的许用应力 $[\sigma]$ N/mm^2

材料名称	许用应力		材料名称	许用应力	
	拉 伸	压 缩		拉 伸	压 缩
Q235 钢	160	160	硬铝	80~150	80~150
灰铸铁	28~80	120~150	松木(顺纹)	7~10	8~12
青铜	60~120	60~120	混凝土	0.1~0.7	1~9

表 3-6 一般坑锚规格及埋设物规格数量

坑深, m	坑长, m	木桩根数	绳扣直径 mm	立木根数	压木根数
$(\text{吨位} + 30) \div 20$	坑深 + 0.3	每米深 1 根	坑深 \div 100	坑长 \div 0.6	坑长 \div 0.5

注: 1. $\phi 273 \times 10$ (钢管桩) = 1.5 根 $\phi 250$ (木桩)。

2. 吨位大于 10t 要设两点绳扣, 每点为双绳。

3. 坑深估算公式里吨位的单位是吨。

例：有一锚桩能力为 200kN，斜拉力角 30° ，有效坑深 1.9m。桩木为 $\phi 250\text{mm} \times 3000\text{mm}$ 的 3 根，土壤为天然湿度粘土，载荷系数 0.8，挤压均匀系数 0.3，钢筋为 $\phi 28\text{mm}$ 的 2 根，要求桩木坑稳定系数为 2。试分析锚坑、桩木和钢筋拉环的能力是否满足需要？

解：(1) 锚坑能力核算

$$N'' = P \cos 30^\circ = 200 \times 0.866 = 173.2 \text{ kN}$$

$$N' = P \sin 30^\circ = 200 \times 0.5 = 100 \text{ kN}$$

$$T = N'' f = 173.2 \times 0.8 = 138.56 \text{ kN}$$

$$b = b_1 + H \tan \phi = 0.45 + 1.9 \times \tan 30^\circ = 1.55 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{b_1 + b}{2} H L \rho g / 1000 + T \\ &= \frac{0.45 + 1.55}{2} \times 1.9 \times 3 \times 1800 \times 9.81 / 1000 + 138.56 \\ &\approx 239.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

故 $F > KN'' = 200 \text{ kN}$

$$N = h L \sigma_H \eta$$

式中 $h = 1.5 \text{ m}$ ； $\sigma_H = 150 \text{ kN/m}^2$ ；

$$\eta = 0.3$$
； $L = 3 \text{ m}$ 。

故 $N = 1.5 \times 3 \times 150 \times 0.3$

$$= 202.5 \text{ kN}$$

$$N > N''$$

(2) 双拉力点桩木应力核算 (图 3-10)

$$A = 0.578d = 0.578 \times 25 = 14.5 \text{ cm}$$

$$B = 0.289d = 0.289 \times 25 = 7.2 \text{ cm}$$

$$F_0 = 0.785d^2 = 491 \text{ cm}^2$$

$$J_0 = 0.05d^4 = 19531.25 \text{ cm}^4$$

$$J'_{x-x} = J_0 + F_0 A^2 = 19531.25 + 491 \times 14.5^2 = 122764 \text{ cm}^4$$

$$J''_{x-x} = 2J_0 + 2F_0 B^2 = 2 \times 19531.25 + 2 \times 491 \times 7.2^2 = 89969.38 \text{ cm}^4$$

$$J = J'_{x-x} + J''_{x-x} = 122764 + 89969.38 = 212733.38 \text{ cm}^4$$

$$h = B + \frac{d}{2} = 7.2 + \frac{25}{2} = 19.7 \text{ cm}$$

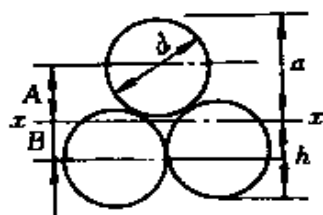


图 3-10 双拉力点
桩木应力核算

$$W = \frac{J}{h} = \frac{212733.38}{19.7} = 10798.65 \text{cm}^3$$

$$M_{\max} = \frac{PL}{47} = \frac{200000 \times 300}{47} = 1276595.7 \text{N} \cdot \text{cm}$$

$$T_r = \frac{P}{2} \tan \beta = \frac{200000}{2} \tan 10^\circ = 100000 \times 0.1763 \\ = 17630 \text{N}$$

$$\sum F = 3 \times 491 = 1473 \text{cm}^2$$

故
$$\sigma = \frac{T_r}{\sum F} + \frac{M_{\max}}{W\eta} = \frac{17630}{1473} + \frac{1276595.7}{10798.65 \times 0.7} \\ = 181 \text{N/cm}^2$$

$$\sigma < [\sigma] = 1000 \text{N/cm}^2$$

(3) 钢筋拉力环强度核算

$$T = \frac{P}{2 \cos \beta} = \frac{200000}{2 \cos 10^\circ} = 101543.46 \text{N}$$

$$\tau = \frac{T}{2FE} = \frac{101543.46}{2 \times 0.785 \times 2.8^2 \times 0.8} = 10312 \text{N}$$

$$[\tau] = (0.6 \sim 0.8)[\sigma] = 1600 \sim 1800 \text{N/cm}^2$$

故满足需要。

例：有一无挡木坑锚（图 3-11），所受最大拉力 P 等于 100kN，拉力绳与地面夹角 $\alpha = 30^\circ$ ，锚桩采用 $\phi 377 \times 8 \times 2900$ 的 Q235 钢无缝钢管，坑锚的引出钢丝绳在锚桩中间一点系结，钢丝绳强度等级为 1400N/mm^2 ，直径为 $\phi 20 \text{mm}$ $6 \times 19 + 1$ 的钢丝绳两根头引出；锚桩埋设有效深度为 1.7m，土壤条件是密实的砂土。试求坑锚的稳定性。

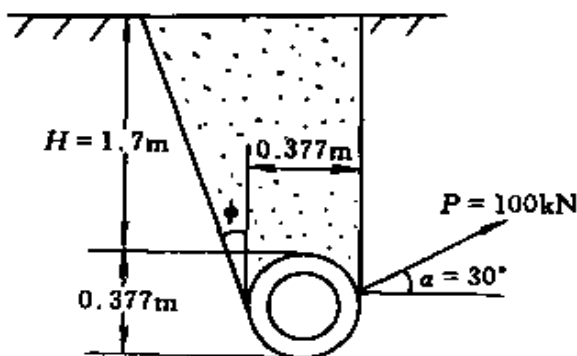


图 3-11 无挡木坑锚示意

解：(1) 校核引出钢丝绳的强度 查表得 $\phi 20 \text{mm}$ $6 \times 19 + 1$ 、强度等级为 1400N/mm^2 的钢丝绳破断拉力为 179800N，钢丝绳当作缆风绳和拖拉绳时，安全系数为 3.5。所以，钢丝绳的许用拉力为

$$P = \frac{179800}{3.5} = 51371\text{N}.$$

因为是双引出，所以，总的许用拉力为：

$$2P = 2 \times 51371 = 102742\text{N} > 100\text{kN}$$

所以钢丝绳是安全的。

(2) 校核锚桩的抗弯应力

$$M_{\max} = \frac{PL}{8} = \frac{100000 \times 290}{8} = 3625000\text{N} \cdot \text{cm}$$

查表得 $\phi 377\text{mm} \times 8\text{mm}$ 无缝钢管的截面系数为 $W = 830\text{cm}^3$ 。所以，锚桩弯曲应力：

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{3625000}{830} = 4367.5\text{N/cm}^2$$

Q235 钢的抗弯许用应力 $[\sigma] = 16000\text{N/cm}^2$ ， $\sigma < [\sigma]$ ，所以锚桩有足够的抗弯强度。

(3) 校核坑锚的抗拔力 查表得钢与土壤的滑动摩擦系数 $f = 0.45$ ，中砂土的密度 $\rho = 1700\text{kg/m}^3$ ，抗拔角 $\phi = 35^\circ$ 。

根据抗拔角 ϕ 和坑底宽度 b_1 ，可求出上口宽 b ：

$$b = b_1 + H \tan \phi = 0.377 + 1.7 \times \tan 35^\circ \approx 1.57\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } F &= \frac{b+b_1}{2} HL\rho g + fP \cos \alpha \\ &= \frac{0.377+1.57}{2} \times 1.7 \times 2.9 \times 1700 \times 9.81/1000 + 0.45 \times 100 \\ &\quad \times \cos 30^\circ \\ &\approx 119.01\text{kN} \end{aligned}$$

$$\text{而 } KP \sin \alpha = 2 \times 100 \times 0.5 = 100\text{kN} < F$$

故抗拔力符合要求。

(4) 校核坑锚的抗拉力 在 (2) 中已算出锚桩的弯曲应力 $\sigma = 4367.5\text{N/cm}^2$ ，查表得土层允许耐压力折减系数 $\eta = 0.30$ ，密实的中砂地的允许耐压力 $\sigma_H = 350\text{kN/m}^2$ ，坑锚的抗拉力为：

$$\begin{aligned} N &= hL\sigma_H\eta \\ &= 0.377 \times 2.9 \times 350 \times 0.30 \\ &= 114.8\text{kN} \end{aligned}$$

要使锚桩在坑中不向前移动,抗拉力一定要大于外力向前的分力,即:

$$N > P \cos \alpha = 100 \times \cos 30^\circ = 86.6 \text{ kN}$$

所以抗拉力符合要求。

6 埋设锚桩的注意事项

当锚桩能力选定之后,如果桩木质量不好,敷设的不合理,也容易造成桩木和拉力环的拔出及剪断等事故。为了确保锚桩的安全使用,必须注意以下几点。

①严格按照设计方案要求进行作业,不得随意变更。埋设始终要有指定的专人负责,对所挖锚坑的尺寸、土质情况、地下水情况、埋设物情况、夯实情况及埋设过程均应作详细记录,并作好隐蔽工程记录,以备后查。所挖锚坑的大小,除深度必须不小于设计尺寸外,其他尺寸尽量小些,以减少松土量。抗挤压的坑墙力求平整。回填土前,先将绳耳拉紧。每埋 300~500mm 土层时应打夯一次,层层夯实。若回填干土,要分层洒水。锚坑上面土层要超过地面 100~150mm,并要留排水沟,以防以后浸水。埋好后应在锚坑位置立块牌,标明深度、宽度、埋设规格和锚坑承载能力、埋设日期。

②桩木若用木质,则应采用槐木、榆木、柳木、柞木、落叶松等木质较硬的圆木,并要求含水量 $\geq 20\%$,无烂心、无腐朽等情况,表面朽蚀 $\geq 5\text{mm}$,无枝岔,无横向折断裂痕,纵向缩裂深度 $\geq \frac{1}{4}$ 直径,裂长 $\geq \frac{1}{3}$ 桩全长,死节直径 $\geq \frac{1}{5}$ 圆木截面直径,死节数量每米不超过一个,且集中间距 $\geq 300\text{mm}$,平均弯曲每米 $\geq 10\text{mm}$ 。桩木要排列整齐,紧凑、受拉桩木接合面应粘合均匀,因弯曲造成的空隙要用木楔塞紧。桩压木、立木最好涂浇沥青防水。若采用钢筋环,应热煨(图 3-12),弯曲半径不小于 3 倍钢筋直径,弯曲部分不得有剋损。焊接采用搭接,搭接长度不小于 10 倍钢筋直径。焊接要保证质量,按有关规定执行。

③使用前一定要详细检查埋设记录,了解受力方向及承载能力。新锚坑在使用前应事先作预拉,以检验其可靠性。锚坑使用时要有专人

看守，看守者不得擅离岗位，要精力集中，细心观察，发现异常情况立即报告有关人员。

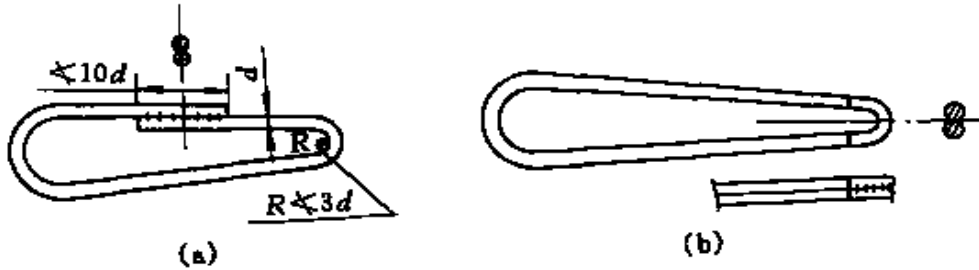


图 3-12 圆钢煨制拉力环形式

7 其他形式锚桩

锚桩是固定卷扬、滑车及拖拉绳、缆风绳用的，所以，不管是自然的还是人工的，只要能起固定作用的，都可以称为锚桩。

由于坑锚的敷设工作比较繁琐，而且木材也比较珍贵，近年来预制钢筋混凝土锚桩得到普遍的使用。混凝土锚桩（图 3-13）既可以当

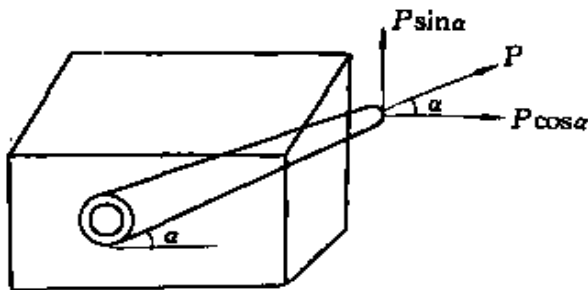


图 3-13 混凝土锚桩形式

作浮重锚桩又可以挖坑放在里面当作坑锚使用。它的敷设较为简单，而且受拉力也很大，投资一次可以用很长时间。下面介绍不同形式锚桩的能力核算。

(1) 浮重锚桩能力计算

- ① $G \geq KPsina$;
- ② $G_1 f \geq KPcosa$, $G_1 = G - Psina$;
- ③ $Gb \geq 1.4Pcosa \cdot l$ 。

式中 G —— 混凝土块重力，N；

G_1 —— 混凝土块受外拉力后的对地面垂直压力，kN；

K —— 安全系数， $K = 3$ ；

P —— 外拉力，kN；

α —— 拉力与水平夹角；

f —— 混凝土块与地面的摩擦系数， $f=0.6$ ；

b —— 混凝土块重心至混凝土边缘支点距离，m；

l —— 混凝土块边缘支点至拉索距离，m。

(2) 埋入地下时混凝土锚桩能力计算

$$① G + fP \cos \alpha \geq K P \sin \alpha$$

$$② h L \sigma_H \eta \geq P \cos \alpha$$

式中 G —— 混凝土块的重力，kN；

f —— 混凝土块和土壤的摩擦系数， $f=0.6$ ；

P —— 混凝土块所受外力，kN；

α —— 外拉力与水平线之间的夹角；

K —— 安全系数 $K=2$ ；

h 、 L —— 分别为混凝土块受外拉力方向上的高度与长度，m；

σ_H —— 土壤允许耐压力， kN/m^2 ；

η —— 混凝土块的挤压系数， $\eta=0.7$ 。

例：已知下列掘压各一块浮重锚点，接触地面摩擦系数 $f=0.6$ ，安全系数 $K=3$ ，稳定系数 $m=1.4$ ，试计算承拉能力？参见图 3-14。

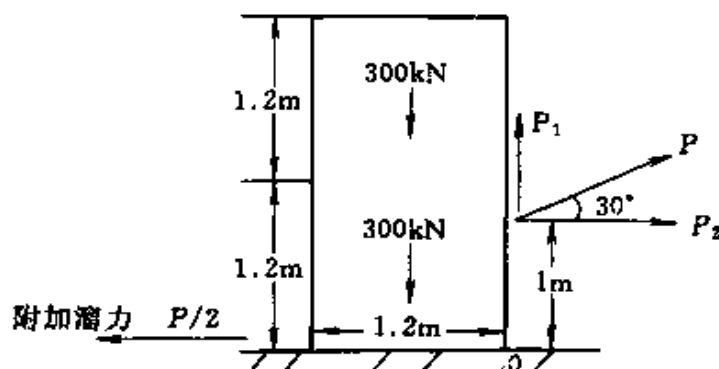


图 3-14 浮重锚桩

解：(1) 垂直力 $P_1 = 0.5P$

水平力 $P_2 = 0.866P$

(2) 摩擦力 $F = f(N - 0.5P) = 0.6(600 - 0.5P) = 360 - 0.3P$

(3) 计算上拔能力

$$0.5P \times 3 \leq 600$$

故

$$P \leq 400 \text{ kN}$$

(4) 摩擦能力

$$0.866P \times 3 \leq 0.5P + 360 - 0.3P$$

$$2.398P \leq 360$$

故

$$P \leq 150 \text{ kN}$$

(5) 稳定能力

设 $\sum M_0 = 0$.

$$0.866P \times 1 \times 1.4 \leq 600 \times 0.6$$

故

$$P \leq 297 \text{ kN}$$

所以最小能力 $P = 150 \text{ kN}$ 。由此也可以看出要提高浮重锚桩能力，可以增加附加溜力。

例：有一预制混凝土块平埋在天然湿度粘土里，混凝土块重 140 kN ，受拉力面高 1.2 m ，长 3.6 m ，试计算预制混凝土块坑锚承拉能力？参见图 3-15。

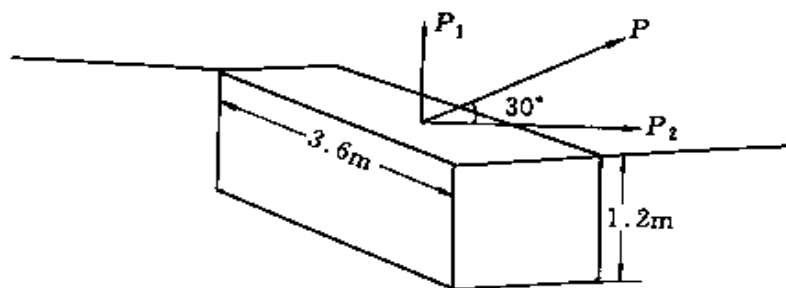


图 3-15 预制混凝土块坑锚

解：(1) 垂直力 $P_1 = 0.5P$ 水平力 $P_2 = 0.866P$

(2) 计算抗拔能力

$$G + fP \times 0.866 \geq KP \times 0.5$$

$$140 + 0.6 \times 0.866P \geq 2 \times P \times 0.5$$

故

$$P \leq 291.4 \text{ kN}$$

(3) 计算抗拉能力

$$hL\sigma_H\eta \geq P\cos\alpha$$

$$1.2 \times 3.6 \times 150 \times 0.7 \geq 0.866P$$

故

$$P \leq 524\text{kN}$$

所以最小能力 $P=291.4\text{kN}$ 。若再考虑土壤超载系数挤压及土壤对混凝土块四周的摩擦阻力等因素，此预制混凝土块坑锚承拉 300kN 是安全的。如果 2 块 140kN 混凝土块捆压一块埋在坑里，承拉能力可达 $500\sim 600\text{kN}$ 。

(3) 注意事项

①利用自然物或现有的基础等，一定要仔细调查，核算其强度、稳定性等，确保安全后才能使用。

②在山区施工，周围全是岩石，采用凿孔灌注混凝土时，除对灌入的拉环作强度核算外，其他难以核算的能力，应进行实测。

③利用预制钢筋混凝土块和铸铁块做浮重锚桩时，应在其放置地点挖一个地坑，以增加其抗拉能力和稳定性。

④用多块铸铁块或钢筋混凝土的组合物做锚桩时，对组合物可采取凸凹形式或其他形式联接成一个稳固的整体。

⑤预制混凝土块时，对水泥的标号一定要提出明确要求，确保混凝土块的强度。对混凝土锚的拉环也要经过能力核算；预制混凝土块时要预制出吊耳以利于混凝土块的装卸运输。

⑥埋设预制混凝土块坑锚时，可参考坑锚埋设的要求和注意事项。

第4章 驱动机械与定型起重机

目前起重吊装常用的驱动机械有千斤顶、绞磨和卷扬机等。定型起重机有汽车吊、履带吊、塔式吊、桥式吊和龙门吊等。

1 千斤顶

千斤顶是起重机械中比较简单的一种。其特点是起升高度不大，结构紧凑，自重小，便于携带，工作平稳，能够移动物件、调整物件高度。因此，在起重工作中经常采用。施工现场常用的千斤顶有螺旋式和液压式。

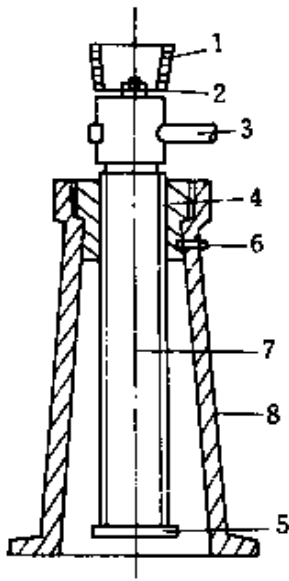


图 4-1 螺旋千斤顶结构

- 1—托杯；2—螺钉；
3—手柄；4—螺母；
5—挡圈；6—固定螺钉；
7—螺杆；8—机架

1.1 螺旋千斤顶

结构如图 4-1 所示。

螺旋千斤顶的载重杆是具有矩形螺纹或梯形螺纹的螺杆 7。它装在机架 8 的螺母 4 中。载重杆尾部装有挡圈 5，可防止起重时载重杆旋出。载重杆顶部装有带沟槽的托杯（又称顶盖），用以承受荷重。

螺旋千斤顶的主要工作件是螺杆。它应满足强度、稳定及自锁三方面的要求。

举重或放落重物时，螺杆同时受到压缩和扭转作用，其强度条件式为：

$$\frac{1.3Q}{\frac{\pi}{4}d_1^2} \leq [\sigma] \quad (4-1)$$

式中 Q ——所举重量，kN；
 d_1 ——螺杆螺纹内径，cm；
 $[\sigma]$ ——螺杆的许用应力，N/cm²。

螺杆在工作时，可以将其看做一个下端固定、上端自由的“压杆”。因此，在起高时要严格遵守起重量和起重高度的有关规定。

螺旋千斤顶的螺杆还有一个重要特点，就是具有“自锁性”，也就是如果不是人为地旋转螺杆，在任何重载下，也不会自动退回。

自锁条件是必须保证螺杆的螺纹升角小于螺杆与螺纹间的摩擦角。

螺旋千斤顶载荷计算

$$Q = P \frac{2\pi L}{t} K \quad (4-2)$$

式中 Q ——举重载荷，kN；

P ——作用于手柄上的推力，kN；

L ——手柄长度，mm；

t ——螺杆的螺距，mm；

K ——效率系数， $K=0.3\sim 0.4$ 。

例：有一台螺旋千斤顶，手柄长 $L=800\text{mm}$ ，作用在手柄一端的推力 $P=0.5\text{kN}$ ，螺距 $t=4\text{mm}$ ，效率系数 $K=0.3$ 。求能顶起多重的物体？

$$\begin{aligned} \text{解：} Q &= P \frac{2\pi L}{t} K \\ &= 0.5 \times 2 \times 800 \times 3.14 \times 0.3 / 4 \\ &= 188.4\text{kN} \end{aligned}$$

计算表明，一个工人用 0.5kN 的推力作用于千斤顶上，就能顶起 188.4kN 的载荷。

螺旋千斤顶技术规格见表 4-1。

表 4-1 螺旋千斤顶技术规格

型号	起重量 kN	试验负 荷,kN	自落荷 载,kN	最低高 度,cm	起升高 度,cm	手柄长 度,m	操作力 N	座底 尺寸 mm	重量 N
LQ-5	50	75	—	25	13	0.6	130	φ127	75
LQ-10	100	150	—	28	15	0.6	320	φ137	110
LQ-15	150	225	—	32	18	0.7	430	φ155	150
LQ-30	300	390	—	39.5	20	1.0	850	φ180	270
LQ-50	500	—	30	70	40	1.385	1260	φ317	1090

1.2 液压千斤顶

液压千斤顶具有上升平稳，安全可靠，操作简单，工作效率高，起重量大的优点。是重型设备安装工作中不可缺少的工具之一。

液压千斤顶（图 4-2）主要是由储液池 8、高压液缸 5、可伸缩的大活塞 4，以及把液体从储液池送入高压液缸的小活塞泵 2 等零件组成的。

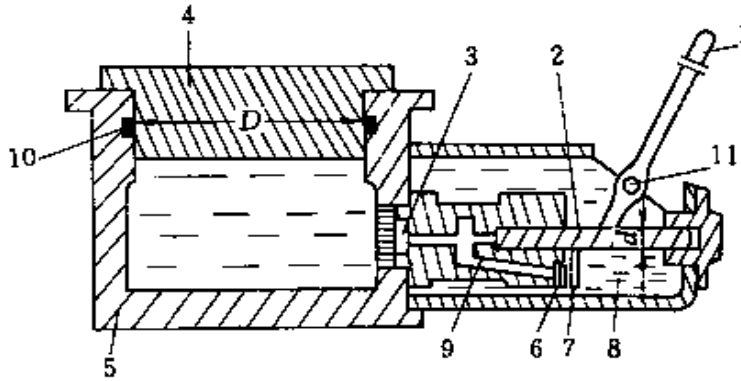


图 4-2 液压千斤顶结构

- 1—手柄；2—小活塞泵；3—液压活门；4—大活塞；
5—高压液缸；6—活门；7—凸端；8—储液池；
9—顶针；10—垫；11—固定端

工作时，小活塞泵 2 被手柄 1 驱动，把液体送入高压液缸内，大活塞上升，将起重物顶起上升。当手柄 1 逆向运动时，小活塞泵往回移动，而活门 3 被关闭。此时，小活塞泵内形成负压，活门 6 被打开，液体从凸端 7 处流进小活塞泵内，这时手柄又往正方向驱动，小活塞泵又将液体经过活门 3 送入高压液缸内顶起重物。就这样手柄反复工作，从而完成顶升重物的工作。

为了使液缸和活塞之间密封好，在液缸槽内镶有特殊的皮垫 10。

当举重任务完成后，在液缸的侧面有一放液阀门，只要放液阀门一打开，液体就可以从高压液缸内流向储液池内。

液压千斤顶载荷计算：

$$Q = P \frac{L D^2}{l d^2} K \quad (4-3)$$

式中 Q ——举重载荷, kN;
 P ——作用在手柄上的力, kN;
 L ——手柄至固定轴的距离, mm;
 l ——小活塞至固定轴的距离, mm;
 D ——大活塞直径, mm;
 d ——小活塞直径, mm;
 K ——效率系数, $K=0.8\sim 0.9$ 。

例: 已知下列液压千斤顶 (图 4-3), 小活塞截面积 $F_1=3\text{cm}^2$, 大活塞截面积 $F_2=50\text{cm}^2$, 若液压力 $g=700\text{N/cm}^2$, 试计算顶杆擎举能力 Q 和液泵压杆受力 P ?

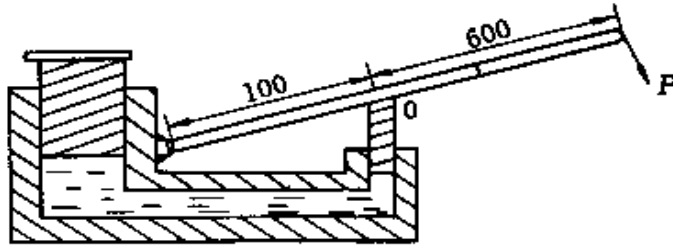


图 4-3 液压千斤顶

解: 小活塞压力: $q=700\times 3=2100\text{N}=2.1\text{kN}$

顶杆擎举能力: $Q=700\times 50=35000\text{N}=35\text{kN}$

设 $\sum M_0=0$, 即:

$$P(0.1+0.6) - q \times 0.1 = 0$$

$$P = \frac{2.1 \times 0.1}{0.7} = 0.3\text{kN}$$

计算表明, 用 0.3kN 的压力就能顶起 35kN 的载荷。

液压千斤顶技术规格见表 4-2。

1.3 使用千斤顶的注意事项

①使用千斤顶前, 应通过顶杆起落, 检查内部机构装配情况和传动的灵活性。对于油压千斤顶还应检查油箱是否有足够的油量和合乎要求的油质。在气温 $-5\sim -45\text{C}$ 操作条件下, 应装 $10^\#$ 机油或 $2^\#$ 锭子油。当液压千斤顶能力大于 1000kN 时应装变压器油, 在气温 $-5\sim -35\text{C}$ 操作条件下, 装 $2^\#$ 锭子油或变压器油。

表 4-2 液压千斤顶技术规格

型号	起重量 kN	最低 高度 cm	起升 高度 cm	活塞 直径 mm	液泵 直径 mm	工作 压力 MPa	手柄长 cm	操作力 N	储油量 L	重量 N
YQ-3	30	20	13	30	12	0.443	62	230	0.12	38
YQ-5	50	26	16	36	12	0.5	62	300		80
YQ-8	80	24	16	42	12	0.578	85	365	0.3	70
YQ-12.5	125	24.5	16	50	12	0.637	85	295	0.35	100
YQ-16	160	25	16	55	12	0.674	100	280	0.4	138
YQ-20	200	28.5	18	60	12	0.707	100	280	0.6	200
YQ-30	300	29	18	72	12	0.724	100	346	0.9	300
YQ-32	320	29	18	75	12	0.724	100	310	1	290
YQ-50	500	30	18	90	12	0.786	100	310	1.4	430
YQ-100	1000	36	20	140	18	0.650	100	400	3.5	1230
YQ-200	2000	40	20	190	18	0.706	100	400	7	2270

②使用千斤顶时必须将其垂直安放在结实的基础上，以免顶升重物时发生倾倒，造成安全事故。

③螺旋千斤顶可以垂直、水平、倾斜等方向使用；而液压千斤顶只允许垂直方向使用，不允许倾斜及水平方向使用，以免漏油造成事故。

④除螺旋千斤顶外，在额定能力下使用液压千斤顶，不能连续顶重超过 4 小时，以免造成内部构件损坏。联合作业时，动作应同步均衡。

⑤不允许在千斤顶的原手柄把上另接套管或用其他任何办法来加长手柄杠杆长度。

⑥液压千斤顶能力大于 1000kN，允许采用两个人驱动；螺旋千斤顶能力大于 500kN，允许采用三个人驱动。

⑦使用千斤顶必须严格遵守产品的技术规格标准，联合作业时不能超过额定能力的 80%。

⑧经常维护保养千斤顶，螺旋千斤顶的传动部分要润滑，液压千斤顶的储油池要保持清洁。

⑨经常准备易损件，以便及时更换，保证工作中使用。

2 绞磨与电动卷扬机

绞磨是一种比较简单的手动卷扬工具，它结构简单，操作方便，适

合在没有电动卷扬机、没有电源、条件差的情况下使用。

电动卷扬机是起重吊装工作中的重要机械，它结构紧凑，体积小，操作简便，牵引力大，广泛应用于民用建筑、工业建筑和设备安装等工程。

2.1 绞磨

如图 4-4 所示，绞磨主要由磨杆（推杆）、磨头（中心轴）、磨架（支架）、磨轮（卷筒）等四部分组成。

绞磨是利用绳索与卷筒表面的摩擦来传递牵引力的。这样，卷筒不再起收集绳索的作用。

它的工作过程是钢丝绳绕在卷筒上，绳的一端用手拉住，以便产生足够的摩擦力。但是，手的拉力 q 并不是很大。另一端与被起升或被牵引的重物连接，

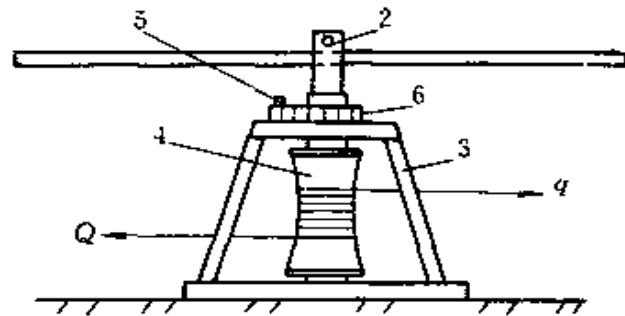


图 4-4 绞磨形式

Q —牵引拉力； q —人工推力；
1—磨杆；2—磨头；3—磨架；
4—磨轮；5—棘爪；6—棘轮

通过滑轮或滑轮组达到向指定的方向运动。动力是用人推动磨杆产生。

(1) 绞磨推力与需要人数的计算

$$P_1 = \frac{QR}{L} \quad (4-4)$$

式中 P_1 ——绞磨理论推力，kN；

Q ——牵引绳拉力，kN；

R ——卷筒半径，mm；

L ——磨杆一侧的有效长度，mm。

$$P_2 = \frac{Qf_1R}{L} \quad (4-5)$$

式中 P_2 ——牵引力 Q 与卷筒摩擦阻力产生的推力，kN；

f_1 ——卷筒轴间摩擦系数， $f_1 = 0.3$ 。

$$P_3 = \frac{Gf_2R}{L} \quad (4-6)$$

式中 P_3 ——卷筒以上部分压力对支座平面摩擦阻力产生的推力，
kN；

f_2 ——卷筒下支座平面间摩擦系数， $f_2 = 0.3$ ；

G ——卷筒以上部分的压力，kN。

$$G = (g_1 + g_2 + g_3) \cdot K \quad (4-7)$$

式中 g_1 ——磨杆重量，kN；

g_2 ——磨头重量，kN；

g_3 ——磨轮重量，kN；

K ——人推力的压力系数， $K = 1.5$ 。

$$n = \frac{P}{0.30} \quad (4-8)$$

式中 n ——需要推磨人数；

P ——所需总推力， $P = P_1 + P_2 + P_3$ ，kN；

0.30 ——指一个人的正常推力，kN。

例：已知一铰磨牵引力 15kN，磨杆一侧有效长度 2000mm，卷筒半径 130mm，两根磨杆重量 0.5kN，磨头重量 0.3kN，磨轮重量 0.6kN，若一个人的推力为 0.3kN，试分析磨杆推力和需要推磨人数。

$$\text{解： } P_1 = \frac{QR}{L} = \frac{15 \times 130}{2000} = 0.975 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{Qf_1R}{L} = \frac{15 \times 0.3 \times 130}{2000} = 0.2925 \text{ kN}$$

$$G = (g_1 + g_2 + g_3) \times 1.5 = (0.5 + 0.3 + 0.6) \times 1.5 = 2.1 \text{ kN}$$

$$P_3 = \frac{Gf_2R}{L} = \frac{2.1 \times 0.3 \times 130}{2000} = 0.041 \text{ kN}$$

$$\text{所以 } n = \frac{P}{0.3} = \frac{0.975 + 0.2925 + 0.041}{0.3} = 4.4 \text{ 人}$$

即需要 5 人。

(2) 使用铰磨的注意事项

①在安放铰磨时，必须用锚桩将它固定好，用封绳锁牢，磨底用

枕木垫好。

②铰磨至第一个导向滑轮距离不得少于 10m；安放地势要高于导向滑轮，以防铰磨被抬起和牵引绳从卷筒上滑脱。

③缠绕在卷筒上的牵引绳不少于 4~6 圈，以防铰磨和牵引绳在工作中产生滑脱，以增加溜绳拉力。

④对于松紧卷筒上牵引绳的工作，应该由有经验的起重工来操作；重物需要下落时不能用放松牵引绳来完成，而应该由推磨杆的人员倒转来完成；当临时性停止推磨时棘轮应锁住，以防磨杆倒转而伤人。

⑤处于工作中的铰磨，应随时注意上磨头与卷筒脱节，发现有脱节现象应及时用大锤敲击，最好是装有防脱插销。

⑥当起重工作结束后，应把磨杆抬起，使磨头与卷筒脱节；或者卸下卷筒上缠绕的牵引绳，以免造成意外事故。

2.2 电动卷扬机

电动卷扬机类型很多，按卷筒形式分，有单卷和双卷两种；按电机功率分，有 0.5、1、3、5、10、20、25、30、50、75、100hp（马力）等数种；按传动机构形式分，有摩擦式和可逆式两种。

摩擦式电动卷扬机主要由电动机、齿轮、卷筒、摩擦木块、棘轮、手摇柄和底盘等组成。

可逆式电动卷扬机主要由机架、卷筒、减速齿轮箱、电动机、电磁制动器和控制器等组成。

电动卷扬机额定牵引力有 5、15、25、30、50、75、100 和 150kN 等数种。

电动卷扬机速度为 11~63m/min。对于卷扬机速度低于 43m/min，适用于 100kN 以上设备的吊装；速度高于 43m/min 的，适用于小型物件的吊装、地面水平运输以及在斜缆索起重机上使用。

电动卷扬机的技术规格见表 4-3。

(1) 卷扬机容绳量计算

卷扬机卷筒尺寸示意图 4-5。

$$\textcircled{1} \text{ 缠绳排数 } \epsilon = \frac{L}{d} \quad (4-9)$$

表 4-3 电动卷扬机技术规格

类型	卷扬机						电动机功率, kW	总重量, kN
	起重能力, kN	卷筒直径, mm	卷筒长度, mm	平均绳速, m/min	容绳量, m 钢绳直径 mm	外形尺寸, mm 长×宽×高		
单卷筒	10	200	350	36	$\frac{200}{\phi 12.5}$	1390×1375 ×800	7	10
单卷筒	30	340	500		$\frac{110}{\phi 15.5}$	1570×1460 ×1020	7.5	11
单卷筒	50	400	840	8.7	$\frac{190}{\phi 24}$	2038×1800 ×1037	11	19
双卷筒	30	350	500	27.5	$\frac{300}{\phi 16}$	1880×2795 ×1252	28	45
双卷筒	50	420	600	32	$\frac{500}{\phi 22}$	2497×3096 ×1389.5	40	54
单卷筒	70	800	1050	6	$\frac{600}{\phi 31}$	3190×2553 ×1690	20	60
单卷筒	100	750	1312	6.5	$\frac{1000}{\phi 31}$	3839×2305 ×1798	22	95

$$\textcircled{2} \text{ 缠绳层数 } n = \frac{H}{d} \quad (4-10)$$

$$\textcircled{3} \text{ 平均一圈长度 } l' = \pi (D+H) \quad (4-11)$$

$$\textcircled{1} \text{ 总缠绳量 } l = \epsilon n l' \quad (4-12)$$

式中 d —— 所缠钢丝绳直径, mm。

例: 已知图 4-6 所示卷扬机筒缠绳 $\phi 24\text{mm}$, 试计算能缠绳多少米?

$$\text{解: 缠绳排数 } \epsilon = \frac{1000}{24} = 41$$

$$\text{缠绳层数 } n = \frac{170}{24} = 7$$

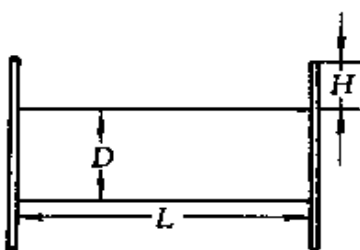


图 4-5 卷筒

D —卷筒直径, mm;

H —卷筒边缘高度, mm;

L —卷筒长度, mm

$$\begin{aligned} \text{平均一圈长度 } l' &= 3.14 (0.55+0.17) \\ &= 2.26\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{总缠绳量 } l = 2.26 \times 41 \times 7 = 648.6\text{m}$$

(2) 使用电动卷扬机的注意事项

①卷扬机要按时维护、保养，确保机械传动部分、电气部分完整无损。使用前要试车，做到卷扬机各部位正常运转，制动装置灵敏。

②卷扬机牵引绳的能力不能超过卷扬机的额定能力，卷筒要有足够的卷绳量。

③卷扬机的安装位置应尽量选择较高的地方，距离起吊物应在 15m 以外。在用于桅杆起重机时，距离要大于桅杆高度。

④卷扬机与第一个导向滑轮距离不小于 20 倍卷筒长度，卷筒中心与第一个导向滑轮中心线垂直。

⑤为避免卷扬机受潮淋雨，烧毁电气装置，应将卷扬机用枕木垫高并搭设防雨棚，机架应有安全接地线。

⑥卷扬机应用双绳地锚，并从两侧加以固定，地锚埋设后要按其使用负荷进行预拉，必要时加以调整，以免工作时发生卷扬机摆动和偏扭等现象。

⑦起动卷扬机时要逐次升挡，以保证电机安全转运，防止烧毁电机。

⑧缠绳时卷筒顺转动缠绳，并压结固定牵引绳头；要求下入绳头顺缠绕法，并且随缠随靠严打紧。

⑨卷扬机卷筒上余留绳数不得少于 3 圈，但满负荷工作时，卷筒上余留绳圈数不得少于 8 圈。

⑩卷扬机必须由熟悉机械性能和操作规程的熟练人员进行操作，并切实按规程执行。

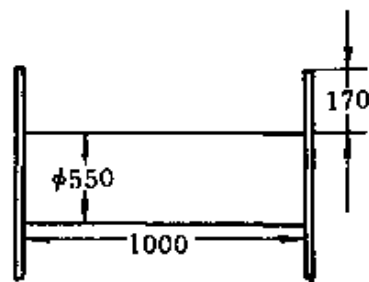


图 4-6 卷扬机

3 定型起重机

几十年来，定型起重机的发展十分迅速，尤其是汽车吊得到了更进一步的发展和完善，其额定起吊能力也大大增加。过去比较复杂、繁重的吊装工作，可以直接用汽车吊来完成。因此，汽车吊在起重吊装

工作中得到了广泛的应用。

下面采用问答的形式和有关机动吊车技术性能表来重点介绍汽车吊使用方面的问题。供读者在吊装施工中参考。

3.1 机动吊车使用方面问答

(1) 机动吊车性能表都包括哪些荷载？

答：承吊物件静荷载+吊钩荷载+专用吊装工具、索具荷载等。

(2) 吊车压脚垫底应考虑哪些问题？

答：地下障碍物、土耐力、承压力、承压面积、承压垫材强度、车体水平度等。

(3) 吊车压脚受力如何确定？

答： $N(\text{压脚受力})=0.2G(\text{本体重量})+Q(\text{吊荷载})\times L(\text{幅度})/1.4H$ (支脚伸距)。

(4) 一台机动吊车能力小于吊装荷载 20%，为什么臂杆增设后背绳却可以承吊？

答：机动吊车性能表能力是指吊车稳定能力的 75%~85%，而吊车机械设计能力是性能表能力的 1.5 倍。即便超性能表能力 20% 也达不到机械设计能力，所以加臂杆后背绳确保吊车整体稳定后对吊装是完全没有问题的。

(5) 两台吊车能力不足物件重量一半，如何托垫枕木垛？

答：位于物件偏重心位置一侧设一组支承点，以提吊受力小头搭中间位置垫堆，待设备安放水平稳定后再补充其余垫堆。

(6) 一台机动吊车提吊竖立一高塔，有哪两种吊装形式？

答：①起吊绳拴接形式，见图 4-7。

②设备送尾形式：(a) 滚排；(b) 机动吊车提吊。

(7) 操纵机动吊车的五不纪律是什么？

答：不斜吊、不掷钩、不超重、不冲击、不联合动作。

(8) 操纵机动吊车的六不吊是什么？

答：看不清信号、荷载不清、下方有人、未垫好捆牢、物件被埋住和机械电气装置失灵不吊。

(9) 滑移法吊装物件的捆绑拴接点位于重心距离是多少，为什么？

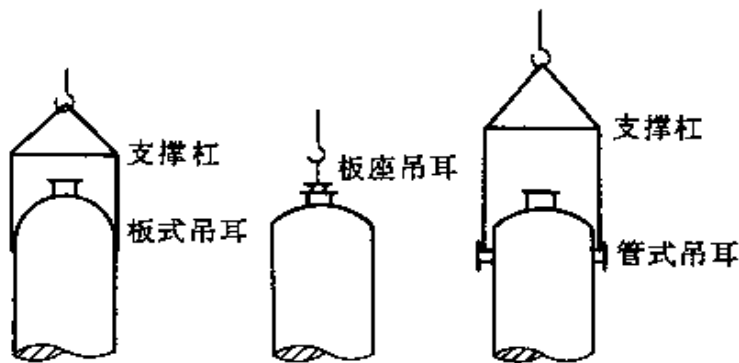


图 4-7 起吊绳拴接形式

答：捆绑拴接点位于物件重心位置之上不小于 H （总高）/15，以确保承吊物件不小于 1.4 倍的稳定条件。

(10) 钢结构有几种吊装形式，适用于什么场合？

答：整体吊装——完整性强、工期短，无高空作业。但难度大、场地大、机具多。

分段、分片吊装——半完整性，相对工期短，高空作业少。但难度大，机具能量大。

零组吊装——机具简单且少，经济效益高。但工期长，高空作业多，安全性差，用人多。

(11) 机动吊车吊钩控制斜吊角度是多少，为什么？

答：控制角 $\alpha \geq 3^\circ$ 。因为吊车是按照垂直吊装条件下确定稳定额定荷载的， $\alpha \geq 3^\circ$ 角时并不明显影响吊装能力。

(12) 机动吊车几项功能为什么不允许同时动作？

答：几项功能同时动作消耗能量大，容易造成吊车能力过载。对于吊车司机来说，精力难于集中，容易造成操作失误。

(13) 大型履带、汽车轮胎吊车适用于什么场合？

答：汽车轮胎吊车适合远程调动，能自身行走。

履带吊车适合地面耐力较差的工作环境，能带吊荷和臂杆行走。

(14) 机动吊车应具备哪些安全装置？

答：接地，超载警报，限位，缓冲，制动，连锁保护，安全罩，保险闸。

(15) 两台能力不等的吊车合吊物件，荷载如何分配？

答：按吊车能力大、小不同进行荷载分配，其关系是能力的正比等于其拴接点距离的反比。即 $Q_1/Q_2 = h_2/h_1$ 。

(16) 机动吊车单侧吊应具备什么基本条件？

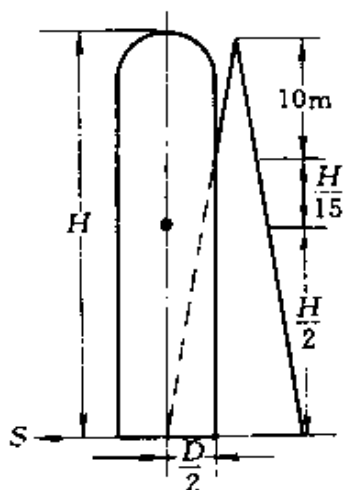


图 4-8 单侧吊形式

答：单侧吊形式见图 4-8。

① 单侧吊属于提吊法形式，其捆绑拴接点高度 $h > H$ （物件全高）/15，以保证 1.4 倍稳定系数。

② 机动吊车吊钩允许斜吊角 $\alpha \leq 3^\circ$ ，又考虑吊钩宽度影响，一般臂杆顶点至物件捆绑拴接点高度 h' （拴接点上部） $\leq 10\text{m}$ 。绳扣高 $\leq 5\text{m}$ 或者设外偏心。

③ 就一般条件， $\tan 3^\circ = (D/2) / (H/2 + H/15) = 0.052$

所以 $H/D \geq 17$ 亦为适宜条件。

(17) 什么是刚度，吊装设备刚度应控制多少，为什么？

答：抵抗弯曲变形的能力称为刚度。一般起重吊装最大控制为 L （跨度）/600，否则弯曲受拉应力将达到或超过材质的允许应力，产生永久变形或极限破坏。

(18) 动荷系数与什么有关系，一般系数为多少？

答：承吊物件在起、落瞬间的惯性冲量，与物件质量和加速度有直接关系，即：

$$P_g = ma = mv/t$$

式中 P_g —— 惯性力，N；

m —— 物体的质量，kg；

a —— 物体在时间 t 内的加速度；

v —— 在 t 秒时间里速度的变化值，制动时 v 表示制动前与制动后的速度之差；反之， v 表示加速后与加速前的速度之差，m/s；

t —— 加速或制动的的时间，s。

因为，一般吊装物件速度 $v = 2\text{m}/\text{min}$ ，卷扬机起动时间 $t = 0.035\text{s}$ ，代入公式 $P_d \approx 0.1G$ ，所以动荷系数 $K = 1.1$ 。

(19) 两台吊车以不同速度抬吊是否可行，为什么？

答：原则上是不允许的。但是实际操作中可以随时调节动作，从而避免起吊角度的变化，消除不平衡受力，所以还是可行的。

(20) 两台机动吊车抬吊应具备什么基本条件？

答：能力的分配；吊角斜度不大于 3° ；吊钩不碰撞物体；速度平稳，物体保持水平；吊臂有足够的限位高度。

(21) 机动吊车可否和自设工具配合吊装，为什么？

答：理论上是不允许的，因为自设工具必然存在着一定的起吊角度，而机动吊车是不允许带角度吊装的。为了适应带角度吊装，又必须采用机动吊车配合，一般选用吊车的承载量不大于其能力的 70% 。

(22) 吊车在什么气候环境下不能作业？

答：吊车吊装环境风力大于 5 级，温度低于 -25°C 时不能作业。环境风力是指吊杆最高点所测得的风力，温度是指无阳光直接照射的百叶箱中所测得的温度。

(23) 吊车运行时对工作地面有什么要求？

答：耐力不小于 0.16MPa ，行走坡度不大于 18° 。

(24) 吊车位置布置时应注意哪些问题？

答：吊车布置时应避开地下管线、地下电缆等工艺部位，必要时应设置保护措施；吊车布置时应有利于设备整体组合吊装，且便于设备的吊装就位；吊车位置布置时要有装拆吊臂所必须的空间，但如果环境条件不允许，在确保安全的前提下，也可在空中装拆吊臂；吊车布置时应遵守吊车负荷作业回转界限的规定。

(25) 用两台起重机吊装作业时应注意哪些安全问题？

答：尽量选用两台同类型起重机，合理分配载荷，不宜超过能力的 $75\% \sim 80\%$ ，等量抬吊时按小吊车计算荷载，动作同步，以防其中一台吊车超载。

(26) 主吊车选择应符合哪些规定？

答：单吊车吊装计算载荷应小于吊车的额定起吊能力；双吊车吊

装载荷不均系数是 1.25；吊臂与设备间的水平净距不宜小于 200mm；吊钩滑车与设备及吊臂间水平距离不宜小于 500mm。

(27) 辅助吊车选择程序是什么？

答：计算辅助吊车受力及初选吊车型号；拟定开始松辅助吊车吊钩时设备的仰角；初选吊车位置；吊车移动次数；计算吊臂与设备、吊钩滑车与吊臂及设备间的水平净距；吊车最终选择。

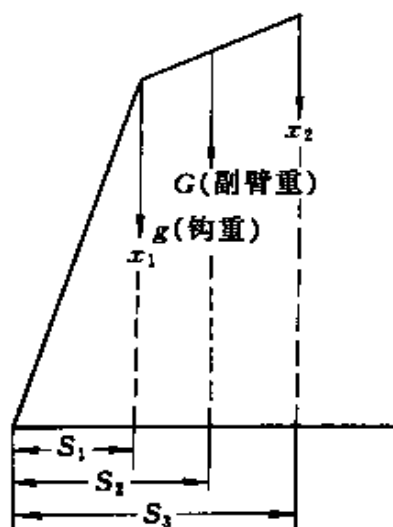


图 4-9 吊臂形式

(28) 吊车吊装计算的主要内容是什么？

答：吊装净空计算；吊车能力验算；设备强度与稳定验算。

(29) 主臂带副臂、副臂带主臂吊钩承吊能力降的计算是什么？

答：图 4-9 所示为吊车吊臂形式

①主臂带副臂承吊能力降

$$GS_2 = x_1 S_1$$

$$x_1 = \frac{GS_2}{S_1}$$

②副臂带主臂吊钩能力降

$$gS_1 = x_2 S_3$$

$$x_2 = \frac{g \cdot S_1}{S_3}$$

3.2 机动吊车性能表 (表 4-4~表 4-12)

表 4-4 Q51 型起重机特性

幅度, m	2.5	3.5	4.5	5.5
起升高度, m	6.5	6.1	5.5	4.5
起重量, t	5.0	3.5	2.7	2.0

注：为方便起重量用吨表示。

表 4-5 Q52 型起重机特性

起重臂长, m	7.6				12.0			
幅度, m	3	3.8	5	6.5	4.5	6	7.5	9
起升高度, m	7.3	7.2	6.7	5.4	11.4	11.2	10.5	9.2
起重量, t	8	5	3	2	3	2	1.5	1

表 4-6 QZ-12 型起重机特性

起重臂长, m	8.5								
幅度, m	3.6	3.8	4	4.3	4.6	5	5.5	6.4	
起升高度, m	8.4	8.3	8.2	8	7.8	7.5	7.1	5.8	
起重量, t	12	10	9	8	7	6	5	4	
起重臂长, m	10.8					13.2			
幅度, m	4.6	6	5.5	6.4	7.8	5.5	6.4	7.8	10.4
起升高度, m	10.4	10.3	10	9.3	7.8	12.8	12.4	11.6	8.6
起重量, t	7	6	5	4	3	5	4	3	2

表 4-7 QZ-16 型起重机特性

起重臂长, m	9.5												
幅度, m	4	4.2	4.5	5.1	5.9	6.6	7	7.4	7.9				
起升高度, m	9.2	9	8.8	8.4	7.7	6.8	6.3	5.6	4.3				
起重量, t	16	12	10	8	6	5	4.5	4	3.5				
起重臂长, m	15						21						
幅度, m	5.4	6.6	7.4	8.5	10	12.5	7.4	7.9	8.5	10	12.5	14	15
起升高度, m	14.4	14	13.5	12.7	11.2	7.7	20.3	20.1	19.8	18.9	17.1	15.8	14.8
起重量, t	7	5	4	3	2	1	4	3.5	3	2	1	0.5	0.2

表 4-8 QL3-253 型起重机特性

起重臂长, m		12						17					
幅度, m		4	5	6	7	8.5	11.5	6	7	8.5	10	13	14.5
起升高度, m		10	10.2	10.2	10.1	9.4	5.2	15.1	15	14.8	14.4	12.1	10.2
起重量 t	用支腿	25	21	14.7	11	8	4.6	14.5	10.8	7.6	5.7	3.5	2.8
	无支腿	7	5	4	3	2.5	2	3.5	3	2	1.5	0.8	0.5
起重臂长, m		22						27					
幅度, m		7	8.5	11.5	14.5	16	19	8.5	10	14.5	17.5	19	21
起升高度, m		20	19.8	19.2	17.5	16.2	12.5	24.8	24.6	23.5	21.5	20.2	18.2
起重量 t	用支腿	10.6	7.5	4.3	2.6	2.1	1.4	7.2	5.3	2.5	1.5	1.2	0.8
	无支腿	3.4	2.2	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
起重臂长, m		32									加鹅头		
幅度, m		10	11.5	13	14.5	16	17.5	19	21	11.5	17.5		
起升高度, m		29.6	29.4	29.1	28.4	28.2	27.5	26.5	25	33.7	32.4		
起重量 t	用支腿	5	4	3	2.4	1.8	1.4	1.0	0.6	3.5	1		
	无支腿	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

表 4-9 QL3-40 型起重机特性

起重臂长, m		15						18							
幅度, m		5	6	7	9	11.5	13	5	6	8	10	11.5	13	14.5	
起升高度, m		10.4	11.4	11.9	11.6	10.2	8.8	11.7	13.6	14.7	14.5	13.9	12.8	11.5	
起重量 t	用支腿	40	32.2	24.5	16.3	11.1	9.2	32	19.5	13.6	10.9	9	7.6		
	无支腿	14.8	11.3	8.9	6	4	3.2	14.7	11.1	7	4.9	3.8	3	2.4	
起重臂长, m		21						24							
幅度, m		5.5	7	9	10	11.5	14.5	16	7	8	9	11.5	13	16	17.5
起升高度, m		14.7	19.9	17.5	17.4	17.1	15.4	14.2	19.1	19.9	20.2	20.1	19.7	18.1	16.9
起重量 t	用支腿	—	24.2	15.9	13.4	10.7	7.4	6.2	24	19.1	15.7	10.5	8.6	6.1	5.2
	无支腿	12.4	7	4.5	3.7	2.7	1.5	1.1	—	—	—	—	—	—	—

续表

起重臂长, m		27							30						
幅度, m		8	9	10	13	14.5	17.5	19	9	10	13	14.5	16	19	21
起升高度, m		22.4	22.8	23.1	22.6	22.3	20.7	19.6	25.5	25.9	25.8	25.4	25	23.3	21.8
起重 量, t	用支腿	18.9	15.5	13	8.4	7	5	4.2	16.1	13.5	8.7	7.2	6	4.3	3.5
	无支腿	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
起重臂长, m		33							36						
幅度, m		10	13	14.5	16	19	21	23	11.5	13	14.5	16	19	21	23
起升高度, m		28.7	28.7	28.4	28	26.8	24	22	31.6	31.6	31.5	31.1	30.2	29.2	27.8
起重 量, t	用支腿	13.3	8.5	7	5.8	4.1	3.3	2.6	10.3	8.3	6.8	5.6	3.9	3.1	2.4
	无支腿	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
起重臂长, m		39							42						
幅度, m		11.5	13	16	17.5	21	23	25	11.5	13	17.5	23	25	4	
起升高度, m		34.4	34.6	34.3	33.8	32.6	31.5	30.1	37.2	37.2	37	35	33.8	42	
起重 量, t	用支腿	10.1	8.1	5.4	4.5	2.9	2.2	1.7	10	7.9	4.3	2	1.5	4	
	无支腿	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

表 4-10 W-50 $\frac{1}{2}$ 型起重机特性

起重臂长, m	10				18				带象鼻梁		
幅度, m	3.7	4.0	5.0	6.0	4.5	5.0	7.0	9.0	6.6	8	10
	7.0	8.0	9.0	10	11	13	15	17			
起重量, t	10	8.7	6.2	5.0	7.5	6.2	4.1	3.0	2	1.5	1
	4.1	3.5	3.0	2.6	2.3	1.8	1.4	1.0			
起升高度, m	9.2	9.0	8.6	8.1	17.2	17	16.4	15.5	17.2	16	14
	7.45	6.5	5.4	3.7	14.4	12.8	10.7	7.6			
工作时机器重量, t	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6
对地面平均压力, N/cm ²	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

表 4-11 W-100 $\frac{1}{2}$ 型起重机特性

起重臂长, m	13					16				
幅度, m	4.5	6	7.5	10	12.5	5	6.5	8	11	13
起重量, t	15	10	7.2	4.8	3.5	12	8	5	2.5	2.1
起升高度, m	11	11	10.6	8.8	5.8	13	12	11	9	6
工作时机器重量, t										
对地面平均压力, N/cm ²										
起重臂长, m	20					23				
幅度, m	6	7.5	9.5	13	15.5	6.5	9.5	12.5	15	17
起重量, t	9	6	4	3	2	8	4.6	3	2.2	1.7
起升高度, m	16.5	15	11.5	10	7	19	19	18	17	16
工作时机器重量, t						41.6	41.6	41.6	41.6	41.6
对地面平均压力, N/cm ²						8.9	8.9	8.9	8.9	8.9

表 4-12 W-200 $\frac{1}{2}$ 型起重机特性

起重臂长, m	15	15	15	15	15	30	30	30	30
幅度, m	4.5	6.5	9.0	12	15.5	8.0	11.0	16.5	22.5
起重量, t	50	28	17.5	11.7	8.2	20	12.7	7.0	4.3
起升高度, m	12	11.4	10	8	3	26.5	25.6	23.2	19
工作时机器重量, t	77.2					79.0			
对地面平均压力, N/cm ²	12.2					12.5			
起重臂长, m	40								
幅度, m	10			15.5		21.5		30	
起重量, t	8			5		3		1.5	
起升高度, m	36			34.5		32		24	
工作时机器重量, t	80.7								
对地面平均压力, N/cm ²	12.8								

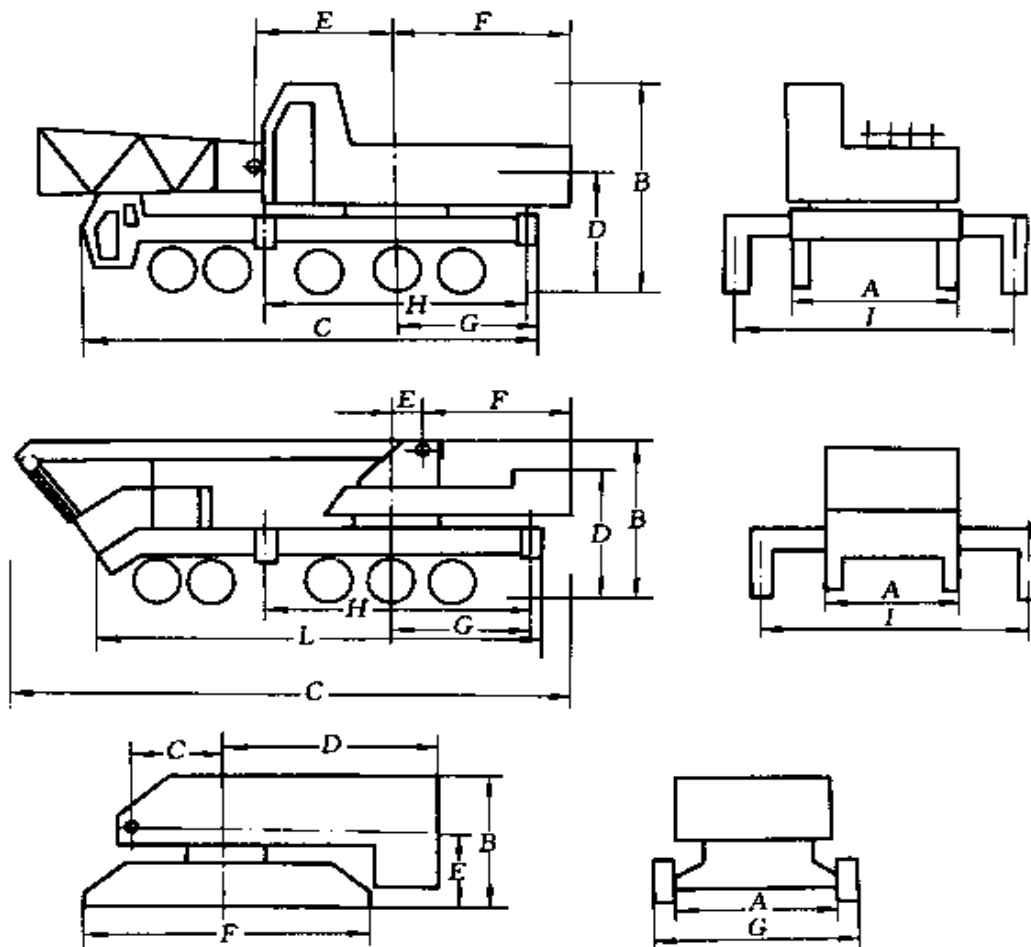
3.3 吉化公司常用吊车类型及其性能 (表 4-13~表 4-28)

吉化公司有不少国产和进口的机动吊车。下面就这些吊车的类型和技术性能作简要的介绍。

表 4-13 吉化公司常用吊车类型

序号	能力.t	产地	型号	台数	注明
1	250	德国,德码克	TC.1100	1	全方位吊装
2	150	日本,石川岛播磨	CTH-1500	1	后半部吊装
3	120	德国,利勃海尔	LT.1120	1	后半部吊装
4	90	日本,多田野	TG-900E	1	后半部吊装
5	80	德国,利勃海尔	LTM1090/1	2	全方位吊装
6	80	日本,加藤	NK-800	1	全方位吊装
7	80	日本,加藤	NK-800	1	后半部吊装
8	50	日本,多田野	TG-500E-3-1	1	全方位吊装
9	50	日本,加藤	NK-500E-Ⅱ	2	全方位吊装
10	40	日本,加藤	NK-400E	4	后半部吊装
11	25	日本,加藤	NK-250E-V	1	后半部吊装
12	20	日本,加藤	NK-200BE	3	后半部吊装
13	15	中国,抚顺	W.1001	11	全方位吊装
14	8	中国,锦州	QY.8	18	后半部吊装

表 4-14 吊车规格参数一览表



续表

吊车型号	A	B	C	D	E	F
250t.TC 1100	3000	4415	18720	3030	2200	6720
150t.CTH-1500	3400	4360	16295	2700	1300	6870
120t.LT1120	2800	3760	18490	3130	2100	4630
90t.TC-900E	3200	3930	15550	3000	1000	4250
80t.LTM1090/1	2500	3850	12370	3500	2850	1838
80t.NK-800	3000	3800	15400	2900	800	3400
80t.NK-800(旧)	3000	3900	15000	2900	800	3800
50t.NK-500E-3-1	2820	3750	12860	3520	1600	1860
50t.NK-500E-Ⅱ	2750	3800	13300	2500	1300	2200
40t.NK-400E	2750	3800	13050	3000	1660	1800
25t.NK-250E-V	2500	3200	12600	2500	1500	1400
20t.NK-200BE	2740	3650	11990	1950	1500	1000
15t.W1001	3120	3675	1300	3300	1700	4005
吊车型号	G	H	I	L	车体重量.t	
250t.TC 1100	5520	9054	6320/10000	15600	75+90°=175	
150t.CTH-1500	3200	5800	6800		104+47°=160	
120t.LT1120	3830	8000	8000	13100	75+16°=91	
90t.TC-900E	3200	6000	7800	13500	64	
80t.LTM1090/1	3350	8500	5000/7200	10150	48+14.5°=62.5	
80t.NK-800	3800	5587	7600	13000	60.1	
80t.NK-800(旧)	3150	5700	7000	13000	63.25	
50t.NK-500E-3-1	3470	5560	6800	10860	39	
50t.NK-500E-Ⅱ	3000	5500	4850/7200	11500	39	
40t.NK-400E	2680	5000	6350	10130	37.85	
25t.NK-250E-V	2300	4800	6000	9500	24.4	
20t.NK-200BE	2650	4750	5600	10000	23.75	
15t.W1001	3200	657			40.12	

* 为吊车配重重量。

表 4-16 CTH-1500 格构臂杆汽车吊装性能表

臂杆长度 幅度, m		重型臂杆标准配重(附加 12t 配重)和额定吊装能力, t														
		18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
4	150															
5	118	95														
6	92	(100)	(90)													
7	71	(85.7)	(85.7)	(85.7)	60											
8	56	(75)	(75)	(75)	(75)											
9	48.4	(66.6)	(66.6)	(66.6)	(66.6)	(65)										
10	42	(58.1)	(58.1)	(58.1)	(58.1)	(57.9)	(57.4)		(55)							
12	31.9	(43.8)	(43.8)	(43.8)	(43.8)	(43.6)	(43.4)	(43.2)	(43)	(42.8)	(42.6)	(42.4)	(37.1)	(36.9)	(36)	
14	25.7	(35)	(35)	(35)	(35)	(34.8)	(34.6)	(34.6)	(34.2)	(34)	(33.8)	(33.6)	(33.4)	(33.2)	(33)	
16	21.6	(29.2)	(29.2)	(29.2)	(29.2)	(29)	(28.8)	(28.6)	(28.4)	(28.2)	(28)	(27.8)	(27.6)	(27.4)	(27.2)	
		21.6	21.3	21	20.7	20.4	20.1	19.8	19.3	19.2	18.9	18.6	18.3	18	17.7	

续表

臂杆长度 幅度, m		重型臂杆标准配重(附加 12t 配重)和额定吊装能力, t													
		18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
18	(25.1)	(25.1)	(25.1)	(25.1)	(25.1)	(24.9)	(24.7)	(24.5)	(24.3)	(24.1)	(23.9)	(23.7)	(23.5)	(23.3)	(23.1)
	18.4	18.4	17.8	17.5	17.2	16.9	16.6	16.3	16	15.7	15.4	15.1	14.8	14.5	
20	(21.9)	(21.9)	(21.9)	(21.9)	(21.9)	(21.7)	(21.5)	(21.3)	(21.1)	(20.9)	(20.7)	(20.5)	(20.3)	(20.1)	(19.9)
	15.7	15.4	15.1	14.8	14.5	14.2	13.9	13.6	13.3	13	12.7	12.4	12.1		
22	(19.2)	(19.2)	(19.2)	(19.2)	(19.2)	(19)	(18.8)	(18.6)	(18.4)	(18.2)	(18)	(17.8)	(17.6)	(17.4)	(17.2)
	13.9	13.6	13.3	13	12.7	12.4	12.1	11.8	11.5	11.2	10.9	10.6	10.3		
24	(17)	(17)	(17)	(17)	(17)	(16.8)	(16.6)	(16.4)	(16.2)	(16)	(15.8)	(15.6)	(15.4)	(15.2)	(15)
	12.1	11.8	11.5	11.2	10.9	10.6	10.3	10	9.7	9.4	9.1	8.8			
26	(15.2)	(15.2)	(15.2)	(15.2)	(15.2)	(15)	(14.8)	(14.6)	(14.4)	(14.2)	(14)	(13.8)	(13.6)	(13.4)	(13.2)
	10.7	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	8.9	8.6	8.3	8	7.7				
28	(13.6)	(13.6)	(13.6)	(13.6)	(13.6)	(13.4)	(13.2)	(13)	(12.8)	(12.6)	(12.4)	(12.2)	(12)	(11.8)	
	9.4	9.1	8.8	8.5	8.2	7.9	7.6	7.3	7	6.7					
30	(12.4)	(12.4)	(12.4)	(12.4)	(12.4)	(12.2)	(12)	(11.8)	(11.6)	(11.4)	(11.2)	(11)	(10.8)	(10.6)	
	8.6	8.5	8	7.7	7.4	7.1	6.8	6.5	6.2	5.9					
32	(11.1)	(11.1)	(11.1)	(11.1)	(11.1)	(10.9)	(10.7)	(10.5)	(10.3)	(10.1)	(9.9)	(9.7)	(9.5)		
	7.5	7.5	7.7	6.9	6.6	6.3	6	5.7	5.4	5.1					

续表

臂杆长度 幅度, m		重型臂杆标准配重(附加 12t 配重)和额定吊装能力, t													
		18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
34								(9.9)	(9.7)	(9.5)	(9.3)	(9.1)	(8.9)	(8.7)	(8.5)
								6.5	6.2	5.9	5.6	5.3	5	4.7	4.4
36								(8.9)	(8.7)	(8.5)	(8.3)	(8.1)	(7.9)	(7.7)	(7.5)
								5.5	5.2	4.9	4.6	4.3	4	3.7	3.4
38								(7.8)	(7.6)	(7.4)	(7.2)	(7)	(6.8)	(6.6)	(6.4)
								4.6	4.3	4	3.7	3.4	3.1	2.8	2.5
40								(7.1)	(6.9)	(6.7)	(6.5)	(6.3)	(6.1)	(5.9)	(5.7)
								4.1	3.8	3.5	3.2	2.9	2.6	2.3	2
42								(6.3)	(6.1)	(5.9)	(5.7)	(5.5)	(5.3)	(5.1)	(4.9)
								3.3	3	2.7	2.4	2.1	1.8	1.5	1.2
44								(5.6)	(5.4)	(5.2)	(5)	(4.8)	(4.6)	(4.4)	(4.2)
								5.6	5.4	5.2	5	4.8	4.6	4.4	4.2
46								(4.8)	(4.6)	(4.4)	(4.2)	(4)	(3.8)	(3.6)	(3.4)
								4.8	4.6	4.4	4.2	4	3.8	3.6	3.4

吊钩重量: 150t/2.65t, 90t/1.6t, 60t/1.25t, 13t/0.5t

续表

壁杆长度 m 幅度, m	6t(16t)臂杆额定吊装能力, t				壁杆长度 m 幅度, m	6t(16t)臂杆额定吊装能力, t			
	13.85	24.24	34.63	45		13.85	24.24	34.63	45
18.55		(11.4) 6.2			26.4			(5.9) 2.3	(5.9) 3.5
19.05		(10.7) 5.2			27.25			(5.4) 1.8	(5.4) 2.8
19.55		(10) 5.1	(10.3) 7.4	(8.8) 8	28			(5.1) 1.5	
20		(9.6) 4.7			28.7			(4.7) 1.2	(4.9) 2.2
20.45		(9) 4.3	(9.4) 6.3		29.25			(4.4) 1	
20.8		(8.6) 4			30			(4.1) (3.8)	(4.45) 1.6
21.1		(8.2) 3.7			30.5			(3.8) (3.6)	
21.6			(8.5) 5.3	(8) 6.6	31.4			(3.6) (3.4)	(4) 1.1
22.6			(7.9) 4.5	(7.2) 5.4	31.8				(3.65) (3.3)
23.65			(7.2) 3.8		34.2				(2.9)
24.6			(6.8) 3.3	(6.5) 4.4	35.3				(2.6)
25.25			(6.3) 2.8		36.4				(2.35) (2.1)
					37.35				
					38.3				

吊钩重量: 120t/1.7t, 80t/1t, 45t/0.52t, 28t/0.35t, 10t/0.25t

表 4-18 TADANO TG900-E 全液压汽车吊装性能表(后半部吊装)

臂杆长度, m 幅度, m	全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t						
	12	18	24	30	36	40	44
3.2	90						
3.5	80	45					
4	70	45					

续表

臂杆长度, m 幅度, m		全伸支腿、主臂额定吊装能力, t								
		12	18	24	30	36	40	44		
4.5		62	45	36						
5		56	45	36						
5.5		50	45	36						
6		45	42	36	27					
6.5		41	39.4	34	27					
7		38	37	32.2	25.7	22				
7.5		35	34.6	30.6	24.2	22				
8		32.5	32.5	29	22.9	20.7	18			
9		26.3	26.5	26	20.4	18.5	16.6	12		
10		21.5	21.9	22	18.4	16.6	15.3	12		
11		17.8	18.4	18.6	16.6	15	14	12		
12			15.7	15.8	13.2	13.8	12.8	11.4		
14			11.7	11.8	11.8	11.3	10.8	9.7		
16			8.9	9	9.1	9.1	9.2	8.4		
18				7	7.1	7.1	7.6	7.4		
20				5.5	5.5	5.5	6.1	6.3		
22				4.2	4.3	4.3	4.8	5.2		
24					3.3	3.3	3.9	4.2		
26					2.5	2.5	3	3.4		
28					1.7	1.8	2.3	2.7		
30							1.7	2		
32								1.5		
主臂倾角与主、副臂夹角, °		80/5	79/5	78/5	77/5	75/5	70/5	65/5	60/5	55/5
44+9.5m	幅度, m	9.3	10.2	11.1	12	13.8	18.3	22.6	26.75	30.7
	能力, t	5	5	5	5	4.5	3.7	3.1	2.4	1.35
44+15m	幅度, m	10.2	11.3	12.3	13.2	15.3	20	25	29.5	33.8
	能力, t	3	3	3	3	2.75	2.25	1.9	1.5	1.05

吊钩重量, 90t/0.95t, 45t/0.51t, 5t/0.14t

表 4-19 LIEBHERR-LJM1090/1 360°全液压汽车吊装性能表

臂杆长度 .m		全伸支腿,配重 14.5t,主臂额定吊装能力,t										
幅度 .m		11.6	15.3	19.1	22.8	26.5	30.2	34	37.7	41.1*	44	
3												
3.5		76										
4		75	64	58	49.5							
5		63	62	57	44	36						
6		52	51	48.5	39.5	35	25.3					
7		43	41	38.5	35.5	31.5	25.7	22.3	19.4	15.5		
8		35.5	34	32	29.6	28.4	26.1	22.7	19.9	16.1	14.4	
9			28.4	27	25	24.1	24	21.3	18.7	16.3	14	
10			24.3	23.1	21.4	20.8	20.8	19.9	17.5	15.6	13.6	
12			18.1	17.6	16.2	15.8	16	16.1	15.4	14	12.5	
14				13.9	12.6	12.4	12.7	12.9	12.9	12.6	11.6	
16				10.8	10.1	9.8	10.2	10.5	10.6	10.7	10.5	
18					7.9	7.9	8.3	8.6	8.8	8.9	8.8	
20						6.2	6.8	7.1	7.3	7.5	7.4	
22						4.9	5.4	5.8	6.1	6.4	6.2	
24							4.3	4.7	5	5.3	5.3	
26							3.5	3.8	4.1	4.4	4.3	
28								3.2	3.4	3.7	3.6	
30									2.8	3.1	3	

臂杆长度, m		全伸支腿, 配重 14.5t, 主臂额定吊装能力, t											
		11.6	15.3	19.1	22.8	25.5	30.2	34	37.7	41.1	44		
幅度, m									2.3	2.6	2.5		
	32									2.1	2.1		
	34									1.7	1.7		
	36										1.3		
	38											1	
	40												
主臂, m		全伸支腿, 配重 14.5t 副臂额定吊装能力, t											
		37.7	41.4	44	44	34	34	41.4	44				
副臂, m		10.6	10.6	18.8	18.8			18.8					
幅度, m													
		0	15	30	0	15	30	0	15	30	0	15	30
		8.1	8.1	8	6	3.9	3.9	3.6	3.3	3.2	3.1	3.1	
	8		6.7	6.7	5.9	5.6	5.6	3.6	3.3	3.2	3.1	3.1	
	9		6.7	6.7	5.8	5.4	5.1	3.6	3.4	3.2	3.1	3.1	
	10		6.7	6.7	5.7	5.3	4.9	3.5	3.3	3.2	3.1	3.1	
	12		6.7	6.7	5.5	5.1	4.7	3.5	3.2	2.9	2.9	2.9	
	14		6.7	6.6	5.2	4.9	4.5	3.4	3.1	2.8	2.8	2.8	
	16		6.7	6.2	5.2	4.7	4.3	3.4	3.1	2.8	2.7	2.7	
	18		6.7	5.7	5.2	4.7	4.3	3.3	3.0	2.7	2.6	2.6	
	20		6.7	5.3	5.2	4.7	4.3	3.2	2.9	2.7	2.6	2.6	
	22		6.4	5.8	5	4.5	4.1	3.2	2.9	2.7	2.6	2.6	

续表

全伸支腿, 配重 14.5t 副臂额定吊装能力, t											
主臂, m	37.7	41.4	44	34	41.4	44					
副臂, m	10.6	10.6	10.6	18.8	18.8	18.8					
幅度, m	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30					
夹角, °	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30	0 15 30					
24	5.5 5.5 4.7	5.5 4.8 4.2	4.7 4.3 3.9	3.1 2.6 2.3	3.1 2.8 2.5	3 2.8 2.6					
26	4.7 5 4.4	4.7 4.4 4	4.4 4 3.6	2.9 2.5 2.2	3 2.7 2.5	2.9 2.7 2.5					
28	3.9 4.2 4.1	4 4.2 3.7	3.9 3.7 3.4	2.8 2.4 2.1	2.9 2.6 2.4	2.9 2.6 2.3					
30	3.3 3.6 3.8	3.4 3.7 3.5	3.3 3.5 3.2	2.7 2.3 2.1	2.8 2.6 2.4	2.8 2.4 2.2					
32	2.8 3 3.2	2.9 3.1 3.3	2.8 3 3	2.6 2.3 2	2.7 2.5 2.3	2.6 2.3 2					
34	2.4 2.6 2.7	2.4 2.6 2.8	2.3 2.5 2.7	2.5 2.2 2	2.6 2.4 2.3	2.4 2.1 1.9					
36	2 2.1 2.2	2 2.2 2.3	1.6 2.7 2.3	2.4 2.1 1.9	2.3 2.4 2.2	2.1 2 1.8					
38	1.6 1.8 1.8	1.7 1.8 1.9	1.6 1.7 1.9	2.3 2.1 1.9	1.9 2.3 2.1	1.8 1.9 1.7					
40	1.2 1.4 1.5	1.4 1.5 1.6	1.3 1.4 1.5	2.3 2 1.9	1.6 1.9 2.1	1.5 1.7 1.6					
42	0.9 1 1.1	1 1.2 1.3	1 1.1 1.2	2.2 1.9 1.8	1.3 1.6 1.8	1.2 1.5 1.5					
44		0.8 0.9	0.9	2 1.9 1.8	1.1 1.3 1.5	0.9 1.2 1.4					
46				1.8 1.8 1.8	0.8 1.1 1.2	0.9 1.1					
48				1.5	0.9	0.9					

吊钩重量: 70t/0.8t, 50t/0.45t, 7.5t/0.19t

表 4-20 KATO NK-800 360°全液压汽车吊装性能表

幅度, m	臂杆长度, m	全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t						
		12	18	24	30	36	40	44
2.5	80	45						
3	80	45	35					
3.5	80	45	35					
4	70	45	35	27				
4.5	62	45	35	27				
5	56	45	35	27				
5.3	52	45	35	27				
5.4	51	44.5	35	27	22			
5.8	47	41.8	33.5	27	22			
6	45	40	32.5	26.3	22			
6.5	41	36.9	30.5	24.9	22	18		
6.9	38	34.6	29	23.8	22	18		
7	37.1	34.2	28.6	23.5	21.8	18		
7.9	31.5	30.5	25.5	21.3	20.1	18	12	
8.5	28.6	27.5	24	20.1	19	17.1	12	
9.5	24	23.5	21.5	18.2	17.2	15.7	12	
10	22	21.7	20.4	17.4	16.4	15.1	12	
11		18.8	18	15.9	15	14	12	
11.3		18	17.4	15.4	14.6	13.6	12	
12		16.1	15.9	14.5	13.8	12.8	11.3	
13		14	14	12.6	12.7	11.7	10.5	
14		12	12.2	11.3	11.2	10.8	9.7	
15		10.5	10.7	10.1	10	9.8	9	
16			9.4	9.1	9	8.9	8.4	
18			7.2	7.1	7.1	7.3	7.4	

续表

臂杆长度, m 幅度, m	全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t						
	12	18	24	30	36	40	44
20			5.5	5.5	5.6	6	6.2
22				4.3	4.4	4.8	5.1
23				3.7	3.8	4.3	4.6
24					3.3	3.8	4.2
26					2.4	3	3.3
28						2.2	2.6

全伸支腿, 44m 主臂, 360°副臂额定吊装能力, t

主副臂夹角 5°				主副臂夹角 30°			
副臂 9.5m		副臂 15m		副臂 9.5m		副臂 15m	
幅度, m	能力, t	幅度, m	能力, t	幅度, m	能力, t	幅度, m	能力, t
11	6	11.5	4	14.5	2.5	18	1.3
11.45	5.8	13	4	15	2.5	18	1.3
13.7	4.95	15.25	3.6	17.1	2.35	20.5	1.2
15.7	4.45	17.25	3.2	18.8	2.25	22.5	1.15
17.3	4.1	19.35	2.9	20.4	2.15	24.4	1.1
19.15	3.75	21.55	2.65	22.3	2.05	26.2	1.05
20.7	3.5	23.55	2.5	23.6	2	28	1
22.3	3.25	25.1	2.35	25.5	1.9	29.8	0.95
24.1	3	27.2	2.2	26.8	1.85	31.5	0.9
25.7	2.8	29	2.1	28.3	1.8	33.2	0.85
27.4	2.2	30.8	1.75	29.65	1.75	34.8	0.8
28.9	1.8	32.45	1.45	31.2	1.7	36.3	0.75

吊钩重量: 80t/1t, 35t/0.5t, 6t/0.25t

表 4-21 (旧)KATO NK-800 全液压汽车吊装性能表

臂杆长度 .m 幅度 .m	全伸支腿,后半部主臂额定吊装能力,t						
	12	18	24	30	36	40	44
3	80	45					
4	70	45	35				
5	56	40	32	27			
6	45	34.3	27.2	25	22		
7	35.6	29.1	23.7	21.5	20.3	18	
8	27.8	25.4	21	18.8	17.7	15.7	12
9.5	20.8	20.8	17.8	15.7	14.6	13.1	12
10	19.2	19.2	17	15	13.8	12.6	11.4
11		16.5	15.6	13.5	12.4	11.4	10.4
12		14.2	14.2	12.4	11.2	10.4	9.5
13			12.5	11.3	10.2	9.6	8.8
14.6			10	10	9	8.5	7.8
16			8.1	8.1	8.1	7.7	7.1
17.8				6.2	6.2	6.8	6.3
20				4.5	4.5	5.1	5.6
23					3	3.5	3.9
26						2.2	2.6
30							1.3

全伸支腿、后半部、副臂额定吊装能力,t

主副臂杆夹角(°)		81.3	80.1	78.6	75.2	70.8	66.0	63.8	58.0	55.4
		/5	/5	/5	/5	/5	/5	/5	/5	/5
44+9.5m	幅度 .m	10	11.3	13.0	16.0	20.0	24.0	26.0	30.3	32.0
	能力,t	6	5.9	5.2	4.4	3.6	3.0	2.75	1.6	1.2
44+15m	幅度 .m	11.5	12.6	13.6	14.6	18.2	22.5	27.2	29.1	33.6
	能力,t	4	4	4	3.75	3.05	2.55	2.10	2.05	1.25

吊钩重量:80t/1t,26t/0.5t,5t/0.25t

表 4-22 TADANO TG-500E-3-1 360°全液压汽车吊装性能表

幅度, m	臂杆长度, m							全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t						
	10.65	14	18	21.6	25.3	32.7	40	10.65	14	18	21.6	25.3	32.7	40
3	50	33	28	24										
3.5	43	33	28	24										
4	38	33	28	24	20									
4.5	34	30.5	28	24	20									
5	30.2	29	28	24	20									
5.5	27.5	26.5	25.6	23.2	20	13								
6	25	24	23.5	21.5	20	13								
6.5	22.7	22.3	21.8	19.9	18.1	13	7.5							
7	20.7	20.3	20	18.4	16.8	13	7.5							
7.5	18.9	18.6	18.5	17.1	15.7	13	7.5							
8	17.4	17.1	17	15.9	14.8	12.3	7.5							
9	14.2	14.1	14.1	13.6	13.2	11	7.5							
10		11.5	11.5	11.45	11.4	10	7.5							
11		9.45	9.45	9.4	9.4	9.1	6.95							
12		7.85	7.85	7.85	7.85	8.3	6.45							
14			5.65	5.65	5.65	6.45	5.6							
16			4.1	4.1	4.05	4.9	4.8							
18				2.9	2.9	3.75	4.1							
20				1.9	1.9	2.85	3.4							

续表

臂杆长度, m		全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t							
		10.65	14	18	21.6	25.3	32.7	40	
幅度, m	22					1.2		2.1	2.65
	24							1.5	2.05
	26							1	1.55
	28								1.15
	30								0.8
	32								0.5

全伸支腿, 40m 主臂, 副臂额定吊装能力, t

主臂倾角(°)		全伸支腿, 40m 主臂, 副臂额定吊装能力, t															
		80	79	78	77	76	75	73	70	68	65	63	60	58	55	53	50
40+9 m	5° 夹	3.5	3.5	3.5	3.32	3.13	2.97	2.68	2.33	2.15	1.91	1.78	1.6	1.3	0.9	0.7	0.4
	25° 角	2.2	2.2	2.2	2.14	2.08	2.02	1.91	1.74	1.64	1.49	1.39	1.26	1.19	0.85	0.65	
	45° 角	1.2	1.2	1.2	1.19	1.18	1.17	1.15	1.11	1.09	1.07	1.03	1.00	0.98	0.8	0.6	
40+16 m	5° 夹	2.3	2.3	2.3	2.18	2.06	1.96	1.78	1.56	1.44	1.27	1.18	1.06	0.98	0.7	0.55	
	25° 角	1.1	1.1	1.1	1.07	1.05	1.02	0.97	0.91	0.87	0.81	0.78	0.74	0.72	0.6	0.45	
	45° 角	0.6	0.6	0.6	0.59	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.53	0.51	0.5	0.49	0.47	0.4	

吊钩重量: 50t/0.45t, 12t/0.19t, 4t/0.1t

表 4-23 KATO NK-500E-Ⅱ 360°全液压汽车吊装性能表

幅度, m	臂杆长度, m		全伸支腿、主臂额定吊装能力, t				
	10.8	18.1	25.4	32.7	40		
3	50.5	28					
3.5	42.2	28	18				
4	37	28	18				
4.5	33	28	18				
5	30.2	28	18	13			
5.5	27.5	25.6	18	13			
6	25	23.5	18	13			
6.5	22.7	21.8	18	13	7.5		
7	20.7	20	16.8	13	7.5		
7.5	18.9	18.5	15.7	13	7.5		
8	17.4	17	14.8	12.3	7.5		
8.5	15.65	15.4	14	11.6	7.5		
9	14	13.85	13.2	11	7.5		
9.5		12.5	12.2	10.5	7.5		
10		11.4	11.5	10	7.3		
11		9.5	9.4	9.1	6.8		
12		8	7.9	8.3	6.3		
13			6.6	7.4	5.9		
14			5.6	6.4	5.5		

续表

幅度, m		臂杆长度, m		全伸支腿, 主臂额定吊装能力, t						
		10.8	18.1	25.4	32.7	40				
16				4	4.8	4.7				
18					3.6	4				
20					2.7	3.25				
22						2.5				

全伸支腿, 40m 主臂、副臂额定吊装能力, t

主臂倾角(°)	全伸支腿, 40m 主臂、副臂额定吊装能力, t																			
	81	80	79	78	77	76	75	74	72	70	68	66	64	62	60	59	58	57	56	
40+9.2m	5°	3.5	3.5	3.5	3.5	3.32	3.13	2.97	2.82	2.55	2.33	2.14	1.97	1.83	1.71	1.51	1.38	1.23		
	17°	2.7	2.7	2.66	2.54	2.42	2.32	2.32	2.13	1.95	1.81	1.69	1.58	1.48	1.4	1.32	1.28	1.18	0.95	
	30°	2	2	2	2	1.94	1.88	1.83	1.78	1.67	1.58	1.48	1.4	1.31	1.24	1.17	1.14	1.1	1	0.9
40+15m	5°	2.5	2.5	2.5	2.5	2.35	2.22	2.1	1.98	1.78	1.61	1.48	1.36	1.26	1.16	1.08	1.05	1.01	0.9	0.8
	17°	1.6	1.6	1.6	1.55	1.48	1.42	1.36	1.31	1.22	1.14	1.07	1	0.96	0.9	0.86	0.84	0.82	0.79	0.74
	30°	1	1	1	1	1	0.97	0.96	0.94	0.9	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.7

吊钩重量: 50.5t/0.5t, 20t/0.27t, 4t/0.12t

表 4-24 KATO NK-400 全液压汽车吊装性能表

臂杆长度, m		全伸支腿, 后半部主臂额定吊装能力, t											
		11		16.5		22		27		31		35	
幅度, m		11		16.5		22		27		31		35	
3		40											
4		36.4		24									
4.5		33.3		24		20							
5		29.5		24		20		16					
6		22.5		22.85		20		16		12			
7		16.7		16.7		16.7		16		12		8	
8		13.55		13.55		13.55		13.55		12		8	
9		11		11		11		11		10.55		8	
10				9		9		9		8.9		8	
11				7.45		7.45		7.45		7.45		7.45	
12				6.25		6.25		6.25		6.5		6.7	
14						4.4		4.4		4.85		5.1	
16						3.15		3.15		3.6		3.95	
18						2.2		2.2		2.6		2.95	
20								1.4		1.88		2.18	
22								0.8		1.25		1.55	
24										1		1	
26												0.65	
主臂倾角与主副臂夹角(°)		77/5	75/5	72/5	70/5	66/5	64/5	62/5	58/5	55/5	52/5		
35+8.8 m	幅度, m	11	12	14.5	15.8	18.3	19.7	21	23.4	25.7	27		
	能力, t	4	3.7	3.05	2.65	2	1.65	1.35	0.95	0.7	0.55		
35+13.5 m	幅度, m	12.1	13.8	15.3	17.8	19.4	20.9	22.5	24	25.3	27		
	能力, t	2.5	2.4	2.2	1.9	1.7	1.55	1.35	1.15	1	0.8		
吊钩重量: 40t/0.5t, 12t/0.25t, 4t/0.12t													

表 4-25 KATO NK-250E-V 全液压汽车吊装性能表

臂杆长度, m 幅度, m	全伸支腿, 后半部、主臂额定吊装能力, t						
	10	13.5	17	20.5	24	27.5	31
2.5	25	17.5	14.5				
3	25	17.5	14.5	9.5			
3.5	20	17.5	14.5	9.5	7.5		
4	18	17.5	14.5	9.5	7.5	6.5	
4.5	16.3	15.8	14.5	9.5	7.5	6.5	
5	14.85	14.4	13.25	9.5	7.5	6.5	6
5.5	13.65	13.25	12.2	9.5	7.5	6.5	6
6	12.3	12.2	11.3	9.5	7.5	6.5	6
6.5	11.2	11	10.5	9.5	7.5	6.5	6
7	10.25	10	9.8	8.8	7.5	6.5	6
7.5	9.4	9.2	9.1	8.3	7.5	6.5	6
8	8.65	8.45	8.35	7.8	7	6.1	5.65
8.3	8.25	8.05	7.95	7.5	6.75	5.9	5.45
9		7.2	7.1	6.95	6.25	5.45	5.05
9.5		6.65	6.5	6.55	5.9	5.2	4.8
10		6	5.9	6.2	5.6	4.95	4.6
11		5	4.85	5.25	5	4.5	4.2
11.8		4.3	4.2	4.6	4.65	4.15	3.95
12			4.1	4.45	4.6	4.1	3.9
14			2.9	3.25	3.4	3.5	3.35
15.3			2.3	2.7	2.85	3	3
16				2.4	2.6	2.75	2.85
18				1.75	1.95	2.1	2.15
18.8				1.5	1.75	1.9	1.95
20					1.45	1.6	1.7
22					1.1	1.2	1.3
22.3					1	1.15	1.25
24						0.9	0.95

吊钩重量: 25t/0.28t

表 4-26 KATO NK-200 BE 全液压汽车吊装性能表

臂杆长度 .m 幅度 .m	全伸支腿,后半部,主臂额定吊装能力.t		
	10.2	18.2	26.2
3	20	12	
4	14.65	12	
5	11.25	11.25	7
6	8.55	8.55	7
7	6.65	6.65	6.65
8	5.35	5.35	5.35
9	4.45	4.45	4.45
10		3.7	3.7
12		2.7	2.7
14		2	2
16		1.55	1.55
18			1.2
20			0.9
22			0.7
23			0.6

吊钩重量:20t/0.25t,3t/0.1t

表 4-27 W1001-15t 履带式吊车性能表

扒杆长度 .m 幅度 .m	起 重 能 力 .t											
	13	15	16	18	20	21	23	24	25	28	29	30
4.5	15	14										
5	13.5	11	13									
5.5	12.5	10	11	11.5								
6	11	9.5	9.6	9.6	9.7	9.3	8.7					
6.5	10.5	9	8.5	8	8.2	7.8	8	8				
7	8.5	7.5	8	7	7.3	7.2	7.3	7	7			
7.5	7	7	7	6.7	6.5	6.3	6.8	6.5	6.5	5.3	5	
8	6.5	6	6.4	6.3	6	6	5.7	5.5	5.5	4.8	4.5	4.3
9	6	5.5	5.5	5.4	5.5	5.2	5	5	5	4.3	4	3.6

续表

幅度, m	起重能力, t											
	13	15	16	18	20	21	23	24	25	28	29	30
10		4.7	4.5	4.2	4.5	4.2	3.9	4	4	3	3	2.8
12		3.6	3.5	3.5	2.9	2.7	3.1	3	3	2.7	2.5	2.2
14			3	2.7	2.5	2.1	2.5	2.5	2.3	2	2	1.6
16					2	1.9	2.4	2	2	1.5	1.4	1.2
18								1.5	1.5	1	1	0.9
20									1.2	0.9	0.8	0.7

表 4-28 QY-8t 液压吊车性能表

幅度, m	吊装能力, t			
	7.5	13.1	加附杆 19.2	主杆仰角
3	8			
3.5	6.8			
4	5.6	3		
4.5	4.6	3		
5	3.9	3		
5.5	3.3	2.8		
6	2.8	2.4	1.1	69°34'
6.5	2.4	2.2	1	67°58'
7		2	0.9	66°21'
7.5		1.9	0.9	64°43'
8		1.7	0.8	63°03'
8.5		1.5	0.8	61°22'
9		1.37	0.7	59°39'
9.5		1.2	0.7	57°54'
10		1.1	0.7	56°07'
10.5		1	0.6	54°18'
11		0.9	0.5	52°27'
12		0.75	0.5	48°35'

3.4 机动吊车吊装设备实例

吉化公司电石厂乙二醇项目中 R-110 反应器是由韩国、日本和吉化公司机械厂合作完成的设备。由吉化化机厂负责吊装装车, 天津某

运输公司运输，十二化建安装的。下面就机动吊车吊装 R-110 反应器简介如下。

R-110 反应器重 535t，规格是 $\phi 5600\text{mm} \times 102\text{mm} \times 9800\text{mm}$ ，设备总高 17000mm。吊装平面简图如图 4-10 所示。

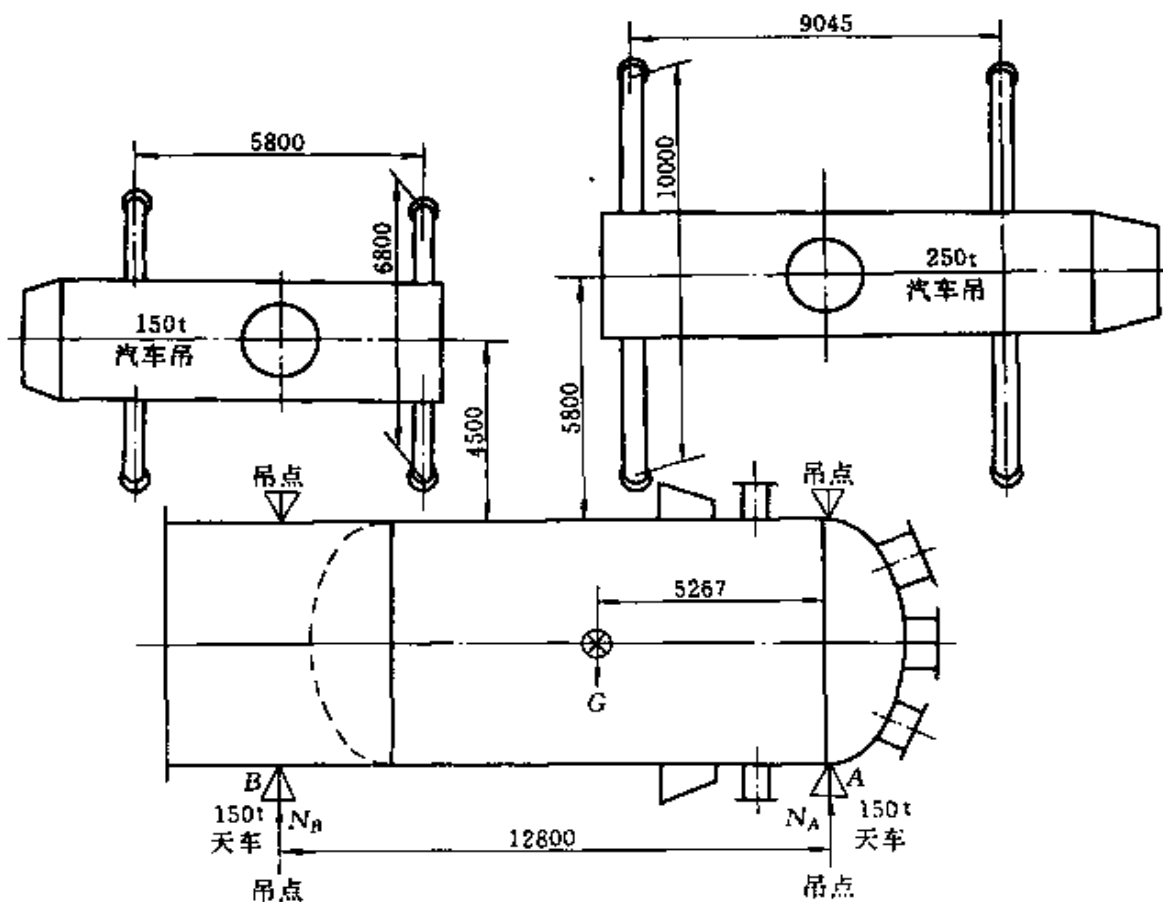


图 4-10 吊装平面简图

(1) 主要受力分析 设备总重 535t。

设 $\sum M_A = 0$ ，即

$$12.8N_B = 5.267 \times 535$$

$$N_B = 220\text{t}$$

设 $\sum F_y = 0$ ，则

$$N_A = 535 - 220 = 315\text{t}$$

也就是 250t 汽车吊和东侧 150t 天车各负载 157.5t，150t 汽车吊

和西侧 150t 天车各负载 110t。

钢丝绳用 $\phi 83\text{mm}$ 、长 48m。具体挂法如图 4-11 所示。

破断拉力是（钢丝绳的破断拉力）376t。



图 4-11 挂绳示意图

$$\text{安全系数} = \frac{376 \times 4 \times 0.85}{315} = 4$$

(2) 说明

① 群车吊装应考虑 1.25 倍的不均系数，但又根据 HGJ-201-83 规范中关于“当设有平衡装置或合吊时偏载不敏感的粗矮或细长卧式工件时，可按所分配的载荷选择吊车”的规定，250t、150t 汽车吊只达到了 1.1 的系数，工件只在原地起吊，所以不会产生太大的动载荷。通过计算载荷的分配，也可以做到比较准确。

② 东侧 150t 天车试吊时吊起 192t，各种指数都符合要求，所以，吊 157.5t 还有 1.2 的系数，完全可以保证安全起吊。

③ 当钢丝绳捆绑绳扣时应考虑 6~8 倍的安全系数，可是国标最粗是 83mm 的钢丝绳，而且根据吊装情况，不会产生很大的动载荷，所以 4 倍的安全系数也是可以保证安全吊装的。

通过实际操作安全地完成了吊装任务。但值得注意的是，在今后的起重作业中还是要严格地按规范去做。

第5章 水平运输

设备和构件的地面水平运输，根据运距、体重和外形尺寸以及道路、运输环境、人员情况、设备工具条件，可以分别采取火车、汽车、马车、人力搬运和排子运输等几种方法。适合现场近距离大重量物件的排子运输，在目前还是一种简便易行的运输工具。

1 运输排子

1.1 运输排子的结构与使用

排子运输目前还应用很广，但由于排子不属于标准构件，各地采用的规格形式和取材都不一致。这里仅就吉化公司常用的介绍如下。

运输排子有木排子和钢排子之分。木排子适用于小型设备运输，钢排子适用于重型设备运输。木排子由排木、滚杠和垫木三部分构成。排木可以用红松、水曲柳、落叶松、榆木、柞木、楠木、柏木等材料制作；滚杠是用多根厚壁无缝钢管排列于排子下面的承重滚动管子；垫木则由 $230\text{mm} \times 160\text{mm}$ 道木沿运输路线分两排纵向铺设于滚杠的下面。运输时设备和排子是通过外界牵引力运入现场的。木质滚运排子结构与使用形式如图 5-1 所示。

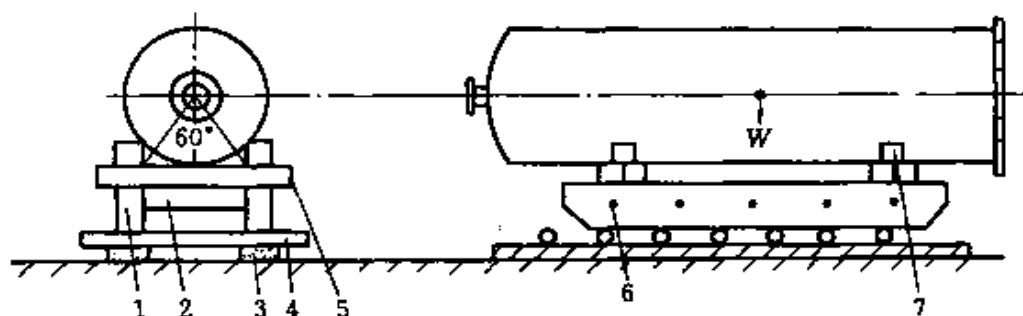


图 5-1 木质滚运排子结构与使用形式

1—排木；2—定距木；3—铺路道木；4—滚杠；5—托木；6—定距螺丝；
7—挤木（楔木）

但是，对于长度超过 24m 或者壁薄强度低、容易造成弯曲变形的设备，除根据现场条件增长排子和用两套排子运输外，还可以在套滚排子上增加适当规格的型钢辅助加长排子的办法解决。其结构形式见图 5-2。

常用木排子及滚杠技术规格分别见表 5-1、表 5-2。

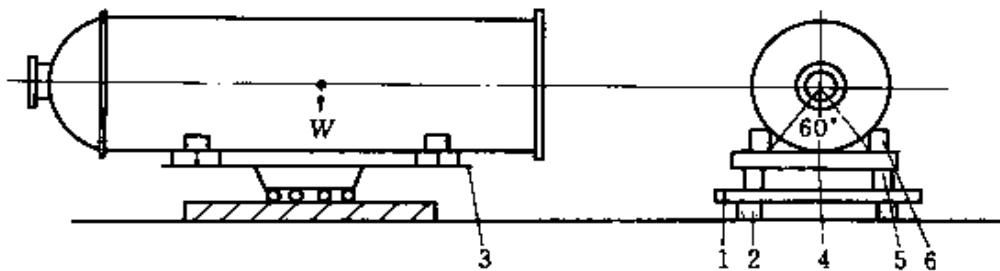


图 5-2 加长木质滚运排子结构使用形式

1—滚杠；2—铺路道木；3—加长托架；4—托木；5—排木；
6—挤木（楔木）

表 5-1 常用木排子技术规格

托运荷重, kN	排子截面, mm ²	排子宽度, mm	排体长度, mm
<100	160×230	1200	2500
100~150	160×230	1300	3000
150~300	220×300	1400	4000
300~500	280×350	1500	5000
500~800	320×400	1600	5000

表 5-2 滚杠技术规格

滚杠规格, mm	φ89×4.5	φ108×6	φ114×8	φ114×10	φ114×12	φ114×14
滚杠材料	10 钢	10 钢	10 钢	20 钢	35 钢	35 钢
每根滚杠承受压力, kN	20	40	65	109	160	250
每根滚杠长度, mm	2000	2000	2300	2300	2500	2500

滑动运输较少采用木排子，而多数采用钢排子。这种排子是由钢管、槽钢、角钢等构成的。运输时将设备放在排子上，两侧用挤木

(楔木) 塞牢, 就地牵引滑运。其结构形式见图 5-3。常用钢排子技术规格见表 5-3。

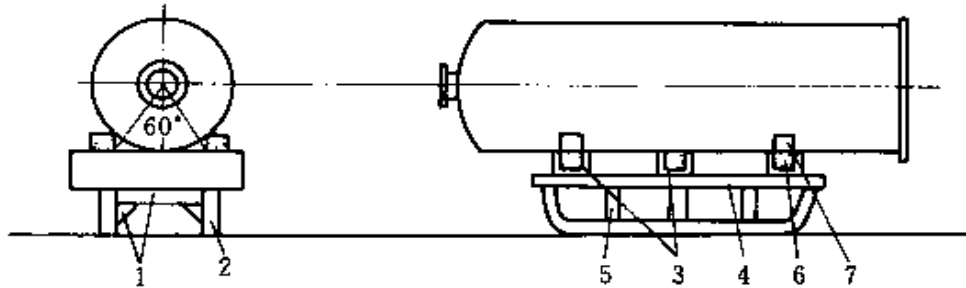


图 5-3 钢质滑运排子结构与使用形式

1—定距支承角钢；2—排钢；3—托木槽钢；4—排面槽钢；
5—排侧支管；6—托木；7—挤木（楔木）

表 5-3 常用钢排子技术规格

托运荷重, kN	排管规格 mm	排面槽钢规格 mm	排面宽度 mm	排子长度 mm	排侧支管数 根
<150	φ159×8	□ 16	1200	2500	3
≤250	φ219×10	□ 20	1500	6000	5

1.2 运输排子的拉力计算

排子运输的牵引力与排子和设备总重力对地面的正压力、运输道路、排子材质、滚杠直径、运输形式和转弯等因素有直接关系。这些因素受实际条件影响, 很难考虑全面。为便于现场估算出牵引力, 可用简化公式计算。

1.2.1 在平道上的运输

$$P = Nf \quad (5-1)$$

式中 P ——牵引力, kN;

N ——排木和设备的总重, kN;

f ——综合摩擦系数, 可查表 5-4。

1.2.2 在坡道上的运输 (图 5-4)

(1) 上运时, 牵引绳上拉力

$$P = F + Nf \quad (5-2)$$

$$F = Q \sin \alpha$$

$$N = Q \cos \alpha$$

式中 P —— 牵引力, kN;

F —— 下滑力, kN;

N —— 对斜面的正压力, kN;

Q —— 排子和设备的总重力, kN;

f —— 综合摩擦系数, 查表 5-4。

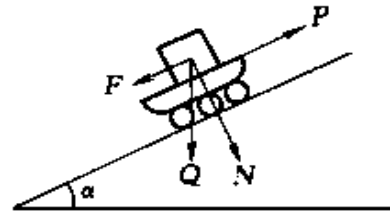


图 5-4 在坡道上的运输

(2) 下滑时, 溜放绳的拉力

$$P = F - Nf \quad (5-3)$$

表 5-4 综合摩擦系数

摩擦物体	摩擦系数	摩擦物体	摩擦系数
圆钢在钢面上滚动	0.05~0.07	木在土地面上滑动	0.5~0.6
圆钢在木板面上滚动	0.2~0.25	木在木板面上滑动	0.6~0.7
钢在冰面上滑动	0.03~0.04	硬木在钢上滑动	0.4~0.5
钢在雪地上滑动	0.06~0.1	硬木在卵石上滑动	0.6
钢在钢板面上滑动	0.2~0.3	钢在碎石路面上滑动	0.36~0.39
钢在上地面上滑动	0.3~0.4	钢在沥青路面上滑动	0.4~0.45
钢在木板面上滑动	0.4~0.5	钢在花岗岩石上滑动	0.27~0.35
木在雪地上滑动	0.1~0.12	钢在卵石路面上滑动	0.42~0.49

例: 已知一设备 $\phi 3500\text{mm} \times 20000\text{mm}$, 重 360kN , 需要从 300m 外经由较平的土马路, 用滚动排子运输至目的地, 试问需要多大牵引力?

解: 已知设备重 360kN , 采用截面 $280\text{mm} \times 350\text{mm}$ 、长度 5000mm 的排子, 排子自重 9kN , 合计总重力 $Q = 369\text{kN}$ 。若运输综合摩擦系数 f 取 0.2 , 则牵引力为:

$$\begin{aligned} P &= Nf = Qf \\ &= 369 \times 0.2 \\ &= 73.8\text{kN} \end{aligned}$$

例: 有一重 $G = 900\text{N}$ 的木箱, 放在倾角 $\alpha = 30^\circ$ 的斜面上。它与斜

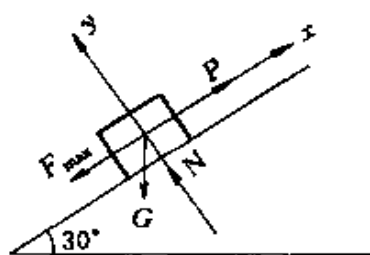


图 5-5 木箱受力图

面间的摩擦系数 $f=0.3$ 。现以平行于斜面的力 P 将木箱沿斜面向上拉, 试求力 P 至少需要多少?

解: 画受力图, 如图 5-5 所示。

根据力平衡方程:

$$\sum F_x = 0 \quad P - G \sin 30^\circ - F_{\max} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad N - G \cos 30^\circ = 0$$

$$\text{而} \quad F_{\max} = fN$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad P &= G \sin 30^\circ + F_{\max} \\ &= 900 \times 0.5 + (900 \times 0.866) \times 0.3 \\ &= 683.82 \text{N} \end{aligned}$$

例: 用钢木接触面水平滚运物件, 若综合摩擦系数 $f=0.2$, 试计算斜向拉力 P ?

解: 画受力图, 如图 5-6 所示。

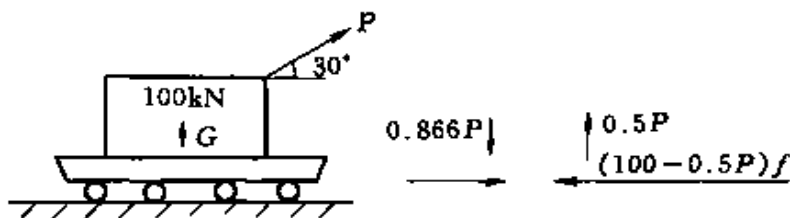


图 5-6 物件受力图

设 $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, 则:

$$P \cos 30^\circ - Nf = 0$$

$$N + P \sin 30^\circ - G = 0$$

$$\text{故} \quad P \cos 30^\circ - (G - P \sin 30^\circ)f = 0$$

$$P = 20.7 \text{kN}$$

1.3 滚杠的选择

滚杠的规格可按设备的重量进行选择。有关滚杠的技术规格可参见表 5-2。

采用滚杠搬运法拖运设备时，其牵引拉力的大小不仅与设备的重量有关，而且与排子下放置的滚杠数量和下走道的铺设宽度都有一定的关系。因为滚杠在下走道上的接触长度直接承受重物的重量，如果放置的滚杠数量较少，则滚杠在下走道上的接触总长度也较短，下走道枕木承受的重量相对也大，容易产生较大的变形，相应也增加了阻力。为了保证下走道枕木的变形在允许的范围内，同时保证滚杠自身的强度，对在排子下放置的滚杠数量有一定的要求。在排子下承压的滚杠数目可按下列公式求得：

$$n \geq P/2 [P] \quad (5-4)$$

式中 n —— 滚杠数量，根；

P —— 包括排子及所装设备的总重量，kN；

$[P]$ —— 滚杠的许用承压力，kN。

$$[P] = \frac{S^2 L + 8S^3}{6Kr} [\sigma] \quad (5-5)$$

式中 S —— 圆管的壁厚，cm，见图 5-7；

L —— 管子的承压长度，cm，见图 5-7；

K —— 承压形式系数， $K \approx 0.318$ ；

r —— 管半径（外径），cm；

$[\sigma]$ —— 圆管许用应力，16000N/cm²。

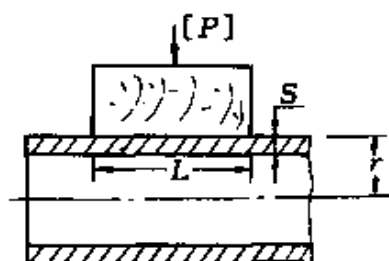


图 5-7 圆管尺寸示意

例：已知图 5-8 所示滚杠一端受压，试计算抗弯能力。

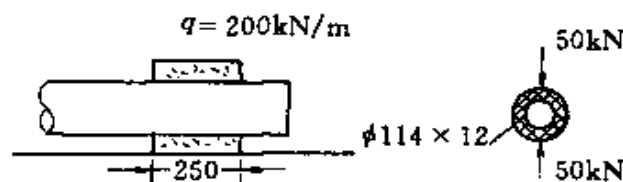


图 5-8 滚杠

解：根据式 (5-5)：

$$\begin{aligned}
 [P] &= \frac{S^2 L + 8S^3}{6Kr} [\sigma] \\
 &= \frac{1.2^2 \times 25 + 8 \times 1.2^3}{6 \times 0.318 \times 5.7} \times 16000 \\
 &= 73300\text{N} \\
 &= 73.3\text{kN}
 \end{aligned}$$

$[P] > 50\text{kN}$, 故满足需要。

2 运输设备的要求与操作注意事项

2.1 滚排运输的基本要求

①要考虑地耐力, 严防地层下沉情况发生。

②运输前须事先铺平道路, 路面平整度 $<1\%$ 。

③设备装排要牢固, 有相应的措施。

④铺垫的道木道路相互搭接, 搭接长度不小于 200mm , 宽度与滚排对应。

⑤滚杠排列间距不大于 400mm , 两端露出排子长度不小于 200mm 。

⑥坡度 $>7^\circ$ 时应考虑措施。

⑦物体装排时, 设备下半圆 60° 弧壳体应在排体内(指圆形物体), 重心偏后 $L(\text{排长})/40$ 。

⑧排体长度按物件总长的三分之一, 但以小于 6m 长为宜。对于过长的设备, 应采取双排子运输或用在排子上辅助加长的办法来解决。

⑨道路转弯半径不小于 $2L$ (L 为排长)。

2.2 机动车运输物件应考虑的技术问题

①运输路面要平整。

②要考虑运输道路的地耐力, 严防路面下沉情况发生。

③转弯时, 要有足够的转弯半径。

④运输前须检查运输路线上无障碍物, 一经发现应采取有效措施。

⑤设备装车时, 要托垫好并牢固封好, 以防运输时出现险情。

3 圆筒设备滚运和原位滑转动

3.1 圆筒设备滚运

圆筒设备滚运常用于圆筒设备的装卸车和短距离挪动。滚运时在设备下面用道木铺设滚运道。铺设道路时要根据设备的具体情况而定，以保证设备在滚运过程中的安全。牵引钢丝绳在设备重心位置缠绕数圈，其自由端拴固在设备身上，另一端从设备上表面水平（接近于水平即可）伸引至卷扬机上（根据情况也可以多设几个牵引点）。当牵引绳受拉时，设备就向前滚运。

滚运设备中必须注意的是设备的管口，千万不要碰坏。即所有的管口位置不在滚道上，所铺滚道高度，一定要高出地面必须和必要的高度，以防压坏设备管口。

圆筒设备、工件采用滚动装卸时，还应考虑其强度及刚度，并根据其直径、长度、壁厚、重量等条件搭设枕木垛、滚道或钢梁滚道。多采用两条滚道。滚道上层应有足够宽度并和工件内部有圈环的位置对正，以免损伤工件。滚道的坡度不宜过大，一般不超过 20° 。滚道搭设要平整、坚实，接头应错开。工件过长或器壁较薄易产生变形时，滚道的数量和宽度应适当加大，当采用三条或三条以上滚道时，各滚道应找平，各枕木垛的承载能力也应接近。工件滚运速度不宜过快，可采用滑车组以拖拉机或卷扬机等牵引。滚动法装卸时，工件运动的相反方向根据具体情况应有制动措施。

(1) 平道时的牵引力 (图 5-9)

$$P \geq Gf/R \quad (5-6)$$

式中 P —— 牵引力, kN;
 G —— 设备重力, kN;
 f —— 设备与滚道间的滚动摩擦系数, 可取 $f=0.1$;
 R —— 设备的半径, cm。

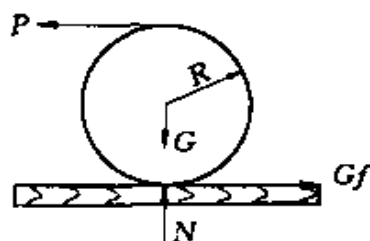


图 5-9 平道时的受力图

(2) 上坡时的溜绳力

$$P \geq Gf \cos \alpha / R + G \sin \alpha \quad (5-7)$$

式中 P ——溜绳力, kN;
 G ——设备重力, kN;
 f ——滚动摩擦系数, 可取 $f=0.1\text{cm}$;
 α ——坡路面与水平方向的夹角 (坡度);
 R ——设备的半径, cm。

(3) 下坡时的溜绳力

$$P \geq G \sin \alpha - G f \cos \alpha / R \quad (5-8)$$

式中 P ——下坡时的溜绳拉力, kN;
 G ——设备自重, kN;
 f ——滚动摩擦系数, 取 $f=0.1\text{cm}$;
 α ——坡度;
 R ——设备半径, cm。

以上是从理论上分析的圆筒设备自身滚运时所需要的牵引拉力。但在生产实际当中, 滚运道路不可能理想化地平坦, 所以, 在计算牵引力时, 要考虑道路的凹凸不平和起动力因素。可按下列公式计算:

$$P = KG \left(\frac{f}{R} + 0.07 \right) \quad (5-9)$$

式中 P ——牵引拉力, kN;
 K ——起动系数, 可取 2;
 G ——设备重力, kN;
 f ——综合滚动摩擦系数, 可取 0.1cm ;
 R ——设备半径, cm;

0.07 ——考虑地面不平时可能产生微小的角度, 按 4° 考虑, $\sin 4^\circ \approx 0.07$ 。

例: 钢质圆筒设备 $\phi 3000 \times 12$, 重 180kN 。沿道木水平路面自身滚运, 如图 5-10 所示。试计算需要多大牵引拉力。综合滚动摩擦系数 $f=0.1\text{cm}$ 。

$$\begin{aligned} \text{解: } P &= KG \left(\frac{f}{R} + 0.07 \right) \\ &= 2 \times 180 \left(\frac{0.1}{150} + 0.07 \right) = 25.44\text{kN} \end{aligned}$$

3.2 圆筒设备的原地翻滚

圆筒设备的原地翻滚常用于设备分段组对和设备调整方位。原地翻滚是在设备两侧用斜楔木挤紧，并在运动方向的斜楔木斜面（即为设备的接触面上）垫一块涂有黄干油的厚钢板，（也可以在适合的鞍座上或滚胎上），在设备重

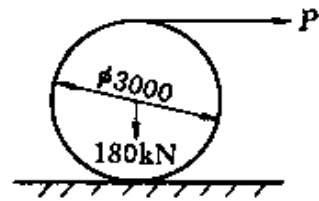


图 5-10 钢质圆筒设备

心位置上用绳索缠绕数圈，自由端固定在设备上，另一端沿设备壳体切向方向垂直向上牵引。引申的牵引绳应在垫涂油钢板的对侧。当绳索牵引时，设备就在钢板面上滑动，从而实现设备的原地翻滚。牵引力 $P \geq Gf$ ，约为设备重力的四分之一。

在牵引绳索拉力的作用下，设备是否受到破坏，这是必须引起注意的问题。为保证设备的安全翻滚，可用下式校核：

$$\sigma_{\max} = \frac{SD}{(D-\delta)\delta t} \leq [\sigma] \quad (5-10)$$

式中 σ_{\max} ——设备受到的应力， N/mm^2 ；

S ——牵引索上拉力， N ；

D ——设备直径， mm ；

δ ——设备壁厚， mm ；

t ——缠绕在设备上钢绳间距，可近似取为绳的直径， mm ；

$[\sigma]$ ——设备材料的许用应力， N/mm^2 。

因为 $D/(D-\delta) \approx 1$

所以 $[S] \leq [\sigma] \delta t \quad (5-11)$

例：在一建设工地有一圆筒设备需要原地滑转动进行组对。设备重 100kN ，壁厚 16mm 。用 $\phi 24\text{mm}$ 的钢绳牵引翻滚，问是否安全可行？

$[\sigma] = 160\text{MPa}$ 。

解： $S = 100/4 = 25\text{kN}$ 。

$$\begin{aligned} [S] &= [\sigma] \delta t = 160 \times 16 \times 24 \\ &= 61.44\text{kN} \end{aligned}$$

$S < [S]$ ，故安全可行。

4 东方红-75型和红旗-100型履带式拖拉机

排子拖运“动力”可以借拖拉机、汽车、卷扬机等，还可以借助滑轮组来提高牵引力，其形式如图 5-11 所示。

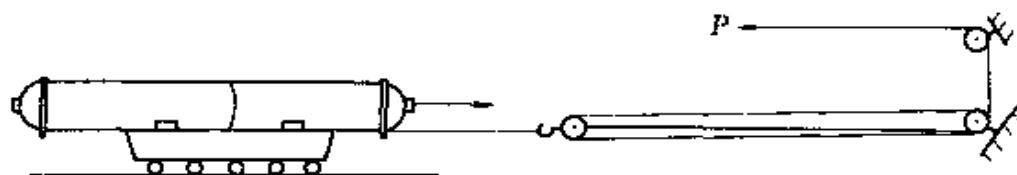


图 5-11 借助滑轮组牵引“动力”的排子

吉化公司也常采用履带式拖拉机作为动力，其技术性能见表 5-5。

表 5-5 履带式拖拉机技术规格

形 式			东方红-75	红旗-100
额定牵引力, kN			36	90
额定功率, hp (马力)			75	100
重 量, kN			57.3	120
长×宽×高, m			3.67×1.87×2.25	4.26×2.46×2.992
相 应 速 度 下 牵 引 力	挡 次	1	4.49/36	2.36/90
		2	5.66/27.5	3.78/54
		3	6.54/23.2	4.51/44
		4	7.82/18.6	6.45/27
		5	10.31/12.4	10.13/15
		(km/h)		
		, kN		

表 5-5 所示的牵引力是指车行驶在一般土地面上的数据。机具的牵引力（指没有锚桩的辅助情况下）应由两方面的因素决定：一是机具的额定功率。如果功率以 W 表示，行驶速度以 v 表示，效率以 η 表示，其牵引力必不可能超过 $S_{\max} = W\eta/v$ 。二是机具在其附着物上（路面上）的摩擦力。如果机具总重为 G ，摩擦系数为 f ，则摩擦力为 $F = Gf$ ，其牵引力也不可能超过 F 这个值。同时，拖拉机在拖拉过程中还

要克服自身在行进中的阻力。

牵引车拉力计算公式：

$$P=750N/v \quad (5-12)$$

式中 P ——牵引车拉力，N；

N ——牵引车功率，hp（马力）， $1\text{hp}=750\text{N}\cdot\text{m/s}$ ；

v ——速度，m/s。

牵引车附着力：

$$F=Gf \quad \text{N} \quad (5-13)$$

式中 F ——牵引车附着力，N；

G ——牵引车荷载，N；

f ——附着系数。

当 $P>F$ 时实际牵引能力为 F ，若需要拉力 S ，当 $P>S>F$ 时，会使牵引车轮打滑拉不动。当 $P<F$ 时实际牵引能力为 P ，当 $P>S$ 时，牵引车能力足够，并能提高速度。

5 排子水平运输实例

吉化公司电石厂丙烯酸酯车间 812[#] 主厂房西侧反应器 R101、R102 设备是由日本制造而在吉化公司化机厂组装，并由化建公司某处运输安装的。下面就排子运输 R101 反应器的有关情况作一简要介绍。

R101 反应器重 1560kN，规格是 $\phi 4580/\phi 5.66\text{B}\times 24\times 4.002$ ，设备总高 11480mm。

(1) 设备运输排子的选用 利用现有的钢结构排子，具体尺寸如图 5-12 所示。

(2) 设备运输鞍座选用 参考标准 JB1167—73 选用 C 型鞍座。

(3) 设备水平运输 设备在正常水平运输时利用钢排子加滚杠，采用 3 台 150kN 翻斗车做锚点，1 台 150kN 翻斗车牵引，如图 5-13 所示。

钢与木的滚动摩擦系数 $f=0.25$ ，所以：

$$P=Wf=1560\times 0.25=390\text{kN}$$

滑轮组选用 H50×4D。

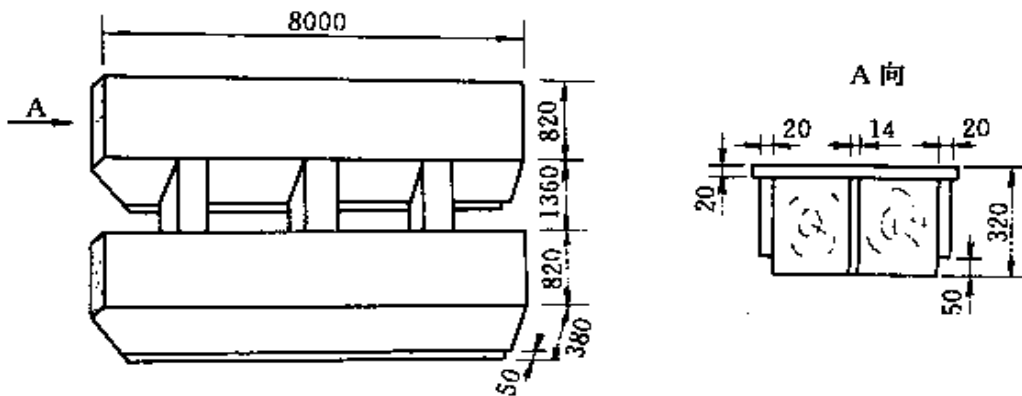


图 5-12 排子尺寸

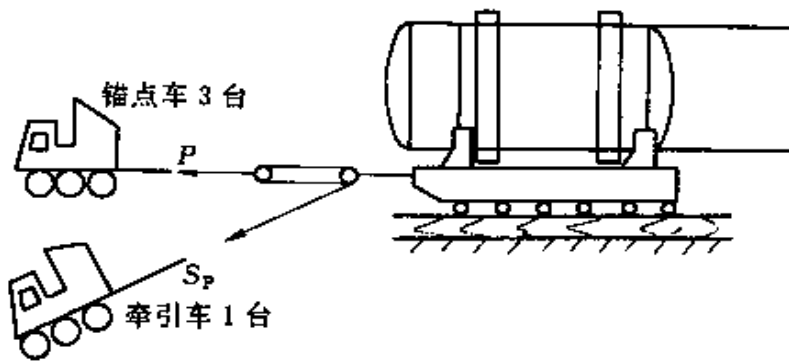


图 5-13 设备采用排子拖运形式

跑绳拉力：

$$S_p = \frac{P}{2} \times K' = \frac{390}{8} \times 1.3 = 64 \text{ kN}$$

利用 150kN 翻斗车做锚点和牵引，设车自重 100kN，装沙石 100kN，车的装载重 200kN，橡胶与地面的摩擦系数 $K=1$ 。所以：

$$\text{牵引力 } F = 200 \times 1 = 200 \text{ kN} > S_p$$

$$\text{选锚点车 3 台 } 200 \times 3 = 600 \text{ kN} > P$$

牵引绳选用：

安全系数 $K=6$ ，破断拉力为

$$P_p = PK = 390 \times 6 = 2340 \text{ kN}$$

故选择钢丝绳 $\phi 52-6 \times 61$ 两根，其破断力 $1230 \times 2 = 2460 \text{kN} > P_p$ ，绳长 50m。牵引绳拴扎形式见图 5-14。

跑绳选用：

安全系数 $K = 3$ ，破断拉力为

$$P_p = S_p K = 64 \times 3 = 192 \text{kN}$$

跑绳选用 $\phi 22-6 \times 61$ ，其破断拉力 $200 \text{kN} > P_p$ ，绳长 400m。

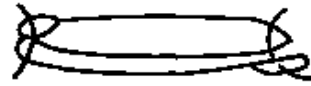


图 5-14 牵引绳拴扎形式

第 6 章 吊装索具设立与实际操作

吊装索具准备与设立，是保证安全施工的关键。也就是说，即使工具选择得再合理，如果拴接设立工作不符合要求，也很容易造成事故。比如在竖立和移动桅杆时，根部固定绳索没有拴牢或绳卡扣没有卡紧，曾发生过桅杆滑脱和摔倒的严重人身设备事故。又如在吊装物件时，设备的捆绑绳形式和滑轮组上的起吊绳末端固定点的位置错误，也发生过机械摔伤事故。再如在埋设锚桩时，由于没有按照规定选材和正确操作，结果在吊装过程中造成桩木和钢筋环拉断事故。由此可见，做好吊装索具准备与设立工作，是非常关键的。

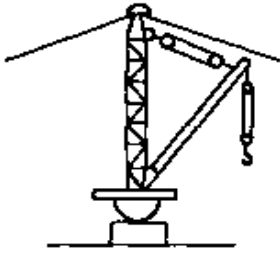
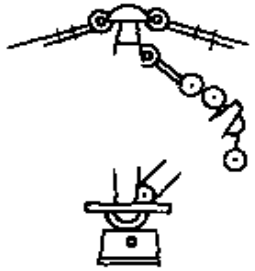
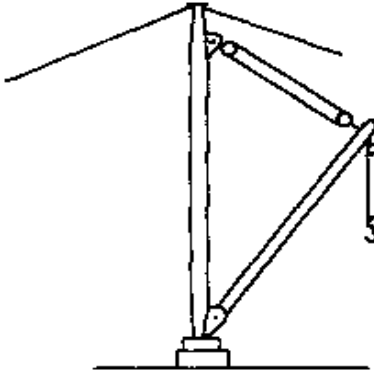
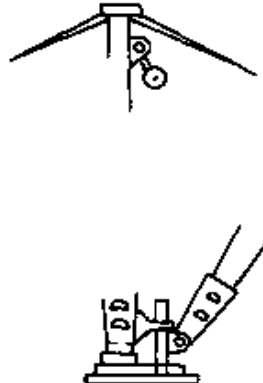
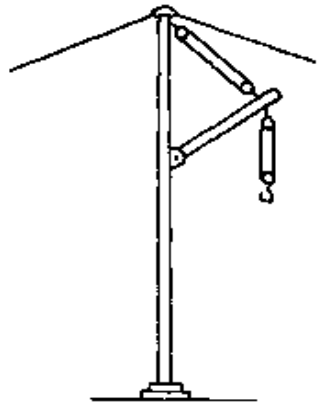
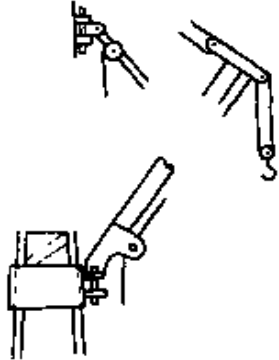
本章对常用的一些合理做法、步骤与要求，分别以图例说明介绍如下。

1 桅杆结构形式（表 6-1）

表 6-1 桅杆结构形式

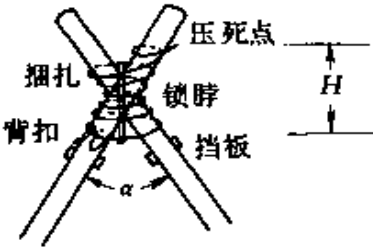
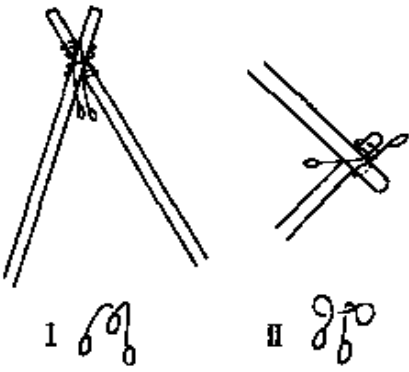
类 型	结 构 简 图
独桅杆头部与底座 (1) 桅杆头部： (2) 底座： I 型—死底座： II 型—活底座	<p style="text-align: center;">(1) I 型 (2) II 型</p>

续表

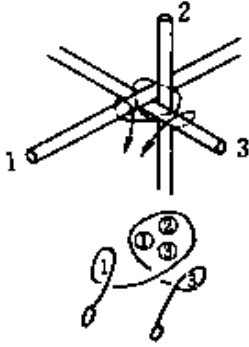
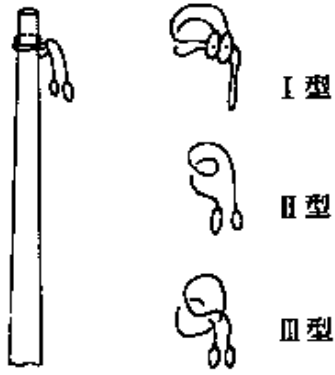
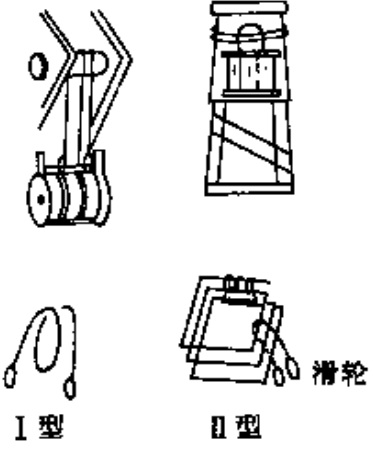
类 型	结 构 简 图	
全回转 (360°) 桅杆头部与底座		
半回转 (120°) 桅杆头部与底座		
腰部半回转 (120°) 桅杆头部 与底座		

2 设立桅杆索具的形式与要求 (表 6-2)

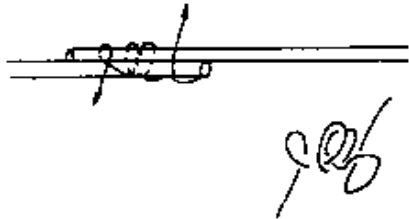

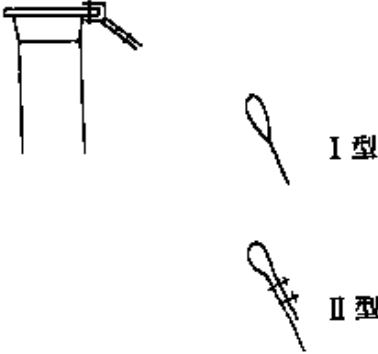
表 6-2 设立桅杆索具形式与要求

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
两木搭与钢管 人字架头部的捆 扎		<p>(1) 吊重小于 20kN 可以用 8# 铁丝捆扎; 重量大的必须采用 $\phi 11 \sim 15.5\text{mm}$ 钢丝绳, 在两杆交叉区按次序均匀缠满, 捆扎高度 $H = \phi 11 \times 2 \times 0.1Q\text{mm}$, 当 $Q \leq 30\text{kN}$, 采用 $\phi 6\text{mm}$ 钢筋捆扎 2 圈, $\alpha = 30^\circ$</p> <p>(2) 捆扎必须紧凑、牢固, 严防滑脱</p> <p>(3) 对于钢管人字架, 为防止捆扎绳滑脱, 应在捆扎点下部每根钢管上焊接挡板</p> <p>(4) 必要时钢管人字架捆绑点处应另加套管补强, 以防管壁压扁</p>
吊装滑轮绳扣 的拴接形式: 两木搭 I 型—缠绕 扣; II 型—八字扣		<p>(1) 绳扣两端余留长度尽量要短些, 并保持相等的长度</p> <p>(2) 绳扣不准压在拖拉绳上</p>

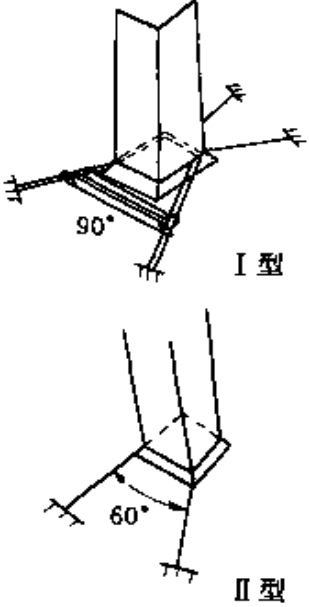
续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
吊装滑轮绳扣的拴接形式： 三木搭缠绕扣		绳扣两端余留长度尽量要短些，并保持相等的长度
独桅杆吊装滑轮绳扣的拴接形式： I 型—套死扣： II 型—缠绕扣 III 型—八字扣		(1) 绳扣两端余留长度尽量要短些，并保持相等的长度 (2) 绳扣不准压在拖拉绳上
钢结构式桅杆： I 型—缠绕扣： II 型—交错绕扣		(1) I 型绳扣编法有次序排列，不准重压，并保持各环长度一致 (2) II 型绳扣编法要紧湊牢固，绳起头采用揸扣压紧，尾端用绳卡扣固定，为了防止滑脱应在绕扣下部焊接挡环

续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
拖拉绳拴接形式： 两木搭联二 拖拉绳		(1) 拖拉绳和地面夹角应小于 30° ，一般桅杆至锚桩水平距离按桅杆高度的 2.5~3 倍确定 (2) 拖拉绳初张紧挠度应保持在拖拉绳全长的 3.5% (3) 拖拉绳与锚桩拴接应装设调节距离的滑轮组 (4) 两木搭设单根拖拉绳时，可采用搭扣拴接形式
独木、钢管联 二拖拉绳		同两木搭要求
钢结构桅杆： I 型—插接绳 环与吊环的联 接； II 型—绳卡绳 扣与桅杆直接联 接		同两木搭要求

续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
桅杆根部固定形式： I 型—垂直桅杆四点固定； II 型—倾斜桅杆两点固定	 <p style="text-align: center;">I 型</p> <p style="text-align: center;">II 型</p>	<p>(1) 垂直桅杆四固定点按 90° 相对位置设置，图示为短绳联二固定点拴接形式，也可采用绳扣分别固定</p> <p>(2) 倾斜桅杆两固定点夹角在 60° 左右。若桅杆底座结构为活动式的，可采用绳扣固定；死底座除需要预先垫上滚排子外，必须装设滑轮组，以便自动调节，避免张力过大</p>

3 桅杆组对与敷设索具

3.1 桅杆组对

首先要认真清点桅杆的各组件，及螺栓、垫圈规格、数量等，量好各节的尺寸，并做好记录。将桅杆每节按底节往上排列的次序运入现场，按相应的接头顺次初步摆放于组立位置上，并在每节两端垫以道木垛，使其处于水平位置。组立时以底节为标准，用两木搭或吊车吊起相邻一节插入底节的接头板内，用撬棍等办法调整使两节中心轴线相重合，对正螺栓孔，穿入螺栓，把紧。

螺栓一定是精制螺栓并符合要求，螺栓直径要与螺栓孔相应，不允许太小；每个螺栓均须备有弹簧垫圈，拧螺栓前须涂上薄薄一层润滑油，先用手自由地拧进螺帽（凡不能自由拧入及有摆动现象的螺栓及螺帽不能用），用标准扳手拧紧。拧紧螺栓要分几次并按一定次序交叉进行，以使各螺栓均匀受力。每个螺栓的螺杆端均应在桅杆的外侧，拧紧后均应露出 3~5 扣，露出太多及不露扣者均不合格。

桅杆组对时的情况见图 6-1。

桅杆组对完后,须校对一次。检查联接顺序、螺栓拧紧情况,桅杆中心偏差不应大于长度的千分之一,总偏差不得超过 20mm。两次检查桅杆有无损伤情况,特别要注意吊耳、支承座等处的焊缝,各轴、拴拖拉绳孔、铆钉的情况。发现的问题应立即修复,修复后按有关规定检查。

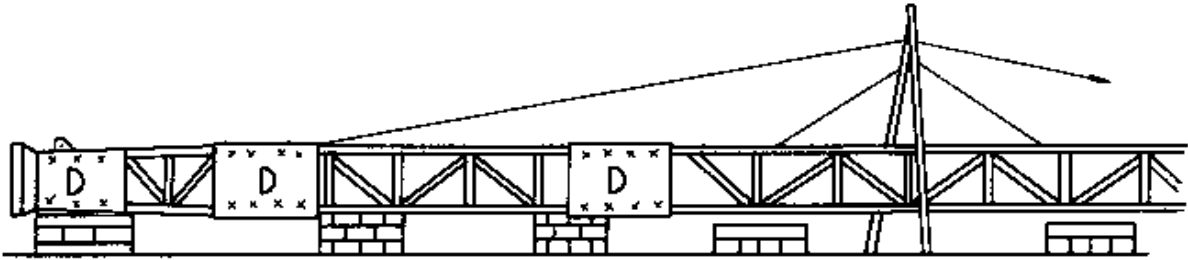


图 6-1 桅杆组对时的情况

3.2 起吊滑轮组敷设

桅杆组对完毕后,便可敷设起吊滑轮组。

先在桅杆顶部拴好上滑轮,下滑轮放在桅杆中部偏下位置,然后开始穿跑绳。从上滑轮内侧入绳,并与下滑轮反复穿联,穿绳的最后末端拴固在上滑轮吊环上。另一端剩余绳则妥善盘好,放在桅杆底部,待桅杆竖立后引入卷扬机卷筒。穿好后,要用铁丝或棕绳将下滑轮与起吊跑绳拴固在桅杆体上,如图 6-2 所示。

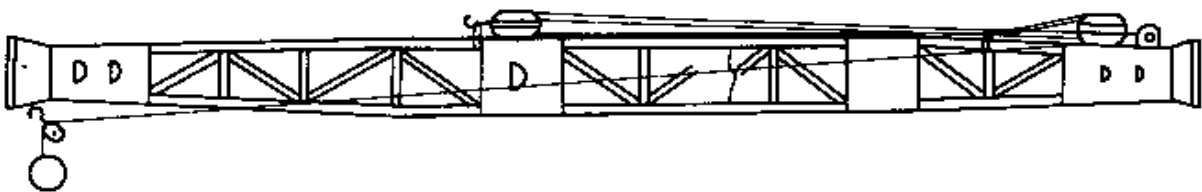


图 6-2 滑轮、跑绳拴固形式

要按规定在桅杆顶部装设避雷针。

穿绳后,要进一步检查有无差错,绳扣绑扎是否牢固可靠。

3.3 拖拉绳敷设

敷设拖拉绳时,应首先将拖拉绳分别运入各锚桩附近,拿着拖拉

绳的一端，跨过障碍物，最后固定于桅杆的顶部。在拖拉绳的另一端，装设张紧索具或滑轮组，通过张紧索具或滑轮组与锚桩拴接。

拖拉绳跨跃障碍物时，如通过电线和不够结实的建筑物时，应搭设临时防护架。通过高压线的防护架，应高于高压线的安全距离（见表 6-3），并且应考虑整个吊装过程中，由于拖拉绳张紧变化而使挠度变化，以及桅杆移动引起拖拉绳位置变化。在任何情况下，都必须保证在安全距离之上。

表 6-3 高压电线安全距离

电压, V	距离, m	电压, V	距离, m
<380, 带皮	>0.3	<3500	>1.5
<380, 裸线	>0.5	>6000	停电
600~1000	>1.0		

3.4 场地准备

在以上工作的同时，必须做好场地准备工作。主要内容如下。

① 调查了解。

了解桅杆基础附近地下有无电缆、管道、地沟等。如果有，则必须事先采取有效防压措施，并和有关部门取得联系。

了解各锚坑的埋设情况，有不妥之处应立即纠正、修复。

了解拖拉绳、卷扬机、绞磨等质量及数量情况。

了解设备情况、设备基础情况，熟悉吊装方案。

② 场地平整工作，清除一切可以清除的大小障碍物，一切与起重无关的物件全部消除到场地之外。

③ 检查设备所有机具，并作试运转工作，各操作者熟悉操作规程，并熟练掌握自己所操作的设备。

④ 准备枕木，搭设桅杆基础。

⑤ 起吊前，严格检查各受力点，如各锚点、各绳索的绑接情况；严格检查各滑轮、卷扬的配备位置和拴固情况；严格检查各拖拉绳所通过的路径有无障碍物，障碍物是否被损伤或对拖拉绳有无损害；严格

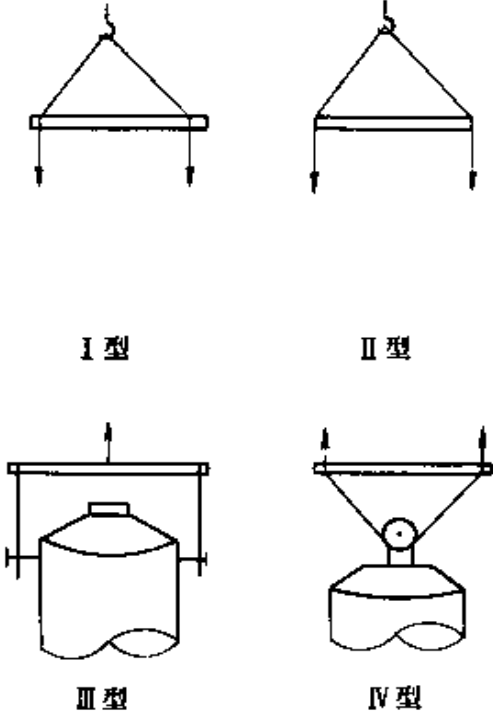

检查各溜绳、跑绳所通过的路径有无损害钢丝绳的东西，护架是否齐备可靠。

检查待起吊竖立的桅杆停放位置及自身的方位是否合适。一切认定无误，便可准备起吊竖立桅杆。

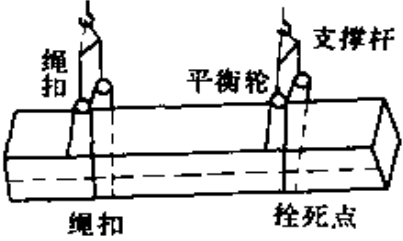
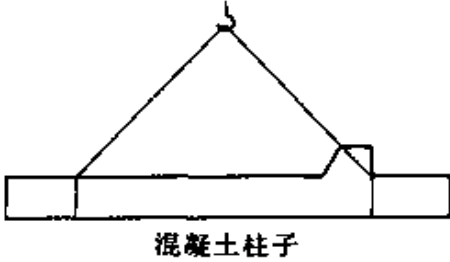
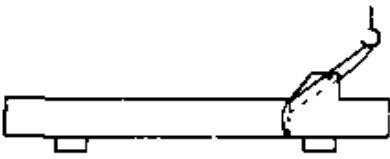
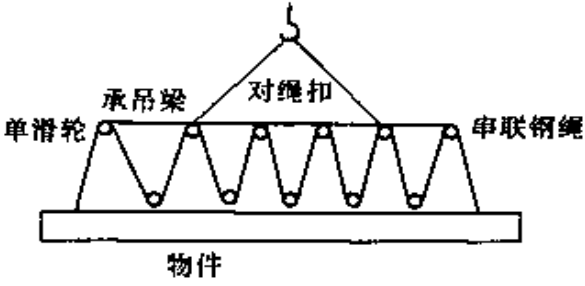
4 设备吊装类型与绳扣捆绑形式

设备吊装类型与绳扣捆绑形式见表 6-4。

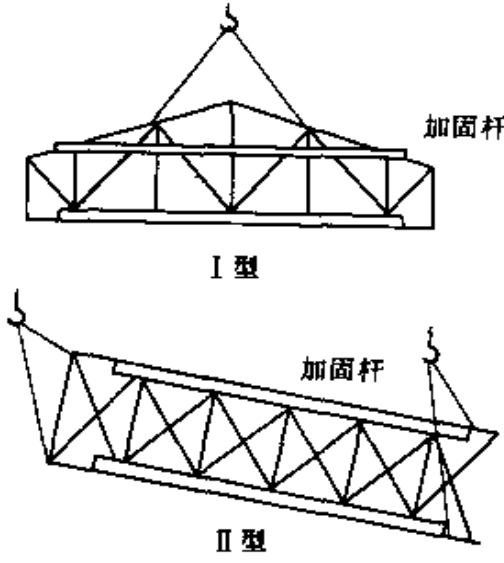
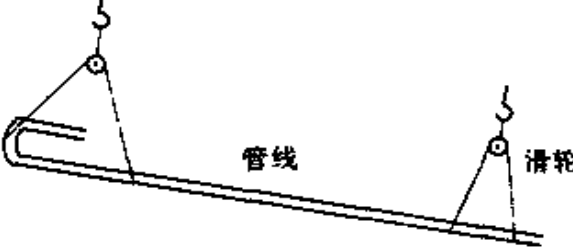
表 6-4 设备吊装类型与绳扣捆绑形式

类型	结构简图	一般要求
I、II型—支撑杠式吊装绳扣； III型—单点承吊支撑梁； IV型—双点承吊平横梁	 <p style="text-align: center;">I 型 II 型</p> <p style="text-align: center;">III 型 IV 型</p>	绳扣和支撑杠要有足够的强度
(1)单平衡轮、两个捆绑点吊装	 <p style="text-align: right;">单平衡轮 物件</p>	吊点的选择要使物件产生的弯矩较均匀

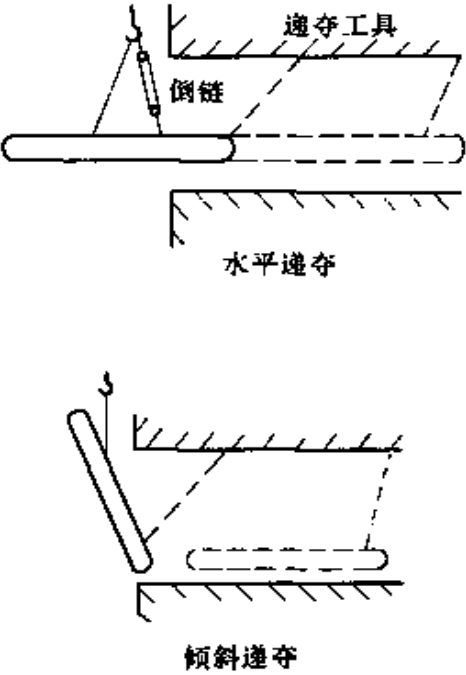
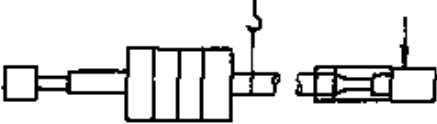
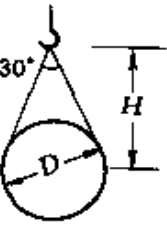
续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
(2) 混凝土柱子采用两点捆绑提吊竖立		
(3) 水平起吊混凝土柱子		
(4) 斜吊法柱子的绑扎		<p>(1) 选合适的绳扣</p> <p>(2) 垫好棱角处</p> <p>(3) 吊点 2, 3H 处</p>
(5) 多点捆绑承载吊梁的工具栓设		

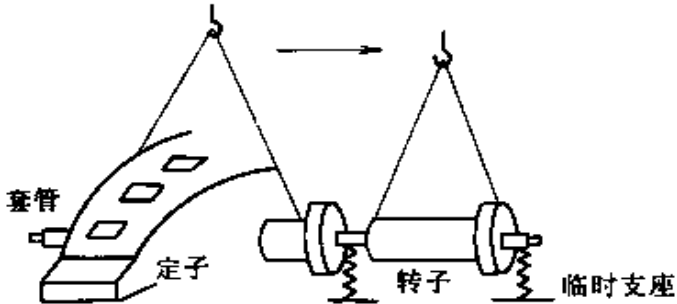
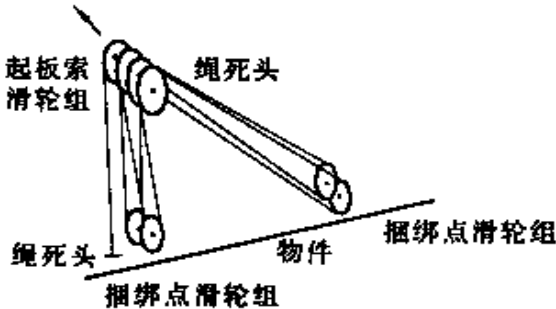
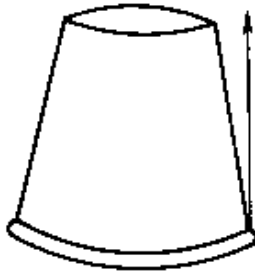
续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
(6) 片状钢结构吊装加固形式	 <p style="text-align: center;">I 型</p> <p style="text-align: center;">II 型</p>	加固点要捆扎结实
(7) 水平预制较长附塔管线，提吊竖立工具控设	 <p style="text-align: center;">管线</p> <p style="text-align: right;">滑轮</p>	吊结点以管线产生较小弯矩为原则

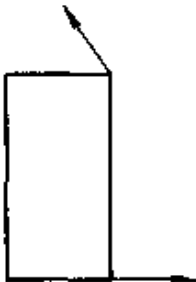
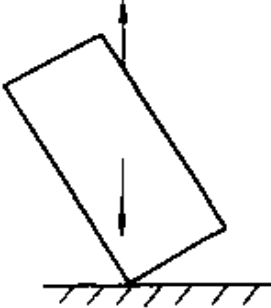
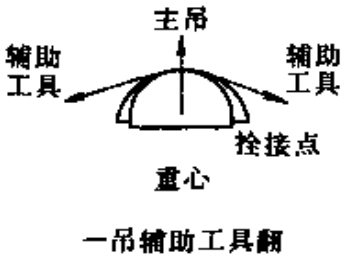
续表

类型	结构简图	一般要求
(8) 卧式设备、 单机水平承吊穿 入厂房的两种吊 装形式		(1) 设备上的吊点和递夺点要选得合适 (2) 必要时可以缓钩
(9) 精密活塞 杆安装承吊形式		(1) 承吊活塞杆要水平 (2) 绳扣要缠包隔垫
(10) 双头兜 吊绳扣卸装物件 拴设形式		绳扣夹角不宜大于 30° , 或者 $H > 2D$

续表

类型	结构简图	一般要求
(11) 电机抽芯子形式		<p>(1) 双套工具，能力各半</p> <p>(2) 具备提升、降落和横向串移动能</p>
(12) 滑轮组式双捆绑点板转竖立吊装工具栓设形式		
(13) 物件的兜翻形式		<p>(1) 吊点在重心以下</p> <p>(2) 被翻物件是否会被摔坏</p>

续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
(14) 物件的带翻形式		<p>(1) 起吊索具要适当放松 (不能放松太多)</p> <p>(2) 物体底部采取防拖滑措施</p>
(15) 物体的提吊带翻形式		<p>选择合适的吊点：当物体提吊后重心垂直点在被翻底面时落钩即翻</p>
(16) 物体空中翻格的几种形式	 <p>一吊辅助工具翻</p>	<p>(1) 主吊吊起承受全力，辅助工具一拉一松，即可完成</p>

续表

类 型	结 构 简 图	一 般 要 求
(16) 物体空中翻格的几种形式	<p>The diagram shows two methods of rotating an object in the air:</p> <ul style="list-style-type: none"> 一吊二翻 (One crane, two flips): The top part shows a semi-circular object with a dashed line representing its center of gravity (重心). A single crane (主吊) is positioned at the center of the flat side. The first diagram shows the object being lifted. The second diagram shows the object rotated 180 degrees. Below this is the label "一吊二翻". 二吊二翻 (Two cranes, two flips): The bottom part shows a semi-circular object with a dashed line representing its center of gravity. Two cranes (主吊 and 副吊) are positioned at the ends of the flat side. The first diagram shows the object being lifted. The second diagram shows the object rotated 180 degrees. Below this is the label "二吊二翻". 	<p>(2) 主吊吊起承受全力，副吊吊起完成翻格任务，最后承受全力</p> <p>(3) 主、副吊同时吊起，各承受半力，然后其中一吊落下换方位吊起达翻格</p>

5 桅杆竖立与移动

桅杆的竖立通常有三种方法：滑移法、旋转法和扳倒法。吉化公司多采用滑移法和旋转法。

5.1 滑移法

滑移法是借助于辅助桅杆，将主桅杆头部逐渐抬起，主桅杆根部随之逐渐向前滑移而竖立起来的办法，如图 6-3 所示。

首先，要考虑好主桅杆在竖立过程中的滑移路线和滑移方向。其滑移路线应有足够长度；并检查地下有无管沟等怕压物，如有应采取相应的有效措施；还要检查滑移方向有无障碍物，以防主桅杆抬头时撞碰。

组对，敷设完毕的主桅杆沿滑移路径停放，并使吊点（大约在主桅杆的 $2/3$ 高度处）位于主桅杆基础（竖立点）位置上。辅助桅杆的高度约为主桅杆的 $1/10$ ，立于主桅杆吊绑点的一旁。起吊桅杆用的滑轮组的上滑轮固定在辅助桅杆的顶端吊耳上，下滑轮固定在主桅杆的吊

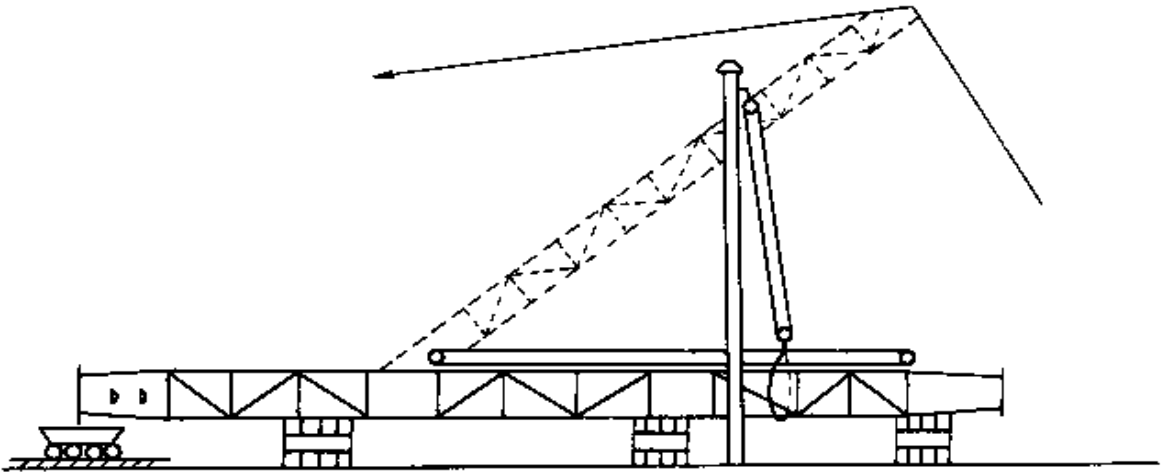


图 6-3 滑移法形式

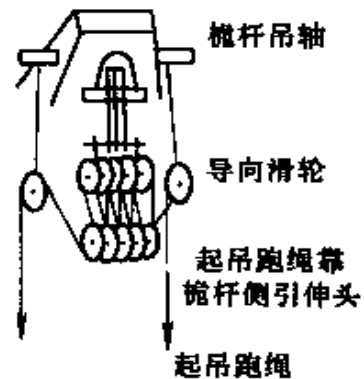
绑点上的绑绳上。跑绳从上滑轮靠桅杆侧中抽出，通过辅助桅杆根部的导向滑轮引向卷扬机，如图 6-4 所示。

主桅杆竖立起吊时，桅杆上端上升，桅杆根部在溜引绳的拉力下向前滑移。因此桅杆根部要设置好排木、滚杠及道木路。为了控制滑移路线和滑移速度，在主桅杆根部需要再设两根溜绳，两溜绳与主桅杆滑移方向线夹角在 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间。

当桅杆抬头至 70° 左右时，除辅助桅杆继续进行起吊工作外，主桅杆的拖拉绳也应张紧配合主桅杆的竖立和保持其稳定。配合的拖拉绳根数不得少于四根（主桅杆滑移路径的两侧各一根，滑移方向背面左右对称分布两根）。

当主桅杆竖立垂直后，配合工作的四根拖拉绳必须随即张紧、拴接、固定，待其他拖拉绳张紧固定后，拖拉绳系统进行一次全面调整，使各拖拉绳受力均匀。最后放松辅助桅杆的起吊索具，并借助主桅杆的起吊滑轮组将辅助桅杆放倒。

放倒过程与竖立过程按相反程序进行。

图 6-4 吊装滑轮组
悬挂形式

5.2 旋转法

旋转法是借助于辅助桅杆将主桅杆头部逐渐抬起，主桅杆的根部以原位旋转 90° 的方法竖立起来的办法，如图6-5所示。

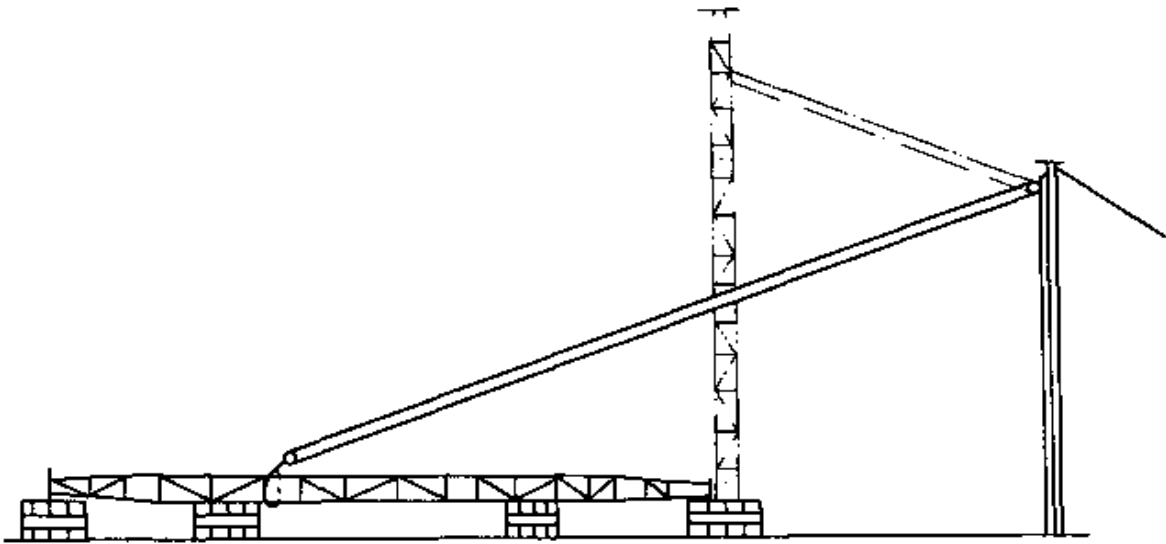


图 6-5 旋转法形式

被竖立的主桅杆的吊绑点在桅杆的 $2/3$ 处，根部摆在待竖立的位置上，并在根部拴固封底溜绳，使在竖立过程中不发生滑移。在离竖立点 $10\sim 15\text{m}$ 处立一辅助桅杆或两木搭都可，其高度根据具体情况而定，但是一般不低于被竖桅杆高度的 $2/5$ 。起吊用滑轮组的上滑轮拴固在辅助桅杆的顶部，下滑轮拴固在被竖立桅杆的吊绑点上。起吊时桅杆在起吊滑轮组拉力作用下，被竖立桅杆绕根部旋转而立起。在竖立过程中，被竖立桅杆两侧的拖拉绳要随时配合，使竖立过程稳定。当被竖立桅杆竖立到 $65^\circ\sim 70^\circ$ 之后，可利用其自身拖拉绳拉起。当辅助桅杆高度不高时，允许被竖立桅杆竖立到 $65^\circ\sim 70^\circ$ 后脱离起吊滑轮组。此时所有拖拉绳都要随时张紧。当桅杆竖立至垂直时，其他拖拉绳即应拴固。

最后借助主桅杆放倒辅助桅杆。

5.3 直角法

直角法是被竖立的主桅杆平卧在地面上，在被竖立的主桅杆底部

立一辅助桅杆，两桅杆组成一直角，辅助桅杆倒下而被竖立的主桅杆随之被竖立起的办法。如图 6-6 所示。

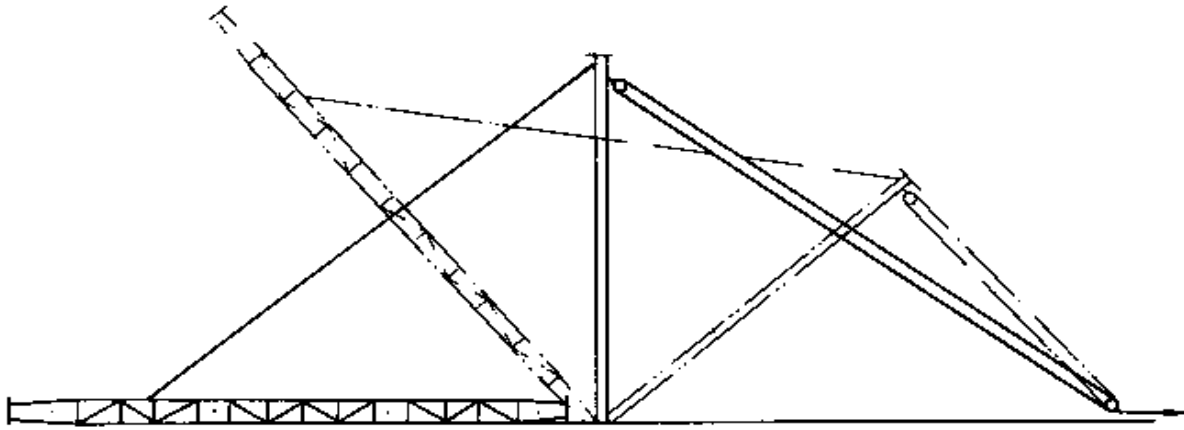


图 6-6 直角法形式

被竖立的主桅杆用绳索将拴绑点与辅助桅杆的吊耳联接起来。起吊用的滑轮组安装在辅助桅杆的主拖拉绳上，两桅杆底部都用绳封住，使它们在竖立过程中不发生滑移。当在起吊滑轮组上施以拉力时，两滑轮间距离缩短，辅助桅杆就会旋转而被放倒，被竖立主桅杆则在联接绳的拉力牵引下被旋转而竖立起来。当被竖立主桅杆竖到 $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 时，可利用其自身拖拉绳拉起，同时要处理好辅助桅杆的安放。此时所有拖拉绳都要随时张紧。当桅杆竖立垂直时，拖拉绳即应拴固好。

这里也要注意，必须使被竖立的主桅杆、辅助桅杆、主拖拉绳，也就是起吊滑轮组，底部封溜绳的合力方向始终保证在同一平面上，否则会使起吊过程不稳，甚至会造成事故。所以除了在布置场地设置工具时千万注意外，在起吊过程中也要用拖拉绳控制好桅杆的方向。

辅助桅杆的高度最好是被竖立主桅杆的 $2/3$ ，一般为 $1/2$ ，最小也不能小于 $1/3$ 。

5.4 直接旋转法

在实际施工中，常常可以灵活的利用现场现有条件竖立桅杆。

①利用标高高于桅杆底部的锚点，如山坡上的拖拉坑、高大设备基础、房屋结构等来起吊桅杆，此法即“旋转法”，如图 6-7 所示。

注意的问题是所利用的锚点能力一定要核算，利用建筑时要对其

强度、刚度、稳定性进行核算，并和有关部门取得联系批准。

②利用固被竖立桅杆底部同位置的拖拉坑来起吊竖立桅杆，此法即“地锚板转法”，如图 6-8 所示。

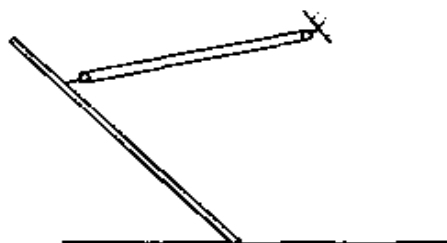


图 6-7 旋转法



图 6-8 地锚板转法

注意的问题是在对地锚进行能力核算的同时，被竖立的桅杆必须预先抬头，而且抬头高度必须足够。一般抬头角不小于 34° 。

5.5 竖立桅杆根部索具设置与起吊捆绑点的加强形式

根据桅杆竖立方法的不同，在桅杆根部还分别设立滚排子固定索具和移桅杆前索引及后控制拉力的索具。对于滑移法竖立桅杆的根部按图 6-9 所示设立索具。

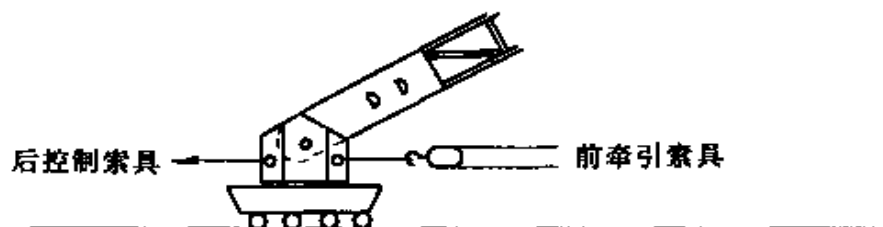


图 6-9 滑移法竖立桅杆根部形式

当上述索具设立结束后，便可捆绑起吊绳扣和保持桅杆竖立稳定的左右两侧溜绳。溜绳一般可借助拖拉绳使用，若位置角度满足不了需要，可另外增设，其绳受力按被竖立桅杆自重 $1/5$ 来考虑即可。起吊捆绑绳捆绑时要考虑角钢桅杆边角易于剋损绳子和局部捆绑受力大的问题，故在桅杆主肢角钢的两平面垫上坚固的八块道木，道木的两端头用铁线紧紧拴牢。

5.6 桅杆的垂直移动

起重桅杆在工作过程中，有时须在水平方向移动其位置。移动桅杆可用卷扬机来进行，其方法有多种。

(1) 利用起重桅杆本身的起吊滑轮组及卷扬机来移动 这种方法又分两种：

① 将起重滑轮组起重钩联接在桅杆的底座上，在开动卷扬机时，起重桅杆向跑绳的第一个导向轮方向移动，如图 6-10 (a) 所示，

② 用一根绳索绕过桅杆基座上的导向轮，使其一端联接在起重滑轮组起钩上，另一端拴固在某固定点上，开动起重卷扬机，桅杆座即向该固定点移动，如图 6-10 (b) 所示。

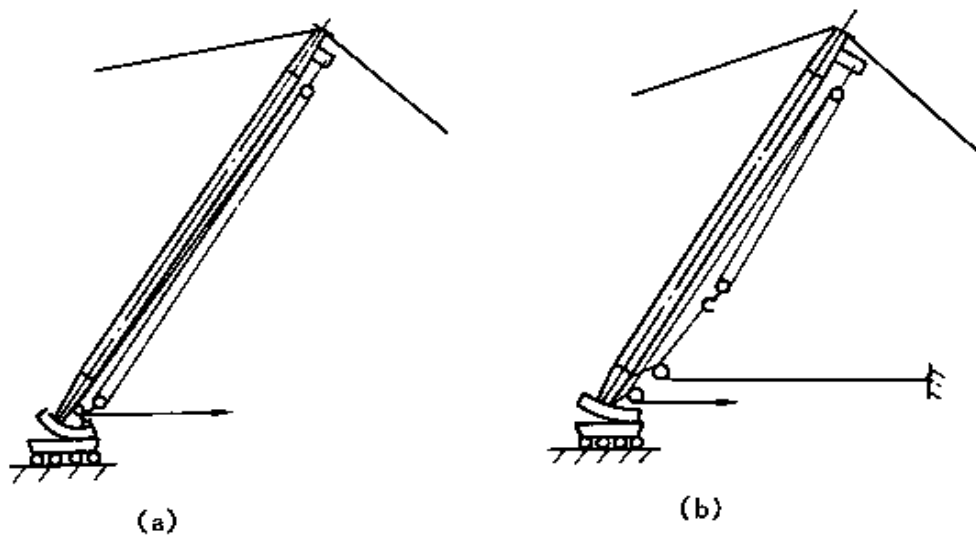


图 6-10 利用桅杆自身起吊滑轮组形式

(2) 利用专设立的卷扬机桅杆的移动 用一根绳索将桅杆基座和卷扬机联接起来，开动卷扬机，桅杆就向卷扬机方向移动。

无论采取何种办法，均按以下步骤进行，见图 (6-11)。

移动桅杆前，必须在各拖拉绳底端装设滑轮组和卷扬机，桅杆基座下部装设排木及滚杠，装设牵引索具，在所行路线上铺设好道木道路；排子及滚杠按桅杆自重、拖拉绳对桅杆压力（约为拖拉绳自重的 2.5 倍）及起重滑轮组重量之和来考虑其承压能力。

放松移动方向相反方向的拖拉绳，使桅杆向移动方向倾斜，倾斜角不大于 11° 。

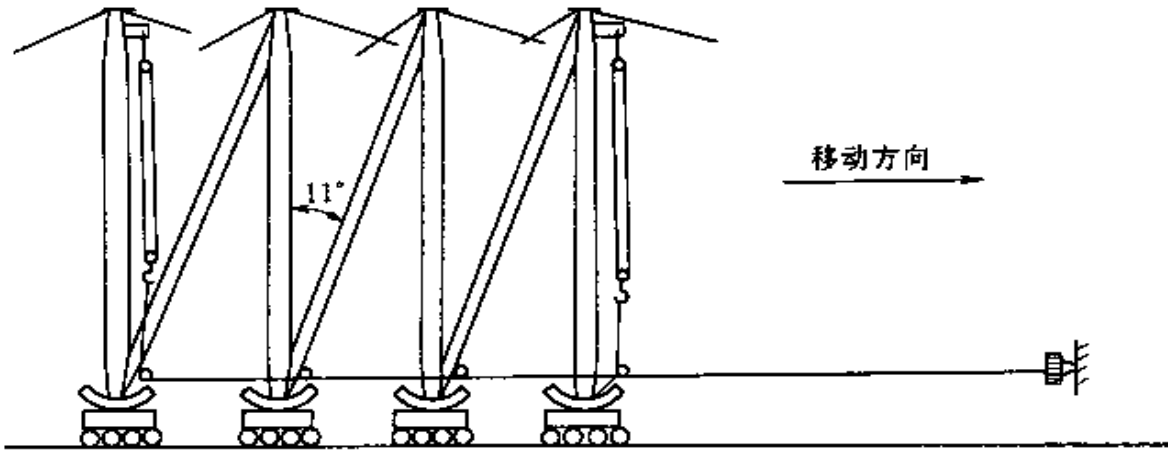


图 6-11 间歇法移动桅杆形式

利用卷扬机移动桅杆的下基座，使桅杆移动前进至垂直位置。与此同时随时调整桅杆两侧拖拉绳的张紧以保证桅杆在移动过程中的稳定，侧倾角不大于 2° 。移动方向上的拖拉绳也要相应收紧，以免过松使桅杆向后倾头。按上述步骤反复进行，直至达到目的地。

移动结束后，务必注意要立即把拖拉绳和桅杆根部调整到均匀受力状态，并拴固好，以免发生桅杆倾倒、根部发生滑脱等现象。

以上所述的是单方向倾斜移动办法，即桅杆只向移动方向倾斜，而不向反方向倾斜。此法叫间歇法。

在移动桅杆时，同时向移动方向和反方向倾斜桅杆的办法叫连续法，如图 6-12 所示。

连续法的工具设置以及移动方式基本上和间歇法差不多，只是当桅杆垂直后，底部继续前移使桅杆向后倾斜。然后，桅杆再前倾重复进行前面步骤，直至达到目的地。需要注意的是，连续法桅杆倾斜角不能太大，一般为 3° 左右。

由于连续法较间歇法操作复杂，故在实际中不经常采用。

5.7 木桅杆和钢管桅杆接长方法与规定

由于工作的需要，有时桅杆要接长，接长规定和形式分别见表

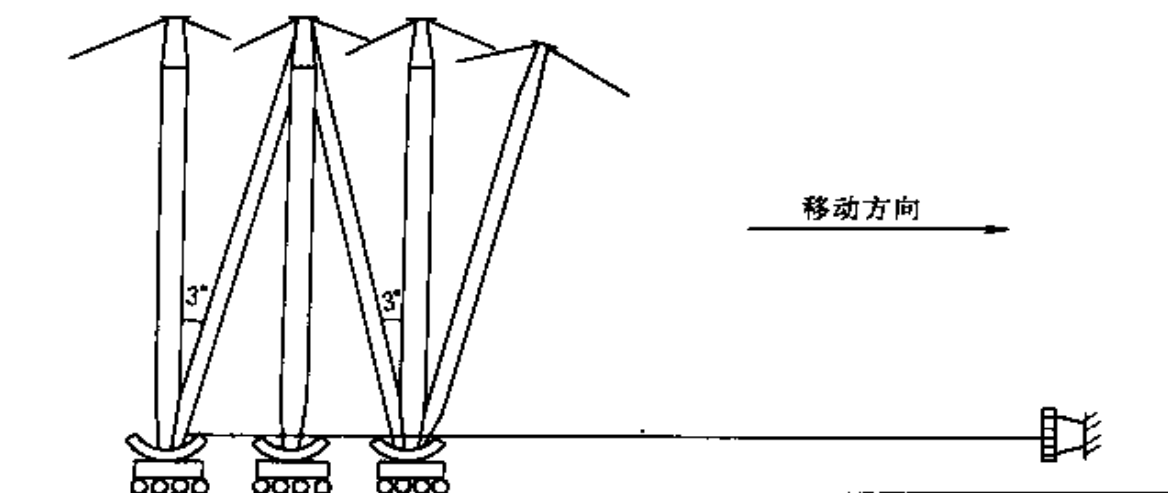


图 6-12 连续法移动桅杆形式

6-5 和图 6-13。

表 6-5 木桅杆接长规定

接长后杆高, m	14	16	18	20	22
接口长度, L	$14d$	$16d$	$18d$	$20d$	$22d$
捆扎间距, mm	500	500	500	500	500
捆扎钢筋直径, mm	$\phi 8$	$\phi 8$	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$
每圈扣数	2	2	2	2	2

注: d 为木杆小头直径。

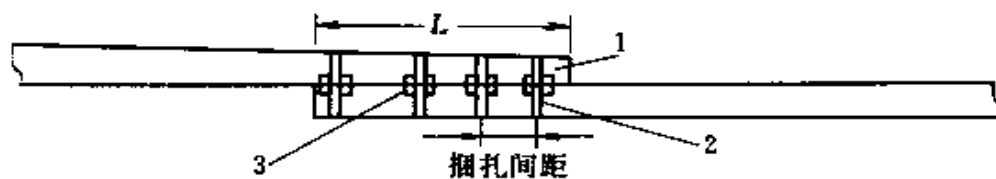


图 6-13 木桅杆接长形式

1—圆木; 2—捆绑绳; 3—木楔

表 6-5 是用钢筋捆扎的规定, 也可用 $\phi 7 \sim 11\text{mm}$ 直径的钢丝绳捆扎, 每扎捆不少于 10 圈。

联接钢管桅杆对接用的角钢规格见表 6-6, 管式桅杆联接形式如

图 6-14 所示。焊接时一定要按规定保证焊接质量。必要时对接时加内套管。焊接后，整根桅杆弯曲度不应超过千分之一，绝对轴线偏差不

表 6-6 联接钢管桅杆对接用的角钢规格

名称	钢管规格								
	152-168	194	219-245	273	299	325	351	377	426
角钢规格 mm	50×50 ×6	60×60 ×6	65×65 ×8	65×65 ×8	75×75 ×8	90×90 ×8	90×90 ×8	90×90 ×8	100×100 ×10
角钢长度 mm	500	500	500	600	600	600	600	600	600

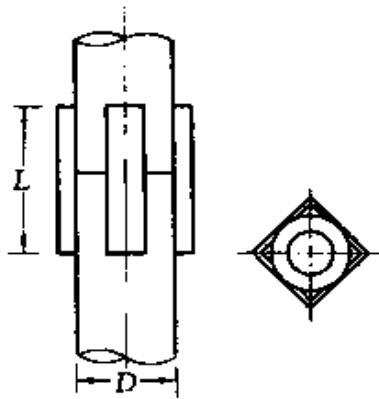


图 6-14 管式桅杆联接形式

大于 20mm，对口偏差不大于 5mm。

5.8 桅杆的选用原则

桅杆的选用应根据全装置的起重吊装任务、工期进行全面考虑。其原则为：

①根据能满足最大工件吊装要求及其施工方法选用必要的吊具。

②桅杆竖立的位置应符合吊装程序的要求。

③桅杆移动的路线应为最短，并应为其其他工程施工创造条件。

④对于某些妨碍桅杆竖立、移动或工作的基础或构筑物，在制定施工规划时，应安排土建、吊装综合进行计划，待吊装作业完毕，再进行基础施工或先施工地下部分。

⑤施工场地布置应为桅杆竖立和拆除留有必要的场地。

第 7 章 桅杆能力计算与吊装索具受力分析

起重工传统上凭经验进行工作,对于各方面的受力分析与计算,往往由于烦琐而感到力不从心。为了改变这种情况,从实践经验中整理归纳了一些简化公式,并举例说明。

1 各种桅杆能力计算

1.1 独木桅杆垂直吊装能力计算

$$P=FK \quad (7-1)$$

式中 P ——独木桅杆吊装能力, N;

F ——木杆小头断面积, cm^2 ;

K ——系数, 见表 7-1。

表 7-1 独木桅杆系数 K

木杆小头直径,mm	φ190 以下	φ200~φ240	φ250~φ290	φ300 以上
系 数	90	110	130	150

此公式适用于红松或落叶松,高度为 10m 独木桅杆的吊装能力计算。若桅杆高于或低于此高度,则桅杆吊装能力每增、降 1m,计算能力降、增 0.1 倍,但适用高度不超过 15m。

常用独木杆小头直径与断面面积见表 7-2。

1.2 两木搭垂直吊装能力计算

$$P=FK \quad (7-2)$$

式中 P ——两木搭垂直吊装能力, N;

F ——两木搭中一根木杆小头断面积, cm^2 ;

K ——系数, 见表 7-3。

表 7-2 常用独木杆小头直径与断面面积

直径,mm	断面面积,cm ²	直径,mm	断面面积,cm ²	直径,mm	断面面积,cm ²
130	133	200	314	270	573
140	154	210	346	280	616
150	177	220	380	290	661
160	201	230	415	300	707
170	227	240	452	320	804
180	254	250	491	340	908
190	284	260	531	360	1018

表 7-3 两木搭系数 K

单根木杆小头直径,mm	<φ190	φ200~φ240	φ250~φ290	>φ300
系数	200	300	350	400

该公式适用于红松或落叶松，高度为 10m 两木搭的吊装能力计算。若两木搭高于或低于此高度，则两木搭吊装能力以每增、降 1m，计算能力降、增 0.1 倍，但适用高度不超过 15m。

1.3 独钢管桅杆垂直吊装能力计算

$$P = DFK/H \quad (7-3)$$

式中 P ——独钢管桅杆吊装能力，N；

D ——钢管外径，cm；

F ——钢管厚壁的环形断面积，cm²；

K ——系数，当钢管外径 < φ152mm 时取 700，外径 > φ159mm 时取 900；

H ——桅杆高度，m。

该公式适用的钢管材质在 10 钢以上。

常用钢管桅杆规格、重量与断面积见表 7-4。

表 7-4 常用钢管桅杆规格、重量与断面积

直径,mm	重量,N/m	断面积,cm ²	直径,mm	重量,N/m	断面积,cm ²
φ108×4.5	115.0	14.50	φ133×4.5	143.0	18.60
φ108×6	151.0	19.20	φ133×6	187.9	23.9

续表

直径,mm	重量,N/m	断面积,cm ²	直径,mm	重量,N/m	断面积,cm ²
φ152×6	216.0	27.5	φ273×12	772.4	98.20
φ152×8	281.4	36.2	φ299×8	574.1	73.10
φ159×4.5	171.5	21.8	φ299×10	712.7	90.90
φ159×6	226.4	28.8	φ299×12	849.3	108.0
φ159×8	297.9	38.1	φ325×8	625.4	79.63
φ168×6	239.7	30.2	φ325×10	776.8	98.90
φ168×8	315.7	40.3	φ325×12	926.3	118.00
φ194×6	278.1	35.42	φ325×14	1073.8	133.00
φ194×8	367.0	46.70	φ351×8	676.7	86.16
φ219×6	315.2	40.10	φ351×10	841.0	107.00
φ219×8	416.3	53.00	φ351×12	1003	128.00
φ219×10	515.4	65.70	φ377×10	905.1	115.0
φ245×7	410.9	52.30	φ377×12	1080	138.0
φ245×8	467.6	59.80	φ377×14	1253	160.0
φ245×10	579.5	73.80	φ426×10	1026	130.0
φ273×8	522.8	66.70	φ426×12	1225	156.0
φ273×10	648.6	82.60	φ426×14	1422	186.0

1.4 钢管人字架垂直吊装能力计算

$$P=2.2DFK/H \quad (7-4)$$

式中 P ——钢管人字架吊装能力, N;

D ——钢管外径, cm;

F ——钢管壁的断面积, cm²;

H ——桅杆高度, m;

K ——系数, 当钢管外径 $<\phi 152\text{mm}$ 时取 700, 外径 $>\phi 159\text{mm}$ 时取 900。

1.5 角钢结构桅杆垂直吊装能力计算

$$P=5500F \quad (7-5)$$

式中 P ——角钢结构桅杆吊装能力, N;

F ——四根角钢有效断面积, cm²。

公式(7-5)分别适用于下列六种断面、高度的角钢结构桅杆吊装能力的计算。即:

桅杆最大横断面边长 1.5m, 高度 45m;

桅杆最大横断面边长 1.2m, 高度 40m;

桅杆最大横断面边长 1.0m, 高度 35m;

桅杆最大横断面边长 0.9m, 高度 30m;

桅杆最大横断面边长 0.8m, 高度 25m;

桅杆最大横断面边长 0.7m, 高度 22m;

若桅杆高于或低于上述高度时, 则桅杆吊装能力按表 7-5 进行增、降计算。

表 7-5 各种桅杆高度增降能力计算

横断面边长角钢结构桅杆高度, m	45	40	35	30	25	22
每增加 1m 高度降低计算能力	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{22}$
每降低 1m 高度增加计算能力	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{22}$

角钢规格与断面积见表 7-6。

表 7-6 角钢规格与断面积

规格, mm	断面积, cm ²	规格, mm	断面积, cm ²	规格, mm	断面积, cm ²
∠75×75×6	8.78	∠100×100×8	15.6	∠150×150×12	34.9
∠75×75×8	11.5	∠100×100×10	19.2	∠150×150×14	40.4
∠75×75×10	14.1	∠100×100×12	22.8	∠150×150×16	45.8
∠80×80×6	9.38	∠120×120×10	23.3	∠150×150×18	51.1
∠80×80×8	12.3	∠120×120×12	27.6	∠200×200×16	62.0
∠80×80×10	15.15	∠120×120×14	31.9	∠200×200×18	69.3
∠90×90×8	14.0	∠130×130×10	25.3	∠200×200×20	76.5
∠90×90×10	17.2	∠130×130×12	30.0	∠200×200×24	90.7
∠90×90×12	20.4	∠130×130×14	34.7		

1.6 倾斜与无偏心弯矩作用的桅杆吊装能力修正方法

无论独木桅杆、两木搭、钢管桅杆和格构式桅杆, 若起吊牵引绳

是斜向受拉时，则其吊装能力应修正。如果桅杆以倾斜形式吊装，倾斜角度小于 6° 可以不考虑修正，倾斜 $7^\circ \sim 11^\circ$ 桅杆能力应降低 8%，倾斜 $12^\circ \sim 15^\circ$ 桅杆能力应降低 15%，倾斜 15° 以上则一般不宜采用。对于无偏心弯矩作用的垂直受压独桅杆吊装能力，应比简化计算公式的计算能力增大 20%~30%。

起吊牵引绳斜向受力的桅杆吊装能力的修正见表 7-7。

表 7-7 起吊牵引绳斜向受力的桅杆吊装能力的修正

角度 α , ($^\circ$)	7	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60
吊装能力, kN	0.94	0.92	0.9	0.85	0.82	0.8	0.77	0.7	0.62	0.57	0.52	0.46	0.42	0.37
	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>

注：1. *P*—按垂直桅杆吊装能力简化计算公式所求得数值。

2. α —起吊绳斜向拉力角度。

1.7 桅杆能力计算理论

起重桅杆的能力是按压杆稳定条件来进行核算的。

$$\sigma_p = \frac{N}{\sum F\varphi} + \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] \quad (7-6)$$

式中 σ_p ——起重桅杆工作时的强度应力值，MPa；

$[\sigma]$ ——许用强度应力值，MPa；

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{K} \quad (7-7)$$

σ ——材料强度极限应力值，MPa；

K ——安全系数；

N ——桅杆承受的总压力，kN；

$$N = G + Q + 4gLn + S$$

G ——荷重，kN；

Q ——桅杆自重，kN；

g ——拖拉绳单位长度的重量，N/m；

L ——拖拉绳长度，m；

n ——拖拉绳根数；

S ——起吊牵引绳的拉力, kN;

$\sum F$ ——桅杆柱肢断面积的总和, cm^2 ;

φ ——纵向受压应力折减系数, 其值可由桅杆纵向受压应力折减系数 φ 值表 (表 7-8) 中查得; 其中:

$$\lambda = \frac{H\beta\mu}{r} \quad (7-8)$$

λ ——压杆的细长比;

H ——桅杆的高度, m;

β ——铰接形式系数, 可由桅杆铰接形式系数 β 值表 (表 7-9) 中查得, 起重桅杆可以认为两端为铰链支承, $\beta=1$;

μ ——桅杆断面修正系数, 可由桅杆断面修正系数 μ 值表 (表 7-10、表 7-11) 中查得;

J_{\max} ——桅杆最大横断面处的惯性矩, cm^4 ;

J_{\min} ——桅杆最小横断面处的惯性矩, cm^4 ;

$$J_{\max} = 4(J_z + Fh^2) \quad (7-9)$$

$$J_{\min} = 4(J_z + Fh_1^2) \quad (7-10)$$

F ——单根柱肢断面积, cm^2 ;

J_z ——单根柱肢惯性矩, cm^4 ;

h, h_1 ——柱肢惯性矩中心至桅杆中心距离 (图 7-1), cm;

r ——桅杆断面面积惯性半径, cm;

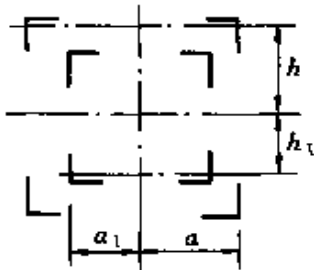


图 7-1 桅杆横断面形式

$$r = \sqrt{\frac{J_{\max}}{\sum F}} \quad (7-11)$$

M_{\max} ——吊荷重偏心引起的最大弯矩, $\text{kN} \cdot \text{cm}$;

$$M_{\max} = Ge \quad (7-12)$$

e ——荷重悬挂位置至桅杆中心之间的偏心距, cm;

W ——桅杆抗弯截面系数, cm^3 ;

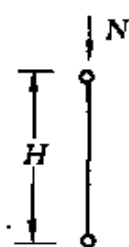
$$W = \frac{J_{\max}}{a} \quad (7-13)$$

a ——桅杆最大横断面柱肢外缘至桅杆中心距离, cm。

表 7-8 桅杆纵向受压应力折减系数 ϕ 值

杆质 细 长 比 λ 值	金属桅杆										木质 桅杆
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	—
10	0.990	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.969	0.966	0.963	—
20	0.960	0.958	0.956	0.954	0.952	0.950	0.949	0.946	0.944	0.942	—
30	0.940	0.938	0.936	0.934	0.932	0.930	0.928	0.926	0.924	0.922	0.982
40	0.920	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.899	0.896	0.893	0.972
50	0.890	0.887	0.884	0.881	0.878	0.875	0.872	0.869	0.866	0.863	0.800
60	0.860	0.855	0.850	0.845	0.840	0.835	0.830	0.825	0.820	0.815	0.712
70	0.810	0.804	0.798	0.792	0.786	0.780	0.774	0.768	0.762	0.756	0.608
80	0.750	0.744	0.738	0.732	0.726	0.720	0.714	0.708	0.702	0.696	0.484
90	0.690	0.681	0.672	0.663	0.654	0.645	0.636	0.627	0.618	0.609	0.383
100	0.600	0.592	0.584	0.576	0.568	0.560	0.552	0.544	0.536	0.528	0.310
110	0.520	0.513	0.506	0.499	0.492	0.485	0.478	0.471	0.464	0.457	0.256
120	0.450	0.444	0.438	0.433	0.428	0.426	0.418	0.413	0.408	0.404	0.215
130	0.400	0.396	0.392	0.388	0.384	0.380	0.376	0.372	0.368	0.364	0.183
140	0.360	0.356	0.352	0.348	0.344	0.340	0.336	0.332	0.328	0.324	0.158
150	0.320	0.317	0.314	0.311	0.308	0.305	0.302	0.299	0.296	0.293	0.138
160	0.290	0.287	0.284	0.281	0.278	0.275	0.272	0.269	0.266	0.263	0.120
170	0.260	0.257	0.254	0.251	0.248	0.245	0.242	0.239	0.236	0.233	0.110
180	0.230	0.228	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212	0.100
190	0.210	0.208	0.206	0.204	0.202	0.200	0.198	0.196	0.194	0.192	0.090
200	0.190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.080

表 7-9 桅杆端部固定方式系数 β 值

杆端部固定 形式	端部固定方式		修正系数 β	计算长度 H_0
	上端	下端		
	铰接	铰接	1	$H_0 = H$

续表

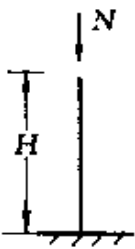
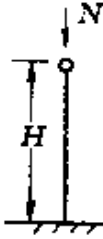
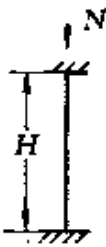
杆端部固定形式	端部固定方式		修正系数 β	计算长度 H_0
	上端	下端		
	自由	固定	2	$H_0 = 2H$
	铰接	固定	$\frac{2}{3}$	$H_0 = \frac{2}{3}H$
	固定	固定	0.5	$H_0 = 0.5H$

表 7-10 不对称桅杆横断面修正系数 μ 值


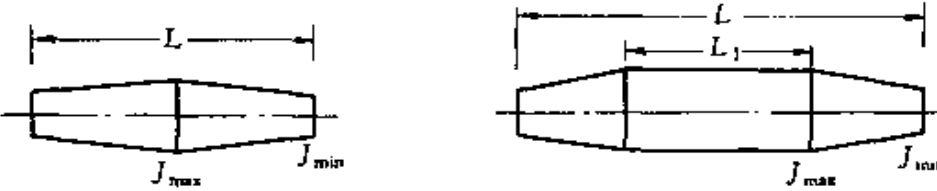
	J_{min}										
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	J_{max}										
μ	1.65	1.45	1.33	1.24	1.18	1.14	1.10	1.06	1.03	1.00	

表 7-11 对称桅杆横断面修正系数 μ 值


$\frac{J_{min}}{J_{max}}$	$L_1 : L$				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8
μ					
0.001	3.14	1.82	1.44	1.14	1.01
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	—	—	—	—

2 拖拉绳初张紧拉力与给桅杆压力的计算

拖拉绳又称缆风绳，在桅杆吊装工作中起着支扶桅杆和吸收传递力的作用。由于拖拉绳内部受力情况比较复杂，想完善地描述其受力情况是非常困难的。所以，下面只介绍一下拖拉绳初张紧拉力与给桅杆压力的情况。

设钢丝绳悬挂于 A 、 B 两点。 A 、 B 两点高度差是 h ，水平距离是 L 。由于钢丝绳存在自重 g (kN/m) 的作用而呈悬垂曲线状态，如图 7-2 所示。

绳索的自重是沿着其长度而均匀分布的，不过拖拉绳的悬垂度(挠度) f_{max} 常常远远小于跨度 L 。为简化计算起见，可以近似地认为，索重沿 AB 连线均匀分布。

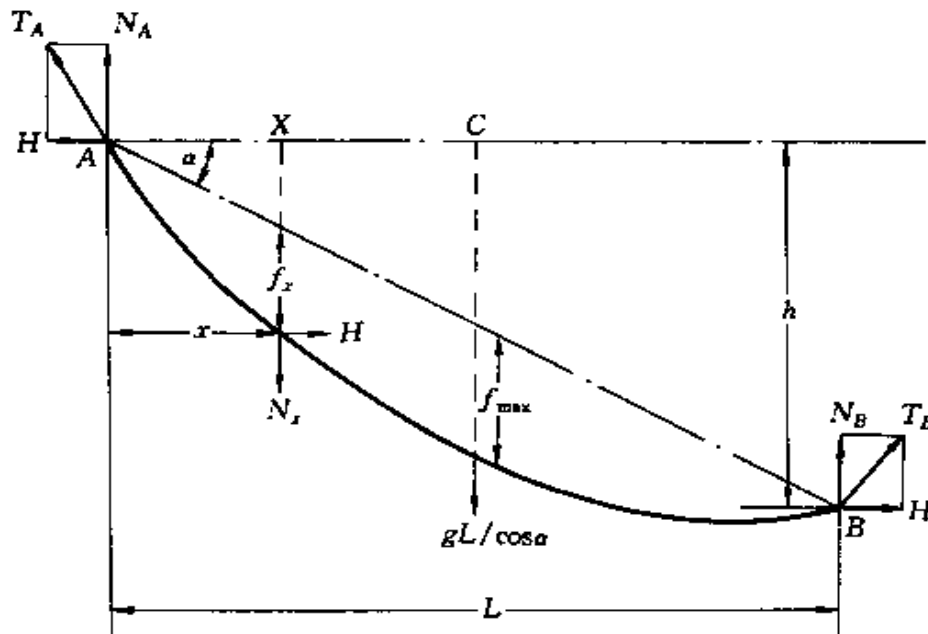


图 7-2 拖拉绳初设受力形式

这样，索重的垂直力为 $gL/\cos\alpha$ (α 为 AB 连线与水平方向之夹角)。

(1) 设 $\sum F_y = 0$ ，则：

$$N_A + N_B = gL/\cos\alpha \quad (1)$$

N_A 、 N_B 为 A 、 B 点上的垂直方向反力。

设 $\sum M_C = 0$ (C 为 L 的中点)，则：

$$N_A \frac{L}{2} = N_B \frac{L}{2} + HL \tan\alpha$$

式中 $L \tan\alpha = h$ ，所以：

$$N_A - N_B = 2H \tan\alpha \quad (2)$$

由式 (1)、式 (2) 联解得：

$$N_A = \frac{gL}{2\cos\alpha} + H \tan\alpha$$

$$N_B = \frac{gL}{2\cos\alpha} - H \tan\alpha$$

由于水平方向力 H 是作用在同一根索上，故 A 、 B 两点水平力 H

相等，所以：

$$T_A = \sqrt{N_A^2 + H^2}; T_B = \sqrt{N_B^2 + H^2}$$

所以只要能确定绳拉力的水平分力 H ，就可求知绳中拉力及支座反力。而 H 与绳索的挠度直接相关。下面就来分析挠度关系式。

(2) 设距 A 点 x 远处绳挠度为 f_x ，设 $\sum M_x = 0$ ，则：

$$N_A x = H(f_x + x \tan \alpha) + \frac{gx^2}{2 \cos \alpha} \quad (3)$$

式中 $gx/\cos \alpha$ 为 x 段绳自重， $x/2$ 为重心至 x 点距离。

将 $N_A = \frac{gL}{2 \cos \alpha} + H \tan \alpha$ 代入 (3) 式，得：

$$f_x = \frac{gx(L-x)}{2H \cos \alpha} \quad (4)$$

(3) 式即为挠度普通式。

若将 (4) 式对变量 x 求一次微分，并令一次微分值等于零，则可得到最大挠度 f_{\max} 处距 A 点之距离 x_{\max} 。

令 $\frac{df_x}{dx} = 0$ ，即令 $\frac{d}{dx} \left[\frac{gx(L-x)}{2H \cos \alpha} \right] = 0$ ，得：

$$\frac{gL - 2gx}{2H \sin \alpha} = 0$$

解得 $x_{\max} = \frac{1}{2}L$

代入 (4) 式，得最大挠度式：

$$f_{\max} = \frac{gL^2}{8H \cos \alpha} \quad (5)$$

如果令拖拉绳的最大挠度为某一数值，则绳中各力为：

$$H = \frac{gL^2}{8f_{\max} \cos \alpha} \quad (7-14)$$

$$N_A = \frac{gL}{2 \cos \alpha} + H \tan \alpha \quad (7-15)$$

$$N_B = \frac{gL}{2 \cos \alpha} - H \tan \alpha \quad (7-16)$$

$$T_A = \sqrt{N_A^2 + H^2}; T_B = \sqrt{N_B^2 + H^2} \quad (7-17)$$

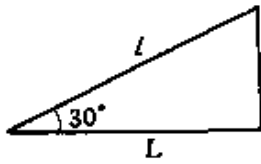


图 7-3 拖拉绳
与地面的夹角

通常控制拖拉绳在预拉紧状态的最大挠度值 $f_{\max} = 3.5\%l$ ，拖拉绳与地面夹角 30° ，如图 7-3 所示。

现将 $f_{\max} = 3.5\%l$ ， $\alpha = 30^\circ$ 代入各式：

因为

$$L = l \cos \alpha$$

所以

$$f_{\max} = \frac{3.5L}{100 \cos 30^\circ}$$

那么

$$H = \frac{gL^2}{8f_{\max} \cos \alpha} = \frac{gL^2 \times 100 \cos 30^\circ}{3.5L \times 8 \times \cos 30^\circ}$$

$$= 3.57gL$$

$$\approx 3.1gl$$

$$N_A = \frac{gL}{2 \cos \alpha} + H \tan \alpha = \frac{gL}{2 \cos 30^\circ} + 3.57gL \cdot \tan 30^\circ$$

$$= 2.64gL \approx 2.3gl$$

$$T = \sqrt{H^2 + N^2} = 4.42gL \approx 3.82gl$$

从这里可以看出：在 $\alpha = 30^\circ$ ， $f_{\max} = 3.5\%l$ 的通常条件下，绳内拉力均为其拖拉绳自重的 4 倍，对桅杆产生的垂直压力为拖拉绳自重的 2.3 倍左右，因此在计算中就可以利用这个数据。又因其他平衡拉力产生的对桅杆的压力，所以常用 4 倍拖拉绳自重来考虑拖拉绳对桅杆产生的压力。

3 各种桅杆吊装形式的索具受力分析与选择

各种桅杆吊装形式的索具受力分析是一项十分复杂的问题。

为了便于现场的实际运用，根据不同吊装形式，分别归纳成几种不同情况进行计算。

3.1 无偏心弯矩作用的垂直独桅杆吊装 (图 7-4)

(1) 起吊牵引绳的拉力 下面介绍几种起吊牵引绳拉力计算方法。

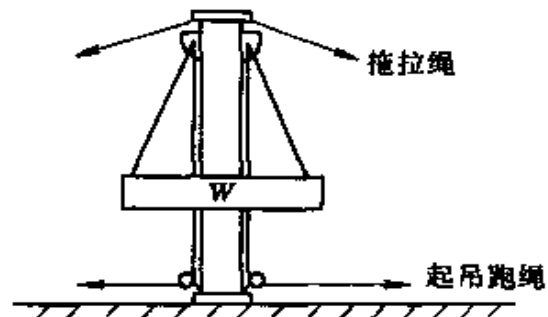


图 7-4 垂直独桅杆吊装形式

$$P = Wa \quad (7-18)$$

式中 P ——牵引绳拉力, kN;
 W ——起吊物件重力, kN;
 α ——综合系数, 见表 7-12。

表 7-12 滑轮组牵引绳拉力综合系数 α

导向滑轮数, 个 工作绳数, 根	0	1	2	3	4	5
1	1	1.04	1.082	1.125	1.17	1.217
2	0.507	0.527	0.549	0.571	0.594	0.617
3	0.346	0.360	0.375	0.390	0.405	0.421
4	0.265	0.270	0.287	0.298	0.310	0.323
5	0.215	0.225	0.234	0.243	0.253	0.263
6	0.184	0.191	0.199	0.207	0.215	0.224
7	0.160	0.165	0.173	0.180	0.187	0.195
8	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174
9	0.290	0.134	0.140	0.145	0.151	0.157
10	0.119	0.124	0.129	0.134	0.139	0.145
11	0.110	0.114	0.119	0.124	0.129	0.139
12	0.102	0.104	0.111	0.115	0.119	0.124
13	0.096	0.099	0.104	0.108	0.112	0.117
14	0.091	0.094	0.098	0.102	0.106	0.111
16	0.082	0.084	0.090	0.095	0.099	0.102
18	0.070	0.072	0.075	0.080	0.088	0.094

$$P = \frac{W}{Kn} \quad (7-19)$$

式中 P ——牵引绳拉力, kN;
 W ——起吊物件重力, kN;
 K ——计算系数, 当滑轮组工作绳数小于 8 根 (包括 8 根) 时取 0.8, 大于 8 根时取 0.7;
 n ——滑轮组工作绳数, 根。

式 (7-19) 是估算公式。

$$P = Wf^{n-1} \frac{f-1}{f^n-1} f_0^f \quad (7-20)$$

- 式中 P ——牵引绳拉力, kN;
 W ——起吊物件重力, kN;
 f ——摩擦阻力系数, 一般 $f=1.04$;
 n ——滑轮组工作绳数, 根;
 f_0 ——导向轮摩擦系数, 一般 $f_0=1.05$;
 x ——导向滑轮个数。

求出起吊牵引绳的拉力后, 可根据受力大小选择合适的钢丝绳和卷扬机。

(2) 拖拉绳的受力 一般按不小于吊装物件重量的 $1/6$ 决定拖拉绳的拉力。若考虑拖拉绳初张紧拉力的因素, 则应以 1.3 倍求得拖拉绳的拉力, 然后根据数据选择钢丝绳的结构形式、规格和锚桩能力。

(3) 桅杆根部承受的总压力

- ① 吊装物件重量给桅杆根部的压力;
- ② 桅杆自重给桅杆根部的压力;
- ③ 全部拖拉绳给桅杆根部的压力, 按全部拖拉绳自重的 4 倍考虑;
- ④ 起吊牵引绳拉力给桅杆根部的压力。

以上各压力之和, 就是桅杆根部承受的总压力。根据总压力与地面耐力, 决定桅杆底部受压面积。

(4) 桅杆能力核算 按照本章前述桅杆能力简化计算公式并结合有关规定进行修正。

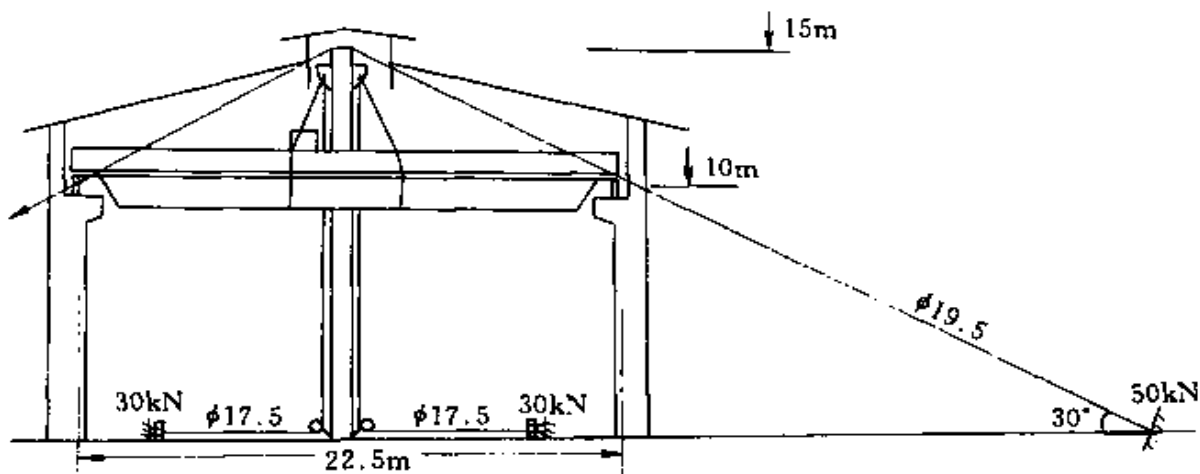


图 7-5 吊装简图

例：某一厂房有一台能力 200kN、跨度 22.5m、自重 247kN 的电动天车。要求整体水平安装到标高 10m 的钢轨上，采用 $\phi 325 \times 12$ mm、高度 15m 钢管桅杆吊装。试进行各部分装置受力分析、索具选择和桅杆能力核算，如图 7-5 所示。

解：(1) 计算荷载

$$W_{\text{计}} = K(W + q) \quad (7-21)$$

式中 $W_{\text{计}}$ ——计算荷载，kN；

K ——动荷系数，快速取 1.2，慢速取 1.1；

W ——承吊荷载，kN；

q ——吊索具重力，一般取 $1/25W$ ，kN；

$$\begin{aligned} W_{\text{计}} &= 1.1 \left(247 + \frac{247}{25} \right) \\ &= 282.568 \text{ kN} \end{aligned}$$

(2) 起吊牵引绳拉力 根据计算荷载 282.568kN，采用 150kN3-3 滑轮组两套，每套滑轮组应负担 141.284kN，起吊牵引绳至卷扬机通过一个导向滑轮。下面分别用式 (7-18)、式 (7-19)、式 (7-20) 计算出起吊牵引绳拉力：

$$\begin{aligned} \text{① } P &= W\alpha = 282.568 \times 0.191/2 \\ &= 26.985 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② } P &= \frac{W}{Kn} = \frac{282.568}{0.8 \times 6} \div 2 \\ &= 29.434 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{③ } P &= Wf^{n-1} \frac{f-1}{f^n-1} f_0^2 \\ &= \frac{282.568}{2} \times 1.04^{6-1} \times \frac{1.04-1}{1.04^6-1} \times 1.05 \\ &= 27.210 \text{ kN} \end{aligned}$$

通过计算可以看出几种方式的计算结果相差不大，所以可根据具体情况运用任一公式进行运算。根据计算结果，选择合适的钢丝绳和卷扬机。

若起吊牵引绳安全系数取 5 倍，钢丝绳极限强度选 1550 N/mm^2 ，则钢丝绳可选择 $6 \times 37 + 1$ ， $\phi 17.5 \text{ mm}$ 的。卷扬机选择 30kN、速度

43m/min、容绳量 300m 的 2 台。

(3) 拖拉绳受力 根据吊装物件重量 247kN，则拖拉绳拉力是 $247 \div 6 \approx 41\text{kN}$ 。如果考虑拖拉绳的初张紧力的因素和安全系数取 3.5 倍，钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ，则钢丝绳可选择 $6 \times 37 + 1$ ， $\phi 19.5\text{mm}$ 的一共 6 根，锚桩能力选择 50kN。

(4) 桅杆根部承受的总压力

$$N = G + Q + 4gln + S$$

① G —— 吊装荷载 (吊装物件 + 索具)

$$G = 247 + \frac{247}{25} = 256.88\text{kN}$$

② Q —— 桅杆自重

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) h \rho g$$

式中 D —— 桅杆外径，cm；

d —— 桅杆内径，cm；

h —— 桅杆高度，cm；

ρ —— 钢的密度， kg/cm^3 ；

g —— 重力加速度， $g = 9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

$$Q = \frac{3.14}{4} \times (32.5^2 - 30.1^2) \times 1500 \times 7.8 \times 10^{-3} \times 9.81 \\ \approx 13537\text{N} \approx 13.5\text{kN}$$

③ $4gln$ —— 拖拉绳给桅杆的总压力

式中 g —— 拖拉绳单位重力， N/m ；

l —— 拖拉绳长度，m；

n —— 拖拉绳的根数。

$$4gln = 4 \times 13.27 \times 30 \times 6 = 9554.4\text{N} \approx 9.5\text{kN}$$

④ S —— 起吊牵引绳拉力给桅杆的压力

$$S = 29 \times 2 = 58\text{kN}$$

所以，桅杆根部承受的总压力为：

$$N = 256.88 + 13.5 + 9.5 + 58 \\ = 337.88\text{kN}$$

根据桅杆根部承受的总压力来确定受压面积 F ，一般地耐力为 160kN/m^2 。

$$F = 337.88/160 \approx 2.1\text{m}^2$$

在此面积上进行铺垫即可。

(5) 桅杆能力核算 根据桅杆规格 $\phi 325 \times 12\text{mm}$ ，高度 15m 和钢管桅杆吊装能力的简化计算公式以及有关无偏心弯矩作用的垂直受压桅杆的规定，则桅杆能力为：

$$\begin{aligned} P &= \frac{DF}{H} K \times 1.3 = \frac{32.5 \times 118}{15} \times 900 \times 1.3 \\ &= 299129.98\text{N} \\ &\approx 299\text{kN} \end{aligned}$$

所以，这台桅杆吊装 247kN 重力的电动桥式吊车是安全可靠的。

3.2 倾斜独桅杆吊装 (图 7-6)

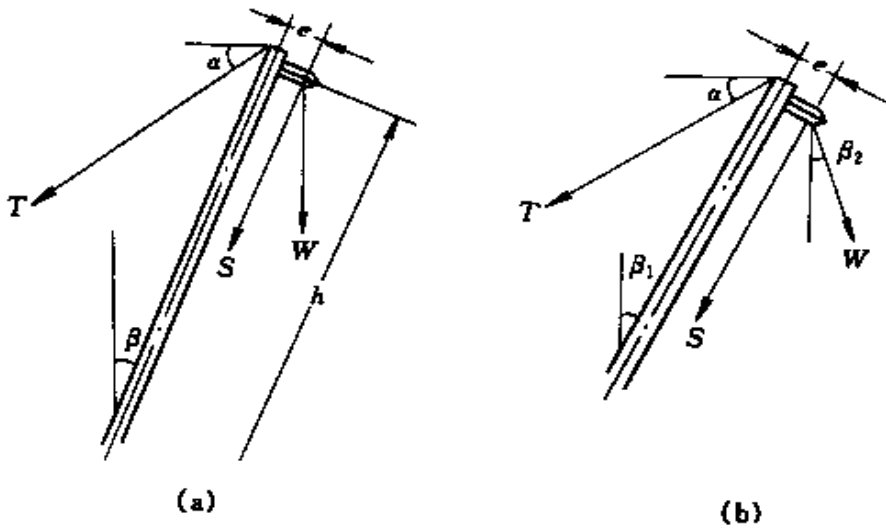


图 7-6 倾斜独桅杆吊装形式

(a) 桅杆倾斜 β 角，吊索垂直；(b) 桅杆倾斜 β_1 角，吊索斜拉 β_2 角

(1) 起吊牵引绳受力 根据计算公式 (7-18)、(7-19)、(7-20)，求出起吊牵引绳拉力，选择合适的钢丝绳和卷扬机。

(2) 吊装物件重量和桅杆自重给桅杆的压力和拖拉绳的拉力 根据吊装形式分工种情况进行分析：

① 桅杆倾斜 β 角，吊索垂直，如图 7-6 (a) 所示。

$$N_1 = \cos\beta(W + Q) \quad (7-22)$$

式中 N_1 ——吊装物件重力和桅杆自重给桅杆的压力，kN；

β ——倾斜角度；

W ——吊物重力，kN；

Q ——桅杆自重，kN。

$$T = \frac{W \sin\beta}{\cos(\alpha + \beta)} + \frac{Q \sin\beta}{2 \cos(\alpha + \beta)} + \frac{(S + W \cos\beta)e}{h \cos(\alpha + \beta)} \quad (7-23)$$

式中 T ——吊装物件重力和桅杆自重、跑绳拉力给拖拉绳的拉力，kN；

W ——吊物重力，kN；

α ——拖拉绳与地面夹角；

Q ——桅杆自重，kN；

S ——起吊跑绳拉力，kN；

e ——吊点至桅杆轴心的偏心矩，cm；

h ——桅杆高度，cm。

②桅杆倾斜 β_1 角，吊索斜拉 β_2 角，如图 7-6 (b) 所示。

$$N_1 = Q \cos\beta_1 + W \cos(\beta_1 + \beta_2) \quad (7-24)$$

式中 N_1 ——吊装物件重力和桅杆自重给桅杆的压力，kN；

β_1 ——桅杆倾斜角度；

β_2 ——吊索斜拉线与垂直地面的角度；

W ——吊物重力，kN；

Q ——桅杆自重，kN。

$$T = \frac{W \sin(\beta_1 + \beta_2)}{\cos(\alpha + \beta_1)} + \frac{Q \sin\beta_1}{2 \cos(\alpha + \beta_1)} + \frac{[S + W \cos(\beta_1 + \beta_2)]e}{h \cos(\alpha + \beta_1)} \quad (7-25)$$

式中 T ——吊物重力和桅杆自重，跑绳拉力给拖拉绳的拉力，kN；

W ——吊物重力，kN；

Q ——桅杆自重，kN；

S ——起吊跑绳拉力，kN；

α ——拖拉绳与地面夹角；

e ——吊点至桅杆轴心的偏心矩，cm；

h ——桅杆高度，cm。

根据求出的拖拉绳拉力和考虑拖拉绳初张紧力的因素，应以 1.3 倍拖拉绳拉力选择合适的钢丝绳和锚桩能力。

拖拉绳分布形式和力的分配见图 7-7。

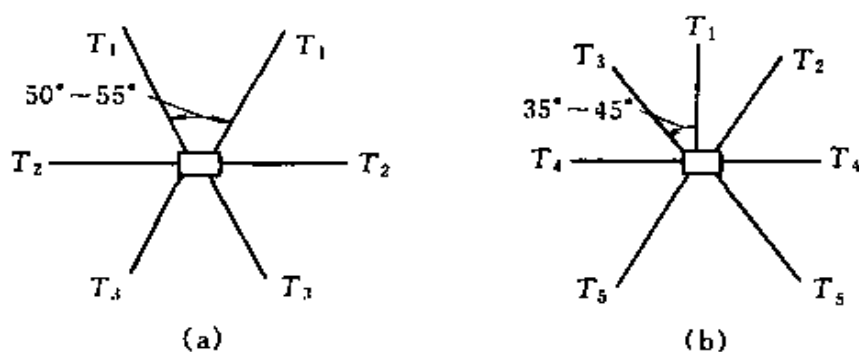


图 7-7 拖拉绳分布形式

图 7-7 (a) 中力的分配 $T_1=0.7T$, $T_2=0.6T$, $T_3=0.5T$; 图 7-7 (b) 中力的分配 $T_1=0.65T$, $T_2=T_3=0.55T$, $T_4=T_5=0.45T$ 。

(3) 桅杆根部承受的总压力 N

① 吊装物件重力和桅杆自重给桅杆根部的压力 N_1 。

② 全部拖拉绳给桅杆根部的压力 N_2 ，按全部拖拉绳自重的 4 倍考虑。

③ 起吊牵引绳拉力给桅杆根部的压力 N_3 。

以上压力之和，就是桅杆根部承受的总压力。根据此压力给垂直地面的分力和桅杆竖立基础的地耐力确定桅杆底座受压面积。

再根据桅杆对地面的水平推力，选择固定桅杆根部拴接绳的结构形式、规格和锚桩能力。为了保证工作更加安全，在这里未将桅杆与地面的摩擦阻力考虑在内。

$$H = N \sin \beta \quad (7-26)$$

$$N_{\perp} = N \cos \beta \quad (7-27)$$

式中 H ——桅杆根部水平推力，kN；

N ——桅杆根部承受的总压力，kN；

β ——桅杆倾斜角度；

N_{\perp} ——与地面垂直分力，kN。

(4) 桅杆能力核算 按照前面桅杆能力简化计算公式, 并结合有关规定进行修正。

例: 某厂一车间有一台圆筒设备, 直径 $\phi 2200\text{mm}$, 高 24000mm , 重 600kN , 要求整体垂直安装于标高是 2000mm 的混凝土基础上。采用最大横断面边长 1200mm 角钢 $\angle 150 \times 150 \times 16\text{mm}$ 、高度 45m 的桅杆, 自重 190kN , 斜倾 9° 角吊装。试进行装置受力分析、索具选择和桅杆能力的核算, 如图 7-8 所示。

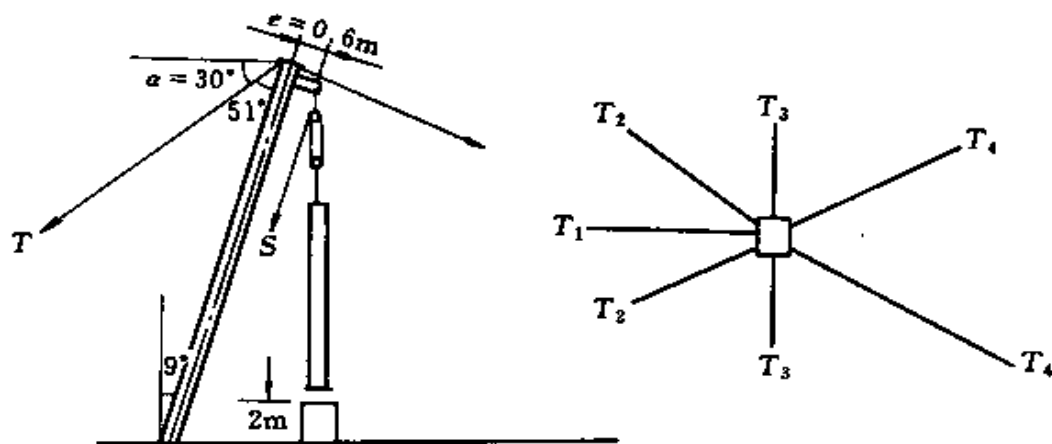


图 7-8 吊装简图

解: (1) 计算荷载

$$W = 1.1 \times \left(600 + \frac{600}{25} \right) = 686.4\text{kN}$$

(2) 起吊牵引绳拉力 根据计算荷载, 采用 400kN 5-5 滑轮组两套, 起吊牵引绳至卷扬机通过一个导向滑轮。

$$\begin{aligned} S &= W\alpha = \frac{686.4}{2} \times 0.124 \\ &= 42.557\text{kN} \end{aligned}$$

式中 S ——起吊跑绳拉力, kN ;

W ——起吊荷载, kN ;

α ——滑轮组牵引绳拉力综合系数。

若起吊牵引绳安全系数取 5 倍, 钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$, 则查表钢丝绳可选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 24\text{mm}$ 的。手里如没有资料可以用估

算公式进行计算，然后选择合适的钢丝绳。具体步骤如下：

$$P_{\text{需}} = SK = 42.557 \times 5 \\ = 212.785 \text{ kN}$$

式中 $P_{\text{需}}$ ——所需破断拉力，kN；
 S ——跑绳拉力，kN；
 K ——安全系数。

$$d = \sqrt{\frac{P_{\text{需}}}{\phi}} = \sqrt{\frac{212785}{428}} \\ = 22.3 \text{ mm}$$

式中 d ——钢丝绳直径，mm；

$P_{\text{需}}$ ——钢丝绳的破断拉力，N；

ϕ ——估算时的系数；

当抗拉强度为 1400 N/mm^2 时， $\phi = 428$ ；

当抗拉强度为 1550 N/mm^2 时， $\phi = 474$ ；

当抗拉强度为 1700 N/mm^2 时， $\phi = 520$ ；

当抗拉强度为 1850 N/mm^2 时， $\phi = 566$ ；

当抗拉强度为 2000 N/mm^2 时， $\phi = 612$ 。

所以可选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 24 \text{ mm}$ 的钢丝绳。

卷扬机能力可选择 50 kN ，速度 12 m/min ，容绳量 350 m 的两台。

(3) 吊装物件重量和桅杆自重给桅杆的压力和桅杆拖拉绳的拉力
 已知桅杆倾斜角 $\beta = 9^\circ$ ，吊装载荷是 686.4 kN ，桅杆自重 190 kN 。

$$\textcircled{1} \quad N_1 = (W + Q) \cos \beta \\ = (686.4 + 190) \times \cos 9^\circ \\ = 865.62 \text{ kN}$$

式中 N_1 ——吊物重量和桅杆自重给桅杆的压力，kN；

β ——桅杆倾斜角度；

W ——吊装载荷，kN；

Q ——桅杆自重，kN。

$$\textcircled{2} \quad T = \frac{W \sin \beta}{\cos(\alpha + \beta)} + \frac{Q \sin \beta}{2 \cos(\alpha + \beta)} + \frac{(2S + W \cos \beta)e}{h \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{686.4 \times 0.1564}{\cos(30^\circ + 9^\circ)} + \frac{190 \times 0.1564}{2\cos(30^\circ + 9^\circ)} \\
&\quad + \frac{(85.114 + 677.957) \times 0.6}{45\cos(30^\circ + 9^\circ)} \\
&= 170.359\text{kN}
\end{aligned}$$

式中 T ——拖拉绳受到的拉力，kN；

W ——计算载荷，kN；

Q ——桅杆自重，kN；

S ——起吊滑轮组牵引绳拉力，kN；

h ——桅杆高度，m；

e ——吊点至桅杆轴心的偏心矩，m；

α ——拖拉绳与地面的夹角；

β ——桅杆倾斜角。

根据求出的拖拉绳拉力，并考虑拖拉绳的初张紧力的因素和安全系数取 3.5 倍，钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ，则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 36.5\text{mm}(T_1)$ 的 1 根， $\phi 32.6\text{mm}(T_2)$ 2 根， $\phi 30\text{mm}(T_3, T_4)$ 4 根。对 T_1 、 T_2 拖拉绳的锚桩选择 200kN；对 T_3 、 T_4 拖拉绳锚桩选择 150kN。

(4) 桅杆根部承受的总压力 N

①吊装荷载和桅杆自重给桅杆根部的压力 $N_1 = 865.62\text{kN}$

②全部拖拉绳给桅杆根部的压力。每根拖拉绳长度为 90m，对 T_1 、 T_2 的拖拉绳根部装置有 200kN 4-4 滑轮组一对， T_3 、 T_4 的拖拉绳根部装置有 150kN 4-4 滑轮组一对。则 7 根拖拉绳重量为 70kN，所以 $N_2 = 70 \times 4 = 280\text{kN}$ 。

③起吊牵引拉力给桅杆根部压力 $N_3 = 2 \times 42.557 = 85.114\text{kN}$ 。

所以，桅杆根部承受的总压力为：

$$\begin{aligned}
N &= N_1 + N_2 + N_3 \\
&= 865.62 + 280 + 85.114 \\
&= 1230.734\text{kN}
\end{aligned}$$

(5) 桅杆根部承受的压力给地面的垂直压力和水平推力 根据桅

杆倾斜 9° 给地面垂直压力为：

$$\begin{aligned} N_{\perp} &= N \cos \beta \\ &= 1230.734 \times 0.9877 \\ &= 1215.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

按地耐力 160 kN/m^2 考虑，则桅杆底座受力面积应为：

$$1215.6 / 160 = 7.6 \text{ m}^2$$

在此面积上铺垫即可。

桅杆根部的水平推力为：

$$\begin{aligned} H &= N \sin \beta \\ &= 1230.734 \times 0.1564 \\ &= 192.487 \text{ kN} \end{aligned}$$

如果桅杆根部以单根绳固定拴接，安全系数取 3 倍，钢丝绳极限强度取 1400 N/mm^2 ，则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1$ ， $\phi 36.5 \text{ mm}$ ，锚桩能力选择 200 kN 。

(6) 桅杆能力核算 根据采用断面边长 1200 mm ，角钢 $\angle 150 \times 150 \times 16 \text{ mm}$ ，高度 45 m 的桅杆，查表得四根柱肢角钢的断面积为 $F = 45.8 \times 4 = 183.2 \text{ cm}^2$ 。

按简化公式计算，则桅杆能力为：

$$\begin{aligned} P &= 5500F - \frac{5}{40} \times 5500F \\ &= 5500 \times 183.2 - 0.125 \times 5500 \times 183.2 \\ &= 881650 \text{ N} = 881.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

又根据有关规定，当桅杆倾斜 9° 时，则桅杆能力为：

$$P = 881.65 - 881.65 \times 0.08 = 811.118 \text{ kN}$$

实际吊装设备重 600 kN ，可见采用此桅杆是安全可靠的。

3.3 双夺式桅杆吊装 (图 7-9)

(1) 起吊牵引绳拉力的计算 可用力三角形法先求出起吊牵引索具绳拉力 W_α 、 W_β ，见图 7-10。

根据正弦定理，可用下式进行计算：

$$\frac{G}{\sin \theta} = \frac{W_\alpha}{\sin \beta} = \frac{W_\beta}{\sin \alpha}$$

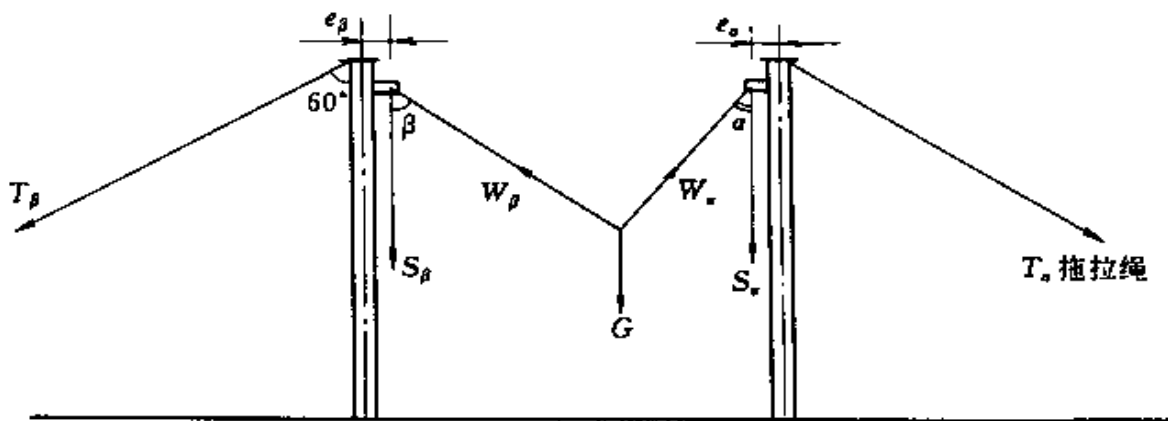
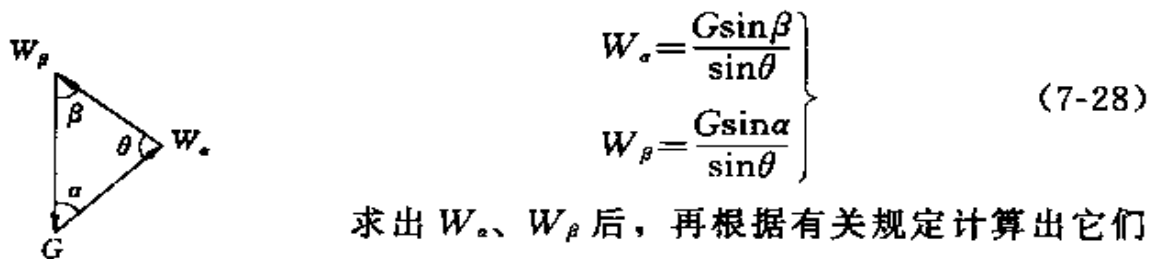


图 7-9 双夺式桅杆吊装形式



求出 W_α 、 W_β 后，再根据有关规定计算出它们各自的计算载荷 $W_{\alpha\text{计}}$ 、 $W_{\beta\text{计}}$ 。

图 7-10 力三角形
$$W_{\text{计}} = K(W + q) \quad (7-29)$$

式中 $W_{\text{计}}$ ——计算荷载，kN；

K ——系数，在这里群吊系数取 1.25；

W ——吊装物件重力，kN；

q ——索具重力，一般取 $W/25$ ，kN。

求出计算荷载后，再根据计算公式 (7-18)、(7-19)、(7-20) 的任意一式，求出起吊牵引绳的拉力，并依此数据选择合适的钢丝绳和卷扬机。

(2) 吊装载荷给桅杆的压力和拖拉绳拉力

$$N_1 = W \cos \alpha \quad (7-30)$$

式中 N_1 ——吊装载荷给桅杆的压力，kN；

W ——计算荷载，kN；

α ——起吊牵引索具与垂直地面夹角。

$$T = \frac{W \sin \alpha}{\cos \alpha'} + \frac{(S + W \cos \alpha)e}{h \cos \alpha'} \quad (7-31)$$

式中 T ——拖拉绳受的拉力, kN;
 W ——计算载荷, kN;
 S ——起吊牵引绳拉力, kN;
 e ——吊点至桅杆轴心的弯矩, m;
 h ——桅杆高度, m;
 α ——起吊索具绳与垂直地面夹角;
 α' ——拖拉绳与地面夹角。

根据求出的拖拉绳的拉力和考虑拖拉绳初张紧拉力的因素, 应以

1.3 倍拖拉绳拉力选择合适的钢丝绳和锚桩能力。

(3) 桅杆根部承受的总压力 N

①吊装载荷给根部的压力 N_1 ; kN;

②桅杆自重给根部的压力 N_2 ; kN;

③全部拖拉绳给桅杆根部的压力 N_3 , 按全部拖拉绳自重的 4 倍考虑, kN;

④起吊牵引绳拉力给桅杆根部压力 N_4 , kN。

以上压力之和即为桅杆根部承受的总压力。根据其压力和地耐力, 决定桅杆底座的受压面积。

(4) 桅杆能力核算 根据各桅杆起吊牵引索具绳最大斜拉力和角度, 按表 7-13 计算实际吊装载重, 再按桅杆能力简化计算公式进行核算, 并结合有关规定进行修正。但核算和修正后的桅杆能力必须大于实际吊装载荷。

表 7-13 双夺桅杆吊装中核算量

起吊牵引索具 绳拉力角度	6°	9°	12°	15°	18°	20°	25°	30°	40°	45°	50°	55°	60°
桅杆实际吊装 载荷, kN	1.0 W	0.988 W	0.978 W	0.966 W	0.95 W	0.94 W	0.91 W	0.87 W	0.77 W	0.71 W	0.65 W	0.58 W	0.5 W

注: W —各桅杆起吊牵引索具绳最大斜拉力, kN。

例: 某厂有一组塔群, 其中一台高塔直径 $\phi 3000\text{mm}$, 高 57m, 壁厚 14mm, 重 1350kN。要求安装在标高 600mm 的基础上, 采用最大横断面边长 1200mm, 角钢 $\angle 150 \times 150 \times 16\text{mm}$, 高度 52m 和最大断面

边长 1200mm, 角钢 L 150×150×16mm, 高度 46m 的两台桅杆双夺垂直吊装, 自重分别为 210kN 和 185kN。试进行各部装置受力分析、索具选择和桅杆能力的核算, 如图 7-11 所示。

解: (1) 起吊牵引绳拉力 根据公式 (7-28) 先求出各桅杆起吊索具绳拉力 W_1 、 W_2 :

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{G \sin 14^\circ}{\sin 151^\circ} = \frac{1350 \times 0.242}{0.485} \\ &= 673.61 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{G \sin 15^\circ}{\sin 151^\circ} = \frac{1350 \times 0.259}{0.485} \\ &= 720.93 \text{ kN} \end{aligned}$$

式中 W_1 、 W_2 分别是 46m 桅杆和 52m 桅杆起吊索具受到的力。再根据式 (7-29) 分别求出它们的计算载荷:

$$W_{1\#} = 1.25 \left(720.93 + \frac{720.93}{25} \right) = 937.21 \text{ kN}$$

$$W_{2\#} = 1.25 \left(673.61 + \frac{673.61}{25} \right) = 700.55 \text{ kN}$$

根据两桅杆中起吊牵引索具最大受力 937.21kN 选择起吊滑轮组为 1000kN, 8-8 两对。起吊绳通过两个导向滑轮, 所以 46m 桅杆起吊牵引绳拉力为:

$$\begin{aligned} S_1 &= W f^{n-1} \frac{f-1}{f^n-1} f_0^x \\ &= 937.21 \times 1.8 \times \frac{0.04}{0.873} \times 1.1 \\ &= 85 \text{ kN} \end{aligned}$$

52m 桅杆起吊牵引绳拉力为:

$$\begin{aligned} S_2 &= W f^{n-1} \frac{f-1}{f^n-1} f_0^x \\ &= 700.55 \times 1.8 \times 0.045819 \times 1.1 \\ &= 63 \text{ kN} \end{aligned}$$

根据起吊绳最大拉力为 85kN, 钢丝绳取为 6×37+1, 极限强度为 1400N/mm², 安全系数取 5 倍, 则绳选择为 φ32.5mm, 卷扬机选择为 100kN。

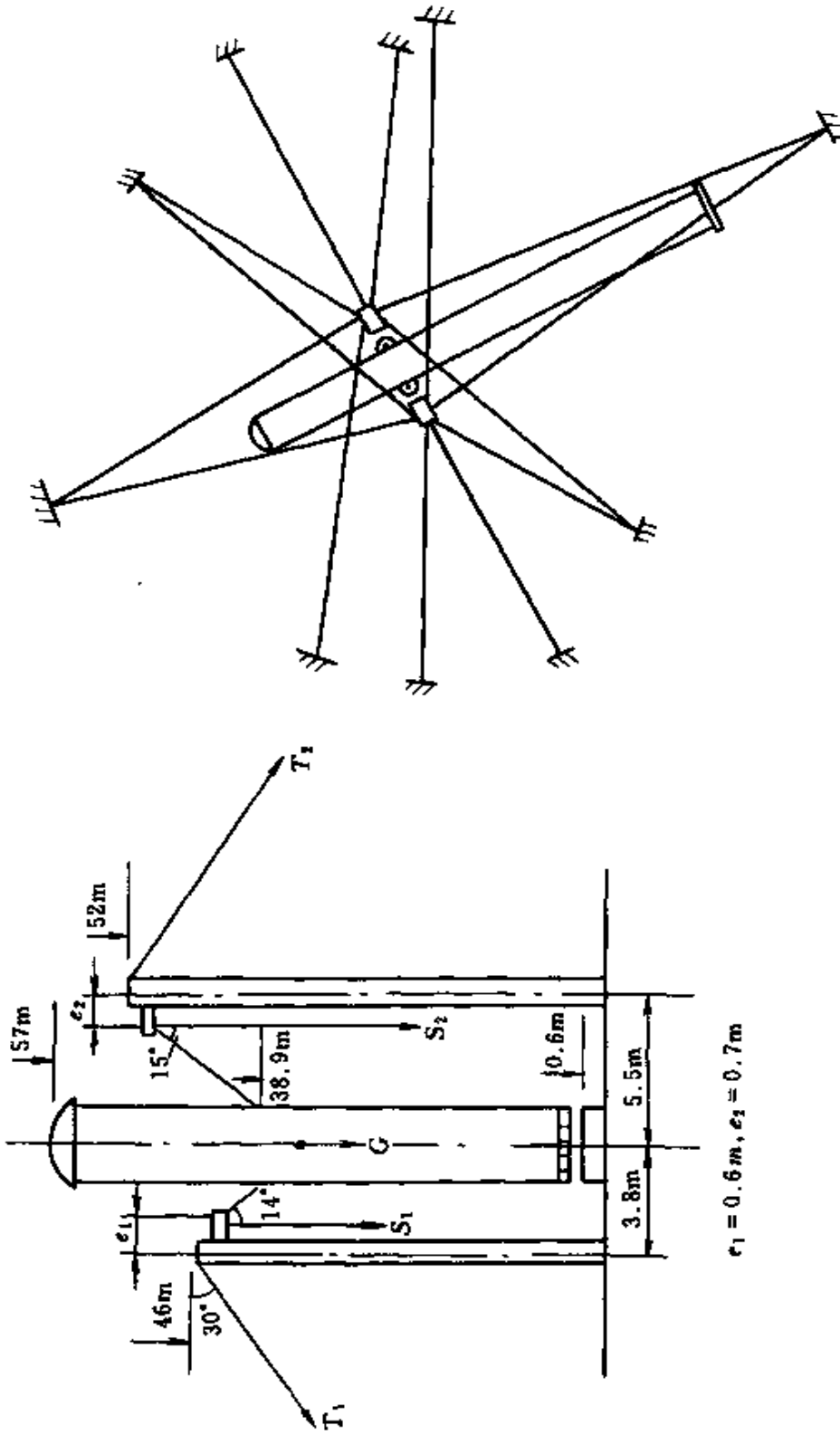


图 7-11 双夺吊装圆筒设备

在这里介绍一下牵引跑绳长度的计算：

$$L = nH + S + h \quad (7-32)$$

式中 L ——起吊跑绳的总长度，m；

n ——滑轮组的跑绳根数；

H ——起吊高度，m；

S ——桅杆到卷扬机距离，m；

h ——跑绳留有的余量，为100~150m。

(2) 拖拉绳的拉力 根据式(7-31)，46m桅杆拖拉绳受力：

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{W \sin \alpha}{\cos \alpha'} + \frac{(S + W \cos \alpha) e_1}{h \cos \alpha'} \\ &= \frac{937 \times \sin 14^\circ}{\cos 30^\circ} + \frac{(85 + 937 \times \cos 14^\circ) \times 0.6}{46 \times \cos 30^\circ} \\ &= 274.65 \text{ kN} \end{aligned}$$

52m桅杆拖拉绳受力：

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{W \sin \alpha}{\cos \alpha'} + \frac{(S + W \cos \alpha) e_2}{h \cos \alpha'} \\ &= \frac{700.55 \times \sin 15^\circ}{\cos 30^\circ} + \frac{(63 + 700.55 \times \cos 15^\circ) \times 0.7}{52 \times \cos 30^\circ} \\ &= 220.85 \text{ kN} \end{aligned}$$

若钢丝绳取 $6 \times 37 + 1$ ，极限强度取 1400 N/mm^2 ，安全系数取 3.5 倍，并考虑拖拉绳初张紧力的因素，则选 46m 桅杆，主拖拉绳 (T_1) $\phi 43 \text{ mm}$ 一根，锚桩 250kN；副主拖拉绳 (T_2) $\phi 39 \text{ mm}$ 二根，锚桩 200kN；次拖拉绳 (T_3)、副拖拉绳 (T_4) $\phi 36.5 \text{ mm}$ 共四根，锚桩能力 200kN。选 52m 桅杆，主拖拉绳 (T_1) $\phi 39 \text{ mm}$ ，锚桩能力 200kN；副主拖拉绳 (T_2) $\phi 36.5 \text{ mm}$ ，锚桩能力 150kN；次拖拉绳 (T_3)，副拖拉绳 (T_4) $\phi 32.5 \text{ mm}$ ，锚桩能力 150kN。并在各拖拉绳的根部装设滑轮组和卷扬机。对 46m 桅杆的 $\phi 43 \text{ mm}$ 的设 250kN、4-4 滑轮组一对，对 $\phi 39 \text{ mm}$ 的设 200kN、4-4 滑轮组各一对，对 $\phi 36.5 \text{ mm}$ 的设 200kN、4-4 滑轮组各一对。对 52m 桅杆的 $\phi 39 \text{ mm}$ 的设 200kN、4-4 滑轮组一对，对 $\phi 36.5 \text{ mm}$ 的设 150kN、4-4 滑轮组各一对，对 $\phi 32.5 \text{ mm}$ 的设 150kN、4-4 滑轮组各一对。

(3) 46m 桅杆根部承受的总压力

①吊装载荷给桅杆的压力

$$N_1 = W \cos \alpha = 937 \times \cos 14^\circ \\ \approx 909 \text{ kN}$$

②桅杆自重给桅杆根部压力

$$N_2 = 185 \text{ kN}$$

③全部拖拉绳给桅杆根部压力

$$N_3 = 90 \times 4 = 360 \text{ kN}$$

④起吊牵引绳拉力给桅杆根部的压力

$$N_4 = 85 \text{ kN}$$

所以，根部总压力为：

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 1539 \text{ kN}$$

根据桅杆根部承受的总压力 1539kN，地耐力 160kN/m²，则底座受压面积为：

$$F = 1539 / 160 = 9.6 \text{ m}^2$$

在此面积上铺垫枕木即可。

(4) 52m 桅杆根部承受的总压力

①吊装载荷给桅杆的压力

$$N_1 = W \cos \alpha = 700.55 \times \cos 15^\circ \\ \approx 676 \text{ kN}$$

②桅杆自重给桅杆根部的压力

$$N_2 = 210 \text{ kN}$$

③全部拖拉绳给桅杆根部的压力

$$N_3 = 73 \times 4 = 292 \text{ kN}$$

④起吊牵引绳拉力给桅杆根部压力

$$N_4 = 63 \text{ kN}$$

所以，根部总压力为：

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 1241 \text{ kN}$$

根据桅杆根部承受的总压力 1241kN，地耐力 160kN/m²，则桅杆底座受压面积为：

$$F = 1241 / 160 = 7.76 \text{ m}^2$$

在此面积上铺垫枕木即可。

(5) 桅杆能力核算

根据桅杆能力简化计算公式,并结合有关规定,46m 桅杆能力为:

$$\begin{aligned} P_1 &= \left(5500F - 5500F \times \frac{6}{40} \right) \times 0.9 \\ &= \left(5500 \times 4 \times 45.8 - 5500 \times 4 \times 45.8 \times \frac{6}{40} \right) \times 0.9 \\ &\approx 771 \text{kN} \end{aligned}$$

52m 桅杆能力为:

$$\begin{aligned} P_2 &= \left(5500F - 5500F \times \frac{12}{40} \right) \times 0.85 \\ &= \left(5500 \times 4 \times 45.8 - 5500 \times 4 \times 45.8 \times \frac{12}{40} \right) \times 0.85 \\ &\approx 600 \text{kN} \end{aligned}$$

而 46m 桅杆实际吊装载荷为 909kN,大于 771kN,显然是超重吊装的。

52m 桅杆实际吊装载荷为 676kN,大于桅杆能力 600kN,也是超重吊装。

根据以上数据的计算,46m 桅杆比 52m 桅杆的吊装工作超重更大,但尚未达到弯曲变形的程度。一般处在这种情况下,应对桅杆采取补强措施;或者在吊装过程中特别注意吊装速度的稳定,保持受力的平衡,避免设备摆动和离地面时间过长。采用这台桅杆吊装还是可行的。

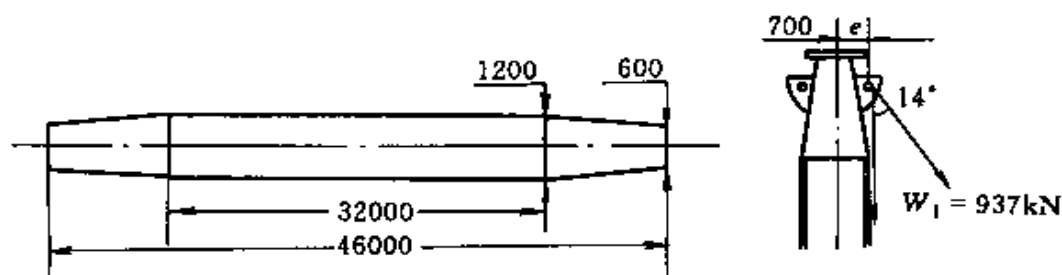


图 7-12 桅杆结构示意图

下面对此桅杆再用强度理论公式进行核算。桅杆结构如图 7-12 所示。

①桅杆承受的总压力

$$N = 1539 \text{ kN}$$

②桅杆最大弯矩

$$\begin{aligned} M_{\max} &= (W \cos \alpha + S) e \\ &= (937 \times \cos 14^\circ + 85) \times 70 \\ &= 69572.3 \text{ kN} \cdot \text{cm} \\ &= 69572300 \text{ N} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

③角钢断面积

$$\sum F = 45.8 \times 4 = 183.2 \text{ cm}^2$$

④抗弯断面系数 W

$$\begin{aligned} J_{\max} &= 4(J_x + Fh^2) \\ &= 4(972 + 45.8 \times 55.78^2) \\ &= 573895 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

所以

$$W = \frac{J_{\max}}{a} = \frac{573895}{60} \approx 9565 \text{ cm}^3$$

⑤应力降低系数 ϕ

$$\begin{aligned} J_{\min} &= 4(J_x + Fh^2) \\ &= 4 \times (972 + 45.8 \times 25.78^2) \\ &= 125644.25 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\frac{J_{\min}}{J_{\max}} = \frac{125644.25}{573895} = 0.22$$

$$\frac{L_1}{L} = \frac{32}{46} = 0.7$$

查表 7-11 得 $\mu = 1.01$ 。

惯性半径 r 为：

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{J_{\max}}{\sum F}} = \sqrt{\frac{573895}{183.2}} \\ &= 55.97 \text{ cm} \end{aligned}$$

细长比 λ 为：

$$\lambda = \frac{L\beta\mu}{r} = \frac{4600 \times 1 \times 1.01}{56} = 83$$

查表 7-8 得 ϕ 为 0.732。

⑥ 桅杆强度

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{N}{\phi \sum F} + \frac{M_{max}}{W} \\ &= \frac{1539000}{0.732 \times 183.2} + \frac{69572300}{9565} \\ &= 18750 \text{N/cm}^2 \\ \sigma_b &> [\sigma] \end{aligned}$$

通过以上计算，桅杆实际受到的应力比角钢结构桅杆的许用应力 16000N/cm^2 大，但是小于屈服应力 24000N/cm^2 ，因此在采取必要措施的情况下，还是可以使用的。

3.4 回转桅杆吊装

回转桅杆吊装索具受力分析比前几种形式的吊装更为复杂。因为主、副桅杆高度差的影响，分析索具受力参数变化很大。

为了使副桅杆倾斜任何角度与拖拉绳既不交叉，又能随意旋转 360° ，要求副桅杆高度必须低于主桅杆高度 16% 左右。下面就回转桅杆索具受力做简单分析，如图 7-13 所示。

(1) 副桅杆（起重杆）受力分析

① 起吊牵引拉力

先求出计算载荷：

$$W_{if} = K(W + q)$$

求出计算载荷后，再根据计算公式 (7-18)、(7-19)、(7-20) 中任意一式，求出起吊牵引绳拉力 S_1 ，并依此数据选择合适的钢丝绳和卷扬机。

② 俯仰滑轮组上拉力

$$T_b = \frac{Wl \sin\beta_1 + 0.5Ql \sin\beta_1 + S_1 e_1 + W e_1 \cos\beta_1}{l \sin\beta_2 + e_2 \cos\beta_2} \quad (7-33)$$

式中 T_b —— 俯仰滑轮组上拉力，kN；

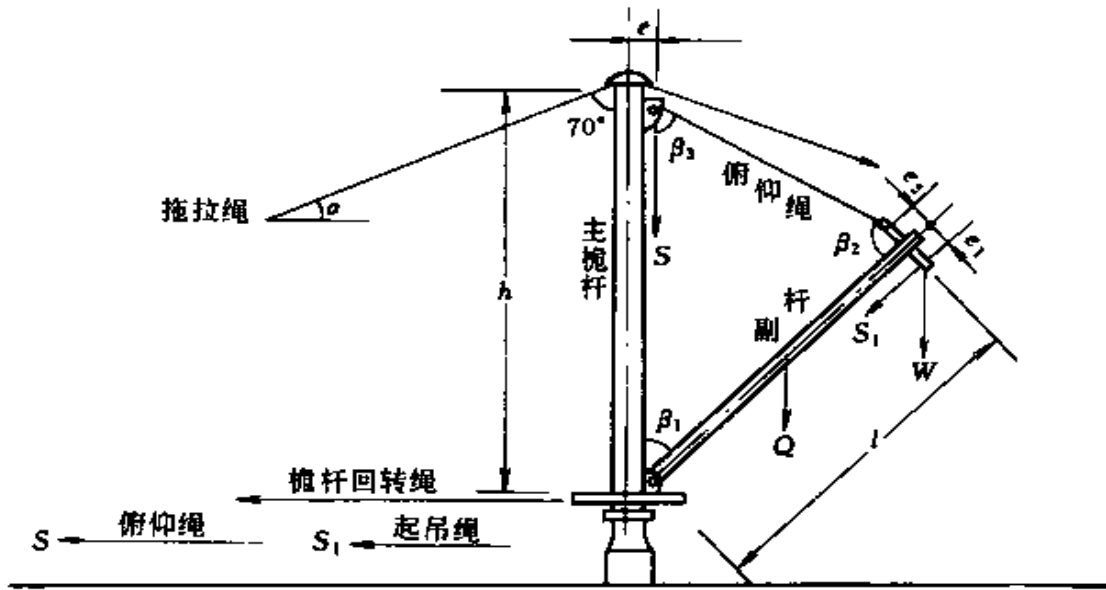


图 7-13 回转桅杆简图

W —— 吊装计算载荷, kN;

Q —— 副杆自重, kN;

S_1 —— 起吊绳拉力, kN;

l —— 副杆有效长度, cm;

β_1 —— 副杆与铅垂线夹角;

β_2 —— 副杆与俯仰滑轮组夹角;

e_1, e_2 —— 副杆吊耳孔至轴心的偏心距, cm; 通常 $e_1 = e_2$ 。

β_1 与 β_2 关系是:

$$\frac{h}{\sin\beta_2} = \frac{l}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} \quad (7-34)$$

根据俯仰滑轮组拉力、再根据公式 (7-18)、(7-19)、(7-20) 中任意一式, 求出俯仰跑绳拉力 S 。根据以上数据选择滑轮组规格及钢丝绳规格。

③ 副杆所受轴向压力

$$N_{c1} = T_b \cos\beta_2 + W \cos\beta_1 + Q \cos\beta_1 + S_1 \quad (7-35)$$

$$N_{c2} = T_b \cos\beta_2 + W \cos\beta_1 + \frac{Q}{2} \cos\beta_1 + S_1 \quad (7-36)$$

$$N_{c3} = T_b \cos \beta_2 + W \cos \beta_1 + S_1 \quad (7-37)$$

式中 N_{c1} 、 N_{c2} 、 N_{c3} ——分别是副杆根部、中部、顶部所受到的轴向压力，kN；由此可以看出桅杆的自重对不同部位的轴向压力是不同的，同时各部位的轴向压力也与桅杆竖立的倾斜角度有关；

T_b ——变幅滑轮组上的张力，kN；

W ——吊装计算载荷，kN；

Q ——副杆自重，kN；

S_1 ——起吊滑轮跑绳拉力，kN。

④ 副杆所受弯矩

$$M_{\text{中}} = \frac{1}{8} Q l \sin \beta_1 + 0.5 [T_b e_2 \cos \beta_2 - (W e_1 \cos \beta_1 + S_1 e_1)] \quad (7-38)$$

$$M_{\text{顶}} = T_b e_2 \cos \beta_2 - (W e_1 \cos \beta_1 + S_1 e_1) \quad (7-39)$$

式中 $M_{\text{中}}$ 、 $M_{\text{顶}}$ ——分别为副杆中部和顶部的弯矩，N·cm；

Q ——副杆自重，kN；

l ——副杆有效长度，cm；

β_1 ——副杆与铅垂线夹角；

T_b ——变幅滑轮组张力，kN；

e_1 、 e_2 ——副杆吊耳孔的偏心矩，cm；

β_2 ——副杆与变幅滑轮组的夹角；

W ——吊装计算载荷，kN；

S_1 ——起吊跑绳拉力，kN。

⑤ 副杆的技术指标

$$\text{起吊高度 } H_1 = l \cos \beta_1 \quad (7-40)$$

$$\text{副杆伸距 } l_1 = l \sin \beta_1 \quad (7-41)$$

$$\text{起重重量 } W = f(\beta_1) \quad (7-42)$$

⑥ 副杆根部压力产生的垂直压力和水平分力

$$N_{\text{垂}} = N_{c1} \cos \beta_1 \quad (7-43)$$

$$H = N_{c1} \sin \beta_1 \quad (7-44)$$

式中 $N_{\text{垂}}$ ——副杆根部压力给主杆的垂直压力，kN；

H ——副杆根部压力给主杆的水平推力, kN;

N_{c1} ——副杆根部轴向压力, kN;

β_1 ——副杆与铅垂线夹角。

根据副杆给回转桅杆的水平推力, 选择固定回转桅杆根部的合适钢丝绳和锚桩能力。

(2) 主桅杆受力分析 主桅杆提供具有一定高度的吊耳, 以便拴固副杆变幅滑轮组上的滑轮。

① 拖拉绳的张力

$$T = \frac{T_b \sin \beta_3}{\cos \alpha} + \frac{(S + T_b \cos \beta_3)e}{h \cos \alpha} \quad (7-45)$$

式中 T ——主桅杆拖拉力受到的拉力, kN;

T_b ——变幅滑轮组张力, kN;

S ——变幅滑轮组跑绳拉力, kN;

h ——主杆高度, cm;

e ——主杆吊耳到杆轴心距, cm;

β_3 ——主杆与变幅滑轮组夹角;

α ——拖拉绳与地面夹角。

根据拖拉绳的拉力和考虑拖拉绳的初张紧力的因素, 以 1.3 倍拖拉绳拉力、3.5 倍安全系数选择合适的钢丝绳和锚桩能力。

② 主桅杆的轴向压力

$$N = T_b \cos \beta_3 + Q' + 4gLn + S + N_{\perp} \quad (7-46)$$

式中 N ——主桅杆轴向压力, kN;

T_b ——变幅滑轮组张力, kN;

β_3 ——主桅杆与变幅滑轮组夹角;

Q' ——主杆自重, kN;

g ——拖拉绳单位重力, N/m;

L ——拖拉绳长度, m;

n ——拖拉绳根数;

S ——变幅滑轮组跑绳拉力, kN;

N_{\perp} ——副杆轴向压力给主桅杆的垂直压力, kN。

主桅杆的轴向压力和回转桅杆的转腕、底座自重给地面的压力,即为回转桅杆给地面的总压力。根据此压力及地耐力,决定回转桅杆底座受压面积。

(3) 转盘旋转力计算

$$P = \frac{N\epsilon r}{R} \quad (7-47)$$

式中 P —— 转盘旋转力, kN;

N —— 主桅杆根部承受的总压力, kN;

ϵ —— 铰腕转动件摩擦系数, 滚动体为 0.07, 滑动体为 0.12;

r —— 铰腕回转半径, m, 见图 7-14;

R —— 转盘半径, m, 见图 7-14。

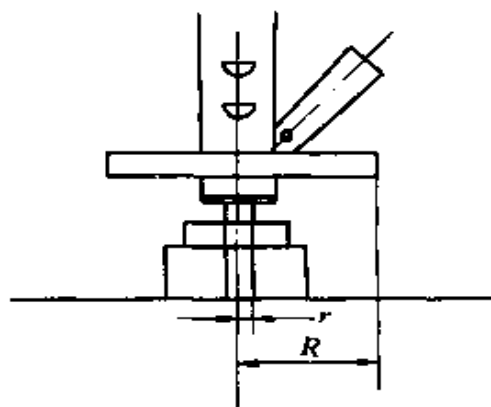


图 7-14 回转桅杆底座结构

根据求出的转盘旋转力, 选择合适的钢丝绳和卷扬机能力。

(4) 主、副桅杆能力核算 主、副桅杆能力核算按照桅杆能力简化计算公式并结合有关规定进行修正。

副杆可以在此基础上增加 20% 能力, 但是副杆在不同倾斜角度条件下的能力, 必须大于实际吊装载荷, 否则不准使用。

例: 某工地扩建 2 组设备, 其中有一台设备外径 $\phi 5400\text{mm}$, 高 12m, 重 310kN, 安装在标高 8m 的楼层上, 采用旋转 120° 设有转盘装置的半回转桅杆。主桅杆最大横断面边长 1200mm, 角钢 $\angle 150 \times 150 \times 12\text{mm}$, 高 52m, 副杆断面边长 1000mm, 角钢 $\angle 150 \times 150 \times 16\text{mm}$, 高 44m, 进行吊装。试进行各部位装置受力分析、索具选择和桅杆能力的核算, 如图 7-15 所示。

解: (1) 起吊牵引绳拉力

① 计算载荷

$$W_{\text{H}} = 1.1(W + q) = 1.1 \left(310 + \frac{310}{25} \right) = 355\text{kN}$$

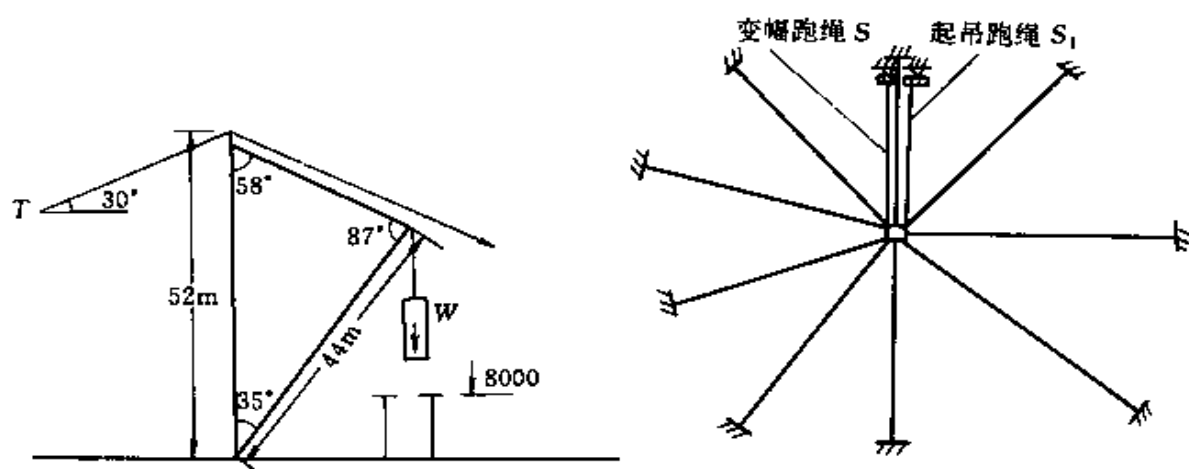


图 7-15 回转桅杆吊装 310kN 设备
主、副杆自重分别为 210kN、178kN

根据吊装载荷, 采用 400kN5-5 滑轮组一对, 起吊牵引绳至卷扬机通过一个导向滑轮, 查表 7-12 综合系数为 0.124。

② 起吊牵引绳拉力

$$S_1 = 355 \times 0.124 = 44\text{kN}$$

(2) 变幅滑轮组上拉力

$$\begin{aligned} \textcircled{1} T_b &= \frac{Wl\sin\beta_1 + 0.5Ql\sin\beta_1 + S_1e_1 + We_1\cos\beta_1}{l\sin\beta_2 + e_2\cos\beta_2} \\ &= \frac{355 \times 44 \times \sin 35^\circ + 0.5 \times 178 \times 44 \times \sin 35^\circ}{44 \times \sin 87^\circ + 0.6 \times \cos 87^\circ} \\ &\quad + \frac{44 \times 0.6 + 355 \times 0.6 \times \cos 35^\circ}{44 \times \sin 87^\circ + 0.6 \times \cos 87^\circ} \\ &\approx 259.373 \text{ kN} \end{aligned}$$

② 变幅跑绳上的拉力

根据求出的变幅滑轮组上的拉力 259.373kN, 采用 300kN4-4 滑轮组一对, 变幅牵引绳至卷扬机通过两个导向滑轮, 查表 7-12 综合系数为 0.155。则:

$$S = 259.373 \times 0.155 \approx 40.203 \text{ kN}$$

(3) 副杆所受轴向压力

$$N_{c1} = T_b \cos\beta_2 + W \cos\beta_1 + Q \cos\beta_1 + S_1$$

$$= 259.373 \times \cos 87^\circ + 355 \times \cos 35^\circ + 178 \times \cos 35^\circ + 44$$

$$\approx 494.2 \text{ kN}$$

(4) 副杆所受弯矩

$$M_{\mp} = \frac{1}{8} Ql \sin \beta_1 + 0.5 [T_b e_2 \cos \beta_2 - (W e_1 \cos \beta_1 + S_1 e_1)]$$

$$= \frac{1}{8} \times 178 \times 44 \times \sin 35^\circ + 0.5 [259.373 \times 0.6 \times \cos 87^\circ$$

$$- (355 \times 0.6 \times \cos 35^\circ + 44 \times 0.6)]$$

$$= 465.17916 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= 46517916 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

因桅杆中部是危险段，故只计算中部。

(5) 副杆根部压力对主杆产生的垂直压力和水平分力

$$N_{\#} = N_{c1} \cos \beta_1 = 494.2 \times \cos 35^\circ$$

$$= 404.849 \text{ kN}$$

$$H_{*} = N_{c1} \sin \beta_1 = 494.2 \times \sin 35^\circ$$

$$= 283.473 \text{ kN}$$

根据回转桅杆根部水平推力 283.473kN 和固定部位拴接绳采用一根，安全系数取 3 倍，若钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ，则绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 43\text{mm}$ ，锚桩选择 300kN。

(6) 拖拉绳的张紧力

$$T = \frac{T_b \sin \beta_3}{\cos \alpha} + \frac{(S + T_b \cos \beta_3) e}{h \cos \alpha}$$

$$= \frac{259.373 \times \sin 58^\circ}{\cos 30^\circ} + \frac{(40.203 + 259.373 \times \cos 58^\circ) \times 0.7}{52 \times \cos 30^\circ}$$

$$= 256.743 \text{ kN}$$

根据拖拉绳张紧力 256.743 kN，考虑拖拉绳初张紧力的因素，以 1.3 倍拖拉绳拉力、3.5 倍安全系数，钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ，则绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 43\text{mm}$ 三根， $\phi 37\text{mm}$ 三根， $\phi 31\text{mm}$ 三根，对 $\phi 43\text{mm}$ 的拖拉绳锚桩选择 250kN， $\phi 37\text{mm}$ 的拖拉绳锚桩选择 200kN， $\phi 31\text{mm}$ 的拖拉绳锚桩选择 150kN。并分别在拖拉绳的根部安装 250kN4-4 滑轮组三对，200kN4-4 滑轮组三对，150kN3-3 滑轮组

三对。

(7) 主桅杆根部总压力

$$\begin{aligned} N &= T_b \cos \beta_3 + Q' + 4gLn + S + N_{\text{重}} \\ &= 259.373 \times \cos 58^\circ + 210 + 400 + 40 + 405 \\ &= 1262.44 \text{ kN} \end{aligned}$$

根据主杆根部总压力 1262.44kN，再加上回转桅杆的转腕和底座自重 30kN，及地耐力为 160kN/m²，则回转桅杆的底座受压面积：

$$F = (1262.44 + 30)/160 = 8.1 \text{ m}^2$$

在此面积上铺垫即可。

(8) 主、副桅杆的稳定能力核算

$$\begin{aligned} \sigma_{\pm} &= \frac{N}{\sum F\phi} + \frac{M_{\text{max}}}{W} \\ &= \frac{T_b \cos \beta_3 + Q' + 4gLn + S}{139.6 \times 0.66} + \frac{(T_b \cos \beta_2 + S)e}{7167} \\ &= \frac{857440}{92} + \frac{12435132}{7167} \\ &= 11055 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

因为主杆实际受到的应力 $\sigma_{\pm} = 11055 \text{ N/cm}^2$ 小于许用应力 $[\sigma] = 16000 \text{ N/cm}^2$ ，所以主桅杆是安全可靠的。

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{副}} &= \frac{N}{\sum F\phi} + \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{N_{c1}}{\sum F\phi} + \frac{M_{\text{中}}}{W} \\ &= \frac{494200}{4 \times 45.8 \times 0.63} + \frac{46517916}{7756.8} \\ &= 10279 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

因为副杆实际受到的应力 $\sigma_{\text{副}} = 10279 \text{ N/cm}^2$ 小于许用应力 $[\sigma] = 16000 \text{ N/cm}^2$ ，所以副桅杆是安全可靠的。

3.5 平缆索起重机吊装 (图 7-16)

平缆索又称“走线”，是以两个支架为主柱，在支架间张紧一根承载索，带有运行滑轮夹套的运移小车，利用它的走动车轮在承载索上运行。小车的行走是由牵引索来操纵的。两条牵引索的两端固定在小车车架的两边，另两端绕于卷扬机卷筒上。这样，当一个卷筒卷绕牵

引时，另一个卷筒就放出牵引索，小车便在承载索上移动；也可以采用一摩擦卷筒代替两个卷筒，能够达到同样效果。动滑轮夹套的升降是由起吊跑绳来完成的。

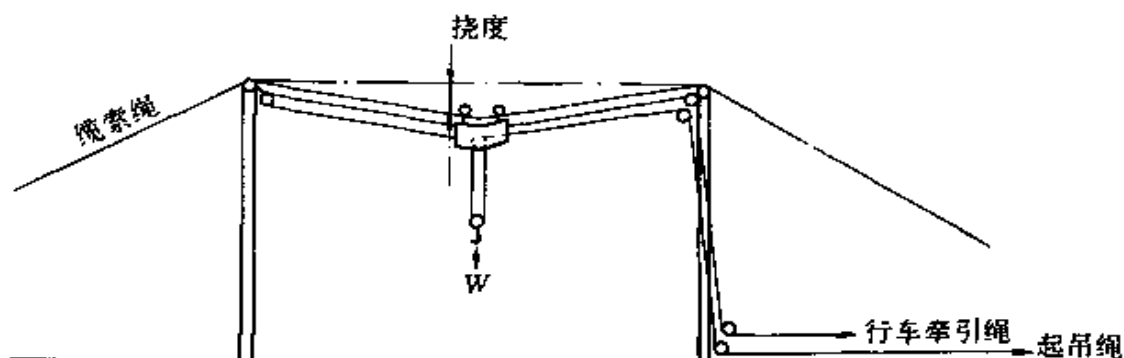


图 7-16 平缆索起重机

平缆索的特点是具有很大的起吊高度和工作跨度。通常跨度在 100~500m，最大可达 1000m。起重量一般在 100kN 左右，也可更大些。它的起升高度一般为 15~60m，也可达到 100m 以上。

平缆索一般适合于重量不超过 100kN、在指定的直线位置上吊装、吊装次数频繁、工期长、费用低、用人少的工程上，如直线塔群的安装。

下面简要介绍平缆索的受力情况。

(1) 起吊牵引绳拉力 求出计算载荷：

$$W_{\text{计}} = K(W + q)$$

求出计算载荷后，再根据计算公式，求出起吊牵引绳拉力 S ，并以此为依据选择合适的钢丝绳和卷扬机。

(2) 行车牵引绳拉力（单绳拉力）

$$S' = 0.6W \quad \text{kN} \quad (7-48)$$

根据行车牵引绳拉力，选择钢丝绳的规格形式和卷扬机能力。

(3) 缆索张力 当缆索挠度不小于缆索跨度的 8% 时，吊装重量给缆索的张力 T' 按下式算。

$$T' = 3W \quad \text{kN} \quad (7-49)$$

根据缆索的张力，选择缆索的结构形式、规格和锚桩能力。

(4) 拖拉绳的选择 根据现场经验, 桅杆背后两根主拖拉绳的拉力是 1.5 倍的吊装载荷的重量, 其他拖拉绳的拉力是主拖拉力的 85%, 或按 1.3 倍的吊装载荷也可。拖拉绳锚桩能力分别按拖拉绳相应能力确定, 即:

锚桩能力 = 拖拉绳破断拉力 ÷ 安全系数

(5) 桅杆根部承受的总压力

- ① 缆索张力给桅杆压力, 等于缆索张力 T' 。
- ② 行车至缆索跨度一端时, 吊装物件重量给桅杆压力等于 $0.9W$ 。
- ③ 起吊牵引绳和行车牵引绳给桅杆的压力, 等于 $S+S'$ 。
- ④ 拖拉绳给桅杆压力, 等于全部拖拉绳自重的 4 倍。
- ⑤ 桅杆自重给其根部的压力。

以上压力之和就是桅杆根部承受的总压力。根据其压力和地耐力 160kN/m^2 , 选择桅杆底座的受压面积。

(6) 桅杆能力核算 按照桅杆能力简化公式进行核算, 并结合有关规定进行修正, 但是, 计算能力不得小于缆索张力。

例: 某工地有 9 台 $\phi 8000\text{mm}$, 高 19.5m 的薄壁容器, 分两列安装于标高 2m 的混凝土基础上。由于设备需要在现场制作, 因此, 采用跨度 100m, 吊装能力 100kN, 桅杆最大横断面边长 1000mm, 角钢 $\square 130 \times 130 \times 14\text{mm}$, 高度 40m 的缆索起重机, 以分段的形式进行吊装。试进行各部位装置受力分析, 以及索具选择和桅杆能力核算, 如图 7-17 所示。

解: (1) 起吊牵引绳拉力 已知设备分段最大重量为 100kN, 行车与索具重量为 10kN, 起吊采用 100kN2-2 滑轮组, 起吊牵引绳至卷扬机通过 2 个导向滑轮, 查表 7-12 综合系数为 0.287, 所以起吊牵引绳拉力为:

$$W_{\text{H}} = 1.1 \times \left(100 + \frac{100}{25} \right) = 114.4 \text{ kN}$$

$$S = 114.4 \times 0.287 = 32.83 \text{ kN}$$

若起吊牵引绳安全系数取 5 倍, 钢丝绳极限强度取 1400N/mm^2 , 则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1, \phi 19.5\text{mm}$; 选择卷扬机能力 50kN, 速度

43m/min, 卷绳量 270m。

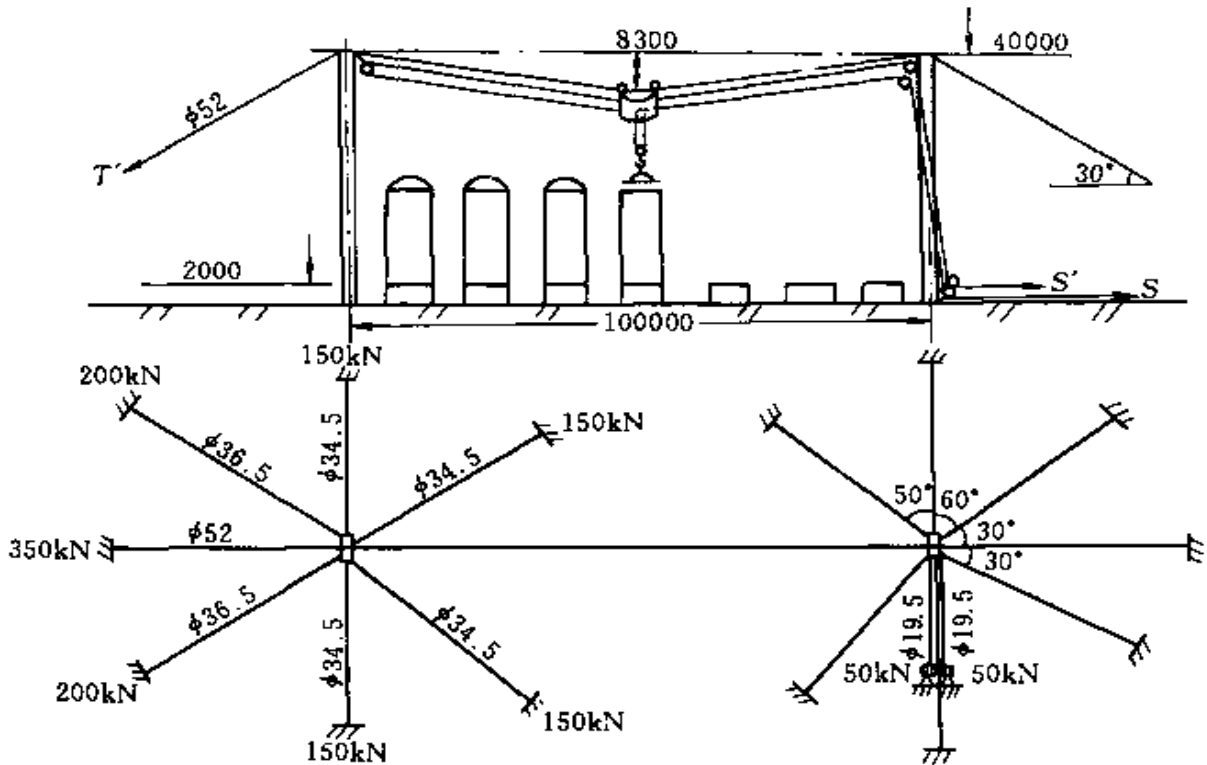


图 7-17 平缆索起重机吊装 100kN 设备简图

(2) 行车牵引绳拉力 因为该缆索起重机的行车牵引绳是 1-1 滑轮组, 所以:

$$\begin{aligned} S' &= \frac{0.6}{2} W = 0.3 \times 114.4 \\ &= 34.32 \text{ kN} \end{aligned}$$

若行车牵引绳安全系数取 4 倍, 钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$, 则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1, \phi 19.5\text{mm}$; 选择卷扬机能力 50kN , 速度 $12\text{m}/\text{min}$, 卷绳量为 320m 。

(3) 缆索张力

$$\begin{aligned} T' &= 3W = 3 \times 114.4 \\ &= 343.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

若缆索安全系数取 3.5 倍, 钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$, 则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1, \phi 52\text{mm}$, 锚桩能力 350kN 。

(4) 拖拉绳的选择 根据桅杆背后两根主拖拉绳是 1.5 倍的吊装载荷, 其他拖拉绳是 1.3 倍的吊装载荷, 安全系数取 3.5 倍, 钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$, 则主拖拉绳选择 $3 \times 37 + 1, \phi 36.5\text{mm}$, 锚桩能力为 200kN , 其他拖拉力选择 $6 \times 37 + 1, \phi 34.5\text{mm}$, 锚桩能力为 150kN 。

(5) 桅杆根部承受的总压力

① 缆索张力给桅杆压力 $N_1 = 343.2\text{kN}$

② 行车至缆索跨度一端时, 吊装载荷给桅杆的压力

$$N_2 = 0.9W = 102.96\text{kN}$$

③ 起吊牵引绳和行车牵引绳拉力给桅杆的压力

$$N_3 = S + S' = 67.15\text{kN}$$

④ 拖拉绳给桅杆的压力

根据每根拖拉绳长度 80m 和已选定的 36.5mm 拖拉绳 2 根, 其根部装设 $200\text{kN}4-4$ 滑轮组一对; $\phi 34.5\text{mm}$ 拖拉绳 4 根, 其根部都装设 $150\text{kN}3-3$ 滑轮组一对。则全部拖拉绳自重为 34kN , 所以拖拉绳给桅杆的压力为

$$N_4 = 34 \times 4 = 136\text{kN}$$

(6) 桅杆自重给其根部压力

$$N_5 = 130\text{kN}$$

所以, 桅杆根部的总压力为:

$$\begin{aligned} N &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 \\ &= 779.31\text{kN} \end{aligned}$$

根据桅杆根部承受的总压力 779.31kN 和地耐力 $160\text{kN}/\text{m}^2$, 则桅杆底座受压面积:

$$F = 779.31/160 = 4.87\text{m}^2$$

在此面积上铺垫好枕木即可。

(7) 桅杆能力核算 根据桅杆最大横断面边长 1000mm , 角钢 $\angle 130 \times 130 \times 14\text{mm}$, 高 40m , 查表 7-6 得四根角钢的断面积为:

$$F = 34.7 \times 4 = 138.8\text{cm}^2$$

按简化计算公式和有关规定, 桅杆能力为:

$$\begin{aligned}
 P &= (5500F - \frac{5}{35} \times 5500F) \times 1.3 \\
 &= (5500 \times 138.8 - \frac{5}{35} \times 5500 \times 138.8) \times 1.3 \\
 &= 850646 \text{ N} \\
 &= 850.646 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

而桅杆实际承担量为 343.2kN，可见采用的桅杆是安全可靠的。

3.6 斜缆索起重机吊装 (图 7-18)

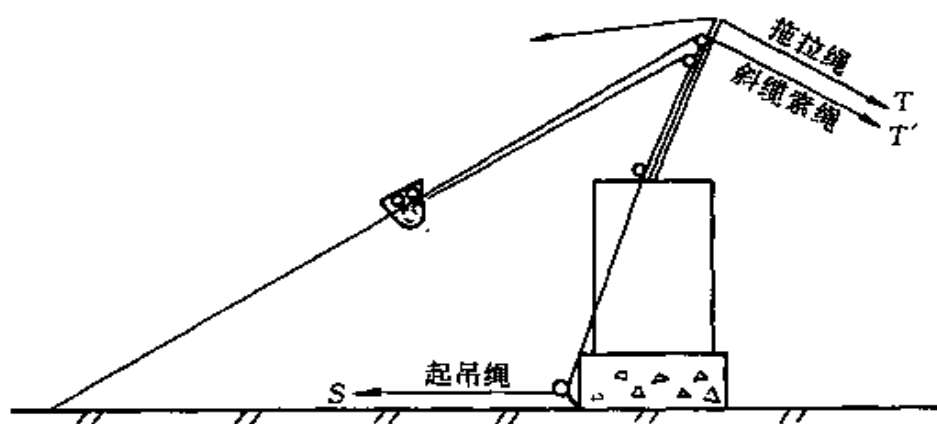


图 7-18 斜缆索起重机吊装

斜缆索滑车是将缆绳滑车的绳轮穿托在一条与地面夹角 40° 左右斜缆索绳上。此绳和桅杆的拖拉绳很相似。

起重绳由卷扬机通过斜缆索最高点处的导向轮和引车内的吊装单滑轮，最后拴在被吊物上。开动卷扬机，重物升起，当重物靠拢滑车时，滑车沿斜缆索上升，至最高点，这时，可用定距锁链（或挂钩）挂住行车，并立即停止卷扬机，然后缓缓放下重物，使重物落下。然后开动卷扬机，提升吊钩与行车相触，并立即停车，摘除引车的挂钩，放行车沿缆索下滑，至原低点，便可再起吊第二个重物。

斜缆索起重机一般适合于重量不超 10kN、数量大、安装工期快、费用低、用人少的工程上。

下面简要介绍斜缆索的受力情况。

(1) 斜缆索绳张力

$$T' = 6W$$

式中 T' ——斜缆索绳张力, kN;

W ——吊装计算载荷, kN。

根据求出的斜缆索绳张力, 安全系数取 6 倍, 选择缆索绳的规格; 锚桩能力按计算张力的 3 倍选择。

(2) 行车牵引绳拉力

$$S = 0.7W$$

式中 S ——行车牵引绳拉力, kN;

W ——吊装计算载荷, kN。

根据计算出的行车牵引绳拉力, 安全系数取 10~12 倍, 选择牵引绳规格; 锚桩能力按计算拉力的 3 倍选择。

(3) 两木搭受压力

$$N = 8W$$

式中 N ——两木搭的压力, kN;

W ——吊装计算载荷, kN。

根据求出的两木搭的压力, 再根据桅杆能力简化计算公式选择两木搭的规格。

(4) 拖拉绳规格 位于承重斜缆索相对方向的两根主拖拉绳直径为斜缆索直径的 0.7 倍, 位于斜缆索同一方向上的两根拖拉绳直径为斜缆索直径的 0.6 倍, 锚桩能力应分别按拖拉绳的规格予以确定, 即锚桩能力 = 拖拉绳破断力 ÷ 安全系数。

例: 某工地有一组露天圆塔设备 $\phi 5000 \times 11000\text{mm}$, 安装在标高 7m 平台上, 内部需要填充磁环, 采用斜缆索吊装, 若每次吊装磁环毛重 2kN, 运输速度 63m/min, 试进行各部分装置受力分析、索具与两木搭选择, 如图 7-19 所示。

解: (1) 斜缆索绳张力 已知吊装磁环毛重 2kN, 行车重 3kN, 总重量 5kN, 则:

$$W_{\#} = 1.2 \times 5 = 6 \text{ kN}$$

$$T' = 6W = 6 \times 6 = 36 \text{ kN}$$

若斜缆索安全系数取 6 倍, 钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$, 则钢

钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 21.5\text{mm}$ ，锚桩能力选择 100kN 。

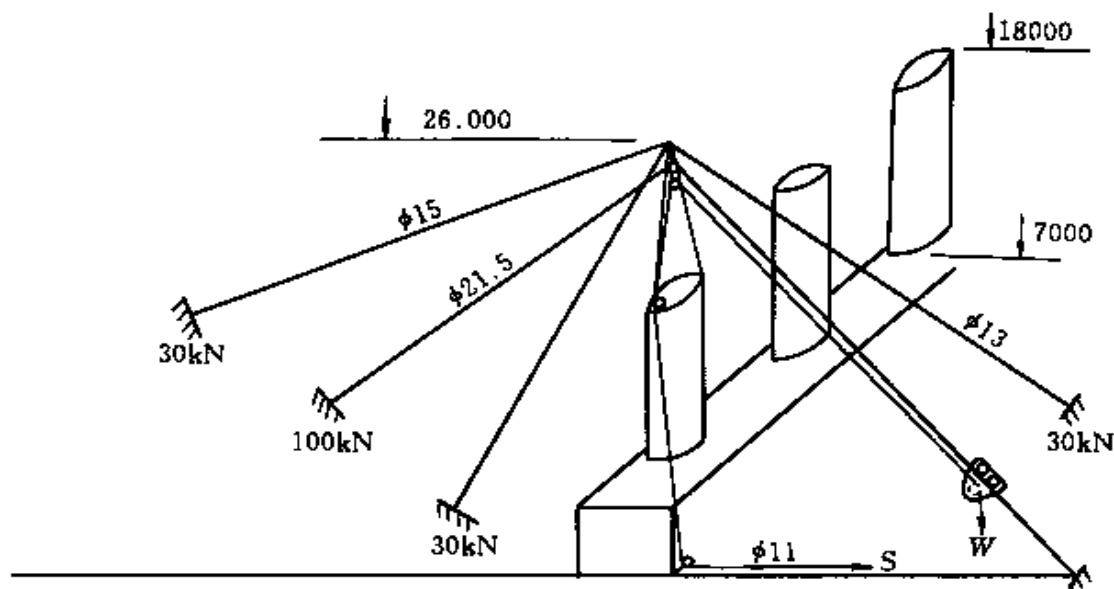


图 7-19 斜缆索吊装磁环

(2) 行车牵引绳拉力

$$S = 0.7W = 0.7 \times 6 = 4.2 \text{ kN}$$

若行车牵引绳安全系数取 12 倍，钢丝绳极限强度取 $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ，则钢丝绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 11\text{mm}$ ，锚桩能力选择 15kN 。

(3) 两木搭压力

$$N = 8W = 8 \times 6 = 48 \text{ kN}$$

若两木搭有效高度 6m 和已知吊装重量是 48kN ，则两木搭木杆小头直径按简化计算公式并结合有关规定选择。

$$P = KF + 0.4KF$$

$$F = \frac{P}{K + 0.4K} = \frac{48000}{200 + 80} = 171 \text{ mm}$$

所以，选择小头直径 170mm 。

(4) 拖拉绳规格 根据缆索绳直径 $\phi 21.5\text{mm}$ ，则两根主拖拉绳直径选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 15\text{mm}$ ，副拖拉绳选择 $6 \times 37 + 1$ 、 $\phi 13\text{mm}$ ，锚桩能力选择 30kN 。

4 桅杆竖立与移动索具受力分析

4.1 旋转法竖立桅杆索具受力分析

如图 7-20 所示, 桅杆竖立索具绑点在 B 点, 桅杆长度为 l , AB 桅杆长度为 xl 。桅杆自重为 Q , 桅杆顶部所拴拖拉绳等重为 q 。桅杆与水平方向夹角为 α , 吊索与水平方向夹角为 β 。

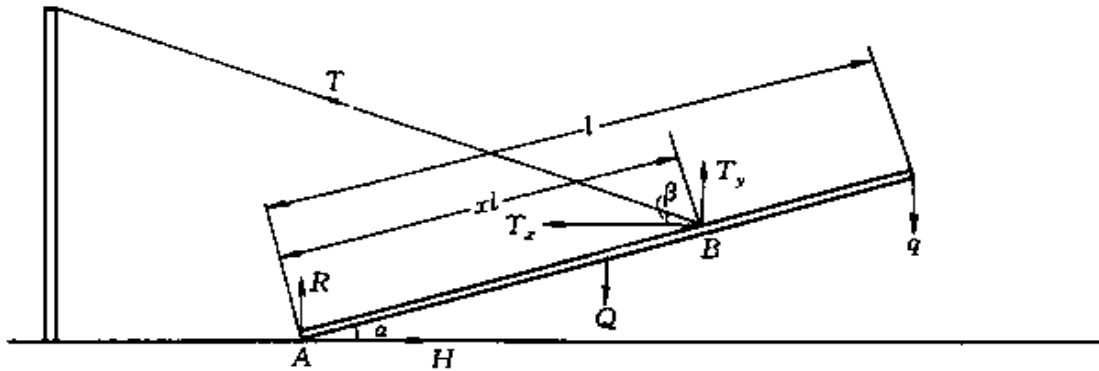


图 7-20 旋转法竖立桅杆索具受力分析

设吊索上的拉力为 T , 则 T 的水平分力和垂直分力分别为: $T_x = T \cos \beta$, $T_y = T \sin \beta$ 。桅杆的地面支反力为 R , 水平蹬力为 H 。

根据力的平衡方程:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

则

$$T_x = H$$

$$T_y = Q + q - R$$

根据力矩平衡方程:

$$\sum M_A = 0$$

$$(ql + 0.5Ql) \cos \alpha = T_y xl \cos \alpha + T_x xl \sin \alpha$$

$$\text{则 } T_x = \left[\left(\frac{1}{x} - 1 \right) q + \left(\frac{1}{2x} - 1 \right) Q + R \right] \cot \alpha \quad (7-50)$$

$$T = \left[\left(\frac{1}{x} - 1 \right) q + \left(\frac{1}{2x} - 1 \right) Q + R \right] \cot \alpha / \cos \beta \quad (7-51)$$

式中 T ——吊索拉力, kN;

T_x ——吊索水平分力, 和桅杆的水平蹬力相等, kN;

T_y ——吊索的垂直分力, kN;

q ——桅杆顶部拖拉绳等的重量, kN;

Q ——桅杆自重, kN;

l ——桅杆长度, m;

xl —— AB 段的长度, x 一般情况下约稍大于 $2/3$, m;

α ——桅杆与水平方向夹角;

β ——吊索与水平方向夹角。

联解下列方程组:

$$\begin{cases} T_y = T \sin \beta \\ T_y = Q + q - R \end{cases} \quad (7-52)$$

便可求得 R 及 T 值。

再代入式 (7-50) 或 $T_x = T \cos \beta$, 便可求得吊索的水平分力 T_x , 所以桅杆水平蹬力 $H = T_x$ 。

现在来讨论一下式 (7-51)。

众所周知, 当 $\alpha = 0^\circ$ 时, $\cot \alpha = \infty$; $\alpha = 90^\circ$ 时, $\cot \alpha = 0$ 。

可见, 如果桅杆不预先抬头, 而直接用吊索得桅杆从水平状态升起是不可能的, 此时吊索上的拉力 T 值是相当大的 (理论上的无限大), 这对钢丝绳及桅杆自身强度是不允许的。所以, 在桅杆起吊前务必用两木搭、吊车或其他方法使桅杆起吊前预先抬起一个角度 α , 抬头角越大越好, 一般不应小于 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。

由式 (7-51) 可知, β 角对吊索拉力也有影响, β 值小有利于拉索力的减小。但在 α 值不大的情况下, 起决定影响作用的仍然是 α 。随着过程的发展, α 值逐渐增大, 同时 β 值不断减小, 甚至降至负值。由于总的发展趋势是: 刚开始时吊索上拉力最大, 随着过程的进行, 吊索上的拉力愈来愈小, 只有在被吊桅杆的吊绑点的高度升到辅助桅杆的吊耳高度之上以后, (这时 β 值为负值), 吊索上拉力值 T 才稍有回升趋势。但这时被竖桅杆的拖拉绳已经或即将参与配合工作。因此起决定作用的仍应是 α 值。

为了降低 β 值，往往采取以下两个措施：降低辅助桅杆的高度和加大辅助桅杆立足点与被竖桅杆底部的距离。但这也是有限的。辅助桅杆过低，会使起吊过程中 β 负值过早到来，不仅不利于 T 值的降低，而且使吊索对被竖桅杆产生压力和对辅助桅杆产生上提力，这对吊装的稳定性是不利的。两桅杆间的距离拉得太大，一则造成施工现场太大，不便统一指挥；二则起吊索具太长，易造成吊索间摩擦，挠度也过大，从而造成起吊困难。

例：已知一台高 52m 角钢结构桅杆重 210kN，头部索具预计 60kN。采用一台高 32m 角钢结构辅助桅杆，与被竖桅杆根部相距 12m。捆绑点位于被竖桅杆高度 35m 处，以旋转法竖立。若竖立前用吊车将被竖桅杆抬头 10° 角，试分析起吊索具拉力和被竖桅杆根部水平推力，如图 7-21 所示。

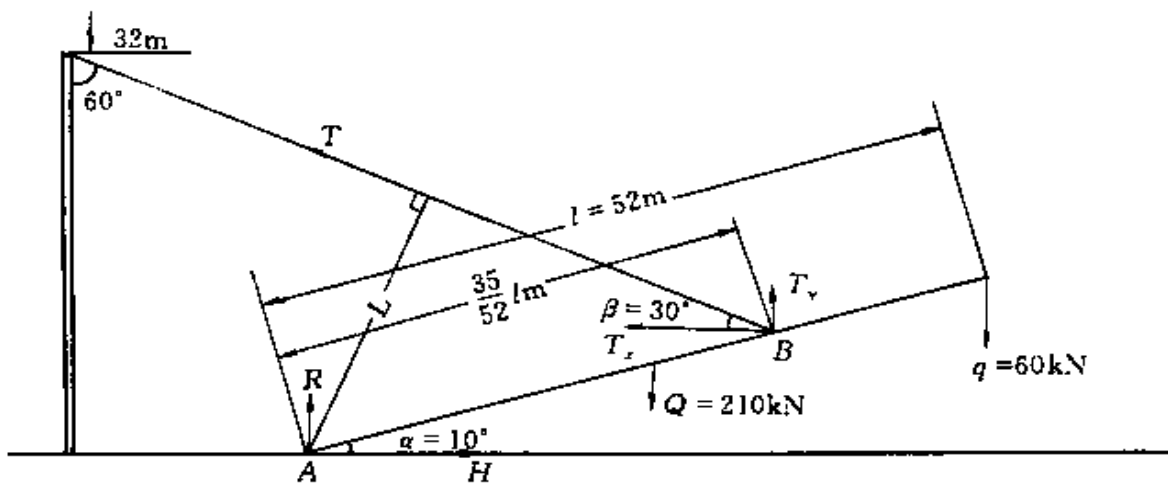


图 7-21 旋转法竖立 52m 桅杆

解法 (1)：根据式 (7-50) 和式 (7-52)，联解下列方程组：

$$\begin{cases} T_y = T \sin \beta & (1) \\ T_x = T \cos \beta & (2) \\ T_y = Q + q - R & (3) \\ T_x = \left[\left(\frac{1}{x} - 1 \right) q + \left(\frac{1}{2x} - 1 \right) Q + R \right] \cot \alpha & (4) \end{cases}$$

由式 (1)、(2) 得：

$$T_y = T_r \tan \beta$$

$$\text{所以} \quad R = Q + q - T_r \tan \beta \quad (5)$$

將式 (5) 代入 (4) 得:

$$\begin{aligned} T_r &= \left[\left(\frac{52}{35} - 1 \right) \times 60 + \left(\frac{52}{2 \times 35} - 1 \right) \times 210 \right. \\ &\quad \left. + \left(270 - \tan 30^\circ T_r \right) \right] \cot 10^\circ \\ &= 1390.21 - 3.2744 T_r \end{aligned}$$

$$\text{故} \quad 4.2744 T_r = 1390.21$$

$$T_r = 325.24 \text{ kN}$$

水平蹬力 $H = T_r = 325.24 \text{ kN}$

起奔力 $T = T_r / \cos \beta = \frac{325.24}{0.866} = 375.57 \text{ kN}$

解法 (2): 设 $\sum M_A = 0$, 则:

$$\begin{aligned} T &= \frac{(ql + 0.5Ql) \cos \alpha}{L} \\ &= \frac{(60 \times 52 + 210 \times 0.5 \times 52) \times \cos 10^\circ}{35 \times \sin 40^\circ} \\ &= 375.57 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{所以} \quad H = T_r = T \cos 30^\circ$$

$$= 375.57 \times 0.866$$

$$= 325.24 \text{ kN}$$

下面讨论被竖立桅杆所受到的压力。

根据桅杆受力图 (图 7-22) 可以看出桅杆压力为:

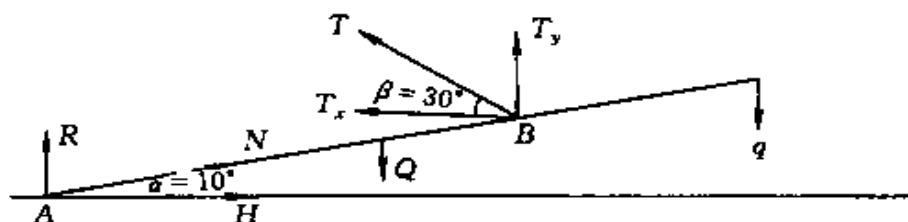


图 7-22 被竖桅杆受力

$$N = H / \cos \alpha = 325.24 / \cos 10^\circ = 330.26 \text{ kN}$$

4.2 移动桅杆牵引力计算 (图 7-23)

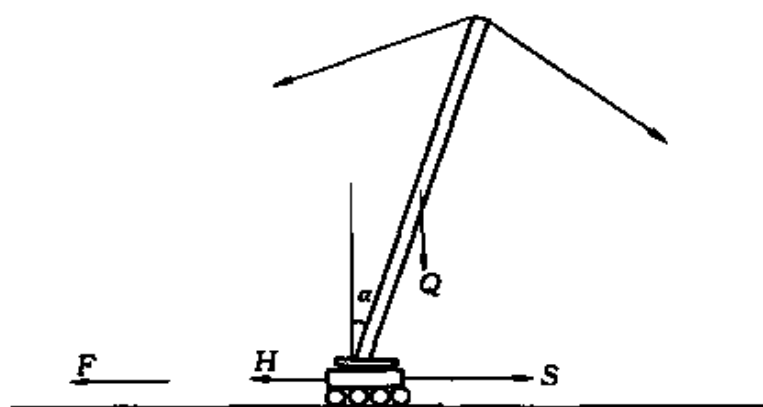


图 7-23 移动桅杆牵引力

在移动桅杆时，吉化公司通常采取前倾 5° 角。下面就按桅杆倾斜 5° 角时的情况来讨论。

(1) 桅杆受的总压力 N

① 全部拖拉绳给桅杆压力 N_1 (按桅杆自重 0.7 倍考虑)

$$N_1 = 0.7Q \text{ kN}$$

② 桅杆自重给桅杆压力 N_2

$$N_2 \approx Q \text{ kN}$$

$$N = N_1 + N_2 = 1.7Q \text{ kN}$$

(2) 桅杆根部后滑力 H

$$H = N \sin \alpha = 1.7Q \cdot \sin 5^\circ$$

$$= 0.15Q \text{ kN}$$

(3) 桅杆根部摩擦阻力 F

$$F = Nf$$

圆钢在木表面滚动运转时摩擦系数 $f=0.2\sim 0.25$ ，所以：

$$F = 0.4Q \text{ kN}$$

(4) 移动桅杆牵引拉力 S

$$S = H + F = 0.15Q + 0.4Q$$

$$= 0.55Q \text{ kN}$$

例：已知一台高 55m 角钢结构桅杆重 280kN，需要水平方向移动 30m，采用桅杆每次前倾斜 3°角移动桅杆的方法。若桅杆根部以滚杠滚动形式移动，试分析移动桅杆的牵引力。

解：(1) 桅杆根部承受总压力

$$N = 1.7Q = 1.7 \times 280 = 476 \text{ kN}$$

(2) 桅杆前倾 3°角时的后滑力

$$H = N \sin \alpha = 1.7Q \times \sin 3^\circ = 0.09 \times 280 = 25.2 \text{ kN}$$

(3) 桅杆根部摩擦阻力

$$F = Nf = 0.4 \times 280 = 112 \text{ kN}$$

(4) 移动桅杆牵引力

$$S = H + F = 137.2 \text{ kN}$$

5 设备起吊前牵引拉力与后控制拉力计算

5.1 设备重心位置分析 (图 7-24)

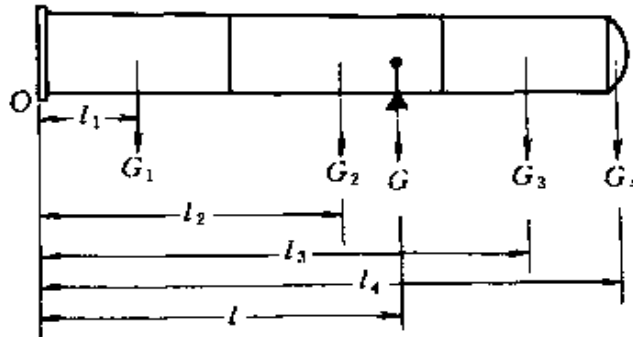


图 7-24 设备重心位置分析

根据力矩平衡方程，设 $\sum M_O = 0$ ，则：

$$l = \frac{G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_3 l_3 + G_4 l_4}{G} \quad (7-53)$$

式中 l ——从 O 点到设备重心距离，m；

G_1, G_2, G_3, G_4 ——设备各分段重量，kN；

l_1, l_2, l_3, l_4 ——设备各分段重心至根部 O 点距离，m；

G ——设备的总重量， $G = G_1 + G_2 + G + G_4$ ，kN。

5.2 设备起吊前牵引拉力计算 (图 7-25)。

根据力矩平衡方程, 设 $\sum M_N=0$, 则:

$$Q = \frac{GL_1}{L_2} \quad (7-54)$$

式中 Q ——起吊绳拉力, kN;

L_1 、 L_2 ——分别为设备重心和起吊点至设备根部的水平距离, m;

G ——设备总重量, kN。

根据力的平衡方程, 设 $\sum F_y=0$, 则:

$$N = G - Q$$

而

$$P = Nf \quad (7-55)$$

式中 P ——前牵引拉力, kN;

N ——设备根部对地面压力, kN;

f ——摩擦系数。

5.3 设备起吊后控制拉力计算 (图 7-26)

根据力矩平衡方程, 设 $\sum M_Q=0$,

则

$$P' = \frac{GL'}{L''} \quad (7-56)$$

式中 P' ——设备起吊后控制拉力, kN;

G ——设备总重量, kN;

L' 、 L'' ——分别为设备重心和设备底边缘至起吊点的垂直距离, m。

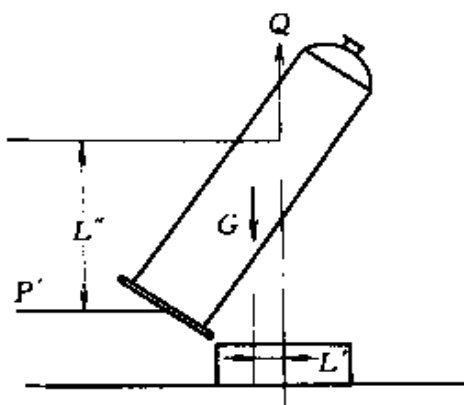


图 7-26 设备起吊后控制拉力

例: 有一圆筒设备, 直径 $\phi 5800\text{mm}$, 高 48.8m , 设备自重 2150kN , 钢结构平台重 160kN , 工艺

配管重 130kN，外部保温层重 380kN，总重 2820kN。采用两台桅杆一次整体安装于标高 6.4m 高混凝土基础上。试分析吊装时的设备根部前牵引拉力和设备根部刚离开地面时的后控制拉力，如图 7-27 所示。

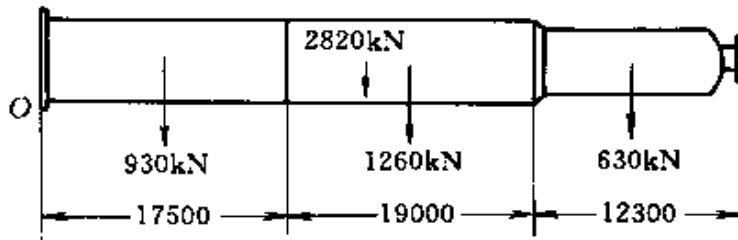


图 7-27 设备重心位置分析

解：(1) 根据式 (7-53) 求设备的重心位置 设 $\sum M_O = 0$ ，则：

$$l = \frac{930 \times 8.75 + 1260 \times 27 + 630 \times 42.65}{930 + 1260 + 630} = 24.48\text{m}$$

(2) 根据式 (7-54) 求设备的前牵引拉力 如图 7-28 所示，设 $\sum M_N = 0$ ，则：

$$Q = \frac{2820 \times 17.31}{22.58} = 2161.83\text{kN}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } N &= 2820 - 2161.83 \\ &= 658.17\text{kN} \end{aligned}$$

当设备根部垫滚动排子时，则前牵引拉力为：

$$P = Nf = 658.17 \times 0.2 = 131.634\text{kN}$$

(3) 根据式 (7-56) 求设备起吊后控制拉力 如图 7-29 所示，设 $\sum M_O = 0$ ，则：

$$P' = \frac{2820 \times 2.549}{30} = 239.606\text{kN}$$

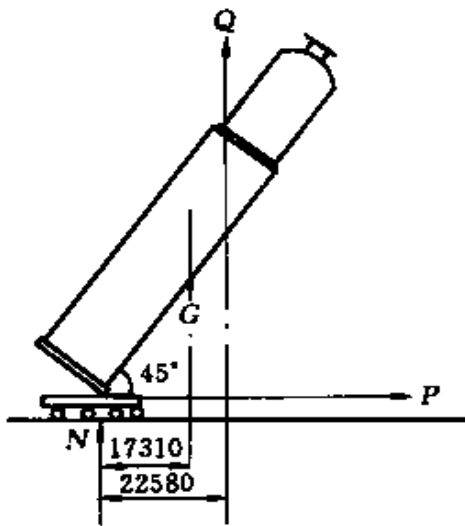


图 7-28 前牵引拉力计算

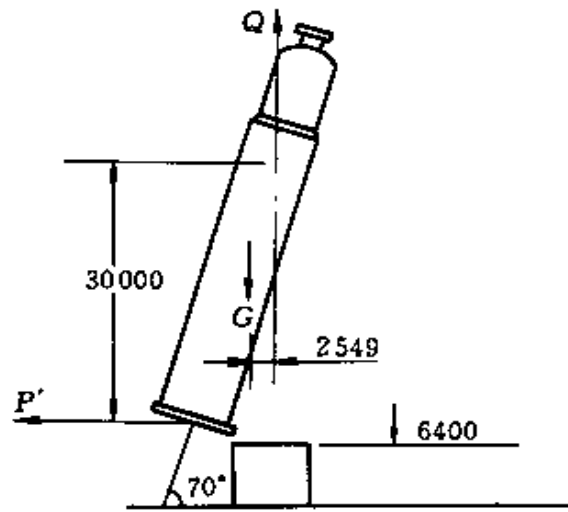


图 7-29 后控制拉力计算

6 远离基础设备吊装索具简要受力分析

6.1 抬头时的受力分析

抬头时设备吊装索具受力分析如图 7-30 所示。

$$\left. \begin{aligned} S &= Q / \cos \alpha \\ P' &= Q \tan \alpha \end{aligned} \right\} \quad (7-57)$$

式中 S ——起吊绳索具拉力，kN；

P' ——设备后控制拉力（未考虑设备根部支点压力的摩擦阻力），kN；

Q ——吊装捆绑点垂直受力，见图 7-25，kN；

α ——起吊索具与垂直地面夹角。

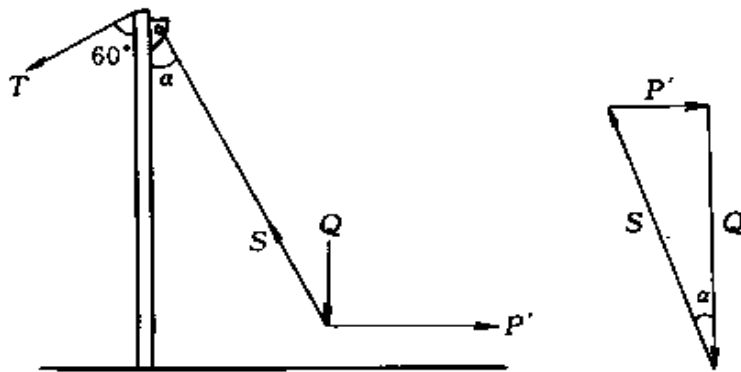


图 7-30 抬头时设备吊装索具受力分析

6.2 脱排时的受力分析

设备脱排最佳时机是起吊索具力、设备重心力和后控制拉力汇交成一点时，如图 7-31 所示。

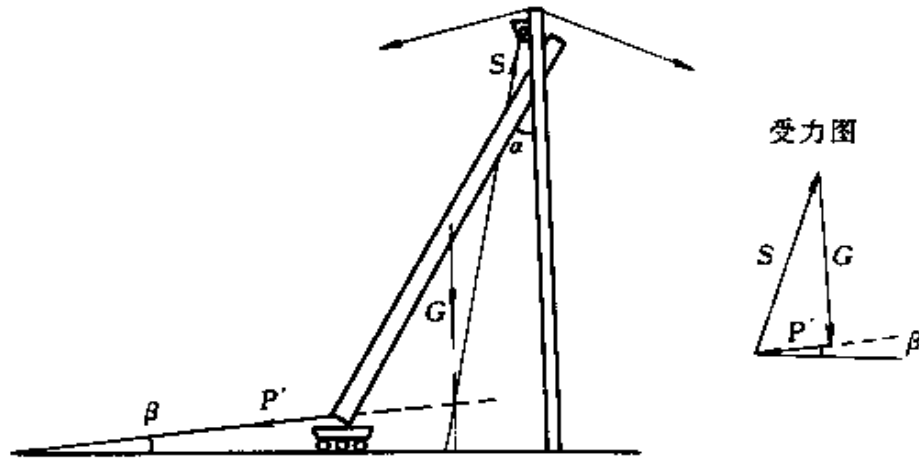


图 7-31 脱排时设备吊装索具受力分析

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{G \sin(90^\circ + \beta)}{\sin(90^\circ - \alpha - \beta)} \\ P' &= \frac{G \sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha - \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (7-58)$$

式中 S ——起吊绳索具拉力，kN；
 P' ——设备后控制拉力，kN；
 G ——设备重量，kN；
 α ——起吊索和垂直地面夹角；
 β ——后控制绳与地面夹角。

例：有一圆筒设备，直径 $\phi 6400\text{mm}$ ，壁厚 20mm，高 31m，自重 1800kN，保温层重 460kN，平台结构重 100kN，塔上管线重 100kN，总计吊装重量 2460kN。要求整体吊装于标高 8.5m 的混凝土基础上。采用两台高 50m 桅杆吊装，试分析各部索具受力情况，如图 7-32 所示。

解：(1) 起吊初力分析 根据设备重心位置的分析计算，在距离设备底 16.1m 处，起吊捆绑点距离设备顶 7m 处，垂直支承力为 1650kN，起吊索具与垂直地面夹角 20° 。

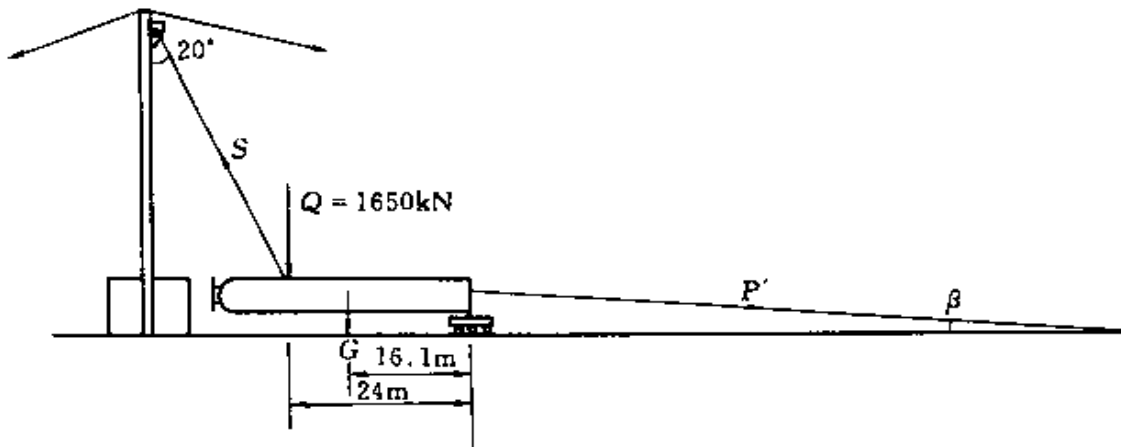


图 7-32 吊装 2460kN 设备受力分析

根据式 (7-57), 起吊索具拉力为:

$$S = \frac{1650}{2 \times \cos 20^\circ} = 878 \text{ kN}$$

后控制拉力 (近似看成与地面水平) 为:

$$P' = 1650 \times \tan 20^\circ = 600.6 \text{ kN}$$

而实际后控制拉力为:

$$P'_* = P' - (2460 - 1650)f = 600.6 - 810 \times 0.25 = 398.1 \text{ kN}$$

(2) 脱排时力的分析 当设备脱排时, $\alpha = 8^\circ$, $\beta = 10^\circ$ 。根据式 (7-58), 起吊索具绳拉力、后控制拉力分别为:

$$S = \frac{2460 \times \sin(90^\circ + 10^\circ)}{2 \times \sin(90^\circ - 8^\circ - 10^\circ)} = 1273.58 \text{ kN}$$

$$P' = \frac{2460 \times \sin 8^\circ}{2 \times \sin(90^\circ - 8^\circ - 10^\circ)} = 180 \text{ kN}$$

7 直立单桅杆板吊索具受力分析 (图 7-33)

(1) 抬头时起板滑车组受力 根据力矩平衡方程, 设 $\sum M_o = 0$, 则:

$$S n \cos \alpha + S r \sin \alpha = G x_c$$

$$S = \frac{G x_c}{n \cos \alpha + r \sin \alpha} \quad (7-59)$$

式中 S ——起板索具绳拉力, kN;

n ——吊点至设备底面的距离, m;

- r ——设备旋转支承点至设备中心线距离, m;
 G ——设备重量, kN;
 x_c ——设备重心至设备底面的距离, m;
 α ——起板索具与垂直地面夹角。

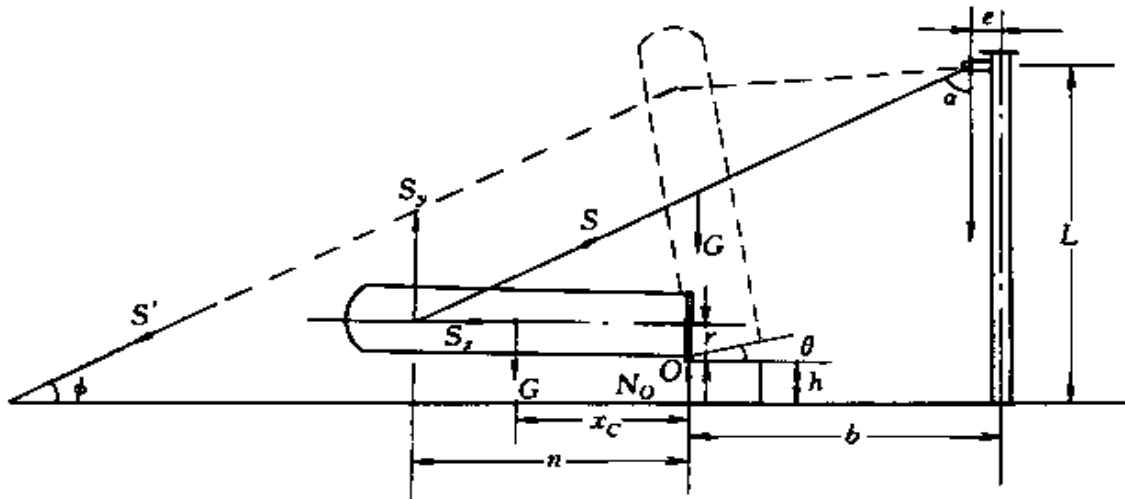


图 7-33 直立单桅杆板吊索具受力分析

- (2) 设备旋转支承点的水平推力

$$S_x = S \sin \alpha$$

- (3) 设备旋转支承点的垂直压力

$$N_0 = G - S \cos \alpha$$

- (4) 设备溜放力 S'

$$S' = \frac{Gr}{n \cos \phi}$$

式中 ϕ ——溜放绳与地面之间的夹角。

- (5) 临界角度的确定

$$\tan \theta = \frac{r}{x_c}$$

$$\theta = \arctan \frac{r}{x_c}$$

临界角是指设备重心力通过支承点的瞬间角度。式中 θ 是设备底

面与水平面的夹角，和垂直过支承点重心力与设备中心线夹角相等。

当设备板立至临界角时，后溜绳就得张紧，否则，设备就会在重心力作用下自由落下。

例：有一圆筒设备，直径 $\phi 4\text{m}$ ，高 38m ，总重量 800kN ，要求整体吊装于高 0.6m 的混凝土基础上。采用直立单桅杆板吊，试分析各部索具受力，如图7-34所示。

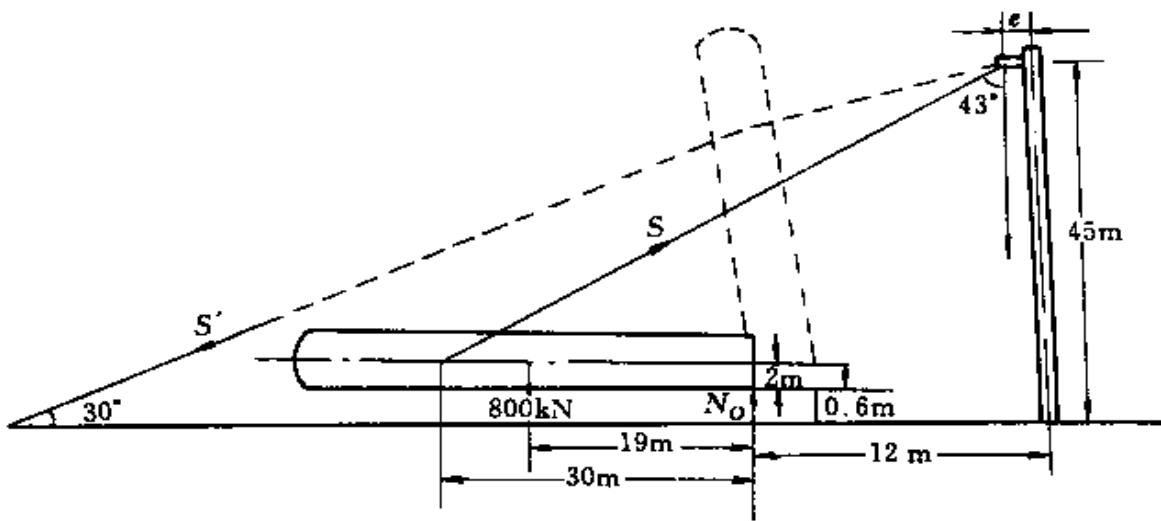


图 7-34 直立单桅杆板吊 800kN 设备

解：(1) 抬头时起板索具绳的拉力

$$S = \frac{800 \times 19}{\cos 43^\circ \times 30 + \sin 43^\circ \times 2} = \frac{15200}{21.942 + 1.364} = 652.193 \text{ kN}$$

(2) 设备旋转支承点的水平推力

$$S_x = S \sin \alpha = 652.193 \times \sin 43^\circ = 444.8 \text{ kN}$$

(3) 设备旋转支承点的垂直压力

$$N_O = 800 - 652.193 \times \cos 43^\circ = 323 \text{ kN}$$

(4) 设备溜放力

$$S' = \frac{800 \times 2}{30 \times \cos 30^\circ} = 61.586 \text{ kN}$$

(5) 临界角的确定

$$\theta = \arctan \frac{2}{19} = 6^\circ$$

8 桅杆底铺垫

8.1 桅杆基础的许用抗压应力

枕木可取 $[\sigma] = 210 \sim 300 \text{ N/cm}^2$;

水泥可取 $[\sigma] = 800 \sim 1000 \text{ N/cm}^2$ 。

8.2 桅杆垫底板的核算 (图 7-35)

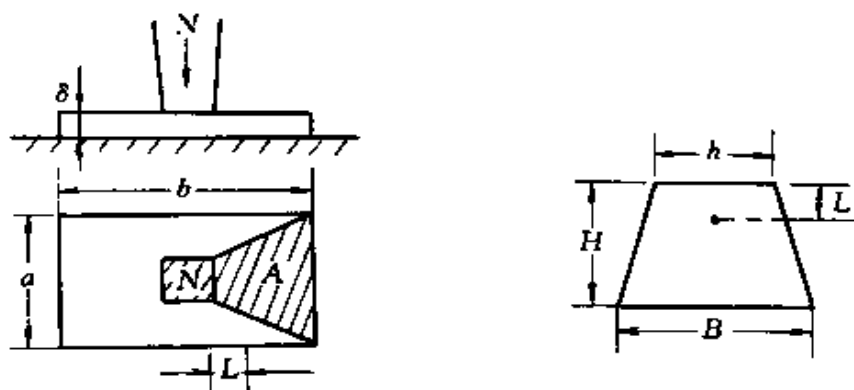


图 7-35 垫底板形式

(1) 梯形重心位置计算

$$L = \frac{H}{3} \left(\frac{h + 2B}{h + B} \right) \quad (7-60)$$

式中 L ——梯形上边到重心位置的距离, cm;

H ——梯形高度, cm;

h 、 B ——分别为梯形上、下底边, cm。

(2) 垫底板的抗压核算

① 等强度单位面积压力

$$g = \frac{N}{ab} \quad \text{N/cm}^2$$

② 悬臂部分板受压面积

$$A = \frac{(h + B)H}{2} \quad \text{cm}^2$$

③悬臂部分板压力重心位置

$$L = \frac{H}{3} \left(\frac{h+2B}{h+B} \right) \quad \text{cm}$$

④悬臂部分板所受的弯矩

$$M = gAL \quad \text{N} \cdot \text{cm}$$

⑤板抗弯截面系数

$$W = \frac{h\delta^2}{6} \quad \text{cm}^3$$

⑥板所受应力

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad \text{N/cm}^2$$

式中 g —— 垫底板上单位面积上的压力, N/cm^2 ;

N —— 桅杆根部压力, kN ;

a 、 b —— 分别为垫板的宽度和长度, m ;

A —— 悬臂部分梯形面积, cm^2 ;

M —— 悬臂部分板受的弯矩, $\text{N} \cdot \text{cm}$;

W —— 板的抗弯截面系数, cm^3 ;

δ —— 板的厚度, cm ;

σ —— 板受到的应力, 临时性使用时可以提高能力 30%, $\sigma \leq [\sigma]$, N/cm^2 。

例: 如图 7-36 所示, 已知桅杆底座 $1.6\text{m} \times 1.6\text{m}$, 压力 2000kN , 垫底板 $3.2\text{m} \times 4\text{m}$, 厚 $\delta = 80\text{mm}$, 试核算垫底板能否满足需要。

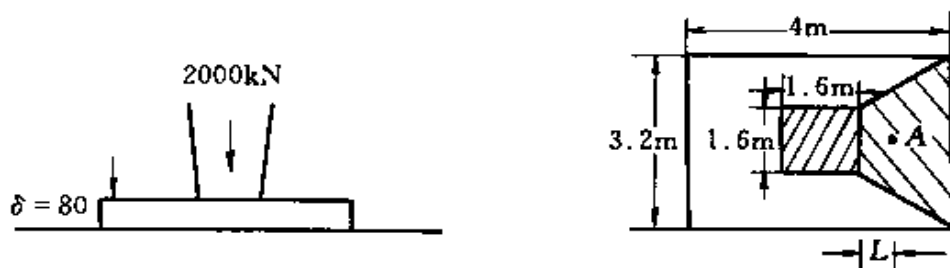


图 7-36 桅杆垫底板形式

解：(1) 等强度单位面积压力

$$g = \frac{2000 \cdot 000}{320 \times 400} = 15.625 \text{N/cm}^2$$

(2) 悬臂部分板受压面积

$$A = \frac{(160 + 320) \times 120}{2} = 28800 \text{cm}^2$$

(3) 悬臂部分板压力重心位置

$$L = \frac{120}{3} \times \left(\frac{160 + 640}{480} \right) = 66.67 \text{cm}$$

(4) 悬臂部分板所受弯矩

$$M = 15.625 \times 28800 \times 66.67 = 30001500 \text{N} \cdot \text{cm}$$

(5) 板抗弯截面系数

$$W = \frac{160 \times 8^3}{6} = 1706.7 \text{cm}^3$$

(6) 板受到的应力

$$\sigma = \frac{30001500 \times 0.7}{1706.7} = 12305 < 16000 \text{N/cm}^2$$

故此板能满足使用。

独木桅杆、两木搭、独钢管桅杆、钢管人字架、角钢结构桅杆的规格和能力分别见表 7-14~表 7-18。

表 7-14 独木桅杆的规格和能力

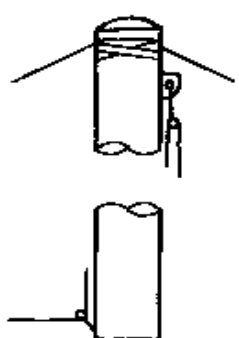
简 图	项 目	起 重 量, kN											
		30				50				80			
	桅杆高度 H, m	6	8	11	13	6	8	11	13	6	8	11	13
	小头直径 cm	16	18	20	22	18	21	23	27	26	28	31	32

表 7-15 两木搭的规格和承载力

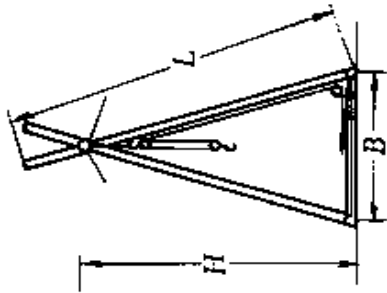
简 图	项 目	起 重 量, k.N																						
		30			50			80			100			130			150							
	有效高度 H , m	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12	6	8	10	12			
	底脚宽度 B , m	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6			
	木杆长度 L , m	6.5	8.5	11	12.8	6.5	8.5	11	12.8	6.5	8.5	11	12.8	6.5	8.5	11	12.8	6.5	8.5	11	12.8			
	小头直径 cm	12	14	16	18	14	16	18	20	16	18	20	21	18	20	21	20	22	24	26	21	23	25	27

表 7-16 独钢管桅杆的规格和能力

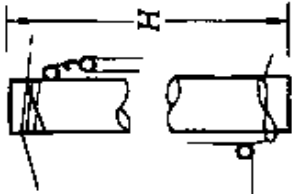
筒 图	起重能力 kN	桅 杆 高 度, m				
		8	10	15	20	25
	30	φ159×4.5	φ159×6	φ159×8	φ159×10	φ219×7
	50	φ159×6	φ159×8	φ219×7	φ219×8	φ219×10
	100	φ219×7	φ219×8	φ273×8	φ325×8	φ325×10
	150	φ273×7	φ273×8	φ325×8	φ377×8	φ426×8
	200	φ273×8	φ273×10	φ325×10	φ426×8	φ426×10

表 7-17 钢管人字架的规格和能力

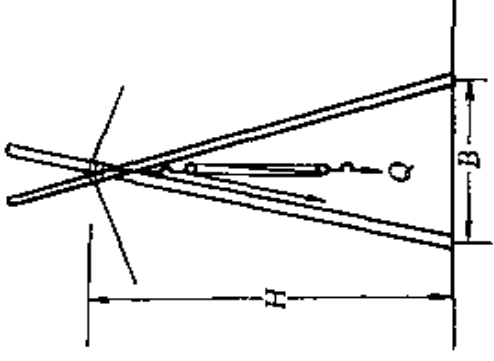
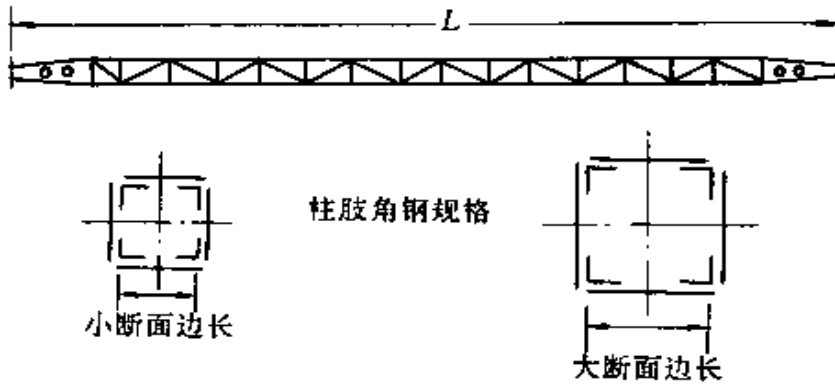
简图	高度 H , m		跨度 B , m		8	10	15	20	25
	钢管规格, mm	起重量, kN	8	10	15	20	25	30	35
									
	50		$\phi 133 \times 4$	$\phi 159 \times 4.5$	$\phi 159 \times 6$	$\phi 159 \times 8$	$\phi 159 \times 10$	$\phi 159 \times 12$	$\phi 159 \times 14$
	100		$\phi 159 \times 4.5$	$\phi 159 \times 6$	$\phi 159 \times 8$	$\phi 159 \times 10$	$\phi 159 \times 12$	$\phi 159 \times 14$	$\phi 159 \times 16$
	150		$\phi 159 \times 8$	$\phi 159 \times 10$	$\phi 219 \times 8$	$\phi 219 \times 10$	$\phi 219 \times 12$	$\phi 219 \times 14$	$\phi 219 \times 16$
	200		$\phi 159 \times 10$	$\phi 219 \times 7$	$\phi 219 \times 10$	$\phi 219 \times 12$	$\phi 219 \times 14$	$\phi 219 \times 16$	$\phi 219 \times 18$
	300		$\phi 219 \times 7$	$\phi 219 \times 10$	$\phi 273 \times 10$	$\phi 273 \times 12$	$\phi 273 \times 14$	$\phi 273 \times 16$	$\phi 273 \times 18$
	400		$\phi 219 \times 10$	$\phi 273 \times 8$	$\phi 325 \times 10$	$\phi 325 \times 12$	$\phi 325 \times 14$	$\phi 325 \times 16$	$\phi 325 \times 18$

表 7-18 角钢结构桅杆的规格和能力



柱肢角钢规格

小断面边长

大断面边长

桅杆长度 L m	最大与最小断面边长, m	柱肢角钢规格 mm	桅杆自重 kN	吊装能力 kN
55	□1.2; □0.65	└ 150×150×18	280	700
46	□1.2; □0.65	└ 150×150×18	240	950
51	□1.2; □0.6	└ 150×150×16	210	700
45	□1.2; □0.6	└ 150×150×16	190	800
50	□1.2; □0.6	└ 150×150×12	200	600
42	□1.2; □0.6	└ 150×150×12	165	750
44	□1.2; □0.6	└ 130×130×14	155	500
37	□1.2; □0.6	└ 130×130×14	138	550
30	□1.2; □0.6	└ 130×130×14	110	600
44	□1.0; □0.54	└ 120×120×12	122	400
37	□1.0; □0.54	└ 120×120×12	107	450
30	□1.0; □0.54	└ 120×120×12	92	550
44	□1.0; □0.5	└ 100×100×12	97	350
37	□1.0; □0.5	└ 100×100×12	85	400
30	□1.0; □0.5	└ 100×100×12	73	450
44	□0.9; □0.5	└ 100×100×10	91	280
37.5	□0.9; □0.5	└ 100×100×10	80	350
31	□0.9; □0.5	└ 100×100×10	69	400
34	□0.7; □0.4	└ 90×90×10	65	180
27	□0.7; □0.4	└ 90×90×10	54	290
21	□0.7; □0.4	└ 90×90×10	43	390

第 8 章 附 录

1 起重吊装指挥信号 (GB 5082—85)

1.1 笛语

一长音—准备工作或停止工作。

两短音—起升。

三短音—下落或松脱。

1.2 旗语

起升—绿旗举起肩上左右微摆。

下落—绿旗下垂腹前上下微摆。

微起—绿旗举起胸前红旗横挡上方。

微落—绿旗下垂胸前红旗横挡下方。

大松脱—绿旗下垂腹下大幅度摆动。

臂杆抬起—红旗举起肩上左右微摆。

臂杆下落—红旗下垂腹前上下微摆。

臂杆转向—红旗横指所转方向。

伸臂杆—红绿旗握紧举至胸前旗尖朝外，做相斥动作。

缩臂杆—红绿旗握紧至腹前旗尖相对朝下，做相对运动。

立即停止—红旗在胸前左右大摆动。

工作结束—红绿旗交叉举过头顶。

1.3 通用手势信号

预备—手臂伸直置于头上方，五指自然伸开，手心朝前保持不动。

吊钩上升—小臂向侧上方伸直，五指自然伸开，高于肩部，以腕部为轴转动。

吊钩下降—手臂伸向侧前下方，与身体夹角约为 30° ，五指自然伸开，以腕部为轴转动。

吊钩水平移动—小臂向侧上方伸直，五指并拢手心朝外，在负载应运行的方向，向下挥动到与肩相平的位置。

吊钩微微上升—小臂伸向侧前上方，手心朝上高于肩部，以腕部为轴向上摆动手掌。

吊钩微微下降—手臂伸向侧前下方，与身体夹角约为 30° ，手心朝下，以腕部为轴向下摆动手掌。

吊钩水平微微移动—小臂向侧上方伸直，五指并拢手心朝外，在负载应运行方向做缓慢的水平运动。

停止—小臂水平置于胸前，五指伸开，手心朝下，水平挥向一侧。

紧急停止—两小臂水平置于胸前，五指伸开，手心朝下，同时水平挥向两侧。

微动范围—双手小臂曲起，伸向一侧，五指伸直，手心相对，在表示移动相应距离内保持不动。

要主钩—单手自然握掌置于头上，轻触头顶。

要副钩—一只手小臂向上曲伸不动，另一只手伸出，手心轻触前只手的肘关节。

指示降落方位—五指伸直，指出负载应降落的位置。

工作结束—双手五指伸开在脸前交叉，向两侧展开。

1.4 专用手势信号

升臂—手臂向一侧水平伸直，拇指朝上，余指握拢，小臂向上摆动。

降臂—手臂向一侧水平伸直，拇指朝下，余指握拢，小臂向下摆动。

转臂—手臂水平伸直，指向应转臂的方向，拇指伸出，余指握拢，以腕部为轴转动。

微微升臂—一只手的小臂置于胸前一侧，五指伸直，手心朝下，保持不动。另一只手的拇指对着前手手心，余指握拢，做上下移动。

微微降臂—一只手的小臂置于胸前一侧，五指伸直，手心朝上，保持不动。另一只手的拇指对着前手手心，余指握拢，做上下移动。

微微转臂—一只手的小臂向前伸直，手心自然指向一侧，另一只

手的拇指指向前只手的手心，余指握拢做转动。

起重机机架前进—手臂向前方伸出，小臂曲起，五指并拢，手心对着自己，做前后运动。

起重机机架后退—小臂向上曲起，五指并拢，手心朝向起重机，做前后运动。

伸臂—两手分别抱拳，拳心朝上，拇指分别指向两侧，做相斥运动。

缩臂—两手分别抱拳，拳心朝下，拇指对指，做相对运动。

抓取—两手小臂分别置于侧前方，手心相对，由两侧向中间摆动。

释放—两手小臂分别置于侧前方，手心朝外，两臂分别向两侧摆动。

翻转—一只手小臂向前曲起，手心朝上，另一只手小臂向前伸出，手心朝下，双手同时进行翻转。

1.5 船舶起货机专用手势信号

微速起钩—两小臂水平伸向侧前方，五指伸开，手心朝上，以腕部为轴向上摆动。当要求双车以不同的速度起升时，指挥起升速度快的手要高于另一只手。

慢速起钩—双手小臂水平伸向侧前方，五指伸开，手心朝上，小臂以肘部为轴向上摆动。当要求双车以不同速度起升时，指挥起升速度快的手要高于另一只手。

全速起钩—两臂下垂，五指伸开，手心朝上，全臂向上挥动。

微速落钩—两手小臂水平伸向侧前方，五指伸开，手心朝下，手以腕部为轴向下摆动。当要求双车以不同的速度降落时，指挥降落速度快的手要低于另一只手。

慢速落钩—两小臂水平伸向侧前方，五指伸开，手心朝下，小臂以肘部为轴向下摆动。当要求双车以不同的速度降落时，指挥降落速度快的手要低于另一只手。

全速落钩—两臂伸向侧上方，五指伸出，手心朝下，全臂向下挥动。

一方停车，一方起钩—指挥停车的手臂作“停止”手势；指挥起

钩的手臂则作相应速度的起钩手势。

一方停车，一方落钩—指挥停车的手臂作“停止”手势；指挥落钩的手臂则作相应速度的落钩手势。

2 常用材料密度表

材料名称	密度, g/cm ³	材料名称	密度, g/cm ³
钢材	7.85	焦炭	0.27
铸钢	7.8	素混凝土	2.0
灰口铸铁	6.6~7.4	钢筋混凝土	2.3~2.5
紫铜	8.9	耐火混凝土	2.2~2.5
黄铜	8.8	花岗石	2.6~3.0
铝	2.77	红松	0.44
铝合金	2.67~2.8	落叶松	0.625
铸造铝合金	2.6~2.85	杉木	0.376
铸锌	6.86	水曲柳	0.686
锡	7.3	榆木	0.548
铅板	11.37	楠木	0.610
锡基轴承合金	7.34~7.75	柞木	0.766
铅基轴承合金	9.33~10.67	竹材	0.90
汞	13.6	石灰石	2.6~2.8
镍	8.9	汽油	0.66~0.75
锰	7.44	柴油	0.78~0.82
镁	1.74	煤	1.2~1.8
锌	6.872	聚乙烯	0.91~0.95

3 常用金属材料机械性能

材料名称	牌 号	屈服极限 MPa	强度极限 MPa	延伸率 %
普通碳素 钢	Q235	235	372~392	27~25
	Q275	274	490~519	21~19
优质碳素 钢	35	314	529	20
	45	353	598	17

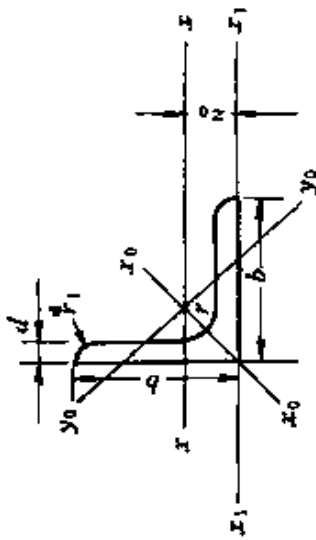
续表

材料名称	牌 号	屈服极限 MPa	强度极限 MPa	延伸率 %
低合金结 构钢	16Mn	343	510	21~19
	15MnV	412	549	19~17
合金结构 钢	40Cr	784	980	15~9
	30CrMnSiA	833	1078	16~10
球墨铸铁	QT45-5	323	450	5
	QT60-2	412	600	2
灰口铸铁	HT15-33	—	100~280(拉) 650(压)	0.2~0.7
	HT20-40	—	160-320(拉) 750(压)	
铝合金	LY11	108~236	206~412	19
	LD9	274	412	7
铜合金	QSn4-4-4	295	305	29
	QA19-4	196	490~590	

4 常用木材机械性能

名 称	含水率 15%时的应力,MPa		
	纵向极限应力	纵向许用应力	径向许用剪力
红 松	30.5	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一
落叶松	50.0	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一
柏 木	52.0	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一
榆 木	38.0	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一
杉 木	35.0	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一
楠 木	40.0	为极限应力的四分之一	为极限应力的七分之一

5 热轧等边角钢(YB 166--65)



b ——边宽;
 r ——内圆弧半径;
 J ——惯性矩;
 W ——截面系数;
 d ——边厚;
 r_1 ——端内圆弧半径;
 ρ ——惯性半径;
 z_0 ——重心至相应边距离

角钢 号数	尺寸,mm		截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	外表 面积 m ² /m	参 考 数 值											
	b	d				$x-x$			x_0-x_0			y_0-y_0			J_{x1}	z_0 cm	
						J_x cm ⁴	ρ_x cm	W_x cm ³	J_{x_0} cm ⁴	ρ_{x_0} cm	W_{x_0} cm ³	J_{y_0} cm ⁴	ρ_{y_0} cm	W_{y_0} cm ³			J_{y1} cm ⁴
2	20	3	1.132	0.889	0.078	0.40	0.59	0.29	0.63	0.75	0.45	0.17	0.39	0.20	0.81	0.60	
	4	4	1.459	1.145	0.077	0.50	0.58	0.36	0.78	0.73	0.55	0.22	0.38	0.24	1.09	0.64	
2.5	25	3	1.432	1.124	0.098	0.82	0.76	0.46	1.29	0.95	0.73	0.34	0.49	0.33	1.57	0.73	
	4	4	1.859	1.459	0.097	1.03	0.74	0.59	1.62	0.93	0.92	0.43	0.48	0.40	2.11	0.76	
3.0	30	3	1.749	1.373	0.117	1.46	0.91	0.68	2.31	1.15	1.09	0.61	0.59	0.51	2.71	0.85	
	4	4	2.276	1.786	0.117	1.84	0.90	0.87	2.92	1.13	1.37	0.77	0.58	0.62	3.63	0.89	
3.6	36	3	2.109	1.656	0.141	2.58	1.11	0.99	4.09	1.39	1.61	1.07	0.71	0.76	4.68	1.00	
	4	4	2.756	2.163	0.141	3.29	1.09	1.28	5.22	1.38	2.05	1.37	0.70	0.93	6.25	1.04	
	5	5	3.382	2.654	0.141	3.95	1.08	1.56	6.24	1.36	2.45	1.65	0.70	1.09	7.84	1.07	

续表

角钢 号数	尺寸, mm		截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	外表 面积 m ² /m	参 考 数 值												z ₀ cm
	b	d				x-x			y ₀ -y ₀			x ₁ -x ₁						
						J, cm ⁴	W, cm ³	J _{x0} , cm ⁴	ρ _{x0} , cm	W _{x0} , cm ³	J _{y0} , cm ⁴	ρ _{y0} , cm	W _{y0} , cm ³	J _{x1} , cm ⁴				
4	3		2.359	1.852	0.157	3.59	1.23	5.69	1.55	2.01	1.49	0.79	0.96	6.41	1.09			
	4	40	3.086	2.422	0.157	4.60	1.22	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	8.76	1.52	3.10	2.30	0.78	1.39	10.74	1.17			
4.5	3	5	2.659	2.088	0.177	5.17	1.40	8.20	1.76	2.58	2.14	0.90	1.24	9.12	1.22			
	4	45	3.486	2.736	0.177	6.65	1.38	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	12.74	1.72	4.00	3.33	0.88	1.81	15.25	1.30			
5	3	6	5.076	3.985	0.176	9.33	1.36	14.76	1.70	4.64	3.89	0.88	2.06	18.36	1.33			
	4	50	2.971	2.332	0.197	7.18	1.55	11.37	1.96	3.22	2.98	1.00	1.57	12.50	1.34			
	5		3.897	3.059	0.197	9.26	1.54	14.70	1.94	4.16	3.82	0.99	1.96	16.69	1.38			
5.6	3	6	4.803	3.770	0.196	11.21	1.53	17.79	1.92	5.03	4.64	0.98	2.32	20.90	1.42			
	4	55	5.688	4.465	0.196	13.05	1.52	20.68	1.91	5.85	5.42	0.98	2.63	25.14	1.46			
	5		3.343	2.624	0.221	10.19	1.75	16.14	2.20	4.08	4.24	1.13	2.02	17.56	1.48			
6	3	6	4.390	3.446	0.220	13.18	1.73	20.92	2.18	5.28	5.46	1.11	2.52	23.43	1.53			
	4	60	5.415	4.251	0.220	16.02	1.72	25.42	2.17	6.42	6.61	1.10	2.98	29.33	1.57			
	5		8.367	6.568	0.219	23.63	1.68	37.37	2.11	7.44	9.89	1.09	4.16	47.24	1.68			
6.3	3	7	4.978	3.907	0.248	19.03	1.96	30.17	2.46	6.78	7.89	1.26	3.29	33.35	1.70			
	4	63	6.143	4.822	0.248	23.17	1.94	36.77	2.45	8.25	9.57	1.25	3.96	41.73	1.74			
	5		7.288	5.721	0.247	27.12	1.93	43.03	2.43	9.66	11.20	1.24	4.46	50.14	1.78			
8	3	10	9.515	7.469	0.247	34.46	1.90	54.56	2.40	12.25	14.33	1.23	5.47	67.11	1.85			
	4		11.657	9.151	0.246	41.09	1.88	64.85	2.36	14.56	17.33	1.22	6.36	84.31	1.93			

续表

角钢 号数	尺寸, mm		截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	外表 面积 m ² /m	参 考 数 值											
						J-T			J ₀ -J ₀			y ₀ -y ₀			J ₁ -J ₁		
						J _T cm ⁴	ρ _T cm	W _T cm ³	J ₀ cm ⁴	ρ ₀ cm	W ₀ cm ³	J ₁ cm ⁴	ρ ₁ cm	W ₁ cm ³	β ₀ cm	J ₀ β ₀ cm ⁴	J ₁ β ₁ cm ⁴
7	70	8	4	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	5.397	0.275	32.31	2.16	6.32	51.08	2.73	10.32	13.34	1.39	4.95	57.21	1.91	
			6	6.406	0.275	37.77	2.15	7.48	59.93	2.74	12.11	15.61	1.38	5.67	68.73	1.95	
			7	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	
7.5	75	8	8	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	
			5	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	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	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	80	8	8	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	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	
			5	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	7.376	0.314	57.35	2.47	9.87	90.98	3.11	16.08	23.72	1.59	7.65	102.52	2.19	
9	90	8	8	10.946	0.314	65.58	2.46	11.37	104.07	3.10	18.40	27.09	1.58	8.58	119.70	2.23	
			10	12.303	0.314	73.49	2.44	12.33	116.60	3.08	20.61	30.39	1.57	9.46	136.97	2.27	
			5	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	
			6	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	
9	90	10	8	13.944	0.353	106.47	2.76	16.42	168.97	3.48	25.55	43.93	1.78	12.35	194.80	2.52	
			10	17.476	0.353	128.58	2.74	20.07	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	244.07	2.59	
			5	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	
			6	18.940	0.352	171.74	2.70	27.12	271.74	3.38	42.76	74.77	1.74	19.08	344.07	2.74	

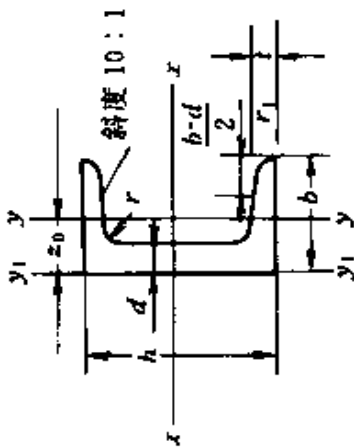
续表

角钢 号数	尺寸, mm		截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	外表 面积 m ² /m	参 考 数 值												z ₀ cm
	b	d				x-x			x ₀ -x ₀			y ₀ -y ₀			J _{x1} -J _{y1}			
						J _x cm ⁴	ρ _x cm	W _x cm ³	J _{x0} cm ⁴	ρ _{x0} cm	W _{x0} cm ³	J _{y0} cm ⁴	ρ _{y0} cm	W _{y0} cm ³				
10	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		13.796	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		
11	16		29.627	23.257	0.390	262.53	2.98	37.82	414.16	3.74	58.57	110.89	1.94	25.53	539.80	3.06		
	7		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	19.780	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	8		9.750	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		
	10		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	1099.28	3.90		
14	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	38.393	0.549	770.24	4.26	77.46	1221.81	5.36	123.42	318.67	2.74	55.55	1470.07	4.06		

续表

角钢 号数	尺寸, mm		截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	外表 面积 m ² /m	参 考 数 值											
	b	d				I-I			x ₀ -x ₀			y ₀ -y ₀			x ₁ -x ₁		z ₀ cm
						J _x cm ⁴	p _x cm	W _x cm ³	J _{x₀} cm ⁴	p _{x₀} cm	W _{x₀} cm ³	J _{y₀} cm ⁴	p _{y₀} cm	W _{y₀} cm ³	J _{x₁} cm ⁴		
16	160	10	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	43.296	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	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	115.25	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	3502.43	5.13	
20	200	14	54.642	42.894	0.788	2103.55	6.20	144.70	3343.26	7.82	236.40	863.83	3.98	111.84	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	146.65	5347.51	5.69	
		24	90.661	71.168	0.785	3338.25	6.07	236.17	5294.97	7.64	379.41	1381.53	3.90	166.55	6457.16	5.87	

6 热轧普通槽钢 (GB 707-65)



h ——高度;
 d ——腰厚;
 r ——内圆弧半径;
 J ——惯性矩;
 ρ ——惯性半径;
 b ——腿宽;
 t ——平均腿厚;
 r_1 ——腿端圆弧半径;
 W ——截面系数;
 z_0 ——重心距离

型号	尺寸, mm						理论重量 kg/m	截面面积 cm ²	参考数值							
	h	b	d	t	r	r_1			x-x			y-y			y_1, y_2	z_0 cm
									J_x cm ⁴	W_x cm ³	ρ_x cm	J_y cm ⁴	W_y cm ³	ρ_y cm		
5	50	37	4.5	7	7	3.5	6.93	5.44	26	10.4	1.94	8.3	3.55	1.1	20.9	1.35
6.3	63	40	4.8	7.5	7.5	3.75	8.444	6.63	50.786	16.123	2.453	11.872	4.50	1.185	28.36	1.36
6.5	65	40	4.8	7.5	7.5	3.75	8.54	6.70	55.2	17.0	2.54	12.0	4.59	1.19	28.3	1.38
8	80	43	5	8	8	4	10.24	8.04	101.3	25.3	3.15	16.6	5.79	1.27	37.4	1.43
10	100	48	5.3	8.5	8.5	4.25	12.74	10	198.3	39.7	3.95	25.6	7.8	1.41	54.9	1.52
12	120	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.36	12.06	346.3	57.7	4.75	37.4	10.17	1.56	77.7	1.62
12.6	126	53	5.5	9.0	9.0	4.5	15.69	12.37	391.466	62.137	4.953	37.99	10.242	1.567	77.09	1.59

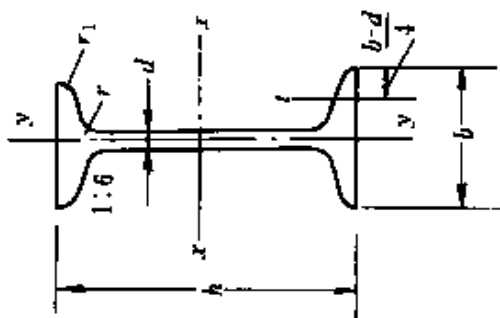
续表

型号	尺寸, mm						截面面积 cm ²	理论重量 kg/m	参考数值									
	h	b	d	t	r	r ₁			x-x				y-y				y ₁ -y ₁ cm ⁴	z ₀ cm
									J _x cm ⁴	W _x cm ³	ρ _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	ρ _y cm	J _{x1} cm ⁴			
14 b	58	6	9.5	9.5	4.75		18.51	14.53	80.5	5.52	53.2	13.01	1.7	107.1	1.71			
	60	8					21.31	16.73	87.1	5.35	61.1	14.12	1.69	120.6	1.69			
16 b	63	6.5	10	10	5		21.95	17.23	108.3	6.28	73.3	16.3	1.83	144.1	1.8			
	65	8.5					25.15	19.74	116.8	6.1	83.4	17.55	1.82	160.8	1.75			
18 b	68	7	10.5	10.5	5.25		25.69	20.17	141.4	7.04	98.6	20.03	1.93	189.7	1.88			
	70	9					29.29	22.99	152.2	6.84	111	21.52	1.95	210.1	1.84			
20 b	73	7	11	11	5.5		28.83	22.63	178	7.86	128	24.2	2.11	244	2.01			
	75	9					32.83	25.77	191.4	7.64	143.6	25.88	2.09	268.4	1.95			
22 b	77	7	11.5	11.5	5.75		31.84	22.99	217.6	8.67	157.8	28.17	2.23	298.2	2.1			
	79	9					36.45	28.45	233.8	8.42	176.4	30.05	2.21	326.3	2.03			
24 b	78	7					34.21	26.55	354.3	9.45	173.8	30.47	2.25	324.6	2.10			
	80	9	12	12	6		39.00	30.62	273.5	9.17	194.1	32.51	2.23	354.8	2.03			
25 b	82	11					43.81	34.39	292.7	8.96	213.4	34.42	2.21	388.1	2.00			
	82	11					34.91	27.47	3369.62	9.823	175.529	30.607	2.243	322.256	2.065			
27 b	78	7					39.91	31.39	282.402	9.405	196.421	32.657	2.218	353.187	1.932			
	80	9	12	12	6		44.91	35.32	295.236	9.065	218.415	35.926	2.206	384.133	1.921			
27 b	82	7.5					39.27	30.83	323.1	10.54	215.6	35.5	2.34	393.1	2.13			
	84	9.5	12.5	12.5	6.25		44.67	35.07	347.4	10.25	239.2	37.72	2.31	428.2	2.06			
27 b	86	11.5					50.07	39.30	371.7	10.10	261.1	39.79	2.28	466.8	2.03			

续表

型号	尺寸, mm						截面 面积 cm ²	理论 重量 kg/m	参 考 数 值							
	h	b	d	t	r	r ₁			x-x			y-y			y ₁ -y ₁ cm ⁴	ε _u cm
									J _x cm ⁴	W _x cm ³	ρ _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	ρ _y cm		
a		82	7.5				40.02	31.42	4764.59	340.328	10.91	217.989	35.718	2.333	387.566	2.097
28 b	280	84	9.5	12.5	12.5	6.25	45.62	35.81	5130.45	366.46	10.6	242.144	37.929	2.304	427.589	2.016
c		86	11.5				51.22	40.21	5196.32	392.594	10.35	267.602	40.301	2.286	462.597	1.951
a		85	7.5				43.89	34.45	6047.9	403.2	11.72	259.5	41.10	2.43	466.5	2.17
30 b	300	87	9.5	13.5	13.5	6.75	49.59	39.16	6497.9	433.2	11.42	289.2	44.03	2.41	515.2	2.13
c		89	11.5				55.89	43.61	6947.9	463.2	11.15	315.8	46.38	2.38	559.7	2.09
a		88	8				48.7	38.22	7598.06	474.879	12.49	304.787	46.473	2.502	552.31	2.242
32 b	320	90	10	14	14	7	55.1	43.25	8144.2	509.012	12.15	336.332	49.157	2.471	592.933	2.158
c		92	12				61.5	48.28	8690.33	543.145	11.88	374.175	52.642	2.467	643.299	2.092
a		96	9				60.89	47.8	11874.2	659.7	13.97	455	63.54	2.73	818.4	2.44
36 b	360	98	11	16	16	8	68.09	53.45	12651.8	702.9	13.63	496.7	66.85	2.7	880.4	2.37
c		100	13				75.29	50.1	13429.4	746.1	13.36	536.4	70.02	2.67	947.9	3.34
a		100	10.5				75.05	58.91	17577.9	878.9	15.3	529	78.83	2.81	1067.7	2.49
40 b	400	102	12.5	18	18	9	83.05	65.19	18644.5	932.2	14.98	640	82.52	2.78	1135.6	2.44
c		104	14.5				91.05	71.47	19711.2	985.6	14.71	687.8	86.19	2.75	1220.7	2.42

7 热轧普通工字钢(GB 706-65)



h ——高度;
 d ——腹厚;
 r_1 ——端圆弧半径;
 t ——平均腹厚;
 ρ ——惯性半径;
 F ——截面面积;
 b ——腿宽;
 r ——内圆弧半径;
 J_x ——惯性矩;
 W_x ——截面系数;
 S_x ——半截面的静力矩;
 G_0 ——理论重量

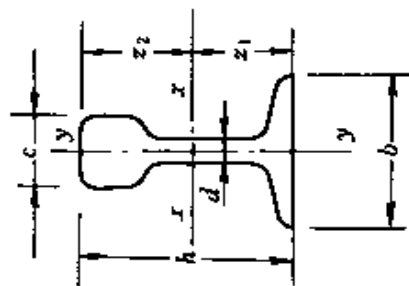
型号	尺寸, mm							参考数值							
	h	b	d	t	r	r_1	F cm ²	G_0 kg/m	$x-x$			$y-y$			
									J_x cm ⁴	W_x cm ³	ρ_x cm	$\frac{J_x}{S_x}$	J_y cm ⁴	W_y cm ³	ρ_y cm
10	100	68	4.5	7.6	6.5	3.3	14.3	11.2	49	4.14	8.59	33	4.72	1.52	
12	120	74	5.0	8.4	7.0	3.5	17.8	14.0	72.7	4.95	10.3	46.9	12.7	1.62	
12.6	126	74	5.0	8.4	7.0	3.5	18.3	14.2	488.43	77.529	5.195	10.85	46.906	1.609	
14	140	80	5.5	9.1	7.5	3.8	21.5	16.9	102	5.76	12	64.4	16.1	1.78	
16	160	88	6.0	9.9	8.0	4.0	26.1	20.5	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	185	7.36	15.4	122	26	2	

续表

型号	尺寸, mm						G_0 kg/m	参 考 数 值						
	h	b	d	l	r	r_1		F cm ²	$x-x$			$y-y$		
									J_x cm ⁴	W_x cm ³	ρ_x cm	$\frac{J_x}{S_x}$	J_y cm ⁴	W_y cm ³
20 ^a b	200	100	7.0	11.4	9.0	4.5	35.5	2370	237	8.15	17.2	158	31.5	2.12
		102	9.0				39.5	2500	250	7.96	16.9	169	33.1	2.06
22 ^a b	220	110	7.5	12.3	9.5	4.8	42	3400	309	8.99	18.9	225	40.9	2.31
		112	9.5				46.4	3570	325	8.78	18.7	239	42.7	2.27
24 ^a b	240	116	8.0	13.0	10.0	5.0	47.7	4570	381	9.77	20.7	280	48.4	2.42
		118	10.0				52.6	4800	400	9.57	20.4	297	50.4	2.38
25 ^a b	250	116	8.0	13.0	10.0	5.0	48.5	5023.54	401.88	10.18	21.58	280.046	48.283	2.403
		118	10.0				53.5	5283.96	422.72	9.938	21.27	308.297	52.423	2.404
27 ^a b	270	122	8.5	13.7	10.5	5.3	54.6	6550	485	10.9	23.8	345	56.6	2.51
		124	10.5				60.0	6870	509	10.7	22.9	366	58.9	2.47
28 ^a b	280	122	8.5	13.7	10.5	5.3	55.45	7114.14	508.15	11.32	24.62	345.051	56.565	2.495
		124	10.5				61.05	7480	534.29	11.08	24.24	379.496	61.209	2.493
a		126	9.0				61.2	8950	597	12.1	25.7	400	63.5	2.55
30 ^b c	300	128	11.0	14.4	11.0	5.5	67.2	9400	627	11.8	25.4	422	65.9	2.50
		130	13.0				73.4	9850	657	11.6	25.0	445	68.5	2.46
a		130	9.5				67.05	11075.5	692.2	12.84	27.46	459.93	70.758	2.619
32 ^b c	320	132	11.5	15.0	11.5	5.8	73.45	11621.4	726.33	12.58	27.09	501.53	75.989	2.614
		134	13.5				79.95	12167.5	760.47	12.34	26.77	543.81	81.166	2.608

型号	尺寸, mm						G_n kg/m	参 考 数 值					
	h	b	d	t	r	r_1		x-x			y-y		
								J_x cm ⁴	W_x cm ³	ρ_x cm	$\frac{J_x}{S_x}$	J_y cm ⁴	W_y cm ³
a	136	10					59.9	875	14.4	30.7	552	81.2	2.69
36 b	360	138	12	15.8	12.0	6.0	65.6	919	14.1	30.3	582	84.3	2.64
c	140	14					71.2	962	13.8	29.9	612	87.4	2.6
a	142	10.5					67.6	1090	15.9	34.1	660	93.2	2.77
40 b	400	144	12.5	16.5	12.5	6.3	73.8	1140	15.6	33.6	692	96.2	2.71
c	146	14.5					80.1	1190	15.2	33.2	727	99.6	2.65
a	150	11.5					80.4	1430	17.7	38.6	855	114	2.89
45 b	450	152	13.5	18	13.5	6.8	87.4	1500	17.4	38.0	894	118	2.84
c	154	15.5					94.5	1570	17.1	37.6	938	122	2.79
a	158	12					93.6	1860	19.7	42.8	1120	142	3.07
50 b	500	160	14	20	14	7	101	1940	19.4	42.4	1170	146	3.01
c	162	16					109	2080	19	41.8	1220	151	2.96
a	166	12.5					105	2290	21.6	46.9	1370	164	3.19
55 b	550	168	14.5	21	14.5	7.3	114	2390	21.2	46.4	1420	170	3.14
c	170	16.5					123	2490	20.9	45.8	1480	175	3.08
a	166	12.5					106.2	2342.31	22.02	47.73	1370.16	165.08	3.182
56 b	560	168	14.5	21	14.5	7.3	115	2446.69	21.63	47.17	1486.75	174.25	3.162
c	170	16.5					123.9	2551.41	21.27	46.66	1558.39	183.34	3.158
a	176	13					121.6	2981.47	24.62	54.17	1700.55	193.24	3.314
63 b	630	178	15	22	15	7.5	131.5	3163.98	24.2	53.51	1812.07	203.6	3.289
c	180	17					141	3298.42	23.82	52.92	1924.91	213.88	3.268

8 钢轨



轻轨(YB 222--63);起重钢轨(YB 172-63);重轨(GB 186--63
(38kgf),GB 182--63(43kgf),GB 181--63(50kgf))

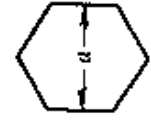
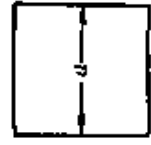
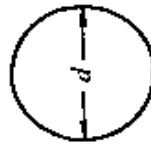
类别	品种标号	断面尺寸, mm				标准长度 m	F cm ²	G ₀ kg/m	重心距离, cm		J _x cm ⁴	W, cm ³		J _y cm ⁴	W ₃ = $\frac{J_y}{b} \frac{1}{2}$ cm ³
		高 h	底宽 b	头宽 c	腰厚 d				至轨底至轨顶 z ₁	z ₂		轨底 W ₁ = $\frac{J_x}{z_1}$	W ₂ = $\frac{J_x}{z_2}$		
轻 轨	18kg/m	90	80	40	10	7~12	23.07	18.06	4.29	4.71	240	56.1	51	41.1	10.3
	24kg/m	107	90	50	10.9	7~12	31.24	24.95	5.305	5.395	436	91.64	90.12	80.46	17.88
重 轨	38kg/m	134	114	68	13	12.5;25	49.5	38.733	6.67	6.73	1204.4	180.6	178.9	209.3	36.7
	43kg/m	140	114	70	14.5	12.5;25	57.0	44.653	6.9	7.1	1489	217.3	203.3	260.0	45.6
	50kg/m	150	132	70	15.5	12.5;25	65.8	51.514	7.1	8.1	2037	287.2	251.3	377.0	57.1

续表

类别	品种标号	断面尺寸, mm			标准长度 m	F cm ²	G ₀ kg/m	重心距离, cm		J _r cm ⁴	W, cm ³		J _y cm ⁴	W ₃ = $\frac{J_y}{b} \cdot \frac{1}{2}$ cm ³	
		高 h	底宽 b	头宽 c				腰厚 d	至轨底 z ₁		至轨顶 z ₂	轨底 W ₁ = $\frac{J_x}{z_1}$			$W_2 = \frac{J_x}{z_2}$
起重 机 钢 轨	QU70	120	120	70	28	9; 9.5	67.3	52.8	5.93	6.07	1081.99	182.46	178.12	327.16	54.53
	QU80	130	130	80	32	10; 10.5	81.13	63.69	6.43	6.57	1547.4	240.65	235.52	482.39	74.21
	QU100	150	150	100	33	11; 11.5	113.32	88.96	7.6	7.4	2864.73	376.94	387.12	940.98	125.46
	QU120	170	170	120	44	12; 12.5	150.44	118.10	8.43	8.57	4923.79	584.08	574.54	1694.83	199.39

注: 1kgf = 9.8N.

9 热轧圆钢、方钢及六角钢(GB 702—65、GB 703—65、GB 705—65)

G₀——理论重量

d, a mm	G ₀ , kg/m		d, a mm	G ₀ , kg/m		d, a mm	G ₀ , kg/m						
	圆钢	方钢		圆钢	方钢		圆钢	方钢	圆钢	六角钢			
5	0.154	0.196	7	0.302	0.385	11	0.746	0.950	0.823	15	1.39	1.77	1.53
5.6	0.193		8	0.395	0.502	12	0.888	1.13	0.979	16	1.58	2.01	1.74
6	0.222	0.283	9	0.499	0.636	13	1.04	1.33	1.15	17	1.78	2.27	1.96
6.3	0.245		10	0.617	0.785	14	1.21	1.54	1.33	18	2.00	2.54	2.20

续表

d, a mm	G ₀ , kg/m			d, a mm	G ₀ , kg/m			d, a mm	G ₀ , kg/m					
	圆钢	方钢	六角钢		圆钢	方钢	六角钢		圆钢	方钢	六角钢			
19	2.23	2.82	2.45	35	7.55			65	26.05	33.17	28.70	125	96.33	
20	2.47	3.14	2.72	36	7.99	10.17	8.81	58	28.51		31.43	130	104.20	
21	2.72	3.46	3.00	38	8.90	11.24	9.82	70	30.21	38.47	33.30	140	120.84	
22	2.98	3.80	3.29	40	9.87	12.56	10.88	75	34.68	44.16		150	138.72	
23			3.59	42	10.87	13.85	11.99	80	39.46	50.24		160	157.88	
24	3.55	4.52	3.92	45	12.48	15.90	13.77	85	44.55	56.72		170	178.18	
25	3.85	4.91	4.25	48	14.21	18.09	15.66	90	49.94	63.59		180	199.76	
26	4.17	5.30	4.59	50	15.42	19.63	16.99	95	55.64	70.85		190	222.57	
27	4.49		4.96	53	17.32	22.05	19.10	100	61.65	78.50		200	246.62	
28	5.83	6.15	5.33	56	19.33	24.61	21.35	105	67.97			210	271.89	
30	5.55	7.06	6.12	58	20.74		22.08	110	74.60			220	298.40	
32	6.31	8.04	6.96	60	22.19	28.26	24.50	115	81.50			240	355.13	
34	7.13	9.07	7.86	63	24.47	31.16	26.98	120	88.78			250	385.34	

注: 1. 圆钢、方钢及六角钢钢号, 化学成分及机械性能应符合 GB 700—65, GB 699—65 的规定。

2. 长度见下表。

名称		圆钢方钢				六角钢
d 或 a, mm	≤25	26~48	50~110	≥115		六角钢
长度 m	普通钢 5~10	4~9	4~8	3~6		8~70
	优质钢	2~6				2~6

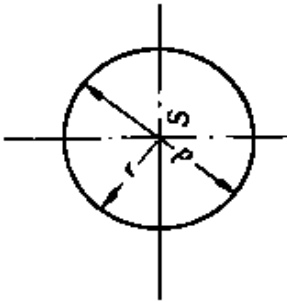
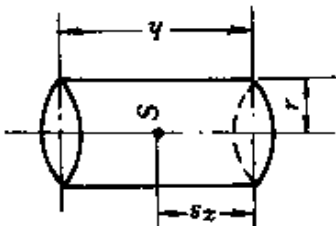
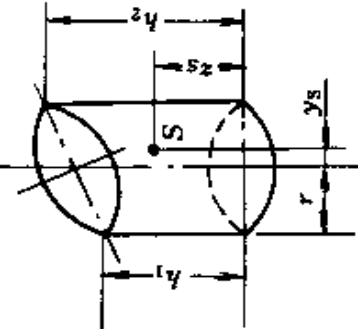
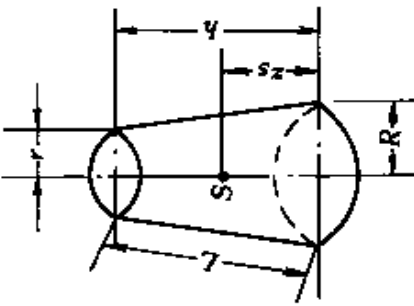
3. 一般采用材料:

圆钢—Q215, Q235, Q275, 35, 45。

方钢—Q235, Q275, 25, 35, 45。

六角钢—Q235, Q275, 20, 25, 35, 45。

10 常用几何体的面积、体积及重心位置

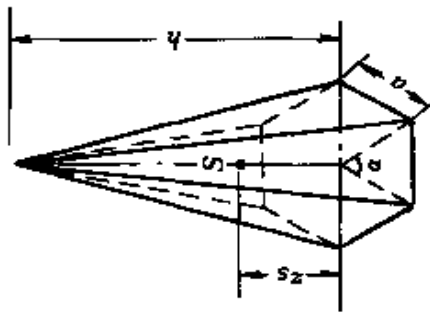
	S —— 重心位置; F —— 侧面积;	F _n —— 全面积; V —— 体积
1. 球体	 $F_n = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6}$	
2. 正圆柱体	 $z_s = \frac{h}{2}$ $F_n = 2\pi r(h+r)$ $F = 2\pi rh$ $V = \pi r^2 h$	
3. 斜截圆柱体		 $y_s = \frac{r(h_2 - h_1)}{4(h_2 + h_1)}$ $z_s = \frac{h_2 + h_1}{4} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{16(h_2 + h_1)}$ $F = \pi r(h_2 + h_1)$ $V = \frac{\pi r^2(h_2 + h_1)}{2}$
4. 平截正面锥体		 $z_s = \frac{h(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{4(R^2 + Rr + r^2)}$ $F = \pi d(R+r)$ $F_n = F + \pi(R^2 + r^2)$ $V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2)$ $L = \sqrt{(R-r)^2 + h^2}$

续表

F_n ——全面积;
 V ——体积

S ——重心位置;
 F ——侧面积;

5. 正棱锥体

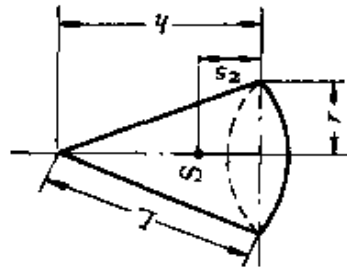


$$z_S = \frac{h}{4}$$

$$V = \frac{\pi a^2 h}{12} \cot \frac{\alpha}{2}$$

$$\alpha^\circ = \frac{360^\circ}{n}$$

7. 正圆锥体



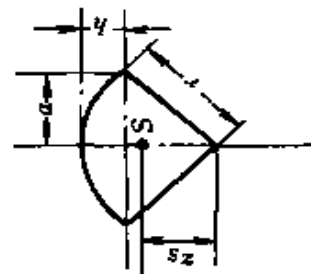
$$z_S = \frac{h}{4}$$

$$F = \pi r l$$

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$$

$$L = \sqrt{r^2 + h^2}$$

6. 球面扇形体



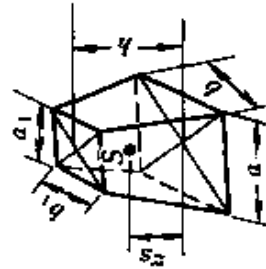
$$z_S = \frac{3}{8} (2r - h)$$

$$F_n = \pi r (2h + a)$$

$$F = \pi a r$$

$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$$

8. 平截方锥体



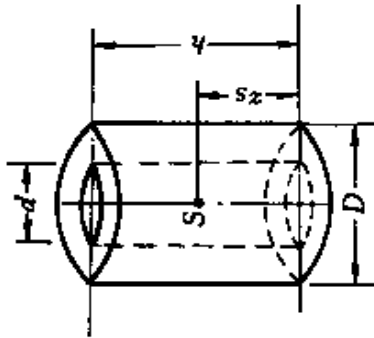
$$z_S = \frac{h(ab + ab_1 + a_1b + 3a_1b_1)}{2(2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1)}$$

$$V = \frac{h}{6} (2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1)$$

续表

<p>S——重心位置; F——侧面积;</p>	<p>F_0——全面积; V——体积</p>
---	--

9. 空心圆柱体

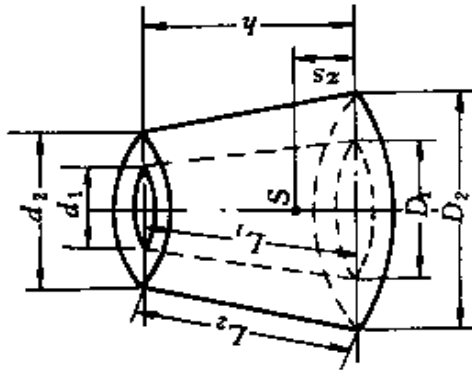


$$z_s = \frac{h}{2}$$

$$F = \pi h (D + d)$$

$$V = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2)$$

10. 平截空心圆锥体

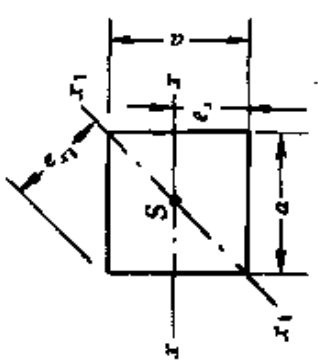
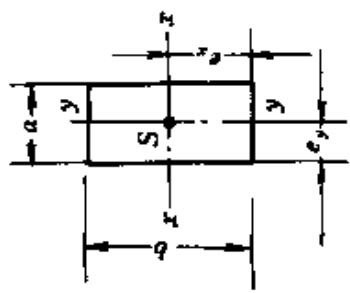


$$z_s = \frac{h}{4} \left[\frac{D_2^2 - D_1^2 + 2(D_2 d_2 - D_1 d_1)^2 + 3(d_2^2 - d_1^2)}{D_2^2 - D_1^2 + D_2 d_2 - D_1 d_1 + d_2^2 - d_1^2} \right]$$

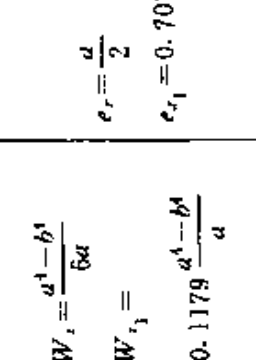
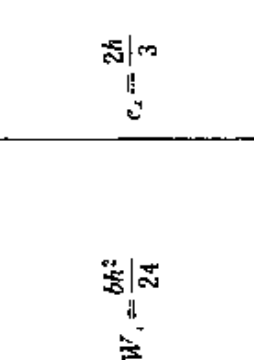
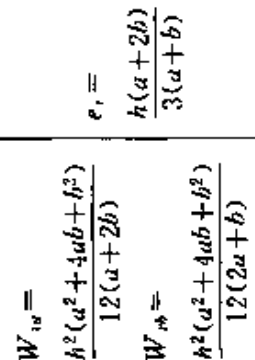
$$F = \frac{\pi}{2} [L_2 (D_2 + d_2) + L_1 (D_1 + d_1)]$$

$$V = \frac{\pi h}{12} (D_2^2 - D_1^2 + D_2 d_2 - D_1 d_1 + d_2^2 - d_1^2)$$

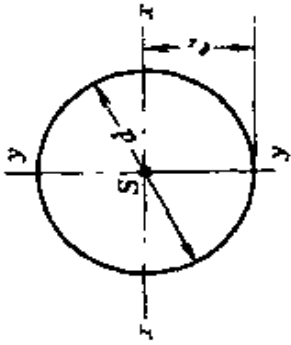
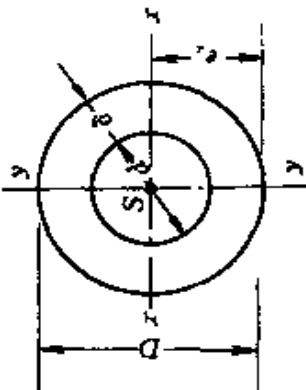
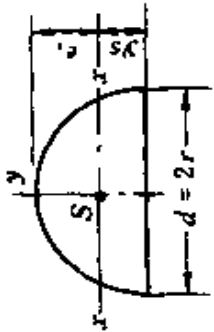
11 截面的几何及力学特性

简图	面积 F cm^2	惯性矩 J cm^4	截面系数 $W = \frac{J}{e}$ cm^3	重心 S 到相应边距离 e cm	惯性半径 $\rho = \sqrt{\frac{J}{F}}$ cm
	$F = a^2$	$J = \frac{a^4}{12}$	$W_x = \frac{a^3}{6}$ $W_{x_1} = 0.1179a^3$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x_1} = 0.7071a$	$\rho = \frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$
	$F = ab$	$J_x = \frac{ab^3}{12}$ $J_y = \frac{a^3b}{12}$	$W_x = \frac{ab^2}{6}$ $W_y = \frac{a^2b}{6}$	$e_x = \frac{b}{2}$ $e_y = \frac{a}{2}$	$\rho_x = 0.289b$ $\rho_y = 0.289a$

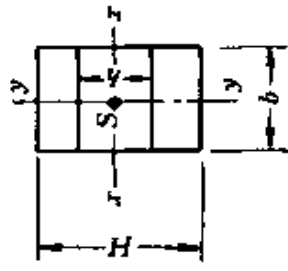
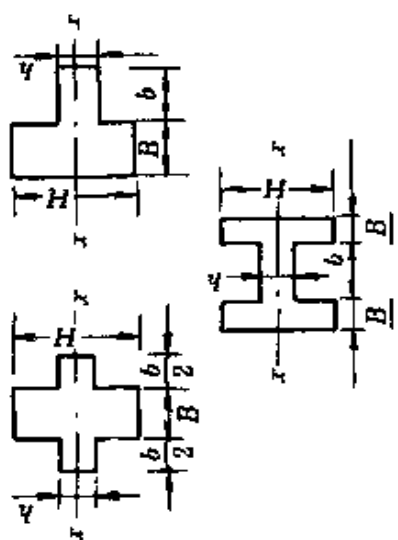
续表

简图	面积 F cm^2	惯性矩 J cm^4	截面系数 $W = \frac{J}{e}$ cm^3	重心 S 到相应边距离 e cm	惯性半径 $\rho = \sqrt{\frac{J}{F}}$ cm
	$F = a^2 - b^2$	$J = \frac{a^4 - b^4}{12}$	$W_x = \frac{a^4 - b^4}{6a}$ $W_{y_1} = 0.1179 \frac{a^4 - b^4}{a}$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{y_1} = 0.7071a$	$\rho = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$
	$F = \frac{bh}{2}$ $\sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$ 式中 $P = \frac{1}{2}(a+b+c)$	$J_x = \frac{bh^3}{36}$	$W_{y_1} = \frac{bh^2}{24}$	$e_x = \frac{2h}{3}$	$\rho = 0.0236h$
	$F = \frac{h(a+b)}{2}$	$J_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$	$W_{y_1} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a+2b)}$ $W_{y_2} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$	$e_x = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}$	$\rho_{y_1} = \frac{h \sqrt{a^2 + 4ab + b^2}}{3(a+b)}$

续表

简图	面积 F cm^2	惯性矩 J cm^4	截面系数 $W = \frac{J}{r}$ cm^3	重心 S 到相应边距离 r cm	惯性半径 $\rho = \sqrt{\frac{J}{F}}$ cm
	$F = \frac{\pi}{4} d^2$	$J = \frac{\pi}{64} d^4 \approx 0.05 d^4$	$W = \frac{\pi}{32} d^3 \approx 0.1 d^3$	$r = \frac{d}{2}$	$\rho = \frac{d}{4} = 0.25 d$
	$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ $= \frac{\pi}{4} d_{cp} \delta$ 式中 $d_{cp} = \frac{D+d}{2}$	$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $\approx 0.0313 d_{cp}^3 \delta$	$W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$ $\approx 0.0626 \frac{d_{cp}^3 \delta}{D}$	$r_x = \frac{D}{2}$	$\rho = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$ $\approx 0.354 d_{cp}$
	$F = \frac{\pi}{8} d^2$	$J_x = 0.00686 d^4$ $J_y = \frac{\pi}{128} d^4 \approx 0.025 d^4$	$W_x = 0.0239 d^3$ $W_y = \frac{\pi}{64} d^3 \approx 0.05 d^3$	$r_x = 0.2878 d$ $y_S = 0.2122 d$	$\rho_x = 0.1319 d$ $\rho_y = \frac{d}{4} \approx 0.25 d$

续表

简图	面积 F cm^2	惯性矩 J cm^4	截面系数 $W = \frac{J}{e}$ cm^3	重心 S 到相应边距离 e cm	惯性半径 $\rho = \sqrt{\frac{J}{F}}$ cm
	$F = b(H - h)$	$J_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{12}$ $J_y = \frac{b^3(H - h)}{12}$	$W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$ $W_y = \frac{b^3(H - h)}{6}$	$e_x = \frac{H}{2}$ $e_y = \frac{b}{2}$	$\rho_x = \sqrt{\frac{H^3 + Hh + h^2}{12}}$ $\rho_y = 0.289b$
	$F = BH + bh$	$J_x = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$	$W_x = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$	$e_x = \frac{H}{2}$	$\rho_x = \sqrt{\frac{BH^3 + bh^3}{12(BH + bh)}}$

12 钢管的几何及力学特性

钢管外径 D mm	壁厚 δ mm	截面面积 F cm^2	理论重量 G_0 kg/m	惯性半径 ρ cm	惯性矩 J cm^4	截面系数 W cm^3
48	3	4.26	3.33	1.59	10.81	4.5
	4	5.53	4.34	1.54	13.11	5.46
	6	7.92	6.21	1.49	17.4	7.25
51	3	4.52	3.55	1.71	13.22	5.18
	4	5.92	4.64	1.68	15.99	6.27
	6	8.58	6.66	1.60	22.06	8.65
57	3	5.09	4.00	1.91	18.57	6.51
	3.5	5.88	4.62	1.896	21.13	7.41
	4	6.68	5.23	1.88	23.61	8.28
60	6	9.61	7.55	1.82	31.92	11.2
	3	5.37	4.22	2.00	21.88	7.30
	3.5	6.213	4.875	2.00	24.89	8.30
63.5	4	7.02	5.52	1.99	27.8	9.26
	5	8.64	6.78	1.95	32.94	10.98
	6	10.2	7.99	1.93	37.99	12.66
70	4	7.48	5.87	2.11	33.3	10.65
	6	10.8	8.51	2.05	45.39	14.52
	8	13.9	10.95	1.98	54.49	17.44
76	4	8.30	6.51	2.34	45.45	12.98
	6	12.1	9.47	2.28	62.9	17.97
	8	15.6	12.23	2.21	76.19	21.77
89	4	9.05	7.1	2.56	59.31	15.6
	6	13.2	10.36	2.5	82.4	21.68
	8	17.1	13.42	2.44	101.8	26.79
102	4	10.7	8.38	3.02	97.59	21.93
	6	15.47	12.28	2.96	135.54	30.46
	8	20.4	15.98	2.90	171.56	38.55
108	4	12.5	9.67	3.49	152.25	29.85
	6	18.1	14.21	3.43	212.94	41.75
	8	23.7	18.55	3.37	265.97	52.15
168	4	13.1	10.26	3.67	176.44	32.74
	6	19.2	15.09	3.61	249.22	46.15
	8	25.2	19.73	3.55	317.58	58.81

续表

钢管外径 D mm	壁厚 δ mm	截面面积 F cm ²	理论重量 G_0 kg/m	惯性半径 ρ cm	惯性矩 J cm ⁴	截面系数 W cm ³
133	4	16.2	12.73	4.49	326.59	49.11
	6	23.9	18.70	4.43	469.04	70.53
	8	31.5	24.66	4.36	598.80	90.05
159	4	19.48	15.29	5.48	585.37	73.63
	4.5	21.845	17.15	5.462	652.36	82.06
	6	28.3	22.64	5.42	831.6	104.6
	8	38.1	29.79	5.36	1094.59	137.56
	10	46.8	36.75	5.28	1304.71	164.11
168	6	30.2	23.97	5.73	991.55	118.07
	8	40.3	31.57	5.67	1295.60	154.24
	10	49.7	38.97	5.60	1558.59	185.55
	12	58.9	46.26	5.53	1801.22	214.43
219	7	46.82	36.75	7.5	2635	241
	8	53.0	41.63	7.46	2949.53	269.36
	9	59.37	46.6	7.43	3276.63	299.42
	10	65.7	51.54	7.40	3597.73	328.56
	12	78.1	61.26	7.33	4196.23	382.22
245	8	59.8	46.76	8.38	4199.42	342.81
	10	73.8	57.95	8.32	5108.61	417
	12	88.0	68.95	8.25	5989.5	488.93
273	7	58.5	45.92	9.4	5177.5	379.31
	8	66.7	52.28	9.37	5856.05	429.01
	9	74.44	58.33	9.34	6144.27	450.13
	10	82.6	64.86	9.31	7159.44	524.5
	11	90.54	71.07	9.27	7782.46	570.14
	12	98.2	77.24	9.24	8384.08	614.21
	14	114	89.42	9.17	9586.13	702.28
325	8	79.7	62.54	11.21	10013	616
	10	98.9	77.68	11.16	12279.03	755.63
	11	108.51	85.18	11.11	13389.04	823.94
	12	118	92.63	11.075	14471.52	890.55
	15	146	114.7	10.95	18578.4	1143.28
	18	174	136.3	10.87	20568.54	1265.77

续表

钢管外径 D mm	壁厚 δ mm	截面面积 F cm^2	理论重量 G_0 kg/m	惯性半径 ρ cm	惯性矩 J cm^4	截面系数 W cm^3
377	8	92.5	72.8	13.05	15620	830
	10	115	90.51	12.98	19375	1027.86
	12	138	108.0	12.9	22964.58	1218.28
	14	160	125.3	12.84	26392	1400
	16	181	142.4	12.77	29542.8	1567
	18	203	159.4	12.7	32741.8	1737
426	9	117.9	92.55	14.74	25662	1204.8
	10	130.7	102.6	14.71	28258.7	1326.7
	12	166.1	130.39	14.64	35919	1686.3
	14	181.2	142.24	14.57	38491.4	1807
	16	206.1	161.79	14.5	43371.7	2036.3
	18	230.7	181.1	14.44	48097.5	2258.1

13 三角函数表

正 弦

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.00000	0.00291	0.00582	0.00873	0.01163	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	0.09876	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
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

余 弦

正 弦

续表

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
14	0.24192	0.24474	0.24756	0.25038	0.25320	0.25601	0.25882	75
15	25882	26163	26443	26724	27004	27284	27564	74
16	27564	27843	28123	28402	28680	28959	29237	73
17	0.29237	0.29515	0.29793	0.30071	0.30348	0.30625	0.30902	72
18	30902	31178	31454	31730	32006	32282	32557	71
19	32557	32832	33106	33381	33655	33929	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	37461	37730	37999	38268	38537	38805	39073	67
23	39073	39841	39608	39875	40142	40408	40674	66
24	0.40674	0.40939	0.41204	0.41469	0.41734	0.41998	0.42262	65
25	42262	42525	42788	43051	43313	43575	43837	64
26	43837	44098	44359	44620	44880	45140	45399	63
27	0.45399	0.45658	0.45917	0.46175	0.46433	0.46690	0.46947	62
28	46947	47204	47460	47713	47971	48226	48481	61
29	48481	48735	48989	49242	49495	49748	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	52992	53238	53484	53730	53975	54220	54464	57
33	54464	54708	54951	55194	55436	55678	55919	56
34	0.55919	0.56160	0.56401	0.56641	0.56880	0.57119	0.57358	55
35	57358	57596	57883	58070	58307	58543	58779	54
36	58779	59014	59248	59482	59716	59949	60182	53
37	0.60182	0.60414	0.60645	0.60876	0.61107	0.61337	0.61566	52
38	61566	61795	62024	62251	62479	62706	62932	51
39	62932	63158	63383	63608	63832	64056	64279	50
40	0.64279	0.64501	0.64723	0.64945	0.65186	0.65386	0.65606	49
41	0.65606	0.65825	0.66044	0.66262	0.66480	0.66697	0.66913	48
42	66913	67129	67344	67559	67773	67987	68200	47
43	68200	68412	68624	68835	69046	69256	69466	46
44	69466	69675	69883	70091	70298	70505	70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

余 弦

余 弦

续表

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	99939	99929	99917	99905	99892	99878	99863	87
3	99863	99847	99831	99813	99795	99776	99756	86
4	0.99756	0.99736	0.99714	0.99692	0.99668	0.99644	0.99619	85
5	99619	99594	99567	99540	99511	99482	99452	84
6	99452	99421	99390	99357	99324	99290	99255	83
7	0.99255	0.99219	0.99182	0.99144	0.99106	0.99067	0.99027	82
8	99027	98986	98944	98902	98858	98814	98769	81
9	98769	98723	98676	98629	98580	98531	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	97815	97754	97692	97630	97566	97502	97437	77
13	97437	97371	97304	97237	97169	97100	97030	76
14	0.97030	0.96959	0.96887	0.96815	0.96742	0.96667	0.96593	75
15	96593	96517	96440	96363	96285	96206	96126	74
16	96126	96046	95964	95882	95799	95715	95630	73
17	0.95630	0.95545	0.95459	0.95372	0.95284	0.95195	0.95106	72
18	95106	95015	94924	94832	94740	94646	94552	71
19	94552	94457	94361	94264	94167	94068	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	92718	92609	92499	92388	92276	92164	92050	67
23	92050	91936	91822	91706	91590	91472	91355	66
24	0.91355	0.91236	0.91116	0.90996	0.90875	0.90753	0.90631	65
25	90631	90507	90383	90259	90133	90007	89879	64
26	89879	89752	89623	89493	89363	89232	89101	63
27	0.89101	0.88968	0.88835	0.88701	0.88566	0.88431	0.88295	62
28	88295	88158	88020	87882	87743	87603	87462	61
29	87462	87321	87178	87036	86892	86748	86603	60
30	0.86603	0.86457	0.86310	0.86163	0.86015	0.85866	0.85717	59
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

正 弦

余 弦

续表

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
31	0.85717	0.85567	0.85416	0.85264	0.85112	0.84959	0.84805	58
32	84805	84650	84495	84339	84182	84025	83870	57
33	83867	83708	83549	83389	83228	82904	82904	56
34	0.82904	0.82741	0.82577	0.82413	0.82248	0.82082	0.81915	55
35	81915	81748	81580	81412	81242	81072	80902	54
36	80902	80730	80558	80386	80212	80038	79864	53
37	0.79864	0.79688	0.79512	0.79335	0.79158	0.78980	0.78801	52
38	78801	78622	78442	78261	78079	77897	77715	51
39	77715	77531	77347	77162	76977	76791	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	74314	74120	73924	73728	73531	73333	73135	47
43	73135	72937	72737	72537	72337	72136	71934	46
44	71934	71732	71529	71325	71121	70916	70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

正 弦

续表

正 切

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	0.03328	0.02619	0.02910	0.03201	0.03492	88
2	03492	03783	04075	04366	04658	04949	05241	87
3	05241	05533	05824	06116	06408	06700	06993	86
4	0.06993	0.07285	0.07578	0.07870	0.08163	0.08456	0.08749	85
5	08749	09042	09335	09629	09923	10216	10510	84
6	10510	10805	11099	11394	11688	11983	12278	83
7	0.12278	0.12574	0.12869	0.13165	0.13461	0.13785	0.14054	82
8	14054	14351	14648	14945	15243	15540	15838	81
9	15838	16137	16435	16734	17033	17333	17633	80
10	0.17633	0.17933	0.18233	0.18534	0.18835	0.19136	0.19438	79
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

余 切

正 切

续表

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
11	0.19438	0.19740	0.20042	0.20345	0.20648	0.20952	0.21256	78
12	21256	21560	21864	22169	22475	22781	23087	77
13	23087	23393	23700	24008	24316	24624	24933	76
14	0.24993	0.25242	0.25552	0.25862	0.26172	0.26483	0.26795	75
15	26795	27107	27419	27732	28046	28360	28675	74
16	28675	28990	29305	29621	29938	30255	30573	73
17	0.30573	0.30891	0.31210	0.31530	0.31850	0.32171	0.32492	72
18	32492	32814	33136	33460	33788	34108	34433	71
19	34433	34758	35085	35412	35740	36068	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	40403	40741	41081	41421	41763	42105	42447	67
23	42447	42791	43136	43481	43828	44175	44523	66
24	0.44523	0.44872	0.45222	0.45573	0.45924	0.46277	0.46631	65
25	46631	46985	47341	47698	48055	48414	48773	64
26	48773	49134	49495	49858	50222	50587	50953	63
27	0.50953	0.51320	0.51688	0.52057	0.52427	0.52798	0.53171	62
28	53171	53545	53920	54296	54673	55051	55431	61
29	55431	55812	56194	56577	56962	57348	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	0.62088	0.62487	58
32	62487	62892	63299	63707	64117	64528	64941	57
33	64941	65355	65771	66189	66608	67028	67451	56
34	0.67451	0.67875	0.68301	0.68728	0.69157	0.69588	0.70021	55
35	70021	70455	70891	71329	71769	72211	72654	54
36	72654	73100	73547	73996	74447	74900	75355	53
37	0.75355	0.75812	0.76272	0.76733	0.77196	0.77661	0.78129	52
38	78129	78598	79070	79544	80020	80498	80978	51
39	80978	81461	81946	82434	82923	83415	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	90040	90569	91099	91633	92170	92709	93252	47
43	93252	93797	94345	94896	95451	96008	96569	46
44	96569	97133	97700	98270	98843	99420	1.00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

余 切

余 切

续表

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	∞	343.77371	171.88540	114.58865	85.93979	68.75009	57.28999	89
1	57.28996	49.10888	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	5.67123	80
10	5.67123	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	3.82033	3.77595	3.73205	75
15	3.73205	3.68909	3.64705	3.60538	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	2.47509	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	2.21832	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	1.76049	1.75556	1.74375	1.73205	60
30	1.73205	1.72047	1.70901	1.69766	1.68643	1.67530	1.66428	59
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

正 切

余 切

续表

度	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
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	1.33598	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	1.07227	1.06613	1.05994	1.05378	1.04766	1.04158	1.03553	46
44	1.03553	1.02952	1.02355	1.01761	1.01170	1.00583	1.00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	度

正 切

技术工人岗位培训读本

- ▶ 电焊工
- ▶ 气焊工
- ▶ 检修钳工
- ▶ 铆工
- ▶ 管工
- ▶ 起重工
- ▶ 维修电工
- ▶ 仪表维修工

ISBN 7-5025-3017-7



9 787502 530174 >

ISBN 7-5025-3017-7/TH · 79

定价: 16.00 元