

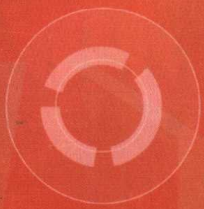
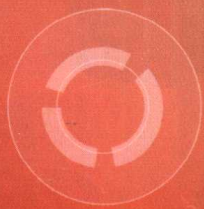
中等职业教育规划教材

ZHONGDENGZHIYEJIAOYU GUIHUAJIAOCAI

热力设备安装与检修

主编：刘忠懋

00 0 101 0111 101 000 001 010 0100100 00 10 01 1 010 10 0



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中等职业教育规划教材

ZHONGDENGZHIYEJIAOYU GUIHUAJIAOCAI

热力设备安装与检修

主编：刘忠懋



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分三篇：第一篇介绍起重、焊接、管道安装、阀门检修、轴承检修与装配、联轴器找中心、轴弯曲的校直、转子找平衡、基础画线等安装检修工作的基础知识；第二篇介绍锅炉钢架安装、锅炉受热面安装检修、锅炉辅助机械安装检修以及锅炉安装检修后期工作等的施工程序、方法和要求；第三篇介绍汽轮机本体安装检修、发电机安装、多级离心泵安装检修、凝汽器安装检修等的施工程序、方法和要求。

本书内容密切结合生产实际，插图较多，是中等专业学校热能动力设备专业教学用书，亦可供技工学校和从事热力设备安装检修工作的工程技术人员和技术工人参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

热力设备安装与检修/刘忠懋主编. -北京：中国电力出版社，1982.1 (1998 重印)

中等职业教育规划教材

ISBN 7-80125-687-5

I. 热… II. 刘… III. ①热力工程 设备-安装-专业学校-教材②热力工程-设备-检修-专业学校-教材 IV. TK17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14865 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1982 年 1 月第一版 2003 年 2 月北京第六次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 20.5 印张 465 千字

印数 53791—55790 册 定价 28.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

本书主要讲述高温高压锅炉和汽轮机设备的安装检修方法和施工技术。为适应“热能动力设备专业”的教学需要，将机、炉安装检修中具有共性的知识作为第一篇，锅炉和汽轮机安装检修方法分列为第二篇和第三篇。

本书由长春电力学校主编，山东省电力学校参加编写；沈阳电力学校主审，哈尔滨电力学校参加审稿。具体参加编写的有刘忠懋、肖国栋、李树林、张忠田、李兆毓、杜敏、李起、邵明彩等同志，由刘忠懋同志主编。

本书在编审过程中，承东北电力局技术改进局、东北火电三公司、辽宁发电厂、旅大电力学校等单位的大力协助和支持，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点、错误在所难免，希望读者批评指正。

编 者

一九八一年六月

目 录

前言

第一篇 热力设备安装与检修的基础知识

第一章 起重	1
第一节 起重索具	1
第二节 起重机构	20
第三节 起重机械	28
第四节 重物的水平运输	40
第二章 焊接	41
第一节 手工电弧焊	41
第二节 气焊	51
第三节 氩弧焊	55
第四节 焊接接头热处理	56
第五节 焊接接头质量检查	57
第三章 管道安装	59
第一节 管子及管道附件使用前的检查	59
第二节 管子弯制及校正	68
第三节 管道的热胀及补偿	75
第四节 管道的蠕变监督	78
第五节 管道安装	79
第四章 阀门检修	87
第一节 阀门研磨工具	88
第二节 阀门检修	90
第三节 填料、垫料及磨料	93
第四节 阀门常见故障、原因及消除方法	97
第五章 轴承检修与装配	98
第一节 轴承简介	98
第二节 滑动轴承的检修与装配	99
第三节 滚动轴承的检修与装配	102
第六章 联轴器找中心及检修	108
第一节 联轴器找中心	108

第二节	三轴承转子的联轴器找中心	113
第三节	联轴器找中心时轴瓦调整垫片的调整	113
第四节	联轴器的检修	114
第七章	轴弯曲的校直	118
第一节	轴弯曲的原因及测量检查	118
第二节	直轴方法	121
第三节	应力松弛法直轴实例	129
第八章	转子找平衡	135
第一节	刚性转子的平衡原理	136
第二节	转子找静平衡	138
第三节	刚性转子的低速动平衡	140
第四节	刚性转子的高速动平衡	155
第五节	挠性转子的平衡	165
第九章	基础画线	168
第一节	基础检查验收	168
第二节	基础画线	170
第三节	基础找平及垫铁配制	172
第四节	基础二次灌浆	173

第二篇 锅炉本体及辅助机械的安装与检修

第十章	锅炉钢架安装	174
第一节	钢架的检查及校正	174
第二节	钢架组合	178
第三节	钢架的吊装、找正、固定	182
第十一章	锅炉受热面的安装与检修	186
第一节	安装前的准备工作	186
第二节	水冷壁的組合、起吊就位、找正	188
第三节	汽包安装	194
第四节	省煤器、过热器安装	197
第五节	空气预热器安装	202
第六节	受热面设备检修	209
第七节	锅炉整体水压试验	222
第十二章	锅炉辅助机械安装及检修	225
第一节	钢球磨煤机安装及检修	225
第二节	离心式风机安装及检修	236
第十三章	锅炉安装及检修后的工作	242
第一节	锅炉漏风试验	242

第二节	烘炉、煮炉	243
第三节	蒸汽严密性试验及 72h 试运行	248

第三篇 汽轮发电机及辅助设备的安装与检修

第十四章	汽轮机本体的安装与检修	250
第一节	汽缸与前轴承箱的安装与检修	250
第二节	轴承的安装与检修	263
第三节	汽轮机转子的安装与检修	270
第四节	隔板与汽封的安装与检修	278
第五节	通汽部分间隙测量、调整及扣大盖	285
第六节	调速及油系统的安装与检修	288
第十五章	发电机安装	297
第一节	发电机定子部分安装	297
第二节	发电机转子安装	300
第三节	发电机端盖与进出水支座的安装	304
第十六章	汽轮机辅助设备的安装与检修	306
第一节	多级离心水泵的安装与检修	306
第二节	凝汽器的安装与检修	312

热力设备安装与检修的基础知识

第一章

起重

物件的起吊和搬运称为起重。起重工作是借助于起重索具、起重机构和起重机械等来完成的。

起重工作在热力设备安装与检修中应用得非常广泛,无论是汽轮机本体及其附属设备,锅炉本体及其附属设备,乃至发电机定子和转子,在安装与检修中都离不开起重。因此正确地组织起重工作,合理地选择起重设备,对优质、快速、安全地进行热力设备的安装与检修具有十分重要的意义。

随着机组容量的增大,设备或部件的单个重量也在增加,特别是组合安装技术的普遍采用,使得起重设备的结构日趋复杂,起重量愈来愈大。在小型热力设备的安装检修中,使用拔杆、滑车和手摇绞车等简单起重设备就可满足要求;但对现代大容量机组,其最重部件可达百吨以上,要想顺利地完成任务,不配备现代化的大型起重设备则是不可想象的。

安装检修中的起重工作主要包括:

- (1) 设备、构件和材料的装、卸车工作;
- (2) 设备、构件和材料的水平运输工作;
- (3) 设备、构件和材料的起吊就位工作。

上述工作中所使用的起重索具、起重机构和起重机械型式很多,本章仅就常用的加以讨论。

第一节 起重索具

索具用来绑扎起重物件(系重用)及传递起重机构的拉力给起重物件(吊重用)。索具包括麻绳、钢丝绳及拴连工具等。

一、麻绳

1. 麻绳的种类和性能

麻绳是由抗拉、耐磨而不易腐蚀的龙舌兰麻(或称剑麻)等植物的茎纤维制成。制造时,先将麻线捻成股,再将麻股捻成麻绳。为了避免麻绳在载荷下松开,由麻线捻成麻股的方向和由麻股捻成麻绳的方向是相反的。根据麻股的数量和绞捻的次数,麻绳可分为索式的和缆式的(图 1-1)。

根据抗潮措施的不同,麻绳又有浸油麻绳和不浸油麻



图 1-1 麻绳类型

(a) 索式; (b) 缆式

绳（白麻绳）之分。前者系用松脂浸透，抗潮能力和防腐能力均较好，而机械强度比不浸松脂的约减低 10%；后者在干燥状态下，强度和弹性均较好，但受潮后强度约减低 50%。

根据麻绳的原料不同，又可分为白棕绳、混合麻绳和线麻绳等。

白棕绳是以龙舌兰麻为原料捻制的。这种麻纤维的抗拉力和抗扭力强、滤水快、抗海水侵蚀性好，耐摩擦且富有弹性，受突然载荷时也不易折断。适合在水中和陆上起重用。

混合麻绳是以龙舌兰麻和苧麻各半，或再掺入 10% 大麻混合捻制的。由于苧麻的纤维拉力强、韧性差、有胶质、遇水易腐，所以这种麻绳虽抗拉力大于白棕绳，但耐久性 & 抗腐蚀性均差，故只能用于较小物件的临时捆绑。

线麻绳是完全以大麻为原料捻制的。这种麻的纤维柔韧、弹性好、抗拉力大，其用途与混合麻绳略同。

麻绳的尺寸用直径（外接圆直径）或横截面的圆周长（外接圆周长）表示。

2. 麻绳的计算

麻绳在载荷下绕过卷筒或滑轮时，要同时受到拉伸、弯曲、挤压和扭转的作用，要精确计算其综合应力是有困难的。通常选用时常使卷筒或滑轮槽底直径为麻绳直径的 10 倍以上，用于滑车组时允许降为 7 倍，但须使麻绳的使用拉力减少 25%。

选用麻绳时须进行强度核算，强度核算按纯拉伸考虑，但必须根据不同用处选择适当的安全系数，以补偿计算上的误差和确保施工安全。麻绳的许用拉力 P 按下式计算：

$$P \leq \frac{S_b}{K} \text{ N} \tag{1-1}$$

式中 S_b ——麻绳的破断拉力，N，可查表 1-1；

K ——麻绳的安全系数，可查表 1-2。

表 1-1 旗鱼牌白棕绳性能规格 *

直 径		圆 周 长		每捆(长 220 m)质量 (kg)	破断拉力 (×9.8N)	安 全 载 重 (kg)					应用之最 小 滑 轮 直 径 (mm)
(mm)	(in)	(mm)	(in)			安 全 系 数					
						4	5	6	7	8	
6	1/4	19	3/4	6.5	200	50	40	33	28	25	100
8	5/16	25	1	10.5	325	81	65	54	46	41	100
11	7/16	35	1¼	17	575	144	115	96	82	72	150
13	1/2	41	1½	23.5	800	200	160	133	124	100	150
14	9/16	44	1¾	32	950	237	190	158	136	118	150
16	5/8	50	2	41	1150	287	230	192	164	144	200
19	3/4	60	2¼	52.5	1300	325	260	217	186	162	200
20	13/16	63	2½	60	1600	400	320	267	228	200	200
22	7/8	69	2¾	70	1850	462	370	308	264	231	220
25	1	79	3	90	2400	600	450	400	343	300	250
29	1⅝	91	3½	120	2600	650	520	433	370	325	290
33	1¾	103	4	165	2900	725	580	483	414	362	330
38	1½	119	4½	200	3500	875	700	583	500	438	380
41	1⅝	129	5	250	3750	938	750	625	535	469	410
44	1¾	138	5½	290	4500	1120	900	750	642	562	440
51	2	160	6	330	6000	1500	1200	1000	857	750	510
57	2¼	179	7	450	6500	1620	1300	1083	928	812	570
63	2½	198	7½	500	7000	1750	1400	1166	1000	875	630

* 我国制造的麻绳都有一定的标准，选用时可查有关手册，本处仅以上海水产公司出品的旗鱼牌白棕绳为例。

表 1-2 麻绳的安全系数 K

使用 情况	安全系数 K	使用 情况	安全系数 K
一般起吊作业	5	绑 扎 绳	10
缆 风 绳	6	吊 人 绳	14
千 斤 绳	6~10		

例 1-1 有一直径为 $d = 25\text{mm}$ 的旗鱼牌白麻绳，在作千斤绳使用时，允许吊重为多少？

解：查表 1-1 得该麻绳的破断拉力 $S_b = 24000\text{N}$ ；查表 1-2 取千斤绳的安全系数 $K = 8$ 。应用公式 (1-1) 可求得该麻绳的允许吊重 P 为：

$$P \leq \frac{S_b}{K} = \frac{24000}{8} = 3000\text{N}$$

在施工现场，往往知道起重量 P 而需选用麻绳直径 d ，则按下式计算：

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

式中 $[\sigma]$ ——麻绳的许用应力， N/mm^2 ，从表 1-3 查得。

表 1-3 麻绳许用应力 $[\sigma]$ (N/mm^2)

麻绳种类	吊重用麻绳	绑扎用麻绳
白麻绳	1.0	0.5
浸油麻绳	0.9	0.45

二、钢丝绳

1. 钢丝绳的种类和性能

起重工作中所用的钢丝绳多为双重绕捻的钢丝绳。这种钢丝绳是由一层或几层钢丝绕成股，再由几股围绕麻芯绕捻成绳（图 1-2）。由于麻芯的存在使钢丝股呈空心状态布置，能够保证钢丝绳具有足够的柔性和弹性；麻芯可吸取润滑油防止钢丝生锈，又能保证钢丝与钢丝间、股与股间润滑。

钢丝直径的大小和钢丝数量的多少对钢丝绳性能有直接影响，钢丝直径越小、数量越多，钢丝绳越柔软，越不耐磨；反之，钢丝直径越大、数量越少，钢丝绳刚性越大，越耐磨。

双重绕捻钢丝绳按照钢丝和股的绕捻方向分为顺绕、逆绕和混合绕三种（图 1-3）。

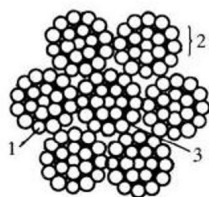


图 1-2 钢丝绳的断面

1—钢丝；2—绳股；
3—绳芯

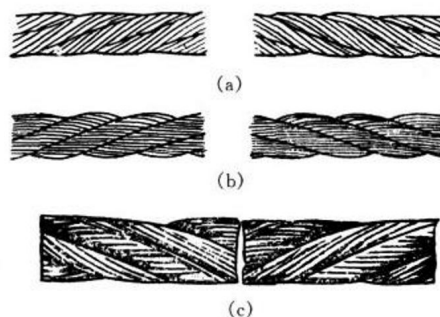


图 1-3 钢丝和股的绕捻方向

(a) 顺绕；(b) 逆绕；(c) 混合绕

顺绕钢丝绳的特点是钢丝绕成股和股绕成绳的方向相同,这种钢丝绳挠性大,表面平滑,钢丝磨损少,但有自行扭转和松散的缺点。逆绕钢丝绳的特点是钢丝绕成股和股捻成绳的方向相反,这种钢丝绳的钢丝和股,由于弹性应力所产生的扭转变形方向相反,具有互相抵消作用,不易自行松散,故在起重机械和起重工作中应用得最广。它的缺点是挠性小,表面不平滑,与滑轮和卷筒的接触面积小因而磨损较快。混绕钢丝绳的特点是相邻层股的捻捻方向相反,它兼有前两种钢丝绳的优点。

国产标准钢丝绳中,常用的规格一般为直径 6.2 ~ 83mm,所用的钢丝直径为 0.3 ~ 3mm;钢丝绳的抗拉强度分为 1400、1550、1700、1850 和 2000MPa 等五个等级。

钢丝绳的代号用三组数字表示,如 6×19+1、6×37+1、6×61+1 等,第一组数字 6 表示钢丝绳由 6 股组成(如是 8 股,第一组数字就应是 8),第二组数字 19 表示每股中有 19 丝(如是 37 丝,第二组数字就应是 37),第三组数字 1 表示有一根油浸麻芯。钢丝绳的种类很多,不过热力设备的起重工作中常用的为上述三种。

6 股 19 丝的钢丝绳比较硬,适用于弯曲半径较大、磨损较快的地方,如作缆风绳,拖拉绳以及固定起重机上的滑车组串绕绳;6 股 37 丝的钢丝绳丝数较多且钢丝较细,比较柔软,适用于弯曲半径较小、磨损不大的地方,如临时吊装用的滑车组上的串绕绳、捆绑绳及千斤绳;6 股 61 丝的钢丝绳比前两种都柔软,常用于重型起重机及起吊较精密设备。上述三种钢丝绳的主要数据见表 1-4、表 1-5、表 1-6。

2. 钢丝绳的强度计算

(1) 钢丝绳的破断拉力计算

钢丝绳的破断拉力 S_b 与钢丝绳的断面积和抗拉强度成正比。它们的关系式如下:

$$S_b = \frac{\pi d_i^2}{4} n \sigma_b \varphi \quad \text{N} \quad (1-3)$$

式中 d_i ——钢丝绳中每一根钢丝的直径, mm;

n ——钢丝绳中钢丝的总根数;

σ_b ——钢丝绳中钢丝的抗拉强度, N/mm²;

φ ——钢丝绳中钢丝绕捻不均匀而引起的受载不均匀系数,当钢丝绳为 6×19+1 时, $\varphi = 0.85$;当钢丝绳为 6×37+1 时, $\varphi = 0.82$;当钢丝绳为 6×61+1 时, $\varphi = 0.80$ 。

例 1-2 直径 $d = 32.5\text{mm}$ 的 6×37+1 钢丝绳, 钢丝直径 $d_i = 1.5\text{mm}$, 抗拉强度 $\sigma_b = 1700\text{N/mm}^2$, 求该钢丝绳的破断拉力 S_b ?

解: 该钢丝绳的钢丝总数 $n = 6 \times 37 = 222$; 受载不均匀系数 $\varphi = 0.82$ 。

根据公式 (1-3) 得:

$$S_b = \frac{\pi d_i^2 n \sigma_b \varphi}{4} = \frac{3.14 \times 1.5^2 \times 222 \times 1700 \times 0.82}{4} = 546530 \approx 546500\text{N}$$

表 1-4、表 1-5、表 1-6 中的钢丝绳破断拉力 σ_b , 就是根据各种规格直径的钢丝绳按公式 (1-3) 计算出的 S_b 的近似整数值。

表 1-4 $6 \times 19 + 1$ 钢丝绳的主要数据

直 径		钢丝绳 断面面积 $\frac{n\pi d_i^2}{4}$ (mm ²)	每 33.3m 质量 G_0 (kg)	钢丝绳公称抗拉强度 σ_b (N/mm ²)									
钢丝绳 d (mm)	钢丝 d_i (mm)			1400		1550		1700		1850		2000	
				钢丝绳 断力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 断力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 断力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 断力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 断力 ($\times 9.8N$)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8N$)
6.2	0.4	14.32	13.53	2000	1700	2210	1880	2430	2060	2640	2240	2860	2430
7.7	0.5	22.37	21.14	3130	2660	3460	2940	3800	3230	4130	3520	4470	3800
9.3	0.6	32.22	30.45	4510	3830	4990	4240	5470	4650	5960	5070	6440	5470
11.0	0.7	43.85	41.40	6130	5210	6790	5770	7450	6330	8110	6890	8770	7450
12.5	0.8	57.27	54.12	8010	6810	8870	7530	9730	8270	10550	8970	11450	9730
14.0	0.9	72.49	68.50	10100	8620	11200	9520	12300	10450	13400	11420	14450	12300
15.5	1.0	89.49	84.57	12500	10600	13850	11780	15200	12900	16550	14070	17850	15200
17.0	1.1	108.28	102.3	15150	12850	16750	14250	18400	15600	20000	17000	21650	18400
18.5	1.2	128.87	121.8	18000	15300	19950	16950	21900	18600	23800	20200	25750	21900
20.0	1.3	151.24	142.9	21150	17950	23400	19890	25700	21850	27950	24700	30200	25700
21.5	1.4	175.40	165.8	24550	20850	27150	23000	29800	25300	32400	27700	35050	30150
23.0	1.5	201.35	190.3	28150	23950	31200	26500	34200	29050	37200	31600	40250	34250
24.5	1.6	229.09	216.5	32050	27250	35500	30150	38900	33100	42350	36000	45800	38950
26.0	1.7	258.63	244.4	36200	30750	40050	34000	43950	37350	47800	40700	51700	44000
28.0	1.8	289.95	274.0	40550	34500	44900	38000	49250	41850	53600	45600	57950	49300
31.0	2.0	357.96	338.3	50100	42550	55450	47100	60850	51700	66200	56200	71550	60800
34.0	2.2	433.13	409.3	60600	51500	67100	57000	73600	62550	80100	68100		
37.0	2.4	515.46	487.1	72150	61300	79850	67800	87600	74450	95350	81000		
40.0	2.6	604.95	571.7	84650	71950	93750	79750	102500	87400	111500	94300		
43.0	2.8	701.60	663.0	98200	83450	108500	92250	119000	101000	129500	110000		
46.0	3.0	805.41	761.1	112500	95850	124500	104100	136500	116000	149000	126800		

注 在横线之下只有普通钢丝绳,无镀锌钢丝绳。

表 1-5

6 × 37 + 1 钢丝绳的主要数据

直 径		钢丝绳总 断面积 $\frac{n\pi d_i^2}{4}$ (mm ²)	每 33.3m 质量 G_0 (kg)	钢丝绳公称抗拉强度 σ_b (N/mm ²)											
钢丝绳 d (mm)	钢丝 d_i (mm)			1400		1550		1700		1850		2000			
				钢丝绳总破 断力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳总破 断力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳总破 断力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳总破 断力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳总破 断力 ($\times 9.8$ N)	钢丝绳 破断拉力 ($\times 9.8$ N)		
8.7	0.4	27.88	26.21	3900	3000	4320	3540	4730	3880	5150	4225	5570	4570		
11.0	0.5	43.57	40.96	6090	5000	6750	5530	7400	6070	8060	6600	8710	7140		
13.0	0.6	62.74	58.98	8780	7200	9720	7970	10650	8740	11600	9510	12500	10250		
15.0	0.7	85.39	80.27	11950	9800	13200	10820	14500	11900	15750	12900	17050	14000		
17.5	0.8	111.53	104.80	15600	12800	17250	14130	18950	15500	20600	16900	22300	18250		
19.5	0.9	141.16	132.7	19750	16200	21850	17920	23950	19650	26100	21400	28200	23150		
21.5	1.0	174.21	163.8	24350	20000	27000	22300	29680	24250	32200	26400	34850	28850		
24.0	1.1	210.87	198.2	29500	24200	32650	26730	35800	29350	39000	32000	42150	34350		
26.0	1.2	250.95	235.9	35100	28800	38850	31920	42650	34950	46400	38000	50150	41100		
28.0	1.3	294.52	276.8	41200	33800	45650	37400	50050	41050	54450	44600	58900	48300		
30.0	1.4	341.57	321.1	47800	39200	52900	43400	58050	47600	63150	51700	68300	56000		
32.5	1.5	392.11	368.6	54850	45000	60750	49800	66650	54650	72500	59400	78400	64200		
34.5	1.6	446.13	419.4	62450	51200	69150	56700	75800	62150	82500	66700	89200	73100		
36.5	1.7	503.64	473.4	70500	57800	78050	63900	85600	70200	93150	76300	100500	82500		
39.0	1.8	564.63	530.8	79000	64800	87500	71750	95950	78700	104000	85250	112500	92300		
43.0	2.0	697.08	655.3	97550	80000	108000	88600	118500	97150	128500	105300	139000	113900		
47.5	2.2	843.47	792.9	118000	96800	130500	107000	143000	117500	156000	128000				
52.0	2.4	1003.80	943.6	140500	115000	155500	127600	170500	139500	185500	152000				
56.0	2.6	1178.07	1107.4	164500	135000	182500	149700	200000	164000	217500	178000				
60.5	2.8	1366.28	1284.3	191000	156500	211500	173000	232000	19000	252500	209000				
65.0	3.0	1568.43	1474.3	219500	180000	243000	199200	266500	218500	290000	237600				

注 在黑线之下只有普通钢丝绳,无镀锌钢丝绳。

表 1-6

6 × 61 + 1 钢丝绳的主要数据

直 径			钢丝绳 断面积 $\frac{n\pi d_i^2}{4}$ (mm ²)	每 33.3m 质量 G_0 (kg)	钢丝绳公称抗拉强度 σ_b (N/mm ²)											
钢丝绳 d (mm)	钢丝 d_i (mm)	1400			1550		1700		1850		2000					
			钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)	钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)	钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)	钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)	钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)	钢丝总破 断力 (× 9.8N)	钢丝绳 破断拉力 (× 9.8N)		
11.0	0.4	45.97	6430	5144	7120	5696	7810	6248	8500	6800	9190	7352				
14.0	0.5	71.83	10050	8040	11100	8880	12200	9760	13250	10600	14350	11480				
16.5	0.6	103.43	14450	11560	16000	12800	17550	14040	19100	15280	20650	16520				
19.5	0.7	140.78	19700	15760	21800	17440	23900	19120	26000	20800	28150	22520				
22.0	0.8	183.88	25700	20560	28500	22800	31250	25000	34000	27200	36750	29400				
25.0	0.9	232.72	32550	26040	36050	28840	39550	31640	43050	34440	46500	37200				
27.5	1.0	287.31	40200	32160	44500	35600	48800	39040	53150	42520	57450	45960				
30.5	1.1	347.65	48650	39120	53850	43080	59100	47280	64300	51440	69500	55600				
33.0	1.2	413.73	57900	46320	64100	51280	70300	56240	76500	61200	82700	66160				
36.0	1.3	485.55	67950	54360	75250	60200	82500	66000	89800	71840	97100	68680				
38.5	1.4	563.13	78800	63040	87250	69800	95700	76560	104000	83200	112500	90000				
41.5	1.5	646.45	90500	72400	100000	80000	109500	87600	119500	95600	129000	103200				
44.0	1.6	735.51	102500	82000	114000	91200	125000	100000	136000	108800	166000	132800				
47.0	1.7	830.33	116000	92800	128500	102800	141000	112800	153500	122800	186000	148800				
50.0	1.8	930.88	130000	104000	144000	115200	158000	126400	172000	137600	229500	183600				
55.5	2.0	1149.24	160500	128400	178000	142400	195000	156000	212500	170000						
61.0	2.2	1390.58	194500	155600	215500	172400	236000	188800	257000	205600						
66.5	2.4	1654.91	231500	185200	256500	205200	281000	224800	306000	244800						
72.0	2.6	1942.22	271500	217200	301000	240800	330000	264000	359000	287200						
77.5	2.8	2252.51	315000	252000	349000	279200	382500	306000	416500	333200						
83.0	3.0	2585.79	362000	289600	400500	320400	439500	331600	478000	382400						

注 在横线之下只有普通钢丝绳,无镀锌钢丝绳。

考虑到现场有时查找破断拉力不方便，用上述公式计算又太麻烦，所以常采用下列经验公式估算：

$$S_b = 520 d^2 \quad \text{N} \quad (1-4)$$

式中 d ——钢丝绳直径，mm。

此经验公式仅适用于钢丝抗拉强度为 1700N/mm^2 的钢丝绳，其他钢丝绳可采用如下经验公式：

$$\text{当钢丝抗拉强度为 } 1400\text{N/mm}^2 \text{ 时,} \quad S_b = 428 d^2 \quad (1-5)$$

$$\text{当钢丝抗拉强度为 } 1550\text{N/mm}^2 \text{ 时,} \quad S_b = 474 d^2 \quad (1-6)$$

$$\text{当钢丝抗拉强度为 } 1850\text{N/mm}^2 \text{ 时,} \quad S_b = 566 d^2 \quad (1-7)$$

$$\text{当钢丝抗拉强度为 } 2000\text{N/mm}^2 \text{ 时,} \quad S_b = 612 d^2 \quad (1-8)$$

为了便于现场应用，也可对公式 (1-4) 进行修正，使其随强度的变化而破断拉力有所增减。如抗拉强度为 1550N/mm^2 的钢丝绳即为：

$$S_b = \frac{155}{170} \times 520 d^2 = 474 d^2$$

如抗拉强度为 2000N/mm^2 的钢丝绳即为：

$$S_b = \frac{200}{170} \times 520 d^2 = 612 d^2$$

例 1-3 使用经验公式，求直径 $d = 32.5\text{mm}$ ，抗拉强度 $\sigma_b = 1700\text{N/mm}^2$ ， $6 \times 37 + 1$ 钢丝绳的破断拉力 S_b ？

解：利用公式 (1-4) 得：

$$S_b = 520 d^2 = 520 \times 32.5^2 = 549250\text{N}$$

例 1-2 和例 1-3 所求得 S_b 值仅相差 2750N，尚不及破断拉力绝对值的 1/100，且所选用钢丝绳的破断拉力为吊重量的几倍。因此，采用经验公式所造成的误差，不会影响到使用时的安全性。

(2) 钢丝绳的许用拉力计算

钢丝绳的许用拉力 P 亦按公式 (1-1) 计算，只不过式中 S_b 为钢丝绳的破断拉力（可查表 1-4 ~ 表 1-6）， K 为钢丝绳的安全系数（可查表 1-7）。

表 1-7 钢丝绳的安全系数 K

钢丝绳的用途与载荷性质			滑轮（卷筒）的最小容许直径 D (mm)	安全系数 K
缆风绳和拖拉绳			$\geq 12d$	3.5
驱动方式	人力		$\geq 16d$	4.5
	机械	轻级	$\geq 16d$	5
		中级	$\geq 18d$	5.5
		重级	$\geq 20d$	6
千斤绳		有绕曲	$\geq 2d$	6 ~ 8
		无绕曲	—	5 ~ 7
捆绑绳			—	10
载人升降机			$\geq 40d$	14

- 注 1. 表中 d 为钢丝绳直径，mm；
2. 千斤绳无绕曲指的是两绳套与卸扣连接，中间无弯曲情况；
3. 拖拉绳指的是拖拉滑车组串绕的钢丝绳与千斤绳。

这里需指出的是，表 1-7 中的机械传动轻、中、重级是以起吊速度的快慢来划分的（见表 1-8）。

表 1-8 不同吨位轻、中、重级工作性质的起吊速度 (m/min)

工作性质	工 作 速 度							
	吨 位 划 分							
	10t 以下	30t 以下	50t 以下	75t 以下	100t 以下	125t 以下	200t 以下	250t 以下
轻级	8.4 以下	6.3 以下	5.5 以下	4.2 以下	3.5 以下	2.2 以下	1.5 以下	0.8 以下
中级	10 ~ 12	7.0 ~ 10	6.25 ~ 6.8	5.1 ~ 6.2	4.5 ~ 5	2.8 ~ 3.5	2.2	1.9
重级	15 ~ 19	13 ~ 15	7.5 ~ 9	5.2 ~ 7	5.5 ~ 6	4 ~ 4.3	3 ~ 3.3	2 ~ 2.3

计算用作千斤绳的钢丝绳拉力 P 时，要根据绳数和绳索与垂直方向的夹角 α （图 1-4），同时应符合 $PK \leq S_b$ 才算安全。 P 按下式计算：

$$P = \frac{1}{\cos \alpha} \times 9.8 \frac{G}{n} = m 9.8 \frac{G}{n} \quad \text{N} \quad (1-9)$$

式中 G ——被吊件的质量，kg；

n ——绳数；

$m = \frac{1}{\cos \alpha}$ ——随 α 而变化的系数，查表 1-9。

从式 (1-9) 可知， α 值增大时， P 值亦增大，为安全起见，在选择千斤绳时，要使其长度足够用，以保证 $\alpha \geq 60^\circ$ 。

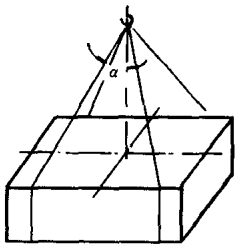


图 1-4 计算千斤绳拉力图示

表 1-9 系数 m 值

α	0°	15°	30°	45°	60°
m	1	1.03	1.15	1.42	2

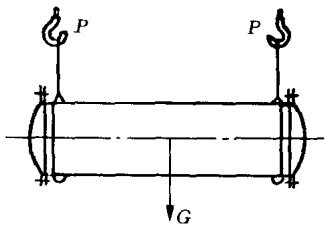


图 1-5 起吊水箱

例 1-4 如图 1-5 所示，用两台起重机联合起吊质量 $G = 8\text{t}$ 的水箱，若选用抗拉强度 $\sigma_b = 1700\text{N/mm}^2$ 的钢丝绳作捆绑绳，问钢丝绳直径应为多少毫米？

解：每条钢丝绳的许用拉力

$$P = 9.8 \frac{G}{2} = 9.8 \times \frac{8000}{2} \approx 40000 \quad \text{N}$$

根据公式 (1-1) $P \leq \frac{S_b}{K}$ 得 $PK \leq S_b$

作捆绑绳用 6 股 37 丝钢丝绳，安全系数取 $K = 10$ ，则

$$PK = 40000 \times 10 = 400000\text{N} \leq S_b$$

查表 1-5 中抗拉强度为 $\sigma_b = 1700\text{N/mm}^2$ 所对应的破断拉力 S_b ，无 400000N 的等级，取略大于此值的 410500N 等级，所对应的钢丝绳直径为 $d = 28\text{mm}$ 。因此，应选用 6 股 37 丝，直径为 28mm 的钢丝绳。

3. 钢丝绳的维护

- (1) 不能使钢丝绳发生锐角折曲、“桃圈”^① 及由于被夹或被砸而发生扁平松股现象；
- (2) 为了防止钢丝绳生锈，应当定期涂抹无水分的油脂，其成分为：煤焦油 68%、三号

① “桃圈”——就是指工人所说的被扣或打圈。

沥青 10%、松香 10%、工业凡士林 7%、石墨 3%、石蜡 2%。或使用其他浓矿物油(如汽缸油)。钢丝绳在使用时最少每隔一个半月抹一次油,在保存时最少每六个月抹一次油;

- (3) 不准使用边缘破碎的滑轮;
- (4) 要避免钢丝绳与钢铁构件及建筑物的棱角发生摩擦;
- (5) 防止钢丝绳与电焊线接触;
- (6) 保存钢丝绳时,应放在干燥的库房内,并在存放前涂好油,成卷放在木板上。

4. 钢丝绳的报废标准

鉴于起重工作的安全,钢丝绳有下列情况之一者,报废换新或截除:

- (1) 在一个节距内断丝的数量超过表 1-10 中规定时应报废;

表 1-10 钢丝绳的报废标准

钢丝绳采用的安全系数	钢 丝 绳 种 类					
	6×19+1 钢丝绳一个节距内断丝数		6×37+1 钢丝绳一个节距内断丝数		6×61+1 钢丝绳一个节距内断丝数	
	钢丝绳搓捻方法		钢丝绳搓捻方法		钢丝绳搓捻方法	
	逆 绕	顺 绕	逆 绕	顺 绕	逆 绕	顺 绕
$K < 6$	12	6	22	11	36	18
$K = 6 \sim 7$	14	7	26	13	38	19
$K > 7$	16	8	30	15	40	20

- (2) 钢丝绳中有断股应报废;
- (3) 钢丝绳的钢丝磨损或腐蚀达到及超过原来钢丝直径的 40% 时,钢丝绳受过严重火灾或局部受电火烧过时,应报废,但当腐蚀深度达直径的 10% 时应按表 1-10 中所列的断丝数减少 15%; 达 15% 时,减少 20%; 达 20% 时,减少 30%; 达 25% 时,减少 40%; 达 30% 时,减少 50%;
- (4) 钢丝绳受冲击载荷后,这段钢丝绳较原来长度延长 0.5%,就应将这段钢丝绳割除。

三、绳索的缠勾与系结

无论是麻绳还是钢丝绳,使用时都需正确缠勾与系结,以保证起重工作的安全。具体方法参见图 1-6、图 1-7 和表 1-11、表 1-12。

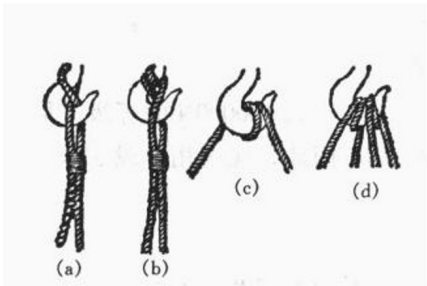


图 1-6 绳索缠勾法

(a) 单绕缠勾法; (b) 双绕缠勾法; (c) 两端吊挂缠勾法; (d) 四端吊挂缠勾法

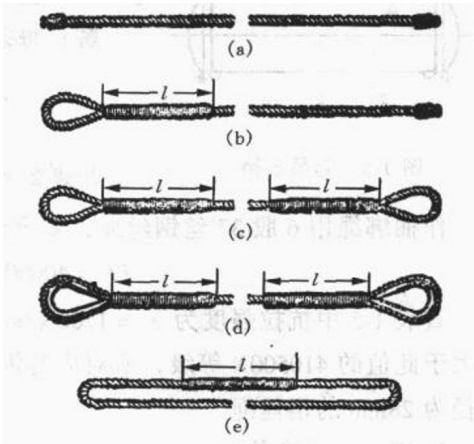


图 1-7 绳索

(a) 普通绳索; (b) 单环绳索; (c) 双环绳索;
(d) 带双索环的绳索; (e) 索套(绳索接头长度 l 不应小于直径的 15 倍,但最低不可少于 300mm)