

李祖钜 编著

提升钢丝绳

选择与应用技术

TISHENG GANGSISHENG

XUANZE YU YINGYONG JISHU



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

提升钢丝绳选择与应用技术

李祖钜 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2018

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了各类钢丝绳的结构特点和使用性能,尤其是涉及近些年国内外新开发的压实类和涂(填)塑钢丝绳。针对不同钢丝绳的特性,就如何结合具体用途合理选择提升钢丝绳做了详细的论述。以影响提升钢丝绳使用寿命为主线,重点叙述了如何正确使用钢丝绳,以及在使用中如何对钢丝绳进行检测和润滑维护。

书中借助于建筑力学计算方法,介绍了提升钢丝绳承载工作时的拉伸与扭转静力学。并结合实际承载方式,详细叙述了提升钢丝绳强度的计算方法。这些理论和方法,对于分析和预测提升钢丝绳工作的可靠程度以及完善钢丝绳结构都有实用价值。书中还专门介绍了不扭转钢丝绳的构成理论与计算。

本书可供从事提升设备、各类起重机械和电梯的设计、制造人员;矿山、建筑工程、石油矿场、港口、起重运输等行业从事使用和维护钢丝绳的工作人员;从事金属制品研究及钢丝绳制造的有关人员参考及工科院校矿山机械、起重运输机械、建筑工程机械、港口机械、石油矿场机械等相关专业的补充教材。

图书在版编目(CIP)数据

提升钢丝绳选择与应用技术/李祖钜编著. —北京:
冶金工业出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5024-7869-8

I. ①提… II. ①李… III. ①提升钢丝绳—研究
IV. ①TG356.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第217214号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjcs@cnmp. com. cn

责任编辑 夏小雪 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹蕊

责任校对 李娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7869-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018年9月第1版,2018年9月第1次印刷

169mm×239mm;12.5印张;244千字;190页

48.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgcs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

钢丝绳是一个可弯曲的特殊构件，在工作时能同时承受拉应力、扭转应力、弯曲应力及动载荷，因此，广泛使用于各行业的提升机械及起重设备，作为配套的提升机构的索件。在矿山开采中，提升钢丝绳是唯一的动力索件，矿物由井下提运到地面，全部工作都由它来完成，钢丝绳的安全使用普遍受到人们的重视。作者从事多年矿井提升机械的教学和工程设计及提升钢丝绳的研究，本书详细地介绍了矿井提升钢丝绳的结构选择，使用、检测及工作力学理论。考虑到钢丝绳使用广泛，针对其他行业机械，如建筑起重机、打桩机、旋挖钻机、汽车起重机、电梯、港口装卸起重机以及石油钻机等，就如何结合具体用途合理选择与正确使用钢丝绳也做了详细介绍。希望通过本书有助于这些行业的读者，全面提高应用提升钢丝绳的技术水平和理论水平。

钢丝绳结构复杂，种类繁多，制造加工方法多样化。为了帮助读者能准确选用钢丝绳，作者从钢丝绳结构组件、结构种类以及生产工艺入手，详细介绍了各类钢丝绳的特性。了解和掌握这些必备的专业知识，是选用钢丝绳的基础。为了使读者从发展观点来选择钢丝绳，还专门介绍了新型结构钢丝绳的生产新技术、新工艺。合理选择钢丝绳结构只是第一步，随后还需要正确使用钢丝绳，才能获得最佳使用寿命，这就是作者写这本书的指导思想。

提升钢丝绳力学原理与强度理论的研究，为优化钢丝绳结构

性能、开发新产品奠定了基础。早期苏联的一批学者进行过大量的实验和理论研究,日本、德国、波兰、美国等一些学者也有过研究,我国目前还处于研究初期。国内一些产品开发专家,在对国外进口的钢丝绳中分析后,认为在产品设计理念上与国外有较大差距,如国外产品中的不同股型的优化组合,复合强度、点-线接触复合结构的应用,股、钢丝之间合理间隙的设计思想等,作者认为其主要原因是国内缺乏理论研究。本书介绍的不扭转钢丝绳构成理论,希望能使读者受到启发。

在相关的机械中,钢丝绳是提升机构的一个极其重要的构件,但由于受篇幅的限制,在工科院校的教材中只占一小节,希望本书是教材内容的补充。也期望有更多的研究生,有兴趣研究提升钢丝绳工作理论。

为了使书的内容更加完整,在编写过程中参考了不少文献资料,在此向这些文献的作者表示感谢。由于本人知识有限,书中难免有不足之处,欢迎广大读者批评指正。作者电子邮箱: lzzz45@163. com。

作 者
2018 年 3 月

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 钢丝绳的结构及其特性

1 钢丝绳的结构、分类及标记	5
1.1 钢丝绳结构组件	6
1.1.1 制绳用钢丝	6
1.1.2 绳股	7
1.1.3 绳芯	12
1.2 钢丝绳结构分类	13
1.2.1 钢丝在绳中的捻次	13
1.2.2 制造加工方法	17
1.2.3 钢丝及股的接触状态	21
1.2.4 抗扭转性能	22
1.2.5 螺旋捻制方向	23
1.3 钢丝绳的标记	23
1.3.1 标记代号	24
1.3.2 简要标记法	26
1.3.3 综合标记法	28
1.3.4 全部结构标记法	28
2 钢丝绳生产新技术、钢丝绳的特性	30
2.1 钢丝绳生产新技术	30
2.1.1 钢丝拉制工艺	31
2.1.2 螺旋捻制钢丝绳一般生产工艺过程	33
2.1.3 压实类钢丝绳生产新技术	37
2.1.4 钢丝绳的不松散工艺	40
2.1.5 涂覆钢丝绳生产工艺	41

2.2 钢丝绳的特性	42
2.2.1 捻制特性	42
2.2.2 结构密度特性	45
2.2.3 强度特性	46
2.2.4 弯曲特性	50
2.2.5 拉伸与扭转特性	50
 第2篇 提升钢丝绳选择与计算 	
3 提升钢丝绳结构选择	53
3.1 选择钢丝绳应考虑的因素	53
3.1.1 钢丝绳的结构性能	53
3.1.2 钢丝绳的结构组件	56
3.1.3 钢丝绳的捻向	59
3.1.4 提升高度的影响	59
3.1.5 提升机的类型	60
3.1.6 工作环境的影响	60
3.2 根据具体用途选择钢丝绳结构	61
3.2.1 矿山提升机械	61
3.2.2 各类起重机械	63
3.2.3 电梯、升降机	66
3.2.4 桩基工程机械	67
3.2.5 石油矿场机械	68
4 提升钢丝绳选择计算	70
4.1 计算方法概述	70
4.2 矿井提升钢丝绳	71
4.2.1 计算公式	71
4.2.2 矿井提升安全系数选择	73
4.3 起重机起升钢丝绳	75
4.4 电梯曳引钢丝绳	77
4.4.1 对曳引钢丝绳有关规定	77
4.4.2 曳引绳直径计算	78
4.4.3 许用安全系数计算	80
4.5 石油钻井起升钢丝绳	82

4.5.1 起升系统及绳系的受力	82
4.5.2 游动绳系分支拉力	83
4.5.3 起升钢丝绳选择计算	85

第3篇 提升钢丝绳使用与检测

5 提升钢丝绳使用与维护	87
5.1 合理的卷绕直径比 D/d 值	87
5.2 钢丝绳在卷筒上的缠绕	88
5.2.1 卷筒槽型结构	89
5.2.2 卷筒槽型尺寸	91
5.2.3 钢丝绳缠绕偏角	92
5.2.4 钢丝绳的捻向选择	92
5.3 钢丝绳在绳轮上弯曲	94
5.3.1 弯曲时的接触包角	94
5.3.2 滚轮组的应用	94
5.4 滑轮绳槽	96
5.4.1 滑轮绳槽断面尺寸	96
5.4.2 滑轮绳槽衬垫及其材料	97
5.5 钢丝绳的润滑维护	98
5.5.1 钢丝绳润滑脂的性能要求	99
5.5.2 钢丝绳润滑脂的选择	99
5.5.3 钢丝绳润滑及除垢装置	100
6 钢丝绳的损伤、检查及报废判定	104
6.1 钢丝绳的损伤	104
6.1.1 断丝	104
6.1.2 磨损	105
6.1.3 锈蚀	106
6.1.4 钢丝绳的变形	106
6.2 钢丝绳的检查	107
6.2.1 一般检查	107
6.2.2 试验检查	108
6.3 钢丝绳磁力探伤	110
6.3.1 钢丝绳磁力探伤原理及方法	110

6.3.2 钢丝绳的磁化	111
6.3.3 损伤部位漏磁场的分布与检测	112
6.3.4 探伤仪的结构组成	117
6.3.5 钢丝绳削弱程度的判断	118
6.4 钢丝绳报废判定	123
6.4.1 矿山提升钢丝绳	124
6.4.2 起重机钢丝绳	124
6.4.3 对现行报废标准的评价及建议	125

第 4 篇 提升钢丝绳力学原理与应用

7 承载直线钢丝绳的拉伸与扭转	127
7.1 单根钢丝内力与正则方程	127
7.1.1 选择坐标系	127
7.1.2 钢丝内力与正则方程	128
7.2 直线钢丝绳拉伸与扭转静力方程	132
7.2.1 一次捻（单股）钢丝绳静力方程	132
7.2.2 二次捻（股捻）钢丝绳静力方程	134
7.3 提升钢丝绳承载时的拉伸与扭转	139
7.3.1 悬垂钢丝绳受拉时的弹性静力方程	139
7.3.2 提升钢丝绳的两种基本承载方式	140
7.4 钢丝绳的扭转对其使用及寿命的影响	143
7.4.1 钢丝绳的扭转对容器（或轿厢）轨道的影响	143
7.4.2 给多绳摩擦提升造成不利工作条件	144
7.4.3 对绳槽摩擦衬垫磨损的影响	145
7.4.4 钢丝绳的扭转对其使用寿命的影响	147
8 不扭转钢丝绳构成与计算	148
8.1 不扭转钢丝绳结构原理	148
8.2 不扭转钢丝绳构成理论与计算	150
8.2.1 一次捻（单股）钢丝绳	150
8.2.2 二次捻（股捻）钢丝绳	153
8.2.3 相对扭矩平衡程度	156
8.3 钢丝绳股层分离变形与措施	157
8.3.1 造成分层变形的原因	157

8.3.2 采取的措施	158
9 提升钢丝绳强度计算方法	159
9.1 直线钢丝绳拉伸与扭转强度计算	159
9.1.1 一组螺旋元载荷计算	159
9.1.2 单个螺旋元载荷计算	163
9.2 绕于滑轮或卷筒提升钢丝绳强度计算	167
9.2.1 过渡段附加轴向拉力	167
9.2.2 钢丝弯曲应力	169
9.2.3 钢丝全应力及合成安全系数	170
10 提升钢丝绳耐力计算及提高寿命途径	172
10.1 提升钢丝绳工作耐力计算方法	172
10.1.1 矿山提升钢丝绳	172
10.1.2 起重机钢丝绳	173
10.1.3 石油钻井钢丝绳	177
10.2 提高钢丝绳使用寿命的途径	178
10.2.1 优化钢丝绳结构性能	178
10.2.2 制造工艺	180
10.2.3 合理选择钢丝绳结构	181
10.2.4 正确使用钢丝绳	182
附表	185
参考文献	188

绪 论

很早以前,人们就开始使用金属丝搓捻的绳索,最初用在矿山作提升索。第一根钢丝绳,是在 1834 年由德国人奥鲁勃特用手工搓捻的,由 3 股组成,每股仅 4 根钢丝,钢丝的强度极限为 $400 \sim 500\text{MPa}$ 。当时尽管结构最简单,寿命短,但能满足挠性传动的需要。因此,在许多场合很快就取代了有机物绳索和金属链条。后来由于矿山工业的发展,要求钢丝绳有更高的强度和寿命,于是逐步采用含碳量较高的钢材料来拉制钢丝。随后又出现了“铅淬火”热处理新工艺,使制绳钢丝的质量不断得到改善,在一定程度上满足了矿山工业发展的需要。

在钢丝绳结构发展过程中,最早使用的是 6 股、每股 7 丝 (6×7) 钢丝绳。因钢丝较粗,耐磨损、耐锈蚀能力强,很适合用于牵引。后来由于新型起重机械的出现,要求有较高的绳速,较小的滑轮。为了满足要求采用增加丝数、减小丝径来提高钢丝绳的韧性和强度,而出现了 6×19 和 6×37 。其结构形式是采用相同丝径、不同捻距来捻制,构成点接触股钢丝绳,称为非平行捻股钢丝绳。

在使用过程中,人们发现点接触股钢丝绳易产生疲劳断丝,使用寿命短。随着矿山工业及起重运输业的发展,对钢丝绳提出了更高的要求,于是又出现了用不同丝径、相同捻距来捻制构成的线接触股,称为平行捻股钢丝绳。国外从 20 世纪 50 年代初开始生产单一的西鲁式 (S)、瓦林忒式 (W)、填充式 (F_i),我国是从 60 年代开始生产。与点接触股比,具有耐弯曲疲劳性能好、结构紧密、破断力大、寿命较长等优点,得到了广泛使用。经过不断完善和改进,后来又出现了以 WS 和 F_iS 为基本型的二元组合式。为某些重要用途的需要,又发展了 F_iWS 三元组合式。线接触股钢丝绳的普遍使用,使得点接触股钢丝绳逐渐被取代。

采用平行捻加工方法,可以获得结构紧密,破断拉力提高等优点。对于单层股钢丝绳,也可以将绳式芯中的股与绳中的外层股之间,按 S、W、 F_i 及 WS 形式来配比和排列,构成全线接触的满充式钢丝绳,又称为平行捻钢丝绳。由于结构紧密、破断拉力大,广泛使用于矿山电铲。

为了综合点接触与线接触的结构及捻制加工特点,点-线接触股与点-线接触钢丝绳得到了应用。在点-线接触股中,利用不同捻向、匹配不同的捻角、丝径和丝数,来达到各钢丝层的扭矩平衡,构成具有稳定股的单层不扭转钢丝绳。在点-线接触多层股钢丝绳中,变换股层捻向、匹配捻角、股径及股数,来达到

各股层的扭矩平衡。

通过改变绳内钢丝的接触状态获得了好处,使人们想到再提高一步,于是出现了对线接触股进行压实加工使其成为面接触股,称为压实股钢丝绳。与线接触股比,结构更加紧密,破断拉力大,接触应力减小,表面光滑,耐磨性能提高。压实加工其方法有:模体拉拔、辊模拉拔、轧制和锻打。采用锻打法不仅能生产压实股,还可以通过对整绳经过连续锻打,加工成压实钢丝绳。与压实股钢丝绳相比,金属断面系数、破断拉力都有所提高,尤其绳表面光滑平整,很适合要求耐磨损耐挤压的绳轨道。但由于锻打后绳内变形不均,刚性加大,弯曲疲劳性能降低。

为提高钢丝绳的结构性能和使用性能,满足各种使用场合需要,将线接触股与压实股进行优化组合,将压实股排列在外层,优势互补,在国外得到了广泛应用。

为了改善钢丝绳与滑轮(或绳轮)绳槽的接触条件,增加支撑表面,减小接触应力,而导致异形股钢丝绳的生产,有三角股和椭圆股。我国目前生产和使用较多的是三角股钢丝绳,多为点接触但也有线接触。国外有向面接触三角股发展的趋势。

由上述可见,钢丝绳股内钢丝之间的接触状态是按点、线、面的顺序发展而来的;股的形状由圆形发展为异形,而钢丝绳的最佳结构将是两者之间的优化组合。

为了扩大使用范围,提高钢丝绳使用寿命,涂(填)塑新结构、新工艺得到了迅速发展。通过对绳本身及各螺旋元(钢丝、股、绳芯)表面涂塑包覆,或者是对各螺旋元之间的空隙进行填塑,以阻止有害介质的侵蚀,提高抗腐蚀能力。这些涂覆层或充填物,一方面,可以改善钢丝层或股层之间的接触状态,减轻摩擦,提高耐磨性能;另一方面,在受到冲击载荷时,可以起到缓冲作用。这类钢丝绳我国还处于起步发展阶段。

从材料力学中知道,在杆件受拉伸与扭转时,力与变形之间的关系用两个独立静力方程来表示。提升钢丝绳承载受拉时伴随有扭转,因此,拉伸静力方程与扭转静力方程共存。钢丝绳乃是一个复杂的静不定杆件系,М. Ф. 格卢什科根据用于细长杆件的基尔赫哥夫方程,第一个运用建筑力学方法导出了拉伸与扭转的联合方程^[39]:

$$\begin{aligned} A \frac{du}{dx} + C \frac{dv}{dx} &= T \\ C \frac{du}{dx} + B \frac{dv}{dx} &= M \end{aligned}$$

式中, A 、 B 、 C 为钢丝绳的综合刚度系数; u 、 v 为钢丝绳的纵向位移和角位移;

T 、 M 为钢丝绳承受的轴向拉力和扭转力矩； x 为悬垂钢丝绳轴线坐标。

从联合方程看出，拉伸与扭转是互相影响的，承载时的拉伸引起扭转，而扭转反过来又影响纵向变形。松捻扭转 u 增加（捻距加长），或者是紧捻扭转 u 减小（捻距缩短），影响程度的大小决定于系数 C 。这就是直线钢丝绳的静力学原理，从根本上改变了关于钢丝绳内力状态的看法。

系数 C 实际上也是刚度系数，它与各钢丝层或股层之间的捻向及捻角有关，适当选取各层之间的不同捻向和捻角，可以使得 $C \approx 0$ ，这种钢丝绳扭转很小。这就是不扭转钢丝绳构成的基本理论。

钢丝绳在卷筒或绳轮上弯曲时的应力计算，最早是烈洛公式：

$$\sigma_u = E \frac{\delta}{D}$$

此式可确定未经编捻的钢丝直径为 δ ，在直径为 D 的绳轮上弯曲时的应力，与材料力学中梁的弯曲理论比较，没有什么新内容。

钢丝捻制成钢丝绳之后，在绳轮上弯曲时，钢丝随钢丝绳而弯曲，每根钢丝的曲率大小取决于钢丝在绳中的位置，不存在一致的弯曲应力状态。因此，需要引入一修正系数：

$$\sigma_u = KE \frac{\delta}{D}$$

修正系数 K 的大小很早就是争论的课题，值得注意的是，为了确定在弯曲钢丝绳中钢丝的曲率，M. Ф. 格卢什科采用了运动学相似理论而得出了钢丝轴方程，根据这个方程可以确定弯曲时在任一位置钢丝曲率的大小，而得到系数 K 的计算公式^[39]：

对一次捻钢丝绳：

$$K_{\max} = (1 + \sin^2 \alpha) \cos \alpha$$

$$K_{\min} = \cos 2\alpha \cos^2 \alpha$$

对二次捻钢丝绳：

$$K_{\max} = (1 + \sin^2 \alpha)(1 + \sin^2 \beta) \cos \alpha \cos \beta$$

$$K_{\min} = \cos 2\alpha \cos 2\beta \cos^2 \alpha \cos^2 \beta$$

在直线段与弯曲段之间的过渡段，因钢丝绳轴线的曲率是变化的（由零变化到 $1/R$ ），每根钢丝获得不等的附加轴向位移，而由此带来附加轴向拉力。根据研究分析，在缠入点（弯曲段与过渡段的分界点）位置，附加轴向拉力最大，随着往直线段过渡逐渐减小，在某一位置由于摩擦力的作用，减至为零。要精确计算是很困难的，在 C. T. 谢尔盖耶夫的著作中^[25]，提出了在确定钢丝绳中任一钢丝的最大附加轴向拉力时，可按简化公式计算：

$$\Delta P_t = 0.2\eta d \sqrt{\frac{\mu Q_0 EF}{hD}}$$

式中, d 为钢丝绳直径; μ 为钢丝之间的摩擦系数; Q_0 为钢丝绳承受的终端载荷; h 为钢丝在股中的捻距; D 为滑轮或卷筒直径; EF 为钢丝抗拉刚度; η 为系数。按下式计算:

$$\eta = 1.6 \sqrt{1 - 0.01 \frac{D}{d}}$$

提升钢丝绳的强度计算通常是采用静力安全系数法:

$$\frac{P_d}{T} \geq m$$

式中, P_d 为最小钢丝破断拉力总和; T 为钢丝绳承受的最大静拉力; m 为安全系数。

静力安全系数法完全没有考虑钢丝绳结构的复杂性, 以及钢丝绳中实际应力的分布状态, 是带有假定性质的。一般来说, 在同一个使用工况下, 不同结构钢丝绳具有不同的使用期限, 对它们规定为同一个安全系数是不确切的。按假定的安全系数来选择钢丝绳没有实际应用价值, 早就希望在工程技术中, 有较完善的提升钢丝绳力学原理和强度理论, 这种理论不仅用于提升钢丝绳选择计算, 而且对于进一步完善钢丝绳结构都是需要的。

提升钢丝绳承载受拉时伴随有扭转, 由于扭转使得各股层或钢丝层之间的内力重新分布, 造成某些钢丝过载提前破断, 从而缩短钢丝绳服务期限。为了充分利用钢丝绳的金属断面, 发挥其承载能力, 对各股层或钢丝层根据内力分布大小, 按等强度理念来匹配抗拉强度等级, 使其安全系数接近于实际应力状态。

提升钢丝绳强度计算应包括: (1) 直线段, 在拉伸与扭转共同作用下, 股层及钢丝层之间的内力分布, 以及股中单根钢丝内力; (2) 弯曲段, 不同曲率钢丝的弯曲应力; (3) 过渡段, 不同位置钢丝附加轴向拉力; (4) 钢丝全应力及合成安全系数。

提升钢丝绳耐久性计算在工程实践中具有一定的价值, 但目前还是建立在纯粹经验数据上。在 П. П. 涅斯捷罗夫的著作中^[46], 对矿山提升钢丝绳的耐力计算有详细论述, 所得出的影响系数都是经实地考察调研获得的。目前有关提升钢丝绳的耐久性计算方法, 在工程实践中还没有得到广泛应用, 其主要原因是没有精确的试验和统计资料。

钢丝绳的结构及其特性

1 钢丝绳的结构、分类及标记

钢丝绳的结构及捻制工艺虽不断改进与发展，但它的基本构造仍是螺旋捻制，其他的捻制或编捻方法在钢丝绳中不宜采用。因为只有采用螺旋捻制，才能保证钢丝绳断面具有最大的金属充满度，并达到钢丝之间的紧密接触。另外，螺旋捻制的钢丝绳在卷筒上缠绕弯曲时，由于钢丝相互之间具有横向固定，并保持紧密接触，不会因钢丝之间的相互滑动而失去稳定。然而未经螺旋捻制的钢丝束，在弯曲时外表钢丝有可能插入到里面钢丝之间，而里面钢丝有可能失去稳定而鼓起。

简单的钢丝绳是在中心钢丝的周围按螺旋形捻绕一层或几层钢丝，称为一次捻（单股）钢丝绳。而比较复杂的钢丝绳，则是先在中心钢丝（或麻芯）的周围，用一层或几层钢丝按螺旋形捻成股，然后用这些股（一层或几层）围绕绳芯按螺旋形捻成钢丝绳，称为二次捻（股捻）钢丝绳。然而将二次捻钢丝绳围绕绳芯按螺旋形再捻制一次，构成三次捻（钢缆）钢丝绳，原来的二次捻钢丝绳则称为子绳。如果这种捻制过程继续下去，原则上可以得到任意捻制次数的钢丝绳。但是，随着捻制次数的增加，钢丝绳断面的金属充满度相对减小，绳的表面逐趋劣化。因此，工程技术上多使用二次捻钢丝绳。

钢丝绳的基本构造是由钢丝、绳股和绳芯三部分构成（如图 1-1 所示），而对它们进行不同的配置和排列，以及采用不同的加工方法，可以构成各种各样的钢丝绳。

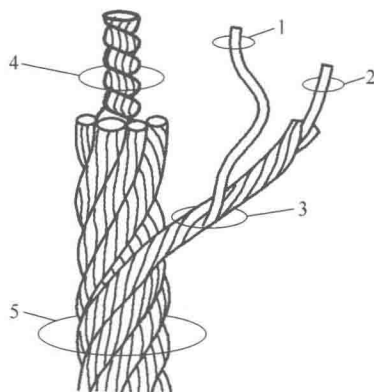


图 1-1 钢丝绳的基本构造

1—钢丝；2—中心钢丝；3—绳股；4—绳芯；5—钢丝绳

1.1 钢丝绳结构组件

1.1.1 制绳用钢丝

钢丝是构成股的基本螺旋元，按其断面形状有圆形和异形两种。由于圆形钢丝形状简单易于拉制，是制造钢丝绳的主要材料。与异形钢丝相比，圆形钢丝的主要缺点是，捻制以后不能完全保证钢丝之间的紧密接触和最大限度地填充钢丝绳的横断面。因此，通常将异形钢丝用作密封钢丝绳的封闭或半封闭部分。

制绳用钢丝断面形状如图 1-2 所示。

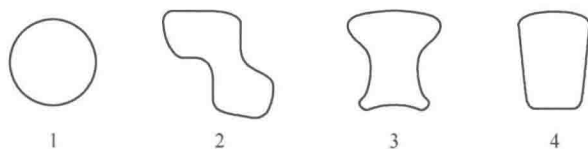


图 1-2 制绳用钢丝断面形状

1—圆形；2—全密封（Z）；3—半密封（H）；4—梯形（T）

制绳钢丝是由盘条经冷拉（或轧制）形成具有一定形状（圆形或异形）和尺寸。钢丝经拉拔之后强度得到提高，拉拔道次越多、钢丝越细其抗拉强度越高，而粗钢丝其抗拉强度相对要低些。制绳钢丝的直径通常为 0.4~6.0mm，动索用钢丝其直径在 4.0mm 以下较适宜，静索用钢丝其直径在 2.0~6.0mm 范围。在南非矿井提升钢丝绳，使用的钢丝一般在 4.0mm 以下，普遍采用 2.28~3.35mm。对异形钢丝，如 Z 形钢丝的断面高度有两种： $h_1 = 2 \sim 4\text{mm}$ ，有较好的可挠性，可用于提升钢丝绳； $h_2 = 5 \sim 6\text{mm}$ ，常用于索道的支承索。梯形钢丝的断

面高度通常为 5mm。

制绳钢丝的抗拉强度在制绳钢丝的标准中，按钢丝的表面状态、公称直径的不同规定了强度等级范围，其对应关系见表 1-1^[1]。

表 1-1 钢丝表面状态、直径与强度的关系

钢丝表面状态	钢丝公称直径/mm	钢丝公称抗拉强度/MPa
光面钢丝 B 类镀锌钢丝	$3.60 < d \leq 4.40$	1470、1570、1670
	$3.00 < d \leq 3.60$	1470、1570、1670、1770
	$0.20 < d \leq 3.00$	1470、1570、1670、1770、1870
AB 类镀锌钢丝	$3.60 < d \leq 4.40$	1470、1570、1670
	$0.20 < d \leq 3.60$	1470、1570、1670、1770
A 类镀锌钢丝	$3.60 < d \leq 4.40$	1370、1470、1570
	$3.00 < d \leq 3.60$	1370、1470、1570、1670
	$0.20 < d \leq 3.00$	1370、1470、1570、1670、1770

制绳钢丝的表面状态有光面、镀层和涂层三种，镀层分镀锌和镀铝。镀锌和镀铝有各自的独特性能，可根据不同的使用环境正确选择，以充分发挥它们的抗腐蚀能力。根据镀层厚度的不同，镀锌钢丝分为 3 类：A 类（厚镀层）——用于严重腐蚀条件；B 类（薄镀层）——用于轻度腐蚀条件；AB 类（中等厚镀层）——用于中等腐蚀条件。某些特殊用途的钢丝，根据腐蚀介质和工作条件的不同而采用在钢丝表面涂上塑料，其涂料有聚酰胺、聚乙烯和聚丙烯等。

制绳钢丝的韧性即反复弯曲次数和扭转次数，在制绳钢丝标准中，按用途不同分为重要用途钢丝绳用钢丝和一般用途钢丝绳用钢丝。对不同直径的钢丝，按其不同用途、表面状态及抗拉强度，规定了最小弯曲值和最小扭转值。在钢丝直径相同时，重要用途钢丝绳用钢丝的最小弯曲值和最小扭转值比一般用途要高。重要用途通常是指，如矿井提升、大型浇铸、繁忙起重、客运索道、石油钻井、大型吊装、船舶和海上设施等。除此之外，如机械、建筑、渔业、林业等行业的牵引和系物用钢丝绳均属一般用途。在密封钢丝绳标准中，对异形钢丝分为特、普两个韧性级别。对电梯钢丝绳用钢丝不分韧性级别，而是按抗拉强度等级来规定最小弯曲值和最小扭转值。

1.1.2 绳股

股是构成钢丝绳的基本螺旋元，按其断面形状可分为圆形股和异形股，按不同的制造加工方法又分为普通股和压实股。股的基本构造是钢丝和股芯，在一次捻单股钢丝绳中，其中心只用一根钢丝作为绳芯（也称股芯），而在二次捻钢丝