

“十二五”国家重点图书出版规划项目  
现代电磁无损检测学术丛书

*Electromagnetic Nondestructive Testing*

# 钢丝绳电磁无损检测

杨叔子 康宜华 陈厚桂 袁建明 著  
林俊明 审

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代电磁无损检测学术丛书

# 钢丝绳电磁无损检测

杨叔子 康宜华 陈厚桂 袁建明 著

林俊明 审



机械工业出版社

本书系统论述了钢丝绳电磁无损检测的基本理论、技术方法与应用，主要介绍了钢丝绳几何损伤（断丝、磨损、锈蚀、形变）的检测和量化评价方面的研究成果。全书共分7章，第1章介绍了钢丝绳损伤及检测方法，第2、3章论述了钢丝绳断丝漏磁场检测方法和钢丝绳金属横截面积测量方法，第4~6章介绍了几种典型的钢丝绳检测方法及应用，第7章介绍了基于仪器探伤的钢丝绳评估。本书是作者20多年来对理论和应用研究成果的总结，可供无损检测相关技术和工程人员参考，也可作为无损检测人员的资格培训和高等院校相关专业的参考教材，书中钢丝绳检测系统的具体实现对其他无损检测开发人员也具有借鉴意义。

### 图书在版编目（CIP）数据

钢丝绳电磁无损检测/杨叔子等著. —北京：机械工业出版社，2016.11

（现代电磁无损检测学术丛书）

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-111-55268-0

I. ①钢… II. ①杨… III. ①钢丝绳—电磁检验—无损检验

IV. ①TG115.28

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第257625号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：薛礼 责任编辑：李超群 张丹丹

责任校对：肖琳 封面设计：鞠杨

责任印制：李洋

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·2插页·223千字

0 001—1 500册

标准书号：ISBN 978-7-111-55268-0

定价：118.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线：010-68326294

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 现代电磁无损检测学术丛书编委会

**学术顾问：**程开甲（院士，国家最高科学技术奖获得者，“两弹一星”功勋奖章获得者）

**主任：**杨叔子（院士）

**副主任：**徐滨士（院士） 陈达（院士）

**委员（按姓氏笔画排序）：**

叶琛 田贵云 伍剑波 任吉林 严仍春 李光浩 李路明  
杨叔子（院士） 杨理践 沈建中 宋凯 张履谦（院士）  
陈达（院士） 陈振茂 范弘 林俊明 胡先龙 钱七虎（院士）  
徐可北 徐滨士（院士） 黄松岭 康宜华 董世运 程开甲（院士）  
曾志伟 雷洪 雷银照 蔡桂喜

# 序 1

利用大自然的赋予，人类从未停止发明创造的脚步。尤其是近代，科技发展突飞猛进，仅电磁领域，就涌现出法拉第、麦克斯韦等一批伟大的科学家，他们为人类社会的文明与进步立下了不可磨灭的功绩。

电磁波是宇宙物质的一种存在形式，是组成世间万物的能量之一。人类应用电磁原理，已经实现了许多梦想。电磁无损检测作为电磁原理的重要应用之一，在工业、航空航天、核能、医疗、食品安全等领域得到了广泛应用，在人类实现探月、火星探测、无痛诊疗等梦想的过程中发挥了重要作用。它还可以帮助人类实现更多的梦想。

我很高兴地看到，我国的无损检测领域有一个勇于探索研究的群体。他们在前人科技成果的基础上，对行业的发展进行了有益的思考和大胆预测，开展了深入的理论和应用研究，形成了这套“现代电磁无损检测学术丛书”。无论他们的这些思想能否成为原创技术的基础，他们的科学精神难能可贵，值得鼓励。我相信，只要有更多为科学无私奉献的科研人员不懈创新、拼搏，我们的国家就有希望在不久的将来屹立于世界科技文明之巅。

科学发现永无止境，无损检测技术发展前景光明！

中国科学院院士

程开甲

2015 年秋日

## 序 2

无损检测是一门在不破坏材料或构件的前提下对被检对象内部或表面损伤以及材料性质进行探测的学科，随着现代科学技术的进步，综合应用多学科及技术领域发展成果的现代无损检测发挥着越来越重要的作用，已成为衡量一个国家科技发展水平的重要标志之一。

现代电磁无损检测是近十几年来发展最快、应用最广、研究最热门的无损检测方法之一。物理学中有关电场、磁场的基本特性一旦运用到电磁无损检测实践中，由于作用边界的复杂性，从“无序”的电磁场信息中提取“有用”的检测信号，便可成为电磁无损检测技术理论和应用工作的目标。为此，本套现代电磁无损检测学术丛书的字里行间无不浸透着作者们努力的汗水，闪烁着作者们智慧的光芒，汇聚着学术性、技术性和实用性。

丛书缘起。2013年9月20—23日，全国无损检测学会第10届学术年会在南昌召开。期间，在电磁检测专业委员会的工作会议上，与会专家学者通过热烈讨论，一致认为：当下科技进步日趋强劲，编织了新的知识经纬，改变了人们的时空观念，特别是互联网构建、大数据登场，既给现代科技，亦给电磁检测技术注入了全新的活力。是时，华中科技大学康宜华教授率先提出：敞开思路、总结过往、预测未来，编写一套反映现代电磁无损检测技术进步的丛书是电磁检测工作者义不容辞的崇高使命。此建议一经提出，立即得到与会专家的热烈响应和大力支持。

随后，由福建省爱德森院士专家工作站出面，邀请了两弹一星功勋科学家程开甲院士担任丛书总顾问，钱七虎院士、徐滨士院士、陈达院士、杨叔子院士、张履谦院士等为顾问委员会成员，为丛书定位、把脉，力争将国际上电磁无损检测技术、理论的研究现状和前沿写入丛书中。2013年12月7日，丛书编委会第一次工作会议在北京未来科技城国电研究院举行，制订出18本丛书的撰写名录，构建了相应的写作班子。随后开展了系列活动：2014年8月8日，编委会第二次工作会议在华中科技大学召开；2015年8月8日，编委会第三次工作会议在国电研究院召开；2015年12月19日，编委会第四次工作会议在西安

交通大学召开；2016年5月15日，编委会第五次工作会议在成都电子科技大学召开；2016年6月4日，编委会第六次工作会议在爱德森驻京办召开。

好事多磨，本丛书的出版计划一推再推。主要因为丛书作者繁忙，常“心有意而力不逮”；再者丛书提出了“会当凌绝顶，一览众山小”高度，故其更难矣。然诸君一诺千金，知难而进，经编委会数度研究、讨论精简，如今终于成集，圆了我国电磁无损检测学术界的一个梦！

最终决定出版的丛书，在知识板块上，力求横不缺项，纵不断残，理论立新，实证鲜活，预测严谨。丛书共包括九个分册，分别是：《钢丝绳电磁无损检测》《电磁无损检测数值模拟方法》《钢管漏磁自动无损检测》《电磁无损检测传感与成像》《现代漏磁无损检测》《电磁无损检测集成技术及云检测/监测》《长输油气管道漏磁内检测技术》《金属磁记忆无损检测理论与技术》《电磁无损检测的工业应用》，代表了我国在电磁无损检测领域的最新研究和应用水平。

丛书在手，即如丰畴拾穗，金瓯一掬，灿灿然皆因心仪。从丛书作者的身上可以感受到电磁检测界人才辈出、薪火相传、生生不息的独特风景。

概言之，本丛书每位辛勤耕耘、不倦探索的执笔者，都是电磁检测新天地的开拓者、观念创新的实践者，余由衷地向他们致敬！

经编委会讨论，推举笔者为本丛书总召集人。余自知才学浅薄，诚惶诚恐，心之所系，实属难能。老子曰：“夫代大匠斫者，希有不伤其手者矣”。好在前有程开甲院士屈为总顾问领航，后有业界专家学者扶掖护驾，多了几分底气，也就无从推诿，勉强受命。值此成书在即，始觉“千淘万漉虽辛苦，吹尽狂沙始到金”，限于篇幅，经芟选，终稿。

洋洋数百万字，仅是学海撷英。由于本丛书学术性强、信息量大、知识面宽，而笔者的水平局限，疵漏之处在所难免，望读者见谅，不吝赐教。

丛书的编写得到了中国无损检测学会、机械工业出版社的大力支持和帮助，在此一并致谢！

丛书付梓费经年，几度惶然夜不眠。

笔润三秋修正果，欣欣青绿满良田。

是为序。

现代电磁无损检测学术丛书编委会总召集人  
中国无损检测学会副理事长



丙申秋

# 前 言

钢丝绳的无损检测具有重要的意义，不但能够防止断绳事故，而且能够延长钢丝绳寿命。早在1992年，作者出版了《钢丝绳断丝定量检测原理与技术》一书，阐述了断丝漏磁检测方法，尤其是断丝的定量化检测。随着钢丝绳结构的改进和制绳技术的发展，成绳钢丝直径的多样化，单根钢丝数量已不足以表达钢丝绳的损伤状况，为此，钢丝绳金属横截面积损耗的定量化评价十分重要。另一方面，随着钢丝绳电磁无损检测仪器的广泛应用，以及电磁无损检测技术的不断发展，钢丝绳的无损检测由采用手持式仪器实施定期检测，发展为自动化在线检测和监控。

本书内容初稿形成于2002年，随着研究的深入、应用的扩展，方方面面的内容不断充实和完善，一直未能形成满意的终稿。至今，仍然还有些内容不尽如人意。

本书的内容与成果是众多研究人员集体智慧的结晶。本书共分7章，第1章和第2章的部分内容来自陈厚桂的博士论文，第3章的部分内容来自袁建明的博士论文，其他内容主要来源于康宜华和杨叔子的研究成果。全书由杨叔子和康宜华规划、统稿、编写与修改。陈艳婷、冯搏、杨芸、邓志扬等参与了书稿部分章节的修改和磁场计算。武汉华宇一目检测装备有限公司的多位工程师参加了钢丝绳无损检测仪器与系统的设计和应用推广工作。林俊明研究员对全书进行了审阅。

近30年的钢丝绳电磁无损检测的研究和应用表明，钢丝绳缺陷的定量化无损检测十分困难，一方面由于钢丝绳本身结构的复杂性，另一方面由于钢丝绳应用环境的多样性，因而，钢丝绳全生命周期的检测、监测和评估困难重重。本书在钢丝绳几何损伤（断丝、磨损、锈蚀、形变）的检测和量化评价方面迈出了一步。“嚶其鸣矣，求其友声”，书中的不足恳请读者批评指正。

作 者



# 目 录

序 1

序 2

前言

第 1 章 钢丝绳损伤及检测方法概述	1
1.1 钢丝绳结构	1
1.1.1 绳股	2
1.1.2 捻制方式	2
1.1.3 绳芯	3
1.2 钢丝绳损伤类型及特征	5
1.2.1 断丝	6
1.2.2 磨损	9
1.2.3 弯曲疲劳	10
1.2.4 锈蚀	10
1.2.5 形崩（变形）	11
1.3 钢丝绳报废标准	13
1.4 钢丝绳破损检验方法	14
1.4.1 拉力试验（静态试验）	16
1.4.2 疲劳试验（动态试验）	17
1.4.3 在役钢丝绳的破坏性试验	17
1.4.4 断裂分析	19
1.5 钢丝绳的无损检测	20
1.5.1 钢丝绳无损检测方法	20
1.5.2 钢丝绳电磁无损检测技术的发展	22
1.5.3 钢丝绳电磁无损检测仪器	24
1.5.4 检测信号分析处理	25

1.5.5 钢丝绳无损检测评价标准 .....	26
<b>第2章 钢丝绳断丝漏磁场检测方法 .....</b>	<b>27</b>
2.1 断丝漏磁场检测原理 .....	28
2.2 钢丝绳漏磁检测的磁化基础 .....	29
2.2.1 磁化方式 .....	30
2.2.2 磁化强度的选择 .....	30
2.2.3 永磁磁化器 .....	31
2.3 断丝的电磁检测特性 .....	37
2.3.1 钢丝内部的磁场特征 .....	38
2.3.2 断丝漏磁场特征及影响因素 .....	42
2.3.3 有限元模型有效性验证实验 .....	45
2.3.4 断丝分布对漏磁场的影响 .....	45
2.4 断丝漏磁场测量 .....	59
2.4.1 磁场测量基本要求 .....	59
2.4.2 磁场测量原理和元件 .....	60
2.4.3 断丝漏磁场测量方法 .....	61
2.4.4 断丝漏磁场检测探头设计 .....	62
2.5 磁电模拟信号处理 .....	62
2.5.1 信号的放大处理 .....	63
2.5.2 滤波处理 .....	63
2.6 磁电信号的软件预处理 .....	64
2.6.1 磁电信号的软件平滑处理 .....	64
2.6.2 磁电信号的时空域采样 .....	65
2.6.3 断丝检测信号波形基本特征量 .....	66
<b>第3章 钢丝绳金属横截面积测量方法 .....</b>	<b>69</b>
3.1 金属横截面积磁通测量原理 .....	70
3.1.1 主磁通测量原理 .....	70
3.1.2 回路磁通测量原理 .....	76
3.1.3 磁桥路测量原理与性能分析 .....	81
3.2 LMA 和 MA 测量的仿真计算 .....	88

3.2.1 钢绞线 LMA 测量的三维有限元分析 .....	89
3.2.2 钢绞线和钢管的磁化特性比较分析 .....	90
3.2.3 钢绞线和钢管测量特性比较 .....	93
3.3 LMA 和 MA 测量的标定方法 .....	98
<b>第 4 章 手持式钢丝绳检测仪器及应用 .....</b>	<b>101</b>
4.1 手持式钢丝绳检测仪器结构 .....	101
4.2 检测传感器安装位置选择 .....	107
4.3 检测软件设计 .....	108
4.4 检测参数的标定 .....	113
4.4.1 断丝根数判别参数 D1 和 D2 的确定 .....	113
4.4.2 横截面灵敏度的确定 .....	115
4.4.3 横截面积基准的测定 .....	116
4.5 钢丝绳检测仪器的应用 .....	117
4.5.1 检测传感器的安装 .....	117
4.5.2 典型应用实例分析 .....	118
4.5.3 典型应用的信号波形分析 .....	120
<b>第 5 章 钢丝绳在线自动无损检测 .....</b>	<b>129</b>
5.1 煤矿用钢丝绳运动形式与检测特点 .....	129
5.2 缠绕式钢丝绳检测传感器结构设计 .....	131
5.3 缠绕式提升机钢丝绳检测传感器装卸 .....	133
5.4 摩擦式提升机钢丝绳检测传感器设计 .....	134
5.4.1 磁化器设计仿真 .....	136
5.4.2 穿过式钢丝绳检测探头 .....	138
5.4.3 钢丝绳在线检测探头设计 .....	139
5.4.4 检测系统及其运用 .....	144
<b>第 6 章 索道钢丝绳电磁检测 .....</b>	<b>149</b>
6.1 索道的形式与检测特点 .....	149
6.2 索道钢丝绳无损检测方法 .....	150
6.2.1 装有固定抱索器的钢丝绳检测 .....	150
6.2.2 脉动式吊厢索道钢丝绳检测 .....	152

6.2.3	承载索检测	153
6.2.4	脱挂式抱索器客运索道钢丝绳检测	155
6.2.5	货运索道钢丝绳检测	155
6.3	索道钢丝绳检测的共性问题讨论	157
6.3.1	检测信号波形	157
6.3.2	编接头信号	157
<b>第7章</b>	<b>基于仪器探伤的钢丝绳评估方法</b>	<b>161</b>
7.1	钢丝绳报废标准中的量化指标	161
7.2	钢丝绳检测仪性能测试方法	162
7.2.1	钢丝绳损伤的人工模拟与制作	163
7.2.2	重复测试方法与装置	164
7.2.3	断丝检测性能的定量测试	166
7.3	基于无损检测结果的钢丝绳评价	169
7.3.1	钢丝绳失效模型	170
7.3.2	钢丝绳的强度分析	170
7.3.3	钢丝绳强度损失的评价指标	172
7.4	在役钢丝绳无损检测标准	177
7.4.1	现有钢丝绳标准体系	177
7.4.2	对标准的讨论	178
<b>参考文献</b>		<b>181</b>

# 第1章 钢丝绳损伤及检测方法概述

钢丝绳在使用过程中的安全性及可靠性受到四个方面的影响。一是钢丝绳的基本结构参数，如韧性、密度、支撑表面的大小和结构伸长等；二是在使用过程中所具备的外部条件，如提升环境、卷筒与钢丝绳直径比、载荷情况和润滑状况等；三是使用中的损伤状况及发展趋势，如断丝、磨损、锈蚀、畸变、形崩和疲劳等；四是运行过程中的突发事件，如脱离绳槽、紧急制动和冲击等。这几个方面均直接影响钢丝绳的静态强度、动态强度、安全系数和寿命。为此，国内外的科技工作者和工程应用人员进行了广泛的研究。本章将简要介绍这方面的研究成果，以利于读者对后续章节的理解。

## 1.1 钢丝绳结构

在古代，缆索是用植物纤维、毛发、皮革等制作的；在近代工业应用上，钢丝绳则改用经过特殊处理的高拉伸强度钢丝制作，它诞生于1834年。钢丝绳的柔性比相同抗拉强度的钢棒高400~1200倍，故吊桥等用的较长缆绳一般采用钢丝绳，主要原因是它可以绕成卷，方便运输；另一方面，它的表面弹性系数是钢的1/3，具有吸收冲击的特性。为适应各种用途的需要，钢丝绳的结构多种多样，粗细规格尺寸及强度特性变化范围宽广。

钢丝绳是把高碳钢丝绞在芯线上做成子线，在多次集结子线的同时拧紧、绞制而成的。钢丝绳中各种单线的配制按其绞制方向分100多种，且使用多种粗细规格的钢丝，标准制品钢丝直径范围为0.1~5.0mm，钢丝绳的直径范围为0.6~120.0mm。对于特殊用途的钢丝绳，如大型斜拉桥的斜缆和大跨度悬索桥的主缆索，钢丝直径一般为5.0~7.0mm，缆索直径有的达2m。

由于股数和捻向的不同以及股中钢丝数目、直径、断面形状和排列方式的不同，钢丝绳分成了许多不同的类型（图1-1），其性能和适应的使用条件均不一样。制造钢丝绳的钢丝直径过细，则易于磨损；钢丝直径过粗，则难以保证抗弯疲劳性能。根据钢丝的韧性，钢丝绳分为特号、1号和2号三种。

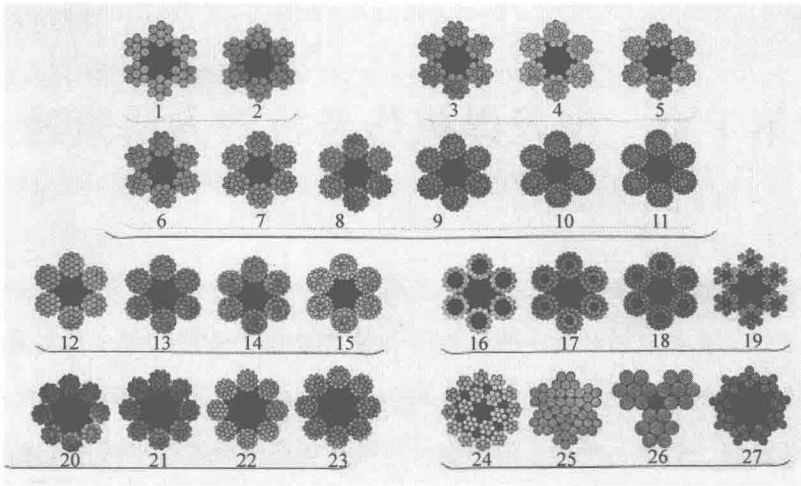


图 1-1 典型的钢丝绳断面

### 1.1.1 绳股

钢丝绳通常由 3~9 根绳股构成，用得最多的是 6 根绳股结构的钢丝绳。柔软性要求较高时，采用 8 根绳股结构的钢丝绳。当要求钢丝绳无自转时，采用 2 层以上绳股结构的钢丝绳。

一般而言，相同直径的钢丝绳，随着绳中绳股根数的增加，钢丝的直径变细，钢丝绳的柔软性增强，抗拉强度降低，耐磨性和抗形变减弱。

### 1.1.2 捻制方式

通常由同一直径或不同直径的 7~10 根绳股、单层或多层捻制成钢丝绳。按照丝在股中、股在绳中捻制方向的关系，钢丝绳可分为交互捻（逆捻）和同向捻（顺捻）两种形式。

交互捻钢丝绳，其丝在股中（一次捻）和股在绳中（二次捻）捻向相反，各绳股间的接触状态为点接触，股中内外层钢丝以等捻角、不等捻距绕制，多以相同直径的钢丝制造。理论上，所有钢丝承受的拉力相同，但由于钢丝间为点接触，有应力集中和二次弯曲现象，易磨损。较典型的有  $6 \times 7$ 、 $6 \times 9$ 、 $6 \times 24$  结构的钢丝绳。交互捻捻制的钢丝绳外表面上的钢丝轴线与钢丝绳轴线平行，如图 1-2 所示。在漏磁检测中，断丝断口产生的漏磁场较强，在检测信号中易于发现。

顺捻钢丝绳，其丝在股中（一次捻）和股在绳中（二次捻）捻向相同，股中内外层钢丝以等捻距、不同捻角方式捻绕，钢丝间是线接触状态，多以不同直径钢丝捻制。这类绳没有二次弯曲现象，比较柔软，寿命较高。典型结构有： $6 \times \text{Fi}$  (25)、 $6 \times \text{WS}$  (36)、 $8 \times \text{S}$  (19) 等。顺捻钢丝绳的基本型分为三种：西鲁型 (Seale)、瓦林吞型 (Warrington) 和填充

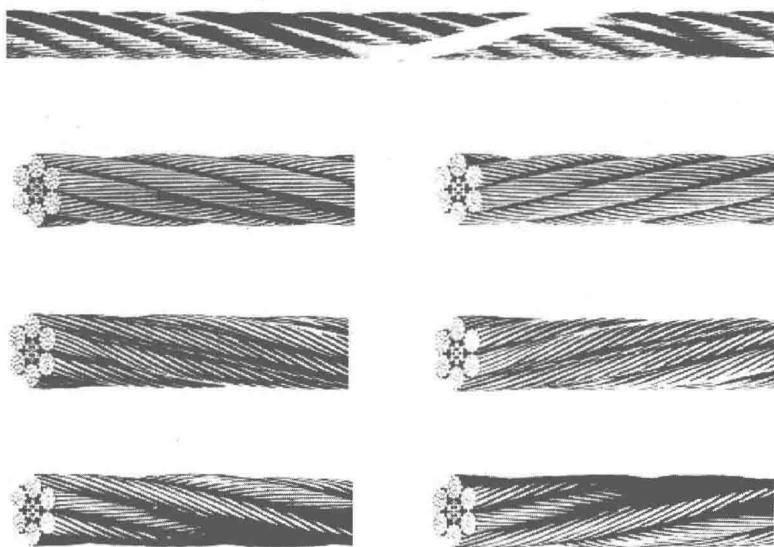


图 1-2 钢丝绳捻向及捻距

型 (Filler)。顺捻捻制的钢丝绳外表面上的钢丝轴线与钢丝绳轴线成一定角度, 如图 1-2 所示。在漏磁检测中, 断丝断口产生的漏磁场较弱, 在检测信号中不易发现。

另外, 将交互捻和顺捻组合应用后可构成组合型钢丝绳, 如瓦林吞-西鲁 (Warrington Seale) 型。

钢丝绳的捻距指一股钢丝沿绳轴向的螺距, 钢丝绳的股距指相邻绳股沿绳轴向的间隔。很明显, 它们与钢丝绳的结构和规格有关, 如图 1-2 所示。

### 1.1.3 绳芯

钢丝绳的芯绳可采用纤维芯和钢绳芯。纤维芯的作用有二: 其一, 给钢丝绳定型; 其二, 储存润滑油。它与钢绳芯相比有下述优点: ①柔软性好; ②吸振性好; ③重量轻; ④润滑较好。钢绳芯有独立钢绳股芯和中心填充钢绳芯两种, 具有下述优点: ①强度高; ②槽向抗挤压能力强; ③伸长量小, 直径不会变细; ④耐热性优良。

钢丝绳公称直径指按图 1-3 所示的正确测量方法测得的值, 有时用专用卡尺测量。实际直径容许的误差, 对于  $\phi 10\text{mm}$  以下直径的钢丝绳为 0~10%; 对于  $\phi 10\text{mm}$  以上直径的钢丝绳为 0~7%。钢丝绳的种类特别多, 随着股形状、股结构、捻制方向、配线规格等不同, 结构上千变万化。表 1-1 详细列出了钢丝绳结构分类与应用范围。

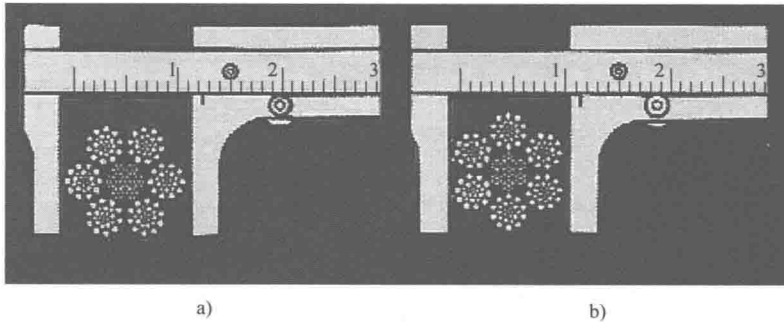


图 1-3 钢丝绳直径测量方法

a) 正确 b) 不正确

表 1-1 钢丝绳结构分类与应用范围

结构分类		特点	应用范围
按股数分	单股绳	由若干层钢丝沿同一根绳芯绕制而成。这种钢丝绳挠性差，僵性最大，不能承受横向压力	不用于提升
		密封式钢丝绳，是专门制造的一种特种构造，表面光滑，横向承载能力强	索道的承载索，钢丝绳罐道、较深矿井多绳提升的首绳
	多股绳	先由钢丝绕成股，再由股围绕绳芯绕成。挠性受绳芯材料影响很大。比单股绳挠性好	工业中广泛应用
	多层不扭转股	由两层绳股组成，它们的捻制方向相反，采用旋转力矩平衡的原理捻制而成。受力时，自由端不会发生旋转。在卷筒上支撑表面受力比较大，且有较大的抗挤压强度，使用时不易变形。总破断拉力大于普通钢丝绳	用于凿井提升，多绳摩擦提升的首绳与尾绳
按绕制方向分	同向捻 (顺捻)	钢丝绕成股的方向和股捻成绳的方向相同，称为同向捻，如绳股右捻称为右同向捻；如绳股左捻，称为左同向捻 这种钢丝绳钢丝之间接触较好，表面比较平滑，挠性好，磨损小，使用寿命较长，但是容易扭转	竖井提升
	交互捻 (逆捻)	钢丝绕成股的方向和股捻成绳的方向相反，称为交互捻。如绳右捻，股左捻，称为右交互捻；绳左捻，股右捻，称为左交互捻。缺点是僵性较大，使用寿命较低，但不容易扭转	用作尾绳、斜井串车提升



(续)

结构分类		特 点	应用范围
按绳中丝与 丝的接触 状态分	点接触	普通钢丝绳, 股内钢丝直径相等, 各层之间钢丝具有近似相等的捻角, 捻距不同。丝间呈点状接触, 接触应力很高, 使用寿命较低	一般应用
	线接触	股内各层之间的钢丝全长上平行捻制, 具有相同的捻距, 钢丝之间呈线状接触。消除了点接触的二次弯曲应力, 能降低工作时总的弯曲应力, 耐疲劳性能好。结构紧密, 金属断面利用系数高, 使用寿命长	广泛应用
	面接触	股内钢丝形状特殊, 呈面状接触, 表面光滑, 耐腐蚀性和耐磨性均好, 承载力大	值得发展和推广应用
按股横截 面形状分	圆股	股横截面形状是圆形, 结构简单, 易于制造, 价格低	广泛应用
	异形股	股横截面主要有三角形、椭圆形和扁圆形。它的支撑表面比圆股钢丝绳大3~4倍, 耐磨性好, 不易产生断丝。结构密度大, 在相同绳径和强度条件下, 总破断拉力大于圆股钢丝绳。使用寿命比普通圆股钢丝绳约高3倍	三角股已被竖井提升广泛应用
按绳芯分	天然纤维芯 (麻芯或棉芯)	具有较高挠性和弹性, 不能承受横向压力, 不能承受高温辐射	一般应用
	合成纤维芯	具有较高挠性和弹性, 不耐高温, 不能承受高温辐射	广泛应用
	金属芯	强度较高, 能承受高温和横向压力, 但挠性较差	适宜在承受冲击负荷、热和挤压条件下使用

## 1.2 钢丝绳损伤类型及特征

在使用过程中钢丝绳会出现多种形式的机械损伤, 使钢丝绳强度降低。例如, 由于钢丝绳磨损和锈蚀引起金属横截面积的减小; 由于疲劳、表面硬化、锈蚀引起钢丝绳内部性能的变化; 使用不妥引起钢丝绳的变形等。在役钢丝绳可能出现单线断裂、腐蚀、磨损、乱线等机械损伤。各种损伤的状况及分布, 对钢丝绳强度减小的影响程度不一, 而钢丝绳又往往会因某一段出现严重损伤后而让整个钢丝绳报废。因此, 研究钢丝绳各种损伤将有益于对其状态的正确评价。