



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电工材料

曾 荣 主 编
王 霞 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

参考文献

主要内容

1. 常润. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
2. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
3. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
4. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
5. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
6. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
7. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
8. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
9. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
10. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
11. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
12. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
13. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
14. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
15. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
16. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
17. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
18. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.
19. 周文俊. 电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2001.

电工材料

主 编 曾 荣
副主编 王 霞
编 写 叶 荣
主 审 刘景峰 黄天成

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

本书共分5章,主要内容为普通导电材料、特殊导电材料、绝缘材料、磁性材料和其他电工材料。教材文字简练、理论联系实际、图表并茂、内容新颖、深入浅出、涉及面广。通过学习电工材料的基础知识,在理解、掌握主要理论知识的基础上,让学生了解并记住常用电工材料的性能、特点、用途、使用范围、型号、规格及表示方法,达到在实践和应用中能合理、经济地选用电工材料、正确使用电工材料的目的。

本书可作为高职高专相关专业的教学用书,也可作为成人院校电气类专业及农村电工岗位培训的教材,也可供有关科技人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工材料/曾荣主编. —北京:中国电力出版社, 2007

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-6239-7

I. 电… II. 曾… III. 电工材料—高等学校:技术学校—教材 IV. TM2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 174674 号

中国电力出版社出版、发行

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

三河市德利印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007年12月第1版 2007年12月北京第1次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 291千字

定价 18.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,又列为全国电力高等职业教育规划教材,作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位、技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能的培训教材。

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。随着高等职业教育发展,为适应高职高专人才的培养要求,对教学模式、培养方案,特别是教材都作出了相应的调整。

本书是以能力培养为目标,以够用为度、实用为本、应用为主的原则编写,对电工材料中的导电材料、特殊导电材料、绝缘材料、磁性材料、其他电工材料等五个主要方面的新知识、新技术、新工艺和新方法进行了系统的介绍,具有典型的职业教育特色。

本书文字简练、理论联系实际、图表并茂、内容新颖、深入浅出、涉及面广。通过学习电工材料的基础知识,在理解、掌握主要理论知识的基础上,让学生了解并记往常用电工材料的性能、特点、用途、使用范围、型号、规格及表示方法,达到在实践和应用中能合理、经济地选用电工材料,正确使用电工材料的目的。

本书以三年制高职高专学生为主要编写对象,也可作为成人院校电气类专业的教学用书及农村电工岗位的培训用书;在内容上,保证了生产、技术、管理人员和高、中、初级实用人才所需的知识面和使用面,同时可供有关科技人员学习、参考。

本书中的章、节之间,可以相对独立,自由取舍,适合于以学制模块式的教学方式和综合化课程的教学要求。本书不仅是一本通俗易懂的职业教育教材,同时也是一本很好的资料参考书籍。

教材的教学参考学时为60学时。

本书由曾荣副教授(武汉电力职业技术学院)任主编,并编写绪论及第1章、第2章;王霞讲师(保定电力职业技术学院)任副主编,编写了第4章、第5章;叶荣副教授(武汉电力职业技术学院)编写第3章。刘景峰副教授(保定电力职业技术学院)担任本

书主审。本书在编写过程中，曾多次得到黄天戌教授、博导（武汉大学）的指导和审阅。周南星同志（武汉电力职业技术学院）对本书的编写原则及内容提出了许多宝贵意见。在此，一并表示衷心感谢。

限于编者的学识水平，书中不足和疏漏之处在所难免，殷切希望使用本书的广大读者批评指正。

编者

武汉电力职业技术学院

2007年6月

目 录

前言

绪论..... 1

第 1 章 普通导电材料..... 3

§ 1-1 导电材料的基础知识..... 3

§ 1-2 裸导线..... 7

§ 1-3 电磁线..... 16

§ 1-4 电气设备用电线电缆..... 27

§ 1-5 电力电缆与通信电缆..... 41

习题..... 54

第 2 章 特殊导电材料..... 57

§ 2-1 熔体材料..... 57

§ 2-2 常用电刷..... 62

§ 2-3 触头材料..... 68

§ 2-4 其他特殊导电材料..... 73

习题..... 84

第 3 章 绝缘材料..... 87

§ 3-1 绝缘材料的基础知识..... 87

§ 3-2 气体电介质..... 96

§ 3-3 绝缘油及绝缘漆..... 99

§ 3-4 绝缘胶..... 109

§ 3-5 绝缘纤维制品..... 112

§ 3-6 浸渍纤维制品..... 115

§ 3-7 电工层压制品..... 118

§ 3-8 电工用橡胶、塑料、绝缘薄膜及其制品..... 125

§ 3-9 电工用玻璃与陶瓷、云母及其制品..... 136

习题..... 141

第 4 章 磁性材料..... 144

§ 4-1 概述..... 144

§ 4-2 软磁材料..... 148

§ 4-3 硬磁材料..... 155

§ 4-4 特殊磁性材料简介..... 158

习题	160
第 5 章 其他电工材料	162
§ 5-1 杆塔、线管及低压瓷件	162
§ 5-2 钎料、助钎剂及清洗剂	170
§ 5-3 常用胶粘剂	175
§ 5-4 常用润滑剂	180
习题	183
参考文献	185
..... 第 1 章 常用材料	
..... 1-1 常用金属材料	
..... 1-2 常用非金属材料	
..... 1-3 常用绝缘材料	
..... 1-4 常用导电材料	
..... 1-5 常用磁性材料	
..... 1-6 常用热敏材料	
..... 1-7 常用光敏材料	
..... 1-8 常用压电材料	
..... 1-9 常用半导体材料	
..... 1-10 常用超导材料	
..... 1-11 常用纳米材料	
..... 1-12 常用生物材料	
..... 1-13 常用复合材料	
..... 1-14 常用特种材料	
..... 1-15 常用新型材料	
..... 1-16 常用环保材料	
..... 1-17 常用节能材料	
..... 1-18 常用安全材料	
..... 1-19 常用装饰材料	
..... 1-20 常用包装材料	
..... 1-21 常用运输材料	
..... 1-22 常用储存材料	
..... 1-23 常用处理材料	
..... 1-24 常用回收材料	
..... 1-25 常用再生材料	
..... 1-26 常用降解材料	
..... 1-27 常用可降解材料	
..... 1-28 常用生物降解材料	
..... 1-29 常用可生物降解材料	
..... 1-30 常用可降解材料	
..... 1-31 常用可降解材料	
..... 1-32 常用可降解材料	
..... 1-33 常用可降解材料	
..... 1-34 常用可降解材料	
..... 1-35 常用可降解材料	
..... 1-36 常用可降解材料	
..... 1-37 常用可降解材料	
..... 1-38 常用可降解材料	
..... 1-39 常用可降解材料	
..... 1-40 常用可降解材料	
..... 1-41 常用可降解材料	
..... 1-42 常用可降解材料	
..... 1-43 常用可降解材料	
..... 1-44 常用可降解材料	
..... 1-45 常用可降解材料	
..... 1-46 常用可降解材料	
..... 1-47 常用可降解材料	
..... 1-48 常用可降解材料	
..... 1-49 常用可降解材料	
..... 1-50 常用可降解材料	
..... 1-51 常用可降解材料	
..... 1-52 常用可降解材料	
..... 1-53 常用可降解材料	
..... 1-54 常用可降解材料	
..... 1-55 常用可降解材料	
..... 1-56 常用可降解材料	
..... 1-57 常用可降解材料	
..... 1-58 常用可降解材料	
..... 1-59 常用可降解材料	
..... 1-60 常用可降解材料	
..... 1-61 常用可降解材料	
..... 1-62 常用可降解材料	
..... 1-63 常用可降解材料	
..... 1-64 常用可降解材料	
..... 1-65 常用可降解材料	
..... 1-66 常用可降解材料	
..... 1-67 常用可降解材料	
..... 1-68 常用可降解材料	
..... 1-69 常用可降解材料	
..... 1-70 常用可降解材料	
..... 1-71 常用可降解材料	
..... 1-72 常用可降解材料	
..... 1-73 常用可降解材料	
..... 1-74 常用可降解材料	
..... 1-75 常用可降解材料	
..... 1-76 常用可降解材料	
..... 1-77 常用可降解材料	
..... 1-78 常用可降解材料	
..... 1-79 常用可降解材料	
..... 1-80 常用可降解材料	
..... 1-81 常用可降解材料	
..... 1-82 常用可降解材料	
..... 1-83 常用可降解材料	
..... 1-84 常用可降解材料	
..... 1-85 常用可降解材料	
..... 1-86 常用可降解材料	
..... 1-87 常用可降解材料	
..... 1-88 常用可降解材料	
..... 1-89 常用可降解材料	
..... 1-90 常用可降解材料	
..... 1-91 常用可降解材料	
..... 1-92 常用可降解材料	
..... 1-93 常用可降解材料	
..... 1-94 常用可降解材料	
..... 1-95 常用可降解材料	
..... 1-96 常用可降解材料	
..... 1-97 常用可降解材料	
..... 1-98 常用可降解材料	
..... 1-99 常用可降解材料	
..... 1-100 常用可降解材料	

绪 论

材料学属于一门边缘学科,是研究、生产、使用材料的专门学科。

各种电工仪器、仪表、机械设备、电气设备以及电力系统所应用的材料,根据其专门用途可分为结构材料、电工材料、修饰材料等。

电工材料由于被广泛地应用于直接涉及人类社会的生产、生活、科学技术和社会活动等各个领域范畴。同时,随着科学技术的发展与进步,对社会起到日益突出的先导作用。尤其是新型的电工材料不断问世,对于现代科技、高电压技术的发展和社会经济的进步有着巨大的推动作用。因此,正确地使用电工材料亦日趋引起人们的重视。

电工材料是指包括对于任何电器、电机、电力系统等内部所发生的电磁过程起到有效作用的材料。这样,可以归入电工材料的有:

- (1) 用以传导电流的材料——导电材料;
- (2) 限制电流通过的绝缘材料(电介质);
- (3) 储积或通导磁通的材料——磁性材料;
- (4) 半导体以及其他特殊电工材料。

熟悉最主要的电工材料,说明它们的性质,解释当电磁场作用于这些材料时其中发生的基本物理过程是本课程的主要任务。用理论分析方法系统地介绍各种电工材料的性能、特点、用途、使用范围、型号、规格及表示方法,在实际应用中利用各种电工材料的特性来经济选材、正确用材的方法及注意事项,科学合理地选择、使用电工材料,是本课程的主要目的。

导电材料可用来制成控制电能以及产生热、光、磁、化学效应等的器件或装置,分为普通导电材料、特殊导电材料等。它具有高的导电性、足够的机械强度、不易氧化、不易腐蚀、容易加工和容易焊接等特性。随着电工技术的发展,普通导电材料将会向节省铜材,用铝代铜,逐步提高综合性能(即高强度、轻、耐温、耐燃)的方向发展;特殊导电材料则会向高品质、多样化方向发展。

光纤通信在我国已有 20 多年的使用历史。光纤光缆在我国的发展可以分为这样几个阶段:①对光缆可用性的探讨;②取代市内局间中继线的市话电缆和 PCM 电缆;③取代有线通信干线上的高频对称电缆和同轴电缆;④正在取代接入网的主干线和配线的市话主干电缆和配线电缆,进入局域网和室内综合布线系统。目前,光纤光缆已经进入了有线通信的各个领域,包括邮电通信、广播通信、电力通信和军用通信等领域。

光缆的结构总是随着光网络的发展、使用环境的要求而不断改进。新一代的全光网络要求光缆能够提供更宽的带宽、容纳更多的波长、传送更高的速率、便于安装维护、使用寿命更长等。

绝缘材料在提高产品质量、缩小产品体积、降低产品成本、提高产品的可靠性和安全

性等方面都起着显著的作用。它的主要功能是：隔离电位不同的导体；改善高压电场中的电位梯度；为电容器提供储存或释放电能的条件；在电气工程中起灭弧、散热、冷却、防潮、防腐蚀、防辐射、防电晕，以及机械支撑、固定导体、保护导体等作用。它可以分为气态绝缘材料、液态绝缘材料、半固态绝缘材料、固态绝缘材料等多种类别。随着绝缘技术的发展，将会不断改进绝缘材料的工艺水平，向耐高压、耐高温、耐低温、阻燃、无毒无害、节能、复合绝缘以及提高绝缘质量和可靠性等方向发展。

超导技术的应用，是科技现代化的重要标志之一。超导材料的电阻消失和具有完全抗磁性，是超导体互相独立的两个基本特征。目前，超导体需要的温度很低，使它的应用在很大程度上受到限制。我国及其他各国都在积极进行研究，寻找较高温度下的超导体，探索把超导材料应用到实际中的可能性。随着更高临界温度超导体的巨大突破，现代科学技术的各个方面都将发生更深刻的变化。

磁性材料按其磁性特点与应用情况分为硬磁材料和软磁材料。硬磁材料在一定空间产生恒定磁场，可以作为磁能量源的一类材料。它的磁滞回线较宽、具有较大的矫顽力、剩磁大、磁滞现象比较显著。并且一旦经过磁化很不容易去磁，能长期保持磁性基本不变。软磁材料具有磁滞回线狭窄、磁导率高、矫顽力较小等特点，在工程上主要用于减小磁路的磁阻、增强磁通量。随着特殊磁性材料技术的发展，新型的磁性材料不断问世，并广泛应用于计算机的记忆、记录等存储元件以及录音、录像、磁控开关等设备中，在科技现代化中起到了重要作用。

随着电工材料日新月异的发展和进步，掌握电工材料的理论知识，利用国家标准和手册正确选用电工材料，已成为生产、技术、管理人员和高、中、初级实用人才的工作必需。

《电工材料》是一门专业基础性强而且与生产实际紧密结合的课程，被教育部职业教育与成人教育司确定为高职高专电气工程及自动化类专业的课程之一。

本书尽可能地从理论上系统介绍电工材料的新知识、新技术、新工艺和新方法，力求站在理论知识与实践相结合的角度进行编写，可以作为生产、技术、管理人员和高、中、初级实用人才准确了解和掌握常用电工材料的性能、特点，用途、使用范围、型号、规格及表示方法的培训教材。

通过《电工材料》的学习，不仅能拓展学生的知识面、丰富科学知识，更重要的是有利于对学生进行理论联系实际和综合能力的培养。而且学习电工材料的基础知识，了解或掌握主要电工材料的主要性能、用途以及适用范围，可以培养学生独立分析和解决问题的能力，在实际应用中能合理、经济地选用电工材料，达到正确使用电工材料的目的。

电工材料的种类繁多，包含了比较全面的综合性知识。学习时要注意对其基本概念、名词术语等含义的正确理解，抓住主要矛盾，全面分析、了解材料型号的含义及编制规律。可以采用列表、对比等方法掌握常用材料的特性、用途以及使用范围。另外，除了重点掌握材料的电、磁性能外，还要注意其耐热性、防潮性、化学稳定性、机械特性的选配以及选用电工材料的经济性。

普通导电材料

§1-1 导电材料的基础知识

在工业生产中,能够传导电流的金属材料,称为导电材料。导电材料具有良好的导电性,它的电阻率一般在 $10^{-8} \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 之间。用于导电的金属材料,在具有高导电性的同时,还应具有足够的机械强度、不易氧化、不易腐蚀、容易加工和容易焊接等多种特性。对于导电金属材料的选用问题,应根据材料的经济 and 资源情况进行综合考虑。

一、导电材料的基本特性和表述方式

导电材料的基本特性,一般通过它的电性能、热性能及机械性能等系列技术参数指标来进行表示。

1. 电阻率(电阻系数)与电导率

材料传导电流的能力,称为导电性。各种金属或合金的导电性均不相同,即使是同一种材料的导电性,也与其使用温度以及制作时的长短、粗细、组成、纯度等有关。

电阻率是衡量材料电性能的重要参数,它与导体的材料有关。在一定的温度下,对同一种材料电阻率是一个常数,不同的材料有着不同的电阻率。一般是将长度 1m 、横截面积 1mm^2 的导电材料, 20°C 时的电阻值定义为导体的电阻率,用 ρ 表示。由电工知识有

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (\Omega \cdot \text{m}) \quad (1-1)$$

式中 R ——材料的电阻, Ω ;

S ——材料的横截面积, mm^2 ;

L ——材料的长度, m 。

由式(1-1)可知,导体电阻和电阻率成正比。对于横截面积和长度都相同的不同材料:电阻率愈大,其电阻愈大,材料的导电能力愈差;电阻率愈小,其电阻愈小,材料的导电能力则愈强。因此在电力工程中,可以选用导电性能好的材料,用来达到降低输电损耗的目的。

导电材料的电性能还可以用电导率 γ 表示,电导率 γ 是电阻率 ρ 的倒数,即

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{S/m 或 S/cm})$$

2. 电阻温度系数

实验证明,导电金属材料的电阻与温度有关,随温度的增长而增加。如果导电材料在 $t_0^\circ\text{C}$ 时的电阻为 R_0 , 在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻为 R , 则有

$$R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)] \quad (\Omega) \quad (1-2)$$

其中, α 称为电阻的温度系数。

可见, α 与初始的电阻值 R_0 有关, 显然不是固定不变的系数。

将式 (1-2) 整理可得

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0(t - t_0)} \quad (1/^\circ\text{C}) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 说明, α 表示温度升高 1°C (即 $t - t_0 = 1^\circ\text{C}$) 时, 电阻增量 $(R - R_0)$ 与 R_0 的比值。

不同的材料, 有着不同的电阻温度系数。大多数材料的电阻值随温度的升高而增大 (即 α 为正值), 称它们具有正温度系数; 有些材料 (如碳) 却因温度的升高而电阻值下降 (即 α 为负值), 称其为具有负温度系数。

3. 热阻系数

导电材料传导热量的能力, 称为导热性。导电金属都具有导热性能, 所以导热性体现了导电材料的重要特性。由于不同的金属材料热阻系数均不相同, 因此在有效选择、使用导电材料时, 导热性往往是不可忽视的因素。

导电材料的导热性能所反映的热阻大小, 可用热阻系数 ρ_t 表示, 亦即

$$R_t = \rho_t \frac{L}{S} \quad (1-4)$$

式中 R_t ——热阻, Ω ;

ρ_t ——热阻系数, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

式 (1-4) 说明, 热阻系数越大, 材料的热阻越大, 其导热能力差; 反之, 导热能力好。

热阻系数的倒数称为热导系数, 用 K_t 表示, 即

$$K_t = \frac{1}{\rho_t} \quad [\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm})^2] \quad (1-5)$$

热阻的倒数称为热导, 用 G_t 表示, 即

$$G_t = \frac{1}{R_t} \quad (\Omega^{-1}) \quad (1-6)$$

4. 抗拉强度

导电材料的试样在拉伸试验中被拉断以前, 其单位截面积所能承受的外界最大拉力, 称为抗拉强度, 用 σ_b 表示, 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S} \quad (\text{Pa}) \quad (1-7)$$

式中 P_b ——最大拉力, N;

S ——材料的原横截面积, mm^2 。

5. 抗弯强度

导电材料在与轴线垂直的外力作用下, 使材料呈现弯曲塑性变形和断裂的极限强度, 称为抗弯强度, 用 σ 表示, 即

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (\text{Pa}) \quad (1-8)$$

式中 M ——所受外力矩, 即弯曲力矩, $N \cdot m$;
 W ——材料的截面系数, mm^2 。

6. 抗压强度

导电材料在压力的作用下, 抵抗塑性形变的极限强度 (即导电材料单位面积上所能承受的最大压力), 称为抗压强度, 用 σ_y 表示, 即

$$\sigma_y = \frac{P_y}{S} \quad (\text{Pa}) \quad (1-9)$$

式中 P_y ——最大压力, N ;

S ——材料的原横截面积, mm^2 。

7. 伸长率

导电材料因受外力作用被拉断后, 材料总伸长长度与原长度之比的百分比, 称为伸长率 (亦称延伸率), 用 δ 表示, 即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 L_1 ——材料拉断后的标距长度, mm ;

L_0 ——材料原来的标距长度, mm 。

8. 屈服强度

当导电材料所受的外力为载荷时, 假如载荷不再增加, 而导电材料本身的变形却继续增加的现象, 称为屈服现象。产生屈服现象时的应力, 称为屈服强度 (或屈服点), 用 σ_s 表示, 即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S} \quad (\text{Pa}) \quad (1-11)$$

式中 P_s ——屈服载荷, N ;

S ——材料的横截面积, mm^2 。

9. 蠕变强度

高温环境下的导电材料, 即使所受的载荷外力小于屈服强度, 但随着时间的推移也会缓慢地出现永久性变形现象, 这种现象称为蠕变。

若温度一定, 导电材料经过一定的时间变化, 其蠕变速度没有超过规定的数值, 此时它所承受的最大应力称为蠕变强度。

10. 弹性极限和弹性系数

弹性是指材料的变形随着外力撤除而消失的能力。材料能保持弹性变形的最大应力称为弹性极限。金属材料在弹性极限范围内变形时, 应力和应变成正比, 其比例常数为弹性系数。

11. 冲击韧性

导电金属材料对冲击力 (动力载荷) 的抵抗能力, 称为冲击韧性。冲击韧性是衡量导电金属材料在动力载荷下承受冲击力的机械性能指标。

12. 硬度

导电材料抵抗更刚性硬物体压入其表面的能力, 称为硬度。硬度不是一个单纯的物理量, 它代表着弹性、塑性、塑性变形以及强度韧性等一系列不同物理量所组合的一个综合

性能指标、是一个重要的机械性能指标。

导电材料的硬度表示方法，通常有布氏硬度 HB、洛氏硬度 HR、维氏硬度 HV、肖氏硬度 HS 等；并且硬度与强度之间，还有近似的比例关系，导电材料的硬度愈高，它的强度则愈大。

13. 密度

导电材料单位体积所具有的质量，称为密度，用 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3 \text{ 或 } \text{g/cm}^3) \tag{1-12}$$

式中 m ——物质的质量，kg 或 g；

V ——物质的体积， m^3 或 cm^3 。

可见，导电材料的密度直接反映了其结构的质量和体积的大小。

二、导电材料的特性及用途

导电材料的主要功能是用于传输电能及电信号。能够用来导电的金属材料种类很多，其中金、银属于贵金属并为优良导体，但由于资源少、价格昂贵，综合考虑材料的导电性、经济性以及资源情况，它们一般只用于特殊场合。在电力工程中，应用最广泛的导电金属是铜和铝。

铜由于具有较高的导电性和导热性，足够的机械强度和良好的耐腐蚀性，并具有良好的延展性和可塑性，无低温脆性、便于焊接、易于压力加工成各种型材等诸多优点，因而成为一种广泛应用的导电材料。

铝作为轻金属材料，密度是 2.7g/cm^3 ，约为铜的 30%；铝的电导率约为铜的 61%。对于长度和电阻相同的铜和铝而言：铝材料所需的截面是铜的 1.6 倍，体积也是铜的 1.6 倍，质量却是铜的 54%；如果载流相同，铝的截面是铜的 1.5 倍。因此，具有良好的导电性；铝的导热性好，其热导率约为铜的 56%；铝的塑性好，易于加工，可拉成细丝或压成薄片，机械强度为铜的 50%。并且，铝的资源丰富、价格低廉，使用中若对导体尺寸和力学性能没有特殊要求时，可以优先考虑选用铝作为导电材料。

另外，有些合金材料的导电、导热以及可锻性等各项性能也都优于纯金属。因此，还可以根据不同的导电用途和其他特殊需要，采用合金导体以及复合金属导体作为导电材料使用。

常见导电金属的主要特性和用途，见表 1-1。

表 1-1 常见导电金属的特性及用途

名称	符号	密度 (g/cm^3)	熔点 ($^{\circ}\text{C}$)	抗拉强度 (N/mm^2)	电阻率 (20°C , $10^{-2}\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$)	电阻温度系数 (20°C , $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$)	主要特性	主要用途
银	Ag	10.50	961.93	160~180	1.59	3.80	导电性、导热性以及抗氧化性最好，易压力加工，焊接性能好	航空导线、耐高温导线、射频电缆等导体的镀层、瓷电容器极板等

续表

名称	符号	密度 (g/cm ³)	熔点 (°C)	抗拉强度 (N/mm ²)	电阻率 (20°C, 10 ⁻² Ω· mm ² /m)	电阻温 度系数 (20°C, 10 ⁻³ /°C)	主要特性	主要用途
铜	Cu	8.90	1084.5	200~220	1.69	3.93	导电性和导热性好, 具有良好的耐蚀性和焊接性, 易压力加工	各种电线电缆用导体、母线和载流零件等
金	Au	19.30	1064.43	130~140	2.40	3.40	导电性能仅次于银和铜, 抗氧化性特好, 易压力加工	电子材料特殊用途
铝	Al	2.70	66.37	70~80	2.65	4.03	有良好的导电性和导热性, 良好的抗氧化性和耐蚀性, 比重小, 易压力加工	各种电线电缆用导体、母线、载流零件和电缆护层等
钼	Mo	10.2	2620	700~1000	4.77	3.30	具有硬度高和抗拉强度高的特点, 耐磨, 熔点高, 性脆, 高温易氧化, 需特殊加工	超高温导体, 电焊机电极, 电子管栅极丝及支架等
钨	W	19.30	3387	1000~1200	5.48	4.50	抗拉强度很高, 耐磨, 熔点高, 性脆, 高温易氧化, 需特殊加工	电光源灯丝, 电子管灯丝及电极, 超高温导体和电焊机电极等
镍	Ni	8.90	1455	400~500	6.90	6	抗氧化性能好, 高温强度高, 耐辐射性好	高温导体保护层, 高温特殊导体, 电子管阳极和阴极等零件
锡	Sn	7.30	231.96	15~27	11.4	4.20	塑性高, 耐蚀性能好, 强度和熔点低	导体保护层, 焊料和熔丝等

§1-2 裸导线

裸导线(或裸导体)是指导线表面没有绝缘层的金属电线。它属于电线电缆产品中最基本的一种大类产品, 应用非常广泛。

根据裸导线形状、结构和用途的不同, 将它分为圆单线、型线和型材、架空用绞线、软接线四个系列; 按照所用材料的组成, 可分为单金属线、合金线、双金属线三种。

裸导线在工程中，主要用于电力、交通、通信工程以及电机、变压器和各种电气设备的制造。

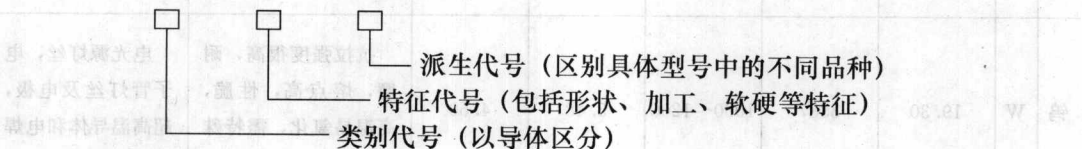
一、裸导线型号的组成

裸导线的型号组成及代号含义，见表 1-2。

表 1-2 裸导线的型号组成及代号含义

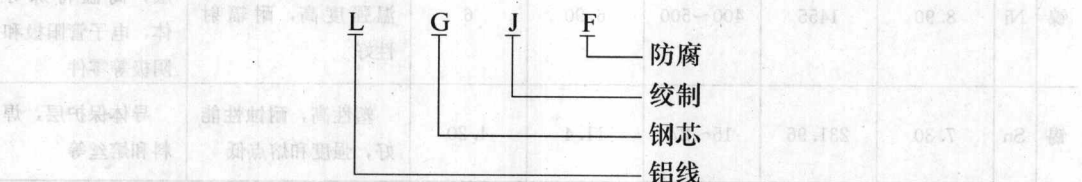
类别、用途 (或以导体区分)	特 征				派 生
	形 状	加 工	类 型	软 硬	
T—铜线	B—扁形	F—防腐	J—加强型	R—柔软	A—第一种
L—铝线	D—带形	J—绞制	K—扩径型	Y—硬	B—第二种
G—钢（铁线）	G—沟形	X—纤维编织	Q—轻型	YB（BY）—半硬	1—第一种
M—母线	K—空心	X—镀锡	Z—支撑型	YT—特硬	2—第二种
S—电刷线	P—排状	YD—镀银	C—触头用		3—第三种
C—电车线	T—梯形	Z—编织			4—第四种
T—天线	Y—圆形				630—标称截面积（mm ² ）
TY—银铜合金					800—标称截面积（mm ² ）
HL—热处理型铝镁 硅合金线					

裸导线型号的编制顺序及方法如下：

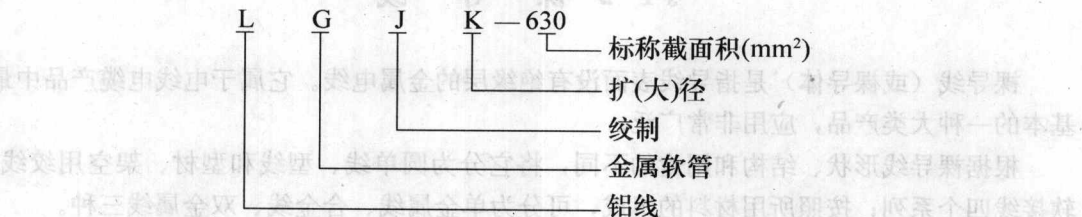


下面举例说明。

(1) LGJF——防腐型钢芯铝绞线：



(2) LGJK—630——扩径导线（电站用软母线）：



裸导线的表示方法一般由型号、规格以及标准编号组成。

(3) 热处理铝镁硅稀土合金圆线，标称直径 $d=2.0\text{mm}$ ，表示为

LH_B 2.0 GB 7893—1987

(4) 窄边为 $a=2.24\text{mm}$ ，宽边 $b=16.00\text{mm}$ 的软铜扁线，H4 状态硬铝扁线或 H2 状态的硬铜带，分别表示为

TBR 2.24×16.00 GB 5584.2—1985；

LBY4 2.24×16.00 GB 5584.3—1985；

TDY2 2.24×16.00 GB 5584.4—1985。

(5) 大底边为 5.26mm ，高度为 56mm ，角度为 $12^\circ55'37''$ 的梯形铜排，表示为

TPT—5.26/56/12°55'37'' ZBK 12003.2—1989

裸导线的主要技术性能指标有电阻率、电阻温度系数、密度、抗拉强度、伸长率、弹性系数等。

二、圆单线

圆单线由不同的导体材料以及不同的加工方式制作而成。它可以单独使用，也可制成绞线，同时圆单线还是构成各种电线电缆线芯的单体材料。

圆单线一般分为圆铜线、圆铝线、铝镁硅系合金圆线、铜包钢线、铝包钢线等。

常用圆单线的品种、型号、性能及用途，见表 1-3。

表 1-3 常用圆单线的品种、型号、性能及用途

名 称	型 号	特 性	主 要 用 途
圆 铜 线	TR	软线的延伸率高 硬线的抗拉强度比软线大 1 倍左右， 半硬线介于两者之间	硬线主要用作架空导线；半硬线和软线主要用作电线、电缆及电磁线的线芯，亦用于其他电器制品
	TY		
	TYT		
圆 铝 线	LR		
	LY4、LY6		
	LY8、LY9		
镀锡圆铜线	TRX	具有良好的焊接性及耐蚀性，并起到铜线与被覆绝缘（如橡皮）之间的隔离作用	电线、电缆用线芯及其他电器制品
铝合金圆线	HL HL2	具有比纯铝线高的抗拉强度	硬线用于制造架空导线；软线用于电线、电缆线芯等
铝包钢圆线	GL GGL	抗拉强度高	架空导线、通信用载波避雷线、大跨越导线
铜包钢圆线	GTA、GTB		
无磁性圆铜线		含铁量小，磁性小	无磁性漆包线导体
镀银圆铜线	TRY	耐高温性好	航空用氟塑料导线、射频电缆线芯

1. 圆单线的命名方法

圆单线的命名方法为：

名称=镀层或包覆层或附加说明+外形名+材质名+线

下面举例说明。

(1) 圆铜线=外形(圆)+材质(铜)+线;

(2) 镀锡圆铜线=镀层(锡)+外形(圆)+材质(铜)+线;

(3) 铜包钢芯圆线=包覆层(铜)+外形(圆)+材质(钢)+线。

2. 规格

圆单线的规格可直接用截面直径(或截面积)表示。

3. 圆单线的选用

按照工程的用途、要求选用圆单线, 主要根据负载电流的大小和材料的经济、价格情况等相关因素, 确定所选导线的材质、状态、外形、线径以及截面积的大小。

三、型线

型线的形状是多样的, 有矩形、梯形和其他几何形状。型线可以独立使用, 也可以用于制造电缆及电气设备的元件。型线包括有铜、铝母线, 铜、铝扁线, 各种铜排、铜带, 空芯导线和电车线等。

型线的规格一般用截面的宽边、窄边及圆角表示。它的产品规格可通过《材料手册》查找。

例如, TBY1 型 H1 状态硬铜扁线, 若 $a=1.60\text{mm}$, $b=4.00\text{mm}$, $r=0.5\text{mm}$, 查《材料手册》有: TBY1 型 H1 状态硬铜扁线的标称截面为 6.185mm^2 。

型线和型材的品种、型号及主要用途, 见表 1-4。

表 1-4 型线和型材的品种、型号及主要用途

产品名称	型 号	生产范围 (mm)	主 要 用 途
扁 铜 线	TBY TBR	厚 0.80~5.60 宽 2.00~16.00	供电机、电器、配电设备及其他 电工方面应用
铜 母 线	TMY TMR	厚 2.24~31.5 宽 16.0~125	
铜 带	TDY TDR	厚 0.80~3.55 宽 9.00~100	
扁 铝 线	LBY LBR	厚 0.80~7.1 宽 2.00~16.00	
铝 母 线	LMY LMR	厚 2.24~31.5 高 10~120	
梯形铜排	TPT THPT	厚 3~18 宽 2.00~16.00	电机换向器的整流片
异形铜排	—	—	电机换向器的整流片、大电机绕组、电气开关触头等