

电
工
技
术
培
训
读
本



电工材料

夏新民 金栋林 马金 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心



电 工 技 术 培 训 读 本

电工材料

夏新民 金栋林 马金 编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电工材料/夏新民, 金栋林, 马金编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 1

(电工技术培训读本)

ISBN 7-5025-8180-4

I. 电… II. ①夏…②金…③马… III. 电工材料-基本知识 IV. TM2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003314 号

电工技术培训读本

电 工 材 料

夏新民 金栋林 马金 编

责任编辑: 赵丽霞 刘哲

文字编辑: 康静

责任校对: 顾淑云 徐贞珍

封面设计: 于兵

*

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)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河东柳万龙印装有限公司装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7¼ 字数 188 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8180-4

定 价: 18.00 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

随着科学技术的发展,电气化程度正在日益提高,电气工作人员的综合素质,直接影响到电气设备的安装、维护和检修质量,关系到工厂企事业单位的正常运行和经济效益。应广大电气工作人员的要求,化学工业出版社组织南京化工职业技术学院、中国石化集团公司南京化学工业有限公司、南京工程学院、南京化工技工学校、江苏海事职业技术学院、中国石化集团公司扬子石化公司培训中心等单位编写了《电工技术培训读本》丛书,包括《电路与电工测量》、《实用电子技术基础》、《电机应用技术》、《电气控制与可编程控制器》、《工厂供配电技术》、《电工材料》、《继电保护与综合自动化系统》、《电气运行与管理技术》、《工厂电气试验》。

为保证本套丛书的质量,成立了电工技术培训读本编写委员会,编写人员均为生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家、高级技师或具有多年丰富的教育培训教学经验的教师。根据劳动和社会保障部颁发的《职业技能鉴定规范》中电工的“知识要求”,结合工厂企业的生产特点,借鉴当前电工的实际工作经验,为电工的职业教育、职业培训和电工的职业技能鉴定,提供一套具有充实内容的教材和参考书。

全套培训读本在编写过程中,着眼于工厂现状,以目前使用较普遍的和以后预计使用量会增加的电气设备为主,适当地考虑到今后发展和提高的要求。本着突出针对性、典型性、实用性的原则,并注意工人培训的特点,内容精练、实用,注重理论联系实际,学以致用,且有一定的理论深度。每章有学习目标,提出具体的要求,书后有思考练习题,贯彻以培训为主的原则。本套读本通俗易懂,便于掌握。不仅适用于具有初中以上文化程度、没有经过系统专业培训的从事电力系统运行和维护的人员,而且对于从事现场电

气专业设计、安装、运行、维修的电工、工程技术人员，也具有一定的参考价值。

本书为《电工技术培训读本》之一，主要介绍与工厂维修电工作业有关的常用材料的用途、性能、特点、选型、使用及部分安装等基本知识，可使维修电工和有关管理人员了解导电材料、绝缘材料的种类和用途；熟悉一般导电材料的导电特性和机械特性，熟练掌握常用导电材料的特性和选用；熟悉一般绝缘材料的介电特性和机械特性，熟练掌握常用绝缘材料的特性和选用；了解磁场的基本概念和磁化曲线；熟悉常用磁性材料的基本分类、磁性能及其应用；了解钢的分类、牌号命名和涂色的基本知识，掌握电工常用的线材、管材、棒材、中小型型材的基本用途，并能熟练查表选用；了解组成线路的常用材料，掌握常用线路材料中架空导线、电线电缆、母线及绝缘子的基本用途，并能熟练查表选用。

本书由夏新民主编，其中第1章、第2章由金栋林编写，第3章至第5章由马金编写，全书由夏新民统稿。

本书在编写过程中，由于时间仓促，不足之处在所难免。恳切希望读者提出宝贵意见和建议。

编 者

2006 年 1 月

目 录

第 1 章 常用导电材料	1
1.1 导电材料理论基础	1
1.1.1 导电材料的用途和分类	1
1.1.2 导电原理	2
1.1.3 导电材料的一般选用原则	3
1.2 导电金属	4
1.2.1 导电金属的一般性质	4
1.2.2 影响导电金属电阻的因素	4
1.2.3 影响导电金属力学性能的一些因素	6
1.2.4 铜	6
1.2.5 铜合金	7
1.2.6 铝	8
1.2.7 铝合金	9
1.2.8 铝及铝合金的焊接和连接	9
1.2.9 复合导体	10
1.3 电磁线	11
1.3.1 电磁线的分类	11
1.3.2 电磁线型号表示法	12
1.3.3 各类电磁线的特点和用途	13
1.3.4 漆包线的热寿命	18
1.3.5 电磁线与有关组合绝缘材料的相容性	18
1.3.6 电磁线的选择和使用要点	19
1.4 裸导线	21
1.4.1 单线	21
1.4.2 型线及型材	23

1.5 电碳制品	24
1.5.1 概述	24
1.5.2 常用电刷的分类	24
1.5.3 常用电刷的规格及技术性能	25
1.5.4 电刷的选用	31
1.5.5 电刷运行中常见故障及其处理方法	32
1.6 特殊用途导电材料	33
1.6.1 电热合金	33
1.6.2 触头材料	36
1.6.3 熔体材料	37
1.6.4 热双金属材料	38
思考与练习	38
第2章 常用绝缘材料	40
2.1 绝缘材料理论基础	40
2.1.1 绝缘材料的用途和分类	40
2.1.2 绝缘材料基本概念	40
2.1.3 绝缘材料的选用	42
2.1.4 绝缘材料的型号编制方法	42
2.2 气体绝缘材料	44
2.2.1 天然气体电介质	44
2.2.2 合成气体电介质	45
2.3 液体电介质	46
2.3.1 矿物油	46
2.3.2 合成绝缘液体	47
2.4 绝缘漆及浇注胶	48
2.4.1 绝缘漆	48
2.4.2 浇注胶	62
2.5 浸渍纤维材料	63
2.5.1 漆绸、漆布和玻璃漆布	63
2.5.2 漆管	63

2.5.3 无纬绑扎带	64
2.6 薄膜、胶黏带和柔软复合材料	64
2.6.1 薄膜	64
2.6.2 胶黏带	69
2.6.3 电工用柔软复合材料	69
2.7 绝缘层压制品	77
2.7.1 层压板	77
2.7.2 层压管和层压棒	79
2.7.3 电容式套管芯	81
2.8 电工用塑料	81
2.8.1 热固性塑料	82
2.8.2 热塑性塑料	82
2.9 电工用橡胶	87
2.9.1 天然橡胶	87
2.9.2 合成橡胶	87
2.10 云母及云母制品	89
2.10.1 云母	89
2.10.2 云母制品	90
2.11 无机绝缘材料	93
2.11.1 石棉	93
2.11.2 电工玻璃	93
2.11.3 陶瓷	93
2.12 绝缘材料的检测与保管	94
2.12.1 绝缘电阻测量的仪器和方法	94
2.12.2 介质损耗测量的仪器和方法	95
2.12.3 击穿强度测量的仪器和方法	96
2.12.4 绝缘材料的一般选用和保管原则	97
思考与练习	98
第3章 常用磁性材料	99
3.1 磁性材料理论基础	99

3.1.1	磁场的基本概念	99
3.1.2	磁性材料的磁性能	100
3.1.3	磁性材料的分类和特点	102
3.2	软磁材料	103
3.2.1	软磁材料的主要性能	103
3.2.2	常用软磁材料的种类和特点	104
3.3	硬磁材料	110
3.3.1	硬磁材料的主要性能	110
3.3.2	常用硬磁材料的种类和特点	110
3.4	永磁体的老化	115
3.4.1	影响永磁体老化的主要因素	115
3.4.2	永磁体饱和磁化的方法	116
	思考与练习	117
第4章	常用电工钢材	118
4.1	钢材理论基础	118
4.1.1	钢的主要分类	118
4.1.2	常用钢材牌号表示方法	121
4.1.3	常用钢材的涂色标记	124
4.2	常用电工线材	125
4.3	常用电工管材	131
4.3.1	根据敷设场所选择管的材质	131
4.3.2	根据所穿导线截面、根数选择配管管径	131
4.4	常用电工棒材	139
4.5	常用电工型材	144
	思考与练习	152
第5章	常用线路材料	153
5.1	电力线路理论基础	153
5.1.1	电力线路的概念和分类	153
5.1.2	选择导线和电线电缆截面的条件	154
5.2	架空导线	155

5.2.1	架空导线分类和型号命名	155
5.2.2	架空导线的主要性能参数	156
5.2.3	常用架空导线	156
5.2.4	架空导线选用原则	161
5.3	设备用电线和电缆	163
5.3.1	电线和电缆的结构与特性	163
5.3.2	绝缘电线和电缆的型号命名	164
5.3.3	设备用电线电缆的使用范围和分类	165
5.3.4	通用型电线电缆	167
5.3.5	信号控制电缆	170
5.3.6	电机电器用电线电缆	173
5.3.7	设备用电线电缆的选用	174
5.4	电力电缆	176
5.4.1	电力电缆种类和结构特点	176
5.4.2	常用电力电缆	178
5.4.3	电力电缆选择	181
5.4.4	电力电缆试验	184
5.4.5	电力电缆附件	186
5.5	通信电缆	190
5.5.1	通信电缆的分类和使用范围	190
5.5.2	通信电缆的结构	191
5.5.3	常用通信电缆型号规格和用途	192
5.6	电缆桥架	194
5.6.1	电缆桥架的作用和分类	194
5.6.2	电缆桥架结构类型	194
5.6.3	电缆桥架选择和安装	195
5.7	母线	197
5.7.1	母线的分类和作用	197
5.7.2	裸母线选择和安装	198
5.7.3	封闭插接母线选择和安装	203

5.8 电力金具	204
5.8.1 电力金具分类和型号表示	204
5.8.2 常用线路金具	206
5.8.3 常用变电金具	207
5.8.4 常用母线金具	207
5.9 绝缘子	207
5.9.1 绝缘子分类和结构	207
5.9.2 变电所绝缘子	208
5.9.3 高压线路绝缘子	210
5.9.4 低压线路绝缘子	213
思考与练习	215
参考文献	216

第 1 章 常用导电材料

学习目标

1. 了解导电材料的种类和用途。
2. 熟悉一般导电材料的导电特性和机械特性。
3. 熟练掌握常用导电材料的特性并能合理选用。

1.1 导电材料理论基础

1.1.1 导电材料的用途和分类

在国民经济的各个领域及日常生活中，电能以及电气控制已成为不可缺少的一部分，而担当电能输送及电气控制信号传送任务的是导电材料，它们的作用如同人体的血管和神经系统一样，如果没有导电材料，就谈不上电的应用。

导电材料按材质分为纯金属导电材料、合金导电材料、双金属导电材料及非金属导电材料等。铜、铝、银、锡、铅、锌是最常用的导电纯金属，铜合金、铝合金、电阻合金、电热合金则是最常用的合金导电材料，双金属材料是利用两种线胀系数不同的金属或合金彼此牢固结合而成的复合材料，常用非金属导电材料为石墨、电化石墨制品及金属石墨制品。

导电纯金属在电力传输及电磁线方面有着广泛的用途，石墨及石墨制品主要用于电机的电刷，电阻合金用于制作可变和固定电阻元件，而电热合金则主要用于电发热及电炉方面，高纯度及贵重金属常用于制作各类开关的触头材料，纯金属及低熔点金属，如铜、锡、铅、锌等还常用于制作电路中保险芯或丝的材料，热双金属材料通常用于制作热保护继电器及温度控制器，利用不同金属的热电势的温度变化率不同可将两种金属做成热电偶来测量温度。

总之，导电材料的用途十分广泛，新的导电材料也在不停的研



究当中,相信像超导体及其他的新型材料在未来会越来越多地用于现实生活中。

1.1.2 导电原理

导电材料也叫做导体,是通过材料中的自由电子来导电的,自由电子在电压的作用下产生定向移动形成电流,单个电子的电量为

$$q = 1.6021892 \times 10^{-19} \quad (1-1)$$

式中 q ——电子电荷量, C。

单位时间内通过导电材料横截面的电量称为电流强度,简称电流,计算公式如下。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 I ——电流, A;

Q ——电量, C;

t ——时间, s。

导体导电时,自由电子的定向移动会受到一定的阻力,这种阻力就是电阻,长直导体的电阻 R 可按下式计算。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中 R ——长直导体电阻, Ω ;

ρ ——导体的电阻率(电阻系数,大小取决于导体的材料),
 $\Omega \cdot \text{m}$;

l ——导体的长度, m;

S ——导体的截面积, m^2 。

导体的电阻除与导体的材质、尺寸有关外,还与导体的温度有关。一般,金属的电阻都随温度的上升而增大,石墨的电阻则随温度的上升而降低。在一般工作温度范围内,电阻与温度之间的关系可以视为呈线性的,即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)] \quad (1-4)$$

式中 R_1 ——温度为 t_1 时导体的电阻, Ω ;

R_2 ——温度为 t_2 时导体的电阻, Ω ;



α_1 ——以温度 t_1 为基准时的导体电阻的温度系数。

每种金属材料在一定温度下都有一定的温度系数。

1.1.3 导电材料的一般选用原则

导电材料的选用一般从材料的电导率、材料的载流量、材料的机械强度以及导电材料随温度变化而改变的参数对使用的影响这些方面去考虑。

在没有特殊要求的情况下，应尽可能选用价格低廉且电导率较高的材料，同时材料应有足够高的机械强度。如受摆放空间的限制，则必须选用高电导率的材料，这样可以节省空间，如不受摆放空间的限制，则材料的电导率可选得低一些。而一些特殊用途的导电材料则必须选用低电导率的材料，如用作电炉丝的材料，用作绕线电阻的材料。

材料的载流量即其单位横截面积上通过的电流，也称电流密度，计算公式如下。

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-5)$$

式中 J ——电流密度， A/m^2 ；

I ——电流， A ；

S ——导电材料的横截面积， m^2 。

但在实际应用中，常采用安培每平方毫米这个单位。电流密度的大小直接关系到导电材料的利用率，传输同样大小的电流时，如导电材料的电流密度选用较小值时，则需要增加导电材料的用量，但可减少电能在导电材料上的损耗，如导电材料的电流密度选用较大值时，则可减少导电材料的用量，但电能在导电材料上的损耗将增加。实际应用中导电材料的载流量的取值范围还是比较宽的，一般从 $2 \sim 20 A/mm^2$ ，具体的取值要根据导电材料使用时的散热条件、线路损耗、线路压降以及导电材料本身的费用等方面去综合考虑。

导电材料的机械强度主要指它们的抗拉强度、硬度和弹性。用作架空线的导电材料就必须考虑抗拉强度，当抗拉强度达不到要求

时可将这些材料制作成合金，或在多股绞线中加部分钢丝以提高抗拉强度。集电环（滑环）、开关触头的基架材料等必须选用硬度比较高的材料以抗磨损及变形。导电弹簧、继电器、电位器、开关等的导电接触簧片就必须选用弹性比较高的导电材料制作。

导电材料在使用过程中，由于受环境温度的变化及本身电阻的热损耗而引起的温升将对导电材料的性能产生影响。首先是对导电材料的电导率的影响，对于金属材料，随着温度的升高电导率会下降，金属的电阻会增加，因此，在对重要电气设备进行计算时必须将导电金属的电阻用式（1-4）换算到工作温度时的电阻再进行计算，这样才能减小误差；而对于电磁导电材料，随着温度的升高电导率会上升，其电阻会下降。其次，导电材料随着温度的变化体积会发生改变，也就是通常所说的“热胀冷缩”，这也是导电材料在使用当中必须考虑的问题，因此导电材料在使用中需要留出胀缩量。另外，导电材料的纯度、制作工艺等的不同也将对导电材料的特性产生很大的影响。

1.2 导电金属

1.2.1 导电金属的一般性质

用作导电材料的金属，应具有高的导电性能，合适的机械强度、硬度、弹性，不易氧化，容易加工和焊接，同时还要价廉及资源丰富。铜、铝是最常用的导电金属，在某些特殊用途上，也采用其他金属作导电材料，导电纯金属的特性见表 1-1。

1.2.2 影响导电金属电阻的因素

导电金属的电阻随温度升高而增大，当温度不是极高（接近于熔点）或极低（接近于绝对零度）时，则电阻与温度的关系为线性关系，并可用式（1-4）来进行换算，电阻温度系数可由表 1-1 查得。

冷变形使导电金属的电阻增高，但只有冷变形度超过 10% 时，导电金属的电阻才会明显增加，通常不超过 20℃ 时的 4%，合金一般略高些。退火可使冷变形金属的电阻降低到原有水平，因此，在

表 1-1 导电纯金属的特性

特性 名称	电阻率 (20℃) /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	电导率 (20℃) /% IACS ^①	电阻温度 系数(20℃) / $10^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	密度 (20℃) /($10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$)	比热容 /[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]	熔点/ $^\circ\text{C}$	线胀系数 (20℃) / $10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	热导率 /[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	熔化潜 热/(10^4 J/kg)	弹性 模数 / 10^4 MPa	抗拉 强度 / MPa	硬度 HB	热电 势 / mV
银(Ag)	0.0162	106	3.80	10.5	234.5	960.5	18.9	418.7	10.47	7.85	147	30	+0.75
铜(Cu)	0.0172	100	3.93	8.9	385.2	1083	16.6	386.4	21.19	11.77	196	30	+0.75
金(Au)	0.0240	71.6	3.40	19.3	134	1063	14.2	296.4	6.74	7.85	98	25	+0.70
铝(Al)	0.0282	61.0	3.90	2.7	921	660	23.0	222	39.36	7.16	78	15~26	+0.38
钠(Na)	0.0460	37.4	5.40	0.97	121	97.8	71	134	11.51	—	—	—	—
钨(W)	0.0548	31.4	4.50	19.3	134	3370	4.0	159.9	18.42	32.5	1079	255	+0.79
钼(Mo)	0.0558	30.8	4.70	10.2	255.4	2600	5.1	144.9	29.31	31.4	882	147	+0.31
锌(Zn)	0.0610	28.2	3.70	7.14	397.7	419.4	33	112.6	10.09	7.85	147	20~60	+0.77
镍(Ni)	0.0690	24.9	6.00	8.9	456.4	1452	12.8	87.92	30.98	19.61	392	80	-1.43
镉(Cd)	0.0750	22.9	3.80	8.65	217.7	321	29.8	92.11	5.53	5.5	59	—	+0.92
铁(Fe)	0.100	17.2	5.00	7.86	477.3	1535	11.7	61.55	27.21	19.61	245	60	+1.91
铂(Pt)	0.105	16.4	3.00	21.45	134	1755	8.9	71.18	11.30	14.71	147	50	0
锡(Sn)	0.114	15.1	4.20	7.35	234.5	232	20	64.48	6.07	5.39	24.5	12	+0.45
铅(Pb)	0.219	7.9	3.90	11.37	129.8	327.5	29.1	35.09	2.64	1.8	15.7	3.5	+0.44
汞(Hg)	0.958	1.8	4.89	13.55	837.4	-38.9	181.9(体)	8.37	1.13	—	—	—	—
铋(Bi)	1.20	1.4	4.00	9.8	123.5	271	13.3	7.95	5.23	31.8	—	7.0	—

① IACS (International Anneal Copper Standard) 电导率百分值为国际退火铜规定的电导率对试样电阻率之比乘以 100%。20℃退火铜的电导率是 $0.017241 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ，把此时的电导率定为 100%。

对导电金属进行冷作加工后应该进行退火处理。

杂质导致金属的晶格发生畸变,从而使导电金属的电阻增加,杂质与基体金属的价电子差、原子半径差愈大,电阻的增加愈大。同时杂质在基体金属中处于固溶状态时,电阻显著增加,形成混合物时电阻呈线性变化。因此,在导电要求较高的时候应选用纯度高的金属。

1.2.3 影响导电金属力学性能的一些因素

导电金属的力学性能与纯度、晶粒大小、冷变形度以及热处理工艺(退火温度和退火后冷却速度)等因素有关。其中以冷变形度的影响最大,当变形度大于70%时,导电金属的强度可提高一倍左右,因此控制导电金属的变形度或退火工艺可获得不同机械特性的产品,如软、半硬、硬、特硬等。

1.2.4 铜

铜的电导率与纯度有关,99.999%高纯度铜的电导率可达102.32%IACS。各种杂质对铜电导率的影响如图1-1所示,除氧

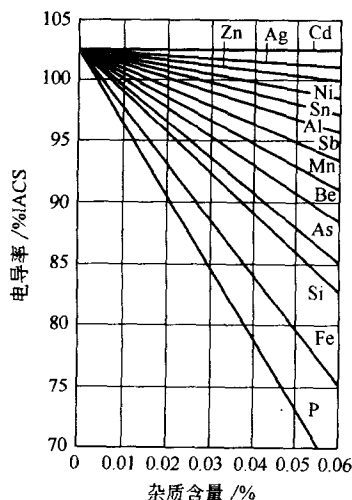


图 1-1 各种杂质对铜电导率的影响

之外,它们均使导电性能降低。氧能除去降低电导率和加工性的某些杂质,所以对改善电导率和热、冷加工性略有好处。氧含量低于0.003%称为无氧铜,它在还原性气体(如氢气)中加热时不会产生裂缝,适于用作电子管等材料。铜中的某些微量元素对电导率没有多大影响,但却能显著地提高其耐热性能和力学性能,如铜中含有0.002%~0.005%的B、Se或Mn时,电导率还保持在100%IACS左右,而耐热性能等则显著提高,接近于0.1%~0.2%Ag-Cu水平。铜经受冷变