



仪器仪表工人 技术培训教材

常用电工材料

机械工业部仪器仪表工业局统编

机械工业出版社

本书是仪器仪表专业工种初、中级工人技术培训统编教材，是根据《常用电工材料》教学大纲编写的。

内容共分六章，叙述了仪器仪表工业中常用的导电材料、磁性材料、绝缘材料及辅助材料的工作机理、各类材料的分类、理化机电性能、主要特点、合理选用、使用方法和注意事项。学员从中既能了解到这些材料的基础知识，又能掌握正确选用和具体使用的技术。每章附有复习题，便于学员总结学习收获。

本书由天津电表厂主编，由李琤同志编写，蒋庆漪、孟凡宁、黄国泰同志参加审稿并参与修改的工作。

常用电工材料

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 1/32·印张 7 1/4·字数 155 千字

1986年8月北京第一版·1986年8月北京第一次印刷

印数 00,001—(8,800·定价1.40元

*

统一书号：15033·6154

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容，才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全仪器仪表行业有关的企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省

市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一章 常用导电材料	3
------------------	---

1-1 概述	3
--------------	---

一、导电材料的电性能	3
------------------	---

二、导电材料的机械性能	5
-------------------	---

1-2 导电金属	8
----------------	---

一、铜及铜合金	8
---------------	---

二、铝及铝合金	15
---------------	----

三、其他导电金属材料	18
------------------	----

1-3 电磁线	20
---------------	----

一、概述	20
------------	----

二、电磁线的种类	21
----------------	----

三、漆包线的性能	22
----------------	----

四、漆包线的外观检查	26
------------------	----

五、漆包线的品种和用途	27
-------------------	----

六、电磁线的型号	29
----------------	----

七、电磁线的选用	30
----------------	----

1-4 安装线	32
---------------	----

一、概述	32
------------	----

二、常用安装线的品种和用途	32
---------------------	----

复习题	35
-----------	----

第二章 特殊导电材料	36
------------------	----

2-1 电阻合金	36
一、调节元件用电阻合金	36
二、精密元件用电阻合金	38
三、电位器用电阻合金	42
四、传感元件用电阻合金	43
2-2 弹性合金	45
一、弹性合金的性能	45
二、常用弹性合金的品种和用途	47
三、弹性合金的选用	58
2-3 热电偶	59
一、热电偶的工作原理	59
二、对热电偶性能的要求	60
三、热电偶材料的品种和用途	61
四、热电偶的应用	66
五、热电偶的选用	67
2-4 热双金属片	67
一、热双金属片的动作原理及用途	67
二、组合层材料	68
三、热双金属片的分类	69
四、常用热双金属片	70
五、热双金属片的选用及使用中注意事项	71
2-5 电热材料	73
2-6 电触头材料	76
一、电触头工作中的物理现象	76
二、对电触头材料性能的要求	77
三、弱电用电触头材料	77
四、弱电用电触头材料的选用	80
2-7 电工用碳制品	83
一、概述	83

二、常用电碳制品	83
复习题	87
第三章 磁性材料	88
3-1 概述	88
一、磁场的基本概念	88
二、磁导率和磁化率	89
三、磁性材料的磁化	91
四、磁性材料的磁滞回线	93
五、温度对磁性的影响	95
3-2 软磁材料	96
一、对软磁材料性能的要求	96
二、软磁材料	97
三、软磁材料的选用	112
四、软磁材料的预处理	113
3-3 永磁材料	115
一、永磁体的工作状态	115
二、永磁材料的品种和用途	115
三、永磁体的老化处理	118
3-4 磁记录及磁记忆材料	120
一、磁记录材料	120
二、磁记忆材料	122
复习题	124
第四章 绝缘材料	125
4-1 概述	125
4-2 绝缘材料的基本特性	125
一、绝缘材料的电性能	125
二、绝缘材料的耐热等级	132
4-3 气体电介质	133
4-4 绝缘油	134

一、矿物油	134
二、合成油	135
4-5 绝缘纤维制品	138
一、绝缘纸	138
二、绝缘纸板	139
4-6 绝缘漆	141
一、浸渍漆	141
二、漆包线漆	146
三、覆盖漆	148
四、硅钢片漆	148
4-7 浸渍纤维制品	151
一、漆布	151
二、漆管	153
三、绑扎带	155
4-8 电工用薄膜及复合材料	155
一、电工用薄膜	155
二、复合制品	157
三、薄膜及复合制品的使用	158
4-9 沥青及蜡类电介质	158
一、沥青	158
二、蜡类	159
4-10 云母及云母制品	160
复习题	162
第五章 绝缘结构材料	164
5-1 电工用层压制品	164
一、层压板	165
二、层压管(筒)和棒	166
三、层压制品的使用	168
5-2 电工用塑料	168

一、热固性塑料	169
二、热塑性塑料	171
5-3 电工用橡胶	176
一、氯丁橡胶	177
二、丁腈橡胶	177
三、硅橡胶	177
5-4 玻璃绝缘材料	178
一、玻璃的性能	178
二、玻璃的分类和用途	180
5-5 电子陶瓷	181
一、电子陶瓷的种类	181
二、常用电子陶瓷的特点和用途	182
复习题	185
第六章 辅助材料	186
6-1 钎料	186
一、钎焊	186
二、对钎料的要求	186
三、钎料的种类和用途	187
6-2 钎剂	194
一、助钎剂	194
二、对助钎剂的要求	194
三、助钎剂的种类	195
四、助钎剂的特性	195
五、钎剂的组成	196
六、助钎剂的配方	197
6-3 清洗剂	199
一、酒精	199
二、汽油	200
三、三氟三氯乙烷	200

6-4 稀释剂	201
一、三氯甲烷(氯仿)	201
二、四氯化碳(四氯甲烷)	201
三、丙酮	202
四、醋酸异戊酯	202
五、松节油	202
六、常用的稀释剂	203
6-5 胶粘剂	204
一、胶粘剂的特点	204
二、胶粘剂的组成	205
三、常用胶粘剂	206
四、环氧胶粘剂的配方	207
五、环氧胶粘剂的应用	207
六、胶粘剂的选用	212
复习题	215
附录	216

绪 论

仪器、仪表被誉为工业的“眼睛”，在工农业生产、科研、教育、卫生以及国防建设中，起到信号的检测、传递、转换、放大、存储、运算、控制、显示和记录的作用。制造仪器、仪表所用的电工材料是生产仪器、仪表的物质基础。材料质量的优劣将直接影响其所制造的元件及构件的性能，影响仪器仪表产品质量。任何一种新型产品的更新与发展，都是以其所用新型材料的发展为基础的。按材料在仪器、仪表生产中的用途，常用电工材料可分为下面各类：

1. 在电路系统中起导电作用的导电材料 常用导电材料有铜、铝及其合金，其他导电金属材料，各种电磁线及安装线；特殊导电材料有电阻合金、弹性合金、热电偶材料、热双金属片、电热材料、电触头和电碳制品。

2. 在磁路系统中起导磁作用的磁性材料 常用的有软磁材料、永磁材料、磁记录 and 磁记忆材料。

3. 在仪器、仪表产品中起绝缘作用的绝缘材料 常用绝缘材料有气体电介质、绝缘油、绝缘纤维制品、绝缘漆、浸渍纤维制品、电工用薄膜及复合材料、沥青、蜡状电介质、云母等；起绝缘和结构双重作用的材料有电工用层压制品、电工用塑料、橡胶、玻璃、陶瓷等。

4. 在工艺加工中常用的各种辅助材料 常用的有钎料、钎剂、清洗剂、稀释剂和胶粘剂等。

常用电工材料，种类繁多，应用广泛，不仅是仪器、仪

表工业的重要材料，也是其他电气工业的重要材料。仪器、仪表的装调工人要经常接触和使用这些材料。因此，对各类材料的品种、名称、牌号、性能、用途及使用中注意的事项必须充分了解和掌握，以便在生产过程中，能合理选用和正确使用各类材料，发挥各种材料应有的作用，做到物尽其用，才能达到提高质量、降低成本和提高效益的目的。

第一章 常用导电材料

1-1 概 述

一、导电材料的电性能

导电材料具有较高的导电性，电阻率（电阻系数）在 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 欧·厘米之间。在仪器、仪表中用作导电部件。在实际应用中除要求有一定的机械性能外，更重要的是要求具有良好的电性能。

1. 电阻率 电阻率是衡量导电材料的电性能的重要标志。不同的金属具有不同的电阻率。电阻率大，则导电能力差，反之，则导电能力良好。导电金属电阻 R 的大小，可用电阻率 ρ 表示。其表达式为

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

式中 S ——导体的截面积（毫米²），

L ——导体的长度（米）。

从式（1-1）可以看出，导电金属的电阻与其电阻率及导体的长度成正比，与导体横截面积成反比。

电阻率的倒数为电导率，用 γ 表示

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{米/欧} \cdot \text{毫米}^2) \quad (1-2)$$

2. 电阻温度系数 电阻随温度而变化，其变化的比例常数叫做电阻温度系数，用 α 表示。

大多数金属的电阻，随温度的升高而电阻值增大，则 α 为正值，称为正温度系数；有些材料（如碳）因温度升高而电阻值降低，则 α 为负值，称为负温度系数。

不同材料有不同的电阻温度系数，如锰铜，它的电阻值几乎不受温度变化的影响，其电阻温度系数很小。

设金属导体在 $t_0^\circ\text{C}$ 时的电阻为 R_0 ，在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻为 R ，则

$$R = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)] \quad (1-3)$$

因此，电阻温度系数 α 为

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 (t - t_0)} \quad (1-4)$$

式中 R ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻（欧）；

R_0 ——温度为 $t_0^\circ\text{C}$ 时的电阻（欧）。

电阻温度系数 α （单位为 $1/\text{度}$ ）表示当温度升高 1°C 时（ $t - t_0 = 1^\circ\text{C}$ ）的电阻的增量（ $R - R_0$ ）与 $t_0^\circ\text{C}$ 时的电阻 R_0 的比值。

3. 热阻系数 导电金属都具有导热性能，不同的金属材料，具有不同的热阻系数，热阻系数大，则导热能力差；反之，则导热能力良好。金属材料热阻的大小，可用热阻系数 ρ_t 表示。其表示式为

$$R_t = \rho_t \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中 R_t 是热阻（热欧）；

热阻系数 ρ_t 的单位是热欧·毫米²/米。

热阻系数的倒数为热导系数，用 K_t 表示。

$$K_t = \frac{1}{\rho_t} \quad (1-6)$$

式中 热导系数 K_t 的单位是米/(热欧·毫米²)。

热阻的倒数为热导, 用 G_t 表示。

$$G_t = \frac{1}{R_t} \quad (1-7)$$

热导 G_t 的单位是热欧⁻¹。

所以
$$G_t = K_t \frac{S}{L} \quad (1-8)$$

电此可见, 热导可用计算电导的类似形式来表示。

4. 接触电位差 不同金属中的自由电子的密度不同, 原子核对电子的束缚力也不同, 电子要脱离原子核的束缚力所付出的能量(逸出功)也不同。因此当两种不同金属接触时, 电子就有从电子密度大和逸出功小的金属中间向另一金属运动的趋势, 其运动结果, 将使另一种金属得到电子, 带负电, 而失去电子的金属带正电。致使两种金属接触处产生了电位差。此电位差由于金属接触而产生, 因此叫接触电位差。由于电子的逸出功和逸出电位差都与温度有关, 因此对同一种金属, 不同温度下有不同的电位差, 而在同一种温度下的两种不同金属也有不同的电位差。

这种电位差不会无止境地增长下去, 将有一个稳定值。因为此电位差有阻止电子运动的作用, 当所形成的电位差和两金属的逸出电位差相等时, 这种电子迁移运动的现象将停止, 从而达到相对平衡状态, 此时所形成的电位差有一稳定值。

接触电位差对仪器、仪表将产生不良后果, 引起仪器、仪表的误差, 因此在选材时要注意这一点。但在测温仪器上则可利用接触电位差, 制成各种热电偶测温仪器。

二、导电材料的机械性能

1. 抗拉强度 σ 。金属材料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。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{S} \quad (\text{帕}) \quad (1-9)$$

式中 P_b ——最大拉力（牛）；

S ——材料横截面积（米²）。

（1帕=10⁻⁷千克力/毫米²，即1千克力/毫米²=10⁷帕）

2. 抗弯强度 σ 金属材料在外力为弯曲力的作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力，用 σ 表示。

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (\text{帕}) \quad (1-10)$$

式中 M ——为所受外力矩。即弯曲力矩（牛顿·米）；

W ——材料截面系数（米³）。

3. 抗压强度 σ_y 金属材料在压力作用下，抵抗塑性变形的能力。即材料单位面积上能够承受的最大压力，用 σ_y 表示。

$$\sigma_y = \frac{P_y}{S} \quad (\text{帕}) \quad (1-11)$$

式中 P_y ——最大压力（牛）；

S ——材料横截面积（米²）。

4. 延伸率（伸长率） δ 金属受外力作用被拉断以后，总伸长长度同原长度相比的百分数，称延伸率或伸长率，用 δ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中 L_1 ——材料拉断后的长度（毫米）；

L_0 ——材料原来的长度（毫米）。

5. 屈服强度 σ 金属材料所受外力是载荷时，当载荷不

再增加，而金属材料本身的变形却继续增加，这种现象叫做屈服，产生屈服时的应力，叫屈服强度。用 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S} \quad (\text{帕}) \quad (1-13)$$

式中 P_s ——屈服载荷（牛）；

S ——材料横截面积（米²）。

6.蠕变强度 金属材料在高温环境下，即使所受应力小于屈服强度，也会随着时间的延长而缓慢地产生永久变形。此现象叫做蠕变。在一定的温度下经一定的时间，金属材料的蠕变速度仍不超过规定的数值，这时所承受的最大应力，称为蠕变强度。

7.冲击韧性 a_h 金属材料的韧性是材料在冲击力（动力载荷）的作用下不被破坏的能力。而冲击韧性是衡量金属材料在动载荷下，承受冲击力的机械性能指标。通常都是以大能量的一次冲击值（ a_h ）为标准。它是利用一定尺寸和形状的标准试样材料，在摆锤式一次冲击试验机上进行试验，其结果，以冲断试样上所消耗的功（ A_h ）与断口处横截面积（ S ）之比值大小来衡量。

$$a_h = \frac{A_h}{S} \quad (\text{焦/米}^2) \quad (1-14)$$

式中 A_h ——冲断材料所消耗的功（焦）；

S ——材料缺口处的横截面积（米²）。

8.硬度 金属材料抵抗硬的物体压陷表面的能力，称为硬度。它不是一个单纯的物理量，而是代表着弹性、塑性、塑性形变、强度韧性等一系列不同的物理量组合的一种综合性能指标。材料的硬度通常用布氏硬度HB、洛氏硬度HR、维氏硬度HV及肖氏硬度HS等表示。