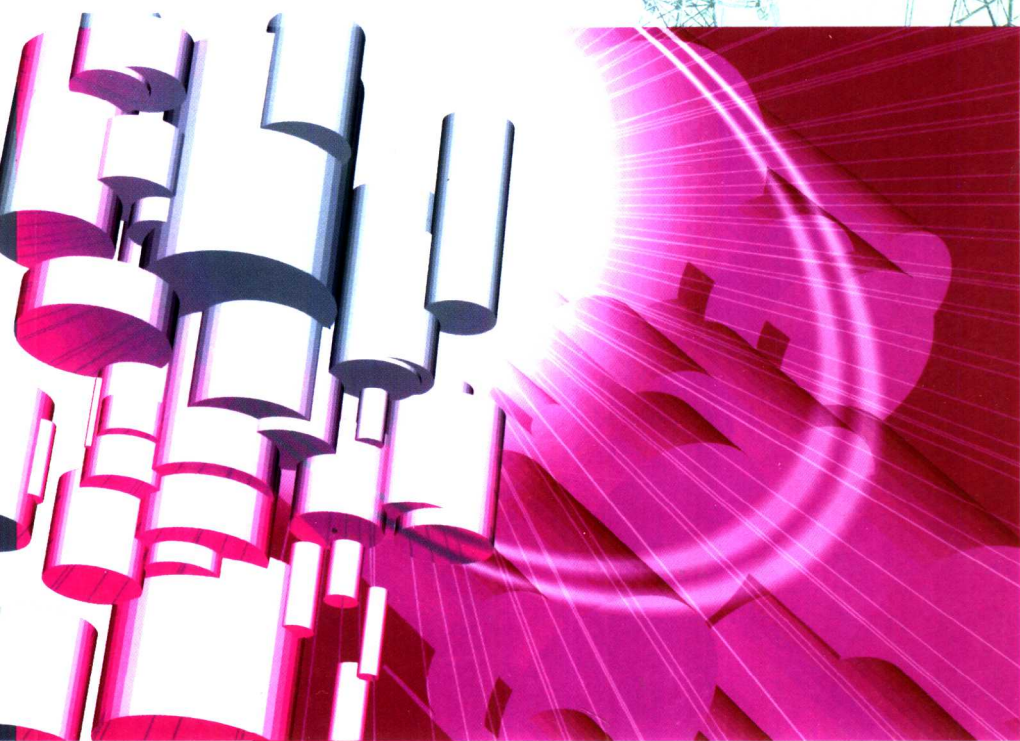


全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

● 全国电力工人公用类培训教材

电力工程常用材料 (第二版)

何朋臣 张焕勋 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目
◎全国电力工人公用类培训教材

电力工程常用材料(第二版)

何朋臣 张焕勋 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《全国电力工人技术等级标准》配套教材之一。本书共十四章,主要就金属材料、钢牌号表示法、钢材分类、电厂常用钢材、有色金属、焊接材料、石油产品、化工产品、塑料、涂料、耐火材料与保温材料、陶瓷与复合材料及其他材料等对电厂常用材料进行了讲述,考虑到目前一些引进型 300MW 以上机组的一些金属材料 and 机组运行的油类按国外型号设计,故本书在介绍国内材料时,对一些国外材料进行了对照介绍。对一些国外材料,如 P92/T92 钢、T23 钢国内虽未使用,但由于这些钢材在国外的使用已基本成熟,故本书也作了简单介绍,为便于培训考核,各章之后均附有复习题供复习巩固之用。

本书适用于火力发电、水力发电、供用电、机械修造、火电建设、水电建设和城镇(农村)工矿企业电气 7 个部分 27 个专业 159 个工种的工人培训考核使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力工程常用材料/何朋臣,张焕勋编. —北京:中国电力出版社,2004

全国电力工人公用类培训教材

ISBN 7-5083-2380-7

I. 电… II. ①何…②张… III. 电工材料-技术培训-教材 IV. TM2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085985 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1994 年 12 月第一版

2004 年 10 月第二版 2004 年 10 月北京第五次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 18.875 印张 500 千字

印数 35141—40140 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨

丁巳年春



出版说明

《全国电力工人公用类培训教材》自 1994 年出版以来,已用于电力行业工人培训 10 余年,得到了广大电力工人和培训教师的一致好评。为提高电力职工素质、使电力职工达到相应岗位的技术要求奠定了基础。

近年来,随着国家职业技能标准体系的完善,《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》已在电力行业正式实施。随着电力工业的高速发展,电力行业的职业技能标准水平已有明显提高,为满足职业技能鉴定规范对电力行业各有关工种鉴定内容中共性和通用部分的要求,我们对《全国电力工人公用类培训教材》重新组织了编写出版。本次编写出版的原则是:以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据,以满足电力行业对从业技术人员基本知识结构的要求为目标,兼顾提高电力从业人员的综合素质。本次编写出版的教材共 14 种,即:

- | | |
|---------------|---------------|
| 电力工人职业道德与法律常识 | 应用机械基础(第二版) |
| 电力生产知识(第二版) | 应用力学基础(第二版) |
| 电力安全知识(第二版) | 应用水力学基础(第二版) |
| 应用电工基础(第二版) | 实用热工基础 |
| 应用电子技术基础(第二版) | 应用计算机基础 |
| 电力工程识绘图 | 电力工程常用材料(第二版) |
| 应用钳工基础(第二版) | 电力市场营销基础 |

本教材此次编写出版得到了以上各册新老作者的大力支持,在此表示由衷的感谢!同时,欢迎使用本教材的广大师生和读者对其不足之处批评指正。

中国电力出版社

2004.6



前 言

《电力工程常用材料》第一版按照《电力工人等级标准》要求编制而成,于1994年12月出版。自出版以来为电力系统广大工人的技术定级、上岗、转岗、晋级及电力职工技能鉴定等的培训和考核工作发挥了较大作用。其特点是重点突出、层次分明、深入浅出、易教易学、图文并茂,深受广大读者的欢迎和喜爱。但随着时间的推移,近10年是我国电力工业高速发展的10年,10年间国内电厂主力机组单机容量由300MW向600MW发展,出现了一些新的材料,同时一部分材料的标准也进行了修订更新;随着国家职业技能标准体系的完善,《中华人民共和国职业技能鉴定规范 电力行业》已在电力行业普遍推广。为了结合这些新的形势,因此需对第一版进行必要的增补和修订。

本书共分十四章。与第一版相比增加了三章,即第四章电站锅炉、压力容器、汽轮机、发电机及主要辅机的主要部件对钢材的要求;第十三章陶瓷与复合材料;第十四章其他材料。同时删除第一版第十章火药的内容,对其他章内容按照电力工程当前常用材料现行的分类和制造生产标准对其内容进行了更新,考虑了目前电力系统应用的化工原料制品的酸、碱、气体及电力工业常用工程塑料,基本没有变化,故本书保留了第一版的内容,对于石棉及石棉制品由于其属于对环保有影响的制品,应是控制使用的制品,但考虑到一些早期修建的电厂和一些设备制造厂家的产品中仍有石棉制品的使用,故本书也给予了保留,此外每章后的练习题也基本保留第一版的内容,在此对本书第一版作者西北电力建设第一工程公司高改莲、盛经文同志表示感谢。

本书在编写过程中对一些国内材料介绍的同时注重了国外同类产品材料的对比介绍,使广大读者使用起来更加方便,对一些

国外材料如 P92/T92 钢、T23 钢等国内目前虽未使用，但考虑到这些钢材在国外超临界机组已基本成熟使用，故本书也对这些材料作了介绍。本书在编写过程中得到作者单位河北省电力建设第一工程公司、河北国华定州发电有限公司的大力支持，其中，河北省电力建设第一工程公司纪梅芳同志为本书做了大量工作在此表示感谢。

编 者

2004 年 6 月



目 录

出版说明

前言

第一章 金属材料	1
第一节 金属材料的一般知识.....	1
第二节 金属材料的性能.....	1
第三节 金属材料的结构及结晶	24
第四节 合金钢及金属材料热处理	38
第五节 合金元素在钢中的作用	66
复习题	75
第二章 钢	78
第一节 钢铁产品牌号表示方法	78
第二节 钢的分类、执行标准、牌号、主要特点和用途 ...	86
复习题	115
第三章 钢材	118
第一节 钢产品的分类	118
第二节 钢材的分类	124
第三节 钢轨和配件	136
第四节 型钢和线材	139
第五节 钢板	153
第六节 钢管	165
第七节 金属制品	173
复习题	178
第四章 电站锅炉、压力容器、汽轮机、发电机及主要辅机 的主要部件对钢材的要求	181
第一节 钢管的用钢要求	181

第二节	锅炉及压力容器用钢板	196
第三节	锅炉受热面固定件及吹灰器用金属材料	202
第四节	汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮用 金属材料	205
第五节	汽轮机叶片用金属材料	210
第六节	紧固件用金属材料	215
第七节	锅炉汽轮机铸件用金属材料	220
第八节	发电厂锻件金属材料	222
第九节	凝汽器用管材	223
第十节	电厂用硅钢片	225
第十一节	电厂中耐磨金属材料及复合材料	226
复习题		240
第五章 有色金属材料		242
第一节	有色金属材料的种类及牌号	242
第二节	铜及铜合金	250
第三节	铝及铝合金	256
第四节	其他有色金属材料及合金	260
复习题		265
第六章 焊接材料		267
第一节	电焊条的种类、型号、用途	267
第二节	电焊条的选择、使用和保养	305
第三节	焊丝及钎料	312
复习题		323
第七章 石油产品		325
第一节	石油的炼制	325
第二节	石油产品的分类和代号	327
第三节	石油产品的主要特性	330
第四节	石油燃料	333
第五节	溶剂油类	335
第六节	润滑油	336

第七节 润滑脂	347
第八节 电厂常用油	352
复习题	360
第八章 化工原料	363
第一节 化工原料的分类	363
第二节 化工原料专用名词解释	365
第三节 电力工业常用的化工原料	367
第四节 橡胶制品	388
复习题	415
第九章 塑料	417
第一节 塑料的组成成分	417
第二节 塑料的分类	418
第三节 常用塑料性能和用途	419
复习题	425
第十章 涂料	427
第一节 涂料的作用	427
第二节 涂料的组成	428
第三节 涂料产品的分类、命名和型号	429
第四节 特种涂料	434
第五节 常用油漆的组成、特性和用途	439
第六节 油漆涂料的存放、仓储	452
复习题	453
第十一章 石棉及石棉制品	455
第一节 石棉的分类、化学成分及主要性质	455
第二节 石棉制品	458
复习题	471
第十二章 耐火材料和保温材料	473
第一节 耐火材料和保温材料的分类	473
第二节 常用耐火材料及保温材料	477
复习题	494

第十三章 陶瓷与复合材料	496
第一节 陶瓷	496
第二节 复合材料	502
复习题	512
第十四章 其他材料	513
第一节 灌浆料	513
第二节 防火堵料	514
第三节 无石棉垫片	515
第四节 火泥及火泥熔焊	522
复习题	523
附录	524
附录 1 常用金属及其他建材的密度	524
附录 2 全国电力系统各工种培训考核范围表	529
复习题答案	541
参考文献	591

金属材料

第一节 金属材料的一般知识

金属是由金属元素（或者以金属元素为主）组成的、具有晶体结构的物质。在通常温度下，除汞（水银）以液体形态存在外，其余均为固体，并具有金属光泽、良好的塑性、优良的导热性和导电性。凡以金属物质制成的、可供社会再生产作原材料用的金属产品，称为金属材料。

金属材料通常分为黑色和有色金属两大类。黑色金属指铁、锰、铬和它们的合金，如生铁、铁合金、钢、金属锰、金属铬等。有色金属指除黑色金属以外的金属及其合金，如铜、铝、锡、铅、锌以及铜合金、铝合金、轴承合金和硬质合金等。

金属材料按其组成成分，一般可以分为纯金属与合金两大类。纯金属也称简单金属，指由一种金属元素组成的物质。目前已被发现的 107 种元素中，属纯金属的共 86 种。但工业上直接使用的为数不多，主要有铜、铝、铅、锌、锡等几种。合金又称复杂金属，指由一种为主的金属元素与另一种或几种金属或非金属元素组成的物质。如纯铁是指总杂质含量为 0.1% 的铁。而以铁为基础加入除铁以外的其他元素构成的金属材料叫铁合金。同样，以铝元素为基础加入其他合金元素所构成的材料，则称为铝合金。

由于合金的各项性能一般较优于纯金属，因此，在工业上合金的应用比纯金属广泛。合金的种类甚多，如工业上普遍使用的钢铁，就是铁碳合金，黄铜就是铜锌合金等。

第二节 金属材料的性能

金属材料在工农业生产中的应用极为广泛。电厂的锅炉、汽

轮机、水轮机、发电机、厂房、各种辅助设备、管材与附件以及输变电工程中的变压器、铁塔和架构、导线及附件等均使用金属材料，水电站的大坝、厂房等也需用大量金属材料。选用的金属材料必须满足设计和制造上对其各种性能的要求。为了正确地使用 and 选择金属材料，必须了解金属材料的使用性能和工艺性能。

使用性能是指金属材料在使用条件下所表现的性能，即机械性能、物理和化学性能；工艺性能是指金属材料在冷热加工过程中所表现的性能，即铸造性、焊接性和热处理性以及切削性等。这些性能是衡量金属材料质量的标志。

一、金属材料的物理性能和化学性能

金属材料的物理性能，是指金属的密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等物理特征。金属材料的化学性能，则主要是指金属或合金的化学稳定性，即抗氧化性和耐腐蚀性等。它大部分都与合金成分和组织状态有关。

(一) 密度

密度是指单位体积所具有的质量。其公式为

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 m ——物质的质量 (kg 或 g)；

V ——物质的体积 (m^3 或 cm^3)；

ρ ——密度 (kg/m^3 或 g/cm^3)。

不同的金属材料，其密度不同。例如钢的密度为 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$ ，铝的密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

金属材料的密度直接关系到由它制成的机械设备、工程结构的质量和体积的大小。有不少精密机械和某些高速运转的零件，要求能尽量减轻其质量。一些高强度的轻合金，如铝合金、钛合金等，就由于其密度小而显示出很大的优越性。在金属材料供应和销售中，经常根据金属材料的密度来计算其质量，即质量 = 密度 $\times$ 体积，这样计算出来的质量称为理论质量。

在中华人民共和国法定计量单位中没有重量这一物理量，但

人们由于日常生活习惯将质量称为重量，而物质的重量又是通过“比重”来计算的，即物质的重量 = 比重 × 体积。故在此书中保留了“比重”这一名词术语。

(二) 导电性

金属和合金传导电流的能力，叫导电性。各种金属的导电性并不相同，同一金属的导电性与制成材料的长短、粗细、组成、纯度和本身温度都有关系。

金属的导电性以电导率 γ 表示。因为物体的导电能力与电阻成反比，因此电导率为电阻率 ρ 的倒数。用公式可将电阻率表示为

$$\rho = R \frac{S}{L}$$

式中 ρ ——电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 或 $\Omega \cdot \text{cm}$);

R ——试样的电阻 (Ω);

S ——试样的横截面积 (mm^2);

L ——试样的长度 (m)。

则电导率为

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

式中 γ ——电导率 (S/m 或 S/cm)。

在常见金属中，导电性最好的是银(电阻率为 $1.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$)，因此，通常用银的电导率作为标准来衡量其他金属的导电能力。如将银的电导率定为 100%，则铜的电导率是 97%，铝的电导率是 57%……。

但在实际应用上，因为银的价格高、强度低、塑性大，除少数电子产品使用银外，一般工业上用得不多，而铜和铝则是电力工业中大量使用的导电材料。

合金的导电性均比纯金属低，可以尽可能采用导电性较好的纯金属作导体，而采用电阻高的合金作电阻元件。如用铁铬铝合

金和铬镍合金制造电阻丝等，就属这种情况。

有些金属的导电性很微弱（如锗、硅、硒等），介于导体和绝缘体之间，这样的金属称为半导体，它们是构成半导体工业的基础。

在通常情况下，金属的导电性随温度的升高而下降。

（三）导热性

金属传导热量的能力称为导热性。一般来说，纯金属的导热性比合金好，各种金属材料的导热性比非金属材料好，锤锻金属的导热性比铸造金属好。多数金属都是热的良导体。一般导电性好的金属，导热性亦好。

金属的导热性愈差，在加热和冷却时，零件的表面和内部的温差就愈大，由此而产生的内应力就愈大，就愈易发生裂纹；反之，导热性好的金属就不易开裂。所以在选择有效的冷热加工方法时，导热性往往是不可忽视的因素。

在电力工业中，为了提高火力发电厂的热效率，很多设备性能利用金属的导热性来实现。如锅炉受热面的管子、旋转式空气预热器的换热元件、空冷机组的空冷换热元件及汽轮机的冷凝器铜管等，都被用于热能交换。与此相反，很多设备及热力管道，又要采取保温措施，使用了大量的保温隔热材料。对保温隔热材料的要求则是应具备良好的热绝缘性，亦即要求材料的导热性越低越好。

衡量物质导热性的物理量是导热率，亦称导热系数，以符号 λ 表示，单位为 $W/(m \cdot K)$ 。

（四）可溶性

当金属受热到一定程度时，因原子活动加剧而使晶体结构遭到破坏，从而使固态金属变为液态金属的现象，称为金属的可溶性。

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。不同的金属有不同的熔点。金属按熔点不同分为易熔金属（如锂、镁、锡、铅等）和难熔金属（如钨、钼、钽、铌、钛、锆等）。易熔金属具

有很好的可塑性、铸造性和焊接性；难熔金属则有很高的硬度、高温强度和耐腐蚀性能。

根据这些不同的特点，工业上常用易熔金属制作熔断件、防火安全阀和焊料等；难熔金属则用来制作各种耐高温器件，如过热器管卡、燃气轮机叶片、电热丝等。

合金的熔化（或凝固）与纯金属不同，它不是在一个单一的温度点上，而是在一个温度区域内进行的。这个温度区称之为该合金的熔流点。对于焊料合金，熔流点是表示其特性的重要的物理参数。

（五）胀缩性

金属因受温度升降的影响而使体积发生膨胀和收缩的性质，称为金属的胀缩性。不同的金属材料有不同的胀缩性，即使同一金属在不同温度范围内，其胀缩性也不一样。物体的胀缩性可用线胀系数和体胀系数来表示。

线胀系数 α_1 是指金属温度每升高 1°C 所增加的长度与原来长度的比值。随温度增高，线胀系数值相应增大，钢的线胀系数值一般在 $(10 \sim 20) \times 10^{-6}/\text{K}$ 的范围内。

金属材料的胀缩性，不仅在制造精密机械、仪器仪表和测量工具时是必须考虑的重要因素，而且在不同金属零件的结合和装配时也要考虑这一因素，否则会因胀缩性不同而产生应力，造成工程或产品变形或损坏。

（六）磁性

金属被磁场磁化的性能，称为磁性。根据磁性的不同，常把金属材料分为铁磁材料、顺磁材料和抗磁材料（或叫逆磁材料）三类。

铁磁材料有铁、钴、镍及某些稀土合金，它们在外加磁场作用下能强烈地被磁化。顺磁材料有锰、铬、钼、钨等，它们在外加磁场作用下，只微弱地被磁化。抗磁材料有铜、铝、锡、铅、锌等，它们能抗拒或削弱外加磁场对材料本身的磁化作用。通常说的磁性材料就是指铁磁材料，而弱磁性材料或无磁材料则分别

指顺磁材料或抗磁材料。

铁磁材料在电力工业中占有重要地位。如变压器和电机所用的硅钢片，直流发电机及电话中的永久磁铁都是铁磁材料。仪表等的外壳和要求防电磁场干扰的零件等都是采用铜、铝等抗磁材料制造的。

(七) 抗氧化性

抗氧化性是指金属在高温下抗氧化的能力。火力发电厂的高温部件（如过热器、再热器和水冷壁等）在运行中，其外壁直接与高温火焰和烟气相接触，其内壁则与汽水相接触，在接触时氧与金属化合成氧化膜，使金属得到保护；如果所生成的氧化膜不牢固、疏松，则氧化膜会不断剥落，钢材会产生起皮现象，氧化过程就会继续下去，最终将发生破坏性事故。在钢中加入铬、铝、硅等元素后，可使其氧化膜致密而牢固，增强钢材的抗氧化性。通常认为：温度愈高，时间愈长，气体介质中氧的分压愈高，流速愈快，则金属的氧化发展速度就愈快。因此，对高参数汽轮机的高温用钢，必须考虑其抗氧化性。

(八) 耐腐蚀性

耐腐蚀性指金属和合金耐介质腐蚀的性能。电厂常见的腐蚀类型有以下几种：

1. 烟气腐蚀

燃烧含硫高的燃料时，在烟气中会生成较多的二氧化硫（ SO_2 ），它与烟气中的水蒸气化合成硫酸（ H_2SO_4 ）溶液，能使锅炉尾部受热面（省煤器、空气预热器）的金属材料受到腐蚀损坏。

2. 应力腐蚀

应力腐蚀是介质与应力同时作用下所引起的一种腐蚀性破坏，常发生于锅炉管道及汽轮机的叶片和叶轮等。应力腐蚀的特点是应力和介质同时存在，共同作用，相互促进，才会引起这种破坏。

3. 蒸汽腐蚀（氢腐蚀）