

H G P X S Y J C

焊工培训实用教材

中国电机工程学会电站焊接技术委员会 编

HAN GONG
PEIXUN
SHIYONG
JIAOCAI



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

封面设计：杨晓东

HAN GONG PEIXUN SHIYONG JIAOCAI

ISBN 7-5083-0786-0



9 787508 307862 >

ISBN 7-5083-0786-0/TK

定价：28.00

IG4
Z554

焊工培训实用教材

中国电机工程学会电站焊接专业委员会 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为提高焊工的理论水平和实际操作水平,保证焊接质量、电机工程学会电站焊接专委会组织编写了《焊工培训基础教材》和《焊工培训实用教材》。

本书为实用教材,内容包括金属材料,熔化焊接的基本概念,焊接工艺,焊接设备,焊前准备,焊接材料,焊接应力与变形,焊接接头的焊后热处理,焊接缺陷及焊接检验,焊接安全技术,铝母线焊接,钛材管板密封焊接,铸铁的焊接,二氧化碳气体保护焊,埋弧自动焊共15章。

图书在版编目(CIP)数据

焊工培训实用教材/中国电机工程学会电站焊接专业委员会编著. —北京:中国电力出版社,2001

ISBN 7-5083-0786-0

I. 焊… II. ①中…②电… III. 焊接—技术培训—教材 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 066538 号

中国电力出版社出版、发行

(北京二里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

涿州星河印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002年1月第一版 2002年1月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 14 125印张 372千字

印数 0001—4000册 定价 28.00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)



焊接工作是电力建设、生产检修和设备制造的一项非常重要的热加工工艺，被称为金属的裁缝。焊接质量的好坏，直接关系到电力建设工程的质量、速度以及设备投产以后的安全运行。

随着电力技术的发展，高参数、大容量机组被广泛应用，因此对焊接工作的要求也越来越高。目前，电力建设焊接工作仍以手工电弧焊、手工钨极氩弧焊为主，焊工的技术水平十分重要，焊工只有具备高超的技艺和过硬的功夫，才能焊接优质的焊缝。

根据《焊工技术考核规程》的要求，对焊工的技术培训和考核不仅包括实际操作培训，还包括焊接专业理论的培训，为此中国电机工程学会电站焊接专业委员会组织电力系统既有丰富管理经验、又有较高焊接专业造诣的人员编写了《焊工培训基础教材》和《焊工培训实用教材》两本书，以适应不同层次焊工的培训、自学需要。

这两本教材的出版，必将对电力工业系统焊工培训工作起到重要作用，希望广大的焊接工作者在使用中提出宝贵意见，以便在今后修订中更臻完善。

中国电机工程学会电站焊接专业委员会主任委员 张佩良
教 授 级 高 级 工 程 师

2001 年 4 月

前言

中国电机工程学会电站焊接专业委员会委托天津电力建设公司和天津电力局焊接培训中心共同编写了《焊工培训基础教材》和《焊工培训实用教材》。《焊工培训基础教材》适用于焊接初级工培训和一般焊工自学之用；《焊工培训实用教材》适用于中、高级工培训，以拓宽焊工的技术能力，提高焊工的专业素质，满足电力事业发展的需要。

《焊工培训基础教材》由下列人员编写：齐绪伯、张信林、严正、胡庆。

《焊工培训实用教材》由下列人员编写：齐绪伯、张信林、严正、胡庆、尚承伟、陈群、费伟宏、刘振清、谢海福。

该书由齐绪伯、张信林高级工程师统稿。

中国电机工程学会电站焊接专业委员会邀请了电力系统焊接专业人员：张佩良、杨建平、谢钟钰等对教材进行了审查，认为是一本符合实际、有实用价值的书，值得推荐。同时，也提出了许多中肯的意见和建议，在此，表示诚挚的谢意。

本教材除作为焊工培训和自学的读本外，对焊接技术人员、焊接管理人员、焊接质检人员、焊接检验人员学习和工作也有一定的参考价值。

由于编者水平限制，肯定会有贻误之处，望广大焊接工作者不吝指正。

编写组

2001年4月

目录

序 前言

第一章 金属材料

第一节 金属材料的性能	1
第二节 金属的结构和结晶	8
第三节 铁碳合金	15
第四节 碳钢	22
第五节 合金钢	26
复习题	33

第二章 熔化焊接的基本概念

第一节 概述	35
第二节 焊接电弧的概念及其形成	37
第三节 熔化焊接的特点	41
第四节 熔焊过程的机理	43
第五节 手工电弧焊的基本原理	49
第六节 手工钨极氩弧焊的基本原理	57
复习题	60

第三章 焊接材料

第一节 焊条的基本概述	61
第二节 焊芯和药皮的组成物及功能	64
第三节 焊条药皮的冶金作用	70

第四节	焊条的工艺性能	76
第五节	焊条的分类、型号(牌号)和编制	80
第六节	焊条的选用、检验及保管	84
第七节	手工钨极氩弧焊焊接材料	88
复习题		92

第四章 焊接设备

第一节	弧焊电源	93
第二节	弧焊变压器	100
第三节	弧焊整流器(整流式弧焊机)	106
第四节	弧焊电源的使用及维护	112
复习题		114

第五章 焊前准备

第一节	焊接接头的型式和坡口	116
第二节	焊缝代号	125
第三节	焊前基础工作	139
复习题		143

第六章 焊接工艺

第一节	一般要求	145
第二节	管子对口的点固焊	147
第三节	碳素钢管的焊接	148
第四节	珠光体耐热钢的焊接	164
第五节	奥氏体不锈钢的焊接	168
第六节	异种钢接头的焊接	172
复习题		177

第七章 焊接应力与变形

第一节	焊接应力与变形的概念	178
第二节	焊接应力与变形的产生	181

第三节	焊接应力的危害与降低措施	189
第四节	焊接变形的预防和矫正	192
复习题		197

第八章 焊接接头的焊后热处理

第一节	焊后热处理的作用	199
第二节	焊后热处理的加热方法	201
第三节	焊后热处理规范的选择	204
第四节	焊后热处理的质量管理和质量监控、检验	207

第九章 焊接缺陷及焊接检验

第一节	外观缺陷	210
第二节	内部缺陷	214
第三节	焊接检验	220
复习题		239

第十章 焊接安全技术

第一节	焊接用电防护安全技术	240
第二节	电焊弧光防护安全技术	247
第三节	金属烟尘和有害气体防护安全技术	252
复习题		258

第十一章 铝母线焊接

第一节	概述	259
第二节	铝母线的手工钨极氩弧焊	265
第三节	铝母线的半自动熔化极氩弧焊	280
第四节	铝母线焊接实例	288
复习题		292

第十二章 钛材管板密封焊接

第一节	概述	293
-----	----------	-----

第二节	钛材焊接性分析	295
第三节	焊接设备	302
第四节	钛材焊接工艺	306
第五节	钛材焊接在电力系统中的应用	309
复习题		317

第十三章 铸铁的焊接

第一节	概述	319
第二节	铸铁的焊接性分析	323
第三节	铸铁焊补常用的焊接材料	326
第四节	铸铁的电弧冷焊	328
第五节	铸铁的电弧热焊及半热焊	333
第六节	铸铁的气焊工艺	335
第七节	球墨铸铁的焊接	336
第八节	铸铁缺陷焊补实例	337
复习题		343

第十四章 二氧化碳气体保护焊

第一节	概述	344
第二节	二氧化碳气体保护焊熔滴过渡	351
第三节	二氧化碳气体保护焊焊接设备	355
第四节	焊接规范及焊接工艺	363
第五节	焊接缺陷的产生原因及防止措施	384
复习题		386

第十五章 埋弧自动焊

第一节	概述	387
第二节	埋弧焊的冶金特点	389
第三节	埋弧焊焊丝与焊剂	391
第四节	埋弧焊机	399

第五节 埋弧焊工艺	407
复习题	415
附录 A 铁碳合金状态图	416
附录 B 电厂常用钢材的化学成分、机械性能及参考数据	417
附录 C 新旧 GB700 标准牌号对照表 (参考件)	426
附录 D 常用焊条熔敷金属的化学成分和常温机械性能	427
附录 E 常用焊丝的化学成分	434
附录 F 焊前预热温度	436
附录 G 舍费勒组织图	437
附录 H 共析钢的等温转变图	437
附录 I 焊接异种钢的焊条 (焊丝) 及焊后热处理温度推荐表	438
编后语	440

第一章

金属材料

由金属元素或以金属元素为主，构成具有一般金属特性的材料，称为金属材料。火力发电厂使用的金属材料，大至锅炉钢架、汽包、汽轮机转子、汽缸、发电机转子、静子和遍布全厂的各种管道，小至螺钉、垫圈，都以各种金属材料组成，且大多通过焊接方式连成整体。

火力发电厂使用的金属材料种类繁多，涉及了多种规格、多种牌号的钢铁、有色金属及其合金。使用范围也宽，从常温的普通钢材到高温的耐热钢。各种金属材料的成分不同，性能各异，通过加工特别是热处理后，性能还有很大变化。金属材料的性能主要是指使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在正常使用条件下应具备的性能，包括力学性能和化学性能；工艺性能是指金属材料对各种冷、热加工过程的适应能力，包括铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等性能。

正确了解各种金属材料的性能和特点，合理选用焊接材料、焊接方法和焊接工艺，对焊接工作者是至关重要的。

第一节 金属材料的性能

世界上已发现的 100 多种化学元素中，金属元素约占 $4/5$ 。金属元素的室温下除汞为液体外，其余都是固体，具有光泽、不透明、良好的延展性、良好的导电性和导热性、固定的熔点等基本特性。

金属可分为纯金属和合金。纯金属就是具有金属特性的单质，如铜、铝等。合金则是由两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属元素所组成的新物质，如钢是铁和碳组成的合金，黄铜是纯铜（紫铜）和锌组成的合金等。

通常，人们习惯将金属分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属主要指钢和铁，还有金属锰、金属铬。除黑色金属外，其余所有的金属元素，如铜、铝、锌以及有放射性的镭、铀等均为有色金属。

一、金属材料的物理性能

1. 密度

单位体积的质量称为密度，用符号“ ρ ”表示，单位是 g/cm^3 。

密度用下式求出：

$$\rho = g/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——密度 (g/cm^3)；

g ——物体质量 (g)；

V ——体积 (cm^3)。

2. 熔点

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。工业上把熔点低于 700°C 的金属或合金称为易熔金属。

熔点高低对金属和合金的熔炼、轧制、焊接有直接影响，对金属部件的性能影响也很大，如在高温下工作或承压承重的部件都含有高熔点的钨 (W)、钼 (Mo)、钒 (V)、铬 (Cr) 等元素，以提高其高温性能。

3. 导电性

能传导电流的性能叫导电性，以导电系数或电导率 (ρ) 表示，单位为 $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ 。各种金属导电性能各不相同，银的导电性最好，电导率为 0.66，铜和铝电导率分别为 0.59 和 0.37，铁的电导率仅为 0.1。

4. 热导性

金属受热后，能将热量向四周冷金属方向传导的能力叫金属的导热性，以导热系数（ λ ）表示，单位为 $\text{J}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C})$ 。

不同金属，导热性亦不同，一般说，导电性好的材料，导热性也好，银的导热系数为 4.19，铜、铝、铁的导热系数分别为 3.94、2.22、0.75。

5. 热膨胀性

金属随温度变化，体积发生膨胀或收缩的性能称为热膨胀性，以线膨胀系数（ α ）表示，单位为 $1/^\circ\text{C}$ ，含义是温度改变 1°C ，试件长度的增减与试件在 0°C 时长度的比值。

铁的线膨胀系数为 11.76，银为 19.7，铜为 17.0，铝为 23.6。

6. 导磁性

能传导磁的性质叫导磁性，以磁导率（ μ ）表示，单位为 $\text{T}/(\text{A}\cdot\text{m})$ 。

$$\mu = B/H \quad (1-2)$$

式中 B ——磁感应强度 (T)；

H ——磁场强度 (A/m)。

磁导率大于 1 的物体称为顺磁材料，磁导率远远大于 1 的称为铁磁材料，磁导率小于 1 的物体称为逆磁材料。铁磁材料易被磁场吸引和磁化，逆磁材料非但不会被吸引和磁化，反而会削弱磁场。铁、钴、镍等属于铁磁性材料，其他大多数金属属于弱磁性或逆磁性材料。

二、金属材料的化学性能

金属与其他物质引起化学反应的特性，称为金属的化学性能，各种金属元素的原子结构不同，化学性能也不相同。

不同的金属元素在同一种介质中，能引起不同程度的化学反应。如铁与氧的结合力较强，形成疏松而不稳定的氧化物，耐蚀性较差；不锈钢由于添加了铬、镍等化学性能较稳定的元素，抗腐蚀性就好。

金属的化学性能决定了不同金属与金属、金属与非金属之间

形成的化合物的性能，有些合金的机械性能高，有些抗蚀性好，有的在高温下组织、性能有良好的稳定性。

三、金属材料的工艺性能

金属部件通过多种工艺手段（如铸、锻、焊、热处理及切削等）加工完成，金属材料对各种工艺手段所表现出来的适应性称为工艺性能，主要有可铸造性、可锻性、可淬透性、切削加工性和焊接性。对于焊接工作者来说，应特别注重研究金属的焊接性。

在一定的工艺条件下，使接缝能牢固地结合成一体，焊缝不易出现缺陷的性能，称为金属的焊接性。容易氧化、吸气、导热性过高或过低、线膨胀系数过大、塑性差和加热冷却过程中近焊缝区金属易引起组织性能改变较大的金属材料，焊接性均较差。焊接性较差的材料，接头强度或塑性比原材料低，焊缝内易产生夹渣、气孔、裂纹等缺陷。

一般说，低碳钢、普低钢的焊接性较好，高碳钢、铸铁、有色金属焊接性较差。

四、金属材料的力学性能

金属材料在外界机械力作用下抵抗变形或破坏的能力，称为金属的力学性能，以前称机械性能。

金属部件工作时所承受的外力状态是不同的，有静荷载受力和动荷载受力两种，如拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等属静荷载；摩擦、振动、冲击等属动荷载。

衡量金属材料力学性能的指标，有强度、硬度、塑性、弹性（刚性）、韧性、抗疲劳性及蠕变性等。焊接接头主要考核强度、硬度、塑性、韧性等四个指标。

1. 强度

金属材料在外力作用下，抵抗变形和破坏的能力称为金属的强度。按外力作用的性质不同，分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度等。材料的强度用极限应力值表示，如屈服极限（ σ_s ）、强度极限（ σ_b ）、弹性极限（ σ_e ）等，单位是 MPa。强度

指标是工程设计选用材料的主要依据。

2. 塑性

金属材料受力时，应力超过屈服点后，材料产生永久变形而不发生断裂破坏的能力称为塑性。塑性指标可通过拉伸实验测得，常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 作为塑性指标。 δ 和 ψ 值越大，金属材料的塑性越好。 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料（如低碳钢）； $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料（如灰口铸铁）。塑性好的材料可顺利进行某些成型工艺（如锻压、冷冲和冷拔等）。更重要的是良好的塑性可使零件在使用中，一旦发生超载时，能因塑性变形而避免突然断裂。

3. 冲击韧性

金属材料抵抗冲击负荷的能力叫冲击韧性。冲击韧性是通过冲击试验，冲断一定尺寸的标准试件所耗用的功与试件断口最小截面的比值来度量。单位是 J/cm^2 。一般讲，冲击值愈大，材料的韧性愈好。冲击值高的材料称为韧性材料，冲击值低的材料称为脆性材料。

应当指出：韧性和塑性是两个不同的概念。延伸率和断面收缩率反映材料在单向拉伸时的塑性；冲击值反映在有应力集中和应力复杂状态下材料的塑性。

4. 硬度

金属材料表面抵抗外界硬物体压入的能力称为材料的硬度。以材料表面受压后形成压痕的深浅，衡量硬度高低。

测试时，根据压头形状和荷载的大小可得出不同的硬度指标，常用的有布氏硬度和洛氏硬度两种。

布氏硬度的压头是一个淬硬钢球。测试结果以 HB 表示，如 $\text{HB} = 235 \sim 275$ 。HB 值越大，表示材料硬度越高。

洛氏硬度的压头是金钢石圆锥或淬硬钢球，根据压头和荷载测试结果，分别以 HRA、HRB、HRC 表示，如 HRC20—67、HRB25—100、HRA70—85。HR 值越大，材料硬度越高。

焊接接头硬度的测量多用布氏硬度计。过去广泛采用的是便

携式锤击布氏硬度计，能直接在大型工件上测定硬度，携带轻便，缺点是测量误差较大，试验重复性很差。近年来，国内外对大工件表面硬度测定，趋向于便携式里氏硬度计，该仪器小巧轻便，表面压痕小，工件表面损伤小，可立即用数字显示里氏硬度值（HL），方便地换算出布氏、洛氏和其他方法的硬度值。测量精度和重复性均优于锤击式硬度计。特别是国内最近推出的带微机芯片和打印机、可通过键盘操作的里氏硬度计有如下优点：

- (1) 可直接换算、显示所需的硬度值（HB、HRC等）；
- (2) 可通过人机对话，选择实验次数，显示多次实验平均值；
- (3) 可选择测量位置，自动修正因测试位置不同带来的测量误差；
- (4) 试验结果可自动打印。

由于有以上优点，应用前景十分广阔，目前，已逐步取代了锤击式硬度计。

硬度是同强度、塑性密切相关的综合性指标，金属材料的硬度越高，表面抵抗塑性变形的能力越强；材料的强度极限越高，塑性相反下降。

布氏硬度值同强度极限之间有如下近似换算关系：

未淬硬钢： $\sigma_b \approx 3.62HB$ （ $HB < 175$ ）

$\sigma_b \approx 3.45HB$ （ $HB > 175$ ）

铸钢： $\sigma_b \approx 3.4HB$

灰口铸铁： $\sigma_b \approx (HB - 40) / 0.6$

上述换算关系中， σ_b 和 HB 单位均为 N/mm^2 。

5. 疲劳和疲劳极限

金属材料在远低于屈服极限的交变应力长期作用下发生的断裂现象，称为金属的疲劳。

产生疲劳的原因很多，一般认为在交变应力作用下，虽然应力值远小于材料的抗拉强度，但由于金属材料表面或内部有毛刺、划痕及夹杂物等缺陷，造成应力集中导致微裂纹，这就成为