

安装工人技术等级培训教材

电焊工

● (高级工)

本培训教材编委会 组织编写



中国建筑工业出版社

安装工人技术等级培训教材

电 焊 工

(高 级 工)

本培训教材编委会
中建一局安装公司

组织编写

曹继明

张玉林 编

商桂芝

肖尔波

中建一局

李 忠 主审

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

本书系“安装工人技术等级培训教材”之一，是根据《安装工人技术等级标准》(JGJ43-88)对电焊工高级工的应知、应会要求编写的。书中介绍了各种焊接方法和设备，焊接新技术、新工艺、新材料和新设备，焊接过程自动化技术，焊接冶金理论，焊接应力及变形的控制，焊接实例介绍，焊接接头的检验，焊接试验和焊接工艺评定，焊接施工管理等内容。

书中内容简明实用，理论结合实践，通俗易懂，介绍的焊接实例具有典型性。本书为高级电焊工的岗位培训教材，也可供有关技术人员参考。

安装工人技术等级培训教材

电 焊 工

(高 级 工)

本培训教材编委会 组织编写

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京怀柔南华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：18³/₄ 字数：418 千字

1995 年 9 月第一版 1995 年 9 月第一次印刷

印数：1—5, 100 册 定价：16.50 元

ISBN 7-112-02139-1

TU·1642 (7159)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

(邮政编码 100037)

出版说明

为贯彻落实建设部教育工作会议精神，认真搞好建设系统职工的培训工作，尽快提高建设系统职工队伍的技术素质，我司在中国安装协会的协助下，在注意吸收国内外先进培训经验的基础上，组织编写了本套“安装工人技术等级培训教材”。

该套教材覆盖了建筑安装十个主要工种。每个工种的教材按初级工、中级工和高级工三个等级编写，并附有一本《安装工人技术等级培训计划与培训大纲》与之配套，全套教材共计 31 种。

本套教材在编写时以《安装工人技术等级标准》(JGJ43—88)为依据，针对目前建设系统职工技术素质的实际情况和职工培训的实际需要，力求做到应知应会相结合。全套教材突出实用性，即侧重于全面提高职工的操作技能，辅以工人必须掌握的基本技术知识和管理知识，并较详细地介绍了成熟的、并已推广应用的新材料、新设备、新技术、新工艺。初、中、高三个等级的教材内容既不重复，又相互衔接，逐步深化。培训计划与培训大纲在编写时力求做到实用、具体，并列出了考核项目，供各地参照执行。

本套教材及培训计划与培训大纲已通过全国各地有关方面专家审定，现由中国建筑工业出版社出版，可供建筑安装工人培训、自学及技术竞赛之用。在使用过程中如发现问题，

请及时函告我们，以便修正。

建设部教育司

“安装工人技术等级培训教材”

编 委 会

主任委员：杨筱梯 强十渤 吴小莎

委员（以姓氏笔画为序）：

王 旭	卢建英	刘克峻	李 忠
杨同起	张 崢	张文祥	林汉丁
孟宪明	赵恒忱	钱大治	蔡耀恺

目 录

一、焊接方法与设备	1
(一) 等离子弧焊接	1
(二) 电子束焊接	14
(三) 电渣焊	26
复习题	47
二、焊接新技术、新工艺、新材料和新设备	48
(一) 焊接方法概述	48
(二) 焊接技术的新发展	53
(三) 焊接新工艺和新材料	56
(四) 电子控制的弧焊电源	82
复习题	109
三、焊接过程自动化技术	111
(一) 引言	111
(二) 熔化极脉冲氩弧焊电弧过程的适应和优化控制	112
(三) 电弧焊的跟踪自动控制	115
(四) 熔深适应控制	120
(五) 计算机在焊接中的应用	123
(六) 焊接机器人	133
复习题	137
四、焊接冶金理论	138
(一) 焊接化学冶金过程的特点	138
(二) 气体对金属的作用	144
(三) 熔渣与金属之间的相互作用	152
(四) 焊缝中的气孔与裂纹	158

(五) 焊接热影响区的组织和性能	168
复习题	174
五、焊接应力及变形的控制	175
(一) 焊接应力及变形的关系	175
(二) 控制焊接变形的的方法	182
(三) 控制焊接应力的方法	201
复习题	204
六、焊接实例介绍	206
(一) 高温高压结构的应用	206
(二) 高温高压结构的特点	209
(三) 高温高压结构常用金属材料的可焊性评估	217
(四) 高温高压结构常用的焊接接头型式	224
(五) 耐热钢高温高压结构的焊接实例	246
(六) 不锈钢高温高压结构的焊接实例介绍	288
(七) 高强度钢(调质钢)高温高压结构的焊接实例	341
(八) 高温合金高温高压结构的焊接实例	358
(九) 镍基耐蚀合金高温高压结构的焊接实例	395
(十) 水下焊接与实例	415
(十一) 带压、带气、带油焊接堵漏技术与实例	429
(十二) 承受巨大冲击载荷构件的焊接实例	453
(十三) 特殊情况下的焊接技术	467
复习题	481
七、焊接接头的检验	482
(一) 焊接接头的非破坏性检验	482
(二) 焊接接头的破坏性检验	492
复习题	506
八、焊接试验和焊接工艺评定	508
(一) 焊接试验	508
(二) 焊接工艺评定	515
复习题	539

九、焊接施工与管理	541
(一) 建设项目施工	541
(二) 焊接施工技术管理	552
复习题	585
附录 电焊工高级工技术标准	587

一、焊接方法与设备

(一) 等 离 子 弧 焊 接

等离子弧焊接可以手工操作也可以自动焊接，可以添加填充金属也可以不加填充金属施焊。除能焊接碳钢外，还能焊接不锈钢、铜合金、镍合金及钛合金等。采用微束等离子弧焊，可以焊接厚度为 0.01mm 的不锈钢。

1. 分类：

(1) 普通等离子弧焊接 一般采用 30A 以上电流，最适合焊接厚 3mm 以上的板材。利用小孔效应一次正面焊反面成形，焊接生产率高。焊接厚度 $< 3\text{mm}$ 的薄板，可采用非转移型弧。

(2) 微束等离子弧焊接 一般工作电流小于 30A，弧柱直径细小，称为微束或微弧。与普通等离子弧焊接的主要区别在于工作时转移弧和非转移弧同时存在。非转移弧一方面用来引导转移弧，另一方面为转移弧提供足够的电离质点，以维持电弧的稳定燃烧。非转移弧的工作电流一般在 5A 以下。微束等离子弧的非转移弧引燃有两种方法：一种是接触式引弧，常用于手工焊；另一种是非接触式引弧，常用于自动焊。

(3) 脉冲等离子弧焊接 将等离子弧焊接电流调制成基值电流和脉冲电流。基值电流又称维弧电流，不起熔化金属作用。脉冲电流起着熔化金属的作用，这就是所谓脉冲等离子弧焊接。这种焊接方法拓宽了焊接规范参数的调节范围，有

助于满足各种接头型式及空间位置的焊接要求。

(4) 熔化极等离子弧焊接 它是等离子弧焊和熔化极气体保护焊相结合的一种焊接方法。

2. 设备：无论是手工的或自动的等离子弧焊设备，都由焊接电源、焊枪、控制电路、供气及供水系统等部分组成，自动等离子弧焊设备还包括焊接小车。

(1) 焊接电源 和钨极氩弧焊一样，为减少因弧长波动而引起电流变化，必须采用陡降或垂降外特性的电源。电源一般为硅整流器、旋转式弧焊发电机、可控硅整流器、晶体管或场效应管式直流电源。当离子气采用 Ar 时，电源空载电压为 65~85V，离子气为 Ar+H₂ 或其它双原子气体时，则电源空载电压相应提高至 110~120V。联合型电弧因非转移弧和转移弧同时并存，所以要采用两套独立电源。转移型弧可以采用一套电源，也可以采用两套电源。

(2) 控制电路 根据被焊对象的焊接程序循环图（图 1-1），控制电路的设计要完成一系列规定动作，如调节离子气预通时间、离子气流递增时间、保护气预通时间、焊件预热时间、电流衰减时间、离子气流衰减时间及保护气滞后时间等。脉冲等离子弧焊接的控制电路，还要能够调节基值电流、



图 1-1 焊接程序控制循环图

t_1 —预通离子气时间； t_2 —预通保护气时间； t_3 —预热时间；

t_4 —电流衰减时间； t_5 —滞后关气时间

脉冲电流、占空比或脉冲频率。熔化极等离子弧焊接的控制电路，则要能够调节送丝速度。微束等离子弧焊接的控制电路，则要能够分别调节非转移弧和转移弧的电流。

(3)供气系统 等离子弧焊接有焊接气路和保护气路。焊接气路包括焊接离子气路和引弧离子气路，提供产生等离子弧的工作介质。焊接离子气路最常用的有单原子气体 Ar、He，双原子气体 CO_2 、 H_2 及其任意组合。采用 H_2 时，必须注意整个供气系统中不能有漏气现象，否则易产生爆炸危险。引弧离子气路最常用的是 Ar 气。

保护气路最常用的是惰性气体 Ar，保护焊接区域不受环境大气的污染，需要时保护气路可同时对焊缝的正面和背面提供保护流。

图 1-2 (a) 为采用单一焊接气体的供气系统，图 1-2 (b) 为采用混合气体的供气系统。

等离子弧焊接供气系统与氩弧焊相比，还有如下不同点：

a. 等离子弧焊接由气源提供多路气流，所以要先经过汇流筒进行均流，避免各路气流调节时出现抢气现象。

b. 等离子弧焊接在结束时为填满小孔，除采用电流衰减外，还要进行气流衰减，它由气阀 DF 接通大气来实现。

c. 除保护气路中流量计与氩弧焊所用的相同外，焊接气路尤其离子气路中的流量计要采用调节范围大的型号。

d. 当引弧预热结束转至焊接时，贮气筒就起缓冲离子气流的作用，避免了离子气流对弧坑的冲击。

(4)供水系统 高能量密度的等离子弧造成电极及喷嘴的大量过热。为延长喷嘴及电极的使用寿命，以及对等离子弧产生良好的热收缩效应，必须对电极及喷嘴进行有效的水冷却。同时对焊枪及连带电缆也进行水冷却。

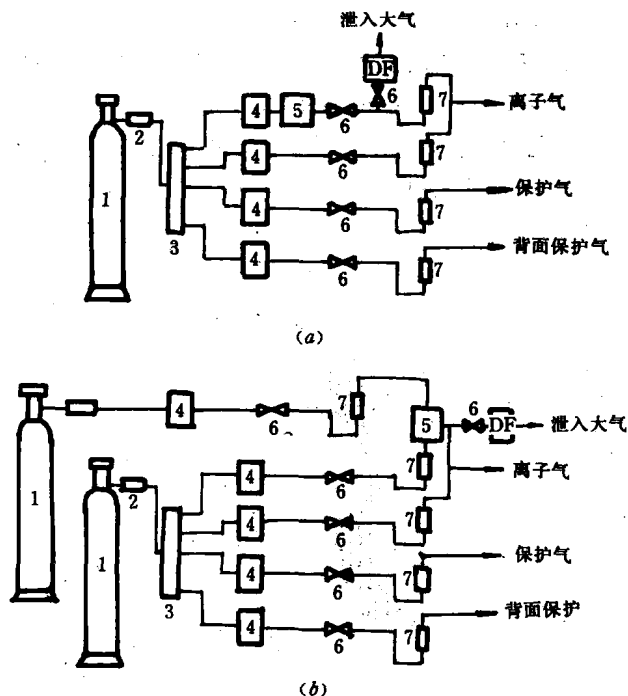


图 1-2 等离子弧焊接供气系统

(a) 单一焊接气体; (b) 混合气体

1—气瓶; 2—减压表; 3—气流汇流筒; 4—气阀; 5—贮气筒;

6—调节阀; 7—流量计; DF—衰减气阀

冷却方式有：间接冷却，冷却水从上枪体进入，由下枪体流出；直接冷却，电极及喷嘴分别进行水冷却，冷却效果好，一般都用在具有镶嵌式电极的焊枪结构中。

供水系统中装有水压开关，保证整个系统中的冷却水流量不小于 3L/min。

(5) 焊枪 等离子弧焊枪的设计应保证等离子弧燃烧稳定，引弧及转弧可靠，电弧压缩性好，绝缘、通气及冷却可

靠, 更换电极方便, 喷嘴和电极对中好。焊枪主要由电极、电极夹头、喷嘴、中间绝缘体、气室、水路、气路、馈电体等组成。使用棒状电极的焊枪, 其水、电、离子气及保护气接头一般从枪体侧面连接。镶嵌式电极的水、电、离子气及保护气接头可从焊枪顶端接入。图 1-3 是一种典型的等离子弧焊枪结构。

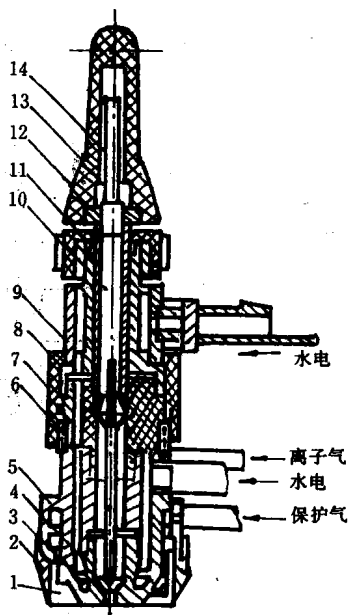


图 1-3 等离子弧焊枪

1—喷嘴; 2—保护套外环; 3、4、6—密封垫圈; 5—下枪体;
7—绝缘柱; 8—绝缘套; 9—上枪体; 10—电极夹头; 11—套管;
12—小螺母; 13—胶木套; 14—钨极

a. 喷嘴: 其结构决定了等离子弧的性能及稳定性, 图 1-4 为喷嘴结构示意图。

①喷嘴孔径 d 决定等离子弧的直径和能量密度, 根据

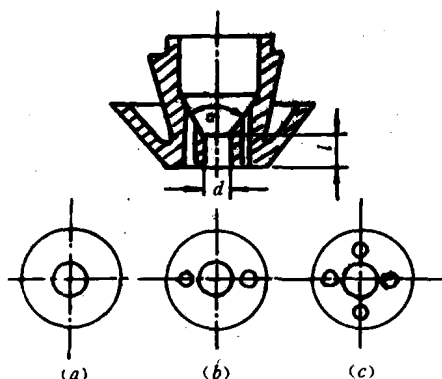


图 1-4 喷嘴结构

(a) 单孔型; (b)、(c) 多孔型

焊接电流及离子气的种类和数值来设计。 d 越大,对电弧的压缩作用越小,超过一定值后,就不起压缩作用; d 过小,等离子弧稳定性变坏,易发生双弧,喷嘴寿命降低。表 1-1 列出 d 与电流的关系。

等离子弧电流与喷嘴孔径关系

表 1-1

喷嘴孔径 d (mm)	$\phi 0.6$	$\phi 0.8$	$\phi 1.2$	$\phi 1.4$	$\phi 2.0$	$\phi 2.5$	$\phi 2.8$	$\phi 3.0$	$\phi 3.2$	$\phi 3.5$
等离子弧 电流 (A)	~5	~25	20~ 60	30~ 70	40~ 100	~ 140	~ 180	~ 210	~ 240	~ 300

②喷嘴孔道长度 l 喷嘴孔径 d 确定后, l 越长,对等离子弧的压缩效果越好,但超过一定值后会破坏等离子弧的稳定性。通常以孔道比 l/d 来表征等离子弧的类型,其推荐值见表 1-2。

喷嘴孔道比

表 1-2

喷嘴孔径 d (mm)	孔道比 l/d	压缩角 α (°)	等离子弧类型
$\phi 0.6 \sim 1.2$	2.0~6.0	25~45	联合弧
$\phi 1.6 \sim 3.5$	1.0~1.2	60~90	转移弧

③压缩角 α 对等离子弧压缩效果的影响不大，主要根据电极端部形状来确定，保证等离子弧在电极顶端引燃后通过喷嘴孔道。

④喷嘴孔道数 分单孔型和多孔型（图 1-4）。多孔型除主孔外，周围有若干小孔（图 1-4b、c），借助小孔喷出的离子气流将等离子弧产生的圆形热场变成椭圆形或进一步在喷嘴外压缩电弧，以提高弧柱的能量密度。

b. 电极：分棒状和镶嵌式两种。棒状电极形状与钨极氩弧焊所用的相同，一般为铈钨极，见图 1-5（a）。镶嵌式电极宜于直接水冷，见图 1-5（b）。可采用机械压入、烧结或钎焊法来实现镶嵌，以钎焊法为最好，也最常用。表 1-3 列出不同直径棒状电极的许用电流范围。

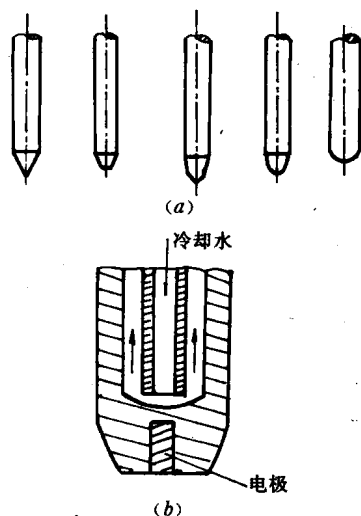


图 1-5 电极形状

(a) 棒状电极；(b) 镶嵌式电极

等离子弧焊接棒状电极的许用电流范围 表 1-3

电极直径 (mm)	电流范围 (A)	电极直径 (mm)	电流范围 (A)
φ0.25	0~15	φ2.4	150~250
φ0.50	5~20	φ3.2	250~400
φ1.0	15~80	φ4.0	400~500
φ1.6	70~150	φ5.0~9.0	500~1000

棒状电极端头磨成尖锥形，有利于可靠引弧和提高电弧稳定性。电流较小或电极直径较大时，锥角可以小一些。电流大时，端头可磨成圆台形或球形，以减少电极烧损。镶嵌式电极适用于大电流，端部一般为平的。如果嵌入材料凸出于基体时，嵌入材料端部也可以磨成圆台形或球形。

电极端点至喷嘴孔道起始端的距离为电极内缩量，它的大小对等离子弧的性能有很大影响。电极内缩量增大，压缩程度提高，但超过一定值后会引引起双弧现象。

电极与喷嘴要保持同心，如果偏心，则引起等离子弧偏斜，影响焊缝成形，偏心严重时破坏等离子弧稳定性，产生双弧。同心度由焊枪加工精度或调节机构来保证，装入的棒状电极要挺直。

3. 焊接工艺：

(1) 小孔型等离子弧焊接 小孔型焊接又称穿孔或穿透焊接，焊缝成形原理见图 1-6。等离子弧能量密度高，电弧力大，能熔透一定厚度的焊件，并在背面形成一穿透小孔。熔化金属由于其表面张力悬挂于焊件背部而不泄漏。小孔前沿随着焊枪的前移而前进，小孔后部立即闭合，形成了熔透焊缝，适用于厚 2mm 以上板材的焊接。

a. 焊接规范：小孔型焊接的主要规范参数有离子气流