

□ 高职高专“十二五”规划教材

焊工技能

HANGONG JINENG

韩天判 主 编



化学工业出版社

■ 高职高专“十二五”规划教材

焊工技能

HANGONG JINENG

韩天判 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材内容共分为四篇十四章,第一篇焊接基础知识介绍了焊接概述、电弧、焊接识图、焊接应力与焊接变形、焊接缺陷和焊接检验。第二篇详细介绍了手工电弧焊设备、焊条及焊接工艺。第三篇介绍了气体保护焊基础知识、二氧化碳气体保护焊和钨极氩弧焊焊接设备及焊接工艺。第四篇介绍了埋弧焊基础知识和埋弧焊设备及焊接工艺。

本书可作为大中专院校、高职院校或社会培训焊工的理想教材。

图书在版编目(CIP)数据

焊工技能/韩天判主编. —北京:化学工业出版社,2012.5

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-13839-2

I. 焊… II. 韩… III. 焊接-高等职业教育-教材 IV. TG4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第048050号

责任编辑:李娜

文字编辑:陈喆

责任校对:徐贞珍

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数264千字

2012年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:22.00元

版权所有 违者必究

前 言

焊接作为一门特殊的机械加工方法，广泛应用于国防、机械、造船、石油化工、建筑等各个行业。本教材针对常用焊接方法的特点精心编写，从应用最多的机械领域入手，从实用的角度介绍了常用焊接方法的操作技能。

本教材主要特点：

1. 技能训练融入每个知识点中，为学生专门提供了具有针对性的实例训练，以指导学生焊接操作。

2. 采用“基础知识+实践技能训练”教学模式，以通俗易懂的语言、精挑细选的实用技巧、翔实生动的图形说明，全面介绍了常用焊接方法操作技能，结束了学生纸上谈兵的历史。

3. 本书以职业为导向，以设计为目标，内容选择突出行业和职业特点。根据专业教学指导方案，依据职业岗位资格标准，参照企业生产实际岗位要求，编写相关内容。

本书由甘肃畜牧工程职业技术学院机械工程系韩天判任主编，参加编写工作的还有甘肃畜牧工程职业技术学院王祎才、甘肃省理工中等专业学校魏振旭。本书在编写过程中，参考了全国高校焊接专业的有关教材及其他文献，核工业 212 同心起重公司的张书江高级工程师认真审阅了原稿，对本书提出了许多宝贵意见，张承国、张毅等同志对本书的编写给予了很多关心和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

第一篇 焊接基础知识

第一章 焊接概述	1	第三节 焊缝分类	17
第一节 概述	1	一、按接头形式分类	17
一、焊接技术发展概况	1	二、按工作性质分类	17
二、焊接的特点	2	第四节 焊缝符号标注	18
第二节 焊接方法分类	2	一、焊缝基本符号	19
第二章 电弧	4	二、焊缝辅助符号	20
第一节 焊接电弧	4	三、焊缝补充符号	20
一、气体电离	4	四、焊缝尺寸符号	22
二、阴极电子发射	6	五、指引线	24
第二节 焊接电弧的构造	7	六、焊缝符号的标注方法	24
一、阴极区	7	第五节 焊接结构识图	27
二、阳极区	7	一、焊接结构图的特点	27
三、弧柱区	7	二、焊接结构图的识图方法	27
四、电弧电压	8	第四章 焊接应力与焊接变形	29
第三节 焊接电弧的静特性	8	第一节 概述	29
一、下降特性区	8	一、焊接应力产生的原因	29
二、平特性区	8	二、焊接变形产生的原因	30
三、上升特性区	8	三、焊接残余变形	30
第四节 熔滴过渡的作用力	9	第二节 焊接残余应力及其控制	33
一、熔滴过渡作用力	9	一、焊接残余应力的分布	33
二、熔滴过渡状态	11	二、焊接残余应力的影响	33
第五节 电弧偏吹	13	三、减小和消除焊接应力的措施	34
一、焊接电源的极性	13	第三节 焊接残余变形及其控制	34
二、电弧偏吹现象	14	一、控制焊接残余变形的措施	34
第三章 焊接识图	15	二、焊接残余变形的矫正	35
第一节 焊接接头形式	15	第五章 焊接缺陷	36
一、对接接头	15	第一节 焊接形状缺陷	36
二、T形接头	15	一、焊缝尺寸不符合要求	36
三、角接接头	16	二、咬边	36
四、搭接接头	16	三、弧坑	37
五、端接接头	16	四、烧穿	37
第二节 焊缝坡口形式	16	五、焊瘤	37
一、I形坡口	16	第二节 未熔合与未焊透	38
二、V形坡口	17	一、未熔合	38
三、X形坡口	17	二、未焊透	38
四、U形坡口	17	第三节 气孔、夹渣与夹杂	39
五、坡口尺寸及选择原则	17	一、气孔	39

二、夹渣	40	四、磁力探伤	46
三、夹杂	40	五、射线探伤	46
第四节 裂纹	40	六、超声波探伤	48
一、冷裂纹	40	第二节 破坏性检验	51
二、热裂纹	41	一、拉伸试验	51
三、再热裂纹	42	二、弯曲试验	51
四、层状撕裂	43	三、冲击试验	51
第六章 焊接检验	44	四、硬度试验	52
第一节 非破坏性检验	44	五、疲劳试验	52
一、外观检验	44	六、化学分析试验	52
二、密封性检验	44	七、腐蚀试验	52
三、渗透探伤	45		

第二篇 手工电弧焊

第七章 手工电弧焊设备	53	第八章 焊条	71
第一节 弧焊电源	53	第一节 焊条的组成	71
一、弧焊电源型号编制方法	53	一、焊芯	71
二、对弧焊电源空载电压的要求	55	二、药皮	71
三、对弧焊电源外特性的要求	56	三、按焊条药皮的主要成分分类	72
四、对弧焊电源调节特性的要求	59	四、根据药皮熔化后的熔渣特性分类	73
五、对弧焊电源动特性的要求	60	第二节 焊条牌号	74
六、弧焊电源的主要技术特性	61	一、结构钢焊条	75
第二节 手弧焊辅助设备	62	二、耐热钢焊条	75
一、焊接面罩	62	三、低温钢焊条	76
二、焊钳和焊接电缆	63	四、不锈钢焊条牌号表示	76
三、劳动保护设备	64	五、堆焊焊条	77
四、辅助工具	64	六、铸铁焊条	77
第三节 焊接运动	64	七、镍及镍合金焊条	78
一、焊条送进运动	64	八、铜及铜合金焊条	78
二、焊条沿焊接方向的运动 (焊接速度)	65	九、铝及铝合金焊条	78
三、焊条端部沿焊缝轴线的垂直方向的运动 (摆动)	65	十、特殊功能焊条	79
四、焊条的倾斜角度	66	第三节 焊条型号	79
五、运条方法	66	一、碳钢焊条	79
【技能训练 1】引弧操作	67	二、低合金钢焊条	80
一、焊前准备	68	三、不锈钢焊条	81
二、操作要领	68	四、堆焊焊条	82
三、注意事项	68	五、铸铁焊条	82
【技能训练 2】焊缝的起头和收尾技能	69	六、镍及镍合金焊条	83
一、焊前准备	69	七、铜及铜合金焊条	83
二、操作要领	69	八、铝及铝合金焊条	84
三、注意事项	70	第九章 手工电弧焊焊接工艺	85
		第一节 弧焊电源和焊条的选择	85
		一、选用焊条的基本原则	85
		二、同种钢材焊接时焊条牌号的选用	85

三、异种钢材焊接时焊条牌号的选用	86	四、V形坡口立对接焊操作要领	99
四、焊条规格的选择	86	五、评分标准	102
五、焊接电源的种类和极性的选择	87	【技能训练 3】横对接焊	103
第二节 焊接工艺参数	87	一、焊前准备	103
一、焊接电流	87	二、装配及定位焊	103
二、焊接电压	88	三、焊接工艺参数	103
三、焊接速度	89	四、横对接焊操作要领	103
四、焊接顺序安排	90	五、评分标准	105
第三节 焊接热处理	92	【技能训练 4】水平管对接焊	106
一、预热温度	92	一、焊前准备	106
二、焊后热处理	92	二、装配及定位焊	106
【技能训练 1】平对接焊	93	三、焊接工艺参数	107
一、焊前准备	93	四、焊接操作要领	107
二、工件装配定位焊要求	93	五、评分标准	108
三、焊接工艺参数	95	【技能训练 5】仰焊	110
四、焊接操作要领	95	一、焊前准备	110
五、评分标准	98	二、装配及定位焊	110
【技能训练 2】立对接焊	99	三、焊接工艺参数	110
一、焊前准备	99	四、仰角焊操作要领	110
二、装配和定位焊	99	五、评分标准	111
三、焊接工艺参数	99		

第三篇 气体保护焊

第十章 气体保护焊基础知识	113	四、焊丝伸出长度	125
第一节 气体保护焊工作原理	113	五、气体流量	126
一、熔化极 CO ₂ 气体保护焊原理	113	六、焊枪倾角	126
二、不熔化极气体保护焊	113	第三节 CO₂ 气体保护焊操作技术	127
第二节 气体保护焊用气体	114	一、选择正确的持枪姿势	127
一、二氧化碳气体	114	二、控制好焊枪喷嘴高度	127
二、氩气	115	三、控制焊枪的倾斜角度	128
三、氮气	115	四、控制好电弧的对中位置和摆幅	128
第三节 焊丝和钨极	115	第四节 二氧化碳气体保护焊焊接过程	130
一、CO ₂ 气体保护焊用碳钢和低合金钢焊丝	115	一、引弧	130
二、气体保护焊用药芯焊丝	117	二、焊接	130
三、钨极	118	三、收弧	131
第十一章 二氧化碳气体保护焊	119	四、焊缝接头	131
第一节 二氧化碳气体保护焊设备	119	【技能训练 1】平板对接平焊	131
一、CO ₂ 气体保护焊的特点	119	一、焊前准备	131
二、CO ₂ 气体保护焊设备	119	二、装配与定位焊	132
第二节 二氧化碳气体保护焊焊接工艺	123	三、焊接工艺参数	132
一、焊接电流	123	四、焊接操作要领	132
二、焊接电压	123	五、评分标准	133
三、焊接速度	125	【技能训练 2】板对接立焊	134
		一、焊前准备	134

二、装配与定位焊	134
三、焊接工艺参数	134
四、焊接操作要领	134
五、评分标准	136
【技能训练3】板对接横焊	136
一、焊前准备	136
二、装配与定位焊	137
三、焊接工艺参数	137
四、焊接操作要领	137
五、评分标准	138
第十二章 钨极氩弧焊	139
第一节 钨极氩弧焊设备	139
一、钨极氩弧焊设备组成	139
二、焊枪	139
三、焊接电源	140
四、供气系统	140
第二节 钨极氩弧焊焊接工艺	140

一、钨极选择	140
二、焊接电流	140
三、焊接电压	140
四、钨极伸出长度及形状	140
五、气体流量	141
第三节 钨极氩弧焊操作技术	141
一、引弧	141
二、焊接	141
三、焊缝接头	142
四、填丝	142
五、收弧	143
【技能训练】板对接平焊	143
一、焊前准备	143
二、装配与定位焊	143
三、焊接工艺参数	143
四、焊接操作要领	143
五、评分标准	144

第四篇 埋弧焊

第十三章 埋弧焊基础知识	146
第一节 埋弧焊概述	146
一、概述	146
二、埋弧焊的特点	146
第二节 埋弧焊的工作原理	147
一、等速送丝式	147
二、变速送丝式	149
第三节 埋弧焊设备	151
一、埋弧焊电源	151
二、埋弧焊小车	152
第四节 埋弧焊用焊丝和焊剂	153
一、碳钢焊丝和焊剂	153
二、低合金钢焊丝和焊剂	153
三、不锈钢焊丝和焊剂	154
四、焊剂牌号	155

第十四章 埋弧焊焊接工艺	157
第一节 焊接主要工艺参数选择	157
一、焊接电流	157
二、焊接电压	158
三、焊接速度	159
第二节 其他工艺参数的选择	160
一、焊丝伸出长度	160
二、焊剂粒度和堆散高度	160
三、焊丝倾角和偏移度	161
【技能训练】埋弧焊操作	162
一、焊前准备	162
二、设备调整	163
三、焊接过程监控	163
参考文献	165

第一篇 焊接基础知识

第一章 焊接概述

第一节 概 述

一、焊接技术发展概况

在金属结构和机械制造生产中，总是需要将两个或两个以上的零件按一定的相互位置关系连接起来，并保证有足够的连接强度和刚度。连接的方法主要有两大类：一类是可以拆卸的连接，如销钉、螺栓、键连接等；另一类是永久性的不可拆卸的连接，如焊接、铆接。零件的连接方式如图 1-1 所示。

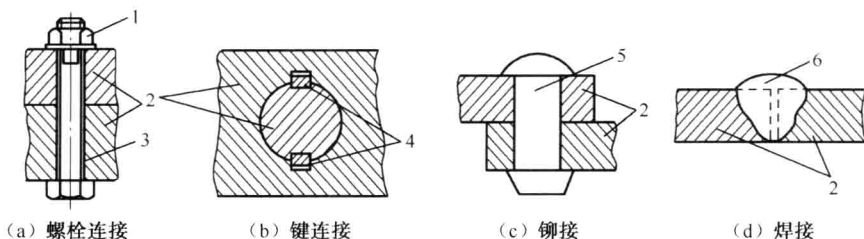


图 1-1 零件的连接方式

1—螺母；2—零件；3—螺栓；4—键；5—铆钉；6—焊缝

我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一。远在战国时期，铜器的主体、耳、足就是利用钎焊来连接的。在明代《天工开物》一书中记载有“凡铁性逐节粘合，涂黄泥于接口之上，入火挥锤，泥渣成枵而去，取其神气为谋合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断”。这说明当时人们已经懂得使用焊剂，来获得质量较高的焊接接头。我们的祖先为古老的焊接技术发展史留下了光辉的一页，显示出我国是一个具有悠久焊接历史的国家。

从 1882 年发明电弧焊到现在已有一百余年的历史。在电弧焊的初期，不成熟的焊接工艺使焊接在生产中的应用受到限制，直到 20 世纪 40 年代才形成较为完整的焊接工艺体系，埋弧焊和电阻焊得到成功的应用。

20 世纪 50 年代的电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊，20 世纪 60 年代的等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进焊接方法的不断涌现，使焊接技术达到一个新的水平。

近年来，对能量束焊接、太阳能焊接、冷压焊等新的焊接方法也开始研究，尤其是在焊接工艺自动控制方面有了很大的发展，采用电子计算机控制和工业电视监视焊接过程，使焊接过程便于遥控，有助于实现焊接自动化。

工业机器人的问世，使焊接工艺自动化达到一个崭新的阶段。

随着近代科学技术的发展，焊接作为一种生产不可拆卸结构的工艺方法，已经成为一门独立的学科，广泛应用于石油化工、电力、航空航天、海洋工程、桥梁、船舶和核动力工程

等工业部门和国民经济的各个领域，并渗透到家庭生活日用品中。可见焊接技术应用的前景是非常广阔的。

二、焊接的特点

焊接是将两个（或两个以上）的工件，按一定的相互位置通过加热或加压（或两者并用），用（或不用）填充材料，使工件间达到原子结合的一种连接工艺方法。这种工艺方法和其他螺钉连接、铆接、铸件及锻件相比，具有很大的优点。

- ① 节省材料，减轻结构重量，经济效益好。
- ② 简化加工与装配工序，生产周期短，生产效率高。
- ③ 结构强度高，接头密封性好。
- ④ 为结构设计提供较大的灵活性。

但焊接方法也有一些缺点，主要体现在以下几方面。

- ① 焊接结构容易引起较大的残余应力和残余变形。
- ② 焊接接头中存在着一定数量的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣、未焊透等，缺陷的存在会降低接头强度、引起应力集中，损坏焊缝，造成焊接结构破坏。

③ 焊接劳动条件差。焊接时，高温、强光和有毒气体，对人体有一定的损害。故需加强劳动保护。

第二节 焊接方法分类

按焊接时的工艺特点和母材金属所处的状态，可以把焊接方法分成熔化焊、压焊和钎焊三类。

1. 熔化焊

熔化焊是在焊接过程中，将待焊处的母材加热至熔化状态形成液态熔池，原子之间可以充分扩散和紧密接触，冷却凝固后形成原子间结合的一种焊接方法。常见的焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊等都属于熔焊。熔化焊是目前应用最广的焊接方法。

2. 压焊

在焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法叫压焊。这类焊接方法有两种形式：一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态，然后施加一定的压力，以使工件表面金属原子间相互结合形成牢固的焊接接头，如锻焊、接触焊、摩擦焊等就是这种类型的压焊方法；二是不进行加热，仅在被焊金属的接触面上施加足够大的压力，借助于压力所引起的塑性变形，使原子间相互接近而获得牢固的挤压接头，这种压焊的方法有冷压焊、爆炸焊等。

3. 钎焊

采用熔点比母材低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，但低于母材熔点的温度，利用毛细作用使液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散，连接焊件的方法叫钎焊。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊等。

目前的焊接方法很多，常用的焊接方法分类如图 1-2 所示。

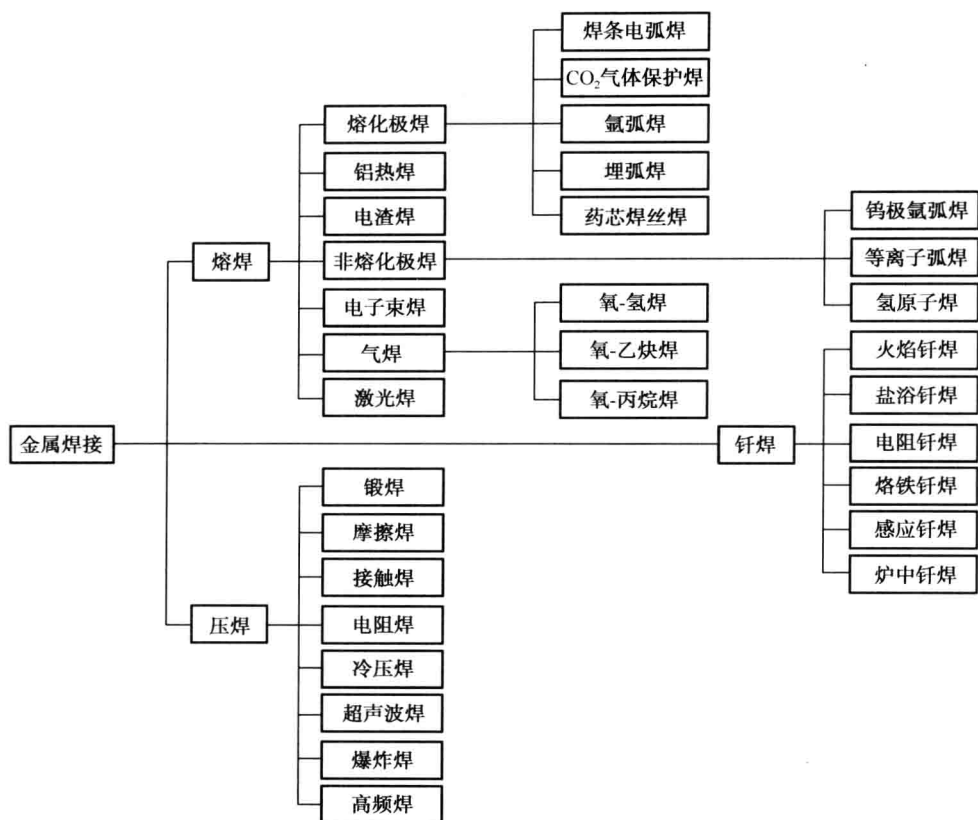


图 1-2 常见焊接方法分类

第二章 电 弧

电弧（图 2-1）是一种气体导电现象，会发出强烈的光和大量的热，但不是一般的物质燃烧现象，实际上是一种能量转换现象，电能借助于气体放电，把电能转换为热能、机械能和光能。焊接时主要利用电弧的热能和光能。

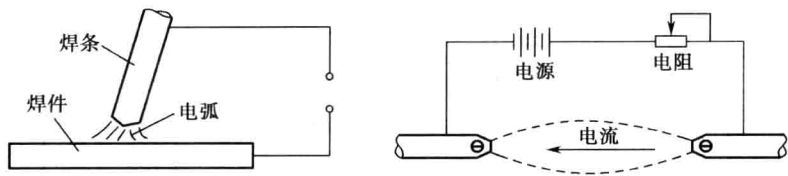


图 2-1 电弧示意图

第一节 焊接电弧

焊接电弧是焊接电源供给一定电压的两个电极之间或者电极与焊件之间气体介质中，产生强烈而持久的放电现象。

通常情况下，气体是不导电的，呈中性。这是因为常态下的气体几乎完全由中性的分子和原子构成，不拥有带电粒子（或带电粒子极少），因此它是不导电的。若要气体导电，则必须先有一个产生带电粒子的过程，然后才能呈现导电性。电弧中的带电粒子主要是由气体介质中的中性粒子的电离以及从阴极发射电子这两个物理过程所产生，同时伴随着发生其他的一些物理变化，如电离、激发、扩散、复合、负离子化等。由此可见，气体电离和阴极电子发射是焊接电弧产生与维持需要具备的两个条件。

一、气体电离

在一定条件下，气体中性粒子从外界获得能量达到某一数值而使其外层轨道上的电子分离出去，即气体中性粒子（原子或分子）分离成正离子和电子的现象称为气体电离。电离所需要的最低外加能量称为电离能。不同的气体或元素，由于原子或分子构造不同，其电离能也不同，通常我们用电离电位（eV）来表示电离能的大小。常见元素的电离电位见表 2-1。

表 2-1 常见元素的电离电位 eV

元 素	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氧	氮	氢	氟	氦
电离电位	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83	13.6	14.5	15.7	16.9	24.5

注：在原子物理学中，常用电子伏特作为能量单位。1eV 的能量就是一个电子在通过电势差等于 1V 的一段路程上所需要的或得到的能量。

在通常情况下，气体是呈中性的，根据焊接过程中气体电离获得能量的方式，焊接过程中的三种气体电离形式如下。

1. 热电离

气体粒子因受到热的作用而发生的电离叫热电离。这种电离实质上是一种碰撞电离，但其直接原因是气体粒子从外界获得了能量。气体粒子在常温下运动速度较慢，随着温度的升高，尤其焊接时，高温达几千摄氏度，布朗运动加剧，气体粒子运动的速度是常温时的几百

倍,运动速度越大,粒子的动能 $F=1/2mv^2$ 是按速度的指数关系增加,更为显著,在相互碰撞的过程中,弧柱中的中性粒子被电离。在焊接电弧中,热电离是主要的电离方式。

2. 场致电离

当气体空间有电场作用时,则带电粒子除了作无规则的热运动外,还产生一个受电场影响的定向加速运动。正、负带电粒子定向运动的方向相反,它们因加速运动而将电场给予的电场能转换为动能。当带电粒子的动能在电场的影响下增加到足够的数值时,则可能与中性粒子发生非弹性碰撞而使之电离,这种在电场作用下产生的电离称为场致电离。由于带电粒子是在充满气体粒子的空间运动,它将一边与气体粒子发生碰撞,一边沿电场方向运动,它的运动趋势虽与电场方向一致,但每次碰撞后的运动方向却是变化的,而并不一定与电场方向一致。

在强电场作用下,电子受到强烈加速,与中性或激发态的粒子相撞而发生电离时,生成一个新的电子和正离子,然后这两个电子继续前进,分别与中性粒子相撞,又可以生成两个新电子和新离子,以此类推,使带电粒子迅速增多。这种在强电场作用下的电离具有连锁反应的性质,如图 2-2 所示。热电离也有类似的性质。但是带电粒子的增加是有一定限度的,这是因为在电弧产生过程中,既有带电粒子的产生,又有带电粒子的消失,后者是所谓的复合反应,即电子与正离子结合成为中性气体粒子。从宏观上看,对于稳定状态下的电弧,电离与复合是互相平衡的。因此,电场作用下的电离现象也主要是电子与中性粒子的非弹性碰撞引起的。

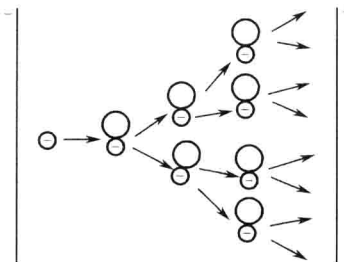


图 2-2 连锁反应电离示意图

3. 光电离

中性气体粒子吸收了光子的能量而发生的电离叫光电离。光子的波长决定着光子的能量,只有中性气体粒子吸收的光子波长小于某一临界值时,才能发生光电离,等于这一临界值的波长称为光电离临界波长。此时的光辐射频率称为临界频率。各种气体元素都有各自的光电离临界波长和临界频率。常见气体的光电离的临界波长见表 2-2。

表 2-2 常见气体的光电离的临界波长

nm

气 体	钾	钠	铝	钙	镁	铁
临界波长	287.4	242.3	207.3	202.6	162.4	158.5
气 体	氧	氢	一氧化碳	氮	氩	氦
临界波长	91.5	91.5	87.6	85.2	78.7	50.4

注: $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ 。

表 2-2 中所列常见气体原子光电离所需的临界波长是 $50.4\sim 287.4\text{nm}$,都在紫外线波长区间 ($6\sim 400\text{nm}$) 内,这意味着可见光 ($400\sim 700\text{nm}$) 几乎对所有气体都不能引起直接光电离。

电弧光是多色光，不但有可见光，还包含红外线和紫外线，其波长区间是 $170\sim 5000\text{nm}$ ，如图 2-3 所示。电弧的光辐射仅能对电弧气氛中常含有的 K、Na、Ca、Al 等金属蒸气直接引起光电离，而对于表 2-2 中列出的其他气体则不能直接引起光电离，但这些气体如果处于激发状态，则有可能受光辐射作用而引起电离。实际上光电离是电弧中产生带电粒子的一个次要途径。

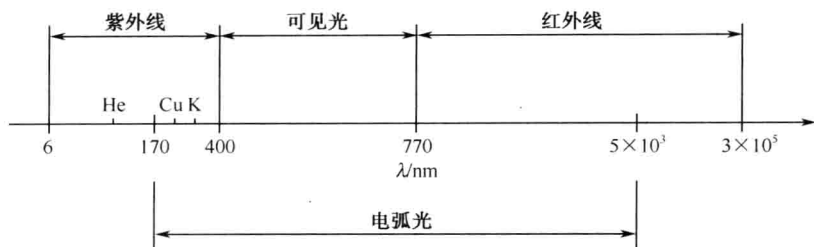


图 2-3 电弧光辐射的波长区间

二、阴极电子发射

在外界能量的作用下，阴极金属电极中的自由电子冲破电极表面的约束逸出到电弧空间的现象称为阴极电子发射。使一个电子逸出金属表面所需要的最小外加能量称为逸出功。不同金属材料的逸出功不相同，见表 2-3。

表 2-3 常见元素的电子逸出功

eV

元素名称	电子逸出功	元素名称	电子逸出功
钾	2.26	锰	3.76
钠	2.33	铁	4.18
钙	2.90	碳	4.34
钛	3.92	镁	3.74
铝	4.25	钨	5.36

试验研究表明，金属的逸出功不但与材料种类有关，而且与金属表面状态有关。当金属表面存在氧化物或渗入某些微量元素（如 Cs、Th、Ca、Ce 等），则逸出功减小。另外，金属氧化物的逸出功也比纯金属的逸出功低。因此，在实际应用中，往往选取含有某种微量元素或金属氧化物的钨棒作为电极，这样可以提高钨极发射电子的能力，改善电弧性能。

在焊接过程中，根据外加能量和发射机制的不同，阴极电子发射可分为以下三种。

1. 热发射

金属表面受到热作用温度升高，使金属内部自由电子热运动速度增大而逸出金属表面的电子发射的现象，称为热发射。金属的熔点和沸点越高，则它的热发射电子能力越强，在其熔点和沸点时热发射电子流密度就越高。这种以高熔点的钨和碳作为阴极材料的电弧，称为热阴极型电弧，它的阴极区主要靠热发射来提供电子。当熔化极采用熔点和沸点都较低金属材料（如铜、铁等），阴极的温度不可能加热到很高，不能依靠热发射来向阴极区提供足够的电子，而必须借助于其他方式来补充电子才能满足电弧的导电要求。这类电弧称为冷阴极型电弧。

2. 场致发射

当阴极表面附近空间存在有较强的正电场时, 金属内的自由电子会受到电场力 (即静电力, 也称库仑力) 的作用, 当此种力达到某一数值, 便可使电子逸出电极表面, 这种发射电子的现象称为场致发射, 也称为电场发射。电场强度越强, 则阴极的电子越容易逸出, 而且发射的电子数量越多。

场致发射电子的密度不仅与电场强度有关, 而且与电极温度及电极材料有关。对于冷阴极电弧 (电极材料的熔点、沸点都较低), 电极温度较低, 热发射能力较弱, 但这时阴极区的电场强度较强, 可达 $10^5 \sim 10^7 \text{ V/cm}$, 因此场致发射向阴极区提供电子流的作用是重要的。

3. 撞击发射

电弧中, 高速运动的带电粒子 (电子或正离子) 从外部撞击电极表面, 将能量传递给电极表层的自由电子而使其逸出的电子发射现象叫撞击发射。当阴极区存在强电场时, 这种撞击发射可能成为重要的发射形式。

第二节 焊接电弧的构造

按照电弧长度方向上的电压分布情况, 可以将电弧分为三个区域: 阴极区、弧柱区和阳极区, 如图 2-4 所示。

一、阴极区

阴极区是从阴极表面起靠近阴极的地方, 阴极区极窄, 在阴极表面堆有一批正离子, 以形成一个电压降, 称为阴极电压降 $U_{\text{阴}}$ 。在阴极表面上有一个明显光亮的斑点, 称为“阴极斑点”, 也是阴极区温度最高的部分, 一般达 $2130 \sim 3230^\circ\text{C}$, 放出的热量占焊接总热量 36% 左右。

为保证电弧稳定燃烧, 阴极区的任务是向弧柱区提供电子流和接受弧柱区流过来的正离子, 阴极温度的高低主要取决于阴极的电极材料, 一般都低于材料的沸点。

二、阳极区

阳极区是从阳极表面起靠近阳极的地方, 比阴极区宽些。由于阳极表面堆积有一批电子, 所以形成一个电压降, 称为阳极电压降 $U_{\text{阳}}$ 。在阳极表面上也有一个明显光亮的斑点, 称为“阳极斑点”。

阳极区的任务是接受弧柱区流过来的电子流和向弧柱区提供正离子流。一般情况下, 由于阳极能量只用于阳极材料的熔化和蒸发, 无发射电子的能量消耗, 因此在阳极和阴极材料相同时, 阳极区温度略高于阴极区, 阳极区的温度一般达 $2330 \sim 3980^\circ\text{C}$, 放出的热量占焊接总热量的 43% 左右。

三、弧柱区

电弧阴极区和阳极区之间的部分称为弧柱区。弧柱区起着电子流和正离子流的导电通路的作用, 弧柱区的温度不受材料沸点限制, 而取决于弧柱中气体介质和焊接电流, 阴极区和阳极区都很窄, 因此, 弧柱的长度基本上等于电弧长度。弧柱中心的温度可达 $5730 \sim 7730^\circ\text{C}$, 放出的热量占焊接总热量 21% 左右。

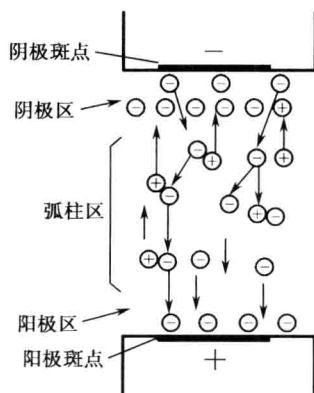


图 2-4 焊接电弧构造

四、电弧电压

电弧电压就是阴极区、阳极区和弧柱区电压降之和。当弧长一定时，电弧电压的分布如图 2-5 所示。

电弧电压可用下式表示：

$$U_{\text{弧}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + bl_{\text{弧}}$$

式中 $U_{\text{弧}}$ —— 电弧电压，V；

$U_{\text{阴}}$ —— 阴极电压降，V；

$U_{\text{阳}}$ —— 阳极电压降，V；

$U_{\text{柱}}$ —— 弧柱电压降，V；

b —— 单位长度的弧柱电压降，一般为 20~40V/cm；

$l_{\text{弧}}$ —— 电弧长度，cm。

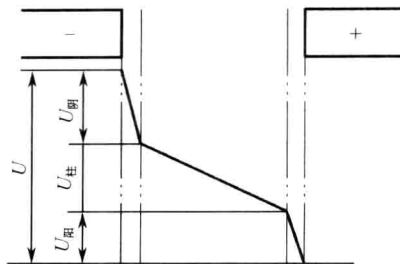


图 2-5 电弧电压组成示意图

第三节 焊接电弧的静特性

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流和电弧电压之间的关系称为电弧的静特性，即电弧伏安特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线，如图 2-6 所示。

在由弧焊电源与焊接电弧组成的系统中，电弧是电源的负载。这种负载也是一种电阻性负载，但与普通的电阻负载不同，首先是电弧的电阻率不是常数，它与弧柱的温度及电弧电流有关；其次是弧柱属于柔性载流体，其几何形态和尺寸将随燃弧条件变化而变化，所以，尽管电弧属于电阻性负载，但其与电阻的负载特性曲线有很大区别：金属电阻的曲线是线性的，电压/电流是一条直线（符合欧姆定律），如图 2-7 所示，而焊接电弧的电流和电压之间的关系是非线性的，类似于“U”形，如图 2-6 所示。

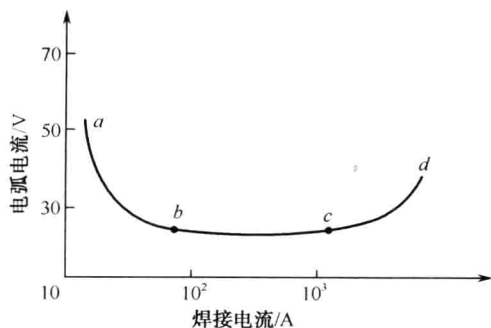


图 2-6 焊接电弧静特性曲线

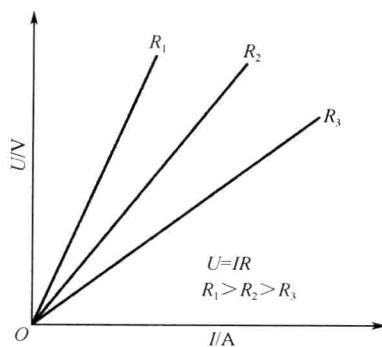


图 2-7 金属电阻的负载特性曲线

按照曲线各部分的变化趋势并对应于电流的大小，可将 U 形曲线分为三个不同的区域。

一、下降特性区

如图 2-6 中 a-b 段所示，随着焊接电流的增加，焊接电压逐渐下降，称为下降特性区。

二、平特性区

如图 2-6 中 b-c 段所示，随着焊接电流的增加，焊接电压基本不变，称为平特性区。

三、上升特性区

如图 2-6 中 c-d 段所示，随着焊接电流的增加，焊接电压逐渐升高，称为上升特性区。

采用不同的焊接方法时,应考虑与焊接电弧静特性曲线相匹配的电源。

手工电弧焊设备的额定电流不大于 500A, 所以其静特性曲线无上升特性区, 如图 2-8 所示。埋弧自动焊在正常电流密度下焊接时, 其静特性为平特性区, 采用大电流焊接时, 其静特性为上升特性区。钨极氩弧焊一般在小电流区间焊接时, 其静特性为下降特性区, 采用大电流焊接时, 其静特性为平特性区。

在一般情况下, 电弧电压总是和电弧长度成正比变化, 当电弧长度增加时, 电弧电压升高, 其静特性曲线位置也随之升高。

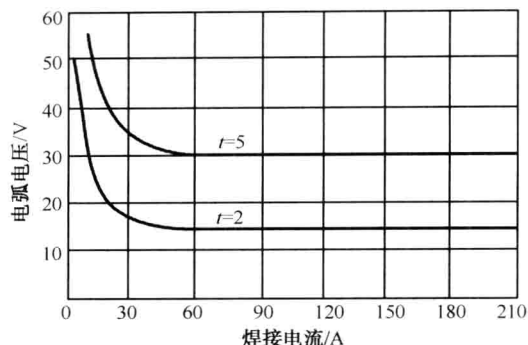


图 2-8 电弧不同弧长时的静特性曲线

第四节 熔滴过渡的作用力

焊丝或焊条的端部不断熔化形成液态金属, 由于表面张力和其他力的作用, 在一定时间内保持在焊丝上, 当累积到一定大小时, 在有关力的作用下便脱离焊丝端部, 大多以滴状通过电弧空间落入熔池, 这一过程称为熔滴过渡。在过渡过程中, 其中有的作用力促使熔滴的形成和过渡, 有的作用力却起阻碍作用, 这些作用力共同作用决定了熔滴的大小和过渡状态。

一、熔滴过渡作用力

1. 重力

由地球吸引物体而产生的力称为重力。方向是垂直向下的, 任何物体都会因自身的重力而下垂。重力对熔滴的作用取决于焊缝在空间的位置。平焊时, 重力是促使熔滴和焊丝末端相脱离的力; 仰焊时, 重力则成为阻碍熔滴和焊丝末端相脱离的力。

熔化极气体保护焊时生成的熔滴尺寸很小, 故熔滴的重力也很小。只有在熔滴尺寸相当大, 才不可忽视重力对熔滴过渡的影响。

当焊丝直径较大而焊接电流较小时, 在平焊位置, 使熔滴脱离焊丝的力主要是重力 (F_g), 其大小为:

$$F_g = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$$

式中 r ——熔滴半径;

ρ ——熔滴的密度;

g ——重力加速度。

如果熔滴的重力大于表面张力, 熔滴就要脱离焊丝。

2. 表面张力

使液体表面收缩的力称为表面张力。如图 2-9 所示, 表面张力是在焊丝端头上保持熔滴的主要作用力, 若焊丝半径为 R , 这时焊丝和熔滴间的表面张力为:

$$F_s = 2\pi R \sigma$$

式中 σ ——表面张力系数, 与材料成分、温度、气体介质因素有关, 纯金属的表面张力系数见表 2-4。