



焊接设备使用与维护

张 毅 主编

HANJIE SHEBEI
SHIYONG
YU WEIHU



化学工业出版社

焊接设备使用与维护

张 毅 主 编
杨文忠 副主编
郜建中 主 审

HANJIE SHEBEI
SHIYONG
YU WEIHU



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要讲述焊接电弧及对弧焊电源的要求、弧焊变压器、弧焊整流器、脉冲弧焊电源、新型弧焊电源、弧焊电源的选择和使用、埋弧自动焊设备、CO₂ 电弧焊设备、氩弧焊设备、等离子弧焊接设备以及先进焊接设备等。书中内容深入浅出，图文并茂，便于广大读者理解和掌握。

本书可供从事焊接及电气等方面的技术人员使用，也可作为高职高专院校、本科院校相关专业的教材，还可供培训机构作为培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接设备使用与维护/张毅主编. —北京: 化学工业出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-122-11883-7

I. 焊… II. 张… III. ①焊接设备-使用方法②焊接设备-维修 IV. TG43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 143990 号

责任编辑: 韩庆利

装帧设计: 史利平

责任校对: 宋 夏

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 刷: 北京白帆印务有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 330 千字 2011 年 9 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

焊接设备发展迅速,种类大量增加,并且越来越广泛应用电子技术、控制技术(PID控制、模糊控制、人工神经网络技术和智能控制)、计算技术等方面的理论知识和最新成果,设备的质量不断提高,性能不断改善。我们根据多年的经验,并结合收集的大量资料,编写了本书。

本书主要讲述焊接电弧及对弧焊电源的要求、弧焊变压器、弧焊整流器、脉冲弧焊电源、新型弧焊电源、弧焊电源的选择和使用、埋弧自动焊设备、CO₂电弧焊设备、氩弧焊设备、等离子弧焊接设备以及新型焊接设备。

本书可供从事焊接及电气等方面的技术人员使用,也可作为高职高专院校、本科院校相关专业的教材,还可供培训机构作为培训用书。

本书第一至第三单元由杨文忠编写;第四至第五单元由生利英编写;第六至第七单元由宋博宇编写;第八至第十一单元由张毅编写。全书由张毅担任主编并统稿,杨文忠担任副主编,郜建中担任主审。

在编写过程中,编者参阅了国内外出版的有关资料,得到了相关领导的大力支持和有关同事的指导 and 配合,在此一并表示衷心感谢。

由于编者知识水平所限,本书难免会有疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

● 绪论	1
一、弧焊电源与焊接设备在电弧焊中的作用	1
二、弧焊电源的分类、特点及用途	1
三、弧焊电源与焊接设备的现状及发展	2
● 第一单元 焊接电弧及对弧焊电源的要求	4
□ 模块一 焊接电弧的物理本质和引燃	4
一、气体原子的激发、电离和电子发射	4
二、焊接电弧的引燃	6
三、焊接电弧的种类	7
□ 模块二 焊接电弧的结构和伏安特性	7
一、焊接电弧的结构及压降分布	8
二、焊接电弧的电特性	8
□ 模块三 交流电弧	10
一、交流电弧的特点	10
二、交流电弧连续燃烧的条件	11
三、提高交流电弧稳定性的措施	12
□ 模块四 对弧焊电源的基本要求	13
一、对弧焊电源外特性的要求	13
二、对弧焊电源空载电压的要求	20
三、对弧焊电源调节性能的要求	21
四、对弧焊电源动特性的要求	24
● 第二单元 弧焊变压器	31
□ 模块一 弧焊变压器的原理及分类	31
一、弧焊变压器的工作原理	31
二、弧焊变压器的分类	32
□ 模块二 串联电抗器式弧焊变压器	33
一、电抗器	33
二、分体式弧焊变压器	35
三、同体式弧焊变压器	37

□ 模块三	动铁芯式弧焊变压器	39
	一、结构特点	39
	二、工作原理	40
	三、参数调节	41
	四、产品介绍	43
□ 模块四	动绕组式弧焊变压器	43
	一、结构特点	43
	二、工作原理	43
	三、参数调节	44
	四、产品介绍	44
□ 模块五	抽头式弧焊变压器	46
	一、结构特点	46
	二、工作原理	46
	三、参数调节	47
	四、特点及产品介绍	47
□ 模块六	弧焊变压器的维护及故障排除	47
	一、弧焊变压器的维护	47
	二、弧焊变压器的常见故障及其排除	48

● 第三单元 弧焊整流器 52

□ 模块一	弧焊整流器的组成与分类	52
	一、弧焊整流器的组成	52
	二、弧焊整流器的分类	52
□ 模块二	硅弧焊整流器	53
	一、硅弧焊整流器的分类	53
	二、磁饱和电抗器	53
	三、无反馈磁饱和电抗器式弧焊整流器	57
	四、全部内反馈磁饱和电抗器式弧焊整流器	62
	五、部分内反馈磁饱和电抗器式弧焊整流器	70
□ 模块三	晶闸管式弧焊整流器	74
	一、概述	74
	二、主电路	75
	三、外特性控制电路	79
□ 模块四	弧焊整流器的故障及排除	85
	一、硅弧焊整流器故障及排除	85
	二、晶闸管式弧焊整流器故障及排除	85

● 第四单元 脉冲弧焊电源 89

□ 模块一	脉冲弧焊电源的概述	89
	一、脉冲弧焊电源的特点及应用范围	89

	二、脉冲电流的获得方法和脉冲弧焊电源的分类	89
□ 模块二	单相整流式脉冲弧焊电源	91
	一、并联式单相整流脉冲弧焊电源	91
	二、差接式单相整流脉冲弧焊电源	91
	三、阻抗不平衡式单相整流脉冲弧焊电源	91
□ 模块三	磁饱和电抗器式脉冲弧焊电源	92
	一、阻抗不平衡型磁饱和电抗器式脉冲弧焊电源	92
	二、脉冲励磁型磁饱和电抗器式脉冲弧焊电源	92
□ 模块四	晶闸管式脉冲弧焊电源	93

第五单元 新型弧焊电源 95

□ 模块一	晶体管式弧焊电源	95
	一、概述	95
	二、模拟式晶体管弧焊电源	95
	三、开关式晶体管弧焊电源	97
□ 模块二	逆变式弧焊电源	99
	一、概述	99
	二、晶闸管式弧焊逆变器	102
	三、晶体管式弧焊逆变器	104
	四、MOSFET 式和 IGBT 式弧焊逆变器	106
□ 模块三	矩形波交流弧焊电源	108
	一、概述	108
	二、逆变式矩形波交流弧焊电源	108
	三、晶闸管电抗器式矩形波交流弧焊电源	110

第六单元 弧焊电源的选择和使用 113

□ 模块一	弧焊电源的选择	113
	一、焊接电流种类的选择	114
	二、根据焊接工艺方法选择弧焊电源	114
	三、弧焊电源功率的选择	115
	四、根据工作条件和节能要求选择弧焊电源	116
□ 模块二	弧焊电源的安装和使用	116
	一、弧焊电源的安装	116
	二、弧焊电源的使用	118
	三、弧焊电源的改装	119
□ 模块三	节约用电和安全用电	119
	一、节约用电	119
	二、安全用电	121

第七单元 埋弧自动焊设备 125

□ 模块一	埋弧自动焊机的分类和结构	125
-------	--------------------	-----

一、埋弧自动焊机的分类	125
二、埋弧焊机的结构	125
□ 模块二 熔化极电弧的自动调节及其自身调节系统	129
一、熔化极焊接电弧的自动调节	129
二、熔化极电弧的自身调节系统	132
三、电弧电压自动调节系统	136
□ 模块三 埋弧焊自动焊机	141
一、送丝系统	142
二、小车行走系统	143
三、焊接电源供给系统	143
四、焊机的调整	144
五、焊机的启动和停止	145
六、焊机的使用维护及常见故障的排除	146

第八单元 CO₂ 电弧焊设备 150

□ 模块一 CO₂ 电弧焊设备的主要组成	150
一、CO ₂ 电弧焊焊接电源	150
二、半自动焊枪和自动焊炬	152
三、半自焊送丝机构	154
四、CO ₂ 电弧焊供气系统	157
五、CO ₂ 电弧焊的控制系统	158
□ 模块二 CO₂ 电弧焊焊机电路原理举例	162
一、焊接电源	163
二、调速控制	163
三、供气控制	164
四、焊接操作程序控制	164
□ 模块三 CO₂ 焊机的保养和常见故障排除	165

第九单元 氩弧焊设备 168

□ 模块一 钨极氩弧焊设备	168
一、钨极氩弧焊设备的一般结构	168
二、典型钨极氩弧焊机举例	173
三、钨极氩弧焊机的保养和常见故障的排除	175
□ 模块二 熔化极氩弧焊设备	176
一、熔化极氩弧焊设备的结构	176
二、典型熔化极氩弧焊机介绍	177
三、熔化极氩弧焊机常见故障和排除	178

第十单元 等离子弧焊接与切割设备 181

□ 模块一 等离子弧焊接设备	181
-----------------------------	------------

	一、组成及其特点	181
	二、LH-300 型等离子弧焊机控制电路原理	182
□ 模块二	等离子弧切割设备	183
	一、电源	184
	二、控制系统	184
	三、气路和水路系统	186
	四、等离子弧切割设备的保养和常见故障排除	187

第十一单元 先进焊接设备 189

□ 模块一	焊接机器人	189
	一、弧焊机器人	189
	二、点焊机器人	193
	三、焊接机器人操作基础	195
	四、示教器	196
	五、直线示教、编程和跟踪训练	198
□ 模块二	真空电子束焊设备	201
	一、ZD-7.5-1 型真空电子束焊机主要技术性能	201
	二、ZD-7.5-1 型真空电子束焊机结构	202
□ 模块三	激光焊接设备结构概述	203
	一、激光器的基本结构	203
	二、光学聚焦系统	204

参考文献 206

绪 论

一、弧焊电源与焊接设备在电弧焊中的作用

电弧焊是焊接方法中应用最为广泛的一种焊接方法。据一些工业发达国家的统计，电弧焊在焊接生产总量中所占的比例一般都在 60% 以上。根据其工艺特点不同，电弧焊可分为焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊和等离子弧焊等多种。

不同材料、不同结构的工件，需要采用不同的电弧焊工艺方法，而不同的电弧焊工艺方法则需用不同的电弧焊机。例如，操作方便、应用最为广泛的焊条电弧焊，需要由对电弧供电的电源装置和焊钳组成的手弧焊机；锅炉、化工、造船等工业广为使用的埋弧焊，需要由电源装置、控制箱和焊车等组成的埋弧焊机；适用于焊接化学性活泼金属的气体保护电弧焊，需要由电源装置、控制箱、焊车（自动焊）或送丝机构（半自动焊）、焊枪、气路和水路系统等组成的气体保护电弧焊机；适用于焊接高熔点金属的等离子弧焊，则需要由电源装置、控制系统、焊枪或焊车（自动焊）、气路和水路系统等组成的等离子弧焊机。

显然，弧焊电源与设备性能的优劣，在很大程度上决定了焊接过程的稳定性。没有先进的弧焊电源与设备，要实现先进的焊接工艺和焊接过程自动化是难以办到的。因此，应该对弧焊电源与设备的基本理论、结构、性能特点进行深入的分析，真正了解和正确使用弧焊电源与设备，进而研制出新型的弧焊电源与设备，使焊接质量和生产效率得到进一步提高。

二、弧焊电源的分类、特点及用途

弧焊电源种类很多，其分类方法也不尽相同。常用的是按弧焊电源输出的焊接电流波形分类。

焊接电流有交流、直流和脉冲三种基本类型，相应的弧焊电源有交流弧焊电源、直流弧焊电源和脉冲弧焊电源三种类型，每种类型的弧焊电源根据其结构特点不同又可分为多种形式。

1. 交流弧焊电源

交流弧焊电源包括工频交流弧焊电源（弧焊变压器）、矩形波交流弧焊电源。

（1）工频交流弧焊电源 又称弧焊变压器，它把电网的交流电变成适合于电弧焊的低电压交流电，它由变压器、调节装置和指示装置等组成。弧焊变压器具有结构简单、易造易修、成本低、磁偏吹小、空载损耗小、噪声小等优点。但其输出电流波形为正弦波，因此，电弧稳定性较差，功率因数低，一般用于焊条电弧焊、埋弧焊和钨极惰性气体保护电弧焊等方法。

（2）矩形波交流弧焊电源 它是利用半导体控制技术来获得矩形波交流电流的。由于输出电流过零点时间短，电弧稳定性好，正负半波通电时间和电流比值可以自由调节，因此特

别适合于铝及铝合金钨极氩弧焊。

2. 直流弧焊电源

(1) 弧焊发电机 一般由特种直流发电机、调节装置和指示装置等组成。按驱动的动力不同,弧焊发电机可分为两种:以电动机驱动并与发电机组成一体的称为弧焊电动发电机(目前已停止生产);以柴(汽)油驱动并与发电机组成一体的,称为弧焊柴(汽)油发电机。它与弧焊整流器相比,制造复杂,噪声及空载损耗大,效率稍低,价格高;但其过载能力强,输出脉动小,受电网电压波动的影响小,一般用于碱性焊条电弧焊。

(2) 弧焊整流器 由主变压器、整流器及为获得所需外特性的调节装置、指示装置等组成。它把电网交流电经降压整流后获得直流电。与弧焊发电机相比,它具有制造方便、价格低、空载损耗小、噪声小等优点,而且大多数弧焊整流器可以远距离调节焊接工艺参数,能自动补偿电网电压波动对输出电压和电流的影响。它可作为各种弧焊方法电源。

(3) 逆变式弧焊电源 它把单相(或三相)交流电经整流后,由逆变器转变为几百至几万赫兹的中高频交流电,经降压后输出交流或直流电。整个过程由电子电路控制,使电源获得符合要求的外特性和动特性。它具有高效节能、重量轻、体积小、功率因数高等优点,可应用于各种弧焊方法,是一种很有发展前途的普及型弧焊电源。

顺便指出,逆变式弧焊电源既可输出交流电,又可输出直流电,但目前常用后一种形式,因此又可把它称为逆变式弧焊整流器。

3. 脉冲弧焊电源

焊接电流以低频调制脉冲方式馈送,一般由普通的弧焊电源与脉冲发生电路组成。它具有效率高、输入线能量较小、线能量调节范围宽等优点。它主要用于气体保护电弧焊和等离子弧焊,对于焊接热敏感性大的高合金材料、薄板和全位置焊接具有独特的优点。

三、弧焊电源与焊接设备的现状及发展

焊接技术的发展是与近代工业和科学技术的发展紧密联系的。弧焊电源与设备又是弧焊技术发展水平的主要标志,它的发展与弧焊技术的发展也是相互促进、密切相关的。

1802年俄国学者发现了电弧放电现象,并指出利用电弧热熔化金属的可能性。但是,电弧焊真正应用于工业,则是在1892年出现了金属极电弧焊接方法以后。当时,电力工业发展较快,弧焊电源本身也有了很大的改进。到20世纪20年代,除弧焊发电机外,已开始应用结构简单、成本低廉的弧焊变压器。

随着生产的进一步发展,不仅需要焊接的产品数量增加了,而且许多产品对焊接质量的要求也提高了,加之焊接冶金科学的发展,20世纪30年代,在薄药皮焊条的基础上研制成功了焊接性能优良的厚药皮焊条,更显示了焊接方法的优越性。这个时期,由于机械制造、电机制造工业及电力拖动、自动控制等新科学技术的发展,也为实现焊接过程机械化、自动化提供了物质条件和技术条件,于是在20世纪30年代后期,研制成功了埋弧焊。20世纪40年代初,由于航空、核能等技术的发展,迫切需要轻金属或合金,如铝、镁、钛、锆及其合金等。这些材料的化学性能活泼,产品对焊接质量的要求又很高,氩弧焊就是为了满足上述要求而发展起来的新的焊接方法。20世纪50年代又相继出现了二氧化碳焊等各种气体保护电弧焊,以及随后出现的焊接高熔点金属材料的等离子弧焊。

各种焊接方法的问世,促进了弧焊电源与设备的飞速发展,20世纪40年代开始出现了用硒片制成的弧焊整流器。到了20世纪50年代末,由于大容量的硅整流器件、晶闸管的问

世,为发展新的弧焊整流器开辟了道路。20 世纪 70 年代以来,又相继成功研制了脉冲弧焊电源、逆变式弧焊电源、矩形波交流弧焊电源。

弧焊电源与设备的飞速发展,不仅表现为种类的大量增加,还表现在广泛应用电子技术、控制技术(PID 控制、模糊控制、人工神经网络技术和智能控制)、计算技术等方面的理论知识和最新成就,来不断提高弧焊电源与设备的质量,改善其性能。例如,采用单旋钮调节,即用一个旋钮就可以对电弧电压、焊接电流和短路电流上升速度等同时进行调节,并获得最佳配合;通过电子控制电路获得多种形状的外特性以适应各种弧焊工艺的需要;采用多种电压、电流波形,以满足某些弧焊工艺的特殊需要;采用电压和温度补偿控制;设置电流递增和电流衰减环节,以防止引弧冲击和提高填满弧坑的质量;采用计算机控制,具有记忆、预置焊接参数和在焊接过程中自动变换焊接参数等功能,使弧焊电源与设备智能化。

目前,我国弧焊电源与设备制造、研究的状况,与正在蓬勃发展的国民经济的需要不相适应,产品的品种、数量、质量、性能和自动化程度还远远不能满足使用部门的要求,与世界工业发达国家比较,尚存在较大差距。为了适应我国经济发展的需要,必须努力从事弧焊电源与设备的研制,充分利用电子技术、计算机技术和大功率电子器件,不断提高产品质量;大力发展高效、节能、性能良好的新型弧焊电源与设备,积极研制微机控制的弧焊电源与设备,从而把弧焊电源与设备的发展推向一个新阶段。

第一单元 焊接电弧及对弧焊电源的要求

学习目标：掌握焊接电弧的物理本质、形成、结构和伏安特性，深入了解焊接电弧的电特性及交流电弧燃烧的特点；掌握焊接电弧对弧焊电源外特性、空载电压、调节特性和动特性的要求。

模块一 焊接电弧的物理本质和引燃

电弧是电弧焊的热源，而弧焊电源则是电弧能量的供应者。弧焊电源电特性的好坏会影响到电弧燃烧的稳定性，而电弧是否稳定燃烧又直接影响焊接过程的稳定性和焊缝的质量。所以必须先了解焊接电弧的物理本质和电特性，然后才能进而研究电弧对弧焊电源电气性能的要求。

一、气体原子的激发、电离和电子发射

中性气体本不能导电，为了在气体中产生电弧而通过电流，就必须使气体分子（或原子）电离成为正离子和电子。而且，为了使电弧维持燃烧，要求电弧的阴极不断发射电子，这就必须不断地输送电能给电弧，以补充能量的消耗。

可见，焊接电弧也是气体放电的一种形式，和其他气体放电的区别在于它的阴极压降低，电流密度大，而气体的电离和电子发射是电弧中最基本的物理现象。

（一）气体原子的激发与电离

1. 气体原子的激发

如果气体原子得到了外加的能量，电子就可能从一个较低的能级跳跃到另一个较高能级，这时原子处于“激发”状态。使原子跃至“激发”状态所需的能量，称为激发能。

2. 气体原子的电离

使电子完全脱离原子核的束缚形成正离子和自由电子的过程，称为电离。由原子形成正离子所需的能量称为电离能，以 E_i 表示。

在焊接电弧中，根据引起电离的能量来源，有如下三种电离形式：

（1）**撞击电离** 在电场中，被加速的带电质点（电子、离子）与中性质点（原子）碰撞后发生的电离。

（2）**热电离** 在高温下，具有高动能的气体原子（或分子）互相碰撞而引起的电离。

（3）**光电离** 气体原子（或分子）吸收了光射线的光子能而产生的电离。

气体原子在产生电离的同时，带异性电荷的质点也会发生相互碰撞，使正离子和电子复

合成中性质点，即产生中和现象。当电离速度和复合速度相等时，电离就趋于相对稳定的动平衡状态。应指出，原子或分子除释放出自由电子形成正离子和电子之外，有时在电离气体中还存在着原子或分子与电子结合成为负离子的过程，所产生的负离子对电弧的稳定性有不利的影响。

各种元素吸附电子形成负离子的倾向决定于它与电子亲和能的大小，以 E_q 表示。电子亲和能愈大的元素形成负离子的倾向愈大。而元素的电子亲和能的大小是由原子构造所决定的。卤族元素（F、Cl、Br、I 等）的电子亲和能最大。在电弧中可能遇到的 O、O₂、OH、NO₂、H₂O、Li 等气体具有一定的电子亲和能，所以都可能形成负离子。几种常见气体和元素的电子亲和能 E_q 见表 1-1。

表 1-1 电弧中常见气体及元素的电离能 E_i 、逸出功 W_y 、亲和能 E_q

气体	E_i/eV	E_q/eV	元素	E_i/eV	E_q/eV	W_y/eV	元素	E_i/eV	E_q/eV	W_y/eV
He	24.58	<0	Al	5.98	0.52~1.19	4.25	Cs	3.38	0.23	1.81
Ar	15.76	<0	Cr	6.76	0.98	4.29	Pd	4.18	0.27	2.16
N ₂	15.50	<0	Ti	6.82	0.39	3.95	K	4.34	0.30	2.22
N	14.53	0.54	Mo	7.10	1.3	4.29	Na	5.14	0.35	2.33
H ₂	15.60	<0	Mn	7.43	—	3.38	Ba	5.21	—	2.4
H	13.60	0.8	Ni	7.63	1.28	4.91	Li	5.39	0.616	2.3
O ₂	12.5	0.44	Mg	7.64	—	3.64	La	5.61	—	3.3
O	13.61	2.0	Cu	7.72	1.8	4.36	Ca	6.11	—	2.96
CO ₂	13.8	—	Fe	7.87	0.58	4.40	B	8.30	0.3	4.30
CO	14.01	—	W	7.98	—	4.50	I	10.45	3.17	2.8~6.8
HF	15.57	—	Si	8.15	1.46	4.80	Br	11.84	3.51	—
			Cd	8.99	—	4.10	Cl	13.01	3.76	—
			C	11.26	1.33	4.45	F	17.42	3.62	—

(二) 电子发射

在阴极表面的原子或分子，接受外界的能量而释放自由电子的现象称为电子发射。

电子发射所需的能量称为逸出功，以 W_y 表示。物质的逸出功一般约为电离能的 1/4~1/2。逸出功不仅与元素种类有关（见表 1-1），也与物质表面状态有很大关系。表面有氧化物或其他杂质时均可以显著减少逸出功。例如，钨极上含有钍或铈的氧化物时，其电子发射能力明显提高。

电子发射是引弧和维持电弧稳定燃烧的一个很重要的因素。按其能量来源的不同，可分为热发射、光电发射、重粒子碰撞发射和强电场作用下的自发射等。

(1) 热发射 物质的固体或液体表面受热后，其中某些电子具有大于逸出功的动能而逸出到表面外的空间中去的现象称为热发射。热发射在焊接电弧中起着重要作用，它随着温度上升而增强。

(2) 光电发射 物质的固体或液体表面接受光射线的能量而释放出自由电子的现象称为光电发射。对于各种金属和氧化物，只有当光射线波长小于能使它们发射电子的极限波长时，才能产生光电发射。

(3) 重粒子撞击发射 能量大的重粒子（如正离子等）撞到阴极上，引起电子的逸出，称为重粒子撞击发射。重粒子能量愈大，电子发射愈强烈。

(4) 强电场作用下的自发射 物质的固体或液体表面，虽然温度不高，但当存在强电场

并在表面附近形成较大的电位差时,使阴极有较多的电子发射出来,这就称为强电场作用下的自发射,简称自发射。电场愈强,发射出的电子形成的电流密度就愈大。自发射在焊接电弧中也起重要作用,特别是在非接触式引弧时,其作用更明显。

综上所述,焊接电弧是气体放电的一种形式。焊接电弧的形成和维持是在电场、热、光和质点动能的作用下,气体原子不断被激发、电离以及电子发射的结果。同时,也存在负离子的产生、正离子和电子的复合。

二、焊接电弧的引燃

焊接电弧的引燃(引弧)一般有两种方式:接触引弧和非接触引弧。引弧过程的电压、电流的变化,大致如图 1-1 所示。

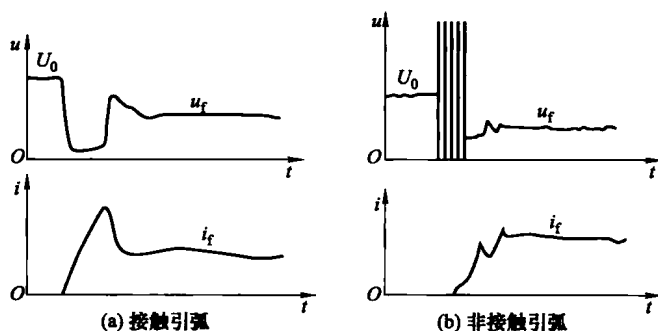


图 1-1 引弧过程的电压、电流变化

U_0 —空载电压; u_f —电弧电压; i_f —电弧电流

(一) 接触引弧

接触引弧即是在弧焊电源接通后,电极(焊条或焊丝)与工件直接短路接触,随后拉开;从而把电弧引燃起来。这是一种最常用的引弧方式。

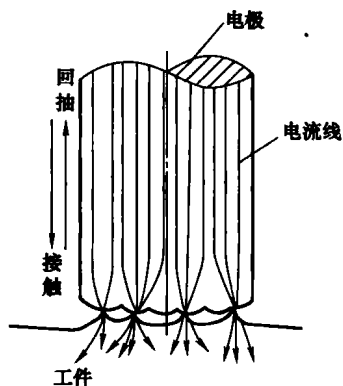


图 1-2 接触引弧示意图

由于电极和工件表面都不是绝对平整的,在短路接触时,只是在少数突出点上接触,见图 1-2。通过这些接触点的短路电流,比正常的焊接电流要大得多。而接触点的面积又小,因此电流密度极大。这就可能产生大量的电阻热使电极金属表面发热、熔化,甚至汽化,引起热发射和热电离。随后在拉开电极的瞬间,电弧间隙极小,只有 10^{-6} cm 左右,使其电场强度达到很大的数值(可达 10^6 V/cm)。这样,即使在室温下都可能产生明显的自发射,在强电场作用下又使已产生的带电质点被加速、互相碰撞,引起撞击电离。随着温度的增加,光电离和热电离也进一步加强,使带电质点的数量猛增,从而能维持电弧的稳定燃烧。在电弧引燃之

后,电离和中和(消电离)处于动平衡状态。由于弧焊电源不断供以电能,新的带电质点不断得到补充,弥补了消耗的带电质点和能量。焊条电弧焊和熔化极气体保护焊都采用这种引弧方式。

(二) 非接触引弧

它是指在电极与工件之间存在一定间隙,施以高电压击穿间隙,使电弧引燃。

非接触引弧需采用引弧器才能实现,它可分为高频高压引弧和高压脉冲引弧,如图 1-3 所示。高压脉冲的频率一般为 50Hz 或 100Hz,电压峰值为 3000~5000V;高频高压引弧则需用高频振荡器,它每秒振荡 100 次,每次振荡频率为 150~260kHz,电压峰值为 2000~3000V。

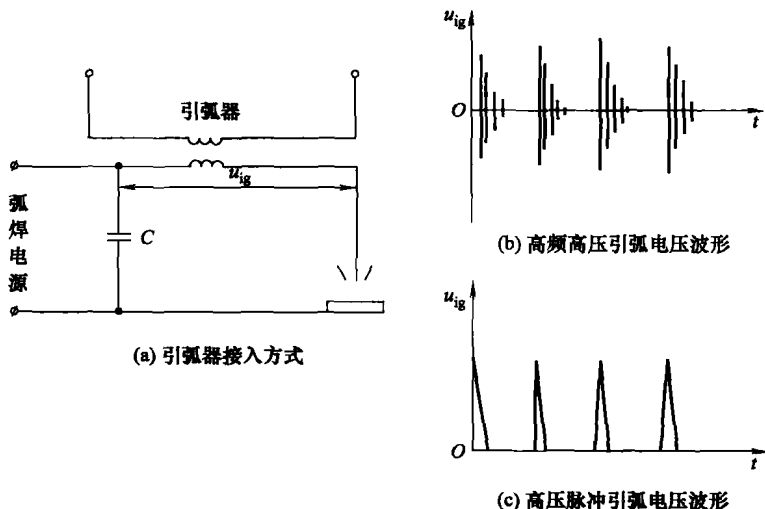


图 1-3 高频和脉冲引弧示意图

u_{ig} —引弧器电压; t —时间

可见,这是一种依靠高电压使电极表面产生电子的自发射,而把电弧引燃的方法,这种引弧方法主要应用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。引弧时,电极不必与工件短路,这样不仅不会污染工件和电极的引弧点,而且也不会损坏电极端部的几何形状,还有利于电弧的稳定燃烧。

三、焊接电弧的种类

焊接电弧的性质与供电电源的种类、电弧的状态、电弧周围的介质以及电极材料有关。按照不同的方法,可作出如下的分类。

- ① 按电流种类可分为:交流电弧、直流电弧和脉冲电弧(包括高频脉冲电弧)。
- ② 按电弧状态可分为:自由电弧和压缩电弧。
- ③ 按电极材料可分为:熔化极电弧和非熔化极电弧。
- ④ 按电弧周围介质可分为:明弧和埋弧。

模块二 焊接电弧的结构和伏安特性

前面分析了焊接电弧的物理本质和形成。现在介绍它的结构和电特性,即伏安特性,包括静特性和动特性。直流电弧和交流电弧是焊接电弧的两种最基本的形式。为了便于理解,

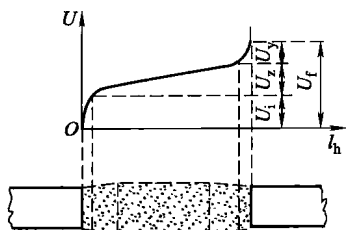


图 1-4 电弧结构和电位分布

首先从直流焊接电弧（以下简称焊接电弧）入手讨论。

一、焊接电弧的结构及压降分布

电弧沿着其长度方向分为三个区域，见图 1-4。电弧与电源正极所接的一端称阳极区，与电源负极相接的那端称阴极区。阴极区与阳极区之间的部分称弧柱区，或称正柱区、电弧等离子区。阴极区的宽度仅约 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm}$ ，而阳极区的宽度仅约 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm}$ ，因此，电弧长度可以认为近似等于弧柱长度。弧柱部分的温度高达 $5000 \sim 50000 \text{ K}$ 。沿着电弧长度方向的电位分布是不均匀的。在阴极区和阳极区，电位分布曲线的斜率很大，而在弧柱区电位分布曲线则较平缓，并可认为是均匀分布的，见图 1-4。这三个区的电压降分别称为阴极压降 U_i 、阳极压降 U_y 和弧柱压降 U_z 。它们组成了总的电弧电压 U_t ，并可表示为：

$$U_t = U_i + U_y + U_z \tag{1-1}$$

由于阳极压降基本不变（可视为常数）；而阴极压降 U_i 在一定条件下（指的是电弧电流、电极材料和气体介质等）基本上也是固定的数值；弧柱压降 U_z 则在一定气体介质下与弧柱长度成正比。显而易见，弧长不同，电弧电压也不同。

二、焊接电弧的电特性

焊接电弧的电特性包括静特性和动特性。

（一）焊接电弧的静特性

一定长度的电弧在稳定状态下，电弧电压 U_t 与电弧电流 I_t 之间的关系，称为焊接电弧的静态伏安特性，简称伏安特性或静特性，可表示为：

$$U_t = f(I_t) \tag{1-2}$$

焊接电弧是非线性负载，即电弧两端的电压与通过电弧的电流之间不是成正比例关系。当电弧电流从小到大在很大范围内变化时，焊接电弧的静特性近似呈 U 形曲线，故也称为 U 形特性，如图 1-5 所示。

U 形静特性曲线可看成由三段（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）组成。在Ⅰ段，电弧电压随电流的增加而下降，是下降特性段；在Ⅱ段，呈等压特性，即电弧电压不随电流而变化，是平特性段；在Ⅲ段，电弧电压随电流增加而上升，是上升特性段。

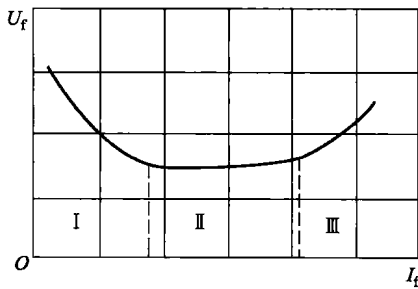


图 1-5 焊接电弧的静特性曲线的形状

现在研究静特性各段形状的形成机理。由式 (1-1) 可知，电弧电压是阴极压降、阳极压降和弧柱压降之和。因此，只要弄清每个区域的压降和电流的关系，则不难理解为何会形成 U 形特性。

在阳极区，阳极压降 U_y ，基本上与电流无关， $U_y = f(I_t)$ 为一水平线，见图 1-6 U_y 曲线。