

高等学校教材

气体保护焊工艺和设备

(修订本)

王震激 郝廷玺 主 编

西北工业大学出版社

高等学校教材

气体保护焊工艺和设备

(修订本)

王震澂 郝廷玺 主编

西北工业大学出版社

1991年6月 西安

内 容 简 介

本书共分三篇。第一篇论述气体保护焊工艺基础理论,包括焊接电弧特性、气体保护作用、焊丝熔滴过渡、焊缝成形和焊接规范参数控制等;第二篇介绍常用的气体保护焊方法,如钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊、等离子弧焊与 CO_2 焊的工艺过程、特点及焊接规范选定等;第三篇讲述气体保护焊机常见的典型控制电路,包括单元控制电路和某些整机控制电路。

本书除供航空高等院校焊接专业作为教材外,还可供普通高等工业院校焊接专业师生作教学参考书用,也可供从事有关焊接工作的工程技术人员参考。

高等学校教材 气体保护焊工艺和设备 (修 订 本)

主 编 王震激
郝廷玺

责任编辑 刘 红
责任校对 郭生儒

*

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路 127 号)

陕西省新华书店 发行

西安空军工程学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-0295-4 / TG · 18(课)

*

开本 787×1092 毫米 1/16 19.5 印张 5 插页 482 千字

国防工业出版社 1982 年 11 月第 1 版

1991 年 6 月第 2 版 1991 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—2 000 册 定价: 5.17 元

前 言

《气体保护焊工艺和设备》修订本是在 1982 年国防工业出版社出版的高等航空院校焊接专业试用教材《气体保护焊工艺和设备》基础上, 根据 1985 年新制订的焊接专业教学计划和削减专业课教学时数的要求、近几年教学实践的经验, 以及重新修订的课程教学基本要求, 对原教材内容进行了调整、删繁与补充而修编的。

“气体保护焊工艺和设备”是一门焊接专业主干课, 其教学内容主要包含有: 气体保护焊的工艺理论基础, 如焊接电弧、气体保护作用、焊丝的加热熔化与熔滴过渡、焊件加热熔化与焊缝成形, 以及焊接规范参数控制等; 常用的气体保护焊方法 (如钨极氩弧焊、等离子弧焊、熔化极氩弧焊、 CO_2 焊) 的基本原理、工艺特点与应用; 以及典型的气体保护焊机控制电路, 如典型的单元控制电路与整机控制电路等。在本修订教材中对上述三大部分内容仍分为三篇分别进行介绍。

本书可作为高等航空院校焊接专业教材, 也可供普通高等工业院校焊接专业师生和从事焊接技术工作的工程技术人员参考。

参加本教材编写工作的原编者有西北工业大学王震激、段立宇、艾盛和北京航空航天大学郝廷玺, 由王震激和郝廷玺分别担任工艺部分和设备部分主编。本书的修编工作是由两位主编承担, 北京航空航天大学罗树方同志参加了第十一章部分电路的修订工作。修订稿仍由北京航空航天大学周达和西北工业大学贺耀华分别审阅工艺和设备两部分, 谨致谢意。

由于编者的水平有限, 可能在修订本中还会在内容与编排上存在欠妥及不足之处, 欢迎读者提出宝贵意见。

编 者

1990 年 7 月

目 录

绪 论	1
一、气体保护焊的发展简介	1
二、气体保护焊的优缺点和分类	2
三、本课程的学习目的与任务	3

第一篇 气体保护焊工艺理论基础

第一章 气体保护焊电弧特性	5
§ 1-1 电弧导电过程的物理基础	5
一、电弧中带电粒子的形成、消失和电离平衡	6
二、电弧中带电粒子运动特性和导电机构	17
三、电弧导电的等离子体区	20
§ 1-2 焊接电弧的某些工艺特性	22
一、电弧的热能特性	22
二、电弧的最小能量消耗特性——最小电压原理	28
三、电弧的负载特性	29
四、电弧的力学特性	32
五、电弧斑点的游动特性	37
六、电弧的挺直性	40
§ 1-3 常用的气体保护焊电弧	41
一、钨极氩弧	41
二、等离子弧(压缩电弧)	43
三、熔化极电弧	46
§ 1-4 焊接电弧的稳定性	49
一、焊接电弧稳定性的概念	49
二、气体保护焊电弧稳定性的评判	49
三、影响电弧稳定性的因素	50
第二章 气体的保护作用和保护气	52
§ 2-1 气体的流动性质与流态	52
一、气体的流动性质	52
二、气体在圆导管中流动和流态转化	54

三、气体从焊枪喷嘴喷出的射流·····	55
§ 2-2 焊接保护气体的流态和保护作用的分析·····	55
一、保护气体在焊枪中的流态分析·····	55
二、焊枪结构对保护气体流态的影响·····	56
三、保护气体从喷嘴(或保护罩)喷出的初始流态·····	59
四、电弧对喷出气体的流态和有效保护范围的影响·····	61
五、工艺因素对保护气体喷出的流态和保护范围的影响·····	62
§ 2-3 焊接用的保护气体·····	65
一、常用保护气体简介·····	65
二、焊接保护气体的选用原则·····	67
三、气体保护焊的供气系统·····	69
§ 2-4 气体保护性能的测定方法·····	70
一、鉴别从喷嘴喷出的冷态气体流态·····	70
二、用激光纹影法测定焊枪喷出气流的热态流态与保护范围·····	71
三、鉴定气体保护性能的其他方法·····	72
第三章 焊丝的加热熔化和熔滴过渡·····	73
§ 3-1 焊丝的加热和熔化特性·····	73
一、焊丝的加热和熔化·····	73
二、焊丝的熔化特性·····	75
三、焊丝的熔化系数、熔敷系数和飞溅、蒸发等损失·····	76
§ 3-2 焊丝熔滴过渡的力学分析·····	78
一、影响焊丝熔滴过渡的力·····	78
二、焊接过程熔滴过渡的力学分析·····	82
三、常见的熔滴过渡形式与分类·····	83
§ 3-3 短路过渡的特性·····	85
一、短路过渡的过程分析和特点·····	85
二、短路过渡对焊接电源动特性的要求·····	86
三、短路过渡的金属飞溅问题·····	89
§ 3-4 连续喷射过渡的特性·····	91
一、喷射过渡形成的条件与特点·····	91
二、影响喷射过渡稳定性的因素·····	93
§ 3-5 脉冲喷射过渡的特性·····	96
一、脉冲喷射过渡的过程分析和特征·····	96
二、影响获得脉冲喷射过渡的因素·····	98
三、脉冲喷射过渡的工艺优点·····	99
第四章 焊缝成形和引弧、收弧控制·····	101
§ 4-1 母材的加热熔化和焊缝成形·····	101

一、焊接过程中母材的加热熔化和焊缝成形	101
二、焊接条件对焊缝成形尺寸的影响	103
三、焊缝的熔合比及其影响	108
§ 4-2 焊接过程引弧控制和改善途径	109
一、不熔化极气体保护焊过程的引弧控制	109
二、熔化极气体保护焊过程的引弧控制	110
§ 4-3 焊接过程的收弧控制和改善途径	113
一、不熔化极气体保护焊的收弧控制和改善途径	113
二、熔化极气体保护焊的收弧控制和改善途径	114
第五章 气体保护焊过程规范参数的自动控制	116
§ 5-1 焊接过程自动控制的基本原理简介	116
一、焊接过程自动控制的意义和内容	116
二、控制的开环和闭环系统	116
三、焊接规范参数自动控制的作用	117
§ 5-2 熔化极电弧自身调节作用系统	118
一、电弧自身调节作用的实质	118
二、电弧自身调节系统静特性曲线的测定	119
三、影响电弧自身调节作用灵敏度的因素	121
四、电弧自身调节作用的静态误差(准确度)	124
五、等速送丝匹配特性焊接电源的焊接规范调节方法和范围	125
§ 5-3 电弧电压反馈自动调节系统	126
一、熔化极气体保护焊的电弧电压反馈自动调节方法	126
二、钨极氩弧焊采用的电弧电压反馈自动调节方法	129
§ 5-4 气体保护焊过程的适应控制	130
一、直接测量焊缝成形方法	131
二、间接测量焊缝成形方法	132

第二篇 常用的气体保护焊方法

第六章 钨极氩弧焊	135
§ 6-1 钨极氩弧焊	135
一、钨极氩弧焊的工艺特性	135
二、焊接材料的选用	136
三、钨极氩弧焊焊炬	138
四、钨极氩弧焊工艺	139
§ 6-2 钨极脉冲氩弧焊	142
一、钨极脉冲氩弧焊的工艺特点	143

二、影响焊接质量的某些工艺因素	144
三、焊接规范参数的选定	148
第七章 等离子弧焊	150
§ 7-1 等离子弧焊的特点与类型	150
一、等离子弧焊的工艺特点	150
二、等离子弧焊的类型与应用	151
§ 7-2 等离子弧焊炬	152
一、等离子弧焊对焊炬性能的要求	152
二、等离子弧焊炬的结构组成	152
§ 7-3 等离子弧的失稳现象	155
一、直流正极性等离子弧的失稳现象	155
二、直流反极性等离子弧和交流等离子弧的失稳现象	160
§ 7-4 大电流等离子弧焊工艺	160
一、小孔型等离子弧焊的焊缝成形特点	160
二、焊接规范参数的选定	161
三、厚板焊接的问题	163
四、大电流等离子弧焊的气孔问题	164
§ 7-5 中、小电流等离子弧焊工艺	165
一、中、小电流等离子弧焊的工艺特点	165
二、焊接工艺应注意的问题	166
§ 7-6 其他等离子弧焊工艺特点	169
一、脉冲等离子弧焊	169
二、交流等离子弧焊	170
三、等离子弧-熔化极气体保护焊	171
第八章 熔化极氩弧焊	173
§ 8-1 连续喷射过渡氩弧焊	174
一、工艺特点	174
二、喷射过渡电弧的气体保护问题	174
三、焊接规范参数的选定	177
四、熔化极气体保护焊的送丝系统	181
§ 8-2 铝合金亚射流过渡焊接特性	184
一、亚射流过渡的特点	185
二、亚射流过渡电弧固有的自调节作用	186
三、亚射流过渡焊接的焊缝成形特点	186
四、用亚射流过渡电弧焊接时的规范控制	187
§ 8-3 脉冲喷射过渡氩弧焊	187
一、工艺特点	187

二、焊接规范参数的选择与调节	187
三、脉冲喷射过渡电弧过程的稳定性问题	189
四、全位置焊接工艺特点简介	191
§ 8-4 窄间隙焊接	193
第九章 CO₂ 气体保护焊	195
§ 9-1 CO ₂ 气体保护焊的特点	195
一、CO ₂ 气体保护焊的工艺特点与分类	195
二、CO ₂ 气体保护焊的冶金特性	198
三、CO ₂ 气体保护焊的飞溅问题	200
§ 9-2 CO ₂ 气体保护焊用的焊接材料	202
一、CO ₂ 气体的选用	202
二、焊丝的选用	203
§ 9-3 细丝 CO ₂ 气体保护焊工艺	205
一、短路过渡选定规范参数对焊接过程稳定性的影响	205
二、短路过渡 CO ₂ 气体保护焊的焊接规范参数的选定	208
§ 9-4 其他 CO ₂ 焊接方法的工艺特点	209
一、CO ₂ 长弧焊工艺特点	209
二、CO ₂ 电弧点焊的工艺特点	210
三、管状焊丝 CO ₂ 气体保护焊工艺特点	212

第三篇 气体保护焊机控制电路

第十章 典型单元电路	215
§ 10-1 引弧器和稳弧器	216
一、引弧电路	216
二、稳弧电路	222
§ 10-2 拖动电机调速电路	225
一、可控硅整流式调速电路	225
二、三极管放大式调速电路	229
§ 10-3 焊接参数调节电路	230
一、熔化极电弧焊弧压自动调节电路	230
二、自动钨极氩弧焊弧压自动调节电路	233
三、焊丝外伸长度自动调节电路	235
四、等离子弧焊小孔控制电路	237
五、焊接参数的单旋钮调节	239
§ 10-4 延时电路	242
一、简单阻容式延时电路	243

二、三极管式延时电路	244
三、双基极二极管式延时电路	246
§ 10-5 焊接电流控制电路	247
一、焊接电流衰减电路	247
二、过载保护电路	251
第十一章 典型气体保护焊机的控制电路	253
§ 11-1 氩弧焊机	253
一、NSA-500-1 型手工钨极交流氩弧焊机	253
二、NSA-120 型手工钨极小电流交流氩弧焊机	257
§ 11-2 CO ₂ 气体保护焊机	261
一、NBC 型半自动 CO ₂ 气体保护焊机	261
二、NEW-K 型自动 CO ₂ 气体保护焊机	263
§ 11-3 等离子弧焊机	270
一、LH-300 型等离子弧焊机	270
二、LH-30 型微束等离子弧焊机	275
§ 11-4 脉冲氩弧焊机	278
一、WSM 系列钨极脉冲氩弧焊机	278
二、NSA5-25 型钨极手工脉冲氩弧焊机	282
参考文献	287

绪 论

一、气体保护焊的发展简介

气体保护焊是在气体保护气氛中,以电弧为能源对被焊金属进行熔化焊的焊接方法,也简称为气电焊。

气体保护焊是在手工电弧焊广泛应用的基础上逐步发展起来的,特别是在第二次世界大战和战后的几十年中,由于科学技术的突飞猛进和现代工业的迅速发展,各种新的金属材料和新的产品结构对焊接技术及质量提出愈来愈高的要求,更促进了比渣保护焊优越的气体保护焊方法的普遍推广应用与开发。如果说在 50 年代,各工业发达国家的焊接生产,在熔化焊领域中是渣保护焊占主导地位(按焊接的熔敷金属量来统计,约占 90%以上),那么发展到 80 年代,应用渣保护焊的比例已明显减少,而应用气体保护焊的比例则显著增大,其所占熔敷金属量比例已达 30%左右,并且还有逐步上升的趋势。

最早(约在 1926 年)在焊接生产中应用的气体保护焊方法是原子氢焊,它是一种用氢气作保护气体,在具有一定夹角的两根钨极末端之间引燃焊接电弧的电弧焊方法。由于原子氢焊的焊接过程是靠间接电弧对焊件金属加热,所以加热较缓慢,传热范围宽。另外,氢气保护对某些金属材料(如高强度钢、钛、铜等)焊接接头将引起有害作用,故以往通常只用于焊接低合金钢的薄壁构件与焊缝补焊,应用范围很有限,目前已很少用。

在第二次世界大战中,由于航空工业的迅猛发展,大量的由铝合金、不锈钢等金属材料制成的飞机和航空发动机零、部件需要焊接,且焊接接头质量要求高,采用传统的气焊或手工电弧焊已不能适应和保证优质的焊接接头,这样就促使钨极氩弧焊的出现和应用发展,用以焊接有色金属、不锈钢、镍基合金,以及活性金属材料(如钛、钨、钼)等。但是,钨极氩弧焊时,焊接电流要受钨极的许用电流限制,且向焊缝中添加焊丝不太方便,故这种焊接方法不适于焊接厚件,焊接生产率提高也受限制。

为了克服钨极氩弧焊存在的问题,人们在发展钨极氩弧焊的过程中,也开始了探索和研究熔化极氩弧焊。大约在 40 年代末期,当人们较好地掌握了熔化极氩弧焊时焊丝金属的加热熔化与熔滴过渡的规律,以及有关工艺条件时,熔化极氩弧焊才逐渐在焊接生产中应用与推广,其优点是:焊丝兼有电极和填充金属的作用,且焊接时可选用大的电流密度,故焊接生产率高;当焊接不同厚度的焊件时,可选用相应的电弧过程与熔滴过渡形式;便于实现半自动焊或自动焊。

早在 30 年代电弧焊发展的初期,人们就曾设想并试验用廉价的 CO_2 气体作保护气进行焊接碳钢材料,但由于当时采用的是普通低碳钢焊丝,焊接过程发现金属有严重的氧化现象和在焊缝金属中产生气孔,同时未能掌握焊丝加热熔化与熔滴过渡的规律,致使在焊接生产中无法使用。可是当熔化极氩弧焊在焊接生产中使用后,虽然其优点很突出,但要用它来焊接碳钢、低合金结构钢材料和普通焊接构件,由于氩气较稀缺和昂贵,焊接成本太高,且气体供应也比较困难,所以人们又开始试验和研究 CO_2 气体保护焊,用价廉易得的 CO_2 气体取代氩气来焊接碳钢或低合金结构钢焊接件,以降低成本和扩大气体保护焊的应用范围。通

过不断的实践,采用了含有硅、锰等脱氧元素的低合金钢焊丝,并深入掌握了 CO_2 气体保护焊的冶金特性和工艺规律,基本上解决了氧化、气孔与飞溅等问题,从而保证了 CO_2 气体保护焊的焊接质量。因此, CO_2 气体保护焊自 50 年代初在焊接生产中应用后,极受世界各国的欢迎和积极推广使用,迄今已成为焊接碳钢、低合金结构钢构件的最常用焊接方法,具有高效、节能、低成本的优越性。

随着现代工业和科学技术,特别是航空、航天、原子能、石油化工、海洋开发等工业部门的迅速发展,对焊接技术与焊接质量不断提出新要求,希望能解决各种金属材料与合金,各种结构型式与厚度,以及能满足各种使用性能(如高压、高温、低温、耐腐蚀、耐磨、强韧性等)的焊接问题,同时还要求更好地实现焊接过程自动化,提高劳动生产率和降低焊接成本。生产的需要和现代科学技术新成就也推动了气体保护焊方法的蓬勃发展,因此从 60 年代开始在工业生产中不断涌现出一些新的气体保护焊方法,如等离子弧焊、微束等离子弧焊、钨极脉冲氩弧焊、熔化极脉冲氩弧焊、混合气体保护焊、等离子弧-熔化极气体保护焊、药芯焊丝 CO_2 气体保护焊、保护气体点焊等等,同时在气体保护焊设备的更新,提高工作稳定性与可靠性,以及改善自动控制能力等方面也取得许多新成就。可以预测,随着现代工业和科学技术的不断进步,气体保护焊方法与设备也定会获得新的进展。

二、气体保护焊的优缺点和分类

气体保护焊能得到迅速的发展,成为熔化焊方法的一个重要类别,主要是由于它和渣保护焊,如手工电弧焊及埋弧焊相比较,在工艺性、生产率、焊接过程自动控制与经济效益等方面具有以下一些优点:

(1) 气体保护焊是一种明弧焊,在焊接过程中易于观察电弧与熔池情况,便于发现问题及时调整,故有利于对焊接过程和焊缝成形质量进行控制。

(2) 气体保护焊通常不用涂药焊条或焊剂,使焊后不需要对焊缝表面清渣,故可以省掉清渣的辅助工时和制造涂药焊条或焊剂的费用,这一点在多层焊时更为突出,能提高劳动生产率和降低焊接成本。

(3) 气体保护焊的类型多,只要通过改变电极材料与直径、保护气体成份和焊接规范参数值,既可用于焊接薄壁零件,也可实现厚大焊件的焊接。同时可针对不同的金属材料与合金,选用合适的气体保护焊方法,易于保证获得优良的焊接质量。

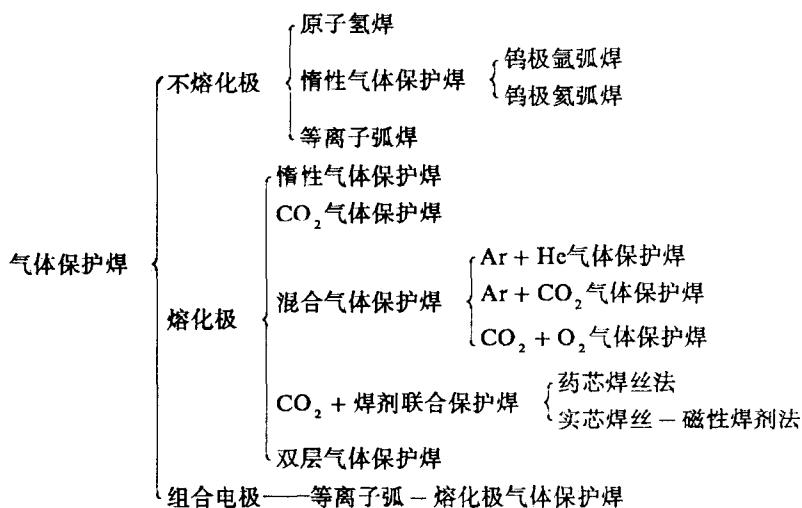
(4) 由于不采用涂药焊条或焊剂,焊接过程便于实现机械化、自动化和全位置焊接。

但是,气体保护焊也存在某些不足之处,其主要问题是:采用明弧焊接和大电流密度,电弧光辐射较强,要加强对焊工的劳动保护;焊枪喷嘴喷出的保护气流是属于柔性体,易受侧风干扰而破坏保护作用,故不宜在露天或有风的条件下施焊;焊接设备比手工电弧焊机复杂,故对焊工文化素质要求高。

气体保护焊目前在工业生产中应用种类繁多,通常可采用以下几种方式进行分类:

(1) 按选用的保护气体分类,可分为原子氢焊、氩弧焊、氦弧焊、氮弧焊、 CO_2 气体保护焊、混合气体保护焊等。

(2) 按采用的电极分类,可大致列表如下。



(3) 按焊接方式分类, 可分以下三种。

①手工焊: 主要用于不熔化极焊接, 在焊接过程中焊炬移动和添加焊丝金属均由手工操作, 如原子氢焊、手工钨极氩弧焊等。

②半自动焊: 主要用于熔化极, 在焊接过程输送焊丝是自动进行的, 而焊枪移动则靠手工操作, 如最常见的细焊丝 CO₂ 半自动焊。

③自动焊: 可用于不熔化极、熔化极或组合电极, 在焊接过程中焊枪相对于焊件移动, 以及输送焊丝金属完全是自动进行, 一般除原子氢焊外, 其他气体保护焊方法均可以采用自动焊。

三、本课程的学习目的与任务

本课程是高等航空院校焊接专业的一门主要专业课, 它是在学习“物理学”、“电工及电子学”、“金属熔焊原理”和“弧焊电源”等课程的基础上进行讲授的, 着重介绍在现代工业中, 特别是在航空航天工业中应用较普遍的气体保护焊工艺和设备, 为学习后续课“金属材料熔焊工艺”, 正确选用气体保护焊方法, 以及拟订焊接工艺与选用合适的设备提供基础。

本课程的任务是向学生讲授有关气体保护焊的一些共性基础知识与理论 (如电弧、焊丝熔化与过渡、焊缝成形及焊接规范参数控制), 常用的气体保护焊方法工艺特点与应用, 以及常用的气体保护焊机结构组成与典型的控制电路工作原理等, 以培养学生能根据焊接生产中使用的金属材料与结构特点, 较合理地选用气体保护焊方法及所需的焊接设备, 并初步具有控制与改善气体保护焊焊接生产中焊缝成形质量的能力。

根据课程的目的与任务, 以及为了方便讲授, 本教材内容分为三篇编写:

第一篇 气体保护焊工艺理论基础。

第二篇 常用的气体保护焊方法。

第三篇 气体保护焊机及控制电路。

第一篇 气体保护焊工艺理论基础

第一章 气体保护焊电弧特性

气体保护焊是以电弧为能源,借助于电弧能有效地将电能转换成焊接过程所需要的热能和机械能,以实现对被焊金属进行加热熔化而达到焊接的目的。

电弧是一种气体放电形式,属于自持放电,其激发引燃必须依靠在两个电极之间外加一定的能量条件。在气体保护焊过程一般引燃电弧,常用的有如下两种引弧方法:

1. 接触短路引弧:在电极与焊件分别和弧焊电源的输出端接通后,输送焊丝(电极)末端和焊件表面相接触短路,然后迅速拉开保持一定的间隙,依靠电能与热能转换来激发引燃电弧并维持电弧稳定燃烧。这种引弧方法常用于熔化极气体保护焊。

2. 非接触引弧:在电极与焊件分别和弧焊电源输出端接通后,让电极端面与焊件表面保持一定的间隙距离,然后接通高频高压或脉冲引弧装置,在电极与焊件之间建立火花放电条件,击穿气隙而激发引燃电弧并维持电弧稳定燃烧。这种引弧方法主要用在非熔化极气体保护焊。

但是,不管采用哪一种引弧方法,要引燃电弧和维持电弧稳定燃烧,都必须具备这样一些条件:在电极和焊件之间要加有一定的电压,阴极要发射电子,以及气体介质应电离导电。另外,电弧引燃后,在电弧中将发生复杂的电过程、热物理过程和化学冶金过程,与此同时伴随着能量的转换、质量的传输、电弧力的作用、金属的过渡,以及电弧-电源系统的稳定性等一系列问题。由于迄今为止,对焊接电弧过程的本质还认识得不够清楚,在某些情况下要用来说明与解决实际问题,效果还不能令人满意。因此,目前在国内外对焊接电弧的探讨研究仍显得非常活跃,以求更深入更全面地认识它,从而获得更好的应用效果。

本章根据人们对焊接电弧已经认识和掌握的一些规律,着重介绍电弧导电过程的物理实质、电弧状态、电弧的工艺特性,以及在不同燃弧条件下电弧的行为与稳定性问题,为学习和研究气体保护焊工艺与设备打下必要的基础。

§ 1-1 电弧导电过程的物理基础

已知固体、液体或气体能否进行导电,主要取决于该介质在电场的作用下是否拥有可自由移动的带电粒子。对于气体介质来说,在正常状态下是不含带电粒子的,因此是不会导电的,而要使正常状态的气体能导电,就必须先有一个使气体介质产生带电粒子的过程。根据试验研究表明,气体导电在不同条件下与不同电流区间,其导电特征是不一样的。在较小的电流区间,放电的起始必须靠外加能量条件(如加热、光照射等)来激发产生带电粒子而造

成气体放电，若外加能量条件取消后，放电过程就停止，这种气体放电现象称为非自持放电。当导电电流增大到一定值和气体放电发展到一定程度时，气体放电本身就可以产生维持导电所需要的带电粒子，这时即使取消了外加能量条件，放电过程仍可继续维持下去，这种气体放电过程称为自持放电。在自持放电区间，其放电特征也因电参数值的不同存在有明显的差异，大体上又可分为自持暗放电、辉光放电和电弧放电三种基本型式，图 1-1 是用简单电路检测冷阴极放电管的气体放电情况而绘制的全伏安特性曲线。

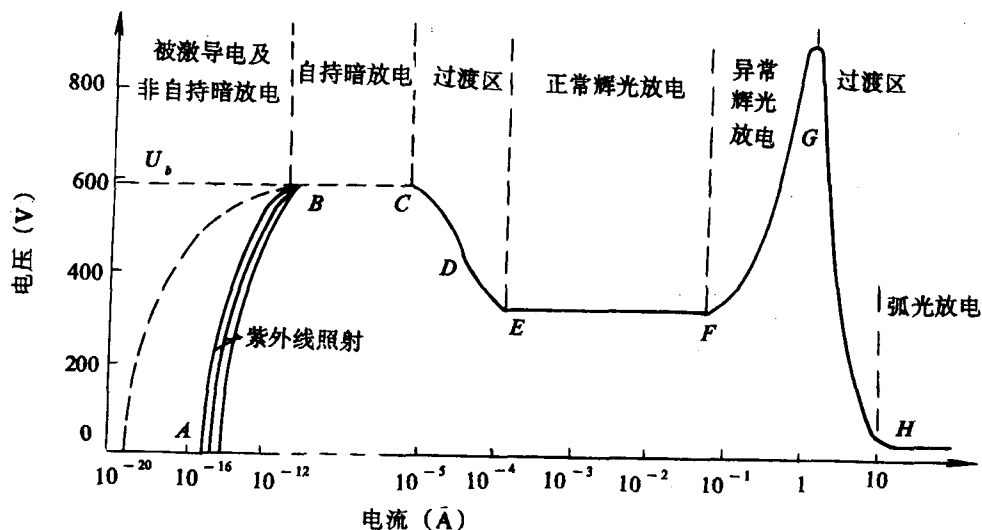


图 1-1 气体放电的全伏安特性曲线

焊接电弧放电是气体导电的一种形式，它与其他气体导电形式相比较，焊接电弧放电具有以下特点：电弧导电的介质通常是电极金属或焊剂的蒸气，或是某种成份的保护气体；电弧导电过程通常是在压强的一个大气压或更高气压下进行的；电弧的导电参数通常是低电压和大电流。

在电弧导电理论中，最基本的问题是电弧中带电粒子的形成以及与形成电流微观过程有关的导电机构等问题，下面进行分别叙述。

一、电弧中带电粒子的形成、消失和电离平衡

电弧导电过程主要包含有弧隙中气体介质中性气体粒子的激发与电离、电极金属的电子发射，以及带电粒子复合成为中性气体粒子的消电离等物理过程。在一定的条件下，当电离过程与消电离过程达到平衡时，电离气体即处于某一平衡状态。

1. 电弧中带电粒子的形成

(1) 中性气体粒子的激发与电离：气体原子在正常状态下是由带正电的原子核和 z 个带负电并围绕原子核运动的电子 (z 是元素的原子序数) 所构成，因为原子内所含的正、负电荷数量相等，所以整体对外界呈电中性。

在气体原子内，围绕原子核运动的电子分布在不同的壳层中，并具有不同的能级，其能级大小由外层向内层依次升高。如果中性原子受外加能量的作用，使电子由原来的能级跃迁

到较高的能级，这种现象称为激发。使中性原子激发所需要的最低外加能量叫做激发能，若以伏为单位来表示激发能时就称为激发电压。表 1-1 列出某些气体粒子的最低激发电压。

表 1-1 常见气体及元素的激发能 E_J 、电离能 E_L 、逸出功 ϕ_y 、亲和能 E_H 和电负性值

气体 或 元素	E_J (eV)	E_L (eV)	E_H (eV)	ϕ_y (eV)	电负性	气体 或 元素	E_J (eV)	E_L (eV)	E_H (eV)	ϕ_y (eV)	电负性
He	19.80	24.58	<0	—	—	Mn	—	7.43	—	3.38	—
Ar	11.60	15.76	<0	—	—	Ni	—	7.63	1.28	4.91	—
N ₂	6.30	15.50	<0	—	—	Mg	—	7.64	—	3.64	1.2
N	2.40	14.30	0.54	—	3.0	Cu	1.40	7.72	1.80	4.36	—
H ₂	7.00	15.60	<0	—	—	Fe	4.43	7.87	0.58	4.40	—
H	10.20	13.60	0.80	—	2.1	W	—	7.98	—	4.50	—
O ₂	7.90	12.50	0.44	—	—	C	—	11.26	1.33	4.45	2.5
O	2.00	13.61	2.00	—	3.5	Cs	1.40	3.38	0.23	1.81	0.7
CO ₂	3.00	13.80	—	—	—	K	1.60	4.34	0.30	2.22	0.8
CO	6.20	14.01	—	—	—	Na	—	5.14	0.35	2.33	0.9
Al	—	5.98	0.52 ~ 1.19	4.25	1.5	Li	—	5.39	0.616	2.38	1.0
Cr	—	6.76	0.98	4.59	—	Ca	1.90	6.11	—	2.96	1.0
Ti	—	6.82	0.39	3.95	1.6	Cl	—	13.01	3.76	—	3.0
Mo	—	7.10	1.30	4.29	—	F	—	17.42	3.62	—	4.0

注：表中的数值资料来源不同，仅供参考。

中性原子受激发虽然是一种非稳定状态，但由于电子尚未脱离原子核的束缚，所以受激原子对外界仍呈中性。受激原子并不是永远停留在受激状态，它会自发恢复到正常状态，因而停留在受激状态的时间非常短，根据受激能级的不同可为 $10^{-2} \sim 10^{-8}$ s，一般原子受激状态的时间为 10^{-8} s。原子由受激状态恢复到正常状态，是以辐射光量子的形式放出原来所吸收的能量，表现为电弧辐射光。

当中性气体原子受外加能量的作用，从中分离出一个或若干个价电子，而使原子成为带正电荷离子的过程称为电离。因为原子最外层电子与原子核的结合力最小，所以原子发生电离时最容易分离出的电子是处于最外层的价电子。

中性气体原子失去第一个电子所需要的最低外加能量称为第一电离能，通常以电子伏(eV)为单位。1 电子伏等于在电位差为 1V 的两点间迁移一个电子所作的功，其数值是等