



焊接工程师系列教程

# 现代弧焊电源及其控制

胡绳荪 主编

帮您全面掌握焊接工艺及技术  
助您早日成为优秀焊接工程师

1



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



焊接工程师系列教程

# 现代弧焊电源及其控制

胡绳荪 主编



机械工业出版社

本书是为满足普通高等教育“材料成型及控制工程”专业毕业后从事焊接技术工作的学生、材料加工工程专业焊接方向的研究生了解和掌握焊接专业基础知识,以及企业开展焊接工程师培训和焊接工程技术人员自学焊接专业基础知识的需要而编写的“焊接工程师系列教程”之一。主要内容有:焊接电弧的电特性和焊接工艺对弧焊电源的要求,弧焊电源的基本特性,弧焊变压器、弧焊整流器、弧焊逆变器、数字控制弧焊电源的基本原理、结构、性能特点及其应用,以及弧焊电源的选择、安装和使用等。

本书可供大学相关专业、函授班和培训班作为教材,还可作为具有大专以上文化水平的技术人员、技师作为焊接工程师岗前教育和岗位培训之用,也可供焊接方向的研究生和从事焊接工作的工程师和技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代弧焊电源及其控制/胡绳荪主编. —北京:  
机械工业出版社, 2006. 12  
(焊接工程师系列教程)  
ISBN 978-7-111-20533-3

I. 现... II. ①胡...②杨... III. 电弧焊—电源—  
教材 IV. TG434. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 152398 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑:何月秋 责任编辑:侯宪国 版式设计:霍永明  
责任校对:陈延翔 封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm×260mm·17 印张·417 千字  
0001—4000 册  
定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010)68326294  
购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话:(010)88379078  
封面防伪标均为盗版

焊接工程师系列教程

# 编 委 会

主 任 王立君

委 员 (按姓氏笔画排序)

杜则裕 何月秋

胡绳荪 贾安东

韩国明

本书主编 胡绳荪

本书参编 杨立军

本书主审 韦福水

# 序

时光荏苒，斗转星移。随着新世纪的到来，我国普通高等学校的专业设置格局亦发生了深刻的结构性变革。在机械工程学科覆盖的本科教育层面上，曾经独立设置了近半个世纪的“铸造、焊接、压力加工，以及金属热处理(部分)”专业整合成立了新的“材料成型及控制工程”专业；传统的机械热加工工艺学科的本科工程教育模式至此完成了从“专而窄”向“泛而宽”过渡的深刻变革。

毋庸置疑，在本科教育层面上实施“通才”教育有利于综合性、创新型人才的培养。而与之相应的，在市场经济环境下，社会和企业对焊接工程技术人才的需求则要再通过岗前或岗上培训，以及相应的“焊接工程师”职业资格认证、注册制度解决。就此意义而言，本套“焊接工程师系列教程”的出版可谓是恰逢其时，相信其定会为焊接界培养更多更好的焊接工程师作出贡献。

本套教材体系完整、知识系统、内容丰富，凝练了编审者们长期从事焊接专业教育教学的经验。它的出版无疑将促进我国焊接工程师培训和焊接事业的发展，同时使社会和企业受益。

中国机械工程学会焊接分会理事长



# 编写说明

为适应普通高等教育专业目录调整的要求,我国普通高等院校原设的机械类热加工专业已合并更名为宽口径的“材料成型及控制工程”专业。在“材料成型及控制工程”专业的教学计划中,专业课学时约占总学时数的9%~10%,一般为250学时左右,教学内容涵盖原铸造、焊接、压力加工和热处理(一部分)专业的知识领域。这一旨在加强基础、拓宽专业的调整有利于综合性创新型人才的培养。但是,新专业课教学的总学时有限,相对于企业对焊接工程技术人才的需求而言,学生在校期间的学习只能是初知焊接基本理论。毕业后为了适应企业焊接工程师的岗位要求,还必须对焊接专业知识进行系统的岗前自学或岗位培训。显然,无论是焊接工程师的培训还是自学都需要有一套实用的、有别于宽口径大学本科的焊接专业教材,《焊接工程师系列教程》正是为满足焊接专业的这一需求而精心策划和编写的。

本套“焊接工程师系列教程”是在机械工业出版社1993年出版的一套4本“继续教育教育焊接教材”的基础上修订、完善、补充的。在第1版的编写过程中,张清桂、田景峰、王长聚、平桂香、张方中、郁东键、杨桂华和陈英等同志提出了许多宝贵意见,再次表示感谢。

新版教程共6本,包括《熔焊原理与金属材料焊接》、《焊接工艺理论与技术》、《焊接结构与生产》、《无损检测与焊接结构质量保证》、《现代弧焊电源及其控制》、《焊接自动化技术》,后两本是第2版新增加的。

本套教程的编写是基于天津大学焊接专业多年来教学实践的积淀。教程取材力求少而精,突出实用性,内容紧密结合焊接工程实践,注重从理论与实践结合的角度入手阐明焊接技术理论,并列举了较多的焊接工程实例。

本套教程适用于企业焊接工程师的岗前自学与岗位培训,同时可作为注册焊接工程师认证考试的培训教材或参考书,也可用作普通高等院校相关专业或专业方向本科生、研究生的参考教材,还可供从事焊接技术工作的工程技术人员参考。

衷心希望“焊接工程师系列教程”能使业内读者受益,成为高等院校相关专业师生和广大焊接工程技术人员的良师益友。若见本套教程中存在瑕疵和谬误,恳请各界读者不吝赐教,予以斧正。

“焊接工程师系列教程”编委会

# 前 言

《现代弧焊电源及其控制》是原高校焊接专业的主要专业课程之一。随着电子技术、控制技术、计算机技术的发展，新型弧焊电源及其控制技术也得到了相应的发展。为了满足焊接工程技术人员的要求，编写了本教材。本书是《焊接工程师系列教程》丛书之一册。

本书系统的介绍了有关焊接电弧的电特性和弧焊工艺对弧焊电源的要求，弧焊电源的基本特性，弧焊变压器、弧焊整流器、弧焊逆变器、数字控制弧焊电源的基本原理、结构、性能特点及其应用。简单介绍了弧焊电源的选择、安装和使用等知识。

本书重点介绍了电子控制型弧焊电源，并将电子控制型弧焊电源一些共性的问题抽取出来，编写了第五章电子控制型弧焊电源基础。

本书共分9章，其中第1、2、3、5、6、8章由天津大学胡绳荪教授编写；第4、7、9章由天津大学杨立军副教授编写；胡绳荪教授任本书主编，并负责全书的统稿工作。天津理工大学的韦福水教授任主审，认真审阅了本书的原稿，提出了许多宝贵的意见，作者在此表示衷心的感谢。

本书可以作为焊接工程师的培训教材，也可以作为“材料成型及控制工程”本科专业相关课程的参考教材，又可以作为“材料加工工程”专业硕士研究生相关课程的参考教材。

在编写过程中，天津电焊机厂的齐绍荣高级工程师对本书提出了许多修改意见，天津大学赵家瑞教授、柳刚教授对本书给予了很多的关心和帮助，宋东风、姬轩、李力、尹玉环、高仲林等研究生对本书的图表和文字加工做了很多工作，作者在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，本书难免有错误和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

序	
编写说明	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 弧焊电源的分类	1
1.1.1 机械调节型弧焊电源	2
1.1.2 电磁控制型弧焊电源	2
1.1.3 电子控制型弧焊电源	2
1.2 常用弧焊电源的主要特点和应用	3
1.2.1 机械调节型弧焊电源	3
1.2.2 电磁控制型弧焊电源	4
1.2.3 电子控制型弧焊电源	4
1.2.4 脉冲弧焊电源	5
1.3 弧焊电源的发展	5
复习思考题	6
第 2 章 焊接电弧及其电特性	7
2.1 焊接电弧及其引燃	7
2.1.1 气体的电离与电子发射	7
2.1.2 焊接电弧的引燃	9
2.2 焊接电弧的结构和伏安特性	10
2.2.1 焊接电弧的结构及电弧电压	10
2.2.2 焊接电弧的静特性	11
2.2.3 焊接电弧的动特性	14
2.3 焊接电弧负载的特点	15
2.3.1 交流电弧	15
2.3.2 脉冲电弧	17
2.3.3 非熔化极焊接电弧	18
2.3.4 熔化极焊接电弧	18
复习思考题	19
第 3 章 弧焊电源的基本特性	21
3.1 弧焊电源的基础知识	21
3.2 弧焊电源的外特性	22
3.2.1 电源外特性的基本概念	22
3.2.2 “电源-电弧”系统的稳定性	23
3.2.3 电源外特性曲线的确定	25
3.3 弧焊电源的调节特性	31
3.3.1 电源调节特性的基本概念	31
3.3.2 调节参数及调节范围	31
3.3.3 弧焊电源的负载持续率与额定值	33
3.4 弧焊电源的动态特性	34
3.4.1 弧焊电源动特性的基本概念	34
3.4.2 电弧动态变化的特点及其对弧焊电源动特性的要求	34
3.4.3 弧焊电源动特性标准和评价方法	36
复习思考题	38
第 4 章 弧焊变压器	39
4.1 变压器基础知识	39
4.1.1 电与磁的常用量与基本定律	39
4.1.2 磁路及其计算	41
4.1.3 铁心磁性材料的磁性能	43
4.1.4 变压器常用磁性材料	44
4.2 变压器的工作原理	45
4.2.1 变压器工作的基本原理与结构	45
4.2.2 单相变压器的空载运行	49
4.2.3 单相变压器的负载运行	52
4.2.4 变压器的外特性	57
4.2.5 三相变压器及其联结组标号	58
4.3 弧焊变压器的特性及其分类	61
4.3.1 弧焊变压器的外特性	61
4.3.2 弧焊变压器的调节特性	63
4.3.3 弧焊变压器的损耗与效率	63
4.3.4 弧焊变压器的分类	64
4.4 增强漏磁式弧焊变压器	65
4.4.1 动铁心式弧焊变压器	65
4.4.2 动绕组式弧焊变压器	68





4.4.3 抽头式弧焊变压器 .....	71	6.2.3 六相半波可控整流电路 .....	125
4.5 串联电抗器式弧焊变压器 .....	73	6.2.4 带平衡电抗器双反星形可控 整流电路 .....	127
4.5.1 电抗器 .....	73	6.3 晶闸管移相触发电路 .....	132
4.5.2 分体式弧焊变压器 .....	75	6.3.1 对触发电路的要求 .....	132
4.5.3 同体式弧焊变压器 .....	76	6.3.2 晶闸管的移相触发电路 .....	134
4.6 弧焊变压器基础上的弧焊 整流器 .....	77	6.3.3 晶闸管专用集成移相式 触发器 .....	142
4.6.1 下降特性的整流弧焊电源 .....	77	6.4 ZX5系列晶闸管式弧焊整流器 .....	146
4.6.2 平或缓降特性的整流弧焊 电源 .....	79	6.4.1 概述 .....	146
复习思考题 .....	80	6.4.2 主电路 .....	146
<b>第5章 电子控制型弧焊电源基础</b> .....	<b>81</b>	6.4.3 触发电路 .....	147
5.1 电力半导体器件 .....	81	6.4.4 信号控制电路 .....	151
5.1.1 晶闸管 .....	81	6.4.5 稳压电源电路 .....	154
5.1.2 功率晶体管 .....	84	6.5 Deltaweld系列熔化极气体保护 焊机 .....	154
5.1.3 场效应晶体管 .....	87	6.5.1 概述 .....	154
5.1.4 绝缘栅双极型晶体管 .....	90	6.5.2 电源主电路 .....	154
5.2 电子控制型弧焊电源的基本 工作原理 .....	94	6.5.3 控制电路 .....	157
5.3 电子控制型弧焊电源的外特性 控制 .....	95	6.5.4 送丝机调速电路 .....	160
5.3.1 外特性控制的基本原理 .....	95	6.5.5 引弧控制电路 .....	161
5.3.2 电源外特性控制的应用 .....	98	6.5.6 过电流保护电路 .....	162
5.3.3 电流、电压信号的检测 .....	102	6.5.7 程序控制电路 .....	162
5.4 电子控制型弧焊电源的调节特性 控制 .....	107	复习思考题 .....	163
5.4.1 电子控制型弧焊电源中的稳压 电源 .....	107	<b>第7章 逆变式弧焊电源</b> .....	<b>164</b>
5.4.2 脉冲弧焊电源的矩形波脉冲 发生器 .....	110	7.1 逆变式弧焊电源的结构、分类和 特点 .....	164
5.5 电子控制型弧焊电源的动态特性 控制 .....	113	7.1.1 逆变式弧焊电源系统的基本 结构 .....	164
5.5.1 电子电抗器控制 .....	114	7.1.2 逆变式弧焊电源的逆变形式 .....	165
5.5.2 波形控制原理 .....	114	7.1.3 逆变式弧焊电源的分类 .....	165
复习思考题 .....	116	7.1.4 逆变式弧焊电源的特点 .....	166
<b>第6章 晶闸管式弧焊整流器</b> .....	<b>117</b>	7.2 逆变电路 .....	168
6.1 概述 .....	117	7.2.1 逆变电路的基本形式 .....	168
6.2 三相可控整流电路 .....	118	7.2.2 各种逆变电路的特点与应用 .....	172
6.2.1 三相半控桥式整流电路 .....	118	7.2.3 双端逆变电路的直通及不 平衡问题 .....	174
6.2.2 三相全控桥式整流电路 .....	121	7.2.4 变压器 .....	177
		7.3 输入输出电路 .....	179



7.3.1 输入整流滤波电路 .....	179	系统 .....	220
7.3.2 输出整流滤波电路 .....	180	8.3 基于 DSP 控制的数字化弧焊电源 ...	223
7.4 时间比率控制及驱动电路 .....	181	8.3.1 电源系统的硬件结构及工作	
7.4.1 时间比率控制 .....	181	原理 .....	223
7.4.2 PWM 控制器 .....	183	8.3.2 人机交互系统 .....	224
7.4.3 驱动电路 .....	187	8.3.3 PWM 信号的生成 .....	227
7.5 逆变式弧焊电源的特性控制 .....	191	8.3.4 电源特性控制 .....	237
7.5.1 电源的自然输出特性 .....	191	8.3.5 送丝系统的 DSP 控制 .....	238
7.5.2 外特性控制 .....	192	8.3.6 焊接参数的一元化调节 .....	239
7.5.3 调节特性控制 .....	195	8.3.7 控制系统软件结构 .....	239
7.5.4 动特性控制 .....	195	8.4 基于单片机和 DSP 控制的数字化	
7.6 IGBT 逆变式弧焊电源实例 .....	196	弧焊电源 .....	241
7.6.1 下降特性的逆变式弧焊电源 ...	196	8.4.1 系统结构 .....	241
7.6.2 平特性的逆变式弧焊电源 .....	199	8.4.2 数字控制系统 .....	242
7.6.3 微机控制的平特性逆变弧焊		8.4.3 控制系统软件结构 .....	247
电源 .....	202	复习思考题 .....	250
7.7 软开关 IGBT 逆变式弧焊电源简介 ...	205	<b>第 9 章 弧焊电源的选择与使用</b> .....	251
7.7.1 主电路 .....	206	9.1 弧焊电源的选择 .....	251
7.7.2 控制电路 .....	208	9.1.1 根据焊接工艺方法选择电源 ...	251
7.8 逆变式交流方波弧焊电源简介 .....	210	9.1.2 弧焊电源种类的选择 .....	253
复习思考题 .....	212	9.1.3 弧焊电源功率的选择 .....	254
<b>第 8 章 数字化弧焊电源</b> .....	213	9.1.4 根据工作条件和节能要求选择	
8.1 数字化弧焊电源的概念和特点 .....	213	弧焊电源 .....	254
8.1.1 数字化弧焊电源的概念 .....	213	9.2 弧焊电源的安装和使用 .....	255
8.1.2 数字化弧焊电源的基本结构 ...	213	9.2.1 弧焊电源的安装 .....	255
8.1.3 数字化弧焊电源的特点 .....	214	9.2.2 弧焊电源的使用 .....	256
8.2 DSP 控制系统的基本概念 .....	215	9.2.3 弧焊电源的安全使用 .....	257
8.2.1 DSP 的基本结构与特点 .....	215	复习思考题 .....	259
8.2.2 TMS320LF2407A 型 DSP .....	217	<b>参考文献</b> .....	260
8.2.3 DSP 工作原理及最小硬件			

# 第 1 章 绪 论

焊接是现代制造技术中的一种基本加工方法，其广泛应用于矿山、冶金、机械、石油化工、造船、航空、航天、国防工业和海洋工程等领域。目前，工业发达国家钢产量的 50% 左右是以焊接结构形式应用于生产的。

所谓焊接是指通过适当的手段，使两个分离的物体(同种材料或异种材料)产生原子(或分子)间结合而连接成一体的连接方法。在金属连接中，往往采用加热或加压，或两者并用，用或不用填充材料，使分离金属达到原子或分子间的结合，形成永固的连接。

采用不同的手段进行焊接，就形成了不同的焊接方法。电弧焊是采用电极与工件之间的电弧作为热源来加热熔化工件进行焊接的，该方法是目前应用最广泛的焊接方法。电弧焊主要包括焊条电弧焊、埋弧焊、钨极氩弧焊、等离子弧焊和熔化极气体保护焊等。

不同的电弧焊方法需要相应的电弧焊机。例如，焊条电弧焊需要由弧焊电源、焊钳所组成的电弧焊机；自动 CO<sub>2</sub> 焊，则需要由弧焊电源、焊接小车、送丝机构、焊枪、气路和冷却水路系统等组成的电弧焊机。

弧焊电源是指电弧焊机中，供给焊接电弧电能(提供电流和电压)，并具有适宜电弧焊工艺所需电气特性的设备。性能良好、工作稳定的弧焊电源是保证电弧稳定燃烧和焊接过程顺利进行并得到良好焊接接头的必要条件之一。没有先进的弧焊电源，要实现先进的电弧焊工艺是不可能的。只有熟知弧焊电源的基本理论、结构特点和电气特性，才能真正了解和正确使用弧焊电源；只有对弧焊电源及其控制技术进行深入研究，才能创造出新型的弧焊电源。

本课程将系统讲述弧焊电源的基本理论、结构特点和电气特性，而对于电焊机的其它设备，将在有关课程中进行讲述。

本章主要介绍弧焊电源的基本概念、弧焊电源的分类以及各种弧焊电源的主要特点。

## 1.1 弧焊电源的分类

弧焊电源的分类方法很多，不同的分类方法，结果不同，不同的分类方法用途不同。按输出电流的种类分类，可分为直流弧焊电源、交流弧焊电源和脉冲弧焊电源；按电源工作的关键器件分类，可分为交流弧焊变压器、直流弧焊发电机、弧焊整流器和弧焊逆变器等；按弧焊电源的输出特性分类，可分为平特性(恒压特性)电源、缓降特性电源、垂直陡降(恒流)特性电源以及多特性电源等；按弧焊电源用于的弧焊方法分类，又可以分为焊条电弧焊电源、埋弧焊电源、等离子弧焊电源、氩弧焊电源、CO<sub>2</sub> 焊电源等等。

目前应用较多的是在按外特性控制机构分类的基础上，再根据电源电路及主要控制方式进行分类。图 1-1 表示了该种弧焊电源分类的结果。

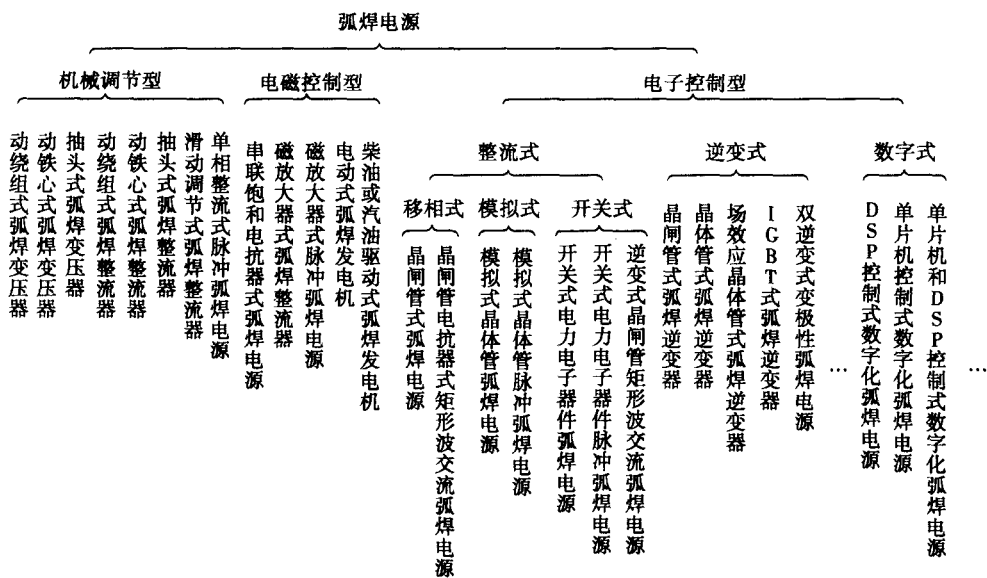


图 1-1 弧焊电源的分类

### 1.1.1 机械调节型弧焊电源

该类弧焊电源的特点是借助于机械装置实施弧焊电源外特性的调节，例如，移动弧焊变压器的动铁心、动绕组或改变绕组匝数(抽头)等。根据机械装置的不同结构形式可细分为动绕组式弧焊变压器、动铁心式弧焊变压器、抽头式弧焊变压器、动绕组式弧焊整流器、动铁心式弧焊整流器、抽头式弧焊整流器、滑动调节式弧焊整流器、单相整流式脉冲弧焊电源等。

### 1.1.2 电磁控制型弧焊电源

该类弧焊电源的特点是通过调节励磁电流来改变电抗器或直流发电机铁心的磁饱和程度，从而控制弧焊电源的外特性。电磁控制型弧焊电源根据电磁器件不同又可分为串联饱和电抗器式弧焊变压器、磁放大器式弧焊整流器、磁放大器式脉冲弧焊电源、弧焊发电机(包括电动式弧焊发电机和柴油或汽油驱动式弧焊发电机)等。

由于该类弧焊电源中，大多数属于耗材、耗能产品，除柴油或汽油驱动式弧焊发电机，在一些特定场合还有应用以外，基本属于淘汰产品。

### 1.1.3 电子控制型弧焊电源

电子控制型弧焊电源又称为电子弧焊电源，其特点是借助电子线路来实现弧焊电源外特性、动特性的控制，还可以通过电子线路对焊接电流波形等进行控制。

根据弧焊电源主电路形式的不同可以分为整流式和逆变式。由于数字化技术的飞速发展，数字化弧焊电源代表了今后弧焊电源的发展方向。数字控制目前主要用于逆变弧焊电源，但是在其它整流电源中也可以采用数字控制。由于数字控制的特殊性、先进性，因此本书又将电子控制型弧焊电源细分为整流式、逆变式和数字式三种。



### 1. 整流式弧焊电源

整流式弧焊电源首先通过降压变压器降压, 然后利用大功率半导体器件组进行整流。根据控制电源电气特性的功率半导体器件及其工作方式的不同, 又可以细分为移相式、模拟式和开关式三种弧焊电源。

1) 移相式弧焊电源采用大功率晶闸管器件作为整流器件, 采用晶闸管的移相控制。此类弧焊电源包括晶闸管式弧焊整流器(包括晶闸管式脉冲弧焊电源)、晶闸管电抗器式矩形波交流弧焊电源等。

2) 模拟式弧焊电源采用功率晶体管作为电源输出电流或电压的调节器件, 晶体管工作在模拟状态。此类弧焊电源主要包括模拟式晶体管弧焊整流器、模拟式晶体管脉冲弧焊电源。

3) 开关式弧焊电源中, 作为电源输出电流或电压调节器件的功率半导体器件工作在开关状态。此类弧焊电源包括开关式电力电子器件弧焊电源、开关式电力电子器件脉冲弧焊电源、逆变式晶闸管矩形波交流弧焊电源。

在开关式电力电子器件弧焊电源中, 根据采用的电力电子器件不同, 又可以将其分为开关式晶体管弧焊电源、开关式场效应晶体管弧焊电源等。同理, 有开关式晶体管脉冲弧焊电源、开关式场效应晶体管脉冲弧焊电源等。

### 2. 逆变式弧焊电源

采用了逆变技术的弧焊电源称为逆变式弧焊电源。根据逆变器中采用的功率开关半导体器件不同, 又可细分为晶闸管式逆变弧焊电源、晶体管式逆变弧焊电源、场效应晶体管式逆变弧焊电源、IGBT式逆变弧焊电源。另外, 还包括采用双逆变技术的交流逆变弧焊电源、变极性弧焊电源。

随着新型功率开关半导体器件的发展及其在逆变弧焊电源中的应用, 各种新型逆变电源也会不断出现。

### 3. 数字式弧焊电源

采用数字化控制的弧焊电源称为数字式弧焊电源。在数字化弧焊电源中, 把电压、电流等模拟变量变成数字变量, 模拟电路控制系统变为数字信号处理系统。根据目前采用的数字处理系统, 可以分为单片机控制式数字化弧焊电源、DSP控制式数字化弧焊电源以及单片机和DSP控制式数字化弧焊电源等。

随着数字化技术的发展, 将会出现各种新的数字化处理器, 相应的新型数字化弧焊电源也将得到发展。

## 1.2 常用弧焊电源的主要特点和应用

### 1.2.1 机械调节型弧焊电源

机械调节型弧焊电源主要有两大类, 即弧焊变压器和弧焊变压器基础上的弧焊整流器。

弧焊变压器把网路电压的交流电变成适宜于电弧焊的低压交流电, 用于交流电弧焊。弧焊变压器由主变压器及所需的调节部分和指示装置等组成。由于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、埋弧焊等焊接方法。

弧焊变压器基础上的弧焊整流器是在弧焊变压器的输出端增加一套二极管整流装置，变交流电为直流电输出，从而可以用于直流电弧焊。但由于电流的脉动较大，电弧稳定性较差，弧焊变压器基础上的弧焊整流器只能用于焊接质量要求不高的结构焊接中，可以用于焊条电弧焊、钨极氩弧焊等。

该类电源最大的特点是电源的主要电气特性，如外特性，是由其结构所决定的。电源输出参数也是靠机械装置进行调节的，如动铁心、动绕组的移动等。该类电源具有结构简单、易造易修、成本低、效率高等优点，但调节不灵活、不精细，电源比较笨重，耗材多。该类焊接电源主要用于一般金属结构的焊接。

### 1.2.2 电磁控制型弧焊电源

电磁控制型弧焊电源输出的是直流电，用于直流电弧焊。该类电源主要包括磁放大式弧焊整流器和直流弧焊发电机。

磁放大器式弧焊整流器主要由普通的降压变压器、磁放大器、硅整流器以及直流输出电抗器组成。该电源的输出电气特性与磁放大器的磁状态密切相关，它是通过对一个较小的直流电流的控制来改变磁放大器中铁心的饱和程度，从而获得所需的电源外特性与输出电参数。此类电源体积大而笨重，耗材多，电磁惯性很大，动态特性差，一般可以用于直流的焊条电弧焊和钨极氩弧焊，当电源为平特性时，可以用于熔化极气体保护焊。该类电源由于耗材耗电，因此属于淘汰产品。

直流弧焊发电机多数由电动机、特殊的直流发电机和获得所需外特性的调节装置等组成。该电源坚固耐用，过载能力强，输出电流稳定，脉动小，可用于各种弧焊方法，但是它的效率低、电能和材料消耗大，噪声大，因此也属于淘汰产品。用柴油机或汽油机代替电动机的直流弧焊发电机可以用于没有电源的野外施工，使其还拥有一定的市场。

### 1.2.3 电子控制型弧焊电源

电子控制型弧焊电源的各种特性，包括外特性和动特性，主要都是借助于电子线路进行控制，这是与机械调节型弧焊电源的根本区别。

由于采用了电子控制电路和电子功率器件，该类电源具有以下特点：

- 1) 可以对外特性进行任意控制，从而满足各种焊接方法、焊接工艺的要求。
- 2) 可以输出直流、脉冲甚至交流电流，可调参数多。
- 3) 具有良好的动态特性，系统控制的响应速度快。
- 4) 可控性好，便于进行编程和计算机控制。
- 5) 电路比较复杂。

根据弧焊电源的电路形式与控制方法的不同，该类电源又可细分为整流式、逆变式和数字式三种。

整流式电子控制型弧焊电源是把交流电经降压整流后获得直流电的。它由主变压器、半导体可控整流器件以及获得所需外特性的调节电路等组成。与电磁控制型弧焊电源比较，它具有制造方便、价格低、耗材少、节约电能、电磁惯性小、电源动态特性好、可控性强、噪声小等优点，可用于各种弧焊方法。

弧焊逆变器把单相(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频



交流电，再经中频变压器降压后输出交流或直流电。它具有高效节能、体积小、重量轻、功率因数高、可控性能好、动态响应快、利于焊接电流波形控制等优点，可用于各种弧焊方法。

数字化弧焊电源是将电子弧焊电源的模拟控制转变为数字控制，因此具有许多特点：

- 1) 柔性化控制和多功能的集成。系统的各种控制是通过软件的方式加以实现(以软代硬)，系统的控制是柔性的，而且通过软件可以实现焊机的多种功能，即多功能集成。
- 2) 控制精度高。数字系统的控制精度与系统的位数有关。同样条件下，系统的位数越高，系统的控制精度越高。
- 3) 稳定性好。数字控制系统受环境温度以及噪声的影响较小，可靠性高。
- 4) 产品的一致性。模拟系统的性能受元器件参数性能变化的影响比较大，而数字系统基本不受影响，因此数字系统便于测试和调试，易于大规模生产。
- 5) 焊机功能升级方便。采用数字控制系统，通过修改软件可使焊机功能得到升级。

### 1.2.4 脉冲弧焊电源

以上各种电源都包含有脉冲弧焊电源。脉冲弧焊电源的特点是电源输出电流是周期性变化的，脉冲频率、脉冲电流等脉冲参数可调。调节脉冲参数可以调节焊接工件的热输入、焊丝的熔滴过渡形式等，有利于对热输入比较敏感的材料、薄板和全位置的焊接。

## 1.3 弧焊电源的发展

弧焊电源的发展与焊接技术、工业技术和科学的进步密切相关。近年来电子技术、信息技术、控制技术、计算机技术的飞速发展极大地促进了弧焊电源的发展。

19世纪初俄国科学家发现了电弧放电现象，但直到19世纪末期才将碳弧用于焊接，开创了电弧焊，从此开始了焊接技术发展的新纪元。1930年前后出现了薄药皮和厚药皮焊条，金属极电弧焊得到了发展，电弧焊真正大量地用于了工业。20世纪40年代焊接技术的发展迈入了一个新时期，首先研究成功了埋弧焊。随着航空、原子能等技术的发展，要求焊接高强度钢和铝、镁及其合金等新型材料，出现了氩弧焊。20世纪50年代又相继出现了CO<sub>2</sub>等各种气体保护电弧焊，紧接着研究成功了高能量密度的等离子弧焊等等。

随着科学技术、焊接技术的发展，弧焊电源也相应得到发展。最初用于电弧焊的弧焊电源是直流弧焊发电机；到20世纪20年代，除直流弧焊发电机外，已开始采用构造简单、成本低廉的交流弧焊变压器；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60年代，大容量硅整流器件、晶闸管的问世，为发展硅弧焊整流器、晶闸管式弧焊整流器等提供了条件；1972年第一台晶闸管逆变弧焊电源在美国研制成功；20世纪90年代初期数字化弧焊电源在欧洲问世。20世纪70年代以来，弧焊电源的发展可以说是日新月异，得到了飞速发展。它表现为如下几方面：

- 1) 多种型式电子弧焊电源的相继出现和完善，已经基本取代了电磁控制型弧焊电源。许多经济发达国家，除在野外作业采用柴(汽)油内燃机驱动的弧焊发电机之外，基本上都选用电子弧焊电源。
- 2) 各种脉冲弧焊电源的应用进一步提高了焊接质量，促进了全位置焊接的自动化。

3) 逆变弧焊电源得到了飞速发展, 逐渐成为主导产品, 经济发达国家的逆变弧焊机产量已达到弧焊机总产量的 30% 以上, 有的已超过 50%。

4) 各种矩形波交流弧焊电源和变极性弧焊电源的出现, 逐步代替了传统的弧焊变压器, 进一步提高了交流电弧的稳定性, 扩大了交流弧焊电源的应用范围。

5) 应用了现代的控制理论和技术, 例如模糊理论控制技术、数字控制技术、变结构控制技术、复合控制技术等等, 实现了任意外特性的控制与切换、动态特性控制、熔滴过渡波形控制、焊接参数程序控制、焊接参数一元化控制、模糊控制、焊接专家系统控制等等。

今后的弧焊电源将向着轻量化、模块化、集成化、柔性化、智能化、网络化等方向发展。

### 复习思考题

1. 什么是弧焊电源? 什么是电弧焊机? 二者的区别是什么?
2. 弧焊电源在焊接过程中的作用是什么?
3. 机械调节型弧焊电源的特点是什么? 其代表性弧焊电源有哪些?
4. 电磁控制型弧焊电源的特点是什么? 其代表性弧焊电源有哪些?
5. 电子控制型弧焊电源的特点是什么? 其代表性弧焊电源有哪些?
6. 比较机械调节型弧焊电源、电磁控制型弧焊电源、电子控制型弧焊电源的特点, 说明弧焊电源的发展。
7. 脉冲弧焊电源的特点是什么?
8. 脉冲弧焊电源中脉冲参数的调节对焊接过程有什么影响?
9. 现代电子控制型弧焊电源中应用了哪些控制技术?
10. 今后弧焊电源的发展趋势是什么?



## 第 2 章 焊接电弧及其电特性

电弧焊(arc welding)是利用电弧作为热源的焊接方法。这一类方法主要包括焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊等。弧焊电源供给焊接电弧能量,焊接电弧是弧焊电源的负载,弧焊电源的特性必须满足电弧负载的要求。要研究弧焊电源的特性,必须首先了解电弧特性。

本章重点介绍焊接电弧的产生、焊接电弧的结构及其电特性。

### 2.1 焊接电弧及其引燃

焊接电弧是在弧焊电源供给一定电压的两电极间或电极与焊接工件间的气体介质中产生强烈而持久的放电现象。图 2-1 为电弧放电示意图。

不论固体、液体还是气体,能否呈现导电性,都取决于在电场作用下是否拥有可自由移动的带电粒子。由于金属本身拥有大量的自由电子,所以在金属导体两端只要加上电压,自由电子便会产生定向运动,形成电流。但是,正常状态下的气体由中性分子或原子组成,不含带电粒子。尽管这些中性粒子可以自由移动,但在电场作用下不会产生定向运动,所以是不导电的。要使正常状态的气体导电,必须要使中性气体产生足够多的带电粒子。

电弧中带电粒子的产生主要依靠两个电极之间气体的电离和电极的电子发射两个物理过程。当中性气体中连续不断地产生足够多的带电粒子,同时在两电极之间有足够高的电压作用,带电粒子便会产生定向运动,形成一定的电流,也就产生了强烈的电弧放电。

#### 2.1.1 气体的电离与电子发射

##### 1. 气体电离

在一定条件下,中性气体分子或原子分离为正离子和电子的现象称为电离。气体分子或原子在常态下是由数量相等的正电荷(原子核)和负电荷(电子)构成的一个稳定系统,对外界呈中性,只有外界对其施加一定的能量作用,才能破坏这个系统的稳定,使气体发生电离。电离是焊接电弧中得到带电粒子的主要来源之一。

在焊接电弧中,气体电离主要有以下几种:

- 1) 热电离:中性气体粒子受热的作用而产生的电离称为热电离。
- 2) 场致电离:中性气体粒子受电场作用而产生的电离称为场致电离。
- 3) 光电离:中性气体粒子吸收了光射线的光子能而产生的电离称为光电离。
- 4) 碰撞电离:在焊接电弧系统中,由于有电场作用,使带电粒子除了做无规则的热运

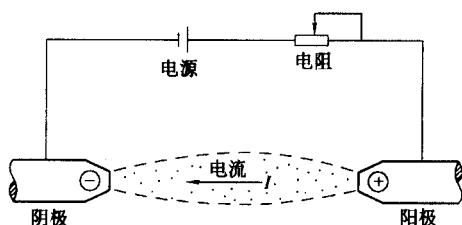


图 2-1 电弧放电示意图