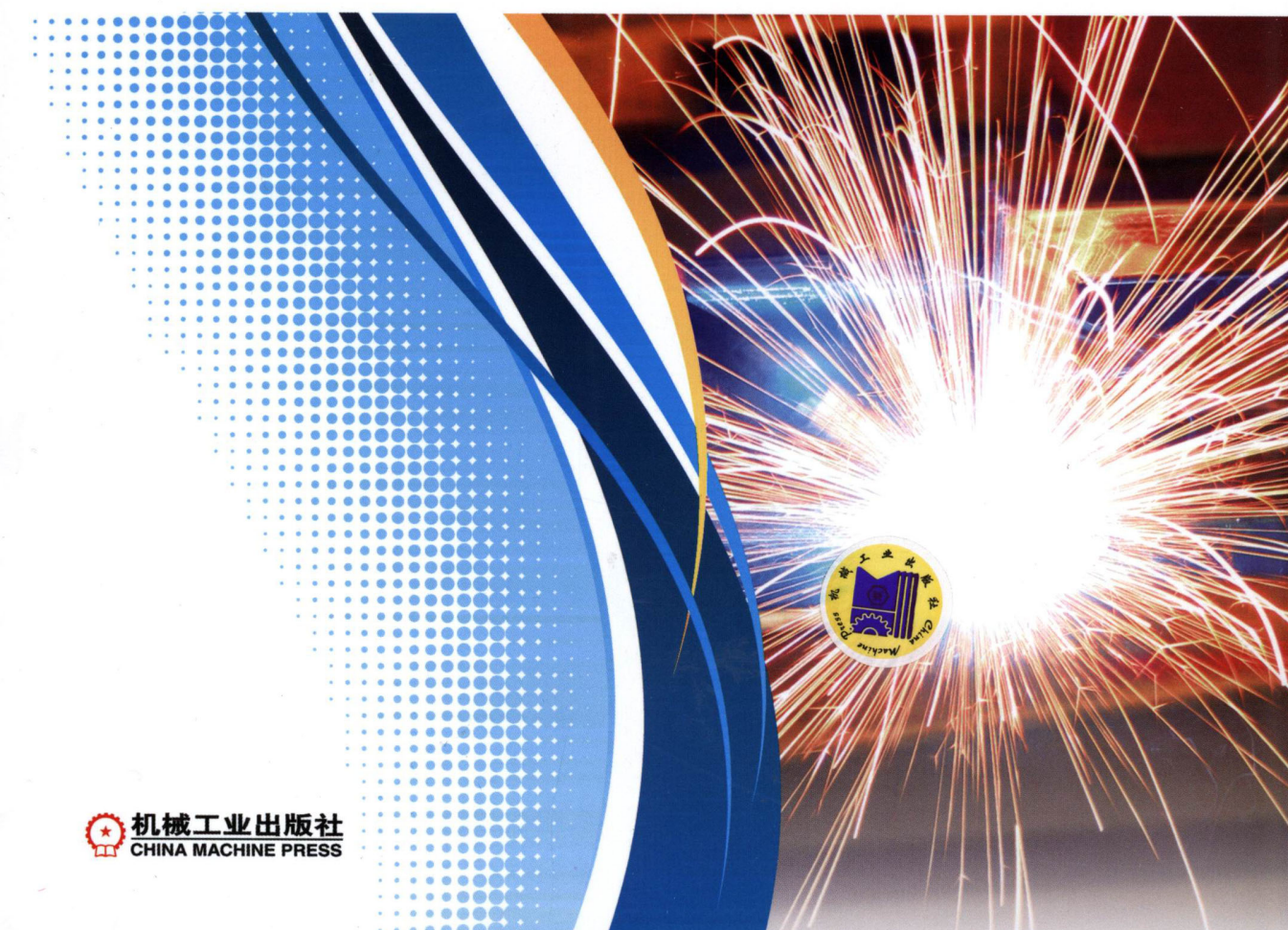
卓越工程师教育 —— 焊接工程师系列教程

现代弧焊电源及其控制

第2版

胡绳荪 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

卓越工程师教育——焊接工程师系列教程

现代弧焊电源及其控制

第 2 版

胡绳荪　主编

机 械 工 业 出 版 社

结合高等学校“卓越工程师教育”以及现代焊接制造业对“焊接”专业、“材料成型及控制工程”专业（焊接方向）毕业生的要求，使毕业生具备现代弧焊电源的基础理论，具备正确选择、应用现代弧焊电源从事焊接制造的能力而编写了本书。

本书系统阐述了焊接电弧的电特性，焊接工艺对弧焊电源的要求，弧焊电源的基本电气特性，电子控制弧焊电源的基础知识，晶闸管整流式弧焊电源，逆变式弧焊电源，数字化弧焊电源的基本原理、结构、性能特点及其应用，讲述了现代弧焊电源控制技术、弧焊电源新的功能以及新的弧焊工艺，介绍了弧焊电源的选择、安装和安全使用等。

全书注重有关弧焊电源基础理论与弧焊电源特点的讲述，注重理论与实践的结合，注重思维与能力的培养，是一本紧跟现代弧焊电源科技发展与工程实际应用的教材。

本书是普通高等教育“焊接”专业、“材料成型及控制工程”专业（焊接方向）主干课程的教材，亦可作为材料加工工程专业硕士研究生相关课程的参考教材，还可以作为焊接工程师的培训教材，同时也可供焊接及相关学科教师及工程技术人员从事教学、科研与技术开发工作的参考。

为方便教学与培训，本书配有电子教案。

图书在版编目（CIP）数据

现代弧焊电源及其控制/胡绳荪主编．—2 版．—北京：机械工业出版社，2015.8

卓越工程师教育．焊接工程师系列教程

ISBN 978-7-111-51182-3

Ⅰ.①现… Ⅱ.①胡… Ⅲ.①电弧焊-电源-教材 Ⅳ.①TG434.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 195544 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：何月秋 高依楠

版式设计：赵颖喆 责任校对：陈 越

封面设计：马精明 责任印制：乔 宇

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm· 15.75 印张·388 千字

0001— 3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-51182-3

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

编 辑 热 线：010-88379879

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网：www.cmpbook.com

机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

金 书 网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

“卓越工程师教育——焊接工程师系列教程”
编委会名单

主　任　胡绳荪

委　员　(按姓氏笔画排序)

王立君　杜则裕
何月秋　杨立军
郑振太　贾安东
韩国明

序

教育部“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020 年）》的重大改革项目，也是促进我国高等工程教育改革和创新，努力建设具有世界先进水平和中国特色的现代高等工程教育体系，走向工程教育强国的重大举措。该计划旨在培养和造就创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为实现中国梦服务。

焊接作为制造领域的重要技术在现代工程中的应用越来越广，质量要求越来越高。为适应时代的发展与工程建设的需要，焊接科学与工程技术人才的培养进入了“卓越工程师教育培养计划”，本套“卓越工程师教育——焊接工程师系列教程”的出版可谓是恰逢其时，一定会赢得众多的读者关注，使社会和企业受益。

“卓越工程师教育——焊接工程师系列教程”内容丰富、知识系统，凝结了作者们多年的焊接教学、科研及工程实践经验，必将在我国焊接卓越工程师人才培养、“焊接工程师”职业资格认证等方面发挥重要作用，进而为我国现代焊接技术的发展做出重大贡献。

单　平

编写说明

随着高等教育改革的发展，2010 年教育部开始实施“卓越工程师教育培养计划”，其目的就是要“面向工业界、面向世界、面向未来”，培养造就创新能力强、适应现代经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势，增强我国的核心竞争力和综合国力。

我国高等院校本科“材料成型及控制工程”专业担负着为国家培养焊接、铸造、压力加工和热处理等领域工程技术人才的重任。结合国家经济建设和工程实际的需求，加强基础理论教学和注重培养解决工程实际问题的能力成为“卓越工程师教育计划”的重点。

在普通高等院校本科“材料成型及控制工程”专业现行的教学计划中，专业课学时占总学时数的比例在 10% 左右，教学内容则要涵盖铸造、焊接、压力加工和热处理等专业知识领域。受专业课教学学时所限，学生在校期间只能是初知焊接基本理论，毕业后为了适应现代企业对焊接工程师的岗位需求，还必须对焊接知识体系进行较系统的岗前自学或岗位培训，再经过焊接工程实践的锻炼与经验积累，才能成为“焊接卓越工程师”。显然，无论是焊接卓越工程师的人才培养，还是焊接工程师的自学与培训都需要有一套实用的焊接专业系列教材。“卓越工程师教育——焊接工程师系列教程”正是为适应高质量焊接工程技术人才的培养和需求而精心策划和编写的。

本系列教程是在机械工业出版社 1993 年出版的“继续工程教育焊接教材”系列与 2007 年出版的“焊接工程师系列教程”的基础上修订、完善与扩充的。新版“卓越工程师教育——焊接工程师系列教程”共 11 册，包括《焊接技术导论》《熔焊原理》《金属材料焊接》《焊接工艺理论与技术》《现代高效焊接技术》《焊接结构理论与制造》《焊接生产实践》《现代弧焊电源及其控制》《弧焊设备及选用》《焊接自动化技术及其应用》《无损检测与焊接质量保证》。

本系列教程的编写基于天津大学焊接专业多年的教学、科研与工程科技实践的积淀。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阐明焊接基础理论与技术，并列举了较多的焊接工程实例。

本系列教程可作为普通高等院校“材料成型及控制工程”专业（焊接方向）本科生和研究生的参考教材；适用于企业焊接工程师的岗前自学与岗位培训；可作为注册焊接工程师认证考试的培训教材或参考书；还可供从事焊接技术工作的工程技术人员参考。

衷心希望本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。若发现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。

编委会

前　言

《现代弧焊电源及其控制》是普通高等教育“焊接”专业、“材料成型及控制工程”专业（焊接方向）的主要课程之一。随着电子技术、控制技术、计算机技术的发展，新型弧焊电源及控制技术也得到了迅速的发展。作者结合高等学校“卓越工程师教育”以及现代焊接制造业对“焊接”专业、“材料成型及控制工程”专业毕业生的要求，以使毕业生具备现代弧焊电源的基础理论，具备正确选择、应用现代弧焊电源从事焊接制造的能力为目的编写了本教材。

本书对传统的“弧焊电源”教材知识体系进行了大胆的改革，将原有教材中已经被淘汰了的弧焊电源内容进行了删除，重点介绍了电子控制型弧焊电源。讲述的重点在原有焊条电弧焊电源的基础上进行了扩展。

本书介绍了有关焊接电弧的电特性、弧焊工艺对弧焊电源的要求、弧焊电源的基本特性。然后介绍了电子控制型弧焊电源的基本理论和基础知识，其中第 3 章介绍了现代弧焊电源中的常用功率器件，第 4 章介绍了电子控制型弧焊电源控制基础。弧焊变压器作为一种特殊变压器在第 3 章进行了介绍。第 5 章、第 6 章、第 7 章分别介绍了晶闸管整流式弧焊电源、逆变式弧焊电源以及数字化弧焊电源的基本原理、结构、性能特点及其应用。第 8 章专门介绍了现代弧焊电源控制技术、弧焊电源新的功能以及相应的弧焊新工艺。最后在第 9 章介绍了弧焊电源的选择、安装和使用等知识。

本书共分 9 章，其中，第 6 章由天津大学杨立军、胡绳荪编写；其余各章均由天津大学胡绳荪编写。

本书可作为“焊接”、“材料成型及控制工程”（焊接方向）等专业的本科教材，也可以作为“材料加工工程”专业硕士研究生相关课程的参考教材，还可作为焊接工程师的培训教材，同时还可供焊接及相关学科教师及工程技术人员参考。

为方便教学和培训，本书配有电子教案。

由于编者水平有限，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　弧焊电源的概述 …… 1
1.2　弧焊电源的分类、特点与应用 …… 2
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 …… 3
1.2.3　电子控制式弧焊电源 …… 3
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 …… 7
第 2 章　弧焊电源的基本电气特性 …… 8
2.1　焊接电弧 …… 8
2.1.1　焊接电弧的物理本质 …… 8
2.1.2　焊接电弧的结构 …… 12
2.1.3　常见的电弧焊接方法 …… 13
2.1.4　焊接电弧的电特性 …… 17
2.1.5　焊接电弧的负载特点 …… 22
2.2　弧焊电源的基本要求 …… 26
2.3　弧焊电源的外特性 …… 27
2.3.1　电源外特性的基本概念 …… 27
2.3.2　“电源-电弧”系统的稳定性 …… 29
2.3.3　电源外特性曲线的选择 …… 30
2.4　弧焊电源的调节特性 …… 37
2.4.1　弧焊电源调节特性的概念 …… 37
2.4.2　弧焊电源的输出参数及调节范围 …… 37
2.4.3　弧焊电源的负载持续率与额定值 …… 39
2.5　弧焊电源的动特性 …… 40
2.5.1　弧焊电源动特性的概念 …… 40
2.5.2　电弧动态变化的特点及其对弧焊电源动特性的要求 …… 40
2.5.3　弧焊电源动特性标准和评价方法 …… 43
复习思考题 …… 44
第 3 章　现代弧焊电源中的功率器件 …… 46
3.1　变压器基础知识 …… 46
3.1.1　电与磁的常用量与基本定律 …… 46
3.1.2　磁路及其计算 …… 48
3.1.3　铁心磁性材料的磁性能 …… 49
3.1.4　弧焊电源中的常用磁性材料 …… 51
3.2　变压器的结构与基本原理 …… 53
3.2.1　变压器的基本结构与基本参数 …… 53
3.2.2　变压器的工作原理 …… 55
3.2.3　弧焊变压器 …… 61
3.3　半导体功率器件 …… 69
3.3.1　晶闸管 …… 69
3.3.2　功率晶体管 …… 72
3.3.3　场效应晶体管 …… 74
3.3.4　绝缘栅双极型晶体管 …… 77
复习思考题 …… 79
第 4 章　电子控制型弧焊电源基础 …… 80
4.1　电子控制型弧焊电源的基本工作原理 …… 80
4.2　常用控制策略及控制单元电路 …… 82
4.2.1　PID 控制原理 …… 82
4.2.2　PID 控制典型电路 …… 83
4.2.3　智能控制 …… 86
4.3　电子控制型弧焊电源外特性的控制 …… 86

4.3.1 外特性控制的基本原理 …… 86
4.3.2 弧焊电源外特性控制的应用 …… 90
4.3.3 电流、电压信号的检测 …… 94
4.4 电子控制型弧焊电源调节特性的控制 …… 98
4.4.1 电子控制型弧焊电源中的稳压电源 …… 98
4.4.2 脉冲弧焊电源的矩形波脉冲发生器 …… 100
4.5 电子控制型弧焊电源动特性的控制 …… 102
4.5.1 电子电抗器控制 …… 102
4.5.2 波形控制原理 …… 103
复习思考题 …… 104
第5章 晶闸管整流式弧焊电源 …… 105
5.1 概述 …… 105
5.2 三相可控整流电路 …… 106
5.2.1 三相半控桥式整流电路 …… 107
5.2.2 三相全控桥式整流电路 …… 110
5.2.3 六相半波可控整流电路 …… 113
5.2.4 带平衡电抗器双反星形可控整流电路 …… 115
5.3 晶闸管移相触发电路 …… 120
5.3.1 对触发电路的要求 …… 121
5.3.2 晶闸管触发脉冲移相控制电路 … 123
5.4 ZX5 系列晶闸管整流式弧焊电源 …… 128
5.4.1 概述 …… 128
5.4.2 主电路 …… 129
5.4.3 晶闸管触发脉冲移相控制电路 … 129
5.4.4 信号控制电路 …… 133
5.4.5 稳压电源电路 …… 136
复习思考题 …… 136
第6章 逆变式弧焊电源 …… 137
6.1 概述 …… 137
6.1.1 逆变式弧焊电源的基本结构与分类 …… 137
6.1.2 逆变式弧焊电源的逆变形式 …… 138
6.1.3 逆变式弧焊电源的分类 …… 138
6.1.4 逆变式弧焊电源的特点 …… 139
6.2 逆变电路 …… 141
6.2.1 逆变电路的基本形式 …… 141
6.2.2 常用逆变电路的特点及应用 …… 145
6.2.3 逆变弧焊电源变压器 …… 147
6.3 输入输出电路 …… 148
6.3.1 输入整流滤波电路 …… 148
6.3.2 输出整流滤波电路 …… 149
6.4 时间比率控制及驱动电路 …… 150
6.4.1 时间比率控制 …… 150
6.4.2 PWM 控制器 …… 152
6.4.3 驱动电路 …… 158
6.5 逆变式弧焊电源的特性控制 …… 160
6.5.1 电源的自然输出特性 …… 160
6.5.2 外特性控制 …… 160
6.5.3 调节特性控制 …… 163
6.5.4 动特性控制 …… 164
6.6 IGBT 逆变式弧焊电源实例 …… 166
6.6.1 下降特性的逆变式弧焊电源 …… 166
6.6.2 林肯 V300-I 逆变焊机 …… 168
6.7 软开关 IGBT 逆变式弧焊电源（简介） …… 175
复习思考题 …… 178
第7章 数字化弧焊电源 …… 179
7.1 数字化弧焊电源的概念和特点 …… 179
7.1.1 数字化弧焊电源的概念 …… 179
7.1.2 数字化弧焊电源的基本结构 …… 180
7.1.3 数字化弧焊电源的特点 …… 180
7.2 DSP 控制系统 …… 181
7.2.1 DSP 的基础知识 …… 181
7.2.2 DSP 工作原理及最小硬件系统 … 183
7.3 数字化弧焊电源的基本结构 …… 187
7.3.1 电源系统的总体结构 …… 187
7.3.2 数字控制系统的基本结构与功能 …… 188
7.4 弧焊电源的数字控制 …… 191
7.4.1 PWM 信号的数字控制 …… 191
7.4.2 电源特性的数字控制 …… 195
7.4.3 人机交互系统 …… 197
7.4.4 通信功能 …… 200

7.5　福尼斯 TPS5000 全数字化气体保护焊机 …… 204
7.5.1　逆变焊机结构 …… 204
7.5.2　主电路工作原理 …… 205
7.5.3　焊机的人机交互 …… 205
7.5.4　焊机控制电路功能 …… 206
复习思考题 …… 207
第 8 章　现代弧焊电源控制技术的应用 …… 209
8.1　引弧与熄弧控制 …… 209
8.1.1　引弧控制 …… 209
8.1.2　熄弧控制 …… 212
8.2　弧长控制 …… 212
8.3　双脉冲焊接的数字控制 …… 214
8.3.1　双脉冲 TIG 焊 …… 214
8.3.2　双脉冲 MIG 焊 …… 215
8.4　交流脉冲及变极性弧焊电源控制 …… 216
8.4.1　方波交流 TIG 焊电源 …… 216
8.4.2　混合 TIG 焊电源 …… 217
8.4.3　变极性 TIG/PLASMA 弧焊电源 … 218
8.4.4　变极性 PMIG 焊电源 …… 219
8.5　焊接电参数波形的精确控制 …… 219
8.5.1　MTS-CO_2 和 SP-MAG 焊接 …… 219
8.5.2　STT 控制 …… 221
8.5.3　冷金属过渡焊接控制 …… 221
8.6　双丝 MIG 焊协同控制 …… 223
8.7　网络监测与控制 …… 224
8.7.1　数字化焊机的通信接口 …… 224
8.7.2　数字化焊机网络监控 …… 224
8.7.3　网络监控的关键技术 …… 225
8.7.4　焊机监控软件 …… 225
复习思考题 …… 226
第 9 章　弧焊电源的选择与使用 …… 227
9.1　电焊机的相关标准与主要参数 …… 227
9.1.1　电焊机的相关标准 …… 227
9.1.2　电焊机的产品型号 …… 228
9.1.3　电焊机的主要技术参数 …… 230
9.2　弧焊电源的选择 …… 231
9.2.1　弧焊电源电流种类的选择 …… 231
9.2.2　弧焊电源特性的选择 …… 231
9.2.3　弧焊电源功率的选择 …… 235
9.2.4　根据工作条件和节能要求选择弧焊电源 …… 235
9.3　弧焊电源的安装和使用 …… 236
9.3.1　弧焊电源的安装 …… 236
9.3.2　弧焊电源的使用 …… 238
9.3.3　弧焊电源的安全使用 …… 239
复习思考题 …… 240
参考文献 …… 241

第1章 绪　论

焊接是指通过适当的手段，使分离的物体（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，并且用或不用填充材料，使分离金属达到原子或分子间的结合，形成永固的连接。

焊接是现代制造技术中的一种基本加工方法，广泛应用于造船、机械、冶金、石油化工、海洋工程、航空、航天以及国防工业等领域。从排水量数万吨的海上航空母舰到不足1g的微电子器件，在制造过程中都需要焊接加工。焊接已经渗透到制造业的各个领域，直接影响着产品的质量、可靠性和寿命，以及生产的成本、效率和市场反应速度。

我国采用焊接制造的钢材总量早已突破了1亿t，是世界上最大的焊接制造国。由于焊接制造技术在国民经济建设中发挥着不可替代的作用，因此发展我国制造业，尤其是装备制造业，必须高度重视焊接制造技术的同步提高，而焊接制造技术的提高与焊接电源的发展是密切相关的。

1.1　弧焊电源的概述

现在有很多焊接工艺方法，电弧焊（arc welding）是应用最广泛的焊接方法之一。它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。基本的电弧焊方法包括焊条电弧焊（SMAW）、埋弧焊（SAW）、钨极氩弧焊（TIG或GTAW焊接）、等离子弧焊（PAW）和熔化极气体保护电弧焊（MIG或者GMAW焊接、MAG焊接）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，需要由焊条电弧焊电源和焊钳组成的电弧焊机；熔化极气体保护电弧焊需要由熔化极气体保护电弧焊电源、焊接小车（自动焊用）、送丝机构、焊枪、气路和冷却水路系统等组成的电弧焊机。

弧焊电源是电弧焊机中的核心部分，它不仅要提供焊接电弧燃烧所需要的能量（提供电流和电压），保证焊接电弧的稳定燃烧，同时，在一定条件下，还要保证电弧焊接过程的稳定。

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获得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，才能真正地了解和正确地使用弧焊电源；只有对弧焊电源及其控制技术进行深入研究，才能研制出新型的弧焊电源，促进新的弧焊工艺技术的发展。

本教材将系统讲述弧焊电源的基本理论、结构特点和电气特性，而对于其他的电焊机设备，将在有关教材中进行讲述。

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。

1.2 弧焊电源的分类、特点与应用

弧焊电源的分类方法很多，不同的分类方法用途不同。按电源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；按电源内部的关键器件分类，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；按不同弧焊方法应用的弧焊电源分类，又可以分为焊条电弧焊电源、埋弧焊电源、氩弧焊电源、CO_2 焊电源、等离子弧焊电源等。

目前应用较多的是在按电源外特性控制机制分类的基础上，再根据电源电路及主要控制方式进行分类。图 1-1 所示为该种弧焊电源分类的结果。

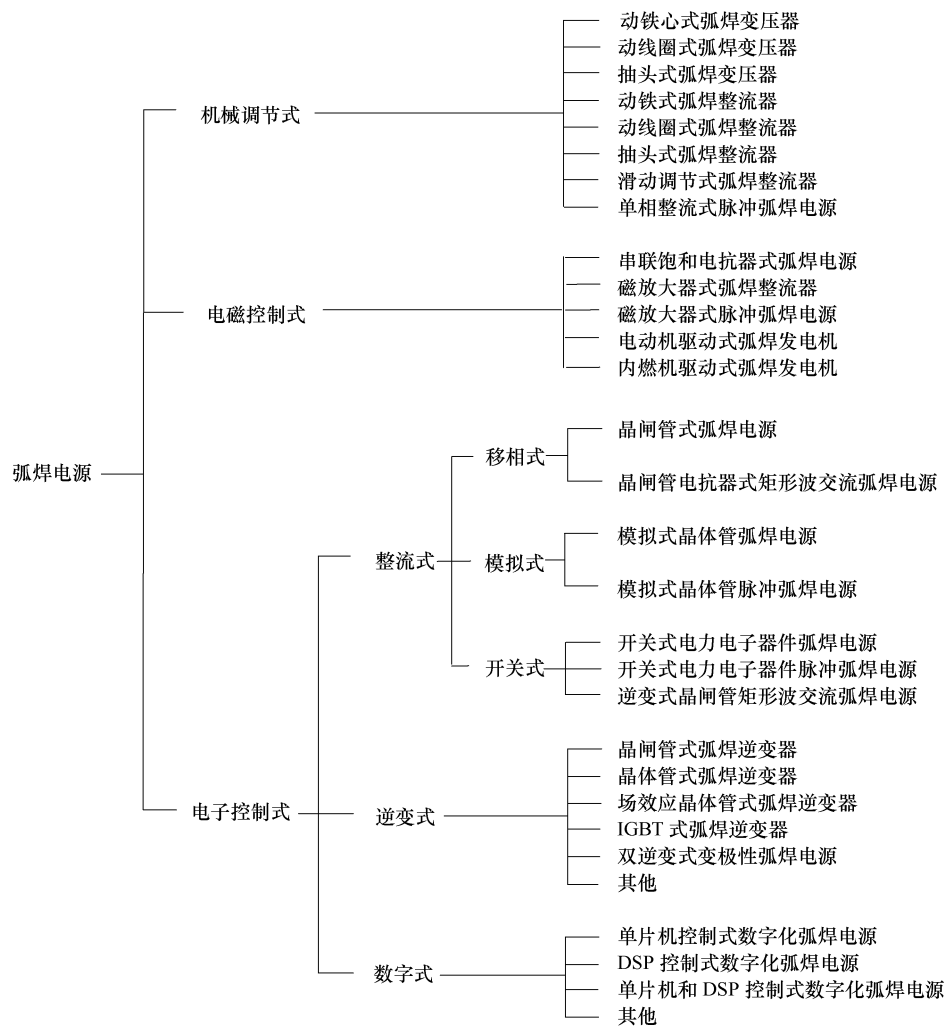


图 1-1 弧焊电源的分类

1.2.1 机械调节型弧焊电源

机械调节型弧焊电源是借助于机械装置实施电源特性调节的弧焊电源。该类弧焊电源的主要电气特性是由电源中电磁部件的机械结构所决定的，其输出的大小也是通过机械装置实施调节的。

目前采用的机械调节型弧焊电源主要是弧焊变压器，以及在弧焊变压器基础上的弧焊整流器。

根据机械装置结构形式的不同，弧焊变压器又分为动铁心式弧焊变压器、动线圈式弧焊变压器和抽头式弧焊变压器。

弧焊变压器将网路电压的交流电变成适宜于电弧焊加工的低压交流电，用于交流电弧焊。

以此为基础的弧焊整流器是在一般弧焊变压器的输出端增加一套二极管整流装置，将弧焊变压器输出的交流电变为直流电，从而可以应用于直流电弧焊。相应的弧焊整流器为动铁心式弧焊整流器、动线圈式弧焊整流器、抽头式弧焊整流器等。

该类弧焊电源具有结构简单、易造易修、成本低、适应性强等优点。但是该类弧焊电源的输出参数调节不灵活、不精细，焊接电流脉动较大，电弧稳定性较差，功率因数低，一般用于焊接质量要求不高的金属结构焊条电弧焊、埋弧焊以及钨极氩弧焊等弧焊方法。

1.2.2 电磁控制型弧焊电源

电磁控制型弧焊电源一般是通过调节弧焊电源内部电磁器件的电磁状态来调节电源的输出特性。例如，通过调节激励电流来改变饱和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输出特性。该类弧焊电源一般输出的是直流电，因此主要用于直流电弧焊。

一般的电磁控制型弧焊电源主要指磁放大器式弧焊整流器和直流弧焊发电机。

1）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。电源的输出电气特性与磁放大器的磁状态密切相关，它通过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。该类电源体积大而笨重，耗材多，电磁惯性较大，电源动特性差，一般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。

2）直流弧焊发电机多数由电动机和特殊的直流发电机以及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、制造复杂、空载损耗大。

由于电磁控制型弧焊电源是耗材、耗能产品，因此属于淘汰产品。只有采用柴油机或汽油机代替电动机的直流弧焊发电机在野外施工场合还具有一定的应用价值。

1.2.3 电子控制式弧焊电源

电子控制式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各种特性的控制，还可以通过电子线路对焊接电流波形等进行控制。

该类电源具有以下特点：

1）可以对弧焊电源的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。

该类电源大多采用了变流技术，根据采用的关键变流技术可以分为整流式弧焊电源和逆变式弧焊电源。由于数字控制技术的飞速发展，将数字控制技术应用于弧焊电源又产生出数字式弧焊电源。因此，本书将电子控制型弧焊电源分为整流式、逆变式和数字式三种。

1. 整流式弧焊电源

整流式弧焊电源是把交流电经降压整流后获得直流电的。该类弧焊电源有采用可控整流器件的，也有采用一般二极管整流后再利用功率半导体器件调整输出电流或电压的。根据弧焊电源中核心半导体器件的工作原理不同，整流式弧焊电源又可以分为移相式、模拟式和开关式三种电源。

1）移相式弧焊电源采用大功率晶闸管作为整流器件，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）模拟式弧焊电源是在二极管整流的基础上，采用了功率晶体管作为电源输出电流或电压的调节器件，功率晶体管工作在模拟状态，相当于可变电阻。

3）开关式弧焊电源是在二极管整流的基础上，采用了功率晶体管作为电源输出电流或电压的调节器件，功率晶体管工作在开关状态，相当于电子开关。

与电磁控制型弧焊电源比较，整流式电子控制式弧焊电源具有制造方便、耗材少、节约电能、电磁惯性小、电源动特性好、可控性强、噪声小等优点，可作为各种电弧焊的电源。

2. 逆变式弧焊电源

采用了逆变变流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 式逆变弧焊电源等。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。

逆变弧焊电源是把单相（或三相）交流电经整流得到直流电，该直流电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、整流后输出直流电，或者再次逆变后输出交流电进行电弧焊接。逆变弧焊电源具有高效节能、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，可作为各种电弧焊的电源。目前逆变弧焊电源已经在焊接制造中得到了广泛的应用。

3. 数字式弧焊电源

采用数字控制技术的弧焊电源又可以称为数字化弧焊电源。数字控制技术目前主要用于逆变式弧焊电源或者整流式弧焊电源，而更多的是用于逆变式弧焊电源。

在弧焊电源数字控制中，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、单片机和 DSP 控制的数字化弧焊电源、双 DSP 控制的数字化弧焊电源等。

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。

采用数字控制的弧焊电源具有下述特点：

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的（以软件代硬件），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）产品的一致性好。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）弧焊电源的功能升级方便。随着数字控制技术的发展，各种电弧控制技术得到了迅速的发展，例如各种脉冲波形、脉冲波形的组合等，使得各种新的弧焊工艺在工程中应用越来越多。这些新的工艺参数、新的控制功能通过修改软件可使焊机功能得到升级。

6）网络功能越来越强大。随着数字控制技术的发展，数字化弧焊电源的网络功能得到了越来越多的应用：软件升级网络化，弧焊电源监控网络化，故障诊断网络化等。

可见，数字控制弧焊电源性能更高，适用能力更强，可以用于各种电弧焊方法，但是目前高性能数字化焊机价格偏贵，大多高性能控制软件需要额外付费，因此，高性能数字化焊机目前主要用于焊接质量要求较高的工程结构焊接。

1.2.4 脉冲弧焊电源

常用的脉冲弧焊电源以低频或高频脉冲方式输出电流或电压，即输出的焊接电流或电弧电压呈周期性变化。脉冲弧焊具有热输入小、焊接参数调节范围宽、焊接熔滴过渡可控等优点，主要用于气体保护电弧焊、等离子弧焊、埋弧焊等。脉冲电弧焊对于热敏感性大的合金材料、热输入要求严格的结构以及薄板和全位置焊接具有独特的优势。各种脉冲弧焊电源引领着脉冲电弧焊进入了一个新的发展期，其应用越来越广泛。

1.3 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。1885 年俄国人别那尔道斯发明碳极电弧，被认为是电弧作为热源应用的创始人，从此开始了焊接技术发展的新纪元。而电弧真正用于工业则是在 1892 年发明金属极电弧以后，特别是 1930 年前后出现了药皮焊条，金属极电弧焊得到了发展，电弧焊真正应用于工业。

20 世纪 40 年代焊接技术的发展迈入了一个新时期，首先是埋弧焊的问世；随着航空、原子能等技术的发展，为了满足铝、镁及其合金等新材料的焊接，出现了氩弧焊；20 世纪 50 年代又相继出现了 CO_2 等各种气体保护焊，紧接着研究成功了高能量密度的等离子弧焊等。

随着电弧焊接技术的发展，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，由于大容量硅整流器件、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；到了20世纪七八十年代，弧焊电源的发展更是出现了飞跃，多种形式的弧焊整流器相继出现和完善，各种形式的脉冲弧焊电源相继研制成功。

自1972年第一台晶闸管逆变弧焊电源在美国研制成功后，各种高效节能、性能良好的晶闸管式、晶体管式、场效应晶体管式、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）式的弧焊逆变电源相继研究成功，特别是到了20世纪90年代，功率半导体器件取得突破性进展，逆变弧焊电源的工业化进程也随之发生跃变。目前，逆变弧焊电源已经成为主要的弧焊电源产品之一，在美国逆变弧焊电源的产量占弧焊电源总产量的比例已超过30%，而日本已超过50%。

20世纪90年代初期奥地利福尼斯（Fronius）公司的Lahnsteiner. Robert指出，现代气体保护电弧焊（GMAW）电源应满足多方面的不同需求，如适合于短路过渡焊接、脉冲焊接、射流过渡焊接和高熔敷率焊接等；大量焊接参数的设计必须实现Synergic控制（一元化控制），以使焊接电源便于操作；为满足新的质量控制要求，焊接电源必须实时记录焊接参数、识别偏差量。基于上述思想，伴随着新型的功能强大的数字信息处理器DSP的出现，福尼斯公司在1994年推出了第一台数字化焊接电源。随后世界各大电焊机生产企业相继推出了各自的数字化焊接电源产品，由此，弧焊电源开始进入了又一个新的发展时期。

随着数字化弧焊电源的发展，各种新的控制功能、控制技术在弧焊电源中得到了应用，促进了新的弧焊技术的发展和应用，诸如双脉冲MIG/MAG焊接新工艺、双丝脉冲焊接新工艺等，使焊接制造技术向着产品焊接高质量、高精度方向发展，焊接从生产毛坯件加工方法逐渐变为最终产品的制造方法。

弧焊电源从诞生到目前已有100多年的历史，总是随着科技的进步而发展。20世纪70年代以来，弧焊电源的发展可以说是日新月异，其发展可以概括为以下几个方面：

1）多种电子控制式的弧焊电源相继出现和完善，目前已经基本取代了电磁控制式弧焊电源。许多经济发达国家，除在野外作业仍采用柴（汽）油内燃机驱动的弧焊发电机之外，基本上都选用电子控制式弧焊电源。

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）各种高效、节能、轻便、性能良好的逆变弧焊电源已经成为主导产品之一；各种数字控制技术在逆变弧焊电源中的应用越来越普遍。

4）各种矩形波交流弧焊电源和变极性弧焊电源的出现，促进了铝镁合金材料焊接技术的发展，使得铝镁及其合金材料的焊接质量得到了很大的提升。

5）应用了现代的控制理论和技术，例如，模糊控制技术、变结构控制技术、复合控制技术、数字控制技术等，实现了任意外特性的控制与切换、动特性控制、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。

6）弧焊电源的微电子技术、数字技术的发展，使得弧焊电源的功能日益完善，目前的弧焊电源越来越多地采用模块化、集成化、多功能化。

7）微机控制技术、网络技术在弧焊电源中得到了广泛的应用。弧焊电源具有记忆、存储、预置以及焊接过程中焊接参数自动变换等功能，计算机网络技术使弧焊电源可以实现远