



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

焊接电工

◎ 邓开豪 主编



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

焊 接 电 工

主 编 邓开豪
责任主审 崔占全
审 稿 付瑞东 郑世科

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接电工 / 邓开豪主编. — 北京: 化学工业出版社,
2002.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5025-3892-5

I. 焊… II. 邓… III. 焊接-电工-专业学校-教材
IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 038748 号

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

焊 接 · 电 工

主 编 邓开豪

责任主审 崔占全

审 稿 付瑞麟、郑世科

责任编辑: 张建茹

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 302 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3892-5/G·1046

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本书依据国家教育部 2001 年颁发的中等职业教育焊接专业《焊接电工》教学大纲进行编写。

本书在论述直流电路、电磁现象、半导体元件、低压控制电器等电工学基本知识以及焊接电弧基础知识的基础上,介绍了多种焊接设备的基本原理、结构特点、应用和故障排除,以及弧焊电源的选择、安装和使用等实用知识。

本书的特点是:贯彻国家教育部最新教学大纲的精神;按先进的模块结构进行编写;降低理论要求,拓宽知识面,重点加强实践教学;增加新型弧焊电源尤其是国外先进弧焊电源的介绍;以专业需要和社会需要编排内容,不单纯追求本学科的系统性。

本书由广西南宁化工学校邓开豪主编。广西南宁化工学校陶权编写第二、三章;岳阳职业技术学院曹爱国编写第五、七章;四川省泸州化校文申柳编写第六、八章;邓开豪编写第一、四、九、十章并进行全书的统稿工作。湖南省化工学校曹松柏担任主审。

在编写本书时参考了国内一些已出版的优秀教材,受到不少启发,并吸收了其中一些优点,特向这些教材编者致谢。

在编写过程中得到清华大学陈强教授的多次悉心指导,在此表示衷心感谢。

此外,在编写过程中得到广西南宁化工学校吴尚庆老师的大力帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,本书缺点和错误在所难免,欢迎使用本书的师生和读者予以批评指正。

编者

2002 年 5 月

目 录

绪论	1
一、电工学概述	1
二、弧焊电源概述	1
三、弧焊电源分类、特点及应用	1
四、弧焊电源的历史及发展方向	4
五、本课程的性质和教学目标	4
第一章 直流电路	6
第一节 欧姆定律	6
一、直流电路的几个基本物理量	6
二、欧姆定律	8
三、电阻串并联电路	9
四、电路的三种工作状态	11
第二节 焦耳定律	13
一、焦耳定律	13
二、电气设备和元件的额定值	14
第三节 基尔霍夫定律	15
一、基尔霍夫电流定律	15
二、基尔霍夫电压定律	15
三、支路电流法	16
四、节点电压法	17
第四节 仪器仪表认识实验	17
一、实验目的	17
二、实验设备	17
三、实验内容	18
四、注意事项	19
五、实验报告要求	19
第五节 直流电路三种工作状态分析及电源外特性实验	19
一、实验目的	19
二、实验原理	19
三、实验设备	19
四、实验步骤	19
五、注意事项	20
六、实验报告要求	20
第六节 基尔霍夫定律验证实验	20
一、实验目的	20

二、实验原理	20
三、实验设备	20
四、实验步骤	20
五、注意事项	20
六、实验报告要求	21
习题	21
第二章 电磁现象	23
第一节 安培环路定律	23
一、磁路的几个基本物理量	23
二、安培环路定律	25
第二节 磁路欧姆定律	26
一、铁磁材料的磁化	26
二、磁路欧姆定律	27
第三节 电磁感应	28
一、电磁感应	28
二、电磁铁	30
三、自感和互感	31
第四节 正弦交流电	34
一、正弦交流电的三要素	34
二、纯电阻电路	36
三、纯电感电路	38
四、电阻与电感串联电路	40
* 第五节 电工仪表及测量	43
一、电工仪表的分类、组成	43
二、电流和电压的测量	44
三、电阻的测量和单相交流电能的测量	47
四、万用表	49
* 第六节 三相正弦交流电路	52
一、三相对称电动势	52
二、三相电源的连接	53
三、三相对称负载	55
四、三相对称负载的功率	57
第七节 正弦交流电实验	58
一、阻抗的测定实验	58
二、日光灯电路的安装与提高功率因数的实验	59
三、三相负载电路的连接实验	60
习题	61
第三章 半导体元件及其应用	65
第一节 半导体元件	65
一、半导体的基本知识	65

二、半导体二极管	66
三、半导体三极管	67
四、晶闸管	69
五、场效应管和绝缘栅双极型晶体管	71
第二节 整流电路	73
一、桥式整流电路	73
二、滤波及稳压电路	75
第三节 单相桥式整流滤波电路实验	78
一、实验目的	78
二、实验原理	78
三、实验设备	79
四、实验内容及步骤	79
五、注意事项	79
六、实验报告要求	79
习题	79
第四章 低压控制电器	81
第一节 开关及按钮	81
一、刀开关	81
二、组合开关	83
三、其他开关	84
四、按钮	85
第二节 交流接触器	86
一、交流接触器的结构和工作原理	86
二、交流接触器的主要技术参数	87
三、交流接触器的选择	88
第三节 继电器	88
一、中间继电器	88
二、电流继电器	89
三、电压继电器	89
四、时间继电器	90
五、热继电器	91
第四节 典型焊接控制电路	92
一、简单的常用控制电路	92
二、MZ-1000 埋弧焊机控制电路	92
三、微束等离子弧焊控制电路	95
第五节 典型埋弧焊控制电路实验	97
一、实验目的	97
二、实验原理	97
三、实验设备	98
四、实验步骤	98

五、注意事项	98
六、实验报告要求	98
习题	98
第五章 焊接电弧基础知识	99
第一节 焊接电弧物理本质	99
一、焊接电弧的产生条件	99
二、焊接电弧的种类及特点	101
三、焊接电弧的引燃	102
第二节 焊接电弧的结构和特性	102
一、焊接电弧的结构	103
二、焊接电弧的特性	103
第三节 交流电弧	106
一、交流电弧的特点	106
二、交流电弧连续燃烧的条件	107
三、影响交流电弧稳定燃烧的因素和提高电弧稳定性的措施	108
第四节 对弧焊电源的要求	109
一、对弧焊电源外特性的要求	110
二、对弧焊电源调节特性的要求	112
三、对弧焊电源动特性的要求	114
第五节 电弧静特性测试实验	115
一、实验目的	115
二、实验原理	115
三、实验设备	115
四、实验步骤	115
五、注意事项	116
六、实验报告要求	116
第六节 交流电弧波形观察与分析实验	116
一、实验目的	116
二、实验原理	116
三、实验设备	117
四、实验内容及步骤	117
五、实验报告要求	117
第七节 弧焊电源外特性曲线测定实验	117
一、实验目的	117
二、实验原理	118
三、实验设备和器材	118
四、实验内容及步骤	118
五、注意事项	118
六、实验报告要求	118
习题	119

第六章 弧焊变压器	120
第一节 变压器	120
一、变压器的用途和基本结构.....	120
二、变压器的工作原理.....	120
三、特殊变压器.....	122
四、弧焊变压器的分类.....	124
第二节 串联电抗器式弧焊变压器	124
一、分体式弧焊变压器.....	124
二、同体式弧焊变压器.....	126
三、埋弧焊设备.....	128
第三节 增强漏磁式弧焊变压器	129
一、动铁式弧焊变压器.....	129
二、动圈式弧焊变压器.....	131
三、抽头式弧焊变压器.....	133
四、钨极惰性气体保护焊设备.....	133
第四节 弧焊变压器的常见故障与维修	134
一、电焊机故障检修方法.....	134
二、弧焊变压器常见故障及排除.....	135
第五节 单相变压器实验	136
一、实验目的.....	136
二、实验原理.....	136
三、实验仪器及设备.....	136
四、实验内容及步骤.....	136
五、实验报告要求.....	137
第六节 弧焊变压器综合实验	137
一、动铁式弧焊变压器的结构及规范调节.....	137
二、动圈式弧焊变压器的结构及规范调节.....	138
三、弧焊变压器故障检测与排除.....	139
四、实验思考题.....	140
习题	140
第七章 硅弧焊整流器	141
第一节 磁放大器	141
一、硅弧焊整流器的组成及各部分作用.....	141
二、磁放大器的结构和基本工作原理.....	142
三、磁放大器的反馈.....	143
第二节 无反馈磁放大器式弧焊整流器	143
一、结构.....	143
二、工作原理.....	143
三、产品介绍.....	147
第三节 全反馈磁放大器式弧焊整流器	147

一、结构·····	147
二、工作原理·····	147
三、产品介绍·····	149
四、CO ₂ 焊设备·····	150
第四节 部分内反馈磁放大器式弧焊整流器·····	150
一、结构·····	150
二、工作原理·····	151
三、产品介绍·····	153
第五节 其他形式的硅弧焊整流器·····	153
一、动圈式弧焊整流器·····	153
二、抽头式弧焊整流器·····	154
第六节 硅弧焊整流器的常见故障及维修·····	155
一、整机的使用与维护·····	155
二、常见故障及排除·····	155
习题·····	156
第八章 晶闸管弧焊整流器·····	158
第一节 ZDK-500 型弧焊整流器 ·····	158
一、ZDK-500 型弧焊整流器 ·····	158
二、等离子弧焊设备·····	162
第二节 ZX5 系列弧焊整流器·····	163
一、主电路·····	163
二、触发电路·····	164
三、控制电路·····	164
四、晶闸管弧焊整流器的常见故障与维修·····	165
习题·····	166
第九章 新型弧焊电源·····	167
第一节 脉冲弧焊电源·····	167
一、脉冲弧焊电源的特点、分类和获得方法·····	167
二、脉冲弧焊电源的应用·····	169
三、典型脉冲电源简介·····	169
第二节 晶体管弧焊电源·····	170
一、概述·····	170
二、模拟式晶体管弧焊电源·····	170
三、模拟式晶体管脉冲弧焊电源·····	172
四、开关式晶体管脉冲弧焊电源·····	173
五、场效应管式、IGBT 式脉冲弧焊电源 ·····	174
第三节 逆变式焊接电源·····	174
一、逆变式焊接电源的基本原理和组成·····	174
二、逆变式焊接电源的特点·····	175
三、逆变式焊接电源的种类·····	176

四、逆变式焊接电源的发展方向·····	179
第四节 矩形波交流弧焊电源·····	180
一、矩形波交流弧焊电源的特点及应用·····	180
二、矩形波交流弧焊电源的分类及原理·····	180
习题·····	183
第十章 弧焊电源的选择和使用·····	184
第一节 弧焊电源的选择、安装与使用·····	184
一、弧焊电源的选择·····	184
二、弧焊电源的安装·····	186
三、弧焊电源的使用·····	187
第二节 节约用电和安全用电·····	187
一、节约用电·····	187
二、安全用电·····	187
习题·····	188
参考文献·····	189

绪 论

焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种加工方法。据统计，工业发达国家钢产量有 60% 是以焊接结构的形式应用于生产。

焊接方法有电弧焊、电阻焊、高能束焊以及钎焊等。电弧焊是利用电弧作为热源的熔焊方法，它是最常用的一种焊接方法，在焊接生产中所占的比例超过 60%。

弧焊电源是指弧焊机中，供给电弧电能，并具有适宜于电弧焊电气特性的设备。

电工学是研究电磁现象及其基本规律在工程技术领域中应用的一门技术基础学科。

《焊接电工》包括“电工学”和“弧焊电源与设备”两大部分内容。

一、电工学概述

在工业生产中，几乎所有生产机械都是用电动机来拖动的；农业生产中也广泛采用电动机；交通运输中的电力机车、电车等是靠电力来牵引，轮船、飞机和汽车等也都装有许多电气设备。

电工技术在机械制造工艺如电镀、电弧焊、高频淬火、电蚀加工、电解加工等应用很广泛。

在自动控制方面，电工技术的应用日益发展。例如数控机床可把机床的各种动作和加工尺寸用数字的形式表示在纸带上，经过电子控制线路和运算线路的变换，发出相应的指令去控制机床的动作，完成加工任务。

随着生产和科学技术的发展，电子技术得到了高度的发展。

电能之所以获得广泛的应用，主要因为它与其他能源相比具有易于转换、易于输送和分配、易于控制、调整和监测等优点。

生产过程自动化只有在电气化的条件下才有可能实现，所以生产力的高度发展是与电气化分不开的。

二、弧焊电源概述

根据电弧焊工艺特点不同，可将其分为焊条电弧焊（shielded metal arc welding，简称 SMAW 焊）、埋弧焊（submerged arc welding 简称 SAW 焊）、气体保护电弧焊（gas shielded arc welding）和等离子弧焊（plasma arc welding）等。

不同的电弧焊工艺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和焊钳所组成的电弧焊机；气保护焊需要由弧焊电源、控制箱、焊接小车（自动焊用）或送丝机构（手工或自动焊用）、焊枪、气路和水路系统等组成的电弧焊机。埋弧焊需要由弧焊电源、控制箱和焊接小车等组成的埋弧焊机。

由上可知，弧焊电源是电弧焊机中的主要部分，是对焊接电弧提供电能的装置。它必须具备电弧焊所要求的主要电气特性。

性能良好、工作稳定的弧焊电源是电弧稳定燃烧和焊接过程顺利进行的保证。只有了解和掌握弧焊电源的基本理论、结构特点和电气特性，才能真正掌握和正确使用弧焊电源，并较容易地学习和掌握新型弧焊电源。

三、弧焊电源分类、特点及应用

弧焊电源有多种分类方法。习惯上按其输出的焊接电流波形的形状，可分为交流弧焊电

源、直流弧焊电源、脉冲弧焊电源及逆变式焊接电源。每大类弧焊电源再根据关键器件分小类。详见图 0-1 所示。

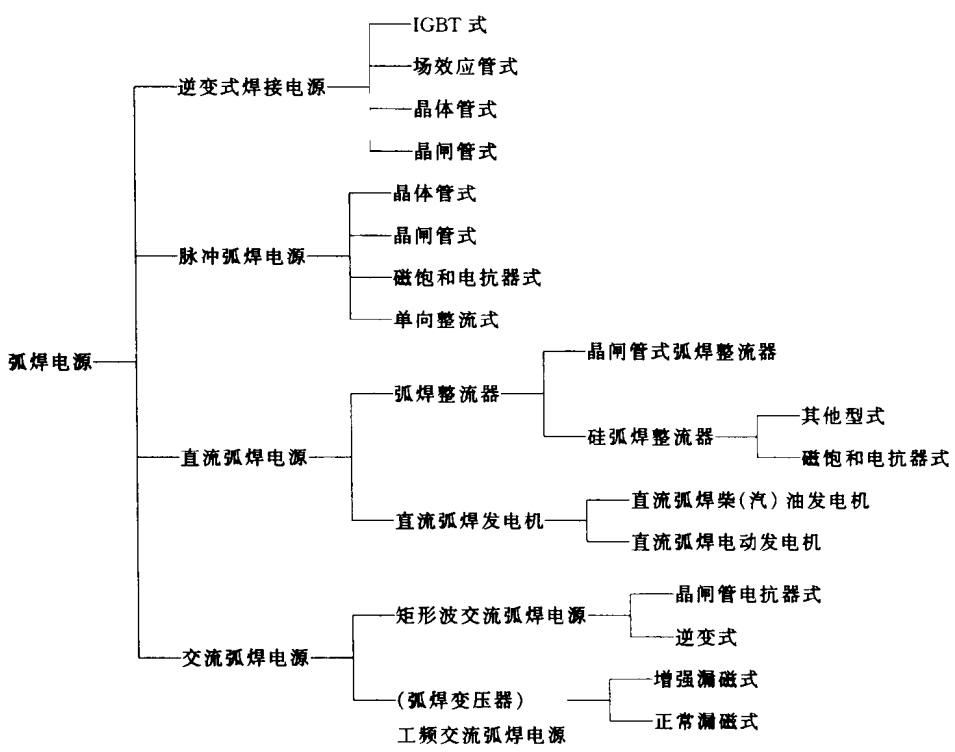


图 0-1 弧焊电源分类

这种分类方法的优点是把弧焊电源按输出电流种类作了划分，选用时较方便，同时按焊接功率调节器件来细分，也便于对其工作原理和结构特点的理解。

另一种新型分类法是按外特性调节控制方式，将弧焊电源分为机械调节式、电磁控制型和电子控制型三大类。然后机械调节型根据机械移动装置的不同结构形式、电磁控制型根据电磁器件不同、电子控制型根据控制信号的不同及外特性控制主要器件不同再进行细分。详见图 0-2 所示。

这种分类法可反映弧焊电源发展过程，即由低级到高级依次为“机械调节→电磁控制→电子控制”，其对应的使用范围也由“粗→中→细”逐步演变。

几种常见的弧焊电源的特点及应用简述如下。

1. 弧焊变压器 (arc welding transformer)

它把电网的交流电变成适宜于电弧焊的低压交流电，由主变压器及所需的调节装置和指示装置等组成。其优点是结构简单、易造易修、成本低、适应性强。但它的电弧稳定性差、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 (tungsten inert-gas arc welding 简称 TIG 焊) 等方法。它属于交流弧焊电源，外特性调节方式则为机械调节式。

2. 直流弧焊发电机 (arc welding generator)

一般由特种直流发电机、调节装置和指示装置等组成。分为直流弧焊电动发电机和直流弧焊柴 (汽) 油发电机两种。可用作各种电弧焊的电源。它有过载能力强、输出脉动小、受电网电压波动影响小的优点，但同时具有制造复杂，噪声及空载损耗大、效率低、价格高等缺点。中国已在 1992 年明文禁止生产直流弧焊电动发电机。

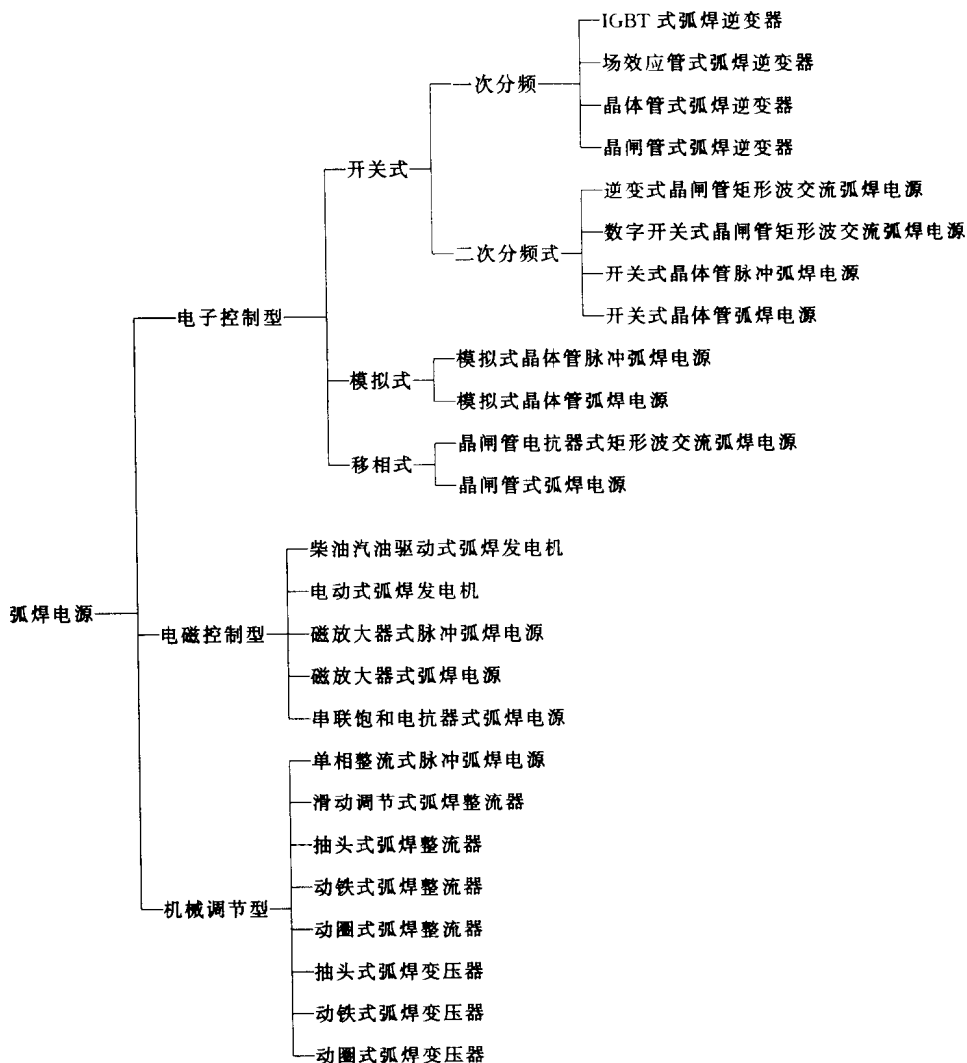


图 0-2 弧焊电源新分类法

3. 弧焊整流器 (arc welding rectifier)

由变压器、整流器、获得所需外特性的调节装置及指示装置等组成。它把电网交流电经降压整流后获得直流电，与直流弧焊发电机相比，具有制造方便、价格低、空载损耗小、噪声小等优点。弧焊整流器可分为硅弧焊整流器 (silicon arc welding rectifier) 和晶闸管弧焊整流器 (SCR arc welding rectifier) 两类。可作为各种电弧焊的电源。

4. 逆变式焊接电源 (inverter welding power source)

逆变式焊接电源又叫弧焊逆变器。它把单相 (或三相) 交流电经整流后，由逆变器转变为几千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、质量轻、体积小、功率因数高等优点。可应用于各种电弧焊或电阻焊。是一种很有发展前途的新型焊接电源。

5. 脉冲弧焊电源 (pulsed arc welding power source)

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。具有效率高、输入线能量小、线能量调节范围宽等优点。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。

6. 矩形波交流弧焊电源

采用半导体控制技术来获得矩形波。矩形波交流电弧稳定性好,可调参数多,功率因数高。除了用于交流钨极氩弧焊来焊接铝及铝合金材料外,还可用于埋弧焊,甚至可代替直流弧焊电源用于碱性焊条电弧焊。

四、弧焊电源的历史及发展方向

电弧是18世纪初被发现的,随着电力工业迅速发展,电能可大量供应且成本较低,用电弧焊接金属材料才成为现实,弧焊电源因此有了很大发展。

20世纪初,除直流弧焊发电机外,交流弧焊变压器出现,40年代出现用硒片制成的弧焊整流器,60年代硅弧焊整流器、晶闸管弧焊整流器相继问世,70年代以来,成功研制了脉冲弧焊电源、矩形波交流弧焊电源等。特别是电子控制型的逆变式焊接电源具有高效、节能、重量轻、体积小、易于控制外特性、动特性好等优点,自20世纪70年代末问世以来已有很大发展。

随着电子和功率器件的发展,电子控制型弧焊电源代表着弧焊电源今后的主要发展方向,它将在以下方面有所发展。

① 用晶闸管弧焊整流器代替电动式弧焊发电机、磁放大器式弧焊整流器,也可部分代替动铁式、动圈式弧焊整流器。随着逆变式焊接电源的发展和完善,晶闸管弧焊整流器也有被淘汰的趋势。

② 加速对高效节能、轻量化及控制调节性能好的逆变式焊接电源的研制并扩大生产规模。

③ 发展矩形波交流弧焊电源,以代替正弦波弧焊变压器,解决铝、镁及其合金的焊接工艺需要,并可部分代替直流弧焊电源的使用。

④ 进一步发展精密控制的晶体管式、场效应管式、绝缘栅双极型晶体管式(IGBT)弧焊电源,并配以微机控制,并采用模糊、人工神经网络等控制技术,使其智能化以适应弧焊机器人、全位置自动化焊接和高质量、高精度焊接技术的需要。

⑤ 改革电子控制型弧焊电源的制造工艺,逐步采用模块化的组装结构以提高它的工作可靠性、稳定性,减少维修工作量。

五、本课程的性质和教学目标

本课程是中等职业学校焊接专业的一门专业主干课程。它的任务是使学生具备电工、弧焊电源与设备的基础知识和基本技能,为今后从事焊接专业工作打下基础。

本课程分为“电工学”、“弧焊电源与设备”两部分内容。前者包括电路、磁路的基本知识、常用电子元件的基本性能、常用低压电器元件的基础知识,是重要的技术基础部分。后者包括弧焊变压器、弧焊整流器及典型电源、新型电源与设备的特性、基本结构、型号及其在焊接中的应用,是理论性和实践性较强的专业课程部分。

本课程的知识教学目标是

- ① 理解电路和磁路的基本概念和基本分析方法。
- ② 理解半导体元件和低压控制电器的结构、特性及应用。
- ③ 掌握焊接电源的基本特性。
- ④ 掌握焊接设备的组成及各部分的作用。

能力培养目标是

- ① 能熟练使用常用的电器仪表。
- ② 能阅读和分析简单的电路原理图及设备的方框图。
- ③ 具有初步选择焊接电源及配套设备的能力。
- ④ 具有对焊接电源工艺参数调节的能力。
- ⑤ 初步具备对焊接设备安装、调试和维护的能力。