

华南理工大学科学丛书

现代焊接 电源及设备

黄石生 著

华南理工大学出版社

华南理工大学科学丛书

现代焊接电源及设备

华南理工大学出版社

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代焊接电源及设备/黄石生著—广州：华南理工大学出版社，1994. 8

ISBN 7-5623-0579-X

I. 现…

II. 黄…

III. 焊接—电源—设备

IV. TG4

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510641)

责任编辑 赖淑华

责任校对 叶锐燕

各地新华书店经销

华南理工大学出版社电脑室排版

封开县人民印刷厂印装

开本：850×1168 1/32 印张：13.5 字数：346 千

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

印数：0001—2000

定价：(精) 21.00 元
(半精) 13.50 元



黄石生，1964年本科毕业于原华南工学院焊接专业，现任华南理工大学教授，博士导师，副校长，兼任全国焊接学会理事、机械工程学报编委。1982年在国外首先发明具有更新换代意义的场效应管式弧焊逆变器，主持和主要参加研制了IGBT式弧焊逆变器等多种品种规格的新型弧焊电源、八种机器人焊接系统等。撰写和出版《弧焊电源》、《电子弧焊电源》、《钢的热切割》等著作六种。在国内外重要刊物发表论文六十多篇。先后荣获国家发明奖、省科技进步奖、国家级优秀教学成果奖、全国优秀教材等奖励和五项专利权。1991年开始享受政府特殊津贴。

内 容 提 要

本书以高效节能省料的新一代弧焊电源——场效应管式和IGBT式弧焊逆变器、机器人点、弧焊电源设备系统和焊接过程的智能控制等基础和应用基础及技术开发成果为核心内容,对场效应管式、IGBT式弧焊逆变器,晶闸管式、晶体管式、场效应管式等直流、矩形波交流、脉冲式弧焊电源等电子控制的弧焊电源及其微机控制技术,晶闸管式、逆变式机器人点、弧焊电源、设备系统(一体式和分离式)及其微机控制技术以及焊接过程中对弧焊电源、设备系统、动特性、焊接参数、程序、故障诊断等的智能控制和相关的神经网络技术与视觉传感技术,作了比较系统的介绍,其中包括工作原理、结构特点、性能、关键技术,设计基本原则、应用等方面的内容,还对现代焊接电源及设备的发展现状与趋向作了综述与展望。

前 言

焊接技术是机加工的主要方式之一，世界钢产一半以上用焊接工艺把它制作成钢制品。

焊接工艺是依靠焊接电源设备来实现的。由于科学技术、电子微电子技术、大功率电子器件的不断发展，焊接电源从机械、电磁控制进入到今天的电子控制时代。而逆变技术的应用，使焊接电源由过去的能耗材料大、笨重代之以高效节能、省料轻巧、便于控制、性能好的新一代电源。机械加工技术的进步和机电一体化的结合，焊接机器人的出现，又使原来的自动焊接技术进入柔性操作和控制的新阶段。模糊控制、神经网络、智能传感器和专家系统又使焊接过程的自动化向高级智能控制水平发展。如此等等，都是高性能焊接电源及设备现代化的表征。作者近十多年来在这些方面做了一定的工作。

作者于1980年至1982年以访问学者的身份在原联邦德国从事现代焊接电源及设备的研究工作，并有机会接触世界最新最先进的高科技领域。回国以来主持和承担了国家自然科学基金、高技术项目和国家“七·五”、“八·五”科技攻关重点项目共15项，经国家验收和专家鉴定，已取得13项达到国际和国内先进水平的高科技成果，被列入国家“八·五”、“火炬”和重点推广的新产品计划，两个被批准为国家级新产品。其中有：在国内外首创的高效节能省料的场效应管式弧焊逆变器系列成果；与合作者一起，研制出配套基本齐全的8种机器人点焊、弧焊系统及智能控制技术，神经网络技术、传感技术。

上述的科技成果已成功地在全国 10 个省市投产和推广应用。先后荣获国家发明三等奖、广东省科技进步二、三等奖、自然科学奖等 10 项，国家专利权 5 项，在国内外重要刊物和学术会议发表科研论文 60 多篇（其中 5 篇被国际索引“EI”和“MA”收录）。作者从中挑选出 35 篇能反映现代焊接电源及设备的种类、典型和最新的先进科技成果的论文，并加以系统化和归类。有少数论文是其他作者署名在首、本书作者作为项目主持人和论文的第二作者署名的，为了本书的系统性和全面性，也被收入本专著中。

本书介绍的现代焊接电源及设备，主要包括具有更新换代的多种类型的场效应管式、IGBT 式弧焊逆变器及其他电子控制的弧焊电源、8 种机器人点、弧焊系统、焊接过程的智能控制技术（含视觉传感和神经网络技术）与设备，并对国内外现代焊接电源及设备发展的现状和发展趋向作了综述和展望。

本书可以作为博士、硕士生及本科生的教学参考书以及高校、专科学校、研究所及工厂焊接工程技术人员的科技参考书。

作者在完成这些论文和科技工作中得到伍月华教授、李发兴、侯迈、李志明、宋永伦副教授，王志强、李绍斌、高能先、陆沛涛、李阳等老师以及博士、硕士生等的大力支持和真诚合作，在此谨致以衷心的感谢。本书的出版还要感谢华南理工大学的领导、本丛书编委会、责任编辑赖淑华等和出版社其他工作人员的鼎力支持和辛勤劳动。

书中可能由于作者水平和能力有限而出现不足之处，甚至错误，敬请读者给予批评指正。

黄石生

1993 年 7 月 10 日

目 录

第一部分 弧焊电源的分类方法

弧焊电源分类方法的探讨.....	3
------------------	---

第二部分 电子控制的弧焊电源

电子控制的弧焊电源概述	15
弧焊逆变器	22
矩形波交流弧焊电源	34
晶体管式弧焊电源	41
晶闸管式弧焊整流器	58

第三部分 场效应管式和 IGBT 式弧焊逆变器

弧焊逆变器的新发展——大功率场效应管式弧焊逆变器	73
场效应管式弧焊逆变器功率增大问题的研究	82
Untersuchung der elektrischen Eigenschaften der MOSFET- Inverterstromquelle zum Lichtbogenschweissen	92
场效应管式弧焊逆变器焊接性能的研究.....	101
Der Transistorschweißumrichter und seine Energieverluste	111
高频脉冲弧焊逆变器原理与工艺性能的研究.....	122
超小型场效应管式中频脉冲弧焊逆变器的研究.....	132
绝缘门极双极晶体管 (IGBT) 交流方波弧焊电源	142
绝缘门极双极晶体管 (IGBT) 弧焊逆变器的研究	150
The Application of VSC to Arc-welding Power Supply System ...	162

第四部分 开关式场效应管式弧焊电源

开关式场效应管弧焊电源的研究.....	171
开关式场效应管直脉两用弧焊电源的研究.....	181

第五部分 机器人用的弧焊电源及设备系统

机器人专用弧焊电源的探讨.....	197
机器人专用场效应管式弧焊逆变器的研究.....	207
机器人场效应管式弧焊逆变器性能的研究.....	219
机器人一体式弧焊系统的研究.....	233
机器人弧焊系统控制新技术的研究.....	244
A Measurement Method for Optimizing Welding Parameters	252

第六部分 机器人点焊电源和设备系统

机器人一体式点焊系统的研究.....	261
The Research of Robot Spot Welding Equipment for Use in Automobile Manufacture	273
The Research of Microcomputer Control for Spot Welding Robot Welding System	288
A Study on Single-chip Microprocessor Control of Robot Welding System	302

第七部分 焊接过程的智能控制

机器人用弧焊逆变器及设备智能控制的研究.....	321
机器人用弧焊逆变器动特性优化控制的研究.....	329
Modeling and Controlling of Welding Pool Geometry by Neural Network	337
A Method for Improving Visual Resolution of Arc-welding Robot	

.....	351
视觉系统在窄间隙焊缝自动跟踪中应用的研究.....	358

第八部分 现代焊接电源及设备发展现状与展望

电子弧焊机现状与未来的探讨.....	373
国外焊接技术设备的现状与发展动向.....	379

附录 现代焊接电源设备科技成果和新产品系列简介.....	400
------------------------------	-----

更新换代的发明——场效应管式和 IGBT 式弧焊逆变器系列 科技成果和新产品.....	400
机器人弧焊、点焊电源及设备系统.....	403
电子控制的其他焊接电源及设备新产品和科技成果.....	405

第 一 部 分

弧焊电源的分类方法

弧焊电源分类方法的探讨

摘要:本文在剖析目前国内外弧焊电源分类方法优缺点的基础上,提出按学科分大类,再按外特性控制器件分小类等的新方法,供大家探讨参考。

一、序 言

对弧焊电源的分类,无论在国内,还是在国外,采用的方法不尽相同,其结果亦不同。近几年来新型弧焊电源不断出现,诸如各种弧焊逆变器和矩形波交流弧焊电源如何归类?各持所见,值得探讨。

对弧焊电源的分类,如果分得好,不仅便于学习理解其工作原理、结构特点,有利于选择使用,还将促进它的不断发展。

作者根据自己的实践体会和理论分析,提出按学科来分大类,按特征性器件来分小类的弧焊电源分类方法,希望在这个问题的讨论中起抛砖引玉的作用。

二、对现有弧焊电源分类方法的剖析

在国内外,对弧焊电源的分类方法有各种各样的见解和做法。归纳起来,大致有如下几种方法:按输出电流的种类分大类,再按关键器件分小类;按旋转或静止分大类,再按焊接功率的调节方法分小类;按特征器件直接分类;按外特性分类;此外,还有按额定工作电流分类等等^[1~8]。每种分类都有它的优点,但也有不足之处。现对这些分类方法作如下的分析。

1. 按输出电流的种类分类

这种分类方法的主要特点是,首先按输出电流的种类分大类,可分为直流弧焊电源、交流弧焊电源和脉冲弧焊电源。再按关键器件分小类,可把直流弧焊电源分为直流弧焊发电机和弧焊整流器。交流弧焊电源只有弧焊变压器一种。按焊接功率调节器件细分类,把弧焊整流器分为硅弧焊整流器(其中包括磁放大器式、动圈式、动铁式、交直流两用式等)、可控硅式弧焊整流器和晶体管式弧焊整流器;把直流弧焊发电机分为差复激式、裂极式、换向极式和积复激式弧焊发电机等;把弧焊变压器分为动圈式、动铁式和串联饱和电抗器式等弧焊变压器;把脉冲弧焊电源分为可控硅式、晶体管式、磁放大器式和单相整流式等脉冲弧焊电源^[1]。

这种分类方法的优点是把弧焊电源输出电流种类作了划分,选用时有它的方便之处,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。但它存在着许多不足之处,例如,交叉的种类较多,磁放大器式、单相整流器、晶体管式、可控硅式等既可是直流弧焊电源,也可是脉冲弧焊电源。再之,近几年出现的矩形波交流弧焊电源几个种类,按这种分类方法应归在交流弧焊电源这一大类。第一、二本全国统编教科书《弧焊电源》正是这样处理的。但是,它与弧焊变压器比较,两者的基本工作原理和结构特点有着显著的差别,前者属电子控制类型,后者属机械控制类型,详见后述。

这种分类方法在国外也有人在不同程度上采用。

2. 按静止或旋转分类及其他的分类

(1) 按静止或旋转分类

静止式弧焊电源和旋转式弧焊电源是这种分类方法的大类。静止式弧焊电源可细分为弧焊变压器、变压器-整流器式弧焊电源、单站式弧焊电源、多站式弧焊电源。旋转式弧焊电源可细分为电动机驱动的弧焊发电机和发动机驱动的弧焊发电机^[6]。

这种分类方法按动与静来分,虽然比较形象,但它未能体现学科的特点,即不能从本质上道破它的基本工作原理和结构特点,而且太笼统。此外,旋转式弧焊发电机除发动机驱动的需继续发展和使用之外,电动机驱动的属淘汰的对象。这样,把其余的各种弧焊电源都归为静止式,太庞大了,并没有达到分类的目的。

(2)按调节方法分类

弧焊电源的调节方法,即指采用什么方法来调节弧焊电源输出的规范参数,从本质上说,就是对弧焊电源外特性控制的方法。按调节方法的不同,也可对弧焊电源进行分类。例如,改变电抗器式(串联电抗器式弧焊变压器);改变耦合式(动铁式、动圈式弧焊变压器、弧焊整流器);分段开关式(抽头式弧焊变压器、弧焊整流器);饱和电抗器式(串联饱和电抗器式弧焊变压器、磁放大器式弧焊整流器);电弧电压、电弧电流反馈式(可控硅式、晶体管式弧焊整流器、弧焊逆变器、矩形波交流弧焊电源)等弧焊电源。

这种分类方法的优点是,抓住弧焊电源的主要结构特点——外特性控制机构,即用调节机构来进行分类,便于从“现象”看到本质。但它也存在不足之处,从学科意义来说,改变电抗器式、改变耦合式和分段开关式,实质上都属机械调节式,没有必要分得“太散”。

(3)按外特性分类

按弧焊电源的输出外特性(静态伏安特性)分类,可分为恒流特性弧焊电源、恒压特性弧焊电源和介于两者之间的缓降特性弧焊电源。显然这种分类方法“太粗”了,而且交叉太多。例如,恒流特性的弧焊电源,既包括直流又包括交流,既包括弧焊发电机又包括多种不同结构形式的硅整流式弧焊电源等等。因此,它未能达到弧焊电源分类的目的。

此外,还有按额定电流等进行弧焊电源的分类。

三、弧焊电源分类的新方法

对待弧焊电源分类就像对待其他事物的分类一样,要抓住它的特点和本质。弧焊工艺对弧焊电源提出的电性能要求为:合适的空载电压;合适的外特性曲线形状;足够大的参数调节范围和良好的动特性。要实现这些性能的要求,就要有相应的机构。例如,合适的空载电压靠主变压器匝数比来实现;良好的动特性靠焊接回路的合适的电感参数和电子线路控制来实现;合适的外特性曲线形状和调节范围实际上是两者紧密联系在一起,只要改变外特性的斜率或者把它进行平移,便可获得所需的规范调节范围。因此可以把两者归结为外特性控制。而实现对弧焊电源外特性控制的机构和器件则是多种多样的。而且这种机构和器件又是决定弧焊电源工作性能的关键性因素。因而,与前两者比较,按外特性控制机构或器件来对弧焊电源进行分类,既抓住问题的本质又能更好地做到“对号入座”,避免或减少交叉。但是,只根据外特性控制机构来分类,也有不足之处,会出现“太散”的情况。因此,最好在按外特性控制机构的分类基础上,再根据外特性控制机构所属的学科,进行归类。这样就更加系统些,便于学习研究和掌握,也有利于促进它的发展。通过分析研究不难看到,尽管弧焊电源的外特性控制机构是多种多样的,但从实质上来看,可把它们归纳为三个学科的控制方法,即机械控制、电磁控制和电子控制。

表1 列出三种控制型各种弧焊电源。

1. 机械控制型弧焊电源

它的特点是借助机械移动装置来实现对弧焊电源的外特性控制。例如,移动弧焊变压器的动铁芯,动绕组或改变绕组匝数(抽头)等,就可以改变外特性。

根据机械移动装置的不同结构形式又可把它细分如下几种: