



现代内燃发电电焊机

XIANDAI NEIRAN FADIAN DIANHANJI

盖志武 著

东北林业大学出版社

现代内燃发电电焊机

盖志武 著

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代内燃发电电焊机/盖志武著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社,
2006.1

ISBN 7 - 81076 - 795 - X

I. 现… II. 盖… III. 内燃发电机-电焊-焊接设备 IV. TG434

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005141 号

责任编辑: 王 巍

封面设计: 彭 宇



NEFUP

现代内燃发电电焊机

Xiandai Neiran Fadian Dianhanji

盖志武 著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑龙江省教育厅印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 6.75 字数 195 千字

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-795-X

TH·37 定价: 24.00 元



作者简介

盖志武，男，1964年12月生，黑龙江省讷河市人。1987年毕业于上海交通大学应用物理系。现为东北林业大学机电工程学院副教授，哈尔滨工业大学电气自动化学院博士后。主要研究方向为电气自动化、复杂控制系统计算机仿真，电力电子技术。发表研究论文30余篇，主持哈尔滨市科技攻关项目2项，黑龙江省及国家博士后基金项目各1项。

前 言

在无动力电供应或需要流动作业的焊接施工现场，如野外、乡村、海岛、林区等，需要具备自行发电功能的弧焊机。这种弧焊机由发动机（亦称引擎，指柴油机或汽油机）、发电机（单相或三相、交流或直流发电机）以及弧焊电源组成，是集发电、供电和用电为一体的独立的动力系统。

由于采用直流发电机提供焊接电流的所谓旋转直流弧焊发电机已经被淘汰，所以目前具有自行发电功能的弧焊机的发电机部分均为交流发电机，而且其称谓很多，如：弧焊发电机、内燃弧焊发电机、引擎驱动弧焊发电机、发电电焊机、发电电焊两用机、独立的焊接电源、发动机驱动的弧焊电源、发动机驱动发电机焊接电源、发动机驱动弧焊机、发电机驱动弧焊电源，等等。一般称之为发电电焊机。

由于发电电焊机这种独立的动力系统由内燃机、发电机和电焊机及其控制系统组成，因而是集动力、能源、材料科学、计算机科学、自动控制理论、电力电子技术、微电子技术等多学科及技术于一体的技术密集型、机电一体化的高新技术产品。

从美、日、德等电焊机生产大国的情况看，具有自行发电功能的弧焊电源市场广阔（如1995年日本具有自行发电功能的弧焊电源约占弧焊电源的20%），且每年的产量都有大幅度增长。发达国家对该类电源的研究也正不断深入，技术日臻完善。中国加入WTO之后，国际知名电焊机厂家蜂拥进入中国市场。相比之下，国内发电电焊机生产厂家少（1995年产量约占弧焊电源的4%）、技术力量弱、技术水平低。进口弧焊发电机的数量占国内

需求量的40%~50%。虽然进口弧焊发电机价格比国产同类产品高,但因其设计合理,以及在机器结构和性能上的优越表现,使得其在一些大型重点工程中多被采用。

对比发达国家的情况看,我国该类电源市场潜力非常巨大。据资料统计,我国1999年弧焊发电机销售量为2000台,2000年弧焊发电机销售量为2600台。预计今后几年内,弧焊发电机的年需求量将达到6000台以上,年产值将达到2亿元(人民币)以上。如今,我们面对的是全球一体化的市场,发电电焊两用机的研究开发具有十分重要的技术经济价值和广泛、长远的应用前景。

基于我国发电电焊机的落后现状,本书作者从20世纪90年代中期开始从事发电电焊机的研究工作,经哈尔滨工业大学、哈尔滨焊接研究所有关专家论证,该研究获得了哈尔滨市科技开发基金资助。通过大量研究实验,开发出了具有我国自主知识产权的发电电焊两用机产品(该专利已授权公告,专利号:02210185.3)。这种采用逆变直流弧焊机(或斩波式直流弧焊机)的发电电焊两用机,性能有了质的飞跃。它的问世,标志着我国在该领域的研究开始向国外先进水平靠拢。本书阐述的发电电焊机的系统化理论和仿真系统,填补了我国在该领域的空白,对我国发电电焊两用机的研究开发具有重要价值和指导意义;对“现代负载对电源系统(电网或独立供电系统)的影响和谐波污染”的仿真研究也将具有重要价值。而且,研究中所应用的先进技术可以推广到其他产品的研究、开发和生产中。

本书介绍了新型内燃发电电焊机——交流发电、逆变弧焊两用机的原理,控制规律,设计方法,整个系统控制模型及计算机仿真研究。主要内容包括:内燃发电电焊机及其相关研究领域概述,交流发电、逆变弧焊两用机的设计与分析,内燃机驱动的逆变发电电焊机及其系统建模,微机控制的发电电焊两用机设计实

例，以及系统优化设计算法等。

在研究工作中得到哈尔滨工业大学戴景民教授、孙晓刚教授，中国计量学院李东升教授，东北林业大学曹军教授、王蓬瑚教授、王述洋教授、马岩教授、王霓虹教授、金维珠教授、韩玉杰教授，哈尔滨工业大学焊接中心张广军博士，哈尔滨焊接研究所成炳煌教授级高工、闫秀荣高工、林柏杉研究员，北京航空航天大学刘金琨博士的支持和帮助，其实验得到了有关工厂的大力协助；东北林业大学出版社王巍副社长等对本书的出版给予了大力支持和帮助；在组织本书过程中参考和引用了国内外许多专家、学者的论文和著作，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有错误或不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 10 月 5 日

目 录

1 内燃发电电焊机及其相关研究领域概述	(1)
1.1 内燃发电电焊机概述	(1)
1.2 国内外发电电焊机的现状及发展趋势	(5)
1.3 弧焊逆变电源的现状及发展趋势	(13)
1.4 同步发电机谐波励磁方式概述	(16)
1.5 柴油机电子控制燃油喷射系统的研究状况	(18)
1.6 硬开关功率变换器和软开关功率变换器	(20)
1.7 高频变压器技术的研究现状	(22)
1.8 仿真技术及其应用简介	(23)
1.9 MATLAB 软件的特点及其在自动控制领域的应用	(25)
1.10 智能控制领域的现状与展望	(29)
2 交流发电、逆变弧焊两用机的设计与分析	(32)
2.1 交流发电、逆变弧焊两用机的总体结构和基本原理	(32)
2.2 谐波励磁发电机的励磁调节方式	(33)
2.2.1 谐波励磁发电机谐波绕组自励调压方式	(34)
2.2.2 谐波励磁发电机电压负反馈励磁调压方式	(35)
2.2.3 谐波励磁发电机典型励磁电路分析	(42)
2.3 交流发电、逆变弧焊两用机的设计与分析	(49)
2.3.1 国内发电、电焊两用机的基本设计原理	(50)
2.3.2 国外发电电焊机的基本设计原理	(51)

2.3.3	交流发电、逆变弧焊两用机的设计与分析	(52)
2.4	交流发电、逆变弧焊两用机系统建模的考虑	(62)
3	内燃机驱动的逆变发电电焊机及其系统建模	(64)
3.1	柴油机及其与发电机电耦合系统系统建模	(64)
3.1.1	柴油发电机机电耦合关系基本方程	(64)
3.1.2	柴油发电机机电耦合系统模型	(65)
3.2	励磁调节控制部分数学模型	(70)
3.3	MMA 电源的分析与建模	(79)
3.3.1	MMA 电源的工作原理	(79)
3.3.2	MMA 电源的传递函数和特性分析	(82)
3.3.3	利用 MATLAB/PSB 的 MMA 电源建模	(87)
3.3.4	PWM 环节的建模	(89)
3.3.5	占空比计算的数学建模	(90)
3.4	模糊控制器设计	(90)
4	微机控制的发电电焊两用机设计实例	(97)
4.1	微机控制的发电电焊机基本原理及总体结构	(97)
4.2	发电电焊两用机基本技术指标及要求	(98)
4.2.1	柴油发电机组主要技术指标	(98)
4.2.2	MMA 电源的主要技术指标要求	(99)
4.3	MMA 电源的工作原理	(100)
4.4	逆变式功率变换器的设计	(104)
4.4.1	输出电感的选择	(104)
4.4.2	IGBT 管的选择	(104)
4.4.3	续流二极管的选择	(106)
4.4.4	缓冲网络的设计	(106)
4.4.5	脉冲变压器的设计	(107)
4.5	斩波式功率变换器的设计	(113)

4.6	控制系统的设计与分析	(115)
4.6.1	PI 调节器的整定	(115)
4.6.2	调节器功能分析	(119)
4.6.3	后拖特性的自适应控制	(121)
4.7	MMA 电源特性分析	(129)
4.8	DAVR 的设计与分析	(135)
4.8.1	DAVR 的原理	(135)
4.8.2	硬件设计	(135)
4.8.3	DAVR 软件设计	(140)
4.8.4	DAVR 控制系统特性分析	(155)
4.9	单片机控制系统抗干扰设计	(163)
4.9.1	干扰的危害、类型、来源及抗干扰措施	(163)
4.9.2	硬件抗干扰措施	(164)
4.9.3	软件抗干扰措施	(166)
5	发电电焊机系统优化设计	(168)
5.1	系统优化设计算法	(168)
5.2	系统优化设计计算实例	(174)
5.2.1	PID 控制系统优化设计仿真计算实例	(174)
5.2.2	模糊控制系统优化设计仿真计算实例	(178)
5.2.3	NCD 优化 PID 控制系统的仿真实例	(188)
参考文献		(198)

1 内燃发电电焊机及其相关研究领域概述

1.1 内燃发电电焊机概述

随着国家经济建设的蓬勃发展,对弧焊电源的需求量日益增加,对其性能要求也不断提高。在无动力电供应或需要流动作业的焊接施工现场,如建筑施工及高空作业中(见图 1.1)、野外、乡村、海岛、林区,等等,需要具备自行发电功能的弧焊机。这种弧焊机是由发动机(亦称引擎,指柴油机或汽油机)、发电机(单相或三相,交流或直流发电机)以及弧焊电源组成,是集发

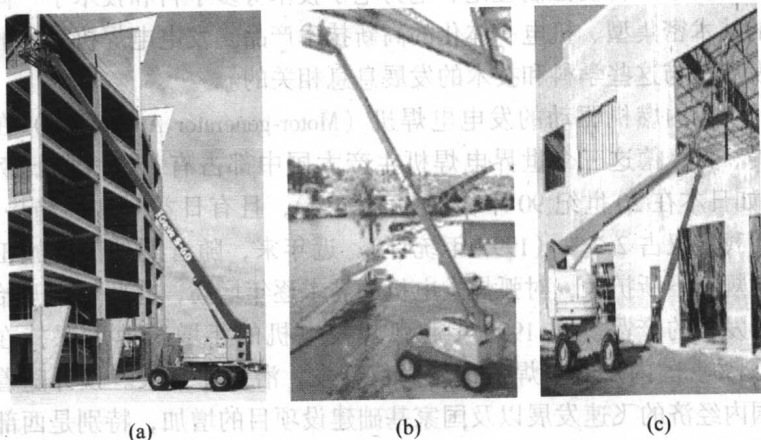


图 1.1 发电电焊机在建筑施工及高空作业中的应用

电、供电和用电为一体的独立的动力系统。

由于采用直流发电机提供焊接电流的所谓旋转直流弧焊发电机已经被淘汰,所以目前这种具有自行发电功能的弧焊发电机的发电部分均为交流发电机,而且其称谓很多,如:弧焊发电机、内燃弧焊发电机、引擎驱动弧焊发电机、发电电焊机、发电电焊两用机、独立的焊接电源、发动机驱动的弧焊电源、发动机驱动发电机焊接电源、发动机驱动弧焊机、发电机驱动弧焊电源,等等。国外的发电电焊机(如美、日、德等发达国家)一般为专用的独立的可移动式焊接电源,且有附加绕组提供照明和电动工具的用电;其中发电机的发电绕组只为焊机供电,因而亦是专用的焊接绕组。国内的这类发电、电焊机一般是两用的,既可作发电机用,又可作焊机用。这样一机两用,比较适合我们的国情。因而,目前一般统称为发电电焊机。

由于发电电焊机这种独立的动力系统由内燃机、发电机和弧焊电源及其控制系统组成,因而是集动力、能源、材料科学、计算机科学、自动控制理论、电力电子技术等多学科和技术于一体的技术密集型、机电一体化的高新技术产品。发电电焊机技术的发展是与这些学科和技术的发展息息相关的。

以内燃机驱动的发电电焊机(Motor-generator Arc welder)在美、日、德这三个世界电焊机生产大国中都占有相当大的比例(如日本在20世纪90年代初为19.5%),且有日益增加的趋势,而我国仅占2.2%(1995年统计)。近年来,随着野外工程施工的规模不断扩大,对弧焊发电机的需求逐年增高,有些厂家开始研发新的产品。从1998年起弧焊发电机的年增长速度保持在4.4%。国内发电电焊机市场尚待开发,潜力非常大。预计随着国内经济的飞速发展以及国家基础建设项目的增加,特别是西部大开发战略、西气东输、城市燃气管网建设、西电东送等重大工程的实施,为弧焊发电机产品提供了广阔的发展空间。随着我国

城市化进程的推进,对输油管线、天然气输配设备等方面基础设施需求的日益增长,弧焊发电机的需求量将会大幅度提高。据资料统计,我国 1999 年弧焊发电机年销售量为 2 000 台,2000 年弧焊发电机年销售量为 2 600 台,预计今后几年内,弧焊发电机的年需求量将达到 60 000 台以上,年产值将达到 2 亿元(人民币)以上。

国外发电电焊机的内燃机部分有柴油机,也有汽油机。从 20 世纪 60 年代后期起基本停止生产和使用旋转弧焊发电机(在部分两用机上仍继续使用至 90 年代初),代之以弧焊整流电源。90 年代后期在手弧焊机中逆变焊机比例逐渐增大,比较有代表性的如 Lincoln 公司的 Weldonpower G8000 汽油机驱动弧焊发电机,具有手工焊及其他焊接功能,并有 8 kW 辅助电源供电动工具和照明等,非常先进。瑞典 ESAB 公司、美国 Hobart 公司虽然已能生产先进的逆变焊机(如瑞典 ESAB 公司的 Caddy 逆变焊机仅重 8 kg),但也生产电动直流弧焊发电机及整流焊机,不过一般不在本国销售。

国外的该类独立的逆变式弧焊电源在焊接工艺性方面的设计甚至优于国内知名逆变焊机生产厂家生产的先进的常规逆变电源。以手弧焊为例,美国和日本的独立逆变式弧焊电源具有多拐点和多斜率的外特性曲线,这样的弧焊电源具有相当好的焊接工作特性和焊接质量,最大限度地方便了野外及工程施工现场的焊接作业使用。由于电弧负载的波动性很大,有些独立的逆变式直流弧焊电源根据焊接时的参数进行整体优化控制。有的在逆变式直流弧焊电源电路部分设置了过载保护电路(通过控制功率开关而实现),有的由焊接参数实现对发动机节流阀、油泵、喷射定时、油气比例、燃料消耗等状态的控制,特别是对正常运行状态 and 怠速运行状态的控制,其节能效果显著。这样,使该动力系统整体上具有最好的动静态特性和最高的效率。

另外,国外该类弧焊电源也有些具有 MMA、TIG、MIG 等多种功能。近年来国外对具有自行发电功能的弧焊电源的研究一片火热,不断有新专利申请,使该类焊机的性能越来越好。

相比之下,国内发电电焊机生产厂家少、技术力量弱、技术水平低。国产内燃弧焊机生产厂主要有重庆运达焊接设备有限公司、珠海市本友电气设备有限公司、西安北方电气公司、闽东发电设备厂、闽东尧庄电机厂、福建福安市东风机电有限公司、广东省电焊机厂有限公司等。国内直到 1992 年才停止生产旋转弧焊发电机,1996 年起才停止使用。目前国内生产的发电电焊机一般采用柴油机引擎、可控硅整流的手弧焊电源,如北京电焊机厂的 SAE—400 发电电焊机,福建东源电机有限公司及亚南电机有限公司的 SD 系列发电电焊两用机等。国内发电电焊机产品性能指标、设计制造水平及工艺水平总体上与国外差距较大。

在我国加入 WTO 之后,国际知名电焊机厂家蜂拥进入中国市场,对国内企业造成很大冲击。目前代理和销售国际知名品牌发电电焊机的厂商有:天津新欧亚国际贸易有限公司、福建闽东本田发电机组有限公司、天津川田工具有限公司、北京旭辰科技发展有限公司、北京鑫盛融达五金机电有限公司、上海扬科发动机有限公司、闽东尧庄电机厂、西安宏港机械设备有限公司等。已大举进入中国市场的国际知名品牌电焊机有:美国的米勒发电电焊机、林肯发电电焊机、飞马特(THERMADYNE)发电电焊机;日本的三菱发电电焊机、国际久保发电电焊机、罗宾发电电焊机、电王和电友发电电焊机、泽藤(ELEMAX)发电电焊机、本田发电电焊机;意大利 MOSA 发电电焊机等。这些厂商具有雄厚的资金和技术,完善的全球生产、销售和服务体系,并且都有自己的自主知识产权。

有鉴于此,国内应重视和加大电焊机行业技术投入,加强基础性研究和应用性研究,采用先进的研究和设计方法,以期开发

出可与国外产品抗衡的产品，迅速占领国内乃至国外市场。

1.2 国内外发电电焊机的现状及发展趋势

如前所述，国外知名品牌发电电焊机有美国的林肯 (Lincoln)、米勒 (Miller)、飞马特 (THERMADYNE)、ZENA Inc.、HOBART 等发电电焊机；日本的国际久保、罗宾、电王和电友、泽藤 (ELEMEX)、本田发电电焊机；意大利的 MOSA；奥地利的福尼斯 (Fronius) 发电电焊机，等等。马来西亚的 Zhongyang Engineering Sdn Bhd 公司代理 Pickhill、Petbow、Airman、Oxford、Denyo、Yanmar、Lincoln、GenSet 等品牌。印度的 DVANI - OERLIKON LIMITED 公司与日本的 Osaka Denki 公司合作生产。此外，生产发电电焊机的厂家还有印度的 ASur Iron & Steel Co Pvt Ltd、克罗地亚共和国的 ULJANIK TESU SZZ company、意大利的 WFM Generators、南非的 POWERMOTE 等公司。

Lincoln Electric 公司是具有 100 多年历史的焊接巨头。它生产的发电电焊机多为采用柴油发电机的直流焊机，有 Range 系列、SAE 系列、Pipeliner 系列、Commander 系列等不同档次和规格的产品，其最新的 Power Arc 4000，功率 4 kW，重仅 72.5 kg，发动机采用 Kohler、Onan、Kubota、Deutz、Perkins、CATERPILLAR 和 Honda 等国际名牌。其典型产品 Commander 300 Deluxe (焊机价格 11 861.69 美元，与之配套的小车价格 971 美元) 具有起弧快、电弧平稳、低飞溅的特点，并具有极好的融滴表面，具有多种焊条焊接功能 (TIG、MIG 和焊割功能)；可设置一般焊接或管道焊接模式。其 Deutz F3L 1011 型两用机采用风冷柴油机 (1 800 r/min)，发电机功率 10 kW。

美国林肯公司最新生产的典型的发电电焊机产品如下：

Ranger 8 汽油机驱动的多功能发电电焊机，见图 1.2 (a)。

Ranger 8 可提供交流 225 A 和直流 210 A 两种焊接模式, 具有手工焊条焊或者 MIG 等功能, 带有遥控装置, 也可用作应急或备用电源。可在焊接同时提供辅助的交流电源用于照明等。具有自动怠速功能, 可节省燃料, 降低噪声。

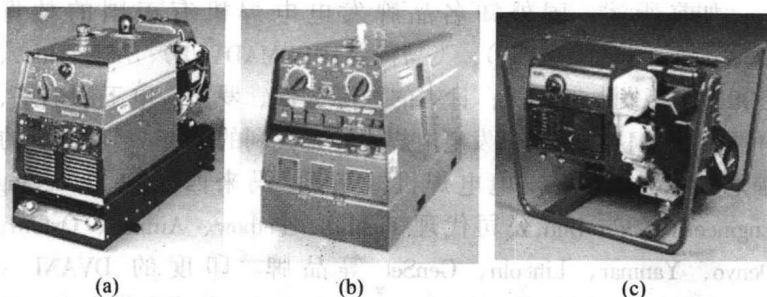


图 1.2 美国林肯公司生产的典型发电电焊机产品

Commander 300 豪华型多功能发电电焊机, 见图 1.2 (b)。

Commander 300 是以林肯斩波技术为特色的, 这种创新技术使使用者对直流焊接输出有了更好的控制, 在使用过程中很容易产生具有超级焊接性能的电弧。可具有焊条焊、TIG、MIG 以及电弧气刨(清理)等功能。在输出 300 A 直流、32 V 电压时具有 100% 的暂载率; 在输出 375 A 直流、34 V 电压时具有 60% 的暂载率。

Power Arc 4000 发动机驱动的焊条焊发电电焊机, 见图 1.2 (c)。

为工具、照明、农场或田野用电设备等提供 4 kW 交流功率, 作为备用或急用。重约 73 kg, 尺寸 530 mm × 508 mm × 762 mm。

始建于 1929 年的美国米勒焊接公司 1948 年推出引擎式直流电焊机 BOBCAT 系列, 1998 年推出第一台带引擎的逆变焊机 PIPEPRO304, 用于长输管道的自动焊接电源。其逆变式焊机技术先进、功能强、电脑控制、电弧可控性好、体积小, 可进行脉冲焊接, 具有全位置自动焊配套电源, 其焊机利用了检测器件时刻监测电弧状态, 帮助使用者进行调节, 维持电弧燃烧, 所以感

觉操作简单,焊接质量显著提高。所有米勒焊机在焊接同时可提供稳定的辅助输出电压,这意味着在焊接同时可使用其他小功率电动工具、家用电气用具以及照明等,这是其他公司产品一般不具备的。一些米勒焊机还具有自动怠速模式,可节省燃料和降低噪音。米勒的 BIGBLUE 系列的空冷引擎焊机已越来越受用户欢迎。米勒焊机空冷引擎采用德国 DEUTZ 引擎(该引擎用于德国的沙漠坦克上)。此外,还采用旋转磁场设计,焊机的旋转部分只承担 17 A 的励磁电流,焊接电流从固定线圈输出,经硅整流后输出直流电,无换向器问题,具有维修方便、动力需要小的优点。附加电源用专用磁场,焊接电流不影响附加电源。引擎可选择空冷或水冷,外部采用密封设计,线路板采用密封设计,单面维护,所以特别适合野外焊接使用。

美国 ZENA Inc. 移动焊接系统,广泛用于应急机车、移动机车和巡洋舰、军用车辆、施工设备、伐木搬运业。可提供精确的焊接电流,对发动机转速并无严格要求。该产品体积小、结构简单、性能好、可靠、使用方便、价格便宜,其设计体现了哈佛大学商学院称之为分裂技术(Disruptive technology)的设计思想。类似于我们在优化设计理论中所倡导的模块化设计。

图 1.3 中即为美国 ZENA Inc. 移动焊接系统,是可流动作业的发电电焊机。其发电机利用了动力机械的发动机,因而节省了一台发动机,使整机成本大大降低。图 1.3(a)为安装了发电电焊机的除草机——利用了除草机的发动机。图 1.3(b)为装配有移动焊接系统的拖拉机——利用了拖拉机的发动机。

美国 Illinois Tool Works (ITW) 公司的 HOBART 焊机,用于农场、牧场、维修、出租和家用。直流输出,可实现平稳的弧焊。其特殊的励磁技术使辅助绕组启动马达的能力强、焊接起弧快,一般净重 200 kg 左右。最小的 HOBART 焊机重 100 kg 左右,采用本田(Honda)GX270 汽油机,焊接功率 7 kW,转速