

焊接自动化 实用技术

蒋力培 薛 龙 邹 勇 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

焊接自动化实用技术

蒋力培 薛 龙 邹 勇 编著
史耀武 主审



机械工业出版社

本书主要讲述基于数控与智能控制的现代焊接自动化技术的应用与开发知识。本书的主要内容有：焊接自动化技术概述、焊接自动化设备结构组成、焊接自动化设备机械结构、焊接自动化传感技术与控制系统、焊接自动化设备设计与应用实例以及焊接自动化热点技术研究与发展前景等。书中列举了大量实例进行分析说明，通俗易懂，具有实用性与先进性。可供从事焊接生产的工程技术人员阅读和参考，也可供焊接方向的大专、本科学生与研究生参考。

图书在版编目（CIP）数据

焊接自动化实用技术/蒋力培，薛龙，邹勇编著. —北京：机械工业出版社，2010.4

ISBN 978 - 7 - 111 - 30072 - 4.

I. ①焊… II. ①蒋… ②薛… ③邹… III. ①焊接—自动化
IV. ①TG409

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 043032 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：吕德齐 责任编辑：刘远星

版式设计：张世琴 责任校对：樊钟英

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·459 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 30072 - 4

定价：45.00 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

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

序

我国钢产量已突破年产 5 亿 t，近 50% 的钢材要经过焊接加工成为有用的构件或产品，现在我国已是世界第一焊接大国。近年来，计算机技术、信息和控制技术及光机电一体化技术的快速发展，促进了焊接生产的自动化、精密化、智能化和高效化。本书主要论述了基于数控与智能控制的现代焊接自动化技术，主要包括：焊接自动化技术概述、焊接自动化设备结构组成、焊接自动化设备机械结构、焊接自动化传感技术与控制系统、焊接自动化设备设计与应用等。蒋力培教授及他所领导的团队长期从事焊接自动化装备与技术的科研与开发工作，在电焊机的计算机控制、管道全位置自动焊机、爬行焊接机器人及水下遥控自动焊接等领域取得了多项国际先进水平的创新成果。本书的编写浸透了蒋力培教授及所领导的团队在长期科研及开发工作中的创新成果和智慧，在论述焊接装备自动化原理的基础上，给出了丰富的开发实例。这些实例对于开阔焊接自动化研发人员的思路、推进焊接自动化在我国的发展和应用，具有重要启示作用。同时本书还探讨了国内外焊接自动化的发展趋势。全书内容通俗易懂，具有显著实用价值，可供从事焊接自动化装备研发或技术改造的工程技术人员参考，也可供相关专业大专、本科学生与研究生学习参考。

我相信，本书的出版将推动焊接自动化装备与技术的发展及其在我国焊接结构制造和大型焊接工程中的应用，为实现焊接强国做出贡献。

史耀武

前 言

焊接生产自动化技术是先进制造技术的重要组成部分,随着电子技术、计算机技术、数控技术及机器人技术的发展,国内外在自动焊接技术及装备的数控化与智能化方面已取得突飞猛进的发展与提高,这也是与金属切削加工等其他机械制造工业的现代化步伐相一致的。为适应焊接自动化技术的这一发展形势,特编写了本书。

本书主要讲述基于数控与智能控制的现代焊接自动化技术的应用与开发知识。本书的主要内容有:焊接自动化技术概述、焊接自动化设备结构组成、焊接自动化设备机械结构、焊接自动化传感技术与控制系统、焊接自动化设备设计与应用实例,以及焊接自动化热点技术研究与发展前景等。书中列举了大量实例进行分析说明,通俗易懂,具有实用性与先进性,可供焊接生产的工程技术人员阅读和参考。

本书共分8章,其中第3章由薛龙教授编写,第4章由邹勇老师编写,其余6章由蒋力培教授编写;全书由蒋力培教授统稿,由北京工业大学焊接研究所所长史耀武教授审稿。

本书的编写汇集了北京石油化工学院的光机电装备技术北京市重点实验室有关团队十余年来完成国家九五、十五和十一五“863”计划项目(2009AA04Z208、2006AA09A310、2002AA602012-3、863-512-9913-02)等一系列科技项目的研究与应用成果。

本书参考与引用了国内外有关著作、论文、手册以及网上信息等资料,在此向有关作者致谢。

重点实验室的赵俊玲、赵杰、孙玉梅等老师及徐立力、郭遵广等研究生对本书的图表与文字做了很多工作,在此也表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书难免有错误与不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第1章 焊接自动化技术概述 1

- 1.1 焊接自动化现状与发展趋势 1
- 1.2 现代焊接自动化技术特点 4
- 1.3 焊接自动化设备分类 4
 - 1.3.1 专用型自动弧焊设备 5
 - 1.3.2 焊接机器人 6
- 1.4 典型产品的焊接自动化设备 7
 - 1.4.1 储罐自动焊设备 7
 - 1.4.2 天然气管道自动焊设备 10
 - 1.4.3 船舶焊接自动化设备 12
 - 1.4.4 锅炉集箱焊接机器人工作站 12
- 1.5 焊接自动化实用技术要点 13

第2章 焊接自动化设备结构组成 17

- 2.1 概述 17
- 2.2 机械装置结构组成与功能特点 17
- 2.3 激光视觉传感系统结构组成与功能特点 19
- 2.4 控制系统结构组成与功能特点 21

第3章 焊接自动化设备机械结构 24

- 3.1 概述 24
- 3.2 机床式焊接设备机械结构 24
 - 3.2.1 机床式焊接设备机械结构概述 24
 - 3.2.2 典型工件自动化专用焊接设备机械结构实例 28
- 3.3 关节式机器人机械结构 33
 - 3.3.1 点焊机器人机械结构 34
 - 3.3.2 弧焊机器人机械结构 38

3.4 导轨式移动焊接机器人

机械结构 42

- 3.4.1 直轨道焊接机器人机械结构 43
- 3.4.2 轨道式管道全位置焊接机器人机械结构 44
- 3.4.3 柔性轨道全位置焊接机器人机械结构 47

3.5 无导轨焊接机器人机械结构 49

- 3.5.1 无导轨焊接机器人机械结构概述 50
- 3.5.2 无导轨焊接机器人应用实例 53

3.6 水下自动焊接设备机械结构 55

- 3.6.1 水下高压自动焊接设备机械结构 55
- 3.6.2 水下无导轨局部干法自动焊接设备机械结构 63

第4章 焊接自动化传感技术 65

- 4.1 概述 65
- 4.2 接触式焊缝跟踪传感技术 66
 - 4.2.1 探针接触式传感器 67
 - 4.2.2 探针触摸式传感器 67
 - 4.2.3 电极接触式传感器 68
 - 4.2.4 接触式焊缝跟踪传感关键技术 68
- 4.3 电磁式焊缝跟踪传感技术 69
 - 4.3.1 电磁传感器 69
 - 4.3.2 涡流传感器 70
- 4.4 电弧式焊缝跟踪传感技术 71
 - 4.4.1 电弧传感焊缝跟踪的基本原理 71
 - 4.4.2 摆动式电弧传感器 72
 - 4.4.3 旋转电弧传感器 74
- 4.5 视觉焊缝跟踪传感技术 75

4.5.1 光学传感器	76	5.4.1 机电一体化集成技术	133
4.5.2 CCD 视觉传感器	77	5.4.2 焊接自动化硬件系统接口 技术	136
4.5.3 被动光视觉传感技术	78	5.4.3 焊接自动化设备人机交互 系统	142
4.5.4 主动光视觉传感技术	79	5.4.4 焊接自动化控制硬件系统 实例	144
4.5.5 焊缝跟踪图像处理技术	82	5.5 焊接自动化软件技术	149
4.5.6 焊缝跟踪控制技术	84	5.5.1 焊接自动化软件系统结构组成与 控制逻辑	149
4.6 超声波焊缝跟踪传感技术	85	5.5.2 PID 算法应用技术	152
4.6.1 超声波的传播及特点	86	5.5.3 焊缝自动跟踪控制算法	155
4.6.2 超声波焊缝跟踪检测传感器 原理	86	5.5.4 焊接自动化控制软件实例	159
4.6.3 超声波传感器检测精度问题	87		
4.7 红外辐射焊缝跟踪传感技术	88	第 6 章 焊接自动化设备设计	166
4.8 实例分析	90	6.1 设计步骤与要点	166
4.8.1 光电接触式焊缝跟踪传感器	90	6.2 自动化焊接设备整机设计 实例	169
4.8.2 新型机械接触式焊缝跟踪传 感器	92	6.2.1 无导轨全位置焊接机器人 设计	169
4.8.3 CCD 光电式焊缝跟踪传感器	93	6.2.2 汽车后桥壳自动焊设备 设计	176
4.8.4 光纤式激光焊缝跟踪传感器	97	6.2.3 全位置自动焊机设计	178
第 5 章 焊接自动化控制系统	103	6.3 焊接自动化设备改造性设计 实例	180
5.1 概述	103	6.3.1 大直径薄壁长筒体自动焊 装置设计	180
5.1.1 焊接自动化控制系统基本 要求	103	6.3.2 抽油机驴头圆弧焊专机设计	182
5.1.2 焊接自动化控制系统的常用 技术	103	6.3.3 探臂式罐体自动焊车设计	184
5.1.3 焊接自动化控制系统的关键 技术	105	6.4 自动焊设备微机控制系统设计 实例	185
5.2 焊接自动化控制系统常用硬件 电路	105	6.4.1 弧焊设备通用一元化调节微机 系统设计	185
5.2.1 可编程序控制器	106	6.4.2 翅片管自动焊机控制系统 设计	186
5.2.2 单片机	110	6.4.3 螺旋焊缝自动跟踪系统 设计	193
5.2.3 DSP 处理器	113	6.4.4 焊接自动化设备全数字人机 界面系统设计	196
5.2.4 执行电动机驱动器	117		
5.3 常用自动控制算法	129		
5.3.1 概述	129		
5.3.2 PID 控制算法	130		
5.3.3 模糊控制算法	131		
5.3.4 自适应控制方法	132		
5.4 焊接自动化硬件技术	133		

第7章 焊接自动化技术应用实例	203	8.3.2 TIME 高效熔敷焊	228
7.1 大型容器全位置自动焊技术		8.3.3 活性焊剂 TIG 焊	229
应用实例	203	8.3.4 激光 - MIG 复合焊	231
7.1.1 储罐立缝的自动焊技术	203	8.3.5 窄间隙自动焊技术	232
7.1.2 储罐横向埋弧焊技术	205	8.4 焊接机器人技术研究与发展 ...	234
7.1.3 储罐双丝埋弧焊技术	208	8.4.1 焊接机器人工作站研究与	
7.1.4 储罐自动气体保护焊技术	208	发展	234
7.1.5 储罐焊接工程项目实例	210	8.4.2 船舶焊接机器人研究与	
7.2 大型管道全位置自动焊技术		发展	236
应用实例	211	8.4.4 焊接机器人发展趋势	241
7.3 国产焊接机器人工作站的工程			
应用	214		
第8章 焊接自动化热点技术研究与		附录 S7-200 型 PLC 指令摘要	244
发展前景	217	附录 A 位逻辑指令	244
8.1 焊缝视觉跟踪技术研究与		附录 B 比较指令	247
前景	217	附录 C 转换指令	249
8.1.1 基于激光传感的焊缝轨迹跟踪		附录 D 计数器指令	252
技术	217	附录 E 脉冲输出指令	257
8.1.2 激光扫描法焊缝跟踪技术	218	附录 F 数字运算指令	259
8.1.3 焊缝跟踪图像处理技术研究与		附录 G 比例/积分/微分 (PID) 回路	
发展	218	控制指令	262
8.1.4 焊缝自动跟踪控制算法研究与		附录 H 中断指令	263
发展	220	附录 I 逻辑操作指令	266
8.2 焊缝成形控制技术	221	附录 J 传送指令	267
8.2.1 TIG 焊缝成形控制	221	附录 K 程序控制指令	268
8.2.2 MIG 焊熔池成形控制	222	附录 L 移位和循环指令	275
8.2.3 管道自动根焊技术研究与		附录 M 表指令	277
发展	223	附录 N 定时器指令	280
8.2.4 全位置自动焊新技术研究	225	附录 O 子程序指令	282
8.3 高效熔焊新技术	226		
8.3.1 Tandem 法双丝高速焊	226	参考文献	284

第 1 章 焊接自动化技术概述

焊接生产过程自动化是包括从备料、切割、组对、焊接到检验等一系列工序的焊接产品生产全过程的自动化，其中核心的工序是焊接自动化。鉴于目前大部分焊件是采用电弧焊方法生产的，本书主要阐述基于数控与智能控制的现代电弧焊自动化技术与装备的实用知识，主要内容有：焊接自动化设备结构组成、机械结构、传感技术、控制技术、焊接自动化设备设计与应用实例等。

本章除介绍焊接自动化现状与发展趋势之外，主要就焊接自动化设备分类、典型产品的焊接自动化设备及焊接自动化实用技术要点等具体问题进行分析介绍。

1.1 焊接自动化现状与发展趋势

1. 焊接自动化现状

目前中国已连续三年成为全球最大的钢材生产和消费国，2008 年中国钢产量已突破 5 亿 t，占全球产量的 30%。俗话说焊接是钢铁“裁缝”，在各大行业中，焊接行业是钢材的最大消费户。有了充足的钢铁，焊接行业就大有可为，不但工程量大，焊接自动化装备的需求量也越来越大，促使我国在自动化焊接技术及装备方面取得突飞猛进的发展与提高，其主要成就体现在以下几方面：

(1) 国内焊机行业实现了更新换代 近年来，一批新兴焊接设备制造企业已经崛起。据 2008 年对国内 41 家主要电焊机、切割机制造厂、大型焊接辅机具厂的调查统计，2008 年焊接设备总产值 661173.41 万元，年产值 1 亿元以上的焊接设备企业有 20 家。其中许多企业还具有很强的设计开发成套焊接自动化装备的能力，如成都焊研威达自动焊接设备有限公司、哈尔滨威得焊接自动化系统工程有限公司、南京奥特电气有限公司、北京中电华强焊接工程技术有限公司、唐山开元机器人系统有限公司等，其主要产品与情况见表 1-1。

表 1-1 部分国内外焊接自动化设备制造厂商一览表

厂 名	主要产品（自动焊专机、成套设备）
成都焊研威达自动焊接设备有限公司	H 型钢箱形梁自动焊生产线，轧辊堆焊机，焊接操作机、变位机，各种自动焊专机，窄间隙埋弧焊机，多路焊机头，埋弧自动焊车，数控多头切割机，带极堆焊机，螺旋焊管机
哈尔滨威得焊接自动化系统工程有限公司	焊接机器人工作站、焊接自动化生产线、各种自动焊专机、数控切割设备、激光跟踪系统、接触式二维跟踪系统、双丝管间隙埋弧焊机、翅片管自动焊机
南京奥特电气有限公司	储油罐自动焊系统、船舶平面组件龙门自动焊系统、船厂拼板双面龙门焊接系统、H 型钢与箱形梁/柱生产线、工艺管道工厂化预制生产线、压力容器/管道专用自动焊系统

2 焊接自动化实用技术

(续)

厂 名	主要产品 (自动焊专机、成套设备)
上海恒通电焊机有限公司	自动角焊机、H 型钢双头自动埋弧焊机、填充丝自动 TIG 焊机、各种自动 CO ₂ /MAG/埋弧焊设备、程控气体保护焊/埋弧焊摆动器
北京中电华强焊接工程技术有限公司	膜式水冷壁焊机系列、MZMA 型马鞍形管座埋弧焊机系列、马鞍形管孔切割机、WZZG 管子对接自动弧焊机系列
华恒电气工业有限公司	全位置自动焊机、自动管/板焊机、全自动微束 TIG/等离子弧设备、轧辊热丝堆焊机、全自动 TIG/等离子弧焊机、激光焊机、数控切割机
首钢莫托曼机器人有限公司	系列弧焊与点焊焊接机器人 (引进日本安川工业机器人)
唐山松下产业机器人有限公司	焊接机器人、系列逆变焊机 (TIG 焊机、脉冲 TIG 焊机、CO ₂ /MAG 焊机)
唐山开元机器人系统有限公司	中厚板焊接机器人系统, 窄间隙 MAG 焊接系统, 全位置 TIG 焊接系统
美国林肯电气公司 (The Lincoln Electric Company)	焊接机器人系列、机器人激光跟踪系统 MIG-TRAK、各种自动焊专机、双丝焊机、窄间隙自动焊专机、立向上焊机、NA 系列自动焊头、各种弧焊电源
瑞典伊萨有限公司 (ES-AB Co.)	A21 系列管对管全自动 TIG 焊机、A22 系列管对极全自动 TIG 焊机
日本欧地希公司 (OTC Co.)	焊接机器人, CO ₂ 、TIG、MIG 系列焊机, 各种自动焊专机, 系列化自动焊头, 埋弧焊机

另外, 国内焊接装备配套器具的生产已形成一定的规模, 产品质量已接近国际水平。据最近统计, 送丝机、焊枪、导电嘴、减压器、流量计、工夹具、焊条、焊剂烘干设备、陶瓷喷嘴等的专业生产企业共 30 余家, 年产值超过亿元。

(2) 发展与应用各种自动化焊接机、切割机 我国的焊接机械化与自动化工作量占焊接工作量的比例已超过 20%, 而在以焊接技术为主导制造技术的大中型骨干企业中, 焊接机械化与自动化程度已达到 40% ~ 45%。在汽车、锅炉、化工机械、工程机械和重型机械等国家重点骨干企业中, 焊接生产机械化与自动化技术达到国际 20 世纪 90 年代初的先进水平。特别是研制、开发了电站锅炉、压力容器等焊接结构所需的专用自动焊机及数控切割机, 基本上满足了国内生产的需要。

(3) 发展各种焊接自动化辅助装置, 建立焊接生产线 多自由度转胎架、变位器、机械手等自动化辅助装置已能自制并应用于焊接生产过程。我国的汽车、摩托车、锅炉、压力容器、船舶、工程机械和重型机械等行业的大中型骨干企业, 都开发了自动化程度不同的各

种焊接生产线及焊接中心技术。

(4) 应用计算机技术和焊接机器人发展现代焊接自动化技术 在汽车、摩托车、锅炉、压力容器、船舶、工程机械和重型机械等企业,发展了成套焊接装备、焊接机器人、焊接中心、焊接柔性制造系统、计算机辅助设计与制造技术及检查技术等。

但是与国外发达国家相比,我国的焊接自动化技术与装备在质量、水平、品种、自动化程度以及推广应用等方面还有很大差距。2002年我国焊接机械化、自动化率仅能达到40.1%,而世界工业发达国家一般都在60%~70%以上,特别是我国的焊机制造厂尚未形成国际著名品牌,缺少自主知识产权的高新技术产品,这些问题都制约我国焊接界的发展与竞争能力。当前我国正在逐步发展成为全球制造中心,全国焊接结构用钢已超过8000万t,并还将逐年上升。对自动化焊接装备的需求量将明显增加,尤其是在锅炉、压力容器、船舶、钢结构、桥梁、汽车、机车、冶金设备、采矿机械、石油化工装置、饮料食品加工机械、家用电器、医疗设备和半导体器件等重点制造行业中,自动化专用成套焊接设备、焊接机器人工作站与焊接生产线的市场容量相当大,发展前景可观,仅国内市场每年的需求量将达到15亿元以上。因此必须加快发展焊接生产自动化技术与装备,以适应经济建设的快速发展。

2. 焊接自动化发展趋势

目前焊接自动化技术与装备的主要发展趋势是数控化与智能化。

焊接技术与装备数控化就是以工业化计算机控制模块取代传统的继电器或模拟电子控制系统,通过控制程序对焊接过程与装备的参数进行精确的数字量控制。应该说,这些年来从国外引进的各种计算机控制模块、接口(电路)模块、伺服电动机、步进电动机及其驱动模块等先进器件应有尽有,促进了我国数控化焊接设备的迅猛发展。如我国自主开发的BI-PT-3型无导轨全位置智能焊接机器人其控制核心是PLC控制模块,5个自由度采用交流伺服电动机与微细分步电动机驱动,可以说是在合理应用国外先进手段的基础上创造出了我国自己的新型焊接机器人,由于采用的是国外批量生产的工业化模块,因此也在很大程度上保证了焊接机器人的可靠性。

焊接技术与装备智能化的最高目标是在各种焊接环境下用计算机智能控制来代替人工操作,即计算机自动识别焊缝位置、焊缝成形等焊接过程信息,并自动决策进行拟人闭环控制。

鉴于焊接过程的复杂性,迄今为止许多焊接工程是依靠焊工紧盯焊缝进行操作的,只能在某些情况下做到智能化焊接,如TIG焊打底单面焊双面成形、机器人记忆跟踪焊接、MIG焊熔滴控制等。所以焊接智能化的关键是要研发新型焊接传感器,特别是视觉焊缝图像传感器,一旦焊缝视觉传感器能发展到替代焊工视觉的水平,焊接智能化就有望发展到新的水平。

焊接生产自动化技术是先进制造技术的重要组成部分,随着电子技术、计算机技术、数控技术及机器人技术的发展,近20年来在自动焊接技术及装备方面已取得突飞猛进的发展与提高,在我国也已涌现出一批技术相当先进的焊接设备制造厂及持续研制开发焊接自动化新技术、新产品的科研单位,这就为大规模发展应用焊接自动化技术奠定了坚实的基础。

1.2 现代焊接自动化技术特点

当前国内外焊接自动化技术主要发展特点是数控化、专机化与智能化,这也是与金属切削加工等其他机械制造工业的现代化步伐相一致的。

现代焊接自动化技术与装备的主要特点可归纳为以下几点:

(1) 数控化 目前在焊接装备控制系统中,已普遍采用基于 PLC 可编程序控制器等微机的自动控制系统,对焊接设备进行数字化控制。这不仅提高了焊接装备自动控制的功能、精度、效率,确保了焊接质量,改善了操作环境,也为焊接装备的网络化控制提供了条件。

焊接装备数控化的关键是合理应用计算机控制器、伺服电动机、焊接传感器,特别是视觉焊缝图像传感器等先进手段,将其组合成实用的自动焊接装备。

(2) 智能化 焊接装备的智能化控制是焊接过程自动控制的高级形式,通过各种专用的计算机软件可按工件和设备情况对焊接参数进行优化选择。自动编制焊接程序,以实现焊接过程的全自动化。

(3) 专机化 为提高自动化焊接设备的焊接质量与生产效率,焊接装备按工艺要求已发展为各种专用自动焊接装备,如单丝和多丝埋弧焊焊装备、单丝或双丝窄间隙埋弧焊装备、MIG/MAG 焊头和带极堆焊头等,也可与滚轮架、变位器或翻转机配套以完成筒体内外纵环缝、封头拼接缝、内缝堆焊、大直径接管环缝的自动焊接。

(4) 精密化 精密化的内涵包括高精度、高质量和高可靠性。以与焊接机器人配套的焊接变位机为例,最高的重复定位精度为 $\pm 0.05\text{mm}$,机器人和精密操作机的行走机构定位精度为 $\pm 0.1\text{mm}$,移动速度的控制精度为 $\pm 0.1\%$ 。

(5) 大型化 焊接装备的大型化是焊接结构向高参数、重型化和大型化发展的需要。如重型厚壁容器焊接中心的立柱横梁操作机的最大规格已达 $12.5\text{m} \times 10\text{m}$ 。龙门式操作机的规格为 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 。大型造船厂使用的门架式钢板纵缝焊机最大行程为 12m 。集装箱外壳整体组装焊接中心门架式操作机的工作行程达 16m 。重型 H 型钢和箱形梁生产线占地面积可达整个车间。

1.3 焊接自动化设备分类

焊接自动化弧焊设备按照功能可分为通用型自动弧焊机、专用型自动弧焊设备与焊接机器人三大类。其中,通用型自动弧焊机大都是小车型自动焊机,如埋弧焊车、 CO_2 自动焊车等,这类焊机自动化程度不高,实际上是半自动焊设备。

专用型自动弧焊设备俗称自动焊专机,是提高焊接生产率、保证产品焊接质量的有效手段,已广泛应用在锅炉、压力容器、船舶、汽车、重型机械和金属结构制造的批量生产中,并正向精密化、大型化和现代化方向发展。自动焊专机所使用的焊接方法主要有埋弧焊、 CO_2 焊、MIG 与 MAG 焊,还有 TIG 焊、热丝 TIG 焊、等离子弧焊、激光焊以及各种高效堆焊方法。用于薄板、超薄板和精密部件焊接的自动焊专机,其制造精度和机头行走精度已提高到 $\pm 0.1\text{mm}$ 的数量级。下面主要介绍专用型自动弧焊设备的情况。

1.3.1 专用型自动弧焊设备

近年来,各种专用型自动弧焊设备发展迅速,并逐渐趋于通用化和标准化。目前已基本形成以下几类专用型自动弧焊设备:薄板纵缝自动焊机、环缝自动焊机、型钢自动焊机、管道对接自动焊机、批量生产专用自动焊机。

1. 薄板纵缝自动焊机

薄板纵缝自动焊机可分为薄板拼缝自动焊机、筒体外纵缝自动焊机和筒体内纵缝自动焊机三种。所选用的焊接方法取决于板厚和材料种类,0.5~3mm 不锈钢薄板通常选用钨极氩弧焊;0.3~1mm 不锈钢薄板应选用微束等离子弧焊;3~10mm 薄板纵缝应选用实心焊丝或药芯焊丝熔化极气体保护焊;12mm 以上厚板通常采用埋弧焊;3mm 以上的铝合金薄板最好采用脉冲电弧熔化极气体保护焊。

为实现薄板纵缝单面焊双面成形焊接工艺,要求采用压紧机构将待焊接缝均匀压在铜制的衬垫上。焊接不锈钢和钛合金时应在铜衬垫凹槽内钻制均布的小孔,以便背面通保护气体,保证背面焊道表面不被氧化。

标准型薄板纵缝自动焊机的控制系统均为开环控制,只保证焊头均匀等速运动,不能按接缝的实际装配间隙调整焊接电流和焊接速度。因此为保证单面焊双面成形的焊接质量,接缝的装配间隙应严格控制在0~0.5mm 范围内。

2. 环缝自动焊机

直径在 $\phi 1.0\text{m}$ 以上的压力容器、锅炉筒体和大直径管道的环缝可以采用立柱横梁焊接操作机和相应的滚轮架或头尾架翻转机组组合的焊接中心来完成自动焊。直径 $\phi 300 \sim \phi 1000\text{mm}$ 的气罐、储罐、气缸、空心球、管道法兰和车轮组件则利用车床式小型环缝自动焊机。按所焊工件的壁厚和质量要求,可以采用钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊、等离子弧焊和埋弧焊。

车床式小型环缝自动焊机是由小型头尾架翻转机、机架、焊头及十字滑架调整机构、焊枪、焊接电源和控制系统等组成的。为提高生产效率,可在同一个机架上安装两个焊头,同时焊接两条环缝,如液化气罐两端的封头环缝。头尾架的夹紧装置可以采用气动元件,以缩短装夹工件的辅助时间。

对于管接头、轴套、法兰盘组件和齿轮组件等工件可以采用外形类似于立式台钻的小型环缝自动焊机。它由立柱或机架、旋转机头、定位芯轴、焊枪、送丝机构、焊接电源和控制系统等组成,焊枪位置按工件直径调整,焊枪的倾角应适应不同的角焊缝焊接工艺。当焊缝轨迹为空间曲线的接管焊缝时,最简单的方法是采用靠模实现仿形焊接。这类小型环缝焊机最关键的技术之一是要解决环缝焊接的导电和输气问题,以避免电缆和气管的缠绕。为简化焊机的结构,也可以采用焊头固定,工件旋转的技术方案,允许连续进行多层多道焊接。为进一步提高焊接效率,可以采用双焊枪,转胎只需将工件旋转 180° 。

大直径接管与圆筒体相交的接缝及等径焊接三通管的相贯线接缝是一种马鞍形曲线,即所谓三维曲线。焊接过程中焊头作 x 、 y 、 z 三个方向的运动,或者借助翻转机使工件的旋转运动与焊枪的移动协调动作。焊接这种空间曲线焊缝时,操作者必须连续监视并调整焊头的运动,要求焊工有较高的操作技术和实际经验。随着计算机控制技术的日趋成熟,接管焊机焊头运动的计算机数字控制已得到基本解决,并已在实际生产中应用。

3. 型钢自动焊机

近年来,我国钢结构生产成倍增长,而钢铁工业远不能满足各种规格型钢的需求,特别是用于钢结构建筑的 H 型钢。实践证明,采用焊接方法将板条组焊成 H 型钢材是最经济的生产方式,受到工程界的高度重视。各种型钢自动焊机的开发研制发展迅速。H 型钢自动焊机可将翼板和腹板通过四条角焊缝焊成 H 型钢。该自动焊机由立柱式或龙门式焊接操作机、工作平台和压紧机构、焊头及调整机构、焊枪、焊接电源、送丝机构、翻转装置和控制系统等组成,可同时焊接翼板与腹板之间的两条角焊缝。型钢自动焊机通常配用埋弧焊。对于薄壁工字型钢可采用 MAG 焊,以减少焊接变形。立柱式或龙门式操作机及焊头调整机构具有较宽的调节范围,以适应不同规格工字型钢的生产。目前,最大的工字型钢自动焊机可焊接最大长度为 20m、最大宽度为 1.2m 的型钢。

在某些钢结构型材生产厂,为有效利用钢材,在 H 型钢焊接生产线上配备翼缘和腹板拼焊机。焊接操作机的结构形式多为龙门式,焊接方法按板厚可分别采用埋弧焊和 MAG 焊。

4. 管道对接自动焊机

目前,在钢铁工业中约有 10% 的钢材是各种规格的管子和管材,而且不锈钢管的产量在不断增长。在石油、化工、饮料、食品、航空等部门工业管道铺设的工作量巨大,而且对接头质量的要求十分严格。管路和管道的焊接迫切需要采用自动焊,管道自动焊机按管径和壁厚的不同而有不同的结构形式。以天然气管道自动焊机为例,有管外焊机与管内焊机两类。管外焊机国外产品有意大利的 PWT 专机、美国 CRC 公司的 P 系列与 M 系列专机,运用于各种壁厚与管径的天然气管道现场对口焊接。近年来廊坊管道局科学研究院等单位开发的全位置管道焊机已批量生产用于西线东输天然气管道工程。天津焊接研究所生产的一种小直径薄壁管对接的全位置焊管机采用封闭式焊头,采用脉冲钨极氩弧焊,焊接电流范围为 5 ~ 300A,可焊最大壁厚为 3mm。焊接时,对接管件水平固定或垂直固定,焊头环绕管子外径旋转,完成全位置焊接或横焊。对于 3mm 以上厚壁管,则采用带送丝机构的开启式焊头,对接管端边缘需开 V 形坡口,采用填丝 TIG 全位置焊。

5. 批量生产专用自动焊设备

这是专门为某一客户设计的专用于焊接特殊形状工件和大批量生产的焊接专用设备。其特点是效率较高,工件无需先装配和定位焊,而是采用相应的夹具将工件定位、转置到合适的焊接位置。这类焊机由于用途单一,结构简单,借助专用夹具可以使焊机的操作系数达到 100%,容易实现低成本自动化。

这类专机的焊接自动化程度可分为两大类:一类是装料和卸料由操作者完成,焊接过程要求操作者监视;另一类是操作者只管装料和卸料,无需监视焊接过程而自动完成。

1.3.2 焊接机器人

焊接机器人在焊接自动化中占有重要的位置,是焊接自动化的发展方向,在西方先进国家的应用已呈加速发展态势。我国焊接机器人的应用主要是在 20 世纪 90 年代以后,近年来焊接机器人的数量增加很快,特别是在汽车制造业。但我国焊接机器人的行业分布不均衡,也不够广泛。汽车制造和汽车零部件生产企业中的焊接机器人占全部焊接机器人的 76%,是我国焊接机器人最主要的用户。我国焊接机器人的应用起步较晚,主要用于汽车、工程机械和摩托车行业。机型主要是六轴连续轨迹控制示教再现型,引进的国外产品主要有 ABB、

ICM 和安川莫托曼等焊接机器人，国产机器人还较少，目前首钢与日本安川株式会社会资兴建的首钢莫托曼机器人有限公司已能批量生产。

焊接机器人的应用以工作站为单元，其外围设备包括变位机、输送装置以及机器人用焊接电源等，这些都是发挥机器人功效的关键技术。机器人工作站采用模块化技术的开放式控制系统，可按用户要求同步控制机器人和外围设备，扩大了机器人的工作范围，以适应像汽车车身焊装线这种使用上百台机器人和大量系统装置的大型复杂工程。目前开发的 32 位计算机控制系统，可同步控制 12 ~ 16 轴的运动，利用 Windows 为开发平台的控制软件，可使操作和编程简化。

总之，近年来，我国焊接自动化专机开发有了长足的进步，专用设备的品种规格及自动化水平都有了很大提高。

1.4 典型产品的焊接自动化设备

目前国内外在储罐、管道、船舶、电站锅炉等大型焊接产品方面的自动焊技术已比较成熟，并得到了广泛的应用，下面对实际应用的焊接自动化设备进行简单介绍。

1.4.1 储罐自动焊设备

中国石油天然气集团、中国石油化工集团系统在国内率先应用了储罐自动焊，在提高焊接效率、焊接一次合格率，降低焊接成本等方面收到较好的效果。其中，立缝焊接一次合格率达 96%，横缝焊接一次合格率为 94%，大角缝焊接一次合格率达 98%；焊接效率是手工焊接的 3 ~ 20 倍；自动焊占焊接总量的 58%；使用国产焊丝降低焊接成本 10%。目前国内使用的储罐自动焊机分为立缝自动焊机与横缝自动焊机两类，见表 1-2。

表 1-2 目前国内使用的储罐自动焊机产品

类型	型 号	制造商	配套电源	配套机头、送丝机	备 注
立缝自动焊机	VEGA-VB-AC	日本新日铁	林肯 DC-600		φ1.6 药芯
	SEGARC-SAT	日本电友	SA-800		φ1.6 药芯
	AVW-800S	日本神钢	林肯 DC-1000		φ1.6 药芯
	VUP-NA3-ST	美国 RANSOMF	林肯 DC-1000	林肯 NA-3S	自保护药芯焊丝
	AUTO-VUP	南京奥特焊切	米勒 DW852	米勒 S-60	φ1.6 药芯
	LFX-（ I ）Ⅲ	廊坊石油管道特种 机具研究所	林肯 DC-600	林肯 LN-9	φ1.6 药芯
	MDS 全位置气体 保护焊机	美国 BUG-O	林肯 DC-600	林肯 LN-9	φ1.6 药芯
	GULLCO 全位置气 体保护焊机	加拿大 GULLCO	DC-650	米勒 S-64	φ1.6 药芯
	D-AVW1	天津中油工程技术 研究院	NBC-450 国产	国产	φ1.6 药芯

(续)

类型	型 号	制造商	配套电源	配套机头、送丝机	备 注
横缝自动焊机	MISA-HB-A4	日本新日铁	林肯 DC-1000	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正装
	SH-1	日本电友	SA-1000	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正装
	AHW-800D	日本神钢	林肯 DC-1000	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正装
	AGW-I	美国 RANSOMF	林肯 DC-600	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正装
	SAHW-I	南京奥特焊切	林肯 DC-600 或米勒 DM812	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正、倒装两用
	HFX-I (Ⅲ)	廊坊石油管道特种机具研究所	林肯 DC-600 或伊萨 630	林肯 NA-3S	$\phi 2.4$ 正装
	D-AGW1	天津中油工程技术研究院	国产 630	国产	$\phi 2$ 倒装

1. 储罐立缝自动焊专机

(1) 立缝气-电焊机 立缝气-电焊机主要由台架、焊枪可摆动的焊机头、升降系统、水冷铜滑块以及冷却水循环系统、电源、送丝机和控制系统组成。焊机头侧有水冷铜滑块，背面有水冷铜垫板，使壁板立缝组成熔焊空腔，药芯焊丝以 $50 \sim 200$ 次/min 的摆频和一定振幅在板厚方向摆动。采用电流反馈自动上升技术，焊接速度可在 $0 \sim 400$ mm/min 调整。由于使用 $\phi 1.6$ mm 细焊丝，因此可以获得高熔敷速度和低热输入。通入的 CO_2 气和药芯焊丝对焊接熔池形成气-渣联合保护，水冷铜滑块和水冷铜垫板使熔池有效地散热。整套系统的台车挂在壁板上，通过行走驱动机构可以快速移到另一条立缝位置。

日本新日铁 VEGA-VB-AC、日本电友 SEGARRCSATS、日本神钢 AVW-800S 以及国内南京奥特焊切工程技术公司 AUTOVUP、廊坊石油管道局特种机具研究所的 LFX-I (Ⅲ) 立缝焊机都属于这种气-电焊机。

(2) 自保护药芯焊丝立缝焊机 这种焊机在中厚板焊接时采用 I 形坡口，使用自保护药芯焊丝，不需要保护气体。以美国 RANSOME 公司的 VUP-NA3-ST 焊机为例，其系统组成和前一种立缝焊机基本相同，但采用刚性重型机架，而不是框架式台架，整个焊机重量达 2t，只能用于储罐厚壁板的立缝焊接。

以上两种立缝焊机都是高熔敷率（是手工焊的 $20 \sim 40$ 倍）、高价格焊机。由于气-电焊的焊枪沿立缝上升的工艺特点，不能焊到 T 字接头处，所以只能用于正装法施工。

(3) 全位置 CO_2 气体保护自动焊机 这种焊机主要由轨道式无级变速小车和焊枪摆动机构组成，是全位置焊机，既能用于正装和倒装储罐的立缝焊接，也能用于横缝焊接；同时，还可以用于球罐和其他钢结构焊接。焊材可选择药芯、实心 CO_2 气体保护焊丝，也可采用自保护药芯焊丝。

目前，在国内使用的产品有美国 BUG-O 公司生产的 CDS（第二代产品）、MDS（第四代产品） CO_2 气体保护全位置自动焊机；还有加拿大 GULLCO 全位置自动焊机。天津中油工程技术研究院的 D-AVW1 焊机是 CO_2 气体保护自动立焊机。

2. 储罐环缝埋弧横焊机

大型浮顶储罐由于壁板较厚，焊接量大，非常适合埋弧横焊，所以各施工单位普遍采用

埋弧横焊工艺进行罐壁板环缝的焊接。目前所使用的埋弧横焊设备多数为国外进口。近年来,国内一些公司开发出了一些不同型号的储罐环焊缝埋弧焊机。

(1) 正装法储罐埋弧横焊机 焊机台架吊挂在壁板上,沿壁板上边行走。由于焊机整个系统质量大,不利于在薄板上使用。这种类型的焊机有:日本新日铁 MISA-HB-A4、日本电友 SH-1、日本神钢 AHW-800D、美国 RANSOME 的 AGW-I、廊坊石油管道局特种机具研究所 HFX-I 埋弧横焊机。

正装法储罐埋弧横焊机的结构特点为:

1) 正装法储罐环缝埋弧横焊机的行走驱动机构安装在行走框架的上部,如图 1-1 所示。焊接时,焊接机架通过行走机构悬挂在罐壁板上端,并以壁板上端作为焊接行走轨道,焊缝对中容易。由于偏心作用,焊剂托送机构将被紧贴在壁板上。

2) 焊剂实现了回收/送给自动循环。由于所采用的负压式焊剂桶安装在机架顶部,焊接部位在机架的下部,两者距离很容易控制在 1.6m 以上,所以焊剂回收器向上吸焊剂的同时,筒内的焊剂可以依靠重力作用沿导管下落到焊剂托带上,形成自动循环。而倒装法储罐自动焊装置不易实现此功能。

3) 机架一般制作成伸缩式,以适应不同的板宽需要,且机架整体比倒装储罐自动焊机体积大。

4) 先焊接焊缝外侧,外侧焊接结束后,即进行内侧焊前处理;采用同样的焊接方式焊接内侧。此外,为减少焊接机架的内外吊装次数,提高焊接效率,一些开发公司研制出了双面焊正装储罐环焊缝埋弧焊机,一套装置,内外各设置了一套焊接系统。

(2) 倒装法储罐埋弧横焊机 焊机台架在辅助轨道上行走,可适应各种直径与壁厚储罐的环缝自动埋弧焊。需要在现场铺设辅助轨道和轨道支架,并且要以壁板上边为准对辅助地板轨进行精确调整。这种类型的焊机有:天津中油工程技术研究院的 D-AGW1 埋弧横焊机。

(3) 正装与倒装两用的储罐埋弧横焊机 这种焊机从结构上进行了重大改进:将行走机构做成可拆装的形式。用于正装法储罐焊接时行走机构装在台架上部;用于倒装法储罐焊接时将行走机构反向装在台架下部(需要在现场铺设辅助轨道和轨道支架);埋弧焊机头、焊剂承托传送装置安装在可开启的支架上,支架可通过蜗杆进行上下调整。南京奥特焊切工程技术公司生产的 SAHW-I 横缝埋弧焊机属于这类焊机。

3. 底板和大角缝埋弧焊机

底板和大角缝焊缝处于平焊和平角焊的位置,埋弧焊机借助于轨道即可进行底板直缝的对接埋弧焊。埋弧焊机增加磁性吸附滚轮就可进行壁板与环板的大角缝内外焊接。国内使用的机型有:美国林肯 LT-7、日本神钢 SUBSTAA-S(T 双丝)、日本大阪 SW-

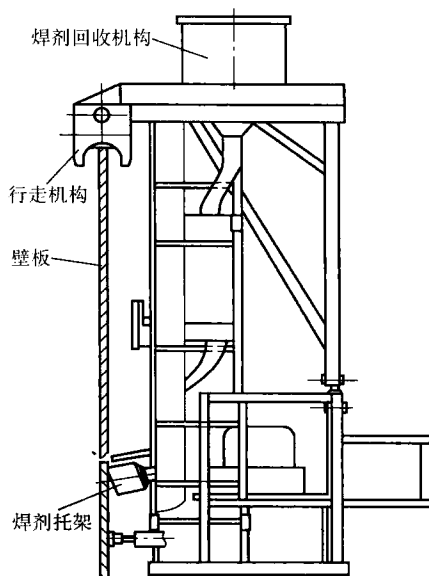


图 1-1 正装法储罐环缝埋弧横焊示意图