

卓越工程师教育 —— 焊接工程师系列教程

焊接自动化 第2版

技术及其应用

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

焊接自动化技术及其应用

第2版

胡绳荪 主编



机械工业出版社

本书是结合高等学校“卓越工程师教育”及现代焊接制造业对“材料成型及控制”专业、“焊接”专业毕业生的要求,使毕业生掌握焊接制造自动化的基础知识,具备从事焊接制造自动化的基本技能而编写的教材。

本书系统介绍了有关焊接自动化、自动控制系统的基本概念,焊接自动化中常用的传感器,焊接自动化中常用的电动机控制技术、PLC 控制技术以及焊接机器人等知识,并结合工程实际介绍了焊接自动化技术工程应用的案例。

本书可以作为大学本科和高职高专“焊接”“材料成型及控制工程”(焊接方向)专业相关课程的教材,硕士研究生“材料加工工程”专业相关课程的参考教材,焊接工程师的培训教材,还可以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。

图书在版编目(CIP)数据

焊接自动化技术及其应用/胡绳荪主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2015.1

卓越工程师教育.焊接工程师系列教程

ISBN 978-7-111-48261-1

I. ①焊… II. ①胡… III. ①焊接—自动化—教材 IV. ①TG409

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第236918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 崔滋恩

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈越

封面设计:马精明 责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·15.75印张·378千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48261-1

定价:35.00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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

策划编辑电话:(010) 88379879

封面无防伪标均为盗版

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作出重大贡献。

单 平

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了“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好良师益友。若见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

随着科学技术的发展,焊接已从简单的构件连接或毛坯制造,发展成为制造业中的精确加工方法之一。随着制造业的高速发展,传统的手工焊接已不能满足现代高技术产品制造的质量、数量要求,现代焊接制造技术正在向着机械化、自动化、数字化、信息化的方向发展。近年来,焊接自动化在实际工程中的应用发展迅速,已成为先进制造技术的重要组成部分。为了满足我国高等学校“卓越工程师教育”需求及焊接工程技术人员的需求,在上1版《焊接自动化技术及其应用》的基础上,进行了修改和重新编写。

本书系统地介绍了有关焊接自动化、自动控制系统的基本概念,焊接自动化中常用的传感器,焊接自动化中常用的电动机控制技术、PLC 控制技术及机器人焊接技术等方面的基础知识,并结合工程实际介绍了一些工程应用的案例。

本书共分6章。其中,第5章的5.6节“可编程序控制器在焊接自动化中的应用”由唐山开元自动焊接装备有限公司薄涛负责编写;第6章的6.6节“焊接机器人的应用”由唐山开元机器人系统有限公司王明辉、刘文武及天津大学胡绳荪负责编写;其他各章节由天津大学胡绳荪负责编写。全书由胡绳荪统稿。

本书可以作为大学本科和高职高专“焊接”“材料成型及控制工程”(焊接方向)专业相关课程的教材,硕士研究生“材料加工工程”专业相关课程的参考教材,焊接工程师的培训教材,还可以供焊接及相关学科教师及工程技术人员参考。

本书在编写工作中得到了唐山开元集团机器人公司李宪政的大力支持,编者在此表示深深的感谢。

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

序	
编写说明	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 焊接自动化的概念	1
1.2 焊接自动化系统	2
1.3 焊接自动化的关键技术	4
1.4 焊接自动化的发展趋势	6
1.5 学习本课程的目的和要求	8
复习思考题	9
第 2 章 焊接自动化控制基础	10
2.1 焊接自动控制的概念	10
2.1.1 基本概念	10
2.1.2 反馈控制原理	14
2.1.3 焊接自动控制系统的分类	15
2.1.4 自动控制系统的基本特性	16
2.2 开环控制与闭环控制	17
2.2.1 开环控制与开环控制系统	17
2.2.2 闭环控制与闭环控制系统	18
2.2.3 开环控制系统与闭环控制系统的比较	19
2.3 焊接自动化中常用的控制技术	19
2.3.1 控制方式	19
2.3.2 PID 控制	20
2.3.3 智能控制	23
复习思考题	24
第 3 章 焊接自动化中的传感技术	25
3.1 传感器	25
3.1.1 传感器的基本概念	25
3.1.2 传感器的特性	26
3.1.3 常用检测电路	27
3.2 位置检测	33
3.2.1 接触式位置传感器	33
3.2.2 接近式位置传感器	34
3.2.3 接近式位置传感器的选型	41
3.2.4 接近式位置传感器在焊接自动化中的应用	42
3.3 位移与速度检测	45
3.3.1 光栅尺	45
3.3.2 编码器	46
3.3.3 测速发电机	49
3.3.4 传感器在焊接自动化中的应用举例	52
复习思考题	55
第 4 章 焊接自动化中的电动机控制技术	56
4.1 概述	56
4.2 继电接触器控制系统	57
4.2.1 三相交流电动机的直接起停控制	57
4.2.2 三相交流电动机的正反转控制	59
4.2.3 三相交流电动机的降压起动控制	61
4.2.4 三相交流电动机的制动控制	62
4.3 焊接自动化中的直流电动机控制	63
4.3.1 直流电动机及其静态特性	63
4.3.2 直流伺服电动机的技术指标	65
4.3.3 直流电动机速度调节原理	66
4.3.4 直流电动机恒速控制	68
4.3.5 直流电动机晶闸管整流调速系统	73
4.4 直流电动机脉宽调速系统	78
4.4.1 直流电动机 PWM 调速系统工作原理	79



4.4.2 PWM 直流调速系统控制电路	80	5.5.1 PLC 控制系统设计的基本原则 ...	150
4.4.3 PWM 直流调速系统应用电路	85	5.5.2 电弧焊的程序自动控制	152
4.5 交流电动机变频调速原理	89	5.5.3 设计实例	154
4.5.1 三相交流电动机的基本特性	89	5.6 可编程序控制器在焊接自动化	
4.5.2 交流电动机的调速	90	中的应用	162
4.5.3 变频器的工作原理	92	5.6.1 PLC 在托辊双端自动焊接中的	
4.5.4 变频器的应用	97	应用	162
4.5.5 变频器的选择与使用	104	5.6.2 PLC 在直管弯头自动焊接中的	
4.6 步进电动机及其控制原理	107	应用	168
4.6.1 步进电动机的结构与工作原理 ...	107	5.6.3 PLC 在托辊加工生产线中的应用 ...	177
4.6.2 步进电动机的驱动方法	111	复习思考题	179
4.6.3 步进电动机的环形分配器	113	第 6 章 机器人焊接技术	180
4.6.4 步进电动机的传动与控制	116	6.1 工业机器人概论	180
4.6.5 步进电动机在焊接中的应用	117	6.1.1 工业机器人的定义	180
复习思考题	117	6.1.2 工业机器人的构成与分类	181
第 5 章 焊接自动化中的 PLC 控制		6.1.3 机器人的相关技术研究与发展	
技术	119	趋势	186
5.1 可编程序控制器	119	6.2 焊接机器人基础	187
5.1.1 概述	119	6.2.1 机器人焊接的特点	187
5.1.2 可编程序控制器的硬件构成	121	6.2.2 焊接工艺对机器人的要求	187
5.1.3 可编程序控制器的输入/输出		6.2.3 焊接机器人的分类及特点	188
模块	123	6.2.4 机器人焊接系统	190
5.1.4 可编程序控制器的编程语言	124	6.2.5 焊接机器人控制的基本原理	190
5.1.5 可编程序控制器的工作过程	127	6.3 焊接机器人运动控制	191
5.2 日本三菱 FX _{ON} 系列可编程序		6.3.1 焊接机器人运动控制系统	191
控制器	128	6.3.2 焊接机器人运动控制系统软件 ...	194
5.2.1 型号说明	129	6.4 弧焊机器人离线编程技术	196
5.2.2 系统配置	129	6.4.1 弧焊机器人离线编程系统的意义	
5.2.3 FX _{ON} 系列 PLC 内软继电器的功能		及定义	196
及编号	130	6.4.2 离线编程的优点	196
5.2.4 PLC 的外部接线	133	6.4.3 弧焊机器人的特点	197
5.3 可编程序控制器的指令及其		6.4.4 弧焊机器人离线编程系统的	
应用	134	组成	197
5.3.1 基本指令	134	6.4.5 典型机器人离线编程仿真系统 ...	201
5.3.2 定时器及计数器的使用	143	6.5 焊接机器人传感技术	202
5.3.3 功能指令	144	6.5.1 概述	202
5.4 梯形图的编程方法与规则	146	6.5.2 视觉传感器	203
5.4.1 梯形图编程的规则	146	6.5.3 电弧传感器	205
5.4.2 常用基本电路的编程	147	6.5.4 机器人焊接过程多传感信息融合	
5.5 可编程序控制器控制系统设计 ...	150	技术	207



6.6 焊接机器人的应用	208	6.6.5 桥梁钢结构制造中焊接机器人的应用	223
6.6.1 汽车制造中焊接机器人的应用 ...	208	6.6.6 机器人焊接在航天领域的应用 ...	227
6.6.2 工程机械制造中焊接机器人的应用	211	6.6.7 机器人焊接生产线的应用	229
6.6.3 港口机械制造中焊接机器人的应用	220	6.6.8 专用焊接机器人的应用	234
6.6.4 海洋工程钢结构制造中焊接机器人的应用	221	复习思考题	240
		参考文献	241

绪 论

焊接是制造业中传统的重要的加工工艺方法之一，广泛地应用于机械制造、航空航天、能源交通、石油化工、工程机械、船舶制造、高层建筑以及电子等行业。

随着国民经济的发展，对产品焊接质量、焊接效率的要求越来越高，普通的焊条电弧焊已经很难满足现代焊接制造的要求，特别是随着激光焊、激光电弧复合焊、搅拌摩擦焊、多丝电弧焊、窄间隙气体保护焊、窄间隙埋弧焊等新的、高效焊接工艺方法在工程实际中的普遍应用，焊接自动化已经成为现代焊接制造的关键技术之一。

随着现代控制技术、电子技术、计算机技术以及机器人技术的发展，焊接自动化向数字化、智能化、柔性化以及信息化方向发展，已成为现代焊接制造技术发展的趋势。

本章将重点介绍焊接自动化的基本概念。

1.1 焊接自动化的概念

焊接自动化就是采用具有自动控制，能自动调节、检测的焊接与机械装置，按规定的程序或指令自动进行焊接制造，其目的在于提高焊接效率，保证焊接质量，降低焊接成本和劳动强度，改善焊接环境，保障焊接生产安全。

焊接自动化有两方面的含义：一是焊接工序的自动化，二是焊接生产的自动化。焊接工序的自动化是指产品制造过程中，对于某部位或某道焊缝的焊接实现自动化；焊接生产的自动化是指焊接产品的生产过程，包括从备料、切割、装配、焊接、检验等工序组成的焊接生产全过程的自动化。焊接工序的自动化是焊接生产自动化的基础，而只有实现了焊接生产全过程的自动化，才能得到稳定的焊接质量和均衡的焊接生产节奏以及较高的焊接生产率。

对于焊接工序的自动化来说，主要是焊接过程及焊接装备的自动控制问题。关于焊接过程和焊接装备的自动控制又包含许多内容，如焊接程序的自动控制、焊接参数的自动控制、焊接胎夹具的自动控制、自动上下料等。然而，焊接工序自动化的最基本问题是应用自动焊机和焊接机械装备构成焊接自动化系统，通过焊接程序的自动控制，完成自动焊接。

现代焊接自动化技术是将高性能焊接电源与机械装置相结合，依靠计算机控制技术实现焊接工序与焊接生产的自动化。在焊接自动化设备中，不仅需要高性能、焊接参数可控的焊接电源，如数字化焊接电源、智能焊机等，而且需要有根据焊件与焊缝结构特点设计与制造的焊接自动化装备，如焊接机床、焊接变位机等。焊接自动化中，控制系统的作用不仅是控制焊接参数，而且必须能够自动协调成套焊接设备各组成部分的动作，使其成为一个整体，实现焊接的自动化。



1.2 焊接自动化系统

从某种意义上讲,焊接自动化就是采用焊接机械装置来代替人进行焊接。图 1-1 所示为一个机器人电弧焊接系统,它是一个典型的焊接自动化系统。该系统主要由机器人、变位机、各种传感器、控制器、自动焊机(包括焊接电源、焊枪、送丝机等)等构成。

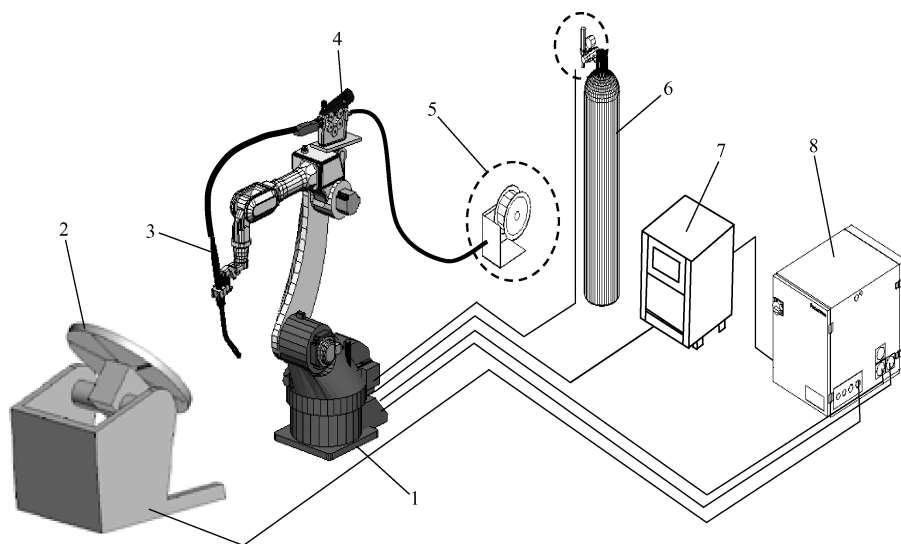


图 1-1 机器人焊接系统

1—机器人 2—焊接双轴变位机 3—焊枪 4—送丝机 5—焊丝盘架 6—气瓶 7—弧焊电源 8—机器人控制器

图 1-2 所示为一个筒形结构件自动焊接系统。该系统主要由悬臂式焊接操作机、自调式滚轮架、自动弧焊机(包括弧焊电源、焊枪、送丝机等)等组成。

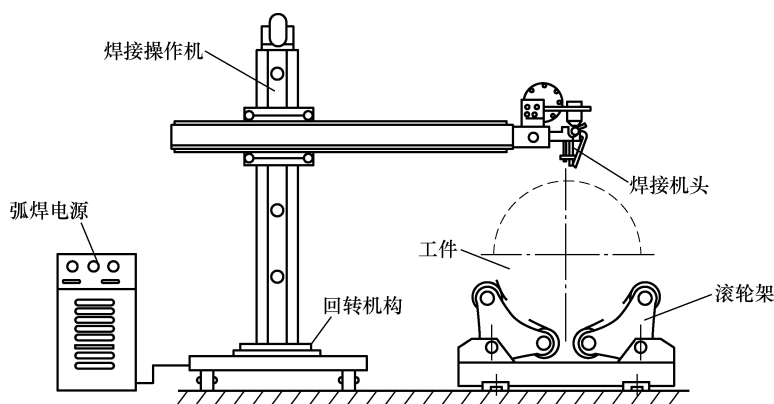


图 1-2 筒形结构件自动焊接系统

由此可见,无论是复杂的机器人还是简单的焊接专机,都可以构成焊接自动化系统,实现自动焊接。焊接自动化系统的基本单元(模块)包括机械装置、执行装置、能源、传感器、控制器和自动焊机。以弧焊自动化系统为例,各个单元简介如下。



1. 机械装置

能够实现某种运动的机构，配合自动焊机进行焊接，如机器人、变位机、十字架式焊接操作机等。图 1-3 所示为几种常用的焊接变位机和滚轮架。图 1-3a 所示为双轴变位机，其回转工作台上可以安装焊接工装，用于装夹焊件，回转工作台围绕中心轴旋转；为了使焊件焊缝处于更容易施焊的位置，如平焊位置，回转工作台还可以围绕着另一个轴旋转，使回转工作台可以位于与水平面平行到与水平面垂直的任意一个角度的位置。图 1-3b 所示为 L 形双轴变位机；图 1-3c 所示为双柱式变位机。图 1-3d 所示为用于直径较大的圆筒形工件焊接的滚轮架，滚轮架的滚轮在电动机带动下旋转，依靠摩擦力带动滚轮架上的圆筒形工件旋转，实现环缝焊接。

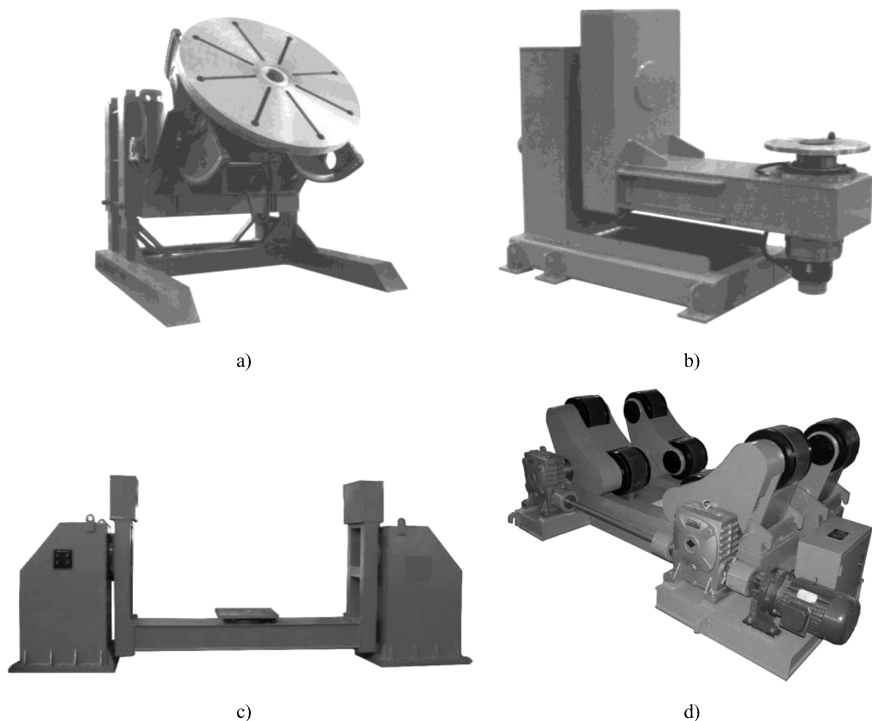


图 1-3 常用焊接变位机和滚轮架

a) 双轴变位机 b) L 形双轴变位机 c) 双柱式变位机 d) 焊接滚轮架

图 1-4 所示为几种常用的焊接自动化操作机械。图 1-4a 所示为关节型机器人，是目前常用的通用型机器人；图 1-4b 所示为十字架式焊接操作机，十字架横梁在电动机带动下可以在水平方向往复运动，也可以沿着立柱上下运动；图 1-4c 所示为三维运动机械机构，也称为直角坐标机器人；图 1-4d 所示为龙门式焊接操作机，其龙门架上可以安装 1 台或多台焊接机头实现焊接，焊接机头可以沿着龙门架做水平方向的移动，也有的龙门架下有轨道，可以沿着轨道做整体移动。

除图 1-3、图 1-4 所示的机械装置之外，还有多种形式的焊接自动化机械装置。

2. 执行装置

驱动机械装置运动的电动机或液压、气动装置等。目前用于自动化焊接的变位机与操作机等基本采用电动机驱动，而焊接工装夹具大多采用气动或液压装置。

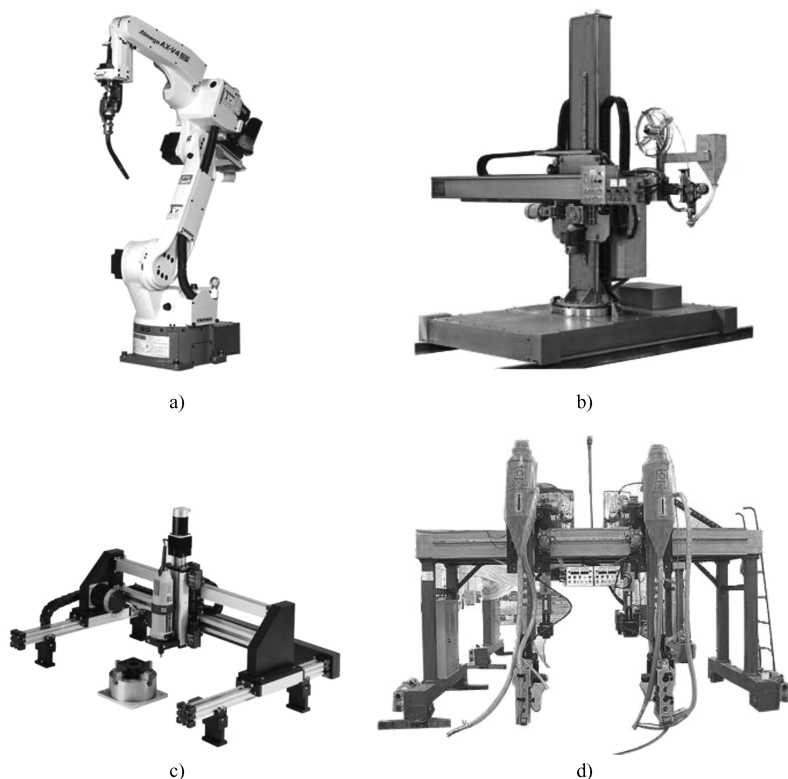


图 1-4 常用焊接自动化操作机械

a) 关节型机器人 b) 十字架式焊接操作机 c) 直角坐标机器人 d) 龙门式焊接操作机

3. 能源

主要指驱动电动机的电源等。

4. 传感器

检测机械运动、焊接参数、焊接质量的传感器，这里主要是指检测机械运动的传感器。

5. 控制器

主要是用于机械运动控制的电子控制电路系统、计算机、可编程序控制器（PLC）等。它们同时也具有与自动焊机协同控制功能，可保证不同条件下，焊接参数的输出与调节。

6. 自动焊机

包括弧焊电源、送丝机、焊枪等，它是一个独立的自动控制系统。

1.3 焊接自动化的关键技术

焊接自动化系统中的机械装置、执行装置、能源和传感器是用来取代人的操作，完成没有人直接参与的自动焊接过程的关键，它们与人体之间的关系如图 1-5 所示。

焊接自动化技术是将电子技术、计算机技术、传感技术、现代控制技术引入到焊接机械运动的控制中自动化技术，其实现流程是利用传感器检测焊接机械的运动，将检测信息输入控制器，通过信号处理，得到能够实现预期运动的控制信号，由此来控制执行装置，实现焊



接自动化。

焊接自动化的关键技术主要包括机械技术、传感技术、伺服传动技术、自动控制技术和系统技术等。

1. 机械技术

机械技术就是关于焊接机械的机构以及利用这些机构传递运动的技术。在焊接自动化中,焊接机械装置主要有焊接工装、焊接变位机、焊接操作机、焊件输送装置及焊接机器人等。这些装置是配合焊机进行自动焊接的,它具有以下作用。

- 1) 使焊件装夹快速、定位准确。
- 2) 能够控制或消除焊件的焊接变形。
- 3) 使焊件尽量处于最有利的施焊位置,如水平及船形位置焊接等。
- 4) 可以完成组合焊缝的焊接,减少焊接工位。

5) 使焊枪运动,或者焊件运动,或者焊枪与工件同时协调运动,完成不同焊接位置、不同形状焊缝的自动焊接。

机械技术就是根据焊件结构特点、焊接工艺过程的要求,应用经典的机械理论与工艺,借助于计算机辅助技术,设计并制造出先进、合理的焊接机械装置,实现自动焊接过程中的机构运动的一门技术。

同时,焊接机械装置在结构、质量大小、体积、刚性与耐用性方面对焊接自动化都有重要的影响。机械技术中还应考虑如何与焊接自动化相适应,应用相关的新技术来更新观念,实现焊接机械结构、材料、性能以及功能上的变化,减小质量、缩小体积、提高精度和刚度、改善性能、增加功能,从而满足现代焊接自动化的要求。

2. 传感技术

传感器是焊接自动化系统的感受器官。传感与检测是实现闭环自动控制、自动调节的关键环节。传感器的功能越强,系统的自动化程度就越高。

焊接自动化中的传感技术就是应用传感器及信号检测与分析技术,快速、精确地反映焊接过程特征信息。

焊接自动化中的传感器有多种,有关机械运动量的传感器主要有位置、位移、速度、角度等传感器。

由于焊接环境恶劣,一般的传感器难以直接应用。焊接自动化中的传感技术就是要发展严酷环境下,能快速、精确地反映焊接过程特征信息的传感器。

3. 伺服传动技术

要使焊接机械做回转、直线及空间曲线的运动,必须有动力源。这种动力源就是执行装置。执行装置有利用电能的电动机(包括直流电动机、交流电动机和步进电动机等),也有利用液压能量或气压能量的液压驱动装置或气动装置等。

执行装置的控制技术称为伺服传动技术。伺服传动技术对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。

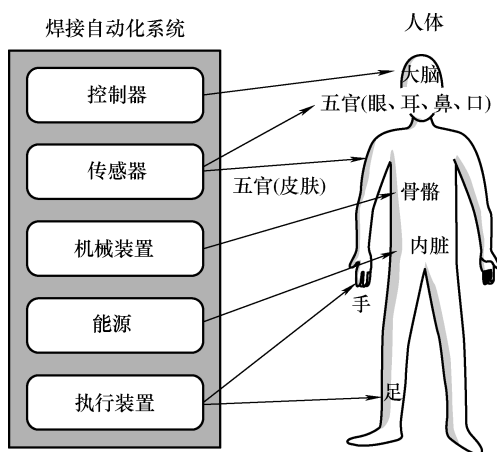


图 1-5 焊接自动化系统与人体之间的关系



随着电力电子技术的发展,驱动电动机的电力控制系统的体积越来越小,控制也越来越方便,随着交流变频技术的发展,交流电动机在焊接自动化系统中的应用越来越普遍。目前,直流电动机和交流电动机都能够实现高精度的控制。可实现高速度、高精度控制是电动机作为焊接自动化系统中执行装置的一个重要特点。

气动执行装置往往要利用工厂内的气源,是一种结构简单、使用方便的执行装置。但是,用气动执行装置实现高精度的控制比较困难,在焊接自动化系统中,主要应用于焊件的工装夹具。

液压执行装置在焊件的工装夹具中的应用越来越普遍,在机器人的手臂驱动装置中也经常被采用。虽然需要液压站系统,但可以由简单的结构实现大功率驱动。

4. 自动控制技术

在焊接自动化系统中,控制器是系统的核心。控制器的作用主要负责是焊接自动化中的信息处理与控制,包括信息的交换、存取、运算、判断和决策,最终给出控制信号,通过执行装置使焊接机械装置按照一定的规则运动,实现自动焊接。目前,工控机、PLC 等构成的控制器越来越普遍,从而为先进的控制在焊接自动化中的应用创造了条件。

焊接自动化中,机械装置运动的控制可以分为以下两大类。

1) 顺序控制。通过开关或继电器触点的接通和断开来控制执行装置的启动或停止,从而对系统依次进行控制的方式。

2) 反馈控制。被控制量为位移、速度等连续变化的物理量,在控制过程中不断调整被控制量使之达到设定值的控制方式。

自动控制技术包括硬件控制技术和软件控制技术。利用适当的硬件与软件结合进行控制,可以实现各种复杂的平面、空间曲线焊缝的焊接。这里所说的软件控制技术不仅是软件语言及其管理方面的技术,而是包括了考虑如何根据传感器检测信号使执行装置和机械装置按照焊接工艺过程的要求很好地运动,并编制出能够实现这种目标的软件程序的技术。

5. 系统技术

系统技术就是以整体的概念组织应用各种相关技术。从系统的目标出发,将整个焊接自动化系统分解成若干个相互关联的功能单元。以功能单元为子系统进一步分解,生成功能更为单一的子功能单元。逐层分解,直到最基本的功能单元。以基本功能单元为基础,实现系统需要的各个功能的设计。

接口技术是系统技术中的一个重要方面。它是实现系统各部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口、人-机接口。电气接口实现系统各个功能单元间电信号连接;机械接口实现不同机械装置之间的连接以及机械与电气装置之间的连接;人-机接口提供了人与系统之间交互作用的界面。

1.4 焊接自动化的发展趋势

自动控制技术、数字技术、计算机网络信息技术的发展和应用,正在彻底改变传统焊接的面貌。焊接制造过程的自动化已成为一种迫切的需求,它不仅可大大提高焊接生产率,更重要的是可确保焊接质量,改善操作环境。自动化焊接专机、机器人焊接工作站、生产线和柔性焊接系统在工程中的应用已成为一种不可阻挡的趋势。



在 20 世纪 80 年代初期, 工业机器人的应用在先进工业国家开始普及, 到 2010 年全球工业机器人保有量已超过 100 万台, 焊接机器人可占到一半以上。中国是世界上机器人需求增长率最高的国家之一, 从装机量上看, 从 1999 年到 2008 年, 中国工业机器人的装机量每年都以超过 20% 的速度增长, 从 1999 年 550 台发展到 2008 年超过 3 万台, 2010 年中国的装机量为 52290 台, 2011 年增加到 74317 台, 实现了 42% 的年增长。2013 年中国市场销售工业机器人约 37000 台。目前, 国内工业机器人实际拥有量已经超过 10 万台。

除了焊接机器人以外, 各种焊接专机的应用使焊接自动化技术更加普及。由于实际焊接工程结构中, 大多数焊缝是具有一定规则的角焊缝和对接焊缝, 其中直线形焊缝占 70%, 圆环形焊缝占 17.5% 左右, 复杂的空间曲线焊缝相对较少, 因此可以采用价格较低、结构不太复杂而又有一定控制水平的机械装备实现焊接的机械化和自动化。例如, 装有焊接机头的焊接操作机与焊接滚轮架、焊接变位机等机械装备相配合, 在一定范围内可实现焊接的自动化。

目前, 焊接结构制造业正向着多参数、高精度、重型化和大型化发展。例如, 在我国 1000MW 以上的火力、水力和核能发电设备, 年产 60 万 t 以上的化工炼油设备, 30 万 t 以上的远洋货轮, 大型建筑结构, 大跨度桥梁, 跨省跨国输油输气管线, 海洋采油平台, 大型客车和高速铁路车辆等。因此, 各种高性能、高精度、高度自动化的焊接机械装备得到了迅速发展。目前国外生产的重型焊接滚轮架最大的承载能力达 1600t; 自动防窜滚轮架的最大承载能力达 800t; 采用 PLC 和高精度位移传感器控制, 防止工件轴向窜动的精度为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。变位机的最大的承载能力达 400 t, 转矩可达 450000 N · m。框架式焊接翻转机和头尾座翻转机的最大承载能力达 160 t。焊接回转工作台的最大承载能力达 500t。立柱横梁操作机和门架式操作机的最大行程达 12 m。龙门架操作机的最大规格尺寸达 8m × 8m。

值得注意的是, 目前大多数焊接装备采用了最先进的自动控制系统、智能化控制系统和网络控制系统等。交流电动机变频调速技术、计算机控制技术、PLC 控制技术、伺服驱动及数控系统在焊接机械装置中的应用非常普遍。某些焊接操作机还配备了焊缝自动跟踪系统和工业电视监控系统。自动化焊接装备的设备精度和制造质量已接近现代金属切削机床。

纵观当今国内外焊接自动化技术的现状, 可以看到其发展趋势如下。

1) 高精度、高速度、高质量、高可靠性。由于焊接制造越来越向着“精细化”方向发展, 因此焊接自动化系统也向着高精度、高速度、高质量、高可靠性方向发展。这就要求系统的控制器 (例如计算机) 以及软件有很高的信息处理速度, 而且要求系统各运动部件和驱动控制具有高速响应特性。同时, 要求其电气机械装置具有很好的控制精度。例如, 与焊接机器人配套的焊接变位机, 最高的重复定位精度为 $\pm 0.05 \text{ mm}$; 机器人和焊接操作机行走机构的定位精度为 $\pm 0.1 \text{ mm}$, 移动速度的控制精度为 $\pm 0.1\%$ 。

2) 集成化。焊接自动化系统的集成化技术包括硬件系统的结构集成、功能集成和控制技术集成。

现代焊接自动化系统的结构都采用模块化设计, 根据不同用户对系统功能的要求, 进行模块的组合。而且其控制功能也采用模块化设计, 根据用户需要, 可以提供不同的控制软件模块, 提供不同的控制功能。

模块化、集成化使系统功能的扩充、更新和升级变得极为方便。

3) 智能化。将先进的传感技术、计算机技术和智能控制技术应用与焊接自动化系统



中,使其能够在各种复杂环境、变化的焊接工况下实现高质量、高效率的自动焊接。

智能化的焊接自动化系统,不仅可以指令完成自动焊接过程,而且可以根据焊接的实际情况自动优化焊接工艺、焊接参数。例如,在焊接厚大工件时,可以根据连续实测的焊接坡口宽度,确定每层焊缝的焊道数、每道焊缝的熔敷量及相应的焊接参数、盖面层位置等,而且从坡口底部到盖面层的所有焊道均由焊机自动提升、变道,完成焊接。

4) 柔性化。大型自动化焊接装备或生产线的一次投资相对较高,在设计这种焊接装备时必须考虑柔性化,形成柔性制造系统,以充分发挥装备的效能,满足同类产品不同规格工件的生产需要。

在焊接系统柔性化方面,广泛采用焊接机器人作为基本操作单元,组成焊接中心、焊接生产线、柔性制造系统和集成制造系统。

采用柔性化夹具,适用不同类型产品的焊接。

另外,焊接自动化系统的模块化、集成化也促进了系统的柔性化。

5) 信息化。随着计算机技术、网络技术和通信技术的发展和运用,焊接制造信息化已成为现代制造业实现可持续化发展和提高市场竞争力的重要保障。焊接制造信息化是将信息技术、自动化技术、现代管理技术与焊接技术相结合,带动焊接制造工艺设计的创新、企业管理模式的创新,实现产品焊接制造与管理的信息化、生产过程控制的智能化、焊接制造装备的数字化和咨询服务的网络化。

在焊接制造过程中,应用网络信息技术,可以进行多台自动焊机的集中控制,包括焊接参数的修改、备份,焊接过程、焊接设备的实时监测与调节,故障诊断等。

6) 标准化、通用化。焊接自动化系统结构、硬件电路芯片、接口的标准化、通用化不仅有利于系统的扩展、外设(如焊机)的兼容,而且有利于系统的维修。

7) 人性化。目前大多数的焊接自动化系统都具有人机交互功能,使焊接自动化系统更具有人性化;触摸屏、数字显示技术在人机交互、焊接参数实时监控中得到了普遍的应用。

1.5 学习本课程的目的和要求

焊接自动化技术是一门技术科学,也是一门交叉科学。它涉及材料、机械、电子、信息、控制等多学科交叉领域,包含了自动控制基本理论、传感器技术、电动机及其控制技术,数字控制技术、PLC 控制技术等。

焊接自动化技术是焊接专业(专业方向)的一门新的专业课程。通过本课程的学习,可以使同学掌握焊接自动化技术的基本内容,并与所学习的基础课、学科基础课以及专业课程的相关内容建立有机的联系,掌握系统分析问题的方法,提高多学科融合、积极创新的思维能力,尽快成为国家经济建设所需要的复合型高层次人才。

本课程的先修课程是电工电子学、弧焊电源及控制、焊接工艺方法及设备等。

通过本课程的学习,同学应该掌握焊接自动控制的基本原理;熟悉一般焊接自动化系统的控制要求;了解焊接自动化中经常使用的位置、位移、速度传感器的工作原理,并可以结合工程实际选用各种类型的传感器;掌握电动机速度调节原理及在焊接自动化方面的应用;对可编程控制器(PLC)应具有初步的运用能力,可以将其应用于焊接自动化的控制中。

综上所述,通过本课程的学习,同学应该掌握焊接自动化关键技术的基本内容,具有焊