



焊接工程师系列教程

焊接自动化技术及其应用

胡绳荪 主编

帮您全面掌握焊接工艺及技术
助您早日成为优秀焊接工程师

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



焊接工程师系列教程

焊接自动化技术及其应用

胡绳荪 主编



机械工业出版社

本书是为满足普通高等教育“材料成型及控制工程”专业毕业后从事焊接技术工作的学生、焊接方向的研究生了解和掌握焊接专业基础知识,以及企业开展焊接工程师培训和焊接工程技术人员自学焊接专业基础知识的需要而编写的“焊接工程师系列教程”之一。本书系统介绍了有关焊接自动化、自动控制系统的概念,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、单片机控制技术、PLC控制技术以及焊接机器人等知识。

本书可供大学相关专业、函授班和培训班作为教材,还可作为具有大专以上文化水平的技术人员、技师作为焊接工程师岗前教育和岗位培训之用,也可供焊接方向的研究生和从事焊接工作的工程师和技术人员参考。

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. —北京:机械工业出版社, 2007.2
(焊接工程师系列教程)

ISBN 978-7-111-20812-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第011454号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何月秋 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2007年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·399千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-20812-9

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379080

封面无防伪标均为盗版

序

时光荏苒，斗转星移。随着新世纪的到来，我国普通高等学校的专业设置格局亦发生了深刻的结构性变革。在机械工程学科覆盖的本科教育层面上，曾经独立设置了近半个世纪的“铸造、焊接、压力加工，以及金属热处理(部分)”专业整合成立了新的“材料成型及控制工程”专业；传统的机械热加工工艺学科的本科工程教育模式至此完成了从“专而窄”向“泛而宽”过渡的深刻变革。

毋庸置疑，在本科教育层面上实施“通才”教育有利于综合性、创新型人才的培养。而与之相应的，在市场经济环境下，社会和企业对焊接工程技术人才的需求则要再通过岗前或岗上培训，以及相应的“焊接工程师”职业资格认证、注册制度解决。就此意义而言，本套“焊接工程师系列教程”的出版可谓是恰逢其时，相信其定会为焊接界培养更多更好的焊接工程师作出贡献。

本套教材体系完整、知识系统、内容丰富，凝练了编审者们长期从事焊接专业教育教学的经验。它的出版无疑将促进我国焊接工程师培训和焊接事业的发展，同时使社会和企业受益。

中国机械工程学会焊接分会理事长

李中

编写说明

为适应普通高等教育专业目录调整的要求,我国普通高等院校原设的机械类热加工专业已合并更名为宽口径的“材料成型及控制工程”专业。在“材料成型及控制工程”专业的教学计划中,专业课学时约占总学时数的9%~10%,一般为250学时左右,教学内容涵盖原铸造、焊接、压力加工和热处理(一部分)专业的知识领域。这一旨在加强基础、拓宽专业的调整有利于综合性创新型人才的培养。但是,新专业课教学的总学时有限,相对于企业对焊接工程技术人才的需求而言,学生在校期间的学习只能是初知焊接基本理论。毕业后为了适应企业焊接工程师的岗位要求,还必须对焊接专业知识进行系统的岗前自学或岗位培训。显然,无论是焊接工程师的培训还是自学都需要有一套实用的、有别于宽口径大学本科的焊接专业教材,《焊接工程师系列教程》正是为满足焊接专业的这一需求而精心策划和编写的。

本套“焊接工程师系列教程”是在机械工业出版社1993年出版的一套4本“继续工程教育焊接教材”的基础上修订、完善、补充的。在第1版的编写过程中,张清桂、田景峰、王长聚、平桂香、张方中、郁东健、杨桂华和陈英等同志提出了许多宝贵意见,再次表示感谢。

新版教程共6本,包括《熔焊原理与金属材料焊接》、《焊接工艺理论与技术》、《焊接结构与生产》、《无损检测与焊接结构质量保证》、《现代弧焊电源及其控制》、《焊接自动化技术及其应用》,后两本是第2版新增加的。

本套教程的编写是基于天津大学焊接专业多年来教学实践的积淀。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入手阐明焊接技术理论,并列举了较多的焊接工程实例。

本套教程适用于企业焊接工程师的岗前自学与岗位培训,同时可作为注册焊接工程师认证考试的培训教材或参考书,也可用作普通高等院校相关专业本科生、研究生的参考教材,还可供从事焊接技术工作的工程技术人员参考。

衷心希望“焊接工程师系列教程”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。

“焊接工程师系列教程”编委会

前 言

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,现代焊接加工正在向着机械化、自动化的方向发展。近年来,焊接自动化在实际工程中的应用取得了迅速发展,已成为先进制造技术的重要组成部分。为了满足焊接工程技术人员的要求,特编写了这本《焊接自动化技术及其应用》。本书是《焊接工程师系列教程》丛书中的一册。

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机控制技术、单片机控制技术、PLC 控制技术以及焊接机器人等知识。

本书共分七章,其中第一、二、三、五、六章由天津大学胡绳荪教授编写;第四章由天津大学路登平副教授编写;第七章由天津工业大学李亮玉教授编写;胡绳荪教授任本书主编并负责全书的统稿工作。天津理工大学韦福水教授认真审阅了原稿,提出了许多宝贵的意见,作者在此表示衷心的感谢。

本书可以作为焊接工程师的培训教材,也可以作为“材料成型及控制工程”本科专业相关课程的参考教材,又可以作为“材料加工工程”专业硕士研究生相关课程的参考教材。

在编写过程中,天津电焊机厂齐绍荣高级工程师对本书提出了许多修改意见,天津大学赵家瑞教授对本书给予了很多的关心和帮助,牛虎理、尹玉环等研究生对本书的图表做了很多工作,作者在此表示衷心的感谢。

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

目 录

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	1
1.3 焊接自动化的关键技术	3
1.4 焊接自动化的发展趋势	5
1.5 学习本课程的目的和要求	7
复习思考题	7
第 2 章 焊接自动化中的控制技术	
基础	8
2.1 焊接自动控制的概念	8
2.1.1 基本概念	8
2.1.2 反馈控制原理	11
2.1.3 焊接自动控制系统的分类	12
2.1.4 自动控制系统的基本特性	13
2.2 开环控制与闭环控制	13
2.2.1 开环控制与开环控制系统	14
2.2.2 闭环控制与闭环控制系统	15
2.2.3 开环控制系统与闭环控制系统的比较	16
2.3 焊接自动化中常用的控制策略	16
2.3.1 PID 控制	16
2.3.2 串级控制	21
2.3.3 自适应控制	21
2.3.4 变结构控制	22
2.3.5 模糊控制	22
2.3.6 神经网络控制	23
2.3.7 复合控制	24
复习思考题	24
第 3 章 焊接自动化中的传感技术	25
3.1 概述	25
3.1.1 传感器的概念	25
3.1.2 传感器的特性	25
3.1.3 传感器的分类	26
3.2 传感器信息处理的基本电路	27
3.2.1 信号放大电路	27
3.2.2 信号运算电路	28
3.2.3 信号分离电路	29
3.2.4 信号转换电路	33
3.3 位置传感器及其在焊接自动化中的应用	43
3.3.1 接触式位置传感器	43
3.3.2 接近式位置传感器	44
3.3.3 位置传感器在焊接自动化中的应用	48
3.4 位移与速度传感器及其在焊接自动化中的应用	49
3.4.1 差动变压器	49
3.4.2 光栅尺	50
3.4.3 测速发电机	51
3.4.4 光电式转速传感器	51
3.4.5 位置传感器检测位移和转速	52
3.5 光电编码器及其在焊接自动化中的应用	52
3.5.1 绝对编码器	53
3.5.2 增量编码器	54
3.5.3 编码器在焊接自动化中的应用	55
复习思考题	57
第 4 章 焊接自动化中的电动机控制技术	59
概述	59
3.1 继电器接触器控制系统	60
3.1.1 三相交流电动机的直接起停控制	60
3.1.2 三相交流电动机的正反转控制	62
3.1.3 三相交流电动机的降压起动控制	64
3.1.4 三相交流电动机的制动控制	64
3.2 焊接自动化中的直流电动机及其控制原理	66
3.2.1 直流电动机及其静态特性	66
3.2.2 直流伺服电动机的技术指标	68
3.2.3 直流电动机的速度控制原理	68

4.4 直流调速系统基本电路	71	5.2.7 Z8 系列单片机	144
4.4.1 常用的调节器	71	5.2.8 单片机技术的新发展	145
4.4.2 调节器辅助电路	71	5.3 单片机控制系统设计	146
4.5 闭环控制晶闸管变流器式调速系统	73	5.3.1 系统设计的基本要求	146
4.5.1 晶闸管变流器调速系统	73	5.3.2 总体(系统)设计	146
4.5.2 转速负反馈闭环调速系统	73	5.3.3 系统硬件设计	147
4.5.3 电压负反馈电流正反馈调速系统	74	5.3.4 系统软件设计	149
4.5.4 带电流截止负反馈的闭环调速系统	76	5.3.5 电磁兼容性(EMC)设计	150
4.5.5 晶闸管整流器调速系统应用电路	77	5.4 单片机控制系统举例	154
4.6 直流电动机脉宽调速系统	82	5.4.1 单片机全位置自动焊控制系统	154
4.6.1 直流电动机 PWM 调速系统工作原理	83	5.4.2 单片机自动埋弧焊控制系统	156
4.6.2 PWM 直流调速系统控制电路	86	5.4.3 单片机控制多特性自动埋弧焊机	157
4.6.3 PWM 直流调速系统应用电路	92	5.4.4 单片机焊接转胎转速控制系统	160
4.7 交流电动机变频调速原理	95	5.4.5 单片机埋弧焊机马鞍形焊缝主运动控制系统	164
4.7.1 三相交流电动机的基本特性	95	5.4.6 单片机控制的高精度全闭环送丝系统	166
4.7.2 交流电动机的调速	96	5.4.7 单片机控制的中小型储罐自动焊焊接小车	168
4.7.3 变频器工作原理	98	复习思考题	172
4.7.4 变频器的应用	103	第 6 章 焊接自动化中的 PLC 控制技术	173
4.7.5 变频器的选择与使用	111	6.1 可编程控制器	173
4.8 步进电动机及其控制原理	113	6.1.1 可编程控制器概论	173
4.8.1 步进电动机的结构与工作原理	113	6.1.2 可编程控制器的工作过程	175
4.8.2 步进电动机的驱动方法	117	6.1.3 可编程控制器的硬件构成	176
4.8.3 步进电动机的环形分配器	120	6.1.4 可编程控制器的输入/输出模块	178
4.8.4 步进电动机的传动与控制	123	6.1.5 可编程控制器的编程语言	179
4.8.5 步进电动机的应用	124	6.2 日本三菱 FX _{0N} 系列可编程控制器	182
复习思考题	125	6.2.1 型号说明	182
第 5 章 焊接自动化中的单片机控制技术	126	6.2.2 系统配置	182
5.1 单片机控制系统	126	6.2.3 FX _{0N} 系列 PLC 内软继电器的功能及编号	184
5.1.1 单片机控制的基本概念	126	6.2.4 PLC 的外部接线	186
5.1.2 单片机的应用领域	127	6.3 可编程控制器的指令及其应用	187
5.1.3 单片机控制系统分类及其构成方法	129	6.3.1 基本指令	187
5.1.4 单片机控制系统的智能化	130	6.3.2 定时器及计数器的使用	197
5.2 常用单片机	131	6.3.3 功能指令	199
5.2.1 MCS—51 系列单片机	131	6.4 梯形图的编程规则与方法	200
5.2.2 AT89 系列单片机	134	6.4.1 梯形图的编程规则	200
5.2.3 MCS—96 系列单片机	137	6.4.2 常用基本电路的编程	201
5.2.4 飞利浦 80C51 系列单片机	140	6.5 可编程控制器控制系统设计	205
5.2.5 MC6805 系列单片机	141	6.5.1 PLC 控制系统设计的基本原则	205
5.2.6 μ PD7811 单片机	142		



6.5.2 电弧焊的程序自动控制.....	206	技术.....	234
6.5.3 PLC在焊接自动化中的应用	208	7.4 弧焊机器人离线编程技术.....	235
复习思考题	216	7.4.1 弧焊机器人离线编程系统意义及 定义.....	235
第7章 焊接机器人技术	217	7.4.2 离线编程的优点.....	235
7.1 焊接机器人概论.....	217	7.4.3 弧焊机器人离线编程系统的特点.....	236
7.1.1 工业机器人定义.....	217	7.4.4 弧焊机器人离线编程系统的组成.....	236
7.1.2 焊接工艺对弧焊机器人的基本 要求.....	218	7.4.5 典型机器人离线编程仿真系统.....	239
7.1.3 焊接机器人的分类和特点.....	218	7.5 焊接机器人的应用.....	241
7.1.4 焊接机器人系统.....	220	7.5.1 奥迪轿车铝合金车门的焊接.....	241
7.2 机器人运动学和动力学基础.....	224	7.5.2 大众宝来轿车前纵梁的焊接.....	242
7.2.1 数学基础.....	224	7.5.3 机器人电阻点焊.....	243
7.2.2 机器人运动学基础.....	225	7.5.4 铝合金贮箱箱底拼焊的机器人 焊接.....	243
7.2.3 机器人动力学基础.....	228	复习思考题	245
7.3 焊接机器人传感技术.....	229	附 录 MCS—51 单片机指令系统速 查表	246
7.3.1 概述.....	229	参考文献	248
7.3.2 视觉传感器.....	230		
7.3.3 电弧传感器.....	231		
7.3.4 机器人焊接过程多传感信息融合			

第 1 章 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、建筑以及电子等行业。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科技产品制造的质量、数量要求，现代焊接加工正在向着机械化、自动化的方向发展。电子技术、计算机技术以及机器人技术的发展，为焊接自动化提供了十分有利的基础。近年来，焊接自动化在实际工程中的应用取得了迅速发展，已成为先进制造技术的重要组成部分。

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

焊接自动化主要是指焊接生产过程的自动化。它是一个综合性的设计与工艺问题，其主要任务就是：在采用先进的焊接、检验和装配工艺过程的基础上，建立不需要人直接参与焊接过程的焊接加工方法和工艺方案，以及焊接机械装备和焊接系统的结构与配置。焊接自动化的核心是实现没有人直接参与的自动焊接过程。

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。焊接生产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。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。而单一焊接工序的自动化是焊接生产自动化的基础。本书主要介绍单一焊接工序的自动化技术。

仅就焊接工序的自动化来说，就要考虑到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，完成工件的自动焊接。因此，根据焊接工件的结构特点与焊接质量要求，构建合理的焊接自动化系统是实现焊接自动化的前提。本书介绍的焊接自动化系统主要是指能够实现焊接工件或焊枪机械运动自动控制的系统。

1.2 焊接自动化系统

从某种意义上讲，焊接自动化就是用焊接机械装置来代替人进行焊接。图 1-1 所示是一个机器人焊接系统，它是一个典型的焊接自动化系统。该系统主要由如下部分构成：机器人、变位机、各种传感器、控制器、自动焊机（包括焊接电源、焊枪等）等。

图 1-2 所示是一个细长管体内环缝焊接专机，它也是一个焊接自动化系统。该系统主要

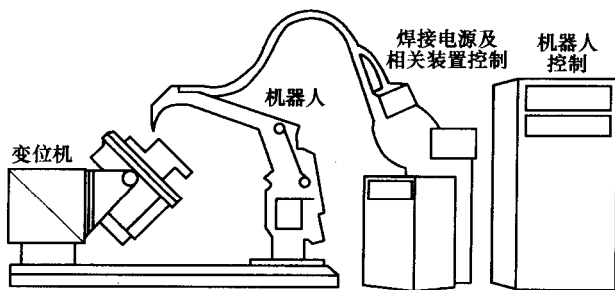


图 1-1 机器人焊接系统

由悬臂式焊接操作机、焊缝跟踪传感器、控制器、内环缝焊剂垫台车、焊接滚轮架及台车、自动焊机（包括焊接电源、焊枪等）等组成。

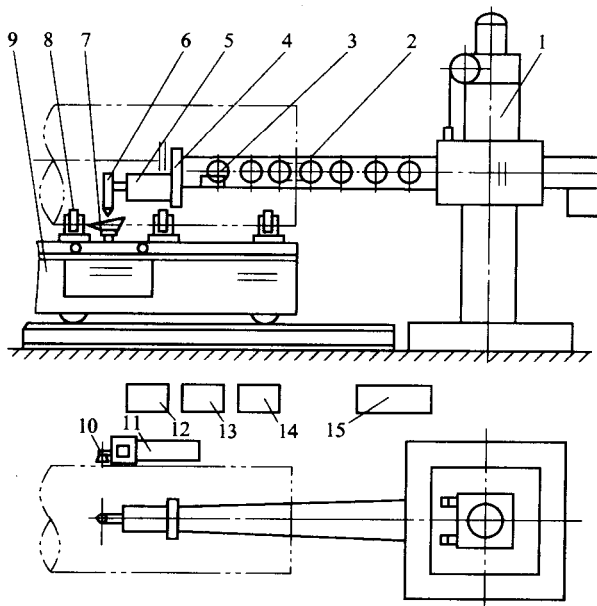


图 1-2 细长管体内环缝自动焊接系统

- 1—悬臂式焊接操作机 2—送丝机构 3—自动跟踪系统 4—三维机头调整机构 5—传感器 6—焊枪
7—内环缝焊剂垫台车 8—焊接滚轮架 9—焊接滚轮架台车 10—焊缝对正装置 11—操作盘 12—自动跟踪控制箱
13—主控制箱 14—弧焊电源 15—保护气

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，都可以进行自动焊接。其基本构成单元是：机械装置、执行装置、能源、传感器、控制器和自动焊机。

1. 机械装置

机械装置是能够实现某种运动的机构，配合自动焊机进行焊接加工装置，如机器人、变位机、悬臂操作机等。

2. 执行装置

执行装置是驱动机械装置运动的电动机或液压、气动装置等。

3. 能源

能源是驱动电动机的电源等。

4. 传感器

传感器是检测机械运动、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

控制器主要是用于机械运动控制的计算机、单片机、可编程控制器（PLC）以及电子电路控制系统。

6. 自动焊机

自动焊机包括焊接电源、送丝机、焊枪等。它是一个独立的系统。

无论是人工焊接还是自动焊接，都需要焊机。而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作用，完成没有人直接参与的自动焊接过程，它们与人体之间的关系可以由图 1-3 来表示。

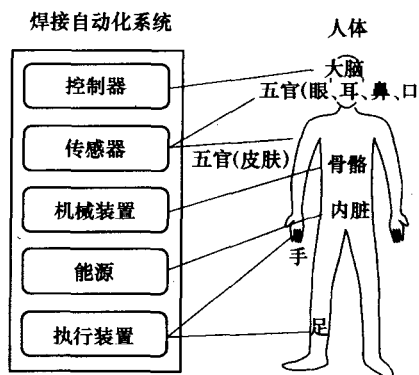


图 1-3 焊接自动化系统与人体的关系

1.3 焊接自动化的关键技术

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，也就是利用传感器检测焊接过程的机械运动，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夹具、焊接变位机、焊接操作机、焊接工件输送装置以及焊接机器人等。这些装置是配合焊机进行自动焊接的，它具有以下作用：

- 1) 使焊接工件装配快速、定位准确。
- 2) 能够控制或消除工件的焊接变形。
- 3) 使焊件尽量处于最有利的施焊位置——水平及船形位置焊接。
- 4) 可以完成组合焊缝的焊接，减少焊接工位。
- 5) 使焊枪运动，或者焊接工件运动，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接工件结构特点、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。

同时，焊接机械装置在结构、重量、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,利用其它高、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,减少重量、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器有许多种,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

要使焊接机械作回转、直线以及其它各种复杂的运动,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。

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,主要应用于焊接工件的工装夹具。

液压执行装置在焊接工件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,计算机、单片机、PLC构成的控制器越来越普遍,从而为先进的控制技术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起动或停止,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。

焊接自动化中的自动控制技术主要是指:基本控制理论;在控制理论指导下,根据焊接工艺和质量的要求,对具体的控制装置或控制系统进行设计;设计后的系统仿真、现场调试;最终使研制的系统可靠地投入焊接工程应用。

自动控制技术包括硬件控制技术和软件控制技术。利用适当的软件进行控制,无论如何



复杂的机械运动都可以实现。这里所说的软件控制技术不是软件语言及其管理方面的技术,而是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、人一机接口。电气接口实现系统各个功能单元间的电信号连接;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;人一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

信息技术、计算机技术、自动控制技术的发展和运用,正在彻底改变传统焊接的面貌,焊接生产过程的自动化已成为一种迫切的需求,它不仅可以大大提高焊接生产率,更重要的是可以确保焊接质量,改善操作环境。自动化焊接专机、机器人工作站、生产线和柔性制造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,工业机器人的运用在先进工业国家开始普及,1996 年年底全世界服役的各类工业机器人超过 68 万台。其中,焊接机器人大约为一半以上。我国焊接机器人的数量到 2001 年已经达到 1040 台,其中弧焊机器人占 49%,点焊机器人占 47%。它作为主要装备,在机械化、自动化生产线上,焊接柔性加工单元中,得到了广泛应用。

除了焊接机器人以外,各种焊接专机的运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%,复杂的空间曲线焊缝相对比较少,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。因此,低成本自动化技术与设备的发展更适合发展中国家的焊接自动化。

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 1000MW 以上火力、水力和核能发电设备,300kt 以上远洋货轮,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,防窜精度为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。变位机的最大承载能力达 400t,转矩可达 $450000\text{N}\cdot\text{m}$ 。框架式焊接翻转机和头尾架翻转机的最大承载能力达 160t。焊接回转平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 12m。龙门架操作机的最大规格为 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 。

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，可以看到其发展的趋势：

1) 高精度、高速度、高质量、高可靠性。由于焊接加工越来越向着“精细化”加工方向发展，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。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的集成。

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工件坡口宽度，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) 网络化。由于现代网络技术的发展，也促进了焊接自动化系统管控一体化技术的发展。通过网络，利用计算机技术、远程通信技术等，将生产管理和焊接过程自动控制一体化，实现脱机编程，远程监控、诊断和检修。

在焊接生产中，应用网络技术，可以进行多台焊机控制器的集中控制。包括焊接参数的修改、备份，焊接过程、焊接设备的实时监测，故障报警与监控等。

6) 标准化、通用化。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，使焊接自动化系统的控制更具有人性化。数字显示技术在人机交互、控制参数实时检测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，它包含了自动控制理论、传感器技术、电动机及其控制技术，单片机控制技术、PLC 控制技术等。

焊接自动化技术是焊接专业（专业方向）一门新的专业课程。本课程学习的目的，是使学生能够掌握焊接自动化技术的基本内容，使学生将所学习的基础课、专业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，提高学生多学科融合、积极创新的思维能力，成为社会主义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、微机原理及应用、焊接方法及设备等。

通过本课程的学习，学生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，并具有一定的系统设计能力；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；了解单片机在焊接自动化中的应用；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，学生应该掌握焊接自动化关键技术的基本内容，具有焊接自动化系统分析、设计和调试的初步能力。

复习思考题

1. 什么是焊接自动化？什么是焊接自动化系统？
2. 焊接自动化系统的基本构成包括哪几个部分？
3. 焊接自动化中的关键技术有哪些？
4. 焊接自动化技术的发展趋势是什么？

第2章 焊接自动化中的控制技术基础

控制技术是焊接自动化的关键技术之一。自动控制理论与控制策略是控制技术的基础。本章将介绍焊接自动化中有关自动控制理论的基本概念和原理。

2.1 焊接自动控制的概念

2.1.1 基本概念

1. 控制与控制系统

在现代焊接加工中，控制无处不在。图 2-1 是焊接转台转速控制示意图，表示了一台直流电动机及减速机构带动焊接转台旋转的模型。焊接转台旋转的速度决定于直流电动机的转速。如果转台上的负载发生较大变化时，电动机转速也会发生变化。负载增大，电动机转速降低；负载减小，电动机转速升高。要使焊接转台的转速保持为某一恒定值，则需要根据电动机实际转速与所需要转速的偏差来调节调压器输出电压的高低，从而使电动机的转速即焊接转台的转速能够维持在所需要的转速附近，这就是控制。

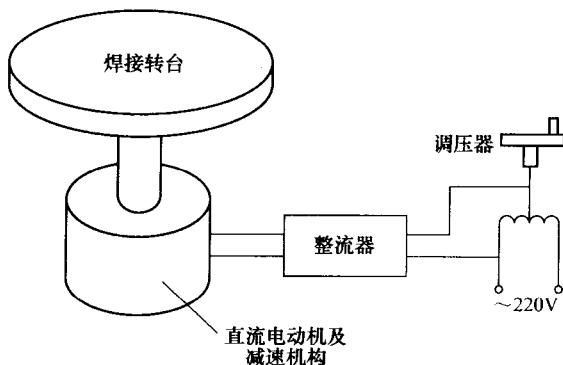


图 2-1 焊接转台转速控制示意图

从广义上讲，控制就是为了达到某种目的，对事物进行主动的干预、管理或操纵。

在工程领域，控制是指利用控制装置（机械装置、电气装置或计算机系统等）使生产过程或被控对象（机器或电气设备等）的某些物理量（温度、压力、速度、位移等）按照特定的规律运行。

为了实现某种控制要求，将相互关联的部分按一定的结构形式构成的系统称为控制系统。该系统能够提供预期的系统响应，以达到特定的控制要求。

2. 自动控制与自动控制系统

控制可以分为人工控制和自动控制。在焊接加工中，常用恒温箱烘烤焊条或加热被焊工件。恒温箱的温度控制可以采用人工控制，也可以采用自动控制。