



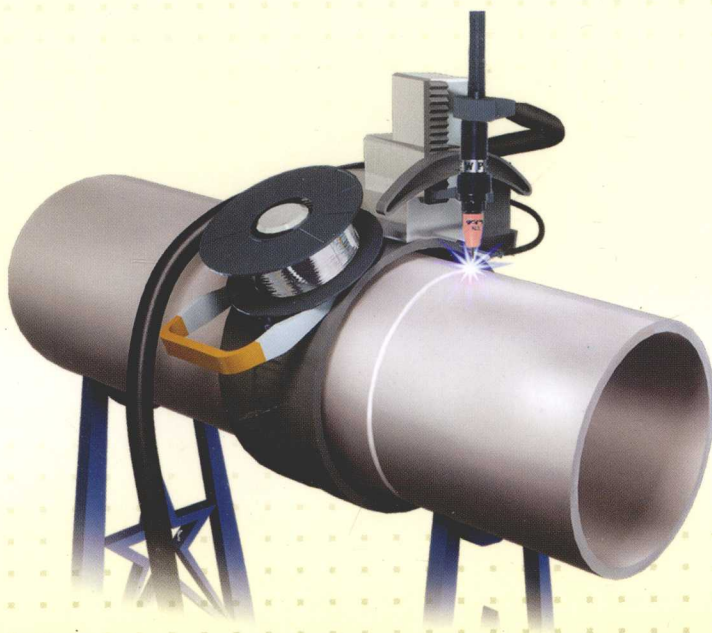
TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

材料成型自动控制基础

CAILIAO CHENGXING ZIDONG KONGZHI JICHU

© 主编 雷 毅



中国石油大学出版社



TB3
1007



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

Cailiao Chengxing
Zidong Kongzhi Jichu

材料成型自动控制基础

主编 雷毅

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料成型自动控制基础/雷毅主编. —东营:中国石油
大学出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-5636-2903-9

I. 材… II. 雷… III. 工程材料—成型—自动控制—高
等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 154659 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 材料成型自动控制基础
作 者: 雷 毅

责任编辑: 袁超红(电话 0532—86981532)

封面设计: 金 涛 雷 毅

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)

开 本: 185×260 印张: 22.25 字数: 566 千字

版 次: 2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

内容简介

本书根据中国石油大学(华东)“十一五”课程教材规划和新教学大纲的基本要求编写,主要介绍材料成型技术中焊接控制系统的基础知识和控制方法。全书体系突出理论联系实际,注重思路和能力培养;书中内容取材广泛,力求反映国内外最新成就和发展趋势。

全书共8章,包括自动控制的基本概念、自动控制的数学基础、材料成型控制中的检测技术、材料成型控制中的伺服系统、材料成型中的焊接控制系统、自动控制系统的性能分析、自动控制系统的校正与设计、数字PID和智能控制技术。每章均配有适量的思考题与习题。

本书可作为高等学校材料成型及控制工程专业和非电类相关专业的教学用书,也可供相关教学人员和工程技术人员参考。

实现材料成型过程的自动控制在保证高效率、高性能、高可靠性的现代化生产中是必不可少的技术手段。随着现代科学和计算机技术的迅速发展,自动控制理论应用于材料成型工程的重要性日益明显,并已成为材料成型技术中一个重要的独立分支。

根据教育部 1998 年 7 月颁布的高等院校专业招生指导性目录,各高校相继出台了相应的专业目录调整方案,其目的在于落实“基础厚、口径宽、能力强、素质高、多规格”的人才培养目标,探索新的人才培养模式。为此,课程结构需要进行整体优化,更加注重宽口径专业教育思路,以形成与新专业目录要求相适应的课程体系。本书根据中国石油大学(华东)“十一五”课程教材规划和新教学大纲的基本要求编写,主要介绍材料成型技术中焊接控制系统的基础知识和控制方法。全书体系突出理论联系实际,注重思路和能力培养。本书旨在提高材料成型及控制工程专业学生的自动控制理论应用能力,为将控制理论应用于工程实际奠定一定的基础。

全书共分 8 章。■第 1 章自动控制的基本概念,主要介绍自动控制的基本方式、自动控制系统的组成和类型、对控制系统的性能要求、材料成型自动控制的特点和主要发展方向。■第 2 章自动控制的数学基础,主要介绍复变函数及拉普拉斯变换和反变换的概念、典型时间函数的拉氏变换、拉氏变换的基本性质和拉氏反变换的基本方法,并简述线性系统数学模型的建立方法、典型环节的传递函数和方块图及其变换法则。■第 3 章材料成型控制中的检测技术,主要介绍传感器的基本概念和常用传感器的工作原理,重点介绍焊接自动控制系统中部分传感器的结构、工作原理和主要特点。■第 4 章材料成型控制中的伺服系统,主要介绍不同类型的步进式伺服系统、直流伺服系统和交流伺服系统的组成结构、工作原理和应用特点。■第 5 章材料成型中的焊接控制系统,主要介绍弧焊电源控制、电弧焊焊接过程参数控制、焊接电弧自动跟踪系统和部分典型焊接设备的控制系统。■第 6 章自动控制系统的性能分析,主要介绍系统的瞬态响应与误差分析、系统的频率特性分析和稳定性分析。■第 7 章自动控制系统的校正与设计,主要介绍控

制系统的性能指标及校正方式,PD 控制、PI 控制和 PID 控制规律,介绍典型系统的工程设计、串联校正和反馈校正的基本方法,并讨论焊接电弧控制系统。■第 8 章数字 PID 和智能控制技术,主要介绍线性离散系统的数学描述、数字 PID 控制算法和参数整定,并简介模糊控制技术、神经网络控制技术和基于遗传算法的控制技术的基本概念。

本书取材广泛,在注重内容的系统性和完整性的同时,力求反映材料成型中焊接控制技术的最新水平。

华中科技大学材料科学与工程学院余圣甫教授和中国石油大学(华东)信息与控制工程学院张加胜教授分别对本书进行了全面审阅,并提出了许多宝贵意见,中国石油大学(华东)教务处和中国石油大学出版社对本书的出版工作给予了大力支持,在此一并表示深切的谢意。同时,对教材中引用的参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在不足和错误之处,敬请读者批评指正,以便在本书构架、内容和细节等方面进一步完善。

编 者

2009 年 5 月于青岛

绪 论	1
第 1 章 自动控制的基本概念	6
§ 1.1 自动控制的基本方式	6
1.1.1 自动控制与自动控制系统	6
1.1.2 开环控制系统和闭环控制系统	7
1.1.3 复合控制系统	10
§ 1.2 自动控制系统的组成和类型	11
1.2.1 自动控制系统的组成	11
1.2.2 自动控制系统的类型	12
§ 1.3 对自动控制系统的基本要求	16
1.3.1 典型输入信号	16
1.3.2 系统的暂态过程	19
1.3.3 对控制系统的性能要求	20
§ 1.4 材料成型自动控制概况	21
1.4.1 焊接控制特点	21
1.4.2 存在的主要问题	23
1.4.3 主要发展方向	23
思考题与习题	26
第 2 章 自动控制的数学基础	27
§ 2.1 拉普拉斯变换的数学方法	27
2.1.1 复数和复变函数	27
2.1.2 拉氏变换与拉氏反变换	29
2.1.3 典型时间函数的拉氏变换	30
2.1.4 拉氏变换的基本性质	33
2.1.5 拉氏变换的数学方法	39

2.1.6 用拉氏变换解常微分方程	42
§ 2.2 线性系统的数学模型	45
2.2.1 基本概念	45
2.2.2 传递函数	47
2.2.3 方块图及其变换	58
2.2.4 焊接电弧的传递函数	68
思考题与习题	71
第3章 材料成型控制中的检测技术	74
§ 3.1 传感器概述	74
3.1.1 基本概念	74
3.1.2 传感器的主要特性	77
§ 3.2 常用传感器	85
3.2.1 温度传感器	85
3.2.2 应力传感器	90
3.2.3 速度传感器	93
3.2.4 位移传感器	98
§ 3.3 焊缝跟踪传感器	102
3.3.1 接触式跟踪传感器	102
3.3.2 电磁式跟踪传感器	103
3.3.3 光电式跟踪传感器	106
3.3.4 电弧跟踪传感器	109
§ 3.4 新型传感器	112
3.4.1 固态图像传感器	112
3.4.2 光纤传感器	116
3.4.3 新型传感器的发展	119
思考题与习题	120
第4章 材料成型控制中的伺服系统	121
§ 4.1 伺服系统的组成与分类	121
4.1.1 伺服系统的结构组成	121
4.1.2 伺服系统的分类	122
§ 4.2 步进式伺服系统	124
4.2.1 步进电动机	124
4.2.2 步进电动机的开环控制	130
4.2.3 步进电动机的闭环控制	134
§ 4.3 直流伺服系统	135

4.3.1	直流伺服电动机	135
4.3.2	速度控制伺服系统	141
4.3.3	位置控制伺服系统	152
§ 4.4	交流伺服系统	154
4.4.1	交流伺服电动机	154
4.4.2	交流伺服控制系统	156
思考题与习题		158
第5章 材料成型中的焊接控制系统		160
§ 5.1	弧焊电源的控制	160
5.1.1	弧焊电源控制方法及特点	160
5.1.2	弧焊电源控制的关键技术	161
5.1.3	弧焊电源输出特性控制	163
5.1.4	弧焊电源的数字化控制技术	164
§ 5.2	电弧焊的焊接过程控制	166
5.2.1	CO ₂ 焊接过程过渡频率的适应控制	166
5.2.2	焊缝熔透的适应控制	168
5.2.3	焊接过程的速度及位置控制	169
§ 5.3	焊接电弧自动跟踪控制	172
5.3.1	电弧焊自动跟踪控制原理	172
5.3.2	摆动电弧双向跟踪系统	173
5.3.3	高速旋转电弧跟踪系统	174
§ 5.4	典型焊接控制系统简介	175
5.4.1	焊接转胎转速控制系统	175
5.4.2	全位置管道自动焊接控制系统	177
5.4.3	大型球罐自动焊接控制系统	180
5.4.4	焊接机器人控制系统	183
5.4.5	柔性焊接生产线	192
思考题与习题		194
第6章 自动控制系统的性能分析		195
§ 6.1	系统的瞬态响应与误差分析	195
6.1.1	时间响应	195
6.1.2	一阶系统的时间响应	197
6.1.3	二阶系统的时间响应	200
6.1.4	高阶系统动态分析	204
6.1.5	瞬态响应的性能指标	206

6.1.6 系统误差分析	210
§ 6.2 系统的频率特性分析	218
6.2.1 频率特性	218
6.2.2 频率特性的对数坐标图	221
6.2.3 频率特性的极坐标图	231
6.2.4 最小相位系统的概念	236
6.2.5 闭环频率特性与频域性能指标	238
§ 6.3 系统的稳定性分析	242
6.3.1 稳定性	242
6.3.2 劳斯-胡尔维茨稳定性判据	245
6.3.3 奈奎斯特稳定性判据	252
6.3.4 系统的相对稳定性	259
思考题与习题	261
第7章 自动控制系统的校正与设计	265
§ 7.1 控制系统的性能指标及校正方式	265
7.1.1 系统的时域和频域性能要求	265
7.1.2 系统的校正方式和校正器	266
§ 7.2 PID控制调节器	268
7.2.1 P控制	268
7.2.2 PD控制	269
7.2.3 PI控制	270
7.2.4 PID控制	274
§ 7.3 工程设计方法	280
7.3.1 典型系统	280
7.3.2 非典型系统	283
§ 7.4 反馈校正	287
7.4.1 转速反馈	287
7.4.2 转速微分反馈	288
§ 7.5 焊接电弧控制系统分析	291
7.5.1 等速送丝焊接电弧控制系统	291
7.5.2 均匀调节焊接电弧控制系统	294
7.5.3 均匀调节和电弧自调共同作用的电弧控制系统	296
思考题与习题	297
第8章 数字PID和智能控制技术	298
§ 8.1 线性离散系统的数学描述	298

8.1.1	差分方程.....	299
8.1.2	用差分方程描述离散系统.....	301
8.1.3	差分方程的解法.....	302
8.1.4	线性离散系统的传递函数.....	305
§ 8.2	数字 PID 控制	306
8.2.1	数字 PID 控制算法	307
8.2.2	数字 PID 调节器的改进	309
8.2.3	数字 PID 调节器的参数整定	313
8.2.4	数字 PID 调节器的自寻最优控制	315
§ 8.3	智能控制技术简介	318
8.3.1	模糊控制技术.....	318
8.3.2	神经网络控制技术.....	329
8.3.3	基于遗传算法的控制技术.....	335
思考题与习题		342
参考文献.....		343

绪 论

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学,其主要内容涉及受控对象、环境特征、控制手段以及它们之间的相互作用。自动控制理论发展的初期是以反馈控制理论为基础的自动调节原理,最早应用于工业过程的反馈控制装置是瓦特(J. Watt)于1789年发明的飞球调节器,用来控制蒸汽机的转速。1868年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)用微分方程建立了蒸汽机的调节器数学模型,发展了与控制理论相关的数学理论,从而揭开了自动控制理论的研究序幕。随着工业生产和科学技术的发展,自动控制理论已成为一门独立的学科——控制论。相对论、量子论和控制论被认为是20世纪上半叶的三大伟绩,被称为三项科学革命,是人类认识客观世界的三大飞跃。控制论是一门既与技术科学又与基础科学紧密相关的边缘科学。实践证明,它不仅具有重大的理论意义,而且在生产力的发展、生产率的提高、尖端技术的研究以及社会管理等方面都产生了重大的影响。

在第二次世界大战期间及以后,由于军事和生产的需要,自动控制技术和理论得到了迅速发展。到了20世纪40年代末期,自动控制理论已形成比较完整的体系,并在工程实践中得到成功的应用。这个时期的自动控制理论称为经典控制理论。经典控制理论主要研究单输入-单输出系统的输出控制,其所应用的数学工具是拉普拉斯变换,数学模型是传递函数,主要研究方法是频率特性法和根轨迹法。自20世纪50年代以来,一方面由于宇航技术的发展,复杂的控制系统要求更高性能和更高精度,经典的控制理论已不能满足需要;另一方面,计算机技术的飞速发展又在客观上提供了重要而有力的技术手段,这使得自动控制理论发展到一个新的阶段——现代控制理论。现代控制理论研究多输入-多输出系统的状态控制,其所应用的数学工具是矢量微分方程、矩阵论和近代的一些代数理论,主要研究方法是状态空间法。

近年来,控制论在非线性系统理论、离散系统和复杂系统理论等方面均得到了不同程度的发展。同时,模糊控制、神经网络控制和专家系统等智能控制技术在实用方面也得到了较快发展。总之,自动控制理论正随着技术和生产的发展而不断发展完善,反过来它又成为高新技术进一步发展的重要理论依据。

目前控制论已渗透到许多科学技术领域,大大推动了近代科学技术的发展,并从中派生出许多新型的边缘学科:生物控制论——运用控制论研究生命系统的控制与信息处理;经济控制论——研究经济计划、财贸信贷等经济活动及其控制;社会控制论——运用控制论研究社会管理与社会服务;工程控制论——控制论与工程技术的结合等。

科学技术的迅猛发展和制造业空前激烈的竞争推动和促进了材料成型技术的发展,各种以高精度、高速度、高生产率和高质量为目标的成型技术不断涌现。特别是先进的控制技术与成型技术的有机结合,不仅给传统机械产业带来了革命性的变化和惊人的效益,也使产业结构、生产方式和管理体制发生了深刻的变化。

材料成型中的焊接自动控制

人类文明的发展和社会的进步与金属材料应用的关系十分密切。继石器时代之后出现的铜器时代、铁器时代均以金属材料的应用为其时代的显著标志。在现代工业中,金属材料(包括金属和以金属为基的合金)是最重要、应用最广泛的工程结构材料。目前,种类繁多的金属材料已成为人类社会发展的物质基础。作为材料成型重要手段之一的焊接技术是现代工业生产中不可缺少的制造技术,广泛应用于机械、冶金、建筑、船舶、汽车、电力、电子、锅炉和压力容器、航空航天和军工等产业部门,并正向着自动化、柔性化和智能化方向发展。据工业发达国家的统计,每年需要焊接加工后使用的钢铁材料约占钢材总产量的 45% 左右。而现代化生产的水平、产品的质量和经济效益等各项指标在很大程度上取决于生产设备的先进性和自动化程度。近年来,世界上各工业发达国家竞相发展机电一体化技术,以提高制造技术的水平。焊接技术是基于多学科交叉融合的产物,具有显著的多学科综合特点,这使得焊接能够更多地更快地融入最新科学技术的成就而具有时代发展的特征。

目前,金属焊接作为现代工业生产中一种重要的金属加工工艺,直接制约着其他各个行业的发展。石油化工机械中各种化工容器、反应塔、加热炉和换热器的制造与安装等都需要进行大量的焊接工作;油气储运设备中的各种储油罐、油气管道、油槽车、油轮等都是焊接为主要加工手段制造的;在钻采机械方面,焊接可用于架体、泵体、钻杆、抽油杆和钻头等各种金属结构的制造及安装修理,海洋钻探及采油平台、海洋钻井船的制造等也都离不开焊接技术。随着焊接技术的不断发展,它在生产建设中的应用日趋广泛。从日常生活用品(如家用电器、水暖设备、铁木家具等)的生产到尖端科技产品(如飞机、潜艇、火箭等)的制造都离不开高效率、现代化的焊接技术。同时,随着锅炉、压力容器、化工机械、海洋构造物、航空航天器和原子能工程等向高参数及大型化方向发展,工作条件日益苛刻和复杂。因此,提高焊接质量、改善劳动条件、提高劳动生产率已成为所有焊接工作者的强烈愿望。采用自动控制技术是达到上述目的的有效方法和重要途径。近年来,焊接自动控制在国内外发展很快,同时也受到了高度重视,已成为焊接技术的一个独立分支。

材料成型中的焊接过程控制由简到繁,功能越来越强,精度也越来越高,体现了生产力发展的进步和趋势。随着焊接结构产品的多样化和焊接结构形式的复杂化,对焊接过程实现自动控制的要求越来越高。焊接生产机械化与自动化所包括的内容很多,可以指焊接生产过程中焊接工序本身的自动控制机械化,也可以指焊接生产中包括备料、运输、组装、清理、检验等焊接辅助工序在内的全过程综合自动控制机械化与自动化。目前,电弧焊自动控制技术主要包括两大方面:一是对焊接过程的顺序自动控制,如气体保护自动焊时的提前送气→引弧→电流递增→焊接→电流衰减→停止→滞后停气等,还包括不同位置(如全位置焊)时焊接工艺参数的切换;二是对弧焊设备和焊接过程的自动控制,包括对弧焊电源输出特性的控制、焊接过程自动跟踪以及焊接过程的自适应控制等。随着计算机技术的迅猛发展,各种焊接设备的微机化、智能化已成为焊接生产现代化的发展趋势。从焊接自动控制技术水平来看,国外的机械化、自动化水平较高。日本早在 1982 年机械化水平就已达 48%;美国从 1978 年以来机械化水平一直保持在 50% 左右。到 20 世纪末,日本、美国等工业发达国家的焊接机械化和自动化率均已超过 70%。进入 21 世纪,国外焊接自动控制技术的发展日新月异。在施焊过程中,不

仅可以实现自动引弧、收弧,自动送丝、送气,自动输送和回收焊剂等焊接程序控制,而且可以实现焊缝自动跟踪和规范参数自动控制。特别是近几年来微型计算机在程序控制和自适应控制中的应用,使得焊接设备的自动化水平得到了极大提高。

我国的焊接自动化技术的发展与应用起步较晚,焊机的机械化水平和自动化水平相对较低,与工业发达国家相比,目前整体上还存在一定差距。在 20 世纪 50 年代初期,我国建设了一批大型现代化骨干企业,首先从研制自动焊接装备开始发展焊接自动化技术。随着科学技术的进步和我国工业化的发展,国内的焊接自动化技术水平得到了不断发展与提高,几十年来已取得了很大的成就。就全国范围来说,到 20 世纪 90 年代中期,焊接机械化与自动化工作量占焊接工作量的比重已超过 20%,2005 年国内的焊接机械化和自动化率已达到 35%左右,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%。目前在汽车、锅炉、化工机械、工程机械和重型机械等行业的国家重点骨干企业中,部分焊接生产机械化与自动化技术已达到国际先进水平。

作为现代制造技术发展的重要标志,机器人在国外发展很快。早在 1969 年,英国霍克尔公司就以“维尔赛特兰”弧焊机械手对汽车后桥进行气体保护焊,后来经过改型,制造了维尔赛特兰-500 型万能弧焊机械手,这也是最初的电弧焊机械手。在 20 世纪 80 年代初期,工业机器人的应用在工业发达国家开始普及,其中焊接机器人约占一半以上。据统计,1980 年初世界上仅有 2 万多台机器人,1985 年增加到 5.5 万台,到 1990 年则达 140 万台,它们主要集中在日本、美国、英国、法国、瑞典、德国等工业发达国家。日本 1984 年生产及出口弧焊机器人达 3 238 台,1985 年达 4 786 台;德国 1984 年拥有 400 余台机器人,至 1985 年已有 1 400 多台弧焊机器人在生产中运行;法国 1979 年仅有 12 台弧焊机器人,至 1982 年已发展到 600 多台;英国 1984 年大约有 400 台机器人用于焊接生产。2007 年全球工业机器人的数量已发展到 95 万台,其中日本拥有的机器人占世界总量的 40%左右,被誉为世界工业机器人的生产与应用“王国”。国内在引进国外技术的基础上,于 20 世纪 80 年代中期开始发展焊接机器人。1985 年我国研制成功国产第一台 HRGH-I 型弧焊机器人,1987 年又研制成功 HRGD-I 型点焊机器人。1989 年以国产机器人为主的汽车装焊生产线投入生产,标志着国产机器人实用阶段的开始。到 1997 年,全国使用焊接机器人的企业约 70 家,共 500 余台。进入 21 世纪后,焊接机器人在国内开始规模化应用,我国焊接机器人的数量至 2001 年已达到 1 040 台,其中弧焊机器人占 49%、点焊机器人占 47%。到 2005 年,我国焊接机器人的数量已发展到 2 500 台左右,它们作为现代制造业中的主要装备,在机械化、自动化生产线上和焊接柔性加工单元中已得到了较好的应用。近几年来,汽车行业(包括汽车制造厂和零部件厂)大量应用焊接机器人,全国焊接机器人的 70%集中在汽车行业,主要从事焊接喷漆、组装和材料加工。

除焊接机器人之外,各种焊接专机(如数控焊接电源、智能焊机、全位置管-管自动焊机、全位置管-板自动焊机、全自动专用焊机和柔性焊接机器人工作站)的应用使焊接自动化技术更加普及。随着先进制造技术的发展,实现焊接产品制造的自动化、柔性化与智能化已成为必然趋势。目前,焊接结构制造正向着多参数、高精度、重型化和大型化方向发展,例如 1 000 MW 以上火力、水力和核能发电设备,300 kt 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。这使得各种高性能、高精度、高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 1 600 t。自动防窜滚轮架的最大承载能力达 800 t,防窜精度为 ± 0.5 mm。变位机的最大承载能力达 400 t,转矩可达 450 000 N·m。框架式焊接翻转机和头尾架翻转机的最大承载能

力达 160 t。焊接回转平台的最大承载能力达 500 t。立柱横梁操作机和门架式操作机的最大行程达 12 000 mm。龙门架操作机的最大规格为 8 000 mm×8 000 mm。将人工智能技术引入焊接设备形成了焊接设备的智能控制系统,在这一领域具有代表性的是焊接过程的模糊控制系统、神经网络控制系统和焊接专家系统。它们的显著特点是:控制过程涉及领域专家的知识、经验,通过建立知识库及推理实现相应的决策,实现生产系统的智能化控制。随着以焊接机器人为核心的柔性智能焊接自动化技术的广泛应用,焊接专家系统的普及已是公认的发展方向。

实现焊接生产的机械化和自动化不仅可以提高焊接结构的质量和生产率、降低生产成本,同时也可以大大降低生产工人的劳动强度,并使生产条件得到明显改善。无论是简单的单台焊接设备控制,还是复杂的焊接机器人和柔性焊接生产线控制等,整个系统均不同程度地应用了自动化控制技术。同时,自动控制作为一个专门的学科也在不断发展,从经典的线性控制到现代的非线性控制,甚至模糊控制、人工智能专家系统控制等,它确实在现代材料成型过程控制系统中发挥了很大的作用。从某种意义上来说,作为现代先进制造技术的重要组成部分,焊接自动化对国民经济建设具有重要影响。



本课程的目的和要求

1. 课程背景

根据教育部 1998 年 7 月颁布的高等院校专业招生指导性目录,各高校根据本校的实际情况相继出台了相应的专业教学计划调整方案。调整后的新专业招生目录进行了专业合并,全国高校原有 504 个专业,合并后仅为 249 个专业,专业的调减幅度达 50.6%,其目的在于落实“基础厚、口径宽、能力强、素质高、多规格”的人才培养目标,探索新的人才培养模式。为此,课程结构需要进行整体优化,打破过去学科间、课程间的壁垒,加强相互联系,为后续学科的发展留好接口,并更加注重素质培养的宽口径专业教育思路,以形成与新专业目录要求相适应的课程体系。

机械工程类的材料成型及控制工程专业涵盖专业调整前焊接、铸造、塑性加工等内容。以材料为加工对象的特点决定了材料科学是该专业领域的基础知识,而以过程控制为质量保证措施这一特点决定了控制理论是该学科基础知识的重要组成部分。目前,国内有 180 余所高等学校已设立材料成型及控制工程专业,其中大多数以原来的热加工类专业为主体。由于各院校原有的专业基础不同,专业的定位及发展目标也不尽相同,在培养模式及培养计划方面存在较大差异,因此相关课程国内尚无统编教材。随着工业生产和科学技术的迅猛发展,自动控制技术已经在国民经济的各个领域得到了广泛应用,材料成型自动控制基础作为专业基础理论课程已成为材料成型及控制工程专业的一门重要课程。本教材根据中国石油大学(华东)“十一五”课程教材规划和新教学大纲的基本要求编写,主要介绍材料成型技术中焊接控制系统的基础知识和控制方法。

2. 课程目的

通过本课程的学习,使学生能较好地掌握材料成型技术中有关自动控制应用方面的基本理论、基本方法和技能,拓宽学生的思维空间,提高材料成型及控制工程专业学生的自动控制应用能力,为从事机电一体化科研或开发奠定基础,培养实用技能。

3. 课程要求

课程要求如下：

- (1) 理解自动控制系统的基本概念；了解常用控制系统的类型和主要特点。
- (2) 正确理解系统传递函数的定义、性质，熟悉各种典型传递函数的标准形式；初步掌握由系统工作原理图绘制系统职能方块图的方法。
- (3) 了解材料成型控制系统中的主要传感器的基本结构、工作原理和应用特点。
- (4) 熟悉材料成型控制系统中的常用伺服电动机的工作原理；了解步进式伺服系统、直流伺服系统和交流伺服系统的基本结构和控制方法。
- (5) 熟悉材料成型中典型焊接过程控制的基本原理，具备初步的控制系统设计能力。
- (6) 掌握系统的瞬态响应与误差分析、系统的频率特性分析和系统的稳定性分析的基本方法。
- (7) 明确自动控制系统应用中常用的控制规律，正确理解它们在改善系统性能中的作用；掌握典型控制模型的校正方法。
- (8) 了解先进过程控制技术的基本概念。

第 1 章 自动控制的基本概念

在工程和科学技术的发展过程中,自动控制技术正起着愈来愈重要的作用。现代化生产的水平、产品的质量和经济效益等各项指标,在很大程度上取决于生产设备的先进性和自动化程度。学习并掌握好自动控制技术,对于加快我国现代化的建设有着重要意义。同时,自动控制理论也正随着现代科学技术和生产的发展而不断发展完善,反过来它又成为高新技术进一步发展的理论依据。

自动控制系统可以是开环控制、闭环控制或复合控制。其中最基本的控制方式是闭环控制,也称反馈控制,它的基本原理是利用偏差纠正偏差。自动控制系统讨论的主要问题是系统动态过程的性能,即稳、快、准,主要内容包括系统分析和系统设计两个方面。

本章主要介绍自动控制的基本方式、自动控制系统的组成和类型、对控制系统的性能要求、材料成型自动控制的特点和主要发展方向。

§ 1.1 自动控制的基本方式

1.1.1 自动控制与自动控制系统

1.1.1.1 自动控制

什么是自动控制?自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使被控制的对象(如焊接电弧、设备或生产过程)自动地按照预定的规律工作。被控制的机器设备或生产过程称为控制对象;所用的控制装置有时称为控制元件。

1.1.1.2 自动控制系统

控制装置和控制对象的总和称为自动控制系统。二者组合在一起才能完成自动控制的任务,图 1.1-1 表示了二者之间的关系。系统的输入是作用于系统的激发信号。其中,使系统具有预定性能或预定输出的信号称为目标值或给定值;另一种信号则是破坏系统的预定性能或预定输出的,称为干扰。根据具体情况的不同,干扰输入会有不同的作用点。系统的输出称为被控制量。控制装置按给定量的要求向控制对象输出操作量,使系统达到预定的性能或预定的输出。有一定的输入,系统就会有一定的输出。系统的这个输出常称为系统对输入的响应,它是时间的函数。自动控制实际上就是为了实现一定的目的,保证对输入有满意的响应。或