



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

金属材料成型自动控制基础

余万华 郑申白 李亚奇 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

金属材料成型自动控制基础

余万华 郑申白 李亚奇 编著



北 京

冶金工业出版社

2012

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材,主要是适应自动控制技术在冶金行业广泛应用的现状,系统介绍了自动控制在硬件和软件两个方面的基本原理和几种主要数学模型的基本构成,不同冶金过程如连铸、加热和轧制对自动控制技术的要求和发展现状,其中轧制过程的自动控制是本书介绍的重点。本书尽量包含最新技术发展,使读者接触较为前沿的内容。

全书共分12章,包括:自动控制的基本概念、自动控制原理、轧制控制计算机系统的数学模型、轧制过程计算机控制系统、连续铸钢生产过程自动控制、连续加热炉生产过程自动控制、高速线材生产过程自动控制、轧制过程在厚度、连轧张力、活套、板形、温度和位置方面的自动控制等。在内容组织和结构安排上,力求理论联系实际,切合金属材料加工专业学生能力培养的需要,突出实用性、先进性,为读者提供一本有益的自动控制基础教材。

本书可作为冶金、机械、电力行业大专院校有关专业的教材,也可供从事材料加工研究、生产和应用等方面的工程技术人员与管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料成型自动控制基础/余万华,郑申白,李亚奇编著.

—北京:冶金工业出版社,2012.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5981-9

I. ①金… II. ①余… ②郑… ③李… III. ①金属材料—
成型—自动控制—高等学校—教材 IV. ①TG39

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第148266号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 张 晶 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5981-9

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012年8月第1版,2012年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;11.75印张;282千字;177页

26.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

目前,自动控制已成为金属材料生产过程中不可缺少的组成部分。金属材料加工自动化是利用自动化技术,对金属材料生产过程进行精确稳定控制,最终生产出尺寸精度高的产品。轧制是金属材料生产的重要环节,本书将侧重轧制生产控制环节。轧制过程自动化不仅涉及传感器、执行器、电力拖动等硬件环节,也涉及轧制理论、控制理论及计算机系统等多学科知识。

金属轧制过程的顺畅、质量的优劣是多方面综合的结果,诸多因素都会影响轧制系统操作性能和工作稳定,进而影响生产的进行和产品质量。如要求轧制工艺选择先进合理、装备制造安装精良、检测项目齐全、机电设备调整维护到位、自动控制准确及时、计算机控制系统结构及计算模型先进、通讯速度满足要求、操作人员技术水平达标、压下负荷合理分配等。

本教材是专门为材料成型与控制工程专业的学生学习“金属材料成型过程控制理论基础”课程而编写的。本课程介绍了钢铁生产中连铸以后各个流程的自动控制,着重轧制自动控制方面的内容,强调一般理论与实际应用相结合,教材编写尽可能避免控制工程教材中经常出现的复杂数学推导,把重点放在各环节控制原理、方法与应用上。

本教材在编写过程中,得到了北京科技大学吴春京教授、韩静涛教授、华中科技大学王桂兰教授审稿与指导帮助,北京科技大学教务处和材料学院提供了出版资助,在此深表感谢。

本教材属于新编教材,在试用过程中会不可避免的存在一些问题,编者将不断改进与完善。

编 者

2012年5月

目 录

1 概论	1
1.1 轧制生产过程的特点	1
1.2 轧制过程技术现状与自动化发展	2
1.3 中国冶金自动化的发展	3
复习思考题	4
2 自动控制原理	5
2.1 自动控制系统基本组成和控制原理	5
2.1.1 开环控制系统	5
2.1.2 闭环控制系统	6
2.1.3 复合控制系统	7
2.2 自动控制系统的基本要求	8
2.2.1 自动控制系统性能指标	8
2.2.2 PID 控制规律	11
2.3 调节器与执行器	13
2.3.1 DDZⅢ模拟调节器	13
2.3.2 数字 PID 调节器	14
2.3.3 电动执行器	14
复习思考题	15
3 轧制控制计算机系统的数学模型	16
3.1 轧制过程数学模型	16
3.1.1 几种常用的数学模型	16
3.1.2 常用的典型轧制数学模型	17
3.2 线性回归	17
3.2.1 一元线性回归	18
3.2.2 多元线性回归	19
3.3 自学习与自适应算法	20
3.3.1 数学模型的自学习	20
3.3.2 数学模型的自学习算法	21
3.3.3 精轧模型的自学习内容	23
3.4 神经网络及其应用	24

3.4.1 神经网络概述	24
3.4.2 BP神经网络的基本模型	25
3.4.3 轧制过程基于BP神经网络的实际应用	27
3.5 现场模型应用举例	28
3.5.1 轧制力模型	28
3.5.2 模拟轧钢	29
复习思考题	29
4 轧制过程计算机控制系统	30
4.1 轧制过程计算机控制的发展	30
4.2 控制用计算机系统基本结构	32
4.3 工业控制计算机的特点和种类	33
4.3.1 工业控制计算机的特点	33
4.3.2 工业控制计算机的种类	33
4.4 轧制过程多级计算机控制系统结构	36
4.4.1 L1 操作计算机控制系统分工	37
4.4.2 L2 级计算机轧制过程数学模型	39
4.4.3 L3 级生产控制级作业内容	40
4.5 轧制过程控制计算机运行可靠性	41
4.6 轧制过程控制计算机通讯	43
4.6.1 基于以太网的通讯	44
4.6.2 以太网在热轧生产线中的应用实例	44
4.6.3 基于现场总线的通讯方式	46
4.7 热带轧制车间分散控制系统实例	49
复习思考题	51
5 连续铸钢生产过程自动控制	52
5.1 连铸生产过程中的检测与控制	53
5.1.1 连续铸钢检测技术	53
5.1.2 连续铸钢自动控制	54
5.1.3 二次冷却水控制	55
5.2 连铸生产过程计算机控制系统	55
复习思考题	57
6 连续加热炉生产过程自动控制	58
6.1 加热炉温度控制模型	58
6.1.1 加热炉炉温控制原理	58
6.1.2 双交叉限幅燃烧控制方式	60
6.2 炉膛压力控制模型	62

6.3 钢坯内温度模型	63
6.4 连续加热炉自动智能控制系统	65
6.5 某公司加热炉控制系统的功能说明	67
6.5.1 PDI 数据输入	67
6.5.2 产品的核对	67
6.5.3 产品的炉前操作	67
6.5.4 板坯位置跟踪	68
6.5.5 板坯的抽出	68
6.5.6 生产节奏	68
6.5.7 炉段最佳设定温度计算	69
6.5.8 炉段最佳设定温度计算自适应	69
6.5.9 延迟策略计算	69
6.6 加热炉控制系统与其他控制系统的通讯	70
复习思考题	71
7 高速线材生产过程自动控制	72
7.1 高速线材生产线简介	72
7.2 高速线材轧机的自动控制系统	73
7.3 高速线材轧机自动化控制系统	75
7.3.1 SIMATIC S5-155U PLC	75
7.3.2 COROS LS-B 人机接口计算机操作监控系统	76
7.3.3 ET200 分布式输入、输出系统	76
7.3.4 全数字直流传动调速控制装置	76
7.3.5 LCI SIMOVERT S 精轧机主传动	77
7.4 基础自动化系统组态图	79
7.4.1 主设定 PLC 框架	79
7.4.2 传动控制 PLC 框架	80
7.4.3 顺序控制 (SEQ) PLC	80
7.4.4 轧线 (MILL) PLC	80
7.4.5 液压润滑 (MED) 系统工程 PLC	81
7.4.6 吐丝机 (PGD) 控制 PLC	81
7.5 高速线材性能预报系统介绍	81
7.5.1 高速线材在线性能系统 (SCCS) 构成	81
7.5.2 在线模型功能	82
7.5.3 在线模型特点	83
复习思考题	83
8 板带钢厚度自动控制	84
8.1 板带钢厚度的变化规律	84

8.1.1 板带钢厚度波动的原因	84
8.1.2 轧制过程中厚度变化的基本规律	85
8.2 厚度自动控制的基本形式及其控制原理	87
8.2.1 用测厚仪的反馈式厚度自动控制系统	88
8.2.2 厚度计式厚度自动控制系统 (压力 AGC)	90
8.2.3 前馈式厚度自动控制系统	93
8.2.4 张力式厚度自动控制系统	95
8.2.5 可变刚度控制	96
8.3 带钢热连轧精轧机组的厚度自动控制	99
8.3.1 精轧机组 DDC-AGC 系统的基本组成	99
8.3.2 厚度控制补偿	102
复习思考题	108
9 连轧张力和活套控制	109
9.1 轧制过程中张力的作用及其计算	109
9.1.1 前后张力作用	109
9.1.2 张力的理论计算模型	111
9.1.3 影响张力的各种因素	113
9.2 活套支撑器	114
9.2.1 电动活套的动力学计算	116
9.2.2 连轧时活套支撑器的自动控制系统	119
9.3 开卷和卷取张力的控制方法	121
9.3.1 卷取机张力控制的基本原理	122
9.3.2 直接法控制张力的基本原理	125
9.4 型钢连轧张力自动控制	126
9.4.1 H 型钢轧制的平均出口速度计算	126
9.4.2 型钢连轧电流记忆法的微张力控制原理	127
9.5 板带热连轧时的无活套轧制	128
复习思考题	129
10 带钢板形自动控制	130
10.1 板形理论	130
10.1.1 板形的工程表示方法	131
10.1.2 热带轧制板凸度规程	133
10.1.3 板形出浪的残余应力条件	133
10.2 板、带钢轧制凸度合成计算	134
10.3 板形检测方式	136
10.4 板形控制方式	136
10.4.1 人工板形控制方式	136

10.4.2 液压弯辊板形控制装置	137
10.4.3 中间辊窜辊板形控制	138
10.4.4 CVC 轧机	139
10.5 带钢板形自动控制系统	142
10.5.1 板形自动控制原理	142
10.5.2 板形自动控制系统	142
10.5.3 某 1700mm 带钢冷连轧机板形控制系统	143
10.5.4 CVC 轧辊板形液压控制	148
10.5.5 HC 轧机板形自动控制系统	149
复习思考题	152
11 轧后温度控制	153
11.1 终轧温度控制	153
11.2 卷取温度控制	154
11.2.1 卷取温度控制原理	154
11.2.2 卷取温度控制计算	156
11.2.3 控制系统构成	159
11.2.4 自动控制方法	160
11.2.5 计算机控制策略	161
复习思考题	161
12 位置自动控制 (APC)	162
12.1 位置自动控制系统的基本组成和结构	162
12.2 位置控制的基本要求和基本原理	163
12.2.1 位置控制的基本要求	163
12.2.2 机械装置理想定位过程的理论分析和控制算法	163
12.2.3 位置控制量的实际计算和控制方式	165
12.2.4 液压压下装置与液压系统动态特性	167
12.2.5 液压压下自动位置控制	167
12.3 飞剪机可编程序控制器的位置自动控制 (PLC-APC)	172
12.3.1 飞剪机剪切工作原理	172
12.3.2 ISA-D 控制系统的构成	173
12.3.3 系统的软件构成	174
12.3.4 提高系统性能的几个措施	176
复习思考题	176
参考文献	177

1 概 论

本章要点 本章概要介绍了自动控制的基本概念、轧钢生产对自动控制的要求及中国冶金自动化的发展状况。

自动控制是采用自动检测、信号调节（包括数字调节器、计算机）、电动执行等自动化装置组成的闭环控制系统，它使各种被控变量（如流量、温度、张力、轧机辊缝和轧机转速等）保持在所要求的给定值上。过程自动化是指在生产过程中，由多个自动控制系统组合成的复杂过程控制系统。

生产过程实现自动化的目的是：保证生产过程安全稳定；维持工序质量，用有限资源制造持久耐用的精美产品；在人力不能胜任的复杂快速工作场合中实现自动操作；把人从繁重枯燥的体力劳动中解放出来；不轻易受人的情绪和技术水平影响，按要求控制生产过程。实现自动化大批量生产可以为社会提供质量好、性能稳定、价格具有竞争力的产品，为企业生存发展提供更大的空间。

钢铁材料是人类社会最理想、应用最广泛的工具材料，但铸造坯锭要经过加工变形才能使组织均匀。轧制是各种变形手段中的一种，它是效率高、产量大、成本低、成型精确的一种加工方式。

轧制生产过程自动化使各种过程变量（如厚度、板形、宽度等）保持在所设定的给定范围内。

1.1 轧制生产过程的特点

现代轧制过程，特别是带钢热连轧系统，不同于其他生产过程控制，其基本特点有：

（1）需要模型计算。轧制前辊缝设置、转速设定、板形控制预设定，在线后计算、自学习计算等都有复杂运算，完全不同于传动级的简单 PID 闭环控制，而且计算内容与所用设备也有关系。

（2）控制项目众多。以带钢热连轧精轧机组为例，控制项目包括各主电机速度闭环控制、液压缸闭环控制、活套闭环控制、各种厚度自动控制（前馈、反馈、偏心补偿及监控 AGC）、板形自动控制（前馈及反馈闭环自动板形控制）、主速度（级联）控制、活套张力控制或无活套控制、精轧机组终轧温度控制、自动加减及顺序控制等总共将近 55 个控制回路。

（3）调节速度快。整卷钢为减少头尾温差，必须限定纯轧时间，这就要求具有一定的出口速度。高速轧制则对电机调速、液压压下提出快速调整的要求，如现代轧机设备控制

及工艺参数控制的周期一般为 $6 \sim 20\text{ms}$ 。液压位置控制或液压恒压力控制系统的控制周期小于 3ms ，这对计算机速度和通讯速度都提出了很高要求。

(4) 参数之间相互耦合影响。由于众多功能最终的影响都将集中到轧辊、轧件之间的变形区，因此参数间相互影响显著。例如：当自动厚度控制系统调整压下、改变出口厚度时，必将使出口速度和轧制力发生变化，出口速度变化引起前后张力变化，间接引起次生轧制力变化，共同改变轧辊辊系弯曲变形而影响辊缝形状，最终影响出口断面形状和带钢平直度（板形）。因此轧制过程的各种调节常常需要有补偿措施。

(5) 控制结果综合性强。工艺水平选择高低、装备制造安装精度、执行机构性能、机电设备调整维护好坏、计算机控制系统结构、计算机模型与算法、通讯方式与速度，压下负荷分配都会影响轧制系统的操作稳定性，操作人员知识水平和操纵能力也是影响因素。

1.2 轧制过程技术现状与自动化发展

20 世纪 60 年代以来，轧钢生产过程越来越广泛地应用自动化技术，促使生产水平不断提高，其技术现状是：

(1) 轧钢生产日益连续化。带钢和棒线材轧制工艺的局部与整体过程的连续化更加完善，型钢实现少部分的全连轧。连续化生产大大稳定轧制温度，缩小头尾温差，提高产量和产品尺寸精度。连铸连轧、无头轧制有所进展，尤其薄板坯连铸连轧，突出连续作业、不放置冷坯的特点，为经济生产钢材开辟出一片新领域。

(2) 轧制速度不断提高。细、薄的轧件必须提高轧速。轧制过程的连续化为轧制速度的高速化创造了条件，目前线材轧制速度已经达到了 130m/s 以上，带钢轧制速度已达到了 40m/s ，极大减少了大卷重头尾温差。然而轧件速度越高，自动控制装置水平就必须越高，建造价格也越加昂贵。

(3) 生产过程计算机控制。轧制过程是复杂的综合性实时性极强的生产过程。现代传动设备的调节、轧制过程参数在线预报设定、生产过程的控制及模型自适应修正都需要有实时计算能力的装置来完成。计算机应用到轧制生产当中正好适应了这种要求，可以多路采集，快速计算，准确控制，因而极大地促进了轧制生产发展。

计算机还发挥管理作用，如订货、原料的调度，生产计划的安排、技术协调等都在计算机上完成，做到轧制生产合理安排、成本最低和质量最稳定。

在轧制过程中，由于轧制环境有不少参数总有些变动，轧制力预报不够准确，轧制力、宽展、板形都必须能够自适应、自学习，使预报精度不断提高，这只能在计算机中完成。

(4) 产品质量和精度高标准交货。尺寸高精度和光洁表面可以为用户带来便利。不少加工部门广泛需要尺寸精度极高的轧制产品。例如电子、仪表、轻工和纺织等工业部门，大量需要的厚度为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 冷板，其厚度偏差就是在 $\pm 0.005\text{mm}$ 左右。对热带生产也是一样，如 2mm 热带产品整卷偏差 $+0.05\text{mm}$ 。

(5) 操作者具有较高技术水平。在实现轧制自动控制后，生产作业主要由设定程序完

成, 机械设备与控制装备更加先进, 现场事故原因更加复杂, 操作理论更加深奥广泛, 对操作人员的技术知识水平提出很高要求。

由于连轧机生产效率高, 轧制过程连续, 易于实现自动化和机械化, 而且这种轧机产量大, 质量易于控制, 经济效益非常显著。所以各种先进的科学成果都竞相应用于连轧过程, 大大促进了连轧过程自动化的发展, 其中以热带连轧自动化的发展最为迅速和成熟。

轧制过程自动化的发展大致可以分为3个阶段: 第1阶段在20世纪40~50年代, 为单架轧机手动模拟系统过程自动化阶段; 第2阶段在20世纪60年代, 为数字电子计算机和单架轧机过程自动控制系统共存阶段, 也是单个计算机完成采集、计算、全面输出控制的DDC计算机系统; 第3阶段为1970年至今, 为多层次计算机阶段, 即原来单机控制完全被任务缩小、分工明确的多层次分布计算机系统所替换, 不但有底层设备数字化控制、中间层过程计算机控制, 还有算法控制与上层经营管理控制。

计算机完成过程控制以外, 还不断深入到生产管理层次, 这样轧制计算机逐步形成多层次计算机控制与管理的格局。既然计算机控制在轧钢生产中占有重要地位, 轧制自动化目前可以分为对过程的自动控制和对工艺过程的计算机系统控制两部分。过程自动控制主要指某种设备的闭环控制和某一工艺参数的过程控制, 设备闭环控制包括拖动系统和伺服系统, 如转速控制、液压辊缝控制等。这些过程控制的调节环节引入数字控制器, 增加了通讯能力, 提高了设备控制精度与范围, 称为基础传动数字控制系统。工艺过程计算机控制是对复杂过程运用计算机完成采集、模型计算、实时判断处理, 对生产过程进行模型计算基础上的实时控制, 这对于包括加热、粗轧、精轧、冷却、卷取多个环节相互衔接配合的轧制生产是必不可少的, 如加热燃烧控制、厚度自动控制AGC、板形自动控制AFC、活套张力控制、生产节奏控制等, 每种控制可以有多种方式选择, 也有不同算法选择, 这些都只有计算机才能胜任。

计算机控制内容又分为计算机配置方式、信息跟踪方式和动态在线控制算法以及分布计算机通讯网络四大部分。

1.3 中国冶金自动化的发展

在基础控制方面, 以PLC、DCS、工业控制计算机为代表的计算机控制取代了常规模拟控制, 在冶金企业全面普及。近年来发展起来的现场总线、工业以太网等技术逐步在冶金自动化系统中应用, 分布控制系统结构替代集中控制成为主流。

在控制算法上, 重要回路控制一般采用PID算法, 智能控制、先进控制在电炉电极升降控制、连铸结晶器液位控制、加热炉燃烧控制、轧机轧制力控制等方面有了初步应用, 并取得了一定成果。

在电气传动方面, 用于节能的交流变频技术普遍采用; 国产大功率交直流传动装置在轧线上得到成功应用。

在过程控制方面, 计算机过程控制系统普及率有较大幅度提高, 根据最近中国钢铁工业协会的调查结果, 按冶金工序划分, 57.54%的高炉、56.39%的转炉、58.56%的

电炉、60.08%的连铸、74.5%的轧机采用计算机过程控制系统。把工艺知识、数学模型、专家经验和智能技术结合起来,在炼铁、炼钢、连铸、轧钢等方面取得了一定的成果,如高炉炼铁过程优化与智能控制系统、连铸二冷水优化设定、轧机智能过程参数设定等方面。

复习思考题

- 1-1 实现自动控制有哪些要求?
- 1-2 轧制生产有哪些特点?
- 1-3 自动化在中国冶金行业的发展趋势?

2 自动控制原理

本章要点 本章主要介绍了自动控制系统的基本组成和控制原理、实现自动控制的基本要求、判断自动控制的性能指标及硬件要求等。

自动控制是利用控制系统使被控对象或是生产过程自动按照预定的目标运转所进行的控制活动。理想的自动控制过程是：在线自动检测对象参数，与设定参数比较，得到偏差后立即进行比例、积分和微分调节运算，然后调整过程对象，使其快速平稳达到期望状态。但实际检测存在滞后，执行机构和控制对象也存在惯性，控制对象的状态只能缓慢改变，由此造成调节过头而出现振荡。对自动控制系统性质进行分析就能找出控制参数，减少振荡，实现快速稳定。

2.1 自动控制系统基本组成和控制原理

2.1.1 开环控制系统

最简单的生产控制环节是由生产过程和人组成的，现以轧机压下位置的控制为例进行说明。在人工控制轧制时，首先依据预期的出口厚度，由人考虑弹跳估计辊缝数值，然后去调节压下螺丝，将轧辊辊缝移动到预期位置进行轧制，轧出来的轧件接近预期的出口厚度。这里给定的压下位置代表控制量，轧后轧件的厚度代表输出量或称为被控量。一定的压下位置就对应着一定的轧出厚度。但在辊缝不变的条件下，如果来料厚度不均、材质不均或表面摩擦状态发生变化，会使轧制力波动，造成轧机（轧辊挠曲、立柱等受力部件）弹性变形不同，引起辊缝发生变化，因而轧出的轧件厚度也就发生变化。在这一轧制过程中，输出量对轧制量没有任何控制影响。这种输出量不会返回影响过程的直接控制系统称为开环控制系统。

图 2-1a 所示为直接控制系统框图，输入量即为控制量，发出控制作用给被控制部分，



图 2-1 开环控制系统方框图

a—直接控制；b—前馈控制

而被控制部分并不将控制结果返回到控制端。

图 2-1b 所示为前馈控制, 控制部分依据对输入量的检测计算出控制量, 发送到被控制部分, 对输入量进行控制。如轧制的前馈厚度控制, 其方法是检测来料厚度, 按固定算法计算辊缝, 输出给压下装置进行辊缝设定, 也是不涉及轧出厚度到底是多少, 即没有将输出量反馈回来与给定量进行比较。这类开环控制系统的精度取决于该系统初始模型精度以及系统各部件的执行精度。

前馈控制可以及时跟踪输入量的变化, 进行适当修正, 满足输出要求。但当调节器本身有飘移、执行机构有偏差或对象被外界干扰时, 开环控制系统就不能很好地完成既定任务。连轧要求控制精确, 所以很少单独采用开环控制系统。

2.1.2 闭环控制系统

如果在轧机出口安装有测厚计, 当外界干扰引起厚度发生变化时, 人根据出口测厚仪检测到的实际厚度, 与头脑里的目标值比较, 当认为已偏离了所要求的目标厚度, 就手动调节压下装置, 使得轧出的厚度回到所要达到的目标厚度, 几次调节把它控制在允许的厚度偏差范围之内, 这就是一种闭环操作。在这一过程里, 人在轧制过程中起到了比较、判断和操作的作用。由此可知, 上述有检测的人工操作过程实质上是通过测厚仪发现差异, 由人来纠正差异的过程。这里人的眼睛、大脑、手、轧机和测厚仪等便组成了一个人机闭环控制系统。将输出量反馈回来影响输入量的控制系统称为闭环控制系统, 或称为反馈控制系统。如果将自动检测信号与设定值进行比较, 得到与目标信号的偏差, 再利用运算控制器自动完成偏差信号调节和控制信号输出, 最后由电动执行器完成调节任务, 使偏差得到消除, 就成为自动控制系统。

图 2-2 是一种简单的轧件厚度闭环自动控制系统。它是借助于测厚仪测出实际的轧出厚度, 并转换成相应的电压信号, 然后将它与所要求的目标厚度相当的电压信号进行比较, 得到与厚度偏差相当的偏差信号。偏差信号经放大器放大, 控制可控硅导通角度, 调节电动机通电时间, 使压下螺丝向上或向下移动, 从而使辊缝相应地改变。只要测厚仪精度足够, 调节器、执行器或任何外扰因素影响出口厚度时, 都会调节辊缝, 自动地使实际轧出厚度保持在允许的厚度偏差范围内。即无论来料干扰还是调节执行机构本身的缘故, 一旦厚度有偏差, 出口监测装置就会报告出来。故反馈系统是所有自动控制系统的基礎。

由于图 2-2 是采用模拟量信号实现控制, 所以称它为模拟自动控制系统。被控对象的输出量能作用到控制部分的输入端, 输入量与反馈量之差即为偏差量。偏差量加到控制器上, 其作用是使系统的输出量接近于给定值或等于给定值。在这一系统中, 扰动来自于来料厚度或温度的波动, 一旦出现扰动, 出口厚度在一段时间内受到影响。

然而, 检测仪放在轧机后面一定距离 (图 2-2), 检测信号已经滞后一段时间, 只能对后续部分进行控制, 所以反馈控制

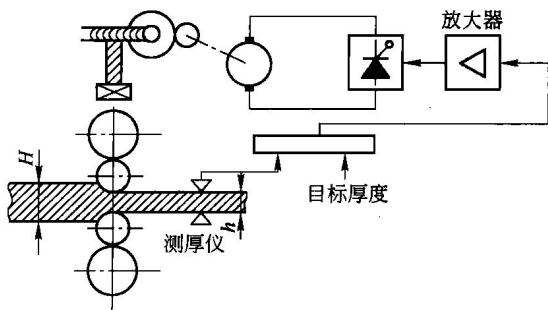


图 2-2 模拟式厚控系统
H—来料厚度; h—轧件出口厚度

是有滞后作用的。对短时突变,简单反馈控制还可能造成多余调节。尽管如此,由于测厚仪可以经常校对,检测精度是有保障的,故只安装一架测厚仪时,一般都在成品架之后,保证轧件后续部分不致偏差过大。

把模拟信号数字化,由数字调节器进行 PID 运算,再由执行机构实现控制,称为数字式控制。图 2-3 是采用数字控制器进行压下位置调整的自动控制系统。计算机周期性采集压下位置与设定值进行比较,按照预定的控制算法进行计算,然后通过压下电机的转动,自动地去调整压下位置,使轧件出口厚度保持在设定值上。

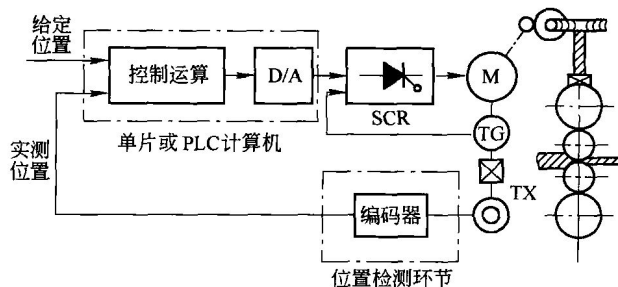


图 2-3 直接数字控制系统

M—压下电机; TG—测速电机; SCR—可控硅整流; TX—光电编码器

由图 2-2 和图 2-3 反馈原理可知,实现轧件厚度或压下位置的控制,基本上要完成 3 个步骤:(1) 对被控量(即实际轧出厚度或压下位置)的正确测量与及时报告;(2) 将实际测量的被控量与希望保持的给定值进行比较、PID 计算和控制方向的判断;(3) 根据比较计算的结果发出执行控制的命令,使被控量恢复到所希望保持的数值上。根据上述原理,可以概括出单闭环自动控制系统的典型结构原理框图,如图 2-4 所示。

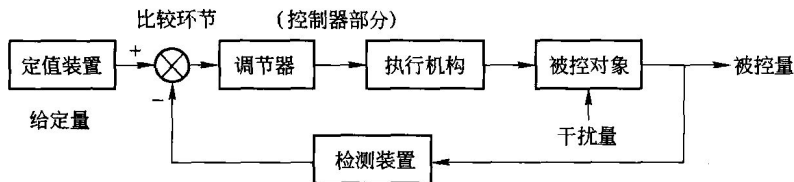


图 2-4 单闭环自动控制系统典型结构原理

在干扰量不很大的情况下,执行机构与被控对象可以按照设定值随意调节(包括非线性),但达到一定程度后,他们就可能出现耦合振荡或永久性破坏,控制系统输出就不再会及时跟踪给定值变化。调节器 PID 参数则影响调节过程的快慢和稳定性。

2.1.3 复合控制系统

自动控制系统还可以将开环和闭环系统合在一块进行控制,称为复合控制系统。在此种控制系统中,控制部分与被控制部分之间同时存在开环控制和闭环控制。采用复合控制系统的目的是使系统既具有开环控制系统的稳定性和前瞻性,又具有闭环控制系统的精

度。图 2-5 是复合控制系统的方框图, 在开环控制环节中, 输出量依输入量作随动运动, 与此同时, 输出量还与给定量在闭环控制环节中进行比较, 跟踪给定量进行调整, 闭环控制环节的作用是提高了输出量的随动精度。实现轧制复合控制需要测量来料厚度和温度, 这些是前馈控制的依据, 再由出口厚度预设辊缝, 完成开环控制。反馈调整是现场检测量与给定量比较, 进行输出控制, 确保产品有稳定精度。这样在来料波动的情况下, 包括头部在内也能轧出高精度轧材。

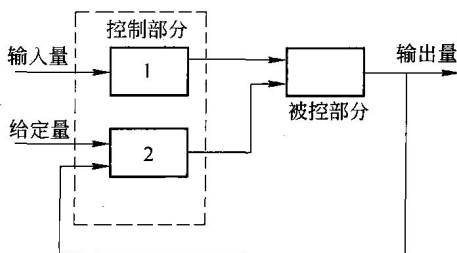


图 2-5 复合控制系统方框图

1—输入检测及控制算法; 2—比较及控制算法

2.2 自动控制系统的基本要求

在生产过程中, 各种原料参数、设备状态参数经常受到外来干扰的影响, 自动控制系统要能及时克服外来干扰的影响, 使输出快速稳定在目标值上, 这种能力称为系统的品质。在判定一个控制系统的品质时, 除了要看它在稳定状态下误差 (静差) 的情况, 还要看它在控制过程中的过渡状态和响应时间。如拖动系统品质好坏与负荷率共同影响动态速降的大小, 这种动态速降常常会使连轧中出现咬入瞬间的机架间活套。因为这时如果原来前架出口轧件速度已经接近或略高于后架入口速度, 轧件咬入瞬间造成负荷突升, 电机速度短暂下降, 前架轧件出口速度大于后架入口速度, 就导致轧件出现堆积。在高速轧制时, 若调整不及时, 活套就会很快堆积过量而下垂, 折叠起来进入辊缝, 轧辊则因轧制力过大而断辊。这体现出工艺对控制响应速度的要求: 轧速越高, 对执行机构调节的时间要求就越短。

实际上, 在机械运动系统中总是存在运动部件的惯性、与运动速度相关的摩擦阻力和工作负荷的大小不同, 因而在自动控制过程中, 它们会不同程度地使得执行机构的动作不能及时地随着输入信号变化, 出现一定的延迟, 即当被控量已达到给定值时, 在短时间内还继续向调整的方向发展, 这样便会使得被控量超过给定值, 从而产生符号相反的误差, 因此又使执行机构向反方向动作。同样, 也会由于惯性的作用使被控量偏离给定值。所以被控量往往会在给定值两边摆动, 故实际的调节过程往往是一个振荡的过程。若这个振荡是减幅振荡, 则系统最后会达到平衡状态, 称此系统是稳定的, 否则系统就是不稳定的。

以上分析说明, 自动控制系统仅仅能满足稳定的要求还不够, 还有调节过程的快慢, 振荡次数, 以及振荡时被控量与给定值之间的最大误差等要求, 这三点统称为系统的暂态品质。显然, 充足的调节动力与及时的检测信息对控制结果有很大影响。

2.2.1 自动控制系统的性能指标

2.2.1.1 自动控制系统的稳定性

控制系统静态是指被控制量不随时间变化的平衡状态, 动态是指被控制量随时间变化的不平衡状态。自动控制系统在受到扰动作用后, 原平衡状态 (或稳定状态) 被打破, 但经历一段时间后, 进入另一个新的平衡状态 (或稳定状态), 这一过程称为过渡过程 (或暂态响应