

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

材料成形控制工程 基础教程

主编 李振亮



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

TB3/203

2010

材料成形控制工程基础教程

主 编 李 振 亮
副主编 陈 林

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 简 介

本书是根据材料成形及控制工程专业(本科)教学计划和“材料成形控制工程基础”教学大纲的要求编写的。全书共分11章,主要包括过程控制基础、过程控制系统的结构及组成、轧钢过程控制的功能及控制原理三部分,并介绍了 MATLAB、ABAQUS 软件数值模拟在材料加工过程控制中的应用。

为方便学生自学和掌握教材内容,每一章都精心编写了导言和复习思考题。

本书可作为材料成形及控制工程专业本科生教材,也可供相关专业研究生、教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形控制工程基础教程 / 李振亮主编. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 1
高等学校规划教材
ISBN 978-7-5024-4998-8

I. ①材… II. ①李… III. ①工程材料—成形—
自动控制—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 237249 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 postmaster@cnmip.com.cn

组稿编辑 张 卫 责任编辑 李 梅 美术编辑 李 新

版式设计 张 青 责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4998-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 1 月第 1 版, 2010 年 1 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 16 印张; 424 千字; 242 页; 1-2500 册

35.00 元

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(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

目前,钢铁企业生产逐渐向大型化、连续化、智能化方向发展,材料加工与控制工程领域日益交叉、融合。编写本书的目的,就是为了使材料成形及控制工程专业本科生或工程人员对控制工程在材料加工过程中的应用具备自学能力,初步掌握轧钢自动化关键技术的控制原理,从而更好地培养轧钢、控制领域的综合型专业人才。

“材料成形及控制工程”专业是1998年国家调整专业时新设置的工科专业(本科),主要包括两个方向:一是“成形”方向,包括传统铸造、焊接(材料连接)、锻压(金属塑性成形)和部分热处理四个方面内容;二是“控制”方向,是该专业新增的知识点,主要学习与材料加工相关的控制原理,更好地提高材料加工的过程控制水平。“材料成形控制工程基础”是该专业控制工程方向的一门专业基础主干课程,如何让成形专业本科生对“自控原理”与“控制工程”的相关基础知识进行系统学习并能为轧钢自动化生产服务,是本书内容编排的指导思想与出发点。本书内容的主要特点如下:

(1) 从“工程”角度而非从“数学”角度来安排教材内容。减少了自控理论中繁杂的数学理论推导,而注重相关结论的应用,并加强了轧钢自动化技术相关控制原理的介绍。

(2) 在注重传统自控理论、控制工程基础知识的同时,不断吸收新成果、新技术、新理论。如在重点讲授PID控制器原理的同时,对智能控制理论、智能化加工相关概念及发展方向进行了介绍;与现代化钢铁企业紧密结合,介绍了轧钢现场应用的最新控制系统及控制技术;结合MATLAB、ABAQUS软件在PID炉温控制和百米重轨预弯理论曲线中的数值模拟,突出了计算机仿真在材料加工过程控制中的作用。

(3) 内容循序渐进,脉络清晰,知识结构编排合理。由于学习控制工程的最终目的是要落实到轧钢相关工艺的应用上,因此本书设计了三个“知识模块”:过程控制、过程控制系统(控制系统、计算机系统)及轧钢过程控制。根据模块内容,对相关知识点进行精选与合理编排,思路如下:

绪论(4学时)→古典控制理论(10学时)→古典控制策略(6学时)→现代控制理论(12学时)→现代控制策略(10学时)→相关控制系统和计算机系统介绍(4~6学时)→轧钢相关控制技术及原理(10~22学时)。

全书共11章,讲授需60~70学时。本书除了可作为材料成形及控制工程专业本科生的教材外,还可作为金属材料、冶金、机械、控制工程等行业科研人

员、大专院校有关教师的参考资料。

本书第1~8章、第9.2节由李振亮编写,第9章的第9.1、9.3、9.4节由田荣彬编写,第10章由王洪涛编写,第11章由陈林编写,最后由李振亮负责全书总成。

在本课程多年教学与本书编写过程中,编者得到了内蒙古科技大学“‘材料成形控制工程基础’课程改革与教学探索项目(项目号:JY2008002)”、“‘材料成形控制工程基础’重点课程建设项目(项目号:ZD2008004)”的大力支持。2009年该课程申报了内蒙古科技大学“精品课程”建设项目,编者所撰写的关于该课程及教材内容建设情况的文章发表在《中国冶金教育》(2009年第2期)上。在本书编写过程中,包钢集团公司相关专家、领导提供了第一手翔实的技术资料,使书中控制设备及技术参数更具有实用性,应用目的更加明确。在本书稿录入和校稿中,包喜荣、刘永珍老师,董瑞硕士做了大量工作,对她们的辛勤劳动表示感谢。

感谢北京科技大学自动化系刘贺平教授对编者的亲自指导,特别是2002年北京科技大学材料学院的刘航老师把《材料成形过程控制》讲义提供给编者在教学中使用,这就使本书编写体例及内容有了主要参考对象,可以说,没有该讲义和刘航老师多年来的帮助,就不会有本书的顺利完成,在此编者表示非常诚挚的谢意!

在本书编著过程中,参考并引用了一些文献资料,不能一一列出,谨致谢意。由于成稿时间仓促,作者水平有限,书中不妥之处,诚恳地希望读者给予批评指正。

李振亮

2009年8月

目 录

1 概述	1
1.1 生产过程自动化的发展概况	1
1.2 过程控制的要求和任务	2
1.3 过程控制系统的组成与分类	3
1.3.1 过程控制系统的组成	3
1.3.2 过程控制系统分类	4
1.4 过程控制系统的性能指标	4
1.4.1 稳态与动态	4
1.4.2 自动调节的过渡过程	4
1.4.3 品质指标	6
1.5 自动控制技术在材料成形领域中的应用	7
1.5.1 自动控制技术在(薄板坯)连铸生产过程中的应用	7
1.5.2 自动控制技术在板带轧制生产过程中的应用	8
1.5.3 自动控制技术在高速线材轧制生产过程中的应用	8
1.5.4 自动化控制技术在百米高速重轨生产过程中的应用	9
复习思考题	9
2 过程控制系统的动态数学模型	10
2.1 古典与现代控制理论研究方法	10
2.1.1 数学模型的概念	10
2.1.2 按照系统的数学模型对过程系统分类	10
2.1.3 不同控制理论的研究方法	11
2.2 拉氏变换及反变换	12
2.2.1 拉氏变换定义	12
2.2.2 常用函数的拉氏变换	12
2.2.3 拉氏变换的基本性质	15
2.2.4 拉氏反变换	18
2.2.5 用拉氏变换解线性微分方程	20
2.3 传递函数	21
2.3.1 传递函数的定义	21
2.3.2 传递函数的基本性质	22
2.3.3 传递函数的方块图	23
2.3.4 方块图等效变换	26

2.3.5 信号流程图及梅逊公式	29
2.3.6 常见典型环节的传递函数	30
复习思考题	34
3 PID 控制及其调节过程	35
3.1 PID 控制概述	35
3.2 PID 调节规律	36
3.2.1 双位调节	36
3.2.2 比例调节(P)	37
3.2.3 积分调节(I)	39
3.2.4 微分调节(D)	40
3.2.5 比例积分调节(PI)	41
3.2.6 比例微分调节(PD)	43
3.2.7 比例积分微分调节(PID)	44
3.3 PID 调节规律对系统过渡过程的影响	45
3.3.1 比例带对过渡过程的影响	45
3.3.2 积分时间对过渡过程的影响	47
3.3.3 微分时间对过渡过程的影响	47
3.3.4 几种调节作用过程曲线比较	48
3.4 PID 调节器参数的工程整定	49
3.4.1 PID 参数整定基本原则	49
3.4.2 PID 参数整定方法	49
3.5 加热炉 PID 温度控制的 MATLAB 仿真	51
3.5.1 加热炉控制系统概述	51
3.5.2 输入输出的控制	52
3.5.3 PID 控制算法的改进	53
3.5.4 PID 参数整定	54
3.5.5 线性系统仿真	55
复习思考题	62
4 控制系统的状态空间分析	63
4.1 现代控制理论的优越性	63
4.2 状态空间描述	64
4.2.1 基本概念	64
4.2.2 系统的状态空间表示式	64
4.2.3 系统在不同输入作用下状态空间表达式	65
4.2.4 状态方程的解及转移矩阵	68
4.2.5 传递矩阵与系统交连的解耦	71
4.3 系统的可控性和可观性	75

4.3.1 可控性与可观测性问题的提出	76
4.3.2 可控性	77
4.3.3 可观测性	78
4.3.4 可控性与可观测性的判定条件	78
4.4 可控性及可观测性与传递函数零极点对消的关系	80
4.4.1 状态方程中出现零极点对消现象	80
4.4.2 输出方程中出现零极点对消现象	82
4.5 多变量系统的反馈	83
4.5.1 多变量反馈系统的状态空间描述	83
4.5.2 多变量反馈系统的可控性与可观测性	84
4.6 极点配置	85
4.6.1 可控标准形与可观测标准形	85
4.6.2 极点配置的实际应用	88
复习思考题	91
5 系统的建模方法	92
5.1 系统辨识	92
5.1.1 系统辨识的基本概念	92
5.1.2 系统辨识的一般步骤	93
5.2 传递函数的建立	94
5.2.1 过渡响应法	94
5.2.2 频率响应法	97
5.3 状态方程的建立	99
5.3.1 最小二乘法的基本原理	99
5.3.2 最小二乘法的递推算法	102
复习思考题	106
6 最优控制系统与自适应控制系统	107
6.1 最优控制系统	107
6.1.1 最优控制与性能指标	107
6.1.2 最优控制问题的数学模型及求解方法	108
6.2 最小值原理	108
6.2.1 最小值原理	108
6.2.2 应用举例	110
6.3 基于二次性能指标的最优控制系统	113
6.3.1 二次型性能指标函数及其最优化控制问题	113
6.3.2 线性二次型最优调节器问题的求解	114
6.4 自适应控制系统	115
6.4.1 自适应控制系统的定义	115

6.4.2 自适应控制系统的基本结构	116
6.4.3 自适应控制系统的分类	116
复习思考题	117
7 控制系统设计与集散控制系统	118
7.1 控制系统设计基本原理	118
7.2 控制系统分类及其控制器	119
7.3 串级控制系统	120
7.3.1 串级控制系统的工作原理	120
7.3.2 串级控制系统的特点	122
7.3.3 串级控制系统的设计	123
7.3.4 串级控制系统的应用	125
7.3.5 多回路串级控制系统	126
7.4 前馈控制系统	126
7.4.1 前馈控制系统的工作原理	127
7.4.2 前馈控制系统的特点	128
7.4.3 前馈控制系统的典型结构形式	128
7.4.4 前馈控制器的设计原则与参数整定	131
7.4.5 多变量系统前馈控制	133
7.5 集散型控制系统	134
7.5.1 集散控制系统的结构	135
7.5.2 集散控制系统的特点	138
7.5.3 集散控制系统的发展及各阶段典型产品	139
7.5.4 集散控制系统在热处理车间的应用	142
复习思考题	144
8 连续式加热炉生产过程自动控制	145
8.1 燃料与空气的比例控制	145
8.2 加热炉炉温控制	146
8.2.1 炉温控制原理	147
8.2.2 双交叉限幅燃烧控制方式	148
8.2.3 回路基本报警、连锁等功能	150
8.3 炉膛压力控制模型	150
8.4 连续式加热炉的集散控制系统	152
8.4.1 控制系统的结构和功能	152
8.4.2 过程控制仪表的结构和功能	153
8.4.3 连续式加热炉集散控制系统实例	155
复习思考题	158

9 板带钢生产过程自动控制	159
9.1 薄板坯生产过程自动化及控制功能	159
9.1.1 包钢 CSP 工艺介绍	159
9.1.2 CSP 过程控制系统组成	160
9.1.3 CSP 三级过程控制的控制功能	162
9.2 厚度自动控制	167
9.2.1 板带钢厚度波动的原因	168
9.2.2 轧制过程中厚度变化的基本规律	169
9.2.3 厚度自动控制的基本形式及其控制原理	171
9.3 板形自动控制	184
9.3.1 板形的定量表示方法	184
9.3.2 板形良好的条件及其控制策略	186
9.3.3 板形控制系统组成	189
9.3.4 板形控制基本原理	191
9.4 温度控制	194
9.4.1 轧制过程中温度变化的基本规律	194
9.4.2 带钢热连轧过程中的温降方程	197
复习思考题	200
10 高速线材生产过程自动控制	201
10.1 高速线材轧机控制系统	201
10.1.1 生产概述	201
10.1.2 控制系统的配置	202
10.1.3 系统主要控制功能简介	203
10.2 微张力控制系统	206
10.2.1 基本原理	206
10.2.2 工程实现	208
10.3 飞剪控制系统	209
10.3.1 系统硬件结构	209
10.3.2 飞剪动作执行过程	211
10.3.3 飞剪控制原理	212
10.4 活套控制系统	213
10.4.1 设备配置	214
10.4.2 活套控制方式	215
10.4.3 活套控制过程	216
10.4.4 活套位置与套型控制	217
复习思考题	218

11 百米高速重轨预弯过程自动控制	219
11.1 引言	219
11.2 百米重轨冷前预弯变形的原理	220
11.3 预弯控制系统组成及控制功能	221
11.3.1 预弯变形的冷床设备	221
11.3.2 预弯变形过程	223
11.3.3 预弯控制系统	224
11.4 预弯控制策略	230
11.4.1 预弯控制系统设计	230
11.4.2 预弯控制曲线的设定	233
11.4.3 预弯策略实施及预弯参数整定	238
复习思考题	240
参考文献	241

1 概 述

本章导读:本章是全书内容的概述,主要介绍生产过程自动化的发展、过程控制系统组成、动态性能指标,以及过程控制在轧制生产中的应用。学习本章应掌握以下基本内容:(1) 控制理论与过程控制的区别;(2) 过程控制的定义、组成、分类、特点及动态性能指标;(3) 了解自动控制理论与技术在冶金、轧制生产中的应用。

1.1 生产过程自动化的发展概况

自 20 世纪 30 年代以来,自动化技术取得了惊人的成就,已在工业生产和科学发展中起到了关键作用。当前,自动化装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分,可以说,不配置合适的自动控制系统,大型生产过程就难以高效运行。实际上,生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

回顾自动化技术的发展历史可以看出,虽然它与生产过程本身的技术发展密切相关,但事实上,它的发展更依赖于自动控制理论的不断进步,在此基础上,其控制策略才在工业中逐渐推广。自控理论与自动化发展比较如图 1-1 所示。

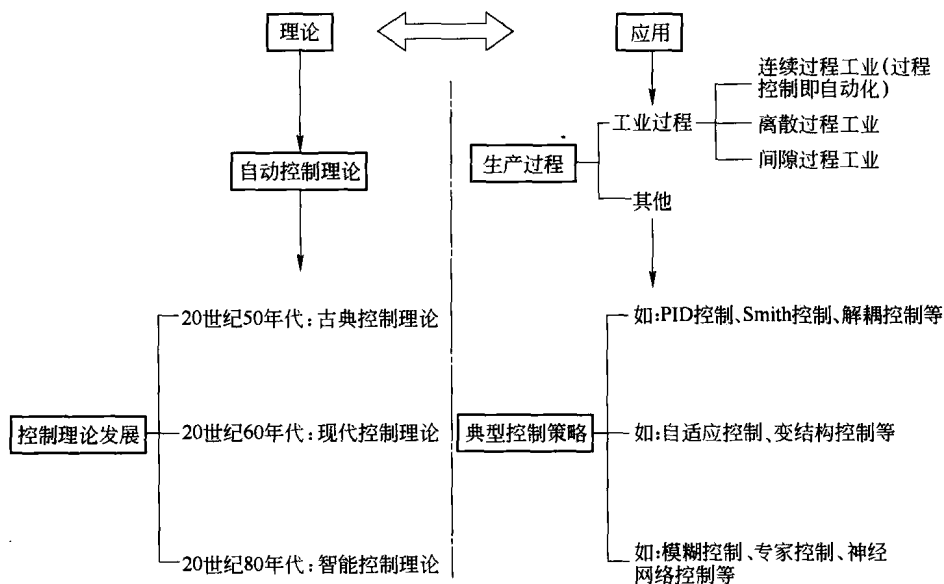


图 1-1 自控理论与自动化发展比较

自动化在生产中的应用,大致经历了三个发展阶段。

(1) 第一阶段:20 世纪 50 年代以前。这一时期的自控理论为经典控制理论,其特点是:研究主要对象是单输入—单输出线性定常反馈系统,数学基础是拉普拉斯变换,系统的数学模型以

传递函数为主;系统的设计、分析法基于频率法和图解法(即根轨迹法)。

20 世纪 40~60 年代是经典控制理论的发展与成熟阶段,古典控制策略主要包括 PID 控制、Smith 控制和解耦控制等,目前 90% 的工业控制回路仍采用各种形式的 PID 控制。

(2) 第二阶段:20 世纪 60 年代。50 年代后期,贝尔曼(Bellman)等人提出使用状态空间法,标志着现代控制理论开始形成。1960 年,卡尔曼(Kalman)在控制系统研究中成功地应用了状态空间法,并提出了可控性与可观测性的概念,这使得现代控制理论在 20 世纪 60 年代迅速发展起来。

它适用于多输入—多输出、时变参数、分布参数、随机参数、非线性等复杂控制系统的分析设计。现代控制理论以状态空间法为数学模型,矩阵理论为数学基础,主要研究内容有:线性系统分析、系统的稳定性、极大值原理与最优控制、卡尔曼滤波和系统辨识等。

目前,国内外在空间技术、飞行控制系统设计以及工业生产等领域已广泛采用现代控制理论,其主要控制策略有自适应控制和变结构控制等。

应该指出,尽管现代控制理论对多输入—多输出系统已有实时控制和实现最优控制的能力,但古典控制理论也有其长处。例如,频率法的物理意义就很直观、很实用,尤其是在所研究的控制系统中有各种各样的振动问题时。古典控制理论与现代控制理论都是控制理论学科的两大组成部分,两者相辅相成,掌握古典控制理论的概念与原理,是学习和应用现代控制理论的基础。

(3) 第三阶段:20 世纪 80 年代末。随着计算机的发展与社会对工业控制的不断需求,出现了智能控制策略。它主要以智能控制理论为指导,其典型控制策略有:神经网络、专家系统、模糊控制系统等。20 世纪 90 年代末至 21 世纪初,以“精确控制”为主要特点的“智能化加工”技术,综合利用相关智能控制策略在轧钢厚度控制、无模拉拔等工艺中得到了迅速发展^[1]。

1.2 过程控制的要求和任务

生产过程是指物料经过若干加工步骤而成为产品的过程。

生产过程中的工业过程可分为连续过程工业、离散过程工业和间隙过程工业。其中,连续过程工业所占的比重最大,涉及石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、医药、食品、建材等工业部门,连续过程工业的发展对国民经济意义重大。

工业自动化涉及的范围极广,过程控制是其中最重要的一个分支。所谓过程控制,主要是指连续过程工业的控制,其被控量是温度、压力、流量、液位(或物位)、物理特性和化学成分,这六大参数是物流性质和操作条件在工业过程的体现。

工业生产对过程控制的要求是多方面的,最终可以归纳为三项要求,即安全性、经济性和稳定性。

(1) 安全性。它是指在整个生产过程中,确保人身和设备的安全,这是最重要的,也是最基本的要求。通常采用参数越限报警、事故报警和联锁保护措施来保证生产过程的安全性。另外,在现代故障预测与诊断、容错控制等对日益连续化和大型化的工业企业的安全性也有很大的作用。

(2) 稳定性。它是指系统抑制外部干扰、保持生产过程长期稳定运行的能力。变化的(特别是恶劣的)工业运行环境、原料成分的变化、能源系统的波动均有可能影响生产过程的稳定性。在外部干扰下,过程控制系统应该使生产过程参数与状态所产生的变化尽可能的小,以消除或减少外部干扰可能造成的不良影响。

(3) 经济性。在满足以上两个基本要求的基础上,低成本、高效益是过程控制的另一个目

标。为此,不仅需要过程控制系统进行优化设计,还需要管控一体化,即以经济效益为目标的整体优化。

过程控制的任务就是在了解、掌握工业流程和生产流程的静态和动态特性基础上,根据上述三项要求,应用理论对控制系统进行分析和综合,最后采用适宜的技术手段加以实现。随着生产对控制要求愈来愈高,要充分注意现代控制技术在生产过程中的应用,其中过程模型的研究举足轻重,因为现代控制技术在过程中应用取决于对过程静态和动态特性的认识深度。

因此可以说,过程控制是控制理论、工艺知识、计算机技术和仪器仪表知识相结合而构成的一门应用科学。

过程控制要提升到一个新水平,必须有新的控制理论的出现或突破,因为现场中的工业控制仍多数为老一代产品,过程控制的任务通过控制系统的设计与实现来完成。

1.3 过程控制系统的组成与分类

1.3.1 过程控制系统的组成

过程控制系统一般由以下几部分组成:

- (1) 被控过程(或对象);
- (2) 用于生产过程参数的检测与变送仪表;
- (3) 控制器(或称调节器);
- (4) 执行机构(如调节阀);
- (5) 报警、保护和连锁等其他元件(部件)。

一个简单过程控制系统可用图 1-2 表示。

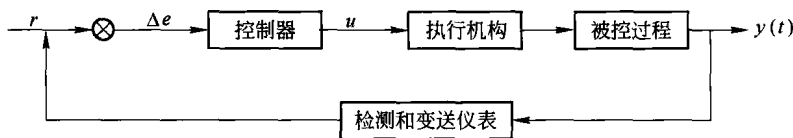


图 1-2 过程控制系统基本结构

控制器(或称调节器),它是自动调节系统中的指挥机构,根据系统输出量检测值 $y(t)$ 与设定值 r 通过比较元件进行比较,将两者的差值 Δe ,按照某种调节规律(或控制算法)进行运算,然后发出调节信号 u ,使执行机构动作。

执行机构(如调节阀)接收控制器送来的控制信息,并将其放大,去推动调节机构,如各种调节阀、可控硅及接触器等,目前可供选择的商品化执行器只有调节阀,它能满足大多数控制系统的要求。

检测元件,其功能是感受并测出被调量的大小,如热电偶、孔板等;变送器的作用则是将检测元件测出的被调量,变换成调节器所需要的信号形式。

自动调节系统的组成不是机械的拼凑,而是互相协调配合的组合,各自负担着不同任务,达到自动调节的目的。在自动调节系统中,信号沿着箭头的方向前进,最后又回到原来的起点,形成一个闭合的回路,这样的系统称为闭环系统,如图 1-2 所示;如果信号前进到某处断开了,没有形成闭合的回路,这种系统称为开环系统。被调量作为系统的输出信号而又引回到输入端的做法称为反馈。由于反馈信号 $y(t)$ 送到输入端后,其作用方向与输出相位相反而且以其负值来考虑的,故称为负反馈;反之,则称为正反馈。所谓正负是相对于给定值而言的。

1.3.2 过程控制系统分类

过程控制系统有以下多种分类方法:

- (1) 按被控参数分类,可分为温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统、液位或物位控制系统、成分控制系统;
- (2) 按被控量数分类,可分为单变量过程控制系统、多变量过程控制系统;
- (3) 按设定值分类,可分为定值控制系统、随动(伺服)控制系统;
- (4) 按参数性质分类,可分为集中参数控制系统、分布参数控制系统;
- (5) 按控制算法分类,可分为简单控制系统、复杂控制系统、先进或高级控制系统;
- (6) 按控制器形式分类,可分为常规仪表过程控制系统、计算机过程控制系统。

1.4 过程控制系统的性能指标

1.4.1 稳态与动态

过程控制系统在运行中有两种状态,一种是稳态,另一种是动态。

在自动调节系统中,被调量不随时间而变化的平衡状态称为系统的**稳态**(也称**静态**);被调量随时间而变化的不平衡状态称为系统的**动态**。

当一个自动调节系统的输入(给定和干扰)恒定不变时,整个系统处于一种相对平衡的状态,系统的各个环节如变送器、调节单元和调节阀等暂不动作,他们的输出信号都处于相对静止状态,这就是上述的稳态。一旦系统受到干扰,平衡被破坏,被调量发生变化,调节器就开始调节,直到系统又重新进入稳态。这样系统就经历了下面所示的一个调节过程。

稳态 I (平衡) $\xrightarrow[\text{(平衡破坏)}]{\text{扰动作用}}$ 动态过程 $\xrightarrow[\text{(排除干扰)}]{\text{调节}}$ 稳态 II (平衡)

综上所述可知,从干扰的发生开始经过调节直到系统重新建立平衡,在这段时间内各个环节和参数都处于变动状态之中,这种状态称为**动态**。在自动调节系统中,了解系统的稳态是必要的,了解系统的动态则更为重要。

1.4.2 自动调节的过渡过程

自动调节系统动态中,被调参数随时间而变化的过程称为**自动调节系统的调节过程或过渡过程**,亦即系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程(如图 1-3 所示)。

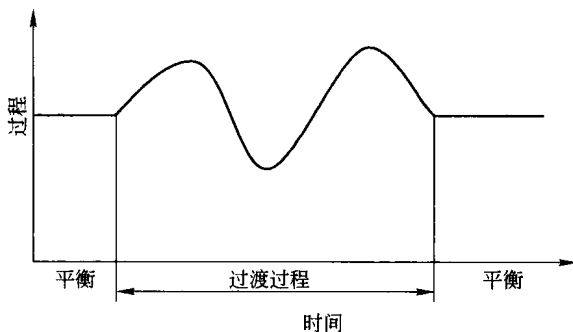


图 1-3 系统的过渡过程

在过渡过程中,被调量随时间变化的曲线称为过渡过程曲线(也叫调节过程曲线、反应曲线等),它是分析对象动态特性的一个很重要的曲线。对于一个自动调节系统,不管在设计或运行阶段,衡量系统质量的依据主要是系统的过渡过程。

评价一个系统调节过程的好坏,通常是在相同的阶跃输入信号作用下比较它们的输出信号(被调量)的变化过程(即比较调节过程)。调节对象受扰动后,系统的过渡过程有如图 1-4 所示的几种基本形式。

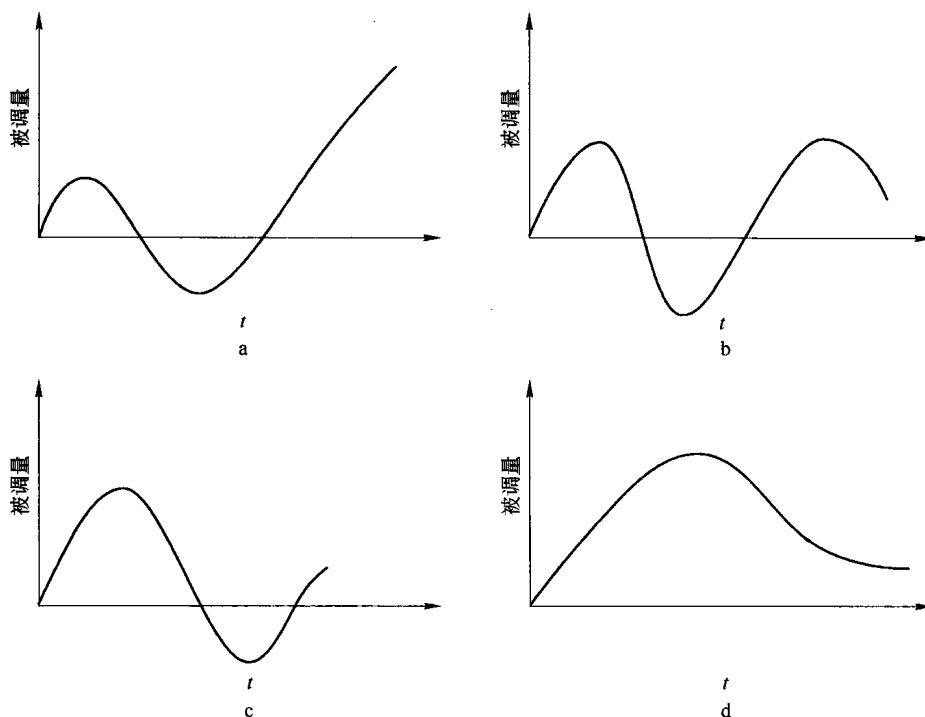


图 1-4 系统过渡过程的几种基本形式

a—不稳定调节过程;b—等幅振荡过程;c—衰减振荡过程;d—非周期过程

(1) 稳定的调节过程。如果自动调节系统受到一次扰动,其平衡状态受到破坏后,经过调节能够达到新的平衡状态,即被调量能够达到新的稳态值,称为稳定的调节过程。稳定调节过程又分为衰减振荡和非周期过程两种,如图 1-4c、d 所示。前者表明当系统受到扰动,平衡被破坏,经过调节被调量要经历几次波动方能衰减而趋于稳定。后者表明被调量没有什么波动就平坦而缓慢地回到了给定值,或在允许范围内。由于非周期调节过程变化缓慢,过渡时间长,且被调量在动态中变化幅度大,不能满足生产上的需要,故一般不采用。

(2) 不稳定的调节过程。自动调节系统受扰动后,如被调量的变化呈发散振荡或等幅振荡的形式,称为不稳定的调节过程,如图 1-4a、b 所示。

图 1-4a 所示的过程是被调量随时间的增长而无限的增加,到某一时刻,被调量的数值就可能超出生产允许的极限而发生事故,在生产过程中发散振荡的过程是非常危险而不能采用的过程。

图 1-4b 所示的过程是一个等幅(不衰减)振荡过程。这种过程处于稳定与不稳定之间,称为稳定边界。但等幅振荡属于不稳定的范畴,因系统中若有延迟等不利因素的影响,过程就会发散的,即使不发散,被调量长期振荡不息也是不允许的。因此等幅振荡也是不能采用的过程。

1.4.3 品质指标

为了评价一个自动调节系统的好坏,生产现场可以用实际施加扰动的方法来观察它的过渡过程曲线,也可以通过理论分析方法画出过渡过程曲线来分析。根据过程控制的特点,主要讨论定值检测的性能指标。评定一个系统的品质指标,主要是从系统的稳定性、准确性和快速性这三个方面来考虑。

(1) 稳定性。控制系统稳定性是指系统输入量(包括控制输入量和扰动输入量)发生变化但趋于某一稳态值后系统的被控制量(输出量)也跟着变化,且最终也能趋于某一稳态值而不出现持续振荡或发散型振荡的性质。稳定性是控制系统正常工作的必要条件。我们知道,控制系统都含有储能的元件,当系统的各参数配合不当时,将会引起系统振荡而失去工作能力。所以对于控制系统的稳定性分析和设计,乃是控制理论的主要研究课题之一。

一般用“衰减比 η 或衰减率 ψ ”这个概念来定量地表示调节系统的稳定程度。衰减比是衡量振荡过程衰减程度的指标,等于两个相邻同向波峰值之比,即

$$\eta = \frac{y_1}{y_2} \quad (1-1)$$

衡量振荡过程衰减程度的另一种指标是衰减率,它是指每经过一个周期以后,波动幅度衰减的百分数,即

$$\psi = \frac{y_1 - y_2}{y_1} \quad (1-2)$$

由图 1-5 可知, ψ 也就是同方向的相邻波幅之差($y_1 - y_2$)与第一个波值(y_1)的比值。得知数据 ψ 的值,便可以很快地判断调节过程的性质。

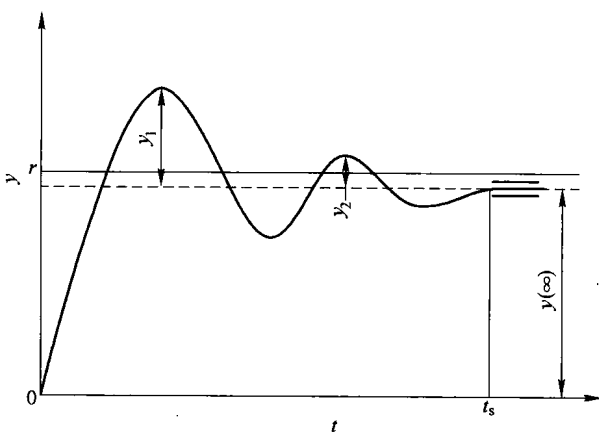


图 1-5 过程控制系统阶跃响应曲线

若 $\psi < 0$,则调节过程是发散振荡的;

若 $\psi = 0$,则调节过程是等幅振荡的;

若 $0 < \psi < 1$,则调节过程是衰减振荡的;

若 $\psi = 1$,则调节过程是非周期过程。

$\psi > 0$ 表明系统是稳定的,但也不能认为 ψ 愈大愈好。 $\psi = 1$ 的非周期过程,从前面分析可知,过程调节的时间长,偏差也大。

必须指出,稳定性要求应该考虑到满足一定的稳定裕量,以便照顾到系统工作时参数可能发