



工业和信息化部“十二五”规划专著
“十二五”国家重点图书

材料加工过程控制技术

Control Technology of Material Machining Process

● 王香 马旭梁 侯彦芬 编著

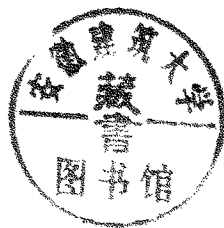


工业和信息化部“十二五”规划专著
“十二五”国家重点图书

材料加工过程控制技术

Control Technology of Material Machining Process

● 王香 马旭梁 侯彦芬 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书内容由三部分组成,第一部分是自动控制系统,包括控制系统概述、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析;第二部分是过程控制系统和过程控制仪表,过程控制仪表包括检测仪表及变送器、显示仪表、调节器和执行器;第三部分是过程控制在材料加工中的应用,包括铸造过程自动控制、锻造过程自动控制、焊接过程自动控制、热处理过程自动控制。

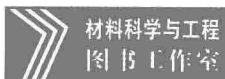
本书可作为材料科学与工程、机械和自动控制等专业研究生及高年级本科生的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料加工过程控制技术/王香,马旭梁,侯彦芬编著.
—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.12
ISBN 978-7-5603-5104-9

I. ①材… II. ①王… ②马… ③侯… III. ①工程
材料-加工-过程控制-研究 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 268013 号



材料科学与工程
图书工作室

责任编辑 孙连嵩 张秀华

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20.5 字数 500 千字

版 次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5104-9

定 价 48.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

自动控制是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置对机器设备或生产过程进行控制,使之自动地按照给定的程序运行,达到预期的状态或性能要求。

自进入 20 世纪 90 年代以来,自动控制技术发展很快并获得了惊人的成就,已成为高科技的重要分支,在现代的工业、农业、国防和科学技术领域中得到了广泛的应用。将自动控制技术用于生产中,可以提高劳动生产率,改进产品质量,降低生产成本,改善劳动条件和加强企业管理;将自动控制技术用于国防领域,可提高部队的战斗力,促进国防现代化;将自动控制技术用于探索新能源、发展空间技术等领域,对于改善人们生活以及处理经济、社会等各方面问题都将起到重要的作用。

过程控制技术是自动控制技术的重要组成部分。在现代工业生产过程自动化中,过程控制技术正在实现各种最优技术经济指标、提高经济效益和社会效益、提高劳动生产率、节约能源、改善劳动条件、保护环境卫生、提高市场竞争能力等方面起着越来越巨大的作用。

材料加工生产过程繁杂,机械化设备结构也各异,只有通过控制系统把它们联成一个整体才能充分发挥它们的作用。首先要求机械化生产线上的系统控制元件性能可靠、工作稳定,要求控制线路设计合理、维修方便,并能自动报警。生产过程中,对单机或生产线的基本要求是,保证正常运行、保证质量、保证生产率,满足产品的高质量。即材料加工过程实现自动化,一方面要求在生产过程中能够对工艺参数自动进行检测、记录,便于对工艺过程进行分析,出现废品时有据可查;另一方面要求生产过程中的工艺参数能自动调节,保证生产设备按一定的生产规范工作。例如,加热炉的炉温控制、造型时型砂含水量及紧实率控制等。

总之,对材料加工生产过程实现自动控制技术的要求是,实现对生产过程的程序控制和实现对生产过程工艺参数的自动检测和自动调节。

在材料加工过程控制领域,尽管也有相关的文献资料涉及过程自动控制在材料加工领域中的应用实例,但是,目前国内还没有关于这一领域系统而全面的适合于材料科学与工程专业研究生使用的图书。本书的出版弥补了这一不足,并且本书不仅适合材料科学与工程类专业,而且适合自动控制和机械类研究生和高年级本科生教学使用,也适合相关专业科技人员参考。

本书由三大部分组成,第 1 章到第 3 章介绍了自动控制基本理论,主要阐述自动控制系统基础,包括控制系统基本概念、控制系统数学模型和控制系统分析方法;第 4 章至第 8 章介绍了过程控制系统的组成以及过程控制仪表中的检测仪表、显示仪表、调节器和执行器四大过程控制元件;第 9 章至第 12 章分别介绍了材料加工领域中自动过程控制的应用实例,包括铸造过程自动控制技术、锻压过程自动控制技术、焊接过程自动控制技术和热处理过程自动控制技术。每章附有思考题与习题,可使读者进一步加深对所学知识的理解,提高分析

问题和解决问题的能力。

本书第1章,第3~6章,第9章由哈尔滨工程大学王香编写;第2,8,10,11章由哈尔滨理工大学马旭梁编写;第7,12章由哈尔滨工程大学侯彦芬编写。李大勇教授为本书的编写提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,哈尔滨工程大学相关科研组的研究生在书稿的资料收集、文字加工、绘图等方面做了大量工作;特别是盖鹏涛硕士、应国兵硕士、徐峰硕士更为此付出了辛勤的劳动。编者对他们无私的帮助与深情厚谊表示衷心的感谢。书中的部分资料和图表选自有关书刊资料,在此谨向原著作者表示谢意。感谢工信部和哈尔滨工程大学的支持。

“材料加工过程控制技术”是综合材料加工、过程控制和自动控制等学科而发展起来的,涉及计算机和自动化等领域,给编写工作带来了一定的难度,书中难免有不少缺憾之处,疏漏也在所难免,恳请各位专家、读者批评指正。

编者

2015年7月

目 录

第 1 章 控制系统概述	1
1.1 自动控制基本概念	1
1.2 过程控制系统的分类	2
1.3 控制系统的过渡过程及基本要求	6
思考题与习题	7
第 2 章 控制系统的数学模型	9
2.1 微分方程	10
2.2 传递函数	23
2.3 动态结构图	30
思考题与习题	37
第 3 章 控制系统的时域分析	38
3.1 控制系统的稳定性	38
3.2 时域分析的一般方法	44
3.3 一阶系统的时域分析	49
3.4 二阶系统的时域分析	52
3.5 高阶系统的近似分析	57
3.6 控制系统的稳态误差	59
思考题与习题	66
第 4 章 过程控制系统	68
4.1 过程控制系统的组成	68
4.2 过程控制系统设计步骤	69
4.3 简单过程控制系统概述	70
4.4 先进过程控制系统概述	70
思考题与习题	78
第 5 章 检测仪表及变送器	79
5.1 测量仪表的基本概念	79
5.2 温度检测仪表	85

5.3	压力检测仪表	110
5.4	流量检测仪表	126
5.5	物位检测仪表	130
5.6	检测器与变送器的选择	133
	思考题与习题	135
第6章	显示仪表	136
6.1	模拟式显示仪表	136
6.2	数字式显示仪表	142
6.3	新型显示仪表	150
	思考题与习题	152
第7章	调节器	153
7.1	调节器的调节规律	153
7.2	调节器的参数整定	160
7.3	模拟调节器	164
7.4	数字调节器	171
7.5	单回路数字调节器	174
7.6	先进调节器	176
7.7	智能 PID 控制方法	179
7.8	虚拟调节仪表发展趋势	182
	思考题与习题	183
第8章	执行器	185
8.1	电动执行器	185
8.2	气动执行器	186
8.3	气动执行器附件	196
	思考题与习题	199
第9章	铸造过程自动控制	200
9.1	合金熔炼过程的控制与调节	200
9.2	自动定量浇注	211
9.3	低压铸造自动控制	217
9.4	连铸控制系统	223
9.5	型砂质量在线检测与控制	231
9.6	清理的机械化	235
	思考题与习题	240

第 10 章 锻造过程自动控制	241
10.1 自由锻造自动控制	241
10.2 热模锻自动控制	248
10.3 快速锻造液压机自动控制	253
10.4 挤压的自动控制	256
10.5 轧制的自动控制	258
10.6 连铸连轧的自动控制	260
10.7 锻造技术与应用进展	263
思考题与习题	265
第 11 章 焊接过程自动控制	266
11.1 焊接生产的自动控制	266
11.2 脉冲 GTAW 过程的自动控制	268
11.3 TIG 焊机的自动控制	272
11.4 细丝二氧化碳焊接焊炬高度自动控制	275
11.5 双室真空钎焊炉的自动控制	279
11.6 多微处理器在管道焊接自动控制系统中的应用	282
11.7 焊接机器人的应用及发展趋势	286
思考题与习题	289
第 12 章 热处理过程自动控制	290
12.1 热处理工艺参数的自动控制	290
12.2 热处理工艺过程的自动控制	296
12.3 真空热处理控制系统	300
12.4 渗碳炉温度和碳势在线测控系统	303
12.5 感应加热装置及其控制	306
12.6 热处理集中控制系统的开发	309
思考题与习题	311
附录	312
参考文献	315

第 1 章 控制系统概述

随着科学技术的飞速发展,自动过程控制技术在国民经济和国防建设以及工业生产中所起的作用越来越大。在材料领域,自动过程控制技术也得到了广泛的应用。例如,在铸造生产车间,如果没有整套的自动控制系统,现代化的熔炼炉、各种制芯机以及造型设备等就无法正常运转。自动控制技术在材料领域的应用不仅使生产过程实现了自动化,极大地提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,并且在人类征服自然、探索新能源、发展空间技术和改善人类物质生活等方面都起到了极为重要的作用。因此,自动过程控制技术将是实现材料领域过程控制必不可少的一门技术。

1.1 自动控制基本概念

自动控制是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使某种设备、工作机械或生产过程的某些物理量或工作状态能自动地按照预定的规律运行或变化。而过程控制则是自动控制最重要的组成部分之一,通常是指连续生产过程的自动控制。其主要任务是对生产过程中的有关参数(温度、压力、流量、物位、成分等)进行控制,使其保持恒定或按一定规律变化,在保证产品质量和生产安全的前提下,使连续型生产过程自动地进行下去。

在自动过程控制中,要求实现自动控制的机器、设备或生产过程称之为被控对象,被控对象内要求实现自动控制的物理量称为被控量或系统的输出量。对被控对象起控制作用的装置称为控制装置或控制器。控制装置和被控对象的总体,称为自动控制系统。在控制系统中,把影响系统输出量的外界输入称为系统的输入量。系统的输入量通常有两种,即给定输入量和扰动量。给定输入决定系统输出量的变化规律或要求值。扰动量是指引起被控量偏离期望值的不利因素,扰动输入影响给定输入对系统输出量的控制。如果干扰产生于系统的内部叫内部干扰,干扰产生于系统的外部叫外部干扰。调节变量是指对被控装置的被控变量具有较强的直接影响且便于调节的变量。给定值也称为设定值或期望值,是指希望控制系统实现的目标,即被控变量的期望值,它可以是恒定值,也可按程序变化。

由于控制对象的特殊性,除了具有一般自动控制技术所具有的共性之外,相对于其他控制系统,过程控制系统还具有以下特点。

1. 控制对象复杂、控制要求多样

连续生产过程多种多样,因此过程控制的被控过程(也称被控对象)也多种多样,控制的参数各不相同,或参数相同要求控制的品质也大不相同;同时过程参数变化规律各异,参数之间的关联特性、对生产过程的影响也不一样。要设计能适应各种过程的通用控制系统非常困难。由于被控过程(包括被控参数)的多样性,使过程控制系统明显地区别于自动控制系统。

2. 控制方案丰富

生产过程的复杂性和工艺要求的多样性,决定了控制系统的控制方案必然是多样的,为了满足生产过程中越来越高的要求,控制方案也越来越丰富。

3. 多属慢过程参数控制

在冶金工业中,常用一些物理量来表征生产过程是否正常,这些物理量多半是以温度、压力、流量、物位等参数表示,被控过程大多具有大惯性、大滞后等特点,因此过程控制具有慢过程参数控制的特点。

4. 主要控制形式是定值控制

在大多数过程控制系统中,通常要求其设定值保持恒定或在很小范围内变化,过程控制系统的主要目的就是减小或消除外界扰动对被控参数的影响,使被控参数维持在设定值或其附近,从而达到优质、高产、低耗与生产连续稳定的目标。因此,定值控制是过程控制的一种主要控制形式。

5. 由规范化的过程检测控制仪表组成

过程控制系统一般有调节器、执行器、被控过程和测量变送器四个环节,其中调节器、执行器和测量变送器都属于检测控制仪表,因此也可认为过程控制系统由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成。

1.2 过程控制系统的分类

由于控制过程复杂多样,过程控制方案种类很多,下面介绍几种主要的分类方法。

(1)按被控变量分为,温度、压力、液位、流量和成分等控制系统。

(2)按被控制系统中控制仪表及装置所用的动力和传递信号的介质分为,气动、电动、液动、机械式等控制系统,如机械式液位控制系统。

(3)按被控制对象分为,流体输送设备、传热设备控制系统等。

(4)按调节器的控制规律分为,比例控制、积分控制、微分控制、比例积分控制、比例微分控制、比例积分微分控制系统。

(5)按系统功能与结构分为,单回路简单控制系统、常规复杂控制系统、先进控制系统和程序控制系统等。

(6)按给定值的变化情况分为,定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

①定值控制系统。定值控制系统是一类给定值保持不变或很少调整的控制系統。这类控制系统的给定值一经确定后就保持不变直至外界再次调整它,系统的输出量也要求保持恒定。多数控制系统均属于此类系统。

②随动控制系统。如果控制系统的给定值不断随机地发生变化,或者跟随该系统之外的某个变量而变化,则称该系统为随动控制系统。此系统要求其输出信号(被控量)以一定精确度跟随输入信号(给定值)而变化,故名随动系统。

③程序控制系统。给定值按事先设定好的程序变化的控制系统称为程序控制系统。

(7)按使用的数学模型分类。

①线性系统和非线性系统。线性系统是系统输入量与输出量之间的关系可用线性微分方程或线性差分方程描述的系统。若方程的系数与时间 t 无关即为定常数,该系统又称为线性定常系统。若方程的系数值随时间 t 的变化而变化,则称该系统为线性时变系统。非线性系统是系统输入量与输出量之间的关系可用非线性微分方程或非线性差分方程描述的系统。

②时变系统与定常系统。特性随时间变化的系统称为时变系统,特性不随时间变化的系统称为定常系统。描述其特性的微分方程或差分方程的系数不随时间变化的系统是一个定常系统。定常系统分为线性定常系统和非线性定常系统。对于线性定常系统,不管输入加入在哪一时刻,只要输入的波形是一样的,则系统输出响应的波形也总是同样的;对于时变系统,其输出响应的波形不仅与输入波形有关,而且还与输入信号加入的时刻有关。

(8)按系统内部的信号特征可分为连续系统和离散系统。

①连续系统。若系统中各元件的输入量和输出量均为时间 t 的连续函数,称该系统为连续系统。连续系统的运动规律可用微分方程描述,系统中各部分信号都是模拟量。

②离散系统。若系统中某一处或几处的信号是以脉冲系列或数码的形式传递,称该系统为离散系统。离散系统的运动规律可用差分方程描述。

(9)按系统的结构特点,控制系统可分为开环控制系统和闭环控制系统。

1.2.1 开环控制系统

若系统的控制器与被控对象之间只有顺向作用,没有反向作用,即系统的输出量对控制作用没有影响,该系统称为开环控制系统。在开环控制系统中,输入端与输出端之间,只有信号的前向通道而不存在由输出端到输入端的反向通路。

图 1.1 为一个电加热炉炉温控制系统示意图。该控制系统要求炉温维持在给定值附近的一定范围内。控制过程是根据给定炉温所要求的期望值,调节调压器活动触点在某一位置上,改变加于电阻丝两端的电压,电阻丝两端因所加电压释放热能,产生的热量大小与所加电压高低成正比。当调压器调节在某一位置,且外界条件及元部件参数不变时,炉子对应地处于某一温度。该系统控制对象是加热炉,被控量是炉内温度,控制装置是调压器、电阻丝。当外界条件或元部件参数发生变化时,如由于电源的波动或炉门的开闭会使炉温产生漂移,炉内实际温度与期望的温度会出现偏差,有时偏差可能较大。但炉温变化的信息不回送到输入端,系统不会自动调整调压器滑头的位置,通过改变电阻丝的电流来自动消除温度偏差,也就是说输出量对系统的控制作用没有任何影响。因此,该炉温控制系统是一个开环控制系统,控制原理如图 1.2 所示。

开环控制又可分为按给定值控制和按干扰补偿控制两种形式。

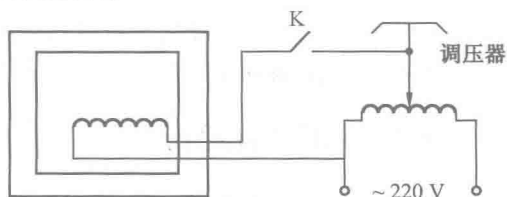


图 1.1 电加热炉炉温开环控制示意图



图 1.2 电加热炉开环控制原理图

1. 按给定值控制

如图 1.3 所示,该控制形式在干扰时或特性参数变化时,受控量随之发生变化,但无法自动补偿,控制精度难以保证,因此,按给定值控制的开环控制对受控对象和其他控制元件的要求高。

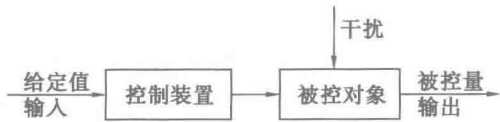


图 1.3 按给定值控制的开环控制

2. 按干扰补偿控制

如图 1.4 所示,该控制形式对破坏系统正常运行的干扰进行测量,利用干扰信号产生控制作用,以补偿干扰对控制量的影响。但是,由于只能对可测干扰进行补偿,对不可测干扰及受控对象,各功能部件内部参数变化对被控量造成的影响,系统自身仍无法控制,因此,控制精度还是无法保证。

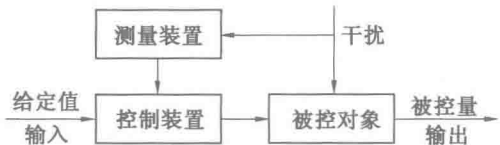


图 1.4 按干扰补偿的开环控制

综上所述,开环控制系统具有如下特点:

(1) 结构比较简单,成本较低。

(2) 作用信号由输入到输出单方向传输,不对输出量进行任何检测,或虽然进行检测,但对系统工作不起控制作用。

(3) 外部条件和系统内部参数保持不变时,对于一个确定的输入量,总存在一个与之对应的输出量。

(4) 控制精度取决于控制量及被控对象的参数稳定性,容易受干扰影响,缺乏精确性和适应性。

因此开环控制系统一般用于可以不考虑外界影响或精度要求不高的场合,如洗衣机、步进电机控制及水位调节等。

1.2.2 闭环控制系统

系统的输出量或状态变量对控制作用有直接影响的系统称为闭环控制系统。在闭环控制系统中,既存在由输入端到输出端的信号前向通路,也存在从输出端到输入端的信号反馈通道,两者组成一个闭合的回路。控制系统要达到预定的目的或具有规定的性能,必须把输出量的信息反馈到输入端进行控制。通过比较输入值与输出值,产生偏差信号,该偏差信号以一定的控制规律产生控制量,作用于执行机构。使偏差逐步减小以至消除,从而实现所要求的控制性能。

图 1.5 为电加热炉炉温控制的闭环控制系统原理图。要求将炉温控制在某一温度值附近,首先通过给定电路将炉子要求控制的温度转换成相应的电压量 u ,炉子内的温度通过热电偶检测,与设定电压进行比较,所产生的电压差 Δu 经前置放大器和功率放大器放大后,驱动执行电机带动减速器转动,使调压器滑动触点(输出电压)向减少电压误差 Δu 的方向移动。通过改变流过加热电阻丝的电流,消除温度偏差,使炉内实际温度等于或接近设定的温度值。

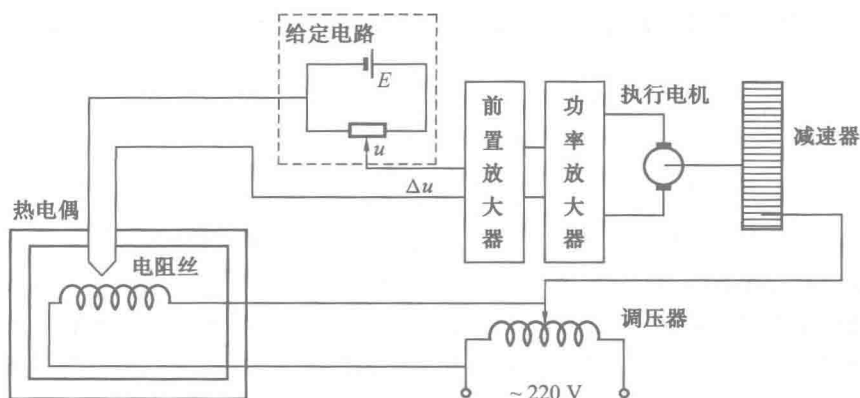


图 1.5 闭环控制的电加热炉原理图

图 1.6 为电加热炉炉温闭环控制系统方框图。在闭环控制系统中,不仅有从输入端到输出端的信号作用路径,还有从输出端到输入端的信号作用路径。前者称为前向通道,后者称为反馈通道。具有反馈通道的控制系统称之为闭环控制系统。

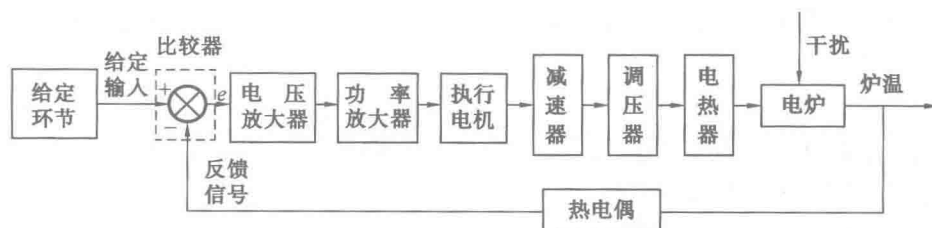


图 1.6 电加热炉炉温闭环控制系统方框图

1. 闭环控制系统的组成

- (1) 给定环节,根据系统输出量的期望值,产生系统的给定输入信号的环节。
- (2) 反馈环节,该环节的功能是对系统输出量的实际值进行测量,将它转换成反馈信号,并使反馈信号成为与给定输入信号同类型、同数量级的物理量。
- (3) 比较器,将给定信号和反馈信号进行比较,产生偏差信号的环节。
- (4) 控制器,根据输入信号的偏差信号,按一定的控制规律产生相应的控制信号的环节。
- (5) 执行环节,将控制信号进行功率放大,直接推动被控对象,使被控制量发生变化的环节。
- (6) 被控对象。

2. 闭环控制系统的特点

(1) 由负反馈构成闭环,利用误差信号进行控制,不论是输入信号的变化;或者干扰的影响,或者系统内部的变化,只要是被控量偏离了规定值,都会产生相应的作用去抑制或消除偏差。

(2)对于外界扰动和系统内参数的变化等引起的误差能够自动纠正,提高了系统的精度。

(3)在系统元件参数配合不当时,容易产生振荡,使系统不能正常工作,因而存在稳定性问题。

图 1.6 实际上是一个反馈系统。反馈就是把系统的输出信号回送到系统的输入端并叠加到输入信号上,可分为正反馈和负反馈两种类型。如果由于反馈的存在,使得系统的输出信号趋于稳定在原来的水平上,或者是输出信号与给定值的偏差趋于减少,这样的反馈称为负反馈。负反馈系统的原理是根据所检测偏差进行控制,从而抑制或消除偏差。而由于反馈的存在,使得系统的输出信号单调地朝着某一个方向变化,这样的反馈称为正反馈。

1.3 控制系统的过渡过程及基本要求

1.3.1 控制系统的过渡过程

当控制系统的输入发生变化后,被控变量随时间不断变化的过程称为系统的过渡过程。也就是系统从一个平衡状态到达另一个平衡状态的过程。

对于一个稳定的系统,要分析其稳定性、准确性和快速性。常以阶跃信号作为输入时的被控变量的过渡过程为例进行分析,因为阶跃作用很典型,实际中也经常遇到,且这类输入变化对系统来讲是比较严重的情况。如果一个系统对这种输入有较好的响应,那么对其他形式的输入变化就更能适应。

在阶跃信号输入的扰动作用下,定值控制系统过渡过程有以下几种基本形式。

1. 发散振荡

系统受到扰动后,被控参数变化,且波动幅度不断增大,没有最后的稳态值,属于不稳定系统的过渡过程,应尽量避免这样的系统。

2. 等幅振荡

系统受到扰动后,被控参数变化,且波动幅度保持不变。属于临界稳定系统的过渡过程,它介于稳定与不稳定之间的临界状态,一般工程上也认为是不稳定的过渡过程,这只有在生产过程允许此种情况出现时才可使用。例如,采用双位控制器组成的控制系统,其过渡过程就是这样。

3. 单调衰减

系统受到扰动后,被控参数从设定值向一侧单调的变化,最后稳定在某一数值上,属于稳定系统的过渡过程,在生产上被控量不允许有波动时,这种过程是可以采用的。

4. 衰减振荡

系统受到扰动后,被控参数变化,波动幅度逐渐减小,最后稳定在某一数值上,即达到一个新的平衡状态。同单调衰减一样,同属于稳定系统的过渡过程,在过程控制中多数情况都

希望能得到这种过渡过程。

1.3.2 控制系统的基本要求

对自动控制系统的基本要求体现在以下几个方面。

1. 稳定性要求

稳定性是指系统处于平衡状态下,受到扰动作用后,系统恢复原有平衡状态的能力。要求没有扰动时系统处于平衡状态,系统输出量也是确定的。当系统受到扰动后,其输出量必将发生相应变化,经过一段时间,其被控量可以达到某稳定状态,但由于系统含有具有惯性或储能特性的元件,输出量不可能立即达到与输入量相应的值,而要有一个过渡过程,所以在设计时还要留有一定的稳定裕量。

2. 动态性能要求

虽然理论上稳定的系统能够到达平衡状态,但还要求它能够快速到达,而且,在调节过程中,要求系统输出超过给定的稳态值的最大偏差,即所谓的超调量不要太大,要求调节的时间比较短,这些性能统称为动态性能。系统的超调量反映了系统的相对稳定性。超调量大的系统不容易稳定,相对稳定性差。而超调量过小的系统的相对稳定性较好。

3. 稳态性能要求

稳定的系统在过渡过程结束后所处的状态称为稳态。稳态精度常以稳态误差来衡量,稳态误差是指稳态时系统期望输出量和实际输出量之差。设计时希望稳态误差要小。

思考题与习题

1.1 炉温控制系统如图 1.7 所示。要求指出系统的被控对象、被控量、给定量,说明控制装置的各组成部分,画出系统的方框图。

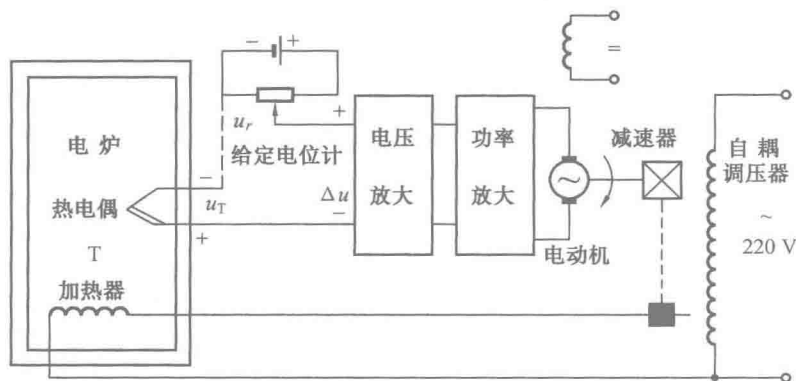


图 1.7 炉温控制系统图

1.2 图 1.8 为调速系统线路原理图,说明其工作原理,并画出系统的方框图。

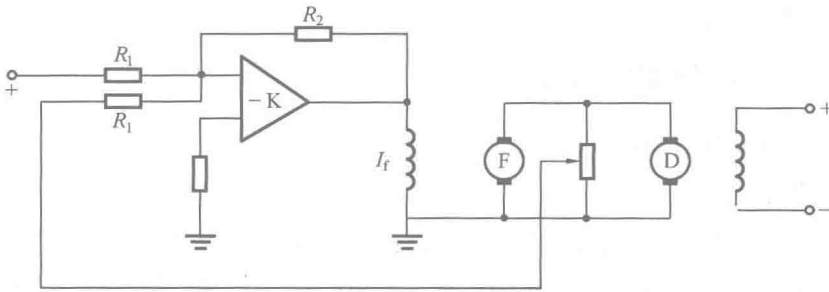


图 1.8 调速系统线路原理图

- 1.3 试比较开环控制系统和闭环控制系统的优缺点。
- 1.4 什么是反馈、正反馈、负反馈？为什么通常的自动控制系统都是负反馈系统？

第2章 控制系统的数学模型

在控制系统的分析和设计中,定性了解控制系统的工作原理及运动过程非常重要,但要更深入地定量研究控制系统的动态特性,要做的首要工作就是建立控制系统的数学模型。控制系统的数学模型是描述系统动态特性的数学表达式,它反映了系统输入、输出变量以及内部各变量之间的相互关系,是分析和设计系统的依据。一个控制系统构成的好坏,往往取决于对被控对象动态特性估计的正确程度。在研究一个控制系统的时候,首先要建立该控制系统的数学模型。控制系统的种类很多,但若它们运动过程的数学表达式相同,则分析和计算也就完全一样。因此,利用控制系统的数学模型,可以撇开系统的具体物理属性,研究这些系统运动过程的共同规律,从理论上进行具有普遍意义的分析研究,研究所得的结论也就必然有效地指导各种自动控制系统的分析与设计。例如,在控制一个加热炉时,希望控制的物理量是加热炉的温度,而加热炉温度的变化是由控制加热源来决定的,两者之间运动关系的数学描述就称为该物理系统的数学模型。一旦得到了描述系统运动的数学模型,就可以用数学分析的方法来研究该系统的运动规律了。

控制系统的数学模型可分为抽象模型与具体模型(也称数学模型和物理模型),通常可构造下列几种模型:

(1) 理论模型,基于理论分析而构成的模型。

(2) 经验模型,基于在实际系统中的实验结果而构成的模型。

(3) 静态模型,在静态条件下(即变量的各阶导数为零),描述各变量之间关系的数学方程。静态模型描述各变量之间的关系不随时间变化,在量值上有确定的对应关系。

(4) 动态模型,是指各变量在动态过程中的关系用微分方程描述而构成的模型。对于系统性能的全面分析,一般要以动态模型为对象,详细研究各变量的运动特性。

建立控制系统的数学模型(简称系统建模)一般有两种途径,即分析法和实验法。分析法是先对构成系统的各部分环节的运动机理进行分析,在弄清各环节输出量和输入量的关系机理及相关参数后,再根据它们所遵循的物理或化学规律(如牛顿定律、基尔霍夫定律、热力学第二定律等)分别列写相应的运动方程,并将它们合在一起组成描述整个系统的方程。当然和数学模型有关因素很多,在建立模型时不可能也没必要把一些非主要因素都囊括进去,而使模型过于复杂,但也不能片面地强调简化,简化得太多,会使分析结果与实际情况出入太大。因此应在模型的准确性和简化性之间进行恰当的考虑,根据实际需要建立关于系统某一方面的描述。对无法确切知道关系机理的则需要用实验法,实验法是为人为地给系统施加某种测试信号,然后测量并记录系统的输出,并对这些输出数据进行分析和处理,求出一种数学表示方式,这种建模方法又称为系统辨识。

作为线性定常系统,其数学模型可用微分方程、传递函数、动态结构图和信号流图几种形式描述。同一个系统可以用不同的数学模型描述,这些数学模型之间也可以相互转换,采