

“十五”国家重点图书

材料科学与工程系列教材 研究生用书

材料加工过程控制技术

CONTROL TECHNOLOGY OF MATERIAL MACHINING PROCESS

王香 马旭梁 编著

哈尔滨工业大学出版社

“十五”国家重点图书

材料科学与工程系列教材 研究生用书

材料加工过程控制技术

CONTROL TECHNOLOGY OF MATERIAL
MACHINING PROCESS

王 香 马旭梁 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

《材料加工过程控制技术》是材料科学与工程系列教材研究生教学用书之一。本书内容由三部分组成,第一部分是自动控制系统,包括控制系统概念,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,热处理过程自动控制,焊接过程自动控制,锻造过程自动控制。

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,马旭梁编著.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2006.8

材料科学与工程系列教材研究生用书

ISBN 7-5603-2417-7

I.材… II.①王…②马… III.工程材料-加
工-过程控制-高等学校-教材 IV.TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 094620 号

责任编辑 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 哈尔滨市龙华印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16 印张 17.5 字数 312 千字

版 次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1~3 000

定 价 23.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

材料科学与工程系列教材研究生用书 第一届编审委员会

顾 问	肖纪美	徐滨士	杜善义
	才鸿年	吴 林	
主任委员	曹茂盛	田永君	赫晓东
委 员	刘世参	徐惠彬	李大勇
	韩杰才	翟玉春	关绍康
	冯吉才	王富趾	李木森
	刘常升	曹传宝	王加友
	戴起勋	吴春京	吴玉程
	雷明凯	陈 光	刘瑞堂
	潘庆谊	成国祥	梁彤祥
	孙俊才	杨瑞成	王继辉

序

材料是人类赖以生存的物质基础,而各种材料的加工方法则是材料得以应用的必要手段。金属材料是制造业尤其是装备制造业的基础材料,迄今为止,铸、锻、焊、热处理仍是金属材料的主要成型方法和处理工艺。因此,研究和应用金属材料铸造、锻压、焊接过程和热处理工艺的控制技术,对于工业技术进步和国民经济发展具有非常重要的现实意义和深远的历史意义。

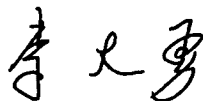
金属材料成形是一个非常复杂的过程,无论是液态成形还是固态变形,产品件的最终质量都将受到加工过程多种因素的影响。将人们多年积累的实践经验或经过优化确定的控制参数固化于过程控制器中,通过机器实现生产过程的自动控制,无疑是提高生产效率、改善劳动条件和确保产品质量的极好方法。

近年来,随着自动化技术的快速发展和计算机技术的日益普及,金属材料成形过程的自动化水平已有明显提高,由此带来的经济效益和社会效益十分显著。诸如冲天炉熔炼过程自动控制、铸件生产线自动控制、热处理工艺过程自动控制、自由锻造自动控制、弧焊过程自动控制等都在实际生产中获得了成功的应用。同时,为数不少的专著和论文也对相关技术成果进行了及时介绍,对有关人员了解和掌握金属材料最新成形控制技术起到了非常好的作用。

在我国许多高等学校材料加工工程专业的研究生和本科生教学计划中,都将材料加工过程控制技术确定为必修课,但教学过程中可供选用的成型教材并不多见,尤其缺乏既有基础理论、又有通用器件、还有典型应用内容的教材。两位青年教师在认真总结自己教学实践的基础上,融会当今先进的研究成果编写而成《材料加工过程控

制技术》一书,既可满足高校师生之急需,又可提供科研人员之参考,实为可喜可贺。

值此新书付梓之际,应作者之诚邀作序,不胜荣幸。期望本书能在材料加工工程及相关专业教学中发挥应有作用,同时也衷心希望本书能在今后使用中不断改进与完善,成为一本深受师生欢迎的好教材。



全国铸造学会理事、铸造机械专业委员会主任
哈尔滨市铸造学会理事长
哈尔滨理工大学教授

2006年8月18日

前 言

自动控制技术在现代的工业、农业、国防和科学技术领域中得到了越来越广泛的应用,所谓自动控制,就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。

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,改善劳动条件和强化企业管理;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。

自 20 世纪 90 年代以来,自动化技术发展很快并获得了惊人的成就,已成为国家高科技的重要分支。过程控制技术是自动化技术的重要组成部分,在现代工业生产过程自动化中,过程控制技术正在为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。在生产线上要求主机、辅机协调地按节拍工作,任何环节出现故障,整条生产线即陷于停顿。为此,一方面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。因此,为使材料加工过程实现自动化,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。

因此,对材料加工生产过程进行自动控制的技术要求是,实现对生产过程的程序控制或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报道过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作材料科学与工程专业研究生教材的书,本书的出版暂弥补了这一不足。本书不仅适合材料科学与工程类各专业,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7章介绍了过程控制中的检测仪表、显示仪表、调节器和执行器四大过程控制元件;第8章至第11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、热处理过程自动控制技术、焊接过程自动控制技术和锻压过程自动控制技术。每章后面有思考题,可使读者进一步加深对所学知识了解,提高分析问题和解决问题的能力。

本书第1章、第3~5章、第8章由哈尔滨工程大学王香编写,第2、7、10、11章由哈尔滨理工大学马旭梁编写,第6、9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,并为本书作序,在此表示衷心的感谢。

本书在编写的过程中,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。

由于“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,存在问题也在所难免,恳请各位专家、读者批评指正。

作者

2006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 开环控制与闭环控制	(1)
1.3 控制系统分类	(5)
1.4 控制系统的基本要求	(6)
思考题与习题	(7)
第 2 章 控制系统的数学模型	(8)
2.1 系统微分方程的建立	(8)
2.2 非线性数学模型的线性化	(11)
2.3 拉氏变换	(13)
2.4 拉氏反变换	(19)
2.5 拉氏变换法求解微分方程	(22)
2.6 传递函数	(23)
2.7 动态结构图	(31)
思考题与习题	(37)
第 3 章 控制系统的时域分析	(38)
3.1 时域分析的一般方法	(38)
3.2 一阶系统的时域分析	(42)
3.3 二阶系统的时域分析	(46)
3.4 高阶系统的近似分析	(49)
3.5 控制系统的稳定性	(53)
思考题与习题	(57)
第 4 章 检测仪表及变送器	(59)
4.1 测量误差和测量仪表的性能指标	(59)

4.2	温度检测仪表	(63)
4.3	压力检测仪表	(87)
4.4	检测器与变送器的选择	(104)
	思考题与习题	(106)
第5章	显示仪表	(108)
5.1	模拟式显示仪表	(108)
5.2	数字式显示仪表	(116)
	思考题与习题	(124)
第6章	调节器	(125)
6.1	调节器的调节规律	(125)
6.2	调节器的参数整定	(131)
6.3	模拟调节器	(135)
6.4	数字调节器	(144)
6.5	单回路数字调节器	(147)
	思考题与习题	(149)
第7章	执行器	(151)
7.1	电动执行器	(151)
7.2	气动执行器	(152)
7.3	电-气转换器	(160)
7.4	气动阀门定位器	(160)
	思考题与习题	(161)
第8章	铸造过程自动控制	(162)
8.1	冲天炉熔炼过程的控制与调节	(162)
8.2	电加热炉炉温控制	(171)
8.3	真空差压铸造成控制	(175)
8.4	低压铸造自动控制	(178)
8.5	连铸机自动控制	(182)
8.6	热室压铸自动控制	(192)
8.7	铅锭浇注自动控制	(195)
	思考题与习题	(199)

第 9 章 热处理过程自动控制	(200)
9.1 热处理工艺参数的自动控制	(200)
9.2 热处理工艺过程的自动控制	(207)
9.3 扭杆热处理自动控制	(212)
9.4 渗碳炉温度和碳势在线测控系统	(215)
思考题与习题	(218)
第 10 章 焊接过程自动控制	(219)
10.1 焊接生产的自动控制	(219)
10.2 脉冲 GTAW 过程的自动控制	(222)
10.3 TIG 焊机的自动控制	(226)
10.4 细丝二氧化碳焊接焊炬高度自动控制	(229)
10.5 双室真空钎焊炉的自动控制	(233)
10.6 多微处理器在管道焊接自动控制系统中的应用	(237)
思考题与习题	(242)
第 11 章 锻造过程自动控制	(243)
11.1 自由锻造自动控制	(243)
11.2 热模锻自动控制	(249)
11.3 快速锻造液压机自动控制	(255)
11.4 电工铝杆连铸连轧的自动控制	(259)
思考题与习题	(263)
附录	(264)
参考文献	(267)

第 1 章 控制系统概述

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。被控对象是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程。控制装置也称控制器,是指对被控对象起控制作用的装置的总称,被控对象中要求实现自动控制的物理量称为被控量或系统的输出量;控制器和被控对象的总体,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。给定输入量决定系统输出量的变化规律或要求值。扰动量是指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,如果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,也可以按程序变化。

1.2 开环控制与闭环控制

自动控制系统包括开环控制和闭环控制两种形式,下面分别对其进行介绍。

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。

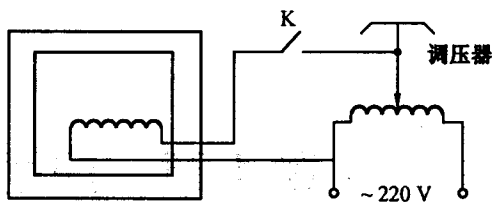


图 1.1 电加热炉炉温开环控制示意图

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。

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。

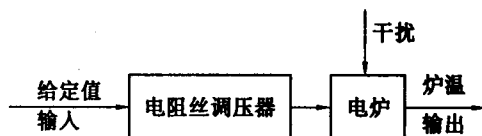


图 1.2 电加热炉开环控制原理图

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。



图 1.3 按给定值控制的开环控制

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。

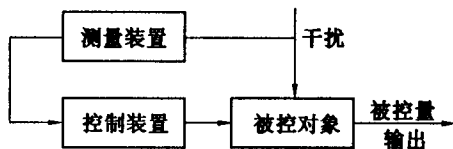


图 1.4 按干扰补偿的开环控制

综上所述,开环控制系统具有如下特点:

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变换成相应的电压量 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

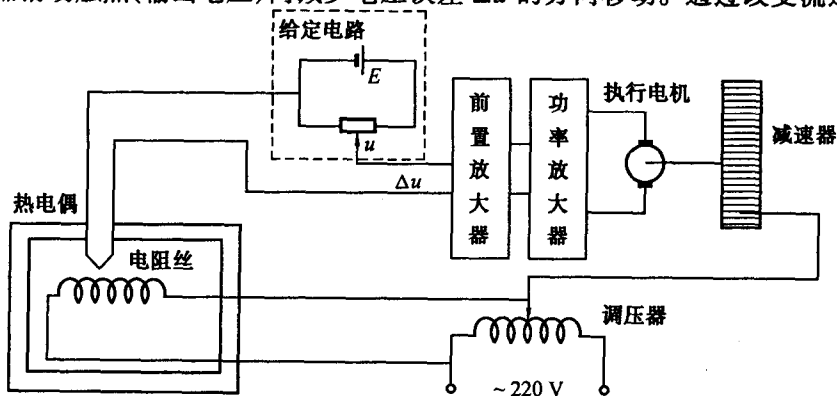


图 1.5 闭环控制的电加热炉原理图

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 1.6 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。

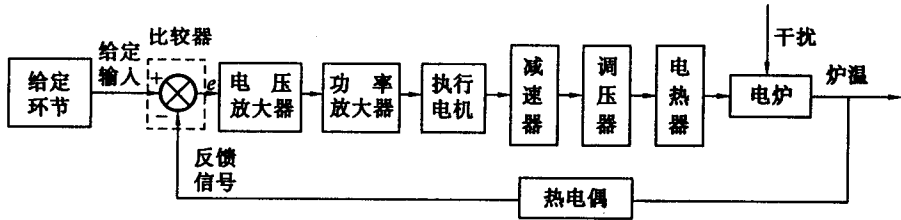


图 1.6 电加热炉炉温闭环控制系统方框图

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 1.5 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 控制系统分类

自动控制系统有多种分类方法,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 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 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。定常系统分为定常线性系统和定常非线性系统。对于线性定常系统,不管输入在哪一时刻加入,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的连续函数时,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时,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。

1.4 控制系统的基本要求

对自动控制系统的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

对于稳定的系统,虽然理论上能够到达平衡状态,但还要求能够快速到达,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。