

高等学校教材

过程控制系统

(修订本)

重庆大学 涂植英 朱麟章 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社



高等学校教材

过程控制系统

(修订本)

重庆大学 涂植英 朱麟章 主编



机械工业出版社

本书是根据1983年全国高等工业学校工业自动化仪表教材编审小组审定的课程教学大纲修订的。内容以常规仪表过程控制系统为主,比较详细地讲述了被控对象的特性及辨识方法、单回路控制系统与串级控制系统。对均匀控制系统、比值控制系统、前馈控制系统与选择性控制系统也作了必要介绍。最后通过对直接数字控制系统的详细介绍,使读者对计算机过程控制具有一定的基础知识。

本书着重于讲述系统的分析、设计和工程应用,力求反映近年来过程控制系统方面的新成就,因此内容较新也较全面,除作为工业自动化仪表的专业课教材外,还可供其它相近专业选用。对石油、化工、冶金、电站等从事过程控制的技术人员亦有参考价值。

过程控制系统

(修订本)

重庆大学 涂植英 朱麟章 主编

责任编辑:邱锦来 责任校对:丁丽丽

版式设计:霍永明

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张13¹/₂·字数 328 千字

1983年6月北京第一版

1988年6月北京第二版·1988年6月北京第四次印刷

印数 17,201—25,200·定价:2.30元

ISBN 7-111-00177-X/TP·16(课)

初 版 前 言

本书是根据1978年4月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会上所确定的精神,和同年10月在上海召开的工业自动化仪表专业教材大纲审定会所确定的编写大纲编写的。它是工业自动化仪表专业的一门专业课教材,也可供石油、化工、冶金、电站等从事过程控制的技术人员参考。

本书主要分常规过程控制系统和计算机过程控制系统两篇,而以后者为主。全书从过程控制角度着重于系统的分析和使用,力求做到理论与实际相结合。第一篇重点放在第一章被控对象的动态特性,第二章单回路反馈控制系统和第三章串级控制系统;第二篇重点放在第五章直接数字控制系统和第六章最优控制和自适应控制系统。最后第八章介绍了系统的模拟(仿真)技术。两篇内容具有相对独立性,以便各校根据具体情况有所选择或侧重。

本书取材力求反映七十年以来在过程控制系统方面的新技术,以及近年来出现的多级(递阶)控制系统、分散型综合控制系统等。

1980年7月在一机部教编室主持下召开了审稿会。参加会议的有太原工学院、西安交通大学、华中工学院、上海业余工大、上海机械学院、无锡轻工业学院。会上各院校代表对书稿进行了认真审议,提出了许多宝贵意见;会前天津大学李光泉同志认真审阅了全部书稿;全书由王汝范同志审核。在本书编写过程中,得到了许多单位的支持和帮助,在此一并致以谢意。

本书由重庆大学涂植英同志主编,负责编写绪言、第五、六、七章和附录,闻庆东同志负责编写第二、三、八章,徐盛仪同志负责编写第一、四章。

由于编者水平有限,书中有不妥和谬误之处,恳切希望读者批评指正。

再 版 前 言

本书是根据1983年12月在天津召开的全国高等工业学校工业自动化仪表教材编审小组会议审定的《过程控制系统》教学大纲修订而成的。按教学计划规定,这个修订本的内容只讲授常规仪表过程控制系统及微型机直接数字控制(DDC)系统。而有关计算机控制系统部分,则在另一组必修课中讲授,并有专门的教材。

本修订本与初版相比,编写上有较大改进,内容取舍、章节安排更加合理,内容符合教学大纲的要求。本书第一、二章介绍过程控制系统的特点,被控对象的特性与辨识方法;第三、四、五章介绍常规过程控制系统的原理、分析与设计方法;第六章介绍微型机过程控制的原理,接口电路,软件设计和DDC系统硬件的组成。

书中的名词术语,均以国家工业仪表总局编印的《工业自动化仪表常用术语》为准。有些尚未作统一规定的,则用惯用名词术语。书中的单位均采用我国法定计量单位,并在括弧中注有沿用的工程单位制单位。

曾将修订本初稿于1984年秋提供兄弟院校试用,并提出修改意见。同年12月在重庆召开审稿会,由天津大学李光泉同志主审。参加审稿会的有天津大学、太原工业大学、山东工业大学、华东石油学院、武汉建材学院、上海第二工业大学和重庆大学等院校。会上各院校代表对书稿进行了认真审议,提出了许多宝贵意见;在本书修订过程中,还得到其它许多兄弟院校和有关同志的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

修订本由重庆大学涂植英和朱麟章两同志主编,原来参加编写的闻庆东同志、徐盛仪同志因另有任务,未参加本书修订工作。具体参加这次修订工作的有:朱麟章同志负责第一、二章,在涂植英同志出国期间负责将本书修订本初稿提供讨论和各校试用,并做了大量组织工作;龙怀沛同志负责第三、四、五章;姜诗英同志负责第六章。涂植英同志对全书进行了最后两次统稿和审定工作,限于编者业务水平,书中难免有错误和缺点,恳切希望读者批评指正。

编 者

一九八七年

主要符号表

A	面积, 峰值, 常数, 液容(容量系数)	m_{ff}	前馈控制输入信号
a	常数, 序列幅值, 极点, 响应(下标)	N	周期长度
B	常数, 幅值	n	递减比, 测量次数, 系数, 阶次
b	常数, 截距, 零点, 闭环(下标)	o	对象(下标)
C	常数, 余差, 容量, 容量系数, 阀流通能力, 积分常数	P	比例, 比例带, 压力, 压差
c	常数, 控制器(下标), 控制通道(下标)	$p(x)$	概率密度函数
D	微分, 干扰信号, 控制阀口径	P_r	压力恢复系数
D_n	n 阶延迟滤波器的输出	Q	流量, 热量, 体积流量
$D(z)$	脉冲传递函数	$Q(s)$	操纵量拉氏变换
$D(s)$	干扰的拉氏变换	q	热量, 热流, 操纵量
d	扰动, 干扰通道(下标)	R	阻力, 比例
$E(s)$	偏差值拉氏变换	r	设定值, 参考值(下标)
$E(z)$	输入序Z变换	R_{xx}	x 的自相关函数
$E[x]$	随机信号 x 的平均值	R_{xy}	x, y 的互相关函数
$E[x^2]$	随机信号 x 的均方值	S, s	压降分配比, 特征方程的根, 算子
e	偏差值	T	时间常数, 序列周期, 采样周期, 热力学温度
e_n	第 n 次采样偏差值	t	摄氏温度
f	前馈控制(下标)	$U(s)$	控制器输出拉氏变换
FFC	前馈控制	u	控制器输出
FBC	前馈反馈控制	V	流体体积
H	高度, 液位	v	流速, 阀门(下标)
H_v	蒸气汽化潜热	$W(s)$	传递函数
HS	高值选择器	$X(z)$	输出序列Z变换
$H(s)$	采样保持器拉氏变换	x	控制信号, 阶跃信号, 阀门全开与最大流量比
$H_n(s)$	检测, 变换拉氏变换	$X(s)$	输入拉氏变换
h	液位	Δx	阀门开度, 控制器输出变化量
K	系数, 常数, 放大系数, 弹簧刚度, 流量比, 比例系数	Δx_c	计算机输出的增量控制信号
k	常数, 静态放大系数, 临界值(下标), 开环(下标)	Y, y	被控量
k_v	控制阀流量系数	$Y(s)$	被控量拉氏变换
L, l	距离, 长度, 位移量	$y(t)$	被控量变化值
LS	低值选择器	$y(\infty)$	被控量稳态值
M	质量, 序列名, 物料量	Y_p	脉冲响应
m	质量, 递减系数, 阶次, 检测, 变送器(下标)	Y_s	阶跃响应
		z	测量值
		$Z(s)$	测量值拉氏变换

α	角度, 实部、比例系数、流量系数
β	角度, 工作频率 (下标)
δ	偏差, δ 函数, 比例度
ζ	阻尼系数, 衰减系数
ξ	局部阻力系数
φ	相位移
ψ	递减率
θ	温度
θ	温度, 热过程 (下标)
$\Delta\theta$	温度变化
λ	热导率

λ_i	相对放大系数
σ	标准偏差
σ^2	均方差
τ	滞后时间、时间
τ_0	纯滞后
τ_c	容量滞后
ρ	密度
ω	角频率
ρ_{xy}	相关函数
χ	比值

目 录

主要符号表

第一章 绪论.....7

§ 1-1 过程控制的特点7

§ 1-2 过程控制系统发展概况2

§ 1-3 过程控制系统的组成3

§ 1-4 过程控制系统的类别5

§ 1-5 过程控制系统的品质指标6

第二章 过程控制对象的动态特性9

§ 2-1 概述9

§ 2-2 有自平衡能力对象的动态特性11

§ 2-3 无自平衡能力对象的动态特性18

§ 2-4 时域法辨识对象的动态特性20

§ 2-5 频域法辨识对象的动态特性36

§ 2-6 统计相关法辨识对象的动态特性.....37

本章小结.....45

思考题与习题.....45

第三章 单回路控制系统46

§ 3-1 概述46

§ 3-2 被控量和操纵量的选择47

§ 3-3 执行器56

§ 3-4 控制器的选型72

§ 3-5 控制器的参数整定77

本章小结.....88

思考题与习题.....89

第四章 串级控制系统90

§ 4-1 概述90

§ 4-2 串级控制系统的特点93

§ 4-3 串级控制系统的应用范围100

§ 4-4 串级控制系统的设计103

§ 4-5 串级控制系统的运行108

本章小结.....114

思考题与习题.....114

第五章 其它控制系统115

§ 5-1 均匀控制系统115

§ 5-2 比值控制系统120

§ 5-3 前馈控制系统132

§ 5-4 选择性控制系统142

§ 5-5 分程控制系统150

§ 5-6 纯滞后过程的常规控制156

§ 5-7 解耦控制系统161

本章小结.....172

思考题与习题.....173

第六章 微型计算机过程控制系统174

§ 6-1 概述174

§ 6-2 直接数字控制系统178

§ 6-3 直接数字控制中的常用控制
算法.....185

§ 6-4 微型计算机温度控制系统举例194

本章小结.....208

思考题与习题.....209

参考文献209

第一章 绪 论

生产过程自动化,一般是指石油、化工、冶金、炼焦、造纸、建材、陶瓷以及热力发电等工业生产中连续的或按一定程序周期进行的生产过程的自动控制。电力拖动及电机运转等过程的自动控制一般不包括在内。凡是采用模拟或数字控制方式对生产过程的某一或某些物理参数进行的自动控制通称为过程控制。

过程控制系统可以分为常规仪表过程控制系统与计算机过程控制系统两大类。前者在生产过程自动化中应用最早,已有五十余年的发展历史,这是本书要介绍的主要内容。后者是近年发展起来的以计算机为核心的控制系统,虽不在本书的讨论范围内,但鉴于微型计算机(单板机与单片机)在过程控制中的应用日益普遍,技术先进,且成效较好,故本书也专列一章讲述。

§1-1 过程控制的特点

生产过程的自动控制,一般是要求保持过程进行中的有关参数为一定值或按一定规律变化,显然过程参数的变化,不但受外界条件的影响,它们相互之间往往也存在着影响,这就增加了某些参数自动控制的复杂性和困难。过程控制有如下一些特点:

(一) 被控对象的多样性

工业生产各不相同,生产过程本身大多比较复杂,生产规模也可能差异很大,这就使对被控对象的认识带来困难,不同生产过程要求控制的参数各异,且被控参数一般不止一个,这些参数的变化规律不同,引起参数变化的因素也不止一个,并且往往互相影响,要正确描绘这样复杂多样的对象特性还不完全可能,至今也只能对简单的对象特性有明确的认识,对那些复杂多样的对象特性,还只能采用简化的方法来近似处理。虽然理论上适应不同情况的控制方法,由于对象特性辨识的困难,要设计出适应不同对象的控制系统至今仍非易事。

(二) 对象存在滞后

由于热工生产过程大多在比较庞大的设备内进行,对象的储存能力大,惯性也较大,内部介质的流动与热量转移都存在一定的阻力,并且往往具有自动转向平衡的趋势。因此当流入或流出对象的物质或能量发生变化时,由于存在容量、惯性和阻力,被控参数不可能立即反映出来,滞后的大小决定于生产设备的结构与规模,并同研究它的流入量与流出量的特性有关。显然,生产设备的规模愈大,物质传递的距离愈长,热量传递的阻力愈大,造成的滞后就愈大。一般说来,热工过程大都是具有较大滞后的对象,对自动控制十分不利。

(三) 对象特性非线性

对象特性往往是随负荷而变的,即当负荷不同时,其动态特性有明显的差别。如果只以较理想的线性对象的动态特性作为控制系统的设计依据,难以达到控制目的。

(四) 控制系统比较复杂

由于生产安全上的考虑,生产设备的设计制造都力求使各种参数稳定,不会产生振荡,

作为被控对象就具有非振荡环节的特性。热工对象往往具有自动趋向平衡的能力,即被控量发生变化后,对象本身能使被控量逐渐稳定下来,这就具有惯性环节的特性。也有无自动趋向平衡的能力的对象,被控量会一直变化而不能稳定下来,这种对象就具有积分特性。

由于对象的特性不同,其输入与输出量可能不止一个,控制系统的设计在于适应这些不同的特点,以确定控制方案和控制器的设计或选型,以及控制器特性参数的计算与设定,这些都要以对象的特性为依据,而对象的特性正如上述那样复杂且难于充分认识,要完全通过理论计算进行系统设计与整定至今仍不可能。目前已设计出各种各样的控制系统如简单的位式控制系统、单回路及多回路控制系统、以及前馈控制、计算机控制系统等,都是通过必要的理论计算,采用现场调整的方法,才能达到过程控制的目的。

§1-2 过程控制系统发展概况

生产过程自动化是保持生产稳定、降低消耗、降低成本、改善劳动条件、促进文明生产、保证生产安全和提高劳动生产率的重要手段,是20世纪科学与技术进步的特征,是工业现代化的标记之一。

生产过程自动化的发展,经历了以下阶段:

1. 初期阶段 本世纪40年代前后,生产过程自动化主要是凭生产实践经验,局限于一般的控制元件及机电式控制仪器,采用比较笨重的基地式仪表实现生产设备就地分散的局部自动控制。在设备与设备之间或同一设备中的不同控制系统之间,没有或很少有联系。过程控制的目的主要是几种热工参数如温度、压力、流量及液位的定值控制,以保证产品质量和产量的稳定。

2. 仪表化阶段 本世纪50年代起及以后10年间,先后出现了气动与电动单元组合仪表和巡回检测装置,因而实现了集中监控与集中操纵的控制系统,对提高设备效率和强化生产过程有所促进,适应了工业生产设备日益大型化与连续化发展的需要。随着仪表工业的迅速发展,对过程控制对象特性的认识,对仪表及控制系统的设计计算方法都有了较快的进展。但从过程控制设计构思看来,仍处于各控制系统互不关联或关联甚少的定值控制范畴,只是控制的品质有较大的提高。

3. 综合自动化阶段 60年代至今,由于集成电路及计算机技术的飞速发展,由分散的机组或车间控制,向全车间、全厂甚至全企业的综合自动化发展,实现了过程控制最优化与管理调度自动化相结合的分散计算机控制系统。这是过程控制发展的一个新阶段。

我国化工生产部门早在60年代初就开始采用计算机作自动检测 and 数据处理,后来又在石油分馏装置上采用计算机自动而合理地调整模拟控制器的设定值,开始进行闭环计算机监控(SCC),继而,又实现了某电站的电子计算机闭环控制。不久出现了采用数字计算机代替常规仪表的直接数字控制(DDC),并向最优化控制方向发展。在70年代,石油、化工、冶金及电站等重要的生产部门陆续采用计算机实现了SCC或DDC控制。

但是,采用大型计算机对全厂或主要车间进行全面最优控制并不成功,原因是计算机硬件可靠性还不能完全满足要求,加上综合控制系统十分复杂,难以建立适合的数学模型。特别是反映生产过程运行状态的一些参数至今还不能获得可靠的信息,对以上这些问题已经并且正进行着不少研究,但尚未得到完全满意的结果。

可见,实现锅炉水位控制需要以下装置:反映水位变换情况的传感器与变送器(转换器),比较水位变化并进行控制运算的控制器,设定水位的定值器,实现控制命令的执行器,改变给水量的控制阀,用这些装置加上其它一些必要的装置对被控对象进行控制就构成一个过程控制系统如图1-2所示。由此可见,过程控制系统应包括以下几部份。

(一) 被控对象 (简称对象)

被控对象是指生产过程被控制的工艺设备或装置,如上述进行水位控制的锅炉。被控对象通常有锅炉、加热炉、分馏塔、反应釜等生产设备以及储存物料的槽、罐或传输物料的管段等。当工艺设备中需要控制的参数只有一个,例如电阻加热炉的炉温控制,被控量就是炉温,则工艺设备与被控对象的特性是一致的。当工艺设备中被控参数不止一个,其特性互不相同,则应各有一套可能是互相关联的控制系统,这样的工艺设备作为被控对象,应对其中不同的过程作不同的分析。

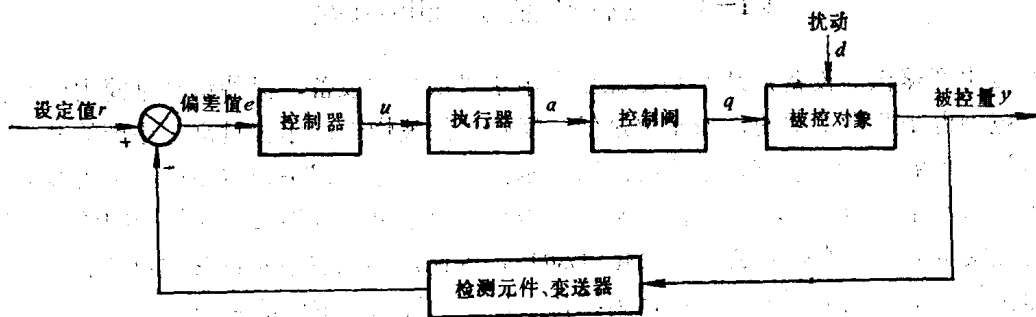


图1-2 过程控制系统原理方框图

(二) 检测元件和变送器

反映生产过程与生产设备状态的参数很多,按生产工艺要求,有关的参数都应通过自动检测,才能了解生产过程进行的状况,以获得可靠的控制信息。凡需要进行自动控制的参数,都称为被控量,上例锅炉中的水位就是被控量。当系统只有一个被控量时,称为单变量控制系统;具有两个以上被控量和操纵量且互相关联时,称为多变量控制系统。被控量往往就是对象的输出量。

被控量由传感器检测。当其输出不是电量或虽是电量而非标准信号时,应通过变送器转换成 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $1.96\times 10^4\sim 9.8\times 10^4\text{Pa}$ 的标准信号。传感器或变送器的输出就是被控量的测定值 z 。

(三) 控制器

由传感器或变送器获得的信息——被控量,当其符合生产工艺要求时,控制器的输出不变;否则控制器的输出发生变化,对系统施加控制作用,使被控量发生变化的任何作用称为扰动。在控制通道内,在控制阀未动的情况下,由于通道内质量或能量等因素变化造成的扰动称为内扰,上述锅炉水位控制中因给水压力变化引起水位波动就是内扰。其它来自外部的影响统称为外扰,如上述液位控制中蒸汽负荷变化而引起水位波动就是外扰。无论内扰或外扰,一经产生,控制器发出控制命令对系统进行自动控制。

按生产工艺要求规定的被控量的一个参考值称为设定值 r ,这就是经过系统的自动控制作用被控量应保持的正常值。在过程控制系统中,被控量的测量值 z 由系统的输出端反馈到

输入端与设定值 r 比较后得偏差值 $e=r-z$ 就是控制器的输入信号。当 $z>r$ 时称为负偏差， $z<r$ 时称为正偏差。这种规定与仪表厂校验控制器所规定的正、负偏差正好相反，这一点在实际工作中要特别注意。

(四) 执行器

被控量的测定值与设定值在控制器内进行比较得到的偏差大小，由控制器按规定的控制规律（如PID等）进行运算，发出相应的控制信号去推动执行器，该控制信号称为控制器的输出量 u 。目前采用的执行器多为气动薄膜调节阀。如控制器是电动的，则在控制器与执行器之间应加入电气转换器。如采用电动执行器，则控制器的输出信号须经伺服放大器后才能驱动电动执行器以启闭控制阀。

(五) 控制阀

由控制器发出的控制信号，通过电或气动执行器驱动控制阀门，以改变输入对象的操纵量 q ，使被控量受到控制。控制阀是控制系统的终端部件，阀门的输出特性决定于阀门本身的结构，有的与输入信号呈线性关系，有的则呈对数或其它曲线关系。

气动阀门有气开式或气关式两种，前者是当控制器的输出增大时阀门开大，后者则刚好相反，选择气开式或气关式的原则是从安全角度考虑的。即万一气源断路时，生产过程仍能安全运行。如上述锅炉水位控制应选用气关式给水控制阀，当气源增大时阀门关小，气源减小时阀门开大，气源切断时阀门全开，保证锅炉锅筒内供水充足，以免发生事故。但这并非一成不变的，主要是根据生产情况具体选择。仍以上述锅炉水位控制为例，如生产的蒸汽作为汽轮机的汽源，不允许蒸汽大量带水，就不能采用气关阀，而应采用气开阀。

由于控制阀有气开与气关两种方式，故控制器也有正反调节作用。所谓控制器的正作用是指被控量增大时，控制器的输出增大；反作用则相反。在上述锅炉水位控制中，采用气关式阀门时，控制器应取正作用；采用气开式阀门时则应取反作用。控制器的正反作用，视实际情况选用。

最后应当指出，控制器是根据被控量测量值的变化，与设定值进行比较得出的偏差值对被控对象进行控制的。对象的输出信号即控制系统的输出，通过传感器与变送器的作用，将输出信号反馈到系统的输入端，构成一个闭环控制回路，称为闭环控制系统，简称闭环。如果系统的输出信号只被检测和显示，并不反馈到系统的输入端，它是一个未闭合的回路，称为开环控制系统，简称开环。开环系统只按对象的输入量变化进行控制，即使系统是稳定的，其控制质量也较低。而闭环系统能密切监控对象输出量的变化，抗干扰能力强，能有效地克服对象特性变化的影响，有一定的自适应能力因而控制质量较高，应用也最广。

§1-4 过程控制系统的类别

由于划分过程控制类别的方式不同，有种种不同的名称。按所控制的参数来分，有温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统及液位控制系统等。按控制系统的任务来分，有比值控制系统、均匀控制系统、前馈控制系统及自适应控制系统。按控制器的动作规律来分，有比例控制系统、比例积分控制系统、比例积分微分控制系统及位式控制系统等。按控制系统是否构成闭合回路来分，有开环控制系统及闭环控制系统。按控制装置处理的信号的不同来分，有模拟控制系统及数字控制系统。按是否采用计算机来分，有常规仪表控制系统及计

算机控制系统。

以上这些分类都只反映了不同控制系统的某一方面的特点，人们视具体情况采用不同的分类，并无严格的规定。

过程控制主要是分析反馈控制的特性，按设定值的形式不同，可将过程控制系统分为如下三类。

（一）定值控制系统

工业生产过程中大多要求将被控量保持在规定的范围附近不变，此规定值就是控制器的设定值。前述锅炉水位控制就是要使水位保持在设定值不变，满足锅炉蒸发量与给水量的平衡关系。只要被控量在设定值范围内波动，控制系统的工作就是正常的。在定值控制系统中，设定值是固定不变的，引起系统变化的只是扰动信号，可以认为以扰动量为输入的系统是定值控制系统。

（二）随动控制系统

生产过程中对被控量的要求是变化的，不可能规定一个固定的设定值。换句话说，控制系统的设定值是无规律变化的，自动控制的目的就是要使被控量相当准确而及时地跟随设定值变化。例如加热炉燃料与空气的混合比例控制，燃料量是按工艺过程的需要而手动或自动地不断改变，控制系统就要使空气量跟着燃料量的变化自动按规定的比例增减空气量，保证燃料经济地燃烧，这就是随动控制系统。自动平衡记录仪表的平衡机构是跟随被测信号的变化而自动达到平衡位置，也是一种随动控制系统。

（三）程序控制系统

控制系统的设定值是按生产工艺要求有规律变化的，自动控制的目的是要使被控量按规定的程序自动进行，以保证生产过程顺利完成，如工业炉及干燥窑等周期作业的加热设备，一般包含加热升温、保温后逐次降温等程序，设定值按此程序而自动地变化，控制系统就按设定程序自动进行下去，达到程序控制目的。

上述各种反馈控制系统中，信号的传送都是连续变化的，故称为连续控制系统或模拟控制系统，通称为常规过程控制系统。在石油、化工、冶金、陶瓷及电力等工业生产中，定值控制是主要的控制系统，其次是程序控制系统与随动控制系统。本书将以定值控制为讲述重点。

§1-5 过程控制系统的品质指标

在过程控制中，由于控制器的自动控制作用而使被控量不再随时间变化的平衡状态称为稳态或静态。被控量随时间而变化，系统未处于平衡状态时则称为动态或瞬态。当改变控制器的设定值或干扰进入系统，原来的平衡状态就被破坏，被控量随即偏离设定值，控制器及控制阀门都会相应动作，改变操纵量的大小，使被控量逐渐回到设定值，恢复平衡状态。可见，从扰动开始，由于控制器的作用，在系统达到平衡之前，系统中的各个环节与被控量都在不断变化中，在阶跃信号输入的情况下，整个过渡过程可能有几种不同的状态如图 1-3 所示。图中 *a* 为发散振荡过程，*b* 为等幅振荡过程，*c* 为衰减振荡过程，*d* 为非周期过程，当然还可能出现其它过程。显然前两种过程是不稳定的，不能采用；后两种过程可以稳定下来，是可以接受的，一般都希望是衰减振荡的控制过程。非周期过程虽然能稳定下来，但偏离设定值的

时间较长，过渡过程进行缓慢，除特殊情况外，一般难以满足要求。

总之，控制过程就是克服和消除干扰的过程。一个控制系统的优劣，就在于它受到扰动后能否在控制器的控制作用下再稳定下来，克服扰动回到设定值的准确性和快慢程度如何？这些都符合要求时就是一个良好的控制系统。控制系统是否稳定、准确而快速到达平衡，通常采用以下几个指标来衡量。

(一) 递减比

衰减振荡过程是最一般的过渡过程，振荡衰减的快慢对过程控制的品质关系极大。由图 1-4 可见，第一、二两个周期的振幅 B_1 与 B_2 的比值充分反映了振荡衰减的程度，称之为递减比 n ，即

$$n = \frac{B_1}{B_2}$$

递减比 n 表示曲线变化一个周期后的衰减快慢，一般用 $n : 1$ 表示。在实际工作中，控制系统的递减比习惯于采用 $4 : 1$ ，即振荡一周后衰减了 $3/4$ ，即被控量经上下两次波动后，被控量的幅值降到最大值的 $1/4$ ，这样的控制系统就认为稳定性好。递减比也有用面积比表示的，如图中阴影线面积 A_1 与 A_2 之比，指标仍然是 $4 : 1$ 。

虽然公认 $4 : 1$ 递减比较好，但并非唯一的，特别是对一些变化比较缓慢的如温度过程，采用 $4 : 1$ 递减比，可能还嫌过程振荡过甚，显得很不适用于。如采用 $10 : 1$ 递减比，效果会好得多。因此递减比须视具体对象不同选取。

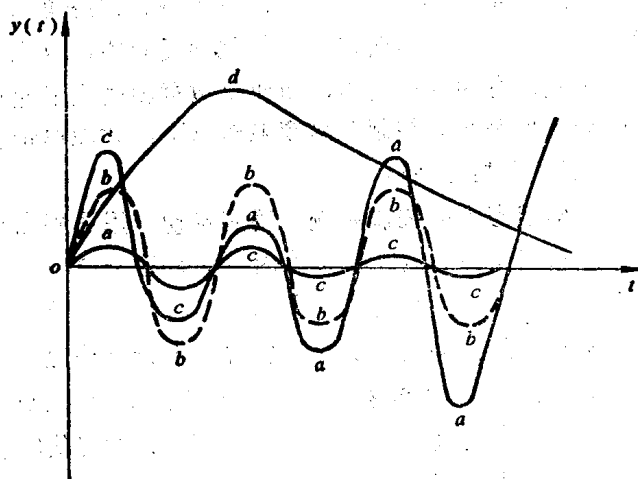


图1-3 几种不同的过渡过程

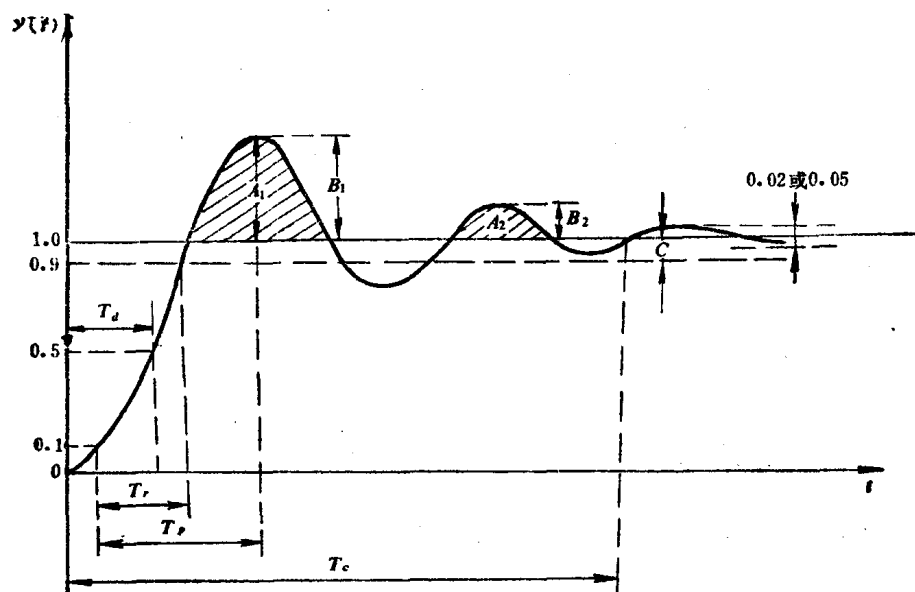


图1-4 过渡过程的品质指标

(二) 动态偏差

扰动发生后, 被控量偏离稳定值或设定值的最大偏差值称为动态偏差, 也称为最大过调量, 如图 1-4 中的第一波峰 B_1 。过渡过程到达此峰值的时刻称为峰值时间 T_p 。动态偏差大, 持续时间又长, 是不允许的。如化学反应器, 反应温度有严格的规定范围, 超过此范围就会发生事故。有的生产过程, 即使是短暂超过也不允许, 如生产炸药的温度限值极严, 控制系统的动态偏差必须控制在温度限值以下, 才能保证安全生产。

(三) 调整时间 T_s

平衡状态下的控制系统, 受到扰动作用后平衡状态被破坏, 经系统的控制作用, 过渡到被控量返回允许的波动范围以内, 即被控量在稳定值的 5% (或 2%) 以内, 达到新的平衡状态所经历的时间, 称为调整时间 T_s , 也称为过渡过程时间或稳定时间。对于过阻尼系统, 一般以响应曲线由稳定值变化 10% 算起上升到稳定值的 90% 所经历的时间为上升时间 T_r , 也有规定为由 5% 上升到 95% 为上升时间的。对于欠阻尼系统, 一般由 0 算起, 上升到 100% 所经历的时间为上升时间。响应曲线第一次达到稳定值 50% 的时间称为延迟时间 T_d 。这些都是反映过渡过程快慢的指标。

(四) 静态偏差

过渡过程终了时, 被控量的变化在规定的小范围内波动, 被控量与最大稳态值或设定值之差值称为静态偏差或残余偏差, 简称余差如图 1-4 中的 C 。余差的大小是按生产工艺过程的实际需要制订的, 它是系统的静态指标。这个指标订高了, 要求系统特别完善; 订低了又难以满足生产需要, 也失去自动控制的意义。当然从控制品质着眼, 自然是余差越小越好。应根据对象的特性与被控量允许的波动范围, 综合考虑决定, 不能一概而论。

第二章 过程控制对象的动态特性

§2-1 概 述

过程控制系统是根据被控对象的特性,由选配合适的过程控制仪表所组成,有时还附有联锁、报警与通讯信号等装置。其中主要的环节是被控对象,故对被控对象的特性应有充分的认识。不同对象具有不同的特性,对它实施的控制方案与选用的控制仪表就有所不同。对于已经设计装配好的系统,要使它顺利地运行,也必须了解对象的动态特性,才能整定好系统的调节参数,从而获得满意的控制效果。

被控对象是指生产设备中进行的那些与温度、压力、流量、液位、浓度、密度、粘度、pH 值、碱度、物料成分或配比等相关的工艺过程,所谓对象特性就是这些过程的变化规律。这些变化过程都是在特定生产设备中进行的,对象特性自然与生产设备的特点密切相关。研究对象特征,通常是以某种形式的扰动输入对象,引起对象的输出发生相应的变化,这种变化在时域或频域上用微分方程或传递函数进行描述,称为对象的动态特性。一般说来对象的动态特性都具有非线性和分布参数的特点,使描述对象动态特性的方程十分复杂,故在研究对象特性时须进行一些简化,使非线性特性线性化。例如有几个扰动同时作用时,过程响应可看成每个扰动单独作用之和。显然,这只有输入量在小范围内变化,对象的输出量也在小范围内变化,并可视作线性时才能这样处理。如果输入量与输出量变化范围大,则可将它分成几个小区域,在小区域范围内可认为对象特性是线性的,就可按叠加原理进行处理。

被控对象可以分为单被控量与多被控量两类,也可按对象是否具有自平衡能力来区分。这些区分并无定论。

一、多输入单输出对象

对象的输出量为被控量 y , 当输入信号不止一个时,选其中容易被控制而又直接影响对象动态特性的一个作为控制器的输出 x , 其余的输入信号均可看成扰动 $d_1, d_2, \dots, d_n$, 如图 2-1 所示。被控量的传递函数 $Y(s)$ 为

$$Y(s) = W(s)X(s) + W_{d1}(s)D_1(s) + \dots + W_{dn}(s)D_n(s) \quad (2-1)$$

式中 $W(s)$ ——控制作用下对象的传递函数;

$X(s), D_1(s) \dots D_n(s)$ ——控制信号 x 及扰动 $d_1 \dots d_n$ 的拉氏函数;

$W_{d1}(s) \dots W_{dn}(s)$ ——在扰动 $d_1 \dots d_n$ 作用下对象的传递函数。

被控量 y 与输入控制作用 x 的联系称为“控制通道”,被控量 y 与扰动 d 的联系称为“干扰通道”。在前例水位控制中,控制阀的位移引起水位的变化即为控制通道,蒸汽负荷量的改变或控制前给水压力波动引起的水位变化,就是两个干扰通道。

了解各通道的动态特性,是认识和分析对象动态特性所必需,但这是相当困难的,因为控制通道的控制作用,在不断地反复进行,其动态特性直接影响过渡过程的稳定性。外扰是

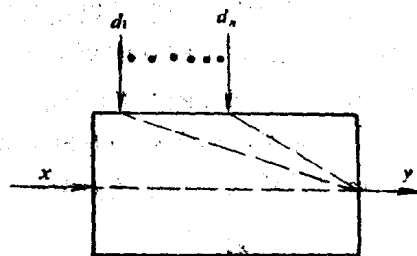


图2-1 多输入单输出对象及其信号通道示意图