

自动化

专业本科系列教材

Guocheng Kongzhi Xitong Yu Zhuangzhi

过程控制系统与装置

01010010001000001

何离庆 主 编

张寿明 朱文嘉 副主编

重庆大学出版社

过程控制系统与装置

何离庆 主 编
张寿明 朱文嘉 副主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括过程控制装置、简单控制系统、复杂控制系统、过程计算机控制系统和过程控制系统应用及工程设计五部分内容。主要介绍了过程控制系统的基本原理、结构特点、适用场合和设计应用等问题。在分析系统静态和动态数学模型的基础上,重点介绍了各种控制系统的设计和参数整定的方法。本书采用了将理论与实际相结合、连续系统与离散系统相结合、常规过程控制与新型控制策略相结合的编写特点,既强调了过程控制的基本理论,又反映了近年来过程控制的新发展,力求从生产的实际出发,应用各种控制规律,有效地满足生产控制的需要。全书注重物理概念,内容深入浅出,阐述了各种过程工业的控制实例,除第15章外,每章均配有思考题与习题,方便教学。选编的控制系统工程设计部分,目的在于培养学生的实际工作能力,增强了本书的工程应用性。

本书可作为高等学校自动化专业的专业课教材,也可作为石油、化工、冶金、轻工、电力等专业的教材,还可供有关工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统与装置/何离庆主编. —重庆:重庆大学出版社,2003.7

(自动化专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-2851-4

I. 过... II. 何... III. ①过程控制—自动控制系统—高等学校—教材②过程控制—自动控制装置—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019904 号

过程控制系统与装置

何离庆 主 编

张寿明 朱文嘉 副主编

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:蓝安梅 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:586千

2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2851-4/TP·398

定价:28.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

“过程控制”是现代工业自动化的一个重要领域。它在石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等连续型工业生产中,在实现生产过程、提高生产质量与劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境、优化各种技术经济指标等方面起着重要的作用。随着现代科学技术的迅速发展,过程控制在生产过程自动化中得到了越来越广泛的应用。自动化水平已成为衡量各行各业现代化水平的一个重要标志。

“过程控制系统与装置”是高等学校自动化专业的一门专业必修课。本书是根据2000年10月在丹东召开的中国自动化教育学术年会的精神,结合作者多年的教学经验编写的。它可作为自动化专业高年级学生的教材,也可供工业部门从事过程控制工作的工程技术人员和大专院校相关专业的师生参考。

本书共分5篇15章。第1篇为过程控制装置:包括第1章为绪论;第2章过程控制仪表与装置概述;第3章变送器和转换器;第4章调节器;第5章执行器。第2篇为简单控制系统:包括第6章过程控制对象的动态特性;第7章单回路控制系统。第3篇为复杂控制系统:包括第8章提高控制品质的控制系统;第9章实现特定要求的控制系统。第4篇为过程计算机控制系统:包括第10章直接数字控制系统(DDC);第11章分散型控制系统;第12章现场总线技术与现场总线控制系统;第13章采用先进控制策略的控制系统。第5篇为过程控制系统应用及工程设计:包括第14章典型生产过程控制;第15章控制系统工程设计。

全书参考教学时数为72学时。由于涉及的内容较多,教师可以根据教学的实际情况和课时安排,酌情选用一些内容。

本书由重庆大学的何离庆担任主编,昆明理工大学的张寿明和重庆大学的朱文嘉任副主编。参加编写的还有重庆工商大学的邓莉、重庆大学的龙怀沛、李良筑。何离庆负责编写第1、8、13章;张寿明编写第11、12、15章;朱文嘉编写第2、3、4、5章;邓莉编写第9、10章;龙怀沛编写第7章;李良筑编写第6、

14 章。全书由何离庆统稿。由于编者的业务和知识水平有限,书中难免有不当之处,恳切希望读者提出宝贵的意见。

本书在编写过程中,得到了中国自动化学会教育工作委员会委员黄席樾教授的热情关怀和指导,朱麟章教授审阅了全书,谨此表示诚挚的谢意。在书稿的编写过程中,参考和引用了大量的文献,在此对这些参考文献的作者和版权单位一并表示感谢。

编 者
2002 年 9 月

目 录

第 1 篇 过程控制装置

第 1 章 绪 论	1
1.1 过程控制系统及其特点	1
1.2 过程控制系统的发展概况	3
1.3 过程控制系统的组成及分类	5
1.4 过程控制系统的性能指标	8
思考题与习题	12
第 2 章 过程控制仪表与装置概述	13
2.1 控制仪表与装置的分类及发展	13
2.2 控制仪表与装置的信号与供电	14
2.3 控制系统的安全防爆	16
思考题与习题	22
第 3 章 变送器和转换器	23
3.1 概述	23
3.2 压力变送器	25
3.3 温度检测及变送器	32
3.4 流量检测及变送	40
3.5 成分分析及变送	43
3.6 信号转换器	46
思考题与习题	47
第 4 章 调节器	49
4.1 概述	49
4.2 PID 控制规律及实现方法	50
4.3 模拟调节器	56
4.4 数字调节器和可编程序调节器	64
4.5 PID 参数自整定调节器	71
思考题与习题	75
第 5 章 执行器	76
5.1 概述	76

5.2 气动执行器	77
5.3 电动执行器	86
5.4 现场总线执行器	93
思考题与习题	96

第 2 篇 简单控制系统

第 6 章 过程控制对象的动态特性	97
6.1 基本概念	97
6.2 有自平衡能力对象的动态特性	101
6.3 无自平衡能力对象的动态特性	106
6.4 时域法辨识对象的数学模型	108
6.5 用最小二乘法辨识对象的数学模型	121
思考题与习题	127
第 7 章 单回路控制系统	130
7.1 单回路控制系统的组成	130
7.2 单回路控制系统方案设计	131
7.3 控制器的参数整定	143
思考题与习题	150

第 3 篇 复杂控制系统

第 8 章 提高控制品质的控制系统	153
8.1 串级控制系统	154
8.2 前馈控制系统	166
8.3 大纯滞后过程控制系统	178
思考题与习题	182
第 9 章 实现特定要求的控制系统	183
9.1 比值控制系统	183
9.2 均匀控制系统	190
9.3 分程控制系统	194
9.4 选择性控制系统	196
思考题与习题	199

第 4 篇 过程计算机控制系统

第 10 章 直接数字控制系统(DDC)	202
10.1 直接数字控制系统的基本概念及组成	202
10.2 直接数字控制系统的 PID 控制算法	203
10.3 数字式 PID 控制器的参数整定	207
思考题与习题	209

第 11 章 分散型控制系统	210
11.1 概述	210
11.2 分散型控制系统的组成	216
11.3 分散型控制系统的通信网络	222
11.4 分散型控制系统的组态	228
11.5 常见分散型控制系统(DCS)简介	230
思考题与习题	235
第 12 章 现场总线技术与现场总线控制系统	237
12.1 现场总线概念	237
12.2 现场总线通信模型	242
12.3 几种主要的现场总线技术	245
12.4 现场总线控制系统及其应用	257
思考题与习题	263
第 13 章 采用先进控制策略的控制系统	264
13.1 软测量技术及推断控制系统	264
13.2 预测控制系统	270
13.3 自适应控制系统	274
13.4 智能控制	280
思考题与习题	294
第 5 篇 过程控制系统应用及工程设计	
第 14 章 典型生产过程控制	296
14.1 发电厂单元机组的自动控制	296
14.2 精馏塔的自动控制	318
14.3 流体输送设备的自动控制	325
思考题与习题	332
第 15 章 控制系统工程设计	333
15.1 概述	333
15.2 初步设计的内容及深度要求	335
15.3 施工图设计的内容及深度要求	338
15.4 控制方案及工艺控制流程图的设计	347
15.5 控制系统的设备选择	350
15.6 报警、联锁及停车系统	355
15.7 控制系统抗干扰及接地设计	358
参考文献	365

第 **1** 篇

过程控制装置

第 **1** 章

绪 论

1.1 过程控制系统及其特点

自动化技术是信息科学与技术的一个重要分支。自 20 世纪 90 年代以来,自动化技术发展很快,已成为我国高科技的重要组成部分,正在工业生产和国民经济各行业发挥着重要的作用。自动化水平已成为衡量各行各业现代化水平的一个重要标志。

过程控制 (process control) 通常是指石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中连续的或按一定周期程序进行的生产过程自动控制,它是自动化技术的重要组成部分。从控制的角度出发,可以把工业分成三类:连续型、离散型和混合型。习惯上,把连续型工业称为过程工业 (process industries), 有时为突出其流动的性质也称为流程工业 (fluid process industries)。在连续型工业过程中,包括了连续的信息流、物质流和能量流。过程控制技术正在为

实现现代工业生产过程中各种最优的技术经济指标、提高经济效益和劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面起着越来越大的作用。

过程控制一般是对生产过程中的有关参数进行控制,主要对系统的温度、压力、流量、液位、成分和物性六大类参数进行控制,使其保持为一定值或按一定规律变化,在保证质量和生产安全的前提下,使生产自动进行下去。连续型工业的生产特征是:呈流动状的各种原材料在连续流动过程中,经过传热、传质、生化物理反应等加工,发生了相变或分子结构等的变化,失去了原有性质而形成一种新的产品。过程参数的变化不但受过程内部条件的影响,也受外界条件的影响,而且影响生产过程的参数一般不止一个,在过程中起的作用也不同,这就增加了对过程参数进行控制的复杂性,或者控制起来相当困难。这是生产过程具有的特殊性造成的,因此形成了过程控制的下列特点:

(1) 对象复杂多样

工业生产是多种多样的,生产过程本身大多比较复杂,生产规模的差异很大,生产过程中充斥着物理变化、化学反应、生化反应,还有物质和能量的转换和传递,生产过程的复杂性决定了对它进行控制的艰难程度。有的生产过程进行得很缓慢,有的则进行得非常迅速,这就为对象的辨识带来困难。不同生产过程要求控制的参数不同,或虽然相同,但要求控制的品质完全不一样。不同过程参数的变化规律各异,参数之间相互影响,对过程的影响作用也极不一致,要正确描述这样复杂多样的对象特性还不完全可能,至今仍只能用适当简化的方法来近似处理。虽然理论上适应不同对象的控制方法和系统,出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不容易。

(2) 对象存在滞后

热工生产过程大多是在庞大的生产设备内进行,对象的储存能力大,惯性也较大,设备内介质的流动或热量传递都存在一定的阻力,并且往往具有自动转向平衡的趋势。因此,当流入(或流出)对象的质量或能量发生变化时,由于存在容量、惯性和阻力,被控参数不可能立即产生响应,这种现象称为滞后。滞后的大小决定于生产设备的结构和规模,并同研究它的流入量与流出量的特性有关。生产设备的规模愈大,物质传输的距离愈长,热量传递的阻力愈大,造成的滞后就愈大。一般来说,热过程大多具有较大的滞后,它对任何信号的响应都会推迟一些时间,使输出与输入之间产生相移,容易引起反馈回路产生振荡,对自动控制会产生十分不利的影响。

(3) 对象特性的非线性

对象特性大多是随负荷变化而变的,即当负荷改变时,其动态特性有明显的不同。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,就难以得到满意的控制结果。须知大多数生产过程都具有非线性,弄清非线性产生的原因及非线性的实质是极为重要的。对于一个不熟悉的生产过程,应先拟定合理的试验方案,并认真地进行反复的试验和估算,才能达到分析了解非线性的目的。但决不能盲目地进行试验,以免得出含混不清的错误结果,把非线性对象错当成线性对象来处理。

(4) 控制系统较复杂

从生产安全方面考虑,生产设备的设计制造都力求生产过程进行平稳,参数变化不超出极限范围,也不会产生振荡,作为被控对象就具有非振荡环节的特性。热过程的稳定被破坏后,往往具有自动趋向平衡的能力,即被控量发生变化时,对象本身能使被控量逐渐地稳定下来,

这就具有惯性环节的特性。也有不能自动趋向平衡,被控量一直变化而不能稳定下来的,这是具有积分特性的对象。任何生产过程被控制的参数都不是一个,这些参数又各具有不同的特性,要针对这些不同的特性设计相应不同的控制系统,由此采用了各种复杂的多回路控制系统。

控制方案的确定、控制系统的设计、控制参数的整定都要以对象的特性为依据,而对象的特性又如上述那样复杂而难以充分地认识,要完全通过理论计算进行控制系统设计与控制参数的整定,至今仍不可能。目前已设计出各种各样的控制系统,都是通过必要的理论论证和计算,并且经过长期的运行、试验、分析、总结起来的,只要采用现场调整的方法得当,可望得到相当满意的控制效果。

1.2 过程控制系统的发展概况

生产过程自动化的发展,大体上可以分为三个阶段。

(1) 仪表自动化阶段

20 世纪 40 年代前后,生产过程自动化主要是凭生产实际经验,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。在不同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。过程控制的对象主要是温度、压力、流量、成分几个热工参数的定值控制,以保证生产过程的稳定进行。

20 世纪 50 年代至 60 年代,先后出现了电动与气动单元组合仪表和巡回检测装置,采用了集中监控与集中操纵的控制系统,实现了工厂仪表化和局部自动化。这对当时迫切希望提高设备效率和强化生产过程的要求起了有力的促进作用,适应了工业生产设备日益大型化与连续化的客观需要。随着仪器仪表工业的迅速发展,对于过程辨识的理论和方法,对于仪表及控制系统的设计计算方法都有较快的进展。但过程控制的理论仍采用以频率法和根轨迹法为主体的经典控制理论,主要解决单输入、单输出的定值控制系统的分析和综合问题,各控制系统间互不关联或关联甚少,只是控制的品质有较大的提高。

(2) 计算机控制阶段

20 世纪 70 年代至 80 年代,由于集成电路与计算机技术的飞速进展,为过程控制的发展创造了条件,开始采用计算机直接数字控制(direct digital control, DDC)与计算机监控(supervisory computer control, SCC)系统。由于计算机硬件的可靠性高、成本较低,有丰富的软件支持,有直观的 CRT 显示,便于人机联系;它既没有模拟常规仪表那样数量多、仪表柜庞大的缺点,也不会像 60 年代初采用的大型计算机集中控制那样,一旦出现故障,就会影响全局,因此得到了广泛的应用。特别是随着现代工业生产的规模不断扩大,控制要求不断提高,过程参数日益增多,致使控制回路更加复杂。为了满足工业生产的监控集中、危险分散的要求,70 年代中期,集散控制系统(distributed control systems, DCS,也称之为分布式控制系统)开发问世了。集散控制系统是集计算机技术、控制技术、通信技术和图形显示技术为一体的装置。这种系统在结构上是分散的,就是将计算机分布到车间或装置。这不仅使系统的危险分散,消除了全局性的故障点,而且提高了系统的可靠性,同时能方便灵活地实现各种新型的控制规律与算法。这种系统由于是分级的,能实现优化的最佳管理。它的出现是新形势下的一种必然趋势。它

一经出现就受到了工业控制界的青睐,实现了过程控制最优化和生产调度与经营管理自动化相结合的集散控制系统,使生产过程自动化的发展达到了一个新的水平。由原来分散的机组或车间控制,向全车间、全厂和整个企业的综合自动化方向发展。

在过程控制系统结构方面,为了提高控制质量与实现一些特殊的控制要求,相继出现了各种复杂控制系统。例如,串级、比值和均匀控制的应用,尤其是前馈和选择性控制系统的应用,使复杂控制系统达到一个新的水平。前馈控制是按扰动量来控制的,在扰动可测的条件下,可以显著地提高控制质量。选择性控制是当生产过程遇到不正常的工况、被控量达到安全限值时,自动实现的保护性控制。它改变了过去不得不切向手动或被迫联锁停车的状况,从而扩大了自动化的范围。

在过程控制理论方面,除了仍然采用经典控制理论以解决实际生产过程中遇到的问题外,现代控制理论开始得到应用,最优控制、推理控制、预测控制、自适应控制等控制方法得到了比较迅速的发展,控制系统由单变量系统转向多变量系统,以解决实际生产过程中遇到的更为复杂的问题。

(3) 综合自动化阶段

从 20 世纪 90 年代开始,过程控制进入了综合自动化阶段。这一阶段具有以下突出特征:

在自动化工具上推出了现场总线(fieldbus)控制技术。根据国际电工委员会(IEC)和现场总线基金会(FF)的定义,现场总线是智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。它有如下特点:

①用一对 N 结构代替一对一结构,一条通信线能连接 N 台仪表,减少了连接线,因而减少了安装维护费用,工期短,可靠性高,抗干扰性强。

②互换性、互操作性好,不同制造厂生产的仪表可以互连、互操作,开放性好。

③控制分散,现场仪表不仅有检测功能,而且可以有运算功能和控制功能,因而通过现场仪表就可构成控制回路,使控制回路彻底分散。现场总线采用公开的、标准的网络协议,很容易与其他网络集成,方便共享信息,为综合自动化奠定了基础。它的出现标志着控制工具的又一次重大变革,过程控制进入了真正的计算机时代。

在控制理论上采用了第三代控制理论,即智能控制理论。智能控制将人工智能、控制理论和运筹学三大学科相结合,采用模糊技术、神经网络和专家系统等技术,比较好地解决了对象建模的困难和干扰众多与控制要求提高的矛盾,在许多难以控制的场合下,发挥了卓越的作用。与此同时,现代控制理论中的诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制以及容错控制等也在理论上和实践中得到了发展。

以计算机集成技术为基础的综合自动化体系正在形成。综合自动化系统就是包括生产计划和调度、操作优化、基层控制和先进控制等内容的递阶控制系统,也称管理控制一体化的系统。这类系统是靠计算机及其网络来实现的,因此也称为计算机集成过程系统(computer integrated process system, CIPS)。这里,计算机集成指出了它的组成特征,过程系统指明了它的工作对象,正好与离散型工业中的计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems, CIMS)相对应,因此,也将 CIPS 称为过程工业的 CIMS。

CIPS 是一种全新的哲理与概念,它以企业整体优化为目标,以计算机及网络为主要技术工具,以生产过程的管理和控制自动化为主要内容,将过去局部自动化的“孤岛”模式集成为一个整体的系统,它代表了当代自动化的潮流。

应当看到,生产过程自动化是适应生产发展的需要而发展起来的,它们之间相互依存,相互促进,密切相关。生产工艺的变革、设备的更新、生产规模的扩大、新产品的涌现都会促进自动化的发展进程。同样,自动控制理论、技术、设备等方面的新成就,又保证了现代工业生产在安全而稳定的情况下高速、高产、高质地运行,可以充分地发挥和利用设备的潜力,大大地提高生产率,获得最大的社会与经济效益。

最后应当指出,虽有这样丰富而先进的现代控制理论,但实际行之有效的控制方法太少,不能适应生产过程不断提出的更高级、更严格的需求。随着神经网络的研究应用,人工智能专家系统日益推广运用,模糊控制的逐渐兴起,在不远的将来可能形成简单、实用、控制品质高的各种控制网络与控制方法,将现代控制理论工程化和实用化,使过程控制达到完善的地步。

1.3 过程控制系统的组成及分类

下面以生产过程中最常见的锅炉控制为例来介绍一个过程控制系统的基本结构。锅炉是生产蒸汽的设备,是生产中几乎不可缺少的设备,应用十分广泛。对于锅炉保持锅筒内的水位在一定范围内是非常重要的。如果水位过低,锅炉可能被烧干;如果水位过高,会导致生产的蒸汽含水量大,而且水还可能溢出。这些都相当危险,因此,水位控制是保证锅炉正常运行必不可少的。

锅炉的给水量与蒸汽的蒸发量保持平衡时,锅炉的水位不变。如锅炉的给水量变化或蒸发量变化,水位就会产生变化 Δh ,因此,必须观察水位变化,以调整给水量,使它跟随蒸汽负荷的大小而增减,以达到保持水位在规定的范围内变化的目的。

人工水位控制是靠人眼观察玻璃水位计,根据 Δh 的变化量,经过比较(思考、分析、判断)后,动手去改变给水阀门的开度,相应增减给水量以保持水位在合理的规定位置处,如图1.1(a)所示。采用仪表进行控制时,水位变化量 Δh 由水位计检测,并经液位变送器转换为统一的标准信号后送到控制器,与水位设定值进行比较和运算

后发出控制命令,由执行器(电动或气动执行机构)改变阀门的开度,相应增减给水量,以保持给水量与蒸发量之间的平衡,这就是锅炉水位自动控制过程,其结构如图1.1(b)所示。

由此可见,实现锅炉水位控制需要这样一些设备:检测水位变化的传感器与变送器、比较水位变化并进行控制运算的控制器、实施控制命令的执行器、改变给水的控制阀等,再加上一些其他必要的辅助装置,就可构成常规仪表过程控制系统,如图1.2所示。

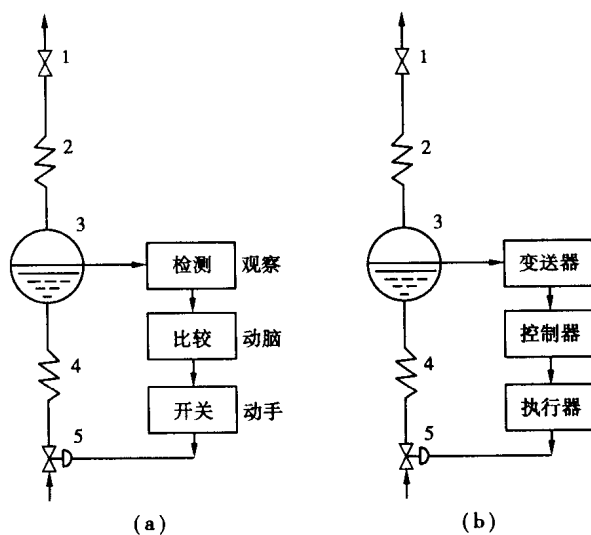


图 1.1 锅炉水位控制原理图

1—蒸汽阀门;2—过热器;3—锅筒;4—省煤器;5—给水阀

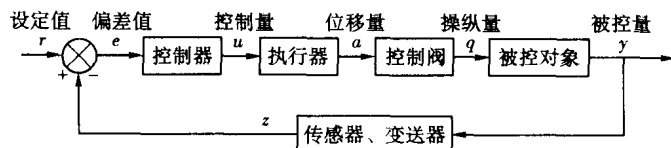


图 1.2 过程控制系统方框图

1.3.1 过程控制系统的组成

常规仪表过程控制系统由以下几部分组成：

(1) 被控对象

被控对象是指被控制的生产设备或装置，如上述其水位受控制的锅炉。常见的被控对象有锅炉、加热炉、分馏塔、反应釜、干燥炉、压缩机、旋转窑等生产设备，或储存物料的槽、罐以及传送物料的管段等。当生产工艺过程中需要控制的参数只有一个，如电阻加热炉炉温控制的被控量只有炉温一个参数，则生产设备与被控对象是一致的；当需要控制的参数不止一个，其特性互不相同，应各有一套可能是互相关联的控制系统，这样的生产设备其被控对象就不止一个，应对其中的不同过程分别作不同的分析和处理。

(2) 传感器和变送器

反映生产过程的工艺参数大多不止一个，一般都需用不同的传感器进行自动检测，才能了解生产过程进行的状态，以获得可靠的控制信息。需要进行自动控制的参数称为被控量，上例中的锅炉锅筒中的水位就是被控量，被控量往往就是对象的输出量。当系统只有一个被控量，则只有一个控制回路，称为单回路控制系统，也称单变量控制系统。当系统不只一个被控量，则不止一个控制回路，称为多回路控制系统，也称多变量控制系统。一个生产设备需要控制的回路数不一定和它的过程参数数目完全相同，因为有些参数并不需要进行自动控制，只需进行检测、显示就可以了。

被控量由传感器进行检测，当其输出不是电学量，或虽然是电学量，但不是 $4 \sim 20\text{mA}$ 信号时，必须采用变送器将其转换为统一的标准电信号。如果是气动仪表，则应转换为 $1.96 \times 10^4 \sim 9.8 \times 10^4 \text{Pa}$ 的气动信号。传感器或变送器的输出就是被控量的测量值 z 。

(3) 控制器

控制器也称调节器，它接收传感器或变送器送来的信息——被控量。当其符合生产工艺要求时，控制器的输出保持不变，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。在控制通道内并在控制阀未动作的情况下，由于通道内质量或能量等因素变化造成的扰动称为内扰，如前述锅炉水位控制中给水压力变化引起水位波动就是内扰。其他来自外部的影响统称为外扰，如前述锅炉水位控制中蒸汽负荷变化而引起水位波动就是外扰。无论是内扰或外扰，一经产生，控制器就发出控制命令，对系统施加控制作用，使被控量回到设定值。

按生产工艺要求给被控量规定一个参考值，称为设定值 r ，这就是经过控制系统的自动控制作用被控量应保持的正常参数值。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系统的输入端，与设定值 r 比较后得到偏差值 $e = r - z$ ，就是控制器的输入信号。当 $r > z$ 时，称为正偏差；当 $r < z$ 时，称为负偏差。应当指出，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，这点在实际工作中要特别注意。

(4) 执行器

被控量的测量值与设定值在控制器内进行比较后得到的偏差大小,由控制器按规定的控制规律(PID等)进行运算后,发出相应的控制信号去推动执行器,该控制信号是控制器的输出量,称为控制量 u 。目前采用的执行器有电动与气动两大类,应用较多的是气动薄膜控制阀。如果控制器是电动的,就应在控制器与执行器之间加入电/气转换器。如果采用的是电动执行器,则电动控制器的输出信号须经伺服放大器放大后才能驱动执行器,以启闭控制阀。

(5) 控制阀

由控制器发出的控制信号,通过电动或气动执行器产生的位移量 l 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,有的则呈对数或其他曲线关系。详细情况将在后面章节中进行介绍。

对于一个完整的过程控制系统,除自动控制回路外,应备有一套手动控制回路,以便在自动控制系统因故障而失效后或在某些紧急情况下,对系统进行手动遥控。另外,还应有一套必要的信号显示、通信、联络、联锁以及自动保护等设施,才能充分地保证生产过程的顺利进行和保障人身与设备的安全。

最后应当指出,控制器是根据被控量测量值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,简称闭环。如果系统的输出信号只是被检测和显示,并不反馈到系统的输入端,则是一个没有闭合的开环控制系统,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,其控制品质也较低。

在闭环控制回路中,可能有两种形式的反馈:即正反馈与负反馈。正反馈的作用会扩大不平衡量,是不稳定的。如采用正反馈去控制室内温度,当温度超过设定值时,系统会增加热量,使室温升高;当温度低于设定值时,它又减少热量,使室温进一步降低。具有正反馈的控制回路,总是将被控量锁定在高端或低端的极值状态下,这种性质不符合控制目的。如采用负反馈,其作用与正反馈相反,总是力求恢复到平衡温度,即保持在规定的设定值范围内。具有负反馈(包括前馈)作用的回路,一般称为反馈控制系统。这种系统能密切监视和控制被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,因而控制品质较高,是应用最广、研究最多的控制系统。

1.3.2 过程控制系统的分类

由于控制系统分类方式方法的不同,出现了不同的名称。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、液位控制系统等;按控制系统所处理的信号来分,有模拟控制系统与数字控制系统;按是否采用计算机来分,有常规仪表过程控制系统与计算机控制系统,计算机控制系统还可分为DDC、DCS和现场总线系统;按控制系统所完成的功能来分,有串级控制系统、均匀控制系统、自适应控制系统等;按其控制动作规律来分,有比例控制系统,比例、积分控制系统,比例、积分、微分控制系统等;按控制系统组成回路的情况来分,有单回路控制系统与多回路控制系统、或开环控制系统与闭环控制系统等。

以上这些分类只反映了不同控制系统某一方面的特点,人们视具体情况可以采用不同的分类方法,其中并无原则的规定。

过程控制主要是研究反馈控制系统的特性,按设定值的形式不同,可将过程控制系统分为三类:

(1) 定值控制系统

在工业生产过程中,大多要求将被控量保持在规定的较小范围内变化,以保持生产过程平稳地顺利进行。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允许的波动范围以内变化,满足锅炉内蒸汽蒸发量和给水平衡关系。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,引起系统产生变化的是扰动信号(内扰或外扰或兼而有之),可以认为以扰动量为输入的系统为定值控制系统,这种控制系统是应用最多的一种。

(2) 随动控制系统

对于有的生产过程,其被控量是变化的,即控制系统的设定值不是定值,而是无规律变化的,自动控制的目的是要使被控量相当准确而及时地跟随设定值的变化。例如,加热炉的燃料与空气的混合比控制,燃料量是按工艺过程的需要而设定的,这个设定值又随生产流程的要求而自动或手动改变,也就是说,燃料量在变化,控制系统就要使空气量跟随燃料量的变化,自动按预先规定的比例而相应地增减空气量,以保证燃料合理而经济地燃烧,这就是随动控制系统。自动平衡记录仪的平衡机构就是跟随被测信号的变化自动达到平衡位置,是一种典型的随动控制系统。

(3) 程序控制系统

程序控制系统的设定值是按生产工艺的要求有规律变化的,自动控制的目的在于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、干燥窑等周期作业的加热设备,一般包含加热—升温—保温然后逐渐缓慢地降温程序,设定值按此程序自动地改变,控制系统就按该设定程序自动地进行下去,直到整个程序运行完为止,达到程序控制目的。

1.4 过程控制系统的性能指标

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时,系统处于平衡状态,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有干扰进入系统,原来的平衡状态就被破坏,被控量偏离设定值,控制器即按所设定的算法运算并发出控制命令,使控制阀产生相应动作,改变操纵量的大小,使被控量逐渐回到设定值,直到恢复平衡为止。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较典型的状态,如图 1.3 所示。图中 a 为等幅振荡过程, b 为发散振荡过程, c 为衰减振荡过程, d 为非周期振荡过程,当然还可能出现其他过程。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过程。非周期过程虽能稳定下来,但偏差太大,过渡过程缓慢,时间也较长,难以接受。

总之,控制过程就是消除干扰的过程。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作用下稳定下来,即克服扰动造成的偏差而回到设定值的准确性和快速性。这些都符合要求就是一个最好的控制系统。控制系统是否稳定、准确而快速地达到平衡状态,通常采

用以下几个指标来衡量。

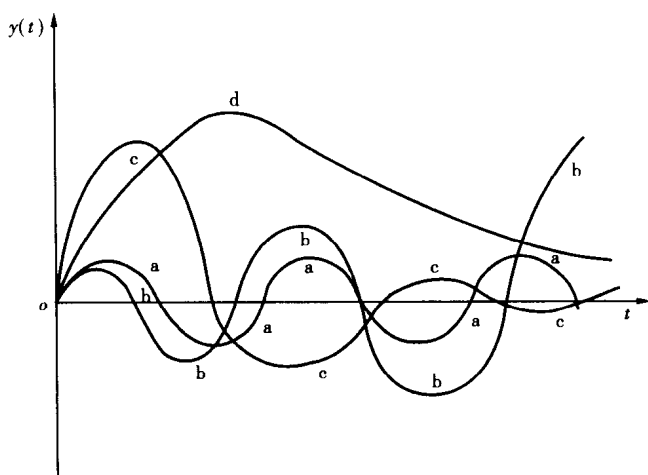


图 1.3 几种不同的过渡过程

1.4.1 递减比

衰减振荡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情况,称为递减比 n 。

$$n = B_1/B_2 \quad (1.1)$$

递减比 n 表示曲线变化一个周期后衰减的快慢程度,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,即振荡一个周期后,振幅衰减了 3/4(或 0.75),即被控量经两次波动后其幅值降到最大偏差值的 1/4,这样的控制系统就认为稳定性良好。递减比也可用面积 A_1 与 A_2 的比值表示,指标仍然为:

$$n = A_1/A_2 = 4:1 \quad (1.2)$$

虽然,公认 4:1 递减比较好,但不是一成不变的,特别是对一些变化比较缓慢的对象。例如,温度过程采用 4:1 递减比,可能还嫌过程振荡太甚,显得不实用,如果采用 10:1 递减比效果会好得多。因此,递减比须视对象不同而选取。

控制系统的稳定快慢程度也可用递减率 ψ 表示,它是指被控量经过一个振荡周期后,振荡幅值衰减的百分数,一般在 0.75 ~ 0.9 之间取值,如取 0.75 就与递减比相同。

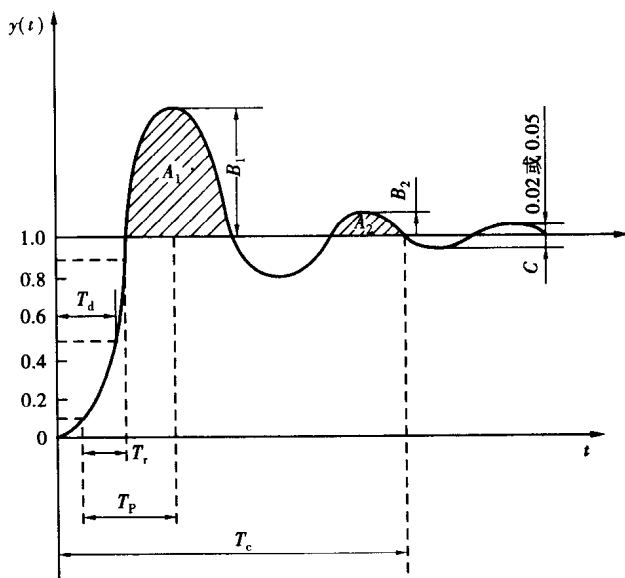


图 1.4 过渡过程的品质指标