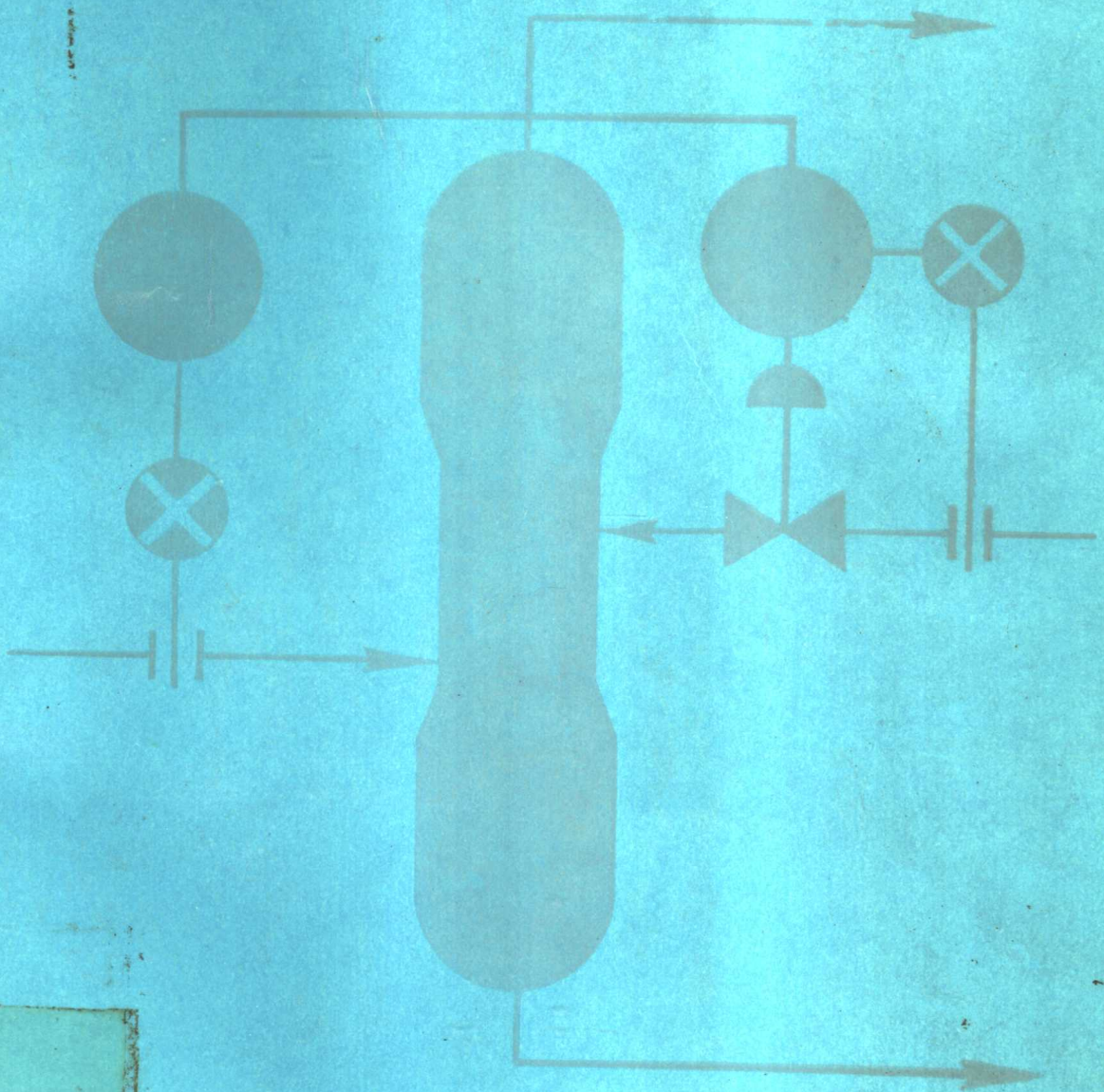


化工过程控制及仪表

何玉樵 韩德禄 编



成都科技大学出版社

化工过程控制及仪表

何玉樵 韩德禄 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

成都科技大学出版社

1991年

内 容 简 介

本书以自动控制系统为体系，介绍自动控制系统的基本知识、系统各组成部分的特性及其对控制质量的影响；分析单回路控制系统的设计、投运和参数整定，复杂控制系统的构成、特点和运用场合以及典型化工单元操作的控制方案。

本书可作高等院校化工工艺类各专业的教材，也可供从事工业自动化仪表工作的工程技术人员参考。

化 工 过 程 控 制 及 仪 表

何玉樵 韩德禄 编

责任编辑 赖晓霞

成都科技大学出版社出版发行

四川省新华书店经销

成都科技大学印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13

1991年7月第1版 1991年7月第1次印刷

字数：309千字 印数：1—2800

ISBN7-5616-0891-8/8TQ·58

定价：5.60元

目 录

绪论	(1)
第一章 自动控制系统基本概念	(3)
第一节 自动控制系统概述	(3)
一、化工生产过程的控制	(3)
二、自动控制系统的分类	(4)
三、自动控制系统的组成	(5)
四、自动控制系统的方块图	(5)
五、系统的静态和动态	(7)
第二节 闭环控制系统的过渡过程及其品质指标	(8)
一、闭环控制系统的过渡过程	(8)
二、控制系统的品质指标	(8)
第二章 被控对象的特性	(11)
第一节 描述对象特性的参数	(11)
一、放大系数 K	(11)
二、时间常数 T	(13)
三、滞后时间 τ	(14)
第二节 简单对象的数学描述	(15)
一、单容量液位对象特性的数学描述	(15)
二、双容量液位对象特性的数学描述	(18)
第三节 对象特性的实验测定	(18)
一、反应曲线法	(19)
二、矩形脉冲法	(19)
第三章 检测仪表及变送器	(21)
第一节 概述	(21)
一、测量及测量误差	(21)
二、检测仪表的品质指标	(22)
三、工程用检测仪表的分类	(24)
第二节 温度检测仪表及变送器	(25)
一、温度检测仪表的分类	(25)
二、热电偶温度计	(25)
三、电阻温度计	(37)
四、接触式测温仪表的选择和安装	(42)

第三节	压力检测仪表及变送器	(43)
一、	概述	(43)
二、	弹性式压力表	(45)
三、	电气式压力变送器	(47)
四、	压力检测仪表的选择和安装	(49)
第四节	流量检测仪表及变送器	(50)
一、	概述	(50)
二、	差压式流量计	(51)
三、	转子流量计	(63)
四、	靶式流量变送器	(68)
五、	电磁流量变送器	(69)
六、	椭圆齿轮流量计	(70)
七、	涡轮流量计	(70)
八、	漩涡流量计	(71)
第五节	液位检测仪表及变送器	(72)
一、	概述	(72)
二、	差压式液位计	(73)
三、	电容式液位计	(75)
第六节	数字式显示仪表	(77)
附录 1	铂铑10—铂热电偶分度表	(83)
附录 2	镍铬—镍硅(镍铝)热电偶分度表	(84)
附录 3	镍铬—考铜热电偶分度表	(84)
附录 4	铂热电阻分度表 (B_{A1})	(85)
附录 5	铂热电阻分度表 (B_{A2})	(85)
附录 6	铜热电阻分度表 ($C_{.50}$)	(86)
附录 7	铜热电阻分度表 ($C_{.100}$)	(86)
第四章	调节器	(87)
第一节	调节器的控制规律	(87)
一、	位式控制	(87)
二、	比例控制 (P)	(89)
三、	比例积分控制 (PI)	(92)
四、	比例微分控制 (PD)	(94)
五、	比例积分微分控制 (PID)	(97)
第二节	单元组合式调节器	(97)
一、	电动Ⅰ型调节器	(98)
二、	电动Ⅱ型调节器	(102)
三、	气动Ⅰ型比例积分调节器	(104)
四、	气动Ⅱ型比例积分调节器	(108)

五、气动记录调节仪·····	(109)
第三节 基地式调节器·····	(110)
一、TA系列简易式电子调节器·····	(110)
二、UTQ-Ⅰ型气动液位调节器·····	(111)
第四节 其他调节仪表·····	(112)
一、组装式电子控制装置·····	(112)
二、可编程序调节器·····	(116)
第五章 执行器·····	(119)
第一节 气动薄膜调节阀·····	(119)
一、气动薄膜调节阀的组成·····	(119)
二、气动薄膜调节阀的类型·····	(121)
三、调节阀的流量特性·····	(123)
四、气动薄膜调节阀的选择·····	(126)
五、气动薄膜调节阀的安装·····	(131)
第二节 阀门定位器·····	(132)
一、阀门定位器的作用·····	(132)
二、气动阀门定位器·····	(132)
三、电-气阀门定位器·····	(133)
第三节 电动执行器·····	(133)
附录一 气动调节阀型号编制说明·····	(135)
附录二 气动薄膜调节阀主要技术数据·····	(136)
第六章 单回路控制·····	(137)
第一节 单回路控制系统的设计·····	(138)
一、被控变量的选择·····	(138)
二、操作变量的选择·····	(140)
三、检测变送器对控制系统的影响·····	(143)
四、调节器控制规律的选择·····	(145)
五、气动薄膜调节阀特性对控制系统的影响·····	(146)
第二节 单回路控制系统的整定·····	(147)
一、临界比例度法·····	(148)
二、衰减曲线法·····	(149)
三、经验法·····	(150)
第三节 单回路控制系统的投运·····	(152)
第七章 复杂控制系统·····	(156)
第一节 串级控制系统·····	(156)
一、串级控制系统概述·····	(156)

二、串级控制系统的特点及适用场合	(159)
三、串级控制系统的设计	(161)
四、串级控制系统的整定和投运	(164)
第二节 均匀控制系统	(165)
一、均匀控制系统概述	(165)
二、均匀控制系统的类型	(166)
三、调节器控制规律的选择与调节器参数的整定	(167)
第三节 比值控制系统	(168)
一、比值控制系统的类型	(169)
二、比值控制系统的构成方案	(171)
三、比值控制系统调节器参数的整定	(173)
第四节 其他复杂控制系统	(174)
一、前馈控制系统	(174)
二、选择性控制系统	(175)
三、分程控制系统	(176)
第八章 典型化工单元的控制	(179)
第一节 流体输送设备的控制	(179)
一、离心泵的控制	(179)
二、往复泵的控制	(181)
三、压气机的控制	(182)
第二节 传热设备的控制	(186)
一、两侧均无相变的换热器的控制方案	(186)
二、载热体进行冷凝的蒸汽加热器的控制方案	(188)
三、载热体进行汽化的冷却器的控制方案	(189)
第三节 精馏塔的控制	(191)
一、精馏塔自动控制的要求	(191)
二、精馏过程的干扰因素、操作变量和被控变量的选择	(192)
三、精馏塔的整体控制方案	(194)
四、精馏塔的控制方案	(195)
第四节 化学反应器的控制	(197)
一、反应器自动控制的要求及被控变量的选择	(197)
二、反应器的控制方案	(198)

绪 论

化工过程控制是化工、炼油、轻工等化工类型生产过程自动控制的简称。化工过程控制是化工自动化系统中一个重要组成部分。所谓化工自动化是指在化工设备上，配上一些自动化装置来代替操作人员的部分直接劳动，使生产在不同程度上自动地进行，这种用自动化装置来管理化工生产的方法，称为化工自动化。

在化工生产过程中，物料多呈液体或气体状态，它连续地在密闭管道和塔器内进行化学反应和物理变化。严格地控制生产过程中的这些变化条件，才能保证生产正常进行，实现高产、优质、低消耗。又因许多化工生产过程具有高温、高压、易燃、易爆的特点，有的介质具有毒性、腐蚀性、刺激性臭味等特性，为了确保安全生产，改善劳动条件，保护操作人员身体健康，也必须实现自动化。

化工自动化系统按照其功能的不同，一般可以分为：

1. 自动检测系统

要控制不断进行着各种化学反应或物理变化的化工生产过程，首先必须随时了解生产过程中各工艺变量的变化情况。为此，必须用各种检测仪表自动地连续地对各工艺变量（如温度、压力、流量及液位等）进行测量，并将测量结果自动地指示或记录下来，既可代替操作者对各种变量的不断观察与记录；又可将表征生产过程进行情况的各种“信息”传给控制系统，作为控制依据。

2. 自动信号联锁保护系统

这是在生产过程中设置的一种安全装置。生产过程中，有时由于出现一些偶然因素的影响，会导致工艺变量超出允许的变化范围，使生产不能正常进行，严重时甚至引起燃烧、爆炸、损坏设备等事故。为了确保安全生产，保证产品质量，常对某些关键性变量设置信号自动报警及自动联锁保护装置。其作用是在生产事故发生前，自动地发出声、光信号，引起操作者的注意以便及早采取措施；若工况已接近危险状态，联锁系统立即采取紧急措施，如打开安全阀、切断某些通路、必要时紧急停车，从而防止事故的发生或扩大。

3. 自动操纵系统

这是一种根据预先规定的程序，自动地对生产设备进行某种周期性操作，从而极大地减轻操作者的繁重或重复性体力劳动的装置。例如，合成氨造气车间的煤气发生炉的操作，就是按照自动机的程序，自动进行吹风、上吹、下吹制气、吹净等步骤，周期性接通空气与水蒸汽实现自动操纵。

4. 自动控制（或调节）系统

利用一些自动控制装置，对生产中某些重要工艺变量进行自动控制，使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时，能自动地回复到规定的数值范围之内，从而保证生产正常进行。

“化工过程控制及仪表”是一门综合性的技术学科，与工艺和设备有着极紧密的联系。实际上任何一个现代化的化工厂，其设备、机械和各种自动化装置都是按一定的工艺要求构成有机的整体。因此，自动化专业人员应该通晓工艺，而工艺和设备人员也必须具有自动化方面的基础知识。为此，化工工艺类专业设置了本门课程。本课程以自动控制系统为主线。首先介绍自动控制系统的基本概念；再逐一介绍系统中几个主要组成部分的作用，结构原理及使用、安装方面的知识，在此基础上介绍简单控制系统的设计、整定及投运；介绍各种复杂控制系统的结构、特点及适用场合；最后分析一些典型单元操作的控制方案。通过本课程的学习应达到（1）掌握化工过程控制的基本知识；

（2）了解自动控制系统参数整定的基本方法；（3）具有仪表使用、选型、安装等方面的基础知识；（4）能与自控人员一起，共同确定自动控制系统的方案。

“化工过程控制及仪表”是一门实践性很强的学科，本课程的特点之一是它的实验部分占有较大的比重。通过实验加深对课堂知识的理解，并从应用的角度掌握过程控制及仪表方面的知识，这样才能把本门课程学好。

第一章 自动控制系统基本概念

第一节 自动控制系统概述

一、化工生产过程的控制

化工生产过程都必须在规定的温度、压力、浓度等工艺变量条件下进行。为此，必须对生产过程进行控制。为了实现控制要求，可用两种方式，一是人工控制；二是自动控制。

图1-1为生产蒸汽的锅炉。锅炉是化工、炼油等工厂中常见的辅助设备，要保证锅炉正常运行，将锅炉水位维持在一定高度是非常重要的。水位过低容易烧干锅炉而发生严重事故；水位过高又容易使蒸汽夹带水分。如果蒸汽耗气量与锅炉给水量相等，则水位保持在规定的数值上；如果锅炉给水量不变，当蒸汽负荷突然增加或减少时，就会使水位下降或上升。相反，如果蒸汽负荷没有变化而给水压力发生变化，水位同样也会偏离规定的数值。

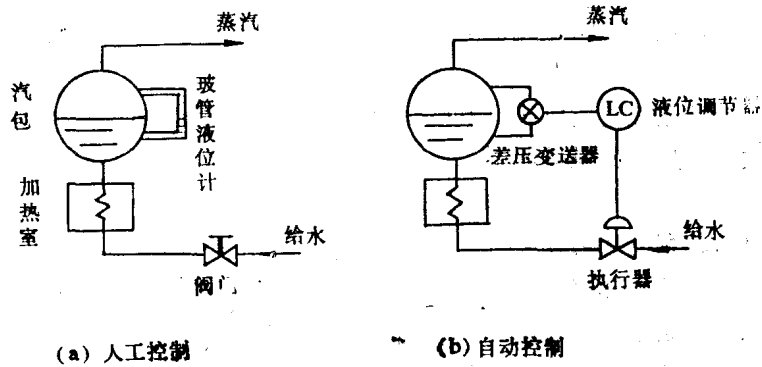


图 1-1 锅炉水位控制示意图

人工控制时，首先用眼睛观察安装在锅炉汽包上的玻璃管液位计中的水位数值，经大脑思考，将观察到的水位值与规定的水位值相比较，计算偏差，再根据此偏差的大小及变化趋势，决定如何开大或关小给水阀门，最后用手把给水阀门按思考决定的结果开大或关小，上述过程不断重复下去，直到水位回到规定的数值为止。这一人工控制过程可用图1-1 (a) 来表示。人工控制不仅劳动强度大，而且对某些变量变化快，操作条件又要求严格的生产过程来说是很难满足要求的。

假如用一套自动化装置来代替上述人工操作，使控制过程自动进行，这就叫做自动控制，如图1-1 (b) 所示。在这个锅炉水位自动控制系统中，首先用差压变送器代替人眼的观察，变送器把测得的水位数值变成相应的标准信号送给调节器，调节器代替人的大脑，它接受变送器送来的测量信号和按要求预先规定的水位高度信号相比较。如果两个信号相等，则表示实际水位正是规定的水位值。如果两个信号不相等，则表示实际水位值与规定水位值有偏差，这就需要进行控制。于是调节器发出相应的控制信号送至

执行器。执行器代替人的手来开大或关小给水阀门，改变进入锅炉的给水量，经过反复的调节，最后使水位回到规定的高度上，从而完成自动控制作用。图 1-1 (b) 称为锅炉带控制点工艺流程图。

根据锅炉水位控制的例子，可归纳出控制系统中经常应用的几个术语：

被控对象 在自动控制系统中，其工艺变量需要控制的生产设备或机器称为被控对象，简称对象。图 1-1 中所示的锅炉就是锅炉水位自动控制系统中的被控对象。化工生产中，各种塔器、反应器、泵与压缩机以及各种容器、贮罐、甚至一段输送流体的管道或者复杂塔器（如精馏塔）的某一部分都可以是被控对象。

被控变量 按照工艺要求需保持给定数值的物理量，称为被控变量。如图 1-1 中的水位。另外还有温度、压力、流量、液位等物理量。

干扰（外扰） 引起被控变量偏离给定值的外来因素。最常见的干扰因素是负荷改变；电压、气压等能源波动；操作不正常；气候变化等。如锅炉水位控制中蒸汽用量的变化就是一种外扰。

操作变量 用以克服干扰影响，具体实现控制作用的变量称为操作变量，如锅炉给水。在化工、炼油等工厂中流过调节阀的各种物料或能量，或者由触发器控制的电压或电流都是操作变量。

给定值 被控变量的预先设定值称为给定值。它是按工艺要求预先确定的某物理量的具体数值。

偏差 偏差在理论上应该是被控变量的给定值与实际值之差。但是，能够直接获取的信息是被控变量的测量值而不是实际值。因此，通常把给定值与测量值之差作为偏差。

二、自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法较多，例如，可以按被控变量的不同，分为温度、流量、压力、液位等控制系统。也可以按调节器的控制规律来分类，如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等控制系统。但是，在分析自动控制系统特性时，用得最多的是将控制系统按照工艺过程需要控制的变量（即给定值）是否变化和如何变化来分类。这样自动控制系统就可以分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统三种类型。

1. 定值控制系统

所谓定值控制系统，是指这类控制系统的给定值是恒定不变的。例如蒸汽加热器，工艺上要求是使被加热流体的出口温度保持在给定值不变，这就需要采用定值控制系统。因此，定值控制系统的基本任务是克服干扰对被控变量的影响，使被控变量最终回到给定值或其附近。化工生产中用得最多的就是定值控制系统。因此本书以后所讨论的，若未加特别说明，都指定值控制系统。

2. 随动控制系统（自动跟踪系统）

随动控制系统又称自动跟踪系统，这类系统的给定值是不断变化的，而且这种变化不是预先规定好的，也就是说给定值的变化具有随机性。这类系统的主要任务是使被控变量能够尽快地、准确无误地跟踪给定值的变化，而不考虑干扰对被控变量的影响。

3. 程序控制系统（顺序控制系统）

程序控制系统又称顺序控制系统，这类系统的给定值也是变化的，但它是一个已知的函数，即给定值按一定的时间程序变化。这类系统在间歇生产过程中应用比较普遍，例如合成纤维锦纶生产中的熟化罐温度控制；冶金工业上金属热处理的温度控制；食品工业上罐装食品在高温、高压杀菌釜内的处理等都属于程序控制系统。近年来，程序控制系统应用日益广泛，一些定型的和非定型的程序控制装置越来越多地被应用到化工生产中。

三、自动控制系统的组成

一个自动控制系统主要由两大部分组成：一部分是起控制作用的全套自动控制装置，它包括检测元件和变送器、控制器及执行器等；另一部分是自动控制装置控制下的生产设备，即被控对象。图1-1 (b) 中锅炉、差压变送器、调节器、执行器等就构成了一个完整的自动控制系统。系统内各部分的作用是：

1. 被控对象

在自动控制系统中，其工艺变量需要控制的生产设备或机器称为被控对象，简称对象。化工生产中各种塔器、反应器、泵与压缩机以及各种容器、贮罐（槽），甚至一段输送流体的管道或者复杂塔器（如精馏塔）的某一部分都可以是被控对象。

2. 检测元件和变送器

它是用来感受被控变量并将其转换为一种特定信号（如气压、电流）的仪器。检测与变送在自动控制系统中起着“眼睛”的作用，它时刻监视着生产过程进行的状况，又是进行控制的依据。因此要求测量准确、及时、灵敏。

3. 调节器

调节器又称控制器。它把检测元件或变送器送来的信号与工艺上需要保持的变量给定值进行比较，得出偏差。根据这个偏差的大小及变化趋势，按预先设计好的运算规律进行运算后，输出相应的特定信号（气压、电流等）给执行器。

4. 执行器

它接受调节器送来的信号，改变阀门的开度以改变操作变量（物料或能量）的大小。最常用的执行器是气动薄膜调节阀。在采用电动调节器的场合，调节器的输出还需经电-气转换器将电信号转换成气信号，再送往气动执行器。

一个自动控制系统，上述四部分是必不可少的，除此之外，还有一些附属（辅助）装置，例如给定装置、转换装置、显示仪表等。其中，显示仪表可以是单独的仪表，有时也可能是测量仪表、变送器和调节器里附有的显示部分。因此，显示仪表将放在检测元件和变送器一章内讨论。并且系统的方块图上一概不画出附属装置。

四、自动控制系统的方块图

在研究自动控制系统时，为了能更清楚地表示出系统中各个组成部分之间的相互影响和信息联系，便于对系统进行分析研究，一般都用方块图来表示控制系统的组成和作用。如图1-2所示为简单控制系统的方块图。图中每一个方块代表系统中的一个组成部分，称为“环节”。两个方块之间用一条带有箭头的线条联系表示信息的流向。作用于方块上的信息，称为该环节的输入信号，它送出的信息称为该环节的输出信号，上一环节的输出信号就是下一环节的输入信号，而每一环节输出信号与输入信号之间的关系仅

仅取决于该环节自身的特性。从整个系统来看，给定值和干扰是输入信号，被控变量或其测量值是输出信号。以图1-1 (b)为例，其中锅炉可用一个“对象”方块来表

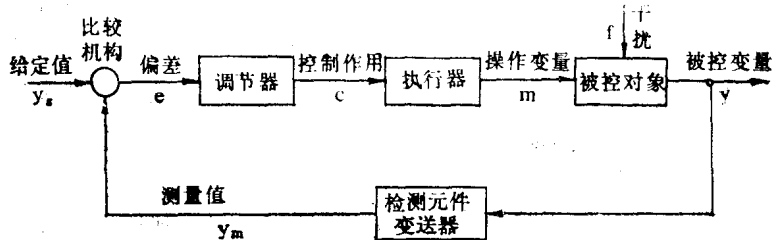


图 1-2 自动控制系统方块图

示。锅炉汽包水位就是被控变量，用 Y 表示。在方块图中被控变量 Y 就是对象的输出信号。影响被控变量偏离给定值 Y_r 的外来因素可能是蒸汽负荷变化或给水压力变化等干扰，因此干扰作用 f 是作用于对象的输入信号。此外，给水流量的改变是由于执行器动作引起的，改变给水流量用以克服干扰 f 对被控变量的影响，使被控变量回到给定值。所以对“执行器”方块而言，给水量就是操作变量 m ，它是“执行器”方块的输出信号，又是对象的输入信号。这样，给水流量即操作变量 m 在方块图上就把执行器和对象联系在一起了。同样，对“检测元件及变送器”方块而言，输入信号是汽包水位高度（即被控变量 Y ），输出信号是测量值 Y_m 。而对“调节器”来说，输入信号是比较机构送来的被控变量的给定值 Y_r 与测量值 Y_m 之差即偏差 e ；输出信号是送往执行器的控制作用 C ，从而使执行器动作，改变操作变量的大小，克服干扰影响，最终使被控变量回到给定值上。

图1-2所示自动控制系统方块图，不仅适用于图1-1 (b) 锅炉水位自动控制系统，也适用于以各种工艺变量为被控变量的简单控制系统。例如温度控制系统、压力控制系统，流量控制系统等。

通过分析控制系统的方块图，可以归纳出几个很重要的概念：

1. 方块图上每一个方块代表着一个具体的实物。方块之间的连接线是表示它们之间的信息走向，与工艺设备间物料的走向无关。例如图 1-3 所示的两个液位控制系统，都可以用图1-2的方块图来表示。在执行器与对象两方块间带箭头的线段所表示的信息的走向都是从执行器指向对象的。但是图1-3 (a)上执行器控制下的操作变量是对象的流入量，而图 1-3 (b) 上执行器控制下的操作变量则是对象的流出量。从物料流动方向来看，前者进，后者出；但从信息走向来看，它们都是作用于对象，使液位发生变化的输入信号。所以方块图上带箭头的线段只表明信息的走向而不是代表流体流动的方向。

2. 在方块图上，任何一个信息，只要沿着箭头方向前进，最后仍会回到原来的起点。所以，自动控制系统是闭环系统。闭环控制系统的闭合回路是通过检测元件及变送器将被控变量的测量值 y_m 送回到输入端与给定值 Y_r 进行比较而形成的。这种把系统的输出信号重新返回到系统的输入端的作法叫做反馈。在图 1-2 中，反馈信号 Y_m 取负值，所以叫做负反馈，所谓正负是相对于给定值（取正值）而言，负反馈信号能使系统

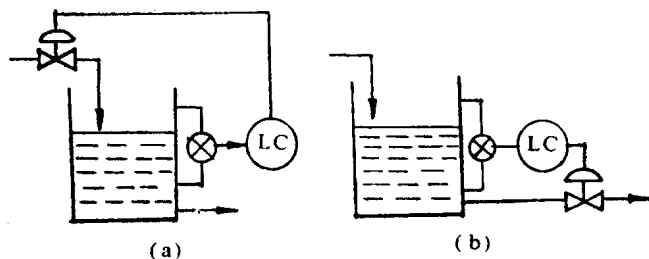


图 1-3 两个液位控制系统图

的输入信号减弱。反之，如果反馈信号取正值，将会使系统的输入信号加强（正反馈）。自动控制系统中采用的是负反馈。因此图 1-2 所示系统是具有负反馈的闭环控制系统。只有负反馈才能减小偏差，使被控变量回到给定值，达到控制的目的。注意，方块图中的比较机构仅是调节器的一部分，不是独立机构，只是为了突出其比较作用，才单独画出来。

五、系统的静态和动态

在自动控制中，把被控变量不随时间变化的平衡状态称为系统的静态，而被控变量随时间变化的不平衡状态则称为动态。

当一个自动控制系统的输入（给定值和干扰）及输出都恒定不变时，整个系统就处于一种相对的平衡状态，系统的各个组成环节如变送器、调节器、执行器都不改变其原来的状态，它们的输出信号都处于相对静止状态，这种状态就是上述的静态。必须注意的是，这里所指的静态并不是一般说的静止不动，而是指各变量（或信号）的变化率为零，即变量保持常数不变，而不是指物料或能量不流动。因为自动控制系统处于静态时，生产还在进行，物料和能量仍然有进有出，只是平稳进行没有改变。如图 1-3 所示的液位控制系统，当流入贮槽的物料量等于流出贮槽的物料量时，液位就不会变化，此时系统达到平衡状态，即处于静态。

原先处于相对平衡状态的系统，一旦受到外扰作用的影响，平衡就会受到破坏，被控变量随之发生变化，调节器等自动化装置将改变原来的状态，产生一定的控制作用去克服干扰的影响，并力图使系统恢复平衡。从干扰的发生，经过控制装置的作用，直到系统重新建立平衡，这一段时间中，整个系统的各个环节和变量都处于变动的状态，这种状态叫做动态。

可见，平衡（静态）是暂时的，不平衡（动态）才是普遍的。了解系统的静态是必要的，但了解系统的动态更为重要。这是因为在生产过程中，干扰是不可避免的，例如生产过程中前后工序的相互影响；负荷的变化；电压、气压的波动；气候的影响等等，这些干扰都是引起系统平衡破坏，被控变量发生变化的外界因素。在一个自动控制系统投入运行后，时时刻刻都有干扰作用于被控对象，以致破坏正常的生产状态，因此才需要通过自动控制装置，不断地施加控制作用去对抗或抵消干扰作用的影响，从而使被控变量保持在生产所需控制的技术指标上。显然，研究自动控制系统的重点，是研究系统的动态。

第二节 闭环控制系统的过渡过程及其品质指标

一、闭环控制系统的过渡过程

处于平衡状态的自动控制系统，当受到干扰作用时，被控变量就会发生变化而偏离给定值，系统进入动态过程。于是自动控制装置产生控制作用克服干扰的影响，使被控变量又回到给定值上，系统重新建立平衡。系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的这一过程称为控制系统的过渡过程。控制系统的过渡过程是衡量控制系统品质优劣的重要依据。

一个自动控制系统经常受到各种干扰的影响，这些干扰不仅形式各异，幅度和周期也各不相同，因此对工艺变量的影响也各不相同，其中以阶跃干扰对控制系统的被控变量影响最大，且最为多见，例如负荷的改变；直流电路的突然接通或断开；阀门开度的突然变化等。因此，本书只叙述阶跃干扰（见图 1-4）对控制系统的影响。

在阶跃干扰作用下，控制系统的过渡过程有如图 1-5 所示的几种基本形式。

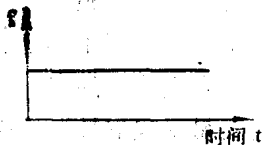


图 1-4 阶跃干扰

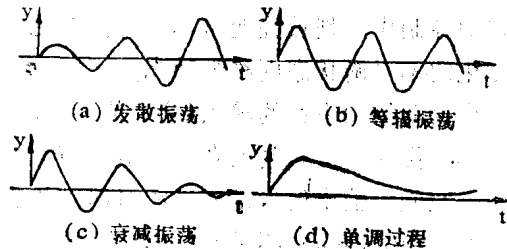


图 1-5 过渡过程的几种基本形式

1. 发散振荡过程

这是一种不稳定的过渡过程。它表明系统在受到阶跃干扰作用时，不但不能使被控变量回到给定值，反而使被控变量越来越剧烈地振荡，从而超越工艺许可范围，严重时会引起事故，这是生产上绝不允许的，应竭力避免。

2. 等幅振荡过程

它表明系统受到阶跃干扰作用时，被控变量作振幅恒定的振荡而不能稳定下来。因此，对于某些工艺上允许被控变量在一定范围内波动的，控制质量要求不高的场合，这种形式的过渡过程还是可以采用的。

3. 衰减振荡过程

它表明被控变量经过一段时间振荡后，能够较快地稳定下来。在过程控制中多数情况都希望得到曲线 (c) 所示的这种过渡过程。

4. 非振荡的单调过程

它表明被控变量最终被稳定下来了，但由于被控变量达到新的稳定值的过程较慢，所以一般不采用，只有当工艺生产不允许被控变量振荡时才考虑采用这种形式的过渡过程。

二、控制系统的品质指标

既然在工业生产中大多数情况下都希望得到衰减振荡的过渡过程，于是，如何根据

这个过渡过程来评价控制系统的质量，就需要规定一些指标。如果控制系统设计合理，调节器参数选择得当，这些指标就会符合一定要求，从而使控制系统的质量满足工艺的要求。

图 1-6 示出一个自动控制系统在阶跃干扰作用下，被控变量随时间的变化过程。这是属于衰减振荡的过渡过程。根据过渡过程曲线衡量控制系统质量时，习惯上采用下列几个指标：

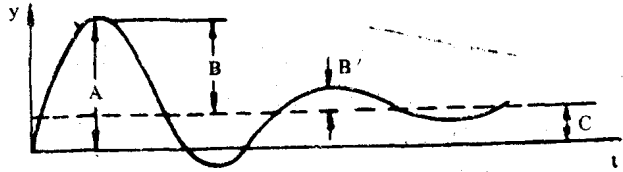


图 1-6 过渡过程品质指标示意图

1. 最大偏差或超调量

最大偏差或超调量是描述被控变量偏离给定值最大程度的物理量。在衰减振荡过程中，最大偏差是指被控变量第一个波的峰值与给定值之差，在图 1-6 中以 A 表示。最大偏差表示系统瞬时偏离给定值的最大程度，若偏离越大，偏离的时间越长，系统离开规定的工艺变量指标就越远，这对于某些工艺要求比较高的生产过程，例如化学反应器的化合物爆炸极限；触媒烧结温度极限等就需要限制最大偏差的允许值。同时，考虑到干扰会不断出现，偏差有可能是叠加的，这就更需要限制最大偏差的允许值，所以，必须根据工艺要求确定最大偏差的允许值。

此外，也可以用超调量来表示被控变量偏离给定值的程度。图 1-6 中用 B 表示超调量。超调量是第一个波的峰值与最终稳态值之差，即 $B = A - C$ 。

2. 衰减比

衰减比是表示控制系统稳定程度的指标。它的定义是过渡过程曲线上第一个波的峰值与同方向第二波的峰值之比。在图 1-6 中衰减比表示为 $n = B : B'$ 。对衰减振荡过渡过程而言， n 总是大于 1。若 n 接近于 1 时，控制系统的过渡过程接近于等幅振荡过程，由于这种过程振荡频繁，不够安全，因此一般不采用；如果 n 小于 1 则为发散振荡；如果 n 很大，则控制系统的过渡过程接近于非振荡过程，这也不是生产上所欢迎的。通常取 $n = 4 \sim 10$ 之间为宜，这是多年来操作经验的总结。图 1-6 就是衰减比接近于 4 : 1 的过渡过程曲线。它具有约两个波，当操作人员看到这种现象后，心里就比较踏实，因为这说明被控变量最终的稳态值必然在两峰值之间，决不会出现太高或太低的的现象，更不会远离给定值出现造成事故的数值。

3. 余差

余差又称残余偏差，是控制系统过渡过程终了时，被控变量所达到的新的稳态值与给定值之间的偏差，在图 1-6 中以 C 表示。余差的数值可正可负，但因给定值是生产的技术指标。所以，被控变量越接近给定值越好，亦即余差越小越好。但在实际生产中也有些系统对余差要求不太高，例如一般贮槽的液位控制，对余差要求就不是很高，而往往允许液位在一定范围内变化。

4. 过渡时间

过渡时间是指控制系统在受到阶跃干扰作用后，被控变量从原有稳态值达到新的稳

态值所需要的时间。严格地讲，控制系统在受到阶跃干扰作用后，被控变量完全达到最终稳态值需要无限长时间。但实际上，由于受到仪表灵敏度的限制，被控变量接近稳态值且保持在稳态值上下一个极小的范围内波动所需要的时间还是有限的。因此，一般规定被控变量进入稳态值附近 $\pm 5\%$ 或 $\pm 3\%$ 的范围内所需时间称为过渡时间。过渡时间短表示系统能很快稳定下来，即使扰动频繁出现，系统也能适应；反之，过渡时间长，表示系统稳定慢，在几个同向干扰作用下，被控变量就会大大超过给定值而不能满足工艺生产的要求。可见，过渡时间还是短些为好。

5. 振荡周期或频率

过渡过程同向两波峰之间的间隔时间叫振荡周期（或称工作周期），其倒数称为振荡频率。在衰减比相同的情况下，周期与过渡时间成正比，一般希望振荡周期短一些为好。

综上所述，过渡过程的品质指标主要有：最大偏差、衰减比、余差、过渡时间等。必须指出，这些品质指标在不同的控制系统中各有其重要性，而且相互之间又有着内在联系和一定的矛盾，因此，我们只能根据工艺生产的具体要求分清主次，区别轻重、优先保证那些对生产过程有决定性意义的指标得以实现。还必须指出，闭环控制系统控制质量的好坏，主要取决于组成控制系统的各个环节，特别是对对象的特性。只有将自动控制装置按照对象的特性加以适当的选择和调整，才能得到满意的控制质量。