

高级技工学校教材

过程控制与 计算机控制系统

李京 主编
苏靖林 主审



化学工业出版社
教材出版中心

高级技工学校教材

过程控制与计算机控制系统

李 京 主编

苏靖林 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

过程控制与计算机控制系统/李京主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 1
ISBN 7-5025-8075-1

I. 过… II. 李… III. ①过程控制-自动控制系统
②计算机控制系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 000305 号

高级技工学校教材
过程控制与计算机控制系统

李 京 主 编

苏靖林 主审

责任编辑: 张建茹 唐旭华

责任校对: 顾淑云

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 224 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8075-1

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

全国化工高级技工学校教材编审委员会

主任：毛民海

副主任：孔广友 王黎明 刘 雄 张文兵 苏靖林
 曾繁京 律国辉

委员：（排名不分先后顺序）

毛民海	孔广友	王黎明	刘 雄	张文兵
苏靖林	曾繁京	律国辉	王跃武	王万侠
李文原	胡仲胜	雷 俊	林远昌	李晓阳
韩立君	武嘉陵	简 祁	周仕安	米俊峰
王春湘	黄益群	郑 骏	王 宁	程家树
金跃康	韩 谦	张 荣	马武飏	宋易骏
何迎健	董吉川	郭养安		

前 言

《过程控制与计算机控制系统》是根据劳动和社会保障部颁布的高级技工教学计划，由全国化工高级技工教育教学指导委员会组织编写的高级技工电仪类专业的统编教材。本书主要介绍生产过程控制系统、计算机网络基础和集散型控制系统三个方面的工程实用知识。具有如下特点。

① 本书从有用、够用的角度，将过程控制系统知识、计算机网络知识和集散型控制系统知识三个模块有机地结合在一起，为模块教学和学科教学同时提供支持。

② 本书附有一定数量的习题，它们力图反映课程的基本内容，是根据多年教学中的使用经验选取和编写的。

③ 本书提供 PowerPoint 计算机辅助教学软件，作为一种新的授课方式的尝试。

全书共分八章，第一章主要介绍生产过程自动控制系统的作用、组成、工作过程及描述其控制质量好坏的技术指标。第二章和第三章以分析影响控制质量的各种因素为主线，分别介绍了控制对象的特性及描述其特性的主要参数，并介绍了控制装置（控制器、控制阀、变送器）的特性及描述了它们性能的主要参数。第四章紧密结合工程实例，介绍简单控制系统、串级控制系统、比值控制系统、前馈控制系统等典型控制系统的用途、组成和工作过程。从工程实用角度出发介绍它们的投运步骤及参数整定方法。第五章主要介绍工业计算机过程控制装置的基本组成原理、分类和发展。第六章介绍计算机网络基础知识。第七章主要介绍集散型控制系统的体系结构及各层的基本功能。第八章具体介绍两款具有一定代表性的集散型控制系统。

本书由李京主编，苏靖林主审。其中第一、二、三、四章由乐建波编写；第五、六章由付志刚编写；第七、八章由李京编写。

本教材在编写过程中得到中国化工教育协会、化学工业出版社、全国化工高级技工教育教学指导委员会以及参加编写的学校和相关企业的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，而过程控制系统及计算机过程控制装置的开发应用在不断地深入，掌握的资料有限，书中的不足之处在所难免，恳请读者和同行批评指正。

编者

2005年9月

目 录

第一章 生产过程自动化的基本概念	1
第一节 自动化的概念.....	1
第二节 自动控制系统的组成.....	2
第三节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标.....	5
习题.....	7
第二章 对象的特性	9
第一节 环节特性的概念.....	9
第二节 被控对象的特性	10
第三节 对象特性对系统控制质量的影响	12
第四节 对象特性的测试	15
习题	16
第三章 控制装置的特性	17
第一节 测量变送环节的特性	17
第二节 控制器的特性	18
第三节 控制阀的特性	25
习题	31
第四章 典型控制系统	32
第一节 简单控制系统	32
第二节 串级控制系统	37
第三节 比值控制系统	44
第四节 前馈控制系统	48
第五节 多冲量控制系统	52
第六节 均匀控制系统	55
习题	57
第五章 计算机控制系统概述	59
第一节 计算机控制系统的基本概念	59
第二节 计算机控制系统的分类	62
习题	68
第六章 计算机网络技术基础	69
第一节 计算机网络概述	69
第二节 计算机网络的分类和拓扑结构	70
第三节 计算机网络的组成	73
第四节 计算机网络协议概述	78
第五节 现场总线概述	82
第六节 Internet 与 Intranet	84

第七节 网络安全	85
第八节 网络管理	87
习题	88
第七章 集散控制系统	90
第一节 集散控制系统的结构体系	90
第二节 过程控制站	92
第三节 操作员站	99
习题	101
第八章 两款集散型控制系统	102
第一节 JX-300X 集散型控制系统	102
第二节 Industrial ^{IT} 集散型控制系统	118
习题	139
参考文献	141

第一章 生产过程自动化的基本概念

第一节 自动化的概念

所谓自动化就是用自动化装置（自动化仪表、自动装置、计算机等）来代替人，对工业生产过程进行控制和管理的方式。

工业生产过程自动化的框图见图 1-1，其内容概括起来大致有以下几个方面。

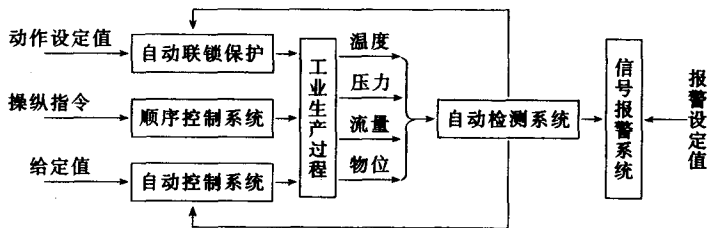


图 1-1 工业生产过程自动化框图

一、自动检测系统

在工业生产过程中，人们首先想要知道生产过程的状况如何，想要知道反映生产过程状况的某些物理量的大小。通常把这些物理量称为过程变量。工业生产中常常通过温度、压力、流量、液位、物料的成分等过程变量的大小来反映生产过程状况的好坏。自动测量系统就是对各种过程变量自动地进行检测，并且把检测的结果随时指示或记录下来的自动化系统。例如，贮水罐水位自动控制系统中，液位变送器代替玻璃液位计和人的眼睛，测量贮水罐水位的高度，并把水位高度值变换成对应的测量信号送给控制器。即把水位高度告诉给控制器。

二、自动信号联锁、保护系统

在工业生产过程中常常会遇到这样的情况，当某个过程变量的数值超过或低于一定的限制时，就会影响生产的正常进行，甚至会造成种种事故。例如，用乙炔鼓风机输送乙炔气时，如果鼓风机的入口压力低于某个量值时，入口管道内就有可能被抽成负压，漏进空气而引起爆炸。这就要设置一个压力报警及自动保护系统，对鼓风机的入口压力进行测量。当入口压力低于下限值时，自动发出警报或自动采取切断电源、使鼓风机停止运转等保护性措施操作，避免事故发生。这种当某个过程变量的数值接近危险值时，自动发出警报或自动采取保护措施，以防止事故发生的自动化系统叫自动报警及保护系统。

三、自动操作系统

在工业生产过程中，往往会有一些周期循环重复的操作。这种操作单调乏味容易使人疲劳。例如，用煤造气的生产过程中，有吹风、上吹、下吹、回收这 4 个步骤组成一组单调的、周期重复的操作。为了摆脱这种单调的重复操作，人们设置了由自动机（顺序控制器）和执行器去自动地完成这组操作。这就是能够按照人们事先规定好的操作顺序，自动地进行

单调的、周期性重复的自动操作系统，也称为顺序控制系统。

四、自动控制系统

工业生产过程是连续的生产过程，各种过程变量都是连续变化的模拟量。在工业生产中，常常要求通过操作使得某些表征工业生产过程状况的、重要的过程变量，相对地稳定在生产工艺要求的数值上。例如、在精馏塔的操作中，提馏段的温度是否稳定在某个量值上，将直接影响到精馏塔工作状况的好坏和产品质量的优劣，通常设置一个自动控制系统对提馏段温度进行自动操作。这种操纵某种物料量或能量的大小，使得某个过程变量保持在生产工艺要求的设定值上的自动化系统，叫自动控制系统。

第二节 自动控制系统的组成

一、自动控制系统组成方框图

图 1-3 所示为一个贮气罐压力控制系统，通过操纵进气量，控制贮罐内压力为定值。图 1-4 为泵的出口流量控制系统，通过对回流量的操纵，控制泵的出口流量为定值。

由上述不同的自动控制系统可以看到，自动控制系统在组成上有共同的特点。它们都由 4 个基本部分——被控对象、变送器（或测量元件）、控制器和执行器组成。按照信号传递过程可以把图 1-2 和图 1-3 所示的自动控制系统抽象表示成图 1-4，图中用方框表示自动控制系统的 4 个组成部分，用细实线表示信号传递路径，用箭头表示信号传递方向。

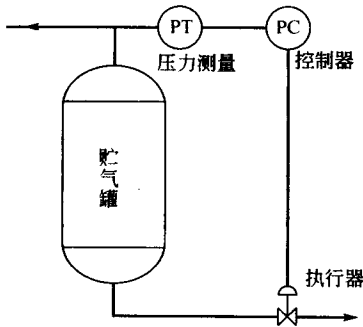


图 1-2 压力控制系统

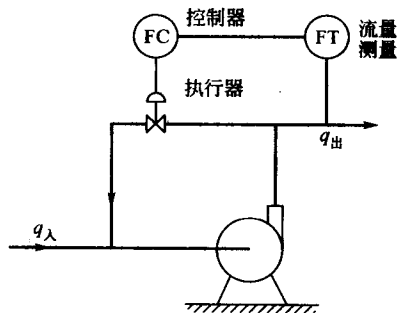


图 1-3 流量控制系统

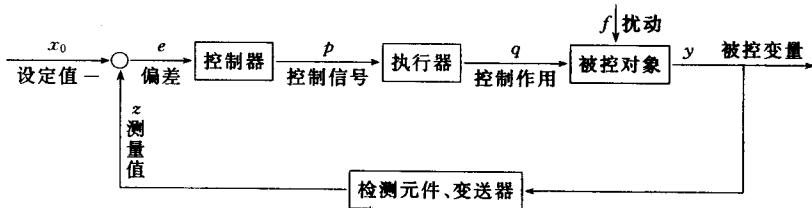


图 1-4 自动控制系统组成方框图

图 1-4 表示的是简单自动控制系统的基本组成，更复杂的自动控制系统可以用同样的方法做出类似的方框图来进行分析和研究。图中的每个方框也称为一个环节。指向方框的箭头表示环节的输入信号，从方框指出的箭头表示环节的输出信号。每个环节都有一个输出信号，至少有一个输入信号。如被控对象有一个输出信号——被控变量，有两种输入信号——

控制作用和扰动作用。控制作用只有一个，而扰动作用可以不止一个。一般把环节的输出信号随着输入信号变化的规律称为这个环节的特性。

二、几个常用名词术语

在讨论和研究自动控制系统中的问题时经常会遇到一些专用的名词术语，下面结合贮水罐水位控制的例子，对这些常用的名词和术语作一介绍。

图 1-5 是贮水罐水位自动控制系统示意图。

(1) 被控对象 自动控制系统中被控制的工艺管道、设备或机器等都称为被控对象。在贮水罐控制系统中，贮水罐就是被控对象。

(2) 被控变量 工艺要求自动控制系统通过自动操作控制，使之满足生产过程要求的某个过程变量。在贮水罐水位控制系统中的贮水罐水位即是被控变量。

(3) 设定值 生产过程中生产工艺要求被控变量达到的指标值称为设定值。

(4) 测量值 测量元件、变送器实际测得的被控变量的数值称为测量值。

(5) 偏差 上述的测量值与设定值之间的差值称为偏差。它有大小、方向和变化速率 3 个基本要素。

(6) 扰动作用 在生产过程中，破坏生产过程平衡状态，引起被控变量偏离设定值的各种作用，都叫扰动作用。在贮水罐水位控制系统中，进水量的变化、进水阀前压力的变化或出水阀后压力的变化，都会破坏生产的平衡状态，引起贮水罐内水位的变化。所以它们都是扰动作用。

(7) 控制作用 被控对象受到扰动作用以后，被控变量偏离设定值，自动控制系统就对被控对象施加影响，使被控变量回到设定值上来。自动控制系统使被控变量回到设定值而对被控对象施加的影响作用叫控制作用。被自动控制系统用来施加控制作用的变量叫操纵变量。被自动控制系统用来施加控制作用的介质称为控制介质。在贮水罐水位控制系统中，出水就是控制介质，出水流量就是操纵变量，出水流量的改变对贮水罐水位的影响作用就是控制作用。

扰动作用与控制作用是一对矛盾，扰动作用使被控变量偏离设定值，控制作用使被控变量回到设定值。扰动作用是控制作用的起因，控制作用是扰动作用的补偿，控制作用对扰动作用的补偿越好，自动控制系统的控制质量就越高。

三、自动控制系统的分类

对自动控制系统，从不同的使用角度，可以有不同的分类方法。从生产工艺的角度看，常把自动控制系统按被控变量的种类分为压力控制系统、流量控制系统、液位控制系统、温度控制系统等。从工业生产过程自动控制的角度看，常把自动控制系统按其结构分为闭环控制系统和开环控制系统（或简单控制系统和复杂控制系统）；而按其设定信号的形式又可分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。下面是从工业生产过程自动控制的不同角度出发对自动控制系统的分类叙述。

1. 闭环控制系统

在图 1-5 所示的贮水罐水位控制系统中，输出信号是被控变量——贮水罐水位信号，经测量元件、变送器的测量和变送后，送回到自动控制系统的输入端和设定信号进行比较，然后再经执行器把控制作用施加给被控对象，影响被控变量变化。可以看出，信号传递路径形

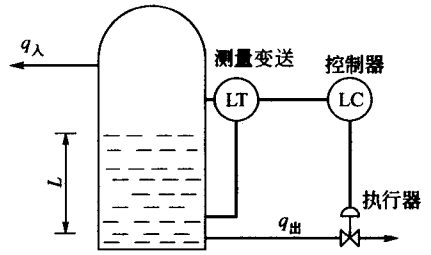


图 1-5 水位自动控制

成了一个闭合的回路。这种具有被控变量信号负反馈，使信号传递路径形成闭合回路的自动控制系统称为闭环控制系统。

2. 开环控制系统

图 1-6 (a) 所示为一个液位控制系统原理示意图，它通过采用控制物料流入量，使之等于流出量的措施，保持物料平衡，来维持液位稳定。自动控制系统并不对液位进行测量，液位的变化也不对自动控制系统直接产生影响，信号传递路径不能形成闭合的回路。这种没有被控变量信号负反馈，信号传递路径不能形成闭合回路的自动控制系统叫做开环控制系统，图 1-6 (b) 为系统方框图。

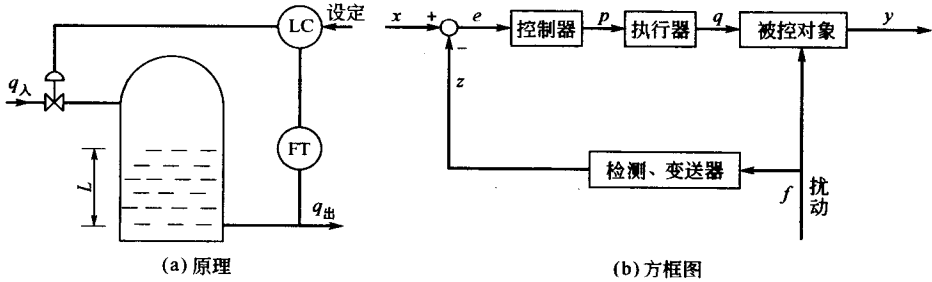


图 1-6 开环控制系统示意

3. 定值控制系统

自动控制系统的设定信号是一个恒定不变的信号。也就是说，生产工艺要求被控变量保持在一个恒定值的自动控制系统称为定值控制系统。例如图 1-5 所示的贮水罐水位控制系统。工业生产过程的自动控制系统绝大多数是定值控制系统。定值控制系统的设定信号通常都是由控制器内部设定的。

4. 随动控制系统

设定信号是一个事先不能确定的，随着另外一个有关变量的变化而变化的自动控制系统称为随动控制系统。例如图 1-7 所示的合成氨生产中合成塔进料 N_2 和 H_2 的比值控制系统，它控制 N_2 的流量以近似 1:3 的比例随 H_2 流量值变化。即控制器的设定信号是随着 H_2 流量的变化而变化的。显然，随动控制系统的设定信号，是由外部的专用装置，把另一有关变量的信号转换而来的。

5. 程序控制系统

自动控制系统的设定信号按着事先设置好的规律变化的自动控制系统称为程序控制系统。如锦纶生产中长丝定形锅熟化罐温度控制系统就是一个程序控制系统，它控制被控变

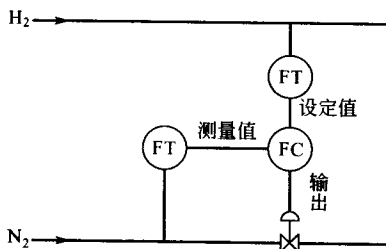


图 1-7 随动控制系统

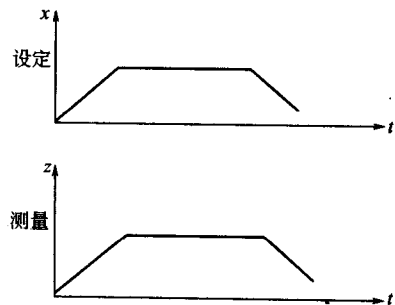


图 1-8 程序控制系统的设定值与测量值

量——熟化罐内温度按事先设定好的规律变化。如图 1-8 所示。程序控制系统的设定信号是由控制器外部的专用装置发送的。

第三节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标

一、自动控制系统的静态与动态

有一个液位自动控制系统如图 1-9 所示。该自动控制系统在没有受到扰动作用时处于稳定状态。这时，出料量 $q_{\text{出}}$ 等于进料量 $q_{\text{入}}$ ，液位稳定在某一个设定值上，好像处于静止状态。

当扰动作用产生以后，例如进料量有一个阶跃增加 $\Delta q_{\text{入}}$ ，进料量大于出料量，造成贮罐内物料的积累而引起贮罐的液位逐渐升高。自动控制系统就开大出料阀，使得出料量增大，避免液位继续升高。直到出料量的增加 $\Delta q_{\text{出}}$ 等于进料量的增加 $\Delta q_{\text{入}}$ 时，贮罐液位才稳定在新的数值上。自动控制系统达到了新的稳定状态。在这个过程中，液位自动控制系统经历了：稳定→稳定被破坏→通过自动操作后重新达到稳定的过程。无论是原来的稳定状态，还是新的稳定状态，进出系统的物料量（有时是能量）是平衡的 $q_{\text{出}} = q_{\text{入}}$ ，被控变量是稳定不变的，这种状态就称为自动控制系统的静态（或稳态）。

自动控制系统从原来的稳定状态过渡到新的稳定状态的过程中，进出系统的物料量（或能量）是不平衡的，系统内物料的积蓄或缺，造成被控变量随时间而变化，这种状态称为自动控制系统的动态或暂态。自动控制系统无论是在静态还是动态都处于工作状态。

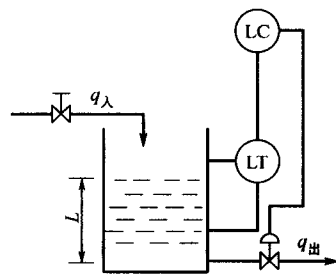


图 1-9 液位控制系统

自动控制系统从原来的稳定状态过渡到新的稳定状态的过程中，进出系统的物料量（或能量）是不平衡的，系统内物料的积蓄或缺，造成被控变量随时间而变化，这种状态称为自动控制系统的动态或暂态。自动控制系统无论是在静态还是动态都处于工作状态。

二、自动控制系统的过渡过程及其基本形式

分析上述液位控制系统，必须考虑当进料量有一个阶跃增加时，贮罐液位是怎样变化的，液位的最终稳定值是多少。即在分析自动控制系统时，要考虑该系统在受到某种扰动作用后，原来的稳定状态被破坏，经过怎样的变化过程又重新达到新的稳定状态。自动控制系统受到扰动作用以后，由原来的稳定状态过渡到新的稳定状态时，被控变量的变化过程称为自动控制系统的过渡过程。自动控制系统达到新的稳定状态时，被控变量的值，即是自动控制系统过渡过程的最终结果。

在阶跃变化的扰动作用下，自动控制系统的过渡过程有如图 1-10 所示的 5 种基本形式。

(1) 非周期发散过程 自动控制系统受到扰动作用以后，被控变量越来越偏离设定值。

(2) 非周期衰减过程 自动控制系统受到扰动作用以后，被控变量在偏离设定值以后，又逐渐趋向新的稳定值，但不一定等于原来的设定值。

(3) 衰减振荡过程 自动控制系统受到扰动作用以后，被控变量偏离设定值并发生振荡，但振荡幅度逐渐减小，最后稳定在新的稳态值上（这个稳态值不一定等于设定值）。

(4) 等幅振荡过程 被控变量总是在某一数值上下等幅波动的过程。

(5) 发散振荡过程 被控变量总是在某一数值上下波动、并且波动的幅度越来越大的过程。

在上述 5 种过渡过程形式中，只有非周期衰减和衰减振荡过程的被控变量，最终能够稳定在某一个新的稳态值上，所以称其为稳定的过渡过程。其他三种过渡过程都是不稳定的过渡过程。不稳定的过渡过程对于工业生产是不利的。由于非周期衰减过程的过渡相当缓慢，只有生产工艺不允许被控变量发生振荡的情况下，不得已而采用。通常都希望自动控制系统

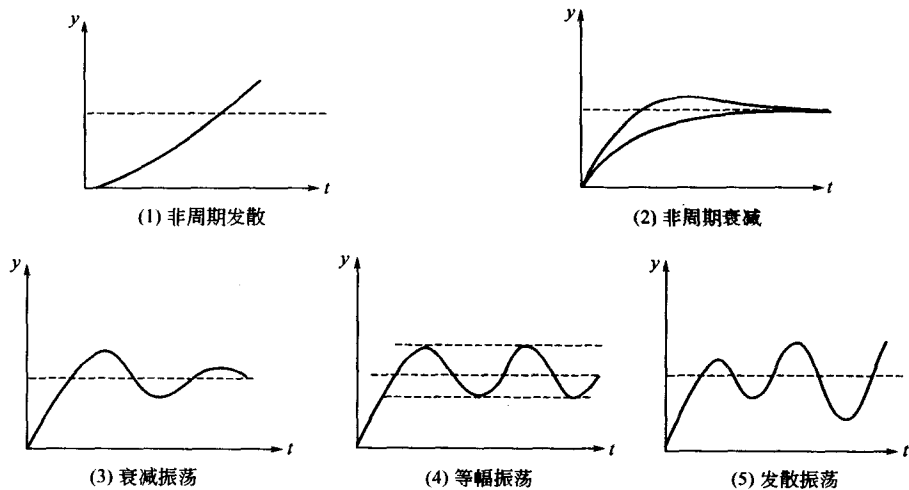


图 1-10 过渡过程基本形式

具有衰减程度适当的衰减振荡过程。

三、自动控制系统的质量指标

自动控制系统控制质量的优劣,并没有一个绝对的标准,主要根据生产工艺的具体要求而定。通常都希望在受到扰动作用以后,被控变量偏离设定值的程度要小一些,波动要少一些,达到新的稳定状态所花费的时间要短一些。也就是从自动控制系统过渡过程的准确性、稳定性和快速性 3 个方面来评价它的控制质量。对于最普遍希望的衰减振荡过程的控制质量指标有最大偏差、衰减比、余差、过渡时间和振荡周期等几项。

1. 最大偏差 A

过渡过程的最大偏差是指过渡过程第一个波的峰值与设定值之间的差。如图 1-11 中的 A 所示。最大偏差越大,过渡过程偏离设定值也就越远。过大的最大偏差可能会影响工业生产过程的稳定性,严重的甚至会超过工艺指标的要求引起生产事故。因此常常要限制最大偏差的值。

2. 衰减比 n

衰减比 n 是指过渡过程第一个波的振幅 B 与第二个波的振幅 B' 的比值,即 $n=B/B'$ 。如图 1-11 所示。显然,衰减比是一个衡量自动控制系统稳定性的质量指标。当 $n=1$ 时, $B=B'$,即过渡过程是一个等幅振荡过程;当 $n>1$ 时, $B>B'$,此时过渡过程是一个衰减振荡过程;当 n 趋于无穷大时,过渡过程为一个非周期衰减过程;而当 $n<1$ 时, $B<B'$,

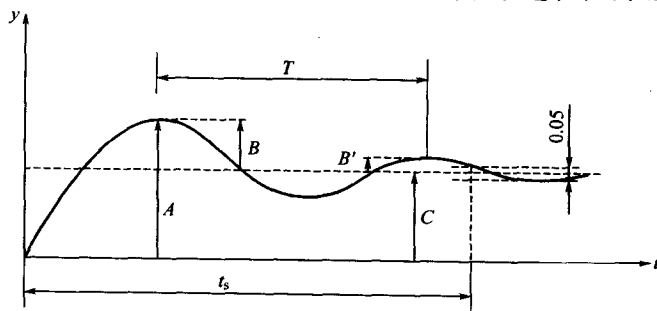


图 1-11 过渡过程的控制质量指标示意图

过渡过程是发散振荡。一般希望过渡出现两个波，这时的衰减比约在 4 : 1 到 10 : 1 的范围内。

3. 过渡时间 t_s

过渡时间是指扰动作用产生开始，直到被控变量从原来的稳态值达到新的稳态值所需要的时间。严格地说，被控变量完全达到新的稳态值需要无限长的时间。通常认为被控变量的变化幅度衰减到足够小（稳态值的 $\pm 5\% \sim \pm 2\%$ ），并保持在这个范围内时，过渡过程就基本结束了。因此，过渡时间是指，从扰动产生直到被控变量的变化幅度衰减到小于稳态值的 $\pm 5\% \sim \pm 2\%$ 所需要的时间，如图 1-11 所示。

4. 余差 C

余差是指自动控制系统的过渡过程终了时，被控变量的稳态值与设定值之间的差值，如图 1-11 所示。余差是反映自动控制系统准确性的控制质量指标，一般希望它为零（无差控制），或不超过预定的范围。

5. 振荡周期 T

振荡周期指自动控制系统过渡过程的第一个波峰与第二个波峰之间所经历的时间，也称为工作周期。振荡周期的倒数称为振荡频率（ $f=1/T$ ）。在衰减比相同的情况下，振荡周期与过渡时间成正比，振荡周期越短，过渡时间越小。它们都是衡量自动控制系统快速性的质量指标。通常希望振荡周期短一些好。

值得指出的是：控制系统的质量指标之间是有相互的内在联系的，例如：降低最大偏差会导致衰减比减小和过渡时间增大。因此，高标准地要求每一个质量指标是困难的。另外，不同的生产工艺过程和不同的自动控制系统，对各个质量指标的要求重点也不同。有的对最大偏差的要求较高，有的对余差的要求较高，也有的对过渡时间或衰减比的要求较高。这就必须根据生产工艺过程的具体要求，分清主次，统筹兼顾地确定具体的质量指标要求。

习 题

一、填空题

1. 自动测量系统就是对各种（ ）自动地进行检测，并且把（ ）随时指示或记录下来的自动控制系统。
2. 自动控制系统在组成上有共同的特点，它们都由 4 个基本部分——（ ）、（ ）、（ ）和（ ）组成。
3. 自动控制系统按其设定信号的形式又可分为（ ）、（ ）和（ ）。

二、名词解释

1. 被控对象
2. 被控变量
3. 设定值
4. 控制作用
5. 最大偏差
6. 衰减比
7. 余差

三、简答题

1. 什么是人工操作？什么是自动控制？举例说明自动控制是如何由人工操作演变过来的。
2. 默画一个闭环控制系统的方框图。
3. 何谓系统的动态？静态？扰动？
4. 什么叫自动控制系统的过渡过程？有哪几种基本形式？
5. 描述自动控制系统的质量指标有哪些？

第二章 对象的特性

第一节 环节特性的概念

一、环节特性

在图 1-4 所示的自动控制系统方框图中，表示了一个简单的自动控制系统的 4 个基本组成部分及其各种有关信号的传递路径。图中的每一个箭头表示一种信号，箭头所指的方向就是该信号传递的方向，信号传递是单方向的。两个信号的交点产生一个节点，称为一个环节。

自动控制系统的每一个组成部分可以看作一个环节。为了强调偏差的产生及其作用，把控制器的比较部分单独看作一个环节——比较环节。也就是说一个简单控制系统是由测量变送、比较、控制、执行和被控对象 5 个环节及其输入信号、输出信号组成的。指向环节的箭头表示该环节的输入信号，从环节指出来的箭头表示该环节的输出信号。每个环节都只有一个输出信号，至少一个输入信号。

例如，被控对象这个环节有一个输出信号——被控变量，有两个或两个以上的输入信号——一个操纵变量和一个以上的扰动变量。如图 2-1 所示。环节的每一个输入信号发生变化，都会引起这个环节的输出信号发生变化。环节的输出信号怎样随着某个输入信号的变化而变化，取决于这个环节内部的结构和性质。环节的结构和性质确定以后，它的输出信号随着输入信号变化的规律也就确定了。环节的输出信号随着其输入信号的变化而变化的规律就称为这个环节的特性。设 x 为输入信号， y 为输出信号，则 y 关于 x 的函数表达式 $y=f(x)$ 即为环节特性的数学表达式。但是，输入信号和输出信号常常是随着时间的变化而变化的，很难用简单的 $y=f(x)$ 式子来表达。通常假设输入信号是一种在瞬间产生后，其大小不随时间变化的信号，称为阶跃信号。在这种阶跃输入信号的作用下，输出信号的变化规律称为环节的阶跃响应，并用它来描述环节的特性。

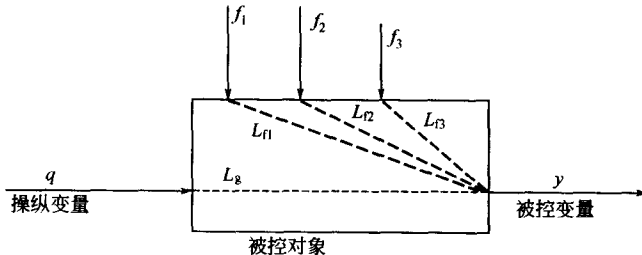


图 2-1 被控对象的输入、输出信号

二、典型环节及其特性

组成自动控制系统的各个组成部分的结构和性质各不相同。根据输出信号与输入信号的关系不同，可以把它们归纳为下列几种基本类型：放大环节、一阶惯性环节、积分环节、微

分环节、纯滞后环节和二阶环节。它们的特性可以用它们的阶跃响应特性曲线表示，如图 2-2 所示。放大环节的输出信号与输入信号成比例放大，所以也称比例环节。一阶惯性环节的输出信号随阶跃输入信号变化，而且变化的速度逐渐减小，最后趋于稳定在新的数值上。积分环节的输出信号随阶跃输入信号呈等速变化而不能稳定。微分环节的输出信号在阶跃信号输入开始的瞬间突然变化最大，然后恢复到原来的值。纯滞后环节一般都与其他基本环节组合一起，如一阶环节组合而成为一阶滞后环节，一阶滞后环节的输出信号在阶跃输入信号产生后，过一段纯滞后时间才表现出其一阶惯性环节特性。二阶环节又分为二阶惯性环节和二阶振荡环节。

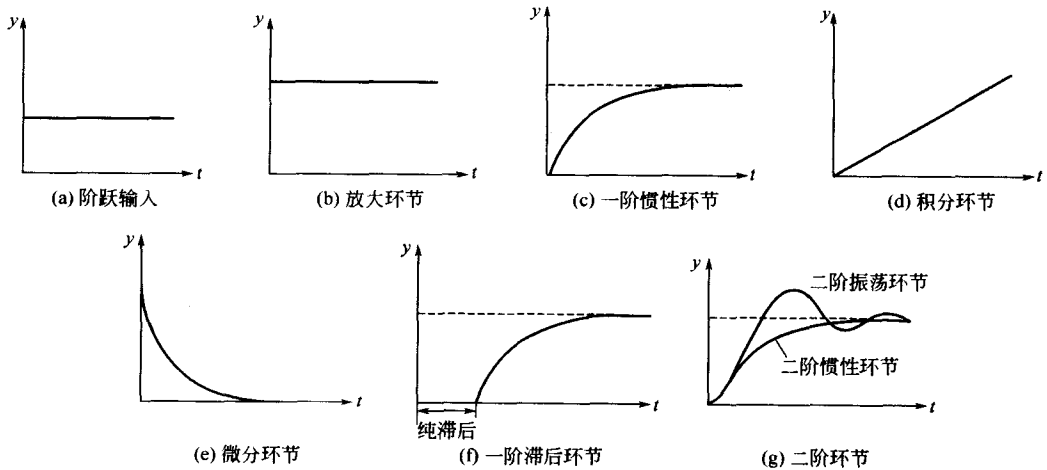


图 2-2 自动控制系统典型环节及其特性

第二节 被控对象的特性

一、控制通道和扰动通道

由图 2-1 可见被控对象具有两种输入信号，一种是操纵变量信号，它只有一个，另一种是扰动变量信号。有些被控对象常常有多个扰动变量信号 f_1 、 f_2 、 f_3 ……。其中对被控变量影响最大的一个扰动变量称为主扰动变量。每一个输入信号通过被控对象到达被控变量所经过的信号路径是不一样的。因此，被控变量随着操纵变量的变化规律和被控变量随着每一个扰动变量变化的规律是不同的。从操纵变量到被控变量所经过被控对象的信号通道称为控制通道 l_g ，被控变量随着操纵变量变化而变化的规律称为被控对象的控制通道的特性。同样的原理，从扰动变量到被控变量所经过被控对象的通道称为扰动通道 l_i 。被控变量随着扰动变量变化的规律称为被控对象的扰动通道特性。这通常都是指主扰动通道及其特性。

二、单容量和多容量被控对象及其特性

图 2-3 所示为单容量被控对象及其特性，该图 (a) 中贮槽液位 L 为被控变量，是被控对象的输出信号，如果选择流入量 q_{λ} 为操纵变量，则流出量 $q_{\text{出}}$ 为扰动变量。那么，这个被控对象的控制通道的特性为 $h_{\text{控}} = f_1(q_{\lambda})$ 。它的扰动通道的特性为 $h_{\text{扰}} = f_2(q_{\text{出}})$ 。它们可以根据能量平衡和物料平衡原理，建立微分方程并求解得到。工程上常用反应曲线来描述被控对象的特性。阶跃改变输入信号后输出信号的变化过程称为反应曲线。突然使 q_{λ} 增加一