



教育部高等职业教育示范专业规划教材

生产过程自动化技术专业

# 过程控制原理与工程

GUO CHENG KONG ZHI YUAN LI YU GONG CHENG

于辉 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

教育部高等职业教育示范专业规划教材  
(生产过程自动化技术专业)

# 过程控制原理与工程

主 编 于 辉

副主编 韩睿群

参 编 王 颖 董会英

主 审 王 刚



机械工业出版社

本书共分两篇7章。第一篇为过程控制原理(第1章~第4章),主要阐述了过程控制的基本原理、基本概念,过程控制系统的数学模型,过程控制系统的时域和频率分析法;第二篇为过程控制工程(第5章~第7章),详细介绍了简单控制系统的分析与设计方法,控制系统实施、控制系统故障分析与排除、控制系统投运等知识;比较全面地介绍了复杂控制系统的构成方法与应用。以常规过程控制系统为主体,结合炼油、化工、热电、轻工等工业过程中的典型操作单元,从控制过程的特性、基本控制方案等方面作了简明的叙述。本书选材精炼,突出了知识的实用性、实际性和实践性。编写时力求循序渐进、深入浅出、通俗易懂、便于自学。

本书可作为高职高专院校、成人教育学院生产过程自动化技术、检测技术及仪表等专业的教材用书,也可作为电气、机电一体化、冶金、化工、制药、轻工等相关专业的参考书,并可供相关专业技术人员参考。

为方便教学,本书配有免费电子课件,凡选用本书作为授课教材的老师,均可来电索取,咨询电话:010-88379375, Email: cmpgaozhi@sina.com。

### 图书在版编目(CIP)数据

过程控制原理与工程/于辉主编. —北京:机械工业出版社, 2010.2  
教育部高等职业教育示范专业规划教材  
ISBN 978-7-111-29510-5

I. 过… II. 于… III. 过程控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第003236号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 版式设计:霍永明  
封面设计:鞠杨 责任校对:李秋荣 责任印制:乔宇  
北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)  
2010年2月第1版第1次印刷  
184mm×260mm·12.5印张·307千字  
0 001—4 000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-29510-5  
定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是为深入贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高【2006】16号)文件精神,适应当前高等职业教育,大力推行工学结合,突出实践能力培养,改革人才培养模式的教学改革需求,按照高职高专院校生产过程自动化技术专业人才培养规格和课程体系改革与建设的基本要求编写的。

本书将控制理论与控制系统的基本内容整合在一起,打破了教材的传统体系。教材内容选择合理,符合高职高专学生学习特点和认识规律,突出了知识的“实用性、实际性和实践性”原则。尤其是在控制理论部分,力争减少繁杂的理论推导过程,贯彻“重概念、重结论、重应用”的指导思想。本书集教学内容的先进性与广泛性为一体,在过程控制工程部分密切联系生产实际,引入工厂实际案例,以典型生产过程控制案例入手,提出并解决问题。书中除了介绍控制系统分析与设计方法、控制系统实施与应用的知识,同时还介绍了控制系统的故障分析与处理方法,旨在培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。体现了职业教育的特色,可以满足培养高技能人才的需要。

本书是各位编者在多年的教学实践、科研和参与工程实践的基础上编写的。全书共分两篇7章,第一篇为过程控制原理(第1章~第4章),第二篇为过程控制工程(第5章~第7章),这部分为本书的重点内容。在各章后有本章小结及思考题与习题,可供读者参考、练习。

本书由于辉任主编,并编写第5章和第6章;韩睿群任副主编,并编写第1章、第2章和第3章;王颖编写第4章;董会英编写第7章。在编写过程中参阅了许多专家、学者的著作,在此向他们表示衷心的感谢。同时在编写过程中,还得到了华北电力大学邓英教授、辽宁石化职业技术学院刘巨良、王琦教授的大力帮助与支持,在此也向他们表示衷心的感谢。

本书由沈阳化工学院王刚教授担任主审。

由于编者水平有限,书中的错误及疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。殷切希望得到读者的宝贵意见与建议。

编者

# 目 录

前言	1	等效变换	23
<b>第一篇 过程控制原理</b>	<b>1</b>	2.5 过程控制系统的传递函数	27
<b>第1章 过程控制系统的基本概念</b>	<b>2</b>	2.5.1 系统开环传递函数	28
1.1 引言	2	2.5.2 系统闭环传递函数	28
1.2 过程控制系统的组成及框图	2	本章小结	29
1.2.1 过程控制系统的组成	2	思考题与习题	30
1.2.2 过程控制系统的框图	3	<b>第3章 过程控制系统的时域分析法</b>	<b>33</b>
1.2.3 过程控制系统的相关术语	3	3.1 过程控制系统的响应分析	33
1.3 过程控制系统的分类	4	3.1.1 典型输入信号	33
1.3.1 开环控制与闭环控制	4	3.1.2 过程控制系统的时域性能指标	34
1.3.2 按设定值变化规律分类	6	3.1.3 一阶过程控制系统的阶跃 响应分析	36
1.4 过程控制系统的性能要求	7	3.1.4 二阶过程控制系统的阶跃 响应分析	38
1.4.1 过程控制系统的过渡过程	7	3.2 过程控制系统的稳定性分析	41
1.4.2 过程控制系统的过渡过程的 几种形式	7	3.2.1 系统的稳定性	41
1.4.3 过程控制系统的性能指标	8	3.2.2 劳斯稳定判据	42
本章小结	8	3.3 常规控制规律及其对过程控制 质量的影响	45
思考题与习题	8	本章小结	51
<b>第2章 过程控制系统的数学模型</b>	<b>10</b>	思考题与习题	51
2.1 建立被控对象的数学模型	10	<b>第4章 过程控制系统的频率分析法</b>	<b>53</b>
2.2 典型化工对象(或环节)数学模 型的建立	13	4.1 频率特性	53
2.2.1 串联液体储槽	13	4.1.1 频率特性的基本概念	53
2.2.2 带套管热电偶	13	4.1.2 频率特性与传递函数的关系	55
2.2.3 气动薄膜控制阀	14	4.2 典型环节的博德图	56
2.3 拉氏变换、反变换及其应用	15	4.2.1 博德图的表示	56
2.3.1 拉氏变换的概念	16	4.2.2 比例环节	57
2.3.2 拉氏变换的运算定理	17	4.2.3 积分环节	57
2.3.3 拉氏反变换	19	4.2.4 微分环节	58
2.3.4 拉氏变换及拉氏反变换的应用	19	4.2.5 惯性环节	59
2.4 传递函数	19	4.2.6 一阶微分环节	60
2.4.1 传递函数的定义	19	4.2.7 振荡环节	60
2.4.2 传递函数的一般表达式	20	4.3 控制系统开环博德图的绘制	62
2.4.3 传递函数的性质	20	4.3.1 采用叠加方法绘制系统开环博 德图	62
2.4.4 典型环节的传递函数	21	4.3.2 根据系统开环对数频率特性曲线	
2.4.5 过程控制系统的结构图及其			

确定系统的传递函数	66	结构	111
4.4 对数频率稳定判据与稳定裕量	67	6.1.2 串级控制系统的工作过程	113
4.4.1 对数频率稳定判据	67	6.1.3 串级控制系统的特点	114
4.4.2 稳定裕量	68	6.1.4 串级控制系统的设计	117
4.4.3 过程控制系统分析和设计的 稳定裕量法	70	6.1.5 串级控制系统的工业应用场合及 应用案例	120
本章小结	74	6.1.6 串级控制系统的投运和主、副控 制器的参数整定	122
思考题与习题	75	6.2 均匀控制系统	124
<b>第二篇 过程控制工程</b>	<b>77</b>	6.2.1 均匀控制的目的和要求	124
<b>第5章 简单控制系统分析与设计</b>	<b>78</b>	6.2.2 均匀控制方案	125
5.1 简单控制系统的组成	78	6.2.3 控制器参数的整定	127
5.2 被控变量与操纵变量的选择	79	6.3 比值控制系统	128
5.2.1 被控变量的选择	79	6.3.1 概述	128
5.2.2 操纵变量的选择	79	6.3.2 定比值控制系统	129
5.3 测量滞后对控制质量的影响及 克服办法	82	6.3.3 变比值控制系统	130
5.3.1 测量滞后对控制质量的影响	82	6.3.4 比值控制系统的实施	131
5.3.2 克服测量滞后及信号的处理 方法	84	6.3.5 比值控制系统的投运和控制器 参数的整定	136
5.4 控制阀的选择	86	6.4 分程控制系统	136
5.4.1 控制阀概述	86	6.4.1 分程控制系统的构成	136
5.4.2 控制阀的流量特性	87	6.4.2 分程控制的应用场合	137
5.4.3 控制阀的流量特性的选择	90	6.5 前馈控制系统	140
5.4.4 控制阀气开、气关形式的选择	92	6.5.1 前馈控制的基本原理及特点	140
5.4.5 阀门定位器的正确使用	93	6.5.2 前馈控制系统的几种结构形式	142
5.5 控制器的选择	94	6.5.3 前馈控制系统的选用	144
5.5.1 控制器控制规律的选择	94	6.6 选择性控制系统	144
5.5.2 控制器正、反作用的确定	95	6.6.1 概述	144
5.6 简单控制系统工程应用案例	97	6.6.2 选择性控制系统的构成	145
5.7 简单控制系统的投运和控制器 参数整定	98	6.6.3 选择性控制系统的类型	146
5.7.1 系统的投运	98	6.6.4 积分饱和和现象及其防止措施	147
5.7.2 控制器参数的工程整定	99	本章小结	149
5.8 简单控制系统的故障及故障排除	103	思考题与习题	149
5.8.1 自动控制系统的故障及判别 方法	103	<b>第7章 工业生产过程控制应用</b>	<b>153</b>
5.8.2 故障分析举例	105	7.1 流体输送设备的控制	153
本章小结	107	7.1.1 离心泵的控制	153
思考题与习题	107	7.1.2 容积式泵的控制	156
<b>第6章 复杂控制系统</b>	<b>111</b>	7.1.3 压缩机的控制	156
6.1 串级控制系统	111	7.1.4 离心式压缩机的防喘振控制	157
6.1.1 串级控制系统的基本原理与 结构	111	7.2 传热设备的控制	159
		7.2.1 换热器的控制	160
		7.2.2 蒸汽加热器的控制	162
		7.2.3 冷却器的控制	162

7.2.4 加热炉的控制 ..... 163

7.3 锅炉设备的控制 ..... 167

7.3.1 概述 ..... 167

7.3.2 汽包水位系统的控制 ..... 168

7.3.3 锅炉燃烧系统的控制 ..... 173

7.4 精馏塔的控制 ..... 174

7.4.1 概述 ..... 174

7.4.2 精馏塔的控制目标 ..... 175

7.4.3 精馏塔的干扰因素分析 ..... 175

7.4.4 精馏塔质量指标的选择 ..... 176

7.4.5 精馏塔的基本控制方案 ..... 178

7.5 化学反应器的控制 ..... 181

7.5.1 化学反应器的控制要求 ..... 181

7.5.2 化学反应器的基本控制方案 ..... 182

7.6 炼油工业生产过程控制 ..... 184

7.6.1 炼油工业概述 ..... 184

7.6.2 常减压生产过程控制 ..... 185

7.6.3 催化裂化生产过程控制 ..... 187

7.6.4 催化重整生产过程控制 ..... 189

本章小结 ..... 191

思考题与习题 ..... 192

参考文献 ..... 193





# 第一篇

# 过程控制原理

本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事过程控制工作的工程技术人员参考。



# 第 1 章

## 过程控制系统的基本概念

### 1.1 引言

所谓过程控制，是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动地调节和控制，使其按照预定的方案达到要求的指标。图 1-1 所示为水箱液位控制系统原理图，该系统实现由液位变送器、液位控制器、控制阀组成的控制装置对水箱的水位进行自动地控制，使其达到规定的液位高度。控制系统的控制过程是：通过液位变送器把测得的水箱水位高度转变为相应的可以传输的电信号，并传送给液位控制器；液位控制器将测得的实际的水位值与其内部设定的水位值进行比较，根据其差值按照一定的规律输出控制信号，使控制阀按控制信号的大小改变阀的开度，即改变水箱的进水量  $Q_i$ ，从而影响水箱的水位，使水位达到给定的高度  $h$ 。

### 1.2 过程控制系统的组成及框图

#### 1.2.1 过程控制系统的组成

现以图 1-1 所示的液位控制系统来说明过程控制系统的组成。

一般过程控制系统的基本组成主要包括：

1) 检测及变送装置——用于测出被控变量（如图 1-1 中的水箱液位）的实际值，并进一步转化为某种便于传送信号的仪器装置。如：检测温度的有测温元件（热电阻、热电偶）

及温度变送器；检测液位、压力的有压力或差压变送器；检测流量的有涡轮流量计等；测量转速的有测速发电机等。

2) 控制器（也称调节器）——接收检测及变送装置送来的被控量的测量信号并与设定信号进行比较，根据比较的结果即偏差的大小，按照一定的控制规律输出控制信号。如：常规仪表中的智能调节仪、集散控制系统中的控制器、可编程序控制器（PLC）中的CPU等。

3) 执行机构——接收控制器发出的控制指令，将其转变为对被控对象实施的控制作用，实现对被控量的控制。如：电动、气动控制阀，可调变压器、电动机及传动机构等。

4) 被控对象——被实施控制作用的设备或装置。如：加热器、换热器、锅炉、反应釜、水箱等。

### 1.2.2 过程控制系统的框图

一个基本的过程控制系统是由以上四大部分组成的，为表明过程控制系统的组成及信号的传递情况，通常将系统的各个部分用方块来表示，即构成过程控制系统的框图。如图1-2所示。

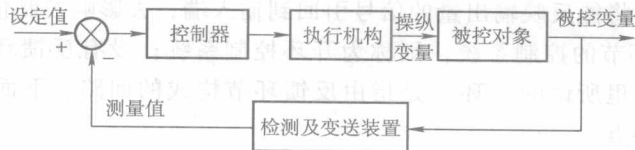


图 1-2 控制系统框图

图 1-1 的系统框图如图 1-3 所示。

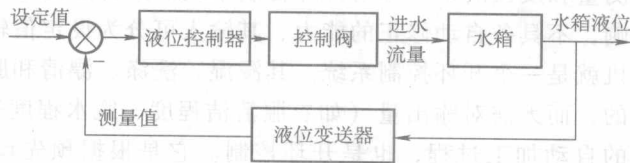


图 1-3 水箱液位控制系统框图

在实际生产过程中，每一部分不一定是由一个设备完成的，可能是由多个装置配合实现某一部分的作用或功能。因此，一个系统的框图的绘制要按实际情况来确定。

### 1.2.3 过程控制系统的相关术语

(1) 被控变量 生产工艺要求维持恒定的物理量，即控制的目标。它是被控对象环节的输量，也是控制系统的输量。如图 1-1 中的被控变量为水箱液位  $h$ 。

(2) 操纵变量 在控制作用下能引起被控变量变化的物理量。它是被控对象环节的输

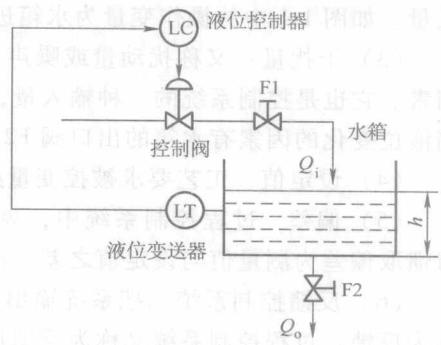


图 1-1 水箱液位控制系统原理图

入量。如图 1-1 中的操作变量为水箱进水流量  $Q_i$ 。

(3) 干扰量 又称扰动量或噪声,是指除了操纵变量以外能引起被控变量变化的一切因素。它也是控制系统的一种输入量,但在控制过程中是要被克服的。如图 1-1 中能引起水箱液位变化的因素有水箱的出口阀 F2 的阻力和进口阀 F1 的阻力等。

(4) 设定值 工艺要求被控变量必须达到的某个数值。它是控制系统的一种输入量。

(5) 偏差 过程控制系统中,规定偏差是设定值与测量值之差。但在仪表制造厂中,习惯取偏差为测量值与设定值之差,需注意两者相差一个负号。

(6) 反馈控制系统 把系统输出信号通过测量及变送装置又引回到输入端,这种做法称为反馈。过程控制系统又称为反馈控制系统。当反馈信号与设定值相减时,称为负反馈。反之,称为正反馈。

### 1.3 过程控制系统的分类

过程控制系统有多种分类方法。可以按被控变量的物理性质如温度、压力、流量、液位等分类,也可按控制器的控制规律来分类,也有按构成控制系统结构的复杂程度来分类等。

通常按照控制系统是否设有反馈环节来进行分类,这样把系统分为两类:开环控制与闭环控制。

#### 1.3.1 开环控制与闭环控制

若通过某种装置将能反映输出量的信号引回到输入端,去影响控制信号,这种作用称为“反馈”。不设反馈环节的控制系統,则称为开环控制系统;设有反馈环节的控制系統,称为闭环控制系统。这里所说的“环”是指由反馈环节构成的回路。下面将概括地介绍这两种控制系统的控制特点。

##### 1. 开环控制

开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,这种没有对被控变量进行测量和反馈的系统称为开环控制系统。其特点是系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响,不具备自动修正的能力,其输入可分为设定值输入和干扰输入。

例如,一般洗衣机就是一个开环控制系统。其浸湿、洗涤、漂清和脱水过程都是依设定的时间程序依次进行的,而无需对输出量(如衣服清洁程度、脱水程度等)进行测量。

又如,普通机床的自动加工过程,也是开环控制。它是根据预先设定的加工指令(切削深度、行程距离)进行加工的,而不去检测其实际加工的程度。

开环控制系统又分两种。一种是按设定值进行控制,如蒸汽加热器,其蒸汽流量与设定值保持一定的函数关系,当设定值变化时,操纵变量随之变化,图 1-4a 为其原理图。另一种是按扰动量进行控制,即所谓前馈控制,如图 1-4b 所示。被控变量的变化没有反馈到控制器的输入端,没有用偏差来产生控制作用影响被控变量。图 1-5 所示为开环系统的框图。

由于开环系统无反馈环节,结构简单,系统稳定性好,成本也低,这是开环系统的优点。因此,在输出量和输入量之间的关系固定,且内部参数或外部负载等扰动因素不大,或这些扰动因素产生的误差可以预计确定并能进行补偿,则应尽量采用开环控制系统。

开环控制的缺点是当控制过程受到各种扰动因素影响时,将会直接影响输出量,而系统

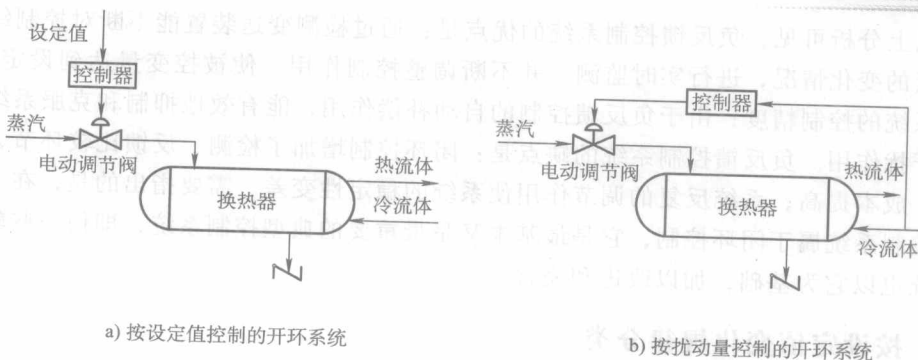


图 1-4 控制系统基本结构

不能自动进行补偿。特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时，开环控制系统便无法满足技术要求，这时就应考虑采用闭环控制系统。

## 2. 闭环控制

闭环控制是将输出量直接或间接反馈到输入端形成闭环，参与控制的控制方式，是一种系统的输出信号对控制作用有直接影响的控制方式。若由于干扰的存在，使得系统实际输出偏离期望输出，系统自身便利用负反馈产生的偏差所取得的控制作用再去消除偏差，使系统输出量恢复到期望值上，这就是反馈工作原理。可见，闭环控制具有较强的抗干扰能力。图 1-1 的水箱液位控制系统和图 1-6 的换热器热流体出口温度控制系统都是闭环控制系统。

图 1-6 所示换热器热流体出口温度控制系统的控制原理是：通过测温元件检测出换热器热流体出口的温度，控制器将设定值与温度变送器送来的实际测量到的温度信号进行比较，根据设定值与测量值的偏差的大小输出控制信号，以改变控制阀的开度，增大或减少送入换热器蒸汽的流量，使热流体的温度达到设定值的要求。换热器热流体出口温度控制系统框图如图 1-7 所示。

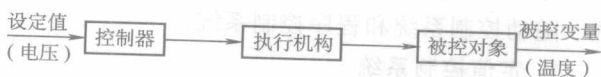


图 1-5 开环控制框图

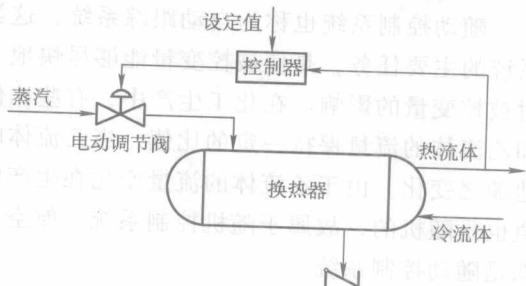


图 1-6 换热器热流体出口温度控制系统

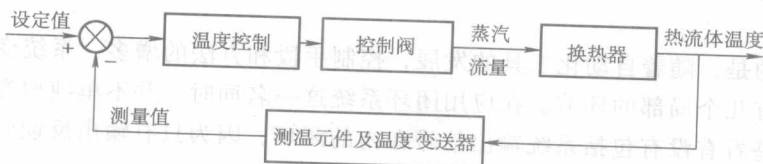


图 1-7 换热器热流体出口温度控制系统框图

由以上分析可见,负反馈控制系统的优点是:通过检测变送装置能不断对控制结果——被控变量的变化情况,进行实时监测,并不断调整控制作用,使被控变量达到设定值要求,提高了系统的控制精度;由于负反馈控制的自动补偿作用,能有效地抑制和克服系统外部或内部的干扰作用。负反馈控制系统的缺点是:闭环控制增加了检测、反馈比较环节,系统结构复杂,成本提高;系统反复的调节作用使系统的稳定性变差。需要指出的是,在工程上大多数的控制系统属于闭环控制,它是最基本又是最重要的典型控制系统,即使一些较复杂的控制系统也以它为基础,加以改进和完善。

### 1.3.2 按设定值变化规律分类

除了按结构对控制系统分类外,通常还按设定值对应时间变化规律分类为: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

所谓定值控制系统,是指这类控制系统的设定值是恒定不变的。如图1-4b所示的蒸汽换热器在工艺上要求热流体的出口温度按设定值保持不变,因而它是一个定值控制系统。定值控制系统的基本任务是克服扰动对被控变量的影响,即在扰动作用下仍能使被控变量保持在设定值或在允许范围内。化工生产领域里的自动控制系统,凡要求工艺条件不变的,都属于这种范畴。

#### 2. 随动控制系统

随动控制系统也称为自动跟踪系统,这类系统的设定值是一个未知的变化量。这类控制系统的主要任务,是使被控变量能够尽快地、准确无误地跟踪设定值的变化,而不考虑扰动对被控变量的影响。在化工生产中,有些比值控制系统就属于此类。例如要求甲流体的流量和乙流体的流量保持一定的比值,当乙流体的流量变化时,要求甲流体的流量能快速而准确地随之变化。由于乙流体的流量变化在生产中可能是随机的,所以相当于甲流体的流量设定值也是随机的,故属于随机控制系统。航空中的导航雷达系统、电视台的天线接收系统,也都是随动控制系统。

#### 3. 程序控制系统

程序控制系统也称顺序控制系统。这类控制系统的设定值也是变化的,但它是已知的时间函数,即设定值按预定的时间程序变化,被控变量自动跟踪设定值。在化工生产中,如间歇反应器的升温控制、食品工业中的罐头杀菌温度控制、造纸中纸浆蒸煮的温度控制、机械工业中的退火炉温度控制以及工业炉、干燥窑等周期作业的加热设备控制等。在这类生产过程中,要求按工艺规程规定随时间变化的函数,如具有一定的升温时间、保温时间和降温时间等。程序控制的设定值按程序自动改变,系统按设定程序自动运行,直到整个程序完成为止。

值得注意的是,随着自动化工具的发展,控制手段和方法的增多,系统变复杂了,往往在一个系统中有几个局部的环节。在应用闭环系统这一名词时,并不单纯地看系统中有没有一个闭环,而是看有没有包括系统输出信号在内的闭环,因为只有输出反馈到设定值所构成的闭环才会对改进系统质量最直接最有效。

## 1.4 过程控制系统的性能要求

### 1.4.1 过程控制系统的过渡过程

当系统的设定值不变,也没有干扰作用在系统上时,系统各组成部分的输入输出信号保持不变,使系统的被控变量也恒定不变,我们把被控变量不随时间变化的平衡状态称为系统的稳态,它是一种动态的平衡;把被控变量随时间变化的不平衡状态称为系统的动态。

系统从一个平衡状态过渡到另一个新的平衡状态的过程称为系统的过渡过程,即系统的控制过程。

### 1.4.2 过程控制系统的过渡过程的几种形式

生产过程中总是希望被控变量保持不变,然而这是很难办到的。原因是干扰的客观存在,扰动没有固定的形式,是随机发生的。为了分析和设计控制系统时方便,常采用形式和大小固定的扰动信号来描述扰动过程,其中最常用的是阶跃干扰。系统受到干扰后,被控变量就要变化。典型过渡过程有图 1-8 所示的几种形式。

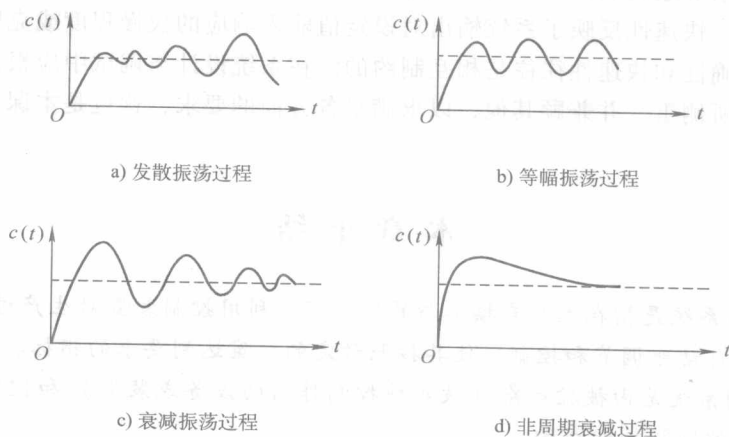


图 1-8 过渡过程的几种基本形式

图 1-8a 为发散振荡过程,它表明这个控制系统在受到阶跃干扰作用后,非但不能使被控变量回到设定值,反而使它越来越剧烈地振荡起来。显然,这类过渡过程的控制系统不能满足生产要求,严重时会引起事故。

图 1-8b 为等幅振荡过程,它表示系统受到阶跃干扰后,被控变量将作振幅恒定的振荡而不能稳定下来。因此,除了简单的位式控制外,这类过渡过程一般也是不允许的。

图 1-8c 所示为衰减振荡过程,它表明被控变量经过一段时间的衰减振荡后,最终能重新稳定下来。这是我们所希望的。

图 1-8d 所示为非周期衰减过程即单调过程,它表明被控变量最终也能稳定下来,但由于被控变量达到新的稳定值的过程太缓慢,而且被控变量长期偏离设定值一边,一般情况下工艺上也是不允许的,而只有工艺不允许被控变量振荡时才采用。

总之,对自动控制系统过渡过程的要求,首先是稳定,其次,应是一个衰减振荡过程。



衰减振荡过渡过程时间较短,而且容易看出被控变量的变化趋势。在大多数情况下,要求自动控制系统过渡过程是一个衰减振荡的过渡过程。

### 1.4.3 过程控制系统的性能指标

过程控制系统的性能指标通常是指系统的稳定性、准确性和快速性。现分别介绍如下。

#### 1. 稳定性

稳定性是指系统受到外部作用(干扰作用或是设定值改变)后其被控变量偏离了原来的设定值,经过系统的调节作用使被控变量恢复到原来的值或是达到某一新的稳定值,这样的系统就被认为是稳定的,反之是不稳定的。通常稳定系统的过渡过程为衰减振荡过程,最终趋于新的稳态。这是工程上对一个实际可投运的过程控制系统最基本的要求。

与稳定性相应的系统性能指标是:衰减比  $n$  和超调量  $\sigma$  (这部分将在第3章讲述)。

#### 2. 准确性

准确性是用系统稳定时被控变量与设定值之间的差值  $C$  (余差) 来表示,它反映了系统的稳态精度。若系统的余差为零,则称为无差系统,否则称为有差系统。

#### 3. 快速性

快速性是用系统过渡过程时间的长短来表征的。过渡过程时间越短,表明快速性越好,反之快速性较差。快速性反映了系统输出对设定值输入响应的快慢程度或克服干扰的能力。

稳定性、准确性和快速性往往是相互制约的。在系统设计与调试中应根据具体情况,对三方面的性能有所侧重,并兼顾其他,以求满足各方面的要求,这也是本课程所要研究的主要内容。

## 本章小结

1. 过程控制系统是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动地调节和控制,使其按照预定的方案达到要求的指标。

2. 过程控制系统是由被控对象(被实施控制作用的设备或装置)和控制装置(测量变送器、控制器、控制阀)组成的。

3. 开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,是一种没有对被控变量进行测量和反馈的控制系统。闭环控制是将输出量直接或间接反馈到输入端形成闭环、参与控制的控制方式,是一种系统的输出信号对控制作用有直接影响的控制系统。

4. 对过程控制系统有三个基本要求,即稳定性、快速性、准确性。

## 思考题与习题

1-1 一个典型的过程控制系统由哪些环节组成?它们在系统中各起着什么作用?

1-2 指出下列系统中哪些属于开环控制?哪些属于闭环控制?

(1) 家用电冰箱 (2) 家用空调 (3) 抽水马桶

(4) 全自动洗衣机 (5) 电饭煲 (6) 多速电风扇

1-3 什么是控制系统的过渡过程?研究过渡过程有什么意义?

1-4 根据系统原理图画系统框图。

(1) 画出图 1-9 所示水箱单容液位定值控制系统的系统框图。

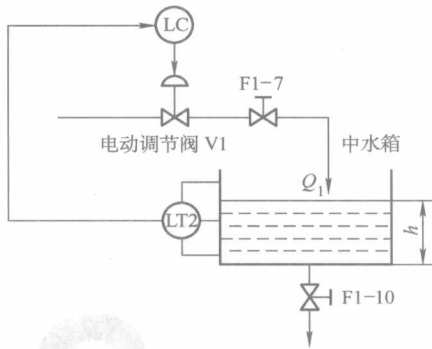


图 1-9 水箱单容液位定值控制系统

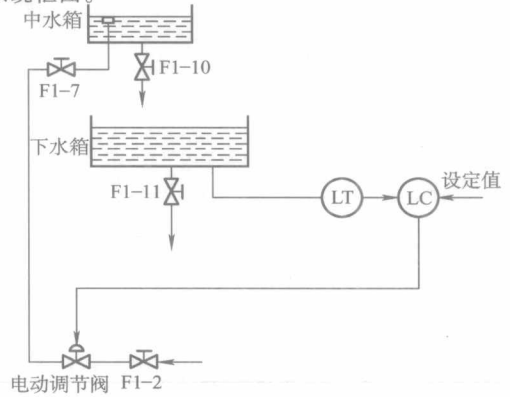


图 1-10 双容液位定值控制系统

(2) 画出图 1-10 所示双容液位定值控制系统的系统框图。

(3) 画出图 1-11 所示单闭环流量控制系统的系统框图。

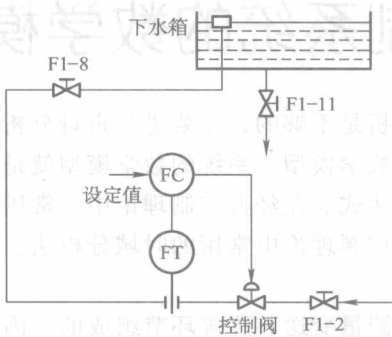


图 1-11 单闭环流量控制系统

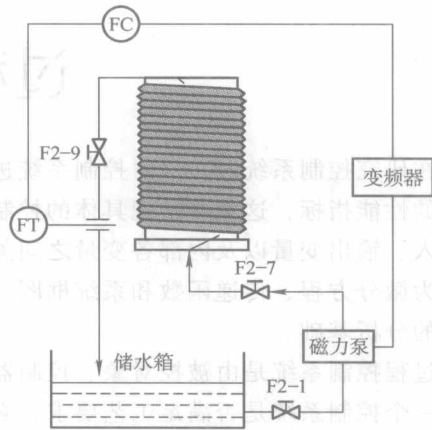


图 1-12 盘管流量纯滞后控制系统

(4) 画出图 1-12 所示盘管流量纯滞后控制系统的系统框图。

# 第 2 章

## 过程控制系统的数学模型

在研究控制系统时，只对控制系统进行定性的分析是不够的，还要进行定量分析和计算系统的性能指标，这就要求把具体的控制系统抽象成数学模型。系统的数学模型就是描述系统输入、输出变量以及内部各变量之间关系的数学表达式。在经典控制理论中，常用的数学模型为微分方程、传递函数和系统框图。它们是经典控制理论中常用的时域分析法、频率分析法的分析基础。

过程控制系统是由被控对象、控制器、控制阀及测量变送装置等环节组成的。因而要想分析一个控制系统是否满足工艺要求，必须知道系统所包含每个组成环节的特性，即描述其输入和输出之间关系的数学模型。控制器、控制阀和测量元件等环节的特性，是由制造厂家根据功能、规格要求确定的，如控制器的控制规律和特性可根据不同的被控对象进行选择。而过程控制系统中的被控对象千差万别，如化工生产中，常见的被控对象就有各类换热器、精馏塔、流体输送设备和化学反应器等。此外，在一些辅助系统中，气源、热源及动力设备（如空气压缩机、蒸汽锅炉、电动机等）也可能是需要控制的对象。因此在系统的数学模型中，建立被控对象的数学模型是重点和难点。

### 2.1 建立被控对象的数学模型

描述系统的输出量与输入量之间关系的微分方程是系统最基本的数学模型。

建立微分方程的一般步骤是：

- 1) 确定输出量和输入量。
- 2) 从输入端开始，根据相应的物理规律，依次列写各环节的方程式。