

浙 江 省 重 点 建 设 教 材

# 过程控制与

主 编 高志宏  
副主编 丁洪起  
左希庆  
刘恒娟

# 自动化仪表



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

过程控制与

自动化仪表



PLC 应用案例

TH86  
432

浙江省重点建设教材

# 过程控制与自动化仪表

主 编 高志宏

副主编 丁洪起 左希庆 刘恒娟

浙江大學出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

过程控制与自动化仪表 / 高志宏主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-308-04792-X

I. 过... II. 高... III. ①过程控制—高等学校—教材②自动化仪表—高等学校—教材 IV. ①TP273②TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 068196 号

**过程控制与自动化仪表**

主 编 高志宏

副主编 丁洪起 左希庆 刘恒娟

---

责任编辑 张 真

封面设计 张作梅

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 浙江大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16.25

字 数 416 千

版 次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数 0001—4500

书 号 ISBN 7-308-04792-X/TP·299

定 价 26.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

# 前 言

《过程控制与自动化仪表》是高职自动化专业一门重要的专业课程,它是以控制理论为基础,以控制仪表为工具,实现对生产过程或设备自动控制的技术。作为一门工程应用技术,它不仅要求一定的理论基础、知识覆盖面广,同时应具备很强的实践技能。前置课程有“电子技术”、“过程检测技术”、“微机原理与应用”和“自动控制原理”等。

经过近半个多世纪的发展,自动化仪表已向电子化、微型化、数字化和智能化的方向发展;过程控制系统从传统的仪表控制系统迅速被计算机集散控制系统和现场总线控制系统所取代。产品更新换代之快、品种规格之多,真有眼花缭乱之感。如何合理组织自动化仪表课程的教学内容,以及如何开展好该课程的教学活动,成为目前高职自动化专业教学中共同关心和研究的问题。湖州职业技术学院自2003年对自动化仪表的课程教学进行了改革,其间得到了省重点建设教材和省精品课程建设项目的资助。3年的改革教学实践表明,改革后的教学质量有所提高,效果较好。在这基础上编写了本教材,它有如下特点:

(1)过程控制技术与自动化仪表的有机结合。

自动化仪表的应用是与控制系统紧密相连的,两者的有机结合,不仅可提高学生的学习兴趣,帮助仪表知识的理解与掌握,更便于理论联系实际。

(2)强调基本、注重典型性。

相比于同类教材,教学内容删减了近40%,着眼于应用,突出基本技能的培养。而对典型产品的应用分析较为详细,以贯通技术应用主线,达到举一反三的目的。

(3)突出实践技能。

根据高职学生培养目标的特点,在“理论够用”的原则下,强化概念,突出应用,尽量避免繁琐的公式推导;对仪表的调校、使用、故障分析处理和维修等实践性很强的知识进行了详细阐述,以增强学生分析问题和解决问题的能力。

本书由高志宏副教授主编,并编写了第六、七、八章,丁洪起编写第三、四章,刘恒娟编写第一章,左希庆编写第二章,全书由高志宏统稿,浙江工业大学的王万良教授主审,并提出不少宝贵的建议。

本书在编写过程中曾广泛参考了有关单位和个人编写的书刊资料,在此深表谢意。

由于作者水平有限,难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 过程控制技术基础</b> .....	1
<b>第一节 概 述</b> .....	1
一、过程控制系统的组成与分类 .....	1
二、控制系统品质指标 .....	3
<b>第二节 对象特性及建模</b> .....	5
一、概述 .....	5
二、典型对象特性及数学描述 .....	6
<b>第三节 对象的实验测定</b> .....	14
一、概述.....	14
二、动态特性的时域测定方法.....	15
三、试验结果的数据处理.....	16
<b>第 2 章 基本控制规律</b> .....	20
<b>第一节 位式控制</b> .....	20
一、双位控制.....	20
二、具有中间区的双位控制.....	21
三、多位控制.....	22
<b>第二节 比例控制</b> .....	23
一、比例控制规律.....	23
二、比例度及其对控制过程的影响.....	24
<b>第三节 积分控制及比例积分控制</b> .....	26
一、积分控制规律.....	26
二、比例积分控制规律.....	27
三、积分时间及其对过渡过程的影响.....	28
<b>第四节 微分控制及比例微分控制</b> .....	29
一、微分控制规律.....	29
二、比例微分控制规律.....	31
三、实际比例微分控制规律及微分时间.....	32
<b>第五节 比例积分微分控制规律</b> .....	33
<b>第 3 章 控制系统</b> .....	36
<b>第一节 简单控制系统</b> .....	36

一、简单控制系统的组成	36
二、控制器参数的工程整定	40
第二节 复杂控制系统	43
一、串级控制系统	43
二、比值控制系统	47
三、前馈控制系统	50
四、选择性控制系统	53
第三节 新型控制系统*	55
一、自适应控制系统	55
二、模糊控制系统	57
三、分级分布计算机控制系统	59
<b>第4章 自动化仪表概论</b>	<b>64</b>
第一节 过程控制仪表的发展和分类	64
一、过程控制仪表的发展	64
二、过程控制仪表的分类	65
第二节 安全防爆的基本知识和防爆措施	67
一、安全防爆的基本知识	67
二、本质安全型防爆仪表和防爆系统	68
三、安全栅	69
<b>第5章 变送器</b>	<b>72</b>
第一节 变送器的构成原理	72
一、构成原理	72
二、变送器的量程调整、零点调整和零点迁移	73
第二节 差压变送器	74
一、矢量机构式差压变送器	74
二、电容式差压变送器	81
三、差压变送器的应用	86
第三节 温度变送器	89
一、概述	89
二、直流毫伏变送器	89
三、热电偶温度变送器	92
四、热电阻温度变送器	96
五、安全火花型防爆措施	98
第四节 新型温度变送器	98
一、一体化温度变送器	98
二、智能温度变送器	100
第五节 变送器的调校、使用与维护	102
一、力平衡式差压变送器的调校、安装和维护	102

二、1151 系列差压变送器的调校、安装和维护 .....	106
三、温度变送器的调校及维护 .....	111
<b>第 6 章 模拟式调节器</b> .....	<b>119</b>
<b>第一节 DDZ-III 型调节器</b> .....	<b>119</b>
一、概述 .....	119
二、基本原理与结构 .....	120
三、DDZ-III 型调节器主要部分 .....	122
<b>第二节 DDZ-III 型调节器的典型应用</b> .....	<b>128</b>
一、一般调节系统中的应用 .....	130
二、安全火花型防爆系统中的应用 .....	130
三、复杂控制系统中的应用 .....	131
<b>第三节 调节器的调校、使用与维护</b> .....	<b>134</b>
一、基型调节器的调校 .....	134
二、基型调节器的使用 .....	136
三、基型调节器的维护 .....	137
四、基型调节器的故障检查分析 .....	138
<b>第 7 章 数字控制仪表</b> .....	<b>140</b>
<b>第一节 单回路控制器概述</b> .....	<b>141</b>
<b>第二节 单回路控制器的基本原理</b> .....	<b>142</b>
一、硬件系统 .....	142
二、软件系统 .....	145
三、PID 控制算法 .....	147
<b>第三节 SLPC * E 单回路控制器</b> .....	<b>152</b>
一、SLPC * E 的结构和原理 .....	152
二、功能模块 .....	162
三、控制模块的功能 .....	173
四、用户程序的写入和调试 .....	188
五、用户程序编程实例 .....	192
六、专家化自整定功能 .....	198
<b>第 8 章 执行器</b> .....	<b>206</b>
<b>第一节 概 述</b> .....	<b>206</b>
一、执行器的分类及特点 .....	206
二、执行器的组合方式 .....	206
三、执行器的基本结构 .....	207
<b>第二节 执行机构</b> .....	<b>208</b>
一、电动执行机构 .....	208
二、气动执行机构 .....	211
三、阀门定位器 .....	212



第三节 调节阀	215
一、调节机构的种类	215
二、调节阀的流量系数	218
三、调节阀的流量特性	227
第四节 执行器的选择	229
一、执行器结构型式的选择	229
二、调节阀的流量特性选择	233
三、调节阀的口径选择	234
第五节 气动调节阀的性能测试	239
一、气动调节阀的性能指标	239
二、气动薄膜调节阀性能测试方法	239
三、调节阀(附阀门定位器)现场校准	241
第六节 气动调节阀的安装与维护	243
一、调节阀的安装	243
二、调节阀的维护	244
参考文献	247
附录一 气动薄膜直通单、双座调节阀基本参数	248
附录二 国产调节阀系列产品及型号	249
附录三 气体的物理性质表	251
附录四 液体的物理性质表	252

# 过程控制技术基础

## 第一节 概 述

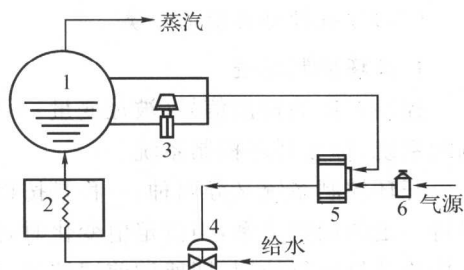
控制技术是以自动控制理论为基础,以生产过程(设备或装置)为对象,应用工业自动化仪器仪表来实现自动控制的技术。自动控制技术的应用范围很广,可分为断续过程控制(如加工过程自动化、电气传动控制系统、数控技术等)和连续过程控制。本书所介绍的自动控制系统,从其结构与基本原理来说,主要是定值的反馈控制系统,而从其应用范围来说,主要是连续生产过程中的过程控制系统。

### 一、过程控制系统的组成与分类

#### (一)过程控制系统的组成

在石油、化工等生产中,对各个工艺生产过程中的物理量(或称工艺参数)都有一定的控制要求。有些工艺参数直接表征生产过程,对产品的产量和质量起着决定性的作用。如化学反应器的反应温度必须保持平稳,才能使效率达到最佳指标等。而有些参数虽不直接影响产品的产量和质量,然而保持它平稳却是使生产获得良好控制的先决条件。如用蒸汽加热反应器或再沸器,若蒸汽总管压力波动剧烈,要把反应温度或塔釜温度控制好是很困难的。还有些工艺参数是决定生产工厂的安全问题,如受压容器的压力等,不允许超过最大的控制指标,否则将会发生设备爆炸等严重事故,危及工厂的安全等。对以上各种类型的参数,在生产过程中都必须加以必要的控制。

图 1-1 设置了一个水位自动控制系统,它由气动单元组合仪表组成。图中检测元件与变送器的作用是检测水位高低,当水位高度与正常给定水位之间出现偏差时,调节器就会立刻根据偏差的大小去控制给水阀门(开大或关小),使水位回到给定值上,从而实现了锅炉水



1——汽包;2——加热室;3——变送器;  
4——调节阀;5——控制器;6——定值器

图 1-1 锅炉水位自动控制示意图

位的自动控制。

自动控制系统由被控对象、检测元件(包括变送器)、调节器和调节阀4部分组成。自动控制系统组成的方块图如图1-2所示。

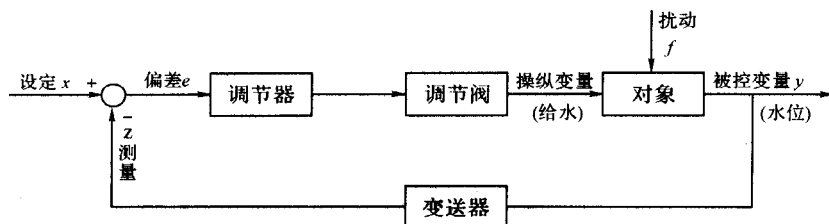


图 1-2 锅炉水位控制系统方块图

控制系统中常用的名词术语如下。

- (1)被控对象:需要实现控制的设备、机器或生产过程,称为被控对象,例如锅炉。
- (2)被控变量:对象内要求保持设定值(接近恒定值或按预定规律变化)的物理量,称为被控变量,如锅炉水位。
- (3)操纵变量:受调节器操纵,用以使被控变量保持设定值(给定值)的物料量或能量,称为操纵变量,如锅炉给水。
- (4)干扰(扰动):除操纵变量以外,作用于对象并能引起被控变量变化的因素,称为干扰或扰动。负荷变化就是一种典型的扰动,如蒸汽用量的变化对锅炉水位控制是一种典型干扰。
- (5)设定值(给定值):被控变量的目标值(预定值),称为设定值。
- (6)偏差:偏差理论上应该是被控变量的设定值与实际值之差。但是能够直接获取的是被控变量的测量值信号而不是实际值,因此,通常把给定值与测量值之差称为偏差。

## (二)过程控制系统的分类

### 1. 开环控制系统

控制系统的输出信号(被控变量)不反馈到系统的输入端,因而也不对控制作用产生影响的系统,称为开环控制系统。

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1-3(a)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1-3(b)所示。在蒸汽加热器中,若负荷为主要干扰,如果使蒸汽流量与冷流体流量保持一定的函数关系,当扰动出现时,操纵变量随之变化。

### 2. 闭环控制系统

从图1-2方块图可以看出,系统的输出(被控变量)通过测量变送环节,又返回到系统的输入端,与给定信号比较,以偏差的形式进入调节器,对系统起控制作用,整个系统构成了一个封闭的反馈回路,这种控制系统被称为闭环控制系统,或称反馈控制系统。如在蒸汽加热器的出口温度控制系统中,温度调节器接受检测元件及变送器送来的测量信号,并与设定值相比较,根据偏差情况,按一定的控制规律调整蒸汽阀门的开度,以改变蒸汽量,其原理图如图1-3(c)所示。

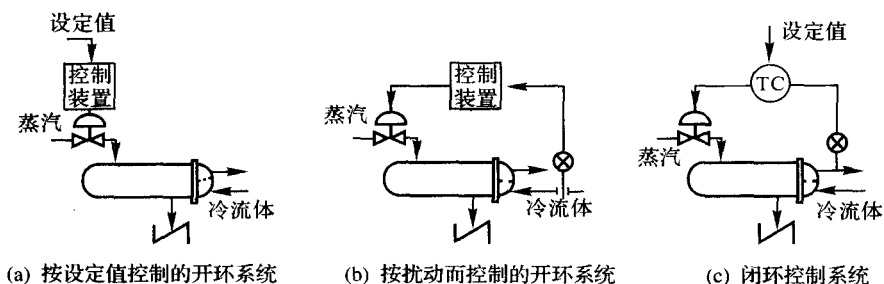


图 1-3 控制系统的基本结构

在闭环控制系统中,按照设定值的情况不同,又可分为 3 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。如蒸汽加热器在工艺上要求出口温度按给定值保持不变,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(给定值)或在允许范围内。

### (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。

### (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,但它是时间的已知函数,即设定值按一定的时间顺序变化。在化工生产中,如间歇反应器的升温控制系统就是程序控制系统。

## 二、控制系统品质指标

闭环控制系统的品质指标主要由过渡过程性能反映。

### (一) 闭环控制系统的过渡过程

一个处于平衡状态的自动控制系统在受到扰动作用后,被控变量发生变化;与此同时,控制系统的控制作用将被控变量重新稳定下来,并力图使其回到设定值或设定值附近。一个控制系统在外界干扰或给定干扰作用下,从原有稳定状态过渡到新的稳定状态的整个过程,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。

在阶跃干扰作用下,控制系统的过渡过程有如图 1-4 所示的几种形式。图 1-4(b)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是不能满足生产要求的。图 1-4(c)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 1-4(d)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。图 1-4(e)所示为非周期衰减过程,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,而只有工艺允许被控变量不能振荡时才采用。

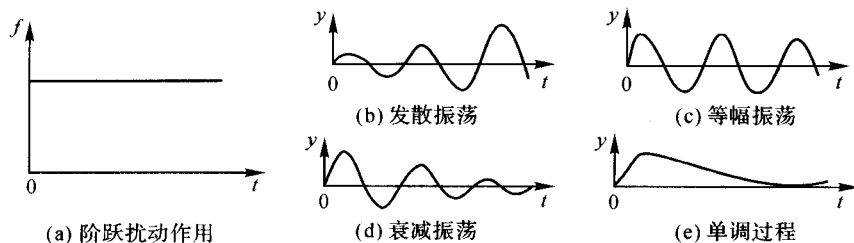


图 1-4 过渡过程的几种基本形式

### (二) 过渡过程的质量指标

从以上几种过渡过程情况可知,一个合格的、稳定的控制系统,当受到外界干扰以后,被控变量的变化应是一条衰减的曲线。图 1-5 表示了一个定值调节系统受到外界阶跃干扰以后的过渡过程曲线,对此曲线,用过渡过程质量指标来衡量控制系统的好坏时,常采用以下几个指标。

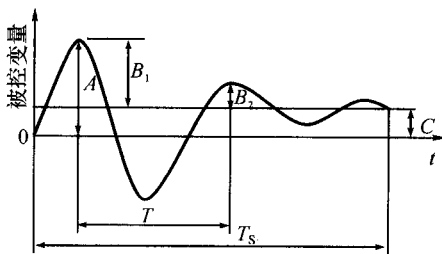


图 1-5 一个控制系统的过渡过程

① 衰减比 是表征系统受到干扰以后,被控变量衰减程度的指标。其值为前后两个相邻峰值之比,即图 1-5 中的  $B_1/B_2$ ,一般希望它能在 4:1 到 10:1 之间。

② 余差 是指控制系统受到干扰后,过渡过程结束时被控变量的残余偏差。即图中的  $C$ 。 $C$  值也就是被控变量在扰动后的稳态值与设定值之差。控制系统的余差要满足工艺要求,有的控制系统工艺上不允许有余差,即  $C=0$ 。

③ 最大偏差 表示被控变量偏离给定值的最大程度。对于一个衰减的过渡过程,最大偏差就是第一个波的峰值,即图中的  $A$  值。 $A$  值就是被控变量所产生的最大动态偏差。对于一个没有余差的过渡过程来说, $A=B_1$ 。

④ 过渡过程时间 又称调节时间,它表示从干扰产生的时刻起,直至被控变量建立起新的平衡状态为止的这段时间,图中以  $T_s$  来表示。过渡过程时间愈短愈好。

⑤ 振荡周期 被控变量相邻两个波峰之间的时间叫振荡周期。图中以  $T$  来表示。在衰减比相同的条件下,周期与过渡时间成正比,因此一般希望周期也是愈短愈好。

### (三) 误差性能指标

生产过程中有各种控制对象,它们对控制器的特性有不同的要求,选择适当的控制规律和整定其参数,使控制器性能和控制对象配合好,以便得到最好的控制效果。现在的问题是控制效果怎样才是“最佳”的,也就是说,将用什么标准来确定控制器的“最佳”整定参数。由于各种生产过程的要求不同,因此标准是不一样的。但在一般情况下,可以根据控制系统在阶跃干扰作用下过渡过程来判定控制效果。总的来说,对控制系统可以提出稳定性、准确性和快速性三个方面要求,而这三方面往往又互相矛盾的。稳定性总是首先要考虑的因素,一般都要求被控量的波动具有一定的衰减率(衰减率  $\psi = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\%$ ),例如 0.75 或更高。

也就是经过一个到两个振荡周期以后就看不出波动了,在稳定的前提下尽量满足准确性和快速性的要求。

典型最佳控制系统的标准是:在阶跃的干扰作用下,保证调节过程波动的衰减率 $\psi=0.75$ 或更高的前提下,使过程的最大动态偏差、静态偏差和调节时间最小。

为评定误差和调节时间最小,常采用一种误差绝对值积分指标来衡量,它是稳态值为基准来定义误差

$$\epsilon(t) = y(\infty) - y(t) \quad (1-1)$$

并用积分

$$IAE = \int_0^{\infty} |\epsilon(t)| dt = \min \quad (1-2)$$

综合表示整个过渡过程中动态误差的大小。上式定积分代表图 1-6 中划线部分的总面积。它的意义是,在过渡过程中被控量的偏差(不分正负)对于时间的累积数值愈小愈好。这个积分综合表示了偏差的大小和持续的时间,所以积分面积最小表示偏差小和过程快。

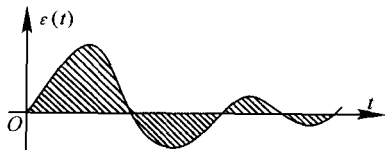


图 1-6 误差绝对值对时间的积分

除了以上误差绝对值积分指标外,还有采用其他的积分指标,如希望误差平方积分最小等,现将常用的误差性能指标列于表 1-1 中。

表 1-1 误差性能指标

名 称	表 达 式	备 注
平方误差积分指标(ISE)	$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt$	积分下限是过渡过程开始的时间,积分上限 $\infty$ 可以由选择足够大的时间 $t_s$ 来代替,当 $t > t_s$ , $e(t)$ 足够小,可以忽略。
时间乘平方误差积分指标(ITSE)	$ITSE = \int_0^{\infty} te^2(t) dt$	
绝对误差积分指标(IAE)	$IAE = \int_0^{\infty}  e(t)  dt$	
时间乘绝对误差积分指标(ITAE)	$ITAE = \int_0^{\infty} t  e(t)  dt$	

## 第二节 对象特性及建模

### 一、概述

设计一个自动控制系统应首先对调节对象作全面分析与测定,它是确定控制方案的依据和基础。在工业生产中,不同生产部门的调节对象其原理与结构千差万别,特性也相差很大。有的对象很稳定,操作很方便;有的对象则不然,只要稍不小心就会超过正常工艺条件,甚至造成事故。有经验的操作人员通常都很熟悉这些对象的特性,才能使生产操作得心应手,获得高产、优质、低消耗的成果。在自动控制系统设计与操作中,也必须深入了解对象的特性,分析其内在的作用规律,才能根据工艺要求,设计出合理的控制方案。往往对调节对

象特性的深入理解意味着卓越的崭新控制方案的诞生。而在控制系统投入运行时,也是根据对象特性选择合适的控制器参数,才能充分发挥自动控制系统的作用,使系统的控制品质接近最优化。

对象特性是指对象的输出参数和输入参数之间的相互作用规律。依据对象所处状态不同,对象特性又可分为静态特性和动态特性。静态特性描述的是对象的输入参数和输出参数达到平衡时的相互关系。动态特性描述的是对象的输出参数在输入参数影响下的变化过程。因此,静态特性是动态特性在达到平衡状态时的一个特例。

将对象特性用数学表达式进行描述就称为对象的数学模型。对象的数学模型对自动控制系统具有重要意义。它使我们能定量地分析各个工艺变量间的内在作用规律、相互影响程度和整个系统的经济指标,从而为设计出最佳控制方案创造了条件。特别是一些比较复杂的控制方案设计,例如前馈控制、计算机最优控制等更是离不开对象特性的模型研究。

对象特性的研究一般有两种方法,对于简单的对象或系统各环节的特性,可以通过分析过程的机理、物料或能量平衡关系求得数学模型,即对象动态特性的微分方程式,这种方法称为机理分析法。但是,复杂对象的微分方程式很难建立,也不容易求解。所以,另一种方法是通过实验测定,对获得的数据进行科学处理而求得对象的微分方程式或传递函数,这种方法称为实验测定法。本章就两种对象特性分析方法进行讨论,而重点是实验测定法。

对象特性的机理分析法的最基本关系是物料平衡和能量平衡。在静态条件下,其关系是:单位时间流入对象的物料或能量等于从系统中流出的物料或能量。然而,在动态条件下,物料平衡和能量平衡的关系是:单位时间内进入系统的物料(能量)与单位时间内流出的物料(或能量)之差等于系统内物料(或能量)贮存量的变化率。

在研究对象的特性时,应该预先指明对象的输入参数是什么,输出参数是什么,因为对于同样一个对象,输入参数或输出参数不相同,它们间的关系也不相同的。一般来说,对象的被控变量是它的输出参数,干扰作用和控制作用是它的输入参数,干扰作用和控制作用都是引起被控变量变化的因素。

下面以典型环节的对象微分方程式的推导为例,说明对象特性的基本分析方法,并从中阐明对象的某些基本性质,如容量、阻力、放大系数、时间常数及自衡特性等。

## 二、典型对象特性及数学描述

在工业生产中,不同的生产部门其调节对象是千差万别的,但就热工、化工生产过程中常遇到的对象——换热器、流体输送设备、水槽等为例,进行特性分析,它们大都可由单容、双容、纯滞后这几种简单环节组合而成。因此,讨论这几种典型环节的特性,就具有普遍意义。

### (一)单容对象

#### 1. 无自衡

图 1-7 是一个水位对象,水经过阀门 1 不断流入水槽,改变阀门 1 的开度即可改变水的流入量。水槽内的水通过计量泵排出恒定的流量。工艺上要求水槽的水位  $h$  保持一定数值。在这里,水槽是调节对象,水位  $h$  就是被控变量,输入流量  $Q_1$  是调节作用,而输出流量  $Q_2$  是外部扰动作用。根据物料平衡关系,水槽所容纳流体数量(流量累积量)的变化速度等于输入流量和输出流量之差。

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - Q_o \quad (1-3)$$

式中  $V$ ——累积量；

$Q_i$ ——输入流量；

$Q_o$ ——输出流量。

如果水槽横截面恒定，则上式可定为：

$$A \frac{dh}{dt} = Q_i - Q_o \quad (1-4)$$

式中  $h$ ——水位；

$A$ ——横截面积。

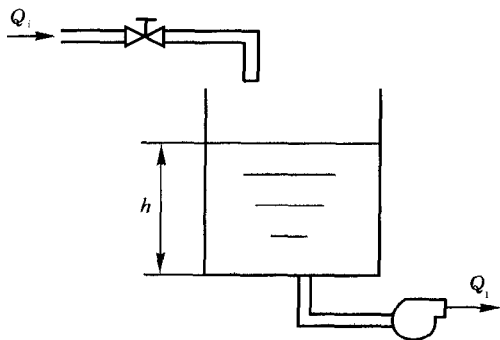


图 1-7 无自衡特性水槽

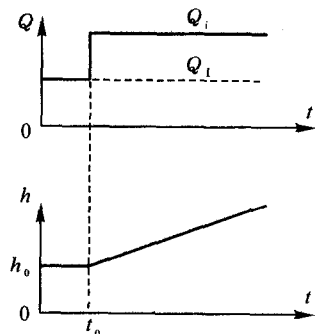


图 1-8 无自衡特性水槽的飞升曲线

因而

$$h = \frac{1}{A} \int (Q_i - Q_o) dt \quad (1-5)$$

这是积分过程。设初始条件： $h(0) = h_0, \dot{h}(0) = 0$ ，其阶跃响应如图 1-8 所示。

对(1-4)式进行拉氏变换得到：

$$AsH(s) = Q_i(s) - Q_o(s) \quad (1-6)$$

由于输出流量  $Q_o$  是定值，其变化量为 0。考虑到自控系统中各个变量总是在它们的额定值附近作微小变化，而我们关心的只是这些量的变化值，因此在推导方程时将  $Q_o$ 、 $Q_i$ 、 $h$  代表它们偏离初始平衡状态的变化值(增量)，根据式(1-6)，可求得输出变量  $h(s)$  对输入参数  $Q_i(s)$  的传递函数为：

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{As}$$

写成一般形式

$$G(s) = \frac{1}{Ts} \quad (1-7)$$

式中  $T$ ——积分时间常数。

相应的频率特性为

$$G(j\omega) = \frac{1}{jT\omega} = -\frac{j}{T\omega} \quad (1-8)$$

由上式可知，积分过程会产生  $90^\circ$  的相滞角。



图 1-7 中水槽水位可以通过手动调整阀位改变流入量来进行控制。但由于它是个积分过程,当流入量和流出量之间稍有差异,则水槽最终或者满溢或者被抽干。这种特性称为无自衡。无自衡过程在没有自动控制情况下,不允许长时间没有人照管。大多数水位对象都无自衡能力,因而在给工艺流程配置控制系统时,一般都应为水位对象设置一个控制回路。

## 2. 有自衡

将图 1-7 中的计量泵改为一般手动阀门(见图 1-9),则对象的动态特性将不同于无自衡时的特性。当输入流量  $Q_i$  变化造成水槽中的水位  $h$  增加时,使得作用在流出阀上的压头增高,并导致输出流量的增长,这种增长将最终使输出流量  $Q_o$  与输入流量  $Q_i$  再次相等为止。对象在扰动作用破坏其平衡工况后,在没有操作人员或调节器的干预下自动恢复平衡的特性,称为自衡特性。

对于有自衡特性的对象,其基本的物料平衡式仍然相同,即为式(1-4)。

$$A \frac{dh}{dt} = Q_i - Q_o$$

由于上式中,输出流量  $Q_o$  也会随着水位  $h$  的变化而变化。 $h$  越大,静压头越大, $Q_o$  也会越大。因此,要得到输出参数  $h$  与输入参数  $Q_i$  之间的作用关系式,必须对式(1-4)进行变换,以消去参数  $Q_o$ 。

我们知道,水位和流出量之间为非线性关系

$$Q_o = \alpha \sqrt{h} \quad (1-9)$$

式中  $\alpha$ ——比例常数(与手阀开度有关)。

考虑到是定值控制系统,水位设定值基本不变,则由在工作点附近的线性化处理,可得

$$\Delta Q_o = \frac{\alpha}{2\sqrt{h}} \Delta h \quad (1-10)$$

式中  $\Delta Q_o$ —— $Q_o$  的变化值;

$\Delta h$ —— $h$  的变化值。

由上式可得传递函数

$$\frac{Q_o(s)}{H(s)} = \frac{\alpha}{2\sqrt{h}} = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

这样由(1-6)式和(1-11)式相结合,可画出信号传递方框图(见图 1-10)。很显然,图中的反馈作用发生在过程内部,这种作用反映了“自平衡”。

将式(1-11)代入式(1-6),化简后可求得有自衡过程的传递函数

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{ARs + 1}$$

令  $AR = T, R = K$ , 则

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (1-12)$$

这是一阶惯性环节,它的一般表达式为:

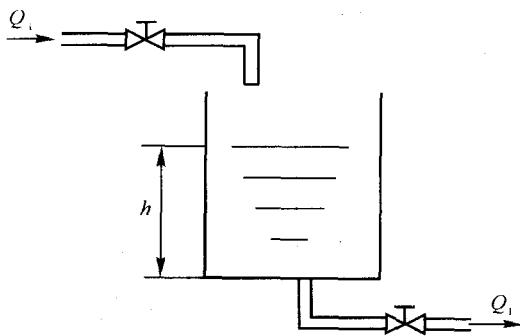


图 1-9 有自衡特性水槽