

# 化工过程 自控原理及应用

吴嘉麟 编著

华南理工大学出版社

# 化工过程自控原理及应用

吴嘉麟 编著

周春晖 审稿

华南理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书以经典的线性控制原理为指导，应用传递函数作为分析系统动态过程的基本工具；以单变量线性反馈调节理论为研究自控系统的基础，探讨常见的单回路和多回路控制结构，介绍全化工厂过程控制中的相互关联、相对增益和自由度等问题，阐述如何对过程控制系统进行分析和设计，并有一定实例介绍典型化工单元操作和锅炉的控制方案，其中涉及到微型计算机和智能仪表的应用。对测量仪表和控制器，则着重阐述其共性——测量方法和控制规律。在附录中以一定篇幅介绍自动化仪表装置，便于教学和自学。

本书可作为化学工程类专业本科生教材，也可作为继续工程教育的教材和有关工程技术人员参考书。

### 化工过程自控原理及应用

吴嘉麟 主编

周春晖 审稿

责任编辑 杨昭茂

华南理工大学出版社出版发行

(广州 石牌)

广东省新华书店经销

华南理工大学出版社印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张：22.375 字数：501千

1987年8月第1版 1990年4月第2次印刷

印数：3501—4500册

ISBN7-5623-0010-0/TQ·1

统一书号：15410·037 定价：4.40元

## 序

在化工生产过程自动化的发展历程中，50年代以前，自动化工作都是按经验的或半经验的方式设计和选用常规仪表及调节器进行的。早期多就地检测及控制，后期使用了气动或电动单元组合调节器达到了全厂集中控制和管理的水平。50年代后期出现数字计算机控制的尝试，开始颇有雨后春笋之势，各大化工企业都争购计算机进行试验，但直到70年代后期的20年中，试验纷纷失败，连连下马。除了直接数字控制外，其他成就很少，而直接数字控制只不过是数字机代替常规集中控制而已。到70年代后期，由于小型及微型计算机的问世，可靠性及价格都大大改善，这才又引起了计算机的应用高潮，出现了20年来化工过程自动化的第一个飞跃。目前在先进国家中，没有计算机控制的化工过程新设计，已经不容易找到了。

在这20年里，化工自动化停滞不前的原因虽然很多，最主要的是工艺工程师不熟悉自动控制和系统分析，同时计算机工作者更不熟悉如何分析化工过程。因而20年中的工作大多在盲目的状态下进行。虽然这一时期控制理论有较快的发展，但很少能被实际工作者所了解和应用。70年代后期起，生产厂家及计算机制造厂家才发现症结所在，争相招聘能够对工艺生产进行系统分析，并能编制计算机程序的技术人员，也出现了兼有这两种技能的工程设计公司。跟着生产过程自动化才有很快的发展。

我国在这方面是很有远见的。早在50年代就创办了化工自动化专业，开展生产工艺的动态及系统分析。随着计算机的出现，也逐步具有编程和开发软件的能力。这很可以成为仪表制造厂与化工厂之间有用的桥梁。遗憾的是这一优势没有得到发挥，并且在工作中还常常受到不必要的阻力。举一个实例来说明：在一次对一流通量波动很大的换热器设计讨论中，控制技术人员提出应按最大流量进行换热面积设计的建议，尽被工艺设计人员强行按平均处理量设计的所谓标准规程所否定，造成了生产中潜伏着先天性不可控的因素。

从以上可以看出，一般化工专业的学生必须学习一点有一定深度的控制理论及实践，其迫切程度已经到刻不容缓了。很高兴地知道，吴嘉麟同志在加强加深化工工艺类专业学生的控制理论及实践方面做了很多工作，并编写了《化工过程自控原理及应用》一书。看了油印稿及修改稿后，认为这本书深度广度都适中，读后会使工艺类学生对控制有一定的了解，可以填平存在工艺与控制技术人员之间存在着的鸿沟，这对加快实现化工生产过程的自动化会有很大的帮助。

周春晖

1987年4月1日

# 前 言

近十年来, 化学工业与其他工业一样, 在新技术革命浪潮冲击下, 面临着严峻的挑战。信息社会的到来, 信息技术必然广泛渗透到化学工业部门。化学工业生产的目标是: 保证质量, 强化过程, 节约原料, 合理用能, 安全文明, 最终获得经济效益。应付新挑战的对策, 从自动控制方面看, 只靠仪表测试信息, 对控制过程特性不甚了了, 凭经验分析和设计控制系统是不够的, 必须进一步探讨化工过程的本质, 剖析内在机理、相互联系、动态特性等自动控制原理和新的控制技术。当前化工过程控制与反应工程、系统工程、传递过程等课程, 组成了化学工程学科新的教学结构。化工过程控制已经成为实现生产目标必要的技术手段。它是化学工程类专业设置的必修技术基础课。国内外化学工程系都把它看成是不可少的课程。

在此形势下, 1981年出版的, 作者参加编写的全国统编教材《化工仪表及自动化》(以下简称《仪表》), 其内容显然不能满足目前形势的要求。课程内容改革, 教材的更新急不可待。本课程改革的方法有二: 一是增加学时, 补充必要的自控原理知识和新技术内容。但是, 本课程在整个教学改革中, 学时有减无增, 一般由80学时减至72学时。因而只能用第二个方法, 即改革内容, 妥善安排学时数。大家都知道, 自控理论和控制技术愈来愈丰富。如何制订新的教学大纲, 编写新教材, 有效地利用有限的学时的问题更为突出。为此作者进行了三年改革探索, 已取得一定效果。在各方面的支持下, 将原“仪表”课程名称改为“化工过程控制”。采用自编的《化工过程自控原理及应用》新教材。编写教材时, 作者曾考虑:

## 1. 新课程的目的

培养学生树立动态观点, 学习自控原理基础知识, 引导学生自学测量仪表, 从而掌握一般的自控技术, 与化学工程其他课程基础知识融贯一体, 开拓知识面, 增强适应性和工作能力。

## 2. 教材内容的改革

在学时有限的条件下, 内容必须有所增减。作者的观点是:

(1) 测量仪表和控制器的结构原理千差万别, 并且不断推陈出新, 讲不胜讲, 这是仪表的“个性”, 而测量方法和控制规律是其“共性”。本课程只要求学生懂得共同的测量方法、比例、积分、微分和前馈控制规律。选几个通用的仪表为例, 作示范性讲授, 培养学生自学能力, 学时不宜多, 但对新型控制器应该介绍(见附录Ⅲ)。

(2) 自控原理和过程控制内容系统性强, 适宜在学校里完成系统的学习。按本课程目前的学时数, 应从实用角度出发, 以经典的线性控制原理为指导, 应用传递函数作为分析系统动态过程的基本工具, 以单变量线性反馈调节理论为研究自控系统的基础。探讨常见的控制回路和复杂控制结构, 介绍全化工厂过程控制中的相互关联、相对增益和自由度等问题。因微型计算机已是普通工具, 应当给予应用举例和上机训练。工业控

制机只作简介。配合当前化工过程节能的需要，适当地阐述了节能控制。

作者编写的准则是：重视理论基础而不太深，意在学以致用；具有广度而不宜铺开，篇幅力求紧凑；保持系统性而不求全面，只能择其重点；刻意求新而不过量，切合学生基础。经过实践证明，这样内容的教材是可行的、实用的、符合学生基础的。在毕业设计中，初步表现出学生的思维能力和运用本课程知识的水平，他们能想出一些有创见的复杂的控制系统。

在自编新教材使用后，经整理补充编成本书。本书是为化学工程类专业本科生而写的。第一章导论，概述全书主要内容。第二至第五章是线性控制原理。考虑到一般学生未学工程数学，故写了拉普拉斯变换一节。第五章频率响应法，视学时而定讲与不讲，不讲此章并不影响以后的教学。第六至第八章是单回路和多回路控制系统。阐述怎样运用控制原理，结合控制过程特性，自动化仪表装置的知识，对过程控制系统进行分析和设计。第九章为典型化工操作单元和锅炉设备控制方案，可以选讲或学生自学。自动化仪表装置放在附录中，这样编排不致打乱全书系统性，又可供自学或插入某些章节讲授。

全书内容稍多，这是考虑到社会上工程人员自学，或继续工程教育的教材，不能过于简略。书中举例较多，内容结构灵活，以便各专业选择讲授。

本书承蒙浙江大学周春晖教授审稿，提出宝贵意见，并为拙作写序。这不仅是老前辈对作者的鼓励，也是对本课程改革的支持和关怀，在此致以深切感谢。在改革中我院蒋国彪讲师协助工作，也表示谢意。由于本书是教改的产物，故将个人的改革观点写入前言，与同行专家们探讨。作者水平有限，错漏不当之处难免，敬请各位指正。

编 著 者

1986年3月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 化工过程自动控制导论</b> .....	( 1 )
第一节 化工过程控制概述 .....	( 1 )
第二节 控制系统的组成及硬件 .....	( 5 )
第三节 自动控制系统的分类 .....	( 11 )
第四节 控制系统设计概述 .....	( 12 )
<b>第二章 对象和其他环节的动态特性</b> .....	( 21 )
第一节 动态特性的意义 .....	( 21 )
第二节 一阶对象与环节的动态特性 .....	( 23 )
第三节 二阶对象与环节的动态特性 .....	( 28 )
第四节 环节和对象的纯滞后特性 .....	( 34 )
第五节 高阶特性 .....	( 36 )
<b>第三章 拉普拉斯变换和传递函数</b> .....	( 38 )
第一节 拉普拉斯变换的基本概念 .....	( 38 )
第二节 拉氏变换及反变换 .....	( 42 )
第三节 传递函数 .....	( 47 )
第四节 方块图 .....	( 54 )
<b>第四章 系统的时域分析法</b> .....	( 63 )
第一节 一阶系统的响应 .....	( 63 )
第二节 二阶系统的响应 .....	( 67 )
第三节 二阶系统过渡过程质量指标的计算方法 .....	( 75 )
第四节 控制规律对系统响应的影响 .....	( 77 )
第五节 劳斯稳定判据 .....	( 86 )
第六节 用微型计算机求时域响应 .....	( 89 )
<b>第五章 频率响应分析法</b> .....	( 93 )
第一节 线性过程频率响应分析 .....	( 93 )
第二节 应用频率法设计反馈控制系统 .....	( 109 )
<b>第六章 单回路控制</b> .....	( 118 )
第一节 被控变量的确定 .....	( 119 )
第二节 自由度 .....	( 121 )
第三节 操作变量的确定 .....	( 127 )
第四节 测量变送及信号传递 .....	( 134 )
第五节 气动调节阀的选择 .....	( 136 )

第六节	控制器的设计 .....	( 140 )
第七节	自控系统实施方案 .....	( 146 )
<b>第七章</b>	<b>多回路控制(一)</b> .....	( 151 )
第一节	串级控制 .....	( 151 )
第二节	均匀控制 .....	( 167 )
第三节	分程控制 .....	( 172 )
第四节	选择性控制 .....	( 177 )
<b>第八章</b>	<b>多回路控制(二)</b> .....	( 187 )
第一节	前馈控制 .....	( 187 )
第二节	比值控制 .....	( 198 )
第三节	具有大纯滞后过程的控制 .....	( 208 )
第四节	适应性控制 .....	( 212 )
第五节	推理控制 .....	( 216 )
第六节	全厂控制系统设计概论 .....	( 219 )
第七节	计算机控制系统简介 .....	( 234 )
<b>第九章</b>	<b>典型单元操作的控制</b> .....	( 239 )
第一节	流体输送设备的控制 .....	( 239 )
第二节	传热设备的控制 .....	( 246 )
第三节	精馏塔的控制 .....	( 256 )
第四节	反应器的控制 .....	( 268 )
第五节	锅炉设备的控制 .....	( 281 )
<b>附录 I</b>	<b>自控系统常用符号和图号</b> .....	( 290 )
<b>附录 II</b>	<b>自动测量仪表</b> .....	( 292 )
<b>附录 III</b>	<b>自动控制仪表</b> .....	( 328 )
一、	气动单元组合仪表 .....	( 329 )
二、	电动单元组合仪表 .....	( 342 )
三、	Digitronik 系列仪表 .....	( 347 )
<b>主要参考书目</b>	.....	( 350 )



# 第一章 化工过程自动控制导论

## 第一节 化工过程控制概述

化工过程控制是指化工、炼油等化工类型生产过程的自动控制，简称为过程控制。从初级的仪表控制到过程控制是个跃进，它是化学工业发展的结果。化工过程日趋强化，生产操作要求日益提高，讲究高产、保质、节能、安全、经济效益等，这些目标是仪表控制所不能满足的。化工厂的特点是过程单元（换热器、反应器、蒸馏塔、吸收塔、蒸发器、贮槽、泵等）科学的组合。工厂的生产目标，是把原材料以最经济的方法转变成合格的产品。所以，今天的化学工程师的任务，是在掌握新工艺新设备的同时，还需要针对生产过程，按照生产目标，运用控制理论和控制技术完成生产任务。

工厂生产须满足以下要求：

**安全** 化工厂的安全是首要的。化工生产中有高温、高压、易燃、易爆、腐蚀、有毒和刺激性异味等情况。必须注意人身安全和持续促进经济发展。因此，温度、压力、化学成分等工艺参数必须维持在规定范围内。例如设计某加压反应器在10巴压力下操作，就需要有一个控制系统保持其压力不超过10巴，以避免发生爆炸。

**产品规格** 工厂的最终产品，其产量和质量都要符合用户要求或政府规定的规格。例如要求每年生产30万吨乙烯，纯度99.5%。

**遵守环境保护规章** 环境保护法规定了工厂排入大气的SO<sub>2</sub>量和其他有害成分的含量，也规定了排入江河湖泊及海洋的废水质量。工厂必须检测和控制有害成分的含量，做到不违章排放。

**操作制约** 工厂使用的各种单元设备都有其内在的约束。例如，蒸馏塔不能液泛，中间贮槽贮罐不能溢出或流干；催化反应器的温度不能超过上限，以免烧毁触媒等。

**经济效益** 工厂生产必须符合市场条件，即有可利用的原料、能源、资金和劳动力，生产出适销产品，价格又不高于同类产品。因此，要求把操作条件控制在最低成本，就是高产、保质、节能、低消耗，达到最大利润的“最优”水平。

为满足以上要求，需要自动控制做到对生产操作过程连续地监视和控制，排除外界干扰，使生产操作平稳进行，保证实现工艺操作目标。这就要合理地将自动控制装置（测量装置、控制器、执行器、计算机等）和单元设备组合起来，加上人的参与（设计者、工厂操作者）共同完成生产任务。

满足生产要求的具体操作，就是把生产过程中关键的工艺参数（温度、压力、成分、流量、液位等）控制在期望值上。现举例说明过程控制的概念。

例如图1-1所示带搅拌槽式盘管加热器。进入加热器的物料流量为 $F_i M^3/h$ ，进料温度为 $\theta_i^\circ C$ ；在器内被蒸汽加热到 $\theta^\circ C$ 温度流出，出口流量为 $F M^3/h$ ，加热蒸汽流量为 $F_s, kg/h$ 。有搅拌作用下，器内温度是相同的并且等于出口温度 $\theta$ 。

此加热器的操作目标是：保持出口温度 $\theta$ 和贮量 $V$ 在期望值上。

实际生产中对加热器来说，往往遇到负荷变化而表现在上游或下游流量变化，或进料温度发生改变，于是引起出口温度 $\theta$ 和流量 $F$ 波动，这是加热器受到外界干扰影响的结果。现假定进料量 $F_i$ 或进料温度 $\theta_i$ 发生变化，干扰了操作的稳定，以致 $\theta$ 和 $V$ 偏离了给定值。为此，需某种自动控制系统消除干扰影响，使 $\theta$ 和 $V$ 回到期望值。

在图1—2中有一套自动控制装置，当 $F_i$ 或 $\theta_i$ 变化时，能保持出口温度 $\theta$ 稳定。一支

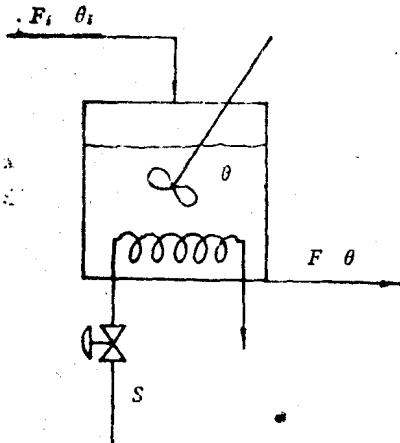


图 1-1 搅拌槽式加热器

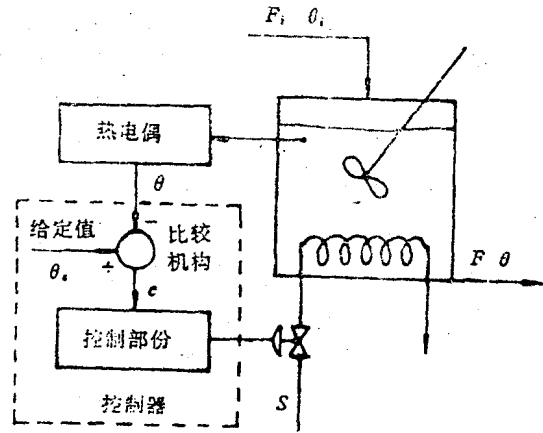


图 1-2 搅拌加热器反馈温度控制

热电偶测量器内温度，将温度信号送到基地式控制器的比较机构为负信号，与给定值 $\theta_s$ 为正的信号相减，得出差值 $e = \theta_s - \theta$ 称偏差。如果 $e < 0$ ，即 $\theta > \theta_s$ ，控制器发出信号关小蒸汽阀，减少供热。反之，当 $e > 0$ ， $\theta < \theta_s$ 时，控制器使阀门开大。显然，当 $\theta = \theta_s$ ，即 $e = 0$ 时，控制器无事可做。保持原来的输出，不去改变蒸汽阀的开度。当干扰作用于控制过程，直接测量主要变量（此例为 $\theta$ ）构成的系统叫做反馈控制系统。期望值是工艺生产指标规定的数值，由人在控制器上设定后叫给定值，用 $\theta_s$ 表示。

图1—3是保持 $\theta$ 稳定在期望值的另一方案。

假定干扰因素是进料温度 $\theta_i$ 经常波动，采取直接测量 $\theta_i$ ，控制器根据干扰因素 $\theta_i$ 的变化开关蒸汽阀门，这样的控制模式叫做前馈控制。我们看到前馈控制是不等干扰影响到过程的温度 $\theta$ ，只要测量到 $\theta_i$ 的变化即作出相应的控制作用。有关反馈和前馈以后还要详细探讨，但必须指出，在今后学习中你会明白，反馈是主要的、根本的，前馈在目前是起补偿作用的。

为使图1—1中加热器贮量 $V$ 一定，也就是保持它的液位 $h$ 在一定高度，因为它是等截面的贮槽。只从控制液位而言与一般贮槽相

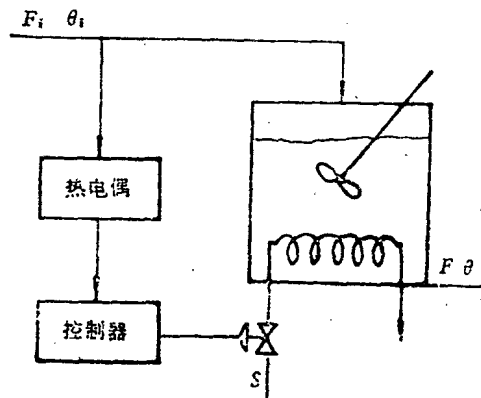


图 1-3 搅拌加热器前馈温度控制

同，故放在贮槽液位控制一起讨论。再，还要观察出口端的具体情况，是阀门或是泵。

图1-4(a)贮槽的操作目标是保持液体贮量 $V$ 恒定，即液位 $h$ 恒定。操作稳定时， $F_i = F$ ， $h = h_s$ ， $h_s$ 代表期望值。设当 $t_0$ 时，流入量 $F_i$ 突然增至 $F'_i$ ，液位 $h$ 上升。出口阀门开度未变，而阀前静压液位增大使流出量相应增大，及至 $F' = F'_i$ 时，过程达到新的稳定状态，而 $h' > h_s$ ，如图1-4(b)所示。这种没有控制器作用而能在干扰后自动回复稳定的过程，称它有自平衡特性。尽管液位并不能回到 $h_s$ 。见图1-4(b)液位的响应曲线。

操作目标要求贮量一定，液位应回复到初始的给定值 $h_s$ ，所以仍需要控制器作用。如图1-4(c)所示，差压变送器连续测量液位，控制器根据偏差 $e = h_s - h$ 值操纵控制阀门，改变流出量 $F$ 保持 $h$ 稳定（即 $V$ 稳定）。图1-4(d)是将控制阀装在入口端，同样能够维持 $h$ 在干扰后回复到给定值。

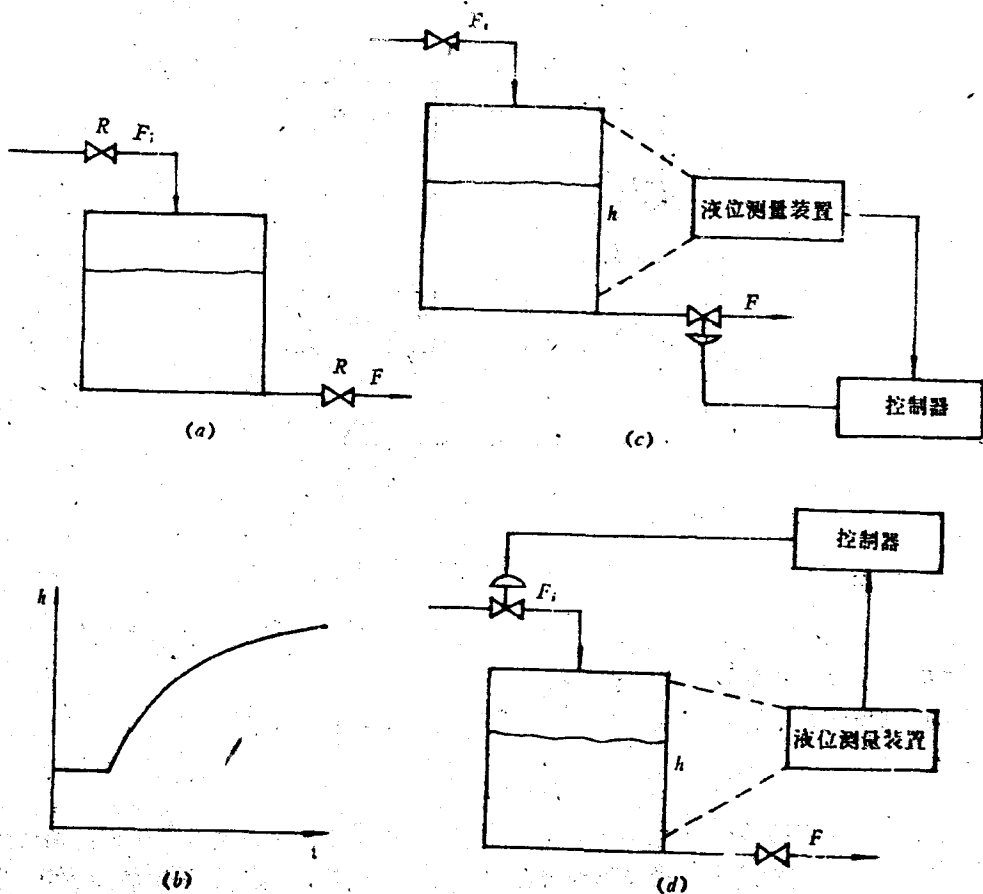


图 1-4. 贮槽及其液位控制

(a) 贮槽；(b) 自衡响应；(c) 调节流出量控制液位；(d) 调节输入量控制液位

图1-5(a)所示贮槽和图1-4(a)是不同的,它的出料是由泵送出的,流出量是恒定的。不受液位影响。平衡时 $F_i = F$  ( $F$ 是泵送量),  $h = h_s$ 。一旦干扰发生影响,如 $F_i$ 增大或减少,因流出量不变化,最终将使液体溢出或抽干。该贮槽输出液位 $h$ 对输入干扰 $F_i$ 的响应曲线见图1-5(b),是不会达到稳定的。这种情况称它为无自衡特性。显然,欲达到操作目标保持贮量 $V$ 为一定值,必须加以控制,其控制图见图1-5(c)。

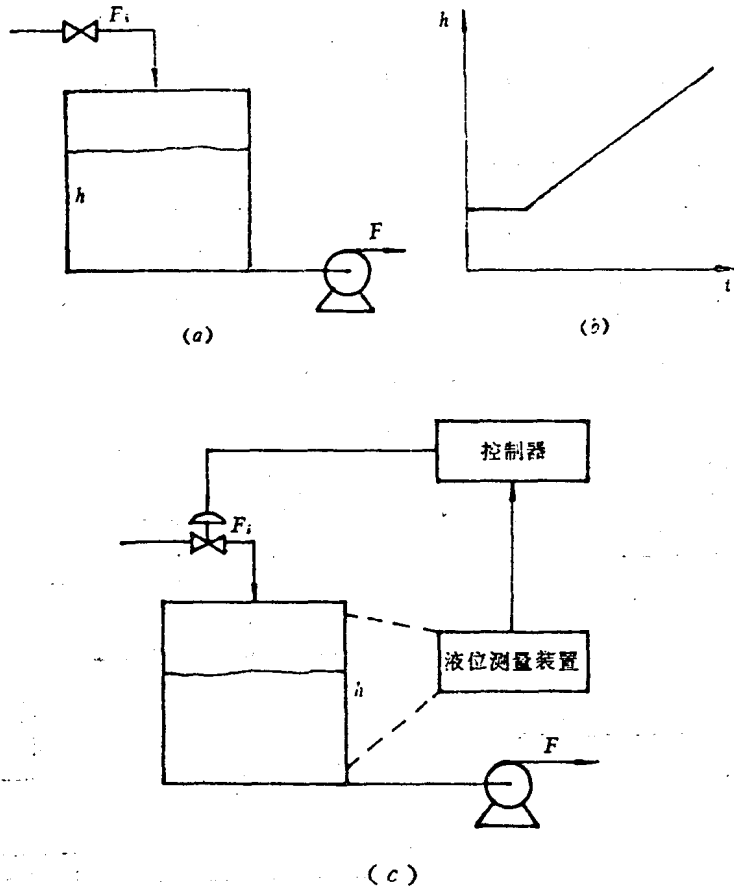
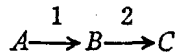


图 1-5 另一贮槽液位控制

图1-4(c)和(d)与图1-5(c)所示,它们都是直接测量输出变量液位作为控制的依据,所以这些都是反馈控制系统。

图1-6所示是一个批量生产的间歇反应器。其反应顺序为



假定1、2两步反应都是动力学为一阶的吸热反应。所需热量由夹套蒸汽提供,期望产品是B,废料是C。间歇反应器操作的经济目标是每一次反应时间 $T_R$ 内利润最大值 $\Phi$ ,也可以这样表示,

$$\text{最大值 } \Phi = \int_0^{t_R} \left\{ \left[ \text{产品B售出收入} \right] - \left[ \text{原料A成本} + \text{蒸汽成本} \right] \right\} dt$$

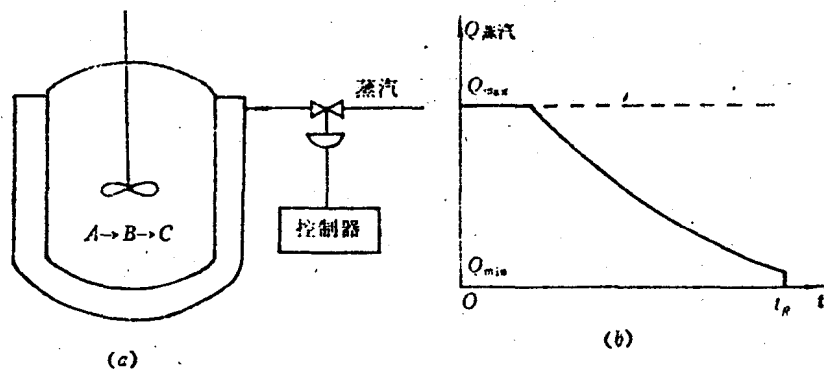


图 1—6 间歇反应器

由上式可见，决定利润最大值 $\Phi$ 的唯一变量是随时间不断变化的蒸汽流量 $F_{s,i}$ ，它影响反应温度，期望的反应速率和副反应。那末，我们的工作了解蒸汽量怎样变化，可获得利润最大值 $\Phi$ 。现进行如下分析：

假如整个反应时间 $t_R$ 内 $F_{s,i}(t)$ 保持最大值，反应温度可能达最大值。起初，浓度 $C_A$ 大时，则 $B$ 的产量高，消耗的蒸汽量也大。随着 $B$ 的增加， $C$ 的产生也增多。到了反应时间将近结束时，温度必定下降，所需蒸汽量减少，如图1—6(b)所示。

假如整个反应时间内蒸汽量保持最小值（如 $F_{s,i}(t) = 0$ ），几乎不会消耗蒸汽，可是也没有产品 $B$ 产生。

由分析可知，在反应时间 $t_R$ 内， $F_{s,i}(t)$ 是在最大值与最小值之间，并且应当按利润最大值 $\Phi$ 变化，以达最优操作。

通过以上举例，大致说明自动控制的作用是：

第一，消除外界干扰对过程操作的影响。

第二，保证过程稳定。为保证产量、质量、安全、制约和利润等，必须不断消除外界干扰，保持过程操作稳定，将主要工艺参数稳定在期望值上。

第三，实现最优操作，获取利润最大值 $\Phi$ 。

## 第二节 控制系统的组成及硬件

化工过程控制中反馈控制是主要的根本的。今后探讨问题都是指反馈控制，否则另加说明。简单控制系统由四个基本环节组成，随其复杂程度组成环节有所增加。控制系统的组成常用方块图表示，无论多么复杂的系统包括多少环节，都能排列有序地表达出环节之间的关系和系统概貌。所以说方块图是简明而有效的工具。

### 一、控制系统的组成方块图

图1—2反馈控制系统的方块图见图1—7。这是简单的控制系统方块图，它由四个最

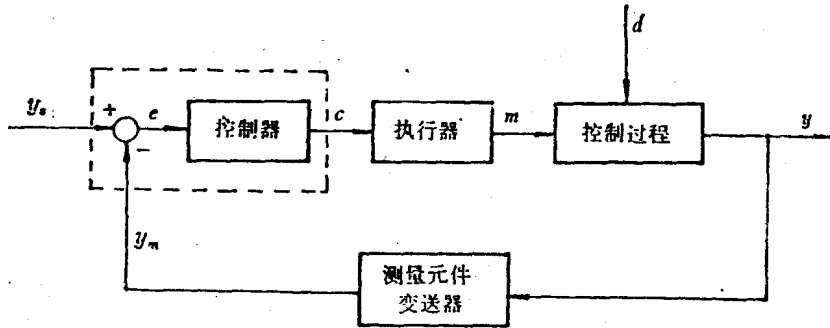


图 1—7 反馈控制系统方块图

基本环节组成，即测量装置、控制器、执行器和控制过程。每个环节用一个方块表示，前三个环节总称为自控装置，是通用型的工业自动控制仪表及装置，与控制过程组合起来便构成一个控制系统。从方块图看，测量装置将被控变量的测量值送回到控制器中的比较机构，形成了反馈闭环形式。闭环的意思是指在环内任一点沿箭头方向前进，最终回到原处。所以反馈控制是闭环控制系统。

反馈控制系统是这样工作的，当干扰  $d$  或给定值  $y_s$  改变破坏原来的稳定态，测量与变送环节将  $y$  值变换成测量值  $y_m$  反馈到比较机构，得出偏差值  $e \neq 0$ ，控制器按偏差的正负大小，进行某种规律的运算后发出控制信号  $c$ ，执行器执行  $c$  信号而改变操作变量  $m$  值，施加控制作用于控制过程，消除干扰影响，使被控变量  $y$  回复稳定。若输入  $d$  或  $y_s$  不变化，系统处于稳态，输出  $y$  是稳定的。

图1—3前馈控制的方块图如图1—8所示。干扰因素通过干扰通道施加破坏稳定的作用于控制过程，测量装置（也可能用变送器）将干扰的测量值送到前馈控制器，控制器按干扰量发出控制信号，执行器改变操作变量  $m$  通过调节通道施加控制作用（或称校正作用）于过程，以消除干扰影响，使输出被控变量  $y$  稳定。由图1—8可见，干扰通道和调节通道是并联的开环形式。所以，前馈控制是开环控制系统。

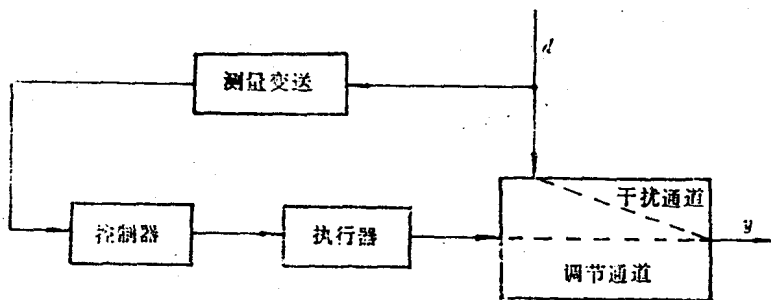


图 1—8 前馈控制系统方块图

前馈控制的工作情况，当干扰发生变化为测量装置获知时，即将干扰信号送到控制器，并不管被控变量是否受到影响（往往尚未受到干扰影响）。前馈控制器按本身规律发出信号，执行器执行控制信号使操作变量针对干扰量变化，以提前消除干扰影响，使

被控变量不波动或极小波动。当然这是理想的控制效果。关于前馈控制在后面有专门一节探讨。

作为控制系统的组成还有信号传输线。在方块图中就是带箭头的线段，在实际装置中是电线或压缩空气管，它是传递电的或气的信号线。信号线把各环节的相互关系表达明确。由方块图可见，每个环节至少有输入和输出信号各一个，每个信号都有名称和符号。

## 二、控制系统的信号和变量

控制过程有二个输入：干扰  $d$  和操作变量  $m$ ，有一个输出变量：被控变量  $y$ 。

比较机构有二个输入：给定值  $y_s$  和测量值  $y_m$ ；有一个输出：偏差  $e = y_s - y_m$ 。

就图1—7而言，其他环节各有一个输入一个输出信号，它们的名称和符号注在图中。复杂系统中其他环节的输入信号可能多于一。

整个控制系统有二个输入：给定值和干扰；有一个输出是被控变量。

现将主要变量和信号介绍如下：

### 1. 被控变量 $y$

亦称被调参数。它往往是具体体现操作目标的工艺参数，如温度、压力、流量、液位、成分。被控变量可分为二类：

可测量被控变量 可从控制过程直接测量而得的变量，如温度、压力、流量、液位等。

不可测被控变量 它的值无法直接测量，或者尚无相应的变送器，或测量滞后大，或测量信号灵敏度低。遇此情况，须通过测量控制过程其他输出量估算不可测被控变量。如成分和物性。

工业色谱给成分自动控制开创新天地，但投资和使用都存在困难。所以成分和物性变送器有待继续开发。

### 2. 干扰 $d$

是外界影响控制过程被控变量波动因素的总称。最常发生的干扰因素为负荷改变，触媒老化，气候变化，环境条件的改变等。干扰对过程的稳定是起破坏作用的，是客观存在要发生的，不能避免它的影响，只能设计合适的控制系统消除它的影响。干扰的数量视具体控制过程而定，往往不止一个。干扰发生的时间和形式(阶跃式，缓和式…)是随机的。每个干扰因素从不同地点进入控制系统，经过各自干扰通道以不同程度影响着过程。

### 3. 操作变量 $m$

亦称调节参数。它是消除干扰影响具体实现控制作用的变量。在化工厂、炼油厂大多数情况下就是流过控制阀的物料流量，或者由触发器控制的电压乃至电流。

操作变量  $m$  的箭头信号永远指向过程，它是过程的输入变量。这不表示物料是由过程流出或流入，请不要把工艺流程物料传递和控制系统的信号传递混淆。

例如图1—4(c)和(d)，控制阀安装位置一个在入口一个在出口，这是二个不同的控制方案。而控制阀开度变化，改变了进料量和出料量，它们都是施加控制作用于贮

槽，使被控变量  $h$  稳定，其功能是相同的。所以，操作变量是过程的输入，其箭头指向过程。则图 1—4(c) 和 (d) 的控制系统方块图是相同的，见图 1—9。

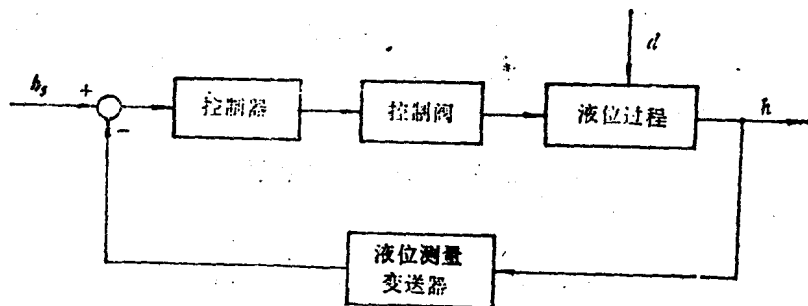


图 1—9 图 1—4(c) (d) 液位控制系统方块图

#### 4. 给定值 $y_s$

是体现被控变量期望值的信号。凡控制器都有比较机构，比较机构必有设定给定值的部件。由人工在控制器上设定的给定值叫内给定，没有人工重新设定，其值固定不变。单元组合式仪表和新型控制器，可接受其他仪表或计算机送来的信号作为给定值（内给定切断不用）叫外给定，外给定的值是变化的。

#### 5. 测量值 $y_m$

是被控变量转换成能与给定值相减的信号。如把温度变成  $mV$  或  $\Omega$ ，压力变成角位移或线位移等物理量送到基地式控制器的比较机构。对于单元组合仪表，测量值必须是仪表的统一信号， $4\sim 20mA$ ， $0\sim 10mA$ ， $0.2\sim 1.0kg/cm^2$  气压信号等。变送器就是把测量元件得出的物理量，再转换成上述一种统一信号  $y_m$  送至比较机构与同形式的  $y_s$  相减。

对单元组合仪表而言， $y_m$ 、 $y_s$ 、 $e$ 、 $c$  等信号都是上述某一种仪表统一信号，唯有  $m$  是物料流量或电量等。

### 三、控制系统的组成环节

#### 1. 控制过程

简称过程亦称对象。它是指所控制的生产过程及设备，如换热器、反应器、吸收塔、蒸馏塔、槽、泵、压缩机等。

#### 2. 测量与变送

即测量元件与变送器。前面已经阐述基地式控制器，只需测量元件，单元组合仪表还须经过变送器，将测量元件所得物理量转换成统一的仪表信号。测量与变送是工业的“眼睛”，时刻监视着生产过程的情况；它是控制系统的依据，所以要求测量准确、及时、灵敏。常用的测量元件与变送器有：

测量温度 热电偶、热电阻、温度变送器。

测量流量 孔板等节流元件配差压变送器、旋涡流量变送器、转子流量变送器、靶式流量变送器等。



测量压力 弹性元件制成的高、中、低压力变送器、霍尔压力变送器等。

测量液位 差压变送器，液位变送器等。

测量成分 工业色谱仪。

### 3. 控制器

亦称调节器。它包括一个比较机构，在控制理论和方块图中，给定值为正，测量值为负，偏差  $e = y_s - y_m$ 。而实际工作中控制器的输入  $e = y_m - y_s$ ， $y_m$  为正， $y_s$  为负，这是习惯用法，请注意。比较机构不是独立环节但有独立的比较功能，故用小圆圈表示，放在控制器前面。控制器依据输入偏差正负大小，按本身的控制规律发出控制信号  $c$  给执行器。

目前工业控制器的控制规律有：比例、积分、微分，还有前馈，应用最多的是前三种规律。所谓控制规律，是指控制器的输出信号与输入偏差之间的关系。

比例控制规律 (P) 控制器的输出  $c(t)$  与输入  $e(t)$  成比例。用数学表达式为

$$c(t) = K_c e(t) + C, \quad (1-1)$$

其中  $K_c$ ——控制器的比例增益亦称比例系数。 $K_c$  是表示比例作用强弱的参数，有一个可调范围。

$C$ ——控制器的基本信号。当  $e = 0$  时它的输出信号。

积分控制规律 (I) 控制器的输出与输入偏差的积分成比例。其数学表达式为

$$c(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + C, \quad (1-2)$$

其中  $T_i$ ——是积分时间，以 (分) 表示。有一个可调范围。

微分控制规律 (D) 控制器的输出与输入偏差的变化速度成比例。其数学表达式为

$$c(t) = K_c T_d \frac{de}{dt} + C, \quad (1-3)$$

其中  $T_d$ ——是微分时间，以 (分) 表示，有一个可调范围。

同样的输入偏差  $e$ ，送入不同控制规律的控制器的输出是不相同的。

工业控制器常用这三种规律的组合，P、PI、PD、PID。组合时是各种规律的叠加，保留各自的规律，数学式是相加的。

### 4. 执行器

包括执行机构和调节机构两部分。如执行机构是伺服电机，调节机构是阀门、串联工作共称执行器。这是轻化工和硅酸盐工业常用的。化工和炼油厂多使用气动执行器。执行机构和调节机构合为一个整体称为气动薄膜调节阀，亦称控制阀。

### 5. 显示仪表

一般能指示、记录和图象表示控制系统的状态。如被控变量、给定值、阀位的指示。在前馈控制中可显示干扰量。显示仪表是实施控制方案常用的仪表，但是它不具有控制功能。作为显示功能有时在测量仪表、变送器和控制器里附有显示部分，系统方块图一般不画出显示仪表。