

高职高专教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOCAI

# 化工自动化及仪表

王银锁 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

高职高专教材

# 化工自动化及仪表

王银锁 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书以自动控制系统的內容为主线,主要介绍了自动控制系统的基本概念、组成、过渡过程形式、质量指标和控制器参数对系统过渡过程的影响;压力、流量、物位、温度检测仪器的基本结构、工作原理和使用;简单、串级、均匀、比值等控制系统的结构、特点、应用场合;新型控制系统、典型单元的控制方案等。本书还编写了实训项目指导,可以一边学习理论知识,一边进行实际操作训练。

本书体现职业教育的特点,突出实践性、实用性和先进性,着重职业技能的培养。

本书为高等职业教育、继续教育等院校石油化工及炼油技术专业的教材,也可作为石油化工、炼油、医药、煤矿、冶金等企业职工的技能培训教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

化工自动化及仪表/王银锁主编.

北京:石油工业出版社,2011.7

(高职高专教材)

ISBN 978-7-5021-8490-2

I. 化…

II. 王…

III. ①化工仪表-高等职业教育-教材

②化工过程-自动控制-高等职业教育-教材

IV. TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第106573号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64250370 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:12.5

字数:317千字

---

定价:20.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

本书主动适应社会发展需要,在内容选择上注意实用性、先进性、通用性和典型性,突出高等职业教育注重实践技能训练和动手能力培养的特色,并以“必需、够用”为原则,精选教学材料,精心设计实训项目。

本书以自动控制系统的内容为主线,主要介绍自动控制系统的基本概念、组成、过渡过程形式、质量指标和控制器参数对系统过渡过程的影响;压力、流量、物位、温度变量的检测仪器的基本结构、工作原理和使用;简单、串级、均匀、比值等控制系统的结构、特点、应用场合,并介绍新型控制系统、典型单元的控制方案等。在第十一章中编写了实训项目指导,通过一边学习理论知识,一边进行实际操作训练,将理论与实践紧密结合起来,工学结合,案例教学,达到国家职业标准要求的培养目标。

本书为高等职业教育、继续教育等院校的炼油技术专业、应用化学工程专业、化学工程与工艺专业、石油化工专业的教材,也适用于医药、煤矿、冶金等相关专业,并可作为炼油、化工、医药、煤矿等相关企业的职业技能培训教材。

本书授课总计约70学时。授课教师可根据本校情况,对书中的内容进行选择、补充或删减,拟定授课计划,以满足教学需要。

本书共分为十一章,其中,绪论、第一、二、八章由兰州石化职业技术学院王银锁编写;第三、四章由新疆轻工职业技术学院王伟编写;第五章由甘肃石化技师学院张志新编写;第六、七章由兰州石化职业技术学院张德泉编写;第十章及附录由兰州石化职业技术学院尤晓玲编写;第九、十一章由兰州石化职业技术学院李红萍编写。王银锁负责全书统稿工作。

本书由王银锁任主编,张志新、王伟任副主编。全书由兰州石化职业技术学院丁炜任主审。

在本书编写过程中得到了兰州石化职业技术学院和中国石油兰州石化公司等单位的领导、朋友和同仁的大力支持和帮助,并参考了大量的相关书籍和资料。编者在此向为本书的编写提供过帮助的人们和相关书籍及资料的作者致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011年4月

# 目 录

绪论 .....	(1)
第一章 自动控制系统基本知识 .....	(4)
第一节 概述 .....	(4)
第二节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标 .....	(8)
习题与思考题 .....	(14)
第二章 过程检测及仪表 .....	(16)
第一节 概述 .....	(16)
第二节 压力检测及仪表 .....	(20)
第三节 流量检测及仪表 .....	(27)
第四节 物位检测及仪表 .....	(35)
第五节 温度检测及仪表 .....	(39)
习题与思考题 .....	(49)
第三章 显示仪表 .....	(52)
第一节 模拟式显示仪表 .....	(52)
第二节 数字式显示仪表 .....	(55)
第三节 新型显示仪表 .....	(56)
习题与思考题 .....	(58)
第四章 对象特性 .....	(59)
第一节 概述 .....	(59)
第二节 描述对象特性的参数 .....	(60)
习题与思考题 .....	(65)
第五章 控制规律和控制器 .....	(66)
第一节 位式控制 .....	(66)
第二节 比例控制 .....	(68)
第三节 比例积分控制 .....	(70)
第四节 比例积分微分控制 .....	(72)
第五节 控制器简介 .....	(75)
习题与思考题 .....	(84)
第六章 执行器 .....	(85)
第一节 气动薄膜控制阀 .....	(85)

第二节	阀门定位器 .....	(90)
第三节	数字控制阀和智能控制阀 .....	(92)
	习题与思考题 .....	(93)
<b>第七章</b>	<b>简单控制系统 .....</b>	<b>(94)</b>
第一节	简单控制系统的设计 .....	(94)
第二节	简单控制系统的投运与参数的整定 .....	(102)
	习题与思考题 .....	(106)
<b>第八章</b>	<b>复杂控制系统简介 .....</b>	<b>(107)</b>
第一节	串级控制系统 .....	(107)
第二节	均匀控制系统 .....	(113)
第三节	比值控制系统 .....	(115)
第四节	其他复杂系统简介 .....	(117)
第五节	识读管道及仪表流程图(P&ID) .....	(129)
	习题与思考题 .....	(134)
<b>第九章</b>	<b>计算机控制系统 .....</b>	<b>(135)</b>
第一节	概述 .....	(135)
第二节	集散控制系统 .....	(137)
第三节	CENTUM - CS 集散控制系统 .....	(138)
第四节	CENTUM - CS 在工业生产装置上的应用示例 .....	(140)
第五节	现场总线控制系统简介 .....	(141)
	习题与思考题 .....	(146)
<b>第十章</b>	<b>典型化工单元的控制案例 .....</b>	<b>(147)</b>
第一节	液体输送设备的控制 .....	(147)
第二节	传热设备的控制 .....	(151)
第三节	精馏塔的控制 .....	(158)
第四节	化学反应器的控制 .....	(165)
	习题与思考题 .....	(167)
<b>第十一章</b>	<b>实训 .....</b>	<b>(169)</b>
项目一	弹簧管压力表的校验 .....	(169)
项目二	电动差压变送器的校验 .....	(171)
项目三	差压式流量计的校验 .....	(173)
项目四	液位变送器的校验 .....	(175)
项目五	控制阀及定位器的校验 .....	(176)
项目六	简单控制系统的认知 .....	(178)

项目七 简单控制系统中控制器的参数整定训练 .....	(180)
项目八 计算机控制系统的认知和操作运行 .....	(181)
习题与思考题 .....	(185)
<b>参考文献</b> .....	<b>(186)</b>
<b>附表</b> .....	<b>(187)</b>
附表一 常用弹簧管压力表型号与规格 .....	(187)
附表二 铂佬 <sub>10</sub> - 铂热电偶分度表 .....	(188)
附表三 镍铬 - 镍硅热电偶分度表 .....	(189)
附表四 镍铬 - 铜镍合金(康铜)热电偶分度表 .....	(190)
附表五 铁 - 铜镍合金(康铜)热电偶分度表 .....	(190)
附表六 工业用铂热电阻分度表 .....	(191)
附表七 工业用铜热电阻分度表 .....	(191)
附表八 工业用铜热电阻分度表(续) .....	(192)

# 绪 论

化工生产过程自动化,就是在化工设备、装置及管道上,配置一些自动化装置,替代操作工人的部分直接劳动,使某些过程变量能准确地按照预期需要的规律变化,使生产在不同程度上自动地进行。这种部分地或全部地通过自动化装置来管理化工生产过程的办法,就称为化工生产过程自动化,简称为化工自动化。自动化是提高社会生产力的有力工具之一。

## 一、化工自动化及仪表技术发展概况

在 20 世纪 40 年代以前,绝大多数化工生产处于手工操作状况,操作工人根据反映主要工艺变量的仪表指示情况,人工来改变操作条件,生产过程单凭经验进行。

20 世纪 50 年代和 60 年代应用的自动化技术工具主要是基地式电动仪表、气动仪表及膜片式的单元组合仪表。此时由于对化工对象的动态特性了解不够深入,因此,半经验、半理论的设计准则和整定公式,在自动控制系统设计和控制器整定中起了相当重要的作用,解决了许多实际问题。

20 世纪 70 年代在自动化技术工具方面,气动Ⅲ型和电动Ⅲ型单元组合式仪表相继问世,并发展到具有多功能的组装仪表、智能式仪表,为实现各种特殊控制规律提供了条件。新型智能传感器和控制仪表的问世使仪表与计算机之间的直接联系极为方便。

在自动控制系统方面,各种新型控制系统相继出现,控制系统的设计与整定方法也有了新的发展。特别是电子计算机在自动化中发挥了越来越大的威力,促进常规仪表不断变革以满足生产过程中对能量利用、产品质量、效率等各个方面的越来越高的要求。各种新型控制系统相继出现,控制系统的设计与整定方法也有了新的发展。

20 世纪 70 年代计算机开始用于生产过程控制,出现了计算机控制系统。最初是用计算机代替常规控制仪表,实现集中控制,这就是直接数字控制系统(Direct Digital Control, DDC)。由于集中计算机控制的固有缺陷,很难取得显著的社会效益和经济效益,因此很快就被集散控制系统(Distributed Control Systems, DCS)所代替。

集散控制系统一方面将控制负荷分散化,另一方面又将数据显示、实时监督等功能集中化,这种既集中又分散的控制系统在 20 世纪 80 年代得到了很快的发展和广泛的应用。DCS 不仅可以实现许多复杂控制系统,而且在 DCS 的基础上还可以实现许多先进控制和优化控制。随着计算机及网络技术的发展,DCS 还可以实现多层次计算机网络构成的管控一体化系统(Computer Integrated Process System, CIPS)。

现场总线和现场总线控制系统得到了迅速的发展。现场总线是顺应智能现场仪表而发展起来的一种开放型的数字通信技术,它是综合运用微处理器技术、网络技术、通信技术和自动控制技术的产物。

采用现场总线作为系统的底层控制网络,构造了新一代的网络集成式全分布计算机控制系统,这就是现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)。FCS 的最显著特征是它的开放性、分散性和数字通信,较 DCS 而言,更好地体现了“信息集中,控制分散”的思想,因此有着更加广泛的应用基础。



## 二、化工仪表的分类

在化工生产过程中,需要测量与控制的变量是多种多样的,但主要的有热工量(压力、流量、液位、温度等)和成分(或物性)量。

化工自动化仪表按其功能不同,大致分成四个大类:检测仪表(包括各种工艺变量的测量元件和变送器);显示仪表(包括模拟量显示仪表和数字量显示仪表);控制仪表(包括气动、电动控制仪表及数字式控制器);执行器(包括气动、电动、液动控制阀和变频器等)。

## 三、化工自动化系统的分类

化工自动化系统根据其功能不同,可以分为下述四种。

### 1. 自动检测系统

利用各种仪表对化工生产过程中主要工艺变量进行测量、指示或记录的系统,称为自动检测系统。它代替了操作人员对工艺变量的不断观察与记录,因此起到对过程信息的获取与记录作用。这在生产过程自动化中,是最基本的也是十分重要的内容。

### 2. 自动信号报警和联锁保护系统

化工生产过程中,有时由于一些偶然因素的影响,导致工艺变量超出允许的变化范围而出现不正常情况,就有可能引起事故。为此,常对某些关键性变量设有自动信号联锁保护装置。

当工艺变量超过了工艺允许的范围,在事故即将发生以前,信号报警系统就自动地发出声、光信号警报,提醒操作人员注意,并督促操作人员及时采取措施。声是提醒操作人员有变量超过了工艺允许的范围,光是帮助操作人员确定是哪一个变量异常。

如果工况已到达危险状态,联锁系统立即自动采取紧急措施,打开安全阀或切断某些通路,必要时紧急停车,以防止事故的发生和扩大。它是生产过程中的一种安全系统。

### 3. 自动操纵及自动开停车系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤自动地对生产设备进行某种周期性操作。例如,合成氨造气车间的煤气发生炉,要求按照吹风、上吹、下吹、制气、吹净等步骤周期性地接通空气和水蒸气,利用自动操纵系统可以代替人工,自动地按照一定的时间程序开启空气和水蒸气的阀门,使它们交替地接通煤气发生炉,从而极大地减轻了操作人员的重复性体力劳动。

自动开停车系统可以按照预先规定好的步骤,将生产过程自动地投入运行或自动停车。

### 4. 自动控制系统

化工生产,大多数是连续生产,各设备相互关联着,生产过程中各种工艺条件是经常变化的,当其中某一设备的工艺条件发生变化时,都可能引起其他设备中某些变量的波动,偏离了正常的工艺条件。为此,就需要用一些自动控制装置,对生产中某些关键性变量进行自动控制,使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,能自动地回到规定的数值上或规定的数值范围内,这就是自动控制系统。

由以上所述可以看出:自动检测系统是“了解”生产过程进行的情况;自动信号联锁保护系统能够在工艺条件进入某种极限状态时,采取安全措施,以免发生生产事故;自动操纵系统能够按照预先规定好的步骤进行某种周期性操纵;自动控制系统能够自动地克服各种干扰因素对工艺变量的影响,使它们始终保持在预先规定的数值上,保证生产维持在正常或最佳的工艺操作状态。因此,自动控制系统是生产过程自动化的核心内容。

#### 四、课程的性质和任务

化工生产过程自动化是一门综合性的技术课程。它是利用自动控制课程、仪器仪表课程及计算机课程的理论与技术服务于石化工程课程。随着现代科学技术的进步,本课程将不断发展并日益被人们所重视。

在化工生产过程中,由于实现了自动化,人们通过自动化装置来管理生产,自动化装置与工艺及设备已结合成为有机的整体。因此,越来越多的工艺技术人员认识到:学习仪表及自动化方面的知识,对于管理与开发现代化化工生产过程是十分必要的。

# 第一章 自动控制系统基本知识

## 第一节 概 述

### 一、化工生产过程的控制

在工业生产中,对工艺过程中的一些物理量,即工艺变量,有着一定的控制要求。例如,在精馏塔的操作中,当塔中压力维持恒定时,只有保持精馏段或提馏段温度一定,才能得到合格的产品。有些工艺变量虽不直接地影响产品的质量和数量,然而,保持其平稳却是使生产获得良好控制的前提。因此,对某些工艺变量,需要加以必要的控制。

### 二、自动控制系统的组成

为了实现生产过程的控制,早期是人工控制,后来发展为自动控制。自动控制也正是受到人工控制经验的启发而产生和发展起来的。

#### 1. 人工控制

液体储槽是生产上常用的设备,通常用来作为中间容器或成品储罐。从前一个工序来的物料连续不断地流入储槽,而槽中的液体又送至下一工序进行加工或包装。流入量或流出量的波动都会引起槽内液位的波动。储槽液位过高,液体有可能溢出槽外造成浪费。液位过低,储槽可能被抽空,有被抽瘪而报废的危险。因此,维持液位在设定的标准值上是保证储槽正常运行的重要条件。这可以采用以储槽液位为操作指标,以改变流出量为控制手段,达到维持液位稳定的目的。

储槽液位人工控制原理如图 1-1 所示。操作人员用眼睛观察玻璃液位计的液位高度,并通过神经系统告诉大脑;大脑根据眼睛看到的液位高度  $L$  加以思考,并与生产上要求的液位标准值进行比较,得出偏差大小和方向,然后根据经验发出操作命令。按照大脑发出的命令,操作人员用双手去改变阀门开度,以调整流出流量  $F_o$ ,使流出量等于流入流量  $F_i$ ,最终使液位保持在设定的标准值上。储槽液位人工控制逻辑如图 1-2 所示,人的眼、脑、手三个器官,分别承担了检测、运算和执行三个任务,通过眼看、脑想和手动等一系列行为,共同来完成测量、求偏差、再控制以纠正偏差的全过程,保持了储槽液位的恒定。

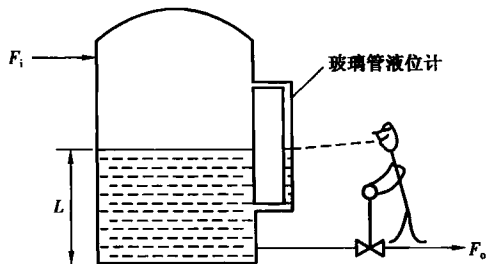


图 1-1 液位人工控制原理图

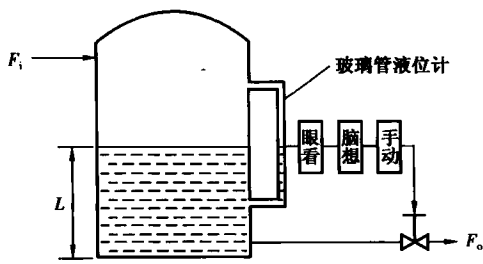


图 1-2 液位人工控制逻辑图

## 2. 自动控制

随着工业生产装置的大型化和对生产过程的强化,生产流程更为复杂。人工控制受生理上限制,越来越难以满足大型现代生产的需要。因此,人们在长期的生产和科学实验中经过不断探索发现,如果能找到一套自动化装置替代人工操作,将液体储槽和自动化装置结合在一起,构成一个自动控制系统,那么就可以实现自动控制了。

储槽液位自动控制原理如图 1-3 所示。液位变送器将储槽液位的高度测量出来并转换为标准统一信号。控制器接受变送器送来的标准信号,与工艺要求保持的储槽液位高度标准信号相比较得出偏差,按某种运算规律输出控制信号。控制阀接受控制器输出的控制信号以改变阀门的开度,从而调整流出量,使储槽液位保持稳定,这就是自动控制。图 1-4 所示为储槽液位自动控制流程图。图中,LT 表示液位变送器,LC 表示液位控制器,SV 表示设定值,LV 表示液位控制阀。他们组合起来,构成了自动化装置。

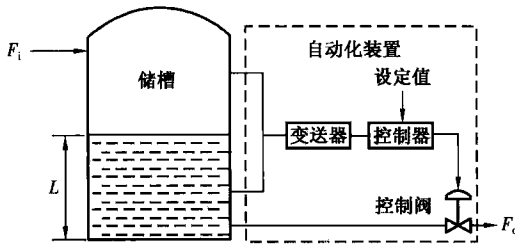


图 1-3 液位自动控制原理图

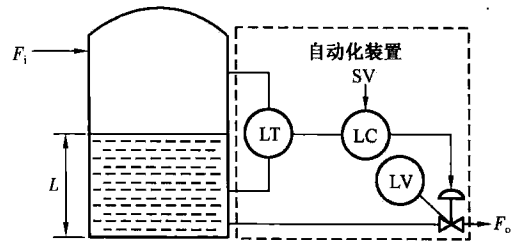


图 1-4 液位自动控制流程图

通过以上示例的对比分析可知,在储槽液位自动控制中,液位变送器、控制器和控制阀分别替代了人工控制中人的眼睛、大脑和双手的职能,他们和液体储槽一起,构成了一个自动控制系统。这里,液体储槽称为被控对象,简称对象或过程。

综上所述,一般自动控制系统是由被控对象和自动控制装置两大部分组成的。或者说,自动控制系统是由被控对象、检测元件与变送器、控制器和执行器等四个基本环节所组成的。

## 3. 自动控制系统的方框图

在研究自动控制系统时,为了能更清楚地说明系统的结构及各环节之间的信号联系和相互影响,一般用方框图加以表示。自动控制系统的方框图,就是从信号流的角度出发,将组成自动控制系统的各个环节用带箭头的信号线相互连接起来的一种图形,如图 1-5 所示。

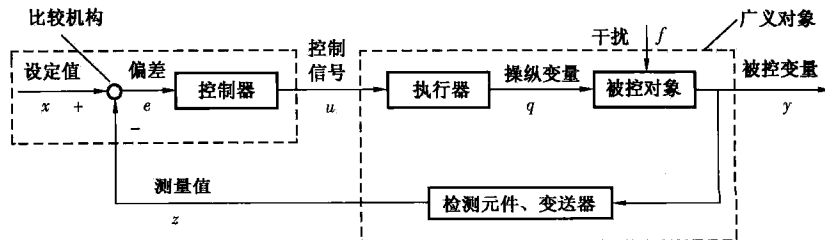


图 1-5 自动控制系统方框图

方框图中每个方框代表系统中的一个环节,方框之间用一条带有箭头的直线表示他们相互间的联系,线上箭头表示信号传递的方向,线上字母说明传递信号的名称。箭头指向方框的信号为该环节的输入信号,箭头指离方框的信号为该环节的输出信号。

几点说明:

① 箭头还具有单向性,即方框的输入信号只能影响输出信号,而输出信号不能影响输入信号。

② 方框图中各线段所表示的是信号关系,而不是指具体的物料或能量。

③ 方框图中的比较机构实际上是控制器的一个部分,不是独立的元件,为了更醒目地表示其比较作用,把它单独画出。比较机构的作用是比较设定值与测量值并得到其差值。

储槽液位控制系统方框图如图 1-6 所示。

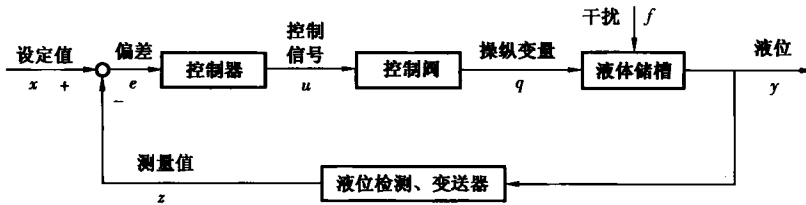


图 1-6 储槽液位控制系统方框图

现以储槽液位控制系统为例,说明自动控制系统中常用的名词和术语的意义。

#### (1) 被控变量 $y$

被控变量是表征生产设备或过程运行状况,需要加以控制的变量。在图 1-3 中,储槽液位就是被控变量。在控制系统中常见的被控变量有温度、压力、流量、液位、成分或物性等。

#### (2) 干扰(或扰动)作用 $f$

在生产过程中,凡是作用于对象,引起被控变量变化的各种外来因素都叫干扰(或扰动)作用。在图 1-3 中,流入储槽液体的流量或压力变化就是干扰。

#### (3) 操纵变量 $q$

在控制系统中,受控制器操纵,并使被控变量保持在设定值的物料量或能量,被称为操纵变量。在图 1-3 中,出料流量就是操纵变量。用来实现控制作用的具体物料称为控制介质。一般地说,流过控制阀的流体就是控制介质。

控制阀输出信号的变化称为控制作用。控制作用具体实现对被控变量的控制。

#### (4) 设(给)定值 $x$

设定值是一个与工艺要求的(期望的)被控变量相对应的信号值。在图 1-3 中,与生产期望的储槽液位相对应的信号值就是设定值。

#### (5) 测量值 $z$

测量值是检测元件与变送器的输出信号值。在图 1-3 中,液位变送器的输出信号值就是测量值。

#### (6) 偏差值 $e$

在自动控制系统中,规定偏差值是设定值与测量值之差,即  $e = x - z$ (在对控制器的特性分析和调校时,习惯取测量值与设定值之差为偏差值,即  $e = z - x$ )。

#### (7) 控制器输出(或控制信号) $u$

在控制器中,设定值与测量值进行比较得出偏差值,控制器根据此偏差值,按一定的控制规律进行运算,得到一个结果,与此结果对应的信号值,即为控制器输出。

#### (8) 检测变送器

检测变送器是检测元件与变送器的简称。检测元件是将被测变量转换成宜于测量的信号

的元件。变送器是接受过程变量(输入变量)形成的信息,并按一定的规律将其转换成标准统一信号的装置。例如,温度变送器、压力变送器、流量变送器、液位变送器等。

### (9) 执行器

执行器是自动控制系统的终端环节。它响应控制器发出的信号,用于直接改变操纵变量,达到控制被控变量的目的。它可以是控制阀,也可以是变频调速电机等。

### (10) 被控对象

被控对象通常是需要控制其工艺变量的生产设备、机器、一段管道或设备的一部分。例如,各种塔器、反应器、换热器、各种容器、泵和压缩机等。在图 1-3 中,储槽就是被控对象。

### (11) 反馈

把系统的输出信号通过检测元件与变送器又引回到系统输入端的做法称为反馈。当系统输出端送回的信号取负值与设定值相加时,属于负反馈;当反馈信号取正值与设定值相加时,属于正反馈。自动控制系统一般采用的是负反馈。

## 三、自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法,可以按被控变量分类,如温度、压力、流量、液位、成分等控制系统。也可以按控制器具有的控制规律分类,如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分控制系统。在分析控制系统时,最经常遇到的是将自动控制系统按照工艺过程需要控制的被控变量数值(即给定值)是否变化和如何变化来分类,这样可以将自动控制系统分为三类,既定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

### 1. 定值控制系统

在生产过程中,如果要求控制系统使被控变量保持在一个生产指标上不变,或者说要求工艺参数的给定值不变,这类控制系统称为定值控制系统。如图 1-3 液位控制系统就是定值控制系统的一个实例。在化工生产中绝大部分是定值控制系统,因此,后面讨论的自动控制系统,如果没有特殊说明,都是定值控制系统。

### 2. 随动控制系统

给定值是一个未知变化量的控制系统称为随动控制系统,这类控制系统的任务是保证各种条件下的输出(被控变量)以一定的精度跟随着给定信号的变化而变化。

### 3. 程序控制系统

程序控制系统的给定值有规律地变化,是已知的时间函数。

假如对控制系统按有无闭合(简称闭环)来分类,又可分为闭环控制系统和开环控制系统。凡是系统的输出信号对控制作用有直接影响的控制作用,就称为闭环控制系统。例如,图 1-3 所示的储槽液位控制系统便是闭环控制系统。在图 1-6 所示的方框图中,任何一个信号沿着箭头方向前进,最后又会回到原来的起点。从信号的传递角度来看,构成了一个闭合回路。所以,闭环控制系统必然是一个反馈控制系统。

若系统的输出信号不能影响控制作用,则称为开环控制系统。这种系统的输出信号不反馈到输入端,不能形成信号传递的闭合环路。例如,蒸汽加热器开环控制系统,如图 1-7 所

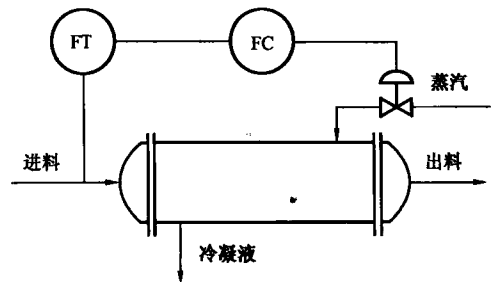


图 1-7 蒸汽加热器开环控制系统

若系统的输出信号不能影响控制作用,则称为开环控制系统。这种系统的输出信号不反馈到输入端,不能形成信号传递的闭合环路。例如,蒸汽加热器开环控制系统,如图 1-7 所

示。在蒸汽加热器中,如果负荷是主要干扰,则开环控制系统能使蒸汽流量与冷流体流量之间保持一定的函数关系。当冷流体流量变化时,通过控制蒸汽流量以保持热量平衡。图 1-8 是蒸汽加热器开环控制系统方框图,显然,开环控制系统不是反馈控制系统。

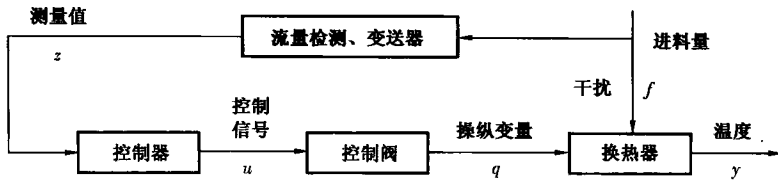


图 1-8 蒸汽加热器开环控制系统方框图

由于闭环控制系统采用了负反馈,因而使系统的被控变量受外来干扰和内部参数变化小,具有一定的抑制干扰、提高控制精度的特点,开环控制系统则不能做到这一点。但开环控制系统结构简单、使用便捷。

方框图是研究自动控制系统的常用工具和重要的概念,有了它可以方便地讨论各个环节之间的相互影响。如果只需要研究系统输入与输出的关系,有时把图 1-6 的方框图简化为图 1-9 中所示的形式,即将检测元件与变送器、控制阀、控制对象合为一个整体,称之为广义对象。

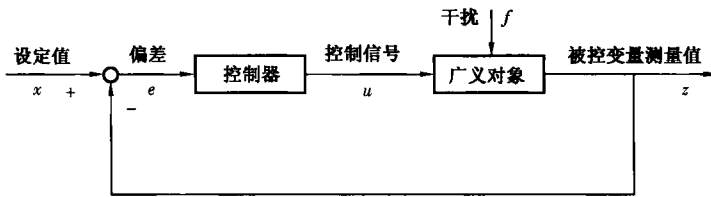


图 1-9 自动控制系统简化方框图

上述各种系统中,各环节的传递信号都是时间的函数,因而统称为连续控制系统。当各环节的输入、输出特性是线性时,则称这种系统为线性控制系统,反之为非线性控制系统。根据系统的输入和输出信号的数量可分为单输入系统和多输入多输出系统等。

## 第二节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标

### 一、静态、动态的概念

自动控制系统如果处于平衡状态时,系统的输入信号(给定值和干扰量等)及输出信号(被控变量)都保持不变,过程控制系统内各组成环节都不改变其原来的状态,其输入、输出信号的变化率为零。而此时生产仍在进行,物料和能量仍然有进有出。被控变量不随时间而变化的平衡状态称为静态。

自动控制系统中原来处于平衡状态的系统受到干扰的影响,其平衡状态受到破坏,被控变量偏离给定值,此时控制器会改变原来的状态,产生相应的控制作用,改变操纵变量去克服干扰的影响,使系统达到新的平衡状态。被控变量随时间而变化的不平衡状态称为动态。

### 二、自动控制系统的过渡过程

当控制系统受到外界干扰信号或设定值变化信号时,被控变量都会被迫离开原先的设定

值开始变化,使系统原先的平衡状态被破坏,只有当操纵变量重新找到一个合适的新数值来平衡外界干扰或设定值变化的作用时,系统才能重新处于平衡状态。因此,控制系统的过渡过程实际上是当控制系统在外界干扰或设定变化作用下,从一个平衡状态过渡到另一个新的平衡状态的过程,是控制作用不断克服干扰影响的过程。

研究自动控制系统的过渡过程对设计、分析、整定和改进控制系统具有十分重要的意义,过渡过程可以直接表示控制系统控制质量的优劣,与工业生产过程中的安全、产品产量及质量等有着密切的联系。

### 三、过渡过程的质量指标

#### 1. 过渡过程的形式

在自动控制系统中,干扰作用是破坏系统的平衡状态,引起被控变量发生变化的外界因素,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。干扰是客观存在的,不可避免的。在生产过程中,大多数控制对象往往有数种干扰作用同时存在。从干扰的种类和形式来看是不固定的,多半属于随机性质的。在分析和设计控制系统时,为了安全和方便起见,在多种干扰中,往往只考虑一个最不利的干扰。阶跃干扰通常是最不利的,其作用特性如图 1-10 所示。由图可见,阶跃干扰作用是一种突变作用,而且一经产生后就持续下去不再消失,它对被控变量的影响最大。如果一个系统能够很好地克服这种最不利的干扰影响,那么,其他形式的、变化较为缓和的干扰就能较好地克服。

一般地说,自动控制系统在阶跃干扰作用下的过渡过程有下述几种基本形式。

##### (1) 非周期衰减过程

当系统受到阶跃干扰后,在控制作用下,被控变量的变化先是单调地增大,到达一定程度后又逐渐减小,速度越来越慢,最终趋近设定值而稳定下来,这种过渡过程形式称为非周期衰减过程,如图 1-11 所示。

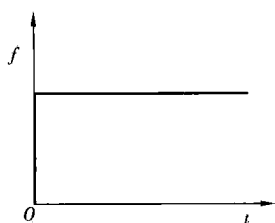


图 1-10 阶跃干扰

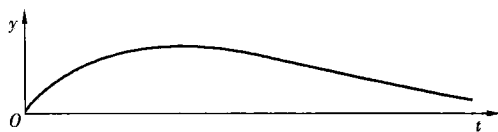


图 1-11 非周期衰减过程

##### (2) 衰减振荡过程

当系统受到阶跃干扰后,被控变量在设定值附近上下波动,但幅度越来越小,最后稳定在某一数值上,这种过渡过程形式称为衰减振荡过程,如图 1-12 所示。

##### (3) 等幅振荡过程

当系统受到阶跃干扰后,被控变量在设定值附近来回波动,而且波动幅度保持相等,这种过渡过程形式称为等幅振荡过程,如图 1-13 所示。

##### (4) 发散振荡过程

当系统受到阶跃干扰后,被控变量来回波动,而且波动幅度逐渐变大,即偏离设定值越来越远,这种过渡过程形式称为发散振荡过程,如图 1-14 所示。



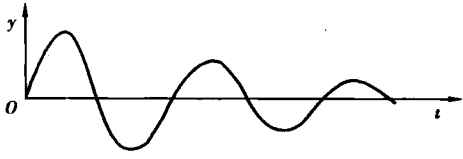


图 1-12 衰减振荡过程

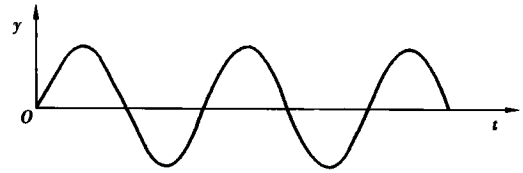


图 1-13 等幅振荡过程

### (5) 非周期发散过程

当系统受到阶跃干扰后,被控变量是单调地增大或减小,偏离原来的平衡点越来越远,这种过渡过程形式称为非周期发散过程,如图 1-15 所示。

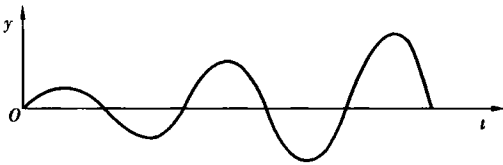


图 1-14 发散振荡过程

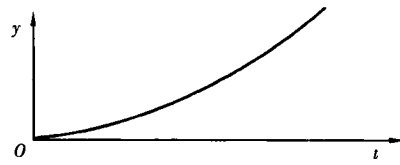


图 1-15 非周期发散过程

从以上分析可知,发散振荡、等幅振荡及非周期发散都属于不稳定过程,在控制过程中,被控变量不能达到平衡状态,甚至将导致被控变量超越工艺允许范围,严重时会引起事故发生,这是生产上所不允许的和不希望,应竭力避免。非周期衰减与衰减振荡是属于稳定过程,被控变量经过一段时间后,逐渐趋向原来的或新的平衡状态。对于非周期衰减过程,由于这种过渡过程变化较慢,被控变量在控制过程中长时间地偏离给定值,而不能很快恢复平衡状态,所以一般不会采用,只有在生产上不允许被控变量有波动的情况下才会采用。对生产操作者来说,更希望得到衰减振荡过程,因为他容易看出被控变量的变化趋势,能够较快地使系统稳定下来,便于及时操作调整。所以,在研究过渡过程时,一般都以在阶跃干扰(包括设定值的变化)作用下的衰减振荡过程为依据。

## 2. 过渡过程的质量指标

自动控制系统在受到外界作用时,要求被控变量能平稳、迅速和准确地回到设定值上来。控制系统的过渡过程是衡量控制系统品质的依据,因此,可以从过渡过程的稳定性、快速性和准确性等三方面来分析控制系统的控制品质。

假定自动控制系统在阶跃输入作用下,被控变量的变化是衰减振荡曲线形式,如图 1-16 所示。图中横坐标为时间,纵坐标为被控变量偏离设定值的变化量。假定在  $t=0$  之前,系统处于静态,且被控变量等于设定值。当  $t=0$  时,外加阶跃干扰作用。在控制作用下,被控变量开始按衰减振荡规律变化,经过一段时间后逐渐达到新的稳态值上。一般采用下列指标来评价控制系统的控制质量。

### (1) 余差(C)

余差是控制系统过渡过程终了时,被控变量新的稳态值  $y(\infty)$  与设定值  $x$  之差。或者说余差就是过渡过程终了时存在的残余偏差,在图 1-16 中用  $C$  表示。即

$$C = y(\infty) - x \quad (1-1)$$

余差是衡量控制系统准确性的一个质量指标。所以,希望余差越小越好。但在实际生