

//  
高等学校理工科规划教材

# 过程控制系统及仪表

GUOCHENG KONGZHI XITONG JI YIBIAO

(第二版)

李亚芬 主编 邵诚 主审



大连理工大学出版社  
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校理工科规划教材

TP216

41

# 过程控制系统及仪表

(第二版)

主 编 李亚芬  
主 审 邵 诚  
副主编 张志君 林 敏  
孙旭东

大连理工大学出版社

© 大连理工大学出版社 2006

**图书在版编目(CIP)数据**

过程控制系统及仪表 / 李亚芬主编. —2 版. —大连: 大连理工大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-5611-1501-6

I. 过… II. 李… 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. ①TP273 ②TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 099939 号

**大连理工大学出版社出版**

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连业发印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:17 字数:397 千字

1999 年 2 月第 1 版 2006 年 8 月第 2 版

2006 年 8 月第 2 次印刷

---

责任编辑:范业婷

责任校对:孙伟丽

封面设计:宋 蕾

---

定 价:25.00 元

# 第 1 版前言

---

《过程控制系统及仪表》是一本系统介绍生产过程自动化知识的教学用书。随着工艺生产和科学技术的飞速发展,生产过程自动化的水平越来越高,过程控制系统及仪表已经成为现代过程工业不可分割的重要组成部分。因此,作为工艺技术人员,全面地学习和掌握生产过程自动化方面的知识,对于强化生产工艺,优化生产操作,加强生产管理和提高生产效率都将是十分有益的。

近二十多年来,自动化技术取得了突飞猛进的发展,各种新型的自动化仪表和先进的控制系统层出不穷。摒弃那些已显陈旧的教学内容、努力反映自动化领域的新技术和新成果是本书的特色之一。

过程控制系统的理论分析和设计需要较多的数学知识,自动化仪表在设计制造方面也有许多技术问题值得探讨。但是,对于工艺技术人员来说,主要关心的问题是控制系统和仪表的基本原理及其应用特性。因此,本书尽量避免繁杂的数学推导,力求用简明扼要的文字和插图使读者对所学知识有更多的定性了解,通俗易懂,这是本书的另一个特色。

过程控制系统和仪表涉及的领域十分广阔,研究内容也极其丰富。本着理论联系实际、学以致用原则,本书在取材方面,不追求包罗万象、面面俱到,而是力争把最基本、最常用的内容都包含进来。突出重点,注重实用是本书的第三个特色。

全书共分四篇。第一篇过程控制基础知识由李亚芬、赵永瑞编写,主要介绍过程控制的基本概念,并对被控对象的特性给予分析。第二篇过程自动化仪表由张志君、孙旭东、李殊骁

编写,系统地讲述组成自动化装置的各种测量和控制仪表的工作原理、特点、选型及使用方法。第三篇常规过程控制系统由孙凤桥、曹晓英、林敏编写,从系统角度出发,讨论了基本的简单控制系统和常用的复杂控制系统的组成原理及实际应用。第四篇计算机过程控制系统由周小林、裴子英编写,重点介绍了直接数字控制系统和集散控制系统的基本概念、结构特点及其应用功能。全书由周小林统稿,张志君负责附录内容的编排。

参加本书编写的作者是来自于大连理工大学、吉林化工学院、大连轻工业学院和山东矿业学院的高校教师,绝大多数人有着多年从事生产过程自动化教学的经历,这本教材凝聚了作者的心血和经验。但是由于我们初次编写这类教材,缺点和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

1998年12月于大连

## 第 2 版前言

---

《过程控制系统及仪表》自出版以来,经相关院校多年试用,收到了积极反馈。根据教学需要,现对本书进行全面修订。在修订过程中,本书仍保留以下特色:

### (1)努力反映自动化领域的新技术和新成果

近年来,自动化技术的发展日新月异,各种先进的控制系统和新型的自动化仪表层出不穷。本书对那些已显陈旧的内容进行了删减,增加了新型仪表和先进控制系统方面的内容,以反映自动化领域的新技术和新成果。

### (2)语言简洁,层次清晰,可读性好

过程控制系统及仪表的分析和设计需要较多的理论基础,但对工艺技术人员来说,需要了解和掌握的是控制系统和仪表的基本原理及应用特性。本书用较少的数学推导,简洁的文字,配以适量的插图和图片来呈现过程控制系统及仪表的基本内容和知识,通俗易懂。

### (3)突出重点,注重实用

过程控制系统及仪表的内容十分丰富,本书以突出重点、注重实用为原则,力求反映基本概念、基本内容和最新成果,达到学以致用、融会贯通的目的。

### (4)配套课件,方便教学

本书配有多媒体课件和题库课件。在使用过程中,本书作者将对配套课件逐渐升级,完善服务。

全书共分 4 篇。第 1 篇过程控制基础知识,主要介绍过程控制的基本概念,并对被控对象的特性给予分析。第 2 篇过程自动化装置,综合讲述了各种检测仪表和控制装置的工作原

理、特点、造型及使用方法。第3篇过程控制系统,讨论简单控制系统和复杂控制系统的组成原理及实际应用,并且介绍过程控制领域中应用的先进控制系统内容。第4篇计算机控制系统,重点介绍计算机控制系统基础,以及主要计算机控制系统的基本原理、结构特点和应用功能。

参加本书编写与修订的有:大连理工大学李亚芬、张志君、孙旭东、王晓芳,大连轻工业学院林敏、王裕如。李亚芬策划和统稿,邵诚教授主审。

由于作者水平所限,缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正,以利本书进一步修订。

作 者

2006年8月于大工创新园

# 目 录

## 第 1 篇 过程控制基础知识

### 第 1 章 绪 论 / 2

- 1.1 生产过程自动化概述 / 2
    - 1.1.1 生产过程及其特点 / 2
    - 1.1.2 生产过程对控制的要求 / 3
    - 1.1.3 生产过程自动化的发展历程 / 4
  - 1.2 过程控制系统的组成及分类 / 4
    - 1.2.1 过程控制系统的组成 / 4
    - 1.2.2 过程控制系统的分类 / 6
  - 1.3 过程控制系统的方块图与工艺控制流程图 / 7
    - 1.3.1 过程控制系统的方块图 / 7
    - 1.3.2 过程控制系统的工艺控制流程图 / 9
  - 1.4 过程控制系统的过渡过程和性能指标 / 11
    - 1.4.1 过程控制系统的过渡过程 / 11
    - 1.4.2 过程控制系统的性能指标 / 12
- 习 题 / 15

### 第 2 章 被控对象的特性 / 17

- 2.1 概 述 / 17
    - 2.1.1 基本概念 / 17
    - 2.1.2 被控对象的阶跃响应特性 / 18
  - 2.2 被控对象特性的数学描述 / 20
    - 2.2.1 一阶对象的机理建模及特性分析 / 20
    - 2.2.2 二阶对象的机理建模及特性分析 / 24
    - 2.2.3 纯滞后对象的机理建模及特性分析 / 26
  - 2.3 被控对象的实验测试建模 / 27
    - 2.3.1 阶跃响应曲线的获取 / 28
    - 2.3.2 一阶纯滞后对象特性参数的确定 / 29
    - 2.3.3 二阶对象特性参数的确定 / 30
- 习 题 / 31

## 第 2 篇 过程自动化装置

### 第 3 章 过程测量仪表 / 34

- 3.1 测量仪表中的基本概念 / 34
  - 3.1.1 测量过程及测量仪表 / 34
  - 3.1.2 检测系统的基本特性及性能指标 / 35
- 3.2 温度测量 / 37
  - 3.2.1 概 述 / 37
  - 3.2.2 热电偶温度计 / 39

- 3.2.3 热电阻温度计 / 44
- 3.2.4 温度测量仪表的选用 / 47
- 3.2.5 温度变送器 / 47
- 3.2.6 一体化温度变送器 / 48
- 3.2.7 智能温度变送器 / 49
- 3.3 压力测量 / 49
  - 3.3.1 概 述 / 49
  - 3.3.2 弹性式压力表 / 51



- 3.3.3 电容式压力变送器 / 52
- 3.3.4 扩散硅压力变送器 / 54
- 3.3.5 智能差压变送器 / 55
- 3.3.6 压力表的选择和使用 / 56
- 3.4 流量测量 / 58
  - 3.4.1 概述 / 58
  - 3.4.2 差压式流量计 / 60
  - 3.4.3 容积式流量计 / 65
  - 3.4.4 浮子式流量计 / 65
  - 3.4.5 电磁流量计 / 66
  - 3.4.6 涡街流量计 / 67
- 3.5 物位测量 / 68
  - 3.5.1 概述 / 68
  - 3.5.2 静压式液位计 / 70
  - 3.5.3 磁浮子式液位计 / 72
  - 3.5.4 电容式物位计 / 74
  - 3.5.5 其他物位测量仪表 / 75
- 3.6 显示仪表 / 75
  - 3.6.1 概述 / 75
  - 3.6.2 模拟式显示仪表 / 76
  - 3.6.3 数字式显示仪表 / 78
  - 3.6.4 智能化、数字化记录仪 / 79
- 习题 / 82
- 第4章 过程控制仪表 / 84**
  - 4.1 基本控制规律 / 84
    - 4.1.1 位式控制 / 84
    - 4.1.2 比例控制 / 86
    - 4.1.3 比例积分控制 / 89
    - 4.1.4 比例微分控制 / 91
    - 4.1.5 比例积分微分控制 / 93
  - 4.2 DDZ-III型调节器 / 94
    - 4.2.1 主要功能 / 94
    - 4.2.2 构成原理 / 95
  - 4.3 可编程调节器 / 96
    - 4.3.1 KMM 可编程调节器的构成 / 96
    - 4.3.2 KMM 可编程调节器的主要功能 / 98
    - 4.3.3 正面板和侧面板 / 104
  - 4.4 可编程控制器 / 108
    - 4.4.1 可编程控制器的产生与发展 / 108
    - 4.4.2 可编程控制器的应用场合 / 109
    - 4.4.3 可编程控制器的构成、分类及工作过程 / 110
    - 4.4.4 可编程控制器的编程语言 / 112
    - 4.4.5 松下 FP1 可编程控制器 / 112
  - 习题 / 119
- 第5章 过程执行仪表 / 121**
  - 5.1 概述 / 121
  - 5.2 执行机构 / 122
    - 5.2.1 气动执行机构 / 122
    - 5.2.2 电动执行机构 / 124
  - 5.3 调节机构 / 125
    - 5.3.1 常用调节机构及特点 / 125
    - 5.3.2 流量系数与可调比 / 128
    - 5.3.3 流量特性 / 130
  - 5.4 电-气转换器和阀门定位器 / 134
    - 5.4.1 电-气转换器 / 134
    - 5.4.2 阀门定位器的主要用途 / 136
    - 5.4.3 电-气阀门定位器 / 137
  - 习题 / 138

### 第3篇 过程控制系统

- 第6章 简单控制系统 / 140**
  - 6.1 概述 / 140
  - 6.2 被控变量的选择 / 141
  - 6.3 操纵变量的选择 / 143
    - 6.3.1 对象静态特性对控制质量的影响 / 144
    - 6.3.2 对象动态特性对控制质量的影响 / 144
    - 6.3.3 选择操纵变量的原则 / 145
  - 6.4 控制系统中的测量变送问题 / 146
    - 6.4.1 测量变送问题对控制质量的影响 / 146
    - 6.4.2 克服测量变送问题的措施 / 147
  - 6.5 执行器的选择 / 149
    - 6.5.1 阀流量特性的选择 / 149
    - 6.5.2 执行器开闭形式的选择 / 150
  - 6.6 控制器的选择 / 151
    - 6.6.1 控制规律的选择 / 151

6.6.2	控制器正反作用的确定	/ 152
6.7	控制系统的投运及控制器参数的 整定	/ 153
6.7.1	控制系统的投运	/ 153
6.7.2	控制器参数的整定	/ 155
	习 题	/ 157
<b>第7章</b>	<b>复杂控制系统</b>	<b>/ 160</b>
7.1	串级控制系统	/ 160
7.1.1	串级控制系统的结构	/ 160
7.1.2	串级控制系统的工作过程	/ 163
7.1.3	串级控制系统的特点及应用 场合	/ 164
7.1.4	串级控制系统设计中的几个 问题	/ 165
7.1.5	串级控制系统的整定	/ 167
7.2	比值控制系统	/ 168
7.2.1	概 述	/ 168
7.2.2	比值控制系统的类型	/ 169
7.3	前馈控制系统	/ 172
7.3.1	概 述	/ 172
7.3.2	前馈控制系统的结构形式	/ 174
7.3.3	前馈控制系统的应用	/ 176
7.4	均匀控制系统	/ 177
7.4.1	均匀控制问题的提出	/ 177
7.4.2	均匀控制的特点	/ 177
7.4.3	均匀控制系统的结构形式	/ 178
7.5	分程控制系统	/ 179
7.5.1	基本概念	/ 179
7.5.2	分程控制系统的应用场合	/ 180
7.6	选择性控制系统	/ 182
7.6.1	基本概念	/ 182
7.6.2	选择性控制系统的实例分析	/ 183

7.7	多冲量控制系统	/ 184
-----	---------	-------

	习 题	/ 186
--	-----	-------

## 第8章 先进过程控制系统介绍 / 188

8.1	软测量技术	/ 188
8.1.1	辅助变量的选择	/ 189
8.1.2	数据采集与处理	/ 189
8.1.3	软测量模型的建立	/ 189
8.1.4	模型校正	/ 190
8.2	时滞补偿控制	/ 190
8.2.1	Smith 预估补偿控制	/ 190
8.2.2	控制实施中的若干问题	/ 191
8.3	解耦控制	/ 191
8.3.1	耦合现象的影响及分析	/ 191
8.3.2	解耦控制	/ 192
8.4	预测控制	/ 193
8.4.1	预测控制的基本原理	/ 193
8.4.2	预测控制工业应用	/ 194
8.5	自适应控制	/ 194
8.5.1	自校正控制系统	/ 195
8.5.2	模型参考自适应控制系统	/ 195
8.6	推断控制	/ 196
8.7	模糊控制	/ 197
8.7.1	模糊控制的特点	/ 197
8.7.2	模糊控制的结构	/ 198
8.8	神经网络控制	/ 200
8.8.1	神经元模型	/ 200
8.8.2	人工神经网络	/ 201
8.8.3	神经网络在控制中的应用	/ 201
8.9	故障诊断与容错控制	/ 202
8.9.1	故障检测与诊断	/ 202
8.9.2	容错控制	/ 203
	习 题	/ 203

## 第4篇 计算机控制系统

### 第9章 计算机控制系统基础 / 206

9.1	概 述	/ 206
9.2	系统的硬件组成	/ 207
9.2.1	过程通道	/ 208
9.2.2	人机联系	/ 208
9.2.3	通信网络	/ 212
9.3	系统的软件组成	/ 213

9.3.1	过程检测	/ 214
9.3.2	过程控制	/ 215
9.2.3	组态软件	/ 217

	习 题	/ 218
--	-----	-------

### 第10章 计算机控制系统介绍 / 220

10.1	概 述	/ 220
------	-----	-------

- 10.1.1 数据采集系统 / 220
  - 10.1.2 操作指导控制系统 / 220
  - 10.1.3 直接数字控制系统 / 221
  - 10.1.4 监督计算机控制系统 / 221
  - 10.2 工业控制计算机 / 222
    - 10.2.1 结构组成 / 222
    - 10.2.2 功能特点 / 223
  - 10.3 分散控制系统 / 223
    - 10.3.1 结构组成 / 224
    - 10.3.2 功能特点 / 226
    - 10.3.3 应用举例 / 227
  - 10.4 现场总线控制系统 / 231
    - 10.4.1 结构组成 / 231
    - 10.4.2 功能特点 / 232
    - 10.4.3 应用举例 / 233
  - 习 题 / 235
- 
- 附录 1 典型单元操作控制方案示例 / 236**
    - F1.1 化学反应器的控制 / 236
      - F1.1.1 反应器的基本控制方案 / 237
      - F1.1.2 反应器的新型控制方案 / 238
    - F1.2 精馏塔的控制 / 238
      - F1.2.1 精馏塔的基本控制方案 / 239
      - F1.2.2 精馏塔的前馈、串级、比值、均匀控制 / 240
      - F1.2.3 精馏塔的节能控制 / 241
    - F1.3 泵和压缩机的控制 / 242
      - F1.3.1 泵的控制方案 / 242
      - F1.3.2 压缩机的控制方案 / 243
      - F1.3.3 压缩机的串、并联运行 / 244
    - F1.4 燃烧过程的控制 / 244
  - 附录 2 分度表 / 246**
    - F2.1 热电偶分度表 / 246
    - F2.2 热电阻分度表 / 258
  - 参考文献 / 261**

# 第 1 篇

## 过程控制基础知识

在生产过程中,为了保证安全生产、产品质量和实现生产过程自动化,对各工艺过程的一些物理量(称为工艺变量)都有一定的控制要求。有些工艺变量直接表征生产过程,对产品的数量和质量起着决定性的作用。例如,精馏塔的塔顶和塔釜温度,必须保持一定,才能得到合格的产品;加热炉出口温度的波动不能超过允许范围,否则影响后序工段的效果;化学反应器的反应温度必须保持平稳,才能使效率达到指标。有些工艺变量虽然不直接影响产品的数量和质量,然而保持变量稳定是使生产过程良好运行的前提条件。例如,中间储槽的液位、温度和气相压力,必须维持在允许的范围之内,才能使物料平衡,保持生产均衡进行。有些工艺变量是决定安全生产的因素,起着至关重要的作用。例如,锅炉汽包水位以及受压容器的压力等,不允许超出规定的限度,否则将危及生产安全。为此,在生产过程中,对于上述各种类型的工艺变量,都必须加以必要的控制,实现生产过程的自动化。

生产过程自动化是一门综合性的技术科学,涉及自动控制技术、检测技术、计算机技术以及生产工艺机理等相关知识。本篇主要介绍过程控制的基本概念和过程控制的系统构成,并对被控对象的特性加以分析,为后续学习提供基础。

---

# 第1章 绪论

## 1.1 生产过程自动化概述

生产过程自动化是指石油、化工、电力、冶金、轻工等工业部门以连续性物流为主要特征的生产过程的自动控制,主要解决生产过程中的温度、压力、流量、液位(或物位)、成分(或物性)等参数的自动监测和控制问题。通过在生产设备、装置或管道上配置的自动化装置,部分或全部地替代现场工作人员的手动操作,使生产过程能在不同程度上自动地进行。这种用自动化装置来管理连续或间歇生产过程的综合性技术就称为生产过程自动化,简称为过程控制(Process Control)。

### 1.1.1 生产过程及其特点

过程控制所面对的生产过程多种多样,在生产设备的类型和规模上差别较大,过程进行的方式与方法也完全不同。只有对这些生产过程的特性进行深入地了解,才能有效地对它们实施自动控制。

连续生产过程主要有以下几种形式:

#### 1. 传热过程

通过冷热物流之间的热量传递,达到控制介质温度、改变介质相态或回收热量的目的。热量的传递方式有三种:热传导、对流和热辐射。在实际传热过程中,经常是几种方式同时发生。常见的传热设备有:各种换热器、蒸汽加热器、再沸器、冷凝冷却器、加热炉等。

#### 2. 燃烧过程

通过燃料与空气混合后燃烧为生产过程提供动力和热源。其中空气与燃料的比例是控制燃烧过程的关键因素。燃烧过程在过程工业中应用极广,比如热电厂的加热蒸汽锅炉、冶炼厂的各种冶炼炉及热处理炉、石化企业的加热炉、建材行业的干燥炉和各种窑炉等。

#### 3. 化学过程

由两种或多种物料反应生成一种或多种更有价值的产品的反应过程。反应条件的选择和控制对化学反应的质量至关重要。化学过程通常是在各类化学反应器设备中进行的,某些化学反应会在无任何外界干扰下,突然发生变化,给生产过程造成事故或破坏。

#### 4. 精馏过程

精馏是一种提纯或分离的过程。整个过程是在多层塔板构成的精馏塔内进行的。由于塔板层数较多,塔内的精馏过程作用很慢,而对来自外界的干扰却很敏感,是一种难以自动控制的过程。

#### 5. 传质过程

不同组分的分离和结合,如液体和气体之间的解吸、汽提、去湿或润湿,不同非溶液体的

萃取、结晶、蒸气或干燥等都是传质过程。其目的是获得纯的出口物料。因为该过程的最终检验指标是物料的成分,故对产品成分的测量和控制有较高要求。

上述各种生产过程虽然在工作机理上截然不同,但并不是孤立存在的。在大多数生产工艺中经常是几种过程同时发生。比如,燃烧过程伴随着传热过程,精馏过程伴随着传热和传质过程,化学过程伴随着传热过程等。而且影响任何生产过程的参数都不止一个,不同参数的变化规律各异,对过程的影响作用也极不一致。即便对于同一个过程,在不同的操作条件或工况下,有时也会表现出完全不同的工作特性。有些生产过程的特性至今仍无法准确地用数学表达式来描述,只能用适当的简化方法来近似处理。这些分析说明,生产过程具有复杂性、关联性、时变性、非线性以及不确定性,在某些高温高压或有害介质存在的场合,还具有相当的危险性。生产过程的这些特点极大地促进了过程控制技术的发展,使得过程控制在自动控制领域乃至国民经济中都占有极其重要的地位。

### 1.1.2 生产过程对控制的要求

工业生产对过程控制的要求是多方面的,随着工业技术的不断进步,生产工艺对控制的要求也愈来愈高。在目前的发展阶段,主要可以归结为三个方面:安全性、稳定性和经济性。

#### (1) 安全性

是指在整个生产运行过程中,能够及时预测、监控和防止发生事故,以确保生产设备和操作人员的安全,这是最重要也是最基本的要求。为此,必须采用自动检测、故障诊断、越限报警、联锁保护以及容错技术等措施加以保证。

#### (2) 稳定性

是指当工业生产环境发生变化或受到随机因素的干扰或影响时,生产过程仍能不间断地平稳运行,并保持产品质量稳定。生产过程中采用的各类控制系统主要是针对各种干扰而设计的,它们对生产过程的平稳运行起到关键性的作用。

#### (3) 经济性

是指在保证生产安全和产品质量的前提下,以最小的投资、最低的能耗和成本,使生产装置在高效率运行中获取最大的经济收益。这是随着市场竞争的日益加剧,对过程控制提出的一项高标准要求,正在受到前所未有的重视。

目前,生产过程全局最优化的问题已经成为亟待解决的迫切任务,大系统的协调控制、最优控制以及决策管理系统正在研究之中,并逐渐走向成熟。

过程控制的任务就是在了解、掌握工艺流程和生产过程的各种特性的基础上,根据工艺生产提出的要求,应用控制理论对控制系统进行分析、设计和综合,并采用相应的自动化装置和适宜的控制手段加以实现,最终达到优质、高产、低耗的控制目标。

生产过程自动化,对于保证生产的安全和稳定、降低生产成本和能耗、提高产品的产量和质量、改善劳动生产条件、提高生产设备的使用率、促进文明生产和科技进步、提高企业的经济效益和市场竞争能力等都具有十分重要的意义,是科学与技术进步的显著特征。目前,自动化装置已成为大型生产设备不可分割的重要组成部分,没有自动控制系统,大型生产过程根本无法长时间正常运行。实际上,生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

### 1.1.3 生产过程自动化的发展历程

生产过程自动化的发展与生产过程本身的发展有着密切联系,它经历了一个从简单形式到复杂形式,从局部自动化到全局自动化,从低级经验管理到高级智能决策的发展过程。回顾生产过程自动化的发展历史,大致可分为三个发展阶段。

#### 1. 初级阶段

20世纪50年代以前,工业生产的规模比较小,设备也相对简单,大多数生产过程处于手工操作状态。生产过程自动化局限于简单的检测仪表和笨重的基地式仪表,因此,只能在局部生产环节就地实现一些简单的自动控制。控制系统设计仅仅凭借实际经验,过程控制的主要目的是为了维持生产的平稳运行。

#### 2. 仪表化阶段

20世纪50年代~60年代,随着人们对生产过程机理认识的深化和各种单元操作技术的开发,使得工业生产朝着大型化、连续化和综合化的方向迅速发展。为了适应工业生产发展的客观需要,各种自动化仪表应运而生,先后出现了单元组合仪表和巡回检测仪表。与此同时,现代控制理论也取得了惊人的进展,控制系统的设计不再完全依赖于经验,各种较为复杂的过程控制系统相继投运成功。由单元组合仪表组成的常规控制系统已经从原来分散的单个设备向装置级的规模发展,并实现了集中监视和操作,为强化生产过程和提高设备效率起到了重要作用。尽管当时计算机集中控制系统已经在生产过程中有了应用,但单元组合仪表无疑是这一时期生产过程自动化的主角。

#### 3. 综合自动化阶段

20世纪70年代以来,由于大规模集成电路的研制和微处理器的问世,为生产过程实现高水平的自动化创造了强有力的技术条件,不仅各种多功能组装仪表、数字仪表和智能仪表层出不穷,而且适合工业自动化要求的商品化控制计算机系列也相继推出。尤其是20世纪70年代中期出现的以微处理器为核心,以集中管理和分散控制为特征的集散型计算机控制系统,给生产过程自动化的发展带来了深远的影响,使其进入到了全车间、全厂甚至整个企业全面实现自动化的新时期。这一时期的过程控制已经突破了局部控制的旧模式,实现了过程控制最优化和生产调度与经营管理自动化相结合的管理控制一体化新模式,并且正在向着高度智能化的计算机集成生产系统的方向发展。

总之,生产过程自动化是自动控制理论、计算机科学、仪器仪表技术和生产工艺知识结合而构成的一门综合性的技术科学。它是适应工业生产发展的需要而发展起来的。在现代过程工业中,自动化装置与生产工艺及设备之间相互依存,相互促进,并已结合成为有机的整体。因此,作为工艺技术人员,学习和掌握生产过程自动化方面的知识,对于研究和开发新的生产工艺,解决生产操作中的关键技术问题,合理确定控制方案,保证生产优质、高产、低耗地顺利运行,促进生产企业的现代化管理等都具有十分重要的作用。

## 1.2 过程控制系统的组成及分类

### 1.2.1 过程控制系统的组成

工业生产过程在运行中会受到各种干扰因素的影响,使得工艺参数经常偏离所希望的

数值。为了保证生产安全、优质、高产、平稳运行，必须对生产过程实施有效地控制。尽管人工操作也能控制生产，但由于受到生理上的限制，人工控制满足不了大型现代化生产的需要。在人工控制基础上发展起来的自动控制系统，可以借助于一整套自动化装置，自动地克服各种干扰因素对工艺生产过程的影响，使生产能够正常运行。我们把以温度、压力、流量、液位和成分等工艺参数作为被控变量的自动控制系统称为过程控制系统。

下面我们以液体贮槽的液位控制为例来说明过程控制系统的基本构成。

在生产中液体贮槽常用做进料罐、成品罐或者中间缓冲容器。从上一道工序来的物料连续不断地流入槽中，而槽中的液体又被连续不断地送至下一道工序进行处理。为了保证生产过程的物料平衡，工艺上要求将贮槽内的液位控制在一个合理的范围。由于液体的流入量受到上一道工序的制约，是不可控的。流入量的变化是影响槽内液体波动的主要因素，严重时会使槽内液体溢出或抽空。解决这一问题的最简单方法，就是根据槽内液位的变化，相应地改变液体的流出量。

如图 1-1(a)所示，采用人工控制时，人眼观察玻璃管液位计(测量元件)的指示高度，通过神经系统传入大脑；大脑将观察的液位高度与所期望的液位高度进行比较，判断出液位的偏离方向和程度，并经过思考估算出需要改变的流出量，然后发出动作命令；手根据大脑的指示，改变出口阀门的开度，相应地增减流出量，使液位保持在合理的范围内。

如图 1-1(b)所示，采用自动控制时，槽内液体的高度由液位变送器检测并将其转换成统一的标准信号后送到控制器；控制器将接收到的变送器信号与事先置入的液位期望值进行比较，并根据两者的偏差按某种规律运算，然后将结果发送给执行器(调节阀)；执行器将控制器送来的指令信号转换成相应的位移信号，去驱动阀门动作，从而改变液体流出量，实现液位的自动控制。

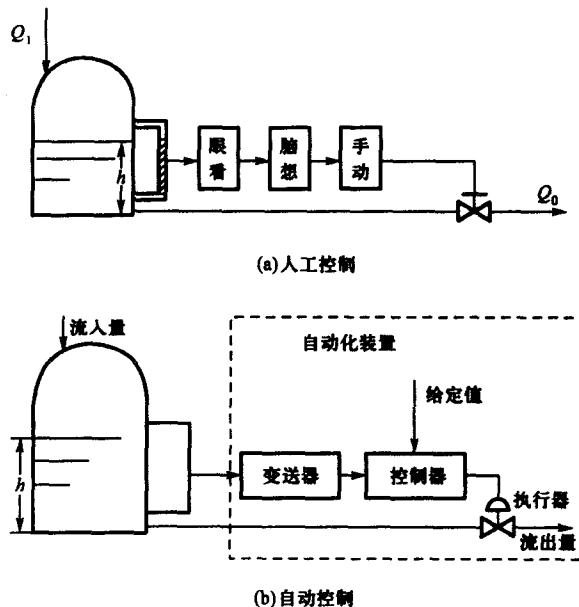


图 1-1 贮槽液位控制原理图

上述液位的人工控制和自动控制的工作原理是相似的，操作者的眼睛类似于测量装置；操作者的大脑类似于控制器；而操作者的肌体类似于执行器。



现在结合液体贮槽液位控制的例子,先介绍几个过程系统中常用的术语。

### (1)被控对象

需要控制的设备、机器或生产过程称为被控对象,简称对象。如本例中的液体贮槽。当需要控制的工艺参数只有一个时,则生产设备与被控对象是一致的;当需要控制的参数不止一个,且同时有几个控制系统存在时,被控对象就不一定是整个生产设备,可能是与某一控制系统相对应的那一部分。

### (2)被控变量

对象中需要进行控制(保持数值在某一范围内或按预定规律变化)的物理量称为被控变量。如本例中的液体贮槽液位。

### (3)操纵变量

受到控制装置的操纵,用以使被控变量保持在设定数值的物料或能量称为操纵变量。如本例中的液体流出量。

### (4)干扰(扰动)

除操纵变量外,作用于对象并使被控变量发生变化的因素称为干扰(扰动)。如本例中的液体流入量。由系统内部因素变化造成的扰动称为内扰,其他来自外部的影响统称为外扰。不论是内扰还是外扰,过程控制系统都应对其有较好的抑制作用。

### (5)给定值(设定值)

按照生产工艺的要求为被控变量规定的所要达到或保持的数值称为给定值(设定值)。如在本例中,为了防止槽内液体溢出或抽空,规定液体贮槽液位保持在贮槽50%的高度比较合理。

### (6)偏差

在理论上偏差应该是给定值与被控变量的实际值之差。但是我们能够直接获取的信息是被控变量的测量值而非实际值。因此,在过程控制系统中通常把被控变量的给定值与测量值之差称为偏差。

由液体贮槽液位控制可知,实现液位的自动控制需要三大环节,即测量与变送装置、控制器、执行器。测量与变送装置的作用是自动检测被控变量的变化,并将其转换成统一的标准信号后传送给控制器。控制器的作用是根据偏差的大小、方向以及变化情况,按照某种预定的控制规律计算后,发出控制信号。执行器的作用是将控制信号转换成位移,并驱动阀门动作,使操纵变量发生相应的变化。如果把测量与变送装置、控制器、执行器统称为自动化装置,则过程控制系统由被控对象和自动化装置两部分组成。显然,不论被控对象是什么,作为生产过程自动化装置必须具备测量、比较、决策、执行这些基本功能。过程控制系统的任务就是当被控对象受到干扰使被控变量(温度、压力、流量、液位、成分等)产生偏差时,能够及时检测,并通过合理地调节操纵变量使被控变量回到给定值。

## 1.2.2 过程控制系统的分类

过程控制系统的分类方法很多,每一种分类方法只反映出过程控制系统在某一方面的特点。比如,按被控变量的名称来分类,有温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统及液位控制系统等。按被控变量的数量来分类,有单变量控制系统和多变量控制系统。按控制系统的难易程度分类,有简单控制系统和复杂控制系统。按控制系统所完成的功能分类,有反馈控制系统、串级控制系统、前馈控制系统、比值控制系统等。按控制系统处理的信号分