

WUTP

普通高等学校  
自动化类专业新编系列教材

Process Control System

过程控制系统

主 编 方康玲  
副主编 王新民 刘彦春

武汉理工大学出版社

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

# Process Control System 过程控制系统

主 编 方康玲  
副主编 王新民 刘彦春  
主 审 谢克明

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 内 容 简 介

本书共 10 章,包括概述、过程控制系统建模方法、过程控制系统设计、PID 调节原理、串级控制、特殊控制方法、补偿控制、关联分析与解耦控制、模糊控制以及计算机过程控制系统。

本书可以作为高等学校自动化类专业本科“过程控制系统”课程的教材和教学参考书,也可作为有关工程技术人员的自学教材和参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统/方康玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2002.6

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

ISBN 7-5629-1810-4

I. 过…

II. 方…

III. 过程控制-控制系统-高等学校-教材

IV. TP273

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

HTTP://www.whut.edu.cn/chuban1

E-mail:wutp @ public.wh.hb.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉理工大学出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:19

字 数:468 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版

印 次:2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~5000 册

定 价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换

本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

# 普通高等学校自动化类专业新编系列教材

## 出版说明

世纪之交,我国高等学校的人才培养工作正处在一个关键的历史时期。为了适应我国改革开放和社会主义现代化建设特别是社会主义市场经济体制对高等教育人才培养工作的新要求,为了适应世界科学技术发展的新趋势和新特点,原国家教育委员会组织对普通高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订,并于1998年7月由教育部正式颁布实施。修订后的专业目录中,自动化类专业的专业面大大拓宽,相应的专业培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。要适应新的专业培养目标和教学要求,组织一套新的自动化类专业系列教材就成了当务之急。为此,武汉理工大学出版社在广泛调研的基础上,组织国内近30所大学的近100位教授共同编写了这套系列教材。

本套教材定位于普通高等学校自动化类专业本科层次,遵照教育部颁发的《普通高等学校本科专业介绍》中所提出的培养目标和培养要求,依据2000年5月全国23所高等院校的70多位专家教授在武汉共同确定的指导思想和编写大纲进行编写,具有如下特点:

**观念新**——主动适应教学改革的需要和市场经济对人才培养的要求;

**内容新**——自动化技术在近20年来进展巨大,并与计算机技术、航空航天技术、建筑工程、生物工程、社会科学(社会系统与经济系统)联系越来越紧密,这套教材尽可能反映了这些内容,以适应21世纪自动化与控制工程人才的培养要求;

**体系新**——在以前的基础上重构和重组,而非重建。各门课程及内容的组成、顺序、比例更加优化,避免遗漏和不必要的重复;

**与国际接轨**——自动化类专业教育要面向世界,面向未来,面向区域经济。在借鉴发达国家高等教育的专业模式和课程设置的同时,适当兼顾当前各地区经济文化发展不平衡的现状;

**教学手段现代化**——本套教材力求具有网络化、电子化、数字化的特色,大力推进电子讲稿和多媒体课件的出版工作。

本系列教材是在21世纪初推出的目前系统优化、品种较全、作者阵容最强的一套普通高等学校自动化类(本科)系列教材。我们将高度重视,兢兢业业,保证质量,恳请选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修订、补充、完善全套教材。

21世纪已经到来,知识经济的曙光已经初现。面向新世纪的中国高等教育正在经历前所未有的变革和发展,人文与理工相通,科学与技术相融,教学与研究并重,知识与智慧同尊,以培养社会经济文化发展所需要的复合型人才,这是我国建立知识创新体系的重大挑战和空前机遇。我社愿与各位专家、读者真诚合作,共同努力,为新世纪的中国高等教育事业做出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2001年8月

# 普通高等学校自动化类专业新编系列教材

## 编审委员会

### 顾问：

郑大钟 熊有伦 戴冠中 萧德云 陈伯时 周祖德  
项国波 席裕庚 褚 健

### 主任委员：

萧蕴诗 张崇巍 陈大钦 吴 坚 陈福祥 高鸣涵

### 委员(按姓氏笔画顺序)：

马建国 王 辉 王孝武 王明阳 王建华 王俊杰  
文 方 方康玲 卢京潮 龙 伟 申功璋 叶春生  
全书海 吕 锋 刘 泉 刘涤尘 刘京南 李汉强  
李磊民 宋靖雁 林 都 林 辉 林锦国 杨 波  
杨天怡 杨家本 周泽义 胡 超 赵英凯 赵曾贻  
侯朝桢 钟 珞 须文波 翁维勤 夏承铨 郭圣权  
徐科军 黄席樾 章卫国 彭容修 程耕国 温阳东  
曾庆军 谢克明 熊前兴 黎明森 戴文进

### 编委会秘书：

黄 春

### 总责任编辑：

杨学忠 徐秋林

## 前 言

过程控制是工业自动化的重要分支。几十年来,工业过程控制获得了惊人的发展,无论是在大规模的结构复杂的工业生产过程中,还是在传统工业过程改造中,过程控制技术对于提高产品质量以及节省能源等均起着十分重要的作用。

《过程控制系统》是自动化专业的主要专业课程之一。本书系统地介绍有关过程控制的理论与技术,编写内容考虑以下原则:

1. 从基本概念出发,深入浅出地阐述了过程控制系统的本质与特点,系统地讨论了从系统建模到多变量解耦控制的理论与方法,力图使学生掌握过程控制系统分析、设计和优化的基本原理和技术。

2. 作为过程控制的基本理论和方法,本书第4、5、6、7章详细介绍了PID控制、串级控制、单回路特殊控制以及补偿控制系统的原理与设计方法。

3. 过程控制是一门理论与生产实际结合紧密的课程。全书各章均结合本章内容,附有应用实例和习题。

4. 调节阀是过程控制系统中的重要执行部件,传感器是过程控制系统中的检测元件。本书从系统设计角度出发,介绍调节阀和传感器(以流量传感器为例)在系统中的作用与选型方法,使学生以此为基础,初步掌握系统工程设计的思想与方法。

5. 近年来迅速发展的先进过程控制方法极大地提高了系统的品质和控制水平。基于使学生能较为深入地掌握一种方法的思想,本书选择先进过程控制中的模糊控制,较为详细地介绍了模糊控制的理论以及设计方法。

6. 随着现代科学技术的发展,过程控制系统已经主要是计算机控制系统。本书第10章介绍计算机过程控制。

参加本书编写工作的有方康玲(第1、9章),王新民(第2章),陈林(第3章),王耀青(第4章),刘彦春(第5、6章),吴怀宇(第7、8章),李志俊(第10章)。本书由方康玲教授担任主编,王新民教授和刘彦春副教授担任副主编,负责大纲的制定以及全书的组织和定稿。全书由谢克明教授担任主审。

由于编者水平有限,缺点和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2002年5月

## 目 录

<b>1 概述</b> .....	(1)
1.1 过程控制的任务与目标 .....	(1)
1.2 过程控制系统的组成与特点 .....	(2)
1.2.1 过程控制系统组成 .....	(2)
1.2.2 过程控制系统特点 .....	(2)
1.3 过程控制系统的性能指标 .....	(4)
1.4 过程控制的进展 .....	(5)
1.4.1 过程控制装置的进展 .....	(5)
1.4.2 过程控制策略与算法的进展 .....	(6)
习题 .....	(7)
<b>2 过程控制系统建模方法</b> .....	(8)
2.1 过程控制系统建模概念 .....	(8)
2.1.1 建模概念 .....	(8)
2.1.2 过程控制系统建模的两个基本方法 .....	(9)
2.2 机理建模方法 .....	(10)
2.2.1 单容对象的传递函数 .....	(10)
2.2.2 具有纯延迟的单容对象特性 .....	(13)
2.2.3 无自平衡能力的单容对象特性 .....	(13)
2.2.4 多容对象的动态特性 .....	(14)
2.3 测试建模方法 .....	(17)
2.3.1 对象特性的实验测定方法 .....	(17)
2.3.2 测定动态特性的时域法 .....	(18)
2.3.3 测定动态特性的频域法 .....	(24)
2.3.4 测定动态特性的统计相关法 .....	(26)
2.3.5 最小二乘法 .....	(33)
习题 .....	(37)
<b>3 过程控制系统设计</b> .....	(40)
3.1 过程控制系统设计步骤 .....	(40)
3.2 确定控制变量与控制方案 .....	(40)
3.2.1 确定控制目标 .....	(40)
3.2.2 确定控制方案 .....	(41)
3.3 过程控制系统硬件选择 .....	(42)
3.3.1 控制装置 .....	(42)
3.3.2 测量仪表和传感器的选型原则 .....	(42)

3.4	节流元件计算	(43)
3.4.1	测量计算有关的基本概念	(43)
3.4.2	流量计类型	(44)
3.4.3	节流元件	(44)
3.5	调节阀选择	(49)
3.5.1	调节阀计算基础	(49)
3.5.2	调节阀的流量特性	(53)
3.5.3	调节阀口径计算	(57)
3.6	计算举例	(62)
3.6.1	角接取压标准孔板计算	(63)
3.6.2	蝶阀计算	(66)
	习题	(67)
<b>4</b>	<b>PID 调节原理</b>	(69)
4.1	PID 控制概述	(69)
4.2	过程控制系统的动态特性	(71)
4.3	比例调节(P 调节)	(76)
4.3.1	比例调节的动作规律和比例带	(76)
4.3.2	比例调节的特点——有差调节	(77)
4.3.3	比例带对于调节过程的影响	(78)
4.4	积分调节(I 调节)	(79)
4.4.1	积分调节规律和积分速度	(79)
4.4.2	积分调节的特点——无差调节	(80)
4.4.3	积分速度对于调节过程的影响	(80)
4.5	比例积分微分调节(PID 调节)	(81)
4.5.1	关于微分调节	(81)
4.5.2	比例积分(PI)调节	(82)
4.5.3	比例微分(PD)调节	(87)
4.5.4	比例积分微分调节规律及其基本特征	(89)
4.6	PID 调节器的参数工程整定	(92)
4.6.1	PID 参数整定的基本原则	(92)
4.6.2	PID 参数的工程整定方法	(94)
	习题	(101)
<b>5</b>	<b>串级控制</b>	(104)
5.1	基本概念	(104)
5.1.1	串级控制的提出	(104)
5.1.2	串级控制系统的组成	(106)
5.1.3	串级控制系统的工作过程	(107)
5.2	串级控制系统的分析与设计	(108)
5.2.1	串级控制系统的分析	(108)



---

5.2.2	串级控制系统的设计 .....	(116)
5.3	串级控制系统整定方法 .....	(124)
5.3.1	逐步逼近法 .....	(125)
5.3.2	两步整定法 .....	(125)
5.3.3	一步整定法 .....	(126)
5.4	应用举例 .....	(128)
5.4.1	克服变化剧烈和幅度大的干扰 .....	(128)
5.4.2	克服对象的纯滞后 .....	(129)
5.4.3	克服对象的容量滞后 .....	(129)
5.4.4	克服对象的非线性 .....	(130)
5.4.5	自校正设定值 .....	(131)
	习题 .....	(132)
6	特殊控制方法 .....	(134)
6.1	比值控制系统 .....	(134)
6.1.1	比值控制原理 .....	(134)
6.1.2	比值控制系统设计 .....	(139)
6.1.3	比值控制系统整定 .....	(144)
6.2	均匀控制系统 .....	(145)
6.2.1	均匀控制的概念 .....	(145)
6.2.2	均匀控制系统的结构形式 .....	(146)
6.2.3	控制器的参数整定 .....	(149)
6.3	分程控制系统 .....	(150)
6.3.1	基本概念 .....	(150)
6.3.2	分程控制的应用 .....	(151)
6.3.3	实施中的几个问题 .....	(153)
6.4	自动选择性控制系统 .....	(155)
6.4.1	基本概念 .....	(155)
6.4.2	选择性控制系统的类型 .....	(155)
6.4.3	抗积分饱和 .....	(158)
6.4.4	控制器选择与参数整定 .....	(159)
6.5	应用举例 .....	(159)
	习题 .....	(163)
7	补偿控制 .....	(165)
7.1	补偿控制的基本原理与结构 .....	(165)
7.2	前馈控制系统 .....	(166)
7.2.1	前馈控制系统的概念 .....	(166)
7.2.2	前馈控制系统的基本结构 .....	(167)
7.3	大迟延过程系统 .....	(171)
7.3.1	延迟对系统品质的影响 .....	(171)

7.3.2	Smith 预估器 .....	(171)
7.3.3	大林(Dahlin)算法 .....	(175)
	习题 .....	(180)
<b>8</b>	<b>关联分析与解耦控制 .....</b>	<b>(182)</b>
8.1	控制回路间的关联 .....	(182)
8.1.1	控制回路间的耦合 .....	(182)
8.1.2	被控对象的典型耦合结构 .....	(182)
8.1.3	耦合程度的分析方法 .....	(184)
8.2	相对增益矩阵 .....	(185)
8.2.1	相对增益矩阵的定义 .....	(185)
8.2.2	相对增益的计算 .....	(186)
8.2.3	第二放大系数 $q_{ij}$ 的直接算法 .....	(188)
8.2.4	相对增益矩阵的特性 .....	(189)
8.3	减少及消除耦合的方法 .....	(190)
8.4	解耦控制系统设计 .....	(193)
8.4.1	前馈补偿解耦法 .....	(193)
8.4.2	反馈解耦法 .....	(194)
8.4.3	对角阵解耦法 .....	(195)
8.4.4	单位阵解耦法 .....	(197)
	习题 .....	(199)
<b>9</b>	<b>模糊控制 .....</b>	<b>(201)</b>
9.1	概述 .....	(201)
9.1.1	模糊的基本概念 .....	(201)
9.1.2	模糊控制系统 .....	(201)
9.2	模糊集合的基本概念 .....	(202)
9.2.1	模糊集合 .....	(202)
9.2.2	模糊集的基本运算 .....	(203)
9.3	模糊关系 .....	(206)
9.3.1	普通关系 .....	(206)
9.3.2	模糊关系 .....	(206)
9.3.3	模糊变换 .....	(209)
9.3.4	模糊决策 .....	(209)
9.4	模糊推理 .....	(211)
9.4.1	模糊逻辑 .....	(211)
9.4.2	模糊语言算子 .....	(211)
9.4.3	模糊推理 .....	(212)
9.5	模糊控制器原理及设计 .....	(214)
9.5.1	模糊控制系统的组成 .....	(215)
9.5.2	模糊控制原理 .....	(215)

9.5.3	模糊控制系统设计 .....	(215)
9.6	工业电阻炉温度模糊控制系统 .....	(228)
9.6.1	系统简介 .....	(228)
9.6.2	电阻炉温度模糊控制器设计 .....	(228)
9.6.3	控制效果 .....	(231)
	习题 .....	(232)
<b>10</b>	<b>计算机过程控制系统</b> .....	<b>(234)</b>
10.1	计算机过程控制系统组成与分类 .....	(234)
10.1.1	计算机过程控制系统简介 .....	(234)
10.1.2	计算机过程控制系统的组成 .....	(235)
10.1.3	计算机过程控制系统的类型 .....	(236)
10.2	数据通信技术 .....	(240)
10.2.1	异步传送与同步传送 .....	(241)
10.2.2	面向字符和面向位的传送 .....	(242)
10.2.3	平衡与不平衡传输技术 .....	(245)
10.2.4	RS-422/RS-485 接口及应用 .....	(247)
10.3	工业网络技术 .....	(249)
10.3.1	工业网络概述 .....	(249)
10.3.2	网络协议及其层次结构 .....	(255)
10.3.3	IEEE802 标准 .....	(257)
10.3.4	工业网络的性能评价和选型 .....	(258)
10.4	可编程序控制器(PLC)系统 .....	(259)
10.4.1	可编程序控制器概述 .....	(259)
10.4.2	梯形图 .....	(262)
10.4.3	PLC 的指令系统 .....	(264)
10.4.4	PLC 系统的设计 .....	(268)
10.4.5	PLC 控制系统设计实例 .....	(270)
10.5	集散控制系统(DCS) .....	(271)
10.5.1	DCS 概述 .....	(271)
10.5.2	DCS 的分散过程控制级 .....	(275)
10.5.3	DCS 的集中操作监控级 .....	(277)
10.5.4	DCS 的综合信息管理级 .....	(279)
10.6	现场总线控制系统(FCS) .....	(281)
10.6.1	现场总线网络系统 .....	(281)
10.6.2	现场总线控制系统(FCS) .....	(286)
	习题 .....	(290)
	参考文献 .....	(291)

# 1 概 述

## 本章提要

自动化技术的发展与生产过程密切相关,自 20 世纪 30 年代以来,取得了极其显著的进展。过程控制技术是自动化技术的重要分支。

本章首先简要地说明过程控制的任务与控制目标;接着介绍过程控制系统,包括系统组成、特点以及性能指标;最后,介绍过程控制技术的发展里程。

## 1.1 过程控制的任务与目标

生产过程是指物料经过若干加工步骤而成为产品的过程。该过程中通常会发物理化学反应、生化反应、物质能量的转换与传递等等,或者说生产过程表现为物流变化的过程。伴随物流变化的信息包括体现物流性质(物理特性和化学成分)的信息和操作条件(温度、压力、流量、液位或物位等)的信息。

生产过程的总目标,应该是在可能获得的原料和能源条件下,以最经济的途径将原物料加工成预期的合格产品。为了达到目标,必须对生产过程进行监视与控制。因此,过程控制的任务是在充分了解生产过程的工艺流程和动静态特性的基础上,应用理论对系统进行分析与综合,以生产过程中物流变化信息量作为被控量,选用适宜的技术手段,实现生产过程的控制目标。

生产过程总目标具体表现为生产过程的安全性、稳定性和经济性。

(1) 安全性 在整个生产过程中,确保人身和设备安全是最重要和最基本的要求。在过程控制系统中通常采用越限报警、事故报警和连锁保护等措施来保证生产过程的安全性。另外,在线故障预测与诊断、容错控制等可用于进一步提高生产过程的安全性。

(2) 稳定性 指系统抑制外部干扰、保持生产过程长期稳定运行的能力。变化的(特别是恶劣的)工业运行环境、原料成分的变化、能源系统的波动等均有可能影响生产过程的稳定运行。在外部干扰下,过程控制系统应该使生产过程参数与状态产生的变化尽可能小,以消除或减少外部干扰可能造成的不良影响。

(3) 经济性 在满足以上两个基本要求的基础上,低成本高效益是过程控制的另一个目标。为了达到这个目标,不仅需要过程控制系统进行优化设计,还需要管控一体化,即以经济效益为目标的整体优化。

工业过程可以分为连续过程工业、离散过程工业和间隙过程工业。其中,连续过程工业所占的比重最大,涉及石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、医药、建材、食品等工业部门,连续过程工业的发展对于我国国民经济意义重大。过程控制主要是指连续过程工业的过程控制。

## 1.2 过程控制系统的组成与特点

### 1.2.1 过程控制系统组成

过程控制系统一般由以下几部分组成：

- (1) 被控过程(或对象)；
- (2) 用于生产过程参数检测的检测与变送仪表；
- (3) 控制器；
- (4) 执行机构；
- (5) 报警、保护和连锁等其他部件。

图 1.1 表示了过程控制系统的基本结构。控制器(或称调节器)根据系统输出量检测值  $y(t)$  与设定值  $r$  的偏差,按照一定的控制算法输出控制量  $u$ ,对被控过程进行控制。执行机构(如:调节阀)接受控制器送来的控制信息调节被控量,从而达到预期的控制目标。过程的输出信号通过过程检测与变送仪表,反馈到控制器(或称调节器)的输入端,构成闭环控制系统。

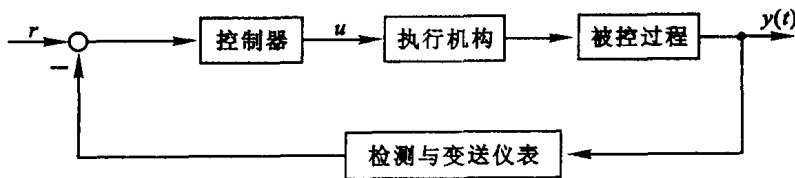


图 1.1 过程控制系统基本结构图

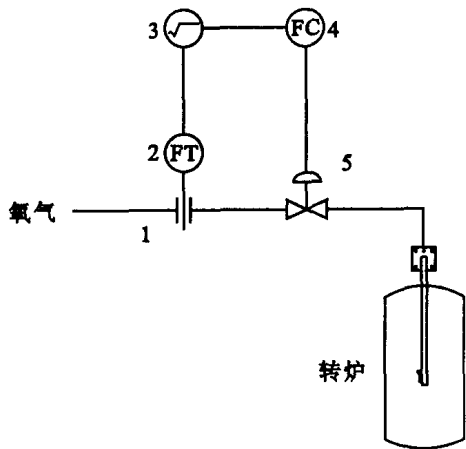


图 1.2 转炉供氧量控制系统

图 1.2 表示转炉供氧量控制系统。转炉是炼钢工业生产过程中的一种重要设备。熔融的铁水装入转炉后,通过氧枪供给转炉一定的氧气,称之为吹氧。其目的是使铁水中的碳氧化燃烧,以不断降低铁水中的含碳量。控制吹氧量和吹氧时间,可以获得不同品种的钢产品。由图可见,从节流装置 1 采集到的氧气流量,送入流量变送器 FT2,再经过开方器 3,其结果送到流量控制器(调节器)FC4 作为流量反馈值,与供氧量的设定值比较,得到偏差值,经过流量控制器(调节器)FC4 进行 PID 运算,输出控制信号,去控制调节阀 5 的开度,从而改变供氧量的大小,以满足生产工艺要求。

### 1.2.2 过程控制系统特点

#### 1.2.2.1 过程工业的特点

由于过程控制主要是指连续过程工业的过程控制,故过程工业的特点主要指连续过程工业的特点。

过程工业伴随着物理化学反应、生化反应、物质能量的转换与传递,是一个十分复杂的大系统,存在不确定性、时变性以及非线性等因素。因此,过程控制的难度是显而易见的,要解决过程控制问题必须采用有针对性的特殊方法与途径。

过程工业常常处于恶劣的生产环境中,同时常常要求苛刻的生产条件,如高温、高压、低温、真空、易燃、易爆或有毒等等。因此,生产设备与人身的安全性特别重要。

由连续生产的特征可知,过程工业更强调实时性和整体性。协调复杂的耦合与制约因素,求得全局优化,也是十分重要的。因此,有必要采用智能控制方法和计算机控制技术。

#### 1.2.2.2 过程控制系统的特点

(1) 被控过程的多样性 过程工业涉及到各种工业部门,其物料加工成的产品是多样的。同时,生产工艺各不相同,如:石油化工过程、冶金工业中的冶炼过程、核工业中的动力核反应过程等等,这些过程的机理不同,甚至执行机构也不同。因此,过程控制系统中的被控对象(包括被控量)是多样的,明显地区别于运动控制系统。

(2) 控制方案的多样性 由过程工业的特点以及被控过程的多样性决定了过程控制系统的控制方案必然是多样的。这种多样性包含系统硬件组成和控制算法以及软件设计。观察图 1.1 所示过程控制系统的基本结构和图 1.2 所示过程控制系统的举例,早期的控制器是模拟调节仪表,如果将控制器、执行机构(如:调节阀)和检测与变送仪表统称为过程检测控制仪表,则一个简单的过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成,也称之为仪表过程控制系统。随着现代工业生产的发展,工业过程越来越复杂,对过程控制的要求也越来越高,传统的模拟式过程检测控制仪表已经不能满足控制要求,因而采用计算机作为控制器组成计算机过程控制系统。从控制方法的角度看,有单变量过程控制系统,也有多变量过程控制系统。同时,控制算法多种多样,有 PID 控制、复杂控制,也有包括智能控制的先进控制方法等等。

(3) 被控过程属慢过程且多属参数控制 连续工业过程大惯性和大滞后的特点决定了被控过程为慢过程。被控过程是物流变化的过程,伴随物流变化的信息(物性、成分、温度、压力、流量、液位或物位)表征为被控过程状态的参数,也是过程控制系统的被控量。

(4) 定值控制是过程控制的主要形式 在多数生产过程中,被控参数的设定值为一个定值,定值控制的主要任务在于如何减小或消除外界干扰,使被控量尽量保持接近或等于设定值,使生产稳定。

(5) 过程控制有多种分类方法。

① 按被控参数分类,可分为温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统、液位或物位控制系统、物性控制系统、成分控制系统;

② 按被控量数分类,可分为单变量过程控制系统、多变量过程控制系统;

③ 按设定值分类,可分为定值控制系统、随动(伺服)控制系统;

④ 按参数性质分类,可分为集中参数控制系统、分布参数控制系统;

⑤ 按控制算法分类,可分为简单控制系统、复杂控制系统、先进或高级控制系统;

⑥ 按控制器形式分类,可分为常规仪表过程控制系统、计算机过程控制系统。

### 1.3 过程控制系统的性能指标

工业过程对控制的要求,可以概括为准确性、稳定性和快速性。另外,定值控制系统和随动(伺服)控制系统对控制的要求既有共同点,也有不同点。定值控制系统在于恒定,即要求克服干扰,使系统的被控参数能稳、准、快地保持接近或等于设定值。而随动(伺服)控制系统的主要目标是跟踪,即稳、准、快地跟踪设定值。根据过程控制的特点,主要讨论定值检测的性能指标。图 1.3 为一个过程控制系统的阶跃响应曲线。

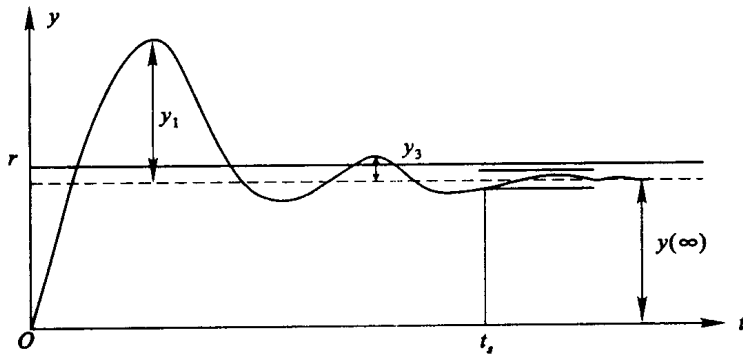


图 1.3 过程控制系统阶跃响应曲线

#### (1) 衰减比 $\eta$ 和衰减率 $\psi$

衰减比是衡量振荡过程衰减程度的指标,等于两个相邻同向波峰值之比,即

$$\eta = \frac{y_1}{y_3} \quad (1.1)$$

衡量振荡过程衰减程度的另一种指标是衰减率,它是指每经过一个周期以后,波动幅度衰减的百分数,即

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} \quad (1.2)$$

衰减比习惯上用  $\eta:1$  表示。在实际生产中,一般希望过程控制系统的衰减比为 4:1 到 10:1,它相当于衰减率  $\psi=0.75$  到 0.9。若衰减率  $\psi=0.75$ ,则大约振荡两个波就认为系统进入稳态。

#### (2) 最大动态偏差和超调量

最大动态偏差是指在阶跃响应中,被控参数偏离其最终稳态值的最大偏差量,一般表现在过渡过程开始的第一个波峰,如图 1.3 中的  $y_1$ 。最大动态偏差占被控量稳态值的百分比称为超调量。最大动态偏差能直接反映到生产记录曲线上,特别是在越来越先进的计算机过程控制系统中,能够更为方便直观地在监视器屏幕上观察到被控参数的实时响应波形。最大动态偏差是过程控制系统动态准确性的衡量指标。

#### (3) 余差

余差是指过渡过程结束后,被控量新的稳态值  $y(\infty)$  与设定值  $r$  的差值。它是过程控制系统稳态准确性的衡量指标。

#### (4) 调节时间 $t_s$ 和振荡频率 $\beta$

调节时间  $t_r$  是从过渡过程开始到结束的时间。理论上它应该为无限长。但一般认为当被控量进入其稳态值的  $\pm 5\%$  范围内, 就算过渡过程已经结束, 这时所需时间就是调节时间  $t_r$ , 如图 1.3 所示。调节时间  $t_r$  是过程控制系统快速性的指标。

过渡过程的振荡频率  $\beta$  是振荡周期  $p$  的倒数, 即

$$\beta = \frac{2\pi}{p} \quad (1.3)$$

在同样的振荡频率下, 衰减比  $\eta$  越大则调节时间越短; 当衰减比  $\eta$  相同时, 则振荡频率越高, 调节时间越短。因此, 振荡频率在一定程度上也可作为衡量过程控制系统快速性的指标。

## 1.4 过程控制的进展

### 1.4.1 过程控制装置的进展

在 20 世纪 40 年代以前, 工业生产大多处于手工操作状态, 操作工人通过对火候、冷热、色泽、形状等的观察来调整生产过程。

20 世纪 50 年代前后, 一些企业实现了仪表控制和局部自动化。当时, 采用的是基地式仪表和部分组合仪表, 为以  $3\sim 15\text{Psi}$  ( $0.2\sim 1.0\text{kg/cm}^2$ ) 气动信号为标准信号的气动控制系统。

20 世纪 60 年代随着电子技术的迅速发展, 企业界开始大量采用单元组合仪表(包括气动与电动)以及组装仪表, 以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相结合的控制系统的需要。此时, 出现了以  $4\sim 20\text{mA}$  和  $0\sim 10\text{mA}$  电动模拟信号为统一标准信号的电动模拟控制系统。

与此同时, 计算机开始用于过程控制领域。1946 年世界上第一台计算机诞生。1959 年工业控制计算机(Process Control Computer, 如 TR300 等)便在化肥厂和炼油厂试用于控制生产过程。60 年代中期, 出现了用计算机实现的直接数字控制 DDC(Direct Digital Control)系统和计算机监控 SCC(Supervisory Computer Control)系统。

20 世纪 70 年代中期, 一些厂家推出了分布式计算机控制系统 DCS(Distributed Control System, 又称集散系统)和可编程序控制器(PLC), 将工业自动化向前推进了一大步。

20 世纪 80 年代以来, 一方面分布式计算机控制系统 DCS 成为流行的过程控制系统; 另一方面, 兼顾连续控制和逻辑控制/顺序控制功能的复合控制系统 HCS(Hybrid Control System)得到发展。它可以是基于 DCS 而增添逻辑顺序功能的系统, 也可以是基于 PLC 而增添连续控制功能的系统。

另外, 各厂家相继推出了各种数字化智能变送器和智能化数字执行器, 以现场总线(Fieldbus)为标准, 实现以微处理器为基础的现场总线网络控制系统 FCS(Fieldbus Control System)。现场总线控制系统 FCS 进一步将控制功能分散, 增强了系统的灵活性和可靠性。

在控制装置发展的同时, 高新技术的发展和新材料的应用也促进了工业仪表的发展。数字化、多变量和专用集成电路(ASIC)的广泛应用, 产生出许多智能传感器和执行器。它们不仅可检测有关过程变量, 还能提供仪表状态和诊断的信息, 而且具有通讯功能, 便于调试、投运、维护和管理。一些重要的生产过程逐渐采用技术先进的在线分析仪器, 如近红外、



质谱、色谱、专用生化过程传感器等等。随着各种光、机、电传感技术以及厚膜电路等先进加工工艺的广泛应用,使工业仪表显得异彩纷呈。

过程工业自动化与信息技术有着不解之缘。近年来,以太网技术逐渐渗入到工业自动化领域。随着高速以太网的到来,智能以太网交换机的使用和耐工业环境(防尘、防潮、防爆、耐腐蚀、抗电磁干扰等)以太网器件的面市,工业以太网将会更加广泛地在工业自动化中得到应用,从而使过程控制系统更为灵活、方便和经济。

#### 1.4.2 过程控制策略与算法的进展

几十年来,过程控制策略与算法出现了三种类型:简单控制、复杂控制与先进控制。

通常将单回路 PID 控制称为简单控制。它一直是过程控制的主要手段。PID 控制以经典控制理论为基础,主要用频域方法对控制系统进行分析设计与综合。目前,PID 控制仍然得到广泛应用。在许多 DCS 和 PLC 系统中,均设有 PID 控制算法软件,或 PID 控制模块。

从 20 世纪 50 年代开始,过程控制界逐渐发展了串级控制、比值控制、前馈控制、均匀控制和 Smith 预估控制等控制策略与算法,称之为复杂控制。它们在很大程度上满足了复杂过程工业的一些特殊控制要求。它们仍然以经典控制理论为基础,但是结构与应用上各有特色,而且目前仍在继续改进与发展。

20 世纪 70 年代中后期,出现了以 DCS 和 PLC 为代表的新型计算机控制装置,为过程控制提供了强有力的硬件与软件平台。

从 20 世纪 80 年代开始,在现代控制理论和人工智能发展的理论基础上,针对工业过程本身的非线性、时变性、耦合性和不确定性等特性,提出了许多行之有效的解决方法,如解耦控制、推断控制、预测控制、模糊控制、自适应控制、人工神经网络控制等,常统称为先进过程控制。近十年来,以专家系统、模糊逻辑、神经网络、遗传算法为主要方法的基于知识的智能处理方法已经成为过程控制的一种重要技术。先进过程控制方法可以有效地解决那些采用常规控制效果差,甚至无法控制的复杂工业过程的控制问题。实践证明,先进过程控制方法能取得更高的控制品质和更大的经济效益,具有广阔的发展前景。

#### 本章小结

1. 过程控制主要是指连续过程工业的控制,其被控量是温度、压力、流量、液位(或物位)、物理特性和化学成分,它们是在工业生产过程中体现物流性质和操作条件的信息。

2. 过程控制系统一般由控制器(调节器)、执行机构、用于生产过程参数检测的检测与变送仪表、被控过程(或对象)以及相关的报警、保护和连锁等其他部件组成。

3. 被控过程的多样性、控制方案的多样性、慢过程、参数控制以及定值控制是过程控制系统的主要特点。

4. 衰减比  $\eta$  和衰减率  $\psi$  是衡量振荡过程控制系统的过程衰减程度指标。

5. 近几十年来,随着现代科学技术的前进,过程控制系统的硬件和控制算法均在飞速发展。