



普通高等教育“十三五”规划教材
自动化专业规划教材

过程控制系统实践指导

刘星萍 肖中俊 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

“十三五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材

过程控制系统实践指导

刘星萍 肖中俊 编著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据求是公司推出的 PCT 系列过程控制系统实验装置的相关内容编写。按照教学大纲的要求,根据典型的工业过程中压力、流量、液位、温度等过程量的控制,进行工业过程控制系统的实践模拟与仿真,可以满足“过程控制”、“过程检测及仪表”、“自动控制理论”、“计算机控制”、“化工仪表及自动化”、“传感器原理及应用”等课程的实验教学要求,也可满足“过程控制系统大实验”等综合性实践课程的教学要求。同时结合工业生产实际,编写具体工业设计案例。本书主要内容包括概述、过程控制系统、过程控制系统实验装置、过程控制系统仪表认知与实验、基于调节器控制的过程控制实验、基于计算机控制的过程控制实验、基于 FCS 控制的过程控制实验、过程控制工程设计案例。

本书可作为电气工程及其自动化、测控技术与仪器、化学工艺与工程等专业相关课程的教材,也可供专业工程技术人员学习、参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统实践指导 / 刘星萍, 肖中俊编著. — 北京: 电子工业出版社, 2018.1

电气工程、自动化专业规划教材

ISBN 978-7-121-32683-7

I. ①过… II. ①刘… ②肖… III. ①过程控制—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221882 号

策划编辑: 王晓庆

责任编辑: 靳 平

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.25 字数: 339 千字

版 次: 2018 年 1 月第 1 版

印 次: 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254113, wangxq@phei.com.cn。

前 言

过程控制通常指的是石油、化工、电力、冶金、建材、核能、轻工、医药、食品等工业生产中连续的或按照一定周期进行的生产过程自动控制，在自动化技术中占据非常重要的核心地位。

本书是根据求是公司推出的 PCT 系列过程控制系统实验装置的相关内容编写。根据教学大纲的要求，结合自动化专业、测控技术与仪器专业、化学工艺与工程专业等具体情况，我们根据典型的工业过程中压力、流量、液位、温度等过程量的控制，进行工业过程控制系统的实践模拟与仿真，可以满足“过程控制”、“过程检测及仪表”、“自动控制理论”、“计算机控制”、“化工仪表及自动化”、“传感器原理及应用”等相关课程的实验教学要求，也可满足“过程控制系统大实验”等综合性实践课程的教学要求。同时，除了能满足教学大纲要求的实验外，还结合工业生产实际，编写了具体工业设计案例的有关内容，供学生与专业技术人员学习与选用。

本书第 1 章由齐鲁工业大学刘星萍教授编写，探讨了工业过程控制系统的基本理论与知识。第 2~7 章由齐鲁工业大学肖中俊副教授编写，其中第 2 章基于求是公司的 PCT 实验装置，从系统硬件与应用软件两个方面进行详细探讨；第 3 章是系统仪表与装置的认知实验；第 4、5、6 章分别介绍了基于调节器控制、计算机控制、FCS 控制的过程控制实验体系，设置了压力、流量、液位、温度等单闭环控制、串级控制、比值控制、前馈控制等实验；第 7 章针对工业过程，利用前述实验中的认识与学习，分析与设计具体工业过程案例，培养学生综合实践应用能力。

由于时间仓促，加上作者水平有限，错误与疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第 0 章	概述	1
第 1 章	过程控制系统	3
1.1	单回路反馈控制系统	3
1.1.1	单回路控制系统结构组成	3
1.1.2	被控变量的选择	3
1.1.3	操作变量的选择原则	4
1.1.4	控制阀的选择	4
1.2	复杂调节系统	7
1.2.1	串级调节系统	7
1.2.2	比值控制系统	9
1.2.3	均匀控制系统	12
1.2.4	分程控制系统	15
1.2.5	前馈控制系统	16
1.2.6	施密斯 (Smith) 预估控制系统	19
1.2.7	解耦控制系统	21
第 2 章	过程控制系统实验装置	24
2.1	过程控制系统实验装置介绍	24
2.2	被控对象柜设备概述	25
2.3	控制台设备概述	27
2.4	组态王软件及应用	29
2.4.1	组态王软件概述	29
2.4.2	应用案例	30
2.5	PLC 编程软件	46
2.5.1	S7-300/400 用户程序的模块化结构	46
2.5.2	STEP 7 的安装与图标说明	49
2.5.3	创建项目	53
2.5.4	在 OB1 中创建程序	56
2.5.5	创建一个具有功能块和数据块的程序	57
2.5.6	对功能块 FC 的编程	61
2.5.7	对共享数据块的编程	63
2.5.8	使用多重背景编程	63

第3章	过程控制系统仪表认知与实验	69
3.1	调节器的认知和使用	69
3.2	变频器的认知和使用	70
3.3	水泵的工作原理及特性认识实验	72
3.4	电磁流量计的工作原理认识和校验实验	73
3.5	差压变送器的工作原理认识和校验实验	75
3.6	热电阻的工作原理认识和校验实验	77
3.7	电动调节阀的工作原理认识和校验实验	79
3.8	涡轮流量计的工作原理认识和校验实验	80
3.9	传感器的零点和迁移实验	82
第4章	基于调节器控制的过程控制实验	85
4.1	对象特性测试	85
4.1.1	测试对象特性的方法	85
4.1.2	一阶液位特性测试系统实验	87
4.1.3	二阶液位特性测试系统实验	88
4.1.4	温度对象特性测试系统实验	90
4.1.5	调节阀流量特性测试系统实验	92
4.2	单闭环控制系统	93
4.2.1	单闭环控制系统中的调节器整定方法	93
4.2.2	压力单闭环控制系统实验	96
4.2.3	温度单闭环控制系统实验	98
4.2.4	液位单闭环控制系统实验	100
4.2.5	流量单闭环控制系统实验	103
4.2.6	双容液位控制系统实验	105
4.3	串级控制系统	107
4.3.1	串级控制系统的设计与整定	107
4.3.2	液位和流量串级控制系统实验	109
4.3.3	上、中水箱液位串级控制系统实验	112
4.4	比值控制系统	115
4.4.1	比值控制设计	115
4.4.2	流量比值控制系统实验	115
4.5	前馈控制系统	117
4.5.1	前馈控制系统的原理	117
4.5.2	前馈—反馈控制系统实验	118
第5章	基于计算机控制的过程控制实验	122
5.1	对象特性测试	122
5.1.1	一阶液位特性测试系统实验	122

5.1.2	二阶液位特性测试系统实验	124
5.1.3	温度对象特性测试系统实验	125
5.1.4	调节阀流量特性测试系统实验	127
5.2	单闭环过程控制系统	128
5.2.1	压力单闭环控制系统实验	128
5.2.2	液位单闭环控制系统实验	130
5.2.3	流量单闭环控制系统实验	132
5.3	复杂过程控制系统	134
5.3.1	液位和流量串级控制系统实验	134
5.3.2	上、中水箱液位串级控制系统实验	137
5.3.3	流量比值控制系统实验	139
5.3.4	前馈—反馈控制系统实验	141
5.3.5	施密斯控制系统实验	144
5.3.6	解耦控制系统实验	146
第 6 章	基于 FCS 控制的过程控制实验	148
6.1	软件组态及硬件系统的组成与认知实验	148
6.1.1	现场总线控制系统的组成与认识实验	148
6.1.2	下位机软件中的硬件组态和程序编写	148
6.1.3	上位机软件中的通信建立和界面组态	149
6.2	对象特性测试	150
6.2.1	上水箱液位特性测试系统实验	150
6.2.2	下水箱液位特性测试系统实验	151
6.2.3	二阶液位特性测试系统实验	153
6.2.4	温度对象特性测试系统实验	154
6.3	单闭环控制系统	155
6.3.1	压力单闭环控制系统实验	155
6.3.2	温度单闭环控制系统实验	157
6.3.3	液位单闭环控制系统实验	159
6.3.4	流量单闭环控制系统实验	161
6.3.5	二阶液位控制系统实验	162
6.4	串级控制系统	164
6.4.1	串级控制系统实验原理及其方法	164
6.4.2	上水箱液位和流量串级控制系统实验	167
6.4.3	上、下水箱液位串级控制系统实验	169
6.5	流量比值控制系统	170
6.6	前馈—反馈控制系统	173
6.7	施密斯控制系统	175

第 7 章 过程控制工程设计案例	180
7.1 燃气锅炉控制系统工程设计	180
7.1.1 概述	180
7.1.2 控制方案制定	180
7.1.3 仪表及变送装置选型	185
7.1.4 调节阀计算与选型	188
7.1.5 仪表供源系统设计	189
7.2 甲醇回收过程控制系统工程设计案例	189
7.2.1 工艺流程介绍	189
7.2.2 控制方案制定	190
7.2.3 仪表及变送装置选择	196
7.2.4 调节阀	199
参考文献	202

第0章 概述

自 20 世纪 30 年代以来, 自动化技术取得了惊人的成就, 推动了一般工业与高技术领域的快速发展, 已在国计民生的各行各业起着关键的作用。当前, 自动化水平已经成为衡量各行各业现代化水平的重要标志。

自动控制系统按输入量的变化规律进行分类, 可以分为恒值控制系统 (Fixed Set-Point Control System)、随动控制系统 (Follow Control System)、程序控制系统 (Program Control System)。而过程控制系统作为自动控制系统的一个门类, 包含了按输入量进行分类的 3 种控制系统方式, 在国民经济的各个领域有着广泛的应用。

过程控制通常指的是石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中连续的或按一定周期程序进行的生产过程自动控制, 它是自动化技术的重要组成部分。在现代化的大工业生产过程中, 过程控制技术正在为实现各种最优的技术经济指标、减少经济成本、提高经济效益、提升劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面起着越来越大的作用。

当前, 在高校转型升级与追求内涵建设的政策引导下, 如何切实有效地提高应用型创新人才的质量, 落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要 (2010—2020 年)》, 深化本科教育教学改革, 推进人才培养模式改革, 稳步提升人才培养质量, 充分调动学生自主学习的积极性和主动性, 构建突现学校办学定位和特色的本科人才培养体系, 是高校教育工作者必须面对的问题。但是, 各高校在教学中存在理论和实践脱节的现象, 实践教学是普遍存在的薄弱环节, 在培养学生的自主创新能力方面缺少切实有效的措施, 这已成为社会各界普遍关注的问题。因此, 加强实践教学, 充分挖掘实践指导理论教学的逆向思维模式, 推动学生“做中学, 学中做”的自主积极性, 实现应用型创新人才培养。

本书内容结合自动化专业、测控技术与仪器专业、化工专业等职业方向出口课程的特点, 以浙江求是公司生产的 PCT 过程控制实验装置为对象, 探讨过程控制系统的分析方法与设计理念, 指导学生完成课程实验、开放性实验、综合性过程控制系统大实验等, 提升学生完成综合性过程控制系统的实践能力与水平。实践指导内容包括过程控制系统的对象特性测试、单闭环控制系统、复杂控制系统等。

实验装置主要有以下特点。

- (1) 装置由控制对象柜、控制台、计算机三部分组成, 工艺对象布局合理。
- (2) 真实性、直观性、综合性强, 控制对象元件全部来源于工业现场。
- (3) 过程参数全面, 涵盖了压力、液位、流量、温度等典型参数。
- (4) PCT 过程控制实验装置具备开放式模式, 可以实现控制参数和控制方案的多样化配置。实验装置可通过管路上的阀门切换, 可构成数十种过程控制实验。
- (5) 在 PCT 过程控制实验装置中充分考虑了高校自动化专业的大纲要求, 完全能满足教学实验、课程设计、毕业设计的需要, 同时学生可自行设计实验方案, 进行综合性、创造性过程控制系统实验的设计、调试、分析, 培养学生的独立操作、独立分析问题和解决问题的能力。

学生进行过程控制综合实验后, 可掌握下列内容。

- (1) 控制对象特性的测试方法。
- (2) 自动化仪表的使用。
- (3) 变频器的基本工作原理和使用。
- (4) 单回路控制系统的参数整定。
- (5) 复杂控制回路系统的参数整定。
- (6) 控制参数对控制系统品质指标的影响。
- (7) 控制系统的设计、计算、分析、接线、投运等综合能力。
- (8) 明确实验的基本流程。
 - ① 认知实验任务。
 - ② 提出实验方案。
 - ③ 画实验接线图。
 - ④ 进行实验操作，做好观测和记录。
 - ⑤ 整理实验数据，得出结论，撰写实验报告。

在进行综合性实验时，要做到“实验前有准备、实验中有条理、实验后有分析”。上述实验流程应尽量让学生独立完成，教师给予必要的指导，切实培养学生的动手实验能力。

第1章 过程控制系统

1.1 单回路反馈控制系统

单回路反馈控制系统简称单回路控制系统。在所有反馈控制系统中，单回路反馈控制系统是最基本、结构最简单的一种，因此，它又称简单控制系统。

单回路控制系统虽然结构简单，却能解决生产过程中的大量控制问题，它是生产过程中最为广泛的一种控制系统。生产过程中 70% 以上的控制系统是单回路控制系统。

单回路控制系统是复杂控制系统的基础。掌握了单回路控制系统的分析和设计方法，将会给复杂控制系统的分析和研究提供很大的方便。

1.1.1 单回路控制系统结构组成

如图 1-1 所示，单回路反馈控制系统由 4 个基本环节组成，即被控对象（简称对象）、测量变送装置（简称变送器）、控制器和控制阀，这是单回路反馈控制系统的第一个特点。

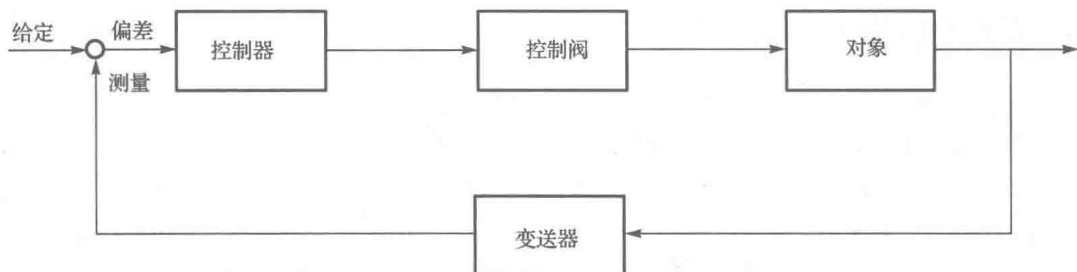


图 1-1 单回路反馈控制系统框图

由图 1-1 可以看出，在该系统中存在着一条从系统的输出端引向输入端的反馈路线，也就是说，该系统中的控制器是根据被控变量的测量值与给定值的偏差来进行的。这是单回路反馈控制系统的又一特点。

单回路反馈系统结构简单，所需自动化工具少，投资比较低，操作维护也比较方便，而且一般情况下都能满足控制质量的要求。因此，这种控制系统在生产过程控制系统中得到了广泛应用。

单回路反馈系统根据被控变量的类型不同，可以分为温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统、液位控制系统等。虽然这些控制系统名称不同，但是它们具有相同的框图，便于对它们进行共同研究。

1.1.2 被控变量的选择

被控变量的选择是控制系统设计的核心问题，选择得正确与否，会直接关系到生产的稳定操作、产品质量的提高、生产安全与劳动条件的改善等。如果被控变量选择不当，不论采

用何种控制仪表,组成什么样的控制系统都不能达到预期的效果以满足生产的技术要求。

对于以温度、压力、流量、液位为操作指标的生产过程,就选择以温度、压力、流量、液位作为被控变量,这是很容易理解的,无须讨论。

采用质量指标作为被控变量,必然要涉及产品的成分或物性参数(如密度、黏度)的测量问题,这就需要用到成分分析仪表和物性参数测量仪表。有关成分和物性参数的测量问题,目前国内外尚未得到很好的解决。一方面产品品种类型很不齐全,致使有些成分物性参数尚无法实现在线检测和变送;另一方面这些仪表,特别是成分分析仪表具有较严重的测量滞后,不能及时地反映产品质量变化的情况。

当直接选择质量变量作为被控变量比较困难或不可能时,可以选择一种间接指标作为被控变量。选择被控变量的原则是如下。

(1) 如有可能,应当尽量选择质量指标作为被控变量。

(2) 当不能选择质量指标作为被控变量时,应当选择一个与产品质量指标有单值对应的间接指标参数作为被控变量。

(3) 所选择的间接参数应具有足够大的灵敏度,以便反映产品质量的变化。

(4) 选择被控变量时,必须考虑工艺的合理性和国内外仪表生产的现状。

被控变量确定之后,还需要合适的操作变量,以便被控变量在外界干扰下发生变化时,能够通过对操作变量的调整,使得被控变量迅速地返回原先的给定值上,以保持产品质量的不变。

1.1.3 操作变量的选择原则

(1) 所选的操作变量必须是可控的。

(2) 所选的操作变量应是通道放大倍数比较大者,最好大于干扰通道的放大倍数。

(3) 所选的操作变量应尽量使扰动通道时间常数越大越好,而控制时间常数应越小越好,但不宜过小。

(4) 所选的操作变量其通道纯滞后时间应越小越好。

(5) 所选的操作变量应尽量使干扰点远离被控变量而靠近控制阀。

(6) 在选择操作变量时还要考虑工艺的合理性(一般来说,生产负荷直接关系到产品的产量,不宜经常变动,在不是十分必要的情况下,不宜选择生产负荷作为操作变量)。

1.1.4 控制阀的选择

控制阀是控制系统的执行机构,它接受控制器的命令执行控制任务。控制阀选择的合适与否,将直接关系到能否很好地起到控制作用,因此,对它必须给予足够的重视。

控制阀选择的内容包括开闭形式的选择、口径大小的选择、流量特性的选择及结构形式的选择等内容。

1. 控制阀口径大小的选择

控制阀口径大小直接关系着控制介质流过它的能力。控制阀口径大小,通过计算控制阀流通能力的大小来决定。控制阀流通能力必须满足生产控制的需要,并留有一定的余地。一般流通能力根据控制阀所在管线的最大流量及控制阀两端的压降来计算,并且为了保证控制阀具有一定的可控范围,必须使控制阀两端的压降在整个管线的总压降中占有较大的比例。

所占的比例越大，控制阀的可控范围越大。如果控制阀两端压降在整个管线总压降中所占的比例小，可控范围就变小，将会导致控制阀特性的畸变，使控制效果变差。

2. 控制阀开闭形式的选择

控制阀接收的是气压信号，当膜头输入信号增大，控制阀开度也增大，称为气开阀。反之，当膜头输入信号增大，控制阀开度减小，则称为气闭阀。

对于一个具体的控制系统来说，究竟选择气开阀还是气闭阀，要由具体的工艺来决定。一般来说要根据以下几个原则来进行选择。

(1) 首先要从生产安全出发，即当气源供气中断，或控制器出故障而无输出，控制阀膜片破裂而漏气等使控制阀无法正常工作，以致阀芯恢复到无能源的初始状态（气开阀恢复到全闭状态，气闭阀恢复到全开状态），应能确保生产工艺设备的安全，不致发生事故。

(2) 从保证产品质量出发，当控制阀处于无能源状态而恢复到初始位置时，不应降低产品的质量。

(3) 从降低原料、成品、动力损耗来考虑。

(4) 从介质的特点考虑。

3. 控制阀流量特性的选择

目前，我国生产的控制阀有线性特性、对数特性（即等百分比特性）和快开特性。尤其以前两种特性的控制阀应用得较多。需要指出的是，一般仪表厂所给的控制阀流量特性都是理想特性，即控制阀前、后压差为恒定时的流量特性。然而，在实际工作中，由于多种因素的影响，使得控制阀前、后压差不可能维持恒定，因此，控制阀的特性就要发生变化，不再保持理想特性。控制阀在实际使用状态下的流量特性称为工作特性。考虑配管情况，进行控制阀特性选择可参考表 1-1 来进行。

表 1-1 按配管情况选择控制阀特性

配管情况	S=1~0.6		S=0.6~0.3		S<0.3
未考虑配管时控制阀特性	直线	对数	直线	对数	不适宜控制
考虑配管时控制阀特性	直线	对数	直线	对数	

4. 控制阀结构形式的选择

控制阀有直通单座、直通双座、角阀、高压、三通、蝶阀和隔膜阀等不同结构形式，要根据生产过程的不同需要和控制系统的不同特点来进行选用。表 1-2 列出不同结构形式控制阀特点及适用场合，以供选择时参考。

表 1-2 不同结构形式控制阀特点及适用场合

控制阀结构形式	特点及适用场合
直通单座	控制阀前、后压差低，适用于允许较大泄漏量的场合
直通双座	控制阀前、后压差低，适用于允许较大泄漏量的场合
角形阀	适用于高压降、高黏度、含悬浮物或颗粒状物质的场合
高压阀	适用于高压控制的特殊场合
蝶阀	适用于有悬浮物的流体、大流量、压差低、允许较大泄漏量的场合
隔膜阀	适用于有腐蚀性介质的场合
三通	适用于分流或合流的

5. 阀门定位器的选用

阀门定位器是控制阀的一种辅加装置，与控制阀配套使用，有电气阀门定位器和气动阀门定位器之分。它接收控制器的信号作为输入信号，并以其输出信号去控制控制阀，同时将控制阀的阀杆位移信号反馈到阀门定位器的输入端而构成一个闭环随动系统。阀门定位器的主要作用如下。

(1) 消除控制阀膜头和弹簧的不稳定及各运动部件的干摩擦，从而提高控制阀的精度和可靠性，实现准确定位。

(2) 增大执行机构的输出功率，减少系统的传递滞后，加快阀杆移动速度。

(3) 改变控制阀的流量特性。

(4) 利用阀门定位器可将控制器输出信号分段，以实现分程控制。

由(1)、(2)两项可以看出，当控制阀安上定位器后，加大了输出功率，提高了反应速度，并且由于它与控制阀构成了一个随动系统，能根据控制器的信号准确定位，这就大大改善了控制阀的动、静态特性。

6. 控制器参数对系统控制质量的影响及控制规律的选择

当构成一个控制系统的被控对象、测量变送环节和控制阀都确定之后，控制器参数是决定控制系统质量的唯一因素。控制系统的控制质量，包括系统的稳定性、系统的静态控制误差和系统的动态误差 3 个方面。

通用的工业控制器通常是 PID 三作用控制器，它有 3 个可调整的参数，即比例度 δ 、积分时间 T_i 、微分时间 T_d 。

1) 控制器参数对系统静态误差的影响

控制系统的静态误差，即当系统受到扰动时，经过控制作用进行调整，当系统重新稳定之后，被控参数与期望值之间的偏差，通常也称为余差。系统的余差与比例度 δ 成正比，即比例度越大，余差也越大。积分可消除余差，微分对系统余差无影响。

2) 控制器参数对系统动态误差的影响

(1) 比例放大倍数 K_c 。

当比例放大倍数 K_c 由小到大变化，系统将由稳定向振荡发展，系统的稳定性在变化。不同的比例放大倍数对应的过渡过程如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出， K_c 增大，控制精度提高（余差减少），但是系统的稳定性下降。

(2) 积分时间 T_i 。

当积分时间 T_i 很小时，积分作用强烈，消除余差的能力强；当积分时间 T_i 趋于无穷大时，积分作用消除，控制器变成纯比例控制器。 K_c 不变时， T_i 变化对过渡过程的影响如图 1-3 所示。

(3) 微分时间 T_d 。

微分时间 T_d 等于零时，微分作用消除，控制器变成纯比例控制器。由于微分作用的特点，使其对惯性较大的被控对象有“超前”调整作用，所以，一般用在有较大滞后的场合。

7. 控制规律的选择

工业用控制器常见的有开关控制器、比例控制器、比例—积分控制器、比例—微分控制器、比例—积分—微分控制器。常见的被控参数有温度、压力、液位和流量。而这些参数有

些是重要的生产参数，有些是不太重要的参数，控制要求也各种各样，因此控制器控制规律的选择要根据具体情况而定，但是也有一些基本原则可以加以考虑。

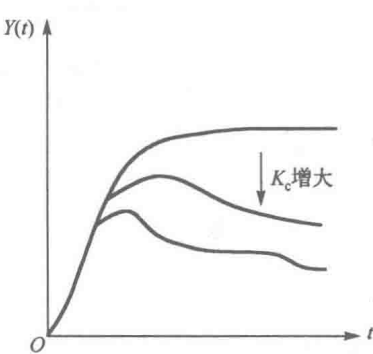


图 1-2 K_c 对放大倍数影响

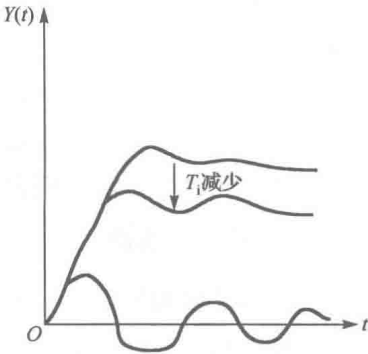


图 1-3 K_c 不变时, T_i 变化对过渡过程影响

- (1) 对于不太重要的参数，控制一般要求不太严格，可考虑采用比例控制，甚至采用开关控制。
- (2) 对于不太重要的参数，但是惯性较大，又不希望动态偏差较大，可考虑采用比例—微分控制器。但是，对于系统噪声较大的参数，例如流量，则不能采用比例—微分控制器。
- (3) 对于比较重要的、控制精度要求比较高的参数，可采用比例—积分控制器。
- (4) 对于比较重要的、控制精度要求比较高、希望动态偏差较小、被控对象的时间滞后比较大的参数，应当采用比例—积分—微分控制器。

1.2 复杂调节系统

1.2.1 串级调节系统

上面介绍的单回路控制系统一般情况下都能满足正常生产要求。但是，当对象的容量滞后较大，负荷和干扰变化比较剧烈、比较频繁，或是工艺对产品质量提出的要求很高时，采用单回路控制的方法就不再有效了，于是就出现了所谓的串级调节系统。串级调节系统框图如图 1-4 所示。

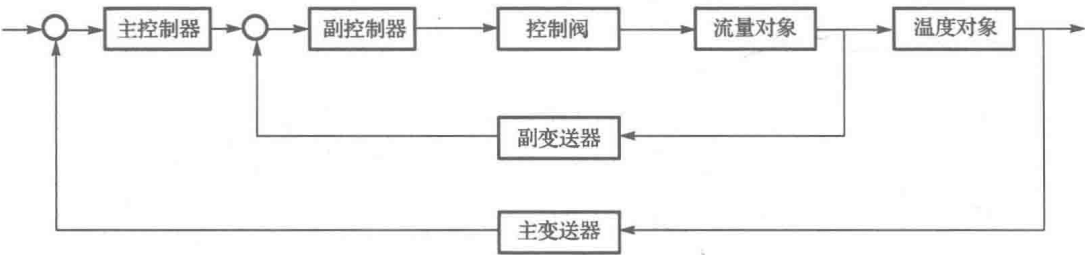


图 1-4 串级调节系统框图

从图 1-4 可以看出，该系统有两个环路：一个内环，一个外环。习惯上称内环为副环，外环为主环。处于副环内的控制器、对象和变送器分别称为副控制器、副对象和副变送器。副对象的输出称为副被控变量，简称副变量。处于内环的控制器、对象和变送器分别称为主控制器、主对象和主变送器。主对象的输出称为主被控变量，简称主变量。主控制器的输出

即副控制器的给定，而副控制器的输出直接送往控制阀。

一般来说，主控制器的给定值是由工艺规定的，它是一个定值，因此，主环是个定值控制系统。而副控制器的给定值是由主控制器的输出提供的，它随主控制器输出变化而变化，因此，副回路是一个随动系统。

串级调节系统具有单回路控制系统的全部功能，而且具有许多单回路控制系统没有的优点，因此，串级控制系统的控制质量一般比单回路控制系统好，而且实施起来比较方便。所以，串级控制系统是一种易于实现且效果又较好的控制方法，在生产过程中应用也较普遍。

1. 串级控制系统的实施

一个具体的串级控制方案，由于选择的仪表类型不同，具体实施的方法也不同，要根据具体的情况和条件而定。一般来说，在选择具体实施方案时应考虑以下几个问题。

(1) 所选的仪表信号必须相互匹配。在选用不同信号仪表组成串级调节系统时，必须匹配相应的信号转换器，以达到信号匹配的目的。

(2) 所选的副调节器必须具有外给定输入接口，否则无法接收主调节器来的信号。

(3) 在选择实施方案时，应考虑除串级和副环控制外，是否还有“主控”要求。

(4) 实施方案应力求实用，在满足要求的前提下，仪表应以少一些为好。

(5) 实施方案应便于操作。

串级控制系统的实施过程中，需要解决以下几个问题。

(1) 串级控制系统中主、副控制器的类型是根据控制的要求来实现的。在串级系统中主变量是生产工艺的主要操作指标，它直接关系到产品的质量或生产的安全，工艺对它的要求比较严格，一般来说，主变量不允许有余差。而对副变量的要求一般都不严格，允许它有波动和余差。

(2) 从串级控制系统的结构上看，主环是一个定值系统，主控制器起着定值控制作用。为了主变量的稳定，主控制器通常都选用比例—积分控制器。有时，对象控制通道容量滞后比较大，为了克服容量滞后，就要选用 PID 三作用的控制器。然而副环是一个随动系统，它的给定值随主调节器输出的变化而变化，为了能快速跟踪，副调节器最好不带积分环节，因为积分环节会使跟踪变得缓慢。副调节器的微分环节也是不需要的，因为当副调节器有微分环节时，一旦主控制器和输出稍有变化，控制阀就大幅度地变化，这对控制也是不利的。只有当副对象容量滞后较大时，可适当加点微分作用。在一般情况下，副调节器只要采用比例环节就可以了。

可以证明，只有当主控制器采用具有积分作用的控制器时，不论干扰作用在副环还是主环，都能保证主变量无余差。然而副控制器有积分环节而主控制器无积分环节时，只有干扰作用于副环，主变量才无余差；如果干扰作用于主环，主变量仍然会有余差。

2. 串级控制系统中主、副控制器正、反作用的选择

主、副控制器正、反作用的选择应该是先副后主。

副调节器的正、反作用要根据副环的具体情况决定，而与主环无关。考虑问题的出发点仍与单回路控制系统相同，即为了使副回路构成一个稳定的系统，副环的开环放大倍数的符号必须为“负”，也就是说副环内所有各环节放大倍数符号的乘积应为“负”，因此，只要知道了控制阀、副对象和副变送器的放大倍数符号，就可以很容易地确定副控制器的正、反作用。

副调节器的正、反作用确定以后,就可以确定主控制器的正、反作用,主控制器的正、反作用要根据主环所包括的各个环节来确定。主环内包括主控制器、副回路、主对象和主变送器。因为副回路是一随动系统,对它的要求是:副变量要能快捷地跟踪给定值(即随主调节器输出的变化而变化),因此,整个副回路可视为一放大倍数为“正”的环节来看待。这样,只要根据主对象与主变送器放大倍数的符号及整个主环开环放大倍数的符号为“负”的要求,就可以确定主控制器的正、反作用。实际上,主变送器放大倍数符号一般情况下都是“正”的,再考虑副回路视为一放大倍数为“负”的环节,因此,主控制器的正、反作用实际上只取决于主对象放大倍数的符号。当主对象放大倍数符号为“正”时,主控制器应选反作用;反之,当主对象放大倍数的符号为“负”时,主控制器应选正作用。

主控制器的正、反作用还可以根据主、副变量同方向变化时,对控制阀动作方向的要求是否一致来确定。当方向一致时,主控制器应选反作用;方向不一致时,主控制器应选正作用。

串级控制系统的投用根据仪表组成类型的不同,投用方法也不同,但是所遵循的原则基本都是相同的。其一是投运顺序,一般都采用先投副环、后投主环的投运顺序;其二是投运过程必须保证无扰动切换。

串级控制系统的整定方法比较多,有逐步逼近法、两步法和一步法。整定的顺序都是先副环、后主环。

3. 串级控制系统的特点

由于串级控制系统在系统结构上与单回路控制系统有所不同,因此,它与单回路相比,有一些显著特点。

- (1) 由于副回路的存在,改善了对对象的特性,使系统的工作频率提高。
- (2) 串级控制系统具有较强的抗干扰能力。
- (3) 串级控制系统具有一定的自适应能力。

4. 串级系统副回路的设计

要发挥串级系统的优势,副回路的设计是一个关键。副回路设计得合理,串级系统的特点可以得到充分的发挥,串级系统的质量将比单回路系统的质量有明显的提高;副回路设计的不合理,串级系统的优势得不到发挥,控制质量的提高不明显,这将失去设计串级控制的意义。

为了充分发挥串级系统的优势,副回路的设计应遵守以下一些原则。

- (1) 使系统中的主要干扰包含在副环内。
- (2) 在可能情况下,应使副环包含更多干扰。
- (3) 当对象具有非线性环节时,在设计时应使非线性环节处于副环之中。
- (4) 当对象具有较大纯滞后时,应使所设计的副回路尽量少包括或不包括纯滞后环节。
- (5) 副回路设计应考虑到主、副对象时间常数的匹配,以防共振发生。
- (6) 所设计的副回路须考虑方案经济性和工艺的合理性。

1.2.2 比值控制系统

实现两个或两个以上参数符合一定比例关系的控制系统,称为比值控制系统。通常以保持两种或几种物料的流量为一定比例关系的系统,称为流量比值控制系统。