



普通高等教育
“十一五”国家级
规划教材



普通高等教育
电气工程与自动化类
“十三五”规划教材

PROCESS CONTROL AND
AUTOMATIC INSTRUMENTS

过程控制与自 动化仪表

第3版

杨延西 潘永湘 赵跃 编著



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电气工程与自动化类“十三五”规划教材

过程控制与自动化仪表

第3版

杨延西 潘永湘 赵 跃 编著



机械工业出版社

本书是根据普通高等学校“过程控制与自动化仪表”教学大纲的要求,在《过程控制与自动化仪表》(2000年机械工业出版社出版,西安理工大学侯志林主编)和《过程控制与自动化仪表》第2版(2007年机械工业出版社出版,西安理工大学潘永湘主编)两书的基础上修订而成。本书从当前生产过程自动化的实际需要和过程控制的最新发展出发,在介绍了生产过程控制系统与自动化仪表的基本概念、工作原理及使用要求、简单控制系统设计方案的基础上,重点介绍了智能仪表、过程系统建模、特殊工艺及复杂过程控制系统的分析与设计、基于网络的计算机控制系统及工程应用等问题。

本书取材适当、深度与广度适中,能适应不同高校本科电气信息类专业的教学需求;内容叙述简明扼要、通俗易懂、循序渐进、方便自学;每章开始扼要提出了本章教学内容和应达到的基本要求;每章末编写了基本练习题、综合练习题和设计题,以适应学生不同的学习需求,也便于教师因材施教。

本书可作为高等学校电气信息类专业的教材,也可供相关专业师生和专业工程技术人员参考。

本书配有电子课件等教学资源,欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件至 wangkang_maizi9@126.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制与自动化仪表/杨延西,潘永湘,赵跃编著. —3版. —北京:机械工业出版社,2017.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等教育电气工程与自动化类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-55653-4

I. ①过… II. ①杨…②潘…③赵… 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. ①TP273②TH86

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第302668号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于苏华 王康 责任编辑:于苏华 王康

责任校对:张薇

封面设计:马精明

责任印制:李飞

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2017年4月第3版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·524千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55653-4

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

全国高等学校电气工程与自动化系列教材

编审委员会

主任委员 汪樾生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

王钦若 广东工业大学

吴 刚 中国科技大学

张纯江 燕山大学

张晓华 哈尔滨工业大学

邹积岩 大连理工大学

陈庆伟 南京理工大学

夏长亮 天津大学

萧蕴诗 同济大学

韩 力 重庆大学

熊 蕊 华中科技大学

方 敏 合肥工业大学

白保东 沈阳工业大学

张化光 东北大学

张 波 华南理工大学

杨 耕 清华大学

陈 冲 福州大学

范 瑜 北京交通大学

章 兢 湖南大学

程 明 东南大学

雷银照 北京航空航天大学

序

随着科学技术的不断进步,电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度,改变着我国工业的整体面貌。同时,对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响,并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合,它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础,高等学校作为国家培养人才的主要基地,肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中,根据社会需求,构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人,教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材,有些教材十几年、几十年长盛不衰,有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要,配合各高等学校的教学改革进程,满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求,由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”,组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础,削枝强干,循序渐进,力求创新**”的原则,通过对传统课程内容的整合、交融和改革,以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到:

1. 适用性: 结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位,按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节,进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接,在满足系统性的前提下,尽量减少内容上的重复。

2. 示范性: 力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性,代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性: 在教材编写中强调与时俱进,对原有的知识体系进行实质性的改革和发展,鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术,注重教学理论创新和实践创新,以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性: 本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博,经验丰富。组稿过程严谨细致,对书目确定、主编征集、

资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有力保障。

此套教材的顺利出版，先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与，在此谨表示衷心的感谢，并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

此套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效，我们将会感到莫大的欣慰。

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪桢生 陈永刚 郑太钟

前言

本书是依据普通高等学校“过程控制与自动化仪表”教学大纲的要求,在《过程控制与自动化仪表》(2000年机械工业出版社出版,西安理工大学侯志林主编)和《过程控制与自动化仪表》第2版(2007年机械工业出版社出版,西安理工大学潘永湘主编)两书的基础上修订而成。本书从当前生产过程自动化的实际需要和过程控制的最新发展出发,在介绍了生产过程控制系统与自动化仪表的基本概念、工作原理及使用要求、简单控制系统设计方案的基础上,重点介绍了智能仪表、过程系统建模、特殊工艺及复杂过程控制系统的分析与设计、基于网络的计算机控制系统及工程应用等问题。

本书的主要特点有:①在保留第1版和第2版主要特色的基础上更新了内容,引进了新的成果与应用实例,并严格按照本科专业的培养目标和教学大纲的要求编写,取材适当、深度与广度适中;②在保持系统性与完整性的基础上按模块化结构编写,以适应不同高校的教学要求;③从生产实际需要出发,从工程实用性入手,尽可能采用各种先进而又成熟的控制策略与自动化仪表,力求做到技术的先进性与工程实用性相统一;④采用简明扼要、通俗易懂、由浅入深、先易后难、先简单再复杂的叙述方法,循序渐进,便于自学;⑤为便于学习,每章均提出了本章的主要内容和应达到的学习要求;⑥每章习题按基本练习题、综合练习题和设计题三个层次分类编写,以适应学生不同的学习需求,也便于教师因材施教。主要修改内容如下:①考虑到新型传感器技术的发展和推广应用情况,增加了主流传感器及仪表内容,如磁力机械式氧量分析仪、配备气源调节器的电-气转换器等;②考虑到多数高校都开设智能控制相关课程内容,由于版面限制,本教材难以详细讲述所有内容,因此将第2版中的模糊控制相关内容删除;③随着预测控制方法在工业过程系统的应用越来越广泛,而第2版中内容过于简短,不便于学生理解和实现,因此对这部分内容进行了重新编排,并增加了仿真实例;④随着DCS技术的更新、发展及广泛应用,将第九章中DCS部分进行了修改,增加了第四代DCS系统内容,并基于典型DCS系统并以加热炉温度系统为例,讲述了DCS系统设计方案和典型控制方法——串级控制方法的实现过程。

全书共分10章,1~5章为基础部分,6~9章为提高部分,第10章为应用部分。各章具体内容:第1章阐述过程控制与自动化仪表的共性问题,确立过程控制的概念体系;第2章叙述过程参数的检测与变送及选用方法;第3章叙述过程控制仪表的工作原理、功能特点、使用方法;第4章叙述被控过程的数学模型建立方法;第5章叙述简单控制系统的设计原理与调节器的参数整定方法;第6章叙述常用高性能过程控制系统的设计原理与方法;第7章叙述特殊工艺要求的过程控制系统的设计原理与方法;第8章叙述复杂过程控制系统的设计原理与方法;第9章介绍基于网络的计算机过程控制系统,主要介绍集散控制系统与现场总线控制系统;第10章介绍典型生产过程的控制与工程化设计问题。

本书第1、4、6、7、8章由杨延西教授编写;第3、5章由潘永湘教授编写;第2、9、10章由赵跃副教授编写。全书由杨延西教授负责统稿、定稿。

西安交通大学施仁教授、西安理工大学侯志林教授、潘永湘教授仔细审阅了书稿。他们

对本书提出了许多宝贵的修改意见和建议，在此表示衷心的感谢。

作者在编写过程中得到了教育部高等学校自动化专业教学指导委员会委员刘丁教授的热情鼓励和支持，还参考了大量文献资料，在此对刘丁教授和相关文献作者一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等学校电气信息类专业的教材，参考教学时数为 56 ~ 64 学时（其中包括 8 ~ 10 学时实验），也可供相关专业的师生和工程技术人员阅读参考。

另外，为方便读者学习，本书在每章的思考题与习题部分配有一个二维码，扫描二维码即可获得本章思考题与习题的详解。全书 10 章的思考题与习题列表和勘误可通过扫描下面的二维码来获取，可供读者查看实时更新。



由于编者水平有限，书中的缺点和不足之处在所难免，恳请广大读者指正与建议，以便再版时做进一步修订与完善。

编著者

目 录

序

前言

第1章 绪论 1

1.1 过程控制概述 1

1.1.1 过程控制的特点、任务及要求 1

1.1.2 过程控制的发展概况 6

1.1.3 过程控制系统的组成、分类及性能指标 7

1.2 自动化仪表概述 10

1.2.1 自动化仪表的分类与发展 10

1.2.2 自动化仪表的信号制与能源供给 12

1.2.3 安全防爆仪表与安全防爆系统 13

思考题与习题 15

第2章 过程参数的检测与变送 17

2.1 参数检测与变送概述 17

2.1.1 检测仪表 17

2.1.2 检测误差 18

2.1.3 检测仪表的基本特性 20

2.1.4 变送器的构成原理 23

2.1.5 变送器的信号传输方式 25

2.2 温度的检测与变送 26

2.2.1 温度检测方法 26

2.2.2 典型模拟式温度变送器 34

2.2.3 智能式温度变送器 40

2.3 压力的检测与变送 42

2.3.1 压力的概念及其检测 42

2.3.2 DDZ-Ⅲ型力矩平衡式差压变送器 44

2.3.3 电容式差压变送器 48

2.3.4 智能式差压变送器 50

2.4 流量的检测与变送 53

2.4.1 流量的概念与检测方法 53

2.4.2 典型流量检测仪表 54

2.5 物位的检测与变送 58

2.5.1 物位检测的主要方法 58

2.5.2 典型物位检测仪表 59

2.6 成分的检测与变送 62

2.6.1 概述 62

2.6.2 红外式气体成分的检测及仪表 63

2.6.3 氧气成分的检测及仪表 64

2.6.4 多种组分的检测及仪表 70

思考题与习题 71

第3章 过程控制仪表 74

3.1 过程控制仪表概述 74

3.2 DDZ-Ⅲ型模拟式调节器 75

3.2.1 比例积分微分调节规律 75

3.2.2 DDZ-Ⅲ型 PID 基型调节器 78

3.3 数字式控制器 87

3.3.1 数字式控制器的基本构成 88

3.3.2 数字式控制器实例 89

3.4 执行器 94

3.4.1 执行器的构成原理 94

3.4.2 气动执行器的应用 97

3.4.3 电/气转换器与阀门定位器 103

3.4.4 智能式电动执行器 105

3.5 安全栅 107

3.5.1 齐纳式安全栅 107

3.5.2 隔离式安全栅 108

思考题与习题 110

第4章 被控过程的数学模型 113

4.1 过程建模的基本概念 113

4.1.1 被控过程的数学模型及其作用 113

4.1.2 被控过程的特性 114

4.1.3 过程建模方法 117

4.2 解析法建立过程的数学模型 119

4.2.1 解析法建模的一般步骤 119

4.2.2 单容过程的解析法建模 119

4.2.3 多容过程的解析法建模 122

4.3 试验法建立过程的数学模型 125

4.3.1 响应曲线法 126

4.3.2 最小二乘法 133

思考题与习题 142

第5章 简单控制系统的设计	146	系统	208
5.1 简单控制系统设计概述	146	7.1 比值控制系统	208
5.1.1 控制系统设计任务及开发 步骤	147	7.1.1 比值控制概述	208
5.1.2 设计中需要注意的有关问题	148	7.1.2 比值控制系统的设计	211
5.2 控制方案的确定	149	7.1.3 比值控制系统的参数整定	215
5.2.1 被控参数的选取	149	7.2 均匀控制系统	215
5.2.2 控制参数的选择	150	7.2.1 均匀控制的提出及其特点	215
5.2.3 被控参数的测量与变送	153	7.2.2 均匀控制系统的设计	217
5.2.4 调节规律对控制质量的影响及 其选择	154	7.3 分程控制系统	219
5.2.5 执行器的选择	160	7.3.1 分程控制概述	219
5.2.6 调节器正/反作用方式的选择	160	7.3.2 分程控制系统的设计	220
5.3 调节器的参数整定	161	7.3.3 分程控制系统的应用	222
5.3.1 调节器参数整定的理论基础	161	7.4 自动选择性控制系统	223
5.3.2 调节器参数的整定	163	7.4.1 自动选择性控制概述	223
5.3.3 PID 调节器参数的自整定	168	7.4.2 系统的类型及工作过程	224
5.4 单回路控制系统设计实例	173	7.4.3 自动选择性控制系统的 设计	225
5.4.1 干燥过程的控制系统设计	173	思考题与习题	227
5.4.2 储槽液位过程控制系统的 设计	175	第8章 复杂过程控制系统	231
思考题与习题	176	8.1 序言	231
第6章 常用高性能过程控制系统	180	8.2 多变量解耦控制系统	231
6.1 串级控制系统	180	8.2.1 耦合过程及其要解决的问题	231
6.1.1 串级控制的基本概念	180	8.2.2 相对增益与相对增益矩阵	232
6.1.2 串级控制系统的控制效果	181	8.2.3 解耦控制系统的设计	237
6.1.3 串级控制系统的适用范围	186	8.3 适应过程参数变化的控制系统	242
6.1.4 串级控制系统的设计	188	8.3.1 适应静态增益变化的控制 系统	242
6.1.5 串级控制系统的参数整定	191	8.3.2 适应纯滞后时间变化的 控制系统	244
6.2 前馈控制系统	193	8.3.3 适应时间常数变化的 控制系统	246
6.2.1 前馈控制的基本概念	193	8.4 推理控制系统	248
6.2.2 前馈控制的特点及局限性	194	8.4.1 推理控制系统的组成	248
6.2.3 静态补偿与动态补偿	195	8.4.2 推理-反馈控制系统	250
6.2.4 前馈-反馈复合控制	195	8.4.3 输出可测条件下的推理控制 系统	252
6.2.5 引入前馈控制的原则及应用 实例	196	8.5 预测控制系统	255
6.3 大滞后过程控制系统	198	8.5.1 预测控制的基本思想	255
6.3.1 大滞后过程概述	198	8.5.2 预测模型	256
6.3.2 史密斯预估控制	198	8.5.3 典型预测控制算法	259
6.3.3 改进型史密斯预估控制	200	思考题与习题	267
6.3.4 内模控制	202	第9章 基于网络的过程计算机控制	
思考题与习题	205		
第7章 实现特殊工艺要求的过程控制			

系统	269	设计	311
9.1 集散控制系统	269	10.1 典型生产过程控制	311
9.1.1 集散控制系统概述	269	10.1.1 电厂锅炉的过程控制	311
9.1.2 集散控制系统的通信网络系统	277	10.1.2 精馏塔的过程控制	317
9.1.3 集散控制系统的控制器	280	10.2 过程控制系统的工程设计	322
9.1.4 集散控制系统操作员站	283	10.2.1 工程设计的目的和主要内容	322
9.1.5 集散控制系统工程师站与 组态软件	285	10.2.2 工程设计的具体步骤	323
9.1.6 集散控制系统的设计实例	296	10.2.3 控制系统的抗干扰和接地 设计	326
9.2 基于现场总线的过程控制系统	299	思考题与习题	330
9.2.1 现场总线的基本概念	299	附录	333
9.2.2 现场总线的通信模型	300	附录 A	333
9.2.3 基于现场总线的控制系统的 设计	306	附录 B	334
思考题与习题	309	参考文献	336
第10章 典型生产过程控制与工程			

第1章 绪 论

教学内容与学习要求

本章主要介绍过程控制与自动化仪表的概念体系,即过程控制系统的组成、特点与设计概要以及自动化仪表的类型、信号制与安全防爆等。学完本章后,应能达到如下要求:

- 1) 掌握过程控制的定义、要求和任务,了解过程控制的发展概况。
- 2) 掌握过程控制系统的组成、特点、类型及其阶跃响应指标。
- 3) 了解过程控制系统的设计步骤。
- 4) 了解自动化仪表的分类与发展。
- 5) 掌握自动化仪表的信号制以及防爆系统的构成。
- 6) 明确本门课程的学习目的、内容与要求,初步建立本门课程的概念体系。

1.1 过程控制概述

什么叫过程控制?过程控制是生产过程自动化的简称。它泛指石油、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,是自动化技术的重要组成部分。过程控制正在为实现工业生产中各种最优经济指标、提高经济效益和社会效益、节约能源、改善劳动条件、保护生态环境等方面起着越来越重要的作用。

过程控制通常是对生产过程中的温度、压力、流量、液位、成分和物性等工艺参数进行控制,使其保持为定值或按一定规律变化,以确保产品质量和生产安全,并使生产过程按最优化目标自动进行。

从控制的角度,通常将工业生产过程分为三类,即连续型、离散型和混合型。过程控制主要是针对连续型生产过程采用的一种控制方法。连续型生产过程的主要特征通常表现为:呈流动状态的各种原材料在生产过程中,经过传热、传质或物理、化学变化等,大多会发生相变或分子结构的变化,从而产生新的产品。在这个变化过程中,有关工艺参数是决定产品产量和质量的关键因素,它们不仅受生产过程内部条件的影响,也受外界条件的影响。由于影响生产过程的参数往往不止一个,所起的作用也各不相同,有时还会相互影响,这就增加了对过程工艺参数进行控制的复杂性和特殊性,从而也决定了过程控制的特点、任务及要求与一般自动控制有所不同。

1.1.1 过程控制的特点、任务及要求

1.1.1.1 过程控制的特点

与其他控制技术相比,过程控制有以下特点:

1. 系统由被控过程与系列化生产的自动化仪表组成

过程控制的任务和要求由过程控制系统加以实现,而自动化仪表则是过程控制系统的重要组成部分。在过程控制系统中,先由检测仪表将生产过程中的工艺参数转换为电信号或气压信号,并由显示仪表显示或记录,以便反映生产过程的状况。与此同时,还将检测的信号通过某种变换或运算传送给控制仪表,以便实现对生产过程的自动控制,使工艺参数符合预期要求。

随着生产过程自动化要求的不断提高、过程控制规模的不断扩大和复杂程度的不断增加,自动化仪表的品种与规格、功能与质量也在不断完善。但不管自动化仪表及其技术如何发展,其共同特点是:为实现过程控制系统的不同构成和相应的功能,它们都是工业上生产的系列化仪表。

2. 被控过程复杂多样,通用控制系统难以设计

被控过程是指通过一定物质流或能量流的工艺设备。在工业生产中,由于生产的规模、工艺要求和产品的种类各不相同,因而导致被控过程的结构形式、动态特性也复杂多样。当生产过程在较大工艺设备中进行时,它们的动态特性通常具有惯性大、时延长、变量多等特点,而且还常常伴有非线性与时变特性。例如,热力传递过程中的锅炉、热交换器、核反应堆,金属冶炼过程中的电弧炉,机械加工过程中的热处理炉,石油化工过程中的精馏塔、化学反应器以及流体输送设备等,它们的内部结构与工作机理都比较复杂,其动态特性也各不相同,有时很难用机理解析的方法求得其精确的数学模型,所以要想设计出能适应各种过程的通用控制系统是比较困难的。

3. 控制方案丰富多彩,控制要求越来越高

由于被控过程的复杂多样,控制方案越来越丰富多彩,对控制功能的要求也越来越高。许多生产过程,既存在单输入/单输出的自治过程,也有多输入/多输出的相互耦合过程;在控制方案上,既有常规的PID控制,也有先进的过程控制(Advanced Process Control, APC),如自适应控制、预测控制、推理控制、补偿控制、非线性控制、智能控制、分布参数控制等。

4. 控制过程大多属于慢变过程与参量控制

由于被控过程大多具有大惯性、大时延(滞后)等特点,因而决定了控制过程是一个慢变过程。此外,在诸如石油、化工、冶金、电力、轻工、建材、制药等生产过程中,常常用一些物理量(如温度、压力、流量、物位、成分等)来表征生产过程是否正常、产品质量是否合格,对它们的控制多半属于参量控制。

5. 定值控制是过程控制的主要形式

在目前大多数过程控制中,其设定值是恒定不变或在很小范围内变化,控制的主要目的是尽可能减小或消除外界干扰对被控参数的影响,使生产过程稳定,以确保产品的产量和质量。因此,定值控制是过程控制的主要形式。

1.1.1.2 过程控制的要求、任务及功能

1. 过程控制的要求与任务

工业生产对过程控制的要求尽管很多,但归纳起来主要有三个方面,即安全性、稳定性和经济性。安全性是指在整个生产过程中,要确保人身和设备的安全,这是最重要也是最基本的要求。为达此目的,通常采用参数越限报警、联锁保护等措施加以实现。随着工业生产过程的连续化和大型化,上述措施已不能满足要求,还必须设计在线故障诊断系统和容错控

制系统等来进一步提高生产运行的安全性。稳定性是指系统具有抑制外部干扰、保持生产过程长期稳定运行的能力，这也是过程控制能够正常运行的基本保证。经济性是指要求生产成本低且效率高，这也是现代工业生产所追求的目标。为此，过程控制的任务是指在了解、掌握工艺流程和被控过程的静态与动态特性的基础上，应用控制理论分析和设计符合上述三项要求的过程控制系统，并采用适宜的技术手段（如自动化仪表和计算机）加以实现。因此，过程控制是集控制理论、工艺知识、自动化仪表与计算机等为一体的综合性应用技术。

2. 过程控制的功能

符合现代大工业生产的过程控制功能结构如图 1-1 所示。图中各层的具体功能简述如下：

(1) 测量、变送与执行功能 测量、变送与执行功能是由测量变送装置（如传感器与变送器等）和执行装置（如执行机构与调节机构等）实现的。其中，测量变送装置用来测量过程变量并将其转换成系统的统一信号；执行装置则将控制信号转换为可直接改变被控参数的控制动作。显然，测量、变送与执行功能在任何控制系统都不可缺少的组成部分。

(2) 操作安全与环境保护功能 该功能是为保证生产过程的安全操作和满足环境保护的规范要求而设计的。由于它关系到人的生命安全与设备财产安全，因而非常关键。实现该功能的设备主要包括非正常工况下的报警系统、自动选择性系统（亦称软保护）和实现紧急停车的继电保护系统（亦称硬保护）。这些设备与常规控制所用的仪表无关，常常是独立运行的。必要时还要采用多级保护方法，以确保生产过程的绝对安全。

(3) 常规控制或高级控制功能 该功能首先采用常规的 PID 反馈控制和前馈补偿控制使温度、压力、流量、物位、成分等工艺参数运行在或接近于它们的设定值。若常规控制不能满足控制要求时，则可采用更为先进的控制技术如自适应控制、预测控制、推理控制、补偿控制、智能控制以及多变量约束控制等加以实现。

(4) 实时优化功能 该功能是为实现最优操作工况而设计的。一般说来，生产过程的最优工况通常在工艺过程设计时就已经确定。但在实际运行中，由于设备的损耗或损坏、过程的干扰以及经济指标的变化等，又常常使最优工况发生变化。因此，定期重新确定最优工况是必要的，这就要求进行实时优化。实时优化的目标是 최소화操作成本或最大化操作利润，它既可以针对一个操作单元，也可以针对全厂进行。

(5) 决策管理与计划调度功能 过程控制系统的最高功能是决策管理与计划调度。对连续生产过程而言，整个生产过程都应该进行周密的计划调度和正确有效的决策管理，成功地实现这些功能是现代企业获利的关键。

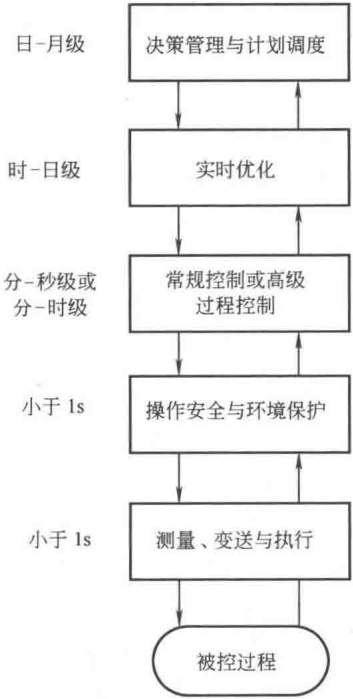


图 1-1 现代过程控制的功能结构

1.1.1.3 过程控制系统设计概述

过程控制系统的设计是过程控制的主要内容，也是本门课程学习的重点。现以加热炉过

程控制系统的设计为例进行简要叙述,更详细的内容将在后续各章中讨论。图 1-2 所示为加热炉过程控制系统流程图。对它的设计步骤简述如下:

1. 确定控制目标

对图 1-2 所示的加热炉,存在几个不同的控制目标,即:

1) 在安全运行的条件下,保证热油出口温度稳定。

2) 在安全运行的条件下,保证热油出口温度和烟道气含氧量稳定。

3) 在安全运行的条件下,既要保证热油出口的温度稳定,还要使加热炉热效率最高。

显然,为了实现上述不同的控制目标应采用不同的控制方案,这是需要首先确定的。

2. 选择被控参数

被控参数也称被控量或系统的输出。无论采用什么控制方案,均需要通过某些参数的检测来控制或监视生产过程。在该加热炉的加热过程中,当热油出口温度、烟道气含氧量、燃油压力等参数能够被检测时,均可以选作被控参数。若有些参数因某种原因不能被直接测量时,可利用参数估计的方法得到,也可通过测量与其有一定函数关系的另一参数(称为间接参数)经计算得到;有些参数还必须通过其他几种参数综合计算得到,如加热炉的热效率就是通过测量烟气温度、烟气中的含氧量和一氧化碳含量并进行综合计算得到的。在过程控制中,被控参数的选择是体现控制目标的前提条件。

3. 选择控制量

控制量也称控制介质。一般情况下,控制量是由生产工艺规定的,一个被控过程通常存在一个或多个可供选择的控制量。究竟用哪个控制量去控制哪个被控量,这是需要认真考虑的。在上述加热炉过程控制中,是以燃油的流量作为控制量控制热油的出口温度,还是以冷油的入口流量控制热油的出口温度,需要认真加以选择;还有,是用烟道挡板的开度为控制量控制烟气中的含氧量,还是用炉膛入口处送风挡板的开度控制烟气中的含氧量,也同样需要认真选择,它的确定决定了被控过程的性质。

4. 确定控制方案

控制方案与控制目标有着密切的关系。在加热炉控制中,如果只要求实现第一个控制目标,则只要采用简单控制方案即可满足要求;但当燃油的压力变化既频繁又剧烈,且要确保热油出口温度有较高的控制精度时,则要采用较为复杂的控制方案;如要实现第二个控制目标,则在对热油出口温度控制的基础上,还要再增设一个烟气含氧量成分控制系统,方可完成控制任务;如果一方面要求热油出口温度有较高的控制精度,另一方面又要求有较高的热效率,此时若仍采用两个简单控制系统的控制方案已不能满足要求,因为此时的加热过程已变成多输入/多输出的耦合过程(即 MIMO 过程),要实现对该过程的控制目标,必须采用多变量解耦控制方案;对第三个控制目标,除了要对温度和含氧量分别采用定值控制方案

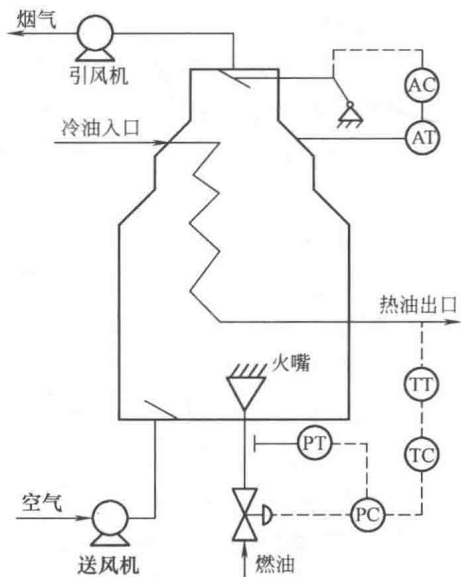


图 1-2 加热炉过程控制系统流程图

外,还要随时调整含氧量的设定值以保证加热炉热效率最高。为达此目的,必须建立燃烧过程的数学模型,采用最优控制,结果使控制方案变得更加复杂。

总而言之,控制方案的确定,随控制目标和控制精度要求的不同而有所不同,它是控制系统设计的核心内容之一。

5. 选择控制策略

被控过程决定控制策略。对比较简单的被控过程,在大多数情况下,只需选择常规 PID 控制策略即可达到控制目的;对比较复杂的被控过程,则需要采用高级过程控制策略,如模糊控制、推理控制、预测控制、解耦控制、自适应控制策略等。这些控制策略(也称控制算法)涉及许多复杂的计算,所以只能借助于计算机才能实现。控制策略的合理选择也是系统设计的核心内容之一。

6. 选择执行器

在确定了控制方案和控制策略之后,就要选择执行器。目前可供选择的商品化执行器有气动和电动两种,尤以气动执行器的应用最为广泛。这里关键的问题也是容易被人们忽视的问题是,如何根据控制量的工艺条件和对流量特性的要求选择合适的执行器。若执行器选得不合适,会导致执行器的特性与过程特性不匹配,进而使设计的控制系统难以达到预期的控制目标,有的甚至使系统无法运行。因此,应该引起足够的重视。

7. 设计报警和联锁保护系统

报警系统的作用在于及时提醒操作人员密切注视生产中的关键参数,以便采取措施预防事故的发生。对于关键参数,应根据工艺要求设定其高、低限值。联锁保护系统的作用是当生产一旦出现事故时,为确保人身与设备的安全,要迅速使被控过程按预先设计好的程序进行操作以便使其停止运转或转入“保守”运行状态。例如,当加热炉在运行过程中出现事故而必须紧急停车时,联锁保护系统必须先停燃油泵后关燃油阀,再停引风机,最后切断热油阀。只有按照这样的联锁保护程序才会避免事故的进一步扩大。否则,若先关热油阀,则可能烧坏油管;或先停引风机,则会使炉内积累大量燃油气,从而导致再次点火时出现爆炸事故,损坏炉体。因此,正确设计报警系统和联锁保护程序是保证生产安全的重要措施。

8. 系统的工程设计

过程控制系统的工程设计是指用图样资料 and 文件资料表达控制系统的设计思想和实现过程,并能按图样进行施工。设计文件和图样一方面要提供给上级主管部门,以便对该建设项目进行审批,另一方面则作为施工建设单位进行施工安装的主要依据。因此,工程设计既是生产过程自动化项目建设中的一项极其重要的环节,也是对学生强化工程实践、运用“过程控制工程”的知识进行全面综合训练的重要环节。

9. 系统投运、调试和整定调节器的参数

在完成工程设计、控制系统安装之前,应按照控制方案的要求检查和调试各种控制仪表和设备的运行状况,然后进行系统安装与调试,最后进行调节器的参数整定,使控制系统运行在最优(或次优)状态。

以上所述为过程控制系统设计的主要步骤。但是,对一个从事过程控制的工程技术人员来说,除了要熟悉上述控制系统设计的主要步骤外,还要尽可能熟悉生产过程的工艺流程,以便从控制的角度掌握它的静态和动态特性(也称过程模型)。对于简单过程控制问题,或许不需要详细分析或建立显式模型,但对于复杂过程的控制问题,过程模型不仅有利于控制

系统的设计,而且有利于对过程的深入了解。因此,建立过程的数学模型,也是控制系统设计的重要内容之一。

1.1.2 过程控制的发展概况

过程控制的发展,大致经历了局部自动化、综合自动化和全盘自动化等阶段。

1. 基于仪表的局部自动化阶段

20 世纪 50 年代前后,过程控制开始发展,一些工矿企业率先实现了基于仪表的局部自动化,这是过程控制发展的早期阶段。这个阶段的主要特点是,采用的过程检测控制仪表大多为基地式仪表或部分单元组合式仪表,而且多数是气动仪表(即用气压源作为驱动源);过程控制系统的结构绝大多数是单输入-单输出系统;被控参数主要是温度、压力、流量和物位等工艺参数;控制的目的是保证这些工艺参数稳定在期望值以确保生产安全;过程控制系统分析、综合的理论基础是基于传递函数的经典控制理论。

2. 基于仪表/计算机的综合自动化阶段

到了 20 世纪 60 年代前后,随着工业生产的不断发展,对过程控制的要求不断提高;随着电子技术的迅速发展,自动化技术工具也不断完善,过程控制进入了综合自动化阶段。这一阶段的主要特点是:过程控制大量采用单元组合式仪表(包括气动和电动)或组装式仪表;各种高性能或特殊要求的控制系统,如串级控制、前馈-反馈复合控制、史密斯预估控制以及比值、均匀、分程、自动选择性控制等也相继出现,这一方面提高了控制质量,同时也满足了一些特殊工艺的控制要求;与此同时,计算机开始应用于过程控制领域,出现了直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)和计算机监督控制(Supervisory Computer Control, SCC);过程控制系统分析与综合的理论基础,由基于传递函数的经典控制理论发展到基于状态空间法的现代控制理论;控制系统由单变量发展到多变量,以解决生产过程中遇到的更为复杂的问题。

3. 基于网络的全盘自动化阶段

自 20 世纪 70 年代中期以来,随着现代工业的迅猛发展与微型计算机的广泛应用,过程控制的发展达到了一个新的水平,即实现了过程控制最优化与现代化的集中调度管理相结合的全盘自动化方式,这是过程控制发展的高级阶段。这一阶段的主要特点是:在新型的自动化技术工具方面,开始采用以微处理器为核心的智能单元组合仪表(包括可编程序控制器等),成分在线检测与数据处理技术的应用也日益广泛,模拟调节仪表的品种不断增加,可靠性不断提高,电动仪表也实现了本质安全防爆,适应了各种复杂过程的控制要求。过程控制由单一的仪表控制发展到计算机/仪表分布式控制,如集中/分散型控制(Distributed Control System, DCS)、现场总线(Fieldbus)控制等。与此同时,现代控制理论的主要内容,如过程辨识、最优控制、最优估计以及多变量解耦控制等获得了更加广泛的应用。

当前,过程控制已进入全新的、基于网络的计算机集成过程控制(Computer Integrated process System, CIPS)时代。CIPS 是以企业整体优化为目标(包括市场营销、生产计划调度、原材料选择、产品分配、成本管理以及工艺过程的控制、优化和管理等),以计算机及网络为主要技术工具,以生产过程的管理与控制为主要内容,将过去传统自动化的“孤岛”模式集成为一个有机整体,而网络技术、数据库技术、分布式控制、先进过程控制策略、智能控制等则成为实现 CIPS 的重要基础。可以预见,过程控制将在我国现代化建设过程中得