

Guocheng Kongzhi

过程控制 (第三版)

林锦国 张利 李丽娟◎编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

过 程 控 制

(第三版)

林锦国 张 利 李丽娟 编著

东南大学出版社
·南京·

内 容 提 要

全书由三篇组成,第一篇是控制系统,包括控制系统概述、控制系统分析、简单控制系统、复杂控制系统、先进控制系统和典型过程单元控制系统等六章;第二篇是过程控制仪表,包括检测元件及变送器、调节器和执行器等三章;第三篇是计算机控制,包括过程计算机控制系统、集散控制系统、可编程控制器和现场总线控制技术与工业以太网等四章,各部分均附有例题与习题,最后还附有综合测试卷。

本教材适用于石油、化工、制药、冶金、电力、材料、食品和轻工等工艺类和设备制造类本专科专业学生,电气信息类非过程自动化方向学生,自学考试同类专业学生,也可以供各类工程技术人员作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制/林锦国,张利,李丽娟编著. —3 版. —南京:东南大学出版社,2009. 8
ISBN 978-7-5641-1806-8

I. 过… II. ①林…②张…③李… III. 过程控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 135062 号

过程控制(第三版)

出版发行:东南大学出版社
社 址:南京四牌楼 2 号 邮编:210096
出版人:江汉
网 址:<http://press.seu.edu.cn>
电子邮件:press@seu.edu.cn
经 销:江苏省新华书店
印 刷:兴化印刷有限责任公司
开 本:787mm×1092mm 1/16
印 张:20.75
字 数:531 千字
版 次:2009 年 9 月第 3 版
印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 978-7-5641-1806-8
印 数:1—4000 册
定 价:35.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

前 言

南京工业大学(原南京化工大学与南京建筑工程学院)自1960年起开始编写“化工仪表及自动化”课程讲义并开课,是国内最早开设该课程的高校之一;中国药科大学自20世纪80年代起开设该门课程。几十年来,为适应自动化技术的发展,我们多次修订教材和实验指导书。1980年南京化工大学与北京化工大学等高校联合编写了全国通用教材《化工仪表及自动化》,该教材由化学工业出版社出版,在近20年中被全国许多高校广泛采用。2001年我们编写出版了《过程控制:系统·仪表·装置》,2006年,又重新修订该教材,以《过程控制》书名出版。九年来,该教材为许多学校所采用,受到好评,同时大家也提出很多宝贵的改进意见。因此,根据教学需要我们决定修订再版本教材。

21世纪,自动化与信息技术的日新月异使得过程自动化领域已经发生了重大变革。与此同时,我国高等教育正开始从精英教育向大众教育过渡,高校学生人数迅猛增加,高校各类专业需要开设该课程的学生人数大增,对教材的期望与要求各有不同,需要有多种风格与特色的教材供老师与学生选择。多种教材的出现,也有利于教学经验的交流和教学水平的提高。本教材在编写中考虑到两类学生的需要:①工科非自动化专业学生。目前各行各业的自动化程度越来越高,它已经成为工科各专业必须面对的重要课题。②电气信息类各专业中非过程自动化方向的学生。自动化学科类课程众多,由于总学时所限,这部分学生只能选修过程控制课程。

在石油、化工、制药、冶金、电力、材料、食品、轻工和建筑楼宇等行业领域中,以温度、流量、物位、压力和成分为主要被控变量的控制系统都归类为“过程控制”;大学里原来的“热工自动化”、“化工自动化”和“轻工自动化”等同类专业也在多年前合并为“生产过程自动化”专业。本教材第一版取名为《过程控制:系统、仪表及装置》,第二版简化为《过程控制》。由于生产工艺和设备

越来越复杂,自动化程度越来越高,非自动化专业的工程技术人员需要了解和掌握更多的自动化技术,以利于他们对控制系统的设计能提出更好的建议,对系统的运行与优化能更好地把握;对系统的维护与故障分析能有更多的发言权。因此,本教材把控制系统部分的介绍作为重中之重,力求把控制系统的基本概念和基本原理讲清楚并贯穿于全书。相对而言,我们认为,如果学时少,仪表部分的介绍可以简单些。实际上,在本教材中,已经将原教材里气动仪表的大部分内容删去,仅保留气动执行器。另外,为适应当前大中型企业已基本实现计算机控制的现状,增加了“生产过程计算机控制”、“集散控制系统”、“可编程控制器”和“现场总线技术”等四个部分的内容。

为了便于老师组织教学和学生的学习,本书每篇后面都有配套的案例与习题,包括各主要章节的例题、习题,并提供多套适应不同教学要求的综合测试卷。

本教材的编排顺序与许多老教材也有显著的不同,将控制系统集中在第一部分讲,而不是像以前那样先讲控制系统概论,紧接着讲控制仪表与装置,然后再回过去讲控制系统。这样安排,有利于把控制系统的基本概念和基本原理讲得比较清楚,有利于在后续章节中应用自动控制思想与方法分析问题和解决问题。因此,建议基本按照本书章节顺序讲解,如果学时少,可不讲第5、6章,第10、11、12和13章也可简要介绍。第4章的内容很有意义,尽量不要压缩。如果希望基本按照传统的顺序讲,将各章的讲课顺序调整为1—7—8—9—2—3—4—10—11—12—13即可。

本教材适用于各类工科学生,重点是石油、化工、制药、热工、材料、冶金、食品和轻工等工艺类和设备制造类本专科专业,以及电气信息类非过程自动化方向的学生,还可以作为自学考试相关专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考资料。

本书第一版共16章,其中,第1—4章由南京化工大学林锦国编写,第5章由南京化工大学张斌、林锦国编写,第6、7章由中国药科大学方醉敏编写,第8、10、11、12、13章由南京化工大学李丽娟编写,第9章由南京化工大学易飞编写,第14章由中国药科大学张利编写,第15章由南京化工大学李丽娟、丁瑶君编写,第16章由南京化工大学丁瑶君编写。刘莎、陈凤馨、胡波、刘定球、侯萍和刘学军等同志为书稿绘图和文字编排做了大量工作。袁启昌教授审阅了全书,提出了许多重要的意见;何叔余先生为书稿提供了许多建设性意见及有价值的资料。对他们所作的贡献和辛勤的劳动,在此表示深深的谢意。

第二版全书共 13 章,其中,第 1—6 章由南京工业大学林锦国修订编写,第 7—9 章由中国药科大学张利修订编写,第 10—13 章由南京工业大学李丽娟修订编写,例题、习题与综合测试卷由李丽娟、张利修订编写。

第三版全书仍为 13 章,其中,第 1—6 章由南京工业大学林锦国修订编写;第 7—9 章由中国药科大学张利修订编写,增加了分析仪器部分和变频器部分;第 10—13 章由南京工业大学李丽娟修订编写,例题、习题与综合测试卷由李丽娟、张利修订编写。

在书稿的形成过程中,融入了作者在相关领域的教学与科研成果,还参考了大量的文献,对这些参考文献的作者,在此表示感谢。另外,由于编者水平等原因,教材中肯定仍然存在疏漏及不足之处,欢迎老师和同学与我们交流,提出批评改进意见。

编著者

2009 年 9 月于南京

目 录

前 言	1
-----------	---

第一篇 控制系统

第 1 章 控制系统概述	3
1.1 自动控制基本概念	3
1.1.1 生活环境中的自动控制系统	3
1.1.2 工业生产中的自动控制系统	4
1.1.3 信息处理	6
1.1.4 生物系统	6
1.1.5 社会经济系统	6
1.2 反馈原理	7
1.2.1 反馈	7
1.2.2 负反馈系统	7
1.2.3 正反馈系统	8
1.3 基本概念及术语	9
1.4 控制系统分类	10
1.4.1 各种分类方法	10
1.4.2 按给定值分类	10
1.5 自动化技术简要发展史	11
1.5.1 工匠技巧阶段	11
1.5.2 技术化和理论化阶段	11
1.5.3 系统化和智能化方法	12
第 2 章 控制系统分析	14
2.1 传递函数	14
2.1.1 传递函数概念	14
2.1.2 拉普拉斯变换	15

2.2 方块图	17
2.2.1 方块图的基本单元	17
2.2.2 方块图的应用	18
2.3 数学模型	19
2.3.1 概述	19
2.3.2 机理建模	20
2.3.3 实验建模	25
2.3.4 过程特性参数 K 、 T 、 τ	26
2.4 瞬态响应法	30
2.4.1 瞬态响应分析方法	30
2.4.2 控制系统的过渡过程	31
2.4.3 过渡过程的品质指标	32
第3章 简单控制系统	34
3.1 系统组成原理及分析	34
3.1.1 系统组成原理	34
3.1.2 调节过程分析	35
3.2 简单控制系统的设计	36
3.2.1 控制系统设计概述	36
3.2.2 被控变量的选择	37
3.2.3 调节变量的选择	39
3.2.4 被控变量的测量	39
3.2.5 调节器及调节规律的选择	40
3.2.6 调节器作用方向的选择	42
3.2.7 执行器正反作用的选择	44
3.3 控制系统的投运与参数整定	44
3.3.1 投运步骤	44
3.3.2 调节器参数整定	45
第4章 复杂控制系统	49
4.1 串级控制系统	49
4.1.1 组成原理	49
4.1.2 调节过程	51
4.1.3 系统特点	52
4.1.4 系统设计	53
4.2 均匀控制系统	56
4.2.1 均匀控制原理	56
4.2.2 均匀控制的实现方案	57

4.3 比值控制系统	58
4.3.1 比值控制原理	58
4.3.2 比值控制系统类型	58
4.4 分程控制系统	60
4.4.1 分程控制原理	60
4.4.2 分程控制的应用	61
4.5 选择性控制系统	63
4.5.1 选择性控制原理	63
4.5.2 选择性控制系统的类型	64
4.5.3 积分饱和问题	66
4.6 前馈控制系统	66
4.6.1 前馈控制原理	66
4.6.2 前馈控制与反馈控制的比较	67
4.6.3 前馈控制的应用	68
4.6.4 多冲量控制系统	71
第5章 先进控制系统	73
5.1 解耦控制	74
5.1.1 系统间的关联	74
5.1.2 解耦控制	74
5.2 时滞补偿控制系统	76
5.2.1 史密斯(Smith)预估算法	76
5.2.2 史密斯预估算法的改进	77
5.3 软测量技术和推断控制	77
5.3.1 软测量技术的意义	77
5.3.2 软测量的方法	78
5.3.3 推断控制	79
5.4 自适应控制	80
5.4.1 变增益自适应控制系统	80
5.4.2 模型参考自适应控制系统	81
5.4.3 直接优化目标函数的自适应控制系统	81
5.4.4 自校正控制系统	82
5.5 预测控制	82
5.5.1 模型算法控制	83
5.5.2 动态矩阵控制	85
5.5.3 广义预测控制	85
5.6 智能控制	85
5.6.1 智能控制概述	85

5.6.2	模糊控制	87
5.6.3	神经网络控制	88
第6章 典型过程单元控制系统		90
6.1	流体输送设备的控制	90
6.1.1	离心泵的控制方案	91
6.1.2	往复泵的控制方案	92
6.1.3	压气机的控制方案	93
6.2	精馏塔的自动控制	94
6.2.1	工艺要求和约束条件	95
6.2.2	精馏塔的干扰因素	96
6.2.3	精馏塔的控制方案	98
6.3	化学反应器的自动控制	103
6.3.1	化学反应器的控制要求	104
6.3.2	釜式反应器的温度自动控制	105
6.3.3	固定床反应器的自动控制	106
6.3.4	流化床反应器的自动控制	107
6.4	传热设备的自动控制	108
6.4.1	传热设备的控制目标	108
6.4.2	一般传热设备的控制方案	109
6.4.3	载热体进行冷凝的加热器自动控制	111
6.4.4	冷却剂进行汽化的冷却器自动控制	112
6.4.5	管式加热炉控制方案	113
例题与习题		115

第二篇 过程控制仪表

第7章 检测元件及变送器		127
7.1	测量误差和测量仪表的性能指标	127
7.1.1	测量误差	127
7.1.2	测量仪表的性能指标	129
7.2	温度的检测及变送	132
7.2.1	温度测量的基本方法	132
7.2.2	热电偶温度计	135
7.2.3	热电阻温度计	141
7.2.4	温度变送器	143
7.2.5	测温元件的安装和使用	148
7.2.6	温度显示仪表	149
7.3	压力的测量及变送	154

7.3.1 测压仪表	154
7.3.2 压力变送器	156
7.3.3 压力计的选用和安装	158
7.4 流量的检测及变送	160
7.4.1 差压式流量计	161
7.4.2 转子流量计	164
7.4.3 涡轮流量计	166
7.4.4 电磁流量计	167
7.4.5 漩涡流量计	168
7.4.6 椭圆齿轮流量计	168
7.4.7 质量流量计	169
7.5 物位的检测及变送	169
7.5.1 物位检测仪表	169
7.5.2 差压式液位变送器	170
7.5.3 电容式物位计	172
7.5.4 液罐称重仪	173
7.6 成分分析仪表	174
7.6.1 仪器分析方法	175
7.6.2 过程分析仪器	178
第8章 调节器	180
8.1 电动控制仪表概述	180
8.2 调节器的调节规律	181
8.2.1 位式调节	181
8.2.2 PID 调节规律	182
8.3 模拟式调节器	187
8.3.1 DDZ-Ⅱ型和 DDZ-Ⅲ型仪表的比较	187
8.3.2 DDZ-Ⅱ型电动调节器	188
8.3.3 DDZ-Ⅲ型电动调节器	190
8.4 数字式调节器	192
8.4.1 单回路可编程数字调节器的特点	192
8.4.2 单回路可编程数字调节器的基本组成	192
8.4.3 单回路可编程数字调节器的功能	194
第9章 执行器	195
9.1 概述	195
9.2 气动执行器	196
9.2.1 气动调节阀的结构	196

9.2.2	气动薄膜调节阀的类型	198
9.2.3	调节阀的静态特性	200
9.2.4	调节阀的动态特性和变差	205
9.2.5	调节阀的选择	205
9.3	电动执行器	207
9.4	电-气转换器及电-气阀门定位器	209
9.4.1	电-气转换器	209
9.4.2	电-气阀门定位器	210
9.5	变频器	211
9.5.1	变频器的基本结构	211
9.5.2	变频调速特性	212
9.5.3	变频器的分类	213
9.5.4	变频器中常用的控制方式	213
9.5.5	变频器控制的展望	215
	例题与习题	216

第三篇 计算机控制

第 10 章	过程计算机控制系统	229
10.1	概述	229
10.2	过程计算机控制系统的特点	229
10.3	过程计算机控制系统的组成	230
10.3.1	硬件部分	231
10.3.2	软件部分	232
10.4	过程计算机控制系统的基本类型	232
10.4.1	计算机数据采集系统	232
10.4.2	操作指导控制系统	232
10.4.3	直接数字控制系统(DDC)	233
10.4.4	计算机监督控制系统(SCC)	233
10.4.5	分级控制系统	233
10.4.6	集散控制系统(DCS)	233
10.4.7	可编程控制器(PLC)	234
10.4.8	现场总线控制系统(FCS)	234
10.5	数字式 PID 控制系统整定	234
10.5.1	数字 PID 控制算法	234
10.5.2	数字 PID 控制器参数整定	235
10.6	计算机控制系统设计的一般步骤	237
10.6.1	确定控制任务	237

10.6.2	系统的总体方案设计	238
10.6.3	硬件设计及调试	239
10.6.4	软件设计	239
10.6.5	确定控制算法	239
10.6.6	现场安装调试	240
10.6.7	建立完整的技术档案	240
第 11 章	集散控制系统	241
11.1	概述	241
11.1.1	集散控制系统的发展	241
11.1.2	集散控制系统的特点	241
11.2	集散控制系统的基本构成	243
11.2.1	过程输入/输出接口	244
11.2.2	过程控制单元	244
11.2.3	操作站	244
11.2.4	高速数据通路	244
11.2.5	上位计算机	245
11.3	TDC 3000 系统概况	245
11.3.1	LCN 通信网络及其模块	247
11.3.2	万能控制网络及模块	250
11.4	集散控制系统的组态	253
11.4.1	集散控制系统硬件组态	253
11.4.2	集散控制系统的应用软件组态	254
第 12 章	可编程控制器	255
12.1	概述	255
12.1.1	可编程控制器的的发展史	255
12.1.2	可编程控制器的特点	256
12.1.3	可编程控制器的主要功能	257
12.2	可编程控制器的组成原理	257
12.2.1	可编程控制器的硬件结构	258
12.2.2	可编程控制器的软件系统	260
12.2.3	可编程控制器的编程语言	261
12.3	可编程控制器的工作原理	264
12.3.1	运行监控任务	264
12.3.2	与编程器交换信息任务	264
12.3.3	与数字处理器 DPU 交换信息任务	264
12.3.4	与外部设备接口交换信息任务	265

12.3.5 执行用户程序任务	265
12.3.6 输入输出任务	265
12.4 可编程控制器应用系统设计方法	265
12.4.1 总体设计	265
12.4.2 硬件设计	265
12.4.3 软件设计	266
12.4.4 联机调试	266
第13章 现场总线控制技术与工业以太网	267
13.1 现场总线概述	267
13.1.1 现场总线控制系统的发展概况	267
13.1.2 现场总线控制系统的特点	268
13.1.3 现场总线控制系统的组成	269
13.2 工业以太网	269
13.2.1 以太网的发展历史	270
13.2.2 以太网的介质访问控制协议	270
13.2.3 以太网在自动化领域的应用	270
13.2.4 以太网应用于工业自动化中的关键问题及发展方向	272
13.3 基金会现场总线	273
13.3.1 基金会现场总线的通信系统	273
13.3.2 基金会现场总线系统的组态与运行	274
13.3.3 设备描述与 FF 产品开发	275
13.3.4 现场总线控制系统软件	276
13.4 现场总线控制系统的应用	277
例题与习题	281
试卷一	283
试卷二	288
试卷三	293
试卷四	298
参考答案	303
参考文献	317

第一篇 控制系统

自动化是信息化的主要目的与功能,信息化是自动化的必要条件与基础。因此,自动化在当今世界的各个领域正发挥着越来越重要的作用。在过程控制等工程领域,自动控制的理论基础是工程控制论,其奠基性著作是钱学森先生于1954年发表的《工程控制论》。工程控制是控制论的应用领域之一,控制论的另外三个重要应用领域分别是生物系统控制、经济系统控制和社会系统控制。它们共同的理论基础是控制论,其奠基性著作是N.维纳于1948年发表的《控制论》。维纳认为“一切有目的的行为都是需要负反馈的行为”,即机器、生物、社会和经济系统都是通过负反馈来达到控制目的的。因此,控制论、控制理论和控制系统的学习对于人们从事任何领域的工作都具有不同程度的指导意义。

在本篇共六章的内容中,在第1章首先用人们在日常生活中常见的自动控制系统实例引入控制系统的基本概念,然后介绍反馈原理等内容。掌握好这些内容将为后续的学习打下良好的基础。第2章是控制系统分析方法,这些方法在后续的各章中都有应用,而且每一块仪表,每一个元部件都可以应用这些方法。第3章是简单控制系统,这是工厂中应用最多的控制系统。能够进行简单控制系统的设计与分析,表明已具备基本的自动化知识和能力。第4章是复杂控制系统,介绍了目前工厂中常见的用常规仪表就能实现的复杂控制系统,如串级控制、比值控制、前馈控制、分程控制、选择性控制、均匀控制等。各种各样的复杂控制系统原理引人入胜。在工厂里,这类控制系统数量较少,但往往是一些重要工段或关键岗位。能够进行复杂控制系统的设计与分析,表明已具备较高的自动化知识水平和应用能力。

第5章先进控制系统,分别介绍了解耦控制、时滞补偿控制、推断控制、自适应控制、预测控制和智能控制等控制方法,可以解决工厂中遇到的特殊控制难题,进一步提高控制水平和生产水平。

第6章典型过程单元控制系统,介绍了流体输送设备、精馏塔、化学反应器和传热设备的自动控制。

第 1 章 控制系统概述

1.1 自动控制基本概念

生产与生活等各类社会经济活动的自动化是人类长久以来所梦寐以求的目标。然而,直到 18 世纪,人类的自动化技术仍处于工匠技巧阶段。1788 年,自动控制系统在作为工业革命标志的蒸汽机的诞生过程中发挥了无可替代的作用,因此它同时也标志着自动化技术工程化时代的开始。

经过 20 世纪后半叶的快速发展,特别是计算机技术的广泛应用,进入 21 世纪的今天,自动控制的应用已相当普遍,人们正在追求更广泛领域和更高层次的自动化。本节通过介绍几个工业生产和日常生活中常见的自动控制系统,引入自动控制的基本概念。

1.1.1 生活环境中的自动控制系统

今天,在人们的日常生活中几乎处处都可见到自动控制系统的存在。如房间温度调节、湿度调节、自动洗衣机、汽车、自动售货机、自动车库、电梯、安防监控、自动门等。它们都在一定程度上代替或增强了人类身体器官的功能。但人们对生产与生活环境自动化的追求是无止境的,这仍然是一个初步自动化阶段。

1. 空气调节器

空调是一个典型的温度控制系统。夏天,当室温高于用户所设定或期望的温度时,空调就启动制冷装置,使室内温度下降;当室温低于用户所设定或期望的温度时,空调就关闭制冷装置。冬天,当室内温度低于用户所设定或期望的温度时,空调就启动加热装置,使室内温度上升;当室温高于用户所设定或期望的温度时,空调就关闭加热装置。如此,使室温保持恒定。室温采用空气调节器进行控制时,温度变化曲线如图 1-1 所示。图中,26℃是人们所期望的室内温度,可通过调节空调上相应的按钮来设定。实际的室温,在进入稳态后,围绕期望温度,在一定范围内来回波动。实现这种温度调节功能的是空调中的温度控制系统。首先,它需要有一个温度计,用来测量室

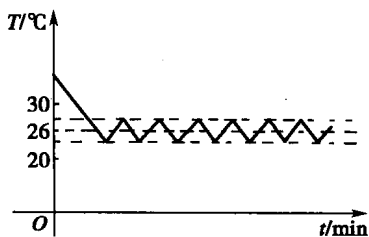


图 1-1 室温调节过程温度变化曲线