



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

计算机控制技术及其应用

丁建强 任 晓 卢亚平 编著

清华大学出版社



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

计算机控制技术及其应用

丁建强 任 晓 卢亚平 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为基础篇、技术篇和应用篇,基础篇介绍了计算机控制系统的理论基础,包括系统数学模型的描述方法、连续系统分析设计方法的回顾、离散系统的分析、数字控制器的设计与实现等内容。技术篇介绍了工业控制计算机及其接口技术、过程通道技术、可靠性和抗干扰技术、控制系统中的软件技术——组态软件,并集成了计算机控制系统许多关键技术的集散控制系统 DCS。应用篇介绍了计算机控制技术应用的具体模式和实例,包括计算机控制系统的多种解决方案及案例分析,计算机控制技术在简单过程控制和流程工业自动化中的应用实例。为方便教学和自学,所有章节都有小结,配有思考题与习题。

本书可作为电子信息科学与技术、计算机科学与技术、电子信息工程、电气工程及自动化、测控技术与仪器等专业的教材和有关工程技术人员的参考资料。本书作为精品课程建设的组成部分,提供了开放的网络资源,包括教学课件(PPT)、参考资料和有关思考题与习题的指导信息,以便于广大师生使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术及其应用/丁建强,任晓,卢亚平编著. —北京:清华大学出版社,2012.1
(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-27490-2

I. ①计… II. ①丁… ②任… ③卢… III. ①计算机控制—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 255567 号

责任编辑:盛东亮

责任校对:梁毅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:23.5 字 数:589 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00 元



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|---------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院 |
| 邬贺铨 | 中国工程院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所 |

主任:

- | | |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|-------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈 怡 | 东南大学高教所 |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院 |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院 |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系 |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院 |
| 胡学钢 | 合肥工业大学计算机与信息学院 |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔 力 | 华中科技大学控制系 |
| 刘振安 | 中国科学技术大学自动化系 |
| 陆大绘 | 清华大学电子工程系 |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院 |
| 彭启琮 | 成都电子科技大学通信与信息工程学院 |
| 仇佩亮 | 浙江大学信电系 |
| 沈伯弘 | 北京大学电子学系 |

童家榕	复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院
汪一鸣(女)	苏州大学电子信息学院
王福源	郑州大学信息工程学院
王华奎	太原理工大学信息与通信工程系
王 瑶(女)	美国纽约 Polytechnic 大学
王毓银	北京联合大学
王子华	上海大学通信学院
吴建华	南昌大学电子信息工程学院
徐金平	东南大学无线电系
阎鸿森	西安交通大学电子与信息工程学院
袁占亭	甘肃工业大学
乐光新	北京邮电大学电信工程学院
翟建设	解放军理工大学气象学院
赵圣之	山东大学信息科学与工程学院
张邦宁	解放军理工大学通信工程学院无线通信系
张宏科	北京交通大学电子信息工程学院
张 泽	内蒙古大学自动化系
郑宝玉	南京邮电大学
郑继禹	桂林电子工业学院
周 杰	清华大学自动化系
朱茂镒	北京信息工程学院



序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的需求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材已经陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用过程中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和读者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”编委会



前言

计算机控制技术已成为信息时代推动自动化发展的重要动力。对于电气、电子、自动化和计算机应用等专业的学生,计算机控制技术已成为一门重要的专业课程。作者根据多年计算机控制技术的教学和应用实践经验,在汲取同类书籍优点的基础上,以突出系统性、新颖性、应用性和适用性为特色,编写了本书。

本书分为基础篇、技术篇和应用篇,分别介绍了与计算机控制系统相关的基本理论、主要技术和工程应用,通过控制系统的结构、控制过程、控制目标规则、控制效果等基本问题,揭示计算机控制系统中的原理、技术和应用之间的内在联系。

基础篇包括第1章概述、第2章计算机控制系统的理论基础、第3章数字控制器的设计与实现。技术篇包括第4章控制系统中的计算机及其接口技术、第5章计算机控制系统中的过程通道、第6章控制系统的可靠性与抗干扰技术、第7章控制系统的组态软件、第8章集散控制系统。应用篇包括第9章计算机控制系统的解决方案、第10章计算机控制技术在简单过程控制中的应用、第11章计算机控制技术在流程工业自动化中的应用。

基础篇介绍了计算机控制系统的理论基础,包括系统数学模型的描述方法、连续系统分析设计方法的回顾、离散系统的分析、数字控制器的设计与实现。其中着重介绍了数字控制器的近似设计法和解析设计法——离散化方法和最少拍随动系统的设计以及工业上最常用的数字PID控制算法及参数整定方法。

技术篇是本书的重点内容,主要介绍了各种计算机控制技术,包括工业控制计算机及其接口技术、过程通道技术、可靠性与抗干扰技术、控制系统中的软件技术——组态软件以及集成了计算机控制系统许多关键技术的集散控制系统。

应用篇介绍了计算机控制技术应用的具体模式和实例,包括计算机控制系统的多种解决方案及案例分析,介绍了计算机控制技术在简单过程控制中的应用,并结合国内自动控制领域的著名企业——浙江中控的典型产品和项目,介绍计算机控制技术在流程工业自动化中的应用实例。

本书结合智能传感器和智能执行器技术、嵌入式计算机技术、控

制网络技术、现场总线技术的发展成果,注重介绍新技术、新器件和新方法,力求所介绍的知识内容具有长久的生命力。

本书介绍多种控制系统的解决方案及案例,结合教学实验,介绍控制系统组态软件及应用方法,力图贴近工程应用,拉近教学课堂与生产应用的距离,彰显“学以致用”。

本书兼顾不同专业的需求,以适应教学要求。鉴于计算机控制技术的广泛应用,许多专业都将该课程作为专业课,如电子信息科学与技术、计算机科学与技术、电子信息工程、电气工程及自动化、测控技术与仪器等专业,考虑到不同专业的特点,书中适当补充自动控制理论、计算机接口技术、网络技术、传感器技术、检测技术、人机交互技术、可靠性技术等最基本的内容,能适应多个专业的教学要求。

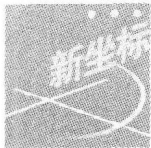
本书作为精品课程建设的组成部分,提供公开的网络资源,包括各章的教学课件、参考资料和思考题与习题的指导信息,可参见网址 <http://tec.suda.edu.cn> 中有关精品课程的链接。

丁建强老师负责全书的统稿,并编写第1章至第6章、第9章;任晓老师参加编写第4章至第7章、第10章、第11章;卢亚平老师编写第7章、第8章、第10章、第11章。

在编写过程中,参考了大量同类书籍、文献资料及工业自动化产品的技术手册,受益匪浅,在此对相关作者表示敬意和感谢。另外,在编写过程中,国内自动控制领域的著名企业——浙江中控给予了大力支持,提供了丰富的应用案例资料,并在与其共建的计算机控制技术实验室中完成了大量的教学实验,在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免还有不足之处和错误,敬请广大读者批评指正。

编者



目 录

基础篇——溯本而求源,温故而知新

第 1 章 概述	3
1.1 自动控制的基本概念	3
1.1.1 自动控制的引例	4
1.1.2 自动控制中的基本问题	6
1.2 计算机控制系统	8
1.2.1 计算机控制系统的结构	8
1.2.2 计算机控制系统的分类	9
1.2.3 计算机控制技术及其发展	15
1.3 课程的研究内容和学习方法	16
1.3.1 研究内容	16
1.3.2 学习方法	17
本章小结	18
思考题与习题	18
第 2 章 计算机控制系统的理论基础	20
2.1 控制系统的数学模型	20
2.1.1 控制系统的描述方法	20
2.1.2 用微分方程表示的系统模型	22
2.1.3 用脉冲响应表示的系统模型	24
2.1.4 拉普拉斯变换	24
2.1.5 用传递函数表示的系统模型	26
2.1.6 系统的方框图	28
2.1.7 状态空间概念和模型框图	29
2.2 连续系统的分析和设计	30
2.2.1 连续系统的性能指标	30
2.2.2 连续系统的分析和设计方法回顾	31
2.3 离散系统的描述方法	36
2.3.1 离散系统与连续系统的关系	36

2.3.2	采样过程和采样定理	37
2.3.3	序列和差分方程	39
2.3.4	用脉冲响应表示的离散系统模型	41
2.3.5	z 变换及其性质	41
2.3.6	脉冲传递函数	43
2.3.7	离散系统的状态空间描述	45
2.3.8	离散系统的其他描述方法	46
2.4	离散系统的分析	46
2.4.1	s 平面和 z 平面之间的映射	46
2.4.2	稳定性分析	48
2.4.3	静态误差分析	48
2.4.4	动态特性分析	50
	本章小结	51
	思考题与习题	51
第 3 章	数字控制器的设计与实现	53
3.1	数字控制器的设计方法	54
3.1.1	近似设计法	54
3.1.2	解析设计法	55
3.2	离散化方法	55
3.2.1	积分变换法	55
3.2.2	零极点匹配法	58
3.2.3	等效变换法	59
3.2.4	离散化方法比较	60
3.3	PID 控制	61
3.3.1	PID 控制的原理	61
3.3.2	数字 PID 控制算法	62
3.3.3	数字 PID 控制的参数整定	66
3.4	最少拍随动系统	69
3.4.1	最少拍随动系统的原理	69
3.4.2	最少拍随动系统的设计	70
3.4.3	最少拍无纹波随动系统的设计	74
3.5	控制算法的实现	77
3.5.1	实现框图与算法	78
3.5.2	串行实现与并行实现	81
	本章小结	83
	思考题与习题	83

技术篇——工欲善其事，必先利其器

第 4 章 控制系统中的计算机及其接口技术	87
4.1 工业控制计算机	88
4.1.1 工业控制计算机的特点和结构	88
4.1.2 嵌入式系统与单片机	88
4.1.3 典型工业控制计算机的产品	92
4.2 控制系统中的接口技术	94
4.2.1 接口与总线	94
4.2.2 并行接口	98
4.2.3 串行接口	100
4.2.4 现场总线	113
4.3 控制系统中的人机交互技术	116
4.3.1 人机交互及其要求	116
4.3.2 人机交互的设计技术	117
4.4 工业控制计算机软件系统简介	117
4.4.1 系统软件	117
4.4.2 应用软件	120
本章小结	120
思考题与习题	121
第 5 章 计算机控制系统中的过程通道	123
5.1 传感器与执行器	124
5.1.1 传感器与变送器	124
5.1.2 IEEE 1451 智能变换器标准	125
5.1.3 执行器及其分类	128
5.1.4 伺服电机和步进电机	129
5.1.5 变频器与电动执行器	132
5.2 输入通道	134
5.2.1 控制系统中的信号种类及特点	134
5.2.2 数字量信号处理方式	136
5.2.3 模拟量信号及处理方式	143
5.2.4 数据采集的原理和实现	156
5.3 输出通道	159
5.3.1 输出通道的基本结构	159
5.3.2 输出通道中的开关信号驱动	160
5.3.3 输出通道中的模拟信号驱动	166
5.3.4 电机控制	175

本章小结	181
思考题与习题	182
第 6 章 控制系统的可靠性与抗干扰技术	184
6.1 可靠性与抗干扰技术的基本概念	184
6.1.1 可靠性的概念	184
6.1.2 电磁兼容性	186
6.1.3 噪声的分类和耦合方式	188
6.1.4 控制系统可靠性设计的基本途径	192
6.2 硬件的可靠性与抗干扰技术	193
6.2.1 元器件与系统结构	193
6.2.2 滤波与去耦电路	195
6.2.3 隔离与屏蔽技术	198
6.2.4 电源干扰的抑制与接地技术	203
6.2.5 停电保护和热插拔技术	207
6.2.6 Watchdog 技术	208
6.2.7 印制板的抗干扰措施	209
6.3 软件的可靠性与抗干扰技术	210
6.3.1 存储空间分配和程序结构的设计	210
6.3.2 数字滤波技术	212
6.3.3 数据的检错和纠错	216
6.3.4 开机自检与故障诊断	216
本章小结	218
思考题与习题	218
第 7 章 控制系统的组态软件	220
7.1 工控组态软件概述	220
7.1.1 组态软件及其特点	220
7.1.2 组态软件的功能	221
7.2 MCGS 组态软件	222
7.2.1 MCGS 组态软件特点和组成	223
7.2.2 MCGS 工程构成	224
7.2.3 MCGS 组态过程	238
本章小结	242
思考题与习题	242
第 8 章 集散控制系统	244
8.1 DCS 的产生与发展	244
8.1.1 DCS 的产生	244

8.1.2 DCS的发展	245
8.2 DCS的体系结构	246
8.2.1 DCS的分层结构	246
8.2.2 DCS的核心部件	247
8.2.3 DCS的通信网络	248
8.3 DCS组态软件	248
8.3.1 功能和特点	248
8.3.2 编程语言和系统监控	248
8.4 WebField JX-300XP控制系统	249
8.4.1 概述	249
8.4.2 JX-300XP系统的组成	249
8.4.3 JX-300XP系统的硬件	251
8.4.4 JX-300XP系统的软件	261
本章小结	268
思考题与习题	269

应用篇——学以致用,用学相长

第9章 计算机控制系统的解决方案	273
9.1 基于嵌入式系统的解决方案	273
9.1.1 组成和特点	273
9.1.2 案例1——由嵌入式系统控制的全自动洗衣机	274
9.2 基于智能控制仪表的解决方案	283
9.2.1 组成和特点	283
9.2.2 案例2——基于智能控制仪表的电阻炉温度控制系统	285
9.3 基于可编程逻辑控制器的解决方案	293
9.3.1 组成和特点	293
9.3.2 案例3——PLC控制的工业洗衣机	294
9.4 基于分布式数据采集与控制模块的解决方案	300
9.4.1 组成和特点	300
9.4.2 案例4——潮流水槽计算机检测与控制系统	301
9.5 基于可编程自动化控制器的解决方案	308
9.5.1 组成和特点	308
9.5.2 案例5——PAC在桥梁健康检测系统中的应用	309
本章小结	311
思考题与习题	311
第10章 计算机控制技术在简单过程控制中的应用	313
10.1 实例1——水箱液位控制	313

10.1.1	被控对象和控制方案	313
10.1.2	硬件组成	315
10.1.3	组态过程	316
10.1.4	PID 参数整定过程	319
10.2	实例 2——锅炉温度控制	320
10.2.1	被控对象和控制方案	320
10.2.2	硬件组成	321
10.2.3	组态过程	324
10.2.4	PID 算法设计	327
	本章小结	328
	思考题与习题	329
第 11 章	计算机控制技术在流程工业自动化中的应用	330
11.1	DCS 在循环流化床锅炉中的应用	330
11.1.1	工艺介绍	330
11.1.2	系统设计	332
11.1.3	系统组态	333
11.1.4	控制流程	338
11.1.5	系统运行	342
11.2	DCS 在大中型氮肥装置中的应用	343
11.2.1	工艺介绍	343
11.2.2	系统设计	346
11.2.3	系统组态	347
11.2.4	控制流程	349
11.2.5	系统运行	360
	本章小结	360
	思考题与习题	360
附录	有关工业自动化产品及企业网址	361
参考文献	362

基础篇

——溯本而求源，温故而知新

1. 学习内容

什么是自动控制？自动控制中有哪些基本问题？控制的本质是什么？计算机控制系统的组成和分类有哪些？计算机控制技术有哪些？控制系统的数学模型如何描述和分析？用到了哪些数学工具？利用这些数学工具如何设计一个适用于计算机来实现的数字控制器？……这些是本篇将要解答的问题。

本篇将介绍自动控制的一些基本概念、计算机控制系统的理论基础、数字控制器的设计与实现方法。包括控制系统数学模型的描述方法、连续系统分析设计方法的回顾、离散系统的分析、数字控制器的设计与实现。

本篇是后续各章的基础，包括第1章概述、第2章计算机控制系统的理论基础、第3章数字控制器的设计与实现。

2. 学习目标

在了解自动控制和计算机控制系统相关的基本概念，理解连续系统和离散系统分析方法的基础上，掌握数字控制器的基本设计方法和数字PID控制算法，从而较为全面地理解计算机控制系统的基本原理，为进一步学习计算机控制系统的主要技术和工程应用打下基础。



第 1 章

概 述

自古以来,人类梦寐以求能制造出自动完成既定任务的劳动工具。18世纪,第一次工业革命开创了以机器代替手工工具的时代,蒸汽机速度自动调节装置标志着工业自动控制历史的开始,人们开始感受到自动控制技术对提高生产效率、减轻劳动强度发挥的重要作用;第二次世界大战时期,自动控制技术在军事领域扮演了极其重要的角色;20世纪中期,随着人类的重大发明——电子计算机的诞生,自动控制技术开始进入了一个新时代;20世纪末,随着微型计算机的广泛应用,计算机控制技术也渗透到了人类社会的各个领域。在工业生产领域,如温度、压力、流量、物位等参数的控制,生产流水线、包装机、机床加工的控制,化工、电力、生物、制药、冶炼等生产的过程控制;在日常生活方面,如空调、冰箱、洗衣机、电梯、自动售货机等装置的工作过程;在交通运输方面,如车辆的驾驶系统、飞机的导航系统、城市交通信号的控制系统;在军事领域,如导弹、火炮、战机、兵舰等制导和导航过程……计算机控制技术的应用无处不在。计算机控制技术的应用极大地提高了生产和工作效率,保证了产品和服务质量,节约了能源和材料损耗,减轻了劳动和工作强度,改善了人们的生活条件。计算机控制技术已成为信息时代推动技术革命的重要动力,实现了人类诸多的梦想。

本章将通过引例来说明自动控制中的最基本问题:控制系统的组成、控制的过程和规律、控制系统的评价。同时,本章将介绍计算机控制系统的基本结构和分类、计算机控制技术及其发展历程、本课程研究的内容和学习方法。

1.1 自动控制的基本概念

首先介绍一下有关自动控制的一些基本概念。

自动控制(autocontrol):不用人力来实现的控制,通常可用机械、