



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

嵌入式与工业控制技术

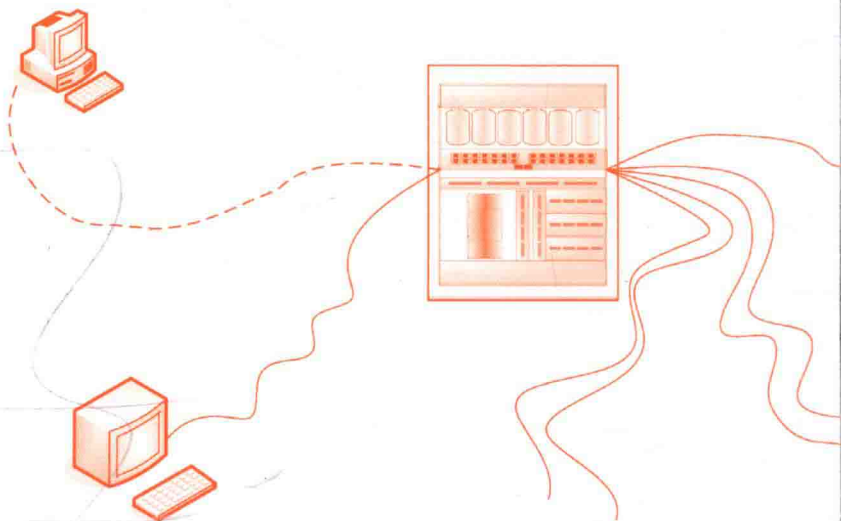
Computer Control Technology and Applications

# 计算机控制技术 及其应用

(第2版)

丁建强 任晓 卢亚平 编著

Ding Jianqiang Ren Xiao Lu Yaping



清华大学出版社



教学课件



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

Computer Control Technology and Applications

# 计算机控制技术 及其应用

(第2版)



丁建强 任晓 卢亚平 编著  
Ding Jianqiang Ren Xiao Lu Yaping

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,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 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,所有章节都有引言和小结,配有思考题与习题。其中,小结以知识点提要列出,以方便慕课、微课、微视频、翻转课堂等现代教学资源的制作。

本书作为精品课程建设的组成部分,提供了公开的网络资源,包括各章的教学课件、参考文献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,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-45990-3

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(2016)第 312859 号

责任编辑:盛东亮 赵晓宁

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:23.75

字 数:578千字

版 次:2012年1月第1版

2017年2月第2版

印 次:2017年2月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:45.00元

产品编号:069639-01

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

## 一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

# 序

## FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

# 第2版前言

## PREFACE

计算机控制技术是信息时代推动自动化发展的重要动力。信息技术又促进了计算机控制技术的深入发展。正如本书第1版中所述,进入21世纪后,计算机控制技术越来越成熟,应用也越来越广泛,目前正朝着微型化、智能化、网络化和规范化方向发展。

微型化嵌入式计算机已渗透到控制前端和底层,如各种传感器、执行器、过程通道、交互设备、通信设备等。特别是随着微电子机械系统(microelectronic mechanical system, MEMS)等技术的发展,器件的低成本、低功耗、高精度、微体积的特性越发显著,使得控制技术可以深入到传统的机电技术难以进入的领域。

智能化控制器具有自适应、自学习、自诊断和自修复功能,控制质量也进一步提高。特别是随着高性价比微控制器(microcontroller unit, MCU)的飞速发展,各种智能产品、智能制造层出不穷,而这些 MCU 及其算法是智能化控制的灵魂。

网络化使得控制系统的结构重心由信息加工单元转向系统的信息传输。控制系统的规模不断扩大,不仅可以对整个工厂的生产过程进行控制,而且也使得跨地域的大规模控制得以实现。以互联网为代表的新一代信息技术与控制技术的深度融合,推动了互联网+时代的来临和发展。

规范化要求控制系统的硬件和软件要有统一的标准,强调设备的互换性、系统的互连性。规范化使得控制系统的集成更为灵活,如各种规模的 PLC 可编程控制器、开放的组态软件、集成开发环境和资源库、各种通信协议、图形化人机接口等,这些都为构建不同架构的控制系统带来了方便,极大地提高了系统的开发效率,降低了系统的维护成本。

本书出版5年来,深受广大读者的欢迎和认可。为了适应计算机控制技术的发展,秉承系统性、新颖性、应用性和适用性的原则,本书进行了第2版的修订。

第2版保留了第1版的章节结构,全书分为基础篇、技术篇和应用篇,分别介绍计算机控制系统相关的基本理论、主要技术和工程应用。对各章节进行修订的主要内容如下:

基础篇中的第1章增加了新的引例,以体现网络技术在控制系统中的应用,更新了计算机控制技术发展的信息;第2章增加了利用 MATLAB 工具实现模型转换和迭代法求解脉冲传递函数的例子;第3章优化了数字 PID 控制的参数整定方法,增加了衰减曲线法。技术篇中的第4章增加了基于 ARM Cortex 架构的 32 位 MCU 的简介,提供了 PXI、CAN、Modbus 接口信息;第5章增加了一体化步进伺服驱动系统的介绍,删去了 8 位 DAC 的内容;第6章介绍了电源管理技术,优化了 Watchdog 和数字滤波的说明;第7章增加了组态王和力控监控组态软件的介绍;第8章增加了现场总线国际标准 EPA 的简介。应用篇中的第9章增加了常见计算机控制系统解决方案的比较小结;第10章优化了 PID 参数整定的实验过程,给出了衰减曲线法整定的例子;第11章保留了两个流程工业自动化中的工程

实例。另外,还修改和优化了各章节中文字、图片和表格,更新和补充了附录企业网址和参考文献。

考虑到信息时代获取知识的途径越来越多,知识的表现形式越来越丰富,而且碎片化学习的需求也越来越高,现将第1版中全书各章小结改为以知识点提要的形式列出,这样可有利于慕课、微课、微视频、翻转课堂等现代化教学资源的制作。

本书作为精品课程建设的组成部分,继续提供公开的网络资源,包括各章的教学课件、参考文献、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修订和统稿,重点修订了第1章至第6章、第9章;卢亚平老师重点修订了第7章、第8章、第10章、第11章;任晓老师参与了全书的修订和核对工作。

修订编写过程中,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,再次对相关作者表示敬意和感谢。同时,本书的修订得到了清华大学出版社的大力支持,也在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免还有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年1月



# 目录

## CONTENTS

---

### 基础篇 溯本而求源,温故而知新

<b>第 1 章 概述</b> .....	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 .....	7
1.2 计算机控制系统 .....	9
1.2.1 计算机控制系统的结构 .....	9
1.2.2 计算机控制系统的分类 .....	10
1.2.3 计算机控制技术及其发展 .....	16
1.3 课程的研究内容和学习方法 .....	17
1.3.1 研究内容 .....	17
1.3.2 学习方法 .....	17
本章知识点 .....	19
思考题与习题 .....	19
<b>第 2 章 计算机控制系统的理论基础</b> .....	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 .....	21
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 .....	27
2.1.7 状态空间概念和模型框图 .....	28
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 .....	36

2.3.3	序列和差分方程 .....	38
2.3.4	用脉冲响应表示的离散系统模型 .....	40
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 .....	44
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 .....	47
2.4.3	静态误差分析 .....	48
2.4.4	动态特性分析 .....	49
	本章知识点 .....	50
	思考题与习题 .....	50
<b>第3章</b>	<b>数字控制器的设计与实现 .....</b>	<b>52</b>
3.1	数字控制器的设计方法 .....	53
3.1.1	近似设计法 .....	53
3.1.2	解析设计法 .....	53
3.2	离散化方法 .....	54
3.2.1	积分变换法 .....	54
3.2.2	零极点匹配法 .....	57
3.2.3	等效变换法 .....	58
3.2.4	离散化方法比较 .....	59
3.3	PID 控制 .....	59
3.3.1	PID 控制的原理 .....	59
3.3.2	数字 PID 控制算法 .....	61
3.3.3	数字 PID 控制的参数整定 .....	65
3.4	最少拍随动系统 .....	68
3.4.1	最少拍随动系统的原理 .....	68
3.4.2	最少拍随动系统的设计 .....	69
3.4.3	最少拍无纹波随动系统的设计 .....	73
3.5	控制算法的实现 .....	76
3.5.1	实现框图与算法 .....	76
3.5.2	串行实现与并行实现 .....	79
	本章知识点 .....	81
	思考题与习题 .....	82

## 技术篇 工欲善其事,必先利其器

<b>第4章</b>	<b>控制系统中的计算机及其接口技术 .....</b>	<b>85</b>
4.1	工业控制计算机 .....	85
4.1.1	工业控制计算机的特点和结构 .....	85

4.1.2 嵌入式系统与单片机 .....	86
4.1.3 典型工业控制计算机的产品 .....	91
4.2 控制系统中的接口技术 .....	93
4.2.1 接口与总线 .....	93
4.2.2 并行接口 .....	96
4.2.3 串行接口 .....	98
4.2.4 现场总线 .....	110
4.3 控制系统中的人机交互技术 .....	113
4.3.1 人机交互及其要求 .....	113
4.3.2 人机交互的设计技术 .....	114
4.4 工业控制计算机软件系统简介 .....	115
4.4.1 系统软件 .....	115
4.4.2 应用软件 .....	117
本章知识点 .....	118
思考题与习题 .....	119
<b>第5章 计算机控制系统中的过程通道 .....</b>	<b>121</b>
5.1 传感器与执行器 .....	121
5.1.1 传感器和变送器 .....	121
5.1.2 IEEE 1451 智能变换器标准 .....	123
5.1.3 执行器及其分类 .....	126
5.1.4 伺服电机和步进电机 .....	126
5.1.5 变频器与电动执行器 .....	129
5.2 输入通道 .....	131
5.2.1 控制系统中的信号种类及特点 .....	131
5.2.2 数字量信号处理方式 .....	133
5.2.3 模拟量信号处理方式 .....	140
5.2.4 数据采集的原理和实现 .....	152
5.3 输出通道 .....	156
5.3.1 输出通道的基本结构 .....	156
5.3.2 输出通道中的开关信号驱动 .....	157
5.3.3 输出通道中的模拟信号驱动 .....	162
5.3.4 电机控制 .....	167
本章知识点 .....	174
思考题与习题 .....	175
<b>第6章 控制系统的可靠性与抗干扰技术 .....</b>	<b>177</b>
6.1 可靠性与抗干扰技术的基本概念 .....	177
6.1.1 可靠性的概念 .....	177
6.1.2 电磁兼容性 .....	178
6.1.3 噪声的分类和耦合方式 .....	180
6.1.4 控制系统可靠性设计的基本途径 .....	184
6.2 硬件的可靠性与抗干扰技术 .....	185

6.2.1	元器件与系统结构	185
6.2.2	滤波与去耦电路	187
6.2.3	隔离与屏蔽技术	190
6.2.4	电源干扰的抑制与接地技术	194
6.2.5	电源管理和热插拔技术	199
6.2.6	Watchdog 技术	201
6.2.7	印制板的抗干扰措施	201
6.3	软件的可靠性与抗干扰技术	202
6.3.1	存储空间分配和程序结构的设计	202
6.3.2	数字滤波技术	203
6.3.3	数据的检错和纠错	207
6.3.4	开机自检与故障诊断	207
	本章知识点	209
	思考题与习题	210
<b>第7章</b>	<b>控制系统的组态软件</b>	<b>211</b>
7.1	工控组态软件概述	211
7.1.1	组态软件及其特点	211
7.1.2	组态软件的功能	212
7.1.3	组态软件的发展	213
7.2	MCGS 组态软件	213
7.2.1	MCGS 组态软件的特点和组成	213
7.2.2	MCGS 工程构成	214
7.2.3	MCGS 组态过程	222
7.3	组态王组态软件	226
7.3.1	组态王软件的特点和组成	226
7.3.2	组态王软件的构成	226
7.3.3	组态王组态过程	227
7.4	力控监控组态软件	232
7.4.1	力控软件的特点和组成	232
7.4.2	力控软件的构成	232
7.4.3	力控组态过程	233
	本章知识点	238
	思考题与习题	239
<b>第8章</b>	<b>集散控制系统</b>	<b>240</b>
8.1	DCS 的产生与发展	240
8.1.1	DCS 的产生	240
8.1.2	DCS 的发展	241
8.1.3	EPA 现场总线	242
8.2	DCS 的体系结构	244
8.2.1	DCS 的分层结构	244
8.2.2	DCS 的硬件结构	245

8.2.3 DCS 的网络结构 .....	245
8.2.4 DCS 的软件结构 .....	247
8.3 WebField JX-300XP 控制系统 .....	247
8.3.1 概述 .....	247
8.3.2 JX-300XP 系统的组成 .....	248
8.3.3 JX-300XP 系统的硬件 .....	249
8.3.4 JX-300XP 系统的软件 .....	259
本章知识点 .....	265
思考题与习题 .....	266

## 应用篇 学以致用,用学相长

<b>第 9 章 计算机控制系统的解决方案</b> .....	269
9.1 基于嵌入式系统的解决方案 .....	269
9.1.1 组成和特点 .....	269
9.1.2 案例 1: 由嵌入式系统控制的全自动洗衣机 .....	270
9.2 基于智能控制仪表的解决方案 .....	279
9.2.1 组成和特点 .....	279
9.2.2 案例 2: 基于智能控制仪表的电阻炉温度控制系统 .....	281
9.3 基于可编程逻辑控制器的解决方案 .....	288
9.3.1 组成和特点 .....	288
9.3.2 案例 3: PLC 控制的工业洗衣机 .....	289
9.4 基于分布式数据采集与控制模块的解决方案 .....	295
9.4.1 组成和特点 .....	295
9.4.2 案例 4: 潮流水槽计算机检测与控制系统 .....	296
9.5 基于可编程自动化控制器的解决方案 .....	303
9.5.1 组成和特点 .....	303
9.5.2 案例 5: PAC 在桥梁健康检测系统中的应用 .....	304
本章知识点 .....	306
思考题与习题 .....	307
<b>第 10 章 计算机控制技术在简单过程控制中的应用</b> .....	308
10.1 实例 1: 水箱液位控制 .....	308
10.1.1 被控对象和控制方案 .....	308
10.1.2 硬件组成 .....	310
10.1.3 组态过程 .....	310
10.1.4 PID 整定实验过程 .....	314
10.2 实例 2: 锅炉温度控制 .....	318
10.2.1 被控对象和控制方案 .....	318
10.2.2 硬件组成 .....	319
10.2.3 组态过程 .....	321
10.2.4 PID 算法设计 .....	324

10.2.5	PID 整定实验过程 .....	326
本章知识点 .....		329
思考题与习题 .....		329
<b>第 11 章</b>	<b>计算机控制在流程工业自动化中的应用 .....</b>	<b>331</b>
11.1	DCS 在循环流化床锅炉中的应用 .....	331
11.1.1	工艺介绍 .....	331
11.1.2	系统设计 .....	333
11.1.3	系统组态 .....	334
11.1.4	控制流程 .....	339
11.1.5	系统运行 .....	344
11.2	DCS 在大中型氮肥装置中的应用 .....	344
11.2.1	工艺介绍 .....	344
11.2.2	系统设计 .....	346
11.2.3	系统组态 .....	348
11.2.4	控制流程 .....	350
11.2.5	系统运行 .....	361
本章知识点 .....		361
思考题与习题 .....		362
<b>附录</b>	<b>有关工业自动化产品及企业网址 .....</b>	<b>363</b>
<b>参考文献</b> .....		<b>364</b>

## 基础篇

PART

# 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？计算机控制技术未来可能有哪些发展……这些都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。

## 本篇知识点

- 知识点 1-1 自动控制中的基本问题
- 知识点 1-2 计算机控制系统的结构
- 知识点 1-3 控制系统的分类
- 知识点 1-4 课程的学习方法及计算机控制技术的发展
- 知识点 2-1 控制系统的描述方法
- 知识点 2-2 连续系统与离散系统的数学工具
- 知识点 2-3  $z$  变换和脉冲传递函数
- 知识点 2-4 离散系统的性能分析
- 知识点 3-1 数字控制器的离散化设计方法
- 知识点 3-2 数字 PID 控制算法及参数整定方法
- 知识点 3-3 最少拍随动系统原理及设计
- 知识点 3-4 控制算法的实现



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,保证了产品和服务的质量,节约了能源,减少了材料的损耗,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。

随着互联网技术的发展,无论是德国的“工业 4.0”、美国的“工业互联网”,还是新一轮工业革命的“智能制造”,都体现了新一代信息技术与其他技术的深度融合,这使得计算机控制技术又获得了新的发展动力。

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

自动控制(autocontrol):不用人力来实现的控制,通常可用机械、电气等装置来实现。自动控制常对应于手动控制而言。控制(control)含有支配、管理、调节、抑制、操纵等含义,是指为实现某一预期目标(如某个物理变量的变化过程或某个生产过程)而对被控制对象采用的手段和方法。

控制系统(control system):通过控制来实现特定功能目标的系统。系统(system)是由相互联系、相互作用的要素组成的具有一定结构和功能的有机整体。其中的要素也称为子系统,它可以由一些单元部件、装置、对象等组成。