

新编《信息、控制与系统》系列教材

Computer Control System

计算机控制系统

王锦标 编著

Wang Jinbiao



TU
清华大学出版社



Springer

新编《信息、控制与系统》系列教材

计算机控制系统

王锦标 编著

 TUP
清华大学出版社

 Springer

内 容 简 介

本书是作者在清华大学自动化系多年教学和科研的总结,汇集了教学经验和科研成果,并将教材和专著有机地融为一体,体现了系统性、先进性、理论性和实用性。

本书系统地论述了计算机控制系统的结构、原理、设计和应用,既有理论分析也有应用实例。全书共4篇21章,分别论述了直接数字控制(DDC)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统(FCS)和可编程控制器系统(PCS)。每篇层次分明,条理清晰,既自成体系又相互联系。

本书可作为高等院校自动控制类、计算机控制类及相关专业的教材,也可供有关科技人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统/王锦标编著.——北京:清华大学出版社,2004

(新编《信息、控制与系统》系列教材/郑大钟主编)

ISBN 7-302-07778-9

I. 计… II. 王… III. 计算机控制系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第116060号

出版者:清华大学出版社

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

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:王一玲

文稿编辑:佟丽霞

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:175×245 印张:46 字数:916千字

版 次:2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-07778-9/TP·5672

印 数:1~3000

定 价:55.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

新编《信息、控制与系统》系列教材 出版说明

信息、控制与系统学科是在 20 世纪上半叶形成和发展起来的一门新兴技术科学。在人类探索自然和实现现代化的进程中,信息、控制与系统学科的理论、方法和技术始终起着重要的和基础的作用。基于信息、控制与系统科学的自动化的发展和应用水平在一定意义上是一个国家和社会的现代化程度的重要标志之一。本系列教材是关于信息、控制与系统学科所属各个领域的基本理论和前沿技术的一套高等学校系列教材。

本系列教材所涉及的范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、智能控制、过程和运动控制、传感技术、系统工程、机器人控制、计算机控制和仿真、网络化系统、电子技术等方面。主要读者对象为自动控制、工业自动化、计算机科学与技术、电气工程、机械工程、化工工程和热能工程等系科有关的高年级大学生和研究生,以及工作于相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。

10 多年前,清华大学出版社会同清华大学自动化系,曾经组编出版过一套《信息、控制与系统》系列教材,产生了较大的社会影响,其中多数著作获得过包括国家级教学成果奖和部委优秀教材奖在内的各种奖励,至今仍为国内众多院校所采用,并被广大相关领域科技人员作为进修和自学读物。我们现在组编的这套新编《信息、控制与系统》系列教材,从一定意义上说,就是先前那套教材的延伸和发展,以反映近些年来学科的发展和在科学研究与教学实践上的新成果和新进展,以适应当前科技发展和教学改革的新形势和新需要。列入这套新编系列教材中的著作,大多是清华大学自动化系开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有多年教学经验和教学改革基础上的新编著的教材,也有部分原系列教材的更新和修订版本。这套新编系列教材总体上仍将保持原系列教材求新与求实的风格,力求反映所属领域的基本理论和新近进展,力求做到学科先进性和教学适用性统一。需要说明的是,此前我们曾以《信息技术丛书》为名组编这套教材,并已出版了若干种著作。现为使“书”和“名”更为相符,这些已出版的著作将在重印或再版时列入这套新编系列教材。

我们希望,这套新编系列教材,既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和教学适用的教材或参考书,也能为广大科学工作者与工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并热忱欢迎提出批评和意见。

新编《信息、控制与系统》系列教材编委会
2002 年 6 月

新编《信息、控制与系统》系列教材编委会

顾 问	李衍达	吴 澄	边肇祺	王桂增		
	郑大钟					
	徐文立	王 雄	萧德云	杨士元	肖田元	
	张贤达	周东华	钟宜生	张长水	王书宁	
	范玉顺	蔡鸿程				
责任编辑	王一玲					

前 言

“计算机控制系统”综合了计算机、自动控制理论和自动化仪表等技术,并将这些先进技术集成起来应用于工业生产过程。作者从1970年至今,在清华大学自动化系一直从事自动控制理论、自动化仪表及计算机控制的教学和科研工作,书中汇集了作者多年的教学经验和科研成果,既具有系统性和先进性,也体现了理论性和实用性。

本书系统地论述了计算机控制系统的结构、原理、设计和应用,既有理论分析也有应用实例。全书共4篇21章,论述了4类典型的计算机控制系统,分别为直接数字控制(DDC)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统(FCS)和可编程控制器系统(PCS)。每篇层次分明,条理清晰,既自成体系又相互联系。

直接数字控制(DDC)是计算机控制的基础,分析了输入、输出、控制和运算功能,并引入功能块及其组态的概念。本篇论述了计算机常规控制技术、现代控制技术、输入输出技术、人机接口技术、抗干扰技术、DDC系统设计和应用。

集散控制系统(DCS)是计算机控制的主流系统,分析了DCS的分散控制和集中管理的设计思想、分而自治和综合协调的设计原则。本篇首先概述了DCS的产生、发展及特点,然后详细论述了DCS的体系结构、控制站、操作员站、工程师站和应用设计。

现场总线控制系统(FCS)是一种以现场总线为基础的分布式网络自动化系统,采用数字化现场总线仪表,并直接在现场总线上构成控制回路,实现了彻底的分散控制。本篇首先概述了FCS的产生及特点,并介绍了几种现场总线,然后论述了FCS的体系结构、现场控制层和应用设计。

可编程控制器系统(PCS)是一种控制参数以开关信号为主、模拟信号为辅,控制方式以逻辑控制为主、连续控制为辅的控制系统。本篇首先概述了可编程控制器,然后论述了可编程控制器的体系结构、指令系统和应用设计。

本书采用教材和专著相结合的写作风格,既有基础知识也有先进技术,既有普及也有开发。所以本书既可以作为高等院校自动控制类、计算机控制类及相关专业的教材,也可以供有关科技人员参考。

在本书的编写过程中,清华大学自动化系的很多同事给予了支持和帮助,书中也引用了同事们在该领域的部分成果,通过学习既提高了本人的业务水平,也丰富了本书的内容,在此对同仁表示感谢。

书中难免有缺点和不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

王锦标

清华大学自动化系

2003年6月6日

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 直接数字控制(DDC)

第 1 章 计算机常规控制技术	6
1.1 数字 PID 控制算法	6
1.1.1 理想微分 PID 控制	6
1.1.2 实际微分 PID 控制	9
1.2 数字 PID 控制算法的改进	12
1.2.1 积分项的改进	13
1.2.2 微分项的改进	15
1.2.3 变 PID 控制	16
1.3 数字 PID 控制器的工程实现	17
1.3.1 给定值处理	21
1.3.2 被控量处理	22
1.3.3 偏差处理	24
1.3.4 PID 计算	25
1.3.5 控制量处理	27
1.3.6 自动手动切换	29
1.3.7 PID 控制块参数表	31
1.3.8 PID 控制器的无平衡无扰动切换	32
1.4 数字 PID 控制系统的设计	38
1.4.1 简单控制系统	38
1.4.2 复杂控制系统	39
1.5 数字 PID 控制参数的整定	53
1.5.1 PID 控制参数的工程整定法	53
1.5.2 PID 控制参数的自整定法	56
1.5.3 控制周期的选取	61
第 2 章 计算机现代控制技术	63
2.1 基于状态空间模型的极点配置设计法	63

2.1.1	按极点配置设计控制规律	64
2.1.2	按极点配置设计观测器	71
2.1.3	按极点配置设计控制器	76
2.2	基于状态空间模型的最优化设计法	79
2.2.1	设计最优控制规律	80
2.2.2	设计最优状态估计器	84
2.2.3	设计最优控制器	86
2.3	预测控制技术	87
2.3.1	内部模型	88
2.3.2	预测模型	89
2.3.3	预测控制算法	91
第3章	计算机输入输出技术	94
3.1	模拟量输入通道	94
3.1.1	A/D转换器	95
3.1.2	A/D转换器接口	99
3.1.3	A/D转换通道	102
3.2	模拟量输出通道	110
3.2.1	D/A转换器	110
3.2.2	D/A转换器接口	114
3.2.3	D/A转换通道	116
3.3	数字量输入通道	123
3.3.1	DI接口	123
3.3.2	DI通道	123
3.4	数字量输出通道	124
3.4.1	DO接口	124
3.4.2	DO通道	124
3.5	输入数据处理	125
3.5.1	数字滤波	125
3.5.2	数据处理	128
3.6	输入输出功能块	129
3.6.1	输入输出功能块的结构	129
3.6.2	输入输出标准数	131
第4章	计算机人机接口技术	133
4.1	回路操作显示器	133

4.1.1	回路操作显示窗口	133
4.1.2	回路操作显示设备	134
4.2	键盘接口	137
4.2.1	独立连接式键盘	137
4.2.2	矩阵连接式键盘	138
4.3	LED显示器接口	139
4.3.1	七段LED显示器接口	140
4.3.2	十六段LED显示器接口	142
4.4	指示报警接口	143
4.5	CRT显示画面	144
第5章	计算机抗干扰技术	146
5.1	干扰的来源和传播途径	146
5.1.1	干扰传播途径	146
5.1.2	串模干扰	149
5.1.3	共模干扰	150
5.1.4	长线传输干扰	152
5.2	干扰的抑制	152
5.2.1	共模干扰的抑制	152
5.2.2	串模干扰的抑制	155
5.2.3	长线传输干扰的抑制	156
5.2.4	信号线的选择和敷设	157
5.3	接地技术	159
5.3.1	地线系统的分析	159
5.3.2	输入系统的接地	160
5.3.3	主机系统的接地	161
5.4	供电技术	162
5.4.1	供电系统的一般保护措施	163
5.4.2	电源异常的保护措施	163
第6章	DDC系统的设计和应用	164
6.1	DDC系统的设计概述	164
6.1.1	DDC系统的设计原则	164
6.1.2	DDC系统的设计过程	166
6.1.3	DDC系统的设计方法	168
6.2	DDC系统的硬件设计	170

6.2.1	DDC 系统的硬件结构	170
6.2.2	DDC 系统的主控单元	172
6.2.3	DDC 系统的输入输出单元	179
6.2.4	DDC 系统的操作显示单元	182
6.3	DDC 系统的软件设计	183
6.3.1	DDC 系统的软件设计方法	183
6.3.2	DDC 系统的输入输出软件	185
6.3.3	DDC 系统的运算控制软件	187
6.3.4	DDC 系统的操作显示软件	195
6.3.5	DDC 系统的监控组态软件	197
6.4	DDC 系统的应用设计	200
6.4.1	DDC 系统的控制方案设计	200
6.4.2	DDC 系统的工程设计	214
6.4.3	DDC 系统的应用实例	219
6.4.4	DDC 系统的运行调试	225
	第 1 篇小结	229
	第 1 篇习题与思考题	229

第 2 篇 集散控制系统(DCS)

第 7 章	DCS 概述	236
7.1	DCS 的产生过程	236
7.1.1	仪表分散控制系统	236
7.1.2	仪表集中控制系统	237
7.1.3	计算机集中控制系统	238
7.1.4	计算机集散控制系统	239
7.2	DCS 的发展历程	241
7.2.1	第一代 DCS	241
7.2.2	第二代 DCS	242
7.2.3	第三代 DCS	244
7.2.4	新一代 DCS	246
7.3	DCS 的特点和优点	247
7.3.1	分散性和集中性	247
7.3.2	自治性和协调性	248
7.3.3	灵活性和扩展性	248
7.3.4	先进性和继承性	248

7.3.5	可靠性和适应性	248
7.3.6	友好性和新颖性	249
第8章	DCS的体系结构	250
8.1	DCS的层次结构	250
8.1.1	DCS的直接控制层	251
8.1.2	DCS的操作监控层	251
8.1.3	DCS的生产管理层	251
8.1.4	DCS的决策管理层	252
8.2	DCS的硬件结构	252
8.2.1	DCS控制站的硬件结构	252
8.2.2	DCS操作员站的硬件结构	253
8.2.3	DCS工程师站的硬件结构	254
8.2.4	DCS监控计算机站的硬件结构	254
8.3	DCS的软件结构	254
8.3.1	DCS控制站的软件结构	254
8.3.2	DCS操作员站的软件结构	255
8.3.3	DCS工程师站的软件结构	256
8.3.4	DCS监控计算机站的软件结构	257
8.4	DCS的网络结构	257
8.4.1	DCS的输入输出总线	257
8.4.2	DCS的控制网络	258
8.4.3	DCS的生产管理网络	258
8.4.4	DCS的决策管理网络	259
8.5	典型DCS的体系结构	259
8.5.1	CENTUM-CS3000的体系结构	259
8.5.2	TDC3000和TPS的体系结构	266
8.5.3	Delta V的体系结构	275
8.5.4	I/A Series的体系结构	277
8.5.5	MACS的体系结构	279
8.5.6	DEO的体系结构	280
8.5.7	PCS7的体系结构	281
第9章	DCS的控制站	283
9.1	DCS控制站的组成	283
9.1.1	DCS控制站的硬件	283

9.1.2	DCS 控制站的软件	284
9.2	DCS 控制站的输入模块	290
9.2.1	模拟量输入模块	290
9.2.2	数字量输入模块	294
9.3	DCS 控制站的输出模块	295
9.3.1	模拟量输出模块	296
9.3.2	数字量输出模块	297
9.4	DCS 控制站的运算模块	299
9.4.1	代数运算模块	299
9.4.2	信号选择模块	299
9.4.3	数据选择模块	302
9.4.4	数值限制模块	305
9.4.5	报警检查模块	305
9.4.6	计算公式模块	306
9.4.7	传递函数模块	309
9.5	DCS 控制站的控制模块	309
9.5.1	连续控制模块	309
9.5.2	逻辑控制模块	309
9.5.3	顺序控制模块	325
9.6	DCS 控制站的程序模块	327
9.6.1	过程控制语言	327
9.6.2	程序模块	329
第 10 章	DCS 的操作员站	331
10.1	DCS 操作员站的组成	331
10.1.1	DCS 操作员站的硬件	331
10.1.2	DCS 操作员站的软件	332
10.2	通用操作画面	333
10.2.1	总貌画面	333
10.2.2	组画面	334
10.2.3	点画面	337
10.2.4	趋势画面	339
10.2.5	报警画面	340
10.3	专用操作画面	343
10.3.1	主控系统画面	343
10.3.2	数据采集系统画面	346

10.3.3	操作指导画面	346
10.3.4	操作面板画面	347
10.3.5	控制回路画面	347
10.4	历史信息画面	348
10.4.1	操作员操作记录	348
10.4.2	过程点报警记录	349
10.4.3	系统设备状态记录	350
10.4.4	系统设备错误记录	350
10.4.5	事故追忆记录	352
10.5	系统信息画面	353
10.5.1	系统设备状态画面	353
10.5.2	功能模块汇总画面	353
第 11 章	DCS 的工程师站	355
11.1	DCS 工程师站的组成	355
11.1.1	DCS 工程师站的硬件	355
11.1.2	DCS 工程师站的软件	355
11.2	系统设备组态	356
11.2.1	操作监控层设备组态	356
11.2.2	直接控制层设备组态	359
11.3	控制功能组态	361
11.3.1	控制功能组态方式	361
11.3.2	输入模块组态	362
11.3.3	输出模块组态	363
11.3.4	运算模块组态	364
11.3.5	控制模块组态	364
11.3.6	程序模块组态	367
11.4	操作画面组态	368
11.4.1	通用操作画面组态	368
11.4.2	专用操作画面组态	369
11.4.3	特殊画面组态	369
第 12 章	DCS 的应用设计	371
12.1	DCS 应用的总体设计	371
12.1.1	总体设计的原则	371
12.1.2	系统设备的配置	373

12.1.3	DCS 性能的评估	376
12.2	DCS 应用的工程设计	381
12.2.1	工位号的选取	381
12.2.2	仪表设备的安装设计	382
12.2.3	输入输出点表的设计	382
12.2.4	控制回路的设计	383
12.2.5	操作画面的设计	387
12.3	DCS 应用的组态调试	388
12.3.1	输入输出点的组态调试	388
12.3.2	控制回路的组态调试	389
12.3.3	操作画面的组态调试	391
12.4	DCS 应用的典型实例	391
12.4.1	DCS 应用实例之一	391
12.4.2	DCS 应用实例之二	398
	第 2 篇小结	402
	第 2 篇习题与思考题	402

第 3 篇 现场总线控制系统(FCS)

第 13 章	FCS 概述	406
13.1	现场总线的含义和产生	406
13.1.1	现场总线的含义	406
13.1.2	现场总线的产生	407
13.2	FCS 的含义和产生	411
13.2.1	FCS 的含义	411
13.2.2	FCS 的产生	412
13.2.3	FCS 的变革	414
13.3	FCS 的特点和优点	415
13.3.1	系统的分散性	415
13.3.2	系统的开放性	416
13.3.3	产品的互操作性	416
13.3.4	环境的适应性	416
13.3.5	使用的经济性	416
13.3.6	维护的简易性	417
13.3.7	系统的可靠性	417

第 14 章 FCS 的现场总线	418
14.1 FF(基金会现场总线)	418
14.1.1 FF-H1 的技术概述	418
14.1.2 FF-H1 的物理层(PHY)	425
14.1.3 FF-H1 的数据链路层(DLL)	432
14.1.4 FF-H1 的现场总线访问子层(FAS)	437
14.1.5 FF-H1 的现场总线报文规范子层(FMS)	444
14.1.6 FF-H1 的网络管理(NM)	454
14.1.7 FF-H1 的系统管理(SM)	457
14.1.8 FF-H1 的功能块(FB)	466
14.1.9 FF-H1 的设备描述(DD)	474
14.1.10 FF 高速以太网(HSE)	476
14.2 PROFIBUS(过程现场总线)	482
14.2.1 PROFIBUS 的通信模型	483
14.2.2 PROFIBUS 的网络拓扑结构	484
14.2.3 PROFIBUS 的物理层	486
14.2.4 PROFIBUS 的数据链路层	492
14.2.5 PROFIBUS 的应用层	497
14.2.6 PROFIBUS 的网络管理	499
14.2.7 PROFIBUS 的用户层	501
14.3 LON(局部操作网络)	501
14.3.1 LON 总线概述	502
14.3.2 LON 网络拓扑结构	502
14.3.3 LON 通信协议	503
14.3.4 LON 微处理器(Neuron 芯片)	507
14.3.5 LON 编程语言(Neuron C)	509
14.4 CAN(控制器区域网络)	511
14.4.1 CAN 总线概述	511
14.4.2 CAN 的物理层	511
14.4.3 CAN 的数据链路层	512
14.4.4 CAN 的专用集成电路	514
14.5 BACnet 总线	515
14.5.1 BACnet 总线概述	515
14.5.2 BACnet 的物理层和数据链路层	515
14.5.3 BACnet 的网络层	516

14.5.4	BACnet 的应用层	516
14.5.5	BACnet 设备的标准对象类型	517
14.6	HART 总线	520
14.6.1	HART 总线概述	520
14.6.2	HART 的物理层	521
14.6.3	HART 的数据链路层	521
14.6.4	HART 的应用层	522
第 15 章	FCS 的体系结构	524
15.1	FCS 的层次结构	524
15.1.1	FCS 的现场控制层	525
15.1.2	FCS 的操作监控层	525
15.1.3	FCS 的生产管理层	525
15.1.4	FCS 的决策管理层	525
15.2	FCS 的硬件结构	526
15.2.1	FCS 现场仪表的硬件结构	526
15.2.2	FCS 操作员站的硬件结构	526
15.2.3	FCS 工程师站的硬件结构	526
15.2.4	FCS 监控计算机站的硬件结构	526
15.3	FCS 的软件结构	526
15.3.1	FCS 现场仪表的软件结构	527
15.3.2	FCS 操作员站的软件结构	527
15.3.3	FCS 工程师站的软件结构	527
15.3.4	FCS 监控计算机站的软件结构	527
15.4	FCS 的网络结构	527
15.4.1	FCS 的现场总线网络	528
15.4.2	FCS 的监控网络	528
15.4.3	FCS 的生产管理网络	528
15.4.4	FCS 的决策管理网络	528
第 16 章	FCS 的现场控制层	529
16.1	现场总线的设备	529
16.1.1	现场总线仪表	529
16.1.2	现场总线辅助设备	531
16.1.3	现场总线接口	531
16.2	现场总线仪表的应用块	532

16.2.1	现场总线仪表的资源块	532
16.2.2	现场总线仪表的变换块	534
16.2.3	现场总线仪表的功能块	536
16.3	现场总线控制回路的构成	545
16.3.1	简单控制回路的构成	545
16.3.2	复杂控制回路的构成	546
第 17 章	FCS 的应用设计	548
17.1	FCS 应用的总体设计	548
17.1.1	FCS 总体设计的原则	548
17.1.2	FCS 系统设备的配置	549
17.2	FCS 应用的工程设计	550
17.2.1	现场总线的控制回路设计	550
17.2.2	现场总线的网络设计	551
17.2.3	现场总线段的网络接线	554
17.2.4	现场总线的设备安装	557
17.2.5	操作监控设备的安装	558
17.3	FCS 应用的组态调试	558
17.3.1	应用块的组态调试	558
17.3.2	控制回路的组态调试	559
17.3.3	FCS 操作画面的组态调试	560
17.4	FCS 应用的典型实例	561
17.4.1	FCS 应用实例之一	561
17.4.2	FCS 应用实例之二	562
	第 3 篇小结	565
	第 3 篇习题与思考题	565

第 4 篇 可编程控制器系统(PCS)

第 18 章	可编程控制器的技术概述	570
18.1	可编程控制器的控制功能	570
18.1.1	可编程控制器的逻辑控制功能	570
18.1.2	可编程控制器的顺序控制功能	571
18.1.3	可编程控制器的扩展控制功能	572
18.2	可编程控制器的工作原理	573
18.2.1	可编程控制器的输入过程	573