

计算机 控制系统



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

于微波 张德江 主编



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

计算机 控制系统

Jisuanji Kongzhi Xitong

于微波 张德江 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会立项的“工程应用型自动化专业课程体系与教材建设”项目的成果，定位在工程应用型院校。本书从工程应用角度出发，较系统地介绍了计算机控制系统的组成及设计方法。全书共 10 章，第 1 章介绍计算机控制系统的组成、分类以及课程特点与学习方法；第 2 章介绍计算机控制系统的硬件设计；第 3 章介绍计算机控制系统的模拟化设计方法；第 4 章介绍计算机控制系统的离散化设计方法；第 5 章介绍计算机控制系统应用软件的设计方法；第 6 章介绍计算机控制系统的抗干扰技术；第 7 章介绍计算机控制系统的工程设计与实现；第 8 章介绍计算机数控技术；第 9 章介绍提高计算机控制系统的可靠性措施；第 10 章介绍基于网络技术的计算机控制系统。

本书既可作为工程应用型高等院校自动化、计算机、电气工程、机电一体化等相关专业的教材，也可供从事计算机控制系统设计与维护的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

计算机控制系统 / 于微波，张德江主编. —北京：高等教育出版社，2011.7

ISBN 978-7-04-032610-9

I. ①计… II. ①于… ②张… III. ①计算机控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 112471 号

策划编辑	欧阳舟	责任编辑	王勇莉	封面设计	张雨微	版式设计	范晓红
插图绘制	尹 莉	责任校对	姜国萍	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京中科印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787×1092 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	19	版 次	2011 年 7 月第 1 版
字 数	420 000	印 次	2011 年 7 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	29.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 32610-00

工程应用型自动化专业 课程体系研究与教材建设委员会

主任委员： 吴 澄（清华大学）

副主任委员： 韩九强（西安交通大学）
萧德云（清华大学）

薛安克（杭州电子科技大学）

专 家 委 员（按姓氏笔画）：

王 普（北京工业大学）

刘小河（北京信息科技大学）

吴晓蓓（南京理工大学）

赵光宙（浙江大学）

彭 瑜（上海工业自动化仪表研究院）

韩力群（北京工商大学）

任德祥（上海宝钢集团）

吴重光（北京化工大学）

张德江（长春工业大学）

凌志浩（华东理工大学）

谢克明（太原理工大学）

戴先中（东南大学）

委 员（按姓氏笔画）：

于微波（长春工业大学）

王 俊（合肥学院）

王再英（西安科技大学）

王建华（上海应用技术学院）

艾 红（北京信息科技大学）

张丽香（山西大学工程学院）

李现明（山东大学）

陈在平（天津理工大学）

周亚军（杭州电子科技大学）

胡向东（重庆邮电大学）

聂诗良（西南科技大学）

黄 坚（南京工程学院）

韩 颖（高等教育出版社）

孔亚广（杭州电子科技大学）

王万良（浙江工业大学）

王存旭（沈阳工程学院）

白 晶（北华大学）

许晓峰（沈阳工程学院）

李全利（哈尔滨理工大学）

汪贵平（长安大学）

陈桂友（山东大学）

罗 敏（湖北汽车工业学院）

徐昱琳（上海大学）

崔桂梅（内蒙古科技大学）

黄江平（华东交通大学）

薛为民（北京联合大学）

秘 书： 韩 颖（兼）（高等教育出版社）

出版说明

为了适应高等工程教育改革,满足社会对工程应用型自动化专业人才的需要,在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士的领导下,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题,从全国高等院校遴选了既有工程研究实践背景、又有教材编写经验的专家教授,以及企业界知名特邀代表共40余人,对工程应用型自动化专业的课程体系、教学内容进行系统深入的调查、分析和研究,提出了工程应用型自动化专业课程体系结构和系列教材的三级目录。采用个人报名、专家推荐、“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审相结合的方式,组织编写出版一套工程应用特点明显、国内一流的工程应用型自动化专业系列教材。

工程应用型自动化专业系列教材力求达到理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显、国内一流。通过对人才市场需求、专业培养定位、自动化技术发展动态的分析研究,提出从实际工程应用自动化系统出发,结合系统中涉及的单元技术与理论方法,聚类归纳工程应用型自动化专业的课程体系结构,凝练解决自动化应用系统问题的每门课程的内容与知识点,使学生能够学以致用,能够解决工程实际应用问题。经过40多位专家教授的辛勤劳作,第一批19本工程应用型自动化专业系列教材于2010年陆续出版。为了满足不同应用背景、不同应用层次的工程需要,部分应用面广的同类教材有两种版本可供选用。

本系列教材主要内容覆盖自动化应用系统涉及的实用技术、理论与方法、器件与工具等内容。第一批教材包括针对自动化系统数据获取部分的机器视觉技术及应用、现代检测技术及应用等;系统驱动部分的电机与拖动、电力电子技术、电力拖动自动控制系统等;系统控制方法部分的自动控制原理、过程控制、运动控制等;控制器硬件设计部分的单片机原理、嵌入式系统、DSP原理、可编程控制器等;自动化系统部分的计算机控制、自动化系统集成、自动控制工程设计、自动化专业实践初步等;数据处理部分的控制工程数据库技术等。

本系列教材的主要特色在于注重课程体系的应用系统性和技术先进性,注重培养学生的自动化系统的集成组态设计能力和前瞻意识。课程体系按系统单元划分,教材章节按解决问题所需的知识安排,培养学生解决工程实际应用问题的针对性和有效性。在教材章节上尽可能引入相关新技术、新理论、新方法和新器件,培养学生利用新知识解决问题的思维方式和实际应用创新能力。

如何培养适应信息时代要求的工程师是我国高等工程教育改革的核心,也是本系列教材编写的主导思想。通过本系列教材的学习,使学生能够具备一个工程师进行自动化系统或相应系统设计开发以及选型集成的基本创新能力。本系列教材主要面向工程应用型自动化及相关专业

的大学生和研究生。我们希望本套工程应用型系列教材的出版，能够有力促进我国高等院校工程应用型自动化专业人才培养质量的提高，也能为广大科技工作者和工程技术人员提供参考和帮助。

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。欢迎提出宝贵批评意见和建议，请将您的建议反馈至 hanying@hep.com.cn。

工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会

2009 年 12 月

序 一

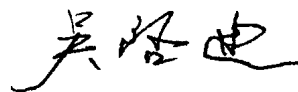
自动化技术在我国现代化建设进程中具有重要地位。五十多年来，自动化技术对我国社会主义现代化建设的众多领域发挥了重要作用，产生了深远影响。最具代表性的两弹一星的成功发射、载人飞船的顺利返回、嫦娥探月的环绕飞行等充分体现了自动化技术在国家重大工程应用中的示范作用。自动化技术也有力地推动着我国整体工业的发展和改变着人们的生活方式，如集成制造系统的普及推广使机械加工制造自动化程度达到了更高的水平，服务机器人代替家政进入了家庭，改善了人们的生活环境，如此等等。

我国正在全面建设小康社会，走新型工业化道路，促进信息化与工业化的“两化”融合，实现工业、农业、国防和科学技术现代化。在此进程中，自动化技术起着不可替代的桥梁作用。这就迫切需要高等学校自动化专业办学机构和广大教师进行深入研究和探索，如何能够为各行各业输送大量具有工程实践能力和应用创新能力的工程应用型自动化专业高级技术人才。在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士领导下，针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型自动化专业人才需求量大的特点，按照大众化高等教育阶段分类指导的思想和原则，抓住有利时机，成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”，对工程应用型自动化专业的知识体系、课程体系、能力培养等进行了有益的探索，为工程应用型自动化专业人才培养、教材建设奠定了基础。

工程应用型自动化专业涉及面广、行业多，其人才培养模式与课程体系涉及的因素众多复杂，包括如何结合通识教育，拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教学、理论联系实际、提高应用创新能力等，其中构建既不照搬研究型、也不雷同技能训练型的工程应用型自动化专业课程体系，编写一套有利于促进面向不同行业、应对不同层次问题的工程应用型学生个性发展的一流教材尤为重要，着力培养学生由解决工程实际问题到提出新问题的探索思维方式，即运用知识的创新能力。“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在对工程应用型自动化专业课程体系研究的基础上，从全国遴选有工程应用背景、有教材编写经验的教授与专家，组织编写了这套工程应用型自动化专业系列教材，这对工程应用型自动化专业人才的创新能力培养具有重要意义。作为长期从事自动化专业高等教育和研究队伍中的一员，在本系列教材即将

付印之际，我谨向参与本系列教材规划、组织、编写工作的各位老师致以崇高的敬意！

希望广大教师、学生和科技人员积极使用这套教材，并提出宝贵意见。

A handwritten signature in black ink, reading '吴启迪' (Wu Qidi).

2009 年 12 月于北京

序 二

工程应用型自动化专业系列教材是“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在组织实施全国高等学校自动化专业系列教材之后，按照《自动化学科专业发展战略研究报告》分层次、多模式、多规格培养的指导思想 and 原则，结合《高等学校本科自动化指导性专业规范》实施的又一套工程应用特点明显、国内一流的自动化专业系列教材。该系列教材力求达到教学与实际相结合、理论与应用相统一、案例教学与知识传授并举，培养学生解决实际问题的能力和运用新知识的集成创新能力，使工程应用型自动化专业的学生能够真正成为解决实际工程应用问题的工程师。

我国工程应用型自动化专业以往的课程体系与知识体系基本照搬研究型自动化专业课程体系，带有浓厚的“理论的应用、应用的理论”内容，工程应用特点不明显。这也正是规划工程应用型自动化专业系列教材所面临的主要问题。为此，设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”的专项研究课题，成立了以西安交通大学韩九强教授、杭州电子科技大学薛安克教授、清华大学萧德云教授负责的联合研究小组，介入的高校达 40 多所，从全国遴选出 40 多名有工程实际背景和教材编写经验的教授和企业界知名代表。通过对工程应用型自动化专业的课程体系的深入研究，提出从实际工程应用自动化系统涉及的技术与理论方法出发，按自动化系统的组成，归纳分类工程应用型自动化专业的课程体系结构；分应用层次和对象功能凝练解决自动化应用系统中工程问题的知识内容与教材体系，建立知识传授与创新能力培养相结合的课程体系结构。以此为基础，组织规划了涵盖自动化应用系统涉及的数据获取、系统驱动、控制方法、数据处理、控制器设计、系统集成等 20 多门课程内容的系列教材。从数据获取到数据处理，从控制方法到控制器设计，从系统集成到组态工具，从课程体系到三级目录起草，先后经过了 6 次全国会议的认真研讨，凝聚着 40 多位专家教授的辛劳。教材主编采取个人申请，“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审确定，至此，第一批审定通过的 19 本工程应用型自动化专业系列教材于 2010 年陆续出版问世。

工程应用型自动化专业系列教材的出版，对工程应用型自动化专业知识体系的更新、教学方式的改变、工程实践的强化将起到积极的推动作用。但本系列教材从体系结构到每本教材的

三级目录组成，以至每本教材的具体内容都可能存在许多不当之处，恳请使用本系列教材的老师、学生及各界人士不吝批评指正。

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员



2009 年 12 月于清华大学

吴澄：中国工程院院士，清华大学教授，博士生导师，教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员。

前 言

计算机控制系统是自动控制理论和计算机技术相结合的产物。随着计算机技术、网络通信技术以及控制理论的发展,计算机控制系统的应用领域越来越广泛,不仅包括航空航天等国防高精尖领域,还在现代化的工、农、医等领域发挥重要作用。目前,“计算机控制系统”课程已成为我国工科院校电气信息类、机械类、仪器仪表类、航空航天类和农业工程类等大类中有关专业普遍开设的一门重要的专业课。此课程既是这些专业的学生毕业设计中要大量运用的,更是学生毕业后从事自动控制系统、智能仪器仪表和机电一体化产品的设计与运行中要长期应用的。

本书在总结长春工业大学“计算机控制系统”国家精品课程教学经验基础上编写而成。在编写过程中突出了本课程的系统性、综合性、工程性和实践性,具体体现在以下三点:

1. 确定教材的面向对象。本书定位在工程应用型院校,以培养高级应用型人才作为主要目标,注重系统设计能力、实验能力和工程意识的培养,注重理论联系实际。
2. 把握教材内容的取舍。计算机控制系统的内容极其丰富,从控制算法到硬件模式,从基本理论到新技术、新器件,博大精深,奥妙无穷,要在了一本教材中把这些内容都写进去,既不可能,也没必要。本教材内容的取舍,本着适应教材面向对象的原则,兼顾基础性、实用性和先进性,注重基本理论和基本方法,注重工程应用价值,注重既先进又实用的方法和技术,舍去那些理论上很先进而工程上极少应用的高级或复杂算法,舍去那些适用场合不多的硬件配置模式,舍去那些应用范围不广的技术和方法。
3. 注重学生的能力培养。这里的“能力”主要指学习能力、创新能力和实践能力。为此,本书一是在绪论中专门进行关于创新学习的探讨,使学生认识到本课程注重学生创新精神的养成和学习能力的培养;二是在相应的章节提供了多种工程设计实例,以提高学生的系统设计能力和工程应用意识;三是紧密配合课程实验和综合实验,使理论教学与实验训练有机结合,以提高学生的知识应用能力。

本书从工程应用角度出发,系统地介绍计算机控制系统的组成及设计方法。全书共分 10 章,第 1 章绪论简要介绍计算机控制系统的组成、分类、发展以及课程特点与学习方法;第 2 章是系统硬件设计,主要介绍计算机控制系统过程通道的设计方法和目前在工程应用中常用到的输入输出模板;第 3 章介绍计算机控制系统的模拟化设计方法,包括数字 PID 控制算法;第 4 章介绍计算机控制系统的离散化设计方法;第 5 章介绍计算机控制系统应用软件的设计方法,包括目前在工业控制领域中常用的组态软件 MCGS;第 6 章介绍计算机控制系统的软硬件抗干扰技术;第 7 章介绍计算机控制系统的工程实现以及工程实例;第 8 章介绍计算机数控技术,

包括步进电机控制技术；第9章介绍提高计算机控制系统可靠性的措施；第10章介绍基于网络技术的计算机控制系统，主要介绍集散控制系统和现场总线控制系统。

本书适用于本科生教学，建议安排48学时（包括8学时实验）。本书的内容可以根据课程学时及前续课程的开设情况进行取舍。为了提高教学效果，建议课后独立开设2周的综合实验。

本书前言和第1章由于微波、张德江编写，第2章由于微波、刘玥编写，第3、4、6、9章由于微波编写，第5章由于微波、崔丽娜编写，第7章由于微波、黄艳秋编写，第8、10章由于微波、刘俊平编写，李红军和何伟明负责本书的全部习题，并参加了全书的校对工作。全书由于微波负责统稿、定稿。教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会委员、吉林大学博士生导师李元春教授担任本书的主审，对本书的内容提出了很多宝贵的意见，在此表示诚挚的谢意。

感谢长春工业大学电气与电子工程学院对本书编写工作的大力支持，并由衷感谢所引用参考文献的各位作者。限于作者的水平和经验，书中难免存在缺点和不足之处，敬请广大读者批评指正。并请与作者联系，E-mail:yu_weibo@126.com。

编 者

2011年1月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 绪论	1	2.2.3 应用实例	34
1.1 计算机控制系统概述	1	2.3 模拟量输入通道设计	36
1.1.1 计算机在控制领域中的应用	1	2.3.1 模拟量输入通道的结构形式	37
1.1.2 计算机控制的一般概念	1	2.3.2 模拟量输入通道的信号 调理电路	38
1.1.3 计算机控制系统的特点	2	2.3.3 模拟量输入通道的接口	41
1.2 计算机控制系统的组成	3	2.3.4 模拟量输入通道的 设计与实例	47
1.2.1 计算机控制系统的硬件组成	3	2.4 模拟量输出通道设计	51
1.2.2 计算机控制系统的软件组成	5	2.4.1 模拟量输出通道的结构形式	51
1.3 计算机控制系统的分类与应用	5	2.4.2 D/A 转换器及其接口	52
1.3.1 计算机控制系统的分类	5	2.4.3 模拟量输出通道信号 调理电路	57
1.3.2 典型计算机控制系统简介	8	2.5 常用工控机总线标准	59
1.3.3 常用的计算机控制设备	11	2.5.1 STD 总线	60
1.4 计算机控制系统的发展	12	2.5.2 PC 总线	61
1.4.1 计算机控制系统的发展过程	12	2.6 工业控制的输入输出接口模板	69
1.4.2 计算机控制系统的发展趋势	12	2.6.1 工业控制系统 I/O 模板简介	70
1.5 本课程的学习方法	14	2.6.2 输入输出模板的选择	72
1.5.1 本课程的特点	14	思考与练习	72
1.5.2 关于创新学习的探讨	17		
思考与练习	19		
第二章 计算机控制系统的硬件设计	20	第三章 计算机控制系统的模拟化 设计方法	74
2.1 控制用计算机简介	20	3.1 模拟化设计方法的基本原理	74
2.1.1 工业控制计算机	20	3.1.1 计算机控制系统模拟化 设计步骤	74
2.1.2 可编程序控制器	22	3.1.2 采样周期的选择	77
2.1.3 单片机与嵌入式控制器	23	3.1.3 模拟控制器离散化方法	79
2.1.4 数字信号处理器 DSP	25	3.1.4 设计示例	83
2.1.5 ARM 处理器	26	3.2 数字 PID 控制算法	86
2.2 数字量输入输出通道设计	28		
2.2.1 数字量输入通道设计	28		
2.2.2 数字量输出通道设计	31		

3.2.1 标准数字 PID 控制算法	86	5.3 工业控制软件	144
3.2.2 改进的数字 PID 控制算法	94	5.3.1 概述	144
3.2.3 数字 PID 控制方式的选择与 参数整定	100	5.3.2 MCGS 组态软件的 功能和特点	146
3.3 Simth 纯滞后补偿控制算法	106	5.3.3 MCGS 组态软件的系统构成	147
3.3.1 纯滞后对系统控制 品质的影响	106	5.3.4 组建工程的过程	148
3.3.2 Smith 补偿控制原理	107	思考与练习	151
3.3.3 Smith 补偿器的计算机实现	109	第六章 计算机控制系统的抗干扰技术	153
思考与练习	111	6.1 工业现场的干扰及其对控制 系统的影响	153
第四章 计算机控制系统的离散化 设计方法	114	6.1.1 干扰的来源及作用途径	153
4.1 引言	114	6.1.2 干扰的作用形式	154
4.2 最少拍控制系统的设计	117	6.2 硬件抗干扰技术	154
4.2.1 最少拍闭环脉冲传递 函数的确定	118	6.2.1 共模干扰的抑制	155
4.2.2 最少拍控制器 $D(z)$ 的确定	119	6.2.2 串模干扰的抑制	157
4.2.3 设计示例	120	6.2.3 长线传输干扰的抑制	158
4.3 Dahlin 控制算法	122	6.2.4 印刷电路板抗干扰措施	160
4.3.1 Dahlin 控制器 $D(z)$ 的 基本形式	122	6.3 软件抗干扰技术	161
4.3.2 振铃现象及消除方法	124	6.3.1 软件故障的表现形式	162
4.3.3 Dahlin 算法的设计步骤	127	6.3.2 输入/输出软件抗干扰措施	162
思考与练习	128	6.3.3 程序运行失常的软件 抗干扰措施	163
第五章 计算机控制系统应用 软件设计	129	6.4 接地技术	164
5.1 计算机控制系统软件概述	129	6.4.1 计算机控制系统中的地线	164
5.1.1 计算机控制系统应用 软件的组成	129	6.4.2 常用的接地方法	164
5.1.2 应用软件设计的特点	130	6.5 电源系统的抗干扰技术	165
5.1.3 应用软件设计的基本步骤	131	6.5.1 抗干扰稳压电源的设计	166
5.1.4 应用程序设计方法	132	6.5.2 电源系统的异常保护	167
5.2 计算机控制系统的数据处理	134	思考与练习	170
5.2.1 线性化处理	134	第七章 计算机控制系统的工程 设计与实现	171
5.2.2 标度变换	137	7.1 计算机控制系统设计 原则与步骤	171
5.2.3 数字滤波	139	7.1.1 计算机控制系统的设计原则	171
		7.1.2 计算机控制系统设计步骤	173

7.2 计算机控制系统的工程设计与实现	175	8.2.4 步进电机速度控制方法	229
7.2.1 计算机控制系统的总体方案设计	175	8.2.5 步进电机的细分技术	232
7.2.2 硬件的工程设计与实现	176	8.3 逐点比较法插补原理	233
7.2.3 软件的工程设计与实现	178	8.3.1 逐点比较插补法定义	233
7.2.4 控制系统的调试与运行	181	8.3.2 逐点比较法直线插补运算	233
7.3 电阻炉温度计算机控制系统设计	183	8.3.3 逐点比较法圆弧插补运算	237
7.3.1 电阻炉及其控制要求	183	思考与练习	242
7.3.2 系统总体方案设计	184	第九章 提高计算机控制系统可靠性措施	243
7.3.3 系统硬件和软件设计	185	9.1 计算机控制系统可靠性的基本概念	243
7.4 变频恒压供水计算机控制系统设计	194	9.1.1 可靠性的基本概念	243
7.4.1 变频恒压供水控制系统工艺及技术要求	195	9.1.2 衡量可靠性的几个主要指标	244
7.4.2 系统总体方案设计	196	9.1.3 提高系统可靠性的途径	245
7.4.3 硬件系统与软件系统设计	199	9.2 提高硬件可靠性措施	245
7.4.4 系统调试与运行	205	9.2.1 元器件的正确选用	245
7.5 直流电机调速数字控制系统设计	208	9.2.2 系统结构的简化	246
7.5.1 计算机控制直流电机调速系统及技术要求	208	9.2.3 系统的冗余设计	246
7.5.2 系统总体方案设计	208	9.3 提高软件可靠性措施	247
7.5.3 硬件系统与软件系统设计	210	9.3.1 影响软件可靠性的因素	247
7.5.4 系统调试运行	214	9.3.2 提高可靠性的措施	248
思考与练习	216	9.4 控制系统的故障自诊断	250
第八章 计算机数控技术	217	9.4.1 故障自诊断技术概述	250
8.1 数控技术的概述	217	9.4.2 故障自诊断方法简介	251
8.1.1 数控技术的基本概念	217	9.4.3 计算机控制系统在线故障自诊断的方法	251
8.1.2 数控系统的基本分类	217	思考与练习	253
8.1.3 数控系统的组成	219	第十章 基于网络技术的计算机控制系统	254
8.2 步进电机的控制技术	220	10.1 网络控制技术概述	254
8.2.1 步进电机的工作原理	220	10.1.1 网络控制系统的基本概念	254
8.2.2 步进电机的工作方式	222	10.1.2 控制网络与信息网络的区别	256
8.2.3 步进电机微机控制技术	223	10.1.3 网络控制系统的发展状况	256
		10.2 集散控制系统 (DCS)	257

10.2.1 集散控制系统的基本组成	257	10.3.2 典型的现场总线	275
10.2.2 集散控制系统的特点	258	10.3.3 现场总线控制系统概述	278
10.2.3 集散控制系统的结构	260	10.3.4 现场总线控制系统的应用	280
10.2.4 集散控制系统的基本类型	266	思考与练习	283
10.3 现场总线控制系统 (FCS)	272	附录 常用的 Z 变换	284
10.3.1 现场总线概述	272	参考文献	286