



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

Computer Aided Control Systems Design
Using MATLAB Language (Second Edition)

控制系统计算机 辅助设计

—— MATLAB语言与应用（第2版）

薛定宇 著

Xue Dingyu

张晓华 主审

Zhang Xiaohua

清华大学出版社





全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

Computer Aided Control Systems Design
Using MATLAB Language (Second Edition)

控制系统计算机 辅助设计

—— MATLAB语言与应用（第2版）

东北大学

薛定宇 著

Xue Dingyu

哈尔滨工业大学

张晓华 主审

Zhang Xiaohua

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了国际控制界最流行的控制系统计算机辅助设计语言 MATLAB, 侧重于介绍 MATLAB 语言编程基础与技巧、数学问题的 MATLAB 求解、线性系统计算机辅助分析、控制系统与其他复杂系统的 Simulink 建模, 控制系统的计算机辅助设计方法, 包括串联控制器、状态反馈控制器、多变量系统频域设计、PID 控制器设计、最优控制器设计、LQG/LTR 控制器设计、 H_2/H_∞ 最优控制、分数阶控制、自适应控制、模糊控制、神经网络控制、遗传算法优化控制等。本书还介绍了基于 dSPACE 和 Quanser 的实时控制系统实验方法。

本书可作为自动化专业“控制系统仿真”或“控制系统计算机辅助设计”课程的教材, 也可供相关专业的研究人员与研究生参考。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

MATLAB, Simulink, Symbolic Toolbox, Optimization Toolbox, Control Systems Toolbox, Robust Control Toolbox, System Identification Toolbox, Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Neural Network Toolbox 等为 The MathWorks 公司的注册商标

图书在版编目(CIP)数据

控制系统计算机辅助设计: MATLAB 语言与应用/薛定宇著. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2006.3

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 7-302-12325-X

I. 控… II. 薛… III. 自动控制系统-计算机辅助设计-软件包, MATLAB-高等学校-教材
IV. TP273-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000795 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 王一玲

文稿编辑: 顾 冰

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 175 × 245 印 张: 30 字 数: 612 千字

版 次: 2006 年 3 月第 2 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12325-X/TP · 7907

印 数: 1 ~ 3000

定 价: 45.00 元

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指示书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本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、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。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,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔划):

王行愚 (华东理工大学)	冯纯伯 (东南大学)
孙优贤 (浙江大学)	吴启迪 (同济大学)
张嗣瀛 (东北大学)	陈伯时 (上海大学)
陈翰馥 (中国科学院)	郑大钟 (清华大学)
郑南宁 (西安交通大学)	韩崇昭 (西安交通大学)

主任委员: 吴澄 (清华大学)

副主任委员: 赵光宙 (浙江大学) 萧德云 (清华大学)

委员 (按姓氏笔划):

王雄 (清华大学)	方华京 (华中科技大学)
史震 (哈尔滨工程大学)	田作华 (上海交通大学)
卢京潮 (西北工业大学)	孙鹤旭 (河北工业大学)
刘建昌 (东北大学)	吴刚 (中国科技大学)
吴成东 (沈阳建筑工程学院)	吴爱国 (天津大学)
陈庆伟 (南京理工大学)	陈兴林 (哈尔滨工业大学)
郑志强 (国防科技大学)	赵曜 (四川大学)
段其昌 (重庆大学)	程鹏 (北京航空航天大学)
谢克明 (太原理工大学)	韩九强 (西安交通大学)
褚健 (浙江大学)	蔡鸿程 (清华大学出版社)
廖晓钟 (北京理工大学)	戴先中 (东南大学)

工作小组 (组长): 萧德云 (清华大学)

(成员): 陈伯时 (上海大学) 郑大钟 (清华大学)
田作华 (上海交通大学) 赵光宙 (浙江大学)
韩九强 (西安交通大学) 陈兴林 (哈尔滨工业大学)
陈庆伟 (南京理工大学)

(助理): 郭晓华 (清华大学)

责任编辑: 王一玲 (清华大学出版社)

序

FOREWORD

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,两弹一星的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重

要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制，适应了高等学校教学改革与发展的新形势，立足创建精品教材，重视实践性环节在人才培养中的作用，采用了竞争机制，以激励和推动教材建设。在此，我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师，致以诚挚的感谢，并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

吴洛迪 教授

2005年10月于教育部

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共53本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指示书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划的一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的、也可能是随机性的,控制方法可能是常规控制、也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套含盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术、从系统理论到工程实践、从计算机技术到信号处理、从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所、参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国近百名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学

的自动化专业创新型系列教材。

然而，如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构？如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材？如何利用现代技术，适应现代大学生的接受习惯，改变教材形态单一，建设数字化、电子化等多元形态、开放性的“广义教材”？等等。这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版，对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性的教与学环境，一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限，该套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处，还望使用本套教材的教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005年10月于清华大学

前言

PREFACE



美国 The MathWorks 公司推出的 MATLAB[®]语言一直是国际科学界应用和影响最广泛的三大计算机数学语言之一。从某种意义上讲,在纯数学以外的领域中, MATLAB 语言有着其他两种计算机数学语言 Mathematica 和 Maple 无法比拟的优势和适用面。在控制类学科中, MATLAB 语言更是科学工作者首选的计算机语言。

近十年来,随着 MATLAB 语言和 Simulink[®]仿真环境在控制系统研究与教学中日益广泛的应用,在系统仿真、自动控制等领域,国外很多高校在教学与研究中都将 MATLAB/Simulink 语言作为首选的计算机工具。我国的科学工作者和教育工作者也逐渐认识到 MATLAB 语言的重要性。 MATLAB 语言是一种十分有效的工具,能轻松地解决在系统仿真及控制系统计算机辅助设计领域的教学与研究中遇到的问题,它可以将使用者从繁琐的底层编程中解放出来,把有限的宝贵时间更多地花在解决科学问题中。 MATLAB 语言虽然是计算数学专家倡导并开发的,但其普及和发展离不开自动控制领域学者的贡献。在 MATLAB 语言的发展进程中,许多有代表性的成就是和控制界的要求与贡献分不开的。 MATLAB 具有强大的数学运算能力、方便实用的绘图功能及语言的高度集成性,它在其他科学与工程领域也有着广阔的应用前景和无穷的潜能。因此,以 MATLAB/Simulink 作为主线,为我国高校自动化专业的一门很重要课程——“控制系统仿真与计算机辅助设计”或“计算机仿真”编写一本实用的教材就显得非常迫切。

十年前,作者的著作《控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言与应用》由清华大学出版社出版。该书受到很多专家学者的关注,并被公认为国内关于 MATLAB 语言方面书籍中出版最早、影响最广的著作。该书被国内期刊文章和著作引用数千次,被数万篇硕士、博士论文引用,为我国高校师生和研究人员认识和掌握 MATLAB 语言,并用其解决自己学习、教学科研中遇到的问题起到了积极的作用。

多年来,作者一直在试图以最实用的方式将 MATLAB 语言介绍给国内的读者,并在清华大学出版社、机械工业出版社出版了 6 部有关 MATLAB 语言及其应用方面的著作,受到了国内外广大中文读者

的普遍欢迎。作者的著作总共有三个大的方向：MATLAB 语言与数学运算问题求解、MATLAB 语言在控制系统中的应用与 MATLAB 语言及其在系统仿真中的应用。本书继承了作者早期几部控制领域著作的优点，从使用者的角度出发，并结合作者数十年的实际编程经验和丰富的教学经验，系统地介绍 MATLAB 语言的编程技术及其在控制系统仿真与计算机辅助设计中的应用。本书先介绍 MATLAB 语言的基础内容，并以其为主线，系统介绍控制系统的计算机辅助分析与计算机辅助设计的方法。本书覆盖面较广，除了经典控制的内容外，还较深入地探讨了 MATLAB 语言在状态反馈控制器、多变量系统频域设计、PID 控制器设计、最优控制器设计、LQG/LTR 控制器设计、 H_∞ 最优控制、自适应控制、模糊控制、神经网络控制、遗传算法优化控制等方面的应用。本书还将介绍基于 dSPACE 和 Quanser 的实时控制系统实验方法。本书尽量避免过于深奥理论的介绍，着重介绍用计算机求解理论问题的方法，提供了大量的 MATLAB 程序、Simulink 封装模块及仿真系统框图，可以用于实现书中介绍的全部内容，所有的程序语句都是可重复的，可以供读者参考和直接使用。书中融合了作者的许多编程思想和第一手材料，内容精心剪裁，相信仍然会受到读者的欢迎。

作者从 1988 年开始系统地使用 MATLAB 语言进行程序设计与科学研究，积累了丰富的第一手经验，也了解 MATLAB 语言的最新动态。作者用 MATLAB 语言编写的程序曾作为英国 Rapid Data 软件公司的商品在国际范围内发行，新近编写的几个通用程序在 The MathWorks 公司的网站上可以下载，其中反馈系统分析与设计程序 CtrlLAB 长期高居控制类软件的榜首，已经用于国际上很多高校的实际教学。

本书的大部分内容在东北大学自动化专业本科生课程“控制系统仿真与 CAD”与研究生课程“控制系统计算机辅助设计”中讲授过，受到普遍欢迎。本书配有全套的、适用于计算机辅助教学的 CAI 课件材料及其他相关材料。书中除简单介绍 MATLAB 的基础知识外，其余内容均围绕其在控制系统中的应用展开介绍。所以本书还可以作为“自动控制原理”等课程的计算机实践材料。

本书主要介绍目前最新的 MATLAB 7.1 版，即 MATLAB Release 14 Service Pack 3，但相应的内容对 MATLAB 及相关工具箱的版本依赖程度不高，所以这里介绍的算法函数绝大多数均可以在 MATLAB 6.x 甚至更早期版本下正常运行。

在本书编写过程中，作者的一些师长、同事和朋友也先后给予作者许多建议和支持，包括英国 Sussex 大学 Derek P. Atherton 教授、东北大学任兴权教授和徐心和教授、美国 Utah 州立大学陈阳泉博士、东北大学信息学院院长刘建昌教授、北京交通大学朱衡君教授、英国 Sussex 大学杨泰澄博士、中科院系统科学研究院韩京清研究员、南开大学王治宝教授、中科院科学与工程计算国家重点实验室张林波研究员、中科院上海应用物理研究所陈之初先生等，还有在互联网上进

行过交流的众多知名的和不知名的同行与朋友。本书部分内容及仿真模型由博士生潘峰、陈大力、高道祥、李殿起编写，教学文件由哈尔滨工程大学张望舒同学、东北大学研究生解志斌、鄂大志同学协助开发，在此表示深深的谢意。

本书由哈尔滨工业大学张晓华教授主审，承蒙张老师的仔细审读并得到许多建设性建议。本书编写过程中一直得到本系列教材编委会副主任、清华大学萧德云教授的关注与帮助，本书从初版开始就得到清华大学出版社蔡鸿程主编的帮助与关怀，本书的出版还得到了美国 The MathWorks 公司图书计划的支持，在此表示谢意，并特别感谢 Noami Fernandez 女士、Courtney Esposito 先生为作者提供的帮助。

由于作者水平所限，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指教。

谨以此书献给数十年来一直全心全意培养我支持我的父母。

薛定宇

2005 年 10 月 1 日

于沈阳东北大学

第一版前言

PREFACE



控制系统计算机辅助设计 (CACSD) 从成为一门单独的学科以来至今已经有二十多年的历史,在其发展过程中出现了各种各样的实用工具和理论成果。CACSD 课程是高校自动控制类专业研究生的一门重要课程,可选用的教材也很多,但由于其中大部分教材出现得较早,已经不能反映当代 CACSD 领域的最新成果。

MATLAB 语言的出现不但对 CACSD 算法的研究,也对其他 CACSD 软件环境的开发起到了巨大的推动作用,它已经成为国际控制界应用最广的语言和工具了。该软件早期版本 80 年代末传入我国以来,在高校中已经有了一些应用,但大部分用户苦于没有该软件相应的资料,难于系统地掌握该语言,有效地解决自己遇到的实际问题。

作者从 1988 年开始接触 MATLAB,使用过早期和现代的各个版本,曾用 MATLAB 为基础开发过几个商品软件,并在研究中一直使用 MATLAB 作为主要工具,所以熟悉 MATLAB 的特点及编程。

1995 年作者受辽宁省系统仿真学会邀请,在 '95 中国自动化教育学术年会后于秦皇岛举办“MATLAB 语言与控制系统计算机辅助设计新技术”讨论班,并为该讨论班编写了试用讲义,这就是本书的雏形。在该讲义的编写和整理过程中作者还在东北大学自动控制系研究生的“控制系统计算机辅助设计”课程中试用过其中的大部分章节,并在自控系本科生“系统仿真”课程中也试用过其中部分的内容,得到了较好的反映。

本书大致分为两个部分,前一个部分系统地介绍了 MATLAB 语言编程与应用,侧重于介绍 MATLAB 语言编程基础与技巧、数值分析算法及 MATLAB 实现、动态系统的数学模型及仿真工具 Simulink 等,最后还以作者开发的一个控制系统计算机辅助教学软件 Control Kit 为例,介绍利用 MATLAB 进行 Windows 图形界面设计的方法,其中既包含了 MATLAB 软件的入门知识,也介绍了其应用的高级技术,融合了作者多年来的实际编程经验和体会。第二个部分以 MATLAB 语言及其相应工具箱为主要手段介绍并探讨了经典的和当前最新的控制系统计算机辅助设计方法,包括多变量系统的频域设计、自整定 PID 控制方法、定量反馈理论、经典设计方法、状态空间 LQ 及 LQG/LTR 设计、 H_∞ 最优控制等。

本书可作为自动控制类专业的研究人员参考,也可作为高校该类专业的研究生与高年级本科生控制系统计算机辅助设计课程的教材和参考书,还可供其他专业的学生和科技工作者、教师作为自动控制原理、系统仿真等课程的实验辅助教材,以及科学计算与图形绘制等方向的工具和参考书。

本书由东北大学研究生院副院长徐心和教授主审。本书从酝酿到整个写作过程始终得到徐老师的鼓励和支持,他仔细地阅读了全书原稿,并提出了许多建设性的宝贵意见。作者还感谢他的导师,原 IEEE 控制系统委员会主席,英国 Sussex 大学 Derek Atherton 教授,是他将作者引入 MATLAB 编程的乐园,并指导作者涉足先进的 CACSD 方法。几年来和他们的合作与学术交流使作者受益匪浅,他们严谨的学风与敬业精神亦对作者有很深的影响。

作者在国外学习工作期间的一些同事和朋友也给予作者许多建议和鼓励,使作者获得许多有益的信息与材料,在这当中包括现英国威尔士 Swansea 大学的庄敏霞博士、上海同济大学的赵之凡副研究员、英国 Sussex 大学的姚莉华博士等。本书试印本完成以来还得到很多国内外同行的建议和意见,在此一并表示最诚挚的谢意。

本书写作过程中承蒙东北大学控制仿真研究中心主任李彦平博士等同事的大力支持和鼓励,在此作者表示衷心的感谢。

本书承蒙清华大学自动化系主任、中国自动化学会教育委员会主任胡东成教授的大力推荐,在出版过程中又得到清华大学出版社蔡鸿程副社长的关怀和帮助,在此作者深表谢意。

本书写作与出版部分得到国家教委留学回国人员基金和辽宁省博士启动基金资助。

几年来,作者的妻子杨军在生活和事业上给予了作者莫大的帮助与鼓励,作者谨以此书献给她和女儿薛杨。

由于作者水平有限,书中的缺点错误在所难免,欢迎读者批评指教。

薛定宇

1996年3月于东北大学

目 录

CONTENTS

88	.....	.....	.....
14	.....	MATLAB 语言程序设计基础	1.1.2
88	.....	.....	.....
88	.....	.....	.....
98	.....	.....	.....
98	.....	.....	.....
第 1 章 控制系统计算机辅助设计概述			1
14	1.1	控制系统计算机辅助设计技术的发展综述	1
24	1.2	控制系统计算机辅助设计语言环境综述	2
74	1.3	仿真软件的发展概况	6
74	1.4	MATLAB/Simulink 与 CACSD 工具箱	7
84	1.5	控制系统计算机辅助设计领域的新方法	9
98	1.6	本书的基本结构和内容	10
98	1.7	习 题	12
88		参考文献	13
第 2 章 MATLAB 语言程序设计基础			17
10	2.1	MATLAB 程序设计语言基础	18
88	2.1.1	MATLAB 语言的变量与常量	18
75	2.1.2	数据结构	19
87	2.1.3	MATLAB 的基本语句结构	20
74	2.1.4	冒号表达式与子矩阵提取	22
17	2.2	基本数学运算	23
77	2.2.1	矩阵的代数运算	23
87	2.2.2	矩阵的逻辑运算	24
97	2.2.3	矩阵的比较运算	25
98	2.2.4	解析结果的化简与变换	26
98	2.2.5	基本数论运算	27
98	2.3	MATLAB 语言的流程结构	29
88	2.3.1	循环结构	29
88	2.3.2	条件转移结构	31
98	2.3.3	开关结构	32

2.3.4 试探结构	33
2.4 函数编写与调试	33
2.4.1 MATLAB 语言函数的基本结构	34
2.4.2 可变输入输出个数的处理	38
2.4.3 inline 函数与匿名函数	38
2.5 二维图形绘制	39
2.5.1 二维图形绘制基本语句	39
2.5.2 其他二维图形绘制语句	42
2.5.3 隐函数绘制及应用	44
2.5.4 图形修饰	45
2.6 三维图形表示	47
2.6.1 三维曲线绘制	47
2.6.2 三维曲面绘制	48
2.6.3 三维图形视角设置	50
2.7 MATLAB 语言与现代科学运算	52
2.7.1 线性代数问题的 MATLAB 求解	52
2.7.2 常微分方程问题的 MATLAB 求解	58
2.7.3 最优化问题的 MATLAB 求解	63
2.8 本章要点简介	67
2.9 习 题	68
参考文献	72
第 3 章 线性控制系统的数学模型	73
3.1 线性连续系统模型及 MATLAB 表示	74
3.1.1 线性系统的传递函数模型	74
3.1.2 线性系统的状态方程模型	77
3.1.3 线性系统的零极点模型	78
3.1.4 多变量系统的传递函数矩阵模型	79
3.2 线性离散时间系统的数学模型	80
3.2.1 离散传递函数模型	80
3.2.2 离散状态方程模型	82
3.3 方框图描述系统的化简	83
3.3.1 控制系统的典型连接结构	83
3.3.2 节点移动时的等效变换	86

3.3.3 复杂系统模型的简化	87
3.4 系统模型的相互转换	89
3.4.1 连续模型和离散模型的相互转换	89
3.4.2 系统传递函数的获取	92
3.4.3 控制系统的状态方程实现	93
3.4.4 状态方程的最小实现	94
3.4.5 传递函数与符号表达式的相互转换	95
3.5 线性系统的模型降阶	96
3.5.1 Padé 降阶算法与 Routh 降阶算法	96
3.5.2 时间延迟模型的 Padé 近似	99
3.5.3 带有时间延迟系统的次最优降阶算法	100
3.5.4 状态方程模型的降阶算法	103
3.6 线性系统的模型辨识	105
3.6.1 离散系统的模型辨识	105
3.6.2 离散系统辨识信号的生成	110
3.6.3 多变量离散系统的辨识	112
3.6.4 离散系统的递推最小二乘辨识	113
3.7 本章要点小结	115
3.8 习 题	115
参考文献	120
第 4 章 线性控制系统的计算机辅助分析	123
4.1 线性系统性质分析	124
4.1.1 线性系统稳定性分析	124
4.1.2 线性系统的内部稳定性分析	127
4.1.3 线性系统的线性相似变换	128
4.1.4 线性系统的可控性分析	129
4.1.5 线性系统的可观测性分析	132
4.1.6 Kalman 规范分解	133
4.1.7 系统状态方程标准型的 MATLAB 求解	133
4.1.8 系统的范数测度及求解	137
4.2 线性系统时域响应解析解法	138
4.2.1 基于状态方程的解析解方法	138
4.2.2 基于部分分式展开方法求解	140