



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



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

System Modelling and Simulation

系统建模与仿真

吴重光 著

Wu Chongguang

吕崇德 主审

Lü Chongde

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



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

System Modelling and Simulation

系统建模与仿真

北京化工大学

吴重光 著

Wu Chongguang

清华大学

吕崇德 主审

Lü Chongde

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书特点是注重理论联系实际、突出工程实践内容和实用有效的建模方法。全书从定量和定性两个方面阐述了系统建模与仿真的基本原理、计算方法和本领域当前的先进技术。主要内容包括过程系统仿真的应用领域和进展,定量仿真建模常用方法及工业应用案例,数值积分原理、实用算法与计算程序,定性仿真基本原理,复杂过程系统定性建模方法,定性模型的推理解法,定性仿真技术在过程系统危险识别与分析、故障诊断和智能仿真训练等方面的应用案例。

本书适用于工业过程自动化、过程装备与控制工程、化学工程等专业大学本科专业教学。本书的内容有助于本科生、硕士研究生和博士研究生增加过程工业原理知识与实践知识,可以用于毕业论文阶段进行仿真建模和仿真实验的技术指导。同时也可以作为从事过程系统仿真、过程系统安全评价、化工工艺与控制安全设计、故障诊断、人工智能研发人员的技术参考书。

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

系统建模与仿真/吴重光著. —北京:清华大学出版社,2008.12

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-17523-0

I. 系… II. 吴… III. ①系统建模—高等学校—教材 ②系统仿真—高等学校—教材 IV. N945.12 TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 063072 号

责任编辑:王一玲

责任校对:李建庄

责任印制:孟凡玉

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 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:20.5 字 数:430 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版 印 次:2008 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

本书如存在文字不清、漏印、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)62770177 转 3103 产品编号:017439-01

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、实验指导书、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。为满足多层次、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 (按姓氏笔画):

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 (按姓氏笔画):

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)

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。

吴恪迪 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50多本,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、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教学,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,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的研究,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,组织规划了一套涵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,凝聚着全国百余名教授的心血,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?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元

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、创造个性化的教学环境，一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限，本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广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴伦 院士

2005年10月于清华大学

序

FOREWORD

吴重光教授所写教材《系统建模与仿真》全书分为过程的定量仿真和定性仿真两大部分内容,是国内第一部将定量仿真与定性仿真相结合的教材。本书的定量仿真部分突出了过程系统建模,也是本书具有特色的一个部分。建模是仿真的核心内容,涉及广泛且深入的工程实践知识和数学知识。国内过程系统建模的专业书很少,已出版的涉及定量建模的书,基本上是国外专著的中译本,侧重于原理,实用内容不多,能解决实际问题的更少。本书通过多种详尽的工业案例阐述了动态系统实用建模方法。本书的工业建模案例是从作者完成的大量仿真项目中精选出来的典型成功案例。为了便于读者深入理解数学模型,案例给出了详尽的技术细节,案例本身也是读者增加工业实践知识的最佳教材。作者特意在定性建模和仿真的案例中重复部分定量建模中的相同案例,体现了理论—实践—再理论—再实践的认知规律,有助于加深理解定性建模原理,同时也为验证定性模型提供了试验环境。本书在建模数学方法中特别介绍了图论方法,该方法在复杂系统定量仿真、定性仿真和人工智能计算机化求解方面是相当重要的。

定性仿真、建模及应用是本书第二个具有特色的部分。定性仿真技术已经在危险识别、故障诊断、系统监控、自动设计、智能控制、智能学习、图形识别、自解释系统等应用领域取得进展。作者为了写作本部分内容参考了近30年来国外发达国家的定性仿真、定性物理、定性推理、基于定性模型推理的人工智能技术等重要文献。本书将这些相关领域的共性理论基础——定性代数、定性微分方程及定性推理,用简单明了的语言,通过简单的例子进行了阐述。借助于多年来积累的高逼真度定量仿真模型和自主开发的高效多功能推理“引擎”,为复杂定性模型的试验、仿真和工业应用提供了有效手段。

作者在教材中首次讨论了符号定向图(SDG)原理、建模和推理求解方法,并介绍了这种方法在危险识别、分析、安全评价以及故障诊断中的应用。SDG及其推理解法是定性代数及定性微分方程的图论表达和可以运用计算机高速求解复杂系统模型的实用方法,特别是在大型过程工业系统的危险识别和分析中已经发展成为有效且实用的技术。其中基于SDG技术的计算机辅助危险与可操作性分析(HAZOP)是目前国际上最为突出的成就。作者详尽地给出了HAZOP国际标准的条款,并且遵照国际标准的

要求,介绍了基于SDG-HAZOP的实施技术。运用SDG技术进行过程系统的故障诊断是近年来国际攻关的热点,本书系统综合了国外运用SDG技术进行故障诊断研究的技术要点,通过实例介绍了适用于故障诊断的SDG建模和定性推理方法。在危险剧情的结构方面提出了从简单剧情、剧情片断到多种复杂剧情的完备类型,为复杂系统的危险识别、故障诊断方法的研究明确了方向。

本书在定性仿真理论中提出了影响方程的表达方法,具有概念清晰、表达简明、易学易用等优点。作者领导其科研组完成了具有我国独立软件著作权的定性推理“引擎”软件,软件推理方式灵活、高效快速、便于和应用软件互联,并且在大型石化企业得到成功应用。该软件解决了定性仿真研究、开发和应用中对国外知识产权软件依赖之难题,为定性仿真技术在国内普及应用创造了条件。

本教材内容新颖,概念清楚,实例丰富,深入浅出,且各章都配以习题,是工业自动化、化学工程、系统安全工程以及仿真科学与技术等专业很好的教材,也是研究生和相关工程技术人员难得的参考书,值得推荐。

中国系统仿真学会理事长

李伯虎 院士

2008年8月于北京航空航天大学

前言

PREFACE



天才科学家爱因斯坦在大脑中进行科学试验的方法,已被当代众多科学家在电脑中用仿真科学与技术发扬光大。仿真科学与技术是一种基于信息、计算机和工程技术的综合性高效能科学研究与试验技术,这种技术极大地扩展了人类的视野、时限和能力。随着信息技术和计算机技术的飞速进步,20年来仿真建模理论及方法取得了重大进展。当代建模与仿真技术已经能够运用数学方法构造复杂系统模型,这种数学模型能够揭示系统的内在联系和动态变化规律,已经能够高逼真度地模拟复杂的过程系统。仿真科学与技术在辅助设计、辅助研究、辅助生产及辅助教育等领域得到广泛应用。仿真科学与技术已成为继理论研究和实验研究之后的第三种认识、改造客观世界的重要手段。仿真技术在人类认识世界和改造世界的不同领域正在发挥着或即将发挥出重大作用。

本书涉及的定量与定性建模案例经过优选并且全部来自工业实践。本书作者在过程系统仿真领域从事技术研发工作20多年。早期参加国家“六五”科技攻关项目“通用化工流程模拟系统”研发工作,主持动态流程模拟系统子课题开发,荣获国家科技进步三等奖。其后开展了仿真技术工业应用的艰辛历程。1987年研发成功我国第一套石油化工仿真培训系统后,为大型石化企业开发了多种型号仿真器。仿真软件约50种,涉及大型炼油厂、大型乙烯厂、大中小型合成氨厂等约50种。协助企业建成29个仿真培训基地,培训操作工人约30万人次,科技成果获中石化科技进步二等奖。1994年与北京燕山石化公司合作完成了国内首座实物仿真工厂。1996年化工仿真培训系统被评为“八五”期间优秀科技成果。

为了将工业仿真培训成果应用于大学工程实践教学,1990年建成过程仿真实验室,配备自行设计制造的新型仿真器。开设研究生必修课“系统仿真”,本科生选修课“数字仿真技术”以及跨专业仿真实习课。完成配套教科书《化工仿真实习指南》、专著《过程系统仿真技术》,主编了《仿真技术》。由作者开发的仿真实习软件(PS),已经在清华大学、北京大学、浙江大学、上海交通大学、华东理工大学、华中科技大学、西北工业大学、香港科技大学等60多所大学应用,涉及工业过程自动化、化学工程、应用化学、环境工程、生物工程、热能与动力工程等多个专业。1997年被评为国家级教学成果二等奖。

本书有关定性仿真理论与方法已经成功应用于石化企业。2003年作者所在科研组与中国石化安全工程研究院、清华大学合作开展了基于定性

仿真的大型石化系统安全评价“863”项目的研究。前期定量仿真研发工作的积累,为定性仿真提供了复杂工业系统的实验条件。几年来,在大系统定性建模、计算机自动推理技术方面取得成功。完成具有独立版权的基于SDG技术的HAZOP软件,在齐鲁石化、神华煤制油工程等大型企业应用取得成效。此外,在定性仿真技术应用用于过程工业智能化报警、智能仿真器与故障诊断方面取得进展。

采用本书的建模理论与方法,已经开发成功高精度仿真实验系统和仿真训练工厂。作者所在科研组与北京东方仿真控制技术有限公司合作近期研发成功多功能过程与控制仿真实验系统(MPCE-1000)和现代仿真训练工厂(ASTP-2000)。两种仿真系统将定量动态建模与仿真、半实物仿真平台、过程控制组态平台和定性仿真(深层知识模型专家系统)平台技术集成,研发成功了工业级的高精度动态模型、真实的三维空间位置和操作力度的模拟装置、图形化组态控制系统和控制模型、工艺过程的多种组合、过程参数多种组合及超大数量的实验内容等创新成果,达到了国际一流水平,成功举办过两届大学生过程控制大赛和一届高级技师大赛,得到高校和企业的高度评价。

作者在过程工业系统仿真领域的研究与开发历程,见证了我国工业仿真技术的发展,是作者写作本书理论和实践的知识源泉,也是激励作者写作本书将仿真技术传承下去继往开来的强大动力。

作者衷心感谢中国系统仿真学会理事长李伯虎院士长期给予的支持和帮助,并为本书写序。感谢清华大学吕崇德教授担任本书的主审。感谢北京东方仿真控制技术有限公司夏迎春高级工程师担任本书的副审。

作者特别感谢清华大学吴澄院士、萧德云教授和高等学校自动化专业教学指导分委员会全体委员,他们对本书的内容和结构给予了重要的指导和帮助。

作者借此机会对在本书内容进行研发的过程中曾经给予支持、指导和帮助的中国石油化工股份有限公司曹湘洪院士、浙江大学孙优贤院士、北京化工大学高金吉院士表示衷心感谢。多年来在几十个石油化工、炼油及化工企业中与厂领导、车间主任、工程技术人员和操作人员密切合作,向他们学习了大量实践经验,并结下深厚友谊,由于人数太多无法一一列举,在此一并表示衷心感谢。在普及仿真实习技术的过程中,作者到过几十所大学,得到各大学领导和专业教师的热情接待和帮助,他们在仿真教学应用中曾对PS软件提出过大量修改意见,作者对软件进行了396次修改,对各位老师表示衷心感谢。本书定性仿真有关SDG-HAZOP建模、部分案例和SDG故障诊断案例采用了张贝克副教授研发的软件和企业应用中的有关内容,在此表示衷心感谢。

作者期待着本书作为一部入门的教科书,能够为大学本科学生与读者提供仿真科学与技术的基础理论、实用方法和工业实践知识。

作者期待着本书能够作为一本启蒙书,能够吸引众多优秀人才加入到系统仿真的队伍中来,发挥他们的才能和智慧,开创我国仿真科学与技术的光辉未来!

吴重光

2008年10月于北京化工大学

《全国高等学校自动化专业系列教材》丛书书目

教材类型	编号	教材名称	主编/主审	主编单位	备注
本科生教材					
控制理论与工程	Auto-2-(1+2)-V01	自动控制原理(研究型)	吴麒、王诗宓	清华大学	
	Auto-2-1-V01	自动控制原理(研究型)	王建辉、顾树生/杨自厚	东北大学	
	Auto-2-1-V02	自动控制原理(应用型)	张爱民/黄永宣	西安交通大学	
	Auto-2-2-V01	现代控制理论(研究型)	张嗣瀛、高立群	东北大学	
	Auto-2-2-V02	现代控制理论(应用型)	谢克明、李国勇/郑大钟	太原理工大学	
	Auto-2-3-V01	控制理论 CAI 教程	吴晓蓓、徐志良/施颂椒	南京理工大学	
	Auto-2-4-V01	控制系统计算机辅助设计	薛定宇/张晓华	东北大学	
	Auto-2-5-V01	工程控制基础	田作华、陈学中/施颂椒	上海交通大学	
	Auto-2-6-V01	控制系统设计	王广雄、何朕/陈新海	哈尔滨工业大学	
	Auto-2-8-V01	控制系统分析与设计	廖晓钟、刘向东/胡佑德	北京理工大学	
Auto-2-9-V01	控制论导引	万百五、韩崇昭、蔡远利	西安交通大学		
Auto-2-10-V01	控制数学问题的 MATLAB 求解	薛定宇、陈阳泉/张庆灵	东北大学		
控制系统与技术	Auto-3-1-V01	计算机控制系统(面向过程控制)	王锦标/徐用懋	清华大学	
	Auto-3-1-V02	计算机控制系统(面向自动控制)	高金源、夏洁/张宇河	北京航空航天大学	
	Auto-3-2-V01	电力电子技术基础	洪乃刚/陈坚	安徽工业大学	
	Auto-3-3-V01	电机与运动控制系统	杨耕、罗应立/陈伯时	清华大学、华北电力大学	
	Auto-3-4-V01	电机与拖动	刘锦波、张承慧/陈伯时	山东大学	
	Auto-3-5-V01	运动控制系统	阮毅、陈维钧/陈伯时	上海大学	
	Auto-3-6-V01	运动体控制系统	史震、姚绪梁/谈振藩	哈尔滨工程大学	
	Auto-3-7-V01	过程控制系统(研究型)	金以慧、王京春、黄德先	清华大学	
	Auto-3-7-V02	过程控制系统(应用型)	郑辑光、韩九强/韩崇昭	西安交通大学	
	Auto-3-8-V01	系统建模与仿真	吴重光/吕崇德	北京化工大学	
	Auto-3-8-V01	系统建模与仿真	张晓华/薛定宇	哈尔滨工业大学	
	Auto-3-9-V01	传感器与检测技术	王俊杰/王家祯	清华大学	
	Auto-3-9-V02	传感器与检测技术	周杏鹏、孙永荣/韩九强	东南大学	
	Auto-3-10-V01	嵌入式控制系统	孙鹤旭、林涛/袁著祉	河北工业大学	
	Auto-3-13-V01	现代测控技术与系统	韩九强、张新曼/田作华	西安交通大学	
	Auto-3-14-V01	建筑智能化系统	章云、许锦标/胥布工	广东工业大学	
Auto-3-15-V01	智能交通系统概论	张毅、姚丹亚/史其信	清华大学		
Auto-3-16-V01	智能现代物流技术	柴跃廷、申金升/吴耀华	清华大学		

续表

教材类型	编号	教材名称	主编/主审	主编单位	备注
本科生教材					
信号处理与分析	Auto-5-1-V01	信号与系统	王文渊/阎平凡	清华大学	
	Auto-5-2-V01	信号分析与处理	徐科军/胡广书	合肥工业大学	
	Auto-5-3-V01	数字信号处理	郑南宁	西安交通大学	
计算机与网络	Auto-6-1-V01	单片机原理与接口技术	杨天怡、黄勤	重庆大学	
	Auto-6-2-V01	计算机网络	张曾科、阳宪惠/吴秋峰	清华大学	
	Auto-6-4-V01	嵌入式系统设计	慕春棣/汤志忠	清华大学	
	Auto-6-5-V01	数字多媒体基础与应用	戴琼海、丁贵广/林闯	清华大学	
软件基础与工程	Auto-7-1-V01	软件工程基础	金尊和/肖创柏	杭州电子科技大学	
	Auto-7-2-V01	应用软件系统分析与设计	周纯杰、何顶新/卢炎生	华中科技大学	
实验课程	Auto-8-1-V01	自动控制原理实验教程	程鹏、孙丹/王诗宓	北京航空航天大学	
	Auto-8-3-V01	运动控制实验教程	綦慧、杨玉珍/杨耕	北京工业大学	
	Auto-8-4-V01	过程控制实验教程	李国勇、何小刚/谢克明	太原理工大学	
	Auto-8-5-V01	检测技术实验教程	周杏鹏、仇国富/韩九强	东南大学	
研究生教材					
	Auto(*)-1-1-V01	系统与控制中的近代数学基础	程代展/冯德兴	中科院系统所	
	Auto(*)-2-1-V01	最优控制	钟宜生/秦化淑	清华大学	
	Auto(*)-2-2-V01	智能控制基础	韦巍、何衍/王耀南	浙江大学	
	Auto(*)-2-3-V01	线性系统理论	郑大钟	清华大学	
	Auto(*)-2-4-V01	非线性系统理论	方勇纯/袁著祉	南开大学	
	Auto(*)-2-6-V01	模式识别	张长水/边肇祺	清华大学	
	Auto(*)-2-7-V01	系统辨识理论及应用	萧德云/方崇智	清华大学	
	Auto(*)-2-8-V01	自适应控制理论及应用	柴天佑、岳恒/吴宏鑫	东北大学	
	Auto(*)-3-1-V01	多源信息融合理论与应用	潘泉、程咏梅/韩崇昭	西北工业大学	
	Auto(*)-4-1-V01	供应链协调及动态分析	李平、杨春节/桂卫华	浙江大学	

目录

CONTENTS



第 1 章 系统建模与仿真概论	1
1.1 系统建模与仿真基本概念	1
1.1.1 系统、模型与仿真	1
1.1.2 过程系统建模与仿真	1
1.2 现代建模与仿真技术的含义及其体系	4
1.3 仿真技术的特殊作用	5
1.4 过程系统仿真技术的应用	6
1.4.1 辅助训练	6
1.4.2 辅助设计	8
1.4.3 辅助生产	8
1.4.4 辅助研究	9
1.4.5 仿真技术在过程安全领域中的应用	10
1.5 习题	14
第 2 章 定量仿真建模方法	15
2.1 仿真建模概述	15
2.1.1 仿真建模分类	15
2.1.2 过程系统稳态及动态建模原理	16
2.1.3 仿真模型的评估	18
2.2 常用定量建模数学方法	20
2.2.1 初等几何法	20
2.2.2 代数方程法	23
2.2.3 动态补偿法	28
2.2.4 通道动态模型测试法	30
2.2.5 微分方程法	34
2.2.6 偏微分方程法	39
2.2.7 图论法	42
2.3 过程系统仿真建模举例	50
2.3.1 PID 控制器模型	50
2.3.2 自动控制阀的机械特性模型	52

2.3.3	自动控制阀的流通能力计算	53
2.3.4	自动控制阀的流量特性建模	54
2.3.5	离心泵特性建模	58
2.3.6	列管式热交换器传热过程建模	59
2.3.7	精馏塔系统动态建模	63
2.3.8	间歇反应系统建模	77
2.3.9	工业加热炉系统建模	94
2.3.10	65t/h 环保锅炉系统建模	106
2.4	动态仿真模型的特点及注意事项	128
2.5	习题	130
第3章 连续系统定量仿真算法		133
3.1	连续系统定量仿真算法分类	133
3.2	高阶常微分方程数值解法	134
3.2.1	数值积分原理	134
3.2.2	欧拉法及四阶龙格-库塔法积分公式	136
3.2.3	几个基本概念	137
3.2.4	常用数值积分方法及选择	141
3.3	联立方程法仿真算法	142
3.3.1	计算方法	143
3.3.2	计算程序	145
3.3.3	计算举例	146
3.4	序贯模块法仿真算法	151
3.4.1	原理简述	152
3.4.2	典型模块积分公式推导	152
3.4.3	基本模块算法	155
3.4.4	仿真程序	157
3.4.5	计算举例	157
3.4.6	程序的扩展	163
3.5	习题	166
第4章 定性仿真、建模及应用		168
4.1	定性仿真基础	168
4.1.1	定性仿真概论	168
4.1.2	定性线性代数方程及求解方法	171
4.1.3	定性常微分方程及求解	176
4.1.4	推理引擎及算法	181