

CPC CRC Press

控制手册：控制系统的行业应用

The Control Handbook: Control System Applications, Second Edition

William S. Levine

[美] 威廉·S·莱文 编著

张爱民 任志刚 等译

(第2版)下册



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

The Control Handbook:
Control System Applications, Second Edition

控制手册:控制系统的行业应用(第2版)
(下册)

[美] 威廉·S·莱文 编著

William S. Levine

University of Maryland, College Park, MD, USA

张爱民 任志刚 任晓栋
李晨 杨旻 王莹 译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

The Control Handbook: Control System Applications, Second Edition

William S. Levine

ISBN: 978-1-4200-7360-7

Copyright © 2011 by Taylor & Francis Group, LLC

CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an informa business.

All rights reserved. Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. This translation published under license.

本书中文简体版由泰勒·弗朗西斯集团有限责任公司授权西安交通大学出版社独家出版发行。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书如未贴有泰勒·弗朗西斯公司防伪标签而销售是未经授权和非法的。

陕西省版权局著作权合同登记号:图字 25-2011-215 号

图书在版编目(CIP)数据

控制手册:控制系统的行业应用:第2版.下册/[美]威廉·S·莱文(William S. Levine)编著;张爱民等译.—2版.—西安:西安交通大学出版社,2017.12.

书名原文:The Control Handbook: Control System Applications, Second Edition

ISBN 978-7-5693-0362-9

I. ①控… II. ①威… ②张… III. ①工业控制系统 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 316621 号

书 名	控制手册:控制系统的行业应用(第2版)(下册)
编 著	[美]威廉·S·莱文
译 者	张爱民 任志刚 任晓栋 李 晨 杨 旻 王 莹

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本	787 mm×1092 mm	1/16	印 张	26	字 数	602 千字
版次印次	2018 年 5 月第 1 版		2018 年 5 月第 1 次印刷			
书 号	ISBN 978-7-5693-0362-9					
定 价	109.00 元					

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

译者序

《控制手册》第2版的作者们在第1版的基础上,收录了自第1版之后200多名权威专家在控制系统方面的前沿研究,并将其从第1版的一本扩展为三本,包括《控制系统的基础》、《控制系统的行业应用》、《控制系统的先进方法》。

《控制系统的行业应用》共收录了84位权威专家在各个行业领域中进行控制系统设计及应用34个实际案例,主要涉及汽车(包括PEM燃料电池)、航空航天、机器与过程工业控制、生物医学(包括机器人手术和药物研发)、电子和通信网络等领域,以及金融资产投资组合的构建、土木建筑结构的地震响应控制、量子估计和控制、空调制冷系统的建模和控制等“特殊应用领域”。

本书译者将原书中的34个不同的控制系统设计及应用案例分为上下两册,上册由汽车、航空航天和工业过程控制领域中的18个实际应用案例组成,下册由生物医学、电子、通信网络及其他特殊应用领域的16个实际应用案例组成。

这些应用案例大多属于交叉学科,都是控制理论与技术在行业领域中的最新应用,代表着最先进的控制技术的发展方向。

本书译者期望把控制理论与方法在各行业领域中的最新应用尽早展现给读者,但鉴于书中涉及到许多不同的行业及专业术语,在翻译过程中难免有不妥之处,敬请读者谅解和指正。

在此还要感谢在翻译过程中给予帮助的张早校教授、杨卫卫教授、曾科教授、张琦教授、王锡斌教授,还要感谢为本书出版做出努力的李人厚教授,以及为本书翻译做过基础工作的控制科学与工程专业的研究生们。

张爱民

2018年3月于西安交通大学

第 2 版序言

正如你了解的那样,《控制手册》(第 1 版)反响颇佳,获得了很好的销量,很多读者告诉我们觉得这本书十分有用。对于出版者而言,这就是再版的理由;对于第 1 版的编者来说,这也是一个不利因素。第 2 版可能不会像第 1 版那么好这一风险是真实存在而且令人不安的。我尽力保证第 2 版至少会像第 1 版一样好,希望你们赞同我已经做到这一点。

我在第 2 版中进行了两个大的调整。第一,《行业应用》一书中的所有案例都是全新的。工程实践中的一个不可改变的事实是,一旦一个问题得到解决,人们就不会像它没解决时那么感兴趣了。在第 2 版中,我尽力寻找了一些特别具有启发性且令人激动的应用。

第二,我意识到根据学科分类来组织《行业应用》一书的编写是不合理的。大部分控制应用都是跨学科的。例如,一个自动控制系统包含把机械信号转变为电信号的传感器、把电信号转变为机械信号的执行机构、若干计算机以及把传感器、执行机械、计算机连接起来的通信网络,他们不属于任何一个特定的学科领域。你会发现这些实例现在是根据应用领域的分类而组织起来的,比如自动化领域和航空航天领域。

这种新的组织会带来一个小小的、但在在我看来很有趣的问题。一些很精彩的应用不适合这种新分类方法,起初我把他们归并到杂项中。有些作者认为“杂项”这个词有点负面含义而表示反对,我也同意他们的说法。经再三考虑,并咨询文学方面的朋友和查询了图书馆资料后,我把这一章节重新命名为“特殊应用”。抛开名字不谈,这些都是很有趣而且很重要的例子,我希望读者会像对待符合我分类方案的章节一样,阅读这些论文。

《先进方法》一书中涉及的领域也有了显著的改进,为此第 2 版中收录了二十几篇全新论文。一部分位于两个新的章节中:混成系统分析和设计以及网络和网络控制。

《基础》一书中也有了一些改变,主要体现在更注重抽样和离散化,这是因为现在的大部分系统都是数字的。

我很享受编辑第 2 版的过程,同时也学到了很多。我希望读者们也能享受阅读的过程并有所收获。

William S. Levine

鸣谢委员会

书中各篇论文的作者们对本书第 2 版起到了至关重要的作用,他们花费了非常多的精力进行论文创作,以至于我自己都怀疑我是否能够报答他们的辛勤劳作。真的非常感谢他们!

顾问/编辑委员会的成员为第 2 版的主题选择和作者寻找提供了很大的帮助,在此表示感谢。两位学者为本书提供了特别帮助。Davor Hrovat 负责自动化应用, Richard Braatz 在工业过程控制应用的选择方面发挥了关键作用。

我很荣幸能够在此对成就了《控制手册》(第 2 版)的人们表示感谢与认可。Taylor & Francis/CRC 出版社工程与环境科学的出版商 Nora Konopka 很久之前就在鼓励我出版这第 2 版,虽然几经波折,但我最终还是被她说服。项目协调员 Jessica Vakili 和 Kari Budyk 在与潜在作者以及同意写作论文的作者进行联系沟通方面提供了巨大帮助。此外,高级项目主管 Syed Mohamad Shajahan 非常有效地协调了出版过程中各个阶段的所有事项, Taylor & Francis/CRC 出版社的项目编辑 Richard Tressider 为我们把握方向,并进行监督和质量控制。没有以上人员及他们的帮助,就不会有第 2 版的出版;就算有,那也会比现在看到的差很多。

最重要的是,我要感谢我的妻子 Shirley Johannesen Levine,感谢她嫁给我后这么多年以来为我做的每一件事。她不仅参与了本书的编辑,而且为我的每一件工作所做的贡献都数不胜数。

William S. Levine

编辑委员会

Frank Allgöwer: 斯图加特大学系统理论和自动控制研究所, 德国斯图加特市

Tamer Başar: 伊利诺伊大学香槟分校电子与计算机工程系, 伊利诺伊州厄巴纳市

Richard Braatz: 麻省理工学院化学工程系, 马萨诸塞州剑桥市

Christos Cassandras: 波士顿大学制造工程系, 马萨诸塞州波士顿市

Davor Hrovat: 研究与先进工程, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Naomi Leonard: 普林斯顿大学机械和航空航天工程, 普新泽西州林斯顿市

Masayoshi Tomizuka: 加州大学伯克利分校机械工程系, 加利福尼亚州伯克利市

Mathukumalli Vidyasagar: 德克萨斯大学达拉斯分校生物工程系, 德克萨斯州理查森市

编者

William S. Levine, 在麻省理工学院获得了学士、硕士以及博士学位, 后加入了马里兰大学帕克分校, 目前担任电子与计算机工程系研究教授。在他的整个职业生涯中, 他一直致力于控制系统的设计和分析以及估计滤波与系统建模中的相关问题。为了理解一些有趣的控制器的结构, 他和几位神经生理学家合作, 在哺乳动物运动控制方面进行了大量的研究。

他是 1992 年 3 月出版的《基于 Matlab 的控制系统的分析和设计》的合著者之一, 该书在 1995 年 3 月出版第 2 版; 他还是 Birkhauser 出版社出版的《网络和嵌入式控制系统手册》一书的合编者之一。此外, 他是 Birkhauser 出版社控制工程系列丛书的编辑。他曾担任 IEEE 控制系统学会和美国自动控制委员会的主席, 目前担任 SIAM 控制理论及其应用特别兴趣小组的主席。

他是 IEEE 会士, IEEE 控制系统学会的杰出会员, 也是 IEEE 第三千禧奖章的获得者。他和他的合作者们由于在旋翼飞机方面的杰出研究而获得 1998 年的 Schroers 奖。此外, 他和他的另一个团队还因论文“Discrete-Time Point Processes in Urban Traffic Queue Estimation”而获得了《IEEE 自动控制学报》的优秀论文奖。

参与人

- Farhad Aghili: 加拿大太空局航天器工程部门, 加拿大魁北克 Saint-Hubert
- Juan C. Agüero: 纽卡斯尔大学电气工程和计算机科学学院, 澳大利亚新南威尔士州卡拉汉
- Andrew Alleyne: 伊利诺伊大学香槟分校机械科学与工程系, 伊利诺伊州厄巴纳
- Anuradha M. Annaswamy: 麻省理工学院机械工程系, 马萨诸塞州剑桥市
- Francis Assadian: 克莱菲尔德大学汽车工程系, 英国克莱菲尔德
- John J. Baker: 密歇根大学机械工程系, 密歇根州安阿伯市
- Matthijs L. G. Boerlage: 通用电气全球研究中心, 可再生能源系统和仪表部, 德国慕尼黑
- Michael A. Bolender: 美国空军实验室, 卓越控制科学中心, 俄亥俄州赖特-帕特森空军基地
- Dominique Bonvin: 瑞士联邦理工学院洛桑分校自动控制实验室, 瑞士洛桑
- Francesco Borrelli: 加州大学伯克利分校机械工程系, 加州伯克利
- Richard D. Braatz: 伊利诺伊大学香槟分校化学工程学系, 伊利诺伊州厄巴纳
- Vikas Chandan: 伊利诺伊大学香槟分校机械科学与工程系, 伊利诺伊州厄巴纳
- Panagiotis D. Christofides: 加州大学洛杉矶分校化学与生物分子工程系、电气工程系, 加州洛杉矶
- Francesco Alessandro Cuzzola: Danieli Automation, 意大利 Buttrio
- Raymond A. DeCarlo: 普渡大学电气和计算机工程系, 印第安纳州西拉斐特市
- Josko Deur: 萨格勒布大学机械工程及造船工程系, 克罗地亚萨格勒布
- Jaspreet S. Dhupia: 南洋理工大学机械和航空航天工程学院, 新加坡
- Stefano Di Cairano: 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市
- David B. Doman: 美国空军实验室, 卓越控制科学中心, 俄亥俄州赖特-帕特森空军基地
- Thomas F. Edgar: 德克萨斯大学奥斯汀分校化学工程学系, 德克萨斯州奥斯汀市
- Atilla Eryilmaz: 美国俄亥俄州立大学电子和计算机工程部门, 俄亥俄州哥伦布市
- Paolo Falcone: 查尔姆斯理工学院信号与系统系, 瑞典 Goteborg
- Thor I. Fossen: 挪威科技大学工程控制论及船舶和海洋中心结构系, 挪威特隆赫姆
- Grégory François: 瑞士联邦理工学院洛桑分校自动控制实验室, 瑞士洛桑
- Henri P. Gavin: 杜克大学土木与环境工程系, 北卡罗来纳州达勒姆
- Veysel Gazi: TOBB 大学电气电子工程系, 土耳其安卡拉
- Hans P. Geering: 瑞士联邦理工学院测量和控制实验室, 瑞士苏黎世
- Alvaro E. Gil: 施乐研究中心, 纽约韦伯斯特
- Graham C. Goodwin: 纽卡斯尔大学电气工程和计算机科学学院, 澳大利亚新南威尔士州卡拉汉

Lino Guzzella: 瑞士联邦理工学院, 瑞士苏黎世

Michael A. Henson: 马萨诸塞大学阿姆斯特分校化学工程学系, 马萨诸塞州阿姆赫斯特

Raymond W. Holsapple: 美国空军实验室, 卓越控制科学中心, 俄亥俄州赖特-帕特森空军基地

Seunghyuck Hong: 麻省理工学院机械工程系, 马萨诸塞州剑桥市

Karlene A. Hoo: 德克萨斯理工大学化学工程学系, 德克萨斯州卢博克市

Davor Hrovat: 研发和先进工程部, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Gangshi Hu: 加州大学洛杉矶分校化学与生物分子工程系, 加州洛杉矶

Neera Jain: 伊利诺伊大学香槟分校机械科学与工程部门, 伊利诺伊州厄巴纳

Matthew R. James: 澳大利亚国立大学工程和计算机科学学院, 澳大利亚堪培拉

Mrdjan Jankovic: 研发和先进工程部, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Mustafa Khammash: 加利福尼亚大学圣巴巴拉分校机械工程系, 加州圣塔芭芭拉

Ilya Kolmanovsky: 研发和先进工程部, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Robert L. Kosut: SC 公司, 加州森尼维尔市

Rajesh Kumar: 美国约翰霍普金斯大学计算机科学系, 马里兰州巴尔的摩市

Katrina Lau: 纽卡斯尔大学计算机科学系, 澳大利亚新南威尔士州卡拉汉

Bin Li: 伊利诺伊大学香槟分校机械科学与工程系, 伊利诺伊州厄巴纳

Mingheng Li: 加州州立理工大学化学和材料工程系, 加州波莫纳

Rongsheng (Ken) Li: 波音公司, 加州埃尔塞贡多

Jianbo Lu: 研发和先进工程部, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Stephen Magner: 研发和先进工程部, 福特汽车公司, 密歇根州迪尔伯恩市

Amir J. Matlock: 密歇根大学航空航天工程系, 密歇根州安阿伯市

Lalit K. Mestha: 施乐研究中心, 纽约韦伯斯特

Roel J. E. Merry: 爱因霍芬科技大学机械工程系, 荷兰爱因霍芬

Marinus J. van de Molengraft: 爱因霍芬科技大学机械工程系, 荷兰爱因霍芬

Brian Munsky: 洛斯阿拉莫斯国家实验室, CCS-3 和非线性研究中心, 新墨西哥州洛斯阿拉莫斯

Zoltan K. Nagy: 拉夫堡大学化学工程系, 英国拉夫堡

Jason C. Neely: 普渡大学电子与计算机工程系, 印第安纳州西拉斐特市

Babatunde Ogunnaike: 特拉华大学化学工程系, 特拉华州纽瓦克

Michael W. Oppenheimer: 美国空军实验室, 卓越控制科学中心, 俄亥俄州赖特-帕特森空军基地

Gerassimos Orkoulas: 加州大学洛杉矶分校化学与生物分子工程系, 加州洛杉矶

Rich Otten: 伊利诺伊大学香槟分校机械科学与工程系, 伊利诺伊州厄巴纳

Thomas Parisini: 的里雅斯特大学电气电子工程系, 意大利的里雅斯特

Kevin M. Passino: 美国俄亥俄州立大学电子与计算机工程系, 俄亥俄州哥伦布市

Steven D. Pekarek: 普渡大学电子与计算机工程系, 印第安纳州西拉斐特市

Tristan Perez: 纽卡斯尔大学工程学院, 澳大利亚新南威尔士州卡拉汉; 挪威科技大学船舶和

海洋结构中心,挪威特隆赫姆

Michael J. Piovoso: 宾夕法尼亚州立大学研究生学院,宾夕法尼亚州莫尔文

Giulio Ripaccioli: 锡耶纳大学信息化工程系,意大利锡耶纳

Charles E Rohrs: Rohrs 咨询公司,马萨诸塞州牛顿

Michael J. C. Ronde: 爱因霍芬科技大学机械工程系,荷兰爱因霍芬

Melanie B. Rudoy: 麻省理工学院电子与计算机科学系,马萨诸塞州剑桥市

Michael Santina: 波音公司,加利福尼亚州密封海滩

Antonio Sciarretta: IFP Energies Nouvelles,法国 Rueil-Malmaison

Jeff T. Scruggs: 杜克大学土木与环境工程系,北卡罗来纳州达勒姆

Srinivas Shakkottai: 德州农工大学电子与计算机工程系,德克萨斯州大学站

Jason B. Siegel: 密歇根大学机械工程系,密歇根州安阿伯市

Eduardo I. Silva: 费德里科·圣玛丽亚技术大学电子工程系,智利瓦尔帕莱索

Masoud Soroush: 德雷塞尔大学化学和生物工程系,宾夕法尼亚州费城

Anna G. Stefanopoulou: 密歇根大学机械工程系,密歇根州安阿伯市

Maarten Steinbuch: 爱因霍芬科技大学机械工程系,荷兰爱因霍芬

Hongtei E. Tseng: 研发和先进工程部,福特汽车公司,密歇根州迪尔伯恩市

A. Galip Ulsoy: 密歇根大学机械工程系,密歇根州安阿伯市

M. Vidyasagar: 德克萨斯大学达拉斯分校生物工程学系,德克萨斯州理查森

Meng Wang: 纽卡斯尔大学电气工程和计算机科学学院,澳大利亚新南威尔士州卡拉汉

Diana Yanakiev: 研发和先进工程部,福特汽车公司,密歇根州迪尔伯恩市

Xinyu Zhang: 加州大学洛杉矶分校化学与生物分子工程系,加州洛杉矶

目 录

译者序	1
第 2 版序言	1
鸣 谢	1
编辑委员会	1
编 者	1
参与人	1

第四部分 生物和医学领域

第 19 章 基于模型的生化反应器控制	(3)
19.1 引言	(3)
19.2 生化反应器技术	(3)
19.3 生物反应器的监测与控制	(5)
19.4 生化反应器的动力学建模	(6)
19.5 连续操作模式	(6)
19.6 间歇和流加操作模式	(8)
19.7 生化反应器的工艺流程控制	(10)
19.8 连续式生化反应器	(11)
19.9 流加式生物反应器	(14)
19.10 展望	(15)
19.11 术语定义	(16)
19.12 补充信息	(17)
致谢	(17)
参考文献	(17)
第 20 章 机器人手术	(20)
20.1 引言	(20)
20.2 机器人手术系统	(21)
20.3 计算机控制的机器人	(24)
20.4 遥操作	(25)
20.5 协同控制	(26)
20.6 NOTES 和柔性机器人	(27)
20.7 应用	(27)

20.8 前景	(28)
参考文献	(29)
第 21 章 随机基因表达:建模、分析与辨识	(31)
21.1 引言	(31)
21.2 随机化学动力学	(32)
21.3 随机分析工具	(36)
21.4 参数辨识	(40)
21.5 实例	(42)
致谢	(48)
参考文献	(49)
第 22 章 将人体作为动力学系统进行建模:在药物开发中的应用与发展	(52)
22.1 引言	(52)
22.2 药物开发中的危机	(52)
22.3 药物开发的系统化方法	(55)
22.4 两个成功的案例	(55)
22.5 将人体作为动力学系统进行建模的几点思考	(57)
22.6 结论	(59)
参考文献	(59)

第五部分 电子领域

第 23 章 无刷直流电机控制	(63)
23.1 经二次规划的无刷直流电机转矩最优控制	(63)
23.2 优化相电流	(64)
23.3 可达到的最大转矩	(68)
23.4 实验特性	(68)
23.5 性能测试	(71)
23.6 基于空间频率分析的换向律	(74)
23.7 基于傅里叶级数的电机转矩建模和控制	(75)
23.8 高速状态下换向律的改进	(78)
23.9 无刷电机励磁电流的自适应再整形	(81)
23.10 基于电感矩阵的电机建模	(81)
23.11 自适应控制	(83)
23.12 实验	(87)
23.13 估计参数的历史曲线	(89)
参考文献	(90)

第 24 章 升压变换器混合模型预测控制	(93)
24.1 引言	(93)
24.2 升压变换器的混合状态模型	(94)
24.3 连续时间 EOCP 的公式化表示	(95)
24.4 HMPC 设计	(96)
24.5 数值优化算法	(99)
24.6 硬件实现	(103)
24.7 小结	(106)
参考文献	(106)

第六部分 网络领域

第 25 章 网络化控制的 SNR 方法	(111)
25.1 引言	(111)
25.2 启发式案例的研究:WCDMA 的功率控制	(112)
25.3 NCS 分析的常规设置	(115)
25.4 SNR 受限的 AWN 信道的控制架构	(116)
25.5 SNR 受限的 AWN 信道的 NCS 的优化设计	(118)
25.6 通信约束向 SNR 约束的转化	(124)
25.7 SNR 方法在 WCDMA 功率控制中的应用	(132)
25.8 结论	(135)
致谢	(135)
参考文献	(135)
第 26 章 通信网络的优化与控制	(138)
26.1 引言	(138)
26.2 网络效用最大化	(139)
26.3 公平	(140)
26.4 分布式控制及其稳定性	(141)
26.5 分布式效用最大化的原始算法	(143)
26.6 分布式效用最大化的对偶算法	(144)
26.7 无线网络的跨层设计	(146)
26.8 小结	(151)
参考文献	(152)

第七部分 特殊应用领域

第 27 章 先进的运动控制设计方法	(157)
---------------------------------	-------

27.1	引言	(157)
27.2	运动系统	(158)
27.3	前馈控制设计	(160)
27.4	反馈控制设计	(162)
27.5	计量型 AFM 的控制设计	(167)
27.6	小结	(179)
	参考文献	(180)
第 28 章	颜色控制:一种先进的反馈系统	(182)
28.1	引言	(182)
28.2	系统概述	(183)
28.3	颜色控制:一种现代的反馈方法	(185)
28.4	过程控制	(210)
28.5	总结	(214)
	参考文献	(216)
第 29 章	金融资产投资组合的建立:最优随机控制方法的一个应用	(219)
29.1	引言	(219)
29.2	Markowitz 的均值-方差投资组合理论	(220)
29.3	建立收益关于时间的模型	(226)
29.4	多阶段离散时间投资组合问题的优化	(230)
29.5	连续时间投资组合问题的优化	(235)
29.6	最后的讨论	(239)
	参考文献	(239)
第 30 章	土木建筑结构的地震响应控制	(241)
30.1	引言	(241)
30.2	地震干扰模型	(245)
30.3	控制设计的性能指标	(248)
30.4	控制设计	(250)
30.5	非理想的装置模型	(257)
30.6	例子	(260)
30.7	总结	(263)
	参考文献	(265)
第 31 章	量子估计与控制	(267)
31.1	引言	(267)
31.2	若干量子力学知识	(271)
31.3	量子估计与控制方法	(276)
31.4	量子估计	(279)
31.5	最优量子反馈控制	(294)

致谢	(305)
参考文献	(305)
第 32 章 海上船舶的运动控制	(312)
32.1 系统结构与控制目标	(312)
32.2 海上船舶的刚体动力学	(314)
32.3 操纵性水动力学及其模型	(319)
32.4 耐波性水动力学及其模型	(323)
32.5 航道中的操纵性运动模型	(331)
32.6 船舶运动控制系统的设计	(332)
32.7 示例:水面船舶的定位控制	(338)
32.8 示例:水面船舶的航向保持自动驾驶仪	(342)
32.9 总结	(344)
参考文献	(345)
第 33 章 不稳定振荡流的控制	(348)
33.1 引言	(348)
33.2 燃烧振荡	(349)
33.3 冲击射流	(358)
致谢	(368)
参考文献	(370)
第 34 章 空调制冷系统的建模与控制	(374)
34.1 引言	(374)
34.2 AC&R 系统的基本原理	(375)
34.3 基本的系统动力学	(379)
34.4 基本的控制方法	(384)
34.5 先进的控制设计	(389)
34.6 结束语	(390)
术语	(390)
参考文献	(392)

