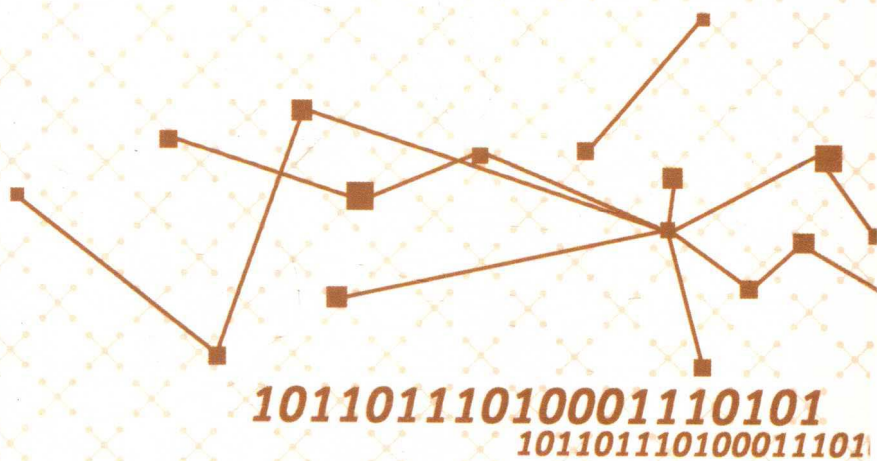


“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学精品教材



丛爽匡森/著

量子系统 控制理论与方法

*Control Theory and Methods of
Quantum Systems*

中国科学技术大学出版社

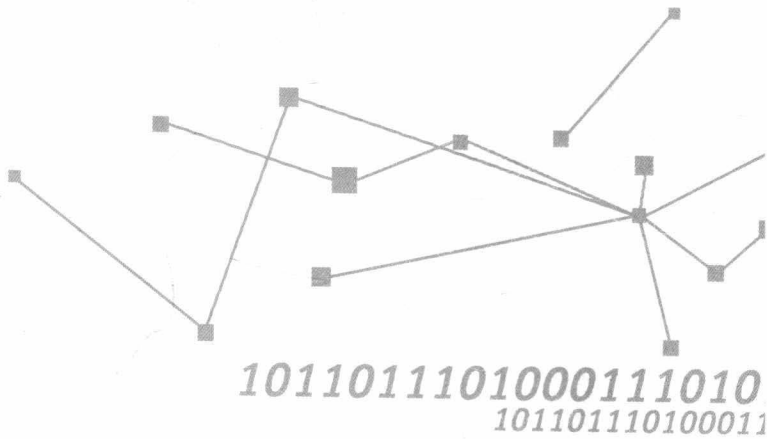
0413
J441

阅 览



“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 **精品** 教材



丛 爽 匡 森 / 著

Control Theory and Methods of Quantum Systems

量子系统 控制理论与方法



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书从量子系统状态与 Bloch 球的几何关系以及二阶含时量子系统状态演化的一种求解方法入手,分别对封闭和开放量子系统的控制理论与方法的原理、性能分析、控制律设计、系统仿真实验及其结果分析进行了系统深入的介绍.在封闭量子系统的控制理论与方法中,主要内容包括:基于 Krotov 法的量子最优控制、改进的量子最优控制方法、基于最优搜索步长的量子控制、平均最优控制在量子系统中的应用、自旋 $1/2$ 粒子系统的相位相干控制、高维自旋 $1/2$ 系统布居数转移的控制等;在基于李雅普诺夫稳定定理的量子系统控制理论中,分别介绍了基于距离、偏差和虚拟力学量均值的李雅普诺夫控制方法,并且分别针对本征态制备和一般态转移的控制方法进行了专门的介绍;在基于李雅普诺夫量子系统控制理论的收敛性分析方面,分别就理想条件与退化情况进行了收敛的李雅普诺夫控制的具体设计与收敛性证明;在开放量子系统的控制理论与方法中,分别给出了纠缠态的探测与制备、布居数转移、纯度保持、耗散补偿的理论与方法,有关开放量子系统控制理论与方法的主要内容包括:无消相干子空间中量子态的控制与保持和动力学解耦量子控制方法.本书还对量子系统的跟踪控制理论进行了专门的讨论.

本书可以作为控制科学与工程领域中有关量子控制理论与方法的研究生教材,也可以作为量子物理化学、量子信息与通信以及对量子系统控制感兴趣的电子、力学工程、应用数学、计算科学等领域中的研究生和科研人员的参考书籍.

图书在版编目(CIP)数据

量子系统控制理论与方法/丛爽,匡森著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.8
(中国科学技术大学精品教材)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03198-4

I. 量… II. ①丛… ②匡… III. 量子—控制系统理论—高等学校—教材
IV. ①O413 ②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 162078 号

中国科学技术大学出版社出版发行

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

安徽省瑞隆印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:31 插页:2 字数:774 千

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

定价:55.00 元



编审委员会

主 任 侯建国

副主任 窦贤康 陈初升
张淑林 朱长飞

委 员 (按姓氏笔画排序)

方兆本	史济怀	古继宝	伍小平
刘 斌	刘万东	朱长飞	孙立广
汤书昆	向守平	李曙光	苏 淳
陆夕云	杨金龙	张淑林	陈发来
陈华平	陈初升	陈国良	陈晓非
周学海	胡化凯	胡友秋	俞书勤
侯建国	施蕴渝	郭光灿	郭庆祥
奚宏生	钱逸泰	徐善驾	盛六四
龚兴龙	程福臻	蒋 一	窦贤康
褚家如	滕脉坤	霍剑青	

总 序

2008年,为庆祝中国科学技术大学建校五十周年,反映建校以来的办学理念和特色,集中展示教材建设的成果,学校决定组织编写出版代表中国科学技术大学教学水平的精品教材系列.在各方的共同努力下,共组织选题281种,经过多轮、严格的评审,最后确定50种入选精品教材系列.

五十周年校庆精品教材系列于2008年9月纪念建校五十周年之际陆续出版,共出书50种,在学生、教师、校友以及高校同行中引起了很好的反响,并整体进入国家新闻出版总署的“十一五”国家重点图书出版规划.为继续鼓励教师积极开展教学研究与教学建设,结合自己的教学与科研积累编写高水平的教材,学校决定,将精品教材出版作为常规工作,以《中国科学技术大学精品教材》系列的形式长期出版,并设立专项基金给予支持.国家新闻出版总署也将该精品教材系列继续列入“十二五”国家重点图书出版规划.

1958年学校成立之时,教员大部分来自中国科学院的各个研究所.作为各个研究所的科研人员,他们到学校后保持了教学的同时又作研究的传统.同时,根据“全院办校,所系结合”的原则,科学院各个研究所在科研第一线工作的杰出科学家也参与学校的教学,为本科生授课,将最新的科研成果融入到教学中.虽然现在外界环境和内在条件都发生了很大变化,但学校以教学为主、教学与科研相结合的方针没有变.正因为坚持了科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合的方针,并形成了优良的传统,才培养出了一批又一批高质量的人才.

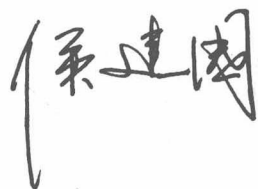
学校非常重视基础课和专业基础课教学的传统,也是她特别成功的原因之一.当今社会,科技发展突飞猛进、科技成果日新月异,没有扎实的基础知识,很难在科学技术研究中作出重大贡献.建校之初,华罗庚、吴有训、严济慈等老一辈科学家、教育家就身体力行,亲自为本科生讲授基础课.他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德,带出一批又一批杰出的年轻教员,培养了一届又一届优秀学生.入选精品教材系列的绝大部分是基础课或专业基础课的教材,其作者大多直接或间接受到过这些老一辈科学家、教育家的教诲和影响,因此在教材中也贯穿着这些先辈的教育教学理念与科学探索精神.

改革开放之初,学校最先选派青年骨干教师赴西方国家交流、学习,他们在带回先进科学技术的同时,也把西方先进的教育理念、教学方法、教学内容等带回到中国科学技术大学,并以极大的热情进行教学实践,使“科学与技术相结合、理论与实践相结合、

教学与科研相结合”的方针得到进一步深化,取得了非常好的效果,培养的学生得到全社会的认可.这些教学改革影响深远,直到今天仍然受到学生的欢迎,并辐射到其他高校.在入选的精品教材中,这种理念与尝试也都有充分的体现.

中国科学技术大学自建校以来就形成的又一传统是根据学生的特点,用创新的精神编写教材.进入我校学习的都是基础扎实、学业优秀、求知欲强、勇于探索和追求的学生,针对他们的具体情况编写教材,才能更加有利于培养他们的创新精神.教师们坚持教学与科研的结合,根据自己的科研体会,借鉴目前国外相关专业有关课程的经验,注意理论与实际应用的结合,基础知识与最新发展的结合,课堂教学与课外实践的结合,精心组织材料、认真编写教材,使学生在掌握扎实的理论基础的同时,了解最新的研究方法,掌握实际应用的技术.

入选的这些精品教材,既是教学一线教师长期教学积累的成果,也是学校教学传统的体现,反映了中国科学技术大学的教学理念、教学特色和教学改革成果.希望该精品教材系列的出版,能对我们继续探索科教紧密结合培养拔尖创新人才,进一步提高教育教学质量有所帮助,为高等教育事业作出我们的贡献.



中国科学技术大学校长
中国科学院院士
第三世界科学院院士

前 言

最近十年来,量子系统控制理论与方法的研究在世界范围内越来越得到人们广泛的关注.有关量子系统控制的研究是一个多学科领域的交叉研究,直到今日,量子控制仍然是一个快速发展的研究方向,由于量子系统本身特性的缘故,提出了很多需要面对的、找到解决方案的科学问题.经过科学家们的不断努力,已经开始具有相当的能力来将宏观系统中的控制理论与方法拓展到量子系统控制中,并进一步开发出量子系统控制理论与方法.有关量子系统控制理论与方法的发展将能够推动量子信息、量子计算和量子通信的进步,为相关研究领域中的研究人员、科学家和工程师们开启解决问题的另一种途径,为系统地控制量子系统提供新的理论和方法.

本书是有关微观世界中的量子系统控制理论与方法的专业书籍,系统地介绍了有关的量子系统控制理论与方法的原理、性能分析、设计、系统仿真及实验结果的分析.本书作者都是率先在国内进行量子系统控制研究的研究者,具有十多年来在量子系统控制方面的研究经历和成果.本书第一作者在2006年就写过有关量子系统控制与方法的书——《量子力学系统控制导论》(ISBN 7-03-016474-1),由科学出版社出版.该书的内容包括量子力学系统的模型、特性分析以及控制理论基础、李群和李代数及其应用、么正演化算符分解及其实现、双线性系统及其控制、量子系统可控性与可达性、量子系统的反馈控制、混合态与纠缠态及其特性分析、量子系统的几何代数、最优控制、量子测量、反馈相干控制及其量子系统的应用等.所以本书是作者写的第二本有关量子系统控制与方法的书,是一本具有较深研究程度的参考书籍.作者建议初学者先阅读《量子力学系统控制导论》,然后再阅读本书.

在量子信息、量子计算和量子通信中存在许多需要解决的问题,所有问题最终都可以归结为量子系统中的控制问题.量子系统控制与方法就是专门用来解决这些问题的.本书中所写的内容都是近年来作者所在的研究小组的研究成果.它们是宏观控制理论与微观量子系统特性相结合的结晶.书中所开发出的量子系统控制理论与方法对于现有的量子物理、量子化学、量子计算、量子通信和量子信息中存在的问题的解决具有潜在的可能性.

本书具有以下特点:结合量子系统本身的物理和(或)化学特性,强调从原理和物理背景出发去研究量子系统的控制问题;所有的控制问题都有理论分析和控制律的推

导,确保设计出的控制策略具有可靠的理论基础;从不同的侧面和角度,并采用不同的方法对系统特性进行分析;所有的控制策略的效果都通过系统仿真实验进行效果的观察和结果的对比分析;对所存在的问题进行逐步深入的原因分析,尽可能地采用可行的办法加以解决;对所设计的控制器的收敛性从理论上进行严格的数学证明.结合宏观世界中的系统控制理论,本书特别注意挖掘量子系统本身所具有的特点和由此所带来的可以利用以及所要注意的性能;借用物理、化学中已有的处理方法,应用到量子系统控制的设计中,加以巧妙利用,使其成为量子系统控制的有效工具.通过本书,读者可以掌握一些在量子系统控制的设计方面行之有效的设计方法,很快进入该研究领域进行更加深入的研究.

本书可以作为控制科学与工程领域中有关量子控制理论与方法的研究生教材,也可以作为量子物理化学、量子信息与通信以及对量子系统控制感兴趣的电子、力学工程、应用数学、计算科学等领域中的研究生和科研人员的参考书籍.阅读本书的基础是具有大学本科的量子力学导论的知识,不过本科生的读者需要一些高等数学和代数知识的预习.作者写本书的目的是:一方面,给有志于进行有关量子系统控制研究的读者提供一个继续深入学习和掌握量子系统分析以及控制策略设计的平台,使之能够很快地掌握相关方面的理论及数学设计技巧,有利于进行更深入的研究;另一方面,给熟悉量子动力学系统但缺少控制理论背景的研究生提供系统控制的理论与方法的工具,同时给在量子工程与量子信息方面具有实际经验的研究人员提供一本参考书.

本书是在大量的研究成果的基础上精心选择和纂写而成的,主要集中在量子系统控制理论与方法上,一共分两大部分:封闭量子系统和开放量子系统的控制理论与方法.封闭量子系统的控制理论与方法包括:几何控制、棒棒控制、改进的最优控制策略、基于 Krotov 的最优控制.由于量子最优控制是最流行的量子控制方法,我们在《量子力学系统控制导论》中已经有专门章节进行了介绍,所以本书不再重复,不过整本书中有好几处都涉及最优控制理论.基于李雅普诺夫的量子控制方法是本书的亮点,用四章来介绍此控制方法,其中两章分别为本征态转移控制和一般态转移,一般态转移包括叠加态、混合态等;专门用一章来讨论基于李雅普诺夫量子控制方法的收敛性问题;还有一章专门用来处理退化情况下的控制问题.其他类型状态的操纵如纠缠态的制备、混合态的纯化以及量子态的 Schmidt 分解专门安排一章.用六章来讨论开放量子系统模型、状态制备及其控制方法.用一章来讨论纠缠态的探测与制备.还用一章来介绍开放量子系统的马尔可夫与非马尔可夫模型,在开放量子系统状态调控方面,涉及 Lindblad 主方程的最优布居数转移、相互作用粒子的纯度保持、基于相互作用的耗散补偿以及弱测量及其在开放系统控制中的应用.无消相干子空间中量子态的控制与保持本书也用一章来进行讨论.动力学解耦量子控制方法本书也专门用一章来研究.和经典系统控制一样,量子系统控制也可分为状态调节与轨迹跟踪控制,我们用一章专门讨论量子系统的跟踪控制.最后一章是量子系统控制的具体应用.

本书的内容主要由第一作者及其所指导的研究生合作完成,第二作者主要合作完成了1.3节、3.2节、4.1~4.3节、4.5节、6.1~6.2节及6.3节部分内容,并完成了全书公式、图表、参考文献等排序工作.在此有必要对所有的合作者表示感谢,他们分别是:已经毕业的博士生楼越升和杨洁;已经毕业的硕士生张媛媛和产林平;在读博士生孟芳芳、杨霏、刘建秀和温杰;在读硕士生朱亚萍.

丛 爽 匡 森

2012年10月30日

于中国科学技术大学

目次

总序	(i)
前言	(iii)
第 1 章 概论	(1)
1.1 量子系统控制的发展状况	(1)
1.2 量子分子动力学中的操纵技术及其系统控制理论	(5)
1.2.1 量子分子动力学的操纵技术	(6)
1.2.2 激光脉冲成型操纵技术	(10)
1.2.3 波包泵浦-当浦方案	(11)
1.2.4 量子分子动力学的控制理论	(11)
1.2.5 系统么正演化矩阵的控制	(14)
1.2.6 几何控制	(16)
1.2.7 量子最优控制理论	(17)
1.2.8 基于李雅普诺夫稳定性理论的量子控制方法	(18)
1.3 量子系统中状态估计方法	(19)
1.3.1 量子系统状态估计的背景	(20)
1.3.2 基于测量全同复本系统的量子状态估计方法	(21)
1.3.3 基于系统论观点的量子状态重构方法	(24)
1.4 开放量子系统消相干控制研究进展	(26)
1.4.1 量子系统中的消相干现象	(26)
1.4.2 抑制消相干的控制策略	(27)
1.5 开放量子系统量子态相干保持的控制策略	(29)
1.5.1 编码方法	(31)
1.5.2 量子动力学解耦	(32)
1.5.3 最优控制法	(33)
1.5.4 相干控制法	(34)
1.5.5 反馈控制法	(34)
1.5.6 复合控制	(35)
1.6 本书内容安排	(37)

第2章 量子系统模型的求解与分析	(40)
2.1 量子系统状态与 Bloch 球的几何关系	(40)
2.1.1 纯态与 Bloch 矢量的对应关系	(41)
2.1.2 混合态的 Bloch 球几何表示	(43)
2.1.3 小结	(45)
2.2 纯态与混合态的几何代数分析	(45)
2.2.1 纯态的几何代数表示方法	(45)
2.2.2 混合态的几何代数表示方法	(47)
2.2.3 几何代数表示方法与 Bloch 矢量的对应关系	(48)
2.3 二阶含时量子系统状态演化的一种求解方法	(49)
2.3.1 时变系统矩阵的一般分析	(50)
2.3.2 时变系统矩阵的变换	(52)
2.3.3 基于系统矩阵本征值和本征态的简化运算	(53)
2.3.4 应用举例	(55)
2.4 基于 Bloch 球的量子系统轨迹控制	(58)
2.4.1 单量子比特的 Bloch 球表示	(58)
2.4.2 单自旋 $1/2$ 粒子的控制	(59)
2.4.3 数值仿真实验及其结果分析	(62)
第3章 封闭量子系统的控制方法	(65)
3.1 基于 Krotov 法的量子最优控制	(65)
3.1.1 量子系统中的最优控制方法	(66)
3.1.2 改进的量子最优控制方法	(68)
3.1.3 Krotov 最优控制设计方法	(68)
3.1.4 数值仿真实验及其性能分析	(70)
3.2 基于最优搜索步长的量子控制	(72)
3.2.1 最优控制律的求解	(73)
3.2.2 自旋 $1/2$ 粒子系统的应用实例	(76)
3.3 平均最优控制在量子系统中的应用	(77)
3.3.1 利用平均方法进行最优控制	(79)
3.3.2 控制器的设计	(80)
3.3.3 数值仿真实验及其结果分析	(82)
3.3.4 小结	(85)
3.4 自旋 $1/2$ 粒子系统的相位相干控制	(85)
3.4.1 相干态的制备	(86)
3.4.2 数值仿真实验及其结果分析	(89)
3.4.3 小结	(92)
3.5 高维自旋 $1/2$ 系统布居数转移的控制	(93)
3.5.1 控制脉冲与系统哈密顿量的关系	(93)

3.5.2 控制脉冲序列的设计	(95)
3.5.3 数值仿真实验及其结果分析	(96)
3.6 两种量子系统控制方法的性能对比	(100)
3.6.1 封闭量子系统的控制律	(101)
3.6.2 数值仿真实验及其结果分析	(104)
3.6.3 小结	(111)
第4章 基于李雅普诺夫的量子系统控制理论:本征态制备	(113)
4.1 基于距离的李雅普诺夫控制方法	(114)
4.1.1 量子状态之间的距离	(114)
4.1.2 控制律的设计	(115)
4.1.3 控制系统收敛性分析	(117)
4.1.4 自旋 $1/2$ 系统的数值仿真	(121)
4.2 基于偏差的李雅普诺夫控制方法	(123)
4.2.1 控制律的设计	(123)
4.2.2 控制系统收敛性分析	(124)
4.2.3 系统数值仿真	(125)
4.3 基于虚拟力学量均值的李雅普诺夫控制方法	(126)
4.3.1 控制律的设计	(126)
4.3.2 控制系统收敛性分析	(127)
4.3.3 虚拟力学量的构造	(128)
4.3.4 系统数值仿真	(129)
4.4 三种李雅普诺夫控制方法的比较	(130)
4.4.1 对一个五能级系统控制效果的仿真及分析	(130)
4.4.2 三个李雅普诺夫函数之间的关系及其统一形式	(132)
4.4.3 三种方法的控制特性比较	(133)
4.5 向量控制律的设计	(134)
4.5.1 设计方法	(134)
4.5.2 控制系统收敛性分析	(135)
4.5.3 双控制场情况下的数值仿真	(137)
第5章 基于李雅普诺夫的量子系统控制理论:一般态转移	(139)
5.1 叠加态的驱动	(139)
5.1.1 控制律的设计	(139)
5.1.2 数值仿真实验及其结果分析	(142)
5.2 纯态的最优控制	(145)
5.2.1 控制律的设计	(145)
5.2.2 数值仿真实验及其结果分析	(148)
5.3 混合态的最优控制	(151)

5.3.1 混合态的描述	(151)
5.3.2 控制律的设计	(152)
5.3.3 数值仿真实验及其结果分析	(156)
5.4 纯态到混合态的驱动	(161)
5.4.1 纯态到本征态的驱动	(161)
5.4.2 本征态到非零值非对角元混合态的驱动	(162)
5.4.3 非零值非对角元混合态到零值非对角元混合态的驱动	(164)
5.4.4 数值仿真实验及其结果分析	(165)
5.5 量子位有效纯态的制备	(168)
5.5.1 系统模型	(169)
5.5.2 控制律的设计	(170)
5.5.3 数值仿真实验及其结果分析	(171)
第6章 基于李雅普诺夫量子系统控制理论:收敛性分析	(173)
6.1 理想条件下混合态量子系统的控制策略	(173)
6.1.1 基本概念	(173)
6.1.2 控制律的设计	(174)
6.1.3 拉塞尔不变集	(175)
6.1.4 收敛性分析	(178)
6.1.5 P 的构造	(178)
6.2 广义条件下混合态量子系统的控制策略	(180)
6.2.1 密度矩阵的 Bloch 矢量体系	(180)
6.2.2 控制系统的收敛状态集	(181)
6.2.3 P 的构造	(181)
6.2.4 构造实例	(182)
6.3 基于轨迹规划方法的一种控制策略	(184)
6.3.1 问题的描述	(184)
6.3.2 控制律的设计	(185)
6.3.3 李雅普诺夫函数的分析	(186)
6.3.4 收敛性证明	(188)
6.3.5 数值仿真实验及其结果分析	(199)
第7章 退化情况下的李雅普诺夫控制方法	(204)
7.1 基于状态距离的隐式李雅普诺夫方法	(204)
7.1.1 控制律的设计	(205)
7.1.2 控制系统收敛性证明	(212)
7.1.3 数值仿真实验	(219)
7.1.4 小结	(220)
7.2 基于状态偏差的隐式李雅普诺夫控制方法	(221)

7.2.1	控制律的设计	(221)
7.2.2	控制系统收敛性证明	(225)
7.2.3	基于距离和偏差方法之间的关系	(229)
7.2.4	数值仿真实验	(230)
7.3	基于虚拟力学量均值的隐式李雅普诺夫控制方法	(233)
7.3.1	控制律的设计	(233)
7.3.2	控制系统收敛性证明	(238)
7.3.3	目标态为叠加态时的情况	(242)
7.3.4	三种隐式李雅普诺夫函数的关系	(242)
7.3.5	数值仿真实验	(243)
7.3.6	小结	(247)
7.4	任意状态转移的隐式李雅普诺夫控制方法	(247)
7.4.1	控制系统模型	(248)
7.4.2	控制律的设计	(248)
7.4.3	控制系统收敛性分析	(252)
7.4.4	数值仿真实验	(256)
7.4.5	小结	(257)
第 8 章	纠缠态的探测与制备	(258)
8.1	纠缠探测与纠缠测量	(258)
8.1.1	纠缠态的表示	(259)
8.1.2	分离判据	(260)
8.1.3	纠缠目击者	(261)
8.1.4	纠缠目击者在实验中的应用	(262)
8.1.5	纠缠的量化	(263)
8.1.6	非线性分离判据	(266)
8.2	量子系统的施密特分解及其几何分析	(267)
8.2.1	量子态的施密特分解	(268)
8.2.2	基于施密特分解的纠缠度定义	(269)
8.2.3	施密特分解的应用	(270)
8.2.4	小结	(273)
8.3	双自旋系统的纠缠态制备	(273)
8.3.1	相互作用图景下的系统模型	(274)
8.3.2	基于李雅普诺夫的控制律设计	(276)
8.3.3	数值仿真实验及其结果分析	(277)
8.3.4	小结	(278)

第 9 章 开放量子系统的模型 (279)

9.1 热浴环境下的马尔可夫量子系统模型 (279)

9.1.1 与热浴作用的量子系统的精确动力学方程 (281)

9.1.2 波恩主方程 (282)

9.1.3 马尔可夫主方程 (283)

9.1.4 几种常见的马尔可夫主方程 (288)

9.1.5 非马尔可夫主方程简介 (289)

9.1.6 热浴能量不守恒时的系统动力学方程 (290)

9.1.7 小结 (291)

9.2 非马尔可夫量子系统模型 (292)

9.2.1 Nakajima-Zwanzig 主方程 (294)

9.2.2 时间无卷积主方程 (295)

9.2.3 微扰形式下的非马尔可夫主方程 (295)

9.2.4 非微扰形式下的非马尔可夫主方程 (297)

9.2.5 保持正定性的非马尔可夫主方程 (298)

9.2.6 其他非马尔可夫主方程 (299)

9.2.7 非马尔可夫概率薛定谔方程 (301)

9.2.8 小结 (302)

第 10 章 开放量子系统状态调控 (303)

10.1 布居数转移最短路径的决策 (303)

10.1.1 离散时间马尔可夫决策过程模型 (304)

10.1.2 二能级量子系统布居数转移的最短路径 (305)

10.1.3 复杂马尔可夫决策过程 (306)

10.2 Lindblad 主方程的最优布居数转移 (308)

10.2.1 问题的描述 (309)

10.2.2 最优控制律的设计 (310)

10.2.3 微分方程的变换 (311)

10.2.4 数值仿真实验及其结果分析 (313)

10.3 状态转移的最优控制 (315)

10.3.1 问题的描述 (316)

10.3.2 最优控制律的设计 (316)

10.3.3 数值仿真实验及其结果分析 (319)

10.4 相互作用粒子的纯度保持 (323)

10.4.1 问题的描述 (324)

10.4.2 连续场作用下纯度的演化 (326)

10.4.3 控制场的设计 (328)

10.4.4 数值仿真实验及其结果分析 (329)

10.5 基于相互作用的耗散补偿 (332)

10.5.1 问题的描述	(332)
10.5.2 相互作用类型的选择	(333)
10.5.3 耗散补偿的设计	(334)
10.5.4 数值仿真实验及其结果分析	(336)
10.6 弱测量及其在开放系统控制中的应用	(341)
10.6.1 弱测量算子的构造	(341)
10.6.2 弱测量的适用性	(343)
10.6.3 基于弱测量的耗散控制	(344)
第 11 章 无消相干子空间中量子态的控制与保持	(348)
11.1 Λ 型三能级原子的相干态保持	(348)
11.1.1 问题描述及无消相干目标态的构造	(348)
11.1.2 系统状态转移和相干保持控制律的设计	(351)
11.1.3 数值仿真实验及其结果分析	(352)
11.2 一般开放量子系统的状态转移和相干保持	(355)
11.2.1 问题描述及无消相干子空间的构造	(355)
11.2.2 系统状态转移和相干保持控制律的设计	(357)
11.2.3 数值仿真实验及其结果分析	(359)
11.3 无消相干子空间中量子态调控的收敛性	(360)
11.3.1 系统描述与问题的提出	(361)
11.3.2 控制场的设计	(363)
11.3.3 P 的构造与收敛性分析	(364)
11.3.4 数值仿真实验及其结果分析	(367)
第 12 章 动力学解耦量子控制方法	(370)
12.1 量子动力学解耦原理	(370)
12.2 振幅和相位消相干下的动力学解耦策略	(372)
12.2.1 模型介绍: Ξ 型 n 能级原子系统	(372)
12.2.2 Ξ 型 n 能级原子系统的动力学解耦条件	(374)
12.2.3 动力学解耦策略的设计	(375)
12.2.4 Ξ 型八能级原子系统的实例设计	(378)
12.3 一般消相干下的动力学解耦策略设计	(386)
12.3.1 动力学解耦条件推导	(387)
12.3.2 动力学解耦方案设计	(387)
12.3.3 Ξ 型三能级原子系统的实例设计	(389)
12.3.4 小结	(396)
12.4 一种优化的动力学解耦策略设计	(396)
12.4.1 两种动力学解耦策略原理简介	(397)
12.4.2 动力学解耦策略的优化设计	(401)

12.4.3 三能级原子系统的实例仿真 (402)

12.4.4 复合动力学解耦策略的设计讨论 (406)

12.4.5 小结 (407)

第 13 章 量子系统的跟踪控制 (408)

13.1 基于李雅普诺夫方法的量子轨迹跟踪 (408)

13.1.1 量子态的描述与系统模型 (408)

13.1.2 控制律的设计 (409)

13.1.3 数值仿真实验及其结果分析 (411)

13.2 量子系统的跟踪控制 (416)

13.2.1 系统模型及其变换 (416)

13.2.2 控制律的设计 (418)

13.2.3 数值仿真实验及其结果分析 (419)

13.3 不同目标函数的量子系统动态跟踪 (422)

13.3.1 问题描述与控制目标 (422)

13.3.2 控制系统设计 (424)

13.3.3 数值仿真实验及其结果分析 (425)

13.3.4 小结 (430)

13.4 收敛性分析与证明 (431)

13.4.1 控制系统的模型 (434)

13.4.2 控制律的设计 (434)

13.4.3 控制系统跟踪性能分析 (436)

13.4.4 数值仿真实验及其结果分析 (442)

13.4.5 小结 (447)

第 14 章 量子系统控制的应用 (448)

14.1 问题描述和控制任务 (449)

14.2 控制律的设计与系统仿真实验 (452)

14.2.1 参数调控方法与思路 (452)

14.2.2 参数调整实验 (453)

14.3 实验结果分析 (455)

参考文献 (458)