

国外实用金融统计丛书

WILEY

*Numerical Methods in Finance and Economics:
A MATLAB-Based Introduction*

(原书第2版)

金融学中的数值方法 ——基于MATLAB编程

[意] 保罗·勃兰迪马特 (Paolo Brandimarte) 著
郑志勇 李洋 陈杨龙 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国外实用金融统计丛书

金融学与伦理学中的数值方法 ——基于 MATLAB 编程

Numerical Methods in Finance and Economics—A MATLAB-Based Introduction

(原书第2版)

[意] 保罗·勃兰迪马特 (Paolo Brandimarte) 著
郑志勇 李 洋 陈杨龙 译



机械工业出版社

本书旨在帮助读者建立扎实的数值理论基础,以便学习更专业的金融理论。本书分为5部分:第1部分介绍理论背景,包括编写背景和金融理论等内容;第2部分介绍数值方法,包括数值分析基础、数值积分、偏微分方程的有限差分法和凸优化等内容;第3部分介绍权益期权定价,包括期权定价的二叉树与二叉树模型、期权定价的蒙特卡罗方法和期权定价的有限差分法;第4部分介绍高级优化模型与方法,包括动态规划、有追索权的线性随机规划模型和非凸优化等内容,第5部分为附录。本书使用 MATLAB 为软件工具。

本书可作为金融学和经济学专业高年级本科生和研究生的教材,同时也可作为从事金融特别是金融工程领域工作的专业人员的参考书。

Copyright © 2006 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Numerical Methods in Finance and Economics: A MATLAB – Based Introduction ISBN 9780471745037, by Paolo Brandimarte, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2012-4861 号。

图书在版编目(CIP)数据

金融学与经济学中的数值方法:基于 MATLAB 编程:原书第2版/(意)保罗·勃兰迪马特(Paolo Brandimarte)著;郑志勇,李洋,陈杨龙译. —北京:机械工业出版社,2016.5

(国外实用金融统计丛书)

书名原文:Numerical Methods in Finance and Economics: A MATLAB-Based Introduction

ISBN 978-7-111-53919-3

I. ①金… II. ①保… ②郑… ③李… ④陈… III. ①金融学-数值方法-Matlab 软件 ②经济学-数值方法-Matlab 软件 IV. ①F830.49 ②F0-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 117544 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:常爱艳 韩效杰 责任编辑:常爱艳 韩效杰 汤 嘉

责任校对:陈延翔 封面设计:路恩中

责任印制:常天培

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 35 印张 · 715 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-53919-3

定价:128.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

本书献给指挥官斯特雷克、中尉埃利斯以及 SHADO 的所有人员。35 年前，正是他们向我介绍了在使用计算机进行决策的同时兼顾直觉感受的方法。

译者的话

保罗·勃兰迪马特 (Paolo Brandimarte) 是意大利都灵理工大学 (Politecnico di Torino) 一位采用数量方法研究金融与物流的教授, 他已出版了 5 本关于应用优化与模拟方法的书籍, 内容涉及生产管理、电子通信、金融等领域, 同时, 他也为工程学和经济学方向的硕士和博士讲授课程。

《金融学与经济学中的数值方法——基于 MATLAB 编程》(*Numerical Methods in Finance and Economics, A MATLAB - Based Introduction*) 2002 年第 1 次出版, 2006 年修订。该书编写的出发点是作者为其经济学专业研究生的“金融数值计算方法”课程以及工业工程专业学生的“优化理论”课程的授课需要, 因此该书有两个显著特点: ①研究的是数值计算方面的问题, 但讲解方法却不难理解; ②研究的是高难度专业问题, 却具有较好的应用性和可移植性。正因为如此, 该书特别适合具有一定数学基础和金融学基础, 并希望了解或者应用数值理论的本科生、研究生或博士生, 以及相关领域的学者等, 这也是该书出版以后深受好评的原因之一。

近年来, 我国金融市场不断推出新产品, 包括优先股、各类可转债、分级基金、股指期货、国债期货、上证 50ETF 期权、万能保险等, 这些产品一方面要求产品发行人和投资人能够进行准确的数值计算以估计产品的合理价值, 另一方面也为国内诸如金融工程、金融统计、保险学、精算学等专业的学生提供了一个验证所学理论的机会。该书融会贯通地讲解了数值分析应用和相应的 MATLAB 程序, 极大地方便了研究人员和从业人员将理论与实务相结合。该书内容涵盖标准数值分析、蒙特卡罗模拟、投资组合的最优化决策, 以及衍生品定价等, 能够为读者揭示数值理论的广阔应用空间。

在第 1 版发行的 5 年内, 该书受到包括金融从业人员、在校学生和教师等广大读者的喜爱, 成为该领域必不可少的书籍之一。结合读者反馈意见的第 2 版, 增加了将近 200 页的内容, 并调整了章节顺序, 以便更适合阅读。

三位译者在量化研究、投资和 MATLAB 领域均有十余年的从业经验, 发现该书后如获至宝, 在学习之余进行翻译, 以期让同行也能够较为便捷地阅读。郑志勇 (Ariszheng) 和李洋 (faruto) 负责主要翻译工作, 陈杨龙负责校稿。

尽管译者比较熟悉 MATLAB, 并有较好的数学功底, 但要保证该书能够被准确翻译为中文也是一件不容易的事情, 误译之处在所难免, 恳请读者批评指正。请将任何批评和建议发送到电子邮箱 chenyanglong@aliyun.com, 不胜感激!

译者

第2版前言

在本书的第1版出版后，大约经过了5年时间，我已经收到大量的读者来信，包括世界范围内的学生与从业者。就我个人而言，最重要的是读者都说这本书非常“有用”。没有想到的是，本书已经成为优秀的专业研究书籍。编写第2版的基本出发点与第1版相同：为初学者提供一个易读且内容扎实的金融计算入门书籍，无须大量艰深晦涩的数学理论并且避免烦琐的C++编程，同时本书添加了非标准优化的内容，例如随机规划与整数规划。第2版修改如下：

- 标题略有修改。
- 全面修订章节内容排版。
- 增加部分内容，相应增加本书页数。

标题提到金融与经济，而不仅仅是金融。为避免误解，这里明确本书的目标读者为相关专业学生与金融从业者。此外，本书对于经济学博士非常有帮助，可以作为相关知识的补充教材，同时我也借鉴其他优秀教材，使本书内容涵盖了大部分的专业算法，并提供优秀的MATLAB工具箱。这个工具箱可以用来求解大部分经济学问题。从学生的角度来看，现在这版书仍存在很多不足，例如：未覆盖常微分方程和理性预期模型。此外，书中都是以期权定价或投资组合管理为例的。根据经验，虽然我认为他们可以从这些基本的示例中受益，但还是建议经济学专业的学生掌握一些运筹学知识，例如随机优化与整数规划。因此，书名中的“经济”意味着本书可以作为经济学专业的补充教材，而不是替代教材。

本书对章节顺序进行了重排，以便适用于金融工程的数值方法的课程。在第1版期权定价相关的章节中，广泛应用优化理论。这是由于我个人的知识背景，主要专注于计算科学与运筹学的研究，但这不适用于一般的金融计算教学。由于优化理论并未涉及大部分金融工程专业的学生，因此在本版中，专业的优化理论知识将放在最后的章节中。本书共包括12章与3个附录。

- 第1章为读者介绍数值方法的需求与MATLAB数值计算环境。
- 第2章概述金融理论。目标读者为工程学、数学或运筹学专业的学生，他们或许对本书感兴趣，但是缺乏与金融相关的背景知识。
- 第3章介绍经典数值方法的基本知识。在某种意义上，这是对第2章的补充，目标读者为缺乏数值分析相关背景知识的经济学专业学生。本书由于受篇幅的限制，加之在后面章节不涉及这些数值方法，一些基本的数值方法被省略了。事实上，本书没有涉及计算矩阵特征值与特征向量以及与常微分方程相关的内容。

• 第4章介绍数值积分方法,包括求积公式与蒙特卡罗方法。在第1版中,求积公式放在了数值分析的章节中,而蒙特卡罗方法则作为单独一章。在第2版中将这两部分内容放在一章中,有助于两种方法应用的比较,其中包括期权定价与随机优化的情景模拟。将蒙特卡罗方法作为一种积分方法而不是模拟方法,有助于正确理解低差异序列(或称为拟蒙特卡罗模拟)的应用。增加了关于高斯求积的内容,高斯求积方法可以扩展为一种方差降低技术,通常应用于简单期权定价。关于方差降低技术的更复杂的示例放在第8章。

• 第5章介绍偏微分方程的基本有限差分方法。主要内容为求解热传导方程(其为抛物线方程的典型示例)。布莱克-斯科尔斯方程也属于抛物线方程。在这个简化的框架中,我们可以理解解偏微分方程的显式和隐式的方法之间的关系,以及相关的收敛性和数值稳定性的问题。相对于第1版,增加了交替方向隐式方法求解二维热传导方程的内容,这对二维期权定价非常有帮助。

• 第6章介绍有限维(静态)优化方法。读者如果对第7~9章的期权定价感兴趣可以跳过此章。本章对于经济学专业学生或许有帮助,如果需要更专业的优化模型与方法,可以参考第10~12章。

• 第7章为新增加的章节,主要介绍二叉树与三叉树模型,这些内容在第1版中没有涉及。本章的主要内容 of 二叉树与三叉树模型计算与存储树结构的内存管理。

• 第8章与第4章内容相关,介绍蒙特卡罗与低差异序列对于奇异期权更专业的应用,例如障碍式期权与亚式期权。还简单介绍了基于蒙特卡罗方法的期权敏感性(Greeks)估计,重点为欧式期权;基于蒙特卡罗方法的美式期权定价为另外一个专业问题,将在第10章进行讲解。

• 第9章在第5章内容的基础上,介绍了基于有限差分方法的期权定价。

• 第10章主要介绍动态数值规划。本章的主要内容是基于蒙特卡罗方法的美式期权定价,在第1版中尚未涉及这些内容,但是美式期权定价越来越重要。我们将基于一个适当的框架(动态随机优化)来介绍美式期权定价。本章仅介绍主要方法,即基于离散时间与有限时间的动态规划方法。此外,我们试图通过一个恰当的案例来帮助读者充分理解此方法。不仅因为它们在经济学中的重要性,也因为理解动态规划有助于学习随机动态规划,这些将是下一章的内容。

• 第11章主要介绍线性随机规划模型。在运筹学中,这是一个标准的研究方法,但是经济学专业学生更熟悉动态规划。从方法论的角度来看,将这些方法与动态规划进行比较非常重要;从实际的角度而言,随机规划对于动态组合管理与不完备市场中的期权对冲非常有意义。

• 第12章讲解非凸优化的相关内容。本章主要介绍混合整数规划,它主要应用在具有逻辑决策变量约束的投资组合管理中。我们同时介绍全局优化问题,如连续非凸优化。当我们“远离”简单优化问题(凸的成本函数最小化或凹的效用函

数最大化)的可行域时,连续非凸优化非常重要。同时,将简要概述启发式方法,如局部搜索算法与遗传算法。这些算法在集成模拟与优化模型中非常有用,经常用在计量经济学中。

• 最后,我们提供3个附录,分别介绍 MATLAB 软件、概率论与统计和 AMPL 语言。不熟悉 MATLAB 的读者可以自行阅读关于 MATLAB 的附件,但是学习 MATLAB 的最好方法是阅读 MATLAB 的帮助文档。对概率论与统计不熟悉的读者可以阅读相关附录。附录 C 是新增内容,为描述复杂的优化模型,代数语言越来越重要。AMPL 建模系统广泛地用于优化求解软件。AMPL 的选择仅根据作者的个人喜好(在网站可以下载 AMPL 语言软件的演示版)。事实上,GAMS 可能是最通用的经济学计算软件,并且 GAMS 与 AMPL 的概念是相通的。仅在第 11、12 章涉及与 AMPL 或 GAMS 相关的内容。

在第 2 版中增加了很多内容。事实上有两个选择:增加更多内容,如利率衍生品;或对第 1 版内容进行补充与扩展。虽然在本书中增加了一些新内容,但是我更倾向于第二种选择。事实上,本书原计划增加两个关于利率衍生品的章节,因为很多读者反馈在第 1 版中缺少相关的内容。而随着第 2 版内容的增加,我转向第二种选择,在本书中仅简略介绍利率衍生品。利率衍生品定价需要对风险中性定价以及利率模型与市场规则有更深入的理解。

我认为大多数读者使用本书能够打下扎实的数值方法基础,这些将帮助读者学习更专业的利率衍生品定价方法。利率衍生品并不是唯一被省略掉的内容。我同样计划增加隐含格和金融计量经济学的内容。但是,关于这些主题已经有非常优秀的相关书籍。我觉得对一项基础知识的具体的透彻的讲解,包括一些不太熟悉的问题,会更重要。这就是为什么我更喜欢使用 MATLAB,而不是 C++ 或 VB。在专业开发软件方面,无疑 C++ 具有很多优势,包括计算效率与面向对象编程,但是 C++ 对于初学者过于复杂。此外,烦琐的编程方法往往使得读者忽略其基本概念,而这正是我不愿看到的。VB 是一个非常方便的选择:适用范围广,不需要购买使用许可,因为几乎每一个人都有内含 VB 的软件,如微软 Excel。选择 MATLAB,可能增加花费。但是, MATLAB 可以调用更广泛、更有效的数值计算库函数,而且这些函数兼容性非常棒。最起码它可以被视为一个良好的快速原型语言。同时, MATLAB 最新的一些工具箱是针对金融应用的,这就是为什么我坚持这个选择的原因。随着 MATLAB 相关书籍的增加,我更加确信这是一个好的选择。

致谢:

从第 1 版的读者那里得到很多赞赏、反馈与鼓励。读者指出了一些错别字、错误与不准确的地方。在此为某些遗漏道歉,并感谢 I-Jung Hsiao, Sandra Hui, Byunggyoo Kim, Scott Lyden, Alexander Reisz, Ayumu Satoh, and Aldo Tagliani 的支持与帮助。

补充:

如第1版那样,我计划在网页上保持勘误表与补充材料列表,包含书中的MATLAB程序。网页现在的地址为:

- <http://staff.polito.it/paolo.brandimarte>

关于意见、建议、反馈,我的电子邮件地址为:

- paolo.brandimarte@polito.it

根据墨菲定律,虽然我的网址变更的概率非常低,但如果网址变更,读者可以在Wiley网站找到新的网址:

- <http://www.wiley.com/mathematics>

以及MathWork公司的网站:

- <http://www.mathworks.com/support/books>

保罗·勃兰迪马特
都灵, 2006年3月

第1版前言

交叉学科似乎非常难学，但交叉学科或许非常有前途！本书涉及不同的学科，包括金融学、数值分析、优化理论、概率论、蒙特卡罗模拟，以及偏微分方程。本书假设读者具有一定的数学基础，但这并不是不可或缺的，因为我们省略了对于数学理论要求较高的研究方向，如奇异期权与利率衍生品。

本书源自我为经济学专业研究生开设的“金融数值计算方法”课程，以及为工业工程专业学生开设的“优化理论”课程。因此，本书并不是一本研究专著，而是一本专为学生编写的教科书。本书一方面针对具有一定数值计算理论知识，但缺乏将算法转化为程序代码能力的经济学专业的学生；另一方面针对尚未清楚意识到数值方法在金融领域有巨大潜力的理工科专业的学生。

随着金融工程相关论文数量的快速增长，以及金融计算相关的电子表格书籍的出版，我相信无论金融从业者还是经济专业与理工专业学生，都需要一本关于介绍金融、经济与数值方法相结合的书籍，并建议读者：

- 为理解数值计算的逻辑与方法，需要掌握扎实的理论知识。
 - 可以将自己的思路转化为程序代码，并检验思路的正确性。
 - 具备应用数值方法的能力，甚至可以使用复杂计算方法解决金融问题，例如期权定价。
- 鼓励自己从实践和理论的角度进一步研究更高级的金融、经济课题。

本书根据上述目标进行内容选择与编排。当然，这也反映了我个人的偏好。由于自己的运筹学研究背景，我担心这本书不能满足读者关于统计学知识的需求，随着计量经济模型的发展，统计理论需求随之增加，同时，我试图使得书籍具有一定的互补性。

本书关于数值方法的编程是基于 MATLAB 进行的，书中给出相关数值算法的 MATLAB 程序代码，这些代码可以直接运行。MATLAB 是一个灵活的高级计算环境，它可以允许我们仅通过几行代码就完成一个普通的算法，并且它在金融计算方面应用广泛且潜力巨大。

这本书的优势在于提出并解决问题，而不仅仅是给出问题的答案。本书毕竟为一本交叉学科书籍，在阅读完本书后，读者或许希望阅读其他书籍以获取关于某些内容更详细的介绍。

附言 1：

虽然我已竭尽全力，但是本书中仍然可能存在某些错误与错别字。我们将列出

一个勘误表，并根据读者的反馈对其进行更新。非常欢迎读者对本书反馈任何意见或建议。我的电子邮件地址为：

paolo.brandimarte@polito.it

附言 2：

勘误表包括附件内容与 MATLAB 程序，并将公开在网页上。网页的地址为：

- <http://staff.polito.it/paolo.brandimarte>

如果网页地址变更，读者可以参见 Wiley 的网站来获取新的地址：

- <http://www.wiley.com/mathematics>

附言 3：

如果你想知道斯特雷克指挥官是谁，可以参看如下网站：

- <http://www.ufoseries.com>
- <http://www.isoshado.org>

保罗·勃兰迪马特
都灵，2001 年 6 月

目录

译者的话	
第2版前言	
第1版前言	

第1部分 理论背景

第1章 编写背景	3
1.1 数值分析方法的需求	4
1.2 关于数值计算平台的需求：为何选择 MATLAB?	8
1.3 理论的需求	11
进阶阅读	17
参考文献	18
第2章 金融理论	19
2.1 不确定性建模	21
2.2 基础金融资产及相关问题	24
2.2.1 债券	24
2.2.2 股票	26
2.2.3 衍生品	27
2.2.4 资产定价、投资组合优化、风险管理	31
2.3 固定收益证券：价值分析与组合免疫策略	36
2.3.1 基础利息理论：复利和现值	36
2.3.2 固定收益证券的基础定价	42
2.3.3 利率敏感性与投资组合免疫	48
2.3.4 与固定收益证券相关的 MATLAB 函数	51
2.3.5 小结	55
2.4 股票投资组合管理	56
2.4.1 效用理论	56
2.4.2 均值-方差投资组合优化	62
2.4.3 MATLAB 计算均值-方差投资组合优化模型的函数	64
2.4.4 小结	70
2.4.5 其他风险测度：在险价值与分位数法	71

2.5 资产价格的动态建模	76
2.5.1 从离散时间到连续时间	76
2.5.2 标准维纳过程	78
2.5.3 随机积分与随机微分方程	80
2.5.4 伊藤引理	83
2.5.5 小结	86
2.6 衍生品定价	87
2.6.1 期权定价的二叉树模型	90
2.6.2 布莱克-斯科尔斯模型 (Black-Scholes model)	92
2.6.3 风险中性期望与费曼-卡茨 (Feynman-Kac) 公式	95
2.6.4 布莱克-斯科尔斯模型的 MATLAB 计算	96
2.6.5 关于布莱克-斯科尔斯公式的注解	99
2.6.6 美式期权的定价	100
2.7 奇异期权与路径依赖期权简介	101
2.7.1 障碍期权	101
2.7.2 亚式期权	105
2.7.3 回望期权	106
2.8 利率衍生品概述	106
2.8.1 利率动态模型	107
2.8.2 不完备市场和风险市场价格	108
进阶阅读	110
参考文献	111

第2部分 数值方法

第3章 数值分析基础	115
3.1 数值计算的性质	115
3.1.1 数值的表示、四舍五入和截断	115
3.1.2 误差的产生、条件与不稳定性	118
3.1.3 收敛阶数与计算复杂度	120
3.2 求解线性方程	121
3.2.1 向量与矩阵的范数	122
3.2.2 矩阵的条件数	125
3.2.3 线性方程组求解的直接方法	129
3.2.4 三对角矩阵	134
3.2.5 求解线性方程组的迭代方法	135
3.3 函数逼近和插值	146

3.3.1 特殊逼近	149
3.3.2 初等多项式插值	150
3.3.3 三次样条插值	154
3.3.4 最小二乘的函数逼近理论	158
3.4 非线性方程组求解	161
3.4.1 二分法	162
3.4.2 牛顿法	164
3.4.3 基于优化的非线性方程求解	167
3.4.4 求解方程组的复合方法	172
3.4.5 同伦连续法	172
进阶阅读	174
参考文献	174
第4章 数值积分：定性分析与蒙特卡罗模拟	177
4.1 确定性求积	179
4.1.1 经典插值公式	179
4.1.2 高斯求积法	181
4.1.3 扩展与乘法法则	186
4.1.4 MATLAB 中的数值积分	186
4.2 蒙特卡罗积分	187
4.3 生成伪随机变量	191
4.3.1 生成伪随机数	191
4.3.2 逆变换方法	196
4.3.3 取舍法	198
4.3.4 通过极坐标方法生成正态随机变量	199
4.4 设置重复次数	203
4.5 降低方差技术	206
4.5.1 对偶抽样	206
4.5.2 公共随机数技术	213
4.5.3 控制变量	214
4.5.4 通过条件降低方差	216
4.5.5 分层抽样	220
4.5.6 重要性抽样	222
4.6 拟蒙特卡罗模拟	228
4.6.1 生成哈尔顿低差异序列	229
4.6.2 生成索博尔低差异序列	239
进阶阅读	243

参考文献	244
第5章 偏微分方程的有限差分法	245
5.1 偏微分方程的介绍和分类	246
5.2 有限差分法的数值解	248
5.2.1 一个有限差分法的错误例子	250
5.2.2 有限差分法的不稳定性	251
5.3 热传导方程的显式和隐式方法	256
5.3.1 使用显式方法求解热传导方程	257
5.3.2 使用全隐式方法求解热传导方程	261
5.3.3 热传导方程的克兰克-尼科尔森 (Crank - Nicolson) 方法	264
5.4 求解二维热传导方程	266
5.5 收敛性、一致性和稳定性	272
进阶阅读	273
参考文献	273
第6章 凸优化	275
6.1 优化问题的分类	276
6.1.1 有限维与无限维问题	276
6.1.2 无约束与约束问题	280
6.1.3 凸问题与非凸问题	280
6.1.4 线性与非线性问题	282
6.1.5 连续与离散问题	283
6.1.6 确定性与随机性问题	284
6.2 无约束优化的数值方法	284
6.2.1 最速下降法	285
6.2.2 梯度法	286
6.2.3 牛顿法与信赖域法	286
6.2.4 非导数算法: 拟牛顿法与单纯形搜索	287
6.2.5 非约束问题的 MATLAB 编程	288
6.3 约束问题的优化方法	290
6.3.1 罚函数法	291
6.3.2 库恩-塔克 (Kuhn - Tucker) 条件	294
6.3.3 对偶理论	299
6.3.4 凯利 (Kelley) 切平面法	303
6.3.5 有效集法	304
6.4 线性规划	306
6.4.1 线性规划的几何与代数特征	307

6.4.2 单纯形法	308
6.4.3 线性规划的对偶性	310
6.4.4 内点法	312
6.5 约束优化问题的 MATLAB 编程	314
6.5.1 线性规划的 MATLAB 编程	315
6.5.2 债券投资组合管理的 LP 模型	317
6.5.3 使用二次规划构建投资组合的有效前沿	320
6.5.4 非线性规划的 MATLAB 编程	322
6.6 模拟与优化	324
附录 凸分析基础	325
附录 6.1 优化问题中的凸性	326
附录 6.2 凸多面体	328
进阶阅读	330
参考文献	330

第3部分 权益期权定价

第7章 期权定价的二叉树与三叉树模型	335
7.1 二叉树定价模型	335
7.1.1 校准二叉树模型	336
7.1.2 后付期权的定价	341
7.1.3 一种二叉树模型的改进	343
7.2 美式期权的二叉树定价方法	345
7.3 二维期权的二叉树定价方法	347
7.4 三叉树定价期权	352
7.5 总结	355
进阶阅读	356
参考文献	356
第8章 期权定价的蒙特卡罗方法	357
8.1 路径生成	358
8.1.1 模拟几何布朗运动	359
8.1.2 模拟对冲策略	361
8.1.3 布朗桥	366
8.2 交换期权定价	369
8.3 向下敲出式看跌期权的定价	371
8.3.1 简单蒙特卡罗模拟	371
8.3.2 条件蒙特卡罗模拟	372

8.3.3 重要性抽样	375
8.4 算术平均亚式期权的定价	379
8.4.1 控制变量法	379
8.4.2 哈尔顿序列的应用	383
8.5 蒙特卡罗抽样法计算期权 Greeks	391
进阶阅读	395
参考文献	395
第9章 期权定价的有限差分法	397
9.1 有限差分法在布莱克-斯科尔斯方程中的应用	397
9.2 普通欧式期权的显式方法定价	399
9.3 普通欧式期权的全隐式方法定价	403
9.4 障碍期权的克兰克-尼科尔森方法定价	405
9.5 美式期权的处理	407
进阶阅读	411
参考文献	411

第4部分 高级优化模型与方法

第10章 动态规划	415
10.1 最短路问题	416
10.2 连续的决策过程	418
10.2.1 最优化原理和解函数方程	419
10.3 用动态规划解决随机决策问题	421
10.4 美式期权定价的蒙特卡罗模拟	427
10.4.1 一个用 MATLAB 实现的最小二乘方法	431
10.4.2 一些研究与替代方法	434
进阶阅读	435
参考文献	435
第11章 有追索权的线性随机规划模型	437
11.1 线性随机规划模型	437
11.2 投资组合管理的多阶段随机规划模型	440
11.2.1 分离变量模型	442
11.2.2 紧模型	448
11.2.3 有交易成本的资产和债务管理	452
11.3 多阶段随机规划方案的生成	453
11.3.1 方案树生成的采样	454
11.3.2 无套利方案的生成	456