

□ 应用统计学丛书

Statistical Models and Methods
for Financial Markets

金融市场中的 统计模型和方法

黎子良 邢海鹏 著
姚佩佩 译



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

□ 应用统计学丛书

Statistical Models and Methods
for Financial Markets

金融市场中的 统计模型和方法



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

图字: 01-2008-5187

Translation from the English language edition:

Statistical Models and Methods for Financial Markets by Tze Leung Lai
and Haipeng Xing

Copyright © 2008 Springer-Verlag New York, LLC

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目 (CIP) 数据

金融市场中的统计模型和方法 / 黎子良, 邢海鹏著;
姚佩佩译. —北京: 高等教育出版社, 2009.11

书名原文: Statistical Models and Methods for
Financial Markets

ISBN 978-7-04-018293-4

I. 金… II. ①黎…②邢…③姚… III. ①金融
市场-统计模型②金融市场-统计-方法 IV. F830.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第183717号

策划编辑	王丽萍	责任编辑	崔梅萍	封面设计	王凌波
版式设计	范晓红	责任校对	杨雪莲	责任印制	陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	2009年11月第1版
印 张	21.5	印 次	2009年11月第1次印刷
字 数	390 000	定 价	46.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18293-00

内容简介

本书讲述数量金融中最重要的统计方法和模型,通过统计建模和统计决策理论将金融理论与市场实务相联系。本书的第一部分讲述统计的基本背景知识,具体包括线性回归、广义线性回归与非线性回归、多元分析、似然推断与贝叶斯模型,以及时间序列分析,同时讲述这些模型在投资组合理论和资产收益率及波动率动态建模中的应用。第二部分讲述数量金融中的高级课题,并试图通过实质—经验建模方法的引入来填补金融理论和市场实务之间的空白;我们将具体讲述其在期权定价、利率市场、统计交易策略和风险管理中的应用。非参数回归、计量经济学中的高级多元和时间序列方法,以及高频交易数据的相关统计方法也将置于这个框架下进行讲解。

本书曾作为金融数学(工程)和计算(数量)金融硕士项目的统计建模课程的教材。我们也向那些已经从事金融行业的数量分析师推荐,如果希望对实际中广泛应用的统计方法进行深入的学习,将本书作为自学材料。同时,本书提供了来自金融市场的具体实例和数据来说明我们所讲述的方法,因此也可作为统计和计量经济学研究生课程的教材,以帮助学生系统地学习回归、多元分析、似然理论与贝叶斯推断、非参数理论和时间序列分析等理论和模型。

译者序

从看到这本书,到现在,已经有一年时间了。这一年时间,是自己的一个学习过程;同时,这本书的翻译稿也逐渐完善。到今天,它终于可以和大家见面了。

首先,我很荣幸能够有机会翻译这样一本好书。正如作者在序言中所提到的,这本书在出版之前,就已经在美国斯坦福大学、哥伦比亚大学及作者在浙江大学、台湾等地的讲学中作为教材使用了。从2008年7月正式在斯普林格出版社出版至今这不到一年的时间里,这本书更是吸引了很多读者,据我们所知,目前已经有加州大学伯克利分校统计系 (Statistics at UC Berkeley), 密西根大学安娜堡分校金融工程系 (Financial Engineering at University of Michigan, Ann Arbor), 佐治亚理工大学工业与系统工程系 (Industrial and System Engineering at Georgia Technology University), 新加坡国立大学 (National University of Singapore), 香港科技大学 (Hong Kong University of Science and Technology), 香港大学 (Hong Kong University), 国立台湾大学 (National Taiwan University)等多所名校将这本书作为其硕士项目的教科书,当然还包括两位作者曾经或正在任教的斯坦福大学金融数学系 (Financial Mathematics at Stanford University), 哥伦比亚大学统计系 (Statistics at Columbia University) 以及纽约州立大学石溪分校数量金融系 (Quantitative Finance at State University of New York, Stony Brook)。同时,这本书也被许多金融机构 (例如对冲基金等) 作为参考资料。因此,我们认为这本书的翻译出版是有意义的,我们也有理由相信这本书中文版的出版,也将在一定程度上填补我国金融领域教材的一个空白。

本书不仅在理论上近乎完备,更难能可贵的是,它给出了丰富的实例及其具体实现;这可以让读者在掌握理论的同时,更对实际金融市场有一个基本的了解,这对于我国自有金融人才的培养是有意义的。此外,本书还提供了大量的文献综述,为有兴趣的读者进行进一步的研究提供了素材。

本书由浅入深,涵盖了金融中常用统计方法的讲解,从最基本的线性回归理论,到国际上最先进的算法交易和引人关注的风险管理。本书适用于各种程度的学生,书中的习题会帮助学生进一步加强对所学知识的理解和所学方法的实际应用能力。本书可以作为高校金融专业的研究生教材或具有一定数学基础的读者的自学材料;我们相信,它将成为读者的良师益友。

在本书的翻译过程中,我有幸得到了本书两位作者,特别是邢海鹏教授的指导。邢教授不仅为我的翻译工作提供了很多便利,和邢教授的讨论也使我对本书的理解更深刻,同时完善了本书的翻译。

我还要感谢来自纽约州立大学石溪分校的孙宁和斯坦福大学的张峰同学。他们在本书中译本成稿之后,花费宝贵时间阅读并提出了很好的意见和建议。

我特别要感谢我的导师严加安院士,是他给我提供了这样一个来之不易的机会,有机会阅读并翻译本书,有机会与本书作者交流。他在本书的翻译过程中也给我提供了莫大的帮助。

最后我要感谢高等教育出版社为本书中译本出版提供的帮助。特别是高等教育出版社的王丽萍女士,感谢她在我翻译过程中提供给我的支持。

回首本书的翻译过程,有辛劳,也有欣慰。我知道,译文肯定还会有不尽如人意之处,我衷心期待广大读者的批评指正,您可以通过邮件 (peipei.yao@gmail.com) 和我联系。

姚佩佩

于北京中科院数学与系统科学研究院

2009年5月24日

中文版序言

1999年,斯坦福大学开设了一个新的跨学科的硕士学位培养项目——金融数学。该硕士项目由数学系、统计系、经济系、管理科学与工程系和商学院联合管理,其宗旨是以金融学为中心向学生提供与之相关的应用数学、概率统计、经济和计算机技术等方面的课程训练,从而使学生具备综合运用复杂的数理工具进行金融产品的定价与风险对冲和金融市场的风险评估与管理的定量分析能力。在为金融数学方向开设相关的统计分析课程 STATS240 (金融学中的统计方法)的过程中,本书的第一作者(黎子良)深感相关资料的匮乏,因而有必要撰写一本关于金融市场中的统计模型与方法的教科书。

由于斯坦福大学金融数学硕士项目具有各学科联合培养的特点,其招收的硕士生的专业背景和相关工作经验存在较大差异。就统计背景而言,一些学生只学过有关统计推断的基本课程,另一些则已经修过统计方向的硕士甚至博士课程;而在金融方面,他们大多已经修过投资理论和衍生品定价理论方面的核心课程。除了金融数学专业的学生外,STATS240同时吸引了许多其他专业的学生,例如修习该课程的相当一部分学生来自于数学、物理或工程专业,他们通常具有良好的数学和统计建模功底,但其金融背景却相对欠缺,这进一步加大了学生之间的专业背景差别,从而进一步增加了授课难度。基于以上特点,STATS240的核心在于讲授投资及衍生品定价理论与实际工作中金融数据的分析处理、定价和投资策略的设计实施之间的联系。同时,为了兼顾修课学生多样化的专业背景和他们对金融学有关研究课题的兴趣,考虑到他们未来可能以金融数量分析师(Quantitative Analyst)为职业,作者精心选择组织了STATS240的教学材料,不仅介绍了金融领域内相关的专业知识和在数量金融中有重要应用的基本统计方法,还进一步讲解说明了将统计建模应用于金融分析和决策论的思路与过程。在2000年之后的几年中,尤其是在本书的第二作者(邢海鹏)于2004年

和 2005 年担任该课程的教学助理之后。STATS240 的教学材料得到不断的完善与发展,随着学生兴趣的增加和课程选材的增多,在 2006 年,这门课程分成了两门:STATS240 和 STATS241 (金融市场中的统计模型)。同时,这些课程还被列入了斯坦福职业发展中心 (<http://scpd.stanford.edu>) 提供给在金融行业工作的非学位学生的远程教学计划。

本书的大部分内容来源于 STATS240 和 STATS241 的教学材料。具体而言,本书的第一部分 (STATS240) 讲述了基本的统计方法和金融应用 (第一—第六章),第二部分 (STATS241) 则偏重于数量金融的高等课题 (第七—十二章)。其中,第一章和第二章讲述了线性回归、多元分析和极大似然估计理论。这些统计方法在第三章中被应用于数量金融领域中的一个基本问题——投资组合选择理论和投资模型 (即 Harry Markowitz 和 William Sharpe 1990 年诺贝尔经济学奖的获奖理论)。由于这些经典理论假设相关的参数都是已知的,因此在实际中我们需要使用历史数据对这些参数进行估算,第三章讨论了估算过程中涉及的统计问题和不同的统计方法。其中的一种方法,我们将放在第四章对参数模型的似然推断理论及其在 logistic 回归和其他广义线性模型中的应用进行进一步的讨论之后,即在第 4.4 节中引进 Bayesian 方法时介绍。第四章还将第一章中介绍的最小二乘方法推广到非线性回归模型中,从而得到了非线性最小二乘法,该方法在本书的第二部分中将会被多次用到。数量金融的另一个重要课题是金融时间序列,它在近几年吸引了很多学者的注意,特别是在 2003 年 Robert Engle 和 Clive Granger 因在此领域的杰出贡献而获得诺贝尔经济学奖之后。第五章介绍了时间序列分析的基本想法和模型,第六章则将它们应用于对资产收益率及其波动率的动态建模和分析中。第七章引入了非参数回归模型,并介绍了将相关的领域知识 (经济理论和市场实践) 和统计模型 (通过非参回归) 相结合的实质-经验 (substantive-empirical) 方法。这种方法是将数理金融课程中学习过的理论和公式与市场数据相结合的一种系统而灵活的工具。一个典型的例子是期权定价理论,该工作在金融经济学中的重要性为 Robert Merton 和 Myron Scholes 赢得了 1973 年的诺贝尔经济学奖,它也是数理金融学中的一个基本课题。然而期权价格的理论与观测值并不完全一致,这种不一致体现在相关的 “implied volatilities” 模式中,第八章详细讨论了它们相应的统计性质,并且在 8.3 节中介绍了几种方法来弥补这些不一致。在第八章中,我们再次讨论了实质-经验方法,它使用了一个与经典的 Black-Scholes 公式相对应的实质分析部分和一个非参数回归的经验总结部分,来对 Black-Scholes 公式与市场的偏离进行建模分析。第九章介绍了金融计量经济学中的高级多元时间序列方法,这为分析不同期限利率的时间序列数据提供了重要工具。在第十章中我们将具体介绍如何建立实际利率数据的统计分析 with 随机过程的数学建模之间的联系,从而对利率衍生品进行定价。第八

章和第十章的金融理论都是建立在无套利的假设条件下。不过,“统计套利”,即企图通过对市场价格和交易模式的统计学习来发现金融市场中的套利机会,已经成为许多对冲基金经理的重要行为。第十一章考虑了统计交易模型及相关课题,例如市场微观结构,数据侦伺检验,交易费用和动态交易的问题。第十二章将前述统计方法应用于公司和监管者角度的风险管理,即如何在稀有事件发生的情况下保护金融机构及其投资者的收益。

作为教学材料而言,本书可以有多种使用方式。以斯坦福大学的 STATS240 和 STATS241 为例,本书的第一和第二部分可分别作为一学期(或一季度)课程的教学材料。第一部分简洁而集中地讲解能够帮助读者学习掌握相关内容,同时也是读者完成本书习题、作业和考试的得力材料。授课老师可以对第一部分的主要思想和方法进行更详尽的介绍,而助教则可以通过讨论班的形式帮助缺乏相关背景的学生。我们的经验表明这样的教学方式可以收到很好的效果。我们也尝试过另一种帮助学生尽可能掌握本书的方法,比如在教学过程中布置小组作业,从而为学生提供互相学习的机会。由于本书可以对工业界和学术界的定量金融研究提供一定的帮助,本书的第二部分在讲授过程中吸引了许多来自非金融数学专业(如经济、工程、数学、统计和商学院)的学生。然而鉴于本书第二部分内容具有一定的深度和广度,课程 STATS241 的授课重点每年都可能不尽相同。在授课过程中,我们同样采用了小组作业的形式,而这种形式也被再次证明对于掌握本书内容是非常有效的。

在本书的第二作者(邢海鹏)2005年加入哥伦比亚大学成为一名教员之后,他为统计系开设了一门新的硕士课程:W4290(统计方法在数量金融中的应用)。由于选这门课的学生已经修过或正在修习与统计推断、线性回归、多元分析、非参数分析和时间序列有关的课程,所以作者在 W4290 中主要讲解本书的第三,六,八章和十,十一,十二章的部分内容。在讲授这些以金融为主的内容时,作者会对其中所涉及的统计方法先进行一个综述,再对相关的金融课题进行详细阐述。这种授课方式受到了来自统计系和其他专业对金融感兴趣的学生们的广泛欢迎。

我们假定本书的使用者具备较强的数学功底,这与对金融数学或工程专业的学生或从业人员的要求是相一致的。但是本书并没有假定读者具有统计和金融方面的背景知识,因此我们系统地对统计的核心方法和概念以及它们之间的联系进行了讲解。另外,由于本书同时提供了统计学的最新进展以及它们与金融建模之间的联系,本书也可作为金融数量分析师的参考资料。

本书的网站地址是: <http://www.stanford.edu/xing/statfinbook/index.html>。本书中的习题数据以及提到的 R 和 MATLAB 统计软件的实现和输出样板都可以从该网站上下载。我们将不定期地更新该网站,发布对本书的修改和补充。我

们非常欢迎来自读者的回馈和建议,您可以通过电子邮件与我们联系: xing@stanford.edu (邢海鹏)。

致谢

首先我们要感谢所有在斯坦福大学修过 STATS240 和 STATS241 以及在哥伦比亚大学修过 W4290 的同学们,他们对课程的内容表现出了极大的兴趣,也对本书的早期版本提出了修改建议。我们还想对这些课程的助教们表示感谢,他们帮助我们改进了课程选材并设计了习题和作业。特别地,我们想要感谢 Antje Berndt, Zehao Chen, Wei Jin, Yuxue Jin, Andreas Eckner, Noureddine El Karoui, Horel Guillaume, Jingyang Li, Wenzhi Li, Haiyan Liu, Ruixue Liu, Paul Pong, Bo Shen, Kevin Sun, Ning Sun, Zhen Wei, Chun-Yip Yau 和 Qingfeng Zhang。本书的第一作者(黎子良)还曾在 2001 年 12 月受邀在台湾的统计研究院做系列讲座。这也是其第一次起草关于金融中的统计方法的讲稿。所以他想感谢该讲座的所有听众对讲座表现出的极大热情。第一作者还想特别感谢实质-经验方法的合作者, Samuel Po-Shing Wong, 他帮助作者整理了这部分的讲稿并做了相关讲座。两年后,他们再一次合作在浙江大学的数学科学中心就金融中的统计方法进行了系列报告。作者想感谢所有的与会者,他们的帮助使得该讲稿更完善。此外,来自在金融行业工作的朋友和之前的学生的意见和建议也有助于本书第二部分的成形。我们特别感谢 Ying Chen, David Li, Viktor Spivakovsky 和 Zhifeng Zhang。

斯坦福大学, 统计系 Tze Leung Lai
哥伦比亚大学, 统计系 Haipeng Xing

目 录

译 者 序

中文版序言

第一部分 基本统计方法和金融应用	1
第一章 线性回归模型	3
1.1 普通最小二乘方法 (OLS)	4
1.1.1 残差与残差平方和	4
1.1.2 投影矩阵的性质	5
1.1.3 半正定矩阵的性质	6
1.1.4 普通最小二乘估计的统计性质	7
1.2 统计推断	8
1.2.1 置信区间	8
1.2.2 方差分析 (ANOVA) 检验	9
1.3 变量选择	11
1.3.1 基于检验的变量选择及其他准则	11
1.3.2 逐步回归选变量法	14
1.4 回归诊断	15
1.4.1 残差分析	15
1.4.2 强影响点的诊断	17

1.5	推广到随机回归变量模型	17
1.5.1	最小方差线性预测	17
1.5.2	期货市场以及采用期货合约对冲	18
1.5.3	随机回归变量模型中的推断	19
1.6	回归中的 bootstrap 方法	20
1.6.1	代入 (plug-in) 原则和 bootstrap 重新抽样方法	20
1.6.2	Bootstrapping 回归模型	22
1.6.3	Bootstrap 置信区间	22
1.7	广义最小二乘方法	23
1.8	模型的实现和说明	24
	习题	29
第二章	多元分析和似然推断	33
2.1	随机变量的联合分布	34
2.1.1	变量替换	35
2.1.2	期望和协方差矩阵	35
2.2	主成分分析 (principle component analysis, PCA)	36
2.2.1	基本定义	36
2.2.2	主成分的性质	38
2.2.3	实例分析: 美国国债收益率-LIBOR 掉期率的主成分分析	40
2.3	多元正态分布	44
2.3.1	定义和密度函数	44
2.3.2	边际分布和条件分布	45
2.3.3	正交性, 独立性及其在回归中的应用	45
2.3.4	样本协方差阵和 Wishart 分布	46
2.4	似然推断	49
2.4.1	极大似然方法	49
2.4.2	渐近推断	51
2.4.3	参数化 bootstrap	52
	习题	53
第三章	基本投资模型及其统计分析	55
3.1	资产收益率	56
3.1.1	定义	56
3.1.2	资产价格和收益率的统计模型	57

3.2	Markowitz 投资组合选择理论	59
3.2.1	投资组合权重	59
3.2.2	有效投资集的几何表示	59
3.2.3	有效组合的计算	61
3.2.4	μ 和 Σ 的估计及实例分析	63
3.3	资本资产定价理论 (CAPM)	64
3.3.1	模型	64
3.3.2	在投资中的应用	68
3.3.3	估计和检验	68
3.3.4	CAPM 的实证分析	69
3.4	多因子定价理论	71
3.4.1	套利定价理论	72
3.4.2	因子分析	72
3.4.3	主成分分析法	75
3.4.4	Fama-French 三因子模型	76
3.5	重新抽样在投资组合管理中的应用	76
3.5.1	Michaud 重新抽样有效前沿	77
3.5.2	投资绩效的 bootstrap 估计	78
	习题	79
第四章	参数模型与贝叶斯方法	81
4.1	极大似然及广义线性模型	82
4.1.1	计算 MLE 的数值方法	82
4.1.2	广义线性模型	83
4.2	非线性回归模型	85
4.2.1	高斯-牛顿算法	86
4.2.2	统计推断	87
4.2.3	实现和实例	89
4.3	贝叶斯推断	89
4.3.1	先验分布和后验分布	89
4.3.2	贝叶斯方法	90
4.3.3	多元正态均值和协方差阵的贝叶斯估计	92
4.3.4	高斯回归模型中的贝叶斯估计	93
4.3.5	经验贝叶斯估计和压缩估计	94

4.4 压缩估计和贝叶斯方法在投资中的应用	95
4.4.1 代入估计有效前沿下 μ 和 Σ 的压缩估计	96
4.4.2 另一种贝叶斯方法	97
习题	98
第五章 时间序列建模与预报	101
5.1 平稳时间序列分析	101
5.1.1 弱平稳	101
5.1.2 独立性检验	103
5.1.3 Wold 分解与 MA, AR 和 ARMA 模型	104
5.1.4 ARMA 模型中的预报	107
5.1.5 参数的估计和阶数的确定	108
5.2 非平稳时间序列分析	108
5.2.1 去除趋势项	108
5.2.2 实例分析	109
5.2.3 变换和差分	112
5.2.4 单位根非平稳和 ARIMA 模型	113
5.3 线性状态空间模型和卡尔曼滤波	115
5.3.1 $P_{t t-1}$, $\hat{x}_{t t-1}$ 和 $\hat{x}_{t t}$ 的递归公式	116
5.3.2 动态线性模型和 beta 系数时变的 CAPM	118
习题	120
第六章 资产收益率及其波动率的动态模型	123
6.1 资产收益率时间序列的特征事实	124
6.2 时变波动率的移动平均估计	128
6.3 条件异方差模型	130
6.3.1 ARCH 模型	130
6.3.2 GARCH 模型	130
6.3.3 单整 GARCH 模型	135
6.3.4 指数 GARCH 模型	135
6.4 ARMA-GARCH 模型和 ARMA-EGARCH 模型	138
6.4.1 未来收益率和波动率的预报	138
6.4.2 模型的实现和说明	139
习题	139

第二部分 数量金融的高等课题 143**第七章 非参回归和实质—经验模型 145**

- 7.1 回归函数和最小方差预测 146
- 7.2 一元预测 147
 - 7.2.1 运行均值/运行线平滑子和局部多项式回归 147
 - 7.2.2 核平滑子 147
 - 7.2.3 回归样条 148
 - 7.2.4 平滑三次样条 151
- 7.3 平滑参数的选择 151
 - 7.3.1 偏差项与方差项之间的平衡 152
 - 7.3.2 交叉验证 152
- 7.4 多元预测 153
 - 7.4.1 张量乘积基和多元适应回归样条 153
 - 7.4.2 可加回归模型 154
 - 7.4.3 投影寻踪回归 155
 - 7.4.4 神经网络算法 155
- 7.5 将相关领域知识与非参回归相结合的建模方法 157
 - 7.5.1 带惩罚的样条模型和远期收益率的估计 158
 - 7.5.2 对于公司债远期利率曲线的半参惩罚样条模型 159
- 习题 160

第八章 期权定价理论和市场数据 163

- 8.1 期权价格和定价理论 164
 - 8.1.1 期权数据和买卖权平价 164
 - 8.1.2 欧式期权的 Black-Scholes 公式 165
 - 8.1.3 美式期权和最优停止 169
- 8.2 隐含波动率 170
- 8.3 Black-Scholes 模型和定价理论的替代和修正 173
 - 8.3.1 隐含波动率函数 (implied volatility function, IVF) 模型 173
 - 8.3.2 常数方差弹性 (constant elasticity of variance, CEV) 模型 174
 - 8.3.3 随机波动率 (stochastic volatility, SV) 模型 175
 - 8.3.4 非参方法 175
 - 8.3.5 实质—经验方法 176
- 习题 178

第九章 金融计量中的高级多元和时间序列方法	181
9.1 典范相关性分析	182
9.1.1 交叉协方差和相关系数矩阵	182
9.1.2 典范相关系数	183
9.2 多元回归分析	184
9.2.1 多元回归中的最小二乘估计	184
9.2.2 降秩回归	185
9.3 修正 Cholesky 分解和高维协方差矩阵	186
9.4 多元时间序列	187
9.4.1 平稳性和交叉相关性	187
9.4.2 通过主成分分析降维	188
9.4.3 带随机回归变量的线性回归	188
9.4.4 单位根检验	192
9.4.5 协整 VAR	194
9.5 长记忆性模型和机制转换/结构性变化	198
9.5.1 单整模型中的长记忆性	198
9.5.2 变点 AR-GARCH 模型	199
9.5.3 机制转换模型	204
9.6 随机波动率模型和多元波动率模型	204
9.6.1 随机波动率模型	204
9.6.2 多元波动率模型	207
9.7 广义矩方法 (generalized method of moments, GMM)	208
9.7.1 线性关系的工具变量	208
9.7.2 广义矩约束和 GMM 估计	209
9.7.3 实例分析: 不同短期利率模型的比较	211
习题	212
第十章 利率市场	217
10.1 利率市场要素	218
10.1.1 银行账户 (货币市场账户) 和短期利率	218
10.1.2 零息票债券和即期利率	219
10.1.3 远期利率	221
10.1.4 掉期率和利率互换	223
10.1.5 利率上限, 下限和互换期权	224

10.2	收益率曲线估计	224
10.2.1	使用样条基函数的非参回归	225
10.2.2	参数化模型	225
10.3	债券收益率和其他利率的多元时间序列模型	229
10.4	利率和短期利率的随机模型	233
10.4.1	Vasicek 模型, Cox-Ingersoll-Ross 模型和 Hull-White 模型	234
10.4.2	债券期权价格	235
10.4.3	Black-Karasinski 模型	236
10.4.4	多因素仿射收益率模型	236
10.5	随机远期利率模型和 LIBOR 及掉期率衍生品的定价	237
10.5.1	基于 Black 远期价格模型的标准市场定价公式	238
10.5.2	无套利定价: 鞅和计价单位	238
10.5.3	LIBOR 市场模型和互换市场模型	239
10.5.4	基于瞬时远期利率的 HJM 模型	241
10.6	参数估计和模型选择	242
10.6.1	金融行业中的利率模型校准	242
10.6.2	拟合期限结构模型的计量方法	245
10.6.3	波动率微笑和经验-实质方法	246
	习题	246
第十一章	统计交易策略	249
11.1	技术分析, 交易策略和数据侦伺检验	251
11.1.1	技术分析	251
11.1.2	动量策略和反向动量策略	252
11.1.3	配对交易策略	253
11.1.4	交易策略收益性的经验检验	255
11.1.5	价值投资和基于相关知识的交易策略	258
11.2	高频数据, 市场微观结构及相关的交易策略	259
11.2.1	机制性背景以及交易数据的特征事实	259
11.2.2	买卖价反弹和非同步交易模型	262
11.2.3	对交易之间时间间隔的建模	265
11.2.4	对标的价格过程的推断	269
11.2.5	实时交易系统	271