

金融物理学

非均衡定价中的测量建模

Physics of Finance
Gauge Modelling in Non-equilibrium Pricing

卡里尔·伊林斯基 (Kirill Ilinski) 著

大通曼哈顿银行

殷剑峰 李彦 译

一部引发新思想浪潮的力作 金融学新的发展里程中的开拓者



机械工业出版社
China Machine Press

金融教材译丛

金融物理学

非均衡定价中的测量建模

Physics of Finance

Gauge Modelling in Non-equilibrium Pricing

卡里尔·伊林斯基 (Kirill Ilinski) 著

大通曼哈顿银行

殷剑峰 李彦 译



机械工业出版社
China Machine Press

在国际金融界已经出现了许多不同的技术方法，这些方法都声称能够为使用者提供优势，能够为预测市场行为建模，或者能够为金融资产和衍生证券精确地定价。每一种技术都有它的支持者和反对者。同时，也有一些方法，比如布莱克-斯科尔斯的方法，已经占据了统治地位。不过，金融界还是在寻找新的理论，这样的理论可以更好、更准确地为分析师和交易者提供帮助。卡里尔·伊林斯基多年来一直在发展和发表他的理论，现在，他把《金融物理学：非均衡定价中的测量建模》奉献给了我们。这本书将物理学中的技术引入到了金融学中，从而描述了金融资产定价中的一种全新方法。在交易者和金融工程师们寻找现代金融学的下一个重大发展方向的过程中，本书将证明它是一本关键性的著作。

Kirill Ilinski. Physics of Finance: Gauge Modelling in Non-equilibrium Pricing.

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons Ltd., Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1JJ, England.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Authorized edition for sale throughout the world.

本书中文简体字版由John Wiley & Sons公司授权机械工业出版社在全球独家出版发行，未经出版者书面许可，不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

版权所有，侵权必究。

本书版权登记号：图字：01-2001-0688

图书在版编目（CIP）数据

金融物理学：非均衡定价中的测量建模/伊林斯基（Ilinski, K.）著；殷剑峰，李彦译. —北京：机械工业出版社，2003.3

（金融教材译丛）

书名原文：Physics of Finance: Gauge Modelling in Non-equilibrium Pricing

ISBN 7-111-11563-5

I. 金… II. ①伊… ②殷… ③李… III. 物理学-应用-金融学 IV. F830

中国版本图书馆CIP数据核字（2003）第004431号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）

责任编辑：李 玲 版式设计：赵俊斌

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年4月第1版第1次印刷

889mm × 1194mm 1/16 · 19.75印张

定价：48.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

译者序

不得不承认，这是一本艰深的学术著作。不过，在深感艰难之余，我们也很庆幸自己能够涉足到金融学领域，因为这个领域不仅关乎千百万普通投资者的福祉，还得到了像伊林斯基这样的资深数学家和物理学家的关注。如果有人非要把经济学当做是社会科学的王冠，那么，将金融学看成是王冠上的那颗宝石似乎也不为过。

在阅读本书以及目前出现的其他众多的资产定价理论之前，我们以为，首先了解一下金融学的发展历史是必要的，因为惟有如此才能把握理论前进的方向，才能了解这些理论居于何种地位。关于金融学的发展历程有不同的说法，本书也给出了一个历史回顾。这里，采用罗伯特·豪根（Robert Haugen，1999）对学院金融学演化的分类是不无裨益的^①。

豪根认为，金融学的演进经历了三个过程：旧金融学、现代金融学以及新金融学。旧金融学的典范著作是本杰明·格雷厄姆和大卫·多德的《证券分析》以及亚瑟·斯通·丢寅的《公司金融政策》，其基本的分析范式就是用会计和法律工具来分析公司的财务报表以及金融要求权的性质。

现代金融学的基础是如今盛行的金融经济学。金融经济学的核心问题是为单只的证券或若干只证券组成的资产组合定价。从它的发展历程看，金融经济学基本上遵循了一条逐渐背离被经济学奉若神明的一般均衡思想的路径：（1）阿罗-德布鲁的一般均衡存在定理；（2）资产组合选择理论，来自于马柯维茨的博士论文，最初这只是纯技术性的组合选择分析，然而，当货币主义学派的鼻祖、日后的诺贝尔经济学奖得主弗里德曼将马柯维茨准备用来答辩的博士论文斥之为非经济学后，他就不得不在其中加入了效用函数，以融入主流的一般均衡框架之中；（3）资本资产定价模型，这依然是一般均衡的范式——个体当事人在约束条件下最大化自己的均值-方差效用，市场由所有这种同质的当事人组成，在均衡时就得到了著名的两基金分离定理；（4）布莱克-斯科尔斯的期权定价理论，这是对一般均衡范式的又一次突破，其基本思路就是用价格遵循几何布朗运动的基础证券同基于该证券的期权构造一个资产组合，该组合正好将随机的布朗运动给消除了，因此，组合就是无风险的，在“无套利”的情况下，它的收益必然等同于无风险利率；（5）罗斯的套利定价理论，这是对布莱克-斯科尔斯理论中“无套利”条件的推广，罗斯在他关于APT的经典论文中将此条件扩展为一个一般性的“资产定价基本定理”——无套利假设等价于存在对未来不确定性的一种“等价鞅测度”，按此测度，任何资产的预期收益率就等于无风险利率。至

^① 此处转引自Kettell, Brian(2001): *Financial Economics*, Prentice Hall。——译者注

此，金融经济学在很大程度上就脱离了由理性的个体最优化到所有个体最优化行为达到彼此均衡的一般均衡范式。可是，在本质上，这依然是一种均衡理论——关于当事人的理性行为导致无套利均衡的理论。这或许可以解释为什么现代金融学要冠之以金融“经济学”这样的名称。可以说，集金融经济学之大成者就是“有效市场假说”——证券价格遵循随机游走，市场是一个鞅或“公平博弈”，因为所有的“不公平”都已经被无套利假设消除了。这一套理论是如此的令华尔街陶醉，以至于将马柯维茨的理论和期权定价理论称作是两次“华尔街革命”。而在理论界，20世纪80年代以前的主流思想就是罗彻斯特大学和哈佛商学院教授詹森总结的所谓“詹森的信仰”（Jensen's belief, 1978）：“经济学中没有哪个定理能够如有效市场假说那样具有如此之多的坚实的经验证据。”

然而，1987年的“黑色星期一”，特别是1998年美国长期资本管理公司的惨败惊醒了这帮金融经济学家们：市场并非如他们想象的那么完美，套利未必不存在，而当市场发生重大事件时，无套利假设更是一种虚幻。实际上，金融经济学追求均衡的基本理念同第二次世界大战之后到20世纪70年代末以前的比较稳定的国际金融经济环境不无关系。当时，在布雷顿森林体系下，全球主要经济体之间的汇率基本稳定，金融全球化的发展依然处于初级阶段。而在布雷顿森林体系崩溃之后，金融全球化的迅速发展导致巨额的资金在全球范围内迅速流动^①，在浮动汇率制下由于缺乏一个国际性的最后贷款人，这就必然导致市场频繁波动，甚至发生危机，市场也将远离均衡态。

事实上，重大的市场事件乃至投机引发的危机在历史上早就频繁地发生。比较著名的有：17世纪的荷兰郁金香泡沫、18世纪的英国南海事件以及法国的密西西比事件。其中，在南海事件中发生的这么一个逸闻是有趣而又富有启示意义的^②：1720年4月20日，经典物理学的奠基人牛顿将他持有的南海公司股票卖出，获得了约7 000英镑的100%高额利润，不幸的是，当时的投机冲动同样也感染了他，他在市场达到最高点时买入了大量的股票，最后损失了20 000英镑。事后，牛顿总结说：“我可以计算天体运动，但无法计算人类的疯狂。”这或许说明了两点：第一，如美国麻省理工学院荣誉退休教授金德尔伯格说过的那样：“经济学需要历史，更甚于历史需要经济学。”在现代金融经济学中从事资产定价的数学家们应该了解一下历史。否则，他们在构造模型的时候可能就如模型中所设想的理性投资者那样在现实中变得如此短视。第二，仿照金德尔伯格的话说：“经济学需要数学，更甚于数学需要经济学。”牛顿认为他可以把握天体运动但无法把握市场的行为，实际上，由于他所采用的古典数学体系，他既把握不了动态混沌的市场，也把握不了很多情况下的物理现象，比如：高速、极大质量或极小质量物体的运动——前者涉及到爱因斯坦的相对论，后者属于量子力学讨论的范畴。跟经济学以及经典物理学一样，金融经济学之所以如此偏好均衡，很重要的一个原因就是市场在均衡以及均衡附近的状态在数学上很好处理。实际上，所谓的均衡就仿佛钟摆处于垂直的位置，一旦现实达到了均衡，一切就死亡了。活灵活现的万

① 注意，本书的一大创意就是将市场中流动着的资金流加入了定价模型中。——译者注

② Kindleberger, Charles, P(1978): *Manias, Panics, and Crashes: A History of Financial Crises*. ——译者注

千世界永远钟爱非均衡。

市场现实和金融经济学在数学知识上的匮乏促使豪根推出了所谓的新金融学。豪根认为,新金融学就是要用统计学、计量经济学和心理学的研究非有效的市场。对于新金融学来说,首要的事情就是丢弃过去那些没有解释力的理论,在此过程中,关键之处在于放弃这样的假设:金融市场中的所有行为都可以用理性经济行为来解释。新金融学家需要仔细分析数据,在研究市场行为时不能带有任何先见之明。豪根强调,新金融学分析范式的核心就是建立“归纳性”的特别因素模型(Inductive ad hoc Factor Models)。在这些模型中有豪根本人提出的预期收益模型——就单只证券来分析其特有的影响预期收益的因素,陈(Chen)、罗尔(Roll)及罗斯(Ross)的风险因素模型——寻找那些能够说明股票收益同通货膨胀率、GDP等之间相关性的因素,以及康曼(Kahneman)和特瓦斯基(Tversky)开创的行为金融学——分析当事人在收益和风险之间进行取舍的过程中,时而精确计算,时而陷入情绪冲动的行为。

顺势而上的“新金融学”确有一定的说服力,然而,同主流的金融经济学一样,它也存在着若干很可能是比较严重的问题。

首先,虽然如娄和迈金莱在《非随机地游走于华尔街》^①一书中所说的那样,市场表现出了大量的同有效市场假说相对的异常现象,但是,在1998年9月《金融经济学杂志》上发表的一篇题为《市场效率、长期收益和行为金融学》的文章中,法玛反驳道,在对市场异常现象的研究中,没有明显证据表明长期收益具有系统性的反应过度或反应不足,而长期收益反转如同长期收益持续那么频繁。由此,非有效的市场和有效的市场可能都不完全对。

其次,科学界都公认哲学家波普尔的看法:对于科学理论的一个基本要求是,它必须使用演绎推理,而非归纳推理。这就仿佛是我们不能在看到10只黑乌鸦之后,就得出“天下乌鸦一般黑”的结论那样。将归纳推理用于案例分析、计量模型是无可厚非的,但要想凭此来“归纳”出一个理论则缺乏基本的逻辑基础。这正是强调实用的“新金融学”的致命之处。在这一点上,金融经济学显然占尽优势。

再次,“新金融学”同主流的金融经济学一样,都面临着所谓的“高阶逻辑”问题。凯恩斯在20世纪初就对该问题做了一个经典而有趣的描述^②:市场就如同一场特殊的选美比赛,参赛者要求在100张照片中选出6张最漂亮的,由于不存在一个关于漂亮的公认标准,所以,得胜者就是那个选出的6张照片最接近于所有参赛者平均意见的人。由此,每个参赛者就不是去挑选他认为“客观”上漂亮的照片,而是去推测其他人的想法。可是,每一个参赛者推测的其他参赛者的想法本身又将影响其他人,乃至该参赛者的推测。这种“我想你怎么想、我还要想你怎么想我怎么想……”的问题在经济学中没有得到比较好的解决,比如,博弈论通常也只是将此简化为极小极大策略这样的一阶逻辑问题。至于“新金融学”,由于这个问题,它更是无法给出一个一般性的理论框架。

^① A Non-Random Walk Down Wall Street, Lo and Mackinlay, 1999。本书引用了该书的若干结论。——译者注

^② 《就业、利息和货币通论》,第12章。——译者注

将金融学的发展总结至此，我们就可以看出本书的特色了。

第一，关于市场有效还是无效（对应的说法是市场是否存在套利）。作者认为，市场能否恢复均衡取决于市场反应的特征时间同信息到达的间隔时间的关系，如果前者小于后者，则市场将恢复均衡；反之，如果两者相差不大，甚至前者大于后者，则市场将以复杂混沌的方式演化。另外，市场有效亦或无效也是一个研究中采用的时间标度问题——从短期数据看可能技术分析顶用，从长期数据看就属于有效市场的世界了。因此，传统的数理金融学（即金融经济学）是不完备的理论，而这归根到底在于均衡的世界无法容纳资金流的存在。通过引入资金流，作者说明，测量理论在传统理论在考虑资金流情况下的一个推广而非替代，或者说，传统理论同没有资金流情况下的测量模型是一致的。并且，测量模型在市场存在随机套利（虚拟套利）时能够更好地拟合实际的市场数据，甚至可以考虑完全非均衡的衍生证券定价问题。于是，本书给出的测量理论不仅融合了主流的金融经济学观点，而且考虑到了（如同“新金融学”所要求的）对市场行为预测的准确性问题。

第二，本书采用了包括现代物理学在内的自然科学用以构造公理化理论体系的方法。先是提出了类似于经济学理论中前提假设的第一原理，随后一步一步地在模型中加入符合市场现实的特征，从而构造出各种适合特定用途的现象性模型。这种推理过程既克服了“新金融学”只见树叶、不见森林的归纳式建模方法，也回避了主流金融经济学僵化的学术偏见。正如作者在总结全书时说，现实中有诸多特征的系统是如此复杂，希望仅用一个简单的数学陈述来描述它就是值得怀疑的了。不过，既然我们已经有了一个一般性的测量框架，而且这个框架也能容纳系统的各种复杂特征，那么，在便于分析的一般性和便于进行具体数值计算的应用性之间做出选择就完全取决于我们的需要了。

最后，本书使用的基本数学工具是在量子物理学中普遍使用的纤维束理论。著名数学家陈省身说：“将来数学研究的对象必然是流形。”纤维束正是两个流形——基和纤维构成的空间。这大致就规定了本书在数学中的水平。关于如索罗斯也同样提出的类似的“高阶逻辑”问题，作者认为这就如同物理学家理解不了量子的行为那样：之所以理解不了就是因为物理学家无法用“量子”的方式来思考。当经验观察不符合人类逻辑思维的结果时，数学就“变成了一种在理论同人类直觉相左时替代人类直觉的研究工具”。

就我们的知识结构而言，能够将此书翻译出来已实属万幸了。我们衷心感谢中国社科院李扬教授给我们的诸多指导和帮助。另外，南京大学数学系的老师以及物理系的崔亮和国商系的盛苗同学也就本书的数学及物理部分的翻译提出了宝贵的意见。这里都一一表示衷心的感谢。由于时间仓促，书中难免有翻译的不妥，甚至是没有理解原作者本意的地方，在此，请各位读者海涵。

殷剑峰 李彦
于中国社会科学院研究生院

作者简介

卡里尔·伊林斯基（Kirill Ilinski）毕业于列宁格勒州立大学的物理系。他在俄罗斯科学院斯特克罗夫数学研究院列宁格勒分院获得了博士学位。以后又在伯明翰大学物理学院从事了5年的研究工作，在那里，他开始对将理论物理学的方法应用到金融经济学中发生了兴趣，并且，通过将测量理论用于为远离均衡的资产价格建模，他还同时吸引了金融研究者和实践者的注意。在金融数学、数理物理学、统计物理学中的数学方法以及相关系统理论等方面他已经发表了50篇论文。伊林斯基博士已经加入了设在伦敦的大通曼哈顿银行的股权衍生证券部。

前言

本书是基于这么一个极具吸引力的观察：金融市场和物理学基本理论的根本对称性，即测量对称性是相同的。这就为一些非常发达的物理学和几何学方法在金融市场中的应用，特别是对付非均衡市场动态这个议题铺平了道路。这样的观察是如此的简单和出人意料，以至于人们对此的第一反应就是不敢相信。尝试一下吧，即使它听起来是如此疯狂。我的一个朋友——一位物理学家在阅读了本书的手稿之后说，这是一部科幻小说。我也总是这么看的：任何关于数理金融学的书籍无论如何都是科幻小说。

这本书是用某些新方法来看待老问题，即资产定价的非均衡方面。有人或许会认为，动态事实上不是那么重要。实际上，在大多数时候，均衡和非均衡模型几乎都给出了同样的结果，于是，从表面上看，过多地考虑额外的动态复杂性就显得没有必要了。这里的关键之处在于，市场中有这么一些时期，此时，对均衡模型的偏离是非常显著而且致命的。重大市场事件并不是如我们所设想的那样不频繁（参见第9章的描述），而且，一旦它们来到，就可以使当事人因不适当的模型而破产倒闭。如果你想知道如何为这些情况建模，这本书就是你应该阅读的。不管你是一个学者、一个数量分析师或一个交易者，在本书中都有让你受益的地方：如何建模、如何评判以及如何简单地忽略它们。你将了解标准均衡定价模型的缺陷以及克服它们的方法。你将看到，从理论和经验角度观察到的虚拟套利至少如我所知是从来没有得到教科书的认真对待，这样的忽略会造成数以十亿计的损失，而了解这方面的知识则可以增进你的盈利能力，提高你的风险意识。此外，作为一个副产品，你将学习到特别适合于动态模型的方法，这样的方法即使在均衡框架中也是非常有用的。

不过，正如读者所知，本书不讨论如何去赚钱。关于这方面有很多教你低买高卖的书籍，这里不需要我的帮助。在任何我认为可以构造盈利交易策略的地方我都将小心地避免讨论。你的钱是你的事。我讨论的是基本原理和模型，具体怎么做靠你自己。

这本书也不是为了让读者在面试时贩卖他或她的理论物理学背景。如果这是你的目标，那么最好是去阅读纳茨姆·泰勒伯（Nasim Taleb）的《动态对冲》（*Dynamical Hedging*）^①，并温习你先前得了C++的功课。在这里，你不会找到双障碍期权的希腊字母、P&L图表或其他毋庸置疑是有用的东西，同时，微分几何也没有用武之地（至少到目前为止）。

决定写作的技术水平是一件很困难的事情。我是否该讲授一下微分几何、泛函积分？每一页有多少公式就会把读者吓得不敢再阅读下去了？所有的作者都知道，不管选择什么

^① N.Taleb (1999), *Dynamical Hedging*. New York, Wiley.

样的水平，对于大多数读者来说都是错的——要么太容易，要么就太难了。这正是本书内容中的技术水平如此不统一的原因。本书是以这样的方式写作的：任何人都可以浏览一遍，并且可以或多或少地知道下一步该如何走。每一章都从对该章内容、目标以及方法的介绍开始，然后再逐渐展开越来越数学化的讨论。如果在某个地方你发现自己对这些数学和详情感到厌烦了，只需跳过这一节，甚至这一章。以这种方式阅读，你可以花一个晚上或两个晚上就对本书浏览一遍，随后再返回到你最感兴趣的地方（我希望有这么一些地方）。

感谢

我要感谢我的妻子亚历山德拉给予我的老朋友般的支持和合作，我也要感谢她同我就本书所做的艰苦的讨论，这样的讨论几乎破坏了我们快乐的家庭生活。大卫·威尔逊（David Wilson）给我提供了很大的帮助（在John Wiley & Sons出版社时），他是第一个劝我写作本书的人，并且在随后的写作过程中一直耐心地支持我。我还得感谢我的编辑萨曼塔·惠特克（Samantha Whittaker）以及在Wiley公司的所有员工，他们使得本书的出版成为可能。我不知道该如何表达我对伯明翰大学理论物理学组的研究生们的感谢，他们帮助我完成了手稿——我无法想象当时我有多么苦恼。纳西尔·阿法福（Nasir Afaf）、费利佩·阿帕瑞奇·阿考斯塔（Felipe Aparicio Acosta）、伊曼纽尔·德曼（Emanuel Derman）、伊瓦尔·艾克兰得（Ivar Ekeland）、约翰·朱尔（John Juer）、瑟基·卡瑟列夫（Sergey Kiselev）、埃利·克莱普菲希（Ely Klepfish）、罗德尼·摩根（Rodney Morgan）和迈克尔·西奥博尔德（Michael Theobald）对本书的积极评价也非常重要。我把最特殊的感谢给予格莱博·加里宁（Gleb Kalinin），他是我多年的朋友和合作者。如果没有他和他那批判性的思维，本书中有些章节的内容就不会出现。在此我无法提到所有那些在经济学理论和交易方面对我产生影响的人们，即使在这里没有看到你的名字，也请相信，我惦记着你们，对你们表示感谢。

卡里尔·伊林斯基
于伯明翰

目 录

译者序
作者简介
前言

第1章 绪论	1
1.1 动态相对于均衡	2
1.2 自然科学相对于社会科学	9
1.3 “公平游戏”和分形市场假说	11
1.4 动态, 交易量和资金流量	13
1.5 本书的内容	14
1.6 小结	17
1.7 进一步阅读	17
第2章 金融领域中的纤维束: 第一次接触	18
2.1 纤维束上的微分几何	19
2.1.1 纤维束	19
2.1.2 平移	23
2.1.3 曲率	26
2.2 金融例证	27
2.2.1 外汇	28
2.2.2 作为平移的净现值和贴现	29
2.2.3 两个推广: 许多资产和时间	31
2.3 金融电子力学	32
2.3.1 作为曲率的套利	33
2.3.2 电荷、力和测量对称	34
2.3.3 不确定性和量化	36
2.4 小结	37
2.5 进一步阅读	38

第3章 纤维束：数学	39
3.1 流形	40
3.2 纤维束	45
3.3 纤维束上的连通	47
3.4 曲率	50
3.5 变换法则	51
3.6 不变性和不变量	53
3.7 格推广	54
3.8 为了好奇心：指标定理	56
3.9 小结	57
3.10 进一步阅读	57
第4章 纤维束：物理学	58
4.1 电磁学	59
4.2 测量不变性和几何	64
4.3 作为测量理论的电动力学	65
4.4 威尔的测量理论	67
4.5 量子电动力学	69
4.6 其他的基本测量理论	72
4.6.1 弱相互作用	73
4.6.2 强力	74
4.6.3 引力	75
4.7 再看威尔的理论	76
4.8 小结	76
4.9 进一步阅读	77
第5章 金融学中的纤维束：测量场动态学	78
5.1 纤维束：正式构造	80
5.1.1 离散基的构造	80
5.1.2 结构群	83
5.1.3 纤维	83
5.1.4 平移、曲度和套利	83
5.2 基本假定	86

5.3 动态的构造	89
5.3.1 线性行程	91
5.3.2 二次行程	92
5.4 连续纤维束	93
5.5 测量不变: 实际问题	99
5.5.1 股票分割和贬值	99
5.5.2 交易成本	100
5.5.3 心理因素	103
5.5.4 价格中数字的非均匀分布	103
5.6 小结	106

第6章 迅速资金流的动态I107

6.1 简介	108
6.2 迅速的价格动态: 模型和经验主义者	108
6.2.1 模型	110
6.2.2 经验结果	113
6.3 资金流: 第一原理	120
6.4 关于单一时间视界的动态构造	122
6.4.1 单一投资者的情形	123
6.4.2 风险因子	124
6.4.3 许多投资者的情形	125
6.4.4 格测量理论	128
6.5 法默项	129
6.6 相互作用	132
6.7 同其他微观模型的比较	134
6.8 模型的统计特征	137
6.9 小结	142
6.10 概率分布函数——分析	143

第7章 迅速资金流的动态II149

7.1 简介	150
7.2 技术分析	151
7.3 有效市场假说	154
7.4 短时间动态方程	155

7.5	价格调整的计量问题	162
7.6	对第6章、第7章的最后评论	163
7.7	小结	165
第8章	虚拟套利定价理论	166
8.1	均衡资产定价	167
8.2	测量模型：对APT的修正	171
8.3	关于虚拟套利存在时一个无风险资产组合的有效方程	175
8.4	对APT的修正	178
8.5	对CAPM的修正	181
8.6	讨论	183
8.7	小结	185
第9章	衍生证券	186
9.1	无套利假设下的衍生证券定价	191
9.2	套利还是无套利：若干经验结论	193
9.2.1	来自于指数期货套利的证据	194
9.2.2	套利和极端市场事件	202
9.3	衍生证券定价的测量模型	208
9.3.1	布莱克-斯科尔斯方程的推导	212
9.3.2	边界条件	213
9.3.3	同布莱克-斯科尔斯分析之间的关系	215
9.3.4	套利资金流	216
9.3.5	其他资金流	218
9.4	具有虚拟套利的衍生证券定价的现象性模型	220
9.4.1	关于衍生证券价格的有效方程	222
9.4.2	对模型的讨论	223
9.5	偏微分方程框架	224
9.6	显式解	227
9.6.1	纯Ornstein-Uhlenbeck过程	229
9.6.2	关于被限制布朗运动的母函数	230
9.6.3	复合过程	231
9.6.4	特定的衍生证券	232
9.7	交易成本和套利策略	235

9.8 远离均衡的衍生证券定价	238
9.8.1 基础价格的随机动态	239
9.8.2 定价方程	242
9.8.3 最后的评论	244
9.9 小结	245
 第10章 结论	246
 附录A 量子场理论的方法和它们在金融领域中的运用	248
A.1 生灭算子的基本知识	249
A.1.1 简单情况下的占用数字表示	249
A.1.2 多重坐标的推广	251
A.1.3 为什么我们需要生灭算子	252
A.1.4 著名的例子：调和振子	254
A.2 泛函积分	255
A.2.1 费曼路径积分	256
A.2.2 一致状态表示法和泛函积分	258
A.2.3 关于关系式 (6-18) 的证明	261
A.3 关于泛函积分的精确结果	261
A.3.1 高斯积分	262
A.3.2 关于调和振子的路径积分	264
A.3.3 运用路径积分方法推导方程 (9-50)	266
A.4 金融应用	267
A.4.1 短期利率模型	268
A.4.2 从路径积分方法得来的关于Vasicek模型的精确结果	269
A.4.3 所罗门兄弟模型	272
A.5 泛函积分的计算	274
A.5.1 摄动理论和费曼图	274
A.5.2 准经典方法和有效行程	276
A.5.3 数值方法	278
A.6 泛函积分和Itô微分	280
A.6.1 关于准布朗过程的泛函积分	281
A.6.2 Fokker-Planck方程	281

A.6.3 Itô引理	282
术语表	285
参考文献	291

第 章

绪 论

“命运总是会赢的。大多数神在掷骰子，而命运在下象棋……”

——特里·普拉切特 (Terry Pratchett), 《有趣时代》
(Interesting Times)