

TURING

图灵数学 · 统计学丛书 33

WILEY



Analysis of Financial Time Series

金融时间序列分析

(第 2 版)

[美] Ruey S. Tsay 著

王辉 潘家柱 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵数学 · 统计学丛书 33



Analysis of Financial Time Series

金融时间序列分析

(第 2 版)

[美] Ruey S. Tsay 著

王辉 潘家柱 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

金融时间序列分析: 第2版/(美)蔡瑞胸著;王辉,
潘家柱译. —北京:人民邮电出版社, 2009.6

(图灵数学·统计学丛书)

ISBN 978-7-115-20582-7

I. 金… II. ①蔡… ②王… ③潘… III. 金融-时间序列
分析 IV. F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 037939 号

内 容 提 要

本书全面阐述了金融时间序列,并主要介绍了金融时间序列理论和方法的当前研究热点和一些最新研究成果,尤其是风险值计算、高频数据分析、随机波动率建模和马尔科夫链蒙特卡罗方法等方面。此外,本书还系统阐述了金融计量经济模型及其在金融时间序列数据和建模中的应用,所有模型和方法的运用均采用实际金融数据,并给出了所用计算机软件的命令。较之第1版,本版主要在新的发展和实证分析方面进行了更新,新增了状态空间模型和 Kalman 滤波以及 S-Plus 命令等内容。

本书可作为时间序列分析的教材,也适用于商学、经济学、数学和统计学专业对金融的计量经济学感兴趣的高年级本科生和研究生,同时,也可作为商业、金融、保险等领域专业人士的参考书。

图灵数学·统计学丛书

金融时间序列分析(第2版)

◆ 著 [美] Ruey S. Tsay

译 王 辉 潘家柱

责任编辑 明永玲

执行编辑 边晓娜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址: <http://www.ptpress.com.cn>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 33.75

字数: 680 千字

印数: 1-3 000 册

2009年6月第1版

2009年6月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2007-5301 号

ISBN 978-7-115-20582-7/O1

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)51095186 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010)67171154

版 权 声 明

Original edition, entitled *Analysis of Financial Time Series, Second Edition*, by Ruey S. Tsay, ISBN 978-0-471-69074-0, published by John Wiley & Sons, Inc.

Copyright © 2005 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. This translation published under License.

Translation edition published by POSTS & TELECOM PRESS Copyright © 2009.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权人民邮电出版社独家出版。
本书封底贴有 John Wiley & Sons, Inc. 激光防伪标签，无标签者不得销售。
版权所有，侵权必究。

译者简介

潘家柱 曾任北京大学金融数学系副教授、教授和博士生导师,并在伦敦经济学院 (LSE) 从事过两年的研究工作,现在英国斯特拉思克莱德大学任教. 2002 年,与程士宏教授等人一起获得教育部提名国家科学技术奖自然科学奖二等奖. 2008 年,担任第 7 届世界概率统计大会时间序列分组的主持人. 研究工作受到英国爱丁堡皇家学会和中国国家自然科学基金委员会的基金资助.

主要研究方向为: 时间序列分析、金融计量经济学和风险管理.

王辉 毕业于北京大学数学科学学院概率统计系,获博士学位. 现任教于中央财经大学金融学院金融工程系.

主要研究方向为: 时间序列分析和金融计量经济学.

前 言

近年来金融时间序列这个研究领域已经引起了人们广泛的关注,尤其是当 2003 年 Robert Engle 教授和 Clive Granger 教授获得诺贝尔经济学奖之后.与此同时,金融计量经济学领域也有了新的发展,尤其是在高频金融、随机波动率以及可用性软件方面.于是我们需要为高年级本科生、研究生、技术人员以及研究人员提供一套更为完善易懂的素材.在准备第 2 版时我们的主要目的是在新的发展和实证分析方面进行更新,并且扩大这本书的核心素材,将异方差和序列相关存在时的相合协方差估计、波动率建模的备选方法、金融因子模型、状态空间模型、卡尔曼滤波以及随机扩散模型的估计也包含了进来.

因此本书扩展到了 12 章,而且本书另一个重要的修改是包含了 S-Plus 命令和说明.本版同时更新了许多实证例子和练习,使其包含了最近的数据.

新增的两章是第 9 章主成分分析及因子模型,与第 11 章状态空间模型和卡尔曼滤波.本书所讨论的因子模型包含了宏观经济因子模型、基本面的因子模型和统计因子模型.对于分析像组合收益这样的高维金融数据,这些模型是简单而有力的工具.为说明其应用,本书给出了实证的例子.新增的状态空间模型和卡尔曼滤波是为了阐明其在金融中的应用以及容易计算的特点.第 12 章中,在一般马尔科夫链蒙特卡罗 (MCMC) 框架下,状态空间模型和卡尔曼滤波可用来估计随机波动率模型.该估计还用到了向前滤波和向后抽样的方法以增加计算效率.

下面我们对第 2 版新增的内容给出一个简要概括.

- (1) 更新了全书所用的数据.
 - (2) 给出了 S-Plus 命令和演示.
 - (3) 第 2 章考虑了单位根检验以及存在异方差和序列相关时协方差矩阵的相合估计方法.
 - (4) 第 3 章描述了波动率建模的备选方法,包括应用高频交易数据以及一项资产的日最高价和日最低价.
 - (5) 第 4 章给出了非线性模型和方法的更多应用.
 - (6) 第 7 章引入了更多风险值的概念和应用.
 - (7) 第 8 章讨论了协整向量自回归模型.
 - (8) 第 10 章涵盖了各种多元波动率模型.
 - (9) 第 12 章中增加了有效的 MCMC 方法来估计随机波动率模型.
- 本次修改主要得益于同事、朋友以及许多第 1 版读者们富有建设性的意见.我

对他们表示由衷的感谢. 特别感谢 J. C. Artigas, Spencer Graves, Chung-Ming Kuan, Henry Lin, Daniel Peña, Jeff Russell, Michael Steele, George Tiao, Mark Wohar, Eric Zivot 以及我的 MBA 班上学习金融时间序列的学生们, 感谢他们的建议和讨论, 同时要特别感谢 John Wiley 的生产编辑 Rosalyn Farkas. 在此我也要感谢我的妻子和孩子, 他们给了我无条件的支持和鼓励. 值得一提的是, 我在金融计量经济方面的部分研究受到美国国家自然科学基金、(中国台湾)“中央研究院”经济研究所高频金融项目以及芝加哥大学商学院的支持.

最后, 该书的网址是:

gsbwww.uchicago.edu/fac/ruey.tsay/teaching/fts2.

蔡瑞胸 (Ruey S. Tsay)

芝加哥大学

第 1 版前言

本书来源于自 1999 年以来我在芝加哥大学商学院所教的 MBA(工商管理硕士) 金融时间序列分析课程. 它也包含了过去几年我开设的时间序列分析博士生课程的素材. 这是一本引论性质的书, 旨在对金融计量经济模型及其在金融时间序列数据的建模和预测中的应用进行综合与系统的阐述. 本书的目的是使读者了解金融数据的基本特征、理解金融计量经济模型的应用并获得分析金融时间序列的经验.

本书可作为金融专业 MBA 学生的时间序列分析教材, 也适用于商学、经济学、数学和统计学专业对金融计量经济学感兴趣的高年级本科生和研究生. 同时, 它也可作为商业、金融、保险领域中要进行风险值 (VaR, Value at Risk) 计算、波动率 (volatility) 建模和对具有序列相关性的数据进行分析等工作的研究人员和业内人士的参考书.

对计量经济学和统计学文献中的金融计量方法的最新进展进行概述是本书的突出特点. 这些进展包括当前的研究热点, 如风险值、高频数据分析和马尔可夫链蒙特卡罗 (MCMC) 方法等. 特别地, 本书包含了一些在学术杂志上尚未发表的最新研究成果, 可参阅第 6 章中关于使用封闭形式的跳跃扩散方程来进行衍生产品的定价, 第 7 章中基于非齐次二维泊松 (Poisson) 过程的极值理论计算风险值, 以及第 9 章中带时变相关系数的多元波动率模型等. 本书之所以介绍 MCMC 方法, 是因为这类方法在金融计量经济学中是强有力的工具, 并且对其有大量的应用.

强调实例和数据分析是本书的另一个突出特点. 全书采用实际金融数据来说明所讨论模型和方法的应用. 我们的分析用到了多种计算机软件: 线性时间序列的建模用 SCA (Scientific Computing Associates, 科学计算助手); 估计波动率模型用 RATS (Regression Analysis for Time Series, 时间序列的回归分析); 实现神经网络和绘制 PS 格式的图形用 S-Plus. 运行这些软件包所需的一些命令将在相应各章后的附录中给出. 特别地, 用来估计多元波动率模型的复杂的 RATS 程序在第 9 章的附录 A 中给出. 其中有些我和其他人编的 Fortran 程序可用来对简单的期权定价、估计极值模型、计算风险值和进行贝叶斯 (Bayesian) 分析. 一些数据和程序可以在万维网上获得, 网址为: <http://www.gsb.uchicago.edu/fac/ruey.tsay/teaching/fts>

本书第 1 章描述了金融时间序列数据的一些基本特征. 其他各章分为三个部分: 第一部分由第 2 章至第 7 章组成, 讨论一维金融时间序列的分析及应用; 第二

部分包括第 8 章和第 9 章,是关于多项资产收益率序列的;最后一部分是第 10 章,介绍用 MCMC 方法进行金融中的贝叶斯推断.

完全读懂本书需要具备基本统计学的概念和知识.在每章中,当一个必要的统计学概念第一次出现时,我都给出了一个简短的回顾.即使如此,统计学或商业统计学的必备知识,包括概率分布、线性回归分析,还是竭力推荐的.金融知识对理解书中所讨论的应用是很有帮助的.然而,对具有很好的计量经济学和统计学背景的读者来说,也会在本书中发现多方面有趣的主题和带挑战性的问题.

作为 MBA 的课程,第 2 章和第 3 章是核心内容,另外还可加入一些非线性方法的内容(如第 4 章的神经网络及第 5~7 章和第 10 章中讨论的应用).对贝叶斯推断感兴趣的读者可以从第 10 章的前 5 节开始阅读.

金融时间序列分析的研究发展迅速,新成果不断出现.虽然我已经力图覆盖尽可能广的内容,但仍有许多主题没有涉及或只是一带而过.

我真诚地感谢我的老师和亲密的朋友 George C. Tiao,是他在这些年中给了我指导和鼓励,让我有了对统计应用的坚定信念.感谢 Steve Quigley, Heather Haselkorn, Leslie Galen, Danielle LaCourciere 和 Amy Hendrickson,没有他们的帮助这本书是不可能出版的.感谢 Richard Smith 送给我极值理论的估计程序.感谢 Bonnie K. Ray 对本书的几个章节都给出了非常有益的建议.感谢 Steve Kou 送给我他的关于跳跃扩散模型论文的预印本.感谢 Robert E. McCulloch 许多年来在 MCMC 方法上的合作.感谢选修我的金融时间序列分析课程的许多学生的反馈和投入.感谢 Jeffrey Russell 和 Michael Zhang 关于高频金融数据的深入讨论.同时,也感谢芝加哥大学商学院和美国国家科学基金的支持.最后,对我的妻子 Teresa 的一贯支持、鼓励和理解,对 Julie, Richard 和 Vicki 给我带来的快乐和灵感以及对我的父母亲给我的关爱,表示我最衷心的感谢.

蔡瑞胸 (Ruey S. Tsay)

芝加哥大学

目 录

第 1 章 金融时间序列及其特征	1
1.1 资产收益率	2
1.2 收益率的分布性质	6
1.2.1 统计分布及其矩的回顾	6
1.2.2 收益率的分布	11
1.2.3 多元收益率	15
1.2.4 收益率的似然函数	15
1.2.5 收益率的经验性质	16
1.3 其他过程	17
练习题	20
参考文献	20
第 2 章 线性时间序列分析及其应用	21
2.1 平稳性	21
2.2 相关系数和自相关函数	22
2.3 白噪声和线性时间序列	26
2.4 简单的自回归模型	28
2.4.1 AR 模型的性质	28
2.4.2 实际中怎样识别 AR 模型	35
2.4.3 拟合优度	40
2.4.4 预测	41
2.5 简单滑动平均模型	43
2.5.1 MA 模型的性质	45
2.5.2 识别 MA 的阶	46
2.5.3 估计	47
2.5.4 用 MA 模型预测	47
2.6 简单的 ARMA 模型	49
2.6.1 ARMA(1,1) 模型的性质	49
2.6.2 一般的 ARMA 模型	51
2.6.3 识别 ARMA 模型	51
2.6.4 用 ARMA 模型进行预测	53
2.6.5 ARMA 模型的三种表示	54
2.7 单位根非平稳性	56
2.7.1 随机游动	56
2.7.2 带漂移的随机游动	57
2.7.3 带趋势项的时间序列	59
2.7.4 一般的单位根非平稳模型	59
2.7.5 单位根检验	60
2.8 季节模型	63
2.8.1 季节性差分	64
2.8.2 多重季节性模型	65
2.9 带时间序列误差的回归模型	70
2.10 协方差矩阵的相合估计	75
2.11 长记忆模型	77
附录 一些 SCA 的命令	79
练习题	81
参考文献	83
第 3 章 条件异方差模型	85
3.1 波动率的特征	86
3.2 模型的结构	86
3.3 建模	88
3.4 ARCH 模型	90
3.4.1 ARCH 模型的性质	91
3.4.2 ARCH 模型的缺点	92
3.4.3 ARCH 模型的建立	93
3.4.4 一些例子	95
3.5 GARCH 模型	99
3.5.1 实例说明	102
3.5.2 预测的评估	106
3.5.3 两步估计方法	106

3.6 求和 GARCH 模型	107	4.2.3 应用	166
3.7 GARCH-M 模型	108	4.3 建模	167
3.8 指数 GARCH 模型	109	4.4 预测	167
3.8.1 模型的另一种形式	110	4.4.1 参数自助法	168
3.8.2 实例说明	110	4.4.2 预测的评估	168
3.8.3 另一个例子	111	4.5 应用	170
3.8.4 用 EGARCH 模型进行 预测	113	附录 A 一些关于非线性波动率模型 的 RATS 程序	173
3.9 门限 GARCH 模型	114	附录 B 神经网络的 S-Plus 命令	174
3.10 CHARMA 模型	115	练习题	175
3.11 随机系数的自回归模型	117	参考文献	176
3.12 随机波动率模型	118	第 5 章 高频数据分析与市场微观 结构	180
3.13 长记忆随机波动率模型	118	5.1 非同步交易	180
3.14 应用	119	5.2 买卖报价差	184
3.15 其他方法	123	5.3 交易数据的经验特征	185
3.15.1 高频数据的应用	123	5.4 价格变化模型	190
3.15.2 日开盘价、最高价、最低 价和收盘价的应用	125	5.4.1 顺序概率值模型	190
3.16 GARCH 模型的峰度	127	5.4.2 分解模型	193
附录 波动率模型估计中的一些 RATS 程序	129	5.5 持续期模型	197
练习题	130	5.5.1 ACD 模型	199
参考文献	132	5.5.2 模拟	200
第 4 章 非线性模型及其应用	135	5.5.3 估计	202
4.1 非线性模型	136	5.6 非线性持续期模型	206
4.1.1 双线性模型	137	5.7 价格变化和持续期的二元 模型	207
4.1.2 门限自回归模型	138	附录 A 一些概率分布的回顾	211
4.1.3 平滑转移 AR(STAR) 模型	142	附录 B 危险率函数	214
4.1.4 马尔可夫转换模型	144	附录 C 对持续期模型的一些 RATS 程序	215
4.1.5 非参数方法	146	练习题	216
4.1.6 函数系数 AR 模型	153	参考文献	218
4.1.7 非线性可加 AR 模型	154	第 6 章 连续时间模型及其应用	219
4.1.8 非线性状态空间模型	154	6.1 期权	220
4.1.9 神经网络	154	6.2 一些连续时间的随机过程	220
4.2 非线性检验	159	6.2.1 维纳过程	220
4.2.1 非参数检验	160	6.2.2 广义维纳过程	222
4.2.2 参数检验	162	6.2.3 伊藤过程	223

6.3 伊藤引理·····	223	7.6.3 空头头寸的 VaR·····	275
6.3.1 微分回顾·····	223	7.6.4 收益率水平·····	275
6.3.2 随机微分·····	224	7.7 基于极值理论的一个新方法·····	276
6.3.3 一个应用·····	225	7.7.1 统计理论·····	277
6.3.4 u 和 σ 的估计·····	226	7.7.2 超额均值函数·····	279
6.4 股票价格与对数收益率的 分布·····	227	7.7.3 极值建模的一个新 方法·····	280
6.5 B-S 微分方程的推导·····	229	7.7.4 基于新方法的 VaR 计算·····	282
6.6 B-S 定价公式·····	230	7.7.5 参数化的其他方法·····	283
6.6.1 风险中性世界·····	230	7.7.6 解释变量的使用·····	286
6.6.2 公式·····	231	7.7.7 模型检验·····	287
6.6.3 欧式期权的下界·····	233	7.7.8 说明·····	288
6.6.4 讨论·····	234	练习题·····	291
6.7 伊藤引理的扩展·····	237	参考文献·····	293
6.8 随机积分·····	238	第 8 章 多元时间序列分析及其应用·····	294
6.9 跳跃扩散模型·····	239	8.1 弱平稳与交叉-相关矩阵·····	294
6.10 连续时间模型的估计·····	245	8.1.1 交叉-相关矩阵·····	295
附录 A B-S 公式积分·····	246	8.1.2 线性相依性·····	296
附录 B 标准正态概率的近似·····	247	8.1.3 样本交叉-相关矩阵·····	297
练习题·····	247	8.1.4 多元混成检验·····	301
参考文献·····	248	8.2 向量自回归模型·····	302
第 7 章 极值理论、分位数估计与 风险值·····	250	8.2.1 简化形式和结构形式·····	303
7.1 风险值·····	250	8.2.2 VAR(1) 模型的平稳性 条件和矩·····	305
7.2 风险度量制·····	252	8.2.3 向量 AR(p) 模型·····	306
7.2.1 讨论·····	254	8.2.4 建立一个 VAR(p) 模型·····	308
7.2.2 多个头寸·····	255	8.2.5 脉冲响应函数·····	314
7.3 VaR 计算的计量经济方法·····	255	8.3 向量滑动平均模型·····	317
7.4 分位数估计·····	260	8.4 向量 ARMA 模型·····	322
7.4.1 分位数与次序统计量·····	260	8.5 单位根非平稳性与协整·····	327
7.4.2 分位数回归·····	261	8.6 协整 VAR 模型·····	330
7.5 极值理论·····	262	8.6.1 确定性函数的具体化·····	332
7.5.1 极值理论的回顾·····	262	8.6.2 最大似然估计·····	333
7.5.2 经验估计·····	265	8.6.3 协整检验·····	334
7.5.3 对股票收益率的应用·····	267	8.6.4 协整 VAR 模型的 预测·····	335
7.6 VaR 的极值方法·····	271		
7.6.1 讨论·····	273		
7.6.2 多期 VaR·····	275		

8.6.5 例子	335	10.4 二元收益率的 GARCH 模型	398
8.7 门限协整与套利	340	10.4.1 常相关模型	398
8.7.1 多元门限模型	341	10.4.2 时变相关模型	402
8.7.2 数据	341	10.4.3 最近的一些发展	406
8.7.3 估计	342	10.5 更高维的波动率模型	407
附录 A 向量与矩阵的回顾	344	10.6 因子波动率模型	412
附录 B 多元正态分布	348	10.7 应用	414
附录 C 一些 SCA 命令	349	10.8 多元 t 分布	416
练习题	350	附录 对估计的一些注释	417
参考文献	351	练习题	422
第 9 章 主成分分析和因子模型	353	参考文献	422
9.1 因子模型	353	第 11 章 状态空间模型和卡尔曼滤波	424
9.2 宏观经济因子模型	355	11.1 局部趋势模型	424
9.2.1 单因子模型	355	11.1.1 统计推断	427
9.2.2 多因子模型	359	11.1.2 卡尔曼滤波	428
9.3 基本面因子模型	361	11.1.3 预测误差的性质	430
9.3.1 BARRA 因子模型	361	11.1.4 状态平滑	431
9.3.2 Fama-French 方法	366	11.1.5 缺失值	435
9.4 主成分分析	366	11.1.6 初始化效应	435
9.4.1 PCA 理论	366	11.1.7 估计	436
9.4.2 经验的 PCA	368	11.1.8 所用的 S-Plus 命令	437
9.5 统计因子分析	371	11.2 线性状态空间模型	440
9.5.1 估计	372	11.3 模型转换	441
9.5.2 因子旋转	373	11.3.1 带时变系数的 CAPM	442
9.5.3 应用	374	11.3.2 ARMA 模型	444
9.6 渐近主成分分析	379	11.3.3 线性回归模型	450
9.6.1 因子个数的选择	379	11.3.4 带 ARMA 误差的线性回归模型	451
9.6.2 例子	380	11.3.5 纯量不可观测项模型	452
练习题	382	11.4 卡尔曼滤波和平滑	454
参考文献	383	11.4.1 卡尔曼滤波	454
第 10 章 多元波动率模型及其应用	385	11.4.2 状态估计误差和预测误差	456
10.1 指数加权估计	386		
10.2 多元 GARCH 模型	388		
10.2.1 对角 VEC 模型	389		
10.2.2 BEKK 模型	391		
10.3 重新参数化	393		
10.3.1 相关系数的应用	393		
10.3.2 Cholesky 分解	395		

11.4.3 状态平滑·····	457	12.4.3 格子 Gibbs 抽样·····	480
11.4.4 扰动平滑·····	459	12.5 带时间序列误差的线性回归·····	481
11.5 缺失值·····	461	12.6 缺失值和异常值·····	485
11.6 预测·····	462	12.6.1 缺失值·····	485
11.7 应用·····	463	12.6.2 异常值的识别·····	487
练习题·····	469	12.7 随机波动率模型·····	491
参考文献·····	470	12.7.1 一元模型的估计·····	492
第 12 章 马尔可夫链蒙特卡罗方法及其		12.7.2 多元随机波动率	
应用·····	472	模型·····	496
12.1 马尔可夫链模拟·····	472	12.8 估计随机波动率模型的新	
12.2 Gibbs 抽样·····	473	方法·····	502
12.3 贝叶斯推断·····	475	12.9 马尔可夫转换模型·····	510
12.3.1 后验分布·····	475	12.10 预测·····	516
12.3.2 共轭先验分布·····	476	12.11 其他应用·····	518
12.4 其他算法·····	479	练习题·····	518
12.4.1 Metropolis 算法·····	479	参考文献·····	518
12.4.2 Metropolis-Hasting		索引·····	521
算法·····	480		

第1章 金融时间序列及其特征

金融时间序列分析考虑的是资产价值随时间演变的理论与实践。它是一个带有高度经验性的学科，但也像其他科学领域一样，理论是形成分析推断的基础。然而，金融时间序列分析有一个区别于其他时间序列分析的主要特点：金融理论及其经验的时间序列都包含不确定因素。例如，资产波动率有各种不同的定义，对一个股票收益率序列，波动率是不能直接观察到的。正因为带有不确定性，统计的理论和方法在金融时间序列分析中起重要作用。

本书的目的是提供一些金融时间序列的知识，介绍一些对分析金融时间序列有用的统计工具，从而使读者获得各种经济计量方法在金融中应用的经验。第1章引入资产收益率的基本概念，并简要介绍本书所讨论的一些过程。第2章回顾了一些线性时间序列分析中的基本概念，如平稳性、自相关函数，引入了一些简单的线性模型来处理序列的序列相关性，并讨论了带时间序列误差、季节性、单位根非平稳性和长记忆过程的回归模型。当存在条件异方差性和序列相关时，该章给出了协方差阵相合估计的方法。第3章着重讨论了条件异方差性（资产收益率的条件方差）的建模，讨论了新近发展起来的用来描述资产收益率的波动率随时间演变的各种经济计量模型。该章还讨论了波动率建模的其他方法，包括使用高频交易数据和一项资产的日最高价格和日最低价格进行建模。第4章讨论了金融时间序列中的非线性性，引入了能区别非线性序列与线性序列的检验统计量，并讨论了几个非线性模型。该章还介绍了非参数估计方法和神经网络，并且展示了非线性模型在金融中的各种应用。第5章考虑的是高频金融数据的分析及其在市场微观结构中的应用，阐明了不同步（或不同时）的交易和买卖价格间的跳跃可能带来股票收益的序列相关性。该章还研究了不同交易之间持续时间的动态规律和一些分析交易数据的计量经济模型。第6章引入了连续时间扩散模型和伊藤（Ito）引理，导出了Black-Scholes 期权定价公式，并应用一个简单的跳跃扩散模型来刻画期权市场常见的一些特征。第7章讨论了极值理论、厚尾分布及其在金融风险管理中的应用。该章还特别讨论了计算金融头寸风险值（VaR）的各种方法。第8章着重讨论多元时间序列分析和简单的多元模型，重点在于分析时间序列之间的交叉延迟关系。该章还介绍了协整、一些协整检验以及门限协整，并用协整的概念来研究金融市场中的套利机会。第9章讨论了简化多元时间序列动态结构的方法和降低维数的方法，并介绍和演示了3种因子模型来分析多个资产的收益率。第10章介绍了多元波动率模型，其中包括带时变相关系数的模型，同时还讨论了怎样对一个条件协方差阵进行重新参数化，使之满足正定性的限制，并降低波动率建模的复杂性。第11章介绍

了状态空间模型和卡尔曼滤波, 还讨论了状态空间模型和本书中所讨论的其他计量经济模型之间的关系. 该章还给出了在金融方面应用的几个例子. 最后, 第12章介绍了统计文献中一些新近发展起来的马尔可夫链蒙特卡罗方法, 并把这些方法应用于各种金融研究的问题, 如随机波动率模型和马尔可夫转换模型的估计.

本书着重强调应用和实证分析. 每章都有实际例子, 很多时候经济计量模型的发展是由金融时间序列的实证特征来推动的. 必要时, 本书还提供了用来分析数据的计算机程序和命令. 在某些案例中, 程序已在附录中给出. 书中各章的练习题也要用到很多实际数据.

1.1 资产收益率

多数金融研究针对的是资产收益率而不是资产价格. Campbell, Lo 和 MacKinlay (1997) 给出了使用收益率的两个主要理由: 第一, 对普通的投资者来说, 资产收益率完全体现了该资产的投资机会, 且与其投资规模无关; 第二, 收益率序列比价格序列更容易处理, 因为前者有更好的统计性质. 然而, 资产收益率有多种定义.

设 P_t 是资产在 t 时刻的价格. 下面给出全书中要用到的一些收益率的定义. 暂时假定资产不支付分红.

单期简单收益率

若从第 $t-1$ 天到第 t 天 (一个周期) 持有某种资产, 则简单毛收益率为

$$1 + R_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad \text{或} \quad P_t = P_{t-1}(1 + R_t). \quad (1.1)$$

对应的单期简单净收益率或称简单收益率为

$$R_t = \frac{P_t}{P_{t-1}} - 1 = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}. \quad (1.2)$$

多期简单收益率

若从第 $t-k$ 天到第 t 天这 k 个周期内持有某种资产, 则 k -期简单毛收益率为

$$\begin{aligned} 1 + R_t[k] &= \frac{P_t}{P_{t-k}} = \frac{P_t}{P_{t-1}} \times \frac{P_{t-1}}{P_{t-2}} \times \cdots \times \frac{P_{t-k+1}}{P_{t-k}} \\ &= (1 + R_t)(1 + R_{t-1}) \cdots (1 + R_{t-k+1}) \\ &= \prod_{j=0}^{k-1} (1 + R_{t-j}). \end{aligned}$$

这样, k -期简单毛收益率就是其所包含的这 k 个单期简单毛收益率的乘积, 称为复合收益率. k -期简单净收益率是 $R_t[k] = (P_t - P_{t-k}) / P_{t-k}$.

在实际中,确切的时间区间对讨论和比较收益率是非常重要的(例如是月收益率还是年收益率).若时间区间没有给出,那么就隐含地假定时间区间为1年.如果持有资产的期限为 k 年,则(平均的)年化收益率定义为

$$\text{年化的}\{R_t[k]\} = \left[\prod_{j=0}^{k-1} (1 + R_{t-j}) \right]^{1/k} - 1.$$

这是由它所包含的这 k 个单期简单毛收益率的几何平均得到的,可以用下式计算:

$$\text{年化的}\{R_t[k]\} = \exp \left[\frac{1}{k} \sum_{j=0}^{k-1} \ln(1 + R_{t-j}) \right] - 1,$$

其中 $\exp(x)$ 表示指数函数, $\ln(x)$ 是正数 x 的自然对数.因为计算算术平均值比计算几何平均值容易,并且单期收益率一般很小,我们可以用一阶泰勒(Taylor)展开来近似年度化的收益率,得到

$$\text{年化的}\{R_t[k]\} \approx \frac{1}{k} \sum_{j=0}^{k-1} R_{t-j}. \quad (1.3)$$

然而,在有些应用中,(1.3)式近似的精度可能不够.

连续复合

在引进连续复合收益率之前,我们讨论一下复合的效果.假定银行存款的年利率为10%,最初存款为1美元.如果该银行每年支付一次利息,那么1年之后存款的净值变为1美元 $\times(1+0.1)=1.1$ 美元.如果该银行半年付息一次,6个月的利息率是 $10\%/2=5\%$,第1年之后净值是1美元 $\times(1+0.1/2)^2=1.1025$ 美元.一般地,如果银行1年付息 m 次,那么每次支付的利息率为 $10\%/m$,1年后存款的净值变成 $1 \times (1+0.1/m)^m$ 美元.表1-1给出了年利率为10%时一些常用的时间间隔下存款1美元的结果.

表 1-1 复合效果的演示 (期限为1年,年利率为10%)

类 型	支付次数	每期的利率	净 值
一年	1	0.1	\$1.100 00
半年	2	0.05	\$1.102 50
季度	4	0.025	\$1.103 81
月	12	0.008 3	\$1.104 71
周	52	0.1/52	\$1.105 06
天	365	0.1/365	\$1.105 16
连续地	∞		\$1.105 17