

基于高频数据的 中国股市波动率研究

..... ➡
Volatility of Chinese Stock Market:
Analysis with High-frequency Data

■ [日]西村友作 著



对外经济贸易大学出版社
University of International Business and Economics Press

基于高频数据的中国股市 波动率研究

**Volatility of Chinese Stock Market:
Analysis with High-frequency Data**

〔日〕西村友作 著

对外经济贸易大学出版社
中国·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

基于高频数据的中国股市波动率研究 / (日) 西村友作著. —北京: 对外经济贸易大学出版社, 2014

ISBN 978-7-5663-0784-2

I. ①基… II. ①西… III. ①股票市场 - 波动理论 - 研究 - 中国 IV. ①F832.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 183112 号

图字: 01 - 2013 - 6652 号

© 2014 年 对外经济贸易大学出版社出版发行

版权所有 翻印必究

基于高频数据的中国股市
波动率研究

〔日〕西村友作 著

责任编辑: 赵 昕 史伟明

对外经济贸易大学出版社

北京市朝阳区惠新东街 10 号 邮政编码: 100029

邮购电话: 010 - 64492338 发行部电话: 010 - 64492342

网址: <http://www.uibep.com> E-mail: uibep@126.com

北京市山华苑印刷有限责任公司印装 新华书店北京发行所发行

成品尺寸: 170mm × 230mm 14 印张 197 千字

2014 年 1 月北京第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5663-0784-2

定价: 39.00 元

前 言

金融是现代经济的核心，尤其是随着社会主义市场经济体制的逐步建立和对外开放的不断扩大，金融活动日益广泛地渗透到社会经济生活的各个方面。金融市场为所有经济主体提供了经济运作的核心舞台，显而易见，它的健康发展，对中国的经济发展有着举足轻重的影响。

在过去的二十年里，金融资产波动率（Volatility）一直是金融研究领域中的研究热点之一。这是因为，波动率可视为衡量金融风险大小的一种重要指标，目前已经被广泛应用于金融资产风险管理、金融资产及其衍生产品定价等各个领域。然而问题是，金融资产波动率是在市场上不可直接观测的变量，要采用一定的方法进行估计，而估计的精确与否直接影响到风险管理、金融产品定价的质量。

金融市场上金融资产的价格受到各种信息的影响而不断发生变化。随着通讯技术的不断进步与普及，信息在同一市场内部和不同市场间迅速传播。尤其是最近几年，基于计算机技术而发展起来的高频交易（High-Frequency Trading）得到了快速发展，使得日内金融资产价格的形成机制发生了巨大变化。在这种金融交易高频化、市场间信息传播高速化的大背景下，如何有效利用包含着丰富信息的日内金融高频数据（High-Frequency Data）来准确估计金融资产波动率受到许多学者的关注，金融高频数据的建模研究成为金融研究领域最重要的课题之一。

本研究主要着眼于中国金融市场中的股票市场，从日内高频数据入手，在总结大量国内外相关文献、跟踪学界最新研究动态的基础上，将国际上先进的各种波动率模型应用于中国股票市场上，使用包含着丰富信息的日内高

频数据，力图全面、综合地了解中国股市波动动态特征，寻找最适合中国股市的波动率模型。

本书为作者在对外经济贸易大学国际经济贸易学院攻读博士学位期间完成的博士论文《中国股票市场的风险识别研究：基于股市波动与国际联动的实证分析》的基础上，进一步吸收国内外高频数据相关研究的精华，对博士论文第三章《中国股市波动性研究》的内容进行大幅度修订和扩展，经过反复修改、补充而成的。本书共有八章，主要内容包括：第1章对本研究领域的背景与发展现状进行简明的介绍；第2章与第3章分别对基于高频数据的已实现波动测度与基于低频数据的ARCH类模型进行详细阐释，并将这些工具应用于中国股票市场中，对上证综合指数进行建模，分析中国股票市场的波动特征；第4章与第5章分别在波动预测与VaR（Value-at-Risk）预测不同标准下，比较各类波动率模型的预测能力；第6章对连续扩散过程假设进行扩展，分析跳跃扩散过程下的中国股市波动跳跃特征；第7章主要分析中国股票市场的日内波动率动态特征，并考察日内波动率与日内交易量之间的动态相关关系；第8章对全文进行总结，并给出未来的研究方向。

在本书掩卷之际，作者衷心感谢对外经济贸易大学国际经济研究院以及“对外经济贸易大学中央高校基本科研业务费专项资金资助（13YBJX03）”的大力资助，同时感谢对外经济贸易大学出版社的帮助和支持。

尽管整个撰写过程经过反复斟酌、修改，但由于作者学识与水平有限，文中难免出现不尽如人意甚至错误之处，恳请读者批评指正，或者通过电子邮件 xicun_youzuo@uibe.edu.cn 反馈您的意见。

西村友作

2013年5月于对外经济贸易大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 波动率研究的发展与现状	4
1.3 本书的框架结构	7
第 2 章 已实现波动测度：已实现波动率与已实现极差波动率	9
2.1 引言	9
2.2 已实现波动率与已实现极差波动率的理论背景及其比较	10
2.3 已实现波动率与已实现极差波动率所面临的问题及其对策	13
2.4 已实现波动测度模型	17
2.5 中国股票市场日收益率与已实现波动测度的统计特征	24
2.6 已实现波动测度在中国股票市场的应用	33
2.7 本章小结	42
第 3 章 ARCH 类模型	45
3.1 引言	45
3.2 ARCH 类模型简介	46
3.3 ARCH 类模型估计方法	56
3.4 ARCH 类模型在中国股票市场的应用	59
3.5 其他分布假设下的 ARCH 类模型	70
3.6 本章小结	74
第 4 章 波动预测比较分析	77
4.1 引言	77

4.2	文献综述	78
4.3	波动预测能力的比较及其评价方法	84
4.4	实证分析	89
4.5	本章小结	106
第5章	VaR 预测比较分析	109
5.1	引言	109
5.2	文献综述	110
5.3	VaR 预测及其评价方法	114
5.4	实证分析	119
5.5	本章小结	130
第6章	高频数据波动率在跳跃扩散过程的应用	133
6.1	引言	133
6.2	跳跃扩散过程的理论背景	134
6.3	分析方法	136
6.4	实证检验结果	140
6.5	不同发展阶段的股市波动跳跃分析	148
6.6	本章小结	155
第7章	日内波动率动态分析	157
7.1	引言	157
7.2	日内收益率序列的描述性分析与日内动态特征	158
7.3	基于 FFF 的日内周期性的剔除	164
7.4	日内波动率的估计与特征分析	167
7.5	日内波动率与日内交易量的动态相关特征分析	170
7.6	本章小结	176
第8章	结束语	179
8.1	总结	179
8.2	研究展望	181

附录	187
附录 A ARFIMA 模型估计方法	187
附录 B Ljung-Box 检验与 Diebold (1988) 的修正 Ljung-Box 统计量 ...	189
附录 C Andersen, Bollerslev and Diebold (2007) 的模型检验结果	191
参考文献	193
中文文献	193
日文文献	196
英文文献	197

第1章 绪 论

1.1 研究背景

随着通讯技术的不断进步与普及,信息在同一市场内部和不同市场间迅速传播。尤其是最近几年,基于计算机技术而发展起来的高频交易(High Frequency Trading)得到了快速发展,使得日内金融资产价格的形成机制发生了巨大变化。所谓高频交易技术,就是运用计算机程序来分析价格、交易量等变量,并在几千分之一秒的时间内完成的金融交易。在这种金融交易高频化、市场间信息传播高速化的大背景下,如何有效利用包含着丰富信息的日内高频数据(High-Frequency Data)^①来准确量化金融资产风险,不仅成为近年来金融市场上投资者和监管者关注的热点,也是相关金融研究领域中的重点问题之一。

风险是指未来收益的不确定性。金融风险是指由于金融变量的变动所引起的资产组合的未来收益偏离其期望值的可能性和幅度(张金清,2009)。其中,定义中的期望收益是可以预计的平均收益,而金融风险则是指未来收益偏离期望收益的波动率(Volatility)^②。可见,波动率就是衡量金融风险大小的一种重要指标。目前,波动率已经被广泛应用于金融资产风险管理、金融

① 高频数据一般是指采样频率低于一天的日内时间序列数据。它包括将每笔交易数据记录下来的分笔交易数据与1分钟、5分钟等按等同时时间间隔记录下来的分时交易数据。Engle(2000)将前者叫做超高频数据(Ultra-high Frequency Data)。

② 波动率通常在金融理论领域被定义为其标准差 σ ,而在金融计量研究领域被定义为其方差 σ^2 。本文采用后者将 σ^2 定义为波动率。

资产及其衍生产品定价等各个领域。

在金融资产风险管理方面，波动率扮演着一个极为重要的角色。1971 年 8 月 15 日，当时的美国总统理查德·尼克松（Richard Nixon）宣布停止美元与黄金的直接兑换，导致布雷顿森林体系瓦解，国际货币体系进入了新局面。进入 20 世纪 80 年代之后，全球经济一体化的浪潮一浪高过一浪，国际金融自由化使得国际资本流动速度大大加快。随着国际资本流动规模的明显扩大，汇率、利率等金融价格波动日益加剧，各种风险因素不断增大。在如此背景之下，为了规避与防范风险，各类金融产品和金融衍生产品应运而生，金融市场发生了根本性的变化。这为个人、企业以及金融机构同时带来了前所未有的机遇和风险。20 世纪 90 年代发生的起因于巨额资本流动的新兴市场金融危机，如 1994 年的墨西哥金融危机、1997 年的东南亚金融危机以及 1998 年的俄罗斯金融危机等，正是这种金融风险发生的典型表现。一般而言，金融风险无法完全消除，只能加强控制。目前，许多金融机构均设立了专门的风险管理部门，以识别、度量以及控制风险。金融资产波动率之所以成为金融风险管理的核心内容之一，是因为波动率就是衡量金融风险大小的一种重要指标。譬如，Markowitz（1952）的投资组合理论描述的就是投资者在资产的收益（均值）与风险（方差）二者之间的权衡关系。还有，J. P. Morgan 于 1994 年提出的风险价值（Value-at-Risk, VaR）是度量市场风险的有效工具之一^①。目前，VaR 已经成为国际金融监管标准的重要指标（Basel Committee on Banking Supervision, 1996/2001），被全球主要银行、非银行金融机构（Non-Bank Financial Institution）等金融机构以及金融监管部门广泛应用。VaR 的计算需要用到目标资产的波动率。由此可以看出，如果可以更精确地量化金融资产的波动率，则可以更有效地管理金融风险。

在金融资产及其衍生产品定价方面，金融资产波动率被列为重点研究对象。早在 20 世纪 70 年代，Black and Scholes（1973）与 Merton（1973）的开

^① 关于 VaR 的详细内容，参见第五章。

创性研究使得期权定价的理论与实证研究取得了突破性的发展。在 t 期的无分红欧式^①看涨期权 (Call Option) 价格 $C_t^{(BS)}$ 与欧式看跌期权 (Put Option) 价格 $P_t^{(BS)}$ 的 Black-Scholes 欧式期权定价模型如下^②:

$$\begin{aligned}C_t^{(BS)} &= S_t N(d_1) - Ke^{-r(T-t)} N(d_2) \\P_t^{(BS)} &= Ke^{-r(T-t)} N(-d_2) - S_t N(-d_1)\end{aligned}$$

其中,

$$\begin{aligned}d_1 &= \frac{\ln(S_t/K) + (r + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \\d_2 &= \frac{\ln(S_t/K) + (r - \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}\end{aligned}$$

这里 S_t 表示在 t 期的基础资产价格; K 表示期权执行价格 (Strike Price/Exercise Price); r 表示无风险利率; T 表示到期日; σ 表示波动率; $N(\cdot)$ 表示标准正态分布的累积分布函数。由上面公式可以看出, 变量 S_t , K , r , T 均可直接从金融市场得到, 而计算期权价格时不可直接观测的惟一未知变量就是我们所关注的波动率。至于波动率, Black-Scholes 模型有一条不可忽视的基本假设^③, 即合同到期日之前 ($T-t$) 的波动率为常数, 不随时间变化。然而, 近年来通过大量的金融时间序列数据的实证研究, 发现金融市场上的金融资产波动率并不是一个常数, 而是随时间变化而变化的、具有很强时变性的变量。Black-Scholes 模型的“波动率为常数, 不随时间变化”的基本假设不再成立。由于波动率是不可直接观测的、具有较强时变性的变量, 因此波动率研究受到许多学者的关注, 金融市场波动率的估计和建模研究在过去几十年里成为

① 欧式期权 (European option) 是指期权买方只能在到期日当天才能选择执行或放弃期权; 美式期权 (American option) 是指期权买方在到期日之前的任何一个营业日均可选择执行或放弃期权。

② 详细推导过程参见刘园 (2002) 第 10 章, Hull (2005) Ch. 13 - Appendix 等。

③ Black-Scholes 模型的基本假设有: 第一, 基础资产价格服从对数正态分布, 价格变化为如下几何布朗运动: $dS = \mu S dt + \sigma S dz$, 其中 μ 表示漂移项、 dt 表示时间的极小变化、 dz 表示维纳过程 (Weiner process); 第二, 无风险利率已知, 且为一个常数; 第三, 不需要支付保证金; 第四, 不存在交易费用、印花税以及分红; 第五, 不存在套利机会; 第六, 投资者可以自由借贷资金, 并且借贷利率均为无风险利率; 第七, 合同到期日之前 ($T-t$) 的波动率为常数, 不随时间变化。

金融研究领域的最为重要的课题之一。

1.2 波动率研究的发展与现状

随着金融计量分析技术的不断发展,各种波动率模型应运而生,并且国内外对波动率的研究与应用出现了空前的发展。目前刻画金融资产波动率的模型主要可以归纳为三种类型,即传统波动率模型、隐含波动率模型 (Implied Volatility, IV) 以及已实现波动测度 (Realized Measurement of Volatility)。

第一类是以自回归条件异方差 (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, ARCH) 模型^①和随机波动率 (Stochastic Volatility, SV) 模型为代表的传统波动率模型。无论从理论研究的深度还是从实证应用的广泛性而言,这两大类模型已至淋漓尽致的程度^②。ARCH 模型最早由 2003 年的诺贝尔经济学奖得主 Engle 提出。Engle (1982) 应用 ARCH 模型成功描述英国通货膨胀率中的波动率以来各种类型的 ARCH 类模型相继涌现,提供了度量金融资产波动率的有效工具^③。SV 模型来源于数理金融与计量金融领域。Clark (1973) 提出的“混合分布假说 (Mixture-of-distributions Hypothesis)”是在金融工程领域极为重要的假说。从理论角度来看,最早的 SV 模型便是在这个假设下问世的。后来, Taylor (1986) 提出离散时间 SV 模型; Hull and White (1987) 提出连续时间 SV 模型。ARCH 模型与 SV 模型的主要区别在于是否存在潜在变量

① 本文将对 ARCH 模型进行推广的各种模型统称为 ARCH 类模型 (ARCH-type model)。

② 关于 ARCH 类模型、SV 模型的详细内容,参见 Bollerslev, Engle and Nelson (1994)、Ghysels, Harvey and Renault (1996)、Hol (2003)、渡部 (2000)、潘红宇 (2005)、Shephard (2005)、Kekalaki and Deianakis (2010) 等。

③ Bollerslev (1986) 对 ARCH 模型进行了扩展,提出了 GARCH (Generalized ARCH) 模型; Geweke (1986)、Pantula (1986) 独立提出了 Log-GARCH 模型; Taylor (1986) 提出了 AVGARCH (Absolute value GARCH) 模型; Engle and Bollerslev (1986) 提出了 IGARCH (Integrated GARCH) 模型; Nelson (1991) 提出了 EGARCH (Exponential GARCH) 模型; Higgins and Bera (1992) 提出了 NGARCH (Nonlinear GARCH) 模型; Glosten, Jagannathan and Runkle (1993) 提出了 GJR 模型; Ding, Granger and Engle (1993) 提出了 APARCH (Asymmetric Power ARCH) 模型; Zakoian (1994) 提出了 TGARCH (Threshold GARCH) 模型; Sentana (1995) 提出了 (转下页)

(Latent Variable) 问题。换言之, SV 模型在 $t-1$ 时刻无法得知 t 时刻的波动率。一般而言, 如同 SV 模型一般的包含着潜在变量的模型有一个特点, 就是似然函数难以求得, 其统计推断方法非常复杂。由此可以看出, SV 模型的难点就在于估计困难。正因如此, SV 模型的主要研究对象为其估计方法^①, 对模型的改进程度不如 ARCH 类模型。很长时间内 SV 模型在实证研究方面上也不如 ARCH 类模型应用广泛^②。

第二类是隐含波动率模型。IV 是根据资产定价模型 (Black-Scholes 期权定价模型等) 倒推出来的波动率。譬如, Black-Scholes 模型有一条“合同到期日之前 ($T-t$) 的波动率 σ^2 为常数, 不随时间变化”的基本假设, 因此计算出来的 IV 具有一定的偏误, 不精确。近年来, IV 的计算方法也发生了很大进展。无模型隐含波动率 (Model-free Implied Volatility, MFIV) 是由 Britten-Jones and Neuberger (2000)、Jiang and Tian (2005) 等提出来的估计 IV 的新概念^③。MFIV 不依赖于任何特定模型。由于 MFIV 反映的是投资者对未来一定时期 (从现在到期权到期日) 的波动预测值, 因此 MFIV 很可能包含着波动率

(接上页) QGARCH (Quadratic GARCH) 模型; Baillie, Bollerslev and Mikkelsen (1996) 提出了 FIGARCH (Fractionally Integrated GARCH) 模型; Bollerslev and Mikkelsen (1996) 提出了 FIEGARCH (Fractionally Integrated EGARCH) 模型; Tse (1998) 提出了 FIAPARCH (Fractionally Integrated APARCH) 模型等。另外, Engle, Lilien and Robins (1987) 将条件方差作为一个外生变量引入到均值方程, 提出了 ARCH-M (ARCH-in-Mean) 模型, 以描述收益与风险的权衡 (Trade-off) 关系。截至目前, 各种 ARCH 类模型层出不穷, 数不胜数。关于本文所使用的 ARCH 类模型的详细内容, 在第三章将进行深入探讨。

- ① SV 模型的主要估计方法有: Hansen (1982) 提出的广义矩估计 (Generalized Method of Moments, GMM); Harvey, Ruiz and Shephard (1994) 提出的拟极大似然估计 (Quasi-Maximum Likelihood Estimation, QMLE); Gouriéroux, Monfort and Renault (1993) 提出的间接估计 (Indirect Inference); Duffie and Singleton (1993) 提出的 SMM (Simulated Method of Moments); Jacquier, Polson and Rossi (1994) 提出的基于马尔可夫链蒙特卡罗 (Markov-Chain Monte Carlo, MCMC) 法的贝叶斯估计方法等。
- ② 应用 SV 模型的实证研究参见 Wiggins (1987)、Scott (1987)、Chesney and Scott (1989)、Melino and Turnbull (1990)、Danielsson (1994)、Watanabe (1999/2000)、苏卫东和张世英 (2004)、三井 (2005) 等。
- ③ 现在 MFIV 广泛应用于芝加哥期权交易所 (Chicago Board Options Exchange, CBOE) 的 VIX 指数、德国 DAX 指数的波动率 VDAX-NEW 指数等各种波动率指数的计算。

的重要信息。这一点是使用历史数据的 ARCH 模型与 SV 模型无法做到的。

第三类是已实现波动测度。已实现波动测度是 Andersen and Bollerslev (1998a) 提出的已实现波动率^① (Realized Volatility, RV) 与 Christensen and Podolskij (2007) 与 Martens and van Dijk (2007) 提出的已实现极差波动率 (Realized Range-Based Volatility, RRV) 的统称。随着通讯与计算机技术的快速发展、数据记录与存储技术的不断提高, 日内分笔、分时数据等金融高频数据被广泛应用于波动率研究。RV 被定义为一定抽样频率的日内收益率的平方之和, 而 RRV 被定义为一定抽样频率的日内极差的平方之和。由此可以看出, 已实现波动测度就是在对高频数据的研究基础上发展起来的概念。它就是本书的研究重点。

已实现波动测度具有以下几个方面的主要特点:

第一, RV 与 RRV 均具有非常深刻的理论背景, 即只要日内收益率的抽样频率足够高, 它们可视为真实波动率的一致估计量; 第二, RV/RRV 的主要研究对象为高频数据, 而高频数据包含着许多有用的详细信息。金融市场的价格运动是连续不断地受到各种信息的影响的, 数据的离散采集必然导致或多或少的信息量的流失, 高频数据的应用有助于充分利用金融市场价格变化的信息; 第三, RV/RRV 不依赖于理论模型 (Model Free), 不需要进行繁琐的参数估计, 实际操作比较简单。如上所述, RV 是一定时间间隔的日内收益率的平方和, RRV 是一定时间间隔的日内极差的平方和, 计算简单方便。

最近几年, Andersen *et al.* (2003)、Andersen, Bollerslev and Meddahi (2004)、Koopman, Jungbacker and Hol (2005) 等一系列实证研究显示由高频数据计算的已实现波动测度优于 ARCH 类模型和 SV 模型等传统波动率模型的结果, 因而在国外金融学界掀起了高频数据波动率研究的热潮^②。

① 国内也有一些学者将 RV 翻译成“实际波动率”或“真实波动率”等。

② Andersen *et al.* (2001b)、Bardorff-Nielsen and Shephard (2002 a/b)、Meddahi (2002) 等也支持 RV 在建模、估计以及预测波动率方面的有用性。

1.3 本书的框架结构

基于以上认识,本书旨在总结大量国内外相关文献、跟踪学界最新研究动态的基础上,将国际上先进的各种波动率模型应用于中国股票市场上,使用包含着丰富信息的日内高频数据,力图全面、综合地了解中国股市波动动态特征,寻找最适合中国股市的波动率模型。

本书共有八章,结构如下:

第2章为已实现波动测度的介绍与应用部分。首先介绍两种基于高频数据的已实现波动测度的理论背景与其计算方法,并讨论在RV与RRV的计算方面所面临的问题与其解决方法。本部分还对本书所使用的上证综合指数的日收益率序列与已实现波动测度序列的统计特征进行描述与分析,以初步了解中国股市收益率与波动率的基本特征。在已实现波动测度模型方面,本书采用直接模型与间接模型,而且对上证综指的RV与RRV进行建模,分析中国股票市场的波动率特征。

第3章为ARCH类模型的介绍与应用部分。首先对本研究所使用的各种ARCH类模型进行基本的介绍,并说明极大似然估计与拟极大似然估计两种估计方法。本部分还将这些ARCH类模型用于对上证综指的日收益率进行建模,考察波动持续性、波动非对称性以及波动长记忆性等中国股票市场的波动特征。在此基础上,对残差的分布假设进行扩展,并估计不同分布条件下的ARCH类模型。

第4章为波动率预测能力的比较分析部分。本部分运用滚动窗口式样本外一步预测的方法,对已实现波动测度模型与ARCH类模型的日波动率预测精度进行比较分析。本章还采用三种不同的波动预测能力评估方法,对各类波动率模型估计出来的一步波动预测值与真实波动率的代理变量进行比较,寻找适用于中国股票市场的波动预测模型。

第5章为VaR预测能力的比较分析部分。使用滚动窗口式样本外一步预

测的方法估计出来的波动预测值来计算 VaR 预测值, 并采用两种不同的 VaR 预测评估方法进行比较分析。由于在 VaR 研究方面还要考虑收益率的分布, 本部分还对模型残差服从标准正态分布的假设进行扩展, 考察在不同分布条件下的 VaR 预测能力。

第 6 章为高频数据在跳跃扩散过程方面的应用分析部分。金融资产价格一般假设服从连续扩散过程 (Continuous Diffusion Process), 本部分对此进行扩展, 分析在跳跃扩散过程 (Jump Diffusion Process) 下的中国股市波动率。在此基础上, 考察中国股市的波动跳跃特征, 并与美国股市的波动跳跃进行比较, 分析新兴股市与发达成熟的股市在波动跳跃方面有何不同之处。另外, 根据股市特征将整个样本区间分为 4 个阶段, 考察中国股市在不同发展阶段上的波动跳跃特征。

第 7 章为日内波动率动态分析部分。本部分的主要研究对象并不是应用日内高频数据计算出来的日度波动率 (Daily Volatility), 而是日内波动率 (Intraday Volatility) 本身。首先考察中国股市日内波动率的日内周期性 (Intraday Periodicity) 特征, 而且采用 FFF (Flexible Fourier Form) 回归定量刻画并剔除日内周期性所带来的偏误。在此基础上, 对日内高频收益率及其波动和日内交易量同时建模, 并以此来分析日内波动率与日内交易量之间的动态相关关系。

第 8 章对全文进行总结, 并给出未来的研究方向。

第2章 已实现波动测度：已实现波动率与已实现极差波动率

2.1 引言

ARCH 模型和 SV 模型为代表的传统波动率模型都是基于日度收盘信息进行建模的，这种方法虽然简便且容易操作，但无疑损失掉了很多日内的波动信息。对于允许 $T + 0$ 操作的市场，仅关注每天的收盘信息而忽略日内的价格波动状况，显然对资产配置和风险管理是非常不利的。过去，由于计算机技术和硬件存储的限制，大规模高频数据的获取并不容易。而随着通讯与计算机技术的跨越式发展，数据记录与存储技术飞速提高，日内金融高频数据越来越容易获得，因此在最近十多年间国内外学术界掀起了基于高频数据的波动率研究热潮。

本章拟应用两种基于高频数据的波动率度量方法：一种是 Andersen and Bollerslev (1998a) 提出的已实现波动率 (Realized Volatility, RV)；另一种是 Christensen and Podolskij (2007)、Martens and van Dijk (2007) 提出的已实现极差波动率 (Realized Range-Based Volatility, RRV)。前者是利用日内高频收益率序列来估计金融资产波动率，后者则是利用高频极差信息（最高价与最低价之差）来估计金融资产波动率。本研究将它们统称为已实现波动测度 (Realized Measurement of Volatility)。

本章后面内容的结构安排如下：第二部分对 RV 与 RRV 的理论背景与其计算方法作了简明的介绍，并从理论角度讨论这两者的区别；第三部分讨论