

WILEY FINANCE

“十二五”国家重点图书出版规划项目
世界财经管理经典译库子项目

THE FRANK J. FABOZZI SERIES



威立金融经典译丛·法伯兹系列

(德) 斯维特洛扎·T. 维特夫

(德) 史蒂芬·米特尼克

(美) 弗兰克·J. 法伯兹

(意) 塞尔吉奥·M. 福卡尔迪

(德) 特奥·亚西克

著

曲春青 主译 王庆石 主审

Financial Econometrics

From Basics to Advanced Modeling Techniques

金融计量学

从初级到高级建模技术

Svetlozar T. Rachev

Stefan Mittnik

Frank J. Fabozzi

Sergio M. Focardi

Teo Jašić



FE 东北财经大学出版社
Dongbei University of Finance & Economics Press



WILEY FINANC

F830/291

2012

“二五”国家重点图书出版规划项目
“财经管理经典译库”子项目

THE FRANK J. FABOZZI SERIES



(德) 斯维特洛扎·T. 维特夫
(德) 史蒂芬·米特尼克
(美) 弗兰克·J. 法伯兹
(意) 塞尔吉奥·M. 福卡尔迪
(德) 特奥·亚西克 著

曲春青 主译 王庆石 主审

Financial Econometrics

From Basics to Advanced Modeling Techniques

金融计量学

从初级到高级建模技术

北方工业大学图书馆



C00280903

FE 东北财经大学出版社
Dongbei University of Finance & Economics Press

大连



© 东北财经大学出版社 2012

图书在版编目 (CIP) 数据

金融计量学: 从初级到高级建模技术 / (德) 维特夫 (Rachev, S. T.) 等著; 曲春青主译. —大连: 东北财经大学出版社, 2012. 5

(威立金融经典译丛·法伯兹系列)

书名原文: Financial Econometrics: From Basics to Advanced Modeling Techniques

ISBN 978-7-5654-0731-4

I. 金… II. ①维… ②曲… III. 金融学: 计量经济学 IV. F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019722 号

辽宁省版权局著作权合同登记号: 图字 06-2007-162 号

Svetlozar T. Rachev, Stefan Mittnik, Frank J. Fabozzi, Sergio M. Focardi, Teo Jašić;
Financial Econometrics: From Basics to Advanced Modeling Techniques

Copyright © 2007 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning, or otherwise, except as permitted under Section 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act, without either the prior written permission of the Publisher, or authorization through payment of the appropriate per-copy fee to the Copyright Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, 978-750-8400, fax 978-646-8600, or on the web at www.copyright.com. Requests to the Publisher for permission should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, 201-748-6011, fax 201-748-6008, or online at www.wiley.com/go/permissions.

本书简体中文翻译版由约翰·威立父子有限公司授权东北财经大学出版社独家出版发行。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

东北财经大学出版社出版
(大连市黑石礁尖山街 217 号 邮政编码 116025)

教学支持: (0411) 84710309

营销部: (0411) 84710711

总编室: (0411) 84710523

网址: <http://www.dufep.cn>

读者信箱: dufep@dufe.edu.cn

大连北方博信印刷包装有限公司印刷 东北财经大学出版社发行

幅面尺寸: 170mm × 240mm 字数: 509 千字 印张: 24 3/4 插页: 1
2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘东威 吉扬
封面设计: 冀贵收

责任校对: 众果
版式设计: 钟福建

ISBN 978-7-5654-0731-4

定价: 62.00 元

译者前言

金融计量学 (Financial Econometrics) 是金融学与经济计量学相结合的一门新兴学科, 它的本质是运用经济计量学方法和技术定量地分析和研究金融领域的相关问题, 对金融时间序列进行拟合和预测。随着计量分析方法在金融研究和金融实务领域的广泛应用, 金融计量学已经成为金融学科学生、研究人员和实际工作者必须学习和掌握的一门基础的金融分析方法。

斯维特洛扎·T. 维特夫、史蒂芬·米特尼克、弗兰克·J. 法伯兹等学者所著的《金融计量学——从初级到高级建模技术》一书, 是金融计量学研究领域的权威性著作。该书重点介绍了回归分析、单变量自回归移动平均模型、向量自回归过程、协整过程、主成分分析、因子分析、稳定过程以及存在厚尾误差的自回归移动平均模型和 GARCH 模型等多种模型和方法。该书的内容由浅入深, 基本涵盖了现代金融计量学领域的大部分方法和内容。书中对金融计量学方法的介绍, 既有详细的基础知识说明, 又有实际案例应用的阐述。尤其是通过金融市场中的真实数据进行的举例说明, 为读者展示了如何运用金融计量学方法对现实金融问题进行分析研究。因此, 该书可以作为经济、金融专业的本科高年级学生和研究生学习金融计量学的教材, 也可以作为金融实务领域从业人员学习和使用金融计量学方法的参考用书。

本书由曲春青博士翻译, 王庆石教授审校。翻译过程中, 陈磊教授为该书的译稿提出了许多建设性的意见和建议, 霍红博士、刘伟博士、屈超博士、张晓东博士、康书隆博士、姜美华博士及东北财经大学出版社的田玉海编辑和刘佳编辑为本书的翻译提供了许多帮助。东北财经大学金融学专业的硕士研究生兰英明、范庆龙、王乾乾、黄大鹏、陈博、江西参与了部分章节的校对工作。东北财经大学出版社的李季编辑、刘东威编辑、吉扬编辑为本书的出版付出了辛勤的努力。在此, 我们表示衷心的感谢。由于译者水平所限, 书中定有不妥甚至错误之处, 恳请读者批评指正。

译者

2012年4月

前 言

本书的写作目的是为金融学科的学生和金融服务领域的从业人员展示最新的现代金融计量学的方法和内容。

数学模型最初主要应用于衍生品的交易，而目前已经被广泛应用于风险管理和投资组合的构建。本书所选择的内容和例子基本上反映了金融计量学建模方法在所有现代投资管理领域的应用。

金融计量学是一门拟合和预测金融时间序列的科学。金融计量学的发展归功于三个基础要素：（1）任意频率的交易数据的可得性，包括单笔交易的数据；（2）高速台式计算机的使用以及低成本的 IT 技术和设备的配置；（3）通用的计量软件的可得性。这三个要素的组合使得高级计量方法能够被大量的金融机构和金融企业所使用。

但是单纯的理论发展同样大大提高了金融计量学的地位和作用。随着 20 世纪 70 年代鲍克斯（Box）和詹金斯（Jenkins）对时间序列分析方法体系的完善，自回归和移动平均过程的理论已经趋于成熟和完善。随后不久，该方法被扩展到多变量领域。20 世纪 80 年代恩格尔（Engle）和格兰杰（Granger）提出了协整和 ARCH/GARCH 模型的基本概念。从 20 世纪 60 年代伯努瓦·曼德勃罗（Benoit Mandelbrot）的基础性工作开始，经验研究表明收益率并不服从正态分布，可能出现“厚尾（fat tails）”现象，这使得学术界重新开始关注分布的形式以及可能产生厚尾稳定分布的模型。

本书的重点就是对上述内容进行最新的介绍，先从经济计量学基础开始，再通过对近期理论研究成果的介绍，使读者了解这些模型的性质和估计过程。这里我们主要从一个现代经济计量学软件使用者的角度来讨论模型的检验和估计。

本书的一个特色就是大量地使用一些浅显的金融领域的例子来解释模型建立者和使用者所遇到的一些概念。特别地，我们的目的是使读者了解如何解释经济计量软件得到的结果。读者会发现本书所有的重要概念都将基于真实数据的例子加以解释，包括从逐步回归到协整和稳定分布的计量方法等。另外，读者可以使用通用的经济计量软件包，结合本书提供的数据，重复本书提供的例子。

本书的结构如下：

第 1 章，我们初步介绍金融计量学的一些概念和方法，以及如何将建模方法融入投资管理过程。

第 2 章，我们简要介绍本书所使用的基本统计学概念。

第3章到第5章，我们重点介绍回归分析方法。我们介绍各种回归模型和估计方法。特别是，我们将通过一些真实的应用回归分析的例子来讨论回归分析方法。这些例子包括：

- 计算和分析普通股和基金的特征线。
- 计算普通股的经验久期。
- 预测国债收益率。
- 预测公司债券收益率价差。
- 检验不同市场环境的特征线差异。
- 使用条样方法拟合即期汇率曲线。
- 市场有效性检验和 CAPM 检验。
- 管理者业绩评价。
- 管理者业绩评价基准的选择。
- 对冲基金的风格分析。
- 债券价格高低分析。

第6章介绍时间序列分析方法的一些基本概念。

第7章讨论单变量自回归移动平均模型的性质和估计方法。

第8章通过一些例子介绍 ARCH/GARCH 模型的最新建模方法。我们通过分析 DAX 股票指数收益率和其中部分股票收益率的性质来解释我们所讨论的一些概念。

第9章到第11章介绍向量自回归过程和协整过程，其中包括协整系统的高级估计方法。对这两个过程我们也是使用真实的例子加以说明。通过使用三个真实的股票指数数据，我们对向量自回归（VAR）分析和协整分析加以介绍。

第12章介绍稳健估计。随着建模方法的广泛运用，稳健的估计方法也取得了一定发展：稳健估计被用来使估计的结果更加稳健。我们通过一些例子对稳健性统计量的概念进行解释，并对稳健回归分析加以详细介绍。我们对一只日本股票的收益率进行稳健分析，并展示了采用稳健方法对前几章讨论的例子进行分析所得的结果。

第13章讨论主成分分析（PCA）和因子分析，目前这两种方法在风险管理和股票债券投资组合构建领域被广泛使用。我们举例介绍了两种技术在选择美国股票进行投资组合时的应用，并介绍了如何使用 PCA 技术进行债券投资组合管理，进而控制利率风险。

第14章和第15章介绍稳定过程以及存在厚尾误差的自回归移动平均（ARMA）模型和 GARCH 模型。我们通过拟合汇率收益率和股票收益率的例子来讨论相关的概念。

我们要感谢一些为我们的工作提供各方面帮助的人：

■ 感谢克里斯琴·曼恩（Christian Menn）允许我们使用他与斯维特洛扎·维特夫（Svetlozar Rachev）和弗兰克·法伯兹（Frank Fabozzi）合作著作中的内容作为第14章的附录。

■感谢国际清算银行的罗伯特·斯科特 (Robert Scott)，他为我们第3章预测10年期国债收益率的例子提供了数据，为我们第4章介绍条样方法应用的例子提供了数据和回归结果。

■感谢《卫报》(*The Guardian*)的拉曼·华德哈拉 (Raman Vardharaj) 为我们第3章介绍特征线提供了共同基金的数据和回归结果。

■感谢凯瑟琳娜·舒勒 (Katharina Schüller) 对本书一些章节进行的校对。

■感谢雪城大学 (Syracuse University) 的安娜·切诺拜 (Anna Chernobai)、华盛顿大学和 Finanalytica 公司的道格拉斯·马丁 (Douglas Martin) 对第12章 (稳健估计) 的审阅。

■感谢斯托扬·斯托扬诺夫 (Stoyan Stoyanov) 对一些章节的审阅。

■感谢马库斯·赫切斯托特 (Markus Hoechstötter) 为第14章提供的例子。

■感谢马丁·弗里德森 (Martin Fridson) 和格瑞格·布雷洛维斯基 (Greg Braylovskiy) 为第4章公司债券价差案例所提供的数据。

■感谢北伊利诺伊大学的大卫·怀特 (David Wright) 为第3章计算资产久期提供的数据。

斯维特洛扎·T. 维特夫的研究受到加州大学圣塔巴巴拉分校文理学院数学、生命科学与物理科学系，以及德意志研究基金会的资助。史蒂芬·米特尼克的研究受到德意志研究基金会 (SFB 368) 和德国基尔数量金融分析研究所 (IQF) 的资助。

斯维特洛扎·T. 维特夫
史蒂芬·米特尼克
弗兰克·J. 法伯兹
塞尔吉奥·M. 福卡尔迪
特奥·亚西克

目 录

第 1 章 金融计量学——范畴与方法	1
1.1 数据生成过程	2
1.2 金融计量学建模步骤	5
1.3 模型的时间跨度	7
1.4 模型的应用	8
附录：投资管理过程	11
本章概念（按照出现先后排序）	16
第 2 章 概率论与统计学知识回顾	17
2.1 概率的概念	17
2.2 估计的原则	40
2.3 贝叶斯建模	47
附录 A：信息结构	50
附录 B：滤链	51
本章概念（按照出现先后排序）	52
第 3 章 回归分析：理论和估计	55
3.1 相关关系的概念	55
3.2 回归和线性模型	58
3.3 线性回归的估计	62
3.4 回归的抽样分布	65
3.5 回归模型解释效力的确定	66
3.6 回归分析在金融中的应用	67
3.7 逐步回归	88
3.8 残差非正态性和残差自相关	89
3.9 回归分析方法中的误区	90
本章概念（按照出现先后排序）	92
第 4 章 回归分析专题	94
4.1 回归模型中的分类变量和虚拟变量	94
4.2 约束最小二乘	114
4.3 矩估计方法及其一般化	126
本章概念（按照出现先后排序）	128

第5章 回归分析在金融领域中的应用	129
5.1 回归分析在投资管理过程中的应用	129
5.2 强式定价有效的一个检验	132
5.3 CAPM 的检验	133
5.4 利用 CAPM 评价管理人业绩——詹森指标	136
5.5 多因子模型的证明	137
5.6 标准的选择：夏普标准	139
5.7 基于收益率的对冲基金风格分析	141
5.8 对冲基金的存续期	145
5.9 回归分析在债券组合管理中的应用	145
本章概念（按照出现先后排序）	151
第6章 单变量时间序列建模	152
6.1 差分方程	152
6.2 术语和定义	155
6.3 ARMA 过程的平稳性和可逆性	160
6.4 线性过程	163
6.5 识别工具	166
本章概念（按照出现先后排序）	177
第7章 ARIMA 模型的建模和预测方法	179
7.1 B-J 过程概述	179
7.2 差分次数的识别	181
7.3 滞后阶数的识别	185
7.4 模型的估计	188
7.5 诊断检验	193
7.6 预测	201
本章概念（按照出现先后排序）	204
第8章 自回归条件异方差模型	206
8.1 ARCH 过程	207
8.2 GARCH 过程	209
8.3 GARCH 模型的估计	213
8.4 平稳 ARMA-GARCH 模型	215
8.5 拉格朗日乘数检验	216
8.6 GARCH 模型的变形	219
8.7 GARCH 模型预测	225
8.8 多元 GARCH 结构	230
附录：GARCH (1, 1) 模型的性质分析	231
本章概念（按照出现先后排序）	233

第 9 章 向量自回归模型 I	234
9.1 VAR 模型的定义	234
9.2 平稳自回归分布滞后模型	242
9.3 向量自回归移动平均模型	243
9.4 VAR 模型的预测	245
附录: 特征向量与特征值	245
本章概念 (按照出现先后排序)	246
第 10 章 向量自回归模型 II	248
10.1 稳定 VAR 模型的估计	248
10.2 滞后阶数的判断	258
10.3 残差自相关及其分布的性质	259
10.4 VAR 模型举例	260
本章概念 (按照出现先后排序)	270
第 11 章 协整与状态空间模型	272
11.1 协整	272
11.2 误差修正模型	277
11.3 非平稳 VAR 模型估计的理论和方法	280
11.4 状态空间模型	289
本章概念 (按照出现先后排序)	293
第 12 章 稳健估计	295
12.1 稳健统计	295
12.2 回归的稳健估计量	302
12.3 协方差与相关系数矩阵的稳健估计	306
12.4 应用	308
本章概念 (按照出现先后排序)	309
第 13 章 主成分分析和因子分析	311
13.1 因子模型	311
13.2 主成分分析	316
13.3 因子分析	328
13.4 债券组合管理中的 PCA 应用	330
13.5 PCA 与因子分析比较	336
本章概念 (按照出现先后排序)	338
第 14 章 金融计量学中的厚尾和稳定分布	340
14.1 稳定分布的定义与基本性质	342
14.2 稳定分布的性质	347
14.3 稳定分布的参数估计	350
14.4 在德国股票数据分析中的应用	354

附录：概率分布的比较	358
本章概念（按照出现先后排序）	361
第 15 章 具有无限方差新息的 ARMA 和 ARCH 模型	363
15.1 具有无限方差的自回归过程	363
15.2 稳定 GARCH 模型	367
15.3 稳定 GARCH 模型的估计	370
15.4 条件密度的预测	377
本章概念（按照出现先后排序）	378
附录 20 只股票的月度收益率（2000 年 12 月—2005 年 11 月）	379

第 1 章 金融计量学——

范畴与方法

金融计量学是金融市场中的计量经济学。它主要研究的是通过模型来描述价格、收益率、利率、财务比率、违约等金融时间序列。如果将经济学与物理学中的法则进行类比，计量经济学代表了定量的、数理的经济学法则。将定量的、数理的方法引入经济学分析，起源于 19 世纪末，这一时期的科学技术飞速发展并取得了极大的成就。

1889 年在巴黎举行的世界博览会，证明了这一时期人们对科学和技术的信仰。这次博览会最引人注目的是埃菲尔铁塔，它是由居斯塔夫·埃菲尔（Gustave Eiffel）设计的。埃菲尔是一名建筑设计师和工程师，那时他已经因为建造大型的铁建筑而声名鹊起，比如支撑自由女神像的 94 米高的正方形熟铁框架就是他的杰作。^① 埃菲尔铁塔，这一 300 米高的铁制建筑，不仅是当时的最高建筑，而且是一个数学应用的里程碑。为了确保铁塔能够承受强风，埃菲尔应用了一个积分方程式来确定铁塔的形状。^②

数学是自然的语言，这种观点可以追溯至 2 000 年前的古希腊时期，伽利略对此也有着充分的表达。伽利略在他 1623 年出版的著作《试金者》中写道：

[宇宙] 不能够被解读，除非我们学会它的语言并且熟悉那些用这些语言描述的特征。这些特征是使用数学语言写出的，而字母就是三角形、圆形以及其他几何形状，没有这些字母人类将不可能理解任何一个单词。

直到 60 多年后（1687 年），牛顿（Newton）出版了他的著作《原理》一书，才将这一思想赋予了现代形式。牛顿在介绍瞬时变化率（instantaneous rate of change）^③ 的概念以及阐述链接变量及其变化率的力学法则时，为现代物理学做出了奠基性的贡献。链接变量的变化率正是微分方程的基础。从牛顿开始，微分方程被广泛运用到物理学的各个领域，包括力学、热力学、电磁学、相对论和量子力

① 埃菲尔不仅是个技术高超的工程师，还是个精明的商人。当他得知法国政府为建造 1889 年世博塔提供的资金足够铁塔成本的 1/4 时，他和法国政府做了一笔交易。他为建塔提供必要的资金，但是作为回报，他取得了该塔 20 年的商业使用权。这笔交易使他大发横财。第一年他就收回了所有的投资成本。尽管埃菲尔具有精明的商业头脑，但是他的商业生涯最终被巴拿马运河金融丑闻案摧毁，因为他的公司是主要承包商之一。虽然后来他的行贿指控被澄清，但是他放弃了所有的商业活动，并用生命的最后 30 年从事研究工作。

② 埃菲尔采用的主要设计原理被应用到随后每一个高层建筑的设计中。埃菲尔的方程式为，

$$\frac{1}{2} \int_x^H f(x)^2 dx - c(H-x) = \int_x^H xw(x)f(x) dx$$

方程表明，从一个给定高度到塔顶，作用于这一部分的风力扭矩等于该部分塔重量的扭矩。

③ 瞬时变化率，数学术语称为“导数”，是微积分的基本概念之一。微积分是牛顿和莱布尼茨（Leibniz）分别独立创建的，他们还进行了一场激烈的微积分创始权之争。

学等。

在整个 19 世纪，基于微分方程的物理学带来了翻天覆地的技术革命。包括蒸汽机和电动机的发明、电力的产生和输送、电子信号的传送、物质的化学转化，以及轮船、火车、大型建筑和桥梁的建造等。它改变了商品生产和运输的各个方面。对科学和技术力量的信仰在这个时期达到一个高峰。^①

出于对科学的热衷，大量研究者尝试将物理学原理运用到其他学科领域，比如语言学、行为科学和经济学。当 Léon Walras^②和 Vilfredo Pareto^③首先尝试编写经济学的数学法则时，Stanley Jevons^④和 Carl Menger^⑤已经提出了经济均衡的概念。Walras 和 Pareto，这两个受过训练的工程师承担起了编写经济均衡方程的任务。在他们那个时代，他们的目标是非常超前的。但是直到 20 世纪前半段概率论和统计学有了充分的发展之后，一个合理的、理论化的、定量的经济系统描述才得以出现，而它的实际应用还不得不等待高速计算机的发展。直到 20 世纪后半段，一个定量描述经济的主流学科才得以诞生，这就是计量经济学（经济学的定量科学）。

1.1 数据生成过程

金融计量学运用的基础数量方法与近四个世纪以来数量科学发展起来的基本方法相同。也就是说，我们使用数学模型描述不同变量之间的关系，或者不同时间、不同地点变量间的关系。数量科学的基本原则是这种相关关系不随时间、空间的改变而改变。比如，即使我们看到海浪的波动几乎是随机的，但每时每地流体力学的法则是不变的。类似地，资产价格的波动看似是随机的，但是每种资产的价格波动每时每刻都应该服从计量经济学法则。

金融计量学模型和物理学模型有相似之处，但它们又存在很大的不同。物理学的研究目的是要发现不变的自然法则，而计量经济学模型则是要拟合那些总是处在变化中的经济或者金融市场。比如，股票交易市场已经运行了两个世纪，股票数量和交易形式都发生了巨大的变化，能够取得的交易信息量也大大增加。在 20 世纪 50 年代，我们只能获得日收盘价，而且通常是在第二天获得前一天的日收盘价，而现在我们甚至可以得到每笔交易的瞬时信息。因为经济、金融市场总是处在变化中，经济计量模型就不可能一成不变，而必须根据环境的改变而适时地进行调整。

基本的物理学法制是使用微分方程进行表达，而金融计量学则是使用连续时间

^① 19 世纪的人们对科学的热情和信仰比我们现在还要强烈。两者主要有两个区别：首先，19 世纪的科学研究相信未来科学进步的可能性是无限的；而现代科学则受到“不确定性不可消除”这一观点的影响。其次，现代科学甚至不能确定它的目标。根据标准量子力学的标准解释，物理学的一些法则被认为仅是实验室预言，而不具有任何描述能力。

^② Léon Walras, *Éléments d'économie politique pure; ou, Théorie de la richesse sociale* (Elements of Pure Economics or The Theory of Social Wealth) (Lausanne: Rouge, 1874) .

^③ Vilfredo Pareto, *Manuel d'économie Politique* (Manual of Political Economy), Ann S. Schwier 翻译的 1906 年版 (New York: A. M. Kelley, 1906) .

^④ Stanley Jevons, *Theory of Political Economy* (London: Macmillan, 1871) .

^⑤ Carl Menger, *Principles of Economics* (<http://www.mises.org/etexts/menger/Mengerprinciples.pdf>), 由 James Dingwall and Bert F. Hoselitz 从 1871 出版的 *Grundsätze der Volkswirtschaftslehre* 翻译而来。

模型和离散时间模型来进行表达。比如，连续时间模型被用来拟合衍生品交易，而基础资产和衍生品的价格都可以使用随机微分方程表示。为了能够使用计算机数值计算方法来求解随机微分方程，有限差分被用来替代了导数。^① 这一时间的离散化过程产生了离散时间模型。然而，金融计量学使用的离散时间模型并不都是由连续时间模型的离散化而生成的。

下面我们重点关注资产管理中使用最多的计量经济学模型——离散时间模型。离散时间模型有两个主要类型：静态模型和动态模型。静态模型涉及同一时刻的不同变量。比如著名的资本资产定价模型（CAPM）就是一个静态模型。动态模型涉及一个或多个变量在两个或多个时刻的值。^② 例如动量模型就是动态模型。

在一个动态模型中，不同时刻变量间的数量关系被称为数据生成过程（data generating process, DGP）。从这个概念可知，如果我们知道一个过程的 DGP，我们就能够从一个初始状态开始递推地模拟这个过程。假设某只股票的价格时间序列为 p_t ，也就是说该序列由某一固定时刻（比如每天）股票的价格数据构成。我们现在用下面这个简单的计量经济学模型来表示这只股票的价格序列：^③

$$p_{t+1} = \mu + \rho p_t + \varepsilon_{t+1}$$

这个模型告诉我们， $t+1$ 时刻股票的价格等于一个常数加上前时刻股票价格与 ρ 的乘积，再加上一个独立的零均值的随机扰动项，这个随机扰动项具有不变的统计特征。^④ 这种形式的随机扰动项被称作白噪声（white noise）。^⑤

如果我们知道 $t=0$ 时刻的初始价格 p_0 ，并使用计算机生成随机数，我们就可以通过下面的递推公式模拟一个价格过程：

$$p_1 = \mu + \rho p_0 + \varepsilon_1$$

$$p_2 = \mu + \rho p_1 + \varepsilon_2$$

⋮

也就是说，我们可以通过初始价格 p_0 和计算机产生的随机数 ε_1 计算 $t=1$ 时刻的价格，然后用新的价格计算 $t=2$ 时刻的价格，依次类推。^⑥ 显然，我们拥有了一个 DGP，就如同拥有了一个路径。一个包含两个或多个不同时刻的计量经济学模型可以被看做是一个 DGP。

不论是静态模型还是动态模型，除了从递推角度外，我们还可以从另一个更普

① 微分方程中随机特性的引入，导致了许许多多与之伴随的基础性数学问题的产生。随机微分方程是数学家 Ito 和 Stratonovich 分别独立发现的一个微妙的数学过程。根据 Ito 和 Stratonovich 的定义，一个随机微分方程的路径并不是对应微分方程的解。然而，数值求解的过程可以生成一个保持这一路径的离散模型。参见 M. Focardi and Frank J. Fabozzi, *The Mathematics of Financial Modeling and Investment Management* (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004) 以及其中提及的文献。

② 在离散时间模型中这是很显然的，而在连续时间模型中，一个动态模型可能同时包含一些变量以及它们的导数。

③ 在这个例子中，我们使用小写字母 p 定义价格，并假设它们服从一个简单的线性模型。在后面的章节里，我们将使用大写字母 P 代表价格，而使用小写字母 p 代表价格的对数。由于收益率具有复利形式，价格被假设服从非线性过程。

④ 如果我们想要实际应用这个模型，必须估计常数 μ 和 ρ 。 μ 决定了趋势， ρ 表明了价格间的相关关系。典型的 ρ 小于 1 但是很接近 1。

⑤ 白噪声的具体定义以及不同类型的白噪声将在后面章节作详细介绍。

⑥ ε_t 是均值为零的独立同分布的随机变量。典型的 ε 分布选择是正态分布、 t 分布和稳定的非高斯分布。分布的参数可以通过样本进行估计（参见第 3 章）。

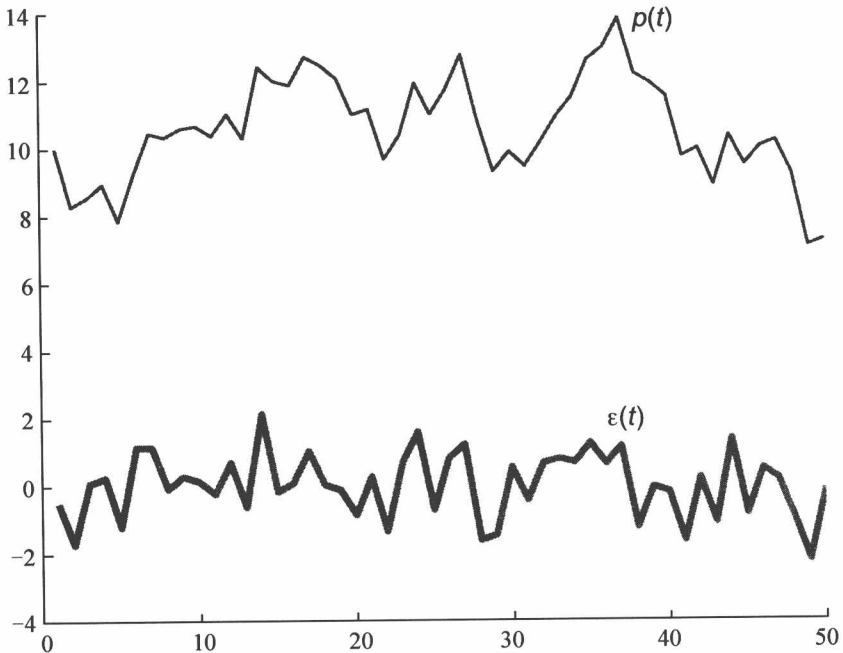
通的角度观察这些计量经济学模型。实际上，我们可以把上面的模型改写为：

$$p_{t+1} - \mu - \rho p_t = \varepsilon_{t+1}$$

这个式子表明，任意两个连续时刻价格的线性组合表现为随机噪声。更一般地，一个计量经济学模型可以被视为是将经验数据重新构造成一个噪声序列的数学方法。通过图表 1.1 我们可以更好地理解这一思想。图表 1.1 展示了当 $\rho=0.9$ 、 $\mu=1$ 时，按照上面公式，由计算机生成的时间序列 p_t 以及对应的时间序列 ε_t 。如果我们选择任意两个连续时刻，比如 $t+1$ 和 t ，差值 $p_{t+1} - \mu - \rho p_t$ 总是等于 ε_{t+1} 。比如， $p_{13} = 10.2918$ ， $p_{14} = 12.4065$ ，差值 $p_{14} - 0.9p_{13} - 1 = 2.1439$ 恰好等于 ε_{14} 的值。任意变换两个相邻时刻，结果依旧不变。也就是说，如果我们计算 $p_{t+1} - 1 - 0.9p_t$ ，结果总是等于噪声序列 ε_{t+1} 的值。

图表 1.1

DGP 和噪声项



为了帮助我们进行直观认识，我们可以把我们的模型看做是测试的工具。使用这个测试工具研究时间序列，我们总是得到相同的结果。实际上，虽然我们得到的结果并不恒定，但却总是一个均值为零、统计特征固定的随机过程。金融计量学的目的就是要找到一些关于不同金融变量的尽可能简单的表达式，比如价格、收益率或者财务比率等，而这些表达式在不同时刻总是产生一个零均值的随机扰动。

静态模型（比如模型中只包含一个时刻）被用来表现任一给定时刻不同变量间的关系。比如，静态模型被用来确定对不同风险因子的风险暴露。然而，因为静态模型只包含一个时刻，因而不能用作预测。预测要求模型相关变量要包含两个或更多个时刻。

1.2 金融计量学建模步骤

实际运用金融计量学包括三个主要步骤：

1. 模型的选择
2. 模型的估计
3. 模型的检验

在第一步中，建模者首先要选择一类给定统计特性的模型族。既要注意分析模型的数学特征，又要根据经济理论对模型进行选择。比如，在这一步骤中，建模者选择回归模型，使用财务比率或者其他变量来拟合收益率。

通常模型中会包含一些参数，这些参数需要使用样本数据进行估计。应用金融计量学的第二步就是估计这些参数。假设我们决定使用一个回归模型（这一工具我们在后面章节详细介绍）来拟合收益率。这就要求我们使用历史数据估计回归系数。这个估计为我们提供了现实与模型之间的联系。因为计量经济学模型都是概率模型，原则上任一模型都能描述我们的经验数据。我们在模型选择阶段选择一类模型，而在模型估计阶段确定最优模型。

如前所述，模型的选择和估计都是基于历史数据进行的。然而，在拟合历史数据的过程中总是存在捕捉数据短期特征的风险。因此，我们有必要使用非估计期数据来对已估计的模型进行检验，这就是应用金融计量学的第三步——模型检验，即使用新的数据来评价模型的表现。

我们使用一个不同的方法去选择和估计模型，这种方法被称作统计学习。统计学习包括两个步骤——模型选择和模型估计，它使用的是一类能够拟合任何数据的通用模型。例如神经网络模型就是一个通用模型。统计学习方法的关键就是模型的估计，因此需要限制模型的复杂程度（比如模型参数的个数）。

我们已经了解了金融计量学应用的基本过程，现在回答一些建模的基本问题，比如：

■真实的金融序列只有一个实现（realization），我们如何进行统计分析？

■给定一个历史数据样本，我们选择使用线性模型还是非线性模型？如何选择不同的分布假定？如何选择模型的复杂程度？

■我们是否可以挖掘更多的数据，比如高频数据？

■如何使我们的模型更加稳健，从而降低模型的风险？

■我们如何测量模型的表现和模型实际应用的效果？

1.2.1 关于只有一个实现的经验序列问题

如前所述，计量经济学模型都是概率模型：变量是由一个概率分布生成的随机

变量。通常，概率观点不能应用于单独的“个体（individuals）”。^① 概率模型描述的是由多个个体形成的“总体（populations）”。然而，经验金融时间序列只有一个实现。比如，每只股票只有一个历史价格的序列，且每一时刻只有一个价格。这使得使用概率论的思想存在一定问题。比如，一个特定的时刻只能观察到一个价格，我们能够明确讨论价格的分布吗？采用概率论的思想去进行估计和检验，要求总体由多个时间序列组成，而样本要由不同的时间序列组成，而这些时间序列可以认为是由一些分布随机生成的。

鉴于每个金融时间序列的唯一性，解决方法就是将时间序列的单个元素看做是总体中的个体。比如，因为每只股票的价格时间序列只有一个实现，我们必须观察每只股票在不同时刻的价格。然而，一只股票（或者其他任何资产）在不同时刻的价格并不是一个独立的随机样本。比如，考虑一只股票不同时刻的价格分布是没有意义的，因为股票的价格水平是随时间变化的。我们最初得到的金融变量的时间序列必须进行转变，也就是说，一个特有的时间序列必须通过个体转变成总体，才能使用统计方法。这一点不仅适用于价格，也适用于其他金融变量。

计量经济学不仅涉及上述类型的转换，还包括一些证实转换效果的检验。DGP 是这些转换方法中最重要的一個。回想一下，我们可以将 DGP 解释为将一个时间序列转化为一个噪声序列的方法。正如我们已经看到的，DGP 从原始序列出发构造了一个随机扰动序列，并且允许倒推，以及从噪声项和 DGP 推断原序列的统计特征。但是，这些统计特征不能被独立地检验。

DGP 并不是唯一允许进行统计估计的转换方法。正如我们第 6 章将要看到的，对时间序列进行差分，可以将非平稳的时间序列转换为平稳的时间序列。一个平稳的时间序列具有恒定的均值，在一定假设前提下可以使用经验均值进行估计。

1.2.2 模型的确 定

如前所述，计量经济学模型表现的是不同时刻不同变量间的数量关系。而一个重要的问题是，这些关系是线性的还是非线性的？考虑到每个计量模型都是一个近似，那么哪种近似更好？是线性的还是非线性的呢？

要回答这个问题，通常还要考虑与线性模型相联系的一些问题，比如分布假设、滞后期数等。最简单的模型是包含少量滞后项的线性模型，且假设变量是正态变量。一个被广泛应用的正态线性模型的例子是，在噪声项服从正态分布的假设下，使用影响因子的滞后项对收益率进行线性回归。这种模型可以被写成：

$$r_{t+1} = \beta f_t + \varepsilon_{t+1}$$

其中， r_t 表示 t 时刻的收益率， f_t 表示影响因子，可以是经济或者金融变量。对于给定的线性模型，如果影响因子和噪声都是正态分布，那么收益率也服从正态分布。

^① 至少，如果我们不使用概率论中频率的概念。参见第 2 章。