

(原书第 3 版)

应用计量经济学

时间序列分析

Applied Econometric Time Series (3rd Edition)



机械工业出版社
China Machine Press

(美) 沃尔特·恩德斯 (Walter Enders) 著
亚拉巴马大学
杜江 袁景安 译

本书是一部计量经济学领域的优秀教材,全书自始至终贯穿由浅入深、由简单到复杂的学习过程,运用真实的数据举例,阐述关键概念,不但完整、精简,而且非常注重应用。本书通过案例强调方法的实际应用,几乎没有复杂的数学公式。全书共分7章,分别介绍了差分方程、平稳时间序列模型、波动性建模、包含趋势的模型、多方程时间序列模型、协整与误差修正模型以及非线性时间序列模型等内容。

本书可作为经济类、管理类以及其他学科的本科高年级或研究生的计量经济学教材,同时也是科研工作者和实际工作者十分有用的参考用书。

Walter Enders. Applied Econometric Time Series, 3rd Edition.

Copyright © 2010 by John Wiley & Sons, Inc.

This translation published under license. Simplified Chinese translation copyright © 2012 by China Machine Press.

No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system, without permission, in writing, from the publisher.

All rights reserved.

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。

本书封底贴有 John Wiley & Sons 公司防伪标签,无标签者不得销售。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号:图字:01-2011-2318

图书在版编目(CIP)数据

应用计量经济学:时间序列分析(原书第3版)/(美)恩德斯(Enders, W.)著;杜江,袁景安译. — 北京:机械工业出版社,2012.6

(经济教材译丛)

书名原文:Applied Econometric Time Series

ISBN 978-7-111-38801-2

I. 应… II. ①恩… ②杜… ③袁… III. 计量经济学—教材 IV. F224.0

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第126083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:宁 珊 版式设计:刘永青

北京瑞德印刷有限公司印刷

2012年8月第1版第1次印刷

185mm×260mm·24.5印张

标准书号:ISBN 978-7-111-38801-2

定价:69.00元

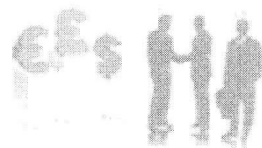
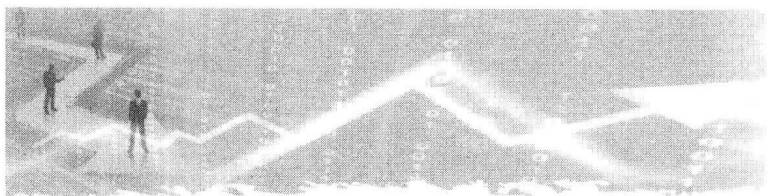
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88379210; 88361066

购书热线:(010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线:(010) 88379007

读者信箱:hzig@hzbook.com



中文版序

Time series analysis is an important and interesting economic analysis method. Based on my many years of teaching and research experience, I wrote the book “Applied Time Series Econometrics”. The purpose is to let more people learn and master the knowledge in this field. As a scholar, I consider that the development and research of new knowledge are undoubtedly very important, meanwhile I consider it equally important to disseminate knowledge and let the research results be understood and applied in real life to create value by more people. I hope that through my book, more researchers can learn the achievements of their predecessors, and on this basis continue their own exploration. At the same time, I also hope that practitioners can master the methods described in this book, which could facilitate them in solving practical problems.

China has always been respected for its long history and splendid civilization and culture. Although there were ups and downs in the past century, China's economy really took off and experienced a large-scale miraculous development in the past 30 years. Therefore I always hoped to have the opportunity to visit China to see the changes on the ground. In the summer of 2011, I was invited by the Southwestern University of Economics and Finance and came to Chengdu to give seminars. I also gave a seminar in Sichuan University as invited. Along the way I saw superb infrastructure, beautiful campuses, and keen students who are thirsty for knowledge, all of which left me a deep and beautiful impression. I believe part of these achievements can be attributed to the country's respect for economic laws. Exploring the economic laws cannot be separated from the methodology. The old Chinese proverb of “to achieve the goal, you must sharpen your tool first” is indeed true. Time series analysis is a very important methodology, and is of great benefit to the study of economic laws. It is a great thing that my work can be spread to China, and I can become a good friend of Chinese people.

Here, I would like in particular to thank Prof. Jiang Du from Sichuan University, and Dr. Jingan Yuan, an associate professor from Southwestern University of Economics and Finance. They formed a team, carefully read my book and translated it into Chinese. I am glad that Chinese readers, through their efforts of translation, can know me and my work. Therefore, I extend my sincere thanks to them. I want to especially mention that, Prof. Du, who has deep knowledge and long-time research experience in econometrics, first brought my book into China. I want to thank him again. In addition, I was Dr. Yuan's Ph. D. advisor when she was in school, and she participated in revising the English revision of the 3rd edition of this book and also the writing of the supplemental manual. I want to thank her for those contributions too.

Walter Enders

March 20, 2012

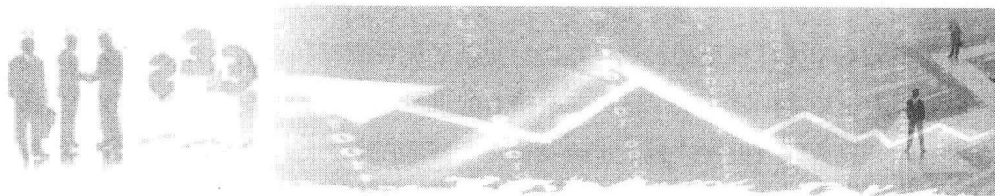
时间序列分析是一门既重要又有趣的经济学分析方法。我总结了多年的教学和研究经验，写成《应用计量经济学：时间序列分析》一书，目的就是让更多的人学习并掌握这门学科。作为一名学者，我认为研究发展新的知识毫无疑问非常重要，但传播知识、让研究成果被更多的人理解并在实际生活中应用，其意义同样重大。我希望通过我的书，研究者可以了解到前辈们的成果，并在此基础上继续新的探索；同时，我也希望实践者可以因为掌握了这种方法而使问题的解决更加便利。

中国悠久的历史 and 璀璨的文明让人肃然起敬。最近 30 多年来，中国的经济开始腾飞，大规模的经济的发展已经创造了一个奇迹，因此，我一直希望能有机会到中国实地参观。2011 年夏天，我受到西南财经大学的邀请来到成都讲学，也受邀到四川大学做学术讲座，一路上我见到完善的基础设施、优美的校园，还有众多求知若渴的学生，这些都给我留下了美好的回忆。我想，这可能是由于中国的决策层越来越尊重经济规律的缘故。探索经济规律离不开方法论，中国有句古话“工欲善其事，必先利其器”说的应该就是这个道理吧。时间序列分析是一门非常重要的方法论，对研究经济规律大有裨益。我很高兴我的作品能流传到中国，并能和中国人成为朋友。

在这里，我想特别提出感谢的是四川大学经济学院的杜江教授和西南财经大学的袁景安副教授。他们组成的团队仔细地研读了我的作品，并将其翻译为中文，使中国的读者能够认识我、了解我的工作，我觉得非常荣幸。在此，我向他们致以诚挚的谢意！我想特别提到的是，杜江教授在计量经济学领域有很深的造诣和长期的研究经验，也是他首次在中国传播了我的作品，在此我再次表示感谢。我曾经是袁景安的博士导师，在她攻读博士期间，作为我的助研也参与了这本书的修订及补充读物的撰写工作，我在此也一并感谢。

沃尔特·恩德斯

2012 年 3 月 20 日



译者序

“历史会重演”!

作为以历史预测未来的经典定量方法,时间序列分析是一门显学。格兰杰(Granger)、恩格尔(Engle)和西蒙斯(Sims)等经济学家都得益于他们在经济时间序列分析方面的卓越贡献而获得诺贝尔经济学奖;顶级学术刊物刊登的经济、金融等诸多领域的学术论文大都采用时间序列分析方法。可以说,在社会科学研究中,特别是在经济和金融领域的研究中,时间序列分析已成为主流的研究方法之一。正如本书作者恩德斯所言,经济学中包括许多时间序列分析的方法,甚至诸如政治经济学等传统定性分析学科也日趋定量化。

初次接触本书的第1版是在16年前的日本广岛大学。那时,我“留洋”,专攻计量经济学;它也“留洋”,“教授”计量经济学。它深入浅出的风格让我得以顺利理解计量经济学。由此,我和它结下不解之缘。1998年,我有幸跨入人文气息浓厚的四川大学经济学院,在后来的教学和科研活动中,我有意识地参考了这本优秀教科书的内容。2004年10月至2005年9月,受国家留学基金委员会的资助,我再次回到广岛大学,做访问学者。重游故地,我阅读了本书于2004年出版的第2版。尽管新版加入了不少新内容,但原版的风貌并没有改变,仍旧浅显易懂,强调方法的实际应用步骤,案例涉及宏观经济学、微观经济学、金融学等各个领域以及作者非常擅长的对国际恐怖事件的研究。这种风格对于我们掌握研究方法以及扩大视野都十分有益。于是,我萌生了将本书翻译成中文的念头,目的是让更多的人了解和掌握时间序列分析方法,应用时间序列分析方法解释和解决各自领域(包括非经济领域)的问题。值得欣慰的是,经过努力,在2006年的金秋收获季节,第2版的中译本出版了。

2009年,本书的第3版问世。我也拥有了这本视同挚友的宝物。第3版在保持原有格调的基础上,新增了参数稳定性和结构性变化的讨论,也新增了对协整检验和单位根检验的进一步讨论,还有对样本外区间预测方法以及

多元 GARCH 模型的讨论。同时，更新了相关数据和案例。2011 年夏天，恩德斯教授专程来到四川大学经济学院，做了一场非常精彩的讲座，报告了他在时间序列分析方面的最新研究成果。同时，恩德斯教授在内封上也给我留下了备感压力，同时也是备受激励的寄语：

Professor Du,
 Thank you for inviting
 me to your university. It was
 a pleasure to meet you.
 Thank you for making me
 famous in China.
 Walter Enders

我很担心第 3 版的中译本因我糟糕的翻译，不仅没让恩德斯在中国更出名，反而让他背上不好的名声。因此，本着“驛马十驾，功在不舍”的精神，我们在第 3 版的翻译过程中，把质量作为重中之重，力争比第 2 版做得更好。当有不懂或未知的部分时，我们都会参阅相关文献，请教良师益友。

本书自始至终贯穿由浅入深、由简单到复杂的学习过程，并运用真实的数据举例，阐述关键概念。通过案例强调方法的实际应用，几乎没有复杂的数学公式，即使有也是从最简单的推导开始。对于单变量时间序列是从 1 阶开始，然后逐步推广到高阶。而对于多变量时间序列，则是从 2 个变量、3 个变量开始进行解释，然后扩展到更多的变量。本书的所有案例都是根据我们熟知的理论模型设计的，对于同一理论模型或实际问题运用了各种时间序列分析方法进行分析。每种方法都有具体的步骤，每一步都有详细的阐述，一目了然，便于自学。本书可以作为经济类、管理类以及其他学科的本科高年级或研究生学习计量经济学的教材用书。同时，也是科研工作者和实际工作者十分有用的参考书。读者只要掌握了初级计量经济学的基础知识，就可以通过对本书的学习，逐步能够阅读专业期刊和从事严谨的应用研究。即使没有学过计量经济学的读者，只要稍许花点时间了解多元回归分析的基本思想，也可以直接进入对本书的学习。

本书由 7 章组成。第 1 章介绍差分方程。差分方程是所有时间序列分析方法的理论基础。第 2 章介绍平稳时间序列模型，以 ARMA 为代表的线性随机差分方程的内容是构成时间序列经济学理论的主要部分。第 3 章介绍异方差条件下的时间序列处理技术，主要讲述 ARCH 模型的构建方法，并涵盖了 ARCH 模型的一些最新进展。第 4 章主要介绍序列是否平稳的单位根检验方法和模型的选择准则。第 5 章介绍多元时间序列模型，主要讲述向量自回归（VAR）模型的原理以及基于 VAR 模型的因果关系检验、脉冲响应分析和方差分解，还有其他与 VAR 模型相关的问题。第

6章介绍协整与误差修正模型。当变量是非平稳变量时,有可能存在伪回归。因此,本章主要介绍协整的概念以及在不同经济模型中的应用,考察协整变量的动态路径,讨论检验协整的各种方法,还介绍涉及非平稳变量的向量误差修正模型。第7章介绍非线性时间序列模型。经济理论认为若干经济时间序列表现为非线性行为。本章介绍了不同类型的非线性模型,讨论是否存在非线性调整的检验方法。为了巩固所学的内容,每章后面都附有习题。

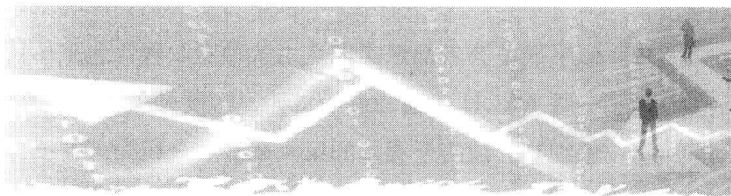
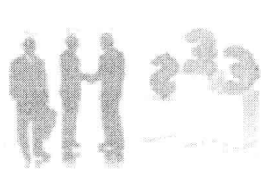
在本书的翻译过程中,我们得到了国务院发展研究中心企业研究所、四川大学经济学院、四川大学金融研究所、四川省数量经济学会许多领导和专家的关心、指导与帮助,在此一并表示感谢。特别地,我的计量经济学指导教官、日本广岛大学经济学部前川功一教授,我的管理学博士生导师、国务院发展研究中心企业研究所赵昌文所长,他们对本书的翻译给予了具体的指导;我的师弟和挚友、四川大学金融研究所的朱鸿鸣,四川大学经济学院李恒和雷超,机械工业出版社的王洪波、宁娜编辑也为本书的翻译和出版付出了大量的精力和时间;我的家人给予了我许多鼓励、理解和宽容,付出了很多。在此,特别向他们表示深深的感谢。

本书在翻译过程中的具体分工如下:前言,杜江;第1章,杜江、袁景安、易瑾、杨文溥;第2章,杜江、袁景安、易瑾、李丹丽;第3章,杜江、袁景安、易瑾、张宏波;第4章,杜江、袁景安、易瑾、李倩;第5章,杜江、袁景安、李倩;第6章,杜江、袁景安、李倩、韩旭;第7章,杜江、袁景安、李倩。第1~4章和第6章的附录分别由李丹丽、杨文溥、雷超、张宏波和韩旭负责,他们也一同整理了统计表。张斯雨参与了文字校对等相关工作。杜江、袁景安负责修订校对全书。最后的统编与审定由杜江负责。

的确,翻译工作是译者在领会原著的基础上,换一种语言的表达。尽管与原作者恩德斯教授有许多沟通,但囿于我们的专业能力和外语水平,难免对本书有理解上的偏颇,导致翻译存在瑕疵。对于由此给读者带来的困惑,我们深表歉意,也敬请广大读者朋友指正。我的联系邮箱是 dujiang@scu.edu.cn。

杜 江

2012年春节前夕于四川大学望江校园



前言

在我创作第1版的时候，初衷是写一本关于时间序列的宏观计量经济学教材。庆幸的是，不少同事劝我扩大视野，这也让我拓展了本书的主题。越来越多的应用微观经济学家开始热爱时间序列模型，政治学科类杂志也开始更多地采用定量分析的研究论文。同第1版一样，本书的有些案例来源于宏观经济学、农业经济和国际金融领域，也有些来源于我和 Todd Sandler 一同进行的国际恐怖主义研究。读者会发现，在本书的案例中，既包括宏观经济应用，也包括微观经济应用，二者比例适当。

本书适用于对多元回归分析有一定基础的读者。我假定读者了解并会运用最小二乘法。至少对我的所有学生而言，相关系数和协方差的概念都是非常熟知的；另外，他们也知道如何应用 t 检验和 F 检验。所以，对于类似于均方误差、显著性水平和无偏估计等专业术语，本书均不加以解释，而是直接采用。本书有两章是讨论多元时间序列分析方法的。为了学好这些章节，读者有必要了解和掌握如何使用矩阵代数来求解方程组。第1章是“差分方程”，它是本书的基础。依我的经验，加上对回归分析的学习，再通过对本书的学习，就能使学生达到阅读专业期刊并从事严谨的应用研究的水平。然而，仍有一个不幸的读者，他来信写道，“我全都按您书上所写来做，但投稿论文仍被退稿”。

我非常谨慎地权衡了本书的完整性和精简性。我深知，在修订先前很不错的手稿时，若任意扩展本书内容，通常会让修订本变得一文不值。对于关注某个主题或者方法的读者，都不愿意阅读一本百科全书式的介绍，因为百科全书式的教材会使得主题和方法失去本身的风格。然而，本书仍需要囊括一些重要的时间序列研究成果。在决定究竟囊括哪些内容时，我非常愿意倾听，并且高度依赖一些老师和学生通过电子邮件提出的建议。多数老师和学生都较为关心参数稳定性和结构变化方面的研究。这些新的内容都将在第2章出现，涉及结构变化的正式检验、迭代估计的例子以及 CUSUM 检验。涉及内生性突变断点（比如，在某个未知时点的潜在突变）的内容会放在第7

章。似乎很多读者都想实现运用各种专业软件包来估计多变量 GARCH 模型。对此，第 3 章就包括了一些 ARCH 建模的最新研究，特别是关于多变量 GARCH 模型的研究，该章末尾讨论了一些技术细节。前两个版本的第 4 章都是介绍如何在单位根检验中合理地选择确定性回归量的，而在这个版本中，我做了较大的改动。与以往不同的是，这一版的第 4 章主要关注了 LM 和 DF-GLS 单位根检验时所用的去除趋势的方法，这些方法远比标准的单位根检验更强大，因而如何确定合适的确定性回归量的问题就没那么重要了。在第 6 章中我设法改进了一些内容，涉及协整检验的“一般到特殊”方法。现在版本中的内容更注重误差修正和协整的 ADL 检验。

我非常关注书名中的“应用”两字，因为它是经过深思熟虑的。为了实现“应用”的含义和目的，我极力主张归纳式的教学讲授过程。所谓归纳，即从一个简单的情形出发，逐步建立更普遍、更复杂模型的过程。本书提供了每个归纳过程的详细例子，而每个例子都包含了步骤总结，指出了归纳过程的每个典型阶段。归纳法就是“行而学”，即通过实干来学习。每章的正文部分都包括了大量的已解决问题。每章末所列的习题对强化内容的理解尤其重要，建议读者尽可能多地完成案例分析和习题。为了帮助读者完成整本书的学习，以下三本参考读物是对本书的补充。

一本是教师手册，它针对采用本书的教师。教师手册包括所有数学问题的答案，也包括一些编程，运算这些程序能得到与教材相一致的大部分结果，还包括习题部分所涉及的所有模型。这本教师手册提供了不同的版本，以便 EVIEWS、RATS、SAS 和 STATA 用户使用。

另一本是我自己编写的补充手册。考虑到有必要剔除教材的部分内容，我也编写了一本补充手册。在这本手册中，囊括了一些我认为重要的（或有意义的）内容，但对所有读者而言，这些内容的重要性尚不足以编入教材。常常是，读者在阅读教材的同时，会时不时地查阅补充手册，以便获得某方面内容的额外信息。然而，当我收到某些读者询问的相关话题时，我总倾向于往手册中不断地增加新的内容。鉴于这种情况，读者应该随时查阅并确认是否拥有这本补充手册的最新版本。

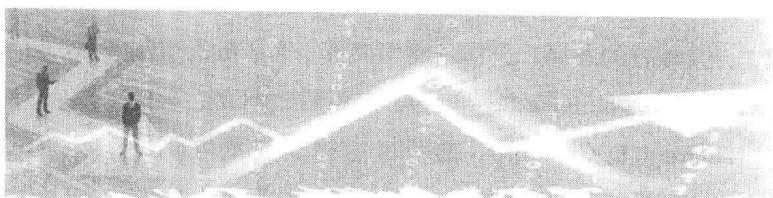
还有一本是 RATS 编程手册。在这本书中所展示的部分方法需要精确地编程。估计结构 VAR 模型需要具备矩阵运算功能的软件。蒙特卡洛方法需要大量的密集运算。估计非线性模型需要具备非线性最小二乘和极大似然估计功能的软件。全部由菜单驱动的软件包无法做到估计时间序列模型的所有形式。正如我经常对学生讲到的，一个已经出现在计量经济软件菜单中的程序，一定不是最新的时间序列分析方法。为了帮助读者编程，我写了一本 RATS 编程手册，作为本书的参考书目。当然，针对每个可能的平台，让我写相应的指导用书是不可行的。大部分编程者都应该能够将 RATS 程序改写成其他语言，用于他们自己所使用的软件包。

补充手册和编程手册都可以（免费）从我的个人主页 www.cba.ua.edu/~wenders 中下载。编程手册还可以从 ESTIMA 网站下载：www.estima.com。

为编写这本书，我已经尽了全力，但毫无疑问，书中的错误在所难免。惭愧地说，如果说本书的前两版有什么借鉴意义的话，那就在于它们存在很多错误。我会在补充手册中经常更新勘误表。

很多人都对我的书稿提出了宝贵的建议，涉及教材的布局、风格以及用词等。第3版的审阅者提供了许多有用的评论和建议，他们包括埃默里大学的 Kyle Beardsley，密西西比州立大学的 Randall C. Campbell，弗吉尼亚理工大学的 Andre J. D. Crawford，佛罗里达新学院的 Tarron Khemraj，南伊利诺伊大学爱德华兹维尔分校的 Ali Kuton，克莱蒙特-麦肯纳学院的 Keil Manfred，得克萨斯大学泛美分校的 Andre V. Mollick，以及奥尔巴尼和法兰克福大学的 Jan Mutl。正在就读和已经毕业的学生不断地给我提出挑战，并能迅速指出错误，我也非常感激他们。对我帮助特别大的有：Karl Boulware、Pin Chung、Selahattin Dibooglu、HyeJin Lee、Jing Li、Eric Olson、Ling Shao 以及袁景安。Pierre Siklos 和 Mark Wohar 对本书的早期版本也提供了不少非常重要的建议。仍值得一提的是，我从 Barry Falk 和 Junsoo Lee 那里学到了很多时间序列分析方面的知识。我也很感谢我的挚爱 Linda，在我写作书稿的时候，她给予我非常大的宽容和支持。

在写作前言的前不久，我得知 Clive Granger 已经永远地离开了我们。在明尼苏达大学度过公休假的几个月前，我有幸参加 UCSD 研讨会。当时，我正在处理迭代模型，根本就没有想过要做应用计量经济学家。然而，当我初见 Clive Granger 时，他说：“到明年冬天时，这里会比明尼苏达大学温暖很多，你何不在这里休假呢？”于是我改变了计划，决定留在圣迭戈的加州大学，与一群数理经济学者共事。庆幸的是，我耐着性子完整地学习了他的课程（和 Robert Engle 共同教学），由此，爱上了时间序列计量经济学。他的课程改变了我的职业生涯，在这里，讲述这个故事来寄托对他深深的哀思吧！



目 录

中文版序

译者序

作译者简介

前言

第 1 章 差分方程 1

1.1 时间序列模型 1

1.2 差分方程及求解方法 5

1.3 迭代法求解方程 7

1.4 备选方法 11

1.5 蛛网模型 14

1.6 解齐次差分方程 16

1.7 求确定性过程的特解 23

1.8 待定系数法 25

1.9 滞后算子 29

1.10 总结 31

习题 32

注释 33

附录 1A 虚根和 De Moivre 定理 33

附录 1B 高阶方程中的特征根 34

第 2 章 平稳时间序列模型 36

2.1 随机差分方程模型 36

2.2 自回归移动平均 ARMA 模型 38

2.3 平稳性 39

2.4 $ARMA(p, q)$ 模型的平稳性限制 42

2.5 自相关函数 46

2.6 偏自相关函数 49

2.7 平稳序列的样本自相关 51

2.8 Box-Jenkins 模型筛选方法 59

2.9 预测性质 61

2.10 利率差模型 67

2.11 季节性模型 73

2.12 参数稳定性和结构变化 78

2.13 总结 82

习题 83

注释 87

附录 2A MA (1) 过程的估计 87

附录 2B 模型筛选准则 88

第 3 章 波动性建模 91

3.1 定式化的经济时间序列 91

3.2 ARCH 过程 94

3.3 通货膨胀的 ARCH 和 GARCH 估计 100

3.4 GARCH 模型的两个例子 103

3.5 风险的 GARCH 模型 106

3.6 ARCH-M 模型 108

3.7 ARCH 过程的其他性质 110

3.8 GARCH 模型的最大似然估计 115

3.9 其他条件方差模型 116

3.10 估计纽约证券交易所综合指数 119

3.11 多元 GARCH 模型 124

3.12 总结 128

习题 129

注释 131

附录 3A 多元 GARCH 模型 132

第 4 章 包含趋势的模型 136

4.1 确定性趋势和随机趋势 136

4.2 去除趋势 142

4.3 单位根与回归残差 147

4.4	蒙特卡洛方法	150	6.2	协整与共同趋势	273
4.5	DF 检验	155	6.3	协整与误差修正模型	274
4.6	DF 检验实例	157	6.4	协整检验: Engle-Granger 检验 方法	280
4.7	扩展的 DF 检验	161	6.5	协整检验: Engle-Granger 检验 方法演示	282
4.8	结构性变化	170	6.6	协整和平价购买力理论	286
4.9	有效性与确定性回归变量	176	6.7	特征根、秩与协整	288
4.10	有效性更好的检验	179	6.8	假设检验	294
4.11	Panel 单位根检验	183	6.9	Johansen 协整检验方法	300
4.12	趋势和单变量分解	186	6.10	误差修正和 ADL 检验	303
4.13	总结	193	6.11	三种方法的比较	305
习题		194	6.12	总结	308
注释		196	习题		309
附录 4A 自助法	197	注释		312	
附录 4B 确定性回归变量的确定	200	附录 6A 特征根、平稳性与秩	313		
注释		附录 6B 协整向量推导	318		
第 5 章 多方程时间序列模型	204	第 7 章 非线性时间序列模型	320		
5.1	干扰分析	204	7.1	线性与非线性调整	320
5.2	传递函数模型	210	7.2	ARMA 模型的简单扩展	322
5.3	估计传递函数	218	7.3	非线性检验	324
5.4	结构性多元估计的约束	221	7.4	门限自回归模型	328
5.5	向量自回归介绍	223	7.5	TAR 的扩展形式	333
5.6	估计和识别	228	7.6	三个门限模型	337
5.7	脉冲响应函数	231	7.7	平滑转换模型	342
5.8	假设检验	237	7.8	其他状态转换模型	345
5.9	简单的 VAR 实例: 西班牙的恐怖 事件和旅游业	242	7.9	平滑转换自回归模型的估计	348
5.10	结构性 VAR	245	7.10	一般化的脉冲响应及其预测	351
5.11	结构性分解实例	248	7.11	单位根与非线性	357
5.12	Blanchard-Quah 分解	255	7.12	总结	360
5.13	实例: 分解实际汇率与名义汇率 变动	259	习题		361
5.14	总结	262	注释		363
习题		263	统计表	364	
注释		266	参考文献	368	
第 6 章 协整与误差修正模型	268				
6.1	单整变量的线性组合	268			



第1章

差分方程

导论

本书各章中讨论的所有时间序列分析方法都是以差分方程理论为基础的。可以说，时间序列计量经济学就是有关含随机成分的差分方程的估计。通常，将时间序列分析用于预测变量的时间路径。由于序列的可预测成分能够外推至未来的时期，因此，揭示序列的动态路径可以极大地提高预测效果。随着人们对动态经济学的兴趣日益增加，时间序列计量经济学已经重新受到重视。于是，从动态经济模型中，很自然地产生了随机差分方程。经过合理估计的方程可以用于解释经济数据和进行假设检验。

本章要实现以下三个目标。

(1) 解释如何运用随机差分方程进行预测，并举例说明如何从熟悉的经济模型中得到这类方程。本章的目的不在于专门介绍有关差分方程的理论，而仅仅介绍用于描述各种线性时间序列模型的差分方程方法的要点，并主要集中在单方程模型。多变量模型将在第5章和第6章中进行讨论。

(2) 解释什么是求解差分方程。根据方程的解可确定变量的时间路径是稳定的还是发散的。掌握稳定性条件方面的知识对理解时间序列计量经济学的最新进展至关重要。如今，关于时间序列的文献都特别关注变量的平稳性与非平稳性问题，而稳定性条件则构成了平稳性条件的基础。

(3) 演示如何求解随机差分方程。可用于求解的方法有很多种，而且每种方法都有优点。通过大量的例子，有助于我们理解这些不同的方法。请试着仔细推算每个例子。作为额外的训练，读者可以完成本章末的习题。



1.1 时间序列模型

现代时间序列计量经济学家所面临的任务是建立相对简单的模型，使它能够用于对经济的预测、解释和假设检验。这一挑战的难度与日俱增。时间序列分析最初主要是作为预测的辅助工具，因此，经济学家创造了一套方法，可将序列分解成趋势性、季节性、周期性和无

规则性（或称无规则）成分。趋势性成分表现了序列的长期动态特征，周期性成分则代表了序列有规则的周期性变动。无规则成分是随机的，而计量经济学家所要做的就是估算和预测这种随机的无规则成分。

假设我们已经观察到了如图 1-1 所示的 50 个样本数值，并有兴趣预测后面的取值。应用后面几章讨论的时间序列分析方法，可以把这个序列分解成图 1-1 下半部所示的趋势性成分、季节性成分和无规则成分。正如我们所看到的，趋势性成分改变了序列的均值，而季节性成分则呈现出规则的周期模式，每过 12 个时间单位就出现一次峰值。实际上，趋势性成分和季节性成分并非图中所示的经过简化的确定性函数。现代观点认为：序列的趋势性成分、季节性成分和无规则成分中都包含了随机因素。眼下，明智的做法是抛开这些复杂的情况，这样，对第 50 期以后的趋势性成分和季节性成分的预测会变得简单易行。

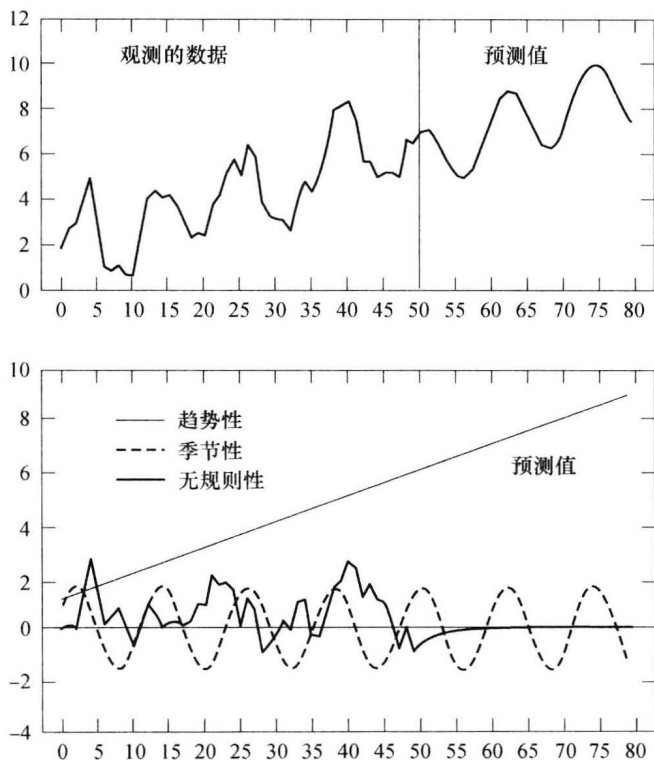


图 1-1 假设的时间序列

注意，对于无规则成分，即使缺乏定义严密的模型，但在某种程度上，该成分也是可以预测的。如果我们仔细查看图形，就不难发现，正负值是交替出现的；任何一期出现一个较大值，随后都会跟着出现另一个较大值。于是，短期预测可以利用无规则成分这一正相关性的特征。但在整个期间，无规则成分却表现出向零收敛的趋势。如图 1-1 的下半部所示，第 50 期以后的无规则成分的预测值迅速递减，趋近于零。而图 1-1 的上半部所示的整个预测值，实质上是每一成分的预测值的总和。

进行上述预测的一般方法是寻找一个推动随机过程的运动方程，并使用这个方程预测后面的结果。令 y_t 表示第 t 期的数据点取值；如果使用这一记号，则在图 1-1 的例子中，就假设我们观察到了 $y_1 \sim y_{50}$ 的取值。对于 $t=1 \sim 50$ ，用来构建序列 y_t 的各成分的运动方程为

$$\text{趋势性: } T_t = 1 + 0.1t$$

$$\text{季节性: } S_t = 1.6\sin(t\pi/6)$$

$$\text{无规则: } I_t = 0.7I_{t-1} + \epsilon_t$$

式中, T_t 为第 t 期的趋势性成分取值; S_t 为第 t 期的季节性成分取值; I_t 为第 t 期的无规则成分取值; ϵ_t 为第 t 期的纯随机扰动项。因此, 第 t 期的无规则成分等于上一期无规则成分的 70% 再加上一个随机扰动项。

上面三个方程都是差分方程 (difference equation)。通常, 差分方程将变量表示为该变量滞后值、时间和其他变量的函数。其中, 趋势性成分和季节性成分都是时间的函数, 而无规则成分则是它的滞后值和随机变量 ϵ_t 的函数。介绍这组方程意在说明, 时间序列计量经济学研究的是含随机成分的差分方程的估计。时间序列计量经济学家可能估计单变量序列的特征, 或者估计由许多相互依存的不同变量序列构成的向量的特征。本书对单变量和多变量预测方法都有介绍。第 2 章讲述如何估计序列的无规则成分。第 3 章讨论当数据表现出周期性波动和稳定时, 如何对方差进行估计。第 4 章讨论趋势估计, 问题集中在趋势是确定性的还是随机性的。第 5 章讨论向量随机差分方程的特征。第 6 章则是有关多变量模型中的趋势估计。第 7 章介绍包括非线性时间序列模型在内的全新发展的研究领域。

尽管预测一直是时间序列分析的重点, 但随着动态经济学的重要性日益增加, 时间序列分析有了新的用武之地。许多经济理论都可以用随机差分方程来描述。更重要的是, 许多模型都暗示着关键经济变量的时间路径具有可检验性。请考虑以下四个例子。

1. 随机游走假设 (the random walk hypothesis)。在最简单的随机游走模型中, 认为股价的逐日变动量服从均值为零的分布特征。毕竟, 如果大家都知道在第 t 天买入股票, 在第 $t+1$ 天按期望的价格卖出, 就可获得资本利得, 那么, 有效的投机将会推动当前股价上涨。同样, 没有人愿意持有预期价格将会下跌的股票。从数学形式上看, 模型认定股价的变动应当满足随机差分方程

$$y_{t+1} = y_t + \epsilon_{t+1}$$

或者

$$\Delta y_{t+1} = \epsilon_{t+1}$$

式中, y_t 为第 t 天的股票价格; ϵ_{t+1} 为期望值为零的随机干扰项。

现在考虑更为一般的随机差分方程形式

$$\Delta y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 y_t + \epsilon_{t+1}$$

随机游走假设要求满足可检验的约束条件: $\alpha_0 = \alpha_1 = 0$ 。拒绝这个约束条件就等于拒绝随机游走的理论。假设第 t 期的信息已知时, 随机游走理论也要求 ϵ_{t+1} 的均值等于零; 如果能够证明 ϵ_{t+1} 是可预测的, 则随机游走假设无效。第 2~4 章将讨论如何恰当地估计单方程模型。

2. 诱导方程和结构方程 (reduced-form and structural equations)。将差分方程组拆分成独立的单方程模型很有用处。为说明其中的关键问题, 考虑具有随机成分的萨缪尔森 (1939) 经典模型

$$y_t = c_t + i_t \quad (1-1)$$

$$c_t = \alpha y_{t-1} + \epsilon_{\alpha} \quad 0 < \alpha < 1 \quad (1-2)$$

$$i_t = \beta(c_t - c_{t-1}) + \epsilon_{\beta} \quad \beta > 0 \quad (1-3)$$

式中, y_t 、 c_t 和 i_t 分别表示第 t 期的实际国内生产总值 (GDP)、消费和投资。在凯恩斯宏观经

济学模型中, y_t 、 c_t 和 i_t 都是内生变量, 前期的 GDP 值 y_{t-1} 和消费值 c_{t-1} 称为前定或滞后内生变量。 ϵ_α 、 ϵ_β 分别是影响消费和投资的随机干扰项, 其均值都为零, 系数 α 、 β 为待估参数。

第一个方程表示总产出 (GDP) 等于消费和投资支出之和, 第二个方程表示消费支出等于按上一期 GDP 的一定比例加一个随机干扰项, 第三个方程表示加速度原理, 即在消费增长必定带来新的投资支出的前提下, 投资支出等于消费变动的一定倍数。误差项 ϵ_α 、 ϵ_β 分别表示模型中的消费行为和投资行为无法解释的其他因素。

式 (1-3) 是一个结构方程 (structural equation), 因为它表明内生变量 i_t 依赖于另一个内生变量 c_t 的当期实现值。而诱导方程 (reduced-form equation) 则是将内生变量表示成该变量滞后值、其他内生变量的滞后值、外生变量的当期和过去值以及干扰项的函数。如式 (1-2) 所示, 消费函数中的当期消费仅仅依赖于滞后 (前一期) 收入和随机干扰项 ϵ_α , 它已经表示成了诱导方程。而投资函数还不是诱导方程, 因为当期投资还依赖于当期消费。

为得到投资函数的诱导方程, 将式 (1-2) 代入式 (1-3) 就可得到它的诱导方程

$$\begin{aligned} i_t &= \beta[\alpha y_{t-1} + \epsilon_\alpha - c_{t-1}] + \epsilon_\beta \\ &= \alpha\beta y_{t-1} - \beta c_{t-1} + \beta\epsilon_\alpha + \epsilon_\beta \end{aligned}$$

请注意, 投资函数的诱导方程并不是唯一的。我们可以将式 (1-2) 滞后 1 期, 得到 $c_{t-1} = \alpha y_{t-2} + \epsilon_{\alpha-1}$ 。运用这个表达式, 投资函数的诱导方程也可写成

$$\begin{aligned} i_t &= \alpha\beta y_{t-1} - \beta(\alpha y_{t-2} + \epsilon_{\alpha-1}) + \beta\epsilon_\alpha + \epsilon_\beta \\ &= \alpha\beta(y_{t-1} - y_{t-2}) + \beta(\epsilon_\alpha - \epsilon_{\alpha-1}) + \epsilon_\beta \end{aligned} \quad (1-4)$$

同样, 若要得到 GDP(y_t) 的诱导方程, 则可将式 (1-2) 和式 (1-4) 代入式 (1-1), 得到的诱导方程为

$$\begin{aligned} y_t &= \alpha y_{t-1} + \epsilon_\alpha + \alpha\beta(y_{t-1} - y_{t-2}) + \beta(\epsilon_\alpha - \epsilon_{\alpha-1}) + \epsilon_\beta \\ &= \alpha(1 + \beta)y_{t-1} - \alpha\beta y_{t-2} + (1 + \beta)\epsilon_\alpha + \epsilon_\beta - \beta\epsilon_{\alpha-1} \end{aligned} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 是一个单变量 (univariate) 诱导方程, y_t 完全被表示为其滞后值和干扰项的函数。单变量模型用于预测特别有效, 我们只需仅仅根据它当期和过去的实现值, 就可对序列进行预测。运用第 2~4 章阐述的单变量时间序列分析方法, 可以估计式 (1-5)。一旦得到了 α 、 β 的估计值, 就可以直接使用 y_1 到 y_t 的观察值来预测序列 (即 y_{t+1} , y_{t+2} , ...) 中的所有未来值。

第 5 章讨论当所有变量都被当做联立的内生变量时的多变量模型估计, 并讨论从已估诱导模型还原 (识别) 到结构模型所需的约束条件。

3. 误差修正: 远期价格和现货价格 (error-correction: forward and spot prices)。在现货市场上可以买卖一定的商品和金融工具进行现货交割, 也可以在规定的未来某一日期完成交割。比如, 假设在即期市场上, 某外汇的即期价格为 s_t 美元, 未来一期的远期交割价格为 f_t 美元。现在, 假设一投机者在即期的远期市场上作为多头, 以每单位 f_t 美元的价格购买远期外汇, 在 $t+1$ 期初, 该投机者获得外汇, 并按每单位 f_t 美元进行支付。又由于把获得的外汇可以在现货市场马上出售, 获得 s_{t+1} 美元, 所以, 投机者每交易单位的盈利 (或亏损) 为 $s_{t+1} - f_t$ 美元。

无偏期货汇率 (unbiased forward rate, UFR) 假设认为投机行为的期望收益为零。这种假设假定期货汇率和现货汇率在数学形式上具有如下关系, 即

$$s_{t+1} = f_t + \epsilon_{t+1} \quad (1-6)$$

式中, 从 t 期的角度来看, ϵ_{t+1} 具有零均值。