

“十一五”国家重点图书出版规划项目



· 经 / 济 / 科 / 学 / 译 / 丛 ·

Introduction to Modern Time Series Analysis

(Second Edition)

现代时间序列分析导论

(第二版)

盖哈德·克西盖斯纳 (Gebhard Kirchgässner)

约根·沃特斯 (Jürgen Wolters)

著

乌沃·哈斯勒 (Uwe Hassler)

 中国人民大学出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目

· 经 / 济 / 科 / 学 / 译 / 丛 ·

Introduction to Modern Time Series Analysis

(Second Edition)

现代时间序列分析导论

(第二版)

盖哈德·克西盖斯纳 (Gebhard Kirchgässner)

约根·沃特斯 (Jürgen Wolters)

乌沃·哈斯勒 (Uwe Hassler)

张延群 刘晓飞 译



中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代时间序列分析导论: 第2版/(德)克西盖斯纳,(德)沃特斯,(德)哈斯勒著;张延群,刘晓飞译. —北京:中国人民大学出版社,2015.1

(经济科学译丛)

ISBN 978-7-300-20625-7

I. ①现… II. ①克… ②沃… ③哈… ④张… ⑤刘… III. ①时间序列分析—研究 IV. ①O211.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008871 号

“十一五”国家重点图书出版规划项目
经济科学译丛

现代时间序列分析导论 (第二版)

盖哈德·克西盖斯纳

[德] 约根·沃特斯 著

乌沃·哈斯勒

张延群 刘晓飞 译

Xiandai Shijian Xulie Fenxi Daolun

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京东君印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

印 张 15.25 插页 2

字 数 348 000

邮政编码 100080

010-62511770 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2015 年 4 月第 1 版

印 次 2015 年 4 月第 1 次印刷

定 价 39.80 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

《经济科学译丛》编辑委员会

学术顾问 高鸿业 王传纶 胡代光

范家骧 朱绍文 吴易风

主 编 陈岱孙

副 主 编 梁 晶 海 闻

编 委 (按姓氏笔画排序)

王一江 王利民 王逸舟

贝多广 平新乔 白重恩

刘 伟 朱 玲 许成钢

张宇燕 张维迎 李 扬

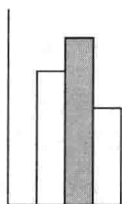
李晓西 李稻葵 杨小凯

汪丁丁 易 纲 林毅夫

金 碚 姚开建 徐 宽

钱颖一 高培勇 梁小民

盛 洪 樊 纲



《经济科学译丛》总序

中国是一个文明古国，有着几千年的辉煌历史。近百年来，中国由盛而衰，一度成为世界上最贫穷、落后的国家之一。1949年中国共产党领导的革命，把中国从饥饿、贫困、被欺侮、被奴役的境地中解放出来。1978年以来的改革开放，使中国真正走上了通向繁荣富强的道路。

中国改革开放的目标是建立一个有效的社会主义市场经济体制，加速发展经济，提高人民生活水平。但是，要完成这一历史使命绝非易事，我们不仅需要从自己的实践中总结教训，也要从别人的实践中获取经验，还要用理论来指导我们的改革。市场经济虽然对我们这个共和国来说是全新的，但市场经济的运行在发达国家已有几百年的历史，市场经济的理论亦在不断发展完善，并形成了一个现代经济学理论体系。虽然许多经济学名著出自西方学者之手，研究的是西方国家的经济问题，但他们归纳出来的许多经济学理论反映的是人类社会的普遍行为，这些理论是全人类的共同财富。要想迅速稳定地改革和发展我国的经济，我们必须学习和借鉴世界各国包括西方国家在内的先进经济学的理论与知识。

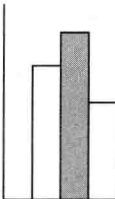
本着这一目的，我们组织翻译了这套经济学教科书系列。这套译丛的特点是：第一，全面系统。除了经济学、宏观经济学、微观经济学等基本原理之外，这套译丛还包括了产业组织理论、国际经济学、发展经济学、货币金融学、公共财政、劳动经济学、计量经济学等重要领域。第二，简明通俗。与经济学的经典名著不同，这套丛书都是国外大学通用的经济学教科书，大部分都已发行了几版或十几版。作者尽可能地用简明通俗的语言来阐述深奥的经济学原理，并附有案例与习题，对于初学者来说，更容易理解与掌握。

经济学是一门社会科学，许多基本原理的应用受各种不同的社会、政治

或经济体制的影响，许多经济学理论是建立在一定的假设条件上的，假设条件不同，结论也就不一定成立。因此，正确理解掌握经济分析的方法而不是生搬硬套某些不同条件下产生的结论，才是我们学习当代经济学的正确方法。

本套译丛于 1995 年春由中国人民大学出版社发起筹备并成立了由许多经济学专家学者组织的编辑委员会。中国留美经济学会的许多学者参与了原著的推荐工作。中国人民大学出版社向所有原著的出版社购买了翻译版权。北京大学、中国人民大学、复旦大学以及中国社会科学院的许多专家教授参与了翻译工作。前任策划编辑梁晶女士为本套译丛的出版做出了重要贡献，在此表示衷心的感谢。在中国经济体制转轨的历史时期，我们把这套译丛献给读者，希望为中国经济的深入改革与发展做出贡献。

《经济科学译丛》编辑委员会



第二版前言

在本书第二版的准备和扩充过程中，有第三位作者加入进来，但所涉及的知识范围基本保持不变。我们的主要目的是为读者提供有关单变量和多变量时间序列分析理论和方法的严谨理解和认识，同时，特别重视对实证分析方法在经济学中应用的发展进行介绍。因此，本书的一个显著特点就是包含了 63 个应用实例，其中大部分来自真实的数据集，应用 EViews 7.2 运算得到。需要注意的是，用 EViews 以前版本计算得到的结果可能与现有结果在参数、标准差和检验统计量等方面存在微小差别，用其他软件或用 EViews 更新的版本进行计算也可能会出现这种情况。由于实证案例是本书非常重要的部分，我们提供了所有原始数据集的 EViews 文件，可在乌沃·哈斯勒（Uwe Hassler）的个人主页上下载。

在第二版中，我们对案例中的时间序列数据进行了更新，而引用自相关文献资料的历史时间序列的数据集则保持不变。此增订版的主要变化是添加了新内容。首先，新增的第 7 章对非平稳面板数据进行了分析，因为在过去的十年里，本书中所涉及的许多时间序列方法已经被应用于分析可能具有相关性的多个个体的面板数据。第二，最后一章讨论条件异方差性时，专门新增一节对多元 ARCH 模型的时变条件的相关性进行分析。第三，本书增添了一些新的小节（2.2.2 节对时频归并的介绍）并对部分章节进行了扩展（5.5.1 节对分整的介绍）。最后，我们对第一版中的拼写错误进行了更正，并就部分论述进行了必要的完善和补充。

我们对所有在本书编写过程中提供了帮助的人员表示感谢。特别要提到 Florian Habermacher, Teresa Körner 以及 Gabriela Schmid，他们为本书的改进做出了很大贡献。当然，对于书中的任何不足之处，均由本书作者承担。此外，还要特别感谢来自

Springer 出版社的 Martina Bihn 博士和 Ruth Milewski, 感谢他们的友好合作。

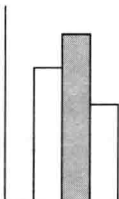
圣加仑/柏林/法兰克福

2012 年 8 月

Gebhard Kirchgässner

Jürgen Wolters

Uwe Hassler



第一版前言

在过去的四十年中,计量经济学发展十分迅速,不仅大致产生于这一时期的微观计量经济学发展迅速,时间序列计量经济学的发展也是如此,尤其是协整理论对人们的分析方式产生了变革性的影响。经济学家运用时间序列已有很长时间;自20世纪30年代计量经济学成为一门独立的学科时就开始了。那时的计量经济学家主要基于时间序列进行分析,但是经济学家和计量经济学家们并没有真正关注时间序列的统计性质。1970年,George E. P. Box和Gwilym M. Jenkins出版了《时间序列分析、预测和控制》一书,由此,人们对时间序列的认知开始发生改变。事实上,该书的思想主要源于Clive W. J. Granger在20世纪60年代的研究成果。基于此,Clive W. J. Granger在2003年同Robert F. Engle一起获得了诺贝尔经济学奖。

本书对时间序列计量经济学最新的发展成果进行介绍,因此,需要读者熟悉微积分和矩阵代数的基本知识,并且已经读过计量经济学和统计学的基础教材。本书适用于高年级本科生、经济学和应用计量经济学硕士研究生以及应用时间序列进行实证分析的其他读者。对这类读者而言,本书希望能够通过各类实证案例的分析,为他们在方法和应用之间构架起桥梁。

计量经济学是一门发展迅速的学科,本书所讨论的范围不可避免是不完整的,仅能反映作者的兴趣和经验。例如,书中未涉及基于卡尔曼滤波的时变参数建模、马尔科夫转换模型、面板单位根检验、面板协整以及频域方法等知识的介绍。

本书各章节的内容曾在德国柏林自由大学和瑞士圣加仑大学的各种时间序列分析和计量经济学的课程中多次使用过。在此期间,我们从学生那里也学到很多东西,希望这对本书的提高和改进是一件益事。

衷心感谢所有在本书编写过程中帮助过我们以及认真阅读部分乃至全部书稿的人。在此,特别感谢Michael-Dominik Bauer, Anna Clslak, Lars P. Feld, Sonja Lange, Thomas Maag, Ulrich K. Müller, Gabriela Schmid, Thorsten Uehlein, Marcel

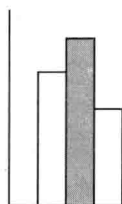
R. Savioz, 以及 Enzo Weber, 他们为本书的改进做出了很大的贡献。当然, 对于书中存在的不足之处, 均由本书作者承担。同时, 我们还要特别感谢 Manuela Kloss-Müller 为本书所做的英文编辑工作。最后, 感谢来自 Springer 出版社的 Werner A. Müller 博士和 Manuela Ebert, 感谢他们的友好合作。

圣加仑/柏林/法兰克福

2007 年 4 月

Gebhard Kirchgässner

Jürgen Wolters



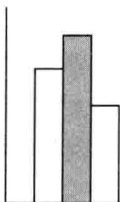
目 录

第 1 章 引言及基础知识	1
1.1 时间序列分析的发展历史	2
1.2 经济时间序列的图形表示	3
1.3 滞后算子	7
1.4 遍历性和平稳性	9
1.5 Wold 分解定理	15
参考文献	16
第 2 章 单变量平稳过程	19
2.1 自回归过程	19
2.1.1 一阶自回归过程	19
2.1.2 二阶自回归过程	29
2.1.3 高阶自回归过程	36
2.1.4 偏自相关函数	38
2.1.5 自回归过程的估计	41
2.2 移动平均过程	42
2.2.1 一阶移动平均过程	42
2.2.2 MA (1) 过程与时频归并	46
2.2.3 高阶移动平均过程	48
2.3 混合过程	51
2.3.1 ARMA (1, 1) 过程	51
2.3.2 ARMA (p, q) 过程	56
2.4 预测	57

2.4.1	最小均方误差 (minimal mean squared errors) 预测	57
2.4.2	ARMA (p, q) 过程的预测	61
2.4.3	预测效果的评价	64
2.5	计量模型与 ARMA 过程的关系	66
	参考文献	67
第 3 章	格兰杰因果关系	70
3.1	格兰杰因果性的定义	71
3.2	双变量模型中因果关系的刻画	72
3.2.1	因果关系的刻画——基于自回归和移动平均过程	73
3.2.2	因果关系的刻画——基于单变量过程的残差	74
3.3	因果关系检验	76
3.3.1	直接格兰杰方法	77
3.3.2	Haugh-Pierce 检验	79
3.3.3	Hsiao 方法	82
3.4	因果关系检验在多元模型中的应用	85
3.4.1	直接格兰杰方法在多变量情形下的应用	85
3.4.2	在多变量模型中解释双变量因果检验的结果	87
3.5	结束语	88
	参考文献	89
第 4 章	向量自回归过程	92
4.1	VAR 系统的表达式	93
4.2	格兰杰因果性	100
4.3	脉冲响应分析	102
4.4	方差分解	106
4.5	结束语	110
	参考文献	111
第 5 章	非平稳过程	113
5.1	非平稳性的形式	113
5.2	趋势去除	117
5.3	单位根检验	121
5.3.1	Dickey-Fuller 检验	122
5.3.2	增广的 Dickey-Fuller 检验	124
5.3.3	Phillips-Perron 检验	126
5.3.4	单位根检验和结构突变	130
5.3.5	当原假设为平稳时的检验	131
5.4	时间序列的分解	133

5.5 进一步的扩展	139
5.5.1 分整 (fractional integration)	139
5.5.2 季节单整	141
5.6 经济时间序列中的确定性趋势与随机趋势	142
参考文献	144
第6章 协整	149
6.1 协整过程的定义及性质	152
6.2 单方程模型中的协整：表达式、估计及检验	153
6.2.1 双变量协整	153
6.2.2 多变量协整	156
6.2.3 静态模型中的协整检验	157
6.2.4 动态模型中的协整检验	161
6.3 向量自回归模型中的协整	163
6.3.1 向量误差修正表达式	164
6.3.2 Johansen 方法	166
6.3.3 向量误差修正模型的分析	172
6.4 协整与经济理论	176
参考文献	177
第7章 非平稳面板数据	181
7.1 面板模型的几个相关问题	182
7.1.1 遗漏变量偏差	182
7.1.2 估计和检验	183
7.1.3 混合的面板证据 (mixed panel evidence)	184
7.2 面板单位根检验	186
7.2.1 第一代检验方法	186
7.2.2 第二代检验方法	187
7.2.3 平稳性原假设的检验	189
7.3 显著性的结合	190
7.3.1 逆正态方法 (inverse normal method)	190
7.3.2 Bonferroni 型检验	192
7.4 面板协整	193
7.4.1 单方程方法	193
7.4.2 系统方法	198
7.5 结束语	199
参考文献	199
第8章 自回归条件异方差	204

8.1	ARCH 模型	207
8.1.1	定义及表达式	207
8.1.2	无条件矩	209
8.1.3	时频归并	210
8.2	广义 ARCH 模型	212
8.2.1	GARCH 模型	212
8.2.2	GARCH (1, 1) 过程	214
8.2.3	非线性扩展	216
8.3	估计和检验	218
8.4	多元模型	219
8.4.1	VAR 型模型	219
8.4.2	相关模型 (correlation models)	221
8.5	金融市场分析中的 ARCH/GARCH 模型	222
	参考文献	223
	译后记	227



时间序列被定义为一组按时间顺序排列的定量观测值。我们通常假设时间是一个离散变量。时间序列一直被应用于计量经济学领域。早在其最初发展阶段, Jan Tinbergen (1939) 就为美国构建了第一个经济计量模型, 并从此开始了实证计量经济学的科学研究项目。然而当时, 人们几乎很少考虑按时间顺序排列的观测值之间可能存在相互依赖性, 当时普遍的假设就是古典线性回归模型的假设, 即估计方程的残差是相互独立的。出于这个原因, 适用于横截面数据或没有任何时间依赖性的实验数据的方法, 也被应用到时间序列数据的分析中。

Donald Cochran and Guy H. Orcutt (1949) 最先注意到实践中的这种做法可能会引起问题。他们证明了, 如果回归方程估计的残差存在正自相关, 那么回归系数的方差是被低估的, 因此 F 和 t 统计量的值被高估。这个问题也是可以解决的, 至少对于常见的一阶自相关的问题, 可以通过充分的数据变换得以解决。几乎在同一时期, James Durbin and Geoffrey S. Watson (1950/1951) 又提出了一个能够识别一阶自相关的检验方法。至此, 自相关性的问题似乎 (或多或少) 得以解决, 直到 20 世纪 70 年代, 这个问题几乎没有在实证计量经济学领域再被提起过。

直到 George E. P. Box and Gwilym M. Jenkins (1970) 出版了一本关于时间序列分析的教科书, 这一问题才又引起了大家的注意。首先, 他们建立了能够用于分析时间序列观测值中所包含的系统信息的单变量时间序列模型, 从而提供了一种对单变量进行预测的简单方法。今天这一方法被称为 Box-Jenkins 分析, 并在实际研究中得到广泛应用。之后, Clive W. J. Granger and Paul Newbold (1975) 又在研究中发现, 单一时间序列模型的预测表现甚至常常胜过由数百个方程构成的大型计量模型, 这一结论使得单变量时间序列模型在实践中变得更受欢迎。

事实上, 当时分析经济变量之间关系的许多方法都不是创新, 有些方法已经在其他

学科特别是在实验自然科学领域中应用了很长时间，其中的理论基础也早已经为人们所了解。这些方法也开始在经济学领域中得到使用，主要有两方面的原因。首先，在此之前，与自然科学不同的是，经济领域没有足够的经济观测数据，所以很多方法在实践中难以应用。此外，到了 20 世纪 70 年代初期，电子计算机相比早期功能更加强大，可以相对容易地处理许多数值求解问题。所以从那时起，新的统计方法的发展、计算机功能的日益提升以及大规模数据集的可获得性等都逐步推动了时间序列方法在经济领域中的应用。

本章在讨论现代（参数）时间序列方法之前，首先对时间序列的发展历史进行一个简单的概述（1.1 节）。在 1.2 节中，我们将展示如何运用不同的数据变换来揭示时间序列的特点。在 1.3 节中，将介绍如何将既简单功能性又强的滞后算子作为经济时间序列建模的工具来使用。

基于时间序列数据进行统计推断必须满足某些条件，其中，数据生成过程具有平稳性是至关重要的。所谓平稳性，是指时间序列各变量间的期望、方差和协方差应不随时间的变化而变化，或者说所观察到的时间序列应是平稳的。因此，1.4 节中给出了平稳性的准确定义，同时还引入了自相关函数，它是描述时间序列中各个点之间（时间）相关关系的一项重要统计工具。最后，1.5 节介绍平稳时间序列的 Wold 分解定理（Wold's Decomposition）和一般表达式。本章会涉及在本书其他章节用到的一些记号和工具。

1.1 时间序列分析的发展历史

时间序列分析在早期的自然科学领域中就已经发挥了重要的作用。巴比伦天文学家曾利用恒星和行星相对位置的时间序列值来预测天文事件；天体物理学家 Johannes Kepler 对行星运动的观测也为其发现行星运动定律奠定了基础。

时间序列分析可以帮助我们通过一个变量的观测值来发现其中的规律性甚至从中推得某些“定律”；或者还可以充分利用这个变量中包含的所有信息来更好地预测其未来的发展变化。正如时间序列分析在巴比伦天文学中的应用一样，其背后基本的方法论思想是：有可能将时间序列分解成有限个相互独立但又不可直接观测的成分，同时这些成分的变化具有一定的规律性，因此可以预先计算出来。当然应用这一方法的前提是时间序列中存在着对变量产生影响的不同的独立因素。

19 世纪中叶，天文学中所用的时间序列分析方法被经济学家 Charles Babbage 和 William Stanley Jevons 所采用。Warren M. Persons (1919) 对依赖于不同因果关系的不可观测成分提出了一种分解方法，该方法在经典时间序列分析中经常使用，具体来讲他将时间序列分解成了四种不同的成分，分别为：

- 长期发展变化成分，即长期趋势；
- 长度超过一年的周期性成分，即景气周期；
- 一年之内的波动成分，即季节性周期；
- 由所有既不属于长期趋势，又不属于景气周期以及季节性周期的变化所构成的成分，即残差。

如果假设各个不可观测的成分是相互独立的，它们的叠加就产生了只能作为叠加的整体而观测到的时间序列。为了获得数据生成过程的信息，我们不得不对其不可观测的成分做一些假设。经典时间序列分析假设系统性成分，即长期趋势、景气周期和季节性周期，不受随机扰动项的影响，因此可以通过时间的确定性函数来表示。随机影响只限于残差，而残差不包含任何系统性变动。因此，残差项通常被假设为具有零均值和常数方差，且相互独立（或不相关）的随机变量序列，即为一个纯随机过程。

然而，自20世纪70年代以来，一种完全不同的方法被越来越多地应用到了时间序列的统计分析当中。经典时间序列分析的纯粹描述性方法被放弃，概率论与数理统计的方法和结论得到应用，对随机变动在时间序列中所起作用的评价发生了变化。在经典时间序列分析中，残差变动被认为对时间序列的结构没有任何影响，而现代方法则认为，残差项对时间序列的所有成分都会产生随机影响。因此，整个时间序列的“变动规律”被视为一个随机过程，而所分析的时间序列仅仅是数据生成过程的一个实现。在这种情况下，研究的重点放到了具有复杂相关结构的随机项上。

20世纪初，俄国统计学家 Evgenij Evgenievich Slutsky 和英国统计学家 George Udny Yule 在这一方向上率先做出尝试。他们指出，时间序列类似于经济（以及其他）时间序列等具有周期性的特点，可以通过纯随机过程的加权（或无加权）和（或）差分来产生。E. E. Slutsky 和 G. U. Yule 提出了用移动平均和自回归模型来表示时间序列。Herman Wold (1938) 在他的博士论文中对这些方法进行了系统化阐述和一般化推广。George E. P. Box and Gwilym M. Jenkins (1970) 提出了相关的实证分析方法，使得这些模型得到广泛的应用。他们摒弃了时间序列包含不同成分的思想，认为共同的随机模型是时间序列的生成过程。对一个给定的时间序列而言，按照这一方法，首先可以根据某些统计数据构建一个具体模型。第二步，对该模型进行参数估计。第三步，通过统计检验来验证是否存在模型的误设。如果存在明显的设定错误，需要修改模型并重新估计参数。不断重复此过程，直到得到一个满足给定标准的模型，这一模型可以用来进行预测。

最近，对时间序列进行分解的思想再次被提及，尤其是在分析季节性变化的模型中。但与传统分解方法相反，现在通常假定时间序列的所有成分都可以由简单的随机模型来表示。例如，欧盟统计局（EUROSTAT）所用的时间序列季节调整方法就是基于这一思想。

此外，20世纪80年代以来，人们越来越多地开始考虑时间序列中可能出现的非平稳性。非平稳性不仅会由确定性成分引起，也可能来自随机趋势，而且，解决非平稳性的问题不再像过去那样简单地通过滤子将非平稳项变成平稳项，然后对平稳系统进行建模。在构建模型时，只要是可能并且有意义，就需对非平稳性进行特别研究。因此，在介绍了这些基本原则后，本书将先讨论平稳时间序列模型，然后再讨论非平稳时间序列模型。

1.2 经济时间序列的图形表示

在研究（经济）时间序列时，通常从对图形的分析入手，比如，通过对时间序列图