

PEARSON

经
济
科
学
译
库

TIME SERIES
ANALYSIS
Univariate
and Multivariate
Methods
(Second Edition)

时间 时间序列 分析

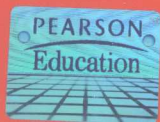
——单变量和多变量方法 (第二版)

魏武雄 / 著
William W.S. Wei

刘超 / 校

易丹辉 刘超 贺学强 等 / 译

中国人民大学出版社

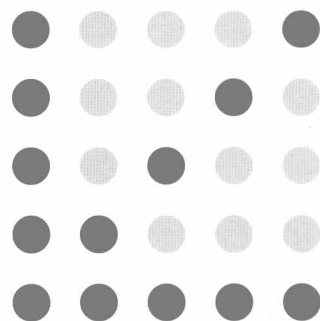




经济科学译库

时间序列 分析

——单变量和多变量方法 (第二版)



魏武雄 / 著
William W.S. Wei

刘超 / 校
易丹辉 刘超
贺学强 等 / 译

TIME SERIES
ANALYSIS
Univariate
and Multivariate
Methods
(Second Edition)



中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

时间序列分析——单变量和多变量方法：第2版/魏武雄著；刘超校；易丹辉等译。

北京：中国人民大学出版社，2009

(经济科学译库)

ISBN 978-7-300-10313-6

I. 时…

II. ①魏…②刘…③易…

III. 时间序列分析

IV. 0211.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 021155 号

经济科学译库

时间序列分析——单变量和多变量方法 (第二版)

魏武雄 著

刘超 校

易丹辉 刘超 贺学强 等译

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com>(人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

版 次 2009 年 4 月第 1 版

印 张 38.25 插页 2

印 次 2009 年 4 月第 1 次印刷

字 数 683 000

定 价 65.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

受中国人民大学出版社的委托，我们翻译了魏武雄教授编写的《时间序列分析——单变量和多变量方法》（第二版）一书。该书是针对有合适专业背景和对该学科感兴趣的研究生和高年级本科生编写的一本教材。对那些在研究中经常遇到时间序列数据的研究人员来说，本书也是一本非常有价值的参考用书。

对于本书即将出版，我们颇感欣慰。因为目前翻译出版的有关时间序列分析的书已经不少，我们担心该书没有特色，无法奉献给读者更多的知识，所以在翻译过程中付出了巨大的精力。翻译完成后，感到辛苦没有白费。

近年来，时间序列已经成为一个相当活跃的领域，出版了很多相关书籍，其中的大部分要么关注时域分析，要么关注频域分析。在这些书中，有些提供的理论背景资料不充分，有些则关于具体应用的介绍太少。而且，大部分书只是关注于单变量时间序列，即使有少量讨论多变量时间序列的书，也多局限于理论部分。

本书不仅对单变量与多变量时间序列的时域和频域分析提供了一个全面的介绍，而且在书中包含了许多单变量和多变量时间序列模型的新进展，如逆自相关函数、扩展样本自相关函数、干预分析及干预探测、向量自回归移动平均模型、偏滞后自相关矩阵函数、局部过程、状态空间模型、卡尔曼滤波、非季节和季节模型的单位根检验、向量时间序列模型中协整、局部过程和等价表示、长记忆过程和非线性时间序列模型、聚积问题等许多内容。

本书的难度适当，叙述通俗易懂，并结合大量的应用实例说明时间序列分析方法的应用，极大地方便了读者对这些方法的学习和理解。当读者完成

本书学习的时候，将会理解怎样应用统计工具做出数据分析和决策。另外，还会发现所学的许多主题与方法可以用在其他课程里，包括数量经济以及统计等。本书不仅对在校的学生有用，对于那些已经参加工作、但需要运用统计方法分析问题的读者来说，也颇有意义。相信该书对在经济、财政、金融、市场、会计、管理和其他商业管理领域从业的工作者大有裨益。

本书的翻译由我及中国人民大学统计学院的部分硕士、博士共同完成。具体有：刘超、贺学强、陈堰平、王旭、童小军、陈凯。最后由刘超负责全部校对。对于他们所付出的艰辛工作，在此表示深深的感谢。

愿本书的出版能够对时间序列分析方法更广泛的应用起到积极的推动作用。

易丹辉

xix

自本书出版以来，曾被许多研究者和高等院校广泛使用。非常感谢大量来自于研究人员、教师和学生的鼓励信和评论。虽然本书的起始章节构成了时间序列分析的必要基础，但在过去的 10 年里，发展了许多新的理论和方法，因此，有必要引入这些新的方法以求对该领域更全面的理解。在本书修订、再版的过程中，我有幸能有机会阐明某些概念和修改之前的错误。

在时间序列分析中，我们经常遇到非平稳时间序列，在时间序列建模中，单位根形式检验程序已经成为了标准方法。为了介绍这个程序，第 9 章加入了对非季节和季节模型的单位根检验。

回归分析是一种最常见的统计学方法，时间序列数据被广泛应用于回归建模，尤其是在商业和经济学研究中。当在回归模型中使用时间序列变量时，误差不相关和方差齐性的标准假设经常被违背。在本书新增的第 15 章，讨论了在回归分析中使用时间序列变量。而且这一章特别介绍了在经济和金融研究中有用的自相关误差模型和异方差 ARCH/GARCH 模型。

虽然单变量和向量时间序列建模的基本方法是一样的，但向量时间序列建模中存在一些重要的特殊现象。在第 16 章介绍各种向量时间序列模型后，新加入的第 17 章介绍了向量时间序列模型中协整、局部过程和等价表示。它们对于理解和分析时间序列变量之间的关系是非常有用的。

许多时间序列展示的性质并不能被线性模型刻画。因此，在第 19 章，我们介绍了对描述长记忆现象和非线性现象有用的长记忆过程和非线性时间序列模型。

为了便于理解,本书第二版增加了两个附录:附录 16A 是关于多元线性回归模型的,附录 18A 是关于典型相关的。在关于聚积的章节里,包含了关于线性性、正态性和单位根检验的聚积效应的内容。

在本次修订中,我们保持了第一版的理论框架,继续保持理论和应用的平衡。本书中介绍的理论方法和经验数据集,可以从网站 <http://www.sbm.temple.edu/~wwei/> 上下载。和第一版一样,每章后面的练习题均用于提高读者对相关问题的理解。相信本书对于相关专业背景和对该学科感兴趣的研究生和高年级本科生大有裨益。对那些在研究中遇到时间序列数据的研究人员来说,本书也是一本非常有价值的参考用书。

XX 正如第一版介绍的那样,在 Temple 大学统计学系,本书作为一年的课程讲授。在第一个学期讲授第 1 章至第 13 章关于单变量时间序列的内容,其余关于多变量时间序列的内容加上补充文献在第二个学期讲授。由于对主题的合理选择,本书可供学习时间序列分析、建模和预报一个或两个学期课程使用。

在此,感谢查尔斯顿学院的 Olcay Akman 博士,肯塔基大学的 Mukhtar Ali 博士,马萨诸塞大学的 H. K. Hsieh 博士,威斯康星大学的 Robert Miller 博士,北伊利诺伊大学的 Mohsen Pourahamadi 博士,布莱德利大学的 David Qugg 博士和印第安纳大学的 Tom Short 博士,他们的许多建议和评论增进了此次修改。感谢 Ceylan Yozgatligil 在修改一些例子和表格的准备中所给予的帮助。最后,要感谢 Addison-Wesley 公司的执行编辑 Deirdre Lynch 女士对本书出版一贯的热忱和帮助,感谢 Kathleen Manley 女士、Barbara Atkinson 女士、Jim McLaughlin 先生以及 Progressive Publishing Alternatives 公司对本书出版提供过热情帮助的工作人员。

魏武雄
2005 年 4 月

xxi

近年来，时间序列已经成为一个相当活跃的领域，已经出版了几本相关书籍，其中大部分要么关注于时域分析，要么关注于频域分析。在这些书当中，有些提供的理论背景资料不充分，有些关于具体应用的介绍太少。这些书大多数关注单变量时间序列，即使有少量关注讨论多变量时间序列的也仅仅是停留在理论部分。本书仅尝试对单变量与多变量时间序列的时域和频域分析提供一个全面的介绍。

我在美国威斯康星大学读书的时代，对时间序列分析的认识受到了 George E. P. Box 教授的一句名言的极大影响，这句名言是：如果理论和应用没有一个快乐的联姻，统计学将不再辉煌。因此，我希望本书能在理论和应用之间寻求一个合适的平衡点。

本书中包含了许多单变量和多变量时间序列模型的新进展，如逆自相关函数、扩展样本自相关函数、Akaike 信息准则 (AIC)、干预分析及干预探测、向量自回归移动平均模型、偏滞后自相关矩阵函数、局部过程、状态空间模型、卡尔曼滤波、聚积问题和其他许多内容。

在 Temple 大学统计学系，这本书作为一年课程讲授。该课程提供给那些具有统计理论和回归分析知识背景的研究生。在第一个学期讲授前 9 章的内容，其余内容在第二个学期讲授。但是，本书在讲授内容的顺序上也提供了充分的灵活性。这本书可供时间序列分析和预报一个或两个学期课程使用。对频域分析感兴趣的学生可以先学习第 10、11 和 12 章。但作者相信，学生在学习时域分析之后，会对频域分析有更好的了解。

每一章的后面都有练习题。练习题的目的是提高学生对所知识的理解，而不仅仅是测试学生的数学技巧。学生应当尝试解决尽可能多的练习题。

相信本书对于统计学、经济学、商学、工程学、气象学、社会学各领域以及其他时间序列分析和研究领域专业的研究生和高年级本科生大有裨益。对那些对这个领域感兴趣的研究人员来说，本书也是一本很有价值的参考用书。

我非常感谢 George E. P. Box 教授，是他将我引进时间序列分析领域；还有 George C. Tiao 教授，我在威斯康星大学读研究生时，他指导我在该领域的研究。没有这两位恩师的鼓励和指导，这本书的写作是不可能完成的。

我也要感谢所有在本书出版过程中给予帮助的人，感谢 Ruth Jackson 的录入工作，Dror Rom 和 Hewa Saladasa 对演讲笔记中几个章节的校对。本书最终手稿的准备工作的从 1987 年夏天开始的，当时我作为 Temple 大学系主任的管理工作已经完成。

非常感谢当时我 13 岁的儿子 Stephen，他录入了最终手稿的大部分内容。感谢 Wai-Sum Chan、Leonard Cupingood 和 Jong-Hyup Lee，他们仔细阅读和校对了整个书稿，同时他们对书中的大量计算和图片的原始草图提供了很多帮助，其中一些草图是使用 SAS (SAS Institute, 1985) 软件和 SCA (Scientific Computing Associates, 1986) 软件画的。本书采纳了他们提供的许多有价值的建议。

还要感谢 David Reilly 提供的优秀的时域分析软件 AUTOBOX 和 MTS，它们被用于分析本书中的许多单变量和多变量数据集，进一步要感谢 John Schlater 和 Alan Izenman 的宝贵意见，以及许多书稿评论员的有益建议和评论。

特别感谢我的妻子 Susanna，她使本书的编写成为整个家庭的努力。她仔细核对了本书的最终手稿，提供了许多积极的建议，提供了一套符号框架体系，在我们的孩子的许多任务框架中给予了指导。当然，本书存在的错误和疏漏在所难免，恳请各位专家、读者给予批评指正。

十分感谢 Donald B. Owen 教授和 Addison-Wesley 出版公司，感谢他们允许我采用他们的书《统计表手册》(Handbook of Statistical Tables) 中的 t 分布和卡方分布表。感谢 E. S. Pearson 教授和生物统计学协会理事允许我采用他们的书 *Biometrika Tables for Statistician, Volume I* 中的 F 分布表。

最后，我要感谢 Allan Wylde、Karen Garrison 和 Addison-Wesley 公司的其他工作人员，感谢 Grace Sheldrick 和 Frederick Bartlett 对本书的关注和帮助。

魏武雄

1989 年 3 月

| | |
|--|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 引言..... | 1 |
| 1.2 本书的例子和安排..... | 2 |
| 第 2 章 基本概念 | 6 |
| 2.1 随机过程..... | 6 |
| 2.2 自协方差和自相关函数 | 10 |
| 2.3 偏自相关函数 | 11 |
| 2.4 白噪声过程 | 15 |
| 2.5 均值、自协方差和自相关的估计 | 16 |
| 2.6 时间序列过程的移动平均和自回归表示 | 21 |
| 2.7 线性差分方程 | 24 |
| 练习..... | 28 |
| 第 3 章 平稳时间序列模型 | 30 |
| 3.1 自回归过程 | 30 |
| 3.2 移动平均过程 | 43 |
| 3.3 $AR(p)$ 过程和 $MA(q)$ 过程之间的对偶关系..... | 51 |
| 3.4 自回归移动平均 $ARMA(p,q)$ 过程..... | 53 |
| 练习..... | 61 |

| | | |
|--------------|-----------------------|-----|
| 第 4 章 | 非平稳时间序列模型 | 64 |
| 4.1 | 均值非平稳 | 65 |
| 4.2 | 自回归求和移动平均模型 | 67 |
| 4.3 | 方差和自协方差非平稳 | 77 |
| | 练习 | 81 |
| 第 5 章 | 预报 | 83 |
| 5.1 | 引言 | 83 |
| 5.2 | 最小均方误差预报 | 84 |
| 5.3 | 预报的计算 | 88 |
| 5.4 | 对过去观测值加权平均的 ARIMA 预报 | 91 |
| 5.5 | 更新预报 | 93 |
| 5.6 | 最终预报函数 | 94 |
| 5.7 | 数值实例 | 97 |
| | 练习 | 99 |
| 第 6 章 | 模型识别 | 102 |
| 6.1 | 模型识别的步骤 | 102 |
| 6.2 | 实例 | 105 |
| 6.3 | 逆自相关函数 | 118 |
| 6.4 | 扩展样本自相关函数和其他识别方法 | 121 |
| | 练习 | 126 |
| 第 7 章 | 参数估计、诊断检验和模型选择 | 130 |
| 7.1 | 矩方法 | 130 |
| 7.2 | 极大似然方法 | 132 |
| 7.3 | 非线性估计 | 138 |
| 7.4 | 在时间序列分析中的普通最小二乘估计 | 143 |
| 7.5 | 诊断检验 | 145 |
| 7.6 | 有关序列 W1 至 W7 的实例 | 146 |
| 7.7 | 模型选择准则 | 148 |
| | 练习 | 150 |
| 第 8 章 | 季节性时间序列模型 | 153 |
| 8.1 | 基本概念 | 153 |

| | | |
|------------------------------|--------------------------|-----|
| 8.2 | 传统方法 | 155 |
| 8.3 | 季节性 ARIMA 模型 | 157 |
| 8.4 | 实例 | 162 |
| | 练习 | 175 |
| 第 9 章 单位根检验 179 | | |
| 9.1 | 引言 | 179 |
| 9.2 | 一些有用的极限分布 | 180 |
| 9.3 | AR(1) 模型中的单位根检验 | 182 |
| 9.4 | 一般模型的单位根检验 | 189 |
| 9.5 | 季节性时间序列模型的单位根检验 | 199 |
| | 练习 | 203 |
| 第 10 章 干预分析和异常值检验 204 | | |
| 10.1 | 干预模型 | 204 |
| 10.2 | 干预分析实例 | 207 |
| 10.3 | 时间序列的异常值 | 214 |
| 10.4 | 异常值分析的实例 | 218 |
| 10.5 | 存在异常值时的模型识别 | 220 |
| | 练习 | 226 |
| 第 11 章 傅立叶分析 228 | | |
| 11.1 | 一般概念 | 228 |
| 11.2 | 正交函数 | 229 |
| 11.3 | 有限序列的傅立叶表示 | 232 |
| 11.4 | 周期序列的傅立叶表示 | 233 |
| 11.5 | 非周期序列的傅立叶表示——离散时间序列傅立叶变换 | 237 |
| 11.6 | 连续时间函数的傅立叶表示 | 243 |
| 11.7 | 快速傅立叶变换 | 247 |
| | 练习 | 250 |
| 第 12 章 平稳过程的谱理论 252 | | |
| 12.1 | 谱 | 252 |
| 12.2 | 一些常用过程的谱 | 260 |
| 12.3 | 线性滤波的谱 | 267 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 12.4 混叠 | 270 |
| 练习 | 271 |
| 第 13 章 谱估计 | 274 |
| 13.1 周期图分析 | 274 |
| 13.2 样本谱 | 282 |
| 13.3 平滑谱 | 284 |
| 13.4 ARMA 谱估计 | 301 |
| 练习 | 303 |
| 第 14 章 转换函数模型 | 305 |
| 14.1 单个输入转换函数模型 | 305 |
| 14.2 互相关函数和转换函数模型 | 309 |
| 14.3 转换函数模型的结构 | 312 |
| 14.4 利用转换函数模型预报 | 323 |
| 14.5 二元频域分析 | 330 |
| 14.6 互谱和转换函数模型 | 338 |
| 14.7 多维输入转换函数模型 | 340 |
| 练习 | 342 |
| 第 15 章 时间序列回归和 GARCH 模型 | 345 |
| 15.1 误差具有自相关性的回归 | 345 |
| 15.2 ARCH 和 GARCH 模型 | 347 |
| 15.3 GARCH 模型的估计 | 352 |
| 15.4 预报误差方差的计算 | 354 |
| 15.5 实例 | 355 |
| 练习 | 359 |
| 第 16 章 向量时间序列模型 | 361 |
| 16.1 协方差和相关矩阵函数 | 361 |
| 16.2 向量过程的移动平均和自回归表示 | 363 |
| 16.3 向量自回归移动平均过程 | 364 |
| 16.4 非平稳向量自回归移动平均模型 | 377 |
| 16.5 向量时间序列模型的识别 | 378 |
| 16.6 模型拟合和预报 | 390 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 16.7 实例 | 392 |
| 16.8 向量过程的谱性质 | 396 |
| 附录 16.A 多元线性回归模型 | 398 |
| 练习 | 400 |
| 第 17 章 向量时间序列的深入 | 403 |
| 17.1 向量过程的单位根和协整 | 403 |
| 17.2 局部过程和局部过程相关矩阵 | 416 |
| 17.3 向量 ARMA 模型的等价表示 | 426 |
| 练习 | 433 |
| 第 18 章 状态空间模型和卡尔曼滤波 | 435 |
| 18.1 状态空间表示 | 435 |
| 18.2 状态空间模型和 ARMA 模型的关系 | 436 |
| 18.3 状态空间模型拟和与典型相关分析 | 442 |
| 18.4 经验实例 | 445 |
| 18.5 卡尔曼滤波及其应用 | 449 |
| 附录 18.A 典型相关 | 453 |
| 练习 | 456 |
| 第 19 章 长记忆和非线性过程 | 457 |
| 19.1 长记忆过程与分数差分 | 457 |
| 19.2 非线性过程 | 462 |
| 19.3 门限自回归模型 | 467 |
| 练习 | 473 |
| 第 20 章 时间序列中的聚积和系统抽样 | 474 |
| 20.1 ARIMA 过程的时间聚积 | 474 |
| 20.2 预报和参数估计的聚积效应 | 486 |
| 20.3 ARIMA 过程的系统抽样 | 491 |
| 20.4 系统抽样和时间聚积对因果关系的影响 | 493 |
| 20.5 聚积对线性和正态性检验的影响 | 499 |
| 20.6 聚积对单位根检验的影响 | 504 |
| 20.7 进一步的评论 | 512 |
| 练习 | 513 |

| | |
|-------------------|-----|
| 参考文献 | 515 |
| 附录 | 535 |
| 用作例子的时间序列数据 | 535 |
| 统计表 | 549 |
| 人名 | 568 |
| 词汇表 | 573 |

概 述

1.1 引 言

1 时间序列是一个有序的观测值序列。通常是按照时间观测的，特别是按照等间隔时间区间观测，但也可以按照其他度量来观测，如空间。时间序列广泛存在于各个领域。在农业领域，我们观测农作物的年度产量和价格等。在商业和经济领域，我们观测股票的日收盘价格、周利息率、月价格指数、季销售额和年利润等。在工程领域，我们观测声音、电流信号和电压等。在地球物理领域，我们记录湍流，一个地区的海浪和地球噪声等。在医学研究领域，我们测量脑电图（EEG）和心电图（EKG）追踪等。在气象学领域，我们观测每小时风速、每日温度和年度降雨量等。在质量控制领域，我们根据某目标值监测一个过程。在社会学领域，我们研究年度出生率、死亡率、事故发生率和各种犯罪率等。此外，时间序列被观测和研究的领域还有很多。

按照时间连续记录的时间序列称为连续时间序列，如电流信号和电压等。仅在特定时间间隔取值的时间序列称为离散时间序列，如利息率、产量和销售量等。在本书中，我们仅仅处理的是等间隔观测的离散时间序列，因为即便是连续时间序列，为了进行计算，也只能给出在离散区间上的数字化值。

研究时间序列有各种各样的目的。它们包括对数据生成机制的理解和描述，对未来值的预报，以及实现系统的最优化控制。时间序列的本质特征主

要表现为：观察值之间是相互依赖或相关的；观测值是有序的。因此，建立在独立性假设基础上的统计方法和技术不再适用，需要建立不同于传统的统计方法。我们称用于分析时间序列的统计方法学为时间序列分析。

1.2 本书的例子和安排

图 1—1 展示了本书中将要学习的四个时间序列。每个序列表现出观测值之间相互依赖的显著特征，同时也显示出其他显著不同的特征。

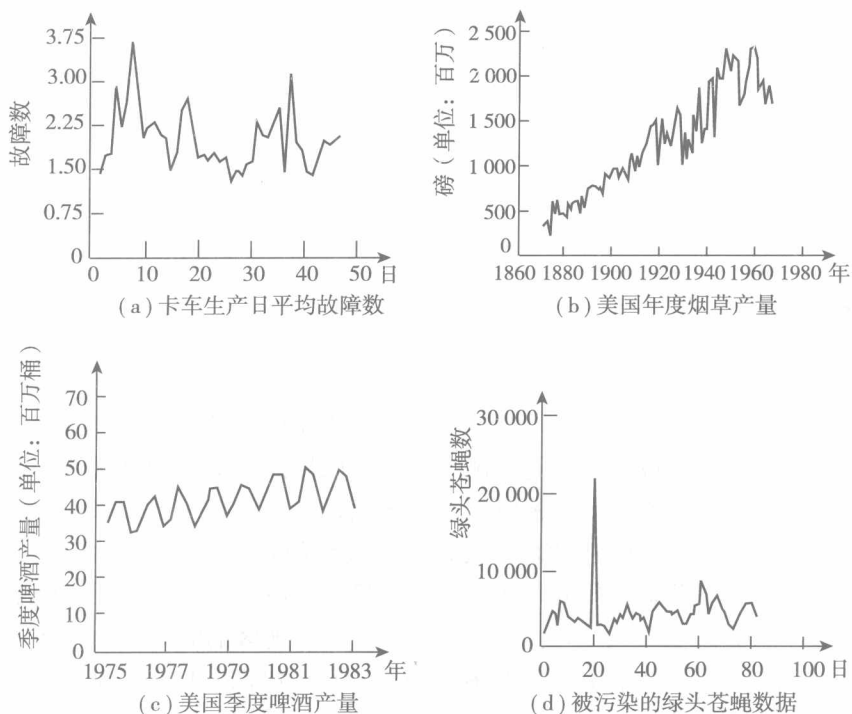


图 1—1 某些时间序列

如图 1—1 (a)，在卡车制造厂装配线末端检测的每辆卡车瑕疵的日平均数量围绕固定水平变化。这种现象的时间序列是均值平稳的，它是平稳时间序列的特例。在图 1—1 (b) 中显示的美国年度烟草产量没有围绕固定水平变化，而是表现出整体上升的趋势，并且序列方差随着序列水平的上升而增大。这种现象的时间序列的均值和方差是非平稳的，它是非平稳时间序列的例子。图 1—1 (c) 中的美国季度啤酒产量显示出由季节变化而导致的周期重复。包含季节变化的时间序列称为季节时间序列。图 1—1 (b) 和 1—1 (c) 中的这种非平稳时间序列可以通过适当的变换化为平稳序列。