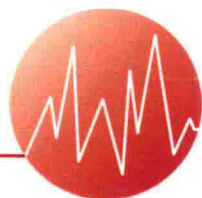


Time Series Analysis:
Model for Macroeconomic Data Analysis

时间序列分析

—— 宏观经济数据分析模型

潘泽清 / 著



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

时间序列分析

——宏观经济数据分析模型

潘泽清 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

时间序列分析：宏观经济数据分析模型/潘泽清著.
—北京：经济科学出版社，2017.5
ISBN 978 - 7 - 5141 - 8097 - 8

I. ①时… II. ①潘… III. ①时间序列分析
IV. ①O211.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 130562 号

责任编辑：刘 莎
责任校对：王苗苗
责任印制：邱 天

时间序列分析

——宏观经济数据分析模型

潘泽清 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编：100142

总编部电话：010 - 88191217 发行部电话：010 - 88191522

网址：www.esp.com.cn

电子邮件：esp@esp.com.cn

天猫网店：经济科学出版社旗舰店

网址：http://jjkxchs.tmall.com

北京汉德鼎印刷有限公司印刷

三河市华玉装订厂装订

787 × 1092 16 开 15 印张 230000 字

2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8097 - 8 定价：49.00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换。电话：010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话：010 - 88191586)

电子邮箱：dbts@esp.com.cn)

前 言

计量经济学已经成为经济研究中的显学。目前，在国际上，90%的经济管理类学术论文采用定量或者数理分析方法；在国内，《经济研究》《金融研究》等国内重量级的刊物上发表的论文，也大多应用了计量经济学方法，越来越多的核心刊物正在加入这个队伍。在政策研究上，量化研究的重要性与日俱增，政府部门越来越多地借助定量依据来管理公共事务。在这种背景下，计量经济学方法正在成为经济管理研究的基本工具。

在计量经济学中，时间序列分析有着举足轻重的地位。首先，时间序列分析在计量经济学体系中起着承上启下的作用，它下接入门级的初级计量经济学；上接各种高级计量经济学专题。其次，研究者只有掌握了时间序列分析方法之后，才可以说具备了基本的计量经济学的研究能力，一个具体的表现就是，要在稍微重要一点的刊物发表论文，初级计量经济学是远远不够的，至少得应用时间序列分析方法以及比之更为“高深”的方法。最后，应用计量经济学的主要目的——预测、政策效应分析、验证理论等，都离不开时间序列分析。

但是，许多经济研究者和经济管理类学生在学习计量经济学中碰到一个问题，目前，国内计量经济学教材大多属于初级教材，系统地介绍时间序列分析的教材比较少。因此，一些高校采用国外译著，一般说来，译著至少有两个问题，一是由于语言习惯或者翻译等问题，一些述

叙述晦涩难懂；二是译著大多有大量的数学推导过程，对读者的数学基础有较高的要求。这类教材对于一些学生，特别是文科背景的学生来说有相当的难度。在这种情况下，有些单位采取取巧的方式，只给学生讲计量软件的运用，不给学生讲时间序列分析的原理；有些单位甚至降低要求，不管是硕士生还是博士生，教学内容还是初级计量经济学的内容。如前所述，初级计量经济学对硕士生、博士生研究能力的提高并没有多少作用；而只会用计量软件，学生则知其然不知其所以然。虽然学生在短期内能够做出漂亮的计量结果，但是，往往容易生搬硬套，得出一些令人啼笑皆非的结论；有些人甚至把计量方法作为论文的装饰手段，搞所谓的“装饰性”计量。因此，有必要写作一本较为系统、易懂的时间序列分析教材，供研究人员和学生学习、参考之用。

此前笔者曾经在中国人民大学公共管理学院硕士生、博士生讲授过“计量经济学前沿专题”课程，在讲课中，笔者发现，绝大部分学生都没有学习过时间序列分析，缺乏学习前沿专题的必要基础，因此，笔者特将课程分为基础部分和专题部分。本书是在基础部分的讲义的基础上修改而成的。由于班上有部分学生是文科背景的学生，因此，在写作讲义中，特别注重讲义的可读性。由此也形成了本书的特点。

本书的特点主要表现在系统性、基础性和可读性上。在系统性上，本书基本上覆盖了宏观经济时间序列数据分析的主要内容，从时间序列数据处理和基本概念开始讲解，按照单变量时间序列、多变量时间序列、非线性时间序列，层层递进，展开叙述，通过学习，读者基本上可以对时间序列分析有一个系统性的了解。在基础性上，本书介绍的主要是时间序列分析的基本概念和基本方法，这些基本概念和基本方法，都是深入学习时间序列分析方法和其他更为高深的计量经济学方法不可或缺的。通过学习、读者可以打下较为扎实的理论基础，为今后的深入学习准备必要条件。在可读性上，本书在一些原理的介绍上，尽量通过示例进行讲解，以降低读者的学习难度；同时，在本书中，还介绍了许多

宏观经济数据分析实例，以便读者更为直观地了解时间序列分析的应用过程。为了提高可读性，本书采用虚实结合的写法，对于单变量时间序列和多变量时间序列，进行了详细介绍，读者在学习之后，基本上可以掌握其具体应用；而对于非线性时间序列，则只介绍相关方法的主要基本内容和特点，读者在应用中，可能还要参考相关的资料。

本书的目的主要在于介绍时间序列分析的原理，因此，在本书中，没有介绍相关的软件应用。读者在阅读本书中，可结合 EViews、R 等计量软件，效果可能更佳。本书定位为中级计量经济学教材，可作为硕士生、博士生学习中级计量经济学或者时间序列分析的专用教材或者参考资料。

潘泽清

2017年3月于新知大厦

目 录

第 1 章	时间序列分析的基本概念	1
1.1	时间序列分析范式的演进	1
1.2	时间序列分析基础	4
1.3	平稳性	13
1.4	白噪声过程	15
第 2 章	自回归移动平均过程	18
2.1	ARMA 过程的性质	18
2.2	ARMA 过程的平稳性和可逆性	36
2.3	ARMA 模型的选择、估计与诊断	41
第 3 章	预测理论与应用	54
3.1	预测基础	54
3.2	自回归 (AR) 过程的预测	62
3.3	区间预测	66
3.4	移动平均 (MA) 过程的预测	67
3.5	ARMA 过程的预测	71

第 4 章	向量自回归模型	73
4.1	VAR 模型的基本概念	73
4.2	VAR 模型及其设定和估计	76
4.3	格兰杰因果关系	79
4.4	VAR 模型与脉冲响应函数	82
4.5	方差分解	88
4.6	VAR 模型的应用	92
第 5 章	结构向量自回归模型	100
5.1	结构向量自回归模型	101
5.2	结构自回归模型的识别约束问题	106
5.3	基于 SVAR 模型的政策分析	119
第 6 章	单位根过程	121
6.1	单位根过程的性质	121
6.2	单位根检验	128
6.3	单位根 AR 过程的估计和检验	142
第 7 章	协整与误差校正模型	145
7.1	伪回归	145
7.2	协整	147
7.3	Engle - Granger 协整分析方法	151
7.4	多变量协整与误差校正模型	156
7.5	Johansen 协整检验方法	160

第 8 章 一般自回归异方差模型	170
8.1 金融时间序列的一些共同特征	170
8.2 ARCH 模型	176
8.3 GARCH 模型	179
8.4 GARCH 模型的扩展	182
8.5 GARCH 模型的估计、选择与诊断	184
8.6 多元 GARCH 模型	188
第 9 章 非线性时间序列模型	196
9.1 阈值自回归模型	197
9.2 平滑转移自回归模型	200
9.3 马尔可夫转换模型	207
参考文献	216
后记	229

第 1 章 时间序列分析的基本概念

应用经济学和金融学的现代研究手段是以定量分析为特征的。目前，对社会经济问题的分析和政策的制定，光靠“拍脑袋”、感觉和定性分析，已经越来越跟不上形势发展的需求了，进而常常需要定量分析。定量分析，有助于科学地、精确地掌握经济规律和制定政策；有助于学术水平国际化，目前，在国际上，90%的经济管理类学术论文采用定量或者数理分析方法。本章介绍时间序列分析原理和基本概念，其中，平稳性和自相关两个概念是时间序列分析的核心概念。这些概念的运用贯穿本书始终，是随后各个章节介绍的时间序列分析方法的基础。

1.1 时间序列分析范式的演进

在 20 世纪 70 年代之前，在经济学和金融学研究中，相对而言，不是那么重视时间序列分析。在当时，经济学和传统金融学采用的是均衡分析方法，分析的是，在假定经济主体采取最优化行为之下，如何实现供需均衡。例如，传统金融学认为，利率是储蓄—投资，也即资金供求双方达到均衡时的资金价格，利率之所以上升，要么是相对

于供给，需求增加了；要么是相对于需求，供给减少了。因此，在传统金融学中，可以根据供给曲线和需求曲线推知利率这一资金价格变动情况。

这一思考范式基本上可以归类为比较静态分析范畴，相应地，至少到20世纪70年代初期为止，联立方程计量模型一直是主流的宏观经济计量模型。但是，20世纪60年代末到70年代初，美国明尼苏达联邦储备银行、圣路易斯联邦储备银行对联立方程计量模型提出了批判，指出其预测效率低于纯粹的时间序列模型。此后，各国央行和相关政府机构围绕着联立方程计量模型和时间序列模型展开激烈的争论，支持时间序列模型的一方认为，时间序列模型不仅有较高的预测效率；而且，在理性预期的前提下，经济政策无效性命题成立，因此，不能采用联立方程计量模型进行政策分析。这一派的代表性人物有密歇根大学的诺贝尔经济学奖获得者卢卡斯（Lucas）、西姆斯（Sims）和萨金特（Sargent）等。西姆斯提出了向量自回归（vector autoregressive，简称VAR）模型，并将之作为宏观经济分析的基本方法。2011年10月10日，诺贝尔委员会将2011年度诺贝尔经济学奖授予美国纽约大学的托马斯·萨金特和普林斯顿大学的克里斯托弗·西姆斯，以表彰他们在“实证宏观经济学”领域作出的突出贡献。

格兰杰（Granger）则进一步促进了这一流派的发展，他提出了因果检验方法。在时间序列情形下，两个经济变量 X 、 Y 之间的格兰杰因果关系被定义为：若在包含了变量 X 、 Y 的过去信息的条件下，对变量 Y 的预测效果要优于只单独由 Y 的过去信息对 Y 进行的预测效果，即变量 X 有助于解释变量 Y 的将来变化，则认为变量 X 是引致变量 Y 的格兰杰原因。西姆斯（Sims）运用格兰杰检验进行了实证研究，证明货币供应量是名义GDP的格兰杰原因，但是名义GNP不是格兰杰的原因。萨金特则和扬奎斯特合著有《递归宏观经济理论》一书（Ljungqvist and Sargent, 2012），该书是宏观经济学的经典著作，风靡世界。

除了格兰杰检验方法外，格兰杰（Granger）的另一个重要贡献是提出了协整的概念。协整在宏观经济、金融时间序列分析中有着非常重要的地位，在传统的计量回归估计中，要求涉及的变量为平稳序列变量，否则就有可能出现伪回归等问题，因此，在许多情况下，如果遇到非平稳的时间序列变量，往往需要去除非平稳的时间序列的趋势，或者对之进行差分，从而将非平稳序列转化为平稳序列，然后再进行相应的计量分析。而根据协整的概念，几个非平稳时间序列变量的线性组合变量，有可能是平稳的序列。在这种情况下，我们就说这些非平稳的时间序列存在协整关系。当非平稳变量存在协整关系时，则意味着这几个变量存在长期关系，或者均衡关系。

在股票价格、汇率等许多金融时间序列中，经常呈现出波动集聚（volatility clustering）特征，在观察期间，在绝大多数情况下，可以长久持续地观察到金融时间序列在同一方向上大幅度的波动，也就是，在金融时间序列的波动中，误差项的方差受到过去方差的很大影响，显示波动性存在很强的序列相关性。恩格尔（Engle, 1982）最早建议采用自回归条件异方差（ARCH）模型，描述时间序列不断变化的方差。此后，在恩格尔（Engle, 1982）的基础上，研究者提出了广义自回归条件异方差（GARCH）模型以及各种形式的 GARCH 模型的扩展型。

由于制度、政策和经济结构发生重大变化，许多宏观经济和金融时间序列是非线性的，针对这一数据结构特征，研究者提出建立非线性模型来反映这一结构特征，这类模型主要有门阀自回归模型、平滑转移自回归模型和马尔可夫转换（MS）模型。哈密尔顿（Hamilton, 1989）最早在经济、金融领域应用 MS 模型，用它分析经济周期。哈密尔顿和苏斯梅尔（Hamilton and Susmel, 1994）提出 MS - ARCH 模型，指出 MS - ARCH 模型有可能比 GARCH 模型更准确地捕捉股票市场的波动性集聚现象。

1.2 时间序列分析基础

在进行时间序列分析时，必须根据时间序列分析的目的，对时间序列进行如对数变换、季节调整等预处理；预期值、方差等基本统计量则是随后建立时间序列模型的基础。

1.2.1 时间序列分析的目的

时间序列数据是指随着时间的推移观察到的数据。时间序列数据的一个主要特征是，它的观察顺序非常重要。表 1-1 是 1949~1960 年美国客运订票数据。

表 1-1 1949~1960 年美国客运订票数据 单位：千人

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1949	112	118	132	129	121	135	148	148	136	119	104	118
1950	115	126	141	135	125	149	170	170	158	133	114	140
1951	145	150	178	163	172	178	199	199	184	162	146	166
1952	171	180	193	181	183	218	230	242	209	191	172	194
1953	196	196	236	235	229	243	264	272	237	211	180	201
1954	204	188	235	227	234	264	302	293	259	229	203	229
1955	242	233	267	269	270	315	364	347	312	274	237	278
1956	284	277	317	313	318	374	413	405	355	306	271	306
1957	315	301	356	348	355	422	465	467	404	347	305	336
1958	340	318	362	348	363	435	491	505	404	359	310	337
1959	360	342	406	396	420	472	548	559	463	407	362	405
1960	417	391	419	461	472	535	622	606	508	461	390	432

根据表 1-1 的时间序列数据，可以绘制出如图 1-1 所示的时间序

列图。由图 1-1 可以看出，在 1949~1960 年期间，美国客运订票数量呈现趋势性上涨态势；同时，数据显示，美国客运订票数量存在明显的趋势性和季节性，趋势性和季节性是时间序列数据的常见特征。

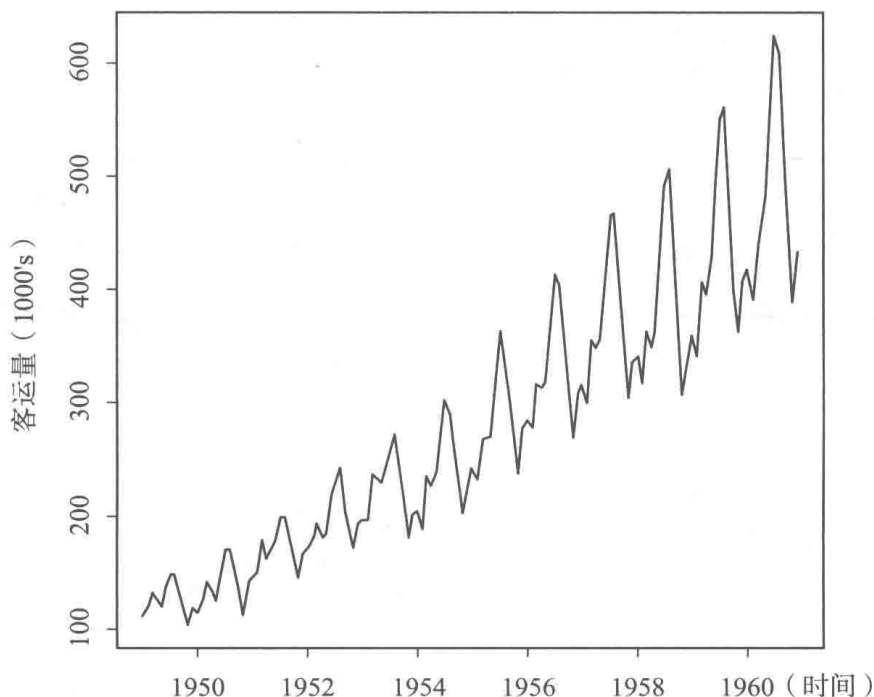


图 1-1 1949~1960 年美国客运订票数据时间序列

宏观经济数据、金融数据基本上都属于时间序列数据，例如，股票价格、汇率、GDP、通货膨胀率等都属于时间序列数据。这类时间序列数据是各期观察值的集合，因此，当观察到从 1 期到 T 期的数据时，应该将之记为 $\{y_t\}_{t=1}^T$ 。上述的美国客运订票数据，严格地讲，应该记为， $\{y_t\}_{t=1}^T = \{112 \ 118 \ 132 \ \dots \ 390 \ 432\}$ 。为简化表述，本书在随后部分，直接用 y_t 标记这类时间序列，但是请读者注意， y_t 依旧是按时序排列的数据集合。

如上所述，宏观经济数据、金融数据基本上都是时间序列数据，但是，不同的数据序列，数据具有不同的特征，差异相当大。例如，图 1-2 是 1978~2011 年中国国内生产总值（定基，1978=100）和 CPI 价

格指数（定基，1978 = 100）的时间序列图，这些时间序列图有不同的形状。

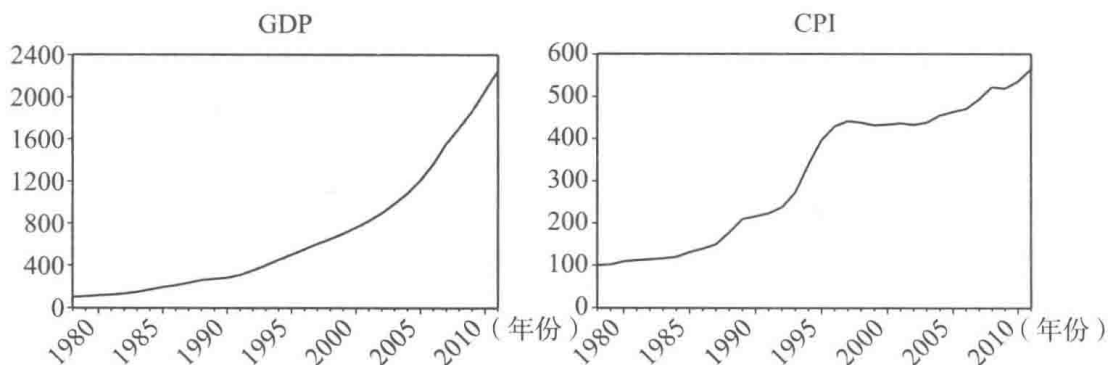


图 1-2 中国国内生产总值（定基）和 CPI 价格指数（定基）的时间序列

图 1-3 是 1978 ~ 2011 年中国国内生成总值年增长率和 CPI 价格指数年变化率的时间序列图。虽然图 1-3 与图 1-2 采用的指标都一样，但是，图 1-3 的变化率时间序列图完全不同于图 1-2 的水平值时间序列图，也就是，得到的是一个全新的时间序列数据。其中，最显著的特征是，图 1-3 的变化率时间序列图不存在明显的趋势性。

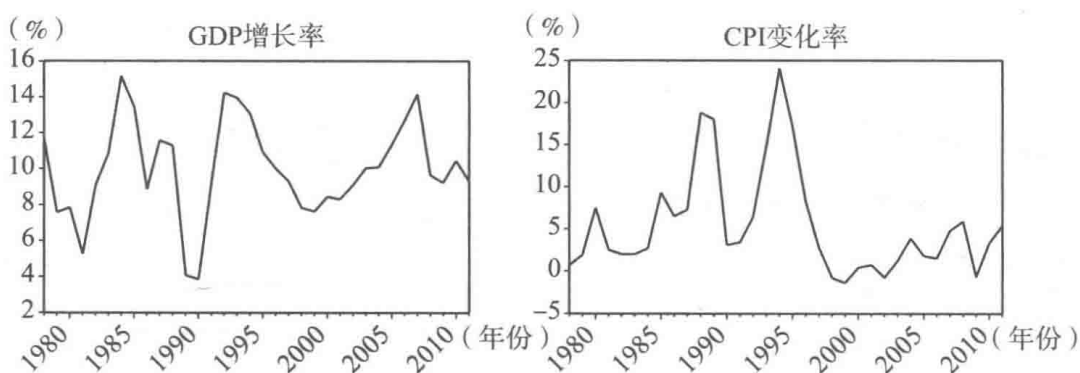


图 1-3 中国 GDP 增长率和 CPI 价格指数年变化率的时间序列

时间序列分析的目的是构建可以描述这类时间序列所具有的各种特征的模型；然后，运用这一模型，进行相应的分析。具体的目的主要有：

第一，进行与时间序列数据相关的某些预测。例如，人们对经济增长率、房价、股价的未来均值和变动幅度非常感兴趣，这就可以利用时间序列模型，进行相关的预测。

第二，分析变量之间的动态关系。例如，2015年6~7月，中国内地股市暴跌，出现巨大的冲击，对中国香港、美国等其他国家和地区的股票市场会有什么样的影响。从分散投资、风险管理、经济政策的观点看，这一影响非常重要。

第三，通过分析货币政策、财政政策变量与GDP等宏观经济变量的关系，评价宏观政策的效应。

第四，验证宏观经济理论和金融理论。在宏观经济领域和金融领域，存在诸多假说，比如说，消费者理论、经济周期理论、有效市场理论、购买力平价假说、利率平价假说等，这些假说都有待运用数据进行验证。时间序列模型是检验这些理论和假说的强有力工具。

1.2.2 时间序列数据的类型

原始的时间序列数据通常也称为原序列，例如，上述的美国客运订票数据的原序列为 $\{112 \quad 118 \quad 132 \quad \dots \quad 390 \quad 432\}$ 。在大多数情况下，时间序列分析的目的是为了揭示这一时间序列的性质；但是，在实际分析中，有时并不直接分析这一原序列，而是先对原序列进行适当的变换，然后再进行相应的分析。分析的是变换之后的时间序列，而不是原序列。下面，介绍如何对原序列进行变换，对数据进行预处理。

1. 对数变换

首先，经常采用的变换是对数变换。在许多的宏观经济数据、金融数据中，都存在这样的问题：随着数据值的变大，方差也随之变大，这就不能满足下述的平稳性假设。在实践中，经常对这类数据进行对数变

换，以解决这一问题。对原序列进行对数变换之后得到的序列称为对数序列，记为 $\log y_t$ 。在 Excel、Eviews 等软件中，很容易进行这类变换。

2. 差分序列

在时间序列分析中，经常采用相邻两期数据的差的序列，也就是 1 期滞后差分序列 $y_t - y_{t-1}$ ，记为 Δy_t 。

宏观经济数据、金融数据大多服从如后所述的单位根过程，对单位根过程进行差分，序列就变成平稳序列。

有时，出于分析的目的，我们感兴趣的是变化率或者增长率，而不是水平值。在这种情况下，虽然有时可直接利用公式 $\frac{(y_t - y_{t-1})}{y_t}$ 计算变化率；但是，更多的时候，采用的是对数差分序列 $\Delta \log y_t$ 。顾名思义，对数差分序列就是对数序列的差分序列。利用对数差分序列可以计算变化率，这是因为，当变化幅度比较小时，通过泰勒级数展开式，可以得出下列的近似等式，

$$\log(y_t) - \log(y_{t-1}) = \log\left(\frac{y_t}{y_{t-1}}\right) = \log\left(1 + \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}}\right) \approx \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} \quad (1.1)$$

实际上，上述图 1-3 中的时间序列，是利用对数差分序列乘以 100 计算出来的变化率。在连续时间序列中，式 (1.1) 的 1 次近似没有任何误差，对数差分序列所表示的就是没有任何误差的瞬间变化率。在 Excel、Eviews 等软件中，可以方便地计算差分序列。

3. 季节调整

最后，简单介绍一下季节调整 (seasonal adjustment)。在经济、金融数据中，存在许多包含季节变动的序列，例如，季度 GDP 增长率、月度发电量、月度物价指数等就是典型的包含季节变动的序列；除了月度、季度引致的季节效应外，重大的节假日也会带来节日效应。Eviews