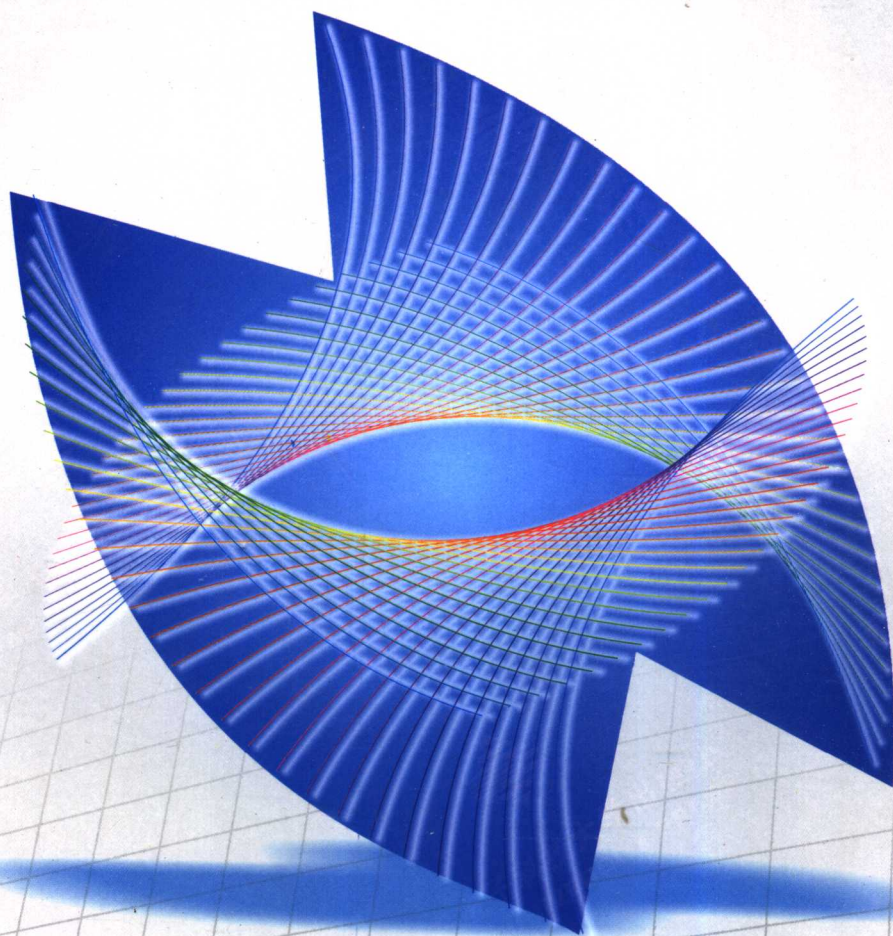


# MATLAB

## 在时间序列分析中的应用

张善文 雷英杰 冯有前 编著



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

# MATLAB 在时间序列 分析中的应用

张善文 雷英杰 冯有前 编著

西安电子科技大学出版社  
2007

## 内 容 简 介

本书简明扼要地介绍了时间序列及其相关领域的基本概念和基本理论,对 ARMA 序列预测、时间序列的统计分析、时间序列的时频分析和时间序列的小波变换等给出了有关分析计算方法,结合 MATLAB 编程应用,介绍了 MATLAB 时间序列分析有关函数的功能和用法,阐述了如何利用这些函数解决工程应用中的问题。

本书侧重应用,在介绍基本概念和基本理论时,重在介绍其物理背景和应用背景,避开了繁复的理论推导和中间过程。借助本书,一般学者不需要具有太多的理论基础就能对工作、学习中涉及到的时间序列进行分析处理。

本书适合作为理工科高等院校研究生、本科生教学用书,也可作为全国大学生数学建模竞赛辅导用书以及广大科研、工程技术人员的自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 在时间序列分析中的应用/张善文,雷英杰,冯有前编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2007.4

ISBN 978-7-5606-1786-2

I. M… II. ①张… ②雷… ③冯… III. 时间序列分析—计算机辅助计算—软件包, MATLAB 7.0  
IV. ① O211.61 ② TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 013273 号

策 划 戚文艳

责任编辑 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 中铁一局印刷厂

版 次 2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 15.125

字 数 356千字

印 数 1~4000册

定 价 19.00元

ISBN 978-7-5606-1786-2/TP·0934

**XDUP 2078001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换\*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

## 欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~ 国家级、部级重点教材 ~~~~~		局域网组建、管理与维护 (高职)	20.00
计算机系统结构 (第三版) (统编)	22.00	综合布线技术 (高职)	18.00
离散数学 (第三版) (统编) (乔维声)	16.00	计算机网络技术导论	16.00
雷达对抗原理 (统编)	15.00	计算机网络 (第二版) (袁家政)	26.00
雷达原理 (第三版)	23.00	计算机网络技术 (刘敏涵)	20.00
通信网的安全——理论与技术	42.00	计算机网络 (第二版) (蔡皖东)	18.00
模拟电子线路基础 (傅丰林)	16.00	计算机网络 (第二版) (雷振甲)	21.00
移动通信 (第三版) (统编) (郭梯云)	26.00	计算机网络工程	20.00
智能控制理论和方法	18.00	计算机网络实验教程	14.00
~~~~~ 计算机提高普及类 ~~~~~		计算机组网实验教程	23.00
计算机应用基础 (第三版) (丁)	19.00	计算机网络学习辅导及习题详解	23.00
计算机组装与维护 (高职) (杜飞明)	22.00	网络工程设计与实践	29.00
计算机组装与维护实用教程		网络应用程序设计	21.00
(第二版) (高职)	29.00	现代网络技术	24.00
《新编计算机应用基础》		网络计算	19.00
(Windows 2000&Office 2002) (第二版)	22.00	~~~~~ 计算机技术类 ~~~~~	
《新编计算机应用基础 (第二版)》		计算机系统结构 (陈智勇)	22.00
实践技能训练与案例分析	12.00	计算机系统设计——概念与技术 (洪龙)	18.00
计算机应用基础 (Windows 2000		计算机组成原理	
&Office 2002版) (教育部高职)	23.00	与系统结构实验教程 (杨小龙)	12.00
《计算机应用基础》实践技能训练		计算机系统安全	22.00
与案例分析 (教育部高职)	11.00	电子政务理论与实务	20.00
计算机应用基础上机与实习指导 (第三版)	12.00	电子商务概论	17.00
计算机软件技术基础教程	21.00	电子商务基础与应用 (第四版) (含盘)	34.00
计算机综合能力实训教程 (高职)	10.00	数据结构(C) (第二版) (杨秀金)	20.00
办公自动化技术及应用教程	22.00	《数据结构》算法实现及解析	
办公自动化设备的使用和维护		——配合严蔚敏的《数据结构》(C语言版)	
(第二版) (高职)	18.00	(含光盘) (第二版)	35.00
网络办公自动化技术及应用 (高职)	21.00	数据结构——使用 C++语言 (第二版)	23.00
~~~~~ 计算机网络类 ~~~~~		数据结构 (高职) (周岳山)	15.00
Internet基础与使用 (第二版) (高职)	13.00	计算方法与实习 (高职)	11.00
Internet基础与使用 (第二版) (中专)	12.00	算法设计与分析	15.00
计算机网络安全 (高职)	15.00	编译原理教程	15.00
网络安全技术 (高职)	17.00	《编译原理教程》习题解析与上机指导	12.00
网络安全与保密	24.00	编译原理基础	13.00
网络信息安全技术	17.00	《编译原理基础》习题与上机题解答	10.00
网站建设与维护 (崔良海)	18.00	编译原理学习指导	19.00
网站建设与维护 (廖常武)	19.00	《离散数学》习题解答	16.00
Internet技术及其应用教程	15.00	离散数学 (蔡英)	19.00
计算机图形图像与网页制作 (高职)	19.00	《离散数学》学习指导书	16.00
互联网实用技术与网页制作 (高职)	14.00	离散数学 (马光思)	22.00

现代光学(研究生系列)	18.00	计算机数据通信教程(张燕)	15.00
红外物理(研究生系列)	20.00	纠错码——原理与方法(王新梅)	35.00
常用低压电器与可编程序控制器	22.00	编码理论	19.00
可编程逻辑器件原理、开发与应用	22.00	数字通信原理与技术(第二版)	25.00
可编程逻辑器件原理及应用(朱明程)	23.00	现代通信新技术	20.00
多传感器数据融合及其应用(研究生系列)	18.00	现代交换技术	20.00
毕业设计指导(电类)(高职)	28.00	程控交换技术实用教程(高职)(李正吉)	11.00
~~~~~通信与自动控制类~~~~~			
《通信电子线路(第二版)》学习指导	25.00	程控数字交换原理学习指导与习题解析	12.00
光纤通信(方强)	15.00	自动控制原理(赵四化)	16.00
光纤通信(张宝富)	18.00	自动控制原理(薛安克)	19.00
光纤通信(刘增基)	15.00	《自动控制原理》学习指导与题解(方斌)	22.00
卫星通信	12.00	自动控制原理及其应用(高职)	15.00
移动通信(章坚武)	16.00	智能化仪器原理及应用(曹建平)	16.00
蜂窝移动通信技术	23.00	楼宇自动化(高职)	14.00
移动通信技术(高职)	18.00	电梯原理及逻辑排故(高职)	22.00
数字通信系统(强世锦)	17.00	~~~~~家用电器与机电类~~~~~	
数字通信原理与技术(第二版)	25.00	电视原理与系统(赵坚勇)	16.00
数字通信原理(黎洪松)	25.00	电视原理与电视机检修(高职)	16.00
通信原理与通信技术	23.00	电视机原理与技术(李林和)	20.00
《通信原理与通信技术》学习指导	22.00	数字电视技术	20.00
多媒体通信技术(王汝言)	23.00	电器原理与技术(裴昌幸)	24.00
现代通信系统	24.00	调音技术(高职)	16.00
通信电路(沈伟慈)	18.00	音响技术	13.00
通信电源(高职)	14.00	现代音响与调音技术	19.00
通信系统(修订版)(王秉钧)	22.00	工程力学(皮)	12.00
现代通信系统导论(高职)	18.00	机械工程基础(李茹)	26.00
现代通信网概论	25.00	机械设计基础(赵冬梅)	21.00
现代通信理论与技术导论	25.00	机械设计基础(张京辉)	24.00
现代通信技术与网络应用	23.00	机械基础(周家泽)	17.00
现代通信新技术	20.00	机械CAD/CAM技术(方新)	20.00
现代通信原理与技术	26.00	计算机辅助机械设计(秦汝明)	19.00
通信工程专业英语	12.00	数控机床原理与编程(陈富安)	20.00
微波技术与天线	17.00	数控加工与编程(高职)	19.00
锁相技术	14.80	机电一体化技术	17.00
计算机通信网(沈)	24.00	电切削加工技术(高职)(詹)	13.00
计算机通信网(修订版)(刘后铭)	18.00	液压与气动技术(朱梅)	19.00
		特种加工技术(周旭光)	10.00

~~~~~  
 欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 汇款单上务必写清收书人姓名、地址、邮编、电话。款到后我社将挂号发书, 加收5元包装邮费(一次购书30元以上者可免收邮费)。

通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部 邮 编: 710071

电 话: (029) 88201467

传 真: (029) 88213675

主 页: <http://www.xduph.com>

E-mail: [xdupfb@pub.xaonline.com](mailto:xdupfb@pub.xaonline.com)



# 前 言

时间序列分析是概率统计学科中应用性较强的一个分支，在信号处理、自动化、信息、管理、金融经济、控制与系统工程、气象水文、数据挖掘、机械振动等众多领域有着广泛的应用。从金融经济到工程技术，从天文到地理和气象，在各种领域都可能遇到时间序列，可以说时间序列分析应用广泛且备受关注。

在科技高速发展的今天，越来越多的时间序列信息被存储在计算机上，如证券公司的计算机系统中积累了大量的股票信息，商场的 POS 系统收集了大量的销售信息，工厂的监控系统保存了大量的工业参数的历史数据等，这些数据中包含了很多有用的信息，对这些数据进行分析处理具有重要的应用价值。另外，广大科技工作者、工程工作者、教师、学生等经常遇到的数据大多都是时间序列，随时需要对这些数据进行分析、处理和研究，从中挖掘出一些有用的信息。MATLAB 工具箱提供了数据采集、科学计算、控制系统设计与分析、数字信号处理、数字图像处理、金融财务分析等专业领域的很多函数。利用这些函数，人们很容易对时间序列分析进行程序实现、模拟仿真。

时间序列分析已经有完整的理论系统，许多理论结果对于实际应用具有重要的指导意义，但是部分定理的证明又涉及到更多的预备知识。由于本书以介绍基本方法和实际应用为主，所以在叙述中略去定理的证明，重在方法的程序实现。本书简明扼要地介绍了时间序列及其相关领域的基本概念和基本理论，重在讲述有关基础理论和物理背景，避开了繁复的理论推导和中间过程，结合 MATLAB 编程应用，介绍了 MATLAB 时间序列分析有关函数的功能和用法，并且通过应用实例，阐述了如何利用这些函数解决工程应用中的问题。

本书的特点为从实际应用角度出发，介绍时间序列分析方法及其在 MATLAB 下的具体程序实现过程。本书取材较为全面，理论上浅显易懂，实现起来简单容易。

由于作者水平有限，书中难免存在某些错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。如有任何问题请通过电子邮件与我们联系：[wjdw716@163.com](mailto:wjdw716@163.com)。

编 者  
2006 年 11 月

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>第一章 时间序列及其分析概述</b> .....         | 1  |
| 1.1 时间序列 .....                      | 1  |
| 1.1.1 时间序列定义 .....                  | 1  |
| 1.1.2 时间序列组成成分 .....                | 4  |
| 1.1.3 时间序列模型 .....                  | 6  |
| 1.1.4 时间序列表示 .....                  | 9  |
| 1.1.5 时间序列分类 .....                  | 9  |
| 1.2 时间序列的特点及其建立 .....               | 13 |
| 1.2.1 时间序列的特点 .....                 | 13 |
| 1.2.2 随机过程与随机序列的区别与联系 .....         | 14 |
| 1.2.3 时间序列的建立 .....                 | 14 |
| 1.3 时间序列分析的概念、特征和作用 .....           | 16 |
| 1.3.1 时间序列分析的概念 .....               | 16 |
| 1.3.2 时间序列分析的基本特征 .....             | 18 |
| 1.3.3 时间序列分析的作用 .....               | 19 |
| 1.3.4 时间序列分析与数理统计学的区别 .....         | 20 |
| 1.4 时间序列分解 .....                    | 20 |
| 1.4.1 趋势分量、循环分量、季节分量、不规则分量的分离 ..... | 21 |
| 1.4.2 时间序列长期趋势、循环变动和季节变动的分析 .....   | 24 |
| 1.4.3 趋势项、循环项和季节项的估计与分离 .....       | 25 |
| 1.4.4 时间序列中消除趋势的方法 .....            | 27 |
| 1.5 时间序列分析的相关特征量 .....              | 27 |
| 1.5.1 时间序列的平均数及其计算方法 .....          | 27 |
| 1.5.2 时间序列的增长量与平均增长量 .....          | 29 |
| 1.5.3 时间序列的发展速度与增长速度 .....          | 30 |
| 1.6 时间序列分析方法 .....                  | 32 |
| 1.6.1 时间序列分析方法概述 .....              | 33 |
| 1.6.2 时间序列的相似性度量 .....              | 37 |
| 1.6.3 时间序列的奇异性检测 .....              | 38 |
| 1.6.4 时间序列的平滑处理方法 .....             | 38 |
| 1.6.5 连续时间序列的特征 .....               | 42 |
| 1.6.6 时间序列分析的应用 .....               | 43 |
| 1.6.7 时间序列分析中的问题 .....              | 45 |
| 习题 .....                            | 46 |
| <b>第二章 时间序列的统计量</b> .....           | 47 |
| 2.1 MATLAB 中常用的时间序列分析函数 .....       | 47 |

|                            |                               |            |
|----------------------------|-------------------------------|------------|
| 2.2                        | 时间序列的重排序 .....                | 52         |
| 2.3                        | 随机时间序列的生成 .....               | 57         |
| 2.4                        | 时间序列的统计量函数 .....              | 61         |
| 2.5                        | 时间序列的分布函数 .....               | 71         |
| 2.6                        | 时间序列趋势项提取 .....               | 74         |
|                            | 习题 .....                      | 76         |
| <b>第三章 时间序列插值与差分 .....</b> |                               | <b>77</b>  |
| 3.1                        | 插值问题的提出 .....                 | 77         |
| 3.2                        | 插值多项式 .....                   | 77         |
| 3.2.1                      | 拉格朗日插值多项式 .....               | 78         |
| 3.2.2                      | 差商与牛顿插值多项式 .....              | 80         |
| 3.2.3                      | 样条插值 .....                    | 82         |
| 3.3                        | 差分 .....                      | 85         |
| 3.4                        | MATLAB 中插值函数及应用 .....         | 86         |
| 3.4.1                      | 一维内插函数 .....                  | 87         |
| 3.4.2                      | 样条插值 .....                    | 95         |
| 3.4.3                      | 微分和差分 .....                   | 97         |
| 3.4.4                      | lagrange 插值和 hermite 插值 ..... | 98         |
| 3.5                        | 插值差分的应用 .....                 | 101        |
|                            | 习题 .....                      | 104        |
| <b>第四章 时间序列拟合 .....</b>    |                               | <b>105</b> |
| 4.1                        | 拟合问题的提法 .....                 | 105        |
| 4.2                        | 最小平方拟合 .....                  | 106        |
| 4.2.1                      | 一元线性拟合 .....                  | 106        |
| 4.2.2                      | 最小二乘多项式拟合 .....               | 107        |
| 4.3                        | 函数的最优平方拟合 .....               | 110        |
| 4.4                        | MATLAB 下时间序列拟合函数 .....        | 111        |
| 4.5                        | 时间序列拟合的应用 .....               | 126        |
|                            | 习题 .....                      | 129        |
| <b>第五章 ARMA 时间序列 .....</b> |                               | <b>130</b> |
| 5.1                        | 白噪声时间序列 .....                 | 130        |
| 5.2                        | 自回归模型 .....                   | 131        |
| 5.2.1                      | 自回归模型描述 .....                 | 131        |
| 5.2.2                      | $AR(p)$ 的自相关函数 .....          | 132        |
| 5.2.3                      | 序列的自相关系数的作用 .....             | 133        |
| 5.2.4                      | $AR(p)$ 模型的平稳解 .....          | 133        |
| 5.3                        | 移动平均模型 .....                  | 134        |
| 5.3.1                      | 移动平均模型描述 .....                | 134        |
| 5.3.2                      | $MA(1)$ 的自相关函数 .....          | 135        |



|                        |                         |     |
|------------------------|-------------------------|-----|
| 5.3.3                  | MA( $q$ )的自相关函数         | 135 |
| 5.3.4                  | MA( $\infty$ )序列的自协方差函数 | 136 |
| 5.4                    | 自回归移动平均模型               | 136 |
| 5.4.1                  | ARMA( $p, q$ )序列        | 136 |
| 5.4.2                  | 因果 ARMA( $p, q$ )序列     | 138 |
| 5.4.3                  | ARMA(1, 1)的自协方差函数和自相关函数 | 138 |
| 5.4.4                  | ARMA( $p, q$ )序列的自协方差函数 | 139 |
| 5.5                    | 整合自回归移动平均模型             | 139 |
| 5.6                    | 时间序列模型预测                | 140 |
| 5.7                    | 模型参数最小二乘估计              | 141 |
| 5.8                    | MATLAB 下 ARMA 序列分析函数    | 141 |
| 5.9                    | ARMA 序列分析的应用            | 149 |
|                        | 习题                      | 150 |
| <b>第六章 时间序列的时频特性分析</b> |                         | 152 |
| 6.1                    | 时间序列的频域描述               | 152 |
| 6.1.1                  | 时间序列的能量                 | 152 |
| 6.1.2                  | 傅立叶变换                   | 153 |
| 6.1.3                  | 能量密度频谱                  | 153 |
| 6.1.4                  | 平均频率和宽带                 | 154 |
| 6.2                    | 时间序列的时频特征描述             | 154 |
| 6.2.1                  | 边缘                      | 154 |
| 6.2.2                  | 局部平均值                   | 154 |
| 6.2.3                  | 时间和频率位移不变性              | 155 |
| 6.2.4                  | 线性尺度变化                  | 155 |
| 6.2.5                  | 弱有限支撑和强有限支撑             | 156 |
| 6.2.6                  | 不确定原理                   | 156 |
| 6.3                    | 时间序列的时频分析方法             | 157 |
| 6.4                    | MATLAB 时间序列的时频分析函数      | 158 |
| 6.5                    | 时间序列的时频分析应用             | 178 |
|                        | 习题                      | 184 |
| <b>第七章 时间序列的统计分析</b>   |                         | 185 |
| 7.1                    | 常用时间序列统计分析方法            | 185 |
| 7.2                    | MATLAB 的时间序列统计分析函数      | 188 |
| 7.2.1                  | 假设检验                    | 188 |
| 7.2.2                  | 聚类分析                    | 193 |
| 7.3                    | 统计分析方法的实际应用             | 198 |
|                        | 习题                      | 202 |
| <b>第八章 时间序列的小波变换</b>   |                         | 204 |
| 8.1                    | 小波变换                    | 204 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 8.2 小波包变换 .....                 | 205        |
| 8.3 基于小波分析的时间序列消噪和压缩处理 .....    | 207        |
| 8.4 MATLAB 时间序列分析中的小波变换函数 ..... | 207        |
| 8.4.1 时间序列小波分解与重构 .....         | 207        |
| 8.4.2 时间序列小波包分解与重构 .....        | 217        |
| 8.4.3 时间序列消噪处理和压缩处理 .....       | 221        |
| 8.5 时间序列的小波变换应用 .....           | 226        |
| 习题 .....                        | 232        |
| <b>参考文献</b> .....               | <b>233</b> |

## 第一章 时间序列及其分析概述

自然界以及社会生活的各种事物都在运动、变化和发展着,将它们按时间顺序记录下来,就可以得到各种各样的时间序列。对时间序列进行分析研究,可以揭示事物运动、变化和发展的内在规律,对于人们正确认识事物并由此做出科学的决策具有重要的现实意义。

在科技高速发展的今天,越来越多的信息被存储在计算机上,如证券公司的计算机系统中积累了大量的股票信息,指挥自动化系统中收集了大量的作战信息,工厂的监控系统中保存了大量的工业参数的历史数据,教育系统中保存了很多学生信息,这些数据中包含了很多有用的信息,对这些数据进行分析处理具有重要的价值。例如,对股票信息进行分析,可以预测股票的走势;对商品销售信息进行分析,可以预测商品销售的趋势,用来决策商品的进货、价格等,从而可以获得最大利润;对工业参数的历史数据进行分析,可以发现参数间变化的内在联系,更好地对工业对象进行控制;对学生的各门学科成绩进行分析,可以找到最佳的教学方法;对雷达目标距离像进行分析,可以识别雷达目标的类型,对我国防空武器系统有重要的使用价值。很多数据是以时间序列的形式出现的,如股票价格的月数据、某种产品的年销量、某地区国民生产总值的年数据等等。因此,时间序列在金融经济、气象、水文、工程技术、自然科学和社会科学等领域内有着广泛的应用。

由于观测的不完全确定性,时间序列实质是一个随机变量序列。本章主要介绍时间序列及其分析的概念、分类和应用。

### 1.1 时间序列

时间序列(简称时序或序列)通常是按时间顺序排列的一系列被观测数据(信息),其观测值按固定的时间间隔采样。研究人员作预测时,常以过去的历史资料为依据,预测将来的变化。例如,根据过去或当前一段时间内市场销售量、股价的变动以及人口增长情况,预测将来一段时间内的市场销售量、股价的变动以及人口增长等变化。

#### 1.1.1 时间序列定义

许多资料中给出了时间序列的定义,虽然这些定义在字面上表达方式不同,但它们的含义基本相同,下面列出时间序列的四种定义。

**定义 1.1** 时间序列就是一组统计数据,依其发生时间的先后顺序排成的序列。例如,1999~2005年我国人口年增长量。

**定义 1.2** 时间序列，就是具有均匀时间间隔的各种社会自然现象的数量指标，依时间次序排列起来的统计数据。例如，某高地每日的平均温度、四川盆地每月的降雨量、股票市场中每天的收盘价格、某电视机每年的产量、历年来国民所得与出口总额，以及雷达目标回波等，这些都是时间序列。

**定义 1.3** 同一现象在不同时间上的相继观察值排列而成的序列称为时间序列。在实际中，很多信息序列或数据都可以看做时间序列。按量化定义为，变量随时间变化，按等时间间隔所取得的观测值序列，称为时间序列，记为  $Y: \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 。

时间间隔可以是一年，一月，一天，一小时等，也可以是一个任意确定的正实数。

**定义 1.4** 对某一个或一组变量  $x(t)$  进行观察测量，将在一系列时刻  $t_1, t_2, \dots, t_n$  ( $t$  为自变量且  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ ) 所得到的离散数据组成的序列集合  $\{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)\}$ ，称之为时间序列，记为  $X = \{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)\}$ 。这种有时间意义的序列也称为动态数据。

时间序列取值一般有两种方式：

(1)  $X$  取观测时间点处的瞬时值。例如，某城市每日中午的气温值；仓库月末的存储量；每年 7 月 1 日的人口数；每年开学学生在册人数等。

(2)  $X$  取相邻时间点期间的累积值。例如，每年工农业总产值；某商场月销售额；年钢产量；年粮食产量；年某类商品贸易额等。

特别要强调的是，有些数据虽然不是时间序列，数据与时间无直接关系，但可以近似看做时间序列。例如，雷达目标距离像，如果将距离单元看做时间，则它就是时间序列；又如某班学生的高等数学期末成绩，因为在计算机上的学生成绩总是按某一顺序存放的，如按学号顺序，如果我们将学号看做时间，则学生成绩就是时间序列。因此，时间序列的广义定义为：有先后顺序的数据通称为时间序列。

上述时间序列取值有一个特点，即是离散型时间序列。当然也有连续型时间序列，如心电图、工业供电仪表记录结果等。由于计算机处理的数据一般都是离散数据，因此，本书只讨论离散型时间序列。下面给出一些离散时间序列的图形表示，如图 1.1~图 1.6 所示。

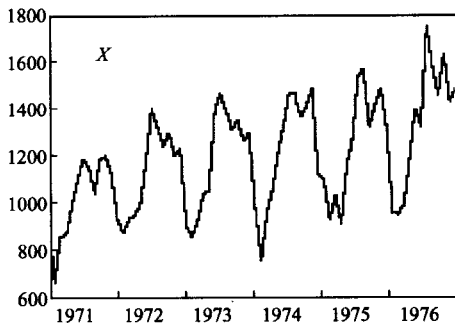


图 1.1 摩托车月注册数时间序列  
(横坐标表示年份，纵坐标表示注册数)

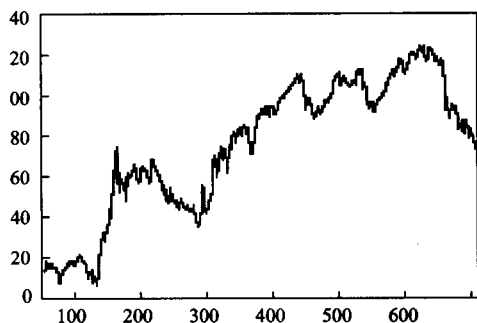


图 1.2 某段时期深圳股市收盘价序列  
(横坐标表示天数，纵坐标表示交易点数)

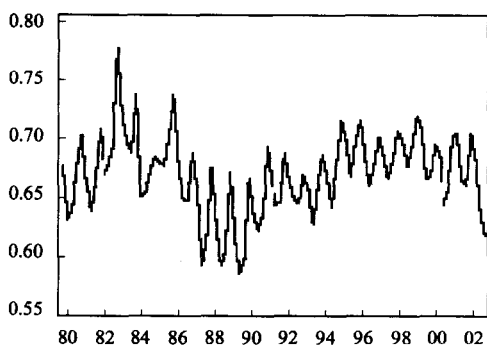


图 1.3 中国物价指数(横坐标表示缩写年份, 其中 00 表示 2000 年, 纵坐标表示物价指数)

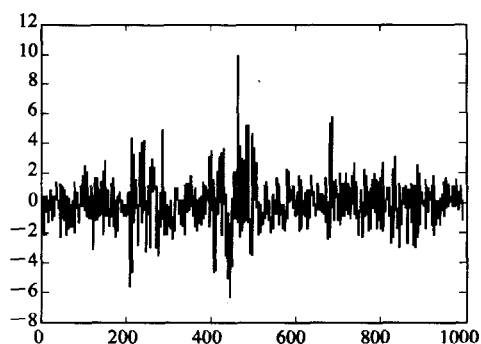


图 1.4 某段时期日元兑美元汇率收益率 (横坐标表示小时, 纵坐标表示收益率)

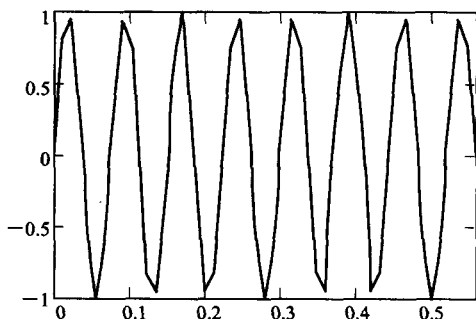


图 1.5 正弦信号(横坐标表示秒, 纵坐标表示归一化表幅度)

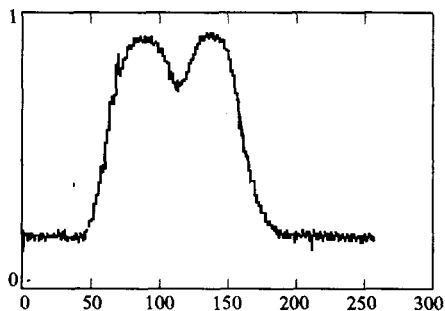


图 1.6 雷达目标距离像(横坐标表示采样点, 纵坐标表示归一化幅度)

表 1.1 是我国国内生产总值、年末总人口及人口自然增长率、居民消费水平在不同时间上得到的观察值排列而成的序列。

表 1.1 国内生产总值等时间序列

| 年份   | 国内生产总值<br>/亿元 | 年末总人口<br>/万人 | 人口自然增长率<br>/(%) | 居民消费水平<br>/元 |
|------|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1994 | 46 759.4      | 119 850      | 11.21           | 1781         |
| 1995 | 58 478.1      | 121 121      | 10.55           | 2311         |
| 1996 | 67 884.6      | 122 389      | 10.42           | 2726         |
| 1997 | 74 772.4      | 123 626      | 10.06           | 2944         |
| 1998 | 79 552.8      | 124 812      | 9.53            | 3094         |
| 1999 | 78 994.5      | 125 007      | 10.51           | 3099         |

由表 1.1 可以看出, 在形式上, 时间序列由现象所属的时间和现象在不同时间上的观察值两部分组成。根据所处的观察时间不同, 现象所属的时间可以是年份、季度、月份或其他任何时间形式。

**定义 1.5** 时间序列的趋势。金融经济中的时间序列常有一个趋势, 这个时间序列的趋势就是序列的发展变化规律。当两个序列同时都有相同的趋势时, 我们并不能认为两者

之间的关系就是因果关系，常有的情况是两个序列的趋势是由其他不可观察的因素引起的，由于那些因素是不可观察的，所以我们应通过直接控制趋势的办法来控制这些因素。

一种可能性是线性趋势，可以表示为：

$$x_t = a_0 + a_1 t + et, \quad t = 1, 2, \dots$$

或者是二次型趋势，可以表示为：

$$x_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + et, \quad t = 1, 2, \dots$$

还可能是指数型趋势，可以表示为：

$$x_t = e^{a+et}, \quad t = 1, 2, \dots$$

以上三式中， $et$  表示误差。

要说明一点：时间序列数据不一定是实数。例如，染色体 DNA 序列是一种由四个字母 A、G、T、C 表达的序列语言，在这个序列语言中不仅包含有制造人类全部蛋白质的信息，还有按照特定的时空模式把这些蛋白质装配成为生物体的四维调控信息。基因结构研究的基础是 DNA 序列结构的研究。作为由四个字符 A、G、T、C 组成的一个有序字符串，DNA 序列呈现出一定的规律性，含有丰富的信息。任何呈现规律性特征的序列都可以称为结构。因而结构与功能的关系的研究便成为 DNA 序列研究的核心问题。时间序列是金融领域中最重要的一类数据形式，将符号序列应用于证券分析中，其关键问题是如何将数值形式的时间序列转换为字符形式表示的符号序列。要求做符号转化时，所形成的符号种类不能太多，且每一个符号应尽可能地代表时间序列中的某一种基本的、相对独立的变化模式，即所谓元模式。元模式是构成字符序列结构的最基本元素。不过，人们常见的时间序列数据还是实数，因此我们主要研究实数型时间序列。

### 1.1.2 时间序列组成成分

一般认为时间序列由四个成分构成，即长期趋势或趋势变化、季节变动或季节性变化、循环变动或循环变化、不规则变动或随机变化。下面主要以金融经济中的时间序列为例讨论它的四个组成成分。

#### 1. 长期趋势

长期趋势就是时间序列依时间变化而逐渐增加或减少的长期变化的趋势。它用于反映时间序列的一般变化方向，其时间序列图形显示是在较长时间间隔上的数据变化。这种变化反映为一种趋势曲线。确定趋势曲线的典型方法为加权平均方法和最小二乘法。

时间序列在较长的时间内往往会呈现出不变、递增或递减的趋势。此趋势可归因于人口数量的逐渐改变、科技的进步、国家政策的改变或消费者观念的改变等。如可支配收入、银行储蓄存款及货币供给额每年均随时间而增长；每年死亡率因医疗技术的进步及生活水平的提高而有长期向下的趋势。值得一提的是，几乎所有产品在整个生命周期都要经过不同的长期趋势，在不同时间段上有不同的销售趋势。对一般产品来说，在产品初期具有向上趋势；产品成长期呈加速向上趋势；产品成熟期呈缓慢成长趋势；产品末期呈向下趋势。在分析时间序列数据时，分离长期趋势通常有两个原因：人们对趋势本身有兴趣，因趋势会使未来的映像更为明确；另外，长期趋势也可使时间序列的其他三个因素之影响更为突出。长期趋势一般以  $T$  表示。

## 2. 季节变动

时间序列数据常常表现出一些周期性，称为季节性。时间序列的季节变动指一年或固定一段时间内，呈现固定的规则变动。它反映的是每年（或固定时间段内）都重复出现的规律。换句话说，季节性变动是指相同或近似相同的模式，在连续几年的有关月份期间重复出现。

季节变动发生的主要原因是受到季节的影响。例如，情人节前巧克力和鲜花的销量会突然上升；电风扇与空调在夏季的销售量多而在冬季少；一天的交通流量在上下班时间出现高峰，而其余时间流量较为稳定；在圣诞节前商品（如玩具等）的销售量会突然增加；暑假旅游活动增加；零售业的季度数据往往会在第四季度跳高。处理时间序列季节变动的方法很多，可以通过加入季节的虚拟变量来处理季节性因素的影响等。季节变动分析的重要性在于规划生产量及预测销售量。如果能将季节因素从时间序列中独立分离出来，那就可能以渐近的处理方法稳定全年的变动。在数据处理过程中，可以先消除数据中的季节性因素后再进行回归。季节变动一般以  $S$  表示。

## 3. 循环变动

循环变动主要指趋势曲线在长期时间内呈现摆动的现象。循环变动可以是、也可以不是周期性变化的，即在等时间间隔之间，循环不需要沿着同样的模式演进，或沿着趋势线如钟摆般地循环变动。循环变动的周期大约为 2~15 年，其变动的的原因甚多，而且周期的长短与幅度也不一致。通常一个时间序列的循环是由其他多个规模小的时间序列循环组合而成的。如：总体经济指标的循环往往是由各个产业的循环组合而成的。有时总体经济会受到重大政治事件的很大影响，如总统大选、经济改革或战争等。同样地，各产业的循环往往受到整体经济环境的影响，例如：经济膨胀往往在循环的顶点，而经济萧条则在循环的谷底。循环变动一般以  $C$  表示。在图 1.7 中，循环随着趋势线而振荡，把循环的长度定义为  $A$  与  $B$  两点之间的距离，即与趋势线首次交叉的点 ( $A$ ) 与回到趋势线完成循环的点 ( $B$ ) 的距离。循环在商业决策时往往是一个判断的准则。

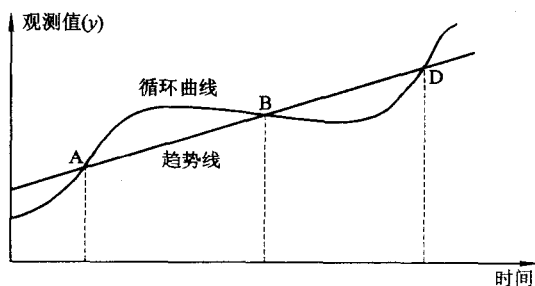


图 1.7 趋势与循环

循环分析的重要性有两个主要原因：

(1) 只要决策者能确定公司目前所在循环的位置，就可由此预测下一季或下一阶段的变化趋势；

(2) 若一因子的循环能从趋势中被独立分离出来且被确认，则其他因子对此序列的影响就容易了解。

#### 4. 不规则变动

不规则变动(即不规则因子)所关心的是变量变动的不可预测性。它反映的是由于随机或偶然事件引起的间断点处的变化,如国家经济政策的改革、劳工纠纷、自然灾害或企业内部的人事变动等。

不规则变动是在时间序列中将长期趋势、季节变动以及循环变动等成分分离后;所剩下的随机状况的部分。在数据拟合时,应先剔除不规则变动,然后再进行拟合。不规则变动一般以  $R$  表示。

一般而言,长期趋势、季节变动以及循环变动都受到规则性因素的影响,可以利用一般的分析方法进行分析、处理和预测;而不规则变动是属于随机性的,具有不可预见性,其发生的原因很多,可能为自然灾害、人为的意外因素、天气的突然改变以及政治形势的巨大变化等。

### 1.1.3 时间序列模型

时间序列模型是一种先进的统计方法。在金融经济活动中,常常遇到这样的问题:根据已收集到某经济变量的若干历史数据,如何预测未来某时刻金融经济变量的取值?这在经济市场和股票市场条件下显得尤为重要。惟有把握未来,才能作出正确的决策。预测是一个很有效的工具。实际中,常用的预测方法就是用合适的模型描述历史数据随时间变化的规律,进而用此模型推测未来。时间序列模型就是利用时间序列中的相关信息建立起来的,因而它是序列动态性和发展变化规律的描述,我们可以建立时间序列模型来对时间序列的未来取值进行预测。通常一维时间序列模型不像回归模型那样是根据因果关系,而是根据被预测变量过去的变化规律性来建立的。建立后可利用这个模型来预测该变量未来的变化。利用时间序列模型不需要知道影响预测变量的因果关系,在系统的动态性较强,关于影响预测变量的决定性因素的信息很少,且有足够多的数据量可以用来构成一个合理长度的时间序列的情况下,运用时间序列分析模型往往可达到很好的效果。

#### 1. 确定型时间序列模型

在确定性时间序列分析中,通常用  $T_t$  表示长期趋势项,  $S_t$  表示季节变动趋势项,  $C_t$  表示循环变动趋势项,  $R_t$  表示随机干扰项。常见的确定性时间序列模型有以下三种:

(1) 加法模型:

$$y_t = T_t + S_t + C_t + R_t$$

(2) 乘法模型:

$$y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot R_t$$

(3) 混合模型:

$$y_t = T_t \cdot S_t + R_t$$

$$y_t = S_t + T_t \cdot C_t \cdot R_t$$

其中,  $y_t$  是观测目标的观测记录,  $R_t$  和  $R_t^2$  的数学期望:  $E(R_t) = 0$ ,  $E(R_t^2) = \sigma^2$ 。

根据大量实践表明,实际中的一个时间序列往往是由加法、乘法和混合三种模型变化形式的叠加或耦合而成的。

依据这三种假设模型,分析时间序列的方法通常有两种。如果时间序列属于相加模



型, 则可从序列中减去某种影响成分的趋势项, 而求出另一种成分的趋势项; 如果时间序列属于相乘模型, 则可将其他成分的趋势项除以时间序列, 而求出某种影响成分的趋势项。然而, 在确定性时间序列分析中, 一般假设模型为乘法模型, 因为乘法模型比加法模型更能正确代表一时间序列。对于社会经济问题的分析主要使用乘法模型, 所以下面我们以模型来研究确定性时间序列数据。表 1.2 为英国 1986~1990 年的每季新车销售量。

表 1.2 英国每季新车销售量(每千台)

| 年 \ 季 | 第一季   | 第二季   | 第三季   | 第四季   |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1986  | 491.4 | 457.5 | 713.2 | 376.2 |
| 1987  | 443.7 | 622.2 | 377.6 | 563.8 |
| 1988  | 565.9 | 371.6 | 615.0 | 460.1 |
| 1989  | 338.3 | 564.9 | 546.1 | 613.3 |
| 1990  | 511.6 | 498.9 | 704.0 | 305.0 |

可将表 1.2 描绘成以时间为横轴, 以新车销售量  $Y$  为纵轴的时间序列图(见图 1.8)。

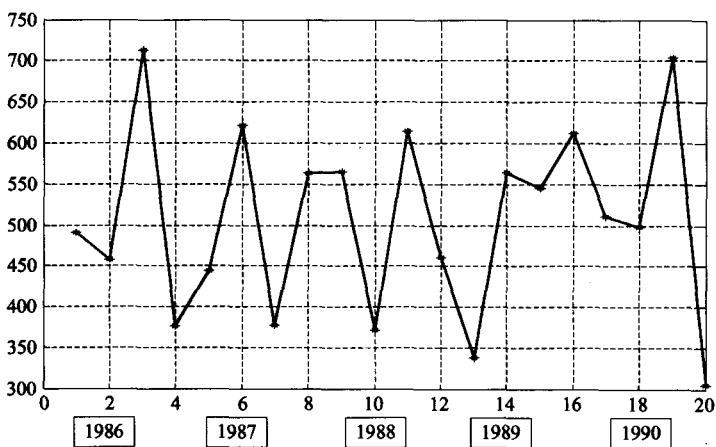


图 1.8 英国每季新车销售量

对这类确定性时间序列的趋势项进行分离的步骤为:

(1) 分离出时间序列数据中的季节因子  $S$ , 一旦季节因子找到之后, 即可由下式来表示移除季节因子过后的数据:

$$\frac{Y}{S} = \frac{T \times C \times S \times R}{S} = T \times C \times R$$

(2) 找出趋势效应  $T$  的数据之后, 即可由下式来表示移除季节因子、趋势效应过后的数据:

$$\frac{T \times C \times R}{T} = C \times R$$

(3) 找出循环因子  $C$  之后, 即可由下式来表示移除季节因子、趋势效应及循环因子过