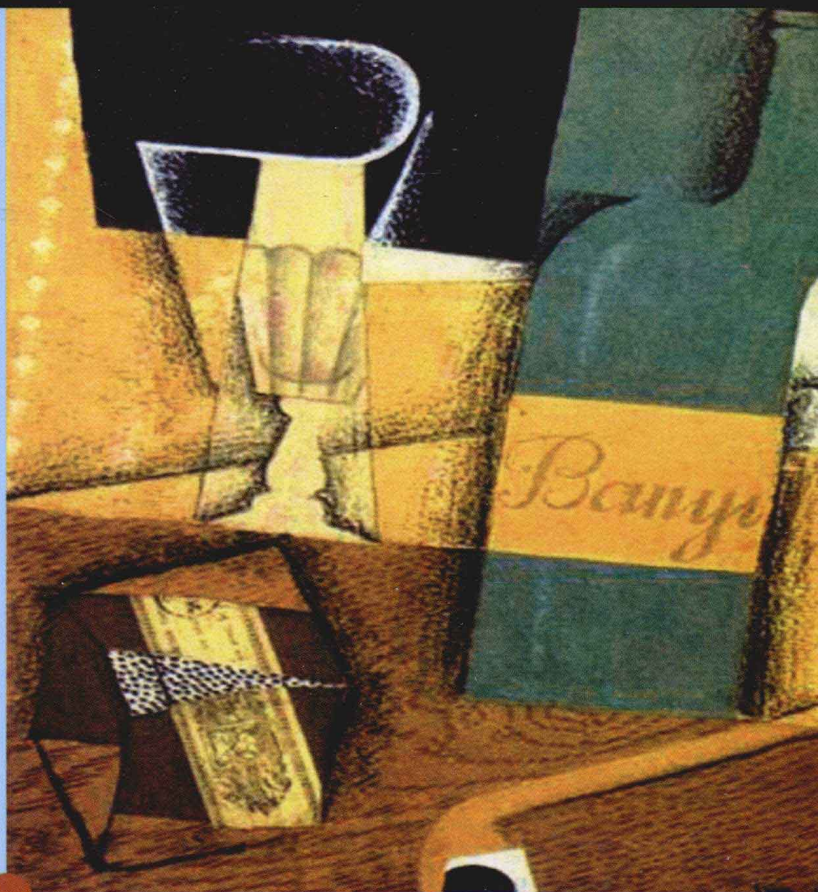


(原书第 4 版)

时间序列分析

预测与控制

Time Series Analysis: Forecasting and Control (4th Edition)



(美) 乔治 E. P. 博克斯 (George E. P. Box)
(英) 格威利姆 M. 詹金斯 (Gwilym M. Jenkins) 著
(美) 格雷戈里 C. 莱因泽尔 (Gregory C. Reinsel)

王成璋 尤梅芳 郝杨 译



机械工业出版社
China Machine Press

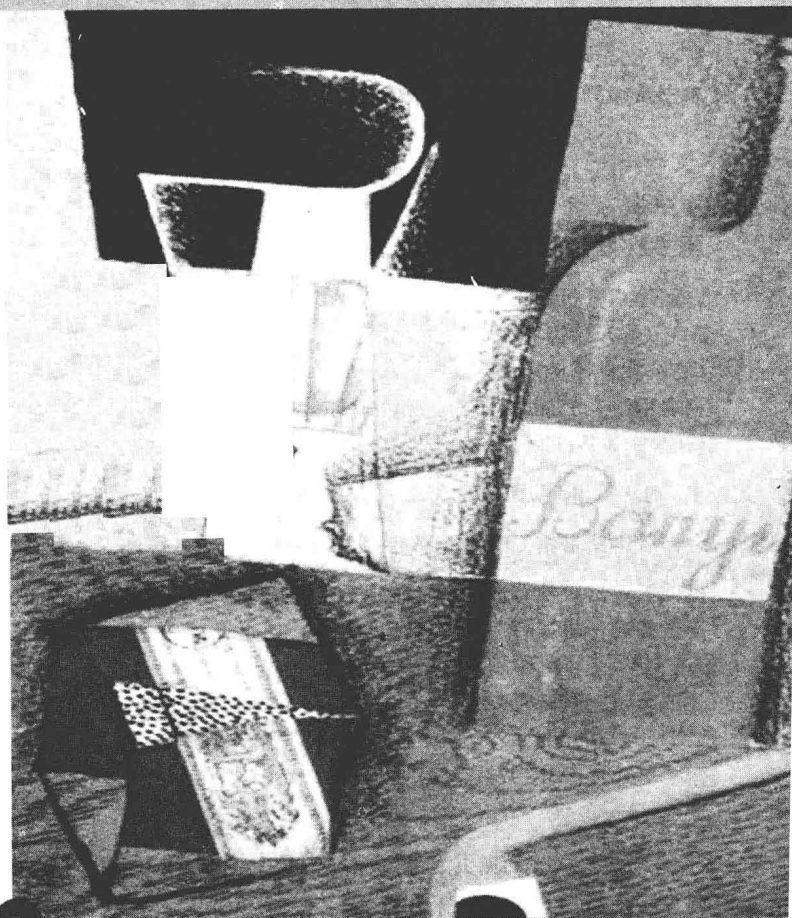
经济教材译丛

(原书第 4 版)

时间序列分析

预测与控制

Time Series Analysis: Forecasting and Control (4th Edition)



(美) 乔治 E. P. 博克斯 (George E. P. Box)
(英) 格威利姆 M. 詹金斯 (Gwilym M. Jenkins) 著
(美) 格雷戈里 C. 莱因泽尔 (Gregory C. Reinsel)
王成璋 尤梅芳 郝杨 译



机械工业出版社
China Machine Press

本书内容始终都是时间序列领域的权威。第4版仍然分为5个部分,相对第3版新增内容主要有非线性
和长记忆模型、多元时间序列分析以及前馈控制,其余各章节根据现实和教学需要均有不同程度的更新。在
本书中,几位统计学大师用极其通俗的语言,结合大量的实例,阐明了时间序列分析的精髓。本书内容十分
丰富,叙述简明,强调实际应用。相信每一位研读此书的读者都会获益匪浅。

本书可作为统计和相关专业高年级本科生或研究生教材,也可以作为统计专业技术人员的参考书。

George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel. Time Series Analysis: Forecasting and Control, 4th Edition.

Copyright © 2008 by John Wiley & Sons, Inc.

This translation published under license. Simplified Chinese Translation Copyright © 2011 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: 01-2010-2057

图书在版编目(CIP)数据

时间序列分析: 预测与控制(原书第4版) / (美) 博克斯(Box, G. E. P.), (英) 詹金斯(Jenkins, G. M.), (美) 莱因泽尔(Reinsel, G. C.) 著; 王成璋等译. —北京: 机械工业出版社, 2011. 4
(经济教材译丛)

书名原文: Time Series Analysis: Forecasting and Control

ISBN 978-7-111-33864-2

I. 时… II. ①博… ②詹… ③莱… ④王… III. 时间序列分析—教材 IV. 0211. 61

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第050069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: 胡智辉 版式设计: 刘永青

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2011年4月第1版第1次印刷

185mm×260mm·27.75印张

标准书号: ISBN 978-7-111-33864-2

定价: 59.00元

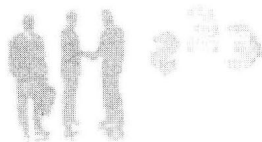
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

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: hzjg@hzbook.com



译者序

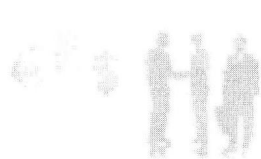
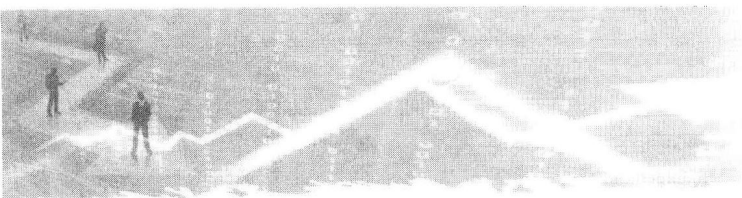
自 1970 年博克斯和詹金斯的《时间序列分析：预测与控制》第 1 版问世以来，已经是第三次修订改版了，无论哪个版次其内容始终是时间序列领域的权威。因本书作者对时间序列数据分析所做出的巨大贡献，人们将经典的 ARIMA 模型命名为 Box-Jenkins 模型。2008 年，本书原文第 4 版出版，相对第 3 版而言，新增内容主要有：第 10 章（非线性和长记忆模型），第 14 章（多元时间序列分析）以及第 15 章中的 15.5 节（前馈控制），此外，本书其余各章节均有不同程度的更新。

本书是由机械工业出版社委托翻译、西南交通大学经济管理学院王成璋教授主译的，全书由王成璋教授统纂定稿，并由其将全部译稿认真仔细地校对评阅。在本书翻译的筹备过程中，由于部分参考中国人民大学统计学系顾岚主译的第 3 版，在遣词造句上获益匪浅。为此，我们感谢第 3 版的译者为我们第 4 版的翻译工作提供了非常有价值的参考。并且，我们感谢参加翻译的几位博士和在读硕士研究生。他们的具体分工如下：第 1 章（姜凌），第 2、4、5、13、14、15 章（尤梅芳），第 3、6、7、8、9、10、11 章（郝杨），第 12 章（郝杨、尤梅芳），习题（尤梅芳）。此外，机械工业出版社的诸多同志为出版本书付出了辛勤的努力，在此我们表示诚挚的感谢。

我们衷心地希望该书的翻译和出版对于促进我国统计学教学工作的发展以及统计工作人员的参考学习有所帮助。由于时间和水平有限，难免存在诸多不足之处，敬请读者批评指正。

译者

2011 年 3 月



第 4 版前言

也许，简单地讲述一下本书是如何开始写作的是一件非常有意思的事情。我和格威利姆·詹金斯第一次成为朋友是在 20 世纪 50 年代后期。我们都对这样一个问题十分着迷：一个化学反应器可以设计成自动进行优化，并且可能服从一个移动极值模型。我们都认为统计理论的许多进展，是那些致力于真正的科学问题研究的学者间的相互交流而产生的结果。而帮助设计和建立这样一个反应器可以进一步说明这个观点。

在詹金斯访问威斯康星大学麦迪逊分校的一年间，我们和著名的化学工程师奥尔夫·霍根讨论了该问题，那时他已经 80 岁了。他非常热心，并且建议我们在一个联合项目中组成一个小组来建立这样一个体系。国家自然科学基金后来资助了我们这个项目。该项目耗时 3 年，但是不用多说，在进行了许多实验，经历了若干挫折以及获得一些成功之后，反应器建成了并且开始工作。

正如之前所料，这项研究教给了我们很多东西。特别是，我们对描述系统动态性所需的差分方程的操作变得更加熟练。这项研究也使我们对真实的系统噪声建模所需的非平稳时间序列有了更好的理解。这 3 年是一段非常美好的时光。我们做了许多感兴趣的事：在思想演变的过程中与实验者相互交流，并且用实际的仪器和真实的数据，解决了许多实际问题。

后来，在其他领域中也有应用，例如，在时间序列分析中的发展，在经济贸易的预测中，以及将一些从工程师那里获得的概念用于统计过程控制（SPC）的发展。

在詹金斯来麦迪逊的一年后，我每个夏天都会到他在兰开斯特的家里。在一年的其他时间里，我们都使用磁带进行录音。我们撰写了大量科技报告，并且发表了许多论文，但是最后才意识到我们需要出版一本著作。本书的前两版写作期间，詹金斯正以非凡的勇气同一场慢性衰竭病症作斗争，直到本书完成后他去世了。

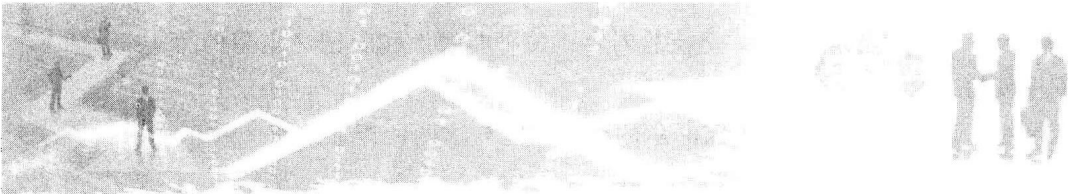
后来，格雷戈里·莱因泽尔，一个对该课题具有非常丰富知识的学者，帮助我们完成了该书的第 3 版。同样在第 4 版中，新的内容几乎都是由莱因泽尔完成的，不幸的是，在第 4 版完成后，他也过早地离开了我们。在第 4 版

中，除了完整的修改和更新，我们还加入了两章全新的内容：关于非线性和长记忆模型的第 10 章，以及关于多元时间序列的第 12 章。

本书第 4 版的出版是为了表示对詹金斯和莱因泽尔的敬意。能与这两位天才同事一起工作，我感到非常荣幸。

另外，我们感谢 Steve Quigley 和 Lisa Van Horn 两位编者在本书第 4 版修订过程中的鼓励和帮助，并且感谢 Surendar Narasimhan 在稿件整理过程中提供的帮助。

乔治 E. P. 博克斯
威斯康星大学麦迪逊分校



第3版前言

本书涉及时间序列随机（统计）模型的建立及其在重要应用领域中的使用。这包括预测，模型的设定、估计和检验，动态关系的传递函数建模，干预事件影响的建模以及过程控制等专题。在本书第1版面世的时候，有关上述专题的研究掀起了巨大的热潮。因此，在保持有关时间序列分析的一些基本原理不变的同时，这一版也汇集了众多作者所提供的新思想、新的修正和改进。

在本书上一版写作期间，詹金斯正以非凡的勇气同一场慢性衰竭病症作斗争。在本次修订中，为了表示对他的纪念，我们保持了原书的总体结构，仅对原文进行适当的修订、补充和删改。具体说来，第7章关于AR-MA模型的估计做了相当大的修改。此外，我们还引入一些全新的章节，用以介绍自第1版出版之后所发展起来的重要专题。它们包括新近发展的多种有关模型设定方法的介绍，诸如典型相关分析，模型选择准则的使用，ARIMA过程中有关单位根非平稳性检验的一些结果，ARMA模型的状态空间表示以及在似然估计和预测中的应用，模型诊断的得分检验，时间序列模型中的结构分量、确定性分量，以及基于回归时间序列模型方法所得到的这些分量的估计。第12章是全新的，它介绍了有关干预和异常值分析这一重要专题的进展，反映了自前一版以来该专题的实际作用和研究工作。

在过去的几年中，有关工业产品质量的改进又重新被强调，控制对于过程监视和过程调整的作用又引起极大的关注。因此，为了对这些重要专题加以介绍，同时对它们之间的关系给出更好的解释，本书中有关控制的章节完全是重新撰写的。

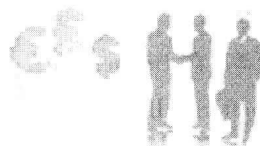
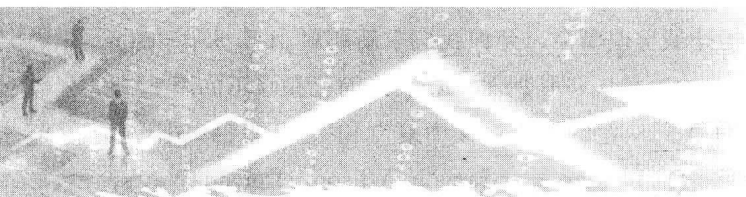
本书的目的是提供实践的技巧，大多数读者在使用中将会受益。尽管我们也试图改进前一版的不足之处，但是，我们还是不打算对一些问题引入严格的数学处理。

我们对玛格丽特·詹金斯和我们各自的妻子克莱尔和桑迪致以诚挚的感谢，因为在本书进行修订的漫长阶段，她们始终不懈地给予支持和帮助。

原书的有关研究曾得到美国空军科学研究办公室和英国科学研究委员会的支持。第3版中的部分研究得到 Alfred P. Sloan 基金和美国国家航空航

天局的支持。我们感谢 E. S. Pearson 教授和生物计量学理事会，允许我们重新印刷由 E. S. Pearson 和 H. O. Hartley 所编制并在 *Biometrika Tables for Statisticians* 的第一卷上经简化和修正的表 1, 8 和 12，我们感谢 Casimer Stralkowski 博士，允许我们从他的博士论文中复制和采用了三张图。感谢 George Tiao, David Mayne, Emanuel Parzen, David Pierce, Granville Wilson, Donald Watts, John Hampton, Elaine Hodgkinson, Patricia Blant, Dean Wichern, David Bacon, Paul Newbold, Hiro Kanemasu, Larry Haugh, John MacGregor, Bovas Abraham, Gina Chen, Johannes Ledolter, Greta Ljung, Carole Leigh, Mary Essser 和 Meg Jenkins 在上一版的修订中以不同的方式所给予我们的帮助。

乔治 E. P. 博克斯
格雷戈里 C. 莱因泽尔



教学建议

教学目的

本课程的教学目的：使学生系统掌握时间序列的基本思想、基本原理、基本方法；使学生具备应用时间序列的理论和方法来解决实际问题的能力；培养学生的学习兴趣和科学探索精神，为其提供多元化的发展空间。

前期需要掌握的知识

高等数学、概率论与数理统计、线性代数等。

课时分布建议

教学内容	学习要点	课时安排	
		本科生	研究生
第 1 章 引 言	(1) 了解时间序列分析的主要研究内容	2	8
第 2 章 平稳过程的自相关函数和谱	(1) 掌握平稳时间序列的定义和平稳时间序列的自相关性质 (2) 了解平稳模型的频谱特性	2	
第 3 章 线性平稳模型	(1) 了解一般线性过程 (2) 掌握自回归过程 (3) 掌握移动平均过程 (4) 掌握自回归移动平均混合过程	4	
第 4 章 线性非平稳模型	(1) 掌握求和自回归移动平均过程 (2) 掌握求和自回归移动平均过程的三种形式 (3) 掌握求和移动平均过程	4	
第 5 章 预 测	(1) 掌握最小均方误差的预测及其性质 (2) 掌握预测的计算和修正 (3) 预测函数和预测权重 (4) 了解预测函数及其修正的例子 (5) 了解状态空间模型公式如何用于精确预测	4	

(续)

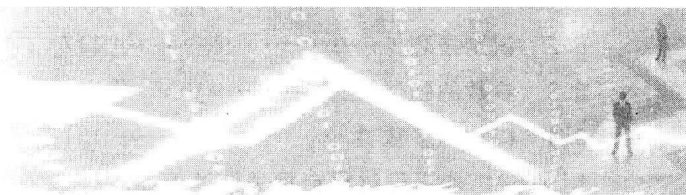
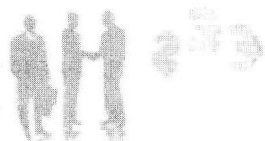
教学内容	学习要点	课时安排	
		本科生	研究生
第 6 章 模型识别	(1) 了解模型识别的目的 (2) 掌握模型识别的技巧 (3) 掌握参数的初始估计 (4) 了解模型的多重性	4	12
第 7 章 模型的估计	(1) 了解似然函数和平方和函数的研究 (2) 掌握非线性估计 (3) 了解一些具体模型的估计结果 (4) 了解基于状态空间模型的似然函数 (5) 掌握 ARIMA 模型的单位根检验 (6) 了解使用 Bayes 定理进行估计	4	
第 8 章 模型的诊断检验	(1) 了解随机模型检验 (2) 掌握残差的诊断检验 (3) 学会用残差修正模型 (4) 了解虚拟变量的使用	4	
第 9 章 季节模型	(1) 掌握季节时间序列的简约模型 (2) 掌握用乘积 $(0, 1, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$ 模型对航空旅客数据进行描述 (3) 了解更一般季节模型 ARIMA 的某些方向 (4) 了解结构分量模型和确定性季节分量	4	
第 10 章 非线性和长记忆模型	(1) 了解自回归条件异方差 (ARCH) 模型 (2) 掌握非线性时间序列模型 (3) 掌握长记忆时间序列模型	2	
第 11 章 传递函数模型	(1) 掌握线性传递函数模型 (2) 掌握差分方程表示的离散动态模型 (3) 了解离散模型和连续模型的关系	2	4
第 12 章 传递函数模型的识别、 拟合及检验	(1) 了解互相关函数的一些性质 (2) 掌握传递函数模型的识别 (3) 掌握传递函数模型的识别与拟合 (4) 了解拟合及检验传递函数模型的一些例子 (5) 掌握使用领先指标建立传递函数模型进行预测 (6) 了解估计传递函数有关的实验设计方面的问题	4	4
第 13 章 干预分析模型和异常值检测	(1) 了解干预分析方法以及应用 (2) 掌握时间序列的异常值分析 (3) 了解存在缺失值时 ARMA 模型的估计	2	4
第 14 章 多元时间序列分析	(1) 了解平稳多元时间序列 (2) 掌握平稳多元序列的线性模型表达式 (3) 了解非平稳向量自回归移动平均模型 (4) 掌握向量自回归移动平均过程的预测 (5) 了解向量 ARMA 模型的状态空间形式 (6) 掌握向量 ARMA 模型的统计分析 (7) 了解向量 ARMA 建模的例子	4	4

(续)

教学内容	学习要点	课时安排	
		本科生	研究生
第 15 章 过程控制的各个方面	(1) 了解过程监测和过程调整 (2) 掌握使用反馈控制的过程调整 (3) 了解 MMSE 控制有时所需的过度调整 (4) 掌握对于具有固定调整和监测代价的最小代价控制 (5) 掌握前馈控制的应用 (6) 了解预测参数值和反馈调整方案的监测	2	4
课时总计		48	40

说明

- (1) 在课时安排上, 对于经济学和金融专业的本科生, 建议每周 4 学时, 共 48 学时, 其中第一部分 (第 2~5 章) 和第二部分 (第 6~10 章) 作为核心内容, 共 32 学时; 本书的第三部分 (第 11~14 章) 和第四部分 (第 15 章) 可以作为本科生的选讲内容。对于经济学和金融学之外的其他学科, 建议每周 4 学时, 共 32 学时, 后面的专题内容可以略去。
- (2) 使用本书作为教材的研究生课程, 建议利用 20 个学时对模型的预测和建立进行学习, 然后深入介绍后面的专题内容。



目 录

译者序

第 4 版前言

第 3 版前言

教学建议

第 1 章 引言	1
1.1 五个重要的现实问题	1
1.2 随机性和确定性的动态数学 模型	4
1.3 建模的基本思想	10

第一部分 随机模型及其预测

第 2 章 平稳过程的自相关函数 和谱	14
2.1 平稳模型的自相关性质	14
2.2 平稳模型的频谱特性	23
附录 2A 样本谱和自相关函数估计 之间的联系	29
第 3 章 线性平稳模型	30
3.1 一般线性过程	30
3.2 自回归过程	35
3.3 移动平均过程	44
3.4 自回归移动平均混合过程	48
附录 3A 一般线性过程的自协方差函数, 自协方差生成函数及 平稳性条件	53

附录 3B 计算自回归参数估计值的 递推方法	54
---------------------------------	----

第 4 章 线性非平稳模型	56
4.1 求和自回归移动平均过程	56
4.2 求和自回归移动平均模型的 三种表现形式	62
4.3 求和移动平均过程	68
附录 4A 线性差分方程	74
附录 4B 具有确定性偏差的 IMA (0, 1, 1) 过程	77
附录 4C 带有附加噪声的 ARIMA 过程	77

第 5 章 预测	81
5.1 最小均方误差预测及其性质	81
5.2 预测的计算和修正	86
5.3 预测函数和预测权	90
5.4 预测函数及其修正的例子	93
5.5 状态空间模型公式用于精确 预测	101
5.6 小结	105
附录 5A 预测误差之间的相关	107
附录 5B 任意提前预测权	109
附录 5C 采用一般求和形式的预测	110

第二部分 随机模型的建立

第 6 章 模型识别	116
6.1 识别的目的	116

6.2 识别技巧	117	9.2 用乘积 $(0, 1, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$ 模型对航空旅客数据的描述	213
6.3 参数的初估计	126	9.3 更一般的季节模型 ARIMA 的 某些方面	223
6.4 模型的多重性	131	9.4 结构分量模型和确定性季节 分量	228
附录 6A 非平稳过程自相关估计值的 期望特征	134	9.5 带有时间序列误差项的回归 模型	236
附录 6B 得到自回归移动平均混合模 型参数初估计的一般方法	135	附录 9A 一些季节性模型的自协 方差	242
第 7 章 模型的估计	137	第 10 章 非线性和长记忆模型	245
7.1 似然函数和平方和函数的 研究	137	10.1 自回归条件异方差 (ARCH) 模型	245
7.2 非线性估计	151	10.2 非线性时间序列模型	250
7.3 对具体模型的一些估计结果	159	10.3 长记忆时间序列过程	255
7.4 基于状态空间模型的似然 函数	164	第三部分 传递函数模型和 多变量模型的建立	
7.5 ARIMA 模型中的单位根	167	第 11 章 传递函数模型	262
7.6 使用 Bayes 原理的估计	172	11.1 线性传递函数模型	262
附录 7A 正态分布理论的回顾	177	11.2 用差分方程表示的离散动态 模型	267
附录 7B 线性最小二乘原理的回顾	181	11.3 离散模型和连续模型的关系	273
附录 7C 移动平均和混合过程的精确 似然函数	182	附录 11A 具有脉冲式输入的连续 模型	277
附录 7D 自回归过程的精确似然 函数	187	附录 11B 非线性传递函数与 线性化	279
附录 7E 自回归模型估计量的渐近 分布	192	第 12 章 传递函数模型的识别、拟合 及检验	281
附录 7F 参数估计误差对预测误差方差 和预测概率限影响的例子	194	12.1 互相关函数	281
附录 7G 关于移动平均参数估计 的特别注记	196	12.2 传递函数模型的识别	286
第 8 章 模型的诊断检验	197	12.3 传递函数模型的识别与拟合	292
8.1 随机模型的检验	197		
8.2 应用于残差的诊断检验	200		
8.3 利用残差修正模型	208		
第 9 章 季节模型	210		
9.1 季节时间序列的简约模型	210		

12.4	拟合及检验传递函数模型的一些例子	297
12.5	使用领先指标建立传递函数模型进行预测	301
12.6	估计传递函数有关的实验设计方面的问题	307
附录 12A	互谱分析用于传递函数模型的识别	308
附录 12B	选择输入以得到最优的参数估计	310

第 13 章 干预分析模型和异常值检测

13.1	干预分析方法	313
13.2	时间序列的异常值分析	318
13.3	对存在缺失值 ARMA 模型的估计	323

第 14 章 多元时间序列分析

14.1	平稳多元时间序列	328
14.2	平稳多元过程的线性模型表达式	332
14.3	非平稳向量自回归移动平均模型	341
14.4	对向量自回归移动平均过程的预测	343
14.5	向量 ARMA 模型的状态空间形式	344

14.6	向量 ARMA 模型的统计分析 ...	346
14.7	向量 ARMA 建模的例子	352

第四部分 离散控制方案的设计

第 15 章 过程控制的各个方面

15.1	过程监测和过程调整	359
15.2	使用反馈控制的过程调整	362
15.3	MMSE 控制有时所需的过度调整	372
15.4	对于具有固定调整和监测代价的最小代价控制	374
15.5	前馈控制	378
15.6	预测参数值和反馈调整方案的监测	385
附录 15A	调整方差有约束的反馈控制方案	386
附录 15B	抽样间隔的选择	392

第五部分 图 表

图表汇集	396
------------	-----

正文和习题中使用的时序序列汇集 ...	400
---------------------	-----

习题	413
----------	-----



第 1 章

引 言

时间序列是根据时间顺序得到的一系列观测值。许多数据都是以时间序列的形式呈现的,如:一个工厂装船货物数量的月度序列、公路事故发生数量的周度序列、一个化学过程的每小时观测值序列,等等。时间序列数据涉及的领域广泛,包括:经济学、商学、工程学、自然科学(尤其是地理物理学和气象学),以及社会科学。有关这一类数据的例子将是我们关心和讨论的,并将在时间序列图形中给予展示。时间序列固有的典型特征就是,相邻观测值之间的相互依赖性。在一个时间序列中,观测值之间的相互依赖性具有极大的实用价值。时间序列分析正是讨论这种观测值之间相互依赖性的一种分析技术。这要求为时间序列数据发展出随机动态模型,并在相关领域应用这些模型。

在本书随后的各章中,我们将展示如何建立、识别、拟合和检验时间序列模型与动态系统的方法。讨论的这些方法适用于离散系统(数据抽样),即系统观测值的采集是在相同时间间隔中。

我们在五个重要领域演示时间序列和动态系统的应用:

- 1) 根据当前值和过去值,预测一个时间序列的未来值。
- 2) 根据系统惯性,测算传递函数——即测算一个动态输入-输出模型,使这一模型可以显示任意给定的输入序列对于系统输出的影响。
- 3) 使用传递函数模型中的指示性输入变量,来展示和评估一个异常干扰事件对时间序列特征的影响。
- 4) 检查几个相关的时间序列变量的相关性,测算出适当的多变量动态模型,以表达基于时间上的变量间的联合关系。
- 5) 通过补偿目标输出系统的潜在偏差,来设计简单的控制方案。并进一步调整输入序列的值。

1.1 五个重要的现实问题

1.1.1 时间序列的预测

利用一个时间序列中时刻 t 获得的观测值,去预测它在某个未来时刻 $t + l$ 的值,这一方

法为以下事件提供了基础：①经济与商业计划，②生产计划，③库存和生产控制，④工业过程的控制和优化。正如 Holt 等[157]、Brown[79]以及《化工产业帝国》专著中对短期预测的原创性描述：预测常常需要提前一段时间做出，即所谓的提前期，而且视不同的问题还各自存在差异。例如，Harrison[143]在库存问题中将提前期定义为：从工厂发出补充库存订单开始，持续到订货交付到库存为止的一段时间。

我们假定观测值是在离散的、等间隔区间的时间段上得到的。例如，对一个销售预测的问题，在当前月份 t 的销售额 z_t ，以及过去几个月的销售额 $z_{t-1}, z_{t-2}, z_{t-3}, \dots$ 可以用来预测提前期 $l = 1, 2, 3, \dots, 12$ 个月的销售额。用 $\hat{z}_t(l)$ 记：在原点 t 对未来某个时刻 $t+l$ 的销售额 z_{t+l} 进行预测，即对提前期为 l 的预测。函数 $\hat{z}_t(l)$ 给出了在原点 t 对所有未来提前期的预测，且基于从时刻 t 开始现在值和过去值 $z_t, z_{t-1}, z_{t-2}, z_{t-3}, \dots$ 所获得的信息，函数 $\hat{z}_t(l)$ 被称为在原点 t 的预测函数。我们的目标是得到这样一个预测函数：使得对于每一个提前期 l ，实际值与预测值之间的偏差 $z_{t+l} - \hat{z}_t(l)$ 的均方尽可能小。

除了计算最佳预测值之外，确保预测的精确度也同样重要，因此，例如，基于这个预测所做出决策后的相关风险可以计算出来。预测的精度通过计算每个预测值两侧的概率限来表示。这些概率限可以通过对任一组概率的计算得出，比如 50% 和 95%。它们所指的是：最终发生的时间序列实现值将会以给定的概率落在这些界限内。为了说明起见，图 1-1 展示了汇集在时刻 t 的一个时间序列的最后 20 个值，并展示了在原点 t 对提前期 $l = 1, 2, \dots, 13$ 的预测值及 50% 的概率限。

得到预测值和估计概率限的方法，我们将在第 5 章中进行详细讨论。推导这些预测方法是基于假定时间序列 z_t 是遵循一个形式已知的随机模型。在第 3 章和第 4 章中介绍了一类非常有用的时间序列模型的特性，这类模型适合于描述 z_t 序列的特性，称之为自回归求和移动平均模型。随后，在第 6、7、8 章中探讨如何使用这些模型来拟合一个真实的时间序列数据以解决实际问题。相应的方法通过三步程序来加以描述：试探性模型识别或鉴别，模型参数估计，模型检验和诊断。

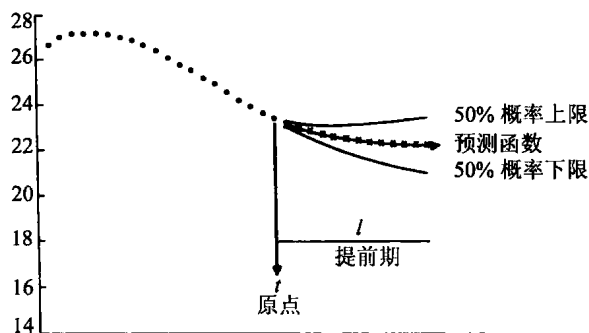


图 1-1 时间序列值与预测函数及 50% 概率限

1.1.2 传递函数的估计

工业领域一个有价值的议题就是对动态过程的研究[22, 162]。这一类研究可使：①实现对现有设备的更好控制；②改进新设备的设计。尤其是当几种方法被提出来估计设备单元的传递函数时，这些方法都是从输入时间序列 X_t 和输出时间序列 Y_t 所组成的过程记录出发。图 1-2 中显示了这样的记录，其中输入 X_t 是空气供应的速度，输出 Y_t 是反应炉中产生二氧化碳的浓度，观测值之间间隔 9 秒来采集。图中给出了一个假设的脉冲响应函数 $v_j, j = 0, 1, 2, \dots$ ，它通过输入 X_t 与输出

Y_t 之间动态线性关系的 $Y_t = \sum_{j=0}^{\infty} v_j X_{t-j}$ 形式，确定了系统的传递函数，并以柱形图加以表示。在第 11 章中，介绍了输入过程 X_t 和输出过程 Y_t 相关的传递函数模型，并考察了它们的许多特性。

根据输入确定性的扰动，比如阶跃、脉冲和正弦变化等，来估计传递函数的方法并不总是有效的。这是因为，对于那些相关的、可以容忍的干扰而言，系统的响应可能会被不可控的干扰所屏蔽，这些干扰统称为噪声。统计上用于估计传递函数的方法，允许系统噪声的存在，这将在第 12 章中描述。动态响应的估计在经济学、工程学、生物学和很多其他领域中都是非常有意义的。

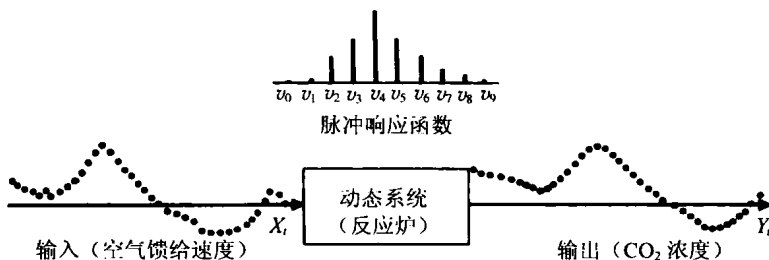


图 1-2 与一个动态系统有关的输入和输出时间序列

传递函数模型的另一个重要应用就是预测。例如，若能够确定两个时间序列 X_t 和 Y_t 之间的动态关系，则两个序列的过去值均可以用于对 Y_t 的预测。在一些情况下，这一方法可以大大减少预测的误差。

1.1.3 异常干扰事件对系统的影响分析

在一些场合下，我们可能知道一些异常的外部事件、干扰事件会影响研究中的时间序列 z_t 。这类干扰事件的例子包括新环境法规的采纳、经济政策的改变、罢工以及特殊促销活动等。在这些情况下，正如在 1.1.2 节中所讨论的，我们可以使用传递函数模型，以解释干扰事件对序列 z_t 的影响，但这里的“输入”序列将是简单的指示性变量形式，仅通过 1 或 0 的取值，来表示(定性地)该事件出现或不出现。

在上述情况中，干扰分析完成干扰事件对时间序列影响的定量测度。举例说明，Box 和 Tiao[73]利用干扰模型来研究空气污染控制对洛杉矶地区烟雾生成氧化物的影响，以及研究经济控制对美国消费价格指数的影响。此外，干扰分析还可用于序列 z_t 中任意异常值的调整，这些异常值可能正是干扰事件的结果。这样就可以保证时间序列分析的序列结果，如拟合模型结构、模型参数估计以及预测未来值等，都不致因异常值的影响而严重偏离。在第 13 章中将描述干扰分析模型及其应用，并同时考虑时间序列中偏离值和异常值检测的相关问题。

1.1.4 多元时间序列的分析

在商业、经济学、工程学、物理学和环境科学的许多问题中，时间序列分析中可能会涉及许多相关的变量。考虑到个体序列是作为多元变量或时间序列向量的组成成分，以及考虑到序列间的联合分析，则我们可以获得一个更有效的分析方法。比如在一个动态系统中的 k 个相关时间序列变量，我们命名这些序列为 $z_{1t}, z_{2t}, \dots, z_{kt}$ ，且令 $Z_t = (z_{1t}, \dots, z_{kt})'$ 表示时刻 t 的 $k \times 1$ 维时间序列向量。

多元时间序列分析方法被应用于对组成一个向量 Z_t 的多个时间序列动态关系的分析。这其中涉及统计模型的发展，以及对序列间相互关系充分描述的模型分析。时间序列向量的联合建模与分析旨在达到两个目的：①获得一个对序列中跨越时间的动态关系的理解；②利用相关序列中的补充信息来提高对个体序列的预测准确性。对于多元时间序列模型的描述、模型分析以及基于这些模型对多元序列的预测等内容详见第 14 章。

1.1.5 离散控制系统

过去，对统计学家而言，“过程控制”通常是指最初由 Shewhart[261](又见 Dudding 和 Jennet [107])在美国提出的质量控制技术。近年来，有关质量控制的系列议题重新受到重视，由此导致