

现代外国统计学优秀著作译丛

时间序列分析 预测与控制

TIME SERIES ANALYSIS
FORECASTING AND CONTROL

[美] George E. P. Box

[英] Gwilym M. Jenkins 著

[美] Gregory C. Reinsel

顾 岚 主译

范金城 校译

中国统计出版社

现代外国统计学优秀著作译丛

时间序列分析 预测与控制

(第二版)

[美]
[英]
[美]

George E. P. Box

Gwilym M. Jenkins

Gregory C. Reinsel

顾岚

范金城

著

主译

校译

中国统计出版社

(京)新登字041号

图书在版编目 (CIP) 数据

时间序列分析: 预测与控制 (美) 博克斯 (Box, G.E.P.) 等著;
顾岚主译. — 北京: 中国统计出版社, 1997.9

(现代外国统计学优秀著作译丛)

书名原文:

Time Series Analysis: Forecasting and Control

ISBN 7-5037-2406-4

I. 时...

II. ①博... ②顾...

III. 时间序列分析

IV. O211.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02470 号

著作权合同登记: 图字 01-97-0390 号

中国统计出版社出版

(北京三里河月坛南街 75 号 100826)

新华书店经销

科伦克三莱印务 (北京) 有限公司印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 22.375 印张 56 万字

1997 年 9 月第 1 版 1999 年 1 月北京第 2 次印刷

印数: 3001—6000 册

*

定价: 49.00 元

(版权所有 不得翻印)

现代外国统计学优秀著作译丛

专家委员会

主任:

翟立功 国家统计局副局长

副主任:

贺铿 国家统计局副局长

王吉利 国家统计局统计教育中心主任

委员:

刁锦襄 美国芝加哥大学商学院 教授

吴建福 美国密西根大学统计系 教授

孟晓犁 美国芝加哥大学统计系 博士

张尧庭 上海财经大学数量经济研究所 教授

茆诗松 华东师范大学数理统计系 教授

陈家鼎 北京大学概率统计系 教授

郑祖康 复旦大学统计与运筹系 教授

吴喜之 南开大学数学系 教授

袁卫 中国人民大学统计系 教授

邱东 东北财经大学统计系 教授

郝国印 国家统计局统计教育中心副主任

谢鸿光 中国统计出版社副总编

办公室:

刘启荣 国家统计局统计教育中心教材处处长

严建辉 中国统计出版社第二书籍编辑部主任

李毅 国家统计局统计教育中心教材处副处长

出版说明

为了加强对国外统计理论与实践的研究和了解，全面反映国外统计科研和教学的发展，促进我国统计教学改革和教材内容更新，在国家统计局领导的大力支持下，全国统计教材编审委员会组织翻译出版了这套“现代外国统计学优秀著作译丛”。

随着我国社会主义市场经济体制的逐步建立，统计教育正面临着十分严峻的挑战。一方面，在社会主义市场经济条件下，不论国家的宏观经济调控还是企业的生产经营管理，都要求准确地把握市场运行的态势，科学地分析经济中各种错综复杂的关系，因而，对统计信息的需求越来越大，对统计人材的业务素质提出了更高的要求；另一方面，我国过去的统计教育模式是按为高度集中的计划经济管理服务的要求而建立的，培养统计人才的知识结构比较单一，难以适应经济体制、统计体制改革的需要。为使统计人才的培养适应建立社会主义市场经济体制的需要，满足二十一世纪现代化建设的要求，缩小与国际先进水平的差距，基础在教育，关键在教材。在继续组织有关专家、学者编写一批反映国内统计科学和统计实践发展的新教材的同时，必须尽快引进并翻译出版一批外国先进统计教

材。这是学习外国先进统计知识的一种十分有效的方式，对于推动我国统计教材内容更新和教学改革，造就一大批具有渊博知识和多方面业务技能的复合型人才，具有十分重要的意义。

为了做好这套丛书的翻译出版工作，全国统计教材编审委员会成立了现代外国统计学优秀著作译丛专家委员会，对国外统计著作的出版和使用情况进行了调查研究，分析了国内对外国统计教材的需求，在此基础上制定了翻译著作选题规划。在这套丛书的翻译出版工作中，我们得到了国内外有关专家、有关院校统计系和国外有关出版公司的大力帮助和支持，在此表示衷心的感谢。

全国统计教材编审委员会

1995年7月

译者序

自 1970 年 G.E.P. Box 和 G.M. Jenkins 的《Time Analysis: Forecasting and Control》一书问世以来,时间序列分析方法的研究和应用飞速发展。在我国国内已出版了较多这方面的著作和论文,一些财经类院校及统计专业也开设了时间序列分析课程。时至今日,我们重读这本时间序列分析的名家经典之作,依然被深深地吸引,书中直观而深刻的思想,简明而令人信服的应用实例都值得认真地分析和研读。本书是由国家统计局教育中心委托翻译的,是“现代外国统计学优秀著作译丛”之一。该书由中国人民大学统计学系顾岚主译,参加翻译的有几位在读硕士研究生。具体分工如下:前言(阎军),第 1~5 章(王一军),第 6~10 章(李国梁,阎军),第 11~13 章(阎军),习题(王一军),全书由顾岚统纂定稿。全部译稿由西安交通大学管理学院范金城教授认真仔细地校译评阅。国家统计局统计教材处和中国统计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教学工作的发展有所帮助。由于时间和水平有限,难免存在许多不足之处,敬请读者批评指正。

译者

1997 年 5 月

序

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,模型的估计、识别和检验,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《〈时间序列分析:预测和控制〉》第一版面世的同时,有关上述专题的研究掀起了巨大的热潮。因此,在这一版中,在有关时间序列分析的一些基本原理仍保持原样的同时,也汇入了由众多作者提供的大量新思想、新的修正和改进。

在本书上一版写作期间, Gwilym Jenkins 正以非凡的勇气与一场慢性衰竭病症作斗争。在本次修订中,作为对他的纪念,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 ARMA 模型的估计作了相当大的修改。另外,我们引入一些全新的章节,用以介绍自第一版之后发展起来的重要专题。它们包括新近发展的多种有关模型鉴别方法的介绍,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及在似然估计和预报中的应用,模型诊断的得分检验(score test),时间序列模型中的结构分量、确定性分量,及基于回归时间序列模型方法的估计。第12章是全新的,它介绍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关注热点和研究工作。

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,本书中有关控制的章节完全是重写的,以便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。

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

我们对 Meg(Margaret) Jenkins 和我们的妻子 Claire 和 Sandy 致以诚挚的感谢，在修订本书的漫长订正阶段，他们始终不懈地给予支持和帮助。

原书的有关研究曾得到空军科学研究办公室和大英科学研究理事会的支持。第三版中的有关研究部分地得到 Alfred P. Sloan 基金和国家航空和空间署的支持。我们感谢 E. S. Pearson 教授和生物计量学委员会，允许我们重印由 E. S. Pearson 和 H. O. Hartley 所编制并在 *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol.1 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。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, 在上一版的修订中他们以不同的方式给予帮助，在此一并致谢。

George Box 和 Gregory Reinsel

目 录

序

1	引 言	(1)
1.1	四个重要的实际问题	(2)
1.1.1	时间序列的预报	(2)
1.1.2	传递函数的估计	(3)
1.1.3	异常干预事件对系统影响的分析	(5)
1.1.4	离散控制系统	(5)
1.2	随机性和确定性的动态数学模型	(7)
1.2.1	用于预报和控制的平稳和非平稳随机模型	(8)
1.2.2	传递函数模型	(13)
1.2.3	离散控制系统的模型	(16)
1.3	建模的基本思想	(17)
1.3.1	简约性	(17)
1.3.2	模型选择的反复步骤	(18)

第一部分 随机模型及其预报

2	平稳过程的自相关函数和谱	(23)
2.1	平稳模型自相关的性质	(23)
2.1.1	时间序列和随机过程	(23)
2.1.2	平稳随机过程	(26)
2.1.3	正定性和自协方差阵	(29)
2.1.4	自协方差和自相关函数	(31)
2.1.5	自协方差函数和自相关函数的估计	(33)
2.1.6	自相关估计的标准差	(35)

2.2 平稳模型的频谱特性	(38)
2.2.1 时间序列的周期图	(38)
2.2.2 方差分析	(39)
2.2.3 谱和谱密度函数	(42)
2.2.4 自协方差和谱密度函数的一些简单例子	(46)
2.2.5 自协方差和谱密度函数的优点及不足	(48)
A2.1 样本谱和自相关函数估计之间的联系	(49)
3 线性平稳模型	(51)
3.1 一般线性过程	(51)
3.1.1 线性过程的两种等价形式	(51)
3.1.2 线性过程的自协方差生成函数	(54)
3.1.3 线性过程的平稳性和可逆性条件	(56)
3.1.4 自回归和滑动平均过程	(58)
3.2 自回归过程	(60)
3.2.1 自回归过程的平稳性条件	(60)
3.2.2 自回归过程的自相关函数和谱	(62)
3.2.3 一阶自回归 (Markov) 过程	(65)
3.2.4 二阶自回归过程	(67)
3.2.5 偏自相关函数	(73)
3.2.6 偏自相关函数的估计	(76)
3.2.7 偏自相关估计的标准差	(77)
3.3 滑动平均过程	(78)
3.3.1 滑动平均过程的可逆性条件	(78)
3.3.2 滑动平均过程的自相关函数和谱	(80)
3.3.3 一阶滑动平均过程	(81)
3.3.4 二阶滑动平均过程	(83)
3.3.5 自回归和滑动平均过程之间的对偶性	(86)
3.4 自回归滑动平均混合过程	(87)
3.4.1 平稳与可逆性质	(87)
3.4.2 混合过程的自相关函数和谱	(88)
3.4.3 一阶自回归 —— 一阶滑动平均过程	(90)
3.4.4 总结	(96)
A3.1 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	(96)

A3.2	计算自回归参数估计值的递推方法	(98)
4	线性非平稳模型	(101)
4.1	求和自回归滑动平均过程	(101)
4.1.1	非平稳一阶自回归过程	(101)
4.1.2	描述同质性非平稳过程的一般模型	(104)
4.1.3	求和自回归滑动平均过程的一般形式	(109)
4.2	求和自回归滑动平均模型的三种显式	(112)
4.2.1	模型的差分形式	(113)
4.2.2	模型的随机冲击形式	(113)
4.2.3	模型的逆转形式	(121)
4.3	求和滑动平均过程	(124)
4.3.1	$(0,1,1)$ 阶求和滑动平均过程	(125)
4.3.2	$(0,2,2)$ 阶求和滑动平均模型	(130)
4.3.3	一般的 $(0,d,q)$ 阶求和滑动平均过程	(135)
A4.1	线性差分方程	(138)
A4.2	具有确定性偏差的 $IMA(0,1,1)$ 过程	(144)
A4.3	带有附加噪声的 $ARIMA$ 过程	(145)
A4.3.1	两个独立滑动平均过程之和	(145)
A4.3.2	附加噪声对一般模型的影响	(145)
A4.3.3	附加白噪声 $IMA(0,1,1)$ 过程的例子	(147)
A4.3.4	$IMA(0,1,1)$ 过程和随机游动之间的关系	(148)
A4.3.5	附加相关噪声一般过程的协方差函数	(148)
5	预 报	(150)
5.1	最小均方误差预报及其性质	(150)
5.1.1	最小均方误差预报的推导	(152)
5.1.2	预报的三种基本形式	(155)
5.2	预报的计算和修正	(159)
5.2.1	进行预报的方便格式	(159)
5.2.2	ψ 权的计算	(161)
5.2.3	ψ 权在修正预报值中的应用	(162)
5.2.4	任意提前期预报概率置信限的计算	(164)
5.3	预报函数和预报权	(166)

5.3.1 自回归算子所确定的最终预报函数	(167)
5.3.2 滑动平均算子在确定初值中的作用	(168)
5.3.3 提前 l 期预报的权函数	(170)
5.4 预报函数及其修正的例子	(172)
5.4.1 IMA(0,1,1) 过程的预报	(173)
5.4.2 IMA(0,2,2) 过程的预报	(176)
5.4.3 一般 IMA(0,d,q) 过程的预报	(179)
5.4.4 自回归过程的预报	(180)
5.4.5 (1,0,1) 过程的预报	(184)
5.4.6 (1,1,1) 过程的预报	(186)
5.5 状态空间模型公式用于精确预报	(188)
5.5.1 ARIMA 过程的状态空间模型表示	(188)
5.5.2 用于预报的 Kalman 滤波关系式	(189)
5.6 总结	(192)
A5.1 预报误差之间的相关	(195)
A5.1.1 不同时间原点预报误差的自相关函数	(195)
A5.1.2 在某一时间原点上不同提前期预报误差之间的相关	(197)
A5.2 任意提前期的预报权	(198)
A5.3 采用一般求和形式的预报	(201)
A5.3.1 得出求和形式的一般方法	(201)
A5.3.2 一般求和形式的修正	(203)
A5.3.3 与折扣最小平方方法的比较	(204)

第二部分 随机模型的建立

6 模型识别	(211)
6.1 识别的目的	(211)
6.1.1 识别过程的步骤	(212)
6.2 识别技巧	(212)
6.2.1 自相关和偏相关函数在识别中的应用	(212)
6.2.2 自相关和偏相关估计的标准差	(216)
6.2.3 一些实际时间序列的识别	(217)
6.2.4 其它模型识别的工具	(225)
6.3 参数的初估计	(231)

6.3.1	由自协方差函数所得估计的唯一性	(231)
6.3.2	滑动平均过程的初估计	(231)
6.3.3	自回归过程的初估计	(234)
6.3.4	自回归滑动平均混合模型的初估计	(235)
6.3.5	在不确定场合对平稳和非平稳模型的抉择	(237)
6.3.6	对 ARIMA 模型单位根更正规的检验	(237)
6.3.7	残差方差的初估计	(242)
6.3.8	$\bar{w}$ 的近似标准差	(242)
6.4	模型的多重性	(245)
6.4.1	自回归滑动平均模型的多重性	(245)
6.4.2	滑动平均参数的多重矩法求解	(248)
6.4.3	反向过程用于确定初值	(249)
A6.1	非平稳过程自相关估计值的期望特征	(250)
A6.2	得到自回归滑动平均混合模型参数初估计的一般方法	(251)
7	模型的估计	(256)
7.1	似然函数和平方和函数的研究	(256)
7.1.1	似然函数	(256)
7.1.2	ARIMA 过程的条件似然	(258)
7.1.3	对于条件计算的初值选择	(259)
7.1.4	非条件似然; 平方和函数; 最小二乘估计	(261)
7.1.5	计算非条件平方和的一般方法	(266)
7.1.6	最小平方和函数的图形研究	(272)
7.1.7	估计态势“状态良好”的描述; 置信区域	(275)
7.2	非线性估计	(283)
7.2.1	一般的近似方法	(283)
7.2.2	导数的数值估计	(285)
7.2.3	导数的直接估算	(287)
7.2.4	条件模型的一般最小二乘算法	(289)
7.2.5	对于序列 A 到 F 拟合模型的总结	(292)
7.2.6	大样本信息阵和协方差估计	(293)
7.3	对具体模型的一些估计结果	(298)
7.3.1	自回归过程	(298)
7.3.2	滑动平均过程	(301)
7.3.3	混合过程	(301)

7.3.4	在估计中线性和非线性分量的分离	(302)
7.3.5	参数冗余	(304)
7.4	使用 Bayes 原理的估计	(307)
7.4.1	Bayes 原理	(307)
7.4.2	参数的 Bayes 估计	(309)
7.4.3	自回归过程	(310)
7.4.4	滑动平均过程	(313)
7.4.5	混合过程	(315)
7.5	基于状态空间模型的似然函数	(316)
A7.1	正态分布理论的回顾	(321)
A7.1.1	正定二次型的分块	(321)
A7.1.2	两个有用的积分	(322)
A7.1.3	正态分布	(323)
A7.1.4	学生 t -分布	(326)
A7.2	线性最小二乘原理的回顾	(329)
A7.2.1	正规方程	(329)
A7.2.2	残差方差的估计	(330)
A7.2.3	估计值的协方差阵	(331)
A7.2.4	置信域	(331)
A7.2.5	相关误差	(331)
A7.3	滑动平均和混合过程的精确似然函数	(332)
A7.4	自回归过程的精确似然函数	(341)
A7.5	参数估计误差对预报概率限影响的例子	(351)
A7.6	关于滑动平均参数估计的特别注记	(355)
8	模型的诊断检验	(356)
8.1	随机模型的检验	(356)
8.1.1	基本原理	(356)
8.1.2	过拟合	(357)
8.2	应用于残差的诊断检验	(361)
8.2.1	自相关检验	(361)
8.2.2	拟合不足的一揽子检验	(363)
8.2.3	参数值改变引起的模型不当	(366)
8.2.4	用于模型检验的得分检验	(367)

8.2.5	累积周期图检验	(370)
8.3	利用残差修正模型	(374)
8.3.1	使用不正确模型时残差的相关特征	(374)
8.3.2	利用残差修正模型	(376)
9	季节模型	(377)
9.1	季节时间序列的简约模型	(377)
9.1.1	拟合与预报	(378)
9.1.2	包含自适应正弦、余弦项的季节模型	(379)
9.1.3	一般的乘积季节模型	(380)
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	(383)
9.2.1	乘积 $(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ 模型	(384)
9.2.2	预报	(385)
9.2.3	识别	(394)
9.2.4	估计	(397)
9.2.5	诊断检验	(402)
9.3	更一般季节模型的某些方向	(404)
9.3.1	乘积和非乘积模型	(404)
9.3.2	识别	(406)
9.3.3	估计	(408)
9.3.4	各种序列的最终预报函数	(409)
9.3.5	变换的选择	(411)
9.4	结构分量模型和确定性季节分量	(412)
9.4.1	确定的季节和趋势分量及公因子	(413)
9.4.2	带有回归项和时间序列误差项的模型	(415)
A9.1	某些季节模型的自协方差	(420)

第三部份 传递函数模型的建立

10	传递函数模型	(427)
10.1	线性传递函数模型	(427)
10.1.1	离散传递函数	(428)
10.1.2	用微分方程表示的连续动态模型	(431)
10.2	差分方程表示的离散动态模型	(436)

10.2.1	差分方程的一般形式	(436)
10.2.2	传递函数的性质	(438)
10.2.3	一阶和二阶离散传递函数模型	(440)
10.2.4	对于任意输入递推计算输出	(446)
10.2.5	附加噪声的传递函数模型	(448)
10.3	离散模型和连续模型的关系	(449)
10.3.1	对于脉冲化输入的响应	(449)
10.3.2	一阶和二阶相合系统的关系	(452)
10.3.3	用离散模型近似一般的连续模型	(455)
A10.1	具有脉冲式输入的连续模型	(457)
A10.2	非线性传递函数与线性化	(462)
11	传递函数模型的识别、拟合及检验	(466)
11.1	互相关函数	(467)
11.1.1	互协方差和互相关函数的性质	(467)
11.1.2	互协方差和互相关函数的估计	(470)
11.1.3	互相关估计的近似标准差	(472)
11.2	传递函数模型的识别	(474)
11.2.1	对预白噪声化输入传递函数模型的识别	(477)
11.2.2	传递函数模型识别的例子	(478)
11.2.3	噪声模型的识别	(482)
11.2.4	传递函数模型识别的一般考虑	(484)
11.3	传递函数模型的识别与拟合	(487)
11.3.1	条件平方和函数	(487)
11.3.2	非线性估计	(490)
11.3.3	用残差进行诊断检验	(492)
11.3.4	用于残差的具体检验	(494)
11.4	拟合及检验传递函数模型的一些例子	(497)
11.4.1	煤气炉模型的拟合及检验	(497)
11.4.2	两输入的模拟例子	(502)
11.5	使用领先指标的预测	(505)
11.5.1	最小均方误差预测	(506)
11.5.2	煤气炉输出 CO_2 的预测	(510)
11.5.3	使用领先指标对非平稳销售额数据的预报	(514)
11.6	估计传递函数有关的试验设计方面的问题	(516)