



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国统计教材编审委员会“十一五”规划教材



应用时间序列分析

第二版

★ 王振龙 主编



中国统计出版社
China Statistics Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国统计教材编审委员会“十一五”规划教材



教育部(115)自然科学与数学

教育部(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会

应用时间序列分析

王振龙(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会

第二版

教育部(115)统计教材编审委员会

★王振龙 主编

教育部(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会

教育部(115)统计教材编审委员会



中国统计出版社
China Statistics Press

(京)新登字 041 号

图书在版编目(CIP)数据

应用时间序列分析/王振龙主编. —北京:中国
统计出版社, 2010. 5

ISBN 978 - 7 - 5037 - 5933 - 8

I. ①应… II. ①王… III. ①时间序列分析—高等学
校—教材 IV. ①O211. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 068725 号

应用时间序列分析

作 者/王振龙

责任编辑/吕 军 钟 钰

装帧设计/艺编广告

出版发行/中国统计出版社

通信地址/北京市西城区月坛南街 57 号 邮政编码/100826

办公地址/北京市丰台区西三环南路甲 6 号

网 址/[www. stats. gov. cn/tjshujia](http://www.stats.gov.cn/tjshujia)

电 话/邮购(010)63376907 书店(010)68783172

印 刷/河北天普润印刷厂

经 销/新华书店

开 本/710×1000mm 1/18

字 数/360 千字

印 张/22. 5

印 数/1—3000 册

版 别/2010 年 5 月第 1 版

版 次/2010 年 5 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978 - 7 - 5037 - 5933 - 8/O · 73

定 价/40. 00 元

中国统计版图书, 版权所有。侵权必究。

中国统计版图书, 如有印装错误, 本社发行部负责调换。

出版说明

“十一五”时期是继续深化教育改革,加强素质教育,努力建设有利于创新型科技人才成长的教育体系的关键时期。为了更好地培育统计创新型科技人才,适应统计教育发展的新形势,全国统计教材编审委员会制定了《“十一五”全国统计教材建设规划》(以下简称规划)。规划坚持“以人为本”的科学发展观,坚持统计教育与实践相结合,坚持统计教育同国际接轨,坚持培养创新型的统计人才的指导思想,编写符合国民经济发展需要和统计事业发展需要的统计教材。

这批教材是在深入分析统计教育形势和统计教材建设发展状况,总结多年来统计教材建设经验的基础上,本着以建设本科统计教材为主的方针,积极探索研究生层次的统计教材,力争使规划统计教材的编写做到层次分明,有针对性和实用性。建设精品教材,是编委会自成立以来孜孜以求的目标。考虑到统计教材建设的实际情况,“十一五”期间,本科教材主要以修订为主,对以往规划统计教材中使用面广,得到广大教师和学生普遍认可的教材组织了修订。修订后的教材,淘汰了过时的内容和例子,增加了计算机操作和大量的案例,编写手法也做了一定的调整,在实用性、可操作性等方面有了较大的改进。

近年来,我国现代化建设快速发展,高等教育规模持续扩大,尤其是研究生教育规模的扩大,使得高等学校研究生统计教学工作面临着许多新情况、新问题,任务艰巨。因此,必须坚持科学发展观,在规模持续发展的同时,把提

高研究生统计教学质量放在突出的位置,培养全面发展的创新型的统计人才。教材是统计教学的载体,建设高质量的研究生层次的统计教材是统计教育发展的需要。因此,编委会在“十一五”期间对研究生的统计基础课教材做了些有益的探索。根据《规划》的要求,这批教材主要采取招标和邀请的方式组织有关院校的专家、学者编写。

值得特别提出的是,在这批教材中,有《非参数统计》、《概率论与数理统计》、《经济计量学教程》、《医学统计》、《应用时间序列分析》、《多元统计分析》、《统计学》、《统计指数理论及应用》、《现代金融投资统计分析》9种教材入选国家教育部组织编写的“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,更加充实和完善了“十一五”期间统计教材的建设。

为了便于教学和学习,这批教材里面包含了与之相配套的《学习指导与习题》,使得这批教材在编辑出版上形成了比较完整的体系。我们相信,这批教材的出版和发行,对于推动我国统计教育改革,加快我国统计教材体系和教材内容更新、改造的步伐,打造精品教材,都将起到积极的促进作用。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足,诚恳欢迎教材的使用单位、广大教师和同学们提出批评和建议。

全国统计教材编审委员会

2006年6月

前 言

《时间序列分析》是普通高等教育“九五”国家重点教材,也是全国统计教材编审委员会“九五”本科规划教材。本教材的编写大纲几经编审委员会和专家组讨论、修改,专家们对教材的内容体系和写法提供了许多具体的宝贵意见和有价值的参考书目与材料,为本书的完成奠定了坚实的基础。

近几年来,时间序列分析引起了国内外学者及科研和管理人员的极大兴趣,特别是随着计算机的普及和软件的开发应用,对于只具一般数学知识的学者和广大的工程技术及管理人员学习和掌握时间序列分析方法,并用以分析、探索社会经济现象的动态结构和发展变动规律,进而对未来状态进行预测控制,提供了现实可能性,且在诸多应用领域已取得了可喜成果。

由于社会经济现象往往受许多因素的影响,且这些因素之间又保持着错综复杂的联系,因而,运用结构式的因果模型进行分析和预测往往比较困难,而根据其自身的变动规律建立动态模型(即时间序列分析)则是一种行之有效的方法。但是,近几年国内已出版(包括翻译)的这方面的专著教材,主要是面向数学及理工类读者,因而所涉及的数学理论较深奥,往往使经济和管理类的学生和实际工作者望而生畏,客观上迫切需要一本通俗、易懂、实用的教材。因此,“通俗、易懂、实用”就成了编写本教材的主要指导思想,也是煞费苦心,竭尽全力追求的终极目的。

本书从应用的角度出发,试图借助计算机的存贮功能

和计算功能来抽象掉其深奥的数学理论和复杂的运算,从而使只具一般数学知识的读者便可掌握和运用时间序列分析方法。在阐述种,尽可能回避严格的数学推导和证明,而从系统运动的惯性(即记忆性)加以解释和展开,或者说,本书把时序分析看作是一种统计分析工具,而不是数学的一个分支理论。对于“工具”来说,使用者只要知道其特性、功能和使用方法以及使用过程中应注意的有关事项就足够了,至于其制造原理及过程,当然熟悉更好,不了解也无关乎其使用。鉴于这样的认识,全书没有运用深奥的定理,因而也就勿须定理证明。模型的形成来自于对系统记忆性的长短及其特性的剖析,一些数学推导也只涉及高等数学、线性代数和概率论与数理统计的一般知识。

为了使读者通过建模练习来掌握时间序列分析的基本思路和方法,书中除了给出“时间序列分析软件”(TSP)的使用说明外,还搜集了近20个实际数据,以供读者练习之用。

当然,说本书强调应用,是相对于数学定理推证而言的,在阐述中力图做到理论严谨,逻辑严密,以形成相应于读者认知结构的时间序列分析理论和方法体系。不过,这仅是我们的愿望而已,由于才疏学浅,水平有限,书中一定会有错误和不妥之处,尤其是为了尽量避免使用数学语言和定理及证明手段,在用描述语言和系统机理表述模型结构及其原理和特性时,可能从数学的角度看会有不准确、不严格之处,恳请读者批评指正。

本书由王振龙同志任主编,全书共八章。其中第一、二、三章由王振龙编写;第四、五、八章由胡永宏编写;第六章由胡永宏和王佐仁编写;第七章由王振龙和王佐仁编写。全书由王振龙总纂、修改定稿。

初稿形成后由顾岚教授主审,提出了很多宝贵的修改意见,同时在编写过程中参阅了大量的资料,并引用了一些现成的数据和科研成果。除书中提到的主要参考书目

以外,还需提到的是美国芝加哥大学商学院刁锦寰教授、美国费城大学管理学院陈江教授和台湾辅仁大学管理学院统计系主任谢邦昌教授1997年11月在国家统计局教育中心和中国经济教育学会举办的“时间序列分析高级研究班”上的讲座,对我们有很大的启发和帮助,其它资料恕不例举。此外,国家统计局教育中心的领导和教材处同志以及我的同仁和学生给予了很多的支持和帮助,在此,一并致以真诚的感谢。

王振龙

1999年7月于西安

修订说明

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是普通高等教育“九五”国家级重点教材的修订版。本书源自1987年《时间序列分析讲义》,在五年多的使用中,不断修改、完善,1992年由蓝天出版社正式出版,国内多家财经类院校的统计学专业使用。1996年被作为“九五”国家级重点教材重新组织编写,并于2000年由中国统计出版社出版,至2008年先后经过7次印刷,共计发行30,000多册。在使用过程中,广大师生提出了许多修改、完善的意见和建议。2006年,在国家“十一五”规划教材招标中获准立项后,全体参编人员进行了广泛调研,倾听教师和学生的意见和建议,在此基础上,结合新世纪统计学专业的课程体系和教学规范,完成了本次修订工作。因此,可以说本书是二十多年来所有使用者,尤其是长期使用该教材的教师及学生的智慧结晶。

在本次修订中,由原来的8章增加至11章。各学校在使用中,可根据教学对象和教学时数对部分章节、或内容进行删减,或补充。

参与本次修订工作的有王振龙教授(第1、2、3、4章)、胡永宏副教授(第5、6、9、10章)、王佐仁教授(第7、8章)、李佼瑞副教授(第11章)。全书由王振龙教授改写、总纂、定稿。

在书稿征求意见和讨论中,不少院校负责人给予了大力支持,各校主讲教师提供了许多宝贵经验,同学们提出了大量具体意见;

在写作过程中,诸位参编者所在单位给予了大力支持;

在修订过程中,参考、引用、或借鉴了大量国内外的相关文献资料,除在书中提到的主要参考文献外,还参阅和吸收了许多同仁的文献和研究成果,恕不一一列举;

在书稿整理过程中,西安财经学院张莉老师和王凯同学做了大量工作,付出了艰辛的劳动;

在出版过程中,国家统计局教育中心、中国统计出版社等有关部门的领导及具体负责人员给予了高度重视和有利的帮助;

.....

在此,一并表示感谢!

一本教材是所有教者和学者智慧的结晶,衷心地感谢所有的使用者,特别是提出宝贵意见的各位贤达!也真心希望,大家更加关心、关爱和关注本教材,将大家在使用中的意见、建议和心得无私地及时反馈,使之不断完善,我们将不胜感谢!

王振龙于西安

2009年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 时间序列分析的一般问题	2
1.2 时间序列基本样式	9
1.3 时间序列分析工具	29
本章小结	39
思考与练习	40
第 2 章 时间序列的预处理	41
2.1 时间序列的建立	41
2.2 非平稳时间序列平稳化的处理	42
2.3 异常值的处理	50
本章小结	58
思考与练习	58
第 3 章 平稳时间序列模型	59
3.1 线性平稳时间序列的基本概念	59
3.2 一阶自回归模型	68
3.3 一般自回归模型	71
3.4 移动平均模型	74
3.5 自回归移动平均模型	75
本章小结	80
思考与练习	81
第 4 章 ARMA 模型的特性	82
4.1 格林函数和平稳性	82
4.2 逆函数和可逆性	106
4.3 自协方差函数	112
4.4 自谱	121
本章小结	129
思考与练习	130
第 5 章 平稳时间序列模型的建立	132
5.1 模型识别	133
5.2 模型定阶	136

5.3	模型参数估计	142
5.4	模型的适应性检验	145
5.5	Pandit-Wu 建模方法	148
5.6	建模实例	150
	本章小结	155
	思考与练习	156
第 6 章	平稳时间序列预测	157
6.1	条件期望预测	158
6.2	预测的三种形式	159
6.3	预测值的适时修正	167
	本章小结	169
	思考与练习	170
第 7 章	趋势性时间序列模型	171
7.1	趋势性时间序列的重要特征	171
7.2	随机时间序列的趋势性检验	172
7.3	平稳化的方法	178
7.4	趋势模型	183
	本章小结	200
	思考与练习	201
第 8 章	季节性时间序列分析方法	203
8.1	季节时间序列的重要特征	203
8.2	季节性时间序列模型	205
8.3	季节性检验	209
8.4	季节时间序列模型的建立	212
8.5	X-12-ARIMA 方法简介	220
	本章小结	232
	思考与练习	233
第 9 章	条件异方差模型	235
9.1	基本条件异方差模型的转性	236
9.2	条件异方差模型的建立	240
9.3	几种扩展模型	251

目 录

本章小结	256
思考与练习	257
第 10 章 传递函数模型	258
10.1 模型简介	259
10.2 传递函数模型的识别	263
10.3 传递函数模型的拟合与检验	270
10.4 干预模型	274
本章小结	280
思考与练习	281
第 11 章 非线性与多元时间序列模型	283
11.1 非线性时间序列	283
11.2 多元平稳序列	286
11.3 多元 AR 模型	287
11.4 伪回归及平稳性检验	289
11.5 协整检验	294
本章小结	296
思考与练习	296
参考文献	297
附录 I 数据资料	298
附录 II 常用统计量分布表	339

第 1 章

绪 论

本章介绍时间序列分析的基本思想,通过时间序列基本样式的分析使学生对时间序列分析有个整体上的认识,并介绍了常用的几种时间序列分析工具,为学习和掌握运用时间序列分析方法认识问题奠定基础。具体要求:①理解时间序列的基本特征;②了解时间序列分析的基本思想;③了解时间序列的基本样式及特征。

人们的一切活动,其根本目的无不在于认识和改造客观世界。时间序列分析不仅可以从数量上揭示某一现象的发展变化规律或从动态的角度刻画某一现象与其他现象之间的内在数量关系及其变化规律性,达到认识客观世界之目的。而且运用时序模型还可以预测和控制现象的未来行为,修正或重新设计系统以达到利用和改造客观之目的。从统计学的内容来看,统计所研究和处理的是一批有“实际背景”的数据,尽管数据的背景和类型各不相同,但从数据的形成来看,无非是横剖面数据和纵剖面数据两类(或者叫做静态数据和动态数据)。横剖面数据是由若干相关现象在某一时点上所处的状态组成的,它反映一定时间、地点等客观条件下诸相关现象之间存在的内在数值联系。研究这种数据结构的统计方法是多元统计分析。纵剖面数据是由某一现象或若干现象在不同时刻上的状态所形成的数据,它反映的是现象以及现象之间关系的发展变化规律性。研究这种数据的统计方法就是时间序列分析。就此足以看出时序分析的重要性及其应用的广泛性。

1.1 时间序列分析的一般问题

时间序列的含义

从统计意义上讲,所谓时间序列就是将某一个指标在不同时间上的不同数值,按照时间的先后顺序排列而成的数列。这种数列由于受到各种偶然因素的影响,往往表现出某种随机性,彼此之间存在着统计上的依赖关系。如表 1.1 中列出的是中国 2000 年 1 月—2007 年 6 月各月入境旅游人数数据(单位:百万人),按时间顺序排成一个数列,就是一个时间序列。相对于时间的数据图如图 1.1 所示。

表 1.1 中国 2000 年 1 月—2007 年 6 月各月入境旅游人数数据

(单位:百万人)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	645.1	607	664.5	748.1	674.4	674.9	743.5	757.3	712.3	725.1	696.4	706.8
2001	717.2	611.4	753.3	779.7	707.9	711.8	745.4	809.1	741.3	757.7	749.7	815.1
2002	740.7	711	839.5	807.8	787.9	795.8	849.4	890.7	865.1	869.6	841.9	866.1
2003	848.4	737.6	785.1	761.4	707	652.6	776.9	884.4	807.6	855	828.4	876.7
2004	808.7	753.3	855.2	954.7	877.5	893.4	959	971.6	917.5	988.2	935.2	989.6
2005	938.1	855.9	1028	1025	995.1	989.4	1076	1067	988.8	1055	990.8	1018
2006	998.9	871.4	1003	1097	1002	1000	1090	1115	1044	1138	1042	1033
2007	1023	933.1	1090	1152	1073	1067						

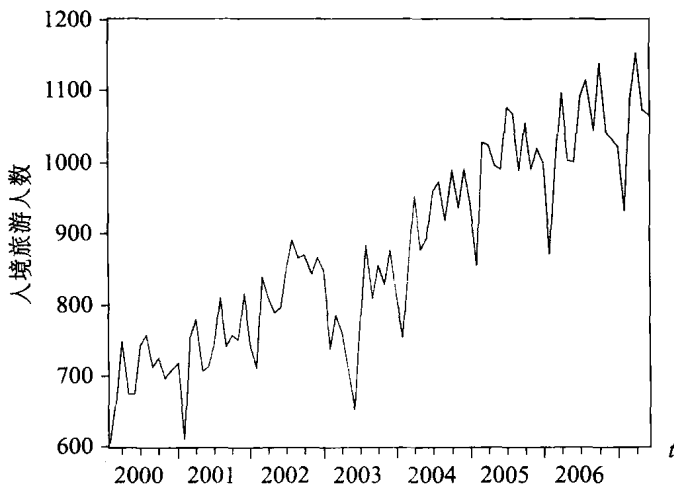


图 1.1 入境旅游人数数据图

值得注意的是,时间顺序中的“时间”也可以具有不同的物理意义,例如长度、温度、速度等等。

从数学意义上讲,如果我们对某一过程中的某一个变量或一组变量 $X(t)$ 进行观察测量,在一系列时刻 t_1, t_2, \dots, t_N (t 为自变量,且 $t_1 < t_2 < \dots < t_N$) 得到的离散有序数集合 $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_i}, \dots, X_{t_N}$ 称为离散数字时间序列,即随机过程的一次样本实现。设 $X(t; t \in T)$ 是一个随机过程, X_{t_i} ($i=1, 2, \dots$) 是在时刻 t_i 对过程 $X(t)$ 的观察值,则 X_{t_i} ($i=1, 2, \dots$) 称为一次样本实现,也就是一个时间序列。

从系统意义上看,时间序列就是某一系统在不同时间(地点、条件等)的响应。这个定义从系统运行的观点出发,不仅指出时间序列是按一定顺序排列而成的;这里的“一定顺序”既可以是时间顺序,也可以是具有各种不同意义的物理量,如代表温度,速度或其它单调递增地取值的物理量。可见,时间序列只强调顺序的重要性,而并非强调必须以时间顺序排列。例如:材料裂纹长度与其承受的压力有关,将材料裂纹长度(Y)按其所受压力周期数排列如下:

10.98 11.08 11.24 11.33 11.46 11.51

共 90 个数据,这也是一个时间序列,其数据图见图 1.2。

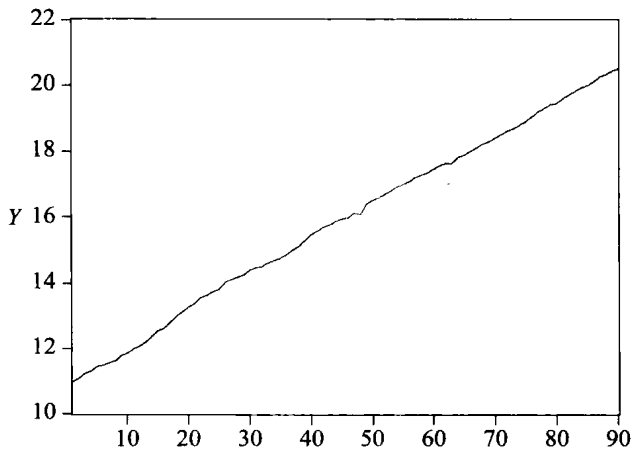


图 1.2 材料裂纹长度数据图

时间序列是所研究系统的历史行为的客观记录,因而它包含了系统结构特征及其运行规律。所以我们可以通过对时间序列的研究来认识所研究系统的结构特征(如周期波动的周期、振幅、趋势的种类等);揭示其运行规律,进而用以预测、控制其未来行为;修正和重新设计系统(如改变其周期、参数),使之按照新的结构运行。

综上所述,时间序列具有如下特点:首先,序列中的数据或数据点的位置依赖于时间,即数据的取值依赖于时间的变化,但不一定是时间 t 的严格函数。其次,每一时刻上的取值或数据点的位置具有一定的随机性,不可能完全准确地用历史值预测。再次,前后时刻(不一定是相邻时刻)的数值或数据点的位置有一定的相关性,这种相关性就是系统的动态规律性。最后,从整体上看,时间序列往往呈现某种趋势性或出现周期性变化的现象。

时间序列的主要分类

时间序列根据所研究的依据不同,可有不同的分类。

1. 按所研究的对象的多少分,有一元时间序列和多元时间序列。表 1.1 中,我们所研究的只是我国各月入境旅游人数数据这一数列,即为一元时间序列;但是,如果我们所研究的对象不仅仅是这一数列,而是多个变量,例如是按年、月顺序排列的气温、气压、雨量数据,每个时刻 t 对应着多个变量,则这种序列为多元时间序列。多元时间序列不仅描述了各个变量的变化规律,而且还揭示了各变量间相互依存关系的动态规律性。

2. 按时间的连续性可将时间序列分为离散时间序列和连续时间序列两种。如果某一序列中的每一个序列值所对应的时间参数为间断点,则该序列就是一个离散时间序列;如果某一序列中的每个序列值所对应的时间参数为连续函数,则该序列就是一个连续时间序列。我们主要研究离散时间序列,并用 X_t 表示,对于连续时间序列,可通过等间隔采样使之转化为离散时间序列后加以研究。

3. 按序列的统计特性分,有平稳时间序列和非平稳时间序列两类。如果一个时间序列的概率分布与时间 t 无关,则称该序列为严格的(狭义的)平稳时间序列。如果序列的一、二阶矩存在,而且对任意时刻 t 满足:

- (1)均值为常数
- (2)协方差为时间间隔 τ 的函数

则称该序列为宽平稳时间序列,也叫广义平稳时间序列,如图 1.3 所示。我们以后所研究的时间序列主要是宽平稳时间序列。如果不明确提出严平稳,所谓的平稳即指宽平稳。反之,不具有平稳性即序列均值或协方差与时间有关的序列称之为非平稳序列,如图 1.1、图 1.2 所示。

4. 按序列的分布规律来分,有高斯型(Gaussian)时间序列和非高斯型(non-Gaussian)时间序列。服从高斯分布(正态分布)的时间序列叫做高斯型时间序列,否则叫做非高斯型时间序列。本书所介绍的模型多数是假设服从高