

西北民族学院建校50周年  
献礼学术丛书

XITONGYUCE SHIYONG FANGFA

# 系统预测 实用方法

王卓 等著

民族出版社

# 系统预测实用方法

王 卓 马德山 王文康 著  
曹 纯 刘 华 马 刚

民族出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

系统预测实用方法/王卓等著. —北京: 民族出版社,  
2000.6

ISBN 7-105-03909-4

I. 系... II. 王... III. 系统理论—应用—预测科学—  
研究 IV. G303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 26323 号

民族出版社出版发行

(北京市和平里北街 14 号 邮编 100013)

迪鑫印刷厂印刷

各地新华书店经销

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 10 字数: 250 千字

印数: 0001—1500 册 定价: 19.80 元

谨以此书献给共和国第一所少数民族高等学府  
——西北民族学院建校 50 周年!

西北民族学院建校 50 周年献礼学术丛书  
编委会

主 任：马麒麟

副主任：艾比布拉 马景泉 李岗

委 员：郝苏民 多 识 于积贞 白 钧

曹 纯 陈自仁 马德山

秘书长：马德山

# 序

马麒麟

新中国第一所民族高等学府——西北民族学院，迎来了 50 华诞。

50 年，在人类历史上，不过是短暂的一瞬间。但是，对西北民族学院来说，这 50 年，却显得漫长而极不平凡。回首已经走过的 50 年，西北民族学院人的心中，既有艰苦创业的甜酸苦辣，又有丰收后的无限喜悦！

科学研究方面的累累硕果，就是西北民族学院事业丰收的缩影。

50 年来，西北民族学院的科研事业，走过了一条艰难曲折的道路。20 世纪 50 年代，全国民族学院的首要任务，是为少数民族培训政治干部，为民族自治地方培养政权建设人才，科学研究提不上议事日程，限制了民族学院科研事业的发展。50 年代后期，由于学校教学和民族地区建设的需要，民族学院的科学研究蓬勃开展。这期间，西北民族学院先后编纂出版了新中国第一部《藏汉词典》、《蒙汉词典》、《维汉词典》，同时推出了一系列其他方面的研究成果，一批年轻的学术带头人成长起来。到了 60 年代，全国政治运动频仍，民族学院的科研活动不断受到冲击，几陷停顿。“文化大革命”中，当时已有的 9 所民族学院中，有 8 所被撤销或解散，民族学院的教学科研人员大量流失，科研设备、图书资料几乎损失殆尽，有组织的科研活动完全停止。

粉碎“四人帮”以后，民族学院陆续获得新生，科学活动逐

渐恢复。党的十一届三中全会以后，民族学院迎来了第二个春天，老专家、老学者焕发青春，年轻的学术带头人茁壮成长，大批高水平的科研成果相继问世。西北民族学院同兄弟院校一样，进入了科学研究的丰收季节。据统计，“八五”期间，西北民族学院承担重点科研项目 70 项，其中国家哲学社会科学基金项目 3 项，国家民委下达科研项目 14 项，国家教委下达项目 2 项，农业部下达合作项目 3 项，甘肃省下达项目 2 项。“八五”期间，全校出版专著 119 部，发表论文 1072 篇；科研成果获国家级奖励 9 项，获省、部级奖励 77 项，获地、市级奖励 29 项。

“九五”期间，西北民族学院的科学研究，又上了一个新的台阶。学院先后承担重点科研项目 29 项，其中国家民委下达重点科研项目 10 项，国家哲学社会科学研究规划基金项目 2 项，甘肃省社会科学基金项目 7 项，甘肃省社会科学规划项目 8 项，甘肃省自然科学基金项目 2 项。从 1996 年到 1999 年，科研成果获得国家级奖励 7 项，获得省、部级奖励 56 项，获得地、市级奖励 48 项。令人欣慰的是，作为西北民族学院弱项的自然科学研究，“九五”期间也有了长足的发展。特别需要说明的是于洪志教授主持的藏汉信息处理技术研究，获得重大突破，完成了藏文信息编码国家标准和国际标准，“藏汉双语信息处理系统”荣获国家科技进步二等奖。

科学研究的丰收景象，映衬着一个人才辈出的校园。50 年来，西北民族学院涌现出一批著名的专家学者。早在 20 世纪 50—60 年代，《格萨尔》学家王沂暖教授、藏族史专家黄奋生教授、蒙古史专家谢再善教授、藏学专家段克兴教授和才旦夏茸教授、突厥学专家李国香教授、古典文学专家孙艺秋教授等，就以他们卓越的学术成就蜚声学界。进入 80 年代以来，郝苏民、杨才铭、郝慧民、却尔术、多识、王兴先、唐景福、郭卿友、梁兆年、娄溥义、李曙明、于洪志等一批教授，又以自己科研上的丰

硕成果，为西北民族学院赢来了新的荣誉。

总结西北民族学院 50 年的科研成果，是一件十分困难的事情。在此，学院从近几年的科研成果中，遴选出几部学术专著，作为建校 50 周年的献礼丛书，奉献给广大读者。

西北民族学院的科研园地，百花盛开，姹紫嫣红。这几部学术专著，不过是其中的一束鲜花。这些著作，大都出自中青年学者之手，每本书探讨问题各异，学术水平也不尽相同。但是，它们都是作者心血的结晶，都是向学院 50 华诞献出的一份厚礼，都给人一种沉甸甸的感觉。

由这几部专著为起点，展望 21 世纪，我们仿佛嗅到稻花飘香，仿佛看到麦浪滚滚。我们相信，对西北民族学院来说，那将是个大获丰收的世纪！

## 前 言

我们现在常常使用经济系统、社会系统、生态系统等这样一些名词。所谓系统,就是由相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物或过程组成的具有整体功能和综合行为的统一体。在系统研究中,需要研究系统在某时刻的状态,即系统状态的平滑、滤波和预测。当估计的是系统过去时间的状态,称这个过程为平滑;当估计的是现在时间的状态,称这个过程为滤波;当估计的是将来时间的状态,称这个过程为预测。

我们自然希望系统一些变量或系统朝我们希望的可能的方向发展,为此需要预先做出系统预测,以便采用相应的调节措施。在实际工作中,预测对于系统的研究起着非常重要的作用。基于此,本书将主要介绍时间序列分析预测和系统模型演化分析预测。在实际预测工作中,如果侧重某个角度或采取一些辅助技术手段,也可以把系统演化分析作为预测方法使用。比如,通过系统演化分析,可以根据组成系统的各变量之间的定量比例关系,预测系统的最终变化结果。又如,可以根据系统耗散结构的分析,预测系统中某因素对系统变化的影响。无疑,这些知识对我们进一步了解系统论、控制论、耗散结构论这些著名科学理论及其应用也会起到有益的作用。

在系统时间序列分析预测方面,现在已有很多种预测方法,其中主要的、绝大多数的是定量预测方法。但由于系统状态变化存在不确定因素,以及实际系统的多样性和复杂性,造成定量预测的困难,使得在实际预测工作中,很多实际系统难以用现有定量预测



方法进行预测。因此,预测方法需要进一步发展,需要根据实际问题产生新的、更为有力的、有广泛使用意义的定量预测方法。本书将先介绍一些传统的常用预测方法,如 Holt - Winters 方法、Box - Jenkins 方法、灰色系统预测方法等。在使读者对时间序列预测有了基本了解的基础上,介绍一种新的模糊逼近泛函映射预测方法。根据大量实际预测的体会,我们相信,这种模糊逼近泛函映射预测新方法将以其应用领域广泛、使用方便、解决问题有力的实用价值,为读者的实际预测工作提供极为有益的帮助。

本书在使用模糊逼近泛函映射预测方法时引入了信息熵统计推断方法对公式参数的可靠性进行检测,以便提高预测的可靠性。由于信息熵统计推断方法具有信息全面、可靠性高、能进行定量比较等优点,本书较详细地论述了该方法进行预测的基本技术与技巧。

本书所述的一些方法,需要使用较多学科的知识 and 较广泛的数学知识。为方便不同应用领域的读者阅读本书,书中还对相关基本知识进行了介绍。

作 者

1999 年 12 月 18 日

## 目 录

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| <b>第一章 预备知识</b> .....       | ( 1 )   |
| 第一节 系统论 .....               | ( 1 )   |
| 第二节 信息论 .....               | ( 8 )   |
| 第三节 控制论 .....               | ( 13 )  |
| 第四节 模糊理论 .....              | ( 18 )  |
| 第五节 泛函微分方程 .....            | ( 38 )  |
| 第六节 逼近论 .....               | ( 57 )  |
| 第七节 人工神经网络 .....            | ( 72 )  |
| <b>第二章 预测与常用预测方法</b> .....  | ( 94 )  |
| 第一节 预测概论 .....              | ( 94 )  |
| 第二节 趋势外推法 .....             | ( 101 ) |
| 第三节 Holt - Winters 方法 ..... | ( 114 ) |
| 第四节 Box - Jenkins 方法 .....  | ( 126 ) |
| <b>第三章 信息预测方法</b> .....     | ( 137 ) |
| 第一节 熵和信息量 .....             | ( 137 ) |
| 第二节 信道互消息 .....             | ( 140 ) |
| 第三节 预测方法优劣程度的定量评定 .....     | ( 143 ) |
| 第四节 信息熵在统计推断中的应用 .....      | ( 146 ) |
| 第五节 信息熵预测方法 .....           | ( 153 ) |

|             |                               |       |
|-------------|-------------------------------|-------|
| <b>第四章</b>  | <b>模糊逼近与映射预测</b> .....        | (154) |
| 第一节         | 模糊逼近及其性质 .....                | (154) |
| 第二节         | 模糊逼近映射预测方法 .....              | (158) |
| 第三节         | 几个模糊逼近泛函微分方程模糊逼近解的关系<br>..... | (163) |
| 第四节         | FNFDE 解的一个模糊逼近性质 .....        | (169) |
| 第五节         | 模糊逼近泛函映射预测实例与人工神经网络辅助计算 ..... | (175) |
| <b>第五章</b>  | <b>离散时间系统模型演化预测</b> .....     | (186) |
| 第一节         | 线性系统的状态方程 .....               | (186) |
| 第二节         | 常系数线性系统(时不变系统) .....          | (192) |
| 第三节         | 动态系统理论应用实例及谋取更佳预测效果的方法 .....  | (206) |
| <b>第六章</b>  | <b>耗散结构论与系统预测</b> .....       | (220) |
| 第一节         | 耗散结构论简介 .....                 | (220) |
| 第二节         | 系统稳定性与耗散结构分析预测 .....          | (225) |
| <b>第七章</b>  | <b>灰色系统建模及预测</b> .....        | (232) |
| 第一节         | 灰数、灰系统及灰与白的辩证关系 .....         | (232) |
| 第二节         | 灰色模型概言 .....                  | (235) |
| 第三节         | 灰色模块——生成函数 .....              | (243) |
| 第四节         | GM 模型及灰色系统的五步建模 .....         | (248) |
| 第五节         | 几种典型的 GM 模型 .....             | (256) |
| 第六节         | 灰色系统预测 .....                  | (268) |
| 第七节         | GM(1,1)、RFDE 与时间序列拟合预测 .....  | (291) |
| 第八节         | GDM(1,1)建模判据及模型改进 .....       | (296) |
| <b>参考资料</b> | .....                         | (303) |
| <b>后 记</b>  | .....                         | (306) |

## 第一章 预备知识

### 第一节 系统论

系统(Systems)是具有特定功能的、相互间有有机联系的许多要素所构成的一个整体。这里所说的要素,可以是物理形态的,如一台车床的传动箱、床身、底座、进给机构、尾架等;也可以是管理的一定阶段,如构成管理基本职能的计划、组织、指导、协调和控制等阶段;还可以是子系统或更低层次的组成部分。

在自然界和人类社会中,事物都是以系统的形式存在的。任何事物,都可以看成是一个系统,同时,又可以看做是它所从属的更大系统中同其他事物相联系的一项要素或子系统。例如,太阳系是以太阳为中心、包括围绕太阳运动的九大行星和其他天体的大系统;同时,它又是构成银河系的一个要素(或子系统)。又如,在人类社会中,一个工厂是由各车间、科室构成的系统;同时,又是这个行业大系统中的一个要素。

人们对系统的认识,是随着对自然界和社会认识能力的提高、科学技术的进步而不断发展和深化的。一方面,人们所认识的系统的范围(包括超宏观和微观两个方面),都是以往所不可比拟的。古人只能根据直接观察的材料认识世界,而现代人在微观方面已经探索到核子系统,在超宏观方面已经探索到比银河系更远更大的系统。同时,对社会系统的认识也远远超出自己所居住的村落、城镇,而达到国家和国际的范围。另一方面,人们对系统的内容、性质的认识,较之过去也日益深入。随着现代科学技术的发展,人们愈来

愈用定量化的手段和方法对系统的内容及发展作出比较精确的描述。这表现在:不仅对于自然界的系统现象,能够从其要素和结构方面,以及各系统之间的联系方面,得出日益精确的认识;而且对于比自然界更复杂、更多变的社会系统,也能得出日益准确的认识。这一结果的获得,是与一门科学——系统论的发展密不可分的。

研究系统的一般理论和方法,称为系统论。根据客观事物具有的系统特征,从事物整体出发,着眼于整体与部分、整体与层次、整体与结构、整体与环境的相互联系和相互作用,求得优化的整体目标效应的基本原理和综合方法又是系统论的核心。这主要体现在如下几个方面:

### 一、系统的特性

#### 1. 整体性

系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素按照作为系统整体所应具有的综合整体性而构成。系统具有综合性,它是为达到系统基本功能要求所必须具有的组成要素的集合。构成系统的各要素虽然具有不同的性能,但它们是根据逻辑统一性的要求而构成的整体。系统不是各要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。因此,即使每个要素并不都很完善,但它们也可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素是良好的,但作为整体都不具有某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。系统是一个复杂的整体,为了便于管理和控制,往往把系统整体分解成一个多层次结构,使系统具有阶层性,即系统要素及其相互关系在功能分布和执行中的位置和从属关系。为了保证系统的整体性,还必须充分注意系统的各个层次和各个组成部分的协调与连接,并按系统整体目标,提高系统的有序性,尽量避免系统的“内耗”,提高系统整体运行的效果。

#### 2. 关联性

系统内各要素之间是有机联系的、相互作用的。这表现为某

个子系统从别的子系统接受输入而产生有用的输出;这个子系统的输出又往往成为另外的子系统的输入。具体地讲,这一表现包含两方面的内容:一是系统内部诸要素的有机联系;一是系统同外部环境的有机联系。

### 3. 目的性

系统都具有某种目的。要达到既定的目的,系统都具有一定的功能,而这正是区别这一系统和那一系统的标志。一个系统的发展方向,不但取决于实际的状态,而且还取决于一种对未来的预测,两者的统一便称为预决性。也就是说,科学的预测是进行系统结构性改革以实现系统目的的重要方法和手段。

### 4. 环境适应性

任何系统都有一定的边界和环境,它与周围的外部环境产生一定的联系和相互作用,从环境接受各种影响(包括正常输入以及随机干扰),经过系统的转换,产生一定的输出,从而对外部环境产生影响。外部环境是经常变化的,为了使系统达到优化,必须对系统进行相应的调节,使之适应环境的变化。也就是说,系统与外部环境必然产生物质的、能量的、信息的交换,外部环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化。

上述系统的特性,用定量方法可描述为:以  $Q_i$  表示系统中的某要素  $P_i (i=1,2,\dots,n)$  的某种量,系统中任一  $Q_i$  的变化  $\frac{dQ_i}{dt}$  都要受到所有的  $Q_i (i=1,2,\dots,n)$  的制约和作用,即表现为  $Q_i$  的函数:

$$\frac{dQ_i}{dt} = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (i=1,2,\dots,n)$$

不同的系统,表征出不同的函数  $f_i$ ,这必须通过对具体系统进行研究分析,方可获得具体的函数  $f_i$ 。

## 二、系统分析

在当今科学技术高度发达的现代社会里,事物间的联系日趋复

杂,出现了形式多样的各种大系统。这类大系统通常都是开放性系统,它们与所处的环境即更大的系统发生着物质、能量和信息等的交换关系,从而构成了环境约束。系统同环境的任何不适应即违反环境约束状态或行为都将对系统的存在产生不利的影响,这是系统的外部条件要求。从系统内部看,它们通常由许多层次的子系统组成。系统与子系统之间有着复杂的关系,如纵向的上下关系,横向的平行关系,以及纵横交叉的相互关系等等。但是不论这些关系如何复杂,有一条基本原则是不变的,那就是下层系统以达到上层系统的目标为任务,横向各子系统必须用系统总目标协调行动,各附属子系统要为实现系统整体目标而存在。因此,任何子系统的不适应或不健全,都将对系统整体的功能和目标产生不利的影响;系统内各子系统的上下左右之间往往会出现各种矛盾因素和不确定因素,这些因素能否及时了解、掌握和正确处理,将影响到系统整体功能和目标的达成。系统本身的功能和目标是否合理也有研究分析之必要。不明确、不恰当的系统目标和功能,往往会给系统的生存带来严重后果。上述情况表明,不论是从系统的外部还是内部,不论是系统的设计还是系统的运行,进行系统分析是非常重要的。

系统分析是进行系统研究的一种方法。在若干选定的目标和准则下,分析构成各项事物的许多系统的功能及其相互之间的关系,利用定量方法提供允许和可用的数据,借以制订可行的方案,并推断可能产生的效果,以期寻求对系统整体效益最大的策略。

系统分析从对系统或事物的观察开始,经过思考、了解、判断,产生对系统的输入、输出及转换过程作出某种假设。为了对假设求证,通常都借助于各种模型以及模拟试验,求得最佳的设计方案,使对系统整体有利。采用系统分析方法对事物进行探讨时,可以获得对问题的综合的和整体的认识,既不忽略内部各因素的相互关系,又能顾全外界环境变化可能带来的影响。

系统分析,以系统整体效益为目标,以寻求解决特定问题的最

优策略为重点,运用定性和定量分析方法,给予决策者以价值判断,以求得有利的决策。通常包括系统环境分析、系统目标分析、系统结构分析和系统评价等内容。

系统分析用定量化方法可用如下的数学形式表示:

$$E^{**} = \max P(X, R, C)$$

$$P \rightarrow G$$

$$P \rightarrow O$$

$$S_{opt} = \max \{S | E^{**}\}$$

式中  $X$ —系统组成要素集;

$R$ —系统组成要素的相关关系集;

$C$ —系统要素及其相互关系在阶层上的可能分布形式;

$P$ — $X, R, C$  的结合效果函数;

$P \rightarrow$ 表示这个函数是在对应于某个条件,如  $P \rightarrow G$ ,表示  $P$  函数在对应于系统目标集的条件下; $P \rightarrow O$ ,表示  $P$  函数对应于环境因素约束集的条件下;

$E^{**}$ — $P$  函数在两个对应条件下所能得到的最优结合效果。

$S_{opt}$ —表示具有最佳结合效果的系统结构中能给出最大输出的系统。

显然,系统分析的内容就是在确立的  $G$  和  $O$  的基础上,寻求  $X, R, C$  的最优结合形式,即具有最优结合效果  $E^{**}$  的系统结构形式及在  $E^{**}$  条件下给出最大系统输出的系统  $S_{opt}$ 。

### 三、系统模型

系统模型是对一个系统的抽象描述。建立和运用系统模型的目的在于指明系统的主要组成部分以及它们之间的数学逻辑关系,以便人们对系统的运动规律进行深入的分析和研究。一般而言,系统模型在我们所研究的问题的范围内更普遍、更集中、更深刻地反映了现实系统的特征和变化规律。

系统模型按存在形式可以分为以下几类:



### 1. 描述性模型

运用文字形式简明阐述系统的构成、所处环境、主要功能和研究目的等。

### 2. 物理模型

如一个待研制的新产品的模型;一个工厂、车间、仓库、生产线的平面布置模型,等等。

### 3. 数学逻辑模型

它们是系统的各种变量的数学逻辑关系的抽象表述。

### 4. 流程图和图解式模型

通常它们显示了系统组成部分相互之间的基本逻辑关系。

### 5. 计算机程序

运用通用的计算机程序语言或专用的模拟语言编写的计算机程序。

系统模型按照系统状态变化可以分为静态模型和动态模型。前者描述系统在某个特定时刻的状态;后者描述系统状态随时间的变化,模拟就是系统状态随时间变化的动态写照。

系统模型依照系统变量的变化规律可以分为连续性模型和离散型模型。在连续型模型中,系统变量随时间呈连续性的变化。在离散型模型中,系统变量随时间呈间断性的突然变化。

系统模型按是否包含有随机因素可以划分为确定性模型和随机性模型。在确定性模型中,不涉及随机变量,系统在某一时刻的新状态完全由系统的原状态以及相应的活动所决定。也即在一定的输入下,产生一定的输出结果。在随机模型中,包含有随机变量,在既定的条件和活动下,系统从一个状态转换为另一个状态,不是确定性的,而是具有随机性质,遵循一定的统计分布规律。

系统模型的基本结构可以用如下的数学形式表示:

$$E = f(x_i, y_i)$$

式中: