

灰色系统理论应用丛书

灰色系统——信息不完全确知的系统

灰色系统理论——邓聚龙教授在一九八二年创立

社会、经济系统一般都是以“灰元”、“灰数”、“灰关系”为特征的灰色系统

灰色系统理论——应用数学的一个重要分支，广泛应用于自然科学、工程、经济、管理等社会各个部门

灰色系统预测与应用

严智渊 戴玉生 编著



江苏科学技术出版社

《灰色系统理论应用丛书》编委会

顾 问：邓聚龙

主 编：严智渊

副主编：罗庆成 李国华 承泓良 徐国新 戴玉生

委 员：孙 磊 李克明 李国华 严智渊 罗庆成

承泓良 林锦国 俞伯良 徐国新 陶 志

黄祖辉 戴玉生

序

由上海经济区灰色系统研究会组织编写，江苏科学技术出版社出版的《灰色系统理论应用丛书》，现在和大家见面了。

灰色系统是按颜色来命名的。为什么用颜色来区分系统？因为，在控制理论中常用颜色深浅来形容信息的多少。比如艾什比用黑盒 (Black Box) 来称呼内部信息未知的对象。我们也用“黑”表示信息缺乏，“白”表示信息完全，“灰”表示部分信息清楚，部分信息不清楚，即信息不完全。凡是信息不完全确知的系统，都可称之为灰色系统。与之相应的便有白色系统和黑色系统。

灰色系统不同于灰箱。灰箱意味着边界、框架。而灰色系统是打破框架，突破箱的约束，从系统内部去发掘信息并充分利用信息。

灰色系统也不同于“黑箱”、“模糊数学”。“黑箱”建模方法是着重系统外部行为数据的处置方法，而“灰色”建模方法是着重系统内部行为数据间、内在关系挖掘量化的方法。“模糊数学”着重外延不明确、内涵明确的对象，而灰色系统着重外延明确、内涵不明确的对象。

自从 1982 年我在国际上首先提出这个理论以来，先后召开了多次全国性的学术讨论会，出版发行了十来本专著和数以百计的研究论文，成立了全国性的武汉灰色系统理论研究会。同时得到了国内外著名学者的赞赏和同行们的支持以及学术界前辈们的鼓励，趁此机会，一并表示由衷的感谢。

由于社会、经济系统一般都是以“灰元”、“灰数”、“灰关系”为特征的灰色系统,因此灰色系统理论正在农业、计划、经济、社会、科教、生物、地质、史学、军事、行政等各个方面得到日益广泛地应用。上海经济区灰色系统研究会的同志们为了促进这一理论的发展和更为广泛地应用,总结国内学者、专家几年来的研究成果和实际应用的经验,撰写了这套丛书。丛书共分五册,即《灰色系统预测与应用》、《灰色线性规划与应用》、《灰色关联分析与应用》、《灰色系统决策与应用》、《灰色系统实用程序》。

由于丛书主要作者在灰色系统研究、教学、咨询与应用等方面,都有比较丰富的经验,所以写得深入浅出,把灰理论寓于大量的实用案例之中,使具有中等以上文化的同志都能“看得懂、用得上”,并适用于社会、经济、科教、文卫等各个领域,可作为广大科技工作者、经济管理人员和大、中专学生的学习参考资料或供大学、中专学校、业校、电大、函授、培训班等作教材。我相信本丛书将成为广大读者学习、熟悉并应用灰理论的好帮手。故此,特向大家推荐!

1989年元月于武汉

目 录

第一章 灰色预测概论.....	(1)
§ 1.1 预测的基本概念.....	(1)
§ 1.2 灰色系统基本概念.....	(6)
§ 1.3 灰色模块的建立.....	(12)
§ 1.4 灰色模型的机制.....	(17)
§ 1.5 灰色关联分析.....	(31)
第二章 数列预测.....	(33)
§ 2.1 基本原理.....	(33)
§ 2.2 农业系统的灰色预测.....	(33)
§ 2.3 工业生产的灰色预测.....	(39)
§ 2.4 财政金融的灰色预测.....	(47)
§ 2.5 医疗卫生系统的灰色预测.....	(51)
§ 2.6 历史事件的灰色预测.....	(53)
§ 2.7 外国经济的灰色预测.....	(55)
§ 2.8 技术进步的灰色预测.....	(57)
第三章 灾变预测.....	(62)
§ 3.1 灾变预测的基本概念.....	(62)
§ 3.2 灾变预测模型的建立.....	(62)
§ 3.3 水灾预测.....	(65)
§ 3.4 旱灾预测.....	(67)
§ 3.5 冷空气影响期预测.....	(71)
第四章 季节灾变预测.....	(74)
§ 4.1 基本概念.....	(74)
§ 4.2 季节灾变模型的建立.....	(74)
§ 4.3 江苏苏南地区寒露风预测.....	(76)

§ 4.4	初终霜预测	(79)
第五章	拓朴预测	(80)
§ 5.1	基本概念	(86)
§ 5.2	河流年平均径流量曲线预测	(87)
第六章	系统预测	(91)
§ 6.1	基本概念	(91)
§ 6.2	农村经济、科技、社会协调发展的总体模型	(92)
第七章	其它灰色预测模型	(100)
§ 7.1	Verhulst 模型	(100)
§ 7.2	GM(1, n) 模型	(103)
§ 7.3	GM(2, 1) 模型	(107)
附:	参考文献	(112)
后	记	(113)

第一章 灰色预测概论

§ 1.1 预测的基本概念

1.1.1 预测的重要意义

“凡事预则立，不预则废”，这是我国古代学者对预测的认识和评价，这句话精辟地概括了预测的深刻意义。可见，预测之事，古已有之，诸葛亮草船借箭，借东风，火烧赤壁的故事传为佳话。春秋末期，越国范蠡弃政从商，曾制定“水则资车，旱则资舟”之策，显见其颇有远见卓识。古人虽已需要预测，也有成功之处，但毕竟限于历史条件，未能形成预测科学。在当时，人们需要预测，但又在缺乏科学方法的情况下，不得不求助于星相占卜之举，例如：吉普赛人用水晶球；印度人用茶叶；国人用拆字看相等等方法预知未来凶吉。但这种预测常带有迷信色彩。

在当代世界激烈的政治斗争和军事角逐中，在经济竞争中，在科研探索中，决策者为了避免决策失误，必然求助于科学的决策程序，先进的预测方法。无数事实告诉我们，如果不重视预测而盲目决策，必然导致决策失误。例如，在旧的经济体制下，产销脱节，生产企业不关心市场需求信息，一味盲目生产，工业报喜，商业报忧，供过于求，造成产品滞销，资金积压，企业亏损，甚至濒临倒闭者有之；盲目建设，投资大，效益低，投资回收遥遥无期者有之。相反，决策者若能对企业的未来作充分的预测，能掌握今后若干年内本企业产品的市场需求情况，

落实原材料的供应渠道,估计到同行业的竞争能力,对本企业的新产品和新技术开发作深入的探讨和研究,就能制订出有科学依据的战略规划和奋斗目标,引导职工为实现目标而努力工作,使企业由小变大,竞争能力日益加强,从而挤入先进企业行列,这种事例也不胜枚举。例如,在世界处于能源危机的时期,许多企业蒙受了重大的经济损失,而日本汽车业却乘机崛起,超过了汽车王国——美国。又如瑞士是手表王国,第一只石英电子手表也是瑞士首创。后来,日本首先预见到石英电子手表有广阔的发展前景,就大力发展电子手表,结果占领了国际市场,大有取代瑞士表之势。总而言之,预测对于企业来说是生存和发展的必不可少的重要前提。

1.1.2 预测的性质

预测是根据过去的实际数据资料,运用现代的科学理论和方法,以及丰富的经验和敏锐的判断力,去探索人们所关心的事物在今后的发展趋势,并作出估计和分析,以指导未来行动的方向,减少对未来事件的不确定性。简言之,预测就是根据过去和现在估计未知,把未来事件的不确定性最小化。

预测本身不是目的,而是一种手段。预测是为决策服务的,预测结果可用来作为制定计划和规划的依据。预测的基础是过去的和现在的数据资料和一些有根据的假设,因此,要求数据必须可靠、准确、完整。预测的核心是预测理论和方法,社会经济发展的客观性和可认识性是预测的理论基础,预测方法上应注意把定性分析和定量计算结合起来,不可偏废。

1.1.3 预测方法及分类

由于世界经济发展的需要,预测方法经历了由少到多,由粗到精,由简单到复杂的变化和发展。尤其是在二次

世界大战结束后,各国政府为了医治战争创伤,恢复和发展本国经济,都致力于研究未来经济的发展方向和趋势。另一方面,现代数学方法和电子计算机的出现和应用,使预测方法得以改良和发展。与此同时,科学技术突飞猛进,在新技术领域内竞争日益加剧,使技术预测成为必不可少。在上述的形势下,预测方法层出不穷,种类繁多。最近 30 余年来,出版的著作达1500余种,介绍的预测方法不下于 200 种。

下面,我们对这些预测方法按不同的角度进行分类。

按预测对象分类,有五大类:

1. 科学预测。根据现有的科学发展水平,估计科学发展趋势和方向,可能出现的科学发现和发明;确定基础研究和应用研究的最佳构成,选择重点研究课题和项目,为科研成果的推广创造条件;合理组织和管理科研力量,研究科研人员的合理构成,科研经费的合理分配等。

2. 技术预测。从经济发展的目标出发,预测即将出现的技术发明及其经济效果;预测技术发展对社会、经济、政治、环境和生态的影响;预测新技术发展的前景、可能性、实现条件和期限,新材料、新工艺和新设备的特性、功能,以及推广应用的现实性。

3. 经济预测。对经济增长的速度,经济结构的变化,经济发展引起的问题等进行预测。对于企业来说,则应更具体地对市场、销售量、原材料供应、成本、利润等进行预测,寻找最佳的经济发展模式,以期达到最高的增长速度,获得最大的经济效益。

4. 军事预测。预测未来战争的可能性、规模、性质。使用常规武器还是核武器;预测新武器的出现时间和威力大小;预测战争的结局、战争对人类的影响。

5. 社会预测。预测人口及其年龄构成，平均期望寿命；人类的家庭演变、居住条件、就业状况；生态和环境的变迁和保护等。

按预测期限可分为长期预测、中期预测和短期预测。

按预测范围可分为宏观预测和微观预测。

按预测深度和分析方法可分为定性预测和定量预测。

定性预测是根据被测事件的本质、特征、历史和现状的演变进程，对预测目标进行非数量化的分析。这种预测适用于不具备或缺乏历史统计数据的情况，因而只能运用非量化的资料，主要依靠对该事件有一定经验的个人利用主观判断和逻辑推理来获得预测结果。定性预测的功能是：①为定量预测指明方向；②在缺乏数据的情况下，直接作出预测；③对定量预测作非数学的检验；④配合定量预测，提高预测精度。

定量预测是运用现代数学方法，建立数学模型，对被测目标进行定量计算和分析，从而获得预测结果的技术和方法的总和。它主要不是依靠个人的主观判断，而是依靠反映事物本质的统计数据，运用数学模型和电子计算机的现代化手段来达到预测的目的。

按预测变量的多少可分为单变量预测和多变量预测。

按预测结果是否受其它条件的影响，可分为条件预测和无条件预测。

预测方法按其性质和所使用的数学工具可分为：

1. 直观法。是定性预测的一种方法，主要凭个人的经验和综合分析能力。属于这一类的有个人判断法，专家会议法、智力激励法、情景描述法、台尔菲法和相互影响矩阵法等。

2. 外推法。是定量预测的一种方法，它主要是仿效物理学中惯性原理而产生的概念。在一个力学系统中，当在结构

不变、外力不变的情况下,运动物体将按惯性原理维持其原来的运动方式继续运动。对于一个经济系统或是一个社会系统亦可用惯性原理来进行研究,这就是说经济系统的未来必然是过去和现在的延续,过去的发展趋势可以作为未来的预测。系统规模愈大;惯性愈大;系统形成的时间愈早、愈长,惯性愈大;系统结构愈复杂,惯性愈大。惯性原理是外推法的理论依据。

属于外推法的预测方法有:时间序列法、移动平均法、指数平滑法、季节系数法、生长曲线法、替代曲线法、包络曲线法、学习曲线法等。在灰色预测模型中, $GM(1,1)$ 和 $GM(2,1)$ 等方法亦是外推法的一种新的开拓。

外推法适用于系统结构复杂,作用因素众多,预测期内结构上无重大变化,无突发事件的情况,一般预测期不宜过长,否则,惯性将逐渐衰减,导致预测精度明显下降。

3. 相关法。是定量预测的重要方法,它主要是寻找预测变量与其它影响因素之间的函数关系。辩证法的重要原则之一就是认为任何事物都不是孤立的,而是相互联系,相互制约的,事物之间存在着明显的因果关系,追根觅源是一种预测的好方法。

属于这一类的有回归分析法,弹性系数法等。灰色预测模型 $GM(1, n)$ 是一种新的开拓。

因果法或相关法适用于因果关系明显、统计数据齐全的场所,对于系统结构变化有一定的适应性,预测精度较高,但原始资料的收集有一定的难度,计算方法比较复杂。

4. 系统模型法。它是定量预测的高级形式。从系统观点来看,一个系统是有层次的,每个层次、每个子系统都有自己的目标体系,因而,对多层次、多目标的系统显然不能用单

方程的模型进行预测,必须建立多方程的模型体系,用以从数学上描述系统行为,或对系统进行仿真,达到预测的目的,为系统的控制、管理、规划提供依据。

属于这类的有:经济计量模型,经济控制论模型,投入产出模型,系统动力学模型等。灰色系统模型是新开发的一种模型体系,它用灰元、灰参数、灰方程来描述社会、经济系统,用以协调、优化系统结构,具有良好的效果。

§ 1.2 灰色系统基本概念

1.2.1 什么是灰色系统

人类社会正进入一个新的历史时代,有人称之为原子时代,有人称之为信息时代等,我们认为这个新时代称之为系统时代更为恰当。

系统是无处不在、无所不包的。人体是一个系统,它由循环系统、呼吸系统、消化系统、骨骼系统和肌肉系统等组成;天上的飞禽,地上的走兽,百花齐放,万物争辉,自然界为我们安排了奇妙的生物系统;庞大的地球只不过是太阳的一颗行星,太阳又置身于浩瀚的银河系之中,而银河系也只是茫茫宇宙的一片星云,这就是天体系统;铁路、公路、水路和航空构成交通运输系统;发电厂、输电线、变电站和用电设备构成电力系统;还有城市系统、商业系统、水利系统、电讯系统等等。因而,可以断言,我们无时无刻不与一定的系统相处。

系统的三要素就是物质、能量和信息,这三者缺一不可。物质由联系而构成系统,而联系必须依靠能量和信息的作用。一切物质都在运动,一切物质都具有能量。信息就是信息,不是物质也不是能量,但是发送信息的信源,接受信息的信宿,

都是物质。信息必须通过物质才能储存和传播。

对于系统,许多学者都曾下过定义:

贝塔朗非认为:系统是“相互作用诸要素的综合体”。

韦氏大辞典把系统定义为:“有组织的或被组合化的整体,结合着的整体所形成的概念和原理的综合;由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的要素集合等等。”

日本 JIS 工业标准,定义系统为:“许多组成要素保持有机的秩序,向同一目标行动的事物。”

凯斯特等人认为:系统是“一项有组织的整体,由两个或两个以上的相关联的‘个体’或‘构成体’,或‘次体系’所构成,存在于其外在的高级系统之内,具有明确的边界者。”

我们认为:系统是由若干相互联系、相互作用的要素所构成的具有特定功能的有机整体。

系统的概念是普遍适用的,即一切物质都构成系统,宇宙间的一切都是系统。

人们常用颜色来简要地描述掌握信息的完备程度。

1953 年艾什比首先使用黑盒(Black Box)一词,所谓黑盒、黑箱是用来定义这样一类事物,即其内部结构、特性、参数全部未知,只能从对象的外部,从对象的因果关系、输入输出关系来研究。

黑箱原理、黑箱问题至今在系统辨识、建模、仿真,以及大系统研究中仍占有一席之地。

以后,又有人提出“灰箱”(Grey Box)一词,即指客观事物中已掌握其部分信息的这一类问题。

由此可以推论,若信息完备的事物,可称之为白箱(White Box)。

近来,人们常用透明度一词来描述决策民主化程度,这种

用词与用颜色来分辨事物的明确、清晰程度有异曲同工之妙。可以说，不透明相当于黑色，全透明相当于白色，半透明相当于灰色。

我们认为用“箱”一词不如用“系统”一词来得确切、全面、恰到好处。因为箱必有箱壁，有边界，使得人们不得不从箱外去研究。而系统则可以从内部去研究，从其结构功能及相应的参数去研究。

现在，可以按信息完备程度把系统分为三类：白色系统、黑色系统、灰色系统。

白色系统是指信息完备的系统，如一个工厂是一个系统，它有多少工人、技术人员、职员，它有多少机器设备和厂房，消耗了多少原材料，生产了多少产品都是清楚的；一架彩色电视机包括什么零部件、电子元件、显像管都是清楚的；一个家庭有多少人口、各成员的性别、年龄，及其相互关系都是清楚的，家庭收入、日常消费支出都可以计算。上述这些系统都属于白色系统。

黑色系统是指毫无信息的系统，如宇宙空间，银河系以外的星球，虽然知道它确实存在，但在现有条件下，无法确知其重量、体积、温度、运动速度；我国神农架的野人，有什么群体关系？有何生活习性？操用何种语言？今后发展趋势如何？可以说是一无所知。上述系统均属黑色系统。

但是，白色、黑色系统都与人的认识水平有关，随着人类的进步，科技的发展，过去认为不可知的事物，现在已变为可知的了。

灰色系统是指部分信息未知、部分信息已知的系统，系统中既有白色参数，又有黑色参数。就拿人体来说，其外形参数，如身高、体重、年龄、性别都是已知的。有些内部参数，如体

温、血压、脉搏等也是已知的，这些都可称为白色参数。但尚有许多参数至今尚不清楚，如人体究竟有多少穴位，穴位究竟有哪些物理的、化学的、生理的机能，穴位与人体的哪些部位有关，能起什么作用等等尚说不清楚。至于人体的特异功能，更是奥妙无穷。一些复杂的大系统，如社会系统、经济系统、生态系统等缺乏物理原型，亦是灰色系统

1.2.2 灰色预测的基本概念

灰色系统理论研究的是信息不完全的对象，内涵不确定的概念，关系不明确的机制。故其研究对象是极其广泛的，其范围是不断扩展的。按其具体对象而言，包括：工程技术系统、农业系统、生态系统、经济系统、社会系统等。除了工程技术系统以外，其余系统均称之为本征性灰系统，因为这类系统没有物理原型，人们只能根据某种观念、概念、逻辑推理去建立系统。这种系统充其量是原系统的“同构”、“代表”。灰色系统理论就是研究本征性灰色系统的量化问题，就是研究系统的建模、预测、分析、决策和控制。

由于现有预测理论基于概率统计，现有方法基于回归分析，现有模型是离散型的，由此而产生如下的一些问题：

- (1) 要大量的统计数据，才能得到统计规律；
- (2) 要求统计变量具有正态分布、平稳过程；
- (3) 概率预测结果，获得信息量不足；
- (4) 预测精度不高，有时甚至出现反常现象；
- (5) 不容易分析全过程；
- (6) 计算工作量大。

灰色系统的任务是要开拓一条新的途径，克服概率统计的弱点，从杂乱无章的、有限的、离散的数据中找出规律，建立灰色系统模型，然后用它来作相应的分析、预测、决策

和规划。

灰色系统理论提倡立体思维,主张求同存异,认为决策应是多目标的,方法应是多样化的,处理问题应有机动灵活性,作计划应有可调性,效果应有可塑性。

灰色系统不用随机变量的概念,只是把它看作在一定范围内变化的灰色量,并对灰色量作有效处理,而不去寻找它的统计规律。

灰色预测的特点如下:

1. 用灰色模块建模,而不直接用原始数据序列。灰色系统在建模前,先对原始数据进行整理和处理,使之呈现一定的规律性,这种方法叫做生成,经过一定方式生成的新序列称之为“模块”。这样做的目的是为了消除原始序列的随机性。

其基本思路是:认为客观系统无论怎样复杂,但终究是相互关联的、有序的、有整体功能的。作为系统行为特征的数据总是隐含着某种规律性,灰色模块的生成就是寻找这种规律性的良策。

累加生成灰色模块是灰色系统的重要方法之一,它能使上下波动的时间序列转变成单调升,并带有线性或指数律的序列。

2. 建立微分方程的动态模型。在某些领域中,如生命科学、经济学、生物医学工程等领域,微分方程的系数描述了系统内部的物理、化学过程的本质。建立微分方程模型是在信息不足的情况下建立有效模型的良好方法,是充分发挥白信息作用的途径。这种建模方法为本征性灰色系统的实体化、物理化找到了途径,把自然科学的实验手段移植到抽象系统,特别是仿真方法。同时把工程技术系统的微分、积分、惯性等概念用于社会经济系统,从而可在科会科学与自然科学之间

架起桥梁。

3. 用关联分析代替回归分析。灰色系统主张按机理、按发展变化态势作特征分析,这是一种拓朴分析,是一种领域系拓朴等价的分析,按发展态势建立关联的测度,研究关联序。用以研究生成函数的逼近度、检验预测精度,还可用来作因子分析和优势分析等。

1.2.3 灰色预测模型的分类

采用基于灰色系统理论的 $GM(m, n)$ 模型所进行的预测,称为灰色预测。灰色预测可分为五类:

1. 数列预测。对表示系统行为的序列进行外推预测,称为数列预测。如农业生产中,粮食、生猪、水产品等的预测,工业生产中,汽车产量、煤炭产量等的预测;财政金融预测中,货币流通量的预测;医疗卫生预测中,发病率、死亡率、期望寿命的预测;历史事件的预测中,唐代前期人口发展预测、中国古代社会统一期预测;外国经济预测中,苏联和日本经济发展预测;技术进步预测中,技术进步系数预测和技术进步贡献预测等。

2. 灾害预测。自然界和社会的某些行为的特征值发生剧烈变化,超过某个极限值时,就会对人类社会带来灾害,如地震、水灾、旱灾、霜冻、台风、传染病流行等等。若能用历史数据和其它有关信息,对这些灾变过程进行预测,则称之为灾害预测。并能对灾害发生的时间作比较准确的预报,则可帮助政府和人民做好预防工作,从而使灾害损失减少到最小限度。

3. 季节性灾变预测。灾变预测模型用的原始数据是年平均值,不考虑灾害出现的具体日期。季节性灾变预测则考虑以年为周期的季节性变化,同时考虑到灾害性变化的具体日