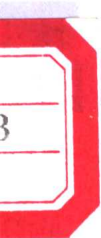




灰色系统理论
系列书

灰预测与灰决策

■ 邓聚龙 著



华中科技大学出版社

灰预测与灰决策

■ 邓聚龙 著

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

灰预测与灰决策(修订版)/邓聚龙 著
武汉:华中科技大学出版社, 2002年9月
ISBN 7-5609-2727-0

I. 灰…
II. 邓…
III. 灰预测-灰决策-理论
IV. N945

灰预测与灰决策(修订版)

邓聚龙 著

责任编辑:章咏霓
责任校对:陈元玉

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录排:华中科技大学出版社照排室

印刷:中科院武汉分院科技印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:8 插页:2

字数:185 000

版次:2002年9月第1版

印次:2002年9月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2727-0/N·21

定价:14.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



作者简介

邓聚龙，武汉华中科技大学控制科学与工程系教授，博士生导师。20世纪70年代末、80年代初提出灰色系统理论，该理论已广泛应用于石油、地质、医学、工业控制、管理、农业等众多领域。已出版灰色系统理论著作16种（包括中文简体版、中文繁体版、英文版、日文版），发表论文216篇。

内 容 提 要

本书原名《灰色预测与决策》，是本书作者邓聚龙教授创立的“灰色系统理论”(简称“灰理论”)的奠基性著作之一。该理论已广泛应用于社会、经济、科技、农业、生态等各个领域。修订版在初版的基础上，吸收了十几年来灰预测与灰决策在理论和应用上的最新重要成果，对初版作了脱胎换骨的更新、补充与修订，是作者对灰理论进行开拓、创新的最新展示。全书分五部分：概论、灰数、灰预测基础、灰预测方法、灰决策，对灰预测与灰决策的基本理论和基本方法进行了系统的阐述，其中包含有一系列应用实例。

本书可供科技工作者、灰理论研究者和高校师生阅读参考。

修订版序言

20 世纪 80 年代初,灰色系统理论刚刚诞生,华中科技大学出版社(原华中理工大学出版社)便开始注意、培育这棵幼苗,出版灰色系统理论著作.1986 年出版的《灰色预测与决策》,便是灰色系统理论系列著作中的一种.时至今日,十多年过去了,尽管出版社多次人事更迭,可是出版社扶持灰理论之心仍然矢志不渝.《灰色控制系统》一书获 1998 年湖北省科技进步一等奖,《灰色预测与决策》一书由日本神奈川大学北岡正敏教授和客座教授赵君明先生翻译成日文《灰色理論による予測と意思決定》,并由日本理工出版会出版,都渗透着华中科技大学出版社及有关编辑对灰理论关怀之心、帮助之情、扶持之意.作者趁本书修订版(第二版)问世之机,向华中科技大学出版社及有关编辑致以衷心感谢.

本书初版至今的十多年里,由于海内外灰理论同行们的共同努力,灰理论在理论、概念、体系、方法、应用等方面均有较大延伸、开拓与发展.此次再版,对初版《灰色预测与决策》作了全面的修改.原有非灰理论的第一、三两章完全删除.原有的属于灰理论的第二、四两章也作了脱胎换骨的更新、补充,扩展为五章.

修订版第一章“灰预测与灰决策概论”中,强调了灰理论的基本属性:少数据不确定性,阐述了预测与决策的时轴定位;第二章“灰数”中,第一次提出谱映射、默认与否认原理等新概念,奠定了灰概念的量化基础,本章中首次提出的概念数与潜数为灰数学作了路基性的铺垫;第三章“灰预测基础”概括了十多年来在灰预测方面有显著作用和突出价值的内容,包括各种数据处理方法,灰建模检验的理论、算式;第四章“灰预测方法”中对原有各种灰预测方

法作了补充、刷新,比如灰季节事件预测中,预测日期的走向(是往大靠,××日以前,还是往小靠,××日以后),一直困惑着人们,本书中首次提出了判断方法;第五章“灰决策”中,以灰局势决策、灰层次决策、灰模式关联决策为内容,作了新的组构,其中灰层次决策,用决策层之间意向序列的灰关联分析作了联合决策的重新定位.

最后,本修订本如果能被读者看做是 21 世纪到来之际一点微薄的奉献,那就是作者莫大的荣幸了.

不当之处,敬请读者指正.

邓聚龙

2000 年 3 月 24 日

目 录

第一章 灰预测与灰决策概论	(1)
1.1 灰理论与少数据不确定性	(1)
1.2 预测与决策的意义	(1)
1.3 预测与决策的时轴定位	(2)
1.4 灰预测与一般预测概言	(4)
1.5 灰决策与一般决策概言	(5)
第二章 灰数	(7)
2.1 谱映射	(7)
2.1.1 离散谱映射	(7)
2.1.2 连续谱映射	(7)
2.2 默认与否认原理	(8)
2.2.1 默认原理	(8)
2.2.2 否认原理	(10)
2.3 信息覆盖	(13)
2.3.1 信息覆盖定义	(13)
2.3.2 信息覆盖有关定理	(13)
2.4 时轴上的灰认知	(14)
2.4.1 认知模式	(14)
2.4.2 时轴上的 V 形认知域	(14)
2.5 概念数与潜数	(16)
2.5.1 公数运算	(16)
2.5.2 概念数与潜数	(16)
2.6 灰数定义及其表达	(17)

2.6.1	灰数定义	(17)
2.6.2	灰数分布类型	(19)
2.6.3	连续灰数的表达	(19)
2.6.4	灰数的灰度	(23)
2.7	灰数的覆盖运算	(24)
2.7.1	灰数运算定义与性质	(24)
2.7.2	灰数覆盖加运算	(26)
2.7.3	灰数覆盖减运算	(28)
2.7.4	灰数覆盖乘运算	(30)
2.7.5	灰数覆盖除运算	(32)
2.8	数与灰数的混合运算	(34)
2.8.1	混合运算定义	(34)
2.8.2	混合加运算	(35)
2.8.3	混合减运算	(36)
2.8.4	混合乘运算	(38)
2.8.5	混合除运算	(39)
2.8.6	混合逆运算	(41)
2.9	覆盖运算的某些定理	(43)
2.9.1	覆盖运算一般定理	(43)
2.9.2	覆盖的 AGO 与均值(MEAN)运算	(44)
第三章	灰预测基础	(45)
3.1	灰预测数据	(45)
3.1.1	灰预测数据类型	(45)
3.1.2	灰预测数据内涵特点	(46)
3.2	数据中的差异信息	(47)
3.2.1	差异信息定义	(47)
3.2.2	对数序列的差异信息	(49)
3.2.3	方根序列的差异信息	(53)
3.2.4	平移序列的差异信息	(58)

3.3	灰预测数据处理	(60)
3.3.1	数据处理原则与机理	(60)
3.3.2	对数处理(变换)	(61)
3.3.3	方根处理(变换)	(65)
3.3.4	平移处理(变换)	(68)
3.4	灰预测模型	(71)
3.4.1	GM(1,1)定义型	(71)
3.4.2	GM(1,1)模型参数的辨识	(74)
3.4.3	GM(1,1)内涵型	(76)
3.4.4	GM(1,1)白化型	(81)
3.4.5	GM(1,1)模型 a 参数与序列级比 $\sigma(k)$ 可容区	(82)
3.4.6	GM(1,1)中间参数的信息覆盖	(83)
3.4.7	GM(1,1)参数 a 与 b 的信息覆盖	(88)
3.4.8	$x^{(0)}$ 的级比 $\sigma^{(0)}(k)$ 与参数 a 覆盖的计算	(96)
3.5	灰预测的检验	(99)
3.5.1	灰预测检验概念	(99)
3.5.2	事前检验	(99)
3.5.3	事中检验	(101)
3.5.4	事后检验	(104)
3.6	灰预测值的表达方式	(106)
3.6.1	灰预测值的离散覆盖	(106)
3.6.2	灰预测值的连续覆盖	(108)
3.6.3	灰预测值的白化表达方式	(109)
第四章	灰预测方法	(111)
4.1	数列灰预测	(111)
4.1.1	数列灰预测概念	(111)
4.1.2	数列灰预测步骤	(111)
4.1.3	残差 GM(1,1)建模(非等间隔 GM(1,1))	(115)
4.1.4	数列灰预测计算示例	(118)

4.2	灾变灰预测	(131)
4.2.1	灾变灰预测概念	(131)
4.2.2	灾变灰预测计算步骤	(133)
4.2.3	灾变灰预测计算示例	(134)
4.3	季节灾变灰预测	(140)
4.3.1	季节灾变灰预测概念	(140)
4.3.2	季节事件(灾变)灰预测步骤	(142)
4.3.3	季节事件(灾变)灰预测计算示例	(143)
4.3.4	季节事件(灾变)灰预测的覆盖	(148)
4.4	拓扑灰预测	(153)
4.4.1	拓扑灰预测概念	(153)
4.4.2	拓扑基本知识	(154)
4.4.3	拓扑灰预测计算步骤	(158)
4.4.4	拓扑灰预测计算示例	(159)
4.5	系统灰预测	(163)
4.5.1	系统灰预测概念	(163)
4.5.2	系统灰预测基本模型	(164)
4.5.3	系统灰预测嵌套解法	(165)
4.5.4	系统灰预测嵌套解计算步骤	(168)
4.5.5	系统灰预测计算示例	(168)
4.6	包络灰预测	(172)
4.6.1	包络灰预测概念与机理	(172)
4.6.2	包络灰预测步骤	(173)
4.6.3	包络灰预测计算示例	(174)
第五章	灰决策	(180)
5.1	灰决策概念	(180)
5.1.1	决策大意	(180)
5.1.2	灰决策类型	(180)
5.2	灰局势决策	(182)

5.2.1	灰局势决策的要素	(182)
5.2.2	效果测度	(183)
5.2.3	最佳局势	(187)
5.2.4	灰决策智能空间	(188)
5.2.5	灰局势决策计算步骤	(190)
5.2.6	购房的灰局势决策	(190)
5.2.7	深海电缆参数的灰局势决策	(196)
5.3	灰层次决策	(204)
5.3.1	灰层次决策概念	(204)
5.3.2	灰关联分析	(204)
5.3.3	灰评估	(206)
5.3.4	灰层次决策	(209)
5.3.5	灰层次决策计算(求满意项目和满意投资灰类)	(213)
5.4	灰模式关联决策	(226)
5.4.1	灰模式关联决策概念	(226)
5.4.2	灰优化模式	(226)
5.4.3	灰模式关联决策步骤	(228)
5.4.4	瓷砖制造工艺的灰模式关联决策	(228)
5.4.5	输油管道防腐蚀的灰模式关联决策	(236)
参考文献		(242)

第一章 灰预测与灰决策概论

1.1 灰理论与少数据不确定性

基于信息思维,自然现象往往是灰的.灰色现象里含有已知的、未知的与非确知的种种信息;含有含糊不清的机理;存在数据不足的表现.少数据与少信息带来的不确定性,称为灰色不确定性.

灰色系统理论(简称灰理论或灰论, Grey Theory),是研究少数据不确定性的理论.

灰理论在分析少数据的特征、了解少数据的行为表现、探讨少数据的潜在机制、综合少数据的现象基础上,揭示少数据、少信息背景下事物的演化规律,为建立人与自然、经济与资源的和谐关系提供依据,为用有限信息解决工农业生产合理布局、生态环境协调平衡、资源优化利用、经济条件有效组合、商品经济健康发展、城镇建设有序规划提供支持.具体说来,在少数据不确定性背景下,数据的处理、现象的分析、模型的建立、发展趋势的预测、事物的决策、系统的控制与状态的评估,是灰理论的技术内容.

1.2 预测与决策的意义

“凡事预则立,不预则废.”这表明预测的重要性.事实上,只有以预测为依据的决策,才是有远见卓识的决策.下面是几个有关的

例子^①：

(1) 美国克莱斯勒汽车公司，在 20 世纪 70 年代石油危机的冲击中，深受其害，1979 年 9 个月内损失 7 亿多美元；与此相反，日本丰田汽车公司，却在此次经济浪潮中发展壮大。究其原因，是市场预见与经营决策的差异。

(2) 第二次世界大战期间，盟军基于对气候的可靠预测，抓住暴风雨的空隙，于 1944 年 6 月 6 日执行诺曼底登陆计划，获得大捷；而希特勒由于对气候作了错误的判断，损失惨重，大败而终。

(3) 1980 年，我国有两艘远洋轮，同时从加拿大太子港返航。其中一艘船对航线分析预测不当，决策失误，一路上台风侵袭不断，航期延误，返航耗时 29 天；另一艘船，预测与决策妥当，选择了较好的返航路线，一路“顺风”，返航时间缩短为 16 天。

1.3 预测与决策的时轴定位

1. 时轴

图 1.1 为时轴，该图以 o 点为中心，两边对称。

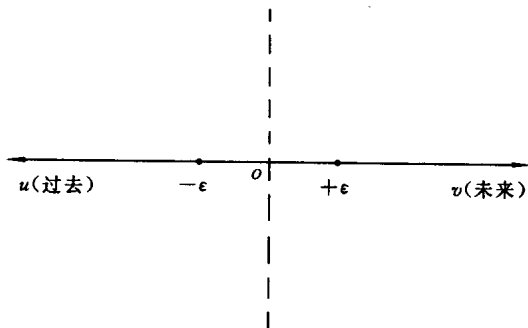


图 1.1 时轴的 u (过去) v (未来)分布

① 明鲁，立田，领导决策概论，武汉：华中工学院出版社，1988. 96~116.

图 1.1 有下述内涵:

(1) 原点 o 表示现在, 称为现实点、中心点. 有时用 n 表示. $(-\epsilon, +\epsilon)$ 为现实时区.

(2) 原点 o 右边为右(向)轴, 代表未来, 称为未来轴或 v 轴, 可记为 $(+\epsilon, v)$. 其走向 $o \rightarrow v$ 代表时间的演变, 其意义为

现在(o) $\longrightarrow$ 将来 $\longrightarrow$ 未来(v).

(3) 原点 o 左边为左(向)轴, 代表过去, 称为过去轴或存在轴、 u 轴, 可记为 $(-\epsilon, u)$. 其走向 $o \rightarrow u$ 代表时间的演变, 其意义为

现在(o) $\longrightarrow$ 过去 $\longrightarrow$ 远古(u).

(4) 左轴上数据为现有数据或存在数据. 存在数据构成的序列为现实序列或存在序列, 记为 x

$$x = (x(1), x(2), \dots, x(n)),$$

令 $x(k)$ 与 $x(k+1)$ 为 x 中第 k 点及 $k+1$ 点数据, 则称 $x(k)$ 为 $x(k+1)$ 的前数据, $x(k+1)$ 为 $x(k)$ 的后数据. 称 n 为现实点或原点, 称 $x(n)$ 为现实数据.

(5) 由存在序列建立的模型称为存在模型, 简称模型. 通过模型算出来的数据 $\hat{x}(n+\xi)$ 称预测值, ξ 为预测步数, $n+\xi$ 必分布在时间的右轴(v 轴)上. 通过模型得到的数据 $\hat{x}(k)$, $k \leq n$ 称平滑值(或模型值), k 必分布在左轴上.

2. 预测的时轴定位

用存在数据建立模型计算未来时轴上的数据, 称为预测. 预测方法(模型)在时轴上的分类, 有下述几种:

(1) 用尽可能多的存在数据构成模型预测未来, 称为大样本预测, 比如概率与数理统计方法.

(2) 通过存在数据总结出经验算式预测未来, 称为经验预测, 如预测的模糊算式.

(3) 用现实时区 $(-\epsilon, +\epsilon)$ 数据构造模型预测未来, 称为现实外推预测. 由于 $(-\epsilon, +\epsilon)$, 即现实时区仅仅是时轴上非常小的子

区, $(-\epsilon, +\epsilon)$ 内的数据远少于 (u, o) 上的数据, 故现实外推预测为少数数据预测, 即灰色预测.

3. 决策的时轴定位

事件 a 出现, 有许多对策 b 来对付. 从许多对策 b 中挑选最满意的对策 b^* 来对付事件 a , 这就是决策.

决策的依据是数据. 按数据的时轴定位, 决策有如下几类:

(1) 用 u 轴上数据作统计处置, 以获得概率、概率分布, 在此基础上进行决策, 称为概率统计决策, 如马尔可夫决策……

(2) 用 u 轴上数据构造算式、模型、规则进行决策, 称为存在决策, 如效用算式、规划问题和灰色局势决策, 以及模糊决策……

(3) 用 u 轴上数据建立预测模型, 在预测数据的基础上进行决策, 称为预测决策, 如预测型灰线性规划, 预测数据基础上的灰局势决策……

1.4 灰预测与一般预测概言

1. 一般预测

基于概率外推、函数外推、经验外推……方法的预测为一般预测. 比如:

- 德尔菲法;
- 统计趋势预测;
- 回归分析预测;
- 指数平滑;
- 马尔可夫模型预测;
- 最小方差预测.

上述方法的共同点是对大样本量的追求.

2. 灰色预测

基于少数数据模型 $GM(1,1)$ 的预测称为灰色预测, 简称为灰预测, 包括:

- 数列灰预测；
- 灾变灰预测；
- 季节灾变灰预测；
- 拓扑灰预测；
- 系统灰预测。

上述灰预测方法的共同特点是：

(1) 允许少数据预测。

(2) 允许对灰因果律事件进行预测，比如：

①灰因白果律事件。在粮食预测中，影响粮食生产的因子很多，多到无法枚举，故为灰因，然而粮食产量却是具体的，故为白果。粮食预测即为灰因白果律事件预测。

②白因灰果律事件。在开发项目前景预测时，开发项目的投入是具体的，为白因，而项目的效益暂时不很清楚，为灰果。项目前景预测即为白因灰果律事件预测。

(3) 具有可检验性。包括：

- ①建模可行性的级比检验(事前检验)。
- ②建模精度检验(模型检验)。
- ③预测的滚动检验(预测检验)。

1.5 灰决策与一般决策概言

1. 一般决策

基于概率、统计值、代数方法……一般决策有下述几类：

- 基于统计效用值的树形决策；
- 基于概率的随机决策；
- 基于博弈论的鞅形决策；
- 基于转移概率的马尔可夫决策；
- 规划问题。

2. 灰色决策