



灰色系统理论
系列书

灰理论基础

■ 邓聚龙 著

华中科技大学出版社

灰理论基础

■ 邓聚龙 著

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

灰理论基础/邓聚龙 著
武汉:华中科技大学出版社,2002年2月
ISBN 7-5609-2595-2

I. 灰…
II. 邓…
III. 灰色系统 - 理论
IV. N941.5

灰理论基础

邓聚龙 著

责任编辑:章咏霓
责任校对:蔡晓璐

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:华中科技大学印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:15.875 插页:2 字数:382 000
版次:2002年2月第1版 印次:2002年2月第1次印刷 印数:1—2 000
ISBN 7-5609-2595-2/N·20 定价:28.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

目 录

第一章 灰色系统理论概言	(1)
1.1 邓聚龙提出灰色系统理论	(1)
1.2 灰性、灰概念.....	(2)
1.3 灰理论与概率、模糊的对比.....	(3)
1.4 灰理论的主要内容	(6)
1.5 灰理论应用实例	(8)
1.5.1 石油天然气勘探	(8)
1.5.2 有色金属探矿	(11)
1.5.3 灰色预测控制	(12)
1.5.4 影像压缩.....	(15)
1.5.5 在机床故障诊断与分析中的应用	(16)
第二章 灰色系统理论基础	(18)
2.1 灰理论的基本原理.....	(18)
2.1.1 灰理论基本原理概言	(18)
2.1.2 默承认原理	(19)
2.1.3 默否认原理	(25)
2.1.4 差异信息原理	(28)
2.2 认知模式.....	(32)
2.2.1 信息认知原理	(32)
2.2.2 认知模式.....	(32)
2.2.3 解的非唯一性原理	(36)
2.2.4 白化原理.....	(38)
2.2.5 灰性不灭原理	(39)

2.2.6	最少信息原理	(40)
2.3	灰朦胧集	(40)
2.3.1	灰朦胧集概言	(40)
2.3.2	命题信息域	(40)
2.3.3	灰朦胧集	(42)
2.4	信息覆盖	(46)
2.5	灰因果律与构造模式	(49)
2.6	平射	(52)
2.6.1	平射概念	(52)
2.6.2	平射有关定义	(52)
2.7	序列	(53)
2.7.1	序列定义及信息量	(53)
2.7.2	序列类型	(57)
第三章	灰数	(61)
3.1	概念数与潜数	(61)
3.2	灰数的定义	(63)
3.3	灰数的灰度	(66)
3.4	形态灰数	(70)
3.5	灰数覆盖运算基础	(73)
3.6	灰数覆盖运算	(75)
3.7	覆盖运算有关定理	(83)
3.8	灰数与区间数的比较	(84)
第四章	灰生成	(87)
4.1	灰生成概念	(87)
4.2	累加生成 AGO	(89)
4.2.1	AGO 生成含义	(89)
4.2.2	AGO 生成算式	(90)
4.2.3	累加生成灰指数律	(96)
4.2.4	AGO 生成空间	(104)

4.3	累减生成 IAGO	(111)
4.4	初值化生成	(114)
4.5	均值化生成	(117)
4.6	区间值化生成	(119)
第五章	灰关联空间	(122)
5.1	灰关联空间概言	(122)
5.2	灰关联因子空间	(124)
5.2.1	灰关联因子空间概言	(124)
5.2.2	因子集	(124)
5.2.3	影响集	(128)
5.2.4	灰关联因子集	(129)
5.3	灰关联差异信息空间	(133)
5.4	灰关联空间	(135)
5.4.1	灰关联空间概言	(135)
5.4.2	灰关联 4 公理	(136)
5.4.3	灰关联空间	(137)
5.4.4	灰关联分析示例	(141)
5.5	灰序白化	(151)
5.5.1	灰序白化概言	(151)
5.5.2	灰序白化定义	(151)
5.5.3	灰序白化方法	(152)
5.5.4	灰序白化示例	(154)
5.6	灰关联矩阵	(158)
5.6.1	灰关联矩阵概念	(158)
5.6.2	灰关联矩阵定义	(158)
5.6.3	灰关联矩阵分析	(161)
5.6.4	灰关联矩阵计算示例	(162)
5.7	灰色自关联矩阵	(167)
5.8	灰靶理论	(171)

5.8.1	灰靶理论概言	(171)
5.8.2	灰模式	(172)
5.8.3	标准模式(靶心)	(173)
5.8.4	灰靶变换	(174)
5.8.5	统一靶牌	(182)
5.8.6	统一靶牌示例	(186)
5.8.7	灰靶贡献度	(191)
5.8.8	灰靶贡献度示例	(195)
5.8.9	方向靶	(202)
第六章 灰建模		(210)
6.1	灰建模概言	(210)
6.2	平射的功能拓广	(211)
6.3	灰微分方程基础	(214)
6.3.1	序列观	(214)
6.3.2	导数的灰因白果律	(215)
6.4	灰微分方程与GM(1,1)模型	(218)
6.4.1	灰微分方程	(218)
6.4.2	灰模型GM(1,1)	(221)
6.5	GM(1,1)参数辨识	(225)
6.5.1	GM(1,1)参数的矩阵算式	(225)
6.5.2	GM(1,1)参数包	(227)
6.5.3	GM(1,1)计算示例	(233)
6.6	GM(1,1)派生模型	(239)
6.6.1	GM(1,1)派生模型GM(1,1, $x^{(1)}$)	(239)
6.6.2	GM(1,1)派生模型GM(1,1, $x^{(0)}$)	(241)
6.6.3	GM(1,1)派生模型GM(1,1, b)	(242)
6.6.4	GM(1,1)派生模型GM(1,1,exp)	(245)
6.6.5	GM(1,1)派生模型GM(1,1,C)	(246)
6.6.6	GM(1,1)模型汇总	(248)

6.7	GM(1,1)参数禁区与级比判断	(249)
6.7.1	GM(1,1)禁区	(249)
6.7.2	级比判断	(251)
6.7.3	级比界区	(252)
6.8	首位灰列 GM(1,1)	(258)
6.8.1	首位灰列定义	(258)
6.8.2	首位灰列参数包	(259)
6.8.3	首位灰列 GM(1,1)	(264)
6.8.4	首位灰列计算示例	(266)
6.9	非等间隔 GM(1,1)	(268)
6.9.1	非等间隔序列的形成	(268)
6.9.2	非等间隔 GM(1,1)模型	(269)
6.9.3	非等间隔 GM(1,1)参数包	(271)
6.9.4	非等间隔 GM(1,1)模型的间隙变换	(276)
6.9.5	非等间隔 GM(1,1)示例	(278)
6.10	多维灰模型 GM(1,N)	(282)
6.10.1	多维灰模型 GM(1,N)概念	(282)
6.10.2	GM(1,N)模型	(283)
6.10.3	GM(1,N)参数辨识	(285)
6.10.4	GM(1,N)派生模型	(288)
6.10.5	GM(1,N)计算示例	(292)
6.11	灰色 Verhulst 模型	(300)
6.11.1	灰色 Verhulst 模型概言	(300)
6.11.2	灰色 Verhulst 模型	(301)
6.11.3	灰色 Verhulst 示例	(307)
6.12	GM(0,N)模型	(310)
6.12.1	GM(0,N)模型概言	(310)
6.12.2	GM(0,N)模型	(311)
6.12.3	GM(0,N)示例	(313)

第七章 惯性灰建模理论	(317)
7.1 惯性原理	(317)
7.2 基本力学定义	(317)
7.3 力变换、力空间	(321)
7.4 分解变换	(324)
7.5 GM(1,1)参数空间	(328)
7.6 GM(1,1)惯性模型	(339)
7.7 GM(1,1)惯性模型的 β 一致性	(343)
7.8 GM(1,1)惯性模型应用	(350)
第八章 灰预测	(361)
8.1 灰预测概言	(361)
8.1.1 时轴	(361)
8.1.2 灰预测机理	(362)
8.1.3 灰预测类型	(364)
8.2 数列灰预测	(365)
8.2.1 数列灰预测要点	(365)
8.2.2 数列灰预测计算示例	(367)
8.3 灾变灰预测	(370)
8.3.1 灾变灰预测要点	(370)
8.3.2 灾变灰预测计算示例	(373)
8.4 季节灾变灰预测	(375)
8.4.1 季节灾变灰预测要点	(375)
8.4.2 季节灾变灰预测示例	(378)
8.5 拓扑灰预测	(382)
8.5.1 拓扑的基本概念	(382)
8.5.2 拓扑灰预测	(385)
8.5.3 拓扑灰预测计算示例	(386)
8.6 系统灰预测	(389)
8.6.1 系统灰预测概言	(389)

8.6.2	多变量灰微分方程组	(389)
8.6.3	系统灰预测计算示例	(392)
第九章	灰评估	(397)
9.1	灰评估概言	(397)
9.2	灰评估基础(一)	(398)
9.3	灰评估基础(二):量纲集	(400)
9.4	灰评估法则	(402)
9.5	灰统计	(403)
9.5.1	灰统计算式	(403)
9.5.2	灰统计计算示例	(405)
9.6	灰聚类	(412)
9.6.1	灰聚类算式	(412)
9.6.2	灰聚类计算	(414)
第十章	灰决策	(422)
10.1	灰决策概言	(422)
10.2	灰局势决策	(425)
10.2.1	灰局势决策基础:效果测度	(425)
10.2.2	灰局势决策概念与定义	(431)
10.2.3	灰局势决策智能空间	(435)
10.2.4	灰局势决策计算示例	(437)
10.3	灰层次决策	(443)
10.3.1	灰层次决策概言	(443)
10.3.2	灰层次决策	(444)
10.3.3	灰层次决策计算示例	(448)
第十一章	灰色控制	(455)
11.1	灰色控制概言	(455)
11.1.1	三种控制	(455)
11.1.2	三种控制的比较	(458)
11.1.3	灰色预测控制的原理	(462)

11.1.4	灰色预测控制的特点	(464)
11.2	灰色预测控制有关定义	(466)
11.2.1	新陈代谢序列有关定义	(466)
11.2.2	有关级比的定义	(468)
11.2.3	灰色预测控制模型有关定义	(469)
11.2.4	灰色预测控制有关定义	(471)
11.3	灰色预测控制有关定理	(473)
11.3.1	灰控制模型有关定理	(473)
11.3.2	灰预测控制过程有关定理	(477)
11.4	灰色预测控制的发展简介	(479)
	参考文献	(484)

第一章 灰色系统理论概言

(Outline on Grey System Theory)

历史学家 A. L. Koyre 认为 17 世纪西方科学的发展, 导致人们“从封闭的世界走向无限的世界”。18 世纪中叶, 热力学第二定律将我们带进了一个崭新的世界, 一个不稳定的热力学的世界。正是这样一个不稳定的世界, 导致了随机性的研究。随机性的研究和概率与数理统计的运作, 为现代科学的发展起了重要作用。然而与之伴生的现象是人们追求数据的大量性、苛求信息的完备性。近世纪以来信息化社会的飞速发展, 突出了信息不完全、不确定问题。因此, 面对信息不完备、不确定, 数据较少的现实, 如何描述、认识、处理与对待我们周围日益增多的信息, 就成为本世纪面临的主要课题之一。

1.1 邓聚龙提出灰色系统理论

灰色系统 (Grey System) 是邓聚龙在 20 世纪 70 年代末、80 年代初提出的。第一篇灰色系统的论文“The Control Problems of Grey Systems”发表在 *Systems & Control Letters*, 1982, No. 5, p288~294。在此之前, 1979 年在北京召开的军事系统工程学术会议上, 邓聚龙宣读了论文“参数不完全大系统的最小信息镇定”。此文是灰色系统的雏形 (参见《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》, p187“灰色系统理论”词条;《系统科学大辞典》, p239“灰色系统理论”, p72“邓聚龙”词条)。

1.2 灰性、灰概念

1. 少数据不确定性与灰理论的提出

纷繁博大的宇宙、错综复杂的大自然、机理万千的社会，使人眼花缭乱，使人难以穷尽，给人以朦胧、不确定的感觉。

人们通过概率与数理统计，解决样本量大、数据多但缺乏明显规律的问题，即“大样本不确定性”问题；人们用模糊数学处理人的经验与认知先验信息的不确定问题，即“认知不确定性”问题。而灰色系统理论（简称灰理论 Grey Theory）则是针对既无经验，数据又少的不确定性问题，即“少数据不确定性”问题提出的。

2. 灰概念、灰性与灰系统

灰概念一般有两种表达方式：

(1) 方式一

灰概念是“数据少”与“信息不确定”两种概念的整合。也就是“灰性”，即“少数据不确定性”。按此表达方式，可以说灰色系统即是少数据不确定性的系统。

(2) 方式二

“灰”是介于“白”与“黑”之间的概念。

白：指信息确定、数据完整。对应的有白色系统。

黑：指信息很不确定、数据很少。对应的有黑色系统。

灰：指信息部分不确定、部分确定；部分不完全、部分完全；部分未知、部分已知。对应的即是灰色系统。

3. 灰性的表现

灰性的本质是“少”与“不确定”。这二者之间既有区别又有联系；既可独立存在又有因果关系。下面概述由“少”导致“不确定”的表现。

(1) 运行机制灰性

信息少，难以将事物的运行机制阐述清楚，难以对运行机制有

明确的认知,从而导致运行机制的灰性.

(2) 结构灰性

信息少,数据不完整,对事物的结构不可能有全方位的认知,从而导致结构的灰性.

(3) 关系灰性

信息少,数据不多,难以对事物之间建立确定的关系,从而导致关系的灰性.

(4) 模型灰性

信息少,数据不足,难以建立完备的函数空间,从而导致模型在性质、功效方面的不确定性,即模型灰性.

(5) 认知灰性

信息少,只能获得局部的认知,不确定的认知,默认性的认知,即认知灰性.

1.3 灰理论与概率、模糊的对比

1. 三种不确定性理论

灰色理论(Grey Theory)、概率论(Probability)与模糊理论(Fuzzy Theory)是三种理论、三种概念、三种不确定性.基于前面的阐述,三种理论研究内容的区别可概括如下:

- (1) 灰理论研究“少数据不确定”;
- (2) 概率论研究“大样本不确定”;
- (3) 模糊理论研究“认知不确定”.

2. 三种理论的研究宗旨

灰理论中的“少数据”,指以现实信息为背景的数据,指有效时区内的数据.现实数据相对于“历史长河”的数据就必然是少数据.现实信息中蕴含的规律称为现实规律.

三种理论的研究宗旨分别为:

- (1) 灰理论:强调新息优化,研究现实规律;

(2) 概率与数理统计:强调统计数据与历史关系,研究历史的统计规律;

(3) 模糊理论:强调先验信息,依赖人的经验,研究经验认知的表达规律.

3. 三种理论的全面对比

上述理论范畴与研究宗旨是三种理论的主要区别.在表1.1中对三种理论作了全面的对比和区分.

表 1.1 “灰”、“概率”、“模糊”的区别

	灰色系统	概率论	模糊集
内涵	小样本不确定	大样本不确定	认知不确定
基础	灰朦胧集	康托集	模糊集
依据	信息覆盖	概率分布	隶属度函数
手段	生成	统计	边界取值
特点	少数据	多数据	经验(数据)
要求	允许任意分布	要求典型分布	函数
目标	现实规律	历史统计规律	认知表达
思维方式	多角度	重复再现	外延量化
信息准则	最少信息	无限信息	经验信息

4. 三种理论“区别”的解释

(1) 基础

灰色为灰朦胧集;概率为康托集;模糊为模糊集.

若记属于集合 A 的元素其特征值为 1,不属于 A 的元素特征值为 0,则有

康托集(Cantor Set)是“1”与“0”的集,元素具有“是”或“非”的特征.

模糊集(Fuzzy Set)是 1 与 0 之间的集,元素的特征值可以取

0 到 1 之间的任何值。

灰朦胧集(Grey Hazy Set)是可以兼容 0 与 1,兼容 $[0,1]$,并具有演变动态的集;是信息由少到多不断补充的集合;是元素由不明确到明确、由抽象到具体、由灰到白的集合;是有“生命”、有“时效”、有动态的集;是具有 4 种形态:胚胎(embryo)、发育(growing)、成熟(mature)与实证(evidence)的集。

(2) 依据

灰色为信息覆盖;概率论为概率分布;模糊为隶属度函数。

由于概率分布与隶属度函数是人们熟知的,故只对灰色理论的依据——信息覆盖加以解释。

信息覆盖是指用一组信息去包容、覆盖给定命题。比如,用集合{童年,少年,青年,中年,老年}覆盖人的一生;用一组关键词来覆盖一篇论文的基本内容。

信息覆盖的实质是:不完全信息的汇集,认知的灰性。

(3) 手段

灰色为灰生成;概率为统计;模糊集为边界取值。

由于概率论中的统计,模糊集运算的取大 \vee 取小 \wedge 均为人们熟知,故只解释灰生成。

灰生成是数据处理、信息加工。其目的是为灰分析、灰建模、灰预测、灰决策等提供可比、合理、同极性的数据;是为了发现数据中隐含的规律。

(4) 特点

灰色为少数据;概率为大样本;模糊为经验。

概率与模糊的特点是显见的。

灰色为少数据的概念是:灰动态模型的建立,可少到 4 个数据;灰关联分析模型的建立,每一序列可少到 3 个数据;灰局势决策,每一目标,可少到 3 个样本。

(5) 要求

灰色允许数据为非典型分布;概率要求典型分布;模糊为隶属

度函数.

概率与模糊的要求是显见的。

灰色研究少数据不确定. 既然是少数据, 就不可能构成某种分布.

(6) 目标

目标即宗旨, 前面已有论述.

(7) 思维方式

灰色为多视角; 概率为重复再现; 模糊为外延量化.

灰色理论以信息覆盖为依据, 信息覆盖体现多视角.

概率与数理统计研究历史统计规律, 这决定了它的思维方式是重复再现(类比).

模糊理论将不确定的外延用隶属度(函数)表达, 这就是外延量化.

(8) 信息准则

灰色为最少信息; 概率为无限信息; 模糊为经验信息.

灰理论立足于(有限)序列, 而非函数; 立足于对称, 而非任意取点.

概率立足于大样本, 追求无穷信息.

模糊立足于经验丰富, 立足于以经验为内涵的隶属度函数.

1.4 灰理论的主要内容

目前, 灰理论的主要内容有: 灰哲学、灰生成、灰分析、灰建模、灰预测、灰决策、灰控制、灰评估、灰数学等.

1. 灰哲学

灰哲学的主要内容是: 研究定性认知与定量认知、符号认知的关系; 研究默承认、默否认、否认、承认、确认、公认的内涵、原理、性质、模式; 研究少信息的思维规律.