

A large, stylized letter 'M' logo. The left vertical stroke is white, and the right vertical stroke is red. The top horizontal stroke is red, and the bottom horizontal stroke is white. The background is a dark blue gradient.

多维 灰色 规划

邓聚龙 著

A large, expressive yellow brushstroke graphic that sweeps across the middle of the cover. It consists of several thick, horizontal strokes that fan out from left to right, creating a sense of movement and energy. The background behind the strokes is a dark blue gradient.

中国软科学丛书

“这门学科的特点：是遵循系统思想，实行社会科学与自然科学相结合，定量分析与定性分析相结合，工作经验和技巧与科学方法和手段相结合，研究工作者与管理决策者相结合，促进决策的科学化、民主化。”

G0777/11

中国软科学丛书

多维灰色规划

邓聚龙 著

责任编辑 殷伯明

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

湖南省新华印刷二厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：10.5 字数：260,000

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数：1—1500

ISBN 7-5609-0289-8/Z·6

定价：平装：4.30元 精装：6.60元

内 容 提 要

灰色系统理论自1982年诞生以来有了很大的发展，多维灰色规划就是其中最新的内容之一。

多维灰色规划用灰色预测模型来预测约束系数、约束值和目标系数的变化，进而构造预测型规划并考虑与其他因子的动态协调，最后确定满足多维协调的有效规划解。

本书的问世，宣告了灰色规划理论的诞生，并为软科学研究提供了新的方法。

ABSTRACT

Since the theory on Grey System was born in 1982, it has won great development, of which the multidimensional grey planning (MGP) is one of the recent achievements.

MGP utilizes the grey prediction model to estimate in advance the fluctuation of constraint coefficients, constraint values and objective coefficients, and the consideration of dynamic coordination with other factors is followed in constructing the predictive planning, and finally an effective planning solution satisfying multidimensional coordination is established.

The publication of this book proclaims the birth of the theory on grey planning and provides a new methodology for the research of soft science.

《中国软科学丛书》序

自1978年党的十一届三中全会以来,随着改革、开放政策的深入贯彻执行,中国的社会、经济形势发生了巨大的变化,对管理与决策的科学化、民主化提出了迫切的要求,于是,软科学逐步在中国发展起来了。1986年7月全国软科学研究工作座谈会的召开标志着中国软科学的发展进入了新的阶段。1987年10月召开的中国共产党第十三次代表大会在政治报告中又明确地提出了“要大力发展软科学”,从而正式确立了软科学在中国科学技术事业中的地位。

根据国内外软科学发展的现状,我们也认为,当前可以不必对软科学的定义多花工夫去争论,而应多下工夫去研究对时代实践有现实意义的重大问题。汇集和分析已有的关于软科学的定义,在内涵和外延上,它们各有不同的看法。我们只是指出,这门学科的特点,是遵循系统思想,实行社会科学与自然科学相结合,定量分析与定性分析相结合,工作经验和技巧与科学方法和手段相结合,研究工作者与管理决策者相结合,促进决策的科学化、民主化。

1985年,国家科委对全国的软科学研究机构,对已完成的和正在进行的软科学研究课题作了调查。当时,全国的软科学研究机构有420多个,从事软科学研究工作的专职人员有15000余人,软科学的研究课题涉及战略、决策、规

划、政策、科技立法、技术预测、技术评价、管理科学、科学学、技术经济分析、可行性研究、咨询技术等诸多方面，其方兴未艾之势是令人十分欣喜的。但是，我们也必须看到，我国的软科学研究还刚刚起步不久，在理论和实践上还存在着不少的问题，这些问题都需要在发展中逐步予以解决。

这套由华中理工大学出版社出版的《中国软科学丛书》旨在反映中国软科学应用及理论研究的主要成果，促进软科学在中国的发展。基于此，《丛书》打算较长时间地出版下去，其具体选题将随着我国软科学发展的进程，根据我国改革与发展的需要，根据软科学工作者和广大读者的意见分阶段进行规划，并且，要重点吸收和规划那些能反映中国软科学应用重大研究成果、对时代有重要现实意义和理论研究上有重要创新的选题。当然也不限于此。

因此，这套《丛书》应体现为著者、读者、编者相结合的产物，并由中国改革与发展的实践来检验。

《中国软科学丛书》编委会

1988年6月



作者

邓聚龙 54岁，华中理工大学自控系教授，中国未来研究会理事，中国系统工程学会理事，60年代曾提出“去余控制”理论，80年代又提出“灰色系统”理论。自1982年以来在国内外发表有The Control Problems of Grey Systems等学术论文60多篇，学术专著主要有《灰色控制系统》、《灰色预测与决策》、《灰色系统（社会·经济）》、《Grey Systems》等。

目 录

第一章 灰色系统	(1)
1.1 灰色系统概言.....	(1)
1.2 灰关联空间.....	(6)
1.3 生成空间.....	(11)
1.4 灰色建模.....	(15)
1.5 灰色预测.....	(20)
1.6 灰色决策.....	(23)
第二章 一维灰色分析	(27)
2.1 一维灰色分析的任务.....	(27)
2.2 平稳序列—维灰色分析.....	(30)
2.3 激励序列的类别.....	(34)
2.4 多点激励序列建模.....	(38)
2.5 单点激励序列建模.....	(47)
2.6 链序列建模.....	(63)
第三章 盈亏分析	(73)
3.1 盈亏分析概言.....	(73)
3.2 盈亏分析的基本关系.....	(73)
3.3 静态型灰色盈亏分析.....	(75)
3.4 规模分析.....	(79)
3.5 动态型灰色盈亏分析.....	(82)
第四章 多维灰色分析	(87)
4.1 多维灰色分析概言.....	(87)
4.2 投资效果分析.....	(89)
4.3 经济发展态势分析.....	(92)
4.4 多维动态分析.....	(103)
4.5 社会、科技、经济协调模型的建立.....	(126)

第五章 多维灰评估	(131)
5.1 多维灰评估的概言.....	(131)
5.2 灰关联评估.....	(132)
5.3 灰色统计与灰色聚类.....	(136)
5.4 局势评定.....	(144)
5.5 灰关联评估示例.....	(147)
5.6 多维灰评估示例.....	(152)
第六章 灰色规划	(172)
6.1 灰色线性规划.....	(172)
6.2 灰色非线性规划.....	(199)
6.3 灰色分派规划.....	(225)
6.4 灰色背包规划.....	(253)
6.5 灰色动态规划.....	(263)
6.6 灰色大规模规划.....	(269)
第七章 多维灰色规划	(277)
7.1 灰色规划的多维综合.....	(277)
7.2 灰综合模型分析.....	(298)
7.3 多维灰色规划的灰靶与灰轨道.....	(306)
7.4 规划的映射形式.....	(312)
7.5 多维灰色规划的区间值计算.....	(321)
参考文献	(325)
后 记	(326)

第一章

灰色系统

1.1 灰色系统概言

一、灰含义

灰色系统理论属系统论范畴。灰(色)是指信息不完全,灰色系统是指信息不完全的系统。“这个人的年龄18岁左右”,是典型的灰色系统命题。我们说“18岁左右”,而不能确切地说出其真实年龄,是由于缺乏出生日期的信息。若想知道此人的实际年龄,就需要补充信息。“年青人”是模糊数学的命题。“年青人”作为概念,人们是清楚的,不存在信息不完全的问题。但究竟多少岁的人算作年青人,则不容易直接回答。对此,扎德(Zadeh)用一个模糊集来描述。一般来说,灰色系统着重外延明确而内涵不明确问题的研究;模糊数学则着重研究外延不明确而内涵明确的问题。“这个人18岁左右”,外延是明确的,因为研究的是“这个人”而不是其他人,而“18岁左右”则表明,对这个人本身我们还不清楚,即内涵不明确。“年青人”作为一个概念,内涵明确,多少岁的人算作年青人,则不容易回答,这表明外延不明确。不过,灰色系统的问题,还包括了内涵和外延均不明确的问题。比如“年青人的心理特征”,则是内涵、外延均不明确的命题。

用“灰”表示信息不完全,源于控制论中“黑箱”的概念。控制论学者艾什比将内部信息缺乏的客体称为“黑箱”(Black Box)。据此,我们用“黑”表示信息缺乏;“白”表示信息完全;“灰”则表示信息部分已知,部分未知,即信息不完全。由于人们

在认识、思维、决策、行动等方面都会遇到信息不完全的情况，因此在不同场合、不同情况下，“灰”可以转化和引伸为不同的含义。

在现象中，若白是清晰，黑是不清晰，则灰是朦胧。比如，“雾失楼台，月迷津渡，桃源望断无觅处”，便是灰的现象。此外，在现象中还可以用白表示完全，黑表示不完全，灰为部分完全；白是纯，黑是不纯，灰为多种成分；白是明，黑是暗，灰是半明半暗；白是新，黑是旧，灰是新旧交替。在思维中，白是唯一，黑是无数，灰则是非唯一。比如“条条道路通罗马”，便可理解为思维的方法、角度、结论是非唯一的。此外，还可以用白表示一点，黑表示一大片，灰表示一个小区间。在决策中，白可以是肯定，黑是否定，灰便是部分肯定和部分否定；或者白是单目标，黑是无穷多的目标，灰则表示多目标。在行动中，若白是原则，黑是妥协，灰则是既有原则又有妥协；白是“一刀切”，黑是放任自流，灰则是随机应变；白是独断独行，黑是毫无主见，灰则是可以商量，有回旋余地，能相互谅解。在待人接物上，若白是霸道，黑是懦弱，灰则是宽容、厚道（见图1.1）。

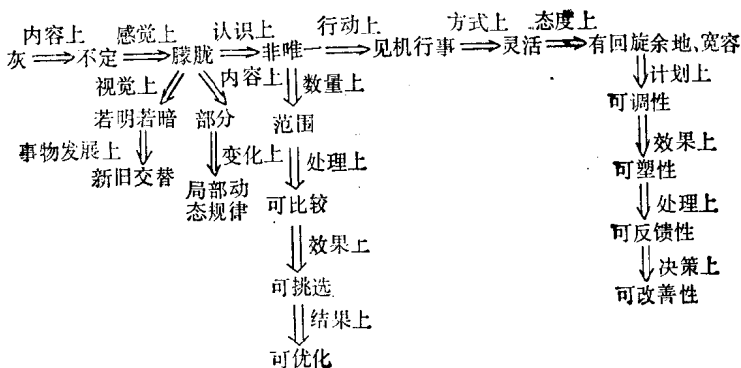


图1.1

二、灰现象

在文献〔1〕中,作者阐述过自然界信息不完全的一些现象。其实,在生活、社会体制、文艺、经济、法治、农业、军事等方面,都存在灰的现象。甚至可以说“一切现象是灰的”,“灰就是现象”。比如,十一届三中全会以来,我国经济发展了,人民生活改善了,心情舒畅了。这一切的表现形式之一,是服装式样新了,衣料好了,色彩多了。可是“新”、“好”、“多”却很难用确切的数字表达,充其量只能用灰的语言加以概括。如“大约80%以上的人穿着款式新了”…。这表明生活现象是灰的。又比如,“一国两制”,“国营、集体、个体并存”,“新旧体制交替”等表明社会体制的现象也是灰的。又比如,在戏剧方面:“一千个观众,有一千个孙中山”,即同一个艺术形象,不同的观众有不同的领悟。齐白石说“学我者死,似我者生”,作画应该意似,而不应该形似。交响音乐有主题,有衬托,有意境,有层次,有韵味,有感情…。贝多芬的悲怆奏鸣曲、英雄交响曲、月光奏鸣曲、第九交响乐代表不同主题和不同意境,有些悲哀,有些豪放,有些低沉,有些高昂,有些反映感情,有些反映理想,然而这些都只能心领神会,并且不同的人,领悟的程度也不同。一首不朽的诗篇,是富有诗情画意的,是引人入胜的,是回味无穷的,那它必定是用含蓄的语言,灰的语言创作的。南唐李后主的词“剪不断,理还乱,是离愁,别是一般滋味在心头”,苏轼诗词“江山如画,一时多少豪杰”等都有可回味、可联想、可深化的特点。在某种意义上说,诗要灰,灰才有寓意,灰才有深度,灰才有回味,灰才有意境,灰才有覆盖面,灰才有穿透能力,灰才有吸引力,灰才有深情,灰才能敲开人们心扉,灰才有警世作用,灰才能使内涵深化,灰才能使外延开拓,灰才能映射反射。总之,灰深深地浸透在文化艺术中。在经济领域内,作为经济行为尺度,作为商品流通手段的货币是

灰的。市场的价格，这种商品的销售、供应对另一种商品的影响，这种商品的价格对另一种商品价格的影响，有计划的商品经济与纯商品经济的关系，市场调节机制与宏观控制机制的关系等都是灰的。在法治系统中，一个案件被侦破之前是灰的，而侦破之后基本是白的。一个案件起诉后，审判之前是灰的，审判之后基本是白的。在农业系统中，农业季节是灰的，农业技术规范是灰的，农业生产因素是灰的。在军事系统中，敌方情况是灰的，敌我双方的较量是灰的，军事因素是灰的。甚至可以说，人们生活在“灰”的世界里，并不得不按灰的方式思维，按灰的信息决策，按灰的规律行动。

三、灰数、灰元、灰关系和灰系统

一个信息不完全的数，称为灰数，记为 \otimes 。比如，“这个人的年龄18岁左右”。“18岁左右”便是灰数，可记为 $\otimes = 18$ ，或 $18 \in \otimes$ 。 $\tilde{\otimes}$ 表示 \otimes 的白化数(值)。又比如今天的气温是10到12℃，则可说今天的气温是灰数 $\otimes = [10, 12]$ 。

信息不完全或者内涵难以穷尽的元素，称为灰元。比如，货币是灰元。一张钞票，它代表多少社会价值，代表多少商品，是难以确定的，因为一张钞票所代表的社会价值因人而异，因时而异；一张钞票所代表的商品，因时而异，因地而异；…。还有古文物、稀有邮票、商标等都是灰元。

信息不完全或机制不明确的关系，称为灰关系。比如，某公司的经营效益与商品利税额、商品纯销售额、商品流通费用率、资金周转次数、人均销货额等有关，可是具体关系很难完全明确，更不容易量化，这便是灰关系。具有灰关系的因素是灰因素，灰因素之间的量化作用，称为灰关联。

含灰数或者灰元、灰关系的系统是信息不完全的系统，是灰系统。按客体的性质分，灰色系统可分为本征性灰系统与非本征

性灰系统。人文、经济、生态、农业、法制等是本征性灰系统。这类系统的特点是：缺乏物理原型。基于物理原型的缺乏，因此它的行为模式非唯一，因素空间难以穷尽，运行机制不明确，行为轨迹难以控制，信息是否完全、行为是否准确难以判断。按照某种准则构造的模型，只能是原系统的同构。工程技术系统、人体系统等，当信息不完全时，是非本征性灰系统。

四、灰思想

灰色系统理论的哲学基础，是认识论的反映论，是认识的信息性。人们对客观世界的认识，是客体以信息形式在大脑中引起反映而开始的。由于对客观世界的认识是无穷尽的，因此人们获得的信息也总是不完全的；由于认识是可深化的，因此信息不完全的客体是可研究的；由于感性认识是可升华为理性认识的，基于理性认识，对客体是可进行处置的，因此信息不完全的客体是可以处置的。人体复杂，信息多，而医生根据可获得的有限信息，对疾病进行诊断和治疗，就是一个灰系统处置的实例。

灰色系统理论的技术思想是解的非唯一性。由非唯一性可引申为集合性、范畴性、可比性、可序化性、可量化性、可构造性、可选择性、可优化性。影响系统行为特征的因素是非唯一的。按可比性准则可将全体灰关联因素，构成关联空间。关联空间是对系统因子作量化与序化分析的基础。描述系统行为的数据列往往是离乱的。数据的离乱削弱了可比性、可量化性。但系统行为数据列的表现形式是非唯一的。从一种表现形式转化为另一种表现形式是数据生成，因此生成是非唯一的。生成方式的全体构成生成空间。根据系统量化的要求，在生成空间里可确定一种有效方式，为分析与建模提供较好的基础。同一数据列，可按某种准则构成子序列，一般子序列是非唯一的，因此由子序列构成的子模型是非唯一的，子模型的全体构成子模型群。在子模型群中，可按照信

息利用程度以及模型与实际状态的吻合程度，来确定满意模型。系统主行为动态模型，体现数据间的灰关联。寻求现有数据与未来数据的量化关系，便是预测。事实上，预测也就是现有数据与未来数据的灰关联。具有灰关联的许多因素可构造多因素动态模型，按多因素动态模型的非唯一性，可构成多因素模型群，它为系统因素的动态关联，提供分析基础。面对一个事件，其处置的办法、途径、手段、对策是非唯一的。在多种对策中挑选一种效果最好的对策，对付事件的发生，便是决策。如果决策的数量表现用一个范围来约束，这个范围便称为灰靶。在把握事件、对策与目标的全局的基础上，从灰靶中确定一个满意的对策，便是灰决策。一个控制对象，按过去行为与未来行为的灰关联来进行控制，便是预测控制。将具有灰关联的模型、序列、数据相混合，可构成一个综合空间。综合空间是具有适应性的多种控制决策的全体。

一个区域性的经济发展规划，其解是非唯一的。通过不同渠道获得的规划解，用一个描述系统整体行为的动态模型来综合，便是多维灰色规划。

灰色系统理论属软科学的范畴，具有多学科的综合性。所以其数学基础也是非单一的。但灰思想强调非唯一性、可集合性、可构造性，因此灰思想也就是开集思想。开集既可在同一层次构造发展，也可在多层次上构造发展，这样就具有点集拓扑学的特点。因此，点集拓扑学是灰色系统理论的重要数学思想之一，它体现在本学科的思想、方法、体系上。

1.2 灰关联空间

一、因子空间

对于本征灰系统，影响系统主行为的因子（素）是很多的，

往往多到不可穷尽的地步。通过定性分析可确定一些作用较明显的因子。比如，社会生产总值可作为经济系统的行为特征量，而科技水平、物耗、能耗、资金、技术装备、劳力等是其因子，为此有因子集

{科技水平, 物耗, 能耗, 资金, 技术装备, 劳力, ...}

⇔ 社会生产总值。

倘使能找到因子的时间序列或者某种要求下的指标序列，则可对因子之间，因子与主行为特征量之间的灰关联作定量分析。不过作这种分析时，要求序列的数据之间保持“等权”、“等测度”、“等极性”。

所谓等权，就是指各序列的数据在大小上应比较接近，具有可比性。如果两个序列间的数据，在数值上相差太大，则小数值序列的作用便会被大数值序列掩盖。

例1.1 有 x_1, x_2 两序列

$$x_1 = (x_1(1), x_1(2), x_1(3)) = (4500, 6700, 3450),$$

$$x_2 = (x_2(1), x_2(2), x_2(3)) = (2.6, 3.4, 7.8),$$

对 x_1 与 x_2 作图，得图1.2曲线①及图1.3曲线①。

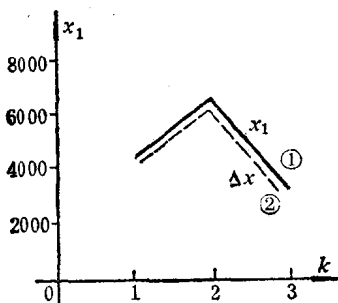


图1.2

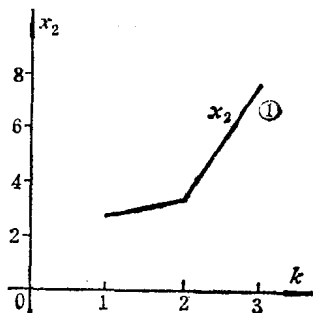


图1.3

对 x_1, x_2 两序列求差，有

$$\Delta x(i) = x_1(i) - x_2(i) \text{ 或 } |x_1(i) - x_2(i)|, \quad i = 1, 2, 3,$$

$$\Delta x = (\Delta x(1), \Delta x(2), \Delta x(3)) = (4497.4, 6696.6, 3442.2),$$

对 Δx 作图, 得图1.2曲线②。显然, Δx 与 x_1 形状一致, 而与 x_2 则相差甚远。这表明从 Δx 中很难体现 x_2 的作用。如果对 x_1 及 x_2 分别作初值化处理, 并记为 x_{10} , x_{20} , 则有

$$x_{10} = \left(\frac{x_1(1)}{x_1(1)}, \frac{x_1(2)}{x_1(1)}, \frac{x_1(3)}{x_1(1)} \right) = (1, 1.49, 0.77),$$

$$x_{20} = \left(\frac{x_2(1)}{x_2(1)}, \frac{x_2(2)}{x_2(1)}, \frac{x_2(3)}{x_2(1)} \right)$$

$$= (1, 1.31, 3)。$$

对 x_{10}, x_{20} 作图, 得图1.4的曲线①, ②。

求 x_{10}, x_{20} 的差序列, 有

$$\Delta x(i) = |x_{10}(i) - x_{20}(i)|,$$

$$\Delta x = (\Delta x(1), \Delta x(2), \Delta x(3)) = (0, 0.18, 2.23);$$

而

$$\Delta x'(i) = x_{10}(i) - x_{20}(i),$$

$$\Delta x' = (\Delta x'(1), \Delta x'(2), \Delta x'(3)) = (0, 0.18, -2.23)。$$

对 Δx 及 $\Delta x'$ 分别作图, 得图1.5及图1.6, 图中 Δx 与 x_{20} 相似; $\Delta x'$

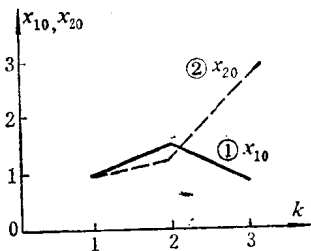


图1.4

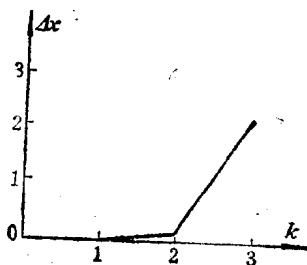


图1.5

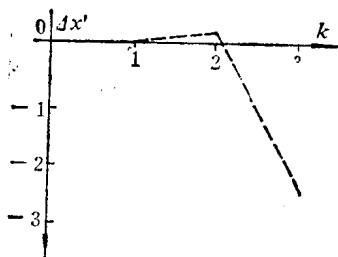


图1.6

与 x_{10} 相似。现在可以认为 x_{10} 与 x_{20} 是等权的。

灰色系统用作等权处理的方法，一般有初值化、均值化、区间值化、数值规一化四种，具体方法请参考文献〔2〕。等权处理后的序列 x_{i0} ，在不致混淆时，也可用 x_i 表示。从上面的叙述可看出，等权化的同时往往就是无量纲化。

等极性。同一因子具有两种表现形式，这两种表现对主行为的作用是相反的，我们就说极性是相反的。比如，以生产效率作为系统主行为，则劳力的健康率与劳力的疾病率是对生产效率作用相反两种表现，其中劳力健康率对生产效率是正极性，劳力疾病率对生产效率是负极性。所谓正极性，便是指劳力健康率越高，生产效率越高。所谓等极性化，就是在因子集中去掉负极性因子，保留正极性因子。

等测度。不同序列中，数据的变化所反映的意义不同，就说测度不同。比如，前述因子集中，为发展生产，科技水平要求越高越好，物耗水平则越低越好，这便是测度不等。对原有数据作某种变换，使数据的变化趋势都反映各自所要求的水平，便称为等测度化。

在灰色系统理论中，常用〔2〕

- 1° 上限效果测度，用来处理目标值“越大越好”的序列；
- 2° 下限效果测度，用来处理目标值“越小越好”的序列；
- 3° 适中效果测度，用来处理目标值“应该适中”的序列。

记 F 为因子的全体， M_1 ， M_2 ， M_3 分别为等权、等极性、等测度的变换， M 为变换全体， M_i 为 M 的子集，即

$$M = \{M_1, M_2, M_3\}, \quad M_i \subseteq M,$$

则称 (F, M_i) 为因子空间。

二、距离空间

将因子空间中的元素当作点，令 ρ 为满足距离三公理的测度，