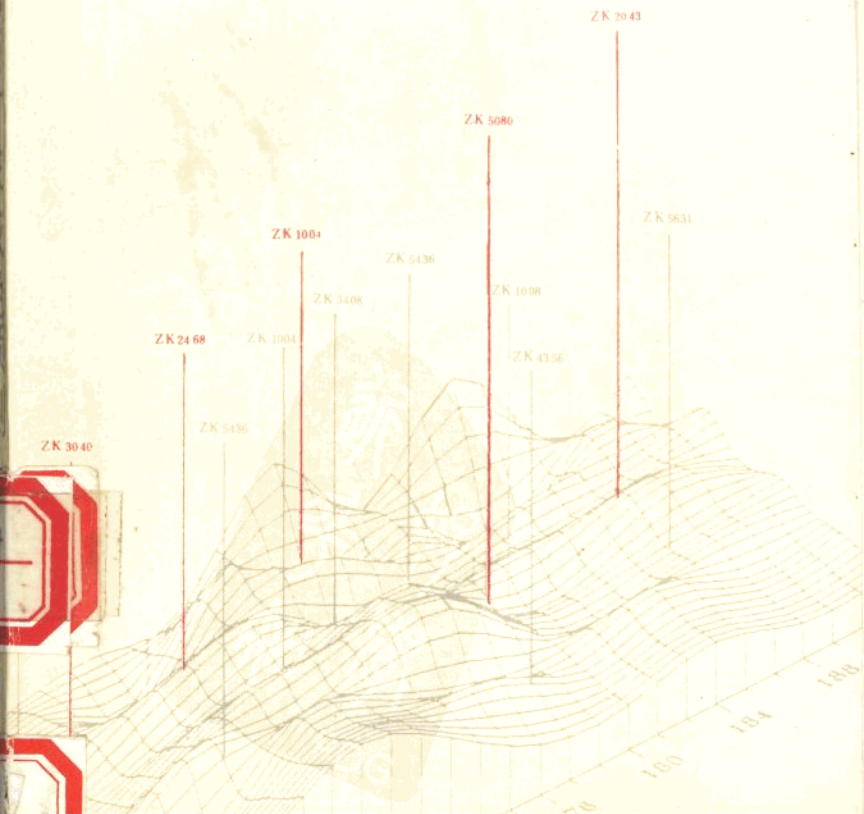


# 灰色系统理论与 矿床灰色预测

徐忠祥 吴国平 编著

中国地质大学出版社



# 灰色系统理论与矿床灰色预测

徐忠祥 吴国平 编著

国家自然科学基金和地质行业  
科学技术发展基金联合资助项目

中国地质大学出版社

· (鄂) 新登字第 12 号 ·

### 内 容 简 介

本书把灰色系统理论与地质找矿实践有机结合,提出了矿床灰色预测的原理与方法。主要论述了矿产资源系统的灰色特征、灰色数据生成、灰色关联分析、灰色系统建模、矿床灰色预测模型、矿床灰色模式识别、矿床灰色定位预测。该书提出的新概念、新方法具有独创性,丰富和拓宽了灰色系统理论的学科领域。

本书内容精炼、层次清晰、注重方法、列举实例,适用于地质找矿、能源勘查、预测决策、计划管理、生态环境科学的科技工作者和大专院校师生参考。

### ① 灰色系统理论与矿床灰色预测

徐忠祥 吴国平 编著

---

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市·喻家山·邮政编码430074)

责任编辑 刘先洲 责任校对 徐润英

印 刷 武汉工业大学出版社核工业中南三〇九印刷厂印刷

---

开本787×1092 1/32 印张7.125 字数 160千字  
1993年9月第1版 1993年9月第1次印刷 印数1—1000册

---

ISBN7-5625-0900-X/O·40 定价5.80元

# 前 言

灰色系统理论是在1982年,由华中理工大学邓聚龙教授提出的新型系统分析理论。它一问世就受到国内外学者的广泛重视,迅速在社会、经济、农业、气象、生态、环境、水利、工程、管理诸多领域得到推广应用,显示了这门新兴学科的强劲生命力。

矿床作为自然界产出的有用矿物资源,是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。它的形成和分布可视为在漫长的岁月、广阔的空间、复杂的介质里,多种控矿地质因素综合作用、相互关联、发展变化的灰色系统。而当今的地质找矿,就其主体而言,已从找地表露头矿进入找隐伏矿、盲矿、难识别矿的时代,找矿难度增大,找矿成本提高,找矿效率降低。因此,把灰色系统理论与地质找矿实践相结合,探索新型的矿床预测方法,不仅具有重要的理论意义,而且具有深远的实际意义。为此,我们尝试编写《灰色系统理论与矿床灰色预测》这本书,期望在推动灰色系统理论应用于地质找矿领域的进程中,起到抛砖引玉的作用。

本书分五章,基本内容包括:

- 灰色数据生成
- 灰色关联分析
- 灰色系统建模
- 矿床灰色预测模型
- 矿床灰色模式识别

### · 矿床灰色定位预测

在编写此书时,我们力求前后连贯,构成整体,并以国民经济急需的金矿床作为预测对象,用典型带一般的方法,把灰色系统理论与金矿预测实践结合起来。我们撰写的论文《蚀变岩型金矿滑动关联分析预测法》,在1991年9月北京举行的有22个国家近600名代表参加的“计算机在地学中的应用”国际学术讨论会上获优秀论文奖,表明我们的初步探索引起了国内外专家的关注。

本书突出了综合物探方法与地质找矿实践的有机结合,提出了综合信息矿床灰色预测的原理和方法,丰富和拓宽了灰色系统理论的学科领域。但是,作者深深地知道,灰色系统理论与矿床灰色预测是一门理论性强、实用面广、内容新、难度大的交叉学科,要在较短的时间和有限的篇幅内对它作系统而完整的阐述,是一件超过作者现有能力和水平的艰巨任务。因而错误、遗漏以及内容选择等方面的缺陷在所难免,作者殷切地希望专家、读者随时提出批评和宝贵意见,使本书逐步改进和完善。

作者

1993.1

# 目 录

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第一章 灰色系统理论概述.....        | (1)   |
| § 1.1 灰色系统 .....         | (1)   |
| § 1.2 灰色模型 .....         | (3)   |
| § 1.3 灰色预测 .....         | (7)   |
| § 1.4 矿产资源系统的灰色特征.....   | (12)  |
| 第二章 灰色数据生成 .....         | (17)  |
| § 2.1 数据生成概述.....        | (17)  |
| § 2.2 累加生成.....          | (18)  |
| § 2.3 累减生成.....          | (24)  |
| § 2.4 残差辨识预测.....        | (28)  |
| § 2.5 灰数生成.....          | (47)  |
| § 2.6 灰色统计.....          | (53)  |
| § 2.7 灰色聚类.....          | (62)  |
| 第三章 灰色关联分析 .....         | (73)  |
| § 3.1 关联分析概述.....        | (73)  |
| § 3.2 灰色数据预处理.....       | (76)  |
| § 3.3 关联度.....           | (79)  |
| § 3.4 优势分析.....          | (99)  |
| § 3.5 灰色关联滤波 .....       | (107) |
| § 3.6 灰色局势决策 .....       | (113) |
| 第四章 灰色系统建模.....          | (125) |
| § 4.1 灰色建模概述 .....       | (125) |
| § 4.2 GM (1, N) 模型 ..... | (128) |
| § 4.3 GM (1, 1) 模型 ..... | (135) |

|            |                      |              |
|------------|----------------------|--------------|
| § 4.4      | GM (1, 1) 模型群 .....  | (143)        |
| § 4.5      | GM (1, 1) 残差模型 ..... | (149)        |
| § 4.6      | GM (1, 1) 包络模型 ..... | (154)        |
| § 4.7      | 灰色系统五步建模 .....       | (157)        |
| § 4.8      | GM 模型的几个数学问题 .....   | (170)        |
| <b>第五章</b> | <b>矿床灰色预测</b> .....  | <b>(178)</b> |
| § 5.1      | 地质找矿的发展趋势 .....      | (178)        |
| § 5.2      | 矿床信息的灰色特征 .....      | (184)        |
| § 5.3      | 矿床灰色预测原理 .....       | (188)        |
| § 5.4      | 矿床灰色预测模型 .....       | (197)        |
| § 5.5      | 矿床灰色模式识别 .....       | (205)        |
| § 5.6      | 矿床灰色定位预测 .....       | (211)        |
|            | <b>主要参考文献</b> .....  | <b>(221)</b> |

# 第一章 灰色系统理论概述

## § 1.1 灰色系统

### 一、系统及其分类

系统是指一些相互作用和相互依赖的事物所组成的具有特定功能的整体。它包括了自然系统和人工系统。诸如太阳系、内生金矿、原子结构、人的神经组织等属于自然系统。人工系统又可分为物理系统和非物理系统两大类。政治结构、经济组织、生产管理、运输控制等都是非物理系统，而电的、声的、热的、机械的、液力的系统，诸如通讯系统、控制系统、计算机系统等都属于物理系统。

在系统论与控制论中，常用颜色的深浅来描述信息的多少和完备程度。“黑”表示对系统的内部结构、参数、特征等一无所知，只能从系统的外部表象来研究的这类系统。这里的“黑”，表示信息缺乏。相反，“白”表示系统的内部特征、参数、结构等全部确知，它指的是信息完备。而介于“白”与“黑”之间的“灰”，则表示部分信息已知，部分信息未知，即系统的信息不完全或不确知。因而，一个信息不完全的数，称为灰数；一个信息不完全的元素，称为灰元；系统间、因素间信息不完全的关系，称为灰关系；若系统中有信息不完全或不确知的现象，则称为系统的灰色性。这种具有灰色性的



系统，称为灰色系统，简称灰系统。灰色系统理论认为人体是一个系统，人的身高、体重、体温、血压等都是已知的，可是人体有多少个穴位，每个穴位有什么作用，是什么原因引起的，其作用机制是什么，这些都是不确知的，因此，人体便是灰色系统。

在客观世界中，有很多抽象系统没有物理原型，系统的作用机制不太清楚，系统的边界关系、状态、结构等难以精确描述，以致无法定量判断信息的完备性。虽然这类系统可以量化、模型化、实体化，换句话说，可以白色参数、白色元素、白色结构、白色关系等方式出现，但这仅仅是按人们的某些观念意识，运用某些判别准则，采用某些逻辑推理得到的“相似”系统、“同构”系统，这类抽象系统，统称为本征性灰色系统。诸如社会系统、经济系统、生态系统、农业系统以及军事系统等均为本征性灰色系统。而具有客观实体的物理系统，只不过有些信息暂时还不确知，尚未获得……故称为非本征灰色系统。

## 二、研究灰色系统的意义

认识来源于实践。人类对客观事物的认识是逐步发展、深化的，而且通过实践来修正主观认识并不断提高客观事物的透明度。所以，客观事物对人类来说，并不是白的，也不是黑的，而是灰的。因此，人类的思维是灰的，行动依据是灰的，人们不得不在灰的环境里思考、决策和行动。只是由于人们对一些不确知的因素忽略不计，才把某些灰色系统当作白色系统来认识和处理。可见，严格说来，灰色系统是绝对的，而白色系统与黑色系统是相对的。

系统的随机性和模糊性是灰色性的两个不同方面的不确

定性。系统的灰色性不但包含了随机性和模糊性，而且还包含了这两种不确定性以外的许多特征。诸如社会系统的人为干预、经济系统的浮夸虚报、军事系统的伪假情报等都是经常发生的现象。这正是灰色系统理论能够广泛应用于各个领域的基础。

灰色系统理论新颖的系统思想和独树一帜的建模方法以及卓有成效的处理手段，使它已成功地应用于社会、经济、水利、气象、地质、工程、技术、生态、环境、生物、医学、军事、政法、历史、地理、文教、卫生、农业等部门，并取得了引人瞩目的成果。这些科学方法和科学思想如此迅速地渗透到广泛的科学领域，是它成功地运用唯物辩证法思想的结果。因此，深入地研究灰色系统理论，并从哲学的角度去发掘它的方法原理具有十分重要的意义。

## § 1.2 灰色模型

人类认识世界、改造世界是实践、认识、再实践、再认识，循环往复以至无穷，逐步深化的过程。近来，人们分析事物时越来越注重定性与定量相结合的方法。这一方面是由于科学的发展要求对事物的分析定量化，另一方面是因为系统的复杂性而使得定量分析越来越困难，因此，定性分析方法还是不可缺少的手段。定性分析是定量的基础，为定量分析提供了思路；定量分析是定性的深化，使定性分析的结果精确化。

### 一、模型及其分类

人们在研究系统时，常用模型这个概念来描述它的内部

结构、性能状态、形成机制、演化规律。这里，所谓的模型是指应用适当的数学方程、图象表格、程序语言以及物理形式等，来说明与表达系统的结构、状态、性能和行为的一种抽象的科学方法。根据信息类型的不同，可以分别采用确定性模型、统计性模型、灰色性模型等。依据达到目的不同，可以适当选择数学模型、物理模型、图表模型等。由于人们最感兴趣的是研究事物之间的数量关系，因此，数学模型应用得较为普遍。

1. 模型一般要求有如下特点：

(1) 现实性。能够在一定程度上确切地反映系统的客观实际特征。

(2) 适应性。随着建模具体条件的变化，模型需有一定的适应能力。

(3) 优选性。构成模型的元素应符合优化准则，以提高模型的经济效益和社会效益。

(4) 简洁性。尽量使模型简单明了，以节约建模和计算的时间。

2. 数学模型一般由以下四部分组成：

(1) 常数。指数值已确定的量，在运算过程中一直保持不变。如  $e$ 、 $\pi$  等。

(2) 参数。也是常数的一种，但参数在每次运算后可以改变数值，重新计算。如初始值、变密度等。

(3) 变量。可分为外部变量、内部变量和状态变量三种。外部变量指系统的输入变量，是可以控制的变量；内部变量是指当系统给定输入变量后出现的变量，也叫输出变量，是不可控制的变量；状态变量就是规定系统内部在某一时刻所处状态的最少一组变量。

(4) 函数关系。就是描述组成模型的各种常数、参数及变量之间的相互关系。这种关系是根据系统的结构功能特征及作用机制，按一定的定理、规则建立起来的。通过函数关系就可以建立所需要的数学模型。

3. 若在上述数学模型的要素中，含有灰数、灰元或灰关系，则这个模型称为灰色数学模型，简称灰色模型。常用的几种灰色模型类型为：

(1) 数据处理模型。包括各种数据变换、累加累减生成、效果测度计算等模型。其作用在于弱化数据列的随机性；使其初步显示出规律性，增强数据列间的可比性，为建模创造良好的条件。

(2) 关联分析模型。包括关联序，动态关联、时滞关联、量化关联等模型。其作用在于明确并理顺因素间的主次、优劣关系，为灰色预测、决策、建模奠定基石。

(3) 灰色动态 (GM) 模型。包括灰色预测、系统状态分析、因素协调关系等模型。这是灰色系统理论的核心。

(4) 灰色局势决策模型。包括单目标局势决策、多目标局势决策等模型。这是灰色系统独特的决策模型。

(5) 灰色规划模型。包括灰色预测型线性规划、漂移型线性规划、灰色非线性规划等模型。这是运筹学模型与 GM 模型相结合的决策模型。

(6) 灰色动态优化模型。运用五步建模法对系统进行动态品质分析，并利用传递函数对系统加以优化。

(7) 灰色控制模型。利用灰色去余控制原理，对系统进行分析，并通过反馈环节对系统实行控制，使其功能达到最优。

(8) 灰色统计与灰色聚类模型。这是对收集来的分散的、

离乱的指标数据与灰色信息,进行归纳、分类的数学模型,可用作各种分类划区、效益评估、方案选优等,为灰色决策提供依据。

此外,常有冠以“灰色”二字的模型,表示灰色动态模型与其他系统分析方法相结合,如灰色投入产出模型、灰色马尔柯夫模型等,也广泛用于各种预测和决策。

## 二、灰色系统的建模方法

灰色建模吸收了传统系统控制论方法的优点,并具有以下几个鲜明的特点:

1. 灰色建模可以是系统输出的单序列模型,如常用的GM(1,1),且可以通过数据变化的潜在关系,寻找或发现灰输入量。而传统的方法只能是输入到输出的双序列建模。

2. 承认灰色信息(简称灰信息)的存在,并且开创了一套新的方法来处理和运用灰信息。用灰度量化灰色信息的不确定程度,将灰信息纳入系统的研究范围。而传统的方法(如统计方法)则难于处理灰色数据(信息)。

3. 充分利用了已知信息。对本征性灰系统,它的系统边界难以确定,系统状态不易判断,作用机制认识不清,系统的输入信息也难以辨别,因而试图以输入—输出关系去建立系统模型是很困难的。但系统的最后结果,即总输出的资料和信息或多或少可以得到。灰色系统理论将这些信息加以充分利用,通过处理灰信息来同构系统模型,揭示事物内部的特征和规律。

4. 重视系统中各因素(或子系统)之间的关联度分析。关联度是指系统内部主要因素随时间(或地点)而变化的同步程度。它定量地刻划了系统内部结构之间的联系。从时间

序列找到灰信息间的关联性的度量方法，是灰色系统分析的精华。

5. 深刻揭示了认识系统从“黑”到“白”的过渡过程。人类认识事物一开始面对的就是灰系统，黑箱是相对的，白箱是只可能无限接近而不能达到的目的。人们对事物认识深化的过程，就是使事物对人类来说灰度不断降低的过程。

### § 1.3 灰色预测

预测的重要性早已为人们所认识，“凡事预则立，不预则废”和“人无远虑，必有近忧”等成语都说明预测的重要意义。

#### 一、预测及其分类

什么叫预测？举个例子来说，某油田 1989 年的油产量是 250 万吨，1990 年为 280 万吨，这两年产量比为

$$\frac{1990 \text{ 年产量}}{1989 \text{ 年产量}} = \frac{280}{250} \approx 1.1$$

若记 1990 年的油产量为  $y$ ，1989 年的油产量为  $x$ ，便有

$$y = 1.1x \quad (1.3.1)$$

如果说预测 1991 年该油田的油产量（比 1990 年）仍然会按 1.1 的比例增长，并记 1991 年油产量的预测值为  $\hat{y}_{t+1}$ ，1990 年油产量为  $x_t$ ，则有

$$\hat{y}_{t+1} = 1.1x_t \quad (1.3.2)$$

这里，(1.3.1) 与 (1.3.2) 两式形式相似，但意义不同。(1.3.1) 式中  $y$  与  $x$  均为已知数，所以，它仅代表过去这两年的数据关系；(1.3.2) 式中  $x_t$  是已知的， $\hat{y}_{t+1}$

则是待预测的，因此它为预测模型。

据统计现有预测方法将近 300 种。通常采用的有回归分析法、德尔菲法、趋势外推法、最小方差预测法、马尔柯夫预测法、模型法、指数平滑法、残差辨识法等。现在，又提出了灰色预测法。

上述方法可以分成三种类型：从回归分析到马尔柯夫预测等五种是统计型的；灰色预测与模型法属于连续型；指数平滑与残差辨识法则属递推型。

## 二、灰色预测

基于灰色模型 GM (1, 1) 进行的定量预测，称为灰色预测。它不仅是指系统中含有灰元、灰数的预测，而更重要的是指从灰色系统理论的建模思想出发，所获得的关于预测的概念、观点和方法。灰色预测按其功用与特征可以分为五类：

1. 数列预测。它是对系统行为特征值大小的发展变化进行预测，称为系统行为数据列的变化预测，简称数列预测。比如石油产量的预测、商品销售量的预测、矿山盈利的预测等。

这种预测的特点是：对行为特征量等时距地观测。预测的任务是：了解这些行为特征量在下一个时刻（年度）有多大。

在地质科学领域，有许多参数、变量在空间上是连续分布的。若已知某区域内参数的变化规律，就可根据 GM (1, 1) 模型，来推断未知区的变化态势。这就是灰色定位预测问题。它与定时预测一样，具有不容忽视的重要意义。

2. 灾变预测。它是对系统行为特征量超出某个阈值（界限值）的异常值将在何时再出现的预测。由于异常值往往会给人们的生活、生态环境、工农业生产等的正常活动带来异

常结果，造成灾害，所以称为灾变预测。例如环境中某种物质含量超出某个阈值是污染；人体中某个参数（如体温、血压、血液成分、……）超出一定范围就发生病变等。

这种预测的特点是：对异常出现的时间进行预测。预测的任务不是确定异常值的大小（因为异常值的大小是指定的灰数），而是确定异常值出现的时间。灾变预测建模所用的数据已不是行为特征量本身，而是异常行为特征值发生的时间，这时对时间来说不是等间隔。或者说建模数据的序列，是按序号给出的时间间隔。这种预测方法对于地质灾害的预报具有重要意义。

3. 季节灾变预测。它是对系统行为特征量异常值或者某种事件将发生在一年中的某个特定时区的预测。例如霜冻预测、虫灾预测、洪水预测等。

这种预测的特点是：灾变一般仅仅发生在一年中的某个特定时段。它是特定时区内的灾变预测。为了提高数据的分辨率，建模的精度，需要将计算时间的起点作仔细的分析，以确定一个合适的起始时间，去掉时间的多余部分。也就是说，季节灾变预测所用的数据应该在灾变预测数据的基础上再作进一步的筛选与处理。

4. 拓扑预测。它是用GM(1, 1)模型预测未来发展变化的整个波形，所以亦称波形预测，整体预测。在不同场合，拓扑预测具有不同意义。比如对石油生产系统来说，它可以是对几年内生产的总产量、总产值、总盈利的预测。对水利方面年径流量曲线来说，它意味着对未来某段时间内总径流量的预测。对气象方面年平均降雨量曲线来说，它是对某几年总降雨量的预测。

因为许多点可以构造一个波形，所以拓扑预测是规定许



多给定值，对每一个给定值，都可以从给出的曲线上得到一组数据，然后对每一个给定值建立 GM (1, 1) 模型，预测这组给定值未来发展变化的时间间隔。这种预测有两个特点，一个是用 GM (1, 1) 模型群进行预测，另一个是预测的方式与数列预测相似，这里的“数据大小”是异常值“时间间隔”的大小，这里的“时间”，则是未来时间间隔出现的序号。因此，从本质上来看，拓扑预测是对一个变化不规则的行为数据列的整体发展进行预测。

5. 系统预测。它是对系统中一些变量或因素之间发展变化的关系，主导因素的作用进行的预测。若预测对象或主因素与其他因素之间，只有相互影响相互制约的作用，这时即称为系统关联（协调）预测。如对某金矿产值与劳力、资金、物耗等协调发展的预测。若预测对象或主导因素是由其他因素构成的，这时可称为系统结构预测。如对地质勘查费总投入与地质、物探、化探、钻探等方法的分别投入之间的发展进行预测。

系统综合预测是控制系统动态研究的内容。它将某一系统各种因素的动态关系找出，建立系统动态框图。系统的行为特征量，是系统的输出。总系统的行为特征量是系统的总输出（总输出是相对的），系统中各环节的行为特征量，是系统的中间输出。其预测模型与前述数列预测、灾变预测不同。它不是基于一个孤立的 GM (1, 1) 模型，而是基于一串相互关联的 GM (1, N) 模型，即控制理论中的状态模型，或者传递函数模型，这是一种输入输出关系，不是单一数列的变化关系。它不但可以了解整个系统的变化，还可以了解系统中各个环节的发展变化，一般属于系统的综合研究，故称为系统综合预测。作系统综合预测时，必须有某些量是自主的，