

# 矿业灰色系统

吕光华 编著



煤炭工业出版社

75  
L-317

# 矿 业 灰 色 系 统

吕 光 华 编 著

主 审 邓 聚 龙

审 稿 杨 银 福 白 振 才 张 龙

白 绘 章 施 玉 成 郭 玉 杰

煤 炭 工 业 出 版 社

(京)新登字042号

## 内 容 提 要

本书以简明的数学原理和方法,较系统地阐述了灰色系统理论的基本概念和方法,及其在煤矿(或采矿)中的应用。主要内容包括:灰色系统的基本概念,关联度分析,建模方法,预测、决策和控制。为便于读者阅读,在每章中均给出了应用实例和计算步骤。由于计算机的普及应用,书中还介绍了有关程序。本书理论联系实际,可作为矿业大专院校学生和研究生教材或自学参考书,亦可供从事煤矿生产、设计和科研的工程技术人员及管理干部参考。

## 矿 业 灰 色 系 统

吕 光 华 编 著

主 审 邓 秉 龙

审 稿 杨 银 福 白 毅 才 张 龙

白 继 章 施 玉 成 郭 玉 杰

责 任 编 辑: 牟 金 锁

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外东厂平里北路21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 850×1168mm<sup>1/32</sup>, 印张 8<sup>3/4</sup>。

字数 229千字 印数 1—1,070

1993年6月第1版 1993年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0887-X/TD·822

书号 3652 G0275 定价 8.90元

782137

## 前 言

灰色系统是指既含有已知的、又含有未知的或非确知信息的系统。它是介于信息完全知道的白色系统和一无所知的黑色系统之间的中间系统。灰色系统理论是1982年由我国华中理工大学著名学者邓聚龙教授创立的。他运用控制论与运筹学相结合的数学方法去解决社会、经济等系统中的实际问题，取得了巨大成绩。这一新的学说很快就得到了国内外众多学者和做实际工作同志的关注，不仅在理论上发展很快，而且在社会、经济、工业、农业、军事系统中得到日益广泛深入的研究应用，并取得了很好的效果。

我国煤矿正在向现代化发展。煤矿现代化包括广泛采用新技术、新工艺、新设备、新材料，最大限度地实行科学化管理，大幅度提高劳动生产率和产品质量，改善安全生产条件，使我国煤炭科学技术及生产建设达到当代世界先进水平。煤矿既是物质生产部门，又是国民经济和生态环境的重要组成部分。它是一个多因素、多层次、多目标的复杂系统。系统中既有很多已被人们所了解的白色信息，又有尚未被人们发现的黑色信息，而更多的则是人们既知道而又不很清楚的灰色信息，所以煤矿系统是一个典型的灰色系统。要想使现代煤矿稳定发展，则要求寻求系统的最佳运行状态。这就需要一套完整的定性与定量、静态与动态相结合的数学方法和系统分析方法予以解决。几年来的实践证明，灰色系统理论在煤矿中的应用已取得了很好的效果。瓦斯、水、火和顶板等自然灾害及各类事故是煤矿井下生产作业的一个突出问题，直接影响着煤矿生产的健康发展。灰色系统理论的应用，可以做到防患于未然，做到实时控制，在消除危险、防止灾害、避免损失等方面起了重要作用，促进了煤矿安全生产状况的根本好

ABF 42/05

转，形成了具有自己特色的煤矿灰色系统分析方法。

为了介绍灰色系统理论在矿业中应用，近年来，我们先后指导四届研究生运用灰色系统理论撰写了硕士研究生学位论文。在此期间，我们还为采矿工程专业92级研究生讲授了矿业灰色系统选修课，并参考了国内近年来煤矿生产的研究成果。本书实际上是作者数年来从事灰色系统理论教学和科研工作的总结。

本书的撰写宗旨是实用，因此力求理论联系实际、内容精练、方法简便、通俗易懂，做到既讲清概念和计算方法，又有应用实例和结果分析，注重科学性、可读性和适用性。本书适于具有中专以上文化程度的科技工作者及管理人员阅读，也可作为大学生和研究生教材或自学参考书。

全书共分六章，内容包括灰色系统基本概念、关联度分析、建模、预测、决策和控制。

书中吸收了邓聚龙教授《灰色系统基本方法》等著作中的理论，参阅了袁嘉祖的《灰色系统理论及其应用》，刘思峰、郭天榜的《灰色系统理论及其应用》，以及廖灿平等同志的有关著作和论文。邓聚龙教授在百忙中为本书作序并担任主审。王小汀、史鹏飞和张拥军同志在本书的编写过程中，也给予了很大帮助，在此一并表示感谢。

灰色系统理论在煤矿或矿业中的应用时间还不长，是一个新的领域，很多方面尚待开发。由于作者水平所限，差错在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

## 序

“煤”作为工业的原料，作为生产的能源，在我国国民经济中占有极其重要的地位。

矿井生产的分析，煤矿开发的评估，煤矿采区的组织，开采经营的综合与决策等无不蒙有不确定的面纱和表现出信息不完全迹象。这表明本书以“矿业”为对象，以灰色系统理论与方法为手段，以矿业生产、煤矿开采、矿井管理为内容，以方面多、角度广、层次高为特色而精心撰写的这本专著是独具匠心的。此外，本书还以材料充实、内涵丰富、文字流畅、方法与应用兼备、程序与实例俱有为特点，与同类读物相比，真可谓“万树江边杏，新开一夜风”。

可以肯定，本书——《矿业灰色系统》的问世，对于煤矿设计、生产和安全均有重要价值，尤其是在煤矿的通风、水、火、瓦斯等事故的预报、预防方面更有其特殊的意义。

邓聚龙

1993年1月28日

# 目 录

<b>第一章 灰色系统概述</b> .....	1
第一节 什么是灰色系统 .....	1
第二节 灰色系统的特点 .....	3
第三节 灰色系统理论的发展历史 .....	6
第四节 灰色系统理论研究的主要内容 .....	8
第五节 灰色系统理论在矿业中的应用 .....	10
<b>第二章 灰色关联度分析</b> .....	16
第一节 概述 .....	16
第二节 关联系数与关联度 .....	19
第三节 速率关联度 .....	31
第四节 应用实例 .....	35
<b>第三章 灰色系统建模</b> .....	72
第一节 概述 .....	72
第二节 累加生成运算 .....	74
第三节 灰色模型的类型 .....	83
第四节 五步建模思想 .....	84
第五节 灰色系统建模方法 .....	87
<b>第四章 灰色系统预测</b> .....	118
第一节 概述 .....	118
第二节 数列预测 .....	119
第三节 灾变预测 .....	133
第四节 季节灾变预测 .....	153
第五节 残差辨识模型预测 .....	154
<b>第五章 灰色系统决策</b> .....	159
第一节 概述 .....	159
第二节 灰色局势决策 .....	160
第三节 灰关联决策 .....	171

第四节	灰色统计决策 .....	180
第五节	灰色聚类决策 .....	191
第六节	灰色线性规划 .....	202
<b>第六章</b>	<b>灰色系统控制</b> .....	<b>209</b>
第一节	概述 .....	209
第二节	去余控制 .....	210
第三节	灰色预测控制 .....	222
附录 I	矩阵 .....	224
附录 II	微分方程 .....	232
附录 III	最小二乘估计 .....	234
附录 IV	拉普拉斯变换 .....	237
附录 V	主要模型算法 BASIC 程序 .....	241
参考文献	.....	272



# 第一章 灰色系统概述

## 第一节 什么是灰色系统

客观世界是由物质、能量和信息组成的，它们决定了事物的性质。因为物质的新陈代谢和能量的相互转换，必须依靠信息才能进行，所以信息虽然不是物质，也不是能量，但它不能脱离物质和能量而存在。任何事物总是在发展变化的，事物彼此之间既相互关联又相互制约。欲认识某一客观事物的本质，必须把握它的整体，这就是系统的观点。系统就是由相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程组织成的具有整体功能和综合行为的统一整体。例如，一个工厂、一座矿山、一个社会组织、一个经济区都可以看成是一个系统。任何一个系统，总是包含着若干子系统，同时又被若干系统所包围。矿井是一个复杂的系统，是由有一定参数的既相互联系又相互独立的一些子系统所组成，即回采工艺子系统、掘进工艺子系统、开拓准备子系统、运输提升子系统、地面工艺子系统和矿井管理子系统等。这些子系统之间的关系决定着系统的性能。

众所周知，描述和研究系统的理论和方法很多，灰色系统理论则是其中的一种，属系统论的范畴。社会、经济、农业、工业、生态和生物等许多系统，是根据研究对象所属的领域和范围命名的，而灰色系统则是按颜色来命名的。在控制理论中，人们常用颜色的深浅来形容信息的多少。例如英国科学家艾什比用黑箱 (Black Box) 形容内部信息缺乏的对象和系统。因此，我们把内部特性已知的信息系统称为白色系统；把未知的或非确知的信息系统，称为黑色系统；把既含有已知的又含有未知的或非确知的信息系统，称为灰色系统或简称灰系统 (Grey System)。

在人们的社会、经济或科研活动中，信息不完全的情况会经常遇到。例如，在矿井生产中，即使开采面积、设备等信息完全明确，但往往由于工人的素质、管理人员的管理水平、井下的自然条件等信息不明确，仍然难以准确地预计出产量和产值。再如，对井下自然灾害的防治问题，虽然对自然灾害发生的历史和原因十分明了，但却往往对灾害发生的具体时间和危害程度等信息了解不够，因而难以收到预期的效果。人体是一个系统，人体的外形参数，如身高、体重、年龄等是已知的，某些内部参数，如体温、血压、脉搏等也是已知的，但是也有很多参数是未知的，如人体内准确的穴位数目、每个穴位的功能、与人体各部位的关系、起什么作用等都是未知的或是不确知的。对于上述情况，我们称它为灰色系统。

显然，黑色、灰色和白色都是一种相对的概念。世界上没有绝对的白色系统，因为任何系统总有未确知的部分；也没有绝对的黑色系统，因为既然一无所知，也就无所谓该系统的存在了。

综上所述，系统信息不完全的情况，一般指下列四种：

- (1) 系统因素不完全明确。
- (2) 因素关系不完全清楚。
- (3) 系统结构不完全知道。
- (4) 系统的作用原理不完全明了。

“信息不完全”是灰的基本含义。从不同的场合、不同的角度看，还可以将“灰”的含义引伸，见表1-1。

表1-1是灰的一些引伸含义，其中信息不完全性（部分性）与非唯一性是“灰”的主要含义。人们在认识世界与改造世界的过程中，往往自觉或不自觉地通过已掌握的部分信息对事物作整体剖析，通过对少量已知信息的加工并延伸，扩展到对系统进行处理。人们在开创新局面寻找优化对策时，往往有意无意地运用“非唯一性”来探讨各种有效途径，获取最佳效果。例如，煤矿井下火灾的防治就是通过“部分信息”对整个矿井进行分析、判断，对井下火灾进行综合治理。又如对高瓦斯工作面降低瓦斯浓

表 1-1 “灰” 含义引伸表

	白	黑	灰
从表象看	明    朗	暗	若明若暗
从过程看	新	旧	新旧交替
从性质看	纯	不    纯	多种成分
从信息看	完    全	不    完    全	部分完全
从结果看	唯    一    解	无    数    解	非唯一性
从态度看	肯    定	否    定	扬    弃
从方法上看	严    厉	放    纵	宽    容

度的方法，既可用瓦斯抽放的方法，也可用加强通风的方法，当然也可以在巷道布置上采取一些措施等，这表明降低瓦斯浓度解的非唯一性，也表明非唯一性原理的实效性。

“信息非完全”原理的运用，是“少”与“多”的辩证统一，是“局部”与“整体”的转化，也是灰色系统理论研究问题的根本特征。“非唯一性”原理是灰色系统解决问题所遵循的基本思路，它给予你灵活的法宝，使你处处取得实效。

“非唯一性”的原理，在决策上的体现是灰靶思想。灰靶是目标非唯一与目标可约束的统一，也是目标可接近、信息可补充、方案可完善、关系可协调、思维可多向、认识可深化、途径可优化的具体体现。或者说，“非唯一性”在决策方面的体现是决策多目标、方法多途径、计划可调性、处理问题态度灵活机动、效果也具有可塑性。在面对许多可能解时，能够通过定性分析，以补充信息，确定出一个或几个满意的解。“非唯一性”的求解途径是定性分析与定量分析相结合的求解过程，也是灰色系统的求解途径，并且也往往是数学科学中经常采用的有效方法。

## 第二节 灰色系统的特点

灰色系统是以“灰元”、“灰数”、“灰关系”为特征的。但是，对灰色系统作量化研究，是不能以灰数为基础的，因为灰色系统有多学科的综合性的，所以其数学基础也是非单一的。但灰

思想强调非唯一性，由非唯一性可引伸为集合性、范畴性、可比性、可序化性、可量化性、可构造性、可选择性和可优化性。影响系统行为特征的因素是非唯一性的。所以，灰色系统具有一定的特点，并且与模糊数学、随机概念等有所区别。

### 一、灰色系统的特点

#### 1. 充分利用已知信息寻求系统的运动规律

研究灰色系统的关键是如何使灰色系统白化、模型化和优化。灰色系统理论属软科学的范畴，视不确定量为灰色量。它提出了灰色系统建模的具体数学方法，能够运用时间序列数据来确定微分方程的参量。灰色预测不是把观测数据序列视为一个随机过程，而是看作随着时间变化的灰色量或灰色过程，而后通过累加生成和相减生成逐步使灰色量白化，从而建立相应于微分方程解的模型并做出预报。这样，对某些大系统和长期预测问题，就可以发挥作用。

#### 2. 用灰色数学来确定不确定量并使之量化

在数学发展史上，最早研究的是确定型的微分方程，即是在拉普拉斯 (Laplace) 决定论框架内的数学，它认为一旦有了描写事物的微分方程和初值，就能够确知该事物任何时刻的运动。随后就发展了概率论和数理统计，并运用随机变量和随机过程来研究事物的状态和运动。模糊数学则研究没有清晰界线的事物，例如，煤矿井下工作面顶板稳定和较稳定之间没有明确确定的量加以截然划分；又如有些矿井煤和瓦斯突出严重和较严重，其间也没有明确的划分界限等，则可通过隶属函数来使模糊概念量化。因此，可以用模糊数学来描述如语言、不精确推理等。灰色系统理论则认为不确定量是灰数，可用灰色数来处理不确定的量，同样可以使不确定量予以量化。

#### 3. 灰色系统理论能够处理贫信息系统

由于灰色系统理论研究的对象信息不完全、准则多样，从信息到结果往往是多到多的映射，所以得到的解不是一个，而是多个，是一个集合，集合代表全体，全体体现了整体性。灰色预测

模型只要求较短的观测资料即可制作，这是和时间序列分析、多元分析等概率统计模型要求较长资料是不一样的。因此，对于某些只有少量观测数据的项目来说（如老顶周期来压、煤炭自燃、煤炭产量和井下涌水量等的预测），其灰色预测是一种实用而有效的方法。

## 二、灰色系统与模糊数学、黑箱方法等的区别

一般认为，灰色系统与模糊数学、黑箱的区别，主要在于对系统内涵与外延处理态度的不同，研究对象内涵与外延性质的不同。

灰色系统着重外延明确、内涵不明确的对象。模糊数学着重外延不明确、内涵明确的对象。例如，“3号煤层工作面长度为150m左右”，这是灰色系统的命题。因为是指3号煤层的工作面而不是其他煤层的工作面，所以外延明确。然而我们对3号煤层工作面是第几号工作面不清楚，这表明内涵不明确。在研究方法上，灰色系统的命题，可以通过信息补充转化性质。例如，对3号煤层工作面，只要补充说明是第几号工作面的信息，便可将此3号煤层工作面灰的内涵，转化为白的内涵。

“年轻人”作为概念是模糊数学的命题。因为“年轻人”这个概念，人人都知道，因此内涵明确。然而多少岁的人是年轻人，超过多少岁则不是年轻人，这个界线很难划分，因为年轻人这个概念的外延不明确。在研究方法上，扎德（Zaden）提出用模糊集来描述“年轻人”，而不是通过信息补充来使命题的性质转化。

“黑箱”建模方法是着重系统外部行为数据的处置方法，是因果关系的量化方法，是取外延而弃内涵的处置方法。

“灰色”建模方法是着重系统在行为数据间、内在关系间挖掘量化的方法，是内涵外延化且外延内涵均取的方法。例如，GM(1, 1)模型的灰色作用量，形式是外延的，而内容是内涵的。所以，黑箱方法，因果是明确的，建模的序列必含前因序列（输入序列）与后果序列（输出序列），必须是“双序列”。而灰色

系统的GM(1, 1) 则可以是单序列建模, 可以通过辨识找出外延形式的作用量(即灰作用量), 而因果关系不一定非明确不可。

灰色系统理论与数理统计方法在使命上的区别在于: 前者致力于现实规律的探讨, 后者致力于统计历史规律的研究。

### 第三节 灰色系统理论的发展历史

我们要认识某一客观事物的本质, 必须要把握它的整体, 这就是系统的观点。人们研究系统的目的, 就是要把系统控制朝着人们所希望的目标发展。随着生产和社会的发展, 在现代社会的经济活动、科研活动以及人们的日常生活中, 信息的交流日趋重要。如何有效地提取、筛选、处理信息, 已引起人们的普遍关注和高度重视。灰色控制系统理论就是为人们认识、利用和改造自然的控制系统, 是一门横断面宽、渗透力强的新学科。

70年代初期, 控制论由经典控制论、现代控制论发展到大系统理论阶段。大系统理论是控制论、信息论、经济学、生物学、生态学、运筹学互相渗透而产生的。由于所要处理的实际系统越来越大, 越来越复杂(例如, 宏观经济系统、资源分配系统、生态系统、环境系统、能源系统、交通运输系统、文教系统、社会保障(医疗布局)系统都是十分复杂的大系统), 而现代控制论的状态空间分析法已不能与之相适应, 所以, 在实践中就产生了新的处理大系统的方法, 主要有: 分解与协调原理、分散最优控制、多级递阶控制、多阶段动态规划、冲突分析、大系统模型降阶、向量李雅普洛夫稳定性理论等。总之, 多年来对于大系统的分析和研究还没有一套统一方法, 大系统理论还在发展之中。

由于许多大系统的信息不完备, 很难建立精确的数学模型, 而且控制效果也比较差, 因此, 一些控制论研究工作者又探索出了一些新的处理途径。例如, 1965年美国控制论专家查德(L. A. Zaden) 创立的模糊集理论, 他所定义的隶属函数, 就是用数学方法来描述定性信息(或参数)的一种量度。1974年美国的马大尼(E. H. Mamdani) 首先把模糊集理论应用于锅炉和蒸汽机的

控制，取得了很好效果。这一开拓性的试验以及近年来我国学者在工业（例如在煤炭工业中优选重点科研项目、选择矿井设计方法、工作面顶板周期来压预报等）、天气预报、三化螟幼虫显著量预测上的应用成果，汤（R.M.Tong）和汪培庄等理论性论文的发表，标志着模糊控制论的形成。其主要特点是：

- （1）它不需要建立被控制对象的数学模型；
- （2）它是语言控制器，用语言变量来控制；
- （3）能实现非线性系统的控制，而且对参数的变化有较强的适应性。

这些特点集中起来，就使模糊控制能够模拟人的思维方法，对一些无法构造数学模型的系统进行控制。尤其是它运用的隶属函数表达定性信息的能力和简明的执行方法，获得了广泛的应用和发展。

模糊控制论的主要缺点是：由于它用的是逻辑运算，信息利用率不高，控制粗糙，精度低。很显然，对于解决精度高的问题困难很大，并且也无法揭示被控制对象内在的变化规律。

对于只掌握部分信息系统的控制问题，我国学者邓聚龙教授60年代曾提出“去余控制”理论。他从1979年开始研究参数不完全的大系统及未知参数的控制问题，并于1982年在北荷兰公司（North-Holland Co.）的《系统与控制通信》（System & Control Letters）杂志上正式发表了奠基性论文“灰色系统的控制问题”（The Control Problems of Grey Systems）。1982年第3期的《华中工学院学报》上发表了邓聚龙教授的第一篇中文灰色系统论文“灰色控制系统”，这标志着灰色系统理论在中国的创立。这一新的理论刚一诞生，就受到国内外学术界和广大实际工作者的极大关注。不少著名学者和专家对该理论给予了充分肯定和支持，许多中青年学者纷纷加入灰色系统理论研究的行列，以极大的热情开展理论探索及在不同领域中的应用研究工作。美国、独联体、德国、日本等很多国家的学者都对灰色系统理论这门新兴学科产生了浓厚的兴趣，积极开展了这方面的研究工作。

1985年，国防工业出版社出版了灰色系统理论的第一部专著《灰色系统（社会·经济）》（邓聚龙著）。1985年至1990年，华中理工大学出版社先后出版了邓聚龙教授的其它几部专著《灰色控制系统》、《灰色预测与决策》、《灰色系统基本方法》、《多维灰色规划》、《灰色系统理论教程》等。1989年，海洋出版社出版了英文版《灰色系统论文集》。同年，英文版国际性刊物《灰色系统》杂志（Journal of Grey System）正式创刊。国内不少出版单位如华中理工大学出版社、科学出版社、国防工业出版社、煤炭工业出版社、江苏科学技术出版社、山东科学技术出版社、解放军出版社、西南交通大学出版社、河南大学出版社等相继编辑出版了灰色系统著作，大大地丰富了灰色系统理论的内容，并促进了它的发展。

1984年以来，全国共召开7次灰色系统理论学术讨论会，数百篇灰色系统文章在国际国内各种学术会议上宣读和交流。到目前为止，国内外有160多家杂志发表了近700篇灰色系统论文；数百个单位运用灰色系统方法制定科技、社会、经济协调发展总体规划；几十所高等院校开设灰色系统课程；数百名博士、硕士研究生运用灰色系统理论撰写学位论文，并且收到了很好的效果；不少灰色系统理论应用研究课题获得国家或省、市各类科学基金的资助。

十年来，灰色系统理论已以其强大的生命力自立于科学之林，奠定了其作为一门新的交叉学科的学术地位。它的蓬勃生机和广阔的发展前景正日益广泛地为社会所重视，并将在各个领域得到推广应用。

#### 第四节 灰色系统理论研究的主要内容

灰色系统理论主要研究系统模型不明确、行为信息不完全、运行机制不清楚这类系统的建模、预测、决策和控制等问题。

灰数及其运算、灰色矩阵与灰色方程是灰色系统理论的基础。工业控制及社会、经济、农业、生态等本征性灰系统的分析、建



模、预测、决策和控制，是灰色系统理论的主要研究任务。一个问题的研究往往同时包含了好几个内容。例如，制定一个地区或一个行业的长远发展规划，首先要对现状进行分析、诊断，在此基础上建立系统模型，对未来做出科学、可信的预测。又如，研究生态系统的食物链，则涉及到绿色植物、食草动物、食肉动物三个层次。制订畜牧业发展规划时，要分析这三个层次的量化关系，预测它在人的干预下不同层次的发展变化，分析这种干预需要付出的代价与可能得到的效益，提出减少所需代价、获得更大效益的决策，制订实施决策的计划和措施。这样一个问题的解决，同时包括了分析、建模、预测、决策与控制等内容。

灰色系统作为系统科学的一个新分支，正处在发展时期，从目前来看，应主要研究以下几个方面：

- (1) 灰色因素的关联分析和关联序理论。
- (2) 灰色系统的建模思想、理论和方法。
- (3) 灰色预测理论和方法。
- (4) 灰色决策理论和方法。
- (5) 灰色系统控制。
- (6) 灰色系统优化。

其中建模是基础工作，灰色系统建模中最具特色的是针对时间序列的GM (GREY MODEL) 建模。GM 建模理论是研究贫信息建模，它利用系统信息，使抽象的概念量化，量化的概念模型化，最后进行模型优化，从而使所建立的GM 模型在寻求不到系统的概率特性或隶属特性的情况下显示出其优越性。建模是直接将时间序列数据转化为微分方程。这一结论从控制论角度看，是一种全新的建模思想和方法；从数学角度看，随着科学技术的发展，对非确定性量的研究已非常突出，在概率论和数理统计中，用随机过程研究随机量，在模糊集理论中，用隶属函数研究概念的量化，都是从不同角度研究非确定性量。对于非确定性量，灰色系统则认为是灰色量。用灰色系统理论去处理非确定性量，能够更加逼真地描述客观事物的规律，特别是发展变化的规律。