灰色系统理论在矿床经济评价中的应用

徐 凌, 王志辉, 温春齐

(成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘 要: 以灰色理论为基础, 结合石材矿床实例, 详细介绍了综合灰色聚类分析、灰色关联度分析以及灰色局势决策分析等方法的灰色经济评价方法体系, 并给出了石材矿床实例应用的结果。

关键词: 灰色系统理论; 石材矿床; 经济评价

中图分类号: P624.6; P628 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)04-0257-05

灰色系统理论是华中理工大学邓聚龙教授(1982)首创的一种新型理论。自然界中的系统大多数为灰色系统, 在工程技术、社会、经济、农业、生态、环境、军事等各种系统中经常会遇到信息不完全的情况, 灰色系统理论就是利用系统中信息完全确知的白色信息来解决其中信息不完全或信息完全不确知的部分。

在目前市场经济条件下, 矿床经济评价的目标是确定矿床是否有进一步开发的价值, 以便对开发投资可行性研究作出决策, 使矿床开发利用的经济效果最优化, 最终推动矿产资源的合理开发和利用, 避免造成不必要的浪费。本文对灰色系统理论进行了研究, 将灰色理论用于矿床经济评价, 取得了较好的效果。

1 应用灰色理论评价矿床的思想

1.1 评价意义、目标及依据

由于矿床经济评价影响因素复杂, 评价的方案所考虑的角度均有所不同, 绝大多数情况下, 多个方案的各个指标都存在“二律背反”规律, 即各项指标不平衡, 方案之间的评价指标互有优劣, 在对某一项指标进行评估时, 不同类型的其他指标有好、有坏, 因而得不出一个最终完整的结论。因此, 直接发现评价方案的“优方案”或把各个方案按优劣次序排列, 由于这个规律将非常困难。而且, 评价指标体系中各指标的表示方法不一, 即量化的量程、量纲不一。这样就很难用一个简单的算术运算而计算出一个所谓

的“综合指标”。

为了解决上述问题, 就有必要寻求一种有效的评估方法, 使得人们能够科学、准确、定量地评价矿床开发的综合经济效益。因此, 笔者尝试将灰色系统理论引入石材矿床经济评价中, 结合灰色理论分析、研究问题的优越性, 对石材矿山的综合经济效益进行灰色评估。试图用灰色理论的思想、观点、方法进行定性、定量、定性与定量相结合的分析, 以使石材矿床系统的研究更接近实际情况。因此, 选择运用灰色系统理论的主要依据是:

(1) 系统理论使评价各种设计方案的多方面因素的相互间互补的、不可比的技术经济指标, 成为可比的、量化的。特别是对于多评价指标的系统方案选择, 灰色理论提供了一个简单可行的方法。

(2) 灰色系统理论克服了模糊数学等方法在对矿床经济评价分析中分析结果精度不高, 甚至可能出现不完全正确或者是错误的结论的问题。其预测精度一般情况下高于其他方法。

(3) 相对于其他方法来说, 灰色系统理论的方法计算量比较小。

1.2 评价总体思路

结合矿床传统经济评价, 运用灰色系统理论对石材矿床进行经济评价的总体思路大体可分为以下几个步骤:

(1) 据矿床经济评价中一定的原则和方法设计评价方案;

(2) 经济评价: 对所设计的评价方案进行传统的经济评价, 以原方案为基准设立评价指标的参考体系, 以其他方案为基准设立评价指标体系;

(3) 灰色经济评价: 运用灰色关联分析、灰色聚类分析和灰色局势决策等灰色方法建立灰色经济评价体系, 对上述各方案的评价指标进行优化处理, 解决各指标间的不可公度性和矛盾性, 全面权衡其优劣。并在灰色系统优化处理的基础上, 对各方案的优劣进行评价排序, 得出最优、次优的顺序;

(4) 评价效果分析: 对上述灰色经济评价这一定量评价作定性评价的补充, 使评价结论更贴近客观实际。

2 灰色理论在石材经济评价中应用的方法体系

将石材矿床看成是一个灰色系统, 从而对其的影响评价因素进行分析, 对其可能产生的经济效益进行评估预测, 并在可能的情况下建立数学模型。因此, 将灰色系统理论运用于经济数量关系的分析以及技术经济效益的分析评价, 这将使石材矿床经济评价中众多的经济关系的分析从半定量转向定量, 从而增强分析的科学性以及应用的可靠性。其具体步骤如下。

2.1 运用灰色聚类分析法确定方案所属效益类别

运用灰色聚类分析方法划分各方案(包括原方案)的开发后所产生经济效益的类别。

灰色聚类是以灰数的白化函数生成为基础的方法。它将聚类对象对于不同聚类指标所拥有的白化数, 按 n 个灰类进行归纳, 从而判别聚类对象所属的灰类。其具体步骤如下:

(1) 确定聚类对象和聚类指标。

记 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 为聚类对象(令 $i = 1, 2, \dots, n$);
 $1^\#, 2^\#, 3^\#, \dots, n^\#$ 为聚类指标($j = 1^\#, 2^\#, 3^\#, \dots, n^\#$);

$1, 2, 3, \dots, m$ 为聚类灰类(令 $k = 1, 2, 3, \dots, m$);
 d_{ij} 为第 i 个聚类对象对于第 j 个聚类指标所拥有的白化数, 称为聚类白化函数。

给出不同聚类对象不同聚类指标的白化数 d_{ij} , 构成样本矩阵 $D = (d_{ij})$ 。当各个灰类的白化值在数量上相差太悬殊时, 应先作无量纲化处理。

(2) 确定灰类及白化函数 $f_{ji(x)}$ 。

一般取“高”、“中”、“低”3种灰类进行分析, 记为

$k \in \{1, 2, 3\}$ 。

(3) 求标定聚类权 η_{jk} 。

$$\eta_{jk} = \frac{\lambda_{jk}}{n^\#} \quad j = 1, 2, 3$$

(4) 求聚类系数 σ_{ik} 。

$$\sigma_{ik} = \sum_{j=1}^{n^\#} f_{jk}(d_{ij}) \cdot \eta_{jk}$$

σ_{ik} 为第 i 个聚类对象对第 k 个灰类的聚类系数。

(5) 构造聚类向量。

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} \end{bmatrix}$$

(6) 聚类。

对于任意 i , 若

$$\sigma_{ik}^\# = \max\{\sigma_{ik}, j = 1, 2, 3\}$$

则说明第 i 个聚类对象属于第 $k^\#$ 个灰类。

2.2 运用灰色关联度线性加权和法求取指标权重

运用灰色关联度线性加权和法计算评价指标体系中各指标权重。

关联度是事物之间、因素之间关联性的量度, 即根据事物或因素的连续或离散系列曲线的相似程度来判别其关联程度的大小。而线性加权和法的关键是如何确定相对准确的加权系数。灰色关联度线性加权和法, 即以进行优劣排序的方案集的各指标系列与所参考系列的关联度来确定各指标的加权系数。其具体步骤如下:

(1) 建立标准特征量矩阵。设有 n 个备选方案, 每个方案有 m 项评价指标, 则有 $m \times n$ 阶指标特征量矩阵

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{m \times n}$$

式中: x_{ij} 为第 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 个方案的第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个评价指标特征量。

(2) 原始数据处理。由于原始数据中各指标的量纲不同, 不可公度, 因此需进行无量纲化处理。常用的方法是归一化。所谓归一化, 即用备选方案同一指标的最值去除各项。

(3) 确定参考序列和被比较序列。根据诸个方案的技术经济评价指标数据列, 在归一化后, 选取某一

指标的离散系列构造出技术经济指标参考数据列,其他指标系列为被比较系列。

设参考序列为:

$$x^+ = \{x^+(j), j = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

被比较序列为:

$$x_i = \{x_i(j), j = 1, 2, 3, \dots, n\} (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

(4) 计算灰色关联系数。通过诸个方案的指标数列对该参考数据列计算,获得关联系数。

第 i 个评价指标与参考序列中第 j 个开发方案的近似程度用灰色关联系数 $\xi_i^+(j)$ 表示为:

$$\xi_i^+(j) = \frac{\min_j \min_i x_i(j) - x^+(j) + \rho \max_i \max_j x_i(j) - x^+(j)}{\rho \max_i \max_j x_i(j) - x^+(j)}$$

式中: $\min_j \min_i x_i(j) - x^+(j)$ 为两级最小差;

$\max_i \max_j x_i(j) - x^+(j)$ 为两级最大差;

ρ 为分辨系数,取值范围 $0 < \rho < 1$,一般取 $\rho = 0.5$,即有较高的分辨率。

(5) 计算灰色关联度。第 i 个评价指标与参考序列中第 j 个开发方案的灰色关联度为:

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i^+(j)$$

(6) 计算各指标加权系数,即:

$$w_i = r_i / \sum_{i=1}^m r_i (i = 1, 2, \dots, m)$$

因此得到,

$$W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_m)$$

2.3 运用灰色局势决策进行方案优选

运用灰色局势决策对多方案多目标矿床开发方案排序优选。凡是预定目标做出行动的决定称为决策。在不同的对策去对付同一事件的各种方案中,挑选出一个最佳的方案,就是决策。灰色系统决策是指系统中含有灰元(估值)时的决策,是定性与定量、静态与动态相结合的决策方法。灰色局势决策是专门解决灰色系统多目标决策问题的一种方法。是根据某些准则对各个局势(局势是事件和对策的二元组合)所产生的实际效果规定效果测度。然后计算每一方案综合效果测度,据此进行方案的排序优选。其具体步骤如下:

(1) 给出事件和对策。记 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i$ 为事件(令 $i = 1, 2, 3, \dots, m$); 记 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_j$ 为对策($j = 1, 2, 3, \dots, n$);

(2) 构造局势。事件和对策的二元组合,称为局势。即:

a_i 与 b_j 的二元组合 $S_{ij} = (a_i, b_j)$ 称为第 ij 个局势。

(3) 给出目标。对于需要处理或对付的事物(即事件)采取了处理的措施(即对策),这就需要用一定的准则或尺度来评价用这个对策对付这一事件的效果。这种准则或尺度就是所谓的目标。作为多目标决策就是在决策中目标个数 ρ 大于 1 时的决策。

(4) 给出不同目标的效果白化值。对每个目标、每个局势有一个效果白化值 $u_{ij}^{(p)}$, 对所有局势便有

$$\begin{bmatrix} u_{11}^{(p)} & u_{12}^{(p)} & \dots & u_{1m}^{(p)} \\ u_{21}^{(p)} & u_{22}^{(p)} & \dots & u_{2m}^{(p)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1}^{(p)} & u_{n2}^{(p)} & \dots & u_{nm}^{(p)} \end{bmatrix}$$

(5) 计算不同目标的效果测度。由于量纲和要求不同,需要统一量纲和要求。即一个多目标局势决策,在局势效果进行量化之前,将局势效果白化值(样本)转化成各种目标可以比较的效果测度:

①对于“越大越好”的目标采用上限效果测度:

$$r_{ij}^{(p)} = \frac{u_{ij}^{(p)}}{u_{\max}^{(p)}}, u_{ij}^{(p)} \quad u_{\max}^{(p)}, r_{ij}^{(p)} \quad [0 \quad 1]$$

式中: $u_{ij}^{(p)}$ 为目标 p 下局势 S_{ij} 的实际效果; $u_{\max}^{(p)}$ 为所有局势实际效果的最大值。

②对于“越小越好”的目标采用下限效果测度:

$$r_{ij}^{(p)} = \frac{u_{\min}^{(p)}}{u_{ij}^{(p)}}, u_{ij}^{(p)} \quad u_{\min}^{(p)}, r_{ij}^{(p)} \quad [0 \quad 1]$$

式中: $u_{\min}^{(p)}$ 为目标 p 下所有局势实际效果的最小值。

③对于要求“适中”的目标采用适中效果测度

$$r_{ij}^{(p)} = \frac{\min\{u_{ij}^{(p)}, u_0\}}{\max\{u_{ij}^{(p)}, u_0\}}, \min\{u_{ij}^{(p)}, u_0\} \\ \max\{u_{ij}^{(p)}, u_0\}, r_{ij}^{(p)} \quad [0 \quad 1]$$

(6) 计算多目标综合效果测度。由于局势有 p ($p > 1$) 个目标,根据各种目标的权重,则求取综合效果测度。

$$r_{ij}^{(p)} = \sum_{p=1}^n \omega_p r_{ij}^{(p)}, > 0, \sum_{p=1}^n \omega_p = 1$$

(7) 选择最优局势。决策就是挑选效果最好的局势。可由事件中挑选最好的对策,称为行决策;也可由对策匹配中挑选最适宜的事件,称为列决策。

行决策是指在决策矩阵中的行决策中选择效果测度最大的决策元,即:

$$r_{ij}^{(p)} = \max_j r_{ij}^{(p)} = \max [r_{1j}^{(p)} \quad r_{2j}^{(p)} \quad \dots \quad r_{mj}^{(p)}]$$

则最佳行决策:

$$\delta_{ij^*} = \frac{r_{ij^*}^{(a_i^*)}}{s_{ij^*}^{(a_i^*)}}$$

式中: s_{ij^*} 为最佳决策局势, 表示 b_{j^*} 是对付事件 a_i 的最佳对策。

列决策是指在决策矩阵中的决策列中选择效果测度最大的决策元, 即:

$$r_{ij^*}^{(a_i^*)} = \max_j r_{ij}^{(a_i^*)} = \max [r_{1j}^{(a_i^*)} \quad r_{2j}^{(a_i^*)} \quad \dots \quad r_{mj}^{(a_i^*)}]$$

则最佳列决策为:

$$\delta_{i^*j} = \frac{r_{i^*j}^{(a_i^*)}}{s_{i^*j}^{(a_i^*)}}$$

式中: s_{i^*j} 为最佳决策局势, 表示 a_{i^*} 是匹配对策 b_j 最适宜的事件。

3 实验及结论

应用以陕西西乡县“西乡黑”花岗石矿床为例, 由于地质特点、石材开采、加工技术性能以及自然经济地理条件的特殊性, 决定了开采、加工的多方案性。根据矿山年生产能力的相应变化, 结合开发公司的投资力度等影响因素, 共获得 6 个技术可行方案(表 1)。各方案在经济效益、资源效益和社会效益诸方面各有其优缺点, 故很难判断哪一个或几个方案更优。下面我们采用上述灰色评价方法对综合经济效益进行灰色评估。其计算结果见表 2。

表 1 “西乡黑”矿床开发方案

Table 1 Exploitation schedules of Xixianghei type of stone deposit

开发方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
投资回收期(年)	3.148	3.136	3.161	3.177	3.162	3.184
财务净现值(万元)	2828.81	2439.40	3294.51	3657.15	3114.80	1916.22
财务内部收益率(%)	76.23	76.59	75.80	75.08	75.68	75.10
经济净现值(万元)	1889.045	1612.07	2212.73	2463.103	2078.105	1253.142
投资净收益率(%)	69.51	69.79	68.50	67.33	68.45	69.10
经济内部收益率(%)	59.063	59.14	58.43	57.43	58.37	58.45
经济换汇成本(元/美元)	3.481	3.420	3.654	3.887	3.603	3.352

表 2 “西乡黑”矿床开发方案序次

Table 2 Order of the Exploitation

开发方案	聚类分析法		局势决策法	序次
	聚类系数	效益类别		
原方案	0.9633	高效益类	0.9374	4
方案 1	0.9308	高效益类	0.9165	5
方案 2	0.9998	高效益类	0.9562	2
方案 3	1.0000	高效益类	0.9562	1
方案 4	0.9856	高效益类	0.9457	3
方案 5	0.8882	高效益类	0.8807	6

灰色经济评价方法体系应用的前提是: 进行优劣排序的方案集中的各方案是在基础地质原始资料积累的基础上, 以传统的一套财务经济评价和国民经济评价等方法确定出各种可能的开发方案所对应的各项技术经济参数。在这种前提之下, 进行灰色经济评价时正是为了调和各种经济指标间的矛盾性, 以确保获取最佳经济效益。

在经济评价的过程中所要涉及的问题很多, 但归根结底, 都属于方案的优选问题。

(1) 灰色聚类分析方法对进行优劣排序的方案集进行初选。即聚类系数用来对方案集作初步优化, 删除一些非次优解, 缩小方案集的方案数目, 有利于简化方案排序工作。

(2) 多目标决策对各方案优选排序的过程中, 涉及到权重系数的问题, 它与决策方法一样在决策中具有独特而重要的作用, 因此要求它相对准确。灰色关联度线性加权和法较好地解决了这一问题。

(3) 灰色局势决策方法既解决了多方案多指标间的矛盾性、不可公度性, 又用一种相对简单的数学运算计算出一个“综合指标”, 可用以量化地比较多个量化目标所代表方案的优劣排序。

从应用的实例分析结果看来, 结合灰色关联度、灰色聚类分析以及灰色局势决策等灰色方法建立起来的灰色经济评价方法体系, 对“西乡黑”花岗石石材矿床的各开发方案进行排序优选是一种很好的方

法。

1988.

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社,

- [2] 冯玉国. 用相对灰色关联分析法评价矿床经济效益[J]. 地质技术经济管理, 1995, (2): 25-28.
- [3] 陈龙桂. 灰色系统理论在矿产经济评价方案优选中的初步应用[J]. 中国地质经济, 1988, (3): 28-32.
- [4] 田家华, 杨昌明. 灰色聚类评估模型及其在矿山综合经济效益评估中的应用[J]. 地质科技动态, 1996, (3): 1-6.

APPLICATION OF THE GRAY SYSTEM THEORY ON ECONOMIC EVALUATING OF DEPOSIT

XU Ling, WANG Zhi-hui, WEN Chun-qi

(Institute of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The gray system theory is a new theory which was initiated by Pro. Deng Julong in Huazhong University of science and technology. This article focuses on the basic methods and characteristics of gray system theory, a economic evaluation method making use of this theory for stone deposit is provided, and the experiment proves and ideal result.

Key words: the gray system theory; stone deposit; economic evaluating

欢迎订阅《中国锰业》

一册在手, 纵览世界锰业全貌

《中国锰业》季刊(邮发代号: 42-115)

中国期刊方阵期刊 全国优秀冶金科技期刊 全国中文核心期刊

全国科技论文统计源期刊 湖南省优秀科技期刊

精彩写真: 尽现中国锰业发展的历史 荟萃世界锰业的科技精华

翔实佳作: 洞悉锰业市场的风云变幻 传递锰业动态的重要信息

《中国锰业》季刊, 邮发代号: 42-115。1983年创刊。系原国家科委批准, 是我国锰行业第一家以推广锰矿、冶金辅料的地质、采矿、选矿、烧结、冶金和轻化工锰制品、电池原材料、磁性材料及相关行业的先进技术与交流生产实践经验为特色的综合性科技期刊, 国内外公开发行。主办单位: 全国锰业技术委员会和长沙冶金矿业材料总公司。

《中国锰业》是湖南省优秀科技期刊, 连续二届荣获全国冶金科技期刊二等奖, 连续四届被湖南省评为一级科技期刊。《中国锰业》在国内外的影响和作用越来越大, 是中国期刊方阵双效期刊, 是《中国科学引文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊, 被《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据——数字化期刊群、《中文科技期刊数据库》全文收录。多次入选全国中文核心期刊。1994年发布了电子刊物, 以网络版、光盘版和印刷版3种形式出版发行。

订阅方法: 全国各地邮局均可订阅(邮发代号: 42-115), 或在本刊编辑部订阅。

国内订价: 5元/本, 全年: 20元/年

地址: 湖南省长沙市麓山路148号 邮编: 410006 联系人: 周柳霞

电话: 0731-8854217

传真: 0731-8883918

http://www.ChinaMn.com

E-mail: Mn1999@263.net