

## 灰色系统理论 在矿床勘探项目选择中的应用

田家华

(中国地质大学·武汉)

采用灰色统计法分析了影响黄金矿床勘探项目选择的最重要、重要、较重要因素，用灰色关联度量各因素对勘探项目选择的影响程度，并通过对关联度的归一化处理，取得各影响因素的权重分配。文后给出一个应用实例。

**关键词：**矿床勘探；项目选择；灰色统计；灰色关联度



工作方法

在进行矿床勘探项目的选择时，必须系统、全面、客观地考虑影响矿床勘探项目选择的有关因素，优化矿床勘探项目。

影响矿床勘探项目选择的因素很多，如黄金矿床有矿床储量及品位、采选冶技术条件、矿山建设条件、市场需求、矿山经济效益和矿山建设投资等。各因素的影响程度都不相同，哪些是最重要因素，哪些是比较重要因素，若人们仅凭借经验或定性分析加以确定，这样处理带有较大的片面性，常由于决策者自身能力的限制，造成勘探项目决策的失误。为了弥补上述缺陷，使矿床勘探项目的选择科学化、定量化，笔者采用灰色统计法分析了影响我国黄金矿床勘探项目选择的最重要、重要、较重要因素，并用灰色关联度量各因素对矿床勘探项目选择的影响程度，还通过对关联度的归一化处理，取得各影响因素的权重分配。

### 方法概述

#### 1. 灰色统计分析

设有  $I, II, \dots, N_c$  为决策群体，记为  $i \in \{I, II, \dots, N_c\}$ ； $1^*, 2^*, \dots, n^*$  为决策方案，记为  $j \in \{1^*, 2^*, \dots, n^*\}$ ； $1, 2, \dots, m$  为决策灰类，记为  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$ ； $d_{ij}$  为第  $i$  个决策群体对第  $j$  个决策方案所提出的白化决策值。灰色统计即以  $d_{ij}$  为基数据，确定  $I, II, \dots, N_c$  各个决策群体对于某个决策方案  $j^*$  从整体上属于哪个灰类。其步骤为：

(1) 给出白化决策值  $d_{ij}$ ，构造样本矩阵  $D$ 。

(2) 给出决策灰类的灰数与灰数的白化函数，决策灰类可分为最重要、重要和较重要 3 种灰类，记为  $k \in \{1, 2, 3\}$ 。

(3) 求决策样本系数  $\eta_{jk}$

记  $f_k(d_{ij})$  为第  $i$  个决策群体对第  $j$  个决策方案的白化函数值，

记  $N_i$  为第  $i$  个决策群体中决策者人数，有

$$\eta_{jk} = \sum_{i=1}^{N_c} f_k(d_{ij}) \cdot N_i \quad (1)$$

式中， $\eta_{jk}$  为第  $j$  个决策方案属于第  $k$  个灰类的灰色统计数。

(4) 求决策权  $\gamma_{jk}$

$$\gamma_{jk} = \frac{\eta_{jk}}{\eta_j} \quad (2)$$

$$\eta_j = \sum_{k=1}^m \eta_{jk} \quad (3)$$

式中,  $\gamma_{jk}$  为决策者对于第  $j$  个决策方案主张第  $k$  种灰类的灰数;  $\eta_j$  为第  $j$  个决策方案的灰色统计数。

(5) 由求得的  $\gamma_{jk}$  构造统计决策矩阵  $R$

(6) 确定灰类

记  $R$  中  $j$  行为

$$\gamma_j = [\gamma_{j1}, \gamma_{j2}, \dots, \gamma_{jm}]$$

若有  $\gamma_{jk}^* = \max_k \{\gamma_{jk}\} \quad (4)$

则说明  $j$  类决策方案决策者主张第  $k$  种灰类。

## 2. 灰色关联度分析

用灰色关联度进行因素分析的步骤为:

(1) 确定比较数列, 记为  $U_{i(k)}$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。

(2) 确定参考数列, 记为  $U_{0(k)}$ 。

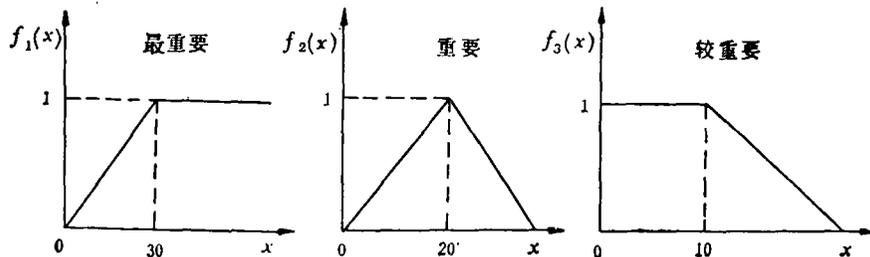
(3) 求关联系数

$$\xi_{i(k)} = \frac{\min_k \min_i |U_{0(k)} - U_{i(k)}| + \xi \cdot \max_k \max_i |U_{0(k)} - U_{i(k)}|}{|U_{0(k)} + U_{i(k)}| + \xi \cdot \max_k |U_{0(k)} - U_{i(k)}|}$$

式中,  $\xi$  为分辨系数, 一般取 0.5;  $\xi_{i(k)}$  为比较数列  $U_i$  的第  $k$  个元素与参考数列  $U_0$  的第  $k$  个元素之间的关联系数。

(4) 求关联度

$$\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{i(k)} \quad (5)$$



3种灰类白化函数值

式中,  $\gamma_i$  为比较数列  $U_i$  与参考数列  $U_0$  的关联度,  $\gamma_i$  值越大, 则表示  $U_i$  与  $U_0$  的关系越密切。

(5) 排序。

## 影响黄金矿床勘探

### 项目选择因素的分析

#### 1. 灰色统计分析

(1) 根据 16 个有关专家 (分为 7 个决策群体) 对影响黄金矿床勘探项目选择的 6 个因素白化决策值  $d_{ij}$  咨询, 构造样本矩阵  $D$  为:

	1*	2*	3*	4*	5*	6*	
D =	30	25	15	15	10	5	I
	35	25	20	10	5	5	II
	25	20	20	5	20	5	III
	20	30	15	10	15	5	IV
	40	10	25	5	15	5	V
	30	20	10	5	20	10	VI
	25	15	20	5	25	5	VII

式中, I, II, ..., VII 为决策群体, 记为  $i \in \{I, II, \dots, VII\}$ , 且每个决策群体中人数分为  $N_1=1, N_2=N_3=N_5=N_7=2, N_4=3, N_6=4$ ; 1\*, 2\*, ..., 6\* 为影响黄金矿床勘探项目选择的因素, 分别表示矿床储量及品位、采选冶技术条件、矿山建设条件、市场需求、矿山经济效益和矿山建设投资, 记为  $j \in \{1^*, 2^*, \dots, 6^*\}$ 。

(2) 给出决策灰类的灰数及灰数的白化函数

选取3种灰类进行分析：1类为30以上定为最重要；2类为20左右定为重要；3类为10以下定为较重要。3种灰类的白化函数如图所示。

(3) 构造统计决策矩阵R

依据公式(1)、(2)、(3)，经计算机处理，可求得R为：

$$R = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{61} & \gamma_{62} & \gamma_{63} \end{bmatrix}$$

最重要 重要 较重要

$$= \begin{bmatrix} 0.5758 & 0.4242 & 0 \\ 0.4297 & 0.4858 & 0.0845 \\ 0.3273 & 0.4545 & 0.2182 \\ 0.2073 & 0.3102 & 0.4825 \\ 0.3191 & 0.4980 & 0.1829 \\ 0.2054 & 0.3056 & 0.4890 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{矿床储量、品位} \\ \text{采选冶技术条件} \\ \text{矿山建设条件} \\ \text{市场需求} \\ \text{矿山经济效益} \\ \text{矿山建设投资} \end{matrix}$$

(4) 判断灰类

由  $\gamma_{ik}^* = k \{ \gamma_{ik} \}$  可知：

$\gamma_{11} = 0.5758 = k \{ \gamma_{11} \}$ ，表明矿床储量及品位为最重要因素；

$\gamma_{22} = 0.4858 = k \{ \gamma_{22} \}$ ，表明采选冶技术条件为重要因素；

$\gamma_{32} = 0.4545 = k \{ \gamma_{32} \}$ ，表明矿山建设条件为重要因素；

$\gamma_{43} = 0.4825 = k \{ \gamma_{43} \}$ ，表明市场需求为较重要因素；

$\gamma_{52} = 0.4980 = k \{ \gamma_{52} \}$ ，表明矿山经济效益为重要因素；

$\gamma_{63} = 0.4890 = k \{ \gamma_{63} \}$ ，表明矿山建设投资为较重要因素。

由此可知，影响黄金矿床勘探项目选择的最重要因素为矿床储量及品位，重要因素为采选冶技术条件、矿山建设条件、矿山经济效益，较重要因素为市场需求条件、矿山

## 2. 灰色关联度分析

(1) 专家对影响黄金矿床勘探项目选择的因素的评定值见表1。

由表1可知最大值为40，为此，可假设有一因素，称为参考因素，记为  $U_0$ ，并设  $U_0$  各项均为40。

表 1

影响因素	1	2	3	4	5	6	7
矿床储量及品位 $U_1$	30	35	25	20	40	30	25
采选冶技术条件 $U_2$	25	25	20	30	10	20	15
矿山建设条件 $U_3$	15	20	20	15	25	10	20
市场需求 $U_4$	15	10	5	10	5	5	15
矿山经济效益 $U_5$	10	5	20	15	15	20	25
矿山建设投资 $U_6$	5	5	5	5	5	10	5

建设投资。

(2) 将  $U_0, U_1, U_2, \dots, U_6$  视为数列，且数列的各项由专家赋予的评定值构成，并将数列  $U_0$  作为参考数列，其余作为比较数列，即

$$U_0 = \{U_{0(1)}, U_{0(2)}, \dots, U_{0(7)}\} \\ = \{40, 40, 40, 40, 40, 40, 40\}$$

$$U_1 = \{U_{1(1)}, U_{1(2)}, \dots, U_{1(7)}\} \\ = \{30, 35, 25, 20, 40, 30, 25\}$$

.....

$$U_6 = \{U_{6(1)}, U_{6(2)}, \dots, U_{6(7)}\} \\ = \{5, 5, 5, 5, 5, 10, 5\}$$

(3) 求差序列  $\Delta_{i(k)} = |U_{0(k)} - U_{i(k)}|$

计算结果见表2，同时给出了  $k_{\min}^{\min}$ 、 $k_{\max}^{\max}$ 、 $i_k$  及  $i_k$ 。

(4) 计算关联系数  $\gamma_i$

依据表2及公式(4)、(5)，可得表3。

(5) 排序。

由表3可知：

$$\gamma_1 = 0.6564, \gamma_2 = 0.4896, \gamma_3 = 0.4472$$

$$\gamma_4 = 0.3652, \gamma_5 = 0.4280, \gamma_6 = 0.3373$$

排出关联序为：

$$\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3 > \gamma_5 > \gamma_4 > \gamma_6$$

即  $U_1 > U_2 > U_3 > U_5 > U_4 > U_6$

差序列计算表

表 2

$\Delta_i(k)$ \ k	1	2	3	4	5	6	7	min k	max k
$\Delta_1 = U_0(k) - U_1(k)$	10	6	15	20	0	10	15	0	20
$\Delta_2 = U_0(k) - U_2(k)$	15	15	20	10	30	20	25	10	30
$\Delta_3 = U_0(k) - U_3(k)$	25	20	20	25	15	30	20	20	30
$\Delta_4 = U_0(k) - U_4(k)$	25	30	35	30	35	35	25	25	35
$\Delta_5 = U_0(k) - U_5(k)$	30	35	20	25	25	20	15	20	35
$\Delta_6 = U_0(k) - U_6(k)$	25	35	35	35	35	30	30	35	35
								0	35
								min i	max i
								min k	max k

关联度和关联系数

表 3

$\xi_i(k)$ \ k	1	2	3	4	5	6	7	$\gamma_i$
$\xi_1(k)$	0.6364	0.7778	0.5385	0.4667	1.0000	0.6364	0.5385	0.6564
$\xi_2(k)$	0.5385	0.5385	0.4667	0.6364	0.3684	0.4667	0.4118	0.4896
$\xi_3(k)$	0.4118	0.4667	0.4667	0.4118	0.5384	0.3684	0.4667	0.4472
$\xi_4(k)$	0.4118	0.3684	0.3321	0.3684	0.3321	0.3321	0.4118	0.3652
$\xi_5(k)$	0.3684	0.3321	0.4667	0.4118	0.4118	0.4667	0.5385	0.4280
$\xi_6(k)$	0.3321	0.3321	0.3321	0.3321	0.3321	0.3684	0.3322	0.3373

从关联序可看出,  $U_1$ 居首位, 这表明  $U_1$ 与  $U_0$ 的关系最密切, 即矿床的储量及品位对黄金矿床勘探项目选择的影响最大;  $U_2$ 居第2位, 即采选冶技术条件的影响次之; 其他因素的影响程度依次为矿山建设条件、矿山经济效益、市场需求和矿山建设投资。

### 实 例

将上述关联度作归一化处理, 可得到各影响因素的权重分配集合  $\underline{A}$

$$\begin{aligned} \underline{A} &= (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6) \\ &= (0.2410, 0.1798, 0.1642, 0.1341, \\ &\quad 0.1571, 0.1238) \end{aligned}$$

某地矿单位现有3个有待勘探的金矿床, 因勘探资金限制, 3个金矿床不能同时转入勘探, 仅能从中择优进入勘探。

I 矿床属小型, 储量远景不大, 品位较高, 矿体埋藏深度100m以下, 矿体顶板围岩坚固, 矿区水文地质条件属简单型, 矿床开采技术条件良好。矿石加工流程复杂, 回

收率较低。矿区交通条件较为方便, 但自然经济条件差。矿山建设投资达2586.51万元, 在矿山服务年限内净现值为1290.91万元, 总现值为4476.90万元, 投资回收期为6.33年, 净外汇效果为9109.20万美元。

II 矿床属中型, 有一定储量远景, 品位较高, 矿体埋藏深度150~250m, 矿体顶底板围岩较稳固, 矿区水文地质条件属中等偏复杂, 矿石加工流程复杂, 回收率较低。矿区交通方便, 供水供电有保障。矿山建设投资为3710.04万元, 在矿山服务年限内净现值达873.92万元, 总现值为5473.00万元, 投资回收期为6.71年, 净外汇效果为8558万美元。

III 矿床属大型, 储量远景大, 品位较低, 矿体埋藏浅, 大部出露地表。矿体顶底板围岩坚固。矿区水文地质条件较简单, 矿石加工性能好。矿区交通条件较为优越, 供水供电有保障。矿山建设投资为7500.00万元, 在矿山服务年限内净现值达1503.64万元, 总现

值为9226.02万元, 投资回收期为6.68年, 净外汇效果为16175.08万美元。

由上述可得表4各矿床影响因素的评分值。

1、II、III金矿床影响因素评分值 表4

影响因素	I	II	III
矿床储量及品位( $U_1$ )	1.91	2.30	2.93
采选冶技术条件( $U_2$ )	3.52	3.13	3.77
矿山建设条件( $U_3$ )	1.41	2.42	2.24
市场需求( $U_4$ )	3.00	3.00	3.00
矿山经济效益( $U_5$ )	2.12	3.18	2.61
矿山建设投资( $U_6$ )	0.77	0.61	0.07

据林峰, 层次分析法在矿床勘探项目选择中应用, 1990。

I、II、III矿床的综合评分值为:

$$C_I = \sum_{i=1}^6 A_i \cdot U_i = 2.1554$$

$$C_{II} = 2.4918$$

$$C_{III} = 2.5728$$

由此可知III矿床综合评分值 $C_{III}$ 最大, 故III矿床应优先转入勘探。与其他两矿床相比, III矿床储量最大(属大型), 矿体埋藏浅, 顶底板围岩坚固, 水文地质条件简单, 矿石加工性能好, 矿山开发的经济效益较高, III矿床勘探项目的选择与实际相一致。

### 结束语

#### 1. 将灰色系统理论运用于矿床勘探项

目选择的影响因素分析, 使勘探项目的选择更具科学化、定量化, 为减少勘探项目决策失误, 提高矿山生产和地质勘探的经济效益提供了有效途径。

2. 对影响黄金矿床勘探项目选择的因素分析结果表明, 矿床储量及品位是最重要因素, 采选冶技术条件、矿山建设条件、矿山经济效益为重要因素, 而市场需求和矿山建设投资为较重要因素。各影响因素的关联序为: 矿床储量及品位>采选冶技术条件>矿山建设条件>矿山经济效益>市场需求>矿山建设投资。

3. 通过关联度的归一化处理确定影响因素的权重分配, 对某勘探单位3个有待转入勘探的黄金矿床进行了项目优选, 取得了满意的效果。

将灰色系统理论运用于矿床勘探项目的优选是一次尝试, 将有许多不足之处, 敬请同行指正。

### 参考文献

- [1] 邓聚龙, 《灰色系统基本方法》, 华中理工大学出版社, 1988.
- [2] 邓聚龙, 《灰色系统(社会·经济)》, 国防工业出版社, 1985.
- [3] 邓聚龙, 《灰色控制系统》, 华中工学院出版社, 1985.

## Application of Grey System Theory to the Selection of Mineral Exploration Project

Tian Jiahua

By using the grey system statistical method, the authors has made an analysis on the factors of different importance that exert an influence on the choice of gold deposit exploration projects. Correlated measure is used to express the extent of influence. Through a normalization of the correlated measure, the weight distribution of influence factors are obtained. A partical example is given for illustration.