



移动扫码阅读

张子宇,关英斌. 崩底矿矿山地质环境质量评价[J].能源环境保护, 2021, 35(1):54-59.

ZHANG Ziyu, GUAN Yingbin. Evaluation on mine geological environment quality of Maodi Coal Mine[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(1):54-59.

# 崩底矿矿山地质环境质量评价

张子宇,关英斌

(河北工程大学 地球科学与工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**以山西省崩底矿为例,基于层次分析法进行权重计算,对模糊综合评价法进行改进,引入有效度、量化向量以及置信度准则对传统地质环境评价方法评价结果进行修正。结果表明:传统模糊综合评价模型评价结果为地质环境质量Ⅰ级(一般),有效度为0.121 89;改进模糊综合评价模型 $k_0=2$ 时,隶属度为0.775 4(置信度 $>0.65$ ),矿山地质环境质量修正为Ⅱ级(较严重)。分析认为,改进模糊综合评价方法更适用于矿山地质环境质量评价。

**关键词:**矿山地质环境;质量评价;改进模糊综合评价法;崩底煤矿

中图分类号:X820.2

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)01-0054-06

## Evaluation on mine geological environment quality of Maodi Coal Mine

ZHANG Ziyu, GUAN Yingbin

(College of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** Taking Maodi Coal Mine in Shanxi as an example, the weight calculation was carried out based on Analytical Hierarchy Process (AHP), and the fuzzy comprehensive evaluation method was improved. The validity, quantization vector and confidence criterion were introduced to modify the evaluation results of traditional geo environmental assessment methods. The results show that the evaluation result of traditional fuzzy comprehensive evaluation model is grade I (general) with a validity of 0.121 89. When  $k_0$  of the improved fuzzy comprehensive evaluation model is 2 and the membership degree is 0.775 4 (confidence  $>0.65$ ), the mine geological environment quality is revised to grade II (more serious). The analysis shows that the improved fuzzy comprehensive evaluation method is more suitable for mine geological environment quality evaluation.

**Key Words:** Mine geological environment; Quality evaluation; Improved fuzzy comprehensive evaluation method; Maodi Coal Mine

## 0 引言

目前,矿山地质环境评价方法可分为三类,一为利用数学手段构建相应模型,主要有综合指数法<sup>[1]</sup>、层次分析法<sup>[2]</sup>、模糊综合评价法<sup>[3]</sup>、灰色关联度评价法<sup>[4]</sup>等。二为遥感地信技术的应用,2018年柴义伦采用GIS图层叠加分析法对淮南煤炭矿区进行分析,得出了各影响级别土地占比,并预测矿业活动将进一步危害周围环境<sup>[5]</sup>;2020年

张雷等运用遥感技术调查识别登封铝土矿矿区评价因子,通过单因子多因子综合评价反映了矿山地质环境承载力<sup>[6]</sup>。三是将深度学习引入到矿山地质环境评价中,李东等2015年将BP神经网络与支持向量机(SVM)方法引入到矿山地质环境评价中,对新疆青河县矿集区利用两种模型分别进行了评价并进行对比,都得到了较好的评价精度<sup>[7]</sup>。

遥感地信技术在大尺度宏观研究中具有优

势,其获取的信息量广、工作效率高、能全方位获取地面环境的相关图像和数据参数<sup>[8]</sup>。机器深度学习在保留事物原有结构信息的同时可大幅度降低人类视觉处理的数据量,但前期需要高质量数量的测试样本数据<sup>[9]</sup>。目前单一矿山地质环境评价仍以数学方法为主,创新、改进数学模型成为研究趋势。传统模糊综合评价模型中最大隶属度原则存在失效的情况,本文对模糊综合评价模型进行改进,将改进的模型应用于岢底矿矿山地质环境评价,以期获得更加合理的评价结果。

## 1 研究区域概况

岢底矿井田地处晋西北黄土高原,总体地势南高北低,最大相对高差 206.9 m,研究区地形复杂,侵蚀冲刷剧烈,植被覆盖率低。井田内未发现断层、陷落柱及岩浆侵入现象。目前对地质环境

的影响主要为矿井建设与采空破坏区对地形地貌、土地资源、含水层的破坏。多年生产在该井田范围中东部形成大面积采空区,井田内发育有少量因采煤形成的地裂缝、不稳定边坡,煤系上覆含水层遭到破坏。工业广场改扩建用地总规模为 6.73 hm<sup>2</sup>,矸石场占地面积 4 hm<sup>2</sup>,对原生地形地貌景观造成了破坏。

## 2 矿山地质环境质量评价

### 2.1 构建评价指标体系

结合研究区的矿山地质环境背景、水文地质条件、矿山开采等资料,选取地质环境背景、水资源与环境、土地资源与环境、地质灾害四个要素构成要素层。在咨询专家和相关文献查阅的基础上,依据地质环境评价指标选取原则,对每个要素选取代表性指标构成指标层,最终评价指标体系见图 1。

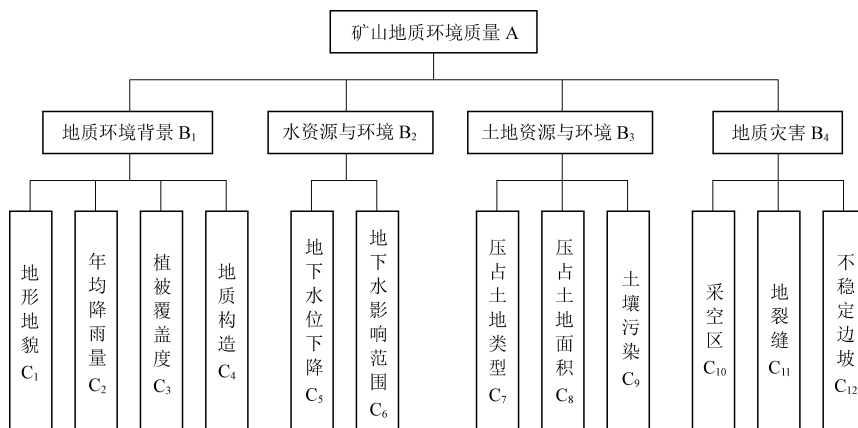


图 1 矿山地质环境质量评价指标体系

Fig.1 Index system of mine geological environment quality evaluation

### 2.2 评价指标分级

将评价指标分为 I (一般)、II (较严重)、III

(严重)三个等级,为方便不可量化指标的计算,将各等级分别赋值 1、2、3 分,具体指标分级见表 1。

表 1 评价指标等级划分表

Table 1 Classification of evaluation indexes

要素层	指标层	地质环境质量分级		
		I 级(1)	II 级(2)	III 级(3)
地质环境背景(B <sub>1</sub> )	地形地貌(C <sub>1</sub> )	低缓山丘,地形相对高差小于 10 m	山前沟谷、冲洪积阶地,地形相对高差 10~20 m	陡峻高丘、地形相对高差大于 20 m
	年均降雨量(C <sub>2</sub> )	<600 mm	600~800 mm	>800 mm
	植被覆盖度(C <sub>3</sub> )	>70%	30%~70%	<30%
	地质构造(C <sub>4</sub> )	断裂不发育	断裂较发育	断裂发育
水资源与环境(B <sub>2</sub> )	地下水下降(C <sub>5</sub> )	<10 m	10~20 m	>20 m
	地下水影响范围(C <sub>6</sub> )	对矿区地下水资源有影响,但对区域地下水资源影响不大	对矿区地下水资源影响严重,区域地下水资源减少呈负均衡	矿区地下水呈疏干-半疏干状态,水资源明显减少

续表

要素层	指标层	地质环境质量分级		
		I 级(1)	II 级(2)	III 级(3)
土地资源与环境(B <sub>3</sub> )	压占土地类型 C <sub>7</sub> )	荒地	林地、草地	耕地
	压占土地面积 C <sub>8</sub> )	<20%	20%~40%	40%
	土壤污染(C <sub>9</sub> )	无污染	污染较轻	污染较严重
地质灾害(B <sub>4</sub> )	采空区(C <sub>10</sub> )	<100 hm <sup>2</sup>	100~200 hm <sup>2</sup>	>200 hm <sup>2</sup>
	地裂缝(C <sub>11</sub> )	累计长度<100 m	累计长度 100~1 000 m	累计长度>1 000 m
	不稳定边坡(C <sub>12</sub> )	边坡高度<10 m	边坡高度 10~30 m	边坡高度>30 m

### 2.3 确定权值

本文的权值通过层次分析法<sup>[10]</sup>(AHP)来计算,该方法简洁、灵活,且在各个领域应用广泛,具体可分为以下两个阶段。

阶段一:构造判断矩阵。用 T.L.Satty 的 1~9 标度将指标体系中的各元素两两相比,构造判断矩阵。

阶段二:权向量计算及一致性检验。将判断矩阵进行最大特征值和特征向量计算并进行一致性检验,当一致性比率  $CR \leq 0.1$ ,则可将特征向量

视为权向量。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中:CI—一致性指标; $\lambda_{\max}$ —最大特征值;n—矩阵阶数,CR—随机一致性比率,RI—平均随机一致性指标。

经计算,各判断矩阵一致性比率均  $\leq 0.1$ ,指标权值计算结果见表 2。

表 2 矿山地质环境影响评价因子及权重

Table 2 Mine geological environment impact assessment factors and weight

目标层	要素层	权值	指标层	权值	总权值	
矿山地质 环境质量 A	地质环境背景 B <sub>1</sub>	0.140	地形地貌 C <sub>1</sub>	0.235	0.033	
			年均降水量 C <sub>2</sub>	0.136	0.019	
			植被覆盖度 C <sub>3</sub>	0.585	0.082	
			地质构造 C <sub>4</sub>	0.044	0.006	
	水资源与环境 B <sub>2</sub>	0.305	0.305	地下水位下降 C <sub>5</sub>	0.250	0.229
				地下水影响范围 C <sub>6</sub>	0.750	0.155
				压占土地类型 C <sub>7</sub>	0.122	0.062
				压占土地面积 C <sub>8</sub>	0.558	0.285
	土地资源与环境 B <sub>3</sub>	0.511	0.511	土壤污染 C <sub>9</sub>	0.320	0.163
				采空区 C <sub>10</sub>	0.796	0.035
				地裂缝 C <sub>11</sub>	0.121	0.005
				不稳定边坡 C <sub>12</sub>	0.083	0.004

### 2.4 改进的模糊综合评价模型建立

#### 2.4.1 传统模糊综合评价模型建立

##### (1) 建立参与评价的要素集

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

其中:U<sub>1</sub>—地质环境背景,U<sub>2</sub>—水资源与环境,U<sub>3</sub>—土地资源与环境,U<sub>4</sub>—地质灾害。

##### (2) 确定参与评价的因子

$$U_1 = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

$$U_2 = \{u_5, u_6\}$$

$$U_3 = \{u_7, u_8, u_9\}$$

$$U_4 = \{u_{10}, u_{11}, u_{12}\}$$

式中:u<sub>1</sub>—地形地貌,u<sub>2</sub>—年均降水量,u<sub>3</sub>—植被覆盖度,u<sub>4</sub>—地质构造,u<sub>5</sub>—地下水位下降,u<sub>6</sub>—地下水影响范围,u<sub>7</sub>—压占土地类型,u<sub>8</sub>—压占土地面积,u<sub>9</sub>—土壤污染,u<sub>10</sub>—采空区,u<sub>11</sub>—地裂缝,u<sub>12</sub>—不稳定边坡。

##### (3) 建立评价集

$$V = (v_1, v_2, v_3) = (I, II, III)$$

式中:V<sub>1</sub>—一般、V<sub>2</sub>—较严重、V<sub>3</sub>—严重。

##### (4) 确定隶属度函数

梯形分布函数<sup>[11-12]</sup>在矿山地质环境质量评价中得到了较好的效果。对于指标值越大等级越差的逆指标,如地形地貌、年均降水量等,隶属函数关系为:

$$RI(x) = \begin{cases} 1 & , x \leq S_1 \\ \frac{s_2 - x}{s_2 - s_1} & , s_1 < x \leq s_2 \\ 0 & , x \geq s_2 \end{cases} \quad (3)$$

$$RII(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq s_1 \\ 1 - RI(x) & , s_1 < x \leq s_2 \\ \frac{s_3 - x}{s_3 - s_2} & , s_2 < x \leq s_3 \\ 0 & , x > s_3 \end{cases} \quad (4)$$

$$RIII(x) = \begin{cases} 0 & , x < s_2 \\ 1 - RII(x) & , s_2 \leq x \leq s_3 \\ 1 & , x > s_3 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $x$ —各因子实测值; $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ —评价集的阈值,评判为一般与严重的阈值为区间的下、上限,评判为较差的阈值为算术平均值。

对于指标值大小与矿山地质环境质量呈正相关的指标和不可量化的评价指标,可通过专家打分法进行赋值从而利用上式计算隶属度。根据隶属函数,计算每个因子对 I、II、III 级的隶属度,构

造隶属矩阵  $R$ 。

(5) 构造权值矩阵

由前文层次分析法求得结果构成权值矩阵  $\omega = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。

(6) 综合评判

$$B = \omega \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (6)$$

式中:  $b_m = \min\{1, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_i \times r_{ij}\}$ ,  $r_{ij}$ —第  $i$  个评价因子对于评语集中第  $j$  级别的隶属度。

运用公式 (6) 可得  $B = (0.395\ 5, 0.379\ 9, 0.382\ 5)$ , 岢底矿矿山地质环境质量对评语集三个级别的隶属度分别为一般 (0.395 5)、较严重 (0.379 9)、严重 (0.382 5), 根据最大隶属度原则, 岢底矿矿山地质环境质量影响程度为一般。

#### 2.4.2 传统的模糊综合评价法的缺陷

(1) 运用最大隶属度原则评价结果时, 存在一定主观性, 可能会忽略某些信息, 结果较为粗糙。

(2) 当评价结果中各隶属度相差不大时, 如本矿评价结果  $B = (0.395\ 5, 0.379\ 9, 0.382\ 5)$ , 对各等级区分度较低, 评价结果准确度较低。

#### 2.4.3 改进模糊综合评价模型

对传统模糊综合评价得到的结果进一步修正, 具体步骤见图 2。

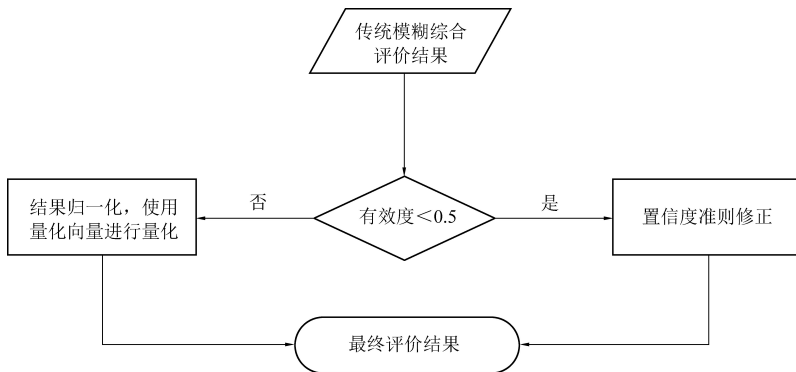


图 2 改进模糊综合评价法步骤

Fig.2 Steps of improved fuzzy comprehensive evaluation method

#### (1) 结果有效度检测

引入有效度<sup>[13]</sup>  $\alpha$  对结果进行检验, 其评价标准见表 3。

$$\alpha = \frac{n\beta - 1}{2\gamma(n - 1)} \quad (7)$$

式中:  $n$ —模糊综合评价矩阵  $B$  中的元素个数;  $\beta$ —最大隶属度;  $\gamma$ —第二大隶属度。

表 3 有效度评价标准

Table 3 Validity evaluation criteria

取值范围	$\alpha = 0$	$0 < \alpha < 0.5$	$0.5 \leq \alpha < 1$	$1 \leq \alpha < +\infty$	$\alpha = +\infty$
评价等级	完全失效	比较低效	比较有效	非常有效	完全有效

根据式(7)计算岢底矿矿山地质环境质量模

糊综合评价结果有效度  $\alpha = \frac{3 \times 0.3955 - 1}{2 \times 0.3825 \times (3-1)} =$

0.12189, 在(0,0.5)的区间内,最大隶属度原则比较低效。

### (2) 结果量化

若评价结果有效度大于等于 0.5, 评价结果较为准确, 但为了降低模糊综合评价矩阵 B 的主观性, 将模糊评价结果先归一化处理再引入量化向量<sup>[14]</sup>转换为具体的综合评价值。依据《矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范》将矿山地质环境质量等级分为优秀、良好、较差三个等级具体划分见表 4。

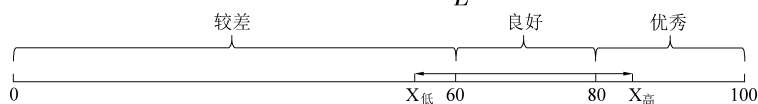


图 3 矿山地质环境质量等级分布图

Fig.3 Distribution of mine geological environment quality grade

### (3) 置信度准则修正

对于有效度小于 0.5 的结果, 采用置信度准则<sup>[15]</sup>对评价结果修正。

置信度准则: 设  $(b_1, b_2, \dots, b_m)$  是一个有序的地质环境质量评价集,  $\lambda$  为置信度, 矿山地质环境质量  $x$  属于  $b_i$  类的隶属度为  $U_x(b_i)$ , 记评价该矿山地质环境质量级别为  $B_{k_0}$ , 即有以下表达式:

$$k_0 = \begin{cases} \min\{k: \sum_{i=1}^k U_x(B_i) \geq \lambda, 1 \leq k \leq m\} \\ b_1 > b_2 > \dots > b_m \\ \max\{k: \sum_{i=1}^k U_x(B_i) \geq \lambda, 1 \leq k \leq m\} \\ b_1 < b_2 < \dots < b_m \end{cases} \quad (8)$$

置信度一般认为越大越好, 当  $m > 4$  时, 若  $\beta \geq 0.7$  一定存在  $\alpha > 1$ 。本评价  $m = 3 < 4$ , 则需设置  $\lambda = 0.65$ 。本评价的评价集  $b_1 > b_3 > b_2$ , 选取公式  $k_0 = \min\{k: \sum_{i=1}^k U_x(B_i) \geq \lambda, 1 \leq k \leq m\}$  来计算地质环境质量等级,  $(0.3955 + 0.3799) = 0.7754 > 0.65$ , 岢底矿矿山地质环境质量修正为 II 级(较严重)。

## 3 评价结果

(1) 根据 AHP 确定的权值, 岢底矿矿山地质环境评价指标体系中, 土地资源与环境要素占主导地位, 对地质环境影响程度最大, 土地资源与环境的影响因子中, 土地压占面积对其影响最大。

表 4 矿山地质环境质量级别评价标准

Table 4 Mine geological environment quality level evaluation criteria

质量级别	优秀	良好	较差
区间值	[80,100]	[60,80)	(60,0)

从而可得到量化向量  $P_{\text{高}} = (100, 80, 60)^T$ ,  $P_{\text{低}} = (80, 60, 0)^T$ , 计算矿山地质环境质量评语集最高最低得分  $X_{\text{高}} = B_{\text{norm}} \times P_{\text{高}}$ ,  $X_{\text{低}} = B_{\text{norm}} \times P_{\text{低}}$ , 将其差值 L 视为质量评价结果得分区间总长度(见图 3),  $L_i (i=1, 2, 3)$  为质量评价结果所处不同等级区间的长度, 将各等级区间长度占总区间的概率  $P_i = \frac{L_i}{L}, i=1, 2, 3$ , 最大值的等级视为最终评价结果。

(2) 根据传统模糊评价结果, 岢底矿矿山地质环境质量级别为 I 级(一般)。

(3) 对传统评价结果进行有效度检验, 有效度  $\alpha = 0.12189 < 0.5$  比较低效, 采取置信度准则修正, 最终对岢底矿矿山地质环境质量评价结果为 II 级(较严重), 这与矿山实地调查结果契合度较高。

结合评价结果应加强对岢底矿矿山地质环境保护工作, 对工业广场扩建、矸石堆放等进行合理规划, 减少对原生地形地貌景观和土地资源的破坏。

## 4 结论

利用传统模糊综合评价模型计算岢底矿矿山地质环境质量, 根据最大隶属度原则, 矿山地质环境质量为 I 级(一般), 评价结果有效度为 0.12189, 比较低效。利用改进模糊综合评价模型进行计算,  $k_0 = 2$  时, 隶属度为 0.7754, 大于置信度 0.65, 岢底矿矿山地质环境质量修正为 II 级(较严重), 避免了最大隶属度原则失效时, 评价结果失真的情况, 减小了模糊评价的主观性。利用改进模糊综合评价模型计算的评价结果与实地调查更接近, 证明将有效度检验、量化向量、置信度准则与传统模糊综合评价模型相结合的改进模糊综合评价方法是一种更为合理、全面的矿山地质环境质量评价方法。

## 参考文献

- [1] 周倩羽, 关英斌, 张立钊, 等. 河北省陶一煤矿矿山地质环境质量评价 [J]. 能源环境保护, 2012, 26 (5): 61-64.
- [2] 焦姗, 侯晓晖, 武国辉. 基于 AHP 法的阳城县矿山地质环境质量评价 [J]. 山西煤炭, 2018, 38 (1): 31-34+40.
- [3] 刘玥, 牛宏. 基于模糊综合评判法的矿山地质环境质量评价——以陕南铅锌矿为例 [J]. 环境保护科学, 2013, 39 (5): 63-66.
- [4] 陈进凯. 陕西银矿地质环境评估及生态恢复治理研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2019: 29-33.
- [5] 柴义伦. 淮南矿区矿山地质环境影响评价方法探讨 [J]. 安徽地质, 2018, 28 (4): 299-302.
- [6] 张雷, 赵修军. 登封铝土矿区矿山地质环境承载力遥感评价技术研究 [J]. 环境科学与管理, 2020, 45 (7): 180-184.
- [7] 李东, 周可法, 孙卫东, 等. BP 神经网络和 SVM 在矿山环境评价中的应用分析 [J]. 干旱区地理, 2015, 38 (1): 128-134.
- [8] 季惠颖, 赵碧云. 遥感技术在环境监测中的应用综述 [J]. 环境科学导刊, 2008 (2): 21-24+36.
- [9] 孙志军, 薛磊, 许阳明, 等. 深度学习研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (8): 2806-2810.
- [10] 郭秋, 张红, 刘贺春. 宝鼎矿地质环境模糊层次分析法综合评价 [J]. 金属矿山, 2017 (8): 193-198.
- [11] 周爱国. 地质环境评价 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008: 85-90.
- [12] 郁文, 丁国轩, 樊小鹏, 等. 基于层次分析—模糊综合模型的矿山地质生态环境评价研究 [J/OL]. 三峡生态环境监测: 1-20 [2021-01-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1214.X.20200917.1744.013.html>.
- [13] 秦华康. 基于改进的模糊综合评价法的水利工程施工质量综合评价 [J]. 科技创新与应用, 2016 (31): 239-240.
- [14] 朱小飞, 王永君, 李大军. 模糊评价中最大隶属度原则有效性检验 [J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39 (5): 135-137+143.
- [15] 周灿, 廖振良, 孔令婷, 等. 基于熵权的模糊层次评价法在滴水湖水水质评价中的应用 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (1): 82-87.