

基于 AHP-TOPSIS 评价模型的保护层优选*

田燚¹, 张培², 舒仕海¹, 王沉³, 阮毅¹, 王玉丽¹, 彭英健¹

(1. 兴义民族师范学院 物理与工程技术学院, 贵州 兴义市 562400;

2. 习水县自然资源局, 贵州 遵义市 564699;

3. 贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为合理优选煤与瓦斯突出矿井保护层,运用层次分析法(AHP)结合逼近理想解排序法(TOPSIS)建立煤与瓦斯突出预测模型,从瓦斯治理、水文条件、煤层赋存地质条件、安全管理构建了4项一级指标和19项二级指标及4个保护层选择方案,解算出煤与瓦斯突出等级及最优方案。结果表明:采用AHP法及AHP-TOPSIS综合评判法优选开采M26煤层可作为保护层开采最优方案,并经现场验证表明,瓦斯释放效果较好。预测模型选取了诸多指标,使方案决策更准确合理。
关键词:评价模型;保护层;层次分析法(AHP);逼近理想解排序法(TOPSIS);评价指标

0 引言

随着煤炭资源向深部开采,矿井灾害受“高地应力”“高地温”“高渗透压”及“强烈开采扰动”影响,煤与瓦斯突出仍然是瓦斯治理难题。工程实践表明,保护层开采对防治瓦斯灾害有效可靠。根据《防治煤与瓦斯突出细则》,保护层的开采能释放被保护层瓦斯,有效降低被保护层煤与瓦斯突出危险性。近年来,诸多专家学者对保护层开采进行了大量研究,王海锋等^[1]研究了保护层开采瓦斯涌出规律,并优化了被保护层瓦斯抽采参数。施峰^[2]运用数值模拟及物理相似模拟试验研究了保护层间距对被保护层的卸压分布及保护范围的变化规律。高峰等^[3]研究了保护层开采过程中煤岩层损伤与瓦斯渗透性系数的变化规律。杜泽生等^[4]运用模糊AHP算法解算保护层可信度并进行现场实际应用,取得了良好效果。袁亮等^[5]提出了通过煤层瓦斯含量确定被保护层消突范围的技术方法。王伟等^[6]分析了上保护层裂隙发育及被保护层的卸压瓦斯抽采时效性。程详等^[7]针对软岩保护层开采,研究了保护层开采覆岩“两带”高度及卸压瓦斯富集区。其他学者还运用模拟及数学方法研究了保护层开采技术等^[8-14]。综上所述,学者在保护层瓦斯抽采及保护范围等各方面均取得一定成果,但在确定合理的保护层开采方案方面研究

较少。本文采用层次分析法(AHP)结合逼近理想解排序方法(TOPSIS)建立评价模型,对保护层的确定进行优选,可使保护层选择更为准确、科学。

1 AHP-TOPSIS 综合评价模型

层次分析法作为处理多目标决策方法,可建立多层次结构模型,模型按层次结构可分为目标层、准则层、指标层,该方法具有计算工作量小、定性与定量相结合、计算准确性好等优点,可应用于指标权重值的确定。TOPSIS法作为一种常用的综合评价方法,其能利用原始数据信息精确反映各评价方案间的差距,从而获得评价对象与最优方案的接近程度,得出最优方案。故本文选取AHP与TOPSIS相结合的方法对保护层方案进行优选。

1.1 AHP法确定权重

(1) 确定标度及构建判断矩阵。采用1~9比例标度法比较两两元素的重要程度并进行赋值,构建层次分析判断矩阵 B ,矩阵存在唯一特征根,且特征根可采用公式(2)和公式(3)进行求解。

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

* 收稿日期: 2023-04-24

基金项目: 贵州省教育厅青年成长项目(黔教合KY字〔2022〕105号)。

作者简介: 田燚(1992—),男,贵州大方人,硕士,讲师,主要从事安全评价研究, E-mail:992305177@qq.com。

$$\tilde{W}_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^n b_{ij}, W_i = \sum_{j=1}^n \tilde{W}_{ij} / \sum_{i=1, j=1}^n \tilde{W}_{ij} \quad (2)$$

$$BW = \lambda_{\max} W_i \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{BW_i}{W_i} \quad (3)$$

(2) 判断矩阵一致性检验。层次分析判断矩阵根据重要程度进行赋值,难免会出现误差,故需要对层次分析判断矩阵进行一致性检验。一致性检验公式见式(4)。

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{RI(n-1)} \quad (4)$$

式中,CR 为判断矩阵的一致性比例;CI 为一一致性指标;RI 为平均随机一致性指标; λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; m 为判断矩阵的阶数。

当 $CR \leq 0.1$ 时,具有满意的一致性,否则需要对判断矩阵赋值进行重新修正,直至 $CR < 0.1$,一致性检验通过。

1.2 TOPSIS 评价模型

1.2.1 建立初始判断矩阵

设有 m 个样本元素,由样本元素 a_i 组成的样本集合为 $\varphi = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$,每一个样本元素 a_i 有 n 个评价指标,由评价指标构成的评价指标集合为 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,根据以上假设建立初始判断矩阵 A' 。

$$A' = \begin{bmatrix} a_1(x_1) & a_1(x_2) & \dots & a_1(x_n) \\ a_2(x_1) & a_2(x_2) & \dots & a_2(x_n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_m(x_1) & a_m(x_2) & \dots & a_m(x_n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

1.2.2 标准化初始判断矩阵

建立的初始判断矩阵根据不同的指标可分为效益型指标和成本型指标,由于不同指标存在量纲差异,需要采用不同的公式对原始数据进行标准化处理,从而得到标准化决策矩阵 C ,效益型指标及成本型指标标准化计算公式见式(6)和式(7)。

$$c_{ij} = \frac{a_i(x_j) - \min_j(a_i(x_j))}{\max_j(a_i(x_j)) - \min_j(a_i(x_j))} \quad (6)$$

$$c_{ij} = \frac{\max_j(a_i(x_j)) - a_i(x_j)}{\max_j(a_i(x_j)) - \min_j(a_i(x_j))} \quad (7)$$

式中, c_{ij} 为标准化决策矩阵 C 中经标准化处理后的计算数值。

1.2.3 建立加权标准化决策矩阵

运用 AHP 计算得到的权重向量 ω 与标准化决策矩阵 C 相乘,可得加权标准化决策矩阵 D 。

$$D = \omega \times C = \omega \times (c_{ij})_{m \times n} = (d_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} \omega_1 c_{11} & \omega_2 c_{12} & \dots & \omega_n c_{1n} \\ \omega_1 c_{21} & \omega_2 c_{22} & \dots & \omega_n c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \omega_1 c_{m1} & \omega_2 c_{m1} & \dots & \omega_n c_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, ω 为 AHP 法求得权重向量; C 为标准化决策矩阵; m 为加权标准化决策矩阵的行数; n 为加权标准化决策矩阵的列数。

1.2.4 样本贴近度计算

贴近度能反映各项评价指标接近最优解的程度,计算样本贴近度,首先应计算样本正、负理想解。理想解的计算公式见式(9)和式(10)。

$$D^+ = \{(\max_m d_{mn} | n \in j'), (\min_m d_{mn} | n \in j'')\} \quad (9)$$

$$D^- = \{(\min_m d_{mn} | n \in j'), (\max_m d_{mn} | n \in j'')\} \quad (10)$$

式中, D^+ 、 D^- 分别为加权标准化决策矩阵的正理想解和负理想解; j' 、 j'' 分别为效益型指标和成本型指标。

采用欧式距离计算样本指标与理想解之间的距离,其计算公式见式(11)。

$$\begin{cases} e_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij} - d_j^+)^2} \\ e_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij} - d_j^-)^2} \end{cases} \quad (11)$$

式中, d_i^+ 、 d_i^- 分别为正、负理想解 D^+ 、 D^- 所对应的元素值; e_i^+ 、 e_i^- 分别为样本指标与正负理想解间的距离。

综上所述,可计算样本贴近度,其计算公式见式(12)。

$$F_i = \frac{e_i^-}{e_i^- + e_i^+} \quad (12)$$

通常样本贴近度 $F_i \in (0, 1)$,当贴近度越接近 1,表明评价指标越重要,评价指标越贴近正理想解,并通过贴近度排序实现对指标的评价。

1.3 AHP-TOPSIS 综合评判模型

根据 TOPSIS 法计算贴近度可构建出贴近度矩阵,结合 AHP 法计算各指标权重,对评价对象进行综合评判,可得到样本的综合评价向量 G ,其计算式见式(13)。

$$G = \omega \times F \quad (13)$$

2 AHP-TOPSIS 优选保护层

保护层开采能影响保护范围内的煤岩体应力、瓦斯涌出、裂隙发育,故优先选择无突出煤层或突出危险性小的煤层作为保护层,结合《防治煤与瓦斯突出细则》对保护层选择的原则,矿井中所有煤层都有突出危险时,应选择突出危险程度较小的煤层作为保护层。本文以贵州某煤矿为背景,运用 AHP 结合 TOPSIS 综合评判方法预测煤层突出等级并优选保护层。煤矿为煤与瓦斯突出矿井,依据矿井地勘资料,矿井有 M21、M25、M27、M33 煤层局部可采且存在数层夹矸,较难满足保护层开采时连续及规模开采。因此,该煤矿从条件较好的 4 层可采煤层中选取保护层进行开采,4 层可采煤层由上至下分别为 M24、M26、M31、M32,对 M24、M26、M31、M32 煤层参数进行测定,得到瓦斯放散初速度 ΔP 、煤的坚固性系数 f 、瓦斯压力、瓦斯含量、煤的破坏类型数据,见表 1。故优选保护层有 4 种方案,各保护层开采为方案 1 开采 M24 煤层、方案 2 开采 M26 煤层、方案 3 开采 M31 煤层、方案 4 开采 M32 煤层。

2.1 评价指标选取

根据矿井实际生产情况,针对煤与瓦斯突出的

主要影响因素,听取专家意见及现场工程师介绍,从瓦斯治理、水文条件、煤层赋存地质条件和安全管理 4 个方面构建一级评价指标,归纳总结煤与瓦斯突出的 19 个影响因素作为二级指标。建立 AHP 层次结构模型,根据层次结构模型,按照一定的准则和对比相关文献及参考类似工程情况,把部分定性指标转化为定量指标,并将煤层突出危险性等级划分为极危险、危险、一般、安全、较安全 5 个等级。各评价指标及危险性等级见表 2。

2.2 AHP 法评价

2.2.1 构造判断矩阵

(1) 一级、二级评价指标评价

层次分析模型中目标层为首采保护层,准则层为 4 项一级指标 $B=(B_1: \text{瓦斯治理}, B_2: \text{水文条件}, B_3: \text{煤层赋存地质条件}, B_4: \text{安全管理})$ 。准则层 P 共 19 项二级指标,依次为 $P_{11}: \text{瓦斯放散初速度}, P_{12}: \text{瓦斯含量}, P_{13}: \text{瓦斯压力}, P_{14}: \text{透气性系数}, P_{15}: \text{坚固性系数}, P_{21}: \text{含水层厚度}, P_{22}: \text{富水性}, P_{23}: \text{含水层水压}, P_{31}: \text{煤层埋藏深度}, P_{32}: \text{地质构造复杂程度}, P_{33}: \text{围岩性质}, P_{34}: \text{煤层倾角}, P_{35}: \text{煤层间距}, P_{36}: \text{煤层厚度}, P_{41}: \text{矿井通风风量}, P_{42}: \text{矿井采煤方法}, P_{43}: \text{保护煤柱}, P_{44}: \text{动力现象}, P_{45}: \text{煤层破坏}$

表 1 可采煤层测定参数

煤层	煤层厚度/m	瓦斯压力/MPa	煤的坚固性系数 f	瓦斯含量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	煤的破坏类型	瓦斯放散初速度 ΔP /($\text{mm} \cdot \text{Hg}^{-1}$)
M24	1.5	1.1	0.5	13	I	12
M26	1.5	1.1	0.5	8	II	8
M31	1.1	1.3	0.3	10	II	16
M32	0.9	1.1	0.3	13	I	16

表 2 煤与瓦斯突出评价准则及评价方案

突出危险性	瓦斯治理					水文条件			煤层赋存地质条件						安全管理				
	瓦斯放散初速度/($\text{mm} \cdot \text{Hg}^{-1}$)	瓦斯含量/(m^3/t)	瓦斯压力/MPa	透气性系数	坚固性系数	含水层厚度/m	富水性/%	含水层水压/MPa	煤层埋藏深度/m	地质构造复杂程度	围岩性质	煤层倾角/($^\circ$)	煤层间距/m	煤层厚度/m	矿井通风风量	矿井采煤方法	保护煤柱	动力现象	煤层破坏类型
极危险	30	40	10.00	0	0.1	10	5	90	1200	5	1	90	5	10.0	20	5	1	5	5
危险	20	20	5.00	5	0.3	30	4	70	900	4	2	75	10	5.0	60	4	2	4	4
一般	10	8	2.00	10	0.6	50	3	50	600	3	3	45	20	1.3	120	3	3	3	3
安全	5	4	0.74	40	0.8	70	2	30	300	2	4	25	30	0.8	160	2	4	2	2
较安全	0	0	0.00	50	1.0	90	1	10	0	1	5	8	40	0.0	200	1	5	1	1
方案 1	12	13	1.10	5	0.5	42	2	54	820	2	4	13	25	1.5	76	1	4	3	1
方案 2	8	8	1.10	30	0.5	45	1	53	800	1	4	13	30	1.5	70	1	5	3	2
方案 3	16	10	1.30	25	0.3	48	1	58	860	1.5	3	13	20	1.1	74	2	5	3	2
方案 4	16	13	1.10	10	0.3	50	1	52	900	2	2	13	22	0.9	72	2	4	3	1

类型。4 项方案依次为 F_1 : 方案 1 开采 M24 煤层、 F_2 : 方案 2 开采 M26 煤层、 F_3 : 方案 3 开采 M31 煤层、 F_4 : 方案 4 开采 M32 煤层。

根据矿井井田地质报告,结合专家意见得到一级评价指标矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 1.0000 & 3.0000 & 4.0000 & 7.0000 \\ 0.3333 & 1.0000 & 1.0000 & 4.0000 \\ 0.2500 & 1.0000 & 1.0000 & 2.0000 \\ 0.1429 & 0.2500 & 0.5000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

二级评价指标矩阵分别为:

$$B_1 =$$

$$\begin{bmatrix} 1.0000 & 0.2500 & 0.2000 & 2.0000 & 2.0000 \\ 4.0000 & 1.0000 & 0.5000 & 3.0000 & 3.0000 \\ 5.0000 & 2.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 4.0000 \\ 0.5000 & 0.3333 & 0.2500 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.5000 & 0.3333 & 0.2500 & 1.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0000 & 0.3333 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.5000 \\ 3.0000 & 2.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_3 =$$

$$\begin{bmatrix} 1.0000 & 2.0000 & 3.0000 & 4.0000 & 5.0000 & 7.0000 \\ 0.5000 & 1.0000 & 2.0000 & 3.0000 & 4.0000 & 5.0000 \\ 0.3333 & 0.5000 & 1.0000 & 2.0000 & 2.0000 & 4.0000 \\ 0.2500 & 0.3333 & 0.5000 & 1.0000 & 1.0000 & 2.0000 \\ 0.2000 & 0.2500 & 0.5000 & 1.0000 & 1.0000 & 2.0000 \\ 0.1429 & 0.2000 & 0.2500 & 0.5000 & 0.5000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1.0000 & 3.0000 & 5.0000 & 7.0000 & 9.0000 \\ 0.3333 & 1.0000 & 2.0000 & 4.0000 & 6.0000 \\ 0.2000 & 0.5000 & 1.0000 & 2.0000 & 4.0000 \\ 0.1429 & 0.2500 & 0.5000 & 1.0000 & 2.0000 \\ 0.1111 & 0.1667 & 0.2500 & 0.5000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

经过式(2)、式(3)计算得到评价指标的最大特征值、权向量,见表 3。

表 3 一级、二级指标最大特征值及权向量

矩阵	λ_{\max}	权向量 ω
A	4.0551	(0.5665, 0.2058, 0.1580, 0.0697)
B_1	5.1725	(0.1219, 0.2783, 0.4294, 0.0852, 0.0852)
B_2	3.0183	(0.2106, 0.2409, 0.5485)
B_3	6.0535	(0.3907, 0.2518, 0.1508, 0.0843, 0.0777, 0.0447)
B_4	5.0782	(0.5266, 0.2334, 0.1295, 0.0696, 0.0409)

2.2.2 方案层权重计算

准则层 P 对目标层 A 的权重可采用公式(14)

进行计算。

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_i \cdot b_{ij} \quad (14)$$

式中, P_i 为 P 对 A 的权重; a_i 为 A 的权向量元素; b_i 为 B 的权向量转置的第 i 行元素。得到 P 层对 A 层的权重,见表 4。

表 4 P 层对 A 层的总权重

P 层 指标	$B-A$				P 对 A 层 权重值
	B_1	B_2	B_3	B_4	
	0.4709	0.0736	0.1715	0.2840	
P_{11}	0.1219				0.0574
P_{12}	0.2783				0.1311
P_{13}	0.4294				0.2022
P_{14}	0.0852				0.0401
P_{15}	0.0852				0.0401
P_{21}		0.2106			0.0155
P_{22}		0.2409			0.0177
P_{23}		0.5485			0.0404
P_{31}			0.3907		0.0670
P_{32}			0.2518		0.0432
P_{33}			0.1508		0.0259
P_{34}			0.0843		0.0145
P_{35}			0.0777		0.0133
P_{36}			0.0447		0.0077
P_{41}				0.5266	0.1496
P_{42}				0.2334	0.0663
P_{43}				0.1295	0.0368
P_{44}				0.0696	0.0198
P_{45}				0.0409	0.0116

对 19 个二级指标构造判断矩阵,计算出各指标对应方案 1、方案 2、方案 3、方案 4 的权向量,并检验其一致性,结果见表 5。

各方案层对各项二级指标进行求积,计算得到方案层的权重系数分别为 $F_1 = 0.2796$ 、 $F_2 = 0.4104$ 、 $F_3 = 0.1932$ 、 $F_4 = 0.1758$,由各方案层权重系数可知,方案 2 权重系数 0.4104 为最大,优选方案 2 作为首选方案进行保护层开采。

2.3 TOPSIS 法评价

根据表 2 建立的煤与瓦斯突出评价准则及评价方案,运用式(5)至式(8)构建瓦斯治理初始预测矩阵 A' 及加权标准化预测矩阵 D 。

表 5 方案层权重计算结果

P	F_1	F_2	F_3	F_4	λ_{\max}	$P-A$ 权重
P_{11}	0.1111	0.4444	0.2222	0.2222	4.0000	0.0574
P_{12}	0.5483	0.2002	0.1658	0.0856	4.0513	0.1311
P_{13}	0.0693	0.3990	0.1722	0.3595	4.0342	0.2022
P_{14}	0.4050	0.0481	0.1169	0.4300	4.0275	0.0401
P_{15}	0.7184	1.3337	0.2755	0.1417	4.0820	0.0401
P_{21}	0.1806	0.5554	0.1690	0.0950	4.0211	0.0090
P_{22}	0.2360	0.1172	0.1015	0.5454	4.0457	0.0169
P_{23}	0.2360	0.1172	0.5454	0.1015	4.0457	0.0477
P_{31}	0.2360	0.1172	0.5454	0.1015	4.0457	0.0670
P_{32}	0.1761	0.6121	0.1061	0.1058	4.0291	0.0432
P_{33}	0.1338	0.7155	0.0766	0.0741	4.0330	0.0259
P_{34}	0.1259	0.5920	0.2002	0.0818	4.0420	0.0145
P_{35}	0.2668	0.1209	0.5086	0.1036	4.0155	0.0133
P_{36}	0.1164	0.5846	0.0817	0.2172	4.0971	0.0077
P_{41}	0.5871	0.2560	0.0578	0.0991	4.0477	0.0673
P_{42}	0.5791	0.2326	0.1213	0.0670	4.0284	0.0201
P_{43}	0.2033	0.6273	0.1084	0.0610	4.0460	0.0140
P_{44}	0.1811	0.6246	0.0971	0.0971	4.0104	0.1183
P_{45}	0.2620	0.5897	0.0960	0.0523	4.0459	0.0643

$$A' = \begin{bmatrix} 30 & 40 & 10 & 0 & 0.10 \\ 20 & 20 & 5 & 5 & 0.30 \\ 10 & 8 & 2 & 10 & 0.60 \\ 5 & 4 & 0.74 & 40 & 0.80 \\ 0 & 0 & 0 & 50 & 1 \\ 12 & 13 & 1.1 & 5 & 0.50 \\ 8 & 8 & 1.1 & 30 & 0.50 \\ 16 & 10 & 1.3 & 25 & 0.30 \\ 16 & 13 & 1.1 & 10 & 0.30 \end{bmatrix}$$

$$D =$$

$$\begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0406 & 0.1392 & 0.2147 & 0.0085 & 0.0189 \\ 0.0812 & 0.2227 & 0.3435 & 0.0170 & 0.0473 \\ 0.1015 & 0.2505 & 0.3976 & 0.0682 & 0.0663 \\ 0.1219 & 0.2783 & 0.4294 & 0.0852 & 0.0852 \\ 0.0731 & 0.1879 & 0.3822 & 0.0085 & 0.0379 \\ 0.0894 & 0.2227 & 0.3822 & 0.0511 & 0.0379 \\ 0.0569 & 0.2088 & 0.3736 & 0.0426 & 0.0189 \\ 0.0569 & 0.1879 & 0.3822 & 0.0170 & 0.0189 \end{bmatrix}$$

由式(9)、式(10)可计算得到瓦斯治理因素的正负理想解。

$$D^+ = \{0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0852, 0.0852\}$$

$$D^- = \{0.1219, 0.2783, 0.4294, 0.0000, 0.0000\}$$

由式(11)、式(12)可计算得瓦斯治理因素的理想解之间的距离及其贴近度。

$$e_i^+ = [0.1205, 0.2782, 0.4246, 0.4815, 0.5] \\ [260, 0.4414, 0.4550, 0.4388, 0.4400]$$

$$e_i^- = [0.5260, 0.2692, 0.1211, 0.1060, 0.1] \\ [205, 0.1196, 0.1021, 0.1198, 0.1236]$$

$$F_i^+ = [0.8136, 0.4918, 0.2219, 0.1804, 0.1] \\ [864, 0.2132, 0.1833, 0.2145, 0.2193]$$

同理,可计算得到水文条件、煤层赋存地质条件、安全管理贴近度。

2.4 AHP-TOPSIS 综合评价

由层次分析法计算的一级评价指标权重为： $\omega = \{0.5665, 0.2058, 0.1580, 0.0697\}$ 。结合TOPSIS法计算得出的贴近度评价矩阵：

$$F =$$

$$\begin{bmatrix} 0.8136 & 0.4918 & 0.2219 & 0.1804 & 0.1864 & 0.2132 & 0.1833 & 0.2145 & 0.2193 \\ 0.7399 & 0.6751 & 0.5000 & 0.3249 & 0.2601 & 0.4908 & 0.4554 & 0.4999 & 0.4531 \\ 0.2633 & 0.3312 & 0.5059 & 0.6763 & 0.7367 & 0.4519 & 0.5089 & 0.4847 & 0.4604 \\ 0.6871 & 0.6576 & 0.4567 & 0.3424 & 0.3129 & 0.6924 & 0.6930 & 0.6558 & 0.6843 \end{bmatrix}$$

由式(13)可计算得到综合评价向量 G 。

$$G = [0.7027, 0.5157, 0.3404, 0.2998, 0.2973, \\ 0.3414, 0.3263, 0.3467, 0.3379]$$

根据综合评价结果可作出综合评价结果,如图1所示。极危险、危险、一般、安全、较安全区间值为0.7027~0.2973,由于方案1(0.3414)、方案3(0.3467)位于一般至危险区间,方案2(0.3263)、方案4(0.3379)位于安全至一般区间,从优选择无突出煤层或突出危险性小的煤层作为保护层的原则,优先考虑方案2与方案4,由于0.3263(方案2)<0.3379(方案4),选择方案2更安全。综合评价结

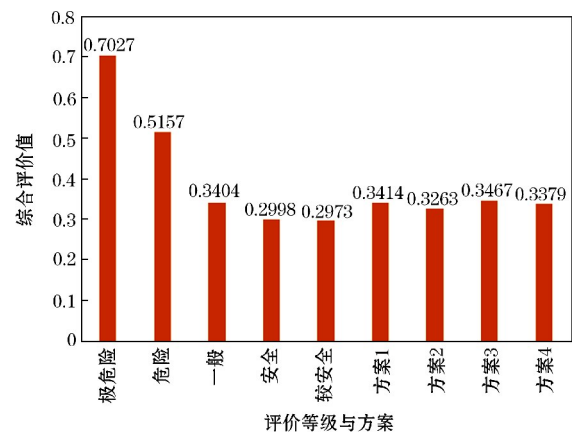


图 1 综合评价结果

果与 AHP 分析法预选方案结果一致。

3 现场实测

为验证预测保护层开采工作面煤与瓦斯突出倾向性,本文通过现场布置钻孔对保护层 22601 工作面瓦斯压力及卸压煤层 M24、M31 煤层瓦斯进行监测。现场整理资料并保留有效钻孔瓦斯数据。得到 M24、M31 煤层瓦斯随着工作面推进变化规律,如图 2 所示。由图 2 可知,随着工作面不断推进,M31 煤层测压钻孔 M31-1、M31-2、M31-3 内瓦斯压力快速上升,当工作面进尺 48 m 时,M31 煤层瓦斯压力达到压力峰值,继续进尺至 120 m 范围内,瓦斯压力保持稳定,当工作面进尺 130 m 时,工作面通过测压钻孔,煤层顶底板受采动影响产生瓦斯运移通道,瓦斯压力降低至一定水平后保持稳定;M24 煤层测压钻孔 M24-1、M24-2、M24-3 内瓦斯压力上升相对 M31 煤层缓慢,主要由于工作面采动对 M24 煤层影响相对小,故保护层 M26 开采对

被保护层 M31 煤层瓦斯释放效果佳。

M26 煤层 22601 工作面在推进过程中对运输巷中的进风流、回风巷道中的回风流瓦斯浓度进行监测,监测结果如图 3 所示。22601 工作面初采进尺 60 m 范围内,由于顶板初次垮落,被保护层煤层瓦斯涌入 22601 工作面,导致进风流及回风流中瓦斯浓度缓慢上升;工作面进尺 60~120 m 范围内,顶板垮落后稳定,进风流、回风流中瓦斯浓度有所降低,并稳定在进风流瓦斯浓度平均值 0.2316% 以下;工作面进尺 130~200 m 范围内,22601 工作面通过测压钻孔,被保护层内瓦斯通过裂隙通道进入采动工作面,引起进风流及回风流中瓦斯浓度快速升高,进风流、回风流中瓦斯浓度高于进风流中瓦斯浓度平均值 0.2969%。保护层 M26 煤层开采过程中未出现瓦斯超限的情况,故选择保护层 M26 煤层进行开采能有效释放被保护层瓦斯,实现安全高效开采。

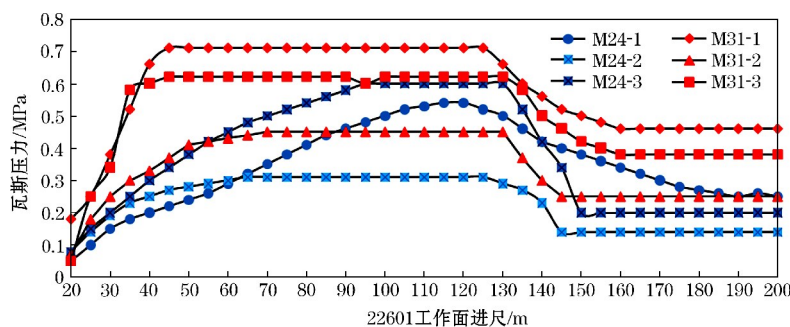


图 2 M24 与 M31 煤层瓦斯压力变化规律

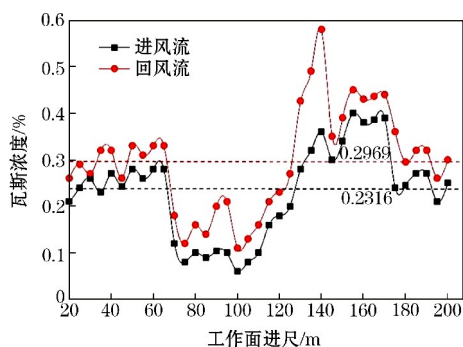


图 3 22601 工作面开采瓦斯浓度变化

4 结论

(1) 本文通过 AHP 法构建了煤与瓦斯突出评价指标及保护层开采方案,从瓦斯治理、水文条件、煤层赋存地质条件、安全管理 4 个方面确定了 19 个二级指标,保证了预测指标的权重分配合理,同时

避免了少数指标的评价局限性。

(2) 根据煤与瓦斯突出影响因素建立煤与瓦斯突出安全等级评价准则,采用 AHP-TOPSIS 法解算各指标评价矩阵,结果与现场工业试验情况相符合,验证了 AHP-TOPSIS 评价模型的合理性。

(3) 通过 AHP 法选出方案 2 开采 M26 煤层作为保护层开采为最优方案,结合 TOPSIS 优选,方案 2 仍为最优方案,最优方案结果与 AHP 法一致,经现场工业试验,得出了 M26 煤层作为保护层开采能有效释放被保护层瓦斯。说明采用 AHP 结合 TOPSIS 选择保护层具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 王海锋,程远平. 近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出及瓦斯抽采参数优化[J]. 煤炭学报,2010,35(4):590-594.
- [2] 施峰. 不同间距煤层群上保护层开采保护效果变化规律与工程应用[D]. 重庆:重庆大学,2018.

- [3] 高峰,许爱斌,周福宝.保护层开采过程中煤岩损伤与瓦斯渗透性的变化研究[J].煤炭学报,2011,36(12):1979-1984.
- [4] 杜泽生,秦波涛,范迎春.保护层开采效果可信度评价模型及其应用研究[J].采矿与安全工程学报,2017,34(1):185-191.
- [5] 袁亮,薛生.煤层瓦斯含量法确定保护层开采消突范围的技术及应用[J].煤炭学报,2014,39(9):1786-1791.
- [6] 王伟,程远平,袁亮,等.深部近距离上保护层底板裂隙演化及卸压瓦斯抽采时效性[J].煤炭学报,2016,41(1):138-148.
- [7] 程详,赵光明,李英明,等.软岩保护层开采覆岩采动裂隙带演化及卸压瓦斯抽采研究[J].采矿与安全工程学报,2020,37(3):533-542.
- [8] 周银波,黄继磊,王思琪,等.下伏被保护层双重采动影响下覆岩瓦斯富集规律[J].工矿自动化,2020,46(4):23-33.
- [9] 杨科,刘帅.深部远距离下保护层开采多关键层运移—裂隙演化—瓦斯涌出动态规律研究[J].采矿与安全工程学报,2020,37(5):991-1000.
- [10] 于世雷,余九华,张羽,等.煤层煤与瓦斯突出多指标量化评价方法探讨[J].煤炭技术,2022,41(5):119-124.
- [11] 焦振华,陶广美,王浩,等.晋城矿区下保护层开采覆岩运移及裂隙演化规律研究[J].采矿与安全工程学报,2017,34(1):85-90.
- [12] 刘黎.上保护层开采下伏煤岩体变形与卸压瓦斯渗流耦合机理研究[D].西安:西安科技大学,2017.
- [13] 陈刘瑜,李希建,毕娟,等.基于AHP-TOPSIS的冲击型煤与瓦斯突出倾向性预测[J].中国安全生产科学技术,2020,30(4):47-52.
- [14] 吴刚.近距离煤层群上保护层开采卸压机理及瓦斯抽采技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2015.