

原创技术策源地

基于 IFAHP-熵权法的煤矿瓦斯防治系统安全评价

Safety Assessment of Coal Mine Gas Control System Based on IFAHP - Entropy Weight Method

黄家远(贵州大学勘察设计研究院有限责任公司, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为提高煤矿瓦斯防治系统安全性、可靠性,建立了煤矿瓦斯防治系统安全评价体系,利用改进模糊层次分析法和熵权法分别确定体系中各指标主客观权重,根据最小信息熵原理,将两种方法得出的权重结果结合得到复合权重,克服了单一评价方法确定权重不合理的问题。以贵州省某矿为实践对象,经过“定性-定量-定性”的过程,对该矿煤矿瓦斯防治系统安全性进行定性评价,并基于所得计算结果对该矿存在的问题提出针对性整改意见,这对煤矿瓦斯防治系统安全性的评价与改进有着较高的实用价值。

关键词:煤矿瓦斯防治系统;安全评价;改进模糊层次分析法;熵权法

中图分类号: TD724

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2022)04-0009-07

Abstract: In order to improve the safety and reliability of coal mine gas control system, a safety assessment system for coal mine gas control system is established, utilizing the improved fuzzy hierarchical analysis method and entropy weight method to determine the subjective and objective weight of each indicator respectively, and then, according to the principle of information entropy minimization, the weight results obtained by the two methods are combined to obtain the complex weights, which overcomes the problem of determining unreasonable weight by a single assessment method. A mine in Guizhou Province is taken as the practice object, through the process of “qualitative - quantitative - qualitative”, the safety of the coal mine gas control system is qualitatively assessed, and based on the calculated results, the corresponding rectification suggestions are put forward for the existing problems in the mine, which has high practical value for the assessment and improvement of the safety of coal mine gas control system.

Key words: coal mine gas control system; safety assessment; improved fuzzy hierarchical analysis method; entropy weight method

1 前言

煤矿常见的五大灾害中,瓦斯灾害作为煤矿生产过程中影响范围广且危害大的重大灾害,造成的事故包括煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸等事故,都会严重影响到煤矿的安全生产,造成国家财产的损失^[1]。据统计,自建国以来因瓦斯导致的煤矿事故中,死亡人数超过100人的事故数有19起,占到同规模死亡人数事故总数的八成^[2]。由此可见,瓦斯防治是瓦斯矿井中必不可少的环节,特别是在高瓦斯矿井中,而瓦斯防治系统的构建是一个综合过程,过程中无论哪个环节出现漏洞都有可能引起瓦斯事故的发生,为了保障煤矿瓦斯防治系统的正常运行,提高瓦

斯防治系统的可靠性,避免在事故高发期因系统状况差而导致煤矿瓦斯事故发生,有必要建立起一套煤矿瓦斯防治系统安全评价体系。国内专家学者在煤矿安全评价领域已有较多较为成熟的研究^[3-6],其中层次分析法及其演变出来其他分析法应用较为广泛。层次分析法是一种简单的主观评价方法,在此方法上延伸出来模糊层次分析法是层次分析法与模糊分析法结合出来的一种指标权重确定方法,利用模糊判断矩阵代替了层次分析法中的判断矩阵,延续主观评价的基础上对层次分析法进行改进,两种方法均有较多的应用案例^[7-8]。但要建立起一个煤矿瓦斯防治系统安全评价体系,仅仅依靠单一方法难以实现所确定权重的合理性、准确性,近年来将两种不同方法耦合用于煤矿领域其他系统评价中的研究较多,而以往对煤矿瓦斯防治系统进行安全评价的方法大多仅依靠单一的评价方法^[9-10],因此有必要通过两种或多种方

[作者简介] 黄家远,男,从事采矿、通风安全等设计及咨询工作。

[引用格式] 黄家远. 基于 IFAHP-熵权法的煤矿瓦斯防治系统安全评价[J]. 中国矿山工程,2022,51(4):9-15.

法结合确定指标权重,建立一个结构完善、方法合理的综合评价体系。

本文通过建立煤矿瓦斯防治系统安全评价体系,利用改进模糊层次分析法(Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process,简称IFAHP),确定体系指标的主观权重,利用熵权法确定各指标的客观权重,根据最小信息熵原理,将所得到的主客观权重组合得出复合权重,以贵州省某煤矿为应用对象,将该权重确定方法应用于该矿瓦斯防治系统安全评价中,通过两种方法耦合得到的系统安全评价等级更为合理,并且通过该方法能够更为准确地对该矿中存在的问题进行整改,对提高煤矿瓦斯防治系统安全性有着积极作用。

2 评价体系指标权重的确定方法

2.1 基于改进模糊层次分析法的指标主观权重确定

改进模糊层次分析法是在传统层次分析法的基础上演变而来的,比较前者与后者的不同,前者通过改进省去了一致性检验的环节,对指标权重的确定更加合理^[11]。该方法确定指标权重的具体步骤如下:

(1)确定评价体系,分层构建体系结构,将体系分成目标(A)、准则(B)、指标(C)层,目标层对应整个系统可靠性情况,准则层为系统整体可靠性评价的下级指标情况,指标层为准则层指标的下级评价指标情况。

(2)通过专家对准则层、指标层各指标的相对重要程度评价,利用0.1~0.95标度法构造优先判断矩阵 $F = (f_{ij})_{n \times n}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$,矩阵中 f_{ij} 与 f_{ji} 互补,可称其为模糊互补矩阵,显然可得 $f_{ij} < 1, f_{ij} + f_{ji} = 1, f_{ii} = 0.5$ 。

(3)通过对以上求得的优先判断矩阵的行求和可以得到 $r_i = \sum_j f_{ij}$,再将得到的结果通过公式 $r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2n} + 0.5$ 可计算得出模糊一致矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 。

(4)将上得到的模糊一致矩阵 R 中对角的两个元素作除,即 $l_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ji}}$,可得出互反型矩阵 $L = (l_{ij})_{n \times n}$ 。

(5)通过和行归一的方法(也可用方根法)计算求得排序向量,即 $P^{(0)} = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T =$

$$\left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{1j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n l_{2j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^n l_{nj}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}} \right)^T$$

。再将该排序向量作为迭代初值 $S^{(0)}$,则有 $S^{(0)} = (s_1^{(0)}, s_2^{(0)}, \dots, s_n^{(0)})^T = P^{(0)}$,利用迭代公式 $S_{k+1} = LS_k$,其中 $\|S^{(k)}\|_\infty$ 为向量 $S^{(k)}$ 的无穷范数,并确定迭代精度 ε ,经过不断迭代的过程,直至 $\|S^{(k+1)}\|_\infty - \|S^{(k)}\|_\infty$ 的值不大于迭代精度为止,迭代过程结束,可进行下一个步骤,若小于或等于则重复该迭代步骤。

(6)通过归一化处理,分别计算求出准则层和指标层的权重向量,即 $W_1^1 = (w_1^1, w_2^1, \dots, w_n^1) = S^{(k+1)} =$

$$\left(\frac{s_1^{(k+1)}}{\sum_{i=1}^n s_i^{(k+1)}}, \frac{s_2^{(k+1)}}{\sum_{i=1}^n s_i^{(k+1)}}, \dots, \frac{s_n^{(k+1)}}{\sum_{i=1}^n s_i^{(k+1)}} \right)^T$$

由于该方法是基于对各指标相对重要程度评价从而通过计算求得各指标权重,侧重于专家对各指标的评价,人为因素对指标权重确定的影响要大,客观性较弱,因此计算出来的指标权重为主观权重。

2.2 基于熵权法的指标客观权重确定

与改进模糊层次分析法有所不同,熵权法是一种客观的评价方法,因此它可以用于缩小层次分析法及其演变而来的其他主观确定权重的方法所带来的误差,使计算出来的权重更加切合实际,近年来多与其他分析方法耦合,计算得出复合权重,从而被广泛用于各个领域^[12-14]。但由于其多被用于具有量化评价指标的评价体系中,为提高其适用性,将评价体系指标进行量化^[15],该方法确定指标权重具体步骤如下:

(1)确定评语集、评价等级、评价值。依照系统评价等级划分习惯,确定评价等级分别为优、良、中、差四个评价等级,并对其赋值进行语义量化:“优”赋值为4,“良”赋值为3,“中”赋值为2,“差”赋值为1。构建评语集 $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ 分别与四个评价等级对应,具体分类见表1。

表1 系统评价等级分类表

评语集	d_1	d_2	d_3	d_4
评价等级	优	良	中	差
评价值	大于3.5	2.5~3.5	1.5~2.5	小于1.5

通过访问多个专家,以评价调查问卷的形式,统

计专家赞成准则层或指标层各指标在各评价等级下的人数,从而得到原始数据矩阵 $G = \begin{pmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ g_{n1} & \cdots & g_{nm} \end{pmatrix}$,其中, n 为指标个数, m 为评价等级个数。

(2) 由于在系统评价体系中,针对各指标情况越优、整个系统安全性就越好的情况,可将原始数据矩阵进行标准化得到标准化矩阵,即 $H = (h_{ij})_{n \times m}$,

其中 $h_{ij} = \frac{g_{ij} - \min_j g_{ij}}{\max_j g_{ij} - \min_j g_{ij}}$, h_{ij} 为第 j 个评价等级在第 i 个评价指标上的标准值,显然可得, $0 \leq h_{ij} \leq 1$ 。

(3) 定义第 i 个指标的熵为 $Q_i = -k \sum_{j=1}^m q_{ij} \ln q_{ij}$,其中 $q_{ij} = h_{ij} / \sum_{j=1}^m h_{ij}$, $k = 1/\ln m$,另外,当 $q_{ij} = 0$ 时,有 $q_{ij} \ln q_{ij} = 0$ 。

(4) 定义第 i 个指标的熵权为 $w_i^2 = \frac{1 - Q_i}{n - \sum_{i=1}^n Q_i}$,

从而确定指标客观权重向量 $W^2 = (w_1^2, w_2^2, \dots, w_n^2)^T$ 。

2.3 复合权重的确定

通过改进模糊层次分析法确定指标的主观权重 w_{i1} ,再利用熵权法确定各指标的客观权重 w_{i2} ,其中 $1 \leq i \leq n$, n 为指标个数,利用最小信息熵原理,通过式(1)将二者结合得到复合权重:

$$w_i^0 = \frac{(w_{i1}^1 \cdot w_{i1}^2)^{0.5}}{\sum_{i=1}^n (w_{i1}^1 \cdot w_{i1}^2)^{0.5}} \quad (1)$$

通过将两种方法得到的指标权重进行耦合计算,这样就可以避免因单一方法造成确定的指标权重值与实际偏差较大的问题,使系统安全评价结果更加准确。

3 煤矿瓦斯防治系统安全评价体系的建立

3.1 系统安全评价体系

评价体系的建立是系统评价的开始,对煤矿瓦斯防治系统的安全性进行一个评价,从其不同方面的影响因素出发,由浅入深,逐层构建评价体系,将评价体系分为三层:目标层、准则层和指标层。其中目标层是整个煤矿瓦斯防治系统可靠性水平,准则层是评价煤矿瓦斯防治系统可靠性的大类评价指标,

指标层则是各个大类评价指标下的子评价指标。通过参考前人所总结出来的经验^[16],系统性地对每一层指标进行了详细归纳,将准则层分为 5 个评价指标,包括了瓦斯爆炸预防水平、煤与瓦斯突出预防水平等,为一级评价指标,将指标层共分成 16 个评价指标,包括通风质量水平、瓦斯含量测定状况等,为二级评价指标,安全评价体系如图 1 所示。

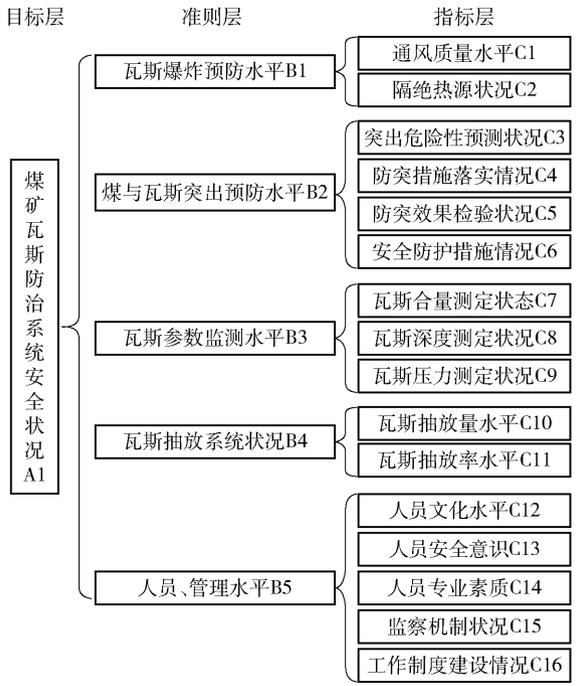


图 1 煤矿瓦斯防治系统安全评价体系

3.2 系统安全等级划分

若要对煤矿瓦斯防治系统的可靠性进行评价,还应该对其评价等级进行划分,用于对其子评价指标进行打分,并通过上一节中的评价方法进行定量的计算以后,再对整个煤矿瓦斯防治系统进行定性评价,通过“定性-定量-定性”的过程,才可以使最后的评价结果更加合理、准确。通过百分制的评价等级划分,对等级划分区间进行合理地调整,能够对各个指标的状况和水平给出一个合理的评价结果。依据系统安全评价等级划分习惯,将煤矿瓦斯防治系统安全评价等级分成五个等级:安全、较安全、一般、较危险、危险。依照百分制评分区间划分习惯,结合评价等级语,对各个评价等级进行评分区间划分与之对应:等级“安全”评分区间定为 90 ~ 100,区间跨度 10;等级“较安全”评分区间定为 75 ~ 90,区间跨度 15;等级“一般”评分区间定为 60 ~ 75,区间跨度 15;等级“较危险”评分区间为 30 ~ 60,区间跨度 30;等级“危险”评分区间为 0 ~ 30,区间跨度 30。

等级划分见表2。

表2 煤矿瓦斯防治系统等级划分

评价等级	安全	较安全	一般	较危险	危险
评分区间	90~100	75~90	60~75	30~60	0~30

3.3 计算确定系统安全评价等级

评价体系构建以后,即可通过第一节中的权重确定方法确定各指标权重,但无论是改进模糊层次分析法还是熵权法,最终计算出来的结果都是准则层指标相对于目标层系统的权重及指标层指标相对于准则层指标的权重,无法确定指标层指标相对于目标层的权重,也就不能直接通过对指标层指标评价从而直接对整个系统进行评价,因此需要计算出指标层指标相对于目标层的相对权重,具体步骤如下:

(1)通过改进模糊层次分析法确定准则层指标相对于目标层及指标层指标相对于准则层指标的权重,再根据隶属关系,将子评价指标权重与对应的大类评价指标权重相乘,从而确定指标层指标相对于目标层的主观相对权重。

(2)通过熵权法重复上面步骤,得到客观相对权重。

(3)利用最小信息熵原理,将上面得到的各子评价指标的主观相对权重和客观相对权重通过计算得出其复合相对权重。

(4)将评价体系应用于具体矿井中瓦斯防治系统评价中,组织专家和现场工作人员根据表2中的评分区间对评价体系中各子评价指标进行逐一打分。

(5)通过计算得出各指标加权评分,将其累加即可得到煤矿瓦斯防治系统安全评分 $Y = \sum_{i=1}^m w_i^0 y_i$,

其中, w_i^0 为步骤(3)中计算得到的各子评价指标的复合相对权重, y_i 为专家及现场工作人员对各子评价指标的评分。

(6)根据得到的煤矿瓦斯防治系统安全评分,对照表2中的评分区间,对系统安全进行等级划分。

4 工程应用实例

4.1 工程概况

以贵州省某矿为例,经相关部分测定,该矿所采9#煤层最大原始瓦斯含量为 $10.2 \text{ m}^3/\text{t}$,最大原始瓦斯压力为 0.82 MPa ,煤层坚固性系数 $f=0.84$,破坏类型为 II ~ III,钻孔流量衰减系数 α 为 $0.039 \sim$

0.060 d^{-1} ,煤层透气性系数 λ 为 $0.0904 \sim 0.2658 \text{ m}^2/\text{MPa}^2 \cdot \text{d}$,抽采钻孔最大布置间距为 5.0 m ,排放孔最大布置间距为 1.6 m 。该矿井被鉴定为煤与瓦斯突出矿井,采用中央并列式通风,抽出式通风方法,采用 FBCDZN₀27 型对旋风机,单台通风机功率为 $2 \times 200 \text{ kW}$,目前矿井总风量约 $6998 \text{ m}^3/\text{min}$,由于矿井通风线路短,通风系统简单,矿井通风难易程度为容易。

4.2 各指标相对权重的确定

1) 主观相对权重

利用改进模糊层次分析法来确定主观相对权重,首先要根据以往专家学者对煤矿瓦斯防治系统的各级评价指标相对重要程度的研究,结合 $0.1 \sim 0.9$ 的5标度法,得出优先判断矩阵:

A-B 优先判断矩阵:

$$F_{A-B} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.8 & 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.7 & 0.9 & 0.6 & 0.5 & 0.2 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.8 & 0.5 \end{pmatrix}$$

B1-C 优先判断矩阵:

$$F_{B1-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.8 \\ 0.2 & 0.5 \end{pmatrix}$$

B2-C 优先判断矩阵:

$$F_{B2-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.8 & 0.5 & 0.9 & 0.5 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 & 0.1 \\ 0.8 & 0.5 & 0.9 & 0.5 \end{pmatrix}$$

B3-C 优先判断矩阵:

$$F_{B3-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.8 \\ 0.7 & 0.5 & 0.9 \\ 0.2 & 0.1 & 0.5 \end{pmatrix}$$

B4-C 优先判断矩阵:

$$F_{B4-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.1 \\ 0.9 & 0.5 \end{pmatrix}$$

B5-C 优先判断矩阵:

$$F_{B5-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ 0.5 & 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ 0.8 & 0.9 & 0.8 & 0.9 & 0.5 \end{pmatrix}$$

设置迭代精度为 0.0001 ,通过改进模糊层次分析法的计算即可得到各指标相对于上级指标的权重

向量:

$$W_{A-B}^1 = (0.1554, 0.1005, 0.1761, 0.2169, 0.3511)^T$$

$$W_{B1-C}^1 = (0.6500, 0.3500)^T$$

$$W_{B2-C}^1 = (0.1851, 0.3301, 0.1652, 0.3196)^T$$

$$W_{B3-C}^1 = (0.3343, 0.4751, 0.1906)^T$$

$$W_{B4-C}^1 = (0.3000, 0.7000)^T$$

$$W_{B5-C}^1 = (0.2098, 0.1216, 0.2098, 0.1216, 0.3372)^T$$

根据各层指标的隶属关系,计算得到指标层各

指标相对于整个系统的主观相对权重,相对权重见表3。

2)客观相对权重

利用熵权法来确定客观相对权重,首先通过熵的原理,利用前面制定好的评价表,收集15位专家及学者针对16个子指标相对整个系统相对重要程度意见,统计后绘制见表4。

通过上表即可构建各级指标的原始数据矩阵,再将各矩阵标准化得到标准化矩阵:

表3 系统各子评价指标的主观相对权重

指标层指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
主观相对权重	0.1010	0.0544	0.0185	0.0332	0.0166	0.0321	0.0589	0.0837
指标层指标	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
主观相对权重	0.0336	0.0651	0.1518	0.0737	0.0427	0.0737	0.0427	0.1183

表4 指标评语等级统计表

指标要求		优	良	中	差
B1	C1	9	4	2	0
	C2	2	4	7	2
	C3	2	3	6	4
	C4	7	3	3	2
B2	C5	8	4	3	0
	C6	2	2	8	3
	C7	4	6	3	2
B3	C8	7	5	3	0
	C9	2	2	5	6
B4	C10	0	3	5	7
	C11	8	4	3	0
B5	C12	2	6	5	2
	C13	0	2	5	8
	C14	1	5	6	3
	C15	0	2	6	7
	C16	8	5	2	0

B2-C 标准化矩阵:

$$H_{B2-C} = \begin{pmatrix} 0 & 0.25 & 1 & 0.5 \\ 1 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0.375 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.1667 \end{pmatrix}$$

B3-C 标准化矩阵:

$$H_{B3-C} = \begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 0.25 & 0 \\ 1 & 0.7143 & 0.4286 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 1 \end{pmatrix}$$

B4-C 标准化矩阵:

$$H_{B4-C} = \begin{pmatrix} 0 & 0.4286 & 0.7143 & 1 \\ 1 & 0.5 & 0.375 & 0 \end{pmatrix}$$

B5-C 标准化矩阵:

$$H_{B5-C} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0.75 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.625 & 1 \\ 0 & 0.8 & 1 & 0.4 \\ 0 & 0.2857 & 0.8571 & 1 \\ 1 & 0.625 & 0.25 & 0 \end{pmatrix}$$

通过熵权法的计算步骤即可算得各指标相对于上级指标的权重向量:

$$W_{A-B}^2 = (0.1498, 0.2003, 0.1552, 0.3439, 0.1508)^T$$

$$W_{B1-C}^2 = (0.4243, 0.5757)^T$$

$$W_{B2-C}^2 = (0.1814, 0.2486, 0.1587, 0.4112)^T$$

$$W_{B3-C}^2 = (0.2916, 0.2320, 0.4764)^T$$

$$W_{B4-C}^2 = (0.4763, 0.5237)^T$$

$$W_{B5-C}^2 = (0.3083, 0.1824, 0.1535, 0.1734, 0.1824)^T$$

再重复主观相对权重确定过程,即可求得指标

A-B 标准化矩阵:

$$H_{A-B} = \begin{pmatrix} 1 & 0.6667 & 0.7778 & 0 \\ 0.9091 & 0.2727 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0.6 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.6923 & 1 & 0.6923 \end{pmatrix}$$

B1-C 标准化矩阵:

$$H_{B1-C} = \begin{pmatrix} 1 & 0.4444 & 0.2222 & 0 \\ 0 & 0.4 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

层各指标相对于整个系统的客观相对权重,具体见表5。

表5 系统各子评价指标的客观相对权重

指标层指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
客观相对权重	0.063 6	0.086 2	0.036 3	0.049 8	0.031 8	0.082 4	0.045 3	0.036 0
指标层指标	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
客观相对权重	0.073 9	0.163 8	0.180 1	0.046 5	0.027 5	0.023 1	0.026 2	0.027 5

3) 复合相对权重

基于上面求得的各指标主客观相对权重,即可通过式(1)求得各子评价指标的复合相对权重,具体见表6。

表6 系统各子评价指标的复合相对权重

指标层指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
复合相对权重	0.085 3	0.072 9	0.027 6	0.043 3	0.024 4	0.054 7	0.055 1	0.058 5
指标层指标	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
复合相对权重	0.053 0	0.110 0	0.176 0	0.062 4	0.036 5	0.044 0	0.035 6	0.060 7

表7 系统各子评价指标的评分统计情况

指标层指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
平均分	78	85	72	64	81	72	83	90
指标层指标	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
平均分	65	73	74	82	51	74	86	72

结合表6和表7,可求得各指标的加权评分,累加即可求得整个煤矿瓦斯防治系统的安全评价得分,具体见表8。

表8 系统各子评价指标的加权评分汇总表

指标层指标	加权评分	系统安全评分
C1	6.653 4	
C2	6.196 5	
C3	1.987 2	
C4	2.771 2	
C5	1.976 4	
C6	3.938 4	
C7	4.573 3	
C8	5.265 0	75.526 7
C9	3.445 0	
C10	8.030 0	
C11	13.024 0	
C12	5.116 8	
C13	1.861 5	
C14	3.256 0	
C15	3.061 6	
C16	4.370 4	

4.3 煤矿瓦斯防治系统安全评价

根据来自15位现场工作人员及5位专家在现场的调查结果,对各个子评价指标情况进行逐一打分,取其平均分,打分结果见表7。

由计算结果可知,针对该矿的瓦斯防治系统的安全评分为75.5267,结合表2可得,该矿瓦斯防治系统评价等级为较安全,但由于评分相比来说更靠近于一般评价等级,因此,该矿井存在较多问题,可通过两种方法尽快提高该矿瓦斯防治系统安全评分:第一,对个别相对权重较其它权重大的、平均分低于系统安全评分的指标进行针对性地整改,如指标C10和C11;第二,对评分严重低于系统安全评分的指标进行整体提升和完善,如指标C4、C9、C13。通过以上两种方法进行针对性整改后,该矿瓦斯防治系统安全性明显有所提高,因此,基于改进模糊层次分析法与熵权法的指标权重确定方法对煤矿瓦斯防治系统安全评价有着重要意义。

5 结论

(1)通过建立煤矿瓦斯防治系统安全评价体系,利用改进模糊层次分析法和熵权法分别求得体系各指标的主客观权重,再通过最小信息熵原理将二者组合求得各指标的复合权重,这样能够保证指标权重在主观推断的基础上增加客观实际的因素,

从而使确定的权重更加符合实际,提高体系评价的准确性。

(2)由于文中所提两种方法求得的权重均为各级指标相对于上级指标的权重,若要通过子评价指标来评价整个瓦斯防治系统,因此还要通过部分计算求得各指标相对于整个系统的相对权重,通过确定合理的计算过程,能够在降低计算量的基础上,还可以保证所确定权重的可靠性。

(3)将改进模糊层次分析、熵权确定指标权重的方法应用于实际煤矿瓦斯防治系统中去,对其进行安全评价,在确定其系统安全评价等级以后,还可以直观通过各指标复合相对权重、评分来对该矿瓦斯防治系统的薄弱环节进行整改,对煤矿瓦斯防治系统的改进和完善有着指导作用。

[参考文献]

[1] 刘业娇,袁亮,薛俊华,等. 2007—2016年全国煤矿瓦斯灾害事故发生规律分析[J]. 矿业安全与环保, 2018,45(3):124-128.

[2] 孙庆刚. 中国煤矿瓦斯灾害现状与防治对策研究[J]. 中国煤炭,2014,40(3):116-119.

[3] 周胜利,张明清,晏飞. 贵州省地方煤矿水害危险性评价的研究[J]. 矿业安全与环保,2007(6):82-84.

[4] 李昊,肖俊贤,田涛. 基于层次分析法的矿井通风系统灰色综合评价[J]. 煤矿安全,2012,43(10):166-169.

[5] 丁厚成,黄新杰. 基于 AHP-FCE 的煤矿通风系统可靠性评价研究[J]. 自然灾害学报,2013,22(3):153-159.

[6] 杜达文,王保民,张瑾. 模糊综合评价法在煤矿“六大系统”中的应用[J]. 工矿自动化,2014,40(4):42-45.

[7] 邓小松. 基于 AHP 的瓦斯爆炸事故危险源风险评价[J]. 煤炭工程,2015,47(3):141-143.

[8] 张森,陈开岩,郭一鹏,等. 模糊层次分析法在汝箕沟煤矿通风系统评价中的应用[J]. 煤矿安全,2012,43(1):183-186.

[9] 许满贵,宝银县,刘佳媛,等. 基于未确知理论的瓦斯防治系统安全评价方法[J]. 西安科技大学学报,2012,32(5):560-564.

[10] 张吉林,岳俊. 基于层次分析法的煤矿瓦斯防治系统评价研究[J]. 能源技术与管理,2017,42(1):31-34.

[11] 李永,胡向红,乔箭. 改进的模糊层次分析法[J]. 西北大学学报(自然科学版),2005(1):11-12+16.

[12] 杨玉中,吴立云,丛建春. 基于熵权的煤矿运输安全性模糊综合评价[J]. 哈尔滨工业大学学报,2009,41(4):257-259.

[13] 张晓亮. 熵权耦合层次分析赋权在煤层底板突水评价中的应用[J]. 煤田地质与勘探,2017,45(3):91-95.

[14] 李红霞,张大卫. AHP-熵权法在煤矿生产安全评价中的应用[J]. 煤炭技术,2018,37(10):369-371.

[15] 王瑶. 基于 Delphi-AHP 和模糊熵权法的矿井通风系统综合评价研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2018.

[16] 裴羽. 基于 AHP 的煤矿瓦斯防治评价指标体系[J]. 内蒙古煤炭经济,2017(21):90-92.