

中文引用格式:张仰行. 基于 AHP-TOPSIS 法的煤矿机电设备安全评价模型及应用[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(增1):179-184.  
英文引用格式:ZHANG Yanghang. Safety evaluation model of electromechanical equipment in coal mines based on AHP-TOPSIS method and its application[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(S1):179-184.

# 基于 AHP-TOPSIS 法的煤矿机电设备 安全评价模型及应用\*

张仰行 工程师

(国网能源新疆准东煤电有限公司 准东二矿, 新疆 昌吉 831100)

中图分类号:X936

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.S1.0025

**【摘要】** 为解决煤矿机电安全状态影响因素众多且复杂,安全隐患难以识别的问题,提出一种基于层次分析法(AHP)—逼近理想解法(TOPSIS)的煤矿机电安全综合评价模型。首先依据机电事故致因理论,从人的因素、机电检修、管理组织和工作环境4个方面选取引起煤矿机电安全风险的20个评价指标,构建煤矿机电设备安全状态评价指标体系;然后采用AHP法计算各指标权重,并结合TOPSIS法计算样本与理想解的相对贴近度,将各指标权重与相对贴近度进行耦合,最终预测煤矿机电设备安全等级。最后将该模型应用于山煤集团某矿。结果表明:计算得出矿井机电安全等级为II级,根据预测结果逆序分析识别安全隐患,分析结果符合现场实际情况。

**【关键词】** AHP-TOPSIS模型; 煤矿; 机电设备; 安全评价; 贴近度

## Safety evaluation model of electromechanical equipment in coal mines based on AHP-TOPSIS method and its application

ZHANG Yanghang

(State Grid Energy Xinjiang Zhundong Coal Power Co., Ltd., Changji Xinjiang 831100, China)

**Abstract:** There are many and complex factors influencing the safety status of electromechanical equipment in coal mines, and it is difficult to identify the potential safety hazards. To address these issues, a comprehensive safety evaluation model of electromechanical equipment in coal mines based on AHP-TOPSIS method was proposed. According to the cause theory of electromechanical equipment accidents in coal mines, 20 evaluation indexes were selected from four aspects of human factors, electromechanical equipment maintenance, management organization, and working environment, and the safety status evaluation index system of electromechanical equipment in coal mines was constructed. Then, the AHP method was used to calculate the weight of each index, and the TOPSIS method was used to calculate the relative nearness degree between the sample and the ideal solution. The index weight was coupled with the relative nearness degree, and the safety level of electromechanical equipment in coal mines was predicted. Finally, the model was applied to a mine of Shanxi Coal Group. The results show that the safety level of electromechanical equipment in the coal mines mine is Level II. According to the prediction results, the potential safety hazards are identified by reverse order analysis, and the analysis results are in line with the actual situation.

**Keywords:** analytic hierarchy process-technique for order preference by similarity to the ideal solution (AHP-TOPSIS) model; coal mine; electromechanical equipment; safety evaluation; nearness degree

## 0 引言

煤矿机电生产是由空间和时间上的多种不确定因素交叉构成的复杂过程<sup>[1]</sup>,由于煤矿机电生产受作业周期长、作业环境复杂等因素影响,导致机电安全事故频发,给井下作业人员的生命安全造成巨大威胁,同时,也给煤矿带来严重的经济损失<sup>[2-3]</sup>。近年来,我国煤矿安全生产形势持续向好,建设生产效率、智能化及标准化高的矿井成为发展重点<sup>[4]</sup>,但由于其机械化程度高、隐患识别难度大且检修质量把控及技术标准不到位,机电安全问题尤为突出<sup>[5]</sup>。因此,构建可行、高效的矿井机电设备安全风险评价模型评价其安全状况,减少机电安全事故成为当前学者们研究的热点。

针对煤矿机电安全风险等级评价,国内外学者开展了相关研究。成剑飞<sup>[6]</sup>为评估矿井机电设备运行的安全状态,运用模糊数学原理,构建了机电安全指标体系和评价模型,评估矿井机电设备安全等级,反映出矿井的机电生产状况。李新玉<sup>[7]</sup>通过引入系统化思想,改进机电设备评价指标体系,提出了煤矿机电工作“1573”管理方法,取得了理想的应用效果。Qi Yun 等<sup>[8]</sup>分析了影响矿井机电设备健康运行的指标因素,构建了适合现场应用的综合评价模型,评估了当前机电设备的实际健康状态,从而为机电设备安全管理提供指导。上述建立的评价模型存在指标权重难以确定、影响因素考虑较少、主次因素关系不明确等问题,因此,在矿井机电安全评价时会产生差异性。目前,通过引入智能算法评价井下采掘机械设备健康状态的研究较多,而对整个矿井机电系统安全状态的评价比较缺乏,且都为单一算法评价,难以克服方法自身的弊端。

鉴于此,笔者将层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 和逼近理想解 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 法相结合,利用 AHP 法克服 TOPSIS 法一维定性条件下难以确定多指标权重的不足,综合两者的优点构建评价模型,预测矿井机电系统当前安全状态,结合所得结果分析指标体系中的薄弱环节,进而有效预防和减少机电安全事故的发生,以期煤矿机电安全评价问题提供理论支撑。

## 1 AHP 法确定指标权重的基本原理

AHP 法是基于评价系统中相互制约的不同因素层次化、条理化处理后,建立的递阶逻辑层次结构模型。一般可针对属性区别划分层次关系,由上到下包括目标层、准则层、指标层 3 层,中间层既与从上一层满足从属关系,同时又被下一层所制约,其指标权重由其对上一层的重要性大小来确定<sup>[9]</sup>。AHP 法可清晰地分析出指标间的内在关系,并将指标方便地进行数学定量分析,使比较繁琐的问题简单化,从而能够快速科学指导决策。

### 1.1 判断矩阵的构造

为获得各指标的权重,首先把每一层的各个指标的重要性两两进行比较,一般使用 1~9 标度法标记结果,得到判断矩阵  $B$ :

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中  $b_{ij}$  为评判指标的相对重要性比值,表示第  $i$  个指标的重要性与第  $j$  个指标的重要性比值。

### 1.2 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵是由人为凭经验构造的,难以满足完全一致性要求,为使判断矩阵元素分配得更为合理,需要制定某一标准,如果判断矩阵达到了该标准,也就表明判断矩阵基本符合要求,此时各层次指标权重分配才能够合理,否则需要修正判断矩阵。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{b_{ij} \cdot w_A}{w_{Ai}} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

$$CI = \frac{|\lambda_{\max} - m|}{m - 1} \quad (4)$$

式中:CR 为一致性比例;CI 为一致性指标;RI 为随机一致性指标; $\lambda_{\max}$  为判断矩阵  $B$  的最大特征值; $m$  为判断矩阵的阶数。当  $CR < 0.1$  时,表明判断矩阵已经达到一致性要求,无需修正。

### 1.3 权重计算

为得到各指标的层次排序,需要通过判断矩阵

的最大特征值  $\lambda_{\max}$  对应特征向量法求解,然而,想要准确地获得  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量十分困难,需要借助几何平均法对特征向量作一个近似求解,具体可采用下式计算:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{i=1}^m (b_{ij} / \sum_{i=1}^m b_{ij})\right)^{\frac{1}{m}}}{\sum_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^m (b_{ij} / \sum_{i=1}^m b_{ij})\right)^{\frac{1}{m}}} \quad (5)$$

## 2 煤矿机电设备安全状态综合评判模型

综合评判模型是将 AHP 法获得的指标权重与 TOPSIS 法获得的决策矩阵耦合,最终得到各指标的理想综合评价结果,具体步骤如下:

1) 初始评判矩阵  $X$  的建立。假定样本集  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , 样本集中的每个对象的  $n$  个指标值构成向量  $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ ,  $a_{ij}$  为第  $i$  个评价样本的第  $j$  个评价指标,其中,  $i \in [1, m], j \in [1, n]$ 。

$$A = (a_{ij})_{mn} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

2) 判断矩阵的标准化。为了消除各指标间量纲差异导致的不可比性,需按照效益型指标(越大越好型)和成本型指标(越小越好型)标准化处理各指标,把数值变换到  $[0, 1]$  上,得到判断矩阵的标准化矩阵  $D = d_{ij}$ 。

$$d_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}, \quad \text{效益型} \quad (7)$$

$$d_{ij} = (1/a_{ij}) / \sqrt{\sum_{i=1}^m (1/a_{ij})^2}, \quad \text{成本型} \quad (8)$$

3) 计算样本的相对贴近度。贴近度可以用来表征样本中各指标趋近于最优解的程度<sup>[10]</sup>,通过计算得到样本的正理想解和负理想解,进而求得各个指标同理想解二者之间的欧氏距离,相关求解公式为:

$$\begin{cases} D^+ = \{(\max d_{ij} | j \in J^+), (\min d_{ij} | j \in J^-)\} \\ D^- = \{(\min d_{ij} | j \in J^+), (\max d_{ij} | j \in J^-)\} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} C_i^+ = \left(\sum_{j=1}^n w_i (d_{ij} - d_j^+)\right)^{\frac{1}{2}} \\ C_i^- = \left(\sum_{j=1}^n w_i (d_{ij} - d_j^-)\right)^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (10)$$

$$f_i^+ = C_i^- / (C_i^+ + C_i^-) \quad (11)$$

式中:  $D^+$  为正理想解;  $D^-$  为负理想解;  $J^+$  为效益型指

标;  $J^-$  为成本型指标;  $C^+$  为指标与正理想解间的欧氏距离;  $C^-$  为指标与负理想解间的欧氏距离;  $f_i^+$  为相对贴近,通常情况下  $f_i^+ \in (0, 1)$ ,  $f_i^+$  值越小表示评价对象与负理想解相距越近,与正理想解相距越远,即评价对象越差。

4) 模糊综合评价模型的建立。基于模糊综合评价原理,将 AHP 法确定的各指标权重与基于贴近度构造出来的判断矩阵结合,即可获得样本的模糊综合评价结果向量。

$$L = w \times F \quad (12)$$

式中:  $L$  为综合评价结果;  $w$  为判断矩阵;  $F$  为贴近度判断矩阵。

## 3 煤矿机电设备安全评价实例应用

### 3.1 机电安全状态评价递阶层次结构及评价等级的确立

针对煤矿机电设备安全状态的主要影响因素,基于事故致因交叉理论,参照相关国家标准及规范,从人的因素、机电检修、管理组织和工作环境 4 个方面归纳出影响煤矿机电设备安全状态的 20 个因素<sup>[11]</sup>,根据 AHP 法原理,建立煤矿机电设备安全的 3 级递阶层次结构评价模型,综合分析煤矿机电设备安全现状,各层指标间关系见表 1。

表 1 机电设备安全状态综合评价指标

Table 1 Comprehensive evaluation index of safety status of electromechanical equipment

目标	一级指标	二级指标
机电设备安全状态评价 $R$	人的因素 $R_1$	员工操作违规率 $R_{11}$
		月均培训时间 $R_{12}$
		员工平均工龄 $R_{13}$
	机电检修 $R_2$	机电设备质量 $R_{21}$
		防护设备齐全度 $R_{22}$
		维修质量 $R_{23}$
		保养和检查频率 $R_{24}$
		机电设备使用年限 $R_{25}$
		安全检查全面性 $R_{26}$
		安全章程健全度 $R_{31}$
	管理组织 $R_3$	管理机构合理性 $R_{32}$
		安全管理时效性 $R_{33}$
		应急机制完善率 $R_{34}$
		安全管理有效率 $R_{35}$
		地质构造复杂度 $R_{41}$
	工作环境 $R_4$	作业空间合理性 $R_{42}$
		载荷能力适配性 $R_{43}$
		粉尘浓度 $R_{44}$
		温度 $R_{45}$
		湿度 $R_{46}$

根据煤矿机电安全生产的特点,将其安全状态等级分为 I 级(安全)、II 级(较安全)、III 级(中等安全)、IV 级(较危险)和 V 级(危险),分别用  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和  $L_4$  对应各等级临界值,矿井机电安全状态等级评价准则见表 2。若评价结果  $L > L_1$ ,则判定机电安全等级为安全;若  $L \in (L_1, L_2)$ ,则判定机电安全等级为较安全;若  $L \in (L_2, L_3)$ ,则判定机电安全等级为中等安全;若  $L \in (L_3, L_4)$ ,则判定机电安全等级为较危险;若  $L < L_4$ ,则判定机电安全等级为危险。

表 3  $R-R_i$  判断矩阵

Table 3 Judgement matrix of  $R-R_i$

$R-R_i$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
$R_1$	1	2	3	2
$R_2$	1/2	1	3/2	1
$R_3$	1/3	2/3	1	2/3
$R_4$	1/2	1	3/2	1

表 4  $R_1-R_{1i}$  判断矩阵

Table 4 Judgement matrix of  $R_1-R_{1i}$

$R_1-R_{1i}$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$
$R_{11}$	1	2	3
$R_{12}$	1/2	1	3/2
$R_{13}$	1/3	2/3	1

表 5  $R_2-R_{2i}$  判断矩阵

Table 5 Judgement matrix of  $R_2-R_{2i}$

$R-R_{2i}$	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$	$R_{26}$
$R_{21}$	1	4/3	1	1/3	1/2	1/4
$R_{22}$	3/4	1	3/4	1/4	3/8	3/16
$R_{23}$	1	3/4	1	1/3	1/2	1/4
$R_{24}$	3	3	4	1	3/2	3/4
$R_{25}$	2	8/3	2	2/3	1	1/2
$R_{26}$	4	16/3	4	4/5	2	1

表 6  $R_3-R_{3i}$  判断矩阵

Table 6 Judgement matrix of  $R_3-R_{3i}$

$R-R_{3i}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$	$R_{35}$
$R_{31}$	1	3/4	1/3	1/2	2/3
$R_{32}$	4/3	1	4/9	2/3	9/8
$R_{33}$	3	9/4	1	3/2	2
$R_{34}$	2	3/2	2/3	1	4/3
$R_{35}$	3/2	8/9	1/2	3/4	1

表 7  $R_4-R_{4i}$  判断矩阵

Table 7 Judgement matrix of  $R_4-R_{4i}$

$R-R_{4i}$	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{44}$	$R_{45}$	$R_{46}$
$R_{41}$	1	1/2	1/3	1/2	1	1/4
$R_{42}$	2	1	2/3	1	2	1/2
$R_{43}$	3	3/2	1	3/2	3	3/4
$R_{44}$	2	1	2/3	1	2	1/2
$R_{45}$	1	1/2	1/3	1/2	1	1/4
$R_{46}$	4	2	4/3	2	4	1

表 2 矿井机电安全风险等级评价准则

Table 2 Safety risk level evaluation criteria of electromechanical equipment in coal mines

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	样本
$R_{11}$	<4	<8	<12	<16	$\geq 16$	3.5
$R_{12}$	>9	>7	>5	>3	$\leq 3$	7.8
$R_{13}$	>10	>6	>4	>2	$\leq 2$	5.5
$R_{21}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	94
$R_{22}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	92
$R_{23}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	86
$R_{24}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	86
$R_{25}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	78
$R_{26}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	91
$R_{31}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	85
$R_{32}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	75
$R_{33}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	83
$R_{34}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	88
$R_{35}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	93
$R_{41}$	>95	>90	>85	>80	$\leq 80$	83
$R_{42}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	88
$R_{43}$	>90	>80	>70	>60	$\leq 60$	88
$R_{44}$	<4	<6	<8	<10	$\geq 10$	5
$R_{45}$	<20	<24	<26	<28	$\geq 28$	23
$R_{46}$	<60	<70	<80	<90	$\geq 90$	69

以山煤集团某矿为应用对象,为预防该矿机电设备安全事故,采用构建的基于 AHP-TOPSIS 的煤矿机电安全状态综合评判模型评价该矿井机电设备的安全风险。

### 3.2 指标权重的确立

基于 AHP 法及轨迹交叉理论,综合在煤矿机电方面具有丰富经验的专家和该矿的技术人员的指导意见,构造判断矩阵,分别见表 3—表 7。利用 Matlab 软件求解判断矩阵的最大特征值,同时验证其一致性。

由式(2)—式(4)可求得判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{max} = 3.99$ ,  $IR = 0.889$ ,  $CR = 0.004 < 0.1$ ,则认为判断矩阵满足一致性要求。结合式(5)可计算得准

则层权重  $w = (0.422, 0.225, 0.124, 0.229)$ ,同理,可计算出指标层判断矩阵的  $CR < 0.1$ ,均满足一致性要求,则指标层各指标权重为: $w_1 = (0.547, 0.271, 0.183)$ ,  $w_2 = (0.086, 0.063, 0.086, 0.256, 0.169, 0.339)$ ,  $w_3 = (0.120, 0.158, 0.337, 0.223, 0.162)$ ,  $w_4 = (0.078, 0.153, 0.232, 0.155, 0.073, 0.308)$ ,各指标权重见表 8。

表 8 指标权重  
Table 8 Index weight

指标层	R-R <sub>i</sub>				权重
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	
R <sub>11</sub>	0.547	—	—	—	0.231
R <sub>12</sub>	0.271	—	—	—	0.117
R <sub>13</sub>	0.183	—	—	—	0.077
R <sub>21</sub>	—	0.086	—	—	0.020
R <sub>22</sub>	—	0.063	—	—	0.012
R <sub>23</sub>	—	0.086	—	—	0.021
R <sub>24</sub>	—	0.256	—	—	0.056
R <sub>25</sub>	—	0.169	—	—	0.041
R <sub>26</sub>	—	0.339	—	—	0.079
R <sub>31</sub>	—	—	0.120	—	0.026
R <sub>32</sub>	—	—	0.158	—	0.037
R <sub>33</sub>	—	—	0.337	—	0.078
R <sub>34</sub>	—	—	0.223	—	0.049
R <sub>35</sub>	—	—	0.162	—	0.036
R <sub>41</sub>	—	—	—	0.078	0.007
R <sub>42</sub>	—	—	—	0.153	0.016
R <sub>43</sub>	—	—	—	0.232	0.030
R <sub>44</sub>	—	—	—	0.155	0.017
R <sub>45</sub>	—	—	—	0.073	0.011
R <sub>46</sub>	—	—	—	0.308	0.038

3.3 TOPSIS 法贴近度矩阵的构建

根据式(7)和式(8)对样本数据进行归一化处理,获得人的因素、机电检修、管理组织和工作环境的标准化矩阵:

$$D_1 = \begin{pmatrix} 0.168 & 0.134 & 0.055 & 0 & 0.191 \\ 0.043 & 0.030 & 0.016 & 0 & 0.032 \\ 0.017 & 0.007 & 0.004 & 0 & 0.069 \end{pmatrix},$$

$$D_2 = \begin{pmatrix} 0.018 & 0.014 & 0.006 & 0 & 0.018 \\ 0.013 & 0.007 & 0.004 & 0 & 0.010 \\ 0.016 & 0.012 & 0.006 & 0 & 0.006 \\ 0.065 & 0.053 & 0.040 & 0 & 0.049 \\ 0.023 & 0.018 & 0.011 & 0 & 0.002 \\ 0.113 & 0.094 & 0.080 & 0 & 0.049 \end{pmatrix},$$

$$D_3 = \begin{pmatrix} 0.097 & 0.062 & 0.032 & 0 & 0.073 \\ 0.067 & 0.041 & 0.024 & 0 & 0.039 \\ 0.022 & 0.018 & 0.008 & 0 & 0.017 \\ 0.019 & 0.009 & 0.006 & 0 & 0.016 \\ 0.048 & 0.027 & 0.018 & 0 & 0.045 \end{pmatrix},$$

$$D_4 = \begin{pmatrix} 0.012 & 0.007 & 0.006 & 0 & 0.008 \\ 0.068 & 0.064 & 0.048 & 0.023 & 0 \\ 0.021 & 0.016 & 0.007 & 0 & 0.007 \\ 0 & 0.008 & 0.005 & 0.003 & 0.001 \\ 0.006 & 0.004 & 0.002 & 0 & 0.005 \\ 0.132 & 0.123 & 0.107 & 0.097 & 0 \end{pmatrix}$$

由式(9)求得各指标的理想解,并由式(10)计算出各指标与理想解的欧氏距离向量:

$$\begin{aligned} C_1^+ &= (0.02, 0.08, 0.14, 0.16, 0.01), \\ C_1^- &= (0.18, 0.12, 0.06, 0, 0.19), \\ C_2^+ &= (0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.06), \\ C_2^- &= (0.14, 0.11, 0.09, 0.07, 0.08), \\ C_3^+ &= (0, 0.04, 0.08, 0.13, 0.04), \\ C_3^- &= (0.13, 0.09, 0.04, 0.003, 0.098), \\ C_4^+ &= (0.15, 0.14, 0.12, 0.103, 0.028), \\ C_4^- &= (0.022, 0.018, 0.033, 0.06, 0.15) \end{aligned}$$

表 9 各指标的正、负理想解

Table 9 Positive and negative ideal solutions of each index

指标	正理想解	负理想解	指标	正理想解	负理想解
R <sub>11</sub>	0	0.19	R <sub>32</sub>	0.065	0
R <sub>12</sub>	0.044	0	R <sub>33</sub>	0.024	0
R <sub>13</sub>	0.068	0	R <sub>34</sub>	0.017	0
R <sub>21</sub>	0.019	0	R <sub>35</sub>	0.045	0
R <sub>22</sub>	0.012	0	R <sub>41</sub>	0	0.011
R <sub>23</sub>	0.017	0	R <sub>42</sub>	0	0.069
R <sub>24</sub>	0.066	0	R <sub>43</sub>	0.033	0
R <sub>25</sub>	0.024	0	R <sub>44</sub>	0.008	0
R <sub>26</sub>	0.112	0	R <sub>45</sub>	0	0.006
R <sub>31</sub>	0.095	0	R <sub>46</sub>	0	0.131

由式(11)可得各指标与正理解的贴近度,并构成贴近度矩阵 F:

$$F = \begin{pmatrix} 0.892 & 0.595 & 0.299 & 0 & 0.932 \\ 1 & 0.818 & 0.642 & 0.472 & 0.577 \\ 0.931 & 0.872 & 0.743 & 0.591 & 0.783 \\ 1 & 0.672 & 0.346 & 0.023 & 0.737 \end{pmatrix}$$

3.4 煤矿机电设备安全状态综合评价

由式(12)可知:将基于 AHP 法获得的各指标权重 w 与 TOPSIS 法获得的贴近度矩阵耦合,即可获得矿井机电安全评价结果为:(L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L) = (0.95, 0.70, 0.44, 0.18, 0.79), 其中 L = 0.79 ∈ (0.95, 0.70), 可知:矿井机电安全状态等级属于 II 级(较安全),与现场情况相符,说明 AHP-TOPSIS 综合评价模型对机电安全状态评价科学有效。根据计算结果对样本(各矩阵的第 5 列)进行逆序分析可知:影响矿井机电安全状态的因素主次关系为:人的因素>管理组织>工作环境>机电检修,其中机电检修是影响样本安全状态的关键因素。由机电检修的指标标准化矩阵 D<sub>2</sub> 可知机电设备质量(0.018),防护设备齐全度(0.010),维修质量(0.006),保养和检查频率(0.049),机电设备使用年限(0.002),

安全检查全面性(0.049),因此,应该加强维修质量、机电设备使用年限及防护设备齐全度的管理,其中机电设备使用年限及维修质量的安全风险较大。

## 4 结 论

1) 针对煤矿机电安全状态影响因素复杂,安全隐患难以识别的问题,建立了 AHP-TOPSIS 综合评价模型,将 AHP 法与 TOPSIS 法耦合,克服了 TOPSIS 法指标权重难以分配的缺点,避免了单一赋权法导致的评价结果误差。

2) 根据煤矿机电安全影响因素临界值构建了安全状态评判准则,并计算各指标的贴适度,并以此

得出样本的安全等级为 II 级(较安全),评价结果与实际情况一致,验证了模型的正确性。根据计算结果逆序分析可知:影响煤矿机电安全因素主次关系为:人的因素>管理组织>工作环境>机电检修,其中,机电检修是影响矿井机电安全的主要因素。由机电检修各指标的标量化矩阵  $D_2$  可知:维修质量、机电设备使用年限及防护设备齐全度是矿井机电安全的薄弱环节,应加强管理。

3) 基于 AHP-TOPSIS 法的耦合评判模型能够准确预测矿井机电系统当前的安全运行状态,其结果适合现场应用,通过逆序分析预测结果来识别机电系统的安全隐患,从而减少机电事故发生。

## 参 考 文 献

- [1] 牛国亮.地方煤矿机电安全管理现状与对策[J].煤矿安全,2011(4):190-192.  
NIU Guoliang. Current situation and countermeasures of mechanical and electrical safety management in local coal[J]. Safety in Coal Mines, 2011(4):190-192.
- [2] 覃日强.论煤矿机电技术管理在煤矿安全生产中的应用[J].煤炭技术,2012(6):262-263.  
TAN Riqiang. Application of mechanical and electrical technology in coal mine production management[J]. Coal Technology, 2012(6):262-263.
- [3] 祁云,白晨浩,代连朋,等.改进双向长短期记忆神经网络的瓦斯涌出量预测[J/OL].安全与环境学报,1-10[2024-06-08].<https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2024.0383>.  
QI Yun, BAI Chenhao, DAI Lianpeng, et al. Enhanced bidirectional long short term memory neural network for gas emission forecasting[J]. Journal of safety and environment, 1-10 [2024-06-08]. <https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2024.0383>.
- [4] 刘秀丽.煤矿安全生产中煤矿机电技术管理的合理应用[J].西部探矿工程,2020,32(2):194-196.  
LIU Xiuli. Reasonable application of mechanical and electrical technology management in coal mine safety production[J]. West China Exploration Engineering, 2020, 32(2):194-196.
- [5] 李明轩.我国煤矿机电事故现状及应对措施[J].煤矿安全,2019,50(4):245-247.  
LI Mingxuan. Current situation and countermeasures of mechanical and electrical accidents in China's coal mines[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(4):245-247.
- [6] 成剑飞.井下机电安全生产状况的模糊综合评价[J].煤炭与化工,2017,40(1):102-105.  
CHENG Jianfei. Fuzzy comprehensive evaluation on status of underground electromechanical safety production[J]. Coal and Chemical Industry, 2017, 40(1):102-105.
- [7] 李新玉.中平能化集团煤矿机电系统化安全评价体系[J].煤矿安全,2011,42(7):176-178.  
LI Xinyu. Safety evaluation system of coal mine electromechanical system of Zhongping energy and chemical group[J]. Safety in Coal Mines, 2011, 42(7):176-178.
- [8] QI Yun, XUE Kailong, WANG Wei, et al. Coal and gas protrusion risk evaluation based on cloud model and improved combination of assignment[J]. Scientific reports, 2024, 14(1): DOI:10.1038/S41598-024-55382-1.
- [9] 王明重,刘泽功,张箫剑,等.基于 AHP 和扩展集对理论的采空区遗煤自燃危险性评价研究[J].中国安全生产科学技术,2014,10(8):183-188.  
WANG Mingchong, LIU Zegong, ZHANG Xiaojian, et al. Research of risk assessment on spontaneous combustion of goaf coal based on analytic hierarchy process and extended set pair theory[J]. China Safety Science Journal, 2014, 10(8):183-188.
- [10] 王霞,段庆全.基于改进理想点解法的油气管道事故综合预测研究[J].中国安全生产科学技术,2018,14(4):119-125.  
WANG Xia, DUAN Qingquan. Study on comprehensive prediction of oil and gas pipeline accidents based on improved TOPSIS[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(4):119-125.
- [11] QI Yun, WANG Wei, GE Juaqi, et al. Development characteristics of the rock fracture field in strata overlying a mined coal seam group[J]. PloS One, 2022: DOI:10.1371/journal.pone.0268955.

作者简介:张仰行(1988—),男,山东曲阜人,本科,工程师,主要从事矿井机电运维、矿井灾害防治等方面的工作。E-mail:18002157@chnenergy.com.cn。