

基于IAHP、系统分析法和IFCEM的火电厂安全风险评估模型

闵令民¹, 范建兵¹, 张洪国², 赵学花¹

(1. 国网新疆电力有限公司经济技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830002;

2. 国网山东龙口供电公司, 山东 烟台 264000)

摘要:为了提高火电厂抵御风险能力,建立了一种新的火电厂安全风险评估的数学模型。结合影响火电厂的致灾因素,在确立了多层次的安全性评价指标的基础上,应用IAHP、系统分析法及IFCEM通过横向及纵向的功能扩展结构比较,全面系统地得出火电厂的安全风险状况。该模型很好地解决了传统方法忽略各致灾因素相互作用的协调性以及一致性检验繁琐、主观因素干扰性强、单一方法结果说服力差等问题。应用结果表明,所建模型与实际基本相符。

关键词:火电厂安全风险评估模型;改进层次分析法;系统分析法;改进模糊综合评价法

中图分类号:TM621 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2018)05-0067-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.05.014

Safety Risk Assessment Model of Coal-fired Power Plant Based on IAHP, System Analysis and IFCEM

Min Lingmin¹, Fan Jianbing¹, Zhang Hongguo², Zhao Xuehua¹

(1. State Grid Xinjiang Economic Research Institute, Urumqi 830002, Xinjiang, China;

2. State Grid Shandong Longkou Electric Power Supply Company, Yantai 264000, Shandong, China)

Abstract:In order to improve the ability to resist risks for coal-fired power plants, a new mathematical model of safety risk assessment for coal-fired power plants is established. Combined with the influencing factors of thermal power plants, and based on the established multi-level security evaluation index, the comprehensive security risk condition of coal-fired power plant is obtained with the horizontal and vertical comparison of function extension structure by applying IAHP, system analysis and IFCEM. The model is very good to solve the interaction factors coordination, trival consistency check, strong interfere of subjective factors and low persuasibility of single method result, and the application results show that the proposed model is consistent with the actual situation.

Key words:safety risk assessment model of power plant; improved analytic hierarchy process; system analysis method; improved fuzzy comprehensive evaluation method

0 引言

随着社会对电力需求不断增大、发电厂不断增多,重大安全事故的出现频率也不断升高,事故的危害程度也越来越大,因此建立有效的火电厂安全风险评估模型变得很有必要。

有众多学者专家对火电厂安全风险评估建模,但数据、方法单一^[1],结论说服力差;或者过程方法不利于计算机编程推广普及^[2];或者评判具有很强主观分析因素影响^[3];或者忽略了各个致灾因素

相互作用的协调性对评估结果产生影响^[4]。

下面通过运用改进层次分析法(improved analytic hierarchy process, IAHP)把复杂的目标问题分解成层次结构,然后分析各因素的重要度进而得出目标权度,以此来判断评估。该方法打破了诸如“总体安全”等的模糊性评判,使之量化,有利于计算机编程普及,又省去了传统层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)一致性检验繁琐问题。该法可以纵向得出评估因素的重要度。

系统分析法主要用来解决系统线性与非线性问题^[5],而且可对系统整体功能进行分析^[6]。这里创新

性地从系统论角度出发,结合层次分析法,综合考虑火电厂多种致灾维度的相互作用,最后构造出系统安全优势函数,可横向得出火电厂总体安全评估状况。

该模型的另一大创新点就是改进了传统模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation method, FCEM)。通过灰色分析法与检查表统计法相结合的方法,很好地解决了隶属度函数受主观干扰性强问题,该法可纵向得出各指标的落实度又可横向对火电厂进行总体安全评估,其结果可与上面两种方法的评估结果进行比较,相互验证,使评估结果更具说服力。

1 模型的建立

该模型由3种方法组成,IAHP既是后面两种方法的统计基础,又可单独得出各指标的权重。系统分析法从准则层与目标层的关系出发,构建出反映两者关系的系统安全优势函数。改进模糊综合评价法(improved fuzzy comprehensive evaluation method, IFCEM)则是通过统筹3个层结构的关系,全面系统地得出各个维度的评估状况。以上3者纵横比较,互为佐证。

1.1 改进层次分析法(IAHP)

计算的基本步骤如下^[7-9]:

1) 建立基于多种影响维度的递阶层次结构模型。划分目标层、准则层、指标层等,以此建立起层次分析图。

2) 邀请专家和业务精英确立权重指标,构造判断矩阵A。

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} = [A_{ij}]_{nn} \quad (1)$$

式中, A_{ij} 表示 A_i 与 A_j 对目标的影响值之比。

3) 计算重要度排序指数 r_i

$$r_i = \sum_{i=1}^n A_i, \text{取 } r_{\max} = \max(r_i),$$

$$r_{\min} = \min(r_i), k_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

4) 得出构造矩阵 $[B_{ij}]$

$$B_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}}(k_m - 1) + 1, r_i \gg r_j \\ \left[\frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}}(k_m - 1) + 1 \right]^{-1}, r_i < r_j \end{cases} \quad (2)$$

5) 求得传递矩阵 $[C_{ij}]$

$$C_{ij} = \lg B_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

6) 求 C_{ij} 的最优传递矩阵 $[D_{ij}]$

$$D_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (C_{ik} - C_{jk}) \quad (4)$$

7) 求 $[A_{ij}]$ 的拟优一致矩阵 $[A'_{ij}]$

$$A'_{ij} = 10^{D_{ij}} \quad (5)$$

由 A'_{ij} 得矩阵特征向量,按列归一 $t_{ij} = \frac{A'_{ij}}{\sum_{k=1}^n B'_{kj}}$,进

行层次单排序,得到层次总排序,进而得到各因素各层权重 $w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n)$,确定首要的目标影响因素。

1.2 系统功能论

设影响火电厂系统安全指标 X 的 n 个维度为 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$,系统整体功能 W ,那么火电厂系统安全优势函数的数学模型为

$$W = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i>j=1}^n \alpha_{ij} x_i x_j + \sum_{i>j>k=1}^n \alpha_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \alpha_{12\dots n} \prod_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i$ 为线性部分;其余高阶项为非线性部分,其中各项系数 α 为相应组合项的功能系数。在系统中某些因素是相互作用的,作用的效果不仅与这些因素各自发挥作用的大小有关,而且与配合的适度性有关,主要体现在各项系数 α 方面^[10]。

1.3 改进模糊综合评价法(IFCEM)

IFCEM较传统FCEM主要在隶属度函数的构建上进行了改进,抛弃了单纯根据模糊数学理论构造隶属函数方法,引进了检查表统计法,又与灰色分析法结合,两者隶属结果求均值,这样最大程度结合实际情况,限制了隶属函数主观因素干扰性。

IFCEM基本步骤如下^[11]:

1) 模糊综合评价指标的构建。确定评价对象元素域 $U = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p\}$,评价等级域 $V = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_q\}$ 。

2) 构建各个层权重向量。第1层次 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$,第2层次 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ 。

3) 进行单因素模糊评判。确定单一因素对评价元素的隶属程度,得到单因素评判集 R_m 。

①灰色分析法:组织专家评分并填表,由 m 个专家对指标 C_{ij} 得出评分 d_{ijm} 。根据评价标准的评分等级标准,拟用4个评价灰度。灰度序号 $e = 4, 3, 2,$

1,分别代表“差”、“中”、“良”、“优”。对应的灰度及白化权函数如下:

第1灰度“优”(e=1),设定灰度 $\otimes 1 \in [4, \infty]$,白化权函数为 f_1 ,同理第2、第3、第4类分别设定 $\otimes 2 \in [0, 3, 6]$, $\otimes 3 \in [0, 2, 4]$, $\otimes 4 \in [0, 1, 2]$,对应白化权函数分别为 f_2, f_3, f_4 ,表达式如下:

$$f_1(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{4} & d_{ijm} \in [0, 4] \\ 1 & d_{ijm} \in [4, \infty] \\ 0 & d_{ijm} \in (-\infty, 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$f_2(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{3} & d_{ijm} \in [0, 3] \\ \frac{(6-d_{ijm})}{3} & d_{ijm} \in [3, 6] \\ 0 & d_{ijm} \in [0, 6] \end{cases} \quad (8)$$

$$f_3(d_{ijm}) = \begin{cases} \frac{d_{ijm}}{2} & d_{ijm} \in [0, 2] \\ \frac{(6-d_{ijm})}{2} & d_{ijm} \in [2, 4] \\ 0 & d_{ijm} \in (-\infty, 0) \cup (4, \infty) \end{cases} \quad (9)$$

$$f_4(d_{ijm}) = \begin{cases} 2-d_{ijm} & d_{ijm} \in [1, 2] \\ 1 & d_{ijm} \in [0, 1] \\ 0 & d_{ijm} \in (-\infty, 0) \cup (2, \infty) \end{cases} \quad (10)$$

计算灰色评价系数,进而计算灰色评价隶属度 r_{ije} :

$$X_{ije} = \sum f_e(d_{ijm}), m \in [1, p] \quad (11)$$

$$X_{ij} = \sum X_{ije}, e \in [1, 4]$$

$$r_{ije} = \frac{X_{ije}}{X_{ij}}, r_{ije} = (r_{ij1}, r_{ij2}, r_{ij3}, r_{ij4}) \quad (12)$$

②检查表统计法:相对于传统检查表,给予每个检查项目以评价等级,然后求出每个评价等级的相对比例,即为权度,以此求出该项目隶属度,具体形式如表1。

表1 检查表隶属度统计法

序号	检查内容	评语等级			
		优	良	中	差
...
	r'_{ijm} 的隶属度	r'_{ij1}	r'_{ij2}	r'_{ij3}	r'_{ij4}

③单因素判断集 R_m

$$R_m = \left(\frac{r_{i1} + r'_{i1}}{2}, \frac{r_{i2} + r'_{i2}}{2}, \dots, \frac{r_{in} + r'_{in}}{2} \right)$$

$$= (r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn}) \quad (13)$$

将各因素评价集的隶属度组成矩阵:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

4)进行模糊综合评判

$$\tilde{B} = \tilde{A}\tilde{R} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

b_j 代表评判对象对备择集第 j 个元素的隶属程度。

5)求综合评价结果。 S 为综合评价值, C 为赋值向量,此处 $C = (4, 3, 2, 1)$,有 $S = BC^T$ 。

2 火电厂安全评估模型的实例应用

2.1 IAHP 分析过程

1)以里彦火电厂为例,其整体安全作为目标建立递阶层次结构^[12],如图1所示。

2)计算矩阵特征值。

①得出比较矩阵 $[A_{ij}]$,计算出重要性排序指数 r_i 。

$$[A_{ij}] = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 & B_3 \\ B_1 & 1 & 2 & 2 \\ B_2 & 0 & 1 & 0 \\ B_3 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} r_i, k_{\max} = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} = \frac{5}{1}$$

②求判断矩阵 $[B_{ij}]$

③求传递矩阵 $[C_{ij}]$

④求最优传递矩阵

⑤求拟优一致矩阵 $[A'_{ij}]$

$$[A'_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & 6.081 & 2.466 \\ 0.164 & 1 & 0.843 \\ 0.406 & 1.186 & 1 \end{bmatrix}$$

⑥归一化处理得最终特征向量

$$W_{A-B} = (0.655, 0.137, 0.208)$$

同理可得:

$$W_{B_1-C} = (0.455, 0.347, 0.108, 0.090)$$

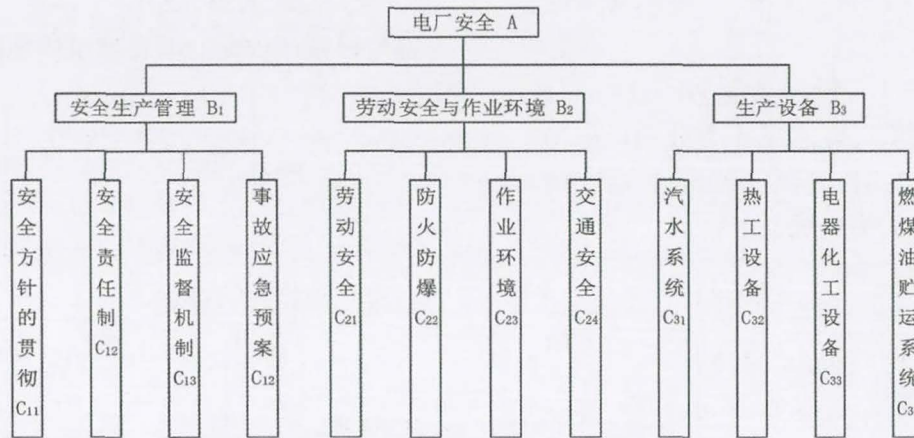


图1 火电厂安全评价递阶层次结构

表2 C层权重结果及排序

C	B ₁ = 0.655	B ₂ = 0.137	B ₃ = 0.208	C层目标权重	排序
C ₁₁	0.455	0	0	0.298 025	1
C ₁₂	0.347	0	0	0.227 285	2
C ₁₃	0.108	0	0	0.070 740	5
C ₁₄	0.090	0	0	0.058 950	6
C ₂₁	0	0.349	0	0.047 813	7
C ₂₂	0	0.349	0	0.047 813	7
C ₂₃	0	0.168	0	0.023 016	10
C ₂₄	0	0.134	0	0.018 358	11
C ₃₁	0	0	0.374	0.077 792	3
C ₃₂	0	0	0.088	0.018 304	12
C ₃₃	0	0	0.343	0.071 344	4
C ₃₄	0	0	0.195	0.043 264	9

$$W_{B_2-C} = (0.349, 0.349, 0.168, 0.134)$$

$$W_{B_3-C} = (0.374, 0.088, 0.343, 0.195)$$

3) 得到层次总排序

总排序如表2所示。

4) 结果分析讨论

火电厂决策者可根据表2层次总排序来确定防护工作的先后顺序。C₁₁权重排序最大,说明安全方针的贯彻是首要,在下一步工作应有针对性地加强;其次是C₁₂,说明安全责任制的重要性次之。

2.2 系统功能论应用

由IAHP纵向地对火电厂安全风险进行评估,得出安全方针的贯彻是风险预防的首要,下面计算系统在同一层次的横向功能扩展结构。表达式为

$$f_1 = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i$$

$$f_2 = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \beta_{ij} x_i x_j$$

⋮

$$f_n = \xi \prod_{i=1}^n x_i$$

式中,α_i、β_{ij}、ξ是相应组合项功能系数。得出系统安

全优势函数如下:

$$F(X) = f_1 + f_2 + \dots + f_n$$

$$= \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \beta_{ij} x_i x_j + \xi \prod_{i=1}^n x_i$$

准则层中B₁、B₂、B₃分别设为x₁、x₂、x₃。设f₁、f₂、f₃为准则层因素的线性组合、2项整合、3项整合,权重比为γ₁、γ₂、γ₃,那么γ₃ > γ₂ > γ₁,判断矩阵为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

得到W_f = [0.105, 0.258, 0.637]。

由上节得W_{f1} = W_{A-B} = (0.655, 0.137, 0.208)。

x₁、x₂、x₃两两整合对目标层贡献得f₂,令B₁、B₂整合为z₁(x₁x₂),B₁、B₃整合为z₂(x₁x₃),B₂、B₃整合为z₃(x₂x₃),易得权重关系z₁ > z₂ > z₃,矩阵F₂为

$$F_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

得到W_{f2} = [0.637, 0.258, 0.105]。

x_1, x_2, x_3 三项整合对系统目标贡献得 f_3 , 易得 $W_{f_2} = [1]$ 。系统的安全优势函数可得:

$$\begin{aligned} F(X) &= W_y(f_1, f_2, f_3) \\ &= 0.105f_1 + 0.258f_2 + 0.637f_3 \\ &= 0.105W_{f_1}x_i + 0.258W_{f_2}x_i x_j + 0.637W_{f_3} \prod_{i=1}^3 x_i \\ &= 0.0688x_1 + 0.0144x_2 + 0.0218x_3 + 0.1643x_1x_2 + \\ &0.0666x_1x_3 + 0.0271x_2x_3 + 0.637x_1x_2x_3 \end{aligned}$$

上式就是基于系统功能论的火电厂安全评价数学模型。可采用德尔菲法计算 x , 再计算 $F(X)$ 就能得出火电厂整体安全评估值。

对 x 进行赋值和计算, $x = 4, 3, 2, 1$ 分别定义为安全状态为优、良、中、差。 $F(x=4) = 45.316$, $F(x=3) = 19.836$, $F(x=2) = 6.338$, $F(x=1) = 1$, 得出指标等级标准见表3。

通过专家评分得该火电厂的 $x_1 = 3.015$, $x_2 = 2.974$, $x_3 = 3.138$, $F(x) = 20.598$, 总体来看, 该火电厂安全状况为优级。

表3 指标等级标准

指标等级	综合评价值
优	$19.836 \leq F \leq 45.316$
良	$6.338 \leq F \leq 19.836$
中	$1 \leq F \leq 6.338$
差	$0 \leq F \leq 1$

2.3 IFCEM 分析过程

1) 隶属矩阵的确立

表4 指标评分总表及灰色权向量

指标	专家										灰色评价权向量			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	r_{ij1}	r_{ij2}	r_{ij3}	r_{ij4}
C_{11}	3	2.5	4	2	3.5	2.5	2	2.5	2.5	2	0.3124	0.3693	0.3183	0
C_{12}	2	3.5	2	2.5	2	2.5	2.5	4	3	2.5	0.3124	0.3693	0.3183	0
C_{13}	2.5	3	2	3.5	2.5	3	2	2.5	2	4	0.3176	0.3765	0.3059	0
C_{14}	3.5	2	2.5	3	2.5	3.5	2	2.5	3	3	0.3023	0.3721	0.3256	0
C_{21}	2.5	3	2	2.5	2	2.5	3.5	2.5	3	2	0.2925	0.3748	0.3327	0
C_{22}	2.5	2	2.5	2.5	3	3	3	2	4	2	0.3075	0.3792	0.3133	0
C_{23}	3	3.5	4	2.5	2	2.5	3.5	3	3	2.5	0.3491	0.4024	0.2485	0
C_{24}	2	4	3	3	2.5	2.5	3	2.5	2	2	0.3075	0.3792	0.3133	0
C_{31}	2.5	3	2.5	2.5	3.5	2	4	2	2.5	3.5	0.3333	0.3810	0.2857	0
C_{32}	3	2.5	2	2.5	2	3	2.5	2.5	3	3.5	0.3028	0.3886	0.3086	0
C_{33}	2.5	2	2.5	3.5	2.5	2	3	2.5	2.5	2	0.2874	0.3678	0.3448	0
C_{34}	3.5	2	3	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	0.2978	0.3816	0.3206	0

①灰色评价法确立隶属度

选取10位专家进行评分如表4所示。对评价指标 C_{11} , 受评系统灰色评价系数 X_{11e} :

$$\begin{aligned} e=1, X_{111} &= f_1(3) + f_1(2.5) + \dots + f_1(2) \\ &= 0.75 + 0.625 + \dots + 0.5 = 6.625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e=2, X_{112} &= f_2(3) + f_2(2.5) + \dots + f_2(2) \\ &= 1 + 0.833 + \dots + 0.667 = 7.833 \end{aligned}$$

易得 $e=3$ 时, $X_{113} = 6.75$; $e=4$ 时, $X_{114} = 0$ 。

C_{11} 的总灰色评价数 $X_{11} = 6.625 + 7.833 + 6.75 = 21.208$ 。

灰色权向量及权矩阵 $r_{111} = 0.3124$, 同理得到:

$$r_{112} = 0.3693, r_{113} = 0.3183, r_{114} = 0.$$

得 C_{11} 灰色权向量 $r_{11} = (0.3124, 0.3693, 0.3183, 0)$, 同理得到其他受评对象灰色权向量, 结果见表4。

②检查表统计法确立隶属度, 隶属结果如表5所示。

由上可得, 安全监督体系 C_{13} 跟防火防爆 C_{22} 、交通安全 C_{24} 工作实际落实度需进一步加强。

③单因素评判集 R_m

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3737 & 0.35865 & 0.26765 & 0 \\ 0.3407 & 0.34265 & 0.31665 & 0 \\ 0.3073 & 0.35475 & 0.33795 & 0 \\ 0.36565 & 0.32905 & 0.3053 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = W_{B_1-C} R_1 = (0.354, 0.350, 0.296, 0)$$

$$\text{同理, } B_2 = (0.335, 0.368, 0.297, 0)$$

$$B_3 = (0.371, 0.346, 0.283, 0)$$

表5 检查表统计隶属度结果

指标	检查表评价权向量			
	r'_{ij1}	r'_{ij2}	r'_{ij3}	r'_{ij4}
C_{11}	0.435	0.348	0.217	0
C_{12}	0.369	0.316	0.315	0
C_{13}	0.297	0.333	0.370	0
C_{14}	0.429	0.286	0.285	0
C_{21}	0.333	0.455	0.212	0
C_{22}	0.353	0.294	0.353	0
C_{23}	0.474	0.316	0.210	0
C_{24}	0.304	0.304	0.392	0
C_{31}	0.417	0.333	0.250	0
C_{32}	0.368	0.316	0.316	0
C_{33}	0.449	0.310	0.241	0
C_{34}	0.471	0.286	0.243	0

得 $B = AR = (0.355, 0.352, 0.293, 0)$ 。

综合评判 $S = BC^T = 3.062$ 。该火电厂总体安全状况为优性指标。

同理,各准则层安全状况为 $S_i = B_i C^T$,各指标层 $S_{ij} = R_{ij} C^T$,得其他关系层评估指标如表6。

表6 准则层、指标层评估结果

评价层级	指标	分数	等级
准则层 B_i	S_1	3.058	优
	S_2	3.038	优
	S_3	3.088	优
指标层 C_{ij}	S_{11}	3.106	优
	S_{12}	3.024	优
	S_{13}	2.969	良
	S_{14}	3.060	优
	S_{21}	3.040	优
	S_{22}	2.997	良
	S_{23}	3.182	优
	S_{24}	2.953	良
	S_{31}	3.107	优
	S_{32}	3.023	优
	S_{33}	3.075	优
	S_{34}	3.102	优

3 结 语

该综合模型的建立可以从多个维度对火电厂安全状况进行评估。

1)IAHP纵向得出各个致灾因素的权度,这确定了优先管理的次序,可给管理部门决策提供重要依据。从权度数据结果来看,安全方针的贯彻及安全责任制的落实在重要性属前两位,在下一步工作中应有针对性地加强,这同时也说明了管理因素为整体火电厂安全的主导因素。

2)系统分析法能整体性地横向得出火电厂的安全状况,综合性地考虑了多种维度相互作用的协调性。尤其是系统安全优势函数模型的建立过程,在类似模型上具有很强的推广度。从实例来看,其结果基本符合火电厂的实际运行安全状况。

3)IFCEM的运用,尤其是灰色评价法与检查表统计法的结合,在一定程度上降低了评判的主观随意性,使结果具有很大的参考价值,该方法对各个指标层、准则层以及总体目标层的实际运行状况进行评估,管理者可以根据结果有针对性的整改。

4)另外系统分析法评估结果可以跟IFCEM的目标层评估结果做对比,以此相互验证;IAHP得出的权度排序跟IFCEM指标层评估结果对比,得出管理者应优先注意的致灾因素以及实际落实较薄弱的因素,这对下一步工作开展具有指导意义。

参考文献

- [1] 施泉生,詹必雄.模糊决策方法在电厂安全评价中的应用[J].华东电力,2003,31(12):11-13.
- [2] 夏晨曦.火电厂基于AHP安全评价方法的比较分析[J].能源与节能,2013(3):34-36.
- [3] 杨辉,戴世山,丁以斌.模糊综合评价法在火电厂安全生产中的应用[J].湖南有色金属,2010,26(5):50-52.
- [4] 施泉生,徐娜娜.层次灰色分析法在电厂安全评价中的应用[J].上海电力学院学报,2005,21(1):81-84.
- [5] 高隆昌.系统学原理[M].北京:科学出版社,2005.
- [6] 普明初,高隆昌.企业竞争优势及其系统分析[J].武汉经济管理干部学院学报,2002,16(2):36-39.
- [7] 谢进伸,于惠源.改进的层次分析法在事故分析中的应用[J].工业安全与防尘,1994(2):24-27.
- [8] 胡安鑫,谢英,苏欣.改进层次分析法在确定油库安全因素权重中的应用[J].石油化工安全技术,2005,21(5):13-15.
- [9] 周毅,赵晓刚.层次灰色评价法在油库火灾危险评估中的应用[J].油气储运,2012,31(9):697-700.
- [10] 袁小勃.基于系统功能论的工业安全评价机理研究[D].洛阳:河南科技大学,2007.
- [11] 杨松林.工程模糊论方法及其应用[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [12] 刘俭.火力发电电厂安全性评价(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2001.

作者简介:

闵令民(1988),硕士研究生,研究方向为电力工程造价。

(收稿日期:2018-05-06)