姚庆国,赵丽霞,张学睦.煤矿安全管理信息系统模糊综合评价模型[J].矿业安全与环保,2017,44(6):120-124.
文章编号:1008-4495(2017)06-0120-05

煤矿安全管理信息系统模糊综合评价模型

姚庆国[a],赵丽霞[b],张学睦[a]
(山东科技大学 a.经济管理学院; b.矿业与安全工程学院,山东 青岛 266590)

摘要:针对煤矿安全管理信息系统中定性指标难以量化,无法对系统做出合理评价的问题,采用模糊综合评价模型的方法对煤矿安全管理信息系统进行评价。首先运用层次分析法确定各级指标的权重,并建立相对于结果的评语集;然后通过调查法得到模糊综合评价矩阵,进而将各级指标的权重值与相对应的评价矩阵进行关系合成,得到各级评价向量;再将各向量做归一化处理得到指标量化后的评价结果。通过某一煤矿安全管理信息系统对该模型进行了实证分析,其结果表明,应用模糊综合评价模型能够实现指标由定性向定量的转化,使评价更加科学、合理。

关键词:煤矿;安全管理;管理信息系统;评价指标;模糊综合评价
中图分类号:X936 **文献标志码**:B **网络出版时间**:2017-12-07 17:07
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20171207.1707.024.html

Fuzzy Comprehensive Evaluation Model of Coal Mine Safety Management Information System

YAO Qingguo[a], *ZHAO Lixia*[b], *ZHANG Xuemu*[a]
(*a. College of Economics and Management; b. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China*)

Abstract: To counter the problems that the qualitative indices in the coal mine safety management information system are difficult to be quantified and a reasonable evaluation can not be made for the system, in this paper, fuzzy comprehensive evaluation model was used to evaluate the coal mine safety management information system. Analytic hierarchy process was used to determine the weight of each index and a comment set relative to the results was set up; by using the survey method, the fuzzy comprehensive evaluation matrix was obtained, the weight of each index and the corresponding evaluation matrix were synthesized, and the evaluation vector of each index was obtained; each vector was then normalized to get the evaluation results after the index quantization. Empirical analysis was carried out on this model by the safety management information system of a coal mine, and the results showed that the application of the fuzzy comprehensive evaluation model could realize the transformation of the indices from qualitative to quantitative and make the evaluation more scientific and reasonable.

Keywords: coal mine; safety management; management information system; evaluation index; fuzzy comprehensive evaluation

随着信息管理技术的发展,计算机管理已逐步代替了传统的人工管理[1-2]。通过建立高性能的安全管理信息系统将计算机管理应用于煤矿安全管理[3-4],对煤矿企业运营产生重要影响[5-6]。而目前有关的研究只关注了如何建立管理信息系统,并没有对信息系统加以评价以判断系统的优劣。笔者调研分析了煤矿企业安全管理信息系统应用情况,结合我国煤矿企业管理信息系统建设的特点,提出基于模糊综合评判模型的煤矿安全管理信息系统评价方法,对煤矿企业的安全管理信息系统进行评价,根

收稿日期:2017-04-09;2017-11-02 修订
基金项目:全国统计科学研究计划项目(2012LY108);青岛市软科学研究计划项目(16-5-2-(20)-chx);山东省社会科学规划研究项目(10CJGJ65);国家自然科学基金面上项目(51574157);山东省研究生教育创新计划项目(SDYC15055)
作者简介:姚庆国(1962—),男,山东邹平人,博士,教授,从事安全经济、安全管理方面的研究工作。Tel:0532-86057748,E-mail:yqg@sdkd.net.cn。
通讯作者:赵丽霞(1990—),女,山东德州人,硕士研究生,从事资源评价理论与方法方面的研究工作。E-mail:1146700754@qq.com。

据评价结果了解系统的绩效,并对影响评价等级的因素进行完善,使整个安全管理信息系统更能满足煤矿企业发展的需求[7-10]。

1 煤矿安全管理信息系统评价指标体系的构建

煤矿安全管理信息系统评价主要分为信息系统自身评价和信息系统效用评价。自身评价是指煤矿安全管理信息系统作为一个软件系统自身所具有的一些评价特征,包括开发技术水平和系统性能两个方面[11]。效用评价是对信息系统煤矿安全管理影响的评价,包括系统运用后的经济效益和管理战略两方面。笔者基于现场调研,结合煤矿企业的具体情况,本着科学性、系统性、普遍性与特殊性、独立性、可操作性5个原则选取评价指标,构建煤矿企业安全管理信息系统评价指标体系,如图1所示。

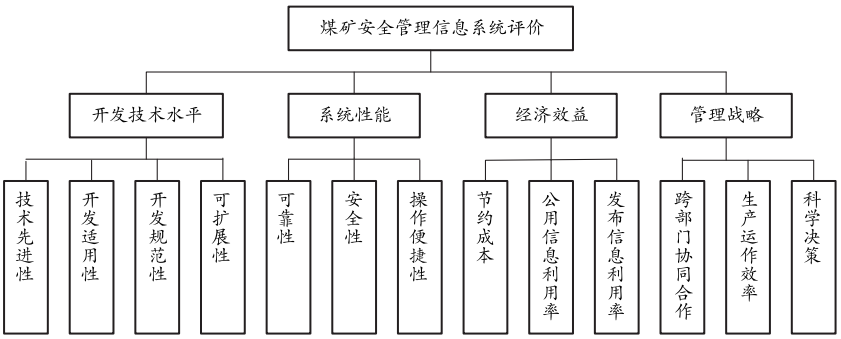

图1 煤矿安全管理信息系统评价指标体系

2 煤矿安全管理信息系统模糊综合评价模型

针对该安全管理信息系统的各指标的特点建立模糊综合评价模型[11-12]。煤矿安全管理信息系统是一个整体,系统中每一个指标对整个系统都有很大的影响,模糊综合评价模型就是应用模糊关系合成原理,将定性指标定量化,进行综合评价。

2.1 指标体系权重的确定

构造好内部独立的递阶层次指标体系,该体系将评价因素自顶向下不断具体化,把一级指标分为 k 个评价准则、二级指标细分为 m 个评价因素的两层结构,现将每一层按照以下方法设定权重系数。

1)采用层次分析法确定信息系统安全等级指标体系中的各级指标权重关系。根据已建立的指标层次结构,对同一层次的指标两两比较其相对重要性,得到相对权值的比值 $\alpha_{ij}=\frac{W_i}{W_j}$,满足:$\alpha_{ij}=\frac{1}{\alpha_{ji}}, i\neq j, i,j=1,2,\cdots,k, \alpha_{ij}>0$,成对比较矩阵的形式如表1所示。

表1 层次分析法因素成对比较矩阵

指标	E_1	E_2	E_3	E_4
E_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
E_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}
E_3	S_{31}	S_{32}	S_{33}	S_{34}
E_4	S_{41}	S_{42}	S_{43}	S_{44}

2)各因素权重的计算。计算判断矩阵每一行的乘积 $P_i=\prod_{j=1}^{k}\alpha_{ij}, i=1,2,\cdots,k, \overline{w}=\sqrt[k]{P_i}$,按照公式 $w_i=\frac{\overline{w_i}}{\sum_{i=1}^{k}\overline{w_i}}$,将 $\overline{w_i}$ 向量归一化,得到判断矩阵的特征向量 $\boldsymbol{w}=(w_1,w_2,\cdots,w_k)$。

3)判断矩阵的一致性检验。计算最大特征根:$\lambda_{\max}=\sum_{i=1}^{k}\frac{(\lambda W)_i}{nW_i}$;计算一致性指标:$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$;计算一致性比例:$CR=\frac{CI}{RI}$。一般认为,当 $CR<0.1$ 时,判断矩阵的一致性是可以接受的。

4)建立权重系数向量。满足一致性检验后,所得到的第一层和第二层的权重系数向量分别为 $\boldsymbol{W}$,$\boldsymbol{W}_i$,其中 $\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_i,\cdots,w_k)$,$w_i$ 为第 i 个指标的权重值,且 $0<w_i\leqslant 1$,$\sum_{i=1}^{k}w_i=1$,同理可计算 $\boldsymbol{W}_i$。

2.2 建立评语集

将所有可能的评价结果建成一个集合,建立评价集 $G=\{G_1(\text{很好}),G_2(\text{好}),G_3(\text{一般}),G_4(\text{差})\}$。

2.3 第一级 E_i 的评价

2.3.1 模糊评价矩阵

根据评语集,对每一个 $E_i(i=1,2,3,4)$ 进行综合评价。由于一级指标 E_i 下的指标 E_{ij} 的模糊性,通过统计调查法得到属于第 k 个评语 G_k 的程度 γ_{ijk},

$\gamma_{ijk}=W_{ijk}/W$，其中 W_{ijk} 为对 $E_{ij}(j=1,2,\cdots,n)$ 作出的第 k 个评语的人数，W 为参加评选的总人数，从而得到模糊评价矩阵 $\boldsymbol{R}_i$：

$$\boldsymbol{R}_i=\begin{bmatrix}\gamma_{i11} & \gamma_{i12} & \gamma_{i13} & \gamma_{i14}\\ \gamma_{i21} & \gamma_{i22} & \gamma_{i23} & \gamma_{i24}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ \gamma_{in1} & \gamma_{in2} & \gamma_{in3} & \gamma_{in4}\end{bmatrix}$$

式中 n 表示 E_i 中子指标的个数。

若 $\sum_{k=1}^{4}\gamma_{ijk}\neq 1$，则进行归一化处理[13-16]。

2.3.2 一级评价向量

令 E_i 的一级评价向量为 $\boldsymbol{B}_i(i=1,2,3,4)$，则：$\boldsymbol{B}_i=A_i\circ R_i=(b_{i1},b_{i2},b_{i3},b_{i4})$，其中 $i=1,2,3,4$，“$\circ$”为关系合成算子。

对管理系统的综合评价，应综合考虑以上提出的指标，故选用加权平均 $M(\cdot,+)$，利用 $M(\cdot,+)$ 算子得到：$b_{ik}=\sum_{j=1}^{n}\alpha_{ij}\gamma_{ijk}$。

2.4 第二级 E 评价

将每个 E_i 看成一个指标，$E=\{E_1,E_2,E_3,E_4\}$，E 的单指标评价矩阵为：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix}B_1\\ B_2\\ B_3\\ B_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14}\\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24}\\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34}\\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44}\end{bmatrix}$$

令 E 的二级评价向量为 B，可以得到二级评价向量：$\boldsymbol{B}=A\circ\boldsymbol{R}=\{b_1,b_2,b_3,b_4\}$，其中：$b_k=\sum_{i=1}^{4}\alpha_i b_{ik},k=1,2,3,4$。

综合评价模型确定以后，确定系统总得分，即 $F=\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}$（其中 F 为系统总得分；$\boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}$ 为相应因素的级分）。

3 应用实例

应用上述模糊综合评价模型对某煤矿企业的煤矿安全管理信息系统进行评价，邀请10位成员参与评价打分，目的是评估出系统的合理程度。

3.1 确定评价指标

煤矿安全信息管理系统综合评价目标是 $E=(E_1,E_2,E_3,E_4)$，其中 E_1 是开发技术水平，E_2 是系统性能，E_3 是经济效益，E_4 是管理战略。

3.2 建立评语集

设评价集为 $G=\{G_1(\text{很好}),G_2(\text{好}),G_3(\text{一般}),G_4(\text{差})\}$，按照10分制，对应的评价等级集合：$V=(10,8,6,4)$，见表2。

表2 评语集

分值范围	8~10分	6~8分	4~6分	4分以下
评级	很好	好	一般	差

3.3 指标体系权重的确定

各层指标权重的计算均按前文所述的方法来计算，以第一层指标权重的计算为例，将系统的评价分为4个等级，评价成员对各因素的评价结果如表3所示。

表3 信息管理系统等级评价

因素		信息管理系统各评价等级			
		很好	好	一般	差
E_1	E_{11}	0.1	0.5	0.3	0.1
	E_{12}	0.4	0.5	0.1	0
	E_{13}	0.3	0.4	0.2	0.1
	E_{14}	0.2	0.4	0.3	0.1
E_2	E_{21}	0.1	0.6	0.2	0.1
	E_{22}	0.3	0.4	0.2	0.1
	E_{23}	0.2	0.5	0.3	0
E_3	E_{31}	0.3	0.4	0.2	0.1
	E_{32}	0.4	0.4	0.1	0.1
	E_{33}	0.1	0.6	0.2	0.1
E_4	E_{41}	0.2	0.6	0.1	0.1
	E_{42}	0.3	0.5	0.1	0.1
	E_{43}	0.4	0.5	0.1	0

由于各指标因素对等级对象所起的作用不一样，根据各层指标对等级的重要性，计算指标的权重如表4所示。

表4 层次分析法求解权重

$\overline{w_i}$	w_i	权重向量
1.678	0.281 2	0.281
1.216	0.213 3	0.213
1.451	0.243 8	0.244
1.582	0.261 9	0.262

由公式 $\lambda_{\max}=\sum_{i=1}^{k}\frac{(\lambda W)_i}{nW_i}$，代入数据可求得该判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}=5.806$，其中 λ 是由调查法所确定的量化打分系数。按照公式 $w_i=\overline{w_i}/\sum_{i=1}^{k}\overline{w_i}$ 将 W_i 归一化，得到对应的特征向量，然后对得到的成对比较矩阵做一致性检验，满足一致性检测要求。因

此，$\boldsymbol{W}$ 即为评价的权重向量，即第一层指标权重为：$A=(0.281,0.213,0.244,0.262)$；按同样的方法计算各级指标的权重如下：$A_1=(0.264,0.267,0.231,0.238)$；$A_2=(0.316,0.347,0.337)$；$A_3=(0.325,0.351,0.324)$；$A_4=(0.330,0.341,0.329)$。

3.4 一级指标的评价

由表2可知单因素矩阵为：

$$\boldsymbol{R}_1=\begin{bmatrix}0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1\\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0\\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1\\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1\end{bmatrix}$$

计算开发技术水平综合评价矩阵 $\boldsymbol{B}_1$：

$$\boldsymbol{B}_1=A_1\circ\boldsymbol{R}_1=(0.264,0.267,0.231,0.238)\circ\begin{bmatrix}0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1\\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0\\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1\\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1\end{bmatrix}=$$

$$(0.169\,2,0.422\,6,0.292\,9,0.095\,2)$$

利用相同的方法对其他二级指标进行计算，可得：

系统性能综合评价矩阵 $\boldsymbol{B}_2=(0.303\,3,0.450\,3,0.260\,3,0.056\,1)$

经济效益综合评价矩阵 $\boldsymbol{B}_3=(0.285\,6,0.445\,1,0.265\,4,0.103\,9)$

管理战略综合评价矩阵 $\boldsymbol{B}_4=(0.283\,3,0.489\,5,0.266\,6,0.120\,6)$

3.5 对二级 E 进行评价

将每个 E_i 看成一个指标，$E=\{E_1,E_2,E_3,E_4\}$，根据以上计算结果可得煤矿安全管理信息系统 E 的单指标评价矩阵为：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix}B_1\\ B_2\\ B_3\\ B_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.169\,2 & 0.422\,6 & 0.292\,9 & 0.095\,2\\ 0.303\,3 & 0.450\,3 & 0.260\,3 & 0.056\,1\\ 0.285\,6 & 0.445\,1 & 0.265\,4 & 0.103\,9\\ 0.283\,3 & 0.489\,5 & 0.266\,6 & 0.120\,6\end{bmatrix}$$

令 E 的二级指标评价向量为 $\boldsymbol{B}$，通过计算得：

$$\boldsymbol{B}=A\circ\boldsymbol{R}=(0.281,0.213,0.244,0.262)\circ\begin{bmatrix}0.169\,2 & 0.422\,6 & 0.292\,9 & 0.095\,2\\ 0.303\,3 & 0.450\,3 & 0.260\,3 & 0.056\,1\\ 0.285\,6 & 0.445\,1 & 0.265\,4 & 0.103\,9\\ 0.283\,3 & 0.489\,5 & 0.266\,6 & 0.120\,6\end{bmatrix}=$$

$$(0.271\,355,0.435\,902,0.217\,115,0.095\,627)$$

G_1,G_2,G_3,G_4 对应的分数重心为10，8，6，4，通过计算可知该煤矿安全管理信息系统综合得分为：

$$F=\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}=(0.271\,355,0.435\,902,0.217\,115,0.095\,627)\cdot\begin{pmatrix}10\\ 8\\ 6\\ 4\end{pmatrix}=7.885\,964$$

由同样的方法可计算出各一级指标的得分，即开发技术水平为7.211，系统性能为8.421 6，经济效益为8.104 8，管理战略为8.271，与评语集（见表2）进行对比可知，该煤矿安全管理信息系统的最终评语为“好”。说明该系统的使用还可以达到满意的效果，但也显示了此系统有一些不足的方面。指标得分中除了开发技术水平为7.211，其他3个一级指标得分均在8分以上，说明该煤矿安全管理信息系统开发技术水平没有达到“很好”的水平，因此，在技术先进性方面有待于创新。为满足煤矿企业在安全方面管理的要求，对系统要及时更新，以保证管理的科学性。煤矿企业应同系统提供商沟通，促使其在开发技术水平的4个方面再加以升级，以提高煤矿安全管理信息系统的综合评价值，提高系统性能，满足煤矿企业未来的发展需求。

4 结语

1）借鉴前人在安全评价指标方面的研究成果，在对煤矿安全管理信息系统状况调查、分析的基础上，结合实际情况，建立了系统安全现状的多级评价指标体系。

2）确定了各级指标的权重，较好地保证了权重系数的客观性和准确性。通过对模型的求解，可以准确了解各因素对信息系统影响的重要程度，为煤矿企业的安全管理工作提出了重点，对实际工作有一定的参考价值。

3）应用模糊综合评价法，可以全面考虑影响系统安全的各种因素，比较客观合理地对煤矿安全管理信息系统的安全性进行综合评价，便于煤矿企业根据评价结果采取相应的措施，提高安全管理水平。

参考文献：

[1] 马金山，姬长生. 煤矿安全管理效率研究[J]. 中国安全科学学报，2014，24(11)：3-9.

[2] 李俊. 煤矿安全管理要素探讨[J]. 中国安全生产科学技术，2011，7(2)：168-172.

[3] 闫海英，黄波. 现代科学化的煤矿安全管理模式探讨[J]. 矿业安全与环保，2009，36(1)：81-83.

[4] 李新娟. 中美煤矿安全管理体制机制的比较与分析[J]. 矿业安全与环保,2012,39(5):93-96.
[5] 郭恒庆. 煤矿安全管理信息系统开发与应用研究[D]. 成都:电子科技大学, 2013.
[6] 刘飞,张立涛. 管理信息系统特性分析[J]. 中国管理信息化, 2010, 13(1):64-66.
[7] 张志杰. 基于分层结构的管理信息系统架构设计[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(10):146-149.
[8] 马丽丽, 田淑芳, 王娜. 基于层次分析与模糊数学综合评判法的矿区生态环境评价[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3):165-170.
[9] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D]. 成都:西南石油大学, 2011.
[10] 许满贵, 成连平, 王伟峰, 等. 煤矿安全投入模糊综合评价模型及应用[J]. 煤矿安全, 2010 (11):123-126.
[11] 郑立新. 安全管理信息系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2013.
[12] 李琰, 史恭龙. 中小型煤矿安全库存模糊综合评价模型[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(4):489-492.
[13] 闫书丽, 刘思峰, 方志耕, 等. 区间灰数群决策中决策者和属性权重确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(9):2372-2378.
[14] NIETO-MOROTEA A, RUZ-VILA F. A fuzzy approach to construction project risk assessment[J]. International Journal of Project Management, 2011,9(2): 220-231.
[15] SUN X D, NING Y C, CHEN H M. Project risk evaluation method based on fuzzy linguistic value[C]. 2012IEEE5th International Conference on Management Engineering & Technology of Statistics, 2012.
[16] YU S, PEI W . Risk driven dynamic test based on fuzzy comprehensive judgment theory [J]. Journal of Communication and Computer , 2010 , 7(6):1-5.

(责任编辑:陈玉涛)

(上接第119页)

2)多指标的模糊数学综合评价模型还具有广泛的适用性,其不仅可以为煤矿安全管理决策提供依据,而且在煤层自燃、巷道开拓成本、瓦斯危险区域预测、煤矿突水水源判别等实际问题中有着较好的应用前景。

参考文献:

[1] 刘跃进. 国家安全学[M]. 北京: 中国政法大学出版社,2004.
[2] 王旭, 霍德利. 模糊综合评价法在煤矿安全评价中的应用[J]. 中国矿业, 2008,17(5):75-77.
[3] 云小鹏. 基于模糊综合评价理论的煤矿安全评价研究[J]. 煤炭技术, 2016,35(9):161-163.
[4] 邹义怀, 江成玉, 李春辉, 等. 基于层次分析法和模糊数学的煤矿安全生产评价[J]. 工矿自动化, 2010(10):39-41.
[5] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社,2006.
[6] 张津嘉, 许开立, 王延瞳, 等. 特别重大瓦斯爆炸事故致因机制研究[J]. 中国安全科学学报, 2017,27(1):48-52.
[7] 孙继平, 钱晓红. 2004—2015年全国煤矿事故分析[J]. 工矿自动化, 2016,42(11):1-4.
[8] 陈娟, 赵耀江. 近十年来我国煤矿事故统计分析及启示[J]. 煤炭工程, 2012(3):137-138.
[9] 黄冬梅, 谭云亮, 常西坤, 等. 基于危险源理论的矿井瓦斯事故灰色—模糊综合评价[J]. 矿业安全与环保, 2016,43(1):41-44.
[10] 周厚权. 关于煤层瓦斯含量有关问题的分析与探讨[J]. 矿业安全与环保, 2014,41(5):90-92.
[11] 周琳, 栗继祖. 关于煤矿安全评价中危险源辨识的研究[J]. 矿业安全与环保, 2014,41(5):116-119.
[12] 曹树刚, 王艳平, 刘延保, 等. 基于危险源理论的煤矿瓦斯爆炸风险评价模型[J]. 煤炭学报, 2006,31(4):470-474.
[13] 胡社荣, 张渝, 岳婷, 等. 华北板块南缘北东地区构造特征及矿井瓦斯主控因素[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(8):29-33.
[14] 韩剑. 平煤十三矿煤与瓦斯赋存规律与构造控制作用研究[D]. 焦作:河南理工大学, 2011.
[15] 张渝, 魏云松, 黄盼盼, 等. 基于因子—系统聚类的煤与瓦斯突出危险性分析——以平顶山十三矿为例[J]. 山东工业技术,2015,37(18):285-286.
[16] 张建国, 康国峰, 吕有厂, 等. 中国平煤神马集团煤矿瓦斯防治"十二五"规划[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012.

(责任编辑:陈玉涛)