

文章编号: 1671-251X(2010)08-0037-04

基于三角模糊数的矿山作业人员 安全生产综合素质的分析

李春辉¹, 陈日辉¹, 吕力行¹, 苏恒瑜²

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 贵州省矿山安全科学研究院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 介绍了三角模糊数的基本理论与方法, 建立了基于三角模糊数的矿山作业人员 安全生产综合素质的评价指标体系; 应用该评价指标体系 定量综合地评价矿山作业人员 安全生产综合素质, 得出矿山作业人员 安全生产综合素质评价指标中各因素的相对权重大小为 $W'_1 > W'_4 > W'_7 > W'_6 > W'_5 > W'_2 > W'_3$, 即 安全责任心和作业纠错技能是体现矿山作业人员 安全生产综合素质最为重要的指标。该方法克服了层次分析法的局限性, 符合人的认识模糊性, 能有效降低 个人的主观片面性, 提高了评价指标权重的可信度。

关键词: 矿山; 安全生产; 人员综合素质; 综合评价; 指标体系; 三角模糊数

中图分类号: TD672/76

文献标识码: A

Analysis of Safety Production Comprehensive Quality of Miner Based on Triangular Fuzzy Number

LI Chunhui¹, CHEN Rihui¹, LÜ Lixing¹, SU Hengyu²

(1. Faculty of Land Resource Engineering of Kunming University of Science and Technology,
Kunming 650093, China.

2. Guizhou Mine Safety Scientific Research Institute, Guiyang 550025, China)

Abstract: The paper introduced the basic theory and method of triangular fuzzy number, and established an evaluation indexes system of safety production comprehensive quality of miner based on triangular fuzzy number. By applying the evaluation indexes system to evaluate safety production comprehensive quality of miner quantitatively and comprehensively, the relative weights of various factors of evaluation indexes of safety production comprehensive quality of miner were known as $W'_1 > W'_4 > W'_7 > W'_6 > W'_5 > W'_2 > W'_3$, namely that the security responsibility and correcting skills of miners were the most important indexes. The method overcomes the limitation of the method named analytic hierarchy process, and accords with fuzziness of human knowledge, which can reduce personal subjective unilateralism and enhance believability of weight of evaluation indexes.

Key words: mine, safety production, comprehensive quality of personnel, comprehensive evaluation, index system, triangular fuzzy number

0 引言

近年来, 矿山安全生产事故不断发生, 给矿山企业带来了严重的经济损失, 严重危及矿工的生命安全, 然而引起安全事故的原因主要是人为因素。因

收稿日期: 2010-04-21

作者简介: 李春辉(1984-), 男, 陕西凤翔人, 昆明理工大学国土资源工程学院在读硕士研究生, 研究方向为通风安全, 已发表文章多篇。E-mail: 61814392@163.com

此, 矿山作业人员的安全生产素质与矿山企业的安全生产事故息息相关, 提高矿山作业人员的安全生产素质对矿山企业的安全生产起着重要的作用。为确保作业的安全, 必须对矿山作业人员的安全生产素质进行全面、合理、客观的评价^[1-3]。

美国学者 T. L. SAATY 提出的层次分析法 (AHP) 是一种定性和定量相结合的实用决策方法, 在社会各个领域得到了广泛的应用。层次分析法作为一种评价方法, 在构造判断矩阵时未能考虑人的判断的模糊性和不确定性, 同时在一致性检验时过于复杂, 实用程度不高^[4]。而采用三角模糊数的综合评价方法克服了通过层次分析法获得权重时人为因素影响大的缺陷, 很好地解决了模糊信息的处理和计算问题。本文应用三角模糊数的综合评价方法, 对影响矿山作业人员安全生产素质的众多因素进行分析, 能更好地反映主观判断的模糊性, 克服层次分析法的局限性, 具有可靠的科学性和现实意义。

1 三角模糊数综合评价法基本原理及步骤

1.1 三角模糊数的定义及运算法则

若模糊数 A 可由 $(l \quad m \quad u)$ 决定, 且隶属度函数值为

$$\mu_A(X) = \begin{cases} \frac{1}{m-l}x - \frac{1}{m-l} & x \in [l \quad m] \\ \frac{1}{m-u}x - \frac{u}{m-u} & x \in [m \quad u] \\ 0 & x < l \text{ 或 } x \geq u \end{cases}$$

则称 A 为三角模糊数, 记 $A = (l \quad m \quad u)$, 其中 $l \leq m \leq u$, l 和 u 分别表示 A 所支撑的下界和上界, m 为 A 的中值。设 $\delta = u - l$, δ 越大表示模糊程度越高, δ 越小表示模糊程度越低, $\delta = 0$ 表示判断是非模糊的。

在应用三角模糊数的综合评价方法中, 为了由模糊判断矩阵求出各因素的权重向量, 先定义几个三角模糊数的广义运算及可能度的概念。

设有 2 个三角模糊数:

$$a_{ij} = (l_{ij} \quad m_{ij} \quad u_{ij}), \quad a_{kj} = (l_{kj} \quad m_{kj} \quad u_{kj}) \quad (1)$$

式中: l_{ij} 、 m_{ij} 、 u_{ij} 分别表示因素 i 和 j 相对于上一层因素进行比较时, 因素 i 相对于因素 j 重要程度的最悲观估计、最可能估计和最乐观估计; l_{kj} 、 m_{kj} 、 u_{kj} 同理。

广义加法 \oplus :

$$a_{ij} \oplus a_{kj} = (l_{ij} + l_{kj} \quad m_{ij} + m_{kj} \quad u_{ij} + u_{kj}) \quad (2)$$

广义乘法 \otimes :

$$a_{ij} \otimes a_{kj} = (l_{ij} \times l_{kj} \quad m_{ij} \times m_{kj} \quad u_{ij} \times u_{kj}) \quad (3)$$

倒数运算:

$$a_{ij}^{-1} = (l_{ij} \quad m_{ij} \quad u_{ij})^{-1} = \left(\frac{1}{u_{ij}} \quad \frac{1}{m_{ij}} \quad \frac{1}{l_{ij}} \right) \quad (4)$$

$a_{ij} \geq a_{kj}$ 的可能性程度 $K(a_{ij} \geq a_{kj})$:

$$K(a_{ij} \geq a_{kj}) = \text{hgt}(a_{ij} \cap a_{kj}) = \left[\frac{l_{kj} - u_{ij}}{(m_{ij} - u_{ij}) - (m_{kj} - l_{kj})} \wedge 1 \right] \quad (5)$$

三角模糊数 a_{ij} 大于 m 个三角模糊数 a_{kj} ($k \neq i$, $k = 1, 2, \dots, m$) 的可能性程度定义为

$$K(a_{ij} \geq a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}) = \left[\min_{\substack{k=1, 2, \dots, m \\ k \neq i}} \right] (a_{ij} \geq a_{kj}) \quad (6)$$

现设因素集 $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 三角模糊数 a_{ij} 表示经两两比较判断所得的因素 x_i 比因素 x_j 重要的模糊判断程度, 即可得到模糊判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$), 则对因素集 X 上的权重模糊集的计算如下所示。

因素 x_i 对其它因素的“模糊判断程度”定义为

$$m(x_i) = a_{i1} \oplus a_{i2} \oplus \dots \oplus a_{in} \triangleq \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

全部因素的“总模糊判断程度”定义为

$$m(X) = m(x_1) \oplus m(x_2) \oplus \dots \oplus m(x_n) \triangleq \sum_{i=1}^n m(x_i) \quad (8)$$

因素 x_i 对其它因素的模糊综合程度为

$$S_i = m(x_i) \otimes m(X)^{-1} \quad (9)$$

x_i 与诸因素相比综合重要程度为

$$d(x_i) = K(S_i \geq S_1, S_2, \dots, S_n) = \left[\min_{\substack{k=1, 2, \dots, n \\ k \neq i}} \right] K(S_i \geq S_k) \quad (10)$$

故可得因素集 X 中各个因素的权重模糊向量 W :

$$W = (d(x_1), d(x_2), \dots, d(x_n)) \quad (11)$$

经归一化处理后, 则因素集 X 上的权重模糊集为 W' :

$$W' = (d(x_1)', d(x_2)', \dots, d(x_n)') \quad (12)$$

1.2 三角模糊综合评判的步骤

根据三角模糊综合评判的基本原理, 在实际应用中可分为以下几个步骤: (1) 根据评价问题的总目标, 建立系统的递阶层次结构图; (2) 由专家对评价指标的各个因素进行两两比较, 并用三角模糊数构造模糊判断矩阵; (3) 应用三角模糊数的基本原

理计算出各模糊判断矩阵中各因素相对于其它因素的模糊综合程度;(4) 分别比较第 x_i 个因素重要于其它各因素的综合重要程度, 经过归一化处理得到相对于总目标的模糊权重。

2 矿山作业人员安全生产综合素质的分析

2.1 评价指标递阶层次结构图的建立

矿山作业人员的安全生产素质与矿山企业的安全生产息息相关, 合理准确地选取评价矿山作业人员的安全生产素质指标是进行综合评价的基础。本文在调查、分析基础上建立的关于矿山作业人员安全生产综合素质的评价指标由以下因素组成: 安全责任心、所受安全教育程度、文化程度、作业纠错技能、监测故障技能、一般故障排除技能、事故临界状态的辨识及应急操作技能, 如图 1 所示。

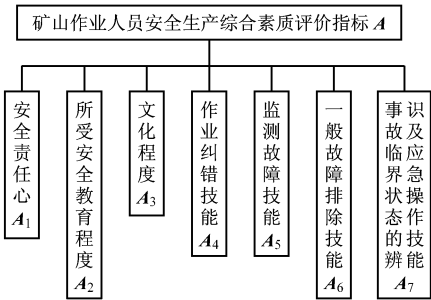


图 1 矿山作业人员安全生产综合素质评价指标体系结构

2.2 建立三角模糊判断矩阵

构建三角模糊判断矩阵时, 专家首先依据各个因素相对于目标层的重要性程度通过两两比较的方式确定因素的相对重要性, 将评价结果用三角模糊数 $A = (l_{ij} \quad m_{ij} \quad u_{ij})$ 来表示因素 x_i 相对于 x_j 的重要程度。 l_{ij} 、 m_{ij} 、 u_{ij} 分别表示因素 x_i 相对于 x_j 的重要度的最悲观估计、最可能估计和最乐观估计。本文采用表 1 中的数值来描述各因素的重要程度^[5]。

表 1 重要程度三角模糊数判断准则

重要程度的语言含义	三角模糊数取值范围	三角模糊数倒数取值范围
表示 2 个元素相比, 恰好等于	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
表示 2 个元素相比, 具有同等重要性	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
表示 2 个元素相比, 一个元素比另一个元素稍微重要	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
表示 2 个元素相比, 一个元素比另一个元素比较重要	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
表示 2 个元素相比, 一个元素比另一个元素相当重要	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
表示 2 个元素相比, 一个元素比另一个元素绝对重要	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

根据表 1 中重要程度三角模糊数判断准则, 对矿山作业人员的安全生产综合素质评价指标中的

各个因素进行两两比较, 得到一级指标对于总目标的三角模糊判断矩阵, 如表 2 所示。

表 2 作业人员安全生产综合素质权重表

A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
A ₁	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)
A ₂	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 2/3, 1)
A ₃	(1/3, 2/5, 1/2)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)
A ₄	(1/2, 2/3, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)
A ₅	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1, 3/2, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 2/3, 1)
A ₆	(1/2, 2/3, 1)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)
A ₇	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 3/2, 2)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)

2.3 计算模糊综合重要程度值

根据以上三角模糊判断矩阵, 应用式(9)可以分别计算各个元素的模糊综合重要程度值 S_i 。

$$S_{A_1} = m(x_1) \odot m(X)^{-1} = (9.5, 12.5, 15.5) \odot (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.129, 0.224, 0.370)$$

$$S_{A_2} = m(x_2) \odot m(X)^{-1} = (4.30, 5.83, 7.83) \odot (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.059, 0.105, 0.187)$$

$$S_{A_3} = m(x_3) \odot m(X)^{-1} = (3.53, 4.23, 5.50) \odot (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.048, 0.076, 0.131)$$

$$S_{A_4} = m(x_4) \otimes m(X)^{-1} = (8.50, 11.17, 14) \otimes (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.116, 0.200, 0.334)$$

$$S_{A_5} = m(x_5) \otimes m(X)^{-1} = (4.47, 6.17, 8.83) \otimes (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.061, 0.111, 0.211)$$

$$S_{A_6} = m(x_6) \otimes m(X)^{-1} = (5.57, 7.67, 10.67) \otimes (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.076, 0.138, 0.254)$$

$$S_{A_7} = m(x_7) \otimes m(X)^{-1} = (6.07, 8.17, 11.17) \otimes (1/73.5, 1/55.74, 1/41.94) = (0.083, 0.147, 0.266)$$

2.4 计算各因素的相对权重

根据式(5)有

$$(1) K(S_{A_1} \geq S_{A_2}) = 1.000, K(S_{A_1} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_1} \geq S_{A_4}) = 1.000, K(S_{A_1} \geq S_{A_5}) = 1.000, K(S_{A_1} \geq S_{A_6}) = 1.000, K(S_{A_1} \geq S_{A_7}) = 1.000.$$

$$(2) K(S_{A_2} \geq S_{A_1}) = 0.328, K(S_{A_2} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_2} \geq S_{A_4}) = 0.428, K(S_{A_2} \geq S_{A_5}) = 0.955, K(S_{A_2} \geq S_{A_6}) = 0.771, K(S_{A_2} \geq S_{A_7}) = 0.712.$$

$$(3) K(S_{A_3} \geq S_{A_1}) = 0.013, K(S_{A_3} \geq S_{A_2}) = 0.713, K(S_{A_3} \geq S_{A_4}) = 0.108, K(S_{A_3} \geq S_{A_5}) = 0.667, K(S_{A_3} \geq S_{A_6}) = 0.470, K(S_{A_3} \geq S_{A_7}) = 0.403.$$

$$(4) K(S_{A_4} \geq S_{A_1}) = 0.895, K(S_{A_4} \geq S_{A_2}) = 1.000, K(S_{A_4} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_4} \geq S_{A_5}) = 1.000, K(S_{A_4} \geq S_{A_6}) = 1.000, K(S_{A_4} \geq S_{A_7}) = 1.000.$$

$$(5) K(S_{A_5} \geq S_{A_1}) = 0.421, K(S_{A_5} \geq S_{A_2}) = 1.000, K(S_{A_5} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_5} \geq S_{A_4}) = 0.516, K(S_{A_5} \geq S_{A_6}) = 0.833, K(S_{A_5} \geq S_{A_7}) = 0.780.$$

$$(6) K(S_{A_6} \geq S_{A_1}) = 0.592, K(S_{A_6} \geq S_{A_2}) = 1.000, K(S_{A_6} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_6} \geq S_{A_4}) = 0.690, K(S_{A_6} \geq S_{A_5}) = 1.000, K(S_{A_6} \geq S_{A_7}) = 0.950.$$

$$(7) K(S_{A_7} \geq S_{A_1}) = 0.640, K(S_{A_7} \geq S_{A_2}) = 1.000, K(S_{A_7} \geq S_{A_3}) = 1.000, K(S_{A_7} \geq S_{A_4}) = 0.739, K(S_{A_7} \geq S_{A_5}) = 1.000, K(S_{A_7} \geq S_{A_6}) = 1.000.$$

根据式(10)可得 $W = (d(x_1), d(x_2), \dots, d(x_n)) = (1.000, 0.328, 0.013, 0.895, 0.421,$

$0.592, 0.640)$, 经过归一化处理后得到各个因素的相对权重 $W' = (0.257, 0.084, 0.003, 0.230, 0.108, 0.152, 0.165)$ 。

由以上结果可知, 矿山作业人员安全生产综合素质评价指标中各因素的相对权重大小为 $W'_1 > W'_4 > W'_7 > W'_6 > W'_5 > W'_2 > W'_3$, 即说明安全责任心和作业纠错技能是体现矿山作业人员安全生产综合素质最为重要的指标。矿山企业可以根据对其作业人员的安全生产综合素质的评价结果掌握作业人员的安全生产综合素质水平, 以便进行相应的教育培训, 提高作业人员的安全生产综合素质, 保证矿山企业的安全生产。

3 结语

(1) 应用三角模糊数的综合评价方法, 对矿山作业人员的安全生产综合素质进行了分析, 为矿山作业人员安全生产综合素质的评价提供了一种新的方法, 克服了层次分析法的局限性, 该方法符合人的认识模糊性, 能够有效降低个人主观片面性, 提高评价指标权重的可信度。

(2) 该方法简单易行, 具有很强的实用性, 采用了三角模糊数的形式对评价指标进行打分, 充分考虑了人为因素的模糊性, 使计算结果更符合实际。通过评价结果不但可以了解作业人员的安全生产素质, 而且有利于矿山企业掌握作业人员的安全生产素质水平, 以便采取有效措施, 提高作业人员的安全生产综合素质。

(3) 由于影响矿山作业人员安全生产综合素质的因素较多, 而且各因素可能存在相互影响及制约, 因此, 评价指标模型有待于进一步探讨, 不同的矿山企业在选择评价指标时应根据实际情况进行调整。

参考文献:

- [1] 肖辞源. 工程模糊系统[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 张景林, 催国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [3] 曾祥纪, 蒋惠园. 基于三角模糊数的综合评价法在互通立交方案选取中的应用[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008, 32(3): 544-545.
- [4] 徐杨, 周延, 孙鑫, 等. 基于模糊层次分析法的矿井安全综合评价[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(5): 147-149.
- [5] 李成华, 李慧民, 云小红. 基于模糊层次分析法的建筑安全管理绩效评价研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(2): 208-210.