

文章编号:1000-582X(2010)05-145-06

模糊综合评判在矿山地质环境中的应用

唐建新,徐宁霞,康钦容

(重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400044)

摘要:针对丘陵山区复杂的地质情况,构建了矿山地质环境影响程度的模糊综合评判指标体系;并引入弱模糊一致矩阵结合层次分析法确定权重,解决了传统 AHP 很难满足一致性检验的问题;依据矿山特殊地质条件,将地质环境影响程度划分为三个等级构建模糊综合评判表,确定各影响因子的隶属度;运用模糊综合评判方法,建立矿山地质环境影响程度的二级模糊综合评判模型。通过该模型在实际矿山中的应用,模型评估结果与实际结果显示的滑坡、地面沉降等地质灾害影响程度吻合性较高。

关键词:地下采煤;地质环境;层次分析法;弱模糊一致矩阵;多级模糊综合评判

中图分类号: TD829

文献标志码: A

Application of fuzzy comprehensive evaluation in mine geological environment

TANG Jian-xin, XU Ning-xia, KANG Qin-rong

(College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Based on the complex geological environment and hydro-geological conditions in mountainous areas the fuzzy comprehensive evaluation index system of the mine geological environment is constructed. It uses the weak fuzzy consistent matrix and analytic hierarchy process to calculate the weight, which solves the question that traditional AHP is difficult to meet the consistency test. According to the special geological conditions of the mine, it divides the impact of the geological environment into three levels, builds the fuzzy comprehensive evaluation table and determines the membership degree of the influencing factors. Combined with fuzzy comprehensive evaluation method, it develops a second-order fuzzy comprehensive evaluation model of the impact of the mine geological environment. By means of the application of this model to the actual mining, it shows that the evaluation results of the model are highly similar to the actual results of the impacts of landslides, land subsidence and other geological disasters.

Key words: underground coal mining; geological environment; analytic hierarchy process; weak fuzzy consistent matrix; multi-level fuzzy comprehensive evaluation

地下采煤对地质环境是一种长期而连续的大范围乃至重复性的直接破坏作用,它将诱发、加剧甚至直接造成地质灾害,这在丘陵山区显得尤为突出^[1]。

针对目前国内外学者在地下采煤对丘陵山区地质环境影响方面缺乏系统完善的研究,本文在前人研究地下采煤引发地质灾害的基础上,综合考虑了丘陵

收稿日期:2010-02-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50374084)

作者简介:唐建新(1959-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事矿山地质灾害方向的研究,(Tel)13436149915;
(E-mail)jxtang@cqu.edu.cn。

山区的特殊地理环境和地质条件以及人文地理等因素的影响,系统地建立了地质环境影响程度的模糊综合评判指标体系。

由于地下采煤对山区地质环境的影响是多层次、多因素、模糊而随机的。因此本文采用多层次模糊综合评判方法^[2],从保护地质环境和预防地质灾害的角度出发,研究在全部陷落法处理采空区的条件下,采动强度、覆岩条件、地表条件对山区地质环境的影响程度,根据影响程度结合现状条件下致灾地质体的稳定性,可以评估受采动影响后矿山地质灾害发生的可能性,并对矿山地质灾害的防治^[3]提供了充分的理论依据。

模糊综合评判研究的重点是如何科学合理地确定评价指标的权重。目前确定权重的方法大致可以分为 3 类:第 1 类是主观赋权法,常见的有专家调查法、二项式系数法、最小平方方法和层次分析法^[4-6](AHP)等。第 2 类是客观赋权法,常用的有主成分分析法、熵技术法和多目标规划法等。第 3 类是主客观综合赋权法(或称组合赋权法),将主、客观赋权结合在一起,充分发挥各自的优点。笔者引入弱模糊一致矩阵以优化 AHP 来确定权重,避免了传统 AHP 对不满足一致性检验^[7-8]的矩阵进行反复调整存在的弊端。

1 模糊综合评判方法

1.1 指标集、评判集

指标集 $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, 评判集 $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ 。

1.2 模糊综合评判模型

由 $B = A \cdot R$ 进行一级模糊评判,式中,

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m) = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix},$$

$$0 \leq r_{ij} \leq 1. \quad (1)$$

先对每一类进行综合评判,将其结果看成是一个单因素评判集,然后进行第二级的模糊综合评判,公式如下

$$C = A \cdot B = A \cdot \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \vdots \\ A_n \cdot R_n \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = A \cdot (b_{ij})_{n \times m} \quad (2)$$

2 弱模糊一致矩阵

层次分析法(AHP)是通过专家打分制构造两

两比较判断矩阵,在确定属性权重的计算方面应用十分广泛,由于判断矩阵的一致性很难达到,所以引入弱模糊一致矩阵^[9-11]的概念,以优化 AHP 计算的不足。

2.1 模糊判断矩阵

1) 设模糊矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$, 若对任意的 k , 有 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5, (i, j = 1, \dots, m)$, 则称 R 为模糊一致矩阵^[12-13]。

在模糊一致矩阵 R 中,元素 r_{ij} 的具体意义如下

$r_{ij} = 0.5$, 表示 x_i 与 x_j 同样重要;

$0 \leq r_{ij} < 0.5$, 表示 x_j 比 x_i 重要;

$0.5 < r_{ij} \leq 1$, 表示 x_i 比 x_j 重要。

对模糊一致矩阵而言,对于任意的 k , 有 $r_{ji} = r_{jk} - r_{ik} + 0.5 = 1 - (r_{ik} - r_{jk} + 0.5) = 1 - r_{ij}$,

$$\text{即 } r_{ij} + r_{ji} = 1 (i, j = 1, \dots, m). \quad (3)$$

2) 设模糊矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$, 若 r_{ij} 满足:

$r_{ij} \geq 1/2, r_{jk} \geq 1/2$, 则 $r_{ik} \geq 1/2$;

以及 $r_{ij} \leq 1/2, r_{jk} \leq 1/2$, 则 $r_{ik} \leq 1/2$,

即 r_{ij} 满足中分传递性,则称 R 为弱模糊一致矩阵。

2.2 将 AHP 判断矩阵转化为弱模糊一致矩阵

AHP 判断矩阵中,构造的两两比较矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times m}$ 一般不满足一致性,但如果它满足

$$a_{ij} \leq 1, a_{jk} \leq 1 \text{ 时, 有 } a_{ik} \leq 1, \quad (4)$$

$$\text{以及 } a_{ij} \geq 1, a_{jk} \geq 1 \text{ 时, 有 } a_{ik} \geq 1. \quad (5)$$

则可利用下述变换公式^[14-15]将 AHP 判断矩阵转化为弱模糊一致矩阵

$$r_{ij} = \begin{cases} \beta k / (\beta k + 1) & a_{ij} = k \\ 0.5 & a_{ij} = 1 \\ 1 / (\beta k + 1) & a_{ij} = 1/k \end{cases}, \quad (6)$$

其中: $k \geq 2$ 为正整数, $\beta \geq 1$, 一般取 $\beta = 1$ 或 2 。

3 矿山地质环境的模糊综合评判

3.1 构造模糊综合评判指标体系

根据煤矿地下开采及丘陵山区地质环境的特点,将影响因素分为 3 个一级指标:采动强度(U_1)、覆岩条件(U_2)、地表条件(U_3),每个一级指标影响因素又可依照因素种类和评估层次分解为相应的二级指标,如图 1 所示。

3.2 构造模糊综合评判表

依据丘陵山区的地形条件、岩土性质、地质构造、水文地质和破坏地质环境的人类活动等因素的影响,参照多个专家的丰富经验,构造矿山地质环境影响程度的模糊综合评判表,定义评判集 $V = (v_1, v_2, v_3)$, 相对应的评语为(强烈、较强烈、不强烈),如

表 1 所示。

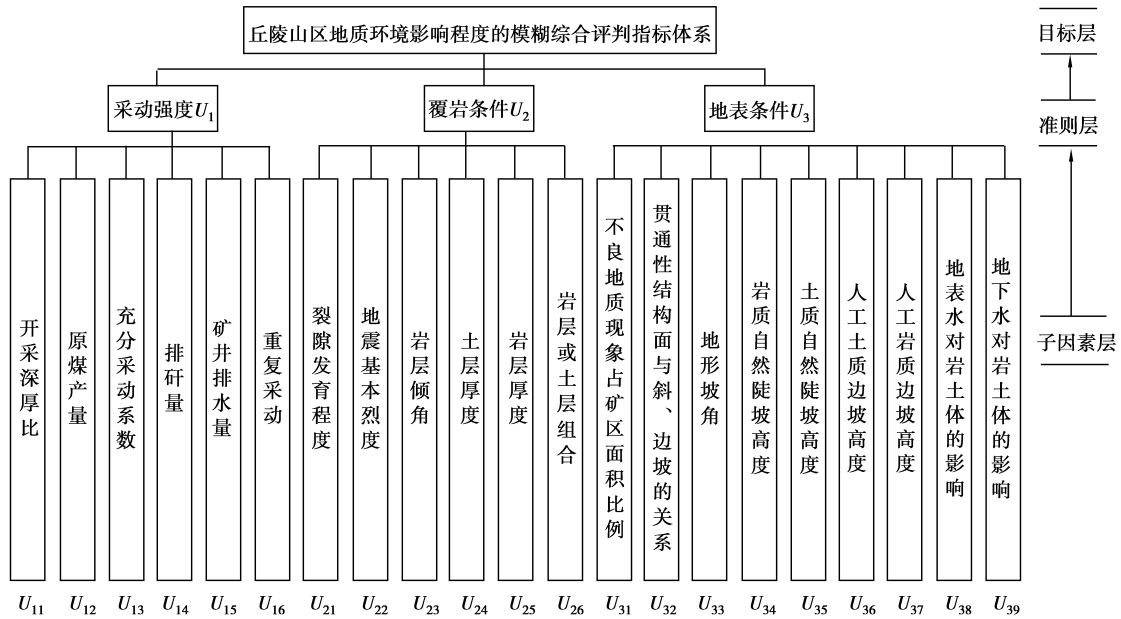


图 1 模糊综合评判指标体系

表 1 地质环境影响程度的模糊综合评判表

影响因素		地质环境影响程度		
U_i	U_{ij}	强烈	较强烈	不强烈
	U_{11}	<120	$120 \sim 200$	>200
	$U_{12} (10^4 \text{ t/a})$	≥ 120	$45 \sim 120$	<45
U_1	$U_{13} (n_1, n_2)^a$	$n_1 \geq 1$ 且 $n_2 \geq 1$	$n_1 < 1$ 且 $n_2 \geq 1$; $n_2 < 1$ 且 $n_1 \geq 1$	$n_1 < 1$ 且 $n_2 < 1$
	$U_{14} (10^4 \text{ t/a})$	≥ 40	$15 \sim 40$	<15
	$U_{15} (\text{m}^3/\text{h})$	$>1\ 200$	$300 \sim 1\ 200$	<300
	U_{16}	重复二次及以上采动	重复一次采动	初次采动
	U_{21}	有断裂带或裂隙超过 4 组	裂隙 3~4 组	裂隙少于 3 组
		间距 $<0.3 \text{ m}$	间距 $0.3 \sim 1 \text{ m}$	间距 $>1 \text{ m}$
	U_{22}^b	$\geq \text{VIII}$	$\text{VI} \sim \text{VII}$	$\leq \text{V}$
	$U_{23} (^{\circ})$	$\alpha \geq 55$	$15 < \alpha < 55$	$\alpha \leq 15$
U_2	$U_{24} (\text{m})$	> 10	$5 \sim 10$	< 5
	$U_{25} (\text{m})$	薄层状	中厚~厚层状	巨厚层状
	U_{26}	多元组合	二元组合	岩性单一
	$U_{31} (\%)^c$	>30	$15 \sim 30$	<15
	U_{32}	外倾临空 且倾角 $>20^{\circ}$	外倾临空 且倾角 $20^{\circ} \sim 10^{\circ}$; 切向临空且倾角 $\geq 20^{\circ}$; 顺向不临空时倾角 $<20^{\circ}$	外倾临空时倾角 $<10^{\circ}$; 切向临空时倾角 $<20^{\circ}$; 顺向不临空且倾角 $\geq 20^{\circ}$

续表

影响因素	地质环境影响程度		
$U_{33} (^{\circ})$	>30	15~30	<15
$U_{34} (m)$	>30	15~30	<15
$U_{35} (m)$	>15	8~15	<8
U_3 $U_{36} (m)$	>15	8~15	<8
$U_{37} (m)$	>30	15~30	<15
U_{38}	大	中等	小
U_{39}	大	中等	小

说明:1)开采深厚比中开采深度是指各开采层按开采厚度加权的平均埋深;开采厚度是指各开采层的开采厚度之和。

2)土质自然陡坡是指坡角 $\geq 35^{\circ}$ 的自然土坡,岩质自然陡坡是指坡角 $\geq 60^{\circ}$ 的自然岩坡。

3)贯通性结构面是指岩层面、岩土界面、断层面及贯通性裂隙。 $n_1 = \xi \cdot D_1 / H_0$, $n_2 = \xi \cdot D_2 / H_0$, 式中 n_1 、 n_2 分别是走向、倾向充分采动系数; D_1 、 D_2 分别是开采的平均走向长度、倾向宽度(m), H_0 是最上开采层距地表的平均埋深(m); ξ 是与覆岩岩性有关的系数,坚硬岩层取 0.7,中硬取 0.8,软弱取 0.9。地震基本烈度应按《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)确定。不良地质现象面积含其影响范围内积,影响范围可结合工程类比法确定。

4 应用实例

某煤矿拟开采三叠系须家河组第三段的①煤层、②煤层、③煤层,覆岩中硬。矿区范围内有一阻挡式背斜构造,轴线呈南北向延伸,并控制了区内地层的产状变化,背斜东翼地层产状一般为 $90^{\circ} \angle 11^{\circ}$, 矿区地质及生产技术条件见表 2。

表 2 矿区地质及生产技术条件

开采煤层编号	东翼		
	平均埋深/m	平均煤厚/m	煤层加权平均埋深/m
开采 ③煤层	201	0.60	$(201 \times 0.6 + 206.6 \times 0.8$
煤层 ②煤层	206.6	0.80	$+ 210.4 \times 1.2) \div (0.6$
特征 ①煤层	210.4	1.2	$+ 0.8 + 1.2) = 207$
矿区尺寸(走向/倾向)(m)	5 000/1 000		
原煤产量(10^4 t/a)	10 ³		
排矸量(10^4 t/a)	35		
矿井排水量(m^3 /h)	600		
重复采动	2		
土层厚度(m)	1		
岩层厚度(m)	中厚		
岩层倾角 ^[16] ($^{\circ}$)	25		
岩层或土层组合	多元组合		
裂隙发育程度	裂隙 4 组,间距 0.2 m		

续表 2

地震基本烈度	V
地形坡角($^{\circ}$)	32
岩质自然陡坡高度(m)	15
土质自然陡坡高度(m)	20
地表水对岩土体的影响	中等
地下水对岩土体的影响	大
不良地质现象占矿区面积比例(%)	35
贯通性结构面与斜(边)坡的关系	外倾临空且倾角 22°
人工土质边坡高度(m)	7
人工岩质边坡高度(m)	20

4.1 计算各相关参数

1)开采深厚比。

由表 2 可知煤层的加权平均埋深为 207 m,煤层开采总厚度 2.60 m,则开采深厚比 = $207 / 2.6 = 79.6$ 。

2)充分采动系数 n_1 、 n_2 。

由表 2 可知 $D_1 = 5\ 000$ m, $D_2 = 1\ 000$ m, $H_0 = 201$ m, $\xi = 0.8$, 由公式 $n_1 = \xi \cdot D_1 / H_0$, $n_2 = \xi \cdot D_2 / H_0$ 计算可得 $n_1 = 0.8 \times 5\ 000 / 201 = 20$, $n_2 = 0.8 \times 1\ 000 / 201 = 4$ 。

4.2 构造弱模糊一致矩阵

运用专家打分法进行两两比较,并结合 1~9 标

度法(见表 3)构造 AHP 判断矩阵,并转化为相应的弱模糊一致矩阵,如下所示。

表 3 标度表

甲指标与乙指标 相比	极 重要	很 重要	重要	略 重要	相等	略不 重要	不 重要	很不 重要	极不 重要
甲指标评价值	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9

说明:8,6,4,2,1/2,1/4,1/6,1/8 为上述评价值的中间值。

$$R_u = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{u_1} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{u_2} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

$$R_{u_3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

由上可知,AHP 判断矩阵满足式(4)、(5)的要求,可利用公式(6)将其转化为弱模糊一致矩阵,为方便计算在此取 $\beta=1$,并结合公式(3)的性质,计算结果如下

$$R_u = \begin{bmatrix} 1 & 0.75 & 0.83 \\ 0.25 & 1 & 0.75 \\ 0.17 & 0.25 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{u_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0.67 & 0.67 & 0.75 & 0.75 & 0.75 \\ 0.33 & 1 & 0.50 & 0.67 & 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.50 & 1 & 0.67 & 0.67 & 0.67 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0.50 & 0.50 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 0.50 & 1 & 0.50 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 0.50 & 0.50 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{u_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0.67 & 0.67 & 0.75 & 0.75 & 0.75 \\ 0.33 & 1 & 0.50 & 0.67 & 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.50 & 1 & 0.67 & 0.67 & 0.67 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0.50 & 0.50 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 0.50 & 1 & 0.50 \\ 0.25 & 0.33 & 0.33 & 0.50 & 0.50 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{u_3} = \begin{bmatrix} 1 & 0.50 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.80 & 0.80 \\ 0.50 & 1 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.67 & 0.80 & 0.80 \\ 0.33 & 0.33 & 1 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 & 0.50 & 1 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 & 0.50 & 0.50 & 1 & 0.50 & 0.50 & 0.67 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 1 & 0.50 & 0.67 & 0.67 \\ 0.20 & 0.20 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0.50 \\ 0.20 & 0.20 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.50 & 1 \end{bmatrix}。$$

利用 Matlab 软件计算弱模糊一致矩阵 R_u 的特征向量为 $R = (0.48, 0.32, 0.20)$,同理可计算判断矩阵 R_{u_1} 、 R_{u_2} 、 R_{u_3} 的特征向量,依次如下

$$W_1 = (0.25, 0.18, 0.18, 0.13, 0.13, 0.13),$$

$$W_2 = (0.25, 0.18, 0.18, 0.13, 0.13, 0.13),$$

$$W_3 = (0.15, 0.15, 0.11, 0.11, 0.11, 0.11, 0.11, 0.075, 0.075)。$$

4.3 构造模糊矩阵 R

依据表 1,每个因素的影响程度均分为强烈、较强烈和不强烈三个等级,构造 0~1 判断矩阵如下

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

4.4 模糊综合评判

根据弱模糊一致矩阵特征向量和 0~1 判断矩

阵进行一级模糊综合评判,结果如下

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = [0.56, 0.44, 0],$$

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = [0.38, 0.31, 0.31],$$

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = [0.60, 0.29, 0.11].$$

结合权重集 W , 利用公式(2)对矿山地质环境做出二级模糊综合评判,结果如下

$$B = W \cdot R = W \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = (0.51, 0.37, 0.12).$$

按照最大隶属原则,该矿采动后地质环境影响程度颇为强烈。

5 结 论

1) 通过分类多层次建立的矿山地质环境综合评判指标体系,结合 AHP 和弱模糊一致矩阵计算权重以及 0~1 模糊关系矩阵建立了丘陵山区地质环境影响程度的二级模糊综合评判模型。

2) 应用该模型对某矿的地质环境进行了综合评判,依据最大隶属原则评判出的结果显示,采动影响后该地区的地质环境影响程度颇为强烈,与实际滑坡、地面沉降等地质灾害情况吻合程度较高。

3) 模糊综合评判模型的建立,综合考虑了地下采煤对丘陵山区地质环境影响因子的模糊性与层次性,评判结果比其他方法更符合实际。

参考文献:

- [1] 国土资源部. 地质灾害危险性评估技术规范[S]. 北京: [s. n.], 2009.
- [2] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.
- [3] 陶连金, 黄润秋, 许强, 等. 地质灾害过程模拟和过程控制研究[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 王磊. 层次分析法的应用[J]. 科技信息(科学教研), 2007(25): 149-153.
WANG LEI. Application of AHP [J]. Science & Technology Information, 2007(25): 149-153.
- [5] PARTHASARATHY S, ANBAZHAGAN N. Evaluating ERP implementation choices using AHP [J]. International Journal of Enterprise Information Systems, 2007, 3(3): 52-65.
- [6] DUAN B Q, SI C L. Comprehensive risk assessment model of complex product systems innovation based on fuzzy AHP[J]. Journal of Tongji University, 2008, 36(7): 1002-1005.
- [7] LI Z, ZHOU S G, WANG K. A method for constructing perfectly consistent judgement matrix in AHP [J]. Journal of Zhengzhou University, 2008, 40(1): 41-46.
- [8] 严世华, 田效. 基于层次分析法的判断矩阵一致性调整方法[J]. 兵工自动化, 2008, 27(4): 6-10.
YAN SHI-HUA, TIAN XIAO. Method of comparison matrix consistency adjustment based on AHP [J]. Ordnance Industry Automation, 2008, 27(4): 6-10.
- [9] HUANG J Y, HU H Y. Improved decision making method based on fuzzy consistent matrix and its application [J]. Journal of Hohai University, 2006, 34(6): 721-723.
- [10] CHEN H Y. Combination determining weights method for multiple attribute decision making based on maximizing deviations [J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(2): 194-197.
- [11] JOULIA A, DE TALLEC C. Multicriteria analysis tool for civil UAV Configurations/Applications Matching [C]// AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference, September 21-23, 2004, Chicago, Illinois, USA. [S. l.]: AIAA, 2004: 2004-6328.
- [12] 张燕姑. 基于模糊一致矩阵的研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(6): 1491-1493.
ZHANG YAN-GU. Study of fuzzy consistent matrix [J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(6): 1491-1493.
- [13] LIU T, LIJ J Q. A method of improving the consistence of the judgment matrix based on the property of the fuzzy consistent judgment matrix [J]. Journal of University of Jinan, 2008, 22(2): 200-202.
- [14] 宋光兴. 多属性决策理论、方法及其在矿业中的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学管理与经济学院, 2001.
- [15] RUAN Y F, LIU Y F, WANG D, et al. Research on application of fuzzy consistent matrix theory in optimization of foundation design schemes [J]. Industrial Construction, 2008, 38(S1): 636-640.
- [16] 陈从新, 黄平路, 卢增木. 岩层倾角影响顺层岩石边坡稳定性的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 476-482.
CHEN CONG-XIN, HUANG PING-LU, LU ZENG-MU. Study on correlation between stability of consequent rock slope and obliquity of rock layer by simulation experiment [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(3): 476-482.

(编辑 赵 静)