

煤矿采空区影响程度的两种评估方法对比分析

田小松^{1,2}, 郑杰炳^{1,2}, 周春蓉^{1,2}, 谭显龙^{1,2}

(1. 重庆地质矿产研究院外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆 400042;

2. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042)

摘要:基于两种典型的采煤区影响程度评估方法,对比分析两种评估方法的结果,讨论二者的优缺点。研究结果表明:概率积分法和模糊综合评判法的采煤区影响程度划分结果存在明显差异。与模糊综合评判法相比,概率积分法的评价结果更为客观,理论体系更加成熟,但是其参数选取也存在不足,建议根据参数反演选取预测参数。模糊综合评判法运用于采煤区影响程度分析存在缺陷,因子权重分配和影响程度隶属函数体系有待进一步完善。

关键词:采煤区;影响程度;概率积分法;模糊综合评判法;评估方法

文章编号:1003-8035(2014)04-0059-07

中图分类号:TU457

文献标识码:A

煤矿区的地质环境非常脆弱,在采煤过程中已出现了土地损毁、地质灾害、含水层破坏、地形地貌和景观破坏等矿山地质环境问题。采煤过程中形成的新地质环境,不仅使矿区地质环境承载力下降,而且严重影响矿区群众的生产生活。因此,采煤造成的矿山地质环境问题严重,防治工作形势非常严峻。近年来,关于煤矿区地质环境问题及防治研究成为我国矿山地质环境研究领域一项重要任务。在矿山地质环境综合治理工作开展之前,需深入调查研究矿山地质环境背景与存在的矿山地质环境问题,并根据矿山地质环境问题的危害程度与治理的轻重缓急对治理区进行评价、区划,确保矿山环境综合治理工作有序和高效地开展。

近年来,我国国土部门加大了对矿山地质环境的治理力度,并编制了地质灾害危险性评估技术规范。同时,采煤区地质环境问题的研究也受到学者们的高度重视,研究结果集中在采煤区地质环境的预防与治理^[1-4]和地质环境评估^[5-6]等领域。目前,国内有关采煤区地质环境评估工作已全面推动,但评估工作仅是单纯地对地质环境问题的影响程度进行评价与分区^[2,6-7],并没有分析和讨论采煤影响程度评估方法的差异性以及评估方法的选择。因此,本文采用概率积分法和综合模糊评判法,从分析结果的差异性出发,对比两种评估方法的优缺点,为下一步评估方法的选择和完善提供参考。

1 评估方法

1.1 概率积分法

1.1.1 概率积分法计算模型

(1) 移动盆地走向主断面上的移动与变形最大值

$$W_{\max} = m \cdot q \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$i_{\max} = \frac{W_{\max}}{r} \quad (2)$$

$$K_{\max} = 1.52 \frac{W_{\max}}{r^2} \quad (3)$$

$$U_{\max} = b \cdot W_{\max} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\max} = 1.52b \frac{W_{\max}}{r} \quad (5)$$

(2) 地表移动盆地内任意点的变形预测

以过采空区倾斜主断面内下山计算边界且与走向平行的方向为计算的横坐标,以过采空区走向主断面左计算边界且与倾斜方向平行的方向为计算的纵坐标,任意剖面(与矿层走向成 φ 角)上任意点(x,y)的移动和变形计算公式如下:

地表下沉:

$$W_{(x,y)} = W_{\max} \cdot \iint_D \frac{1}{r^2} \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (6)$$

地表倾斜:

$$i_{X(x,y)} = W_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi(\eta-x)}{r^4} \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (7)$$

收稿日期:2014-03-30;修订日期:2014-04-02

作者简介:田小松(1985—),男,硕士,工程师,主要从事矿区农业生态环境破坏机理及治理措施研究。

E-mail:terrytian1985@hotmail.com

$$i_{Y(x,y)} = W_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi(\xi - y)}{r^4} \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (8)$$

地表曲率:

$$K_{X(x,y)} = W_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi}{r^4} \left(\frac{2\pi(\eta - x)^2}{r^2} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (9)$$

$$K_{Y(x,y)} = W_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi}{r^4} \left(\frac{2\pi(\xi - y)^2}{r^2} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (10)$$

地表水平移动:

$$U_{X(x,y)} = U_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi(\eta - x)}{r^3} \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (11)$$

$$U_{Y(x,y)} = U_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi(\xi - y)}{r^3} \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi + W(x,y) \cdot ctg\theta_0 \quad (12)$$

地表水平变形:

$$\varepsilon_{X(x,y)} = U_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi}{r^3} \left(\frac{2\pi(\eta - x)^2}{r^2} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi \quad (13)$$

$$\varepsilon_{Y(x,y)} = U_{\max} \cdot \iint_D \frac{2\pi}{r^3} \left(\frac{2\pi(\xi - y)^2}{r^2} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{(\eta-x)^2 + (\xi-y)^2}{r^2}} \cdot d\eta \cdot d\xi + i_Y(x,y) ctg\theta_0 \quad (14)$$

式中: $W_{\max}$ ——地表最大下沉值(mm);

$i_{\max}$ ——地表最大倾斜值(mm/m);

$K_{\max}$ ——地表最大曲率值($10^{-3}/m$);

$\varepsilon_{\max}$ ——地表最大水平变形值(mm/m);

$U_{\max}$ ——地表最大水平移动值(mm);

m ——矿层法线采厚(m);

q ——下沉系数;

α ——矿层倾角(deg);

b ——水平移动系数;

γ ——主要影响半径(m);

D ——开采矿层区域。

1.1.2 概率积分法评价体系

基于概率积分法的采矿影响程度应该根据沉陷预计结果选择地表移动变形值。根据《地质灾害危险性评估技术规范》,选择倾斜、曲率和水平移动三种地表移动变形值作为采煤区影响程度的评估因素。

倾斜表示地表移动盆地内相邻两点的均匀下沉导致地面原有的地形坡度改变;曲率表示相邻两线段倾斜程度的不一致程度;水平移动表示地表不均匀的水平移动。概率积分法评价体系参照表1进行等级划分,方法为极限值法,即三种评估因素某一项满足较高等级的采矿影响程度时,采矿影响程度为该等级。

表1 概率积分法的采煤区影响程度评判标准

Table 1 Classification criteria of probability integral method for influence degree at coal mining site

地表移动变形值	采矿影响程度		
	强烈	较强烈	不强烈
倾斜	$i > 10$	$10 \geq i > 3$	$i \leq 3$
曲率	$k > 0.6$	$0.6 \geq k > 0.2$	$k \leq 0.2$
水平变形	$\varepsilon > 6.0$	$6.0 \geq \varepsilon > 2.0$	$\varepsilon \leq 2.0$

1.2 模糊综合评判法

1.2.1 模糊综合评判原理及步骤

采煤区影响程度的模糊综合评判法,应根据模糊综合评判集中隶属度最大值所对应的采矿影响程度确定,评判集应按下式计算:

$$B = K \cdot R = (b_1, b_2, b_3) \quad (15)$$

$$K = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_{10}) \quad (16)$$

$$R = [r_{ij}]_{10 \times 3} \quad (17)$$

$$b_j = \sum_{i=1}^{10} k_i \cdot r_{ij} \quad (18)$$

式中: B ——采矿影响程度的模糊综合评判集;

K ——影响因素的权重矩阵;

R ——影响因素的隶属度矩阵;

K_i ——第 i 因素的权重, $i = 1, 2, 3, \dots, 10$;

r_{ij} ——第 i 个影响因素对第 j 个影响程度的隶属度,若影响因素 i 隶属于采矿影响程度 j ,则 r_{ij} 取 1,反之取 0, $i = 1, 2, 3, \dots, 10$; $j = 1, 2, 3$;

b_j ——采矿影响对第 j 个影响程度的隶属度, $j = 1, 2, 3$; b_1 为采矿影响强烈的隶属度, b_2 为采矿影响较强烈的隶属度, b_3 为采矿影响不强烈的隶属度。

1.2.2 模糊综合评判体系

根据《地质灾害危险性评估技术规范》井工矿采矿影响程度的模糊综合评判的技术要求,选择 10 个评估因素,即开采深厚比、充分采动系数、采空区处理方法、重复采动、矿石产量、矿层倾角、地形坡角、矿井排水量、断层数目条和土层厚度,各因子的评判标准详见表 2。

表 2 模糊综合评判法的采煤区影响程度评判标准

Table 2 Classification criteria of fuzzy comprehensive evaluation method for influence degree at coal mining site

影响因素(<i>i</i>)	权值(<i>k_i</i>)	采矿影响程度(<i>j</i>)		
		1 强烈	2 较强烈	3 不强烈
1 开采深厚比	0.2	< 120	120 ~ 200	> 200
2 充分采动系数/(<i>n₁</i> 、 <i>n₂</i> ^a)	0.16	<i>n₁</i> ≥ 1, <i>n₂</i> ≥ 1	<i>n₁</i> < 1 且 <i>n₂</i> ≥ 1 <i>n₂</i> < 1 且 <i>n₁</i> ≥ 1	<i>n₁</i> < 1 且 <i>n₂</i> < 1
3 采空区处理方法	0.16	全部陷落	局部充填	全充填
4 重复采动	0.12	重复二次及以上采动	重复一次采动	初次采动
5 矿石产量(10 ⁴ t/a)	0.08	> 100	100 ~ 30	< 30
6 矿层倾角(α°)	0.08	α ≥ 55°	15° < α < 55°	α ≤ 15°
7 地形坡角(β°)	0.08	β ≥ 30°	15° ≤ β < 30°	β < 15°
8 矿井排水量(m ³ /h)	0.04	> 1200	1200 ~ 300	< 300
9 断层数目(条)	0.04	> 3	3 ~ 1	0
10 土层厚度(m)	0.04	< 5	5 ~ 10	> 10

注 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。注 2:断层数量是指采矿影响范围内地表出露的断层条数。断层数目是指矿界范围内覆岩中倾角大于 20°,垂直传断距大于 20m 的断层数目。 $n_1 = i \cdot D_1 / H_0$, $n_2 = i \cdot D_2 / H_0$, 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, i 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。

2 工程实例 - 重庆某煤矿

2.1 工程概况

该煤矿属于地下开采,采用平硐 + 暗斜井开拓。矿区可采煤层为二叠系吴家坪组第一段(P_3w^1) K_1 煤层。 K_1 煤层较稳定,位于吴家坪组底部,上距吴家坪组第二段 12.5m,二叠系上统长兴组平均 91m,下距二叠系中统茅口组平均 5m,厚度 0.165 ~ 0.80m,一般厚 0.44m,实际采厚为 0.60m,矿区范围内煤层平均倾角 37°。评估区地层主要为第四系全新统(Q_4)、三叠系下统嘉陵江组(T_{1j})和大冶组(T_{1d})、二叠系上统大隆组(P_3d)、长兴组(P_3c)和吴家坪组(P_3w)以及二叠系中统茅口组(P_2m)。矿区范围内有 F1 断层和 F2 断层,其中 F1 为走向逆断层,走向 N30°E;F2 断层为一走向逆断层,断层走向 N30°E,倾向南东,倾角 30°,对矿井煤层开采煤层有部分影响。

2.2 沉陷预计参数选取

根据《开采沉陷学》和西南地区基岩裸露的特点,选取预计参数值,参数选取结果详见表 3。

2.3 矿区分区及开采地质条件

根据深厚比(小于 120,120 ~ 200,大于 200)关系,将采矿影响程度进行分区,分区情况见表 4。

2.4 采煤区影响程度结果分析

2.4.1 基于概率积分法的采煤区影响程度分析

(1) 沉陷预计结果

根据表 3 中的预计参数得到的最大曲率、最大倾斜和最大水平变形(表 5)。同时,通过预测模型和 surfer 绘制出地表变形等值线(图 1)。从表 5 可以看出,该评估区范围的最大曲率、最大倾斜变形和最大水平变形值分别为 0.29mm、5.8mm/m 和 4.2mm/m。从图 1 可见,该评估区最大倾斜变形、最大水平变形和最大曲率值均出现在地表移动盆地的西侧。从西向东地表移动变形值逐渐减小。

表 3 预计参数

Table 3 Prediction parameters

序号	项目	符号	参数值	备注
1	下沉系数	<i>q</i>	0.70	根据西南地区岩层特点,范围为 0.55 ~ 0.85
2	主要影响角正切值	<i>tgβ</i>	2.0	根据西南地区岩层特点,范围为 1.92 ~ 2.4
3	水平移动系数	<i>b_c</i>	$b_c = b(1 + 0.0086\alpha)$	<i>b</i> 取 0.3
4	影响传播角	θ	$\theta_0 = 90^\circ - 0.68\alpha$	α 取 37°
5	拐点偏移距参数	<i>S</i>	0	

表 4 评估区域地质环境和技术条件
Table 4 Geological environments and technological conditions of the assessment areas

开采煤层特征	A 区		B 区		C 区	
	平均埋深 61m	平均煤厚 0.6m	平均埋深 96m	平均煤厚 0.6m	平均埋深 375m	平均煤厚 0.6m
矿区尺寸 m(走向/倾向)	5234/30		5234/20		5234/440	
采空区处理方法	全部陷落法		全部陷落法		全部陷落法	
重复采动次数	初次采动		初次采动		初次采动	
矿石产量 (10 ⁴ t/a)	6		6		6	
矿层倾角 α(°)	37		37		37	
地形坡角 β(°)	12		20		22	
矿井排水量 (m ³ /h)	80.7		80.7		80.7	
断层数量(条)	0		0		2	
土层厚度(m)	4		4		4	

表 5 沉降预计结果
Table 5 Results of prediction for subsidence

参数类别	曲率 U_{max} (mm)	倾斜 i_{max} (mm/m)	水平变形 ε_{max} (mm/m)
数值大小	0.29	5.8	4.2

(2) 基于概率积分法的采煤区影响程度分区
将预计结果和评判标准叠加,划分出评估区的程度分区图(图 2)。通过图 2 可以看出,该评估区范围

可以划分成为较强烈区(b 区)和不强烈区(c 区)。其中,b 区位于矿区西侧,该区域属于移动盆地边缘范围,且采深较浅(开采深厚比小于 1:120);c 区主要位于矿区的东侧,为深部开采区域,曲率、倾斜和水平变形值均较小。控制 b 区范围的地表移动变形值为倾斜和水平变形,西南部的较强烈影响结果是由倾斜引起的;西北部较强烈影响是由水平变形值引起的。

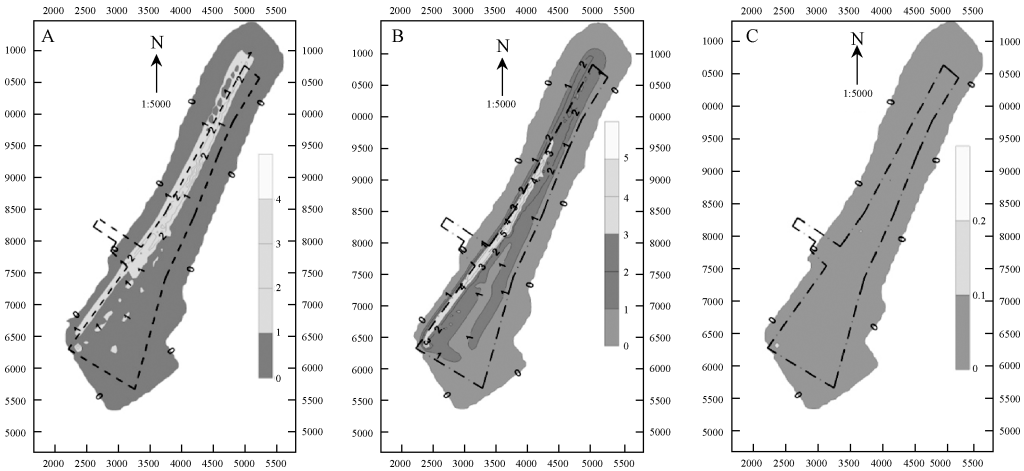


图 1 地表移动变形预测结果(A:水平变形等值线图;B 倾斜等值线图;C:曲率等值线图)
Fig. 1 Results of prediction for surface movement and deformation

2.4.2 基于模糊综合评判法的采煤区影响程度分析
(1) 模糊综合评判法的评价结果
根据分区及开采地质条件表,分别 A 区、B 区和 C 区进行模糊综合评判,强烈用“1”表示,否则用“0”表示,得出各评估区的采煤区影响程度隶属度值,具体详见表 5。由表 6 中可求出 a、b、c 分区的采矿影响程度模糊综合评判集: $B_a = K_a \cdot R_a = (b_1, b_2, b_3) = (0.4, 0.24, 0.36)$; $B_b = K_b \cdot R_b = (b_1, b_2, b_3) = (0.2, 0.52, 0.28)$; $B_c = K_c \cdot R_c = (b_1, b_2, b_3) =$

$(0.2, 0.36, 0.44)$ 。
(2) 基于模糊综合评判法的采煤区影响程度分区
通过以上分析可知,a 区的矩阵中采矿影响程度隶属度最大值为 0.40,故 a 分区采矿影响程度应为强烈;b 区的矩阵中采矿影响程度隶属度最大值为 0.52,故 b 分区采矿影响程度应为较强烈;c 区的矩阵中采矿影响程度隶属度最大值为 0.44,故 c 分区采矿影响程度应为不强烈。根据模糊综合评判法的评估结果,将采矿影响结果分区(图 3)。根据《地质

灾害危险性评估技术规范》,采矿影响程度采用模糊综合评判法确定,矿山 a 区采矿影响程度为强烈(a 区包含煤层露头线区域,受风氧化作用影响,对地质环境影响严重),诱发地表移动致灾的可能性大,对地质环境影响严重;b 区采矿影响程度为较强烈,诱发地表移动致灾的可能性中等,对地质环境影响较严重;c 区采矿影响程度为不强烈,诱发地表移动致灾的可能性小,对地质环境影响较轻(图 6)。

表 6 采煤区影响程度隶属度
Table 6 Subordinate degree of influence an coal mining site

影响因素 i	权值 k_i	A 区采矿影响程度			B 区采矿影响程度			C 区采矿影响程度		
		s	l s	n	s	l s	n	s	l s	n
1 开采深厚比	0.2	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2 充分采动系数 n_1 、 n_2	0.16	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3 采空区处理方法	0.16	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4 重复采动	0.12	0	0	1	0	0	1	0	0	1
5 矿石产量 10^4 t/a	0.08	0	0	1	0	0	1	0	0	1
6 矿层倾角 $\alpha(^{\circ})$	0.08	0	1	0	0	1	0	0	1	0
7 地形坡角 $\beta(^{\circ})$	0.08	0	0	1	0	1	0	0	1	0
8 矿井排水量 (m^3/h)	0.04	0	0	1	0	0	1	0	0	1
9 断层数量(条)	0.04	0	0	2	0	0	1	0	1	0
10 土层厚度(m)	0.04	1	0	0	1	0	0	1	0	0

注:A 区充分采动系数: $n_1^a = \zeta \cdot D_1/H_0 = 0.8 \times 5234/61 = 68.6$, $n_2^a = \zeta \cdot D_2/H_0 = 0.8 \times 30/61 = 0.39$; B 区充分采动系数 $n_1^b = \zeta \cdot D_1/H_0 = 0.8 \times 5234/96 = 43.6$, $n_2^b = \zeta \cdot D_2/H_0 = 0.8 \times 20/96 = 0.17$; C 区充分采动系数 $n_1^c = \zeta \cdot D_1/H_0 = 0.8 \times 5234/375 = 11.2$, $n_2^c = \zeta \cdot D_2/H_0 = 0.8 \times 440/375 = 0.94$; s:强烈, l s:较强烈, n 代:不强烈。

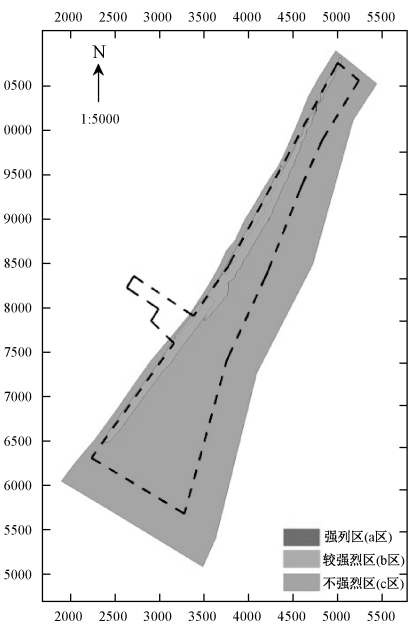


图 2 概率积分法的采煤区影响程度结果
Fig. 2 Result of probability integral method for influence degree at coal mining site

2.4.3 不同评估方法分析对比

(1) 评估结果对比分析

通过评估结果的对比分析,不同评估方法的强烈、较强烈和不强烈范围和面积存在较大的差别(表

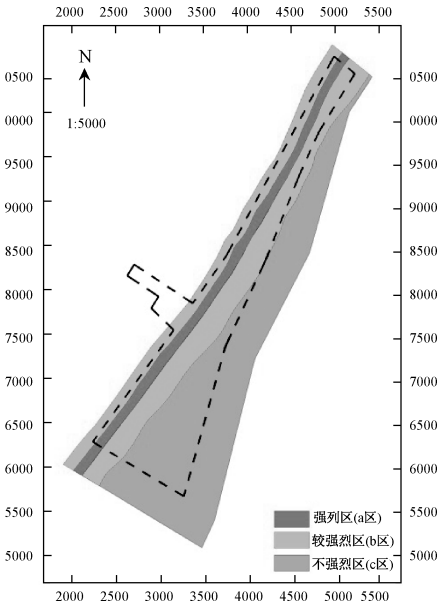


图 3 基于模糊综合评判法的采煤区影响程度分析
Fig. 3 Result of fuzzy comprehensive evaluation method for influence degree at coal mining site

7)。基于概率积分法的采煤区影响程度分析结果显示,该方法评估结果不存在强烈区,较强烈区占总影响面积的 6.44%,不强烈区占总影响面积的 93.56%;基于模糊综合评判法的采煤区影响程度结果表明,该评估区存在强烈区、较强烈区和不强烈区,

其占总影响面积的比例分别为 10.48%、28.41% 和 61.11%。在强烈和较强烈的影响面积和比例上,基于概率积分法的采煤区影响程度划分都小于模糊综合评价法。

表 7 不同评估方法的影响程度结果
Table 7 Result of influence degree by different evaluation methods

影响程度	分级代号	概率积分法		模糊综合评价法	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
强烈	a	0.00	0.00%	58.57	10.48%
较强烈	b	38.46	6.44%	158.83	28.41%
不强烈	c	559.00	93.56%	341.60	61.11%
合计		597.46	100.00%	559.00	100.00%

(2) 评价结果的差异分析

基于概率积分法和模糊综合评价法的采煤区影响程度划分结果存在明显差异,其原因可以归纳为以下四个方面:a) 概率积分法和模糊综合评价法的性质差异。前者属于定量评估方法,将概率积分法计算结果与采煤区影响等级划分标准结合,即可得出采煤区影响程度结果及分区结果;后者为模糊综合评价方法,通过模糊数学的隶属度理论将定性评价转化为定量评价。b) 概率积分法和模糊综合评价法的程度划分程序差异。前者是将损毁预测等值线与评判等级划分结合划分采煤影响程度结果,而后者是先按照项目特点进行分区,并对不同分区进行采煤影响程度分级。简单地说,概率积分法是根据预测结果分区,模糊综合评价法先分区后评价各区影响程度。c) 概率积分法和模糊综合评价法的主观影响程度差异。概率积分法属于定量分析,预计参数的选取需要根据经验或参数反演获得;模糊综合评价法的评价过程需要对各因子权重进行分配,其赋值方法都属于主观赋权评估法,同时权重分配未考虑地区差异性。d) 概率积分法能够具体的描述指定位置的采煤区影响程度,为地质灾害防止提供针对性的参考;模糊综合评价法预测范围和程度均较大,其结果能将地质灾害防治的范围最大化,减小预测不确定性带来的风险。

3 结论

(1) 通过建立概率积分法和模糊综合评价法,对采煤区影响程度等级进行划分,结果显示不同模型的评估结果差异明显。
(2) 概率积分法是一种客观的定量分析方法,该

方法有成熟的理论体系,主观意识对采煤区影响程度的评估结果影响小。但其参数选取存在着不足,建议采用参数反演的方式选取预测参数。

(3) 模糊综合评价法是一种较为简单,预测结果风险性小。但评估结果容易受主观意识影响,评估指标的权重分配未考虑到地区差异性,建议进一步研究因子权重分配的方法体系和影响程度隶属函数体系。

参考文献:

[1] 余中元,帕拉提·阿不都卡迪尔,吴现兴,等.新疆矿山环境地质问题及其治理对策[J].自然灾害学报,2007,16(4):66-69.
YU Zhongyuan, Abudukadir Parati, WU Xianxing, et al. Environmental geology hazard of mine in Xinjiang and its control strategy[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(4):66-69.
[2] 武强,陈奇.矿山环境治理模式及其适用性分析[J].水文地质工程地质,2010,37(6):91-96.
WU Qiang, CHEN Qi. An analysis of the mine environmental treatment model and its applicability[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2010, 37(6):91-96.
[3] 郭维君,崔晓艳,肖桂元,等.矿山地质灾害主要类型及防治对策研究[J].金属矿山,2010(8):148-152.
GUO Weijun, CUI Xiaoyan, XIAO Guiyuan, et al. Major geological disasters type in mining and its control countermeasures[J]. Metal Mine, 2010(8):148-152.
[4] 吴和政,郑薇.我国矿山生态环境及生态恢复技术的现状[J].中国地质灾害与防治学报,2007(18):35-37.
WU Hezheng, ZHENG Wei. The situation of eco-environment and its resumption techniques in mining area of our country[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007(18):35-37.
[5] 穆启超,黎义勇,甘道毅,等.环境影响评估方法在矿山地质环境保护与治理恢复方案编制中的运用[J].安全与环境工程,2012,19(2):66-70.
MU Qichao, LI Yiyong, GAN Daoyi, et al. Utilization of environmental impact assessment method in the project of mining geo-environmental protection and integrated renovation[J]. Safety and Environmental Engineering, 2012, 19(2):66-70.
[6] 陈奇,武强,徐佳成.专家系统在矿山环境治理中的应用研究[J].水文地质工程地质,2010,37(5):113-117.

CHEN Qi, WU Qiang, XU Jiacheng . Application of the expert system to mine environment treatment [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37 (5) : 113 - 117.

[7] 何芳,徐友宁,乔冈,等. 中国矿山环境地质问题区域

分布特征[J]. 中国地质, 2010, 35 (5) : 1520 - 1529.

HE Fang, XU Youning, QIAO Gang, et al. Regional distribution characteristics of mine environmental geological problems in China [J]. Geology in China, 2010, 35 (5) : 1520 - 1529.

Comparative analysis between two typical evaluation methods on influence degree at coal mining site

TIAN Xiao-song^{1,2}, ZHENG Jie-bing^{1,2}, ZHOU Chun-rong^{1,2}, TAN Xian-long^{1,2}

(1. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China;

2. Chongqing Research Center of State Key Laboratory of Coal Resource and Safe Mining, Chongqing 400042, China)

Abstract: Two typical evaluation methods were carried out to comparatively analyze the influence degree caused by coal mining activities, advantages and disadvantages in regarding with methodologies were discussed as well. The results showed that significant differences of classification on influence degree between probability integral method (*PIM*) and fuzzy comprehensive evaluation method (*FCEM*) were identified. Comparing with *FCEM*, the evaluation results of *PIM* were more objective, the theoretical system was more perfect. But its parameter selection still exist defect, the suggestion is that parameters should be selected by parameters inversion. There were deficiencies in relating to the application of *FCEM* to analysis of influence degree at coal mining site, the distribution of factors weight and subordinate function system of influence degree need to be improved.

Key words: influence degree; coal mining area; probability integral method; fuzzy comprehensive evaluation method; typical evaluation methods

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部