

# 东胜矿区哈拉沟井田地质灾害危险性评估

秦国建

(煤炭科学研究总院西安研究院,陕西 西安 710054)

**摘要:**在详细调查研究区内地质灾害现状的情况下,对采煤引起的覆岩破坏、地表变形等进行了预测,并采用模糊综合评判二次评价模型对地质灾害危险性进行了综合预测。结果表明,研究区地质灾害现状不发育,但井下采矿工程对地面建筑物的危险性大,易引发崩塌、地裂缝、地面塌陷等灾害;预测地质灾害危险大分布于井田北部、东部和南部,危险性中等区则位于井田中部。预测结果对于矿井的安全生产具有一定的指导意义。

**关键词:**地表变形;覆岩移动;模糊综合评判;危险性预测

中图分类号:X141

文献标识码:A

## Geological Hazard Risk Evaluation in Halagou Minefield, Dongsheng Mining Area

Qin Guojian

(Xian Institute, China Coal Research Institute, Xian, Shaanxi 710054)

**Abstract:** Based on detailed investigation of geological hazard status in the study area, predicted overburden destruction and surface deformation caused by coal mining. Through the use of fuzzy synthetic discrimination quadratic evaluation model, comprehensively predicted geological hazard risks. The result shows geological hazard status quo in the study area is not serious, but risk of underground mining engineering to surface structures is serious, easy to initiate hazards of landslide, ground fissure, surface subsidence etc. Predicted high risk areas are mainly distributed in the northern, eastern and southern part of the minefield, while the medium risk areas in the middle part of the minefield. The predicted result has certain guiding significance to mine production safety.

**Keywords:** surface deformation; overburden movement; fuzzy synthetic discrimination; risk prediction

哈拉沟井田位于神府煤田东胜矿区中部,地处陕西省神木县北部、陕蒙两省交界处的乌兰木伦河东侧,南距矿区中心区大柳塔镇5km。近年来,随着煤矿生产能力及开采范围的不断扩大,原有井田内的 $2^{-2}$ 煤层资源已开采殆尽,神华集团神东煤炭分公司拟将哈拉沟煤矿改扩建升级为1000万t/a的特大型矿井。已有研究表明,哈拉沟煤矿改扩建所在区域为地质灾害高易发区,为了矿山建设的安全运营,有必要进行建设工程地质灾害危险性评估工作。

本文在分析研究区地质灾害现状及开采地质灾害预测基础上,采用模糊综合评判法,对哈拉沟井田地质灾害的危险性进行综合评估,并提出相应的治理措施,为未来煤矿安全生产提供基础依据。

## 1 矿区地质环境条件

### 1.1 地质条件

哈拉沟井田位于陕北黄土高原北部与毛乌素沙

漠东南缘的接壤地带,地形起伏较大,东高西低,相对高差265.5m。以风沙地貌为主,地形地貌较为简单。

该区地表主要为风积沙,出露的地层有延安组、直罗组、三趾马红土、萨拉乌苏组和离石组。地层沿河谷分布冲积层,总体呈向西倾斜的单斜构造,倾角一般小于 $1^{\circ}$ ,无大型断层,构造属简单类型。

### 1.2 气象、水文条件

哈拉沟井田多年平均降雨量为436.6mm,井田中东部的红土出露区是地表水分水岭,两侧分属于乌兰木伦河与勃牛川水系。井田周围有常年性河流乌兰木伦河、哈拉沟、七概沟、沙沟等,其中乌兰木伦河是井田西部最大的河流。

### 1.3 采矿条件

根据工作面顶板冒落的难易程度,将顶板分为5类:易冒落的松软顶板、中等冒落性的顶板、难冒落的坚硬顶板、极难冒落的坚硬顶板、可塑性弯曲的顶板。研究区可采煤层累计总厚度为3.07~17.5m,各煤层以中等—难冒落顶板为主,局部为中等—易冒落

作者简介:秦国建(1975—),男,贵州翁安人,工程师,主要从事地质灾害评估及煤矿环境影响评价工作。

收稿日期:2010-01-25

责任编辑:樊小舟

顶板。 $2^{-2}$ 煤层以上部分地段顶板由风化岩组构成,形成易冒落顶板。底板多为隔水的粉砂岩、泥岩,多属半坚硬岩类,岩体工程地质条件良好,底板稳定。

区内人类工程活动因地而异,在乌兰木伦河一带人类工程活动强烈,其它地区较强烈。总体上人类工程活动较强烈。

## 2 地质灾害现状分析

研究区主要地质灾害类型为地面塌陷。由于井田地表大部分为固定—半固定风沙堆积区,存在风蚀沙埋灾害。地质灾害具有以下特点:

①大部分煤矿区地面塌陷特征不明显。采空区地面塌陷分布在沙岭乡哈拉沟煤矿内,而地面塌陷隐患则分布在原哈拉沟煤矿及井田周边小煤矿内。

②地面塌陷隐患区多为危害程度小的煤矿,由原哈拉沟煤矿、瓷窑湾煤矿(已停产)、前石畔煤矿(已停产)、瓦罗乡刘石畔煤矿、丁家渠村炭窑渠煤矿、昌盛煤矿、郝家壕村办煤矿开采形成(图1)。仅原瓷窑湾煤矿、瓦罗乡刘石畔煤矿采空区地面塌陷隐患危害程度大,危险性大。

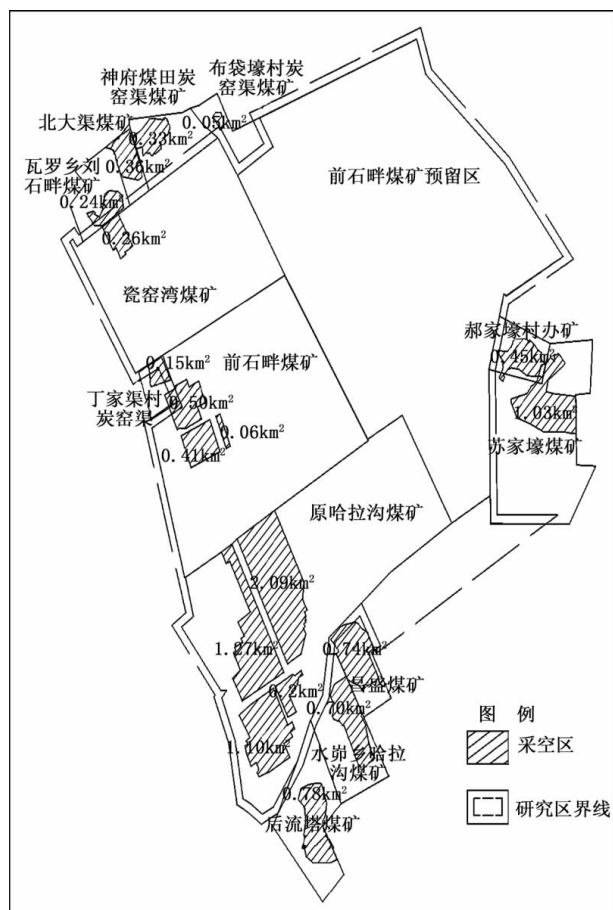


图1 研究区采空区分布示意图

Figure 1 A schematic diagram of gob area distribution

③风蚀沙埋灾害的危害程度小,危险性小,主要分布在井田南部哈拉沟两岸及东部沔概沟岸地区。

## 3 矿区开采地质灾害预测分析

### 3.1 采矿工程引发或加剧地面变形的预测

根据大柳塔矿采空区地面塌陷监测的经验,采用概率积分法进行地表变形量预测。模式如下:

最大下沉值:  $W_{cm} = M \times q \times \cos \alpha$ , mm;

最大倾斜值:  $i_{cm} = W_{cm} / r$ , mm/m;

最大曲率值:  $K_{cm} = 1.52 \times W_{cm} / r^2$ ,  $10^{-3} / m$ ;

最大水平移动值:  $U_{cm} = b \times W_{cm}$ , mm;

最大水平变形值:  $\epsilon_{cm} = 1.52 \times b \times i_{cm}$ , mm/m。

式中:  $M$ ——煤层开采厚度, m, (取值见表1);

表1 首采区煤层埋深及煤层厚度

Table 1 Coal seam depth and thickness in first mining district

煤层	埋深 M/m	煤厚 H/m
$1^{-2}$ 上	14.47~91.00	0.80~3.12
	44.46	1.33
$1^{-2}$	27.14~117.58	0.80~2.79
	62.37	1.54
$2^{-2}$	27.93~139.92	0.80~6.45
	88.44	5.30
$3^{-1}$	37.54~186.37	0.80~3.50
	134.02	2.60
$4^{-2}$	79.58~224.30	0.80~2.34
	176.63	1.80
$4^{-3}$	98.20~244.17	0.80~1.66
	183.52	1.39
$4^{-4}$	112.38~257.15	0.80~1.35
	206.76	1.16

$H$ ——煤层埋藏深度, m, (取值见表1);

$\alpha$ ——煤层倾角, 取值  $1^\circ$ ;

$q$ ——下沉系数, 初次采动的取值 0.62, 重复采动的取值 0.65;

$b$ ——水平移动系数, 取值 0.31;

$r$ ——开采影响半径, m; 其中  $r = H / \tan \beta$  (根据矿区采空区塌陷检测的经验值, 初次采动影响角正切  $\tan \beta = 2.0$ ; 重复采动影响角正切  $\tan \beta = 2.4$ ), 通过计算,  $r$  为 70~95m。

通过上述一系列计算, 得出哈拉沟井田首采区煤层开采后地面预测结果(表2)。

### 3.2 覆岩移动变形及引发地质灾害危险性预测

覆岩移动变形对含水层影响主要受冒落带、导水裂隙带高度控制, 采用《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中的公式计算两带高度。

冒落带高度的预测:

表 2 首采区地面沉降、倾斜、移动和变形预测值

Table 2 Predicted data of first mining area surface subsidence, tilting, moving and deforming

煤层	沉降值/ $W_{cm}$	倾斜值/ $i_{cm}$	曲率/ $K_{cm}$	水平移动/ $U_{cm}$	水平变形/ $\varepsilon_{cm}$
$1^{-2}$ 上	$\frac{502.20 \sim 1\,438.11}{823.82}$	$\frac{15.82 \sim 108.06}{45.13}$	$\frac{0.73 \sim 21.86}{5.03}$	$\frac{155.65 \sim 445.81}{255.38}$	$\frac{7.45 \sim 50.92}{21.26}$
$1^{-2}$	$\frac{533.09 \sim 1\,429.71}{975.01}$	$\frac{13.81 \sim 101.14}{39.63}$	$\frac{0.36 \sim 13.61}{2.92}$	$\frac{165.20 \sim 443.21}{302.25}$	$\frac{6.51 \sim 47.66}{18.67}$
$2^{-2}$	$\frac{427.71 \sim 4\,321.64}{3\,342.83}$	$\frac{30.32 \sim 257.01}{90.98}$	$\frac{0.87 \sim 27.97}{4.41}$	$\frac{157.57 \sim 1\,299.42}{1036.28}$	$\frac{14.29 \sim 121.10}{42.87}$
$3^{-1}$	$\frac{643.37 \sim 2\,274.55}{1\,687.60}$	$\frac{11.50 \sim 117.99}{33.43}$	$\frac{0.31 \sim 11.47}{1.16}$	$\frac{199.45 \sim 705.11}{523.16}$	$\frac{5.42 \sim 55.60}{15.75}$
$4^{-2}$	$\frac{591.38 \sim 1\,520.70}{1\,168.08}$	$\frac{10.17 \sim 29.40}{16.57}$	$\frac{0.18 \sim 1.35}{0.37}$	$\frac{183.33 \sim 471.42}{362.10}$	$\frac{4.79 \sim 13.85}{7.81}$
$4^{-3}$	$\frac{701.86 \sim 1\,078.78}{901.37}$	$\frac{8.30 \sim 20.01}{12.26}$	$\frac{0.13 \sim 0.56}{0.26}$	$\frac{217.58 \sim 334.42}{279.42}$	$\frac{3.91 \sim 9.43}{5.78}$
$4^{-4}$	$\frac{519.90 \sim 877.32}{756.56}$	$\frac{5.81 \sim 18.04}{9.11}$	$\frac{0.09 \sim 0.59}{0.17}$	$\frac{161.17 \sim 271.97}{234.53}$	$\frac{2.74 \sim 8.50}{4.29}$

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} + 2.2,$$

导水裂隙带高度预测:

$$H_L = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} + 5.6 \text{ 或 } H_L = 20 \sqrt{\sum M} + 10,$$

式中: $M$ ——煤层的开采厚度, m, (取值见表 1)。

计算结果见表 3。

表 3 可采煤层冒落带、导水裂隙带发育高度计算结果

Table 3 Calculated results of caving zone, water conducted zone heights above mineable coal seams

煤层	冒落带/m	裂隙带/m
$1^{-2}$ 上	$\frac{5.71 \sim 9.96}{7.11}$	$\frac{27.89 \sim 40.46}{32.02}$
$1^{-2}$	$\frac{5.79 \sim 9.70}{7.58}$	$\frac{28.11 \sim 39.66}{33.40}$
$2^{-2}$	$\frac{5.79 \sim 15.43}{13.97}$	$\frac{28.11 \sim 61.58}{55.17}$
$3^{-1}$	$\frac{6.39 \sim 12.07}{10.33}$	$\frac{29.90 \sim 47.42}{41.71}$
$4^{-2}$	$\frac{6.11 \sim 10.00}{8.47}$	$\frac{29.08 \sim 40.59}{36.02}$
$4^{-3}$	$\frac{6.04 \sim 8.39}{7.41}$	$\frac{28.87 \sim 35.77}{32.89}$
$4^{-4}$	$\frac{5.71 \sim 7.53}{6.83}$	$\frac{27.89 \sim 33.24}{31.20}$
$5^{-2}$	$\frac{6.00 \sim 11.50}{7.97}$	$\frac{28.76 \sim 45.44}{34.62}$

## 4 地质灾害危险性综合评估

影响矿山地质环境危险性的因素很多, 各因素存在不确定性, 目前多采用可拓学原理<sup>[1]</sup>、模糊综合评判<sup>[2]</sup>、GIS 技术<sup>[3]</sup>和层次分析<sup>[4]</sup>等方法研究。鉴于影响因素具有模糊性, 模糊综合评判则可将模糊指标转化为定量分析。本文拟采用模糊综合评判二次评价模型进行研究。

应用模糊综合评判时, 关键是隶属函数和权重的确定。隶属函数多采用线性函数<sup>[5]</sup>和二值模型<sup>[6]</sup>等

方法确定, 而权重则通过灰色关联分析<sup>[7]</sup>和专家打分法<sup>[2]</sup>等方法确定。

### 4.1 地质灾害危险性评语集及因素集

根据本区地质灾害的现状 & 预测分析, 将地质灾害危险性等级划分为三级, 即构成评语集  $V = \{\text{危险性大, 危险性中等, 危险性小}\}$ 。

针对矿区地质条件及已有成果, 将影响因素分为地质条件、采矿条件和诱发条件三类, 即因素集  $U = \{\text{地质因素, 采矿因素, 诱发因素}\}$ 。其中, 地质因素包括地形地貌、地形相对高差、第四系覆盖厚度、岩土体类型、地质灾害易发性和构造发育程度; 采矿因素包括煤层顶板稳定性、底板稳定性、深厚比; 诱发因素包括水文条件和人类工程活动(表 4)。

### 4.2 隶属函数

各参评因子对地质灾害危险性等级的隶属程度用隶属度表征, 隶属度用隶属函数表示。本文中的隶属函数, 可采用以下统一的形式:

$$u_1(x) = \begin{cases} 1, x \leq a_1 \\ \frac{(a_1+a_2)-2x}{a_2-a_1}, a_1 < x < \frac{a_1+a_2}{2} \\ 0, x \geq \frac{a_1+a_2}{2} \end{cases},$$
$$u_2(x) = \begin{cases} \frac{2x-2a_1}{a_2-a_1}, a_1 < x < \frac{a_1+a_2}{2} \\ 1, x = \frac{a_1+a_2}{2} \\ \frac{2a_2-2x}{a_2-a_1}, \frac{a_1+a_2}{2} < x < a_2 \\ 0, x \leq \frac{a_1+a_2}{2} \end{cases},$$
$$u_3(x) = \begin{cases} \frac{2x-(a_1+a_2)}{a_2-a_1}, \frac{a_1+a_2}{2} < x < a_2 \\ 1, x \geq a_2 \end{cases},$$

表 4 地质灾害危险性评价指标及分级  
Table 4 Geological hazard risk assessment indices and grading

评价指标及权重		地质灾害危险性等级		
二级指标	一级指标	危险性大	危险性中	危险性小
地质因素 $U_1$	地形地貌, $U_{11}$	中、高山地, 黄土残塬、黄土梁峁	低山、丘陵	平原、黄土塬、台地、风积地貌
	第四系覆盖厚度/m, $U_{12}$	<15	30~15	30~50
	岩土体类型, $U_{13}$	不坚硬, 不完整	较坚硬, 较完整	坚硬, 完整
	地质灾害易发程度, $U_{14}$	高易发	中等易发	低易发
	构造复杂程度, $U_{15}$	复杂	一般	简单
采矿因素 $U_2$	地形相对高差/m, $U_{16}$	$\geq 500$	350 左右	$\leq 150$
	顶板稳定性, $U_{21}$	不稳定	较稳定	稳定
	底板稳定性, $U_{22}$	不稳定	较稳定	稳定
	深厚比, $U_{23}$	<30	30~60	>60
诱发因素 $U_3$	人类工程活动, $U_{31}$	强烈	较强烈	微弱
	年降雨量/mm, $U_{32}$	$\geq 550$	300~550	<300

式中:  $u_i(x)$ ——各评价因子的隶属函数;

$x$ ——评价因子的实际值;

$a_1, a_2$ ——评价因子对评价级别的基准界限值。

对于分类指标越大越好的定量指标, 采用升半梯形分布隶属函数曲线确定其隶属度; 对于分类指标越小越好的定量指标, 采用降半梯形分布隶属函数曲线确定其隶属度; 对于定性指标, 按其隶属关系直接赋值 1 或 0。

#### 4.3 权重的确定

模糊矩阵  $R$  只表达了各因子对应评价等级的隶属程度, 并不能直观地反映不同因子对各级指标因素的权重。为了客观地反映因子对因素作用的大小以及因素对整体环境作用的大小, 可采用灰色关联方法计算结合专家打分法确定其权重(表 5)。

表 5 各因素两级权重分配

Table 5 Two-stage weight assignment of each factor

二级指标	一级指标	二级指标	一级指标
地质因素, 0.4	地形地貌, 0.1	开采条件, 0.3	顶板稳定性, 0.2
	第四系覆盖厚度/m, 0.3		底板稳定性, 0.15
	岩土体类型, 0.2		深厚比, 0.65
	地质灾害易发程度, 0.25	诱发因素, 0.3	人类工程活动, 0.5
	构造复杂程度, 0.05		年降雨量/mm, 0.5
	地形相对高差/m, 0.1		

经过对二层评判后, 按最大隶属度原则确定该区域的地质灾害危险性等级。

#### 4.4 地质灾害危险性分区

##### 4.4.1 计算过程简述

以哈拉沟一盘区为例, 简要说明计算过程。首先, 将盘区网格化, 针对其中一个网格, 确定各影响

因的素隶属度:  $U_{11}=(0, 0, 1); U_{12}=(0, 0, 1); U_{13}=(0, 1, 0); U_{14}=(1, 0, 0); U_{15}=(0, 0, 1); U_{16}=(0.34, 0.66, 0); U_{21}=(0, 1, 0); U_{22}=(0, 0, 1); U_{23}=(1, 0, 0); U_{31}=(0, 1, 0); U_{32}=(0, 0.91, 0.09)$ 。

其次, 对一级指标进行模糊综合评判, 求得各指标对地质灾害危险性影响的分级模糊向量  $B_1, B_2, B_3$ , 即

$$B_1=(0.1, 0.3, 0.2, 0.25, 0.05, 0.1) * \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.34 & 0.66 & 0 \end{bmatrix} \\ = (0.284, 0.266, 0.45)$$

$$B_2=(0.2, 0.15, 0.65) * \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.65, 0.2, 0.15)$$

$$B_3=(0.5, 0.5) * \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.91 & 0.09 \end{bmatrix} = (0, 0.955, 0.045)$$

最后, 由  $B_1, B_2, B_3$  组成新的判别矩阵  $R$ , 再与二级指标权重集运算, 求得该区地质灾害危险性分级的模糊向量  $B$ , 即

$$B=(0.4, 0.3, 0.3) * \begin{bmatrix} 0.284 & 0.266 & 0.45 \\ 0.65 & 0.2 & 0.15 \\ 0 & 0.955 & 0.045 \end{bmatrix} \\ = (0.3086, 0.4529, 0.2385)$$

按最大隶属度原则, 两级模糊综合评判计算结果判定本网格为地质灾害危险性中等区。依据此方法



的计算过程,可以将一盘区所有网格进行灾害危险性评判。

#### 4.4.2 地质灾害危险性分区

按上述方法,将评判的各网格的地质灾害危险性等级相同的区域归并,并结合实际情况,得到哈拉沟地质灾害危险性分区预测图(图2)。由图可见,研究区被划分为3个危险性大区,1个危险性中等区,6个危险性小区,危险性大区分布于井田北部、东部和南部,危险性中等区则位于井田中部,危险性小区主要分布在井田西部和东部。

### 5 防治措施

①对于危险性大、中等区等范围内可能发生地面塌陷或地裂缝的地区,应结合防砂、防水煤岩柱范围留设保护煤柱,确保地面建筑物的稳定性。

②在预测冒裂带发育至地表的地区,应结合保水采煤技术,确保矿井安全,避免地表水和地下水受到破坏。

### 6 结论

①研究区地质灾害现状不发育,主要有地面塌陷、风蚀沙埋等类型的地质灾害。

②井下采矿工程引发的地表变形对地面建筑物的危险性大;在黄土梁峁、沟谷区主要引发崩塌、滑坡、地裂缝和地面塌陷,在风沙地貌区引发地面塌陷和地裂缝。

③运用模糊综合评判方法,研究区被划分为3个危险性大区,1个危险性中等区,6个危险性小区,危险性大区分布于井田北部、东部和南部,危险性中等区则位于井田中部,危险性小区主要分布在井田西部和东部。

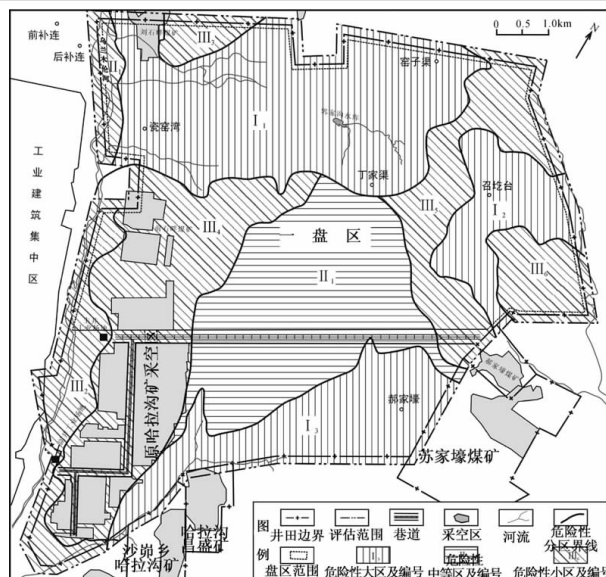


图2 地质灾害危险性分区图

Figure 2 Geological hazard risk division map

#### 参考文献:

- [1] 尚敏,陈剑平,王征亮,等.向家河大桥库岸地质灾害危险性分区的可拓学评价[J].岩土力学,2007,28(11):2445-2450.
- [2] 杨梅忠,刘亮,高让礼.模糊综合评判在矿山环境影响评价中的应用[J].西安科技大学学报,2006,26(4):439-442.
- [3] 张春山,孙炜锋,谭成轩,等.四川汶川 Ms8 级地震重灾区地质灾害危险性评价和预测[J].地质通报,2009,28(8):1138-1145.
- [4] 王哲,易发成.基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J].水文地质工程地质,2007,(3):93-98.
- [5] 蔡斌,胡卸文.模糊综合评判在绵阳市环境地质风险性分区评价中的应用[J].水文地质工程地质,2006,(2):67-74.
- [6] 王小东,张冰,胡圣武.地质灾害危险性区划评价中隶属度函数构造方法的探讨[J].地球与环境,2009,37(1):67-69.
- [7] 张春山,张业成,马寅生,等.区域地质灾害风险评价要素权值计算方法及应用—以黄河上游地区地质灾害风险评价为例[J].水文地质工程地质,2006,(6):84-88.
- [8] 张俊杰,李智学,赵岩.陕西省南郑县地震次生灾害特征及其防治[J].中国煤炭地质,2009,21(9).

### 专题研讨约稿启事

近年来的煤田水文地质、矿井水文地质以及井筒检查孔勘查报告,在计算和预测水量方面,存在着机械套用公式,不管适用条件无限制外推,计算方法单一,或利用现成软件,以不切合实际的模拟参数进行演算等问题,导致计算结果与实际情况相差甚远,给煤矿安全生产埋下隐患。为此,本刊拟开展水文地质计算方法在煤田水文地质、矿井水文地质及井筒检查孔方面应用的专题讨论,以期推动水文地质计算方法的发展,更好地为地质勘查和生产实践服务,同时也可为本刊广大作者提供一个学术交流的平台。因此,我们真诚的希望广大作者踊跃参加这一专题讨论,并积极投稿。

来稿力求主题突出、论点明确、数据可靠(请慎重处理保密范围的科技成果和数据)、论述简明扼要、图表清晰、行文通顺、体例规范。来稿若为基金、项目资助,须注明属何种基金、项目及其编号。来稿将刊登在本刊第10期(2010年10月出版)。来稿请注明“专题讨论”字样。