

毛坪铅锌矿矿山地质环境质量的模糊评判^{*}

亢亢, 赵晓林, 高建国

(昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明, 650093)

摘要: 矿山地质环境质量评价是一项复杂的系统工作, 由于影响因素较多, 难以用统一的标准进行度量, 至今仍未形成一套标准的评价方法。选取影响矿山地质环境的岩石类型、断层密度、沟床纵坡降、节理发育程度、汇水面积、崩塌体积、地面沉降、地下水位下降、水土流失、矿坑口数量、采矿区面积、雨季降雨量、植被覆盖率等 23 个因素作为评价因子, 应用模糊评价的原理与方法, 通过建立模糊数学模型和隶属度矩阵, 将毛坪铅锌矿矿山地质环境质量划分为好、较好、较差及差 4 个等级, 评价结果为毛坪铅锌矿矿山地质环境保护和整治规划提供了依据。

关键词: 模糊评判法; 矿山地质环境质量; 评价因子; 毛坪铅锌矿

中图分类号: X822.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2012)04-0048-06

Fuzzy Evaluation for Quality of Geological Environment in Maoping Lead - zinc Mine

KANG Kang, ZHAO Xiao - lin, GAO Jian - guo

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan)

Abstract: Mining geological environment evaluation is a complex systemic work. Influenced by lots of influence factors, there is not yet a uniform standard to make a scientific evaluation. Applying fuzzy mathematics model and degree of membership matrix in fuzzy evaluation, the Maoping Pb - Zn mine geological environment was divided to four ranks, excellence, good, medium and bad. The results provide a basis for the protection and restoration work. 23 evaluation factors as rock types, fault density, ditch the rail slope bed, joint develop degree, catchment area, collapse volume, land subsidence, groundwater levels fall, soil erosion, the pit number, the acreage of mining area, rainy season rainfall, vegetation coverage etc, was taken into account.

Key words: fuzzy evaluation; mining geological environment quality; evaluation factors; Maoping lead - zinc mine

1 概述

毛坪铅锌矿位于云南省昭通市彝良县毛坪镇境内, 矿区面积 14.41 km², 矿区范围地理坐标: 东经 104°03'26" ~ 104°06'44", 北纬 27°24'10" ~ 27°26'

25"。该矿床位于滇东北—黔西北铅锌成矿带中, 地处曲靖—昭通隐伏断裂和娅都—紫云断裂的交汇部位, 铅锌矿产资源丰富。

矿产资源的开采在一定程度上促进了该地区的经济发展, 但是也产生了一系列的环境问题^[1]。多

* 收稿日期: 2012-05-15; 修回日期: 2012-08-02

作者简介: 亢亢(1988-), 女, 河南信阳人, 地质工程专业在读硕士研究生, 研究方向为环境地质; Email: youcan988@126.com。

年的开采导致矿区及毗邻地区滑坡、泥石流灾害频发,矿区水环境、土壤环境、含水层及土地资源受到了不同程度的影响和破坏,地质环境正在遭受空前的威胁和恶化,严重影响了矿产资源的开发利用和生态、经济的可持续发展。

2 模糊评判

现阶段矿山地质环境质量评价的方法有很多,如GIS图层迭加分析法、综合指数法、神经网络法等,但是对于矿山地质环境这样一个多因素、多方面耦合的复杂系统而言,只是用经典数学模型来描述难免有一些局限性^[2,3]。模糊综合评价法作为一种半定量的数学方法,采用该方法对地质环境质量进行评价,可以根据不同可能性得出多个层次的问题解,弥补了人为定性分析的不足,提高了地质环境评价结果的可信度,具有一定的合理性、优越性及可扩展性^[4]。本文将模糊综合评价法应用到云南省昭通市毛坪铅锌矿矿山地质环境质量评价中,取得了良好的效果。

2.1 模糊评判原理

模糊综合评判就是要同时考虑各方面因素的影响,利用模糊数学原理对所讨论对象进行全面评判的一种方法,实际上是对各评价因子及等级做一个模糊变换^[3]。其具体过程是:将评价目标看成是由多种因素组成的模糊集合(称为因素集 U),再设定这些因素所能选取的评审等级,组成评语的模糊集合(称为评判集 V),对 U 中全部元素分别进行单因素评价,则可获得从 U 到 V 的单因素评判矩阵 $[R] \in F(U \times V)$,然后确定一个由 U 到 V 的模糊变换 $[B] = [A] * [R]$,其中 $[B]$ 就是综合评判的结果:按照最大隶属原则,评价对象应属于 $[B]$ 中最大值所对应的评语等级。

2.2 评价单元的划分

为符合研究区实际,客观地对矿山地质环境质量做出评价,按 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 的范围将研究区划分为35个评价单元。

2.3 评级指标体系构建

2.3.1 评价因子选取

在对研究区矿山地质环境背景以及主要地质环境问题充分调查和研究的基础上,运用模糊聚类模

型对研究区调查数据项进行分析后得出:研究区矿山地质环境质量受地质背景、地质灾害、水土环境破坏、矿产开发以及水文植被五大要素影响,各要素受众多次一级因子的影响。结合毛坪铅锌矿的矿产资源开发利用和矿山地质环境现状,本文建立了一个符合研究区地质环境质量评价的指标体系(图1),确定了如岩石类型、相对高差、崩塌体积、地面塌陷范围、地下水位下降、采空区面积比、植被覆盖率等共计23个地质环境质量影响因子。

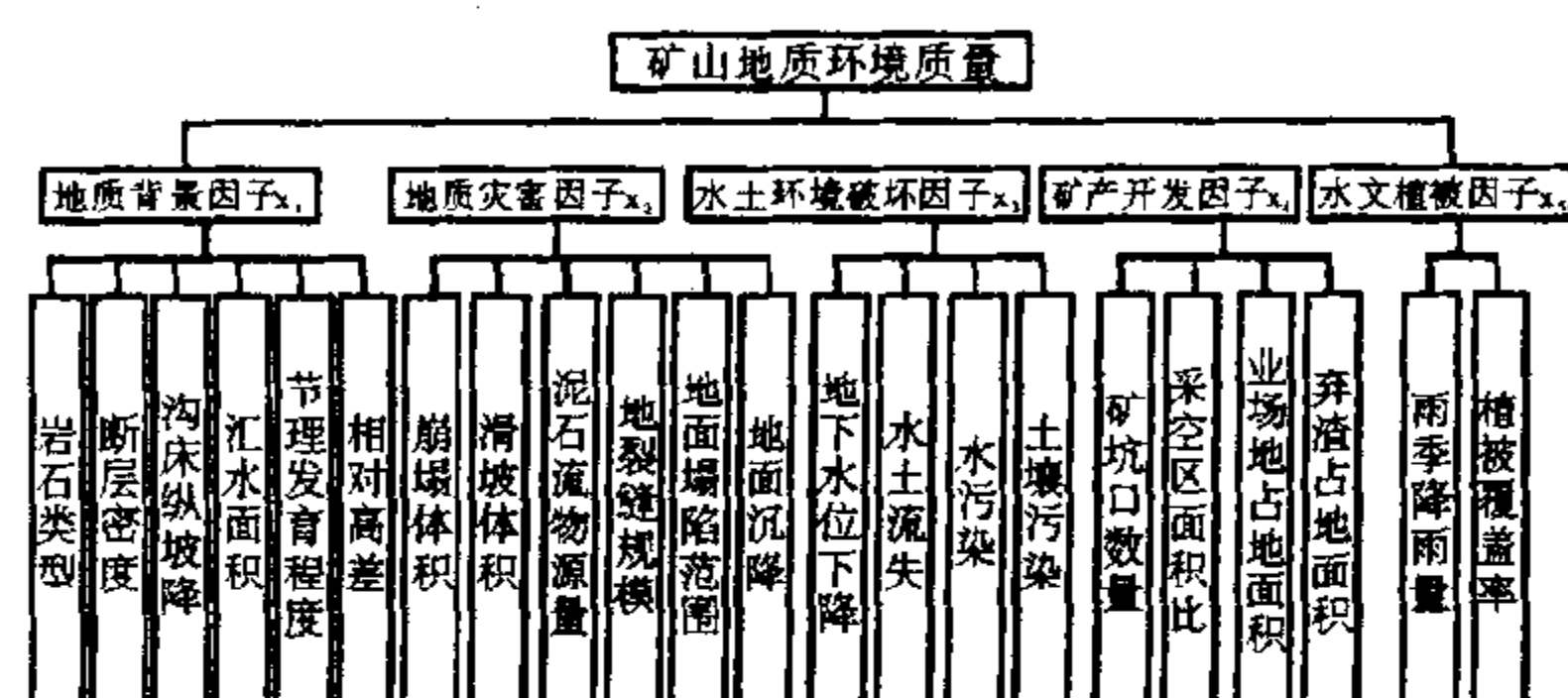


图1 矿山地质环境质量评价指标体系

2.3.2 评价等级划分

研究区矿山地质环境质量依据地质灾害危险性大小、危害对象、生态环境的破坏与影响程度以及矿山地质环境恢复治理难度等划分为“好”、“较好”、“较差”和“差”4个等级。

2.3.3 评价因子标准化

为了满足模糊评判运算需求,对各评价因子要进行定量化处理,本文根据矿山实际情况,结合前人在类似问题上的处理方法,由评判专家组结合现场调查,分析研究矿山地质环境的变异趋势后,就现状条件下的矿山地质环境质量按照好、较好、较差、差4个等级进行划分,并依照《全国矿山地质环境调查技术要求实施细则(修订稿)》、《矿山地质环境保护与治理恢复方案编制规范(修订版)》和《区域环境地质调查总则(试行)》的划分标准,结合研究区实际情况,根据评价因子对矿山地质环境质量影响程度大小进行赋值以计算隶属度(表1)。

2.4 确定评价因子权重

因矿山地质环境质量影响因子较多,本文采用层次分析法确定各指标的权值^[6]。采用1~9标度法,每位专家独立地对各层中的因子对上一层次目标的相对重要性进行两两比较,构造判断矩阵,然后将每个成员构造的判断矩阵集中得到综合判断矩阵,经全体专家讨论修改直至所有专家对综合判断

矩阵没有意见为止,计算出最大特征根和对应的特征向量,并进行判断矩阵一致性检验(见表2~7)。

表1 矿山地质环境质量评价因子标准化取值表

参评因素	评价指标	评价等级			
		好	较好	较差	差
地质背景	岩石风化系数	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	<0.4
	断层密度/(km·km ⁻²)	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	>1.5
	沟床纵坡降/‰	<300	300~500	500~700	>700
	汇水面积/km ²	<0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	>0.7
	节理密度/(km·km ⁻²)	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	>0.6
	相对高差/m	<300	300~400	400~500	>500
地质灾害	崩塌体积/10 ⁴ m ³	<1	1~10	10~100	>100
	滑坡体积/10 ⁴ m ³	<1	1~10	10~100	>100
	泥石流物源量/10 ⁴ m ³	<2	2~20	20~50	>50
	地裂缝面积/km ²	<0.05	0.05~0.15	0.15~0.3	>0.3
	地面塌陷范围/km ²	<0.2	0.2~0.5	0.5~0.8	>0.8
	地面沉降面积/km ²	<0.2	0.2~0.5	0.5~0.8	>0.8
水土环境破坏	最大累计沉降量/m	<0.1	0.1~1.0	1.0~2.0	>2.0
	地下水位下降(m)	<100	100~300	300~500	>500
	水土流失面积/km ²	<0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	>0.5
	水污染(Pb/Zn)/(mg·L ⁻¹)	0.01/0.05	0.01/1.00	0.05/1.00	0.05/2.00
	土壤污染(Pb/Zn)/(mg·kg ⁻¹)	35/100	250/200	350/300	500/500
	矿产开发				
矿产开发	矿坑口数量/个	<3	3~5	5~8	>8
	采空区面积比/%	<1	1~5	5~10	>10
	工业场地占地面积/hm ²	<1	1~5	5~10	>10
	弃渣占地面积/hm ²	<1	1~5	5~10	>10
水文植被	雨季降雨量/mm	<100	100~300	300~500	>500
	植被覆盖率/%	>60	40~60	20~40	<20

表2 地质背景指标等级标准

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	权系数 W	一致性检验
X ₁	1	1/7	1	1/5	1/3	0.058
X ₂	7	1	7	3	1	0.416
X ₃	1	1/7	1	1/5	1/3	0.058
X ₄	5	1/3	5	1	1	0.229
X ₅	3	1	3	1	1	0.238
						λ _{max}
						C.I=0.05
						R.I=1.12
						C.R=0.04<0.1
						通过

表3 X₁ 指标层权重表

X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	权系数 W ₁	一致性检验
X ₁₁	1	3	1/2	5	5	7	0.293(X ₁₁)
X ₁₂	1/3	1	1/5	3	3	7	0.150(X ₁₂)
X ₁₃	2	5	1	3	3	9	0.372(X ₁₃)
X ₁₄	1/5	1/3	1/3	1	1	5	0.080(X ₁₄)
X ₁₅	1/5	1/3	1/3	1	1	5	0.080(X ₁₅)
X ₁₆	1/7	1/7	1/9	1/5	1/5	1	0.025(X ₁₆)
							λ _{max} =6.48
							C.I=0.10
							R.I=0.24
							C.R=0.08<0.1
							通过

表4 X₂ 指标层权重表

X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	权系数 W ₂	一致性检验
X ₂₁	1	1/3	1/3	3	1/3	3	0.120
X ₂₂	3	1	1	5	3	3	0.298
X ₂₃	3	1	1	5	3	3	0.298
X ₂₄	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1	0.054
X ₂₅	3	1/3	1/3	3	1	1	0.148
X ₂₆	1/3	1/3	1/3	1	1	1	0.081
							λ _{max} =6.42
							C.I=0.08
							R.I=1.24
							C.R=0.07<0.1
							通过

表5 X₃ 指标层权重表

X ₃₁	X ₃₃	X ₃₃	X ₃₄	权系数 W ₃	一致性检验
X ₃₁	1	3	3	5	0.522
X ₃₂	1/3	1	1	3	0.200
X ₃₃	1/3	1	1	3	0.200
X ₃₄	1/5	1/3	1/3	1	0.078
					λ _{max} =4.04
					C.I=0.01
					R.I=0.90
					C.R=0.01<0.1
					通过

表6 X_4 指标层权重表

	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	权系数 W_4	
X_{41}	1	1/5	1/3	1/7	0.055	$\lambda_{\max} = 4.12 \quad C.I = 0.04$ $R.I = 0.90 \quad C.R = 0.04 < 0.1$ 通过
X_{42}	5	1	3	1/3	0.262	
X_{43}	3	1/3	1	1/5	0.118	
X_{44}	7	3	5	1	0.565	

表7 X_5 指标层权重表

	X_{51}	X_{52}	权系数 W_5	一致性检验
X_{51}	1	1	0.500	此判断矩阵为二阶,具有完全一致性,不需要检验
X_{52}	1	1	0.500	

2.5 隶属函数的确定

隶属度表示各评价因子可以被评为什么一级矿山地质环境质量的的可能性,一般由隶属函数来确定^[7]。针对毛坪铅锌矿矿山地质环境的影响因素和因子构成特征,采用半梯形分布函数作为模糊评价的隶属函数。

(1)对于评价指标值越大、对矿山地质环境质量负效应越大的评价因子,采用降半梯形分布函数来描述其隶属度,则每个因子对应评语集中4个级别的隶属函数分别为:

$$R_1 = \begin{cases} 1 & 0 \leq X < A_1 \\ \frac{A_2 - X}{A_2 - A_1} & A_1 \leq X \leq A_2 \\ 0 & X > A_2 \end{cases}$$

$$R_2 = \begin{cases} 0 & X \leq A_1 \text{ 或 } X \geq A_3 \\ \frac{X - A_1}{A_2 - A_1} & A_1 < X < A_2 \\ 1 & X = A_2 \\ \frac{A_3 - X}{A_3 - A_2} & A_2 < X < A_3 \end{cases}$$

$$R_3 = \begin{cases} 0 & X \leq A_2 \text{ 或 } X \geq A_4 \\ \frac{X - A_2}{A_3 - A_2} & A_2 \leq X \leq A_3 \\ 1 & X = A_3 \\ \frac{A_4 - X}{A_4 - A_3} & A_3 < X < A_4 \end{cases}$$

$$R_4 = \begin{cases} 0 & X < A_3 \\ \frac{X - A_3}{A_4 - A_3} & A_3 \leq X \leq A_4 \\ 1 & X > A_4 \end{cases}$$

(2)对于评价指标值越大、对矿山地质环境质量正效应越大的评价因子,采用升半梯形分布函数来描述其隶属度,则每个因子对应评语集中4个级

别的隶属函数分别为:

$$R_1 = \begin{cases} 1 & X \geq A_1 \\ \frac{X - A_2}{A_1 - A_2} & A_2 < X < A_1 \\ 0 & 0 \leq X \leq A_2 \end{cases}$$

$$R_2 = \begin{cases} 0 & X \geq A_1 \text{ 或 } X \leq A_3 \\ \frac{A_1 - X}{A_1 - A_2} & A_2 < X < A_1 \\ 1 & X = A_2 \\ \frac{X - A_3}{A_2 - A_3} & A_3 < X < A_2 \end{cases}$$

$$R_3 = \begin{cases} 0 & X \geq A_2 \text{ 或 } X \leq A_4 \\ \frac{A_2 - X}{A_1 - A_2} & A_3 < X < A_2 \\ 1 & X = A_3 \\ \frac{A_4 - X}{A_3 - A_4} & A_3 < X < A_3 \end{cases}$$

$$R_4 = \begin{cases} 0 & X < A_3 \\ \frac{A_3 - X}{A_3 - A_2} & A_4 \leq X \leq A_4 \\ 1 & X < A_4 \end{cases}$$

式中: R_i 代表评价指标对应于 A_1 或 A_2 或 A_3 或 A_4 所规定的那一级标准的隶属度; X_i 代表评价指标的实测值; A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 分别代表某指标各级质量标准值。

2.6 模糊矩阵复合运算及综合评判

以全体评价因素集的隶属度为行组成单因子评价矩阵 R ,即被评价对象的模糊评判矩阵; R 的第一行表示第一个指标(如地质背景指标)影响评价对象(矿山地质环境质量)取各个评价等级(好、较好、较差、差)的程度;第一列则表示各指标取第一个评价等级(好)的程度,以此类推^[8]。并按一定的算法将 W 和 $[R]$ 进行合成运算,用公式 $[B] = W * [R]$ 表示,一级综合评判为 $[B]_i = W_i * [R]_i$ (i 为指标层因素, $i = 1, 2, \dots, 5$);由一级评价结果 $[B]_i$ 组成二级综合评判模糊关系矩阵 R ,进行二级模糊变换 $B = W * R$;为突出权重的作用,充分利用 R 的信息,采用 $M(\cdot, \oplus)$ 算法作为模糊算子,运算规律为:

$$b_j = \min[1, \sum_{i=1}^n W_i R_{ij}]$$

其中: W_i 是指标的权重; R_{ij} 为指标 i 对评语集中第 j 级别的隶属度。

3 评价过程及评价结果

3.1 评价过程

本文以第 13 单元为例,简介矿山地质环境质量模糊评判的方法。第 13 单元内岩石类型为中厚层~厚层块状白云岩、石灰岩夹极少量页岩,抗风化能力较弱,断层密度 1.6 km/km^2 ,沟床纵坡降 800% ,汇水面积 0.72 km^2 ,节理较发育,相对高差 540 m ;崩塌体积 $72 \times 10^4 \text{ km}^2$,滑坡体积 $88 \times 10^4 \text{ km}^2$,泥石流物源量达 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$,地裂缝较发育,长多为数十米,宽 $1 \sim 6 \text{ m}$,面积约 0.2 km^2 ,地面塌陷范围 0.45 km^2 ,地面沉降 0.45 km^2 ,最大累计沉降量 1.20 m ;采矿导致地下水位下降 130 m ,水土流失面积 0.45 km^2 ,水中 Pb 含量 0.05 mg/L ,Zn 含量 1.00 mg/L ,土壤中 Pb 含量 250 mg/kg ,Zn 含量 215 mg/kg ;有坑口 6 个,采空区 3% ,工业场地占地面积 1.6 hm^2 ,弃渣占地面积 7.6 hm^2 ;雨季降雨量累计平均 526.2 mm ,植被覆盖率 28% 。

模糊评价过程如下:

(1) 根据各评价因子的标准化取值,建立因素集 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 的模糊评判矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2) 计算模糊综合评判值

对于指标层:

$$B_1 = W_1 * R_1 = (0, 0, 0.333, 0.667)$$

$$B_2 = W_2 * R_2 = (0, 0.229, 0.770, 0)$$

$$B_3 = W_3 * R_3 = (0, 0.6, 0.4, 0)$$

$$B_4 = W_4 * R_4 = (0, 0.38, 0.62, 0)$$

$$B_5 = W_5 * R_5 = (0, 0, 0.5, 0.5)$$

由指标层评判结果得到准则层评判矩阵:

$$R = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)^T =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.333 & 0.667 \\ 0 & 0.229 & 0.77 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

进而得到准则层评判结果:

$$S = W * R = (0, 0.217, 0.624, 0.158)$$

根据最大隶属度原则^[9],从要素层可判别,现状条件下,该单元地质环境质量较差;从指标层判别,地质背景影响下,该单元地质环境质量差;在地质灾害影响下,该单元地质环境质量较差;水土环境破坏影响下,该单元地质环境质量较好;矿业开发活动影响下,该单元地质环境质量较差;水文植被影响下,该区地质环境质量较差~差。

3.2 评价结果

经逐一对每一单元的地质环境质量进行隶属度计算,评价出每一单元的地质环境质量等级(图 2)。所得评价结果与影响矿山地质环境的关系,例如研究区北侧中部,地势陡峻,相对高差较大,岩性从软质岩、半坚硬~坚硬岩组均有分布,构造发育,地质灾害频发,有多个矿山分布,受矿业活动影响较大,受以上各因素影响,该区地质环境质量较差。

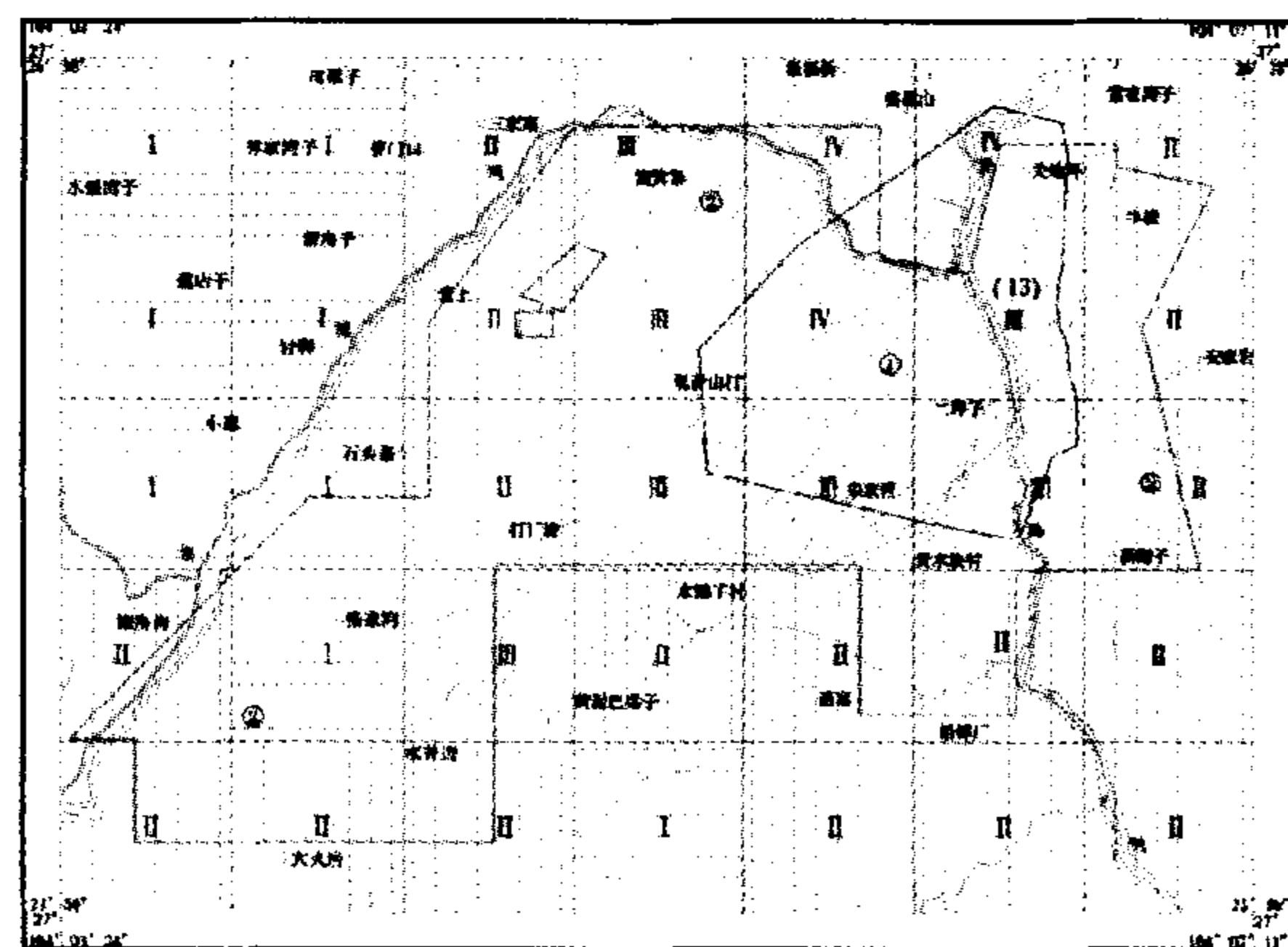


图 2 毛坪铅锌矿矿山地质环境质量现状分区

本文预测结果与按照《矿山地质环境保护与治理恢复方案编制规范》评价的结果(如图 2 中①,②区域)基本一致,说明评级因子选取合理,方法得

当,结果较为满意。

4 结论

本文应用了模糊综合评判法对研究区矿山地质环境质量进行了研究,发现应用模糊综合评判法既能够充分利用矿山地质环境系统的多因素复杂性,又能充分考虑评估因素指标值、评估因素权重和评估因素间相互作用对矿山地质环境质量的共同影响,同时又能结合主、客观因素,得到的评价结果反映了毛坪铅锌矿矿山地质环境质量的现状^[10,11]。因此,在矿山地质环境质量评价中应用模糊评判方法是可行的,其结果为矿山安全生产及地质环境的恢复、整治提供科学依据,是一种值得推广应用的方法。

参考文献:

- [1] 张进德,马军. 矿山环境调查评价与综合研究[J]. 西北地质,2003,36(增刊):168-171.
- [2] 腾冲. 金属矿山地质灾害评估系统及综合预测模型研究[D]. 长沙:中南大学,2007:66-94.
- [3] 刘洪生. 杨树岭矿区煤炭开采对周边地质环境的影响及其对策研究[J]. 华北科技学院学报,2008,5(4):34-36.
- [4] 赵晓林,高建国,等. 安宁草铺磷矿矿山地质环境问题模糊评价[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版),2011,36(6):8-14.
- [5] 刘玥. 凤县铅锌矿区地质环境质量评价研究[D]. 西安:西安科技大学,2009:1-2.
- [6] 郑国明,梁合诚,等. 浅析矿山地质环境综合评价[J]. 安全与环境工程,2009,16(5):42-44.
- [7] 郭浩成,高广艳,唐付苓. 地质环境质量综合评价及应用研究[J]. 地下空间与工程学报,2008,4(6):1 061-1 066.
- [8] 赵晓林. 昭通市毛坪铅锌矿矿山地质环境变异研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2011:12.
- [9] 刘洪,张宏斌. 江苏省矿山地质环境质量的模糊评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,18(4):82-87.
- [10] 刘丽,王士革. 云南昭通滑坡泥石流危险度模糊综合评判[J]. 山地研究,1995,13(4):261-266.
- [11] 毛新虎. 矿山地质环境变异的模糊综合评价[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2009,35(1):160-164.