

## 民采空区危险性两级模糊综合评判

——以招远市北截村为例

许薇<sup>1,2</sup>,董杰<sup>2,3</sup>,尹明泉<sup>2</sup>,管勇<sup>2</sup>

(1. 青岛大学化学化工与环境学院, 山东 青岛 266071; 2. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266071; 3. 中国海洋大学环境工程学院, 山东 青岛 266071)

**摘要:**在充分搜集资料的基础上,对招远市北截村民采空区进行实地勘查,从地质条件、灾害发育程度及采空区特征3个影响因素入手,选取了9个评判因子进行两级模糊综合评判,采取最大隶属度原则确定采空区危险性等级,并进行了评估分区。评判结果能较准确地反应实际情况,为该区地质灾害防治工作及开发建设规划提供了依据。

**关键词:**民采空区;两级模糊综合评判;危险性分区;招远市北截村

中图分类号:P642.21

文献标识码:B

## 0 引言

招远市矿产资源丰富,是典型的矿业大市。北截村距离招远市中心西北约17 km。自20世纪40年代至今已开采60余年,在村下部形成大量采空区,引发了多次采空塌陷,导致房屋开裂,路面破裂,严重影响了当地村民正常的生产生活。查清采空塌陷及地下采空区的危险程度,不仅为当地制定相应的治理方案提供依据,而且可以消除地质灾害隐患,减轻人民的生命财产损失。

搜集该区地质资料及现有矿床资料,通过调查、访问确定区内塌陷发生的规模、房屋裂缝等情况。采用地球物理勘探方法确定采空区,并用工程地质钻探方法对采空区进行验证。从地质条件、灾害发育程度及采空区特征3个影响因素入手,筛选出9个评判因子,建立两级模糊综合评判模型,最后根据评判结果划出采空区危险性分区图。

## 1 影响因素的选择

## 1.1 地质环境条件

(1)地层岩性:评判区位于胶东半岛西北部,其大地构造位于华北板块胶北地块、胶北隆起区与坳陷区胶北隆起之胶北凸起的西北部。第四系临沂组在区内广泛分布。岩浆岩主要为郭家岭超单元大草

屋单元黑云花岗闪长岩(图1)。

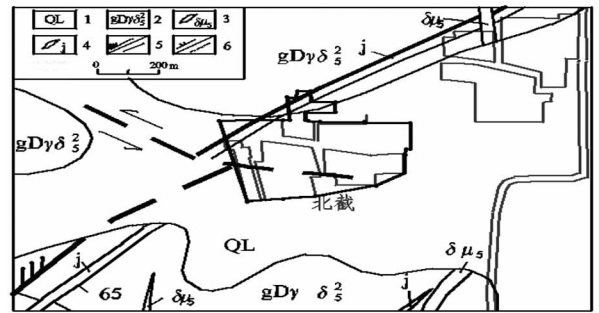


图1 研究区地质图

1—临沂组;2—大草屋单元斑状粗中粒含角闪黑云花岗闪长岩;3—闪长玢岩;4—蚀变带/含金蚀变带;5—压扭性断裂/性质不明断裂;6—张扭性断裂/推测断裂

(2)地质构造:NE向的灵山沟-北截断裂纵贯评判区,走向 $50^\circ$ ,倾向NW,倾角 $85^\circ$ 。断裂带宽4~15 m,属扭断裂发育起来的压扭性断裂,在上盘有发育较连续的主断面,见有厚度不大的断层泥、碎裂岩,并有角度较大的斜擦痕,构造岩带不甚发育。另有NW向断裂,为成矿后期断裂,对矿体完整性产生破坏。

(3)断裂及破碎带:评判区破碎带围岩蚀变发育,其规模和强度取决于断裂构造的规模、性质和岩石的破碎程度,蚀变带呈 $50^\circ\sim 70^\circ$ 方向分布,长度大于80 m的共13条,倾向NW,倾角 $65^\circ\sim 86^\circ$ ,该区矿体开采历史相对较长,由于民采的规模较小且无组织性,地下坑道走向大多杂乱且无层次,破碎程度

\* 收稿日期:2011-11-28;修订日期:2012-02-15;编辑:曹丽丽

作者简介:许薇(1986—),女,辽宁鞍山人,硕士研究生,研究方向:环境地质;E-mail:xwysyau@163.com。

不均等。

(4)第四系厚度:评判区上部主要为松散岩类,以中粗砂、砂砾石为主,夹有薄层粘性土。第四系厚 2~13 m,松散,不均匀,工程地质条件较差。

## 1.2 灾害发育程度

在评判区内,采空塌陷跟房屋裂缝普遍存在。西北部水泥路发现 4 条地裂缝,裂缝宽 1~3 cm,走向 50°左右,与矿脉走向基本一致。

(1)采空塌陷:区内采空塌陷点有 27 处,主要是沿矿脉走向,受制于采空区的分布。采空塌陷最早发生在 1978 年,最晚发生在 2008 年,除了 2008 年新形成的 2 个塌陷坑没有进行回填,其余均进行了回填。该区采空塌陷发生的规模均较小,坑口面积最小约 2.1 m<sup>2</sup>,最大约 57.8 m<sup>2</sup>,塌陷区总面积约 684.1 m<sup>2</sup>。

(2)房屋裂缝:在调查的 526 户房屋中,有 217 户房屋发现了裂缝,发生时间较长,多处已倒塌。裂缝的形状多样,有垂直的、水平的、倾斜的、外八字、内八字等,一般上大下小,墙体裂缝最宽处达 60 mm,其中 6 户房屋出现倾斜,危险性较大。

## 1.3 采空区特征

选用高密度电阻率法 Dipole - Dipole 方式与 WENNER 方式进行勘探,共完成高密度电法勘探测线 14 条,根据物探结果布设验证钻孔 10 个。物探实验布设的 14 条探测线中,有 2 条未发现采空区异常,其他各线均探测到采空区。钻探实验布设的 10 个钻孔中,3 个孔在设计深度内遇到采空区,3 个孔顶板受应力作用造成其岩芯非常破碎,钻孔可能处于矿柱上,紧靠采空区,其余 4 个孔在探测深度内存在不同程度的岩芯破碎情况,周围可能存在采空区。根据数据结果分析,采空区的分布特征与矿体的分布特征具有一致性,采空区呈 NE 向展布。根据物探钻探结果,该区采空区埋深为 20~120 m,在发生塌陷及房屋裂缝较严重的地区,埋深较浅的有 20 m,埋深较大处有 90 m,其余地区埋深大于 90 m,采空区厚度一般 2~4 m。

## 2 模糊综合评判理论

模糊综合评判法是一种基于模糊数学的综合评判方法。该综合评判法根据模糊数学的隶属度原理把定性评判转化为定量评判,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评判。它具有结

果清晰、系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决<sup>[1]</sup>。

### 2.1 建立模糊集

确定评判对象的因素集  $U = [u_1, u_2, \dots, u_m]$ ; 评语集  $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ , 因素论域与评判论域之间的模糊关系用评判矩阵  $R$  来表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

其中  $r_{ij} = \mu(u_i, v_j)$  ( $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ), 表示因素指标  $u_i$  对于第  $j$  级评判指标  $v_j$  的模糊隶属度; 矩阵  $R$  中第  $i$  行  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$  为因素  $u_i$  的单因素评判。

### 2.2 确定权重及隶属度

评判对象的因素集  $U$  中各个因素有不同的侧重,需要对每个因素赋予不同的权重,它可以表示为  $U$  上的一个模糊子集:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n); \text{且 } \sum_{i=1}^n a_i = 1$$

式中:  $A$  为因素权向量,  $a_i$  可理解为某个评价因子的权系数。

根据隶属度的基本原则,评判时采用剖分面积元的方法来构造因素的隶属度,则有:

$$\mu_{ij} = \frac{S_j}{S}$$

式中:  $S$  为剖分单元的面积;  $S_j$  为第  $i$  个子因素在单元中第  $j$  项评语所占的面积。

### 2.3 综合评判

将因素权向量  $A$  与模糊评判矩阵  $R$  相乘得到模糊综合评判,即  $B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ ;  $b_m$  的含义是综合考虑某因素的全部下层因素所做出的该因素对评语集中第  $j$  等级的隶属度,根据最大隶属度原则,确定评判对象为对应的评语级别。

## 3 民采区的模糊综合评判

### 3.1 确定因素集及评语集

(1)确定因素集:根据调查研究结果及实际情况,采空区危险性主要受地质条件、灾害发育情况及采空区特征 3 个因素影响,综合考虑这 3 类影响因素,对相关因子进行优筛,分别选取了 9 项因素作为

子因素<sup>[2]</sup>。

(2)确定评语集:将采空区危险性评判划分为 3 个级别,即危险性大、危险性中等和危险性小(表 1)。

表 1 采空塌陷危险性分级特征<sup>[3]</sup>

等级	灾害发育情况及危害程度
危险性大 $v_1$	地面有塌陷坑,地裂缝较多,地表形态变化很大,危害性严重,一般可使建筑物产生明显的不均匀沉降,高重心建筑物可严重倾斜
危险性中等 $v_2$	地面偶见塌陷坑或轻微地裂缝,地表深陷不明显,危害性小,一般对建筑物不致引起明显的危害
危险性小 $v_3$	地面基本无塌陷坑、地裂,地表形态变化较小或无变化。基本无危害,一般建筑物稳定

### 3.2 确定权重

该文采用层次分析法确定各因素的权重(表 2)。

表 2 权重值

二级因素	一级因素	权重	
		一级	二级
地质条件 $u_1$	地层岩性 $u_{11}$	0.18	0.13
	上覆岩层强度 $u_{12}$	0.26	
	断裂及破碎带 $u_{13}$	0.29	
	第四系厚度 $u_{14}$	0.27	
灾害发育情况 $u_2$	塌陷面积 $u_{21}$	0.58	0.23
	建筑破坏程度 $u_{22}$	0.42	
采空区特征 $u_3$	采空区厚度 $u_{31}$	0.35	0.64
	开挖面积 $u_{32}$	0.32	
	埋深 $u_{33}$	0.33	

### 3.3 综合评判

评判区总面积 21.556 万  $m^2$ 。运用栅格数据处理方法对其进行剖分,每个单元面积为 40 m $\times$ 40 m,共划分 146 个单元格。依次判断每个单元对评语集  $V$  的隶属度,根据上述权重表,进行二级模糊综合评判,得到该单元格的评判等级(图 2)。

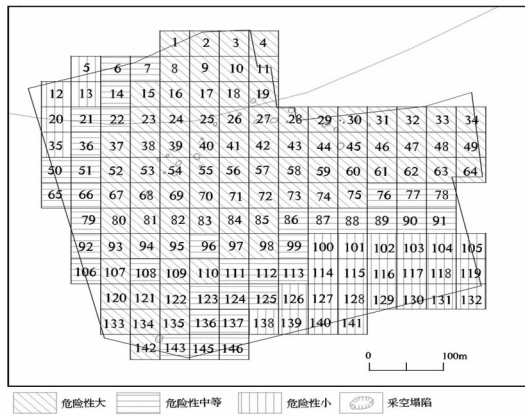


图 2 单元格评价等级图

以 69<sup>#</sup> 单元计算为例,简要介绍评判过程:

(1)采用剖分面积元的方法,确定单因素对评语

集  $V$  的隶属度。

$$\mu_{11} = (0, 0, 1); \mu_{12} = (0.32, 0.68, 0); \mu_{13} = (0.74, 0.26, 0); \mu_{14} = (0, 0.52, 0.48); \mu_{21} = (1, 0, 0); \mu_{22} = (0.88, 0.12, 0); \mu_{31} = (0.61, 0.39, 0); \mu_{32} = (1, 0, 0); \mu_{33} = (0, 0.75, 0.25)。$$

(2)一级评判:依据  $B = A \cdot R$  及权重值,分别对地质条件、灾害发育情况及采空区特征 3 类因素的子因素进行一级评判:

$$B_1 = (0.18, 0.26, 0.29, 0.27) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0.32 & 0.68 & 0 \\ 0.74 & 0.26 & 0 \\ 0 & 0.52 & 0.48 \end{pmatrix}$$

$$= (0.30, 0.39, 0.31)$$

$$B_2 = (0.58, 0.42) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.88 & 0.12 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= (0.95, 0.05, 0)$$

$$B_3 = (0.35, 0.32, 0.33) \begin{pmatrix} 0.61 & 0.39 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 \end{pmatrix}$$

$$= (0.53, 0.39, 0.08)$$

(3)二级评判:将以上 3 类因素的隶属值组成新的矩阵  $R'$ ,依据  $B = A \cdot R$  及权重值进行模糊二级评判:

$$B = (0.13, 0.23, 0.64) \begin{pmatrix} 0.30 & 0.39 & 0.31 \\ 0.95 & 0.05 & 0 \\ 0.53 & 0.39 & 0.08 \end{pmatrix}$$

$$= (0.60, 0.31, 0.09)$$

按最大隶属度原则,69<sup>#</sup> 单元判定为危险性大。对其他单元的计算步骤同上,分别与实际情况进行比对,评判结果基本相互吻合,可见,此评判方法可行。

## 4 评判结果

根据图 2 中模糊综合评判结果,将危险性评语等级相同的单元合并,结合实际情况圈定分区界线,将评判区分为危险性大区、危险性中等区和危险性小区(图 3)。由图 3 可以看出,分区展布方向与矿层开采方向一致,采空塌陷危险性越大的区域,其与矿脉的距离越近;反之,距离采空区越近的区域,危险性也越大。

(1)危险性大区(I)。该区面积 13.031 万  $m^2$ ,居住村民 351 户,为居住密集区。该区采空区埋深小于 120 m,分布广泛,埋藏浅,厚度大。自 1978 年以来曾发生采空塌陷 20 余次,几乎每年在雨季都会有采空塌陷发生,并且在村中主要道路中存在 4 处地裂缝。目前,采空周围岩层极不稳定,短时间内特别是地震或强降雨情况下仍然存在发生采空塌陷的可能性,地质灾害危险性大。

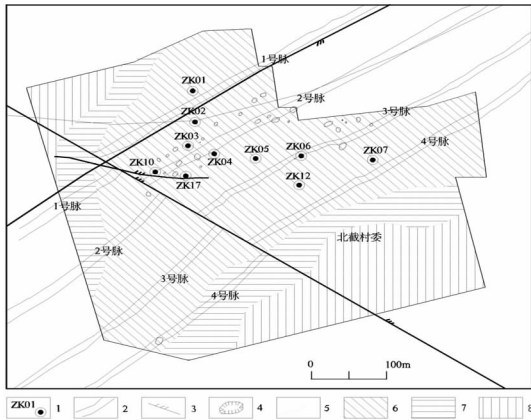


图 3 危险性分区图

1—钻孔及编号;2—矿脉;3—压扭性断裂;4—采空塌陷坑;5—危险性分区界线;6—危险性大区(I);7—危险性中等区(II);8—危险性小区(III)

(2)危险性中等区(II)。该区面积 4.159 万  $m^2$ , 居住村民 113 户, 其中包括幼儿园、电工组等设施。该区存在房屋裂缝情况, 主要为埋深大于 120~200 m 的采空区, 地质灾害点相对较小, 地质灾害危险性中等。

(3)危险性小区(III)。该区面积 4.366 万  $m^2$ , 主要为村民居住区, 在该区范围内未发现采空区, 据调查, 历史上该区也未发生过地质灾害, 地质灾害危险性程度较小。

## 5 防治措施及建议

### Two-level Fuzzy Comprehensive Evaluation on the Risk Degree of Mined-out Area by Villagers

XU Wei<sup>1,2</sup>, DONG Jie<sup>2,3</sup>, YIN Mingquan<sup>2</sup>, GUAN Yong<sup>2</sup>

(1. Chemistry and Environment College of Qingdao University, Shan dong Qingdao 266071, China; 2. Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Shan dong Qingdao 266071, China; 3. Environmental Engineering College of China Ocean University, Shan dong Qingdao 266071, China)

**Abstract:** On the basis of collecting adequate information, investigation in the mined-out area by villagers in Zhaoyuan city has been carried out. Starting with three factors of geological conditions, development degree of hazards and characteristics of the mined-out area, nine evaluation factors are chosen to do the two-levels fuzzy comprehensive evaluation. At the same time, choosing the principle of maximum membership degree, risk degrees of the mined-out areas have been divided, and the risk degree zones have been divided as well. All the evaluating results can show the real conditions accurately. It will provide some references for the prevention and control work of local geological hazards and the development and construction plan.

**Key words:** Mined-out areas by villagers; two levels fuzzy comprehensive evaluation; division of risk degree; Beijiecu village in Zhaoyuan city

根据模糊评判的结果, 将 3 个分区分别划分为 3 个防治区, 并提出相应防治措施。

重点防治区(I): 由于采空情况比较复杂, 若对采空区进行处理, 治理费用相当大且危险性大。该区已不适宜于居住, 建议对该区实行移民政策, 采取避让措施。

次重点防治区(II): 实行房屋加固处理和动态监测相结合的治理方法。对治理难度大、费用高的地下采空区, 在经济条件许可情况下采取避让措施; 经济上不许可情况下对地表设置常年的动态观测站, 给出避让或加固的处理意见。

一般防治区(III): 未发生过地质灾害也未探测到采空区, 作为多年老采矿区一部分, 仍需进行密集的动态观测, 发现问题及早避让。

评判坚持“以人为本”的指导思想, 并且在防治措施上坚持“预防为主, 防治结合”的方针, 希冀为该地地质灾害防治工作及开发建设规划提供依据。

### 参考文献:

- [1] 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 张长敏, 董贤哲, 祁丽华, 赵波. 采空区地面塌陷危险性两级模糊综合评判[J]. 地球与环境, 2005, 33(B10): 99-103.
- [3] 工程地质手册编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.