

基于模糊数学综合评判的采空区稳定性分析

王新民, 谢盛青, 张钦礼, 赵彬

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要: 基于模糊数学原理对采空区稳定性进行综合评判, 在评判过程中按各因素的类型建立评估因素集, 建立 2 级模糊评判模型; 采用四值逻辑分区法确定隶属函数, 进而求解定量因素; 通过专家打分法量级划分确定定性因素, 进而确定判断矩阵; 采用层次分析法分析影响采空区稳定性的动态、静态、定量、定性指标等因素, 建立评估因素权重集. 然后将判断矩阵与因素权重集进行交、并、补运算. 以老鸦巢矿区 608 采空区为例, 得出评判结果为 (0.099 7, 0.496 2, 0.079 2, 0.325 0), 按最大隶属原则确定该采空区为危险度较高.

关键词: 模糊数学; 采空区; 综合评判; 层次分析法; 矿山开采; 铅锌矿

中图分类号: TD853.343 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)01-0009-05

Stability Analysis of Mined-out Area Based on Fuzzy Mathematical Comprehensive Evaluation

WANG Xin-min, XIE Sheng-qing, ZHANG Qin-li, ZHAO Bin

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract Based on fuzzy mathematics, this paper evaluates the stability of mined-out areas comprehensively, establishes courses of evaluation, and builds a two-level fuzzy evaluation model according to different categories of evaluative factors. The four-valued logic classification is used to determine the subordinate functions in order to get the quantitative factor. Meanwhile the expert scoring is applied to qualitative factor. The evaluating matrix is then obtained based on the two factors. With the adoption of analytic hierarchy process, the dynamic, static, quantitative and qualitative indexes influencing the stability of mined-out areas are analyzed in order to establish weight courses of evaluation factors. The courses are then calculated together with the evaluating matrix in aspects of intersection, union and complementary set. Finally, the 608 mined-out area of Laoyachao ore-field is taken as an example, and the results of evaluation are (0.099 7, 0.496 2, 0.079 2, 0.325 0). According to the maximum subordinate principle, this mined-out area is in real danger.

Key words fuzzy mathematics; goaf; comprehensive evaluation; AHP; mining; lead-zinc mine

0 引言

有效治理采空区是保证生命和财产安全, 矿山可持续开采的重要条件^[1]. 采空区的治理必须了解各个采空区具体情况的差异性^[2], 判断其可能产生灾害的危险性程度, 只有综合考虑各种信息, 才能得到比较合理的采空区治理方案, 并尽量使某些危险性程度大的采空区得到优先治理.

文中运用模糊数学 (FUZZY) 综合评价方法, 分析和优选对采空区灾害产生有重大影响的因素, 建立理论评价模型, 预测采空区的危险度, 从而为该矿有效防治采空区灾害提供技术支持^[3-6].

收稿日期: 2009-04-07. 基金项目: 国家科技支撑计划课题 (项目编号: 2006BAB02A03); 2008 年度中南大学米塔尔创新资助项目 (项目编号: 08MX16).

第一作者简介: 王新民 (1957-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向: 采矿充填技术. E-mail: sk001@QQ.com

1 模糊综合评判模型

1.1 模型的建立

对采空区危险度的评价, 需要考虑的因素很多, 且这些因素的地位又不一样, 那么这些因素不能放在同一个层次进行评判^[7], 为此需要将所考虑的因素, 按照一定的层次关系分成不同的层次, 逐层进行评判, 这种方法称为多级模糊综合评判. 根据该评判理论, 将影响采空区的因素根据不同的类型建立评价对象因素集即

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n\} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

定义采空区危险程度评语集 V , 分层 n 个稳定级别, 即

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_j, \dots, v_n\} (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

对因素集中单个影响因素 $u_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 进行评判, 得到 V 上的模糊集 $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$, 将每个单因素评判的模糊集组合形成评判矩阵 R .

按照上面思路, 结合老鸦巢矿区各种工程资料及采矿现状, 建立评判采空区稳定性的二级模糊综合评判模型, 在此基础上建立指标框架分析模型, 如图 1 所示.

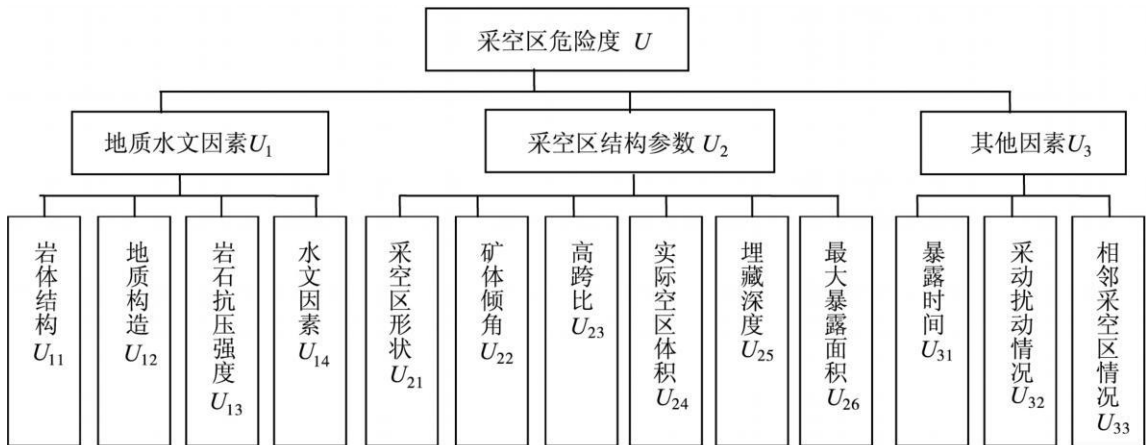


图1 采空区稳定性评价指标层次结构

Fig.1 Hierarchy structure of stability evaluation indexes for mined-out area

其中, 一级评判选取了单因素 13 项, 分别对地质水文因素、采空区结构参数及其他因素进行评判, 再以此评判结果作为因素进行二级评判, 最后得出综合评判结果分为 4 个级别, 即危险度极高、危险度较高、危险度一般、危险度较低.

1.2 评判运算

权重分配及单因素评判矩阵求出后, 便可进行综合评判, 如下:

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ A_3 \circ R_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为二级评判权重的模糊集, $A_i (i = 1, 2, 3)$ 为一级级评判权重的模糊集; $R_i (i = 1, 2, 3)$, 为一级评判评语集与因素集模糊关系, 即评判矩阵, R 为 2 级评判矩阵; $B_i (i = 1, 2, 3)$ 既是一级评判的结果集, 又是二级评判的因素集, $B = (b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_n) (j = 1, 2, \dots, n)$ 为 2 级评判结果, 其中

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (4)$$

1) 评判矩阵 R 的确定. 建立单因素评判, 即建立一个从 U 到 $F(V)$ 的模糊映射.

$$f: U \rightarrow F(V), \forall ui \in U \quad (5)$$

$$ui \rightarrow f(ui) = \frac{r_{i1}}{v_1} + \frac{r_{i2}}{v_2} + \dots + \frac{r_{im}}{v_m} \quad (6)$$

$$0 \leq r_{ij} \leq 1, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$$

由 f 可诱导出模糊关系 R_i , 得到模糊矩阵

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{i1} & \dots & r_{in} \\ \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots \\ r_{im1} & \dots & r_{imn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

根据隶属函数建立原则, 定量表达的因素的隶属度通过采空区四值逻辑评分的评分标准来确定^[8]; 对于不可定量表达的因素, 直接根据量级划分而定. 如危险度极高则取 $\mu_{(i)} = r_{ij} = 1$, i 为该因素对应 i 行数, 该行其它元素为 0 其它雷同.

2) 确定指标因素的权重. 应用 AHP 分析决策问题时, 首先要把问题条理化、层次化, 构造出一个有层次的结构模型. 构造的 AHP 模型为上述的二级模糊综合评判模型, 然后采用 Satty 等建议引用数字 1~9 及其倒数作为标度, 如表 1 为该标度含义^[9]. 将两两因素之间的比值评定后构成判断矩阵 (表 2~5).

为防止判断矩阵偏离一致性以致影响最终决策, 需对最大特征根 λ_{max} 进行一致性检验. 判断矩阵的一致性检验公式为 $CR = CI/RI$ 其中 CI 为一致性检验指标, $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$; n 为判断矩阵的阶数; 层次排序结果经检验后 $CR < 0.1$ 时, 计算结果如表 6 所示.

2 工程实例

2.1 数据统计

现以原水口山铅锌矿老鸦巢矿区 608 采空区为例. 通过对该矿山地下开采所形成的大量采空区现状研究中通过现场调研、资料分析、参考相关文献, 分析和优选对采空区灾害危险度的影响因素. 在对定性因素通过专家打分法确定, 通过统计如表 7

表 1 比较标准意义

Tab 1 Meaning of the compare standard

标准值	定义	说明
1	同样重要	因素 i 与 j 的重要性相同
3	稍微重要	因素 i 的重要性稍微高于 j
5	明显重要	因素 i 的重要性明显高于 j
7	强烈重要	因素 i 的重要性强烈高于 j
9	绝对重要	因素 i 的重要性绝对高于 j

2 4 6 8 分别表示两相邻判断的中值;

若因素 i 与 j 比较得 a_{ij} 则因素 j 与 i 比较得 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

表 2 A - B 判断矩阵

Tab 2 The judge matrix of the A - B membership

	U_1	U_2	U_3
地质水文因素 U_1	1	1	8
采空区结构参数 U_2	1	1	7
其他因素 U_3	1/8	1/7	1

表 3 $B_1 - C$ 判断矩阵

Tab 3 The judge matrix of the $B_1 - C$ membership

	U_{11}	U_{12}	U_1	U_{14}
岩体结构 U_{11}	1	1/3	3	5
地质构造 U_{12}	3	1	5	7
岩石抗压强度 U_{13}	1/3	1/5	1	3
水文因素 U_{14}	1/5	1/7	1/3	1

表 4 $B_2 - C$ 判断矩阵

Tab 4 The judge matrix of the $B_2 - C$ membership

	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	U_{25}	U_{26}
采空区形状 U_{21}	1	7	1/5	3	5	1/3
矿体倾角 U_{22}	1/7	1	1/9	1/5	1/3	1/8
高跨比 U_{23}	5	9	1	7	9	3
实际空区体积 U_{24}	1/3	5	1/7	1	3	1/5
埋藏深度 U_{25}	1/5	3	1/9	1/3	1	1/9
最大暴露面积 U_{26}	3	8	1/3	5	9	1

表 5 $B_3 - C$ 判断矩阵

Tab 5 The judge matrix of the $B_3 - C$ membership

	U_{31}	U_{32}	U_{33}
暴露时间 U_{31}	1	3	5
采动扰动情况 U_{32}	1/3	1	3
相邻采空区情况 U_{33}	1/5	1/3	1

表 6 层次分析结果

Tab 6 The result of analytical hierarchy process (AHP)

指标权重 A	中间层 U_i	指标层 U_j	单因素权重 A_{ij}	指标权重 A	中间层 U_i	指标层 U_j	单因素权重 A_{ij}
0.479	地质水文因素 U_1	岩体结构	0.28	0.458	采空区参数 U_2	采空区形状	0.137
		地质构造	0.553			矿体倾角	0.024
		岩石抗压强度	0.113			高跨比	0.46
		水文因素	0.054			实际空区体积	0.073
0.063	其他因素 U_3	暴露时间	0.637			埋藏深度	0.041
		采动扰动情况	0.258			最大暴露面积	0.265
		相邻采空区情况	0.105				

表 7 采空区的危险度影响因素

Tab 7 Effect factors on risk degree of mined out area

中间层 U_i	指标层 U_j	参数	中间层 U_i	指标层 U_j	参数
地质水文因素	岩体结构	2	采空区参数	采空区形状	2
	地质构造	6		矿体倾角	55
	岩石抗压强度	19.5		高跨比	0.39
	水文因素	2		实际空区体积	14377
地质水文因素	暴露时间	53		埋藏深度	230
	采动扰动情况	2		最大暴露面积	766
	相邻采空区情况	2			

2.2 评判过程

根据上述资料, 将各单因素的取值代入隶属度函数或隶属取值表, 得到判断矩阵, 然后按照前述模型进行评判.

一级评判

$$\tilde{B}_1 = \tilde{A}_1 \circ \tilde{R}_1 = (0.28 \ 0.553 \ 0.113 \ 0.054) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.76 & 0.24 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (0.0859 \ 0.5801 \ 0 \ 0.3340)$$

$$\tilde{B}_2 = \tilde{A}_2 \circ \tilde{R}_2 = (0.137 \ 0.024 \ 0.46 \ 0.073 \ 0.041 \ 0.265) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.55 & 0.45 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.85 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.95 & 0.05 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.36 & 0.64 \end{pmatrix} = (0.0822 \ 0.4346 \ 0.1729 \ 0.3103)$$

$$\tilde{B}_3 = \tilde{A}_3 \circ \tilde{R}_3 = (0.637 \ 0.258 \ 0.105) \begin{pmatrix} 0.52 & 0.48 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (0.3312 \ 0.3058 \ 0 \ 0.3630)$$

二级评判

$$\tilde{R} = \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.0859 & 0.5801 & 0 & 0.3340 \\ 0.0822 & 0.4346 & 0.1729 & 0.3103 \\ 0.3312 & 0.3058 & 0 & 0.3630 \end{Bmatrix} = (0.0997, 0.4962, 0.0792, 0.3250)$$

根据最大隶属度原则, 该采空区的危险度评鉴为危险度较高。

根据该矿山工程资料可知, 该采空区附近有一个较大的空区群, 该空区群的垮落将直接影响到了 608 采空区的矿柱的支撑能力; 608 采空区对井下构筑物及地表无较大影响, 根据工程实践, 该空区极有可能会发生地压活动, 但不会产生大的矿山安全事故, 因此根据模糊综合评判的评判结果与工程实践相符。

3 结 论

通过引入系统理论中的模糊综合评判方法、层次分析法进行采空区稳定性分析, 该方法能够综合考虑各种因素及其相互关系, 为实际采空区处理决策提供了可靠的手段。

1) 通过采用层次分析法确定的权重分配表明, 矿山地下开采的过程中, 地质水文因素对采空区的影响较大

2) 采用模糊评价方法评价采空区灾害危险度是科学可行的, 评价结果与实际情况相符合。采空区危险度的评价对矿山的安全生产具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 王新民, 段瑜, 彭欣. 采空区灾害危险度的模糊综合评 [J]. 矿业研究与开发, 2005, 25(2): 83-85.
- [2] 王新民, 丁德强, 段瑜. 灰色关联分析在地下采空区危险度评价中的应用 [J]. 中国安全生产科学技术, 2006 2(4): 35-39
- [3] 王长军, 王新民, 张钦礼, 等. 柿竹园矿采空区灾害危险度模糊综合评价 [J]. 中国矿山工程, 2008, 37(4): 8-16
- [4] 肖位枢. 模糊数学基础及应用 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1992 161-170
- [5] 刘增良. 模糊技术与应用选编 (2) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
- [6] 杨扬, 冯乃琦, 余珍友, 等. 基于层次分析和模糊数学的采空区稳定性综合评价 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2008, 60(5): 37-42
- [7] 程晔, 曹文贵, 赵明华. 高速公路下伏岩溶顶板稳定性二级模糊综合评判 [J]. 中国公路学报, 2003, 16(4): 21-24
- [8] 段誉. 地下采空区灾害危险度的模糊综合评价 [硕士论文] [D]. 长沙: 中南大学, 2005: 56-57.
- [9] 王新民, 赵彬, 张钦礼. 基于层次分析和模糊数学的采矿方法选择 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008 39(5): 875-879

(上接第 8 页)

- [24] 王璞裙, 杜小弟, 王俊, 等. 松辽盆地白垩纪年代地层研究及地层时代划分 [J]. 地质学报, 1995 69(4): 372-379
- [25] 黄清华, 谭伟, 杨会臣. 松辽盆地白垩纪地层序列与年代地层 [J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(6): 15-17.
- [26] Stepashko A A. The Cretaceous Dynamics of the Pacific Plate and Stages of Magmatic Activity in Northeastern Asia [J]. Geotectonics 2006 40(3): 225-235.
- [27] Stepashko A A. Spreading Cycles in the Pacific Ocean [J]. Oceanology, 2008 48(3): 401-408
- [28] Alexey Solov'ev, John Garver, Galina Ledneva. Cretaceous Accretionary Complex Related to Okhotsk-Chukotka Subduction Omgon Range Western Kamchatka Russian Far East [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006 27: 437-453
- [29] Wilgus C K, Hastings B S, Kendall CG, et al. Sea Level Changes—An Integrated Approach [M]. SEPM Special Publication (No 42), 1988 71-108
- [30] 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽坳陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式 [J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 387-392
- [31] Huber B T, Hodell D A, Hamilton CP, Middel-Late Cretaceous Climate of the Southern High Latitudes Stable Isotopic Evidence for Minimal Equator-to-Pole Thermal Gradients [J]. Geological Society American, 1995, 107: 1161-1191.
- [32] Skelton P W. The Cretaceous World [M]. London: Cambridge University Press, 2003: 1-350
- [33] 陈刚, 孙建博, 周立发, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘中生代构造事件的裂变径迹年龄记录 [J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 2007 37(增刊): 110-118
- [34] 任凤楼, 张岳桥, 邱连贵, 等. 胶莱盆地白垩纪构造应力场与转换机制 [J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(2): 157-167