

文章编号: 1001-1986(2009)01-0048-04

地质环境抗扰动能力的可拓学评价

夏玉成, 唐利君, 张海龙

(西安科技大学地质与环境工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 根据地质环境抗扰动能力合理规划开采强度, 是保证资源开发与环境保护协调发展的必要前提。煤矿区地质环境的抗扰动能力取决于构造介质、构造形态、构造界面、构造应力等构造环境要素, 而且受地下水影响。由此建立的评价指标体系, 即有定量体现的指标, 又包含定性描述的指标。对地质环境的抗扰动能力进行分级评价, 实质上是一个复杂的模糊模式识别问题。应用以物元理论和可拓集合论为核心的可拓学理论评价方法, 将矛盾问题转化为相容问题, 将定性指标进行量化处理, 将定性结论进行量化表达, 为准确地评价煤矿区地质环境的抗扰动能力探索出一条比较理想的路径。

关键词: 抗扰动能力; 地质环境; 可拓学; 评价方法

中图分类号: X141 文献标识码: A

Extenics evaluation of the anti-disturbance capability of geological environment

XIA Yucheng, TANG Lijun, ZHANG Hailong

(Department of Geological and Environmental Engineering Xi'an University of Science and Technology,
Xi'an 710054, China)

Abstract: The reasonable planning of mining strength based on anti-disturbance capacity of geological environment is a precondition to ensure harmonic development of resources exploitation and environmental protection. The anti-disturbance capacity of geological environment depends on tectonic setting elements which include structural medium, shape, fractures and tectonic stress, and is affected by groundwater. Thus the evaluation index system is established including quantitative index and qualitative index. Classification assessment on anti- disturbance capacity of geological environment is essentially a problem of fuzzy pattern recognition. The study application method of extension theory based on matter-element theory and extension set was used to transform contradiction problem into compatible. This method to process the qualitative index quantitatively and to express, the qualitative results quantitatively produced an ideal approach for accurate evaluation of anti-disturbance capability of geological environment in coal mining area.

Key words: anti-disturbance capability; geological environment; extenics; evaluation method

大量观测资料和实验证明, 地质环境本身具有一定的抗扰动能力^[1]。在不同的构造环境下, 同样强度的地下采矿活动所造成的采煤沉陷有明显差异。抗扰动能力强的煤矿区可以承受较大的开采强度; 而抗扰动能力差的煤矿区, 同样强度的地下开采, 就会导致严重的地表损害甚至环境灾害。这说明, 虽然采煤沉陷是人类地下采矿活动对煤矿区地质环境产生强烈扰动的结果, 但煤矿区地质环境的抗扰动能力是由构造环境决定的。只有对煤矿区地质环境的抗扰动能力进行科学评价和预测, 并以此为依据, 将地下开采强度控制在该煤矿区地质环境可承受的范围内, 才能变损害后治理为损害前防范。

煤矿区地质环境抗扰动能力受多种因素控制或

影响, 但在评价时不可能考虑到全部的影响因素, 只凭借少量因素的变化, 却要评价某个煤矿区地质环境的抗扰动能力, 而且在所考虑的因素中, 有些因素是定量的, 有些因素是定性的, 或者是不易精确量化的; 其次, 对煤矿区地质环境抗扰动能力进行评价, 就意味着要将其分为不同的级别, 但实际上, 不同的级别之间并不存在严格的界线, “类内尚可分为不同的层次”^[2]。因而, 煤矿区地质环境抗扰动能力评价是很复杂的矛盾问题。可拓学理论将矛盾问题转化为相容问题, 将定性指标进行量化处理, 将定性结论进行量化表达, 所以运用可拓学理论对煤矿区地质环境抗扰动能力进行评价是一比较理想的路径选择。

收稿日期: 2008-07-09

作者简介: 夏玉成 (1957—), 甘肃武威人, 教授, 博士生导师, 从事煤田地质和计算机地质学领域的教学与研究。

1 可拓学理论简介

可拓学是我国学者蔡文教授于 1983 年创立的一门新的交叉学科, 它用形式化模型, 从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法, 其核心内容为物元理论和可拓集合理论, 基本方法是通过建立多指标参数的质量评定模型来完整地反映样本的综合水平^[3]。

物元是可拓学的逻辑细胞。给定事物的名称 N , 它关于特征 C 的量值为 v , 以有序三元组 $R=(N, C, v)$ 作为描述事物的基本元, 简称物元。事物的名称 N 、特征 C 和量值 v 称为物元的 3 要素。有了物元的概念, 就可以把客观世界看成是一个复杂的、相互联系的物元网, 一个物元的变换会传导到相关一系列物元中去, 用这种思想从定性和定量两个角度来研

究矛盾问题的转化规律和解决办法。

2 地质环境抗扰动能力可拓评价的方法与步骤

2.1 确定评价指标和评价标准

地质环境抗扰动能力受构造环境的影响。根据以往的研究成果^[4], 地质环境抗扰动能力的评价指标体系和评价标准如表 1 所示。

2.2 确定评价指标的标准量值

给出与地质环境抗扰动能力等级相对应的各评价指标的标准取值范围, 见表 2。

其中, C_1-C_3 属于定量指标, 直接用实测值或计算值即可, 当采深 > 800 m 时按 800 取值; C_4-C_8 属于定性指标, 根据其程度的差异, 分别赋予名义型数据。

表 1 地质环境抗扰动能力评价指标体系及分级标准

Table 1 Evaluation index and classification standard of anti-disturbance capability of geological environment

评价指标体系	地质环境抗扰动能力等级			
	I(强)	II(较强)	III(弱)	IV(很弱)
覆岩厚度(采深) C_1/m	> 600	$400 \sim 600$	$200 \sim 400$	< 200
覆岩综合普氏硬度 C_2	> 6	$4.5 \sim 6$	$3 \sim 4.5$	< 3
松散层与基岩层厚度之比 C_3	$0 \sim 0.2$	$0.2 \sim 0.4$	$0.4 \sim 1$	> 1
关键层性质及其位置 C_4	多于 2 层且位于覆岩上部	1~2 层且位于覆岩中上部	1 层且位于覆岩下部	无关键层
背斜或向斜的翼间角 C_5	背斜翼间角 $< 140^\circ$	背斜翼间角 140°	向斜翼间角 140°	向斜翼间角 $< 140^\circ$
节理、断层发育程度及 岩体结构 C_6	断层与节理不发育, 岩层呈连续板状结构	闭合小断层或节理稀少, 岩层未被切断	有较多的中小型断层或 节理, 岩层呈似连续结构	断层、节理发育, 岩层连 续性被破坏, 呈块裂结构
应力状态 C_7	侧向挤压应力 $>$ 垂向应力	侧向挤压应力 = 垂向应力	侧向拉张应力 = 垂向应力	侧向拉张应力 $>$ 垂向应力
覆岩含水性 C_8	弱	较弱	较强	强

表 2 地质环境抗扰动能力评价指标标准量值

Table 2 Quantitative indexes for evaluating anti-disturbance capability of geological environment

评价指标	级别	对应量值	评价指标	级别	对应量值
覆岩厚度(采深) C_1/m	I	$600 \sim 800$	背斜或向斜的翼间角 C_5	I	$0.75 \sim 1$
	II	$400 \sim 600$		II	$0.5 \sim 0.75$
	III	$200 \sim 400$		III	$0.25 \sim 0.5$
	IV	$0 \sim 200$		IV	$0 \sim 0.25$
覆岩综合普氏硬度 C_2	I	$6 \sim 8$	节理、断层发育程度及 岩体结构 C_6	I	$0.75 \sim 1$
	II	$4.5 \sim 6$		II	$0.5 \sim 0.75$
	III	$3 \sim 4.5$		III	$0.25 \sim 0.5$
	IV	$1 \sim 3$		IV	$0 \sim 0.25$
松散层与基岩层厚度之比 C_3	I	$0 \sim 0.2$	应力状态 C_7	I	$0.75 \sim 1$
	II	$0.2 \sim 0.4$		II	$0.5 \sim 0.75$
	III	$0.4 \sim 1$		III	$0.25 \sim 0.5$
	IV	$1 \sim 2$		IV	$0 \sim 0.25$
关键层性质及其位置 C_4	I	$0.75 \sim 1$	覆岩含水性 C_8	I	$0.75 \sim 1$
	II	$0.5 \sim 0.75$		II	$0.5 \sim 0.75$
	III	$0.25 \sim 0.5$		III	$0.25 \sim 0.5$
	IV	$0 \sim 0.25$		IV	$0 \sim 0.25$

为了便于进行计算和比较，对不同量纲的指标要进行无量纲处理。处理方法如下。

对于越大越好的因素：

$$y = \begin{cases} 1 & x \geq x_{\max} \\ \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} & x_{\min} < x < x_{\max} \\ 0 & x \leq x_{\min} \end{cases}$$

对于越小越好的因素：

$$y = \begin{cases} 1 & x \leq x_{\min} \\ \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} & x_{\min} < x < x_{\max} \\ 0 & x \geq x_{\max} \end{cases}$$

式中 x 为某影响因素的评价标准值， x_{\max} 、 x_{\min} 分别为该影响因素的最大和最小评价标准值， y 为无量纲化后所得到该评价指标的评价标准值。

对表 2 的数据进行无量纲化处理后得到的地质环境抗扰动能力评价指标标准值见表 3。

表 3 评价指标标准量值(无量纲)

Table 3 Standard quantitative indexes (dimensionless)

评价 指标	地质环境抗扰动能力等级				
	III				
C_1	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	
C_2	0.86 ~ 1	0.64 ~ 0.86	0.43 ~ 0.64	0 ~ 0.43	
C_3	0.90 ~ 1	0.80 ~ 0.90	0.50 ~ 0.80	0 ~ 0.50	
C_4	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	
C_5	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	
C_6	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	
C_7	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	
C_8	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50	0 ~ 0.25	

2.3 确定物元的经典域与节域

按照一定的评价标准将被评价事物分为 t 个等级，当 N_{ot} 为标准事物时，根据物元理论，可将下式定义为经典域的物元矩阵：

$$\mathbf{R}_{ot} = (N_{ot}, C_{ot}, v_{ot}) = \begin{vmatrix} N_{ot} & C_1 & v_{ot1} \\ & C_2 & v_{ot2} \\ M & M \\ C_n & v_{om} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} N_{0t} & C_1 & \langle a_{ot1}, b_{ot1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{ot2}, b_{ot2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{otn}, b_{otn} \rangle \end{vmatrix}, \quad (1)$$

式中 N_{ot} 为所划分的第 t ($t=1, 2, 3, \dots, m$) 个等级； C_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 为第 i 个评判指标， $v_{ot} = (a_{ot}, b_{ot})$ ，为 N_{ot} 对应指标 C_i 所确定的量值范围，即各评价指标关于不同类别所对应的数据范围——经典域。

将下式定义为节域的物元矩阵：

$$\mathbf{R}_P = (P, C, v) = \begin{vmatrix} P & C_1 & v_{p1} \\ & C_2 & v_{p2} \\ \vdots & \vdots \\ C_n & v_{pn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{vmatrix}, \quad (2)$$

式中 P 为评价事物等级的全体； $v_{pi} = (a_{pi}, b_{pi})$ 是 P 关于指标 C_i 的所有取值范围，即 P 的节域。

2.4 确定待评物元

对于待评价事物 R ，把检测得到的数据或结果用物元表示：

$$\mathbf{R} = (N, C, v) = \begin{vmatrix} N & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{vmatrix}, \quad (3)$$

式中 N 为待评价单元； C_i 为影响待评价单元等级的因素(评价指标)； v_i 为 N 关于评价指标 C_i 的量值，即待评物元的具体数据。

2.5 计算关联函数值

在可拓集合中，关联函数表达了事物具有某种性质的程度。为定量描述物元的特征，把关联函数中距离的概念拓展为距，根据距的值，可以描述出点在区间内的位置，使人们从“类内即为同”的定性描述发展到“类内也有别”的定量描述^[2]。表示点与区间距离的计算公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(v_i, v_{oti}) = \left| v_i - \frac{a_{oti} + b_{oti}}{2} \right| - \frac{b_{oti} - a_{oti}}{2} \\ \rho(v_i, v_{pt}) = \left| v_i - \frac{a_{pt} + b_{pt}}{2} \right| - \frac{b_{pt} - a_{pt}}{2} \end{array} \right. . \quad (4)$$

单项评价指标 v_i 关于各等级 t 的关联度为：

$$K_{ti}(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, v_{oti})}{|v_{oti}|} & (v_i \in v_{oti}) \\ \frac{\rho(v_i, v_{oti})}{\rho(v_i, v_{pt}) - \rho(v_i, v_{oti})} & (v_i \notin v_{oti}) \end{cases} . \quad (5)$$

2.6 确定评价等级

由(5)式求得关联函数值后，根据下面的公式计算待评事物 N 关于等级 t 的关联度：

$$K_t(N) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_{ti}(v_i) , \quad (6)$$

式中 λ_i 为各评价指标的权重系数，其确定方法很多，如简单关联函数法，层次分析法等，也可按公式(7)直接求得：

$$\lambda_i = \frac{v_{ij} / b_{oti}}{\sum_{j=1}^i (v_{ij} / b_{otj})} , \quad (7)$$

式中 $i=1, 2, \dots, n$ ，很显然 $\sum_{j=1}^i \lambda_j = 1$ 。

$$\text{若 } K_{to}(N) = \max_{t \in \{1, 2, \dots, m\}} K_t(N) , \quad (8)$$

则待评对象 N 属于等级 t ，而 $K_{to}(N)$ 的数值大小可定量的反映事物 N 的好坏及属于等级 t 的程度。

3 地质环境抗扰动能力可拓评价实例

3.1 评价区概况

硫磺沟矿区位于淮南煤田西部，主要含煤地层为侏罗系中统西山窑组(J_{2x})，主采其中的“大槽煤”。基岩覆盖层直接裸露地表，仅有很薄的表土层，覆岩厚度180 m；覆岩综合普氏硬度为3.14；覆岩下部和上部各发育一个关键层。矿区构造形态为宽缓向斜的一翼。覆岩连续性好，除一条低角度逆断层外，未见其它断层，节理也不发育。从区域大地构造背景和矿区地质构造特征的分析可知，硫磺沟矿区受到比较强烈的水平挤压构造应力作用。矿区位于干旱缺水地区，覆岩含水性弱。

3.2 物元的构造

根据评价区地质特征，构造出待评价物元，记为 R_0 ，经无量纲化处理后，待评价物元为 R 。

	C 硫磺沟矿区		C 硫磺沟矿区	
$R_0 =$	C_1 180	,	C_1 0.23	
	C_2 3.14		C_2 0.31	
	C_3 0.06		C_3 0.97	
	C_4 0.60		C_4 0.60	
	C_5 0.40		C_5 0.40	
	C_6 0.80		C_6 0.80	
	C_7 0.85		C_7 0.85	
	C_8 0.20		C_8 0.20	

根据表3，构造经典域物元 R_{ot} 和节域物元 R_p ：

	C I	II	III	IV
$R_{ot} =$	C_1 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0,0.25]
	C_2 [0.86,1]	[0.64,0.86]	[0.43,0.64]	[0,0.43]
	C_3 [0.90,1]	[0.80,0.90]	[0.50,0.80]	[0,0.50]
	C_4 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0,0.25]
	C_5 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0,0.25]
	C_6 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0.25,0]
	C_7 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0,0.25]
	C_8 [0.75,1]	[0.50,0.75]	[0.25,0.50]	[0,0.25]

$$\mathbf{R}_p = \begin{cases} C & [0,1] \\ C_1 & [0,1] \\ C_2 & [0,1] \\ C_3 & [0,1] \\ C_4 & [0,1] \\ C_5 & [0,1] \\ C_6 & [0,1] \\ C_7 & [0,1] \\ C_8 & [0,1] \end{cases}.$$

3.3 计算评价区的关联函数值

对于硫磺沟矿区，根据(4)式和(5)式计算得到关联函数值(表4)。

表4 各评价指标的关联函数值

Table 4 Correlative function value of each evaluation index

$K_n(v_i)$	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
K_I	-0.693	-0.640	0.300	-0.273	-0.467	0.200	0.400	-0.680
K_{II}	-0.540	-0.516	-0.700	0.400	-0.200	-0.200	-0.400	-0.520
K_{III}	-0.080	-0.279	-0.850	-0.200	0.400	-0.600	-0.700	-0.040
K_{IV}	0.080	0.279	-0.940	-0.467	-0.273	-0.733	-0.800	0.040

3.4 评价结果

采用层次分析方法计算各评价指标的权重 $\lambda_i=(0.085, 0.096, 0.162, 0.143, 0.095, 0.176, 0.186, 0.057)$ ，一致性检验 $CR=CI/RI=0.058<0.10$ 结果满足。

关联度计算结果如下：

$$K_I(p) = -0.084; K_{II}(p) = -0.310; \\ K_{III}(p) = -0.399; K_{IV}(p) = -0.487. \\ K_{to}(p) = \max_{t \in \{1, 2, \dots, m\}} K_t(p) = \\ \max\{-0.084; -0.310; -0.399; -0.487\} = -0.084.$$

所以评价等级为I，硫磺沟矿区地质环境抗扰动能力强。

4 结语

以物元理论和可拓集合论为核心的可拓学理论评价方法，根据事物关于特征(指标)的量值来判断事物属于某集合的程度，根据各指标的重要性综合判断被评价事物对各等级的归属程度，使评价结果更合理，更具科学性。利用可拓学方法对地质环境抗扰动能力进行量化评价，可以选取定量指标，也可以选取定性指标，而且指标数量不受限制，可以适应不同煤矿区地质环境的具体特点，能最大限度地合理利用地质勘探成果，克服模糊综合评判、人工神经网络等方法的弊端，使评价结果更加切合实际。可拓评价方法原理简单，应用方便，为地质环境抗扰动能力量化评价提供了一条新的有效途径。

参考文献

- [1] 夏玉成. 煤矿区地质环境承载能力及其评价体系研究[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(1): 5-8.
- [2] 蔡文, 杨春燕, 王光华. 一门新的交叉学科——可拓学[J]. 中国科学基金, 2004 (5): 268-272.
- [3] 蔡文, 杨春燕, 何斌. 可拓学基础理论研究的新进展[J]. 中国工程科学, 2003, 5(2): 80-87.
- [4] 夏玉成, 孙学阳, 汤伏全. 煤矿区构造控灾机理及地质环境承载能力研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.