

未确知聚类方法及其在松动圈厚度预测中的应用

赵国彦, 吴浩

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 对未确知聚类方法进行优化,并将其应用于巷道围岩松动圈厚度的预测之中。结合巷道矿压显现特点和松动圈支护理论,选取巷道埋深、巷道跨度、围岩强度、围岩节理裂隙发育程度和巷道掘进断面积 5 个主要影响因素作为松动圈厚度的判别指标。利用 17 组实测数据确定松动圈厚度的分类模式和各判别指标的单指标测度函数以及指标权重,给出了松动圈厚度预测值的计算公式。基于预测对象的多指标综合测度,通过未确知测度距离判断预测对象松动圈所属的分类等级,结合各分类模式下样本松动圈厚度的均值计算松动圈厚度的预测值。经计算检验,该方法预测样本集松动圈厚度的平均相对误差为 5.13%,而用神经网络方法和支持向量机方法预测该样本集松动圈厚度的平均相对误差分别为 13.61%和 10.17%。为进一步检验该方法的可靠性,将其应用于马路坪矿某巷道松动圈的预测中并将预测值与实测值做了比较。结果表明,采用该方法得出的预测值和实测值基本吻合。可见该方法是可靠实用的,可以在实际工程中推广应用。

关键词 松动圈;未确知聚类方法;支护;未确知测度理论;预测

中图分类号 TD350

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.02.006

Application of Unascertained Clustering Method in the Thickness Prediction of Excavation Damaged Zone

ZHAO Guoyan, WU Hao

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

Abstract Firstly, the forecast method of unascertained clustering is optimized and then is applied to the thickness prediction of Excavation Damaged Zone (EDZ). Afterwards, combined with the characteristics of underground pressure and the support theory of EDZ, five major factors of roadway, that is, depth, span, the intensity of surrounding rock, rock joint development degree, and excavation basal area are regarded as the discriminant factors for predicting the thickness of EDZ. Based on 17 groups of measured data, a classification model of EDZ thickness and the uncertainty measurement function of each factor as well as its weights are obtained. Meanwhile, the computing formula for the forecasting value is also given. Then, the classification grade for waiting forecast sample is estimated by the unascertained measurement distance, the forecasting value of EDZ thickness is also able to be calculated by combining the average value of EDZ thickness with each classification patterns. With the inspection, the computation results show that the average relative errors of the method are 5.13% and they are 13.61% and 10.17%, respectively by the methods of neural network and support vector machine, respectively. In order to further test its reliability, the method is used to make prediction on the EDZ in Maluping mine and the predictive value is compared with the measured value as well. The results indicate that predicted value fits measured value quite well; unascertained clustering method is reliable and practical has been proved and it could be applied to the actual engineering.

Keywords EDZ; unascertained clustering method; support; unascertained measurement theory; prediction

0 引言

在浅埋岩体中开挖巷(隧)道卸荷以后,巷道围岩强度显

著下降,受力状态由三向变为近似两向并产生应力集中。当集中应力大于下降后的围岩强度时,巷道周边围岩发生破裂

收稿日期:2012-10-18;修回日期:2012-12-26

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2010CB732004)

作者简介:赵国彦,教授,研究方向为采矿工程、矿山安全技术和岩石力学与工程,电子信箱:312929122@qq.com

并逐渐向深部扩展直至达到新的平衡为止,这种在巷道周边形成一定厚度的似环状破裂区就是松动圈。由松动圈支护理论可知^[1],松动圈大小是判定巷道围岩稳定性和进行巷道支护设计的重要参考依据。可见,对巷道围岩松动圈厚度进行合理、准确地确定在工程实践中显得尤为重要。目前,确定松动圈大小的方法主要有现场实测法、理论预测法和数值计算法3种。理论预测法较之其他两种方法在经济上、可操作性和可靠度等方面兼顾性较强,优势明显,因而被广泛采纳和接受。在国内外学者多年的不懈努力下,针对松动圈厚度预测的理论和方法得到了很好的发展,主要有神经网络方法^[2-4]、灰色理论^[5]和支持向量机理论^[6]等,在松动圈厚度预测中取得了一定的效果。虽然目前发展出了很多方法,但影响松动圈大小的不确定因素很多,既有自然因素,又有人为因素。所以,松动圈厚度预测是一个非常复杂的难题。为了更可靠、准确地预测松动圈厚度,必须把这些不确定因素充分考虑在内并进行分析。在这方面,未确知数学理论具有无可比拟的优势。

未确知信息是由王光远于1990年率先提出的不同于灰色信息、随机信息和模糊信息的一种新的不确定信息^[7]。刘开第等^[8-10]建立了未确知数学理论并给出了未确知测度模型,随后它被广泛应用到各个领域的分类评价等问题中且应用较为成功。在前人的研究基础上,万玉成^[11]、董陇军等^[12]提出和发展了未确知聚类方法,分别将其应用于空军航材消耗和开采地面沉陷的预测中,取得了令人满意的效果。本文对未确知聚类方法进行优化,给出了未确知聚类预测优化理论,并将其应用于巷道围岩松动圈厚度的预测研究中。结合贵州马路坪矿工程实例对松动圈大小进行预测并与实测值做了比较,结果表明,该方法较为可靠和实用,可为松动圈厚度的确定提供一个新思路。

1 未确知聚类预测优化理论

1.1 建立预测对象的分类模式系统

未确知聚类预测的原理:首先,根据样本实测数据值确定预测对象各分类模式下所对应的各判别指标(影响因素)均值和预测对象均值,根据分类模式建立各判别指标的单指标测度函数即判别指标属于不同分类模式的概率函数;其次,根据单指标测度函数确定预测对象各判别指标相应的单指标测度;随后,基于信息熵理论求出指标权重和待测对象的多指标综合未确知测度;最后,根据待预测对象的多指标综合未确知测度与各分类模式未确知测度间的距离来判断待测对象所属的类别,并根据多指标测度和待测对象样本均值的乘积之和求出待测对象的数值。可以将一个聚类预测问题表示为:研究对象空间 Q , Q 中任一元素(样本) x 与 m 个影响因素有关,记为 $W=\{W_1, W_2, \dots, W_m\}$,并且 Q 中元素可按其取值范围分类为 A_1, A_2, \dots, A_K ,组成分类集 A , A 亦称为分类空间,并满足 $\bigcup_{i=1}^K A_i=A, A_i \cap A_j=\Phi, \forall A_i, A_j \in A$,其中 $i, j=1, 2, \dots, K$ 。已知 x_1, x_2, \dots, x_n 为待分类(或已分类)的 n 个对象(样本),样本集 $X=\{x_1,$

$x_2, \dots, x_n\}$ 称为分类对象空间,样本 $x_i \in X, x_{ij}$ 表示第 i 个样本 x_i 的第 j 个指标的测量值,第 i 个样本的分类为 A_k 则记 $x_i \in A_k$,其中 $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。根据预测对象的特性将对象分为 K 类: A_1, A_2, \dots, A_K ,以各类的样本平均值为分类中心相应的将 m 个影响因素值范围也分为 K 类。同时定义预测对象的 K 个分类模式 A_1, A_2, \dots, A_K 的未确知测度分别为 $p_1=(1, 0, \dots, 0), p_2=(0, 1, 0, \dots, 0), \dots, p_K=(0, 0, \dots, 0, 1)$ 。

1.2 单指标测度

记 $p_{ijk}=p(x_j \in A_k; i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, K)$ 表示测量值 x_{ij} 属于第 k 个分类模式 A_k 的程度,同时要求满足下列条件:

$$0 \leq p(x_{ij} \in A_k) \leq 1 \quad (1)$$

$$p(x_{ij} \in A) = 1 \quad (2)$$

$$p \left\{ x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k A_l \right\} = \sum_{l=1}^k p(x_{ij} \in A_l) \quad (3)$$

式(2)和式(3)分别表示未确知测度的“归一性”和“可加性”,满足式(1)~(3)的 p 称为未确知测度(简称“测度”),称矩阵 $(p_{ijk})_{m \times K}$ 为样本 x_i 的单指标测度矩阵,且有

$$(p_{ijk})_{m \times K} = \begin{bmatrix} p_{i11} & p_{i12} & \dots & p_{i1K} \\ p_{i21} & p_{i22} & \dots & p_{i2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{im1} & p_{im2} & \dots & p_{imK} \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.3 指标权重及多指标综合测度向量的确定

用 a_j 表示 Q 中样本 x_i 的影响因素 w_j 与其他影响因素相比具有的重要程度,要求 a_j 满足: $0 \leq a_j \leq 1, j=1, 2, \dots, m$;且 $\sum_{j=1}^m a_j=1$,称 a_j 为样本 x_i 中 w_j 影响因素的权重, (a_1, a_2, \dots, a_m) 称为样本 x_i 的指标权重向量。

指标权重的确定有多种方法,有专家打分法、指数超标法等。目前应用较广泛的是采用信息熵理论计算指标权重^[13],样本 x_i 影响因素的权重可用熵表示为

$$H(j) = \sum_{k=1}^K p_{ijk} \lg p_{ijk} \quad (5)$$

$$\text{令 } v_j = 1 + \frac{1}{\lg K} H(j) = 1 + \frac{1}{\lg K} \sum_{k=1}^K p_{ijk} \lg p_{ijk} \quad (6)$$

$$a_j = v_j / \sum_{j=1}^m v_j \quad (7)$$

式(6)中,令 $0 \lg 0 = 0$,记 $p_{ik} = p(x_i \in A_k; i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, K)$ 表示样本 x_i 属于第 k 个分类 A_k 的概率,那么

$$p_{ik} = \sum_{j=1}^m a_j p_{ijk} \quad (8)$$

显然有 $0 \leq p_{ik} \leq 1$ 及 $\sum_{k=1}^K p_{ik}=1$,故 p_{ik} 是未确知测度, $p_i=(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iK})$ 称为样本 x_i 的多指标综合测度向量。

1.4 确定待测对象所属类别

文献[8]~[11]采用置信度识别准则确定待测对象所属类别,若分类集 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_K\}$ 为一个有序分割集,即 $A_1 \supset A_2 \supset$

$\dots > A_k$ 或 $A_1 < A_2 < \dots < A_k$, 设 λ 为置信度 ($0.5 \leq \lambda \leq 1$), 待测对象 x_i 的多指标综合测度向量 $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik})$, 那么令

$$k_0 = \min \left\{ k: \sum_{i=1}^k p_{ik} > \lambda, k=1, 2, \dots, K \right\} \quad (9)$$

则认为待测对象 x_i 的分类类别为第 k_0 个分类模式。由于 λ 在取值上存在主观性, 可取 0.6, 0.7 或 0.8 等, 显然, 用置信度识别准则这一方法存在缺陷。鉴于此, 笔者对判别方法进行优化, 采用未确知测度距离的方法判断待测对象的分类类别。已知第 k ($k=1, 2, \dots, K$) 个分类模式的未确知测度为 $p_k = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0)$, 设 d_k 为多指标综合测度向量 p_i 和 p_k 的距离, 称 d_k 为未确知测度距离

$$d_k = \sqrt{(p_{i1}-0)^2 + (p_{i2}-0)^2 + \dots + (p_{ik}-1)^2 + \dots + (p_{ik}-0)^2} \quad (10)$$

比较各个未确知测度距离 d_k 的大小, 未确知测度距离最小的那个分类模式即为待测对象所属类别。

1.5 预测值的计算

记 \bar{x}_k ($k=1, 2, \dots, K$) 为各个分类模式的样本平均值, 待测对象的预测值 y 可由下式计算:

$$y = p_{i1}\bar{x}_1 + p_{i2}\bar{x}_2 + \dots + p_{ik}\bar{x}_k = \sum_{k=1}^K p_{ik}\bar{x}_k \quad (11)$$

2 未确知聚类预测优化方法在松动圈厚度预测中的应用

实践表明, 地下巷道所处的环境比较复杂, 其周围的岩体又具有非均质、不连续、各向异性等特点, 不同位置处的松动圈大小不一, 尤其当开挖工程进入深部开采以后, 巷道所处的环境更为复杂, 巷道围岩会出现分区破裂化现象^[4], 这时发现松动圈只是一个笼统的概念, 故本文只研究浅埋巷(隧)道围岩松动圈厚度的预测。

影响松动圈厚度的不确定因素很多, 这些因素既有自然因素, 如地应力大小、地质构造、岩体物理力学性质等, 又有为因素如巷道尺寸和形状、施工方式、爆破扰动等。结合有关研究成果^[1-2], 经过综合分析, 笔者用巷道埋深来反映地应力对松动圈大小的影响, 用巷道跨度和巷道掘进断面面积来反映巷道的几何尺寸和形状对松动圈大小的影响。最终确定用巷道埋深 H (m)、巷道跨度 B (m)、围岩强度 R (单轴抗压强度, MPa)、围岩节理发育程度 F 、巷道掘进断面积 S (m²) 等 5 项指标 ($m=5$) 作为预测松动圈厚度 L_p 的判别指标。

2.1 分类样本集

根据文献[1]~[4]、[6]、[15]提供的松动圈厚度实测资料, 笔者选取 17 个典型实例进行分析, 见表 1。可知表中样本松动圈厚度在 0.2~2.3m, 根据松动圈理论可将样本按松动圈厚度分为 3 类 ($K=3$), 即 A_1, A_2, A_3 , 分别表示小松动圈、中松动圈和大松动圈。表 2 给出了样本集的各类松动圈厚度范围, 各分类模式松动圈厚度的样本均值以及 5 个判别指标的样本平均值 $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5$, 以便建立单指标未确知测度函数, 确定单指标测度。

表 1 松动圈厚度样本集

Table 1 Sample set of EDZ thickness

序号	判别指标					L_p 实测值/m
	H /m	B /m	R /MPa	F	S /m ²	
1	340	3.0	73.6	2	7.6	0.8
2	350	3.2	10.5	3	8.5	1.2
3	362	2.6	62.4	2	6.8	0.6
4	470	3.6	9.1	5	11.2	2.1
5	322	3.4	14.3	4	7.7	1.5
6	340	3.2	32.2	2	9.6	0.7
7	370	3.5	10.5	3	8.3	1.0
8	180	2.8	110.2	1	7.1	0.3
9	450	3.4	9.1	5	7.8	2.0
10	450	3.6	13.3	4	10.8	1.6
11	467	3.4	10.1	4	9.6	1.8
12	665	4.4	10.9	4	14.6	1.7
13	340	3.2	19.8	3	9.2	1.3
14	460	3.2	101.6	1	9.7	0.4
15	470	4.0	10.1	5	12.6	2.2
16	268	3.0	12.0	3	7.5	1.4
17	321	2.6	13.3	3	6.6	1.1

注: 围岩节理发育程度 F 用 1、2、3、4、5 分别代表节理很不发育、不发育、中等发育、较发育、发育。下同。

Notes: For the degree of rock joint development F : worse development, bad development, moderate development, better development, well development are represented by 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. The same as below.

表 2 各样本分类数据

Table 2 Classification data of each sample

分类	A_1	A_2	A_3
序号	1, 3, 6, 8, 14	2, 5, 7, 13, 16, 17	4, 9, 10, 11, 12, 15
松动圈厚度范围/m	[0.200, 0.900]	[0.900, 1.600]	[1.600, 2.300]
松动圈厚度均值/m	0.560	1.250	1.900
巷道埋深/m	336.400	328.500	495.333
巷道跨度/m	2.960	3.150	3.733
围岩强度/MPa	76.000	13.400	10.433
围岩节理发育程度	1.600	3.167	4.500
巷道掘进断面积/m ²	8.160	7.967	11.100

2.2 各判别指标的未确知测度函数

根据表 2 的分类等级标准, 建立巷道埋深、巷道跨度、围岩强度、围岩节理发育程度和巷道掘进断面积 5 个判别指标的未确知测度函数, 见图 1~图 5。

2.3 松动圈厚度预测的未确知聚类优化方法检验

以样本 1 为例对松动圈厚度进行预测验证, 其巷道埋深为 340m, 由巷道埋深的未确知测度函数(图 1), 可计算其相

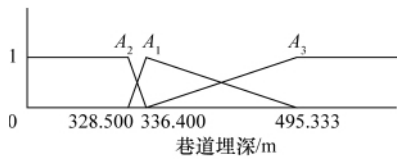


图 1 巷道埋深的单指标测度函数

Fig. 1 Single index measurement function of roadway depth

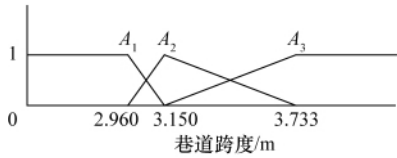


图 2 巷道跨度的单指标测度函数

Fig. 2 Single index measurement function of roadway span

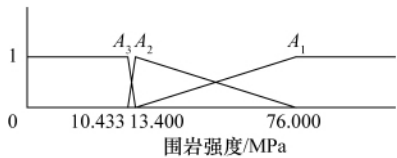


图 3 围岩强度的单指标测度函数

Fig. 3 Single index measurement function of roadway surrounding rock intensity

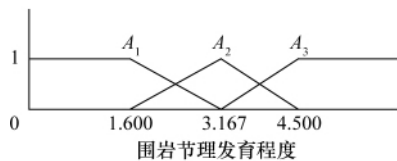


图 4 围岩节理发育程度的单指标测度函数

Fig. 4 Single index measurement function of roadway rock joint development degree

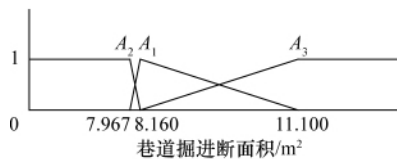


图 5 巷道掘进断面积的单指标测度函数

Fig. 5 Single index measurement function of roadway excavation basal area

对于分类系统的未确知测度为(0.9773,0,0.0227),同理,按图2~图5的单指标测度函数可依次计算出该样本的巷道跨度、围岩强度、围岩节理发育程度和巷道掘进断面积相对于分类系统的未确知测度,可得样本1的单指标测度矩阵为

$$(p_{ijk})_{5 \times 3} = \begin{bmatrix} 0.9773 & 0 & 0.0227 \\ 0.7895 & 0.2105 & 0 \\ 0.9617 & 0.0383 & 0 \\ 0.7447 & 0.2553 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据信息熵理论按式(5)~式(7)确定5个判别指标的权重向量为 $a = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) = (0.2392, 0.1411, 0.2261, 0.1282, 0.2654)$,根据式(8)计算判别指标的多指标综合测度向量为(0.6581,0.3365,0.0054),由式(10)可求出未确知测度距离 d_1, d_2, d_3 分别为 0.4797,0.9345,1.2392,显然样本1属于 A_1 级,可见预测结果是正确的。由公式(11)可进一步求得样本1的松动圈厚度预测值为0.7994m。同理,可求出其他16个样本的综合未确知测度向量、未确知测度距离、松动圈的预测级别及预测值。为检验文中判别方法的优化效果,根据式(9),笔者列出了不同置信度下松动圈的预测等级,从而与优化的判别类别方法作比较。此外,为分析未确知聚类优化方法的可行性和可靠度,笔者分别用人工神经网络方法(ANN)和支持向量机理论(SVM)对样本集进行预测并与本文方法的回判结果作了对比,计算结果如表3。

从表3可以看出,用优化的判别方法在样本松动圈类别的判别中,在17个样本的计算结果里,除样本7的预测级别低判一级外,其他样本的预测级别完全正确,正确率为94.12%。而在置信度识别方法下,不同置信度判断松动圈类别的结果不一。若取 $\lambda=0.6$ 时,预测等级与实际相符;而当 λ 为0.7和0.8时,误判率分别为23.53%和35.29%。显然,用置信度识别方法判别松动圈的类别是不可靠的。此外,本文方法在松动圈厚度的预测值中,通过与实测值的对比,除样本7、8、14的预测值误差较大,其余14个样本的松动圈厚度预测值和实际值很接近,平均相对误差为5.13%,而用神经网络方法和支持向量机方法预测的平均相对误差分别13.61%和10.17%,这充分表明未确知聚类优化方法在巷道围岩松动圈厚度预测中是合理有效的。

3 工程实例应用

贵州马路坪矿位于开阳县金中镇境内,盛产优质磷矿石,是生产高浓度磷肥的优质化工原料产地。矿段位于洋水背斜东翼中部,为一单斜构造,矿床属浅海-滨海相大型沉积型磷块岩。矿段有上、下两层磷矿产出,具有开采价值的下磷矿层呈稳定层状,产于震旦系统陡山沱组上部,矿层北起E25线,南至E4线,矿体厚度为3~8m,倾角为20°~50°。目前,矿山开采中段数较多,随着开采深度的增加,一些巷道的服务年限越来越长,巷道变形和破坏现象日益突出,现有的巷道支护方式亟待改进。松动圈厚度作为巷道支护设计和分析巷道围岩稳定性的重要参考指标,为了合理设计巷道支护,必须选择一种方便、经济、实用的方法来确定松动圈的厚度。本文采用未确知聚类优化方法对该矿+640m中段某巷道松动

表3 综合测度向量、未确知测度距离及预测结果

Table 3 List for comprehensive uncertainty measurement vector, unascertained measurement distance and predicted results

序号	综合测度向量	未确知测度距离判别法				置信度识别法			实际级别	本文方法预测 L_p/m	ANN预测 L_p/m	SVM预测 L_p/m
		d_1	d_2	d_3	预测级别	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.8$				
1	(0.6581,0.3365,0.0054)	0.4797	0.9345	1.2392	A_1	A_1	A_2	A_2	A_1	0.7994	0.8402	0.7525
2	(0.3504,0.3590,0.2906)	0.7971	0.7862	0.8689	A_2	A_2	A_2	A_3	A_2	1.1971	1.1336	1.3214
3	(0.9109,0.0745,0.0146)	0.1171	1.2987	1.3440	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	0.6310	0.6303	0.7471
4	(0.0033,0.0184,0.9783)	1.3967	1.3859	0.0286	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.8836	2.3043	2.1792
5	(0.0035,0.8858,0.1107)	1.3379	0.1591	1.2552	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	1.3195	1.7048	1.4066
6	(0.8331,0.0768,0.0901)	0.2046	1.2468	1.2361	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	0.7337	0.8072	0.8431
7	(0.3831,0.2377,0.3792)	0.7621	0.9336	0.7672	A_1	A_2	A_3	A_3	A_2	1.2321	1.2101	1.1557
8	(0.6000,0.2000,0.2000)	0.4899	1.0198	1.0198	A_1	A_1	A_2	A_2	A_1	0.9660	0.4135	0.3899
9	(0.0039,0.0172,0.9789)	1.3967	1.3871	0.0275	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.8836	1.8996	1.8743
10	(0.0687,0.3762,0.5551)	1.1476	0.8378	0.5867	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.5634	1.8820	1.7906
11	(0.0072,0.1342,0.8586)	1.3194	1.2194	0.1951	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.8031	1.7990	1.8185
12	(0,0.0610,0.9390)	1.3731	1.3279	0.0863	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.8603	1.5912	1.6150
13	(0.1757,0.5579,0.2664)	1.0304	0.5452	0.9382	A_2	A_2	A_2	A_3	A_2	1.3019	1.3512	1.3204
14	(0.6327,0.1852,0.1821)	0.4499	1.0476	1.0505	A_1	A_1	A_2	A_2	A_1	0.9318	0.1344	0.4467
15	(0.0207,0,0.9793)	1.3849	1.3998	0.0293	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	1.8723	2.0657	2.1286
16	(0.0373,0.8140,0.1487)	1.2694	0.2410	1.1784	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	1.3209	1.4513	1.4178
17	(0.2356,0.7579,0.0065)	1.0765	0.3379	1.2716	A_2	A_2	A_2	A_2	A_2	1.0917	1.1997	1.2572

圈大小进行预测,并与采用 BA-II 型超声波围岩裂隙探测仪测定的实际观测值进行比较。

该巷道围岩松动圈的主要影响因素参数见表4,根据未确知测度函数(图1~图5),计算5个判别指标的未确知测度分别为(0.0965,0,0.9035)、(0,0,1)、(0.8371,0.1629,0)、(0,0.3751,0.6249)、(0,0,1)。根据熵理论计算确定5个判别指标的权重 $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4,\alpha_5)=(0.1920,0.2700,0.1607,0.1073,0.2700)$,然后再计算出它的多指标综合测度向量

(0.1530,0.0664,0.7806),求得其未确知测度距离为 d_1,d_2,d_3 分别为 1.1538,1.2265,0.2756,可知该巷道围岩松动圈属于 A_3 级。最后,求得松动圈的厚度预测值为 1.6518m,与实际观测平均值 1.7840m 非常接近,这充分说明预测结果是合理可靠的。所以,进一步证明了未确知聚类优化方法是行之有效的,它在预测巷道围岩松动圈厚度等工程领域内具有较大的推广价值。

4 结论

表4 马路坪矿松动圈厚度主要影响因素参数

Table 4 Main influential parameters of EDZ thickness in Maluping Mine

H/m	B/m	R/MPa	F	S/m^2	松动圈实际所属级别	L_p/m
480	4.2	65.8	较发育	15.96	A_3	1.7840

巷道围岩松动圈大小是判定巷道围岩稳定性和进行巷道支护设计的重要参考依据,一直以来都是矿业等领域内十分重要的研究课题。由于影响松动圈大小的不确定因素很多,如何准确、合理地确定松动圈的大小是极其复杂而又困难的。本文对未确知聚类预测方法进行优化并将其应用于松动圈厚度的预测中,得出了以下结论。

(1) 将优化的未确知聚类方法应用于松动圈厚度的预测中,不仅可以有效地判别松动圈厚度所属的等级,而且可以精确地预测松动圈厚度的具体数值,为松动圈厚度的确定提供了一条新途径。

(2) 综合考虑岩体特性和矿岩的物理力学性质,结合巷道矿压显现特点及松动圈支护理论,选取巷道埋深、巷道跨度、围岩强度、围岩节理发育程度和巷道掘进断面面积5个主要影响因素作为未确知聚类方法预测松动圈厚度的判别指标,基本反映了松动圈的综合状况。

(3) 通过未确知聚类优化方法在17个样本中的检验和马路坪矿某巷道的预测效果中可以看出,未确知聚类优化方法同比神经网络方法和支持向量机方法具有较高的预测精度,可见其是科学可行的。因此,在实际工程预测中,应合理选择样本,不断增加样本量以进一步提高该方法的可靠性。

(4) 需要指出的是, 松动圈的大小受很多不确定因素的影响, 为了让所得的结论更加全面、科学, 在今后的研究工作中, 应进一步考虑影响松动圈大小的因素如构造应力、地下水作用、施工方法等, 增加影响松动圈大小的判别指标以增强该方法的普遍适用性。

参考文献 (References)

- [1] 董方庭. 巷道围岩松动圈支护理论与应用技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
Dong Fangting. The application technology and supporting theory of excavation disturbed zone in roadway [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2001.
- [2] 高玮, 郑颖人. 巷道围岩松动圈预测的进化神经网络法 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(5): 658-661.
Gao Wei, Zheng Yingren. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(5): 658-661.
- [3] 薛新华. 遗传神经网络法在巷道围岩松动圈预测中的应用[J]. 岩土工程技术, 2006, 20(5): 237-239, 266.
Xue Xinhua. Geotechnical Engineering Technique, 2006, 20 (5): 237-239, 266.
- [4] 彭正勇. 基于 RBF 神经网络的巷道围岩松动圈厚度预测 [J]. 金属矿山, 2007(8): 212-214.
Peng Zhengyong. Metal Mine, 2007(8): 212-214.
- [5] 檀远远. 复杂构造带回采巷道松动圈确定与支护对策研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
Tan Yuanyuan. Study on loose circle determination of mining roadway and supporting strategy in complex structural area [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2009.
- [6] 马文涛. 参数优化 LSSVM 的巷道围岩松动圈预测研究 [J]. 岩土力学, 2007, 28(S1): 460-464.
Ma Wentao. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(S1): 460-464.
- [7] 王光远. 论未知信息及其数学处理 [J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1990, 23(4): 52-58.
Wang Guangyuan. Journal of Harbin Architecture and Engineering Institute, 1990, 23(4): 52-58.

- [8] 刘开第, 吴和琴, 庞彦军, 等. 不确定性信息数学处理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Liu Kaidi, Wu Heqin, Pang Yanjun, et al. Mathematics treatment and application of uncertainty information[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [9] 刘开第, 吴和琴, 王念鹏, 等. 未确知数学 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997.
Liu Kaidi, Wu Heqin, Wang Nianpeng, et al. Uncertainty mathematics [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1997.
- [10] 刘开第, 庞彦军, 孙光勇, 等. 城市环境质量的未确知测度评价[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(12): 52-58.
Liu Kaidi, Pang Yanjun, Sun Guangyong, et al. Systems Engineering Theory and Practice, 1999, 19(12): 52-58.
- [11] 万玉成. 未确知性在预测与决策问题中的应用 [D]. 南京: 东南大学, 2004.
Wan Yucheng. Research on the methods and applications of forecasting and decision making based on unascertainty [D]. Nanjing: Southeast University, 2004.
- [12] 董陇军, 李夕兵, 宫凤强. 地下开采引发地面沉降的未确知聚类预测方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 95-99, 104.
Dong Longjun, Li Xibing, Gong Fengqiang. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2): 95-99, 104.
- [13] 曹庆奎, 刘开展, 张博文. 用熵计算客观型指标权重的方法 [J]. 河北建筑科技学院学报, 2000, 17(3): 40-42.
Cao Qingkui, Liu Kaizhan, Zhang Bowen. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 2000, 17(3): 40-42.
- [14] 钱七虎, 李树忱. 深部岩体工程围岩分区破裂化现象研究综述[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(6): 1278-1284.
Qian Qihu, Li Shuchen. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(6): 1278-1284.
- [15] 朱川曲. 回采巷道围岩稳定性分类及松动圈尺寸预测 [J]. 黄金科学技术, 1999, 7(4): 63-66.
Zhu Chuanqu. Gold Science and Technology, 1999, 7(4): 63-66.

(责任编辑 吴晓丽)

· 科学共同体介绍 ·

中国通信学会

中国通信学会 (China Institute of Communications) 成立于 1979 年, 是全国通信科技工作者和全国通信企、事业单位自愿组成、依法登记的非营利性学术团体, 是党和政府联系通信科技工作者的桥梁和纽带, 是在民政部依法登记的社会团体法人。中国通信学会的业务主管部门是中国科学技术协会, 办事机构挂在信息产业部, 社团登记管理机关为民政部。

中国通信学会属于科技型中介机构, 始终坚持为企业应用新技术、开发新产品服务, 为科研单位开展科学研究服务, 为政府制定技术政策服务, 致力于促

进我国通信科技事业的繁荣和发展。中国通信学会是我国通信界学术交流的主渠道、科学普及的主力军、国际民间科学技术交流的主要代表, 是全国通信科技工作者之家。

中国通信学会现主办或联合主办《中国通信 (英文版)》、《中国通信年鉴》、《通信学报》等 6 种期刊。学会与跨国电气电子工程师学会通信委员会、香港工程师学会、美国移动通信与互联网协会、英国电机工程师学会、日本电子通信学会、韩国通信学会、台湾地区电机电子同业公会等许多国家和地区的通信信息学会、协会保

持着业务联系或签订了长期合作协议。

中国通信学会自成立以来, 每年都要受信息产业部的委托, 举办多次大型国际学术交流会议、专题技术研讨会议, 并在北京和上海多次举办中国国际电子通信设备技术展览会; 每年都在世界电信日、世界邮政日组织宣传邮电新技术、新业务知识。

中国通信学会于 2007 年 4 月召开了第六届全国会员代表大会, 产生了第六届理事会和常务理事会, 选举尚冰为理事长, 张新生为秘书长。

(责任编辑 秦政)