

地下洞室超挖预测的距离判别分析方法

和应用

周健¹, 史秀志¹, 郑纬²

1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083
2. 中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083

摘要 超挖问题是隧道开挖施工中不可避免的问题。本文基于距离判别分析理论并结合工程实际, 建立地下洞室块体超挖预测的距离判别分析模型; 根据工程实例中影响隧洞块体超挖的地质特征与组成, 选用两组节理、一组层面的产状, 以及洞室结构面的延伸和间距等指标作为洞室超挖预测的判别因子; 以 21 组实测的洞室地质参数数据作为学习样本进行训练, 建立相应线性判别函数预测超挖块体大小, 经过训练后的模型回判估计误判率为 0。最后, 从野外地质调查着手, 结合某一抽水蓄能电站的实测地质资料, 应用建立的判别函数对平洞 4(PD4) 的超挖块体大小进行预测。结果表明, 距离判别分析模型预测精度高, 回代估计的误判率低, 为地下洞室块体超挖预测提供了一种新思路。

关键词 地下洞室; 超挖; 距离判别分析; 预测

中图分类号 TP183

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)13-0035-05

Distance Discriminant Analysis Method and Its Application for Prediction of Over-excavation in Underground Opening

ZHOU Jian¹, SHI Xiuzhi¹, ZHENG Wei²

1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. School of Geoscience and Environmental, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Over-excavation is an inevitable fact in tunnel excavation. Based on the principles of the Mahalanobis Distance Discriminating Analysis (DDA), a distance discriminating analysis model is proposed in this paper to predict over-excavation of underground opening. According to engineering practice, the main factors affecting overbreking in tunnels include the geological characteristics of rock mass and the geological constitution, which are considered in the forecast DDA model. Five parameters influencing the over-excavation of opening, including two groups of joints, one group of layer surface, extension and space between structure faces, are selected as geometric parameters. Twenty-one sets of engineering data in an underground opening are used as the training samples. Corresponding discriminating functions are obtained to classify the samples to be discriminated. The re-substitution method is used to verify the stability of the DDA model and the ratio of mistake-discrimination is equal to zero after the DDA model is trained. Some field survey data in a pump-storage hydroplant were used to test the discriminant ability of the DDA model. The results show that the prediction results are identical with the actual situation, with high predicted accuracy and low misdiscrimination rate. The DDA model can be used in practical engineering.

Keywords underground opening; over-excavation; distance discriminant analysis; prediction

收稿日期: 2009-10-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB02A02); 中南大学研究生学位论文创新项目(2009ssxt230)

作者简介: 周健, 硕士研究生, 研究方向为采矿与岩土工程灾害控制, 电子信箱: hnblast@gmail.com; 史秀志(通信作者), 教授, 研究方向为采矿与岩土工程及爆破技术, 电子信箱: shixiuzhi@263.net

0 引言

随着科学技术的进步和建设事业的发展,大型工业企业和市政设施的地下工程系统日益增多,在水利电力、交通运输、矿山开采以及军事工程中修建了大量规模巨大的地下洞室,而相当一部分地下洞室是在节理岩体中开挖的。在节理岩体中开挖地下洞室,对不稳定楔形体的预测(超挖预测)是一个世界性专业课题,对顺利施工、节约投资、安全生产有特别重要的意义^[1-3]。

目前,国外已对此进行了较多研究,例如岩体稳定性理论、概率论等^[2-4]。近年来,国内对超挖预测进行了相关的研究并取得较好的成果,如孙少锐等^[5]将地质统计模型、小波神经网络、超挖预测3种基本理论有机地结合在一起,对地下洞室的超挖问题进行研究;宫凤强等^[6]建立了地下洞室超挖预测 Bayes 判别分析模型;苏华等^[7]运用支持向量机方法对隧洞超挖进行了预测;余健等^[8]研究了公路隧道超欠挖统计规律;苏永华等^[9]对隧道围岩超挖的分形特征进行了探讨;吴继敏和魏继红等^[10-14]运用块体理论、结构面网络模拟方法及图像处理技术来预测地下洞室的超挖问题。本文提出了一种新的评价预测方法——距离判别分析法^[15-17],并应用于地下洞室超挖预测中,取得了较好的效果。

判别分析(Distinguish Analysis)是根据所研究的个体的观测指标推断该个体所属类型的一种统计方法,在自然科学和社会科学的研究中已得到较为广泛的应用^[15-17]。笔者借鉴判别分析理论的思想,选取影响地下洞室超挖的关键地质因素,对隧洞等地下工程超挖块体大小进行预测,并在实际工程中进行运用,为地下洞室超挖预测提供一种新的方法。

1 距离判别分析法分类模型

距离判别分析(Distance Discriminating Analysis, DDA)的基本思想是:根据已掌握的每个类别的若干样本的数据信息,总结出客观事物分类的规律性建立判别函数,然后根据总结的判别函数,即可判别新样本函数所属类别。

1.1 马氏(Mahalanobis)距离

设总体 $G=(X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ (即类别)是 n 元总体(考查 n 个指标),其中样本 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 。令 $\mu_i=E(X_i)$,则总体均值向量为 $\mu=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)^T$ 。总体 $G=(X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ 的协方差矩阵为

$$V=cov(G)=E[(G-\mu)(G-\mu)^T] \quad (1)$$

则样本 X 与总体 $G=(X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ 之间的马氏距离定义为

$$d(X, G)=\sqrt{(X-\mu)^T V^{-1}(X-\mu)} \quad (2)$$

1.2 多个总体的距离判别函数及规则

设有 k 个分别来自 G_1, G_2, \dots, G_k 的独立同分布样本, G_i 的均值向量为 μ_i ,协方差矩阵为 $V_i(V_i>0), i=1, 2, \dots, k(k>2)$,且

$$d^2(X, G_i)=(X-\mu_i)^T V_i^{-1}(X-\mu_i) \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

考查新样本 y 到总体 G_i 和 G_j 的马氏距离,若

$$d^2(y, G_i)<d^2(y, G_j) \quad (i \neq j; j=1, 2, \dots, k) \quad (4)$$

则判 y 来自 G_j ,并记

$$\Psi_i=\{y:y \in R^p, d^2(y, G_i)<d^2(y, G_j)\} \quad (i \neq j; j=1, 2, \dots, k; i=1, 2, \dots, k) \quad (5)$$

则 $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_k\}$ 是 R^p 的一个划分,判别规则式(3)、式(4)化为 $y \in \Psi_i$ 时,判 y 来自 G_i 。

当 $V_1=V_2=\dots=V_k=V>0, i=1, 2, \dots, k$ 时,

$$d^2(y, G_j)-d^2(y, G_i)=2\left(y-\frac{\mu_i+\mu_j}{2}\right)^T V^{-1}(\mu_i-\mu_j) \quad (6)$$

则称 $W_{ij}(y)=(y-\frac{\mu_i+\mu_j}{2})^T V^{-1}(\mu_i-\mu_j)$ 为判别函数,它是关于 y 的线性函数。此时式(4)可化为

$$W_{ij}(y)>0 \quad (i \neq j, j=1, 2, \dots, k) \quad (7)$$

则式(5)转化为

$$\Psi_i=\{y:y \in R^p, W_{ij}(y)>0\} \quad (8)$$

其中, $i \neq j, j=1, 2, \dots, k, i=1, 2, \dots, k$ 。

在实际应用中,总体均值 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ 与协方差 V_1, V_2, \dots, V_k 均是未知,它们的取值需要用训练样本进行估计,另外,马氏距离对一切线性变换是不变的,不受量纲的影响。设 $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{n_1}$ 是来自总体 G_i 的训练样本,则 μ_i 和 V 可估计为

$$\hat{\mu}_i=\bar{x}_i=\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (9)$$

$$\hat{V}=S_p=\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^k (n_i-1)S_i \quad (10)$$

其中, $S_i=\frac{1}{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij}-\bar{x}_i)(x_{ij}-\bar{x}_i)^T, n=\sum_{i=1}^k n_i$ 。

用 $\hat{\mu}_i$ 和 \hat{V} 分别代替式(8)中的 μ_i 和 V ,可得到 R^p 的一个划分 $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_k\}$,则多总体的距离判别规则为:当待判样本 $y \in G_j$ 时,判 y 来自 G_j 。

1.3 判别效果评价

判别方法的有效性表现在两个方面:①对于已知分类的样本,其回代判别正确率高;②对于新样品的分类,具有很高的判断正确率。为考查上述判别准则的优良性,采用回代估计法^[16-17]计算误判率。以两个总体 G_1 和 G_2 为例,其中 $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_{n_1}^{(1)}$ 和 $x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_{n_2}^{(2)}$ 是分别来自总体 G_1 和 G_2 的训练样本,其容量分别为 n_1 和 n_2 ;以全体训练样本作为 n_1+n_2 个新样本,逐个代入已建立的判别准则中判别其归属,并将误判个数对全体训练样本个数的比值作为误判率 \hat{p}_r 的回代估计。回判结果见表1。

表1 回判结果

Table 1 Results of re-substitution method

实际归类	G_1	G_2
G_1	n_{11}	n_{12}
G_2	n_{21}	n_{22}

其中, n_{12} 是将属于总体 G_1 的样本误判为总体 G_2 的个数; n_{21} 为将属于总体 G_2 的样本误判为总体 G_1 的个数; 总的误判个数为 $n_{12}+n_{21}$, 而总体训练样本的总数是 n_1+n_2 , 误判率 \hat{p}_r 的回代估计为

$$\hat{p}_r = (n_{12} + n_{21}) / (n_1 + n_2) \quad (11)$$

2 地下洞室超挖预测的距离判别分析模型及其应用

2.1 超挖预测理论

在洞室开挖过程中, 由于地质因素和人为因素, 会造成不必要的开挖(图 1)^[5], 不但增加工作量、经费, 还可能造成人与设备的损伤。造成超挖的因素包括: ① 自然因素: 节理组合形成的不稳定体, 软弱岩构成的不稳定体, 地下水, 应力因素等; ② 人为因素: 开挖方法不适当(爆破计划、设备), 没有足够的预支撑措施(设计和安装)等。其研究思路为: ① 确定研究参数, 即几何特征(产状、延伸和间距)的模拟; ② 确定超挖体积的范围; ③ 结果为洞室超挖块体的体积大小。

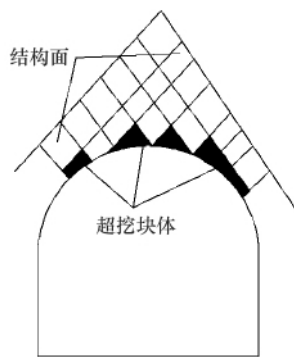


图 1 洞室超挖简图

Fig. 1 Over-excavation of underground opening

2.2 判别因子的确定

影响地下隧洞超挖的因素有很多, 参考有关研究结果^[1-4], 经综合分析后, 在不考虑人为因素的情况下, 确定以节理组 1 的 NE 倾向 X_1 与倾角 X_2 、节理组 2 的 NE 倾向 X_3 与倾角 X_4 、一组层面的倾向 X_5 与倾角 X_6 , 以及洞室结构面的延伸 X_7 和间距 X_8 共 8 个明确指标作为距离判别分析模型的判别因子, 并按超挖块体的体积 Ω 分成 4 个类别: ① $\Omega > 2.4\text{m}^3$, 模型输出结果为 G_1 ; ② $2.1\text{m}^3 < \Omega \leq 2.4\text{m}^3$, 模型输出结果为 G_2 ; ③ $1.8\text{m}^3 < \Omega \leq 2.1\text{m}^3$, 模型输出结果为 G_3 ; ④ $\Omega \leq 1.8\text{m}^3$, 模型输出结果为 G_4 。该分类在不同的工程中可修改其体积范围, 此处引用文献 [5] 中的工程分类标准。

2.3 工程概况

工程位于某市西南郊 10km 处, 为一抽水蓄能电站^[5]。根据设计方案, 上水库设计正常蓄水位为 470m, 由主坝、副坝和库周山岭围成。主坝采用钢筋混凝土面板堆石坝, 最大坝高为 62m; 副坝采用混凝土重力坝, 最大坝高为 32m。下水库的

设计正常蓄水位为 79.8m, 坝型为钢筋混凝土面板堆石坝, 最大的坝高为 44m, 输水系统全长为 2489.24~3103.67m, 引水、尾水隧洞各两条, 库容 500 多万 m^3 , 装机功率为 800MW。

2.4 学习样本的构造和距离判别分析模型的建立

为验证距离判别模型的检验效果, 在参考了不同工程结构面实测资料后, 选取文献 [5] 提供的 21 组实测洞室地质参数数据作为距离判别模型的学习样本进行训练(表 2), 并假设 4 个总体的协方差相等, 即 $V_1=V_2=V_3=V_4=V$ 。由此建立距离判别分析模型, 模型输入层节点数为 8; 输出层节点数为 4, 分别对应 4 类超挖块体体积。根据本文距离判别方法进行计算、学习, 其中距离判别分析模型示意图如图 2 所示。

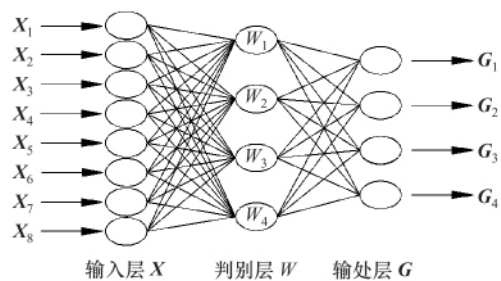


图 2 距离判别分析模型示意图

Fig. 2 Model of distance discriminant analysis method

对训练样本进行计算、学习后可求得相应的判别系数, 进而得其判别函数如下:

$$\hat{W}_1(x) = -440.264 - 0.5022X_1 + 2.4520X_2 + 3.9452X_3 + 8.0499X_4 - 1.3029X_5 + 7.2422X_6 + 0.5041X_7 - 4.7020X_8$$

$$\hat{W}_2(x) = -585.422 + 0.4318X_1 + 4.1752X_2 + 4.5934X_3 + 11.7967X_4 - 2.2393X_5 + 6.9938X_6 + 0.9877X_7 - 6.9822X_8$$

$$\hat{W}_3(x) = -554.383 + 1.1658X_1 + 4.7947X_2 + 3.8467X_3 + 12.8300X_4 - 2.6787X_5 + 6.0238X_6 + 1.2504X_7 - 7.5844X_8$$

$$\hat{W}_4(x) = -439.011 + 1.8450X_1 + 5.1930X_2 + 4.6146X_3 + 16.6408X_4 - 3.6158X_5 + 6.6824X_6 + 1.3133X_7 - 9.3320X_8$$

2.5 判别模型的检验及工程应用

为了考查地下洞室超挖预测距离判别分析模型的有效性和正确性, 用判别模型判别训练样本 1~21。评判结果与实际结果吻合, 误判率 $\hat{p}_r=0$, 证明该判别模型是稳定、合理的, 可投入使用。采用学习好的距离判别分析模型对本工程平洞 4 (PD4) 的块体大小进行预测, 预测结果见表 3, 可见 PD4 超挖块体的体积较大, 都在 2.4m^3 以上。这主要是由于地质条件不良引起的。实际调查中也发现, PD4 岩层倾角较大, 与两组节理面形成较大的切割块体, 说明该预测结果符合实际情况。表 3 同时列出了利用小波神经网络 (ANN)^[5] 模型、Bayes 判别法 (BDA)^[6] 所得到的评价结果。本文采用小样本学习的方法所

得结果与采用其他 2 种方法所得结果较为接近, 误判率较低; 距离判别法计算方法简单, 判别体系稳固, 意义明确, 且其训练速度较一般神经网络方法快, 不存在陷入局部极小值

的问题, 与神经网络方法相比更有优越性。所以, 将距离判别分析模型应用于地下洞室超挖预测完全可行, 预测精度高, 能很好地满足工程的应用需要。

表 2 距离判别分析模型学习样本

Table 2 Training samples of distance discriminant analysis model

序号	判别因子								判别结果			
	$X_1/(^\circ)$	$X_2/(^\circ)$	$X_3/(^\circ)$	$X_4/(^\circ)$	$X_5/(^\circ)$	$X_6/(^\circ)$	X_7/cm	X_8/cm	实际等级	ANN	BDA	DDA
1	15.0	74.0	38.0	17.0	20.0	82.0	7.0	32.0	G_1	G_1	G_1	G_1
2	30.0	83.0	45.0	15.0	35.0	84.0	13.0	14.0	G_2	G_2	G_2	G_2
3	35.0	84.0	30.0	22.0	25.0	82.0	22.0	25.0	G_3	G_3	G_3	G_3
4	40.0	80.0	25.0	30.0	30.0	84.0	10.0	14.0	G_4	G_4	G_4	G_4
5	0	75.0	40.0	20.0	25.0	82.0	7.0	33.0	G_1	G_1	G_1	G_1
6	0	75.0	38.0	10.0	30.0	85.0	5.0	15.0	G_1	G_1	G_1	G_1
7	15.0	74.0	38.0	17.0	20.0	82.0	7.0	32.0	G_1	G_1	G_1	G_1
8	30.0	83.0	45.0	15.0	35.0	84.0	13.0	14.0	G_2	G_2	G_2	G_2
9	35.0	84.0	30.0	22.0	25.0	82.0	22.0	25.0	G_3	G_3	G_3	G_3
10	40.0	80.0	25.0	30.0	30.0	84.0	10.0	14.0	G_4	G_4	G_4	G_4
11	5.0	67.0	50.0	21.0	15.0	83.0	90.0	54.0	G_1	G_1	G_1	G_1
12	10.0	62.0	35.0	16.0	30.0	79.0	30.0	27.0	G_1	G_1	G_1	G_1
13	15.0	65.0	20.0	35.0	15.0	84.0	106.0	45.0	G_3	G_3	G_3	G_3
14	25.0	85.0	20.0	22.0	14.0	84.0	80.0	30.0	G_3	G_3	G_3	G_3
15	40.0	77.0	25.0	27.0	3.0	88.0	7.0	8.0	G_4	G_4	G_4	G_4
16	55.0	74.0	40.0	21.0	12.0	80.0	9.0	10.0	G_4	G_4	G_4	G_4
17	65.0	75.0	36.0	21.0	65.0	88.0	52.0	14.0	G_3	G_3	G_3	G_3
18	20.0	68.0	30.0	15.0	0	75.0	55.0	15.0	G_3	G_3	G_3	G_3
19	55.0	65.0	26.0	20.0	50.0	80.0	70.0	12.0	G_3	G_3	G_3	G_3
20	18.0	79.0	25.0	18.0	20.0	75.0	26.0	8.0	G_3	G_3	G_3	G_3
21	10.0	77.0	20.0	18.0	35.0	70.0	36.0	9.0	G_3	G_3	G_3	G_3

表 3 距离判别分析模型测试样本

Table 3 Testing samples of distance discriminant analysis model

序号	判别因子								判别结果			
	$X_1/(^\circ)$	$X_2/(^\circ)$	$X_3/(^\circ)$	$X_4/(^\circ)$	$X_5/(^\circ)$	$X_6/(^\circ)$	X_7/cm	X_8/cm	实际等级	ANN	BDA	DDA
1	16.48	75.64	39.15	18.96	21.82	83.15	8.85	33.59	G_1	G_1	G_1	G_1
2	1.09	76.90	26.51	21.08	26.75	83.75	8.74	34.67	G_1	G_1	G_1	G_1
3	1.94	76.37	41.90	11.85	31.87	86.78	6.29	16.81	G_1	G_1	G_1	G_1
4	16.45	75.64	39.15	18.64	21.83	83.03	8.92	33.14	G_1	G_1	G_1	G_1
5	11.26	63.52	40.0	17.05	31.74	80.0	31.51	28.33	G_1	G_1	G_1	G_1

3 结论

1) 本文借鉴马氏距离判别分析理论, 选取影响洞室超挖中的主要地质参数, 建立了地下洞室超挖预测的距离判别分析模型。21 组实例计算证明, 利用上述指标建立的距离判别分析模型对地下洞室超挖预测简单实用、准确可靠, 利用回代估计法对模型检验的结果令人满意, 将该模型应用于预测平洞 4 的超挖块体大小, 判别结果与实际吻合, 为地下洞室超挖预测提供了一条新途径。

2) 距离判别分析理论用于地下洞室超挖预测建模还只

是初步尝试, 有一些问题还需要进一步进行研究。例如如何选择超挖因素及判别因子; 距离判别没有考虑各总体本身出现的可能性及在距离判别中错判造成的损失。同时该模型建立在有限的工程实例原始数据资料基础上, 受到原始资料数据代表性、准确性的影响。

在实际应用中, 可根据具体情况, 广泛收集工程实例资料, 建立相应的样本数据库, 增强模型的识别能力。使得地下洞室超挖预测的距离判别分析模型更加完善, 预测结果更加符合事实。

参考文献 (References)

- [1] 吴继敏, Mahtab A. 节理岩体中地下洞室超挖预测 [J]. 工程地质学报, 1999, 7(1): 3-8.
Wu Jimin, Mahtab A. *Journal of Engineering Geology*, 1999, 7(1): 3-8.
- [2] Maerz N H, Ibarra J A, Franklin J A. Overbreak and underbreak in underground openings part 1: Measurement using the light section method and digital image processing [J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1996, 14(4): 307-323.
- [3] Franklin J A, Maerz N H, Ibarra J A. Overbreak and underbreak in underground openings part 2: Causes and implications [J]. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1996, 14(4): 325-340.
- [4] Revey G F. Effects and control of overbreak in underground mining[J]. *Mining Engineering*, 1998, 50(8): 63-67.
- [5] 孙少锐, 吴继敏, 魏继红. 基于地质统计模型的小波神经网络在地下洞室超挖预测中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(8): 1344-1349.
Sun Shaorui, Wu Jimin, Wei Jihong. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(8): 1344-1349.
- [6] Gong F Q, Li X B, Zhang W. Over-excavation forecast of underground opening by using Bayes discriminant analysis method [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2008, 15(4): 498-502.
- [7] 苏华, 汪在芹. 支持向量机在隧洞超挖预测中的应用 [J]. 山西建筑, 2007, 33(4): 284-285.
Su Hua, Wang Zaiqin. *Shanxi Architecture*, 2007, 33(4): 284-285.
- [8] 余健, 钟新樵. 公路隧道超欠挖统计规律研究 [J]. 重庆交通学院学报, 2000, 19(2): 15-20.
She Jian, Zhong Xinqiao. *Journal of Chongqing Traffic College*, 2000, 19(2): 15-20.
- [9] 苏永华, 孙晓明, 赵明华. 隧道围岩超挖的分形特征研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(1): 89-93.
Su Yonghua, Sun Xiaoming, Zhao Minghua. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2006, 35(1): 89-93.
- [10] 吴继敏, 陈显春, 李文奇, 等. 金丽温高速公路连拱隧道超挖预测及原因分析[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(5): 56-59.
Wu Jimin, Chen Xianchun, Li Wenqi, et al. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2005, 32(5): 56-59.
- [11] Wu J M, Sun S R. Estimation of overbreak block in the generating investigation opening of one pump-storage hydroplant [C]//Song J. Proceeding of International Conference Engineering and Technological Sciences 2000. Beijing: Science Press, 2000: 310-315.
- [12] 魏继红, 吴继敏, 陈显春, 等. 块体理论在金丽温高速公路连拱隧道超挖预测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(5): 60-63.
Wei Jihong, Wu Jimin, Chen Xianchun, et al. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2005, 32(5): 60-63.
- [13] 吴继敏, 孙少锐, 魏继红. 应用力学机制的网络模拟预测洞室超挖问题[J]. 岩土力学, 2004, 25(8): 1220-1224.
Wu Jimin, Sun Shaorui, Wei Jihong. *Rock and Soil Mechanics*, 2004, 25(8): 1220-1224.
- [14] 魏继红, 吴继敏, 孙少锐. 图像处理技术在隧洞超欠挖评价中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2005(1): 105-108.
Wei Jihong, Wu Jimin, Sun Shaorui. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2005(1): 105-108.
- [15] 周健, 史秀志, 王怀勇. 矿井突水水源识别的距离判别分析模型[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 278-282.
Zhou Jian, Shi Xiuzhi, Wang Huaiyong. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(2): 278-282.
- [16] 宫凤强, 李夕兵. 膨胀土等级分类中的距离判别分析法[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(3): 463-466.
Gong Fengqiang, Li Xibing. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2007, 29(3): 463-466.
- [17] 梅长林, 范金城. 数据分析方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
Mei Changlin, Fan Jincheng. *Data analysis method* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·

“2010年亚太数字内容安全 与数字版权管理会议”征文



中国人工智能学会将于2010年11月20-21日在北京召开“2010年亚太数字内容安全与数字版权管理会议”。

征文内容包括: 数字版权管理技术, 大规模内容处理及评测技术, 数字图书馆, 基于内容的过滤技术, 主题检测和跟踪, 数字取证, 信息内容安全技术, 软件保护, 条件接受, 信息内容处理系统及应用, 多媒体加密技术, 移动数字版权保护技术, 数字水印与数字版权管理, 多媒体内容版权管理, 多媒体数据检索及认证, 信息隐藏理论与模型, 隐密术与隐密分析, 非常规载体信息隐藏, DRM 数字版权管理, IPTV 内容分发数字版权管理技术, CMMP, Media DRM, B2B 内容分发数字版权管理技术, DRM-X 数字版权平台, 物联网隐私保护。

征文截止时间: 2010年9月10日。

联系方式: 北京邮电大学 287 信箱 (100876) 宋平, 电话: 010-62286409, 电子信箱: song@leaderstudio.net, duxin@leaderstudio.net。

会议网站: <http://leaderstudio.net>。