

文章编号:0253-9993(2010)S0-0164-06

基于 Hoek-Brown 准则的节理扩展煤层 破碎分级方法

张立松¹, 闫相祯², 杨秀娟², 杨恒林³

(1. 中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061; 3. 中国石油集团钻井工程技术研究院, 北京 100097)

摘要:考虑地应力作用下煤层节理扩展特性对煤层破碎的影响,给出了煤层节理扩展的判别方法。应用小波神经网络方法和逐级加载算法,联合反演分析节理扩展煤层应力场,获取煤岩单点最大、最小主应力,并结合霍克-布朗准则提出煤层破碎分级定量研究方法。依据煤层破碎系数大小和能量法判据将煤层破碎程度划分为 A、B、C、D 四个等级,并确定煤岩破碎分级标准。应用本文提出的煤岩破碎分级方法和标准,对沁水盆地晋城区块煤层破碎分布规律进行预测,结果表明:晋城区块南部的阳城、町店、樊庄、潘庄等地区煤层破碎严重(A级),而区块的西北部煤层破碎程度最轻(D级)。理论结果与现场实测的煤层地质资料一致,验证了本方法的预测结果。

关键词:Hoek-Brown 准则;节理扩展;煤层破碎分级方法;联合反演分析;应力场;能量法判据
中图分类号:P618.11 **文献标志码:**A

Fracture classification method of coal seam with joint propagation based on Hoek-Brown criterion

ZHANG Li-song¹, YAN Xiang-zhen², YANG Xiu-juan², YANG Heng-lin³

(1. College of Mechanical & Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2. College of Architecture & Storage Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 3. Institute of Drilling and Technology, China National Petroleum Corporation, Beijing 100097, China)

Abstract: Coal seam fracture was influenced by joint propagation characteristics which were caused by in-site stress, so the discrimination method of coal joints propagation was given. Applying wavelet neural network and gradual loading algorithm, coal seam stress field was analyzed by the combined inversion method, and the maximum and minimum principal stress of coal single point were obtained, consequently coal fracture classification quantitative method was presented based on Hoek-Brown criterion. According to coal fracture coefficient magnitude and energy method, four grades of A, B, C, D were divided for coal seam fracture degree, and coal fracture classification standard was determined. By means of the classification method and standard, the distribution regularity of coal fracture was studied for Jincheng region in Qinshui Basin. The research results show that coal seam fracture degree of Yangcheng, Dingdian, Fanzhuang, Fanzhuang in Jincheng region is defined as grade A, but coal seam in northwest region is considered as grade D. The prediction results agree well with the measured values, therefore the classification method and standard were proved.

Key words: Hoek-Brown criterion; joint propagation; coal seam fracture classification method; combined inversion analysis; in-site stress field; energy method

在煤层气欠平衡钻井过程中,迫切需要知道煤层破碎带的分布状态。由于地应力作用下煤层多组节

理的扩展发育及相互影响,使得煤岩物理力学性质发生改变,并导致应力、应变的重新调整^[1-4]。应力、应

变的重分布引起更大范围煤层节理的扩展,并使煤层结构发生变化,进而引起煤层破碎。而现有国内外各种预测岩体破碎的分级方法标准主要依据定性描述和个人主观经验^[5-7],并未考虑煤层节理扩展的内在因素和地应力的外界因素作用,对埋深几百米的煤层并不适用,进而影响到煤层破碎分布的预测结果。由于目前国内尚未建立煤层破碎分级方法和标准指导破碎带的预测,对影响煤岩破碎的内在因素、外界因素认识不够全面深入,没有针对性的相应措施,已经不能满足煤层钻进安全要求。

针对以上问题,本文将地应力作用和节理扩展分别作为煤层破碎的外界因素和内在因素,应用小波神经网络和逐级加载算法分析了沁水盆地晋城区块煤层单点的最大、最小主应力,结合霍克-布朗强度准则提出了煤岩破碎分级方法和标准,并对该区块煤层破碎带分布进行分级预测。通过与现场煤层地质资料对比,验证了该方法获得的煤层破碎分级预测结果是可靠的,精度满足工程要求。

1 煤层节理扩展分析

1.1 煤层节理相互作用的尖端应力强度因子分析

在地应力作用下,煤岩节理尖端附近的应力奇异,其强度可以用应力强度因子 K_i 表征, $i = I, II, III$, 分别表示拉开型、滑开型及撕开型^[8-10]。煤岩中的节理都是成组出现的,而且常常是多组节理同时存在(图1)。每一个节理都被其它的节理所包围,有时还被其他组节理切割。这些都会影响到节理尖端附近的应力状况,改变节理尖端应力强度因子^[11-13]。

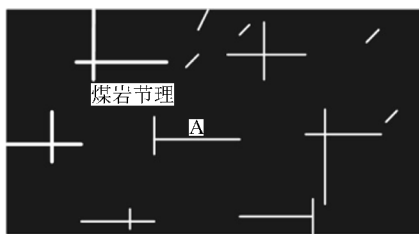


图1 煤岩节理的相互作用

Fig.1 Coal joints interaction diagram

如图1所示,节理A周围有 n 组节理,其尖端应力强度因子为 K , 设节理A附近无其它节理时的应力强度因子为 K_0 。 K 的大小与周围节理的状况有关,表示为

$$\begin{aligned} & K(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) \\ & K_0(x_{10}, \dots, x_{j0}, \dots, x_{n0}) \end{aligned}$$

$$dK = K(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) - K_0(x_{10}, \dots, x_{j0}, \dots, x_{n0})$$

由于

$$\begin{cases} K_1(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}) = K_0 + \frac{\partial K}{\partial x_1} \\ K_j(x_{10}, \dots, x_{(j-1)0}, x_j, x_{(j+1)0}, \dots, x_{n0}) = K_0 + \frac{\partial K}{\partial x_j} dx_j \\ K_n(x_{10}, \dots, x_{(n-1)0}, x_{n0}) = K_0 + \frac{\partial K}{\partial x_n} dx_n \end{cases}$$

可求得

$$\sum_{j=1}^n K_j = nK_0 + \sum_{j=1}^n \frac{\partial K}{\partial x_j} dx_j = nK_0 + dK$$

则

$$K = K_0 + dK = \sum_{j=1}^n K_j + (1 - n)K_0$$

$$K = \sum_{j=1}^n (F_j - 1)K_0 + K_0 \quad (1)$$

式中, F_j 为节理A附近第 j 节理的存在对其应力强度因子的影响系数,即 $K_j = F_j K_0$; K_j 为受节理 j 影响,节理A尖端应力强度因子。

图2分别给出了共面、异面节理影响系数 F_j 的范围。在求得节理尖端的应力强度因子之后,即可用节理扩展判据,判别煤岩节理扩展情况。

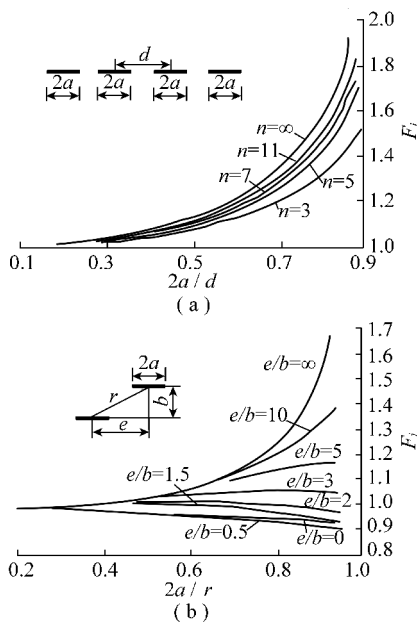


图2 共面节理和异面节理反平面问题的影响系数

Fig.2 Influence coefficient of coplanar and different plane joints

1.2 节理扩展的判别

单一型煤岩节理的起始扩展判据为

$$K_i \geq K_{ic} \quad (i = I, II, III) \quad (2)$$

式中, K_{ic} 为 i 型应力强度因子临界值。

当 $i = I$ 时,煤岩节理为拉开型扩展,这种扩展能导致煤岩的强度破坏;当 $i = II, III$ 时,节理呈滑开型、撕开型扩展,这两种节理的起始扩展一般不使煤岩发

生强度破坏。

2 考虑节理扩展的煤层应力场联合反演分析

2.1 小波神经网络的煤层应力场边界载荷分析

小波神经网络是将小波方法和神经网络理论^[14-15]结合起来的一种方法,通过非线性小波基实现线性迭加,也可看作是小波函数为基底的一种新型函数联结神经网络。

网络隐含层的神经元传递函数 $\psi(t) = \cos(1.75t)\exp(-t^2/2)$,称为 Morlet 小波;输出层传递函数是 $\sigma(u) = 1/(1 + e^{-u})$,称为 Sigmoid 函数。

网络输出

$$\hat{y}(X(j)) = \sigma \left\{ \sum_{k=1}^L w_k \left[\sum_{i=0}^{m-1} x(j+1) \psi \left(\frac{t-b_k}{a_k} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

设 θ 为所有参数 w_j, a_j 及 $b_j (j=1, 2, \dots, L)$ 组成的向量, $\theta = (w_k, a_k, b_k)^T$, 则

$$E(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{N-M} |\hat{y}(X(j)) - y(j)|^2$$

利用共轭梯度下降算法极小化目标函数 $E(\theta)$, 即可得到相应的最优参数 θ , 迭代过程为 $\theta(K+1) = \theta(K) - \eta \nabla E(\theta(K))$, 其中, η 为学习步长; $\nabla E(\theta(K))$ 为目标函数 $E(\theta(K))$ 关于参数 θ 的梯度, 即

$$\nabla E(\theta) = \sum_{j=1}^{N-M} [\hat{y}(X(j)) - y(j)] \frac{\partial \hat{y}_\theta(X(j))}{\partial \theta}$$

具体计算步骤:

- (1) 将伸缩因子 a_k 、平移因子 b_k 和网络连接权值 w_k 赋予随机初始值;
- (2) 输入学习样本 $X(j)$ 及相应的期望输出 $y(j)$;
- (3) 利用式(3), 根据当前网络参数计算网络的输出;
- (4) 计算目标函数的梯度;
- (5) 误差的反向传播, 修改网络参数 a_k, b_k 和 w_k ;
- (6) 当误差函数值小于预先给定的某个值, 停止学习, 否则返回步骤(2)重新学习。

根据小波理论和神经网络编制相应的有限元模块。在对模型进行一定量试算的基础上, 通过改变边界荷载和煤岩力学参数, 利用有限元软件进行正演计算, 可获得边界荷载约束下的应力值。经过多次改变边界荷载和煤岩力学参数后进行正向计算, 将获得的对应于测点的应力分量 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 作为网络学习输入样本, 而将对应的边界荷载和煤岩力学参数作为输出向量。本文选取边界荷载和力学参数的大致范围, 对

其可能取值的范围离散化为几个水平进行组合, 形成 12 组计算参数 (即变形模量、泊松比、 x 方向载荷、 y 方向载荷) 分别对有限元模型进行正演得出相应的应力分量。把计算所得的 12 组主应力分量作为训练输入样本, 用编制好的小波神经网络对其训练, 12 组计算参数作为训练期望输出, 网络训练完成后再将实测点的主应力分量作为输入样本得到输出样本, 即边界荷载及煤岩力学参数。

2.2 节理扩展的煤层应力场逐级加载算法分析

考虑煤岩节理扩展与应力的相互作用, 在利用小波神经网络求得边界荷载的基础上, 针对煤层节理扩展特性提出逐级加载算法求解煤层的应力场分布。应用逐级加载算法进行第 k 步迭代时, 施加第 k 级荷载增量 ΔP_k , 设该级荷载作用下的应力向量为 σ_k , 应力增量为 $\Delta \sigma_k$, 则

$$\Delta \sigma_k = \frac{\partial \sigma}{\partial P} (P_k - P_{k-1}) = J \Delta P_k \quad (4)$$

求得在该荷载增量作用下的应力增量 $\Delta \sigma_k$, 并与第 $k-1$ 级荷载作用下的应力 σ_{k-1} 叠加, 得到第 k 级荷载作用下的应力 σ_k 。

$$\sigma_k = \sigma_{k-1} + J \Delta P_k$$

J 的确定可通过有限元差分得到

$$J_{ij} = \frac{\partial \sigma_i}{\partial P_j} \approx \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta X_j} = \frac{\sigma_i(P_1, P_2, \dots, P_j + \Delta P_j, \dots, P_n) - \sigma_i(P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_n)}{\Delta X_j}$$

式中, $\sigma_i = DLK^{-1}F(P)$; D 为弹性矩阵; L 为微分算子矩阵; K 为总体刚度矩阵; $F(P)$ 为边界荷载列阵。

应用单元节理扩展判别方法判断各单元各组节理扩展和单元的强度破坏, 并与 $k-1$ 级荷载作用时发生节理扩展单元和强度破坏单元数比较。若无新增单元, 则转向第 $k+1$ 级荷载计算; 若有新增单元, 则将新增单元的物理力学参数按其节理扩展或强度破坏的情况代入相应的数值 E_i, ν_i , 并重新计算在 k 级荷载增量作用下的应力增量 $\Delta \sigma_k^2$ 。同上步骤, 直至第 m 次计算, 应用煤岩单元节理扩展方法判别, 并与 $m-1$ 次结果比较后无新增节理扩展单元和强度破坏单元, 此时得到的应力 σ_k^m 即为第 k 级荷载作用下的应力 σ_k 。转入施加第 $k+1$ 级荷载增量计算, 直至第 n 级荷载, 得到全荷载作用下的应力 $\sigma = \sigma_n$ 。

3 煤层破碎分级方法的 Hoek-Brown 准则分析

3.1 Hoek-Brown 准则

Hoek 和 Brown^[16] 认为, 岩石破坏不仅要与实验

结果相吻合,其数学表达式也应尽量简单,并且岩石破坏判据除适用于结构完整各项同性的均质岩石外,还应当适用于破碎岩体及各向异性的非均质岩体等。

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha \quad (5)$$

式中, σ_1 、 σ_3 为分别为破坏时的最大和最小主应力; σ_{ci} 为完整岩块试件的单轴抗压强度; m_b 为岩体常数,与完整岩石的 m_i 有关; s 、 α 为取决于岩体特性的系数。

Hoek-Brown 参数可表述为地质强度指标 GSI 的函数,其形式为

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (6)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (8)$$

式中, D 为岩体弱化因子,取值为 $0 \sim 1$ 。

3.2 煤层破碎分级定量研究方法

通过小波神经网络和逐级加载算法联合反演节理扩展煤层应力场,得到煤层单点的 σ_1 和 σ_3 值。将 σ_3 代入 Hoek-Brown 准则求其破坏时的最大主应力 $[\sigma_1]$, 并与 σ_1 进行比较。引入煤层破碎系数 ξ 表示其比值为

$$\xi = \frac{\sigma_1}{[\sigma_1]} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^\alpha} \quad (9)$$

当破碎系数 $\xi > 1$ 时,即发生煤层的破碎。理论上认为 ξ 值愈大,煤层破碎程度越高。通过以上对煤层破碎程度的分析,可总结其计算步骤:

- (1) 应用小波神经网络和逐级加载算法分析煤层的应力场分布,获得煤层单点最大、最小主应力;
- (2) 应用式(9)得到煤层破碎系数 ξ ;
- (3) 利用现场已测得的煤层破碎情况与预测结果进行对比分析。

3.3 煤层破碎能量法判据

煤层中单位体积的形变能量值(或应变比能) W 表达式为

$$W = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2}{2E} - \frac{\mu \sigma_1 \sigma_3}{2E} \quad (10)$$

为了弥补 ξ 不能单独决定煤层破碎程度的不足,把形变能量值作为补充判据,共同研究煤层破碎程度。当煤层发生破碎时,能量值大者有可能破碎程度较高。但是能量值 W 大,也不一定使得煤层破碎。由此可见,单独由煤层破碎系数或能量值来确定破碎程度均有一定局限性,因此需两种方法联合使用。根据以上方法,编制了煤层破碎分级预测软件。

3.4 煤层破碎分级标准确定

为了定量评价煤层破碎程度,在引入形变能量值的基础上,根据煤层破碎系数大小划分为 4 个等级:严重破碎(A)、破碎(B)、临界破碎(C)、未破碎(D)。表 1 给出了煤层破碎分级与破碎系数的关系。

表 1 煤层破碎分级标准

Table 1 Coal fracture classification standard

参 数	煤层破碎分级标准			
	A	B	C	D
煤层破碎系数 ξ	>1.2	1.2 ~ 1.0	1.0 ~ 0.8	<0.8

4 晋城区块煤层破碎分级预测

4.1 煤层应力场的联合反演分析

依照煤层节理的产状、尺寸、倾角相互关系,考虑煤层在加载过程中因其节理扩展引起的物理力学性质变化,以及此种变化对煤层应力、变形、节理扩展等方面的影响,采用联合反演方法分析煤层应力场分布。

由晋城区块主应力分布(图 3)可知:最大主应力在 $8 \sim 13$ MPa 之间,方位呈 $NE30 \sim 60^\circ$ 。断层、断裂带对最大主应力分布有较明显影响,是应力高值区。高值区主要集中在晋城南部和东部区域,由西北向东南呈逐渐增大趋势。最小主应力分布在 $5 \sim 9$ MPa 之间,方向为 NW 向。低值区集中在晋城南部区域(煤层气比较富集的区域),由东南向西北呈增大。

4.2 煤层破碎分级预测分析

室内测定完整煤岩块体的单轴抗压强度 $\sigma_{ci} = 25$ MPa;煤层地质强度指标 GSI 处于 $55 \sim 85$;常数 $m_i = 15$, $\alpha = 0.5$, $D = 0.46$ 。

图 4(a) 为应用 Hoek-Brown 准则计算得到的煤层破碎系数 ξ 等值线分布图。总体上看,在周围构造作用的影响下,晋城区块的破碎系数主要分布在 $0.20 \sim 1.32$ 。破碎系数从西北部到东南部逐渐增大,高值区主要分布在断裂构造附近区域,其分布规律与能量法判据(图 4(b))得到的结果相似;断裂构造内部及其附近煤层往往具有较高的破碎系数,在图中表现为等值线的曲折或中断。根据煤层破碎分级定量预测方法,破碎系数越大,表明煤层产生强度破坏的可能性越大。结合煤层破碎能量法判据可知,晋城区块煤层的破碎分级分布规律:晋试断裂带附近阳城、町店、樊庄、潘庄以及长冶、长子区域煤层破碎严重(A级);研究工区东南部区域的煤层破碎程度次之(B级);区块中部地区煤层临界破碎(C级);其余西

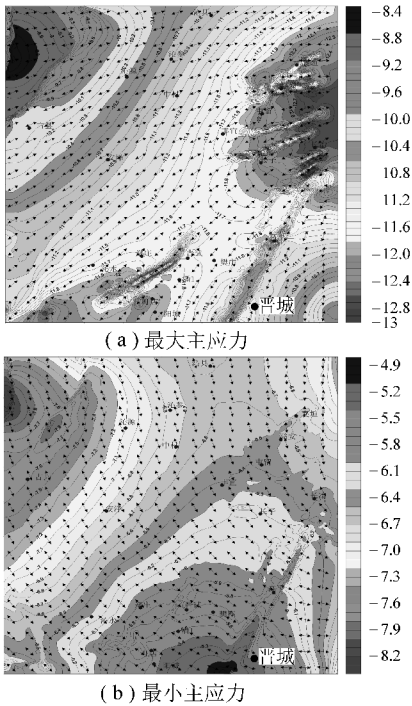


图 3 晋城区块最大和最小水平主应力等值线分布
 Fig. 3 Maximum and minimum horizontal principal stress contour map in Jincheng block

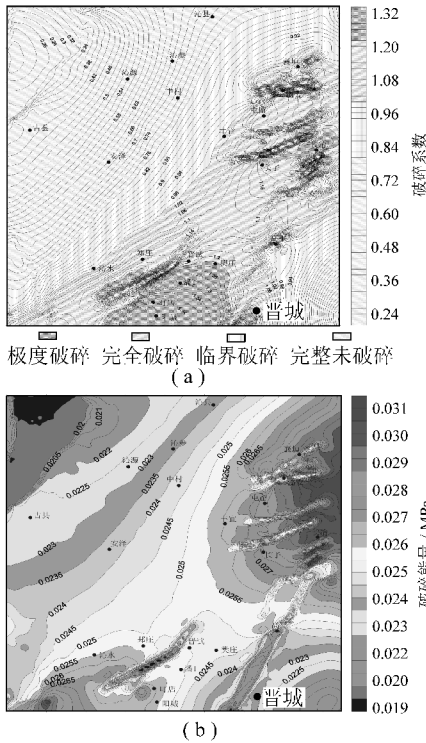


图 4 晋城区块煤层破碎系数和破碎能量值分布
 Fig. 4 Coal fracture coefficient and energy value in Jincheng region

北部地区煤层较为完整(D级)。

通过现场得到的煤层地质统计资料可知,阳城、町店、郑庄、樊庄等地区煤层破碎情况较其他地区更

加严重,与煤岩破碎分级预测结果(A级)吻合较好,表明该方法获得的煤层破碎分级预测结果是可取的,计算精度满足工程要求。

5 结 论

(1)考虑煤岩节理的相互影响和地应力作用,应用断裂力学分析了节理尖端应力强度因子。针对煤层节理易扩展的特点,提出煤层应力场的小波神经网络和逐级加载联合反演方法,并对晋城区块煤层应力场进行分析。计算结果表明:该区块最大主应力在 8~13 MPa,而最小主应力在 5~9 MPa。

(2)应用联合反演方法获取煤层单点最大、最小主应力,结合霍克-布朗准则提出煤层破碎分级定量研究方法。依据煤层破碎系数大小和能量法判据将煤层破碎程度划分为 A、B、C、D 四个等级,确定煤岩破碎分级标准。

(3)应用本文提出的煤层破碎分级方法和标准,对晋城区块煤层破碎程度进行预测,结果表明晋城区块的南部区域煤层破碎较为严重(A级),而区块的西北部地区煤层破碎程度较轻(D级)。这与现场的煤层地质资料一致,验证了本方法的预测结果。

参考文献:

[1] 吴国代,桑树勋,杨志刚,等. 地应力影响煤层气勘探开发的研究现状与展望[J]. 中国煤炭地质,2009,21(4):31-34.
 Wu Guodai, Sang Shuxun, Yang Zhigang, et al. Current research status and prospect of geo-stress impact on CBM exploration and exploitation[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(4):31-34.

[2] Zhou Xiaoping, Ha Qiuling, Zhang Yongxing, et al. Analysis of deformation localization and the complete stress-strain relation for brittle rock subjected to dynamic compressive loads[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004, 41(2):311-319.

[3] Li S C, Zhu W S, Chen W Z, et al. Mechanical model of multi-crack rock mass and its engineering application[J]. Acta Mechanica Sinica, 2000, 16(3):357-362.

[4] Zhu W, Zhang Q, Li S, et al. Brittle elastoplastic damage constitutive model for jointed rock-mass and computation concerning bolt-reinforcement[J]. International Journal of Damage Mechanics, 2003, 12:65-84.

[5] 臧秀平,阮含婷,李萍,等. 岩体分级考虑因素的现状与趋势分析[J]. 岩土力学,2007,28(10):2 245-2 248.
 Zang Xiuping, Ruan Hanting, Li Ping, et al. Status quo and trends analysis of factors considered in rock mass classification methods [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(10):2 245-2 248.

[6] 文畅平. 岩体质量分级的 Bayes 判别分析方法[J]. 煤炭学报, 2008, 33(4):395-399.
 Wen Changping. Bayes discriminant analysis method of rock-mass quality classification [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33

- (4):395-399.
- [7] 许宏发,周建民,吴华杰. 国标岩体质量分级的简化方法[J]. 岩土力学,2005,26(S):88-90.
Xu Hongfa,Zhou Jianmin,Wu Huajie. Simplified method for national standard for engineering classification of rock mass[J]. Rock and Soil Mechanics,2005,26(S):88-90.
- [8] 屈平,申瑞臣,杨恒林,等. 节理煤层井壁稳定性的评价模型[J]. 石油学报,2009,30(3):455-459.
Qu Ping,Shen Ruichen,Yang Henglin, et al. Evaluation model of wellbore stability in coal seam[J]. Acta Petrolei Sinica,2009,30(3):455-459.
- [9] Klerck P A,Sellers E J,Owen D R J. Discrete fracture in quasi-brittle materials under compressive and tensile stress states[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,2004,193(27-29):3 035-3 056.
- [10] Bazant Z P,Oh B H. Crack band theory for fracture of concrete[J]. Material and Constructions,1983,16(9):155-177.
- [11] 周小平,王建华,张永兴. 剪应力作用下 II 型平行节理扩展模式的分叉研究[J]. 岩土力学,2007,28(4):639-642.
Zhou Xiaoping,Wang Jianhua,Zhang Yongxing. Bifurcation condition of crack pattern in two dimensional parallel cracks under far field shear stress[J]. Rock and Soil Mechanics,2007,28(4):639-642.
- [12] 张强勇,朱维申,向文,等. 节理岩体断裂破坏强度计算及工程应用[J]. 山东大学学报(工学版),2005,35(1):98-102.
Zhang Qiangyong,Zhu Weishen,Xiang Wen, et al. Computation of fracture failure strength for jointed rockmass and its application in engineering[J]. Journal of Shandong University(Engineering Science),2005,35(1):98-102.
- [13] Nelson R A. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs[M]. Texas:Gulf Publishing Company,1985:8 226.
- [14] 蒋中明,徐卫亚,邵建富. 基于人工神经网络的初始地应力场三维反分析[J]. 河海大学学报,2002,30(3):52-56.
Jiang Zhongming,Xu Weiya,Shao Jianfu. ANN based 3D back analysis of initial stress in rock masses[J]. Journal of Hohai University,2002,30(3):52-56.
- [15] 易达,徐明毅,陈胜宏,等. 人工神经网络在岩体初始应力场反演中的应用[J]. 岩土力学,2004,25(6):943-946.
Yi Da,Xu Mingyi,Chen Shenghong, et al. Application of artificial neural network to back analysis of initial stress field of rock masses[J]. Rock and Soil Mechanics,2004,25(6):943-946.
- [16] Hoek E,Carranza-Torres C,Corkum B. Hoek-Brown failure criterion-2002 Edition[A]. Proc. NARMS-TAC Conference[C]. Toronto:University of Toronto,2002:267-273.