

文章编号:0253-9993(2012)11-1823-06

煤岩破碎失效概率的可靠性分析及分级应用

张立松¹, 闫相祯¹, 杨秀娟¹, 申瑞臣², 杨恒林², 王 欣³

(1. 中国石油大学(华东) 储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油集团钻井工程技术研究院, 北京 100097; 3. 中国石油集团科学技术研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

摘要:将煤岩破碎现象视为失效概率问题, 在应用 Hoek-Brown 准则建立煤岩破碎预测模型的基础上, 结合可靠性方法定义煤岩完整可靠度指标, 并提出了煤岩破碎失效概率的计算方法。根据煤岩破碎失效概率大小将破碎程度划分为破碎(A 级)、较强破碎(B 级)、较弱破碎(C 级)、未破碎(D 级)4 个等级, 并确定煤岩破碎分级标准; 利用该方法分析了沁水盆地 ZS-P4 井井筒方向的煤岩破碎程度, 并讨论了煤岩破碎失效概率与影响因素的变化关系。结果表明, ZS-P4 井煤岩破碎失效概率在 0.6~1.0, 其分布形态呈顶部煤层高、中部低的趋势; 811.4~812.0 m 煤岩破碎失效概率为 1(A 级), 与该段煤层严重破碎实验现象吻合较好; 煤岩破碎失效概率随着水平主应力差值的增大、单轴抗压强度的降低呈非线性增长趋势。

关键词:煤岩破碎; 失效概率; 完整可靠度; 可靠性方法; Hoek-Brown 准则

中图分类号: TU45 **文献标志码:** A

Reliability analysis of coal crushing failure probability and its classification application

ZHANG Li-song¹, YAN Xiang-zhen¹, YANG Xiu-juan¹, SHEN Rui-chen², YANG Heng-lin², WANG Xin³

(1. College of Pipeline and Civil Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 2. CNPC Institute of Drilling and Technology, Beijing 100097, China; 3. Langfang Branch, CNPC Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Langfang 065007, China)

Abstract: The coal crushing phenomenon can be considered as a problem of failure probability. On the basis of coal crushing prediction model established by using Hoek-Brown criterion, the coal complete reliability was defined based on reliability method, and the calculation method of coal crushing failure probability was proposed. According to the magnitude of coal crushing failure probability, four grades of A, B, C, D were divided for coal crushing degree, and the coal crushing classification standard was determined. Using the classification method, the coal crushing degree was analyzed for Well ZS-P4 in Qinshui Basin, and the relation between coal crushing failure probability and the influence factors was discussed. The results show that the coal crushing failure probability of Well ZS-P4 is among 0.6-1.0; the corresponding distribution pattern is high for roof and floor coal formation and is low for central coal formation; the coal crushing failure probability for coal formation section at depth 811.4-812.0 m is 1, which can be defined as grade A; the prediction results of coal crushing degree agrees well with experimental results observed by electron microscope; the coal crushing failure probability presents nonlinear growth relationship with horizontal principal stress difference increasing and uniaxial compressive strength reducing.

Key words: coal crushing; failure probability; complete reliability; reliability method; Hoek-Brown criterion

煤岩物理力学性质的各向异性以及割理、裂隙的存在, 破坏了煤岩的完整性, 使其具有易破碎的特点。

收稿日期: 2011-09-27 责任编辑: 常 琛

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05036); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(11CX04050A); 国家自然科学基金资助项目(51204201)

作者简介: 张立松(1982—), 男, 山东临朐人, 讲师。E-mail: lisongzhang1982@163.com

煤岩的这种性质决定了煤层气钻井过程中极易发生井壁垮塌^[1],因此准确预测钻井井位处沿深度方向上煤岩的破碎程度能有效降低钻井风险。目前,国内外学者^[2-10]针对钻井过程中硬岩的破岩问题取得了一系列成果,但对于煤岩等软岩的钻前破碎程度预测研究较少。同时,现有的国内外各种岩体分级标准^[11-14]主要依据定性描述和个人主观经验实现岩体分级,这种分级标准对煤层气钻井中埋深几百米的煤岩并不适用,进而影响到煤岩破碎预测结果。由于目前尚未建立合适的煤岩破碎分级方法指导煤岩破碎程度的预测,对影响煤岩破碎的内在因素、外界因素认识不够全面深入,没有针对性的措施,所以已经不能满足煤层气安全钻井要求。考虑到煤岩破碎与结构构件失效的相似性,笔者将煤岩破碎预测视为失效概率问题,并采用可靠性方法计算煤岩破碎失效概率,进而对煤岩破碎程度进行分级预测。可靠性理论^[15-16]在石油工程领域得到了广泛应用,但尚未见到应用在煤岩破碎预测方面的报道。Hoek-Brown 准则^[17-19]通过 m_b, s 和 α 等岩体特征系数反映自身的力学性质,因此除适用于结构完整各项同性的均质岩石外,还适用于破碎岩体及各向异性的非均质岩体。鉴于此,笔者引入可靠性理论,在建立 Hoek-Brown 准则煤岩破碎预测模型的基础上,提出了煤岩破碎失效概率的计算方法,并确定了煤岩破碎分级标准。该方法对于预测煤岩破碎程度具有一定的参考意义。

1 Hoek-Brown 准则

Hoek 和 Brown^[17-19]认为,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。Hoek-Brown 准则表达式为

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha \quad (1)$$

式中, σ_1, σ_3 为岩石破坏时的最大、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,与完整岩石的岩体常数 m_i 有关; s, α 为岩体特性系数。

GSI 为 Hoek 等人提出的地质强度指标^[11], Hoek-Brown 参数可表述为地质强度指标 GSI 的函数,其形式为

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (2)$$

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

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (4)$$

式中, D 为岩体弱化因子,取值为 0~1。

2 基于可靠性理论的煤岩破碎失效概率分析

2.1 煤岩破碎预测模型

在已知煤岩单点 σ_1, σ_3 值的基础上,将 σ_3 代入 Hoek-Brown 准则^[20-21]求解其破坏时对应的最大主应力 $[\sigma_1]$:

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

引入系数 β 表征 $[\sigma_1]$ 与 σ_1 比值:

$$\beta = \frac{\sigma_1}{[\sigma_1]} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha} \quad (6)$$

同理,将 σ_1 代入 Hoek-Brown 准则求解其破坏时对应的最小主应力 $[\sigma_3]$,并与 σ_3 进行比较。引入系数 ζ 表示其比值:

$$\zeta = \frac{[\sigma_3]}{\sigma_3} = \frac{f(\sigma_1, \sigma_{ci}, m_b, s, \alpha)}{\sigma_3} \quad (7)$$

引入系数 η 表征 $[\sigma_1] - [\sigma_3]$ 与 $\sigma_1 - \sigma_3$ 比值:

$$\eta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{[\sigma_1] - [\sigma_3]} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha - f(\sigma_1, \sigma_{ci}, m_b, s, \alpha)} \quad (8)$$

定义煤岩破碎系数 ξ 表征煤岩的破碎程度,其表达式为

$$\xi = \gamma_1 \beta + \gamma_2 \zeta + \gamma_3 \eta \quad (9)$$

其中, $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 为权重系数。理论上认为, ξ 值愈大,煤岩破碎程度越高;当 ξ 值大于 1 时,煤岩破碎。

2.2 煤岩破碎失效概率的计算方法

设 r 代表材料强度(可能), s 代表应力(需要),则函数 y 可表示为

$$y = r - s \quad (10)$$

可靠度 R 为概率 $P(y > 0)$ 或 $P(r > s)$, 即

$$R = P(y > 0) = P(r > s) \quad (11)$$

式(11)即为通常情况下的可靠性分析模型。

考虑到煤岩破碎与结构构件失效的相似性,并结合煤岩破碎预测模型可知,当煤岩破碎系数 ξ 值小于 1 时,表征煤岩完整性相对较好,此时对应的函数 y 可表示为

$$y = 1 - \xi \quad (12)$$

将式(9)代入式(12),函数 y 可进一步表示为

$$y = 1 - \frac{\gamma_1 \sigma_1}{\sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha} - \frac{\gamma_2 f(\sigma_1, \sigma_{ci}, m_b, s, \alpha)}{\sigma_3} - \frac{\gamma_3 (\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha - f(\sigma_1, \sigma_{ci}, m_b, s, \alpha)} \quad (13)$$

考虑煤岩参数及地应力参数的不确定性,选取完整煤岩单轴抗压强度 σ_{ci} 、煤岩特征参数 m_i, s 及主应力 σ_H, σ_h 等 5 个参数作为煤岩完整可靠性模型的随机变量。

设函数 y 的均值、标准差为 μ_y, S_y , 结合可靠性理论及概率方法,给出了联结方程的表达式:

$$Z = \frac{\mu_y}{S_y} = \frac{\mu_\xi - 1}{S_\xi} \quad (14)$$

其中, μ_ξ, S_ξ 分别为 ξ 的均值及标准差。由可靠度理论知,煤岩的完整可靠度指标 R 可表示为 Z 的函数,即

$$R = \Phi(Z) = \Phi\left(\frac{\mu_\xi - 1}{S_\xi}\right) \quad (15)$$

式中, $\Phi(\cdot)$ 为不同分布类型的累积分布函数; Z 为可靠度系数。

在利用实验方法确定各随机变量均值及标准差的基础上,即可计算煤岩破碎系数 ξ 的均值 μ_ξ 及标准差 S_ξ ,进而求解 Z ,并得到煤岩的完整可靠度指标 R 。

由可靠性理论知,煤岩的完整可靠度 R 与不可靠度 F (破碎失效概率) 是互补的,即

$$F = 1 - R \quad (16)$$

2.3 煤岩破碎分级标准

根据煤岩破碎失效概率 F 的大小将破碎程度划分为 4 个等级:破碎(A)、较强破碎(B)、较弱破碎(C)、未破碎(D)。表 1 给出了煤岩破碎分级与破碎失效概率 F 的关系。

表 1 煤岩破碎分级标准

Table 1 Coal crushing classification standard

煤岩破碎分级标准	A	B	C	D
煤岩破碎程度	破碎	较强破碎	较弱破碎	未破碎
煤岩破碎失效概率 F	1.0	0.7 ~ 1.0	0.4 ~ 0.7	<0.4

3 随机变量分布类型的实验确定

从沁水盆地某区块获取大块完整煤岩,分别沿着垂直、平行层理方向钻取直径 50 mm,高 100 mm 岩芯,利用所得岩芯进行室内实验确定随机变量的分布类型。随机变量的分布类型、均值、标准差及变异系数实验结果见表 2。

表 2 随机变量及其分布类型

Table 2 Distribution type of random variables

随机变量	分布类型	均值	标准差	变异系数
σ_H	Weibull 分布	18.94 MPa	0.470 MPa	0.031 5
σ_h	Weibull 分布	16.67 MPa	0.454 MPa	0.037 3
σ_{ci}	Weibull 分布	19.85 MPa	0.896 MPa	0.045 1
m_i	Weibull 分布	15.36	0.897	0.058 4
s	Weibull 分布	0.011	0.002 2	0.2

图 1 给出了随机变量 σ_H, σ_h 的测试结果及其 Weibull 分布、正态分布拟合曲线。

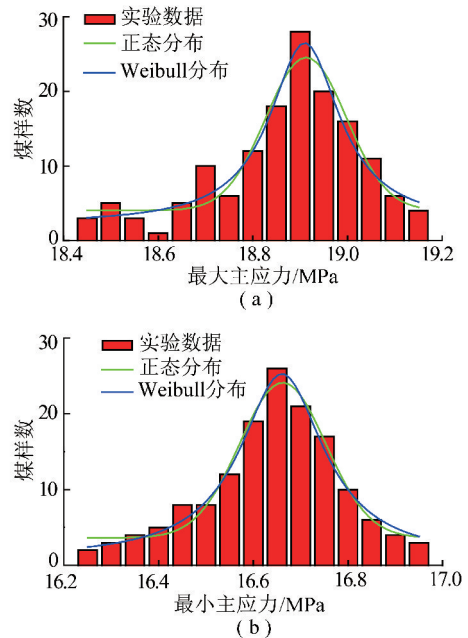


图 1 煤岩最大和最小水平主应力测试数据及拟合曲线
Fig. 1 Test data and distribution types of the maximum and minimum principal stress

从图 1 可以看出,随机变量 Weibull 分布的驼峰与直方图的规律更加吻合。 σ_H, σ_h 的实验数据拟合结果表明:Weibull 分布拟合结果的均方误差分别为 0.041, 0.033, 小于正态分布的 0.055, 0.039。这表明在计算煤岩破碎失效概率时,随机变量的 Weibull 分布较正态分布更加准确。

4 算例分析

以沁水盆地 ZS-P4 井为例,结合测井资料,利用可靠性方法分析煤层段煤岩破碎失效概率,并预测该井煤层段的破碎程度。其中,煤层埋深 806 ~ 812 m。

4.1 ZS-P4 井煤层段主应力预测

根据 ZS-P4 井测井资料,应用分层地应力模型^[22]计算得到的井壁主应力如图 2 所示。

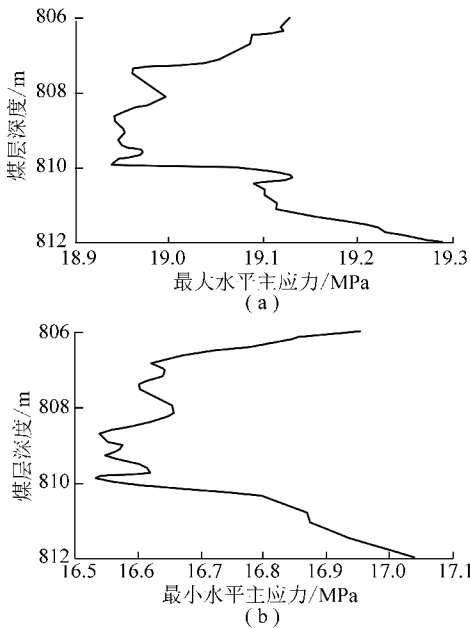


图 2 ZS-P4 井煤层段最大和最小水平主应力分析

Fig. 2 Maximum and minimum principal stress of ZS-P4 well

计算结果显示:ZS-P4 井煤层段最大主应力集中在 18.9 ~ 19.3 MPa,而最小主应力分布在 16.5 ~ 17.1 MPa;煤层底部的 811 ~ 812 m 段井壁最大、最小主应力较大。该井井筒方向煤层段 σ_H, σ_h 变化较大,与实验所得到的主应力变异系数有所差别,为此将 ZS-P4 井煤层最大、最小主应力的测井资料解释结果作为随机变量 σ_H, σ_h 的均值,其标准差仍按表 2 取值。其余随机变量均值及标准差均按表 2 结果。

4.2 ZS-P4 井煤层段煤岩破碎失效概率分析

图 3 给出了 ZS-P4 井煤层段煤岩破碎失效概率计算结果。

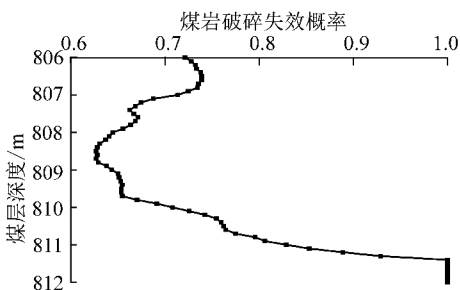


图 3 ZS-P4 井煤层段煤岩破碎失效概率计算结果

Fig. 3 Coal crushing failure probability results of ZS-P4 well

从图 3 可以看出,ZS-P4 井煤层段煤岩破碎概率分布在 0.6 ~ 1.0。其中,806 ~ 807,810.0 ~ 811.4 m 煤岩破碎概率主要集中在 0.7 ~ 0.9,对应分级标准

可知煤岩为较强破碎(B级);807 ~ 810 m 煤岩破碎概率主要集中在 0.6 ~ 0.7,对应分级标准可知煤岩为较弱破碎(C级);811.4 ~ 812.0 m 煤层段破碎概率为 1,表明此段煤岩发生破碎(A级),其破碎程度较 806 ~ 811 m 层段严重,这与从该井中连续取芯得到的煤岩严重破碎实验现象较为一致。综合分析,ZS-P4 井煤岩破碎程度可定义为较强破碎(B级)。这表明:该井不适合采用欠平衡钻井方式垂直钻进煤层段,这与现场钻井前期采用欠平衡钻井,后改用过平衡钻井情况吻合较好。

4.3 影响因素分析

选取最大、最小水平主应力差值作为煤岩破碎的外界影响因素,分析该因素与煤岩破碎失效概率的变化规律。图 4 给出了对应的变化曲线。

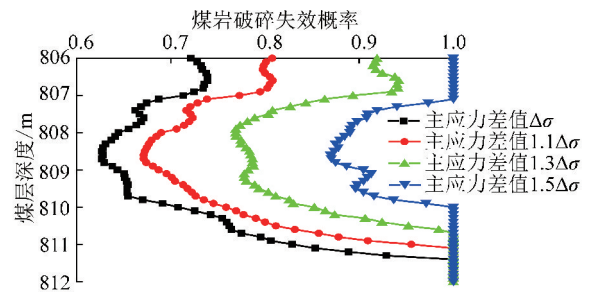


图 4 煤岩破碎失效概率计算结果与水平主应力差值的关系
Fig. 4 Relationship between coal crushing failure probability and principal stress difference

从图 4 可以看出,随着最大、最小主应力差值的增大,煤岩破碎失效概率呈非线性增大。对比主应力差值增大到 1.1,1.3,1.5 倍后的煤岩破碎失效概率结果与原计算结果(埋深 809 m),其值分别提高 6.79%,21.56%,40.53%,这表明主应力差值对煤岩破碎的影响十分明显。计算结果表明:当主应力差值增大到原差值的 1.5 倍时,ZS-P4 井煤层顶板(806.0 ~ 807.1 m)及底板(810 ~ 812 m)煤岩破碎失效概率为 1,即破碎 A 级;中部层段(807.1 ~ 810.0 m)煤岩破碎失效概率在 0.9 ~ 1.0,即较强破碎 B 级;整体而言,ZS-P4 井煤层段煤岩破碎概率分布呈顶底部高、中部低的趋势,中部煤层段煤岩质量好,不易破碎,宜在此段进行水平段钻进。

选取完整岩块单轴抗压强度作为煤岩破碎的内部影响因素,分析该因素与煤岩破碎失效概率的变化规律。图 5 给出了对应的变化曲线。

从图 5 可以看出,随着煤岩单轴抗压强度的减小,ZS-P4 井煤岩破碎失效概率呈非线性增大。对于埋深 809 m 处的煤岩,当单轴抗压强度由 19.85 MPa 下降到 17.85,15.85,13.85 MPa 后,煤岩破碎失效概率分别提高 5.97%,17.06%,31.64%,这表明单轴

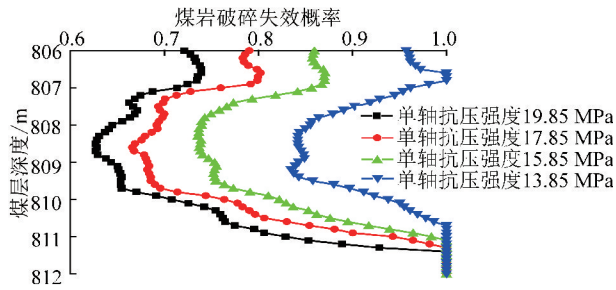


图 5 煤岩破碎失效概率计算结果与单轴抗压强度的关系

Fig. 5 Relationship between coal crushing failure probability and uniaxial compressive strength

抗压强度较高的煤层可有效降低煤岩破碎失效概率。计算结果表明:当煤岩单轴抗压强度降低到 13.85 MPa 时,ZS-P4 井煤层顶板(806.6 ~ 806.8 m)及底板(810.7 ~ 812.0 m)煤岩破碎失效概率为 1,即破碎 A 级;中部层段(807.6 ~ 809.7 m)煤岩破碎失效概率在 0.8 ~ 0.9,其余煤层段煤岩破碎失效概率在 0.9 ~ 1.0,均属于较强破碎 B 级。

5 结 论

(1)将煤岩破碎现象视为失效概率问题,建立 Hoek-Brown 准则的煤岩破碎预测模型,引入可靠性理论提出了煤岩破碎失效概率的计算方法,并确定了煤岩破碎分级标准。

(2)采用煤岩破碎失效概率方法分析了 ZS-P4 井沿井筒方向煤岩的破碎程度。结果表明:ZS-P4 井煤岩破碎失效概率集中在 0.6 ~ 1.0;顶底部煤层煤岩破碎失效概率较高,而中部煤层煤岩破碎失效概率相对较低;ZS-P4 井 811.4 ~ 812.0 m 煤层段煤岩破碎失效概率为 1,即破碎 A 级,预测结果与实验结果吻合较好。

(3)分析了煤岩破碎失效概率与主应力差值、单轴抗压强度的变化关系。结果表明:随着主应力差值的增大、单轴抗压强度的减小,煤岩破碎失效概率均呈非线性增长趋势。

参考文献:

[1] 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.

[2] Davidson W H. The influence of constitution on the engineering properties of crushed rock[J]. Proc. Australian Road Research Board, 1972, 6(5):71-90.

[3] Crow S C. A theory of hydraulic rock cutting[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 1973, 10:567-584.

[4] Hardin B O. Crushing of soil particles[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1985, 111(10):1177-1192.

[5] Mc Dowell G R, Boltom M D, Roberston D. The fractal crushing of granular materials[J]. J. Mech. Solids, 1996, 44(12):2079-2102.

[6] Joer H A, Bolton M D, Randolph M F. Compression and crushing behaviour of calcareous soils[A]. Proc. International workshop on soil crushability[C]. Japan: Yamaguchi, 1999.

[7] Lade P V, Yamamuro J. Significance of particle crushing in granular materials[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122(4):309-316.

[8] 李根生,廖华林,黄中伟,等. 超高压水射流作用下岩石损伤破碎机理[J]. 机械工程学报,2009,45(10):284-293.
Li Gensheng, Liao Hualin, Huang Zhongwei, et al. Rock damage mechanisms under ultra-high pressure water jet impact[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(10):284-293.

[9] 马清明,王瑞和. 井底反向射流辅助破岩机理分析[J]. 钻采工艺,2008,31(1):44-45.
Ma Qingming, Wang Ruihe. Mechanism analysis of bottom-hole reverse jet assist rock failure[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(1):44-45.

[10] 闫铁,李玮,毕雪亮,等. 一种基于破碎比功的岩石破碎效率评价新方法[J]. 石油学报,2009,30(2):291-294.
Yan Tie, Li Wei, Bi Xueliang, et al. A new evaluation method for rock crushing efficiency based on crushing work ratio[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(2):291-294.

[11] Marinov V, Marinov P, Hoek E. Geological strength index: applications and limitations[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2005, 64(1):55-65.

[12] 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):2245-2248.
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):2245-2248.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 闫相祯,邓卫东,高进伟,等. 套管钻井中套管柱疲劳可靠性及相关力学特性研究[J]. 石油学报,2009,30(5):769-773.
Yan Xiangzhen, Deng Weidong, Gao Jinwei, et al. Analysis on mechanics and fatigue reliability of casing string during casing drilling[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5):769-773.

[16] 闫相祯,高进伟,杨秀娟. 用可靠性理论解析 API 套管强度的计算公式[J]. 石油学报,2007,28(1):122-125.
Yan Xiangzhen, Gao Jinwei, Yang Xiujuan. Analysis of API formulas and calculation of casing strength based on reliability theory[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1):122-125.

- [17] Hoek E, Brown E T. Practical estimates of rock mass strength[J]. International Journal of Rock Mechanics & Geomechanics Abstracts, 1997, 34(8): 1164-1186.
- [18] 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.
- [19] Hoek E, Marinos P, Benissi M. Applicability of the geological strength index(GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1998, 57(2): 151-160.
- [20] 张立松, 闫相祯, 杨秀娟, 等. 基于 Hoek-Brown 准则的节理扩展煤层破碎分级方法[J]. 煤炭学报, 2010, 35(S0): 164-168. Zhang Lisong, Yan Xiangzhen, Yang Xiujian, et al. Fracture classification method of coal seam with joint propagation based on Hoek-Brown criterion[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(S0): 164-168.
- [21] 张立松, 闫相祯, 杨恒林, 等. 基于测井信息的煤岩 GSI-JP 破碎分级预测[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(7): 1091-1096. Zhang Lisong, Yan Xiangzhen, Yang Henglin, et al. GSI - JP crushed classification prediction method of coal rock based on logging information[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(7): 1091-1096.
- [22] 张毅, 闫相祯, 颜庆智. 三维分层地应力模型与井眼岩石破裂准则[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 15(4): 42-43. Zhang Yi, Yan Xiangzhen, Yan Qingzhi. 3D model for the stratified calculation of ground stress and fracture criterion of wellbore rock [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2000, 15(4): 42-43.

《Journal of Coal Science & Engineering (China)》获 2012 年度 中国科协“学会能力提升专项优秀国际科技期刊奖”资助

近日,由中国科协和财政部共同组织实施的学会能力提升专项评审结果揭晓,共评选出 45 个优秀科技社团奖项,25 个优秀国际科技期刊奖项。《煤炭学报》编辑部的英文刊《Journal of Coal Science & Engineering (China)》成功入选优秀国际期刊三等奖,获得了科协“以奖促建”资金的资助,并被中国科协列为 2014 年底前进入 SCI 的 3 种英文科技期刊之一。这是煤炭行业领域唯一入选该项目的期刊。

学会能力提升专项优秀国际科技期刊奖是在财政部的大力支持下,由中国科协设置的新项目,旨在通过以奖促建的方式,支持全国学会主办优秀英文科技期刊,打造一批国际知名、国内领先的科技期刊群,加强我国优秀科研成果的对外传播与交流,提升我国科技期刊国际影响力和竞争能力。

编辑部将以此次专项实施为契机,在各级领导的关怀下,在编委会的悉心指导下,在广大读者和作者的大力支持下,竭诚奉献,开拓进取,继往开来,对刊物精益求精,继续向精品化、国际化期刊迈进,将《Journal of Coal Science & Engineering (China)》打造成为具有国际影响力的学术期刊!