

文章编号:0253-9993(2010)05-0723-06

孔隙压力条件下圆形巷道围岩的应变局部化数值模拟

王学滨,王 玮,潘一山

(辽宁工程技术大学 力学与工程学院,辽宁 阜新 123000)

摘要:利用 FLAC 模拟了不同孔隙压力及围压条件下圆形巷道围岩的应变局部化过程。在计算中,采用了应变软化本构关系及“先加载、后挖洞”的方式。模拟结果表明,当围压增加到一定程度后,孔隙压力较低或等于零时,在围岩中出现了 V 形坑或“平底锅”形坑,这与开采深度达到一定后,无瓦斯或低瓦斯矿井中的岩爆现象类似;当围压增加到一定程度后,孔隙压力较高时,在围岩中出现了多条平行裂纹及多个不规则的狭长薄片,破坏区的外轮廓类似梨形,这与开采深度达到一定后,在高瓦斯矿井中煤和瓦斯突出后形成口小腔大的孔洞现象类似。

关键词:孔隙压力;圆形巷道;应变局部化;围压;剪切带;V 形坑

中图分类号:TD313.1 **文献标志码:**A

Numerical simulation of the strain localization of the surrounding rock of a circular tunnel at different pore pressures

WANG Xue-bin, WANG Wei, PAN Yi-shan

(College of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Strain localization processes of the surrounding rock of a circular tunnel at different pore pressures were simulated by using FLAC. A strain-softening constitutive relation was used and a tunnel was excavated after the model was loaded to reach a static equilibrium state. The numerical results show that when the confining pressure reaches a certain value and the pore pressure is lower or zero, the V-shaped notches or pan-like notches can be found in the surrounding rock. These notches are similar to the rockburst notches in coal mines with lower gas pressure or without at depth. When the confining pressure reaches a certain value and the pore pressure is higher, the outline of the failed regions is like a pear with a small outlet and a big cavity. Several parallel cracks and irregularly longer rock slices can be found in the pear-shaped regions. These pear-shaped regions are similar to the holes generated after coal and gas outburst in coal mines with higher gas pressure at depth.

Key words: pore pressure; circular tunnel; strain localization; confining pressure; shear band; V-shaped notch

在煤矿中,随着开采深度的增加,岩爆或冲击地压的震级及频次都增加。岩爆后的现场,在巷道、隧道及井筒的围岩中常可观察到 1 个或多个呈 V 形的坑,这些 V 形坑常称之为岩爆坑^[1-5]。在文献[3-5]中,观察到了 4 个对称的 V 形坑。此外,高瓦斯煤矿中,人们发现当开采深度达到临界深度之后,煤和瓦斯突出易于发生,突出后的孔洞呈梨形、舌形、倒瓶形以及其它形状等,具有口小腔大的奇怪特征^[6-7]。

对于上述提到的岩爆形成的 V 形坑及煤和瓦斯突出形成的口小腔大的坑,采用理论分析的方法难以进行解释和分析。其原因在于,他们都属于非均匀的破坏现象,即局部破坏现象或应变局部化现象。在理论分析中,对于圆形洞室,常简化为轴对称问题,在环向的应变、位移、应力均被视为均匀的,然而在现场几乎难以见到这种均匀的变形和破坏现象,在现场见到的几乎都是一系列的非均匀变形、破坏现象,例如,若

收稿日期:2009-11-25 责任编辑:柴海涛

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50974069);国家重点基础研究发展计划资助项目(2010CB226803);辽宁省教育厅科学研究一般资助项目(2009A322)

作者简介:王学滨(1975—),男,黑龙江双鸭山人,教授,博士生导师,博士。Tel:0418-3350924, E-mail:wxbbb@263.net

干条剪切带、V 形坑及口小腔大的坑。在理论分析中,常利用静力平衡方程,这与硐室的开挖卸荷不符,无法考虑由于开挖卸荷而产生的围岩向空腔内部的“涌入”(运动)现象,这不是一个静力学问题。由于在理论分析方面,分析上述提到硐室的多种非均匀的破坏现象难度极大,尽管圆形硐室的结构相对比较简单,因而,不得不去求助于数值分析的手段。

在 FLAC 中,孔隙压力的作用是通过有效应力定律描述的。文献[8]模拟了均质岩样在孔隙压力及轴向应力联合作用下的共轭剪切带。利用编写的一些 FISH 函数,文献[9]研究了孔隙压力对含单一材料缺陷(位于侧面上)岩样的破坏过程及全部变形特征(包括:应力-轴向应变曲线、应力-侧向应变曲线、侧向应变-轴向应变曲线、体积应变-轴向应变曲线及计算得到的泊松比-轴向应变曲线)的影响。利用编写的 FISH 函数于岩样内部预制初始的随机材料缺陷,文献[10]模拟了孔隙压力对岩样破坏过程、全部变形及前兆的影响。

FLAC 方法是基于运动方程求解的有限差分方法,在巷道围岩破裂分析中的应用比较广泛^[11-13]。文献[12-13]利用 FLAC 及其内嵌编程语言编写 FISH 函数,在静水压力条件下,采用应变软化本构关系及“先加载、后挖洞”的方式较好地模拟出了圆形硐室突然被挖掘后由于围岩向空腔内部的“涌入”(运动)而在围岩中产生的 4 个 V 形坑式的剪切破坏,研究了硐室直径(尺寸效应)及围压的影响,得到了一些实验结果及现场观测结果^[3-5]的支持。本文在此基础上,研究了在受载(围压及孔隙压力)且处于静力平衡的岩石中,突然开挖圆形硐室后围岩的应变局部化特征及孔隙压力的影响。

1 计算模型、本构关系及计算步骤

1.1 计算模型及本构关系

矩形平面应变模型如图 1(a)所示,模型长(x 方向)及高(y 方向)均为 1 m,未开挖的模型被划分为 40 000 个面积相同的矩形单元。模型四周受到静水压力作用,即模型受到的水平及垂直方向的压缩应力相同。数值计算在小变形模式下进行。

采用 20 个计算方案,各方案的围压和孔隙压力不同,其余参数相同。各方案的孔径为 0.34 m(直径)。在弹性阶段,岩石的本构关系取为各向同性线弹性模型,弹性模量取 26.6 GPa,泊松比取 0.21。峰值强度后岩石的破坏准则取带拉伸截断的莫尔库仑剪破坏模型,抗拉强度取为 2 MPa,扩容角取 0。在峰后,内摩擦角及内聚力与塑性剪切应变的关系先降低

(应变软化),然后分别达到残余内摩擦角及残余内聚力^[8-10,12-16]。内摩擦角-塑性剪切应变关系与文献[14-16]中密实岩石的软化规律相同。内聚力-塑性剪切应变关系与文献[14-16]中密实岩石的软化规律类似,但初始内聚力取 4 MPa。

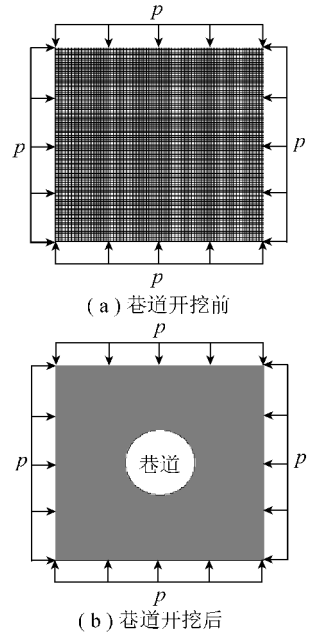


图 1 模型的几何特征及边界条件

Fig. 1 The geometry features and boundary conditions of model

1.2 计算步骤

(1)建立未开挖的模型(图 1(a)),给定本构关系、边界条件及加载条件(模型四周的围压及内部的孔隙压力),进行数值计算(FLAC 无论对静力问题求解还是对动力问题求解,均是基于运动方程求解,阻尼由 FLAC 自动施加),直到模型达到静力平衡状态。若最大失衡力小于 1.5×10^{-3} N 则停止计算,本文认为已经达到了静力平衡状态。

(2)利用编写的 FISH 函数^[12-13]开挖巷道,即将模型中巷道直径范围内的单元一次性删除(图 1(b))。巷道开挖之后,模型仍然受到围压及孔隙压力作用,由于开挖卸荷而引起了最大失衡力,模型将不再处于静力平衡状态。

(3)对开挖后的模型进行计算(FLAC 自动施加阻尼),直至一个新的平衡或塑性流动状态。

2 计算结果及分析

为了方便表述,将巷道围岩划分为第 1 至第 4 象限。坐标原点取在巷道的中心,水平向右为 x 轴正向,垂直向上为 y 轴正向。 $x > 0$ 及 $y > 0$ 区域为第 1 象限, $x < 0$ 及 $y > 0$ 区域为第 2 象限,依此类推。

图 2 给出了不同围压(5、7、7.5 及 10 MPa)和孔

隙压力时塑性区的分布。当围压恒定时,孔隙压力 p_w 由 0 增加至 0.15 MPa。图 2 中的塑性区被显示为黑色,而且这些图是巷道开挖之后再计算 60 000 个

时步时的计算结果。在 FLAC 中,塑性区包括剪切屈服塑性区和拉伸屈服塑性区,在图 2 中,未作区分,一律用黑色显示。

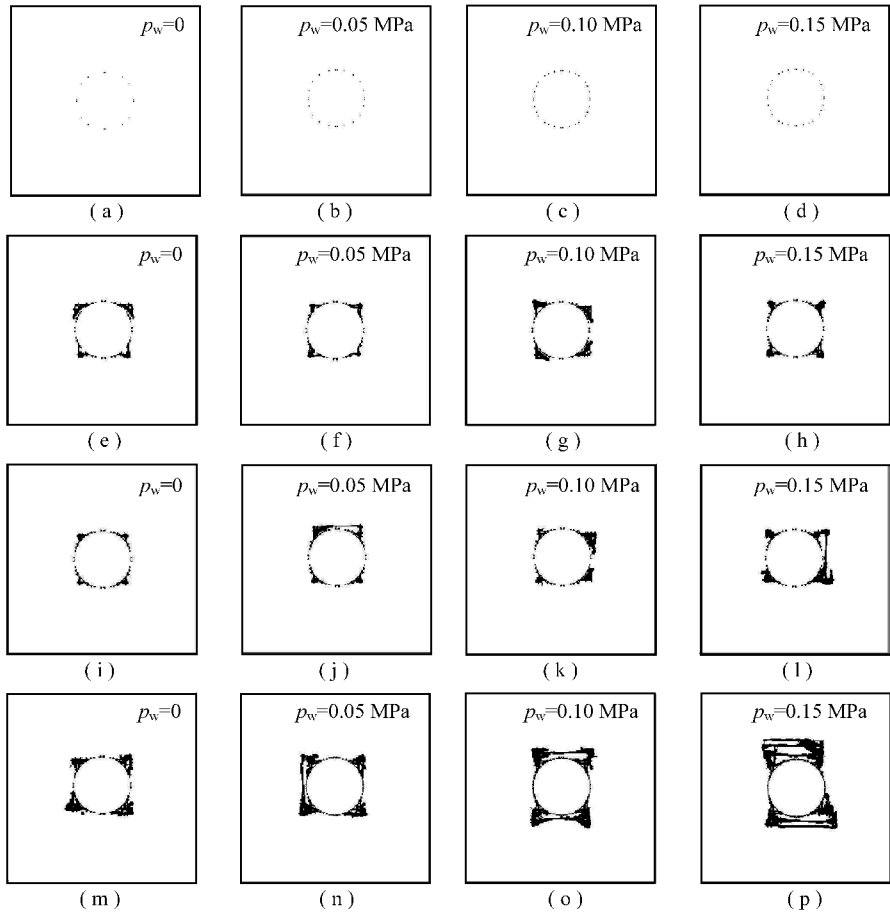


图 2 不同孔隙压力时围岩的破坏样式

Fig. 2 Failure modes of the surrounding rock at different pore pressures

(a) ~ (d) 围压 5 MPa; (e) ~ (h) 围压 7 MPa; (i) ~ (l) 围压 7.5 MPa; (m) ~ (p) 围压 10 MPa

图 3 显示了楔形孔洞 (V 形坑) 的形成过程,其中围压等于 10 MPa,孔隙压力等于 0。图 4 显示了口小腔大的孔洞 (梨形孔洞) 的形成过程,其中围压等于 10 MPa,孔隙压力等于 0.15 MPa。图 3、4 中的深色区域是剪切应变增量的高值区域,带状的剪切应变增量的高值区域是剪切带。应当指出,图 3、4 中的时步均是从巷道开挖开始计算的,不是从施加静水压力和孔隙压力之时开始计算。而且,正文文字中出现的时步都是从巷道开挖开始计算的。

2.1 环向均匀变形现象

图 2 (a) ~ (d) 显示,在较低的围压条件下 (5 MPa),不同孔隙压力时围岩中塑性区分布具有一定的类似性。仅巷道表面的一些单元发生了破坏,破坏的单元未能深入围岩内部,这一计算结果类似于现场经常观察到的洞室表面的“掉渣”现象。

2.2 V 形坑及短剪切带式破坏

图 2 (e) ~ (h) 显示,当围压等于 7 MPa 时,在不

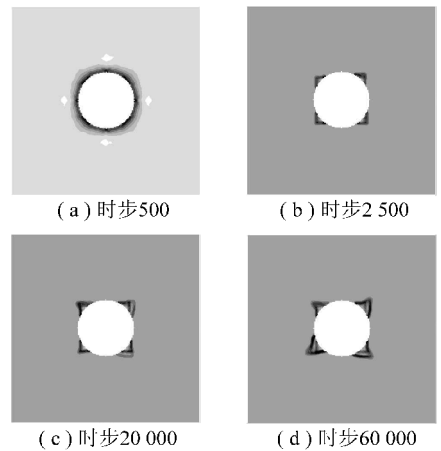


图 3 V 形坑的形成过程

Fig. 3 The formation process of V-shaped notch

同孔隙压力条件下,围岩的破坏形态有 2 种:一种是 V 形坑式破坏;另一种是短剪切带式破坏。在图 2 (e) 中的第 3、4 象限,图 2 (f) 中的第 1 至 4 象限,图

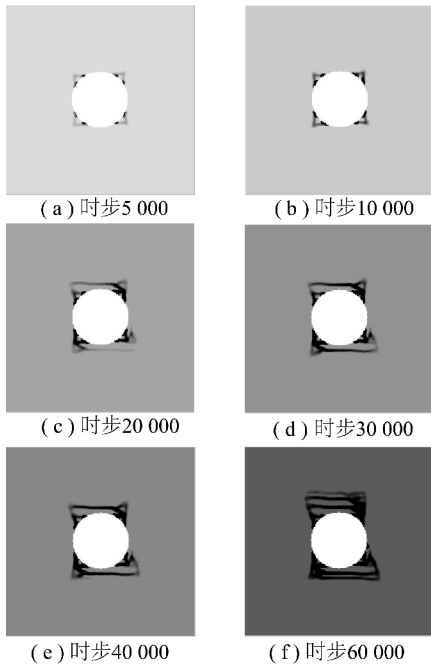


图 4 口小腔大孔洞的形成过程

Fig. 4 The formation process of pear-shaped hole

2(g)中的第2象限,图2(h)中的第1至4象限均可观察到V形坑。1个V形坑由两条剪切带或破坏带构成,两条剪切带由巷道的表面发出,向围岩内部传播,在围岩内部某处交汇,从而形成了1个V形坑。也就是说,构成V形坑的两条剪切带都得到了一定程度的发展。若这两条中仅一条得到了充分的发展,而另一支的发展受到了一定程度的抑制,则不能观察到V形坑,仅能观察到短的剪切带(图2(e)中的第1、2象限、图2(g)中的第1、3、4象限)。

2.3 “平底锅”式破坏

图2(i)~(l)显示,当围压等于7.5 MPa时,在不同孔隙压力条件下,围岩的破坏形态有3种,即V形坑式破坏、短剪切带式破坏及“平底锅”式破坏。前两种破坏形式在图2(e)~(h)中也可以发现。在图2(j)中可以观察到一条穿越了第1、2象限分界线的狭长剪切带,这条狭长剪切带的一端与第2象限的顺时针转向的短剪切带重合,另一端与第1象限的V形坑尖端发出的破坏带重合。这条狭长剪切带基本上在水平方向上,它将从围岩中切割下一块狭长的不规则岩石块体。若这个狭长的不规则岩石块体脱落,在围岩中将形成1个“平底锅”形坑。文献[17]中也发现了这种坑。在图2(l)中,1条狭长剪切带穿越了第1、4象限分界线,也形成了1个“平底锅”形坑。这个坑比图2(j)中的坑要大一些。在图2(k)中,在第1、4象限,有形成“平底锅”形坑的趋势,但是未能最终形成。

2.4 口小腔大式破坏

图2(m)~(p)显示,当围压等于10 MPa时,在不同孔隙压力条件下,围岩的破坏形态有3种,即V形坑破坏、“平底锅”式破坏及梨形破坏(口小腔大式破坏)。显然,图2(m)中的V形坑比图2(e)~(l)中的V形坑更大、更深。在图2(n)中可以观察到与图2(j)、(l)中“平底锅”形坑类似的破坏现象。将不同围压时且相同孔隙压力时的“平底锅”形坑相比(图2(j)及图2(n)),可以发现,围压高时的“平底锅”形坑显得更大。在图2(o)中可以观察到两个“平底锅”形坑,分别位于洞顶和洞底的围岩中。在图2(p)中可以观察到更深的“平底锅”形坑,而且可以观察到有5条穿越第1、2象限及第3、4象限的狭长剪切带,这些狭长剪切带可以从围岩中切割出5个狭长的岩石块体。对比图2(n)~(p)可以发现,随着孔隙压力的增加,“平底锅”形坑变得越来越深,穿越相邻象限的狭长剪切带越来越多,形成的不规则岩石块体越来越多。

需要指出,在图2(j)中的“平底锅”形坑的口和腔的尺寸相差不大,而在图2(l)、2(n)~(p)中的“平底锅”形坑明显具有口小腔大的特征。在煤矿中,煤和瓦斯突出后形成的孔洞呈口小腔大的梨形、舌形、倒瓶形以及其它形状等^[6-7],这与上述口小腔大的“平底锅”形坑比较类似,尤其是与图2(p)的结果更加类似。一般地,煤和瓦斯突出可以进一步划分为突出、压出和倾出。后两种突出发生后通常可以观察到口大腔小的楔形孔洞的现象,这一现象与孔隙压力不等于零时的V形坑类似,V形坑就是楔形坑,口大腔小。图2(n)的孔隙压力小于图2(o)、(p)的孔隙压力,这说明,在高孔隙压力条件下,口大腔小的孔洞出现较少;孔隙压力越大,口小腔大的孔洞越容易出现,口小腔大的孔洞越深。在图2(m)中,由于没有孔隙压力,因此该结果中的V形坑与岩爆坑更加类似。

2.5 楔形孔洞及口小腔大孔洞的形成过程

图3显示了无孔隙压力时围岩中楔形孔洞(V形坑)的形成过程。首先,巷道开挖后不久,剪切应变集中区域是环绕巷道的薄圆环(图3(a)),此过程持续的时间或时间步非常短暂,马上就出现了4个V形浅坑(图3(b))。然后,这4个V形浅坑逐渐变深之后,在部分坑之外又形成了一些剪切带,从而构成了一些更大的V形坑(图3(c)、(d))。计算表明,当时步等于60000时(图3(d)),最大失衡力已经小到凭肉眼无法分辨的程度。因此,在巷道围岩中出现了4个V形坑之后,围岩仍然能保持静力平衡状态。具

有4个V形坑的围岩仍然是一种稳定结构。

图4显示了高孔隙压力时围岩中口小腔大孔洞(梨形孔洞)的形成过程。当时步等于5 000时(图4(a)),在围岩中出现了4个V形坑。剪切带与巷道表面相交处的剪切应变最大(颜色最深)。然后,这4个V形坑逐渐变深(图4(b))。当时步为20 000时(图4(c)),在巷道的顶部及底部的围岩中各形成了一条狭长的剪切带,剪切带的中部比较平直,接近水平方向,而两端比较弯曲,通常与V形坑尖端发出的一条剪切带融合(第1、3象限)或与其相交(第2象限)。这些狭长剪切带彼此平行,将巷道的顶部及底部的围岩切割成狭长的彼此平行的不规则块体(图4(c)~(f))。在图4(f)中,这样的狭长的剪切带有5条,狭长的不规则块体有5个。应当指出,当时间步等于60 000时(图4(f)),最大失衡力仍然未趋于零,新的狭长的剪切带及不规则块体仍将在围岩深处继续出现。在图4(f)中,可以明显地看出,剪切带及不规则块体区域的外轮廓具有口小腔大的特征。

2.6 讨论

(1)在高围压及高孔隙压力条件下,图2(p)、图4(f)中破坏区域的外轮廓具有口小腔大的特征,而且口小腔大的特征不是巷道开掘之后马上形成的。如果将数值计算中的口小腔大孔洞的出现比拟为煤和瓦斯突出,则上述结果意味着煤和瓦斯突出受瓦斯压力及地压的决定,这一观点显然是正确的,而且口小腔大的孔洞不是巷道开掘之后马上形成,正说明了煤和瓦斯突出的延迟性。当然,V形坑或“平底锅”形坑的出现也滞后于巷道开掘,如果V形坑或“平底锅”形坑的出现意味着岩爆的发生,则岩爆也具有延迟性。确实,大量现场观察发现,岩爆、冲击地压、煤和瓦斯突出都具有延迟性。

(2)突出与煤层的瓦斯压力之间没有固定的关系。瓦斯压力低的煤层可以发生突出;反之,瓦斯压力高的煤层也可能不突出。本文的计算也说明了这一点,在图2(d)、(h)、(l)中均未观察到像图2(p)、4(f)中那样口小腔大的孔洞,尽管瓦斯压力高。显然,突出是多种因素综合作用的结果,突出是否发生受瓦斯压力及地压的双重影响,在图2(p)、图4(f)中具有高围压。在高围压、低或无孔隙压力条件下(图2(m)~(o))能观察到“平底锅”形坑和V形坑,这与岩爆更加类似。当然,也可将图2(n)中V形坑的出现理解为是倾出或压出的结果。这样,在高围压条件下,随着孔隙压力的增加,灾害由岩爆向煤和瓦斯的倾出、压出、突出转变。

(3)在高围压及高孔隙压力条件下,图2(p)、

4(f)中梨形孔洞的形成在煤和瓦斯突出中起着重要的作用。在梨形孔洞内部,形成了一系列的平行裂纹,将孔洞内部的围岩切成若干薄片或狭长岩块。文献[6]在突出的残煤中也观察到了类似的煤片和裂纹。上述行为会导致下列结果:梨形孔洞内部裂纹的大量出现,会产生膨胀,引起孔隙压力的降低,导致附近的孔隙流体的大量涌入,这会进一步劣化孔洞内部的材料力学的性能,这是一个正反馈过程,会自发地进行下去,即岩石越膨胀→瓦斯含量越高→岩石性能越差→岩石薄片在轴向压应力作用下越容易发生破坏、失稳→岩石越膨胀,这一过程直到瓦斯与煤被喷射出来才会结束。

3 结论

(1)当围压增加到一定程度后,当孔隙压力较低或等于零时,在围岩中出现了V形坑或“平底锅”形坑,这与开采深度达到一定后,无瓦斯或低瓦斯矿井中的岩爆现象类似。

(2)当围压增加到一定程度后,当孔隙压力较高时,在围岩中出现了多条平行裂纹及多个不规则的狭长块体,破坏区的外轮廓类似梨形,这与开采深度达到一定后,在高瓦斯压力条件下煤和瓦斯突出后形成的口小腔大孔洞的现象类似。

(3)利用能模拟非均匀变形或应变局部化的数值计算方法,预测V形坑、“平底锅”形坑及口小腔大孔洞出现的时刻和位置,是预防岩爆、冲击地压、煤和瓦斯突出的有益探索。

参考文献:

- [1] Martin C D. The effect of cohesion loss and stress path on brittle rock strength[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1997, 34(5): 698-725.
- [2] Hajiabdolmajid V, Kaiser P K, Martin C D. Modelling brittle failure of rock[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2002, 39(6): 731-741.
- [3] 陆家佑,王昌明. 根据岩爆反分析岩体应力研究[J]. *长江科学院院报*, 1994, 11(3): 27-30.
Lu Jiayou, Wang Changming. Study on back analysis for stress of rock mass from information of rockbursts[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 1994, 11(3): 27-30.
- [4] Guenot A. Borehole breakout and stress fields[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 1989, 26(3-4): 185-195.
- [5] Ortlepp W D, Stacey T R. Rockburst mechanisms in tunnels and shafts[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1994, 9(1): 59-65.
- [6] 蒋承林,俞启香. 煤和瓦斯突出机理的球壳失稳假说[J]. *煤矿安全*, 1995(2): 17-25.

- Jiang Chenglin, Yu Qixiang. A hypothesis of spherical shell losing stability about outburst mechanism[J]. Safety in Coal Mines, 1995(2):17-25.
- [7] 汪长明,王 振,梁运培,等.煤和瓦斯突出过程中孔洞的形成机制[J].矿业安全与环保,2008,35(4):60-62.
Wang Changming, Wang Zhen, Liang Yunpei, et al. Formation mechanism of holes in progress of coal and gas outburst[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2008, 35(4):60-62.
- [8] 王学滨,潘一山,丁秀丽,等.孔隙流体对岩体变形局部化的影响及数值模拟研究[J].地质力学学报,2001,7(2):139-143.
Wang Xuebin, Pan Yishan, Ding Xiuli, et al. Study on effect of pore pressure on strain localization of rock and numerical simulation[J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(2):139-143.
- [9] 王学滨.孔隙压力对岩样全部变形特征的影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2005,21(6):625-629.
Wang Xuebin. Effect of pore pressure on entire deformational characteristics of rock specimen[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2005, 21(6):625-629.
- [10] 王学滨,赵福成,潘一山.孔隙压力对含随机缺陷岩石破坏过程及全部变形特征的影响[J].防灾减灾工程学报,2009,29(1):1-8.
Wang Xuebin, Zhao Fucheng, Pan Yishan. Failure processes and overall deformational characteristics of rock specimen with random imperfections at different pore pressures[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(1):1-8.
- [11] 高富强,康红普,林 健.深部巷道围岩分区破裂化数值模拟[J].煤炭学报,2010,35(1):21-25.
Gao Fuqiang, Kang Hongpu, Lin Jian. Numerical simulation of zonal disintegration of surrounding rock mass in deep mine roadways[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1):21-25.
- [12] 王学滨,潘一山,王 玮.不同围压条件下圆形巷道岩爆过程模拟[J].防灾减灾工程学报,2009,29(6):597-603.
Wang Xuebin, Pan Yishan, Wang Wei. Numerical simulation of rockburst processes of a circular tunnel at different confining pressures[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(6):597-603.
- [13] Wang Xuebin, Pan Yishan, Wu Xiaolin. Numerical simulation of size effect in circular tunnel rockburst[A]. Seventh International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines Proceedings: Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines[C]. New York/New Jersey:Rinton Press, 2009:137-142.
- [14] 王学滨.不同强度岩石的破坏过程及声发射数值模拟[J].北京科技大学学报,2008,30(8):837-843.
Wang Xuebin. Numerical simulation of failure processes and acoustic emissions of rock specimens with different strengths[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 30(8):837-843.
- [15] 王学滨.扩容角对初始随机材料缺陷岩石试样破坏过程及力学行为的影响[J].中国有色金属学报,2007,17(7):1 063-1 071.
Wang Xuebin. Effects of dilation angle on failure process and mechanical behavior for rock specimen with random material imperfections[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2007, 17(7):1 063-1 071.
- [16] 王学滨.具有初始随机材料缺陷的矿柱渐进破坏模拟[J].中国矿业大学学报,2008,37(2):196-200.
Wang Xuebin. Numerical simulation of progressive failure of mine pillar with initially random material imperfections[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2):196-200.
- [17] 万姜林,周世祥,南 琛,等.岩爆特征及机理[J].铁道工程学报,1998(2):95-102.
Wan Jianglin, Zhou Shixiang, Nan Chen, et al. Characteristics and mechanical analysis of rock burst[J]. Journal of Railway Engineering Society, 1998(2):95-102.

关于本刊收取稿件审理费的通知

承蒙广大作者的厚爱,近年来《煤炭学报》收稿量急剧增加,由于本刊采取严格的审稿制度,外审工作量很大,因此本刊的稿件审理费从2010年1月1日起由原来100元/篇提高到200元/篇,以补充办刊经费的不足,敬请广大作者理解与支持。

本刊编辑部