

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.03.015

近距离煤层群水射流割缝卸压石门快速揭煤技术分析

卢义玉, 黄 辰, 贾亚杰, 尤 祎, 汤积仁

(重庆大学 a. 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室;

b. 复杂煤层瓦斯抽采国家地方联合工程实验室, 重庆 400044)

摘 要:针对西南地区高瓦斯近距离突出煤层群层间距小于 7 m 时, 石门揭煤工作面前方多层煤层需统一消突管理, 常规超前钻孔工程量大, 严重制约了煤矿安全生产和采掘工作面接替等问题, 提出采用穿层钻孔水射流割缝防突技术, 一次性对石门工作面前方煤层群统一卸压增透, 快速安全揭煤的思路。以贵州雷公山煤矿为例, 采用 FLAC3D 模拟了不同缝槽布置方式以及缝槽间距对煤层群卸压效果的影响。研究表明: 多煤层煤孔中部均布置一个缝槽, 同一煤层内缝槽间距为 4 m, 可使石门揭煤工作面前方控制范围内煤体整体卸压。现场应用证明: 采用水射流割缝技术, 预抽达标时间缩短约 39 d, 钻孔工程量减少 610 m, 钻孔数量减少 30 个, 可实现快速安全揭煤。

关键词:水射流; 割缝; 卸压; 近距离煤层群; 石门揭煤

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2014)03-095-06

Analysis on rock cross-cut coal uncovering using high pressure water jet slotting in close distance seam group

LU Yiyu, HUANG Chen, JIA Yajie, YOU Yi, TANG Jiren

(a. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control;

b. National & Local Joint Engineering Laboratory of Gas Drainage in Complex Coal Seam, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Safe production and procedures at the driving face are restricted in mines of Guizhou province by the long periods required for rock cross-cut coal uncovering in high gas coal seam group. A new method is proposed to solve this problem using high pressure water jet slotting in penetration boreholes. This is proposed to increase the gas desorption rate and reduce drilling hole, which will shorten the cycle of rock cross-cut coal uncovering. Numerical simulation is used to compare the pressure relief effects of different slotting methods in penetration boreholes. The results show that the pressure relief effect of slotting all coal seams is more ideal. Field application indicates that high pressure water jet slotting has good effect of the pressure relief in coal seam group. The drilling number is reduced by 30, the drilling length is shortened by 610 m and the standard time of gas pre-pumping decreases by 39 days.

Key words: water jet; slotting; pressure relief; closed distance seam group; rock cross-cut coal uncovering

收稿日期: 2013-10-22

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05065-3); 中央高校基本科研业务费科研专项自然科学基金类项目资助(CDJZR10248801)

作者简介: 卢义玉(1972-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事煤矿安全、煤层气开采、高压水射流等研究, (Tel)023-65112372, (E-mail)luyiyu@cqu.edu.cn.

《防治煤与瓦斯突出规定》要求在石门揭煤工作面距离煤层最小法向距离 7m 以前实施区域防突措施^[1]。近年来贵州省煤矿开采的大多数是高瓦斯近距离煤层群,在不具备开采保护层的条件下,当相邻煤层间距在 7m 以内时,石门揭穿多层煤层时,需将多层煤层作为同一煤层进行管理、消突。由于目前煤层群石门揭煤防突技术主要采用的方式是密集钻孔预抽煤体瓦斯^[2-5],而这种方法卸压不充分,瓦斯抽采效果不理想,同时控制多层煤层时,钻孔数量多,使得前方岩柱的强度降低,增加危险性,在煤层群瓦斯治理中难以发挥效用,严重地影响了矿井安全建设进度^[6-8]。

水射流割缝防突技术是针对卸压增透所采取的有效方法。林柏泉等^[9]开发了高压磨料射流割缝防突技术并且在煤层巷道掘进工作面进行了较好的实际应用。李晓红等^[10]基于高压水射流冲击破碎煤岩特性提出高压脉冲水射流割缝技术,并成功应用于穿层钻孔割缝抽放瓦斯。但水射流割缝防突技术在近距离煤层群的应用还未有报道。为解决石门揭穿近距离煤层群存在的问题,笔者提出在近距离煤层群石门揭煤中使用水射流割缝防突技术对揭煤工作面前方多煤层进行统一消突,一次性对各煤层一体卸压、增加各煤层的整体透气性、提高瓦斯抽采效果,实现快速消突,快速安全揭煤的新思路^[11]。以贵州雷公山矿区近距离煤层群石门揭煤为例,利用数值模拟软件研究了不同缝槽布置方式以及缝槽间距对煤层群割缝卸压防突的影响,根据模拟结果,优化该技术在煤层群应用中的钻孔缝槽布置方式,并在雷公山 1185 运输石门进行了现场试验。

1 水射流割缝防突技术原理

煤层群采用高压水射流穿层钻孔割缝防突技术时,是使钻孔一次性穿透所有煤层,再向后退并逐一对各煤层进行水力割缝。高压水射流冲刷煤体时,由于冲击动载作用使煤体发生损伤破坏,随着时间推移,水射流会在煤体表面产生拉应力,此时煤体产生较多垂直裂纹,裂隙形成和汇交后,水射流就进入裂隙空间,在水楔作用下,裂隙尖端产生拉应力集中,使裂隙迅速发展和扩大,致使煤体破碎^[12-14]。

高压水射流对每层煤层煤体进行切割后,形成扁平圆缝槽空间。这一缝槽相当于在局部范围内开采了一层薄的保护层,其结果是能使缝槽上下的煤体在一定范围内得到较充分的卸压,提高煤层透气性;同时,缝槽周围的煤体与岩体在地应力的作用下

向缝槽产生空间移动,顶底板产生位移变化,使煤层群之间受扰动影响,另外当从一层煤退回到另一层煤的割缝过程中会对煤层群整体产生相互影响,使煤层群整体多次再受扰动卸压,使煤层群中的裂隙进一步扩大,从而一次性对各煤层统一增透、提高瓦斯抽采半径、抽采浓度,提高煤层群整体透气性,改善煤层内部瓦斯流动状况,从而提高瓦斯抽采效率,实现快速消突,安全快速揭煤^[14-16]。水流割缝系统装置如图 1 示。

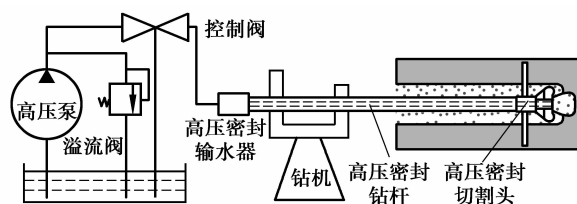


图 1 高压水射流割缝系统装置

2 数值模拟分析

2.1 试验地点概况

试验地点选在雷公山煤矿 1185 运输石门揭煤工作面,1185 运输石门位于雷公山煤矿首采区,标高 +1 185 m 水平,煤层埋深 500 m。根据设计,巷道向前掘进将揭露 5# 和 9# 煤层。5# 煤层位于煤系上段上部,平均厚度 3 m。9# 位于煤系上段下部,上距 5# 煤层底板 5m,平均厚度 3 m。该区域内井田构造形态均属单斜构造,倾角 25°~34°掘进区域属高瓦斯区域,按突出危险区域管理。

2.2 数值模拟分析

由于煤层群石门揭煤采用穿层钻孔水射流割缝技术还未曾报道,而穿层钻孔同时穿透各煤层,缝槽可单个布置于各煤层的煤孔中部,故需研究在煤层群中不同缝槽布置方式对揭煤工作面前方控制区域卸压效果的影响,以贵州雷公山煤矿为计算依据建立模型,模型计算范围为 27 m×25 m,5#、9# 煤层厚度分别为 3 m。分析 4 个穿层钻孔内不同缝槽布置方式:①缝槽布置于 5# 煤层中部;②缝槽布置于 9# 煤层中部;③两煤层煤孔中部交错布置一个缝槽;④两煤层煤孔中部均布置一个缝槽。通过比较,选择合理的缝槽布置方式。模型左右边界及厚度边界均采用水平位移约束,下方边界采用竖直位移约束,顶面施以均布载荷,其垂直应力为 7 MPa,如图 2 所示,煤层及顶板、底板力学参数如表 1 所示。根据现场的地质条件及割缝工艺,取缝槽半径 0.8 m,高度 0.05 m。笔者使用摩尔-库伦弹塑性本构模型模拟煤体的力学变形,使用 NULL 本构模型模拟割缝施工。

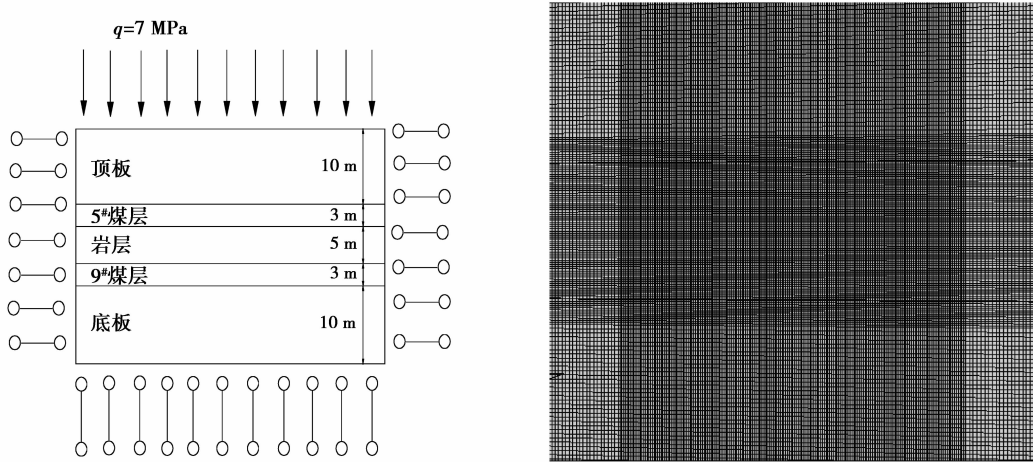


图 2 边界条件及计算模型

表 1 模型力学参数

岩性	剪切模量/ GPa	体积模量/ GPa	粘聚力/ MPa	内摩擦力/ N	抗拉强度/ MPa	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
砂质泥岩	1.2	1.73	3.0	24	1.4	2 600
5# 煤	0.9	1.43	1.0	25	0.5	1 400
泥岩	1.3	1.86	2.7	30	1.1	2 620
9# 煤	0.8	1.43	1.0	25	0.5	1 400
砂质泥岩	1.2	1.73	3.0	24	1.4	2 600

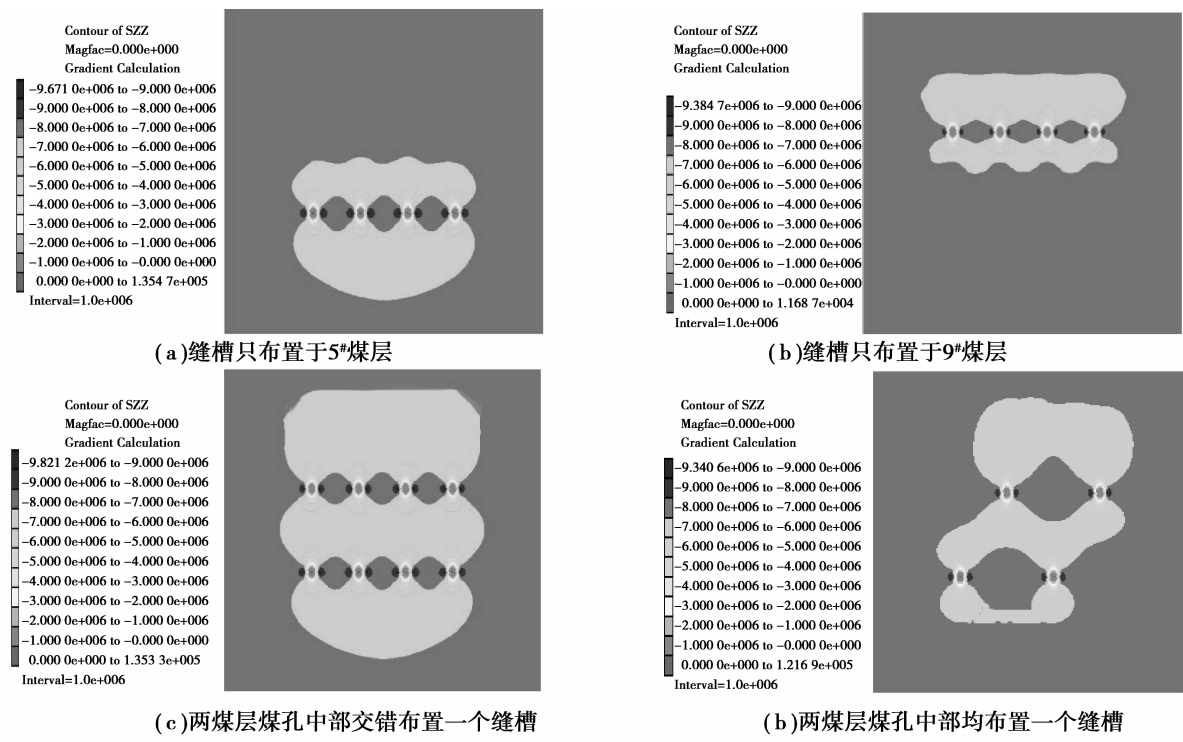


图 3 不同缝槽布置方式下煤层群竖直方向应力云图

由图 3 可见,4 种方式都以缝槽为中心,竖直方向出现出了不同程度的卸压,但卸压区有较大差异。通过比较可知,由于两层煤之间夹有岩层,因此,方式①②卸压范围只能覆盖本煤层而不能影响到另一层煤层,说明缝槽对松软的煤体产生了明显的卸压效果,而对于硬度较大的岩体卸压影响较小。方式③在竖直方向有部分卸压区连接在一起,但在同一

煤层中,相邻两个缝槽之间存在卸压盲区,说明交错割缝在同一煤层中的缝槽距离已经超过了单一缝槽的卸压影响距离,没有充分发挥水力割缝整体卸压优势。方式④割缝卸压区基本覆盖整个煤层群,卸压率小于 20% 的区域彼此能够连接在一起,具有较大的整体卸压效果。说明方式④才能对揭煤工作面前方煤层群整体卸压。

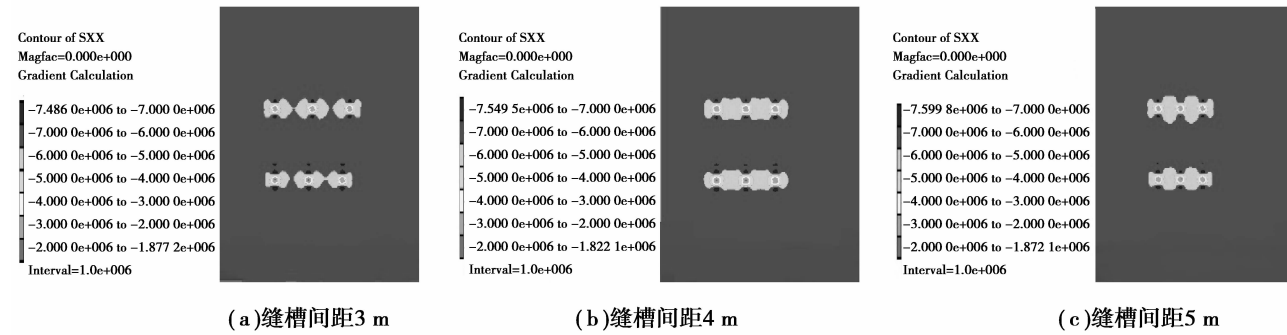


图 4 不同间距下水平方向应力云图

确定了缝槽在煤层群中的布置方式后,缝槽间距的合理取值决定了钻孔的布置数量,根据文献[15]单个钻孔的抽放影响半径约为钻孔半径的 2.5 倍,当缝槽半径为 0.8 m 时,抽放影响半径约为 2 m,因此对同一煤层内缝槽分别以 3、4、5 m 间距布置进行了数值模拟,从图 4 可以看出,间距为 3 m 时,卸压程度较高,但是影响范围相对较小;间距为 4 m 时,影响范围相对较大,且卸压区域连接成整体;当间距为 5 m 时,割缝孔周围也出现了卸压现象,但是没有形成整体卸压,说明 5 m 间距超过了缝槽的卸压影响范围。因此综合考虑卸压效果及工程量等因素,实际应用中可以选择缝槽间距为 4 m。

工作面前方控制范围内煤层群的整体卸压效果能达到 80%,可以大幅度地提高煤层群的透气性,对煤层群石门揭煤的安全高效提供足够的保障。

3 现场应用

现场试验地点选在贵州雷公山煤矿 1185 运输石门工作面。为进行对比试验,选择 1165 石门作为对比石门,其位置、所揭煤层以及煤层赋存情况与 1185 运输石门相同。根据模拟试验,对 1185 运输石门布置钻孔,终孔间距选为 4 m,控制 9# 煤石门巷道轮廓线外 12 m,考虑到此时同时穿透两层煤的割缝钻孔未能控制 5# 煤轮廓线外 12 m,另外施工两排割缝钻孔控制到 5# 煤轮廓线外 12 m,这两排钻孔只穿透 5# 煤 0.5 m,两煤层煤孔中部均布置一个缝槽,布置如图 5 所示。

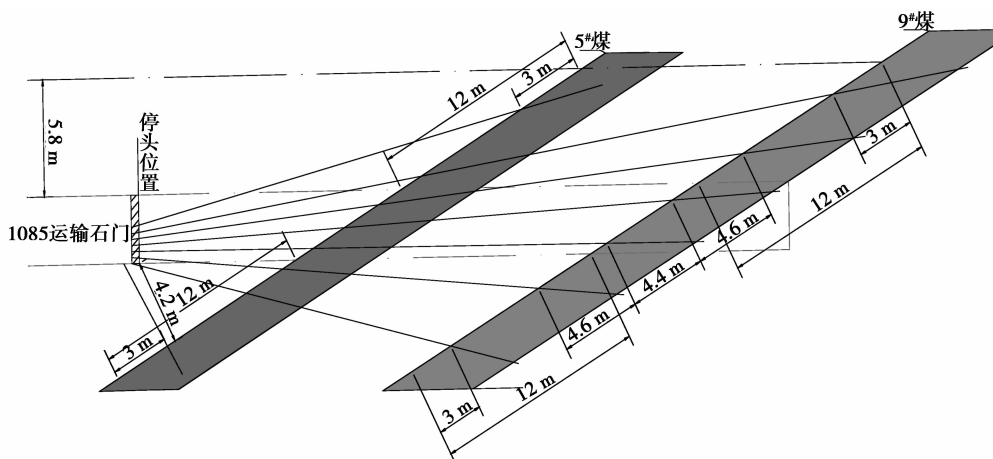


图 5 1185 运输石门水力割缝穿层钻孔布置图

高压水射流割缝完成后,采用钻屑瓦斯解吸特征指标法对割缝效果进行了检验,共施工 5 个检验钻孔,在施工检验钻孔过程中,5 个钻孔均未出现超标、喷孔现象。测得 $K_1 = 0.42$, $S_{max} = 4$ kg, 详见表 2。

表 2 检验结果情况

孔号	K_1	S_{max}/kg	现象
1	0.27	3.5	无
2	0.28	3.6	无
3	0.27	3.5	无
4	0.39	4.0	无
5	0.27	3.5	无

由表 2 可以看出,瓦斯解吸指标 K_1 值、钻屑量 S_{max} 均不超标,说明水射流割缝技术在煤层群中具有较好的消突效果。煤层群石门揭煤采用高压水射流割缝技术之后,如表 3 所示,预抽达标时间从 1165 运输石门的 65 d 缩短为 1185 运输石门的 26 d,缩短了 39 d,达标时间缩短了 60%。钻孔减少 35 个,钻孔工程量减少 610 m,工程量减少 35%。在揭煤过程中,1165 运输石门预测指标 K_1 值超过突出临界值多达 6 次,最大达 $0.9 \text{ mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$,而 1185 运输石门没有 1 次超过突出临界值指标。由此可见,穿层钻孔水力割缝后对煤层群区域进行大面积卸压,增加多煤层透气性,加速解吸和排放,有效地提高了石门在煤层群中的掘进速度。

表 3 抽放参数对比表

参数	钻孔数量/个	实际抽放时间/d	钻孔工程量/m
1185 运输石门	40	26	1 000
1165 运输石门	75	65	1 700

4 结 论

1) 石门揭近距离煤层群防治煤与瓦斯突出,既要考虑本煤层的突出危险性,又要考虑邻近煤层的突出危险性。针对此问题,提出采用高压水射流穿层割缝技术对多个煤层同时采取消突措施,按照同一个煤层进行管理,起到快速消突的效果。

2) 以雷公山煤矿为例,煤层群中不同缝槽布置方式卸压效果数值模拟表明:两煤层煤孔中部均布置一个缝槽,同一煤层内缝槽间距 4 m,工作面前方煤层群可以整体卸压 80%。

3) 现场应用表明:近距离多煤层通过割缝后,提高了煤层瓦斯抽采率,煤层预抽达标时间缩短约 39 d,钻孔工程量减少 700 m,钻孔数量减少 35 个,解决了近距离煤层群石门揭煤防治煤与瓦斯突出工作量大、危险性高的问题。

参考文献:

[1] 煤矿安全监察局.《防治煤与瓦斯突出规定》读本[M].北京:煤炭工业出版社,2005.

[2] 袁亮.松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术[M].北京:煤炭工业出版社,2004.

[3] Gray L. Reservoir engineering in coal seams: part1-the physical process of gas storage and movement in coal seams [J]. SPE Reservoir Engineering, 1987, 2(1): 28-34.

[4] 卢平,李平,周德永,等.石门揭煤防突抽放瓦斯钻孔合理布置参数的研究[J].煤炭学报,2002,27(3): 242-248.

LU Ping, LI Ping, ZHOU Deyong, et al. Study on proper layout parameters of the gas drainage drills of outburst prevention in rock cross cutcoal uncovering[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(3):242-248.

[5] Shi J Q, Duruca S. A model for changes in coalbed permeability during primary and enhanced methane recovery [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2005, 8(4): 291-299.

[6] 刘勇,卢义玉,李晓红,等.高压脉冲水射流顶底板钻孔提高煤层瓦斯抽采率的应用研究[J].煤炭学报,2010,35(7):1115-1119.

LIU Yong, LU Yiyu, LI Xiaohong, et al. Application of drilling in roof or floor with high pulse pressure water jet to improve gas drainage [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(7): 1115 -1119.

[7] 卢义玉,葛兆龙,李晓红,等.脉冲射流割缝技术在石门揭煤中的应用研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(1):55-58,69.

LU Yiyu, GE Zhaolong, LI Xiaohong, et al. Investigation of a self-excited pulsed water jet for rock cross-cutting to uncover coal [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(1): 55-58,69.

[8] Bradshaw P, Love E M. The normal impingement of a circular jet on a flat plate [M]. London: Her

- Majesty's Stationery Office, 1961.
- [9] 沈春明, 林柏泉, 吴海进. 高压水射流割缝及其对煤体透气性的影响 [J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 2058-2063.
- SHEN Chunming, LIN Baiquan, WU Haijin. High-pressure water jet slotting and influence on permeability of coal seams [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12): 2058-2063.
- [10] 李晓红, 卢义玉, 赵瑜, 等. 高压脉冲水射流提高松软煤层透气性的研究 [J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1386-1390.
- LI Xiaohong, LU Yiyu, ZHAO Yu, et al. Study on improving the permeability of soft coal seam with high pressure pulsed water jet [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(12): 1386-1390.
- [11] 林柏泉, 杨威, 吴海进, 等. 影响割缝钻孔卸压效果因素的数值分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(2): 153-157.
- LIN Baiquan, YANG Wei, WU Haijin, et al. A numeric analysis of the effects different factors have on slotted drilling [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(2): 153-157.
- [12] 张其智, 林柏泉, 孟凡伟, 等. 高压水射流割缝对煤体扰动影响规律研究及应用 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(10): 49-53.
- ZHANG Qizhi, LIN Boquan, MENG Fanwei, et al. Research and application on disturbance influence law of seam slot cutting with high pressurized water jet [J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(10): 49-53.
- [13] 向文英, 卢义玉, 李晓红, 等. 空化射流在岩石破碎中的作用实验研究 [J]. 岩土力学, 2006, 27(9): 1505-1508.
- XIANG Wenying, LU Yiyu, LI Xiaohong, et al. Experimental study of the function of cavitating water jet on rock-cutting [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(9): 1505-1508.
- [14] 余陶, 卢平, 孙金华, 等. 基于钻孔瓦斯流量和压力测定有效抽采半径 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 596-600.
- YU Tao, LU Ping, SUN Jinhua, et al. Measurement of effective drainage radius based on gas flow and pressure of boreholes [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(4): 596-600.
- [15] Cruz N, Capellas M, Hernández M, et al. Ultra high pressure homogenization of soymilk: Microbial logical, physicochemical and micro structural characteristics [J]. Food Research International, 2007, 40(6): 725-732.
- [16] William J K, Kenneth R. Optical operate on of high-pressure homogenization for intracellular product recovery [J]. Bioprocess Biosyst Engineering, 2006, 27: 25-37.

(编辑 王维朗)