

# 下向穿层孔水力割缝施工工艺研究与应用

童碧<sup>1</sup>, 王力<sup>2</sup>

(1. 淮南矿业(集团)有限责任公司 地质勘探工程处, 安徽 淮南 232001; 2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**针对常规下向穿层钻孔松软煤层卸压、增透和抽采效果差的问题, 优选了下向穿层钻孔水力割缝配套装备, 研究了下向钻孔水力割缝施工流程、工艺和下向钻孔“分组分排吹”的排水排渣工艺。在潘三煤矿 1672(1) 运输巷进行了 60 个下向穿层水力割缝钻孔的效果考察。应用结果表明: 水力割缝后煤孔段等效直径增大至 370 mm, 钻孔煤壁暴露面积比未割缝的钻孔增加了 2.3 倍; 水力割缝钻孔百孔抽采瓦斯纯量达 0.5~0.7 m<sup>3</sup>/min, 比未割缝钻孔的百孔抽采纯量提高了 70% 以上; 下向钻孔“分组分排吹”的排水排渣能有效排出水力割缝残留在孔内的煤(岩)渣和积水, 为钻孔抽采提供有利条件, 下向穿层钻孔水力割缝技术为煤矿下向孔条带抽采消突提供了有效手段。

**关键词:**水力割缝; 下向穿层孔; 割缝工艺; 瓦斯抽采

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2017)08-0177-04

## Study and application of hydraulic slotting construction technique with downward passed through strata borehole

Tong Bi<sup>1</sup>, Wang Li<sup>2</sup>

(1. Division of Geological Exploration Engineering, Huainan Mining Industry Group Corporation Limited, Huainan 232001, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** According to the poor effect of a soft seam pressure released, improved permeability and gas drainage with a conventional downward drilling passed through strata borehole, a hydraulic slotting matched equipment was optimized for the downward drilling through strata borehole. The paper had a study on the hydraulic slotting construction process and technique of the downward drilling borehole and the water and cutting discharging technique with "air blowing in group and row" for the downward drilling borehole. In No. 1672 (1) transportation gateway of Pansan Mine, an effect investigation was conducted on 60 downward passed through strata hydraulic slotting boreholes. The application results showed that after the hydraulic slotting completed, an equivalent diameter of the borehole at the seam section was increased to 370 mm and the coal wall exposed area of the borehole was 2.3 times larger than the borehole without a slotting. The pure gas drainage volume from 100 boreholes with the hydraulic slotting was 0.5~0.7 m<sup>3</sup>/min and was 70% higher than the pure gas drainage volume from 100 boreholes without slotting. The water and cutting discharging of the downward borehole drilling with "air blowing in group and row" could effectively discharge the coal (rock) cutting and water in the boreholes by the hydraulic slotting, could provide a favorable condition to the borehole gas drainage and could provide an effective means to the gas drainage and the mine pressure bump elimination in the mine downward borehole strip zone with the hydraulic slotting technology of the downward passed through strata borehole.

**Key words:** hydraulic slotting; downward passed through strata borehole; slotting technique; gas drainage

## 0 引言

我国大部分煤层为松软低透气性煤层, 常规穿

层钻孔卸压范围小, 增透效果不明显, 抽采流量小、衰减快, 影响瓦斯抽采效果<sup>[1]</sup>, 而且穿层孔有效抽采的煤孔段长度占整个钻孔的比例小, 通过增加钻

收稿日期: 2017-03-08; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.08.030

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05068)

作者简介: 童碧(1974—), 男, 安徽凤台人, 教授级高级工程师, 工程硕士, 现任淮南矿业(集团)有限责任公司地质勘探工程处总工程师。E-mail: tongbi12@163.com

引用格式: 童碧, 王力. 下向穿层孔水力割缝施工工艺研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(8): 177-180, 188.

Tong Bi, Wang Li. Study and application of hydraulic slotting construction technique with downward passed through strata borehole[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 177-180, 188.

孔数量和钻孔直径来提高抽采效果,会大幅增加钻孔工程量和孔内事故率,从经济和技术上都是不可取的<sup>[2-3]</sup>。理论研究和现场应用表明,穿层孔水力割缝增透技术是松软低渗煤层瓦斯治理的关键和有效技术,可以显著提高煤层透气性、抽采半径和抽采效果<sup>[4-8]</sup>。

钻孔水力割缝增透的原理就是利用高压水射流的破岩作用,在煤孔孔壁上形成缝槽,破坏了钻孔周围应力集中区形成的阻碍瓦斯向钻孔渗透的“瓶塞效应”<sup>[9]</sup>,同时缝槽排出部分煤体,增大了卸压空间,在煤体中产生了大量的裂隙,增加了煤层的透气性,为瓦斯释放和流动提供了通道,扩大了钻孔卸压和抽采范围<sup>[10-11]</sup>。

目前水力割缝措施在适用条件、施工工艺以及效果考察等方面还存在问题<sup>[4]</sup>,工程实践还都在探索阶段,特别是松软煤层下向穿层孔,在割缝参数、割缝成孔工艺以及施工流程等方面的研究和应用较少,因此,笔者研究了下向穿层孔水力割缝参数、排水排渣工艺以及割缝施工流程,并在潘三矿进行了应用,取得了良好的效果。

## 1 水力割缝施工装备

### 1.1 钻机

钻机需满足向下穿层孔施工时调角、施工孔深等需要,并且可以配套 $\phi 113$  mm钻头+ $\phi 73$  mm肋骨钻杆进行复杂地层(穿层孔煤层段)钻进。成孔后,钻机还要满足水力割缝施工时割缝钻具起下的需要,综合考虑巷道条件、钻具配套和施工工艺,选用ZDY4000S全液压坑道钻机。

### 1.2 高压水泵

高压水泵为割缝提供射流水动力,要满足在割缝钻头喷嘴参数条件下的压力和流量要求,综合煤层强度、割缝参数要求以及井下高压泵现状等,选用QRB200/31.5型乳化液泵,该泵也可以使用清水作为工作介质,流量200 L/min、压力31.5 MPa。

### 1.3 钻杆

钻杆要满足下向穿层孔钻进成孔的需要(主要是下向孔高效排渣需要),特别是煤孔段。另外,还要能满足高压水割缝施工时密封耐压的需要。因此,优选 $\phi 73$  mm肋骨钻杆,该钻杆具有辅助排渣功能,可以提高下向孔钻进时的排渣效率,从而提高钻孔穿煤成果率和成孔率,同时耐内压可达20 MPa,满足水力割缝需要, $\phi 73$  mm肋骨钻

杆如图1所示。



图1  $\phi 73$  mm肋骨钻杆

Fig. 1  $\phi 73$  mm rib-type drill pipe

### 1.4 水力割缝钻头

水力割缝钻头是割缝施工的关键钻具,根据高压水泵提供的高压水能力(压力和流量)和钻具配置,割缝钻头主要参数:外径 $\phi 73$  mm、1个 $\phi 1.5$  mm喷嘴和3个 $\phi 2$  mm喷嘴,水力割缝钻头如图2所示。



图2 水力割缝钻头

Fig. 2 Hydraulic cutting bit

### 1.5 其他装备

割缝施工配套的装备还有用于压力监测的40 MPa压力表,耐压25 MPa的高压水便以及耐压40 MPa水泵出水高压胶管。

## 2 水力割缝施工工艺

### 2.1 割缝孔施工流程及工艺

1) 下向穿层孔施工。岩层段钻进采用钻具组合为: $\phi 113$  mm PDC钻头+ $\phi 73$  mm肋骨钻杆,采用静压水(水压和水量均满足钻进排渣需要,根据钻孔设计最大孔深78 m,向下最大垂深约30 m)作为冲洗介质,施工环境污染小,排渣和钻具冷却效果好。煤孔段煤层松软、易塌孔,不宜采用清水钻进,钻遇煤层后,钻具组合不变,冲洗介质改为系统压风(风压0.6~0.8 MPa),有利于煤层段成孔,钻进至设计孔深后提钻。

2) 连接水力割缝装备下钻。提钻后,依次连接乳化液泵、40 MPa抗震压力表、高压截止阀、耐压40 MPa的 $\phi 42$  mm高压水管、 $\phi 73$  mm高压水便、 $\phi 73$  mm肋骨钻杆、 $\phi 73$  mm水力割缝钻头,连续下钻将水力割缝钻头下至穿层孔止煤点。

3) 调节割缝水压。控制截止阀,调节水压至5 MPa,待压力稳定后,再调节高压水压至10 MPa,待压力再次稳定后,重复此步骤调节压力至15~20 MPa,逐步加载有利于施工安全,并能及时发现高压

管路存在的问题,待压力稳定在 20 MPa 左右时,准备进行水力割缝作业。

4) 水力割缝作业。由止煤点开始到见煤点进行割缝作业,以 ZDY4000S 给进行程(600 mm)为割缝行程,操作钻机,在钻机行程内来回拉动并回转钻具进行割缝作业,观察孔口返渣,直至孔口无煤渣返出时,第 1 个割缝行程结束,结束后提出割缝钻具一个行程。沿煤孔段重复上述作业过程,直至完成整个钻孔煤孔段的水力割缝,提出所有钻具。

2.2 割缝孔完孔工艺

割缝后钻孔直径增加,煤渣量也会随之增加,在割缝水力条件下,特别是下向孔,孔内煤渣难以完全排出,割缝完成后,孔内存在的残余煤(岩)渣和积水会堵塞瓦斯抽采通道。因此,下向孔割缝后必须采用气举的方式进行排水排渣完孔作业。

1) 割缝后钻孔封孔。采用囊袋式封孔器“两堵一注”工艺,按瓦斯抽采孔封孔技术要求(封孔注浆压力 4 MPa 以上)进行封孔,两堵一注封孔如图 3 所示。两堵一注封孔后,一是封孔后可以从封孔管内下入气举管,方便排水排渣作业;二是排水排渣作业完成后,可以直接连接抽采管路,进行瓦斯抽采,气举管与封孔管安装关系如图 4 所示。

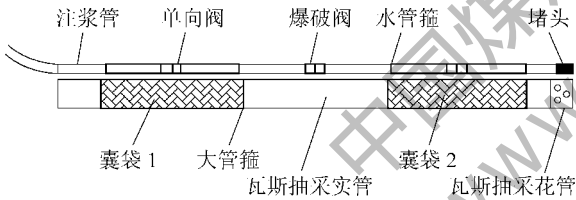


图 3 囊袋式“两堵一注”封孔示意

Fig. 3 Schematic diagram of two plugging and one sealing with capsule bag



图 4 气举管与封孔管安装关系

Fig. 4 Relationship between air lift pipe and sealing pipe

2) 割缝后孔内排水排渣。根据钻孔孔深和向下垂深,采用矿井系统风,风压 0.6~0.8 MPa,由于井下用风点较多,风压不稳定,因此在钻场内安装压风包,提供稳定的气源作为割缝孔排水排渣动力。采用压风包可稳定风压,增大气举风量,提高排水排渣效果。

抽采管汇(直径 159 mm)是整个钻场所有钻孔的抽采总管,连接所有抽采支管(直径 159 mm),抽采支管分组连接每个钻孔的封孔管(50.4 mm),每个抽采支管上安装一个控制闸阀,实现每组钻孔“分组分排吹”,避免了孔内积水、煤渣回流和影响钻孔瓦斯抽采的现象。

每个压风管路(直径 50.4 mm)连接 10~15 个钻孔,并经由高压软管连接压风包,控制相应压风管路上的闸阀,可以实现钻孔排水排渣“分组分排吹”;在每个抽采支管上安装一个控制闸阀,排水排渣作业时,关闭抽采支管上相应的闸阀,避免压风回流进入抽采支管,影响其他钻孔的瓦斯抽采,“分组分排吹”排水排渣原理如图 5 所示,钻场割缝钻孔排水排渣管路连接如图 6 所示。

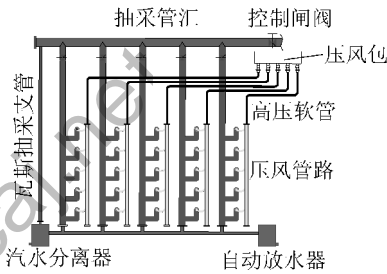


图 5 排水排渣原理示意

Fig. 5 Principle of dewatering and cuttings removal



图 6 钻场排水排渣管路连接

Fig. 6 Connection of dewatering and cuttings removal pipeline

3 现场应用情况

3.1 煤层概况

潘三矿 1672(1)工作面为西三 C 组煤中部采区 11-2 煤工作面,设计走向长 1 270 m,倾向宽 200 m;标高-777.8—855.5 m。11-2 煤均厚 1.9 m,黑色,块状、粉末状,黑色条痕,以亮煤为主,含少许暗煤,玻璃光泽,属半暗~半亮型煤,煤层普氏系数  $f=0.6$ 。瓦斯压力 0.9 MPa,瓦斯含量  $5.2 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

3.2 割缝钻孔设计

钻孔由 1672(1)运输巷瓦斯综合治理巷施工,法距 11-2 煤顶板 14.2~30.0 m。设计采用下向穿

层钻孔条带预抽消突11-2煤,共设计3、4、5号钻场条带穿层钻孔,每个钻场设计6组60个钻孔,钻孔倾角 $-68^{\circ}\sim-14^{\circ}$ ,孔深33~78 m,钻孔穿透11-2煤后继续施工10 m作为岩粉沉淀段,钻孔按终孔 $10\text{ m}\times 5\text{ m}$ 布置。其中4、5号钻场所有钻孔均进行水力割缝,并进行排水排渣完孔。3号钻场作为对比,所有钻孔不进行水力割缝。割缝钻孔设计平面布置如图7所示。

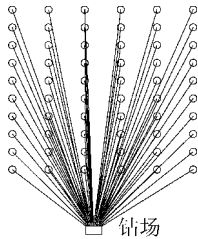


图7 割缝钻孔平面布置

Fig. 7 Plane layout of cutting boreholes

3.3 应用效果

通过对水力割缝出煤量、百孔瓦斯抽采纯量进行对比分析,总结水力割缝效果。

1) 水力割缝出煤量。水力割缝施工期间,对4、5号钻场钻孔出煤量进行了统计,单孔平均出煤量196 kg,煤孔段长度4.9 m。由图8可见,割缝后,等效平均煤孔段直径370 mm,比3号钻场未割缝钻孔直径113 mm增加了2.3倍,增加了卸压空间和范围。同时煤孔段暴露面积 $5.7\text{ m}^2$ ,比3号钻场未割缝钻孔煤壁暴露面积 $1.7\text{ m}^2$ 增大了2.3倍,增加了钻孔抽采负压接触面积,有利于瓦斯抽采。

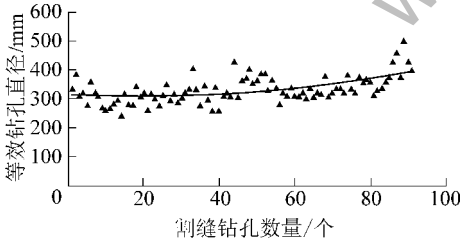


图8 水力割缝钻孔煤孔段等效直径

Fig. 8 Coal section equivalent diameter of hydraulic cutting borehole

2) 瓦斯抽采效果。分别对3号钻场未进行割缝的钻孔(20个)和4、5号钻场割缝钻孔(40个)的30 d内的百孔瓦斯抽采纯量进行统计,如图9所示。

由图9可知,3号钻场随机统计孔数量20个,抽采初始阶段,百孔抽采纯量随抽采时间增加,峰值达到 $0.6\text{ m}^3/\text{min}$ ,随后开始下降,抽采19 d后下降至 $0.2\text{ m}^3/\text{min}$ 。4、5号钻场随机统计钻孔40个,抽

采初始阶段,百孔抽采纯量随抽采时间增加,峰值达 $0.8\text{ m}^3/\text{min}$ ,随后略有下降,维持在 $0.5\sim 0.7\text{ m}^3/\text{min}$ ,比未割缝钻孔的百孔抽采纯量提高了70%以上。

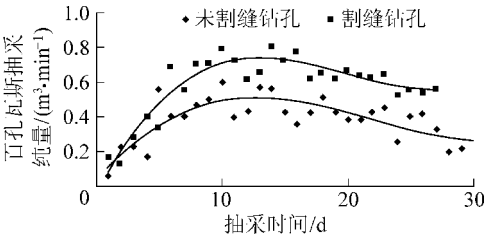


图9 钻场百孔瓦斯抽采纯量曲线

Fig. 9 Pure gas drainage volume curves per 100 holes

4 结 论

1) 下向穿层孔进行水力割缝后,煤孔段平均等效直径370 mm、钻孔煤孔段孔壁暴露面积 $5.7\text{ m}^2$ ,割缝钻孔直径和煤孔段孔壁暴露面积增加了2.3倍,增加了卸压空间和负压抽采接触面积。

2) 抽采数据统计表明,水力割缝后百孔抽采纯量 $0.5\sim 0.7\text{ m}^3/\text{min}$ ,比未割缝百孔抽采瓦斯纯量提高了70%以上,且在抽采考察周期内下降缓慢。

3) 气举“分组分排吹”排水排渣工艺有效地排出了下向穿层钻孔水力割缝后残余煤(岩)渣,且避免了积水回流和压风回流现象,为钻孔抽采提供了有利条件。

参考文献(References):

[1] 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.

[2] 李艳增,王耀锋,高中宁,等. 水力割缝(压裂)综合增透技术在丁集煤矿的应用[J]. 煤矿安全,2010,41(9):108-109.  
Li Yanzeng, Wang Yaofeng, Gao Zhongning, et al. Hydraulic slotting (fracturing) application of antireflection technology in Dingji Coal Mine[J]. Safety in Coal Mines, 2010, 41(9): 108-109.

[3] 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.

[4] 袁亮,林柏泉,杨威. 我国煤矿水力化技术瓦斯治理研究进展及发展方向[J]. 煤炭科学技术,2015,43(1):45-49.

- Yuan Liang, Guo Hua, Li Ping, *et al.* Theory and technology of goaf-gas drainage with large diameter surface boreholes [J]. *Journal of China Coal Society*, 2013, 38(1): 1-8.
- [8] 袁 亮. 高瓦斯矿区复杂地质条件安全高效开采关键技术[J]. *煤炭学报*, 2006, 31(2): 174-178.
- Yuan Liang. Key technique to high efficiency and safe mining in Highly gassy mining area with complex geologic condition [J]. *Journal of China Coal Society*, 2006, 31(2): 174-178.
- [9] 袁 亮. 卸压开采抽采瓦斯理论及煤与瓦斯共采技术体系[J]. *煤炭学报*, 2009, 34(1): 1-8.
- Yuan Liang. Theory of pressure-relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas, 2009, 34(1): 1-8.
- [10] 林柏泉, 李庆钊, 杨 威, 等. 基于千米钻机的“三软”煤层瓦斯治理技术及应用[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(12): 1968-1973.
- Lin Boquan, Li Qingzhao, Yang Wei, *et al.* Gas control technology and its application of "Three Soft" coal seam based on kilometer-rig [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(12): 1968-1973.
- [11] 刘小磊, 吴财芳, 秦 勇, 等. 我国煤层气开发技术适应性及趋势分析[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(10): 58-64.
- Liu Xiaolei, Wu Caifang, Qin Yong, *et al.* Analysis on suitability and tendency of China coalbed methane development technology [J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(10): 58-64.
- [12] 黄瑞峰, 张志刚, 程 波. 井下抽采钻孔瓦斯浓度控制机理及方法研究[J]. *煤炭科学技术*, 2017, 45(5): 128-135.
- Huang Ruifeng, Zhang Zhigang, Cheng Bo. Study on control mechanism and method of gas concentration in gas drainage borehole of underground mine [J]. *Coal Science and Technology*, 2017, 45(5): 128-135.
- [13] 李 云. 掘进工作面立体式瓦斯抽采钻孔优化设计及应用[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(4): 59-63.
- Li Yun. Optimized design and application of three dimensional gas drainage boreholes in driving face [J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(4): 59-63.
- [14] 刘宁川, 王福军, 张亚潮, 等. 大佛寺煤矿 41104 综采工作面瓦斯抽采技术综合应用与研究[J]. *中国煤炭*, 2014, 40(5): 118-121.
- Liu Ningchuan, Wang Fujun, Zhang Yachao, *et al.* Research and application of comprehensive gas extraction technology at No. 41104 fully mechanized mining face [J]. *China Coal*, 2014, 40(5): 118-121.
- [15] 赵 晶, 汪 东. 中远距离煤层群煤与瓦斯协调开发模式研究[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(8): 127-131.
- Zhao Jing, Wang Dong. Study on coordinated development mode of coal and gas in medium and long distance seam group [J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(8): 127-131.
- [16] 王翰锋. 高瓦斯矿井零超限瓦斯防治体系的研究与实践[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(5): 145-150.
- Wang Hanfeng. Study and practices on zero overlimit gas prevention system of high gassy mine [J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(5): 145-150.
- (上接第 180 页)
- Yan Liang, Lin Baiquan, Yang Wei. Research progress and development direction of gas control with mine hydraulic technology in China coal mine [J]. *Coal Science and Technology*, 2015, 43(1): 45-49.
- [5] 段康廉, 冯增朝, 赵阳升, 等. 低渗透煤层钻孔与水力割缝瓦斯排放的实验研究[J]. *煤炭学报*, 2002, 27(1): 50-53.
- Duan Kanglian, Feng Zengchao, Zhao Yangsheng, *et al.* Testing study of methane drainage by bore and hydraulic cutting seam from low permeability coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2002, 27(1): 50-53.
- [6] 宋维源, 王忠峰, 唐巨鹏. 水力割缝增透抽采煤层瓦斯原理及应用[J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(4): 78-82.
- Song Weiyan, Wang Zhongfeng, Tang Jupeng. Principle of gas extraction by increasing permeability of coal seam with hydraulic cutting and its application [J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(4): 78-82.
- [7] 周廷扬. 高压水力割缝提高瓦斯抽采率的技术研究[J]. *矿业安全与环保*, 2010, 37(S1): 7-9.
- Zhou Tingyang. Research on the technology of high pressure hydraulic cutting seam to improve the gas drainage rate [J]. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2010, 37(S1): 7-9.
- [8] 王宁博, 林柏泉, 高亚斌, 等. 高突煤层底板穿层割缝钻孔优化设计及应用[J]. *煤炭科学技术*, 2015, 43(5): 62-66.
- Wang Ningbo, Lin Baiquan, Gao Yabin, *et al.* Optimized design and application of borehole slotting drilling through floor of high outburst seam [J]. *Coal Science and Technology*, 2015, 43(5): 62-66.
- [9] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 2 版. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [10] 林柏泉, 张其智, 沈春明, 等. 钻孔割缝网络化增透机制及其在底板穿层钻孔瓦斯抽采中的应用[J]. *煤炭学报*, 2012, 37(9): 1425-1430.
- Lin Baiquan, Zhang Qizhi, Shen Chunming, *et al.* Permeability-increasing mechanism of network slotting boreholes and application in crossing borehole gas drainage [J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(9): 1425-1430.
- [11] 林柏泉, 孟凡伟, 张海滨. 基于区域瓦斯治理的钻割抽一体化技术及应用[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(1): 75-79.
- Lin Baiquan, Meng Fanwei, Zhang Haibin. Regional gas control based on drilling-slotting-extracting integration technology [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(1): 75-79.