

文章编号: 0253 - 9993(2012) 09 - 1456 - 05

低透气性强突出煤层瓦斯抽采导流通道的构建及应用

周红星^{1,2}, 王亮^{1,2}, 程远平^{1,2}, 王立国¹

(1. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学 煤矿瓦斯治理国家工程研究中心, 江苏 徐州 221116)

摘要: 基于芦岭煤矿低透气性强突出煤层瓦斯治理的需要, 提出了地面钻井压裂抽采以削弱突出危险、保护层开采以消除保护范围突出危险和穿层钻孔强化抽采以消除保护边界外突出危险的瓦斯治理顺序, 考察研究了对应抽采技术导流通道的特征及应用效果。结果表明, 地面钻井压裂抽采, 砂层是瓦斯抽采的导流通道, 单个钻井长期可获得 1 500 m³/d 的煤层气产量; 保护层开采, 层间离层裂隙是瓦斯抽采的导流通道, 煤层透气性可提高 1 930 倍; 穿层钻孔群排煤抽采, 孔群间的连通裂隙是瓦斯抽采的导流通道, 单孔平均瓦斯流量可增加 4 倍, 煤层透气性可增加 200 倍以上。

关键词: 煤与瓦斯突出; 瓦斯抽采; 导流通道; 增透

中图分类号: TD712.6 文献标志码: A

Guide channel construction for gas drainage and its applications in coal seams with low permeability and strong burst-proneeness

ZHOU Hong-xing^{1,2}, WANG Liang^{1,2}, CHENG Yuan-ping^{1,2}, WANG Li-guo¹

(1. Faculty of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 2. National Engineering Research Center for Coal & Gas Control, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: A gas drainage program was built based on the gas control requirements of coal seams with low permeability and strong outburst-proneeness in Luling Coal Mine. The practices include surface well drainage to be used to reduce the risk of gas outburst, mining of a protective coal seam which eliminates the outburst-proneeness of the protected area and cross-measure borehole drainage aimed to eliminate the hazard of gas outburst of the border area. The characteristics and effects of the corresponding guide channel were proposed as well. The experiments show that the sand layer is the guiding-channel in surface well drainage which could get a gas quality of more than 1 500 m³/d. The separation cracks offeres as the channels in protective seam exploitation increases the permeability by 1 930 times. The connected cracks between boreholes in underground drainage can be regarded as the diversion channels that improves the gas drainage by 4 times, and the permeability of coal seams by over 200 times.

Key words: coal and gas outburst; gas drainage; guide channel; permeability improvement

煤与瓦斯突出是威胁矿井安全生产的主要灾害之一。随着开采深度的增加, 地应力、瓦斯压力、瓦斯含量越来越大, 煤层的突出危险性越来越严重。通过采前瓦斯抽采降低煤层的瓦斯压力和含量可以有效消除煤层的突出危险^[1]。在地压的作用下, 具有突出危险的煤层其内部孔隙和裂隙都很小, 而高瓦斯低透气性煤层尤为如此^[2]。因此, 必须采取措施沟通、改变煤层内部的裂隙网, 人为增加新裂隙或改变瓦斯流场, 才能有效的进行瓦斯抽采^[3-4]。

淮北矿业集团芦岭煤矿 8 煤层属于特厚、极松软、低透气性的强突出危险煤层, 曾发生过万吨级的煤与瓦斯突出, 其煤层及瓦斯赋存条件之恶劣在全国乃至全世界都是罕见的; 另外, 煤层显微裂隙、微孔和小孔非常发育, 而中孔和大孔发育差, 表明煤层具有很高的聚气能力, 但不利于瓦斯抽采^[5]。因此, 矿井瓦斯采取技术措施, 在煤层内部建立宏观的瓦斯导流通道, 才能有效的抽采瓦斯并消除煤层的突出危险。本文以芦岭煤矿的煤层及瓦斯赋存为基础, 研究高瓦

收稿日期: 2012-06-02 责任编辑: 常琛

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2011CB201204); 国家自然科学基金青年基金资助项目(51204173, 51004106)

作者简介: 周红星(1979—), 男, 江苏睢宁人, 讲师, 博士。Tel: 0516-83885948, E-mail: zhou12510@cumt.edu.cn

斯低透气性强突出煤层瓦斯流动宏观导流通道的构建技术及应用效果。

1 矿井概况及突出危险性分析

芦岭煤矿位于宿东矿区东南部,是设计年生产能力为150万t的大型矿井,后经多次局部技术改造,目前矿井年产量稳定在220万t。矿井处于徐宿弧形构造的侧弧顶位置,弧形构造的凹侧遭受挤压通常成为应力集中带,有利于瓦斯的聚集和保存,而且弧顶部位应力集中程度最强^[6]。实测资料表明,井田内受到构造应力场的影响,其中最大水平主应力为SE方向,是垂直应力的2.5倍。

矿井发生过26次煤与瓦斯突出,其中2002-04-07发生于8煤层的突出事故,突出煤岩量10500t,突出瓦斯量123万m³,突出强度在长江以北居第1位,在全国居第2位。主采的8、9、10煤层均具有突出危险性,平均可采总厚度达31.75m,如图1所示。

煤层间距 / m	煤层厚度 / m	煤层编号	岩性柱状	煤层描述
	0.29~2.22 1.19	7		8煤层结构复杂,顶板主要为泥岩,细砂岩次之。底板为薄层状砂质泥岩或泥岩
20.00	0.14~16.62 9.56	8		
0~3.20	0.29~9.82 3.01	9		9煤层结构简单,顶板为薄层状砂质泥岩或泥岩,底板主要为泥岩
16.00	2.89	K2		
60~100				10煤层,局部发育有两层,煤层结构简单,顶板多为中粒砂岩或粉砂岩石
	0~4.30 1.92	10		

图1 主采煤层柱状图

Fig. 1 Columnar section of the main coal seams

8煤层平均厚度9.56m,赋存稳定,始突深度321m;9煤层平均厚度3.01m,距离8煤层平均间距为3.20m,局部与8煤层合并;因此8、9煤层具备相近的瓦斯赋存特征,瓦斯治理应一并进行。另外,8煤层坚固性系数为0.11~0.46,平均0.26;瓦斯放散初速度 Δp 为13~30,平均23;煤层透气性系数为0.0277 m²/(MPa²·d)(渗透率6.909×10⁻⁷ μm²);极限瓦斯吸附量高达37.6 m³/t,平均瓦斯含量在20 m³/t以上,明显高于淮北矿区的其他煤层,显然强烈的构造运动改变了煤体的结构。因此,芦岭煤矿8煤层属于特厚极松软的强突出危险煤层,加上地质构造复杂,瓦斯治理难度非常大。

2 强突出煤层瓦斯抽采的基本程序

突出煤层瓦斯治理的关键是采前抽采出煤层瓦斯,除满足消除突出危险性的需求外,还要尽可能的降低煤层的瓦斯含量。瓦斯是一个复杂的系统工程,工程施工与瓦斯抽采均需要时间和空间的密切配合。中国的高瓦斯煤层透气性通常比较低,为减少工程量、缩短抽采时间,必须对煤层进行改造,在煤层内部形成宏观瓦斯流动通道,以改变瓦斯流动的模式。

瓦斯抽采可以在地面和煤矿井下进行,其中地面瓦斯抽采与井下的采掘工作不相干扰,同时可获得浓度95%以上的瓦斯;井下瓦斯治理优先采用保护层开采,利用煤岩体卸压破断与卸压瓦斯流动的相互作用及对瓦斯进行人工导流以提高抽采效果^[7-8];对局部需要强化预抽的范围,如保护层开采的走向保护边界范围,采用密集穿层钻孔强化预抽,同时辅以孔群水力增透、水力割缝等层内排煤人工造缝技术提高抽采效果^[9-12]。

芦岭煤矿8、9、10煤层组成的强突出煤层群突出危险大,预计三水平8、9的煤层瓦斯压力达6.0 MPa、瓦斯含量25 m³/t,直接在井下进行瓦斯抽采钻孔的施工,极易喷孔,带来安全隐患,需要进行地面钻井压裂抽采瓦斯以消弱煤层的突出危险。如表1所示,首先采用地面钻井压裂改造8、9、10煤层,提前8~10a开采煤层气,消弱突出危险;然后,开采10煤层,采用地面钻井抽采8、9煤层卸压范围内的瓦斯;最后,通过穿层钻孔配合层内排煤增透技术,如水力割缝、孔群水力增透,强化抽采8、9煤层走向保护范围外的瓦斯。这样,8、9、10煤层经过多期的瓦斯抽采,逐渐消除突出危险并最大限度降低瓦斯含量,最终实现高瓦斯突出危险煤层在低瓦斯状态下生产。

3 瓦斯流动导流通道的构建

3.1 地面钻井水力压裂以砂层作为导流通道

水力压裂是应用地面高压泵车以较高的压力从钻井套管向井下注入压裂液,破裂煤层并注入石英砂以支撑、保持裂缝;气体在砂层内流动的速度远超过在煤层内流动的速度,因此开采时砂层是煤层气运移的高速导流通道。压裂前,瓦斯在煤体内直接向钻井流动,流动距离长且缓慢,流动的范围局限在钻孔周围煤体;压裂改造后砂层深入煤体内部,瓦斯由煤基质表面解吸缓慢流入砂层再快速流向钻井,相当于瓦斯在煤体内部流动距离大大缩短,如图2所示。因此,地面钻井压裂开采煤层气是通过砂层导流模式,进而提高煤层气开采效果。

表 1 强突出煤层瓦斯治理程序

Table 1 Gas control program in coal seams with strong outburst proneness

程序	构建途径	导流通道	导流方法	抽采效果	最终效果
一	水力压裂	砂层	地面钻井	消弱突出危险	高瓦斯强突出煤层→低瓦斯状态下生产
二	保护层开采	层间离层裂缝	地面钻孔	消除 9、10 煤层突出危险, 尽可能降低瓦斯含量	
三	水力割缝、孔群水力增透	孔群间连通裂隙	密集穿层钻孔	消除 8、9 煤走向卸压边界外突出危险	

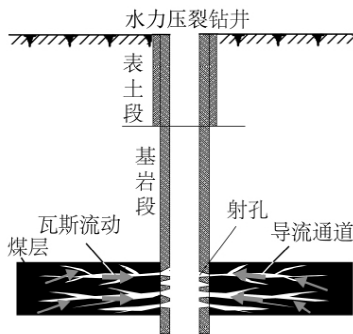


图 2 地面钻井水力压裂导流通道与瓦斯流动示意

Fig. 2 Diagram of guide channel and gas flow in coal seams by hydraulic fracturing

芦岭目前有 7 口煤层气开采钻井, 均布置在矿井的 III₁ 采区, 间距 200 ~ 300 m, 压裂半径 120 ~ 130 m。钻井压裂分前、后两期施工, 前期压裂 10 煤层, 后期压裂 8、9 煤层。压裂成果见表 2, 实测 8 煤层压裂裂缝垂直分布, 方位北东向, 高度 47.6 m, 两翼长度 140 m 左右; 10 煤层裂缝也为垂直分布, 方位北东向, 高度 34.3 m, 两翼长度 120 m。一般来说, 水平裂缝更有利于大面积接触煤体, 获得良好的产气效果, 垂直裂缝则相对较差。

表 2 LG-1 井水力压裂后的裂缝形态

Table 2 Crack characters of the LG-1 well by hydraulic fracturing

项目	第 1 次(10 煤)	第 2 次(8、9 煤)
东翼缝长/m	121.6	145.2
西翼缝长/m	111.1	136.5
裂缝方位/(°)	44.6	42.1
裂缝高度/m	34.3	47.6
产状	垂直	垂直
裂缝宽度/mm	11.3	12.1

从 2008 年 4 月至 2011 年底, 地面钻井累计抽采 45 个月, 目前 7 口井的采气量稳定在 4 500 m³/d。其中, LG-6 井最大日产气量曾达 5 000 m³, 目前稳定在 1 500 m³, 其他 6 口井的平均日产气量仅为 500 m³。在煤层气日产量 1 500 m³、井网间距 200 m 的预测条件下, 地面钻井经过 12 a 开采, 抽采率可达 30%、剩余瓦斯含量 14 m³/t, 显然不能区域消除煤层

的突出危险性, 但可以显著的削弱突出危险, 为后续的井下瓦斯治理减轻压力。另外, 地面钻井可以“采前压裂预抽、采中卸压抽采和采后采空区抽采”, 钻井服务于瓦斯治理的采前、采中和采后的整个过程, 实现利用的最大化^[13]。

3.2 采动影响以离层裂隙作为导流通道

根据采动煤岩体卸压破断与瓦斯导向流动理论, 开采后顶板关键分层下位煤岩层的变形大于本层, 在层间形成宏观裂隙, 即为瓦斯流动的宏观导流通道。一般来说, 上部煤岩体形成瓦斯紊流通道区、瓦斯过渡流通道区和瓦斯渗流通道区。瓦斯紊流通道区为 8 ~ 12 倍采高范围内, 瓦斯通道纵横分布, 瓦斯流动主要由机械作用引起的对流扩散, 雷诺数通常大于 100; 瓦斯过渡流通道区为 12 ~ 18 倍采高, 单向、双向瓦斯通道发育, 瓦斯流动呈过渡流流态, 雷诺数 Re 在 10 ~ 100 之间, 服从非线性渗流定律; 瓦斯渗流通道区为 18 倍采高以上, 覆岩整体移动, 仅有少数垂向瓦斯通道, 瓦斯流动与原始煤层相似, 雷诺数 Re 小于 10, 服从达西定律。

8、9、10 煤层构成了突出煤层群条件, 开采 10 煤层并对 8、9 煤层的卸压瓦斯进行抽采是理想的。芦岭煤矿首个保护层工作面位于 II 104 采区 II 1048 工作面, 工作面走向长 310 m, 切眼长 200 m, 收作面长 100 m, 钻井位于开切眼 97 m; 采高 2.3 m, 8、9 煤层间距 65.2 m, 为采高的 28.3 倍, 处于采动影响的瓦斯渗流通道区, 采用地面钻井、井下穿层钻孔对 8、9 煤层卸压瓦斯进行抽采, 如图 3 所示。

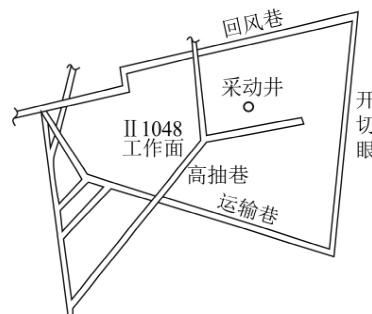


图 3 地面钻井位置示意

Fig. 3 Diagram of location of the surface well

地面采动并于 2003 年 6 月底施工结束, 2004 年 7 月 II 1048 工作面投产, 同年 9 月 21 日进行负压抽瓦斯, 抽采过程如图 4 所示。抽采过程分为 3 个阶段:

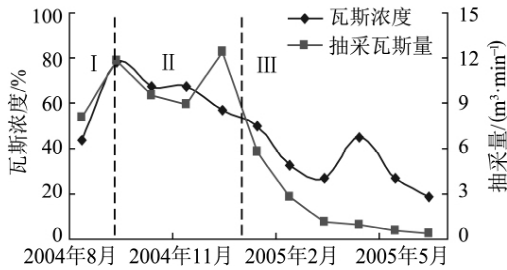


图 4 地面钻井卸压瓦斯抽采统计

Fig. 4 Volume of pressure-relief gas drainage by the surface borehole

I—流量增加阶段; II—产气高峰阶段; III—衰减阶段

第 I 阶段为流量增加阶段, 工作面推进 79 m (距地面钻井 18 m) 时井口有漏气声响, 表明受采动影响 8 9 煤层初步产生了离层裂隙, 瓦斯沿该导流通道流向钻井, 致使瓦斯流量增加; 本阶段历时 15 d, 至工作面推进至地面钻井位置, 瓦斯浓度由开始时 36% 逐步上升到 84.8%, 瓦斯量从 7.5 m³/min 上升到 17.9 m³/min, 最大日产气量 25 771.7 m³, 平均日产 3 360 m³。第 II 阶段为产气高峰阶段, 工作面推进直至结束, 历时 118 d, 瓦斯浓度 60% 以上, 平均瓦斯量 10.6 m³/min, 最大抽放流量为 32.2 m³/min, 表明卸压范围内的离层裂隙发育最充分, 尺度最大, 宏观导流通道处于最佳状态, 煤层的透气性系数提高了 1 930 倍。第 III 阶段为衰减阶段, 为工作面收作后的产气阶段, 历时 158 d, 日产气量随抽采时间的延长而逐步衰减, 平均日产气量 2 972 m³, 混合气浓度降低; 关井前日产气量仅有 576 m³, 甲烷浓度仅 20.46%, 浓度低达不到利用标准, 为此关井停止抽采; 此时岩层逐步压实, 原形成的层间裂隙逐步闭合, 瓦斯流动宏观导流通道受压缩, 再加上瓦斯的枯竭造成流量降低。因此, 离层发育阶段是瓦斯流动的最佳时机, 绝大部分瓦斯必须在此时被抽采出来。

3.3 钻孔排煤以孔间裂隙作为导流通道

保护层开采的走向和倾向两侧存在保护盲区, 倾向上的保护盲区可通过保护层开采下延来解决^[14], 走向保护盲区只能采用密集穿层钻孔进行预抽。根据理论分析, 预抽煤层瓦斯效果与煤层透气性系数、抽采负压、钻孔直径等因素有关, 且都与预抽效果成正比, 但抽采负压的提高与钻孔直径的增加量非常有限。单一煤层可采用孔群水力增透、水力割缝等措施进行煤层层内排煤, 而后周围煤体破坏、变形, 裂隙扩

展、贯通, 这些相互连通的宏观裂隙系统构成了瓦斯流动的导流通道^[11]; 同时, 钻孔周围瓦斯由径向流动改善为煤层-裂隙-钻孔的混合流动^[15], 如图 5 所示。穿层钻孔群联合作用, 可区域性增加煤层瓦斯抽采效果。

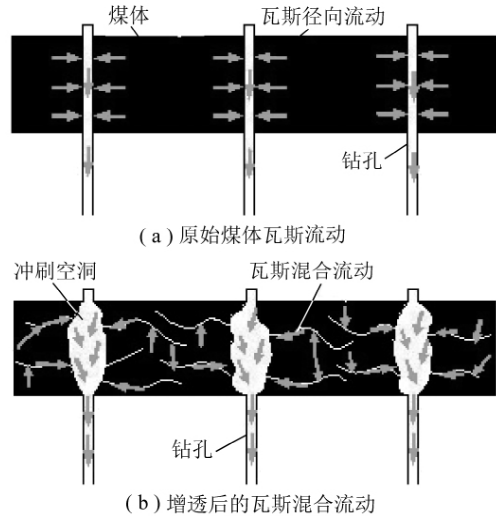


图 5 不同瓦斯流动模型示意

Fig. 5 Diagram of different gas flow models

实践表明 8 9 煤层的穿层钻孔施工普遍存在喷孔现象, 平均单孔喷出煤量 9.0 t, 最大喷煤量可达 20 t。轨道巷钻场钻孔数 40 个, 钻孔平均排煤量 360 t, 喷孔排煤率 1.8%。集中巷钻场钻孔数 45 个, 钻孔平均排煤量 300 t, 喷孔排煤率 2.0%。煤体的排出给周围煤体的移动、膨胀、变形预留了空间, 裂隙开启、贯通, 在孔群间形成宏观的裂隙网络, 提高煤体的透气性。据测算, 孔群范围煤体渗透性可提高 200 倍以上, 单孔平均瓦斯抽采量从 4 L/min 提高到 20 L/min 提高了 4 倍。通过 18 个月的抽采, 8 煤层瓦斯压力由 2.5 MPa 降至 0.10~0.65 MPa, 残余瓦斯含量降至 6.0 m³/t, 成功将高瓦斯突出危险煤层转变为低瓦斯无突出危险煤层。

4 瓦斯抽采效果

水力压裂、保护层开采、水力割缝及孔群水力增透技术的应用, 在特厚极松软的 8 煤层内部形成了宏观的瓦斯抽采导流通道, 改变了瓦斯流动的模式, 瓦斯抽采效率大大提高, 如图 6 所示。矿井瓦斯抽采量由 2001 年的 1 688 万 m³ 上升到了 2010 年的 4 104 万 m³, 年均增长率 11.0%; 瓦斯利用量由 2001 年的 978 万 m³ 上升到了 2010 年的 2 436 万 m³, 年均增长率 11.1%; 其中, 2010 年, 矿井瓦斯抽采率达 65.2%, 而同期中国煤矿的瓦斯抽采率仅为 32.0%。

瓦斯抽采保障了矿井的安全生产, 近年来矿井年

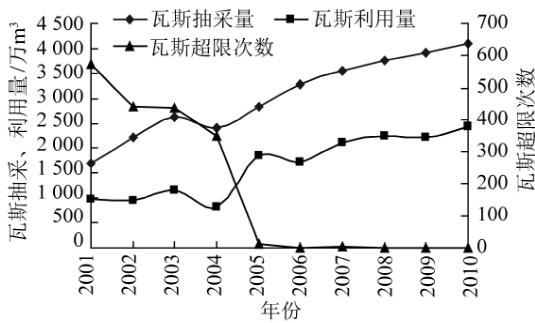


图6 芦岭矿瓦斯治理效果统计

Fig. 6 Gas drainage effect of Luling Coal Mine

产量维持在200万t以上,不但消除了煤与瓦斯突出事故,而且杜绝了采掘过程的瓦斯超限,真正实现了高瓦斯强突出危险煤层在低瓦斯状态下生产的目标。

5 结 论

(1) 高瓦斯强突出危险煤层的瓦斯抽采消突的基本程序:首先提前8 a以上进行地面钻井压裂抽采以削弱煤层突出危险,然后转入井下进行保护层开采以消除被保护范围突出危险,最后对卸压边界的局部煤体进行穿层钻孔强化抽采,一步步降低煤层瓦斯含量、消除突出危险,最终实现高瓦斯强突出煤层在低瓦斯状态下生产。

(2) 地面钻井压裂抽采以砂层作为瓦斯的高速导流通道,可在较长时间内得到日产1500 m³的煤层气产量,可以降低煤层瓦斯含量、消弱煤层的突出危险,提高后续的井下瓦斯抽采的安全性。

(3) 保护层开采的层间离层裂隙在煤体内形成宏观裂缝通道,煤层透气性可提高1930倍;穿层钻孔排煤可在钻孔周围形成裂缝通道,孔群间相互作用形成区域性宏观导流通道,煤层透气性可提高200倍以上。

参考文献:

- Noack K. Control of gas emissions in underground coal mines [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1998, 35: 57-82.
- 冯增朝. 低渗透性煤层瓦斯强化抽采理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Lin Baiquan, Wu Haijin. Integrative outburst prevention technique of high-pressure jet of abrasive drilling slotting [A]. The 6th International Conference on Mining Science and Technology [C]. 2009: 27-34.
- 周红星, 程远平, 刘洪永, 等. 突出煤层穿层钻孔孔群增透技术及应用 [J]. *煤炭学报*, 2011, 36(9): 1515-1518.
Zhou Hongxing, Cheng Yuanping, Liu Hongyong, et al. Permeability improvement technology of array crossing boreholes and its application in outburst coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(9): 1515-1518.
- 姚艳斌, 刘大猛, 黄文辉, 等. 两淮煤田煤储层孔-裂隙系统与

煤层气产出性能研究 [J]. *煤炭学报*, 2006, 31(2): 163-168.

- Yao Yanbin, Liu Dameng, Huang Wenhui, et al. Research on the pore-fractures system properties of coalbed methane reservoirs and recovery in Huainan and Huabei coal-fields [J]. *Journal of China Coal Society*, 2006, 31(2): 163-168.
- 张子敏, 张玉贵. 大平煤矿特大型煤与瓦斯突出瓦斯地质分析 [J]. *煤炭学报*, 2005, 30(2): 137-140.
Zhang Zimin, Zhang Yugui. Investigation into coal gas outburst occurred in Daping Coalmine by using theories of gas-geology [J]. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(2): 137-140.
- 钱鸣高, 许家林. 覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究 [J]. *煤炭学报*, 1998, 23(5): 466-469.
Qian Minggao, Xu Jialin. Study on the “O-shape” circle distribution characteristics of mining induced fractures in the overlying strata [J]. *Journal of China Coal Society*, 1998, 23(5): 466-469.
- 赵阳升, 杨 栋, 胡耀青, 等. 低渗透煤储层煤层气开采有效技术途径的研究 [J]. *煤炭学报*, 2001, 26(5): 455-458.
Zhao Yangsheng, Yang Dong, Hu Yaoqing, et al. Study on the effective technology way for mining methane in low permeability coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2001, 26(5): 455-458.
- 林柏泉, 吕有厂, 李宝玉, 等. 高压磨料射流割缝技术及其在防突工程中的应用 [J]. *煤炭学报*, 2007, 32(9): 959-963.
Lin Baiquan, Lü Youchang, Li Baoyu, et al. High-pressure abrasive hydraulic cutting seam technology and its application in outbursts prevention [J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(9): 959-963.
- 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.
- 周红星, 程远平, 刘洪永, 等. 突出煤层穿层钻孔孔群增透流作用机制 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2011, 28(4): 619-622.
Zhou Hongxing, Cheng Yuanping, Liu Hongyong, et al. Permeability and fluidity improvement mechanism of crossing borehole group in outburst coal seam [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2011, 28(4): 619-622.
- Lu Tingkan, Yu Hong, Zhou Tingyang, et al. Improvement of methane drainage in high gassy coal seam using waterjet technique [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2009, 79(2): 40-48.
- Sang Shuxun, Xu Hongjie, Fang Liangcai, et al. Stress relief coalbed methane drainage by surface vertical wells in China [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 82: 196-203.
- 王海锋, 程远平, 侯少杰, 等. 倾斜煤层远距离上被保护层连续卸压保护技术研究及应用 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2010, 27(2): 210-214.
Wang Haifeng, Cheng Yuanping, Hou Shaojie, et al. Application of continuously pressure-relieving technology on long-distance upper protected seam of inclined coal seams [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2010, 27(2): 210-214.
- 程远平, 付建华, 俞启香. 中国煤矿瓦斯抽采技术的发展 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2009, 26(2): 127-139.
Cheng Yuanping, Fu Jianhua, Yu Qixiang. Development of gas extraction technology in coal mines of China [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2009, 26(2): 127-139.