

工作面打钻诱导突出机理分析及其预防措施

潘 峰¹, 叶 青^{1,2}, 李国旗¹, 李建新¹, 徐守仁¹

(1. 义马煤业集团股份有限公司 瓦斯研究所, 河南 义马 472300;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘 要: 为分析煤矿井下工作面打抽放钻孔和防突钻孔过程产生的煤与瓦斯突出机理, 分析了打钻时的突出过程, 并从工作面煤岩体强度硬度、工作面三区分布规律、煤体的应力应变全过程、钻孔能释放地应力、钻孔周围煤岩塑性区半径、煤岩体流变机理等方面对该类突出进行了理论分析。研究结果和工程实践表明: 工作面钻孔能有效排放工作面煤体中的瓦斯和降低瓦斯压力、增大工作面卸压区长度、增大工作面防突屏障厚度, 起到防突效果; 但在工作面打密集钻孔会破坏煤岩体原有结构、降低煤岩体原有的硬度和强度、降低工作面防突屏障的强度, 同时在打钻孔过程会产生扰动, 以致增大突出的危险性。所以工作面打钻孔具有防突和诱导突出双重作用。

关键词: 煤与瓦斯突出; 打钻; 防突; 煤体结构; 瓦斯压力

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336 (2011) 12-0044-04

Analysis on Mechanism of Drilling Induced Outburst and Prevention Measures

PAN Feng¹, YE Qing^{1,2}, LI Guo-qi¹, LI Jian-xin¹, XU Shou-ren¹

(1. Gas Research Institute, Yima Coal Mining Group Corporation Ltd., Yima 472300, China;

2. Hunan Provincial Key Lab of Safety Mining Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to analyze the coal and gas outburst mechanism occurred from the gas drainage borehole drilling and the gas outburst prevention borehole drilling processing at the working face in the underground mine, the outburst processing occurred from the borehole drilling was analyzed. From the strength and hardness of the coal and rock in the working face, the three zone distribution law of the working face, the stress and strain full process conditions of the seam, the ground stress released the borehole, the plasticity zone radius of the coal and rock around the borehole, rheology mechanism of the coal and rock and others, a theoretical analysis was conducted on the outburst. The study results and the engineering practices showed that the boreholes in the coal mining face could effectively drain the seam gas in the coal mining face, reduce the seam gas pressure, enhance the length of the pressure releasing zone in the coal mining face, enhance the thickness of the outburst prevention curtain in the coal mining face and have the outburst prevention effect. But the intensive boreholes drilled in the coal mining face would destroy the previous structure of the coal and rock, reduce the previous hardness and strength of the coal and rock and reduce the strength of the outburst prevention curtain in the coal mining face. Meanwhile the disturbances occurred during the borehole drilling process could increase the danger of the outburst and thus the borehole drilling in the coal mining face would have double roles of the outburst prevention and the outburst induced.

Key words: coal and gas outburst; drilling; outburst prevention; coal structures; gas pressure

钻孔瓦斯抽放既能抽放煤层中的瓦斯, 又能降低瓦斯压力和消除瓦斯所带来的动力灾害, 钻孔瓦斯抽放是一种传统的局部防突措施, 因其操作简

单、防突效果明显、在煤矿工作面的抽放和防突工程中得到广泛应用, 但在抽放钻孔施工过程中经常出现夹钻、喷孔等动力现象, 甚至在打钻过程发生

收稿日期: 2011-08-11; 责任编辑: 代艳玲

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51004048, 51074161); 中国博士后基金资助项目 (20100470998); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 资助项目 (2011CB201205); 湖南省教育厅资助项目 (09CA409)

作者简介: 潘 峰 (1968—), 男, 河南信阳人, 高级工程师, 硕士。Tel: 0398-5898255, E-mail: ymjtwss@163.com

网络出版时间: 2011-12-19 16:53; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20111219.1653.007.html>

引用格式: 潘 峰, 叶 青, 李国旗, 等. 工作面打钻诱导突出机理分析及其预防措施 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (12): 44-47, 79.

煤与瓦斯突出事故, 如北票、白沙、六枝、松藻等矿区都在打钻过程发生过煤与瓦斯突出事故, 其突出强度一般在数吨至数十吨, 不仅在直径为 200 mm 以上的大直径钻孔施工过程中发生突出, 而且在直径为 75 ~ 200 mm 的钻孔施工过程中也发生突出, 甚至在直径为 42 mm 的钻孔施工过程中也发生过突出^[1]。由于打钻时产生的突出是在实施防突措施时发生的, 通常会造成严重后果。如平禹四矿 12190 运输巷掘进工作面因打钻发生突出事故; 马岭山煤矿 11041 运输巷煤巷掘进工作面因打钻发生了煤与瓦斯突出事故; 平禹四矿 12190 工作面切眼打瓦斯抽放钻孔过程发生特别重大煤与瓦斯突出事故。因此突出煤层工作面的打钻问题一直是困扰施工的难点, 为此, 笔者从煤与瓦斯突出过程、工作面附近卸压区三带分布、煤体应力应变、钻孔周围煤岩塑性区半径和煤体流变方面对突出机理进行了分析。

1 煤与瓦斯突出过程分析

根据煤与瓦斯突出机理的综合假说^[2-3], 煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯和煤的物理力学性质三者综合作用的结果。揭露煤体后或在煤层中进行采掘工作是否会发生突出主要取决于原始煤体的平衡状态是否被破坏, 即煤层内储存的弹性潜能、瓦斯内能及煤岩自重位能能否克服煤层强度的阻力, 破碎煤体并将破碎的煤体抛出。如果煤体被揭开后没有发生突出, 这说明原始煤体的平衡状态没有被破坏或原始煤体的平衡状态被破坏了, 但煤体与瓦斯又处于新的平衡状态。

如果此时有外界的扰动作用, 如打密集抽放钻孔, 打密集抽放钻孔会破坏煤体与瓦斯所处的新平衡状态, 能激发煤层内储存能的释放; 同时密集抽放钻孔又能破坏煤岩体的完整性, 降低煤岩体的强度, 导致突出事故的发生。突出是一种快速发生的过程, 因此有学者把煤与瓦斯突出全过程划为 4 个阶段: 突出的准备 (集中应力阶段)、发动 (煤体破碎阶段)、发展 (瓦斯撕裂煤体、瓦斯抛出搬运煤体阶段) 和结束阶段。所以任一煤体质点要发生突出, 必须满足以下 3 个力学条件^[4]: ①含瓦斯煤体在地应力的作用下发生剪切破坏; ②地应力作用后产生的裂纹在瓦斯压力作用下产生扩展; ③扩展形成的煤体在瓦斯压力的作用下产生失稳破坏和

突变行为。

2 打钻诱导突出理论分析

2.1 工作面附近煤体的“三区”分布规律

当工作面煤体被揭开后, 工作面前方煤体应力状态突然发生改变, 原来作用于卸压区和集中应力区煤体上的应力必然转移到更深部的煤体上, 即卸压区和集中应力区向前方推进一定的距离, 集中应力峰值也向前推进相应距离。所以对于工作面前方煤体来讲, 均有一个从原始应力状态上升为集中应力状态的过程, 从而使含瓦斯煤体产生短时间的应力集中。因此工作面前方煤体中的应力将重新分布, 经过一定时间形成卸压区、集中应力区和原始应力区, 在这 3 个区中, 煤体所受应力和变形性质各有差异^[5]。通常卸压区中的煤体所承受的应力达不到原岩应力, 因此卸压区中的煤体和集中应力区中的塑性变形区的煤体所受应力通常处于极限平衡状态。林柏泉等^[6]从卸压区煤体稳定性条件出发, 在假定卸压区中煤体的破坏条件服从莫尔强度理论, 得出卸压区安全宽度 X_0 为

$$X_0 = \frac{1}{2f} m A \ln \left(\frac{\gamma H}{\sigma_t} + 1 \right) \quad (1)$$

式中: f 为煤层界面的摩擦因数; m 为煤层厚度; A 为侧压系数; γ 为岩石容重; H 为煤层开采深度; σ_t 为煤层或软分层的抗拉强度。

对于煤层厚度和开采深度一定的煤层, 卸压区安全宽度 X_0 取决于煤体抗拉强度 σ_t 和煤层界面摩擦因数 f ; σ_t 、 f 越小, 则 X_0 越大; 当 m 、 H 、 f 一定时, σ_t 越小, X_0 也越大。所以当工作面施工密集钻孔时, 煤体抗压和抗拉强度急剧降低, X_0 要求急剧增大, 当工作面卸压区没有达到安全值时, 容易导致突出的发生。由此可知, 煤体的强度性质及其变化对突出危险性有很大的影响, 故而煤体的抗破坏强度指标是预测突出的重要参数之一。

2.2 煤体应力应变全过程分析

试验研究结果表明, 煤体的应力应变全过程可分为 5 个阶段: 原始空隙压密阶段、线弹性阶段、弹塑性变形阶段、破坏阶段和破坏发展阶段^[7]。当原始空隙压密阶段的煤体处于弹性极限, 煤样开始产生新的裂隙, 并呈现弹性变形, 当应力达到应力峰值 0.95 倍以上时, 新裂隙急剧增加并相互贯穿, 开始快速破裂, 煤样应变速

度明显增大。

在破坏阶段,煤样的贯穿裂隙继续发展,当载荷达到应力峰值时,煤样发生破坏并且出现明显的扩容膨胀现象。由于采掘工作的影响,在掘进工作面前方煤体会形成卸压区、集中应力区和原岩应力区的结构分布,在集中应力区内产生煤体塑性破坏并形成塑性极限应力带,该应力带长度在8~20 m。由于工作面前方煤体的应力分布状态与煤样的应力应变全程曲线很相似,所以在塑性极限应力带的煤体也会发生破坏并且出现明显的扩容膨胀现象,这为工作面瓦斯的抽放创造了有利条件,但也破坏了煤体的完整性、降低了煤体强度,增大了突出的风险;另外打钻过程产生的扰动会诱导煤与瓦斯突出。

2.3 钻孔释放和转移地应力分析

在地应力的作用下,煤层积蓄了巨大的储存能,同时地应力在打钻过程产生的突出等动力现象中所起的作用有^[8]:①地应力使煤体发生流变,并且使其从稳定流变进入到失稳流变,可能导致煤与瓦斯延时突出;②地应力产生的煤层(围岩)弹性变形潜能做功使煤体破坏;③地应力场控制瓦斯压力场,促进瓦斯破坏煤体;④高地应力会导致煤层形成低透气性,煤层的低透气性阻碍了瓦斯的扩散,造成瓦斯压力梯度增高,一旦煤体遭到破坏,高瓦斯压力梯度对突出有利,因此地应力是打钻过程中动力现象产生的主要原因。工作面密集钻孔能释放瓦斯、降低瓦斯压力、转移和释放地应力,但是在工作面施工密集钻孔时,破坏了煤体的完整性、降低了煤体强度,也容易增大突出危险。此外地应力的作用就是破碎煤体。

2.4 钻孔周围煤岩塑性区半径分析

钻孔周围煤岩塑性区半径 R_p 为^[9]

$$R_p = R_0 \left[\frac{\sigma_y + c \tan \varphi}{c \cot \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (2)$$

式中: σ_y 为原岩应力; c 为黏聚力; φ 为内摩擦角; R_0 为钻孔半径。

从式(2)可以看出,塑性区半径 R_p 与孔径 R_0 成正比关系,而且原岩应力增加则破裂带增大;煤体强度越低,煤体破裂带也越大,因此,当工作面施工密集钻孔时,容易造成应力集中,导致钻孔破裂带较大,易发生突出。

在实际工程中,随着钻孔周围煤体位移的增大,塑性区内的煤体是不可能始终保持原来那种极限平衡状态的。塑性区内岩体的 c 、 φ 值会逐渐降低,使强度曲线发生变化。因此塑性区的应力会继续松弛,塑性区也会进一步扩大。因此从钻孔周围煤岩塑性区半径来看,打钻会破坏煤岩体结构,降低煤岩体强度,增大突出危险。

2.5 煤体流变机理

试验研究与现场工程实践分析表明,任何煤岩体(包括硬煤和软煤)都具有流变特性,延时突出与含瓦斯煤岩体的流变特性有关。由煤体流变试验结果可知,煤体产生流变现象是有条件的,只有当施加于煤体上的应力略大于煤体抗压临界值时,流变现象才能显现出来;如果施加于煤体上的应力小于或远大于它的抗压临界值时,流变现象都不会发生。一般情况下,煤体瞬时破坏符合莫尔-库仑准则,破裂后的煤体还具有承载能力,随着时间的增长,煤体继续变形,承载能力下降,煤体呈现应变软化性质。施工过密集钻孔的煤体强度很低,而发生突出的地点地应力都比较大,所以从煤体流变角度来看,施工过密集钻孔的工作面附近煤体承载能力低,容易发生流变而产生突出。

煤壁深处的煤体在正常情况下处于三向应力平衡状态,当向煤体中施工钻孔时,钻孔附近煤体的最大主应力升高而最小主应力降低;同时,由于钻孔存在空间,钻孔附近的煤体由三向应力变为二向应力,强度降低,因此钻孔壁面周围煤体发生破坏的可能性加大,一般表现为喷孔或孔内突出。所以从流变角度来看,在工作面施工密集钻孔也会降低煤体强度、使煤体产生流变导致突出发生。

3 工程实例分析

平禹四矿12190运输巷掘进工作面(978 m处)曾发生煤与瓦斯突出,经调查,原因如下。

1) 突出工作面前方煤体地质条件异常:突出前,地质构造超前探孔资料和瑞利波物探结果已经分别显示:在运输巷972.2 m处煤厚4.9 m,在992.4 m处煤厚将增加到5.5 m;距工作面正前14.1~29.0 m内可能为瓦斯积聚、应力构造区或者存在其他地质变化,表明工作面前方煤体存在地质条件异常。

2) 突出地点前方煤体具备发生瓦斯突出的物

理力学性质和瓦斯参数条件: 据 2005 年研究报告, 12190 运输巷位于矿井始突深度以下, 处于预测的瓦斯突出威胁区。据 2006 年测试报告, 距 12190 运输巷开口不足 80 m 的轨道下山布置的 2 个穿层钻孔, 实测的二₁煤层瓦斯压力为 0.7 MPa。据 2008 年 7 月测试资料, 12190 运输巷开口以内 930 m 处掘进工作面煤层瓦斯含量 $9.23 \text{ m}^3/\text{t}$ 、煤的坚固性系数 0.12、瓦斯放散初速度 26、煤质松软、属于 IV 类破坏煤。由于 12190 运输巷自开口由外向内, 煤层直接顶由大占砂岩渐变为砂质泥岩, 煤层产状和厚度变化幅度较大, 运输巷开口段煤厚仅为 4.0 m, 突出点的煤厚为 5.0 m, 突出点前方 14.0 m 煤厚为 5.5 m, 煤厚增加、直接顶致密。与巷道开口段相比, 突出地点的围岩更有利于瓦斯保存, 已经具备发生瓦斯突出的物理力学性质和瓦斯压力等参数条件。

3) 突出前多次出现卡钻、喷孔和瓦斯涌出增大现象。突出前 3 个月, 12190 运输巷在约 90 m 的巷道段内, 打钻过程发生了多次卡钻、喷孔和瓦斯涌出增大现象, 特别是事发前一班, 在打钻过程中出现了卡钻压死钻杆、喷孔和瓦斯涌出增大等现象, 上述现象表明, 工作面在突出前已具有瓦斯突出征兆。

4) 打钻是导致煤与瓦斯突出的诱因。突出前一班, 工作面施工超前预抽钻孔过程出现卡钻、喷孔和瓦斯涌出增大等瓦斯突出预兆, 表明掘进工作面前方煤体处于发生煤与瓦斯突出的临界应力平衡状态。打钻时造成的煤体扰动, 打破了工作面前方煤体的临界应力平衡状态, 导致煤与瓦斯突出发生。

综上所述, 突出地点前方煤体松软, 瓦斯压力高, 处于瓦斯集聚区和构造异常区, 具备了瓦斯突出的内在条件; 在这种情况下, 超前预抽钻孔施工造成的煤体扰动引发了工作面前方瓦斯及应力平衡状态的失稳, 造成应力重新分布, 形成了固流耦合作用的动力现象, 引起煤与瓦斯突出的发生。

4 工作面打钻突出预防技术及措施

随着开采深度的增加, 煤层地应力不断增大, 沿煤层打钻孔过程发生突出的概率越来越大, 而且由于在实施防突措施时发生突出, 危害极大。因此, 建议采取以下针对性措施进行预防打钻时的煤与瓦斯突出。

1) 改进抽采方式, 由本煤层工作面预抽改为顶板高位巷打孔预抽, 前期解决两巷施工的防突问题, 后期回采期间全巷封闭, 抽采采空区瓦斯, 解决采煤工作面瓦斯超限问题。

2) 加强地质构造预报工作和瓦斯地质工作, 开展区域突出危险性预测与划分, 编制瓦斯地质图, 同时利用瑞利波及超前钻孔等手段提前预测, 根据实测资料, 采取相应防范措施。

3) 在高位巷抽采的前提下, 若效果不理想, 工作面仍考虑施工钻孔, 但要注意以下问题: ①当煤层条件一定时, 由于小直径钻孔对前方煤体的应力状态改变较小, 所以在钻孔措施设计过程中, 应优先采用小直径钻孔排放措施。当需要设计大直径钻孔措施时, 首先应采用直径较小 (小于 100 mm) 的钻头钻进, 达到设计孔深时, 再扩孔到设计孔径。②给进压力是钻孔施工的重要技术参数, 所以不同性质煤层应控制不同的给进压力极限值, 有文献表明^[10] 软煤层的给进压力极限值为 10 MPa, 硬煤层的给进压力一般为 6~7 MPa。由于给进压力的影响因素众多, 所以在钻进过程中, 要根据现场施工的具体情况确定给进压力。③钻进过程应控制钻进速度, 由于低速钻进可充分排渣、减少沉渣, 同时也能起到降低给进压力的作用, 所以通过煤层结构异常带时应降速。增大孔径应降低速度, 减小孔径或扩孔时可加快速度, 当使用多级塔形扩孔钻头一次成孔钻进时, 前级钻孔的卸压范围应大于后级钻孔的直径。④对于特别松软、易喷孔的煤层, 应优先采用干式钻孔风力排渣工艺施工。⑤抽放孔和防突孔的施工不得有 2 台以上钻机在工作面同时打钻。

4) 在打钻工作面紧贴煤壁处设置好防护挡板, 以增加煤体整体强度; 同时钻机要安装稳固, 保证施工过程中一旦发生顶钻、喷孔时, 钻机不歪斜、不移位^[11]。

5) 当钻进过程产生喷孔、响煤炮、顶钻时应暂停施工, 并减少供水量, 让其自然排放卸压一段时间再恢复钻进。当钻进过程出现连续不断响煤炮、持续剧烈喷孔、湿式打眼喷干煤、煤壁开裂或移动、顶板突然来压等现象时, 须停止钻进作业, 更不应退钻洗孔, 打钻人员应撤到有自救装置的新鲜风流处, 30 min 后没有突出再恢复钻进作业^[11]。

(下转第 79 页)

6 中可以得到叶片一阶动频的差频为 5.28 Hz, 加上整频后叶片的一阶动频为 155.58 Hz, 其相对误差为 0.012%。

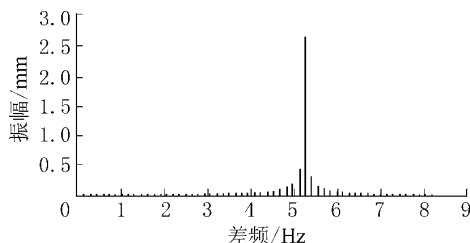


图6 2号叶片一阶动频的差频

3 结 语

采用非等间隔采样数据频谱分析的方法对轴流式通风机振动采样数据进行分析处理, 获得叶片的一阶动频。通过对某一型号通风机 1 号叶片和 2 号叶片的振动进行了仿真研究, 结果显示采用该数据分析方法所获得的一阶动频相对误差很小, 在工程范围内是完全可以接受的。该采样数据处理方法解决了数据欠采样和非均匀采样下获取叶片频率误差过大的问题, 因此利用此种方法来获得叶片的一阶

动频是可行的。

参考文献:

- [1] 韩中和, 祝晓燕, 丁常富. 汽轮机叶片动态测量技术的研究与发展 [J]. 汽轮机技术, 2002 (3): 129-131.
- [2] 陈锦明, 王仲博. 国内外汽轮机叶片振动监测技术发展综述 [J]. 热力发电, 1997 (3): 53-57.
- [3] 萨勃洛斯基 И. Е. 涡轮机叶片振动的非接触测量 [M]. 吴士祥, 郑叔琛, 译. 北京: 国防工业出版社, 1986: 33-55.
- [4] 滕丽娜. 汽轮机叶片动频的转子调频的非接触式测量方法 [J]. 振动与冲击, 2001 (1): 52-54.
- [5] 沈兰荪. 高速数据采集系统的原理与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1995: 161-169.
- [6] 徐 昶, 安连锁, 谭 蓬, 等. 汽轮机叶片动频的非接触式测量 [J]. 汽轮机技术, 2006 (1): 44-46.
- [7] 刘尚明, 孟繁娟, 何光新. 对叶片动频系数经验公式的评价 [J]. 汽轮机技术, 2001 (1): 15-16.
- [8] 胡广书. 数字信号处理: 理论算法与实现 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2004: 93-149.
- [9] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 180-214.
- [10] 阮奇桢. 我和 LabVIEW: 一个 NI 工程师的十年编程经验 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 210-216.

(上接第 47 页)

6) 在突出工作面复杂构造区域中打深钻孔时要防止和减少卡钻、喷孔、堵孔和垮孔等动力现象的产生, 即使发生这些动力现象, 也应能有效地控制和减少这些动力现象对钻孔施工过程的影响, 逐段卸压打钻施工技术能很好地解决该问题^[11]。

7) 对防突人员进行培训与教育, 建立专业防突队伍, 提高测试人员技术水平, 保证瓦斯突出预测工作高效准确及时。此外, 研制短程遥控钻机及避灾硐室也是一项重要措施。

工作面钻孔能有效排放工作面煤体中的瓦斯和降低瓦斯压力, 增大工作面卸压区长度, 增大工作面防突屏障, 但在工作面打密集钻孔会破坏煤岩体原有结构, 降低煤岩体原有的硬度和强度, 降低工作面防突屏障的强度, 同时在打钻孔过程会产生扰动, 增大突出的危险性, 所以在工作面打钻孔具有防突和诱导突出双重作用, 即工作面打钻孔过程是降低瓦斯压力、增大卸压区长度和破坏煤体结构、扰动诱导突出的动态耦合过程。在工作面打防突和抽放钻孔时, 施工过程中要注意钻孔直径、钻进压力、钻进速度、钻进方式, 并采取相应防护措施。

参考文献:

- [1] 赵 斌. 关于打钻诱导突出及其预防措施的探讨 [J]. 煤矿安全, 1993, 33 (5): 37-41.
- [2] 俞启香. 矿井瓦斯防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [3] 何学秋. 含瓦斯煤岩流变动力学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [4] 蒋承林. 延时突出的机理与模拟试验 [J]. 煤炭学报, 1999, 24 (1): 373-378.
- [5] 叶 青, 林柏泉. 石门揭煤过程中煤与瓦斯延时突出防治技术研究 [J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(9): 167-171.
- [6] 林柏泉, 周世宁. 煤巷卸压带及其在煤和瓦斯突出危险性预测中的应用 [J]. 中国矿业大学学报, 1993, 22 (4): 44-52.
- [7] 张建国, 林柏泉, 叶 青. 工作面卸压区浅孔瓦斯抽放技术研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(4): 432-436.
- [8] 贾真真, 林柏泉, 叶 青. 石门揭煤煤与瓦斯延时突出过程及其动力源分析 [J]. 中国矿业, 2009, 18(1): 101-103.
- [9] 易丽军. 突出煤层密集钻孔瓦斯预抽实验室与数值试验研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
- [10] 廉有轩, 牛雅莉, 彭立世. 软煤层瓦斯抽放打钻技术研究 [J]. 北京工业职业技术学院学报, 2004, 3 (3): 29-31.
- [11] 李国旗, 叶 青. 逐段卸压打钻施工技术研究 [J]. 中州煤炭, 2009 (12): 1-4.