

水力冲孔消突措施试验研究

刘英振, 魏建平, 刘彦伟

(河南理工大学 瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室, 河南 焦作 454000)

摘要: 针对淮南矿区埋深大、透气性低及高地应力的煤层赋存状态, 为了解决石门揭煤过程中的煤与瓦斯突出问题, 在谢桥等 5 个矿试验了水力冲孔技术, 通过排出部分煤体和瓦斯, 对煤体增透卸压, 从而实现快速、安全的揭煤。研制了水力冲孔专用 PZCK-C-* 系列喷头, 优化了水力冲孔工艺和技术参数, 模拟对比了冲孔前后钻孔周围的应力变化。试验结果表明, 在钻孔冲出煤量达到 1.0~2.5 t/m 时, 其冲孔影响半径可以达到 5.5~9.0 m, 煤层透气性系数增大了 70%~370%, 实施水力冲孔后, 冲孔控制区域的煤体得到卸压, 透气性增大, 突出潜能和瓦斯热力学能得到释放, 快速消除了石门揭煤工作面的突出危险性。

关键词: 水力冲孔; 石门揭煤; 快速消突; 卸压增透; 消突效果; 冲孔工艺

中图分类号: TD713.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2011)03-0067-04

Experiment Study on Outburst Control Measures with Hydraulic Borehole Flushing

LIU Ying-zhen, WEI Jian-ping, LIU Yan-wei

(Key Lab of Gas Geology and Gas Control, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: According to the seam deposit conditions of the deep depth, low permeability and high ground stress in Huainan Mining Area, in order to solve the coal and gas outburst problems occurred during the cross-cut seam opening process, the hydraulic borehole flushing technology was tested in Xieqiao Mine and other five mines. With partial coal and gas released, the penetration improvement and the pressure releasing of the seam could have a rapid and safety seam opening. A special PZCK-C-* series nozzle was researched and developed for the hydraulic borehole flushing. The hydraulic borehole flushing technique and technical parameters was optimized. A simulation comparison was conducted on the stress variations of the borehole surroundings before and after the borehole flushing. The experiment results showed that when coal quantity from the borehole flushing reached at 1.0~2.5 t/m, the influence radius of the borehole flushing could be 5.5~9.0 m and the permeability coefficient of the seam would be increased by 70% to 370%. After the hydraulic borehole flushing conducted, the seam in the borehole flushing control zone would have a pressure releasing and a permeability increased. Thus the outburst potential energy and gas intrinsic energy would be released and the outburst danger of the cross-cut seam opening face would be eliminated.

Key words: hydraulic borehole flushing; seam opening of crosscut; rapid outburst control; pressure releasing and improved penetration; outburst control effect; borehole flushing technique

我国是世界上煤与瓦斯突出最严重的国家, 主要原因是地质构造复杂、开采深度大和瓦斯压力(含量)高, 煤层透气性低, 煤层瓦斯抽采困难。特别是高地应力的参与, 不仅使煤与瓦斯突出危险更加严重, 而且使煤与瓦斯突出的治理也更加困难。2008 年, 全国 12 722 座煤矿中有 754 座为突

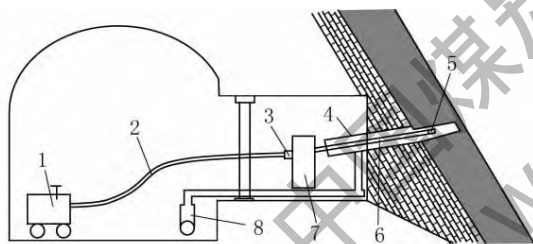
出矿井, 占 5.9%, 其中 885 座国有重点煤矿中有煤与瓦斯突出矿井 176 座, 占 19.9%^[1]。2009 年全国煤矿仍发生死亡 3 人以上的煤与瓦斯突出事故 19 起, 共死亡 226 人^[2]。高地应力和低煤层透气性, 使一般的抽放措施无法达到理想的消突效果。淮南矿区多数矿井的开采深度基本都进入 600 m 以深, 甚至达到 800~1 000 m 深, 新建矿井, 大部分矿井也属于深部矿井。煤层埋深的增加使矿井地应力和瓦斯压力增大、瓦斯含量增高, 透气性更低。淮南矿区 13 对生产矿井有 11 对为煤与瓦斯突出矿井, 2 对为高瓦斯矿井。自开采以来, 矿区共

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2005BC221501); “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAK03B01); 教育部“瓦斯预测与治理”创新团队发展计划资助项目(IRT0618)

发生煤与瓦斯突出 145 次, 1998 年以来, 共发生煤与瓦斯突出事故 28 起, 死亡 41 人, 煤与瓦斯突出一直为主要安全隐患。水力冲孔消突措施最先由煤炭科学研究总院重庆研究院与南桐矿务局合作于 1965 年在南桐鱼田堡矿首次试验成功, 之后又在梅田、涟邵、六枝、北票、焦作等局应用^[3-4]。但由于冲孔技术参数和评价指标体系不完善, 冲出的煤量和瓦斯较少, 且均匀性不好, 在揭煤过程中发生过 3 次煤与瓦斯突出的现象, 以前的水力冲孔措施主要用于石门揭煤的消突。

1 水力冲孔系统

水力冲孔系统由乳化液泵站、高压胶管、防瓦斯超限装置、喷头和沉淀池等组成, 如图 1 所示。根据实验室和淮南矿区现场试验, 乳化液泵的泵压为 31.5 MPa, 额定流量 125 ~ 200 L/min。高压胶管直径 25 ~ 32 mm、耐压 32 MPa。如图 2 所示。研制了 PZCK-C-* 系列水力冲孔专用喷头, 可针对不同煤层, 建立不同的水压。



1—乳化液泵; 2—高压水管; 3—高压水尾; 4—封孔管;
5—冲孔喷头; 6—冲孔钻杆; 7—钻机; 8—煤水输送系统

图 1 水力冲孔系统布置示意



图 2 PZCK-C-* 系列水力冲孔专用喷头实物示意

如图 1 所示, 水力冲孔卸压增透措施是在岩柱的掩护下, 施工钻孔后, 采用中高压水通过高效喷头冲击、破坏钻孔周围的煤体, 冲出大量煤体和瓦斯, 应力集中带向冲孔周围移动, 使冲孔附近煤体卸压增透, 有效地提高了抽放效果, 消除了煤与瓦斯突出的危险。

2 水力冲孔工艺与技术参数

1) 水力冲孔工艺优化。关于水力冲孔施工工艺过程存在 2 个争议。一是采用水力冲孔措施时, 是否转动, 根据高压水射流动量定理分析破煤效果, 水射流作用在煤体表面上的总作用力 F 为^[5]

$$F = \rho q v (1 - \cos \varphi) \quad (1)$$

式中: ρ 为水的密度, kg/m^3 ; q 为水射流流量, m^3/s ; v 为水射流流速, m/s ; φ 为冲击煤体表面后水射流离开煤体表面与轴线的夹角, ($^\circ$)。

由式 (1) 和图 3a 可知, 当射流作用力 F 的大小为初始动量, 若 φ 不变, 射流的作用力 F 也保持不变。所以, 水射流只有与煤体表面垂直, 其总作用力才能达到最大。因此射流与作用面垂直时所产生的冲击力最大, 即转动钻杆, 保持喷嘴与作用面垂直, 冲孔效果更佳。

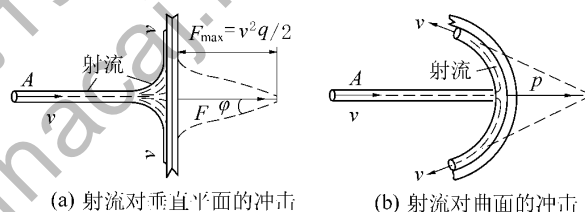


图 3 射流对垂直平面和曲面的冲击示意

另外一个争议是先打钻穿透煤层再进行水力冲孔, 还是边打钻边冲孔, 2 种工艺效果由射流理论分析。射流冲击力 p 为

$$p = 4\gamma A \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

式中: γ 为水射流重率, 取 $1000 \text{ N}/\text{m}^3$; A 为水射流断面面积, m^2 ; g 为重力加速度, 取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

由式 (2) 和图 3b 可知, 射流对曲面的冲击力比对平面的冲击力要大, 当曲面出口与入口方向正相反时, 其冲击力比平面冲击力要增加一倍。因此, 先打钻孔, 冲孔效果较好。

经理论分析和现场试验, 确定水力冲孔工艺过程为装备选型→水力冲孔系统安装→泵压调定→设计冲孔布置方式→施工钻孔→水力冲孔→冲出煤量、瓦斯量计量→冲孔效果评价。

2) 水力冲孔技术参数。水力冲孔效果与冲孔的水压、流量、冲孔时间、钻孔倾角和钻孔深度等技术参数有关, 根据现场试验和理论分析, 关键参数为水力冲孔的水压。

谢桥矿和潘二矿水力冲孔水压与出煤量的关系如图4所示。由图4可知,出煤量与压力不是正相关,离散程度较高,甚至有减小的趋势,说明在水射流打击力能满足煤体破碎功的情况下,水压越高,喷嘴孔径越小,靶距就越近,破坏煤体的范围就越小。另外,列宁格勒矿业学院对射流直径 $d_0=3.0\sim 3.3\text{ mm}$ 射流所进行的试验表明,小直径射流最大冲击力发生在离出口(400~500) d_0 的断面上,在最大冲击力断面以后,冲击力将随离喷嘴出口的距离增加而减小。

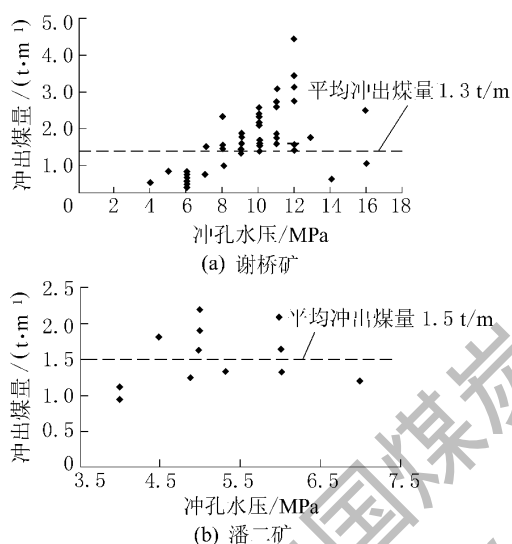


图4 冲孔水压与出煤量的关系

因此,只有在某一段距离内射流才能够破碎煤层,在这一段距离内射流的落煤效率高,超过这一段距离后,落煤效率就很低。小直径射流水压在大于破煤所需压力(有效压力)的前提下,压力越小越好。谢桥矿压力破煤临界压力为6~8 MPa,破煤有效压力为9~12 MPa;潘二矿破煤临界压力为4.0~4.5 MPa,有效压力为4.5~8.0 MPa。冲孔时,水压是影响冲孔质量的主要因素,其次冲孔时间,钻孔倾角对冲孔效果亦有一定的影响,一般冲孔时间越长出煤量越大;钻孔倾角为负角度时,由于破碎的煤不能完全被带出,钻孔内的剩余煤粉会起到煤垫作用,而影响破煤速度和破煤的范围。

3 水力冲孔效果考察

3.1 卸压效果分析

从2008年5月开始,在潘一矿、潘二矿、潘三矿、谢桥矿和顾北矿等5个试验点开展了多次水

力冲孔试验。冲出煤量大多在1.0~2.5 t/m,最大达到4.3 t/m,吨煤瓦斯涌出量达原煤瓦斯含量数倍,甚至数十倍,经理论计算,相当于形成了直径为0.364~1.350 m的孔洞,但采掘时,一般看不到孔洞存在。潘一矿东二轨道下山冲出煤量0.45 t,密度在1.4 t/m³,煤孔长3.2 m,孔径为94 mm,按此计算,相当于通过水力冲孔把孔径为94 mm孔扩至364 mm的孔洞。冲孔前后瓦斯浓度变化如图5所示。

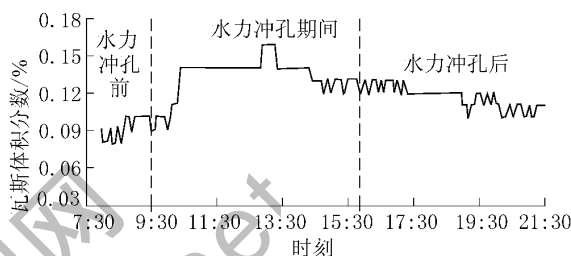


图5 潘一矿东二轨道下水力冲孔期间瓦斯浓度变化曲线

潘二矿西四采区B4-6轨道上山采取水力冲孔后,整个抽放系统抽放瓦斯体积分数为10.0%~33.4%,平均瓦斯体积分数为17.23%,其中水力冲孔钻孔在水力冲孔完成后的单孔抽采瓦斯体积分数为40.6%~70.8%,平均抽放瓦斯体积分数为55.7%,抽放瓦斯纯量0.47~2.18 m³/min,平均为1.28 m³/min。而西四采区4号煤措施巷的抽采瓦斯体积分数为6.4%,抽采纯量为0.45 m³/min,水力冲孔后的抽采浓度和抽放瓦斯纯流量分别为没有采取措施的2.70和2.84倍,如图6和图7所示。冲孔后瓦斯浓度和抽放瓦斯纯量的衰减系数明显减小,分别为没有采取冲孔措施的1/4和1/3。

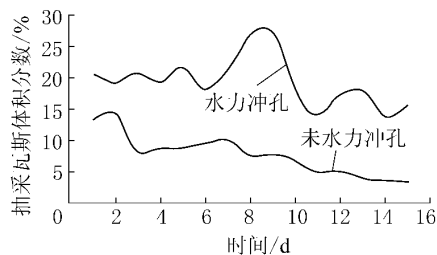


图6 西四采区4号煤措施巷冲孔前后瓦斯抽采浓度变化

3.2 增透效果分析

1) 冲孔前后钻孔瓦斯流量衰减系数的变化。采取水力冲孔措施后,钻孔周围煤体向孔道方向发生大幅度的移动造成煤体的膨胀变形和顶底板间的相向位移,引起在孔道影响范围内地应力降低,煤

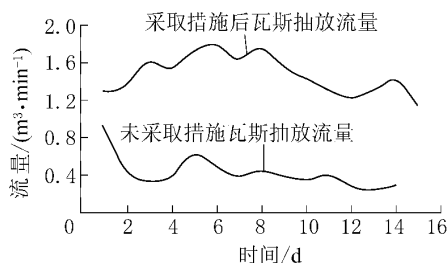


图7 西四采区4号煤措施巷瓦斯抽采流量与抽放时间变化关系

层得到充分卸压, 裂隙增加, 使煤层透气性大幅度增高, 瓦斯流动场扩大, 不但瓦斯排放总量增加, 而且瓦斯流量衰减速度也明显降低。

如图8所示, 潘二矿11224底抽巷与水力冲孔不同距离的考察孔不仅初始瓦斯量差别大, 而且距离水力冲孔位置越近的钻孔瓦斯流量衰减越慢。通过拟合瓦斯流量与时间的关系, 未受水力冲孔影响的钻孔(即距水力冲孔7.5 m处的钻孔), 瓦斯流量衰减系数为 0.1348 d^{-1} , 而受水力冲孔影响的钻孔瓦斯流量衰减系数分别为 0.0381 和 0.0216 d^{-1} , 即水力冲孔措施有效影响范围内的钻孔瓦斯流量衰减系数降低了354%和624%。

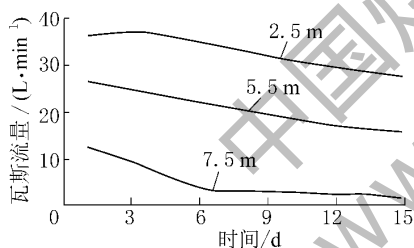


图8 潘二矿11224底抽巷水力冲孔后钻孔瓦斯流量衰减趋势

2) 冲孔前后透气性系数的变化。水力冲孔后对距水力冲孔不同影响范围的煤层透气性进行了考察, 以反映水力冲孔措施对煤层的增透效果和增透范围。通过对距水力冲孔不同距离的钻孔的煤层瓦斯透气性系数的测定, 发现距水力冲孔7.5 m处的煤层透气性系数为 $0.66 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$, 而距水力冲孔2.5和5.5 m处的煤层透气性系数高达 3.079 和 $1.099 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$, 是未受水力冲孔影响透气性系数的4.7和1.7倍, 即增大到原来的170%~470%。

3) 冲孔前后钻孔周围应力变化。通过软件模拟潘一矿轨道下水力冲孔前后应力及应变的变化

情况, 结果显示孔径94 mm, 钻孔冲出煤量450 kg, 应力位移3.46 m, 与实际测试冲孔影响半径3.5 m吻合; 谢桥矿1161(3)底抽巷水力冲孔, 孔径94 mm, 冲出煤量 7.5 m^3 , 模拟结果显示, 应力带位移8.91 m, 符合现场实测水力冲孔半径9 m。经过水力冲孔, 大量煤体和瓦斯冲出, 煤体强度变小, 钻孔周围的应力也发生了明显的变化, 冲孔后应力带向钻孔周围和深部移动, 同时随应变范围的增大, 卸压带范围也扩大, 从原来的应力集中带解放出来, 消除了工作面的突出危险。

3.3 消突有效性

淮南矿区3个严重突出煤层和2个一般突出煤层实施水力冲孔后, 石门揭煤和煤巷掘进过程中, 均未出现瓦斯动力和预测指标超标现象, 揭煤时间缩短1个多月, 配合钻孔瓦斯抽放实现了安全、快速消突, 取得较好的效果, 此外, 水力冲孔技术不仅适用于严重突出煤层, 也适用于一般突出煤层。

4 结 论

1) 研制了PZCK-C-*系列喷头, 实现了通过喷头建立不同水压, 以此适应不同煤层所需的不同冲孔压力。

2) 优化了水力冲孔工艺和技术参数。根据现场试验和理论分析, 关键参数为水力冲孔的水压, 由水射流打击力理论分析得知, 水射流垂直煤壁时, 打击力最大; 对曲面的打击力比对平面打击力大。以该理论为指导, 水力冲孔工艺应为先打钻, 钻孔穿过煤层后冲孔, 冲孔时需缓慢转动钻杆。

3) 现场试验考察了水力冲孔的卸压增透效果和消突的有效性。冲出煤量大多在 $1.0 \sim 2.5 \text{ t/m}$, 最大达到 4.3 t/m , 卸压效果明显, 水力冲孔措施有效影响范围内的钻孔瓦斯流量衰减系数降低了354%和624%。

4) 淮南矿区5个矿的水力冲孔技术试验结果表明, 水力冲孔能实现安全、快速消突, 适用于所有消突煤层。

参考文献:

- [1] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定读本 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 3-4.

(下转第86页)

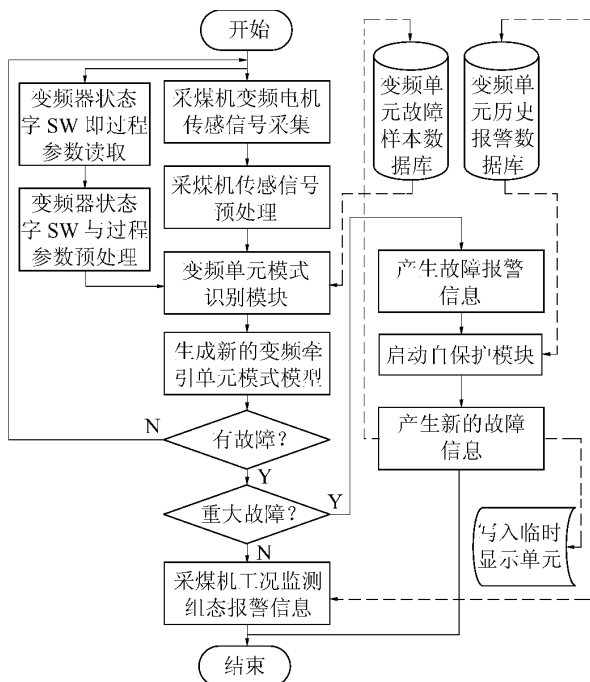


图3 电牵引采煤机变频牵引单元故障诊断模型



图4 变频器主板试验台及系统监控主界面

验和现场试验验证,其提高了变频单元控制系统的精度、实时性、通用性和可扩展性。同时,在全参数化监控模式的框架之下,改进了变频单元故障诊断方法,提高了采煤机变频单元相关故障诊断的可靠性。

参考文献:

[1] 国家发展和改革委员会. 煤矿工业发展“十一五”规划 [R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2007.
 [2] 张全有, 薛萍. 国内外电牵引采煤机技术发展状况及应用展望 [J]. 煤矿开采, 2002, 7 (4): 5-7.

[3] 许立华, 孙晓全. 国内外采煤机远程通讯和集中控制技术的现状分析 [J]. 煤炭技术, 2005, 24 (5): 29-30.
 [4] 韦洪喜, 钟玉利. 国内外采煤机工况检测、故障诊断技术现状 [J]. 煤炭技术, 2005, 25 (5): 3-5.
 [5] CHEN H. Switched Reluctance Motors Drive for the Electrical Traction in Shearer [C]. Shanghai: CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2006: 1-4.
 [6] 张寒松, 贾瑞清. 采煤机的故障分析与诊断及其发展趋势 [J]. 矿冶, 2004, 13 (2): 85-88.
 [7] Anon. Training Material of 2nd Siemens Automation & Drives Summer School at University of Applied Sciences [M]. Esslingen FHTE [s. n.], 2005.
 [8] ABB 电气传动系统有限公司. 用 Profibus - DP 现场总线控制 ACS800 变频器的方法 [K]. 美国: ABB 电气传动系统有限公司, 2008.
 [9] ABB 电气传动系统有限公司. Profibus 适配器模块 NPBA12 [K]. 美国: ABB 电气传动系统有限公司, 2007.
 [10] XU Zhi-peng, WANG Zhong-bin. Research on the Technology of Shearer 3DVR Remote Monitoring Based on Multi-sensor Fusion [C]. Nanjing: IEEE, 2009: 1411-1413.

作者简介: 刘军 (1985—), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事煤矿自动化方面研究. Tel: 13685111939, E-mail: liujun04@163.com

收稿日期: 2010-11-29; 责任编辑: 赵瑞

(上接第70页)

[2] 李建铭. 煤与瓦斯突出防治技术手册 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
 [3] 中国矿业学院瓦斯组. 煤和瓦斯突出的防治 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1979.
 [4] 周士昌. 水力采煤的水力学理论: 射流与两相流 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1960.
 [5] CAIYApuke. 水力落煤设计指南 [M]. 唐山: 唐山煤炭研究所, 1958.
 [6] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
 [7] 于不凡, 王佑安. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
 [8] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.

作者简介: 刘英振 (1984—), 男, 河南郑州人, 硕士研究生, 主要从事矿井瓦斯灾害防治方面的研究. Tel: 13723181712, E-mail: lyz840614@163.com

收稿日期: 2010-10-25; 责任编辑: 代艳玲