

突出煤层穿层钻孔孔群增透技术及应用

周红星 程远平 刘洪永 郭品坤 王立国

(中国矿业大学 煤矿瓦斯治理国家工程研究中心,江苏 徐州 221008)

摘 要:研究了穿层钻孔孔群增透的作用原理,阐述了突出煤层穿层钻孔孔群增透技术及工艺。研究表明,在突出煤层采取穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术,利用煤体的“自突”特性排出煤体,孔群范围剩余煤体卸压、膨胀变形、裂隙系统扩展、贯通,透气性平均提高150倍,单孔平均瓦斯流量提高4倍,显著提高瓦斯抽采效率。

关键词:突出煤层;穿层钻孔;孔群;增透

中图分类号:TD713.32 **文献标志码:**A

Permeability improvement technology of array crossing boreholes and its application in outburst coal seam

ZHOU Hong-xing, CHENG Yuan-ping, LIU Hong-yong, GUO Pin-kun, WANG Li-guo

(National Engineering Research Center for Coal & Gas Control, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: A new permeability improvement technology of array crossing boreholes was described and studied in detail, and the permeability improvement mechanism was put forward and analyzed. The in-situ experimental results show that the technology can eject coal from outburst seam, lead the remainder ones to loose pressure and extend fracture, and improve the coal permeability by an average of 150 times and the borehole flow by an average of 4 times.

Key words: outburst coal seam; crossing borehole; array boreholes; permeability improvement

预抽煤层瓦斯是重要的区域性防治瓦斯突出措施,但我国95%以上的高瓦斯和突出矿井开采的煤层透气性系数为 $0.04 \sim 0.004 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,远小于 $0.1 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,瓦斯抽采困难,必须采取相应的技术手段提高煤层的透气性^[1]。为了提高低渗透性煤层的瓦斯抽采效果,国内外学者研发了一系列改造煤储层性质、提高煤层瓦斯渗透性、增强预抽煤层瓦斯效果的技术。主要包括:水力压裂技术、深孔松动爆破技术、水力冲孔技术、水力割缝技术等^[2-11],都取得了一定的增透增流效果。但有些层内卸压增透技术并未得到广泛的应用,原因归纳为以下几点:①某些层内增透增流技术为局部增透措施,直接面对突出煤层,安全性得不到保障。②增透工艺繁琐,受现场条件限制大。③增透技术本身不完善,增透效果差。④煤层赋存条件复杂,一些增透技术自身

的适应性差,如地面钻井压裂技术由于煤层构造复杂,压裂方向通常不易控制,以及压裂液进入煤体后不易排出等原因,很难较大范围提高煤层的透气性^[12];将水力压裂引至井下,压裂水压大,安全性差。因此,迫切需要研究新的增透技术措施,在保障安全的前提下提高煤体的透气性,提高瓦斯抽采效果。

中国矿业大学和淮北矿业集团合作,在淮北祁南矿713工作面开展了网格式穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术的研究,钻孔间距5 m(以煤层顶板为准),在钻孔施工过程中采用水压诱导控制喷孔,排出煤体,促使孔群范围煤体层内卸压,提高煤体的透气性^[13]。

1 试验工作面情况

穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术是建立在底板

岩巷网格格式上向穿层钻孔布置基础上的。祁南煤矿 7 煤层(7₁、7₂ 两分层)为煤与瓦斯突出煤层,试验面 713 工作面标高为 -503 ~ -550 m,走向长 754 m,倾向长 140 m,工作面煤层平均厚度 3.5 m,平均倾角 5°,预测瓦斯压力为 2.42 MPa,瓦斯含量 10.39 m³/t,工作面具有突出危险性。采用底板岩巷上向网格格式穿层钻孔(穿层孔群)抽采瓦斯方法,掩护工作面机巷的掘进,如图 1 所示。

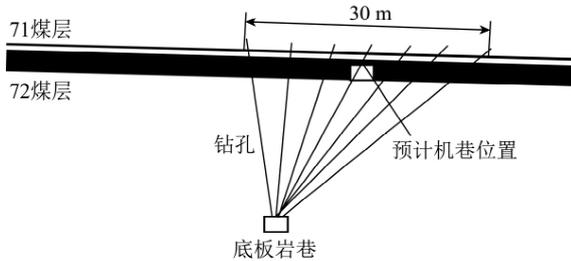


图 1 穿层钻孔布置剖面

Fig. 1 Profile map of crossing boreholes of 713 working face

在距煤层工作面底板 25 m 层位施工底板岩巷,巷道断面为 10.5 m² (3.0 m × 3.5 m);在巷道内施工抽采钻场,钻场间距 25 m,钻场断面为 12.25 m² (3.5 m × 3.5 m)、长为 4 m,满足大功率钻机施工的需要;在钻场内施工穿层钻孔,钻孔直径为 94 mm,间距 5 m(以 7₂ 煤层顶板层面为准);每个钻场施工 5 排、每排布置 7 个,共 35 个钻孔;每排钻孔扇形布置,控制的煤巷条带宽度达 35 m,满足《防治煤与瓦斯突出规定》的要求。

2 穿层钻孔孔群增透技术

穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术^[14]是在保障安全的前提下,优化钻孔施工顺序;在钻孔施工过程中采用高压水力诱导喷孔,排出煤体,在孔群范围内形成若干个喷孔孔洞;孔群范围内煤体内卸压,提高煤体的透气性,增强瓦斯抽采的效果。

2.1 安全保障

突出煤层的钻孔施工易发生钻孔突出(喷孔),因此对突出煤层所有的活动都应在保障安全的前提下进行。穿层钻孔在煤层底板岩巷内施工,底板岩巷布置在距离煤层底板 25 m、赋存稳定的岩层中。理论和实践表明 20 m 以上的岩柱足以抵御钻孔突出的能量,保障穿层钻孔施工的安全。另外,喷孔可能导致作业地点瓦斯超限、甚至瓦斯煤流伤人等意外情况,对此可在孔口安装“导喷系统”来控制,如图 2 所示。

“导喷系统”主要由孔口四通(直径 108 mm 的钢管加工而成)、分离硐室及相关连接管路组成。孔口四通前端(长 1 m 左右)采用水泥固定在钻孔内,后



图 2 钻孔现场施工图

Fig. 2 Scene of borehole drilling

部连接钻杆,左侧的胶管为抽瓦斯分支、连接抽采瓦斯管路,右侧的胶管为排煤和瓦斯分支、连接分离硐室。打钻喷孔时,喷出的瓦斯刚至孔口,就有部分被左侧的抽采管路抽走,剩余瓦斯和煤以及水进入右侧管路,最终进入分离硐室,实现煤、瓦斯和水的分离。整个过程煤、瓦斯都在相对封闭的系统中运行,安全可靠。

2.2 孔群钻孔施工顺序

穿层钻孔孔群增透是利用煤层的“自突”特性,排出煤体,达到增加透气性的目的。从 713 工作面穿层钻孔施工的考察结果看,每个钻场施工 35 个钻孔,喷孔个数通常 3 ~ 5 个。这是因为率先喷孔的钻孔,其周围的煤体“自突”的能量得以部分释放,在其周围钻孔发生喷孔的概率降低。因此,在穿层钻孔过程中,应根据实际喷孔情况,综合分析确定合理钻孔施工顺序,即在已有钻孔布置方案基础上,先施工距离已喷孔钻孔最远的钻孔,然后逐步缩小与喷孔钻孔的间距,直至孔群钻孔施工完毕。这样的钻孔施工顺序,有利于创造喷孔条件,尽可能多排出煤体,以提高孔群范围煤体的透气性。

2.3 诱导喷孔施工工艺

钻孔周围煤体内存在着阻碍钻孔突发动的煤体,突出的发动依赖于这个极限平衡区煤体的失稳^[15]。钻孔施工过程中,高压水的冲击可诱导极限平衡区煤体失稳,甚至直接剥离掉破裂区煤体,使煤壁内部富含高压瓦斯的煤体暴露出来,高压瓦斯破坏、抛出煤体,达到喷孔发动的条件。因此,钻孔施工过程中的高压水冲击是钻孔突发动的重要因素。现场施工的实践表明,压力 10 MPa、流量 20 ~ 30 m³/h 的压力水可以满足诱导喷孔的要求。

诱导喷孔施工的工艺流程如下:① 固定孔口四通。孔口四通的前端固定在钻孔内部,为此首先施工直径 130 mm、长 1.5 m 的钻孔,放入孔口四通并用速凝水泥塞实四通与钻孔的间隙。② 岩孔施工。水泥凝固后,施工钻孔的岩石段,本段静压水正常施工。

③ 煤孔施工。钻进进入煤层底板停钻, 连接四通的抽瓦斯分支至抽采管路、排煤和瓦斯分支至分离硐室, 开启高压水泵, 施工煤层段钻孔, 并在施工过程中记录瓦斯抽采情况。④ 煤和瓦斯量统计。钻孔施工完毕, 计量喷出的瓦斯量和煤量, 初步判断增透效果。⑤ 封孔抽采瓦斯。封闭钻孔, 抽采瓦斯, 考察抽采效果。

2.4 孔群增透作用机理

在底板巷道网格格式上向穿层钻孔施工过程中, 采用高压水诱导钻孔喷孔, 在孔群范围内形成若干个喷孔孔洞; 孔群范围煤体应力重新分布, 并在集中应力的作用下破坏, 集中应力转移到孔群范围以外的煤体中; 孔群范围煤体裂隙萌生、扩展、贯通, 并且煤体向邻近的喷孔孔洞流变、膨胀、变形, 孔隙裂隙系统膨胀扩容, 裂隙张开, 孔群范围煤体的透气性增加。

孔群增透效果均匀性相对较差, 通常是靠近喷孔孔洞的增透效果好, 远离喷孔孔洞的增透效果相对较差。但孔群内未喷孔的钻孔均位于远离喷孔孔洞、增透效果相对较差的位置, 通过这些钻孔的强化抽采, 可加速降低这部分煤体瓦斯含量, 减轻潜在的增透程度不均匀带来的抽采不均匀的影响, 再保障一定的预抽时间, 即可实现孔群范围煤体的区域性消突。可见, 穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术是建立在原钻孔布置基础之上的, 虽不能减少瓦斯治理的钻孔工程量, 但可显著提高抽采效率, 缩短瓦斯预抽时间。

3 孔群增透技术的现场应用

3.1 穿层钻孔施工

713 工作面穿层钻孔施工采用的是静压水, 施工地点距离地面 580 m, 考虑沿程损失, 实际钻进水压 5 MPa 左右。从实际施工情况看, 喷孔是不均匀的, 钻场内最先施工的钻孔喷孔概率为 100%, 且喷煤量大, 最大单孔喷煤量 3.0 m^3 ; 每个钻场喷孔个数 3~5 个。表 1 为 1~7 钻场内钻孔施工及喷孔喷出煤量统计结果。

每个钻场施工 35 个钻孔, 钻场的钻孔总长度为 1 312~1 365 m, 其中煤孔长度 128~140 m; 各钻场都有喷孔现象, 喷煤量为 $5.22 \sim 10.45 \text{ m}^3$, 考虑到 1.3 岩石碎胀系数, 反算出各钻场煤层段的钻孔等效直径为 198.36~283.10 mm, 煤层段钻孔直径为原穿层钻孔直径的 2.11~3.01 倍; 最大单孔喷煤量为 3.0 m^3 , 煤孔长度按煤层厚度 3.5 m, 换算成等效直径为 0.84 m, 即最大的喷孔孔洞直径可达 0.84 m。

3.2 孔群增透的效果评价

孔群范围内的煤体膨胀变形, 并最终充满喷孔空

间, 煤体的渗透性增加。通过建立煤体的膨胀变形与煤层渗透性的对应关系, 可获得孔群控制范围内煤体透气性的分布规律^[14]。如图 3 所示, 每个钻场穿层钻孔的控制范围是相同的, 因此喷出煤体越多的钻场, 剩余煤体的膨胀变形率越大, 增透的程度也越大: 4 号钻场喷煤量达 10.45 m^3 , 钻场孔群控制范围内煤体的平均透气性可增加 292.7 倍; 2 号钻场喷煤量仅 5.22 m^3 , 其平均透气性仅增大 55.6 倍; 1~7 号钻场孔群控制范围煤体透气性平均增大 152.6 倍, 即从 $0.0486 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ 增加到 $7.42 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ 。

表 1 钻孔施工喷孔情况统计

Table 1 Statistical results of boreholes blowout in different drilling fields

钻场 编号	钻孔长度/m		喷出煤体 积/ m^3	等效直 径/mm	孔径扩 大/倍
	总长度	岩石段 煤层段			
1	1 312	1 173 139	9.43	257.84	2.74
2	1 345	1 215 130	5.22	198.36	2.11
3	1 327	1 192 135	5.81	202.82	2.22
4	1 365	1 225 140	10.45	283.10	3.01
5	1 344	1 209 135	7.47	232.86	2.48
6	1 328	1 200 128	9.21	265.53	2.82
7	1 353	1 213 140	6.23	208.82	2.22

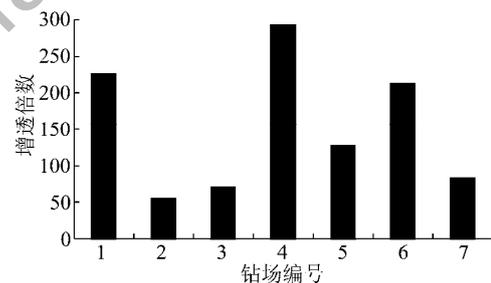


图 3 各钻场孔群控制范围煤体透气性变化

Fig. 3 Growth multiple of coal permeability in different drilling fields

3.3 瓦斯抽采效果

713 工作面底板岩巷穿层钻孔于 2006-10-01 开始合茬抽采瓦斯, 至 10 月 29 日并入 105 个瓦斯抽采钻孔; 10 月 30 日起又并入 105 个钻孔, 钻孔数达到 210 个, 抽放负压在 20~25 kPa 之间。图 4 为抽采初期瓦斯纯量随时间的变化关系。

10 月 1 日至 10 月 29 日, 瓦斯抽采纯量为 $0.15 \sim 1.74 \text{ m}^3 / \text{min}$; 10 月 30 日以后, 随着抽采钻孔数量的增加, 瓦斯抽采量随之增加到 $1.7 \sim 4.26 \text{ m}^3 / \text{min}$, 平均流量达 $2.6 \text{ m}^3 / \text{min}$, 单孔平均流量达 $0.012 \text{ m}^3 / \text{min}$ 。与此相对应, 祁南煤矿在南大巷石门揭 7 煤过程中采用穿层钻孔抽采瓦斯, 钻孔间距仅 3.0 m, 瓦斯抽采初期平均单孔流量仅为 $0.0024 \text{ m}^3 / \text{min}$, 孔群

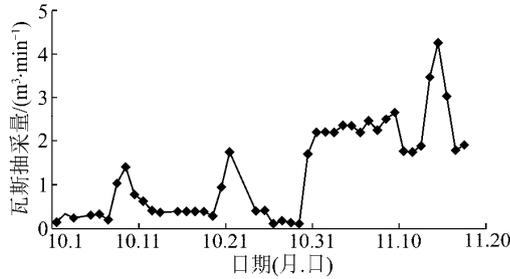


图 4 穿层钻孔抽采初期瓦斯抽放量

Fig. 4 Gas drainage quantity of crossing boreholes in initial stage

增透范围内的单孔瓦斯抽采量较原始煤体增加了 4 倍。

4 结 论

(1) 突出煤层穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术安全可靠、工艺简单、技术可行,具有良好的适应性。

(2) 突出煤层穿层钻孔孔群增透瓦斯抽采技术的应用,排出了孔群范围内的部分煤体,周围煤体卸压、膨胀、变形,孔隙-裂隙系统膨胀、扩容,可提高煤体的透气性 150 倍,单孔瓦斯抽采量较原始煤体增加 4 倍,显著提高了瓦斯抽采效率。

参考文献:

- 王兆丰. 我国煤矿瓦斯抽放存在的问题及对策探讨[J]. 焦作工学院学报(自然科学版) 2003 22(4): 241-246.
Wang Zhaofeng. Probe into the problems of methane drainage in China's coal mines and its counter measures[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology 2003 22(4): 241-246.
- 吕有厂. 水力压裂技术在高瓦斯低透气性矿井中的应用[J]. 重庆大学学报 2010 33(7): 102-107.
Lü Youchang. Application the hydraulic fracturing technology in the high pressure and low permeability mine[J]. Journal of Chongqing University 2010 33(7): 102-107.
- 刘泽功, 蔡峰, 肖应祺. 煤层深孔预裂爆破卸压增透效果数值模拟分析[J]. 安徽理工大学学报 2008 28(4): 17-20.
Liu Zegong, Cai Feng, Xiao Yingqi. Numerical simulation and analysis of effect of stress release and permeability improvement in coal seams by deep-hole[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology 2008 28(4): 17-20.
- 王兆丰, 王林, 陈向军. 深孔预裂爆破在高瓦斯特厚煤层回采中的应用[J]. 煤炭科学技术 2008 36(8): 31-34.
Wang Zhaofeng, Wang Lin, Chen Xiangjun. Application of deep borehole pre-cracking blasting to coal mining in high gassy and ultra thick seam[J]. Coal Science and Technology 2008 36(8): 31-34.
- 张春华, 刘泽功, 徐涛, 等. 石门对掘解开急倾斜煤层突出与爆破增透消突技术[J]. 煤炭学报 2010 35(1): 85-88.
Zhang Chunhua, Liu Zegong, Xu Tao et al. Coal and gas outburst in steep inclined coal seam uncovered by two reverse drifts and technology of outburst elimination by increasing permeability with blasting[J]. Journal of China Coal Society 2010 35(1): 85-88.
- 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.
- 李宝玉, 郭楚文, 林柏泉. 用于安全切割的磨料水射流喷嘴设计理论和方法[J]. 煤炭学报 2005 30(2): 251-254.
Li Baoyu, Guo Chuwen, Lin Baiquan. Theory and method of designing abrasive water-jet nozzle in safety cutting[J]. Journal of China Coal Society 2005 30(2): 251-254.
- 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.
- 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.
- 刘明举, 孔留安, 郝富昌, 等. 水力冲孔技术在严重突出煤层中的应用[J]. 煤炭学报 2005 30(4): 451-454.
Liu Mingju, Kong Liuan, Hao Fuchang et al. Application of hydraulic flushing technology in severe outburst coal[J]. Journal of China Coal Society 2005 30(4): 451-454.
- 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.
- 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.
- 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.
- 周红星. 突出煤层穿层钻孔诱导喷孔孔群增透机理及其在瓦斯抽采中的应用[D]. 徐州: 中国矿业大学 2009.
Zhou Hongxing. Permeability-increasing theory of array crossing boreholes using blowout-inducing and its application on gas drainage in outburst coal seams[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology 2009.
- 胡千庭, 周世宁, 周心权. 煤与瓦斯突出过程的力学作用机理[J]. 煤炭学报 2008 33(12): 1368-1372.
Hu Qianting, Zhou Shining, Zhou Xinquan. Mechanical mechanism of coal and gas outburst process[J]. Journal of China Coal Society, 2008 33(12): 1368-1372.