

低透气性煤层群井下增透技术

崔 刚^{1 2 3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院) 北京 100013;
3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心 北京 100013)

摘 要: 针对松藻矿区可采煤层透气性差、难于抽采问题,根据矿区煤层赋存特点,试验研究了水力压裂增透技术,形成了保护层开采卸压增透技术和高压水力压裂增透技术相结合的有效增透技术方法。矿区采取保护层开采卸压增透后,使被保护层渗透率增长倍数最高达 2.03×10^4 倍。采用高压水力压裂增透技术提高保护层透气性后,水力压裂增透半径可达70 m;增透后平均单孔抽采量提高3~5倍,抽采瓦斯体积分数提高3%~20%。松藻矿区采用这2项增透技术后,实现了低透气性煤层群瓦斯的顺利抽采,同时保证了矿井煤炭资源的安全开采。

关键词: 低透气性煤层群;保护层开采;水力压裂;增透;瓦斯抽采

中图分类号: TD712 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)05-0151-04

Permeability improved technology of low permeability seams group in underground mine

Cui Gang^{1 2 3}

(1. China Coal Research Institute Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization(China Coal Research Institute) Beijing 100013, China; 3. Beijing Coal Mine Safety Engineering and Technology Research Center Beijing 100013, China)

Abstract: According to a poor permeability and hard gas drainage problems of the seam in Songzao Mining Area, based on the seam deposition features of the mining area, the hydraulic fracturing and permeability improved technology was tested and studied and an effective permeability improved technical method combined with the pressure releasing and permeability improved technology of the protective seam mining and the high pressure hydraulic fracturing and permeability improved technology was formed. After the pressure released and permeability improved conducted for the protective seam mining, the permeability rate of the protective seam was increased and up to 2.03×10^4 times. After the high pressure hydraulic fracturing and permeability improved technology applied to improve the permeability of the protective seam, the hydraulic fracturing and improved permeability radius could be 70 m. After the permeability improved, the gas drainage volume of a single borehole was increased by 3~5 times in average and the gas drainage volume fraction was improved by 3%~20%. After the two permeability improved technologies applied to Songzao Mining Area, the successful gas drainage from the low permeability seams group was realized and the safety mining of the coal resources in the mine was ensured.

Key words: low permeability seams group; protective seam mining; hydraulic fracturing; permeability improvement; gas drainage

0 引 言

松藻矿区煤系地层为二叠系龙潭组,共含煤5~14层,全区可采及局部可采煤层3层,层间距2.3~15.5 m。矿区大部分煤层倾角 $3^\circ \sim 13^\circ$,部分区域倾

角 $20^\circ \sim 30^\circ$,少数区域倾角 60° 以上。矿区各开采煤层均属高变质无烟煤,煤层普氏系数0.1~0.8,且渗透率低,普遍只有 $1.4 \times 10^{-7} \sim 8.0 \times 10^{-7} \mu\text{m}^2$,属松软低透较难抽采类型煤层。煤层平均瓦斯含量 $17.1 \text{ m}^3/\text{t}$,最高 $29 \text{ m}^3/\text{t}$,矿区各煤层瓦斯压力变化幅度

收稿日期:2016-02-16;责任编辑:王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.05.029

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05065-001,2011ZX05041-003-02)

作者简介:崔 刚(1971—)男,河北沧州人,副教授,博士。Tel:010-84262518, E-mail: mkzycg@126.com

引用格式:崔 刚.低透气性煤层群井下增透技术[J].煤炭科学技术,2016,44(5):151-154.

Cui Gang. Permeability improved technology of low permeability seams group in underground mine [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 151-154.

较大,变化范围为1.5~6.5 MPa,煤层多为IV—V类构造煤,矿区可采煤层均有煤与瓦斯突出危险性。

松藻矿区松软、低渗、薄及中厚煤层群的赋存条件以及高山、低谷的地表特征决定了采取井下煤层气开发的技术路线^[1-5]。针对可采煤层透气性差、难于抽采,“采、掘、抽”接替紧张问题,松藻矿区先后试验了深孔预裂爆破和水力冲孔等增透技术增加保护层透气性,具有一定的增透效果,但均存在着局限性。深孔预裂爆破技术存在增透范围小、“哑炮”处理困难、安全性差、炸药管制严格等局限。水力冲孔技术存在瓦斯易超限、喷孔严重、冲出煤量难以控制等不足^[6-12]。随着水力压裂增透技术和装备的不断完善,笔者在松藻矿区试验研究了水力压裂增透技术,通过现场试验,取得了很好的增透效果。结合保护层开采卸压增透技术增加邻近被保护层的透气性,松藻矿区实现了低透气性煤层群煤层气的顺利抽采。

1 井下增透技术

松藻矿区全区稳定可采煤层仅1层,厚度1.5~3.2 m,具有较强突出危险性;局部可采煤层1~2层,煤厚0.5~1.1 m。保护层开采卸压增透被证明是有效的增透技术措施,松藻矿区根据可采煤层多的特点,利用保护层开采卸压增透技术增加邻近层透气性。

保护层的卸压增透效果与保护层和被保护层距离以及两者层位关系密切相关,两者距离近,膨胀变形大,卸压充分,增透效果好。松藻矿区可采煤层层间距小于16 m,在有效增透垂距范围内,且比较小,具有很好的卸压增透条件。因此,松藻矿区充分利用这一增透技术,根据煤层赋存情况以及突出危险性的强弱,合理选择上保护层和下保护层对邻近层进行增透。

首先根据煤层的突出危险性强弱选择保护层,松藻矿区通常选择突出危险性较弱的局部可采的薄煤层作为保护层,优选上保护层。

由于深孔爆破预裂增透技术增透范围有限,效果不理想,2009年以来,矿区试验了高压水力压裂增透技术,取得了很好的增透效果,该技术已经在松藻矿区得到了推广应用。

松藻矿区生产矿井根据可采煤层的赋存特点、层位关系、突出危险性强度、开采条件等因素选择保护层。利用高压水力压裂增透技术对保护层进行压

裂增透,在压裂增透范围内布置抽采钻孔对保护层进行瓦斯预抽,瓦斯抽采达标后,在抽采达标范围内布置回采工作面进行回采,保护层回采使得邻近被保护层得到卸压,被保护层体积膨胀,透气性明显提高。松藻矿区利用水力压裂增透技术和保护层开采卸压增透技术实现了对保护层和被保护层有效增透,从而保证了低透气性煤层群瓦斯顺利抽采。松藻矿区井下增透技术如图1所示。

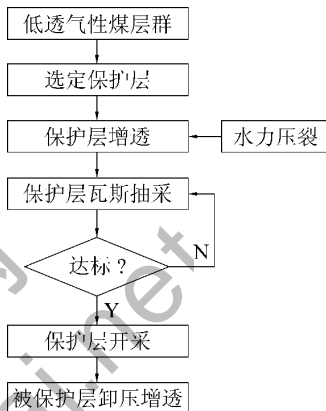


图1 井下增透技术框图

Fig. 1 Underground improving permeability technology block diagram

2 保护层开采卸压增透技术应用

2.1 试验地点

石壕煤矿以M6煤层作为上保护层先行开采,以保护突出危险性相对较强的M8煤层。为了确定M6煤层工作面开采后对M8煤层的卸压保护效果,以M6煤层北三区N1631下工作面保护层开采为条件进行保护效果实测考察。

N1631设计为1个对拉综采工作面,工作面标高为+110—+246 m;工作面走向长316 m,倾斜长937 m;M6煤层厚度0.40~1.15 m,平均0.99 m;煤层倾角7°~12°,平均9°;采用倾斜长壁仰斜回采方法,全部垮落法管理顶板。M8煤层厚度1.46~5.16 m,平均2.97 m。M6煤层与M8煤层间距平均为11.7 m。

2.2 考察钻孔设计

试验主要考察N1631下工作面回采后,M8煤层沿倾斜方向下部的被保护范围,考察参数为煤层受采动影响的膨胀变形量,测试仪器为BC-I型煤层顶底板变形测量仪。

考察M8煤层倾斜下方卸压范围的钻孔,设计布置5个钻孔,钻孔均布置在底板瓦斯巷,钻孔直径

75 mm,方位角 270°,倾角分别为 71°、72°、75°、76°、80°。钻孔与被保护层位置关系如图 2 所示。

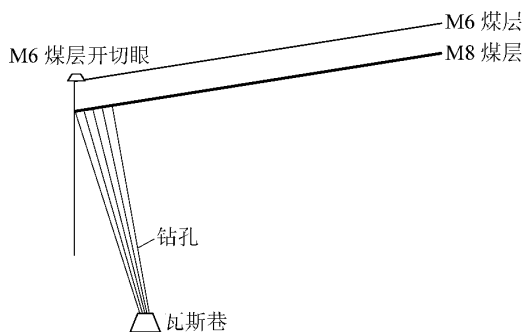


图 2 M8 煤层变形量考察钻孔与被保护层位置关系

Fig. 2 Position relationship between boreholes for M8 seam deformation and protected seam

M8 煤层在 M6 煤层的 N1631 下工作面采动后的膨胀变形量见表 1。

表 1 M8 煤层在 M6 煤层开采后的膨胀变形量

Table 1 Deformations of No.M8 coal seam after mining No.M6 seam

孔号	见煤孔深/ m	开始变形 位置/m	最大绝对变 形量/mm	最大相对变 形量/%
1 号	39.1	1.1	28	1.17
2 号	38.8	1.1	32	1.32
3 号	38.3	1.1	32	1.31
4 号	37.8	1.1	9	0.37
5 号	37.6	1.1	28	1.13

从表 2 可以看出,N1631 下工作面开采后,M8 煤层考察孔中除 4 号考察钻孔的膨胀变形量较小外,其余考察钻孔的膨胀变形量都大于 1.0%,说明卸压充分。由 5 个钻孔数据表明,M6 煤层开采后,M8 煤层倾斜下方的卸压保护角达到 90°。

2.3 M8 被保护煤层工作面的保护范围

1) 沿倾斜方向的保护范围。保护层工作面煤层倾角约为 9°,依照《防治煤与瓦斯突出规定》保护层保护范围确定:保护层工作面下部卸压角 δ_3 和上部卸压角 δ_4 均为 75°。通过试验,M8 煤层倾斜下方的卸压保护角达到了 90°,为安全起见,倾斜方向卸压角按 75°划定。因此,被保护层 M8 煤层工作面倾斜方向相对于保护层工作面内错 3.14 m。

2) 沿走向方向的保护范围。保护层开采沿走向的保护范围按走向卸压角划定,依照《防治煤与瓦斯突出规定》:走向卸压角 56°~60°,为安全起见,按 56°计算,被保护层 M8 煤层工作面相对于保护层

工作面走向内错 7.89 m。

2.4 增透效果

采用径向流量法测定并计算 M8 原始煤层渗透率,大多为 $3.74 \times 10^{-6} \sim 69.2 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$,一般为 $4.52 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ 。以钻孔的最大流量计算的煤层渗透率增长倍数最大达 2.03×10^4 倍。

从现场保护层开采卸压试验结果可以看出,煤层开采对其采动影响范围区域内的煤岩层具有很好的卸压增透作用。

3 水力压裂增透技术应用

高压水力压裂增透技术是采用高压泵将水加压到 19~48 MPa,通过压裂穿层钻孔向煤层里注入高压水,促使煤层和顶底板开裂、煤体开裂,形成一个相互交织的裂隙连通网络,使煤层暴露面积大幅度提高,从而达到增加煤层透气性的目的。

水力压裂过程是流体与外力共同作用下煤岩层内部裂隙与裂缝发生、发展和贯通的过程。借助流体在煤层各种弱面内对弱面两壁面的支撑作用使弱面发生扩展和延伸从而对煤层形成内部分割。这种分割过程一方面通过弱面的张开和扩展增加了裂隙等弱面的空间体积;另一方面通过裂隙等弱面的延伸增加了裂隙之间的连通,从而形成一个相互交织的裂隙连通网络,正是由于这种裂隙连通网络的形成致使煤层的透气性大幅提高。

高压水力压裂增透技术在松藻矿区主要用于保护层的掘进条带增透和石门揭煤煤层增透。

1) 试验地点。打通一矿主采煤层为 M7 和 M8 煤层,M7 煤层作为上保护层首先开采,为提高 M7 煤层的预抽效果,对 M7 煤层进行高压水力压裂增透。试验地点选择在 W10 号瓦斯巷,施工 2 个压裂钻孔,对 W2706 准备工作面运输巷进行掘前压裂增透。

2) 压裂孔施工。采用 ZYG-150 型钻机施工压裂孔,1、2 号压裂钻孔的倾角为 90°、钻孔直径为 75 mm、终孔位置在 M₇ 顶板 1.5 m 处、封孔位置在 M₇ 底板、压裂煤层为 M₇ 煤层;1 号压裂钻孔的孔深为 57.15 m,采用水泥砂浆进行封孔;2 号压裂钻孔的孔深为 55.60 m,封孔工艺为二次注浆。

3) 压裂范围考察。1 号压裂孔累计压入 310.39 m³,主泵压力 17.0~41.7 MPa,流量 0.6~13.7 m³/h。通过压裂钻孔周边测试钻孔是否有水冒出确定其压裂范围为倾向 50 m、走向 70 m。2 号压裂

孔累计压入 102.6 m^3 , 泵压 $18.1 \sim 34.1 \text{ MPa}$ 。通过测试钻孔确定其压裂范围倾向、走向均为 30 m 。

4) 压裂效果考察。水力压裂结束后, 压裂钻孔进行封孔接抽。根据钻孔瓦斯抽采数据变化情况, 压裂钻孔瓦斯抽采分为 2 个阶段: 第 1 阶段为抽采后 $1 \sim 30 \text{ d}$, 在接抽前期, 由于孔内压入水量过多, 接抽后孔内水持续流出。抽采 30 d 后, 排水流量仍为 1 L/h 左右。瓦斯本身难溶于水, 水充满煤层压裂裂隙, 堵塞瓦斯流通通道, 该阶段单孔瓦斯纯量约为未实施压裂钻孔的 $1.5 \sim 3.0$ 倍; 第 2 阶段为抽采后 $31 \sim 60 \text{ d}$, 随着孔内及周边煤层内水量逐渐排空, 瓦斯排放通道畅通, 瓦斯浓度、瓦斯抽采量大幅上升, 该阶段单孔瓦斯纯量达到 $0.0227 \sim 0.0318 \text{ m}^3/\text{min}$, 为未实施压裂钻孔时的 $11.3 \sim 25.5$ 倍。

采用水力压裂之后, 平均单孔抽采瓦斯量提高了 $3 \sim 5$ 倍, 抽采瓦斯体积分数提高了 $3\% \sim 20\%$, 最高单孔瓦斯体积分数达到 93% 。

4 结 论

1) 松藻矿区可采煤层间距小, 保护层卸压增透效果显著, 渗透率增长倍数最大达 2.03×10^4 倍, 对被保护层增透效果显著。

2) 水力压裂增透技术比较适于松藻矿区, 增透范围大, 煤层走向增透最大达 70 m , 可实现对保护层的增透抽采。

3) 水力压裂增透技术对于地质构造区域具有局限性。

4) 通过水力压裂增透技术和保护层开采卸压增透技术, 松藻矿区实现了低透气性煤层群瓦斯资源的有效抽采, 同时避免了重大瓦斯事故的发生。

参考文献(References):

- [1] 袁 亮. 低透高瓦斯煤层群安全开采关键技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(7): 1370-1379.
Yuan Liang. Key technique of safe mining in low permeability and methane-rich seam group [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(7): 1370-1379.
- [2] 孙炳兴, 王兆丰, 伍厚荣. 水力压裂增透技术在瓦斯抽采中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 78-80.
Sun Bingxing, Wang Zhaofeng, Wu Hourong. Hydraulic pressurized cracking and permeability improvement technology applied to gas drainage [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 78-80.
- [3] 程远平, 俞启香, 袁 亮, 等. 煤与远程卸压瓦斯安全高效共采试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 132-136.
Cheng Yuanping, Yu Qixiang, Yuan Liang, et al. Experimental research of safe and high-efficient exploitation of coal and pressure relief gas in long distance [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 132-136.
- [4] 刘泽功, 袁 亮, 戴广龙, 等. 采场覆岩裂隙特征研究及在瓦斯抽放中应用[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2004, 24(4): 10-15.
Liu Zegong, Yuan Liang, Dai Guanglong, et al. Study on the characteristics of the gob roof cracks in stopes and its application in gas drainage [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2004, 24(4): 10-15.
- [5] 袁 亮, 郭 华, 沈宝堂, 等. 低透气性煤层群煤与瓦斯共采中的高位环形裂隙体[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 357-365.
Yuan Liang, Guo Hua, Shen Baotang, et al. Circular overlying zone at longwall panel for efficient methane capture of multiple coal seams with low permeability [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(3): 357-365.
- [6] 翟 成. 近距离煤层群采动裂隙场与瓦斯流动场耦合规律及防治技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
- [7] 王应德. 近距离上保护层开采瓦斯治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(7): 48-50.
Wang Yingde. Gas control technology for coal mining with short distance to upward protected seam [J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(7): 48-50.
- [8] 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 extraction [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 1-8.
- [9] 王海峰, 程远平, 吴冬梅, 等. 近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出及瓦斯抽采参数优化[J]. 煤炭学报, 2010, 35(4): 590-594.
Wang Haifeng, Cheng Yuanping, Wu Dongmei, et al. Gas emission and parameter optimization of gas extraction in mining face of short distance protective seam [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(4): 590-594.
- [10] 罗 勇. 上保护层开采瓦斯综合治理的试验研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(4): 388-393.
Luo Yong. Study on control of methane in mining upper protective layers [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2005, 25(4): 388-393.
- [11] 吴建亭. 近距离保护层工作面瓦斯综合治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(8): 64-67.
Wu Jianting. Comprehensive gas control technology of coal mining face short distance to protected seam [J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(8): 64-67.
- [12] 国家安全生产监督管理总局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.