



文章编号:1671-251X(2020)01-0090-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2019060067

薛湖煤矿超高压水力割缝工艺参数优化试验

陈洪涛¹, 李太训²

(1. 河南神火煤电股份有限公司, 河南 永城 476600;

2. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)



扫码移动阅读

摘要:薛湖煤矿二₂煤层瓦斯含量高、透气性差,采用顺层钻孔治理煤层瓦斯存在瓦斯抽采效果差、抽采达标时间长等问题,将超高压水力割缝技术应用于该煤层钻孔瓦斯抽采中。通过单因素试验确定了适用于薛湖煤矿二₂煤层的超高压水力割缝优化工艺参数:割缝压力为60~70 MPa,割缝时间为25 min,割缝转速为80 r/min,割缝间距为2 m。现场应用采用该工艺参数的超高压水力割缝技术后,割缝钻孔与普通钻孔相比,前者日均瓦斯抽采体积分数约为后者的1.75倍,日均瓦斯抽采纯量为后者的3.25倍,瓦斯抽采达标时间缩短了约42%,残余瓦斯含量小。

关键词:瓦斯抽采;超高压水力割缝;割缝工艺参数;卸压增透;钻孔抽采

中图分类号:TD712.6

文献标志码:A

Optimization test of ultra-high pressure hydraulic slotting process parameters in Xuehu Coal Mine

CHEN Hongtao¹, LI Taixun²

(1. Henan Shenhua Coal and Electricity Co. Ltd., Yongcheng 476600, China;

2. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract:Due to high gas content and poor gas permeability in No.2 coal seam of Xuehu Coal Mine, coal seam gas is treated by borehole along the bed, which has problems such as poor gas drainage effect and long time to reach standard. For the above problems, an ultra-high pressure hydraulic slotting technology was applied to borehole gas drainage of the coal seam. Single-factor test was carried out to determine optimum process parameters of ultra-high pressure hydraulic slotting applicable to the No.2 coal seam of Xuehu Coal Mine: slotting pressure is 60-70 MPa, slotting time is 25 min, slotting speed is 80 r/min and slotting spacing is 2 m. After field application of ultra-high pressure hydraulic slotting technology with the optimized process parameters, average daily gas drainage volume fraction of slotting borehole is about 1.75 times that of ordinary borehole, average daily gas drainage pure volume is 3.25 times, time of gas drainage to reach standard is shortened by about 42% and residual gas content is small.

Key words:gas drainage; ultra-high pressure hydraulic slotting; slotting process parameters; pressure relief and permeability improvement; borehole drainage

收稿日期:2019-06-26;修回日期:2020-01-02;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51104156)。

作者简介:陈洪涛(1981—),男,河南虞城人,高级工程师,主要从事矿井通风及瓦斯灾害治理方面的工作,E-mail:1213625333@qq.com。

引用格式:陈洪涛,李太训.薛湖煤矿超高压水力割缝工艺参数优化试验[J].工矿自动化,2020,46(1):90-94.

CHEN Hongtao,LI Taixun. Optimization test of ultra-high pressure hydraulic slotting process parameters in Xuehu Coal Mine[J].

Industry and Mine Automation,2020,46(1):90-94.

0 引言

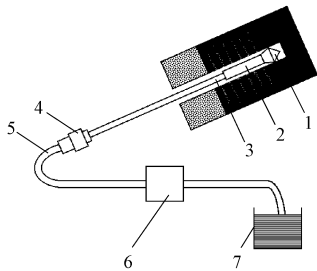
随着开采深度与强度不断增大,地应力、瓦斯压力等随之增大,煤层透气性降低^[1-2],深部煤层开采极易诱发煤岩动力灾害,必须同时从煤层瓦斯抽采达标和卸压有效 2 个方面进行灾害防治^[3-5]。超高压水力割缝技术能够改变煤体的原岩应力和裂隙状况,既能缓和煤体和围岩中的应力紧张状态,使煤体均匀、充分卸压,又能大幅提高煤层透气性和瓦斯释放能力^[6-7],在煤与瓦斯突出灾害治理方面发挥着重要作用^[8-9]。冯星宇等^[10]对某煤层采用超高压水力割缝卸压增透措施,现场实际应用表明,顺层割缝钻孔和底板穿层钻孔单孔平均抽采纯量均显著提高,抽采达标时间缩短,钻孔工程量减少。张占国等^[11]通过超高压水力割缝技术,增大煤体暴露面积,给煤层内部卸压、瓦斯释放和流动创造了良好的条件,结果表明,水力割缝钻孔组瓦斯抽采浓度、纯流量、百米钻孔瓦斯抽采纯流量及瓦斯抽采率是对比钻孔的 2~4 倍。刘志伟等^[12]在某回风巷煤巷条带进行超高压水力割缝卸压增透技术试验与应用,确定了煤层的合理割缝压力、切割半径和抽采瓦斯纯流量等参数,有效改善了煤层透气性。

河南神火煤电股份有限公司薛湖煤矿主采二₂煤层,该煤层瓦斯含量高,煤层透气性系数低,采用顺层钻孔治理煤层瓦斯,工程量相对较大,抽采效率低,抽采达标时间长,严重制约了矿井采掘接替。因此,本文在薛湖煤矿二₂煤层开展了超高压水力割缝试验,确定了适用于该煤层的超高压水力割缝工艺参数,并针对该工艺参数进行了现场应用,通过与普通钻孔对比,检验其卸压增透效果,可为相似工程条件下煤矿煤与瓦斯突出防治提供参考。

1 超高压水力割缝技术

1.1 超高压水力割缝卸压增透原理

超高压水力割缝装置如图 1 所示。钻头钻入煤体,边打钻孔边进行水力割缝,割缝器喷出的超高压



1—钻头;2—割缝器;3—钻杆;4—水辫;5—高压管;
6—乳化泵;7—水箱。

图 1 超高压水力割缝装置

水射流形成脉动水线切放煤层,人为造成裂隙,破碎的煤体随水流沿钻孔流出,增加了煤体的透气通道和暴露面积,瓦斯通过裂隙进入钻孔,显著改善了煤层中瓦斯流动状态,对瓦斯抽采起到促进作用,同时也改变了煤体的原岩应力,煤体得到充分卸压^[13-14]。

1.2 超高压水力割缝工艺参数

对超高压水力割缝卸压增透效果影响较大的工艺参数主要包括割缝压力、割缝时间、割缝转速、割缝间距。割缝压力主要影响破煤效率,割缝压力越大,破煤效率越高;割缝时间及割缝转速影响割缝深度,割缝时间越长、割缝转速越慢,割缝深度越深;割缝间距主要影响割缝后煤体应力分布及卸压范围,割缝间距越大,相邻缝槽的相互影响作用越小。

2 试验分析

2.1 试验区域概况

超高压水力割缝试验区域为薛湖煤矿 2306 风巷底抽巷(南到 23 采区回风巷,北为薄煤带,西至 29 采区轨道下山,东邻 2306 机巷措施巷)。主采二₂煤层,煤层平均厚度为 2.5 m,瓦斯含量为 4.6~16.2 m³/t,煤层透气性系数为 0.086 1 m²/(MPa²·d),煤层普氏系数为 0.25~0.70,百米钻孔瓦斯流量衰减系数为 1.38 d⁻¹。

2.2 试验方案

在 2306 风巷底抽巷共布置 11 个钻孔,试验分别设计 3 种割缝压力(40,60,80 MPa)、3 种割缝时间(20,25,30 min)、3 种割缝转速(40,60,80 r/min)和 2 种割缝间距(2,4 m),采用单因素考察方法进行超高压水力割缝试验,记录钻孔平均单刀出煤量及割缝后 3 个月内瓦斯抽采数据。

2.3 试验结果

2.3.1 割缝压力对割缝效果的影响

当割缝时间为 25 min、割缝转速为 80 r/min、割缝间距为 2 m 时,不同割缝压力下钻孔平均单刀出煤量、瓦斯抽采纯量分别如图 2、图 3 所示。可看出割缝压力分别为 40,60,80 MPa 时,钻孔平均单刀出煤量分别为 1.05,1.68,2.22 t,钻孔平均瓦斯

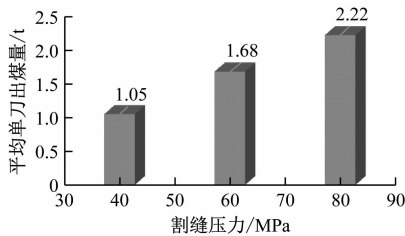


图 2 不同割缝压力下钻孔平均单刀出煤量

Fig. 2 Average single-cutter coal output from borehole under different slotting pressures

Fig. 1 Ultra-high pressure hydraulic slotting device

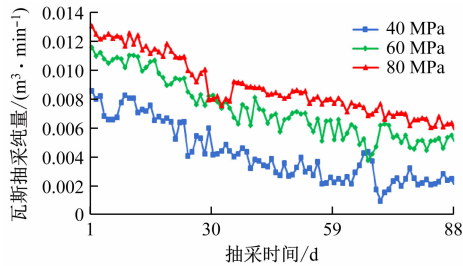


图 3 不同割缝压力下钻孔瓦斯抽采纯量变化曲线
Fig. 3 Variation curves of gas drainage pure volume of borehole under different slotting pressures

抽采纯量分别为 0.004,0.007,0.009 m³/min,即随着割缝压力的增加,钻孔平均单刀出煤量和钻孔平均瓦斯抽采纯量增加。但当割缝压力增大到 80 MPa 时,通过现场观察发现钻孔内出现了严重堵孔现象,且割缝压力在 70~80 MPa 时,也会偶尔出现堵孔现象。为确保割缝工作的安全性,选择割缝压力在 60~70 MPa 较为合理。

2.3.2 割缝时间对割缝效果的影响

当割缝压力为 60 MPa、割缝转速为 80 r/min、割缝间距为 2 m 时,不同割缝时间下钻孔平均单刀出煤量、瓦斯抽采纯量分别如图 4、图 5 所示。可看出割缝时间分别为 20,25,30 min 时,钻孔平均单刀出煤量分别为 1.14,1.67,1.77 t,钻孔平均瓦斯抽采纯量分别为 0.005,0.008,0.009 m³/min;在割缝时间由 20 min 增加到 25 min 时,钻孔平均单刀出煤量和钻孔平均瓦斯抽采纯量增加明显;但在割缝时间由 25 min 增加到 30 min 时,钻孔平均单刀出煤量和钻孔平均瓦斯抽采纯量增加不明显。因此确

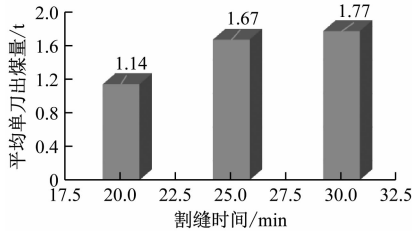


图 4 不同割缝时间下钻孔平均单刀出煤量
Fig. 4 Average single-cutter coal output from borehole under different slotting time

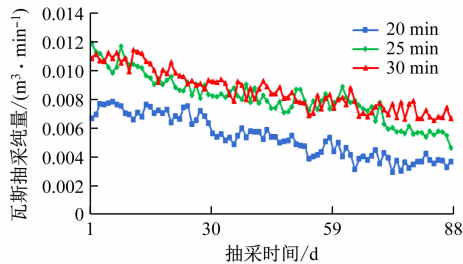


图 5 不同割缝时间下钻孔瓦斯抽采纯量变化曲线
Fig. 5 Variation curves of gas drainage pure volume of borehole under different slotting time

定适用于薛湖煤矿煤层特点的割缝时间为 25 min。

2.3.3 割缝转速对割缝效果的影响

当割缝压力为 60 MPa、割缝时间为 25 min、割缝间距为 2 m 时,不同割缝转速下钻孔平均单刀出煤量如图 6 所示。可看出割缝转速分别为 40,60,80 r/min 时,钻孔平均单刀出煤量分别为 2.05,1.84,1.77 t,即低割缝转速可增加钻孔平均单刀出煤量。通过现场观察,割缝转速为 40 r/min 时,堵孔严重;割缝转速为 60 r/min 时,存在堵孔现象;割缝转速为 80 r/min 时,排渣流畅。这是由于薛湖煤矿煤层松软,低割缝转速会导致钻杆辅助排渣能力降低,所以适用于薛湖煤矿煤层特点的割缝转速为 80 r/min。

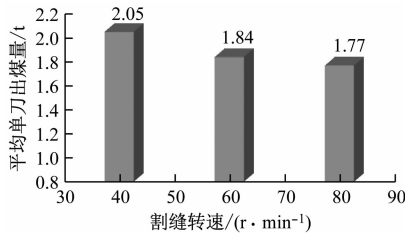


图 6 不同割缝转速下钻孔平均单刀出煤量
Fig. 6 Average single-cutter coal output from borehole under different slotting speeds

2.3.4 割缝间距对割缝效果的影响

当割缝压力为 60 MPa、割缝时间为 25 min、割缝转速为 80 r/min 时,不同割缝间距下钻孔平均单刀出煤量、瓦斯抽采纯量分别如图 7、图 8 所示。可看出割缝间距分别为 2,4 m 时,钻孔平均单刀出煤量分别为 1.58,1.67 t,钻孔平均瓦斯抽采纯量分别

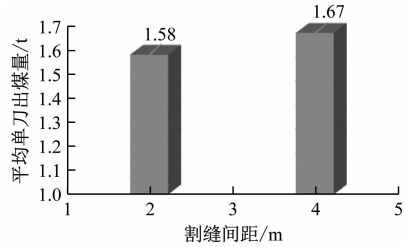


图 7 不同割缝间距下钻孔平均单刀出煤量
Fig. 7 Average single-cutter coal output from borehole under different slotting spacings

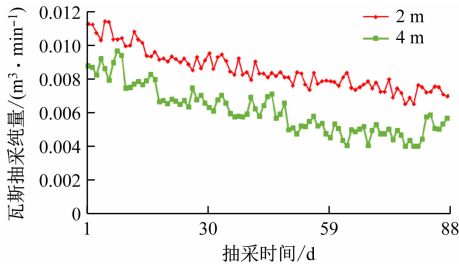


图 8 不同割缝间距下钻孔瓦斯抽采纯量变化曲线
Fig. 8 Variation curves of gas drainage pure volume of borehole under different slotting spacings

为 0.008,0.006 m³/min;与割缝间距为 2 m 时相比,割缝间距为 4 m 时钻孔平均单刀出煤量增加约 5.7%,但钻孔平均瓦斯抽采纯量减少 25%,抽采效果不佳。因此确定薛湖煤矿超高压水力割缝合理割缝间距为 2 m。

3 现场应用

薛湖煤矿在试验区域施工 55 个超高压水力割缝钻孔(钻孔间距为 5.0 m),根据试验分析,选取超高压水力割缝工艺参数:割缝压力为 60~70 MPa,割缝时间为 25 min,割缝转速为 80 r/min,割缝间距为 2 m。为验证超高压水力割缝技术的有效性,在同一试验区域施工相同数量的普通钻孔(钻孔间距为 3.5 m)进行对比,分析瓦斯抽采数据、抽采达标时间和残余瓦斯含量。

3.1 瓦斯抽采数据

割缝钻孔与普通钻孔瓦斯抽采浓度、纯量分别如图 9、图 10 所示。可看出普通钻孔、割缝钻孔日均瓦斯抽采体积分数分别为 23.1%,40.4%,割缝钻孔日均瓦斯抽采体积分数约为普通钻孔的 1.75 倍;普通钻孔、割缝钻孔日均瓦斯抽采纯量分别为 0.001 6,0.005 2 m³/min,割缝钻孔日均瓦斯抽采纯量为普通钻孔的 3.25 倍。

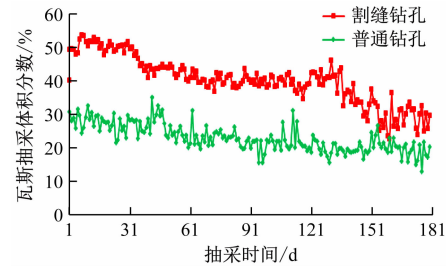


图 9 钻孔瓦斯抽采浓度变化曲线

Fig. 9 Variation curves of gas drainage concentration of borehole

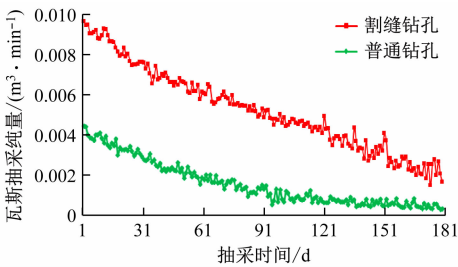


图 10 钻孔瓦斯抽采纯量变化曲线

Fig. 10 Variation curves of gas drainage pure volume of borehole

3.2 抽采达标时间

根据薛湖煤矿实际情况,残余瓦斯含量降低到 6 m³/t 时抽采达标。普通钻孔在抽采 203 d 时抽采达标,割缝钻孔在抽采 118 d 时抽采达标。相对于

普通钻孔,割缝钻孔抽采达标时间缩短了约 42%。

3.3 残余瓦斯含量

抽采 118 d 时,分别在距离割缝钻孔、普通钻孔 1.5,2.0,2.5 m 处测定残余瓦斯含量,如图 11 所示。可看出距割缝钻孔 2.5 m 处残余瓦斯含量为 5.926 0 m³/t,小于 6 m³/t,抽采达标;普通钻孔残余瓦斯含量最小值为 6.456 7 m³/t,大于 6 m³/t,抽采未达标。

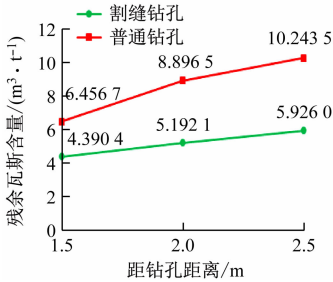


图 11 残余瓦斯含量测定结果

Fig. 11 Residual gas content measurement results

4 结论

(1) 通过现场试验得出了适用于薛湖煤矿二₂煤层特点的超高压水力割缝工艺参数:割缝压力为 60~70 MPa,割缝时间为 25 min,割缝转速为 80 r/min,割缝间距为 2 m。

(2) 应用结果表明,超高压水力割缝钻孔与普通钻孔相比,前者日均瓦斯抽采体积分数约为后者的 1.75 倍,日均瓦斯抽采纯量为后者的 3.25 倍,瓦斯抽采达标时间缩短了约 42%,残余瓦斯含量小。

参考文献(References):

[1] 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.

[2] 袁亮,林柏泉,杨威.我国煤矿水力化技术瓦斯治理研究进展及发展方向[J].煤炭科学技术,2015,43(1): 45-49.
YUAN Liang, LIN Baiquan, YANG Wei. Research progress and development direction of gas control with mine hydraulic technology in China coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43 (1): 45-49.

[3] 林柏泉,孟凡伟,张海宾.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.
- [4] 张永将, 黄振飞, 李成成. 高压水射流环切割缝自卸压机制与应用[J]. 煤炭学报, 2018, 43(11): 3016-3022.
ZHANG Yongjiang, HUANG Zhenfei, LI Chengcheng. Investigation and application of high pressure water jet annularity slotting self pressure release mechanism[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(11): 3016-3022.
- [5] 宋维源, 王忠峰, 唐巨鹏. 水力割缝增透抽采煤层瓦斯原理及应用[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(4): 78-82.
SONG Weiyuan, WANG Zhongfeng, TANG Jupeng. Principle of gas extraction by increasing permeability of coal seam with hydraulic cutting and its application [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(4): 78-82.
- [6] 刘红星, 孙占海, 汤孟庆. 超高压水力割缝强化抽采瓦斯技术研究[J]. 安徽建筑大学学报, 2017, 25(6): 41-44.
LIU Hongxing, SUN Zhanhai, TANG Mengqing. Study on the technology of hydraulic slotting with ultra-high pressure for enhanced gas drainage [J]. Journal of Anhui Jianzhu University, 2017, 25(6): 41-44.
- [7] 刘生龙, 周玉竹, 邱居德, 等. 超高压水力割缝在坚硬突出煤层石门揭煤预抽瓦斯防突措施中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(5): 64-67.
LIU Shenglong, ZHOU Yuzhu, QIU Jude, et al. Application of super-high pressure hydraulic slotting technology in exposing hard outburst seam in crosscut for outburst prevention by gas pre-drainage [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(5): 64-67.
- [8] 国林东, 赵旭生, 张永将, 等. 顺层瓦斯抽采钻孔封隔一体化封孔工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(5): 114-119.
GUO Lindong, ZHAO Xusheng, ZHANG Yongjiang, et al. Study on borehole sealing technique with sealing and isolation integration to gas drainage borehole along seam [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(5): 114-119.
- [9] 宋显锋. 超高压水力割缝技术在 N1103 胶带顺槽中的应用[J]. 现代矿业, 2018, 34(10): 214-216.
SONG Xianfeng. Application of ultra high pressure hydraulic slotting technology in N1103 belt groove [J]. Modern Mining, 2018, 34(10): 214-216.
- [10] 冯星宇, 陈西华, 张仰强. 两高一低煤层煤巷条带超高压水力割缝卸压增透试验研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(15): 136-139.
FENG Xingyu, CHEN Xihua, ZHANG Yangqiang. Experimental study on pressure relief and anti-reflection of ultra-high pressure hydraulic cutting in two high and one low coal seam coal road strips [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2018(15): 136-139.
- [11] 张占国, 张锋. 超高压水力割缝技术在低渗透特厚煤层中的应用[J]. 能源与环保, 2018, 40(11): 90-93.
ZHANG Zhanguo, ZHANG Feng. Application of ultra high pressure hydraulic kerf technology in low permeability extra-thick coal seam [J]. China Energy and Environmental Protection, 2018, 40(11): 90-93.
- [12] 刘志伟, 赵金明, 张仰强, 等. 绿塘煤矿超高压水力割缝卸压增透效果考察及应用[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(1): 43-46.
LIU Zhiwei, ZHAO Jinming, ZHANG Yangqiang, et al. Investigation and application on the effect of pressure relived and permeability enhanced of ultra-high pressure hydraulic slotting in Lvtang Coal Mine [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46(1): 43-46.
- [13] 秦江涛, 陈玉涛, 黄文祥. 高压水力压裂和二氧化碳相变致裂联合增透技术[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(7): 80-84.
QIN Jiangtao, CHEN Yutao, HUANG Wenxiang. Combined permeability improved technology with high pressure hydraulic fracturing and carbon dioxide phase change cracking [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(7): 80-84.
- [14] 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.
LYU Youchang. Application the hydraulic fracturing technology in the high pressure and low permeability mine [J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(7): 102-107.