

煤矿井下钻孔吞吐压裂增透抽采瓦斯技术研究

陶云奇^{1,2} 刘晓^{1,3} 蔺海晓^{1,3}

(1. 河南理工大学 能源科学与工程学院 河南 焦作 454003;2. 永城煤电控股集团有限责任公司 河南 永城 476600;
3. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室——省部共建国家重点实验室培育基地 河南 焦作 454003)

摘要:为了显著增大煤层透气性系数,达到高效抽采瓦斯的目的,提出了煤矿井下钻孔吞吐压裂增透抽采瓦斯技术,分析发现吞吐压裂实施过程中,在最大和最小水平主应力方向能够产生径向引张裂隙、周缘引张裂隙、剪切裂隙、转向裂隙等;同时,裂隙壁面错位支撑增容,形成了瓦斯运移产出的高速通道。现场试验表明:实施吞吐压裂与未采取瓦斯抽采措施相比,单孔瓦斯抽采纯量提高了7~12倍,瓦斯抽采体积分数提高4~5倍,钻孔瓦斯流量衰减系数降低了1/4~1/3;实施吞吐压裂与采取常规水力压裂相比:单孔瓦斯抽采纯量提高了1.6~3.0倍,瓦斯抽采体积分数提高1.2~2.0倍,钻孔瓦斯流量衰减系数降低了1/5~1/3。

关键词:吞吐压裂;瓦斯抽采;裂缝体系;壁面支撑;增透

中图分类号:TD712 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)07-0045-04

Study on Gas Drainage Technology of Throughput Fracturing Permeability Improvement by Borehole in Underground Mine

TAO Yun-qi^{1,2}, LIU Xiao^{1,3}, LIN Hai-xiao^{1,3}

(1. School of Energy Science and Engineering Henan Polytechnic University Jiaozuo 454003, China;2. Yongcheng Coal and Electric Power Holding Group Corporation Limited, Yongcheng 476600, China;3. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In order to obviously enlarge the coefficient of the seam permeability and reach a target of the high efficient gas drainage, a gas drainage technology of throughput fracturing permeability improvement by borehole in underground mine was provided. It was found that during the operation of the throughput fracturing, radial guided fracturing, peripheral guided fracturing, shearing fracturing, turning fracturing and others occurred on the max and min horizontal main stress directions. The gas migration channel with a high speed was formed under the displacement support compatibilization of the borehole surface wall. The site experiments showed that after the throughput fracturing conducted in comparison with no measure conducted, the pure quantity of gas drainaged from a single borehole increased by 7~12 times, the volume fraction of gas drainaged increased by 4~5 times, and the attenuation coefficient of the borehole gas flow reduced by 1/4~1/3. In comparison with the conventional hydraulic fracturing, the pure quantity of gas drainaged increased by 1.6~3.0 times, the volume fraction of gas drainaged increased by 1.2~2.0 times, and the attenuation coefficient of the borehole gas flow reduced by 1/5~1/3.

Key words: throughput fracturing; gas drainage; cracking system; surface wall support; permeability improvement

0 引言

我国含煤岩系结构复杂、形态多样、透气性差,煤层渗透率小于 10^{-15} m^2 的占72%,严重制约煤矿瓦斯的高效抽采^[1]。煤矿井下采用密集钻孔^[2]、水

力冲孔^[3~5]、水力挤出^[6~7]、水力割缝^[8~9]、水力压裂^[10~11]和深孔爆破^[12~13]等技术进行瓦斯抽采,抽采率也仅有23%。近年兴起的水力压裂在煤层大规模增透抽采瓦斯方面取得了较大成效,但由于井下空间小、注入排量小、支撑裂缝难,通常形成单一

收稿日期:2014-01-19;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.07.012

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B01);河南省教育厅科学技术研究重点资助项目(13A440320);煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室(中国矿业大学)开放基金资助项目(2013-003)

作者简介:陶云奇(1979—),男,河南新乡人,博士,博士后。通信作者:刘晓, Tel:18639919163, E-mail:lx1224lx@163.com

引用格式:陶云奇,刘晓,蔺海晓.煤矿井下钻孔吞吐压裂增透抽采瓦斯技术研究[J].煤炭科学技术 2014 42(7):45~48.

TAO Yun-qi, LIU Xiao, LIN Hai-xiao. Study on Gas Drainage Technology of Throughput Fracturing Permeability Improvement by Borehole in Underground Mine [J]. Coal Science and Technology 2014 42(7):45~48.

的张性裂缝,无法形成瓦斯运移产出的“快速通道”,只限于裂缝周边的煤层解吸瓦斯的运移产出^[14-16]。因此,笔者提出了煤矿井下钻孔吞吐压裂增透抽采瓦斯工艺技术,通过运用该技术,力求实现由煤体洞穴冒落带、剪切裂隙、转向裂隙、径向引张裂隙、周缘引张裂隙共同组成的煤体出煤卸压造缝增透技术,以提高钻孔的瓦斯抽采效率。

1 吞吐压裂增透机理及技术流程

井下吞吐压裂是通过向钻孔内不断注入压裂液进行压裂,然后快速卸压排水排渣,经过反复的压入、排出,开启、延伸煤岩层裂隙并形成一个裂隙网络体系,增大煤岩层的透气性,提高瓦斯抽采效率。增透机理包括2个方面:①吞吐压裂在出煤卸压形成洞穴冒落带的同时,又形成了引张裂隙、剪切裂隙、转向裂隙等裂隙体系;②通过快速卸载诱导的剪切应力,使煤体沿裂隙发生剪切移动,产生偏轴效应,裂隙壁面错位支撑增容。在研究增透机理的同时,也对煤矿井下钻孔吞吐压裂增透抽采瓦斯技术的实施流程进行了研究。

1.1 吞吐压裂裂缝的形成

吞吐压裂能够有效改造煤、岩层的裂缝体系,使其容积最大化,同时在压裂过程中,由于高压水的破、冲、切、割等作用,打破了已有的地应力场、压力场的平衡,使地应力、瓦斯压力得到有效释放,在吞吐压裂影响范围内煤岩裂隙更加均一化,大幅减少了应力集中的可能性,提高了瓦斯抽采浓度和抽采量。

依据煤层赋存条件及地质构造发育特征,结合井下测试,可判断地层最大及最小水平主应力。钻孔完成吞吐压裂之后,最大和最小水平主应力方向沿钻孔两侧均可划分为三带:卸压带、应力集中带、原始应力带。沿最小水平主应力方向,在洞穴冒落带、剪切裂隙及周缘裂隙的作用下,形成钻孔沿最小水平应力方向的卸压带。沿最大水平主应力方向,在洞穴冒落带、转向裂隙、引张裂隙、周缘裂隙的共同作用下,形成钻孔沿最大水平主应力方向的卸压带,如图1所示。

最小和最大水平主应力方向形成的卸压带交错、叠加,使煤、岩体内形成最大体积的空洞和最大范围的裂缝,有效提高了煤层的透气性系数。但受井下压裂泵能力及煤、岩体本身力学性质、地应力的限制,洞穴冒落带及裂隙体系不可能无限制地在最

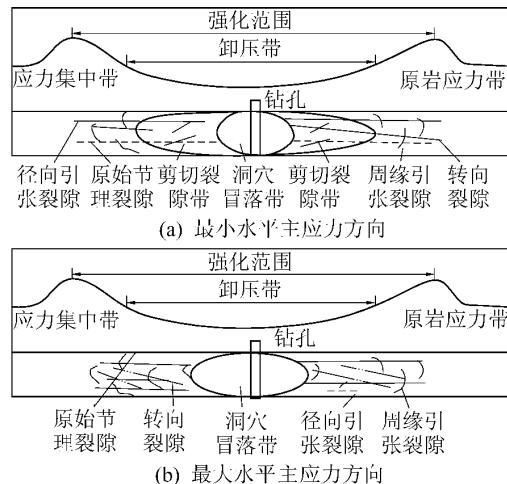


图 1 最小和最大水平主应力方向三带分布情况

小和最大水平主应力方向展布,当逐渐远离钻孔,靠近洞穴冒落带及裂隙体系的边缘时,煤岩体在地应力、瓦斯压力、注入水压力冲击、堆实、挤压的作用下,所受应力达到最大峰值。在最大峰值处,煤层透气性系数降低、抽采瓦斯困难。

1.2 吞吐压裂隙壁面错位支撑增容

吞吐压裂所形成的裂隙壁面,由于高压水的多次冲刷、浸泡,煤层物性改变,当吞吐压裂快速卸载诱导的剪切应力强度超过煤体抗剪强度时,裂隙被扰动,裂隙壁面坍塌。在吞吐压裂卸压水作用下对裂隙壁面进行清洗,煤粉快速返排,裂隙壁面增容、导流能力增加;同时,快速卸载诱导的剪切应力,在钻孔附近地带造成裂隙扰动,瞬时的或稳定的流体流动、运移产生的压力梯度足够大时,使煤体沿裂隙发生剪切移动,产生偏轴效应,壁面因错位而相互支撑。同时,吞吐压裂下产生的煤岩颗粒可以承载裂缝,颗粒支撑作用延长了裂缝闭合的时间,保障了瓦斯流动的通道,如图2所示。

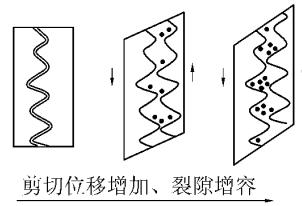


图 2 裂隙壁面错位支撑增容示意

1.3 吞吐压裂增透抽采瓦斯技术流程

以现场煤层瓦斯赋存、钻孔类型、煤层瓦斯含量、预抽时间等条件为基础,进行吞吐压裂设计,主要是吞吐压裂作业次数、返排时间、注入液量、注入压力等,之后采用高压注水泵进行吞吐压裂,并考察吞吐压裂效果,效果好则进行联抽,效果较差则进行

重新设计。吞吐压裂技术流程如图3所示。

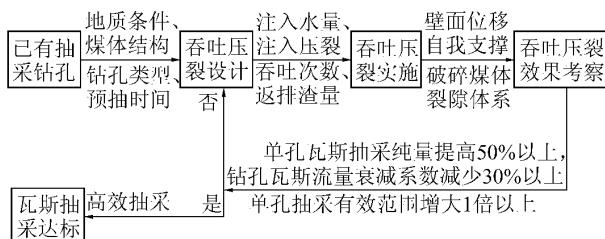


图3 吞吐压裂技术流程

2 应用实例

2.1 试验工作面概况

鹤壁中泰矿业有限公司33071工作面煤层透气性系数为 $0.008 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,单孔瓦斯抽采纯量 $6 \sim 12 \text{ m}^3 / \text{d}$,抽采时间长、效果差。选定33071抽采巷作为吞吐压裂的试验地点,在巷道壁上向工作面方向设计施工了5个顺煤层平行抽采钻孔,其中ZT33071B01为吞吐压裂钻孔,其余4个钻孔为效果检验钻孔,钻孔方位角均垂直巷道壁,倾角 -7° ,孔深52.5 m。吞吐压裂钻孔布置如图4所示。



图4 吞吐压裂钻孔布置示意

2.2 试验过程

以巷道采掘部署为基础,结合煤层软硬互层的特点,设计了吞吐压裂实施方案,制定了作业预案和安全防护措施,采用HTB500型水力压裂泵组对33071工作面本煤层抽采钻孔进行了2次吞吐压裂。第1次吞吐压裂注入液量 35 m^3 ,返排煤粉1.6 t,第2次吞吐压裂注入液量 61 m^3 ,返排煤粉0.8 t。在2次吞吐压裂作业期间,压裂钻孔孔口压力随时间变化如图5所示。第1次吞吐压裂:压裂液体首先充满钻孔及裂隙空间,压力随时间上升幅度较慢,之后压力逐渐达到峰值并下降,煤层破裂,持续10 min后排水卸压,对排出固体质量称重。第2次吞吐压裂:由于第1次吞吐压裂压裂液已基本将裂隙充满,因此,第2次吞吐压裂压力上升速度较快,但也反映出第1次吞吐压裂尚没有形成范围较为广泛的裂隙体系,峰值持续稳定是裂隙进一步延伸扩展的表现,但在注入排量一定的条件下煤层已难以再次发生破裂,返排煤粉质量也有所减少。

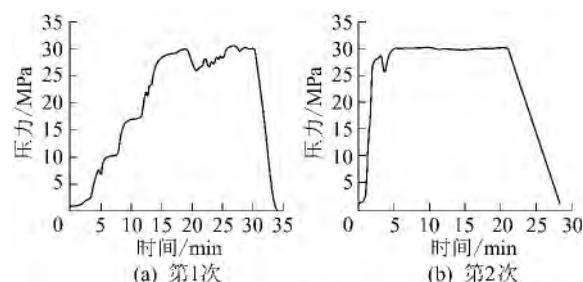


图5 吞吐压裂钻孔孔口压力变化曲线

2.3 试验效果

通过在吞吐压裂钻孔周边施工检验钻孔,并测试钻孔瓦斯自然流量、瓦斯抽采纯量、瓦斯抽采浓度、钻孔水分等,分析得吞吐压裂效果如下:

- 1) 吞吐压裂有效影响半径:第1次吞吐压裂后,有效抽采半径为12 m,第2次吞吐压裂后,有效半径达16 m,而常规抽采钻孔钻孔间距仅为3 m。
- 2) 吞吐压裂前工作面煤层透气性系数为 $0.008 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,吞吐压裂后,有效影响范围内煤层透气性系数为 $12.66 \text{ m}^2 / (\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ 。
- 3) 吞吐压裂之前抽采纯量几乎为0,吞吐压裂后瓦斯抽采纯量却能维持在 $800 \sim 1700 \text{ m}^3 / \text{d}$ 。
- 4) 吞吐压裂后,相比未采取措施:单孔瓦斯抽采纯量提高7~12倍,抽采体积分数提高4~5倍,钻孔流量衰减系数减少1/4~1/3,如图6所示。

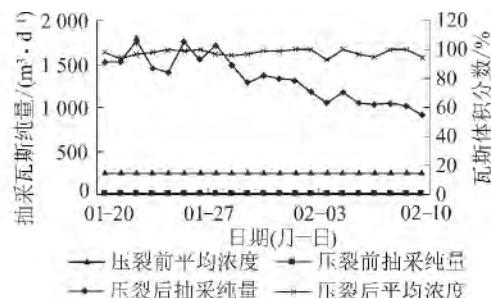


图6 2011年1—2月吞吐压裂前后效果对比

- 5) 现场统计分析发现,吞吐压裂相比常规水力压裂:单孔瓦斯抽采纯量提高 $1.6 \sim 3.0$ 倍,抽采体积分数提高 $1.2 \sim 2.0$ 倍,钻孔瓦斯流量衰减系数减少 $1/5 \sim 1/3$ 。

由上试验效果可知:吞吐压裂增透抽采瓦斯技术具有出煤卸压增透、形成复杂的裂隙体系、裂隙壁面错位支撑增容的优势,从而大幅度增大了煤层的透气性系数,提高了抽采效率。

3 结论

- 1) 提出了吞吐压裂增透抽采瓦斯技术工艺,阐

明了吞吐压裂在最大和最小水平主应力方向裂缝的形成特征,认为吞吐压裂能够同时形成径向引张裂隙、周缘引张裂隙、剪切裂隙、转向裂隙等裂隙体系,并在裂隙壁面错位支撑增容的作用下保证瓦斯运移产出通道畅通,实现了煤储层的缝网体积改造,达到了增产增效的目的。

2)设计了吞吐压裂增透抽采瓦斯技术流程并以此为依据进行了相关试验,通过在鹤壁中泰33071抽采巷的试验表明,吞吐压裂能显著增大煤层透气性系数、增大钻孔抽采半径、缩减钻孔数目、提高瓦斯抽采量及抽采浓度。吞吐压裂后瓦斯抽采纯量最大达 $1\ 700\ m^3/d$ 。

3)后续将结合具体地质特征,进一步研究裂缝产生的力学条件,建立完善的吞吐压裂理论体系、技术体系和评价体系。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. 煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十一五”规划[Z]. 2006.
- [2] 易丽军, 俞启香. 突出煤层密集钻孔瓦斯预抽的数值试验[J]. 煤矿安全, 2010, 41(2): 1-4, 9.
- [3] 王新新, 石必明, 穆朝民. 水力冲孔煤层瓦斯分区排放的形成机理研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 467-471.
- [4] 王兆丰, 范迎春, 李世生. 水力冲孔技术在松软低透突出煤层中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 52-55.

(上接第44页)

二,煤层的贫煤区、无烟煤区和天然焦区是瓦斯分区、分带的边界,控制了瓦斯的赋存和分布。瓦斯含量总体呈北高南低的分布趋势,深部瓦斯含量高,浅部瓦斯含量低。

2)通过分析薛湖煤矿二₂煤层瓦斯地质规律控制因素,可知薛湖煤矿的瓦斯赋存规律与断层构造、褶皱构造、岩浆岩活动等地质条件密切相关。贫煤区瓦斯赋存的主控因素为煤层埋深;无烟煤区瓦斯赋存的主控因素为煤层埋深和顶板20m内泥岩厚度。

参考文献:

- [1] 周心权. 基于瓦斯爆炸事故剖析突发事件应急处置的重要性[J]. 煤炭科学技术, 2012, 42(1): 40-43.
- [2] 张子敏, 张玉贵. 瓦斯地质规律和瓦斯预测[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2005.
- [3] 孙波, 杜泽生, 李振信, 等. 煤与瓦斯突出区域多因素综合预测方法[J]. 煤矿安全, 2008, 39(10): 39-41.
- [4] 史建恩. 煤层瓦斯运移规律及抽放机理研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(7): 48-51.

- [5] 石必明, 穆朝民. 突出煤层注水湿润防突试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 147-150.
- [6] 陈向军, 王兆丰, 程远平, 等. 水力挤出消突技术在水井头煤矿掘巷中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(3): 49-52.
- [7] 刘明举, 潘辉, 李拥军, 等. 煤巷水力挤出防突措施的研究与应用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(2): 168-171.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 林柏泉, 孟杰, 宁俊. 含瓦斯煤体水力压裂动态变化特征研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(1): 106-110.
- [11] 宋志敏, 任建刚, 张子戍, 等. 煤层气井水力压裂及对煤层顶底板的影响研究[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(5): 32-35.
- [12] 卫修君, 王满. 平顶山矿区单一突出煤层瓦斯抽采新技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12): 42-47.
- [13] 黄文尧, 颜事龙, 刘泽功, 等. 煤矿瓦斯抽采水胶药柱在煤层深孔爆破中的研究与应用[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 472-476.
- [14] 孟召平, 侯泉林. 高煤级煤储层渗透性与应力耦合模型及控制机理[J]. 地球物理学报, 2013, 56(2): 667-675.
- [15] Zhang J, Standifird, W, Roegiers, J C, et al. Stress-Dependent Fluid Flow and Permeability in Fractured Media: from Lab Experiments to Engineering Applications[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2007, 40(1): 3-21.
- [16] 余陶, 卢平, 朱贵旺. 穿层钻孔水力压裂强化抽采瓦斯消突技术应用研究[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(6): 172-175.

2010, 29(6): 128-130.

- [5] 富向, 王魁军, 杨天鸿, 等. 构造煤的瓦斯放散特征[J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 776-778.
- [6] 姜有, 张冬云, 刘冲, 等. 保安煤矿15号煤层瓦斯规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(6): 61-63.
- [7] 王怀勤, 朱炎铭, 李伍, 等. 煤层气赋存的两大控制因素[J]. 煤炭学报, 2011, 36(7): 1129-1133.
- [8] 张志荣, 张子敏, 李普, 等. 绿水洞矿井地质构造特征与瓦斯赋存规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(10): 105-108, 128.
- [9] 刘明举, 崔凯. 车集煤矿二₂煤层瓦斯赋存的影响因素分析[J]. 煤矿安全, 2012, 43(4): 112-115.
- [10] 张振文, 高永利, 代凤红, 等. 影响晓南矿未开采煤层瓦斯赋存的地质因素[J]. 煤炭学报, 2007, 32(9): 950-954.
- [11] 王兆丰, 赵鹏涛, 王林, 等. 塞崖底煤矿煤层瓦斯含量影响因素分析[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(4): 49-51.
- [12] 闫江伟, 张子敏, 张玉贵, 等. 晋城武庄井田3#煤层瓦斯含量分布特征[J]. 煤矿安全, 2008, 39(4): 69-71.
- [13] 王怀勤, 朱炎铭, 罗跃, 等. 林西矿瓦斯赋存特征及其地质因素分析[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(2): 89-93.
- [14] 刘明举, 牟全斌, 魏建平, 等. 新安煤矿瓦斯赋存规律及影响因素探讨[J]. 煤矿安全, 2007, 38(11): 60-62.