

doi: 10.11799/ce201808018

CO₂ 预裂增透抽采瓦斯技术及工程试验

武志高¹, 令狐建设², 赵庆珍¹, 郭爱军¹, 温照翠¹

(1. 山西能源学院, 山西 晋中 030600; 2. 山西阳泉煤业(集团)有限责任公司, 山西 阳泉 045000)

摘要:为解决高瓦斯低透气性煤层瓦斯抽难题,寻找高效、经济、适用范围广的增透新方法,在新景公司佛注北九正巷和保安南四采区进行CO₂煤层预裂增透工程试验,通过对瓦斯抽采浓度、流量、抽采半径等参数观测分析结果表明:进行CO₂预裂后能将瓦斯平均浓度由预裂前的9%提高到预裂后的19%,起到很好的增透效果;预裂影响的有效半径在30~50m范围之内;在CO₂预裂时,爆孔周围存在应力集中区,冲击波在传播过程中,存在“应力释放—应力集中—应力释放”的波形循环,这一规律影响着CO₂预裂作用效果。

关键词: CO₂ 预裂; 增透; 瓦斯抽采; 波形循环

中图分类号: TD712⁺.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0959(2018)08-0068-04

Research and engineering test of gas drainage technology through CO₂ pre-fracturing for permeability increment

WU Zhi-gao¹, LINGHU Jian-she², ZHAO Qing-zhen¹, GUO Ai-jun¹, WEN Zhao-cui¹

(1. Shanxi Institute of Energy, Jinzhong 030600, China;

2. Yangquan Coal Industry (Group) Co., Ltd., Yangquan 045000, China)

Abstract: In order to solve the problem in high gas and low permeability coal seam gas drainage, and search for effective, economic, applicable permeability increment technology, CO₂ coal seam pre-fracturing engineering test was carried out in an underground coal mine. According to the monitoring results of gas drainage concentration, flow rate, drainage radius and other observation parameters, after CO₂ pre-fracturing, the average gas concentration can be increased from 9% to 19%, showing a favorable permeability increment effect; the effective radius of pre-fracturing is within the range of 30~50m; during CO₂ pre-fracturing, there is a stress concentration area around the blasthole; and during the propagation of the shock wave, there is a waveform of stress release-stress concentration-stress release, which affects the effect of CO₂ pre-fracturing.

Keywords: CO₂ pre-fracturing; permeability increment; gas drainage; waveform cycle

目前,我国95%以上的高瓦斯和突出矿井煤层均属于低渗透煤层^[1],而且,我国煤炭资源有三分之二处于千米以下,占煤炭资源总量的53%,开采深度平均每年以20m的速度在增加,预计在未来20年很多煤矿将达到1000~1500m的深度^[2,3]。随着开采深度增加,瓦斯含量增加,煤层的透气性愈加降低,因此,寻找高效、经济、适用范围广的增透新方法,是目前国内外煤层气开发及矿井瓦斯治理的重要研究方向。

对于煤与瓦斯突出矿井而言,如何有效开展区域消突,

并且达到《防治煤与瓦斯突出规定》中区域消突效果的要求,是煤与瓦斯突出矿井当前最重要的任务之一。液态CO₂预裂技术最早用于油气的开发中^[4],近年来作为一种新技术在低渗透煤层增透、防治煤与瓦斯突出取得良好效果^[5-14],本文通过在阳泉煤业(集团)股份有限公司新景公司佛注采区、保安采区开展CO₂煤层预裂增透现场试验,对瓦斯抽采浓度、流量、抽采半径等参数对比研究,分析CO₂预裂增透增透效果,形成适合于阳煤集团试验矿井CO₂煤层预裂增透技术工艺,为阳煤集团高突矿井快速掘

收稿日期: 2017-10-24

作者简介: 武志高(1968—),男,山西文水人,高级工程师,主要从事矿井地质及水害防治教学与研究, E-mail: wzg200868@126.com。

引用格式: 武志高,令狐建设,赵庆珍,等. CO₂ 预裂增透抽采瓦斯技术及工程试验 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(8): 68-71.

进提供技术支持。

1 试验区概况

新景公司位于阳泉市西部,井田东西走向长 10.5km,南北宽 8.5km,井田面积 59.3km²。累计探明地质储量 10.9 亿 t,2012 年底保有资源储量 9.35 亿 t,可采储量 5.69 亿 t,均为优质无烟煤。矿井为主斜井-副立井混合开拓方式,共有 8 个采区,即芦南二区 3[#]煤采区、保安 3[#]煤采区、芦南一区 8[#]煤采区、芦南 8[#]煤北翼采区、15[#]煤西区、15[#]煤东区、15[#]煤二区、420 水平芦南区。主采 3[#]、8[#]、15[#]煤,配采 6[#]、9[#]煤,其中 3[#]煤层为突出煤层。井田内佛洼采区、保安采区布置有 3[#]煤工作面。本次工程试验在芦南二区 3[#]煤采区、保安 3[#]煤采区进行。

3[#]煤层属 II-III 类强烈破坏煤,煤层瓦斯压力 1.05~1.30MPa,煤层软分层坚固性系数 $f=0.40\sim 0.52$,瓦斯放散初速度 $\Delta P=15.6$,透气性系数 $\beta=0.016\sim 0.178\text{m}^2/(\text{MPa}^2\cdot\text{d})$,煤层瓦斯含量最大 18.17m³/t,平均 11.22m³/t。煤层透气性差、瓦斯含量大。2013 年度矿井瓦斯等级鉴定结果:矿井绝对瓦斯涌出量 331.65m³/min,相对瓦涌出量为 32.52m³/t,属煤与瓦斯突出矿井^[3]。

2 CO₂ 预裂增透原理与装备

利用 CO₂ 预裂增透治理瓦斯技术主要通过液态 CO₂ 在密闭空间液-气两相转变的过程中,释放出的大量高能气体,对煤体进行预裂^[1]。CO₂ 在 31℃ 以下、7.2MPa 压力以上时以液态存在。超过 31℃ 时,液态 CO₂ 在 100~300mms 内气化,初始释放的 60~200MPa 的压力对煤体造成“爆轰”冲击,其产生的高压冲击波能够在 30~60mms 内对煤体冲击致裂,增加煤体的透气性。同时,由于煤对 CO₂ 的吸附性能高于 CH₄,气化的 CO₂ 可置换和驱替煤中的 CH₄,使煤层中的瓦斯在致裂增透和置换驱替双重作用下,提高煤层瓦斯抽采效率。

CO₂ 预裂装备组件由可调式顶杆、引出杆、水压封孔器、连接件、预裂装置组成,如图 1 和图 2 所示。预裂装置管腔内预先安设并固定化学发热材料装置,然后将液态的 CO₂ 注入管腔内,通过矿用发炮器激活装置内的化学发热材料,对腔内的液态 CO₂ 进行加热,使其受热汽化膨胀,待达到预设压力后,卸压片自动打开,高压 CO₂ 气体瞬间释放,产生的高压波对煤体产生预裂作用,最终达到增透的目的。

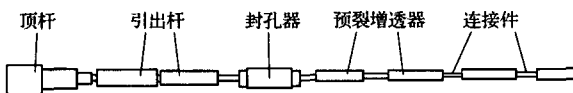


图 1 预裂装置示意图

刘泽功等对炸药爆破使煤体致裂的过程进行了数值模拟,认为在深孔预裂爆破过程中大致经历动压冲击震裂、

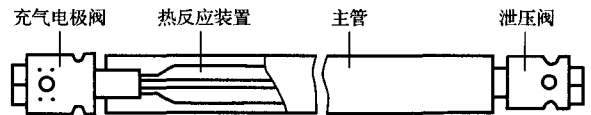


图 2 预裂装置内部结构简图

应力波在煤体中传播以及爆生气体驱动裂纹扩展三个过程^[15]。文虎等采用液态 CO₂ 进行煤层压裂增透现场试验,分析认为压裂过程分为 3 个阶段,各阶段煤体破坏形式依次为钻孔破碎区裂隙起裂—弱面扩展—微孔隙破坏,现场压裂试验结果表明压裂半径可达 10~20m^[16]。笔者在新景公司的现场试验中,观测发现 CO₂ 预裂增透的过程与炸药预裂爆破增透的过程是一致的,同样存在动压冲击震裂、应力波在煤体中传播以及爆生气体驱动裂纹扩展三个过程。所不同的是冲击动压震裂、应力波传播的时间要比炸药预裂爆破的时间要长一些,影响范围要小一些,并且在 CO₂ 预裂时,爆孔周围产生的应力集中区的应力值及应力范围小,“应力墙”弱,更有利于后期的裂纹扩展。在冲击波的传播过程中,存在“应力释放—应力集中—应力释放”的波形循环,冲击波离预裂中心越远,波形循环的特征越弱,如图 3 所示,这一特征为 CO₂ 置换驱替瓦斯创造了有利条件。

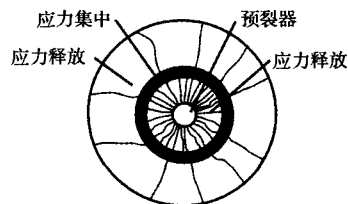


图 3 波形循环模式图

3 预裂增透试验

3.1 佛洼北九正巷 CO₂ 预裂增透试验

佛洼北九正巷试验区位于芦南二采区北翼中部,开采的 3[#]煤层赋存稳定,结构简单,属中灰、低硫的优质无烟煤,煤层以镜煤、亮煤为主,内生裂隙发育。总体构造特征为单斜构造,南部倾向 SW,煤层倾角 4°~8°;中部倾向近 W,煤层倾角 5°~7°;北部倾向 SW,煤层倾角 4°~6°。

2014 年 9 月 26 日在佛洼北九正巷进行 CO₂ 煤层预裂增透试验,预裂孔在左右钻场各施工一个(1[#], 2[#]),采用 ZYJ-380/210 型液压钻机施工,钻头 Φ89mm,1[#]钻孔方位角为左偏 13°,距左帮 1.2m;2[#]钻孔方位角为右偏 13°,距右帮 0.6m。两个钻孔距底板均为 1.2m,两孔开孔间距 2.75m,终孔间距孔 35m,孔深 70m,如图 4 所示。对 1[#]、2[#]孔进行预裂后观测瓦斯抽采流量和抽采浓度。

预裂后瓦斯抽采量及抽采浓度情况见表 1,由表 1 可以看出,预裂后瓦斯流量达到最高 0.96m³/t,浓度为 25%,

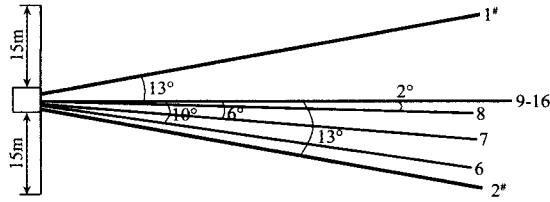


图4 预裂钻孔布置图

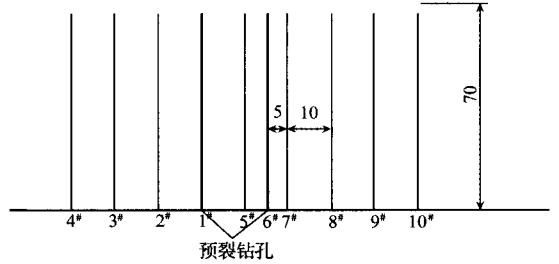


图5 预裂钻孔与抽采钻孔布置图(m)

13d后瓦斯流量降至 $0.28\text{m}^3/\text{t}$ ，浓度为13%。在13d内，瓦斯浓度衰减量为13%，平均每天衰减1%，瓦斯流量衰减量为 $0.68\text{m}^3/\text{t}$ ，平均每天衰减 $0.052\text{m}^3/\text{t}$ 。瓦斯的平均流量为 $0.49\text{m}^3/\text{t}$ ，平均浓度为19%，与新景公司采取的常规措施相比(平均瓦斯浓度9%)，瓦斯浓度提高了111%，效果显著。表明采用该技术后钻孔周边煤体的透气性得到了极大的提高，经 CO_2 驱替作用煤体中解析瓦斯量也有了显著的提高。

表1 预裂后瓦斯抽采量及抽采浓度表

日期	流量(纯量)/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	浓度/%
09-26	0.96	25
09-27	0.67	20.8
09-28	0.68	23.8
09-29	0.47	20.5
09-30	0.46	20
10-01	0.46	20
10-03	0.43	19
10-04	0.40	18
10-05	0.45	20
10-06	0.50	19
10-07	0.33	15
10-08	0.28	12
10-09	0.28	13

看出，在第一阶段预裂后，离1#预裂孔最远的4#孔的瓦斯初始流量最高，达到 $0.18\text{m}^3/\text{min}$ ，反而离1#预裂孔最近的2#、3#孔的初始瓦斯流量均不高，分别为 $0.07\text{m}^3/\text{min}$ 和 $0.06\text{m}^3/\text{min}$ 。4#孔的瓦斯流量衰减在4个孔中也是最小的。可以认为，在距1#预裂孔30m的4#孔受到1#预裂孔的影响。

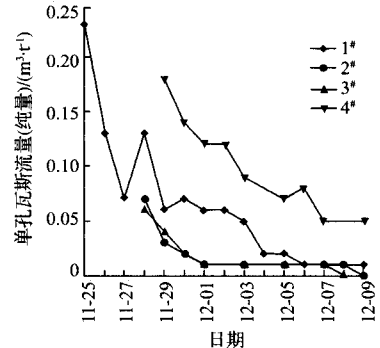


图6 1#—4#孔瓦斯流量曲线

3.2 保安南四 CO_2 预裂增透试验

为了进一步研究 CO_2 预裂增透半径及应力波传播特征，选择在保安南四采取进一步试验，该试验区位于保安采区南翼东部。南四正副巷总体为一轴向NNE的向斜构造，两翼倾角 $2^\circ \sim 7^\circ$ ，南五正副巷北部为一倾向SE的单斜构造，煤层倾角 $3^\circ \sim 10^\circ$ ，南部为一轴向NNE向斜构造，两翼倾角 $2^\circ \sim 7^\circ$ 。

本次试验共施工 CO_2 预裂钻孔2个(1#、6#)，为了测试 CO_2 预裂增透半径，布置了距预裂孔不同间距的抽采孔。在1#预裂钻孔左侧10m、20m、30m各施工一个预抽钻孔，在6#预裂钻孔左侧5m施工一个预抽钻孔及右侧5m、15m、25m、35m一个预抽钻孔，共计施工10个钻孔，钻孔深度均为70m，预裂钻孔与抽采钻孔布置情况如图5所示。本次试验的工作顺序是预裂1#孔后，依次施工4#、3#、2#预抽孔；预裂6#孔后，依次施工5#、7#、8#、9#、10#预抽孔。并对每个钻孔的瓦斯抽采参数进行观测统计。

1#—4#孔瓦斯流量曲线如图6所示，通过数据分析可以

5#—10#孔瓦斯流量曲线如图7所示，通过图7可以看出，6#孔预裂后，在其右侧的8#孔和10#孔初始瓦斯流量最高，分别为 $1.08\text{m}^3/\text{min}$ 和 $0.52\text{m}^3/\text{min}$ ，远高于1#和4#孔的初始瓦斯流量。综合分析认为，在距6#预裂孔35m的10#孔，受到了6#预裂孔的影响，同时6#—10#孔不仅受到6#预裂孔的影响，也受到1#孔的影响(1#预裂孔距10#孔50m)。

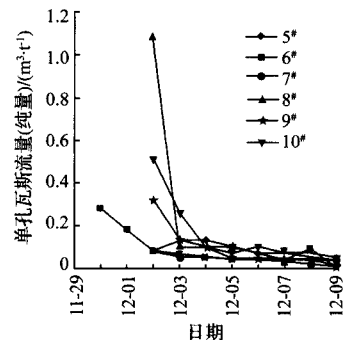


图7 5#—10#孔瓦斯流量曲线

分析图6、图7可知，5#孔位初始瓦斯流量相对较小，2#、3#初始流量也较小，5#、2#、3#三个孔距1#、6#预裂孔

更近,流量反而降低,分析其原因认为,CO₂预裂产生的冲击波存在“应力释放—应力集中—应力释放”的波形循环过程,这一规律是造成了5*、2*和3*孔瓦斯流量较小的主要原因。

1*—10*孔平均瓦斯流量曲线如图8所示,对预裂后10个预抽孔的瓦斯平均流量进行统计分析可以很好的解释波形循环过程。从图8中可以看出,1*孔是预裂孔,应力得到释放,单孔瓦斯流量较高,2*、3*孔进入应力相对集中区,瓦斯流量低,4*孔应力再次释放。因此,瓦斯流量在1*孔和4*孔中最高。

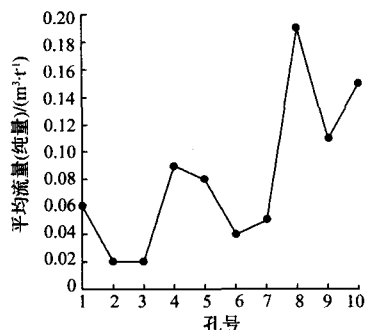


图8 1*—10*孔平均瓦斯流量曲线

5*—10*孔由于受到1*孔和6*孔预裂冲击波的叠加影响,“应力释放—应力集中—应力释放”的波形循环更加明显。在第二阶段预裂的5*—10*孔中,5*孔受1*预裂孔和6*预裂孔的叠加影响,应力相对集中,瓦斯流量相对较小,7*孔达到最低值,为应力相对集中区,8*孔瓦斯流量最高,为应力释放区,9*孔的瓦斯流量介于8*孔和10孔之间,为应力集中较弱区,10*孔瓦斯流量升高,为应力释放区。

4 结论

1) 在佛洼北九正巷开展CO₂预裂增透试验,预裂后瓦斯浓度显著提高,其中瓦斯浓度最高达到25%,最低12%,平均19%。与新景公司采取常规措施抽采的9%平均瓦斯浓度相比,瓦斯浓度提高了111%,起到很好的增透效果。

2) 在保安南四开展CO₂预裂增透试验,通过对预裂钻孔和抽采钻孔瓦斯流量变化规律分析,得出CO₂预裂增透效影响半径可达30~50m。

3) 在CO₂预裂时,爆孔周围存在应力集中区,冲击波在传播过程中,存在“应力释放—应力集中—应力释放”的波形循环,冲击波传播越远,波形循环的特征越弱,“应力墙”显现越弱,有利于后期的裂纹扩展,这一规律影响着CO₂预裂作用效果。

参考文献:

- [1] 孙文忠. 低渗煤层CO₂预裂增透高效瓦斯抽采原理及应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 100-105.
- [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.
- [3] 阳泉煤业(集团)股份有限公司, 山西瑞气临科贸有限公司. CO₂预裂增透抽采瓦斯快速掘进技术研究报告[R]. 2014.
- [4] 谢平, 侯光东, 韩静静. CO₂压裂技术在苏里格气田的应用[J]. 断块油气田, 2009, 16(5): 104-106.
- [5] 陈喜恩, 赵龙, 王兆, 等. 液态CO₂相变致裂机理及应用技术研究[J]. 煤炭工程, 2016, 48(97): 95-97, 101.
- [6] 雷云, 刘建, 张哨楠. CO₂相变致裂本煤层增透技术研究[J]. 工程地质学报, 2017, 25(1): 215-221.
- [7] 任志成, 杜刚, 年军. 高瓦斯煤层液态CO₂致裂消突巷道快速掘进技术[J]. 煤矿安全, 2017, 48(5): 77-80.
- [8] 李艳奎, 吴世跃, 牛煜, 等. CO₂深孔控制预裂加快工作面巷道掘进试验研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(2): 55-58.
- [9] 焦中华, 倪小明, 贾炳. CO₂增能压裂在煤层气垂直井中的应用[J]. 煤炭工程, 2011, 43(2): 48-50.
- [10] 李志强. CO₂预裂爆破增透技术在瓦斯抽采中的应用[J]. 山西焦煤科技, 2014(7): 30-31, 40.
- [11] 郭爱军, 孟秀峰, 令狐建设, 等. CO₂预裂增透瓦斯抽采技术研究[J]. 中国煤炭, 2018, 44(2): 105-108.
- [12] 王会斌, 王辉跃, 吝玉晓. 山西襄矿集团上良煤业32206工作面CO₂预裂爆破增透消突试验研究[J]. 华北科技学院学报, 2015, 12(2): 33-36.
- [13] 张悦, 张民波, 朱天玲, 等. 低透气性煤层CO₂增透预裂技术应用[J]. 科技导报, 2013, 31(23): 36-39.
- [14] 赵龙, 王兆丰, 孙矩正, 等. 液态CO₂相变致裂增透技术在高瓦斯低透煤层的应用[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(3): 75-79.
- [15] 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(自科版), 2008, 28(4): 16-20.
- [16] 文虎, 李珍宝, 王振平, 等. 煤层注液态CO₂压裂增透过程及裂隙扩展特征试验[J]. 煤炭学报, 2016, 41(11): 2793-2799.

(责任编辑 张宝优)