

DOI: 10.13347/j.cnki.mkaq.2018.03.002

煤与瓦斯突出煤层 CO₂ 相变致裂增透技术 试验研究

邹永铭

(1.煤科集团沈阳研究院有限公司,辽宁 抚顺 113122;2.煤矿安全技术国家重点实验室,辽宁 抚顺 113122)

摘要:针对车集煤矿煤层瓦斯压力较高、透气性差、瓦斯预抽难度大等问题,提出了在二₂煤层进行 CO₂ 相变致裂增透技术试验。进行了 CO₂ 相变致裂技术原理和 CO₂ 致裂装置研究,设计了 CO₂ 相变致裂增透影响半径试验方案和 CO₂ 相变致裂增透瓦斯抽采效果试验方案。现场试验结果表明,本次 CO₂ 相变致裂增透试验的影响半径为 4 m;在观测的 15 d 内,致裂组的平均瓦斯抽采流量为普通抽采组平均瓦斯抽采流量的 1.7 倍。

关键词: CO₂ 相变致裂;煤层增透;影响半径;抽采效果;瓦斯抽采

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 1003-496X(2018)03-0005-04

Experimental Study on Permeability Increasing Technique with CO₂ Phase Transition Fracturing in Coal and Gas Outburst Coal Seam

ZOU Yongming

(1.China Coal Technology and Engineering Group Shenyang Research Institute, Fushun 113122, China;2.State Key Laboratory of Coal Safety Technology, Fushun 113122, China)

Abstract: According to the problems of the high gas pressure, the low permeability, the difficult gas pre-drainage at Cheji Coal Mine, the permeability increasing technique tests by CO₂ phase transition fracturing were carried out in the II₂ coal seam. The technical principle of CO₂ phase transition fracturing and CO₂ phase transition fracturing device were studied, the influence radius testing programs and the gas extraction effect testing programs of CO₂ phase transition fracturing technique were designed. The field tests showed that, the radius of influence of CO₂ phase transition fracturing test was 4 m, and the average gas extraction flow of the fracturing group was 1.7 times that of the normal extraction group in 15 d.

Key words: CO₂ phase transition fracturing; coal seam permeability increasing; influence radius; extraction effect; gas extraction

目前我国煤层强化增透技术主要包括开采保护层、深孔预裂爆破、水力压裂、水力冲孔(割缝)和密集钻孔等,但由于部分技术措施的条件和工艺不完善,煤层的增透效果并不理想。近些年来,液态 CO₂ 相变致裂技术作为新的技术手段应用到煤矿掘进、放顶和煤层增透等技术领域,液态 CO₂ 相变致裂技术作为物理爆破方法克服了传统炸药爆炸易产生火花,高压起爆,破坏性大,危险性高等缺点^[1-4]。液态 CO₂ 相变致裂技术的研究目前基本停留在基本原理和装备的研制,具体的致裂过程,致裂影响范围和致裂钻孔参数的设计等都未进行深入研究,针对

上述存在问题,结合煤矿现场的实际条件,进行 CO₂ 相变致裂原理和装置研究,进行 CO₂ 相变致裂钻孔参数设计和致裂影响范围研究,可为类似条件下 CO₂ 相变致裂增透提供借鉴,具有一定的实用意义。

1 工程概况

车集煤矿井田南北走向长 14 km,东西倾向宽 3~5 km,井田面积 61.4 km²,生产能力 180 万 t/a。车集煤矿属煤与瓦斯突出矿井,水文地质条件中等。目前矿井正在回采的二₂煤层,属Ⅲ类不易自燃煤层,煤尘无爆炸危险性。

2713 工作面二₂煤层平均厚度 2.8 m,煤层倾角平均 12°。煤层原始瓦斯含量为 17.6 m³/t,原始瓦斯压力 0.95 MPa,瓦斯放散初速度为 4~31 mmHg

基金项目: 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2014QN006);“十三五”国家科技重大专项资助项目(2016ZX05067004-003)

(1 mmHg=133.322 4 Pa), 煤的坚固性系数为 0.18~0.93, 钻孔瓦斯流量衰减系数为 0.042 6~0.365 3 d⁻¹, 属于可以抽采~较难抽采煤层; 二₂煤层透气性系数 0.210 3~2.010 9 m²/(MPa²·d), 属于可以抽采煤层。

针对车集煤矿 2713 工作面二₂煤层瓦斯压力较高、透气性差、煤层瓦斯预抽难度大等特点, 结合车集煤矿煤层瓦斯赋存条件, 在车集煤矿 27 采区的 2713 上巷底抽巷中部车场进行 CO₂ 相变致裂增透试验, 主要试验内容为 CO₂ 相变致裂增透影响半径试验和 CO₂ 相变致裂增透瓦斯抽采效果试验。考察 CO₂ 相变致裂增透效果, 传承矿区现用增透技术的优点、弥补现用增透技术的缺陷, 提高单孔抽采量和预抽瓦斯浓度及抽采效果, 提高工作面回采速度, 降低防突工程费用, 提升矿井瓦斯治理水平, 为矿井安全生产提供保障。

2 CO₂ 相变致裂增透技术

2.1 CO₂ 相变致裂增透技术原理

CO₂ 在低于 31 °C、压力大于 7.35 MPa 时以液态存在, 而超过 31 °C 时开始气化, 且随温度的变化, CO₂ 的压力也不断变化。利用这一特点, 在致裂器主管内充装液态 CO₂, 使用发爆器快速激发加热装置, 液态 CO₂ 瞬间气化膨胀并产生高压, 体积膨胀 600 倍以上, 当气化后的 CO₂ 压力达到定压泄能片的极限强度时(可设定压力), 定压泄能片破断, 高压气体从放气头释放, 作用在煤(岩)体上, 从而达到致裂的目的^[5-8]。

液态 CO₂ 相变致裂过程属于高压气体冲击波对其周围煤体的破坏作用, 致裂启动后加热管经脉冲高压电击催化反应产生热量, 将液态气体瞬间转化为气体, 并冲破致裂筒顶端的破裂片经过释放筒定向地作用到致裂孔周边煤体上。当高压气体冲击波产生的应力大于煤体的极限抗压强度时, 煤体将在强应力作用下发生压缩破坏变形, 形成裂隙高度发育的压实区; 随后, 产生的高压气体将沿裂隙进入煤体深部, 经气楔的作用将使裂隙向深处发育, 整个作用区可分为冲击波直接作用区、压实区和裂隙发育区。另外煤体对二氧化碳的吸附性远高于对瓦斯的吸附性, 使得爆破后的二氧化碳能够滞留, 且驱替出大量煤体吸附的瓦斯^[9-11]。CO₂ 致裂原理示意图如图 1。

2.2 CO₂ 致裂增透装置

CO₂ 致裂器是 1 种新型应用于低透气煤层增透的设备, 与传统的火药致裂器材不同, CO₂ 致裂过程

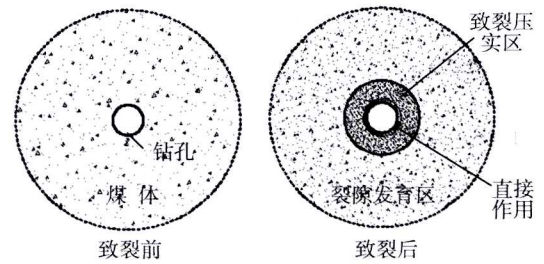


图 1 CO₂ 致裂原理示意图

为液态到气态的物理变化过程, 致裂过程中不会产生火花。CO₂ 致裂器是由 1 个高强度的可以重复使用的充装液态 CO₂ 金属管、加热器(发热装置)、定压泄能片、释放管等组成。将 CO₂ 致裂器置于煤体钻孔内, 使用发爆器通过脉冲高压对加热管进行电击触发, 加热管反应瞬间产生大量的热, 使液态 CO₂ 在 20 ms 内转化为气态, 体积膨胀 600 倍, 冲破定压泄能片由释放头释放出去对致裂孔周边产生较长时间的冲击破坏。CO₂ 致裂器结构示意图如图 2。

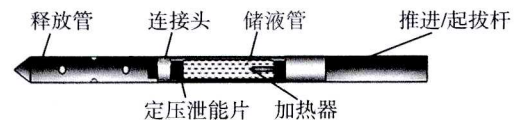


图 2 CO₂ 致裂器结构示意图

试验的 CO₂ 致裂器经过国家安监局安全性能检验, 取得矿用产品安全标志证书。试验所用致裂器型号为 MZL150—50/1180; 致裂器出口压力为 275 MPa; 外径为 50 mm; 长 1 180 mm; 二氧化碳充装量 (1.0±0.15) kg(致裂后常温常压下 CO₂ 体积 0.5 m³)。

3 CO₂ 相变致裂增透试验方案

3.1 CO₂ 相变致裂增透影响半径试验方案

在距 2713 上巷底板抽放巷走向点 SD15 外 14.10 m 施工 1 组穿层钻孔, 布置 1 个致裂孔(编号 1# 钻孔), 6 个观测孔(编号 2# 钻孔、3# 钻孔、4# 钻孔、5# 钻孔、6# 钻孔和 7# 钻孔), 各钻孔一次性穿透煤层, 钻孔布置如图 3。优先施工 2#~7# 钻孔, 再施工 1# 钻孔, 1# 钻孔先使用封孔器进行封孔, 2#~7# 钻孔使用合成树脂+7 m 的 φ50 封孔管封孔 6 m。在 1# 钻孔致裂前, 2#~7# 钻孔安装膜式燃气表, 观测 2#~7# 钻孔的瓦斯自然排放流量和瓦斯浓度, 观测时间至少为 3 d; 1# 钻孔致裂期间将 2#~7# 钻孔的燃气表拆除, 1# 钻孔致裂后, 再将 2#~7# 钻孔的燃气表安装,

观测 2#~7# 钻孔的瓦斯流量和瓦斯浓度变化, 根据观测点与致裂孔的距离确定致裂影响半径。

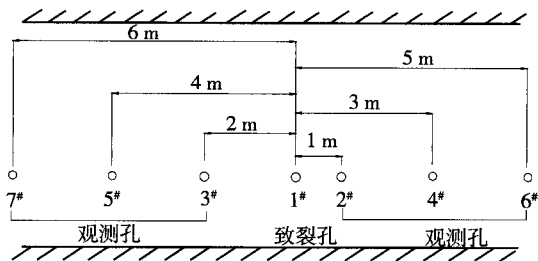


图3 影响半径测定钻孔布置示意图

3.2 CO₂ 相变致裂增透瓦斯抽采效果试验方案

在距 2713 上巷底板抽放巷走向点 SD1 外 6.60 m 施工 I 组穿层钻孔 (I 组钻孔编号为 8#、9#、10#、11#、12# 和 13#); 在距 2713 上巷底板抽放巷走向点 SD14 外 20.40 m 施工 II 组穿层钻孔 (II 组钻孔编号为 14#、15#、16#、17#、18# 和 19#); I 组中选择的 3 个钻孔进行致裂, 致裂孔与抽采钻孔间隔开; II 组为普通抽采钻孔, 不进行 CO₂ 相变致裂增透, 钻孔施工完毕后连接抽采系统进行瓦斯抽采, II 组钻孔作为对比钻孔与 I 组钻孔进行瓦斯抽采效果对比, 钻孔布置示意图如图 4。

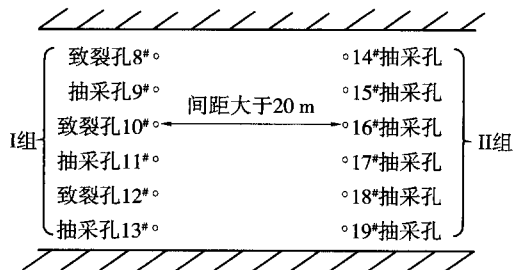


图4 抽采效果钻孔布置示意图

I 组钻孔的 8#~13# 钻孔施工完成后, 各钻孔先使用封孔器进行封孔, 钻孔在致裂时将封孔器拆除, 待进行 CO₂ 致裂试验结束后统一按照有关抽采规定的要求进行封孔。II 组钻孔的 14#~19# 钻孔为普通抽采钻孔, 不进行 CO₂ 相变致裂增透, 钻孔施工完毕后连接抽采系统进行瓦斯抽采。在每组钻孔接入抽放系统前安装导流管, 再抽采负压相同条件下, 对 2 组钻孔的抽采参数进行观测。然后对致裂组钻孔与正常抽采组钻孔的抽采效果进行比较。

4 CO₂ 相变致裂增透试验结果

4.1 CO₂ 相变致裂增透影响半径试验结果

1# 钻孔施工完毕后, 通过钻机推送 1 根 CO₂ 致裂管到煤层内, 进行煤层致裂。现场由于 2# 钻孔至 7# 钻孔的封孔效果不理想, 各钻孔的瓦斯浓度均不大, 有的钻孔瓦斯浓度甚至一直为 0, 因此 2#~7# 钻孔的瓦斯浓度值在致裂前后的变化不能作为参考, 各钻孔瓦斯自然排放流量变化曲线如图 5。

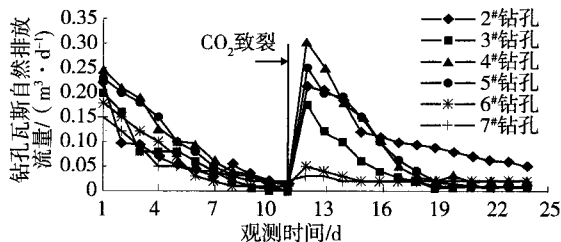


图5 各钻孔致裂前后瓦斯自然排放流量变化曲线

从图 5 可以看出, 在 1# 钻孔致裂后, 2#~5# 钻孔的瓦斯自然排放流量突然间增大, 5# 钻孔的瓦斯自然排放流量为致裂前的 25 倍; 1# 钻孔致裂前后, 6# 钻孔和 7# 钻孔瓦斯自然排放流量变化不大, 结合各钻孔与 1# 钻孔的布置位置来判断, CO₂ 致裂影响到 5# 钻孔, 本次 CO₂ 相变致裂增透试验的影响半径为 4 m, 影响范围为 8 m。

4.2 CO₂ 相变致裂增透瓦斯抽采效果试验结果

8# 钻孔、10# 钻孔和 12# 钻孔通过钻机各推送 2 根 CO₂ 致裂管进行煤层致裂, 致裂后按照组别连接抽采系统进行抽采。现场由于 8#~19# 钻孔的封孔效果不理想, 各钻孔的瓦斯浓度均不大, 有的钻孔瓦斯浓度甚至一直为 0, 因此 8#~19# 钻孔的瓦斯浓度值在致裂前后的变化不能作为参考, 因此考察瓦斯抽采效果时只对 2 组钻孔的抽采瓦斯流量进行考察, I 组和 II 组的抽采流量变化曲线如图 6。

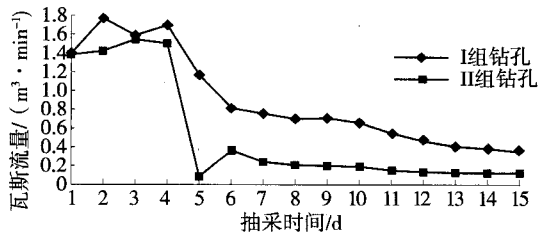


图6 钻孔瓦斯抽采流量变化曲线

从图 6 可以看出, I 组钻孔的瓦斯抽采流量均高于 II 组钻孔的瓦斯抽采流量, 在观测的 15 d 内 I 组钻孔的平均瓦斯抽采流量为 0.892 8 m³/min, II 组钻孔的平均瓦斯抽采流量为 0.523 7 m³/min, I 组钻

孔的平均瓦斯抽采流量是 II 组钻孔的平均瓦斯抽采流量的 1.7 倍, 在二₂煤层进行 CO₂ 相变致裂增透效果明显。

5 结论

1) 介绍了 CO₂ 相变致裂增透技术原理和增透装置, CO₂ 致裂器是由 1 个高强度的可以重复使用的充装液态 CO₂ 金属管、加热器(发热装置)、定压泄能片、释放管等组成, 通过加热装置使液态 CO₂ 瞬间气化膨胀并产生高压气体, 高压气体从放气头释放, 作用在煤体上, 从而达到致裂的目的。

2) 设计了不等距 CO₂ 相变致裂增透影响半径考察方案, 根据观测孔在致裂孔致裂前后钻孔瓦斯流量和浓度的变化, 结合观测孔离致裂孔的不同距离, 确定 CO₂ 相变致裂增透影响半径; 设计了 2 组抽采效果考察钻孔, I 组钻孔为致裂钻孔, II 组钻孔为普通抽采钻孔, 通过考察 2 组钻孔的抽采流量, 考察 CO₂ 相变致裂增透瓦斯抽采效果。

3) 通过不等距考察本次 CO₂ 相变致裂增透试验的影响半径为 4 m, 影响范围为 8 m; I 组钻孔的平均瓦斯抽采流量是 II 组钻孔的平均瓦斯抽采流量的 1.7 倍, 证明在二₂煤层进行 CO₂ 相变致裂增透效果明显, 也为矿方将来进行煤层增透提供了新的技术途径和手段。

参考文献:

[1] 于不凡. 煤矿灾害防治及利用手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.

(上接第 4 页)

- [14] Linga P, Kumar R, Englezos P. The clathrate hydrate process for post and pre-combustion capture of carbon dioxide [J]. Hazard Mater, 2007, 149 (3): 625-629.
- [15] 吴强, 王世海, 张保勇, 等. THF 对高浓度 CH₄ 瓦斯水合分离效果影响实验[J]. 煤炭学报, 2016, 41(5): 1158-1164.
- [16] 钟栋梁, 刘道平, 邬志敏, 等. 天然气水合物在喷雾装

- [2] 周西华, 门金龙, 宋东平, 等. 液态 CO₂ 爆破煤层增透最优钻孔参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(3): 524-529.
- [3] 朱拴成, 周海丰, 李浩荡. 二氧化碳炮处理综采工作面巷道三角区悬顶[J]. 煤矿安全, 2013, 44(8): 144.
- [4] 范迎春, 霍中刚, 姚永辉. 复杂条件下二氧化碳深孔预裂爆破增透技术[J]. 煤矿安全, 2014, 45(11): 74-77.
- [5] 霍中刚. 二氧化碳致裂器深孔预裂爆破煤层增透新技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2): 80-83.
- [6] 王兆丰, 孙小明, 陆庭侃, 等. 液态 CO₂ 相变致裂强化瓦斯预抽试验研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2015, 34(1): 1-5.
- [7] 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.
- [8] 石亮, 殷卫锋, 王滨. 基于 CO₂ 爆破致裂增透的瓦斯治理技术与实践[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(12): 72.
- [9] 韩亚北. 液态二氧化碳相变致裂增透机理研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2014.
- [10] 赵立朋. 煤层液态 CO₂ 深孔爆破增透技术[J]. 煤矿安全, 2013, 44(12): 76-79.
- [11] 聂政. 二氧化碳炮爆破在煤矿的应用[J]. 煤炭技术, 2007, 26(8): 140-141.

作者简介: 邹永沼(1986—), 男, 山东临沂人, 硕士, 2012年毕业于中国矿业大学, 现主要从事煤矿瓦斯灾害防治工作。

(收稿日期: 2017-04-14; 责任编辑: 王福厚)

置中的制备[J]. 上海理工大学学报, 2009, 31(1): 27-30.

作者简介: 刘传海(1988—), 男, 黑龙江尚志人, 在读博士研究生, 研究方向为瓦斯灾害防治与利用。

(收稿日期: 2017-03-31; 责任编辑: 王福厚)

