

郭寿松. 软厚煤层液态 CO₂ 相变多点致裂增透技术[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(3): 70-73.

文章编号: 1008-4495(2019)03-0070-04

软厚煤层液态 CO₂ 相变多点致裂增透技术

郭寿松^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

摘要: 针对松软、低透气性高瓦斯突出厚煤层瓦斯抽采效率低、抽采钻孔瓦斯浓度衰减快等问题, 利用优化的液态 CO₂ 相变致裂系统, 在长平矿 4306 采区进行了(底板)穿层钻孔多点致裂试验。试验结果表明: CO₂ 相变多点致裂有效影响半径约为 12.5 m, 且与致裂点数无关; 瓦斯浓度随致裂点数的增加呈线性增加; CO₂ 相变致裂提高了瓦斯抽采浓度, 随着时间的推移瓦斯浓度逐渐下降。因此, 在煤层的不同位置和不同的时间对煤层进行致裂, 是维持或提高煤层瓦斯抽采效率的可选方案。

关键词: 瓦斯抽采; 煤层增透; 相变致裂; 致裂半径; 穿层钻孔

中图分类号: TD712 **文献标志码:** B

Permeability Increasing Technology by Using Liquid CO₂ Phase Transition Multi-Discharge Crack in Soft Thick Coal Seam

GUO Shousong^{1,2}

(1. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China;

2. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China)

Abstract: In view of the problem in soft thick coal seam with low permeability and high gas content outburst, such as the gas extraction efficiency is low, the gas concentration of extraction borehole decreases quickly, by using the optimized liquid CO₂ phase transition fracturing system, the multi-point fracturing test of perforating borehole (floor) in 4306 mining area of Changping Coal Mine was carried out. The experimental results show that the effective influence radius of multi-discharge crack of CO₂ phase transition is about 12.5 m, and it is independent of the number of cracking points; the gas concentration increases linearly with the number of cracking points; the concentration of gas extraction is increased by CO₂ phase transition cracking, and decreases with time going on. Therefore, it is an alternative to maintain or improve the gas extraction efficiency of coal seam to crack the coal seam at different locations and different times.

Keywords: gas extraction; permeability enhanced of coal seam; phase change crack; crack radius; wear layer drilling

煤矿瓦斯事故在我国煤矿安全事故中占据较大比重, 加强瓦斯治理是煤矿安全生产环节的重中之重^[1]。目前, 我国瓦斯治理的主要方法是对煤层瓦斯进行预抽, 从根本上减小瓦斯含量, 同时抽采的瓦斯也可以作为洁净、高效的能源加以利用^[2]。但是, 由于我国煤矿地质条件复杂, 加之煤层开采深度不

断增加, 煤层透气性降低, 瓦斯压力、浓度、放散量和速度不断升高, 给瓦斯抽采带来很大困难^[3]。

为了提高煤层瓦斯抽采的效率, 众多研究人员从改善煤层透气性着手, 提出了多种煤层增透的方法, 包括水力压裂^[4]、水力割缝^[5]、水力冲孔^[6]、深孔预裂爆破^[7]和气爆技术^[8]等。这些技术方法在特定煤层地质条件下能够有效改造煤层, 提高煤层的透气性, 但在部分地区应用效果不甚理想。

实践证明: 爆破技术是一种行之有效的煤层增透技术。然而, 在使用爆破技术的过程中存在哑炮和拒爆的风险, 尤其在煤矿井下, 此类问题一旦发生, 极易引起安全事故。液态 CO₂ 相变致裂技术是近年来比较新兴的煤层致裂、增透、卸压和消突技术^[9-14], 该技术操作简单, 设备器材可重复使用。通

收稿日期: 2018-07-08; 2018-10-15 修订

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFC0801404); 重庆市科技创新领军人才支持计划项目(CSTCKJCLJRC14)

作者简介: 郭寿松(1980—), 男, 湖北竹溪人, 硕士, 副研究员, 主要从事瓦斯灾害防治方面的科研及管理工作。E-mail: 15023090168@163.com。

过在部分矿区的现场试验发现,液态 CO₂ 单点致裂技术(即释放管连接1根储液管在煤层中起爆)对中硬、薄煤层有较好的增透效果^[15],但对于软、厚煤层致裂效果并不理想。基于此,笔者采用液态 CO₂ 多点致裂技术(即释放管连接多根储液管在煤层中起爆),以提高软、厚煤层的渗透率。

1 试验概况

试验地点选择在晋煤集团长平矿三盘区4306采区的底抽巷。该巷道开采煤层为3#煤层,煤层平均厚度为5.67 m,平均倾角为3°。煤层上部以块状煤为主,下部为粉煤,成分以亮煤为主,夹少量暗煤,内生裂隙发育,属光亮型煤,强玻璃光泽,结构简单,夹矸为泥岩。三盘区的煤层瓦斯含量最大超过20 m³/t,煤层瓦斯压力为0.38~0.55 MPa,采区内高瓦斯区域煤层松软、透气性差,抽采钻孔瓦斯浓度衰减快,瓦斯抽采效率低。

2 钻孔布置

试验巷道长度总计100 m,沿巷道每隔5 m设置1组钻孔,共计19组,编号分别为G1~G19。每组布置7个穿层钻孔,且钻孔呈线性排列。其中G1~G4为基础观测孔,用来获取基础数据。钻孔分布如图1所示,底抽巷每组穿层钻孔位置如图2所示。

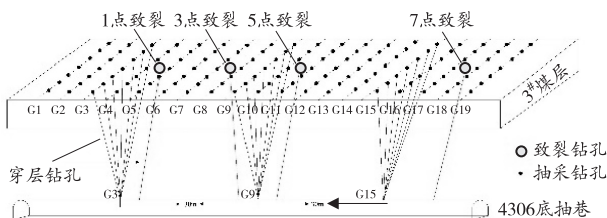


图1 试验段钻孔分布示意图

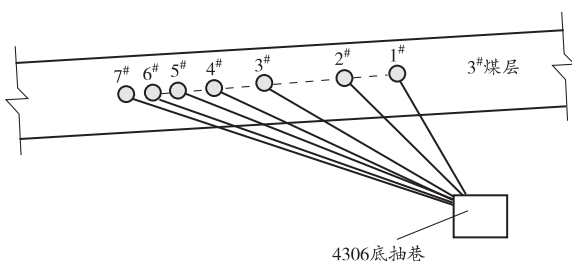


图2 4306底抽巷穿层钻孔位置示意图

每组钻孔施工完后,立即封孔并预抽瓦斯,检测并收集瓦斯数据,直至瓦斯各项数据平稳后进行致裂。每次预裂后,要立即封孔并预抽瓦斯,并安装截流阀以便后期观测。本次试验共进行4次致裂,分别为1点致裂、3点致裂、5点致裂和7点致裂。致裂位置见图1,致裂孔参数如表1所示。

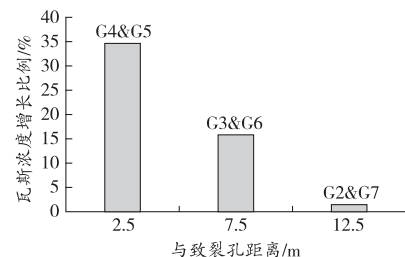
表1 致裂孔参数

类别	钻孔总长度/m	钻孔岩石段长度/m	钻孔煤段长度/m	钻孔倾角/(°)	致裂点位置(距孔底)/m
1点致裂	39	22	16	19	9
3点致裂	39	28	16	19	9
5点致裂	37	22	14	19	7
7点致裂	41	22	18	19	9

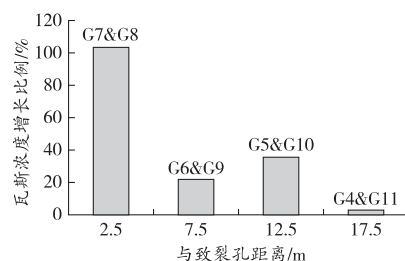
3 试验结果分析

3.1 液态 CO₂ 相变多点致裂影响半径

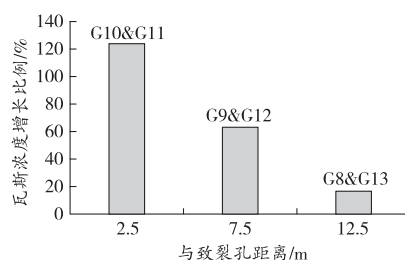
为了考察不同致裂点数对瓦斯抽采半径的影响,分析了不同点数致裂前、后钻孔两侧等距离2组钻孔平均瓦斯浓度的增长比例,如图3所示。



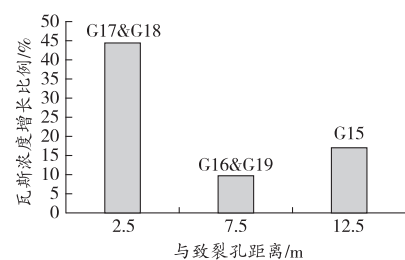
(a)1点致裂



(b)3点致裂



(c)5点致裂



(d)7点致裂

图3 不同致裂点数致裂前、后瓦斯浓度增长比例

由图3可以看出:致裂后各组观测孔瓦斯浓度都有不同程度的提高,最高超过120%。瓦斯的有效抽采半径均为12.5 m,且与致裂点数无关。可能原因如下:

1) 多点致裂系统是由多个独立的单点致裂系统组成的,每根释放管相距1.0~1.5 m依次连接,在钻孔中起爆。但与爆炸不同的是每个单点致裂系统的作用是相互独立的,不能产生交互影响。

2) 液态CO₂相变产生的能量远小于炸药产生的能量,因此不能在垂直于煤层方向上产生裂隙,但由于煤层的沉积岩特性,高压气体更容易在平行于煤层方向上产生裂隙。

综上所述,瓦斯的有效抽采半径不随致裂点数的增加而增大。但沿钻孔长度方向的有效致裂范围随致裂点数增加而增大,即在煤层内部沿钻孔纵向产生更多裂隙,因此在致裂后钻孔的瓦斯浓度得到大幅度提高,有利于瓦斯抽采。

3.2 钻孔瓦斯浓度与致裂点数的关系

为避免数据偶然性对研究结果造成的影响,取每组钻孔瓦斯浓度的平均值与致裂点数进行拟合,如图4所示。其中,致裂点数0代表未致裂。

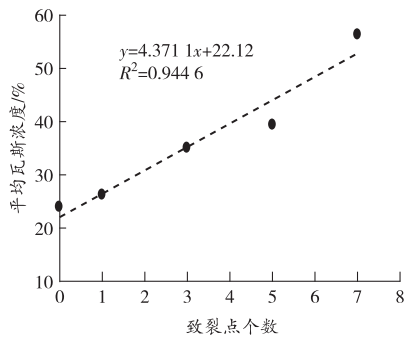
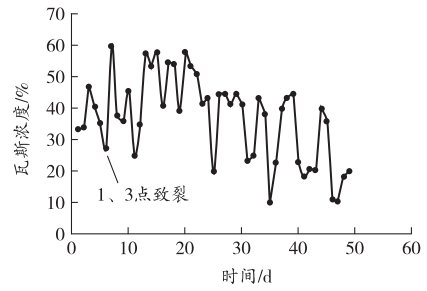


图4 钻孔平均瓦斯浓度与致裂点数关系

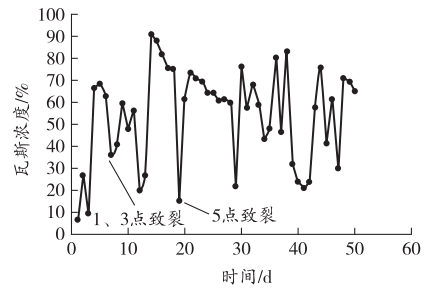
由图4可以看出:平均瓦斯浓度随致裂点数的增加而增大,近似呈线性关系。未致裂时,平均瓦斯浓度(CH₄体积分数)为22.7%,致裂后瓦斯浓度明显增大,7点致裂后平均瓦斯浓度增大至52.0%,可见致裂后瓦斯浓度有较大幅度增大。主要原因是致裂点数的增加,致裂过程中在钻孔轴向不同位置上产生大量的裂隙带,有利于瓦斯运移;同时,致裂后煤层卸压也有利于瓦斯排放。随致裂点数的增加,裂隙带的范围增大,卸压范围也随之增大,钻孔瓦斯浓度增大。

3.3 多点致裂对瓦斯抽采的影响

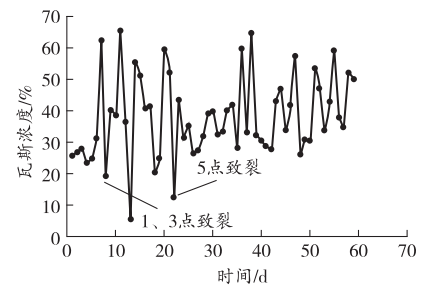
致裂前、后单孔瓦斯浓度随时间的变化曲线如图5所示。



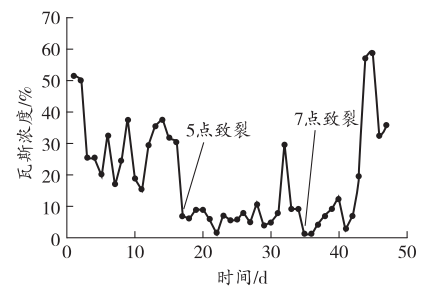
(a) G2组2#钻孔



(b) G6组4#钻孔



(c) G7组3#钻孔



(d) G14组7#钻孔

图5 致裂前、后钻孔瓦斯浓度随时间变化曲线

由图5可以看出:

1) 致裂后钻孔瓦斯浓度大大增加,效果显著。这主要由于煤层致裂后原岩应力平衡状态受到破坏,在形成新裂隙的同时,原生裂隙扩张,改变了煤层中瓦斯的赋存条件,游离态瓦斯大幅增加。同时,煤层的透气性得到大幅提高,煤层瓦斯流动加速,为瓦斯抽采创造了有利条件。

2) 钻孔瓦斯浓度随抽采时间增加逐渐降低。这是因为随着时间的增加,新生裂隙逐渐闭合所致。再次致裂后瓦斯浓度立即增大,但有衰减趋势。可见,致裂能够短期内改变瓦斯抽采衰减趋势,提高瓦

斯抽采效率。

4 结论

1) 软厚煤层液态 CO₂ 相变致裂后,不同致裂点的观测孔瓦斯浓度均有不同程度的提高,最高超过120%。瓦斯的有效抽采半径均为12.5 m,但与致裂点数无关。

2) 钻孔瓦斯浓度随致裂点数的增加而增大,近似呈线性关系。

3) 对煤层进行液态 CO₂ 相变多点致裂能有效提高瓦斯抽采浓度,但瓦斯抽采浓度随抽采时间的增加而下降。考虑到煤层瓦斯抽采的衰减特性,同时为了延长高瓦斯抽采效率的持续时间,可以在不同时间、不同位置对煤层进行致裂。

参考文献:

[1] 邓奇根,王燕,刘名举,等. 2001—2013年全国煤矿事故统计分析及启示[J]. 煤炭技术,2014,33(9):73-76.

[2] 郭继圣,张宝优. 我国煤层气(煤矿瓦斯)开发利用现状及展望[J]. 煤炭工程,2017,49(3):83-86.

[3] 申宝宏,刘见忠,张泓. 我国煤矿瓦斯治理的技术对策[J]. 煤炭学报,2007,32(7):673-679.

[4] 李磊,李中军,武文宾. 松软低透气性煤层井下水力压裂工艺技术研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(6):5-9.

[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.

[6] 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.

[7] 侯松,翟文杰,董浩. 低透气性煤层深孔预裂爆破增透技术应用[J]. 煤炭技术,2017,36(1):206-208.

[8] 赵宝友,王海东. 我国低透气性本煤层增透技术现状及气爆增透防突新技术[J]. 爆破,2014,31(3):34-37.

[9] 韩颖,史晓辉,雷云,等. 液态 CO₂ 相变致裂增透预抽瓦斯技术试验研究[J]. 煤矿安全,2017,48(10):17-20.

[10] 罗朝义,江泽标,郑昌盛,等. 低透煤层 CO₂ 相变致裂增透解吸技术的应用[J]. 西安科技大学学报,2018,38(1):59-64.

[11] 王兆丰,李豪君,陈喜恩,等. 液态 CO₂ 相变致裂煤层增透技术布孔方式研究[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(9):11-16.

[12] 雷云,刘建军,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.

[13] 邹永滔. 煤与瓦斯突出煤层 CO₂ 相变致裂增透技术试验研究[J]. 煤矿安全,2018,49(3):5-8.

[14] 李豪君,王兆丰,陈喜恩,等. 液态 CO₂ 相变致裂技术在布孔参数优化中的应用[J]. 煤田地质与勘探,2017,45(4):31-37.

[15] LU Tingkan, WANG Zhaofeng, YANG Hongming, et al. Improvement of coal seam gas drainage by under-panel cross-strata stimulation using highly pressurized gas[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,2015,77:300-312.

(责任编辑:李 琴)

(上接第69页)

[3] 曾建平. 宁夏红墩子矿区红二井田水文地质分析及水害预防[J]. 矿业安全与环保,2012,39(5):60-62.

[4] 李志伟,陈德明,梁向阳,等. 门克庆井田水文地质条件对矿井开采顺序的影响[J]. 煤田地质与勘探,2018,46(2):124-129.

[5] 张立其,刘洋,方刚. 陕北浅埋煤层采空区积水下安全开采技术研究[J]. 煤田地质与勘探,2015,43(6):60-64.

[6] 周瑞,耿杰,李俊杰. 太原西山煤田杨庄井田煤层突水危险性分析[J]. 中国煤炭,2018,44(3):127-131.

[7] 吴铁卫,刘士君,张冀,等. 鹤岗矿区新陆煤矿主要含水层之间水力联系分析[J]. 中国煤炭地质,2016,28(1):44-47.

[8] 赵宝峰,马莲净. 基于多含水层放水试验的顶板水可疏降性评价[J]. 煤炭工程,2018,50(3):71-74.

[9] 方俊,张杰. 定向长钻孔超前疏放顶板水技术在枣泉煤矿的应用[J]. 煤炭工程,2016,48(7):56-59.

[10] 杨建,赵彩凤. 基于工作面顶板疏放水的含水层水力联

系研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(5):84-86.

[11] 刘国旺,常浩宇,郭均中. 唐山矿塌陷区积水与矿井潜在水力联系研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(8):223-227.

[12] 翟晓荣,沈书豪,张海潮,等. 基于 MODFLOW 的含水层间水力联系分析研究[J]. 水文地质工程地质,2015,42(6):8-11.

[13] 李全胜. 古交矿区峰峰组与上马家沟组水力联系及意义[J]. 山西焦煤科技,2017(6):35-39.

[14] 鲁建国,李飞帆,张新国,等. 深部厚冲积层下综放开采导水裂隙带高度实测[J]. 中国煤炭,2017,43(11):60-63.

[15] 张国奇,吕晓磊,李东发,等. 半固结砂岩含水层下综放开采“两带”高度实测研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(1):183-185.

(责任编辑:李 琴)