

DOI: 10.13347/j.cnki.mkaq.2018.01.041

# 低透气性软煤层筛管护孔与 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透技术的联合应用

贾 男<sup>1,2</sup>

(1.煤科集团沈阳研究院有限公司,辽宁 沈阳 110016;2.煤矿安全技术国家重点实验室,辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**针对部分矿井煤层透气性差且煤质较软的特点,采用筛管护孔与 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透技术的联合应用进行现场试验研究,得出针对某矿当爆破深度为 30 m 时,采用 50 m 的筛管进行护孔相比未施工爆破孔且未下筛管的钻孔平均单孔瓦斯混合流量提高了 4.2 倍,瓦斯浓度提高了 1.5 倍,而相比只进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透而未下筛管的钻孔平均单孔瓦斯混合流量提高了 2.4 倍,瓦斯浓度提高了 1.2 倍。

**关键词:**低透气性;软煤层;CO<sub>2</sub> 相变致裂;护孔筛管;瓦斯抽采

中图分类号:TD713

文献标志码:A

文章编号:1003-496X(2018)01-0153-04

## Joint Application Research on Screen Pipe Protection Hole and CO<sub>2</sub> Phase Change Fracturing Technology in Low Permeability and Soft Coal Seam

JIA Nan<sup>1,2</sup>

(1.China Coal Technology and Engineering Group Shenyang Research Institute, Shenyang 110016, China;2.State Key Laboratory of Coal Mine Safety Technology, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** Aiming at the features of low permeability and soft coal quality in coal seams of some mines, the field experiment research was carried out through the joint application of screen pipe protection hole and CO<sub>2</sub> phase change fracturing technology, it has been found that when the blasting depth is 30 meters to a mine, the gas extraction and concentration in single hole with 50 meters screen pipe protection hole increased an average of 4.2 times and 1.5 times compared to the drilling without blasting hole and screen pipe, and the gas extraction and concentration in single hole increased an average of 2.4 times and 1.2 times compared with the single CO<sub>2</sub> phase change fracturing without screen pipe protection hole.

**Key words:** low permeability; soft coal seam; CO<sub>2</sub> phase change fracturing; screen pipe protection hole; gas drainage

近年来随着采矿技术的不断发展和煤矿生产效率的不断提高,传统的小产能回采工作面已经逐步被年产量几百万吨甚至上千万吨的工作面所取缔,但随着煤矿开采深度的增加伴随的煤层瓦斯含量也不断升高,而大采高一次采全高技术 and 大型液压支架的推广使用,使单面产能不断提高的同时伴随的回采过程瓦斯涌出量也不断加大,单纯靠增加供风量来稀释瓦斯很难解决瓦斯超限问题。这样就对工作面回采前的瓦斯预抽提出了更高要求,而我国部分煤层同时存在煤层透气性差煤质较软的问题,本煤层预抽钻孔塌孔严重,使原本由于煤层低透气性导致的抽采不理想变得更加困难,所以对于低透气性软煤层瓦斯抽采是亟待解决的技术难题。

目前,对低透气性煤层研究主要采取增透技术,

主要有爆破、水力割缝、水力压裂、高压空气压裂、酸液处理等<sup>[1-4]</sup>,近年来 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透技术的发展得到普遍关注<sup>[5-9]</sup>,但研究很多都是针对低透气性煤层的增透或软煤层的护孔单个方面,对于同时存在透气性较差和煤质较软问题的煤层目前研究很少,而增透的同时保证抽采的持续性对于瓦斯的预抽有着重要的意义。因此,针对某煤矿 3# 煤层透气性低且煤质较软的特点,通过现场试验和数值分析的方法研究在 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透的同时筛管护孔的合理深度及增透护孔下的瓦斯抽采效果,为低透气性且煤质较软的煤层瓦斯抽采提供参考依据。

### 1 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透机理与筛管护孔工艺

#### 1.1 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透机理

CO<sub>2</sub>在低于31℃或压力大于7.35 MPa时以液态存在,而温度超过31℃时开始气化,且随温度的变化而不断变化,气态CO<sub>2</sub>密度比空气略大为1.977 g/L,液态CO<sub>2</sub>密度为1.560 g/cm<sup>3</sup>,则气体状态相变 Clausius-Clapeyron 方程<sup>[10]</sup>:

$$pV=nRT \quad (1)$$

式中: $p$ 为标准大气压;101.3 kPa; $V$ 为气体的体积; $n$ 为气体物质的量; $R$ 为气体常量、比例系数,取8.314 41 J/(mol·K); $T$ 为气体的热力学温度。

通过式(1)的计算可以得出液态CO<sub>2</sub>相变为气态CO<sub>2</sub>过程中,1 m<sup>3</sup>液态CO<sub>2</sub>可汽化成气态CO<sub>2</sub>体积为794 m<sup>3</sup>。根据CO<sub>2</sub>的这种特性,通过空压机将液态二氧化碳灌注到爆破筒中,通过电起爆装置将发热管中的发热装置迅速加热,散发出的热量促使液态CO<sub>2</sub>瞬间发生相变,爆破筒中CO<sub>2</sub>迅速膨胀并伴随压力不断的升高,当爆破压力达到剪切片的卸压强度时剪切片破裂,释放出的高压气体延爆破筒径向作用在煤壁上,从而达到预裂爆破的作用<sup>[11]</sup>。CO<sub>2</sub>致裂器工作原理如图1。

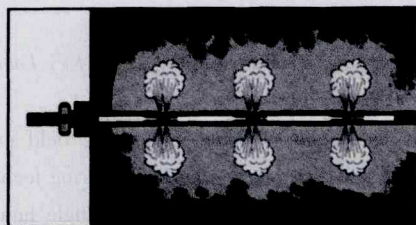


图1 CO<sub>2</sub>致裂器工作原理示意图

## 1.2 筛管护孔工艺

首先采用大通径三棱钻杆配合活动铰接钻头进到钻孔设计深度,然后将钻杆逐一退出,当钻杆退至筛管护孔深度处停止退钻,将筛管沿着三棱钻杆内径下到设计深度,筛管前段倒挂装置将活动铰接横梁推开进入钻孔内壁,倒挂装置的弹簧自动弹开将筛管倒钩到孔壁上,然后将钻孔内钻杆全部退出,进行封孔接抽,设计的筛管护孔工艺技术原理如图2。

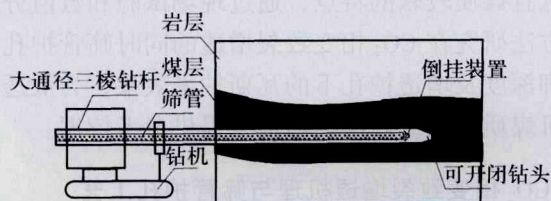


图2 筛管护孔工艺原理图

## 2 CO<sub>2</sub>致裂增透与筛管护孔试验

### 2.1 试验区情况

试验区选择在某矿20309工作面回风巷,煤层平均厚度6.17 m,工作面切眼长度为300 m,采用大采高一次采全高开采工艺,瓦斯含量4.4 m<sup>3</sup>/t,煤层透气性系数0.023 4 mD(1 mD=40 m<sup>2</sup>/(MPa<sup>2</sup>·d)),瓦斯衰减系数为0.069 9 d<sup>-1</sup>,抽采指标均属预抽较难抽采,煤层硬度系数为0.8,属于软煤层,钻孔抽采半径为3 m。

### 2.2 试验钻孔施工设计

在2309工作面回风巷施工30个本煤层钻孔分5组进行考察研究:①a组:下30 m筛管进行护孔,中间施工爆破孔;②b组:下50 m筛管进行护孔,中间施工爆破孔;③c组:下70 m长筛管进行护孔,中间施工爆破孔;④d组:不下筛管正常封孔,中间施工爆破孔;⑤e组:不下筛管也不施工爆破孔正常抽采。抽采孔深度均为150 m,孔间距为6 m,爆破孔深度均为30 m,孔间距为6 m,抽采孔与爆破孔直径均为φ94 mm,筛管直径为φ32 mm,开孔高度距巷道底板1.5 m,a、b、c 3组孔连接1个放水器,放水器连接回风巷支管路抽采;c、d、e 3组孔连接1个放水器,放水器接入回风巷支管路抽采。钻孔布置如图3。

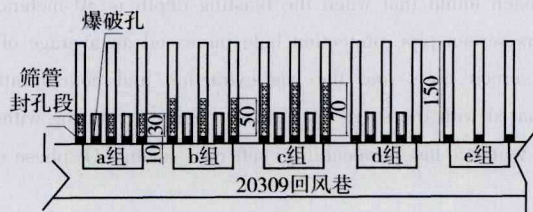


图3 钻孔布置示意图

## 3 试验数据分析

通过CJZ70多种参数测定仪连续监测筛管试验孔和正常钻孔抽采瓦斯浓度、流量和负压参数,收集半个月的参数数据进行分析,6组钻孔瓦斯混合流量与浓度的变化如图4~图13。

由图4~图13可知,爆破且下筛管长度为30 m时,本煤层钻孔单孔瓦斯抽采混合流量为0.145~3.963 m<sup>3</sup>/min,平均单孔混合流量为1.579 m<sup>3</sup>/min,瓦斯浓度基本稳定在11%左右;爆破且下筛管长度为50 m时,本煤层钻孔单孔瓦斯抽采混合流量为0.214~4.211 m<sup>3</sup>/min,平均单孔混合流量为1.786 m<sup>3</sup>/

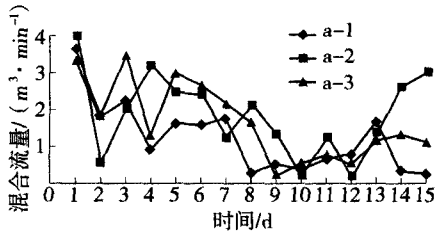


图 4 爆破下 30 m 筛管钻孔瓦斯抽采流量变化

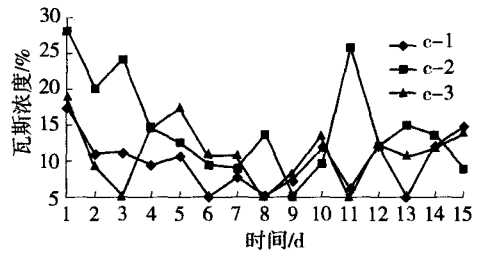


图 9 爆破下 70 m 筛管钻孔瓦斯浓度变化

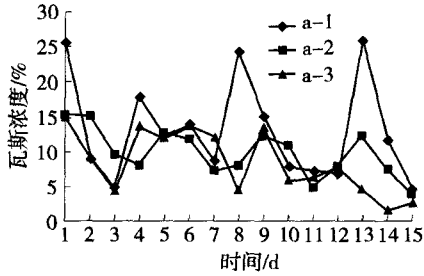


图 5 爆破下 30 m 筛管钻孔瓦斯浓度变化

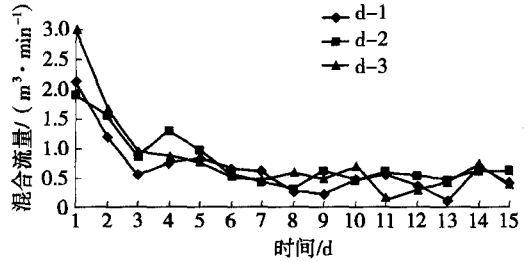


图 10 爆破未下筛管钻孔瓦斯抽采流量变化

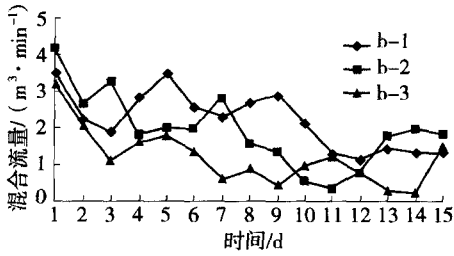


图 6 爆破下 50 m 筛管钻孔瓦斯抽采流量变化

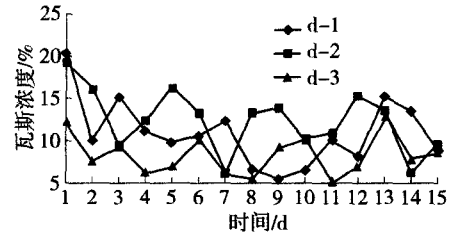


图 11 爆破未下筛管钻孔瓦斯浓度变化

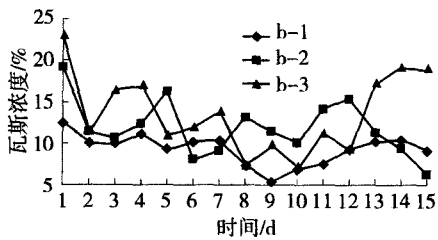


图 7 爆破下 50 m 筛管钻孔瓦斯浓度变化

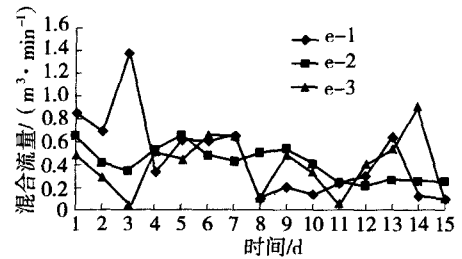


图 12 不爆破未下筛管钻孔瓦斯抽采流量变化

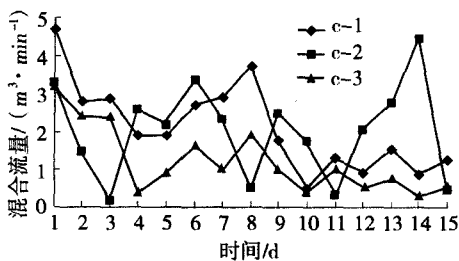


图 8 爆破下 70 m 筛管钻孔瓦斯抽采流量变化

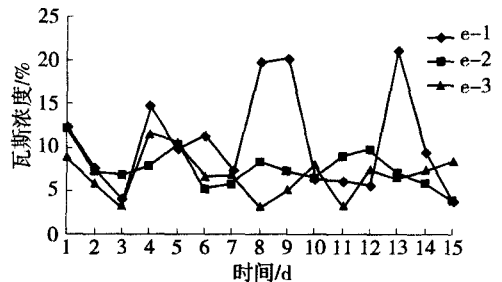


图 13 不爆破未下筛管钻孔瓦斯浓度变化

min, 瓦斯浓度基本稳定在 12% 左右; 下筛管长度为 70 m 时, 本煤层钻孔单孔瓦斯抽采混合流量为 0.186~4.721 m<sup>3</sup>/min, 平均单孔混合流量为 1.792 m<sup>3</sup>/min, 瓦斯浓度基本稳定在 12% 左右; 爆破未下筛管本煤层钻孔单孔瓦斯抽采混合流量为 0.013 4~1.624 m<sup>3</sup>/min, 平均单孔混合流量为 0.752 m<sup>3</sup>/min, 瓦斯浓度基本稳定在 10% 左右; 不爆破且未下筛管本煤层钻孔单孔瓦斯抽采混合流量为 0.003 7~1.384 m<sup>3</sup>/min, 平均单孔混合流量为 0.423 m<sup>3</sup>/min, 瓦斯浓度基本稳定在 8% 左右。

通过上述数据及瓦斯流量和浓度的变化规律可以得出: ①下筛管且施工爆破孔进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透的煤层钻孔瓦斯抽采混合流量和浓度相比施工爆破孔未下筛管和未施工爆破孔且未下筛管的煤层钻孔有显著提高; ②筛管长度为 50 m 的钻孔相比筛管长度为 30 m 的单孔平均混合流量提高了 0.207 m<sup>3</sup>/min, 而筛管长度为 70 m 相比 50 m 筛管单孔平均混合流量提高 0.006 m<sup>3</sup>/min, 说明由于 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透作用使钻孔的塌孔深度大部分集中在 30~50 m 之间, 所以 50 m 的筛管长度可以保证钻孔完整性且相比 70 m 筛管更加经济合理; ③当筛管长度为 50 m 进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透后, 钻孔平均单孔瓦斯流量相比未施工爆破孔且未下筛管的钻孔提高了 4.2 倍左右, 瓦斯浓度提高了 1.5 倍左右, 而相比只进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透而未下筛管的钻孔平均单孔瓦斯流量提高了 2.4 倍左右, 瓦斯浓度提高了 1.2 倍左右, 说明在 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透的同时下合理长度的筛管可以大大提高本煤层预抽瓦斯效果; ④只进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透而未下筛管的钻孔初期瓦斯抽采流量较高, 但钻孔抽采瓦斯流量衰减特别明显, 而在增透的基础上进行筛管护孔的单孔瓦斯流量始终能保持较高的水平, 有利于钻孔瓦斯的持续抽采。

#### 4 结 语

通过对软煤层筛管护孔与 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透技术联合应用研究得出, 对于透气性较差且煤质较软的煤层单纯进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透, 只能在初期一两两天之内取得很好的抽采效果, 之后钻孔瓦斯抽采流量衰减特别明显, 不利于瓦斯的抽采, 而在爆破的同时进行筛管护孔可以使钻孔的瓦斯抽采流量和浓度持续保持在一个较高水平, 对于该矿爆破 30 m 选择 50 m 的筛管进行护孔相比未施工爆破孔且未下筛管的钻孔平均单孔瓦斯流量提高了 4.2 倍左

右, 瓦斯浓度提高了 1.5 倍左右, 而相比只进行 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透而未下筛管的钻孔平均单孔瓦斯流量提高了 2.4 倍左右, 瓦斯浓度提高了 1.2 倍左右。现场要根据爆破长度选择合理化的筛管护孔参数, 软煤层筛管护孔与 CO<sub>2</sub> 相变致裂增透技术的联合应用在该矿取得了很好的试验效果, 对低透气性且煤质较软煤层的瓦斯抽采问题的解决有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 王兆丰, 刘军. 我国煤矿瓦斯抽放存在的问题及对策探讨[J]. 煤矿安全, 2005, 36(3): 29-32.
- [2] 顾德祥. 低透气性突出煤层强化增透瓦斯抽采技术研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009: 5-8.
- [3] 林柏泉, 张建国. 矿井瓦斯抽放理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996: 54-56.
- [4] 林柏泉. 影响煤层瓦斯抽放的因素及其分析[J]. 煤矿安全, 1990(9): 30-35.
- [5] 王兆丰, 孙小明, 陆庭侃, 等. 液态 CO<sub>2</sub> 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.
- [6] 赵宝友, 王海东. 煤体坚固性系数和瓦斯压力对煤层深孔爆破增透的影响[J]. 爆破, 2014, 31(1): 26-31.
- [7] 徐向宇, 温志辉, 陈永超, 等. 鹤壁八矿煤巷掘进工作面控制预裂爆破有效影响半径测定[J]. 煤炭技术, 2011, 30(11): 81-83.
- [8] 王四一, 刘勇, 董昌乐, 等. 筛管护孔工艺及装备在神华宁煤集团的应用[J]. 煤矿安全, 2015, 46(12): 151.
- [9] 肖丽辉, 李彦明, 郭昆明, 等. 松软突出煤层全孔段下放筛管瓦斯抽采技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(7): 61-64.
- [10] 张常山, 俞柏恒, 叶静娴. Clapeyron 方程推导的探讨[J]. 南京理工大学学报, 1999, 23(5): 475-476.
- [11] 聂政. 二氧化碳炮爆破在煤矿的应用[J]. 煤炭技术, 2007, 26(8): 75-79.

作者简介: 贾 男(1989—), 男, 辽宁法库人, 锡伯族, 助理工程师, 硕士, 2014年毕业于辽宁工程技术大学, 主要从事采矿工程方面的研究工作。

(收稿日期: 2017-01-13; 责任编辑: 王福厚)

