

doi:10.13301/j.cnki.ct.2016.04.075

常村煤矿液态 CO₂ 循环爆破致裂增透技术研究

白志鹏

(山西潞安环保能源开发股份有限公司 常村煤矿, 山西 长治 046100)

摘 要: 研究了液态 CO₂ 相变致裂对煤体的致裂效果, 对比分析了不同情况起爆的应力波的影响范围与煤层裂隙发育状态。试验分析了瓦斯抽采量的变化情况。研究表明: 液态 CO₂ 相变致裂后瓦斯浓度、瓦斯抽采纯量与煤层渗透性均明显增加; 延时起爆钻孔中煤层渗透性提升较为明显。

关键词: 低透气性; 液态 CO₂; 循环爆破; 增透

中图分类号: TD235 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008 - 8725(2016)04 - 0184 - 04

Liquid CO₂ Circulation of Blasting for Increasing Permeability of Coal Seam

BAI Zhi-peng

(Changcun Coal Mine, Shanxi Lu'an Environment and Energy Development Co., Ltd., Changzhi 046100, China)

Abstract: The effect of expanding fracture was utilized in a coal seam of fracturing technique by liquid CO₂ phase transition, the contrast analysis of the different situation of blasting stress wave in the process of range and the influence of coal seam fracture state; Analyze the different blasting scheme of the quantity of drainage of gas by experiment. The results indicate that the permeability of coal seam gas extraction from pure amount were significantly increased by liquid CO₂ phase transition instant; Delay blasting borehole gas extraction is the largest, and the permeability of coal seam is improved obviously.

Key words: low permeability; liquid CO₂; circulation of blasting; anti-reflection

0 引言

常村煤矿 6# 单一煤层瓦斯高、渗透性差, 且随着开采深度的增加, 煤与瓦斯突出危险性愈趋严重, 严重威胁着矿井的安全生产。矿井目前已采用水力压裂、水力冲孔、深孔预裂爆破等一系列增透措施, 但煤层的卸压增透效果不尽如人意。水力压裂封孔相对困难, 在压裂过程中容易产生新的高应力区, 而且设备复杂; 水力冲孔技术在软煤中会造成塌孔压埋钻具, 喷孔严重; 深孔预裂爆破会出现“哑炮”等致命缺陷, 极有可能导致煤尘瓦斯爆炸的恶性事故。

液态 CO₂ 相变致裂技术利用瞬间释放的高压、高速 CO₂ 气体冲击煤体产生大量裂隙并促使裂隙发育、扩展, 以达到提高煤层透气性的目的, 作用范围更大、效果更好、系统更简单、操作更灵活。

1 液态 CO₂ 爆破致裂机理及设备

1.1 液态 CO₂ 爆破致裂机理

液态 CO₂ 在煤体内爆破孔内爆破后, 将产生应力波和爆生气体, 煤体固体骨架发生变形破坏; 此外, 爆炸形成的空腔壁上部分原生裂隙将会扩展、张开。爆生气体产生准静态应力场, 使裂隙进一步扩展, 进而在爆破孔周围形成径向之字形交叉裂隙网。在爆破远处, 由于控制孔的作用, 形成反射拉伸波和径向裂隙尖端处的应力场相互叠加, 促使径向裂隙和环向裂隙进一步扩展, 大大增加裂隙区的范围; 同时, 原生裂隙中的瓦斯, 由于爆炸应力场的扰动将作

用于已产生的裂隙内, 使裂隙进一步扩展。最后, 在爆破孔的周围形成压碎圈、裂隙圈和震动圈。

1.2 液态 CO₂ 爆破致裂设备

液态 CO₂ 相变致裂技术具有致裂过程无火花外露、致裂威力大、操作简便、致裂原料液态 CO₂ 的运输、储存和使用获豁免审批等优点, 被广泛应用于采煤、清堵、建筑物拆除。主要由 4 个系统组成, 分别是推送系统、致裂系统、启动和检验系统。

推送系统是将致裂系统快速、方便和安全地推送到预定致裂位置。在致裂过程中, 推送系统具有控制和固定的作用, 主要由特制的推送机和特殊的推送杆组成。

致裂系统是整個液态 CO₂ 相变致裂技术装备的核心。这个系统由多个部件组成, 如图 1 所示, 包括释放管、储液管、加热管、定压卸能片和一些压力密封连接部件。

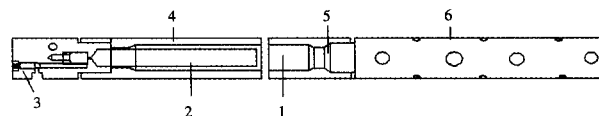


图 1 液态 CO₂ 相变致裂系统

1. 液态 CO₂ 2. 加热管 3. 注液阀 4. 储液管 5. 定压卸能片 6. 释放管

释放管由特种钢材制造, 在致裂启动后, 喷出的高压 CO₂ 气体通过释放管上的导流孔, 沿固定的方向和角度喷射出去, 以增强致裂效果。储液管由进口特种钢材经过特殊的工艺制造而成, 具有较高的强

度,耐腐蚀,用来储存液态 CO₂。加热管是技术的关键,是一种特制的化学药卷,在储液管内特殊的环境下,通电后能剧烈燃烧产生大量的热,进而激发整个系统致裂。定压卸能片作用:①在正常情况下起到密封的作用;②控制致裂时气体的压力,压力越大,威力越大。

2 液态 CO₂ 循环爆破致裂增透数值模拟

2.1 物理计算模型

利用三维动力分析软件 LS-DYNA3D 进行数值模拟液态 CO₂ 在煤层钻孔中的爆破致裂效果。单元使用多物质 ALE 算法,煤层采用拉格朗日网格建模,液态 CO₂ 和煤层单元均采用 Solid164 单元,钻孔直径 $\phi 10$ cm。相变是由压力和温度的变化来控制的,CO₂ 物相与压力、温度的关系如图 2 所示。临界点的压力为 7.39 MPa,温度为 31.06 °C。由原理得液态 CO₂ 相变致裂是一个物理变化过程,是 CO₂ 从液相到气相的一种转化,其能量的主要来源是物理爆炸能量。

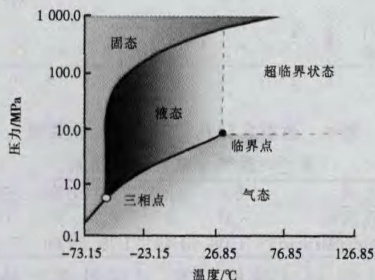


图 2 CO₂ 物相与压力、温度的关系

物理爆炸过程气体膨胀所释放的能量主要与气体压力、容器的容积以及介质在容器内的物性相态有关。重点考虑储液管内超临界状态下的 CO₂ 蒸发到标况温度下气体释放的能量,即近似爆炸能量。根据现场使用液态 CO₂ 爆破管可知:定压卸能片的破裂压力为 276 MPa 左右,储液管的容积为 1.26 L,能够启动致裂的最少装液量为 1.248 kg,由此可得:F57L 型储液管在致裂后的近似致裂能量为 1 178.85 kJ。液态 CO₂ 相变致裂装置致裂时的 TNT 当量为 0.277 kg。

2.2 数值模拟结果

(1) 不同数量的爆破管效果模拟

① 应力波传播与裂隙发育

在爆破过程中,产生的应力波均是以爆破孔为中心,呈同心圆状向周围煤岩体中进行扩散传播以及裂隙发育状态,在相同时间,如图 3 所示,6 根液态 CO₂ 爆破管应力波的影响范围圆半径为 2.02 m,3 根爆破管影响范围圆半径仅为 1.70 m。

爆破在炮孔内爆炸后,产生的高压气体使炮孔周围半径 1~3 倍内的煤体被强烈压缩、粉碎,形成压缩粉碎区,主要在 X、Y 轴方向形成主裂隙。3

根液态 CO₂ 爆破管时,主要生成的是主裂隙,次生裂隙发育不明显,6 根液态 CO₂ 爆破管爆破时,主裂隙比 3 根时更长更宽,次生裂隙的发育更加明显,次生裂隙没有明确的方向性。



(a) 3 根爆破管

(b) 6 根爆破管

图 3 爆破应力传播图

② 应力波对煤体力学性质的影响

3 根液态 CO₂ 爆破管时测点出现峰值大小为 181 MPa。6 根液态 CO₂ 爆破管大小为 355 MPa,爆破管越多,应力峰值越大,对煤体的破坏也越严重。

(2) 延时起爆与正常爆破效果模拟

① 应力波传播与裂隙发育

前后 2 组爆破筒延时起爆是指安装 6 根爆破管,每 3 根 1 组,两两并联,分别起爆实现延时爆破增透,正常爆破是指安装 6 根爆破管正常爆破,两者爆炸应力传播与裂隙发育状态如图 4、图 5 所示。第 1 组的第 1 次起爆时产生了裂隙,使得前后 2 组爆破筒延时起爆,应力波的影响范围圆半径达到了 3 m。

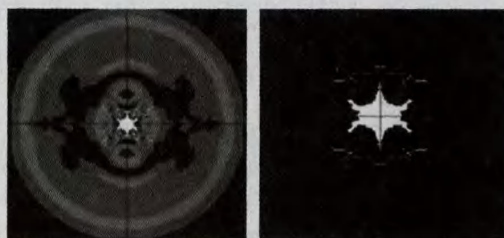


图 4 延时起爆应力传播及裂隙发育

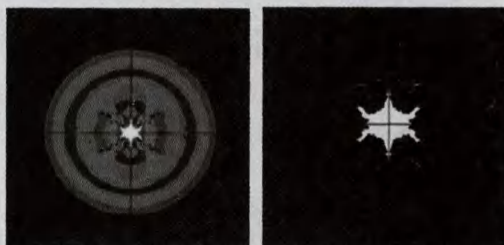


图 5 正常起爆应力传播及裂隙发育

② 应力波对煤体力学性质的影响

前后 2 组爆破筒延时起爆第 2 次爆破时测点应力峰值为 257 MPa,6 根液态 CO₂ 爆破管正常起爆时测点出现应力峰值出大小为 355 MPa,虽然前后两组爆破筒延时起爆第 2 次爆破时应力峰值没有正常

起爆的大,但是比第 1 次起爆 3 根爆破管的 181 MPa,增加了 76 MPa。这是因为第 1 次爆破产生了裂隙,第 2 次爆破时高压气体沿裂隙传播,使得应力峰值和平均应力增加。

3 液态 CO₂ 循环爆破致裂增透现场试验

3.1 试验工作面概况

2103 工作面采用单“U”形+高抽巷+半煤岩瓦排巷布置,带式输送机输送巷进风,辅助运输巷回风,工作面走向长度 702 m,倾斜长度 293 m,可采长度 642 m。煤层平均厚度 6.5 m,工作面煤尘具有爆炸性危险,无自燃现象。

2103 瓦排巷开口处煤体实测最大可解吸瓦斯含量为 2.3 m³/t,残余瓦斯含量为 1.88 m³/t,煤体瓦斯含量为 4.234 5 m³/t。但根据 2103 工作面标高为 450~470 m,预计 2103 工作面最大瓦斯含量可达到 9 m³/t。

3.2 顺层钻孔致裂增透试验方案

此次试验在 2103 带式输送机顺槽施工 6 个钻孔,所有钻孔参数相同,钻孔孔径为 94 mm,孔深 30 m,仰角 3°,方位角 10°,开孔高度 1.6 m,钻孔间距 10 m。

本次试验钻孔间距 10 m,命名编号从左到右依次为 1#~6#。在 1# 左侧及 6# 右侧均预留较大距离,无其他抽采钻孔,以避免其他钻孔对本次爆破预裂试验的影响。为了试验不同 CO₂ 爆破方式对煤层增透的作用,本试验采取 6 种不同的爆破方案。

(1)方案 1 正常爆破。在 5# 钻孔进行正常爆破,安装 6 根爆破管爆破,考察相关数据,与后续试验效果对比。

(2)方案 2 前后 2 组爆破筒延时起爆。在 4# 钻孔进行延时起爆,每 3 根爆破管 1 组,两两并联,分别起爆实现延时爆破增透。

(3)方案 3 抽压交替增透爆破。在 1# 钻孔退钻后安装 3 根爆破管爆破,之后封孔联网进行抽采。待钻孔抽采量衰减到一定程度后再重新透孔,安装 3 根爆破管爆破,再封孔抽采。

(4)方案 4 加沙爆破。在 3# 钻孔进行加沙起爆,安装 6 根爆破管,在释放管内及爆破管上用胶带固定细沙进行爆破预裂。

(5)方案 5 考虑到 4# 钻孔延时起爆操作难度较大,爆破后预裂管难以取出,取出过程中可能对预裂钻孔孔壁造成破坏,因此对 4# 钻孔预裂方案进行一次试验,在 6# 钻孔进行。

(6)方案 6 考察未爆破钻孔瓦斯抽采情况,对比爆破预裂钻孔试验效果,本次试验选取 2# 钻孔为对比钻孔,钻孔完成后,和其他 5 个预裂钻孔一起封孔并网进行抽采。

①试验前,进行工作面突出危险性预测。在距工作面下风道 10~20 m,垂直煤壁施工 3 个孔径 $\phi 42$ mm、深度 8 m 的预测指标测试孔,水平间距 4.5 m。②在预测钻孔中间布置致裂钻孔。③将试验装置的释放管与储液管连接好,推入钻孔内,孔口用黄泥封堵,用并联的方式布置导线。④试验人员检查确定设备的导通性良,致裂装置成功起爆。30 min 后,试验人员进入试验区域。

3.3 瓦斯抽采效果对比分析

(1)强化预抽效果分析

全部试验完成后,每天测量 1#~6# 致裂孔的抽采浓度、流量,并做好记录。随抽采时间的变化曲线,如图 6 所示。

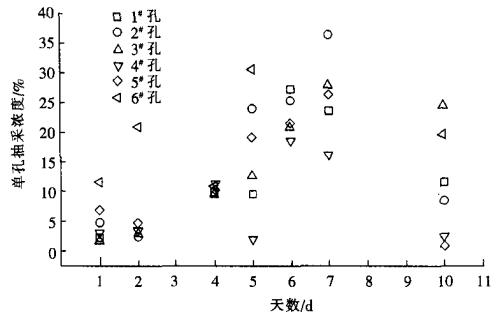


图 6 致裂后钻孔瓦斯浓度变化曲线

表 2 透气性系数计算结果

项目	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5	方案6
钻孔编号	5#	4#	1#	3#	6#	2#
透气性系数/m ² ·(MPa ² ·d) ⁻¹	0.08	1.44	1.70	2.66	2.43	0.68

通过前 10 d 数据计算,1# 钻孔累计抽采纯量 70.85 m³,2# 钻孔 68.59 m³,3# 钻孔 72.54 m³,4# 钻孔 95.67 m³,5# 钻孔 53.72 m³,6# 钻孔 136.03 m³。由此可得,在试验考察期内,液态 CO₂ 相变致裂试验后单孔瓦斯抽采效果比未进行致裂的钻孔瓦斯抽采效果提高 1.03~3.5 倍。

(2)煤层透气性计算与测定

根据瓦斯抽采第 10 d 数据,计算 1#~6# 孔透气性系数结果如表 2 所示,采用方案 4 进行爆破增透的 3# 钻孔增透效果最好,爆破增透后煤层透气性系数提高到 2.66 m²/(MPa²·d)。

4 结语

(1)正常爆破条件下,6 根液态 CO₂ 爆破管应力波的影响范围圆半径为 2.02 m,3 根爆破管影响范围圆半径仅为 1.70 m。6 根液态 CO₂ 爆破管爆破时,主裂隙比更长更宽,次生裂隙的发育比较明显,没有明确的方向;爆破管越多,应力峰值越大,煤体的破坏也越严重。

(2)6 根爆破管延时起爆应力峰值相对较小,但其应力波的影响半径可达到 3 m,且裂纹密度和裂隙网络范围明显大于正常起爆。

(3)液态 CO₂ 相变致裂试验后各孔瓦斯浓度与

doi:10.13301/j.cnki.ct.2016.04.076

基于图像型的矿井火灾探测方法研究

兰 琪, 贾敏智

(太原理工大学 信息工程学院, 太原 030024)

摘 要: 针对煤矿井下复杂环境中传统火灾探测的不足, 提出了基于图像处理技术的 SVM 分类器模型进行火灾探测。首先利用颜色空间进行火焰图像的分割, 进而提取出尖角数、圆弧度、质心位移等特征, 最后通过改进人工蜂群算法优化参数后的支持向量机融合特征量进行分类, 以取得最优的探测效果。

关键词: 图像处理; 火灾探测; SVM

中图分类号: TP391.4; TD75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-8725(2016)04-0187-03

Research on Fire Detection Based on Image in Coal Mine

LAN Qi, JIA Min-zhi

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Prediction SVM classifier model for fire in coal mine based on image processing technology was proposed according to the impacts of environmental factors to the traditional fire detection in coal mine. Firstly, using image segmentation based on the flame color space, and then extract the number of sharp corners, roundness, displacement and other features, optimization parameters by artificial bee colony after SVM classification integration of these features amount to achieve optimal classification.

Key words: image processing; fire detection; SVM

0 引言

通过视频获取火灾现场的图像, 可以准确地检测出火焰的相关信息, 能起到很好的预警效果, 对煤矿生产安全具有重要意义。本文利用图像处理技术, 提取多种火灾发生时的特征数据进行判决, 提出一种基于人工蜂群算法优化支持向量机的火灾识别方法, 经过实验得到很好的分类效果, 算法复杂度较低, 具有很好的应用前景。

1 火焰颜色及形状特征提取

火焰疑似区域分割的完整性是保证后续特征提取的关键, 进而才能通过支持向量机融合这些特征量进行分类, 实现火灾的探测, 其流程如图 1 所示。

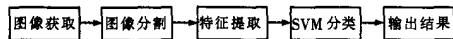


图 1 火灾探测流程

1.1 火焰疑似区域分割

火焰相比于其他干扰物具有显著的颜色特征,

瓦斯抽采纯量均有不同程度的增加, 其瓦斯抽采效果比未进行致裂的钻孔瓦斯抽采效果提高 1.03~3.5 倍, 延时起爆孔中瓦斯抽采存量最大。

(4) 液态 CO₂ 爆破后, 煤层的增透性显著提升, 煤层透气性最大增加 3.9 倍, 平均增加 2.44 倍, 延时起爆钻孔煤层渗透性提升较为明显, 致裂增透效果显著。

参考文献:

[1] 程五一, 张序明, 吴福昌. 煤与瓦斯突出区域预测理论及技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.

其发光、发热的特征在视频图像中表现为该区域的像素点色度值处于红与黄之间, 且其亮度与其他区域具有明显的差异。利用改进的 Running-Average 算法进行运动目标的提取, 随后应用火焰颜色在 RGB 和 YCbCr 色彩空间中典型的规则建立如式(1)的火焰色彩建模, 提取出准确的疑似火焰范围。

$$\begin{cases}
 \text{规则 1} & R \geq B, G \geq B \\
 \text{规则 2} & R \geq R_t \\
 \text{规则 3} & S \geq (255-R) \times S_t / R_t \\
 \text{规则 4} & Y \geq C_b \\
 \text{规则 5} & C_r \geq C_b \\
 \text{规则 6} & |C_r - C_b| \geq \theta
 \end{cases} \quad (1)$$

式中 R, G, B ——三原色颜色分量;
 Y, C_r, C_b ——亮度、红色色差、蓝色色差;
 R_t, S_t ——红色分量、饱和度阈值;
 S ——饱和度分量;
 θ ——红色和蓝色色差值。

[2] 刘明举, 孔留安, 郝富昌, 等. 水力冲孔技术在严重突出煤层中的应用[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4):451-454.
 [3] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
 [4] 王志军, 张瑞林, 张森, 等. 含瓦斯煤体定向水力压裂裂隙导控的数值分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2013, 32(4):373-379.
 [5] 聂政. CO₂ 炮爆破在煤矿的应用[J]. 煤炭技术, 2007, 26(8):62-63.
 [6] 郭保华. 煤与瓦斯突出的压力容器物理爆炸假说[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(3):261-267.

作者简介: 白志鹏(1984-), 山西清徐人, 工程师, 主要从事矿井通风与安全、矿山防灭火、瓦斯治理、安全工程、防灾减灾等工作。

责任编辑: 王秀丽 收稿日期: 2015-05-27