

突出煤层回采面 CO₂ 致裂二次增透后 高效回采技术研究

尹明珩¹ 甘路军¹ 翟文杰¹ 李明¹ 张军胜² 郭帅房²

(1. 山西和顺天池能源有限责任公司; 2. 河南理工大学资源环境学院)

摘要 天池煤矿 15 号煤层瓦斯含量高, 难抽采, 在回采割煤时, 存在瓦斯超限隐患, 且一个割煤循环需要 6 h 以上, 严重制约了工作面的回采速度。为提高开采效率, 利用 CO₂ 致裂煤岩的技术方法, 提出了突出煤层回采面 CO₂ 致裂二次增透高效回采技术。通过试验发现: CO₂ 致裂后, 瓦斯涌出量平均减少了 16.7%, 并能实现密集钻孔条件下的瓦斯高效抽采, 提高回采速度。割煤速度从致裂前 2.11~2.91 刀/d 提高到 3.38~4.59 刀/d, 平均提高了 1.63 倍。

关键词 CO₂ 致裂技术 工作面瓦斯 二次增透 割煤速率

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6082.2024.04.021

Study on High-efficiency Mining Technology after Secondary Anti-reflection by CO₂ Fracturing in Outburst Coal Seam Mining Face

YIN Mingheng¹ GAN Lujun¹ ZHAI Wenjie¹ LI Ming¹ ZHANG Junsheng² GUO Shuaifang²

(1. Shanxi Heshun Tianchi Energy Co., Ltd.;

2. School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University)

Abstract The gas content of No. 15 coal seam in Tianchi Coal Mine is high and difficult to extract. There is a hidden danger of gas overrun in coal mining, and a coal cutting cycle takes more than 6 h, which seriously restricts the mining speed of the working face. In order to improve the mining efficiency, using the technical method of CO₂ fracturing coal rock, the CO₂ fracturing secondary anti-reflection and high-efficiency mining technology of outburst coal seam mining face is proposed. Through the experiment, it is found that after CO₂ fracturing, the gas emission is reduced by 16.7% on average, and the efficient gas extraction under the condition of dense drilling can be realized, and the mining speed can be improved. The coal cutting speed increased from 2.11~2.91 knives/d before fracturing to 3.38~4.59 knives/d, with an average increase of 1.63 times.

Keywords CO₂ fracturing technology, working face gas, secondary anti-reflection, coal cutting rate

自从 Cardox 爆破系统在 1914 年被发明以来, 已经在全球范围内被广泛应用于多个国家和地区的工业领域^[1]。该技术主要利用液态 CO₂ 瞬间相变释放的能量, 在岩体爆破、水泥厂料仓疏通等工程应用。在引入中国后, 多个研究团队对 Cardox 爆破系统进行了改进^[2-4], 并提出了液态 CO₂ 致裂技术。这项技术在煤矿采掘工程中取得了显著效果^[5-7]。研究表明, 液态 CO₂ 致裂技术具有造缝、卸压、增渗和高效抽采等多个优点^[8-10], 被认为是在高瓦斯煤矿推广应用

的先进技术之一。

因此, 引入 Cardox 爆破系统的液态 CO₂ 致裂技术为解决瓦斯治理难题提供了新的途径。通过使用该技术, 可以有效地减少煤层内的瓦斯压力, 提高煤层透气性, 实现瓦斯的高效抽采, 自 2010 年以来, 该技术在全国各地应用于相应的煤层致裂试验。

1 研究区概况

天池煤矿主采 15 号煤层, 煤层埋深在 83.78~602.96 m, 厚度在 0.45~5.71 m, 具有明显的分层现象。

尹明珩(1987—), 男, 助理工程师, 032700 山西省晋中市。

靠近顶板处煤层松软,瓦斯含量较高,下部煤层较为坚硬,瓦斯含量稍低,煤层中间分布的薄层夹矸阻碍了抽采过程中的瓦斯渗流,造成上部松软煤层瓦斯抽采效果较差,回采落煤时瓦斯涌出量增大。

15604 工作面虽然实施了顺层密集钻孔预抽瓦斯,但未达到预期效果(瓦斯含量最大为 16.64 m³/t),抽采 2 a 后,在割煤时仍存在瓦斯异常涌出,且回风流瓦斯浓度异常升高,一个割煤循环需要 6 h 以上,回采面存在瓦斯超限隐患,严重制约了工作面的回采速度。

现计划在突出煤层 15604 回采面进行 CO₂ 致裂二次增透高效回采技术,解决回采过程中瓦斯异常涌出的状况,进而保障回采工作面的安全生产,提高回采速度。

2 CO₂ 致裂试验

2.1 施工流程

CO₂ 致裂煤层瓦斯治理技术是在煤层钻孔中进行致裂作业,基本程序是在煤层中施工钻孔,孔径 113 mm,钻孔深度 60~150 m;将 15~50 支致裂装置和 2 支注水封孔器串联起来,推入预定深度,将封孔器注水封孔,压力不小于 8 MPa;撤人并设警戒后,使用煤矿许可发爆器一次性启动所有致裂装置,分段致裂煤层。致裂后,从钻孔中退出致裂装置,根据瓦斯地质条件具体情况,增加预抽钻孔进行瓦斯抽采,实现瓦斯快速抽采及采掘工作卸压消突^[11-12]。

CO₂ 致裂瓦斯治理施工中的几个关键环节:

(1) 根据岩石力学特征及瓦斯治理目的优化致裂参数,一是以提高煤层渗透性为目的,应根据煤体强度提高而相应增加爆破压力和 CO₂ 充装量;二是以

造缝卸压防突为目的,应提高爆破压力及增加作用范围,实现较大范围的造缝卸压。

(2) 致裂钻孔应避开构造软分层及夹矸层,选择煤体结构较好的分层布孔打钻,避免钻孔坍塌、堵塞而影响作用效果。

(3) 致裂钻孔的轨迹平直,孔壁光滑,孔内干净无煤粉,保障致裂装置的顺利进出。

(4) CO₂ 致裂是动态荷载和准静态荷载共同作用的过程^[13],合理封孔深度及封孔层位是保证爆破期间封孔质量的关键技术,采用两段式封孔工艺,注水压力 8 MPa,封孔深度 20 m 左右,保证施工过程的安全实施。

(5) 致裂和退卸致裂装置期间,施工区域撤人并警戒,作业过程中监测施工区风流瓦斯浓度。

(6) 钻孔深度可以根据致裂区瓦斯地质条件和致裂的应用目的而优化,一般为 60~110 m。

(7) 抽采的封孔段尽量避开致裂段,采用“两堵一注”封孔工艺,确保封孔质量,提高瓦斯抽采浓度和流量。

(8) 评价 CO₂ 致裂的作用效果。

2.2 试验方案

在 15604 工作面进风顺槽停采线往工作面方向 100 m 范围内的密集钻孔抽采区进行致裂强化增透工业试验,施工 16 个气相致裂钻孔(压 1~压 16),孔间距为 6 m,孔深 110~120 m,钻孔布置见图 1。气相致裂钻孔施工完成后及时封孔并联网抽采。采用“两堵一注”囊袋式封孔方式,深度范围为 10~18 m,确保无漏气现象后进行联网抽采。最后,检测和收集回采过程中瓦斯涌出参数及割煤效率。

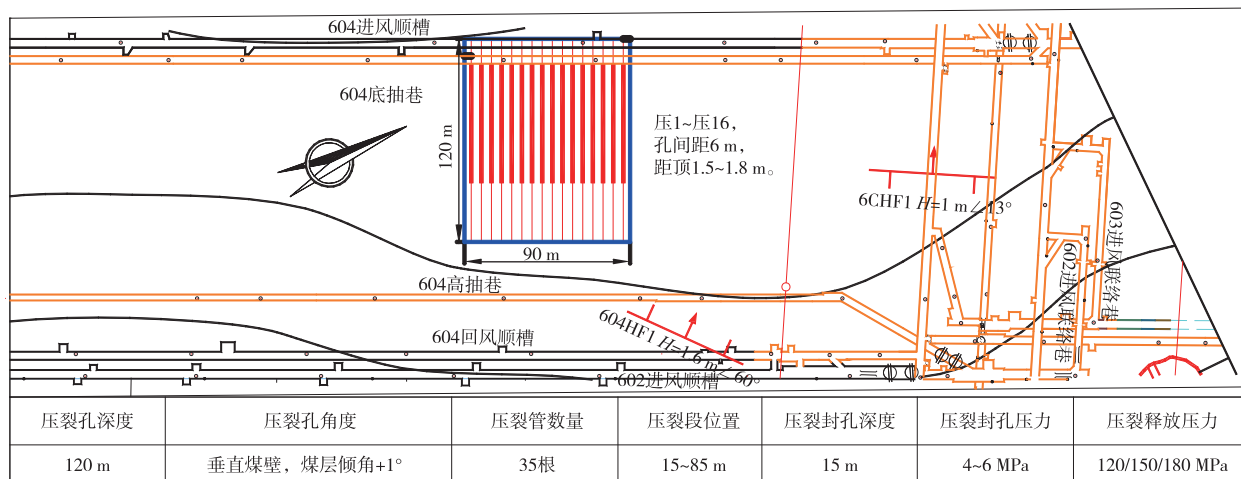


图 1 CO₂ 致裂技术方案

3 应用效果

在天池煤矿 15604 工作面进风巷道实施 16 个 CO₂ 致裂试验钻孔,使用 CO₂ 致裂器 480 根次。

3.1 回采效果分析

通过表 1 数据可以明显看出,致裂后煤层割煤效率有了较大提升。未经过致裂处理的区域在割煤期间

每天割煤2.11~2.91刀,平均每日割煤2.52刀。而经过致裂处理后,割煤数量大幅增加至3.38~4.59刀,平均每日割煤4.13刀。致裂处理后割煤速率提高了1.63倍。

表1 回采情况

时间	割煤段 状态	割煤 总架数 /架	割煤 天数 /d	平均每日 割煤架数 /架	月平均 割煤刀数 /刀	总平均 刀数 /刀
2022年9月		5 976	27	221.33	2.11	
2022年10月		6 900	27	255.56	2.43	
2022年11月	未致裂区	9 157	30	305.23	2.91	2.52
2022年12月		8 466	31	273.10	2.60	
2023年1月		3 132	12	261.00	2.49	
2023年1月	致裂区	4 816	10	481.6	4.59	4.13
2023年2月		2 127	6	354.5	3.38	

CO₂致裂后,煤层在回采过程减少了为避免瓦斯超限而进行改造措施的时间,这是割煤速度提升的主要因素。煤层经过该技术改造后,内部裂隙更为发育,原始钻孔未能抽采出的煤体内部封闭孔隙被打开,瓦斯经过CO₂致裂产生的裂缝涌出,增加了瓦斯抽采纯量,减少了回采落煤期间的瓦斯涌出,避免了瓦斯超限问题,进一步提高了割煤效率。

3.2 回采过程瓦斯涌出量考察

从表2可以看出,在非致裂段的回采过程中,瓦斯浓度在0.42%~0.48%,绝对瓦斯涌出量为13 536.0~16 243.2 m³/d。通过割煤架数,可以估计每日产量,进而得出相对瓦斯涌出量为5.52~7.62 m³/t。回采经过致裂段时,瓦斯浓度为0.33%~0.40%,绝对瓦斯涌出量为11 167.2~13 536.0 m³/d。相比于非致裂段,浓度及绝对瓦斯涌出量平均降低了16.7%。相对瓦斯涌出量为3.74~4.51 m³/t,平均减少了32.4%。

表2 15604回采工作面瓦斯涌出量汇总

致裂 状态	绝对瓦斯 涌出量/(m ³ /d)	割煤架数 /架	平均日 产量/(t/d)	相对瓦斯 涌出量/(m ³ /t)
非致裂段	14 889.6	6 080	1 954.82	7.62
	14 212.8	8 282	2 574.05	5.52
	16 243.2	8 623	2 772.44	5.86
	13 536.0	7 512	2 334.73	5.80
致裂段	13 536.0	2 253	3 000.99	4.51
	11 167.2	2 560	2 983.68	3.74

CO₂致裂会均化煤层瓦斯,降低煤层内部压力,

煤层内部孔裂隙及裂缝构造经过改变,有利于瓦斯的扩散与运移,直接表现为瓦斯纯量的提高,随着抽采时间的增加,瓦斯涌出量表现出减小趋势。

4 结论

(1)CO₂致裂后,割煤速率平均提高了1.63倍,保障回采工作面的安全生产,提高回采速度。

(2)相比于非致裂段,CO₂致裂后的浓度及绝对瓦斯涌出量平均降低了16.7%。相对瓦斯涌出量为3.74~4.51 m³/t,平均减少了32.4%。

(3)CO₂致裂技术会在煤层中形成复杂的裂缝卸压圈,均化瓦斯涌出,进而降低瓦斯浓度及瓦斯涌出量,进一步提高煤层掘进速度。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 聂政. 二氧化碳炮爆破在煤矿的应用[J]. 煤炭技术, 2007, 26(8): 62-63.
- [3] 周彦杰. 二氧化碳炮爆破技术在煤矿开采中的运用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(4): 99-114.
- [4] 黄国月, 尹岚岚, 倪昊, 等. 二氧化碳致裂器研制与应用[J]. 煤炭技术, 2015, 34(8): 123-124.
- [5] 曹运兴, 石珍, 田林, 等. 低渗低压煤层水平井密集多簇压裂高效开发技术及应用[J]. 煤炭学报, 2020, 45(10): 3512-3521.
- [6] 曹运兴, 田林, 范延昌, 等. 低渗煤层CO₂气相压裂裂隙圈形态研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(6): 46-51.
- [7] 杨百舸, 张军胜, 令狐建设, 等. 突出煤层CO₂气相压裂高效抽采防突掘进技术[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(3): 85-94.
- [8] 李蒙君, 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, 43.
- [9] CAO Y, ZHANG J, ZHAI H, et al. CO₂ gas fracturing: A novel reservoir stimulation technology in low permeability gassy coal seams[J]. Fuel, 2017, 203: 197-207.
- [10] CAO Y, ZHANG J, ZHANG X, et al. Micro-fractures in coal induced by high pressure CO₂ gas fracturing[J]. Fuel, 2022, 311: 122148.
- [11] 谢和平, 周宏伟, 薛东杰, 等. 煤炭深部开采与极限开采深度的研究与思考[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 535-542.
- [12] 谢和平, 鞠杨, 高明忠, 等. 煤炭深部原位流态化开采的理论与技术体系[J]. 煤炭学报, 2018, 43(5): 1210-1219.
- [13] 郭帅房. CO₂爆破增透机理及煤层孔网布置研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2020.

(收稿日期 2023-08-11)