

基于 CO₂ 爆破致裂增透的瓦斯治理技术与实践

石亮¹,殷卫锋²,王滨²

(1. 安标国家矿用产品安全标志中心,北京 100013;2. 中国煤炭科工集团工程科技有限公司,北京 100013)

摘要:为解决利民煤矿09114综采工作面坚硬顶板难以垮落,从而造成工作面上隅角瓦斯和有毒有害气体浓度超限的问题,采用CO₂爆破致裂技术,配合注水压裂和退锚辅助措施对采空区顶板岩层进行预裂爆破,以避免顶板突然垮落造成人员伤亡。通过优化09114综采工作面上隅角钻孔设计参数和注水压力,实践结果表明:CO₂预裂爆破前,生产时瓦斯体积分数为1.5%~2.0%,检修时瓦斯体积分数为1.0%~1.5%;CO₂预裂爆破后,生产时瓦斯体积分数可控制在0.3%~0.4%,检修时瓦斯体积分数可控制在0.2%~0.3%,瓦斯体积分数下降了80%左右;CO₂爆破致裂技术增加煤层的透气性53%以上,有利于瓦斯的提前排采。

关键词:综采工作面;CO₂爆破;瓦斯治理;注水压裂

中图分类号:TD712 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2015)12-0072-03

Practices on gas control based on CO₂ blasting and permeability improvement technology

Shi Liang¹, Yin Weifeng², Wang Bin²

(1. Mining Products Safety Approval and Certification Center, Beijing 100013, China;

2. Coal Engineering & Trading Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to solve the difficult falling of the hard roof in No. 09114 fully-mechanized coal mining face of Limin Mine and to solve the gas and harmful gas concentration over limit at the top corner of the coal mining face, with the study determination, a CO₂ blasting fracturing technology with the water injection pressurized fracturing and the bolt withdrawn auxiliary measures of the roof strata above the goaf was applied to the pre-fracturing blasting to the roof strata above the roof in order to eliminate the personal casualties coursed by the sudden roof falling down. With the continued optimizations of the borehole designed parameters and water injection pressure size and practices on the top corner of No. 09114 fully-mechanized coal mining face in Limin Mine conducted, the results showed that before the CO₂ pre-fracturing blasting conducted, the gas fractional volume during the coal production was 1.5%~2.0% and the gas fractional volume during the equipment maintenance was 1.0%~1.5%. After the CO₂ pre-fracturing blasting conducted, the gas fractional volume during the coal production could be controlled at 0.3%~0.4% and the gas fractional volume during the equipment maintenance could be controlled at 0.2%~0.3%. The gas concentration decreased by 80%, after used the CO₂ blasting fracturing technology, the permeability of the seam improved by 53%, and it could be favorable to pre-drainage gas.

Key words: fully-mechanized coal mining face; CO₂ blasting; gas control; water injection pressurized fracturing

0 引 言

综采工作面上隅角是指综采工作面与回风巷道煤壁相交点及向两边延伸所形成的区域,该区域风

流速度很低、局部处于涡流状态,甚至处于无风和微风状态,是瓦斯最容易积聚和超限的地点。在矿压显现的作用下,当悬顶面积超过三角区域承受的范围时,会发生瞬间大面积的垮落,造成采空区大量瓦

收稿日期:2015-06-30;责任编辑:朱拴成 DOI:10.13199/j.cnki.est.2015.12.015

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51474009)

作者简介:石亮(1981—),男,陕西白水人,工程师,硕士。通信作者:王滨(1987—),男,山东东平人,助理研究员,硕士。Tel:15321341600

引用格式:石亮,殷卫锋,王滨.基于CO₂爆破增透技术的瓦斯治理实践[J].煤炭科学技术,2015,43(12):72-74,91.

Shi Liang, Yin Weifeng, Wang Bin. Practices on gas control based on CO₂ blasting and permeability improvement technology[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 72-74, 91.

斯涌出,使工作面瓦斯浓度超限,严重时不但会形成飓风还会引起瓦斯、煤尘爆炸事故,如神东煤炭集团的柳塔煤矿、上湾煤矿、布尔台煤矿,曾经多次发生综采工作面上隅角三角区域顶板突然冒落的现象,造成回采工作面上隅角瓦斯、有毒有害气体浓度瞬时超限,使综采工作面的正常回采受到严重影响^[1-6]。为解决综采工作面上隅角大面积悬顶的问题,针对利民煤矿09114综采工作面上隅角顶板坚硬难以垮落的实际问题,采用CO₂爆破致裂增透技术,配合煤层注水工程对09114综采工作面上隅角顶板岩层进行预处理,从而使顶部岩层垮落,以期达到综采工作面安全生产的目的。

1 工程概况

利民煤矿09114综采工作面倾斜长度为208 m,煤层平均厚度为3.1 m,属于中厚煤层。煤层自然含水量为0.92%,煤层孔隙较发育,工作面煤层稳定、起伏较小,工作面煤层顶底板情况如下。

基本顶为细砂岩,厚度为5~24 m,灰白色,厚层状,以石英为主,长石次之,含暗色矿物质,云母碎屑,泥质胶结,分选中等,均匀层理,细粒砂状结构。

直接顶为粉砂岩,厚度为1.5~20.5 m,灰色,厚层状,以石英为主,长石次之,含植物化石,云母碎屑,具水平层理,断口平坦,粉砂状结构,半坚硬。

煤层厚度2.27~2.35 m,黑色,以暗煤为主,含亮煤条带,黑褐色条痕,层状结构,裂隙发育,光泽暗淡,半坚硬。

直接底为砂质泥岩,厚度3.0~5.5 m,深灰色,含丰富植物化石、云母,泥质结构,参差状断口,具水平层理,中夹粉砂岩薄层,半坚硬。09114综采工作面比较常见的问题是悬顶问题。在生产实践过程中曾多次出现综采工作面采空区顶板悬顶面积超过30 m²(其中悬顶长度9~16 m),不能垮落的现象。随着工作面的持续推进,当采空区悬顶达到一定长度时会出现突然大面积垮落,在生产过程中形成一股冲击波,并造成工作面瓦斯浓度瞬间超限的现象,给安全生产带来诸多隐患。

2 CO₂爆破致裂增透技术

CO₂爆破致裂增透技术是利用液态CO₂受热膨胀,快速释放高压气体破断岩石或落煤^[7]。针对坚硬煤层采煤与处理工艺,借助CO₂爆破技术,利用瞬间释放高压气体,迫使煤层内部封闭裂隙相互

沟通,在煤层内部形成可使水渗透到煤体内部相互关联的孔隙-裂隙网,提高注水渗透率,提高注水弱化煤体的效果,从根本上解决坚硬煤层注水难的技术问题^[8]。水压致裂最早应用在石油工程用来提高贫油井的产量,目前国内外学者借助于水力致裂基本原理,开始研究开发坚硬顶板水力致裂弱化技术,目前已成为解决煤矿开采过程中控制坚硬顶板的关键技术之一,在高瓦斯矿井具有更加明显的技术优势^[6-10]。

2.1 CO₂爆破配合注水工程致裂技术原理

CO₂爆破配合注水工程致裂技术的原理是在坚硬顶板内布置钻孔进行CO₂爆破增加煤层透气性,进而注入高压水致裂,产生水压主裂缝和翼型分支裂纹,利用高压水对煤岩体中弱面的压裂、冲刷、楔入以及水对煤岩体的物理、化学作用,形成有利于顶板岩层断裂垮落的弱面^[5];同时,顶板岩层吸水湿润软化。基于顶板的结构改造和湿润软化,在矿山压力作用下,顶板及时充分垮落,能有效防治坚硬顶板大面积悬顶后突然破断引起的冲击矿压、支架压死、飓风等灾害。

2.2 致裂工艺参数的确定

根据对09114运输巷顶板岩性及现场实际情况分析,预裂孔以每排2个孔的方式布置,距副帮500 mm布置1号孔,煤孔沿巷道中线向采空区的方向打设;在巷道的中部布置2号预裂孔,向着运输巷的正帮打设,钻孔深度8 m,与顶板呈60°~70°,如图1所示。

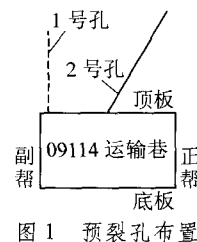


图1 预裂孔布置

Fig. 1 Layout of pre-splitting hole

将排距设置为锚索排距的整数倍,以避免与锚索钻孔距离过近导致提早卸压,将预裂孔布置在2排锚索中间(锚索排距为2 m)。在预裂实践过程中,根据顶板不同岩性和不同位置,进行了数次优化和调整,最终确定预裂孔的排距布置方式分为3种。

1) 当顶板为砂质泥岩段,预裂孔排距为4、6 m间错布置,如图2所示。

2) 当顶板为冲刷段,预裂孔排距为4 m,如图3所示。

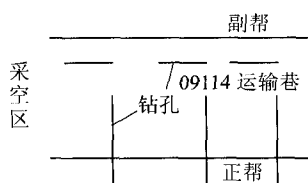


图2 顶板为砂质泥岩段预裂孔布置方式(平面投影)

Fig. 2 Layout of pre-splitting hole in sandy mudstone of roof

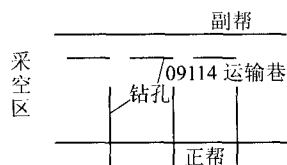


图3 顶板为冲刷段预裂孔布置方式

Fig. 3 Layout of pre-splitting hole in scouring section of roof

3) 在巷道联络巷口布置3排预裂孔, 两侧抹角各1排, 联络巷中部1排, 如图4所示。

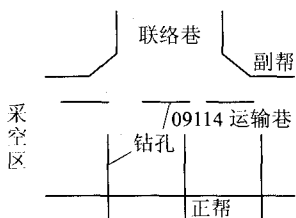


图4 联络巷口预裂孔布置方式

Fig. 4 Layout of pre-splitting hole in alley gate

运用CO₂进行爆破预处理后, 利用专用封孔器与连接棒进行封孔, 封孔深度为2.5~4.0 m, 一般为3.0 m, 将连接棒与高压胶管连接。注水孔前后15 m派人警戒, 之后开泵进行注水。注水时, 要求缓慢提高泵站压力, 预裂孔与周边裂隙和锚索、锚杆钻孔贯通前会出现一个压力峰值, 之后压力下降, 缓慢趋于稳定, 注水时间一般为4~6 min。

3 致裂效果分析

1) 在CO₂爆破配合注水致裂的过程中有明显的矿压显现迹象, 并伴随有顶板折断的声音和采空区顶板的垮落。

2) CO₂爆破配合注水致裂过程中可以通过顶板裂隙孔发现是否有水流动, 当发现顶板开始大面积淋水, 且淋水出现浑浊和顶板岩渣的掉落, 证明顶板预裂达到了一定效果。在现场试验过程中, 通过对泵站压力数据仪表观察, 当高压管路中的压力瞬间达到一个最大峰值, 然后开始下降, 最后趋于稳定, 证明顶板有断裂现象。

3) 现场观测发现封孔深度由浅至深(2~4 m)

时, 锚杆、锚索分层次导通, 与注水孔相邻的锚杆先漏水, 然后锚杆大面积漏水, 随着时间的推移, 与注水孔相邻的锚索也开始漏水, 然后大面积出现漏水, 此时, 发现顶板出现明显的裂纹。

4) 根据在利民煤矿09114综采工作面前方运输巷顶板150 m范围内的实践, 当顶板为砂质泥岩段时, 运用CO₂爆破配合注水致裂后, 注水压力为32~45 MPa(CO₂爆破前, 注水压力为49~69 MPa); 当顶板为冲刷段时, 运用CO₂爆破配合注水致裂后, 注水压力为40~55 MPa(CO₂爆破前, 注水压力为61.2~84.2 MPa), 注水时间为4~6 min, 预裂孔封孔深度为3~4 m。

5) 遇到顶板冲刷阶段, 若采取CO₂爆破配合注水致裂技术不能完全致顶板垮落时, 可以采取相应的退锚辅助措施, 效果更佳。

6) CO₂爆破配合注水致裂减弱了顶板的强度, 破坏了顶板的完整性, 促使综采工作面上隅角三角区及采空区顶板能够及时分层冒落, 同时也缩短了周期来压和初期来压步距, 在一定意义上减小或消除了坚硬难垮顶板对工作面回采的危害。

7) 采用CO₂爆破配合注水致裂处理前, 生产时瓦斯体积分数为1.5%~2.0%, 检修时瓦斯体积分数为1.0%~1.5%; CO₂爆破配合注水致裂处理后, 生产时可控制在0.3%~0.4%, 检修时瓦斯体积分数可控制在0.2%~0.3%。

4 结论

1) 通过实践发现, CO₂爆破配合注水预裂后综采工作面上隅角三角区域悬顶长度可控制在1~3 m(处理前悬顶长度9~16 m), 且副帮侧能够全部垮落。

2) 实践表明, 运用CO₂爆破配合注水致裂技术对综采工作面三角区域顶板进行预裂, 取得了良好的试验效果, 通过运用该项新技术, 利民煤矿未再出现采空区顶板突然垮落造成瓦斯超限的现象。

3) CO₂爆破配合注水致裂后, 煤层透气性比没有处理前增加了53%以上, 瓦斯体积分数下降了80%左右。

参考文献:

- [1] 长命. 定向水利压裂技术处理坚硬顶板试验研究[J]. 现代矿业, 2012(8): 21-23.

(下转第91页)

- Cao Xiaorong, Zhao Shuming. Research of hydraulically powered support fast moving[J]. Coal Machinery, 2010, 31(2): 131-132.
- [10] 何彦海, 李海明, 闫文泉, 等. 液压支架可靠性和快速移动的技术途径[J]. 煤矿机械, 2001, 22(12): 45-47.
He Yanhai, Li Haiming, Yan Wenquan, et al. The reliability of hydraulic support and fast moving technology[J]. Coal Mine Machinery, 2001, 22(12): 45-47.
- [11] 马鑫. 液压支架电液控制煤机定位与电磁阀缓变失效预测研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009: 1-116.
- [12] 黄艳杰, 马岩. 液压支架电液控制系统的使用与维护[J]. 煤矿机电, 2011(1): 102-103.
Huang Yanjie, Ma Yan. Use and maintenance of the hydraulic support electro-hydraulic control system[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2011(1): 102-103.
- [13] 张申, 黄欢, 崔彦容, 等. 液压支架工作状态模糊识别系统研究[J]. 工矿自动化, 2012, 38(6): 52-55.
Zhang Shen, Huang Huan, Cui Yanrong, et al. Research of fuzzy recognition system of working state of hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation, 2012, 38(6): 52-55.
- [14] 阎景惠, 李晓豁, 李俊海, 等. 支架液压系统工作方式的研究[J]. 煤矿机电, 1993(2): 22-25.
Yan Jinghui, Li Xiaohuo, Li Junhai, et al. The research hydraulic support work way of hydraulic system[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 1993(2): 22-25.
- [15] 薛瑞峰. 液压支架快速移架浅谈[J]. 同煤科技, 2007, 2(6): 8-9.
Xue Ruifeng. Talking about the fast moving hydraulic support[J]. Science and Technology of Datong Coal Mining Administration, 2007, 2(6): 8-9.
- [16] 田成金, 魏文艳, 朱小林. 基于 SAC 型液压支架电液控制系统的跟机自动化技术研究[J]. 煤矿开采, 2012, 17(2): 47-50.
Tian Chengjin, Wei Wenyan, Zhu Xiaolin. Automatic following coal-cutter technology of based on SAC electrohydraulic control system in powered support[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(2): 47-50.
- [17] 李冬至. 综采工作面快速移架方式[J]. 中国新技术新产品, 2010(10): 134.
Li Dongzhi. Hydraulic support on the fully mechanized mining face fast moving way[J]. New products, New Technology of China, 2010(10): 134.
- [18] 朱小林, 李首滨. 采煤机速度对综采工作面跟机自动化影响研究[J]. 煤炭工程, 2008(2): 79-81.
Zhu Xiaolin, Li Shoubin. Research on coal shearer speed affected to automation of fully mechanized longwall mining face[J]. Coal Engineering, 2008(2): 79-81.
- [19] 贺海涛. 综采工作面自动化在神东矿区的实践[J]. 陕西煤炭, 2009(2): 51-52.
He Haitao. Practice of automation of fully mechanized mining face in Shendong Mining Area[J]. Shaanxi Coal, 2009(2): 51-52.
- [20] 陶显, 林福严, 张晓青, 等. 液压支架电液控制系统跟机自动化技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12): 84-87.
Tao Xian, Lin Fuyan, Zhang Xiaoqing, et al. Study on automatic following technology of electric and hydraulic control system applied in hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(12): 84-87.
- [21] 牛剑峰, 李首滨, 刘清, 等. 一种综采工作面带记忆功能的液压支架自动控制系统: 中国, ZL201210349389.1 [P]. 2012-09-20.

(上接第 74 页)

- Chang Ming. Experimental study on directional hydraulic fracturing of hard roof processing technology[J]. Modern Property, 2012(8): 21-23.
- [2] 黄炳香, 邓广哲, 刘长友, 等. 煤岩体水力致裂弱化技术及其进展[J]. 中国工程科学, 2007, 9(4): 83-88.
Huang Bingxiang, Deng Guangzhe, Liu Changyou, et al. Hydraulic fracturing technology of coal rock mass and its development[J]. China Engineering Science, 2007, 9(4): 83-88.
- [3] 邓广哲. 煤体致裂软化理论与应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003.
- [4] 杨俊彩. 神东矿区综采面端头三角区悬顶治理实践[J]. 陕西煤炭, 2014(1): 98-99.
Yang Juncai. In Shendong mining area of fully mechanized mining face end triangle hanging roof[J]. Shaanxi Coal, 2014(1): 98-99.
- [5] 春兰, 何晓, 向斌, 等. 水力压裂技术现状及其进展[J]. 天然气技术, 2009, 3(1): 11-13.
Chun Lan, He Xiao, Xiang Bin, et al. Current situation of hydraulic fracturing technology and progress[J]. Natural Gas Technology, 2009, 3(1): 11-13.
- [6] 孙守山, 宁宇, 葛钧. 波兰煤矿坚硬顶板定向水力压裂技术[J]. 煤炭科学技术, 1999, 27(2): 51-52.
Sun Shoushan, Ning Yu, Ge Jun. Polish mine hard roof directional hydraulic fracturing technology[J]. Coal Science and Technology, 1999, 27(2): 51-52.
- [7] 聂政. 二氧化碳炮爆破在煤矿中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2007, 26(8): 140-141.
Nie Zheng. Application of carbon dioxide blasting in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2007, 26(8): 140-141.
- [8] 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): 144-146.
Zhu Shuancheng, Zhou Haifeng, Li Haodang. The application of carbon dioxide gun in processing hanging arch at triangle area of fully mechanized mining face roadway[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(8): 144-146.
- [9] 何晓东, 李守国. 应用深孔控制预裂爆破技术提高煤层瓦斯抽放率[J]. 煤矿安全, 2005, 36(12): 21-25.
He Xiaodong, Li Shouguo. Application of deep hole controlled pre splitting blasting technology to improve coal seam gas drainage rate[J]. Safety in Coal Mine, 2005, 36(12): 21-25.
- [10] 巴内吉 A, 雷 A K, 辛格 G. 高压注水控制坚硬顶板[J]. 中国煤炭, 2004, 30(12): 73-74.
Banerjee A, Ray K A, Singer G. High pressure water injection control of hard roof[J]. China Coal, 2004, 30(12): 73-74.