

文章编号:1671-251X(2019)10-0099-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17474

煤矿井下水力压裂切顶卸压护巷技术应用研究

董志勇

(山西焦煤集团 技术中心, 山西 太原 030024)



扫码移动阅读

摘要:杜儿坪煤矿北三盘区8号煤瓦斯含量高,直接顶和基本顶均为坚硬的石灰岩,工作面回采后在上隅角容易形成较大面积悬顶,短期内不易自然垮落,致使相邻工作面保护煤柱内应力集中程度高。在工作面回采过程中,布置在煤柱下方的底抽巷受超前及侧向支撑压力的影响,往往发生较大变形,严重影响了巷道通风和瓦斯抽采。受强烈动压影响的底抽巷,矿压显现剧烈,不能满足一巷两用需求。针对上述问题,以68306工作面为研究对象,开展了水力压裂切顶卸压护巷(底抽巷)技术研究。在回风巷靠煤柱侧不采帮顶板上实施水力压裂切顶卸压护巷技术,切断巷道和煤柱上方基本顶的连接,减小侧向悬臂梁的长度,削弱或转移煤柱上覆的高应力,降低煤柱的载荷,使68306底抽巷处于低应力区域,从根本上改变巷道围岩的应力状态,达到卸压护巷的效果。试验结果表明,实施水力压裂切顶卸压护巷技术后,明显降低了底抽巷围岩变形量,两帮和顶底板变形量分别控制在12%和20%以内;回风巷实施水力切顶后,工作面上隅角悬顶面积得到了有效控制,避免了上隅角瓦斯积聚。

关键词:煤炭开采; 矿压; 回采工作面; 水力压裂; 切顶卸压; 钻孔卸压; 护巷; 底抽巷

中图分类号:TD322 文献标志码:A

Application research on roadway protection technology by hydraulic fracturing
roof cutting pressure relief in underground coal mine

DONG Zhiyong

(Technology Center, Shanxi Coking Coal Group, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The gas concentration of No.8 coal seam in north 3 panel of Duerping Coal Mine is high, the direct roof and the basic roof are both hard limestone, and it is easy to form a large area of hanging roof in the upper corner after stoping on working face, which is not easy to collapse naturally in a short time, resulting in a high degree of stress concentration in the protective coal pillar of the adjacent working face. In the process of stoping of working face, floor gas drainage roadway arranged under the coal pillar is often affected by advance and lateral supporting pressure, which often results in large deformation and seriously affects ventilation and gas extraction of the roadway. Under influence of strong dynamic pressure, the floor gas drainage roadway shows intense pressure, which cannot satisfy the dual-use of one roadway. In view of the above problems, taking 68306 working face as research object, application research on roadway protection (floor gas drainage roadway) technology by hydraulic fracturing roof cutting pressure relief was carried out. The roadway protection technology by hydraulic fracturing roof cutting pressure relief was adopted on roof near the coal pillar side in air return way to cut off the connection between the roadway and the basic roof above the coal pillar, and minimize the length of side cantilever beam, weaken or transfer high stress of overlying coal pillar, reduce the load of coal pillar, so as to make 68306 floor gas drainage

收稿日期:2019-06-29;修回日期:2019-09-12;责任编辑:张强。

基金项目:山西省科技计划研究项目面上青年基金项目(201801D111358)。

作者简介:董志勇(1989-),男,河南许昌人,博士,现主要从事煤矿生产技术研究与管理, E-mail:847616045@qq.com。

引用格式:董志勇.煤矿井下水力压裂切顶卸压护巷技术应用研究[J].工矿自动化,2019,45(10):99-103.

DONG Zhiyong. Application research on roadway protection technology by hydraulic fracturing roof cutting pressure relief in underground coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(10): 99-103.

roadway be in a low stress area, fundamentally change the stress state of roadway surrounding rock, which achieves the effect of pressure relief and protect the roadway. The test results show that the deformation of surrounding rock of floor gas drainage roadway is obviously reduced after implementation of roadway protection technology by hydraulic fracturing roof cutting pressure relief, the deformation of the two sides and the roof and floor are controlled within 12% and 20% respectively. After using hydraulic fracturing roof cutting in air return way, the area of hanging roof in the upper corner of the working face is effectively controlled, and the gas accumulation in the upper corner is avoided.

Key words: coal mining; mine pressure; stope face; hydraulic fracturing; roof cutting and pressure relief; borehole of pressure relief; roadway protection; floor gas drainage roadway

0 引言

杜儿坪煤矿 8 号煤瓦斯含量高,为了保证回采安全,分别布置了高抽巷和底抽巷用于瓦斯抽采,一般情况下一条底抽巷服务于上部 2 个工作面的瓦斯抽采。然而,由于 8 号煤直接顶和基本顶均为坚硬而完整的石灰岩,工作面回采后在上隅角容易形成较大面积悬顶,短期内不易自然垮落,从而引起工作面侧向支承压力显著增高,致使相邻工作面保护煤柱内应力集中程度高。在工作面回采过程中,布置在煤柱下方的底抽巷受超前及侧向支承压力的影响,往往发生较大变形,严重影响了巷道通风和瓦斯抽采。因而,对于受强烈动压影响的底抽巷,矿压显现剧烈,不能满足一巷两用需求,相邻工作面回采时需要底抽巷进行二次整巷维修,不仅增加了巷道维护成本,而且带来较多安全隐患,严重制约采煤工作的安全高效生产。强烈动压巷道压力的主要来源是采空区内靠近煤柱侧顶板未完全垮落而形成悬

顶,对煤柱产生侧向压应力,从而影响巷道稳定,释放动压巷道的压力来源是解决巷道支护困难的有效途径^[1-2]。近年来,煤岩体水力压裂弱化控制技术发展迅速,已经在坚硬顶板控制、强烈动压巷道卸压、坚硬顶板弱化等领域推广应用,大幅提升了矿井生产的安全性^[3-4]。本文以西山煤电集团杜儿坪煤矿 68306 工作面为试验地点,重点介绍了水力压裂切顶卸压护巷技术在该工作面的应用研究。

1 工作面概况

西山煤电集团杜儿坪煤矿北三盘区 8 号煤 68306 工作面可采走向长度为 1 199 m,开切眼长度为 209.5 m,采高为 4.8 m,埋深为 367~540 m,煤层倾角为 0~7°。该工作面绝对瓦斯涌出量为 38 m³/min,采用单一走向长壁后退式综合机械化采煤法,全部垮落法管理顶板。工作面直接顶和基本顶均为坚硬而完整的石灰岩,顶底板岩性特征见表 1。

表 1 8 号煤顶底板岩性特征

Table 1 Characteristics of roof and floor lithology of No. 8 coal seam

顶底板名称	岩石名称	平均厚度/m	岩性特征
基本顶	石灰岩	7.15	灰色石灰岩,致密坚硬,裂隙充填方解石脉,含有动物化石及黄铁矿晶体
直接顶	石灰岩	4.53	黑灰色砂质泥岩,致密坚硬,裂隙充填方解石脉,含有动物化石及黄铁矿晶体;局部相变为泥灰岩
8 号煤	煤	4.80	煤,厚度变化较大,局部下部含一层厚为 0.2 m 左右的夹石
直接底	细砂岩	1.43	灰黑色细砂岩,上部含砂量较大,下部含砂量减少,局部相变为砂质页岩或砂质泥岩
基本底	细砂岩	3.69	灰黑色细砂岩,含有植物化石及云母片,黄铁矿

68306 工作面由机轨巷、回风巷、开切眼及高、底抽巷组成,其中底抽巷外错 68306 回风巷 10 m 布置,与回风巷垂直间距为 1.5~2 m。试验巷道为 68306 回风巷,目标保护巷道为 68306 底抽巷。工作面布置及水力压裂位置如图 1 所示。

2 水力压裂切顶卸压技术原理

目前,切顶卸压预裂主要有爆破预裂法和水力

压裂法等^[5-8]。爆破预裂法一般用于低瓦斯矿井顶板相对松软煤层。杜儿坪煤矿 8 号煤的直接顶和基本顶均为致密坚硬的石灰岩顶板,煤层瓦斯含量高,采用爆破预裂法存在工程量大、炸药用量多、安全性差及形成大量有毒气体等问题^[9-11]。近年来,水力压裂切顶卸压技术以其安全系数高、卸压效果好、施工方便简单等优势逐渐得到广泛应用。所以,本文针对杜儿坪煤矿 8 号煤 68306 工作面开展水力压裂

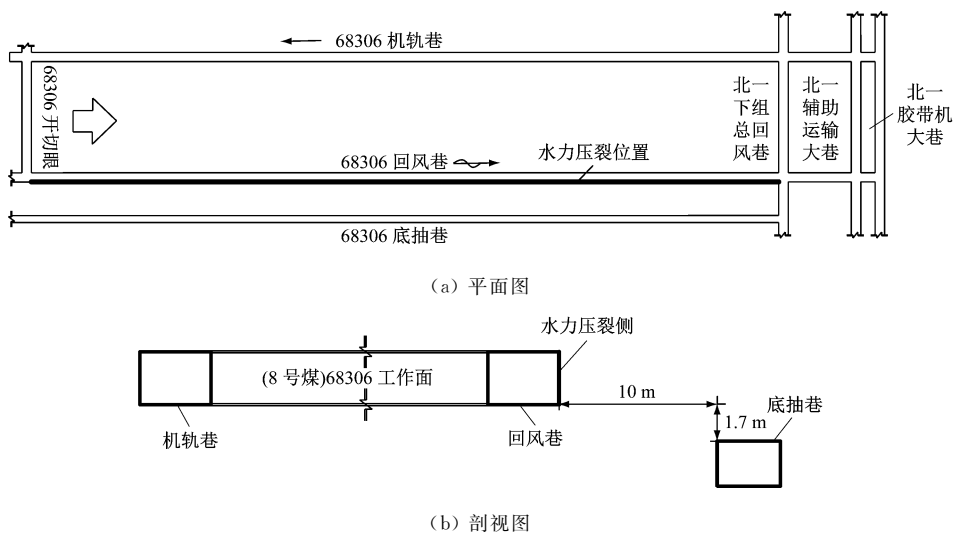
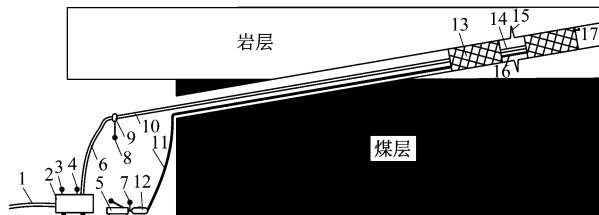


图1 68306工作面布置及水力压裂切顶卸压位置

Fig. 1 68306 working face layout and hydraulic fracturing roof cutting and pressure relief position

切顶卸压护巷技术研究。

水力压裂切顶卸压护巷技术是指在巷道靠近煤柱侧顶板上方按照一定角度打设钻孔,钻孔穿过巷道基本顶,深度取决于顶板岩性和厚度,然后采用高压水进行逐次分段压裂,切断巷道和区段煤柱基本顶的连接,从而阻止应力向煤柱侧的传递,进而减缓相邻巷道以及煤柱下近距离巷道的动压影响程度,达到减少巷道变形的卸压护巷效果^[12-13],其工作原理如图2所示。



- 1—静压水进水管路; 2—高压水泵; 3—水泵压力表;
4—流量计; 5—手动泵; 6, 11—快速连接的高压供水胶管;
7—手动泵压力表; 8—水压仪; 9—接头; 10—注水管管;
12—蓄存压裂介质水和油的储能器; 13—封孔器;
14—压裂钢管(管壁打孔); 15—预裂缝(必要时);
16—下封孔器注水管; 17—水力压裂钻孔。

图2 顶板水力压裂工作原理

Fig. 2 Working principle of roof hydraulic fracturing

3 水力压裂切顶卸压护巷技术应用

3.1 施工工艺

通过在68306回风巷煤柱侧顶板岩体实施水力压裂切顶卸压技术切断煤柱上部坚硬厚顶板,减小侧向悬臂梁的长度,削弱或转移煤柱上覆的高应力,降低煤柱的载荷,使68306底抽巷处于低应力区域,从根本上改变巷道围岩的应力状态,达到卸压护巷

的效果。具体的技术施工工艺如下:

- (1) 采用横向切槽的特殊钻头,预制横向切槽。
- (2) 采用跨式膨胀型封孔系统,利用手动泵为封隔器加压使胶筒膨胀,达到封孔目的。
- (3) 连接高压泵实施压裂,采用后退式单孔多次压裂,同时采用数据采集仪采集压裂过程实时压力,监测和指导施工。
- (4) 压裂后,通过钻孔窥视设备和压力监测结果评价压裂效果。

3.2 水力压裂钻孔设计

压裂钻孔布置于68306回风巷靠煤柱侧顶板,距帮1m,钻孔间距为8~10m,钻孔长度为45m,穿过基本顶,仰角为35~50°,与巷道走向平行。压裂钻孔施工钻头直径为56mm,钻杆直径为42mm。水力压裂切顶卸压钻孔布置如图3所示。

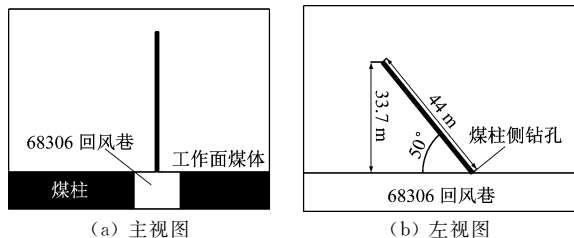


图3 水力压裂切顶卸压钻孔布置

Fig. 3 Borehole layout of hydraulic fracturing roof cutting and pressure relief

3.3 现场试验结果

在杜儿坪煤矿68306工作面回风巷开展了水力压裂切顶卸压护巷试验,沿巷道走向共布设试验钻孔16组。为不影响工作面正常回采,水力切顶试验段超前68306工作面50m布置,采用ZDY1200S钻机及配套钻机平台打设钻孔,采用90kW高压水泵

进行后退式单孔多次压裂,单孔每隔 3 m 压裂一次,单次持续压裂时间为 30 min,压裂时相邻钻孔出水则表明岩层裂隙贯通,压裂到距孔口 8 m 处停止压裂。其中封孔压力为 12~14 MPa,注水压裂压力为 26~32 MPa,保压压力为 17~24 MPa。

试验钻孔压裂后采用窥视仪查看内部压裂情况,如图 4 所示。在压裂过程中,为了实时监测试验过程,利用矿用本质安全型 KJ327-F 水压致裂数据采集仪实时显示和记录压力变化,其中一段水力压裂过程压力变化数据如图 5 所示。图 5 中 A 即为高压水泵注水增压阶段,随着压力不断增大,预裂缝起裂后水压会有所下降。继而进入保压阶段,即图中 B 所示,在该阶段,裂纹扩展的同时伴随着新裂纹的产生。待裂隙充分扩展并与相邻钻孔连通后,压力快速下降,进入卸压阶段,如图中 C 所示。此外,从图 5 中还可看出,在保压阶段曲线呈现紧密锯齿状,这种在保压范围内的压力波动即意味着裂隙以相对稳定的速度不断地扩展和延伸。保压阶段压力曲线上升和下降也能一定程度上反映压裂范围内岩层性质的变化。

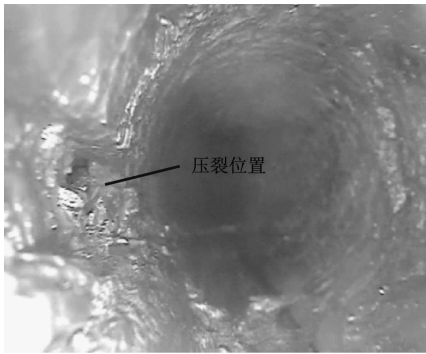


图 4 试验钻孔内部压裂效果

Fig. 4 Internal fracturing effect of test borehole

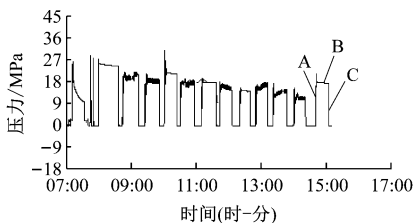


图 5 水力压裂压力监测曲线

Fig. 5 Pressure monitoring curves of hydraulic fracturing

68306 工作面回风巷共计施工 16 个水力切顶钻孔,长度为 145 m。为了评价压裂效果,在底抽巷共布置 7 个测点,定期测量巷道围岩变形情况,结果见表 2。从表 2 可看出,工作面推过 70 m 后,在多重动压影响下,底抽巷不同位置均出现了一定程度的收缩变形,但是两帮和顶底板变形量分别控制在

12%和 20%以内,表明通过水力切顶切断了回风巷和区段煤柱的基本顶,阻止了采动应力向煤柱侧的传递,从而减缓了煤柱下底抽巷受动压影响的程度,起到了良好的卸压护巷效果。

表 2 水力切顶后动压影响下的底抽巷围岩变形情况

Table 2 Surrounding rock deformation of floor gas drainage roadway affected by dynamic pressure after hydraulic roof cutting

测点 编号	绝对变形量/m		相对变形量/%	
	两帮	顶底板	两帮	顶底板
1	0.18	0.30	4.13	10.38
2	0.45	0.27	11.72	5.19
3	0.37	0.50	9.25	16.67
4	0.26	0.45	6.19	18.75
5	0.28	0.44	6.15	14.33
6	0.23	0.43	5.35	15.41
7	0.15	0.37	3.45	13.45

此外,68306 回风巷顶板进行水力压裂切顶卸压后,由于切断了巷道和煤柱基本顶的连接,随着工作面的推进,在矿山压力作用下,上隅角顶板能够及时垮落,转移了顶板应力,同时能够保证上隅角悬顶面积不超过 10 m²,避免了上隅角瓦斯积聚。

4 结论

(1) 针对杜儿坪煤矿 68306 底抽巷受强烈动压影响下巷道变形严重,无法满足一巷两用的问题,在回风巷靠煤柱侧不采帮顶板上实施水力压裂切顶卸压护巷技术,切断了巷道和煤柱上方基本顶的连接,阻断了工作面顶板压力向煤柱方向的传递,从而减轻了底抽巷受压情况,降低了底抽巷变形量。试验结果表明,实施水力压裂切顶卸压护巷技术后,68306 底抽巷变形量明显降低,两帮和顶底板变形量分别控制在 12%和 20%以内。与此同时,回风巷实施水力切顶后,工作面上隅角悬顶面积得到了有效控制,避免了上隅角瓦斯积聚。

(2) 水力压裂切顶卸压技术以其安全性高、施工简单、成本低等优势,在解决本煤层及邻近煤层卸压护巷、上隅角悬顶和瓦斯积聚等问题上具有良好的应用效果和推广价值。

参考文献(References):

[1] 康红普,冯彦军.煤矿井下水力压裂技术及在围岩控制中的应用[J].煤炭科学技术,2017,45(1):1-9.

- KANG Hongpu, FENG Yanjun. Hydraulic fracturing technology and its applications in strata control in underground coal mines [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1):1-9.
- [2] 张有狮. 煤矿井下水力压裂技术研究进展及展望[J]. 煤矿安全, 2012, 43(12):163-172.
- ZHANG Youshi. Research progress and prospect of hydraulic fracturing technologies in coal mine underground[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(12):163-172.
- [3] 都海龙. 回采工作面上隅角水力压裂切顶技术及其应用[J]. 煤炭工程, 2017, 49(12):86-92.
- DU Hailong. Hydraulic roof fracturing technology and its application in upper corner of mining face[J]. Coal Engineering, 2017, 49(12):86-92.
- [4] 于斌, 段宏飞. 特厚煤层高强度综放开采水力压裂顶板控制技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(4):778-785.
- YU Bin, DUAN Hongfei. Study of roof control by hydraulic fracturing in full-mechanized caving mining with high strength extra-thick coal layer[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(4):778-785.
- [5] 梁华杰, 张凤杰. 石泉煤矿切顶卸压沿空留巷方案[J]. 工矿自动化, 2019, 45(5):104-108.
- LIANG Huajie, ZHANG Fengjie. Scheme of gob-side entry retaining by cutting roof to release pressure for Shiquan Coal Mine [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(5):104-108.
- [6] 王小龙, 董志勇. 高瓦斯煤层切顶卸压无煤柱自成巷技术应用研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(7):97-101.
- WANG Xiaolong, DONG Zhiyong. Application research on technology of non-pillar gob-side entry retaining formed by roof cutting and pressure release in high gas coal seam [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(7):97-101.
- [7] 司浩浩. 坚硬顶板水力压裂与深孔爆破初次放顶技术试验对比分析[J]. 煤炭与化工, 2018, 41(6):8-10.
- SI Haohao. Comparative analysis of hard roof hydraulic fracturing and deep hole blasting for first caving test [J]. Coal and Chemical Industry, 2018, 41(6):8-10.
- [8] 杨胜利. 定向水力压裂弱化坚硬顶板技术应用研究[J]. 山东煤炭科技, 2015(4):163-165.
- YANG Shengli. Applied research of the directional hydraulic fracturing technology in weakening hard roof [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015(4):163-165.
- [9] 闫少宏, 宁宇, 康立军, 等. 用水力压裂处理坚硬顶板的机制及试验研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(1):32-35.
- YAN Shaohong, NING Yu, KANG Lijun, et al. The mechanism of hydrobreakage to control hard roof and its test study [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(1):32-35.
- [10] 黄炳香, 赵兴龙, 陈树亮, 等. 坚硬顶板水压致裂控制理论与成套技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(12):2954-2970.
- HUANG Bingxiang, ZHAO Xinglong, CHEN Shuliang, et al. Theory and technology of controlling hard roof with hydraulic fracturing in underground mining [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(12):2954-2970.
- [11] 聂凤祥, 郭海峰, 潘西煤矿低瓦斯煤层喷孔动力显现规律研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(3):12-17.
- NIE Fengxiang, GUO Haifeng. Research on dynamic appearance regularity of blow-out from drilling hole in low gas coal seam of Panxi Coal Mine [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(3):12-17.
- [12] 吴拥政, 康红普. 煤柱留巷定向水力压裂卸压机理及试验[J]. 煤炭学报, 2017, 42(5):1130-1137.
- WU Yongzheng, KANG Hongpu. Pressure relief mechanism and experiment of directional hydraulic fracturing in reused coal pillar roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(5):1130-1137.
- [13] 郭志飏, 王将, 曹天培, 等. 薄煤层切顶卸压自动成巷关键参数研究[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(5):879-885.
- GUO Zhibiao, WANG Jiang, CAO Tianpei, et al. Research on key parameters of gob-side entry retaining automatically formed by roof cutting and pressure release in thin coal seam mining [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(5):879-885.