

doi: 10.11799/ce202004007

大采高工作面复杂应力扰动下 切顶卸压沿空留巷技术

王文林¹, 马 赛²

(1. 山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司, 山西 晋城 048006;

2. 山西晋煤集团技术研究院有限责任公司, 山西 晋城 048006)

摘要: 针对寺河煤矿3#煤大采高工作面复杂应力扰动下留巷难度大、临空侧复用巷道围岩变形严重等问题, 采用水力压裂技术对巷道顶板关键层位进行定向预裂, 将临空侧煤柱上方悬臂梁切割, 以减小悬臂梁上覆荷载及回转变形力, 切断或大大削弱岩梁传递到护巷煤柱和留设巷道内的荷载, 从根本上改善巷道的力学环境。结果表明: 水力压裂法切顶卸压技术的应用, 有效改善了留设巷道围岩应力状态, 控制了留设巷道围岩变形, 避免了巷道二次甚至多次返修, 降低了巷道的支护难度和支护成本。

关键词: 大采高工作面; 复杂应力; 切顶卸压; 水力压裂; 沿空留巷

中图分类号: TD353 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0959(2020)04-0033-05

Roof cutting gob-side entry retaining in high cutting face under complex stress disturbance

WANG Wen-lin¹, MA Sai²

(1. Shanxi Jincheng Anthracite Mining Group, Jincheng 048006, China;

2. Jincheng Anthracite Mining Group Technology Research Institute, Jincheng 048006, China)

Abstract: In view of the difficulty in entry retaining under complex stress disturbance for high cutting face in 3# coal seam of Sihe mine, and the serious surrounding rock deformation of the gob-side roadway, hydraulic fracturing is adopted for directional pre-cracking on key strata of the roadway roof, and the cantilever beam above the coal pillar on the face side of the roadway is cut off, to reduce the overhanging load of the cantilever beam and the rotary deformation force, thus cut off or greatly weaken the load transferred from the rock beam to the roadway-protecting coal pillar and improve the mechanical environment of the roadway. The results show that the hydraulic fracturing roof cutting can effectively improve the stress state of the surrounding rock, control the deformation of the surrounding rock, avoid the secondary or multiple repair of the roadway, and reduce the support difficulty and cost of the roadway.

Keywords: high cutting face; complex stress; hydraulic fracturing; roof cutting; gob-side entry retaining

切顶卸压是指提前在巷道内侧布置钻孔, 并利用聚能爆破、高压水致裂等方法对工作面顶板进行超前预裂, 使顶板沿预定方向产生切缝, 随着工作面的不断推进, 采空区顶板周期性来压, 巷道内侧顶板沿切缝垮落, 从而切断或减小岩梁传递到相邻煤体上的力, 达到卸压的目的^[1-4]。何满潮院士^[5]提出了无煤柱自成巷“110”工法, 此法采用恒阻锚

索对巷道顶板加强支护, 回采前对巷道正帮侧顶板定向预裂, 待工作面推过后, 在矿山压力的作用下, 顶板沿预裂切缝自动切落形成巷帮, 作为下一个工作面的回采巷道二次复用, 实现了一个工作面掘进一条巷道的无煤柱开采。程蓬^[6]针对坚硬顶板难以及时垮落, 造成工作面回采矿压强烈, 巷道变形剧烈, 治理难度大的问题, 提出了强烈动压条件下巷道

收稿日期: 2019-11-18

作者简介: 王文林(1968—), 男, 山西晋城人, 高级工程师, 主要从事煤矿开采技术及管理工作, E-mail: 55104481@qq.com。

引用格式: 王文林, 马 赛. 大采高工作面复杂应力扰动下切顶卸压沿空留巷技术 [J]. 煤炭工程, 2020, 52(4): 33-37.

水力压裂切顶卸压控顶成套技术。结果表明：实施水力压裂切顶卸压后，动压巷道变形情况显著降低，有效保证了二次复用巷道的围岩稳定。吴拥政^[7]以潞安余吾煤业工作面双巷布置中的留巷作为工程背景，采用理论分析、数值模拟、实验室试验及井下试验相结合的方法，开展了留巷定向水力压裂卸压机理及应用研究，有效解决了工作面二次回采时巷道变形剧烈、支护难度大的问题。张勇^[8]等对自成巷道在“采-留-用”期间的扰动因素进行分析，通过数值模拟和现场实测，对自成巷道在二次复用期间的围岩应力演化规律和变形特征进行了研究。可以看出，前人在切顶卸压沿空留巷方面进行了大量研究^[9-11]，但大多针对二次复用巷道，对于服务周期长、受多次应力扰动的集中巷道还没有相关研究^[12-15]。因此，本文以寺河煤矿东五盘区集中巷为研究对象，开展水力压裂法切顶卸压试验。通过对比分析压裂段与非压裂段留巷效果，为水力压裂法切顶卸压技术在受多次应力扰动下大采高工作面沿空留巷中的应用提供参考。

1 工程概况

寺河矿 5303 工作面为大采高工作面，煤层平均厚度 6.0m，煤层倾角平均 6°。53033 巷为 5303 工作面运输巷，53033 巷以北为四条东翼集中巷，分别为回风二巷(煤巷)、回风一巷(岩巷)、辅助运输巷(煤巷)、运输巷(煤巷)，回风一巷位于回风二巷与辅运巷上方约 15m 处，回风一巷水平方向与回风二巷间距 10m，运输巷与辅助运输巷水平间距 15m，东翼集中巷将为多个工作面服务。煤巷断面均为矩形，高 3.8m，宽 5.0m。岩巷布置在 3# 煤层板岩层中，断面形状为直墙半圆拱形，巷宽 5.3m，墙高 2.0m，拱高 2.65m。东翼四条集中巷具有服务周期长、受多次动压影响时间长、受向斜构造影响及煤柱尺寸偏小等特点，留巷难度非常大，一旦巷道出现问题，将极大影响寺河矿的生产衔接。

2 复杂应力扰动下巷道围岩变形模拟研究

为研究受多次应力扰动下巷道围岩变形情况，利用数值模拟软件对寺河矿东翼集中巷掘进过程中、受 5303 工作面和 5304 工作面回采影响下巷道变形破坏情况及煤柱应力分布进行模拟研究。

2.1 掘进时巷道变形情况

以东翼回风二巷为例，掘进按支护设计进行施

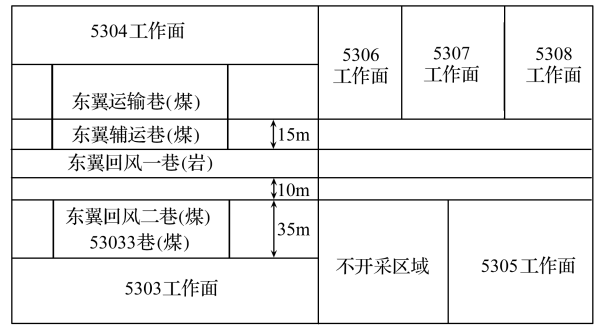


图 1 东翼集中巷平面布置图

工后，围岩应力、变形分布情况如图 2—5 所示。由图 2—5 可知，作为巷道密集区，当巷道掘进后，巷道底板、两帮形成了一定程度的应力集中，巷道之间的煤柱产生了应力集中现象，但应力集中现象不明显。从位移方面分析，巷道掘进期间变形量不大，支护强度能够满足要求。

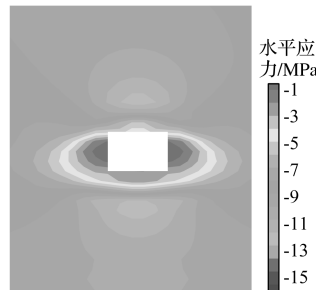


图 2 回风二巷 X 方向水平应力云图

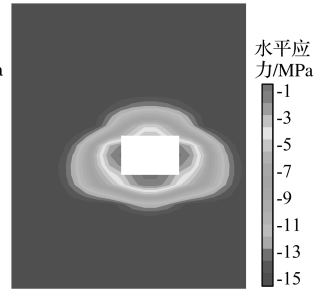


图 3 回风二巷 Y 方向水平应力云图

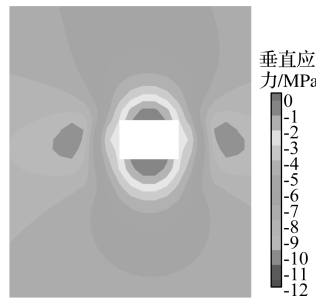


图 4 回风二巷垂直应力云图

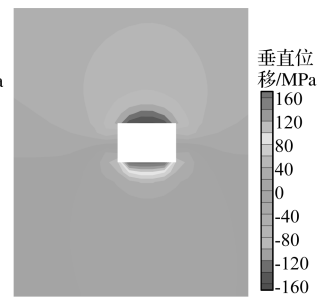


图 5 回风二巷垂直位移云图

2.2 受 5303 工作面回采影响巷道变形情况

5303 工作面回采后，东翼四条大巷垂直应力及塑性区分布如图 6、图 7 所示。

由图 6、图 7 可知，当 5303 工作面开采后，工作面和回风二巷之间煤柱产生了集中应力，达到 22MPa 以上，集中应力对东翼巷道的围岩应力产生明显的扰动。回风二巷两侧的垂直应力集中现象明

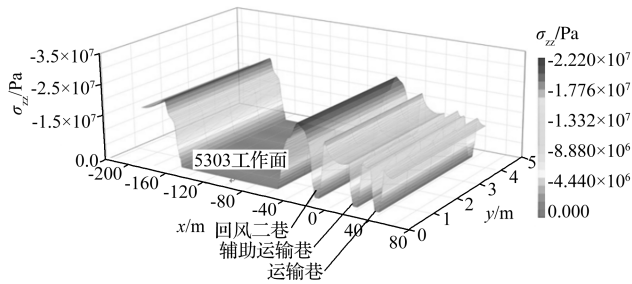


图6 5303工作面与东翼大巷周围垂直应力分布

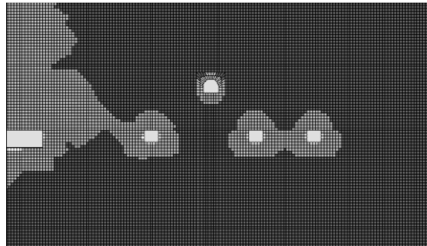


图7 工作面垂直剖面塑性区分布

显高于其他巷，在回风二巷两侧的煤柱应力呈现出“左侧高、右侧低”的特征，且靠5303工作面一侧的煤柱承受更高的垂直应力，这也说明5303工作面的回采对回风二巷产生了更严重的采动影响，受工作面回采动压影响，东翼巷道的塑性区范围进一步增大，尤其是回风二巷的左帮，塑性区基本与采空区贯通。

2.3 受5304工作面回采影响巷道变形情况

5304工作面回采后，工作面与东翼大巷周围垂直应力分布如图8所示，工作面回采后应力集中系数如图9所示。

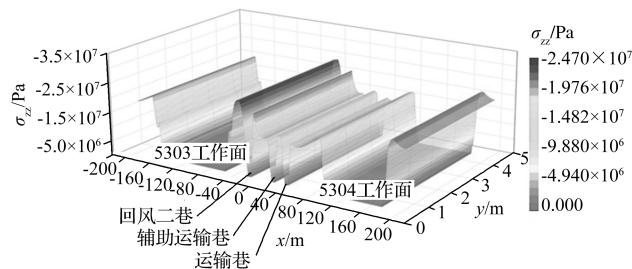


图8 5304工作面回采后垂直应力云图

由图8、图9可知，双侧采空以后，东翼大巷应力集中程度更高，集中应力最高达到24.7MPa以上，应力集中系数高达3.55，集中应力对东翼巷道的围岩应力产生进一步的扰动。

通过数值模拟分析可知，受复杂应力扰动下，东翼集中巷围岩变形十分严重，需要采取有效措施确保巷道围岩稳定可靠。

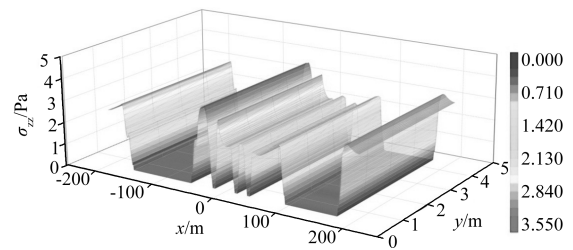


图9 5304工作面回采后东翼巷道应力集中系数云图

3 水力压裂法切顶卸压方案设计

为确保东翼集中巷围岩的稳定，在53033巷布置水力压裂钻孔进行切顶卸压。根据顶板岩层结构结合现有施工条件，确定水力压裂钻孔布置如图10所示，压裂钻孔为双侧布置，煤柱侧钻孔在巷帮开孔，位置距顶板0.3~0.5m，钻孔直径75mm，长度为40m，倾角为60°，孔间距为10m，钻孔与巷道轴线方向夹角60°；带式输送机侧钻孔在顶板开孔，位置距煤柱侧帮1.5~2m，钻孔直径75mm，长度为32m，倾角为60°，孔间距为10m，钻孔与巷道轴线方向夹角20°。

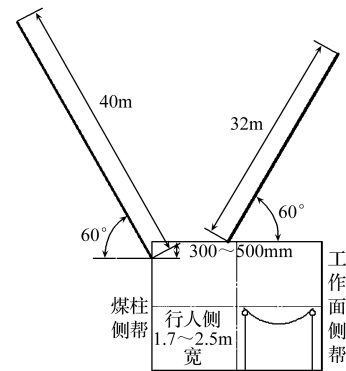


图10 水力压裂钻孔布置图

4 水力压裂法切顶卸压效果分析

4.1 东翼回风二巷切顶卸压效果

4.1.1 压裂前后巷道表面位移观测

分别在回风二巷对应压裂段和未压裂段布置表面位移测站，压裂段布置6个测站，未压裂段布置4个测站，如图11所示。未压裂段与压裂段巷道表面位移见表1、表2。

回风二巷未压裂段两帮移近量平均1038.7mm，顶板下沉量平均497.5mm，底鼓量平均2387.5mm。采用水力压裂切顶卸压技术后，两帮移近量平均592.3mm，降低43%，顶板下沉量平均323.3mm，降低35%，底鼓量平均676.7mm，降低71.7%。由此可

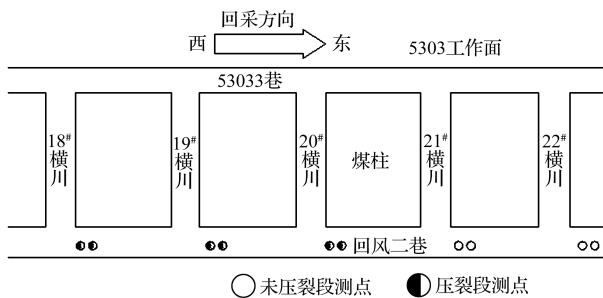


图 11 压裂前后巷道表面位移测站布置

见, 巷道围岩变形主要以底鼓为主, 且水力压裂切顶卸压对巷道围岩变形尤其是巷道底鼓有很大改善。

4.1.2 压裂前后煤柱应力观测

分析压裂前后煤柱不同深度受力的不同, 监测位置分别为煤柱深度 5m、7m、9m、11m、13m 五个位置, 如图 12 所示。

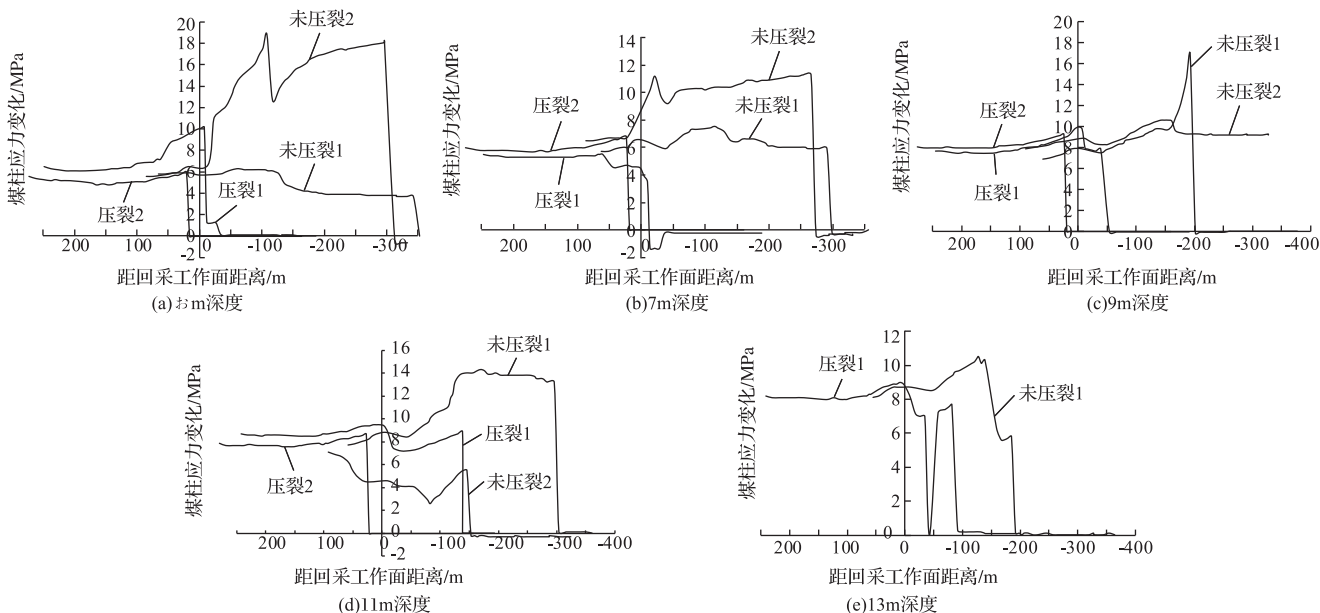


图 12 不同煤柱深度应力对比曲线

对比压裂段和非压裂段的应力监测结果, 可以看到比较明显的区别: 压裂段的应力在接近工作面时出现了峰值点, 此后快速下降, 而非压裂段的应力一直保持上升趋势。说明水力压裂切顶卸压后有效改善了围岩应力环境。

4.1.3 压裂前后锚索受力监测

分别在压裂段和未压裂段布置锚索受力在线监测测站, 压裂段共布置 4 个锚索测力计, 位置在 20# 横川以东 10m。未压裂段共布置 4 个锚索测力计, 位置在 17# 横川以东 15m。

对测试结果进行分析可知, 在超前工作面 250m 到滞后工作面 200m 范围内顶板锚索受力压裂前与压

表 1 回风二巷未压裂段巷道表面位移统计表 mm

位置	最大两帮移近量	最大顶板下沉量	最大底鼓量	最大顶底板移近量
21#横川以东 5m	1255	480	2050	2530
21#横川以东 7m	1155	510	2250	2760
22#横川以东 6m	915	535	2650	3185
22#横川以东 8m	830	465	2600	3065
平均值	1038.7	497.5	2387.5	2885

表 2 回风二巷压裂段巷道表面位移统计表 mm

位置	最大两帮移近量	最大顶板下沉量	最大底鼓量	最大顶底板移近量
18#横川以东 8m	460	325	925	1250
18#横川以东 10m	720	385	715	1100
19#横川以东 7m	485	219	681	900
19#横川以东 9m	685	221	629	850
20#横川以东 12m	502	415	460	875
20#横川以东 14m	702	375	650	1025
平均值	592.3	323.3	676.7	1000

裂后两种情况基本相似。帮锚索受力变化区别较大, 在超前工作面 50m 到滞后工作面 100m 范围内, 未压裂段帮锚索受力由 80kN 增加至 498kN, 压裂段帮锚索受力由 150kN 增加至 230kN。前者是后者增幅的 4 倍, 说明未采用水力压裂时煤柱巷帮支护体受力变化幅度大且受力值非常大, 采用水力压裂后煤柱巷帮支护体受力变化幅度较小。

4.2 回风一巷、辅助运输巷及运输巷切顶卸压效果

分别在东翼回风一巷、辅助运输巷及运输巷布置巷道表面位移测点, 监测水力压裂后巷道围岩变形情况。通过观测分析可知, 水力压裂后回风一巷巷道顶底板移近量最大为 954mm, 较未压裂段降低

45.4%，两帮移近量最大为424mm，较未压裂段降低17.5%；水力压裂后辅助运输巷巷道顶底板移近量最大为522mm，较未压裂段降低17.9%，两帮移近量最大为193mm，较未压裂段降低40.2%；水力压裂后运输巷巷道顶底板移近量最大为487mm，较未压裂段降低20.2%，两帮移近量最大为212mm，较未压裂段降低28.6%。

由此可见，水力压裂后，降低了回采动压对三条集中大巷的应力扰动，有效缓解了巷道围岩变形。

5 结论

1) 模拟研究了复杂应力扰动下巷道围岩变形规律。通过数值模拟分析可知，东翼集中巷在掘进期间围岩应力集中不明显，围岩变形不大，但受5303工作面回采动压影响后，集中应力对东翼集中巷的围岩应力产生明显的扰动，且巷道的塑性区范围进一步增大。当5304工作面回采、东翼四条集中巷形成双侧采空的情况后，集中应力最高达到24.7MPa以上，应力集中系数高达3.55。

2) 对比分析了寺河矿东翼回风二巷水力压裂前后巷道围岩变形、煤柱应力及锚索受力情况。压裂后，两帮移近量降低43%，顶板下沉量降低35%，底鼓量降低71.7%。压裂后，煤柱应力在接近工作面时出现了峰值点，此后快速下降，有效改善了围岩应力环境。压裂前后顶板锚索受力基本相似，但帮部锚索受力变化区别较大，压裂后煤柱巷帮支护体受力变化幅度有所减小。

3) 分析了寺河矿东翼回风一巷、辅助运输巷及运输巷水力压裂前后巷道围岩变形情况。水力压裂切顶卸压后，有效降低了回采动压对大巷的应力扰动，在一定程度上改善和缓解了巷道围岩变形。

参考文献:

- [1] 冯彦军, 康红普. 定向水力压裂控制煤矿坚硬难垮顶板试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(6): 1148-1155.
- [2] 康红普, 冯彦军. 定向水力压裂工作面煤体应力监测及其演化规律[J]. 煤炭学报, 2012, 37(12): 1953-1959.
- [3] 孙晓明, 刘鑫, 梁广峰, 等. 薄煤层切顶卸压沿空留巷关键参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1449-1456.
- [4] 杨军, 周开放, 王亚军, 等. 厚煤层切顶卸压无煤柱自成巷围岩变形规律研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(4): 79-83.
- [5] 何满潮, 王亚军, 杨军, 等. 切顶成巷工作面矿压分区特征及其影响因素分析[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(6): 1157-1165.
- [6] 程蓬. 特厚煤层动压巷道水力致裂卸压护巷技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(11): 50-55.
- [7] 吴拥政. 回采工作面双巷布置留巷定向水力压裂卸压机理研究及应用[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2018.
- [8] 张勇, 申付新, 孙晓明, 等. 三软煤层切顶成巷二次复用围岩应力及变形演化规律[J]. 中国矿业大学学报, 2020, 49(2): 247-254.
- [9] 魏光荣, 王庆雄. 切顶卸压留巷巷道矿压显现规律及顶板控制研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(4): 28-31, 35.
- [10] 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.
- [11] 张江波. 水力压裂切顶卸压控制动压巷道围岩变形研究[J]. 煤矿现代化, 2019(4): 157-160.
- [12] 赵国栋. 矿井深部强动压巷道综合控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2): 98-102.
- [13] 郭晋杰. 三交河煤矿11-201工作面两巷水力压裂切顶卸压技术实践[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(4): 111-113.
- [14] 郭俊良. 水力压裂切顶卸压技术在沿空巷道中的应用[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(1): 47-49.
- [15] 李爱军, 李西凡. 层次注浆工艺在切顶留巷围岩加固工程的应用[J]. 煤炭工程, 2019, 51(10): 50-53.

(责任编辑 苏越)