 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i1.8965

Study on hydraulic fracturing effect of horizontal directional long borehole in hard roof

Fuqiang Zhang[1] Bin Wang[2,3,4] Long Guo[4] Yongqiang Liu[2,3,4] Mingxuan Li[2,3,4]

1. Huangbaici Mining Co., Ltd., CHN Energy Wuhai Energy Corporation, Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China
2. Tiandi Science & Technology Co.,Ltd., Beijing, 100013, China
3. CCTEG Coal Mining Research Institute, Beijing, 100013, China
4. CCTEG (Xi'an) Coal Mining Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, 710000, China

Abstract

The Huangbaici Coal Mine experienced severe mining pressure due to the interaction between adjacent goaf areas and the overlying hard rock strata, resulting in excessive stress concentration and significant roadway deformation in the return airway and conveyor belt roadway of the 0213 Upper 202 fully mechanized mining face. To mitigate the impact of the overlying hard roof on production, horizontal directional long-hole hydraulic fracturing was employed to fracture the thick, hard roof. The study analyzed the selection of fracturing layers and parameters, formulated fracturing measures, and evaluated the effectiveness through fracturing curves, borehole visualization monitoring, and flow rate observation. The research findings and methodologies provide valuable references for hydraulic fracturing in similar mines.

Keywords

Thick hard roof; Hydraulic fracturing; Fracturing parameters; Effect evaluation;

厚硬顶板水平定向长钻孔水力压裂效果研究

张富强[1] 王滨[2,3,4] 郭龙[4] 刘永强[2,3,4] 李明轩[2,3,4]

1. 国能乌海能源黄白茨矿业有限责任公司，中国·内蒙古 乌海 016040
2. 天地科技股份有限公司，中国·北京 100013
3. 中煤科工开采研究院有限公司，中国·北京 101300
4. 中煤科工（西安）开采工程技术有限公司，中国·陕西 西安 710075

摘　要

黄白茨煤矿生产过程中在工作面受临近采空区和上覆顶板坚硬岩层活动影响，形成强矿压，导致0213上202综采工作面回风巷和胶带巷超前应力集中、巷道变形较大。为治理上覆坚硬顶板对生产的影响，采用水平定向长钻孔水力压裂技术对厚硬顶板进行压裂，分析了水力压裂层位选择、压裂参数选择，制定水力压裂措施，采用压裂曲线、钻孔窥视监测、流量观察等多种措施进行压裂效果考察。研究成果和方法对于类似矿井水力压裂具有参考意义。

关键词

厚硬顶板；水力压裂；压裂参数；效果考察

1 引言

顶板岩层厚度大、应力高，难垮落时，工作面开采容易引发冲击地压、巷道变形等问题，因此必须采用一定措置对厚硬顶板进行弱化处理。针对厚硬顶板治理问题，我国专家学者进行了大量研究，比如采用长钻孔水力压裂技术进行对高瓦斯矿井上覆坚硬顶板进行压裂，提高瓦斯抽采效率，取得良好效果[1]；针对综采工作面坚硬顶板端头悬空位置进行水力压裂，有效控制端头巷道围岩变形严重问题，取得良好效果[2]；采用定向长钻孔水力压裂技术治理煤层坚硬顶板引发的顶板问题，进行现场应用研究，取得良好效果[3]。针对水力压裂技术在煤矿生产中应用问题展开研究，都取得丰硕成果[4-5]。黄白茨煤矿下部开采过程中存在厚硬顶板引发的巷道变形严重问题，为治理顶板引发的次生灾害问题，采用水平定向长钻孔水力压裂技术对厚硬顶板进行弱化。

【基金项目】国家能源集团乌海能源有限责任公司科技项目“WHNY-KX-23-24近距离煤层群沿空留巷条件厚硬顶板多维卸压关键技术研究与应用”资助。

【作者简介】张富强（1985-），男，中国陕西渭南人，本科，工程师，从事煤矿采掘生产技术管理工作。

2 工程概况

黄白茨煤矿 0213 上 202 综采工作面采用走向长壁、综合

智能化、一次采全高、 全部垮落采煤法，采用全部垮落法控制顶板，采空区顶板随支架前移自行垮落充填。 生产过程中在工作面受临近采空区和上覆顶板坚硬岩层活动影响，形成强矿压，导 致 0213 上 2 02 综采工作面回风巷和胶带巷超前应力集中、巷道变形较大，制约工作 面安全生产，为有效保障工作面初采厚硬顶板分层有序及时垮落，消除工作面厚硬 顶板大面积悬顶隐患，及大面积突发垮落引发的顶板灾害，有效控制厚硬顶板沿空 留巷强烈动压导致的留巷变形破坏。 黄白茨煤矿 0213 上 2 02 综采工作面实施关键层位压裂，利用 0213 上 2 02 运巷内 现有硐室，初步设置 1 个钻场，共 4 个定向长钻孔。通过压裂曲线、钻孔窥视监测、流量观察等多种措施进行压裂效果评估，提升黄白茨矿井沿空留巷工作面顶板的治理和管理水平。

3 水力压裂工艺原理

3.1 水力压裂技术原理

水力压裂技术主要以水为介质，通过在岩层钻孔局部注入高压水，岩体在流体自由应力作用下产生裂纹，随着压力的持续，裂隙不断发育，达到对目标岩体破碎的作用。研究表明：。通过水力压裂切断顶板还能切断应力的传递路线，促使在聚体高应力作用下的采空区顶板能够 沿着预设的路线及时崩塌，有助于阻止顶板在高应力 和水平应力的共同作用下产生的回转和下沉现象，进 一步降低顶板活动对巷道围岩稳定性的不良影响。由于卸除了高应力区，有效降低了采空区顶板垮落造成的周期来压强度，从而有力地保证了巷道围岩的稳定性 [6-8]。水平定向分段水力压裂工艺技术原理如图 1 所示。

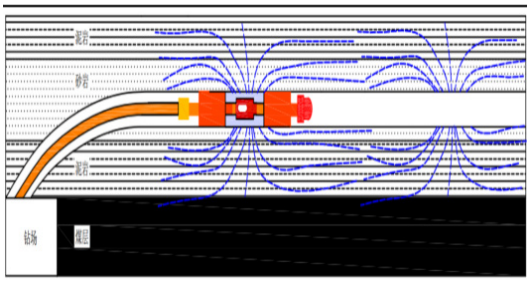


图 1 水力压裂原理图

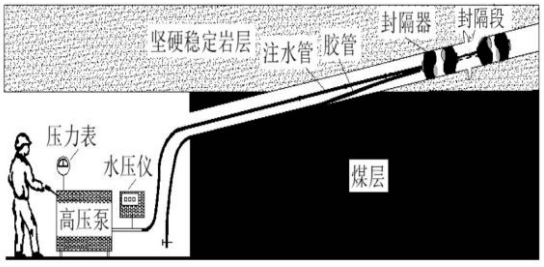


图 2 水力压裂工艺图

3.2 水力压裂工艺

如图 2 所示，水力压裂工艺包括井下远程集控中心、压裂液制备 、大流量压裂泵组、压裂工具和井上下压裂裂缝监测系统。定向水平孔按照钻孔设计参数，采用定向钻机进行钻孔作业。

4 水力压裂施工及效果评估

4.1 水力压裂施工

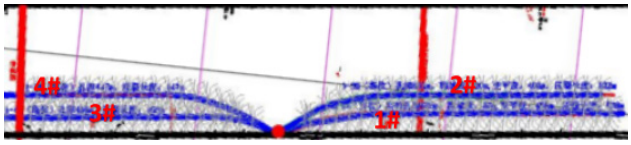


图 3 水平定向长钻孔水力压裂设计图

如图 3 所示，黄白茨煤矿利用 0213 上 2 02 运巷内现有硐室，初步设置 1 个综合钻场，共 4 个定向长钻孔，依次扰乱工作面来压步距进一步控制来压强度。运巷厚硬顶板切顶护巷钻孔布置为：1#、3# 位于 02 工作面侧，与柔膜挡墙水平距离为 30m 与 28m，垂高位于煤层顶板以上 10m。2#、4# 位于 1#、3# 钻孔内侧，与 02 运巷水平距离分别为 60m 与 56m，垂高位于煤层顶板以上 7m。各钻孔参数如下采用水平后退式分段压裂方式，分段压裂距离 21m，分段压裂时间 45min。压裂泵施工排量 1.5m³/min。各钻孔参数如表 1。

表 1 水平定向长钻孔设计参数表

钻孔编号	设计长度 /m	拐弯长度	水平位置	终孔高度（煤上）/m	压裂间距 /m
1#	558	138	距柔膜墙 30m	10	21
2#	531	132	距柔膜墙 60m	7	21
3#	447	138	距柔膜墙 28m	10	21
4#	495	132	距柔膜墙 56m	7	21

4.2 水力效果评估

4.2.1 钻孔窥视监测

光纤窥视仪的优点是轻便，用矿灯作为光源，使用灵活，测试原理如图 4 所示，适用于煤矿井下。电子窥视仪的主要优点是比光纤窥视仪获得更高的解像度，更远的有效长度及更清晰的影像。电子窥视仪目前从视角上可划分为前视和全景两种。压裂钻孔内部水力压裂区域出现局部裂隙，产生裂隙主要为沿着钻孔轴向裂隙，部分法向裂隙向四周蔓延。

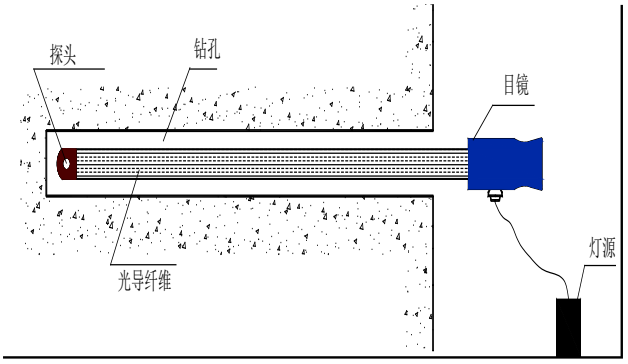


图 4 光导纤维钻孔窥视仪原理图

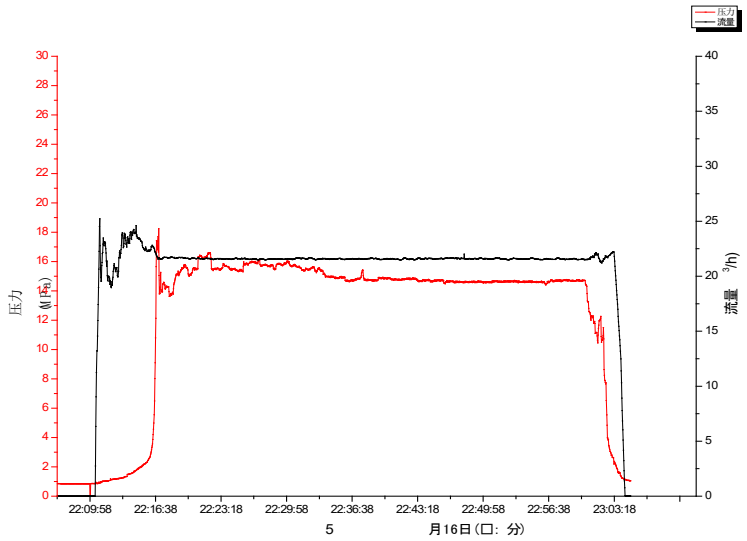


图 5 压裂曲线

4.2.2 压力曲线

如图 5 压裂曲线所示，整体压力稳压维持在 19~35MPa，每段压裂曲线在压裂期间，出现完整的岩石在水压的不断积累下达到起裂点后压力出现突变，压力的变化也证明岩石内部产生了新的裂缝，随后压力以波动的形式进入稳压阶段，在此阶段，压力曲线呈现上下不断浮动，证明岩石在不断的发生微破裂并向远处延展，并且不在同一频率上，符合岩石非均质性的特征。稳压阶段内压力曲线波动明显，表明该阶段内裂纹扩展较好。压裂过程中个别段水压较低，但是压力始终呈现稳定的波动状态，表明压裂液一直在做功。

4.2.3 流量观察

对压裂孔孔进行水力压裂，这时候要开始计时，每天定时观察 1 号与 3 号观测孔的水量等相关参数的变化。当压裂一定时间后，1 号观察孔相对水量在 10% 以上，说明水力压裂有效半径在 0~30m 之间；3 号观察孔相对水量增大 51% 以上，说明水力压裂有效半径在 28m 左右。

5 结语

0213^{上2}02 综采工作面采用沿空留巷开采，不采取措施回采完毕后留巷变形严重，主要为上覆厚硬顶板影响；

通过钻孔窥视监测、压裂曲线分析、流程观察对压裂效果进行监测，钻孔窥视监测确定了压裂区孔壁裂隙，压裂曲线监测对压裂过程进行动态观测，流量观察可直观监测压裂效果。

通过压裂前后对比分析，压裂保护区巷道变形较小，未出现明显垮落、破碎现象。未压裂区域留巷变形严重，巷道破碎范围比较大。

参考文献

[1] 刘甲.坚硬顶板定向长钻孔水力压裂卸压瓦斯抽采研究[J].西部探矿工程,2025,37(01):126-127+131.

[2] 吴东园.综采工作面坚硬顶板端头悬顶水力压裂控制研究[J].能源技术与管理,2024,49(05):61-63.

[3] 杜志伟.煤层坚硬顶板定向长孔水力压裂技术的应用研究[J].石化技术,2024,31(09):331-332.

[4] 潘鹏.坚硬顶板工作面水力压裂弱化技术应用[J].江西煤炭科技,2024,(03):43-45.

[5] 乔磊.初采期坚硬顶板悬顶水力致裂治理技术[J].江西煤炭科技,2024,(03):72-74+78.