

Design of “Wall-Column Synergistic” Support and Roof Cutting Pressure Relief Scheme for Gob-Side Entry Retaining in Huangbaici Mine

Fuqiang Zhang¹ Bin Wang^{2,3} Yonglu Qi⁴ Yongqiang Liu^{2,3} Jiangang Wang¹

1. Huangbaici Mining Co., Ltd., CHN Energy Wuhai Energy Corporation, Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

2. CCTEG Coal Mining Research Institute, Beijing, 100013, China

3. CCTEG (Xi'an) Coal Mining Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, Inner Mongolia, 710000, China

4. Guoneng Wuhai Energy Huangbaici Mining Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

Abstract

In the 0213^{Upper 2}02 working face of Huangbaici Coal Mine, a gob-side entry retaining technology primarily based on “roof cutting pressure relief + constant resistance large deformation anchor cable support” (flexible formwork wall) was implemented in the haulage roadway. However, significant deformation of the surrounding rock in the retained entry was observed, failing to meet reusability requirements and posing substantial safety hazards. Through technical analyses such as field tests, numerical simulations, and engineering analogies, a “wall-column synergistic” support scheme combined with an abrasive high-pressure water jet “cutting + fracturing” roof cutting pressure relief method was proposed for the 021205 working face in Huangbaici Coal Mine. The design was implemented on-site and is expected to provide a reference for gob-side entry retaining under similar conditions.

Keywords

Along the sky and leave the alley; Wall and pillar coordination; hydraulic fracturing; hydraulic crack; micro-shock monitoring

黄白茨矿沿空留巷“墙柱协同”支护及断顶卸压方案设计

张富强¹ 王滨^{2,3} 祁永禄⁴ 刘永强^{2,3} 王建刚¹

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 016000

2. 中煤科工开采研究院有限公司, 中国·北京 100013

3. 中煤科工(西安)开采工程技术有限公司, 中国·陕西 西安 710000

4. 国能乌海能源黄白茨矿业有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000

摘 要

根据黄白茨煤矿0213^{±2}02工作面在运输巷实施了“切顶卸压+恒阻大变形锚索支护”为主体的沿空留巷技术(柔模墙), 留巷巷道围岩变形明显, 无法满足复用条件, 且存在极大的安全隐患的前提下, 经过现场试验、数值模拟、工程类比法等技术分析提出黄白茨煤矿021205工作面“墙柱协同”支护及磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压沿空留巷方案设计, 在现场进行实施。方案设计可为类似条件沿空留巷提供参考。

关键词

沿空留巷; 墙柱协同; 水力压裂; 水力裂缝; 微震监测

1 引言

黄白茨煤矿位于乌海市乌达区西北方向, 方位角 280°, 直线距离 7.50km 处。矿区周边有两条铁路线相邻, 东部为包兰铁路, 经乌达矿区东侧通过, 进入黄白茨煤矿, 矿区专用线与包兰铁路的乌海西站接轨; 西侧为乌吉线, 即乌海至阿拉善吉兰泰镇, 为吉兰泰盐湖的配套铁路设施。距离矿区最近的火车站是乌海西站, 直线距离 12km。

黄白茨煤矿先前已有沿空留巷经历, 0213^{±2}02 工作面在运输巷实施了“切顶卸压+恒阻大变形锚索支护”为主体的沿空留巷技术(柔模墙), 留巷巷道围岩变形明显, 无法满足复用条件, 且存在极大的安全隐患。

2 矿井概况

黄白茨煤矿 0213^{±2}02 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^{±2}02 综采工作面回风巷和胶带巷超前应

【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研究。

力集中、巷道变形较大，制约沿空留巷工作面安全生产。

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。在黄白茨煤矿 0213^{±2}02 综采工作面采用柔膜挡墙充填无煤柱沿空留墙留巷技术，该工作面开采煤层直接顶板厚度大、坚硬强度高，为厚硬难垮类型顶板。目前该矿采用自然垮落法进行初次放顶顶板管理，而工作面沿空留巷巷道顶板则未进行“切顶护巷”卸压预处理。

3 工作面概况

0213^{±2}02 综采工作面距地表垂深约 170~185m；0213^{±2}02 综采工作面北为井田西北边界煤柱；东部为已经准备的

0213^{±2}06 综采工作面，南部为 1312 轨道上山、1311 皮带上山开拓巷道，西部为 F22 正断层及保护煤柱。

0213^{±2}02 综采工作面位于 13^{±2}煤层，与上部 12 煤层距离为 6.82~20.30m，平均距离为 14.38m。0213^{±2}02 综采工作面两巷编录厚度为 1.2~1.86m，大部分 1.40m，为中厚层煤，煤层较稳定。

煤层结构较简单，夹矸一般为 1 层或不夹矸，夹矸岩性多为炭质泥岩、粘土岩和泥岩。顶板岩性多为砂质泥岩及泥岩，少数钻孔可见粉砂岩和细砂岩，厚度为 0.4~9.3m。底板岩性以泥岩为主，有少量的炭质泥岩及粘土岩，厚度为 0.19~5.54m。

3.1 煤岩层赋存情况

煤岩层赋存情况见表 1。

表 1 煤矿层顶底板情况

煤矿层顶底板情况	顶底板名称	岩石名称	厚度（m）	岩性特征
	老顶	砂质页岩 细砂岩	0~6.99	灰黑，比较坚硬，上部深灰，含粉砂质量高，下部低，含黄铁矿薄膜。灰黑色，成份以石英颗粒为主要层状，含少量云母及植物化石砂质胶结。
	直接顶	砂质页岩 粉砂岩	4.64~17.53	灰黑，比较坚硬，上部深灰，含粉砂质量高，下部低，含黄铁矿薄膜。深灰色，条带状，夹灰色薄层状细砂岩，成份以石英为主，含云母黄铁矿结核及植物碎屑化石，有裂隙。
	伪顶	无		
	直接底	砂质泥岩 页岩	2.39~3.46	深灰色，致密块状，成份以泥质为主，次为砂质，含植物茎化石炭屑及黄铁矿薄膜。黑色，上部含微量粉砂，下部低。

3.2 影响回采的其他因素

- ①黄白茨煤矿井工开采近距离多煤层；
- ②为高瓦斯矿井，煤尘具有爆炸危险性，自燃倾向性为Ⅱ类；
- ③煤的自燃，自然发火期 81 天。

3.3 021205 回风巷原支护情况

顶板采用 3 排锚索+6 排螺纹钢锚杆+钢筋网联合支护，锚杆矩形布置、锚索施工 3 排五花布置。顶锚杆选用 L=2000mm Φ20mm 螺纹钢锚杆加设 200×200×8mm 铁托盘进行支护，锚杆支护排、间距 900×1000mm，边排锚杆距帮 350mm，与锚杆夹角 15°。锚索选用 L=7300mm Φ21.8mm 钢绞线加设 L=500mm 槽钢进行支护，锚索排间距 1300×2000mm、边排锚索距离帮 1300mm。

4 沿空留巷设计原则^{[1][2]}

- （1）总体原则：超前磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压+超前巷内锚索补强支护+“双层金属网+挡矸支架”挡矸支护+“异形墩柱”动压区加强支护+“钢筋砼墙体”巷旁支护+矿压实时监测。
- （2）留巷用途：021205 工作面运输巷留下来作为 021207 工作面回风巷；
- （3）工作面推进速度：3~5m/d；
- （4）巷道规格：留巷前巷道宽度 5.6m，留巷后巷道宽度 4.4m，可复用宽度 2.8m；

- （5）留巷基本方式：超前工作面进行强力锚索补强支护；工作面移架前，提前挂网，在工作面推进后，采用挡矸支架进行挡矸支护，靠近采空区侧浇筑宽 1.2m 的 C40 强度钢筋砼墙体；
- （6）挡矸支护方式：采用“双层金属网+挡矸支架”方式进行挡矸切顶；
- （7）切顶方式：超前工作面进行磨料高压水射流“切割+压裂”断顶卸压；
- （8）泵送设备及工艺：方案一：在混凝土地面搅拌站配制干混料，采用矿车装载混凝土干料运至混凝土泵站位置加水搅拌泵送；方案二：在混凝土地面搅拌站配置成品混凝土料，采用防爆水泥罐车装载运输至混凝土泵站位置后由混凝土泵泵送至预充填区中的模袋内，实现一次性带压接顶；
- （9）劳动作业方式：单日回采进度 3~5m，根据乌海能源规定，夜班不生产，因此早班（检修期间）进行沿空留巷巷旁支护与巷内支护施工；
- （10）通风方式：工作面采用“Y”型通风。

5 补强支护方案^[3]

5.1 顶板补强支护

如图 1，在回采帮侧顶板距帮 500mm 处垂直于顶板打设一排规格为 φ21.8×7300mm 的切顶锚索，间距 1000mm。超前工作面实施，可在回采前超前工作面打设，也可在掘进时提前打设。

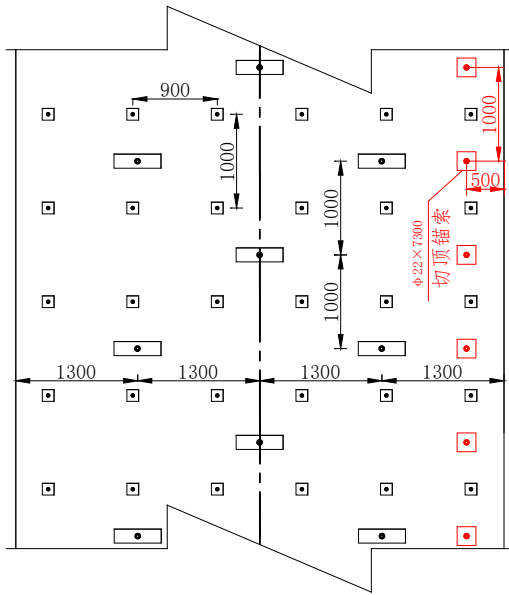


图 1 顶板补强支护示意图

5.2 帮部补强支护

如图 2，分别在第一排与第二排、第二排与第三排锚索间沿巷道走向布置 2 排补强锚索，锚索规格： $\phi 21.8 \times 5300\text{mm}$ ；间排距为 $2000 \times 1000\text{mm}$ 。锚索沿走向采用 W 钢带相连，W 钢带规格： 2400mm （长） $\times 280\text{mm}$ （宽） $\times 5\text{mm}$ （厚）。

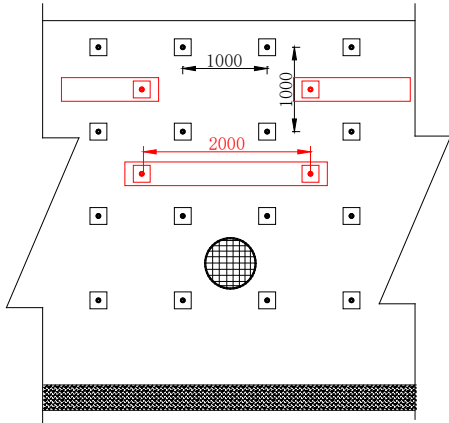


图 2 帮部补强支护示意图

6 巷旁支护及巷内支护设计^[4]

6.1 巷旁支护设计

采用浇筑钢筋砼墙的方式进行巷旁支护。设计墙体浇筑宽度为 1200mm ，混凝土强度等级为 C40。采用预置钢筋无横筋开口式柔性模板实现巷旁支护钢混结构。巷旁支护体浇筑位置：靠采空区侧与煤壁相平，顶部处于切顶锚索

与巷内锚索之间。柔模墙体约束由 $800 \times 800\text{mm}$ 间距的 $\phi 20 \times 1400\text{mm}$ 对拉锚杆、纵横交错的钢筋梯梁组成；根据瓦斯、自然发火等级以及采空区防治水相关因素，留设瓦斯抽采孔、观测孔、措施孔与排水孔。

6.2 巷内支护设计

根据黄白茨煤矿 021205 工作面现场情况，结合高应力巷道围岩控制相关案例与巷道围岩控制经验，设计采用“异形墩柱”作为巷内滞后。如图 3，“异形墩柱”由 $\phi 400\text{mm} \times 10\text{mm}$ 厚的厚壁钢管组成的柱体与 $\phi 800 \times 500\text{mm}$ 的柔性模板组成，厚壁钢管内浇筑混凝土填实，顶部采用高水材料充填柔性模板进行接顶；厚壁钢管边缘至柔模墙 1200mm ，可复用宽度 2800mm 满足巷道使用条件。

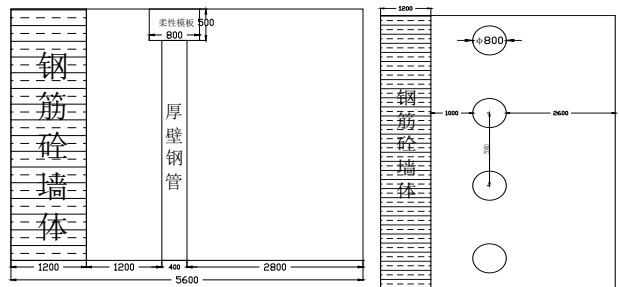


图 3 “墙柱协同”支护示意图

7 结论

在黄白茨煤矿 021205 工作面沿空留巷巷道进行近场磨料高压水射流“切割+压裂”短孔切顶卸压施工^[5]及远场定向长钻孔后退式分段水力压裂长钻孔断顶卸压^[6]，通过长短孔结合的多维卸压断顶留巷新工艺完成黄白茨煤矿近距离煤层群沿空留巷条件下的多维卸压关键新技术研究，解决了沿空留巷条件下的切顶卸压难题。

参考文献

- [1] 靳钟铭, 等. 煤矿坚硬顶板控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
- [2] 薛顺勋, 宋广太, 库明欣. 煤巷锚杆支护施工指南[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [3] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [4] 华心祝. 沿空留巷巷旁锚索加强支护与参数优化[J]. 煤炭科学技术, 2004(8).
- [5] 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.
- [6] 冯彦军, 康红普. 水力压裂起裂与延展分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(S2): 3169-3179.