

# 采动条件下孤岛工作面回采巷道围岩变形特征及其支护技术

赵建峰,王卫军,彭文庆,袁超,王金,彭刚

(湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室,湖南湘潭 411201)

**摘要:**为了解决采动条件下孤岛工作面回采巷道支护难题,以平煤一矿戊<sub>9</sub>-23010采煤工作面回采巷道作为研究对象,进行现场调查巷道围岩变形特征,分析围岩矿物成分及强度,探测围岩内部节理裂隙调发育情况等;运用FLAC<sup>3D</sup>模拟了非孤岛工作面开采与孤岛工作面回采期间的应力分布特征.分析认为:巷道围岩整体加固,两帮加强支护是保障孤岛工作面回采巷道均匀协调变形的关键.在以上分析研究的基础上,提出具有针对性的“锚杆+锚索+金属网+喷浆+U型钢拱支架”综合支护方案,并应用于现场,经过132 d的监测,结果表明:该支护方案有效地控制了巷道变形,支护效果明显.

**关键词:**采动;孤岛工作面;回采巷道;围岩;支护技术

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2016)02-0015-06

## Deformation characteristics and support technology of surrounding rock in mining roadway of isolated island face

ZHAO Jianfeng, WANG Weijun, PENG Wenqing, YUAN Chao, WANG Jin, PENG Gang

(Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of supporting the roadway in mining gateway of isolated island working face, this paper surveys the deformation characteristics of surrounding rock, makes an analysis of mineral composition and strength of surrounding rock, and detects the development of joint fissures in surrounding rocks. The stress distribution characteristics of the non-isolated working face mining and isolated island working face in mining are simulated by using FLAC<sup>3D</sup>. Results show that the overall strengthening of roadway surrounding rock and strengthening support on both sides are the key points to ensure the coordinated deformation of the roadway in the isolated island working face. Based on the analysis results, this paper proposes some comprehensive support schemes for “anchor bolt plus cable plus metal mesh plus shotcrete plus U-shaped steel arch supports”, and applies it to the field. After one hundred and thirty-two days of monitoring, the results show that the support scheme effectively control the deformation of roadway, and the supporting effect is obvious.

**Key words:** mining; isolated island face; mining gateway; surrounding rock; support technology

针对孤岛工作面的开采现状,如何安全地开采这些煤,减少资源损失,提高矿井的采出率和经济效益,是煤矿生产建设中一项重要的技术工作<sup>[1-3]</sup>.长期以来,有关孤岛工作面开采支护技术方面的研究很多,诸多专家学者做了较深入的理论与工程实例应用研究.例如,刘长友等<sup>[4]</sup>采用FLAC<sup>3D</sup>软件对比分析了超长孤岛工作面的支承压力的分布特征;王同旭等<sup>[5]</sup>模拟了孤岛工作面侧向支承压力的分布规律,并利用雷

收稿日期:2015-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51434006;51374105);湖南省教育厅资助项目(14C0427);煤矿安全开采技术湖南省重点实验室开放基金资助项目(201206)

通信作者:王卫军(1965-),男,湖南涟源人,博士,教授,研究方向:巷道围岩控制. E-mail: wjwang@hnust.cn



表 1 戊<sub>9</sub>-23010 工作面回采巷道顶板点荷载实验结果

破坏时上下锥端间距/mm	通过 2 加载点最小截面宽度/mm	千斤顶读数/MPa	试件破坏载荷/N	等价岩心直径/mm	未经修正的点载荷强度指标/MPa	尺寸修正系数	经尺寸修正后的强度指标/MPa
35	55	1.6	1 286.144	2 452.229	0.524	0.996	0.522
45	70	2.5	2 009.600	4 012.739	0.501	1.112	0.557
51	60	2.4	1 929.216	3 898.089	0.495	1.105	0.547
35	60	1.7	1 366.528	2 675.159	0.511	1.015	0.519
45	40	2.4	1 929.216	2 292.994	0.841	0.981	0.825
35	55	1.8	1 446.912	2 452.229	0.590	0.996	0.587
25	45	1.3	1 044.992	1 433.121	0.729	0.882	0.643
30	60	1.3	1 044.992	2 292.994	0.456	0.981	0.447
52	40	2.4	1 929.216	2 649.682	0.728	1.013	0.738
43	54	2.7	2 170.368	2 957.962	0.734	1.039	0.762
45	63	2.6	2 089.984	3 611.465	0.579	1.086	0.629
60	87	6.2	4 983.808	6 649.682	0.749	1.246	0.934
55	60	4.9	3 938.816	4 203.822	0.937	1.124	1.053
32	65	1.5	1 205.76	2 649.682	0.455	1.013	0.461
45	72	2.2	1 768.448	4 127.389	0.428	1.119	0.480
27	48	1.1	884.224	1 650.955	0.536	0.911	0.488
46	63	2.2	1 768.448	3 691.720	0.479	1.092	0.523
35	54	1.5	1 205.760	2 407.643	0.501	0.992	0.497

2.3 岩石成分分析

通过 X 射线衍射仪<sup>[7]</sup>,对戊<sub>9</sub>-23010 孤岛工作面回采巷道围岩矿物成份进行了分析,如图 3 所示. 由图可得出:围岩中含氧化钼磷酸钾 72.3%, 铵云母为 21.5%,斜绿泥石 6.2% 等矿物,强膨胀性矿物占了大部分比例,此种围岩遇水和空气后容易软化、泥化和氧化等,影响巷道的稳定.

2.4 围岩内部节理裂隙调发育情况

采用岩层探测记录仪(YTJ20 型)<sup>[8]</sup>,对戊<sub>9</sub>-23010 孤岛工作面回采巷道岩体内裂隙发育情况、围岩变形发展及松动范围进行了窥视和分析,整理出整个钻孔内部信息结果如图 4 所示. 由此可看出,戊<sub>9</sub>-23010 孤岛工作面回采巷道围岩的松动范围在 2.4~3.9 m,离巷道越近,裂隙越发育.

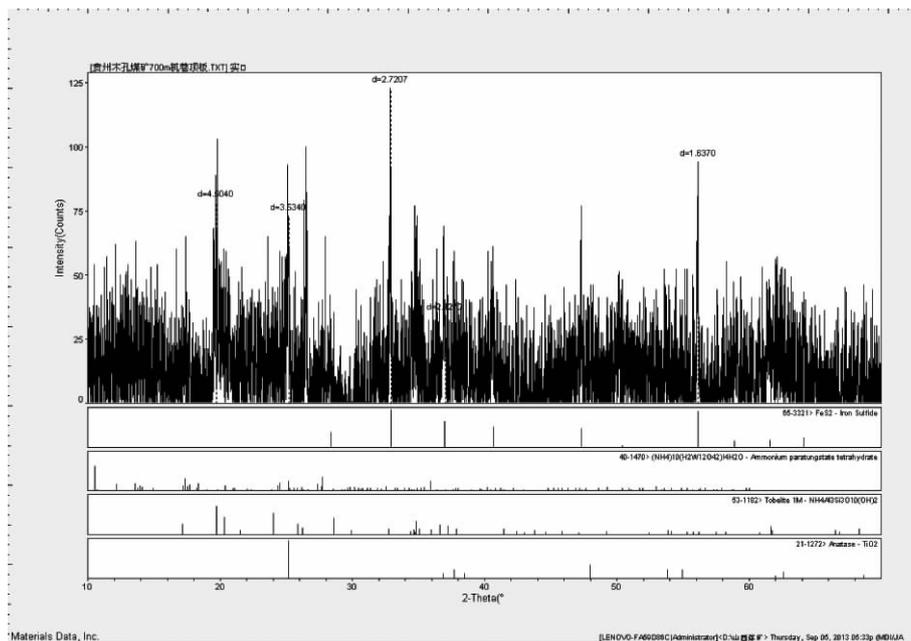


图 3 围岩 X 衍射图谱

### 2.5 数值模拟

通过数值模拟软件 FLAC<sup>3D</sup> 模拟孤岛工作面回采前后时的巷道围岩应力分布情况,揭示孤岛工作面回采前后巷道围岩受力特征. 计算模型采用 Mohr - Coulomb 屈服准则,水平方向(X 方向)长度为 170 m,垂直方向(Z 方向)长度为 100 m,沿巷道轴向(Y 方向)方向长度为 25 m. 计算模型的前、后、左、右和底部均施加法向约速,其它方向自由. 如图 5 所示,表 2 为各岩层的力学参数.

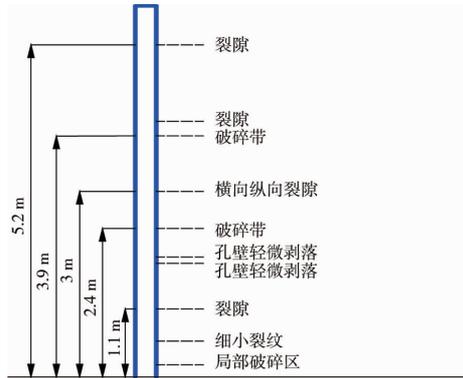


图 4 巷道围岩裂隙发育分布

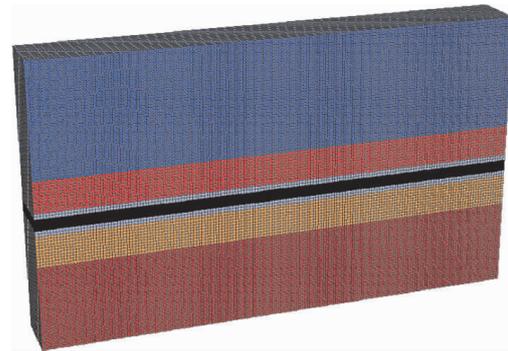


图 5 FLAC3D 模型

表 2 各岩层力学参数

围岩	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	粘聚力/MPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/(°)	容重/(g/cm <sup>3</sup> )	泊松比
老顶 粘土泥岩	8.71	3.17	3.24	0.57	30	2.20	0.34
直接顶 砂页岩	4.28	1.27	0.90	0.73	20	2.30	0.31
煤 煤	1.78	0.43	1.38	1.29	24	1.50	0.42
直接底 粘土泥岩,砂页岩	4.28	1.37	0.82	0.87	25	2.30	0.32
老底 砂页岩	4.06	1.56	2.32	1.12	30	2.50	0.32

图 6 为非孤岛工作面回采时,距工作面 15 m 处的围岩应力云图;图 7 为孤岛工作面回采时,距工作面 15 m 处的围岩应力云图.

由图 6 与图 7 分析可知,在孤岛工作面回采之前,矩形巷道周边围岩承受压应力,在边角部位出现压应力集中,水平压应力达到 45 MPa,而垂直压应力高达 90 MPa. 随着孤岛工作面的回采,在采动作用影响下,煤柱围岩体内生成大量裂隙,进而造成大变形(图 6 与图 7 相比),水平与垂直压应力向围岩深部转移,如水平压应力从 20 MPa 降到 10 MPa,垂直压应力从 100 MPa 降到 40 MPa,煤柱体整体承载能力降低;另外,巷道靠孤岛工作面侧出现压应力集中区,水平压应力从 30 MPa 增加到 45 MPa,垂直压应力从 40 MPa 增加到 85 MPa,如果此时段的围岩应力超过围岩体强度,此区域围岩体将产生离层、错动和裂隙张开型破碎等非连续性变形. 因此,对于孤岛工作面回采巷道的支护,在对巷道围岩整体加固的同时,应增强对巷道两帮的支护强度,提高围岩体整体承载能力,防止顶板离层岩块的冒落,保障巷道能够均匀协调变形.

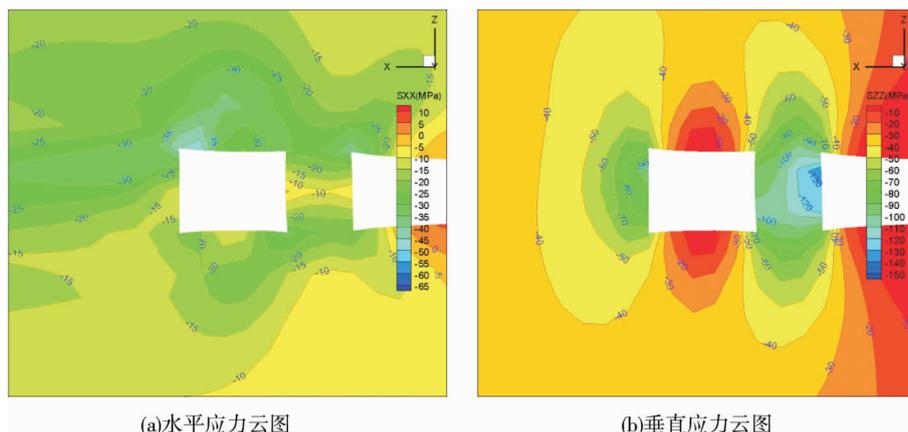


图 6 非孤岛工作面回采时应力云图

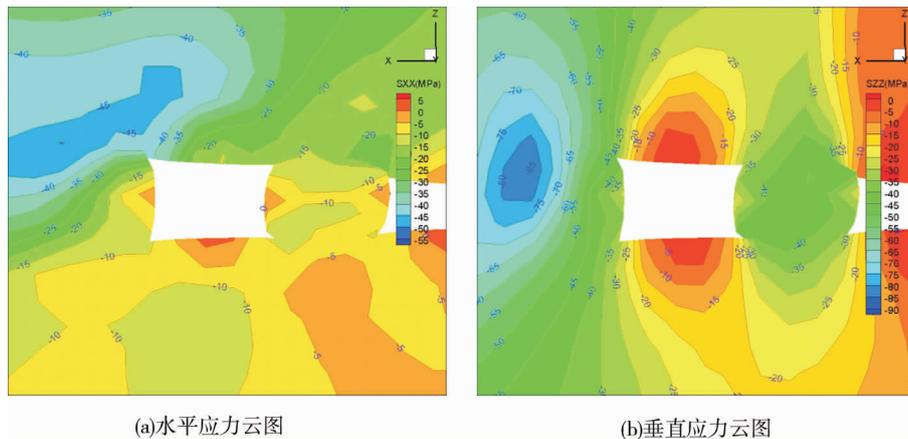


图 7 孤岛工作面回采时应力云图

### 3 支护方案

针对一矿戊<sub>9</sub>-23010 采煤工作面回采巷道围岩岩性特征及变形特点,建议对整个断面采用“锚杆 + 锚索 + 金属网 + 喷浆 + U 型钢拱支架”联合支护方式<sup>[9]</sup>. 具体支护参数如下:锚杆采用  $\text{O}20 \text{ mm} \times 2\,400 \text{ mm}$ 左旋无纵肋螺纹钢,间排距为  $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ ;锚索采用  $\text{O}17.8 \text{ mm} \times 8\,000 \text{ mm}$ ,  $1 \times 9$  的钢绞线制作,间、排距为  $1\,600 \text{ mm} \times 1\,600 \text{ mm}$ ;喷射混凝土层采用  $100 \text{ mm}$ ,水泥标号不低于 425#;全断面挂钢丝网和钢筋梯子梁,金属网为  $\text{O}6 \text{ mm}$ ,网格  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ ,规格为  $1\,000 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ ,网间搭接长度不少于  $100 \text{ mm}$ ;U 型钢采用  $\text{U}_{29}$  型钢支架,排距为  $600 \text{ mm}$ . 具体如图 8 所示.

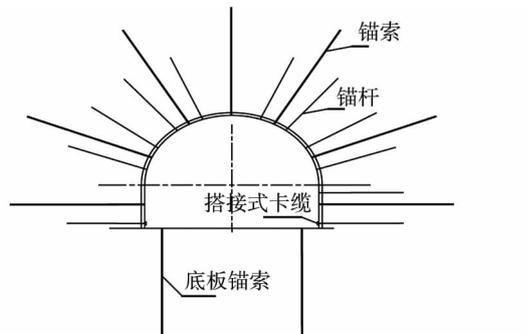


图 8 “锚杆 + 锚索 + 金属网 + 喷浆 + U 型钢拱支架”联合支护方式

### 4 现场应用

为了验证“锚杆 + 锚索 + 金属网 + 喷浆 + U 型钢拱支架”综合支护方式的效果,在现场进行施工应用,在试验回采巷道内设监测站进行了巷道收敛变形监测<sup>[10]</sup>,经过 132 d 检测得到监测时期内观测点的巷道两帮与顶底板表面位移变化趋势图,如图 9 所示. 由图 9 可知:两帮最终收敛变形为  $328 \text{ mm}$ ,顶底板最终收敛变形量  $340 \text{ mm}$ ,掘进前期的收敛变形速率变化相对较快,而后期巷道处于缓慢变形阶段,最终达到相对稳定状态,所以巷道在该支护方案下,达到了预期的支护效果.

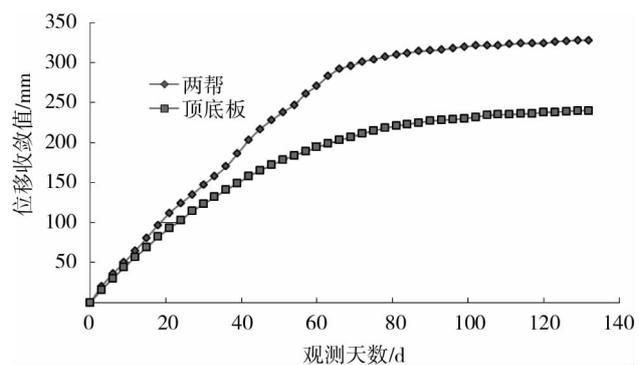


图 9 巷道变形监测曲线

## 5 结论

1) 较非孤岛工作面回采期间,在孤岛工作面回采期间,煤柱围岩产生大变形,承载能力降低,水平与垂直压应力向围岩深部转移;巷道靠孤岛工作面侧出现压应力集中区。

2) 对于孤岛工作面回采巷道的支护,在对巷道围岩整体加固的同时,增强对巷道两帮的支护强度,是保障巷道能够均匀协调变形的关键。

3) 巷道在该支护方案下,达到了预期的支护效果,巷道围岩整体处于稳定状态。

### 参考文献:

- [1] 黄炳香,刘长友,郑百生,等. 超长孤岛综放工作面煤柱支承压力分布特征研究[J]. 岩土工程学报,2007,29(6): 932-937.
- [2] 康红普,颜立新,郭相平,等. 回采工作面多巷布置留巷围岩变形特征与支护技术[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(10):2022-2036.
- [3] 宋艳芳,唐治,潘一山,等. 孤岛工作面应力分布规律的数值分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):65-68.
- [4] 刘长友,黄炳香,孟祥军,等. 超长孤岛综放工作面支承压力分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(s1): 2761-2766.
- [5] 王同旭,刘传孝,王小平,等. 孤岛煤柱侧向支承压力分布的数值模拟与雷达探测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(s2):2484-2487.
- [6] 李文峰,柏建彪,伊西锋,等. 孤岛煤柱下沿空掘巷底鼓机理及控制技术[J]. 煤炭科学技术,2010,38(4):17-20.
- [7] 余伟健,冯涛,王卫军,等. 软弱半煤岩巷围岩的变形机制及控制原理与技术[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(4): 658-671.
- [8] 余伟健,王卫军,黄文忠,等. 高应力软岩巷道变形与破坏机制及返修控制技术[J]. 煤炭学报,2014,39(4):614-623.
- [9] 王卫军,彭刚,黄俊. 高应力极软破碎岩层巷道高强度耦合支护技术研究[J]. 煤炭学报,2011,36(2):223-228.
- [10] 姚琦,冯涛,王卫军,等. 极破碎围岩半煤岩巷变形破坏机理及支护控制研究[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(5):32-39.