

榆家梁矿回采巷道非均匀对称变形支护技术

高旭*, 武飞岐, 吴峥, 刘方

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要:以榆家梁矿地质条件为基础, 针对 43304 工作面辅助运输平巷为工程背景, 运用理论分析, 同时结合 FLAC^{3D} 数值模拟, 系统地计算分析回采巷道的支护参数, 提出合理的支护方案, 经现场工业验证并监测研究表明: 采用所提出支护方案支护后, 巷道围岩能够承受开采的扰动, 巷道表面变形较小, 保障了工作面安全高效开采。

关键词:回采巷道; 非均匀对称变形; 支护参数

中图分类号: TD323 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2017)02-0045-04

Non-uniform Symmetrical Deformation Support Technology in Mining Roadway of Yujialiang

Gao Xu, Wu Feiqi, Wu Zheng, Liu Fang

(School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the geological conditions of Yujialiang Coal Mine, aiming at the engineering background of 43304 working face auxiliary transportation roadway, using the theoretical analysis, and combining with the numerical simulation of FLAC^{3D}, the support parameters of mining roadway are systematically calculated and reasonable support scheme is put forward. Results show that the roadway surrounding rock can bear the disturbance of mining, and the deformation of roadway surface is small, which ensures safe and efficient mining of working face.

Keywords: mining roadway; non-uniform symmetric deformation; support parameters

回采巷道由于处在“三高—扰动”的复杂地质力学环境中, 围岩变形破坏严重维护困难^[1-3], 严重影响了煤炭资源的安全、高效开采^[4]. 国内专家学者们对回采巷道的支护问题进行了大量研究, 取得了一定的研究成果^[5-7]. 神东矿区蕴藏着丰富的煤炭资源, 煤田中开采的大部分是基岩较薄的煤层, 榆家梁煤矿 4-3 煤层位于延安组地层第三段顶部埋深较浅, 煤层厚度变化小, 一般在 1.3 m 左右, 煤层直接顶为粉砂岩, 底板为泥岩. 煤层巷道开挖后, 煤体的原有应力平衡受到破坏, 巷道围岩应力重新分布, 巷道周围一定范围内会出现应力集中现象, 针对榆家梁煤矿的现场地质条件进行合理的支护参数设计。

1 榆家梁地质技术条件

榆家梁煤矿位神东矿区中南部、黄羊城沟南侧, 目前是中国神华神东煤炭分公司的大型出口煤基地. 榆家梁煤矿内延安组共含煤 10 余层, 其中有对比意义的有 5 层, 即 3-1, 4-2, 4-3, 4-4, 5-2. 其中 4-2 号煤层和 5-2 煤层为主要可采煤层, 4-3 及 4-4 号煤层为大部可采及局部可采煤层, 3-1 煤层不可采. 榆家梁矿区面积 56.333 9 km², 开采深度标高 1 200~1 040 m, 总储量 75 172×10⁴ t, 生产规模 1 516×10⁴ t/a. 采

收稿日期: 2017-02-28

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120023110023); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014QZ03)

*通信作者, E-mail: cumtb_gx@163.com

用斜井平硐联合开拓,工作面均采用盘区条带式布置.4-3煤43304工作面巷道布置见图1.

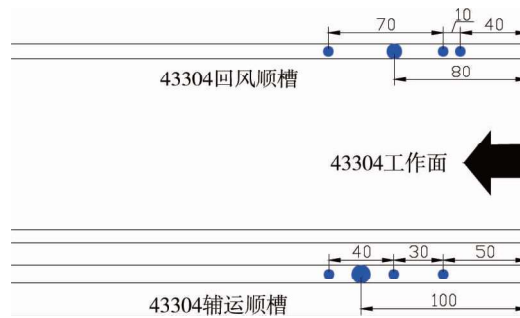


图1 工作面巷道布置图

2 煤层顶底板岩石力学性质

榆家梁井田主要可采煤层的顶底板岩石主要为砂岩组、粉砂岩组、泥岩组和砂质泥岩组.岩石的抗压强度不高,抗剪与抗拉强度则更低,砂质泥岩类遇水软化强度有显著下降,个别砂质泥岩遇水崩解破坏,岩石的软化系数平均0.56(小于0.75),均为软化岩石,井田内煤层顶底板岩体较为薄弱,稳固性也较差.4-3煤层顶底板岩性即为以上描述状况.因此,煤层开采时,局部地段易发生顶板冒落等问题.实际煤层巷道顶底板力学参数见表1.

表1 煤层巷道顶板力学参数

岩性	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	密度/(kg/m ³)	摩擦角/(°)	粘聚力/MPa	抗拉强度/MPa
泥岩	14.8	8.90	2 400	32.0	8.30	3.60
粉砂岩	6.7	5.10	2 460	38.0	2.75	1.84
煤	1.15	0.76	1 470	35.6	1.34	1.20

利用顶板窥视仪对顶板内部进行窥视,观测巷道顶板内部的破坏及裂隙发育情况,确定巷道顶板的岩性分布和松动破坏范围.43304风顺槽顶板窥视钻孔图2.

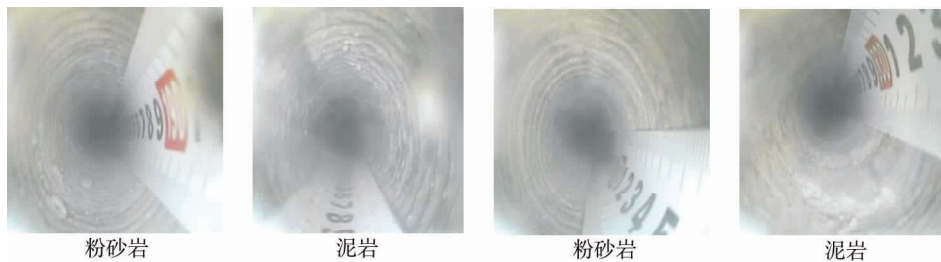


图2 顶板窥视图

3 巷道围岩塑性区分析及支护参数优化

3.1 数值模拟模型建立

根据4-3煤工作面的地质情况,应用FLAC^{3D}模拟软件,模型采用摩尔-库仑准则,模型的长度×宽度×高度为60 m×8 m×30 m,巷道尺寸为6 000 mm×3 000 mm.模型上表面施加均匀的垂直应力 $\gamma H = 120 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ MPa}$,模型下表面垂直位移固定.

3.2 巷道采动后数值塑性区分析

巷道开挖后,原岩应力重新分布,部分区域出现应力集中现象,巷道走向卸压由三向受力变成了两向受力.由于围岩中的剪切破坏超出围岩体的承载能力,围岩发生破坏形成巷道围岩塑性区.巷道掘出后围岩系统形成新的平衡后.随着回采工作面的推进,受采动影响逐渐明显,巷道围岩变形量逐步增加.在回采工作面前方一定距离处,巷道受到采动影响,应力集中系数可达到2.5,同时巷道周围主应力方向会发生一定角度的偏转,根据蝶形塑性区理论可知当主应力方向偏转45°时,塑性区蝶叶恰好旋转到巷道顶板位

置,此时主应力方向偏转对围岩的塑性区分布影响最大^[4],故模拟中选取45°.图3为巷道受采动影响时,巷道围岩塑性区图,图4为巷道受采动影响时,巷道围岩应力云图,从围岩变形的趋势看,巷道顶板在远离工作面一侧变形明显大于靠近工作面一侧变形,巷道底板在远离工作面一侧变形明显大于靠近工作面一侧变形,即巷道受采动影响,围岩发生了非均匀对称变形。

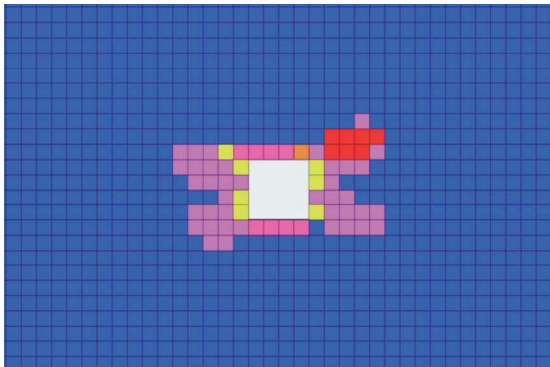


图3 采动巷道竖直方向巷道围岩塑性区图

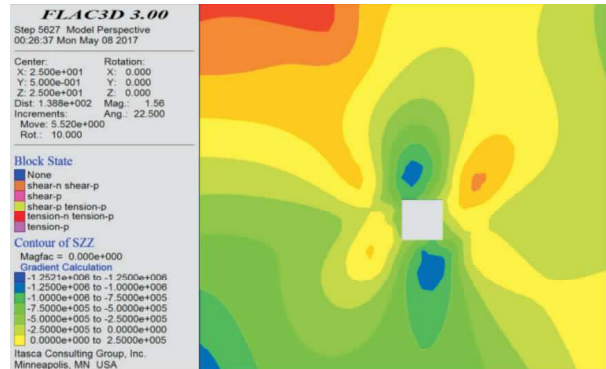


图4 采动巷道竖直方向巷道围岩应力云图

3.3 回采巷道支护参数设计

锚索要悬吊起所有破坏岩石的重量,故基于悬吊理论求锚索间距公式:

$$S_2 = \frac{aQ}{\gamma VS_1}$$

式中: S_2 为锚索间距; S_1 为锚索排距,取900 mm; Q 为锚索的支护强度,选用 $\Phi 17.8$ mm锚索,360 kN; γ 为容重,取均值25 kN/m³; V 为破坏岩体体积,单元格 n 取76,为0.25n; a 为蝶叶影响区宽度,取5.5 m。

计算得 $S_2=4.5$,而 a 为5.5 m,故顶板打1根锚索。

由《煤炭作业规程编制指南》可知锚索长度计算: $L>L_1+L_2+L_3+L_4=2+0.25+0.35+$ 不稳定岩层厚度。 L 为锚索总长度; L_1 为锚索深入稳定层锚固长度(取2 m); L_2 为上托盘及锚具厚度(取0.25 m); L_3 为需外露的张拉长度(取0.35 m)。根据数值模拟塑性区,顶板最大塑性区为2 m,固锚索取5.5 m。

锚杆长度的确定: $L=L_1+L_2+L_3$ 。 L_1 为锚杆外露长度(取0.15 m); L_2 为锚杆有效长度($L_2 = \frac{1+f}{1+2f} \frac{B-1}{B+1} f$); f 为普氏系数; B 为巷道跨度; H 为巷道掘进高度,故取1.5 m); L_3 为锚杆的锚固长度(取0.3 m),因此 $L=2.5$ m。

锚杆排距的确定:

对锚杆支护巷道,考虑施工工艺通常取间排距相等,锚杆间排距 D 按下式计算: $D \leq 0.5L$ 。

最终支护参数:顶锚杆规格 $\Phi 20 \times 2\ 500$ mm,间排距800 mm \times 900 mm;帮锚杆规格 $\Phi 20 \times 2\ 500$ mm,间排距800 mm \times 900 mm;顶锚索规格 $\Phi 17.8 \times 5\ 500$ mm。

4 现场工业性试验

在研究分析回采巷道围岩受采动影响前后塑性区分布特征的基础上,在榆家梁矿4-3煤层43304工作面辅助运输巷进行支护与围岩变形的工程试验,并对其进行巷道顶板深基点位移监测。根据监测结果,分析设计支护技术对回采巷道围岩非对称型破坏的适应性、控制效果。如图5,巷道在回采15 d之后变形基本处于稳定,变形量约为0.2 mm,回采期间巷道没有发生严重的破坏,支护效果良好。

随着工作面的推移,在43304辅运顺槽中,距工作面80 m处,对巷道顶板进行深基点实验,深基点设置为1.0,1.8,3.0,7.0 m,这4个深基点观测。观测结果显示所有位移仅为0.2 mm。位移量很小,对巷道来说可以忽略不计(见图6)。

随着工作面的推移,在43304辅运顺槽中,距工作面120 m处,对巷道顶板进行深基点实验,深基点设置为1.0,1.8,3.0,7.0 m,这4个深基点观测。观测结果显示在浅部位移量为0 m,而在深部7 m的监测点位移高达35 mm,但是对整条巷道来说,影响甚微(见图7)。

随着工作面的推移,在43304回风顺槽中,距工作面50 m处,对巷道顶板进行深基点实验,深基点设置为1.0,1.8,3.0,7.0 m,这4个深基点观测.观测结果显示浅部1 m处测点最终的围岩为0.2 mm,1.8 m的监测点位移量为0.4 mm,深部7 m处的位移量为0.4 mm(见图8).

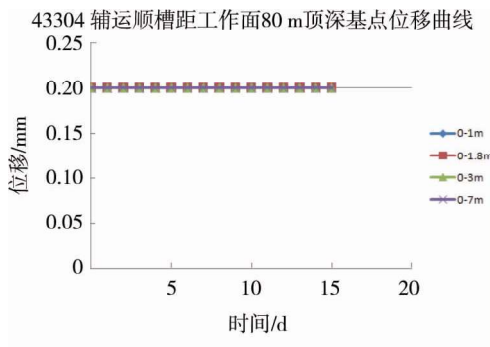


图5 工作面辅运顺槽80 m处顶板深基点位移曲线

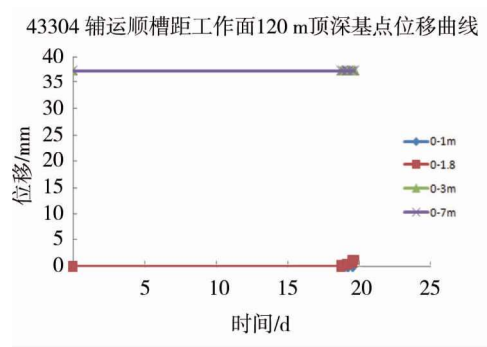


图6 工作面辅运顺槽120 m处顶板深基点位移曲线

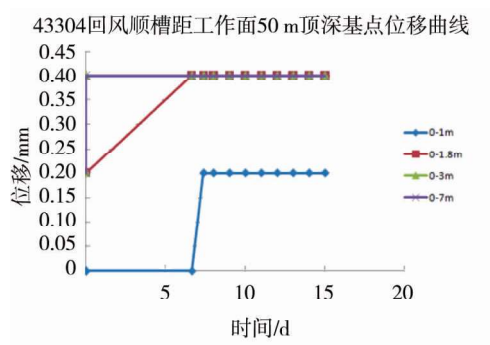


图7 工作面回风顺槽50 m处顶板深基点位移曲线

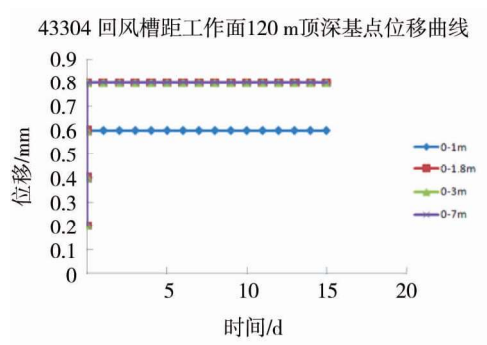


图8 工作面回风顺槽120 m处顶板深基点位移曲线

随着工作面的推移,在43304回风顺槽中,距工作面120 m处,对巷道顶板进行深基点实验,深基点设置为1.0,1.8,3.0,7.0 m,4个深基点观测.观测结果显示浅部1 m处测点最终的围岩为0.6 mm,1.8 m的监测点位移量为0.8 mm,深部7 m处的位移量为0.8 mm.

总体上分析实验所得数据可得,43304工作面辅运顺槽,回风顺槽顶板变形量较小,在工程上可以忽略不计,可见,优化后的支护参数是合理的.

5 结论

1) 榆家梁矿回采巷道在受采动影响时,回采巷道发生非均匀对称破坏,其中在远离煤壁处的顶板和底板处发生较大破坏.

2) 回采巷道围岩发生非均匀对称破坏是因为受采动影响时,巷道围岩主应力大小变大同时方向发生一定角度的偏转造成的.

3) 根据巷道围岩塑性区破坏特征,有针对性地设计巷道支护技术,既能很好的控制围岩变形,又能节约成本.

参考文献:

- [1] 马念杰,侯朝炯.采准巷道矿压理论及应用[M].北京:煤炭工业出版社,1995.
- [2] 康红普.煤巷锚杆支护成套技术研究与实践[J].岩石力学与工程学报,2005,24(21):161-166.
- [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] 马念杰,李季,赵志强.圆形巷道围岩偏应力场及塑性区分布规律研究[J].中国矿业大学学报,2015,44(2):206-213.
- [5] 刘洪涛,马念杰,王建民,等.回采巷道冒顶隐患级别分析[J].煤炭科学技术,2012,40(3):6-9.
- [6] 煤巷锚杆支护技术规范.MT/T1104-2009[S].国家安全生产监督管理总局,2009.
- [7] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.

三轴压缩下红砂岩峰后应力松弛特性试验研究

刘圣¹, 李树清^{2,3*}, 袁越^{2,3}

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

3. 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:为揭示岩石峰后松弛特性,采用 MTS815 电液伺服试验机,对红砂岩进行了三轴压缩下峰后松弛试验,分析了峰后松弛曲线特征,研究了损伤程度、位移加载速率对峰后松弛的影响规律,探讨了围压、初始应力水平对峰后松弛特性的影响机理.试验结果表明:制约红砂岩峰后松弛试验成功进行的因素包括岩样的损伤程度、位移加载速率等;增大位移加载速率能在一定程度上延长红砂岩岩样峰后松弛失稳时间,减小损伤程度能使峰后松弛以衰减松弛为主,很快趋于稳定;红砂岩峰后松弛曲线主要由瞬时松弛段和减速松弛段组成;应力松弛量与围压、损伤程度以及初始应力有关,与围压呈负相关,与损伤程度、初始应力呈正相关.研究结果对于岩石峰后流变特性研究及破裂围岩控制具有一定的意义.

关键词:岩石力学;峰后;应力松弛;三轴压缩;围压

中图分类号:TD315

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2017)02-0049-05

Experimental Investigation on Post-Peak Relaxation of Red Sandstone under Triaxial Compression

Liu Sheng¹, Li Shuqing^{2,3}, Yuan Yue^{2,3}

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. Hunan Provincial Key Laboratory of Safety Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to reveal the post-peak relaxation properties of rock, the post-peak test of red sandstone under triaxial compression is carried out to analyze the characteristics of the post-peak relaxation curve, study the influence law of post-peak relaxation characteristics with the items of the damage degree of rock and displacement loading rate, and discuss the influence mechanism of post-peak relaxation characteristics with confining pressure and initial stress level by using the MTS815 electro-hydraulic servo testing machine. Through the researches, the following results are achieved. The factor of restricting on the success of the red sandstone post-peak relaxation test includes the damage degree of rock samples, displacement loading rate, etc. Increasing the displacement loading rate can prolong relaxation instability of cracked rock samples to a certain extent. After reducing the damage degree, the post-peak relaxation was dominated by attenuation relaxation, and soon stabilized. The post-peak relaxation curve is mainly composed of instantaneous relaxation stage and deceleration relaxation stage. The post-peak stress relaxation is negatively correlated with the confining pressure, but positively correlated with the degree of injury and initial stress. The research results have some significance for the study of rheological characteristics of rock post-peak and the control of the cracked surrounding rock.

Keywords: rock mechanics; post-peak; stress relaxation; triaxial compression; confining pressure

收稿日期:2017-02-26

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51434006);国家自然科学基金资助项目(51374104);湖南省自然科学基金资助项目(2015JJ2058);湖南省教育厅一般科研资助项目(15C0551)

*通信作者, E-mail: lsq-hnust@163.com