



文章编号:1671-251X(2017)11-0058-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.11.012

高家堡煤矿高水平应力作用下巷道围岩变形研究

朱柳

(山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:为研究高家堡煤矿高水平应力作用下巷道围岩变形特征,对高家堡煤矿进行了地应力测量,结果表明,高家堡煤矿以水平应力为主,最大水平主应力为38.67 MPa,方位角为227.30°。对巷道轴向与最大水平主应力方向夹角不同的2条回风巷围岩变形进行了数值模拟和现场实测,结果表明:当巷道轴向与最大水平主应力方向夹角为12°时,塑性区分布在巷道周边附近,呈椭圆状;当巷道轴向与最大水平主应力方向夹角为78°时,顶板塑性区向巷道两角斜上方发展,出现类似方形的塑性区;巷道顶底板的破坏程度大于两帮;巷道轴向与最大水平主应力方向夹角越大,围岩变形越大。

关键词:煤炭开采;围岩变形;地应力;水平应力

中图分类号:TD322 文献标志码:A 网络出版时间:2017-10-27 09:06

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20171027.0906.012.html>

Research of deformation of roadway surrounding rock under effect of high horizontal stress in Gaojiapu Coal Mine

ZHU Liu

(College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to study deformation characteristics of roadway surrounding rock under effect of high horizontal stress in Gaojiapu Coal Mine, geostress of Gaojiapu Coal Mine was measured. The results indicate that Gaojiapu Coal Mine is dominated by horizontal stress. The maximum horizontal principal stress is 38.67 MPa and azimuth angle is 227.30°. Numerical simulation and field test of surrounding rock deformation of two return airways with different angles between roadway axis and the maximum horizontal principal stress direction were conducted. The results show that distribution of plastic zone is near the roadway surrounding and shows oval shaped when angle between the roadway axis and the maximum horizontal principal stress direction is 12°. Plastic zone of roof develops on top corners of the roadway and is similar to square when angle between the roadway axis and the maximum horizontal principal stress direction is 78°. The damage degree of roadway roof and floor is higher than that of two sides, and the larger the angle between the roadway axis and the maximum horizontal principal stress direction, the greater the deformation of surrounding rock.

Key words: coal mining; deformation of surrounding rock; geostress; horizontal stress

收稿日期:2017-04-11;修回日期:2017-09-30;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51379116,51574156);山东科技大学2017年研究生科技创新资助项目(SDKDYC170204)。

作者简介:朱柳(1992—),男,安徽淮南人,硕士研究生,主要研究方向为矿山压力,E-mail:877538086@qq.com。

引用格式:朱柳.高家堡煤矿高水平应力作用下巷道围岩变形研究[J].工矿自动化,2017,43(11):58-62.

ZHU Liu. Research of deformation of roadway surrounding rock under effect of high horizontal stress in Gaojiapu Coal Mine[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(11): 58-62.

0 引言

近年来,随着浅部煤炭资源的减少,许多煤矿进入深部开采状态,深部巷道往往面临高地温、高地应力、煤与瓦斯突出等灾害威胁^[1]。在构造地质的作用下,深部岩体的水平应力一般高于垂直应力^[2],由高水平应力引发的巷道失稳、冲击地压事故越来越多,如何保证高水平应力作用下深部巷道围岩稳定性已成为矿山开采亟待解决的难题^[3]。本文以高家堡煤矿 103 回风巷和 202 回风巷为工程背景,结合地应力实测结果,运用 FLAC3D 数值模拟软件建立了巷道开挖模型,研究了巷道轴向与最大水平主应力方向夹角不同的 2 条回风巷在高水平应力作用下的围岩变形特征,并对回风巷在采动影响下的围岩变形进行了现场监测,验证了数值模拟的可靠性。

1 工程概况

1.1 井田地质构造

高家堡井田地表大面积为黄土层所覆盖,沟谷中出露的白垩系产状较为平缓。地质填图资料及钻孔揭露表明,白垩系构造层走向 NE,倾向 NW。主要含煤地层侏罗系为隐伏构造,煤层埋深 1 000 m 左右。含煤地层总体趋势为南高北低、东高西低,其上组岩层为背斜构造,背斜轴向 NE。

1.2 现代构造应力场

利用陕西及邻区发生的地震的震源机制解资料研究了高家堡煤矿现代构造应力场及其分区特征^[4-5]:主压应力轴方位一般为 NEE-SWW,其平均方位角为 $83.6^{\circ} \pm 10^{\circ}$;主张应力轴方位一般为 NWW-NEE,其平均方位角为 $172.3^{\circ} \pm 8^{\circ}$ 。

1.3 工作面概况

高家堡煤矿 103 工作面与 202 工作面开采 4 号煤层,开采深度约为 1 000 m,煤层厚度约为 12 m,煤层倾角平均为 5° ,煤体内生裂隙发育,煤层沉积稳定。103 回风巷、202 回风巷掘进方向的方位角分别为 125° 和 215° ,2 条巷道相互垂直布置。103 回风巷和 202 回风巷掘进断面为矩形,掘进时留设 1 m 多的底煤。

2 地应力测量

结合高家堡煤矿地质条件和井下条件,地应力

测量采用空芯包体式应力解除法^[6-9],测点布置如图 1 所示。

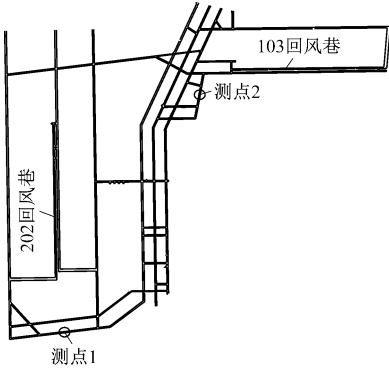


图 1 地应力测点布置

Fig. 1 Location of geostress measuring points
高家堡煤矿地应力测量结果见表 1。

表 1 地应力测量结果

Table 1 Measurement results of geostress

测点 编号	主应力类别	主应力/ MPa	方位角/ (°)	倾角/ (°)
1	最大水平主应力	37.72	227.50	-6.11
	垂直主应力	-21.13	111.50	-76.28
	最小水平主应力	7.18	-41.13	-12.24
2	最大水平主应力	38.67	227.30	4.31
	垂直主应力	-23.89	125.51	69.72
	最小水平主应力	-8.50	-41.15	19.77

从表 1 可看出:高家堡煤矿地应力场以水平应力为主,属于水平应力场类型,该类型地应力场对巷道顶底板的稳定较为不利;高家堡煤矿最大水平主应力为 38.67 MPa,大于 30 MPa,属于超高地应力区^[10-11];高家堡煤矿最大水平主应力方位角为 227.30° 。

3 数值模拟分析

3.1 模型建立

采用 FLAC3D 5.0 数值模拟软件建立巷道开挖模型,分析 103 回风巷和 202 回风巷开挖后围岩应力状态和位移变化。模型长×宽×高为 100 m×60 m×42 m,模型的宽度、长度、高度方向分别为 X,Y,Z 轴。矩形巷道位于模型中部,巷道长×宽×高为 80 m×6 m×4 m。模型采用摩尔-库仑破坏准则,各岩层物理力学参数见表 2。

3.2 边界条件

根据地应力测量结果,最大水平主应力为

表 2 岩层物理力学参数

Table 2 Physico-mechanical parameters of strata

岩层	厚度/ m	体积模 量/GPa	剪切模 量/GPa	抗拉强 度/MPa	内摩擦 角/(°)	密度/ (kg·m ⁻³)
泥岩 1	5	4.0	2.4	1.0	35	2 200
粗砂岩	10	6.5	2.8	1.8	38	2 600
4 号煤	12	1.0	0.6	0.8	28	1 500
泥岩 2	15	4.0	2.5	1.0	36	2 200

38.67 MPa,垂直主应力为 23.89 MPa,最小水平主应力为 8.5 MPa。103 回风巷轴向与最大水平主应力方向夹角为 78°,202 回风巷轴向与最大水平主应力方向夹角为 12°。模型上表面施加均匀的垂直应力,模型 X 轴与 Y 轴方向两侧面施加分解后的水平应力,模型下表面固定,没有位移,考虑实际情况,同时计入重力影响,应力分量见表 3。

表 3 应力分量

Table 3 Stress component MPa

巷道	X 轴应力分量	Y 轴应力分量	Z 轴应力分量
103 回风巷	36.71	0.44	2.359
202 回风巷	12.52	34.64	2.359

3.3 模拟结果分析

为了解巷道开挖后围岩应力应变调整状况,对 103 回风巷和 202 回风巷进行开挖不支护模拟^[12-15]。

103 回风巷塑性区分布云图、两帮位移分布云图、顶底板位移分布云图分别如图 2—图 4 所示。由图 2(图中每格代表 1 m)可知,顶板浅部围岩受剪应力和拉应力作用发生塑性破坏,顶板深部围岩主要受剪应力作用发生剪切破坏,顶底板塑性破坏的最大深度为 4 m,两帮塑性破坏的最大深度约为 3 m,顶板塑性区向巷道两角斜上方发展,出现类似方形的塑性区。由图 3 和图 4 可知:左帮移近量为 62.3 mm,右帮移近量为 62.4 mm,两帮相对收敛值

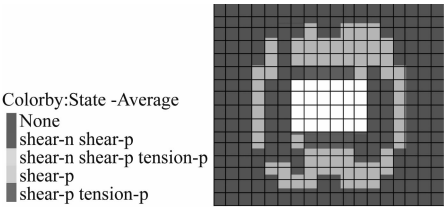


图 2 103 回风巷塑性区分布云图

Fig. 2 Distribution nephogram of plastic zone of 103 return airway

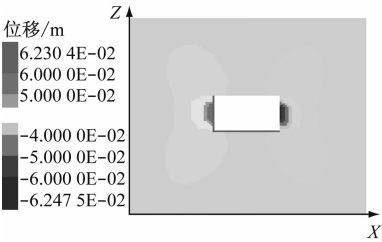


图 3 103 回风巷两帮位移分布云图

Fig. 3 Distribution nephogram of two sides displacement of 103 return airway

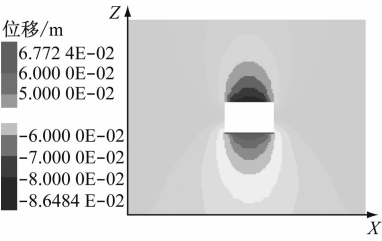


图 4 103 回风巷顶底板位移分布云图

Fig. 4 Distribution nephogram of roof and floor displacement of 103 return airway

为 124.7 mm;顶板向下位移 67.2 mm,底板向上位移 86.5 mm,顶底板相对收敛值为 153.7 mm。

202 回风巷塑性区分布云图、两帮位移分布云图、顶底板位移分布云图分别如图 5—图 7 所示。由图 5(图中每格代表 1 m)可知,巷道开挖后,原有应力被扰动,顶底板受剪应力和压应力作用发生塑性破坏,破坏区域深度约为 3 m,巷道两帮主要受剪应力作用发生剪切破坏,破坏区域深度约为 2 m,巷道围岩破坏区域呈椭圆状。由图 6 和图 7 可知:左帮移近量为 65.7 mm,右帮移近量为 65.8 mm,两帮相对收敛值为 131.5 mm;顶板向下位移 58.9 mm,底板向上位移 65.7 mm,顶底板相对收敛值为 124.6 mm。

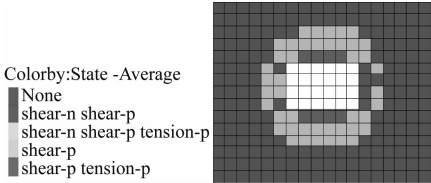


图 5 202 回风巷塑性区分布云图

Fig. 5 Distribution nephogram of plastic zones of 202 return airway

将 103 回风巷和 202 回风巷的数值模拟结果进行对比可知:103 回风巷和 202 回风巷开挖后,围岩

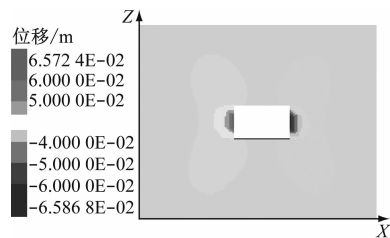


图 6 202 回风巷两帮位移分布云图

Fig. 6 Distribution nephogram of two sides displacement of 202 return airway

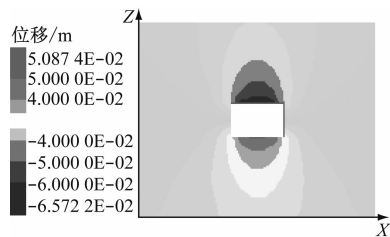


图 7 202 回风巷顶底板位移分布云图

Fig. 7 Distribution nephogram of roof and floor displacement of 202 return airway

向开挖临空面方向移动,围岩破坏形式主要是剪切破坏;2 条巷道的顶底板塑性破坏程度均大于两帮,最大水平主应力对巷道顶底板的影响较大;103 回风巷围岩塑性破坏程度和围岩移近量大于 202 回风巷,即巷道轴向与最大水平主应力方向的夹角越大,巷道围岩变形越严重。

4 巷道收敛监测分析

对 103 回风巷和 202 回风巷从开始掘进到围岩变形稳定进行监测,结果如图 8、图 9 所示。从图 8、图 9 可看出:103 回风巷两帮最大移近量为 124 mm,顶底板最大移近量为 83 mm,两帮最大收敛速率为 7 mm/d,顶底板最大收敛速率为 10 mm/d;202 回风巷两帮最大移近量为 94 mm,顶底板最大移近量为 73 mm,两帮最大收敛速率为 6 mm/d,顶

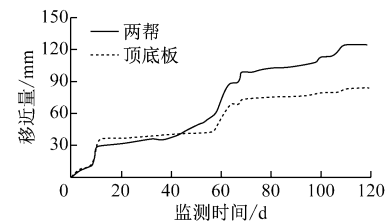


图 8 103 回风巷围岩移近量监测结果

Fig. 8 Monitoring result of surrounding rock displacement of 103 return airway

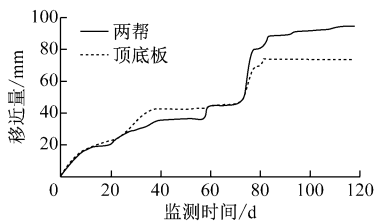


图 9 202 回风巷围岩移近量监测结果

Fig. 9 Monitoring result of surrounding rock displacement of 202 return airway

底板最大收敛速率为 5 mm/d。现场观测时,103 回风巷处经常听到煤炮声,出现多根锚杆、锚索破断,202 回风巷处锚杆、锚索没有出现任何破坏现象。103 回风巷围岩变形程度大于 202 回风巷,验证了数值模拟的可靠性。

5 结论

(1) 高家堡煤矿地应力场以水平应力为主,属于水平应力场类型,该类型地应力场对巷道顶底板的稳定较为不利;高家堡煤矿最大水平主应力为 38.67 MPa,属于超高地应力区;最大水平主应力方位角为 227.30°。

(2) 巷道数值模拟和收敛变形实测结果表明:当巷道轴向与最大水平主应力方向夹角为 12°时,巷道围岩变形破坏程度较小,塑性区分布在巷道周边附近,呈椭圆状;当巷道轴向与最大水平主应力方向夹角为 78°时,巷道围岩变形破坏程度较大,顶板塑性区向巷道两角斜上方发展,出现类似方形的塑性区。因此布置巷道时应减小与最大水平主应力夹角,同时加强巷道边角的支护。当由于地质构造原因,巷道轴向与最大水平主应力方向夹角较大时,应加大锚杆、锚索长度,提高预紧力,增强支护。

参考文献(References):

[1] 鲁岩,邹喜正,刘长友,等.构造应力场中的巷道布置[J].采矿与安全工程学报,2008,25(2):144-149.
LU Yan, ZOU Xizheng, LIU Changyou, et al. Roadway layout in tectonic stress field[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2008, 25(2): 144-149.
[2] 高峰.地应力分布规律及其对巷道围岩稳定性影响研究[D].徐州:中国矿业大学,2009.
[3] 孙玉福.水平应力对巷道围岩稳定性的影响[J].煤炭学报,2010,35(6):891-895.
SUN Yufu. Analysis on affects of in-situ horizontal

- stress to stability of rock surrounding roadway[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 891-895.
- [4] 陈群策, 丰成君, 孟文, 等. 5.12 汶川地震后龙门山断裂带东北段现今地应力测量结果分析[J]. 地球物理学报, 2012, 55(12): 3923-3932.
- CHEN Qunce, FENG Chengjun, MENG Wen, et al. Analysis of in situ stress measurements at the northeastern section of the Longmenshan fault zone after the 5.12 Wenchuan earthquake [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(12): 3923-3932.
- [5] 赵德安, 陈志敏, 蔡小林, 等. 中国地应力场分布规律统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1265-1271.
- ZHAO Dean, CHEN Zhimin, CAI Xiaolin, et al. Analysis of distribution rule of geostress in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(6): 1265-1271.
- [6] 韩晓玉, 明静, 艾凯. 常用地应力测试技术评价[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(12): 36-41.
- HAN Xiaoyu, MING Jing, AI Kai. Evaluation on commonly used methods of in-situ stress testing technique [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(12): 36-41.
- [7] 刘允芳, 尹健民, 刘元坤. 深钻孔套芯应力解除法的测量技术和实例[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(5): 1-6.
- LIU Yunfang, YIN Jianmin, LIU Yuankun. Measuring techniques and examples of overcoring method in deep borehole [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(5): 1-6.
- [8] 王成虎. 地应力主要测试和估算方法回顾与展望[J]. 地质评, 2014, 60(5): 971-996.
- WANG Chenghu. Brief review and outlook of main estimate and measurement methods for in-situ stresses in rock mass[J]. Geological Review, 2014, 60(5): 971-996.
- [9] 景锋, 盛谦, 张勇慧, 等. 我国原位地应力测量与地应力场分析研究进展[J]. 岩土力学, 2011, 32(增刊2): 51-58.
- JING Feng, SHENG Qian, ZHANG Yonghui, et al. Study advance on in-site geostress measurement and analysis of initial geostress field in China[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S2): 51-58.
- [10] 罗超文, 李海波, 刘亚群. 深埋巷道地应力测量及围岩应力分布特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(7): 1418-1423.
- LUO Chaowen, LI Haibo, LIU Yaqun. Study of distributing characteristics of stress in surrounding rock masses and in-situ stress measurement for deeply buried tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(7): 1418-1423.
- [11] 陈菲, 何川, 邓建辉. 高地应力定义及其定性定量判据[J]. 岩土力学, 2015, 36(4): 971-980.
- CHEN Fei, HE Chuan, DENG Jianhui. Concept of high geostress and its qualitative and quantitative definitions[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(4): 971-980.
- [12] 梁继新. 东滩煤矿三采区地应力测量及应力场分析[D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
- [13] 高富强. 最大水平主应力对巷道围岩稳定性影响的数值分析[J]. 矿业研究与开发, 2008, 28(1): 62-64.
- GAO Fuqiang. Numerical analysis on the influence of maximum horizontal principal stress on surrounding rock stability of roadway [J]. Mining Research and Development, 2008, 28(1): 62-64.
- [14] 郑恒威, 杨安国. 水平主应力下矿山巷道围岩稳定性分析[J]. 黄金, 2015, 36(2): 43-48.
- ZHENG Hengwei, YANG Anguo. Stability analysis on the influence of horizontal principal stress on roadway surrounding rock [J]. Gold, 2015, 36(2): 43-48.
- [15] 黄龙现, 杨天鸿, 李现光, 等. 地应力场方向对巷道围岩稳定性的影响[J]. 中国矿业, 2012, 21(4): 105-107.
- HUANG Longxian, YANG Tianhong, LI Xianguang, et al. Influence of tectonic stress direction on stability of rock body surrounding underground roadway [J]. China Mining Magazine, 2012, 21(4): 105-107.