

不同水平应力作用下巷道围岩破坏特征研究

张明建¹, 镐 振¹, 郜进海², 吕兆恒³

(1. 河南能源化工集团焦煤公司 赵固二矿, 河南 辉县 453633; 2. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454003;

3. 山西大同大学 煤炭工程学院, 山西 大同 037000)

摘 要:为掌握不同水平应力作用下巷道围岩破坏特征,通过相似模拟试验方法研究了锚网索喷+U型钢支护巷道在不同水平应力作用下巷道围岩的变形和破坏特征。结果表明:随着水平应力的提高,巷道的变形先出现在拱肩和底角,围岩裂隙经历了产生—延伸—贯通的过程,巷道两帮的破坏程度小于顶底板的破坏程度,当侧压系数达到1.6,水平应力为28.0 MPa时,巷道底板出现滑移剪切破坏,且U型钢支架变形明显,当侧压系数达到2.2、水平应力为38.5 MPa时巷道变形量最大,达120 mm。
关键词:巷道变形;水平应力;相似模拟;破坏特征;围岩稳定性

中图分类号:TD353

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)03-0004-04

Study on Failure Features of Surrounding Rock in Mine Gateway Under Different Horizontal Stress

ZHANG Ming-jian¹, HAO Zhen¹, GAO Jin-hai², LYU Zhao-heng³

(1. Zhaogu No. 2 Coal Mine, Jiaozuo Coal Industry Co., Ltd., Henan Energy & Chemical Industry Group Co., Ltd., Huixian 453633, China;

2. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

3. School of Coal Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037000, China)

Abstract: In order to control the failure features of the surrounding rock in mine gateway under different horizontal stress, a simulation test method with similar material was applied to study the deformation and failure features of the gateway surrounding rock in a bolt/steel mesh/anchor/shotcreting + U type steel support gateway under different horizontal stress. The results showed that with the horizontal stress increased, the gateway deformation was firstly occurred in the arch abutment and floor corner, the cracking of the surrounding rock had an occurrence-expanding-breakthrough process and a failure degree of the gateway sidewalls was lower than the failure degree of the roof and floor. When a side pressure coefficient was 1.6 and a horizontal stress was 28.0 MPa, a sliding shear failure was occurred in the floor of the mine gateway and the obvious deformation occurred on the U type steel support. When the side pressure coefficient was 2.2 and the horizontal stress was 38.5 MPa, the deformation value of mine gateway would be the max 120 mm.

Key words: deformation of mine gateway; horizontal stress; similar simulation; failure features; stability of surrounding rock

0 引 言

早在19世纪20年代,我国地质学家李四光曾指出:在构造应力的作用仅影响地壳上层一定厚度的情况下,水平应力分量的重要性远超过垂直应力分量^[1]。许多地质现象,如断裂、褶皱等均表明地壳中存在水平应力。随着矿井开采深度的增加,地应力的影响会更加明显,最明显的特点是采动地压

增大,轻者造成巷道和采场围岩的严重变形破坏,重者会造成较强的冲击地压等动力地质作用^[2-4]。实测和理论分析表明,重力作用和构造运动是影响地应力状态的主要因素,其中尤以水平方向的构造运动对地应力的影响最大^[5-7]。在地质构造影响区域,围岩压力的增大不仅表现在垂直应力的增加上,更主要表现在水平应力的增加上^[8]。许多学者利用相似模拟的方法对巷道围岩变形和控制方面做了

收稿日期:2013-09-10;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.03.002

基金项目:河南理工大学博士基金资助项目(648168)

作者简介:张明建(1983—),男,河南商丘人,工程师,工学硕士。E-mail:zmj0410@126.com

引用格式:张明建,镐 振,郜进海,等.不同水平应力作用下巷道围岩破坏特征研究[J].煤炭科学技术,2014,42(3):4-7.

ZHANG Ming-jian, HAO Zhen, GAO Jin-hai, et al. Study on Failure Features of Surrounding Rock in Mine Gateway Under Different Horizontal Stress[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(3): 4-7.

大量的研究。朱德仁等^[9]用平面应变模型试验系统,研究了多种支护条件下煤层巷道帮部的变形破坏特征,以及水平应力对煤层巷道帮部变形破坏的影响。翟路锁等^[10]采用平面应变相似模拟试验对构造裂隙煤岩体巷道的稳定性进行研究,分析了不同载荷时,不同支护方案的巷道变形和破坏状况,对巷道围岩裂隙产生、贯通和巷道围岩位移的变化规律进行了研究。郜进海等^[11]对复杂顶板条件下回采巷道围岩裂隙演化进行了大比例三维巷道相似模拟试验研究。张强勇等^[12]以淮南矿区深部巷道为工程背景,对深部巷道围岩分区破裂的形成过程进行了相似材料三维地质力学模型试验,并对巷道围岩的破裂现象以及应变和位移的变化规律进行了分析。勾攀峰等^[13]通过相似模拟试验和数值模拟的方法研究了不同水平应力作用下锚杆支护以及无支护条件下巷道围岩变形破坏特征。张明建等^[14]运用相似模拟试验研究了采用不同支护方式的深部倾斜岩层水平巷道随加载压力增大时,巷道围岩位移变化规律和围岩裂隙演化特征。基于此,笔者利用相似模拟试验对不同水平应力作用下巷道围岩的变形破坏特征进行了研究,以期类似条件下的巷道围岩控制提供参考。

1 试 验

1.1 模型设计

试验以鹤煤集团九矿东总回风巷为工程背景,通过相似模拟试验,研究不同水平应力作用下锚网索喷+U 型钢支护巷道围岩的变形破坏特征,为巷道围岩控制提供依据。依据相似理论,确定几何相似比 $C_L=1:20$,容重相似比 $C_\gamma=1.0:1.5$,则应力相似比 $C_p=1:30$ 。

根据实验室岩石力学物理试验确定巷道顶底板岩石的力学参数(表 1),岩石的相似材料有砂子、水泥、石膏等,各岩层材料配比见表 2。采用云母粉作为分层材料,用砂子和石膏的混合物模拟喷射在巷道表面的混凝土。

表 1 巷道顶底板岩石力学参数

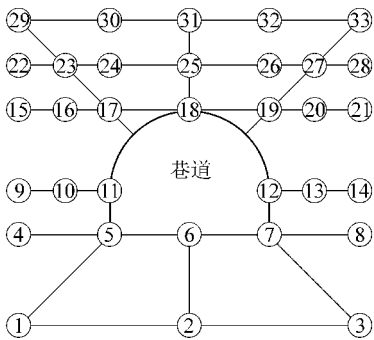
岩层	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/MPa	抗拉强度/MPa
粗砂岩	17.69	16.15	30	25.43	5.21
泥砂岩	2.91	0.97	27	1.75	0.38
中粗砂岩	8.88	8.72	30	10.26	1.71
泥岩	2.91	0.97	40	1.75	0.38

表 2 各岩层材料配比

岩层	总厚度/m	分层厚度/cm	配比号	砂子/kg	水泥/kg	石膏/kg	水/kg	硼砂/g
粗砂岩	6.05	1.89	755	43.20	1.54	1.54	2.74	27.40
泥砂岩	7.00	1.75	955	20.56	1.14	1.14	2.54	25.40
中砂岩	11.74	1.83	873	21.30	1.86	0.80	2.66	26.61
泥岩	7.24	2.00	955	23.53	1.31	1.31	2.91	29.10

注:配比号 755 中,第 1 个数字“7”表示在材料砂子、水泥和石膏中砂子所占的份数(砂子 7 份,水泥和石膏共 1 份);第 2 个数字“5”和第 3 个数字“5”分别表示在水泥和石膏的配比中,水泥占 70%,石膏占 30%,其他类推。

试验采用 YDM-E 型平面应变试验系统,装置由模型架、试件模具、模型运输车、液压控制系统和数据采集系统 5 个部分组成。模型岩体的长、宽、厚为 1 600 mm×1 600 mm×400 mm,相当于原型 32 m×32 m×8 m 的立体空间范围。试验巷道为直墙半圆拱巷道,采用锚网索喷+U 型钢支护,墙高 1.5 m,半圆拱直径 5.1 m,按相似比可以计算出模型巷道墙高 75 mm,半圆拱直径 255 mm,巷道长度 400 mm(相当于实际长度 8 m)。选取保险丝模拟锚杆^[16],采用铝丝模拟 U 型钢^[1]。模型制作完成并稳定后开挖巷道,并进行支护,然后在试验巷道表面布置 6 排围岩位移监测点,如图 1 所示。用拓普康 GTS-600 系列电子全站仪观测每次加压引起的各个测点的变形量,并按几何相似比折算成原型巷道实际岩体的变形量。



1—33 为围岩位移监测点编号
图 1 围岩位移监测点布置

1.2 试验加载步骤

东总回风巷最大埋深 707 m,上覆岩层密度取 2 500 kg/m³,则巷道所受垂直应力为 17.5 MPa。根据相似比确定模型巷道顶部和两帮的应力,然后按侧压系数 λ 分别为 1.4、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4 依次加载,在每一次加载结束后,稳压 1.5 h,然后观测巷道表面变形量,并拍照记录巷道围岩的变形情况。

2 试验结果分析

2.1 不同水平应力作用下巷道的破坏形态

不同水平应力下巷道的破坏形态如图2所示,当水平应力为24.5 MPa、侧压系数为1.4时,巷道右帮和底板出现裂隙(图2a)。当水平应力为28.0 MPa、侧压系数为1.6时,巷道底板裂隙增多,部分裂隙延伸、贯通,巷道左底角轻度鼓起,右肩喷层出现脱落,U型钢支架开始变形(图2b)。当水平应力为31.5 MPa、侧压系数为1.8时,巷道围岩裂隙进一步延伸、增多,巷道底板开裂,巷道左右两肩形成多处叠加的破断拱形裂隙,右肩部分冒落,U型钢变形明显,锚杆没有出现破坏情况。右帮岩体向巷道内小幅移动。底板裂隙进一步发育并向深部扩展,底板断裂,右底角鼓起(图2c)。当水平应力为35.0 MPa、侧压系数为2.0时,底板裂隙进一步增多、延伸,巷道右肩破坏及底鼓非常严重,底板沿裂缝大块断裂、鼓起(图2d)。当水平应力为38.5 MPa、侧压系数为2.2时,巷道表面喷层大量破断、脱落,右帮岩体大幅向巷道内移进,底板裂隙持续扩展,底鼓也愈加强烈,巷道基本处于失稳状态(图2e)。当水平应力为42.0 MPa、侧压系数为2.4时,底板完全破坏,右帮锚固体严重破坏,喷层呈破碎状,锚固体破坏失稳,部分锚杆作用失效,巷道完全失稳(图2f)。加载水平应力时,由于模型试验架左侧油缸反应不如右侧灵敏,导致模型巷道破坏呈不对称特征。

2.2 巷道顶底板及两帮移近量分析

巷道顶底板和两帮移近量随水平应力变化如图3所示,由图3可知,巷道顶底板和两帮移近量都随着水平应力的增大而增加,在水平应力为28.0 MPa

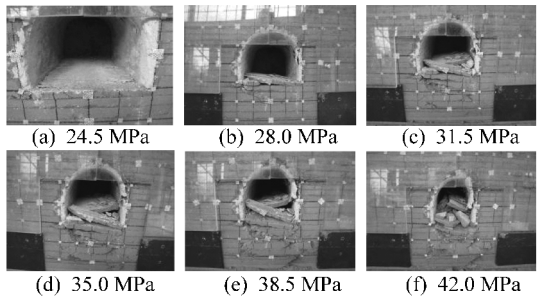


图2 不同水平应力作用下巷道的破坏形态

时,巷道顶底板移近速率明显变大。水平应力为42.0 MPa时,两帮最大移近量为316 mm,顶底板最大移近量为164 mm,两帮移近量约为顶底板移近量的2倍。

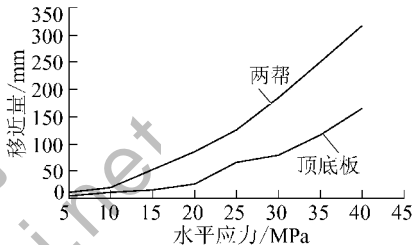


图3 巷道顶底板和两帮移近量随水平应力变化

2.3 巷道围岩变形分析

巷道不同层位围岩变形如图4所示,由图4a可知,巷道底板下方3 m处的测点随水平应力的增大而整体下沉,底板中线左侧的下沉量略大于右侧;由图4b可知,水平应力对巷道底板的影响比较明显,并且随水平应力的增加,并且底鼓量也逐渐增大,底板最大位移为120 mm。由图4c知,随水平应力的增大,巷道两帮整体下沉,巷道左帮下沉量略大于右帮,锚杆支护范围内变形量小于其支护范围之外的变形量。在水平应力28.0~31.5 MPa时巷道底板

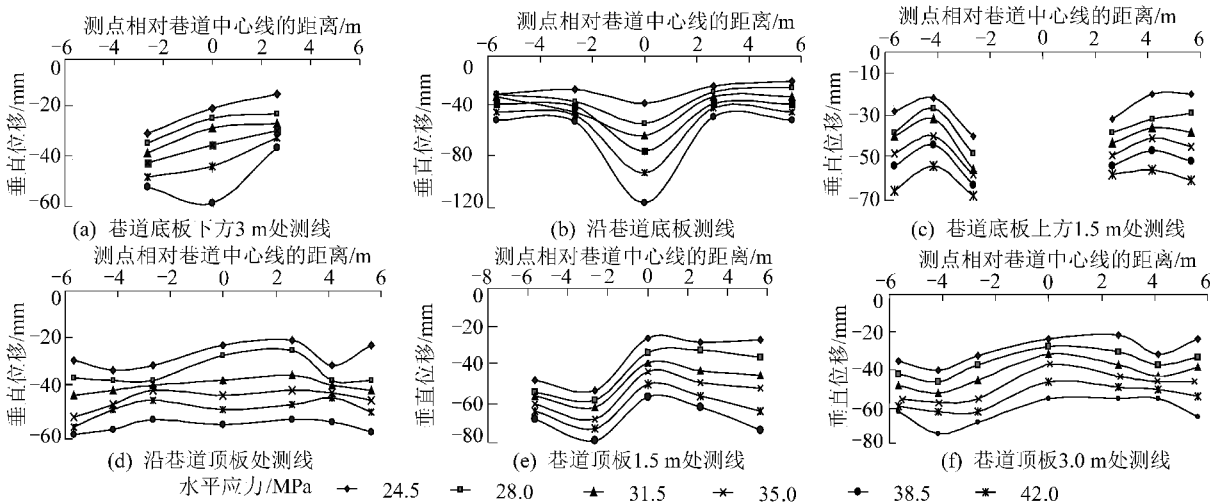


图4 不同水平应力下巷道不同层位围岩变形

裂隙发育较快,水平应力大于 31.5 MPa 时,巷道两帮变形量相差较大。水平应力加载到 42 MPa 时,左帮下沉量最大值为 68 mm,右帮下沉量最大值为 61 mm。由图 4f 可知,在相同水平应力作用下,顶板 1.5 m 处围岩变形大于 3.0 m 处变形,尤其是当水平应力达到 38.5 MPa 时,变形相差较大。

3 结 语

随着水平应力的增加,巷道两帮的变形明显增加,而顶底板的移近量较小。受水平应力作用巷道的拱肩和底角最先出现变形,底板出现剪切滑移破坏,并且破坏情况比顶板和两帮严重。随着水平应力的逐渐加大,巷道围岩裂隙经历了产生—延伸—贯通的过程,最终导致巷道围岩的破坏。

参考文献:

- [1] 郜进海, 镐 振, 吕兆恒. 构造应力区巷道变形破坏特征及控制技术研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(8): 409-414.
- [2] 康红普, 林 健, 张 晓. 深部矿井地应力测量方法研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 929-933.
- [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): 891-896.
- [4] 康红普, 林 健, 张 晓, 等. 潞安矿区井下地应力测量及分布规律研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(3): 827-831.

(上接第 3 页)

围岩破坏范围减小, 2.0~2.5 m 内的围岩存在一定的离层, 优化后的支护参数能有效控制围岩变形, 保证巷道的正常使用。

6 结 语

运用正交设计试验方法和数值模拟计算, 研究了深部巷道锚网索支护参数各因素对巷道两帮及顶底板移近量的影响, 并采用极差分析法对试验结果进行分析, 获得了锚网索支护的关键因素。锚杆间排距对巷道变形影响程度最大, 是锚杆支护最关键因素; 其次为锚杆直径、锚杆长度及施加的预紧力, 这些参数为支护的关键因素。工程实践证明优化支护关键因素, 巷道围岩变形明显减小, 围岩稳定性得到明显改善, 研究成果对锚网索支护参数设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 康红普, 王金华, 林 健. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道中应用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(12): 1233-1238.

- [5] 张延新, 蔡美峰, 王克忠. 平顶山一矿地应力分布特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 4033-4037.
- [6] 姜春露, 姜振泉, 杨伟峰, 等. 赵楼井田地应力特征及地质构造形成机制[J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 738-742.
- [7] 王胜本, 张 晓. 煤矿井下地质构造与地应力的关系[J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 738-742.
- [8] 李学华, 姚强岭, 张 农, 等. 高水平应力跨采巷道围岩稳定性模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(4): 420-425.
- [9] 朱德仁, 王金华, 康红普, 等. 巷道煤帮稳定性相似材料模拟试验研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(1): 42-47.
- [10] 翟路锁. 裂隙岩体巷道稳定性模拟研究试验[J]. 煤矿开采, 2003, 8(2): 46-52.
- [11] 郜进海, 康天合, 靳钟铭, 等. 巨厚薄层状顶板回采巷道围岩裂隙演化规律的相似试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(19): 3292-3297.
- [12] 张强勇, 陈旭光, 林 波, 等. 深部巷道围岩分区破裂三维地质力学模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(9): 1757-1766.
- [13] 勾攀峰, 韦四江, 张 盛. 不同水平应力对巷道稳定性的模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(2): 143-148.
- [14] 张明建, 郜进海, 魏世义, 等. 倾斜岩层平巷围岩破坏特征的相似模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S0): 3259-3264.
- [15] 李鸿昌. 矿山压力的相似模拟试验[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1987.
- [16] 郜进海. 复杂顶板回采巷道锚固理论及应用研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [2] 陈登红, 华心祝, 李英明. 复杂条件下回采巷道围岩控制综合技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(12): 14-16.
- [3] 肖亚宁, 马占国, 赵国贞, 等. 沿空巷道三维锚索支护围岩变形规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 187-192.
- [4] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰, 等. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [5] 张永将, 孟贤正. 深井巷道支护参数优化研究[J]. 中国煤炭, 2008, 34(8): 49-52.
- [6] 刘玉田, 王文庆, 苏海健. 大跨度高煤帮煤巷支护参数优化及应用[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(5): 1-5.
- [7] 郑少华, 姜奉华. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2004.
- [8] 高富强, 王兴库. 回采巷道锚杆支护参数敏感性正交试验分析[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(11): 68-72.
- [9] 刘 波, 韩彦辉. FLAC 原理实例及应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [10] 袁 亮. 深部巷道围岩控制理论及淮南矿区工程实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [11] 常聚才, 谢广祥. 深部巷道围岩力学特征及其稳定性控制[J]. 煤炭学报, 2009, 34(7): 881-886.
- [12] 谢广祥, 常聚才, 张永将. 谢一矿深部软岩巷道位移破坏特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(12): 5-8.
- [13] 谢广祥, 常聚才. 深井巷道控制围岩最小变形时空耦合一体化支护[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(2): 183-187.