

*

上榆泉煤矿 I031001 工作面巷道围岩松动圈测试与分析

白海军¹, 张东华², 张玉江², 郑 哲²

(1. 国家能源投资集团国神集团上榆泉煤矿, 山西 河曲 036500;

2. 太原理工大学 矿业工程学院, 太原 030024)

摘 要: 为了优化上榆泉煤矿锚杆支护参数, 采用 CLC1000-C 型超声波围岩裂隙探测仪对 I031001 工作面辅运顺槽围岩松动圈的 3 个剖面进行了测试, I 号剖面距巷道开口处 160 m, II 号剖面距巷道开口处 400 m, III 号剖面距巷道开口处 612 m; 根据测出的岩石波速-深度曲线, 分别得出 I、II、III 号 3 个剖面 9 个测点的松动圈厚度。研究表明, 在距巷道开口 612 m 处, 巷道实体煤帮松动范围最大达到 1.65 m; 在距巷道开口 400 m 处, 巷道正帮松动范围最小达到 0.65 m; 通过改进两帮施工条件及工艺参数存在缩小松动圈范围的可能。此次测试结果为上榆泉煤矿巷道的支护参数优化设计提供了可靠的依据。

关键词: 松动圈; 现场测试; 声波法; 软岩巷道

中图分类号: TD353

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Measurement and Analysis of Broken Rock Zone of Surrounding Rock in I031001 Working Face in Shangyuquan Coal Mine

BAI Haijun¹, ZHANG Donghua², ZHANG Yujiang², ZHENG Zhe²

(1. Shangyuquan Coal Mine, ChinaEnergy Investment Group, Heqv 036500, China;

2. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: To optimize bolt supporting parameters, the CLC1000-C ultrasonic detector for rock crack in surrounding rock was used to test three sections of the broken rock zone of surrounding rock in the auxiliary transportation gateway on I031001 working face in Shangyuquan Mine. Section I, II, and III are located at 160, 400, and 612 meters, respectively, away from the roadway throat. Based on the wave velocity-depth curves, the thickness of the broken rock zone at 9 measuring points of section I, II, and III were obtained. The results showed that: the maximum loosening range of the solid coal reaches 1.65 meters at 612 meters from the roadway throat; the minimum loosening range of the main side reaches 0.65 meters at 400 meters away from the roadway throat. It is possible to reduce the loosening zone by improving the construction conditions and process parameters of the two sides. The test results could provide a reliable basis for the optimization design of the support parameters in Shangyuquan Mine.

Key words: broken rock zone; field test; acoustic wave method; soft rock roadway

巷道的围岩破坏范围是巷道支护安全需要首先考虑的问题, 围岩破坏范围的准确测量对支护设计

* 收稿日期: 2020-12-02

基金项目: 中国博士后科学基金(2020M682215)

作者简介: 白海军(1988-), 男, 山西榆林人, 本科, 工程师, 从事采矿方面的技术管理工作, E-mail: 352812344@qq.com

非常重要^[1-3]。巷道表面围岩的破坏产生围岩松动圈。巷道开挖后煤岩层的原始应力进行重新分布,巷道表面围岩受力由原来的三向应力逐渐变化为接近两向应力,巷道围岩的径向应力在接近巷道壁的过程中逐渐减小。同时,在巷道周边的切向应力则会集中。巷道表面的应力集中对受采动影响的岩石产生不利影响,应力集中区逐渐向围岩深部转移,进而在应力集中区至巷道边界区域形成一个塑性区,也就是巷道松动圈范围。

董方庭等^[4-6]于 1985 年提出围岩松动圈理论,将围岩松动圈尺寸作为围岩分类指标,进而选用不同的支护设计。随着岩石力学的逐步发展,松动圈范围的测试不仅应用于巷道支护,也应用于隧道、大坝、建筑物、瓦斯抽放的封孔深度和煤层注水等。综上所述,准确测定巷道围岩松动圈在巷道支护和瓦斯抽放、煤层注水及瓦斯压力测定等的封孔过程中具有重要作用,是围岩支护中的一个重要工序。围岩内部的应力状态很难通过理论准确地计算出来,通过设备进行直接测试是一个重要的辅助手段^[7-10]。

1 围岩松动圈测试原理

测量围岩松动圈的方法有超声波速测法、地震测法、电阻率法、孔内摄像法等。在上榆泉煤矿 I031001 工作面巷道的松动圈测试中,采用煤炭科学研究总院沈阳煤科院生产的 CLC1000-C 超声波围岩裂隙探测仪。其主要构成如图 1 所示。



图 1 CLC1000-C 超声波围岩裂隙探测仪
Fig. 1 CLC1000-C ultrasonic detector
for rock crack in surrounding rock

松动圈测试的原理是超声波在原生岩石和受到破坏的岩石中的传播速度不一样,受力状态和密实程度不一样,传播速度也不同,通过超声波在不同位置的传播速度来预测和判断围岩的破坏和受力情况。当岩石距离巷道距离较远,可以认为岩石受到原岩应力,距离较近时,有一个弹塑性分界区,分界区之外可以假定为弹性体,分界区之内假定为弹塑性体。超声波由声波仪振荡器产生的高压电脉冲信

号激发超声波发射器产生瞬态的振动信号,振动信号在超声波发射器和超声波接收器之间传播,穿过岩石介质,超声波接收器把接收到的振动信号再转变成电信号传给超声波仪,经放大处理后,显示出超声波穿过岩石的时间、波速等参数,根据超声波速度确定分析岩石的破坏情况。

根据弹性力学理论,超声波在介质中的传播速度与介质的弹性参数密切相关,具体见公式(1)和公式(2)。

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1-\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} \quad (2)$$

式中: v_p 为岩体的纵波速度, m/s; v_s 为岩体的横波速度, m/s; E 为岩体的弹性模量, MPa; μ 为岩体的泊松比; ρ 为岩体的密度, kg/m^3 。

由公式(1)和公式(2)可知,岩体中超声波的传播速度与弹性模量、泊松比、密度相关,这些参数与煤体的破坏程度直接相关,因此,岩体中的超声波速度变化规律可间接反应出煤体内部的破坏情况,通过在回采巷道的两帮不同深度处测试超声波速的变化情况,确定巷道围岩的松动圈范围大小。

2 松动圈测点布置

松动圈测试地点布置在上榆泉煤矿的 I031001 工作面辅运巷,该巷道属于全煤巷道,开采的 10 号煤层属于特厚煤层。选取了 3 个剖面布置测试点, I 号剖面位于距巷道开切口 160 m 处, II 号剖面位于距巷道开切口 400 m 处, III 号剖面位于距巷道开切口 612 m 处。I、II、III 号剖面的松动圈测试点布置如图 2 所示,正帮是实体煤帮,副帮是靠近采空区的煤柱帮。

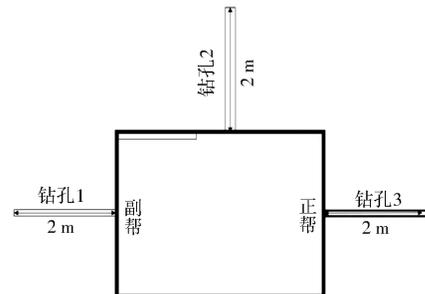


图 2 剖面的松动圈测试点布置图
Fig. 2 Layout of measuring points for broken rock zone

围岩松动圈测试采用单孔测试法,孔深 2.4 m,两帮的孔向下倾斜 $3^\circ \sim 5^\circ$,有倾角方便水留在孔中,顶板的孔垂直向上。测孔钻成后要及时测试,以防

测试孔时间过长引起变形或坍塌。测试前用常压水冲洗每个测试孔,把测孔中的岩粉或者煤粉清洗干净,耦合剂是普通水,供应水使用常压水。测试时将探头同时送入孔口进行水耦合,然后拉动推杆将探头向里,每移动 10 cm 记录一次超声波传播时间,直到孔口为止。

3 测试结果及分析

3.1 I号剖面测试结果

根据 I031001 工作面回采巷道 I 号剖面的超声波传播时间数据,绘制出各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系曲线,如图 3 所示。

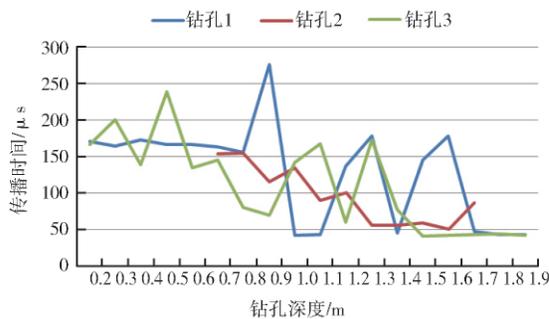


图 3 I 号剖面各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系图

Fig. 3 The relationship between ultrasonic wave travel time and borehole depth on section I

由图 3 可知,1# 钻孔在距巷帮孔口 1.65 m 处时,声波在煤体中的传播时间明显降低,并且稳定在 50 μs 以下,松动圈在 1.65 m 以内;2# 钻孔在接近孔口 1.35 m 处时,声波传播时间持续下降,在距孔口 1.35~1.50 m 趋于稳定,松动圈在 1.50 m 以内;3# 钻孔在接近孔口 1.45 m 处时,声波传播时间明显下降,并保持稳定,松动圈在 1.45 m 以内。

1# 和 3# 钻孔的浅部松动范围明显,这是因为两帮的安装应力明显小于顶板的安装应力,主要原因是施工机具所致。1# 钻孔的巷道围岩松动圈范围最大,且浅部破碎最明显,主要原因是此处圆钢锚杆的最大预应力仅仅为 40 N·m,不能很好地控制浅部围岩变形。

3.2 II号剖面测试结果

根据 I031001 工作面回采巷道 II 号测点的超声波传播时间-钻孔深度关系测试结果,绘制出各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系曲线,如图 4 所示。

由图 4 可知,1# 钻孔在距巷帮孔口 1.65 m 处时,声波在煤岩体传播接收时间明显降低,松动圈在 1.65 m 以内;2# 钻孔在距孔口 1.25 m 处以内,声波传播时间一直在波动,之后下降明显,且基本保持

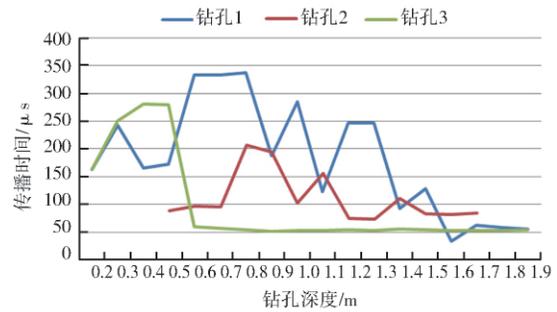


图 4 II 号剖面各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系图

Fig. 4 The relationship between ultrasonic wave travel time and borehole depth on section II

稳定,松动圈在 1.25 m 以内;3# 钻孔接近孔口 0.65 m 处时,声波传播时间明显下降,并保持稳定,松动圈在 0.65 m 以内。

1# 孔松动范围最大,松动程度最大,其主要原因是此处圆钢锚杆的最大预应力仅仅为 40 N·m,不能很好控制浅部围岩变形。3# 钻孔在 150~650 mm 范围内,破碎程度较大。

3.3 III号剖面测试结果

根据 I031001 工作面回采巷道 III 号测点围岩松动圈的超声波测试数据,绘制出各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系曲线,如图 5 所示。

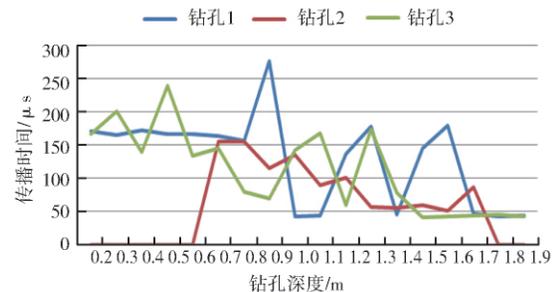


图 5 III 号剖面各孔超声波传播时间-钻孔深度的关系图

Fig. 5 The relationship between ultrasonic wave travel time and borehole depth on section III

由图 5 可知,1# 钻孔的测试波速分布特点是距巷帮孔口 1.65 m 以内声波在煤岩体传播接收时间比较长,几乎在 50 μs 以上,深度在 1.65 m 以外,声波在煤体传播接收时间比较短,大部分小于 50 μs ,松动圈在 1.65 m 内;2# 钻孔的测试波速分布特点是距孔口 0.80 m 以内,煤体的超声波传播时间最长,距孔口 0.85~1.25 m 两处有裂隙发育,但是整体的波速较大,煤体裂隙发育不明显,没有明显的松动圈界限;3# 钻孔的波速整体偏小,但是该孔的波速变化情况可以基本反映裂隙的主要发育段,波速的分布特点是距孔口 1.25 m 以内超声波速度波动较大,该处围岩整体破碎,1.25 m 处已有明显下降趋势,松动圈在 1.25 m 以内。

4 结论

综上所述,上榆泉煤矿 I031001 工作面的巷道围岩松动圈测试结果如下:

1)在距巷道开口 160 m 处,副帮一侧松动圈范围在 1.65 m 以内,正帮一侧松动圈范围在 1.45 m 以内,顶板松动圈在 1.50 m 以内。

2)在距巷道开口 400 m 处,副帮一侧松动圈范围在 1.65 m 以内,正帮一侧松动圈范围在 0.65 m 以内,顶板松动圈在 1.25 m 以内。

3)在距巷道开口 612 m 处,副帮一侧松动圈范

围在 1.65 m 以内,正帮一侧松动圈范围在 1.25 m 以内,顶板松动圈在 1.25 m 范围以上。

巷道副帮松动范围最大,且浅部破碎最明显,其主要原因是采用玻璃钢锚杆,其最大预应力仅仅为 40 N·m,不能很好地控制浅部围岩变形。顶板的松动范围基本稳定,这与其施工工具、工艺比较稳定有关。正帮的松动范围最大 1.65 m,最小 0.65 m,其原因与地质条件和两帮施工工具的预应力施加局限有关,目前支护条件下松动范围最大 1.65 m。同时,松动范围的变化也表明改进两帮施工条件及工艺参数存在减小松动圈范围的可能。

参考文献:

- [1] 蔡冠楠,李忠辉,杨玉龙,等.煤矿巷道围岩松动圈测试方法探讨[J].工矿自动化,2014,40(1):38-41.
CAI G N,LI Z H,YANG Y L,et al. Discussion on test method of surrounding rock loose zone in coal mine roadway[J]. Industrial and Mining Automation,2014,40(1):38-41.
- [2] 李健,汪明武,徐鹏,等.基于云模型的围岩稳定性分类[J].岩土工程学报,2014,36(1):83-87.
LI J,WANG M W,XU P,et al. Classification of stability of surrounding rock using cloud model[J]. Journal of Geotechnical Engineering,2014,36(1):83-87.
- [3] 单仁亮,孔祥科,单鹏.基于神经网络的巷道围岩稳定性分类研究进展[J].矿业安全与环保,2014,41(3):109-112,115.
SHAN R L,KONG X S,SHAN P. Research progress of roadway surrounding rock stability classification based on neural networks[J]. Mining Safety & Environmental Protection,2014,41(3):109-112,115.
- [4] 齐彪,韩立军,陈柯,等.白象山铁矿巷道围岩稳定性分类及支护对策研究[J].金属矿山,2014(6):31-36.
QI B,HAN L J,CHEN K,et al. Research on stability classification and support measures of roadway surrounding rock in baixiangshan iron mine[J]. Metal Mine,2014(6):31-36.
- [5] 曹平,陈冲,张科,等.金川矿山深部巷道围岩松动圈厚度测试与分析[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(8):2839-2844.
CAO P,CHEN C,ZHANG K,et al. Measurement and analysis of deep roadway surrounding rock loose zone in Jinchuan mine[J]. Journal of Central South University (Science and Technology),2014,45(8):2839-2844.
- [6] 于辉,唐仁学,孔令根,等.围岩松动圈支护理论在煤巷支护设计中的应用[J].中国矿业,2014,23(8):115-118.
YU H,TANG R X,KONG L G,et al. Application of surrounding rock loose circle theory in roadway support designing [J]. China Mining Magazine,2014,23(8):115-118.
- [7] 伍永平,翟锦,解盘石,等.基于地质雷达探测技术的巷道围岩松动圈测定[J].煤炭科学技术,2013,41(3):32-34,38.
WU Y P,ZHAI J,XIE P S,et al. Measurement of loosening circle in surrounding rock of gateway based on technology of geological radar detection[J]. Coal Science and Technology,2013,41(3):32-34,38.
- [8] 单治钢,陈国庆,周春宏,等.丹巴水电站石英云母片岩力学特性及岩体质量分类[J].岩石力学与工程学报,2013,32(10):2070-2078.
SHAN Z G,CHEN G Q,ZHOU C H,et al. Quartz mica schist mechanical properties and rock mass quality classification of Danba Hydropower Station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2013,32(10):2070-2078.
- [9] 吴涛,戴俊,杜美利,等.基于声波法测试技术的巷道围岩松动圈测定[J].煤矿安全,2015,46(1):169-172.
WU T,DAI J,DU M L,et al. Determination of loose rock of surrounding rock of roadway based on acoustic test technology [J]. Safety in Coal Mines,2015,46(1):169-172.
- [10] 杨仁树,王茂源,马鑫民,等.煤巷围岩稳定性分类研究[J].煤炭科学技术,2015,43(10):40-45,92.
YANG R S,WANG M Y,MA X M,et al. Research on surrounding rock stability classification of coal drift[J]. Coal Science and Technology,2015,43(10):40-45.

(编辑:樊 敏)