

采动影响下软岩巷道松动圈的联合测试方法研究

张向东¹, 黄开勇¹, 楚金祎²

(1. 辽宁工程技术大学 土木与交通学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院 北京 100083)

摘 要: 为进一步研究软岩巷道在受采动影响下的围岩松动圈大小及发展规律, 为锚杆锚索支护技术提供科学的依据, 选取内蒙古鄂尔多斯市高家梁煤矿受采动影响的软岩巷道为研究对象, 运用孔壁檢視法和地震波反射法联合现场测试, 然后用分形理论来预测比较围岩松动圈大小的方法来测定围岩松动圈; 现场实测结果表明: 受采动影响的巷道的松动圈是一个不断扩展的过程, 最终稳定在 1.7 ~ 1.9 m 之间, 而且用分形理论预测的结果和现场测试的结果几乎相同; 该联合测试方法为软岩巷道的支护参数选择提供了依据, 为其他类似矿井的松动圈测试提供了一种新方法而且具有重大的指导意义。

关键词: 软岩; 松动圈; 孔壁檢視法; 地震波反射法; 分形理论

中图分类号: TV554. 13

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0011-04

Research on combined test methods of soft rock roadway released circle under the mining influence

ZHANG Xiangdong¹, HUANG Kaiyong², CHU Jinyi²

(1. Institute of Civil Engineering and Transportation, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 10083, China)

Abstract: In order to further research the size of released circle and variation regularity of soft rock roadway under the mining influence and provide scientific basis for anchor and anchor cable supporting technology, the paper took soft rock roadway under the mining influence as example, which located on Gaoji-aliang coal mine in Erdos, Inner Mongolia. It used the combined site test methods of hole wall review and earthquake wave reflection, furthermore applied fractal theory to forecast the size of released circle of surrounding rock. The site test results indicate that the size of released circle is a constantly extended process under the mining influence, and the final range is from 1.7 to 1.9 meters, the predicted results accord well with field test using fractal theory. Therefore, the combined test methods can provide a basis for the selection of soft rock roadway support parameters and supply a new testing method of released circle for the other similar coal mine.

Key words: soft rock; released circle; hole wall review method; earthquake wave reflection method; fractal theory

0 前 言

目前国内的大部分煤巷或岩巷都是采用锚杆锚索支护技术, 如何选择锚杆锚索的支护形式和支护参数, 达到既经济又保证巷道安全稳定的目的, 围岩松动圈是一个重要的指标; 松动圈是巷道开挖引起围岩应力重新分布, 在开挖空间周围形成一个环状的破裂区^[1]; 采动影响是巷道受到周围巷道掘进或

回采工作面的扰动情况, 它使得巷道上覆岩层运动更加剧烈, 矿压显现更加明显; 悬吊理论认为只要用锚杆和锚索把松动圈以内的松散破碎的岩石悬吊在上覆稳定岩层中^[2], 就基本能够保证巷道的稳定。

1 国内的围岩松动圈测试方法现状

松动圈测试就是检测巷道开挖后新的破坏裂缝及其分布范围, 围岩中有新破坏裂缝与没有破坏裂

收稿日期: 2012-05-01

基金项目: 国家自然科学基金资助(50978131)

作者简介: 张向东(1962-), 男, 吉林榆树人, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程与交通土建方面的教学与科研工作。

通讯作者: 黄开勇(1986-), 男, 河南光山人, 硕士, 研究方向: 环境岩土工程和地下工程。

缝的界面范围就是松动圈的边界^[3];中国矿业大学的董方庭教授认为基于松动圈测试的检测原理^[1],较为简单的为钻孔超声波法和地震波反射法;霍志芳和郭长生^[4]在黄陵煤巷的监测试验中,用钻孔超声波法对 8 个断面的速度曲线进行了分析、对比,得出围岩的松动范围,取得了一定的实际应用效果;孙毅^[5]应用地震波反射波法对宁夏黄河大柳树坝址的五个坑道断面进行了围岩松动圈测试。得到反射法测量结果与实测结果吻合的很好。李维树^[6]对隔河岩电站洞群围岩松动圈检测,利用 5 个钻孔进行测试。采用一点接收、多点分次锤击的反射法,也取得了较好的效果。

2 采动影响下松动圈的联合测试方法

本文以内蒙古鄂尔多斯市高家梁煤矿的 20108 工作面回风顺槽为研究对象,其属于典型的软岩矿井;其 20108 工作面曾经受过相邻的 20109 工作面回采影响一次,目前该工作面正在进行回采工作,所以其回风顺槽属于受二次采动影响的巷道;结合现

场回风顺槽的实际情况;所以本文提出用孔壁检视法和地震波反射法的现场测试结果作为基础;然后运用分形几何理论,计算出围岩材料的分形维数,反映结构遭受破坏的严重程度及裂隙系统的变化趋势^[8],从而确定出围岩松动圈的范围;现场测试所用的仪器为 SYS(B) 钻孔窥视仪和 KDZ113-4 矿井地质探测仪;具体如图 1 和图 2 所示。

3 工程应用实例

3.1 孔壁检视法测定采动影响下的软岩巷道的松动圈

高家梁煤矿 20108 工作面回风顺槽的顶板和两帮的钻孔直径均为 28 mm,其中顶板孔深 8 m,回采面一侧的帮部孔深 3 m,钻孔的具体位置均在顶板和两帮中点处;在钻孔刚打完时观测一次,此时距离工作面 65 m,随着工作面的不断后退,距离工作面 30 m 和 10 m 时再观测两次,共观测了 3 次。第一次观测时情况如图 3 和图 4 所示。距离回采工作面 30 m 处时观测的情况如图 5 和图 6 所示。



图 1 SYS(B) 钻孔窥视仪



图 2 KDZ113-4 矿井地质探测仪

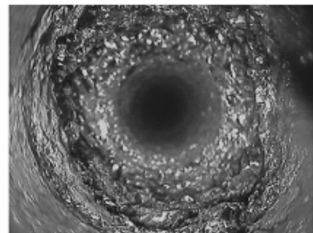


图 3 顶板 0.7 m 处的破碎带



图 4 帮部 0.76 m 处的裂隙

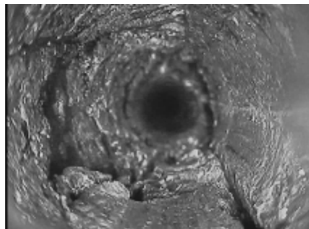


图 5 顶板 1.4 m 处的各种裂隙

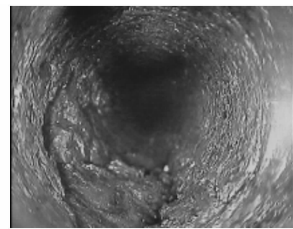


图 6 帮部 1.37 m 处的纵向裂隙

距离回采工作面 10 m 处时观测的情况如图 7 和图 8 所示。

由图 3 ~ 图 8 可以看出:20108 工作面回风顺槽的围岩松动圈是一个不断扩展的过程,因为受回采工作面的采动影响;顶板由刚开始的 0.7 m 发展到最终稳定的 1.86 m。帮部由刚开始的 0.76 m 发展到最终稳定的 1.73 m,由此可以初步判定其松动圈范围为 1.7 ~ 1.9 m 之间,该结果是否正确,有待用地震波反射法来进一步验证。

3.2 地震波反射法测定采动影响下的软岩巷道的松动圈

本次探测位置选在 20108 工作面回风顺槽距离回采工作面 40 m 处,采用单点自激自收探测方法,见图 9,反射波时距曲线方程: $4h^2 + x^2 = v^2 t^2$ 。令 $x = 0$,则 $h = 0.5vt$ 。式中时间可由波形记录上判断,波速须是一已知数据,采用回风大巷探测反算所得的波速,其值为 2.55 m/ms。探测结果图见图 10。

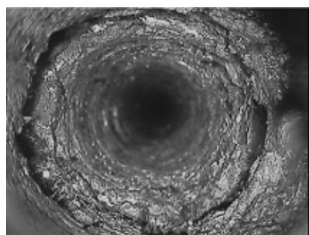


图7 顶板 1.86 m 处的环向裂隙

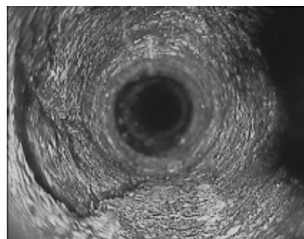


图8 帮部 1.73 m 处的纵向裂隙

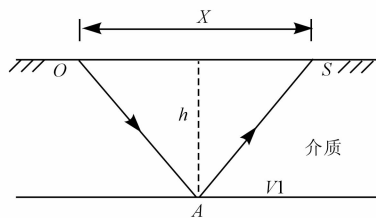


图9 单道观视系统波路图

$$t = \frac{OA + AS}{V} = \frac{2\sqrt{h^2 + (\frac{x}{2})^2}}{V} = \frac{\sqrt{4h^2 + x^2}}{V} \quad (1)$$

式中: t 为反射相位时间,ms; v 为波在介质中的传播速度,m/ms; h 为异常界面到测试表面的垂直距离,m; x 为震源和接收点之间的距离,m。

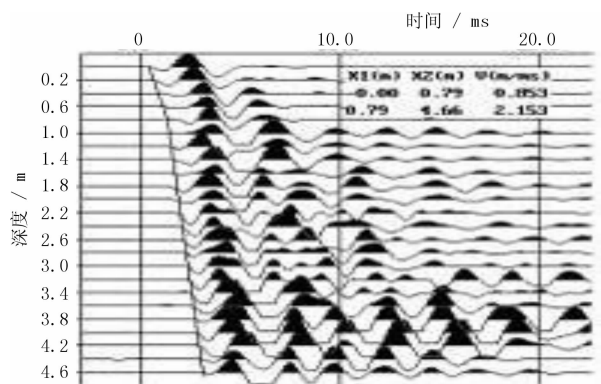


图10 20108 回风顺槽顶板探测解析图

根据图 10 异常界面位置知:波传播到 0.70 ms 时发现异常,反算得出 20108 工作面回风顺槽顶板内异常位置顶板为 1.8 m,由于该回风顺槽目前是

受二次采动影响,巷道围岩的应力状态受到扰动;顶板会出现离层、裂隙之类的破坏^[7];这个探测结果和用孔壁检视法测到的围岩松动圈大致相同,同时也证明了本次探测的正确性。

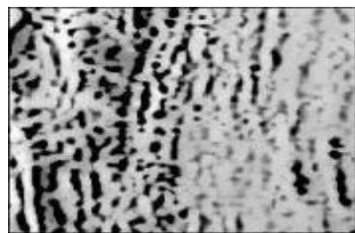
3.3 用分形理论预测高家梁煤矿的围岩松动圈

岩石材料的宏观破碎是其内部微裂纹不断发育、扩展、聚集和贯通的最终结果,破碎是由小破裂群体集中而成的,小破裂又是由更微小的裂隙演化和集聚而来,这必然导致破碎后碎块块度和能量耗散也具有自相似的特征^[8]。由分形的基本定义^[9],可得:

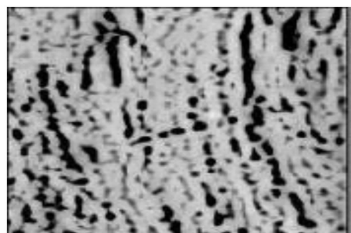
$$N_i = CR_i^{-D} \quad (2)$$

式中: R_i 是岩石碎屑的特征尺度; N_i 是特征尺度为 R_i 的碎块数目; C 是比例常数; D 为块度分布的分形维数。

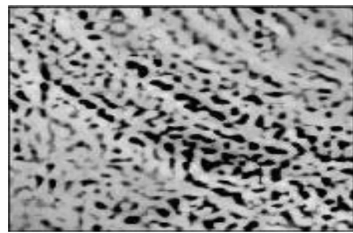
用 A28 mm 的钻头在矿区 20108 回风顺槽围岩钻一个 3 m 深的钻孔,再利用钻孔窥视仪器进行图像采集取样,每 1.0 m 取一采样点进行分析,经过 Photoshop "Poster Edges" 滤镜处理将细观裂纹提取后的图片,如图 11 所示。



(a) 孔深 1.0m



(b) 孔深 2.0m



(c) 孔深 3.0m

图11 孔深 1.0 m~3.0 m 细观裂纹提取图

以孔深 1.0 m 为例可以得到不同 r 于 N 的关系,其中 r 是岩石碎屑的特征尺度, N 是覆盖裂纹所用的网格数;见图 12。由图 12 可以看出, $\log N$ 与 $\log r$ 呈现明显的直线关系,说明岩石细观裂纹具有统计自相似性,其分形维值为 1.7815,相似系数为 0.9687。

除了在 20108 回风顺槽打 3 m 的孔外,在每隔 30 m 处再打一个 4 m 的孔和 5 m 的孔,按照上述方法算出 3 个钻孔围岩裂隙细观裂纹分形维值的计算

结果,如表 1 所示。从表 1 可以看出巷道围岩裂隙分形维值主要分布在 1.5~1.9 之间,自相似系数 0.95 以上,说明巷道围岩裂隙分布具有很好的自相似特性,具有典型的分型特征。

图 13 为 3 个不同钻孔围岩裂隙分形维值分布的拟合曲线,从中不难看出随孔深变化分形维值也在不断变化,即围岩的破碎程度也是逐渐变化;从中可以找出规律,确定出破碎区范围的大小,即松动圈的厚度范围。由图 13 可知:该矿 20108 工作面回风

顺槽的松动圈为 1.50 m ~ 1.65 m。

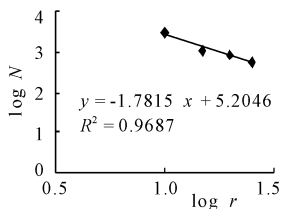


图 12 r 与 N 的对数
曲线图

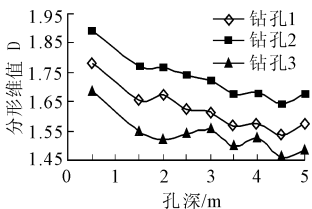


图 13 钻孔不同深度的分形
维值拟合曲线

表 1 3 个不同位置钻孔不同深度的分形维值和相似系数 m

孔深	钻孔 1		钻孔 2		钻孔 3	
	分形 维值 D	相似 系数 R ²	分形 维值 D	相似 系数 R ²	分形 维值 D	相似 系数 R ²
0.5	1.7815	0.9687	1.8907	0.9588	1.6850	0.9774
1.5	1.6566	0.9412	1.7701	0.9862	1.5500	0.9564
2.0	1.6728	0.9632	1.7680	0.9603	1.5230	0.9486
2.5	1.6254	0.9591	1.7393	0.9791	1.5390	0.9731
3.0	1.6137	0.9736	1.7230	0.9444	1.5550	0.9509
3.5	1.5688	0.9419	1.6779	0.9559	1.4990	0.9427
4.0	1.5744	0.9981	1.6811	0.9709	1.5260	0.9678
4.5	1.5384	0.9666	1.6428	0.9503	1.4600	0.9713
5.0	1.5770	0.9507	1.6792	0.9566	1.4850	0.9558

综合考虑巷道围岩受扰动、节理、裂隙等不连续结构面影响后,实际松动圈厚度大于理论预测值^[10]。对比可得利用分形理论现场分析所得松动圈厚度与用孔壁檢視法和地震波法算出的结果大致相同。

4 结 语

(1)在综合考虑现有松动圈测试方法的基础上,提出了一种联合测试围岩松动圈的方法,即用孔壁檢視法和地震波法联合现场测试,然后用分形理论来预测比较围岩松动圈大小的方法。

(2)用孔壁檢視法现场测的受采动影响的巷道围岩松动圈范围为 1.7 m ~ 1.9 m,用地震波反射法测的围岩松动圈分别为 1.8 m,都在上述的范围之类,证明了该联合测试系统的可行性。

(3)用分形理论预测巷道的松动圈为 1.50 m ~ 1.65 m,综合考虑巷道围岩受扰动、节理、裂隙等不连续结构面影响后,实际松动圈厚度大于理论预测值;对比可得利用分形理论现场分析所得松动圈厚度与用孔壁檢視法和地震波反射法算出的结果大致相同。

参考文献:

[1] 董方庭. 巷道围岩松动圈支护理论及应用技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2001.

[2] 康红普,司林坡,苏 波. 煤岩体钻孔结构观测方法及应用[J]. 煤炭学报,2010,35(12):1949 – 1956.

[3] 程学丰,刘盛东,刘登宪. 煤层采后围岩破坏规律的声波 CT 探测[J]. 煤炭学报,2001,26(4):153 – 155.

[4] 霍志芳,郭长生. 黄陵一号井煤巷围岩松动圈的超声波检测[J]. 陕西煤炭技术,1998,20(3):67 – 70.

[5] 孙 毅,孙亚南. 测定围岩松动圈的折射波法探讨[J]. 铁道建筑技术,2010, 24(4):142 – 146.

[6] 李维树. 隔河岩电站洞群围岩松动圈检测及其厚度分析[J]. 长江科学院院报,2005,16(6):123 – 126.

[7] 蔡成国,孟照辉,熊昌盛. 围岩松动圈地球物理方法检测[J]. 西部探矿工程,2004,18(7):87 – 89.

[8] 李术才,王汉鹏,钱七虎. 深部巷道围岩分区破裂化现象现场监测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(8):1545 – 1553.

[9] 高 峰,谢和平,赵 鹏. 岩石块度分布的分形性质及细观尺度效应[J]. 岩石力学与工程学报,2004,36(6):240 – 246.

[10] 贾颖绚,宋宏伟. 巷道围岩松动圈测试技术与探讨[J]. 煤炭学报,2004,20(8):148 – 154.