

采动影响下松软煤巷锚杆支护技术研究

题正义¹, 王卓识¹, 王振¹, 邹宝平²

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要: 针对采动影响下松软煤巷支护难的问题, 采用围岩松动圈支护理论, 用 PHD-2 型围岩松动圈测试仪对 6107N 工作面回风平巷进行了围岩松动圈测定。提出二种锚杆支护方案, 并用 UDEC3.0 对各支护方案进行分析, 通过数值模拟结果对比分析, 确定方案 II 为最优支护方案。矿压监测结果表明: 巷道围岩变形得到了有效的控制, 为受采动影响下松软煤巷的支护设计提供了一定的技术参考。

关键词: 采动影响; 松软煤巷; 松动圈; 数值模拟; 支护技术

中图分类号: TD824.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2012)06-0176-04

Study on bolting support technology for soft coal roadway affected by mining excavation

TI Zhengyi¹, WANG Zhuoshi¹, WANG Zhen¹, ZOU Baoping²

(1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aiming at difficult support problem of soft coal roadway affected by mining excavation, the extent of excavation damage zone was measured with PHD-2 loose zone tester for return airway in 6107N coal face by adopting support theory based on excavation damage zone. Two kinds of bolting support scheme were made. All of the support schemes were analyzed by UDEC3.0. By comparative analysis of numerical simulation result, scheme II was the best one. The monitoring data show that wall rock deformation has been effectively controlled, which can provide some technical references for support designs of soft coal roadway affected by mining excavation.

Key words: mining influence; soft coal roadway; excavation damage zone; numerical simulation; support technology

采动影响下巷道除受到巷道掘进产生的应力集中和本工作面开采形成的采动应力外, 还将受到相邻工作面的固定支承压应力和采动应力影响, 巷道围岩将发生较大变形。松软煤巷煤质松软破碎, 煤层顶底板松软, 巷道支护困难, 随着开采深度的增加, 巷道破坏严重, 返修率较高, 严重影响了正常生产。针对采动影响下松软煤巷支护难的问题, 采用围岩松动圈支护理论, 提出了锚杆支护方案, 通过现场测定巷道围岩松动圈值、数值模拟和矿压监测验证这种支护方式是有效可行的。

1 巷道围岩松动圈支护理论及测定工作原理

1.1 巷道围岩松动圈支护理论

20 世纪 70 年代末董方庭教授首先在我国提出

巷道围岩松动圈, 在以后的十多年间, 通过大量的科学实验和生产实践, 不断地加以完善, 建立了从围岩分类、支护理论、支护设计与施工的一整套巷道支护理论体系^[1]。根据松动圈值的大小将巷道围岩分为小松动圈、中松动圈和大松动圈三个大类六个小类, 在此基础上提出了相应的支护机理和支护形式。该理论运用现场实测和模拟实验手段, 直观好用, 应用在巷道支护设计与施工, 取得了巨大的经济效益。

国外对地下工程松动圈的研究较多, 很多学者注意到了松动圈与支护的关系。主要有代表性的是: 印度学者 Dube 等人根据弹塑性应力分析发展了图示法确定松动圈的半径; 英国学者 B. N. 怀台克等人通过实验数据用数学模拟的方法确定松动圈的大小和产生的收敛量; 南非学者 Wojno 等人根据围岩松动圈的深度和侧帮膨胀量对围岩进行了分类;

收稿日期: 2012-07-19; 修回日期: 2012-09-12

作者简介: 题正义(1957-), 男, 辽宁阜新人, 教授, 主要研究方向为矿山压力与控制、“三下”开采与地表沉陷控制。

前苏联学者 Shemyakin 等人提出了不连续区的概念,并给出了计算不连续区厚度的经验公式^[2-3]。

1.2 巷道围岩松动圈测定工作原理

巷道围岩松动圈测定的方法较多,主要包括声波测试法、电阻率法、孔内摄像法等。本文采用的方法是声波测试法,测试仪器选用煤炭科学研究总院研制的 PHD-2 型声波检测仪,该仪器主要由发射系统、接受系统、控制器、主机计数板、电源、LED 液晶显示屏和键盘等组成(图 1)。声波测试法测试围岩松动圈的原理是声波在围岩中传播速度的变化,岩体和其它介质一样,当弹性波在岩体中传播时要发生几何衰减和物理衰减,在岩体中不同力学性质的结构面上弹性波要发生折射、散射和热损耗等物理现象,使得弹性波能量不断衰减造成波速降低。通过“声波传播时间与测试钻孔深度”的关系曲线,确定出测试巷道各测试钻孔围岩松动点的位置,用一条光滑的曲线连接各松动点即为测试围岩松动圈。

2 工程应用实例

2.1 工程概况

四通煤矿 6107N 回采工作面位于 -350 水平南一采区 6101N 首采面采空区东侧,中间留设有煤柱与采空区隔开。可采煤层为 6#煤层,煤厚为 3.0 m,坚固性系数 $f = 0.25$,伪顶为泥岩,直接顶为砂页岩,

老顶为粉砂岩,直接底与老底均为粉砂岩。煤层为单斜构造,煤层走向为 348°,倾角为 3°~15°,层理、节理裂隙发育。支护巷道为沿空巷道,掘进断面为矩形,尺寸为 4.6 m × 3.0 m,巷道沿煤层顶板掘进,总长度为 1 810 m。煤巷在未受采动影响条件下支护采用顶锚杆 $\Phi 18 \times 2\ 000$ mm 螺纹钢锚杆,间排距 1.0 m × 1.0 m,帮锚杆 $\Phi 16 \times 1\ 800$ mm 圆钢锚杆,间排距 1.0 m × 1.0 m,但在采动影响下,矿压增大、围岩变形严重、巷道维护困难、维修工程量大、成本增加,因此需要一种更有效的支护方式来保证正常生产。

2.2 围岩松动圈现场测定

围岩松动圈测试的巷道选择在 6107N 工作面回风平巷中,采用单孔测定方法,钻孔布置见图 2,巷道围岩松动圈曲线图见图 3,巷道围岩松动圈测定结果见表 1。

表 1 巷道围岩松动圈测定结果 mm

孔号	松动圈值
1	1200
2	1100
3	1100

从现场测试结果可知,6107N 工作面回风平巷围岩松动圈值为 1.1~1.2 m。



图 1 PHD-2 型声波检测仪

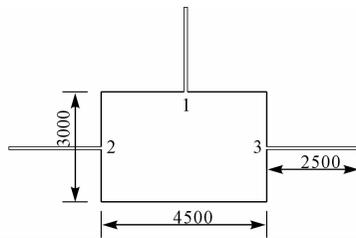


图 2 巷道围岩松动圈测定钻孔布置

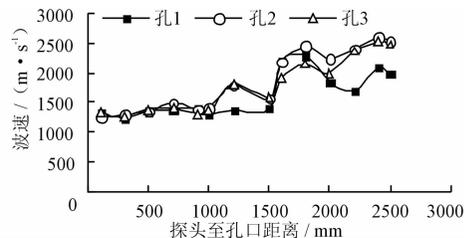


图 3 巷道围岩松动圈曲线图

3 数值模拟

数值模拟采用美国 Itasca 公司的通用离散单元法程序软件 UDEC3.0,离散单元法把岩体看作由离散的岩块和和不连续面组成,能够较好地适应不同岩性和不同开挖条件下的岩层运动,可以定量地分析任何一点的应力、应变和位移,对于节理的模拟,主要根据应力-应变准则,计算节理面上的剪应力和正应力,比较真实地模拟节理岩体中的非线性变形。

3.1 模型建立

计算采用 Mohr - Coulomb 强度准则,计算中所需的岩层岩体力学参数通过测试确定,见表 2,选择

6107N 工作面回风平巷作为模拟巷道,根据煤巷的地质条件,结合模拟目的,建立采动影响下巷道数值计算模型,见图 4。

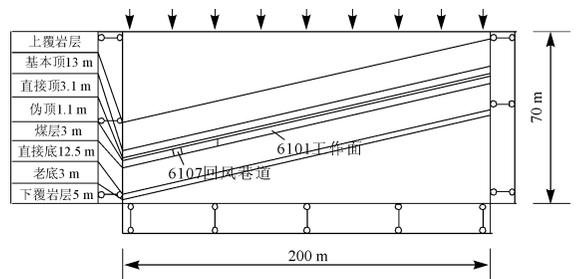


图 4 采动影响下回采巷道数值计算力学模型

表2 煤岩物理力学参数

岩层名称	MPa, (°)				
	泊松比 μ	弹性 模量	抗拉 强度	粘聚力	内摩 擦角
老顶	0.18	8951	2.86	62.23	51
直接顶	0.20	3653	1.41	5.23	48
伪顶	0.20	8370	1.46	2.62	36
煤	0.21	1778	0.21	2.81	33
直接底老底	0.16	7736	2.11	37.11	50

3.2 计算方案

模拟方案:采用实测法、理论计算法和工程类比法相结合的设计方法分别设计2种支护方案来模拟受采动影响下回风平巷的围岩水平、垂直应力分布,围岩活动状况,表面位移^[4-8]。详细如下:

(1) 支护方案 I: 锚网支护。顶锚杆采用 $\Phi 20 \times 2100$ mm 螺纹钢锚杆, 间排距 $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$, 并架设钢筋梯, 宽为 100 mm , 钢筋梯采用圆钢焊接制成, 圆钢直径为 $\Phi 10$, 顶网为金属网, 网格为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, 网宽为 800 mm 。帮锚杆采用 $\Phi 18 \times 2000$ mm 圆钢锚杆, 间排距 $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$, 帮网采用塑料网, 网格为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, 网宽为 800 mm 。锚杆托盘为 $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的铁托盘。

(2) 支护方案 II: 锚网索支护。顶锚杆采用 $\Phi 20 \times 2200$ mm 螺纹钢锚杆, 间排距 $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$, 并架设钢筋梯, 宽为 100 mm , 钢筋梯采用圆钢焊接制成, 圆钢直径为 $\Phi 12$, 顶网为金属网, 网格为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, 网宽为 800 mm 。帮锚杆采用 $\Phi 18 \times 2000$ mm 圆钢锚杆, 间排距 $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$, 帮网采用塑料网, 网格为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, 网宽为 800 mm 。锚索按照三花型布置, 锚索尺寸 $\Phi 15.24 \times 8000$ mm, 间距 3.2 m , 排距 2.0 m 。锚杆和锚索托盘分别为 $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 和 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 铁托盘。

3.3 计算分析

支护方案 I 和 II 的巷道附近位移矢量分布见图 5、巷道围岩塑性区分布见图 6、巷道围岩垂直应力分布见图 7、巷道水平应力分布见图 8。

支护方案 I 中, 巷道的表面位移量较大, 最终巷道的顶底板移近量为 307 mm 、两帮移近量为 294 mm 。巷道周边的塑性区在巷道周边形成花瓣状分布, 顶部塑性区高度为 4.2 m 左右, 底部塑性区为 3.7 m 左右, 左帮的塑性区宽度为 3.8 m 左右, 右帮的塑性区宽度为 4.1 m 左右。巷道周围垂直应力在两帮随着距巷道周边距离增大而先增大后减小, 左帮最大值在距巷道两帮 8 m 处, 右帮在距离巷道 7 m 处达到最

大值 20 MPa 左右, 在距离巷道周边 14 m 左右应力达到原岩应力 (14 MPa); 在顶底板随着距离巷道顶底距离增大而增大, 巷道周围水平应力在两帮随着距巷道周边距离增大而增大, 在距离巷道周边 16 m 左右应力恢复到原岩应力; 在顶底板随着距离巷道顶底距离增大而先增大后减小, 在距离巷道顶底板 6 m 左右应力恢复到原岩应力 (14 MPa)。

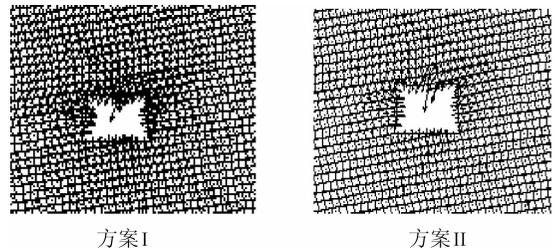


图5 巷道附近位移矢量分布

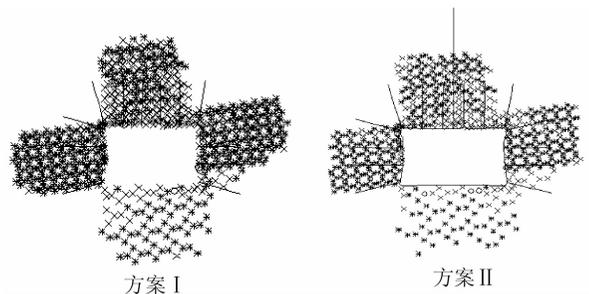


图6 巷道围岩塑性区分布

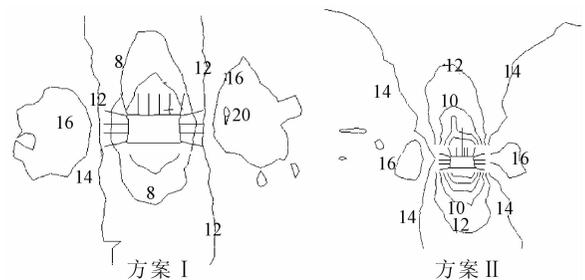


图7 巷道围岩垂直应力分布

支护方案 II 中, 巷道的表面位移得到了有效的控制, 最终巷道的顶底板移近量为 55 mm , 两帮移近量为 42 mm 。巷道周边的塑性区在巷道周边形成三角状分布, 顶部塑性区高度为 3.2 m 左右, 底部塑性区为 2.4 m 左右, 左帮的塑性区宽度为 3.1 m 左右, 右帮的塑性区宽度为 3.2 m 左右。巷道周围垂直应力在两帮随着距巷道周边距离增大而先增大后减小, 最大值在距巷道两帮 3.8 m 处, 可达到 16 MPa 左右, 在距离两帮 7.0 m 左右可恢复到原岩应力, 在顶底板随着距离巷道顶底距离增大而增大。巷道周围水平应力在两帮随着距巷道周边距离增大而增大, 在距离巷道底板 3 m 左右应力恢复到原岩应力。

通过模拟结果分析可知, 与支护方案 I 比较, 支

护方案Ⅱ的巷道表面位移量小,巷道周边的塑性区分布范围小,因此,选择支护方案Ⅱ作为6107N工作面回风平巷的支护方案。

4 矿压监测

矿压监测的目的是为了验证支护方案的有效性

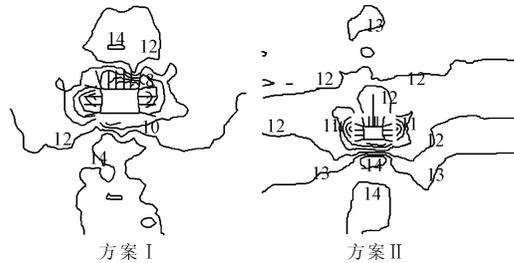


图8 巷道围岩水平应力分布

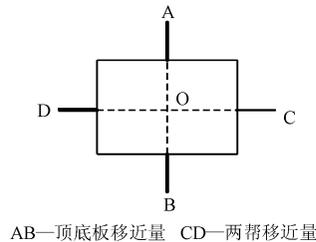


图9 矩形巷道表面位移监测断面布置

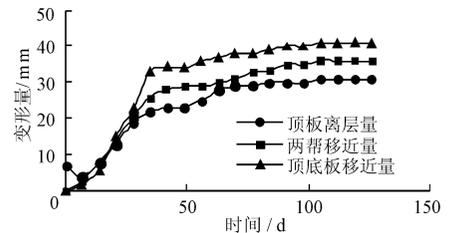


图10 移近量变化曲线图

从顶板离层量分析可知,顶板最大离层量为31 mm,这说明巷道顶板离层较小,顶板锚杆和锚索的参数设计是合理的,能有效地控制巷道顶板的变形。从两帮移近量、顶板移近量分析可知,两帮最大移近量为36 mm,顶板最大移近量为41 mm,说明支护能很好地控制围岩变形,巷道围岩趋于稳定。从总体观测结果看,该支护方式是合理可行的,有效地控制了巷道围岩的变形和顶板离层,确保了巷道良好支护效果。

5 结 语

(1)6107N工作面回风平巷围岩松动圈测定结果表明,垂直方向松动圈范围较平行方向的大,这与数值模拟结果和矿压监测结果一致。

(2)通过现场实测,数值模拟和矿压监测方法,确定了受采动影响下6#煤层松软煤巷的支护方案,即锚网索支护,顶锚杆 $\Phi 20 \times 2\ 200$ mm 螺纹钢锚杆,间排距为 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$,并架设钢筋梯,宽为100 mm,圆钢直径为 $\Phi 12$;帮锚杆 $\Phi 18 \times 2\ 000$ mm 圆钢锚杆,间排距 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$;顶网为金属网,帮网采用塑料网,网格为 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$,网宽为800 mm;锚索 $\Phi 15.24 \times 8\ 000$ mm,间距3.2 m,排距2.0 m。

(3)数值模拟结果和矿压监测结果表明,锚网索支护很好地改变了巷道围岩的力学性质,增强了

和数值模拟结果的合理性。监测内容包括巷道表面位移的观测和顶板离层的观测^[9]。选择6107回风平巷1 200 m至1 400 m段作为试验区域,布置两组矿压监测站,监测面监测点布置见图9。

对两组观测结果进行总结分析,移近量变化曲线见图10。

围岩的粘结力,巷道周边的塑性区范围明显变小,受邻近工作面的采动影响程度降低,围岩变形得到了有效的控制。

参考文献:

- [1] 薛顺勋, 聂光国, 等. 软岩巷道支护技术指南[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [2] 孙有为. 地下洞室的几何性质对松动圈的影响[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2006.
- [3] 万串串, 李夕兵, 马春德. 基于围岩松动圈现场测试的深部软岩巷道支护技术优化[J]. 矿冶工程, 2012, 32(1): 12-13.
- [4] 何满潮, 袁和生, 等. 中国煤矿锚杆支护理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 董方庭等. 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.
- [6] 谭永亮, 吴士良, 等. 矿山压力与岩层控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [7] 贾宝新. 采动影响下沿空巷道变形破坏与锚杆支护[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2011, 30(6): 810-813.
- [8] 王建华. 综放回采巷道锚网索支护设计[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2011, 30(1): 9-12.
- [9] 耿献文, 马全礼, 等. 矿山压力测控技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.