

跨采巷道动压变形特征数值模拟分析

高川, 李跃文

上海大屯能源股份有限公司, 江苏 徐州

收稿日期: 2022年9月24日; 录用日期: 2022年10月14日; 发布日期: 2022年10月26日

摘要

在矿山开采过程中, 在动压影响下巷道变形特征明显, 特别是工作面跨巷道回采时, 巷道受动压影响更为明显。本文采用数值模拟方法对跨采巷道的围岩变形特征进行了分析, 巷道原支护在跨采条件下难以承受采动动压, 导致巷道大变形; 在上覆工作面跨采采动压力影响下, 下方巷道顶底板累计变形量达1000 mm, 两帮变形量主要体现在巷道下帮, 上部的变形量不明显, 同时, 巷道底鼓量较大, 因此, 生产大巷在跨采前需采取专门的加固措施。

关键词

数值模拟, 跨采巷道, 变形, 采动压力

Numerical Simulation Analysis of Dynamic Pressure Deformation Characteristics of Cross Mining Roadway

Chuan Gao, Yuewen Li

Shanghai Datun Energy Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu

Received: Sep. 24th, 2022; accepted: Oct. 14th, 2022; published: Oct. 26th, 2022

Abstract

In the mining process, the roadway deformation characteristics under the influence of dynamic pressure are obvious, especially when the working face is across the roadway, and the roadway is affected by dynamic pressure more obviously. The paper uses a numerical simulation method to

analyze the surrounding rock deformation characteristics of the cross mining roadway. The original support of the roadway is difficult to bear the mining dynamic pressure under the cross mining condition, resulting in large deformation of the roadway; Under the condition of cross mining dynamic pressure, the cumulative displacement of the roof and floor of the roadway exceeds 1m, and the displacement of the two sides is mainly caused by the lower side, the deformation of the upper side is small, and the deformation of the bottom drum is obvious. The production roadway shall be reinforced before cross mining.

Keywords

Numerical Simulation, Cross Mining Roadway, Deformation, Mining Pressure

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在矿山开采过程中, 很多巷道矿压显现主要是由受工作面采动压力影响的, 在动压影响下巷道变形特征明显, 而在诸多受动压影响的情况下, 工作面垮巷道回采时, 巷道受动压影响最为明显。

国内外学者针对受动压影响巷道变形及支护加固控制技术进行了研究。许帮贵等[1]采用预加固技术对近距离跨采巷道进行了采动加固; 卢鑫等[2]分析了采动影响下近距离跨采巷道围岩变形特征; 王念雷等[3]提出了相应的措施对深部工作面的跨采巷道进行处理; 季成等[4]对跨采巷道的冲击危险性进行了探讨; 牟文强等[5]针对跨采巷道的流变特征进行了分析; 胡新宇等[6]应用理论解析法计算了跨采巷道围岩应力集中系数; 贾民等[7]对深部近距离跨采煤巷的变形及支护控制进行探讨; 魏世义等[8]研究了高地应力下跨采巷道的变形特征; 镐振等[9]采用数值模拟方法研究了跨采巷道围岩应力分布特征。因此, 如何保证跨采期间巷道围岩的稳定, 是跨采巷道围岩控制的难题。

2. 数值计算模型

数值计算模型以徐庄煤矿跨采工作面为背景, 计算模型长度 500 m, 高度 220 m, 如图 1 所示。工作面主采煤层为 7 煤, 煤层平均厚度 5.26 m, 平均倾角为 28°。受跨采影响的大巷与工作面底板距离为 15 m, 岩层位于细砂岩(14.5 m 厚)和海相泥岩(3.5 m 厚)之中, 海相泥岩、细砂岩属中硬岩层。

根据工作面赋存条件, 为模拟工作面上覆岩层载荷对工作面及大巷的影响, 在顶板边界施加 8.849 MPa 载荷; 其中, 根据地应力实测资料, 该区域受水平应力影响, 因此在模东西方向施加 14.084 MPa 的水平应力, 在模型的前后方向(Y 方向)施加 11.436 MPa 的水平应力, 模型内部材料根据实际情况赋相应的力学参数。除施加应力外, 将位移固定边界条件赋予模型边界, 即模型水平方向施加单向的水平约束, 模型下部施加水平及垂直两种约束, 岩层采用摩尔-库仑本构。

3. 数值计算方案

为了选取最恰当的支护方式, 加强大巷在采动期间的稳定性, 故模拟中需对锚杆的支护参数作如下两种分类:

方案一: 跨采影响大巷采用直径 20 mm 的螺纹钢树脂锚杆, 设计为 800 × 800 mm 的锚杆间排距, 共打设 13 根, 外喷混凝土, 厚度为 100 mm, 锚杆的屈服荷载为 11.8 KN, 破坏荷载 22 KN。其他参数保持

不变, 采用不同长度的锚杆, 长度分别为 2.6 m、2.2 m、2.0 m、1.8 m、1.6 m, 了解由此对大巷的承载与变形产生哪些变化。

方案二: 跨采影响大巷采用直径 20 mm 的螺纹钢树脂锚杆, 其他参数保持不变, 采用不同的间排距, 分别为 1.0 m、0.8 m、0.7 m、0.6 m, 外喷厚度为 100 mm 混凝土, 锚杆的屈服荷载为 110.8 KN, 破坏载荷 220 KN。

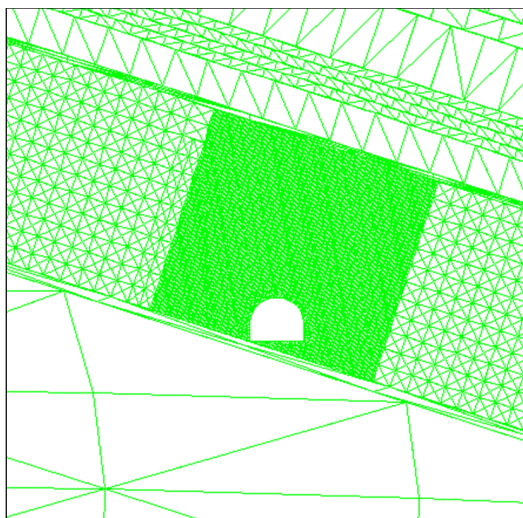


Figure 1. Structural unit diagram of rock mass

图 1. 岩体结构单元图

4. 计算结果分析

方案一计算结果

模型边界条件施加后进行初始地应力平衡计算, 而后按照现场情况进行跨采巷道开挖、打设锚杆及喷射混凝土, 而后进行工作面的回采, 按照实际开采顺序进行回采, 工作面长度为 180 m。工作面回采后上覆岩层垮落情况如图 2 所示, 巷道围岩变形及塑性区发展情况如图 3 和图 4 所示。

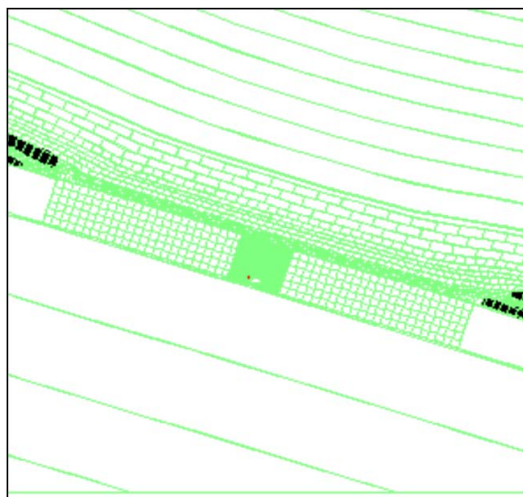


Figure 2. Roof fall after mining when anchor bolt $L = 1.6$ m

图 2. 锚杆 $L = 1.6$ m 时采后顶板冒落图

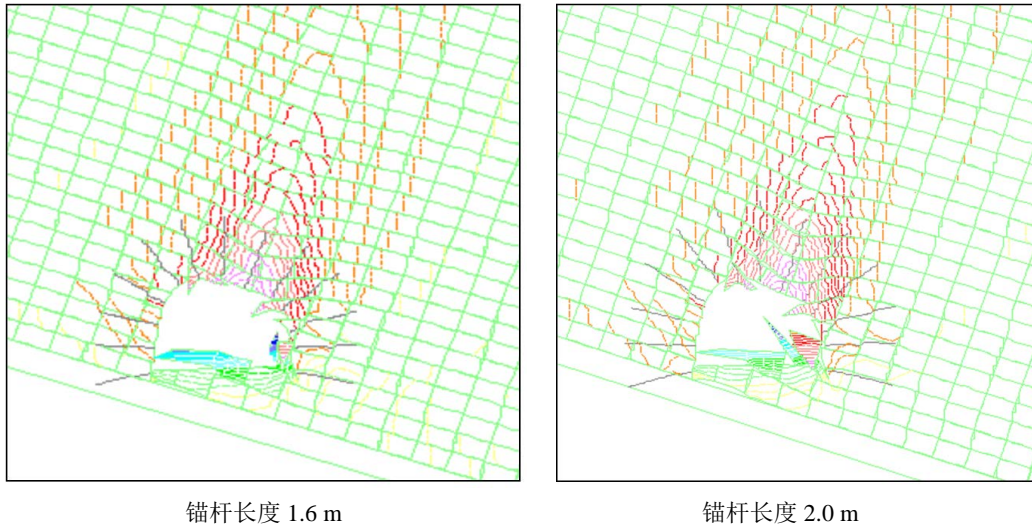


Figure 3. Contour map of surrounding rock displacement of roadways with different bolt lengths
图 3. 不同锚杆长度巷道围岩位移等值线图

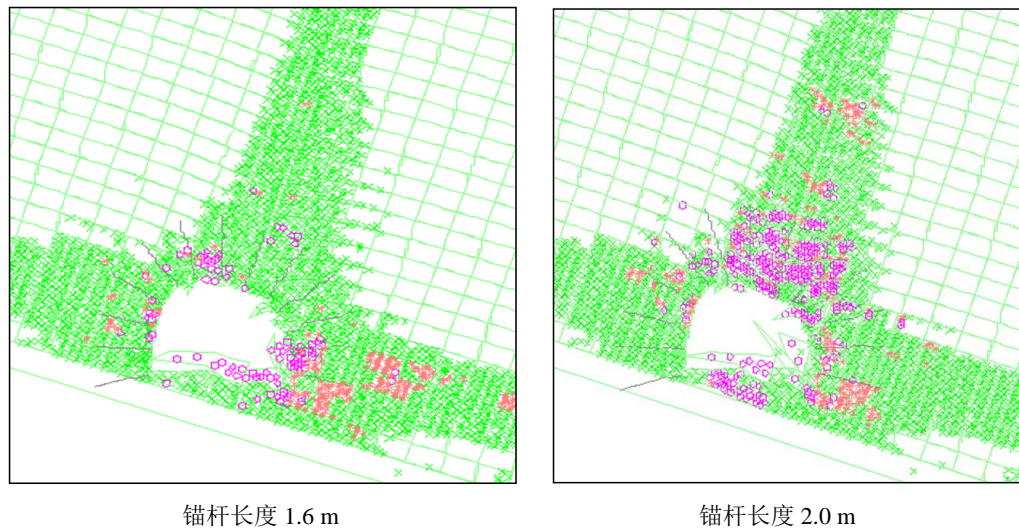


Figure 4. Surrounding rock failure areas of roadways with different bolt lengths
图 4. 不同锚杆长度巷道围岩破坏区域

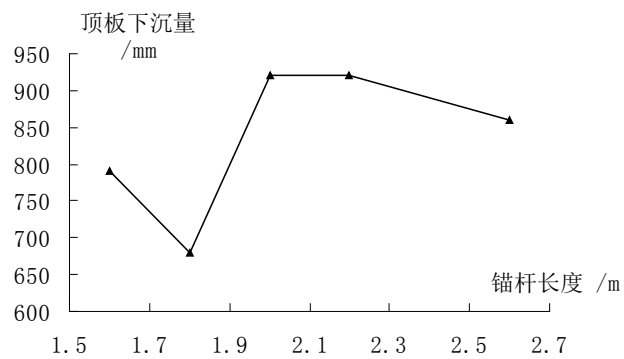


Figure 5. Roof subsidence of roadway with different bolt lengths
图 5. 锚杆长度不同时巷道顶板下沉量

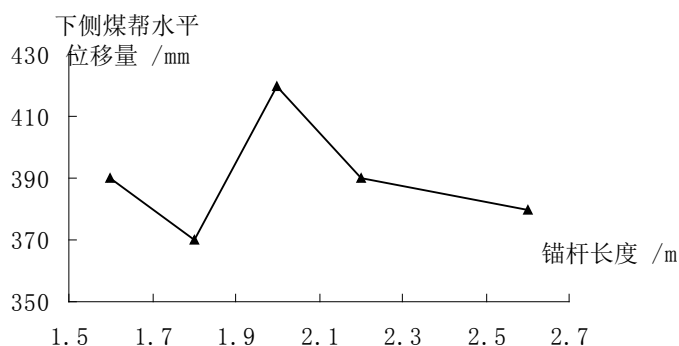


Figure 6. Horizontal displacement of the wall with different anchor lengths

图 6. 锚杆长度不同时帮部水平位移量

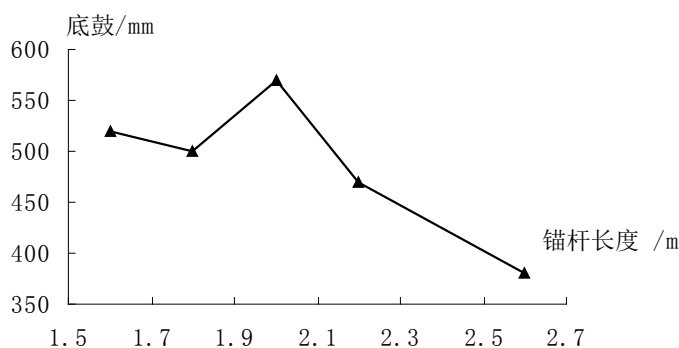


Figure 7. Bottom heave with different anchor bolt lengths

图 7. 锚杆长度不同时的底鼓量

Table 1. Impact of bolt length on main roadway deformation

表 1. 锚杆长度对大巷变形的影响

锚杆长度/m	顶板下沉/mm	底鼓/mm	帮部位移/mm
1.6	790	520	390
1.8	680	500	370
2.0	920	570	420
2.2	920	470	390
2.6	860	380	380

从图 5、图 6、图 7 及表 1 中可以看出, 不管锚杆的长度为多少, 大巷的顶底板位移累计超过 1 m, 这就导致在采动过程针对大巷的维护是十分困难的。两帮移近量主要由体现在巷帮下部, 上部围岩的变形量较小。起初大巷围岩的块体大小相等, 跨采后围压增大, 导致底板、下帮煤岩体向巷道内产生运移, 部分煤块甚至发生了膨胀现象。采用不同锚杆长度时, 巷道围岩变形显现不同, 当锚杆长度为 1.8 m 时, 巷道顶板变形量最小, 当锚杆长度为 2.6 m 时, 巷道底鼓变形量最小。

方案二计算结果分析

跨采影响大巷采用直径 20 mm 的螺纹钢树脂锚杆, 采用不同的间排距 1.0 m、0.8 m、0.7 m、0.6 m, 外喷厚度为 100 mm 混凝土, 锚杆的屈服荷载为 110.8 kN, 破坏荷载 220 kN。计算结果如图 8 所示。

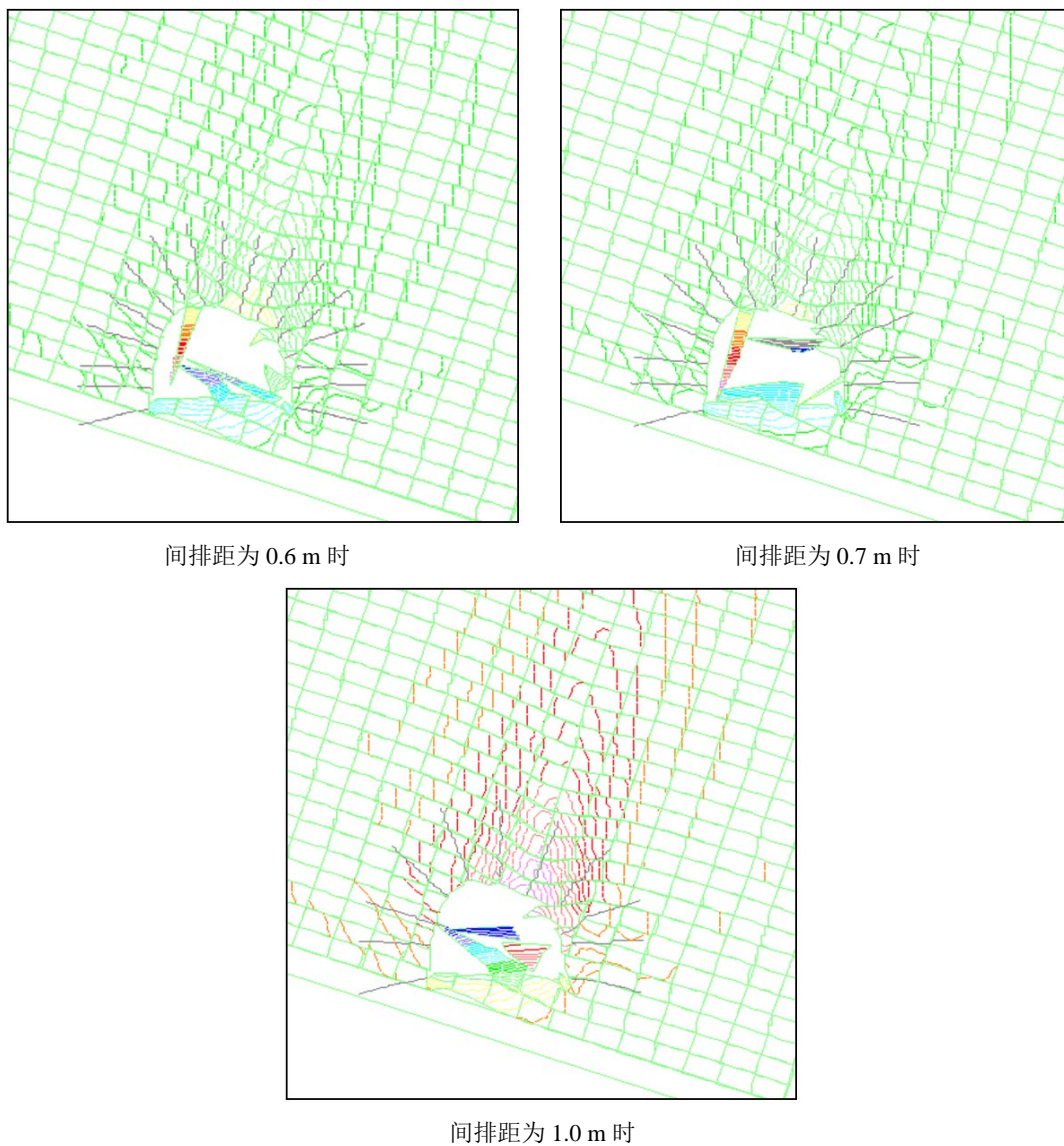


Figure 8. Roadway displacement contour map with different row spacing
图 8. 不同间排距时巷道位移等值线图

Table 2. Effect of row spacing between bolts on deformation of main roadway
表 2. 锚杆间排距对大巷的变形影响

间排距	顶板下沉 /m	底鼓 /m	帮部位移 /m
0.6	0.82	0.53	0.39
0.7	0.77	0.45	0.37
0.8	0.92	0.57	0.42
1.0	0.80	0.50	0.38

从表 2 中可知, 锚杆间排距设为 700 mm 时, 巷道顶板变形量、底板变形量均为较小, 但受到跨采影响依然较大, 因此在上部工作面跨采期间需对巷道进行加固。

5. 巷道复合加固关键技术

根据大巷变形情况及巷道维修加固经验, 采用复合加固技术进行跨采巷道的支护加固设计:

1) 全断面采用高强预应力锚杆(索)支护, 确保围岩结构的整体稳定性, 结合金属网和梯子梁及底板补打地锚杆等支护构件结合, 使围岩支护形成稳定结构, 有效控制巷道断面变形。

2) 高强预应力短锚杆支护技术控制巷道底鼓。前述分析表明, 跨采巷道底鼓变形明显, 高应力传递自底板溢出明显, 表现在巷道底部破裂、底臃, 浅部围岩呈挤压、碎胀状态, 针对以上分析, 除帮拱采用高强螺纹钢锚杆、锚索支护及特殊段采用复合支护外, 底板采用短锚杆全长锚固的支护方法, 在不扰动深部围岩的基础上, 通过短锚杆全长锚固, 有效约束和加固巷道底部碎胀围岩, 有利于整个断面形成稳定的自稳承载结构。

3) 复合支护中 U 型钢支架。针对跨采巷道高应力显现特征, 在采用锚杆(索)主动约束围岩后, 应用 U 型钢支架加强支护, 加强巷道围岩的整体性、标准化。即形成锚杆(索) + U 型钢支架 + 填充体 + 喷射混凝土的复合支护结构。

6. 结论

1) 计算结果表明, 巷道原支护在跨采条件下难以承受采动动压, 导致巷道大变形。

2) 在上覆工作面跨采采动压力影响下, 下方巷道顶底板累计变形量达 1000 mm, 两帮变形量主要体现在巷道下帮, 上部的变形量不明显, 同时, 巷道底鼓量较大。

3) 采取相应的支护方案后, 巷道顶板变形量、底板变形量均为较小, 但受到跨采影响依然较大, 生产大巷在跨采前有针对性地加固设计与施工仍十分必要。

参考文献

- [1] 许帮贵, 王凯. 近距离跨采巷道预加固技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(4): 194-199.
- [2] 卢鑫, 郑永胜, 闫明晨, 等. 近距离跨采巷道矿压显现规律及支护研究[J]. 煤炭技术, 2019, 38(4): 47-50.
- [3] 王念雷. 深部工作面近距离跨采巷道围岩加固技术[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2): 10-14.
- [4] 季成, 孔令海, 王寅, 等. 跨采工作面下部巷道的冲击危险性评价及防治[J]. 煤矿开采, 2017, 22(1): 84-87.
- [5] 牟文强, 黄万朋, 郭忠平, 等. 跨采巷道强流变膨胀性围岩破坏分析及控制[J]. 煤矿安全, 2016, 47(4): 207-210.
- [6] 胡新宇, 张华磊, 王连国. 跨采巷道围岩应力集中系数解析[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(3): 658-664.
- [7] 贾民, 刘安秀, 袁永. 深部近距离跨采煤巷围岩控制技术研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(9): 35-37.
- [8] 魏世义, 镐振, 郜进海. 高水平应力跨采巷道围岩控制技术[J]. 煤矿安全, 2013, 44(9): 116-119.
- [9] 镐振, 史明方, 周俊帆. 跨采巷道围岩应力分布特征数值模拟研究[J]. 能源技术与管理, 2013, 38(3): 34-36.