

# 深部回采巷道垂直挤压型底鼓控制技术研究

段建雷\*

(山西泽州天泰岳南煤业有限公司,山西 晋城 048000)

**摘要:**为解决回采巷道底板变形量大的问题,岳南矿以215101工作面为工程背景,采用FLAC 3D数值模拟软件对影响巷道底鼓因素进行分析,发现巷道底鼓量受岩性影响显著,软底巷道更容易产生底鼓现象,且直接底的岩性对巷道底鼓量的影响更大。同时,对不同跨度及不同直接底厚度下的巷道底鼓量进行分析,设计了锚杆锚索联合支护优化方案。经实践,巷道底鼓量得到有效控制,该支护优化方案具有一定的应用价值。

**关键词:**回采工作面;巷道底鼓;支护优化

**中图分类号:**TD353 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2025)06-0088-03

随着矿井采掘深度的日益加深及开采强度的持续增强,地表浅部煤层资源逐渐枯竭,矿井的采掘活动已逐步转向埋藏更深、围岩应力更为显著的煤层进行。在开采深部煤层过程中,受动压等外部因素影响,巷道围岩受力情况十分复杂,容易出现巷道变形量增大、底鼓现象严重等问题,加大开采难度。回采巷道是典型的动压巷道,由于高应力集中,回采巷道大多存在底鼓现象,底鼓量普遍达到300~1200mm。严重的底鼓使得巷道断面缩减,回采工作面材料及人员无法正常通行,严重影响煤矿正常安全生产<sup>[1]</sup>。因此,治理回采巷道底鼓问题十分重要。基于以岳南矿215101工作面为工程背景,基于矿井地质条件,采用FLAC 3D数值模拟软件,对回采巷道底鼓问题做进一步研究,同时提出底鼓治理方案。

## 1 矿井概况

岳南矿位于沁水煤田中部,井田面积为11.67km<sup>2</sup>,核定生产能力120×10<sup>4</sup>t/a,矿井地质构造类型属简单类型,水文地质类型属于中等类型。215101工作面位于井田二采区西部,现开采15#煤层,煤层平均厚度为5.28m,工作面长527m,倾斜长度200m。工作面回采期间受围岩应力影响,巷道底板变形,需对原有的巷道支护方式进行优化。

## 2 FLAC 3D数值模拟分析

在深部矿井中,影响巷道底鼓的因素很多,为进一步探明相关因素对底鼓量的影响,利用数值模拟软件

对直接底及基本底岩性、巷道跨度、直接底分层厚度3个因素进行研究。采用FLAC 3D模拟软件,分析3种参数下巷道底鼓量及底板应力情况,分析底鼓影响的主次因素,为巷道支护提供依据<sup>[2]</sup>。

根据岳南矿215101工作面巷道现场实际地质条件建立数值模型,模型尺寸300m×150mm×79.59m,巷道为矩形断面,断面尺寸为5m×4m,15#煤层厚度7.99m,巷道顶板为泥岩、中砂岩,巷道底板为泥岩、细砂岩。固定模型4个侧面,根据容重和埋深情况在模型顶部施加均布载12.1MPa,对模型进行网格划分。考虑计算精度及计算时间的影响,在靠近巷道位置进行细划分,在距离巷道较远的位置进行适当的粗划分,共划分128520个单元和140208个节点,采用摩尔库伦本构关系分析巷道底鼓变形。就直接底及基本底岩性对底鼓量的影响进行研究,分别模拟分析以下4种情况:①直接底为软岩、基本底软岩;②直接底为软岩、基本底硬岩;③直接底为硬岩、基本底软岩;④直接底为硬岩、基本底硬岩。4种情况下垂直位移云图如图1所示。

根据图1可知,当直接底与基本底均为软岩巷道时,巷道底板的最大底鼓量为417mm;当直接底为软岩、基本底为硬岩时,巷道最大底鼓量为151mm,较直接底与基本底均为软岩时降低266mm;当直接底为硬岩、基本底为软岩时,巷道底鼓量最大值为77.3mm,较直接底与基本底均为软岩巷道时降低339.7mm;当直接底与基本底均为硬岩时,巷道底板底鼓量最小为

\* 收稿日期:2024-07-29

作者简介:段建雷(1986-),男(汉族),山西晋城人,工程师,现从事煤矿技术管理工作。

15.9mm。综上可知,随着底板岩性逐步增强,底板的底鼓量逐步减小,说明底鼓量受岩性影响显著,软底巷道更容易产生底鼓现象。对比直接底与基本底对底鼓量的影响可以看出,直接底的岩性对巷道底鼓量的影响更大。对不同巷道跨度下的巷道底板底鼓量进行分析,进而分析跨度对底鼓量的影响<sup>[9]</sup>。不同巷道跨度底板底鼓量变形曲线如图2所示。

根据图2可知,随着跨度从4m增大至7m,巷道顶板下沉量、底板底鼓量均呈先增大后平稳的趋势,同时顶底板移近量与两帮移近量呈相同特征,相同巷道跨度下顶板下沉量小于底鼓量,同时巷道两帮的移近量

小于顶底板的移近量。巷道跨度从4m增大至7m时,巷道顶板移近量增大120.7mm,巷道底板的底鼓量增大93.8mm,巷道两帮移近量增大了196.2mm,可以看出随着跨度的增大,巷道的两帮位移量变化最为明显,顶板的变形量次之,巷道的底鼓量最小。就直接底分层厚度对巷道变形量的影响进行分析,分别研究直接底分层厚度0.6m、1.2m、1.8m和2.4m四种情况,不同直接底分层厚度下围岩变形曲线如图3所示。

根据图3可知,随着直接底厚度的不断增加,巷道变形呈波动型特性。随着直接底厚度从0.6m增厚到2.4m,巷道顶板下移量出现先增大后减小的趋势;从

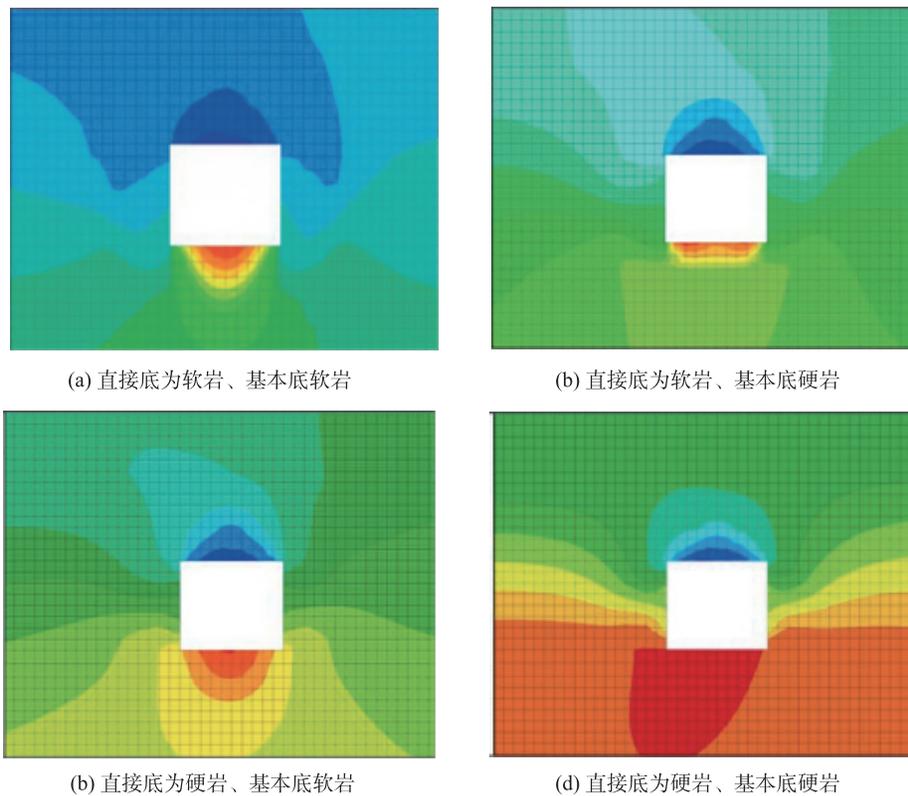


图1 四种情况下垂直位移云图

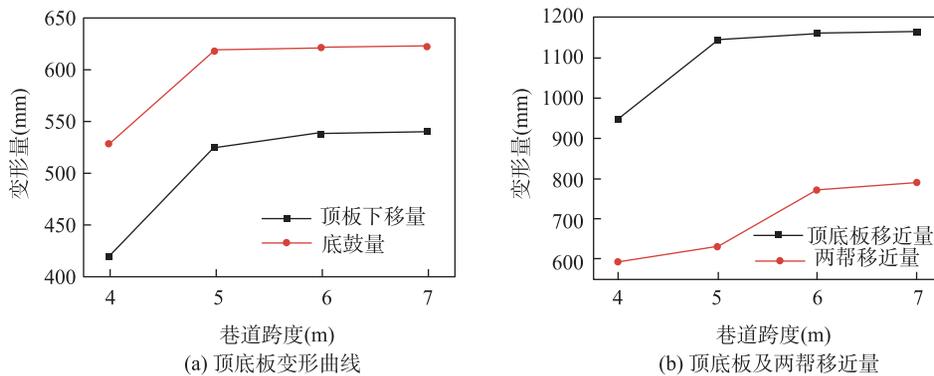


图2 不同巷道跨度底板底鼓量变形曲线

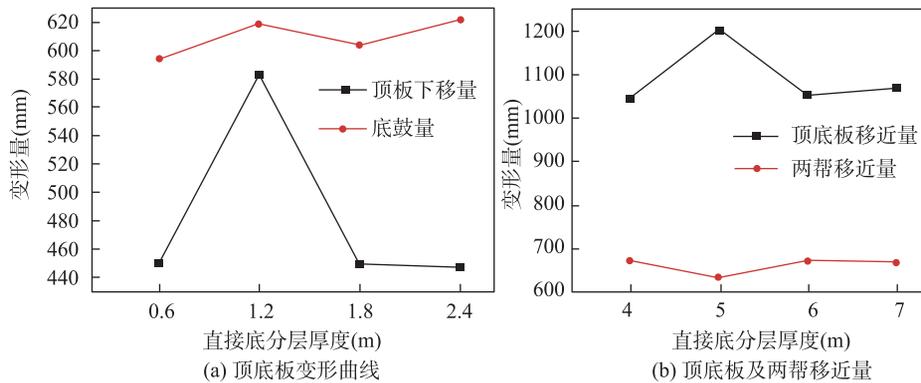


图3 不同直接底分层厚度下围岩变形曲线

0.6m增加到1.2m时,顶板下移量从449.8mm增大至582.3mm,增大了132.5mm;继续增加至1.8m时,下移量减小132.8mm;继续增加到2.4m时,顶板下移量减小2.6mm,下降明显降低。而顶底板移近量呈先增加后下降再增加趋势,直接底的厚度从0.6m增加到1.2m时,顶底板移近量增大1567mm;由1.2m增加到1.8m时,顶底板移近量减小147.6mm;由1.8m增加到2.4m,移近量增大15.3mm。综上可知,直接底厚度对巷道底鼓变化影响不明显<sup>[4]</sup>。

### 3 支护优化方案设计研究

#### 3.1 巷道支护优化方案设计

根据模拟结果对巷道进行支护优化,在原有基础上,将原本垂直布置的外侧锚杆向外倾斜 $30^\circ$ ,锚索规格调整为 $\varnothing 26\text{mm} \times 9500\text{mm}$ ,锚索间排距调整为 $1300\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,锚索预应力调整为150kN,采用6卷树脂锚固剂,锚索托盘采用 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 12\text{mm}$ 规格,采用网格为 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的菱形金属网。两帮的两侧锚杆向巷道两侧倾斜 $30^\circ$ 。为保证底板的底鼓量处于可控范围,在底板两侧底角设置 $\varnothing 22\text{mm} \times 2400\text{mm}$ 螺纹钢高强度锚杆,锚杆向巷道两侧倾斜 $45^\circ$ ,同时采用4根直径48mm的无缝钢管对底板进行加固,锚杆长2200mm,间排距设置为 $700\text{mm} \times 700\text{mm}$ ,并铺设金属网<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 巷道变形监测

支护完成后,为验证支护方案的可行性,在巷道600~700m范围内设置7个监测站,对巷道进行两个多月的监测,随着监测时间的延长,巷道底板变形量呈逐步增大的趋势,巷道底板的整体垂直位移变形可分为两个阶段。第一阶段(30d前),巷道底板的变形量快速增大,位移量大多在此阶段产生;第二阶段(30d后),巷

道底板的垂直位移增大幅度明显减弱,经过支护补强后,巷道底板变形量均控制在合理范围内,巷道底板变形量最大值为71mm,处于可控范围,说明支护优化方案可行。

### 4 结论

岳南矿针对215101工作面回采期间,巷道底鼓导致的巷道围岩变形,采用FLAC 3D数值模拟软件,对巷道顶底板岩性、巷道跨度、直接底分层厚度三个因素进行研究,分析底鼓影响的主次因素,设计巷道支护优化方案。通过研究得出以下结论:

(1)巷道底鼓量受岩性影响显著,软底巷道更容易产生底鼓现象,其中直接底的岩性对巷道底鼓量的影响更大。

(2)随着跨度从4m增大至7m,巷道顶板下沉量、底板底鼓量均呈先增大后平稳的趋势,顶底板移近量与两帮移近量呈现相同特征。

(3)经过支护优化,巷道底鼓量得到有效控制,最大的底板位移量仅为71mm,说明该支护方案可行。

#### 参考文献:

- [1] 吴少康,张俊文,徐佑林,等.煤层群采动下围岩应力演化规律及协同控制技术研究[J].煤炭科学技术,2024,52(3):24-26.
- [2] 秦潞.回采巷道底鼓机理分析及控制技术研究[J].能源与节能,2021(1):97-98,115.
- [3] 石峰.镇城底矿深部回采巷道底鼓控制技术研究[J].机械管理开发,2019,34(8):277-278.
- [4] 崔健.“挤压—挠曲”复合底鼓机理及相似模拟技术研究[J].山西焦煤科技,2014(7):5-7.
- [5] 王红伟,张建华,曾佑富.倾斜煤层软岩巷道底鼓机理分析及控制技术[J].煤炭工程,2012(6):13-16.