

深部高应力软岩巷道底鼓锚注技术研究

李亚鹏, 张百胜, 刘臻保, 姜精鹏, 杨旭明

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

[摘要] 针对阳煤五矿赵家分区井底车场装车线巷道的剧烈底鼓, 通过底板岩体结构特征分析、岩体力学实验、岩石微观结构分析, 在构造应力场下利用 FLAC^{3D} 内置的应变软化模型与摩尔-库伦模型分别对巷道分析, 得出高应力软岩巷道剧烈底鼓的机理: 泥岩底板由于应变软化, 其水平应力释放较大使得应力较低, 在两帮变形导致的二次水平应力影响下, 发生剪胀扩容引起剧烈底鼓。当底板进行锚注支护并对两帮进行加强支护后, 经 FLAC^{3D} 数值模拟与现场工程应用, 表明采用底板锚注技术及强帮措施可以有效控制底鼓。

[关键词] 高应力; 软岩; 底鼓; 锚注

[中图分类号] TD353 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2015) 05-0050-03

Anchored Grouting Technology of High-stress Soft-rock Roadway in Deep Mine

近年来, 高地应力条件下高强度的巷道支护理论与技术的研究, 强力锚杆、强力锚索支护系统的开发使软岩巷道的顶板与两帮的支护问题得到有效解决^[1]。经研究, 高应力软岩巷道具有大变形、高压、难以支护等特点^[2]。虽然高地应力条件下高强度的巷道支护理论与技术的研究有了较快的发展^[3], 但受限于施工设备及技术和对底板支护的重要性认识不足, 未能较好地解决巷道底鼓问题。在底鼓控制方面, 长期以来人们过多关注底板的研究和处理, 忽略了两帮强度对底鼓的影响^[4], 因此往往缺乏对底鼓的有效控制。

1 工程背景

阳煤五矿赵家分区井底车场埋深 800m, 掘进时, 井底车场装车线巷受损段巷道共计 70m。巷道顶板主要为 3m 厚的泥岩及 9m 厚的细砂岩, 底板主要为 9m 厚泥岩。通过底板围岩力学实验测得: 泥岩单轴饱和抗压强度 33MPa, 属于典型的高应力底板软岩巷道。巷道断面为直墙半圆拱形, 净高 4.2m, 净宽 5.2m, 喷厚 0.15m, 巷道原支护采用锚网索喷浆联合支护。该巷道自掘进至今, 顶拱部挤压变形下沉量平均 300mm, 两帮收缩量平均 300mm, 底鼓量平均 1000mm, 底鼓量占到巷道变形量的 62.5%, 严重影响该矿正常生产与运行。

2 底板破坏原因分析

2.1 岩石矿物成分分析

由岩石物质成分分析可知: 该矿底板泥岩中含

有高岭石、伊利石等黏土矿物, 所占比例超过矿物总含量的 50%。高岭石主要是遇水泥化, 并不具备膨胀的特性, 但伊利石具有遇水膨胀性。这些成分体现了高应力软岩巷道底板岩体强度低、遇水膨胀、承载力小的特点。

2.2 底鼓特征分析

从现场观测可知: 原始层状完整的底板岩体已经破碎成大小不等的块体, 底板两帮侧的岩体较中部的岩体破碎松散, 可见巷道底板强度已较大降低。巷道开掘后, 围岩应力重新分布, 破碎底板岩体沿节理面发生持续的转动、错动或滑移, 产生显著剪胀变形^[5]; 由于底板处于临空状态, 围岩应力重新分布和远场高构造应力作用下, 导致底板破碎岩体流动变形, 即产生挤压流动性底鼓^[6]。同时两帮在支承压力的作用下形成破碎区和塑性流动区并向巷道内挤压, 对底板形成“二次水平应力”, 底板在“二次水平应力”作用下, 底鼓再次加剧。

2.3 数值模拟分析

岩石力学测试表明, 摩尔-库伦模型不能反映岩体的后破坏强度弱化特性, 而 FLAC^{3D} 内置的应变软化模型可通过弱化岩石力学参数实现岩体的应变软化特性。由于处于高应力下的深部软弱岩体在开挖后应力瞬间释放, 导致围岩未支护前早已进入强度弱化阶段^[7], 软弱无支护状态下的底板表现尤甚。

在研究该矿地质资料的基础上, 采用 FLAC^{3D} 内置的应变软化模型, 建立几何模型: 尺寸 60m ×

[收稿日期] 2015-03-16

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.05.014

[作者简介] 李亚鹏 (1988-), 男, 山西高平人, 硕士研究生, 研究方向为矿山压力与岩层控制。

[引用格式] 李亚鹏, 张百胜, 刘臻保, 等. 深部高应力软岩巷道底鼓锚注技术研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (5): 50-52, 56.

40m×2m, 14920 个单元, 22868 个节点。模型的四周侧面边界设置水平 0 位移约束, 底部为铅垂 0 位移约束, 上部为自由边界, 施加上覆岩层 20MPa 载荷, 侧压系数取 1.5。

图 1 (a)、(b) 中, 正值表示水平位移量向右, 负值表示水平位移量向左; 图 1 (c)、(d) 中负值表示压应力。由图可知: 底板采用应变软化模型时, 底板出现显著的水平位移, 且由两帮向底板中部逐渐降低, 而摩尔-库伦模型计算所得结果并不能很好地体现出软岩底板的水平位移变化。由图 1 (c) 可知: 底板采用摩尔-库伦模型时水平应力降低区主要在两帮和顶板, 底板水平应力降低范围较小; 采用应变软化模型后两帮和顶板水平应力降低区范围加大, 底板深部出现较大范围水平应力降低区。采用应变软化模型时 (图 1 (d)), 底板软化后两帮和顶板水平应力降低区范围加大, 底板深部出现较大范围水平应力降低区。在较大水平应力作用下, 在距底板下方 3.5m 处出现应力集中区, 应力集中系数 1.25~1.4。水平应力降低区距底板中部 2.5m, 表明巷道底板浅部围岩已经产生破坏, 强度降低, 无法承载较大的水平应力, 同时由于底板的破坏深度加大, 底板水平应力增高区向底板深部转移。

3 底鼓控制方案

通过对巷道底鼓的主要原因进行分析研究可知, 巷道围岩是由顶板、底板、两帮组成的复合结构体, 该矿井底车场底鼓量大, 只有对底板进行与顶板同样强度的支护措施, 才能使巷道断面受力均匀^[8]; 同时已有相关工程实践证明, 加固两帮可在一定程度上控制深井巷道底鼓。因此, 采用护底强帮的方法来加固巷道^[9]。

底板锚注技术采用高强度组合锚索, 紧固于底板上的梁网砣体, 并在其下注浆加固, 起到强化底板岩体作用, 使巷道全断面形成均匀受力。

3.1 优化方案

(1) 方案一 (原支护) 巷道两帮及顶板打设锚杆并挂钢筋网, 锚杆间排距为 700mm×700mm, 巷帮每排 2 根, 拱顶每排 9 根, 最下排帮锚杆距底板不大于 400mm; 顶板锚索间排距为 1200mm×1400mm, 配合 16 号槽钢, 正中 1 根, 中线往外各 2 根, 每排 5 根。

(2) 方案二 (底板锚注+两帮补强) 在原支护的基础上, 对两帮进行锚索补强, 锚索为 $\phi 17.8\text{mm} \times 6200\text{mm}$ 低松弛预应力钢绞线, 每排补

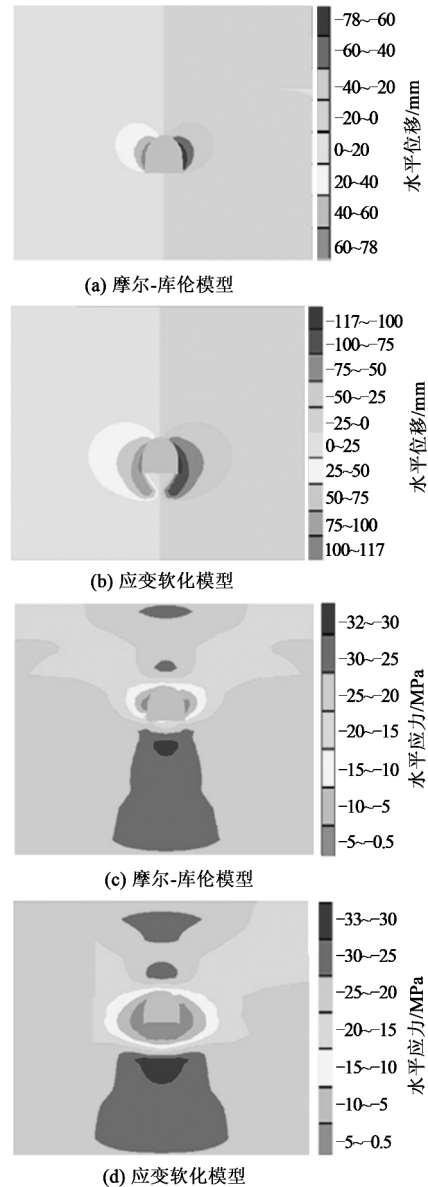


图 1 两模型下水平位移、应力云图

打 1 根, 距底板 0.8m, 排距 1.4m; 对底板采用组合锚索锚注技术进行加固, 锚索长 12m, 间排距 1400mm×1400mm, 中部组锚孔垂直底板, 靠两帮处孔角外摆 15°。

3.2 模拟结果分析

3.2.1 最小主应力对比分析

通过最小主应力可以判定围岩内部是否存在拉应力^[10]。图 2 (a) 为巷道原支护最小主应力云图, 可知在巷道底板存在拉应力, 最大值 0.64MPa。最小主应力从巷道表面向外逐渐增加至原岩应力, 应力降低区边界距底板中部 8m, 距底角两侧 6m, 距两帮 7m, 距顶板 4m, 可知底角两侧比中部较快恢复至原岩应力。图 2 (b) 为护底强帮后最小主应力云图, 可知拉应力最大值降低为 0.19MPa, 应力降低区边界距底板中部减小为 5m,

距底角两侧减小为 2.5m, 距两帮 3.5m, 距顶板 3m。可知护底强帮与底板无支护相比, 底板及两帮应力降低区范围明显减小。采用底板锚注技术支持并加强巷帮支护后, 能够有效地控制底鼓量, 减轻底板受拉破坏程度。

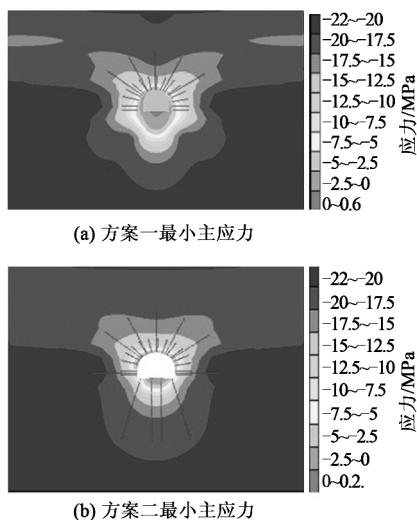


图 2 两方案最小主应力云图

3.2.2 铅垂位移对比分析

两支护方案下的底板位移量如图 3 所示, 其中正值表示位移向上, 负值表示位移向下。由数值模拟结果可知: 在原支护方案下最大底鼓量、顶板下沉量、两帮移近量分别为 206mm, 72mm, 89mm; 优化支护后, 最大底鼓量、顶板下沉量、两帮移近量分别为 31mm, 60mm, 62mm。通过对比可知优化支护后比原支护底鼓量、顶板下沉量、两帮移近量分别减小了 85.0%, 16.7%, 30.3%, 两帮和底板变形量得到明显控制。主要由于底板支护及强帮后, 底板承载能力大幅提高, 同时巷道全断面受力均匀。

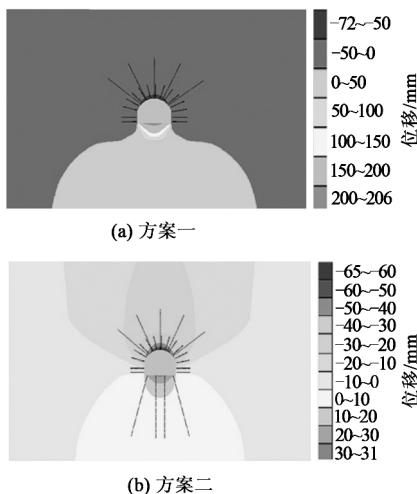


图 3 两方案铅垂位移云图

4 工程实践

4.1 底板锚注加固主要工序

(1) 浅位预注浆 浅位 6m 深预注浆, 浆料采用水泥—水玻璃双液浆, 注浆压力 3MPa, 此工序主要避免打孔时破碎底板成孔不佳。

(2) 组锚索孔施工 采用矿用井下架柱式浅孔钻机, DZQ-100 型底板锚索钻机, 钻孔直径 90mm, 孔深 12.5m, 一次成孔, 中部组锚孔垂直底板, 靠两帮处孔角外摆 15°。

(3) 下放组锚索及深部注浆 每束组锚索由 3 根 $\phi 17.8\text{mm} \times 12000\text{mm}$ 高强度低松弛钢绞线组成, 下放组锚索, 然后将 6m 预埋注浆管推入至距孔口 2.5m 深处, 管口引至孔外, 利用塑胶泥封孔; 隔天, 利用预埋注浆管对锚索孔深部进行注浆, 注浆压力 5MPa。

(4) 安装组锚索及其配套设备 对底板卧底 300~400mm→铺底网→安装预先加工好的工字钢底梁、横向按排布置→安装托盘, 每束组锚索安装 2 个托盘, 规格分别为 400mm×400mm×16mm, 200mm×200mm×16mm→张拉锚索。

(5) 底板浇砼 现场浇注标号为 C20 的混凝土, 厚度 300mm。

(6) 砼下注浆 混凝土浇注 7d 后, 施工砼下注浆孔并进行注浆, 孔径 90mm, 孔深 6m, 注浆压力 5MPa。

4.2 围岩变形量监测

对现场进行矿压观测, 每隔 20m 布置 1 个巷道变形测站, 共 3 个测站, 对巷道表面位移进行观测。由图 4 可以看出, 经过底板锚注治理后, 巷道两帮收缩量最大 100mm, 底鼓量未超过 150mm, 顶底板移近量未超过 250mm, 取得了良好的支护效果。

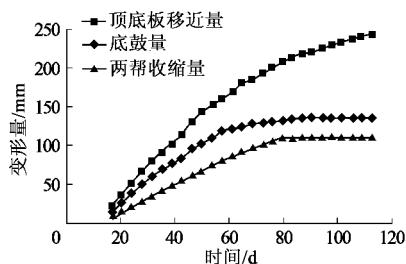


图 4 巷道表面位移观测

5 结 论

(1) FLAC^{3D} 内置的应变软化模型能够较好地 (下转 56 页)

移。因此,用这些特征点求取的边界角和移动角等角值参数增大,求取的地表移动计算参数亦相应增大或减小。这对建构筑物的保护是十分有利的,在利用非充分开采地表移动规律时,必须充分利用该特点。

22071 工作面南侧存在 1995—1996 年间回采结束的采空区,该采空区距 22071 工作面回采已过去了 10a 的时间,采空区围岩内原始应力平衡状态经受了平衡→破坏→重新分布→新平衡的过程,地表已处于沉陷稳定阶段;22071 观测站初期观测数据也说明了这一点。但随着 22071 工作面的回采,采空区围岩应力暂时形成的平衡状态被重新打破,再一次经历了平衡→破坏→重新分布→新平衡的过程,受采空区“活化”影响,倾向观测线上山一侧观测到的下沉值明显增大,拟合值与实测值相差了 142mm,受采空区“活化”影响,引起的地表残余沉陷变形量不容忽视。

3 结 论

(1) 根据平顶山矿区某矿 22071 观测站实测资料及其分析表明,非充分开采条件下地表沉陷影响范围和地表危险移动范围都显著缩小。

(2) 非充分开采时,地表移动变形值减小,移动角增大或者不存在;地表沉陷影响范围减小。因此,在利用《规程》^[12]推荐的边界角和移动角进行非充分开采条件下的沉陷变形计算时,需增大边界角和移动角值。

(3) 利用《规程》^[12]推荐的地表移动计算参数进行非充分开采地表沉陷计算时,需对下沉系

数、水平变形系数和主要影响角正切加以修正,具体做法为:减小下沉系数和水平变形系数,增大主要影响角正切值。

【参考文献】

- [1] 何国清,杨 伦,凌虞娣. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社,1991.
 - [2] 李新颖. 非充分采动采区地表移动的规律探索 [J]. 煤炭技术,2007,26(11): 109-111.
 - [3] 张连贵. 兖州矿区非充分开采覆岩破坏机理与地表沉陷规律研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学,2009.
 - [4] 李文昌. 梧桐庄矿村庄下深部压煤开采技术研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京),2008.
 - [5] 易四海,戴华阳,张连贵,等. 非充分开采地表下沉率变化规律研究 [A]. 第七届全国矿山测量学术会议论文集 [C]. 2007.
 - [6] 张华兴,郭 栋,卢秀林,等. 非充分采动地表移动规律 [J]. 煤矿开采,2005,10(3): 58-59,71.
 - [7] 易四海. 非充分采动开采地表下沉率变化规律研究——以兖州矿区为例 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京),2006.
 - [8] 殷作如,邹友峰,邓智毅,等. 开滦矿区岩层与地表移动规律及参数 [M]. 北京: 科学出版社,2010.
 - [9] 戴华阳,王金庄. 非充分开采地表移动预计模型 [J]. 煤炭学报,2003,28(6): 583-587.
 - [10] 戴华阳,王世斌,易四海,等. 深部隔离煤柱对岩层与地表移动的影响规律 [J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(16): 2929-2933.
 - [11] 张俊英,黄乐亭. 非充分开采组合岩梁柱沉陷理论 [A]. 1999年全国矿山测量学术会议 [C]. 1999.
 - [12] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社,2000.
 - [13] 贾新果. 基于蚁群算法的开采沉陷计算参数反演 [J]. 工矿自动化,2015(6): 10-13. [责任编辑: 施红霞]
- (上接 52 页)
- 反映高应力岩体的应变软化、剪胀扩容特点,可见在深部高应力岩体的数值分析时应变软化模型比摩尔-库伦模型更能接近反映深部岩体破坏的实际情况。
- (2) 高应力岩体的应变软化、剪胀扩容、遇水膨胀是造成高应力软岩巷道剧烈底鼓的主要原因;对底板进行锚注支护,同时补强巷帮支护,提高两帮承载强度,形成全断面的均匀支护状态,可有效控制底鼓。
- 【参考文献】
- [1] 许传峰. 高应力软岩巷道支护设计及数值模拟 [J]. 煤矿安全,2013(7): 214-216.
 - [2] 孙 闯,张向东,李永靖. 高应力软岩巷道围岩与支护结构相互作用分析 [J]. 岩石力学,2013(9): 2601-2607.
 - [3] 王卫军,冯 涛. 加固两帮控制深井巷道底鼓的机理研究 [J]. 岩石力学与工程学报,2005(5): 808-811.
 - [4] 黄长国. 动压巷道变形破坏机理与修复加固技术研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学,2007.
 - [5] 李树清,冯 涛,王从陆,等. 葛泉矿软岩大巷底鼓机理及控制研究 [J]. 岩石力学与工程学报,2005(8): 1450-1455.
 - [6] 邹永德,言仁玉. 深部软岩硐室反拱形底板锚杆和浇灌底鼓控制技术的探索与应用 [J]. 煤矿开采,2014,19(3): 90-92.
 - [7] 王进学,杨胜利,陈忠辉. 膨胀软岩巷道底鼓机理与耦合支护技术研究 [J]. 金属矿山,2008(12): 16-20.
 - [8] 李振顶,谢中强. 深部高应力软岩巷道维修支护技术 [J]. 煤矿开采,2011,16(4): 63-65.
 - [9] 孟庆彬,乔卫国,林登阁,等. 彭庄煤矿软岩巷道底鼓控制技术 & 数值模拟研究 [J]. 煤炭工程,2011(2): 68-70,73.
 - [10] 李宗岑. 教学三矿轨道巷底鼓机理及控制技术研究 [D]. 焦作: 河南理工大学,2011. [责任编辑: 王兴库]