

潘一东矿深井软岩巷道变形特性与支护对策

徐朝政, 崔先泽, 黄诗冰

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室 湖北 武汉 430071)

摘要: 针对深部复杂地质条件下高地应力软岩巷道稳定性控制难题, 研究淮南潘一东矿 - 848 m 西翼胶带机大巷围岩变形特性, 并进行 FLAC^{3D} 数值计算分析。研究表明, 深部巷道支护受高地应力、围岩力学性质、支护强度等因素影响; 围岩破坏模式主要为剪切破坏和拉剪破坏; 底板支护, 有利于巷道稳定性控制。基于联合支理论, 提出加强固结修复、应力转移和扩大承载圈分步联合支护方案, 取得良好的支护效果。

关键词: 深井; 高地应力; 软岩巷道; 联合支护; 注浆锚索

中图分类号: TD353

文献标志码: A

文章编号: 1003-496X(2013)12-0054-04

Soft Roadway Deformation Characteristics and Supporting Countermeasures of Deep Shaft in Panyidong Mine

XU Chao-zheng, CUI Xian-ze, HUANG Shi-bing

(State Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: For solving the control problem of soft rock roadway stability in deep complex geological conditions with high ground stress, the deformation characteristics of the surrounding rock in a buried depth of 848 m tape machine roadway in the west wing of Panyidong Mine in Huainan were studied with FLAC^{3D}. The studied results indicated that the support of the deep soft rock roadway is clearly related to the high ground stress, the mechanical properties of surrounding rock and the supporting strength. The failure pattern of rock mainly includes shear failure and tension-shear failure. Besides it's verified that floor supporting is conducive to the roadway stability control. Based on the combined support theory, the combined support scheme with a concept of strengthening the consolidation repair, transferring the stress and expanding load ring for the soft rock roadway was proposed which achieves a good supporting effect.

Key words: deep shaft; high ground stress; soft rock roadway; combined supporting; grouting cable anchor

煤炭资源是我国经济快速发展的重要支柱, 随着浅部煤炭资源的日益枯竭, 国内东部及中部地区的矿山相继进入 800 ~ 1 000 m 深部开采阶段^[1-2]。由于深部矿区的地质构造状况、应力场特征、煤岩体的破碎程度和力学响应、岩层移动以及能量的积聚释放规律与浅部开采相比均发生了显著变化, 围岩高地应力与低强度矛盾相对突出, 所以深部矿井灾害的致灾机理、触发条件、演化规律及其显现特征均不同于浅部矿井。在深部开采环境中, 围岩体处于“三高一扰动”^[3](高地应力、高渗透压、高地温梯度和强烈开采扰动) 相互耦合的复杂地质力学环境中, 非线性大变形动力现象尤为显著^[4-5], 主要表现为围岩发生剧烈变形^[6-9](底臃、顶沉和侧胀等) 且持续时间长、巷道和采场失稳严重和支护失效(锚

杆、锚索等), 并易发生破坏性的冲击地压, 给巷道支护和顶底板管理带来许多困难。

1 工程概况

淮南潘一东矿 - 848 m 水平围岩以泥岩、砂质泥岩及弱胶结的砂岩为主, 岩性破碎软弱。主要运输巷道自建设起, 巷道两帮变形剧烈, 衬砌破坏严重, 底臃量大。选 - 848 m 西翼胶带机大巷断层破碎段进行研究(图 1)。该巷道段内, 地质条件复杂, 围岩裂隙、层理发育, 断层有 $F_{12d-5} \angle 40^\circ, H = 1.8$ m; $F_{12d-6} \angle 46^\circ, H = 3.5$ m; $F_{12d-7} \angle 48^\circ, H = 3.5$ m; F_{12d-8} (逆) $138^\circ \angle 26^\circ, H = 1.8$ m 和 $F_{S_2} \angle 48^\circ, H = 5$ m, 断层附近次生裂隙发育, 岩层被切割破碎, 自稳能力差。

对 - 848 m 西翼胶带机大巷的岩样进行实验得到, 试件的密度为 2.25 g/cm^3 , 单轴抗压强度在 32

基金项目: 中国科学院重要方向资助项目(kzcx2-yw-152); 国家自然科学基金资助项目(41202224)

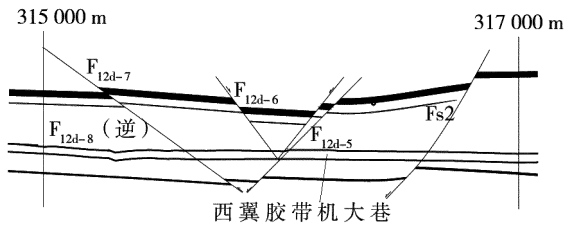


图1 西翼胶带机大巷断层分布图

~39 MPa,平均 37 MPa 左右;弹性模量为 5.8~8.6 GPa,平均为 6 GPa;泊松比为 0.25~0.42,平均为 0.325;围岩为块状,完整性指标 K_v 取 $0.35 < K_v \leq 0.55$,该巷道为典型的 IV 级围岩。水压致裂法实测地应力结果显示,该处垂直主应力为 17.7~18.0 MPa,水平主应力为 20.2~21.6 MPa,侧压力系数平均为 1.16,整体属于高地应力场区。

2 围岩变形特性及分析

2.1 围岩变形特性

1) 具有明显的流变特性。长期现场监测表明,该巷道围岩变形具有显著的流变特性,巷道在掘进和返修后较长的时间后仍不能稳定,变形依然持续增长。

2) 巷道变形量大。巷道开挖后,巷道变形监测发现,巷道两帮、底板变形很大,肩部发生变形破坏,顶、底板相对位移速率高达 30 mm/d,底臃严重,严重影响生产和施工。

3) 矿压显现剧烈,巷道开挖后原岩应力瞬时调整,围岩变形迅速,矿压变化凸显。

4) 对动荷载扰动反映敏感。井下条件复杂多变,由于施工带来自身及邻近巷道爆破扰动、采煤扰动等都会对巷道变形产生显著地影响。

2.2 围岩变形分析

数值计算采用 FLAC^{3D} 软件^[10],模拟计算分析巷道胶带机大巷开挖后围岩变形特性,计算模型如图 2。模型尺寸为 40.0 m × 20.0 m × 50.0 m,模型包含 2 944 个单元,6 993 个网格节点。岩体本够为 Mohr-Coulomb 模型。计算模型中的围岩力学参数见表 1。

计算过程中,最大水平应力为 28.5 MPa,最小主应力为 18 MPa,竖直应力为 18.5 MPa。

巷道开挖无支护条件下,其位移场如图 3。底板和顶板变形量均较大,最大值均达到 400 mm。水平最大位移集中在帮部,最大可达 320 mm,拱脚水平位移也达 240 mm。围岩塑性区状态分布如图 4,

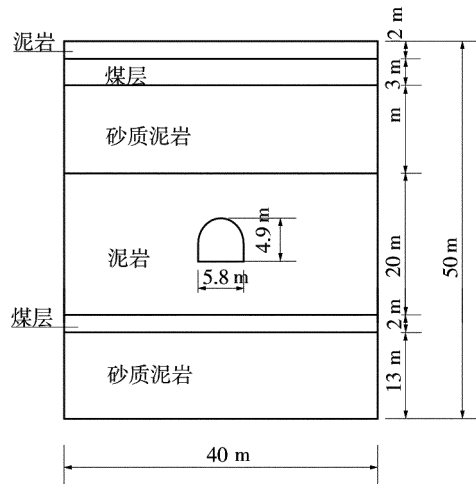


图2 巷道工程地质模型

表1 围岩力学参数

围岩类别	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	黏聚力 C / MPa	抗拉强度 σ_t / MPa	弹性模量 E / GPa	泊松比 μ
泥岩	30	0.7	0.7	6.0	0.325
煤	18	0.4	0.2	1.14	0.35
砂质泥岩	42	1.2	0.8	9.0	0.28

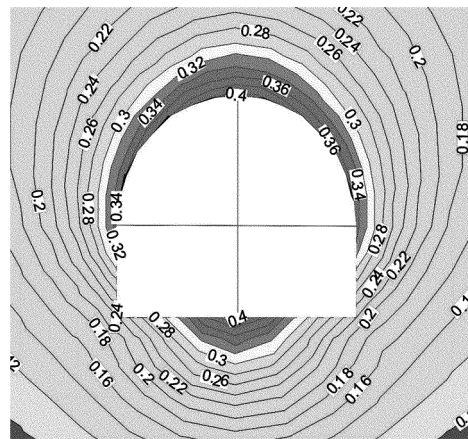


图3 巷道围岩位移场

巷道开挖造成围岩主要受剪切作用,形成明显的剪切破坏区,同时局部有拉应力作用。顶板塑性区达 8 m,两帮塑性区为 6~8 m,底板塑性区达 7~8 m。

3 支护对策及支护参数

3.1 支护对策

根据已知巷道围岩状况和变形机制分析,采取分步联合支护对策进行围岩稳定性控制。巷道开挖后,在巷道全断面进行高强预应力锚杆+钢筋网+U型钢拱架一次支护;接着,浅孔注浆+高强预应力注浆锚索进行二次支护。通过一次支护及时恢复围

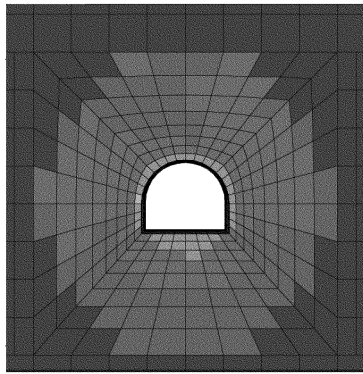


图4 巷道围岩塑性状态分布

岩应力状态 增强围岩的抗力;二次支护实现围岩破裂固结和损伤修复,将应力转移、扩大应力承载圈,达到巷道稳定性的根部控制。

3.2 支护参数

1) 巷道开挖,喷射 50 mm 厚 C20 混凝土层封闭围岩,防止围岩进步风化和表面岩体的掉落。

2) 巷道帮顶施做预应力锚杆,并铺设钢筋网片,钢筋网规格为 $\phi 8 \text{ mm} @ 80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$,尺寸为 $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,高强预应力锚杆规格为 $\phi 22 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$,IV级螺纹钢,等强螺纹,左旋无纵筋杆体,间排距: $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$,每个断面共 15 根,预应力不小于 50 kN。同时,在两帮墙角处各布置 2 根斜向下的帮角锚杆。

3) 巷道顶帮架设 U36 钢拱架,排距为 700 mm,采用传统卡子连接。

4) 浅孔注浆,在巷道断面肩部和顶部布置注浆管,注浆孔深 1500 mm,注浆管长 800 mm,间排距为 $2500 \text{ mm} \times 2100 \text{ mm}$,注浆压力不小于 1.5 MPa,每个断面 5 根。

5) 在整个断面上布置高强预应力注浆锚索,注浆锚索规格为: $\phi 22 \text{ mm} \times 7000 \text{ mm}$,间排距为 $1800 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$,预应力不小于 100 kN,注浆压力达 5.0 MPa 以上,每个断面共计 10 根锚索。

6) 最后喷射 100 mm 厚的混凝土层,做外层保护。

4 支护效果验证

4.1 数值计算验证

巷道全断面支护,巷道顶板和底板变形量不大,顶板最大变形量为 36 mm,底板最大变形量为 32

mm;巷道帮部位移最大值为 30 mm,拱脚处最大水平位移为 18 mm,如图 5。

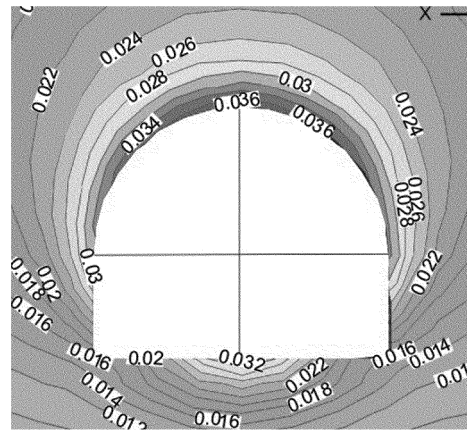


图5 巷道围岩位移场

加强对巷道断面的支护,巷道塑性区范围明显变小。在巷道顶部和底板,出现由拉应力和剪应力共同作用的拉剪破坏区;巷道帮部剪切作用弱化,拉应力作用效果增加;巷道肩部受剪切作用控制,顶板塑性区达 2~3 m,两帮塑性区为 2~3 m,底板塑性区达 3~4 m,如图 6。

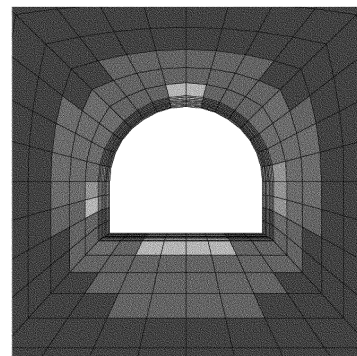


图6 巷道围岩塑性状态分布

计算结果表明,分步联合支护方案能使巷道整体变形得到有效控制,顶、底部变形量减小 73%~90%,能有效控制巷道底臃、顶板下沉和两帮收敛,同时,底板支护,也对巷道其他部位的变形有限制作用。巷道破坏模式有从剪切破坏向拉剪破坏转化的趋势,同时,巷道的塑性区范围也明显的减小,顶板塑性区减小 6 m 左右,帮部塑性区减小 5~6 m,底板塑性区减小 4~5 m;增加底板支护,能显著的减小巷道其他部位塑性区的变化。

4.2 现场支护验证

在-848 m 西翼胶带机大巷实施新的支护方案,并布置3组观测点,监测数据如图7。监测曲线表明,在采用优化方案后,巷道变形速率明显降低,并在较短的时间内围岩变形趋于收敛,底臃量和两帮收敛量也得到明显的控制,新方案取得良好的支护效果。

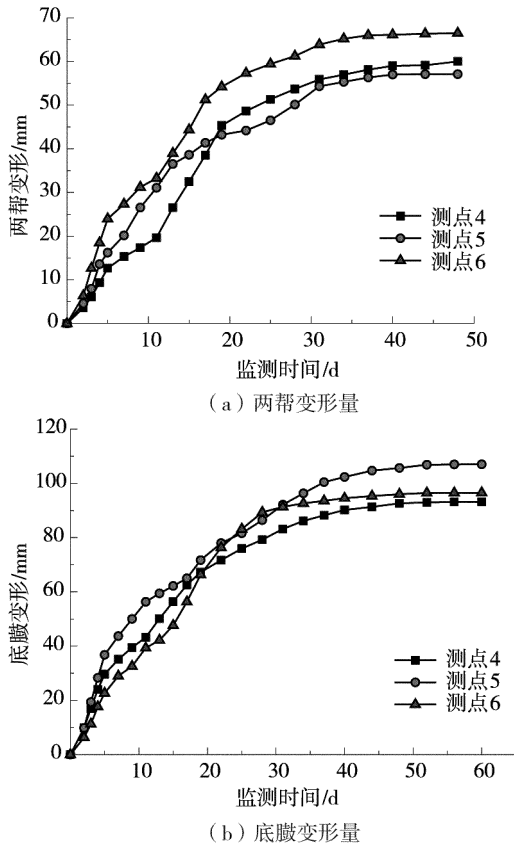


图7 巷道治理后的变形曲线

5 结论

1) -848 m 西翼胶带机大巷的变形受多种因素影响,如:地质条件、地应力大小、动荷载扰动等,支护强度不够,造成巷道变形过大,引起巷道破坏失稳,是威胁矿井安全生产重要灾害之一。

2) 数值计算结果表明,增加巷道底板支护,巷道破坏模式从纯剪切破坏向纯碱破坏-拉剪破坏转化的趋势,同时,巷道的塑性区范围也明显的减小,顶板塑性区减小6 m左右,帮部塑性区减小5~6 m,底板塑性区减小4~5 m。

3) 巷道顶板、两帮、底角和底板变形是1个相互影响的系统,局部变形的破坏也能导致巷道整体的破坏。所以,在当前巷道支护中,不仅要注重对巷道整体的支护,还要重视对巷道底角和底板的加固

处理。

4) -848 m 西翼胶带机大巷支护方案能够有效控制巷道顶板、底板、帮部和底角的变形,减小巷道围岩的塑性区范围,改善围岩的应力状态。

参考文献:

- [1] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.
- [2] 钱七虎.深部地下工空间开发中的关键科学问题[C]//中国岩石力学与工程学会编-第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集.北京:科学出版社,2004:6-28.
- [3] 刘泉声,高玮,袁亮.煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术及应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [4] 黄兴,刘泉声,朱集矿深井软岩巷道大变形机制及其控制研究[J].岩土力学,2012(3):827-834.
- [5] 姚强岭,李波,任松杰,等.中空注浆锚索在高地应力松软巷道中的应用研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(2):198-203.
- [6] 李树清,王卫军,潘长良,等.加固底板对深部软岩巷道两帮稳定性影响的数值分析[J].煤炭学报,2007,32(2):123-126.
- [7] 侯朝炯,何亚男,李晓.加固巷道帮、角控制底臃的研究[J].煤炭学报,1995,20(3):229-234.
- [8] 张军.深部巷道围岩破坏机理及支护对策研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2010.
- [9] 刘泉声,康永水,白运强.顾桥煤矿深井岩巷破碎软弱围岩支护方法探索[J].岩土力学,2011(10):3097-3014.
- [10] 彭文斌.FLAC^{3D}实用教程[M].北京:机械工业出版社,2009.

作者简介:徐朝政(1987-),男,山东临沂人,在读硕士研究生,主要从事地下工程稳定性分析及岩土工程加固技术等方面的研究。

(收稿日期:2013-02-26;责任编辑:梁绍权)

