

倾斜岩层巷道围岩大变形分析与控制方法

吴海^{1,2*}, 王小康³, 王卫军³, 李树清^{1,2}, 彭刚^{3,4}

(1.湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室,湖南 湘潭 411201;

2.湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室,湖南 湘潭 411201;

3.湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201;

4.中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室,江苏 徐州 221116)

摘要:深部倾斜岩层巷道由于围岩应力高,巷道围岩变形周期和变形量都较浅部巷道有显著增加.针对曲江矿-850 m东大巷巷道围岩表现出来的两帮和顶底板的实测不对称大变形特征,采用离散元软件建模分析发现:巷道围岩大变形引起围岩塑性区不断扩大,导致锚杆支护结构失效,由此造成原有等强支护方案不能有效控制巷道变形.结合围岩性能提升和结构强化的思路,提出注浆和不等强支护方案.方案实施后,围岩塑性区半径明显减小,围岩变形速度降低、变形时间缩短,实现了巷道稳定的控制目标.

关键词:大变形;不对称变形;塑性区

中图分类号:TD322

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2017)03-0016-06

Large Deformation and Control Method of Roadway Surrounding Rock in Inclined Strata

Wu Hai^{1,2}, Wang Xiaokang³, Wang Weijun³, Li Shuqing^{1,2}, Peng Gang^{3,4}

(1. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines,

Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

4. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Deep roadway in inclined strata with the high stress of its surrounding rock, the deformation duration time and the measurement of the surrounding rock are different from shallow roadway. Aiming at the large and unsymmetrical deformation characteristics of roof and floor of the -850 m roadway, this paper uses the discrete element software modeling analysis and finds that the large deformation of surrounding rock of roadway causes the plastic zone increase, and finally leads to structural failure of the bolt support. This may cause the original supporting schemes not to effectively control the deformation of roadway. Taking the performance improvement of surrounding rock and structure reinforcement into consideration, this paper proposes the scheme of grouting and unsymmetrical supporting. After the plan has been implemented, the plastic zone radius of surrounding rock has been significantly reduced. The deformation speed and duration time of surrounding rock have been reduced, achieving the goal of roadway stability control.

Keywords: large deformation; asymmetric deformation; plastic zone

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(51434006;51374015);湖南省教育厅科学研究资助项目(15B088);湖南省自然科学基金面上资助项目(2017JJ2088)

*通信作者, E-mail: wuhai@hnust.edu.cn

在浅部煤炭资源开采中,巷道围岩压力较小,由于倾角引起的缓倾斜岩层巷道两帮变形特征不突出,国内针对巷道围岩变形研究主要集中在大倾角倾斜或水平岩层围岩巷道的变形问题上.辛亚军等^[1]认为半煤岩巷道围岩的稳定性比全岩巷道更为复杂,还受到包括煤层倾角等煤岩体性质的影响.刘少伟等^[2]对巷道上帮的煤体建立了稳定性模型,并利用毕肖普算法推导出了其稳定性安全系数的计算公式.张农^[3]等提出以锚杆、锚索、注浆等主动支护为主体构建整体封闭式支护方式.当巷道理深为1 000 m左右时,巷道维修率大约是巷道理深为600 m左右时的3~10倍.并且两帮变形量相比浅部明显增加,岩层倾角对于巷道不对称变形的影响更加显著.勾攀峰等^[4]把深井巷道两帮锚固体失稳分为压裂失稳和剪切失稳.李学华等^[5]提出了分阶段、分区域控制的关键技术.孙晓明等^[6]对倾斜岩层巷道围岩在深部条件下表现出的破坏行为特征,结合数值模拟和现场的工程应用,提出了采用不对称耦合控制的思路.康红普等^[7]对于巷道围岩的应力进行了实测分析.赵延林等^[8]对于巷道围岩的裂纹产生进行了实验模拟.王卫军等^[9,10]认为巷道围岩必须有一定的变形量,并在此基础上提出了“给定变形”概念.当然,已有的研究工作对于浅部急倾斜和深部高应力岩层巷道的有效支护方案的设计有很强的借鉴和参考意义.本文旨在研究深部高应力条件下巷道两帮不对称变形破坏的具体表现特征,并在数值模拟的基础上,提出对应的控制措施.

1 工程概况

江西省曲江矿业有限公司,东大巷延伸段,埋深-850 m,位于煤层底板中,和煤层走向方向相同.巷道为全岩石巷道,岩性为粉砂岩.节理较为发育,还有软弱夹层^[11].岩层综合柱状图如图1所示.

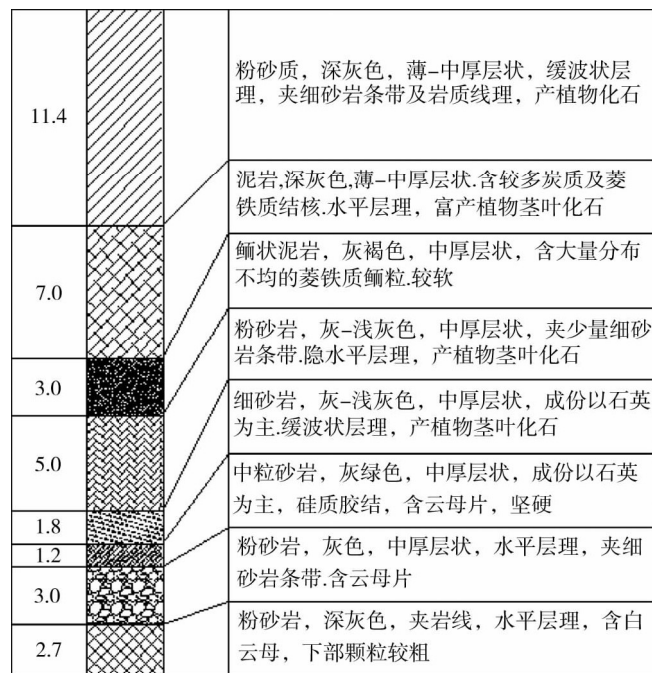


图1 岩层综合柱状图

曲江公司东大巷拓展工程(-850 m)巷道为半圆拱形,宽440 cm,高350 cm.全断面锚杆支护,每个断面13根锚杆,锚杆长200 cm,直径为20 mm,2根锚杆的间距为80 cm.2排锚杆之间的间距为80 cm.锚杆配套托盘的尺寸为15 cm×15 cm,厚度为1 cm,锚杆配套螺母规格为M18,使用1节快速和1节超快速树脂锚固剂进行加长锚固;和锚杆配套的梯子梁采用直径为1 cm的圆钢,间距为8 cm.巷道护表的铁丝网采用8号铁丝编织而成,宽190 cm,长360 cm.采用425号水泥和石子(直径小于1.5 cm)进行混合喷浆,表面喷层的厚度约为10 cm.同时还进行支护,锚索每个断面布置3根,间距为100 cm,锚索采用的是直径为15.25的钢绞线制作,长度为640 cm.断面之间的间距为160 cm.锚索采用1节快速和3节超快速锚固剂进行锚固,锚固的初始锚固力不小于60 000 N.支护方案图如图2.

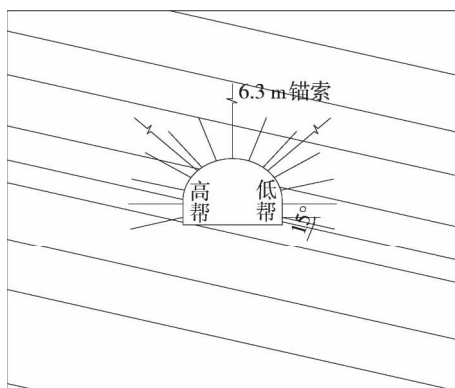


图2 巷道原支护方案

2 巷道围岩变形破坏特征及原因分析

2.1 巷道变形破坏特征

巷道围岩受到深部高应力和围岩赋存条件的综合影响,在使用锚杆+梯子梁+锚索+喷层围岩控制方案的条件下,巷道围岩出现了不对称的变形破坏特征,具体表现:(1)顶板低帮侧,低帮肩角处出现混凝土喷层和围岩有离层、开裂、崩落等现象,见图3;(2)底板底鼓严重,高帮侧底鼓量大,低帮侧底鼓量小,见图4;(3)两帮变形不对称,低帮表面变形量大,围岩内部破坏严重,高帮表面变形量小,围岩内部相对完整,严重影响煤矿正常生产.



图3 顶板开裂



图4 底板底鼓

2.2 巷道围岩内部破坏情况分析

对巷道两帮进行窥视,窥视钻孔布置方案见图5.窥视孔为6 m深的水平孔,距离巷道底板1 m,每个孔的水平距离为1.6 m.在高帮窥视孔钻孔过程中采用注水降温、降尘,周边窥视孔有渗水情况发生^[12],表1中对渗水现象进行了对比分析.在低帮窥视过程中未出现涌水现象.

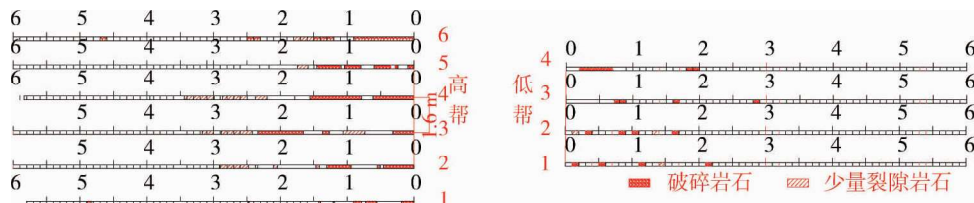


图5 巷道两帮窥视情况

表1 高帮钻孔涌水情况

窥视孔孔号	渗水孔孔号	窥视孔孔号	渗水孔孔号
1	无	2	1
3	1,2	4	3,5
5	3,4	6	4,5

窥视结果柱状图 5 表明在岩层倾角的影响下巷道高低帮围岩内部破坏情况有差异,高帮巷道围岩距离表面 200~300 cm,有较多裂隙产生,在巷道 200 cm 范围内,有大量大的裂隙产生;低帮巷道围岩在距离表面 200 cm 范围内,有少量裂隙产生,主要集中在 100 cm 范围内.观测结果说明,在深部原始地应力和岩层倾角(15°)的作用下,巷道两帮围岩结构变形量不同,高帮巷道围岩变形量大,裂隙发育多;低帮围岩变形量相对小,裂隙发育不明显.

2.3 巷道变形破坏模拟分析

根据巷道埋深情况以及岩层的倾角,根据现场采样的岩石获得的围岩岩石力学特性,建立了巷道的 UDEC 模型,模拟后可以发现,巷道开挖支护后,在高应力的作用下巷道围岩表现出大变形特征,如图 6 所示,塑性区(在图中用 * 号表示)首先出现在巷道表面附近,随着巷道变形量的增加,巷道围岩塑性区边界逐渐深入到巷道围岩内部(见图 7),最后超过了锚杆的锚固区,锚杆锚固作用失效.巷道围岩的继续变形,直至巷道无法使用.

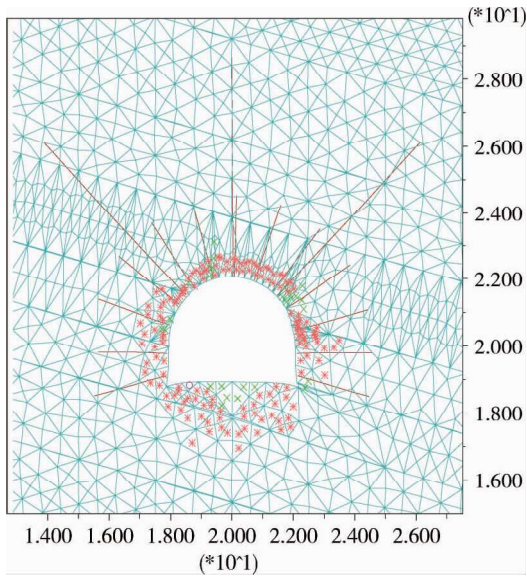


图 6 巷道开始变形

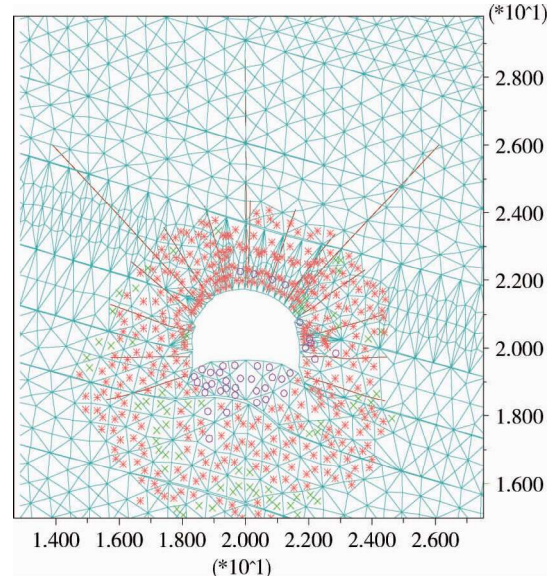


图 7 巷道围岩大变形后塑性区扩展

2.4 新支护方案分析

根据以上分析可知,深部巷道掘进形成以后,巷道表面围岩在地应力的作用下,将逐渐进入塑性状态,甚至发生断裂等破坏形式,进而导致巷道围岩塑性区范围逐渐扩大,锚杆布置在塑性区中,失去了应有的锚杆支护效果.针对巷道围岩的位移特点,对整个巷道采用“锚杆+梯子梁+锚索+铁丝网+喷浆+注浆”的设计方案,针对巷道围岩的不同破坏形式,采用不均称的耦合强化方案.具体方案如下:方案分为 2 个部分来进行,第 1 次使用常规锚杆支护,第 2 次采用在巷道两帮增加锚索进行加强支护.并进行整个断面的注浆.

在原有的锚杆和锚索支护的情况下,在顶板低帮肩角处加 1 根锚索补强,控制顶板的离层.在两帮腰线上加 1 套水平锚索,在两帮底角处加 1 套倾斜锚索.

注浆时采用不同深度的注浆孔配合使用.浅注浆孔的深度为 200 cm,每个断面内的孔间距为 200 cm,断面间的间距为 160 cm,深注浆孔的深入为 500 cm,每个断面内的孔间距为 200 cm,断面间的间距为 160 cm.注浆孔

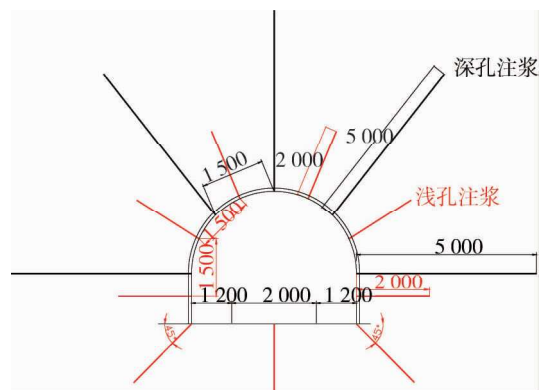


图 8 浅孔(2.5 m)和深孔(5 m)注浆布置

布置如图 8 所示.进行注浆时,先进行浅孔注浆,后进行深孔注浆.在浅孔注浆强度达到 80%再进行深孔注浆.

3 新方案围岩稳定效果分析

3.1 巷道表面围岩位移数据分析

在采用新旧方案的巷道内布置了巷道围岩表面位移数据观测点,进行了 2 个月的巷道表面位移数据收集,利用数据分析软件,对数据进行分析的基础上,得出了表面位移的对比数据,分别用图 9 和图 10 进行说明.

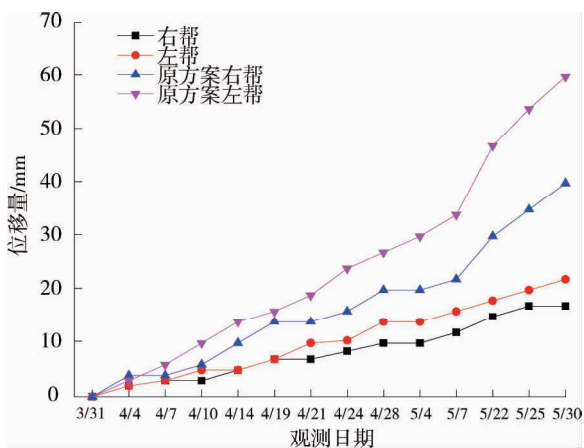


图 9 新旧支护方案两帮观测点位移数据

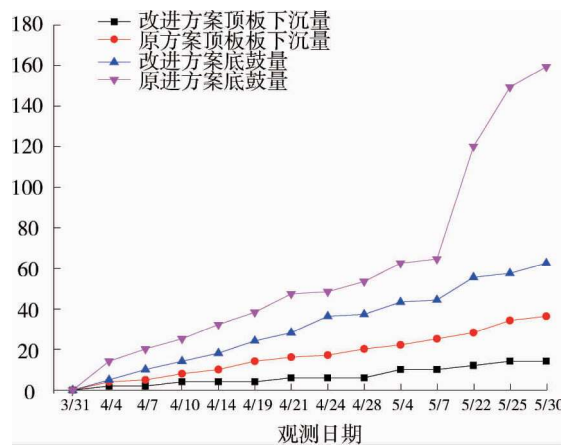


图 10 新旧支护方案顶底板观测点位移数据

从巷道表面位移观测数据可以得出,新方案两帮的位移数据比旧方案要小很多,两帮位移数据从旧方案的 40 和 66 mm 下降到了 18 和 22 mm,新方案的顶板位移和低帮位移量分别从旧方案的 38 和 160 mm 减少到了 14 和 60 mm.旧方案的位移观测数据表明巷道围岩的位移速度还在逐渐增加,而新方案的位移则逐渐趋于稳定.

3.2 围岩内部注浆效果分析

为了检验注浆效果,对采用新支护方案的巷道围岩内部注浆效果进行了窥视分析,典型窥视效果如图 11 所示.窥视结果表明,采用“不对称锚索+注浆加固”的新方案支护的巷道围岩内部结构完整性较好,距离巷道表面 100 cm 内范围内有少量裂隙产生,超过 200 cm 范围内则几乎没有裂隙产生.



图 11 巷道围岩注浆效果观测

3.3 围岩塑性区范围控制

数值模拟的结果见图 12,巷道围岩仍然产生了一定的变形,但是变形发展一段时间后,巷道逐渐趋于稳定,巷道围岩塑性区不再继续扩大,主要集中在巷道表面围岩内.

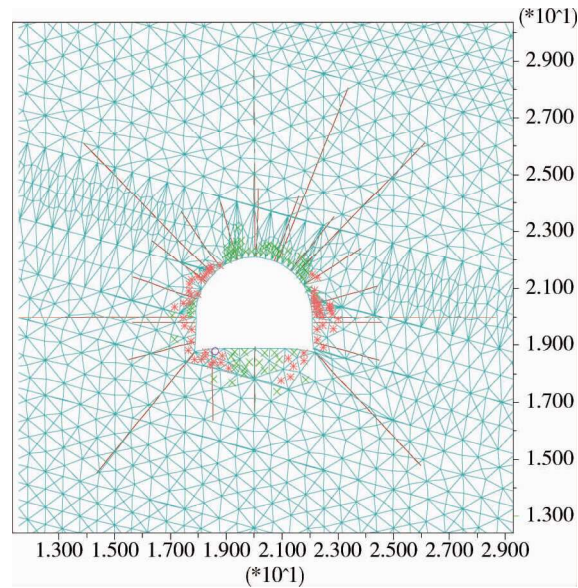


图12 新方案巷道围岩塑性区分布

4 结论

1) 深部巷道围岩表现出变形时间长和变形量大等特征,其原因是支护方案不够合理,没有控制巷道围岩塑性区的不断扩大,最终导致支护结构失效。

2) 全断面不均匀锚索和注浆相结合的支护方案,可以降低巷道围岩的变形速度,另外具有施工工艺简单、工作效率高等特点.该支护方面能够加大巷道的维护周期,减少返修次数,进而节约返修成本。

参考文献:

- [1] 辛亚军,勾攀峰,负东风,等.大倾角软岩回采巷道围岩失稳特征及支护分析[J].采矿与安全工程学报,2012,29(5):637-643.
- [2] 刘少伟,张辉,张伟光,等.沿顶掘进回采巷道上帮煤体失稳区域预测[J].煤炭学报,2010,35(9):1430-1434.
- [3] 张农,陈红,陈瑶.千米深井高地压软岩巷道沿空留巷工程案例[J].煤炭学报,2015,40(3):494-501.
- [4] 勾攀峰,辛亚军,申艳梅,等.深井巷道两帮锚固体作用机理及稳定性分析[J].采矿与安全工程学报,2013,30(1):7-13.
- [5] 李学华,姚强岭,张农.软岩巷道破裂特征与分阶段分区域控制研究[J].中国矿业大学学报,2009,38(5):618-623.
- [6] 孙晓明,张国锋,蔡峰,等.深部倾斜岩层巷道非对称变形机制及控制对策[J].岩石力学与工程学报,2009,28(6):1137-1143.
- [7] 康红普.深部煤矿应力分布特征及巷道围岩控制技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):12-17.
- [8] 赵延林,曹平,万文,等.岩石裂纹亚临界扩展实验与压剪流变断裂模型[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(1):276-286.
- [9] 王卫军,袁超,余伟健,等.深部高应力巷道围岩预留变形控制技术[J].煤炭学报,2016,41(9):2156-2164.
- [10] Wu H, Zhang N, Wang W, et al. Characteristics of deformation and stress distribution of small coal pillars under leading abutment pressure[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2015,25(6):921-926.
- [11] 吴海,张农,王卫军,等.深部倾斜岩层巷道变形特征模拟与控制技术[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(1):6-12.
- [12] 吴海.深部倾斜岩层巷道非均称变形演化规律及稳定控制[D].徐州:中国矿业大学,2014.