

基于松软破碎围岩巷道的支护优化设计

华乐, 余忠林, 赵涛, 沈孟飞

(煤矿安全高效开采省部重点实验室, 安徽 淮南 232001; 安徽理工大学 能源与安全学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 中林煤矿南翼下山围岩松软破碎, 受断层影响, 巷道变形量大, 底鼓严重, 返修率高, 为了降低巷道维修的费用和减少维修的次数, 在原有支护方式的基础上, 通过巷道围岩表面位移和围岩松动圈范围的观测以及 COMSOL 软件数值模拟, 分析了巷道围岩变形的原因, 优化了巷道的支护材料和巷道断面形状, 最终提出了 U 型钢弧形断面的支护方式. 采用优化后的支护设计在现场取得了良好的支护效果, 可为同类矿井提供借鉴.

关键词: 破碎围岩; 巷道支护; 优化设计; 数值模拟

中图分类号: TD353 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5876(2014)01-0019-06

Support optimization based on soft and fractured surrounding rock roadway

HUA Le, YU Zhonglin, ZHAO Tao, SHEN Mengfei

(Provincial Key Laboratory of High Efficiency Mining Coal Mine Safety, Huainan 232001, China;
School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The surrounding rock roadway of Zhonglin Coal Mine against south wing downward is soft and fractured. Affected by faults, the roadway deformation capacity is big, the kick drum is serious, and repair rate is high. In order to reduce the maintenance costs and the frequency of maintenance, this paper, by using the roadway surface displacement, the rock loose circle range of observations, and by using the numerical simulation software COMSOL, analyzes the surrounding rock deformation reasons, optimizes roadway materials and shapes, and makes the U-shaped curved section of the support method. Using optimized support design in the field can make a good supporting effect, which provides references for similar mines.

Key words: fractured surrounding rock; roadway support; optimization; numerical simulation

长期以来,国内外的专家学者提出了很多关于软岩巷道支护,控制围岩变形的理论,有:新奥法,能量支理论,围岩松动圈支理论,联合支理论等等.经过国内外专家大量的理论研究、现场试验与测试、实验室实验等手段,在软岩巷道工程支理论和支持技术方面取得了大量的研究成果^[1-5].中林煤矿是江西八景煤业公司下属的一个小型矿井,虽然年产量不高,但是对于煤炭资源不算丰富的江西来说,有其存在和发展的重要性.八

景煤业公司下属各个矿井都存在不同程度的巷道围岩松软破碎问题,其中以中林煤矿尤为突出,因此,选择合理有效经济实用的巷道支护方案对于中林煤矿以及整个八景煤业的发展都是至关重要的.

1 工程概况

1.1 地质条件

中林煤矿位于江西省高安市,中林井田处于“萍乐沉降带”中部的西段,在南昌-清江红盆地

的北缘,“蒙山褶皱束”的南侧,其区域主导构造为华夏系构造.本文主要研究的南翼下山巷道全长 300 m,巷道围岩主要为砂岩和泥岩,位于 F_2 逆断层上盘分界线与下盘分界线之间.

1.2 现有支护方案

南翼下山巷道采用的是梯形断面,支护形式为由 11#工字钢加工而成的金属棚.在工字钢金属棚和巷道围岩之间铺设背板和竹帘.巷道断面支护图如图 1 所示.

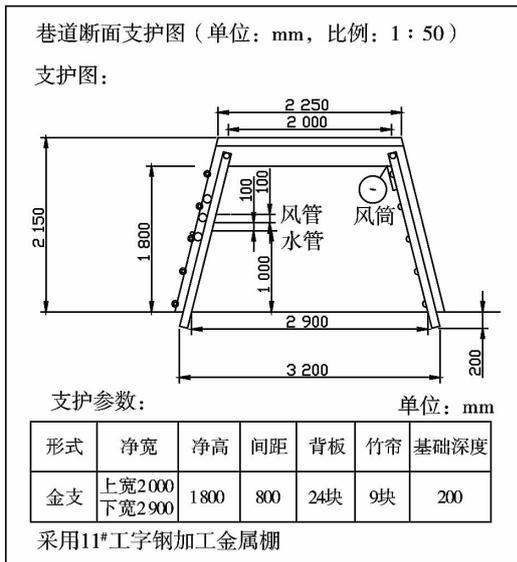


图 1 巷道断面支护图

1.3 巷道破坏情况

南翼下山巷道围岩破碎程度较高,两帮位移和巷道底鼓现象严重,目前正在使用的工字钢金属棚有些已经被压弯变形,不时有巷道围岩破碎的岩石掉落.巷道返修过后,很快就会再次发生开裂、片帮、底鼓等情况,对于矿井进行正常的生产有极大的影响,对工作人员是人身安全有极大的隐患.

2 南翼下山巷道围岩表面位移及松动圈范围现场观测

2.1 表面位移测点布置

为分析中林煤矿南翼下山目前所采用支护方案的支护效果,巷道返修完成后,在中林煤矿南翼下山中每隔 50 m 布置 1 个测点,共计 5 个测点,采用钢卷尺和测杆进行巷道表面位移观测.测点位置如图 2 所示.从 2 月 25 日开始到 3 月 24 日结束,

每 3 天观测 1 次,共进行 10 次观测.同时在 1,3,5 这 3 个测点处的巷道壁上打深度为 5.5 ~ 8.0 m 的钻孔,通过岩层钻孔探测仪对巷道围岩松动圈范围进行观测.

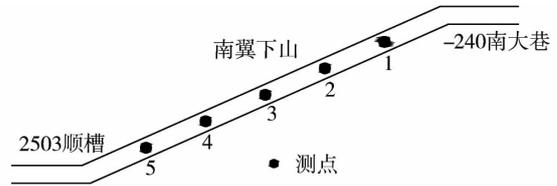
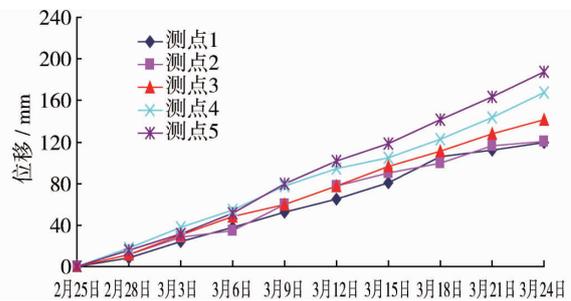


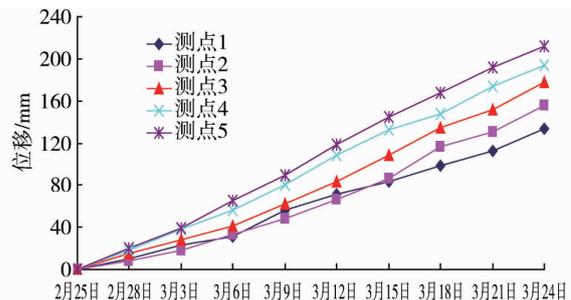
图 2 测点位置示意图

2.2 观测结果分析

通过上述所示方法对所获取的观测数据进行整理分析,得到了巷道两帮和顶底的巷道围岩位移量.如图 3 所示.



(a) 巷道两帮移近量



(b) 巷道顶底移近量

图 3 巷道围岩两帮及顶底移近量

由图 3 可知,在整个观测期间,南翼下山 5 个测点两帮移近量分别为 119, 121, 142, 168, 188 mm,顶底板移近量分别为 134, 156, 178, 194, 212 mm.随着测点与 2503 工作面之间距离的缩短,南翼下山两帮和顶底板移近量逐渐增大,且顶底板移近量明显比两帮移近量大.通过对巷道围岩松动圈的观测,测点 1,3,5 处巷道围岩破坏深度分别为 4.8,5.6,6.8 m.

在观测期间观察巷道围岩表面发现,随着时间

的推移,巷道围岩逐渐开始出现裂缝,而后裂缝渐渐扩大,进而发展到有岩石碎屑从巷道两帮和顶底掉落,围岩破坏发展的速度相当迅速.由于围岩的破坏导致工字钢金属棚发生变形,失去其支护围岩的作用,致使巷道围岩出现片帮和冒顶的危险,使得矿井正常的生产受到影响.

3 南翼下山破坏原因分析

南翼下山破坏的原因主要是由于其巷道围岩主要为砂岩和泥岩,性质较软且较脆,抗压和抗拉强度低,遇水易膨胀,并且整个巷道位于 F_2 逆断层上盘分界线与下盘分界线之间,受构造应力影响严重.巷道下端与2503工作面距离较近,受工作面采动的影响比较明显.而且巷道开掘后采取的支护手段未能对巷道围岩起到有效的支护作用,巷道两帮变形量大,底鼓严重,整条巷道在长期破坏——返修——破坏的过程中,巷道围岩内部裂隙已扩展至较深处,巷道维护进入恶性循环^[6].

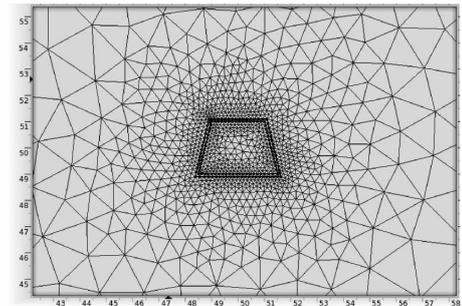
4 数值模拟

为了研究不同断面形状和支护形式下巷道围岩及支架受力情况,本文采用COMSOL Multiphysics数值模拟软件,对不同断面形状和支护形式下巷道围岩的应力场分布及支架受力情况进行分析,为中林煤矿巷道支护的优化提供参考.

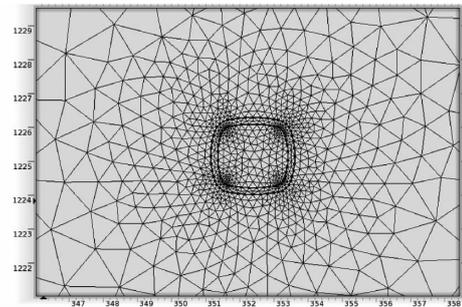
4.1 模型的建立

本模型采用COMSOL Multiphysics软件中固体力学模块进行模拟分析,在模拟过程中将对所研究对象影响较小的次要因素进行忽略.对巷道围岩部分,选取线弹性本构模型及岩土弹塑性本构模型,COMSOL Multiphysics软件可将2种本构模型自动耦合,得到相对性的适合于本文研究的本构模型.

本模拟采用二维模型进行模拟,模型核心部分的大小与实际相同.确定几何模型后,根据comsol软件的划分方式,将所研究对象划分为自由三角形网格,此类型网格适合不规则形状的划分,可以避免模拟过程中因网格间的不匹配而报错.梯形断面和弧形断面的具体模型及网格划分如图4所示.本模拟中巷道围岩力学参数表如表1所示.



(a) 梯形断面模型



(b) 弧形断面模型

图4 断面模型

表1 中林煤矿巷道围岩力学参数表

岩性	弹性模量 /GPa	泊松比	容重 /(kg/m^3)	内聚力 /MPa	内摩擦角 /($^\circ$)
细砂岩	21.30	0.22	2600	3.8	35
粗粉砂岩	14.39	0.22	2650	4.2	30
细粉砂岩	16.22	0.22	2650	4.5	33
泥岩	6.00	0.26	2640	2.3	27

本次模拟分别建立不同断面形状、不同支护条件下的巷道模型,对不同断面形状、不同支护条件下巷道围岩应力场及支架受力情况进行分析^[7-9].

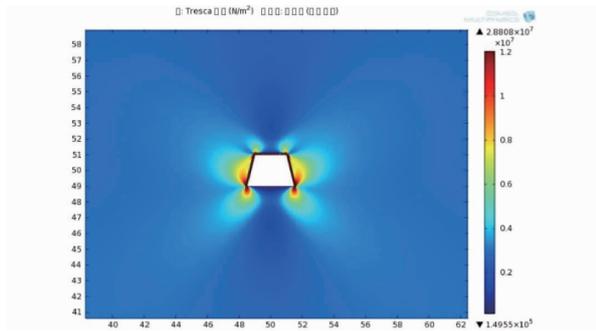
4.2 模拟结果分析

4.2.1 工字钢支护梯形巷道围岩应力场及位移场分析

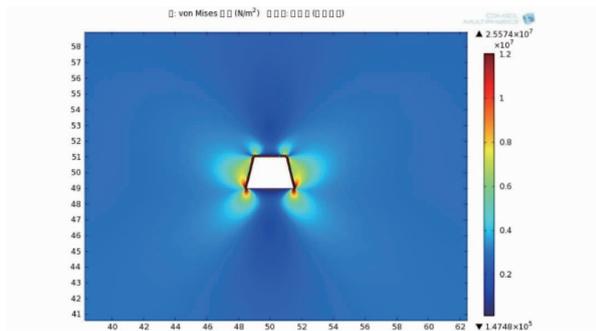
首先对梯形断面、工字钢支护这种支护形式进行了模拟.工字钢支护梯形断面各应力云图如图5所示.

由图5可知,当巷道开挖后,原岩平衡受到破坏,为达到新的平衡状态,巷道围岩内的应力将重新分布,由此会产生应力集中.在工字钢支护条件下,虽然边角处也处于应力集中状态,但此时由于支架的支护作用,大部分应力集中位于支架内.此时,Tresca应力最大值为28.808 MPa,Von Mises应力最大值为25.574 MPa,支架起到了一定的支护作用,转移了原岩内的集中应力.垂直应力分布与

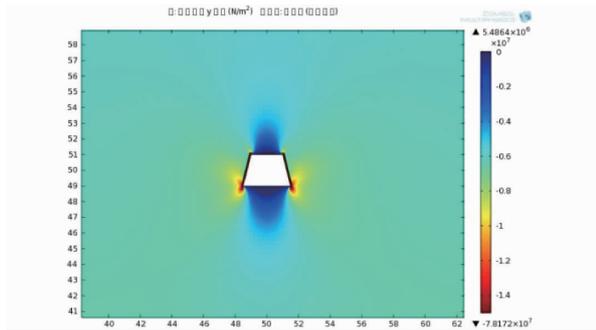
米塞斯应力分布类似,应力主要集中在支架内部,最大值为 78.172 MPa;剪切应力的集中也出现类似情况,最大值为 20.745 MPa.



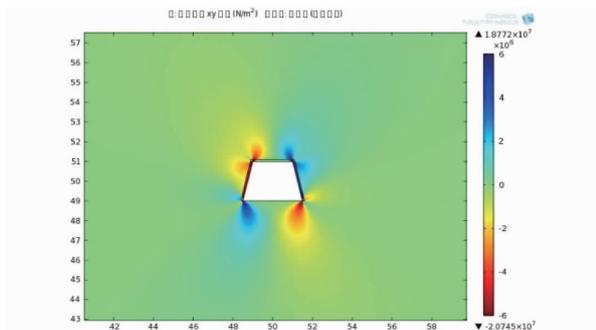
(a) Tresca 应力云图



(b) Von Mises 应力云图



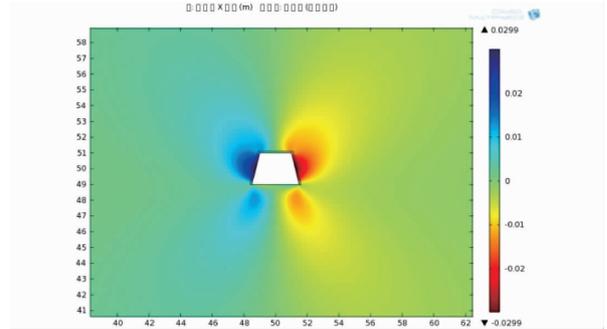
(c) 垂直应力云图



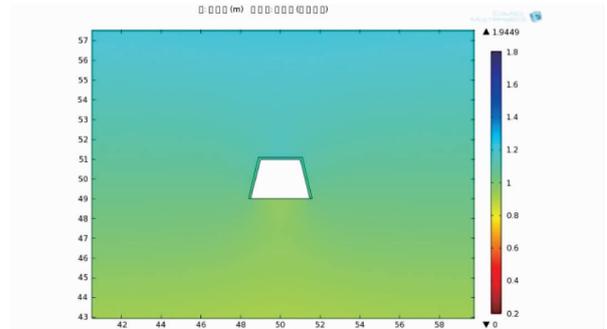
(d) 剪切应力云图

图 5 工字钢梯形支护应力云图

巷道进行了工字钢支护之后,产生最大水平位移的地方在两帮处,其最大值为 29.9 mm,巷道底臃比较严重,最大值为 215 mm,如图 6 所示.



(a) 水平位移场



(b) 垂直位移场

图 6 工字钢梯形支护位移场

由于此时应力集中主要出现在了支架内部,故支架会出现一定程度的屈服现象,其变形量最大处位于边角,与应力集中所出现的部位相同,最大屈服系数为 0.1016,如图 7 所示. 根据其屈服程度判断,会出现较为严重的支架倒伏或两帮支护失效的情况.

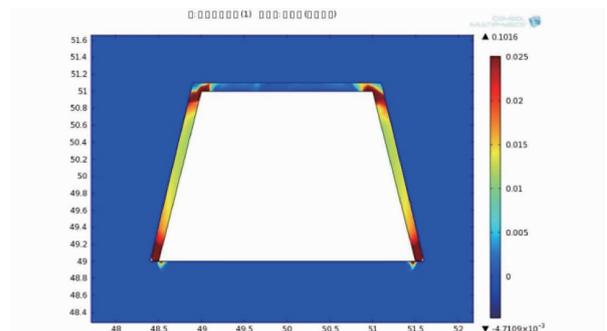


图 7 工字钢梯形支护支架屈服状态

由以上分析得知,在工字钢梯形断面的简单支护条件下,巷道围岩应力集中程度较高,且围岩变形明显,两帮位移和底鼓程度较大,支架自身强度不够,难以对巷道起到明显的支撑作用,对巷道维护极为不利.

4.2.2 U 型钢支护弧形断面巷道围岩应力场及位移场分析

为研究不同支护材料的作用,本模型在 4.2.1

的基础将支护材料替换为 29U 型钢,同时改变巷道断面形状,使巷道断面变为弧形. U 型钢支护弧形断面各应力云图如图 8 所示.

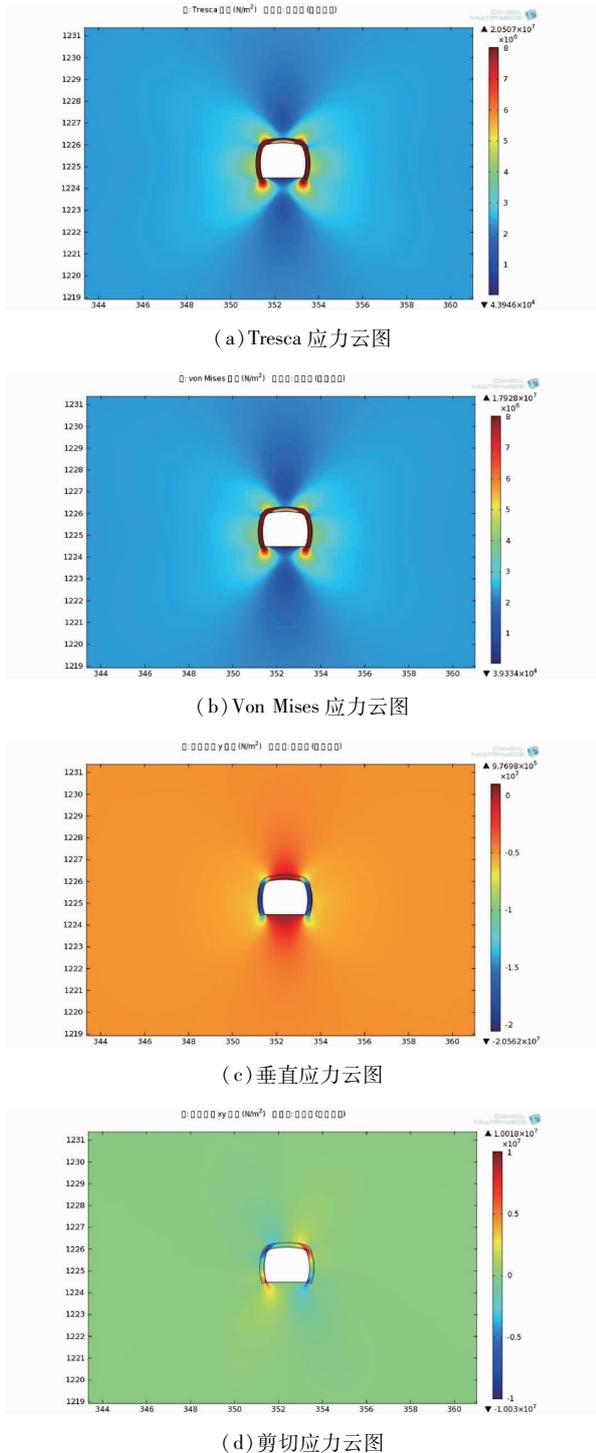


图 8 U 型钢支护弧形断面应力云图

当巷道开挖后,原岩平衡受到破坏,为达到新的平衡状态,巷道围岩内的应力将重新分布,由此会产生应力集中.但此时由于支护系统为封闭式,应力的集中程度相对降低.此时,如图 8 所示, Tresca 应力最大值减小为 20.507 MPa, Von Mises

应力最大值降低到 17.928 MPa,与工字钢梯形断面支护状态时相比较,其最大值明显降低,由此证明支架起到了有效的支护作用,转移了原岩内的集中应力.垂直应力分布也与米塞斯应力分布类似,应力主要集中在支架内部,最大值为 20.542 MPa;剪切应力的集中也出现类似情况,最大值为 10.018 MPa.与工字钢支护相比,此时的剪切应力分布发生了明显变化,剪切应力集中程度明显降低.

对巷道进行 U 型钢支护后,模拟结果如图 9 所示.水平位移的最大值虽然仍出现在两帮处,但其最大值减小到 6 mm;与 11#工字钢支护时相比,位移量下降明显,降低幅度超过 150%;与工字钢支护相比,底鼓量虽然仍大于 100 mm,但是已经进行了很大程度的减少.

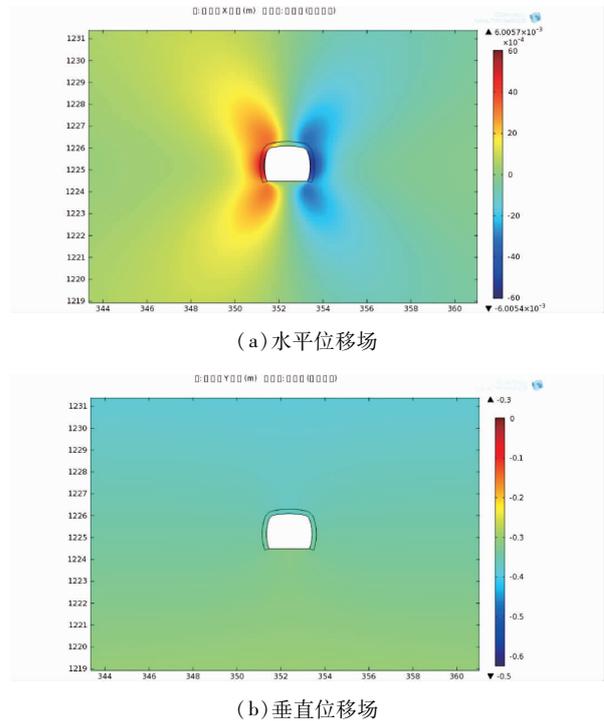


图 9 U 型钢支护弧形断面位移场

由于 U 型钢强度较高加之受力情况发生变化,支架的屈服系数相对工字钢支护时大幅度降低,最大值为 0.019 5,模拟结果如图 10 所示.由此可知,U 型钢自身的强度完全可以对巷道围岩起到有效的支护作用,不会出现支架严重变形、倒伏或两帮支护失效的情况.

由以上分析可以看出,在改善支护材料和巷道断面形状的情况下,巷道围岩变形相对减小,巷道

两帮的位移和底鼓量明显降低,说明 U 型钢支护弧形断面这种支护方式对南翼下山的支护是行之有效的,可以对巷道围岩进行有效的支护,延长巷道正常使用的时间,减少巷道返修的次数。

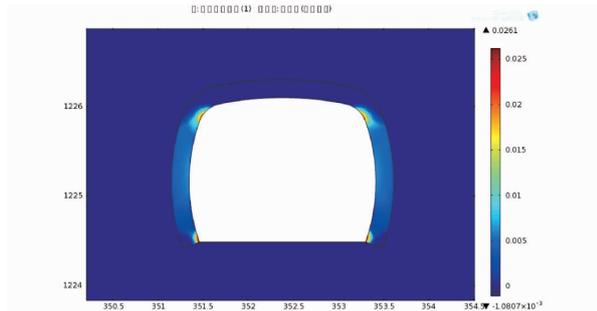


图 10 U 型钢支护弧形断面支架屈服状态

5 巷道支护优化设计与应用效果

5.1 支护优化设计

由于南翼下山巷道破坏严重,巷道围岩松动圈较深,常规的锚杆支护已经无法起到预期的作用.使用锚索和锚注等手段,虽然能够对巷道支护起到明显的作用,但是花费较大,考虑到经济问题,决定采用弧形断面,改 11# 工字钢金属棚为 U29 型 U 型钢金属棚,棚间距减小到 600 mm,金属棚与巷道围岩间加铺菱形金属网和 W 型钢带,其巷道断面支护图如图 11 所示^[10-12].

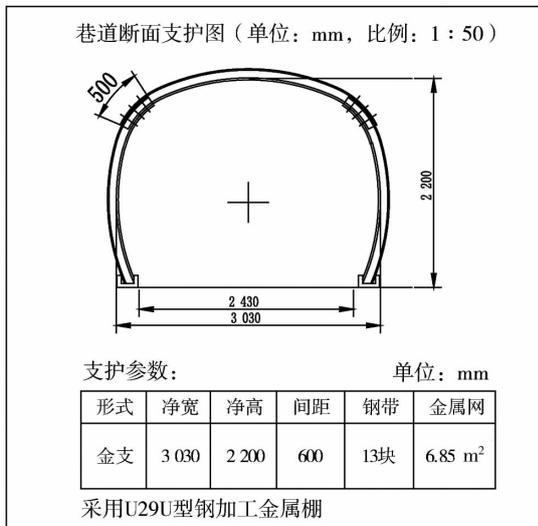


图 11 巷道断面支护图

5.2 应用效果

在长度为 300 m 的南翼下山采用了优化的支护方案后,经过实际应用和观测,已施工巷道稳定

性良好,金属支架未发生明显变形,巷道表面围岩虽然出现了裂缝,但是程度和范围很小.3 个月的时间内,巷道两帮的移近量和顶底板的移近量分别为 106,140 mm.与未优化前的巷道支护形式下巷道变形情况相比,优化支护形式的巷道围岩位移量明显减小,巷道整体趋于稳定,取得了良好的支护效果。

6 结论

- 1) 南翼下山巷道围岩破碎严重,变形持续时间长,松动圈较大.
- 2) 造成南翼下山巷道变形破坏的主要原因是巷道受 F₂ 断层和 2503 工作面的采动影响、原有支护方式设计不合理、支护强度不够.
- 3) 应该采用弧形断面和 U29 型 U 型钢进行支护.

参考文献:

- [1] 何满潮. 中国煤矿软岩巷道支护理论与实践[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- [2] 何满潮,景海河,孙晓明. 软岩工程力学[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [3] 于学馥,郑颖人,刘怀恒,等. 地下工程围岩稳定分析[M]. 北京:煤炭工业出版社,1983.
- [4] 钱鸣高,石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [5] 冯豫. 我国软岩巷道支护的研究[J]. 矿山压力与顶板管理,1990(2):42-44.
- [6] 刘文宝,吴龙泉,刘增平,等. 深井复杂条件下巷道支护优化设计[J]. 煤炭工程,2009(3):5-7.
- [7] 樊克恭,蒋金泉. 弱结构巷道围岩变形破坏与非均称控制机理[J]. 中国矿业大学学报,2007,36(1):54-59.
- [8] 卢学峰,张红军,钱自卫. 松软煤帮巷道支护方案的比较分析[J]. 矿业安全与环保,2011,38(3):45-47.
- [9] 董培鑫,王强,张占斌,等. 软岩巷道支护方案的优化研究[J]. 有色金属(矿山部分),2013(2):64-67.
- [10] 万首强. 千米水平软岩巷道支护技术实践[J]. 煤炭技术,2013,32(1):76-77.
- [11] 李磊,侯端明,李农. 多次跨采软岩巷道支护技术[J]. 煤矿安全,2013(5):111-113.
- [12] 赵长红,丁学福,张忠凝. 清水营煤矿软岩巷道支护实践[J]. 煤矿安全,2013(3):141-143.