

The Research and Application of Support Technology in High Stress Broken Surrounding Rock Roadway

Chengwen Zhang, Haodong Li, Xiangyang Tian

School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing
Email: xdz523@126.com

Received: Apr. 4th, 2016; accepted: Apr. 15th, 2016; published: Apr. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Through analysis on the large deformation, poor stability and supporting difficulty of the surrounding rocks of -980 m level roadway in a mine and using the rock detecting instrument and laboratory mechanical experiments, the lithology of the roof strata, the structure and fracture distribution of the level roadway are studied. Based on the original bolt-shotcrete support, the secondary support uses high resistance, fully-closed and polygonal steel brackets to support the roadway. And through the establishment of numerical model, plastic zone sizes of the surrounding rocks, before and after using the new steel brackets, are compared to determine the rationality of the support mode of new brackets. At the same time, results of site industrial test show that after using the new support, the roadway deformation has been controlled in about 50mm. And it achieves good technical and economic benefits in the engineering applications. The results have certain instructive meaning to support the design of the similar roadway.

Keywords

Deep Mine Roadway, The Secondary Support, Fully-Closed and Polygonal Steel Stents, Surrounding Rock Deformation

高应力破碎围岩巷道支护技术研究与应

张成文, 李浩栋, 田向阳

中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京
Email: xdz523@126.com

收稿日期：2016年4月4日；录用日期：2016年4月15日；发布日期：2016年4月27日

摘 要

针对某矿-980 m水平巷道围岩变形量大，稳定性差，支护难度大等问题，采用岩层钻孔窥测仪及实验室力学实验，对巷道顶板岩层岩性、结构及裂隙分布情况进行研究，提出在原有锚喷支护的基础上，二次支护采用力全封闭多边形工钢支架对巷道进行支护。并通过建立数值计算模型，对巷道使用新型工钢支架前后围岩塑性区大小分别进行模拟对比，确定该新型支架支护方式的合理性。同时进行现场工业性试验，结果表明，采用该新型支架支护后，巷道变形量基本控制在50 mm左右，在工程应用取得了较好的技术经济效果，对同类巷道的支护设计具有一定的借鉴意义。

关键词

深井巷道，二次支护，全封闭多边形工钢支架，围岩变形

1. 引言

随着煤炭开采深度的增加以及巷道支护技术的发展，深井巷道支护一直是煤矿生产的一大难题。深井巷道在复杂地质条件及高应力作用下，矿压显现明显，围岩稳定性较差，巷道掘进支护难度加大，返修耗工耗时。目前，国内外许多深部矿井常采用长锚索及锚喷支护等多种方法并取得了一定成功。但是在某些地质构造复杂，高应力区域，以及巷道服务年限较长的大巷，这些支护效果已经不能满足深部矿井的生产需要[1]-[3]。为此对某矿-980 m水平巷道进行支护优化设计，提出采用高阻力全封闭多边形工钢支架进行二次支护的技术，并对该支护方式进行数值模拟与现场工业性试验，取得了良好的效果。

2. 工程概况

该矿井田面积约 14.5 km²，主采煤层为 2#煤，煤层层位和厚度稳定，平均煤厚 4.3 m，煤层结构简单，矿井年生产能力为 125 万吨。矿井地质构造复杂，断层发育。随着矿井开采深度的增加，采深由 600 m 到接近 1300 m，开采水平由-760 m 水平向-980 m 水平延伸。本文研究的-980 m 水平主副暗一联巷是位于主暗斜井和副暗斜井之间的一条永久性巷道，埋深约 1000 m，所处的煤系地层，多为灰白色，薄层状细粒砂状结构，夹有粉砂岩薄层，含植物化石碎片。设计断面为矩形，宽 × 高 = 4 × 3.6 m，属于深井高应力巷道。通过采用 TYGD12 型岩层钻孔窥测仪对巷道顶板岩层岩性、结构及顶板岩层裂隙分布情况进行分析，钻孔窥视结果见图 1，得出巷道顶板多为灰岩、粉砂岩、细砂岩，比较破碎，局部有风化现象，强度较低且存在多处裂隙，发育有波状层理，稳定性差，易于受工程扰动影响[4]。

巷道顶板采用间、排距均为 800 mm，型号为 $\phi 22 \times 3000$ mm 的螺纹钢锚杆与 $\phi 21.8 \times 8500$ mm 的钢绞线锚索的支护形式，两帮采用 $\phi 21.8 \times 6500$ mm 钢绞线锚索进行加强支护，初喷与复喷的喷厚均为 50 mm。由于开采水平的延伸，地应力增高，巷道受动压影响变大，矿压显现明显，支护体严重破坏，顶帮喷层大面积剥落，巷道变形量增大，局部冒顶、底鼓现象时有发生(如图 2)，给矿井生产和安全带来非常不利的影响。

3. 高应力破碎围岩巷道支护对策

3.1. 巷道围岩控制理念

针对-980 m 水平主副暗一联巷服务年限长，围岩稳定性差，变形量大，难以支护等特点，在采用一


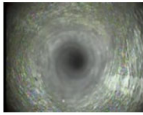

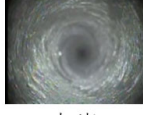

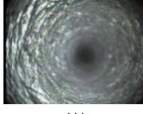

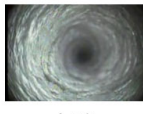
描述	柱状	层厚 /m	累深 /m	备注	
粉砂岩		5.05	8.00	紫色，致密，滑面发育，含赤铁矿，岩石较硬。	 粉砂岩
灰岩		1.45	3.25	浅灰，隐晶结构，含丰富海相动物化石。1.19—2.49m处存在裂隙。	 灰岩
煤		0.60	1.80	黑色，成分以亮煤为主。	 煤
灰岩		0.90	0.90	浅灰白色，细晶结构，含泥质及黄铁矿。	 灰岩

Figure 1. Drilling histogram of roof strata of primary and secondary dark roadway in -980 m level

图 1. -980m 水平主副暗一联巷顶板岩层钻孔柱状图



Figure 2. Case of roadway destruction

图 2. 巷道破坏情况

次支护让压后，使围岩变形能得以释放，形成承载结构，充分发挥围岩自稳能力。为了避免在高应力状态下，巷道围岩再次发生应变软化，造成围岩破碎和承载力降低，需要在提高围岩自身承载能力的基础上，对煤岩体进行适时补强，大幅度提高二次支护强度，从而实现应力释放并提高巷道围岩自身承载能力，使巷道变形在较长时间内保持稳定。因此，通过超高强支架提供高强二次支护工作阻力，控制巷道的持续变形，提高岩体的长期稳定性。

3.2. 高阻力全封闭多边形工钢支架设计

结合该矿现场条件，对支护体能力提出更高要求，要求巷道支护体强度要大、封闭性能高。文中从支架材质选型、结构和参数等方面进行合理的设计，来提高封闭支架的支护阻力[5]-[11]。

综合考虑支护材料的抗弯强度，抗扭能力，稳定性及断面利用率等指标，对支架参数进行优化设计。部分矿用支护材料主要参数指标统计对比分析统计见表 1。

由表可以看出，普通热轧型钢抗弯截面模量和断面利用率显著高于矿用工字钢和 U 型棚；在抗扭和稳定性方面，普通热轧型钢较差，但可以通过采用壁后充填技术来提高。普通热轧型钢抗压能力强，抗弯强度高，断面利用率高，完整性好，而 U 型钢可缩性在比较破碎地段，支护效果不是特别明显，发生弯曲破断现象，矿用工字钢支架实际承载能力低的特点，故选用普通热轧型钢作为该巷道的支护材料。

由于矩形巷道顶底角点处易产生应力集中，会不同程度影响支架的稳定性，故选用全封闭多边形结构来保证支架的整体性。同时，在设计时采用力法原理建立了支架的结构力学模型，结合现场复杂条件，计算得出支架设计宽高为 4×3.6 米，且斜梁角度为 45° 时更为合理。

考虑到巷道顶底板破坏造成的危害损失大于两帮片帮，在型钢选择上，对顶底板和两帮采用不同的材质进行加强支护，来提高支架的整体稳定性。顶梁和底梁采用 28b 型普通热轧型钢，长度为 2.4 米，两帮采用 22b 型普通热轧型钢，长度为 2 米。设计的高阻力全封闭多边形工钢支架由四部分组成，即顶梁、底梁和两侧梁，四部分采用螺纹对接。支架整体结构图见图 3。

通过对该矿-980 水平主副暗一联巷围岩变形破坏特征分析，在原有锚喷支护的基础上，待巷道围岩变形稳定后适时对巷道进行扩帮至设计断面，并采用高阻力全封闭多边形工钢支架进行二次支护，两架之间空帮、空顶应密实，同时对支架进行壁后充填、喷浆。

Table 1. Parameter index tables of different steel sections

表 1. 不同钢材断面参数指标统计表

类别	型号	抗弯截面模量 $W_x(\text{cm}^3)$	抗扭截面模量 $W_y(\text{cm}^3)$	稳定性	断面利用率 η
U 型可缩性棚	25u	82.1	75.7	922.0	6.4
	29u	92.3	102.3	1108.3	6.7
矿用工字钢	9	62.5	16.5	264.0	4.5
	12	144.5	37.5	259.5	5.8
普通热轧型钢	22b	325	42.7	131.4	10.1
	28b	534	61.2	114.6	12.4

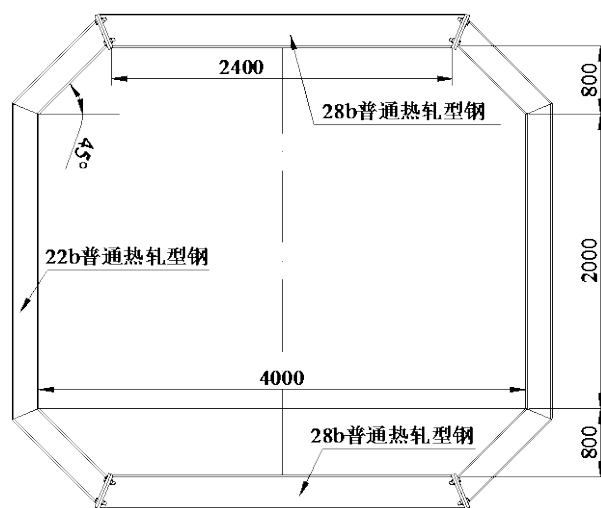


Figure 3. The overall schematic of high strength fully-closed and polygonal steel brackets

图 3. 高阻力全封闭多边形工钢支架整体结构示意图

4. FLAC3D 数值模拟

依据该矿典型的地质条件,为了简化计算模型,把层厚较小或岩性相近的岩层归为一层,同时,将研究对象巷道周围的网格划分较密些,其他地方较疏些。建立计算模型尺寸为:宽 \times 高 \times 厚=40 m \times 36 m \times 40 m,共建立了315,000块,328,050节点。巷道断面为4 m \times 3.6 m的矩形巷道,模型网格如图4所示。通过实验室力学试验,得到煤层顶底板岩层力学参数见表2。该模型边界条件为:四周铰支,底部固支,上部为自由边界。初始应力条件为:上边界施加垂直应力约为25 MPa,侧压系数按实测取0.4,四周施加水平应力为10 Mpa。模型采用摩尔-库伦本构模型进行计算。

通过建立数值模拟,对巷道使用新型工钢支架支护前后围岩塑性区大小情况进行分析。图5(a)为使用新型工钢支架支护前巷道围岩塑性破坏模拟结果,图5(b)为使用新型工钢支架支护后巷道围岩塑性破坏模拟结果,表3为巷道使用新型工钢支架支护前后围岩塑性破坏范围汇总结果。

从模拟结果可以看出,①使用新型工钢支架支护前,顶板塑性破坏范围为1.2 m~2 m,底板塑性破坏范围为1.5 m~2.5 m,两帮塑性破坏范围为2 m~3.5 m;②使用新型工钢支架支护后,顶板塑性破坏范围为0.8 m~1.5 m,底板塑性破坏范围为1~1.8 m,两帮塑性破坏范围为1.2 m~2 m。

由此可以总结出,使用新型工钢支架支护后,巷道顶底板及两帮破坏范围比未使用工钢支架支护时有所减小。

5. 现场工业性试验

通过对支护形式对比优化,在-980 m水平主副暗一联巷进行试验,采用深基点位移计监测巷道顶板岩层位移变化趋势。在巷道中部相距30米布置两个观测站,监测结果如下图6所示。

从观测结果可以看出,a监测站总巷道位移量为37 mm,集中在0~1 m与2.5~4 m范围内,0~1 m内变形量达到18 mm,4~8 m内变形量仅为5 mm,则4米深的顶板相对比较稳定。b监测站总巷道位移量达到47 mm,变形主要发生在中浅部,且主要集中在2.5~4 m范围内,深部位移发生比较小。从围岩位移变化趋势来看,a,b测站顶板位移在前28天内增长速率较快,之后位移变化趋于平缓,围岩相对稳定。

Table 2. Mechanics parameters of the seam roof and floor rocks

表2. 煤层顶底板岩层力学参数

岩性	厚度/m	密度/(kg·m ⁻³)	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)
细砂岩	13	2520	15.3	12.0	2.8	38
粉砂岩	12	2600	12.8	8.2	3.7	33
灰岩	1	2700	7.5	4.3	2.2	35
2#煤	4	1400	6.0	4.0	1.9	30
砂质泥岩	5	2200	8.2	5.1	2.4	35
粉砂岩	15	2600	12.8	8.2	3.7	33

Table 3. The summary of plastic zone size of the surrounding rocks for before and after using the new steel brackets in roadway

表3. 巷道使用新型工钢支架支护前后围岩塑性破坏范围汇总表

支护方式	顶板破坏范围/m	底板破坏范围/m	两帮破坏范围/m
使用新型工钢支架支护前	1.2 m~2 m	1.5 m~2.5 m	2 m~3.5 m
使用新型工钢支架支护后	0.8 m~1.4 m	1~1.6 m	1.2 m~2 m

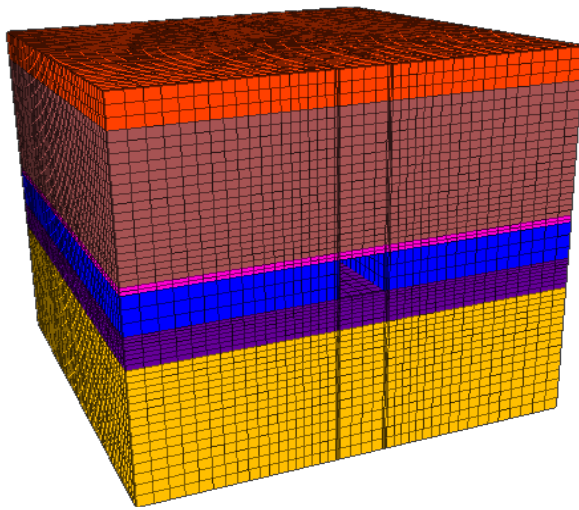


Figure 4. Numerical model
图 4. 数值计算模型

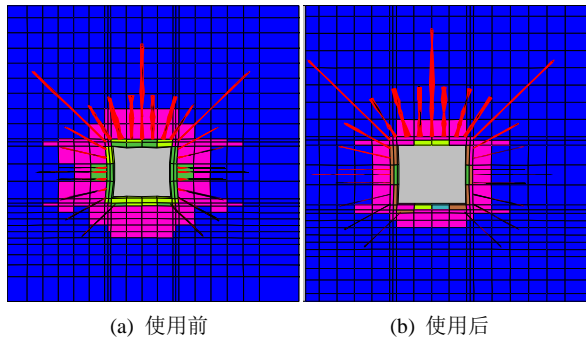


Figure 5. Plastic zone size of the surrounding rocks for before and after using the new steel brackets in roadway
图 5. 巷道使用新型工钢支架支护前后围岩塑性破坏图

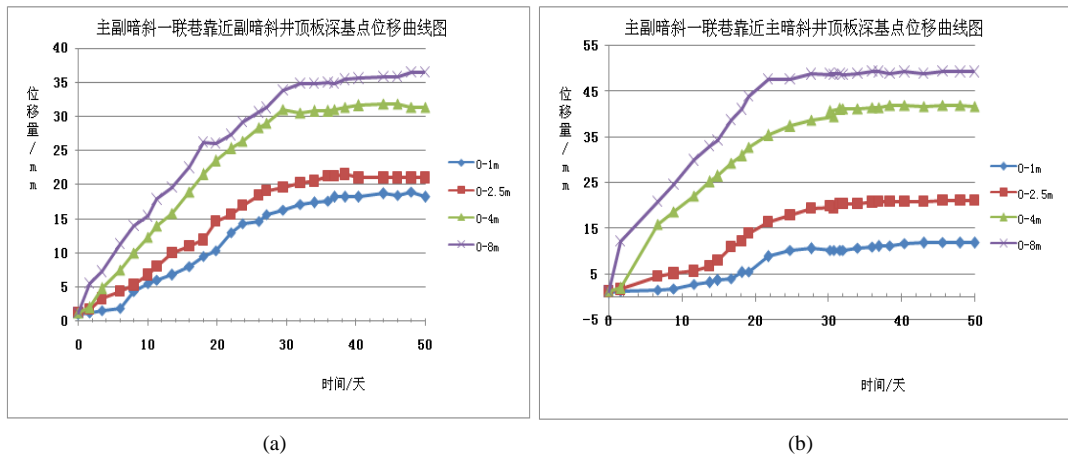


Figure 6. Deep point displacement monitoring curves
图 6. 深基点位移监测曲线

监测数据分析可知，采用高阻力全封闭多边形工钢支架支护能有效减小巷道围岩变形，起到良好支护效果，提高了成巷速度，减少了巷道返修次数，达到了设计要求与矿井正常生产需求。

6. 结论

1、通过对不同材质抗弯强度,稳定性等指标对比分析,选取了热轧型钢作为支架的最佳材质。考虑到巷道顶底帮破坏程度不同,对顶底板和两帮分别采用 28b 和 22b 型钢进行加强支护,来提高支架的整体稳定性。

2、以-980 m 主副暗一联巷为计算模型,通过对巷道使用新型工钢支架支护前后围岩塑性区大小进行数值模拟对比,得出了新型工钢支架支护能改善巷道围岩塑性区大小,该新型支护方式较为合理。

3、将研究成果应用于现场工程实践,监测结果表明,巷道变形量基本控制在 50 mm 左右,符合生产要求,巷道翻修时间加长,新型工钢支架支护技术能够满足千米埋深巷道围岩的要求。

参考文献 (References)

- [1] 侯朝炯,等. 巷道围岩控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2013.
- [2] 刘洪涛,李家全. 深部巷道锚网喷注协调支护时效性研究[J]. 煤炭学报,2015(10): 2347-2354.
- [3] 詹平. 高应力破碎围岩巷道控制机理及技术研究[D]:[博士学位论文]. 北京:中国矿业大学(北京),2012.
- [4] 贾后省,王志刚,冯井龙,段仰鹏,杜丙申,楚义雷. 软岩巷道“让压-支护”围岩控制技术与应用[J]. 煤矿开采,2014(4): 68-72.
- [5] 赵希栋,鱼琪伟,刘金虎,刘跃,李浩栋. 高强度多边形封闭式型钢支架的研发与应用[J]. 中国煤炭,2015(11): 68-72.
- [6] 李大伟,侯朝炯,柏建彪. 大刚度高强度二次支护巷道控制机理与应用[J]. 岩土工程学报,2008(7): 1072-1078.
- [7] 柏建彪,王襄禹,贾明魁,侯朝炯. 深部软岩巷道支护原理及应用[J]. 岩土工程学报,2008(5): 632-635.
- [8] 常庆粮,周华强,李大伟,柏建彪,侯朝炯. 软岩破碎巷道大刚度二次支护稳定原理[J]. 采矿与安全工程学报,2007(2): 169-172,177.
- [9] 赵希栋,贾后省,刘洪涛,等. 深井高应力巷道围岩变形特征及控制对策研究[J]. 煤矿开采,2013(5): 48-51.
- [10] 王连国,缪协兴,董健涛,谭小宁. 深部软岩巷道锚注支护数值模拟研究[J]. 岩土力学,2005(6): 983-985.
- [11] 张广超,何富连. 深井高应力软岩巷道围岩变形破坏机制及控制[J]. 采矿与安全工程学报,2015(4): 571-577.