

高抽巷综合机械化快速掘进技术研究与应

罗明坤*

(潞安环保能源开发股份有限公司 漳村煤矿,山西 长治 046204)

摘要:针对岩巷炮掘施工进度慢、效率低的问题,以漳村煤矿 2603 高抽巷为例,通过引进 EBZ-280A 配套综掘设备,结合实验室试验和 3DEC 数值模拟分析,确定了掘进的合理层位,并制定一系列的岩巷快速掘进措施,实现岩巷快速稳定掘进.现场实践中综掘设备日均进尺达 6.2 m/d,比炮掘日均进尺提高 3.3 m/d,施工效率提升 113.8%.这表明采用引进的综掘设备可以加快岩巷的掘进速度,提升掘进效率.

关键词:岩巷;快速掘进;EBZ-280A 掘进机;2603 高抽巷

中图分类号:TD421 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2021)02-0026-05

Research and Application of Comprehensive Mechanized Rapid Driving Technology for High Pumping Roadway

LUO Mingkun

(Zhangcun Coal Mine, Lu'an Environmental Protection Energy Development Co., Ltd., Changzhi 046204, China)

Abstract: Aiming at the problems of slow speed and low efficiency of blasting excavation in rock roadway, taking 2603 high extraction roadway in Zhangcun Coal Mine as an example, through the introduction of EBZ-280A supporting comprehensive excavation equipment and combining with laboratory test and 3DEC numerical simulation analysis, the reasonable driving horizon is determined and a series of rapid rock roadway excavation measures are formulated. The field practice shows that the introduction of comprehensive excavation equipment can accelerate the excavation efficiency of rock roadway and realize the rapid and stable excavation of rock roadway. The average daily footage of comprehensive excavation equipment reaches 6.2 m/d, which is 3.5 m/d higher than the average daily footage of blasting excavation, and the construction efficiency is increased by 113.8%.

Keywords: rock roadway; rapid excavation; EBZ-280A roadheader; 2603 high-pressure extraction roadway

随着开采深度的不断增加,巷道地应力也随之增大,围岩的相对强度也增加^[1-3],使炮掘时掘进难度加大,效率降低^[4-6].在高瓦斯矿井,为解决工作面瓦斯超限和上隅角瓦斯积聚问题,通常采用在工作面煤层顶板布置走向高抽巷进行瓦斯抽采^[7-9].因此,高抽巷一般为全岩巷道,在岩巷施工过程中采用传统炮掘施工效率低下^[10],严重制约矿井的采掘衔接,同时岩巷炮掘掘进工作量大、工人劳动强度高^[11,12]、安全系数低^[13].为了提高工作面的掘进速度和效率,需要引进综掘设备^[14-16],因此对在综合掘进下提升巷道掘进速度的研究有重要的意义.

针对以上问题,潞安集团漳村煤矿引进综合机械化掘进设备 EBZ-280A,基于 3DEC 离散元数值分析软件,以 2603 高抽巷为背景建立 2603 工作面开采模型,和掘进研究工作面开采导致的顶板离层和垮落范围,确定巷道合理掘进层位,并制定一套针对综掘的施工工艺,对岩巷快速掘进的施工方式进行了研究,最后成功进行现场实践.研究结果对相同地质条件下的巷道机械化掘进提供经验与技术支持.

1 工程概况

2603 高抽巷西侧为 2603 运巷,两条巷道平行布置,南侧为 26 皮带巷,北侧为井田边界,东侧为实体煤.2603 工作面切眼长度为 300 m,工作面可采长度 1 158 m,设计运输巷道长度 1 228 m,风巷 1 200 m,高抽巷 1 228 m,可采储量 305 万 t.2603 工作面煤层平均厚度 6.53 m,煤层埋深 525~545 m.煤层及顶底板柱状图如图 1 所示.

顶底板名称	层厚/m	柱状 1:200	层号	岩石名称	岩性描述	备注
	0.60~7.20 2.63		1	泥岩	灰黑色,块状,质均,断口平坦,局部含1%煤,厚度约0.4 m	
	1.60~6.95 3.46		2	细粒砂岩	浅灰色,块状,质均,断面含云母	
	3.45~10.3 8.00		3	泥岩	灰黑色,块状,质均,性脆,断口平坦,局部含2%煤,厚度约0.5 m	
老顶	4.40~14.5 7.83		4	细粒砂岩	浅灰-灰白色,长石,石英石为主,夹泥质条带	
直接顶	1.25~5.58 2.49		5	泥岩 砂质泥岩	灰黑色,块状,质均,性脆,断口平坦	
3号煤	5.42~7.63 6.53		6	煤	黑色,玻璃光泽,参差状断口,以亮煤为主,次为暗煤 煤层结构: 5.18 (0.15) 1.20	
直接底	0.57~4.01 2.83		7	砂质泥岩	灰黑,块状,性脆,断口平坦.部分底板为灰黑泥岩、粉砂岩	
老底	1.75~7.20 5.04		8	细粒砂岩	浅灰色,细粒结构,分选性较好.局部为粉砂岩,夹泥岩条带	

图 1 2603 工作面顶底板柱状图

2 影响高抽巷快速成巷的关键因素

1)地质条件.地质条件是影响高抽巷快速成巷的先决条件,若地质条件复杂则会大大影响掘进速度和成巷效果,因此高抽巷层位合理位置的选择是影响快速成巷的关键因素.

2)施工装备.掘进施工装备是实现快速成巷的重要保障.传统的掘进工艺采用崩落法施工实现破岩,利用扒岩机配合矿车或胶带等设备完成装矸和运矸工序,无法实现破、装、运的一体化作业,工效较低.掘进设备选型需要符合当前地质条件,否则容易导致机械频繁故障,严重影响连续作业.

3)作业方式.根据现场施工经验,巷道掘进过程中支护耗时所占比重达到 70%,若能实现掘支一体化作业,则可优化掘进时间,提高掘进效率.

4)人员综合素质.掘进队伍的综合素质是影响施工效率的重要因素,为了保证掘进工序的安全、连贯、有序进行,需要提升施工技术人员综合素质.

5)管理水平.高效的组织管理模式和良好的奖惩制度,能促进技术人员的安全意识、工作积极性以及各工序的衔接能力等方面得到较大的提高.

3 岩巷综合机械化快速掘进设计

3.1 合理层位选择

高抽巷瓦斯抽放的原理是将巷道布置在工作面上方的裂隙带内,随着工作面回采推进顶板逐步垮落,原始煤层中的瓦斯压力平衡状态被破坏,释放解析出的瓦斯向裂隙带渗流,并在抽放负压作用下汇集至高抽巷被抽出.因此高抽巷往往选择在距冒落带较近、裂隙发育相对较多的裂隙带下部.

3.1.1 岩石强度测试

为了得到岩石强度等物理力学参数,漳村煤矿联合中国矿业大学进行层位岩石强度测试.岩石制备成标准尺寸 $\Phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的岩样,岩石试样在 MTS816 试验机上进行强度测试,岩石试样的受压破坏示

意图如图2所示。

根据岩石强度试验得到直接顶砂质泥岩的岩石硬度指数 f 为3~4,老顶细粒砂岩的硬度指数 f 为5~6,泥岩的硬度指数 f 为2~3。

3.1.2 工作面顶板裂隙带层位

根据漳村煤矿2603工作面岩石强度测试结果,并结合相邻工作面地质力学测试数据,3[#]煤层老顶岩石平均强度为53.28 MPa,硬度指数 f 为5~6,属于中硬岩层。依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》,厚煤层分层开采的冒落带高度可通过式(1)计算,裂隙带高度可通过式(2)得到:

$$H_{\text{冒}} = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2; \quad (1)$$

$$H_{\text{裂}} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6. \quad (2)$$

式中: $H_{\text{冒}}$ 为冒落带高度; $H_{\text{裂}}$ 为裂隙带高度; M 为各岩层厚度。

根据式(1)和式(2)得到:3[#]煤层回采工作面冒落带高度为煤层顶板上11~15 m,距煤层15 m以上顶板进入裂隙带,裂隙带位于煤层顶板以上15~55 m。

3DEC是一款基于离散单元法为基本理论,描述离散介质力学行为的计算分析程序。依据工作面尺寸建立3DEC模型,工作面长度260 m,两侧各留有70 m作为保护边界,以消除边界效应。数值模型长×宽×高=400 m×300 m×200 m。模型开采垮落形态如图3所示。

从图3中可以看出:3DEC模型中工作面开采完成后,顶板完全垮落,工作面两端头有悬顶,悬顶长度为10 m左右,工作面20~240 m位置顶板基本接底。上覆岩层垮落触底,冒落高度为10~15 m,裂隙带分布在顶板15~35 m位置。

结合理论计算与离散元数值分析得到:2603工作面上覆岩层冒落带和裂隙带高度分界线大约在煤层以上15 m位置,距煤层高度小于15 m为冒落带,大于15 m为裂隙带。

3.1.3 岩性对高抽巷层位选择的影响

高抽巷层位选择还与巷道岩性相关,巷道岩性的强弱直接影响高抽巷的掘进效率以及巷道的支护效果。

1)应保证锚杆(索)锚固端位于稳定的坚硬岩层中。2603高抽巷顶部采用屈服强度335 MPa,Φ22 mm×2 400 mm锚杆支护,Φ18.9 mm×5 000 mm锚索补强,为保证巷道支护可靠,因此2603高抽巷应尽可能保证巷道顶板上方2~6 m(锚杆索锚固区域)范围为坚硬稳定砂岩,确保顶板安全。

2)在保证瓦斯抽放效果、支护安全可靠的前提下,将巷道掘进区域尽可能选择在岩性为泥岩或泥质砂岩等硬度相对较低的软岩中。巷道掘进时,岩石硬度与破岩、落岩效率成正比,随着岩石硬度增高,掘进机割岩时间往往成倍数增加,巷道掘进效率大幅降低,这将影响整个工作面的圈定工期,甚至导致矿井采掘衔接失衡。

综合上述分析,以满足抽采效果为目标,以确保顶板安全为原则,兼顾掘进机截割效率,应在裂隙带下部区域选择一层锚杆索锚固端为坚硬稳定砂岩、巷道掘进区域为泥岩的层位布置高抽巷,结合临近2601工作面高抽巷布置经验,2603高抽巷拟布置于裂隙带下部,即3[#]煤层顶板往上15~18 m位置。

3.2 巷道断面及支护优化

3.2.1 巷道断面优化

根据EBZ-280A掘进机机身尺寸(铲板宽2.6 m,截割头水平放置最高点2.3 m),结合巷内掘进各系统设施(皮带、风筒、吊轨、管路)布置,同时为防止掘进机出现故障,巷道断面需同时满足皮带安装及单轨

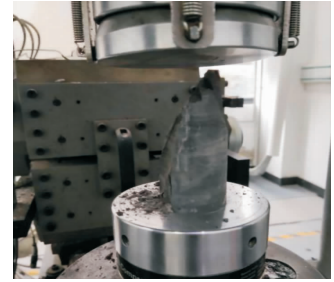


图2 2603工作面岩石强度测试

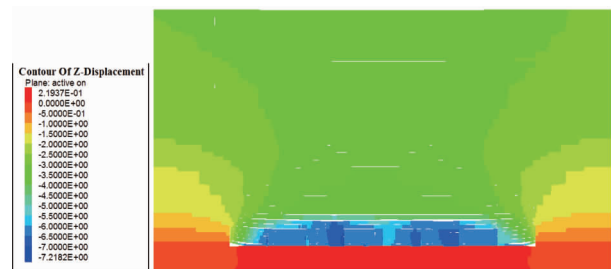


图3 工作面上覆顶板开采垮落形态

吊通行,以便于大尺寸部件运输.最终将巷道宽度确定为 3.9 m(单轨吊吊轨两侧各 1.1 m+皮带架宽 1.2 m+皮带距帮 0.5 m);巷道高度确定为 3.3 m(单轨吊吊轨距顶 0.7 m+距底 2.6 m).

3.2.2 巷道支护优化

2603 高抽巷岩巷综掘试验采用屈服强度 335 MPa,锚杆直径 22 mm,螺纹部分直径 24 mm,长度 2 400 mm 的螺纹钢锚杆支护,采用 $\Phi 18.9$ mm \times 5 000 mm 锚索补强(1-0-1 布置),锚杆排距 1.2 m.具体支护如图 4 所示.

3.3 设备配套

3.3.1 综掘机的工作原理及性能

一般来说,综掘机利用截割头切入岩体,增加周围岩体的自由空间,利用回转液压油缸控制截割头左右摆动,按照设计截割路线使围岩发生拉伸破坏.岩石的抗拉强度远远低于其抗压强度,因此合理利用拉应力可有效地提高掘进机的破岩效率,降低功耗.

选用 EBZ-280A 型悬臂式掘进机,该设备可配合胶带转载机、可伸缩胶带输送机实现连续排矸.该掘进机外形尺寸:12.4 m \times 2.4 m \times 2.3 m,综掘机的最大定位截割断面可达 18 m²,截割强度不大于 80 MPa,坡度 $\pm 18^\circ$.该掘进机破岩能力强,截齿布置设计合理,在 $f < 8$ 的岩巷可正常掘进,掘进时机身稳定,适用于 2603 高抽巷的快速掘进.

EBZ-280A 型悬臂式掘进机综合技术参数如表 1 所示.

表 1 掘进机综合技术参数

名称	数值	名称	数值
整机质量	100 t	机身长度	12.4 m
履带宽度	2.4 m	机身高度	2.3 m
装载形式	五齿星轮	运输机形式	双边链刮板式
定位切割高度	3.3~5.1 m	定位切割宽度	4.2~6.2 m
切割岩体抗压强度	≤ 80 MPa	爬坡能力	$\pm 18^\circ$
总功率	495 kW	切割电机功率	280 kW
泵站电机功率	160 kW	供电电压	1 140 V

3.3.2 带式输送机的选择

根据现场带式输送机的使用经验,并结合相关规范,其选择通常从以下 5 个方面考虑:(1)满足现场地质条件及施工工艺;(2)输送能力要与掘进机的排矸能力相匹配;(3)保证输送机完全稳定,满足现场的坡度要求;(4)确保输送系统安全可靠,驱动滚筒与皮带间的驱动力要满足设计要求,并保证不小于 20% 的富裕系数;(5)胶带具有足够的耐磨性能和抗冲击能力.

综上,决定采用 EBZ-280A 掘进机割岩,QZP-160 桥式转载皮带机配合 DSJ-80 胶带输送机运岩.

4 现场应用效果分析

4.1 综合经营指标分析对比

根据确定的岩层层位,在 2603 工作面上方布置高抽巷,使用 EBZ-280A 掘进机掘进 2603 高抽巷,掘进长度 1 122 m.2603 高抽巷综掘与 2601 高抽巷炮掘各项费用综合对比见表 2.

表 2 综合经营指标对比

名称	人工薪酬	支护材料费	电费	设备折旧(租赁)费	配件费	火工品费用	合计
2601 高抽巷(炮掘)	3 229	849.67	281.56	1 126.45	60.35	579	6 126.03
2603 高抽巷(综掘)	2 214	1 316.01	421.13	823.20	540.64		5 314.98
费用对比	-1 015	466.34	139.57	-303.25	480.29	-579	-811.05

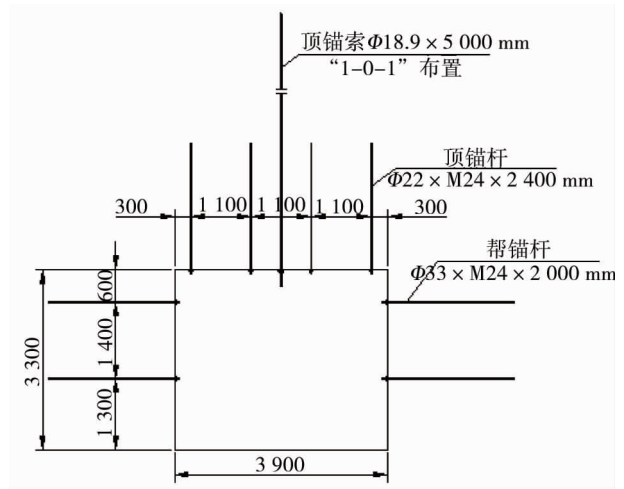


图 4 巷道断面支护(单位:mm)

由表2可以看出:采用综掘施工时,虽然巷道的支护材料费、电费、配件费这3项均高于炮掘施工的费用,但由于综掘施工效率高,工效大幅提升,所节约的人工薪酬、设备租赁(折旧)费这2项就超过了新增费用,而且综掘施工不产生火工品费用,综合各项费用综掘可节约811.05元/m,总计可节约91万元左右。

4.2 掘进效率对比

对比2601高抽巷炮掘和2603高抽巷综掘的最高月(日)掘进量、平均月(日)掘进量以及工效,如表3所示。

表3 掘进效率对比

名称	月进尺/m		日进尺/m		工效/(m/工)
	最高	平均	最高	平均	
2601高抽巷	106.5	86.3	3.9	2.9	0.18
2603高抽巷	237.8	139.6	9.6	6.2	0.25
提升幅度/%	123.3	61.8	146.2	113.8	38.90

通过表3发现,2603高抽巷岩巷综掘日均进尺6.2m,最高日进尺达9.6m,平均日进尺和平均月进尺较炮掘均有较大幅度的提升,成效显著.说明采用综合掘进机可以显著提高巷道施工效率,加快巷道和工作面布置,缓解煤矿采掘衔接紧张。

5 结论

- 1)2603高抽巷合理布置层位为裂隙带下部,即3#煤层顶板向上15~18m处。
- 2)选用EBZ-280A型悬臂式掘进机,巷道布置断面宽度为3.9m,高度为3.3m,并在现场应用成功。
- 3)采用综掘机掘进最高日进尺达到9.6m,最高月进尺达到237.8m,对比炮掘施工,最高月进尺效率提升123.3%,解决了因高抽巷的布置影响工作面整体圈定工期及综合经营指标费用过高的问题,为高抽巷及其他岩巷的施工提供了经验和参考依据。

参考文献:

- [1] 郭强.81107工作面走向高抽巷快速掘进技术研究[J].山东煤炭科技,2020(9):92-94.
- [2] 王杜娟,贺飞,王勇,等.煤矿岩巷全断面掘进机(TBM)及智能化关键技术[J].煤炭学报,2020,45(6):2031-2044.
- [3] Wang T, Ma Z G, Gong P, et al. Analysis of Failure Characteristics and Strength Criterion of Coal-Rock Combined Body with Different Height Ratios[J]. Advances in Civil Engineering, 2020,2020:1-14.
- [4] 崔江涛.煤巷快速掘进技术探讨[J].煤,2019,28(10):87-88.
- [5] Chen G, Wu Z Z, Wang F J, et al. Study on the application of a comprehensive technique for geological prediction in tunneling[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(8): 1667-1671.
- [6] Banks D. Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice & Projects Volume 4, Excavation, Support and Monitoring[J]. Elsevier,1994,37(3/4):315-316.
- [7] 杨生华,芮丰,蒋卫良,等.煤矿全断面岩巷掘进机开发应用与发展[J].煤炭科学技术,2019,47(6):1-10.
- [8] 常春锋.五阳矿硬岩巷道快速掘进钻、装、运设备选型研究[J].煤炭与化工,2019,42(5):94-96.
- [9] 魏红亮,白宏峰.顶管机在煤矿高抽巷快速掘进中的应用研究[J].煤矿机械,2018,39(3):111-113.
- [10] 韩贵文.EBZ260W型岩巷掘进机在新景公司的应用[J].江西煤炭科技,2017(4):175-177.
- [11] 田小光.综合机械化快速掘进工艺及其改进[J].机械管理开发,2017,32(7):90-91.
- [12] 曹祺,徐魁.淮南煤矿岩巷快速掘进技术现状与展望[J].淮南师范学院学报,2017,19(3):146-148.
- [13] 马睿.巷道快速掘进空顶区顶板破坏机理及稳定性控制[D].徐州:中国矿业大学,2016.
- [14] 张富伟,艾灿标,董鹏飞,等.岩巷快速掘进技术研究[J].中州煤炭,2016(11):71-74.
- [15] 曹飞飞.岩巷快速掘进优化设计及应用[D].邯郸:河北工程大学,2014.
- [16] 宣建军,霍兆丰.顶板高抽巷快速掘进技术[J].煤炭科学技术,2013,41(s1):43-45.