

采矿与井巷工程

大断面斜井基岩段钻爆法高效快速施工技术研究

张召冉¹, 郭义先², 矫伟刚², 佟文晶¹

(1. 北方工业大学 土木工程学院, 北京 100141; 2. 北京市勘察设计研究院有限公司, 北京 100038)

摘要:为了研究斜井掘进中各环节对斜井掘进速度的影响,以大断面斜井为工程背景,利用鱼骨图分析制约其掘进速度影响因素,首先优化爆破参数,掏槽优化为楔直复合掏槽结构,单循环进尺由 1.9 m 提高到 2.1 m,提高幅度为 11%;其次将支护工艺优化为二次支护工艺,配合选用凿岩台车+履带式装载机+防爆无轨胶轮车的全机械化作业线,凿岩、支护、排矸 3 大工序耗时平均减少 36%;并将劳动组织形式由三八制改为四六制。研究结果表明:采取以上措施后,日进尺平均达到 8.5 m,月进尺达到 240 m,指标提高幅度分别为 50% 和 71%,技术经济效益显著。

关键词:斜井施工;基岩段;钻爆法;斜井掘进速度

中图分类号:TD262

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)02-0126-05

Study on high efficient and rapid construction technology of drilling and blasting method in bedrock section of large section inclined shaft

ZHANG Zhaoran¹, GUO Yixian², JIAO Weigang¹, TONG Wenjing¹

(1. School of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100141, China; 2. BGI Engineering Consultants Limited, Beijing 100038, China)

Abstract: In order to study each link affected to the mine incline shaft sinking speed in the mine incline shaft sinking period, based on the large cross section shaft as the engineering background, a fish-bone diagram was applied to analyze and restrict the factors of shaft sinking speed. The blasting parameter was firstly optimized and the cut was optimized to be a wedge straight complex cut structure. Thus single cycle footage was increased from 1.9 m to 2.1 m and was increased by 11%. Secondly the support technique was optimized to be a twice support technique. With an application of a full mechanized operation line with a rock drilling rig + crawler loader + flameproof trackless rubber-tyred vehicle, a time consumption of the rock drilling, support and waste rock removing was reduced by 36% in average. Finally, the labor organization was changed from a three eight-hour system to a four six-hour system. The study results showed that with the above measures conducted, a daily footage was reached to 8.5 m in average, a month footage was reached to 240 m and the index was highly increased by 50% and 71% individually. The technical and economic benefits were obvious.

Key words: mine inclined shaft construction; bedrock section; drilling and blasting method; mine shaft sinking speed

0 引 言

煤炭在我国能源结构中占据重要地位,2015 年我国煤炭产量达到 37.5 亿 t。煤炭资源的巨大消耗对矿井建设速度提出了更高的要求。在煤矿生产中,井巷工程作为煤矿的“咽喉工程”,是煤矿建设

的第一环节,其重要性可见一斑^[1-3]。斜井作为我国煤矿井筒的主要形式之一^[4],其施工速度对煤矿的建设工期影响巨大。所以斜井快速掘进技术显得尤为重要,是实现斜井快速建设的技术保障。

我国在岩石巷道方面已经形成了较为成熟的技术、装备等配套,杨仁树等利用楔直复合掏槽克服底

收稿日期:2017-11-13;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.02.016

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2016YFC0600903);北方工业大学校内人才强校行动计划资助项目(XN18/033);北方工业大学大学生科技活动资助项目(XN 20170425)

作者简介:张召冉(1981—),男,山东临朐人,讲师,博士。E-mail:zhaoran2011@foxmail.com

引用格式:张召冉,郭义先,矫伟刚,等.大断面斜井基岩段钻爆法高效快速施工技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(2):126-130.

ZHANG Zhaoran, GUO Yixian, JIAO Weigang, et al. Study on high efficient and rapid construction technology of drilling and blasting method in bedrock section of large section inclined shaft[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 126-130.

部岩石的夹制作用^[5-7];文献[8]通过加大掏槽药量以增加进尺;单仁亮提出了准直眼掏槽技术^[9-10]。济宁三号煤矿^[11]、口孜东矿^[12]、陈四楼煤矿^[13-14]在巷道中利用全液压掘进钻车配合侧卸装岩机,月进尺显著提升。针对岩巷掘进中运输、矿车周转、掘进速率低等问题,石屏一矿采用岩巷掘进连续运输系统,掘进速度提高65%。近年来,我国在斜井的掘进建设速度方面取得了不错的成绩,柴山多金属矿区胶带运输斜井采取超前导洞和光面爆破,形成“两小一大”交替作业方式,通过CY-2型井下铲运机与小汽车搭配出碴,配合“四六制”取得月进尺121.5 m^[15];酸刺沟煤矿主斜井基岩段通过优化装备和施工工艺取得连续3个月进尺150 m/月;针对红石湾煤矿的特殊地质情况,通过优化爆破参数和改进钻孔机械,使得红黏土层斜井施工速度提高30%以上^[16]。以上研究无论是岩巷或斜井的施工仅从技术或装备配置等单方面进行优化,对掘进施工速度影响的工艺、劳动组织等因素没有过多分析。针对上述问题,笔者将掘进施工看作一个完整的生产系统,结合具体工况综合对爆破技术、支护工艺、装备配置、组织管理等方面进行优化,研究分析其对斜井掘进施工速度的影响。

1 工程概况

贾郭煤矿副斜井总长度2 517.024 m,基岩段长度2 266.126 m,合同工期为10个月。井筒为直墙半圆拱断面,铺底厚度250 mm,巷道倾角-6°,副斜井断面参数如下:

净宽/mm	5 000
净高/mm	4 500
净断面积/m ²	19.8
荒宽/mm	5 240
荒高/mm	4 870
荒断面积/m ²	22.6

副斜井所穿越地层围岩以细粒砂岩、粉砂岩为主,普氏系数平均为6。据勘查资料,太原组、山西组、下石盒子组富水性弱,奥灰富水性中等,对整个掘进影响不大。

2 基岩段爆破参数优化

2.1 原爆破方案及效果

1)主要爆破参数。基岩段掏槽形式采用准楔形掏槽法,采用8个掏槽孔,一个中心孔(不装药)。

炮孔深度为2.3 m,掏槽孔和中心孔深度比其余炮孔深200 mm。具体炮眼布置和药量如图1所示,见表2。使用二级煤矿许用乳化炸药(规格为35 mm×200 mm,200 g/卷),煤矿许用毫秒电雷管。正向装药结构,起爆使用MFD-150型发爆器全断面一次起爆。

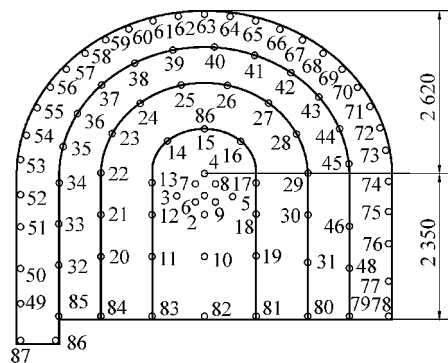


图1 原方案炮眼布置

Fig. 1 Original blast hole layout

表1 原方案装药量

Table 1 Charge quantity of original program

眼号	炮眼	眼深/ m	眼距/ m	装药量			方位	雷管 段号
				眼数/个	卷/眼	装药量/kg		
1	中心眼	2.3	—	1	0	0	90°	—
2—5	掏槽眼	2.3	0.37	4	5	4.0	85°	1
6—9	掏槽眼	2.3	0.20	4	5	4.0	85°	2
10—19	一圈眼	2.2	0.60	10	4	8.0	90°	3
20—31	二圈眼	2.2	0.65	12	4	9.6	90°	4
32—48	三圈眼	2.2	0.55	17	4	13.6	90°	5
49—77	周边眼	2.2	0.30	31	2	12.4	90°	5
86—87	底眼	2.2	—	8	5	8.0	85°	—

2)主要施工工艺及组织。对于凿岩作业,掘进工作面采用4台YT-28型气腿式凿岩机钻孔(4台备用),专用凿岩平架辅助,上下各2部凿岩机同时打眼。钻头为 $\phi 42$ mm的“一”字型钻头。支护采用锚网喷支护一次支护完成,喷浆厚度120 mm。配置ZP-VII型喷浆机2台(1台工作,1台备用),喷射混凝土在喷浆机附近现场人工拌和。支护材料为等强度螺纹钢锚杆,规格为 $\phi 20$ mm×2 000 mm,间排距800 mm×800 mm。排矸作业,采用ZWY-180/78L履带式防爆装载机装矸,后路接DSS-800输送带运输至地面。施工组织采用“三八”制作业,班班有进尺。

3) 施工效果分析。采用本方案, 爆破后单循环进尺为 1.9 m 左右, 日进尺接近 5.7 m, 月进尺为 140 m 左右。炮眼利用率仅为 83%, 周边超欠挖在 150 mm 左右, 炸药单耗为 1.39 kg/m^3 , 大块率较高, 达到 8% 左右, 半眼痕率仅为 10%, 掘进工作面矸较为严重。

如果按照目前施工速度进行施工, 满足不了合同工期的要求, 使得矿井达产滞后约 6 个月。为此, 对整个施工中存在的问题进行系统分析, 采用头脑风暴法结合鱼骨图分析法, 认为制约施工速度的主要因素来自于施工系统内部本身, 主要表现为技术、组织管理、装备、工艺等 4 个方面, 如图 2 所示。

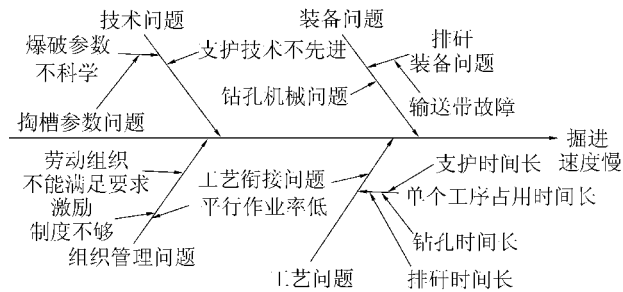


图2 原因分析鱼骨图

Fig. 2 Cause analysis of fishbone

2.2 施工方案优化

针对原爆破方案及施工工艺的问题分析, 先后进行了爆破参数、支护参数、施工工艺、劳动组织方面的优化。

1) 爆破参数优化。掏槽形式采用楔直复合掏槽, 采用 4 对掏槽孔, 3 对辅助掏槽, 3 个中心孔 (装药)。炮孔深度也为 2.3 m, 掏槽孔深度为 2.4 m, 中心孔深度 2.5 m。具体炮眼布置和药量如图 3 所示和见表 3。炸药雷管与原方案相同, 反向装药结构, 全断面一次起爆。

2) 支护参数及工艺优化。经分析, 原方案锚杆间排距为 $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, 经过计算及 FLAC^{3D} 模拟分析, 发现设计参数过于保守, 将参数改为 $900 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$ 。采用二次支护工艺, 如图 4 所示, 采用 2 台喷浆机, 1 台初喷 (距掘进工作面 50 m 左右), 1 台用于后方复喷 (距掘进工作面 100 m 左右), 喷浆料在井口设置搅拌机搅拌干料由胶轮车运至工作面。其工艺流程为: 钻眼爆破出碴 → 初喷 (临时支护) → 打锚杆眼 → 安装锚杆 (初次锚杆) → 喷浆 (第 1 次支护) → 打

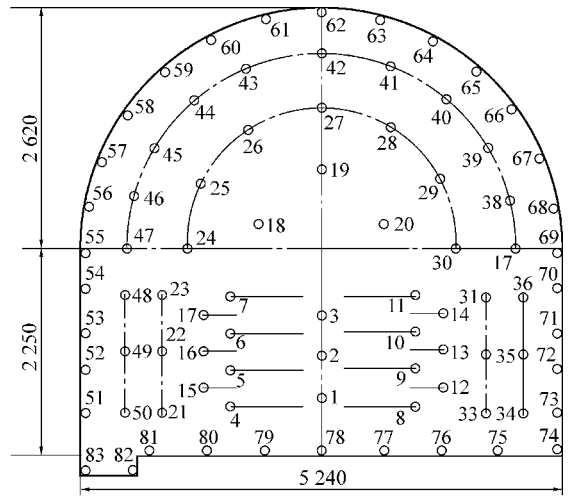


图3 优化后炮眼布置

Fig. 3 Layout of optimized blast hole

锚杆眼 → 安装锚杆 (二次锚杆) → 挂网上钢筋梁 → 上托板 → 喷浆 (第 2 次支护)。

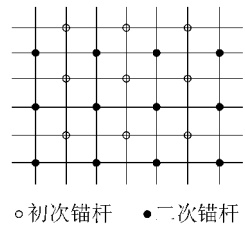


图4 二次支护工艺

Fig. 4 Secondary support process

3) 排矸系统优化。针对带式输送机故障率高的问题, 排矸系统优化为: 工作面设置 ZWY-180/78L 履带式防爆装载机装矸, 其直接将矸石通过链板输送到 CC6. OT 防爆无轨胶轮车车斗内。为提高排矸效率, 采用 3 台防爆胶轮车循环运输矸石, 一台在工作面装矸, 一台在避车硐室内等待, 另一台在井口内等待。运矸直接从工作面运至地面, 根据现场消耗情况, 材料由该胶轮车直接运至工作面。

每 200 m 设 1 个避车硐室, 避车硐室为直墙拱形, 长度 6 m, 最大净宽 10 m, 最小净宽 5 m, 墙净高 3 000 mm。调车硐室作为每次爆破循环中载重防爆胶轮车调车之用及临时卸载时装载机和汽车停车之用; 调车硐室垂直井筒方向, 在井筒水沟对侧, 底板与井筒内底板相衔接同坡度。

4) 凿岩装备与施工组织优化。针对凿岩速度慢、工人劳动强度大等问题, 采用 CMJ2-27 凿岩台车作为主要的钻孔机械, 钻眼速度明显提升。施工组织由“三八”制优化为“四六”制, 同时增加平行施

表2 优化方案装药量

Table 2 Charge quantity of optimized program

炮眼	眼号	眼数/个	眼深/m	间距/m	抵抗线/m	炮眼角度/(°)		装药量/kg		凿管段号	联线方式
						水平	垂直	单孔	小计		
中心眼	1—3	3	2.5	0.40	—	90	90	0.4	1.20	2	大中联
掏槽眼	4—11	8	2.4	0.40	2.0	90	68	1.2	9.60	1	
辅助掏	12—17	6	2.3	0.40	0.4	90	74	1.0	6.00	2	
崩落眼	18—20	3	2.3	0.80	0.6	90	81	1.2	3.60	2	
三圈眼	21—33	13	2.3	0.60	0.5	90	90	1.0	13.00	3	
二圈眼	34—50	17	2.3	0.60	0.5	90	90	1.0	17.00	4	
周边眼	51—73	23	2.3	0.50	0.5	87	90	0.6	15.00	5	
底眼	74—83	10	2.3	0.85	0.5	90	85	1.0	10.00	5	

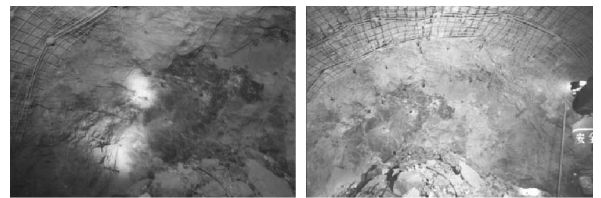
工作率率和工艺之间的衔接,加大激励幅度,提高工人劳动积极性。

3 施工方案优化前后效果分析

优化后的施工方案效果良好,各个指标(除单耗和总人数略有增加外)明显优于优化前方案,技术经济效益显著。主要表现在:①爆破效果方面。爆破单循环进尺最高达到2.2 m,平均2.15 m,炮眼利用率达到90%以上,最高达到95%,日进尺平均8.5 m,月进尺达到240 m。周边成型质量较好,半眼痕率超过50%,超欠挖控制在100 mm以内,大块率仅为5%左右。爆破效果如图5所示。②凿岩、支护及排矸方面。支护时间减少为原方案支护作业时间的50%;凿岩由原来的3 h,缩短为2 h,耗时降低

33%;排矸系统效率明显提升,掘进工作面没有积矸现象。具体对比见表3。

从表3中可以看出,施工技术方案优化前后各指标变化明显。需要重点指出的是:凿岩、支护、排矸三大工序耗时分别减少33%、50%、25%;进尺指标中,单循环进尺、日进尺、月进尺分别提高幅度为11%、50%、71%;工效提高66%。



(a) 原方案 (b) 优化方案

图5 爆破方案优化前后效果对比

Fig. 5 Blasting effect

表3 施工方案优化前后各个参数对比

Table 3 Comparison of each parameter before and after the optimization of construction plan

项目	优化前	优化后	增减幅度	
钻孔作业	装备型号	YT-28	CMJ2-27	—
	作业耗时/min	180	120	-33%
支护作业	支护工艺	一次支护	二次支护	—
	支护耗时/min	80	40	-50%
	设备型号及数量	1台 ZP-VII型喷浆机+MQT-120C	2台 ZP-VII型喷浆机+MQT-120C	—
	消耗锚杆量/(根·m ⁻²)	0.63	0.55	-13%
排矸作业	排矸工艺及装备	ZWY-180/78L履带式 防爆装载机+DSS800输送带	ZWY-180/78L履带式 防爆装载机+CC6.0T 防爆无轨胶轮车(3辆)	—
	排矸耗时/min	120	90	-25%
	单循环进尺/m	平均1.9	平均2.15	+11%
施工组织 及工效	单耗/(kg·m ⁻³)	1.39	1.55	+11.5%
	组织形式	“三八”制	“四六”制	—
	单班人数/总人数	22/66	17/68	-25%
	工效/(m·工 ⁻¹)	2.12	3.52	+66%
	正规循环率/%	80	95	+15%

4 结论

1)要实现大断面斜井高效快速钻爆法施工,应

系统思考分析影响掘进速度的原因,重点对爆破技术、支护工艺、作业线配置、组织管理方面进行优化,优化后对月进尺提升效果明显。

2) 采用气腿式凿岩机为主要钻孔装备的作业线已不能适应大断面斜井施工工期紧、任务重的特点,采用楔直复合掏槽技术、二次支护工艺,配合采用凿岩台车+履带式装载机+防爆无轨胶轮车的全机械化作业线,凿岩、支护、排矸三大工序耗时平均减少36%,机械化程度的提高为优化劳动组织和保证正规循环率创造了条件。

3) 对于斜井钻爆法施工来讲,在提高机械化程度的基础上,只优化爆破参数,单循环进尺变化(由1.9 m提高到2.1 m)并不明显(提高11%),而通过改变劳动组织形式,虽然用工人数量略有增加,而日进尺、月进尺、工效指标提高幅度分别为50%、71%和66%,提升效果显著。

参考文献(References):

[1] 李学彬,杨仁树,高延法,等.大断面软岩斜井高强度钢管混凝土支架支护技术[J].煤炭学报,2013,38(10):1742-1748.
LI Xuebin, YANG Renshu, GAO Yanfa, *et al.* High-strength steel tubular confined concrete supports support technology for large section soft rock inclined shaft [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(10): 1742-1748.

[2] 孟庆彬,韩立军,石荣剑,等.煤矿斜井井筒过流砂层施工技术研究及应用[J].岩土工程学报,2015,37(5):900-910.
MENG Qingbin, HAN Lijun, SHI Rongjian, *et al.* Study and application of construction technology for inclined shafts penetrating drift sand strata in coal mine [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(5): 900-910.

[3] 王术龙.大断面斜井快速掘进工艺优化[J].煤矿安全,2012,43(10):80-82.
WANG Shulong. Rapid tunneling process optimization in large section inclined shaft [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(10): 80-82.

[4] 熊斌.煤矿斜井综掘机快速施工技术应用研究[D].淮南:安徽理工大学,2014:20-30.

[5] 杨仁树,张志帆,张博,等.潘三煤矿-810 m硬岩巷道钻爆技术的试验研究[J].煤炭技术,2006,25(9):40-42.
YANG Renshu, ZHNAG Zhifan, ZHANG Bo, *et al.* Boring and blasting technology in -810m hard rock tunnel of Panji No.3 coal mine [J]. Coal Technology, 2006, 25(9): 40-42.

[6] 白忠胜,潘长春,李清,等.中深孔爆破技术在邢东矿大断面岩巷掘进中的应用[J].中国矿业,2010(6):79-81.
BAI Zhongsheng, PAN Changchun, LI Qing, *et al.* Application of medium deep hole blasting technology in rock road way of large Cross Section instruction at Xingdong Coal Mine [J]. China Mining Magazine, 2010(6): 79-81.

[7] 胡坤伦,杨仁树,徐晓峰,等.煤矿深部岩巷掘进爆破试验研究[J].辽宁工程技术大学学报,2007,26(6):856-858.
HU Kunlun, YANG Renshu, XU Xiaofeng, *et al.* Blasting test and

study on driving of deep-seated rock tunnels of coal mines [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007, 26(6): 856-858.

[8] 宗琦,任庆峰.煤矿硬岩下山巷道掘进中深孔爆破技术试验研究[J].爆破,2011,28(2):49-52.
ZONG Qi, REN Qingfeng. Experimental research on mid-deep holeblasting technology in dip head tunnel of coal mine hard rock [J]. Blasting, 2011, 28(2): 49-52.

[9] 单仁亮,黄宝龙,蔚振廷,等.岩巷掘进准直眼掏槽爆破模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(2):256-264.
SHAN Renliang, HUANG Baolong, WEI Zhenting, *et al.* Model test of quasi-parallel cut blasting in rock drivage [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(2): 256-264.

[10] 单仁亮,黄宝龙,高文蛟,等.岩巷准直眼掏槽爆破新技术应用实例分析[J].岩石力学与工程学报,2011,30(2):224-232.
SHAN Renliang, HUANG Baolong, GAO Wenjiao, *et al.* Case studies of new technology application of quasi-parallel cut blasting in rock roadway drivage [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(2): 224-232.

[11] 黄健利,郝生雷.长距离大下山巷道掘进中机械化普掘设备设施改良研究[J].煤炭工程,2012,44(10):38-39.
HUANG Jianli, HAO Shenglei. Study on modification of mechanized conventional heading equipment and facilities applied to long distance dip roadway heading [J]. Coal Engineering, 2012, 44(10): 38-39.

[12] 任重远.大断面岩巷全断面一次成巷快速掘进技术[J].煤炭工程,2014,46(4):43-45.
REN Zhongyuan. Full section completed rapid heading technology of mine large Cross Section rock roadway [J]. Coal Engineering, 2014, 46(4): 43-45.

[13] 丁德才.新型岩巷掘进机械化作业线的应用[J].煤炭与化工,2014,37(11):90-92.
DING Decai. A new type of roadway drivage mechanization operating line application [J]. Coal and Chemical Industry, 2014, 37(11): 90-92.

[14] 符如康,赵岩,王珏,等.新型岩巷掘进连续出矸作业线研究与应用[J].煤炭工程,2014,46(6):67-69.
FU Rukang, ZHAO Yan, WANG Jue, *et al.* Study and application of new continuous waste rock discharging operation line to mine rock roadway heading [J]. Coal Engineering, 2014, 46(6): 67-69.

[15] 张志雄,叶雪云,张望成.胶带运输斜井快速施工技术实践[J].地下空间与工程学报,2016(S1):302-305.
ZHANG Zhixiong, YE Xueyun, ZHANG Wangcheng. Practice on the rapid construction technology of belt-conveyor inclined shaft [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016(S1): 302-305.

[16] 徐辉东,王敏建,刘宁.大断面斜井基岩段快速施工技术[J].煤炭工程,2007,39(8):32-34.
XU Huidong, WANG Minjian, LIU Ning. Rapid drivage technology of bedrock in large section inclined shaft [J]. Coal Engineering, 2007, 39(8): 32-34.