

地下沉积型磷矿悬臂式掘进机机械采掘试验研究

谢凡豪¹, 徐绍飞¹, 王 鸿¹, 王振宇^{2,3}, 郑志杰^{2,3}

(1. 瓮福集团有限责任公司, 贵阳 550025; 2. 矿冶科技集团有限公司, 北京 102628;
3. 国家金属矿绿色开采国际联合研究中心, 北京 102628)

摘 要:为解决某沉积型地下磷矿矿山开采遇到的成本高、效率低、安全风险大等问题,提出了机械落矿代替传统钻爆法落矿的技术思想,采用悬臂式掘进机进行机械采掘试验研究。首先根据矿山基本概况进行机械破岩可行性分析,选择合适的悬臂式掘进机装备进行落矿试验。然后对试验期间悬臂式掘进机的回采情况、设备运行指标及经济指标进行了详细测算与分析。试验结果证明,该技术适配沉积型地下磷矿的生产需求,可以有效解决开采过程中遇到的生产难题。研究成果具有重要的实用价值和意义。

关键词:地下磷矿;沉积岩;机械破岩可行性分析;悬臂式掘进机;落矿试验

中图分类号:TD421.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4172(2024)03-0065-05

Mechanical mining test of sedimentary underground phosphate mine with cantilever roadheader

XIE Fanhao¹, XU Shaofei¹, WANG Hong¹, WANG Zhenyu^{2,3}, ZHENG Zhijie^{2,3}

(1. Wengfu Group Co., Ltd., Guiyang 550025, China;
2. BGRIMM Technology Group, Beijing 102628, China;
3. National Center for International Joint Research on Green Metal Mining, Beijing 102628, China)

Abstract: In order to solve the problems of high cost, low efficiency, and high safety risk encountered in a sedimentary underground phosphate mine, a technical idea is proposed to replace traditional drilling and blasting mining with mechanical mining. Firstly, the feasibility of mechanical rock breaking is analyzed according to the basic situation of the mine, and an appropriate cantilever roadheader is selected. Then, the mining condition, equipment operation indicators, and economic indicators of the cantilever roadheader during the test period are calculated and analyzed in detail. The test results show that the technology is suitable for the production demand of sedimentary underground phosphate rock, and it can effectively solve the production problems encountered in the mining process. The research results have important practical value and significance.

Key words: underground phosphate mine; sedimentary rock; feasibility analysis of mechanical rock breaking; cantilever roadheader; mining industrial test

悬臂式掘进机因巷道成型好、对围岩及地面扰动小、重心低、配置高、性能稳定可靠、截割效率高等优点,在煤矿巷道掘进及隧道开挖领域得到应用,但在非煤矿山中的应用较少^[1-10]。本文以某磷矿山进行的悬臂式掘进机机械落矿试验研究为例,通过分析机械破岩的可行性,选择合适的悬臂式掘进机设

备,并开展井下悬臂式掘进机回采试验。通过分析悬臂式掘进机设备运行情况、巷道成型情况以及大块率情况,综合对比传统爆破工艺的技术经济指标,得到悬臂式掘进机在磷矿井下的适用性情况。

1 矿山概况

某磷矿山开采范围内主要由两层磷块岩(即 a 层矿和 b 层矿)和含磷或含硅的白云岩、炭质泥岩、细砂岩组成。全组厚 34.02~39.35 m,总的变化趋

势自北向南随洋水组厚度加大,相应磷块岩沉积厚度也增大。矿段地质构造简单,构造破碎带不发育;矿体顶底板较完整、稳固;风化和岩溶作用较弱;不良工程地质问题较单一,对矿床开采只有局部影响。属于岩溶化岩层为主的层状矿床、工程地质条件简单的矿区。

矿山特点是含有两层(a、b)性质不同的矿石,且两层矿石之间还含有一层稳定的夹石层,矿山目前主要采用凿岩爆破方式垂直走向的上向分段充填采矿法和上向分层充填采矿法开采,其中在矿体近水平的地段采用分层充填采矿法,其他地点采用分段充填采矿法。现场凿岩爆破掘进巷道如图 1 所示。



图 1 凿岩爆破掘进巷道现场图

Fig. 1 Site diagram of drilling and blasting tunnel

2 机械截割破岩可行性分析

2.1 机械破岩设备概况

本次落矿试验使用 SCR260 悬臂式掘进机,该设备是一种可以实现切割、运输、自行走及除尘喷雾等功能的联合机组,最大定位截割断面可达 32 m^2 。设备外形如图 2 所示,设备参数如表 1 所示。



图 2 SCR260 悬臂式掘进机

Fig. 2 SCR260 cantilever roadheader

表 1 SCR260 悬臂式掘进机主要参数

Table 1 Main parameters of SCR260 cantilever roadheader

类别	参数
外形尺寸:长×宽×高/m	15.3×3.6/3.2/3×2.96
整机质量/t	100
定位工作宽度/m	3.6~6.3
定位工作高度/m	3.4~5.1
截割功率/kW	260
供电电压/V	1 140
装机总功率/kW	447

2.2 破岩可行性分析

现场试验表明,岩石的截割特性不仅与岩心强度有关,还受到层理、节理裂隙及水等多因素的影响^[11]。岩石可截割性试验中,需要考虑岩石强度和岩体质量等指标,前三种参数(包括截割力、截割比能耗和岩石强度)主要是针对完整岩石,岩体质量指标反映了岩体的情况。实验室岩石截割试验仅能表明完整岩心的截割特性,其截割分级的结论比实际情况偏高。因此,应结合岩石的整体情况对其分级情况进行表征。基于试验数据和岩石的分级标准,综合岩石强度分级情况和岩体工程地质调查情况,可以得到研究区域基于岩芯截割的岩石可截割性分级情况,见表 2。由表 2 的测试结果可以看出,b 矿层的岩样非常破碎,裂隙发达并且脆性大,在岩样加工过程中很难加工 60 mm 以上的岩样,最终获得的岩样均为在破碎的岩体中寻找的较为完整的部分。试验结果与可截割分级结果表面,b 矿层属于易截割类型,适用于采用悬臂式掘进机进行机械采矿。

表 2 可截割性分级情况表

Table 2 Cuttability classification

层位	截割力分级	截割比能耗分级	岩石强度分级	岩体工程质量	可截割性分级
b 矿层	易截割	易截割	较软岩	V	易截割

3 掘进机回采试验情况

利用 SCR260 悬臂式掘进机进行井下矿石回采试验研究,从而试验利用机械破岩的方式进行采掘作业的适用性。从施工工艺流程上来说,回采试验包括风水电准备—安全检查及安全条件确认—机械

截割矿岩+铲装出渣—移机支护—检修。

3.1 试验前准备情况

设备进场后按照设计进行吊装,选择安装地点为回风石门。设备安装完毕后,同步进行井下供水、供电、照明、通风和除尘设备的安装,并进行人员培训,如图 3 所示。



(a) 设备进场及吊装



(b) 设备安装



(c) 人员培训



(d) 除尘设备安装

图 3 试验前准备情况

Fig. 3 Preparation before the test

3.2 试验数据及结果

SCR260 悬臂式掘进机在 b 矿层 1# 试验矿房内按照图 4 所示进行分层回采,累计进尺 567.5 m,累计截割 382.03 h,累计出矿 2.76 万 t,平均工效 0.014 h/t,累计耗电 188 658.6 kWh,平均电

耗 6.84 kWh/t,累计截齿消耗 727 个,平均截齿消耗 0.026 个/t,1# 试验矿房消耗统计表如表 3 所示。对试验结果进行分析可得,本次试验进尺效率为 1.49 m/h 或 26.27 m³/h,截齿消耗为 0.072 个/m³。

表 3 1# 试验矿房消耗统计表

Table 3 Statistical table of consumption of 1# test house

进尺/m	回采矿石量/万 t	截割用时/h	单耗/(h · t ⁻¹)	耗电/kWh	单耗/(kWh · t ⁻¹)	消耗截齿/个	单耗/(个 · t ⁻¹)
567.5	2.76	382.03	0.014	188 658.6	6.84	727	0.026

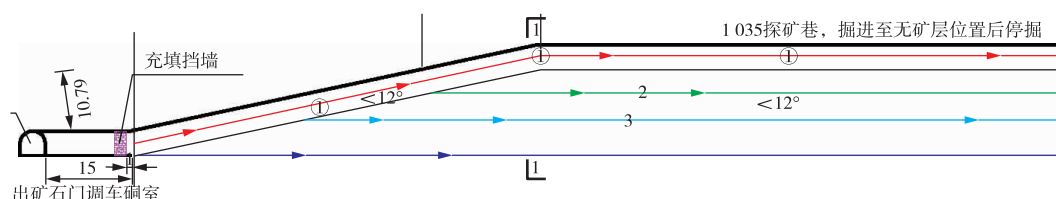


图 4 回采分层情况图(单位:m)

Fig. 4 Stratification diagram of mining(unit:m)

4 试验结果综合分析

4.1 巷道成型与大块情况

爆破掘进对巷道的成型控制超欠挖在 $\pm 15\%$ 上,成型难度受围岩的岩性发生变化起伏较大,特别是矿层沉积分层明显的层位,爆破掘进成型差,巷道稳定性差。悬臂式掘进机机械

掘进巷道成型好,实测两组无超欠挖,围岩稳固无片帮,采取不支护形式,顶板无浮石,如图5所示。

掘进机掘进产生的大块率远远小于爆破掘进(见图6),实测块度 $0.1\sim 3\text{ cm}$,将大大提高格筛、溜井通过率,可减少地表破碎站粗碎、中碎等工艺环节,降低大量操作与维护人员及成本。



(a) 分层顶板回风巷



(b) 分层井底车场

图5 巷道成型情况

Fig. 5 Formation of roadway



(a) 爆破掘进



(b) 掘进机掘进

图6 破岩后大块情况对比

Fig. 6 Large block condition after rock breaking

4.2 工效对比

通过表4所示的时间表,结合现场破岩效率和有效进尺统计数据,按照8 h一班计算,爆破掘进班进尺2.5 m,掘进机掘进班进尺5.5 m,人工工效爆破掘进0.312 m/人,掘进机掘进0.55 m/人,b矿层内采用悬臂式掘进机机械掘进方式效率高于凿岩爆破掘进。

表4 机械掘进时间表

Table 4 Cycle time comparison table

掘进机掘进	耗时/min	人工/人
风水电准备	30	
安全检查确认	15	4
更换截齿	20	
支护+维护保养	90	4

4.3 安全环保对比

表5 爆破与机械掘进方式安全环保对比

Table 5 Comparison of safety and environmental protection between blasting and mechanical excavation

内容	爆破掘进	悬臂式掘进机掘进
安全及职业卫生	爆破后将会产生氮氧化物、碳氧化物等有毒有害气体及大量粉尘,主要通过喷雾降尘及利用局扇和主扇进入回风系统降尘,对工作面及整个系统均有影响,同时也将会产生爆破冲击波,破坏通风、照明、支护等。	悬臂式掘进机在掘进的过程中产生大量的粉尘,主要通过喷雾降尘及除尘设施除尘,对工作面有影响,对整个系统影响小,且无有毒有害气体产生,无冲击波影响。
围岩破坏及扰动	爆破掘进主要是采用炸药爆炸时所产生的膨胀力和冲击波,以药包为中心向四周传播同心圆。从中心向外依次为压缩圈、抛掷圈、破裂圈和松动圈,从而达到破碎围岩的目的,因此对围岩的破坏和扰动大。	悬臂式掘进机主要通过设备冲击与旋转产生的力量来进行围岩破碎,作用在围岩上的破坏和扰动小。

5 结论

1)某磷矿b矿层实际物理力学性质、工程岩体质量级别及可截割试验结果表明,b矿层属于易截割类型,适用于采用悬臂式掘进机进行机械采矿。

2)实际工业试验结果证明,b矿层内采用悬臂式掘进机机械掘进方式效率高于凿岩爆破掘进,并且在巷道成型效果与大块率方面也要优于凿岩爆破掘进。按照8h一班计算,爆破掘进班进尺2.5m,掘进机掘进班进尺5.5m,人工工效爆破掘进0.312m/人,掘进机掘进0.55m/人。

3)悬臂式掘进机主要通过设备冲击与旋转产生的力量来进行破碎围岩,作用在围岩上的破坏和扰动小。掘进的过程中产生大量的粉尘,主要通过喷雾降尘及除尘设施除尘,对工作面有影响,对整个系统影响小,且无有毒有害气体产生,无冲击波影响。

参 考 文 献

- [1] 谷新建,胡磊,陈泽吕,等. 新龙矿业公司极破碎难采矿体采矿方法优化研究[J]. 矿业研究与开发,2007,27(4):1-3.
GU Xinjian, HU Lei, CHEN Zelv, et al. Optimization of mining method for extremely fractured difficult-to-mine orebody in Xinlong Mineral Co., Ltd. [J]. Mining Research and Development, 2007, 27(4): 1-3.
- [2] 范纯超,孙扬,黄丹,等. 极破碎不稳固难采矿体悬臂式掘进机械落矿试验研究[J]. 有色金属(矿山部分),2020,72(6):25-29.
FAN Chunchao, SUN Yang, HUANG Dan, et al. Experimental study on mechanical ore fall of cantilever boring machine for extremely broken unstable and difficult mining bodies [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2020, 72(6): 25-29.
- [3] 苏广宇,杨正松. 不稳固围岩倾斜矿体安全开采工艺技术试验研究[J]. 有色金属(矿山部分),2020,72(3):16-19.
SU Guangyu, YANG Zhengsong. Experimental research on safe mining technology of inclined orebody in unstable surrounding rock [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2020, 72(3): 16-19.
- [4] 赵俊杰. EBZ-300掘进机在马兰矿的应用[J]. 机械管理开发, 2019(11):138-139.

ZHAO Junjie. Application of EBZ-300 roadheader in Malan mine [J]. Mechanical Management and Development, 2019(11):138-139.

- [5] 王帅. EBZ300型悬臂式掘进机在瓦斯底抽巷的应用[J]. 煤矿机械,2015,36(3):208-210.
WANG Shuai. Application of EBZ300 type roadheader in gas drainage roadway floor[J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(3): 208-210.
- [6] 尹胜,周宗红,张晶,等. 地下掘进巷道富水破碎围岩锚杆支护参数优化[J]. 有色金属工程,2024,14(2):119-127.
YIN Sheng, ZHOU Zonghong, ZHANG Jing, et al. Optimization of supporting parameters of rock bolt in water-rich and crushing surrounding rock of underground heading roadway [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2024, 14(2): 119-127.
- [7] 徐广举,姚金蕊,李夕兵,等. 基于悬臂式掘进机的采矿方法研究[J]. 矿业研究与开发,2010(5):5-7,23.
XU Guangju, YAO Jinrui, LI Xibing, et al. Study on the mining method based on boom-type roadheader [J]. Mining Research and Development, 2010(5): 5-7, 23.
- [8] 王本林. 悬臂式掘进机硬岩掘进技术应用与发展[J]. 煤炭技术,2022,41(4):151-153.
WANG Benlin. Application and development of hard rock driving technology of cantilever roadheader [J]. Coal Technology, 2022, 41(4): 151-153.
- [9] 李刚. EEBZ-160型悬臂式掘进机在大坡度巷道掘进中的改进及应用[J]. 煤矿机械,2022,43(2):153-155.
LI Gang. Improvement and application of EEBZ-160 cantilever roadheader in large slope roadway tunneling [J]. Coal Mine Machinery, 2022, 43(2): 153-155.
- [10] 田志刚. 悬臂式掘进机在凡口铅锌矿的应用[J]. 采矿技术, 2020,20(1):129-130.
TIAN Zhigang. Application of cantilever roadheader in Fankou lead-zinc mine [J]. Mining Technology, 2020, 20(1): 129-130.
- [11] 郑志杰,杨小聪,王勇,等. 基于岩石截割试验的悬臂式掘进机设备优化选型[J]. 有色金属(矿山部分),2023,75(1):95-101,115.
ZHENG Zhijie, YANG Xiaocong, WANG Yong, et al. Optimal selection of cantilever boring machine based on rock cutting test [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2023, 75(1): 95-101, 115.