

现场混装爆破技术在三山岛金矿中的应用

栾东朋,王凡鹏,卜令涛

(山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿)

摘要:三山岛金矿采用传统现场混装炸药台车存在操作不便,效率较低的问题。通过改进现场混装炸药台车末端敏化混合装置及优化适合该台车工作特征的智能遥控装置等,解决了现场混装炸药密度可控调节的问题,同时提高了现场作业效率,改善了人员操作环境,达到了减员增效的目标。选取一中段,于一分段探矿巷、二分段采场、三分段采场等开展了工业试验,应用结果表明:大断面巷道一次爆破进尺达到4.2 m,炮孔利用率提高了14.8%,大幅提高了掘进效率。

关键词:混装爆破;装药台车;智能化;大断面掘进;光面爆破;爆破进尺;炮孔利用率

中图分类号:TD235

文章编号:1001-1277(2025)06-0018-05

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250604

引言

地下矿山装药采用人工装药,安全风险大,随着开采深度的增加,深部岩爆和高温环境加大了开采难度和风险,给操作人员带来极大的安全隐患^[1-3]。为响应国家提出的智能化采矿发展要求,落实“机械化换人,自动化减人,智能化无人”的行动计划,改变落后的采矿作业模式,山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿(下称“三山岛金矿”)提出采用机械化代替人工装药。

三山岛金矿地下开采过程中使用传统现场混装炸药台车存在装药密度不易调节,不能较好匹配岩石特性,影响爆破效果;操作不便、沟通困难;装药工作面仍有较多作业人员在现场工作,减人效果不突出等问题。针对上述问题,结合国内外经验,提出了适应三山岛金矿地下矿岩特性的现场混装炸药爆破技术方案^[4-8],与成品药相比具有安全可靠、自动化程度高和装药效率高等优点。因此,采用该方案实现了现场混装炸药台车在大断面巷道掘进中的全流程应用,提高成巷质量与效率,建立现场混装爆破技术在地下开采中的示范基地。

1 工程背景

三山岛金矿是一个矿体厚大破碎的海下黄金矿山,矿体开采技术条件复杂。矿区构造以断裂为主,而且极为发育,以北东向为主,规模最大的为三山岛断裂、焦家断裂,二者走向近于平行而倾向相反,次级分支断裂发育,构成断裂带,是矿区主要控矿构造。

三山岛金矿现场爆破效果见图1。矿山面临以下几个不利因素,直接影响矿山的生产安全和生产效率:①现场环境恶劣导致招工困难,致使操作人员补给不足,而且熟练的操作工变得紧俏,人工费用持续增长;②井下工作面存在冒顶、片帮、通风等一系列安全隐患,井下作业时间长、作业人员多,人员暴露风险时间长,增加了安全风险;③作业面多,较多敏感度高的包装炸药分发到各作业面存放,增加了风险点,加大了防流失安全管理成本;④井下人工装药劳动定员多、劳动强度大、装药效率低,严重影响了采矿效率,逐年增加的人工成本,降低了企业的经济效益;⑤现有的掘进式采矿方法,成本高、效率低,而上向中深孔采矿效率高,成本低,拟采用上向中深孔采矿方法,但该方法一般采用粉状铵油炸药,返药率达到30%以上,装药作业条件差,装药效率低。因此,亟须对现有爆破方案进行优化升级,以实现安全高效生产的目的。

2 现场爆破方案优化升级

2.1 混装产品装药工艺与矿山岩石匹配性

试验过程中发现:现场混装乳化基质发泡受药体温度、原材料、基质系统酸值影响,致使敏化后的产品密度波动较大,且用于起爆的有效气泡少,直接影响爆破效果;单一成分敏化剂在调节密度过程中可采取的方法少,使受密度影响的炸药性能不能很好地匹配岩石的特性。针对以上问题,采用双向调节密度的装药方法。该方法受基质体系本身和环境温度的影响较小,更加适合井下使用。通过试验验证,在有机物

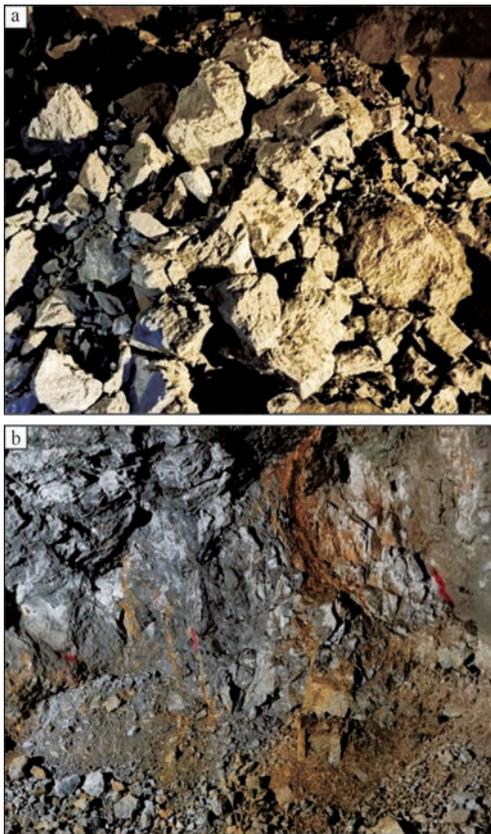


图1 三山岛金矿现场爆破效果

Fig. 1 Field blasting results in the Sanshandao Gold Mine

质的参与下,装药系统压力由原来的1.2 MPa减少至0.8~1.0 MPa。起爆后的爆轰稳定,敏化后的炸药密度可以根据岩石硬度调节,爆破效果优于单一敏化剂。炮孔利用率提高14.8%,降低了钻孔成本;单炮进尺提高至4.2 m,比使用成品药进尺提高56%,起爆用雷管减少36.4%,提高了掘进效率,单断面每月掘进进尺可增加45 m。

2.2 现场混装装备的适用性改进

1)无线遥控配套设计。车载控制显示屏因作业场地条件复杂,无法近距离停放,作业面装药人员与设备操作人员沟通困难,经常出现误操作等情况。鉴于此种情况,与设备厂家共同研究,配套了无线遥控操作装置,将车辆显示屏上的操作界面配置于无线遥控器上,近距离操作方便、快捷,解决了远距离沟通的难题,提高了作业效率^[9-11]。

2)末端敏化混合装置改进。原末端敏化混合装置在使用过程中存在混合不均匀,敏化剂与催化剂直接反应的现象,物料经过该装置后未能起到物料增稠的作用^[12-14]。与制作厂家联合研究,采用规则的X形混合单元代替原混合装置,物料从1~2 mm的各混合单元中高速剪切流出,加上配套敏化剂与催化剂试验,混合均匀度明显提高,未发现没有敏化的基质,杜绝了敏化剂与催化剂直接剧烈反应的现象。经过该

混合单元的物料黏度明显提高,经测试达到300 Pa·s,完全满足上向中深孔的要求。

3)耦合装药方式研究。利用现场混装炸药的耦合装药特性,通过调整炮孔参数,爆破进尺有明显提升,提高了炮孔利用率和每米崩矿量^[15-18]。经过多次爆破试验,混装乳化炸药的掘进爆破块度直径为10~15 cm,远低于规定的35 cm;通过与前期成品药对比,大块率大大降低,较成品药块度(15~20 cm)降低约40%。通过数据测量,在一分段探矿巷掘进抛掷距离为10~15 m,爆堆形态集中且抛离断面效果好。

4)现场混装炸药光面爆破研究。采用导爆索传爆间隔装药方式,间隔装药2~3段进行起爆。经试验,光爆痕迹明显,但半孔完整性不理想,之后进行了药量、间隔长度调整试验,光爆效果基本趋于稳定,光爆效果见图2,半孔率达到75%以上。后续还有调整向好的空间,可按此方式进行作业。

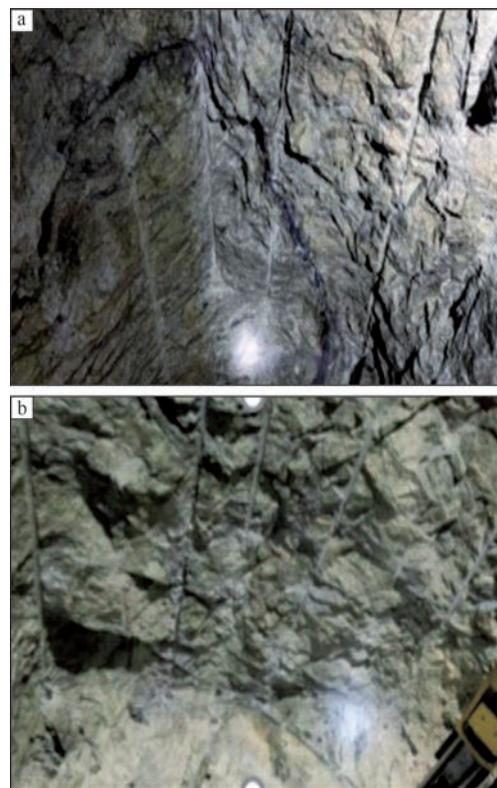


图2 导爆索光爆效果

Fig. 2 Smooth blasting results with detonating cords

5)乳胶基质增稠技术研发。通过研发特有的乳胶基质增稠技术,可将原始黏度约为20 Pa·s的乳胶基质增黏至不少于400 Pa·s,泵送压力小,孔内附着性强,不回落,解决了上向中深孔装药回落的问题。现场采用混装炸药机械化装药,相比成品药提高了施工效率,减少了作业人员劳动强度。在三分段出矿巷成功实现上向中深孔爆破。

3 现场工业试验

于一中段一分段探矿巷、二分段采场、三分段采场等开展工业试验。

3.1 装药爆破作业完成情况

1) 一分段探矿巷。探矿巷设计断面面积为 18.1 m^2 , 宽为 4.5 m , 高为 4.25 m , 岩石普氏硬度系数为 $8 \sim 10$, 孔径为 45 mm , 掏槽孔深为 $3.8 \sim 4.7 \text{ m}$, 周边孔、辅助孔深 $3.5 \sim 4.5 \text{ m}$, 具体炮孔布置见图 3。

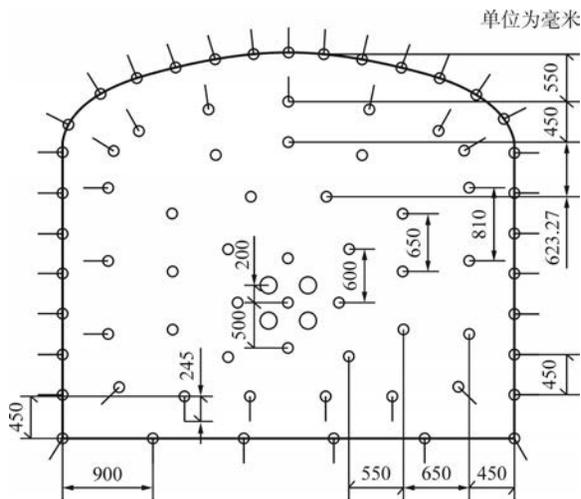


图3 一分段探矿巷断面炮孔设计示意图

Fig. 3 Schematic of blast hole layout for the cross-section of exploration drift at Sublevel I

2) 二分段采场。该采场设计断面面积为 20 m^2 , 宽为 5 m , 高为 4 m , 岩石普氏硬度系数为 $8 \sim 10$, 孔径为 45 mm , 孔深为 4 m , 具体炮孔布置见图 4。

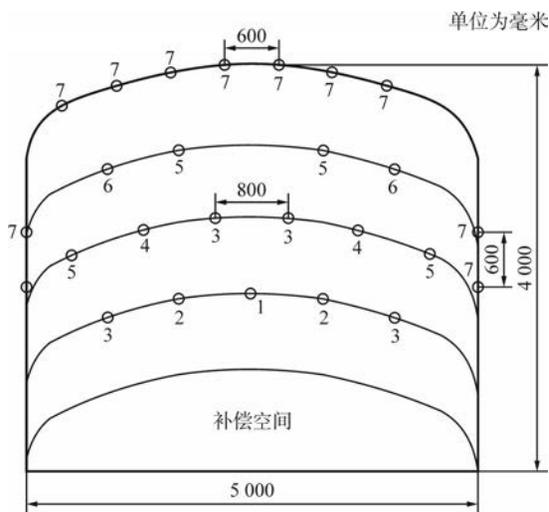


图4 二分段采场断面炮孔设计示意图

Fig. 4 Schematic of blast hole layout for the cross-section of stope at Sublevel II

3) 三分段采场。该采场为中深孔爆破采场, 宽为 8 m , 高为 15 m , 岩石普氏硬度系数为 $8 \sim 10$, 孔径为 60 mm , 孔深为 $6 \sim 15 \text{ m}$, 具体炮孔布置见图 5。

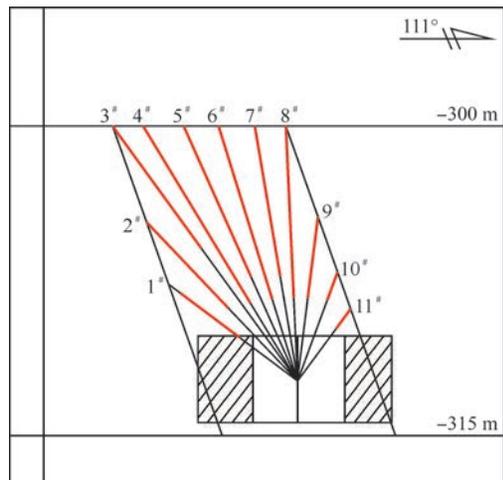


图5 三分段采场炮孔设计示意图

Fig. 5 Schematic of blast hole layout of stope at Sublevel III

3.2 爆破效果分析

1) 爆破器材单耗。通过对不同断面和不同采矿方式的爆破施工, 记录了爆破用料及消耗情况, 核算了正常爆破情况下各爆破器材单耗, 结果见表 1。

表 1 爆破施工参数核算

Table 1 Calculations of blasting construction parameters

断面面积/ m^2	炸药单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)	雷管单耗/ (发 $\cdot \text{t}^{-1}$)	炮孔利用率/%	备注
16 ~ 18	1.12 ~ 1.27	0.41 ~ 0.45	95	掘进
12 ~ 16	0.38 ~ 0.40	0.15 ~ 0.18	99	采矿
8 ~ 12	1.27	0.50	95	掘进

经过几次的试验及统计分析, 混装炸药单耗高于成品药, 掘进高出约 0.16 kg/t , 高出比例为 16.7% ; 回采高出约 0.01 kg/t , 高出比例为 2.56% 。

2) 经济效益分析。根据以上数据, 以一分段探矿巷、二分段采场为例, 就材料消耗方面进行对比分析, 结果见表 2。

由表 2 可知: 现场混装炸药单耗相对偏高, 由耦合装药方式决定, 但爆破进尺有明显提升, 提高了炮孔利用率和每米崩矿量, 炮孔利用率提高了 14.8% ; 降低了钻孔成本, 回采矿石成本节省约 0.93 元/t , 掘进矿石成本节省 1.05 元/t , 材料综合成本节省 $10\% \sim 15\%$ 。

3) 破碎岩石块度分析。经过多次爆破试验, 混装炸药的掘进爆破块度直径为 $10 \sim 15 \text{ cm}$, 远低于规定的 35 cm , 具体效果见图 6。通过与前期成品药对比, 大块率大大降低, 较成品药块度 ($15 \sim 20 \text{ cm}$) 降低约 40% , 混装炸药满足岩石普氏硬度系数 $8 \sim 14$ 的爆破作业。

大块率降低的主要原因为: ①混装炸药为孔内敏化发泡, 为全耦合装药; ②混装炸药的孔内体积威力高于成品药; ③毫秒微差爆破使岩石在破碎过程中相互挤压、碰撞, 致使大块岩石破碎度提高, 降低了矿石

表2 材料成本核算对比
Table 2 Comparison of material cost calculations

类别	装药方式	单炮进尺/m	材料	成本/(元·t ⁻¹)	总成本/(元·t ⁻¹)	差价/(元·t ⁻¹)	备注
采矿材料费	成品药	3.8	乳化炸药	3.73	4.49	0.93	单价 9.56 元/kg, 单耗 0.39 kg/t
			非电雷管	0.76			单价 4.00 元/发, 单耗 0.19 发/t
	混装炸药	4.0	混装乳化炸药	2.84	3.56		单价 7.10 元/kg, 单耗 0.40 kg/t
			非电雷管	0.72			单价 4.00 元/发, 单耗 0.18 发/t
掘进材料费	成品药	2.7	乳化炸药	9.18	11.54	1.05	单价 9.56 元/kg, 单耗 0.96 kg/t
			非电雷管	2.36			单价 4.00 元/发, 单耗 0.59 发/t
	混装炸药	3.2	混装乳化炸药	7.95	10.49		单价 7.10 元/kg, 单耗 1.12 kg/t
			非电雷管	1.80			单价 4.00 元/发, 单耗 0.45 发/t
			导爆索	0.74		单价 2.84 元/个, 单耗 0.26 个/t	



a) 一段掘进爆破整体块度



b) 二段回采爆破整体块度

图6 不同断面爆破效果对比图

Fig. 6 Comparison of blasting results of different cross-sections

粉碎成本;④设备可根据不同岩石硬度调整不同的密度和爆速,使现场混装产品匹配不同的岩石波阻抗,达到提高进尺、增强破碎效果的目的^[19-22]。

4 结 论

本文重点解决了三山岛金矿地下开采过程中,使用传统现场混装炸药台车存在装药密度不易调节导致不能较好匹配岩石特性,影响爆破效果的问题。改进后的现场混装爆破技术在三山岛金矿中的应用,不仅提高了爆破效率和成巷质量,而且还显著降低了成本和风险,为地下矿山智能化开采提供了重要技术支撑。主要结论如下:

1)通过改进末端敏化混合装置,实现了装药密度的双向调节,使炸药性能更好地匹配岩石特性。炮孔利用率提高 14.8%,单炮进尺达到 4.2 m,较传统成品药提高 56%,显著优化了爆破效果。

2)引入无线遥控装置和改进的末端敏化混合装置,解决了操作难题,提高了物料混合均匀度和黏度(达 300 Pa·s),满足上向中深孔装药需求。同时,机械化装药减少了作业人员数量,降低了劳动强度和安全风险。

3)现场混装炸药通过提高炮孔利用率和爆破进尺,降低了钻孔成本,回采和掘进矿石成本分别节省约 0.93 元/t 和 1.05 元/t。爆破块度直径控制在 10~15 cm,大块率较成品药降低约 40%,进一步优化了破碎效果和成巷质量。

[参 考 文 献]

- [1] 卜令涛.信息技术在工业炸药生产领域的应用[J].化工管理, 2015(28):115-116.

- [2] 窠岩,姜洪亮.信息技术在工业炸药生产领域的应用与展望[J].中国高新技术企业,2011(34):61-62.
- [3] 胡幼华.乳化炸药现场混装技术的研究进展[J].化工管理,2021(19):96-97.
- [4] 卜令涛,咸会朵,魏芳.不同装药方式和包装材料对乳化炸药产品性能影响的研究[J].煤矿爆破,2015(3):16-18.
- [5] 吴鹏,刘静平,陈相,等.温度冲击对车载乳胶基质安全性的影响[J].爆破器材,2016,45(1):56-59.
- [6] 祝金永,熊金凤,徐晖,等.硝酸铵水溶液在乳化炸药生产中的应用[J].煤矿爆破,2014(3):34-35,38.
- [7] 郭飞高,郝亚飞,曹进军,等.现场混装炸药预装药爆破关键技术研究与应用[J].矿业研究与开发,2020,40(1):60-63.
- [8] 郝玉庆,姜庆洪.现场混装乳化炸药技术在爆破现场的应用[J].化工管理,2013(12):45.
- [9] 吴凌峰,周宗红,孙伟.基于XGBoost模型岩体可爆性研究[J].黄金,2024,45(2):21-23.
- [10] 任凤玉,王文杰,韩智勇.无底柱分段崩落法扇形炮孔爆破机理研究与应用[J].东北大学学报,2006,27(11):1 267-1 270.
- [11] 赵强,张建华,李星,等.降低中深孔爆破大块率的技术措施[J].爆破,2011,28(4):50-52,56.
- [12] 薛田喜,常洋凯.中厚倾斜破碎矿体下向进路法开采工艺及稳定性研究[J].矿业研究与开发,2023,43(6):15-21.
- [13] 郝亚飞,薛里,张小勇,等.现场混装乳化炸药在巷道掘进爆破中的试验研究[J].金属矿山,2022(7):58-63.
- [14] 刘世宝.优化现场混装乳化炸药敏化工艺的应用研究[J].煤矿爆破,2018(5):16-19.
- [15] 刘令,魏碧波,刘俊文,等.混装乳化炸药便携式装药器的应用研究[J].爆破,2021,38(1):105-108.
- [16] 段继承.不耦合装药下岩石爆炸波应力衰减特性以及致裂范围影响研究[J].煤矿爆破,2025(1):27-32.
- [17] 杨仁树,高祥涛,陈程,等.切缝药包爆炸波传播机制实验研究[J].煤炭学报,2014,39(8):1 434-1 440.
- [18] 王正英,翟利军,石绍飞,等.会宝岭铁矿爆破振动危害控制研究[J].黄金,2024,45(3):5-8.
- [19] 蔡峰,刘泽功.耦合装药特性对深孔预裂爆破应力波能量衰减的影响[J].煤炭学报,2014,39(增刊2):384-389.
- [20] 张波.岩体及充填体爆破振动速度衰减规律研究[J].黄金,2024,45(5):14-18.
- [21] 闵忠鹏,王柏平,张永亮,等.金山金矿掘进爆破参数优化及应用[J].黄金,2024,45(6):16-22.
- [22] 刘优平,龚敏,黄刚海.深孔爆破装药结构优选数值分析方法及其应用[J].岩土力学,2012,33(6):183-188.

Research and application of on-site explosive mixing blasting technology in the Sanshandao Gold Mine

Luan Dongpeng, Wang Fanpeng, Bu Lingtao

(Sanshandao Gold Mine, Shandong Gold Mining (Laizhou) Co., Ltd.)

Abstract: The conventional on-site explosive mixing jumbo used in the Sanshandao Gold Mine is not easy to operate and low in efficiency. By improving the sensitizing and mixing device at the end of the on-site explosive mixing jumbo and optimizing the intelligent remote control system suited to the operational characteristics of the jumbo, the issue of controllable adjustment of the loading density of on-site explosive mixing was resolved. These improvements also enhanced operational efficiency on-site, improved working conditions for personnel, and achieved the goal of reducing labor intensity while increasing efficiency. An industrial test was carried out on Level 1, involving the exploration drift at Sublevel I and stopes at Sublevels II and III. The application results show that the excavation footage with single blasting in large-section drifts reached 4.2 m, and the blast hole utilization rate improved by 14.8 %, significantly boosting excavation efficiency.

Keywords: explosive mixing blasting; explosive mixing jumbo; intelligentization; large-section excavation; smooth blasting; excavation footage; blast hole utilization rate