

深部硬岩矿山巷道掘进凿岩爆破参数优化试验研究

辛金生¹,冯连伟²,邢超³,梁鑫³,任基⁴(1. 山东黄金集团矿管集团; 2. 山东黄金矿业股份有限公司新城金矿; 3. 嵩县山金矿业有限公司;
4. 中南大学资源与安全工程学院)

摘要:金属矿山井下开采多采用钻爆法,爆破参数是保证爆破效果的重要因素。嵩县山金井下爆破存在封孔不规范、爆破参数不合理、循环进尺低、爆破成本高等问题。这些问题不仅降低了掘进效率,还增加了施工成本,对整个采矿作业的经济性产生了不利影响。在嵩县山金井下爆破作业中,引入了马丽散塑封炮泥,进行了系统的优化爆破试验。通过改进炮泥的使用方式,并针对性地优化爆破参数,取得了显著的成果:单循环进尺增加了0.3 m,炮孔利用率提高了1.63个百分点,电子雷管单耗降低了0.25个/m³,炸药单耗减少了0.72 kg/m³,爆破耗材成本降低了8.23元/m³。而且还减少了所需的炮孔数量,从而进一步提高了凿岩效率和爆破效果。这一系列优化措施不仅提升了整体爆破效果,还显著降低了成本,实现了采掘工程的高质量作业,具有重要的工程实践价值。

关键词:深部开采;硬岩矿山;巷道掘进;凿岩;爆破;参数优化;炸药单耗

中图分类号:TD852

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)08-0013-06

doi:10.11792/hj20250803

引言

在金属矿山地下开采中,巷道掘进是保证矿石资源高效、安全开采的重要环节,而凿岩爆破则是最常用的掘进手段^[1]。随着矿山开采深度的增加,地下地质条件的复杂性显著增加,包括地应力、岩层结构和围岩性质的多样性,这对爆破参数的设置提出了更高的要求^[2]。合理的爆破参数不仅能够提高掘进效率,还能降低对围岩的扰动,确保施工的安全性和经济性^[3]。因此,如何科学优化爆破参数,成为现代矿山工程领域亟待解决的关键问题^[4]。

爆破参数的设置包括炸药的类型与装药量、钻孔的布置、炸药的填塞方式及起爆顺序等多个方面^[5]。这些参数之间相互关联、相互影响,稍有不妥就可能导致爆破效果不理想,甚至引发安全事故^[6]。例如:装药量不足可能无法有效破碎岩石,而装药量过大则可能引发过度振动,破坏围岩稳定性^[7];钻孔布置不合理会导致能量利用效率低,增加施工成本^[8];不当的填塞和起爆顺序则可能导致爆破飞石、噪声和粉尘等环境问题^[9]。因此,爆破参数的优化设计必须充分考虑地质条件的多样性和复杂性,以实现理想的爆破效果^[10]。

近年来,关于爆破参数优化的研究逐渐增多,主要集中在以下几个方面:首先是炸药的选择和装药量

的优化^[11]。通过实验室测试和现场试验,研究人员逐步确定了不同岩性和地应力条件下的最优装药量范围^[12]。其次是钻孔布置和填塞方式的改进^[13]。基于数值模拟和经验公式,研究者们提出了适用于不同地质条件的钻孔网络优化模型^[14],以提高能量利用率,减少围岩扰动^[15]。此外,起爆顺序的优化也受到了广泛关注^[16-17]。通过分析炸药爆轰波的传播规律和能量分布^[18-19],研究人员开发了多种智能化的起爆技术^[20-21],以提高爆破控制的精度和效果。

另外,目前金属矿山地下开采主要采用纸盒打湿再打成卷或直接打成卷封孔,还有用袋子直接堵孔的,就地取材。井下下向大直径深孔作业和露天矿山作业主要使用孔口周边的细岩渣堵孔。主要原因有以下几点:没有合适的制作炮泥的材料和设备;加工操作的炮泥容易断裂,上向孔不容易填塞或无法保证填塞质量等;另外采用炮泥封孔,制作和操作麻烦,导致作业时间长、效率低,影响生产。

本文以爆破参数优化为核心,并选用新型炮泥在矿山使用,系统探讨在不同地质条件下,如何通过科学合理的参数设计,提高凿岩爆破的效率和安全性。通过综合运用理论分析和现场试验等方法,本文将为金属矿山地下巷道掘进爆破参数优化提供新的思路和技术支持,以期能够为矿山工程技术人员提供可操作的优化策略,助力矿山开采实现更高效、更安全的

生产目标。

1 矿山现状及地质概况

1.1 矿山现状

嵩县山金矿业有限公司(下称“嵩县山金”)地处河南省嵩县南部,行政上隶属嵩县大章乡,矿区与洛阳市直线距离约120 km,距嵩县城区约24 km。矿区南侧约3 km处有洛(阳)—栾(川)公路通过,并建有硬化道路直达矿区,交通条件优越,完全能够保障生产运输需求。矿区内矿体总体走向20°左右,倾向NW,倾角51°~55°,属倾斜中厚矿体,初步估算可利用矿石量1 635 576 t,金金属量6 703.60 kg,设计年产矿石量20万t。

随着矿山的不断开采,巷道掘进和采场回采中施工质量成为矿山安全生产和成本控制的关键点。目前,采场进路回采施工主要表现为掘进和回采时循环进尺较低、部分区域超欠挖严重、支护工程量较大、施工安全隐患多、巷道维护成本较高、回采中尾砂混入严重、采矿损失贫化指标较高等问题。这些问题将不可避免地制约企业的安全生产水平与经济效益的提升。

1.2 地质概况

嵩县山金九仗沟金矿床地处外方山断隆带中西部,位于大庄一中胡背斜构造北翼,紧邻北北东向万岭断裂组东侧。区域地层为产状呈北东倾的单斜构造。矿区内主要赋存地层为中元古界长城系熊耳群鸡蛋坪组及第四系沉积层。矿区褶皱不发育,岩层呈单斜展布,总体走向105°~115°,倾向15°~25°,倾角20°~25°。断裂以M1含金构造蚀变破碎带为主,构成矿区主要控矿构造。矿区内岩性较为单一,以鸡蛋坪组上段英安岩、流纹岩为主。岩石硬度较高,抗压强度大,节理裂隙不发育,岩体稳定性良好,因此不会对矿床开采构成不利影响。选择试验地点为-420 m中段83勘探线脉外巷,巷道围岩较稳固,发育有少量节理,走向为45°±,倾角67°±。水文地质条件类型为简单型。

2 凿岩设备和爆破器材

2.1 凿岩设备

在嵩县山金巷道掘进施工中,YT-28气腿式凿岩机起到了不可替代的作用。该设备通过压缩空气驱动活塞进行往复运动,在冲程阶段活塞对钎尾施加冲击载荷,回程阶段则驱动钎具产生旋转运动,以此实现岩体的破碎与钻孔功能。虽然全液压钻车取代气腿式凿岩机已成为岩石巷道掘进领域的发展趋势,但目前仍有不少岩石巷道掘进工程继续沿用气腿式凿

岩工艺。其作为一种应用广泛的手持式、半机械化装备,具有结构简单、维护便捷、成本经济等优势,但其缺点同样显著:钻孔效率不高、作业噪声显著、人力需求较大、综合工效偏低、工人劳动强度较高,且存在较高的机械损伤、人员伤亡及顶板冒落等安全隐患。

2.2 爆破器材

针对嵩县山金矿体的物理力学特性,本研究选择常用的2号岩石乳化炸药作为爆破材料。该炸药有着较好的爆轰性能,在中硬岩层爆破工程领域被广泛应用。本次试验采用的炸药规格为 $\phi 32\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 标准药卷,单卷质量为0.3 kg。在起爆系统方面,选用配备4 m延长导线的数码电子雷管,以确保起爆顺序及微差时间的精准控制,并使得施工安全性大幅度提高。

3 原爆破参数及存在问题

3.1 原爆破参数

断面形状为1/4三心拱,断面尺寸为3.0 m $\times$ 2.8 m。凿岩使用YT-28气腿式凿岩机,2.2 m长钎杆, $\phi 38\text{ mm}$ 球齿钎头,孔深2.0 m,炮孔总孔数35个。其中,掏槽选择梅花形掏槽,掏槽孔共计7个(含6个未装药空孔),辅助孔16个,周边孔12个。爆破材料选用2号岩石乳化炸药,采用连续不耦合反向起爆装药结构,炮孔未实施封堵处理。总装药量达47.7 kg,配套使用数码电子雷管,单循环雷管消耗量为29发,经计算炸药单耗为3.43 kg/m³。采用数码电子雷管起爆网络。所有炮孔均采用孔内毫秒延期雷管,延期时间为500 ms,共分10段起爆。原爆破炮孔布置如图1所示,单循环装药参数如表1所示。

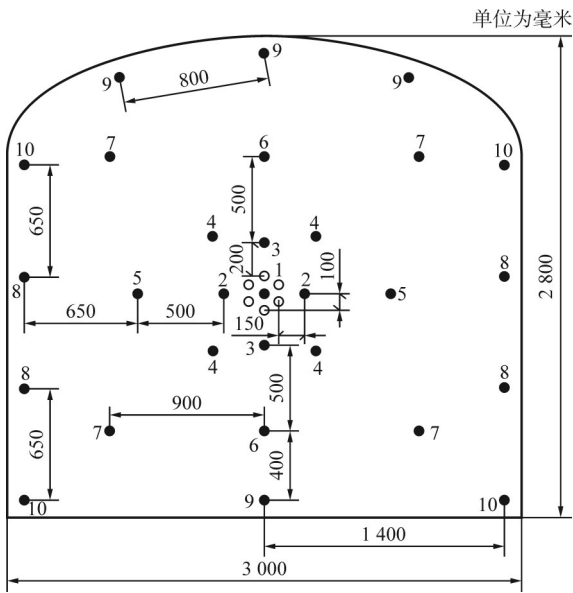


图1 原爆破炮孔布置示意图

Fig. 1 Blast holes layout of the original blasting

表 1 单循环装药参数

Table 1 Charging parameters of single round

炮孔段别	炮孔个数	装药条数	装药系数	装药量/kg	
				单孔	小计
1	1	7	1.05	2.1	2.1
2	2	6	0.9	1.8	3.6
3	2	6	0.9	1.8	3.6
4	4	6	0.9	1.8	7.2
5	2	6	0.9	1.8	3.6
6	2	6	0.9	1.8	3.6
7	4	6	0.9	1.8	7.2
8	4	4	0.6	1.2	4.8
9	4	6	0.9	1.8	7.2
10	4	4	0.4	1.2	4.8
空孔	6	0	0	0	0
总计	35				47.7

3.2 存在问题

1)孔网参数不合理,导致巷道成形效果较差。周边孔布设间距超出合理范围,显著大于周边孔与二级辅助孔的排距,造成巷道超欠挖问题突出,断面成形效果不佳。这一状况不仅增加了支护作业量,而且对巷道的结构安全性和围岩稳定性产生不利影响。

2)装药参数不合理,使得爆破成本高,爆破效率低。采用单一的连续装药模式,未能针对不同炮孔位置优化装药形式和药量分配,致使炸药用量增加。单循环爆破装药量达 47.7 kg,爆破后超欠挖现象明显,断面成形控制效果不理想。实测炸药单耗为 3.43 kg/m³,对照《黄金工业工程建设预算定额》(2014 版),较国内同类矿山平均水平显著偏高。此外,由于未实施炮孔封堵措施,炸药能量利用率不足,严重影响了爆破效能。优化前爆破效果如图 2 所示。

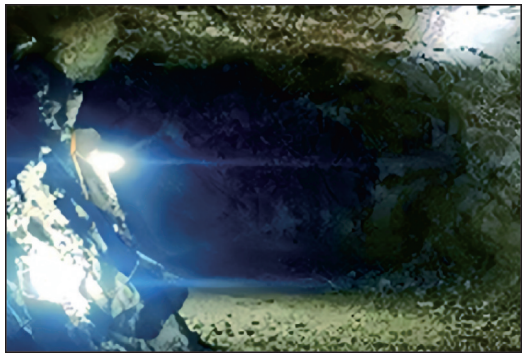


图 2 优化前爆破效果

Fig. 2 Blasting results before optimization

3.3 原因分析

通过调研现有的井巷掘进爆破参数,发现出现上述问题的根本原因在于孔网参数与装药结构的不合

理。现场凿岩施工人员主要依据传统经验参数及类比其他矿山布孔模式开展作业,不同操作人员采用的布孔工艺存在明显差异。这种基于经验主义的布孔装药方式,未能充分考虑岩石力学特性、炸药爆轰性能、炮孔规格参数及《黄金工业工程建设预算定额》(2014 版)等技术标准,因而无法选取最优的爆破参数。

具体表现为:辅助孔排距较小,导致相邻炮孔爆破作用区域产生显著叠加效应,不仅爆破能量利用率降低,而且引发爆破碎石抛掷距离过大,对出渣作业效率产生影响;周边孔间距过大,使得形成多个独立的爆破漏斗,而孔间岩体因应力分布不均难以达到有效破碎效果,最终导致明显的爆破根底残留问题,巷道断面超欠挖现象突出,成形质量控制面临严峻挑战。基于上述分析,针对现有巷道掘进爆破参数,亟待开展系统性优化研究。

4 爆破参数优化

爆破参数在巷道掘进工程设计中具有决定性作用,其核心要素涵盖炮孔孔径、钻孔深度、炮孔数量与排布方式、炸药单耗等关键指标,这些因素将直接决定掘进施工的经济性、作业效率及最终巷道断面的成形效果。炮孔直径的选取关系到爆后岩块粒级分布和巷道轮廓控制效果,直径偏大会导致爆破块度过大,加大后续清渣难度,而直径不足则会制约爆破效能;钻孔深度决定单次掘进量,合适的炮孔深度在保证爆破效率的同时可确保岩体充分破碎,过深会使岩石的夹制作用太大,不足则使爆破效率太低;炮孔数量决定了总装药量,其孔网参数则主导着爆破轮廓的规整度和岩体破碎形态;炸药单耗作为评估爆破经济性的关键参数,不仅影响施工成本,而且与岩体破碎程度密切相关,可依据岩体可爆性和工程需求进行动态调整。因此,要实现理想的爆破效果,必须科学确定各项爆破参数。爆破参数的确定需要综合考虑巷道围岩特性,本研究着重从孔网参数、装药结构、堵塞材料方面进行优化,巷道掘进爆破工程需满足以下关键技术指标:①成形断面几何尺寸严格符合设计规范要求,轮廓线平整,围岩扰动较小,超欠挖量控制在 5%;②提高炮孔能量利用效率,炮孔有效利用率原则上应不低于 90%;③爆破碎石粒径分布均匀,爆堆空间分布集中,大幅提高装运作业效率;④降低爆破材料消耗量,优化施工成本。基于嵩县山金实际工程地质条件,围岩质量等级以Ⅱ类为主,岩石普氏硬度系数 $f=12$,最终依旧选用 2 号岩石乳化炸药,并严格遵循当地技术规范要求,统一采用数码电子雷管进行起爆。

4.1 炸药消耗量

炸药单耗不仅受岩体力学特性的制约,还与巷道断面尺寸、炮孔孔径及钻孔深度等工程因素密切相关。针对特定岩层条件,在爆破参数和炸药类型确定的前提下,存在一个最优的炸药消耗量范围。盲目提高炸药单耗对爆破效果的提升作用有限,在某些情况下甚至会产生负面效应。合理炸药单耗的确定通常需结合工程实践经验进行综合判断。参照《黄金工业工程建设预算定额》(2014版),并考虑嵩县山金的实际地质条件,确定该断面尺寸下,巷道掘进爆破的炸药单耗标准值为 2.83 kg/m^3 ,单循环爆破炸药需求量可通过式(1)计算得出。

$$Q = qSh\eta \tag{1}$$

式中: Q 为单循环爆破炸药需求量(kg); q 为炸药单耗(kg/m^3); S 为巷道设计断面面积, $S=7.94\text{ m}^2$; h 为炮孔设计深度, $h=2.3\text{ m}$; η 为炮孔有效利用率, $\eta=0.87$ 。

基于爆破工程理论,经计算, $Q=44.96\text{ kg}$ 。因此,单循环爆破炸药需求量为 44.96 kg 。

4.2 炮孔参数设计

4.2.1 炮孔数量计算

炮孔数量计算公式为:

$$N = 3.3 \sqrt[3]{fS^2} \tag{2}$$

式中: N 为炮孔数量。

经计算, $N=31$ 。因此,炮孔数量为31个。

4.2.2 掏槽孔布置

掏槽形式的选取是影响整体爆破效能的关键因素之一。当工作面仅存在单一自由面时,岩石的夹制作用显著增强,导致爆破难度加大,此时需要通过技术手段人为增设自由面来提升爆破效率。掏槽孔的核心功能在于将工作面掏槽区域的岩体充分破碎并抛掷,进而形成新的临空面,为后续炮孔的爆破作业提供必要的能量释放空间。本次试验采用梅花形掏槽布置方案,掏槽孔布置在底板以上 $1.3\sim 1.5\text{ m}$ 高度处,中心设置1个装药孔,周边均匀分布6个空孔,空孔直径与装药孔保持一致,二者间距控制在 50 mm 。

4.2.3 辅助孔和周边孔布置

辅助孔主要布置在掏槽孔外围区域,其功能在于扩展爆破空腔范围,从而优化整体爆破效能。为确保爆破安全性,辅助孔深度通常较掏槽孔适当减小,这样既防止岩体过度破碎,又能有效抑制飞石产生。辅助孔排距宜控制在 $0.4\sim 0.8\text{ m}$ 。周边孔则需沿巷道轮廓线均匀排布,其主要功能在于精确控制炮孔间距,从而实现预期爆破效果。周边孔间距建议采用 $0.5\sim 1.0\text{ m}$,最小抵抗线应符合 $W_{\min}=(10\sim 20)d$ 的设计标准。对于辅助孔和周边孔的布置需满足以下技术要

求:保证围岩沿设计轮廓线准确崩落;爆破岩体不得破坏支护体系及相关设备;单孔起爆不应导致邻近装药孔意外引爆或位移;破碎岩块粒径分布均匀,便于后续装运作业。

根据嵩县山金岩石性质,布置16个辅助孔,辅助孔排距 $0.15\sim 0.9\text{ m}$;13个周边孔,两帮孔间距 $0.6\sim 0.7\text{ m}$,顶板孔间距 $0.8\sim 0.9\text{ m}$,底板孔间距 0.9 m 。优化后炮孔布置如图3所示。

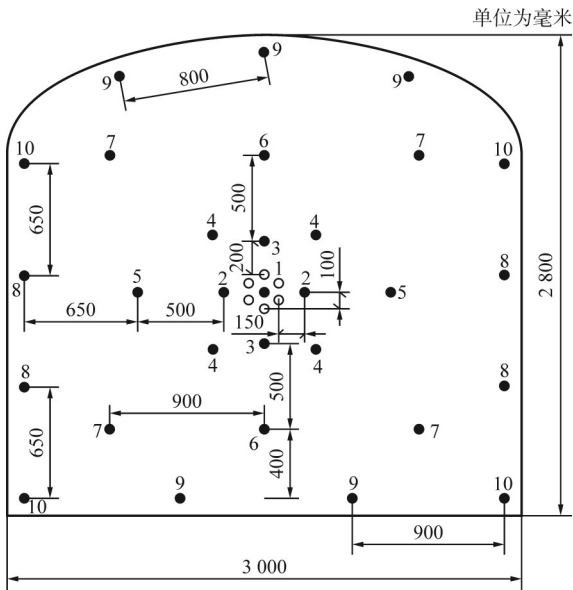


图3 优化后炮孔布置示意图

Fig. 3 Blast holes layout after optimization

4.3 指标对比

针对优化前爆破方案存在的问题,提出相应解决思路,主要优化思路如下:采用马丽散塑封炮泥堵孔,以提高炮孔有效利用率。单循环装药参数如表2所示。由表2可知:优化后的装药参数将 2.2 m 钎杆更换为 2.5 m 钎杆,增加炮孔深度,以提高循环进尺。并增加1个底孔,底孔间距由 1.4 m 降为 0.9 m 。降低装药系数,掏槽孔装药系数由 1.05 降至 0.91 ,辅助孔装药系数由 0.9 降至 0.68 ,周边孔装药系数由 0.7 降至 0.56 。

表2 单循环装药参数

项目	装药系数			钎杆长度/m	底孔间距/m
	掏槽孔	辅助孔	周边孔		
原设计	1.05	0.9	0.7	2.2	1.4
优化后	0.91	0.68	0.56	2.5	0.9
对比	-0.14	-0.22	-0.14	0.3	-0.5

5 现场爆破试验及效果

考虑到不同炮孔的功能差异,每个炮孔的炸药单耗需进行具体设计。起爆顺序为掏槽孔先爆,随后辅助孔,最后周边孔,采用毫秒延期数码电子雷管起爆,

以有效降低爆破振动对围岩的扰动作用,提升爆破成形质量。通过多次试验与参数修正,最终获得了显著的爆破效果。具体单循环装药参数如表 3 所示,详细装药结构如图 4 所示。

表 3 单循环装药参数

Table 3 Charging parameters of a single round					
炮孔段别	炮孔个数	装药条数	装药系数	装药量/kg	
				单孔	小计
1	1	7	0.91	1.8	2.1
2~3	4	6	0.78	1.8	7.2
4~7	12	5	0.65	1.5	18.0
8	4	4	0.52	1.2	4.8
9 顶	3	4	0.52	1.2	3.6
9 底	2	5	0.65	1.5	3.0
10 顶	2	4	0.52	1.2	2.4
10 底	2	5	0.65	1.5	3.0
空孔	6	0	0	0	0
总计	36				44.1

根据优化后的设计参数进行现场爆破试验,单循环爆破主要技术参数如表 4 所示,优化前后爆破效果

表 4 单循环爆破主要技术参数

Table 4 Main technical parameters of a single round of blasting							
断面面积/m ²	总装药量/kg	炮孔总个数	平均孔深/m	平均进尺/m	炮孔有效利用率/%	电子雷管单耗/(个·m ⁻³)	炸药单耗/(kg·m ⁻³)
7.94	44.1	36	2.3	2.05	89.13	1.84	2.71

表 5 优化爆破效果整体分析

Table 5 Overall analysis of optimized blasting effect					
项目	循环进尺/m	炮孔有效利用率/%	炸药单耗/(kg·m ⁻³)	电子雷管单耗/(个·m ⁻³)	爆破成本/(元·m ⁻³)
优化前	1.75	87.50	3.43	2.09	52.21
优化后	2.05	89.13	2.71	1.84	43.98
变化	0.3	1.63	-0.72	-0.25	-8.23
变化率/%	17.14	1.85	-20.99	-11.96	-15.76



图 5 优化后爆破效果

Fig. 5 Blasting effect of blasting consumables

2)爆破成本显著降低。经参数优化后,单循环炸药消耗量由初始的 47.7 kg 降至 44.1 kg,节约 3.6 kg;炸药单耗由 3.43 kg/m³ 降低至 2.71 kg/m³,降幅达

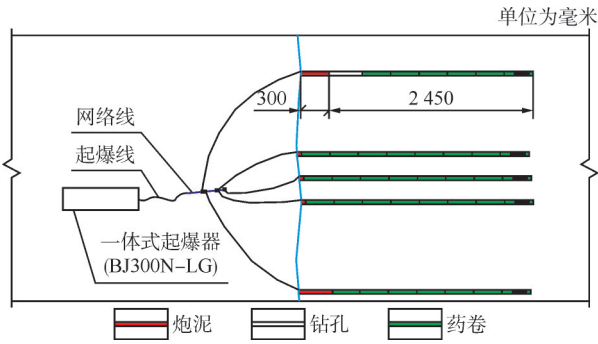


图 4 装药结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the charging structure

整体对比分析结果如表 5 所示。

1)巷道断面成形质量显著提升。通过缩小周边孔间距并降低装药密度,在爆破参数系统优化后,经过反复试验与参数修正,取得了突破性进展。具体表现为:巷道超欠挖现象得到根本性改善,炮孔有效利用率持续稳定在 90 %左右的高位水平,爆落岩块粒径分布合理,爆堆集中度显著提高。优化后的爆破效果如图 5 所示。

20.99 %。这一改进不仅显著降低了爆破材料消耗量,同时有效控制了掘进工程的爆破作业成本。相关爆破材料消耗量及经济成本对比分析如表 6 所示。

表 6 爆破耗材成本对比分析

Table 6 Cost comparison of blasting consumables				
材料	优化前成本/(元·m ⁻³)	优化后成本/(元·m ⁻³)	变化/(元·m ⁻³)	变化率/%
炸药	22.66	17.88	-4.78	-21.10
雷管	29.55	26.10	-3.45	-11.68
合计	52.21	43.98	-8.23	-15.76

经计算,优化后爆破耗材成本节约 8.23 元/m³。

3)爆破作业效能显著提升。经参数优化后,单循环进尺增加 0.3 m,炮孔有效利用率提升 1.63 百分点,电子雷管单耗减少 0.25 个/m³,炸药单耗降低 0.72 kg/m³,整体爆破效果达到预期优化目标。

需要指出的是,巷道掘进爆破参数优化是一个需要持续改进的系统工程。针对矿体与围岩的岩性差异特征,必须通过动态调整掏槽方式、孔网参数、装药结构及填塞质量等参数,对现行爆破方案进行科学修正,方能实现经济技术指标的最优化。嵩县山金的工程实践表明,实施爆破参数优化后,不仅显著改善了巷道断面成形质量,同时大幅提升了爆破作业效率,而且有效降低了爆破材料消耗量,为类似地质条件下的巷道掘进爆破工程提供了具有重要参考价值的实践经验。

6 结 论

1)爆破效果显著提升,有效缓解了巷道超欠挖问题,断面成形质量明显改善。通过优化周边孔间距和装药密度,显著降低了爆破对围岩的扰动,使超欠挖量控制在5%的设计允许范围内。围岩支护工程量相应减少,支护成本节约效果显著。

2)爆破材料消耗明显降低,爆破材料成本减少8.23元/m³。通过优化炮孔布置方案和差异化装药设计,辅助孔和周边孔装药量合理缩减,单循环总装药量有效控制。炸药单耗从3.43 kg/m³优化至2.71 kg/m³,为成本管控创造了有利条件。

3)掘进作业效率实现质的飞跃,单循环进尺提升0.3 m,炮孔有效利用率提升至90%左右。凿岩工效得到改善,爆后岩块粒度均匀,爆堆集中度高,装岩效率显著提升,整体掘进速度实现突破性进展。

[参 考 文 献]

- [1] 李夕兵. 凿岩爆破工程[M]. 长沙:中南大学出版社,2011.
- [2] 曾新枝. 矿岩爆破效果综合评价体系研究与实现[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.

- [3] 孙英翔. 露天深孔爆破炮孔填塞长度及填塞物运动规律的研究[D]. 沈阳:东北大学,2011.
- [4] 陈程,李全明. 地下矿山巷道掘进凿岩爆破技术参数优化研究进展与展望[J]. 中国矿业,2023,32(10):103-110.
- [5] 史瑞军. 煤矿大巷掘进爆破参数优化[J]. 山西化工,2023,43(6):150-151,161.
- [6] 文兴,赵亮,朱青凌,等. 基于爆破漏斗试验的采场凿岩爆破参数优化研究[J]. 矿业研究与开发,2021,41(7):28-31.
- [7] 周宗红,刘剑,许敏捷,等. 云南金平长安金矿中深孔凿岩爆破参数优化研究[J]. 化工矿物与加工,2021,50(4):9-13.
- [8] 宗黎,杨小平,陈旭,等. 如何提高无底柱分段崩落法眉线口的卡块效率及安全性[J]. 中国矿业,2019,28(增刊1):175-178.
- [9] 林福荣. 大红山铁矿西上采区巷道光面爆破掘进爆破参数优化应用[J]. 中国矿业,2018,27(增刊1):252-253.
- [10] 潘忠凡,黄宪. 某矿山凿岩爆破工艺参数优化试验[J]. 现代矿业,2018,34(4):73-75.
- [11] 黄小彬,王聪聪,李斌,等. 高阶段采场爆破危害效应控制与参数优化研究[J]. 有色金属(矿山部分),2018,70(2):45-49.
- [12] 韩光照,李春,马贺雨. 极破碎矿体采矿工艺与凿岩爆破参数优化研究[J]. 采矿技术,2017,17(6):19-22,36.
- [13] 汪志国,唐学义,陈东方,等. 基于神经网络的采场凿岩爆破参数优化及应用[J]. 黄金,2017,38(10):36-39.
- [14] 赵彬,张德明,康度,等. 新桥矿爆破工艺与参数优化[J]. 爆破,2017,34(3):85-89.
- [15] 孔维华. 六苴铜矿深孔采矿爆破参数初步探讨[C]//云南铜业(集团)有限公司,云南省有色金属学会. 云南铜业(集团)有限公司、云南省有色金属学会第九届矿山技术论文发布会论文集. 昆明:云南省有色金属学会,2016:10.
- [16] 何良军,赵文奇,高忠. 泗人沟铅锌矿削壁充填采矿法优化研究[J]. 矿业研究与开发,2016,36(6):78-81.
- [17] 苏武军. 正交试验法优化凿岩爆破参数在图拉尔根的应用[J]. 民营科技,2015(4):31,239.
- [18] 戴云波,张德明,高宇梁,等. 基于BP网络的采场爆破钻孔参数优化[J]. 爆破,2014,31(3):57-62.
- [19] 李强,龙家安,盛佳. 大直径深孔凿岩爆破参数优化研究[J]. 采矿技术,2012,12(5):71-72,87.
- [20] 崔继强. 金川矿区破碎矿石下向六角形进路充填采矿技术研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [21] 翁胜军,何荣兴,郁奇. 北沟河铁矿凿岩爆破参数优化试验研究[J]. 现代矿业,2012,27(5):6-8.

Experimental study on optimization of drilling and blasting parameters for deep hard rock mine roadway excavation

Xin Jinsheng¹, Feng Lianwei², Xing Chao³, Liang Xin³, Ren Ji⁴

(1. Mine Management Group, Shandong Gold Group Co., Ltd.; 2. Xincheng Gold Mine, Shandong Gold Mining Co., Ltd.; 3. Songxian Shanjin Mining Co., Ltd.; 4. School of Resources and Safety Engineering, Central South University)

Abstract: Drill-and-blast is the predominant method used in underground mining of metal mines, and blasting parameters are crucial to ensuring blasting performance. At the Songxian Shanjin underground mine, issues such as improper stemming, unreasonable blasting parameters, short advance per round, and high blasting costs have been identified. These problems reduce excavation efficiency and increase construction costs, adversely affecting the economic performance of mining operations. In response, this study introduced plastic stemmed emulsion (Marisan) in the blasting operations and conducted a series of systematic optimization tests. By improving stemming practices and refining blasting parameters in a targeted manner, the study achieved notable improvements: the advance per round increased by 0.3 m, blasthole utilization rate rose by 1.63 percentage points, unit electronic detonator consumption dropped by 0.25 per cubic meter, unit explosive consumption decreased by 0.72 kg/m³, and blasting material costs were reduced by 8.23 yuan/m³. Additionally, the number of required blast holes was reduced, further improving drilling efficiency and blasting effectiveness. These optimization measures not only enhanced the overall blasting performance but also significantly reduced costs, enabling high-quality excavation with significant practical engineering value.

Keywords: deep mining; hard rock mine; roadway excavation; drilling; blasting; parameter optimization; unit explosive consumption