

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2026.02.024

无索预裂爆破施工技术研究及应用

鲍庆灵, 陈运成, 李铁龙

(宏大爆破工程集团有限责任公司, 广州 510000)

摘要: 传统预裂爆破通常采用导爆索结合竹片进行不耦合装药,但国内某些地区,受民爆物品管控政策限制,导爆索难以采购,严重影响了边坡施工进度与边坡治理效果。为此,本研究旨在开发一种不使用导爆索的新型预裂爆破工艺,以突破材料供应限制,并在作业效率、成本控制与起爆可靠性等方面实现综合优化。本研究提出“无索预裂爆破”技术,其核心包括两项关键创新:一是采用高精度工业电子雷管替代导爆索作为起爆元件,通过孔内延时设置实现相邻炮孔顺序起爆,利用应力波叠加形成平整预裂缝;二是采用 $\phi 60$ mm 乳化炸药替代传统 $\phi 32$ mm 药卷,并采用间隔装药结构,通过控制药卷间距调节爆破能量分布,在保证成缝效果的同时保护孔壁完整性。此外,还系统优化了与该工艺配套的钻孔参数、延米装药量、堵塞长度及孔间延时等关键参数。现场应用表明:与传统工艺相比,作业效率提升15倍以上,材料成本降低23%,人工成本下降92%,主要得益于工序简化与起爆元件精确使用;工业电子雷管具备全程电阻检测功能,实现起爆网路100%可检,极大提升了安全性与可靠性;爆破后边坡半孔率达90%以上,岩体完整平整,满足长期稳定要求。本研究成功验证了以电子雷管与 $\phi 60$ mm 乳化炸药间隔装药为核心的无索预裂爆破技术的可行性与优越性。该技术不仅解决了导爆索短缺下的预裂爆破施工的难题,更在效率、成本与安全性方面实现全面提升,为类似条件下的露天矿山边坡工程提供了可复制、可推广的解决方案,具有广泛的工程应用前景。

关键词: 预裂爆破; 无导爆索; 间隔装药; 高效率

中图分类号: TD235.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-487X(2026)02-0229-06

Research and Application of Non-detonating-cord Presplitting Blasting Technology

BAO Qing-ling, CHEN Yun-cheng, LI Tie-long

(Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: Conventional presplit blasting techniques commonly utilize detonating cords paired with bamboo strips to achieve decoupled charge configurations. However, in certain Chinese regions with stringent civil explosives regulations, procuring detonating cords is challenging, significantly hindering final slope construction timelines and slope stabilization outcomes. To address this issue, this study develops an innovative presplit blasting technique that eliminates dependence on detonating cord, simultaneously addressing material procurement constraints and enhancing operational efficiency, cost-effectiveness, and detonation reliability. The proposed “non-detonating-cord presplitting blasting” technology incorporates two principal innovations: (1) High-precision industrial electronic detonators substitute detonating cords as initiation devices, enabling sequential hole initiation through programmed delay timing that leverages stress waves superposition for controlled fracture propagation; (2) $\phi 60$ mm bulk emulsion explosives replace conventional $\phi 32$ mm cartridges within an optimized deck charging configuration. Through strategic spacing

收稿日期 (Date of reception): 2025-11-23

网络首发日期 (Published online): 2026-01-20

作者简介: 鲍庆灵 (1999-), 男, 安徽省合肥市, 本科、助理工程师, 从事露天矿山爆破施工, (E-mail) 1808289915@qq.com。

About the author: BAO Qing-ling (1999-), male, born in Hefei city, Anhui province, bachelor degree, specializing in surface mining blasting, (E-mail) 1808289915@qq.com.

adjustment of explosive cartridges, blast energy distribution is precisely controlled to ensure effective fracture propagation while maintaining borehole stability. The technology further optimizes critical parameters, including burden and spacing, linear charge density, stemming requirements, and inter-hole delay sequencing. Field validation confirms superior performance over conventional methods, demonstrating over 15 efficiency gains, a 23% reduction in material costs, and 92% labor cost savings, achieved through streamlined operational procedures and precise application of initiation components. Industrial electronic detonators facilitate comprehensive circuit resistance testing, ensuring complete verifiability of the initiation network while substantially improving safety and operational reliability. Post-blast evaluations reveal a slope half-cast factor exceeding 90% and uniformly fractured rock surfaces that meet long-term stability criteria. This research conclusively validates the feasibility and technical advantages of non-detonating-cord presplitting blasting technology using electronic detonators and ϕ 60 mm emulsion explosives in deck-charging configurations. The methodology effectively addresses presplitting challenges during detonating cord supply shortages while delivering simultaneous enhancements in operational efficiency, cost reduction, and safety performance. The solution offers reproducible and adaptable implementation frameworks for open-pit mine slope engineering under similar conditions, indicating significant potential for widespread industrial adoption.

Key words: presplit blasting; non-detonating-cord; deck charging; high efficiency

近年来,随着我国民用爆炸物品管控政策的不断加强,导爆索作为一类特殊爆破器材,被要求必须配备专用储存仓库,否则无法销售。这一规定在提升公共安全的同时,也对露天矿山边坡治理等工程带来了显著影响。预裂爆破作为保障边坡轮廓控制与岩体稳定的关键技术^[1-3],在导爆索供应受限的地区面临严峻挑战,严重制约施工进度与治理效果。因此,亟需研发一种不依赖导爆索的新型预裂爆破工艺,以应对当前民爆物品管理政策下的工程需求。

传统预裂爆破多采用导爆索结合竹片进行不耦合装药,尽管技术成熟、应用广泛,但在实际操作中暴露出采购成本高、工序复杂、作业效率低及起爆网路检测手段不足等问题。特别是在专储仓库政策限制下,导爆索供应不稳定,进一步制约了其推广应用。

在预裂爆破技术发展历程中,学者们围绕参数优化、装药结构及起爆控制等方面开展了广泛研究^[4-7]。例如,有研究针对不同岩体条件优化孔距和线装药密度分布;另有研究采用低威力炸药或聚能装药结构,以改善爆破能量分布与成缝效果。此外,工业电子雷管的出现显著提升了起爆时序控制的精度,其具备的全程电阻检测功能也大大增强了爆破作业的安全可靠性。然而,在民爆物品严格管控的背景下,针对无导爆索预裂爆破的系统研究仍较为缺乏,尤其缺乏将电子雷管与大直径乳化炸药相结合的完整工艺体系。

为此,本文提出一种“无索预裂爆破”技术,旨在通过两项核心创新突破现有瓶颈:一是采用高精度工业电子雷管替代导爆索作为起爆元件,通过孔内延时控制实现相邻炮孔顺序起爆,利用应力波叠

加形成平整预裂缝;二是选用 ϕ 60 mm 乳化炸药取代传统 ϕ 32 mm 药卷,并采用间隔装药结构,通过调节药卷间距优化爆破能量分布,在保证成缝质量的同时减少对孔壁的损伤,从而达到不使用导爆索且高效率高质量的完成预裂爆破。

现场试验表明,本研究开发的“无索预裂爆破”工艺,在技术、经济与安全层面均体现出显著优势,为导爆索供应受限条件下的预裂爆破施工提供了可行且高效的解决方案。随着电子雷管技术的进一步普及与爆破理论的持续发展,该技术在未来露天矿山边坡工程及其他岩土爆破领域中具有广阔的应用前景。

1 工程概况

1.1 工程背景

本研究依托某大型露天矿山终了边坡阶段的预裂爆破工程展开。该矿山开采已进入深部阶段,为确保最终边坡的长期稳定与形态规整,需对边坡实施预裂爆破控制。工程涉及预裂爆破施工总长度 120 m,台阶高度 15 m,坡面宽度约 14 m。矿山采用常规台阶式开采工艺,对最终边坡面的平整度、半孔率及岩体完整性具有严格的技术要求。然而,由于区域民爆物品供应政策及仓储条件的限制,该工程面临无法采购导爆索的现实困境。因此,必须在完全无导爆索的前提下,研发并实施一套可行的预裂爆破技术方案,以满足边坡工程质量与施工进度的双重需求。

1.2 地质条件分析

矿区位于地质构造相对稳定的区域,岩性以未风化变质砂岩为主,岩石坚固性系数 $f = 12 \sim 16$,属

中硬至坚硬岩层。岩体结构整体完整,节理裂隙轻微发育,岩体完整性系数约为0.75。岩石物理力学参数经实验室测定与现场勘测如下:密度为 2.65 g/cm^3 ,单轴抗压强度介于 $85\sim 120\text{ MPa}$ 之间,抗拉强度为 $5\sim 8\text{ MPa}$,弹性模量范围为 $35\sim 45\text{ GPa}$,泊松比在 $0.22\sim 0.25$ 之间。此类岩性对爆破能量分布、裂纹扩展控制及孔壁保护提出了较高要求^[8],需精心设计装药结构与起爆时序,以实现理想的预裂效果。

2 技术难点分析

2.1 无导爆索条件下的起爆传爆机制转换

传统预裂爆破普遍采用导爆索作为起爆传爆媒介,其通过连续传播爆轰波实现对炮孔内炸药的线性同步起爆。本研究以工业电子雷管替代导爆索,这一根本性转变带来了以下几方面的技术挑战:

1)起爆方式差异:工业电子雷管属于点起爆元件,仅能在装药段的特定位置引发爆炸,而导爆索提供的是沿孔深的线性起爆。这种差异可能导致炮孔内炸药起爆不同步,影响应力波叠加与裂缝贯通效果。

2)雷管数量优化:若每个装药段均布置一发工业电子雷管,虽能确保起爆可靠性,但将显著增加火工品成本与网路连接复杂度;若减少雷管数量依赖炸药殉爆,则需严格验证炸药的殉爆距离与可靠性,避免出现拒爆或传爆中断。

2.2 装药结构与能量分布优化

导爆索条件下的连续装药结构简单,能量分布相对均匀。改用更大直径的炸药并采用间隔装药后,必须精确控制炸药能量在炮孔内的分布。理论分析与实践表明,合理的空气间隔可以延长爆生气体作用时间,提升能量利用率,并利用“气刃效应”增强劈裂效果^[9]。然而,空气间隔长度的设计至关重要:间隔过长会导致应力波强度衰减,不足以起裂和扩展原生裂纹;间隔过短则近似连续装药,容易造成孔壁过度破碎和能量浪费。此外,新的装药结构需与施工工艺相匹配,确保装药过程便捷、精准、安全。

2.3 堵塞质量与爆破效应控制

堵塞长度与密实度直接影响爆破能量利用率、预裂面质量和爆破安全。堵塞过短或填塞不密实,

会导致爆生气体过早逸散,降低其对孔壁的准静态压力作用,影响裂缝的延伸与贯通,同时增加爆破飞石等安全风险。在无索预裂爆破中,由于装药结构的变化,需要重新确定最优的堵塞参数。

2.4 施工工艺的适应性革新

传统工艺中,炸药常绑定于竹片上再下入孔内。采用工业电子雷管和新的装药结构后,需开发新的药卷固定与装药方法。幸运的是,工业电子雷管的脚线具有一定的抗拉强度,可承受一定重量药卷的吊装,这为简化施工流程提供了可能。如何利用这一特性,设计出高效、可靠的装药操作流程,是工艺革新面临的实际问题。

3 方案设计

3.1 爆破参数设计

基于前述技术难点,本研究在传统预裂爆破孔网参数的基础上对装药结构和起爆时序进行了详细设计和试验,最终确定方案如下。

3.1.1 装药结构设计

综合考量施工成本与预期爆破效果,确定每个预裂孔使用5发工业电子雷管,采用多段间隔装药形式,主装药采用直径 60 mm 的2号岩石乳化炸药。设计的装药结构如图1所示,采用“底部不耦合加强装药+上部多段不耦合间隔装药”的组合模式:

1)底部加强段:位于炮孔底部,承担克服岩石夹制力和形成初始裂缝的关键作用。该段装药量通常占单孔总装药量的一半左右,采用集中装药形式,使用一发工业电子雷管起爆。

2)上部正常段:位于炮孔中上部,负责形成主体预裂面。该段采用空气间隔装药,分为若干个小装药段,每段使用一条 60 mm 的2号岩石乳化炸药并由一发工业电子雷管起爆。正常段总装药量约占单孔总装药量的一半。

3)间隔参数:正常段内各小装药段之间的间隔距离设定为 2.5 m 。底部加强段与最下方正常段小药包之间的间隔为 3.5 m 。

4)堵塞设计:堵塞长度取值为 $(14\sim 18)D$ (D 为炮孔直径),以确保良好的能量封闭。

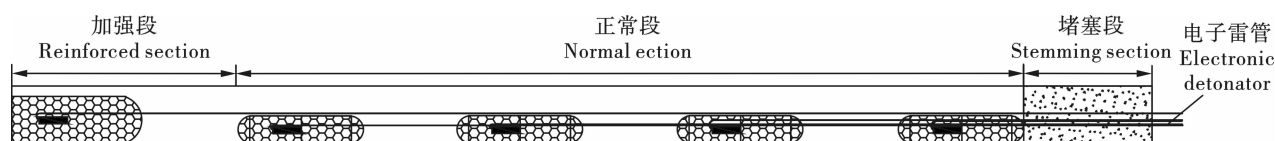


图1 装药结构示意图

Fig. 1 Explosive charge structure diagram

3.1.2 装药量计算

单孔装药量计算以平均线装药密度 $q_{\text{线}}$ 为依据。

$q_{\text{线}}$ 的取值范围通常基于工程经验,对于中硬至坚硬岩石^[10],一般在 $0.6 \sim 1.0 \text{ kg/m}$,本工程取偏大值。

根据计算与现场试验确定的具体装药方案为:

1)底部加强段:集中装填5条 $\phi 60 \text{ mm}$ 乳化炸药(9 kg),使用1发工业电子雷管起爆。

2)上部正常段:分为4个独立的装药段,每段装填1条 $\phi 60 \text{ mm}$ 乳化炸药(1.7 kg),每段分别使用1发工业电子雷管起爆。

3.1.3 起爆时序设计

精确的起爆时序是形成协同应力场、保证预裂面质量的关键。

1)预裂孔间起爆:预裂孔可采用同时起爆或微差起爆。若采用微差起爆,孔间延时设置为 $1 \sim 3 \text{ ms}$,以利于应力波相互叠加,促进裂缝贯通。

2)预裂孔与辅助孔/主爆孔起爆:预裂孔必须先于辅助孔起爆,其起爆间隔时间与传统的预裂爆破一致,本工程取 100 ms 。

3.1.4 关键参数对成缝效果的影响机理分析

预裂爆破旨在形成平整、贯通的预裂缝,其效果直接受爆破参数控制。针对无索预裂爆破技术特点,各项关键参数对成缝效果的影响机理分析如下:

1)装药结构与间隔参数:这是控制能量空间分布、决定成缝质量的核心。

(1)底部加强装药:主要克服炮孔底部的岩石夹制力,为预裂缝的起裂和向下延伸提供足够能量。若底部装药不足,则易产生根底,预裂缝无法贯穿至孔底,影响边坡底部平整度与稳定性;若装药过强或长度过大,则可能造成孔底岩石过度破碎,形成“爆破漏斗”,破坏预裂面的完整性,并可能扰动保留岩体。

(2)上部间隔装药:通过多个离散的“能量源”在孔壁上产生周期性分布的应力集中区,引导裂缝沿设计方向发展。空气间隔是关键参数,其作用:一是通过“气刃效应”延长爆生气体的准静态压力作用时间,促使裂缝稳定扩展;二是衰减爆炸应力波强度,保护间隔区孔壁免于过度粉碎。间隔长度需精确设计:过长(如大于 $3 \sim 4 \text{ m}$)会导致间隔区应力波能量不足以贯通裂纹,形成“断痕”;过短则近似连续装药,失去间隔优势,易造成孔壁粉碎范围扩大。本设计采用 2.5 m 间隔,旨在平衡裂缝贯通需求与孔壁保护。

2)装药量(线装药密度):直接决定输入岩体的爆炸能量大小,是影响裂缝宽度、延伸长度及孔壁损伤程度的主控因素。

(1)平均线装药密度($q_{\text{线}}$):需与岩石强度、完整性相匹配。硬岩、完整岩体需取较高值(如 $0.8 \sim 1.0 \text{ kg/m}$),以保证足够的起裂能。过低则无法形成有效贯通缝;过高则易造成预裂面两侧岩体过度损伤,半孔率下降,甚至产生超挖。

(2)分段装药量分配:底部加强段集中了约50%的药量,以提供强大的初始起裂能。上部各正常段的药量(1.7 kg/段)需确保每个“能量源”能产生足够强的应力波和气体压力,以贯穿至相邻炮孔并与其他段能量协同作用。

3)堵塞长度:主要影响爆炸能量的有效利用率与孔口成型质量。

(1)作用机理:良好的堵塞能够延缓爆生气体过早逸散,确保气体压力充分作用于孔壁,延长裂缝扩展时间,同时防止冲孔和飞石。堵塞体本身也参与应力波的反射与叠加。

(2)长度影响:堵塞过长(如 $> 18D$),可能导致孔口附近岩石因能量不足而无法充分破裂,形成“凸肩”或“贴膏药”现象;堵塞过短(如 $< 10D$),则能量损失严重,孔口易过度破碎形成漏斗,且飞石风险剧增。本工程优化后取 $(14 \sim 16)D$,旨在保障孔口平整与施工安全。

4)起爆时序(孔间延时):决定相邻炮孔爆炸应力场的相互作用方式,对裂缝的平直度与贯通性有决定性影响。

(1)微差起爆($1 \sim 3 \text{ ms}$):理想的短延时使相邻孔起爆产生的应力波在岩体介质中相遇并叠加,在炮孔连心线上形成持续的拉应力区,强力引导裂缝沿设计方向平直贯通,同时减少对保留岩体的振动损伤。

(2)同时起爆:虽也能形成预裂缝,但应力波叠加效应减弱,爆炸荷载对岩体的整体冲击作用更强,易造成预裂面局部凹凸不平,且振动效应更大,不利于保护岩体完整性和边坡稳定。

综上,无索预裂爆破的优良成缝效果,需要依赖于上述各参数的协同优化与匹配。

3.2 施工工艺设计

针对新的装药结构与起爆系统,制定了详细的施工工艺流程,核心在于保证装药位置的准确性与雷管固定的可靠性。

1)装药施工工艺:工业电子雷管脚线具备一定的机械强度,现场试验表明,长 20 m 的电子雷管脚

线可稳定 10 kg 重物 24 h 不变形、不断裂。本设计使用的 60 mm 药卷重约 1.7 kg,远低于脚线承重极限,为直接利用脚线吊装药卷提供了条件。为防止雷管及药卷在孔内滑落,采用特殊的固定方法:将相邻两个炮孔相同位置装药段的两发雷管作为一组,将它们的脚线在两孔中间用防水胶带进行捆绑固定。装药施工时,以两个炮孔为一组同步进行,固定点位于两孔中间位置。

2)炮孔堵塞工艺:填塞前取 2~3 个蛇皮袋装入堵塞段底部,确保装药段处于不耦合的状态,然后采用适宜的堵塞材料,严格按照设计的堵塞长度进行密实填塞,确保堵塞质量。

4 结果与讨论

4.1 初步试验结果与分析

按照上述初步设计方案进行现场试验,爆后效果见图 2。对试验结果评估如下:

1)铲装情况:常规台阶爆破区域铲装正常,预裂孔孔底出现小面积根底。

2)孔痕保留与平整度:预裂面半孔痕清晰可见,孔与孔之间岩面较为平整,表明上部间隔装药结构和起爆时序设计基本合理。

3)装药效率:采用新的装药工艺后,装药效率显著提升,相比传统导爆索预裂爆破,效率提高约 15 倍,远超预期目标。这证明了新工艺在简化流程、提高工效方面的巨大优势。

4)堵塞段效果:堵塞长度取 18D 时,预裂爆破区域爆堆附近岩体出现小范围凸起,表明堵塞长度取 18D 偏大,或堵塞质量有待进一步改善,导致爆破气体在堵塞段下方积聚能量,造成局部过度破碎。

4.2 爆破参数优化与效果验证

针对初步试验暴露出的问题,对爆破参数进行

了针对性优化,并进行了验证试验。



图 2 爆后效果
Fig. 2 Post-blast effect

1)底部装药优化:为改善底部破碎效果,将底部加强段的 60 mm 的 2 号岩石乳化炸药更换为直径更大、线装药密度更高的 $\phi 110$ mm 乳化炸药,加强段药量增加 20%。此举提高了底部区域的线装药密度和炸药量,旨在增强克服底部夹制力的能力。优化后再次进行试验,可见底部区域成型效果得到明显改善,无根底现象。

2)堵塞长度优化:为解决堵塞段凸起问题,将堵塞长度缩短至 $(14 \sim 16)D$ 范围内。在施工中严格保证堵塞材料的质量和填塞的密实度。经过此优化后试验,堵塞段附近的岩面平整度得到有效改善,凸起现象基本消除。

经过上述参数优化,无索预裂爆破的最终成型质量,包括半孔率、预裂面平整度、孔壁完整性等,均已达到与传统导爆索预裂爆破相当的水平,满足了工程设计要求。

4.3 经济效益分析

在爆破效果与传统工艺无显著差异的前提下,无索预裂爆破技术在经济效益方面展现出显著优势。传统预裂爆破与无索预裂爆破单孔的施工直接费对比见表 1。

表 1 两种预裂爆破单孔施工直接费对比表

Table 1 Comparison of direct costs per hole for the two presplitting blasting methods

对比项目 Item	传统预裂爆破 Conventional presplitting blasting	无索预裂爆破 Non-detonating-cord presplitting blasting	成本降低幅度 Reduction in cost
导爆索 Detonating cord/yuan	180	/	/
乳化炸药 Emulsion explosive/yuan	224	210	6.25%
竹片 Bamboo strip/yuan	21	/	/
工业电子雷管 Electronic detonators/yuan	/	160	/
人工成本(按施工效率换算) Labor cost(Converted from efficiency)/yuan	50	4	92.0%
单孔总成本 Total cost per hole/yuan	475	374	21.3%

综上所述,无索预裂爆破技术通过材料替代与工艺革新,实现了材料与人工成本的双重节约,经济效益显著。

4.4 安全与环境效益

无索预裂爆破技术不仅在经济效益上表现突出,在安全与环境方面也带来诸多改善:

1)起爆网路可靠性显著提高:工业电子雷管起爆系统具备网路检测功能,可以在起爆前对整个起爆回路的电阻、连接状态等进行全面检测,及时发现并排除短路、断路等故障,极大提高了起爆网路的可靠性与成功率。而传统导爆索网路缺乏有效的在线检测手段,可靠性更多依赖于施工人员的经验和责任心。

2)火工品安全管理更为便捷有效:工业电子雷管内置微电子芯片与密码控制,具备身份识别与区域控制功能,能有效防止雷管的非法使用与误操作,解决了导爆索在流通、使用环节可能存在的非法流失风险。其电子身份信息也便于全生命周期的追踪管理,符合民爆物品日益严格的管控趋势。

3)替代优势明显:本技术彻底摆脱了对导爆索的依赖,直接解决了因导爆索采购困难、成本高昂、周边环境限制(如噪声敏感区)等导致预裂爆破无法实施或实施成本过高的问题。

4)作业安全性提升:工业电子雷管具有高精度延时、抗杂散电流、抗静电等特点,能有效防止早爆、误爆等安全事故,其可检测性也降低了盲炮处理的风险。

5)环境影响减小:避免了导爆索在传爆时产生的强烈空气冲击波噪声,显著降低了爆破作业的噪声污染,更有利于满足环保要求与维护社区关系。

5 结论

通过理论分析、现场试验和工程应用,本研究得出以下结论:

1)技术可行性:无索预裂爆破技术完全可行,在采用合理的爆破参数(如优化的装药结构、炸药规格、堵塞长度)与科学的施工工艺前提下,其最终爆破效果(半孔率、平整度)可以达到与传统导爆索预裂爆破相当的水平,能够满足露天矿山高边坡质量要求。

2)核心技术创新:将传统预裂爆破的连续装药结构改革为“底部不耦合加强装药+上部空气间隔多段装药”结构,是成功实现用工业电子雷管点起爆替代导爆索线起爆的核心技术突破。该结构有效利用了应力波与爆生气体的协同作用,并通过空气间隔优化了能量分布。

3)经济效益显著:该技术有效降低了施工成

本。估算表明,材料成本可降低约 23%,人工成本因作业效率的极大提升而可降低约 83%,综合经济效益显著。

4)安全环保优势突出:工业电子雷管起爆系统的应用,提高了起爆网路的可靠性与可检测性,增强了作业安全性;其密码控制特性便于火工品管理;同时,消除了导爆索传爆噪声,环境友好性更佳。

5)综合解决方案成熟:本研究将空气间隔装药结构、工业电子雷管精确起爆技术、以及与之配套的施工工艺有机集成,形成了一套适用于中硬至坚硬、岩体完整条件下的高效、经济、安全、高质量的预裂爆破综合性解决方案。

6)推广价值显著:该技术成功解决了无导爆索条件下的预裂爆破难题,顺应了民爆物品安全管理与环保发展的趋势,为面临类似条件的露天矿山边坡控制爆破提供了可靠的技术选择,具有重要的推广应用价值和行业示范意义。

参考文献 (References)

- [1] 张志忠,刘玉山,张雪峰,等.复合顶板均散保压预裂爆破技术研究与应用[J].爆破,2025,42(3):86-94,144.
- [1] ZHANG Zhi-zhong, LIU Yu-shan, ZHANG Xue-feng, et al. Research and application of pressure-maintaining presplitting blasting technology with uniform decentralization in composite roof[J]. Blasting, 2025, 42(3): 86-94, 144. (in Chinese)
- [2] 梁冰,董鹏程,李刚,等.综采工作面过断层深孔预裂爆破技术应用研究[J].工程爆破,2023,29(2):51-60.
- [2] LIANG Bing, DONG Peng-cheng, LI Gang, et al. Application research on deep-hole presplitting blasting technology for fully mechanized mining face passing through faults[J]. Engineering Blasting, 2023, 29(2): 51-60. (in Chinese)
- [3] 张迎春,赵良玉,张遵辉,等.预裂爆破技术在露天矿山治理工程中的应用[J].采矿技术,2023,23(2):135-138.
- [3] ZHANG Ying-chun, ZHAO Liang-yu, ZHANG Zun-hui, et al. Application of presplitting blasting technology in open-pit mine remediation engineering[J]. Mining Technology, 2023, 23(2): 135-138. (in Chinese)
- [4] 徐菲菲,熊力,郭丰,等.预裂孔间距对边坡爆破效果的影响模拟研究[J].中国矿业,2025,34(8):264-273.
- [4] XU Fei-fei, XIONG Li, GUO Feng, et al. Simulation study on the influence of presplit hole spacing on slope blasting effect[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(8): 264-273. (in Chinese)