

基于露天矿山爆破环节的安全管理探究

王应明

新疆天业（集团）有限公司精河县晶昇矿业有限公司，新疆 博尔塔拉蒙古自治州 833300

[摘要] 本文基于金属非金属露天石灰石矿开采特点，深入剖析爆破作业中边坡稳定性差、爆破器材管理不规范等常见问题，针对性提出识别安全风险、强化器材检查等安全管理措施，旨在提升石灰石矿爆破安全管理水平，保障矿山安全生产。

[关键词] 金属非金属露天矿；石灰石矿；爆破环节；安全管理

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17603

中图分类号: TD235

文献标识码: A

Exploration on Safety Management Based on Open-pit Mine Blasting Process

WANG Yingming

Jinghe County Jingyi Mining Co., Ltd. of Xinjiang Tianye (Group) Co., Ltd., Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang, 833300, China

Abstract: Based on the characteristics of metal and non-metal open-pit limestone mining, this article deeply analyzes common problems such as poor slope stability and non-standard management of blasting equipment in blasting operations. Targeted safety management measures such as identifying safety risks and strengthening equipment inspections are proposed to improve the safety management level of limestone mining blasting and ensure safe production in mines.

Keywords: metal and non-metal open-pit mines; limestone mine; blasting process; safety management

引言

在基础设施建设和工业生产快速发展的当下，石灰石作为重要的工业原料，其需求量持续攀升。金属非金属露天石灰石矿的开采多依赖爆破作业，以实现大规模高效开采。然而，石灰石矿特殊的地质条件和爆破作业的固有风险，使得开采过程中安全事故频发。石灰石矿多赋存于层状岩体中，节理裂隙发育，在爆破震动影响下，边坡稳定性极易遭到破坏；且爆破所用的炸药、雷管等器材管理不善，也会引发严重安全隐患。这些问题不仅威胁作业人员生命安全，还制约矿山企业的可持续发展。因此，深入探究金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理，具有重要的现实意义。

1 金属非金属露天石灰石矿爆破作业常见问题

1.1 矿山边坡稳定性差

石灰石矿多呈层状分布，岩层间存在软弱夹层，且节理裂隙发育，这使得边坡岩体的整体性和稳定性先天不足。在开采过程中，部分矿山为追求短期经济效益，未严格按照自上而下、分层开采的规范进行作业，违规采用自下而上或掏洞式开采方式，导致边坡过高，坡度严重超出设计标准。同时，由于石灰石质地相对较软，长期暴露在自然环境中，岩体表面的浮石、裂石在风化作用下愈发松动。当进行爆破作业时，爆破产生的强烈震动和冲击力，会进一步破坏边坡岩体的应力平衡，降低岩土体间的摩擦力和抗滑力，极易引发边坡坍塌事故。一旦坍塌发生，大量岩土体倾泻而下，不仅会掩埋开采设备、堵塞运输通道，中

断正常生产，还可能造成人员伤亡，给企业带来巨大的经济损失和严重的社会负面影响。

1.2 爆破器材管理不规范

爆破作业中，炸药和雷管是关键器材，其使用和管理规范性直接关系到爆破安全。在实际操作中，部分施工单位为降低成本，存在违规采购不合格爆破器材的现象。一些尾线过短的雷管，在起爆时可能因操作空间受限，导致操作人员无法及时撤离到安全区域；而不符合国家标准的炸药，其爆炸性能不稳定，可能出现早爆、迟爆或拒爆等情况。此外，爆破器材的存储和运输环节也存在诸多漏洞。爆破器材仓库未严格按照安全标准建设，防火、防爆、防潮等设施不完善，且未与居民区、重要设施保持足够的安全距离；在运输过程中，未使用专用运输车辆，随意堆放、混装现象时有发生，这些都极大地增加了爆破器材意外爆炸或起火的风险。

1.3 边坡坠落风险高

在石灰石矿开采作业中，台阶式爆破开采是常见的作业方式，通常台阶高度达 10~15m 甚至更高，这种特殊的作业环境使得作业人员在装药、连线等关键操作时，面临着显著的高空坠落风险。由于作业平台边缘空间有限，人员需频繁靠近台阶边缘开展工作，加之爆破作业的复杂性和紧迫性，稍有不慎便可能失足坠落。

从安全防护设备的实际配备情况来看，部分矿山在安全管理上存在明显漏洞。一方面，防护设施配备不齐全，部分作业区域甚至未设置基本的防护栏和安全网，导致人

员直接暴露在危险边缘；另一方面，现有的防护设备质量参差不齐，存在诸多安全隐患。以安全带为例，部分产品因长期使用未及时更换，锁扣出现严重磨损、失灵等问题，无法有效固定作业人员；安全网的网绳因材质老化、受力不均等原因，出现断裂、破损现象，难以起到缓冲防护作用；防护栏焊接处存在虚焊、漏焊等情况，导致结构松动，无法承受人员意外撞击的冲击力。

更为严峻的是，这些防护设备的缺陷往往在日常检查中未被及时发现和整改。当作业人员在台阶边缘进行弯腰装药、攀爬等操作时，一旦因脚下打滑、重心失衡或遭遇突发的强风等意外情况，缺乏有效防护的后果将不堪设想。高空坠落事故不仅会给作业人员造成骨折、颅脑损伤等严重身体伤害，甚至可能导致死亡悲剧的发生。这不仅给受害者家庭带来巨大的精神创伤和经济负担，也会使企业面临高额的赔偿责任，同时还会严重损害企业的社会声誉，影响企业的正常生产经营和长远发展。

1.4 水害和火灾隐患突出

在石灰石矿采场的安全生产体系中，防排水系统的完善性与爆破器材管理的规范性是保障矿山安全运营的两大核心要素。若采场防排水系统存在设计缺陷或运维不足，极端天气及地下涌水将对矿山安全构成严重威胁。

当遭遇暴雨侵袭或地下涌水突然增大时，若排水系统无法及时将积水排出，大量滞水会沿着岩体裂隙渗透扩散。水的软化作用会显著降低边坡岩体的抗剪强度，使原本稳定的边坡逐渐失去承载能力。据岩石力学研究表明，含水率每增加 1%，砂岩类岩石的黏聚力可下降 5%~8%，内摩擦角降低 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，这将大幅增加滑坡、坍塌等地质灾害发生的概率。此外，积水渗入炮孔后，会稀释或浸湿炸药，导致其爆炸性能下降。以常用的乳化炸药为例，遇水后乳胶基质会发生破裂现象，炸药敏感度降低，不仅影响爆破效果，还可能导致拒爆、盲炮等危险情况，为后续处理带来极大安全隐患。

爆破作业中使用的乳化炸药、雷管、导爆管等均属于高风险危爆物品。乳化炸药由氧化剂水溶液、油相材料和乳化剂等组成，其爆炸性能受温度、湿度、冲击等因素影响显著。当环境温度超过 60°C ，或受到剧烈撞击、摩擦时，乳化炸药内部的敏化剂会发生化学反应，极易引发爆炸。雷管作为起爆器材，其敏感度极高，即使是微小的静电、震动或杂散电流，都可能导致雷管意外起爆。导爆管虽然本身不具有爆炸危险性，但在高温、明火或与尖锐物体摩擦时，管壁内的炸药粉末可能被引燃，成为火源传播的潜在途径。

爆破器材存储环节的安全管理同样不容忽视。若仓库选址靠近居民区、加油站等人员密集或高风险区域，或未保持足够的安全距离，一旦发生意外，后果不堪设想。此外，仓库内部若通风条件不足，炸药分解产生的有害气体

无法及时排出，会加速炸药变质；消防设施不完善，如缺少自动喷淋系统、灭火器配备不足等，一旦发生火灾，高温和火焰将迅速引爆存储的爆破器材，引发连锁爆炸，造成难以估量的人员伤亡和财产损失。

2 金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理

2.1 精准识别安全风险

在石灰石矿爆破作业前，构建系统化、智能化的风险评估体系是保障安全生产的关键环节。该体系需深度整合多源数据，一方面，充分利用矿山地质勘查报告、岩石力学试验数据等基础资料，结合三维激光扫描技术，对矿区地形地貌进行毫米级精度建模，实时捕捉边坡表面形态变化；另一方面，通过布设边坡位移监测雷达、裂缝计、渗压计等智能传感器，建立 24h 动态监测网络，实现对边坡位移速率、应力分布、裂隙发育等关键指标的实时监测与预警。

在风险识别与分析阶段，采用风险矩阵法和故障树分析法相结合的评估模式。风险矩阵法从事故发生的可能性和后果严重性两个维度，对各类风险进行量化分级；故障树分析法则以爆破作业安全目标为顶事件，逐层剖析人员操作失误、设备故障、环境变化、管理缺陷等底层因素。通过系统性分析，精准定位边坡坍塌、爆破飞石伤人、盲炮处理不当、爆破震动破坏周边设施等高风险因素。例如，在分析边坡坍塌风险时，不仅考虑地质结构、降雨强度等自然因素，还将开采进度、爆破振动叠加效应等人为因素纳入评估范围；针对爆破飞石风险，则通过计算炸药能量分布、岩石抛掷轨迹，结合风向风速等气象条件，预测飞石影响范围。针对识别出的高风险因素，制定分级分类的风险控制计划。在责任落实方面，明确矿山技术负责人、安全主管、现场班组长等各级人员的管控职责；在措施制定上，采用工程技术、管理手段和个体防护相结合的综合方案。以边坡稳定性控制为例，对潜在滑坡区域，优先采取削坡减载、放缓边坡坡度等工程措施，配合预应力锚索（长度 $8 \sim 12\text{m}$ ，设计锚固力 $200 \sim 500\text{kN}$ ）、抗滑桩（截面尺寸 $1.5 \times 2\text{m}$ ，嵌入稳定岩层深度不小于 3m ）等锚固支护技术；针对爆破飞石风险，通过优化爆破参数、设置柔性防护网、扩大警戒范围等措施降低风险；对于盲炮处理，制定标准化操作流程，配备专业排爆设备，确保作业安全。

2.2 强化爆破器材全流程管理

建立严格的爆破器材采购、验收、存储、运输和使用管理制度。在采购环节，选择具有合法资质、信誉良好的供应商，确保爆破器材质量符合国家标准；验收时，对炸药的性能参数、雷管的延期时间等进行严格检测，杜绝不合格器材流入矿山。在存储方面，按照安全规范建设专用爆破器材仓库，仓库需具备良好的防火、防爆、防潮、防盗等功能，且与周边环境保持安全距离；仓库内的爆破器材应分类存放，严禁混存。运输过程中，使用专用的爆破

器材运输车辆,按照规定的路线和时间行驶,严禁超载、超速和中途随意停靠。在使用环节,严格执行爆破器材领用、发放和退库制度,准确记录器材使用数量和流向,防止流失。同时,安排专业人员每日对爆破器材进行检查,及时发现并处理器材存在的问题,确保器材性能稳定可靠。

2.3 提升施工人员安全素养

开展系统全面的安全教育培训,是提升施工人员安全意识与操作技能的核心路径。培训体系应构建分层次、多维度的课程架构:新入职人员需完成不少于72学时的基础安全课程,涵盖《爆破安全规程》《民用爆炸物品安全管理条例》等核心法规解读;针对在岗人员,每季度开展专项技能提升培训,聚焦深孔爆破参数优化、复杂地质条件下的爆破设计等实操要点。

培训模式采用“理论+实践+数字化”三位一体模式:理论课程由具备高级爆破工程师资质的行业专家授课,结合矿山实景沙盘演示爆破流程;实践环节设置模拟爆破操作区,通过毫秒微差爆破、预裂爆破等典型场景演练,强化精准操作能力;同步引入VR安全实训系统,模拟哑炮处理、盲炮排查等高风险场景,让施工人员在无风险环境下积累应急经验。

定期开展“安全警示月”系列活动,通过制作三维事故还原动画、组织事故现场VR沉浸式体验,深度剖析近五年行业典型事故案例。同时建立“安全积分银行”,将日常安全表现量化为积分,积分可兑换技能进修名额或物质奖励;对违规操作实行“红黄牌”预警机制,累计3次黄牌者需重新参加安全考核,切实将安全意识转化为行为自觉,构建全员参与、全流程管控的安全文化生态。

2.4 严格把控爆破作业过程

在石灰石矿爆破设计环节,需构建系统化的分析体系,深度融合矿区地质构造勘察报告、岩石物理力学性能测试数据以及矿山开采工艺需求。通过对浅孔爆破、中深孔爆破、硐室爆破等多种方法的技术经济比选,结合石灰石矿常见的层理发育、裂隙分布等地质特征,优先选用中深孔爆破技术。该技术在参数设计时,需运用萨道夫斯基公式、体积公式等专业理论,精准计算炮孔间距(通常控制在2~3m)、排距(1.8~2.5m)、深度(8~15m)、倾角(75°~90°)及装药量(单耗药量约0.35~0.5kg/m³)。同时,引入数码电子雷管微差起爆技术,对起爆网络进行三维优化设计,通过毫秒级延时控制,不仅能确保矿石达到理想的破碎粒度,还可将爆破震动速度控制在安全标准范围内,有效降低飞石危害半径至警戒区域内。

爆破作业现场管理需建立立体化防护体系。在爆破区域周边设置三级警戒标识:核心区设置带反光警示条的硬质围挡与爆区危险警示牌;中间区域间隔50m布设声光报警器;外围交通要道设置临时管制岗亭。配备专业警戒人员组成巡查小组,利用对讲机与无人机巡查系统,对半径300m的警戒区域实施动态管控。为保障作业人员安全,专门搭建采用C30钢筋混凝土结构的躲避大棚,墙体厚度达30cm,顶部配置双层双向钢筋网,经抗冲击试验验证,可抵御近距离爆破冲击与飞石撞击,为人员提供安全可靠的避险空间。

爆破前的安全准备工作实行双检制度,由地质工程师与安全专员联合对边坡进行三维扫描与人工排查,利用地质雷达探测潜在裂隙。对危岩体采用静态破碎剂预先处理,及时清理浮石;针对稳定性不足的边坡,灵活采用全长粘结型锚杆(杆体直径28mm,长度6~8m)配合挂网喷浆工艺(钢筋网规格15×15cm,喷射混凝土强度C25)进行加固。爆破作业完成后,技术人员携带探地雷达、金属探测器等设备,按照网格化排查原则,对爆区进行地毯式检查。一旦发现盲炮,严格遵循《爆破安全规程》,采用注水失效、诱爆等规范流程进行处理,并对残留炸药、雷管进行回收登记,确保后续开采作业零隐患。

3 结束语

金属非金属露天石灰石矿爆破环节的安全管理是一项系统而复杂的工程,涉及多个方面和环节。通过精准识别安全风险、强化爆破器材全流程管理、提升施工人员安全素养以及严格把控爆破作业过程等措施,能够有效降低爆破作业风险,提高矿山安全生产水平。随着科技的不断进步,未来应进一步引入智能化监测设备、数字化爆破技术等先进手段,持续完善安全管理体系,实现金属非金属露天石灰石矿的安全、高效开采。

[参考文献]

- [1]商祥利,魏成志,商令国.露天矿山爆破安全问题与防治措施[J].Engineering Science Research & Application,2024,5(17):5-7.
- [2]王强.露天矿山高陡边坡控制性爆破技术及安全防护措施研究[J].掌研科技,2024(1):1.
- [3]周强.基于露天矿山爆破环节的安全管理探究[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(1):1.

作者简介:王应明(1987.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:新疆工程学院,所学专业:采矿工程,目前职称:采选矿工程、二级建造师矿业工程。