

石灰石露天矿爆破参数优化及降尘控制研究

王 岩

天津矿山工程有限公司 天津 300100

摘要: 石灰石露天矿开采将台阶深孔爆破当作核心工艺, 爆破作业不但决定着矿石破碎质量、开采效率, 还是矿区粉尘污染、边坡振动、飞石隐患的主要诱发因素。为解决当前矿山爆破存在的参数不合理、破碎块度不均匀、爆破扬尘量多、环保不达标等问题, 本文围绕露天石灰石矿台阶爆破作业情况, 经过理论分析、现场试验、参数对比, 探究孔网参数、装药结构、起爆方式等核心爆破参数对破岩效果、粉尘产生的影响规律。结合矿山岩体力学特性和现场作业条件, 优化得出适配性更好的爆破参数组合, 同时建立源头防控、过程抑制、末端治理的一体化爆破降尘模式。工程实践说明, 优化后的爆破参数能够有效改进矿石破碎效果, 降低大块率与根底率, 配合综合降尘技术能够让爆破粉尘浓度大幅降低, 改善矿区作业环境, 兼顾矿山开采效率、生产安全与绿色环保要求, 能够为同类石灰石露天矿爆破施工与粉尘治理提供技术参考。

关键词: 石灰石露天矿; 台阶爆破; 参数优化; 粉尘污染; 降尘控制

石灰石在建材、化工、基建等领域里属于核心原材料, 露天开采是其主要开采形式, 具有开采规模大、作业连续性强、爆破频次高的特性。台阶深孔爆破在石灰石露天矿剥离、矿石开采环节中的关键工序, 爆破产生的效果对后续铲装、运输还有破碎作业的效率、生产成本有着直接影响。当前阶段, 国内大部分中小型石灰石露天矿还在使用传统经验的爆破参数, 存在孔网参数配比不合理、装药方式单一、起爆时序混乱等状况, 容易造成矿石破碎块度不均匀、大块率偏高, 这既会增加设备磨损和施工成本, 还会致使爆破能量出现冗余, 加剧岩体扰动、粉尘扬起效应。另外, 爆破扬尘是露天矿山无组织粉尘排放的主要源头, 具备瞬时浓度高、扩散范围广、持续时间长的特征。长期超标的粉尘不但会危害作业人员身体健康, 引发尘肺病等职业疾病, 也会污染矿区周边的大气环境, 破坏生态植被, 不符合绿色矿山建设标准、环保管控要求。随着矿山安全生产标准化、绿色矿山建设政策持续严格, 传统粗放式的爆破施工模式已经无法适应现代化矿山发展需求, 达成爆破参数精准优化、爆破粉尘高效管控, 成为石灰石露天矿提质增效、安全绿色生产的核心问题。

1 矿山爆破作业现状及问题分析

1.1 矿山概况与爆破工艺现状

本次研究以某中型石灰石露天矿为主, 矿区的矿体岩性主要是致密石灰岩, 岩体的整体性比较好, 普氏系数 $f=8\sim 10$, 硬度处于中等水平, 节理裂隙在局部地区有所发育。矿山运用台阶式开采工艺, 台阶高度为 10m, 坡面角是 75° , 采用深孔台阶爆破方式, 钻孔设备选用潜

孔钻机, 炮孔直径是 110mm, 通常采用垂直钻孔、连续装药、毫秒延期起爆工艺。矿区每年爆破作业的频次大概是 80 次, 单次爆破的方量在 $3000\sim 5000\text{m}^3$ 之间, 爆破作业比较集中, 扬尘污染的问题明显。矿山原来的爆破施工参数都是依照传统施工经验来确定的, 核心参数包括: 孔距为 6.0m、排距为 4.0m、最小抵抗线为 5.0m、炮孔深度为 11.5m、填塞长度为 4.0m, 采用连续耦合装药结构, 逐排进行毫秒起爆。经过长期的现场观测发现, 这一套参数的适配性欠佳, 很难与矿区岩体结构特征相匹配, 爆破作业的综合效益不太理想。

2 现有爆破作业存在的核心问题

2.1 爆破破碎效果差, 生产效率偏低

原有孔网参数的配比存在不合理之处, 使得爆破能量分布不均衡, 进而造成矿石破碎块度出现两极分化的情况, 大块率最高能够达到 8%, 并且根底残留的现象频繁发生, 这就需要进行二次爆破处理, 由此大幅增加了施工工序、生产成本, 对铲装、运输作业效率造成了严重制约^[1]。冗余的爆破能量容易引发边坡岩体扰动, 存在边坡失稳、爆破振动超标等安全隐患。

2.2 爆破产生尘量大, 环保问题突出

以往的爆破工艺没有对粉尘源头进行有效控制, 其连续装药结构会使爆破能量集中, 致使岩体出现剧烈的破碎、翻转现象, 进而产生大量细微粉尘。而且, 在爆破之前没有进行预处理, 爆破过程中没有采取抑尘措施, 爆破之后也没有快速降尘措施^[2]。如此一来, 瞬时粉尘浓度峰值远远超过国家标准, 粉尘扩散的范围涵盖了整个作业平台及其周边区域, 导致环保压力极大。

2.3 施工工艺粗放, 参数适配性差

爆破参数没有结合矿体裂隙、硬度的变化进行动态调整, 起爆的时序、装药结构固定且单一, 缺少科学化与标准化的设计, 爆破稳定性欠佳, 同时造成了炸药能耗的浪费, 使得矿山生产的能耗成本有所增加。

3 石灰石露天矿爆破参数优化研究

3.1 优化原则与思路

本次爆破参数优化依照“提质、增效、降尘、安全”四位一体原则进行, 将岩体破碎均匀、大块率、根底率达到最低、爆破振动能够得到控制、产尘量处于最小作为核心目标。结合矿区石灰岩岩体的特性, 运用理论计算、正交试验、现场对比试验相互结合的办法, 对孔网参数、装药结构、起爆方式、填塞参数等核心指标予以优化, 平衡爆破破岩的能量和粉尘生成效应, 达成从源头优化爆破效果、抑制粉尘产生的目的。

3.2 核心爆破参数优化设计

3.2.1 孔网参数优化

孔网参数包括孔距、排距、最小抵抗线, 这些是决定爆破破碎效果、能量释放情况的关键参数, 会直接对岩体破碎程度、粉尘生成量产生影响。若最小抵抗线过大, 便容易致使破碎不充分, 出现根底残留现象; 最小抵抗线过小, 就会造成爆破能量向外泄漏, 扬尘情况加剧^[3]。综合考虑矿区台阶高度、炮孔直径, 借助理论计算、正交试验的方式, 对原有的参数实施优化调整。此次正交试验把最小抵抗线、孔距、排距当作变量, 将大块率、产尘量作为评价指标, 展开多组现场试验。试验得出的结果显示, 最优的参数组合是: 最小抵抗线为6.5m、孔距为8.5m、排距为5.5m。这样的参数配比能够让爆破应力波均匀地传播, 使岩体破碎得比较充分, 受力也比较平缓, 防止局部岩体剧烈崩解进而产生大量细微粉尘, 同时还能降低大块率, 提高矿石的利用率。和原有参数相比较, 优化后的孔网布局更加符合石灰岩岩体的破碎规律, 爆破能量的利用率有了明显的提高。

3.2.2 装药结构优化

原有连续耦合装药结构具有能量集中的特点, 爆破冲击力强, 能使岩体瞬间发生剧烈破碎, 扬起大量细微粉尘, 并且容易产生爆破飞石、振动超标等问题^[4]。此次优化采用空气间隔装药结构, 于炮孔的中下部设置0.8至1.0m的空气间隔层, 将炸药进行分段装填。这种结构能够借助空气垫层来缓冲爆破冲击, 延长应力波的作用时间, 让爆破能量均匀地作用在岩体内部, 达成岩体渐进式破碎, 不但可以减少因过度破碎而产生的细粉量, 从源头上降低产尘量, 还能够改善块度分布, 降低

大块率。对装药总量予以优化, 依据单孔爆破方量精确计算药量, 避免因过量装药导致的能量浪费、扬尘加剧问题。

3.2.3 起爆方式与时序优化

原有逐排起爆方式具有很强的爆破同步性, 能够使岩体一次性实现整体翻转, 扬尘比较集中并且扩散速度较快。此次优化采用数码电子雷管毫秒延期逐孔起爆技术, 将起爆时差控制在35到50ms之间。逐孔起爆能够实现单孔独立破岩, 前后炮孔爆破会形成自由面, 岩体破碎是循序渐进的, 可避免大规模岩体整体崩起, 能够有效降低爆破扬尘的瞬时强度。精准的起爆时序可以规避爆破能量叠加效应, 减小爆破振动与冲击波的影响范围, 从而提高作业的安全性。

3.2.4 填塞参数优化

炮孔填塞的质量对于爆破能量利用率、扬尘溢出效果有着直接的影响。若填塞长度不够或者填塞得不严实, 会致使爆破气体从孔口处高速地溢出, 进而携带大量的粉尘形成扬尘^[5]。结合经过优化的孔网参数, 把原来4.0m的填塞长度优化成了4.5m, 采用碎石和黏土混合的填塞方式, 分层夯实, 以此保证填塞的密实度。充足且密实的填塞能够封堵炮孔, 减少爆破气体携带灰尘溢出的情况, 与此同时还能提高能量的利用率, 对改善破碎效果起到辅助作用。

3.3 优化后爆破效果分析

经过多组现场工业试验的验证, 优化后的爆破参数模式展现出了良好的综合效果。矿石破碎的均匀性得到了大幅提高, 大块率从原来的8%降低至2%以下, 根底率基本消除, 不再需要进行二次爆破, 施工效率提高15%以上, 炸药能耗利用率也有明显提高。爆破过程中岩体破碎比较平缓, 没有出现剧烈崩翻的现象, 源头产尘量大幅减少, 为后续的降尘管控奠定了良好的基础。而且, 爆破振动、飞石、冲击波均被控制在了安全允许的范围, 作业安全性有显著提高。

4 石灰石露天矿爆破降尘控制技术体系

4.1 源头减尘技术

在进行爆破作业时, 除了着重对爆破参数加以优化之外, 还能够借助预处理作业达成从源头抑制粉尘的目的。在爆破作业正式展开之前, 需对爆破台阶表层所存在的那些松散浮土、细矿粉进行清扫操作, 并且实施洒水湿润处理, 以此防止表层松散物料因为爆破冲击的作用而扬起粉尘。对于矿区之中那些局部节理裂隙发育且岩体破碎的区域, 应当提前运用喷雾浸润这种方式, 让岩体的缝隙能够充分含水, 进而减小爆破破碎过程里细

微粉尘的生成。另外,还要严格把控单次爆破的规模,禁止出现超量装药、超范围爆破的情况,从而从根源上降低粉尘生成的总量。

4.2 过程动态抑尘技术

湿式抑尘属于露天爆破当中非常高效且经济的过程降尘方式,能够适配石灰石矿作业场景。此次运用的是爆破前置水雾封堵联合瞬时喷雾抑尘组合工艺。在爆破前10分钟的时候,借助高压喷雾设备于爆破作业面的周边、上风侧、下风侧布置成立体水雾屏障,水雾颗粒跟粉尘颗粒的粒径相互适配,能够捕捉悬浮的粉尘。爆破瞬间就启动全域喷雾系统,针对爆破扬尘蘑菇云扩散的区域持续喷射高压细水雾,迅速地包裹并沉降扬起的粉尘。在爆破区域周边设置防尘围挡,以此阻挡粉尘横向扩散,进而缩小扬尘影响的范围。

在面对特殊干燥天气时,采用水炮联动抑尘作为辅助手段。根据风向、风速动态调整喷雾角度与射程,从而覆盖扬尘扩散的整个过程。水雾覆盖。如此一来,能够有效提高瞬时降尘的效果。与传统单一的洒水降尘方式相比较而言,这种工艺的降尘效率提高幅度超过了40%。

4.3 末端长效除尘与管控措施

在爆破工作结束以后,需一直对作业平台、周边道路、堆积的矿石进行洒水,以此保持湿度,避免沉降的粉尘再次飞扬起来。还要配备可以移动的除尘设备,针对局部残留的悬浮粉尘实施精准的吸附净化操作,从而让作业区域的空气质量能够快速恢复。另外,建立爆破粉尘常态化的管控机制,依据季节、天气状况对降尘方案作出调整:若是遇到大风天气,就要增加喷雾的频次,加厚水雾屏障,要是处于干燥天气,需要提前延长预湿润的时间,从各个方面保障降尘的效果。另外还要规范爆破施工的流程,严格把控爆破作业的时序,减少

爆破作业所持续的时长,降低扬尘持续扩散的时间,定期对爆破、降尘设备进行检查维修,保证设备稳定运行,让降尘措施能够切实发挥作用。

结语

石灰石露天矿爆破作业的提质增效、粉尘管控属于绿色矿山建设的重要内容,传统粗放型的爆破参数和单一的降尘模式难以契合现代化矿山的发展需求。经过优化的爆破工艺能够改善矿石破碎的效果,还能降低生产能耗,与之配套的综合降尘技术可以有效抑制爆破时产生的扬尘,有效解决了矿山爆破效率低下、扬尘污染严重、安全隐患较多等问题,实现经济效益、安全效益与生态效益的统一。将来,可以结合智能化监测和数值模拟技术,更加精确地匹配不同地质工况的爆破参数,对智能喷雾降尘系统进行优化,达成爆破作业与粉尘管控的智能化、精准化调控,不断推动石灰石露天矿开采行业朝着绿色、安全和高效的方向发展。

参考文献

- [1]钟添榕,王元禄,张朝波.高含泥金属矿露天剥离爆破参数优化及降尘技术研究[J].科学技术创新,2026(6):109-112.
- [2]朱俊鹏,张江石,赵鑫璐,黄嘉洵,佟林全.露天矿采装高压喷雾降尘风流扰动下参数优化研究[J].环境污染与防治,2025,47(11):83-88.
- [3]巴蕾,马慧斌,李昊,张建,魏宝龙.露天矿智能喷雾降尘系统的自适应控制算法设计[J].中国金属通报,2026(3):148-150.
- [4]李兰彬.大型深凹露天矿山高效掘沟爆破技术研究与应用[J].现代矿业,2026,42(4):39-43+49.
- [5]赖健.露天矿高效开采与爆破技术协同优化研究[J].中国金属通报,2025(17):44-46.