

露天矿山爆破有害效应防控实操技术应用研究

何江

葛洲坝易普力四川爆破工程有限公司西昌分公司

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21614

[摘要] 露天矿山爆破作业会产生爆破振动、飞石、冲击波、粉尘等有害效应，很容易造成矿区设备、人员的安全以及周边环境受到严重危害，影响矿山安全生产高质量发展。本文以露天矿山爆破作业现场为研究对象，对各种爆破有害效应的产生机理和影响特点进行系统的梳理，总结出适合于现场作业的防控实操技术，改进爆破参数设计、施工控制和防护配套技术体系。经由规范化的实操技术落地应用，可切实削减露天矿山爆破有害效应的波及范围和危害程度，给露天矿山爆破安全作业赋予技术支持。

[关键词] 露天矿山；爆破；有害效应；防控技术

引言

爆破是露天矿山矿石开采的主要工序，具有作业效率高、适应性强的特点，在矿山开采工程中得到了广泛的应用。爆破施工过程中，由于地质条件、施工工艺、参数设计等因素的影响，很容易产生振动、飞石、空气冲击波、粉尘、有害气体等各种有害效应，不仅危及现场作业人员和设备的安全，还会破坏矿区边坡的稳定性，还会造成周边大气和生态环境的污染，制约矿山安全生产和绿色开采的协调发展。为了有效地解决露天矿山爆破作业安全环保的问题，符合现代矿山标准化、绿色化、安全化建设的要求，本文系统研究了爆破各种有害效应的产生机理，整理出适合现场使用的实操防控技术，建立全流程防控管控体系，为露天矿山爆破安全作业和可持续发展提供技术支持。

一、露天矿山爆破主要有害效应及产生机理

（一）爆破振动效应

爆破振动是露天矿山最常见的一种有害效应，炸药爆炸瞬间会释放大量的能量，一部分能量以弹性波的形式向外传播到周围的岩体和土体上，造成地表和构筑物的振动。爆破振动的产生同炸药用量、爆破方式、岩体地质状况有着直接联系，大规模集中爆破会加大振动强度。振动在传播过程中会对矿区边坡、开采设备、周边建构筑物产生疲劳损伤，长时间的振动影响容易造成边坡松动、墙体开裂等。爆破振动还会使岩体原来的应力平衡被打破，增大边坡坍塌、岩体滑落的安全隐患，对矿山开采作业的稳定和安全造成影响。不同的岩性岩体对于振动波的衰减能力存在着较大的差别，

风化岩层和松散土层的振动传播范围更广、危害更大，是矿山爆破振动控制的重点区域。

（二）爆破飞石危害

爆破飞石是炸药爆炸冲击力带动破碎岩块产生的抛掷现象，是爆破有害效应中突发性很强的一种。岩体结构不均匀、炮孔参数不合理、装药过多、堵塞质量不合格都会造成飞石。露天矿山作业场地开阔，飞石抛掷距离远、覆盖范围广，无规律散落的岩块容易击中现场作业人员、开采机械和周边防护设施。相比其他有害效应来说，爆破飞石的瞬时危害性更大，极易造成人员伤亡、设备损坏等，是露天矿山爆破作业安全控制的主要内容。局部岩体存在裂隙、夹层等不良地质构造时，爆炸能量容易从薄弱的位置溢出，带动岩块高速飞溅，大大增加飞石灾害的发生概率和危害程度。

（三）空气冲击波与噪声效应

炸药爆炸时会瞬间压缩周围空气，产生高压空气冲击波，冲击波向外传播时会产生很大的噪声。空气冲击波有压力能，近距离内会对门窗、轻型设备造成损害，也会破坏矿区临时支护结构。爆破噪声属于高强度的瞬时噪声，单次爆破作业的噪声值远远大于行业的标准限值，长时间作业会破坏现场工作人员的听力，还会对矿区正常的作业沟通以及设备运行监测造成干扰。露天矿山没有密闭遮挡的空间，冲击波和噪声的传播受到的阻碍小，影响范围可以覆盖到矿区周边较大的区域，综合危害的持续性较强。频繁的爆破作业会产生累积噪声污染，不但会对矿区作业人员的身心健康造成影响，还会对周边区域的生态和人居环境造成持续的干扰。

（四）爆破粉尘与有害气体效应

爆破作业瞬间会造成大量的岩体被破碎，产生大量的细小岩尘快速扩散出去，炸药爆炸反应还会产生一氧化碳、氮氧化物等有害气体。爆破粉尘悬浮在空中，会降低矿区的能见度，影响作业视线，同时对人的呼吸系统造成危害，加重矿区大气污染。有害气体在露天环境下可以很快扩散，但是密集爆破作业会增加气体的积聚，局部地区气体浓度超标，存在中毒、窒息的危险。粉尘、有害气体不断产生，不但会造成矿区生态环境遭到破坏，而且不符合绿色矿山建设的管控要求。细小悬浮粉尘具有很强的扩散性，可以长时间滞留在大气中，对矿区空气质量造成持续的影响，是矿山生态环保管理的重点问题之一。

二、露天矿山爆破有害效应防控实操技术

（一）爆破参数优化技术

爆破参数优化属于源头控制有害效应的主要实操技术，其是指按照矿区地质状况以及开采工况，准确地确定炸药消耗量，炮孔间距离，钻孔深浅，起爆方式等要素。作业前要进行现场地质勘察，确定岩体硬度、岩层分布、裂隙发育情况，根据岩体实际情况准确计算出单孔装药量，防止因能量过剩而造成炸药浪费。根据岩体破碎情况合理调节炮孔间距、孔距，保证岩体破碎均匀，减小集中爆破引起的振动能量。使用分段延时起爆技术，将单次爆破总药量分成若干段，分散爆炸能量释放的过程，削弱爆破振动、冲击波的传播强度，从根本上降低各种有害效应的危害程度。准确的参数调整，在保证矿石破碎效果的基础上，不牺牲开采效率，尽可能多地消耗掉爆破能量，达到安全和效益的双赢。

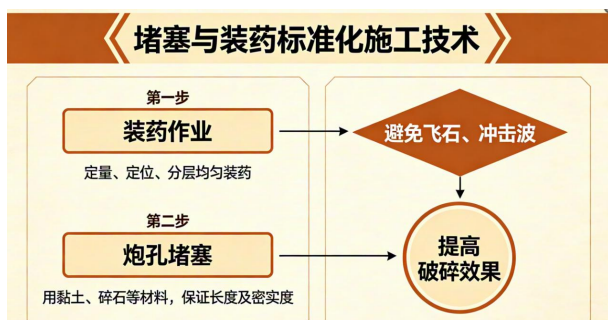


图1 堵塞与装药标准化施工流程图

（二）堵塞与装药标准化施工技术

标准化堵塞和装药施工可以避免飞石、冲击波等有害效应的发生，是现场操作的重要控制环节。装药作业严格遵守

定量、定位的原则，用分层均匀装药的方式保证炸药能量的平稳释放，防止局部能量集中造成岩体剧烈抛掷。炮孔堵塞用黏土、碎石等密实堵塞材料来填充堵塞，保证堵塞长度及密实度，防止出现空堵、虚堵。密实的炮孔堵塞结构可以锁住爆炸能量，延长能量作用于岩体的时间，提高矿石破碎的效果，阻挡高压气流和岩块向外抛出，大大降低爆破飞石产生的概率，减弱空气冲击波的向外传播强度。标准化施工可以有效地避免由于人为操作造成的安全隐患，属于低成本、高效率的现场控制手段，具体实施如图1所示。

（三）分区微差爆破防控技术

分区微差爆破技术适于大范围露天矿山爆破工程，可较好地控制有害效应。将整个爆破区划分成若干个独立的爆破小区，分别设定不同的起爆延时时间，从而达到分区依次起爆的目的。微差间隔时间按岩体性质、爆破规模精确设置，防止相邻爆破段能量叠加增大有害影响。分区爆破可以将爆炸能量分散开去，减小一次爆破时释放出的能量峰值，从而减小爆破振动的传播速度和波及范围。还可以改善岩体破碎形状，减少大块岩块产生，从作业过程中减少飞石、粉尘产生量，适应各种复杂的露天矿山作业环境。本技术适用于边坡靠近、周围设施密布的高危作业现场，具有较强的现场操作性和安全控制力。

（四）辅助防护与降尘降噪技术

辅助防护技术可以对爆破有害效应进行末端控制，提高整体防控效果。对爆破振动，在爆破区周围设置减振沟、缓冲垫层，切断振动波的传播路线，减弱振动能量的传递。对粉尘和有害气体采取爆破前洒水预湿、爆破后喷雾降尘的方式进行操作，迅速沉降悬浮粉尘，加快有害气体扩散稀释。在爆破作业区设置柔性防护网、隔音屏障，阻止岩块飞溅，减弱噪声和冲击波的传播。多种辅助技术联合使用可以形成全方位的防护体系，弥补源头防控的细微漏洞。末端防护技术可以和源头优化技术相互配合来形成一个完整的防控体系，从而大幅度提高爆破作业的安全冗余。

三、防控技术现场应用管控要点

（一）作业前期勘察与方案定制

爆破作业前要全面开展现场勘察工作，准确把握矿区地质构造、周边构筑物情况、作业环境风险点等关键要素，从而给防控技术的应用赋予支撑。根据勘察结果编制爆破施工

专项方案和有害效应防控方案，确定爆破参数、施工工序、防护措施、管控标准，严禁违章作业。方案要同矿山开采进度相适应，对边坡区域、靠近设施的区域等地质条件较复杂的地区，采用不同的防护技术参数加以调整，加强重点地段的安全管理，保证防控技术能有效适应和有效应用。前期勘察、方案设计可以从根本上消除绝大部分的爆破安全风险，是爆破有害效应防控工作前的中心保证。

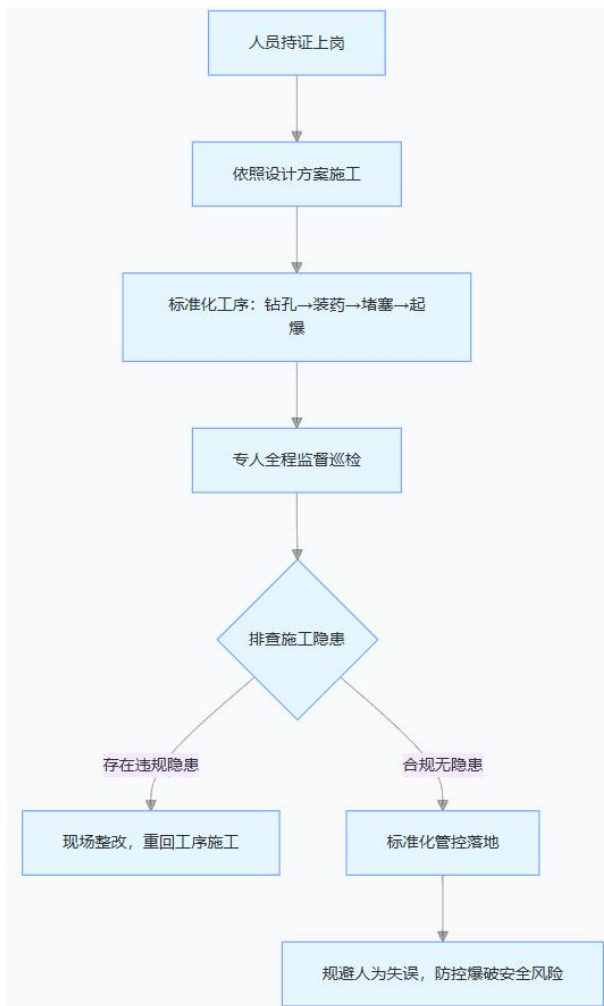


图2 爆破施工全过程标准化管理流程

（二）现场施工标准化管控

严格执行爆破施工全过程标准化管理，规范钻孔、装药、堵塞、起爆等各个环节的操作程序，严禁违章作业。作业人员必须持证上岗，严格按照设计的方案进行施工操作，不得擅自改变装药量、起爆顺序等主要参数。施工期间安排专人全程监控，及时发现不规范施工行为并予以纠正，排查堵塞不实、钻孔偏差等隐患问题。通过标准化施工控制，保证各

项防控技术的落实，稳定提高有害效应的防控效果，避免人为操作失误造成的安全风险。标准化管控可以保证作业标准一致，减少由于人为主观因素造成的爆破作业影响，使防控技术得到规范化的应用，具体见图2。

（三）爆破过程动态监测调控

建立爆破有害效应动态监测体系，用专业仪器对爆破振动强度、噪声分贝、粉尘浓度等主要指标进行实时监测。对监测得到的数据进行及时的汇总分析，准确地评价出各种有害效应的影响范围和危害程度。对监测中出现的超标项目立即改变爆破参数和防控措施，做到动态的精准控制。常态化监测及时发现防控技术应用的薄弱环节，不断改进实操方案，创建起监测、分析、优化的闭环管控模式，不断提高矿山爆破安全管控水平。动态监测打破了传统静态防控的束缚，可以适应复杂多变的矿山作业环境，明显加强了防控工作精准度和及时性。

结论

露天矿山爆破所产生的振动、飞石、冲击波、粉尘气体等有害效应，都是造成矿山安全生产、绿色开采的主要因素。本文对各种爆破有害效应的产生机理进行梳理，总结出参数优化、标准化施工、分区微差爆破、辅助防护等主要的实操防控技术，确定现场全流程管控要点。各种防控技术可以从源头、过程、末端全方位控制有害效应，适应露天矿山各种作业场景。规范化应用实操防控技术可以降低爆破作业安全风险，改善矿区作业环境，促进露天矿山安全、高效、绿色可持续开采。该套实操防控体系实用性、适配性较好，可以给其他露天矿山爆破安全控制提供可靠的技术参照和借鉴。

【参考文献】

- [1] 覃玉忠. 露天矿山爆破工程有害效应防治对策探讨[J]. 能源与节能, 2025, (10): 204-207.
- [2] 颜世留, 陈运成. 露天矿山爆破工程有害效应产生的原因及应对措施[J]. 工程技术研究, 2024, 9(14): 148-150.
- [3] 张胜利. 露天矿山爆破作业安全允许距离探讨[J]. 现代职业安全, 2020, (11): 88-90.
- [4] 莫豹. 露天矿山爆破振动影响因素及控制措施的研究[J]. 中国金属通报, 2020, (6): 242-243.
- [5] 姚志龙. 探索露天矿山爆破技术对矿山安全的影响[J]. 世界有色金属, 2020, (3): 117-119.