

复杂地质条件下露天矿爆破参数优化研究

李 莉

葛洲坝易普力湖南二化民爆有限公司 湖南常德 415000

摘 要：复杂地质条件是影响露天矿爆破效率、安全与效益的核心因素。本文从露天矿开采的实际需求出发，剖析了地形地貌、岩性特征等复杂地质条件给爆破作业带来的影响，确定爆破参数优化的核心维度，同时探寻了使地质勘察更精准、运用数值模拟以及通过现场试验校准的优化技术途径，并且从爆破质量、安全效能、资源利用等方面对优化成效展开了评估。其目的在于搭建具备科学性与高效性的爆破参数优化架构，提高处于复杂地质状况下露天矿爆破工作的水准，为矿山开采达成安全、高效且绿色的发展态势提供助力。

关键词：复杂地质条件；露天矿爆破；参数优化；开采效能

引言

露天矿的爆破作业作为矿山开采进程中的关键一环，其作业的质量会直接与开采效率、生产成本以及生产安全的保障产生联系。我国露天矿的分布范围较为广泛，大部分矿山都遇到了地形起伏、岩性复杂、地质构造发育显著等复杂的地质状况，给爆破参数的选择以及作业的开展造成了一定挑战。若爆破参数设置得不合理，则容易引发爆破效果不佳、资源浪费、安全风险增加等问题。伴随矿山开采技术的迭代升级以及绿色发展理念的深入推进，针对复杂地质条件背景下的爆破参数优化提出了更为严苛的要求。本文着重围绕这一关键课题展开研究，全面且系统地探寻参数优化的具体路径以及对应的保障举措，从而为露天矿实现高效且安全的开采作业给予技术层面的有力支撑。

一、复杂地质条件对露天矿爆破的核心影响

（一）地形地貌影响

复杂多样的地形地貌包含高山与峡谷交错分布、丘陵与沟壑相互交织以及地形坡度明显等。地形的起伏状况会直接对爆破孔位的布置、孔深的设计以及爆破范围的控制产生作用。在坡度较为陡峭的区域，容易出现爆破能量分布不均匀的状况，进而致使岩石破碎得不均匀或者飞石的距离超出规定标准；而在沟壑和低洼的区域，容易形成积水现象，这会对钻孔作业的开展以及炸药性能的展现造成影响。地形高度差较大的情况还会使爆破震动传播的复杂程度增加，可能会对周边边坡的稳定性以及地表构筑物造成潜在的不利影响，进而加大爆破安全管控方面的困难程度。

（二）岩性特征影响

岩性特征的差异主要在岩石的硬度、密度、完整性

以及抗压强度等方面得以体现。质地坚硬且结构致密的岩石需要更为巨大的爆破能量，才能够达成理想的破碎成效；与之相反，质地松软的岩层则容易出现过度破碎或者塌孔等问题。由于岩层的风化程度存在差别，会使得力学性质呈现出不均匀的状态，当同一爆破区域当中有不同的岩性共同存在时，就容易造成爆破能量传递的失衡现象，进而出现部分区域破碎程度不足、一部分区域飞石过大的情况。岩石节理与裂隙的发育状况会对炸药能量的利用效率以及爆破块度的均匀程度产生直接影响。

二、露天矿爆破参数优化的核心维度

（一）孔径与孔深优化

爆破参数的基础要素涵盖孔径与孔深，需要依据地质条件进行精确地确定。要按照岩石的坚硬程度与破碎方面的要求来选择合适的孔径，对于坚硬的岩石，可以采用相对较大的孔径，以此来增加炸药的装填数量；而对于松软的岩层，适宜采用较小的孔径，从而避免出现塌孔的情况。在设计孔深时，需要考量岩层的厚度、开采台阶的高度以及地质界面的分布状况，要保证钻孔的深度能够达到预先设计的爆破层位，与此同时，还要避开断层破碎带以及含水层，防止钻孔失去作用或者造成爆破能量的无谓消耗。

（二）装药量精准调控

爆破能量的大小直接取决于装药量，需要依照岩性所具备的强度、炮孔之间的距离、排与排之间的间距以及爆破要达成的目标，实施精确的调节控制。对于质地坚硬、结构致密的岩石，应该适当地让装药量增多，从而保证岩石破碎能够达到理想的效果；而对于质地松软的岩层以及节理发育状况良好的岩石，则要减少装药量，以此避免出现过度破碎的情况以及造成能量的无端浪费。要结合

地质构造的分布情形，针对断层破碎带周边的区域对装药量做出调整，防止出现能量泄漏的现象以及局部爆破强度不够的问题，进而达成爆破能量与地质条件的精确匹配。

（三）孔网参数适配

炮孔网络的参数涵盖了炮孔之间的间距、炮孔排与排之间的间距以及炮孔的具体布置形式等内容，这些参数需要与复杂多变的地质状况以及开采方面的实际需求相适配。依据地形的地貌特征以及岩石性质的分布情况，可采用梅花形状、矩形或者三角形等布置形式，以此保证炮孔能够均匀地分布开来，使爆破所产生的能量可以全面地覆盖目标区域。在岩石质地坚硬的区域，要将炮孔间距和排距适当缩小，从而提高能量的分布密度；而在岩层质地较为松软的区域，则要增大炮孔间距和排距，防止能量过度叠加而造成岩石过度破碎的情况发生。在

地形条件复杂的区域，需要灵活地对炮孔网络的参数进行调整，以适应地形的起伏变化以及地质界面的改变。

（四）起爆顺序优化

爆破的起爆顺序会对爆破应力波的叠加成效以及岩石的破碎进程产生影响，因此需要结合具体的地质状况和开采的工艺流程来开展优化设计。可以通过采用逐排进行起爆、隔孔实施起爆或者微差地进行起爆等方式，对爆破能量的释放节奏加以控制，从而推动岩石之间相互挤压进而破碎，以此提高岩石破碎的均匀程度。对于地质构造发育较为明显的区域，要对起爆的顺序作出调整，防止爆破能量集中作用在断层破碎带，进而降低边坡出现失稳情况的风险。经由对起爆顺序加以优化，削减爆破震动以及飞石所带来的危害，增强爆破作业的安全程度，具体优化流程如图1所示。

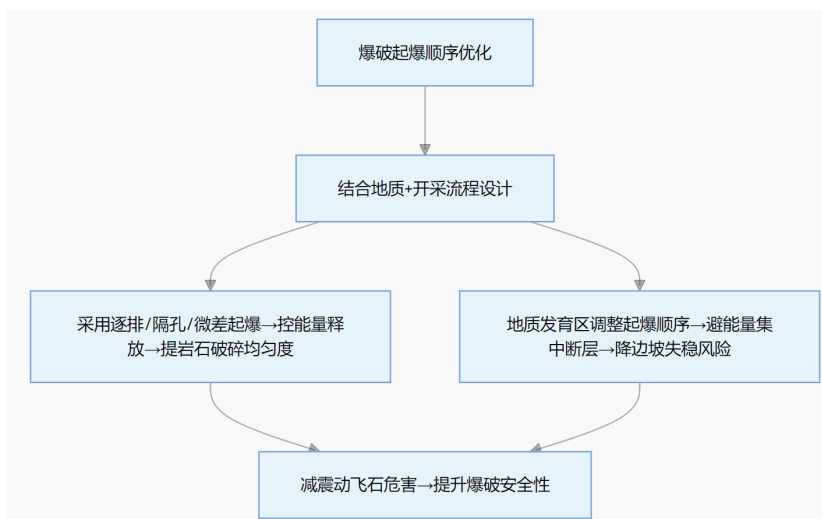


图1 起爆顺序优化流程图

三、复杂地质条件下爆破参数优化的技术路径

（一）地质勘察精准化

准确的地质勘察工作是参数实现优化的必要前提条件。通过将地质测绘、物探以及钻探这几种手段相结合的方式，全方位地收集地形地貌状况、岩性分布情形、地质构造特点等基础层面的数据。借助具备高精度的遥感技术以及三维建模技术，搭建起矿山地质的三维模型，清晰直观地展现出地质条件在空间分布上的特征。进一步强化针对关键区域所开展的加密勘察工作，着重探查清楚断层、节理密集带等不良地质体所处的位置以及其规模大小，为爆破参数的设计工作提供精准可靠的数据支持，防止由于地质信息存在缺失的问题进而引发参数选择的盲目性。

（二）数值模拟技术应用

数值模拟技术能够为参数的优化工作提供具备科学

性的预测工具。凭借有限元分析软件、离散元模拟软件等工具，构建出关于爆破过程的数值模型，将地质参数以及初始爆破参数输入其中，对爆破应力波的传播情况、岩石破碎的具体过程及能量分布的规律进行模拟。通过对孔径大小、装药量多少、孔网参数等变量加以改变，对不同参数组合所产生的模拟结果予以对比，从而筛选出能够适配复杂地质条件的最佳参数方案。数值模拟能够预先对爆破所产生的效果以及可能存在的安全风险进行判断，进而削减现场开展试验所需的成本，并且增强参数优化过程的科学性，提高其效率。

（三）现场试验校准优化

在参数优化的流程中，现场试验属于关键环节。具体操作是在矿山中选择出具有典型特征的地质区域，在此区域设定试验段落，然后依据数值模拟所推导得出的优化参数方案，有序开展爆破试验工作。在试验进程中，

对爆破震动情况、飞石所达到的距离、岩石破碎之后呈现的块度等一系列指标展开监测工作，进而对此次爆破所达成的效果以及具备的安全性能实施评估。以试验最终呈现出来的结果作为参考依据，深入分析参数设计与实际所处地质条件两者之间的适配程度，并且针对孔径大小、装药量多少、起爆先后顺序等相关参数进行细微的调整与校准。经过反复的测试与迭代操作，逐渐地对参数组合予以优化，进而构建出契合矿山特定地质状况的具有针对性的爆破参数体系，具体操作流程如图2所示。

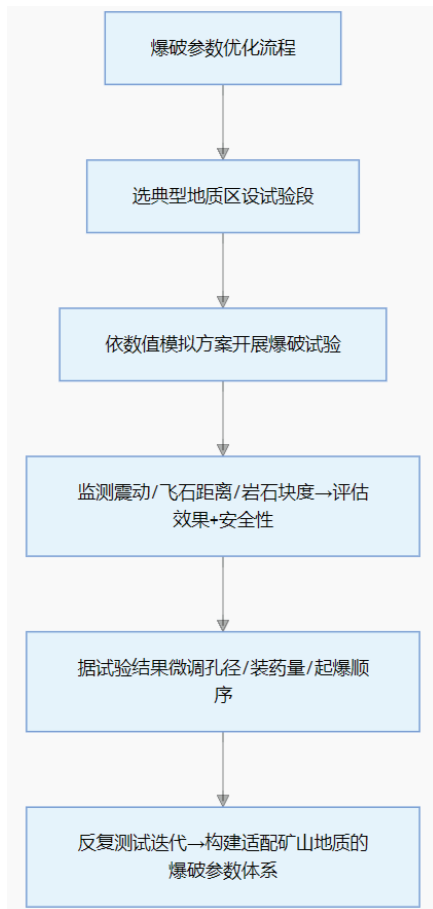


图2 现场试验校准优化流程图

四、爆破参数优化的效果评价维度

(一) 爆破质量提升

爆破质量的衡量主要依靠岩石破碎块度的均匀状况、大块的比例、爆破后的堆积形态等指标。经过优化之后的爆破参数能够达成爆破能量的精确传递，让岩石破碎后的块度呈现出均匀的状态，使大块的比例明显下降，进而减少二次破碎工作的任务量。爆破后的堆积形态呈现出规整的样子，有利于后续采装作业的开展，从而提高开采的效率。在复杂的地质条件之下，优化参数能够有效应对破碎不均匀、钻孔坍塌、根底有残留等问题，保证爆破作业的质量稳定且可靠。

(二) 安全效能增强

安全效能呈现于对爆破震动、飞石、冲击波等有害效应的管控成效。经过优化的参数能够削减爆破震动的峰值以及其影响范围，进而降低边坡稳定性和周边构筑物所面临的安全方面的危险。借助精确操控装药量以及起爆的先后顺序，能够切实地对飞石的飞行距离加以约束，防止出现飞石伤人、毁坏物品的意外情况。爆破冲击波的强度获得了合理的调控，使得作业环境的安全状况得到改进，促使矿山整体的安全生产水准得以提高。

(三) 资源利用效率

资源利用的效率大体呈现为矿石回收的比率以及资源浪费的降低。对爆破参数加以优化，可以防止因爆破程度不当而造成的矿石损失情况，进而提高矿石的回收比率。当岩石破碎后的块度均匀性得以增强时，能够减少采掘与装载过程中的资源损耗现象，同时降低运输以及加工方面的成本。鉴于复杂地质条件之下资源分布所具备的特征，借助参数的优化达成差异化的爆破作业，以此保证不同区域的资源能够得到充分的开采与利用，从而提高矿山资源的综合利用水准。

结束语

在复杂地质情况下，露天矿爆破参数的优化是提升矿山开采效率、确保安全且绿色发展的关键措施。本文借助剖析地质条件对爆破的影响，明确参数优化，探寻“勘察-模拟-试验的技术路线，搭建多层面的效果评估体系，构建出相对完整的参数优化研究架构。实践表明，科学进行爆破参数优化能够切实提高爆破质量、强化安全效能、提升资源利用比率。在未来的发展进程中，应当不断地强化技术创新以及设备方面的升级工作，同时进一步加强人才的培养以及机制的建设工作，以此推动爆破参数的优化向智能化、精准化的方向不断发展，从而为露天矿的高质量、高效率发展提供稳固、坚实的技术层面的支撑。

参考文献

- [1] 孙嘉怡, 李萍丰, 管伟明, 谭洁, 赵明生, 余红兵, 温颖远, 唐洪佩. 基于知识图谱的露天矿爆破安全管理问答系统[J]. 爆破, 2025, 42(02): 188-201.
- [2] 巩瑞杰, 袁腾, 叶会师, 黄汉波, 闫鹏. 露天矿爆破地震波传播规律[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2024, 46(04): 59-65.
- [3] 吴仁慈. 含水环境下的露天矿爆破参数优化及应用[D]. 安徽理工大学, 2024.
- [4] 王冠, 张宝岗, 骆天, 李振阳. 复杂环境露天矿爆破参数优化研究[J]. 采矿技术, 2024, 24(01): 116-120.