第 9 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

复杂环境下露天爆破技术参数控制

包正源
新疆火烧云铅锌矿有限责任公司
DOI:10.32629/gmsm.v9i4.2514

[摘　要] 高寒、高海拔露天矿山由于冻土、冰层、低温环境和复杂的地质条件的影响,在爆破施工中岩体破碎效果、振动控制、安全稳定性等方面都有较高的要求。露天爆破参数的确定要根据矿石性质、冻融特征、开采条件来确定,并且孔网参数、装药结构、起爆方式、爆破安全控制措施都要加以改进。研究结果表明：合理调节爆破参数可以改善能量分布,提高岩石破碎的均匀性,减少爆破振动对边坡、冻土层及周边设施的危害,给高寒矿山安全、高效、绿色开采提供技术支撑。
[关键词] 高寒矿山；露天爆破；技术参数；冻土环境；爆破控制
中图分类号：TD8　文献标识码：A

Technical parameter control for open-pit blasting in complex environments

Zhengyuan Bao
Xinjiang HuoShaoYun Lead-Zinc Mine Co., Ltd.

[Abstract] In high-altitude, cold-climate open-pit mining operations, the presence of permafrost, ice layers, low-temperature environments, and complex geological conditions imposes stringent requirements on aspects such as rock fragmentation efficiency, vibration control, and safety stability during blasting operations. The determination of blasting parameters must be based on the ore properties, freeze-thaw behavior, and mining conditions; accordingly, borehole grid parameters, charge configuration, initiation methods, and blasting safety control measures should all be optimized. Proper adjustment of blasting parameters can improve energy distribution, enhance the uniformity of rock fragmentation, and mitigate the adverse impacts of blasting-induced vibration on slopes, permafrost layers, and surrounding facilities, thereby providing a solid technical foundation for safe, efficient, and environmentally sustainable mining practices in high-altitude mining environments.
[Key words] high-altitude cold-climate mining sites; open-pit blasting; technical parameters; permafrost environment; blasting control

引言

高寒、高海拔地区矿产资源开发过程中,冻土、冰层以及低温环境对岩体结构和爆破作业条件产生明显影响,矿岩在长期的冻融循环作用下,裂隙发育特征、强度变化规律不同于一般矿山,爆破参数的设计精度要求更高。露天爆破是矿山开采的一个环节,它的参数设置直接决定着岩石破碎质量、生产效率和边坡稳定状态,根据冻土分布、岩体性质以及爆破能量传递特点来调整孔径、孔深、装药量以及起爆技术,保证爆破效果和安全运行达到最佳的状态。

1 高寒矿山爆破环境特征分析

1.1冻土冰层影响爆破作业条件

高寒矿山处在长期的低温环境之中,地表和地下会形成不同厚度的冻土层、冰层结构,从而改变岩体的力学性质。冻结使岩体内水分迁移变慢,裂隙分布也发生改变,部分区域表现出较强的完整性和脆性特征,增加爆破破碎过程中能量传递阻力。由于有冰层存在,在施工的时候容易出现孔壁被冻结、钻头偏移、卡孔等情况,造成实际装药量和设计方案不一致[1]。因为受冻融循环的影响,岩石破碎程度各不相同,所以在进行爆破参数设计的时候,要考虑冻土厚度、冰层分布、季节温度变化等因素的影响,防止因环境的变化引起爆破效果的波动。

1.2复杂岩体增加参数控制难度

高寒、高海拔地区地质条件复杂,岩体一般是节理发育的、层理明显的、硬度不同的,不同地区岩体结构对于爆破能量的反应有较大的差别。部分完整岩体需要较高能量才能达到理想破碎效果,而裂隙较多区域则容易出现能量过度释放,造成大块率增加或者局部破坏范围扩大。由于岩体的非均质性,孔间距、排

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

距、装药量等参数不能统一标准，应该根据实际岩性变化进行动态调整。另外，复杂的地质条件还会对爆炸冲击波的传播路径造成影响，从而使得能量分布不均衡，降低爆破效率。合理识别岩体结构特征，加强爆破参数与地质条件的匹配，是提高高寒矿山爆破稳定性的重要途径。

1.3低温环境改变爆破效果表现

低温环境会直接对爆破材料的性能、爆炸能量释放以及岩石破碎过程产生影响。在寒冷的环境中，部分爆破材料物理状态会发生变化，敏感性变差、爆炸反应稳定性变差，使得实际爆破效果同常温条件下有所不同。低温作用下岩体脆性增大，爆破过程中裂纹扩展速度和方向也会发生变化，容易出现破碎范围不均的现象。高海拔地区空气稀薄，温度变化幅度大，爆破施工组织难度也相应增加，对设备运行和现场操作提出更高的要求。按照低温环境的特点来调整爆破参数，合理的安排装药方式、起爆间隔、施工时间等，并且保证爆破能量有效地用于目标岩体上，以提高破碎质量、作业稳定性。

2 露天爆破参数控制关键问题

2.1孔网参数适应性不足

露天爆破时，孔网参数直接影响爆破能量覆盖范围和岩石破碎均匀程度，在高寒矿山复杂的环境中，传统固定孔距、排距设置方式不能适应不同区域岩体的变化。冻土层、冰层和风化程度不同的岩体相互交织在一起，导致岩石抗压强度、裂隙发育情况各不相同，若不根据实际地质条件对孔网参数进行调节，就会造成局部破碎不够或者过度破碎的现象[2]。当孔距过大时，爆破能量不能很好地作用在岩体内部，会增大大块岩石的比例，从而影响到之后的装运效率；当孔距过小时，就会出现能量集中，增加爆破成本和振动的影响。高寒环境下的钻孔施工受冻结地层影响，孔位偏差会进一步降低参数控制效果，需要加强孔网设计与现场条件的适配。

2.2装药结构匹配程度不高

装药结构是控制爆破能量释放方式的重要因素，它的合理性直接关系到岩体破碎效果和爆破安全水平。高寒矿山岩体受冻融作用的影响，内部结构差异较大，单一装药方式不能满足不同岩层的破碎要求。实际爆破过程中，如果装药长度、装药量以及堵塞长度配置不合理，就会造成爆炸能量分布不均，使部分区域出现岩石破碎不足或者抛掷范围异常扩大等问题。冻土、冰层等环境会改变炮孔内的状态，从而改变药卷与孔壁的结合条件，降低爆炸能量的利用率。连续装药、分段装药等结构形式合理匹配，并根据岩体强度、孔深变化、开采需求来调整装药参数，能够提高爆破能量利用效率，减少无效能量损耗。

2.3起爆方式影响破碎质量

起爆方式影响爆破能量释放顺序以及岩体破裂过程，对露天矿爆破质量有重要影响。传统起爆模式在复杂的环境下容易受到岩体差异和施工条件变化的影响，造成各个炮孔之间能量叠加的效果不明显，降低了整体破碎的效果。高寒矿山的岩体结构复杂，裂隙分布不均，如果起爆间隔设置不合理，就会引起爆破振动加剧、岩石破碎粒径不均匀、边坡扰动加强等问题。合理的起爆顺序、时间间隔可以有效地控制爆破应力波的传播，从而达到增加岩体裂解度的目的，并且不会产生太大的负面影响。选择适合矿山开采规模、岩体特征以及安全控制要求的起爆方式可以兼顾爆破效率、破碎质量和环境影响三者之间的协调。

3 爆破技术参数优化控制方法

3.1优化孔网布置提升破碎效果

孔网布置优化应该结合高寒矿山岩体结构特征和爆破目标进行动态调整，使钻孔分布更加适应不同的破碎区域。对于冻土层、冰层以及硬质岩体分布区域，根据岩石硬度、节理发育程度、开采台阶高度等确定孔距、排距和钻孔深度，防止固定参数导致的爆破能量利用率低的问题出现[3]。缩小局部坚硬区域孔距，冲击波影响范围就会增大，岩石破碎程度就会增加；如果裂隙发育比较明显的地区就适当降低孔网密度来缓解过大的边坡振动对周围的影响。施工中要加强钻孔质量的监控，保证孔位、倾角、深度达到设计标准，爆破参数准确落地，矿岩破碎均匀度和采装效率提高。

3.2调整装药结构控制能量释放

装药结构优化是提高爆破能量利用率的重要手段，要根据矿岩性质和爆破区域的特点来合理配置装药方式。高寒矿山不同深度岩层受冻结程度的影响不一样，采用单一装药模式会造成能量集中或者释放不足。根据炮孔的条件，调整装药长度、装药比例、堵塞参数等，使爆炸能量更均匀地作用在岩体内部。分段装药可以改善能量分布状况，减小局部冲击过大的岩体损伤，并且增大破碎范围的可控性。加强炮孔防水、防冻处理，降低冰层和低温环境对装药稳定性的影响，保证爆破过程的连续性和可靠性。合理控制装药结构可以减少炸药消耗，提高岩石破碎质量，为矿山连续开采提供稳定的条件。

3.3完善起爆技术降低振动影响

起爆技术优化要充分考虑高寒矿山周边环境、边坡稳定要求以及爆破振动控制需求。合理设置起爆网络和延期时间，可以改善爆炸能量释放顺序，使不同炮孔产生的冲击作用形成有效叠加，提高岩体裂隙扩展效果。采用精细化延期控制方式，可以降低瞬间能量集中释放造成的振动峰值，减少对冻土层结构和边坡稳定性的影响。在高海拔矿山开采区域，还要根据监测数据调整起爆参数，根据振动速度、频率的变化及时调整爆破方案。完善起爆系统的可靠性管理，加强线路连接、设备检查和现场控制，可以降低拒爆、延爆等异常情况的发生概率，保障爆破作业安全有序开展。

4 复杂环境爆破安全控制措施

4.1加强冻土区域稳定性管理

高寒矿山爆破区域冻土分布广，冻结状态变化会影响岩体承载能力和边坡稳定性，因此要对冻土区域进行精细化稳定管理。爆破施工前要结合地质勘察资料，掌握冻土层厚度、温度变化规律以及冰层分布情况，确定各区域的稳定状态。施工

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

过程中要控制爆破能量作用范围,防止强烈冲击导致冻土结构破坏,引发局部塌陷或者边坡失稳[4]。要加强对冻土区域排水的管理,防止融化水进入裂隙造成岩体软化。对于季节性温度变化明显地区要及时调节施工参数、采取相应的安全措施,减少冻融循环造成的爆破区不稳定因素从而确保露天矿场长久稳定运行。

4.2强化爆破振动监测控制

爆破振动控制属于复杂环境下矿山安全的保障措施,高寒地区冻土和冰层结构对振动传播有特殊的影响,必须创建起监测管理工作。爆破过程中用振动监测设备对各方向、距离范围内的振动速度、频率等参数进行实时采集,并分析出边坡、道路及周边设施受爆破影响的情况。根据监测结果,判断爆破参数是否合理,对装药量、起爆间隔和爆破规模进行调整。对靠近高边坡或者冻土敏感区的爆破作业要严格控制单次起爆药量,减少振动能量集中释放。加强监测数据整理与应用,为后续爆破设计和安全管理提供可靠的依据,提高爆破作业的风险控制水平。

4.3完善施工过程动态调整

复杂环境下露天爆破施工受气温变化、地质条件和现场作业状态等许多因素影响,固定化的施工管理方式不能满足安全控制的要求。爆破施工中根据钻孔情况、岩体变化、现场监测数据来调节技术参数,使施工方案同实际环境相符。对于异常孔位、塌孔、积水等情况,要及时采取处理措施,防止影响装药质量及起爆效果。施工组织管理当中要加大对设备运行状况的检查、材料存放状况的监控以及施工作业程序的控制,确保各个环节都达到安全的要求。建立动态反馈机制,把现场的变化情况纳入到参数调整之中,可以提高爆破过程的适应性,减小环境因素给施工安全以及爆破效果造成的负面影响。

5 高寒矿山爆破参数应用提升路径

5.1推进智能化参数设计应用

智能化技术的应用可以提高高寒矿山爆破参数设计的准确性、适应能力。针对冻土、冰层、复杂岩体等变化特点,用数字化建模、三维地质分析、数据采集等手段,对矿区岩体结构、地质分布、爆破效果做出综合评判,给孔网参数、装药参数、起爆方案的确定给予数据支撑[5]。根据现场监测信息建立爆破参数动态调整机制,按照岩体变化及时修正设计方案,降低人为经验判断所造成的偏差。智能化设计还可以模拟爆破能量的传播过程,预测岩石破碎范围和振动影响区域,使爆破方案更加符合高寒矿山的实际条件,提高参数配置的科学性。

5.2加强爆破过程精细化管理

爆破过程精细化管理要贯穿钻孔、装药、起爆以及后续检查各个阶段,保证技术参数能够准确执行。钻孔的时候注意定位、测量、控制这三个方面,不能因为施工错误而影响爆破效果;装药的时候严格控制炸药用量、填塞质量、防护措施,降低能量异常释放的风险。起爆作业过程中加强设备检查和线路的管理工作,保障起爆网络的安全性。结合现场环境变化,对施工流程进行动态控制,及时处理冻土的影响、孔内积水和设备运行异常等问题。精细化管理可以提高爆破作业规范的程度,减小施工偏差,为复杂环境下稳定的爆破提供保障。

5.3提升矿山开采综合效能

爆破参数优化应用既影响岩石破碎效果,又与矿山整体生产效率和资源利用水平有关。合理控制爆破参数可以改善矿岩块度分布,减少大块岩石产生,降低后续破碎和运输环节的作业压力,提高采装设备运行效率。高寒矿山环境中,通过优化爆破能量分配来减小边坡和冻土结构的扰动,增强采场长期稳定性。绿色开采理念下,炸药消耗少、无效爆破造成资源浪费也少,粉尘、振动等环境影响也会减轻。爆破技术同开采工艺、设备管理、安全控制有密切联系,能够构成更加协调的矿山生产体系。

6 结语

高寒矿山露天爆破受到冻土、冰层以及复杂岩体条件的影响,技术参数控制要根据环境特征、岩体变化和安全要求来调整,合理的孔网布置、装药结构和起爆方式可以提高爆破效果,减小振动影响,保证采场稳定。未来应该加强智能化技术同爆破管理相结合,促使参数设计精准化、施工控制动态化,从而给高寒矿山的安全高效开采赋予长久性的支持。

[参考文献]

[1]陈文坤.露天矿山爆破根底、大块产出因素与控制措施[J].中国金属通报,2025,(11):37-40.

[2]郑建福,周珉,汪艮忠.露天深孔爆破销毁废旧爆炸物品技术研究与实践[J].工程爆破,2025,31(4):136-142.

[3]付强.高原高寒露天矿山爆破工程安全风险评估与防控措施研究[D].重庆交通大学,2024.

[4]周红敏,赵玉杰,张宪堂,等.露天爆破飞石距离智能预测研究[J].安全与环境学报,2024,24(7):2554-2564.

[5]赖渊平.高寒条件下的矿山排土场边坡表面变形规律研究[J].世界有色金属,2023,(20):223-225.

作者简介：

包正源(1999--),男,蒙古族,青海西宁人,本科,助理工程师,研究方向：采矿,露天采矿。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.