

露天矿山控制爆破技术

明 明

易普力（新疆）矿业工程有限公司 新疆 昌吉 830000

摘要：本文围绕露天矿山控制爆破技术展开深入探讨。首先阐述了露天矿山开采中控制爆破技术的重要性，包括保障作业安全、提高开采效率、降低环境影响等方面。接着详细介绍了常见的露天矿山控制爆破技术类型，如预裂爆破、光面爆破、微差爆破等，分析其原理、特点及适用场景。然后探讨了控制爆破技术的关键参数设计与优化，包括孔网参数、装药结构、起爆方式等对爆破效果的影响。同时，论述了露天矿山控制爆破技术在实施过程中的安全管理措施。最后对露天矿山控制爆破技术的发展趋势进行了展望，旨在为露天矿山的高效、安全、绿色开采提供理论支持与实践指导。

关键词：露天矿山；控制爆破技术；参数设计；安全管理；环境保护

1 引言

露天矿山开采是我国矿产资源开发的重要方式，在国民经济建设中发挥着关键作用。随着开采规模的不断扩大和环保要求的日益严格，传统的爆破开采方式已难以满足现代露天矿山开采的需求。控制爆破技术作为一种先进的爆破方法，通过精确控制爆破能量释放的方向、时间和范围，能够有效解决传统爆破带来的诸多问题，如飞石、地震波危害大，边坡稳定性差，矿石贫化损失率高等。因此，深入研究露天矿山控制爆破技术具有重要的现实意义。

2 露天矿山控制爆破技术的重要性

露天矿山控制爆破技术至关重要：在保障作业安全方面，它能通过合理设计爆破参数和起爆顺序，减少能量逸散，降低飞石距离和冲击波强度，预裂爆破和光面爆破技术还可避免边坡失稳等事故；提高开采效率上，可精确控制岩石破碎程度和块度分布，减少二次破碎工作量，微差爆破技术能增强破碎效果，延米爆破量可提高30%-50%，缩短开采周期；降低环境影响时，通过减少炸药单耗、优化装药结构等降低爆破震动、噪声和粉尘污染，合理选择起爆顺序等可减轻对周边破坏；保护边坡稳定上，预裂爆破和光面爆破能减少对边坡岩体损伤扰动，提高稳定性，降低地质灾害风险。

3 常见的露天矿山控制爆破技术类型

3.1 预裂爆破

预裂爆破是在开挖边界上预先钻凿一排密集的炮孔，采用不耦合装药或间隔装药结构，在主爆区爆破之前先行起爆，形成一条具有一定宽度和贯穿度的裂缝。这条裂缝可以将主爆区爆破产生的应力波和地震波反射回去，减少对保留岩体的破坏，从而在开挖边界上形成平整的坡面。

预裂爆破能够有效地控制开挖边界，减少超挖和欠挖现象，提高边坡的稳定性。同时，它可以降低主爆区爆破对周边环境的影响，如减少飞石距离和地震波强度。但预裂爆破对钻孔精度和装药结构要求较高，施工工艺相对复杂，成本也相对较高。预裂爆破适用于对边坡稳定性要求较高、开挖边界精度要求严格的露天矿山开采工程，如大型露天铁矿、铜矿等的边坡开挖。

3.2 光面爆破

光面爆破是在预裂爆破的基础上发展起来的一种控制爆破技术。它是在开挖边界上钻凿一排平行炮孔，孔距较预裂爆破稍大，采用不耦合装药或连续装药结构，在主爆区爆破之后起爆。通过控制装药量和起爆顺序，使光面炮孔之间的岩石在爆破后形成平整的光面，从而达到保护保留岩体、控制开挖边界的目的。光面爆破形成的坡面平整度比预裂爆破更高，能够更好地满足工程对开挖边界精度的要求^[1]。同时，光面爆破的炸药消耗量相对较低，成本较为经济。但光面爆破需要在主爆区爆破之后起爆，对起爆网络的可靠性和施工组织要求较高。光面爆破广泛应用于露天矿山开采中的巷道掘进、边坡修整等工程，能够提高工程质量和施工效率，减少后续的维护工作量。

3.3 微差爆破

微差爆破是将一排炮孔按照一定的时间间隔依次起爆，利用先爆炮孔产生的应力波和地震波对后续炮孔周围的岩石产生预裂和松动作用，使岩石在爆破过程中产生相互碰撞和挤压，增强破碎效果。同时，通过合理选择微差间隔时间，可以控制爆破地震波的叠加效应，降低爆破震动强度。微差爆破能够提高炸药能量的利用率，增加岩石的破碎程度，减少大块率。同时，它可以

降低爆破震动、噪声和粉尘等危害，改善作业环境。微差爆破的起爆网络相对复杂，对起爆器材的精度和可靠性要求较高。微差爆破适用于各种规模的露天矿山开采工程，尤其适用于大规模、高强度的爆破作业。在大型露天煤矿、金属矿等的开采中，微差爆破能够显著提高开采效率和经济效益。

3.4 定向断裂控制爆破

定向断裂控制爆破是利用岩石的各向异性特性，通过在炮孔中设置特殊的装药结构或导向装置，使炸药爆炸产生的能量沿着预定方向集中释放，从而在岩石中形成定向断裂面。这种技术可以精确控制岩石的破碎方向和范围，提高爆破效果。定向断裂控制爆破能够实现岩石的定向破碎，减少对周边岩石的损伤和扰动，提高边坡的稳定性。同时，它可以降低炸药消耗量，减少爆破粉尘和噪声的产生。但定向断裂控制爆破的技术要求较高，需要精确的钻孔和装药工艺。定向断裂控制爆破适用于对岩石破碎方向和范围有严格要求露天矿山开采工程，如露天矿山边坡的定向开挖、矿体的定向切割等。

4 控制爆破技术的关键参数设计与优化

4.1 孔网参数

(1) 孔径：孔径的大小直接影响炸药的装药量和爆破效果。一般来说，孔径越大，装药量越多，爆破能量越大，岩石的破碎程度越高。但孔径过大也会增加钻孔成本和炸药消耗量，同时可能加剧爆破对周边环境的影响。因此，在选择孔径时，需要综合考虑岩石的性质、开采规模、设备条件等因素。对于坚硬岩石，可采用较大的孔径；而对于软岩或破碎岩石，则可采用较小的孔径。

(2) 孔距和排距：孔距和排距是影响爆破块度和均匀性的重要参数。孔距过大，会导致岩石破碎不充分，大块率增加；孔距过小，则会造成炸药能量的浪费，增加成本。排距的选择也需要根据岩石的性质和爆破要求进行合理确定。一般来说，在保证爆破效果的前提下，应尽量增大孔距和排距，以提高钻孔效率和降低炸药消耗量。

(3) 超深和堵塞长度：超深是指炮孔深度超过开挖深度的部分，其作用是克服底盘抵抗线，使岩石破碎更充分。堵塞长度是指炮孔口至装药顶端的距离，合适的堵塞长度可以防止爆炸气体过早逸出，提高炸药能量的利用率^[2]。超深和堵塞长度的选择应根据岩石的性质、孔径和装药量等因素进行综合考虑，一般通过试验确定最佳值。

4.2 装药结构

(1) 不耦合装药：不耦合装药是指药包直径小于炮

孔直径的装药方式。这种装药结构可以降低炸药爆炸产生的冲击压力，减少岩石的过度粉碎，从而提高炸药能量的利用率和爆破效果。不耦合装药系数（炮孔直径与药包直径之比）的选择应根据岩石的性质和爆破要求进行确定，一般对于坚硬岩石，不耦合装药系数可取1.5-2.5；对于软岩，可取1.2-1.8。

(2) 空气间隔装药：空气间隔装药是在药包与药包之间或药包与孔底之间设置空气间隔层的装药方式。空气间隔层可以起到缓冲作用，降低炸药爆炸产生的冲击压力峰值，延长冲击压力的作用时间，使岩石受到更均匀的破碎作用。空气间隔装药还可以减少炸药消耗量，降低爆破成本。空气间隔长度的选择应根据岩石的性质、孔径和装药量等因素进行试验确定。

(3) 连续装药：连续装药是将炸药连续装入炮孔中的装药方式。这种装药结构简单，施工方便，适用于岩石较软、破碎要求不高的情况。但在坚硬岩石中，连续装药容易导致岩石过度粉碎，炸药能量利用率低。

4.3 起爆方式

(1) 电力起爆：电力起爆是利用电雷管作为起爆器材，通过导线将电能传输到雷管中，使雷管爆炸引发炸药起爆。电力起爆具有起爆准确、安全可靠、能同时起爆大量炮孔等优点，广泛应用于各种规模的露天矿山爆破工程。但电力起爆需要专门的起爆设备和线路，施工成本较高，且在有杂散电流的环境中使用时需要采取防杂散电流措施。

(2) 导爆管起爆：导爆管起爆是利用导爆管传递冲击波引爆雷管，进而引爆炸药的起爆方式。导爆管起爆具有操作简单、成本低、不受杂散电流影响等优点，适用于中小型露天矿山爆破工程。但导爆管起爆的起爆速度相对较慢，对于大规模、高精度的爆破工程，其起爆网络的可靠性可能受到一定影响。

(3) 导爆索起爆：导爆索起爆是利用导爆索传递爆轰波引爆炸药的起爆方式。导爆索起爆具有起爆速度快、能同时起爆多个炮孔等优点，适用于需要快速起爆的爆破工程。但导爆索起爆的安全性相对较低，在运输、储存和使用过程中需要严格遵守安全规定。

5 露天矿山控制爆破技术的实施过程中的安全管理措施

(1) 爆破作业人员培训：爆破作业是一项高风险的工作，作业人员的素质和技能水平直接关系到爆破作业的安全。因此，必须对爆破作业人员进行严格的专业培训，使其熟悉爆破作业的流程、安全规定和操作技能^[3]。培训内容包括爆破理论知识、炸药和雷管的使用方法、

起爆网络的连接、爆破事故的应急处理等。只有经过培训并考核合格的人员才能从事爆破作业。

(2) 爆破器材管理: 爆破器材是危险物品, 其管理的好坏直接关系到矿山的安全生产。必须建立严格的爆破器材管理制度, 对爆破器材的采购、运输、储存、使用和销毁等环节进行严格管理。爆破器材应储存在专用的仓库内, 仓库应符合安全规定, 配备必要的消防设施和防盗报警装置。在运输爆破器材时, 应使用专用的运输车辆, 并严格按照规定的路线和时间行驶。

(3) 爆破作业现场管理: 在爆破作业现场, 应设置明显的安全警示标志, 划定安全警戒范围, 禁止无关人员进入。爆破作业前, 应对爆破区域进行仔细的检查, 清除杂物和障碍物, 确保爆破作业的安全进行。在爆破作业过程中, 应严格按照爆破设计进行操作, 控制好起爆时间和顺序。爆破作业后, 应等待足够的时间, 确认安全后才能进入爆破区域进行检查和处理。

(4) 安全检查与隐患排查: 定期对露天矿山的爆破作业进行安全检查和隐患排查, 及时发现和消除安全隐患。安全检查的内容包括爆破器材的管理、爆破作业人员的操作规范、爆破作业现场的安全设施等。对发现的安全隐患, 应制定整改措施, 明确整改责任人和整改期限, 确保隐患得到及时整改。

6 露天矿山控制爆破技术的发展趋势

6.1 智能化控制爆破技术

随着人工智能、物联网、大数据等技术的不断发展, 露天矿山控制爆破技术将向智能化方向发展。智能化控制爆破技术将利用传感器、无人机等设备对爆破区域的地质条件、岩石特性等进行实时监测和数据分析, 通过智能算法优化爆破参数设计, 实现爆破效果的精准控制。同时, 智能化控制爆破技术还可以实现爆破作业的远程监控和自动化操作, 提高爆破作业的安全性和效率。

6.2 绿色控制爆破技术

在环保要求日益严格的背景下, 绿色控制爆破技术将成为未来露天矿山控制爆破技术的发展方向。绿色控制爆破技术将注重减少爆破作业对周边环境的污染和破坏, 采用环保型炸药和起爆器材, 优化爆破参数和施工工艺, 降低爆破震动、噪声、粉尘和废水等污染物的排放^[4]。同时, 绿色控制爆破技术还将加强生态修复和资源综合利用, 实现露天矿山的可持续发展。

6.3 精细化控制爆破技术

为了提高露天矿山的开采效率和经济效益, 精细化控制爆破技术将得到更广泛的应用。精细化控制爆破技术将通过对岩石的微观结构和力学性能进行深入研究, 精确控制炸药能量的释放和岩石的破碎过程, 实现岩石的精准破碎和块度均匀分布。同时, 精细化控制爆破技术还将注重爆破效果的实时监测和评估, 根据监测结果及时调整爆破参数, 不断提高爆破质量。

6.4 与其他开采技术的集成化

未来露天矿山控制爆破技术将与其他开采技术如露天开采工艺、矿山机械装备等进行集成化发展。通过将控制爆破技术与露天开采工艺相结合, 实现开采过程的连续化和自动化; 通过将控制爆破技术与矿山机械装备相结合, 提高铲装、运输等设备的作业效率, 降低开采成本。集成化的发展模式将充分发挥各种技术的优势, 提高露天矿山的整体开采水平。

结语

露天矿山控制爆破技术是现代露天矿山开采的关键技术之一, 它对于保障作业安全、提高开采效率、降低环境影响和保护边坡稳定具有重要意义。常见的露天矿山控制爆破技术类型包括预裂爆破、光面爆破、微差爆破和定向断裂控制爆破等, 每种技术都有其独特的原理、特点和适用场景。控制爆破技术的关键参数设计与优化是提高爆破效果的关键, 包括孔网参数、装药结构和起爆方式等方面。在露天矿山控制爆破技术的实施过程中, 必须加强安全管理确保爆破作业的安全。随着科技的不断进步, 露天矿山控制爆破技术将向智能化、绿色化、精细化和集成化方向发展, 为露天矿山的高效、安全、绿色开采提供更强大的技术支持。露天矿山企业应积极关注控制爆破技术的发展动态, 不断引进和应用新技术、新工艺, 提高自身的开采水平和市场竞争力。

参考文献

- [1] 黄克磊. 大型露天矿山边坡控制爆破与降振技术[J]. 矿业工程, 2024, 22(01): 17-20.
- [2] 万佳. 不良地质条件下控制爆破技术在某露天矿山开采中的应用[J]. 世界有色金属, 2022, (13): 37-39.
- [3] 单帅, 杨力, 余冬洋. 露天矿山高边坡预裂控制爆破技术的应用与研究[J]. 四川水力发电, 2025, 44(03): 68-70.
- [4] 王涛, 吴校良, 李新, 等. 高寒高海拔露天矿山大规模控制爆破的实践[J]. 工程爆破, 2019, 25(01): 60-63.