

矿业露天采矿边坡控制性爆破施工分析

王浩瞩

中国矿业大学（北京） 北京 100080

摘要：露天采矿作为矿业生产的重要方式之一，其作业过程中的边坡控制性爆破技术对于保障矿山安全、提高采矿效率以及保护周边环境具有至关重要的作用。基于此，本文通过对预裂爆破、光面爆破和缓冲爆破等控制性爆破技术的详细分析，揭示其技术原理、参数设计以及施工要点，为露天采矿边坡控制性爆破施工提供理论指导和实践参考。与此同时，本文还探讨了爆破施工过程中的安全管理与质量控制措施，以确保爆破作业的安全性和可靠性。通过本文的研究，期望能够为露天采矿行业的可持续发展提供技术支持和保障。

关键词：露天采矿；边坡；控制性爆破施工

引言：新时期，采矿单位在对采矿作业模式选择和探索过程中，结合开采需求，部分项目需要通过露天开采，优化作业需求。在施工过程中，采矿深度不断提升，边坡高度也会有所调整。为优化整体施工的稳定性和，就需要考虑不同影响因素，完善爆破工作的科学控制。在完善控制性爆破施工技术特征的同时，可以进一步的优化各项指标的深入分析。因此，为全面把握当前发展形势，深入了解露天采矿边坡控制性爆破施工技术的应用方向就显得尤为重要。

1 露天采矿边坡控制性爆破的重要性

1.1 保障边坡稳定性

露天矿边坡的稳定性是采矿作业持续进行的最基本措施与保障。爆破产生的地震波、冲击波等会对边坡岩体产生扰动，削弱岩体的强度和完整性^[1]。如，不合理的爆破参数可能导致边坡岩体产生大量裂缝，使岩体的抗滑力降低，在重力和其他外部因素作用下，也容易引发边坡滑坡事故。而控制性爆破能够利用精确设计爆破参数，如尽可能减小单段起爆药量、优化起爆顺序等，有效控制爆破能量的释放，减少对边坡岩体的破坏，从而保障边坡在采矿过程中的稳定性。

1.2 减少对周边环境的影响

露天采矿爆破作业通常位于人口相对密集或生态环境较为敏感的区域附近。爆破产生的噪声、振动和飞石无疑会对周边居民的生活、工作以及生态环境造成不良影响。例如，高强度的爆破振动可能导致附近建筑物墙体开裂、基础沉降；飞石可能会对周边人员和设施造成直接的人身伤害。采用边坡控制性爆破技术，可根据周边环境的敏感程度，合理调整爆破参数，如采用微差爆破降低振动强度，设置防护屏障阻挡飞石等，将爆破对周边环境的影响控制在规定的范围内，最大程度上实现

矿业开采与环境保护的协调发展。

1.3 提高采矿效率与经济效益

控制性爆破不单单关乎安全与环保，也是提升采矿作业效率和经济性的关键手段。采用精细规划爆破方案，能够确保矿石的有效破碎和合理抛掷，减少大块率，提高后续铲装、运输等环节的效率。与此同时，精确控制爆破范围，可大幅度减少对无用岩石的过度开采，节约资源，降低开采成本。

1.4 强化安全生产管理

实施边坡控制性爆破，意味着从爆破设计到执行的全过程都需严格遵守安全生产规程，进行细致的风险评估与管控。这促使矿山企业建立健全安全生产管理体系，提升全员安全意识与应急处理能力。采取定期的安全教育培训、爆破效果的实时监测与反馈调整，能够确保爆破作业始终在安全可控的状态下进行，进而为矿山的长远发展奠定坚实的基础。

2 爆破设计的基本原则

2.1 依据岩石特性选择爆破参数

众所周知，不同的岩石具有不同的物理力学性质，如硬度、密度、弹性模量等，这些特性直接决定着爆破效果。对于坚硬岩石，如花岗岩，需要较大的爆破能量才能破碎，但同时也容易产生较大的爆破振动和飞石；而对于软岩，如页岩，爆破能量过大则可能导致过度破碎和边坡失稳。鉴于此，在爆破设计前，必须对矿区岩石进行详细的地质勘查和力学性能测试。像是，根据岩石的抗压强度确定炸药的单耗量，对于抗压强度高的岩石适当增加单耗，以确保岩石能够有效破碎；而对于节理裂隙发育的岩石，则要考虑节理方向对爆破效果的影响，积极调整炮孔方向和起爆顺序，使爆破能量沿着节理方向释放，尽量提高破碎效果并减少对边坡岩体的破坏。

2.2 确定合理的爆破规模与起爆顺序

爆破规模包括一次爆破的总药量、炮孔数量等。由于过大的爆破规模会产生强烈的爆破振动和冲击波，对边坡稳定性构成严重威胁。因而，在确定爆破规模时，必须综合考虑边坡的地质条件、与周边环境的距离等因素^[2]。比如，对于靠近重要建筑物或边坡稳定性较差的区域，应采用小规模、多批次的爆破方式。起爆顺序对于爆破效果和边坡稳定性也至关重要。合理的起爆顺序可以使爆破能量均匀分布，减少能量集中对边坡的冲击。如采用微差起爆技术，按照一定的时间间隔依次起爆各个炮孔，先起爆的炮孔为后起爆的炮孔创造自由面，降低爆破阻力，同时也能有效控制振动强度。

3 控制性爆破技术

3.1 预裂爆破

预裂爆破是在主爆区爆破之前，沿设计边坡轮廓线先爆出一条具有一定宽度的贯穿裂缝，这条裂缝能够在主爆区爆破时反射和吸收大部分爆破能量，从而有效减少爆破对边坡岩体的破坏。例如，在一个露天铁矿边坡施工中，预裂爆破形成的裂缝有效地阻止了主爆区爆破振动向边坡的传播，继而保护了边坡岩体的完整性。预裂爆破的主要参数包括炮孔间距、孔径、装药量等。炮孔间距一般根据岩石性质和孔径确定，通常为孔径的8到12倍。例如，对于孔径为90毫米的炮孔，炮孔间距可设置在720到1080毫米之间。装药量则要根据岩石的抗压强度、炮孔间距等因素计算，一般采用线装药密度来控制，对于硬岩，线装药密度可在300到500克/米之间。在确定装药量时，可以采用经验公式： $q = kd^a$ ，其中 q 为线装药密度（克/米）， d 为炮孔直径（毫米）， k 和 a 为与岩石性质相关的系数，对于硬岩， k 取值范围在0.3到0.5， a 取值约为1。例如，当炮孔直径 $d = 90$ 毫米， $k = 0.4$ ， $a = 1$ 时，计算可得线装药密度 $q = 0.4 \times 90^1 = 36$ 克/米，实际取值会根据工程现场情况在此基础上进行适当调整，一般会在300到500克/米之间以确保爆破效果。此过程中，需要注意的是，预裂爆破的炮孔应严格按照设计边坡轮廓线布置，孔深要确保穿透整个爆破层。在装药时，要采用不耦合装药方式，即炸药直径小于炮孔直径，一般来说，不耦合系数在2到4之间，这样一来，可以降低爆炸对孔壁的冲击压力，减少对岩石的过度破碎。并且，要保证炸药在炮孔内均匀分布，可采用间隔装药或连续装药与空气间隔相结合的方式。为了更好地预测预裂爆破效果，可采用数值模拟软件（如ANSYS/LS-DYNA）进行模拟分析。在模拟过程中，首先建立边坡岩体和爆破模型，设定岩石材料参数（如弹性模量、泊松比、密

度、抗压强度等）以及爆破参数（如炸药类型、装药量、起爆方式等）^[3]。通过模拟，可以直观地观察到爆破应力波的传播过程、裂缝的形成和扩展情况。例如，模拟结果显示，在预裂爆破时，应力波在预裂面处发生反射和透射，预裂面有效地阻挡了应力波向边坡后方的传播，与实际施工中观察到的预裂爆破对边坡的保护效果相吻合。通过模拟还可以对不同的爆破参数组合进行优化，如调整炮孔间距、装药量等，以获得最佳的预裂爆破效果，即在保证边坡稳定性的前提下，使爆破成本最低、施工效率最高。如，在某露天铜矿预裂爆破施工中，采用不耦合系数为3的装药方式，间隔装药结构，成功地在边坡上形成了整齐的预裂面，则为后续爆破作业保护了边坡。这样的扩写内容在介绍预裂爆破技术时，不仅阐述了其原理、参数确定方法，还增加了装药量计算的公式以及数值模拟部分，使对预裂爆破的分析更加全面深入，有助于专业人士在相关工程实践和理论研究中参考应用。

3.2 光面爆破

光面爆破与预裂爆破类似，也是利用控制爆破参数，在爆破后沿设计轮廓线形成一个光滑平整的壁面。其主要原理是利用周边眼同时起爆，使各炮孔的爆炸应力波在相遇时相互抵消，从而减少对周边岩石的破坏，形成平整的壁面。如，在露天煤矿的边坡开采中，光面爆破后的边坡壁面平整，可减少后续边坡修整的工作量。

光面爆破的炮孔间距一般为孔径的10到16倍，对于常用的76毫米孔径炮孔，间距可在760到1216毫米之间。周边眼的装药量要比主爆孔少很多，一般为普通炮孔装药量的1/3到1/4。如，主爆孔每孔装药量为15千克时，相应的周边眼光面爆破装药量可控制在4到5千克之间。

光面爆破的周边眼应布置在设计边坡轮廓线上，并且要保证所有周边眼的方向一致，偏差不超过5度。在装药时，同样采用不耦合装药，不耦合系数在1.5到2.5之间^[4]。起爆时，周边眼要同时起爆，可采用导爆索起爆网络或高精度雷管起爆系统，确保起爆时间的准确性。例如，在某露天钨矿光面爆破施工中，可采用高精度雷管起爆系统，起爆时间误差控制在1毫秒以内，成功实现了光面爆破效果，边坡壁面的平整度误差在15厘米以内。

3.3 缓冲爆破

缓冲爆破是在主爆区与边坡之间设置缓冲带，缓冲带内的炮孔装药量较少，爆破时产生的能量相对较小，从而减轻对边坡的冲击。它主要是利用降低爆破强度，在主爆区和边坡之间形成一个过渡区域，保护边坡岩体。如，在露天铅锌矿的爆破作业中，缓冲爆破有效地减少了

主爆区爆破对边坡的影响,保持了边坡的相对稳定。

缓冲爆破的炮孔间距和排距比主爆区要小,一般为其0.6到0.8倍。装药量根据缓冲带的宽度和与边坡的距离确定,通常为同等条件下主爆孔装药量的0.3到0.6倍。例如,主爆区炮孔排距为3米时,缓冲爆破炮孔排距可设置在1.8到2.4米之间,装药量相应减少。

缓冲爆破的炮孔布置要形成连续的缓冲带,其深度要与主爆区一致。在装药过程中,要严格按照设计装药量装填,并且要保证炸药在炮孔内的分布均匀。起爆顺序上,缓冲爆破应在主爆区起爆之后,利用主爆区爆破形成的自由面,进一步降低爆破能量对边坡的影响。例如,在某露天金矿的爆破施工中,合理设计缓冲爆破参数并严格按照施工要点操作,使边坡在首轮爆破作业后的位移量控制在10厘米以内,从而确保了边坡的稳定性。

4 爆破施工过程中的安全管理与质量控制措施

4.1 爆破器材的管理

爆破器材的质量和安全性直接关系到爆破作业的成败。在采购爆破器材时,要选择具有资质的正规厂家,确保器材的质量符合国家标准。例如,炸药的威力、稳定性,雷管的起爆精度等都要经过严格检测。在运输和储存爆破器材时,要严格遵守相关法规和操作规程。运输过程中,要采用专用的运输车辆,配备防火、防爆、防盗等安全设施,并且要按照规定的路线和时间行驶。储存时,要将爆破器材存放在专门的仓库中,仓库要充分满足良好的通风、防潮、防火、防盗等条件,并且要严格控制仓库内的温度和湿度。

4.2 施工人员的安全培训

爆破施工人员的专业素质和安全意识是保障爆破作业安全的关键。为此,所有参与爆破作业的人员都要经过专业的培训,培训内容包括但不限于爆破理论知识、爆破器材的使用与操作、安全防护知识等^[5]。如,施工人员要熟悉不同类型炸药和雷管的性能和使用方法,掌握正确的装药、起爆操作流程。在安全防护方面,要培训施工人员必须正确佩戴安全帽、安全鞋、防护耳塞、护

目镜等个人防护用品,详细了解在爆破事故发生时的应急逃生方法和自救措施。只有经过培训并考核合格的人员才能上岗作业,并且要定期对施工人员进行复训,更新知识和技能,提高安全意识。

4.3 爆破效果的监测与评估

为了确保爆破施工的质量和对边坡的影响控制在预期范围内,相关单位与机构需对爆破效果进行实时监测与评估。监测内容包括爆破振动速度、位移量、飞石距离等。对于位移量的监测,可以采用全站仪、GPS等测量仪器,定期对边坡上的监测点进行测量,分析边坡的位移变化趋势。飞石距离的监测可以在爆破区域周围设置观测点,以观察飞石的散落范围,评估防护措施的有效性。在每次爆破作业后,要对爆破效果进行综合评估,包括爆破破碎效果、对边坡的破坏程度、对周边环境的影响等。根据评估结果,总结经验教训,对爆破设计和施工方案进行优化和改进,不断提高爆破施工的质量和安全性。

结语:总之,露天采矿边坡控制性爆破施工技术是解决边坡稳定性问题的重要手段,但在实际应用中仍存在一些问题。通过科学合理地应用控制性爆破技术,加强安全管理和监督检查,可以有效提高露天采矿的生产安全水平,做好矿产资源的开采工作。

参考文献

- [1]徐海平.露天采矿边坡控制性爆破施工技术分析[J].中国金属通报,2024,(02):31-33.
- [2]姜超.露天采矿边坡控制性爆破施工技术[J].当代化工研究,2023,(17):105-107.
- [3]曾玉莹,于世杰.露天采矿控制性爆破施工技术分析[J].山西冶金,2022,45(03):343-344.
- [4]孙志龙.露天采矿边坡控制性爆破施工技术分析[J].世界有色金属,2021,(02):75-76.
- [5]吴子雍.露天采矿边坡控制性爆破施工技术探析[J].中国新技术新产品,2019,(21):73-74.