

# 露天采矿边坡控制性爆破施工技术

郭永琪

天博辰业矿业有限公司, 新疆 博尔塔拉蒙古自治州 833400

**[摘要]** 露天采矿是一种常见的采矿模式, 随着采矿深度增加, 边坡高度相应增加, 对稳定性提出了较高要求。在露天采矿中所面临的因素众多, 尤其需要对爆破加以重视, 这关系到采矿的可行性与科学性, 其中控制性爆破施工技术的有效应用, 能够保证爆破过程中各项指标符合基本要求, 可提高安全性, 减少各类安全事故的发生。本文在概述常用的边坡控制性爆破技术基础上, 分析了露天采矿爆破期间常见的问题, 最后总结了露天采矿边坡控制性爆破技术的应用措施。

**[关键词]** 露天采矿; 边坡控制; 爆破施工; 施工技术

DOI: 10.33142/sca.v7i12.14738

中图分类号: TD235

文献标识码: A

## Controlled Blasting Construction Technology for Open-pit Mining Slope

GUO Yongqi

Tianbo Chenye Mining Co., Ltd., Bortala Mongol Autonomous Prefecture, Xinjiang, 833400, China

**Abstract:** Open pit mining is a common mining mode, and as the mining depth increases, the slope height correspondingly increases, which puts forward higher requirements for stability. There are many factors faced in open-pit mining, especially the need to pay attention to blasting, which is related to the feasibility and scientificity of mining. The effective application of controlled blasting construction technology can ensure that all indicators during the blasting process meet basic requirements, improve safety, and reduce the occurrence of various safety accidents. On the basis of summarizing the commonly used slope controlled blasting techniques, this article analyzes the common problems during open-pit mining blasting, and finally summarizes the application measures of open-pit mining edge controlled blasting technology.

**Keywords:** open-pit mining; slope control; blasting construction; construction technology

### 引言

露天采矿边坡控制性爆破施工技术, 作为露天矿山开采中至关重要的核心技术, 对矿山的安全生产、资源回收效率及环境保护水平有着直接的影响。随着矿山开采规模的不断扩大及开采深度的增加, 边坡稳定性所面临的挑战愈加严峻, 传统的爆破方法已难以满足现代矿山对于高精度与高安全性的要求。在这种背景下, 边坡控制性爆破技术成为了保障边坡稳定、提升开采效率并减少环境影响的关键手段。通过精确设计爆破方案、合理调整爆破参数, 以及优化装药结构与起爆网络, 能够对边坡岩体进行精准控制, 有效降低爆破震动、爆破飞石等潜在风险, 确保资源得到高效开采的同时, 边坡稳定性得以保持。其核心目标在于确保爆破作业既能高效地破碎矿体, 又能避免因不当爆破导致的边坡失稳、滑坡或崩塌等灾害。此外, 随着数字化、智能化技术的持续发展, 现代爆破施工已日益依赖计算机模拟、实时监控与数据分析, 极大地提高了爆破精度与安全性。边坡控制性爆破技术的广泛应用, 推动了矿山开采向更加科学、精细、安全与环保的方向迈进, 为资源的可持续开采及绿色矿业建设提供了强有力的技术支撑。

### 1 露天采矿边坡控制的重要性

露天采矿边坡控制是保障矿山安全生产、降低环境风险以及提高采矿效率的关键环节。在露天采矿作业中, 通

常涉及大规模的爆破与开采, 边坡的稳定性对矿山的作业安全及周围环境的保护至关重要。若边坡失稳, 设备损坏、人员伤亡的风险将急剧增加, 甚至可能引发山体滑坡、泥石流等严重的地质灾害, 对周围生态系统造成深远影响。采取科学有效的边坡控制措施, 能够显著降低施工过程中的风险, 确保作业人员的生命安全, 减少矿山事故发生的概率, 延长矿山的生产周期。在矿山的开采过程中, 边坡的稳定性直接影响到矿山的可采储量与质量。通过合理的边坡设计与爆破技术, 矿石资源的回收率得以提高, 矿石浪费得以减少, 从而优化资源利用效率。有效的边坡控制不仅有助于降低矿山的运营成本, 减少不必要的安全隐患与环境损害, 也推动了矿山作业向可持续发展方向的迈进。因此, 露天采矿边坡控制不仅是矿山企业经济效益的保障, 更是实现资源节约型与环境友好型矿业的关键。

### 2 常用的边控性爆破技术

#### 2.1 预裂爆破

预裂爆破作为提高露天采矿边坡稳定性的重要技术之一, 通过在边坡关键部位预先施行小规模爆破来创造裂缝, 从而有效减少大规模爆破对边坡结构的破坏。这项技术通常在精确设计的爆破面或指定区域内进行, 目的是形成一条连续的裂缝面, 使得后续的大规模爆破能够沿着这些预设的裂缝线进行, 进而减小震动与应力波的传播, 防止边坡岩

体整体失稳。通过预裂爆破,边坡控制的精度得以显著提高,爆破作业对周围环境的影响得以减少,同时矿石开采过程也得到优化,降低了边坡滑坡等意外风险对矿山设备及人员的威胁<sup>[1]</sup>。爆破参数、装药量、孔距及起爆顺序等的合理选择,能够确保预裂效果的最大化,从而不仅保障了采矿过程中的安全,还提升了资源回收率与开采效率。

## 2.2 斜孔爆破

斜孔爆破作为一种通过调整钻孔角度来实现边坡控制的爆破技术,已广泛应用于露天矿山的边坡爆破作业中。与传统的垂直孔爆破不同,斜孔爆破通过在边坡上钻设一定角度的斜孔,使爆破能量能够沿着预设方向传播,从而更有效地控制爆破波的扩展及其对边坡的影响。通过此设计,爆破过程中产生的应力与震动得以沿边坡表面或岩体裂隙的方向释放,减少了对边坡整体稳定性的破坏,同时提高了爆破作业的精度与效率。尤其在需要精确控制边坡形态与稳定性的情况下,斜孔爆破技术的作用显得尤为重要。合理设计斜孔的孔距、角度、爆破参数及起爆顺序,能够有效避免岩石松动或滑移,从而确保边坡的稳固性。实际应用中,斜孔爆破还助于减少震动对周围建筑物或环境的影响,从而提升采矿作业的安全性与经济性。此外,斜孔爆破通过改变岩体破裂的方向,优化矿石的采掘效果,显著提高了矿石的回收率与利用率。

## 2.3 微差爆破

微差爆破,又称毫秒爆破,是一种延期时间间隔为几毫秒到几十毫秒的延期爆破。由于前后相邻段炮孔爆破时间间隔极短,致使各炮孔爆破产生的能量场相互影响,既可以提高爆破效果,又可以减少爆破地震效应、冲击波和飞石危害。由于相邻两炸药间隔时间极短,先起爆的炸药在煤体中产生的应力波尚未消失,后起爆的炸药就爆炸,这样被爆煤体就会受到双向应力的作用,从而改善破碎效果,降低炸药用量。采用毫秒爆破时,如果时差选择合理,爆破产生的震动波会相互干扰而削弱,从而降低了对工作面的震动作用,有利于非工作面的稳定和维护工作。微差控制爆破适用于开挖岩石地基、挖掘沟渠、拆除建筑物和基础,以及用于工程量与爆破面积较大,对截面形状、规格、减震、飞石、边坡后面有严格要求的控制爆破工程。

## 2.4 降振技术

降振技术作为一种有效的手段,广泛应用于露天采矿边坡控制中,旨在减少爆破过程中震动对周边环境及边坡稳定性的影响。在爆破作业中,震动是不可避免的,然而其传播可能会对矿山周边建筑物、道路设施以及边坡的稳定性产生负面影响,甚至引发边坡崩塌等安全事故。通过采取一系列降振措施,震动的传播得以有效控制,从而减少震动对环境的破坏。常见的降振方法包括优化爆破设计、调整装药量、改变起爆顺序以及合理布置孔距等。这些措施能够确保爆破产生的震动能量集中释放于特定区域,避免其向周围扩散。在边坡爆破中,降振技术尤其重要,它不仅能够减少震动对岩体的扰动,还能防止岩体破裂面意外扩展或引发边坡失稳。

此外,物理性降振措施的应用,如在爆破孔周围布置吸震材料或安装防振设施,也能进一步减少震动的传播强度。

## 3 露天采矿爆破期间常见的问题

### 3.1 露天矿山选择不合理

在露天采矿爆破作业中,矿山选址不当常常成为潜在的隐患,直接影响爆破效果及边坡的稳定性。若未充分考虑地质条件、岩体结构、矿石分布等因素,矿山选址可能导致爆破过程中出现不可预见的风险。例如,未能避开复杂的断裂带或软弱岩层,可能会增加爆破作业中的不稳定因素,进而导致边坡滑动或矿体破坏,增加安全隐患。如果矿山选址位于易发生水土流失或地质灾害的区域,爆破震动可能加剧山体的不稳定性,甚至引发塌方、滑坡等严重事故。此外,忽视周边环境影响的选址,可能会带来生态破坏或环境污染问题,譬如爆破震动对邻近建筑物的影响,或爆破碎片飞溅引发的伤害。

### 3.2 未做好边坡爆破管理工作

在露天采矿爆破作业中,边坡爆破管理不当常常成为潜在的隐患,直接导致边坡控制失效并增加事故发生的风险。边坡爆破管理涵盖了从爆破设计、现场监控到施工方案执行等多个环节。若在管理过程中缺乏科学的组织安排及充分的技术评估,可能会导致爆破参数选择不合理,如装药量、孔距及起爆顺序等,这些都会直接影响爆破效果及边坡稳定性。与此同时,现场执行不到位的情况也使得这一问题更加严重。例如,如果爆破操作未严格按照设计方案进行,震动可能超出安全范围,进而破坏岩体结构或引发非预期的岩石破裂。另一个表现为管理不善的是缺乏对作业人员安全教育与规范执行,这无疑为爆破作业中的安全隐患埋下了伏笔<sup>[2]</sup>。在面临复杂的地质条件或多变的气候下,缺乏完善的应急预案及灵活调整机制,导致在突发情况下,爆破作业无法有效应对,从而增加了管理难度及潜在的风险。

## 4 露天采矿边控性爆破技术的应用措施

### 4.1 依据露天矿山情况制定合理的爆破方案

在露天矿山的边控性爆破中,成功实施的关键在于依据矿山的实际情况制定合理的爆破方案。每个露天矿山都具有独特的地质特征、岩体结构、矿石分布及周围环境条件,这些因素要求爆破方案的设计必须因地制宜,精确地匹配矿山的具体情况。因此,矿山的地质条件需经过详细的勘察与分析,涵盖岩层强度、裂隙走向与密度、地下水分布等多个方面,这些直接影响爆破效果及边坡稳定性。举例来说,在岩体坚硬且裂隙稀少的矿山中,爆破方案可能需要设计更高能量与更精准的装药结构;而对于软弱岩层或地下水较多的区域,则应选择低能量、高精度的爆破方式,以尽量减少震动和滑坡风险。爆破方案的设计还需充分考虑矿山开采的综合目标,如提高矿石回收率、降低开采成本、减少环境污染等,基于这些目标来优化装药结构、孔距及爆破顺序等关键参数。在边坡爆破中,爆破面的形状与边坡角度的合理设计能够有效提升开采效率,同时保持边坡的稳定性,从而避免因爆破不均匀而引发岩体失稳。此外,周围环

境的保护也不容忽视,爆破方案必须考虑到附近建筑物、道路等设施的安全需求,减少震动波对环境的影响。

#### 4.2 适当调整装药结构

适当调整装药结构是露天采矿边坡控制性爆破中的关键技术措施,其对爆破效果、边坡稳定性及矿石回收率具有直接影响。确保爆破能量得到有效释放并同时控制震动传播,是合理装药结构的核心目标,这样能够减少对岩体及周围环境的不利影响。装药结构的设计必须基于矿山的地质条件及边坡特点进行优化。例如,在岩体坚硬或裂隙稀少的区域,装药量的增加或装药密度的提高可能是必要的,以确保足够的爆破能量能有效破碎岩石;而在软弱或松散岩层中,装药量应适当减少,以避免对岩体的过度破坏或产生不必要的震动。除了地质条件,装药结构的调整还必须考虑爆破的精度与控制力。通过精确设定不同层次的装药密度及起爆顺序,可确保爆破波沿预定方向传播,从而有效避免边坡岩体的不均匀破裂<sup>[3]</sup>。在对爆破范围要求精确控制的情况下,适当的装药结构调整不仅能减少岩石飞散,还能有效降低震动对周围设施或环境的潜在影响。

#### 4.3 加强对先进技术的应用

加强先进技术的应用,已成为提升露天采矿边坡控制性爆破效果、确保安全性并提高资源利用率的重要手段。随着科技的不断发展,爆破技术也在不断创新,许多新兴技术为矿山爆破提供了更加精确、高效且环保的解决方案。例如,现代数字化爆破技术通过实时监控爆破过程,使得爆破能量的释放与震动传播能够被精确控制,从而大幅提升爆破的精度与安全性。通过传感器收集现场数据,数字化系统得以实时分析爆破效果,必要时还可进行动态调整与优化爆破参数,避免潜在的风险。此外,智能化技术的应用在爆破管理中日益普及,基于人工智能的预测分析系统,通过对历史数据的学习,能够提前识别爆破过程中的风险因素,并提出优化建议,帮助规避可能的隐患。同时,利用高精度的三维地质建模技术,矿山的地质结构及边坡稳定性得以更准确地了解,为爆破设计提供了科学依据。远程遥控与自动化技术的应用,特别是在复杂或危险环境下,显著提高了爆破作业的安全性,避免工作人员直接接触爆破现场,从而有效减少人身伤害的风险。

#### 4.4 适当优化穿孔

优化穿孔设计,是提升露天采矿边坡控制性爆破效果的重要手段。穿孔的深度、直径、孔距及排列方式,直接影响爆破的精度、效率以及边坡的稳定性。在实际作业中,合理的穿孔设计能够有效控制爆破过程中应力波的传播,减少震动对周围环境的影响,避免不必要的破坏。穿孔深度与直径的优化,应根据矿山地质条件量体裁衣。例如,在岩体坚硬的区域,孔深与孔径需增加,以确保足够的装药空间及能量的有效释放;而在较软或松散的岩层中,过大的孔径可能会导致过度破坏,甚至引发不稳定的边坡。因此,穿孔设计必须综合考虑岩体的物理性质、爆破需求与边坡稳定性要求。孔距的合理设置,是优化的关键因素,过密或过疏的孔

距,都会对爆破效果与边坡稳定性产生不良影响。适当的孔距,能够确保爆破能量在岩体内均匀分布,减少应力集中,进而避免边坡的过度破坏或裂隙扩展。此外,孔的排列方式,应根据边坡形态及爆破目标进行优化,从而确保爆破波能够沿预定方向有效传播,实现破碎与控制的最佳效果。

#### 4.5 调整起爆网络

起爆网络的调整,在露天采矿边坡控制性爆破中,占据着重要地位。通过优化起爆顺序及方式,爆破波的传播方向与强度可以被精确控制,从而提高爆破效果,减少震动对边坡稳定性及周围环境的负面影响。起爆网络的设计,决定了各个爆破孔的起爆时机及顺序,这直接影响到爆破效果与岩体破裂的方式。合理的起爆网络设计,使得爆破能量能够沿着预定路径释放,从而在爆破过程中形成均匀的应力场,进而有效控制边坡稳定,减少不必要的破坏。起爆网络的调整,需结合矿山的地质条件及边坡形态进行个性化设计<sup>[4]</sup>。例如,在岩体坚硬或裂隙较多的区域,通过先行起爆一些关键孔,可以减少主爆破区域的应力集中,从而避免过大的震动引发边坡失稳。相反,在松软岩体中,分段起爆或延时起爆的方式,可能被采用,以逐步释放爆破能量,有效控制爆破波的传播,减轻震动对边坡的影响。现代数字化控制技术的应用,使得起爆网络的管理变得更加精细。通过计算机模拟及实时数据反馈,起爆时机与顺序可以进一步优化,从而实现更为精确、可控的爆破过程。

#### 5 结语

露天采矿边坡控制性爆破施工技术,在矿山开采过程中,承担着确保安全、高效及环保的重要职责。通过精准的爆破设计与技术应用,爆破过程中的震动、飞石等潜在风险,能够有效控制,从而保障边坡的稳定性,最大化提高矿石的回收率。随着科技的进步,数字化与智能化技术的引入,使得爆破作业的精准性与可控性大幅提升,从而增强了施工过程中的安全性与环境保护水平。展望未来,随着技术的持续创新与应用,边坡控制性爆破技术将进一步优化矿山开采操作,助力企业本质安全提升,实现绿色矿业及可持续发展的目标。不断发展的这一技术,不仅为矿山开采提供了强有力的支持,同时也为行业的长远可持续发展,奠定了坚实的基础。

#### [参考文献]

- [1] 龚喜来. 露天采矿边坡控制性爆破施工技术初探[J]. 中国金属通报, 2024(7): 37-39.
- [2] 张洪利. 控制技术在露天采矿爆破施工的应用[J]. 电子技术, 2020, 49(4): 174-175.
- [3] 何金保, 明星, 宋玉庆. 关于露天采矿边坡控制性爆破施工技术的探讨[J]. 世界有色金属, 2017(8): 177-178.
- [4] 隆华章. 浅析露天采矿边坡控制性爆破施工技术[J]. 世界有色金属, 2018(23): 159-161.

作者简介: 郭永琪(1989.12—), 男, 学历: 本科, 毕业院校: 中国地质大学, 所学专业: 资源勘查工程, 目前职称: 工程师, 目前就职单位: 天博辰业矿业有限公司。