

Analysis of underground mining and blasting technology in mining engineering

Fan Xu Peng Xue Wenrui Cheng

Xiadian Gold Mine, Zhaoyuan, Shandong, 265400, China

Abstract

In the new period of background, the efficient utilization of mineral resources is closely related to the environmental protection, economy and safety of mining engineering. Especially in the process of underground mining, blasting technology plays a vital role, mainly reflected in the stability of surrounding rock, ore recovery rate is closely related to the core process of blasting technology. Therefore, this paper expounds the underground mining methods, and analyzes the safety management measures and optimization strategies of blasting technology, aiming to provide useful reference and suggestions for the efficiency of underground mining, and further promote the new chapter of mining engineering.

Keywords

mining engineering; underground mining; blasting technology; analysis

采矿工程中的地下矿开采与爆破技术分析

徐帆 薛鹏 成文锐

夏甸金矿, 中国·山东 招远 265400

摘 要

在新时期背景下, 矿产资源高效利用与采矿工程的环保性、经济性、安全性紧密相连。特别是在地下矿开采过程中, 爆破技术发挥至关重要的作用, 主要体现在围岩稳定性、矿石回采率与爆破技术的核心工艺息息相关。因此, 本文阐述了地下矿开采方法, 并分析了爆破技术安全管理措施与优化策略, 旨在为地下矿开采效率提供有益参考与建议, 进一步推动采矿工程新篇章。

关键词

采矿工程; 地下矿开采; 爆破技术; 分析

1 引言

相较露天开采而言, 地下矿开采具有资源回收率高、环境影响程度低等特点, 在煤矿、金属矿开采以及其他矿产资源回采中得到广泛应用。但是, 基于地下环境复杂且不确定因素较多, 如何科学应用爆破技术已然成为重要议题。为了提升矿山生产效率, 我们采取爆破技术创新、施工流程优化与引入先进设备等策略, 以期采矿工程可持续发展奠定基础。

2 地下矿开采方法概述

目前, 充填法、崩落法、空场法和房柱法为常见地下矿开采方法。其中, 提升矿石回收率是充填法显著优势, 其原理是通过充填材料回填, 将采空区地压降至最低, 进而避免地表沉降。充填方法涵盖膏体充填、尾砂充填和胶结充填。

为了提升充填质量, 充填过程应充分考量固化时间、输送方式和充填料配比等, 并结合实际情况优化回填顺序, 旨在确保矿井长期稳定性。

在地下矿开采过程中, 房柱法作为一种传统手段, 利用的是矿柱支撑顶板原理提升矿洞稳定性。在此过程中, 需要结合矿岩力学参数计算矿柱尺寸, 以确保围岩满足设计要求。一般情况下, 网络结构为常用矿房布置形式, 旨在维护采场稳定和矿体回收率之间的平衡。然而, 矿柱留存率过高是房柱法需要克服的弊端, 对资源回收率造成负面影响。与此同时, 矿柱破坏在房柱开采中屡见不鲜, 这是因为应力集中造成的, 进而存在局部塌陷风险。基于此, 空场法得到广泛关注, 其核心在于科学控制崩落范围与合理规划回采顺序, 以规避矿损矿贫、围岩破坏等问题。当然, 这一步骤需结合岩体力学测试数据优化设计。由此可见, 减少对人工支撑结构的依赖, 依靠矿体自稳能力是空场法开采的显著优势。其中, 分段崩落法的实施是基于岩体自然崩落特性与矿体本身自稳性, 执行分层开采原则能够有序安排回收。与此

【作者简介】徐帆(1993-), 男, 中国山东招远人, 本科, 助理工程师, 从事采矿专业研究。

同时,将部分矿石暂时保留在矿房中,有利于为后续回采提供支撑体,使围岩趋于稳定。总而言之,选择地下矿开采方法时,应将环保要求、围岩稳定性与矿体赋存条件进行充分考虑,只有这样,才能确保矿山开采与生态环境治理同步并举。

3 地下矿开采中爆破技术的优化

3.1 深孔爆破技术

深孔爆破技术在地下矿开采中得到广泛应用。在施工过程中,需要根据矿体赋存特征设计钻孔,并选择潜孔钻机或高精度液压钻机辅助,以确保钻孔位置趋于均匀、准确。具体而言,在前期阶段,进行详尽的地质勘测势在必行。如钻孔最佳布置方案可以采用三维地质建模技术优化,旨在确保方案与岩体结构特性相适应。钻孔过程中,需要配置激光导向系统、随钻测斜仪等高精度钻孔轨迹监测设备,一旦钻孔直径超出 102mm~250mm 安全阈值,应立即校正钻孔。在钻孔排距与间距方面,调整策略应基于爆破效果反馈、节理裂隙分布和岩体抗压强度进行,旨在确保岩体均匀破碎,减少大块岩石残留概率。另一方面,15m~50m 之间为合理钻孔深度,因为过深有可能影响炸药填充均匀性,对传递爆破能量造成负面影响;过浅则面临爆破强度不足,降低岩体破碎效果。其次,面向软硬不均地层或复杂矿体时,需要科学调整冲液流量、钻压及钻速等,并采用多级钻进方式,确保钻孔连通性与垂直度,为均匀装药奠定基础。完成钻孔后,进入孔深复测环节,对于孔斜对爆破效果的影响可以采用数值模拟技术结合测斜仪数据分析,为是否进行装药结构调整与补钻提供理论依据。值得一提的是,保障钻孔清洁是关键一步,因此在装药前,孔内碎屑与岩粉必须采用冲洗液或高压空气进行清理,旨在充分填充炸药,提高爆破能量利用率。

在深孔爆破装药过程中,优化其工艺至关重要,旨在确保冲击波控制在安全范围内且爆破效果均匀。这一过程需要将周边围岩稳定性、岩石坚固性和矿体厚度纳入考量范畴。通常定向起爆采用的是铵油炸药或乳化炸药,并通过塑料导爆管或聚能管提升爆破能量利用率。另外,间隔装药与连续装药为常见装药结构,采用间隔装药时需要合理选择泡沫填充材料或膨胀粘土等间隔介质,从根本上优化爆破块度与降低震动频率。与此同时,在装药密度控制方面,可以从岩体抗拉强度与炸药能量特性着手,通常控制在 $0.6\text{kg}/\text{m}^3 \sim 1.2\text{kg}/\text{m}^3$,有助于确保爆破能量均衡释放,避免过量装药导致围岩过度破坏。为了促进爆破能量传递效率,可以采用水泥砂浆、膨胀粘土进行封孔,旨在抑制气体泄漏带来的能量损失。

3.2 微差爆破技术

在地下矿井开采过程中,微差爆破技术扮演重要角色。首先,精细设计微差爆破网络是重要一环,可以通过精准调控延期时间间隔优化爆破网络布局,通常达到毫秒级,旨

在高精度控制逐孔起爆。在初级阶段,微差时间间隔可以基于地质结构特性、岩体力学参数进行分段设计,通常控制在 2ms~25ms 之间。为了避免冲击波集中叠加破坏围岩,改善炮孔间的起爆顺序是关键,可以基于岩体波速测试数据分析,以期推进波及效应形成。在布置阶段,可以预先模拟爆破波传播路径,基于不同条件下传播路径分析,这涉及相关数值收集与模型构建,通过优化炮孔排列方式,确保岩体内爆破应力扩展均匀,使解体效果最大化。值得注意的是,在爆破现场,毫秒级延期时间可以利用微差导爆管、高精度电子雷管提升其稳定性,防止爆破同步性受雷管误差影响。与此同时,对雷管的实际起爆时间进行动态监测,可以引入起爆测试系统实时修正数据偏差,确保预期方案与爆破效果趋于一致。

其次,采用分段装药方式,并将空气间隔设置在孔底和孔口区域,旨在控制岩体内爆炸波传播速度,避免冲击波瞬时叠加。对于爆破振动波峰值的优化,通过爆破参数调整可以实现。例如,炸药种类的选取可以基于岩体力学特性调节炸药单耗,使破碎能量在岩体内部均衡扩散。此外,爆破试验能够降低振动影响程度,帮助调整微差时间参数与装药结构,进而将影响因素控制在安全范围。例如,当爆破施工现场的地质条件较复杂时,可以采用爆破模拟计算,并结合多点同步测振技术实现爆破参数优化,使爆破扰动降至最低。为了提升矿石回收率,优化矿石起爆顺序势在必行。具体而言,调整辅助孔和主爆孔的起爆顺序时,可以基于结构稳定性与岩体物理特性进行考量,旨在推动破碎效应与爆破应力波形成渐进释放模式。布设炮孔时,应遵循“边缘孔先起爆,内部孔后起爆”或“主爆孔先起爆,辅助孔后起爆”原则,这样有助于在适量爆破能量下矿石自然解体,从根本上防止过度冲击造成细粒矿石增加。

3.3 光面爆破技术

在地下矿开采过程中实施光面爆破技术有助于提升出矿效率。以下对光面爆破技术的控制要点进行详细说明:首先,将光面孔均匀设置在爆破轮廓线上,并精准控制钻孔参数。一般情况下,32mm~42mm 之间为光面孔的直径范围,为了确保钻孔精度,可以采用导向钻机或液压钻机降低孔位偏差,确保爆破效果最大化。其次,钻孔过程中,需要全流程监测钻孔作业,尤其是光面孔的排列均匀性可以通过激光导向仪实时校正,防止孔位偏差造成不规整爆破轮廓面。在钻孔过程中,围岩稳定性是一个不可忽视因素,进行孔距优化时,应控制在 300mm~500mm 之间。如果围岩完整性较高,那么孔距可适当增加,旨在降低炸药对围岩损坏;反之,面向围岩相对破碎或节理裂隙发育地层,孔距可适当缩小,为爆破出平整轮廓面奠定基础。在掘进过程中,要求掘进进尺与钻孔深度保持一致,同时深度误差不得超过 $\pm 10\text{mm}$,旨在确保爆破轮廓质量不受欠挖或超挖现象影响。钻孔结束后,基于设计要求审核孔深质量,可以采用超声波测孔仪或

内窥镜检查,将孔壁不稳定、钻孔塌孔等不确定因素排除在外,为后续装药施工打下坚实基础。

低密度炸药在光面爆破过程中受到广泛青睐,其核心优势体现在能够降低爆破应力波对围岩的损坏。其中,硝酸炸药、乳化炸药为常见炸药类型,炸药的猛度与爆速可以根据围岩的完整性和硬度配置。例如,低爆速的炸药适用于软岩条件石层;而完整性较高且岩质较硬的围岩,应选择高爆速炸药,以期获得完整度高的爆破轮廓面。在装药量控制方面,通常采用间隔装药方式,且爆破药量控制在常规的30%~50%之间,并采用膨胀珍珠岩或聚乙烯泡沫间隔,起到防止爆炸气体扩散的作用,为降低安全威胁与环境破坏具有重要意义。与此同时,释放的爆破能量得到有效控制,还能够防止围岩过度破碎。此外,针对围岩条件差异化,优化间隔装药结构必不可少。举例说明:节理裂隙发育的岩体其稳固性相对不足,爆破后面临塌陷、沉降威胁,在此背景下,可适当增加间隔材料厚度以强化围岩耐性;当然,如果岩体相对完整,那么间隔材料可适当减少。通常光面爆破采用的是非电雷管毫秒延期起爆方式,且起爆顺序合理,这样有助于防止光面孔之间相互叠加应力波,为形成光滑、平整的爆破轮廓奠定基础。为了避免二次爆破影响围岩稳定性,设计起爆网络时,应合理选择毫秒延期时间、优化巷道形态,旨在有效控制爆破应力波的作用范围与传播方向。

光面爆破结束后,进入质量检测阶段。首要任务是对爆破轮廓面的平整度进行评估,通常采用现场目测法,同时利用测量法检查欠挖、超挖情况。具体而言,通过目测检查轮廓面是否存在裂纹扩展、凹凸不平等问題,同时利用三维激光扫描仪、全站仪收集爆破断面数据并结合测量法,识别偏差情况。一旦发现超挖,可以从减少炸药填充密度、装药

结构优化,以及调整孔距、钻孔深度等方面入手,最大程度避免爆破扰动围岩。与此同时,如果发现欠挖现象,进一步提升爆破作用是关键,可以通过增加装药量、适当减小光面孔间距实现。完成爆破后产生的浮石必须清理及时,同时采用地质雷达或位移监测仪动态监测围岩状态,一旦发现裂隙扩展或围岩松动现象,立即采取相应的支护措施提升矿房或巷道整体稳定性。包括钢架支护、锚杆支护和喷射混凝土等。使地下矿工程的整体施工质量趋于稳固。

4 结语

综上所述,我们分析了地下矿开采过程中爆破技术的应用与优化策略。通过对深孔爆破、微差爆破及光面爆破等技术的探讨,本文提出了多种有效的优化方案,包括钻孔设计、装药工艺、起爆顺序及爆破效果监控等方面。合理应用这些优化措施,有助于显著提高矿石回采率、保障围岩稳定性,并对环境治理产生积极影响。当然,持续完善安全管理措施还能够为矿山作业提供有力保障。未来,伴随技术持续创新,地下矿开采中的爆破技术将更加智能化、标准化,为矿产资源的高效与安全开采奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 夏修武.露天采矿工程中的采矿技术实践分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(002):000.
- [2] 李洋.煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[C]//贵州煤炭经济2024年论文选编.2024.
- [3] 王海洋.煤矿采矿工程中的采煤工艺与技术解析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.
- [4] 王晓鹏.煤矿采矿工程中井下采矿技术措施分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.