

露天矿山中深孔爆破技术优化研究与应用

戴建东

楚雄州蓝盾民用爆炸物品服务有限公司 云南 楚雄 675000

摘要：露天矿山开采中，中深孔爆破技术是关键环节，其效果直接影响开采效率、成本和安全。本文深入剖析露天矿山中深孔爆破技术现状，从爆破参数、炸药性能、起爆网络、施工工艺等多方面提出针对性优化措施，并结合实际工程案例，阐述优化技术在露天矿山中的应用效果，为露天矿山中深孔爆破技术的进一步发展提供理论与实操参考。

关键词：露天矿山；中深孔爆破技术；优化研究；应用效果

1 引言

露天矿山开采在我国矿产资源开发中占据重要地位，中深孔爆破技术作为露天矿山开采的核心技术之一，承担着破碎矿石、形成采场工作面等重要任务。随着矿产资源需求的持续增长以及对开采效率、安全、环保要求的日益提高，传统中深孔爆破技术已难以满足现代露天矿山开采需求。因此，对露天矿山中深孔爆破技术进行优化研究与应用具有重要的现实意义。

2 露天矿山中深孔爆破技术现状

2.1 技术应用广泛

中深孔爆破技术凭借显著优势，在我国绝大多数露天矿山中得到广泛应用。该技术爆破效率极高，能在短时间内完成大量矿石的爆破作业，相较于传统爆破方式，大大缩短了开采周期。同时，其成本相对较低，无论是设备投入还是爆破材料消耗，都较为经济实惠，能有效降低露天矿山的开采成本^[1]。此外，它适用范围广，能适应不同规模和地质条件的露天矿山开采需求。在大型露天金属矿山，如铁矿、铜矿等，以及非金属矿山，如石灰石矿等，中深孔爆破技术已成为主要的开采手段。通过合理布置炮孔、精确控制装药量等参数，有效提高了矿石的开采量和生产效率，为矿山企业带来了可观的经济效益。

2.2 存在问题

然而，在实际使用过程中，中深孔爆破技术仍面临诸多问题。爆破效果不稳定是较为突出的问题之一，大块率较高，通常大块率可达10%-20%。这些大块矿石需要进行二次破碎，不仅增加了生产成本，还延长了生产周期。爆破振动、飞石等危害控制难度较大，在距离爆破点100-200m范围内，爆破振动速度有时会超过安全标准，对周边建筑物、设施以及人员安全构成威胁。此外，钻孔、装药等作业环节的自动化程度较低，劳动强度大。在钻孔作业中，人工操作占比较大，导致钻孔速

度慢且精度难以保证，影响了后续爆破作业的效果。装药环节同样存在效率低下的问题，人工装药不仅速度慢，还容易出现装药不均匀等情况，影响爆破质量。

3 露天矿山中深孔爆破技术优化措施

3.1 基于地质条件的爆破参数优化

3.1.1 岩石力学性质测试与分析

在爆破前，对矿山岩石进行详细的力学性质测试，包括岩石的硬度、抗压强度、抗拉强度、弹性模量等参数。通过现场取样和实验室测试，获取准确的岩石力学数据。例如，采用压力试验机对岩石试件进行抗压强度测试，采用巴西劈裂法测试岩石的抗拉强度。根据测试结果，将矿山岩石进行分区，针对不同区域的地质特点制定相应的爆破参数。

3.1.2 动态调整爆破参数

根据岩石力学性质测试结果，结合实际爆破效果反馈，动态调整爆破参数。对于坚硬岩石，适当增大孔径、孔深和装药量，减小孔距和排距。例如，当岩石硬度从 $f = 10$ 增加到 $f = 15$ 时，孔径可从115mm增大到150mm，孔深可增加10%-15%，装药量可增加20%-30%，孔距和排距可减小5%-10%^[2]。对于节理裂隙发育的岩石，根据裂隙的分布情况，合理调整炮孔的布置和装药结构。如果裂隙主要沿某一方向发育，可将炮孔布置方向垂直于裂隙方向，并采用间隔装药结构，避免爆破能量沿裂隙面过度集中或泄漏。

3.2 炸药性能优化与选择

3.2.1 研发适合露天矿山的炸药

针对露天矿山的地质条件和爆破要求，研发具有合适爆速、猛度和威力的炸药。例如，开发低爆速、高猛度的炸药，以降低爆破振动，提高岩石的破碎效果。通过调整炸药的配方和工艺，控制炸药的爆速在3500-4500m/s之间，猛度铅柱压缩值达到12mm以上。研制具有良好抗水性能的炸药，以适应露天矿山复杂的水文地

质条件。采用防水包装材料和添加防水剂等方法,提高炸药的抗水性能,确保炸药在潮湿环境下仍能正常起爆。

3.2.2 合理选择炸药类型

根据不同的爆破场景和岩石性质,合理选择炸药类型。在坚硬岩石爆破中,优先选用高威力炸药,如乳化炸药、铵油炸药等,其每立方米岩石炸药单耗可达0.5-0.8kg;在软岩或对爆破振动敏感的区域,选择低威力、低爆速的炸药,如粉状硝铵炸药,其每立方米岩石炸药单耗可控制在0.2-0.4kg。同时,考虑炸药的成本和供应情况,确保经济性和实用性。

3.3 起爆网络优化

3.3.1 采用先进的起爆器材

选用可靠性高、延时精度好的起爆器材,如电子雷管。电子雷管可以实现精确的延时控制,延时精度可达 $\pm 1\text{ms}$ 以内。通过电子雷管起爆系统,能够根据实际需要灵活设置起爆顺序和延时时间,提高爆破效果的可控性^[3]。例如,在大型露天矿山爆破中,采用电子雷管可以实现上千个炮孔的精确起爆,有效降低爆破振动和飞石危害。

3.3.2 优化起爆网络设计

根据矿山的地形、地质条件和爆破要求,设计合理的起爆网络。采用分段起爆、逐孔起爆等方式,使爆破能量在空间和时间上合理分布。通过模拟软件对起爆网络进行优化设计,预测爆破效果。例如,使用LS-DYNA等爆破模拟软件,输入岩石参数、爆破参数和起爆网络参数,模拟爆破过程中岩石的破碎过程、振动传播和飞石运动等情况,根据模拟结果调整起爆网络设计,使爆破振动速度降低20%-30%,飞石距离减少15%-25%。

3.4 施工工艺优化

3.4.1 提高钻孔精度

采用先进的钻孔设备和技术,如全液压钻机、GPS定位系统等,提高钻孔的精度和效率。全液压钻机具有钻孔速度快、钻孔精度高、操作方便等优点,其钻孔速度可达20-30m/h,钻孔垂直度偏差可控制在 $\pm 0.5^\circ$ 以内。GPS定位系统可以实时监测钻孔的位置和角度,确保炮孔的位置和参数符合设计要求。在钻孔过程中,严格控制钻孔的角度、深度和间距,定期对钻孔设备进行校准和维护,保证钻孔质量。

3.4.2 规范装药和填塞工艺

制定严格的装药和填塞操作规程,确保装药的密实度和填塞的质量。采用间隔装药、耦合装药等不同的装药结构,根据岩石性质和爆破要求合理选择。在装药过程中,使用装药器将炸药均匀地装入炮孔,并使用木棍

等工具进行捣实,确保装药密实度达到95%以上。填塞材料应选用干燥、无杂质的砂或黏土,填塞时应分层捣实,填塞长度应符合设计要求^[4]。例如,在装药完成后,先填入0.3-0.5m的炮泥进行初步填塞,然后再填入砂或黏土进行分层填塞,每填入0.3-0.5m捣实一次,直至填塞长度达到要求。

3.5 爆破效果监测与反馈

3.5.1 建立爆破效果监测体系

在爆破后,对爆破效果进行全面监测,包括大块率、根底情况、爆破振动、飞石距离等指标。采用先进的监测设备和技术,如三维激光扫描仪、振动监测仪、高速摄像机等,获取准确的监测数据。三维激光扫描仪可以快速、准确地获取爆破后采场工作面的三维地形数据,通过数据分析软件计算出大块率和根底情况;振动监测仪可以实时监测爆破振动速度、频率等参数,评估爆破振动对周边环境的影响;高速摄像机可以记录爆破过程中飞石的运动轨迹和速度,为飞石危害的评估和控制提供依据。

3.5.2 根据监测结果进行反馈优化

对监测数据进行分析 and 评估,找出爆破过程中存在的问题和不足之处。根据分析结果,及时调整爆破参数、炸药性能、起爆网络和施工工艺等,实现爆破技术的持续优化。例如,如果监测发现大块率较高,可适当增加装药量或减小孔距、排距;如果爆破振动超过安全标准,可调整起爆顺序和延时时间,降低爆破振动强度。

4 露天矿山中深孔爆破技术优化应用案例

4.1 工程概况

某露天矿山主要开采石灰岩,矿体赋存稳定,但岩石硬度较大,普氏硬度系数 $f = 12-15$,节理裂隙较为发育,节理裂隙间距为0.3-1.5m。矿山采用中深孔爆破技术进行开采,原爆破方案存在大块率较高(平均大块率为18%)、爆破振动较大(在距离爆破点150m处建筑物振动速度达到2.8cm/s,超过安全标准2.5cm/s)等问题,影响了开采效率和周边环境安全。

4.2 优化措施实施

地质条件详细调查:对矿山岩石进行了详细的力学性质测试和地质勘察,掌握了岩石的硬度、抗压强度、节理裂隙分布等情况。根据调查结果,将矿山划分为三个区域,针对不同区域的地质特点制定了相应的爆破参数。

爆破参数优化:根据岩石力学性质和分区情况,调整了爆破参数。孔径从原来的115mm增大到150mm,孔深从原来的12m增加到14m,孔距从原来的4.5m减小到4.0m,排距从原来的4.0m减小到3.6m,超深从原来的

25mm增加到35mm。同时,根据岩石的节理裂隙发育程度,合理调整了炮孔的布置方向,使炮孔尽量垂直于主要节理裂隙面。

炸药选择与装药结构优化:选用了高威力、低爆速的乳化炸药,每立方米岩石炸药单耗从原来的0.55kg增加到0.65kg。采用了间隔装药结构,在炮孔底部和中部适当增加装药量,在炮孔上部采用空气间隔装药,空气间隔长度为1.5m。

起爆网络优化:采用了电子雷管起爆系统,实现了精确的延时控制。根据炮孔的布置和岩石性质,设计了合理的起爆顺序和延时时间,采用逐孔起爆方式,延时时间为25ms。通过模拟软件对起爆网络进行优化设计,预测爆破效果,并根据模拟结果进行了适当调整。

施工工艺改进:引进了先进的全液压钻机,提高了钻孔精度和效率。钻孔速度从原来的15m/h提高到25m/h,钻孔垂直度偏差控制在 $\pm 0.5^\circ$ 以内,孔位偏差控制在 $\pm 0.15\text{m}$ 以内。同时,加强了对装药和填塞作业的管理,制定了严格的操作规程,确保装药密实度和填塞质量。装药密实度达到95%以上,填塞长度符合设计要求。

4.3 应用效果

爆破效果显著改善:优化后的爆破方案实施后,大块率明显降低,由原来的18%降低到了4%,减少了二次破碎工作量,提高了开采效率。同时,根底现象得到了有效控制,采场工作面平整度明显提高,台阶高度误差控制在 $\pm 0.2\text{m}$ 以内。

爆破振动大幅降低:通过采用电子雷管起爆系统和合理的起爆顺序,爆破振动强度显著降低。在距离爆破点150m处的建筑物振动速度由原来的2.8cm/s降低到了1.8cm/s,满足了对周边环境振动安全的要求。

飞石距离得到有效控制:优化装药结构和填塞工艺后,飞石距离明显减小。在爆破过程中,飞石最大距离由原来的120m降低到了80m,未出现飞石伤人或损坏周边设备设施的情况,保障了矿山生产的安全。

经济效益和环境效益提升:由于爆破效果的改善,开采效率提高,二次破碎成本降低,同时减少了爆破振

动和飞石对周边环境的影响。经测算,优化后的爆破方案使矿山开采成本降低了15%,生产效率提高了20%,取得了显著的经济效益和环境效益。

结语

本文对露天矿山中深孔爆破技术进行了优化研究与应用,通过深入分析影响爆破效果的主要因素,提出了基于地质条件的爆破参数优化、炸药性能优化与选择、起爆网络优化、施工工艺优化以及爆破效果监测与反馈等一系列优化措施。实际工程案例表明,这些优化措施能够有效提高露天矿山中深孔爆破的效果,降低大块率、爆破振动和飞石危害,提高开采效率和安全性,具有良好的经济效益和环境效益。

随着科技的不断进步,露天矿山中深孔爆破技术仍有很大的发展空间。未来,可以进一步加强对爆破机理的研究,深入探索炸药能量在岩石中的传播和作用规律,为爆破参数的优化提供更科学的理论依据。同时,加大对智能化爆破技术的研发和应用力度,实现钻孔、装药、起爆等作业环节的自动化和智能化控制,提高爆破作业的精度和效率。例如,研发智能钻孔机器人,能够根据地质条件和爆破参数自动调整钻孔角度和深度;开发智能装药系统,实现炸药的精确计量和均匀装药。此外,还应注重环保型爆破技术和材料的研究与应用,减少爆破对环境的污染,实现露天矿山开采的绿色可持续发展。例如,研发低污染、低噪声的炸药和起爆器材,采用水封爆破等环保爆破技术,降低爆破粉尘和噪声的产生。

参考文献

- [1]柴宗杰.露天矿山开采中深孔爆破技术的应用研究[J].新疆钢铁,2024,(02):73-75.
- [2]户方远.某露天矿山深孔爆破改进实践[J].世界有色金属,2024,(19):229-231.
- [3]曾志军,倪泉泉.改善露天矿山深孔爆破效果的技术措施[J].中国金属通报,2024,(07):40-42.
- [4]陈军凯,魏正,郝向军,等.基于EEMD-HHT法的露天矿山深孔爆破振动效应研究[J].金属矿山,2022,(11):77-83.