

煤矿爆破作业的风险评估与安全控制技术

王质彬 刘晴晴 祁瑞祥

新疆雪峰爆破工程有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]露天爆破作业在矿山开采中占据着至关重要的地位,涉及的主要安全风险包括飞石、振动等。随着技术的不断进步,智能化与自动化技术逐步在爆破作业的各个环节得到应用。这些创新技术不仅显著提高了作业的安全性,还有效提升了生产效率,减少了人为失误,从而降低了事故发生的潜在风险。如今,智能爆破设备、自动化监测系统以及数据分析平台的普及,使得作业过程的精准控制与实时调整成为可能。通过对实时数据的采集与分析,管理人员能够对作业中的关键因素进行全面监控,并在第一时间采取相应措施。智能化技术的结合为露天爆破作业的安全管理开辟了新的视角,推动了行业向更加智能与安全的方向发展。

[关键词]爆破作业; 风险评估; 安全控制

DOI: 10.33142/ect.v3i4.16103

中图分类号: TD2

文献标识码: A

Risk Assessment and Safety Control Technology for Coal Mine Blasting Operations

WANG Zhibin, LIU Qingqing, QI Ruixiang

Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Open pit blasting operations play a crucial role in mining, and the main safety risks involved include flying rocks, vibration, etc. With the continuous advancement of technology, intelligent and automated technologies are gradually being applied in various aspects of blasting operations. These innovative technologies not only significantly improve the safety of operations, but also effectively enhance production efficiency, reduce human errors, and thus lower the potential risk of accidents. Nowadays, the popularity of intelligent blasting equipment, automated monitoring systems, and data analysis platforms makes it possible to achieve precise control and real-time adjustment of the operation process. By collecting and analyzing real-time data, management personnel can comprehensively monitor key factors in the operation and take corresponding measures in the first time. The combination of intelligent technology has opened up a new perspective for the safety management of open-pit blasting operations, promoting the development of the industry towards a more intelligent and safe direction.

Keywords: blasting operations; risk assessment; safety control

引言

露天工程爆破作业在矿石开采及土石方工程中具有重要应用。然而,安全性问题一直是行业关注的焦点。传统爆破作业依赖人工经验和手动操作,这种方式在一定程度上限制了作业精度,增加了潜在风险。随着智能化及自动化技术的迅速发展,新的技术手段逐步渗透到爆破作业中,有效提升了作业的安全性与效率。这些技术,特别是智能监测设备和自动化控制系统,使得作业从依赖经验的模式转变为基于数据和精准控制的方式,从而在优化爆破过程的同时,能够及时识别并控制潜在的风险。

1 露天工程爆破作业风险评估

1.1 风险评估的概念与重要性

风险评估是一种系统化的方法,旨在识别、分析并量化潜在风险,以便采取有效的控制措施。在露天工程爆破作业中,需科学识别可能存在的危险因素,评估风险发生的概率及其潜在影响,从而确保作业的安全与稳定。露天爆破作业面临的强烈冲击波、大规模能量释放及复杂地质条件等因素,显著增加了安全事故的风险。精准的风险评

估对作业安全至关重要,能够全面分析作业环境中的不确定性及时发现隐患,并为安全管理提供依据,进而制定有效的控制策略。科学的风险评估不仅有助于识别潜在的危險源,还能为安全管理人员提供预防措施和应急响应方案,从而有效降低事故发生率,同时优化施工效率并减少资源浪费。随着技术的发展,风险评估正朝着智能化和系统化的方向不断演进,为露天爆破作业的安全管理提供更加坚实的支持。

1.2 露天工程爆破作业中的主要风险因素

露天工程爆破作业面临的风险因素涉及多个方面,主要包括人员安全、设备稳定性、环境影响以及施工过程中的不确定性等。在这些风险因素中,爆破振动无疑是最常见且潜在危害最大的因素,强烈的震动不仅可能损坏周围的设备和建筑结构,还可能引发岩体松动,从而增加岩体坍塌的风险,尤其是在地质条件复杂的露天矿区,震动的影 响可能更加显著。爆破设计的合理性也是一个关键因素,如果炸药装药量计算不准确或孔位布置不当,岩石飞散的风险将大幅增加,可能对作业人员以及周边设施造成威胁。露天爆破作业的复杂性还表现在地质条件的不确定性,岩

层硬度、裂隙分布及断层构造等因素使得爆破效果无法完全预测,从而增加了岩体失稳和事故发生的可能性。气象条件对露天爆破安全性也有显著影响。例如,强风可能导致碎石的飞散方向偏移,增加飞石伤害的风险;而暴雨可能影响炸药的性能,降低爆破效果进而影响作业安全。同时,露天爆破作业的高风险特性使得操作人员的技能水平至关重要。若操作人员未能严格遵循操作规范,如错误的引爆顺序、未按规定安全距离操作或引信设置不当,均可能导致严重的安全事故。此外,炸药及引爆装置的存储和管理直接影响作业安全。如果存储不当或管理疏忽,超期使用炸药等情况,将显著增加事故的发生概率。因此,优化露天爆破作业的管理体系,加强技术培训和作业流程的规范化,是降低风险的关键措施。

1.3 风险评估方法与模型

露天工程爆破作业的风险评估依赖系统化分析方法,以确保全面、精准地识别潜在危险。常用评估手段包括定性分析与定量计算,定性分析侧重于专家经验与历史数据,主要用于风险初步识别与分类,常用工具如故障树分析(FTA)与事件树分析(ETA),通过分析事故发生的关键环节及故障路径制定防控措施。定量计算则通过数学模型量化风险发生的概率及潜在后果,常见方法如风险矩阵法与蒙特卡洛模拟。风险矩阵法通过二维表格匹配风险可能性与影响程度,确定风险等级;蒙特卡洛模拟通过随机模拟预测不同工况下的潜在风险。在实际应用中,层次分析法(AHP)与模糊综合评价法也广泛用于风险评估。AHP通过分层决策模型量化风险因素的重要性,实现多目标优化;模糊综合评价法则处理不确定性信息,综合评分评估复杂风险,为安全管理提供适应性分析工具。结合露天爆破作业实际,采用这些方法有助于精准识别潜在危险,为安全管理与应急预案提供理论支持。

2 露天工程爆破作业的安全控制技术

2.1 爆破作业安全管理体系

露天工程爆破作业的安全管理体系是确保作业安全、提升施工效率的核心保障。它不仅在预防风险方面起到至关重要的作用,还直接关系到事故发生的频率和作业顺利进行的保障。一个完善的安全管理体系应涵盖整个爆破作业过程,从作业前的准备、实施中的风险控制,到作业后的评估与优化等各个环节。安全管理的核心在于明确职责分工,建立健全的规章制度。依据露天爆破作业的具体要求,作业单位应制定详细的安全操作规程和应急预案,确保所有人员严格遵守执行。在各环节的管理中,责任应落实到具体人员,特别是在炸药存储、爆破设计、现场监管等关键环节,必须明确指定专人负责,以避免操作失误。在作业现场,特别是在露天爆破的复杂环境中,管理层还应定期组织安全培训,确保操作人员不仅掌握必要的技术技能,还能具备应对突发事件的应急处置能力。安全监控与技术支持是管理体系的重要组成部分,在爆破作业实施

前,作业现场必须进行系统性检查,评估地质条件、气象状况等外部因素对作业的潜在影响,如风速、降水等对爆破安全的影响。在作业过程中,必须配备必要的监测设备,如爆破测振仪、飞石监测装置等,这些设备实时记录爆破振动数据、飞石飞行轨迹等信息,确保作业人员始终处于安全环境中。此外,事故防范与应急响应机制是安全管理体系的关键环节。针对可能发生的突发事件,如爆破异常、飞石伤人等情况,必须建立高效的应急指挥系统及现场处置预案。一旦发生事故,需迅速组织人员疏散、调配救援资源并实施紧急处理,以将损失降到最低,并确保作业继续进行的安全性。通过这些综合的安全控制措施,露天爆破作业的安全性能得到有效保障,从而确保作业过程的顺利实施。

2.2 爆破作业前的安全准备与技术控制

露天工程爆破作业前的安全准备与技术控制是确保作业安全的重要环节,任何疏忽都可能导致不可预见的风险。在作业启动前,必须进行全面的评估,系统地识别潜在的风险因素。地质勘查与环境分析是基础性工作,必须重点关注岩层稳定性、气候条件、风速、降水量等因素,这些变量直接影响爆破的效果、振动的传播路径以及飞石的运动轨迹,从而对作业安全造成潜在威胁。爆破设计与方案的制定应依据露天矿区的地质特征进行精确计算,并经过严格审查确保其合理性与可操作性。炸药类型与用量需结合矿体结构、岩石类型及岩层的密实程度来综合考虑。爆破孔的分布、深度与角度必须确保岩块按照预期方向破裂,避免造成不必要的飞石或矿层不均匀破裂,该方案应由经验丰富的工程技术人员设计,并经过专家论证与现场评估,以确保方案的科学性和可执行性。在技术控制方面,作业前的设备检查至关重要,所有作业设备,包括炸药存储设备、引爆装置、监测设备等,都必须经过全面检查,确保它们符合安全标准,并且按规范进行存储与运输。现场应设置明显的警示标志,划定作业禁区,并采取必要的安全隔离措施,以确保非作业人员远离爆破区域。同时,对作业人员进行安全培训是必不可少的,确保他们充分掌握操作规程,尤其是在应急情况下的应对方法。防范次生灾害是爆破作业前的一个重要安全准备措施。爆破作业可能会产生飞石、粉尘、振动及有害气体,因此,必须提前落实防护策略。作业区域内的工作人员应配备必要的个人防护装备,如护目镜、耳塞、防尘口罩等,以减少爆破过程中对人体的伤害。此外,现场应配置监测设备,实时监控爆破过程中可能释放的有害气体浓度,并通过数据反馈确保环境的安全性。

2.3 爆破作业中的安全监控与应急响应

露天爆破作业中的安全监控与应急响应机制是确保作业安全的关键。及时发现与处置异常情况,决定了事故能否得到有效遏制。实时监控在作业过程中至关重要,尤其是在震动、飞石等高风险阶段。作业现场需配备高精度监测设备,如爆破测振仪、飞石监测器、边坡监测仪及环

境传感器等,动态追踪安全参数。一旦发现异常,系统会自动发出预警,提示作业人员及时采取应对措施^[1]。例如,振动超标导致对边坡岩体造成影响时,立即停止作业并采取安全措施后撤离至安全区域。指挥人员通过无线通讯系统实时获取数据,确保作业进展符合安全要求,出现异常立即调整。应急响应机制是保障安全的重要环节,作业前应制定详细的应急预案,涵盖飞石伤害、火灾、滑坡等突发风险,明确应对流程与疏散路线,并确保现场工作人员能迅速撤离至安全区。预案还需包含紧急救援程序与设备,如救援车辆、急救包等。应急响应团队需定期演练,确保事故发生时能迅速反应,减少伤害与财产损失。通过完善的监控与应急响应机制,可有效降低安全隐患,确保作业顺利进行。

3 智能化与自动化技术在露天工程爆破作业中的应用

3.1 智能爆破设备与技术

随着科技的不断发展,智能化技术在露天工程爆破作业中的应用越来越广泛,已成为提高安全性与作业效率的关键手段。智能爆破设备集成了高精度传感器、现代通信技术以及自动化控制系统,使得爆破作业的全过程能够实现精准操控与动态监测。与传统设备相比,智能化系统不仅在安全性能上有了显著提升,还能够适应复杂的地质环境,执行更加精细的爆破作业。以智能爆破系统为例,依托全球定位系统(GPS)与高精度钻孔技术,智能爆破系统确保了爆破孔的精准布置和深度控制。通过内置传感器,系统能够实时获取孔深、孔位、角度及岩层密度等关键数据,从而优化炸药装填方案与爆破设计。这一技术不仅提升了爆破效果,还有效减少了因设计缺陷引发的次生风险。在复杂的露天地质环境中,智能爆破系统能够适应不同岩层的变化,确保爆破作业的精准度与安全性。智能引爆技术在提升作业精准度和安全性方面同样发挥了重要作用,借助无线遥控技术,操作人员能够在安全距离外完成引爆作业,减少了人员误操作的风险,同时降低了操作人员直接暴露在高危环境中的概率^[2]。智能引爆设备配合专门开发的爆破设计编制软件能够实时监控爆破产生的振动强度及飞石轨迹等数据,并将其反馈至控制系统。这为后续的风险评估和作业优化提供了科学依据,进一步提升了爆破作业的安全性和可靠性。智能监测系统在现代露天爆破作业中已经成为不可或缺的核心组成部分,通过无线传感器网络,监测系统能够实时传输振动幅度、温度等作业参数至远程指挥中心,供管理人员进行实时分析与研判。在爆破过程中,一旦监测到振动超标等异常情况,系统会自动发出预警信号,指引现场工作人员采取相应的安全防护措施。这种技术手段有效降低了作业风险,确保了作业环境的稳定性与可控性。

3.2 自动化监测与数据分析系统

在露天工程爆破作业中,自动化监测与数据分析系统

的应用显著提升了作业的安全性与科学决策水平。通过高精度传感器与实时数据采集技术,该系统能够全面监测作业过程中的关键指标,包括振动幅度、飞石运动轨迹等,确保作业环境始终保持在安全可控的范围内。自动化监测系统的核心由无线传感器网络构成,这使得各类现场数据能够实时传输至中央控制平台,从而实现对爆破前后地面振动强度的动态跟踪。具备即时风险评估功能的系统能够迅速检测出振动超标、飞石脱落等异常情况,并自动发出预警,提醒作业人员采取应对措施^[3]。与传统依赖人工监测的方式相比,自动化监测技术消除了监测滞后性与盲区,使得潜在风险能够在早期阶段被及时识别并处理,减少了人为错误和监控死角。尤其在露天爆破现场,外部环境因素如天气变化、地质条件的多变性增加了风险复杂度,自动化监测系统的实时响应极大增强了作业的安全性。数据分析系统进一步深化了露天爆破作业的科学管理。通过大规模数据的采集与深度解析,该系统能够识别爆破振动的传播模式、岩体破裂响应的特征等关键规律,为优化爆破设计提供精准的参数支持。例如,系统可以根据实际爆破效果的反馈数据,分析振动的传播路径和飞石的飞行轨迹,帮助设计人员调整爆破孔的布置与炸药装填方案,避免不必要的环境和安全风险。此外,基于数据模型的计算分析,管理人员能够更有效地评估作业的安全性,从而制定更具针对性的风险控制策略,确保爆破作业更加符合实际需求,最大化地保障作业人员和周围环境的安全。智能数据系统的优势不仅体现在即时监测与分析,还涵盖了对历史数据的积累与优化功能。通过分析过往的爆破案例,系统能够自适应学习并提出作业模式的改进建议,形成科学的爆破优化方案,从而持续提升作业的安全性与效率。

4 结语

随着智能化与自动化技术的不断进步,露天工程爆破作业的安全性和效率取得了显著提高。借助精准的监测设备与数据分析系统,作业过程中潜在风险得以及时识别与有效控制,确保了作业的精确性与安全性。随着技术的不断优化与发展,未来爆破作业将朝着更加智能化和高效的方向发展,进一步推动安全管理水平和作业效率的提升。

【参考文献】

- [1] 栗婧,吴斌,朱经政,等.基于蒙特卡罗方法的煤矿爆破作业风险评估[J].煤矿安全,2024,55(4):236-244.
- [2] 于鹏,陈小雨,李志.煤矿爆破一氧化碳产生机制及控制技术研究[J].安徽科技,2023(5):52-55.
- [3] 杨玉超.露天煤矿爆破技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):19-21.

作者简介:王质彬(1993.4—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:土木工程,当前就业单位:新疆雪峰爆破工程有限公司,职称级别:助理工程师。