

数字化技术在矿山爆破作业中的应用与探索

施 维 权政浩

浙江秦核环境建设有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘 要：矿山爆破作业是矿业开采的关键环节，直接影响资源开采效率与安全生产。本文聚焦数字化技术在矿山爆破作业中的应用与探索。详细阐述了三维建模、大数据与人工智能、物联网、数码电子雷管等关键技术，分析其在爆破方案设计、施工过程监控、安全管理与风险预警、爆破效果评估等环节的重要应用。同时，探讨了数字化技术在矿山爆破作业中的智能化、与物联网融合、绿色爆破技术发展以及标准化规范化等未来发展趋势，旨在为矿山爆破作业的数字化转型和高效安全发展提供参考。

关键词：数字化技术；矿山爆破作业；应用与探索

引言：矿山爆破作业作为矿山开采的核心环节，对矿山生产效率、资源利用率和安全保障至关重要。传统爆破作业依赖人工经验，存在设计精度低、参数优化难、安全风险高等问题。随着科技进步，数字化技术逐渐渗透到矿山领域。将数字化技术引入矿山爆破作业，能够精准把控爆破各环节，提升爆破效果，降低安全隐患，推动矿山行业向智能化、绿色化方向迈进，具有重要的现实意义和应用价值。

1 矿山爆破作业概述

矿山爆破作业是利用炸药的爆炸能量对岩石或矿石进行破碎、开挖，以达到开采、掘进等目的的一种矿山开采关键技术手段。其目的在于高效地将地下的矿产资源转化为可利用的原料，满足工业生产对各类矿石的需求。在实际操作中，常用的爆破方法包括浅孔爆破、深孔爆破、硐室爆破等。浅孔爆破适用于小型矿山或开采量较小的作业场景，炮孔深度较浅，操作相对简便；深孔爆破则常用于大型露天矿山，炮孔深度大，一次爆破量大，能有效提高开采效率；硐室爆破通常用于大规模的土石方开挖工程，通过在地下开挖硐室装填炸药进行爆破。矿山爆破作业在整个矿山开采过程中具有举足轻重的地位。一方面，它直接决定了矿石的开采效率，高效的爆破作业能大大缩短开采周期，提高矿山的产能；另一方面，爆破效果的好坏影响着矿石的破碎程度和块度分布，合理的爆破能使矿石破碎均匀，便于后续的选矿、运输等工序，提高资源利用率。然而，传统的矿山爆破作业存在诸多弊端。过度依赖人工经验，导致爆破方案的设计缺乏精准性，难以根据复杂多变的地质条件进行科学调整。爆破参数优化困难，易造成炸药浪费或爆破效果不佳。同时，安全风险较高，爆破过程中的飞石、振动、粉尘等对周边环境和人员安全构成威胁，且

传统监测手段难以实时准确地掌握爆破安全状态^[1]。

2 数字化技术在矿山爆破作业中的关键技术

2.1 三维建模技术

三维建模技术是通过矿山地形、地质构造及爆破区域进行数据采集，运用专业软件构建出逼真的三维模型。在矿山爆破作业中，可利用全站仪、三维激光扫描仪等设备获取精确的空间坐标数据，这些数据涵盖了岩石的走向、倾角、断层分布等关键地质信息。工程师借助三维模型，能直观地观察到爆破区域的全貌，精准规划炮孔位置。例如，在复杂的山区矿山，通过三维建模可清晰呈现山体的起伏状况，避免炮孔布置在地质薄弱或危险区域，提高爆破设计的科学性。同时，还能根据模型模拟不同爆破方案下岩石的破碎效果，提前预测可能出现的问题，如飞石的散落范围、爆破振动的影响区域等，从而优化爆破方案，减少资源浪费和安全隐患。

2.2 大数据与人工智能技术

大数据技术在矿山爆破作业中，收集海量的爆破数据，包括不同地质条件下的爆破参数、炸药类型及用量、爆破效果等信息。人工智能技术则基于这些数据进行深入度学习，建立爆破参数与爆破效果之间的关联模型。例如，利用机器学习算法对大量历史数据进行分析，可得出在特定岩石硬度、地质构造下最适宜的炮孔间距、排距以及装药量等参数。在实际爆破作业时，系统根据实时采集的地质数据和现场条件，运用已训练好的模型快速生成精准的爆破方案，实现爆破参数的智能化调整。而且，人工智能还能对爆破过程中的异常情况进行预警，如通过分析振动数据、应力数据等，及时发现可能引发安全事故的隐患，保障爆破作业安全、高效进行。

2.3 物联网技术

物联网技术将矿山爆破作业中的各类设备、传感器和人员连接成一个网络。在爆破施工现场,通过在钻机、炸药运输车辆、爆破器材等设备上安装传感器,实时采集设备的运行状态、位置信息以及炸药的存储环境参数等。这些数据通过无线网络传输至监控中心,管理人员可远程监控设备的运行情况,及时发现设备故障并安排维修,确保爆破施工的连续性。同时,借助物联网技术,还能对爆破作业人员进行定位和轨迹跟踪,保障人员安全。在爆破作业时,可通过物联网实现对起爆系统的远程控制,减少人员在危险区域的停留时间,提高作业安全性。并且,物联网收集的数据还能后续的爆破效果分析和技术改进提供依据。

2.4 数码电子雷管技术

数码电子雷管是一种新型的起爆器材,它通过内置的电子芯片精确控制起爆时间。在矿山爆破作业中,数码电子雷管可实现高精度的延期起爆,每个雷管的起爆时间可精确到毫秒级甚至微秒级。相比传统雷管,其能更灵活地调整爆破顺序和时间间隔,根据不同的爆破需求,设计出复杂且精准的起爆网络。例如,在多排炮孔爆破时,通过合理设置数码电子雷管的起爆时间,可使岩石逐排依次破碎,减少岩石之间的相互挤压和碰撞,提高岩石的破碎质量,降低大块率。同时,数码电子雷管的安全性更高,其电子芯片具有密码识别和加密功能,有效防止误起爆和非法起爆,大大提升了爆破作业的安全系数。

3 数字化技术在矿山爆破作业中的关键应用环节

3.1 爆破方案设计

在爆破方案设计环节,数字化技术发挥着至关重要的作用。借助三维建模技术,能够精确构建矿山地质模型,清晰呈现岩石结构、断层分布等信息,为爆破方案提供直观且准确的地质依据。工程师可在模型上模拟不同爆破参数下的爆破效果,如炮孔间距、排距、装药量以及起爆顺序等。通过大数据与人工智能技术,分析以往类似地质条件下的成功爆破案例,生成初始爆破方案,并利用数值模拟软件进行优化。例如,在面对复杂地质的矿山开采时,通过对海量数据的分析,智能算法能快速给出适宜的爆破参数组合,极大提高了爆破方案设计的科学性与精准性,避免了因经验不足导致的方案失误,有效降低爆破成本,提升开采效率^[2]。

3.2 爆破施工过程监控

数字化技术实现了对爆破施工过程的全方位实时监控。物联网技术将施工现场的各类设备,如钻机、装药车、起爆设备等连接起来,通过传感器实时采集设备的

运行参数,如钻孔深度、角度、炸药装填量等。这些数据实时传输至监控中心,管理人员可远程查看设备运行状态,及时发现异常情况,如设备故障、参数偏差等,并进行远程调控。同时,利用高清摄像头和无人机航拍,对施工现场进行可视化监控,掌握施工进度和现场情况。例如,当发现钻机钻孔角度偏差时,可立即通知现场操作人员进行调整,确保爆破施工严格按照设计方案执行,保障施工质量和施工安全,减少因施工过程问题导致的爆破事故和工期延误。

3.3 安全管理与风险预警

安全管理是矿山爆破作业的重中之重,数字化技术为其提供了强大的支持。智能监测系统利用传感器实时采集爆破作业现场的振动、噪声、粉尘浓度、飞石等数据,并通过数据分析进行风险评估。一旦数据超过预设的安全阈值,系统立即发出预警信号,通知现场人员采取相应措施。大数据与人工智能技术还能对历史安全数据进行分析,预测潜在的安全风险。例如,通过分析不同地质条件下爆破振动的传播规律,结合当前爆破参数,预测爆破振动对周边建筑物和人员的影响范围,提前做好防护措施。同时,利用物联网技术对爆破器材的运输、储存和使用进行全程跟踪管理,确保爆破器材的安全,有效降低安全事故发生的概率。

3.4 爆破效果评估

爆破效果评估是检验爆破作业质量的关键环节,数字化技术使评估更加全面、准确。爆破后,利用三维激光扫描技术对爆堆进行快速扫描,生成爆堆的三维模型,精确计算爆堆的体积、形状以及岩石的块度分布。通过对比爆破设计方案与实际爆破效果,分析爆破参数的合理性。结合传感器采集的爆破振动、飞石等数据,评估爆破对周边环境的影响程度。大数据分析技术还能对多次爆破效果数据进行综合分析,总结经验教训,为后续爆破作业提供参考。例如,通过对大量爆破数据的分析,找出影响岩石破碎效果的关键因素,进一步优化爆破参数,持续提升爆破作业的质量和效率,实现矿山开采的可持续发展。

4 数字化技术在矿山爆破作业中的发展趋势

4.1 智能化发展

在未来,数字化技术在矿山爆破作业中的智能化发展将愈发显著。随着人工智能技术的不断进步,爆破作业系统将具备更强的自主决策能力。智能算法能够依据实时采集的矿山地质数据、设备运行状态以及环境参数等,自动生成精准且优化的爆破方案。例如,在爆破前,系统可通过对海量历史数据的深度学习,快速准确

地判断不同地质条件下最适宜的爆破参数,包括炮孔布置、装药量、起爆顺序等,无需人工过多干预。在爆破过程中,智能监测设备会持续收集各类数据,并根据预设的模型和算法对爆破效果进行实时评估和调整。一旦发现实际情况与预期不符,系统能迅速做出反应,自动优化后续爆破步骤,确保爆破作业始终保持在最佳状态,极大地提高爆破效率和安全性,降低人力成本和潜在风险。

4.2 与物联网技术融合

数字化技术与物联网技术的深度融合将为矿山爆破作业带来全新变革。物联网技术能将矿山爆破作业涉及的所有设备、人员以及环境要素连接成一个庞大的网络。在施工现场,各类设备如钻机、装药车、起爆器等都将配备智能传感器,实现设备运行状态的实时监测与数据传输。管理人员可通过远程终端随时随地了解设备的工作情况,如设备故障、运行参数异常等,及时安排维修和调整,保障施工的连续性。同时,借助物联网技术,还能对爆破作业人员进行精准定位和轨迹跟踪,确保人员安全。在爆破器材管理方面,从生产、运输到储存和使用的全过程都能实现信息化监控,有效防止爆破器材的丢失、被盗以及不当使用。此外,物联网收集的大量数据还能数字化技术的应用提供更丰富的信息基础,进一步优化爆破方案和作业流程。

4.3 绿色爆破技术发展

随着环保意识的日益增强,绿色爆破技术成为矿山爆破作业的重要发展方向,数字化技术在其中发挥关键推动作用。利用数字化模拟技术,能够对爆破过程中的飞石、粉尘、振动等有害因素进行精准预测和控制。例如,通过数值模拟分析不同爆破参数下飞石的散落范围和粉尘的扩散程度,从而优化爆破方案,减少飞石和粉尘对周边环境的影响。同时,借助智能监测系统,实时监测爆破作业现场的环境参数,如粉尘浓度、噪声强度等,一旦发现超标,立即采取相应的降尘、降噪措施。此外,数字化技术还能助力研发新型环保爆破器材和工

艺,如低污染、低噪声的炸药,以及更先进的空气间隔装药技术等,从源头上降低爆破作业对环境的负面影响,实现矿山开采与环境保护的协调发展。

4.4 标准化和规范化

为确保数字化技术在矿山爆破作业中的有效应用和可持续发展,标准化和规范化是必然趋势。一方面,需要制定统一的数据标准和接口规范,使不同厂家生产的数字化设备和软件能够实现数据共享和交互。例如,规定三维建模数据的格式、传感器采集数据的传输协议等,避免因数据不兼容导致的信息孤岛问题,提高数字化系统的集成度和通用性。另一方面,建立完善的爆破作业数字化操作规范和安全标准,明确从爆破方案设计、施工过程监控到爆破效果评估等各个环节的操作流程和安全要求。通过标准化和规范化,能够加强对矿山爆破作业的监管,提高作业质量和安全性,促进数字化技术在矿山行业的广泛推广和应用,推动整个矿山行业的健康发展^[3]。

结束语

综上所述,数字化技术已深度融入矿山爆破作业的各个环节。从利用三维建模、大数据等关键技术优化爆破方案,到借助物联网实现施工监控与安全管理,再到推动智能化、绿色化发展,数字化技术全方位提升了爆破作业的效率、安全性与环保性。尽管当前应用仍面临挑战,但随着技术的持续进步以及标准化、规范化体系的完善,数字化技术必将在矿山爆破领域发挥更大作用,助力矿山行业迈向高质量、可持续发展的新征程。

参考文献

- [1]王明. 矿山爆破作业风险评估与控制策略研究[J]. 矿业工程研究, 2023, 48(3): 45-54.
- [2]李强, 张伟. 矿山爆破作业风险管理与控制研究[J]. 安全科学与技术, 2023, 15(7): 62-70.
- [3]刘芳, 赵军. 矿山爆破作业风险评估的方法与应用[J]. 矿山安全与环保, 2023, 35(5): 78-84.