

露天煤矿边坡稳定性评估与智能防护技术研究

吕瑞雪

内蒙古亘生矿业工程技术研究有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要：露天煤矿开采中，边坡稳定性是保障安全生产的关键。本文研究通过集成地质调查、工程地质勘探、数值模拟等手段评估边坡稳定性，并探讨智能感知、智能分析与智能决策技术在边坡防护中的应用。研究旨在建立多因素多模式智能识别模型，实现边坡灾害的精准预警与智能防护，以提高露天煤矿开采的安全性和经济性，为露天煤矿的可持续发展提供技术支持。

关键词：露天煤矿；边坡稳定性评估；智能防护技术

引言：随着露天煤矿开采规模的扩大，边坡稳定性问题日益凸显，对矿山安全构成严重威胁。本文旨在综合评估露天煤矿边坡稳定性，并探索智能防护技术的应用，以期为矿山灾害预防提供科学依据。通过深入研究，我们期望构建一套高效的边坡稳定性评估体系，结合智能技术实现实时监测与预警，保障矿山作业安全，推动露天煤矿开采向智能化、安全化方向发展。

1 露天煤矿边坡稳定性评估

1.1 边坡稳定性评估的重要性

(1) 边坡失稳带来的地质灾害与经济损失。边坡失稳可能导致滑坡、崩塌等地质灾害，这些灾害不仅威胁到矿山作业人员的生命安全，还可能对周边的工业设施、居民区等造成严重影响。此外，边坡失稳还可能引发设备损坏、停产等经济损失，给煤矿企业带来沉重的经济负担。因此，进行边坡稳定性评估是预防地质灾害、保障人员安全和减少经济损失的重要措施。(2) 稳定性评估对指导开采活动的意义。通过边坡稳定性评估，可以了解边坡的当前状态和潜在风险，为开采活动提供科学依据。这有助于企业制定合理的开采计划，优化开采方式，避免在危险区域进行作业，从而降低事故发生的概率。同时，稳定性评估还能为边坡治理和加固提供数据支持，确保开采活动的顺利进行。

1.2 边坡稳定性影响因素分析

(1) 自然因素。地质构造、地形地貌、降雨量、温度变化等自然因素都会对边坡的稳定性产生影响。地质构造复杂的区域，边坡的岩土体性质往往较为脆弱，易发生变形和破坏。地形地貌的变化也会影响边坡的坡度和坡向，从而影响其稳定性。降雨量和温度变化则会影响岩土体的含水量和物理力学性质，进而影响边坡的稳定性。(2) 人为因素。开采活动、爆破作业、挖掘方式等人为因素也会对边坡的稳定性产生显著影响。不合理

的开采方式和过度的爆破作业会破坏边坡的自然平衡状态，增加其失稳的风险。而挖掘方式的选择也会影响边坡的形状和尺寸，进而影响其稳定性。

1.3 评估方法与技术

(1) 地质调查与工程地质勘探。这是评估边坡稳定性的基础工作。通过地质调查，可以了解边坡的地质构造、岩土体性质、水文地质条件等基本信息。工程地质勘探则进一步揭示边坡内部的岩土体结构、裂隙发育情况等，为稳定性评估提供重要依据。(2) 数值模拟。数值模拟方法如有限元分析、有限差分法等，可以模拟边坡在不同荷载作用下的应力、应变分布情况，预测边坡的变形和破坏趋势。这种方法具有计算精度高、适用范围广等优点，在边坡稳定性评估中得到广泛应用。(3) 边坡稳定性计算。采用瑞典条分法、毕肖普法等方法对边坡进行稳定性计算，可以定量评估边坡的稳定程度。这些方法通过考虑边坡的岩土体性质、结构面发育情况等因素，计算边坡的安全系数或破坏概率，为边坡治理和加固提供科学依据^[1]。

2 露天煤矿边坡智能防护技术研究

2.1 智能防护技术的概述与发展

(1) 智能监测系统的构成与功能。智能监测系统主要由传感器网络、数据采集与处理系统、数据传输网络、监控中心及预警系统组成。传感器网络负责实时监测边坡的位移、变形、应力等关键参数；数据采集与处理系统负责收集、存储和分析传感器数据；数据传输网络确保数据的实时传输；监控中心则负责数据的综合分析和预警信息发布。智能监测系统能够实现对边坡稳定性的全天候、全方位监测，及时发现并预警潜在风险。

(2) 智能化装备在边坡防护中的应用。智能化装备在边坡防护中发挥着越来越重要的作用。例如，无人机倾斜摄影技术能够构建边坡的三维实景模型，为技术人员提

供直观的边坡结构视图；智能全站仪和GNSS接收机能够实现高精度测量，确保边坡监测数据的准确性；自动化注浆设备则能够根据预设参数进行智能注浆加固，提高加固效率和效果。

2.2 智能监测系统

(1) 监测系统设计与实施。智能监测系统的设计与实施需要充分考虑露天煤矿边坡的地质特征、开采条件和环境因素。系统应能够实时监测边坡的关键参数，如位移、变形、应力等，并具备数据自动采集、存储、传输和分析功能。在实施过程中，需要合理布置传感器网络，确保监测数据的全面性和准确性。同时，还需建立完善的数据传输网络和监控中心，确保数据的实时传输和综合分析。(2) 数据采集与传输技术。数据采集与传输技术是智能监测系统的核心。传感器网络负责实时采集边坡的关键参数数据，这些数据需要通过数据传输网络实时传输至监控中心。为了确保数据的准确性和实时性，需要采用高精度传感器和高效的数据传输技术。此外，还需考虑数据的存储和管理问题，确保数据的长期保存和可追溯性^[2]。(3) 数据分析与预警机制。智能监测系统需要对采集到的数据进行深入分析，以评估边坡的稳定性状态。这包括数据预处理、特征提取、模型建立和预警信息发布等环节。通过数据分析，可以及时发现边坡的变形趋势和潜在风险，为预警和加固提供科学依据。预警机制则负责在边坡稳定性出现异常时及时发布预警信息，确保相关人员能够迅速采取应对措施。

2.3 智能化加固技术

(1) 锚杆加固、喷射混凝土加固的智能应用。锚杆加固和喷射混凝土加固是边坡加固的传统方法。随着智能化技术的发展，这些方法也迎来了新的变革。智能锚杆能够通过内置传感器实时监测锚杆的受力状态，为加固效果评估提供数据支持；智能喷射混凝土设备则能够根据预设参数进行自动化喷射，提高施工效率和加固质量。(2) 土石方加固的智能优化。土石方加固是露天煤矿边坡加固的重要手段之一。通过智能化技术，可以实现对土石方加固方案的智能优化。例如，利用数值模拟技术预测土石方加固的效果，为方案制定提供科学依据；利用自动化施工设备实现土石方的精确堆放和压实，提高加固效果和施工效率。(3) 无人驾驶与自动化技术在加固作业中的应用。无人驾驶与自动化技术在加固作业中的应用日益广泛。例如，无人驾驶车辆在边坡加固中的运输作业能够降低人员风险，提高作业效率；自动化注浆设备则能够根据预设参数进行智能注浆加固，确保加固效果和施工质量。这些技术的应用不仅提

高了加固作业的安全性和效率，还为露天煤矿的智能化发展提供了新的动力。

2.4 智能防护技术的效益分析

(1) 提升边坡稳定性效果评估。智能防护技术通过实时监测和预警机制，能够及时发现并处理边坡的潜在风险，从而提升边坡的稳定性。通过数据分析和技术评估，可以对加固效果进行量化分析，为后续的优化和改进提供科学依据。(2) 降低灾害风险与经济损失。智能防护技术的应用能够显著降低边坡失稳引发的灾害风险。通过预警和加固措施的实施，可以有效避免滑坡、崩塌等地质灾害的发生，保护矿山设施及周边居民的安全。同时，智能防护技术还能减少因灾害导致的停产、设备损坏等经济损失，提高矿山的整体经济效益^[3]。(3) 提高开采效率与安全性。智能防护技术的应用不仅提升了边坡的稳定性，还为矿山的开采活动提供了有力的安全保障。通过实时监测边坡的稳定性状态，技术人员可以及时调整开采计划，避免在危险区域作业，从而降低事故发生的概率。同时，智能化装备和无人驾驶技术的应用，提高了加固作业的施工效率和自动化程度，减少了人员参与，进一步降低了安全风险。

3 露天煤矿边坡稳定性与智能防护的综合管理

3.1 综合管理体系构建

(1) 边坡稳定性评估与智能防护技术的整合。边坡稳定性评估是矿山安全管理的基础，而智能防护技术则是实现边坡稳定的有效手段。将边坡稳定性评估与智能防护技术进行整合，意味着在评估边坡稳定性的基础上，运用智能技术实时监测、预警并采取相应的防护措施。这要求评估方法必须科学、准确，能够全面反映边坡的地质特征和力学性质；同时，智能防护技术需具备实时性、高效性和针对性，能够迅速响应边坡稳定性变化。(2) 信息化平台在边坡管理中的应用。信息化平台是综合管理体系的重要支撑。通过集成边坡稳定性评估数据、智能监测数据以及应急处置数据，实现边坡管理的信息化、智能化。信息化平台应具备数据分析、预警发布、应急处置建议等功能，为管理人员提供决策支持。此外，平台还应具备数据可视化功能，使管理人员能够直观了解边坡状态，提高管理效率。

3.2 边坡稳定性动态监测与预警

(1) 实时监测数据的分析与应用。实时监测数据是评估边坡稳定性的关键依据。通过智能监测系统采集的位移、变形、应力等数据，分析边坡的变形趋势和潜在风险。这些数据不仅可以用于验证边坡稳定性评估模型的准确性，还可以为制定智能防护策略提供科学依据。

(2) 预警系统的触发与响应机制。预警系统是边坡管理的重要组成部分。当实时监测数据超过预设阈值时,预警系统应自动触发,发布预警信息。预警信息应包括预警等级、预警区域、建议措施等,确保管理人员能够迅速响应。同时,应建立完善的响应机制,明确各级管理人员的职责和应急处置流程,确保在预警触发后能够迅速、有效地采取措施,降低边坡失稳的风险^[4]。

3.3 应急响应与处置策略

(1) 边坡失稳事件的应急预案制定。针对边坡失稳事件,应制定详细的应急预案。预案应包括应急组织机构、人员分工、应急处置流程、资源调配等内容。预案的制定应充分考虑边坡的地质特征、开采条件以及可能引发的灾害类型,确保预案的针对性和实用性。(2) 应急处置流程与人员培训。应急处置流程应简洁明了,确保在紧急情况下能够迅速启动。同时,应定期对相关人员进行培训,提高应急处置能力和安全意识。培训内容应包括应急预案的学习、应急处置技能的训练以及安全知识的普及等,确保人员在应急处置中能够迅速、准确地完成任务。

4 案例分析与实践应用

4.1 典型露天煤矿智能防护技术应用实例

4.1.1 智能监测系统的部署与运行效果

在某大型露天煤矿,智能监测系统被成功部署并运行。该系统集成了位移、倾斜、应力等多种传感器,能够实时监测边坡的变形情况。通过高精度GPS定位技术和物联网技术,实现了数据的实时采集和远程传输。监测中心接收到数据后,通过专业软件进行分析,能够及时发现边坡的异常变化,为管理人员提供预警信息。该系统自运行以来,已成功预警多次边坡变形事件,有效避免了潜在的安全事故。管理人员根据预警信息,及时采取了相应的加固措施,保障了矿山的安全生产。智能监测系统的应用,不仅提高了边坡管理的效率,还大大降低了安全事故的风险。

4.1.2 智能化加固技术的实施与效果评估

在智能监测的基础上,该露天煤矿还实施了智能化加固技术。通过无人机倾斜摄影技术,获取了边坡的高精度三维模型,为加固设计提供了科学依据。加固过程中,采用了智能锚杆和喷射混凝土技术,通过内置传感

器实时监测加固效果。同时,结合自动化注浆设备,实现了注浆作业的精准控制。智能化加固技术的实施,显著提高了加固作业的效率和质量。加固后的边坡稳定性得到明显提升,变形趋势得到有效控制。通过对比分析加固前后的监测数据,评估了加固效果,为后续的优化和改进提供了有力支持。

4.2 应用中的问题与对策

4.2.1 技术应用中的挑战与限制

尽管智能防护技术在露天煤矿边坡管理中取得了显著成效,但在实际应用中也面临一些挑战。例如,智能监测系统的部署和运行需要较高的技术水平和资金支持;智能化加固技术的适用性和经济性仍需进一步验证。

4.2.2 针对性改进措施与建议

针对上述挑战,建议采取以下改进措施:一是加强技术研发和创新,提高智能监测和加固技术的适用性和经济性;二是加强人员培训和技术交流,提高矿山管理人员和技术人员的专业素养;三是加大政策扶持和资金投入,鼓励矿山企业采用智能防护技术,提高边坡管理的智能化水平。通过这些措施的实施,可以进一步推动智能防护技术在露天煤矿边坡管理中的应用和发展。

结束语

露天煤矿边坡稳定性评估是确保矿山安全生产的关键环节,通过综合考虑自然与人为因素,运用先进评估方法与技术,能有效预防地质灾害。结合智能防护技术,实现边坡稳定性的实时监测与智能加固,进一步提升了边坡管理的效率与安全性。未来,应持续优化评估方法,加强智能技术研发与应用,为露天煤矿的安全生产提供坚实保障,推动矿业智能化发展迈上新台阶。

参考文献

- [1]赵海峰.大煤沟露天煤矿边坡稳定性分析及防治[J].煤矿现代化,2022,(03):36-37.
- [2]张博超,童辉,杜飞.露天煤矿边坡稳定性及智能监测技术研究现状[J].中国矿业,2024,(10):92-93.
- [3]李双.露天煤矿内排土场边坡稳定性分析及基底处理研究[J].科技与创新,2024,(08):83-84.
- [4]李美军.新鑫露天煤矿边坡稳定性分析及建议[J].山东煤炭科技,2024,(15):164-165.