

# 露天煤矿边坡监测技术的创新与发展

李建, 李旺旺, 刘国祯

鄂尔多斯市应急管理局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要:** 本文系统介绍了露天煤矿边坡监测技术, 从基本原理到常用监测技术, 再到创新技术如光纤传感、微震监测等, 并分析了信息化、智能化和遥感技术在未来发展趋势中的重要性。这些内容为露天煤矿边坡监测技术的创新与发展提供了有益的参考。

**关键词:** 露天煤矿边坡监测; 光纤传感技术; 微震监测技术; 遥感技术; 智能监测技术

## Innovation and Development of Slope Monitoring Technology in Surface Coal Mines

Li Jian, Li Wangwang, Liu Guozhen

Ordos Emergency Management Bureau, Inner Mongolia, Ordos 017000

**Abstract:** This paper systematically introduces the monitoring technology of surface coal mine slope, from the basic principle to the common monitoring technology, and then to the innovative technology such as fiber optic sensing, microseismic monitoring, etc., and analyzes the importance of informationization, intelligentization and remote sensing technology in the future development trend. These contents provide useful reference for the innovation and development of surface coal mine slope monitoring technology.

**Key words:** surface coal mine slope monitoring; fiber optic sensing technology; microseismic monitoring technology; remote sensing technology; intelligent monitoring technology

### 引言

露天煤矿边坡稳定性问题一直是矿山安全生产的重要问题之一。传统的边坡监测方法存在一定的局限性, 随着科技的发展, 露天煤矿边坡监测技术得到了不断创新。本文旨在介绍露天煤矿边坡监测技术的创新, 为矿山安全生产提供参考。

### 一、露天煤矿边坡监测技术原理

露天煤矿开展边坡监测, 了解坡体变形规律和滑动特征, 为预警预报、边坡评价与治理提供基础资料。<sup>[1]</sup> 边坡稳定性监测依赖于对边坡地质结构、土体性质、水文条件和外部荷载的综合分析, 通过测量边坡的位移、应力、地下水压力、裂缝发展和声波传播等物理量, 推断边坡内部的应力状态和变形趋势。监测原理包括判断边坡稳定性极限状态, 确定边坡可能发生失稳的时间, 并结合地质勘察数据、力学模型和监测数据综合评估。

此外, 监测原理还包括对监测数据的实时处理、反馈和预警系统的建立, 现代监测技术依赖于自动化和数据驱动的分析方法, 提高监测效率和准确性。

### 二、露天煤矿边坡监测技术的创新

#### (一) 监测技术创新的必要性

随着露天煤矿开采规模的扩大和开采深度的增加, 边坡稳定

性问题日益突出, 对监测技术的需求也日益增长。传统的监测技术往往存在一些局限性, 如监测精度不高、实时性差、数据采集和处理效率低等。因此, 为了提高监测的准确性和效率, 降低监测成本, 监测技术的创新显得尤为重要。<sup>[2]</sup> 此外, 随着科技的发展, 新的传感器技术、数据传输技术、数据分析和处理技术等也为监测技术的创新提供了可能。

#### (二) 新型监测技术及方法

##### 1. 光纤传感技术

光纤传感器技术因其独特的优势, 在露天煤矿边坡监测中发挥着重要作用。这些传感器能够精确测量边坡的位移、应力和温度等关键参数, 其高精度的测量结果为边坡稳定性分析提供了可靠的数据支持。同时, 光纤传感器具有出色的抗电磁干扰能力, 能在复杂的工业环境中稳定工作。此外, 光纤传感器支持远程数据传输, 使得监测数据可以实时传送至监控中心, 便于及时分析和响应。这些特点使得光纤传感器成为露天煤矿边坡监测的理想选择。

##### 2. 微震监测技术

微震监测技术是一种先进的边坡稳定性监测手段, 它通过检

测和分析边坡内部微小的震动事件，能够实时地评估边坡的稳定性状态。这种方法具有很高的实时性，能够迅速捕捉到边坡内部结构的变化，提前预警潜在的风险。<sup>[9]</sup>同时，微震监测技术的监测范围广泛，不受地形和天气的限制，能够覆盖大面积的边坡区域。这种技术的应用，为露天煤矿等地质灾害高风险区域的安全生产提供了重要保障。

### 3. 遥感技术

卫星遥感技术和无人机遥感技术在露天煤矿边坡监测中扮演着重要角色。这些技术能够快速获取大范围区域内边坡的形变、裂缝等关键数据，其监测范围广泛，不受地形和天气的限制。卫星遥感可以提供周期性的全局观测，而无人机遥感则能提供更高分辨率、更灵活的局部监测。这些技术获取的数据更新速度快，有助于及时掌握边坡状况的变化，为灾害预警和决策提供科学依据。

### 4. 智能监测技术

机器学习和人工智能技术在边坡监测数据的实时处理和分析中起着至关重要的作用。通过这些技术，可以快速、准确地从大量监测数据中提取有价值的信息，提高数据的利用效率。机器学习算法能够识别数据中的模式和趋势，而人工智能可以模拟人类的决策过程，对边坡的稳定性进行预测和评估。<sup>[1]</sup>这些技术的应用，不仅提高了监测数据的处理速度，还增强了分析的准确性，为边坡安全管理提供了强有力的技术支持。

### 5. 无线传感器网络

无线传感器网络在露天煤矿边坡监测中展现了其独特的优势。通过在边坡关键位置布置多个传感器节点，该网络能够实现对边坡的全面覆盖和多点监测。这些传感器可以实时地收集位移、应力、温度等多种数据，并支持长期运行，确保了监测数据的连续性和完整性。此外，无线传感器网络的布设相对简便，且数据传输速度快，有助于及时获取边坡的动态变化信息，从而为预防滑坡等灾害提供重要支持。

## (三) 创新技术在实践中的应用案例

1. 天-空-地协同的露天矿边坡智能监测技术：这项技术涉及多平台多模式的协同观测，包括导航卫星 GNSS 在线监测技术、雷达卫星 InSAR 监测技术、光学卫星高分影像监测技术、无人机与 TLS 联合监测技术等。这些技术手段不仅强调监测仪器的先进性、鲁棒性和精度，还注重多手段的时空互补性和过程协同性。例如，辽宁抚顺西露天煤矿特大滑坡、鞍钢鞍千铁矿大型排土场和鞍钢弓长岭铁矿滑坡就是采用这种天-空-地协同观测技术的典型案例。

2. 国能准能黑岱沟矿边坡监测项目：这个项目采用了基于北斗融合的 GNSS 边坡地表位移监测系统。通过开发、部署基于矿山实景三维 GIS 引擎的边坡灾害智能综合管控平台，实现了监测数据的存储和监测数据信息的直观显示。这个项目解决了矿山边坡复杂观测环境下的一系列难题，并推动了从“信息化”向“智能化”的转变。

## 三、露天煤矿边坡监测技术的发展趋势

露天煤矿边坡监测技术的发展趋势主要体现在信息化与智能

化的发展以及遥感技术的应用上。

### (一) 遥感技术在边坡监测中的应用

遥感技术作为一种非接触式、远距离的探测技术，已经在露天煤矿边坡监测中得到了广泛应用。

1. 高分辨率遥感数据的获取：利用卫星、无人机等平台，获取高分辨率的影像数据，提高监测的精度和细节。

2. 多源遥感数据的综合应用：结合不同类型的遥感数据，如光学影像、雷达数据、热红外数据等，实现多角度、多尺度的边坡监测。

3. 遥感与地面监测的结合：将遥感数据与地面监测数据进行融合，实现全方位、多层次的边坡稳定性监测。

4. 遥感数据的实时处理和快速响应：通过遥感技术，实现对边坡状态的快速监测和响应，提高监测的时效性。

### (二) 信息化与智能化发展趋势

#### 1. 数据采集与传输的自动化

数据采集与传输的自动化是监测技术发展的一个重要趋势。<sup>[6]</sup>通过部署大量的传感器和监测设备，可以实现对边坡状态参数的自动采集，如位移、应力、地下水压力等。这些数据通过无线网络技术，如 Wi-Fi、蓝牙、LoRa 等，可以实时传输到数据处理中心，实现数据的快速共享和远程访问。这种自动化数据采集和传输的方式可以减少人工干预，提高监测的效率和安全性。

#### 2. 数据处理的智能化与实时分析

数据处理的智能化与实时分析是监测技术发展的另一个重要趋势。随着大数据处理和分析技术的发展，可以对海量监测数据进行智能处理，提高数据分析的效率和准确性。此外，人工智能和机器学习在监测数据分析中的应用，可以实现对监测数据的实时分析，帮助工程师及时发现边坡稳定性问题，提高预警的准确性。

#### 3. 预警系统的智能化与自动化

预警系统的智能化与自动化是监测技术发展的一个重要方向。基于监测数据和数据分析，可以建立智能预警系统，实现对边坡稳定性状态的实时评估和预警。<sup>[6]</sup>这种智能预警系统可以自动分析监测数据，识别潜在的边坡稳定性问题，并发出预警信息。此外，自动化预警响应机制的建立，可以实现对预警信息的快速响应和处理，降低事故风险。

#### 4. 监测技术在信息化和智能化背景下的挑战与机遇

监测技术在信息化和智能化背景下面临着一些挑战，如技术集成和标准化问题、数据安全和隐私保护的挑战等。然而，这种技术的发展也带来了许多机遇，如技术创新与产业升级、提高监测效率和准确性等。因此，需要不断推动监测技术的创新和发展，以应对这些挑战，并抓住机遇。

### (三) 遥感技术在边坡监测中的应用

#### 1. 遥感技术在边坡监测中的优势

近年来遥感技术的迅猛发展为监测和预测地表沉降提供了新的可能性，特别是卫星遥感技术凭借其广阔的覆盖范围和高效的数据获取能力已成为地表沉降监测的重要手段。<sup>[7]</sup>

遥感技术可以实现对大面积区域的快速监测，无需进入现

场,减少人力和物力成本。<sup>[6]</sup>可以提供高分辨率的影像数据,有助于发现边坡上的微小变化,如裂缝、滑坡等。可以实现对边坡状态的长期监测,有助于分析和预测边坡的稳定性趋势;

还可以结合地面监测数据,实现对边坡状态的全方位、多层次监测。

## 2. 遥感技术在边坡监测中的应用案例

(1)AI 滑坡预警系统:中国成功研发了第一代滑坡仪和智能预警系统,这套系统可以实时采集与滑坡、泥石流等地灾相关的地形变化、降雨量等数据,并在地灾发生前及时向管理员发出预警信号,辅助应急救援。这个系统已经在全国2512处完成试验,预警了15起地质灾害,避免了366人可能因灾伤亡。

(2)雷达遥感技术:武汉大学的研究团队利用雷达遥感监测滑坡形变,这项技术具有非接触式大范围空间连续覆盖和高精度形变测量的优势。研究内容包括雷达遥感在滑坡形变监测中的可行性和适用性分析、大范围滑坡隐患识别、复杂山区滑坡形变测量等。

(3)地质灾害遥感综合监测:中国作为地质灾害频发的国家,利用微波遥感、光学遥感和LiDAR等多源遥感数据进行地质灾害监测和防治。这些技术被广泛应用于地震、滑坡、地面沉降等多种地质灾害的监测中。

(4)无人机遥感技术在露天矿边坡测绘中的应用:利用无人机搭载的数码相机获取边坡序列影像,并依据计算机视觉原理生成边坡体稠密三维点云,实现边坡体三维数字模型的制作。

## (四) 未来发展趋势

1.集成化和多技术融合:未来的监测技术将更加注重多技术的集成融合,如将地面监测、遥感技术、无人机监测等技术相结合,以获得更全面的监测数据,提高监测的准确性和可靠性。

2.信息化和智能化水平的提升:随着信息技术和人工智能技术的发展,监测系统将更加信息化和智能化,包括数据的自动采集、智能处理、实时分析和预警系统的智能化。

3.远程监控和自动化:远程监控和自动化技术将得到更广泛的应用,减少现场人员的工作强度,提高监测的效率和安全性。<sup>[9]</sup>

4.高精度和高分辨率监测:随着传感器技术和遥感技术的发

展,未来的监测技术将提供更高精度和高分辨率的监测数据,为边坡稳定性分析提供更详细的信息。

5.大数据和云计算的应用:利用大数据和云计算技术,实现对海量监测数据的存储、处理和分析,挖掘数据中的有价值信息,为边坡稳定性评估提供科学依据。

6.环境友好型和可持续性监测:未来的监测技术将更加注重环境保护和可持续性,开发对环境影响小的监测设备和方法。

## (五) 面临的挑战

1.技术的复杂性和成本:高精度的监测技术和设备往往成本较高,且需要专业的技术人员进行操作和维护。<sup>[10]</sup>

2.数据的有效管理和分析:随着监测技术的发展,数据的获取量将大大增加,如何有效地管理和分析这些数据,提取有价值的信息,是一个重要的挑战。

3.监测技术的标准化和规范化:目前,监测技术的应用还缺乏统一的标准和规范,需要建立和完善相关的技术标准和规范,以提高监测数据的可比性和可靠性。

4.技术的适应性和灵活性:不同的露天煤矿地质条件各异,监测技术需要具有较强的适应性和灵活性,以满足不同场景的需求。

5.监测技术的普及和培训:新技术的发展和推广应用需要相应的技术人员培训,提高技术人员的技术水平和操作能力。

## 结束语

露天煤矿边坡监测技术的创新与发展是矿业安全生产领域的重要课题。随着我国露天煤矿开采规模的不断扩大,边坡安全问题日益突出,因此,研究和应用先进的边坡监测技术对于保障矿山安全生产具有重要意义。

在过去的几十年里,我国露天煤矿边坡监测技术取得了显著的成果。从最初的依靠人工巡查、观察,到后来的使用传统的监测设备,如倾斜仪、裂缝计等,再到现在的应用现代科技手段,如遥感技术、无人机、三维激光扫描等,边坡监测技术得到了长足的发展。

## 参考文献

- [1] 李卫鹏,刘全胜,刘学宇,等.露天煤矿边坡监测地基雷达技术[J].露天采矿技术,2023,38(04):49-52.DOI:10.13235/j.cnki.ltm.2023.04.013.
- [2] 韦忠跟,徐玉龙,丁辉,等.霍林河北露天煤矿排土场边坡滑坡模式与雷达监测预警[J].现代矿业,2022,38(01):71-74+78.
- [3] 李强.高原煤矿露天边坡监测及预警技术研究[J].科学技术创新,2019,(21):162-163.
- [4] 韦忠跟,徐玉龙,丁辉,等.霍林河北露天煤矿排土场边坡滑坡模式与雷达监测预警[J].现代矿业,2022,38(01):71-74+78.
- [5] 杜康.露天煤矿边坡监测技术应用现状[J].内蒙古煤炭经济,2020,(02):142.DOI:10.13487/j.cnki.imce.016273.
- [6] 王燕涛,邓增兵,左荣虎.边坡形变监测雷达在安家岭露天煤矿边坡安全监测中的应用[J].现代矿业,2020,36(01):167-171.
- [7] 姚维岭,许文佳,杨金中.中国矿山开发环境遥感监测漫谈[J].华北国土资源,2018,(6).
- [8] 董杰,陈影,商枫奇,等.利用遥感技术监测煤矿采空区沉陷水域[J].科技视界,2023,(03):73.
- [9] 吴君飞.物联网感知层技术在露天煤矿边坡监测中应用研究[D].辽宁工程技术大学,2019.DOI:10.27210/d.cnki.glnju.2019.000200.
- [10] 祁金宝.三维激光扫描仪在露天煤矿边坡监测中的应用[C]//中国煤炭学会露天开采专业委员会.第八届露天开采专业科技学术研讨会论文集.国家能源投资集团公司准格尔能源有限责任公司哈尔乌素露天煤矿;2019:6.DOI:10.26914/c.cnkihy.2019.095336.