

地质灾害监测技术现状与发展趋势

王晨

河南省自然资源监测和国土整治院

DOI: 10.12238/jpm.v5i9.7231

[摘要] 在地质条件复杂的地区，地质灾害对人类社会的安全与发展构成了巨大的威胁。传统的地质灾害监测手段已经难以满足现代社会对准确性的需求。在这种背景下，科学技术的发展为地质灾害监测提供了新的解决方案。本文将通过分析当前地质灾害监测技术的现状，探讨其在实际应用中的优势与局限，并展望未来发展趋势，旨在为进一步提升地质灾害防范能力提供理论支持。

[关键词] 地质灾害；监测技术；现状；发展趋势

Current situation and development trend of geological disaster monitoring technology

Wang Chen

Henan Provincial Institute of Natural Resources Monitoring and Land Improvement

[Abstract] In the area with complex geological conditions, geological disasters pose a great threat to the security and development of human society. The traditional geological disaster monitoring methods have been difficult to meet the needs of modern society for accuracy. In this background, the development of science and technology has provided new solutions for geological disaster monitoring. This paper will analyze the current situation of geological disaster monitoring technology, discuss its advantages and limitations in practical application, and look forward to the future development trend, aiming to provide theoretical support for further improving the ability of geological disaster prevention.

[Keywords] geological disaster; monitoring technology; current situation; development trend

引言：

随着地质灾害频发且危害程度加剧，社会对灾害监测的要求日益提高。传统的监测方法由于受限于技术手段，往往无法全面、准确地防范灾害。随着高新技术的迅猛发展，技术水平的提升显著提高了地质灾害监测的效率，并极大地拓展了监测的空间范围，能够更为精确监控潜在灾害。研究人员通过分析当前应用的监测技术，可以为进一步的技术创新提供指导，为地质灾害监测技术的升级换代指明方向，从而制定更加有效的防灾减灾战略。

一、地质灾害监测方法综述

1. 变形监测

常见的变形监测技术包括全球导航卫星系统 (GNSS) 监测、合成孔径雷达干涉 (InSAR) 和传统的地面测量技术。GNSS 监测技术利用卫星信号对地面点进行高精度定位，适用于实时监测滑坡、地面沉降等灾害。InSAR 技术通过对比不同时间段的雷达影像，测量地表的微小形变，尤其适用于大范围区域的灾害监测。这些变形监测方法能够在灾害发生前捕捉到微小的地

质变化，为早期预警提供重要依据。

2. 物理与化学场监测

通过监测地质环境中物理和化学参数的变化，包括地震活动、温度变化等。地震活动监测是物理场监测的一个重要方面，通过记录地震波形和强度，分析地震对地质结构的影响。温度变化和电阻率的监测可以揭示地下岩体或土壤的物理状态变化，预示可能的滑动面或裂隙的生成。化学场监测则通过分析地下水或土壤中气体成分的变化，识别地质活动的化学前兆，如火山活动前甲烷浓度的上升或滑坡前氦气逸出的增加。

3. 地下水监测

地下水的变化往往是地质灾害的前兆之一。通过监测地下水位、地下水流速和水质，可以识别可能的灾害风险。水位的突然上升或下降可能表明地下水系统的剧烈变化，如地下水补给增加或排水通道的阻塞，这些变化可能导致滑坡或泥石流的发生。地下水流速的增加可能意味着地下水压力的增加，导致地表岩体的稳定性降低。溶解性气体或矿物质浓度的变化，可能预示地下岩体的物理化学性质发生变化，进一步加剧地质灾害

害的风险。

4. 诱发因素监测

诱发因素监测包括对降雨量、气象条件等可能触发地质灾害的外部因素的监测。降雨是诱发滑坡、泥石流等灾害的重要因素，通过实时监测降雨量、降雨强度，可以预测灾害的发生风险。气象条件如温度、风速、湿度的变化，也可能通过改变地表的物理状态，诱发地质灾害。人类活动如采矿、建设、灌溉等，改变了自然地质环境的平衡，常常成为地质灾害的诱发因素。通过监测这些外部因素，可以更全面地评估地质灾害的发生概率，制定相应的防范措施。

二、地质灾害监测方法技术现状

1. 传统监测方法的局限性

地质灾害监测方法主要包括地面观测以及人工巡查。这些方法虽然在一定程度上提供了可靠的监测数据，但其局限性日益显现。地面观测往往依赖于观测人员的专业经验，无法做到实时监测，且难以在危险区域持续进行。这些传统方法覆盖范围有限，通常只能监测到特定区域的地质变化，对于滑坡、泥石流等大范围灾害，无法提供足够的预警信息。人工巡查更是受制于环境条件的限制，在天气恶劣或地形复杂的地区，巡查的效率难以保证。这种监测手段的局限性使得灾害发生时，预警信息滞后，难以及时采取有效措施，导致灾害损失难以避免。

2. 传感器网络的应用瓶颈

近年来，随着物联网技术的发展，传感器网络在地质灾害监测中的应用日益广泛。然而，传感器网络在实际应用中也遇到了瓶颈。在偏远山区或恶劣环境下，传感器的安装和维护成本较高，设备的布设难度大，且易受自然条件影响，传感器的寿命难以保证。传感器网络的数据传输依赖于无线通信技术，但在复杂地形下，信号传输的稳定性受到挑战，数据丢失或延迟现象时有发生。传感器网络产生的海量数据需要实时处理，但目前的数据处理技术仍然有限，难以充分利用所有监测数据。这些瓶颈限制了传感器网络在地质灾害监测中的全面应用，迫切需要在技术上进行突破，以提高监测的可靠性。

3. 数据处理与整合的挑战

地质灾害监测过程中，数据处理与整合成为一大挑战。每一种数据来源都有其特定的格式、精度，导致在数据整合时面临诸多困难。多源数据之间的时空不一致性，使得数据融合变得复杂且容易产生误差。不同传感器采集的数据精度各异，处理这些异构数据需要高度复杂的算法，然而现有的处理能力常常无法满足实时处理的需求，导致监测信息的滞后。大量的数据处理依赖人工干预，尤其是在数据清洗、筛选环节，工作量巨大且容易出错。这种依赖于人工的处理方式，不仅增加了操作的复杂性，还降低了数据处理的效率。数据处理过程中，如何从海量数据中提取有用的信息，并将其应用于灾害预测，成

为亟待解决的问题。

三、地质灾害监测技术发展趋势

1. 广泛应用智能传感器网络

研究人员在传感器网络的安装过程中，采用太阳能电池或其他自供电装置，确保传感器能够在野外长期工作，避免频繁更换电池的麻烦，依赖低功耗广域网 (LPWAN) 技术，保障在远距离传输条件下数据的完整性。为了提升系统的可靠性，研究人员在传感器网络的设计中还应使其具备自我诊断能力，一旦某个节点失效，其他节点能够迅速接替其任务，确保数据采集不中断。在数据处理方面，传感器网络采集的海量数据通过边缘计算技术进行初步处理，既减少了冗余数据的传输量，也提升了响应速度。边缘设备可以对监测数据进行过滤和压缩，研究人员可将有价值的信息传输至云端进行进一步分析。云计算平台则对多源数据进行整合，通过数据挖掘技术提取潜在的灾害预警信号。研究人员应设计具备高度灵活性的数据分析系统，以便随着监测需求的变化进行模块化调整。

传感器网络的管理同样至关重要。研究人员需建立常规的维护机制，定期对传感器节点进行维修，确保其长期正常运行。数据传输路径的优化也不可忽视，研究人员必须持续关注网络带宽、数据丢包率等指标，确保传感器网络的高效运转。通过构建一套智能化的网络管理系统，研究人员可以实时监控传感器网络的运行状态，及时发现并排除潜在故障。在技术发展趋势方面，传感器网络正逐步向智能化、微型化和集成化方向迈进。研究人员采用微电子机械系统 (MEMS) 技术，开发出更为小型、低功耗的传感器，以适应复杂多变的地质环境。这些新型传感器不仅需要具备更高的灵敏度和精度，还能够整合多种功能，实现对多参数的同步监测。传感器节点之间通过自组织网络 (Ad Hoc Network) 技术建立动态网络结构，适应恶劣环境下的干扰，从而提升网络的鲁棒性。

2. 推动遥感技术向精细化应用转型

研究人员通过高分辨率卫星遥感技术，获取地质灾害易发区的详细地形，实现对大范围区域的精细监测，采用多光谱成像技术，捕捉地表温度、植被覆盖度、土壤湿度等关键信息，有助于判断地质灾害的潜在发生区域。研究人员利用高光谱遥感技术，通过对不同光谱波段的反射特性进行分析，精确识别出地质构造的微小变化，从而提前捕捉到地质灾害的前兆。为了增强监测的精度，研究人员应用合成孔径雷达 (SAR) 技术，通过电磁波的发射，生成高分辨率的地表位移图，准确定位滑坡、沉降等灾害的发生点。研究人员可将干涉合成孔径雷达 (InSAR) 技术与卫星遥感数据结合，进行地表形变的动态监测，进一步提高对地质灾害的预测能力，通过定期获取同一地区的遥感影像，构建时间序列数据，监测地表环境的变化趋势，将时间序列分析与地质灾害历史数据结合，利用机器学习算

法,分析地质灾害的触发条件。研究人员可应用数据融合技术,将多源遥感数据进行整合,如将光学遥感与雷达遥感数据融合,弥补单一数据源的局限性,生成更加全面的监测结果。对于高山、峡谷等复杂地形区域,研究人员可采用无人机遥感技术获取低空高分辨率影像,提升对小范围区域的监测精度。研究人员还应灵活应对突发性地质灾害,在灾害发生后迅速获取受灾区域的影像,为救援提供第一手资料。

在数据处理方面,遥感技术的发展使得自动化处理成为可能。研究人员通过自动化图像识别技术,对遥感影像中的地质灾害特征进行自动提取,大幅度减少人工干预的时间,采用深度学习算法,分析遥感影像中的复杂模式,识别潜在的地质灾害风险。图像增强技术的应用,进一步提高了遥感影像的清晰度,使微小的地质结构变化也能被精确捕捉。在地质灾害监测系统中,研究人员建立遥感数据的实时处理平台,利用云计算技术对海量遥感数据进行快速处理,确保监测结果的时效性。研究人员可通过遥感数据的三维重建,生成高精度的地形模型,直观展示地质灾害的空间分布。利用三维模型,研究人员可以进行虚拟灾害演练,模拟不同类型地质灾害的发生过程,将遥感三维模型与地质数据、气象数据相结合,进行多因素综合分析,预测地质灾害的发展趋势,为灾害预警提供科学依据。三维地质模型的可视化功能,使复杂的地质数据更加易于理解,为决策者提供有力支持。研究人员通过 GNSS 对地表的精确定位,将遥感影像与实际地理坐标无缝对接,GNSS 技术的高精度定位能力,确保了遥感数据的空间一致性,为多时相数据的叠加分析提供了保障。遥感技术与 GNSS 的融合,使地质灾害的监测从平面到立体、从静态到动态,覆盖范围更加广泛,监测精度大幅提升。研究团队应利用 GNSS 实时动态监测技术,结合遥感数据,形成全方位、全天候的地质灾害监测网络,进一步推动地质灾害监测技术的智能化与现代化发展。

3. 大数据与人工智能技术的深度融合

研究人员可采集来自多种气象数据和历史地质灾害记录等多源数据,通过大数据平台进行高效管理。在数据存储阶段,研究人员可采用分布式数据库技术处理海量数据,确保数据的完整性,利用数据清洗技术,去除冗余数据,保障数据质量的稳定,通过数据挖掘技术,识别数据中潜藏的关联性,为后续的人工智能分析提供丰富的数据基础。研究人员可应用卷积神经网络(CNN)对遥感影像中的地质灾害特征进行自动识别,从中提取滑坡、泥石流等灾害的前兆信息,利用长短期记忆网络(LSTM)对时间序列数据进行分析,预测地质灾害的发生概率,采用支持向量机(SVM)和随机森林等传统机器学习算法,对结构化数据进行分类与回归分析,构建地质灾害风险评估模型,通过算法集成,将多种模型的预测结果进行综合分析,提高预测的准确度。研究人员可通过将多源数据进行融合,弥补

单一数据源的局限性,利用贝叶斯网络和卡尔曼滤波等算法,处理不同数据源之间的时空不一致性,确保数据融合的有效性,形成一个全面的监测数据体系,构建多维数据立方体,整合地表形变、气象变化等多维信息,为人工智能模型提供更丰富的数据输入,提升模型的预测性能。

研究人员通过物联网技术,实现传感器网络与大数据平台的无缝连接,实时获取地表形变、土壤湿度等关键参数,将这些实时数据输入人工智能模型,进行动态分析。一旦模型识别出潜在的地质灾害风险,系统自动触发预警系统,向相关部门和人员发出警报。研究人员可预警系统与应急响应系统结合,自动生成灾害应急预案,指挥救援力量迅速响应。通过云计算平台,研究人员实现预警信息的广泛传播,确保预警信息能够及时传达到所有相关方。通过人工智能技术的自我优化,监测系统能够在不断更新的数据中自动调整模型参数,提升预测的精度。研究人员利用强化学习算法,优化传感器的布设方案,实现监测资源的最优配置。在无人监测区域,研究人员可采用自主学习的人工智能系统,通过无人机、卫星等手段,自动执行监测任务,实时分析数据并生成监测报告。在数据可视化方面,研究人员可利用增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术,将人工智能分析结果以三维可视化的形式展现出来。通过VR技术模拟地质灾害的发生过程,可帮助决策者更直观地理解灾害风险。AR技术则可以在实地监测中叠加实时数据,为现场工作人员提供即时的监测信息。数据可视化技术的应用提升了地质灾害监测系统的用户体验,使复杂的监测结果更易于理解。

结束语

综上所述,地质灾害监测技术在经历了从传统手段到现代高科技应用的巨大变革后,正朝着更加智能化、精准化的方向迈进。通过将先进的遥感技术、大数据分析和人工智能算法相结合,监测系统不仅提高了对地质灾害的预警能力,还为防灾减灾工作提供了更加系统的支持。然而,随着自然环境的日益复杂,未来的监测技术仍需不断优化,确保各项监测手段的有机结合,构建起一套可靠的地质灾害防范体系,为人类社会的可持续发展保驾护航。

[参考文献]

- [1]李利平,贾超,孙子正,刘洪亮,成帅.深部重大工程灾害监测与防控技术研究现状及发展趋势[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(08):2539-2556.
- [2]赵安文,刘奕含.地质灾害监测预警设备现状及未来技术发展方向[J].山西科技,2020,35(02):97-98+104.
- [3]魏少伟.线性工程地质灾害监测新技术及发展趋势[J].铁道建筑,2019,59(02):57-63.
- [4]钟秋影.遥感技术在国土资源管理中的应用现状与发展趋势探索[J].才智,2015,(21):345.