

浅析现代测绘技术在变形监测中的应用

郎金强

中国地质工程集团有限公司 北京 100093

摘要：随着科技的进步，如RTK、三维激光扫描及遥感无人机等高新技术的应用，变形监测手段不断升级，形成了更加全面和高效的监测体系。这些技术不仅提高了监测精度，还实现了数据的实时采集与分析，为及时预警和处理变形问题提供了有力支持。因此，现代测绘技术的广泛应用，对于保障工程安全、减少经济损失具有重要意义。

关键词：现代测绘技术；变形监测；应用

引言：随着工程建设的快速发展，变形监测成为确保结构安全与稳定的关键环节。现代测绘技术的迅猛进步，为变形监测带来了革命性的变革。高精度、实时性及自动化的监测手段，不仅提升了监测效率，还增强了预警能力，对于预防灾害、保护人民生命财产安全具有不可估量的价值。

1 现代测绘技术概述

1.1 RTK技术

RTK技术是一种实时动态差分定位技术，其原理基于载波相位差分方法，能够实时提供厘米级精度的定位数据。RTK技术通过基准站与用户站之间的实时通信，消除大气、卫星轨道等误差，实现高精度定位。在变形监测中，RTK技术能够快速、准确地获取变形体的实时位置变化，为评估变形体的稳定性提供可靠数据支持。其特点在于高效、便捷、精度高，已成为变形监测领域不可或缺的技术手段。

1.2 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术利用激光束对目标物体进行快速、非接触式的扫描，获取其表面的三维坐标信息。该技术具有高精度、高效率、自动化程度高等优势，在变形监测中能够详细记录变形体表面的微小变化。具体应用案例包括使用三维激光扫描仪对桥梁、大坝等结构进行定期扫描，通过对比不同时期的扫描数据，分析变形体的形状变化，为结构维护和安全评估提供依据。

1.3 遥感无人机技术

遥感无人机技术结合了遥感探测与无人机平台的优势，能够在空中对地面目标进行高分辨率的图像采集。在变形监测中，遥感无人机可以快速覆盖大面积区域，获取高分辨率的地形和变形信息。通过图像处理和变形分析，可以精确识别变形体的位置、形态和变化趋势。无人机遥感技术的灵活性和高效性，使得它在灾害监测、城市规划、环境保护等领域具有广泛的应用前景。

2 变形监测基本原理

2.1 变形监测的定义

变形监测是通过特定的技术手段，对自然界或人工建造物的形态变化进行长期、连续的观测和记录。其对象广泛，包括山体、地基、桥梁、隧道、高层建筑等，目的在于精准捕捉这些对象的形状、位置和尺寸等参数的变化情况。通过变形监测，可以及时发现并评估变形体的稳定性，为工程安全预警、灾害预防及结构维护提供科学依据。

2.2 变形监测的主要内容

变形监测的内容涵盖了多个方面，旨在全面反映变形体的变形特征。其中，水平位移、沉降、倾斜是反映变形体整体稳定性的关键指标；裂缝的监测能揭示结构内部的损伤情况；挠度则反映了结构在受力下的变形能力；振动监测则关注结构在动力作用下的稳定性。这些监测内容相互补充，共同构成了评估变形体稳定性的重要依据。通过监测这些指标，可以及时发现潜在的变形问题，为采取相应的工程措施提供数据支持。

2.3 变形监测的基本步骤

变形监测的实施遵循一系列严谨的步骤。首先，需要建立变形检测网，合理布设监测点，确保能够全面覆盖变形体，并准确反映其变形情况。其次，进行数据采集与处理，运用高精度的测量仪器和设备对监测点进行周期性或连续性的观测，记录变形数据，并进行必要的处理和分析，以消除测量误差，提高数据精度。最后，进行变形分析与预测，基于处理后的数据，运用专业的数学模型和分析方法，对变形体的变形规律进行深入研究，评估其稳定性，并预测未来的变形趋势。通过这些步骤，可以为工程安全提供有力的技术保障^[1]。

3 现代测绘技术在变形监测中的应用

3.1 建筑物变形监测

3.1.1 应用实例

(1) 高层建筑变形监测：高层建筑的变形监测常利用GPS技术和三维激光扫描技术。GPS技术通过卫星信号实时追踪建筑物的位移情况，能够高精度地记录水平及垂直方向上的微小变化。同时，三维激光扫描技术能够生成建筑物表面的点云数据，构建高精度的三维模型。通过定期扫描，对比分析不同时期的三维模型，可以直观地展示建筑物的变形情况，如倾斜、沉降等。这种组合技术有效提升了监测的全面性和精确度。(2) 桥梁变形监测：桥梁作为重要的交通枢纽，其变形监测尤为重要。现代测绘技术中，加速度传感器、振动传感器以及全站仪和GPS技术常被用于桥梁变形监测。加速度传感器和振动传感器能够实时监测桥梁在车辆通行、风载等条件下的动态响应，评估其振动特性和结构稳定性。而全站仪和GPS技术则能够精确测量桥梁各部位的静态变形，如位移、挠度等。这些技术结合使用，为桥梁的安全监测提供了全面的数据支持。(3) 隧道变形监测：隧道工程由于其特殊性，变形监测技术面临更多挑战。三维激光扫描技术和自动化监测系统的应用为隧道变形监测带来了革命性变化。三维激光扫描技术能够快速、准确地获取隧道内壁的三维形态，通过对比分析不同时期的三维模型，可以精确测量隧道的收敛变形、沉降等。同时，自动化监测系统如测量机器人等，能够连续、实时监测隧道内各监测点的变形情况，及时预警潜在风险。

3.1.2 高精度变形监测的实现

(1) RTK技术：RTK（实时动态载波相位差分技术）通过实时处理两个或多个GPS接收机的载波相位观测数据，实现了厘米级甚至毫米级的定位精度。在建筑物变形监测中，RTK技术可以实时、连续地监测建筑物的水平位移和垂直沉降，为工程建设和维护提供了精确的数据支持。RTK技术的应用，不仅提高了监测的精度和效率，还降低了人为因素引起的误差。(2) 三维激光扫描技术：三维激光扫描技术以其非接触、高密度的数据获取方式，在建筑物变形监测中展现出独特的优势。该技术能够生成高精度的三维点云数据，通过对比分析不同时期的点云模型，可以直观地展示建筑物的变形情况。同时，三维激光扫描技术还可以结合其他测量手段，如全站仪、GPS等，实现多源数据的融合和互补，提高监测的精度和可靠性^[2]。

3.2 大坝变形监测

3.2.1 特殊性和重要性

大坝作为重要的水利工程设施，其安全性和稳定性直接关系到下游人民生命财产的安全。大坝在运行过程中，受到水压力、温度变化、地质条件等多种因素的影

响，容易产生变形和位移。因此，大坝变形监测具有极高的特殊性和重要性。及时、准确地监测大坝的变形情况，对于预防大坝失稳、溃坝等灾害性事件，保障人民生命财产安全具有重要意义。

3.2.2 监测方法

(1) 遥感无人机技术：遥感无人机搭载高分辨率相机、多光谱传感器、热红外传感器等设备，能够对大坝及其周边环境进行高频率、高分辨率的监测。无人机可以快速飞越整个大坝区域，捕捉大坝表面的裂缝、滑坡、渗漏等迹象，并实时传输监测数据至地面控制站。通过对无人机采集的数据进行分析，可以及时发现大坝的潜在问题，为大坝的安全评估和维护提供重要依据。

(2) GPS技术：在大坝表面及关键部位安装GPS接收机，可以实时获取这些点的三维坐标变化，从而监测大坝的水平位移和垂直沉降。GPS技术具有高精度、高自动化和全天候的特点，适合用于长期、连续的变形监测。通过对比不同时间点的GPS数据，可以分析大坝的变形趋势和速率，为大坝的安全评估提供科学依据。(3) 地面穿透雷达（GPR）和探地雷达（GPR）：对于大坝内部变形的监测，地面穿透雷达和探地雷达技术尤为重要。这些技术能够穿透大坝表面，探测到内部的裂缝、空洞、滑移带等缺陷。通过GPR/GPR扫描，可以获得大坝内部结构的详细图像，分析大坝内部的变形情况。这些数据对于评估大坝的整体稳定性和制定修复方案至关重要。

3.3 地质灾害变形监测

3.3.1 现代测绘技术的应用

在滑坡、地面沉降等地质灾害变形监测中，现代测绘技术同样发挥着重要作用。遥感技术、GPS技术、InSAR技术以及三维激光扫描技术等，为地质灾害的预测、预警和防治提供了强有力的技术支持。(1) 遥感技术：遥感技术通过卫星、无人机等平台搭载的多光谱相机、雷达等设备，能够获取地质灾害发生前后的地表覆盖、地形变化等信息。通过对比分析遥感影像数据，可以识别滑坡体的边界、滑移距离和速度等关键参数，为地质灾害的评估和治理提供科学依据。(2) GPS技术：在地质灾害区域布置GPS监测网，可以实时获取监测点的三维坐标变化，监测地表形变的微小变化。GPS技术的高精度和实时性特点，使其成为地质灾害变形监测的重要手段之一。(3) InSAR技术：InSAR技术在区域性地表形变监测中展现出独特的优势。该技术利用雷达干涉测量原理，通过处理和分析卫星或地面SAR系统获取的雷达影像数据，可以揭示地表形变的微小变化。InSAR技术

具有大面积覆盖、高精度和高自动化程度的特点,适用于地质灾害的连续监测和预警^[1]。

3.3.2 InSAR技术在区域性地表形变监测中的优势及案例

(1) 优势: InSAR技术在区域性地表形变监测中具有显著的优势。首先, InSAR技术具有大面积覆盖能力,可以实现对整个监测区域的连续观测,获取全面的地表形变信息。其次, InSAR技术的监测精度高,能够达到厘米级甚至毫米级,能够满足高精度监测的需求。此外, InSAR技术还具有时效性强、自动化程度高等特点,能够实现数据的实时处理和快速传输,提高了监测效率和准确性。(2) 案例: 以某城市地面沉降监测为例,研究团队利用InSAR技术对该城市的地面沉降情况进行了长期监测。通过处理和分析多期SAR影像数据,研究团队揭示了该城市地面沉降的空间分布特征和时间演变规律。结果表明,该城市的地面沉降主要集中在城市中心区和地下水资源开采区域,且呈现出逐年加剧的趋势。研究团队进一步分析了地面沉降的主要原因,并提出了相应的防治措施建议。该案例充分展示了InSAR技术在区域性地表形变监测中的广泛应用价值和重要作用。

4 现代测绘技术在变形监测中的优势与挑战

4.1 优势分析

(1) 高精度、高时效性、自动化程度高等优点: 现代测绘技术,如GPS、InSAR、三维激光扫描等,均能实现毫米级甚至更高精度的测量,这对于变形监测至关重要。同时,这些技术能够快速响应,实时或准实时地提供变形数据,有助于及时发现潜在的安全隐患。此外,高度的自动化减少了人为误差,提高了监测效率和准确性。(2) 数据处理的严密性和科学性: 现代测绘技术产生的数据量庞大且复杂,但借助先进的算法和数据处理软件,可以实现数据的严密处理和分析。从原始数据的预处理、噪声去除、误差校正,到变形趋势的识别、模型建立与预测,每一步都遵循科学的原理和方法,确保了变形监测结果的可靠性。(3) 可视化表现技术的提升: 随着可视化技术的不断发展,现代测绘技术能够

将复杂的变形数据转化为直观的三维图像、动态模拟等可视化成果。这些成果不仅有助于技术人员的理解和判断,还便于非专业人士的理解和传播,提升了变形监测的社会认知度和应用价值。

4.2 挑战与问题

(1) 技术成本高、设备维护复杂: 高精度的现代测绘设备价格昂贵,对于许多应用单位来说,购置和维护这些设备的成本较高。此外,设备的维护和保养需要专业的技术人员进行,增加了运营难度和成本。(2) 数据处理与分析的复杂性: 现代测绘技术产生的数据量巨大,数据处理和分析需要专业的知识和技能。同时,由于变形监测涉及多个学科领域的知识,如地质学、结构工程等,因此数据处理和分析的复杂性较高。(3) 传感器校正与数据一致性问题: 在变形监测中,多个传感器可能同时用于监测同一目标。由于传感器的精度、性能差异以及环境因素的影响,不同传感器获取的数据可能存在不一致性。因此,需要定期对传感器进行校正,确保数据的准确性和一致性。这一过程不仅增加了工作量,还可能影响监测的连续性和实时性。

结束语

综上所述,现代测绘技术在变形监测中的应用展现了其巨大的潜力和价值,不仅提升了监测精度与效率,更为工程安全提供了坚实的技术支撑。随着技术的不断进步与融合,我们有理由相信,未来的变形监测将更加智能化、精细化,为构建安全、可持续发展环境贡献力量。因此,持续探索和应用现代测绘技术是变形监测领域发展的重要方向。

参考文献

- [1]薛东方.现代信息测绘新技术在工程测量中的应用改造对策研究[J].砖瓦世界,2021,(04):83-85.
- [2]段鹏岳.现代测绘技术在边坡变形监测中的应用[J].工程技术,2019(10):94-95.
- [3]蒋骏.论现代测绘技术在城市地下施工变形监测中的应用[J].城市建筑,2019,(02):28-29.