

工程测量中的变形监测技术及应用研究

胡肖杰 342222199202183272

摘要

变形监测是工程测量领域保障工程建设与运营安全的核心技术环节，随着现代传感技术、数据处理技术的快速发展，变形监测技术已经从传统的人工测量逐步向智能化、自动化方向转型。本文首先阐述变形监测在工程领域的应用价值，梳理当前主流的变形监测技术类型，包括传统地面测量技术、摄影测量技术以及基于传感器的自动化监测技术，随后结合实际工程场景分析不同技术的应用特点与适用范围，最后针对当前变形监测技术应用存在的问题提出优化方向，为工程测量领域变形监测技术的推广应用提供参考。

关键词：工程测量；变形监测；监测技术；工程应用

一、引言

工程建设从地基施工到竣工验收，再到长期运营阶段，都会受到地质条件、荷载作用、环境变化等多方面因素的影响，工程结构会发生不同程度的位移、沉降或者形变，如果形变超出工程设计允许的安全范围，就会直接威胁工程结构的稳定性，甚至引发坍塌、沉降不均等重大安全事故。变形监测通过对工程结构的形变特征进行持续、高精度的观测，能够及时掌握工程结构的形变趋势，提前预判安全风险，为工程维护、风险处置提供数据支撑，因此变形监测技术的应用水平直接关系到整个工程的安全运行。近年来，随着智慧城市、交通基建等领域的工程规模不断扩大，工程结构的复杂度不断提升，对变形监测的精度、效率也提出了更高要求，梳理现有变形监测技术的特点，探索合理的应用路径，具有重要的现实意义。

二、工程测量中常见的变形监测技术

2.1 传统地面测量技术

传统地面测量是应用时间最长的变形监测技术，主要包括水准测量、边角测量、全站仪监测等类型。水准测量通过观测不同监测点之间的高程差，计算出监测点的沉降量，是工程沉降变形监测中最经典的技术方案，该技术的操作难度较低，测量精度能够满足一般工程的需求，设备成本较低，因此在中小规模工程中

仍然广泛应用。边角测量通过测量监测点之间的水平角度和距离，计算出监测点的平面位移，结合水准测量的高程数据，就可以获得监测点的三维形变信息。全站仪监测技术将光电技术与传统测量技术结合，能够自动完成角度、距离测量，数据处理效率比人工测量明显提升，测量精度可以达到毫米级，在中小型工程变形监测中适用性较强。

2.2 摄影测量与三维激光扫描技术

摄影测量技术是基于光学成像的非接触式变形监测技术，近年来随着无人机技术、高清摄像技术的发展，该技术的应用范围不断扩大。近距离摄影测量通过在固定位置布设高清相机，对工程结构监测区域进行定期拍摄，通过图像处理软件对不同时期拍摄的影像进行特征匹配，计算出监测点的位移量，该技术不需要接触工程结构，一次拍摄就可以获得整个监测区域的形变数据，监测效率远高于传统人工测量。无人机摄影测量则将摄影设备搭载在无人机上，能够对大型边坡、大坝、桥梁等大规模工程结构进行大范围监测，解决了人工测量难以覆盖偏远、高危区域的问题。三维激光扫描技术通过激光雷达获取监测区域的点云数据，构建工程结构的三维模型，对比不同时期的三维模型就可以提取出形变信息，该技术能够获得高密度的空间数据，对复杂工程结构的形变细节刻画能力较强，在大型钢结构、隧道工程变形监测中应用效果较好。

三、变形监测技术在工程测量中的具体应用

3.1 高层建筑工程中的应用

高层建筑在施工和运营阶段，会受到竖向荷载、风荷载、地震作用等影响，容易发生不均匀沉降、倾斜变形等问题，因此需要开展持续的变形监测。在实际应用中，通常会结合多种监测技术：在施工初期的地基沉降监测中，一般采用传统水准测量结合静力水准传感器的方案，静力水准传感器能够自动连续监测各监测点的高程变化，精度可以达到 0.1 毫米，能够实时掌握地基的沉降速率，而定期人工水准测量可以对传感器数据进行校核，保证监测数据的准确性。对于高层建筑的整体倾斜监测，一般采用 GNSS 监测结合倾角传感器的方案，GNSS 可以获得建筑顶部监测点的平面位移，倾角传感器能够实时测量建筑不同楼层的倾斜角度，综合数据可以准确反映建筑的倾斜变形趋势。对于超高层建筑来说，还会采用加速度传感器监测风振作用下的结构振动变形，评估结构的动力特性，保障结构安全。

3.2 水利大坝工程中的应用

大坝长期受到水压力、温度变化、地质沉降的影响，容易发生坝体沉降、水平位移、渗流变形等问题，是变形监测应用需求最迫切的工程类型之一。当前大型水利大坝的变形监测普遍采用自动化监测系统，主要应用 GNSS 监测坝顶的水平位移和沉降，在坝体内部布设渗压计监测渗流压力，布设弦式位移计监测坝体内部的结构形变，在坝坡区域采用无人机摄影测量进行整体外观形变监测，多种技术结合形成覆盖坝体表面、内部以及周边边坡的完整监测体系。

3.3 隧道工程中的应用

隧道工程在施工过程中，容易受到围岩压力的影响发生收敛变形，如果变形过大就会引发坍塌事故，因此施工阶段的变形监测是保障施工安全的核心工作。在隧道施工变形监测中，目前主要采用收敛计测量隧道断面的收敛变形，采用全站仪测量拱顶的沉降量，该方法成本较低，操作简单，能够满足常规施工监测的需求。

四、变形监测技术应用存在的问题与优化方向

当前变形监测技术虽然已经取得了较大发展，但在实际应用中仍然存在一些问题：一是多源监测数据的融合处理水平较低，不同技术获得的数据格式、精度、采样频率不同，多数项目中仅仅是单独分析不同数据，没有充分发挥多源数据的互补优势；二是监测数据的预测预警能力不足，多数预警系统仅仅是设置固定阈值，超过阈值就发出警报，没有结合形变的发展趋势进行动态预判，预警的前瞻性不足；三是偏远地区工程的监测设备供电、数据传输成本较高，长期监测的维护难度较大。针对这些问题，未来变形监测技术的优化方向主要包括三个方面：第一，结合大数据、人工智能技术，开发多源监测数据的融合分析模型，提升形变分析的准确性，利用机器学习算法对形变历史数据进行训练，实现形变趋势的动态预测，提升风险预警的前瞻性；第二，推广低功耗传感器、太阳能供电技术以及 5G 数据传输技术，降低远程自动化监测的运行成本，提升监测系统的稳定性；第三，进一步完善变形监测的行业规范，针对不同类型工程明确监测精度、频率要求，规范监测数据的处理流程，提升变形监测应用的标准化水平。

五、结语

变形监测是保障工程建设与运营安全的核心技术，不同的变形监测技术具有不同的特点和适用场景，传统测量技术成本低、精度可靠，适合中小规模工程的

常规监测，摄影测量和三维激光扫描技术适合大范围非接触监测，传感器自动化监测技术适合长期连续的高精度监测。在实际工程应用中，需要结合工程规模、监测需求、成本预算合理选择监测技术，通过多技术融合的方式提升变形监测的准确性和可靠性。未来随着人工智能、传感技术的进一步发展，变形监测技术会向更加智能化、自动化的方向发展，在工程安全保障领域发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 张正禄. 工程变形监测分析与预报[M]. 武汉大学出版社, 2016.
- [2] 李明, 张波. 自动化变形监测技术在大型桥梁工程中的应用[J]. 工程勘察, 2020, 48(5): 62-67.
- [3] 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉大学出版社, 2019.