

测绘技术在工程变形监测中的应用

吴阳阳

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 测绘技术是工程变形监测的核心手段, 本文围绕传统与现代测绘技术展开系统分析。传统技术涵盖水准测量、角度测量及距离测量, 适用于建筑沉降、结构倾斜等场景; 现代技术包括GNSS、InSAR、激光扫描及惯性测量, 支持动态、大范围、高精度监测。通过多期数据对比与多技术融合, 可实现毫米级形变分析, 为工程安全评估提供量化依据。研究聚焦技术分类、核心原理、应用维度及适配性, 为复杂工程环境下的变形监测提供技术选型与实施参考。

关键词: 测绘技术; 工程变形监测; GNSS; InSAR; 多技术融合

引言: 工程变形监测是保障基础设施安全运行的重要环节, 其核心在于通过精准测量获取结构形变信息, 为风险评估与决策提供依据。随着测绘技术发展, 传统方法与现代技术形成互补体系: 传统测绘技术以几何原理为基础, 在短距离、静态监测中具有稳定性优势; 现代测绘技术依托卫星定位、遥感及激光扫描等手段, 实现大范围、动态化监测。不同工程场景对监测精度、时效性及覆盖范围的需求差异显著, 如何根据监测对象特性选择适配技术、优化监测方案, 成为提升监测效能的关键问题。

1 工程变形监测中常用测绘技术分类及核心原理

1.1 传统测绘技术

水准测量技术以几何水准原理为核心, 通过高差传递实现垂直位移监测。测量过程中, 水准仪提供水平视线, 水准尺作为高程参照物, 通过读取前后视距差计算两点间高差。多次观测取平均值可消除仪器误差, 结合闭合水准路线设计可验证数据可靠性, 适用于建筑沉降、地基变形等垂直方向形变分析^[1]。角度测量技术基于空间几何关系, 通过经纬仪或全站仪观测目标方向与基准方向的夹角变化。水平角测量反映结构在水平面内的转动, 垂直角测量则用于监测倾斜变形。仪器内置的度盘分划与光电扫描技术确保角度读数精度, 配合强制对中装置可减少仪器安置误差, 为变形体空间姿态分析提供基础数据。距离测量技术包含钢尺量距、光电测距及全站仪测距三种方式。钢尺量距通过直接丈量获取变形量, 适用于短距离精密监测; 光电测距利用调制光波往返时间计算距离, 实现非接触式测量; 全站仪集成测角测距功能, 可同步获取三维坐标变化。距离数据经温度、气压修正后, 用于分析结构伸缩、位移等线性变形。

1.2 现代测绘技术

全球导航卫星系统通过接收多颗卫星信号, 解算接收机三维坐标变化。双频观测可消除电离层延迟误差, 差分技术进一步提升定位精度。实时动态载波相位差分(RTK)技术实现厘米级实时监测, 支持大范围工程变形动态跟踪, 尤其适用于桥梁振动、大坝位移等动态过程分析。遥感测绘技术涵盖光学遥感与微波遥感两类。光学影像通过多期对比提取变形信息, 合成孔径雷达干涉测量(InSAR)则利用相位差反演地表形变场。InSAR技术具有全天候、大范围监测优势, 可捕捉毫米级微小变形, 在区域沉降、滑坡监测中发挥关键作用。激光扫描技术通过发射激光脉冲并接收反射信号, 获取变形体表面密集点云数据。地面三维激光扫描实现毫米级精度建模, 机载LiDAR支持大范围地形快速扫描。点云数据经配准与差异分析, 可量化结构表面裂缝扩展、墙体倾斜等复杂变形。惯性测量技术利用加速度计与陀螺仪感知载体运动状态。通过积分运算获取三维位移与姿态参数, 适用于地下工程、隧道掘进等封闭空间的自主导航与变形监测。地理信息系统将变形数据与空间属性关联, 通过拓扑分析揭示变形规律, 为风险评估与决策提供可视化支持。

2 测绘技术在工程变形监测中的核心应用维度

2.1 地形形变监测中的应用

地表垂直形变监测聚焦于高程方向的动态变化。通过精密水准测量技术, 可获取毫米级高程差异, 适用于城市地面沉降、矿区塌陷等长期形变分析, 一般每1-2个月进行一次观测。GNSS高程解算则通过卫星信号接收, 实现大范围垂直位移实时监测, 尤其适合地质灾害频发区域的快速响应。合成孔径雷达干涉测量技术利用相位差信息, 能捕捉地表微小升降变化, 为区域稳定性评价提供高精度数据支撑。地表水平形变监测侧重于平

面位移的精准追踪。GNSS基准站网通过多期观测数据解算,可获取东西向、南北向位移分量,构建地表形变场模型,一般每天进行24小时连续观测。全站仪极坐标法结合强制对中装置,实现局部区域水平位移的高精度测量。分布式光纤传感技术沿地表布设,通过监测应变变化反演位移场,适用于线性工程如铁路、管道的水平形变监测。

2.2 建(构)筑物形变监测中的应用

建筑物主体形变监测涵盖沉降、倾斜及裂缝发展等关键指标。沉降监测采用静力水准系统或几何水准法,通过布设沉降观测点,量化不均匀沉降程度与空间分布,沉降观测点间距一般控制在10-20米^[2]。倾斜监测利用倾角传感器或全站仪,实时感知建筑物姿态变化,结合三维激光扫描技术,可获取建筑表面点云数据,通过差异分析精准识别裂缝扩展轨迹,为结构安全性评估提供可视化依据。构筑物形变监测针对桥梁、隧道、大坝等特殊结构展开。桥梁监测中,GNSS与加速度计组合可同步获取位移与振动参数,动态捕捉结构响应特征,桥梁监测频率一般为每小时1-2次;隧道监测采用收敛计或激光跟踪仪,实时监测断面收敛变形,结合地质雷达探测围岩完整性;大坝监测则通过引张线仪与真空激光直系统,追踪坝体水平位移与挠度变化,确保工程运行安全。

2.3 地下工程形变监测中的应用

地下洞室形变监测聚焦于围岩稳定性评估。通过布设多点位移计与锚杆应力计,可获取洞室周边岩体位移与应力变化数据,多点位移计一般每隔5-10米布设一组,结合声发射监测技术,识别岩体破裂前兆信息。三维激光扫描技术定期重建洞室表面形态,量化收敛变形量,为支护方案优化提供依据。地下管线形变监测关注管道沉降与位移风险。惯性测量单元(IMU)与分布式光纤传感技术沿管线布设,实时感知管道姿态变化与应变分布。数据经处理后生成管线形变曲线,辅助识别地质灾害影响范围,指导抢修与加固作业,保障城市生命线工程安全运行。

2.4 边坡与基坑形变监测中的应用

边坡形变监测强调位移速率与累积量控制。采用测斜仪与GNSS组合监测方案,可同步获取边坡深部滑动面位移与表面整体移动趋势,测斜仪一般每隔5-15米深度布设一个监测点。结合降雨量与地下水位数据,建立边坡稳定性预警模型,提前防范滑坡灾害发生。基坑围护结构形变监测注重支护体系安全性验证。通过埋设深层水平位移计与支撑轴力计,可监测围护结构侧向变形与内

力变化,深层水平位移计一般每隔3-5米深度布设一个监测点。激光测距仪与全站仪跟踪周边地表沉降,确保基坑开挖对邻近建筑的影响处于可控范围,为施工参数动态调整提供数据支持。

3 测绘技术在工程变形监测中的应用流程要点

3.1 监测前期测绘方案设计

测绘技术选型需综合考量监测对象特性、精度要求及环境条件。垂直位移监测优先选用精密水准测量或静力水准系统,水平位移监测则以GNSS静态观测或全站仪极坐标法为主。对于动态变形监测,实时动态载波相位差分(RTK)技术与加速度计组合方案更具优势^[3]。技术选型需平衡成本效益,确保监测手段与工程风险等级相匹配。测绘点位布设应遵循"控制网分级布设"原则。基准点需远离变形区,埋设在稳定基岩或深层土层中,数量不少于三个以构成闭合环。工作基点布设于变形影响范围内,需定期与基准点联测修正坐标。监测点布设需覆盖变形敏感区域,间距根据结构类型与变形梯度确定,关键部位应加密布设,一般关键部位监测点间距控制在3-5米。点位标识需采用强制对中装置或预埋测量标志,确保长期观测的重复性精度。

3.2 监测过程中测绘操作要点

测绘数据采集需严格执行仪器操作规程。水准测量应控制前后视距差,视距累积不超过限定值,一般视距累积不超过100米,读数至毫米级并记录温度气压参数。GNSS观测需保证卫星数不少于四颗,PDOP值小于3,单时段观测时长依据基线长度确定,一般基线长度在5公里以内时,单时段观测时长不少于30分钟。全站仪测量需进行盘左盘右观测取均值,棱镜常数与气象改正参数需实时输入。数据采集时段应避免强对流天气,减少大气折射误差影响。误差控制贯穿于观测全过程。仪器安置需通过光学对中器或激光对中装置精确整平,对中误差不超过0.1mm。观测过程中需保持仪器免受振动干扰,避免阳光直射导致温度梯度误差。数据预处理需进行粗差剔除与系统误差修正,水准测量需进行往返测高差不符值检验,GNSS基线解算需通过闭合差检验与异步环检验。

3.3 监测后期测绘数据处理

测绘数据整理需建立标准化数据库。原始观测数据按测站、测回、时段分类存储,同步记录仪器参数、观测条件及质量检验结果。数据预处理包括格式转换、缺失值插补与异常值剔除,水准数据需进行地球曲率与大气折光改正,GNSS数据需进行电离层延迟与对流层延迟修正。处理后的数据应生成中间成果文件,包含点位坐标、高程及精度评定信息。数据与形变信息的关联转化

需通过多期对比分析实现。建立初始监测基准面,将各期观测成果统一至同一坐标系。通过坐标差值计算获取位移矢量,分解为水平位移与垂直位移分量。采用时间序列分析方法建立形变模型,识别线性趋势项与周期波动项。结合工程结构特性,将位移数据转化为应力应变参数,为结构安全性评估提供量化依据。数据可视化呈现采用变形等值线图、位移矢量图及时间历程曲线,直观展示变形时空演化规律。

4 不同测绘技术在工程变形监测中的适配性分析

4.1 传统测绘技术的适配场景与局限

传统测绘技术以几何水准测量与全站仪极坐标法为代表,在工程变形监测中仍占据基础性地位^[4]。几何水准测量通过闭合水准路线布设,可获得毫米级高程数据,适用于建筑物沉降、地面塌陷等垂直形变监测场景。其优势在于设备成本低、操作流程规范,但受通视条件限制,在复杂地形或大规模监测中效率较低。全站仪极坐标法通过测距与测角实现三维坐标解算,在构筑物倾斜监测、基坑围护结构变形跟踪中应用广泛,然而单点测量模式难以满足动态监测需求,且人工操作环节易引入误差。传统技术受环境因素影响显著,强风、温差等条件可能降低观测精度,数据更新频率通常以日或周为单位,难以捕捉瞬时形变特征。

4.2 现代测绘技术的适配场景与优势

现代测绘技术以GNSS、InSAR与三维激光扫描为核心,构建了实时化、高精度的监测体系。GNSS技术通过多系统联合解算,可实现毫米级平面位移监测,在桥梁振动、大坝水平位移等动态场景中优势突出,支持全天候连续观测,数据更新频率达分钟级,一般每1-5分钟更新一次数据。InSAR技术利用卫星相位差信息,能捕捉地表微小形变,覆盖范围达数百平方公里,适用于区域性地质灾害预警,但受时空失相关影响,在植被茂密或形变速率过快区域精度受限。三维激光扫描通过高速激光测距,可快速获取监测对象表面点云数据,在隧道收敛变形、边坡表面位移监测中效率显著,结合点云配准算法,可实现毫米级形变分析,点云配准精度可达0.5-1毫

米,然而设备成本较高且需定期校准。

4.3 多测绘技术融合应用的适配逻辑

单一测绘技术存在适用范围与精度局限,多技术融合成为提升监测效能的关键路径。GNSS与全站仪组合可兼顾大范围动态监测与局部高精度测量,GNSS提供整体形变趋势,全站仪针对关键部位加密观测,形成"面-点"结合的监测网络。InSAR与地面水准测量融合,利用InSAR获取区域形变场,通过水准测量修正局部高程误差,提升监测结果可靠性^[5]。三维激光扫描与分布式光纤传感技术协同,前者获取结构表面形变,后者监测内部应变分布,实现"表-里"联合分析。多技术融合需建立统一坐标框架,通过公共点联测实现数据空间对齐,同时开发多源数据融合算法,解决不同技术间精度差异与时间同步问题,最终形成覆盖全要素、全过程的变形监测体系。

结束语

测绘技术在工程变形监测中发挥着不可替代的作用。传统与现代测绘技术各有适用场景,也均存在一定局限。多技术融合应用成为提升监测效能的有效途径,通过不同技术优势互补,构建更全面、精准的监测体系。在实际工程中,需根据监测对象特性、精度要求等合理选型与技术组合,严格执行监测流程,确保获取可靠变形数据,为工程安全评估与决策提供坚实依据。

参考文献

- [1]鲍鹏辉.测绘技术在工程变形监测中的应用[J].模型世界,2025(34):242-244.
- [2]陈锦雄.测绘技术在工程变形监测中的应用方法研究[J].门窗,2025(22):172-174.
- [3]李春强.测绘技术在工程变形监测中的应用[J].城镇建设,2024(7):348-350.
- [4]黄东锋,杜艳忠.基于无人机测绘技术的建筑工程变形监测及分析策略[J].有色金属设计,2024,51(3):81-84,97.
- [5]孟杰,娄利娇.无人机摄影测量快速建模技术在水利工程大坝变形监测中的应用[J].科技创新与应用,2025,15(31):166-169.