

# 高层建筑项目基坑变形监测与主体沉降观测技术研究

王新亮

中煤长江基础建设有限公司 江苏 南京 210046

**摘要:** 本文聚焦高层建筑项目基坑变形监测与主体沉降观测技术。阐述监测核心理论与现行规范标准,分析基坑变形类型、指标及传统、新型监测技术,研究多源数据融合协同监测。探讨主体结构沉降观测原理、布点方案、高精度观测方法与数据分析预测模型。介绍监测数据智能处理与预警系统开发。研究成果为高层建筑安全施工与运维提供技术支持。

**关键词:** 高层建筑; 基坑变形监测; 主体沉降观测技术

引言: 随着我国城市化进程加快,高层建筑数量日益增多。在高层建筑施工与使用过程中,基坑变形和主体结构沉降问题备受关注,其不仅影响建筑质量与安全,还关乎周边环境稳定。准确有效的基坑变形监测与主体沉降观测技术,能及时发现潜在风险并采取措施。本文深入探讨相关技术,旨在为保障高层建筑安全提供科学依据与技术参考。

## 1 高层建筑监测核心理论与技术基础

### 1.1 监测核心理论支撑

高层建筑监测核心理论是多学科融合的成果。工程力学是基础,能计算构件应力应变分布,明确监测重点区域;土力学研究地基与基础相互作用,揭示土层变形对建筑结构的影响;结构动力学可分析建筑在风荷载、地震等动态荷载下的响应,为振动监测提供依据。数据采集与处理理论保障数据可靠,涉及传感器选型、数据传输协议优化及误差控制。可靠性理论评估监测系统稳定性,通过建立失效概率模型确保数据连续有效<sup>[1]</sup>。这些理论相互融合,形成完整体系,为高层建筑监测技术研发与应用提供支撑,指导监测方案设计、数据解读及风险判断等关键环节。

### 1.2 现行规范与技术标准

高层建筑监测现行规范与技术标准构建了标准化框架,保障工作科学规范。国家标准《高层建筑混凝土结构技术规程》明确结构监测基本要求,规定不同结构类型的监测范围与精度指标。《建筑变形测量规范》详细规定监测方法、观测频率及数据处理流程,沉降观测精度依建筑高度分级,超高层误差控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 内。《基坑工程监测技术标准》针对基坑与周边建筑协同监测制定专项要求,明确监测点布设与预警阈值。《工程测量标准》提供数据采集基础依据,涵盖仪器校准、观测规范。地方结合地质特点细化标准,如软土地区制定地基沉降专

项要求。规范标准全程管控,确保监测结果满足安全评估需求。

## 2 基坑变形监测技术体系研究

### 2.1 基坑变形类型与监测指标

基坑变形类型主要包括围护结构变形、基坑周边土体变形及周边环境变形三大类。围护结构变形表现为墙体水平位移、墙体沉降及墙体裂缝开展,其中水平位移分开挖阶段的悬臂式变形和支撑设置后的弯曲变形,直接反映围护结构受力稳定性。基坑周边土体变形包含地表沉降、土体深层水平位移,地表沉降多呈槽型分布,深层水平位移通过测斜管监测可揭示土体滑动面位置。周边环境变形涉及邻近建筑物沉降、倾斜及裂缝,地下管线沉降与位移,这些变形直接关系周边设施安全。对应的监测指标明确,围护结构监测指标有墙体水平位移(精度 $\pm 0.1\text{mm}$ )、墙体沉降(精度 $\pm 0.05\text{mm}$ )、裂缝宽度(精度 $\pm 0.02\text{mm}$ );土体监测指标含地表沉降(精度 $\pm 0.1\text{mm}$ )、深层水平位移(精度 $\pm 0.1\text{mm}$ );环境监测指标包括建筑物沉降(精度 $\pm 0.05\text{mm}$ )、倾斜率(精度 $\pm 0.0001$ )、管线沉降(精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ),这些指标全面覆盖基坑变形关键控制点。

### 2.2 传统监测技术分析

基坑变形传统监测技术经过长期工程实践验证,技术成熟度高,在中小规模基坑监测中广泛应用。水平位移监测常用全站仪边角法和视准线法,全站仪边角法通过观测监测点坐标变化计算位移,适用于复杂地形,测量精度可达 $\pm 1\text{mm}$ ,但受天气影响较大,雨天、大雾天观测精度下降。视准线法操作简便,适用于直线型基坑围护结构监测,可快速获取水平位移数据,但仅能监测沿线点位移,监测范围有限<sup>[2]</sup>。沉降监测核心技术为精密水准测量,采用二等水准测量规范实施,使用精密水准仪配合钢钢水准尺,观测精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ ,能准确捕捉沉降细微变化,但观测过程耗时,需逐点往返观测。

裂缝监测采用裂缝宽度观测仪,直接测量裂缝开合度,精度 $\pm 0.02\text{mm}$ ,操作简单,但仅能监测表面裂缝,无法反映裂缝深度发展。

### 2.3 新型监测技术创新

基坑变形新型监测技术依托物联网、传感器及自动化技术实现突破,解决传统技术实时性差、自动化程度低等问题。光纤光栅传感技术应用广泛,将光纤光栅传感器植入围护结构及土体内部,通过监测光栅波长变化换算应变与位移,测量精度达 $\pm 0.1\mu\epsilon$ ,可实现长期稳定监测,且抗电磁干扰能力强,适用于复杂施工环境。GNSS实时动态监测技术通过在监测点布设GNSS接收机,实时接收卫星信号,解算坐标变化,水平位移精度 $\pm 2\text{mm}$ ,垂直位移精度 $\pm 5\text{mm}$ ,可远程传输数据,实现全天候监测。合成孔径雷达干涉测量技术利用卫星或无人机搭载雷达设备,获取地表形变场,覆盖范围广,可监测基坑周边大面积土体变形,精度达 $\pm 1\text{mm}$ ,无需现场布点,减少施工干扰。无线传感网络技术将多个微型传感器组成网络,同步采集多测点数据,数据传输速率达 $1\text{Mbps}$ ,延迟时间小于 $1\text{s}$ ,实现监测数据实时汇聚。新型技术优势在于自动化、实时性强,可实现远程监控,但前期设备投入较高,对数据处理人员专业要求高。

### 2.4 多源数据融合与协同监测

多源数据融合与协同监测通过整合不同监测技术数据,构建全方位监测体系,提升基坑变形监测准确性与可靠性。数据融合采用分层融合策略,底层为数据级融合,对光纤光栅、GNSS、水准测量等原始数据进行格式统一与误差修正,剔除温度、湿度等环境因素导致的干扰数据,采用卡尔曼滤波算法平滑数据,降低观测误差。中间层为特征级融合,提取各数据源关键特征,如光纤光栅监测的应变特征、GNSS的位移特征,通过神经网络模型建立特征关联,识别变形协同规律。顶层为决策级融合,结合规范要求与工程经验,建立多源数据综合评估模型,判断基坑变形状态。协同监测通过搭建统一数据平台,实现各监测设备时间同步与数据共享,设定不同监测技术的互补监测区域,如GNSS监测整体位移、光纤光栅监测局部应变。

## 3 主体结构沉降观测技术研究

### 3.1 沉降观测原理与布点方案

主体结构沉降观测基于静力水准原理与几何水准测量原理,通过监测结构不同部位高程变化,计算沉降量与沉降差。静力水准原理利用连通管内液体静止时液面齐平的特性,将多个静力水准传感器布设于结构关键位置,通过测量传感器内液面高度变化,直接获取各测点

沉降数据,适用于结构整体沉降监测。几何水准测量原理通过水准仪提供水平视线,测量前后视水准尺读数差,计算测点高程变化,精度高,适用于局部沉降精细监测<sup>[3]</sup>。布点方案需结合结构形式、荷载分布及地质条件设计,高层建筑基础阶段在基础底板转角、核心筒周边布设沉降观测点,间距 $15\sim 20\text{m}$ ;主体结构施工阶段沿外墙转角、楼层梁端及受力较大的柱体位置布设,每3~5层增设一层观测点;屋顶层在女儿墙转角及电梯机房周边增设观测点。同时需布设基准点与工作基点,基准点选在基坑开挖影响范围外稳定区域,数量不少于3个,形成基准点网;工作基点设在靠近观测区域且稳定位置,便于日常观测,确保观测点、工作基点与基准点构成完整观测体系。

### 3.2 高精度沉降观测方法

主体结构高精度沉降观测以精密水准测量为核心,结合先进仪器与规范操作实现高精度监测。观测采用DS05级精密水准仪配合钢钢水准尺,仪器需经法定计量机构校准,校准周期不超过一年。观测实施二等水准测量技术要求,采用中丝读数法往返观测,往返测较差不得超过 $\pm 4\sqrt{L}\text{mm}$ (L为测段长度,单位 $\text{km}$ ),前后视距差不超过 $0.5\text{m}$ ,视距累积差不超过 $1.5\text{m}$ 。观测前对仪器进行预热与调平,确保视线水平,观测过程中避免阳光直射仪器,遇大风、暴雨等恶劣天气暂停观测。对于超高层建筑,采用分段水准测量方法,在结构中部设置转点,减少测站数与累积误差,转点需采用稳定的临时观测墩。另外,结合静力水准监测系统实现自动化观测,将静力水准传感器通过连通管连接,采用高精度数据采集仪实时采集数据,采样频率设为 $1\text{次/小时}$ ,数据分辨率达 $0.01\text{mm}$ ,可捕捉结构瞬时沉降变化。

### 3.3 沉降数据分析与预测模型

主体结构沉降数据分析需经过数据整理、沉降计算、趋势分析等环节,结合预测模型实现沉降发展预判。数据整理首先剔除异常数据,采用 $3\sigma$ 准则识别超出均值 $\pm 3$ 倍标准差的数据,通过相邻观测周期数据插值替换;然后计算各观测点的沉降量、沉降差及沉降速率,绘制沉降-时间曲线与沉降-荷载曲线,直观反映沉降变化规律。趋势分析重点关注沉降速率变化,当沉降速率小于 $0.01\sim 0.02\text{mm/d}$ 且持续3个月以上,判断结构沉降趋于稳定。沉降预测模型常用灰色系统模型、BP神经网络模型及双曲线预测模型。灰色系统模型适用于观测数据较少的早期阶段,通过GM(1,1)模型对沉降序列进行拟合,预测短期沉降发展,预测误差控制在 $5\%$ 以内。BP神经网络模型利用多隐含层神经网络学习沉降与荷载、时间、地质参数的非线性关系,输入参数包括施工进度、地基承载力等,

预测中长期沉降精度较高。双曲线预测模型基于沉降随时间呈双曲线变化的规律,通过拟合已观测数据确定模型参数,适用于沉降后期稳定阶段的预测,为结构安全评估与后续工程决策提供依据。

#### 4 监测数据智能处理与预警系统开发

##### 4.1 数据预处理与异常值识别

监测数据预处理是保障数据质量的关键环节,包括数据清洗、格式转换、数据标准化等步骤。数据清洗首先处理缺失数据,采用线性插值法填补短时间缺失数据,采用基于相邻观测点数据的协同插值法填补长时间缺失数据;然后消除系统误差,通过仪器校准参数修正观测数据,如对水准测量数据进行尺长改正、温度改正。格式转换将不同监测设备输出的异构数据统一转换为JSON格式,便于数据存储与后续处理。数据标准化采用Z-score标准化方法,将数据转换为均值为0、标准差为1的标准化数据,消除不同指标量纲影响。异常值识别采用多方法融合策略,首先通过 $3\sigma$ 准则初步识别明显异常值;然后采用孤立森林算法,通过构建多棵孤立树检测数据集异常样本,该算法对非线性数据适应性强,异常识别准确率达90%以上;最后结合工程经验验证异常值,区分仪器故障、施工干扰导致的虚假异常与结构变形导致的真实异常,对真实异常值标记后纳入后续分析,确保数据预处理后的数据能真实反映结构变形状态。

##### 4.2 智能预警系统架构

智能预警系统架构采用分层架构设计,包括感知层、传输层、数据层、应用层四个层级。感知层由各类监测设备组成,包括精密水准仪、GNSS接收机、光纤光栅传感器等,实现沉降、水平位移、应变等数据的实时采集,设备采用低功耗设计,续航时间达6个月以上。传输层采用“4G/5G+物联网”双模传输方式,近距离数据通过

LoRa物联网传输至本地网关,远距离数据通过4G/5G网络传输至云平台,传输速率达10Mbps,数据延迟小于2s,确保数据实时上传。数据层采用“本地服务器+云服务器”双存储模式,本地服务器存储近期1个月数据,用于现场快速查询;云服务器采用分布式存储架构,存储历史监测数据与预处理后的数据,支持海量数据高效检索<sup>[4]</sup>。应用层包括数据展示模块、预警模块、报表生成模块,数据展示模块通过GIS地图实时显示监测点位置与数据,预警模块根据风险评估模型结果,采用声光报警、短信通知、APP推送三种方式发布预警信息,低风险仅APP推送提示,高风险触发声光报警并同步通知项目负责人;报表生成模块可自动生成日报、周报,支持数据导出与打印,实现监测预警全程智能化管控。

#### 结束语

高层建筑项目基坑变形监测与主体沉降观测技术至关重要。本文从理论与技术基础出发,全面研究了基坑变形监测技术体系、主体结构沉降观测技术,以及监测数据智能处理与预警系统开发。未来,随着技术发展,需不断优化监测技术,提高监测精度与智能化水平,以更好地保障高层建筑全生命周期安全,推动建筑行业可持续发展。

#### 参考文献

- [1]胥林.高层建筑项目基坑变形监测与主体沉降观测技术研究[J].中国住宅设施,2022(7):76-78.
- [2]张少勋.自动化全站仪在高层建筑基坑变形监测中的应用[J].建筑·建材·装饰,2020(5):213,223.
- [3]王炳文,张玮鹏.软土地区高层建筑深基坑支护工程变形监测分析[J].路基工程,2023(5):165-171.
- [4]邓立同.软土地区高层建筑深基坑支护工程变形监测分析[J].工程管理,2024,5(3):46-48.