

高层建筑项目基坑变形监测与沉降观测技术分析

李国强¹ 陈彦苏² 夏青³ 陈学文¹ 夏冰¹

1. 宁夏建筑科学研究院集团股份有限公司 宁夏 银川 750021

2. 宁夏建筑科技与产业化发展中心 宁夏 银川 750004

3. 宁夏筑之信检测有限公司 宁夏 银川 750001

摘要: 高层建筑基坑变形与沉降受地质、施工及周边环境等因素影响, 类型多样。本文阐述基坑变形监测技术, 包括监测项目、方法、频率与布点; 介绍沉降观测技术, 涵盖观测项目、方法、精度要求与数据处理; 强调基坑变形监测与沉降观测技术集成的必要性, 构建集成监测系统。为高层建筑基坑工程安全施工与稳定运行提供可靠技术支持。

关键词: 高层建筑; 基坑变形监测; 沉降观测; 技术集成; 监测系统

引言: 随着城市化进程加快, 高层建筑数量日益增多, 基坑工程规模与深度不断加大。基坑变形与沉降问题愈发突出, 若控制不当, 易引发基坑坍塌、周边建筑物损坏等严重事故。为准确掌握基坑变形与沉降规律, 及时采取有效措施至关重要。基坑变形监测与沉降观测技术作为保障基坑安全的重要手段, 对其进行深入研究分析具有迫切的现实需求。

1 高层建筑基坑变形与沉降的基本理论

1.1 基坑变形与沉降的成因

(1) 地质条件因素。不同土质特性直接影响基坑变形与沉降趋势。黏土层颗粒黏结力强但透水差, 开挖后易缓慢变形; 砂土层透水高, 地下水位控制不当, 易引发管涌或流沙, 加剧失稳^[1]。地下水位变化改变土体有效应力, 水位降则土体固结压缩促沉降; 地质构造中的断层或软弱夹层削弱土体承载力, 致局部变形加剧。软土具流变性, 长期荷载下持续缓慢变形, 影响基坑长期稳定。

(2) 施工因素。基坑开挖方式与变形沉降紧密相关。分层开挖控制单次深度, 减少土体瞬时应力释放。分段开挖划分施工区, 避免集中扰动。支护结构类型不同, 变形控制效果有别, 排桩支护适用于中等深度基坑。

(3) 周边环境因素。周边建筑物基础形式决定其对基坑变形的敏感度, 浅基础建筑更易受开挖影响沉降; 深基础建筑虽稳定性强, 但基坑变形过大仍可能破坏基础周边土体。地下管线材质不同, 耐受变形能力有差异, 刚性管线如钢管抗弯折弱, 轻微沉降就可能破裂; 柔性管线如塑料管可适应小幅度变形, 但过大沉降仍会脱节。交通荷载反复作用加剧周边土体压实, 长期累积易引发地表沉降, 影响基坑稳定。

1.2 基坑变形与沉降的类型及特征

(1) 变形类型。围护结构变形包含水平位移、垂直

位移和倾斜等形式。水平位移在开挖初期主要集中在基坑上部, 随开挖深度增加逐渐向下延伸, 开挖后期位移速率减缓, 最终趋于稳定。垂直位移多表现为围护结构顶部沉降, 受土体固结和支护受力变形共同影响, 沉降量通常随开挖深度增加而增大。

(2) 沉降类型。周边地表沉降呈现特定分布规律, 在基坑边缘处沉降量较小, 随距离增加沉降量逐渐增大, 达到最大值后又随距离延长缓慢减小, 形成漏斗状沉降曲线。邻近建筑物沉降受建筑结构刚度和基础形式影响, 刚度较大的建筑沉降分布相对均匀。

2 基坑变形监测技术

2.1 监测项目与指标

(1) 围护结构监测。水平位移监测需明确不同深度位置的位移允许值, 深层与浅层位移报警标准存在差异, 浅层控制可适当宽松。垂直位移监测重点关注沉降速率, 当沉降速度达到一定程度时需触发报警机制。倾斜监测以倾斜度作为核心指标, 不同类型支护结构对应不同的倾斜控制要求^[2]。裂缝监测需详细记录裂缝宽度与发展速率, 当裂缝扩展至特定程度时应加强监测频次。

(2) 坑底隆起监测。坑底隆起量监测以开挖前坑底标高为基准, 软土地层中需重点关注单次隆起变化, 累计隆起量需控制在安全范围内。监测时应避开降水井等可能产生干扰的区域, 在坑底中心及距坑壁关键位置合理设置监测点, 开挖阶段完成每层作业后均需及时进行数据采集。

(3) 支撑轴力监测。支撑轴力监测通过应力传感器捕捉杆件受力变化, 钢支撑与混凝土支撑的轴力控制范围不同, 混凝土支撑因存在徐变特性, 报警标准需单独设定。我们通过对宁夏某项目进行基坑监测, 该基坑地下室基底标高-7.55m, 基坑安全等级为二级, 分别采用

1: 0.5放坡土钉墙支护结构, 1: 0.4、局部1: 0.3放坡复合土钉墙支护结构施工。通过对该基坑坡顶23个监测点为期34次153天进行水平位移及竖向位移监测。首先进坑

监测控制点很重要, 我们对该项目四个方向布设了四个控制点, 下表是该项目的基准点高程成果检测表:

日期	BM1	BM1与首次高差之差	BM2	BM2与首次高差之差	BM3	BM3与首次高差之差	BM4	BM4与首次高差之差	备注
	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	
2020. 11. 6	100. 00002	—	99. 94719	—	100. 20492	—	100. 17103	—	0天观测
2020. 11. 16	100. 00005	-0. 03	99. 94722	-0. 03	100. 20496	-0. 04	100. 17095	0. 08	5天观测
2020. 11. 21	99. 99993	0. 09	99. 94710	0. 09	100. 20487	0. 05	100. 17097	0. 06	15天观测
均值	100. 00000	0. 03	99. 94717	0. 03	100. 20492	0. 01	100. 17098	0. 07	
15日变化率 (mm/d)	—	0. 00200	—	0. 00200	—	0. 00033	—	0. 00467	
分析结论	经过3次观测, 总时间长度15d, BM1~BM4最大变化率0. 00467mm/d, 小于0. 04mm/d, 视以上四点达到稳定状态, 可以作为水准基点使用, 取其平均值作为基准点高程。在后期使用过程中应按要求进行监测, 若高差出现异常, 应及时复测, 并做恢复处理。								
日期	BM1	BM1与基准高程之差	BM2	BM2与基准高程之差	BM3	BM3与基准高程之差	BM4	BM4与基准高程之差	备注
	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	
2020. 11. 25	99. 99999	-0. 01	99. 94723	0. 06	100. 20485	-0. 07	100. 17106	0. 08	
2021. 1. 10	100. 00005	0. 05	99. 94713	-0. 04	100. 20493	0. 01	100. 17093	-0. 05	
2021. 3. 20	100. 00003	0. 03	99. 94716	-0. 01	100. 20495	0. 03	100. 17101	0. 03	
2021. 4. 27	99. 99997	-0. 03	99. 94725	0. 08	100. 20490	-0. 02	100. 17099	0. 01	
结论	截止末次观测, 观测结果与基准高程比较, 变速率均小于0. 04mm/d, 基准点稳定可靠, 可以正常使用, 数值采用前三次平均值。								

(某工程项目基准点高程检测成果表)

2.2 监测方法与仪器

(1) 传统监测方法。利用全站仪通过极坐标法观测确定围护结构水平位移, 操作时先在稳定区域布设基准点, 再对监测点进行角度观测及管理观测并控制观测误差。电子水准仪测量垂直位移需保证一定精度, 测量前完成仪器校正, 确保往返测高差闭合差符合规范。在本工程项目中, 仍然采用传统测量方法进行基坑监测。

(2) 现代监测技术。自动化监测系统由传感器、数据采集器和传输模块组成, 传感器实时捕捉变形数据, 通过无线通信技术传输至云端平台, 实现数据自动分析与异常报警, 相比人工监测大幅提升效率。

2.3 监测频率与布点原则

(1) 监测频率确定。基坑开挖初期土体扰动剧烈, 需保持较高的监测频率, 开挖初期每天监测1-2次; 开挖至设计深度后, 若变形处于稳定状态可适当降低监测频次, 稳定后可每2-3天监测1次。

(2) 布点原则。围护结构监测点沿基坑周边均匀布设, 在阳角及受力较大区域适当加密, 一般每隔10-15米布设一个监测点, 阳角及受力较大区域监测点间距可缩短至5-8米, 监测点设置高度需便于观测操作, 一般在地面以上1-1.5米处。坑底隆起监测点采用网格状分布, 坑底中心及距坑壁1-2米关键位置必须布设, 网格间距一般为5-10米, 埋设深度需穿透垫层进入原状土, 埋设深度一般为0.5-1米。周边地表监测点以基坑边缘为起点向外延伸布设, 延伸范围需覆盖可能受影响区域, 一般延伸距

离为基坑开挖深度的2-3倍; 邻近建筑物监测点布设在基础转角及承重墙等关键部位, 确保全面捕捉建筑物沉降信息, 每栋建筑物关键部位布设不少于4个监测点。

以银川市某建设项目为例, 参照《银川市建筑工程沉降(变形)监测工作管理规定》等标准规范进行, 基坑±0.000相应的绝对标高为1112.55m, 地下室基底标高-7.55m。基坑安全等级为二级, 分别采用1:0.5放坡土钉墙支护结构, 1:0.4、局部1:0.3放坡复合土钉墙支护结构。工程采用独立高程系统, 在建筑变形影响范围以外共埋设4个标石作为水准基点, 以BM1(1000.0000, 1000.0000, 100.00000)为起算点; 基坑安全等级为二级。布设坡顶水平、竖向共用监测点23个, 共计监测34次。

3 沉降观测技术

3.1 沉降观测项目与内容

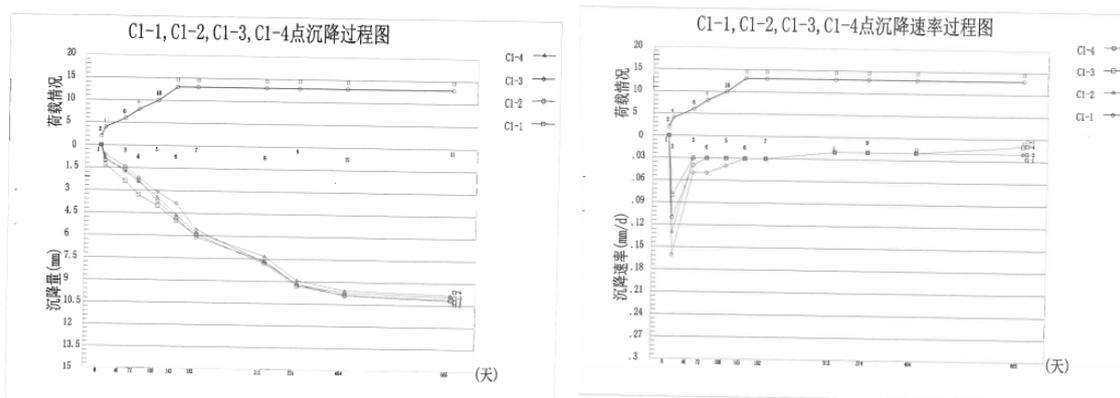
(1) 建筑物沉降观测。建筑物基础沉降观测需在基础施工完成后及时布设观测点, 优先选择基础转角及荷载集中部位, 每栋建筑物基础转角及荷载集中部位布设不少于4个观测点。主体结构沉降观测点沿建筑外墙均匀分布, 避开装饰线条及雨水管等遮挡物, 一般每隔10-15米布设一个观测点^[3]。(2) 周边地表沉降观测。周边地表沉降观测需覆盖基坑影响范围内的全部区域, 道路区域的观测点沿行车道与人行道交界处布设, 避免车辆碾压造成损坏, 道路区域每隔20-30米布设一个观测点。观测要点包括不同区域沉降的差异变化, 重点关注地表裂缝的出现与发展, 同步记录观测时的环境条件, 如气

温、湿度等。

3.2 沉降观测方法与仪器

(1) 水准测量法。电子水准测量法基于水准面原理,通过水准仪读取钢尺读数计算两点间高差。操作时先在测区周边布设稳定基准点,再按闭合或附合路线连接观测点。(2) 液体静力水准测量法。液体静力水准测量法利用连通器原理,通过测量容器内液面高度差获取沉降量。该方法具备自动化程度高的特点,适用于

多点同步观测场景。(3) 全球导航卫星系统(GNSS)技术。该工程布设16个沉降观测点,共计观测11次,历时665天完成整个项目的沉降观测,通过整个周期的沉降观测,最大点位累计沉降量11.26mm,最小点位累计沉降量9.77mm,平均沉降量10.26mm。在整个观测期内,该建筑最后100天的最大沉降速率小于0.01mm/d,达到稳定标准,出具最终监测报告。下图为其中一部分工程示例图。



(某项目沉降过程图及沉降速率图)

3.3 沉降观测精度要求与数据处理

(1) 精度要求。沉降观测精度等级根据观测对象确定,重要建筑物按高精度标准执行,重要建筑物沉降观测中误差不超过 ± 1 毫米;普通民用建筑可采用常规精度,普通民用建筑沉降观测中误差不超过 ± 3 毫米。(2) 数据处理。沉降观测数据处理先对原始数据进行整理筛选,剔除异常值后进行平差计算^[4]。数据处理完成后绘制沉降曲线,通过曲线形态分析沉降发展趋势。曲线需标注观测时间与沉降数值,清晰反映沉降速率变化,沉降曲线时间间隔一般为一到两周,为工程安全评估提供依据。

4 基坑变形监测与沉降观测技术的集成

4.1 技术集成的必要性

在高层建筑基坑工程中,单独运用某一种基坑变形监测或沉降观测技术往往难以全面、精准地掌握基坑及周边环境的变形状况。单一监测方法获取的信息不够完整,容易遗漏一些关键变形特征,进而影响对基坑安全状况的准确判断。

4.2 集成监测系统的构建

系统架构设计方面,数据采集层负责通过各种监测仪器设备收集基坑变形和沉降的原始数据,是整个系统的基础。数据传输层将采集到的数据快速、稳定地传输至数据处理中心,确保数据的及时性和完整性^[5]。数据处理与分析层对接收到的数据进行处理、分析和挖掘,提

取有价值的信息,判断基坑的安全状态。成果展示层则以直观的方式将监测结果呈现给相关人员,便于他们及时了解基坑变形情况并做出决策^[6]。

结束语:高层建筑基坑变形监测与沉降观测技术对保障基坑安全意义重大。通过明确监测项目、选用合适方法、合理确定频率与布点,可有效获取变形与沉降数据。沉降观测技术能精准捕捉建筑物及周边地表沉降信息。集成多种监测技术构建系统,能全面准确反映基坑及周边环境变形情况。实际应用中需不断优化技术,提升监测水平,确保基坑工程安全。

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]唐均.沉降观测在高层建筑物变形监测中的应用探讨[J].房地产世界,2021(20):132-133+142.
- [3]丁涛,徐先峰,高学武.高层建筑物工程项目沉降观测技术方案设计[J].科技创新与生产力,2021(3):56-58.
- [4]田浩.高层建筑桩基沉降监测及变形量预测研究[J].江西建材,2025,(01):123-125.
- [5]罗志雄.高层建筑桩基沉降监测及变形预测研究[J].江西建材,2024,(11):106-108.
- [6]李国强,燕志恒,刘国荣,齐锋.建筑物沉降观测精度控制措施[J].工程施工与管理,2024,6:67-69.