

水准测量在软土地基沉降监测中的应用问题探讨

蔡晓祥

湖北震泰建设工程质量检测有限责任公司 湖北 武汉 430071

【摘要】：软土地基具有高压缩性、低承载力、固结沉降周期长等特点，在建筑工程、基坑工程、轨道交通建设及运营全周期中，很容易出现不均匀沉降和过量沉降，直接危及工程结构安全和运营稳定。水准测量是人工沉降监测的主要技术手段，具有精度可控、现场适应性强、数据可靠、成本低等优点，在软土地基沉降监测中占有不可替代的地位，特别适合于建筑主体沉降观测、软土基坑周边沉降监测、地铁运营期线路人工沉降监测三大场景。本文根据软土地基工程地质特点，整理出水准测量在三种场景下应用的流程，分析现场实施、数据控制、精度保证等环节中出现的问题，并针对这些问题提出相应的改进措施和全过程质量控制方法，通过工程实践检验技术的实用性，提高水准测量在软土特殊地质条件下应用的质量，为同类工程沉降监测及安全控制提供借鉴。

【关键词】：软土地基；沉降监测；水准测量；基坑监测；地铁运营监测

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.038

1 引言

我国沿海、沿江和内陆平原地区广泛分布着软土地基，软土地基以淤泥、淤泥质土为主，天然含水率高、孔隙比大、压缩模量低，在外荷载、地下水波动和周边施工扰动的作用下，会产生持续且不均匀的沉降，很容易造成建筑开裂倾斜、基坑支护失稳、地铁轨道平顺度超标等安全隐患，轻则影响工程使用功能，重则造成安全事故。因此全过程、高精度沉降监测是软土工程施工和运营控制的重要环节，也是判断地基稳定情况、指导施工调整、保证结构安全的主要依据。目前沉降监测技术分为自动化和人工两种，GNSS、光纤传感、静力水准等自动化技术可以实现连续监测，但是由于软土地基环境、设备成本、电磁干扰、维护难度等原因，在复杂的工况下不能完全代替人工监测。水准测量属于经典的低精度高程测量手段，可以依靠合适的仪器完成毫米级的观测，操作灵活、数据可复核，适合软土地基精细化监测、应急监测以及数据复核等工作。本文主要针对水准测量在软土地基建筑沉降观测、基坑监测、地铁运营人工监测这三个场景的应用进行梳理，并对技术痛点进行解决，完善应用体系，使软土工程沉降监测工作更加精准、实用。

2 软土地基沉降机理与水准测量技术基础

2.1 软土地基沉降核心机理

软土地基沉降分为瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降三个阶段，总沉降为三者之和，具有持续性、不均匀性和滞后性三个特点。瞬时沉降指荷载作用下立即出现，是由土体孔隙水压力突然增大、侧向变形引起的，多发生在基坑开挖、基础施工初期；固结沉降是软土沉降的主要组成，占总沉降量的70%以上，由于孔隙水缓慢排出、土体压缩而形成，持续时间可达数月甚至数年，是长期监测的重点；次固结沉降是在孔隙水压力消散之后，土体骨架蠕变所导致的后续沉降，在深厚软土地区尤

为显著。周边施工降水、重型荷载、地铁动荷载等外部因素，还会增大沉降速率，造成突变沉降，这就需要监测技术有较高的灵敏度和时效性。

2.2 水准测量核心原理与适配优势

水准测量依靠水准仪提供的一条水平视线，读取基准点和监测点水准尺上的读数，利用高差计算得出监测点的高程，再与不同时期的高程进行对比，就能得到沉降量，原理直观、结果清楚。软土地基监测的适配性优势明显，第一，精度可控，可以使用DSZ05、DSZ1等精密水准仪配合钢瓦尺进行亚毫米级测量，满足各种软土工程高精度监测的要求；第二，人工操作灵活，可以适应软土地基狭窄、地形复杂、施工干扰多的工况，精准覆盖基坑边角、地铁轨道、建筑转角等特殊点位；第三，成本较低、操作规范，不需要复杂的设备调试，适合大范围监测和应急作业；第四，数据可靠，可以现场排查干扰、修正误差，防止自动化设备故障造成数据缺失，是监测数据复核的主要手段。

2.3 软土地基监测精度要求

软土地基沉降变形敏感，微小的测量误差都会影响到数据的真实性，所以水准测量要严格按照行业规范进行，在不同的场景下设定精度标准。建筑工程软土区沉降观测要遵照二等水准准则，每千米往返高差中误差不能多于0.5毫米，软土基坑观测依照基坑等级，用二等或者三等水准，重要地段加密精度，地铁运营期间沉降观测属于高精度控制范围，始终维持二等精密水准要求，严防测站高差、视线长度、前后视距差等指标超标，保证数据真实体现地基及结构的变形状况。

3 水准测量在软土地基建筑沉降观测中的应用

3.1 监测方案设计核心要点

软土地基建筑沉降观测方案要根据地质情况、结构形式和荷载分布来确定，以整体和不均匀沉降为观测目标，主要完成

基准点、监测点布置和监测频率的确定。基准点为高程控制的关键，应选在软土影响范围之外的稳定土层中，不少于3个，组成闭合水准路线，定期复测稳定性，防止因基准漂移造成系统误差。监测点沿建筑的四个角、转角、高低层交界、沉降缝两侧和承重墙体均匀布置，软土厚度不均、荷载差异大的地方增加加密，用预埋式测点，底部嵌入稳定土层，防止施工破坏。监测频率按照动态调整的原则执行，施工期间荷载增大、沉降加快的时候加大监测密度，主体竣工沉降减缓之后减少监测频次，遇到暴雨、周边施工扰动等情况时开启应急加密监测。

3.2 现场人工监测实施流程

软土地面人工水准测量要规范操作，严格控制场地误差。测量前对仪器进行检校，检查水准仪*i*角误差和水准尺刻度精度；对地面松软问题提前夯实测站、架设稳定的尺垫，不得直接在软土上架设尺具。测量过程使用往返或闭合水准路线，控制视线长度、视距差、视线高度，避免水汽折光的影响，读数准确快速，多次测量取平均值，现场校核闭合差，超过规定限值立即返工。数据用纸质和电子两种方式记录，注明测量时间、天气、工况等信息，保证数据可以追溯。

3.3 常见问题与解决对策

软土建筑沉降观测中水准测量容易受到地质、人为因素的影响而产生四种问题，相应的对策也十分明确。一是基准点不稳定，每1~2个月复核一次基准点，发现漂移立即修正高程基准；二是尺垫下沉、测站晃动造成的偶然误差，使用厚重的尺垫、夯实测站来保证尺具竖直稳定；三是局部数据异常，根据地质资料和周围测点数据综合分析，区分真实的沉降和测量误差，避免误判；四是监测频率不合理，严格按照施工进度和沉降速率动态调整，荷载变化、极端天气后及时补测。

4 水准测量在软土地区基坑工程监测中的应用

4.1 基坑监测需求与技术适配性

软土基坑开挖深度大、土体稳定性差，卸荷作用容易造成周边地表沉降、支护结构变形，直接危及周边建筑、道路和管线的安全，监测的重点就是及时了解沉降的规律，发出警报。水准测量与软土基坑监测需求高度契合，能自由布置临时测点，覆盖基坑周边、支护结构顶部、临近道路等重点区域，适应狭窄施工场地；可以动态改变监测频率和点位，应对基坑施工工况多变的特点；应急情况下可以快速复测，给风险处置提供及时的数据支持，弥补自动化设备布设难、响应慢的缺点。

4.2 现场监测实施要点

软土基坑水准监测要控制好三个主要环节。基准点布置在基坑开挖影响半径以外，距离基坑边缘不小于2倍开挖深度，不少于3个，组成复合水准路线。监测点分为地表沉降点和支护结构顶部沉降点，地表点沿基坑周边每10到20米设一个，靠近敏感区域的增加；支护顶部测点和位移测点同时布置，达

到变形协同监测的目的。测量路线应尽量闭合，以减小累计误差，软土地面的测站应选在硬化地面，无硬化处设钢板以防下沉。监测频率根据开挖进度而定，开挖期每1~2天测一次，稳定后逐渐减少，遇暴雨、重载通行、变形警报时加密到每4~8小时一次。

4.3 特殊问题与优化方法

软土基坑监测存在的特殊问题有土体扰动、环境干扰、数据波动。根据连续监测数据绘制沉降速率曲线，区分正常固结沉降和异常失稳变形；根据阴雨天气水汽折光误差选择晴朗无风时段作业，减少视线长度降低干扰；根据施工机械多、测点易破损问题安排专人管护测点，定期检查完好性，破损点位及时修复；根据降水引起附加沉降情况同步监测地下水位和沉降数据，联系分析沉降诱因，提高数据的应用价值。

5 水准测量在地铁运营软土地基人工监测中的应用

5.1 地铁运营监测的特殊性

地铁运营期软土地基监测有三个特殊之处，精度要求高，列车动荷载反复作用下，轨道微小沉降都会影响运行平顺性和安全性，必须执行二等精密水准标准；作业受限，监测只能在夜间列车停运的窗口期进行，作业时间短、空间小、任务紧；管控责任重，周边城市建设施工容易引起附加沉降，要兼顾线路自身沉降和外部扰动的影响，及时发出预警。自动化监测设备容易受到地铁内部的电磁干扰，数据需要人工水准测量复核，所以人工水准监测是地铁运营沉降控制的主要保证手段。

5.2 人工监测实施规范

地铁运营人工水准监测要根据运营特点来制订专项流程。基准点分为地面和洞内两类，地面基准点布置在线路外侧的稳定土层上，洞内基准点布置在隧道稳定结构处，定期联测建立统一高程基准。监测点沿轨道道床、路基、隧道结构均匀布置，重点布设在曲线段、道岔区、深厚软土段及周边施工影响区，测点与轨道结构紧密连接，防止列车震动松动。监测作业全部安排在夜间检修窗口期内进行，提前对仪器进行调试，规划好路线，缩短现场作业时间；测量人员遵守运营安全规定，严格按照二等水准规范操作，采用往返观测的方式，减少洞内温湿度、震动造成的误差，做好数据的完整记录，并标注出作业环境的信息。

5.3 常见问题与质量控制

地铁运营监测存在的问题有作业时间紧，洞内环境干扰大，基准漂移，异常数据识别困难等。根据作业时限优化路线规划，采用分段协作方式提高作业效率；洞内温湿度和光线影响时使用防水抗干扰仪器，提前将仪器放入洞内适应温差，配合强光手电准确读数；基准点漂移时每月复核一次稳定性，每季度进行地面和洞内基准联测，及时修正高程；异常数据要结合列车荷载、周边施工、地质条件等综合分析，区分正常沉降

和风险沉降,杜绝误报。质量控制上实行人员持证上岗、仪器定期检定、数据双人复核制度,绘制沉降历时曲线,实时掌握变形发展情况,给运营安全提供技术支持。

6 水准测量全过程质量控制与技术优化

6.1 全流程质量控制体系

软土地基水准监测质量控制要贯穿方案设计、现场实施、数据处理的全过程。方案设计阶段,根据地质及工程条件来制订专项方案,确定精度、点位、频率、预警指标,并经过审核之后再实施,人员管理方面,选派有软土监测经历的技术人员进行操作,定期进行技术交底工作,降低操作失误的可能性,现场实施阶段,严格按仪器检校制度执行,落实软土地基误差防控措施,数据记录真实可信,现场校核闭合差,数据处理阶段,使用专业软件进行统计分析,剔除粗差,修正误差,结合工况出具规范监测报告,明确沉降状态和处置建议。

6.2 技术优化路径

对软土监测要求来说,传统的水准测量可以从四个方面进行改善。一是使用数字精密水准仪,自动读数、数据保存,减少人为误差,提高狭小空间作业效率;二是闭合、附合水准路

线代替支路线,软土区段增加测站、缩短视线长度,减小累计误差;三是预埋耐腐蚀测点,加大软土区测点埋深,提高稳定性;四是根据沉降速率和工况动态调整频率。

6.3 人工与自动化监测协同应用

人工水准测量和自动化监测不是替代的关系,是互相补充的。自动化设备实行24小时不间断监测,适合长时沉降跟踪,人工水准测量精度可控、适用性好,主要用作数据复核、应急监测和特殊工况作业。在实际工程中重点区域安装自动化设备,辅助人工定期复核,普通区域用人工水准测量结合成本和精度来建立全方位的监测体系,提高软土地基沉降监测质量。

7 结论

随着工程建设技术的发展,软土地基工程的规模和复杂程度越来越大,沉降监测的要求也越来越高。未来水准测量技术会向着数字化、智能化方向发展,数字水准仪、智能数据处理软件的普及会进一步提高人工监测的效率和精度,结合BIM技术、数字孪生技术可以实现沉降监测数据的可视化分析和动态预警,使软土地基沉降监测由被动监测变为主动管控。水准测量属于经典的人工监测手段,会一直处在软土地基沉降监测当中,给工程的安全建造和长久运作赋予有力支撑。

参考文献:

- [1] 张彩龙.软土地基桥梁桩基施工沉降监测与处理技术研究[J].科技资讯,2025,23(14):130-132.
- [2] 刘艳.公路软土地基沉降监测与稳定性分析[J].山西交通科技,2022,(03):62-64.
- [3] 陈庆伟,杨臻,谢丹,等.软土地基变电站沉降监测与预测分析[J].广东电力,2022,35(03):124-131.
- [4] 郭峰.不同处理方法下的软土地基沉降监测分析[J].山西建筑,2021,47(14):65-67.
- [5] 李培乐.高速公路软土地基沉降监测分析[J].山西建筑,2021,47(06):121-122+165.