

工程测量中高程传递精度控制研究

常福 340406198810152837

摘要

高程传递是工程测量中保障竖向施工精度的核心环节，其精度直接影响高层建筑、深基坑、地下隧道等工程的施工质量与结构安全。本文结合工程测量实践，分析了传统水准测量、全站仪三角高程测量、GNSS 高程传递以及新型水准机器人传递等不同高程传递方法的误差来源，从仪器校准、环境控制、作业流程优化三个维度提出了精度控制的具体措施，并结合实际工程案例验证了控制方案的有效性。研究结果表明，通过分级误差管控与作业流程标准化，可将高程传递的累计误差控制在规范允许范围内，满足大型复杂工程的高程精度要求，为同类工程的高程传递作业提供参考。

关键词：工程测量；高程传递；精度控制；误差分析

一、引言

在现代工程建设领域，随着高层建筑深度与高度不断增加、超长地下隧道工程数量持续增长，对竖向高程传递的精度要求也不断提高。高程传递的核心任务是将地面已知高程控制点的高程准确传递到地下或上部施工层面，为施工放样、结构变形监测提供基准。如果高程传递出现精度偏差，不仅会导致施工高程错位，引发结构衔接错误，严重时还会造成工程安全事故。因此，系统研究工程测量中高程传递的误差来源，提出针对性的精度控制措施，具有重要的工程实践价值。

目前我国工程测量领域常用的高程传递方法包括传统悬挂钢尺水准传递、全站仪三角高程传递、GNSS 拟合高程传递以及近年来推广的静力水准传递等，不同方法的适用场景与精度特性存在明显差异，精度控制的要点也各不相同。现有研究多聚焦于单一方法的精度验证，缺乏对不同场景下精度控制体系的系统性梳理，本文结合多种高程传递方法的共性与个性误差，构建全流程精度控制方案。

二、高程传递的主要误差来源分析

2.1 仪器系统误差

仪器系统误差是高程传递中最稳定的误差来源，主要包括仪器本身的制造误差与未校准偏差。对于传统水准测量而言，水准仪 i 角误差会随着测站数量增加

产生累计误差，在竖向高程传递中，多个测段传递后*i*角误差会被快速放大；悬挂钢尺法中，钢尺的刻划误差、温度膨胀系数标定误差会直接影响高程传递结果，钢尺自重产生的伸长量如果未进行修正，也会引入系统性偏差。对于全站仪三角高程测量来说，全站仪竖盘指标差未校准、测距常数偏差会同时影响竖直角测量与斜距测量结果，最终引发高程计算误差。GNSS 高程传递中，卫星星历误差、接收机钟差会影响大地高测量结果，而高程拟合模型本身的残差也会带来系统性偏差。

2.2 外界环境误差

外界环境对高程传递精度的影响具有随机性，但在特定工程场景下会成为主要误差来源。大气折射是影响光学测量类高程传递的核心环境因素，在深基坑或地下隧道中，不同深度位置的温度差会引发大气折光系数变化，导致水准视线与全站仪竖直角测量产生偏差；在地面高层建筑高程传递中，太阳辐射会引发建筑物摆动与仪器基座沉降，也会导致测量结果出现波动。温度变化对钢尺与测距仪的影响十分明显，钢尺温度与标定时温度的差异会产生长度误差，测距仪的光速受大气温度、气压影响，未经气象修正的测距结果会存在系统性偏差。此外，施工场地的振动会导致仪器整平不稳定，引发测站高程的随机偏差，风力较大时高层建筑上的仪器晃动也会降低竖直角观测精度。

三、高程传递精度控制措施

3.1 仪器设备校准与预处理

精度控制的首要环节是做好仪器校准，从源头降低系统误差。作业前必须对水准仪*i*角进行检测，对于一等、二等高程传递，*i*角误差应控制在 10"以内，作业过程中如果发现仪器受到碰撞或环境温度变化较大，应重新进行校准；对于全站仪，作业前需要对竖盘指标差进行校准，指标差偏差应控制在 10"以内，同时对测距加乘常数进行检测，定期送计量部门检定，确保测距精度符合要求。对于悬挂钢尺，必须取得钢尺的检定证书，获取刻划改正系数与温度膨胀系数，作业前根据作业环境温度预先计算温度改正值，同时根据悬挂重量计算钢尺自重伸长改正量，确保钢尺长度误差控制在允许范围内。对于 GNSS 接收机，需要定期对接收机天线高测量位置进行校准，作业时采用相同的测量方式获取天线高，降低天线高测量误差。

3.2 外界环境影响消减措施

针对不同的环境影响因素，采取针对性的消减措施可以有效降低环境误差。对于大气折光影响，三角高程传递时应选择对向观测的方式，对向观测可以抵消大部分大气折光与地球曲率的影响，有效提高高程传递精度；水准测量作业应避免在晴天正午进行，此时近地面温度梯度大，大气折光影响最为明显，选择早晨或傍晚气温稳定的时段作业，可以降低折光误差。对于温度影响，钢尺传递高程时必须测量作业现场的温度，温度读数精度不低于 0.5°C ，并按照公式计算温度改正值；全站仪测距时必须测量现场的气压与温度，计算气象改正数，对测距结果进行修正。对于振动与晃动影响，测站应设置在稳定的结构面上，必要时采用强制对中基座，提高仪器的稳定性，高层建筑高程传递时应选择风力较小的时段作业，避免结构晃动对观测结果的影响。

四、工程案例验证

某超高层建筑工程建筑总高度 328m，需要将地面高程控制点传递到建筑顶部的施工层面，设计要求传递高程的闭合差不大于 $60\sqrt{L}\text{ mm}$ （ L 为传递路线长度，单位 km）。本次高程传递采用分级传递的方式，每 50m 设置一个中转高程控制点，分别采用全站仪对向三角高程与水准测量结合的方式进行传递，作业前对水准仪 i 角与全站仪竖盘指标差进行校准，作业时选择早晨 6 点到 9 点气温稳定、风力较小的时段进行观测，每级传递独立观测两次，对较差合格的结果取平均值。最终完成全高度传递后，闭合差测量结果为 18mm，远小于规范允许的 38mm，精度满足设计要求，验证了本文提出的精度控制措施的有效性。

五、结论

工程测量中的高程传递精度受仪器系统误差、环境误差与人为操作误差的共同影响，精度控制需要从仪器校准、环境消减、流程优化三个维度构建全流程控制体系。对于不同的工程场景，应结合高程传递方法的特性，针对性落实控制措施，通过独立观测复核、分级传递控制累计误差，能够有效保障高程传递精度，满足大型复杂工程的施工要求。未来随着智能测量设备的推广，自动化高程传递将进一步降低人为误差，进一步提升高程传递的精度与效率。

参考文献

- [1] 郭际明, 刘宗泉. 测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2016.

[2] 李征航, 黄劲松. GNSS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2015.

[3] 张正禄. 工程测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.

[4] 王爱生, 张东明. 超高层建筑高程传递方法及精度分析[J]. 测绘工程, 2014, 23(6): 68-71.