

建筑施工现场地形测量精度控制方法研究

梁凡春¹ 杨钰莹²

1. 广东安广建设集团有限公司 广东 茂名 525400

2. 茂名市建筑业产学研促进会 广东 茂名 525000

摘要：地形测量精度是建筑工程施工质量与进度的核心保障，施工现场复杂环境易引发多类测量误差，影响施工放样、土方核算及工程验收质量。本文基于工程测量基础理论，系统剖析仪器、人为、环境、数据处理四大精度影响因素，从设备管控、现场作业、环境补偿、数据处理四维度制定系统化精度控制方法。结合实际丘陵场地工程案例验证方法有效性，量化分析精度优化效果，提出常态化管控优化策略，可为建筑施工现场地形测量精度提升提供实操参考。

关键词：建筑施工现场；地形测量；精度控制方法

引言：随着建筑工程规模化、精细化发展，施工现场地形测量的精准度直接决定工程施工规范性与质量安全性。当前施工现场普遍存在地形复杂、施工干扰多、测量误差累积等问题，传统测量管控方式难以满足现代建筑高精度施工要求。为有效规避测量粗差、系统误差与偶然误差，把控各施工阶段测量精度，本文依托现行测量规范，结合现场施工痛点，探究全方位地形测量精度控制技术与管控体系，旨在解决现场测量精度不足问题，助力工程提质增效。

1 建筑施工现场地形测量及精度误差基础理论

1.1 建筑施工现场地形测量核心内容与技术标准

(1) 主要工作：包括地形测绘（采集地貌与地物特征点坐标）、点位布设（建立施工控制网及轴线点）、高程测量（引入水准基点并加密控制）、坡度检测（核查平整度与边坡稳定性），为放样、土方及验收提供数据支撑。(2) 规范与精度等级：依据《工程测量标准》（GB50026）和《建筑变形测量规范》（JGJ8），精度划分为特等至等外若干等级，各有测角中误差、测距相对中误差及高程闭合差限值，施工单位按设计要求和工程性质选用。(3) 分阶段管控：准备阶段侧重控制网布设，精度要求高；土方阶段注重高程与坡度实时复核，允差较宽；主体阶段对轴线定位和标高传递管控最严；竣工阶段聚焦总尺寸及关键点校核，精度回归设计标准值。

1.2 地形测量误差基本理论

(1) 测量误差的分类：系统误差（由仪器自身缺陷、观测方法固定偏差引起，具有累积性和规律性）、

偶然误差（由外界偶然因素干扰所致，符合正态分布规律）、粗差（因操作失误或记录错误产生的异常偏差，应通过校核剔除）。(2) 测量误差传播与累积规律：误差按线性函数传递，各独立观测值的中误差平方之和等于函数中误差平方，且随观测次数增加或导线边长延伸而逐级累积，须通过闭合差检核及平差计算抑制其扩散。(3) 精度评定核心指标：中误差（衡量离散程度，反映测量内符合精度）、相对误差（中误差与观测值之比，用于距离或面积精度比较）、极限误差（通常取2倍或3倍中误差作为允许偏差上限，超限须返工重测）。

1.3 建筑施工现场地形测量精度影响因素

(1) 仪器设备因素：包括设备标称精度、校准状态（是否按期检定）、老化与操作损耗（如对中杆倾斜、制动装置松动），直接影响原始观测值的可靠性。(2) 人为操作因素：测量人员专业水平、操作规范性（如仪器整平、照准目标、记录计算）及读数误差，是施工现场常见且较难量化的主要误差源。(3) 现场环境因素：复杂地形地貌（植被茂密或高差陡峭）、气候条件（强光、大风、雨雾）、施工干扰（机械振动、人员穿行）及场地遮挡（堆土、围挡、脚手架），均可能造成信号遮挡或视线不稳定。(4) 数据处理因素：数据记录缺失或书写错误、计算过程中的舍入误差、拟合处理（如曲线拟合、网格插值）引入的模型偏差，均会形成二次误差，须通过数据检核与平差处理加以削弱^[1]。

2 建筑施工现场地形测量精度控制核心方法

2.1 测量仪器设备精度管控方法

(1) 仪器选型适配。依据地形复杂度、精度需求与

作业环境选配设备：全站仪用于高精度角度距离测量，GPSRTK 适于开阔区快速定位，水准仪专司高程传递，三维激光扫描仪用于复杂表面建模，无人机航测系统用于大范围快速采集。选型须保证标称精度高于工程最低精度要求，并兼顾效率与经济性。（2）前期校准与定期校验。进场前由具备资质机构完成全面检定，校准电子水准器、光学对中器、补偿器及测距加乘常数等关键参数。施工期建立校验台账，全站仪、水准仪每 6~12 个月送检一次，GPS 接收机每 12 个月一次。每次出测前执行快速检校，包括水准仪 i 角、全站仪视准轴误差及指标差检验，从源头消除系统误差^[2]。（3）现场安置、防护与规范操作。仪器架设于坚实稳固地面，脚架踩实，精确对中整平，避开大型机械及交通繁忙区域。作业中采取防日晒、防雨淋、防沙尘措施，配遮阳伞与防雨罩；环境温度超限时暂停测量。搬站严格执行“装箱运输”，防止碰撞与震动，操作人员持证上岗并严格遵循仪器手册规定。

2.2 现场测量作业精度控制方法

（1）测量点位科学布设原则与优化方案：遵循“先控制后碎部、逐级加密”原则，控制点选设在基础稳固、通视良好、便于长期保存的位置。针对不同施工阶段灵活调整图根点密度，采用三角形网或边角交会等冗余观测结构提升点位几何强度，保证最弱边相对中误差及最弱点位中误差满足规范限差要求。（2）标准化测量操作流程：制定覆盖观测前准备、仪器安置、目标照准、读数估读、现场记录及数据核验的全流程标准化作业指导书，统一各环节操作细节。记录采用正规手簿或电子手簿，观测值与记录值须经现场回报确认，杜绝错读、漏记及单位混淆等人因失误，确保原始数据真实可靠^[3]。（3）多测回观测、重复校核、交叉验证的精度防控手段：水平角与垂直角采用不少于 2 测回观测，严格把控半测回归零差、2C 互差及测回间互差限值。对重点部位的关键点位进行独立重复观测，取中数作为最终成果。安排不同作业组或采用不同仪器进行独立检测与交叉复核，通过多方互证及时发现异常数据，有效排除偶然误差及粗差。

2.3 环境干扰下的精度补偿与优化方法

复杂地形（陡坡、洼地、凹凸场地）的测量精度修正方法：陡坡地带采用免棱镜全站仪或三角高程测量替代传统水准测量，增加多余观测次数以削弱垂线偏差影响。低洼及凹凸不平区域采取分段设站、逐级传递高程的方式，布设过渡辅助点缩短单站测距，控制测距误差累积效应，局部困难区域可借助钢尺量距配合经纬仪补

充定位。（2）温湿度、风力、光照等气象因素的误差补偿策略：测量过程中同步记录温度、气压与湿度参数，利用仪器内置气象改正功能或人工查算改正数进行实时修正。风力超过 4 级时增设防风屏障或选择低风速时段作业；强光照条件下加装滤光片或选择清晨、傍晚等光线柔和时段观测，减弱大气折光与视差干扰。（3）施工现场机械、物料遮挡干扰的规避与优化测量方案：提前与施工方协调测量作业窗口，避开土方运输、混凝土浇筑等高干扰时段。遇到临时遮挡时灵活切换至后方交会、侧方偏距法或自由设站法等替代方案。

2.4 测量数据处理精度控制方法

（1）原始测量数据筛选与粗差剔除方法：逐项检查原始观测记录的闭合差（附合导线角度闭合差、水准路线闭合差等），对超限数据立即标注并安排现场重测。采用拉依达准则（ 3σ ）或狄克逊检验法等统计判别手段，结合测量条件分析与图形对比，科学识别并剔除含粗差的异常观测值，确保参与平差计算的数据真实可靠。（2）基于专业软件的数据精准计算与拟合处理技术：采用南方平差易、COSY 等专业平差软件进行严密最小二乘平差，输出各点坐标和高程的最或然值及其中误差。对地形散点运用三角网线性内插或样条函数拟合法建立数字地面模型，合理设定拟合参数避免过拟合与欠拟合，确保拟合成果客观反映场地真实起伏形态^[4]。（3）数据复核、归档与误差溯源管控机制：建立“自检—互检—专检”三级复核制度，逐级核验计算过程及成果图表的逻辑一致性。所有原始观测手簿、平差计算书、成果表及技术说明按工程档案管理标准分类编号归档。当成果质量存疑时，通过逆向追溯仪器检定记录、环境日志及观测人员操作流程，快速锁定误差来源并采取针对性整改措施，确保测量成果质量全链条可追溯、可闭合。

3 工程案例应用与效果验证

3.1 工程案例概况

（1）项目场地地形条件、施工规模与测量工作难点：项目总建筑面积约 12 万 m^2 ，场地为起伏丘陵地，最大高差约 8.6m，地表分布多处原有建筑基础破碎物及临时堆土区，通视条件较差。测量难点包括：堆土及便道频繁变动致控制点易遭破坏，土方平衡阶段高程测量频次密集且精度要求高，支撑结构施工阶段场地狭窄造成测站布设困难。（2）项目地形测量精度管控目标与规范要求：依据《工程测量标准》（GB50026-2020），首级平面控制网最弱点点位中误差不大于 $\pm 5\text{mm}$ ，高程控制网每千米高差全中误差不大于 $\pm 2\text{mm}$ ；土方开挖阶段

标高测量中误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ，主体结构轴线投测中误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ ，闭合差严格按二等水准及一级导线标准执行。（3）现场测量设备配置与人员配置情况：配备 1 秒级全站仪 2 台、DS1 级水准仪 2 台、GPS-RTK 接收机 3 台及配套气象检测设备。测量班组共 7 人，其中测量工程师 2 人、测量员 3 人、记录员 2 人，均具备同类工程测量经验。

3.2 精度控制方法现场实施过程

（1）针对项目痛点定制的全流程精度控制方案：采用“外围首级网+内部加密网”双层架构，首级网布设于场地外围稳定区域，内部加密点分区动态恢复；土方测量采用分区网格法配合 RTK 快速采集，每周用水准仪抽检校核，确保高程数据准确。（2）仪器管控、现场作业、数据处理各环节具体实施措施：仪器每 3 个月送检、每周常规校核，RTK 每日校准基准站；控制测量采用 3 测回观测并现场计算闭合差，土方测量采用“双人双仪器”独立观测比对；数据处理采用平差软件严密解算，逐项记录残差并生成精度报表。（3）施工全过程动态管控流程：按“施工段划分→逐段测量→即时检核→动态更新”流程作业，每完成一段即校验闭合差，合格后方可进入下一段；建立每日测量日志与每周精度汇总报告制度，精度数据动态反馈至技术负责人，及时调整后续作业方案^[5]。

3.3 测量精度数据对比与效果分析

（1）精度控制前后误差数据对比：实施前导线角度闭合差均值约 $\pm 18''$ 、水准闭合差约 $\pm 4.2\text{mm/km}$ ；实施后分别降至 $\pm 10''$ 和 $\pm 1.8\text{mm/km}$ ，控制点复测偏差由 $\pm 8\text{mm}$ 降至 $\pm 3\text{mm}$ 以内，关键点位最大偏差由 12mm 降至 4mm。（2）各环节精度优化效果量化分析：仪器定期校准使测距加常数误差由 3.2mm 降至 0.8mm，优化率 75%；双人独立观测使读数偶然误差由 $\pm 2.5\text{mm}$ 降至 $\pm 0.8\text{mm}$ ，优化率 68%；平差处理使残差平方和下降约 55%；整体测量中误差由 $\pm 5.6\text{mm}$ 优化至 $\pm 2.3\text{mm}$ ，优化率约 59%。（3）对施工质量、进度的提升作用：土方计算误差由 5% 控制在 2% 以内，避免二次开挖；桩基偏位率下降 62%，轴线验收一次通过率由 82% 提升至 96%；

因返工减少及报验顺畅，累计节约工期约 8 个工作日。

3.4 现场应用问题与优化改进建议

（1）实际应用中存在的短板与问题：临时加密点受重型机械碾压重建频次高，增加累积误差风险；雨后热辐射差异大，大气折光改正不及时致三角高程偏差增大；班组交接时测量日志记录不够详尽，影响误差溯源效率。（2）适配施工现场的优化策略：外围控制点改用深埋混凝土标石加防护围栏，内部加密点采用可拆卸式强制对中钢架提高恢复效率；引入温湿度连续监测仪实现折光系数实时动态改正；优化电子化填报系统，增设关键操作节点照片留存功能。（3）常态化精度管控落地保障措施：将测量精度指标纳入月度考核，明确各岗位责任；制定《现场测量精度管控操作细则》并组织定期培训考核；建立精度预警机制，成果接近限差时自动触发加密检测，推动精度管控从被动事后处理向主动事前预防转变。

结束语

本文梳理了建筑施工现场地形测量的误差机理与核心精度影响因素，构建了覆盖仪器、作业、环境、数据处理的全流程精度控制体系，且经实际工程验证可有效降低测量误差、提升施工验收合格率、节约施工工期。针对现场应用短板提出针对性优化措施与常态化管控方案。后续可结合智能化测量技术，进一步优化动态精度补偿机制，持续提升施工现场地形测量的精准性与高效性。

参考文献

- [1] 陈凯, 张宇. 建筑施工现场地形测量误差分析与精度控制策略 [J]. 工程勘察, 2024, 52(07): 32-37.
- [2] 郎强, 代强, 何雄. 无人机复杂地形工程测量精度提升策略研究 [J]. 四川水利, 2025, 46(02): 102-106.
- [3] 韩钧宇. GNSS-RTK 技术在建筑工程地形测量中的精度控制与实践 [J]. 中华建设, 2024, 24(11): 148-150.
- [4] 赵宇. 基于无人机航测的建筑工程地形测绘精度优化技术 [J]. 中国高新科技, 2025, 18(03): 143-145.
- [5] 王浩宇. 全站仪在建筑施工现场地形测量中的误差控制研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(09): 189-192.