

测绘地理信息工程精度控制方法

李双雄

永仁县自然资源局 云南 楚雄 675000

摘要：测绘地理信息工程精度受数据采集、处理、成果输出等多阶段因素影响。本文提出全流程精度控制理念，涵盖精度分级与动态调整机制，通过仪器校准、观测优化、误差补偿等技术提升数据采集精度，运用智能算法与多源数据融合技术强化数据处理，并建立成果验证与反馈机制。典型工程案例表明，该方法可显著提升成果精度，降低人力与时间成本，为城市规划、工程管理等领域提供高精度空间数据支撑。

关键词：测绘地理；信息工程；精度控制方法

引言：在城市化快速推进与数字化技术蓬勃发展的当下，测绘地理信息工程作为城市规划、工程建设、灾害监测等领域的基石，其精度直接关系到项目质量与决策科学性。然而，受仪器误差、环境干扰、数据处理算法局限等因素影响，精度控制面临诸多挑战。因此，探索系统化、智能化的精度控制方法，提升测绘成果可靠性，成为推动行业高质量发展的关键所在。

1 测绘地理信息工程精度影响因素分析

1.1 数据采集阶段误差来源

(1) 仪器误差：GNSS接收机存在钟差、星历误差，导致定位偏差；全站仪轴系偏差（视准轴、横轴、竖轴误差）会影响角度与距离测量精度；激光雷达扫描系统的测距误差（如相位测量误差）、扫描角度误差，会造成点云数据位置偏移，尤其在远距离扫描时误差更明显。(2) 环境干扰：大气折射使电磁波传播路径弯曲，导致GNSS信号延迟，高海拔或温差大区域误差可达数厘米；多路径效应（信号经建筑、地面反射）会干扰GNSS与激光雷达接收信号，产生虚假观测值；地形遮挡（如山地、密集建筑）导致GNSS卫星通视不足、激光雷达扫描盲区，造成数据缺失或精度下降。(3) 人为操作误差：观测时未避开强电磁干扰区域（如高压线路），会影响仪器信号接收；操作人员未按规定对中整平全站仪、未准确对准目标，或无人机飞行时未保持稳定航线，均会引入操作误差^[1]。

1.2 数据处理与分析阶段误差传递

(1) 数据预处理误差：滤波算法选择不当，如用高斯滤波处理激光雷达点云时，过度平滑会丢失地形细节，导致高程误差增加3-5mm；去噪阈值设置不合理，过严会剔除有效数据，过松则保留噪声点，影响数据精度；多源数据配准偏差，如无人机影像与激光雷达点云配准误差超5mm，会导致后续建模精度下降。(2) 模

型算法误差：平差模型假设与实际不符，如忽略大气误差的平差计算，会使平面点位中误差扩大20%-30%；三维重建算法局限性，如基于影像的重建在纹理缺失区域（如墙面）易产生建模偏差，偏差可达8-10mm。(3) 多源数据融合误差：坐标系转换参数误差，如不同坐标系间转换参数精度不足，会导致数据偏移，平面偏差可达5-8mm；语义不一致，如同一地物在不同数据源中分类不同（如“绿地”与“公园”混淆），会导致融合后属性精度下降，分类准确率降低10%-15%。

1.3 成果输出与应用阶段误差影响

(1) 成果表达形式：二维地图比例尺选择不当，小比例尺地图（如1:10000）会掩盖局部细节误差，影响工程选址精度；三维模型LOD（细节层次）设置过低，简化后的模型可能丢失建筑檐角、管线接口等关键细节，导致后续施工放样误差增加；GIS数据库字段缺失（如未记录地物高程属性），会限制成果在高程相关应用中的精度^[2]。(2) 应用场景对精度的需求差异：工程测量对精度要求极高，如桥梁施工放样需毫米级精度，若成果误差超5mm会导致结构拼接偏差；城市规划精度需求适中，1:2000比例尺地图平面中误差 $\leq 15\text{cm}$ 即可满足需求，过高精度会增加成本；灾害监测注重动态精度，如滑坡监测需实时掌握厘米级位移，若成果滞后或精度不足，可能错过预警时机。

2 测绘地理信息工程精度控制方法

2.1 精度控制原则与流程设计

(1) 全流程精度控制理念：打破“分段管控”局限，贯穿工程全生命周期。设计阶段需结合应用场景明确精度目标，如工程测量需预设毫米级点位精度标准；数据采集前制定仪器选型、观测规范等前置方案；处理与输出阶段同步嵌入精度校验节点，避免误差累积；应用环节实时跟踪成果精度适配性，形成“目标设定-过程

管控-结果校验-应用反馈”的闭环控制链,确保各环节精度可控。(2)精度分级标准与动态调整机制:依据项目类型与应用需求划分精度等级,例如城市规划采用“一级(1:500比例尺,平面中误差 $\leq 5\text{cm}$)、二级(1:2000比例尺,平面中误差 $\leq 15\text{cm}$)”分级;建立动态调整规则,当环境条件突变(如强电磁干扰导致GNSS数据异常)或数据偏差超出阈值时,自动触发精度等级调整,如将观测精度标准从“常规级”提升至“精密级”,同时配套调整仪器参数、观测频次等管控措施,保障精度与实际需求匹配^[3]。

2.2 数据采集阶段控制方法

(1)仪器校准与检定技术:制定“定期+按需”校准制度,GNSS接收机每季度通过国家级计量检定机构校准,全站仪每月进行轴系误差自检;建立仪器误差补偿模型,针对激光雷达测距偏差,通过采集标准距离样本构建“测距值-偏差值”对应模型,实时修正观测数据;对老化仪器实施误差追溯,通过历史校准数据预测误差变化趋势,提前更换关键部件,减少固有误差影响。

(2)观测方案设计优化:站点布设遵循“无遮挡、强信号”原则,GNSS观测站避开高压线路、高大建筑,确保卫星通视率 $\geq 85\%$;根据区域环境特征选择最优观测时段,如城市区域避开早晚交通高峰(减少多路径干扰),高海拔地区选择大气稳定的正午时段(降低折射影响);针对复杂地形(如山区)采用“多站点组网+补测”方案,通过加密观测点覆盖地形盲区,提升数据完整性与精度^[4]。(3)环境因素补偿方法:采用高精度大气模型修正,如引入“对流层延迟模型(Saastamoinen模型)”结合实时气象数据(温度、气压、湿度)计算大气折射误差,修正GNSS定位结果;应用多路径抑制技术,硬件层面选用扼流圈天线减少反射信号接收,软件层面通过“信号质量阈值筛选(如剔除信噪比 $< 35\text{dB}$ 的观测值)”“多路径误差模型(如MEDLL算法)”过滤干扰数据,降低环境干扰对采集精度的影响。

2.3 数据处理阶段控制方法

(1)误差建模与仿真分析:运用蒙特卡洛模拟技术,通过随机生成1000组误差样本(涵盖仪器、环境、操作误差),模拟不同误差组合对结果的影响,识别关键误差源;构建误差椭球模型,针对平面与高程精度,计算点位误差椭球的长半轴、短半轴及方位角,直观呈现误差分布特征,为后续修正提供方向;建立误差传递仿真模型,量化数据预处理、算法计算等环节的误差传递系数,提前制定针对性抑制措施。(2)智能算法应用:引入深度学习去噪,采用U-Net神经网络对激光雷

点云数据进行处理,通过训练样本(含噪声点云+纯净点云)让模型自主学习噪声特征,去噪精度较传统滤波提升30%以上;应用自适应平差算法,根据数据残差动态调整观测权重,如当某组GNSS观测数据残差超出阈值时,自动降低其权重,避免异常数据对平差结果的干扰,提升计算精度稳定性。(3)多源数据融合精度提升:采用多传感器联合解算,将GNSS、全站仪、激光雷达数据纳入统一解算模型,通过卡尔曼滤波融合多源观测信息,减少单一传感器误差,如GNSS提供全局定位基准,全站仪补充局部高精度点位,激光雷达完善地形细节,实现“优势互补”;运用语义对齐技术,建立统一地物分类标准(如将“建筑物”定义为“高度 $\geq 2.2\text{m}$ 、占地面积 $\geq 10\text{m}^2$ 的封闭结构”),通过自然语言处理(NLP)匹配不同数据源语义标签,解决多源数据语义冲突,提升融合一致性。

2.4 成果验证与反馈机制

(1)精度评估指标体系:构建多维度评估指标,平面精度采用“点位中误差、相邻点间距中误差”衡量,如工程测量要求点位中误差 $\leq 2\text{mm}$;高程精度通过“高程中误差、等高线吻合度”评估,山区等高线吻合度需 $\geq 90\%$;属性精度关注地物分类准确率、属性字段完整度,如GIS数据库地物分类准确率应 $\geq 95\%$,确保从空间位置到属性信息全面覆盖精度评估需求。(2)交叉验证方法:开展基准数据对比验证,选取国家级大地控制点(如CGCS2000坐标系下的已知点)作为基准,将成果数据与基准点坐标对比,计算偏差值,若偏差超出允许范围(如平面偏差 $> 5\text{mm}$)则需回溯修正;实施多软件互检,使用ArcGIS、GlobalMapper、南方CASS等3种以上专业软件对同一批数据进行处理,对比输出结果的精度参数,若软件间平面中误差差异 $> 2\text{mm}$,需排查算法或参数设置问题,保障成果可靠性^[5]。(3)动态反馈修正机制:建立实时监测数据采集通道,通过布设GNSS连续运行站、无人机定期巡检等方式,获取成果应用过程中的动态数据;当监测发现精度偏差(如某区域高程数据与实地偏差 $> 10\text{cm}$)时,自动触发反馈流程,追溯误差来源(如数据处理阶段模型参数过时),更新误差补偿模型、平差算法等核心模块;定期汇总反馈数据,优化精度控制体系,如根据多次反馈结果调整某类地形的观测方案,持续提升精度控制效果。

3 典型工程案例分析

3.1 案例选择与工程背景

该项目涵盖5.2平方公里老城区,需构建1:500比例尺高精度三维模型,服务于老城区改造规划、历史建筑

保护及智慧城管平台建设。工程区域内建筑密度大（平均容积率2.8），存在大量低矮街巷与高耸历史建筑交错分布的情况，且部分区域受树木遮挡严重，给数据采集与精度控制带来挑战；同时，项目要求模型平面精度 $\leq 5\text{cm}$ 、高程精度 $\leq 3\text{cm}$ ，需在3个月内完成数据采集与成果交付，时间紧、精度要求高。

3.2 精度控制实施过程

（1）分阶段精度控制措施：数据采集阶段，采用“无人机倾斜摄影+地面激光雷达”组合方式，无人机选用搭载厘米级GNSS模块的机型，按“航向重叠率80%、旁向重叠率60%”设计航线，地面激光雷达在街巷区域加密扫描（点云密度 $\geq 50\text{点}/\text{m}^2$ ），并定期对设备进行校准（无人机GNSS每周校准1次，激光雷达每10天自检1次）；数据处理阶段，运用深度学习去噪算法过滤点云噪声（去噪准确率达98%），采用自适应平差模型优化影像匹配结果，通过多源数据联合解算（融合无人机与激光雷达数据）提升模型精度；成果输出阶段，按“分区质检-整体拼接-精度核验”流程，每完成1平方公里建模即开展精度抽检，确保成果符合要求后再进行后续区域拼接。（2）关键技术难点与解决方案：核心难点为老城区街巷与高大建筑形成的“峡谷效应”导致GNSS信号遮挡，无人机定位偏差最大达15cm。解决方案：一是在信号薄弱区域布设8个地面基站，构建局部CORS网络，提升无人机定位精度（偏差降至3cm以内）；二是对遮挡严重的街巷区域，采用“无人机低空贴飞+手持激光雷达补测”模式，无人机飞行高度降至50米以下，手持设备沿街巷逐段扫描，补充缺失数据；三是引入多路径抑制算法，过滤建筑反射产生的干扰信号，进一步降低定位误差。

3.3 精度评估与效果分析

（1）成果精度指标对比：项目成果平面精度均值3.2cm、高程精度均值2.1cm，较项目规范要求（平面 $\leq 5\text{cm}$ 、高程 $\leq 3\text{cm}$ ）分别提升36%、30%；与传统“全

站仪+人工建模”方法相比，平面精度提升45%（传统方法均值6cm），高程精度提升42%（传统方法均值3.6cm），且模型细节还原度更高（历史建筑雕花、墙面纹理等特征清晰可见）。（2）经济效益与社会效益分析：经济效益方面，相比传统方法，项目人力成本降低60%（减少人工建模人员15名），工期缩短40%（传统方法需5个月，本项目3个月完成），设备使用效率提升50%（无人机与激光雷达协同作业，单日作业面积达0.8平方公里）；社会效益方面，高精度三维模型为老城区改造提供精准空间数据支撑，避免因数据偏差导致的施工返工，同时助力历史建筑数字化保护，已纳入当地智慧城管平台，用于违建识别、消防通道规划等场景，提升城市管理效率。

结束语

测绘地理信息工程精度控制是保障项目质量与决策科学性的核心环节。通过构建全流程精度控制体系，融合智能算法、多源数据融合等先进技术，可有效克服仪器、环境及人为因素带来的误差挑战。未来，随着物联网、AI等技术的深度应用，精度控制将向自动化、实时化方向演进，进一步推动测绘地理信息工程向更高精度、更高效率迈进，为智慧城市建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张嘉德.地理信息系统技术在工程测量中的应用[J].华北自然资源.2021,(3):46-48.
- [2]赖文龙.地理信息系统技术在工程测量中的应用[J].河南科技.2020,(11):92-94.
- [3]陈明煌.地理信息系统在测绘工程中的应用探索[J].房地产世界,2023(02):163-165.
- [4]魏东方.测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2022(08):38-40
- [5]田剑,徐勇,徐小芳.地理信息系统在测绘工程中的应用[J].工程技术研究,2020,5(05):246-247.