

浅谈GPS在小面积地形图测量中的应用

唐东东

四川中辉兴益工程设计有限公司 四川 资阳 641300

摘要：伴随GPS技术的不断发展和相应的软件功能不断更新，民用GPS已经深入到各行各业。由原先的单一的静态测量，慢慢的演变成GPS RTK测量，大大的提高了工作效率。相应的在使用GPS的RTK测量时，会出现各种各样的测量方式及测量方法。GPS测量技术已经在测绘领域得到了广泛的应用。在小面积地形图测量中，GPS完全可以取代传统仪器如全站仪进行图根测量及碎部测量，本文结合具体工程对操作过程及其精度进行了分析探讨。

关键词：GPS；小面积地形图测量

GPS系统即空间定位系统，它以空间为运转核心，在6个轨道面上均匀分布21颗卫星，全方位的收集地面信息，在全天时段内不间断的提供用户所需要的三维定位以及授时，此项技术不仅成本低，速度快，而且适合多领域应用，被广泛的应用于生活工作当中。但也存在有一定的缺点，该系统的信号结构还不够完善，在实施导航定位方面的性能要比其他类型的系统低。

1 GPS 测量技术原理

（1）基础定位原理。三角定位法，接收机通过测量与至少4颗卫星的距离（伪距），以每颗卫星为球心、伪距为半径构建虚拟球体，其交点即为接收机位置。四星必要性：第四颗卫星用于修正接收机钟差（时钟偏差），解决三维定位中的时间同步问题。伪距测量机制，卫星发射含精确时间戳的信号，接收机记录接收时

间，通过信号传播时间差（ Δt ）乘以光速（ c ）计算伪距： $R = c \times \Delta t$ （含电离层延迟、钟差等误差）。接收机解算方程： $(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2 = [c \times (t-t_i)]^2$ ，其中 (x_i, y_i, z_i) 为卫星坐标， (x, y, z) 为待求接收机坐标。

（2）高精度差分技术（RTK）。载波相位差分原理，基准站：架设在已知坐标点，实时计算卫星信号误差（含钟差、大气延迟）并发送给流动站。流动站：接收基准站误差数据及原始卫星信号，组合生成相位差分观测值，实现厘米级定位（精度达 $\pm 2\text{cm}$ ）。关键技术优势，利用载波波长（L1波段约 19cm ）的相位信息，精度远超伪距差分。需基准站与流动站同步观测同一组卫星，距离限制通常 $\leq 20\text{km}$ 。

（3）误差源与修正措施。

误差类型	产生原因	修正方法
电离层延迟	信号穿过电离层速度降低	双频接收机组合观测
多路径效应	信号经建筑物/水面反射	扼流圈天线/抑径板
卫星轨道误差	卫星星历偏差	精密星历数据校正
接收机钟差	接收机时钟与卫星时钟不同步	四星定位强制解算

（4）坐标系转换。GPS输出坐标为WGS84地心坐标系，实际工程需转换为地方坐标系，通过七参数模型解决椭球偏心率差异导致的数十米偏差。精度保障需满足 $\text{PDOP} < 3$ 且卫星数 ≥ 6 颗，避免在高层建筑密集区作业以减少信号遮挡。

2 GPS 小面积地形图测量优势

GPS技术在小面积地形图测量（通常 $\leq 5\text{km}^2$ ）中展现出显著优势，其核心价值体现在效率、精度及适应性三方面，具体如下：

（1）作业效率优势。无需通视条件，传统测量需测站间通视，GPS通过卫星信号定位，彻底规避地形、建筑遮挡限制，减少迁站频率。典型场景：山林、城

区密集建筑区可直接采集数据，无需砍伐植被或搭建高架。单人高效作业，RTK流动站单人操作即可完成碎部点采集（如房屋边界、道路中心线），日测面积达 $0.3\text{--}0.5\text{km}^2$ ，效率为全站仪的3-5倍。控制点需求极少： $\leq 5\text{km}^2$ 测区仅需1个控制点，简化布网流程。

（2）测量精度优势。平面精度，RTK载波相位差分技术，水平定位精度 $\pm 2\text{cm}$ （基准站 10km 范围内）。高程精度，多星联合解算+高程异常模型校正， 10km^2 内可替代四等水准测量。成果校验，实时FIXED状态提示（手簿显示），超限自动预警， $1:500$ 图抽查点位误差 $\leq 0.25\text{mm}$ 图面距离。

（3）综合适应性优势。全天候作业能力，不受雨

雾、夜间光照限制，24小时连续工作（传统仪器需晴朗白天）。多源数据融合，采集坐标可直接导入CAD/GIS软件，叠加卫星影像核验地物，减少手绘误差。低成本维护，无需频繁标定（如全站仪对中器校正），设备故障率低，长期使用成本下降30%以上。

3 GPS 小面积地形图测量实际操作

（1）准备工作。设备配置，基准站：架设于已知控制点（需提前通过静态联测国家点获得坐标），地势高、无遮挡、远离电磁干扰源（≥ 200m）和水域。移动站：连接手簿（内置测量软件），配备对中杆与碳纤维脚架。电台设置：确保基准站与移动站电台频道一致，信号覆盖半径通常为5-20km。坐标系统设定，根据测区要求选择坐标系。若需转为地方坐标系（如高斯投影），需输入中央经线、带号及椭球参数（例：3度分带中央经线120°对应带号40）。

（2）测量流程。1）控制点布设（简化版），小面积测区（< 5km²）只需1个控制点；5-30km²布设2-3个点。控制点需保存为基准站启动坐标，并用于后续数据校正。2）碎部测量操作，仪器初始化，基准站：开机后设置为“动态模式”，STA灯每秒闪烁1次表示正常。移动站：固定对中杆，等待固定解（FIXED状态，平面精度≤ 2cm）。数据采集，点状地物：单点采集（如电杆、井盖），记录属性编码。线状地物（道路、河流）：沿特征点连续采集，点距依比例尺设定（如1：500图点距≤ 15m）。遇障碍物暂停记录，绕行后恢复轨迹。面状地物（房屋、池塘）：

沿边界行走，采用“轨迹法”：设置采集间隔：小区域（< 50亩）按时间1秒或距离1米密集采集；闭合至起点，软件自动计算面积。

传统方法	GPS替代方案	效率对比
全站仪+棱镜组队测量	单人持RTK流动站沿地物边界行走采集	效率提升3倍以上
人工绘制草图记录属性	手簿端实时输入地物编码（如房角点FJ）	属性一体化记录
钢尺量距辅助	直接获取厘米级坐标（平面精度2-3cm）	消除人为误差

（3）全流程效率突破点。同步成图技术，采集数据通过蓝牙传输至平板端，现场生成数字线划图（DLG），同步完成等高线自动拟合。面积测算自动化，沿地块边界行走生成闭合轨迹，仪器自动计算面积（误差< 1.5%），替代传统方格网法。

高程测量替代，在10km²范围内，GPS高程拟合可达到四等水准精度（需 ≥ 6个已知高程点校正），减少水准仪使用。

（4）关键注意事项。信号盲区应对，建筑密集区采用PPK事后差分（精度1-2cm），

（3）关键技术要点。精度控制，平面精度：RTK需满足±2cm+1ppm（流动站与基准站距离每增1km误差增1mm）。验证方法：测量已知点坐标比对残差，超限时检查信号或重新初始化。误差规避，多路径效应：避免在水域、玻璃幕墙附近设站。信号遮挡：高楼、密林区慎用，必要时辅以全站仪补测。坐标系偏移：WGS84与西安80椭球参数差异可导致几十米偏差，需通过七参数转换校正。

（4）数据处理与成图。数据导出：将采集的坐标点（含属性）导出为.dat或.dxf格式。软件成图：导入CAD或GIS软件，叠加卫星影像核对地物位置。对不规则区域，用轨迹点生成闭合多边形计算面积，成果校验：随机抽查10%特征点实地复测，平面位移误差需符合规范（如1：500地形图 ≤ 0.25mm图面距离）。

（5）注意事项。设备维护：作业前检查电池电量、电台传输稳定性。环境要求：卫星数 ≥ 6颗，PDOP值 < 3。小区域优势：免像控、效率高（单人日测0.3-0.5km²），精度满足1：500地形图需求。

4 GPS 如何取代传统仪器进行小面积地形图测量

GPS技术通过简化测量流程、提升作业效率和突破环境限制，在小面积地形图测量（通常 ≤ 10km²）中逐步取代全站仪等传统设备。以下是核心取代路径与技术要点：

（1）控制测量革新。基准点数量锐减，传统方法需布设多级控制网（每平方公里 ≥ 16个图根点），GPS-RTK技术仅需1-3个基准站即可覆盖全测区，减少80%控制点埋设工作量。免通视布点，基准站只需满足卫星信号条件（高度角 > 15°，远离高压线/水域200米），摆脱全站仪对点间通视的硬性要求。

（2）碎部采集模式升级。

遮挡严重时联动全站仪补测（三点一线延伸法）。坐标系适配，必须转换WGS84至本地坐标系（如高斯投影），平面控制点 ≥ 4个保障转换精度，高程异常区需分区拟合避免失真。多路径效应规避，测点远离水面/玻璃幕墙 ≥ 50米，防止信号反射导致点位漂移。

（5）技术融合方向。CORS系统应用：直接接入区域基准站网络，消除自设基站环节，作业半径扩展至60km。激光测距辅助：对RTK信号遮蔽点（如屋檐下），蓝牙连接手持测距仪补充数据。无人机协同：复杂地形结合无人机倾斜摄影生成三维模型，GPS用于控制

点校准。

5 GPS 在小面积地形图测量中的应用

以下是GPS技术在小面积地形图测量中的应用分析，基于最新研究成果与实践经验：

（1）核心优势。精度与效率，采用RTK技术时，平面定位精度达厘米级（水平精度 $2\text{cm}\pm 1\text{ppm}$ ，高程精度 $5\text{cm}\pm 1\text{ppm}$ ）。单次测量仅需2-5秒，无需点间通视，效率较全站仪提升3倍以上。成本控制，减少传统图根控制点布设（每平方公里需14个以上），节约30%人力与时间成本。

（2）关键技术要点。坐标系转换，需将WGS84坐标转换为本地坐标系（如北京54坐标系或高斯-克吕格投影）。转换要求：至少4个平面控制点+6个高程控制点覆盖测区，保障拟合精度。作业模式优化，基准站设置：距流动站 $\leq 5\text{km}$ ，同步卫星 ≥ 5 颗，PDOP值 < 6 。碎部测量：直接采集地形点/地物点坐标，现场生成电子地图。

（3）局限性及应对。信号遮蔽区：约15%遮挡区域（如密林、峡谷）需辅以全站仪补测。高程精度限制：RTK高程误差为平面误差的1.5-2倍，重要项目需联合静态GPS平差。

6 GPS 在小面积地形图测量中的实际应用案例

以下为GPS技术在小面积地形图测量（ $\leq 10\text{km}^2$ ）中的实际应用案例，结合不同场景的技术方案与实施效果：

（1）城镇规划测绘案例。新城规划区（面积 4.2km^2 ）1:500地形图测绘，技术方案：控制测量：布设2个GPS基准站替代传统16个图根点，减少埋点工作量85%。碎部采集：单人持RTK流动站沿建筑边界行走，实时录入房角点（编码FJ）、道路边线，单日完成 0.8km^2 数据采集。精度验证：检测12个已知点平面偏差 $\leq 3.2\text{cm}$ ，满足1:500测图规范。

（2）农业用地勘界案例。高标准农田（面积 6.5km^2 ）地块边界测绘。技术方案：

协同作业：GPS-RTK结合“阳光地图”气象数据（日照时数格网），避开午后电离层干扰时段作业。面

积测算：沿田埂行走生成闭合轨迹，自动计算地块面积（误差 $< 0.8\%$ ）。效率提升：较全站仪测量工期缩短70%，成本降低40%。

（3）工业园区工程测绘案例。开发区（面积 8km^2 ）1:2000地形图更新。技术方案：控制网优化：利用既有4个二等三角点作基准，布设32个RTK图根点（原需320个）。遮挡区处理：建筑密集区采用PPK事后差分（精度 2.1cm ），辅以激光测距仪补测屋檐下点位。成果输出：现场生成数字线划图（DLG）及等高线，直接导入CASS软件成图。

（4）生态监测协同案例。自然资源调查（面积 9km^2 ）“天-空-地-网”协同监测。技术方案：空地联动：无人机航测生成正射影像，GPS-RTK实地校准控制点（平面精度 $\pm 1.5\text{cm}$ ）。数据融合：GPS轨迹数据与ENVI平台叠加，自动输出植被覆盖度图、生态系统类型图。应用价值：支撑生态敏感性动态评估，扰动区域识别效率提升50%。

综上所述上述案例表明，GPS-RTK技术在小面积测量中可实现外业效率提升3-5倍，综合成本降低30%-50%，且通过空地协同模式显著增强数据多维应用价值。

参考文献

- [1]俞户,朱D.GPS RTK在地形测图中的应用[J].中华民居(下旬刊),2023,07(16):274~275.
- [2]黄豪.GPS RTK在地形测量中的应用与优劣的分析[J].科技视界,2023,22(04):18~184.
- [3]余俊.GPS RTK技术在数字化地形测量中的应用探讨[J].山西建筑,2023,36(19):239~240.
- [4]李军.GPS RTK在地形测量中的应用分析[J].科技信息,2021,20(17):300.
- [5]于良.GPS RTK在地形测量中的应用与优劣的分析[J].中国新技术新产品,2024,18(11):9.
- [6]童勇.地形测量GPS RTK的应用探讨[J].科技展望,2024,09(02):31