

GPS 定位系统在大比例尺地形图测量中的应用

包宇峰

(江西星晨工程技术服务有限公司, 江西 九江 332400)

摘要 随着全球卫星导航系统技术的飞速发展,以 GPS-RTK 为代表的空间定位技术已成为大比例尺地形图测量的核心手段。本文系统阐述了 GPS 定位系统的构成与工作模式,阐释了 GPS-RTK 技术在大比例尺测图中的核心优势,通过具体应用实例,详细论述了其在控制测量、像控点测定、碎部点采集、线路放样及用地测量等关键环节的实践方法。研究表明, GPS 技术不仅极大地提升了测量作业的效率与精度,而且通过与全站仪、无人机航测及 EPS 地理信息系统等现代技术的集成应用,构建了高效、智能的综合测绘解决方案,为现代城市规划与工程建设提供了数据参考。

关键词 GPS; 大比例尺地形图; RTK 技术; 控制测量

中图分类号: P22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.010

0 引言

大比例尺地形图(如 1:500、1:1 000)作为城市规划、土地管理、工程建设等领域不可或缺的基础地理信息资料,其数据的准确性、现势性和完整性直接关系到后续工作的质量与效率。传统的地形图测量主要依赖于光学经纬仪、测距仪等地面测量仪器,通过导线、交会等方法获取数据。这类方法对测点间的通视条件要求严格,在复杂地形或植被茂密区域作业困难,且测量效率低下,误差随测量距离的增加而累积,难以满足现代高精度、高效率的测绘需求。GPS 的出现,特别是 RTK 定位技术的成熟,使得厘米级精度的实时三维坐标获取成为可能。GPS 技术以其不受通视限制、作业效率高、定位精度高、误差不累积等显著优势,迅速在大比例尺地形图测量中得到广泛应用。它不仅能够高效地完成控制网的建立和加密,还能直接进行碎部点的采集与放样工作,极大地简化了作业流程。

1 GPS 系统的构成与工作模式

GPS 定位系统是由空间、地面和用户三部分协同工作的复杂网络,共同构成了“天—地—人”一体化的定位体系。空间部分——卫星星座是系统的信号源。由多颗运行在约 20 200 公里高空的卫星组成,它们分布在多个轨道平面上,确保地球上任何地点、任何时刻都能同时观测到至少 4 颗卫星。地面部分——监控系统是系统的“大脑”和“校准中心”。它由分布在全球的监测站、主控站和注入站构成。监测站持续跟踪所有可见卫星,收集其信号;主控站利用这些数据计算每颗卫星的精确轨道和时钟偏差;最后,通过注入站将这些关键的修正参数上传给卫星,确保其广播

的信息始终准确无误。接收机是直接面向使用者的终端设备。无论是专业的双频大地测量接收机,还是智能手机中的单频芯片,其核心功能都是接收来自多颗卫星的信号。接收机内部的处理器会精确测量信号从卫星传播到接收机所需的时间(即信号时延)。由于无线电波在真空中的传播速度等于光速(c),根据公式“距离 = 光速 \times 时延”,即可计算出接收机到每颗卫星的距离。卫星作为空中的“已知点”,广播其位置和时间;地面监控系统确保这些“已知点”的信息绝对可靠;用户接收机通过接收并处理来自多个“已知点”的信号,利用距离交会的几何原理,最终解算出自身在地球上的三维坐标(经度、纬度、高程)以及精确的时间^[1]。

2 GPS 测量技术在大比例尺地形图测量中的优势分析

2.1 与传统测量方法的比较

GPS-RTK 技术与传统测量方法关键性能对比见表 1。

2.2 GPS-RTK 技术的关键性能特点

首先,作业范围广,控制面积大。一个基准站的有效作业半径可达数公里(如文件中提到的南方瑞得设备电台距离典型为 8 km)。这意味着单次设站即可覆盖一个相当大的测区,无需像传统导线那样布设大量中间控制点,显著减少了外业工作量,特别适用于城市控制网、大面积土地勘界等任务^[2]。

其次,定位精度高,满足规范要求。现代 RTK 技术的平面定位精度可达 $\pm(8 \text{ mm}+1 \times 10^{-6}D) \text{ mm}$,高程精度可达 $\pm(15 \text{ mm}+1 \times 10^{-6}D) \text{ mm}$ (D 为距离,单位 km)。这一精度水平完全符合 1:500、1:1 000 等大比例尺地形图对地物点和地形点的精度标准,为测绘成果的高

表 1 GPS-RTK 技术与传统测量方法关键性能对比

对比项目	GPS-RTK 测量技术	传统光学测量
通视要求	无需点间通视。只要测点上空视野开阔，能接收到足够卫星信号即可作业	严格依赖通视。测站点与待测点之间必须保持清晰的视线，否则无法测量
作业效率	极高。单人即可完成碎部点采集，日均点数可达上千甚至数千个。控制网建立速度快	较低。需多人配合迁站、对中整平，且受通视条件限制，布设困难，整体周期长
测量精度	高且稳定。平面精度可达 $\pm(8\text{ mm}+1\times 10^{-6}\text{D})\text{ mm}$ ，高程精度可达 $\pm(15\text{ mm}+1\times 10^{-6}\text{D})\text{ mm}$	受距离影响。在短距离内精度高，但长距离导线测量时误差会逐站传递和累积
误差特性	独立测量，无误差传播。各点坐标独立解算，互不影响，避免了长距离测量的精度衰减	存在误差累积。后一测点的精度依赖于前一测点，误差随导线延伸而累积
适用范围	适合大范围、开阔区域。作业半径可达数公里，特别适用于城市控制网、大面积土地勘界等	适合小范围、通视良好区域。在建筑密集区或植被茂密区作业困难，效率低下
自动化程度	高度自动化。流程简单，操作便捷，主要工作是立杆和记录，降低了对人员技能的要求	自动化程度低。需要复杂的仪器对中、整平、瞄准

(注：表中 D 代表流动站到基准站的距离，单位为 km。)

质量提供了根本保障。

再次，测量模式独立，无误差传播。这是与传统测量方法的本质区别。传统导线测量中，后一个点的坐标精度依赖于前一个点，误差会逐级累积。而 RTK 测量中，每个碎部点的坐标都是基于卫星信号和基准站改正数独立解算的，各点之间互不影响，有效避免了长距离测量中的精度衰减问题^[3]。

最后，操作流程简便，自动化程度高。整个测量过程高度集成和自动化。操作员只需在流动站上立杆，待手簿显示“固定解”且精度达标后，即可一键记录坐标。无需复杂的对中、整平和角度观测，大大降低了对操作人员技能的门槛，实现了单人高效作业，显著提升了生产效率。

3 GPS 技术在大比例尺地形图测量中的具体应用

3.1 在控制测量中的应用

对于大范围测区，传统的三角网或导线测量受限于通视和距离，布设复杂且周期长。采用 GPS 静态测量，只需在测区周边布设数个点，同步接收卫星信号数小时。通过事后精密基线解算和网平差，即可获得高精度、高可靠性的三维坐标，作为整个测区的基准框架。此方法不受地形起伏和植被遮挡影响，极大地提升了首级控制网的建立效率。在首级控制的基础上，需加密图根点以满足碎部测量需求。GPS-RTK 技术在此环节优势显著。测量员可在已知控制点上架设基准站，利用流动站快速测定图根点坐标。由于无需点间通视，图根点可布设在最利于后续作业的位置，优化了工作流程^[4]。

3.2 在像控点测量中的应用

根据航摄设计的像控点布点图，测量人员携带 RTK 设备前往各点位。在点位稳定架设对中杆，待接收机

获得“固定解”且平面、高程精度均满足规范要求后，即可记录该点的精确坐标。整个过程快速、直接，避免了传统引测方法的繁琐和误差累积。RTK 技术实现了像控点的“一步到位”测量，无需逐级导线引测，大幅缩短了外业周期。对于难以直接到达的点（如屋顶、水塘边），可利用 RTK 手簿的“交会法”或“偏心测量”功能进行间接测定。

3.3 在碎部点数据采集中的应用

在测区已知控制点上架设基准站并完成初始化；流动站操作员携带设备前往各碎部点；在点位待接收机显示“固定解”，且平面校差（如 $< 5\text{ cm}$ ）和高程校差（如 $< 3\text{ cm}$ ）满足要求后，输入点号（如按编码规则“L”代表道路、“F”代表植被）并记录坐标。此流程简单、高效。得益于单人作业和点间移动迅速的优势，RTK 外业效率远超传统方法。在开阔区域，日均采集点数可达上千甚至数千个。外业数据通常以仪器专用的 DAT 格式存储，后期通过“测点成果输出”功能转换为 CSV 等通用格式，便于导入数字地面模型软件进行三角网构建和等高线生成，作为地形图的底图。

3.4 在线路定线与建筑物规划中的应用

在线性工程和大型建筑项目的规划与施工中，GPS-RTK 技术提供了高效的放样解决方案。将道路、管线等线性工程的设计参数（起点、终点、转角、半径等）预先输入 RTK 手簿的放样软件。现场作业时，手簿会根据流动站的实时位置，动态显示其与设计线路的横向和纵向偏移。操作员只需依据指引移动，直至偏移量归零，即为设计点位。此过程直观、高效，一人即可完成，极大简化了放样工作。对于大型建筑群或工业园区，需精确协调各单体间的空间关系。利用 RTK

技术,可快速、精确地测定建筑物的角点、轴线点等关键位置的坐标,确保规划方案的准确实施。其提供的高精度三维坐标数据,也为土方计算和施工监控提供了可靠依据。作业时需确保点位收敛精度满足要求,避免在“浮动解”状态下测量。

3.5 在用地测量与小区域调控中的应用

在土地确权、不动产登记和城市精细化管理中,GPS技术提供了精确、高效的测量手段。通过RTK技术精确测定土地的每一个界址点坐标,可计算出用地范围的精确面积、周长等数据,为土地调查、权属划分和登记发证提供法定依据。其测量结果客观、准确,减少了纠纷。在智慧城市建设中,GPS是实现小区域精细化管理的重要工具。其全天候、高精度的定位能力,结合信息化平台,能有效提升城市治理的智能化水平,预防和应对各类突发事件^[5]。

4 项目实践

4.1 项目概况与技术方案

为配合某市新区的详细规划与土地开发,需对一片总面积约42公顷的待开发区域进行1:1 000大比例尺地形图测绘。该区域地形复杂,包含起伏的丘陵、茂密的灌木丛(荆条)、山涧沟壑以及部分待拆迁的零星建筑,传统的全站仪测量面临通视困难、效率低下等挑战。项目最终采用了以GPS-RTK技术为核心,结合全站仪、无人机航测及EPS地理信息系统的综合解决方案,取得了显著成效。

项目周期原计划为5个月,配备了5名专业技术人员、一套南方瑞得R6GNSS设备(1基站+2流动站)、2台全站仪及1台无人机。首先,利用GNSS静态测量在测区外围布设了6个高等级控制点,作为整个项目的基准。对于开阔的山坡和丘陵地带,主要采用GPS-RTK技术进行碎部点采集。2个流动站小组分片作业,日均采集点数超过1 800个。在山脚、沟底等GPS信号易受遮挡的区域,以及需要高精度测量的零星建筑角点,派遣全站仪小组进行补充测量。利用无人机对整个测区进行了一次航飞,获取了高分辨率的正射影像和数字表面模型,为内业编辑提供直观的参考底图。

4.2 应用过程与成效

GNSS静态测量仅用2天即完成了6个控制点的观测,解算出的坐标精度远超规范要求,为后续工作奠定了坚实基础。这相比传统导线测量,节省了至少一周的时间。GPS-RTK小组在信号良好的区域,单人即可高效作业。流动站到达碎部点后,待手簿显示“固定解”且平面校差小于3 cm、高程校差小于5 cm时,记录点号(如“L101”表示道路点,“F205”表示植被点)和坐标。对于灌木丛中的地形特征点,内置的IMU

惯性传感器确保了即使杆子有轻微晃动,也能快速稳定地获取精确位置。

当GPS小组在山坡作业时,全站仪小组在山脚的沟壑中,以附近的GNSS控制点为测站,进行碎部点测量。两者的数据通过统一的坐标系进行整合,保证了数据的无缝衔接。无人机航飞获取的影像被导入EPS软件,作为外业调绘和内业编辑的背景图,极大地提高了地物识别的准确性。

所有外业数据均导入EPS地理信息工作站。在EPS平台中,实现了内外业一体化编辑。例如:利用其“符号骨架线一体化显示”技术,编辑人员在屏幕上看到的房屋轮廓既是符合图式的面状符号,其背后又关联着建筑物的属性信息(如层数、结构)。通过“自动套岛”“等高线赋值”等功能,快速完成了地形图的精细化处理。最终,仅用120天(比计划提前30天)便完成了全部外业和内业工作,成果数据通过EPS的“信息映射机制”成功转换为DWG和SHP格式,交付给设计单位和城市规划部门,获得了高度认可。

5 结束语

GPS定位系统,特别是其RTK技术,凭借其独特的技术优势,已彻底改变了大比例尺地形图测量的传统作业模式。它成功突破了传统测量对通视条件的依赖,实现了测量点的独立、快速、高精度定位,极大地提升了外业作业效率和内业数据质量。从首级控制网的建立,到图根点的加密,再到碎部点的采集与放样,GPS技术贯穿了大比例尺测图的各个环节,成为不可或缺的核心技术。更重要的是,GPS技术并非孤立存在,它与全站仪、无人机航测以及EPS地理信息系统等现代技术的协同与融合,形成了一个高效、智能的综合测绘体系。这种“天地一体、内外业一体化”的作业模式,不仅实现了测绘生产流程的优化,更推动了测绘成果从静态的“图”向动态的“库”转变,为智慧城市建设、精细化管理提供了坚实的数据基础。

参考文献:

- [1] 李会会.北斗/GPS双模定位技术在土地面积测绘中的应用[J].科学技术创新,2025(12):59-62.
- [2] 刘有成.GPS测量技术在土地测绘中的应用分析[J].智能建筑与智慧城市,2025(02):39-41.
- [3] 教文飞.GPS技术在地质工程勘察测绘中的应用[J].全面腐蚀控制,2025,39(02):28-30.
- [4] 郎森欣,武加斌.GPS测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的应用研究[J].中国房地产业,2025(18):42-45.
- [5] 张榕.GPS技术在测绘工程中的应用路径[J].建筑工程技术与设计,2025,13(29):22-24.