

测绘工程中特殊地形的测绘技术研究

文 / 张 琦 甘肃众志伟达建筑工程有限公司

摘要:近年来,随着城市化进程的不断推进,工程建设的环境日趋复杂,对测绘项目的质量提出了更高要求。要加强对特定地形的测量,科学选用测量方法,以保证工程项目所需要的资料数据完整、准确,保证项目顺利开展。本文分析了测绘工程典型特殊地形的测绘难点,阐述了测绘工程特殊地形测绘技术类型,重点提出测绘工程特殊地形测绘技术的应用方法,旨在制定科学的特殊地形测绘方案,为后续测绘工程提供技术参考。

关键词:测绘工程;特殊地形;测绘技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.118

引言

近年来,为满足基础设施建设需求、资源勘探开发需求及环境保护需求,特殊地形测绘工程在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。测绘工作期间普遍面临多种多样的特殊地形,面对复杂的测绘工程形势,适应特殊地理环境,需建立一套完善的特殊地形测绘体系,加快测绘技术演变进程,提高测绘服务品质。

一、测绘工程典型特殊地形的测绘难点

(一) 森林地形

森林地形测绘任务包含树木材积量测定、森林资源分布调查、划定采伐边界、采伐机械导航定位、森林培育定位等。森林地形有着植被繁茂与动态变化的特点,并对测绘精度提出严格要求,这也导致传统测绘技术未能满足实际测绘需求。从植被繁茂角度来看,森林地形密集分布乔灌木等品种的绿化植物,茂密树冠遮挡地面,林下地表还被沟壑、岩石与灌木植物遮挡,无论是传统光学遥感技术,还是全站仪测量等地面测绘技术,均无法获取真实地表信息^[1]。从森林动态变化角度来看,森林本质上属于动态变化的生态系统,需要维持较高测绘频率,定期更新测绘成果,才能真实掌握森林情况,传统测绘技术有着流程繁琐、有效作业范围小的局限性,如果采取传统测绘技术,将产生高昂测绘成本。从测绘精度角度来看,森林测绘工程普遍具备高精度单木级测绘需求,要求准确获取单木的坐标位置、树高、冠幅尺寸等信息。

(二) 滩涂地形

滩涂地形具备潮汐动态变化、植被水体交错分布、地表松软的鲜明特点,在早期测绘工程,以全站仪极坐标为主流测绘方法,测绘人员在滩涂地形上布设若干数量控制点。一方面,滩涂地表较为松软,无法有效固定仪器位置,频繁出现仪器晃动失稳问题,仪器高度及对中产生偏差,测绘精度因此下滑。另一方面,滩涂地形每日被潮汐淹没,地形条件短时间内发生变化,导致一部分控制点泥沙覆盖,单次测绘作业未能真实反映完整地形条件,由此引发潮间带模糊、水陆边界反射误差等问题^[2]。

(三) 山区地形

山区地形主要存在高差明显、植被覆盖干扰、气象

条件限制和地质灾害频发四项难点问题,全站仪测量等传统测绘技术未能满足现场测绘条件,还对测绘人员安全造成威胁。其中,高差明显问题是测区现场局部分布陡坡、悬崖等地势起伏显著的区域,常规地面测量方法的作业效率偏低,并在阴影效应限制下,不具备光学透视条件,形成测绘盲区。植被覆盖干扰问题是山区地面存在天然植被层,在植物遮蔽下,光学影像难以了解真实地面高程信息,且不同季节的测绘数据存在明显差异。气象条件限制问题是山区地形频频出现多云、雨雪等恶劣天气,光学遥感设备工作状态受到影响,还有可能出现无人机坠落等安全事故。地质灾害频发问题是山区偶尔出现泥石流、滑坡等自然灾害,不但会破坏先期布设的测绘控制点位与基准站,也会导致测绘仪器受损。

(四) 城镇地形

城镇地形有着建筑物、构筑物密集分布的特点,结合测绘工作开展情况来看,当前面临着障碍物遮挡、复杂三维建模与环境数据时效性要求严格的难点问题,传统测绘技术无论是测绘效率还是测绘成果时效性,均未满足工程测绘需求。其中,障碍物遮挡问题是在测绘仪器至待测物体间,分布大量障碍物,遮挡光学视线,局部形成测绘盲区,并在建筑玻璃幕墙反光影响下,干扰光学成像过程。复杂三维建模问题是特殊造型建筑物的三维建模质量偏低,也无法准确提炼表达城镇区域内的高架桥、地下通道等立体交通要素。环境数据时效性问题是城市高速发展背景下,城市环境与空间格局迅速变化,传统测绘技术的工作效率低下,难以准确捕捉周边环境动态要素,如临时施工围挡。

二、测绘工程特殊地形测绘技术类型

(一) 无人机遥感

无人机遥感技术是传统无人机测绘技术与遥感技术的集成体,以遥感设备作为机载设备,如轻型光学相机、激光扫描仪、合成孔径雷达等,测绘人员在地面操控无人机,测区上方低空飞行,利用机载设备向测区地面发射、接收遥感信号,根据信号分析结果来获取地物位置坐标、地面高程等关键信息,可用于完成大区域测绘、定点定区域测绘任务,有着成本低廉、测绘精度高与安全系数高的优点。面对特殊地形,无需测绘人员手持仪器设备

进入测区内部，而是远程通过无人机遥感系统来采集测量数据，彻底规避地质灾害等安全隐患，并通过无人机低空抵近观测来提高测绘精度^[3]。

(二) 无人机倾斜摄影测量

无人机倾斜摄影测量是无人机测绘体系的一项分支技术，与常规无人机航测技术的核心区别在于，单架无人机上搭载多台传感器，从不同角度来采集地物影像，具体包含单个垂直角度与四个倾斜角度，更为详尽的获取目标地物纹理信息，建立高精度三维模型。无人机倾斜摄影测量技术有着作业效率高、测绘精度达到厘米级、纹理信息丰富的显著优点，当前主要用于完成城镇地形测绘任务，同时，也可用于完成森林地形、山区地形等其他特殊地形的测绘任务。

(三) GPS

GPS 技术全称为全球定位系统，利用近地卫星来测量目标物体空间位置，具体采取三角测量法或是空间后方交会法，测区现场布设基准站和流动站，作为卫星信号接收点，提前掌握基准站位置，根据信号发射参数，准确求解流动站和卫星距离，确定三维坐标值。GPS 测绘技术当前主要用于完成森林测绘任务与山区测绘任务，测绘人员不再需要频繁开展地面标记测量作业，手持 GPS 接收机前往各处点位，数分钟内即可解算所处位置三维空间坐标值，有着全天候作业、全球覆盖、单机作业、高精度与实时获取坐标的技术优势。

三、测绘工程特殊地形测绘技术的应用方法

(一) 森林地形测绘技术

森林地形测绘项目，推荐采取 GPS 卫星定位技术，森林区域内布设测量基站，建立解算模型，采取静态定位方法，建立 GPS 控制网，完成绘制林区地图、划定采伐边界在内的多项任务，也可采取单基站差分定位方法，准确测量林区面积与研究生物多样性。森林地形 GPS 测绘期间，测绘人员应掌握部署测量基站、单基站差分定位、激光测距辅助定位三方面的技术要点，具体如下。

1. 部署测量基站

避开铁路、公路等振动源，以及断层破碎带等地质构造不稳定区域，原理高达建筑物和其他障碍物，测量基站与障碍物间距必须超过 200m，和电磁干扰区同样保持 200m 以上距离。要求测量基站上空无障碍物，视场高度角保持在 10° 以上。确定基站位置后，现场修建观测墩，安装强制对中装置，实地开展电磁环境测试作业和卫星定位观测作业，连续观测时间不少于 4h，采样间隔设定为 15s，判断载波相位数据利用率是否达标。如果采取单基站观测模式，必须在测区中心位置挑选地势较高位置，部署测量基站，流动站与基准站间隔距离不宜过大^[4]。

2. 单基站差分定位

测绘系统由连续运行参考站、差分软件、用户接收机等部分组成。全天候采集卫星信号，观测数据提交给处理中心，利用差分软件分析处理原始数据，转换为

RINEX 格式，准确求解基站坐标值和载波相位整周模糊度值，自动构建星历误差模型与大气误差模型^[5]。数据中心按照单点定位概略坐标值，创建虚拟参考站，简称为 VRS 站，生成虚拟观测值，内插处理获得虚拟参考站误差源修正系数，再对原始测量数据加以修正处理，即可准确获得流动站三维空间坐标，测量流程如图 1 所示。

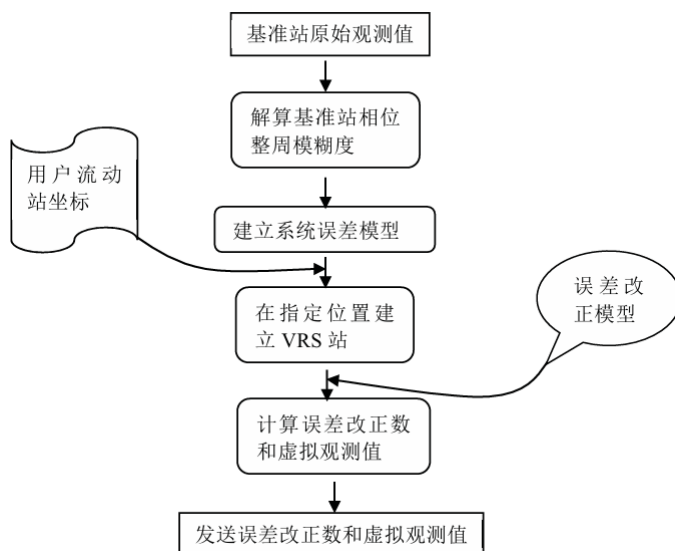


图 1 单基站差分定位流程

3. 激光测距辅助定位

森林地形密集分布植被覆盖层，在植被干扰下，部分站点无法顺利接收 GPS 卫星信号。为消除测绘盲区死角，组合采取三维激光测距技术，利用几何定位方法来求解特殊空间位置的三维坐标。测绘人员建立组合定位模型，现场架设三维激光扫描仪，发射激光束来测量已知点位和待测点位水平距离，利用距离交会法求解待测点位坐标位置，通过 GPS 测绘系统获取其他点位坐标，调取 3 个及更多数量的已知点坐标与距离观测值，提交给多源数据计算模型，求解未知点坐标值。

(二) 滩涂地形测绘技术

滩涂地形测绘项目，推荐采取机载激光扫描技术，取代全站仪极坐标方法和 GPS 实时动态测量技术，有着测绘精度高、产品成果多样化和测绘周期短的核心优势，既能短时间内迅速提取滩涂地物特征值，又能获取高精度三维信息，一定程度上实现了实时测绘目标，跟踪监测滩涂地形变化过程与了解开发利用情况。滩涂地形机载激光扫描测绘期间，重点掌握扫描方式、航摄准备、质量控制、特征提取四方面的技术要点，具体如下。

1. 扫描方式

机载激光扫描系统支持多种扫描方式，如摆镜扫描、圆锥镜扫描等，扫描方式直接决定着扫描线形状。滩涂地形测绘项目推荐选取四面塔镜扫描方式，扫描范围达到 360°，扫描视场角达到 90°，单次测绘作业可获取更多有效信息，真实反映滩涂地形情况，保证测绘成果质量的前提下，有助于减少测绘作业次数、缩短测绘周期^[6]。

2. 航摄准备

做好无人机与机载设备选型安装工作, 通电检查航摄设备工作状态是否正常, 检查内容包含系统连接情况、GPS 信号与 IMU 信号是否正常、激光发射情况、相机曝光情况、激光数据与相机数据记录情况。测区现场部署基站, 要求基站观测时间超过机载激光扫描有效作业时间, 无人机航飞前 1h 完成基站架设、开机作业, 无人机降落后, 基站继续观测 0.5h 以上时间。基站接收机和机载 GPS 装置保持同步观测状态, 接收机采样频率设定为 2Hz。完成前置准备工作后, 即可遥控无人机起飞, 测区上方按照预定航线飞行。

3. 质量控制

为提高测绘精度, 提前开展地面静态观测作业, 无人机降落后同样开展不少于 5min 的静态观测作业。无人机航飞期间, 重点控制盘旋转弯坡度, 转弯坡度尽量维持在 15° -20° 区间, 最多不得超过 22°, 并把无人机侧滚角和俯仰角限制在 8° 以内, 航向角限制在 22° 以内。

4. 特征提取

从航摄影像及扫描数据内提取描述滩涂地形的特征值, 包括水体特征、植被特征和土壤特征。以水体特征提取方法为例, 激光束射向水面, 采集反射光信号, 信号分为水面直接反射、穿透水面抵达水底反射两种形势, 根据回波信号时间差来区分信号种类, 结合激光测距手段, 确定激光发射角度下的水体倾斜深度。

(三) 山区地形测绘技术

山区地形测绘项目, 组合采取无人机倾斜摄影测量、三维激光扫描两项测绘技术, 前者负责建立包含大量地表纹理信息及多视角影像的三维模型, 后者负责扫描修补被遮挡盲区点云数据, 有助于提升三维模型精细度, 整体测绘流程如图 2 所示。现场测绘期间, 按照地形变化情况, 把测区划分为若干作业单元, 视野开阔位置布设若干检查点, 植被覆盖区域布设若干高程点, 分别用于核查数据精度和检查林下地形情况。操控无人机, 按照仿地飞行模式开展航测作业, 无人机飞行速度控制在 15-20m/s, 规划多条航线, 确定航向重叠度与旁向重叠度, 重复多次完成扫描测绘任务, 拼接不同架次的无人机航摄影像, 出具外业质量报告。以无人机倾斜摄影模型和激光点云模型当作测绘成果格式, 适用到 CASS 软件, 把两类模型进行融合处理, 加载融合已知等高线、数字高程模型和数字正射影像, 即可出具山区地形测绘项目线划图。

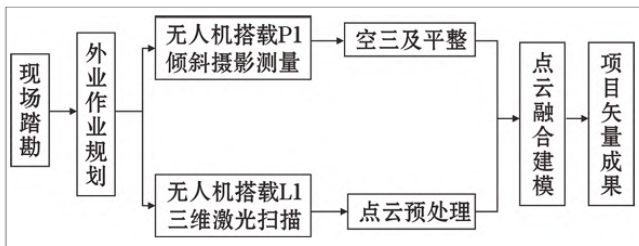


图 2 无人机倾斜摄影测量 + 三维激光扫描测绘流程

(四) 城镇地形测绘技术

城镇地形测绘项目, 组合采取 GPS 卫星定位和无人机遥感技术, 前者负责获取目标地物三维空间坐标值, 后者负责补充纹理信息。率先开展 GPS 测绘作业, 逐级布设 GPS 控制网, 测区现场视野开阔和地势平坦位置部署基准站, 基准站和周边遮挡物、干扰源保持 200m 以上距离, 网点位置埋设标石或是其他标志物, 要求各标石标志中心保持在同条铅垂线上, 偏差值控制在 2mm 内。完成前置作业, 即可启动 GPS 接收机, 开展 GPS 施测作业, 逐一完成所有点位测量作业, 记录各处流动站的卫星信号, 根据信号解算结果, 确定流动站在相同坐标系内的三维坐标值, 观测数据连同接收卫星颗数、通道信噪比、实时定位经纬度、相位测量残差等相关信息, 一同记录到测量手簿内, 按照 GPS 控制网等级, 专项处理基线数据。GPS 测绘完毕后, 衔接开展无人机遥感测绘作业, 基于测区现场情况来制定航飞方案, 确定各项航摄参数, 建立高精度三维模型。以空间分辨率为例, 根据成图比例尺来确定航摄影像数据空间分辨率, 成图比例尺为 1: 500、1: 1000 和 1: 2000 时, 要求空间分辨率分别不超过 0.05m、0.1m 和 0.2m。

结语

综上所述, 建立一套面向特殊地形的测绘技术体系, 是现代测绘工程亟需补充的核心短板, 也是增强测绘成果质量的必然路径。测绘机构与一线测绘人员, 都应充分关注特殊地形测绘问题, 深刻认识到特殊地形测绘工作难点所在, 灵活运用现代测绘技术, 制定面向不同类型特殊地形的专项测绘方案, 保证测绘成果真实准确。

参考文献

[1] 吴磊. 测绘工程中的特殊地形测绘技术应用研究——以某城市的复杂区域为例 [J]. 房地产世界, 2024, (09): 155-157.

[2] 孙艳红, 成胜伟, 史华磊. 矿山测绘工程中特殊地形测量技术与方法 [J]. 中国金属通报, 2024, (04): 45-47.

[3] 戴骏睿. 测绘工程中特殊地形的测绘技术研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9 (24): 212-214.

[4] 陶学伟. 矿山测绘工程中特殊地形测量方法研究 [J]. 中国高新科技, 2022, (04): 36-37.

[5] 孔繁佩, 杜梦飞. 测绘技术在特殊地形测绘工程中的应用 [J]. 工程技术研究, 2022, 7 (07): 93-95.

[6] 郝刘兵. 浅析城镇测绘工作的施测方法及质量要求——以霍邱县城关镇控制测量为例 [J]. 西部资源, 2023, (02): 146-148.

作者简介: 张琦, 男, 汉, 甘肃天水人, 本科, 工程师, 甘肃众志伟达建筑工程有限公司。