

无人机机载激光雷达技术在古墩墓群测量项目中的应用

张红梅

(芜湖市勘察测绘设计研究院有限责任公司, 安徽 芜湖 241000)

【摘要】本文以皖南皖南土墩墓群测量项目为例, 提出一种基于无人机机载激光雷达与航空摄影测量技术, 生产出测区范围内的DEM与1:1000地形图数据的方法; 利用这些测量成果可以更好地感知和识别地表干扰物较多的古墩墓, 提升土墩墓调查效率的同时, 进一步提升土墩墓调查数据的有效性和质量, 为土墩墓保护、考古勘探以及后续的文化旅游开发提供良好的前置资料。

【关键词】机载激光雷达; 航空摄影测量; 土墩墓群; DEM

一、引言

机载激光雷达是一项主动测量技术, 它借助激光发射器发射一束光, 照射被测对象后返回, 通过计算光束飞行时间构建出被测对象的三维形态与几何特征, 形成点云。相较于摄影测量, 激光雷达可有效重建微小的地貌现象; 其次, 激光雷达光束具有穿透性, 可穿过植被获取地面信息, 发现潜在的土墩墓; 所以利用机载激光雷达结合人工测量可以更高效全面的采集土墩墓的数据信息, 提升调查效率的同时, 进一步提升调查数据的有效性和质量, 为土墩墓保护以及后续的普查工作提供良好的前置资料。

二、无人机机载激光雷达技术

激光雷达技术的发展, 作为国际测绘领域近年来兴起的一向高新技术, 激光雷达具有高精度、高效率、可全天候作业的特性, 在获取高精度的地形成果上面具有无可匹配的优势。等高线和高程点也是数字线划图成果中最为重要, 且处理最为复杂的步骤, 基于激光雷达直接提供的地形数据为矢量采集作为补充, 可大大提高作业效率及精度。机载激光雷达系统综合无人机平台及激光雷达设备的综合优势, 使其具有便捷的操作模式、高效的采集效率、全天候作业的工作特性。主要具有以下优点

(一) 超强植被穿透能力, 直接获取高精度地形数据

传统影像测量均存在地物遮挡, 尤其是植被遮挡导致的地形获取不准确, 需要大量人工编辑或者外业补测的工作。激光雷达以其高穿透性的特点, 对于植被覆盖区域的地形获取具有无可取代的优势性。

(二) 同时获取地形地貌数据

激光雷达穿透性的特性使其能够同时获取地形及地貌数据, 无需二次数据进行补充, 减少人工编辑及外业的工作量。

(三) 减少外业工作量

无需外业控制点或者减少外业控制点数量, 激光

雷达数据无需外业控制点数据, 减少外业测量的工作量, 无需刺点, 减少内业操作步骤, 提高作业效率。

(四) 操作流程简单

激光雷达直接获取的数据为离散的点云数据, 每个点都具有实际的空间坐标及其他属性信息, 无需进行空三加密、像控点量测等复杂的算法处理即可得到真实地理坐标, 相对于影像数据处理来说, 激光雷达不存在过多算法的干预, 减少了误差出现的几率, 不仅提高了作业效率, 还提高了数据精度。

(五) 硬件要求低, 无需配置大量集群处理器

激光雷达无需大量算法计算, 对于硬件要求比三维模型处理要低得多, 大大节省了硬件资源。

三、机载激光雷达技术在古墩墓群测量中的应用

本文以南陵千峰山古墩墓群测量项目为例, 南陵千峰山土墩墓群位于芜湖市南陵县籍山镇, 测区范围内, 地势较陡, 林地和山地为主, 地面要素主要为居民地、耕地与林地、水系等。本次测区面积7.25平方千米, 项目内容完成测区像片控制测量、无人机激光扫描、正射影像拍摄、空三加密、激光点云数据分类处理、数字高程模型(DEM)制作、1:1000地形图(DLG)制作。整体技术路线如下:

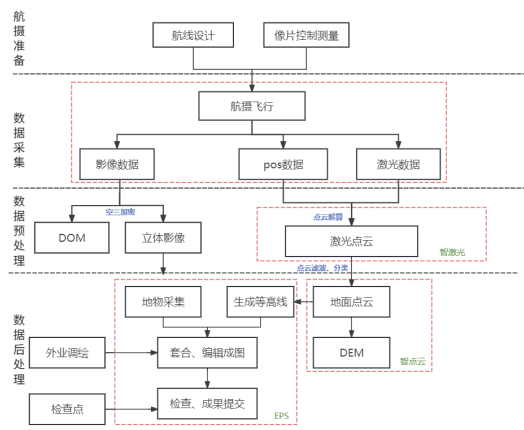


图1 技术路线流程图

（一）无人机数据获取

测区属于山地地形，植被覆盖茂密，考虑到本次任务的精度和效率要求，为保证激光点云的高穿透性，航飞日期选在了 12 月份，稻田已收割，大部分树叶掉落的季节。

航飞选用飞马 D20 无人机搭载 DV-LiDAR10 激光雷达与单镜头正射相机进行数据的采集，一次采集获取激光点云与影像数据，航飞高度 250 米，航向重叠：优于 75%；旁向重叠：优于 65%，航摄影像分辨率优于 0.03m。

（二）像片控制测量

根据本项目的实际需求，及后期数据处理的需要，本项目公布设共布设 34 个控制点。

1. 本测区像片控制点利用 WHCORS，采用 GPS 网络 RTK 方法施测，所有像片控制点均布设为平高点。

2. 因控制点要应用于后期数据处理，其测量精度须优于 2cm，一般需要多次测量取均值，控制点位置一般应选择在地面起伏不大的地面，尽力避免选择房角点或带有高程起伏的角点，以免造成内业人员在刺点时因判断失误刺偏导致数据不满足精度要求。

3. 本项目测区为郊区，有较多硬化路面，故采用布设事前像控的方式。结合高精度差分优势，仅需在测区拐点处布设少量地面控制点即可。地面标志使用红色油漆喷涂 L 形标志，要求标志清晰可见，与地面色差明显，让内业人员易于判刺。



图 2 像控点布设图

（三）空三加密

根据外业测定的像片控制点的成果，利用飞马无人机管家空三软件，对区域影像进行区域网联合平差，结合 POS 系统提供的影像外方位元素，采取由粗到精的匹配策略，获取影响的同名点、经过自动匹配

和自由网光束法平差，最后加入控制点，平差出所有匹配点的绝对坐标。

（四）点云数据处理

1. 利用飞马无人机管家智激光模块进行对采集的激光数据进行点云预处理，生成 LAS 文件，点云预处理整体流程为点云数据解算为标准格式点云的流程，是一切点云后处理的前提。具体步骤为：点云解算、精度检查、点云去噪、点云赋色、标准点云导出。

2. 利用飞马无人机管家智点云模块对与处理后的标准点云进行后处理，点云分类的整体流程可大概分为噪声分类、地面点自动分类、地面点精细分类、成果输出四部分，其中仅有精细分类需要人工干预，其余处理均为软件自动化处理。利用软件内丰富的交互编辑工具，可以大大提高精细分类的效率，减少作业周期。点云自动分类前，需对测区情况加以判断，以确认合适的地面自动分类参数。主要参考项为测区地形起伏情况、植被穿透性、建筑物大小及密集程度。将地面点和其他地物（植被、建筑物等）分离，方便后续生成数字高程模型。智点云软件以内置自适应算法，可以通过简单选取测区地形，设置简单参数，智点云软件自动进行自适应的地面点滤波，并一键化生成 TIN 和 DEM，过程无需人工干预。

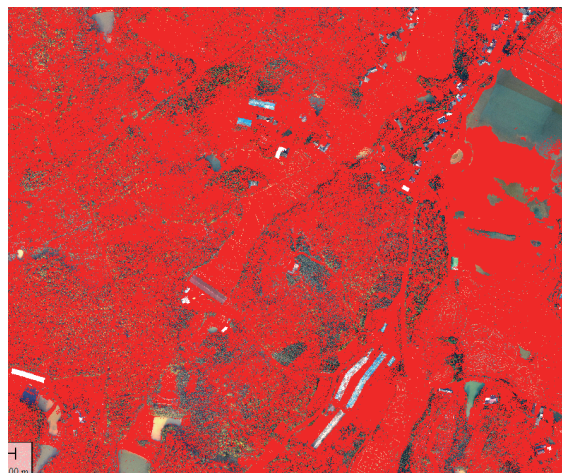


图 3 分类后点云

（五）DEM 制作

地面点分类结束后，即可在软件里导出 DEM 与点云分类结果，以便后续在矢量软件中提取高程点或等高线成果，软件支持输出 las 格式的地面点文件，输出时选择地面点类别即可。

（六）等高线的生成

EPS 软件中可直接基于点云数据生成等高线。等高线提取结束后，利用 EPS 软件中提供了自动检查的方案，对其进行拓扑关系检查，检查内容如下：

1. 点线矛盾：主要检查高程点在等高线之间位置、高差是否匹配；如高程值与所在的等高线区间高程矛盾；

2. 线线矛盾：主要检查等高线是否存在交叉，相邻的等高线值是否矛盾等问题。

对于软件检查出的错误，手动一一改正。

（七）DLG 要素采集

在获取相应的空三成果后利用航天远景 MapMatrix 软件，在全数字摄影测量工作站上，进行 DLG 要素数据（除等高线外）采集，然后经过外业调绘、等高线数据导入、内业编辑、整饰出图，最终形成 1:1000 的地形图。

1. 数据采集

本次 1:1000 地形图测量采用航测数字化测图方式。内业采用航天远景 MapMatrix 软件，在全数字摄影测量工作站上，进行 DLG 要素数据（除等高线外）采集。主要遵循“内业定位，外业定性”的原则。利用航空数字影像建立立体模型，采集要素数据（除等高线外），生成图形文件。采集完的 DLG 要素数据与点云数据生成等高线在山维平台里进行套合编辑，在进行套合应注意与周边地物的接边。

2. 外业调绘与补测

本次外业修补测与调绘工作是在航测内业成图采集的 DLG 要素上进行的，补测、补调被植被遮住的地物、新增地物和采集遗漏的地物，纠正内业采集错误的地物，进行全面的实地检查、补测，进行房屋层数调查注记、屋檐改正，删除实地不存在的地物等工作，要求做到调绘图面与实地保持一致，并保证其数学精度。

3. 图形编辑

图形编辑使用山维 EPS2016 软件，按照规范图式编辑成 1:1000 地形图。

（八）精度分析

在测区内用 RTK 在实地不同位置采集了检查点，像控点与检查点的均基于 WHCORS 系统，采用 RTK 进行野外测量，并将外业测量的坐标作为实测值，在地形图与 DEM 上量取检查点坐标，通过与实测数据的对比，地形图检测精度如下：

1. 平面绝对位置精度：共检测 158 点；检测中误差最大 $\pm 0.403\text{m}$ ，最小 $\pm 0.136\text{m}$ ，平均 $\pm 0.235\text{m}$ ；

2. 平面相对位置精度：共检测 100 段；检测中误差最大 $\pm 0.372\text{m}$ ，最小 $\pm 0.064\text{m}$ ，平均 $\pm 0.225\text{m}$ ；

3. 高程精度：共检测 196 点；检测中误差最大 $\pm 0.284\text{m}$ ，最小 $\pm 0.094\text{m}$ ，平均 $\pm 0.187\text{m}$ 。

DEM 检测精度如下：

高程精度：共检测 385 点；检测中误差最大 $\pm 0.308\text{m}$ ，最小 $\pm 0.105\text{m}$ ，平均 $\pm 0.206\text{m}$ 。

通过检测结果可以看出，基于无人机机载激光雷达与航空摄影测量技术生产出的地形图与 DEM 数据精

度较高，完全可以满足项目的要求。

（九）结语

皖南土墩墓群是全国重点文物保护单位，属于古墓葬类。该遗址由南陵千峰山土墩墓群和繁昌万牛墩土墩墓群组成，是一处西周至春秋时期的大型公共墓地。古墩墓大多被“淹没”在植被或其他地物下，位置无法通过传统的测量方法感知和识别。人工踏查虽然可以发现隐藏在植被或其他地物下的古墩墓，但常面临着路途崎岖难以到达、测量效率较低等问题。皖南土墩墓群土墩墓形似馒头状，墩高 3—8 米，底径 12—20 米，表现为微小的地貌起伏，即“微地貌特征”，土墩墓一般选建在地势较高，土层较厚的山垅上，排列一般是从山岗由上而下，因长期水土流失，墓墩的高度有所降低，底盘逐渐增大。历次的土墩墓普查中由于植被覆盖、结构特征起伏较小。很难详细发现古墩墓的位置分布。

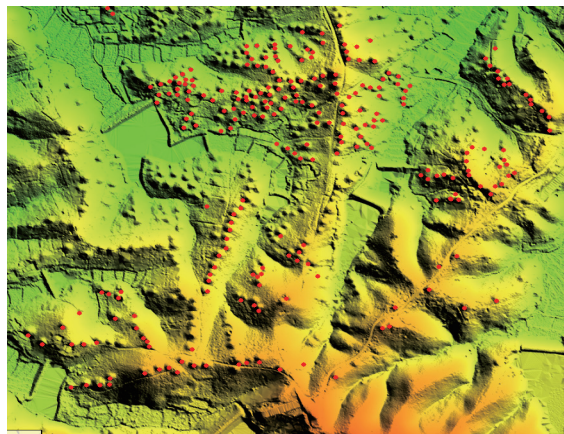


图 4 前期普查土墩墓点展现在 DEM

通过机载激光雷达对这一类地貌形态的感知，凭借激光雷达点云可进行地物分类的特性，我们可以将建筑物点云进行分类，然后剔除，生成 DEM，让古墩墓清晰显示在 DEM 上，把前期普查土墩墓点为展在 DEM 上我们可以看出，前期普查有很多遗漏。通过在 DEM 上可采集出疑似古墩墓的点位结合地形图可在实地快速精确地找到对应位置，辅助进行古墩墓的普查工作。

参考文献：

- [1] 田松林. 机载激光雷达在古代城址考古调查中的应用研究. 中国文物报, 2024 年 3 月 15 日.
- [2] 吴飞宇. 无人机倾斜摄影测量技术在城市三维建模中的应用探讨. 城市勘测, 2019 (2): 84-86.

作者简介：

张红梅 (1980-), 女, 本科, 注册测绘师, 高级工程师, 主要从事测量工程、地理信息与遥感方面的工作。