



# 无人机机载激光雷达测绘技术 在航道整治工程中的应用

江木春, 韩亚民, 林剑锋

(中交第二航务工程勘测设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

**摘要:** 机载激光雷达测绘技术具有穿透植被、灵活性强、高精度以及作业安全等优点, 结合无人机技术无需专门起降场、作业灵活、转场方便和成本较低的特点, 能够快速获取地表三维点云数据, 广泛应用于多个领域。在黑沙洲水道航道整治二期工程中, 对重点局部区域在不同阶段利用无人机机载激光雷达测绘技术进行多次测绘, 得到高精度地表丰富信息, 结合多波束水深测量得到的水下地形数据, 对整治前、整治中和整治后的抛填、淤积、崩塌和冲刷数据进行综合分析和评价, 指导工程设计、施工、监测和验收, 为类似工程实践提供技术范例。

**关键词:** 无人机机载激光雷达; 航道整治; 三维点云数据; 数字高程模型; 数字表面模型; 数字正射影像

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0157-04

## Application of UAV airborne lidar surveying and mapping technology in waterway regulation project

JIANG Mu-chun, HAN Ya-min, LIN Jian-feng

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430060, China)

**Abstract:** Airborne lidar surveying and mapping technology has the advantages of vegetation penetration, strong flexibility, high precision, and safe operation. Unmanned aerial vehicle(UAV) needs no special take-off and landing field and features flexible operation, convenient transfer, and low cost. The combination of such technologies can quickly obtain the surface 3D point cloud data, which is widely used in many fields. In Phase II of the Heishazhou waterway regulation project, the UAV airborne lidar surveying and mapping technology is conducted multiple times in key local areas in different stages to obtain high-precision surface information. Combined with the underwater topographic data obtained from multibeam bathymetric surveying, the data of filling, siltation, collapse and scour are comprehensively analyzed and evaluated before, during, and after regulation. It guides the engineering design, construction, monitoring, and acceptance, which provides a technical example for similar engineering practices.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle(UAV) airborne lidar; waterway regulation; 3D point cloud data; digital elevation model(DEM); digital surface mode(DSM); digital orthophoto map(DOM)

机载激光雷达测绘技术将激光、光学技术、全球定位和惯性导航集成一体, 运用光学遥感技术进行波段探测, 获取地面物体反射能量的大小与波谱的幅度、频率与相位等, 对数据进行处理

和定位, 并对目标物体进行准确判别, 具有穿透植被、灵活性强、高精度以及作业安全等优点。在激光雷达的发展过程中, 地面、车载、室内和机载都是良好的平台。随着近年无人机技术的发

展, 无人机平台具有无需专门起降场、作业灵活、转场方便和成本较低的特点, 无人机与激光雷达优势互补, 在测绘领域得到广泛应用。无人机机载激光雷达测绘技术利用安装在无人机上的机载激光雷达系统探测地面的三维坐标, 生产相应的激光雷达数据, 通过数据处理生成数字高程模型 (DEM)、数字表面模型 (DSM) 和数字正射影像 (DOM) 等丰富测绘成果, 能快速获取大区域、大范围的地表三维点云数据, 广泛应用于应急测量、林业资源调查、地形测绘、电力巡检、公路勘测、地灾测量等多个领域<sup>[1]</sup>。

## 1 无人机机载激光雷达测绘原理

无人机机载激光雷达测绘技术是一种全新的三维测量模式, 通过激光雷达传感器向地面发射激光脉冲, 精准检测距离和平面高度, 进行三维立体构图, 不易受大气环境和太阳光线的影响, 可大幅提高数据采集的可靠性以及抗干扰能力, 不仅探测精准度高, 而且空间分辨力强。通过对地面及其覆盖物等目标进行三维扫描, 利用多次回波技术在一定程度穿透地面植被, 密集的点云透过植被缝隙打到地面上, 精确获取植被下方真实的地形信息, 测量被植被覆盖下的地形, 或是因洪水、山体滑坡和崩岸等土壤侵蚀等隐蔽的信息。这些信息留在地貌上的踪迹尽管被后期茂密的植被所覆盖, 但都能基于 DEM 和 DSM 进行识别和提取, 通过激光滤波算法生成高精度成果都能完整准确地展现出来。无人机机载激光雷达测量原理见图 1<sup>[2]</sup>。

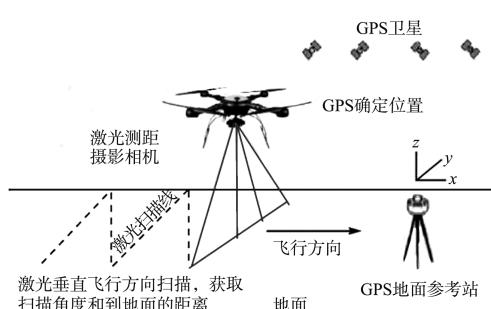


图 1 无人机机载激光雷达测量原理

## 2 航道整治工程测绘技术

### 2.1 常规测量技术

在航道整治工程中, 上游航道两岸多为悬崖峭壁和滑坡等, 森林覆盖广, 甚至是原始森林和无人区等, 航道内急流、礁石、浅滩密布, 很多区域船只人员都无法安全抵达; 中下游航道洲滩密布, 淤泥浅滩和芦苇等植被茂密, 毒蛇和毒虫等有害生物防不胜防。航道整治工程测绘一般采用航空摄影测量与人工测绘(如全站仪、GNSS-RTK)相结合的方法。航空摄影测量需要密集布设像控点, 但因航道区域有难以抵达而无法布置有效的地面控制点的区域, 影像对地表、植被、阴影和纹理特征有较高的要求, 水域与洲滩接合部分分辨困难, 成果接边困难, 航空摄影测量成果精度也相对较低, 多用于大面积、小比例尺全范围地形测绘, 难以完全满足项目需求。通常利用人工对重点区域、航空摄影测量盲区或精度偏低的区域进行补充测绘, 人工测绘采集的高程点数据过于离散, 大比例尺如 1:500 地形图点间距一般为 5 m 左右, 很难真实展现地形地貌, 特别是重点地区和危险区域特征点、线和面的完整和真实信息。

### 2.2 无人机机载激光雷达测绘技术在航道整治测绘中的优势

在航道整治工程中有很多测绘盲区和危险地区, 利用无人机机载激光雷达测绘技术可以轻松完成。配合地面基站, 能完成大区域的数据采集, 且只需要少量地面控制点, 点云高程精度优于 10 cm, 点云密度大于 16 点/m<sup>2</sup>。测量三维现实世界, 采集数据精度高、受天气条件影响小、效率高、后续处理相对简单。不但自动化程度高、层次细节丰富, 而且还能进行夜晚作业, 完成植被提取、DEM 提取、精细化结构建模等传统航空摄影测量完成不了的工作, 节省大量人工作业时间, 有效保障测量人员安全。通过对激光雷达数据及同步拍摄的影像数据进行处理, 获取高精度点云

数据, 结合多波束测得的水下高程数据生成数字高程模型, 可以提取所需多种数据, 大大提升设计效率。得到高精度的 DEM、DSM、DOM、植被、地表地貌和地物分布等丰富的地表信息, 为设计、施工、检测和管理人员直观高效地完成图上方案设计及优化工作, 并指导施工作业, 有效判别施工是否达到预期的目标, 以及项目完成后监测和运行情况, 极大地提高了工作效率、节约了劳动成本。

### 3 实施步骤

#### 3.1 数据采集

数据采集主要是获取点云数据的过程, 根据航道测量范围设计航飞路线和航高。无人机航飞选择在水位最低的时候进行, 这时洲滩或礁石等暴露面积最大。多波束水深测量选择在水位最高的条件下进行, 尽量缩小多波束测量盲区范围, 这时多波束测量与无人机机载激光雷达测得的洲滩成果互相重叠区最大, 数据全覆盖, 且相互检核。

#### 3.2 数据处理

将激光点云数据与其他各类参数进行处理和计算, 对点云数据滤波去除噪声, 获取每一个激光点的空间坐标和每张影像外方位元素, 设置合理的激光点云采集密度参数, 平衡点密度和高密度点云带来的数据关系, 满足工程需要。经过处理的点云数据可以分辨出大量地物, 并根据航道整治工程成果要求转换成工程坐标系。多波束数据经过提纯与筛选, 有效去除粗差数据, 并与处理好的激光点云数据融合应用。

#### 3.3 成果制作

成果制作主要包含 DEM、DSM 和 DOM 等的制作, 将点云数据按地面、水工建筑物、浅滩和礁石、植被、水体和大堤漫滩等类别完成分类。对自动识别困难的地物进行人工分类提取; 露出水面的浅滩、崩岸、滑坡、礁石和水工建筑物等重点分类, 通过自动和人工方法结合进行精细分

类; 分类后的数据制作的地形地貌, 一些植被点和建筑物点容易被分类为地面点, 一些小的地形不连续部分被平滑或去掉, 需要人工除去噪声点。处理好的激光点云数据结合同步相机拍摄的影像, 处理影像外方位元素, 在影像拼接线两侧寻找合理的匀光点, 保证影像图面质量, 生成 DEM 和 DOM。

将处理好的激光点云数据与多波束数据导入 AutoCAD Civil 3D 制作曲面模型, 对于地形较为复杂及需要表现局部地区细节特征的浅滩和水工建筑物等重点地区数据中的等高线、特征点、特征线等数据进行精准描绘, 生成反映地形起伏特征和地表形态的曲面模型<sup>[3]</sup>。

#### 4 工程实例验证

黑沙洲水道位于长江下游安徽省境内铜陵市和芜湖市之间, 东经  $117^{\circ}59' \sim 108^{\circ}07'$ , 北纬  $31^{\circ}08' \sim 31^{\circ}18'$ , 上起板子矶, 下至高安圩, 航道里程  $475 \sim 489$  km。长江中的黑沙洲、天然洲将河道分成南、中、北 3 个水道, 其中南水道为现行主航道, 是长江下游安徽省内重点碍航浅水道之一。为了解决黑沙洲水道目前航道存在的“通而不稳”的问题, 巩固已建航道整治一期工程效果, 黑沙洲水道航道整治二期工程航道建设标准为  $6.0\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$ (水深×宽×转弯半径)<sup>[4]</sup>。

工程局部重点区域包括心滩梳齿坝工程、天然洲左缘上段护岸工程、天然洲右缘护岸加固工程、右岸新港一带护岸加固工程和左槽内潜坝加固工程等(图 2)。黑沙洲上及长江大堤漫滩地植被茂盛, 多为常绿阔叶林、低矮灌木、稻田及芦苇等。基于无人机机载激光雷达测绘技术监测航道洲滩地形并结合水下地形多波束测量, 对航道岸坡、洲滩、水工建筑物和水下地形进行动态监测分析, 直观了解重点区域地形演变、泥沙淤积冲刷和水工建筑物的施工等三维情况, 对于航道

前期整治效果及后期整治方案、施工和维护提供详实的基础成果。航道整治前、整治中和整治后地形演变呈现出不同的规律, 基于周期性监测数据分析汇总出航道整治工程区内及附近地形的演变特征。以精化洲滩地形曲面数据, 生成真实反映洲滩的曲面模型, 对整治效果的冲刷和淤积情况进行分析。通过建立各个时期地形曲面, 对各时期地形曲面模型进行对比计算并对其进行高程分析、渲染等, 更加直观地显示航道整治过程中各时期地形演变情况, 多角度达到对航道地形空间监测的目的<sup>[5]</sup>。

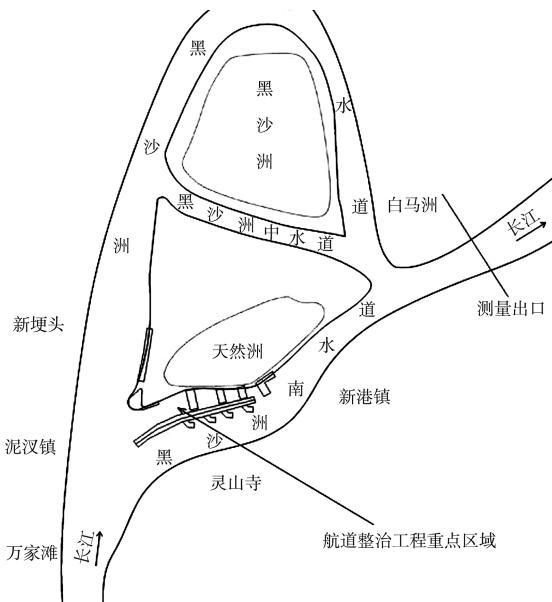


图 2 黑沙洲水道航道整治二期工程

航道整治过程中, 洲滩冲刷或淤积情况因时间较短而变化不大, 采用航空摄影测量和人工测量方法(精度偏低或高程点位密度小)无法真实反映冲刷或淤积情况。采用无人机机载激光雷达测绘技术不但高程点精度高, 而且点位密度大, 可以有效监测洲滩细微的变化(图 3)。施工中水陆交界处的水工建筑物以及淤积或冲刷形成的泥滩等重点区域上人工测绘存在较大的安全风险。特别是洪水季节, 及时发现洲滩隐藏在植被下的崩岸滑坡现象, 当处理后的成果发现异常时, 及时进行现场人工调查, 可避免事故的发生, 做到安全度汛。

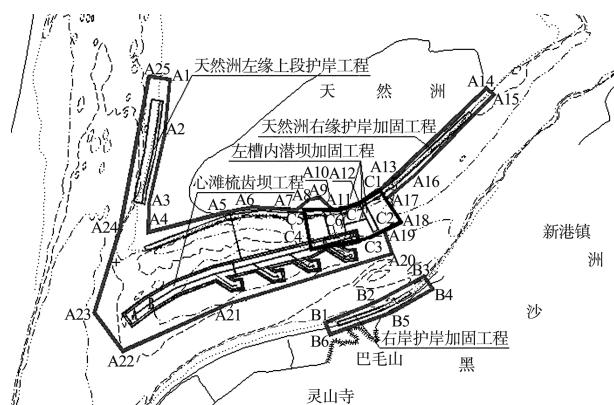


图 3 无人机机载激光雷达及多波束测量位置

2016 年 3 月—2020 年 9 月的航道整治过程中, 在整治前、整治中和整治后, 及汛前、汛后多次对黑沙洲水道航道整治二期工程局部重点区域进行无人机机载激光雷达测绘和多波束测量, 并对多次测量成果进行对比分析, 结果表明测区陆域地形变化不大, 但经过洪水期后, 黑沙洲水道部分岸边浅滩及水下地形发生变化, 北水道进口右侧局部冲刷, 左侧则出现淤积情况, 北水道中段整体变化不大。南水道进口右侧局部出现淤积; 中段局部发生少量的淤积或冲刷, 其中心滩梳齿坝工程上游端局部冲刷出现减缓迹象, 下游端局部则出现淤积平稳情况; 左槽内潜坝加固工程局部出现冲刷现象; 南水道下游航道的局部也出现淤积情况。航道整治达到了预期目的, 局部须重点关注<sup>[6]</sup>。

## 5 结语

1) 无人机机载激光雷达测绘技术作业效率高、非常适合大范围的航道整治工程测绘, 不但无需专门起降场、作业灵活、转场方便、成本较低, 而且作业效率高、成果精度高、成果类型丰富, 作业不受光线影响, 点云密度高, 能完整表达出植被、建筑物、地表点等全要素地物特征, 大大减少外业数据采集工作, 保障安全生产。