



无人机机载激光雷达测量技术 在犍为航电枢纽中的应用

闫小平, 丁易峰, 徐超炎

(四川江源工程咨询有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 无人机机载激光雷达测量技术是以无人机为飞行平台, 集成激光测距、定位、惯性导航和摄影测量功能为一体, 能更好地实现勘测设计一体化的高新测绘技术。相比传统测绘, 它具有全天时、作业效率高、较大程度克服植被覆盖影响的优势, 适用于高山峡谷等地形复杂地区数据采集, 近年来受到业界广泛关注。结合该技术在犍为航电枢纽的应用, 探究其应用价值, 以期未来更好地与项目生产结合。

关键词: 无人机; 机载激光雷达; 测绘; 勘测设计一体化; 数据采集; 犍为航电枢纽; 激光测距; 定位; 惯性导航; 摄影测量

中图分类号: U 462

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)12-0119-06

Application of UAV airborne LiDAR measurement technology in Qianwei navigation-power junction

YAN Xiao-ping, DING Yi-feng, XU Chao-yan

(Sichuan Jiangyuan Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: UAV airborne LiDAR measurement technology is a high-tech surveying and mapping technology that takes UAV as a flying platform and integrates laser ranging, positioning, inertial navigation and photogrammetry functions into one, which can better realize the integration of survey and design. It is a full-day, efficient operation compared to traditional mapping, and has the advantage of overcoming the impact of vegetation cover to a greater extent, and is suitable for data collection in complex terrain areas such as high mountain valleys, and has received wide attention from the industry in recent years. Combined with the application of this technology in Qianwei navigation-power junction, we explore the value of its application with a view to better integration with project production in the future.

Keywords: unmanned aerial vehicle(UAV); airborne LiDAR; surveying and mapping; integration of survey and design; data collection; Qianwei navigation-power junction; laser ranging; positioning; inertial navigation; photogrammetry

目前, 在国内水利水电工程建设中常用的工程测量仪器设备主要为全站仪、水准仪、实时差分定位(RTK)等。这些设备虽然精度高, 但在施测时需要人力逐点测量, 在开展规模较大的测量任务时须投入大量的人员作业, 不仅质量较难控

制, 而且费工费时; 尤其在遇到地形复杂、植被覆盖的山区时, 测量人员不仅难以安全到达, 而且测量时存在较大的安全隐患。无人机航空摄影测量技术因应用更加灵活、成本更低、可快速获取高分辨率影像等优点, 近年来在国内工程项目

中已广泛应用。但该技术存在受天气影响大、植被地区无法获取高精度的地面高程数据、内业投入大、生产周期长等不足。机载激光雷达 (LiDAR) 测量技术集成定位、惯性导航、激光测距和摄影测量功能为一体, 不仅具有航摄技术的优点, 相比传统测绘, 还有全天时作业、生产效率高、较大程度克服植被覆盖的影响、更好地实现勘测设计一体化等突出优势, 被誉为遥感技术领域的一场革命, 受到业界的广泛关注。本文结合该技术在犍为航电枢纽工程的应用, 探究其应用价值, 以期未来能更好地与项目生产结合。

1 机载激光雷达系统

1.1 系统组成

机载激光雷达系统主要由航飞平台、激光雷达、全球定位系统、惯性导航系统 INS、数码相机、控制系统、数据存储系统、数据处理及显示软件和供电系统等组成 (图 1)。

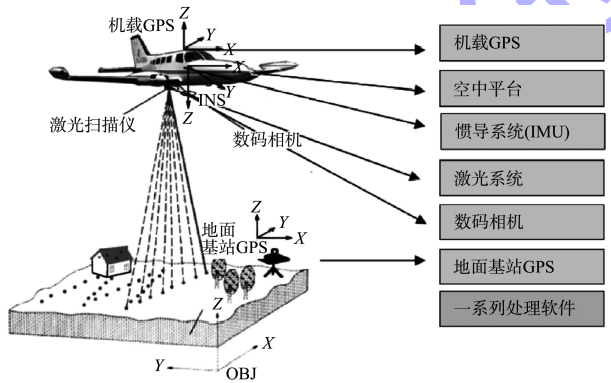


图 1 机载 LiDAR 的组成

1.2 测量原理

当机载激光雷达飞行时, 激光设备发射、接收激光束, 对地面进行线状扫描, 同时, 全球定位系统 (动态 GPS) 确定传感器的空间位置, 惯导

系统测量飞机的实时姿态, 包括滚动、仰俯和航偏角等。以上系统几个部分同步工作并集成于一体, 经后期数据处理后, 即可获取测量的三维数据^[1] (图 2)。

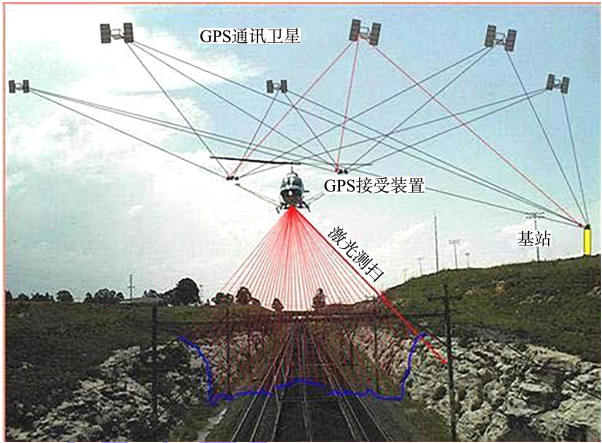


图 2 激光雷达系统工作原理

2 机载激光雷达测量技术在犍为航电枢纽中的应用

2.1 任务概况

为了解“8.18”洪水对犍为航电工程库区洪损影响, 需测绘库区部分洪灾区域地形图, 对双漩坝区域采用了机载激光雷达技术测量。测区部分区域起伏较大, 相对高差约 200 m, 主要为丘陵地、村镇, 测图比例尺 1:1 000, 测图面积约 0.46 km²。

测量采用 NS-200Q 激光雷达系统, 搭载大疆 M300 无人机。飞行平台配备双目视觉及红外传感器避障系统, 适应本次测区部分区域地势起伏较大的特点。

2.2 技术路线

机载激光雷达测量作业主要包括航摄准备、航摄、数据处理和数字地图制作几个步骤 (图 3)。

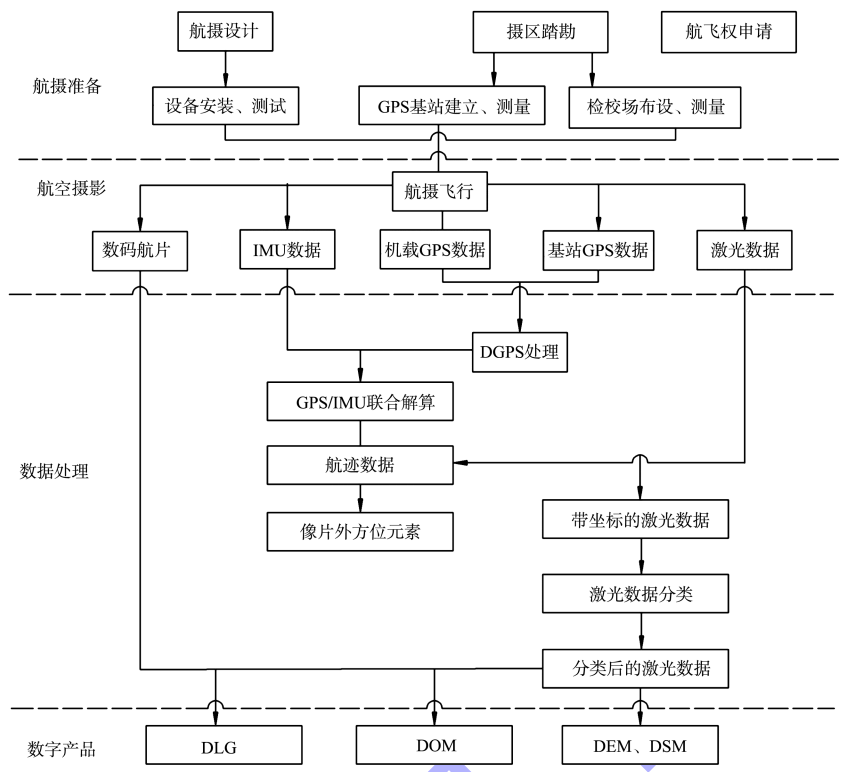


图 3 激光雷达航测作业流程

2.3 测量作业

2.3.1 测量系统检校

机载激光雷达系统安装到无人机上后, 应进行系统的检校, 系统检校主要包括 LiDAR 检校和数码相机检校。

2.3.2 航摄准备

在机载激光雷达系统数据采集前, 根据测区范围向所属空域管辖部门进行空域申请, 收集测区气象资料和已有测量成果; 在现场踏勘确定起降场地, 根据激光测量系统的检校参数, 结合工程设计的航带, 确定作业飞机的飞行参数及测量参数, 选择合适的影像地面采样率、带宽和激光点间距等参数^[2], 采用航迹线规划软件进行航线设计, 确定航摄分区(图 4)。航飞前检查飞机电池、机身是否正常, 机载设备是否开机运行等。



图 4 航线规划

2.3.3 航飞和数据采集

当天天阴大风, 使用 NS-WP 航线规划模块规划航线飞行参数为绝对航高 90 m, 航速 5 m/s, 航间距 50 m, 爬升角(飞机自动计算)、仿地飞行, 测区面积 0.46 km², 其中一般村庄地区 0.06 km², 城镇区 0.40 km²。

在外业航摄作业时, 机载激光雷达设备在起飞前和降落后都要进行至少 5 min 的静态观测。在飞行中要时刻关注以下事项:

- 1) 对无人机、雷达等设备的电压、电量进行监控;
- 2) 对飞行状态进行监控, 主要观察航高、空速、地速、飞行姿态、轨迹等情况;
- 3) 对地面数据采集进行监控, 随时检查照片数及数据采集情况。

2.3.4 数据处理

数据内业预处理主要包括基站数据转换、POS 数据处理、激光点云解算、精度验证等, 生成具有三维地理空间坐标的激光点云。测量飞行完成后, 使用 NS-SCAN 点云预处理模块生成点云。完

成点云预处理后，使用 NS-PCP 点云后处理模块进行点云分类，提取出地面点，然后根据地面点构建三角网生成高精度 DEM，最后根据高精度 POS 生成正射影像 DOM(图 5)。

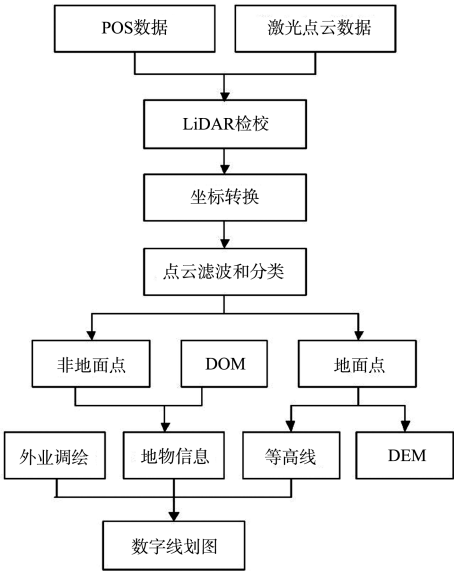


图 5 数据处理技术路线

2.3.5 成果

2.3.5.1 丘陵区

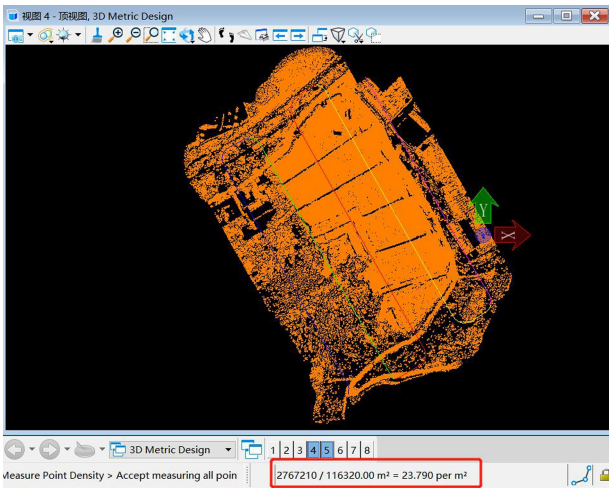
1) 丘陵区植被覆盖较密，作业点密度满足 1:1 000 要求，平均点云 165 点/m²；NS-200Q 激光雷达系统具备树林穿透性，在林下地面点云密度 24 点/ m²；

- 2) 点云航带重叠 10 cm，点云重叠情况良好；
- 3) 作业数据通过粗分(初步分类)可制作高精度 DEM、等高线；

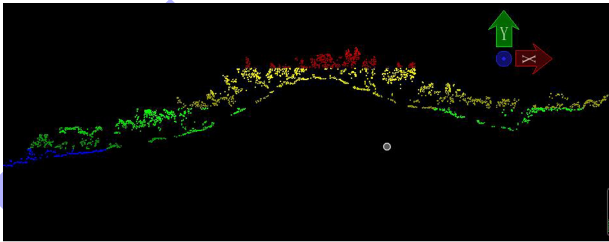
4) 测图成果现场采用 RTK 放样比对，显示最大差值 8 cm，满足 1:1 000 地形图精度要求(图 6)。



a) 分类后地面点云



b) 地面点云



c) 树林穿透性

	Name	X	Y	Z	Horizontal	Vertical
1	11	491746.597	2777850.433	417.831	0.098	-0.0
2	12	491729.142	2777824.806	417.968	0.013	-0.0
3	13	491722.634	2777815.196	418.104	0.033	-0.1
4	14	491768.637	2777752.712	422.190	0.061	-0.0
5	15	505625.781	2785493.376	340.956	Not found	Not found

统计						
平面	最大	0.09E	最小	0.01E	均值	0.051
高程	最大	-0.0E	最小	-0.1E	均值	-0.0E

d) 精度报告

图 6 丘陵区测量成果及比对结果

2.3.5.2 村镇地区

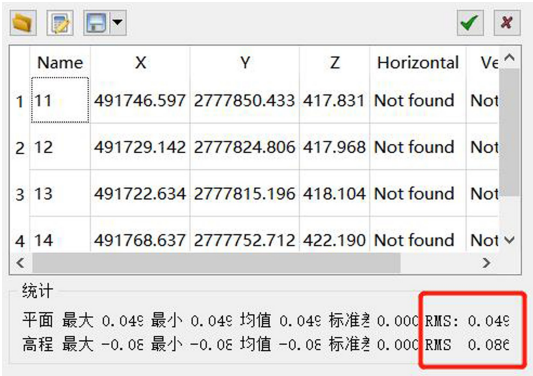
1) 作业点密度满足 1:1 000 要求，平均点云 88 点/m²；NS-200Q 激光雷达系统具备树林穿透性，临夏地面点云密度 11 点/m²；

- 2) 点云航带重叠 13 cm，点云重叠情况良好；
- 3) 作业数据通过粗分(初步分类)可制作高精度 DEM、等高线；

4) 本次作业经绝对精度检查, 得知高程误差 8 cm(图 7)。



a) 房区点云



b) 精度报告

图 7 村镇地区测量成果及比对结果

2.4 误差分析

从上述成果精度比较可知, 机载激光雷达测量密度和测量误差能够满足 1:1 000 地形图测量精度要求。经查阅资料并结合现场情况进行分析, 认为其误差来源于如下多方面: 1) GPS 定位误差(最主要的误差源之一); 2) IMU 姿态角和姿态角误差; 3) 激光雷达自身的测距误差; 4) 系统集成后的综合误差; 5) 环境影响造成的误差(如航线、飞行条件、植被覆盖、天气等); 6) 其他误差(数码相机误差)等^[3]。

3 机载激光雷达测量技术的特点

3.1 作业效率高, 产品生产周期短

与传统航测成图相比, 机载激光雷达系统测量时不需要较高的航向和旁向重叠度, 无需或只需少量地面控制点, 提高了外业数据采集效率; 其次, 经与同类型地形图采用传统测量方法测图效率比较, 其成图时间缩短 40%左右, 外业调绘

和补测的工作量减少 50%左右; 体现在项目效益上, 初步估计算机载激光雷达测量技术所需成本约为传统测量和低空航摄测量的 70%。

3.2 较大程度克服了植被覆盖的影响

虽然在植被密集区获取的地面点数量会减少, 但是通过合理设置航线、增加重叠度、增强发射功率和调整扫描角度等措施, 仍然可以获得满足项目要求的地面点密度。对点云进行滤波和分类处理后, 能获得精度较高的地面点和非地面点数据^[4], 并结合反射强度等信息可分类出道路、房屋、植被、水系等要素。与传统方法相比, 分类后的地面点生成的 DEM 模型能准确表达出地形微小起伏特征, 提高了地形图的准确性。四川地区常常植被覆盖密集, 尤其是航电工程测区更是如此, 相比航空摄影测量优势明显。

3.3 能克服山高坡陡、地形复杂地区数据采集的困难

在高差较大的山地, 航空摄影测量容易出现航摄漏洞, 尽管目前低空无人机航摄设备具有仿地飞行功能, 但由于复杂地区不便于布设像控点, 测图难以获得较高的精度。机载激光雷达系统测量技术扫描数据连续, 像控点少或免像控, 降低了布设野外像控点的难度, 出现航摄漏洞的几率较小。对于高山峡谷、滩涂沼泽等地形复杂和人难以抵达的地区, 该技术可以很好地解决数据采集问题。

4 机载激光雷达测量技术的工程应用

4.1 工程勘测

不论在地形平坦区域还是在地形起伏大、植被覆盖多、交通和通讯不便的传统测量区域, 机载激光雷达均能实现高效率、高精度的测绘。采用机载激光雷达测量, 勘测人员可以通过 LiDAR 获得的 DOM 清晰地判读测区的地物属性, 通过直接获取的三维点云数据直接生成 DEM 或等高线, 通过 DEM 和等高线套合设计人员可以更加直观、便利、高效地分析、计算大坝的选址、建设高度、模拟库区淹没范围等工程勘测问题。

4.2 建设环境评估

由于雷达可以获得正射影像，结合点云还能进一步进行水体、植被和地形的提取分析，因此其在工程建设环境评估中可以得到广泛使用。

4.3 工程三维模型和可视化管理

基于激光点云生成的 DEM 等三维模型，可以开发工程的三维电子沙盘。建立电子沙盘能够实现大型工程项目设计的可视化和施工进度直观化^[5]，如能够进行水电站设施的三维仿真、工程建设进度的三维模拟、工程测量以及库区淹没分析和库容计算，提高工程设计、施工和管理效率。

5 结语

1) 通过在犍为枢纽测区内植被覆盖较多的丘陵地区和植被覆盖较少的城镇地区运用机载激光雷达测量技术实际测量，可以得到以下结论：测量点云可直接获取地面点三维坐标；测量点云密度能达到对应地图比例尺点密度要求；测量精度能满足对应比例尺测图精度要求。

2) 相比传统测绘和摄影测量，激光侧扫雷达

技术具备以下优点：极大地缩短了外业作业时间；降低恶劣天气等不利因素的影响；在交通不便、人难以到达的高山峡谷、植被茂密区域优势明显。

3) 在工程建设信息化要求越来越高的当下，机载激光雷达测量技术作为一种全天候、高精度、自动化程度高、外业工作少的技术手段，能够更好地实现勘测设计一体化，应用前景广阔。

参考文献：

[1] 尹磊,鲁贵文.机载激光雷达在电力线路设计中的应用[J].科技创新导报,2013(17):65-66.

[2] 谭俊.基于 LIDAR 的铁路线路工程测量应用研究[J].科技资讯,2010(27):42,44.

[3] 耿志盼.无人机载 LiDAR 在水利工程测量中的应用探究[J].安徽建筑,2019,26(6):192-194.

[4] 刘见礼.基于无人机立体影像数据的森林结构参数调查研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2017.

[5] 王金鑫,程帅,张成才.机载 LiDAR 系统及其在水利中的应用[J].测绘与空间地理信息,2012,35(2):4-7.

(本文编辑 郭雪珍)

~~~~~  
(上接第 118 页)

[5] 王晶,文寨军,隋同波,等.高贝利特水泥的性能及其水化机理的研究[J].建材发展导向,2004,2(1):45-49.

[6] 隋同波,刘克忠,王晶,等.高贝利特水泥的性能研究[J].硅酸盐学报,1999(4):106-110.

[7] 隋同波,范磊,文寨军,等.低能耗、低排放、高性能、低热硅酸盐水泥及混凝土的应用[J].中国材料进展,2009,28(11):46-53.

[8] WANG L,DONG Y,ZHOU S H, et al. Energy saving benefit, mechanical performance, volume stabilities, hydration properties and products of low heat cement-based materials[J]. Energy and buildings, 2018, 170: 157-169.

[9] 中国建筑材料科学研究院.水泥胶砂干缩试验方法:JC/T 603—2004[S].北京:中国建材工业出版社,2004.

[10] 中国建筑材料科学研究总院,中国建筑材料检验认证中心,中国建筑材料联合会.水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法:GB/T 749—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.

[11] WANG L, YANG H Q, DONG Y, et al. Environmental evaluation, hydration, pore structure, volume deformation and abrasion resistance of low heat Portland(LHP) cement-based materials[J]. Journal of cleaner production, 2018, 203: 540-558.

[12] 南京水利科学研究院,中国水利水电科学研究院.水工混凝土试验规程:DL/T 5150—2017[S].北京:中国电力出版社,2018.

(本文编辑 王璁)