

激光雷达在旧路改造勘测建设项目中应用研究

邹晶 庞明伟 张潇

云南航遥空间科技有限公司; 中化地质矿山总局湖北地质勘查院

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6539

[摘要] 伴随着经济的快速发展, 旧路改扩建工程越来越多, 旧路的空间基础数据是公路改扩建设计的基础, 当前测量技术与手段用于旧路的勘测在精度、效率、周期和安全方面都存在着问题。本文详细阐述了机载激光雷达测量技术应用于高速公路改建勘测中的技术流程与技术要点, 并以 235 国道云和段改建勘测的应用为例论证了技术的可行性。一方面为快速准确获取道路的数字地面模型数据和设计所需要的勘测数据提供了技术支撑, 另一方面也为其它城市开展类似工作提供了经验参考。

[关键词] 机载激光雷达; 旧路改扩建; 改建勘测; 研究应用

Research on the Application of Lidar in Old Road Reconstruction Survey and Construction Projects

Zou Jing, Pang Mingwei, Zhang Xiao

Yunnan Hangyao Space Technology Co., Ltd; Hubei Geological Exploration Institute of China National Chemical Geological and Mining Administration

[Abstract] With the rapid development of the economy, there are more and more projects for the renovation and expansion of old roads. The spatial basic data of old roads is the basis for the design of highway renovation and expansion. Currently, there are problems in accuracy, efficiency, cycle, and safety when surveying old roads using measurement techniques and methods. This article elaborates on the technical process and key points of using airborne LiDAR measurement technology in highway reconstruction survey, and demonstrates the feasibility of the technology using the application of Yunhe section of National Highway 235 as an example. On the one hand, it provides technical support for quickly and accurately obtaining digital ground model data of roads and survey data required for design, and on the other hand, it also provides experience reference for similar work in other cities.

[Key words] Airborne LiDAR; Old road renovation and expansion; Reconstruction survey; Research applications

1 引言

公路里程的增加带来了经济的迅猛发展, 同时随着经济的不断发展也带来了交通运输量的不断增加, 公路改扩建工程建设是减少交通拥堵, 提高道路的通行能力和服务水平的重要举措, 其中, 公路地形图勘测和三维数据采集是一项基础前瞻性的重点工作^[1]。传统的高精度 GPS-RTK 测量在道路改扩建工程建设中易受车流、交通等影响, 作业效率低、作业强度大, 也难以保障作业安全。机载激光雷达测量技术是近几年兴起的技术, 具有高效率、高精度、低成本等诸多优点, 越来越广泛的应用于道路测量工作中。本文详细阐述了机载激光雷达测量技术应用于高速公路改建勘测中的技术流程与技术要点, 并以 235 国道云和段改建勘测的应用为例论证了技术的可行性, 同时也为其他城市开展类似工作提供经验参考。

2 基于机载激光雷达的高速公路测量技术

2.1 机载 LiDAR 工作原理

机载激光雷达 (LiDAR) 技术是将激光测距设备、GNSS 设备和 INS 等设备紧密集成, 以飞行平台为载体, 通过对地面进行扫描, 记录目标的姿态、位置和反射强度等信息, 获取地表的三维信息, 并深入加工得到所需空间信息的技术^[2], 具有剪度剪、使用灵活、抗干扰能力强等特点。图 1 为机载激光雷达系统扫描示意图。

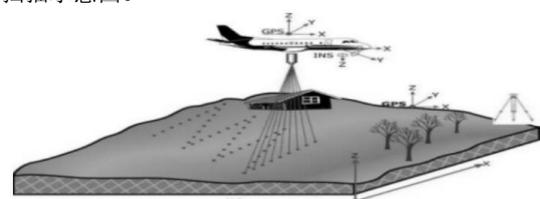


图 1 机载激光雷达系统扫描示意图

2.2 技术流程

利用机载激光雷达测量技术进行地形采集主要包括计划准备、航飞实施、数据整理、成果提交。总体技术路线如图 2 所示。

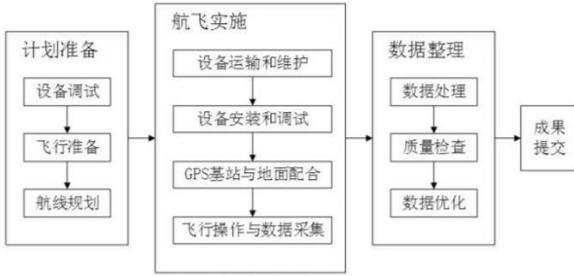


图 2 机载激光雷达测量技术路线图

2.2.1 计划准备

(1) 资料搜集：搜集测区内省卫星导航定位基准服务系统数据，用于碎部点采集及各类测量数据的粗差检测；收集高速公路改建工程规划成果数据，作为航线设计依据。

(2) 空域办理：依照《中华人民共和国飞行基本规则》相关规定，航飞前进行空域申请和报备，在审批通过后选择适航的天气进行机载激光雷达点云采集。

(3) 机载雷达参数设计：设计原则满足提升工作效率、降低投入成本，同时需要综合考虑仪器设备的性能、测量区域的地形、地貌、测区形状，以及设计要求的航高、航向重叠度、旁向重叠度和航行协调等一系列要素^[3]。

(4) 航线规划：确定飞行时的航线方向，原则上需要保证覆盖整个测区，且范围内的建（构）筑物尽量保证完整，且飞机的适用效率达到最优。通常可以获得测区的影像或者已有地形图作为参考，航线设计方案要结合测区的地形、机载激光雷达设备的相关参数、天气条件、航带重叠度、航带宽度和成果要求的点云密度等，遵循成本最低、测区覆盖、飞行安全、采集效率最高的原则，在专业的航飞设计软件中进行设计。

2.2.2 航飞实施

(1) 设备安装和调试：包括检查飞机状态、电路连接、GPS 系统设备初始化情况、存储设备容量、各项参数设置、电池电量、激光雷达工作状态等。

(2) 基站与地面配合：为了方便后期的数据解算工作，在实际扫描作业中，需在测区范围内架设一台静态 GNSS 接收机，同步接收和记录卫星信号。为了准确记录扫描的工程文件详细信息，外业点云采集的同时要进行采集监测，最终便于后期数据解算和内业处理工作开展^[4]。

(3) 飞行操作与数据采集：飞行操作应按照以下原则实施：①飞行前进行检查，确保设备安装和设置正确无误；②飞行实施过程中，飞机转弯时的坡度不超过 20°，激光航带重叠度为 30%、在航线中雷达姿态不大于 5°，同一航线上飞机实际航高保持一致、及时关注天气情况。

2.2.3 数据整理

(1) 数据解算：数据解算的工序主要包括三部分内容：一是差分 GPS 处理；二是轨迹文件解算；三是点云数据输出。差分 GPS 处理和轨迹解算部分使用 InertialExplorer 软件进行处理，通过软件的分析工具，可以查看卫星状况以及确认解算结果的各项指标是否合格点云数据输出采用设备自带的激

光解析软件进行处理^[5]。

(2) 坐标转换：通过数据解算出来的激光点云坐标为 WGS84 坐标系，需要根据项目成果需要，将数据坐标系转换到地方坐标系或者 CGCS2000 坐标系。

(3) 点云去噪：机载激光点云数据中含有大量的粗差点，比如空中的飞鸟等，需要进行点云去噪进行粗差检测和剔除处理。本项工作在 TerraScan 软件中处理完成。

(3) 质量检查：为了保证激光点云扫描数据精度，在扫描的同时，安排外业现场调查人员利用全站仪实测一批检查点。检查点的测量要求严格按照项目原技术设计书要求的作业方式开展工作。

(50 点云滤波：对原始点云进行地面点和非地面点分类，将地面建筑物、电杆、交通附属设施等数据剔除，得到裸露地表的数据点。常用的滤波方法有基于坡度、表面、或者内插的方法。本项工作在 TerraSolid 软件中，根据已有工具完成。

2.2.4 成果提交

将三维激光点云成果按照设计线路分段进行分块，并输出为 LAS 格式进行存储。

3 技术应用

3.1 实例概况

本次实例选择位于丽水市云和县的 235 国道云和段改建工程，路线总长 42.752 千米，其中主线长 34.823 千米，主线起点为松阳段与云和段交界 (AK0+000) 处，主线终点为 AK34+831.521。235 国道云和段改建工程列入 2022 年省重点建设项目名，该项目实施后，将极大改善云和县东北部欠发达地区的交通条件，对完善区域路网、推进区域城市化进程、缓解交通压力、开发旅游资源和发发展旅游事业等都具有重要作用。

3.2 应用情况

本项目采用大黄蜂 BB4 多旋翼无人机搭载 AS900HL 激光雷达方式开展外业工作（硬件使用情况如表 1 所示），高效完成以 235 国道云和段路基为中心，200m 范围内的点云数据采集，相对飞行航高约 280m，点云密度约 20pt/m²。采集后的数据依次经过数据解算、坐标转换、点云去噪、质量检查和点云滤波处理（软件使用情况如表 2 所示），并获得最终 las 点云数据如图 3 所示。



图 3 最终点云

表格 1 硬件使用情况

名称	型号	数量	备注
GNSS 接收机	华测 I80	2 台	后差分基站静态测量
多旋翼无人机	大黄蜂 BB4	1 台	激光雷达搭载平台
激光雷达	AS900HL	1 套	点云采集
计算机	联想	4 台	数据处理

表格2 软件使用情况

名称	型号	备注
解算软件	Inertial Explorer	用来解算轨迹文件:将机载激光雷达的GNSS数据和IMU数据,以及地面基站的静态数据进行解算,最后获得高精度的轨迹
点云预处理软件	CHC Copre	点云预处理软件:将数据处理成点云、全景影像、正射影像、三维模型等成果遥
坐标转换软件	CHC Data	转换软件,主要是将点云坐标系转换成目标坐标系,以及点云格式转换输出成.las格式
点云滤波软件	Terra-Solid	点云滤波分类软件:加载、渲染点云,自带滤波工具,设置相关参数,对点云分类,最终获得地面点

3.3 精度评价

本项目中,选取了41个高程控制点(高程控制点分布情况如图4所示)对获取的点云数据进行了精度检验,其结果如下表3所示,最大高程误差0.096m,最小高程误差0.002m,高程中误差0.046m,数据精度满足中华人民共和国测绘行业标准机载激光雷达数据获取技术规范,精度也满足公路改扩建勘测中高程误差小于0.05m的要求。



图4 实测点分布图

表格3 精度统计

点号	点云坐标 (H)	测量坐标 (H)	ΔH	ΔH^2
1	116.910	116.900	0.010	0.000100
2	115.690	115.609	0.081	0.006561
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40	103.080	103.142	-0.062	0.003844
41	103.070	103.115	-0.045	0.002025
最大误差			-0.096	
最小误差			0.002	
中误差			0.046	

3.4 效率分析

本项目中,利用大黄蜂BB4多旋翼无人机搭载AS900HL激光雷达进行作业,在两天时间内即完成了任务区域的点云数据采集及处理工作,与传统GPS-RTK测量技术相比,作业效率提高了五倍以上。

4 机载雷达测量技术在道路勘测应用上的优劣势分析

析

通过对机载激光雷达测量技术在高速公路改建勘测中的技术要点研究,以及利用本技术在235国道云和段的应用分析表明:

本技术手段优势如下:(1)目标空间信息数据采集快、精度高、采集过程简单,极大地降低人工成本,提高生产效率;(2)环境适应力强。道路改扩建工程作业时,往往伴随着交通受限的情况,与传统人工测量相比,机载激光雷达测量技术可不受地面交通影响,保证作业安全;(3)点云数据成果应用广泛,利用机载雷达测量技术采集的高精度点云数据可应用于道路高精度DTM生产、大比例尺公路地形图采集、道路断面采集等方面。

其不足主要体现在以下几个方面:(1)空域申请麻烦,飞行前需获得测区内飞行许可,并与航空管制部门协调,通过申请后才可进行作业;(2)测量距离受限,激光在大气中能量衰减较大,不能远距离作业。

5 结束语

通过机载激光雷达测量技术在道路改建中的应用研究,以及在235国道云和段改建勘测的应用表明:机载激光雷达技术能够快速获取高密度高精度的目标空间信息,具有采集速度快、精度高、采集过程安全简单、节省人力劳动强度等优点,作业成果能够满足旧路改扩建工程设计和施工的测绘需要,合理使用该项技术可以有效提高生产效率,降低旧路改扩建工程的生产成本。

[参考文献]

- [1]李飞,李翠翠,韩瑗.基于机载激光雷达数据的复杂建筑物三维自动重建方法[J].激光杂志,2023,44(12):212-217.
- [2]汪家意,王君,田泽海.机载LiDAR在山区1:500地形图测绘中的应用[J].智能城市,2023,9(12):39-41.
- [3]王泽华,甘淑,吕杰等.泥石流沟谷地形的机载激光雷达点云滤波算法对比[J].兰州大学学报(自然科学版),2023,59(06):770-777.
- [4]蒋欣,凌邦富,江涛.机载激光点云在1:10000基础测绘DEM局部更新中的应用[J].工程与建设,2023,37(06):1691-1693+1696.
- [5]陈西强.无人机机载激光雷达技术在电力工程中的应用分析[J].价值工程,2023,42(34):124-126.
- [6]施晓萍,周柏兵,郭庆鑫等.机载激光雷达在堤防隐患巡查试验中的应用[J].水利发展研究,2024,24(01):86-93.
- [7]周建基,韦睿妍.基于无人机机载激光雷达技术的地表变形监测研究[J].信息记录材料,2023,24(12):155-157+160.
- [8]冀慎龙,刘魁.固定翼机载激光雷达技术在电网基建工程中的应用[J].装备制造技术,2023(11):187-189.
- [9]王明伟.无人机机载激光雷达技术在矿山三维测绘中的应用研究[J].世界有色金属,2023(21):7-9.
- [10]李国金.基于机载LiDAR数据的单木参数提取研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(10):128-131+136.
- [11]林莹峰.基于无人机机载激光雷达技术的农村地籍调查测量[J].测绘与空间地理信息,2023,46(09):175-178.
- [12]张友超,王仕林,王吉振等.机载激光雷达点云滤波方法分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(09):218-221+224.