

# 轻型机载激光雷达在公路勘测设计中的工程应用实践

## Engineering Application Practice of Light Airborne Lidar in Highway Survey and Design

李泉圆

Quanyuan Li

成都坤舆空间科技有限公司 中国·四川成都 610000

Chengdu Kunyu Space Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

**摘要:** 轻型机载雷达主要由激光扫描仪、IMU 组合惯导、高清数码相机及嵌入式电脑组成。航飞作业时以载人直升机或无人机作为飞行载具能够快速直接获取测区范围的三维空间数据信息, 通过后处理生成数字高程模型、线划图等测绘产品。通过点云生成的数字高程模型成果, 可以实现高精度的中桩与横断面提取。轻型激光雷达与传统航测不同, 它并不要求在测区布设大量的像控点, 并且激光能够透过植被的叶冠缝隙, 形成多次回波, 获取到植被以下精确三维地理信息, 所以激光雷达生产的数字高程模型精度优良, 能够支撑面向高度精密度的横断面提取以及设计路线动态性选取, 从而真正达到了初勘定测一体化目标。在公路的测量作业和设计工作中, 具有大范围推广意义与作用。

**Abstract:** Light airborne radar is mainly composed of laser scanner, IMU combined inertial navigation, HD digital camera and embedded computer. During aerial flight operation, a manned helicopter or unmanned aerial vehicle as a flight vehicle can quickly and directly obtain the three-dimensional spatial data information in the measurement area, and generate digital elevation model, line drawing and other mapping products through post-processing. Through the digital elevation model results generated by point cloud, high-precision medium pile and cross-section extraction can be realized. Light laser radar and traditional aerial survey, it does not require many points in the test area, and the laser can through the vegetation canopy gap, form many echo, obtain vegetation below accurate 3D geographic information, so laser radar production digital elevation model precision, can support for highly precision cross-section extraction and design route dynamic selection, so as to truly achieve the preliminary survey integration goal. In the survey and design of highway, it has a wide promotion significance and function.

**关键词:** 轻型机载雷达; 公路勘测; 应用实践

**Keywords:** light airborne radar; highway survey; application practice

**DOI:** 10.12346/se.v4i2.6495

## 1 引言

在公路勘测中, 过去我们所使用的技术测量手段主要为传统航空摄影, 需要布设大量像控点, 外业工作量巨大, 且难以获取到植被以下的信息, 精度不能保证。受益于近几年中国科学技术的持续进步, 激光雷达系统国产化小型化的持续发展, 当前, 最小的雷达系统仅有 1kg, 可以搭载在载人飞机或者无人机上。借助激光雷达, 可以全面快速灵活地获取地表信息, 比之传统的航拍而言, 机载激光雷达数据准确性更高, 数据获取更加灵活。在此基础上, 论文对轻型机载雷达测量在公路勘察测验中的实际应用进行了分析, 希望通过论文的探索, 可以为相应工作者提供有效建议, 为中国的勘测事业作出贡献。

## 2 机载激光雷达

机载激光雷达测量是将扫描仪、GNSS、IMU、数码相机、嵌入式电脑等系统集为一体, 通过激光扫描仪主动向目标发射高频率的激光, 接收反射回来的激光, 同时记录时间, 通过发射激光到接收激光之间的时间差计算出激光扫描仪到目标的距离, 结合 POS 系统获取的平台位置和姿态数据即可计算出目标的三维坐标, 同时由于系统上集成的高清数码相机按时间间隔拍摄可见光影像, 结合 POS 系统可拼接出整个测区的数字正射影像 (DOM)。

相比传统航空摄影技术, 机载雷达航测具备自动化水平高、在实际工作中受天气情况影响较小、生产周期短、测绘精度高等特性。在三维立体空间信息的实时性获取方面, 具

【作者简介】李泉圆 (1991-), 男, 中国四川渠县人, 本科, 工程师, 从事小型激光雷达的研发与应用研究。

有较为显著的作用与意义，为地表信息的获取提供了一种崭新的技术方式。而轻型机载雷达航测将直升飞机或无人机作为工作载体，有效规避了大型机场停靠等成本投放，并且起飞与降落场地选择灵活，适合应用在公路勘察测验设计这一类型的测绘工作中<sup>[1]</sup>。

为了提供勘测工作所需要的 1 : 2000 比例尺基础测绘产品以及横断面数据，达成初勘定测一体化的目的。论文将成南高速公路改扩建勘测项目作为实例，分析了应用雷达勘测技术，经由科学高效的航空线路设计，有序的项目计划排布，高质量的信息收集与处理、严密完备的信息质量把控，提交了公路测验设计所需要的基础测绘成果，并快速制作生成了设计线路中桩横断面为基础的数据，切实达成初勘定测一体化。

### 3 项目概况

#### 3.1 测区简介

本项目测区为中国四川省成都市龙泉驿区西河镇螺蛳坝枢纽(K0 + 000)止于广兴镇(K67 + 000)段沪蓉高速公路，整个测区长度为六十七公里，项目测区位置处于成都市的东部，这一区域植被茂密，并且线路附近还有广汉和双流机场，因此整体来看本测区的空域协调难度较大，项目实际执行过程难度较大。

#### 3.2 项目任务

本项目应用机载激光雷达航测技术，将贝尔 407 载人直升机作为飞行平台，并制作出 1 : 2000 比例尺数字正射影像、数字线划图成果，同时依据业主所提出的设计成果达成了中桩横断面数据的高效生产。

#### 3.3 机载激光雷达航测设备

##### 3.3.1 飞行平台

贝尔 407 直升机搭载激光雷达，在本项目测区沿线处，选择了一处平台区域作为临时性的飞行起降点，巡航的速度为 120km/h，导航应用 Garmin 系统，飞行人员依据导航所带有的显示屏实时改正飞机的姿态，从而保持航行高度与速度。

##### 3.3.2 机载雷达设备

雷达航空测量设备所使用的为中测瑞格激光扫描系统 HawkScan-1600，这一设备最大的脉冲频率为 82 万赫兹，在实际扫描工作中可以达到的最大高度为 1350m，高程精密最高可以达到 5cm。为机载雷达设备所配备了一亿像素的数码相机，其镜头焦距为 50mm<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 项目开展情况

本项目测区为中国四川省成都市，处于中国南方，测区范围内植被茂盛，为了可以有效达成初勘定测一体化的公路勘测成效，本项目对于技术设计方面的标准为所获得的机载地面点云高程精度误差小于 0.2m，影像分辨率为 0.2m。

## 4 项目进行关键技术

### 4.1 植被茂密区地形获取方式

本项目测区范围中植被茂盛，枝叶覆盖，因此如若应用传统的工程测量手段或数码航空勘测的作业方式，将无法获取高精度的地形数据。机载雷达航测可以有效发射出激光，其光斑可以穿透茂盛的植被枝叶间隙，直接获得树下地形信息，这一技术手段是获取树下精确地形的最有效手段。本项目为了确保所得到的地面点云高程精度，应用了降低飞行高度、减小激光扫描角度，加大激光脉冲能量等技术措施<sup>[3]</sup>。

经由上述作业手段，获取了较为精确的地面点云数据，植被茂密的测区地面点的点间距为 0.5m~1m，符合规范中对数字高程模型精度以及质量方面的标准。

### 4.2 雷达航测点云与航片的大比例尺测图方式

激光雷达航测在实际使用中，可以快速得到茂盛植被区域中的地形，并经由处理人员对扫描点云进行地面点分类，创建数字高程模型后自动生成等高线数据，后续再进行少量的人工编辑处理，就可以获得精度较高的等高线矢量图要素；依据大比例尺 DLG 成图标准，通过已经分类处理好的地面点云，选取需要的地面点，并将其直接作为等高线的高程点标识出来。DLG 平面要素绘制是在机载 LIDAR 生成的 DOM 基础上进行的，把 DOM 导入南方 CASS 专业软件完成地物、地貌信息的绘制。

## 5 数据处理与成果制作

### 5.1 机载雷达数据处理流程

数据处理流程见图 1。

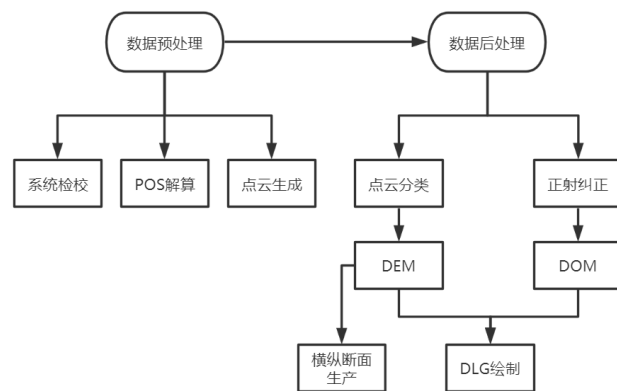


图 1 数据处理流程图示

机载雷达航空测量获得原始数据后，第一步就是对其展开数据预处理，通过地面基准站的 GNSS 数据与机载 GNSS 数据的联合差分解算，精确确定航摄过程中飞行器的飞行航迹，再与 IMU 数据耦合处理，得到飞行器的姿态信息，最后进行平滑处理，从而获取飞行器在飞行过程中任意时刻的位置和姿态信息。再利用点云数据处理软件对雷达 pos 航迹数据和激光测距数据进行联合处理，得到各个测点的(X,Y,Z)坐标数据，文件格式为 las。再经地面点分类，构建不规则

三角网 TIN 并内插生成大比例尺 DEM 成果,提取精度高的地形地貌特征。之后在照片的外方位元素信息以及航片索引文件的支持下,通过同名点的选取与相机畸变参数校正,实现航片空三加密,获取成果,同时在已经具备的 DEM 结果下开展航片正射微分纠正,生成大比例尺 DOM 成果。最后,借助论文 4.2 小节所阐述的方式展开测区 DLG 测图生产<sup>[4]</sup>。

## 5.2 DEM 产品制作

通过预处理获取的点云数据,先进行软件自动分类处理,然后人工精细化分类。人工精细化分类需要保留更多的陡坎、台地等信息。按照地面点分类要求进行人工精细点云编辑,着重保留微小地貌信息。精细分类的过程是人工交互编辑分类的过程,通过大量的人工干预,弥补自动分类算法在地物、地表数据判别不准确的问题。

人工分类完成并检查后,依据 DEM 网格间隔标准,对于上述分类后点云创建 TIN 三角网,并内插来生成 2m 网格间隔的 DEM 产品。

## 5.3 DOM 产品制作

将点云创建的数字高程模型作为参考,借助 POS 系统得到航片的外方位元素直接展开全自动空三加密,整个产品的制作不需要外业像控点,只需要计算出公共加密点较差。

在实际的生产进程中可以发现,加密点的分布与结果精度有着直接联系,除此以外,由于每张影像的获取时间不同,存在色调、饱和度、对比度等不一致的情况,需通过匀光匀色处理,使得整个测区的正射影像色调基本一致、色彩丰富。最后按照规则分幅要求进行数据裁切,生成标准分幅的数字正射影像。

## 5.4 DLG 制作

DLG 制作具有两种类别,第一类为平面要素,第二类为高程要素。其中,前者可以通过论文 5.2 小节中提到的 DEM 直接生成,并参照中国相应规范标准,对等高线的平滑程度、标识科学性进行修改。后者通过 DOM 导入南方 CASS 专业软件完成地物、地貌信息的绘制。道路、房屋、水系等线状地物应相交和封闭,绘制的地物、地貌要重点关注线及面的空间关系,要避免矛盾,确保空间关系正确,保证 DLG 成果质量需要。对于从 DOM 无法分辨和识别的信息应做好标记,移交给外业调绘人员进行现场调绘和补测(见图 2)。

## 5.5 中桩横断面提取

测区应用 RTK 手段,实时测量了两千一百四十一个精确监测点,监测点沿测区线路方位大致匀称分布,经过评价,本项目测区地面点云高程精度中最大误差为 0.145m,符合本项目技术方面的设计标准。

路线横断面测量利用已有的中桩线位,基于机载激光雷达数据成果生成的 DEM,开发与纬地公路设计软件数据交互接口,可直接快速任意提取设计中线的横纵断面数据。软件界面及参数设置如图 3 所示。



图 2 叠加 DOM 后的 DLG

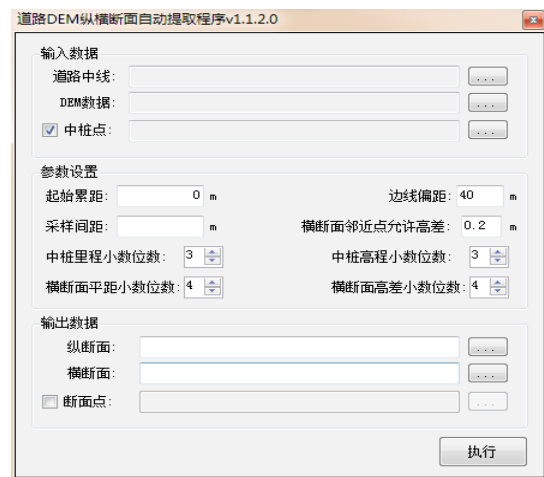


图 3 纵横断面提取软件界面

## 6 结语

综上所述,论文所研究的项目为轻型机载雷达技术在公路勘察设计并达成初勘定测的典型实例,与传统工程测量、摄影测量等过去形式的技术相对比来看,机载雷达技术可以高效实现穿透植被、林下地貌获取等目标,不需要外业像控点的布置设计。所获得的高精度、高密集的机载雷达地面点云成果,可以直接应用在后期施工图纸设计阶段的断面成果提取,达成初勘定测一体化,这在中国的公路勘测领域具备大范围的推行与应用意义。

## 参考文献

- [1] 夏波,雷刚,冯玉全.基于机载激光雷达勘测技术的地形图矢量化方法研究[J].工程建设与设计,2019(24):258-259.
- [2] 张靓,欧阳永忠,滕惠忠.航测与机载LiDAR技术在海岸带遥感中的应用[J].海洋测绘,2017,37(6):62-65.
- [3] 李星全,高德俊,徐喜.推扫式相机和机载激光雷达同机航测飞行试验经验探讨[J].测绘通报,2011(10):85-86.
- [4] 盛大凯,齐立忠,严复章.推进遥感新技术应用 构建电网建设标准化平台[J].电力建设,2009,30(7):28-31.