

# 机载激光雷达技术在水利水电测绘工程中的应用

林智鸿 王海飞

广东珠荣工程设计有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v4i5.5908

**[摘要]** 机载激光雷达技术通过将全球定位等先进技术集于一体组成测量新技术, 具有高精度周期短等特点, 欧美国家最初在水利工程测绘中应用机载激光雷达技术, 近年来在林业电力测绘等领域得到广泛应用。机载激光雷达技术集成 GPS 系统及 INS 系统, 在获取地球空间信息方面具有良好效果。随着科技的发展, 水利水电测绘工程专业向信息化转变, 机载激光雷达技术等现代高端测绘技术促进测绘技术的创新发展。研究介绍机载激光雷达技术原理特点, 论述水利水电测绘工程中应用机载激光雷达的优势; 探讨机载激光雷达技术在水利水电测绘工程中的应用。

**[关键词]** 机载激光雷达技术; 水利水电; 测绘工程应用

## Application of Airborne Lidar in Water Conservancy and Hydropower Surveying and Mapping Project

Lin Zhihong, Wang Haifei

Guangdong Zhurong Engineering and Design Co., LTD

**[Abstract]** Airborne lidar technology by integrating global positioning and other advanced technologies into a new measurement technology, with the characteristics of high precision cycle and short on, European and American countries initially applied airborne lidar technology in water conservancy project mapping, in recent years has been widely used in forestry power surveying and mapping and other fields. Airborne lidar technology integrates GPS system and INS system, which has good results in obtaining geospatial information. With the development of science and technology, the major of water conservancy and hydropower surveying and mapping engineering is changed to information, and modern high-end surveying and mapping technology such as airborne lidar technology promotes the innovation and development of surveying and mapping technology. This paper introduces the principle of airborne lidar technology, and discusses the advantages of airborne lidar, and discusses the application of airborne lidar technology in hydropower surveying and mapping engineering.

**[Key words]** Airborne lidar technology; water conservancy and hydropower; surveying and mapping engineering application

随着中国经济的高速发展, 社会对电能需求不断加大, 火电具有污染大发电成本高等缺点, 水电具有对环境影响小等优势, 成为国际能源安全战略中的开发重点。我国水能资源具有明显的空间集聚现象, 云贵川藏蕴含我国 67%的水电可开发容量, 是目前国内水电工程勘测设计的重点区域。目前许多不利客观条件制约水电勘测设计测绘工作, 传统地面测量难以克服地貌险峻的不利因素, 水电测绘需要应用新的技术手段。LiDAR 激光雷达测量技术源于美国航天局研发项目, 随着 GPS 的发展使得姿态测量实现, INS 等技术发展使得机载激光扫描仪得到快速发展。目前机载激光雷达测量技术主要用于快速获取大面积三维地形数据, 包括带状目标地形图测绘, 灾害调查与环境监测等方面。机载激光雷达技术相比传统航测技术具有独特优势, 成为有效的地理信息采集技术。

### 1. 机载激光雷达技术研究

激光雷达是快速获取目标物三维空间信息的主动测量手段, 近年来在城市水利交通等领域得到广泛应用。机载激光雷达测量技术是新兴空间对地观测技术, 具有非接触性主动性等

优点, 在国内外得到广泛研究应用<sup>[1]</sup>。机载激光雷达测量获取点云数据具有较高的高程精度, 航摄影像具有准确反映地物光谱特征等特点, 可以结合数据源优点提高测量精度。LiDAR 利用激光测距技术与高精度动态 GPS 差分定位技术获取激光脚点的空间三维坐标等信息, 数据采集对天气季节及时段要求较低, 数字高程模型为基础测绘数据, 机载 LiDAR 成为快速获得大范围高精度 DEM 的重要手段。图 1 机载激光雷达测量系统。

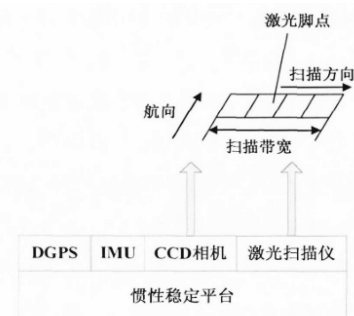


图 1 机载激光雷达测量系统

机载激光雷达系统由测量激光发射装置到地面距离的测距扫描系统、测定平台位置方位元素的动态 GPS 接收系统等组成。载体平台上 GPS 接收机作业中可提高导航控制数据, 高精度保持航线飞行是确保 IMU 姿态角测量精度的前提<sup>[2]</sup>。IMU 利用内部陀螺仪等惯性设备感受平台在运动中旋转角速度, 得到 IMU 相位中心相对位置等参数, IMU 复杂提供飞机等载体瞬时姿态参数, 姿态测量精度对激光脚点定位精度参数影响。遥感平台用于搭载机载激光雷达系统, 数码相机可以在激光数据获取同时获取航空影像。机载雷达激光系统复杂, 获取信息数据以不同硬件实时采集记录, 必须同步信号保持系统关联。机载机光雷达设备完成航飞采集作业后进入数据处理环节, 包括 GPS 数据差分计算、激光脚点坐标解算等流程。完成数据采集后原始成果包括脉冲测距值、机载 GPS 观测值等。对机载 GPS 数据同步差分处理, 得到原始激光点云成果, 需要对原始点云相应系统误差校验。通过滤波处理去除噪点, 可将非地面点分类处理, 分类后点为机载激光雷达直接数据成果。对点云进行栅格化内插获得 DEM 和 DOM 成果。

机载激光雷达测量技术具有 DEM 获取高效, 产品提供周期短, 可以克服茂密植被对测绘工作的影响等特点。机载激光雷达测量技术不受植被阴影的影响, 单位面积内可获得大量空间三维地表信息<sup>[3]</sup>。激光是具有较好直线性单色性等特点的辐射波, 激光雷达主要由发射器、数据信号处理器等组成, 脉冲式是机载激光雷达常用方式, 发射机发射激光束, 根据接受时间与激光传播速度计算传播距离。机载激光雷达测量系统由定位定姿系统等硬件及配套数据处理软件构成。机载激光雷达技术特点是具有可获取高密度三维点云能力, 获取高清晰数码影像能力。LiDAR 技术优势体现在数据产品丰富, 自动化程度高及信息获取敏感等。LiDAR 测量采用主动式测量, 可穿透茂密植被不受光照阴影的限制, 具有航空摄影测量的大范围 and 激光测距高精度特性; 飞行设计到数据获取自动化程度高, 不会发生漏拍情况避免人为错误。

## 2. 机载激光雷达技术的应用

随着社会经济的快速发展, 要求以系统观点认识环境和时空变化, 以地理空间环境探测, 卫星导航定位系统等为手段建立地球空间信息科学体系。随着信息技术的发展, 快速准确成为获取地球空间信息数据的前提<sup>[4]</sup>。航天遥感以其低成本等优点得到快速发展, 在资源调查开发等方面发挥重大作用, 推动遥感测量传感器向多角度高光谱等方向发展。机载激光雷达测量系统可以高效获取高精度地面高程信息, 成为可靠的数字高程模型获取方法。

### 2.1 机载激光雷达测量原理与作业流程

机载 LiDAR 系统集成计算机技术和高精度动态 GPS 差分定位技术等于一体, 整合高精度惯性测量装置和 GPS 高新技术, 系统以激光扫描系统为传感器, 是有效的获取空间三维信息的工具<sup>[5]</sup>。机载三维激光雷达测量系统为纯几何定位, 系统定位数据包括惯性导航系统 INC 测定飞机瞬时姿态参数, 激光测距仪量测发射器到地面目标间斜距  $S$ 。激光器到地面脚点间斜距与飞机瞬时姿态数据结合计算三维空间直角坐标, 假设地理空间存在坐标为  $(X_0, Y_0, Z_0)$  已知点  $O$  求得  $P$  到  $O$  的矢量, 可以根据已知点和矢量求出待测点  $P$  三维坐标  $(X_p, Y_p, Z_p)$ 。

机载激光雷达设备工作原理与流程相似, 主要包括飞行规划、数据采集与处理。飞行规划是从项目合同开始实施准备, 是航测工作的重要部分, 在机载激光雷达作业中具有重要作用, 关系到飞行工作是否安全进行<sup>[6]</sup>。飞行规划设计包括航测技术参数确定, 作业参数设计等内容, 飞行作业前需要鉴定系

统及确定相关技术指标, 搜集作业区最新地形图等, 在地面对设备试运行检验设备准备工作。机载激光雷达获取数据特点独特, 包含激光点云数据与光谱影像数据, 激光点云数据包含载体位置等信息, 地面激光脚点在采集时按时间序列存储, 数据采集具有盲目性, 后期数据滤波具有一定难度。激光雷达数据特点是具有多次回波特性, 包含地物回波强度信息, 点云数据离散分布缺少光谱信息。机载雷达点云数据来源于不同集成仪器, 广义上包括载体位置、回波强度等数据信息。数据处理过程包括确定飞行航迹, 计算机光点的三维坐标, 剔除异常值与点云数据滤波分类等。

### 2.2 水利水电测绘工程中 LiDAR 的应用

水利工程是我国的重要基础工程, 水利工程测绘中地理信息主要依靠倾斜测量等现代测绘技术<sup>[7]</sup>。水利水电测绘具有范围大, 精度要求高与测区形状多为条带状等特点, 目前常用测绘手段不能满足水电测绘的要求, 摄影测量技术具有获取数据面积大的特点, 但影像无法拍摄植被下面的地面, 传统地面实测手段需要投入大量人力物力作业周期长成本高。机载 LiDAR 系统具有自动化程度高, 数据生产周期短等特点, 在水利水电测绘工程中作业优势表现为穿透性高, 数据精度高与获取面积大, 是水利水电测绘作业的有效技术手段。

水利水电工程勘测设计中遥感影像等地理信息数据对工程规划可研等环节辅助作用明显, 但高山区大型水电工程勘测受到地形条件制约, 常规手段获得数据在空间分辨率等方面参差不齐, 西南地区水利水电测绘作业环境特点是海拔高, 河流宽度小与植被茂密, 机载激光生产 3D 产品在水电工程建设各主要专业勘测设计中具有精度高等优势<sup>[8]</sup>。机载激光雷达获取激光点云数据可根据空间位置特点分为高中低植被点, 建筑点与地表点等, 设备获取原始点云数据需要经过复杂滤波分类处理后得到激光点云。利用分类处理后激光点云可以内插生成高精度数字高程模型, 规格网分布的 DEM 在数据结构等方面具有优势。利用定向完成的影像可进行数字微分地形纠正, 利用机载激光雷达数据生成 DOM 具有速度快等优势。激光点云和 DEM 可提供高精度高程数据, 定向后的影像可以提供高精度平面数据。将等高线与地物叠加可获得满足精度要求数字线划图。

### 3. 机载激光雷达技术在水利水电测绘工程中的应用实践

水利工程测量贯穿于勘察建设全过程, 建设施工阶段需精密放线及土方测量, 传统水利工程测量使用全站仪放线监测, 传统测量中需配置大量的人力物力作业效率低, 受地形环境影响较大。随着科技的发展, 低空无人机操作简单智能化程度高, 搭载激光雷达可获取清晰图像。水利工程测量中测区地形起伏大植被茂密, 传统外业测量难度较大, 如何保证质量完成工程测量任务需要采用新技术段。机载激光雷达主动式三维数据采集技术具有数量大等优点, 水利水电测绘工程中应用 LiDAR 技术具有独特优势。

云南省墨江县山卡水库扩建工程, 测区面积为 2.2k m<sup>2</sup>, 测区最大高差为 300m。图 2 测区范围图。

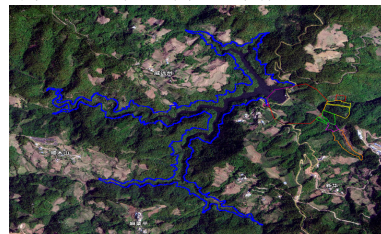


图 2 测区范围图

本项目采用大疆 M300 无人机搭载激光雷达 L1 镜头进行机载扫描测量。无人机激光雷达航测作业前需要对测区范围巡视,进行航线规划及测量。为保证数据精度均匀采集数据需要仿地飞行,项目用大疆 P1 镜头,用大疆智图快速处理生成粗略高程数据 DSM 影像为无人机仿地飞行准备。大疆 M300 高程不能保证精度,项目相控均匀分布测区。现场航飞选好合适起飞点保证遥控器的通讯信号,激光雷达不局限于光照强度,选好起飞点后遥控器规划航线,参数设置为航速 8m/s,重叠率 50%,遥控器中雷达参数回波率设置为三回波,采样频率设置为 160kHz。遥控器规划航线可同时打开飞机电源键,飞机挂载雷达禅思 L1 镜头需静置 5min 预热,航线高度比起飞地点低,飞机按照规划航线完成任务,飞行时注意遥控器与飞机的通讯。图 3 机载激光雷达关键技术路线图。

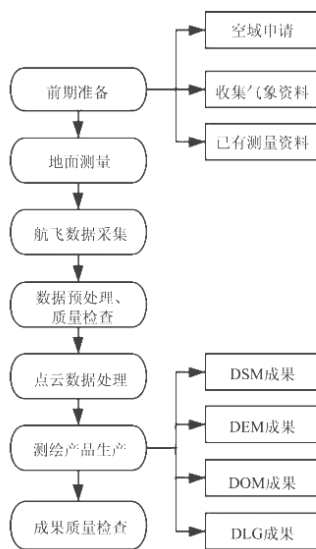


图 3 机载激光雷达关键技术路线图

机载雷达在水利水电测绘工程中作业流程分为外业数据采集与内业数据处理,外业数据采集包括地面测量,数据预处理与质量检查等,内业数据处理包括测绘产品生产等。测区地势高低起伏明显选用无人机搭载设备作业,综合考虑测区地形地貌等因素对续航速度等参数设定。前期准备包括空域申请,航飞范围确定等,在规划航摄路线时根据工程任务书要求确定航飞范围,综合考虑设备性能等因素规划航飞路线。地面测量包括基站与参考面测量,基站测量将基站架设在高等级控制上,地面基站要在航摄前 30min 开机,中间需要保持通电状态。参考面测量通过特征点对获取激光点平面高程数据纠正,对高程特征点需要在测区不同高程梯度区域内均匀分布。按照航线规划设计进行航飞任务,操作员应关注飞机飞行情况,机载激光雷达需在起飞点进行静态观测。点云数据处理包括点云滤波等,根据项目测区地形起伏情况选择合适的阈值将地面点云与地物点云过滤。表 1 水利水电工程测量规范高程注记点精度。

表 1 水利水电工程测量规范高程注记点精度

测土比例尺	平地、丘陵	山地、高山地
1:500-1:1000	±1/4h	±1/3h

测绘产品生成通过获取点云数据去噪获得 DSM 滤波获得 DEM,分类后点云数据提取地物要素进行数字线画图成果生产。成果质量检查包括点云精度检查,DEM 精度检查等。飞行任务万抽出镜头中 SD 卡,打开智图软件新建任务选择点云处理,参数设置打开点云精度优化生成点云成果。将智图生产 Ias 文件导入数字绿土 LiDAR360 软件中对数据滤波去噪,获取激光点正确空间坐标,根据范围成图规定生成所需高程点及等高线。到处数统一在 CAD 软件编辑处理完成数字化地形图。水利工程测绘面临成果精度要求高,内业数据处理复杂等难点,机载激光雷达技术具有生产线效率高作业成本低与范围大等优点,水利工程测量作业环境特殊,利用常规测绘手段难以满足工程进度等要求,利用 LiDAR 技术可提高成果精度,为作业任务保质按时提供保障,其优势体现在不受作业环境限制,可实现全天候作业,数据成果精度高。项目完成 1/1000 谷石滩水电站地形测量面积 1.5k m<sup>2</sup>,采用传统 RTK 结合全站仪进行地形测量投入 2 人,机载激光雷达效率提高 5 倍,采用激光雷达技术降低测绘外业危险系数。

### 结语

机载激光雷达技术具有全天候作业效率高等优势,水利工程测量中机载激光雷达技术节省大量外业工作量,对无人区等困难区域数据采集有利,仅需少量人员编辑即可完成。机载激光雷达技术可满足 1:1000 比例尺产品要求,机载激光雷达技术对山区隐蔽点要求 10cm 以下精度实现困难,植被密集地方地面激光少,地面激光多成图精度高,项目生产中要根据树林毛密度选择合适的航高扫描测量。目前机载激光雷达技术存在激光数据采集预处理等生产流程缺少规范质量标准,机载激光系统误差影响因素复杂等问题。机载激光雷达实践中存在一些不足,随着技术的进步具有很大发展潜力,在多样数据生产等方面及防汛抗旱抢险救灾等多个领域具有良好应用前景。

### 参考文献

- [1]朱万虎. 浅谈机载激光雷达技术在水利工程测量中的应用[J]. 广东水利水电,2022,(10):98-101.
- [2]吴昌,杨驰,杨文杰. LiDAR 技术在水利工程测绘中的应用[J]. 湖南水利水电,2022,(04):85-88.
- [3]李慧. 浅谈机载激光雷达技术在水利工程中的应用[J]. 水利技术监督,2021,(11):50-52+82.
- [4]李鑫龙,仲懿,潘跃武. 机载激光雷达技术在水利水电测绘工程中的应用[J]. 建筑技术开发,2021,48(19):76-77.
- [5]胡志权. 水利工程中机载激光雷达技术的应用探讨[J]. 低碳世界,2021,11(05):105-106.
- [6]彭祥国,杨智翔,王学剑,易志朝. 无人机 LiDAR 技术在水利水电工程中的应用[J]. 测绘标准化,2020,36(04):38-42.
- [7]鲁晨阳. 基于机载 LiDAR 与单波束测深数据建立河道 DEM 的研究[D]. 长春工程学院,2020.
- [8]陈科. 机载激光雷达技术在水利水电工程中的应用[J]. 珠江水运,2018,(13):18-19.