

水利工程测绘中激光雷达技术的运用分析

陈兆睿

海南省水利水电勘测设计研究院有限公司, 海南 海口 570100

摘要： 水利工程测绘严格要求测绘结果的精准性，因此在工程测绘过程中可以利用激光雷达技术，应对复杂的地质环境，使水利工程测绘水平得以提升。本文主要分析了水利工程测绘中激光雷达技术的运用，对于实际工作发挥出参考作用，合理控制工程测绘的误差，推动工程测绘向智能化方向发展。

关键词： 水利工程测绘；激光雷达技术；运用措施

Analysis of the Application of Lidar Technology in Water Conservancy Engineering Surveying and Mapping

Chen Zhaorui

Hainan Provincial Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Haikou, Hainan 570100

Abstract： Water conservancy engineering surveying strictly requires the accuracy of surveying results. Therefore, laser radar technology can be used in the process of engineering surveying to cope with complex geological environments and improve the level of water conservancy engineering surveying. This article mainly analyzes the application of laser radar technology in water conservancy engineering surveying and mapping, which plays a reference role in practical work, reasonably controls the errors of engineering surveying and mapping, and promotes the development of intelligent engineering surveying and mapping.

Keywords： water conservancy engineering surveying and mapping; lidar technology; application measures

在水利工程勘察和建设等环节中贯穿工程测绘工作，在工程勘察过程中，通过提供精准的地形图，方便施工单位开展施工。针对传统的工程测绘工作，主要是利用全站仪和 RTK 等技术，不仅需要投入较多的人力资源和物力资源，同时不利于保障作业效率，二维地形环境因素很容易影响实际工作的开展。科学技术不断发展，在水利工程测绘过程中开始广泛利用激光雷达技术，具有自动化优势，同时可以优化测绘结果的精准性，而且天气因素不会影响到激光雷达技术的应用，因此水利工程测绘人员需要加强分析激光雷达技术的应用，在实际工作中发挥出技术优势。

一、激光雷达技术

激光雷达涉及外业采集和内业处理两部分，在外业采集过程中涉及较多的工序，例如需要开展数据预处理，同时需要采集数据和测量地面等，在处理内业数据的时候，需要检查成果数据的精准性，同时需要处理点云数据，具体的技术路线如下图1所示。

(一) 前期准备

在前期准备阶段，需要勘察施工现场，合理规划设计航线，确定航飞具体的范围，全面收集测量数据和气象数据等，需要根据目标要求对航飞路线和范围进行合理规划，合理扩大覆盖范围，合理进行扩充，在航飞路线规划阶段注意结合设备性能和测区特点，保证飞行高度和起降点的科学性^[1]。

(二) 地面测量

地面测量主要包括参考面测量和地面基站测量两部分，在参

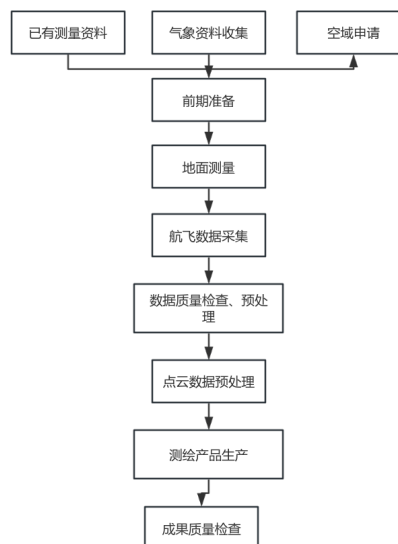
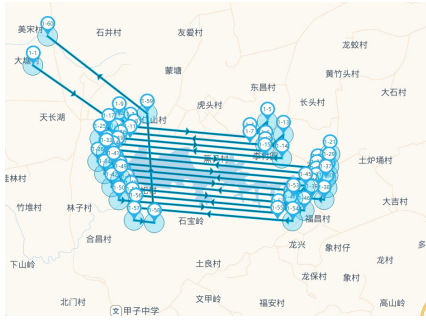


图1 激光雷达关键技术路线



> 图2航线设计图

考面测量过程中，需要根据特征点检查激光点平面高程数据，特征点指的是像控点或明显建筑物的角点、凸出点等，需要在合适区域均匀地采集高程特征点。在地面基站测量阶段，需要根据地面高级控制点，合理设置基站，发挥出 GPS 技术的作用，在航测之前需要布置地面基站用于激光雷达的后差分处理，完成航测工作之后再关闭，在航测过程中，需要保证信号的通畅性，同时需要维持供电状态，在测量过程中，需要合理校正激光点和调整参数，可以使云数据精准性以提升。



> 图3相控点

(三) 采集航飞数据

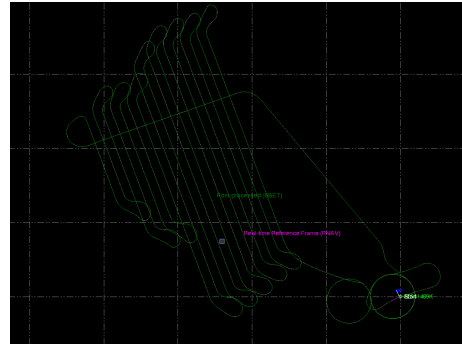
规划操控无人机飞行，工作人员需要对其无人机续航能力和天气因素等进行实时关注。在起飞之前和降落之后，工作人员都要对机载激光雷达运行状态进行检查，保证记录数的完整性。



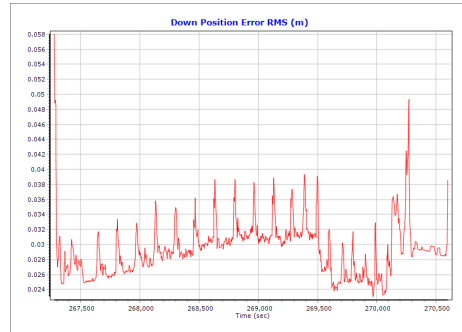
> 图4调整雷达参数

(四) 数据预处理和检查

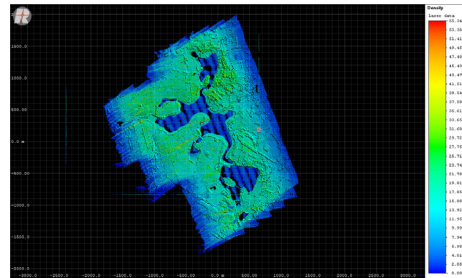
完成航测工作之后，工作人员需要对点云采集密度、采集精度和数据采集范围等内容进行检查分析，保证这些内容符合规范，避免出现漏问题^[2]。



> 图5轨迹解算



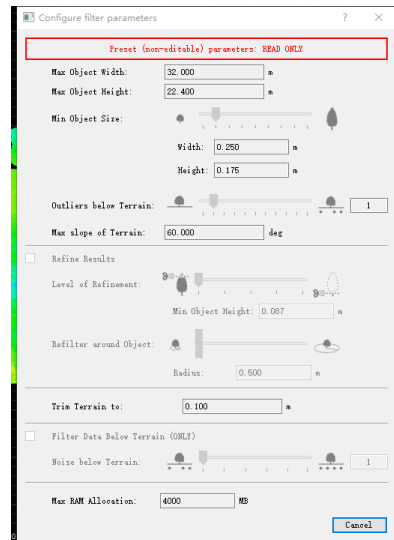
> 图6点云精度报告



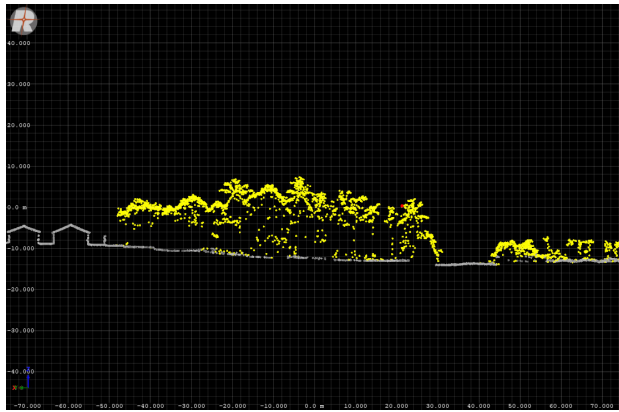
> 图7点密度

(五) 点云数据处理

点云数据处理过程中包含点云分类和点云滤波以及坐标转化内容，在点云滤波阶段，需要利用 RIPPROCESS 软件滤波处理点云数据，同时需要结合工作现场的植被和地形条件等方面的影响，合理设置阈值，利用阈值过滤离地物和面点云。



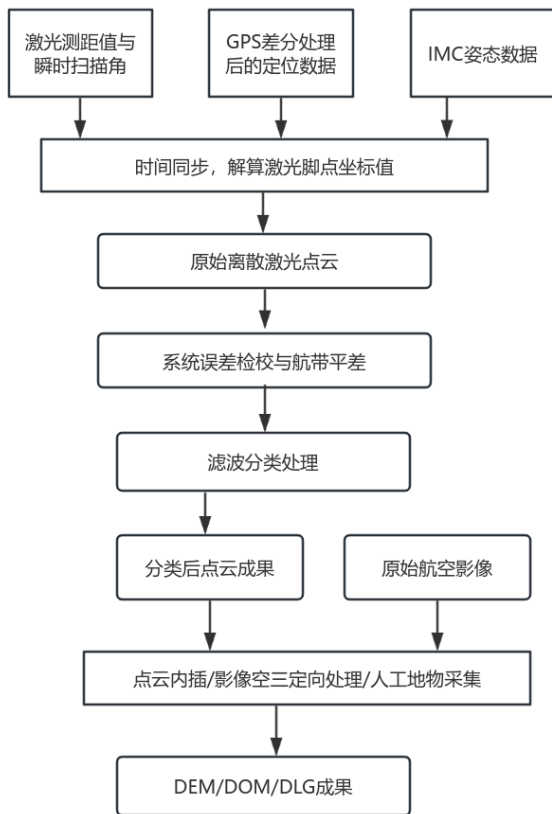
> 图8



> 图9分离地物和地面点云

(六) 测绘产品生产

通过去噪处理点云数据，可以构建 DSM 模型，再采取滤波处理，可以生成 DEM。然后结合 DOM 和分离处理之后的点云数据，确定涉及的地物要素，再综合分析外侧测绘数据等，最生成 DLG，如下图2。



> 图10激光雷达数据处理流程

(七) 成果质量检查

根据技术规范对 DEM 精度和地形图等进行检查。

二、激光雷达技术的应用优势

(一) 不受作业条件的限制

激光脉冲具有极高的穿透性，高功率的激光可以透过狭窄的裂缝照射到树干、树冠、地面、灌木等处，进而形成多重回波。在各类特殊的作业环境中，均可顺利采集数据，植被不会

阻碍激光脉冲，通过采集和滤波处理等点源数据，并根据点云强度信息进行精确分类^[3]。如果覆盖区域的植被过于茂密，将会减少点云数量，但通过调节发射功率、扫描频率及扫描角等参数，使获取的点云与实际应用要求相吻合，有利于顺利完成测绘工作。

(二) 实现全天候作业

激光雷达可以实现全天候作业，天气和太阳角等因素不会限制到作业开展，同时可以减少作业时间，避免因不利天气影响到成果精度和作业进度，保障测绘作业的高效性，有利于满足水利应急测绘需求。

(三) 可控性好

激光雷达通过对回波信号进行接收和发射激光波速度等一套主动的作业处理，来实现对地表的信息的采集。在测量的时候，操作者通常需要进行一些预先的准备，在后续工作中，数据的采集和处理等工作可以实现自动化操作。整体操作方便，对操作者的需求也比较少。以点测为基础的传统制图方法，仅能得到普通数字高程数据，且所获得的地表信息十分有限。而激光雷达可以迅速采集海量的高精度点云，如果将 DOM 与 DEM 结合起来，则可以在采集地面图像的基础上，得到点云，再经过内业的处理，形成数字地形图、正射效果图、地面模型等，从而实现了库区水位线和库容的计算，以及断面提取等功能。它的制图结果相当的丰富，可以为水利部门的建设工作奠定基础。

(四) 作业周期短

激光雷达作业过程中无需布置较多的地面基站，并且没有严格要求旁向和航向的航线重叠率，有利于高效地采集数据。对比传统的航测技术，利用激光雷达可以节省工作时间，有利于保障多山、多树林的水利工程测绘结果的精度，缓解前期工作压力。

三、水利工程测绘中激光雷达技术的运用

以福湖水库为例，福湖水库位于海口市琼山区三门坡镇福湖村附近，滨州河上游，水库于1958年动工兴建，1959年12月枢纽工程完工，水库设计灌溉面积1.039万亩，是一座以灌溉为主，兼有养殖等综合利用的小（一）型水利工程。

(一) 航飞准备

根据任务要求选用 C200 垂起固定翼无人机搭配激光雷达，索尼 A7R II 镜头。再根据载具以及负载规划航线。最后根据测区和实际规划的航线，包括任务航线和起降航线确定航飞范围，然后提前进行空域申请，做好准备工作。

(二) 地面测量

在航测开始前需要均匀地布设高程特征点和相控点，利用特征点检查激光点平面高程数据、利用相控点控制摄影测量模型的坐标精度。起飞前需要合理布设基站，为无人机 GPS 提供差分信号，以及激光雷达预处理时的后差分数据。激光雷达需要校正激光点，同时需要根据飞行高度，场的空气湿度、温度调整相关参数，获取高精度的点云数据。



> 图11 基站

(三) 采集航飞数据

在航飞阶段，需要合理选择起飞点，优化信号站和飞机的通讯效果。合理规划航线，设置雷达参数扫描频率为200Hz，飞行高度为300m。逆风起飞，达到特定高度之后进入绕8字航线，进行惯导标定，进入任务航线后再开启激光雷达记录数据，根据航线自动化完成工作任务，在实际行过程中，需要对雷达镜头进行观察，保证点云数据正常记录。



> 图12 垂起固定翼无人机起飞

(四) 数据处理

完成飞行任务之后，利用计算机读取雷达内部硬盘数据。在 POSPac 软件上对轨迹进行后差分处理，提高精度。根据处理后的轨迹文件在 RIPROCESS 软件上滤波和去噪处理，再利用七参数转换坐标和高程，用特性点对精度进行检查，再结合实际情况提取地面点的参数，随后自动化生成高程点和等高线等，在 Cass 三维测图软件中导入 las 点云文件，通过 Cass 软件编辑处理导出的数据，即可形成数字化地形图^[4]。

结束语

激光雷达测绘技术具有较多的优势，在水利工程中优势更加明显，具有较大的应用前景，因此水利工程测绘人员需要积极研究激光雷达技术，掌握技术使用要点，在水利行业中推广利用这项技术，为后续施工工作的顺利开展提供精准性的数据。

参考文献：

- [1] 陈西强. 无人机机载激光雷达技术在电力线路工程中的应用分析 [J]. 福建建设科技, 2024(03):96-98+103.
- [2] 龙宇杰, 辜杰为, 唐晓强. 机载激光雷达技术在资源县抽水蓄能电站地形图测量中的应用 [J]. 四川水力发电, 2024, 43(02):20-27.
- [3] 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.
- [4] 廖卓宇, 朱传刚, 孙忠慧, 等. 无人机激光雷达技术在电力运维工作中的应用 [J]. 通讯世界, 2024, 31(03):117-119.