



# AS-900HL 多平台激光雷达测量系统在河道地形测量中的应用

王学文, 梁向棋, 郭雄强, 程若嫣

(长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**数字城市的发展对基础数据提出更高的要求, 获取地表三维空间信息的需求日渐增加。AS-900HL 多平台激光雷达测量系统是一种集成高精度激光扫描仪与惯性导航的系统, 可搭载在多种平台进行数据采集, 具有工作效率高、扫描速度快、测点密度大、成果形式多样等特点。以鸭绿江白马浪至云峰大坝段河道地形测量为实例, 对 AS-900HL 在河道地形测量的应用进行探讨。该河段地形高低起伏巨大, 不具备直接接触测量的条件, 由于对岸是朝鲜, 无法登陆架设远程测量设备, 也不能采用无人机航飞, 属于实施难度很大的特殊河段。通过踏勘、路线设计、外业采集、内业处理和成果输出, 验证了该系统在河道地形测量中的可行性。该系统适用于河道地形测量, 尤其在特殊困难河段, 能填补常规测量技术无法施测的空缺, 可推动数字航道和数字城市建设。

**关键词:** 激光雷达测量系统; 多平台; 河道地形测量

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)02-0034-04

## Application of AS-900HL multi-platform radar measurement system for waterway topographic survey

WANG Xue-wen, LIANG Xiang-qi, GUO Xiong-qiang, CHENG Ruo-yan

(Changjiang Waterway Bureau Survey Center, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The development of digital cities puts forward higher requirements for the basic data, and the demand for obtaining 3D spatial information of the surface is increasing day by day. AS-900HL multi-platform radar measurement system integrates a high-precision laser scanner and inertial navigation, which can be carried out on many platforms for data acquisition. It has the characteristics of high working efficiency, fast scanning, high density of measuring points, and various forms of results. This paper takes the topographic survey of the Baimalang to Yunfeng dam section of the Yalu River as an example to discuss the application of AS-900HL in river topographic survey. The terrain of this waterway section is highly undulating, and there is no direct contact measurement condition. Since the other side of the river is North Korea, there is no possibility of landing and setting up remote measurement equipment, nor is it possible to fly an unmanned aerial vehicle, which is a special river section that is very difficult to implement. Through exploration, route design, field collection, internal processing, and output, the feasibility of the system in waterway topographic survey is verified. This system is suitable for waterway topographic surveys, especially in difficult waterway sections. It can fill the gap that cannot be surveyed by conventional survey technology. To go further, it has a positive effect on the construction of the digital channels and digital cities.

**Keywords:** radar measurement system; multiple platforms; waterway topographic survey

随着数字城市的不断发展, 获取地形表面三维空间信息的需求日渐提高, 相应的数据采集技术迅速发展。多平台激光雷达测量系统常运用在农林业、水电力勘察、城市规划等项目中<sup>[1]</sup>。近年来, 我国开展了对激光雷达测量系统的研究, 主要研究方向是机载、车载和船载设备等<sup>[2]</sup>。但是多平台激光雷达测量系统价格昂贵、操作复杂, 所以只有一些大型或者风险度较高的项目会使用该测量系统, 比如矿山测绘、城市三维重建等<sup>[3-5]</sup>。目前国内较成熟的激光雷达测量系统大多是机载形式, 多平台系统相对较少。

AS-900HL 多平台激光雷达测量系统测程可达 920 m, 测量频数可达 50 万点/s, 精度可达 10 mm。它不仅能解决人工测量费时费力的问题, 而且具有测量精度高、扫描速度快、测点密度大、体积小方便携带、成果形式多样等优点。由于不需要大量人员进场, 也不需要大量地面控制点, 所以安全性高<sup>[6]</sup>。本文以鸭绿江八道沟至云峰大坝段航道测量及图集制作服务项目为实例, 探讨 AS-900HL 多平台激光雷达测量系统在河道测量中的应用, 为该系统在河道测量中的应用提供实践依据。

## 1 概述

### 1.1 测区概况和测量内容

鸭绿江白马浪至云峰大坝段沿线有一条边防公路 G331 贯通测区上、下游, 但边防公路至水岸线间大部分是坡度达 70°的陡坡, 测量人员无法直接抵达施测。同时, 鸭绿江是中朝界河, 测区对岸是朝鲜领土范围, 不具备在对岸架设测量仪器的条件, 且边境地带不能使用无人机等航空摄影手段进行测量。因此, 该河段属于河道测量中的难点区域, 考虑到边境区域的重要性, 该河段也属于河道测量中的重点区域。测量内容为白马浪至云峰大坝段水岸线至边防公路的全部地形数据, 成果形式包括三维点云数据、数字地表模型 (DSM)、数字高程模型 (DEM)。

### 1.2 AS-900HL 多平台激光雷达测量系统

AS-900HL(图 1)是一种轻型多平台激光雷达

系统, 以直升机、无人机、车载、船载、背包等作为运载测量平台, 搭载了长测距、高精度激光扫描仪, 同时有效集成了高精度惯性测量仪, 能实时、快速地获取地形表面的三维空间信息。该测量系统具有以下特点:

- 1) 高性能激光传感, 测量精度高, 噪点少, 点云质量高;
- 2) 多次回波技术, 在植被区域, 获取精确的地高程点, 软件自动滤除植被, 输出 DSM、DEM;
- 3) 快捷拆装方式, 卡口式安装;
- 4) 大容量存储硬盘, 海量点云数据可直接存储在可拔插式固态硬盘中, 无需等待数据转存;
- 5) 双天线接口设计, 适合车载、船载测量。



图 1 AS-900HL 多平台激光雷达

## 2 外业数据采集

### 2.1 技术路线

在数据采集前进行现场踏勘, 再根据踏勘情况设计出适合的航行路线, 采集数据之后对数据进行预处理, 最后提交完整的成果至内业处理。技术路线流程见图 2。

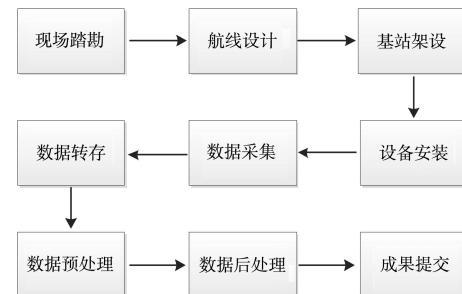


图 2 技术路线

### 2.2 现场踏勘情况分析

- 1) 有一条贯穿测区的边防公路, 可实现车载模式测量, 但由于该边防公路在修路, 存在地面

不平整的情况，须考虑其对数据精度的影响；

2) 鸭绿江属于中朝界河，江中洲滩大部分属于朝方，但水域为两国共用，具备船载测量的条件；

3) 待测区域为水岸线至边防公路，范围较广，且从水岸线往上 20~30 m 为裸露的岩石陡岸，再往上至边防公路植被茂密，无法从单一侧采集到完整的数据，须多线路采集。

### 2.3 路线设计

为保证数据的完整性和测量精度，针对上述现场踏勘情况设计出如下路线：船载沿鸭绿江白马浪至云峰大坝段河道水岸线测量，测船离岸距离大约 20 m；车载沿该段河道边防公路进行测量。2 套数据在配套软件中通过特征点自动拼接，成为一个完整的陆域测量成果。

### 2.4 数据采集

该系统利用动态后处理技术 (PPK) 进行定位，不需要基准站和流动站之间进行数据通讯，利用光学传递函数 (OTF) 对整周模糊度以及相关问题进行求解，作业范围可到达 50 km 以上，外业观测结束后，对流动站和基准站 GNSS 接收机所采集的原始观测数据进行后处理，从而计算得到厘米级的坐标<sup>[7-9]</sup>。该系统后处理位置精度水平为 0.01 m，高程为 0.02 m。

测区总长度为 51 km，根据 PPK 技术的作业范围，1 个基准站即可实现全测区的覆盖。基准站位置选择位于测区中部、交通便利、观测条件良好的控制点上，控制范围上游 30 km、下游 26 km。

设备架设在行驶速度 7.7~10.3 m/s 的测量船上，基本保持匀速，扫描距离 920 m。待设备安装、线缆连接完毕后，开机进行数据采集。AS-900HL 多平台激光雷达测量系统通过 RC-8 手持控制器进行数据采集，无线通讯可达到 8 km 的传输距离，在船舱中亦可实时监控各个传感器的工作状态。

设备架设在车速为 30~35 km/h 的测量车上测量时，基本保持匀速，车载参数设置同船载一致，测量人员在车内对各传感器工作状态进行实时监控。

测量开始后，设备及测量车、船须持续保持

静止状态 8 min，以确保获得更多静态历元，后期进行平差处理。待测量车、船进入采集航线时，点击“开始采集”，同步开启激光数据和影像数据采集；数据采集完毕后，点击“结束采集”关闭激光和影像数据采集；结束采集后，测量车、船停止前进，静止 5 min；静止完毕后，停止测量，结束 POS 数据采集；整个测量结束后，在通电状态下连接相机数据转存线缆转存影像数据，断电后可连接数据传输线转存 POS 数据，通过数据存储卡转存原始激光数据。

### 3 内业数据处理

数据采集完成后进行内业数据处理，处理流程见图 3。

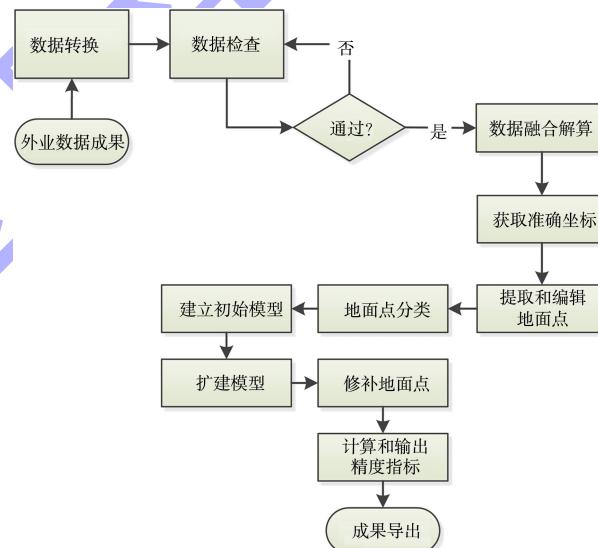


图 3 内业数据处理流程

将系统采集的 .HCN 格式静态数据转换成通用格式 Renix 3.02 的数据，同时将外业测量的天线斜高改正到相位中心，使得 IE 可以正常读取。转换过后的数据进行检查，合格之后再进行融合，反之则再次检查数据，确保数据的准确性。数据融合是将外业雷达采集到的惯导数据和 RTK 采集的静态数据进行数据的融合解算，生成高精度的 POS 轨迹信息，为雷达采集的点云赋予准确的位置及姿态信息。然后将系统获取的 .RXP 文件赋予 POS 信息，获得具有实际准确坐标的 .las 点云数据。对地面点进行提取和编辑，启动宏命令(多

种命令的集成, 分别设置完成后一键处理)。

将低点从未定义类型的点中过滤出来, 采用按组选点的方式, 每组最多 10 个点。分类范围为 5 m, 低于其他点 0.5 m 将被视为低点过滤出来。地面点分类地表点分类算法是通过反复建立地表三角网模型的方式分离出地表上的点。通过“Max building size”参数来控制初始点的选择。这一算法应用选中的低点建立初始模型, 这一初始模型的三角形大多数低于地面, 只有最高点接触到地表。然后, 算法通过反复加入新的激光点开始向上扩建模型, 每个加入的点使模型更加贴近地表。“Iteration angel”的值越小, 点云里面起伏的变化越小。在平坦地区使用小值, 在山地使用较大值。

精修地面点生成 DEM, 选择生成可编辑模型, 可根据需要, 设置不同颜色层数。通过 DEM 截取截面来修补地面点, 设置好截取断面窗口后在 DEM 视图选择相应修改位置, 拉取剖面线, 选择剖面宽度, 完成选择后会在设置好的剖面视图中弹出剖面。利用模型中的工具结合 DEM 模型, 对分类错误的地面点进行修补。

计算和输出精度指标。将提供控制点导入软件 CoRefine 中, 同时加载点云, 点击高程 POS 修正, 通过计算, 软件会自动将计算结果保存在工程文件夹的 PARA 文件夹中, 以 .csv 格式进行保存。

#### 4 数据质量检查

水运工程测量规范中地形测量基本精度要求见表 1。

表 1 地形测量基本精度

点位中误差/mm		等高线高程中误差			
重要地物	次要地物及地形点	地形类别	地面倾角/(°)	重点地区/m	一般地区/m
图上 ±0.6	图上 ±0.8	平坦地区	<6	$\frac{1}{3}$ h	$\frac{1}{2}$ h
		丘陵地	6~15	$\frac{1}{2}$ h	$\frac{2}{3}$ h
		山地	>15	$\frac{2}{3}$ h	h

注: 1. h 为等高距(m);

2. 重点地区是指碍航地区、航道整治区、枢纽工程区和港口工程区;

3. 洪水位以上区域及河、海漫滩地区, 其点位中误差可适当放宽, 但不应大于图上 1 mm。

本项目成图比例尺为 1:2 000, 成图基本等高距为 1 m, 地形坡度>15°, 山地类别, 属于航道整治区。根据实际情况, 通过计算, 点位中误差、等高线高程中误差限值及实测最大误差见表 2。从表 2 可以看出, 该系统的测量精度符合水运工程测量规范要求<sup>[10]</sup>。

表 2 点位中误差与等高线高程中误差

点位中误差/mm		等高线高程中误差/m	
规范	实际测量	规范	实际测量
±0.6	+0.553	0.667	0.482

为进一步验证该系统在实际应用中的精度情况, 数据处理完成后选取部分特征点进行数据比对, 比对数据来源为 GNSS 快速静态采集的数据, 比对结果显示最大高程差值为 0.038 m, 最小的高程差值为 0.009 m。部分特征点高程对比见表 3。

表 3 部分特征点高程差值 m

已知高程	实测高程	差值
366.402	366.416	0.014
369.103	369.065	0.038
370.800	370.783	0.017
376.402	376.390	0.012
383.310	383.301	0.009
386.911	386.891	0.020
411.313	411.344	0.031
413.223	413.246	0.023

#### 5 结论

1) 实例应用中, 扫描长度共 56 km, 外业数据采集时长为 8 h, 其中, 准备工作包括船舶的检查启动工作和设备的安装检查工作共用时 3 h, 相比普通测量方式工作效率高。

2) 内业处理包括点云数据解算、点云数据分类、点云数据建模、地面点修补等, 大部分流程可在配套软件中一键操作, 过程简单, 操作便捷。最后, 输出地面点云数据和 DSM、DEM, 数据成果形式多样。

3) 该系统适用于常规测量手段无法完成的特殊条件下的测量项目, 体现了该测量系统在河道测量中应用的可行性。成果形式多样化, 包括三维点云数据、DSM、DEM。充分说明 AS-900HL 多平台激光雷达测量系统对于推动河道建设和数字化城市建设具有重要意义。

(下转第 78 页)