



基于无人机和无人船的 河(江)道地形测绘技术应用 *

刘超群¹, 卢自来¹, 刘敏², 朱运权¹, 廖小龙³, 李贞⁴

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都, 610017;
2. 昆明理工大学 建筑与城市规划学院, 云南 昆明, 650550;
3. 长沙市海图科技有限公司, 湖南 长沙, 410000;
4. 成都文理学院 信息工程学院, 四川 成都, 610401)

摘要: 河(江)道地形测量是保证河(江)道通航、行洪与河(江)道整治、河(江)道工程施工等的前提。针对现有河(江)道地形测量技术中存有作业效率低、作业人员存有涉水风险等问题, 以四川省广元市昭化区嘉陵江某段长约 2.6 km 的江道为研究区域, 运用无人机和无人船相结合的江道测绘技术, 得到了符合规范要求的试验区数字正射影像(DOM)、数字高程模型(DEM)和数字线划图(DLG)。结果表明: 在 GPS-RTK 检验方式下, 基于无人机和无人船相结合的测绘技术生产的 1:2 000 DLG 成果就岸上地形检查点而言中误差小于 0.055 m 占比 99.4%, 就水下地形检查点而言中误差小于 0.25 m 占比 98.4%, 均能满足 JTS 131—2012《水运工程测量规范》成图精度要求。

关键词: 无人机; 无人船; 河(江)道地形测绘; 3D 产品; 精度评价

中图分类号: P 217; U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S1-0138-05

Application of river channel topography mapping technology based on UAVs and unmanned ships

LIU Chao-qun¹, LU Zi-lai¹, LIU Min², ZHU Yun-quan¹, LIAO Xiao-long³, LI Zhen⁴

(1. Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China;

2. Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650550, China;

3. Changsha Hai Tu Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China;

4. College of Information Engineering, Chengdu College of Arts and Science, Chengdu 610401, China)

Abstract: The topographic survey of river channels is a prerequisite for river channel navigation, flood discharge and river channel regulation, and river channel engineering construction. The existing topographic survey technologies for river channels have low operation efficiency, and operators usually face risks for wading. In view of these problems, this paper studies a section of the Jialing River in Zhaohua District, Guangyuan City, Sichuan Province, which has a length of about 2.6 km, and uses a river channel mapping technology that combines unmanned aerial vehicles(UAVs) and unmanned ships to obtain a digital orthophoto image(DOM), digital elevation model(DEM), and digital line graphic(DLG) of the test area, which all meet specifications. The results show that under the GPS-RTK inspection mode, the proportion of errors less than 0.055 m in the 1:2 000 DLG results

收稿日期: 2022-06-13

*基金项目: 国家自然科学基金项目(52268014); 四川省交通勘察设计研究院有限公司科技项目(232022015)

作者简介: 刘超群(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 注册测绘师, 研究方向为 3S 集成原理及应用。

produced by the mapping technology based on UAVs and unmanned ships accounts for 99.4% in terms of onshore topography checkpoints, and that of errors less than 0.25 m accounts for 98.4% in terms of underwater topography checkpoints, which both meet the mapping accuracy requirements of JTS 131—2012 *Specifications for Port and Waterway Engineering Survey*.

Keywords: UAV(unmanned aerial vehicle); unmanned ship; river channel topography mapping; 3D product; accuracy evaluation

河(江)道是水资源的重要载体之一, 在内河航运、水利发电、渔业养殖、行洪排涝以及蓄水灌溉等方面发挥着重要作用。为加强河道管理、保障防洪安全、充分发挥江河的综合效益, 须对河(江)道岸上以及水下地形地貌进行测绘。常规河(江)道测量一般采用传统的仪器进行河道地形测绘, 岸上地形采用全站仪或 GPS-RTK^[1]进行陆上碎部点的采集, 水深测量^[2]采用在有船工驾驶的轮渡上安装测深仪和 GPS 设备进行水下地形的获取。由于河道测量工作的特殊性与危险性, 导致常规河(江)道外业测量方法费时费力, 且测量人员面临涉水风险、安全系数不高。近年来, 随着低空无人机航摄技术与无人船测深技术的快速发展, 江木春等^[3]采用无人机、李勇等^[4]采用无人船测量地形。二者结合在地形数据获取方面具备作业灵活高效、实时性强、优势互补以及作业人员安全性高等特点, 能够满足 1:2 000 比例尺测图的精度需求^[5-6], 能更好地解决河(江)道水上水下地形的同步测量。

1 试验区及研究方法

1.1 试验区域

选取四川省广元市昭化区嘉陵江某段为试验区域, 试验区江道长约 2.6 km、水面宽 220~330 m。江流东岸以及南端地形极为陡峭, 江流西岸较为平缓, 流速较为缓慢, 最大水流速度约为 0.75 m/s, 近 5 a 最大洪水位为 2018 年洪水位 458.40 m (1985 黄海高程系)、近 30 a 最大洪水位为 1981 年

洪水位 460.53 m。该段江流两岸都有高等级公路, 江流东岸为绵广高速在建道路, 施工路段比嘉陵江水面高约 40 m, 江流两侧有少量居民地、农耕地以及林地, 岸上地形以草地、沙滩以及旱地为主。

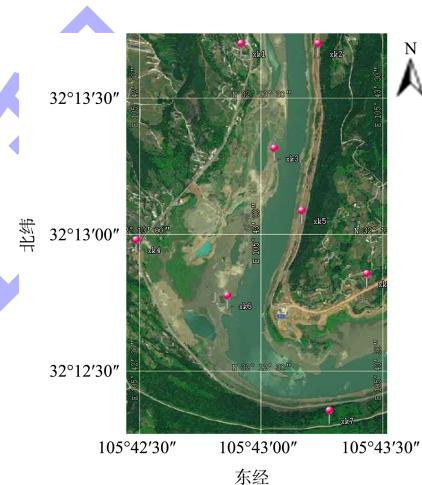


图 1 试验区卫星影像及像控点布点方案

1.2 研究方法

江道地形测量主要分水上无人机航摄地形测绘与无人船水下地形测绘两部分。江道陆地地形的无人机航摄测绘流程可分为作业前准备、外业飞图和内业处理, 即测区航线设计、航高以及飞行速度等的确认、测区像控点的布控与采集、航飞作业、相片处理、空三解算、成果输出等。无人船水下地形测绘同样可分为外业测量和内业处理, 即作业准备、无人船参数设置、水上作业、数据处理、CASS 展点以及水下地形成图等工作。最后, 进行 DOM、DEM、DLG 成果的精度评价与检查。基于无人机和无人船的河(江)道地形测绘技术研究的技术路线见图 2。

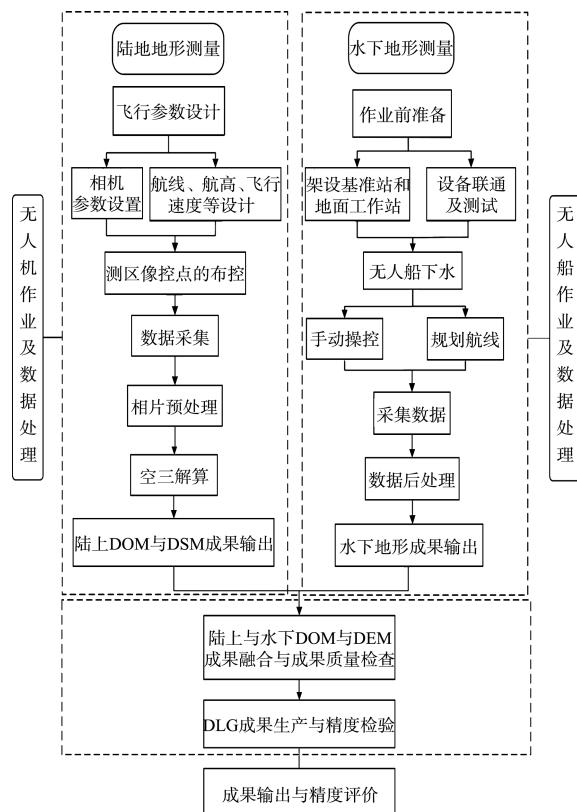


图 2 技术流程

2 河(江)道测量及其数据处理

2.1 无人机作业及内业处理

2.1.1 测区像控点的布控以及检查点的采集

测区像控点是航摄测量解析空三加密和测图的基础, 其布网结构以及三维坐标 X 、 Y 、 Z 的测定关系到航飞内业成图的精度。航飞项目像控点布点以及碎部点采集的一般原则为均匀布设(采集)、全局覆盖。区域带状测区像控点布设以及检查点采集方案见图 3, 方案 1 为五点式布控方法, 方案 2 为七点式布控方法^[7]。

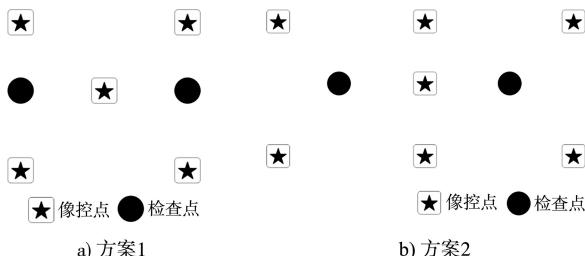


图 3 像控点及检查点布设一般方案

两种布控方案各有优劣, 试验采用五点式布点方法, 在考虑测区地形条件、交通情况以及地物特征的基础上, 测区共布设 8 个像控点, 均为平高点, 其中有 6 个像控点布设在道路上, 2 个像

控点布设于河床上。采用红色油漆(或白色石灰)十字形方式, 十字边长 1.2 m、线宽 0.15 m, 代码编写 xk1、xk2……, 由于测区特征地物较少, 检查点布设如公路交叉路口、公路中线端头、棚房拐角等。像控点及检查点坐标采集方式为 GPS-RTK, 坐标采集精度控制在 0.025 m 内。

2.1.2 无人机航摄影像的获取

在明确飞行任务以及测区范围后, 对航飞成图比例、航线以及航高设计等进行确认、做好飞行准备工作, 选择有利天气, 现场踏勘、现场飞图作业、飞行总结, 获取航飞原始相片。

1) 无人机作业前准备。本试验成图比例尺为 1:2 000, 在熟悉试验区地形地物如高压线分布等情况下, 设置参考航高、相机焦距等相关参数, 制订了最佳的现场飞行方案。

2) 航飞作业。本次试验飞行高度 320 m, 飞行速度 5 m/s, 拍照模式为等时间隔拍照, 拍照间隔设置为 3 s, 规划航线 31 条, 飞行航线总长共计 43.259 km, 航线大致方向东西走向; 航摄相机采用 Phantom 4 pro v2 Camera, 焦距 24 mm, 传感器尺寸 13.1 mm×8.8 mm, 航向重叠 88%, 旁向重叠 58%。试验安排 3 架次, 按设计航线飞行, 飞行时间 42 min 18 s, 拍摄有效相片共计 612 张。航飞质量符合要求, 影像分辨率为 0.088 m/px, 航飞照片纹理清楚、色调均匀、层次较为丰富, 能满足内业 1:2 000 成图精度要求。试验区航飞航线布设见图 4。

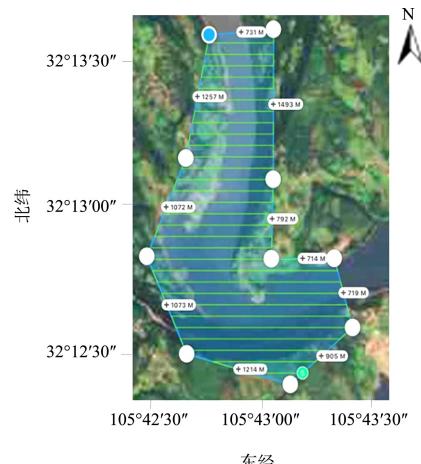


图 4 试验区航线布设

2.1.3 内业数据处理

目前, 主流的航摄影像内业处理软件有 PhotoSan、

Pix4DMapper、ContextCapture 等, 3 款软件在操作性、清晰度、产品成果精度方面各有优劣^[8]。Pix4DMapper 作为目前的航摄数据主流处理软件, 具有空三加密、DOM 校正和镶嵌、DSM 成果提取、测图和编辑等处理功能。能较好地解决无人机拍照姿态不稳、像片像幅过窄、像片投影差变形大、后期处理工作量大等难题。本试验 Pix4DMapper 软件内业处理流程见图 5。

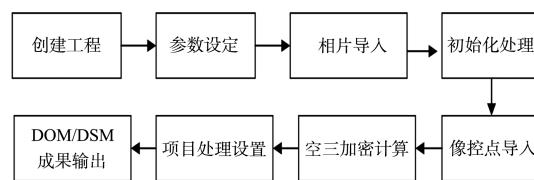


图 5 Pix4DMapper 软件内业处理流程

2.1.4 控制点质量报告分析

分析像控点质量报告, X 、 Y 、 Z 这 3 个方向的误差分别介于 $(-0.028 \text{ m}, 0.032 \text{ m})$ 、 $(-0.019 \text{ m}, 0.036 \text{ m})$ 、 $(-0.015 \text{ m}, 0.027 \text{ m})$, 3 个方向的中误差 RMS Error 分别为 0.022 、 0.016 、 0.017 m , 3 个方向均符合质量要求。

2.2 无人船作业及内业处理

2.2.1 无人船作业原理

无人船测深系统^[9-10]是以无人船为载体, 集成了水下测深仪、GNSS、姿态传感器以及 360 全景相机等数种测摄仪器设备, 其中 GNSS 通过架设岸上基站或者网络 CORS 信息来测设平面位置和高程(X, Y, H), 同时测深仪获取水深信息($H_{\text{水深}}$), 通过反算可获取水下位置的三维坐标信息, 即($X, Y, H - H_{\text{水深}}$), 见图 6。

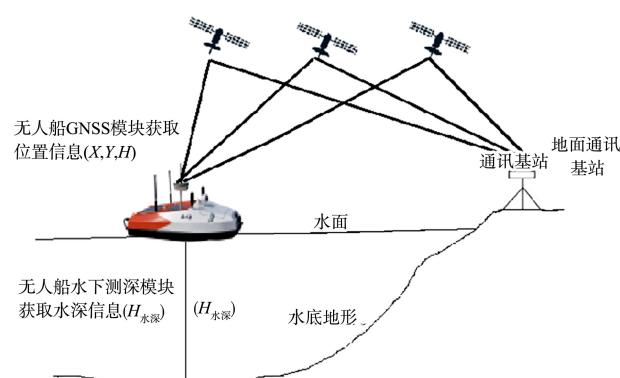


图 6 无人船作业原理

2.2.2 无人船作业

1) 作业准备工作。在无人船及其配套设备的准备、作业现场勘查准备阶段, 需对无人船及其配套设备进行检查与调试、熟悉测区江流的基本情况。

2) 作业方式的选取。根据现场情况, 可选择 GPS 接收机连接方式, 一般分为架设电台基站与网络 CORS(如千寻、移动)。根据水深、流速以及作业效率等情况, 可选择无人船作业方式为手动遥控操控与规划航线自动巡航作业。

3) 无人船数据采集及质量检查。主要包括改正船体吃水、测量设备姿态等, 设置无人船参数, 采集水深值, 获取 GPS 三维坐标, 检验水深点密度和水深准确度。

针对水下测量水深过浅、河流水流速度较为湍急区域, 本试验主要采用基站-人工遥控方式采集试验区域水下地形信息; 针对测量区域面积过大、水流区域平缓区域, 先遥控无人船测量水域范围边线, 再进行无人船航线的设计, 最后利用无人船自动巡航等时间(等距)记录数据, 获取该部分水下地形数据。无人船作业过程中, 应时刻注意作业天气、江道瞬时水位及波浪等的变化情况, 确保无人船的作业安全。

2.2.3 无人船内业数据处理

采用华测无人船配套软件 Auto Planner 水下地形测绘数据采集及后处理软件 Hydro Surver 对原始数据进行处理。该套软件可自动过滤 GPS-RTK 的浮点解和差分解、剔除水深粗差值与 0 值、导出具有 WGS84 三维坐标与对应水深的可靠文本数据, 通过求解公共点, 可得到四参数或七参数, 把经纬度坐标反算成需要的平面坐标, 减去对应的水深值, 可得到水底地形点的三维坐标。

2.3 测绘成果展示

本试验形成的主要测绘成果(图 7)有 DOM、DEM、1:2 000 的 DLG。其中, 试验区 DOM 影像清晰、色调均匀, 除边缘地区有少许变形, 影像质量较好; 试验区 DEM 江道中心地形高程介于 $430 \sim 441 \text{ m}$, 呈现深蓝色, 两侧高程介于 $441 \sim 470 \text{ m}$, 由低到

高的高程颜色依次为浅蓝色、绿色、黄色、红色,能较好地反映出了嘉陵江江道地形情况;试验区 1:2 000 DLG 成果由 DOM 成果人工矢量化(Cass 软件成图)叠加 DEM 生成等高线(高程点)图层的基础上得到, DLG 制图质量与精度良好。

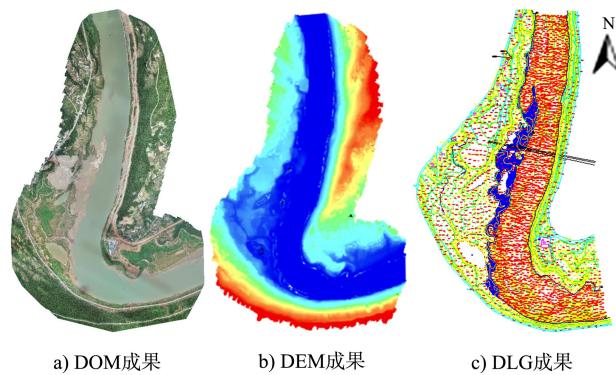


图 7 试验区 3D 产品成果

2.4 DLG 成果精度评价

试验区 1:2 000 DLG 成果精度评价采用人工实地现场 GPS-RTK 采集岸上及水下地形点的坐标来检查 DLG 地形图的成图精度, 其中岸上地形检验点 780 个、水下地形检验点 240 个(水下地形检验点采用可伸缩测深杆连接 RTK 采样)。就岸上地形检查点而言, 中误差在 0.035 m 内有 755 个, 占比 96.8%; 在 0.035~0.055 m 有 20 个, 占比 2.6%; 大于 0.055 m 的 5 个, 占比 0.6%。就水下地形检查点而言, 中误差在 0.1 m 内有 227 个, 占比 94.6%; 在 0.10~0.25 m 有 9 个, 占比 3.8%; 大于 0.25 m 的 4 个, 占比 1.7%。本试验的 DLG 成果精度能满足 JTS 131—2012《水运工程测量规范》1:2 000 成图精度要求^[11]。

3 结语

1) 无人机与无人船相结合的河(江)道地形测绘应用研究, 能快速高效获取河(江)道的影像信息和水底地形信息, 大大缩短外业测量时间, 节约测绘成本, 保证作业人员的安全。

2) 基于无人机和无人船相结合生产的 DOM 和 DEM 得到的 1:2 000 DLG 成果, 在采用 GPS-RTK

检验方式下, 岸上地形检验点中误差小于 0.055 m 的占比 99.4%, 水下地形检验点中误差小于 0.25 m 的占比 98.4%, 该方法能满足 1:2 000 DLG 地形测绘成图精度。

3) 基于无人机和无人船相结合生产的 3D 产品, 即 DOM、DEM、DLG, 能较好地应用于河(江)道地形测绘, 丰富了河(江)道地形测绘成果资料。后续可建立 3D 产品数据库, 为加强河(江)道基础测绘资料的管理与更新提供新的思路和技术方法。

参考文献:

- [1] 张红军.GPS-RTK 定位技术在航道测量中的应用[J].中国水运(下半月), 2011, 11(4): 78-79.
- [2] 王志红, 刘吉波, 张伟虎, 等.水深测量技术在航道工程中的应用[J].测绘与空间地理信息, 2015, 38(2): 66-68.
- [3] 江木春, 韩亚民, 林剑锋.无人机机载激光雷达测绘技术在航道整治工程中的应用[J].水运工程, 2022(4): 157-160, 165.
- [4] 李勇, 洪剑, 朱春春.无人船测深系统在浅水河道测量中的应用[J].水运工程, 2021(4): 20-24.
- [5] 胡合欢, 汪剑桥, 余永周.无人机无人船协同作业在航道测绘中应用探讨[J].中国水运(航道科技), 2021(3): 68-72.
- [6] 景清锟, 徐启恒.水库库区控地测绘及土地统筹整合研究[J].测绘与空间地理信息, 2018, 41(4): 196-198.
- [7] 张丽丽.无人机航摄前像控点布测方法探讨[J].测绘技术装备, 2016, 18(3): 44-46.
- [8] 孙姣姣, 王琦, 郑洁, 等.基于 DOM 成果的航测软件对比分析[J].测绘与空间地理信息, 2021, 44(8): 71-74.
- [9] 雷添杰, 张鹏鹏, 胡连兴, 等.无人船遥感系统及其应用[J].测绘通报, 2021(2): 82-86, 92.
- [10] 余建伟, 刘守军.中海达船载水上水下一体化三维移动测量系统[J].测绘通报, 2013(7): 119-120.
- [11] 中交天津航道局有限公司.水运工程测量规范: JTS 131—2012[S].北京: 人民交通出版社, 2012.