

# 无人机倾斜摄影测量在水利中的应用探索

刘翰琪<sup>1</sup>, 董阿忠<sup>2</sup>, 赵钢<sup>2</sup>

(1. 南京工业大学 测绘科学与技术学院, 江苏 南京 211800;

2. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

**摘要:** 研究阐述了倾斜摄影测量的基本原理、关键技术及在水利建设方面的应用, 并采用无人机倾斜摄影方法采集洪泽湖周边生态环境影像数据, 基于 Smart 3D 软件建立三维模型, 分析该建模方法的相关问题。

**关键词:** 无人机倾斜摄影测量; 三维模型; 现代水利

**中图分类号:** TP79      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2020)03-0057-05

## Exploration on the application of UAV tilt photogrammetry in water conservancy

LIU Hanqi<sup>1</sup>, DONG Azhong<sup>2</sup>, ZHAO Gang<sup>2</sup>

(1. School of Geomatics Science and Technology, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, Jiangsu;

2. Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu)

**Abstract:** The basic principle, key technology and application of tilt photogrammetry in water conservancy construction were studied, the ecological environment image data around Hongze lake was collected by UAV tilt photography method, the 3D model was established based on Smart 3D software, and the relevant problems of this modeling method were analyzed.

**Key words:** UAV tilt photogrammetry; three-dimensional model; modern water conservancy

水利是现代化经济体系的重要基础,是供给侧结构性改革的关键措施,是生态文明建设的重要内容<sup>[1]</sup>。当前,中国特色社会主义进入新时代,水利发展的内外部环境都发生了重大而深刻的变化,面临着全新的形势和任务要求。江苏省滨江临海,河湖众多,随着经济社会快速发展,水利高质量发展成为江苏高质量发展的重要组成部分。为了加强生态文明建设,促进现代化水利的快速发展,常规的航空摄影测量单一的垂直航测影像已无法满足现今的建设需求。因此,实现多视角倾斜影像的获取具有重要的现实意义。

近年来,无人机低空摄影测量作为发展较为活跃的研究领域,具有机动灵活、方便高效、作业成本低、适用范围广阔和生产周期短等特点,在现代化水利发展中的应用也愈发广泛。低空飞行平台搭载多种航摄传感器后可获取地面影像或扫描点云数据,可随时对河湖等情况进行了解。无人机航测在快速获取飞行困难地区的高分辨率影像方面具有明显优势,并能利用获取的数据进行正射影像制作、多光谱影像分析、数字线划图生产以及快速实景三维建模等<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2019-09-06

基金项目:江苏省水利科技项目(2016027;2017061;2018005)

作者简介:刘翰琪(1994—),男,硕士,研究方向为无人机测图及三维建模。

## 1 倾斜摄影测量技术

作为测绘领域新兴发展的技术,倾斜摄影测量技术融合了传统的航空摄影和近景测量技术,打破了传统正射影像只能从垂直角度拍摄的局限,通过在同一飞行平台上搭载多台传感器,同时从1个垂直、4个倾斜共5个不同的角度采集影像,见图1。结合无人飞行平台搭载的GPS/IMU系统获取POS数据和像控点数据,经过相关软件处理获取点云数据、数字正射影像和三维模型<sup>[3]</sup>。飞行姿态平稳、抗外界干扰性强的无人机飞行平台是系统的基本保障<sup>[4]</sup>。文中使用的无人机平台大疆M600 Pro包含了A3 Pro飞行控制器,提供了三模块冗余,且基于3组GNSS单元的数据增强了精准度。在6 kg的负载下,该机仍可提供长达16 min的续航和5 km飞行距离。



图1 倾斜摄影测量原理

## 2 数据处理及关键技术

无人机摄影测量的一般作业流程为:像片控制测量、高分辨率航测影像数据获取、空三加密、立体三维模型生成。整体的作业流程图如图2所示。

### 2.1 地面控制方案

无人机摄影测量的数据采集需要布设一定数量的控制点作为数学基础。需获取控制点坐标及高程,其数量和位置需满足图像信息处理的要求。根据测区地形条件、摄影资料及信息处理方法采取不同的布设方案。像控点应选择在航摄像片上影像清晰、目标明显的像点,实地选点时,也应考虑侧视相机是否会被遮挡,相邻相对和航线之间的控制点尽量公用,必须选择在像片上明显的目标点,对于弧形地物、阴影、狭窄沟头、水系、高程急剧变化的斜坡、圆山顶、与地面有明显高差的房

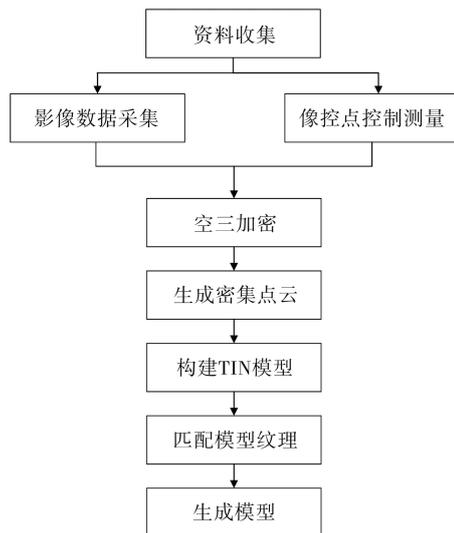


图2 无人机作业流程

角、围墙角等,以及航摄后有可能变迁的地方,均不能设点<sup>[5]</sup>。

### 2.2 影像匹配

对比传统航测垂直影像,倾斜摄影测量的影像的旋转角更大,倾斜摄影测量获取区域内同一地物不同视角的影像,具有更高的影像重叠度,增加了数据的冗余度。因此,基于小角度旋转角的常规匹配算法无法较好应用于倾斜航测的影像匹配。传统摄影测量的影像匹配由于传感器等硬件设备性能问题,常以单基线影响匹配为主,易出现“病态解”,且匹配精度和可靠性低。顾及倾斜影像的匹配涉及相机运动过程中投影变换的所有参数,属于抗仿射变换匹配算法的一种,因此倾斜影像匹配采用ASIFT算法,该算法以特征为匹配基元,具有完全仿射不变特性。利用对同一地物的不同视角的影像,将单基线的“病态解”转换为多基线的“确定解”,提高了影像匹配的精度,增强其可靠性<sup>[6]</sup>。

### 2.3 空三加密

空三加密是倾斜摄影测量中重要的步骤。根据少量外业实测的控制点,按一定的数学模型,平差解算出摄影测量作业过程中所需的全部控制点及每张像片的外方位元素。

获取了内方位元素、航高、比例尺、控制点坐标以及控制点的像点坐标后利用后方交会可解算像片的外方位元素。根据共线方程式:

$$x = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (1)$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (2)$$

经空间后方交会,通过多余观测方程提高解算外方位元素精度,最后根据最小二乘法间接平差原理,采用逐步趋近的方法决算出外方位元素和加密点坐标。通过空三加密可不触及被量测目标测定其位置与姿态,获得测区范围内任意点的绝对坐标。获取了一定数量的加密点即可生成密集点云,以便进行建模后续工作。

#### 2.4 多视角纹理映射

多视角纹理映射技术是城市建模中的主要内容之一,其目的在于恢复模型的真实感,增强模型的可视化效果。通过获取影像的内、外方位元素,匹配二维影像上的线段与三维建筑物模型三维线段的投影结果完成配准,综合影像遮挡影响、影像分辨率、模型法向量等因素选择高质量的纹理,最终形成纹理库以备模型的渲染<sup>[7]</sup>。

### 3 水利行业的应用

#### 3.1 洪涝灾害的预警

三维模型可用于洪涝灾害的淹没分析和灾害预损失评估。利用三维模型并结合周期降水量及水域周边地理信息等数据,可实时监测水域水位变化,通过模拟分析其水利地理环境可对洪涝灾害做出预警。结合已有的物理模型,对其进行参数化表达并定义模型的输入、输出接口及分析算法,可实现对洪水水位及其演进过程的模拟计算;根据洪涝指数以及风险等级,在数据库的支持下,结合相关数据,采用三维可视化数据可综合预评估灾害造成的损失情况。

#### 3.2 智慧水利的感知

智慧水利是利用安装在水利设施的智能感知设备,通过移动互联网、卫星通信和云计算处理等实现数据采集传输、智能控制级集成处理的空间信息服务系统<sup>[7]</sup>。水利地理信息是智慧水利发展的关键要素。实时监测水利地理环境、水生态变化,获取动态水利信息是智慧水利的重要手段。无人机倾斜摄影测量采用多视角影像构建三维模型,真实地反映水利情况,快速、高效的表达目标水域及其周边的水利地理信息,通过对水利环境实时、动态、三维的可视化表达,可重现真实的水利地理环境,实现水资源与管理者实时信息互动。

#### 3.3 长江大保护的辅助

“长江大保护”是针对长江流域生态环境修复及发展提出的战略性决策。为了保护长江流域的生态资源、生物多样性资源、矿物资源和空间资源,“长江大保护”提出的“生态优先,绿色发展”理念具有重要的意义。采用无人机倾斜摄影测量获取数据并构建三维模型是做好“长江大保护”的重要技术手段之一。利用水域及其周边环境的实景三维模型可实时监测河道生态环境,提升河道生态河道,加强沿河特色生态风貌。有利于控源截污,实现实时水质监测,强化快速反应。能有效打击各种非法捕捞和违法违建,保护生物的多样性。通过对模型的分析能提高用水效率、加强水资源保护,实现管理者与水资源实时互动,有助于加强管理保护监管<sup>[8]</sup>。

### 4 实例分析

#### 4.1 测区概况

为了验证无人机倾斜技术测量技术的应用效果,我们选择紧邻洪泽湖的成河乡进行了航飞实验,该区域位于江苏省泗洪县东部,洪泽湖西岸(东经 118° 38' 19.00" ~ 118° 40' 12.94"、北纬 33° 20' 23.98" ~ 33° 21' 21.15")。

测区四面环水,整体呈东西方向狭向分布,东西方向长度约 3 km,南北方向长度约 1.3 km,总面积约 4 km<sup>2</sup>。测区内主要地物为水塘、农田,有少量低层建筑。如图 3 所示,红色标注区域为测区的具体位置。



图3 测区位置

#### 4.2 测量技术

像控点布置:共布设 59 个像控点,分布在地势平坦区域,避开砖窑烟囱、垃圾桶、电线杆等地面明显凸起物,见图 4。

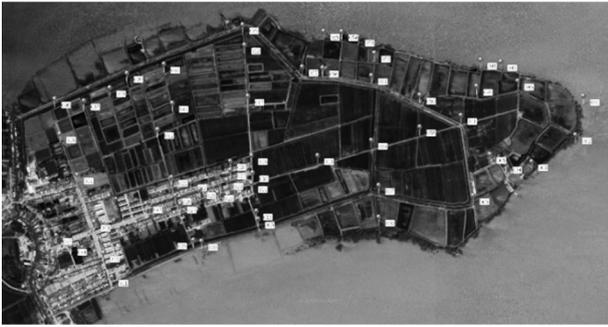


图4 像控点分布图

像片控制测量:使用网络 RTK 技术获取像控点的平面坐标和高程坐标,用于倾斜空三摄影测量的绝对平差,技术参数见表 1。

本项目三维建模采用 Smart 3D 软件,该系统是

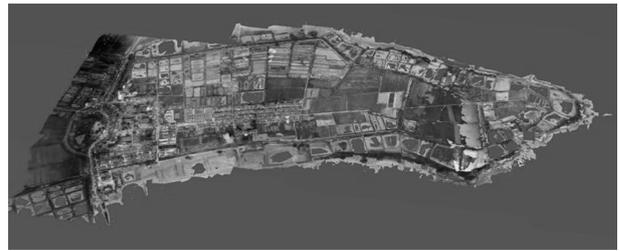
表1 航摄技术参数

参数	配置
测区面积(km <sup>2</sup> )	4
架次(个)	11
航带数(条)	91
焦距(mm)	10.4
分辨率(cm/pix)	2.16
航线重叠度(%)	航向重叠度:80 旁向重叠度:65

一套基于图形处理器 GPU,无需人工干预,仅从简单连续照片即可全自动生成高分辨率实景三维模型的三维编辑软件。其运用最高效先进的运算法则,支持多种数据格式输出,如 obj, osgb, dae, xml 等,可自由导入各种平台并能进行三维模型的编辑修饰工作。

#### 4.3 数据处理

建立 Block 文件导入 Smart 3D 软件,检查照片组是否存在影像丢失;在 3D View 中查看影像点的排列,将飘离在序列外的点直接删除。数据载入之后,系统进行影像特征点提取,同名特征点匹配,最后采用光束法区域网整体平差解算出影像外方位元素,通过前方交会计算出加密点的地面坐标。自动化空三加密完成后可在 3D View 中可视化显示解算成果。多次提交空三加密后可生成三维模型,见图 5。



(a) 模型预览



(b) 局部细节

图5 模型效果图

从三维模型的效果看,无人机航摄的测量精度已基本满足水利工程测量的要求,且无人机三维实景建模较传统的建模方法更为高效、更加逼真。但是,该建模方法还存在以下问题:(1)对于水域的建模存在空洞,若要完整还原地形,还需结合水下地形测量;(2)影像的质量直接影响模型成果的精度,对无人机设备的要求较高,影响飞行效率;(3)无人机航拍的影像数据量大,给内业数据处理工作带来诸多不便,大面积区域的影像数据会影响模型输出效率。

## 5 结语

本文利用无人机采集倾斜数据影像,制作三维实景模型。结合实际工程项目完成三维实景建模,并通过精度对比分析得出模型,模型能满足国家规范要求。通过实验分析,该方案较之传统倾斜摄影测量,成本低、效率高、且可控性强,对小型建模项目具有一定的借鉴和参考价值。但该方案也存在自身的局限性,要严格按照方案提出的数据采集方法和内业处理方法来执行,并且影像的精度直接影响建模效果,对于无人机硬件设施要求较高。在参考本方案之前需对项目有一定的理解,以便在实际的操作过程中做出适当的调整。

#### 参考文献:

- [1] 韩全林,喻君杰,游益华. 江苏水利发展不平衡不充分问题分析及对策研究[J]. 水利发展研究, 2018(8):1-7.

- [2] 范攀峰,李露露. 基于 Smart 3D 的低空无人机倾斜摄影实景三维建模研究[J]. 测绘通报, 2017( S2):77-81.
- [3] 田野,向宇,高峰,等. 利用 Pictometry 倾斜摄影技术进行全自动快速三维实景城市生产[J]. 测绘通报, 2013(2):59-62.
- [4] 孙亮. 无人机航摄系统测绘大比例尺地形图的精度分析[D]. 昆明:昆明理工大学, 2017.
- [5] 王佩军,徐亚明. 摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2010.
- [6] 纪松. 线阵影像多视匹配自动提取 DSM 的理论与方法[D]. 郑州:解放军信息工程大学, 2008.
- [7] 李莹,林宗坚,苏国中,等. Smart 3D 数据的三维模型重建[J]. 测绘科学, 2017(9):92-97.
- [8] 龚振文,王庆,罗志清. 论智慧水利的测绘新技术[J]. 山西建筑, 2015, 41(27):205-207.
- 