

# 基于数字航空摄影测量的水域地形图绘制方法

姚 倩

(连云港市水利规划设计院有限公司, 江苏 连云港 222000)

**摘要:** 常规的地形图绘制方法多数采用倾斜摄影实景三维模型原理, 更加适用于陆地地域测量与绘制, 但在水域地形图绘制中应用效果不佳, 地形图平面中误差较大, 绘制精度较低。基于此, 引入数字航空摄影测量原理, 提出一种新的绘制方法。首先, 设计数字航空摄影参数, 包括地面采样间隔(GSD)、航高与影像重叠度。然后, 布设像控点, 利用全球导航卫星系统实时动态差分(GNSS-RTK)技术测量像控点坐标。在此基础上, 利用数字航空摄影测量技术, 分别获取地形图平面要素与高程要素, 进而绘制地形图。实验结果可知, 新方法可行性较高, 其平面中误差较小, 最大不超过 0.091 m, 地形图绘制精度较高。

**关键词:** 数字航空摄影测量; 方法; 水域; 地形图; 绘制

**中图分类号:** P231; TV221 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)05-0025-04

水域即具有用途及含义的水体占有区域, 包括江河、水库、坑塘、滩涂、水工建筑物、湖泊等, 覆盖范围广泛<sup>[1]</sup>。在水域工程的可持续发展中, 科学的地形图绘制方法至关重要。通过绘制地形图能够沿着铅垂线方向将地物与地貌投影到水平面上, 基于适配度较高的比例尺, 缩绘到图纸上, 全面反映被测目标的各项特征信息。水域地形图绘制方法历经了多次创新优化, 逐渐成熟完善, 从而能够实现绘制目标。宫厚诚等<sup>[2]</sup>提出基于无人船和机载 LiDAR(light detection and ranging, 激光雷达)的大范围河网地形测量研究, 结合无人船技术和机载 LiDAR 技术的先进地形测量方法, 适用于复杂、大范围的水域地形测绘, 但是该方法不适用于极端天气或恶劣环境。吴伟等<sup>[3]</sup>研究了三维激光扫描仪在河道带状地形测量中的应用, 通过发射激光束并接收反射回来的光束, 快速获取物体表面的空间坐标数据, 从而实现高精度、高效率的水域地形测量, 但是对于特别宽的河道需要多次扫描。康晓娟<sup>[4]</sup>研究了无人机航空摄影测量在河道地形图测绘中的应用, 通过无人机搭载高分辨率相机或激光雷达等传感器, 对河道区域进行航拍, 快速获取地形数据, 并经过后续处理生成高精度的地形图。但是当地面有植被覆盖时, 无人机摄影测量无法准确获取地表高程信息, 导致高程误差较大。

数字航空摄影测量技术能够改善上述不足, 通

过各类性能较高的飞行器与航空摄影仪器, 连续拍摄水域地面。根据布设的目标控制点, 基于立体测绘的方式, 获取精度较高的测绘数据以及分辨率较高的水域地形影像, 为地形图绘制提供精度较高的测绘数据支持<sup>[5]</sup>。基于此, 本文引入数字航空摄影测量技术, 提出了一种全新的水域地形图绘制方法, 以期为促进水域工程建设的高速可持续发展做出贡献。

## 1 水域地形图绘制方法设计

### 1.1 设计数字航空摄影参数

为了改善传统水域地形图绘制方法精度较低的缺陷, 本文在传统绘制方法的基础上, 引入数字航空摄影测量技术, 提出一种新的绘制方法。在本文设计的地形图绘制方法中, 首先, 根据水域地形与地势的情况与特征, 设计数字航空摄影参数, 为后续水域地形图绘制提供重要的参数支持。

#### 1.1.1 地面采样间隔

广义角度上地面采样间隔(ground sampling distance, GSD)指的是数字航空影像中, 一个像素对应到水域地面的实际尺寸, 数值越小, 数字航空影像的分辨率越高, 影像能够承载的细节越全面<sup>[6]</sup>。在水域地形图绘制中, 根据地形图使用的比例尺不同, 其对应的 GSD 值也存在一定差异。本文设计的不同比例尺对应的地面采样间隔 GSD 参数见表 1。严格按照地形图绘制采用的比例尺, 设定 GSD 值。

**收稿日期:** 2024-07-23

**作者简介:** 姚倩(1989—), 女, 江苏连云港人, 工程师, 研究方向为摄影测量、内业制图和地理信息系统入库。

表 1 地面采样间隔 GSD

编号	比例尺	GSD/cm
1	1:500	≤5
2	1:1 000	8~10
3	1:2 000	15~20

### 1.1.2 数字航空摄影测量航高

数字航空摄影测量航高指的是无人机飞行中,相对于某一水域基准面的垂直距离,计算公式为

$$L = \frac{fGSD}{a} \quad (1)$$

式中: $L$ 为垂直距离; $f$ 为无人机镜头的焦距; $a$ 为数字航空摄影测量传感器的像元尺寸。在无人机相机确定后, $a$ 、 $f$ 均为已知常数。

### 1.1.3 数字航空摄影影像重叠度

数字航空摄影影像重叠度指的是无人机沿着设定飞行路线摄影时,相邻影像之间、相邻航线影像之间重叠区域长度占据整个像幅长度的百分比<sup>[7]</sup>,计算表达式为

$$\begin{cases} P'_x = P_x + (1 - P_x) \frac{\Delta h}{L} \\ P'_y = P_y + (1 - P_y) \frac{\Delta h}{L} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $P'_x$ 为影像航向重叠度; $P'_y$ 为影像旁向重叠度; $P_x$ 为数字航空摄影基准面的航向重叠度; $P_y$ 为数字航空摄影基准面的旁向重叠度; $\Delta h$ 为数字航空摄影基准面高程与影像中任意一点的高程差。

综上,全方位完成数字航空摄影测量参数设计。

## 1.2 布设像控点

基于上述数字航空摄影参数设计完毕后,接下来在被测量水域上合理布设像控点。为了提高像控点布设的精度,本文利用全球导航卫星系统实时动态差分(global navigation satellite system-real-time kinematic, GNSS-RTK)技术进行像控点坐标测量。基于水域测区的地形以及数字航空摄影测量的航线,采用区域网布点的方法原理,布设像片控制点位<sup>[8]</sup>。像控点布设中需要遵循如下要求:①布设在固定的水域位置,尽量避开圆弧水域位置;②不能布设在高压线周围,避免航空摄影测量中发生危险;③点位需要清晰、明确;④点位对空夹角介于 $30^\circ \sim 120^\circ$ 。

将像片控制点布设在合理的数字航空摄影测量成图范围内,点位的航向间隔需要根据实际地形情况做出调整,间隔不能超过航飞基线,基线跨度不能超过 2 条基线<sup>[9-10]</sup>。为了避免水体自动空三测

量中因同名特征点匹配效果差而出现的空洞问题,可在水体区域内手动添加控制点,并通过增加相机拍摄的角度或者增加航带重叠度等方式<sup>[11]</sup>,提高同名特征点的数量和匹配效果。

## 1.3 水域地形图绘制

在像控点布设完毕后,利用数字航空摄影测量技术,获取水域地形图平面要素与高程要素<sup>[12]</sup>,进而绘制地形图。水域地形图绘制流程如图 1 所示。

首先,使用数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)数据,按照一定的尺寸,裁剪正方形瓦片,对裁剪的瓦片进行文件命名处理,并输入瓦片对应水域区域的坐标信息文件。通过 DOM 加载至计算机辅助设备(computer aided design, CAD)软件中,拼接水域坐标信息数据,获取地形图绘制的平面要素<sup>[13]</sup>。其次,利用数字航空摄影测量三维模型,识别 DOM 数据中容易被忽略且不易识别的地物,对其进行转换处理,生成打开场景图二进制(open scene graph binary, OSGB)格式的模型数据,输入水域地形图绘制插入点位置,获取地形图绘制的高程要素<sup>[13]</sup>。其次,对水域平面要素与高程要素进行叠加与修饰处理,将处理后的辅助线图插入到地形图中,连接高程点,建立数字地面模型(digi-

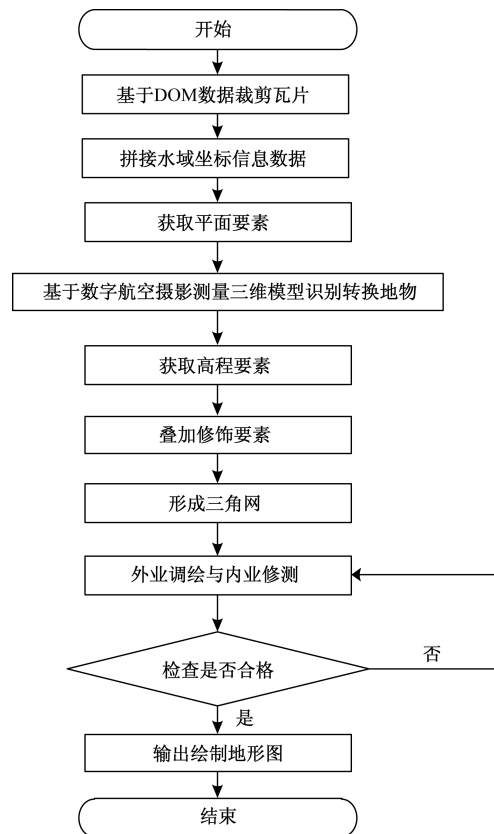


图 1 水域地形图绘制流程

tal terrain model, DTM), 形成三角网<sup>[14]</sup>。不断对三角网进行调整, 直至其效果达到最佳, 生成水域等高线。在此基础上, 采用水域外业调绘与内业修测的方法, 使绘制地形图影像的地物与地貌更加清晰。检查其完整性与合理性, 针对绘制错误的区域做出修改与补测<sup>[15]</sup>。由外业人员进行地形图外业工作底图的清绘工作, 内业人员进行整体修测工作。经过水域工程质检部门检验合格后, 完成水域地形图绘制, 并归档。

## 2 实验分析

为了进一步直观地验证本文提出的水域地形图绘制方法的可行性, 进行如下实验分析。通过实验分析, 获取其在实际工程应用中可能出现的问题, 并及时改进, 避免直接投入工程使用, 对工程产生不利影响的问题。实验中将本文提出的基于数字航空摄影测量的水域地形图绘制方法设置为实验组, 将文献[2]、文献[3]提出的绘制方法分别设置为对照组, 开展对比分析。

### 2.1 实验准备

根据本文设计的地形图绘制方法, 选取石梁河水库工程作为此次研究的实验测区, 开展数字航空摄影测量地形图绘制实验。测区的地形与地势较为平坦, 整体属于平地地形, 气候属于季风性半湿润气候。水域测区内无严重遮挡, 相对来说, 地形图绘制难度不高。首先, 在水域测区内布设像控点, 使像控点能够覆盖水域测区的各个区域。使用 GNSS-RTK 测量技术, 测量布设像控点的坐标。在此基础上, 设定此次实验中的航飞数据参数。为了提高实验结果的精度, 本文选取 Phantom 4 Pro 型号的飞行器, 进行航空摄影测量, 其内部搭载 FC6310 传感器, 测量范围广泛, 测量精度较高。设定无人机采用 5 架次飞行的方式, 进行石梁河水库水域航空摄影测量, 分别从多个角度, 进行远距离拍摄。飞行方式示意图如图 2 所示。

图 2 显示, 此次实验采用的 5 架次飞行方式中, 镜头与水域地面倾斜度相同, 拍摄角度分为东西南北 4 个方向, 获取不同角度的水域影像。

在此基础上, 将本文设计的水域地形图绘制方法应用到石梁河水库工程中, 检验绘制效果。

### 2.2 结果分析

依据数字航空摄影测量相关规范要求, 在石梁河水库中, 随机布设 10 组检查点, 保证检查点的全面覆盖性, 将其标号为 SYJCD-#01~SYJCD-#10, 进行水域地形图精度检核。利用上述设置的实验

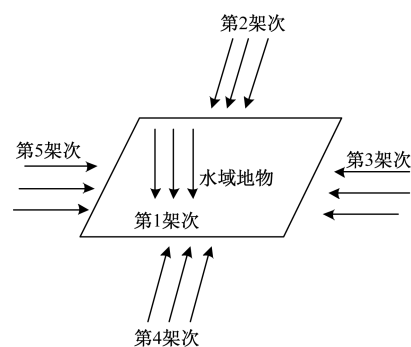


图 2 无人机架次飞行方式示意图

组与两个对照组, 分别绘制石梁河水库工程的水域地形图。基于 SPSS 统计分析软件, 计算并整合地形图中各组检查点的平面中误差, 并进行对比, 结果见表 2。

根据表 2 的对比结果可以得知, 利用上述 3 种方法绘制的水域地形图, 其平面中误差存在一定的差距。其中, 本文提出的基于数字航空摄影测量的绘制方法, 其 10 组检查点的平面中误差明显小于另外两种方法, 平面中误差最大不超过 0.091 m, 表明水域实地测量点与绘制地形图上相对应点的偏移程度较小, 地形图绘制精度较高。文献[2]提出方法的平面中误差最小为 0.649 m, 最大为 1.128 m; 文献[3]提出方法的平面中误差最小为 0.768 m, 最大为 1.154 m。通过对比结果不难看出, 本文提出的水域地形图绘制方法十分可行, 绘制精度较高。

表 2 3 种绘制方法平面中误差对比结果

检查点	平面中误差/m		
	本文提出方法	文献[2]方法	文献[3]方法
SYJCD-#01	0.072	0.761	1.024
SYJCD-#02	0.091	1.024	1.115
SYJCD-#03	0.046	1.128	0.996
SYJCD-#04	0.072	1.063	0.981
SYJCD-#05	0.053	0.886	0.934
SYJCD-#06	0.062	0.794	0.768
SYJCD-#07	0.083	0.649	1.053
SYJCD-#08	0.041	0.682	1.154
SYJCD-#09	0.035	1.028	1.087
SYJCD-#10	0.026	1.116	1.032

## 3 结论

科学的地形图绘制方法对促进水域的可持续发展具有重要意义。为了改善传统水域地形图绘制方法精度较低、覆盖面积有限、无法精确地描述出各个区域地形信息的问题。本文引入数字航空摄影测量技术, 提出了一种全新的水域地形图绘制方法, 全

面满足了水域地形测量工作的各项需求,解决了传统地形图绘制方法的缺陷,保证了绘制地形图的精准度。另一方面,利用数字航空摄影测量技术,确保了地形图绘制工作的质量,飞行器具有较高的稳定性,使绘制工作的安全性得到了显著提升,对推动水域工程建设发展具有重要研究意义。

### 参考文献

- [1] 冯锋. 倾斜摄影实景三维模型在大比例尺地形图中的应用[J]. 城市勘测, 2022(6): 134-138.
- [2] 宫厚诚, 刘修男, 赵传宝. 基于无人船和机载 LiDAR 的大范围河网地形测量研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(12): 24-26, 30.
- [3] 吴伟, 廖超, 刘海洋, 等. 三维激光扫描仪在河道带状地形测量中的应用[J]. 江西科学, 2023, 41(3): 569-573.
- [4] 康晓娟. 无人机航空摄影测量在河道地形图测绘中的应用[J]. 科学与信息化, 2024(3): 35-37.
- [5] 周路. 无人机航空摄影测量技术在城镇地籍测量中的应用策略研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(17): 189-192.
- [6] 黄群贤. 无人机倾斜摄影测量在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(8): 88-90.
- [7] 李旭光. 基于无人机倾斜摄影的大比例尺地形图测绘研究[J]. 家电维修, 2024(7): 68-70.
- [8] 刘建明. 摄影测量与遥感技术在工程测量中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023(20): 102-104.
- [9] 秦丽. 基于实景三维模型的 1:500 大比例尺地形图生产浅谈: 以山西晋城 1:500 基础测绘项目为例[J]. 华北自然资源, 2022(3): 109-111, 115.
- [10] 冯锋. 倾斜摄影实景三维模型在大比例尺地形图中的应用[J]. 城市勘测, 2022(6): 134-138.
- [11] 闫彦芳, 邵燕林, 王庆, 等. 基于数据融合的无人机影像碎屑岩岩性识别[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(12): 4869-4875.
- [12] 陈祥, 孙灏, 朱大明. 轻小型无人机在中心城区大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 城市勘测, 2024(4): 157-162.
- [13] 董志成, 陈恭洋, 印森林, 等. 基于 WebGL 的数字露头可视化表征与识别系统: 以无人机倾斜摄影依奇克里克剖面为例[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(11): 4633-4642.
- [14] 唐嘉宁, 陈伟, 陈云浩, 等. 一种多无人机协同定位与稠密地图构建算法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 15124-15132.
- [15] 王婉情. 无人机航测在大比例尺地形图测绘中的应用探究[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(6): 74-75.

## Method of Drawing Water Area Topographic Map Based on Digital Aerial Photogrammetry

YAO Qian

(Lianyungang Water Conservancy Planning and Design Institute Co., LTD., Lianyungang 222000, Jiangsu, China)

**Abstract:** Most of the conventional topographic map drawing methods adopt the principle of tilt photography real scene 3D model, which is more suitable for land area survey and drawing. The application effect in the water area topographic map drawing is poor, the plane error of the topographic map is large, and the drawing accuracy is low. Based on this, a new rendering method was proposed by introducing the principle of digital aerial photogrammetry. Firstly, digital aerial photography parameters was designed, including ground sampling distance (GSD), altitude, and image overlap. Then, image control points was set up and global navigation satellite system real time kinematic (GNSS-RTK) technology was used to measure the coordinates of the image control points. On this basis, the digital aerial photogrammetry technology was used to obtain the plane and elevation elements of the topographic map respectively, and then the topographic map was drawn. The experimental results show that the new method is highly feasible, its plane mean square error is small, the maximum is not more than 0.091 m, and the accuracy of topographic map drawing is high.

**Keywords:** digital aerial photogrammetry; method; water area; topographic map; draw