 DOI: https://doi.org/10.12345/xdchgc.v8i5.32137

Consideration on the application of low-altitude oblique photogrammetry in reservoir engineering

Zhenglin Liu

Guangxi Zhuang Autonomous Region Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract

Low-altitude oblique photogrammetry technology, with its advantages of high precision, efficiency, and 3D visualization, plays a vital role in reservoir engineering projects by enabling terrain mapping and project supervision. This method effectively addresses limitations of traditional surveying techniques while enhancing operational efficiency. Therefore, surveyors in reservoir projects should leverage this technological edge by mastering key application aspects, utilizing low-altitude oblique photogrammetry to reduce fieldwork time, lower mapping costs, and improve project productivity. The comprehensive 3D modeling derived from this technology provides robust data support for planning, design, construction monitoring, and management. To address these needs, this study systematically outlines the fundamentals of low-altitude oblique photogrammetry, analyzes its practical applications in reservoir engineering projects, and identifies common implementation scenarios to serve as a reference for industry professionals.

Keywords

reservoir; low-altitude oblique photogrammetry technology; application method

低空倾斜摄影测量技术在水利库区工程中的运用方法思考

刘政林

广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司，中国 · 广西 南宁 530000

摘　要

低空倾斜摄影测量技术具有高精度、高效、三维可视化的优势，在水库工程项目中可以完成地形测绘、工程监管等一系列工作。可以解决传统测绘方法存在的弊端，提高工作效率。因此水库工程项目的测绘人员需要发挥技术优势，把握各项要点，应用低空倾斜摄影测量技术，缩短外业工作时间，降低测绘成本，提高水库工程项目测绘的工作效率。以完整的三维建模，为规划设计施工监测和管理提供强大的数据支持。鉴于此，开展本文的研究工作，简单概述低空倾斜摄影测量技术，分析该技术在水利项目库区工程中的具体应用情况，以及常见的应用场景，以供相关人员参考。

关键词

水库；低空倾斜摄影测量技术；运用方法

1 引言

低空倾斜摄影测量技术已经成为水库工程项目管理中不可或缺的现代化测绘手段，具有快速、高效的应用优势，可以获得高精度的三维地理信息，提高了工程决策的科学性、设计的合理性以及施工的精细度。因此，在水库工程项目的前期准备工作中，以合理、优化的航线设计为基础，经高效的低空倾斜摄影测量，采集库区全要素数据信息。经专业的内业数据处理，可构建精准的三维模型，为各项工作提供直观的基础数据支持。

【作者简介】刘政林（1987–），男，中国广西桂林人，本科，高级工程师，从事水利水电测绘研究。

2 低空倾斜摄影测量技术的概述

2.1 原理

低空倾斜摄影测量技术的普及应用，极大地降低了测绘人员的工作量，解决了传统测绘技术中存在的弊端。该技术是以无人机为平台，搭载多镜头专业相机，通过规划航线，可以实现对目标区域的全覆盖影像采集。核心原理包括多视角影像采集、数据处理与三维重建和成果输出。多视角影像采集中，垂直相机类似于传统航拍的正射影像，用于反映地物的顶部形态。倾斜相机会捕捉地物侧面纹理，通过多视角的叠加，可以完整地记录地物的顶部和侧面的三维形态 [1]。通过空中三角测量密集匹配，实现数据处理，构建三维模型，最终可输出多种工程所需的数据成果，包括数字正摄影像、数字高程模型、高精度三维点云等。

2.2 优势

低空倾斜摄影测量技术在水库工程项目的测量中发挥着显著的优势，可以显著提升工作效率。与传统测绘相比，在外业测绘中单日便可完成 10~50km^2 的数据采集，而传统测绘则需要数周甚至更久且受制于项目场地的植被覆盖密度。自动化建模软件的支持减少了 80% 的人员干预，提高数据处理的精度和效率。其次，可以实现高精度与细节的捕捉，满足工程级精度要求。无人机飞行高度低影像分辨率精确度高，三维模型平面精度可达 1:500，甚至 1:200 的比例尺要求，高程精度可控制在 10cm 以内，满足水库勘察、坝体选址设计等各方面的需求。第三，该技术能够实现三维可视化分析。低空倾斜摄影测量技术生成三维模型，完整地还原水库工程项目的地形地貌、周边建筑物、坝体结构等基本情况，结合专业分析工具，可以在三维模型上进行量测剖面分析，可以为设计方案提供重要依据。第四，低空倾斜摄影测量技术还具有低成本的优势。与传统的测绘技术相比，该技术的测量设备成本比较低，操作简单，不需要投入大量的人力和物力。第五，多源数据融合优势。低空倾斜摄影测量技术可以使用相机获取高分辨率图像，同时与其他遥感技术结合，例如热红外、激光雷达等，可以有效融合多源数据。热红外技术探测地面的热量分布，监测植被的健康情况、水资源的质量。激光雷达技术可以测量地面三维结构，获得高精度的地形数据和高层信息，有效结合，获得更加全面丰富的地理信息，提高数据分析的准确性和可靠性。具体工作流程详见图 1 所示。

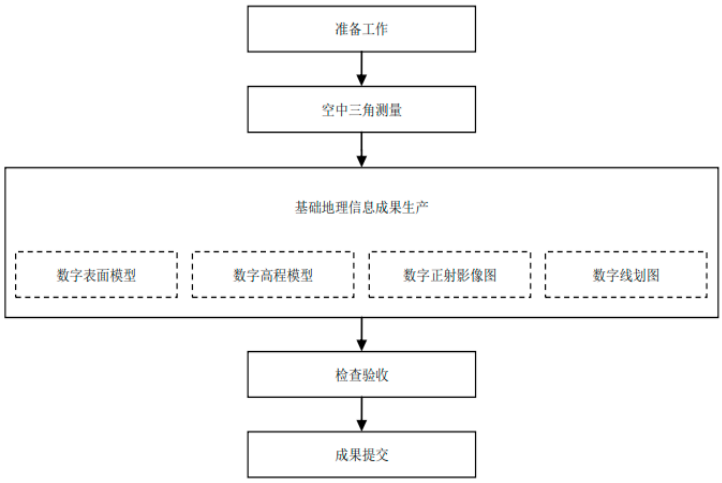

图 1 工作流程图

3 水库工程项目中低空倾斜摄影测量技术的运用方法

3.1 前期准备

在水库工程的项目中，应用低空倾斜摄影的测量技术，要做好前期准备工作。首先快速获取水库区域、料场、淹没区、坝址等各个区域的高分辨率数字正摄影相图，数字高程模型和数字表面模型，生成 1:500~1:2000 比例尺地形图。通过三维实景模型，辅助识别滑坡体、断裂带等一些不良地质现象，评估库岸的稳定性。整合全面资料，开展分析工作，可以为后续的航线规划与设备选型提供依据。其次，优化设备选型。可以根据测区范围选择合适的无人机平台。例如在小范围区域监测可选择多旋翼无人机，在大范围库区测绘中使用固定翼无人机。标配五镜头相机，分辨率≥ 2000 万像素，可以实现细节的高效捕捉。加入辅助设备，例如 RTK 基站、地面点测量标志等，解决测绘过程中的问题。第三，开展航线规划工作。基于前期测绘了解的地形和地质结构分布情况，使用专业软件设计无人机的航线。设计方案时要明确多项关键参数，例如航高决定了地面分辨率，根据精度需求进行计算。通常要求航向重叠 70%~80%，旁向重叠 60%~70%，可以提高三维建模的质量 [2]。整体航线的规划要覆盖整个特区，考虑到地形的起伏、禁飞区、安全因素等多项内容，优化整体设计。还要考虑多角度覆盖，实现对坝体、岸坡等垂直和倾斜结构的测绘工作，因此要增加环绕航线或者倾斜补拍的方式。最后还需要进行像控点的布设，以确保绝对精度，像控点的布设需根据地形起伏，及库区形状均匀布设，在重点区域要加密布设。水域区域布设带反射标志的浮标控制点。使用 RTK 或者全站仪精确地测量其三维坐标。

3.2 外业数据采集

进入外业数据采集阶段，加强整个过程的质量控制工作，便于提高测绘的工作效率。首先，技术人员要控制好无人机的飞行参数，包括飞行速度和曝光间隔。根据测绘区域的地貌特征，确保安全的前提下灵活地调整高度。飞行速度则根据实际的风速状况，适应性调节，理想的范围是 10~20m/s。航线规划采用之字形和骨架式两种模式，便于收集测区内倾斜摄影的测量数据。无人机按照预定的航线进行自动飞行，实时监测飞行状态、传输画面情况，确保覆盖完整，重叠度达标。此外要对特殊区域进行补测。在高陡岸坡的测绘中，无人机沿着高线方向开展阶梯式航线飞行，上下两层航线高差 20~30m，可以解决因为坡度陡峭出现的影像

漏拍情况 [3]。坝体表面例如坝顶栏杆、坝坡防渗墙等一些细节，可以采用低飞近拍的方式，增加垂直视角影像，可以清晰地展示其中的裂缝、沉降缝特征。

3.3 内业数据处理

外业数据采集结束后，需要使用专业软件处理影像数据，可生成满足水库工程需求的不同测绘成果，如：三维模型、地形图等。内业数据处理中首先要进行影像预处理。一，进行影像纠偏。可以使用 ArcGIS 软件在软件中添加需要纠偏配准的影像数据，选择影像处理工具，可以完成纠偏操作 [4]。二，删除模糊遮挡的影响。三，对水域阴影区域的影像进行调度调整，可以减少后期匹配的误差。其次，进行空中三角加密处理。导入照片和 POS 数据，刺入像控点，可以在照片上精准识别并匹配对应的地面像控点。结合控制点约束，优化外方位元素，可以有效控制区域网的平差。生成密集点云，可以保留坝面纹理、岸坡岩石露头等一些细节。

3.4 三维模型构建

无人机获取的航拍资料利用专业软件深度解析，高效处理大量数据可以缩短处理周期。而且能够产生丰富的三维视图，包括 DOM、DSM 以及更加详细的地理信息。DOM 指的是数字正射影像，源自精确的数码照片处理，可以通过数字化微差矫正和拼接技术，呈现出具有 DOM 特征的影像。DSM 指的是数字表面模型。可以提取地面及所有地物的高程信息，用于库容计算淹没分析。在具体的测量工作中，低空倾斜摄影测量技术进行低空飞行，与 BIM 技术结合，利用计算机设备和相关的软件技术形成三维空间实景模式。三维实景建模过程图详见图 2 所示。

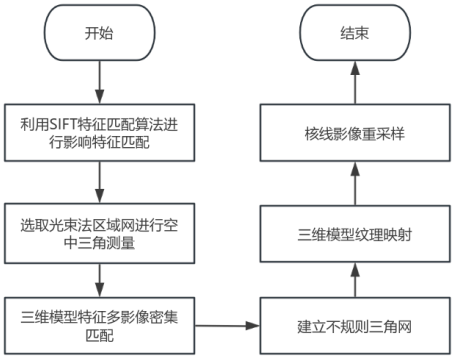

图 2 三维实景建模过程图

4 水库工程项目中低空倾斜摄影测量技术的应用场景

4.1 库区地形测绘与选址

应用低空倾斜摄影测量技术，获取水库周围实际信息，综合评估地形、水文、地质等多种因素，构建三维模型，可以通过量化分析以及可视化模拟的情况，辅助多方案对比分析，优化库区的选址。坝址是水库的核心结构，满足河谷狭窄、基础稳定、上下游落差适宜等各项要求。在三维数据中提取坝址的关键参数，例如岸坡坡度、河谷宽度，构建三维可视化模型，用于模拟分析。库容是水库的核心功能指标，在三维数据支持下，可以实现高精度库容计算和水位淹没范围模拟分析，为方案的设计提供重要依据 [5]。

4.2 施工过程的监测工作

水库工程项目的施工阶段，可以应用低空倾斜摄影测量技术，用于施工监测。获取三维数据，构建三维模型，与设计 BIM 模型对比分析，实时检查坝体轮廓、坝顶高程的施工偏差，指导施工放样调整。在工程项目运行阶段，可以定期采集坝体影像，将两期模型对比分析，计算坝体的位移量，识别其中不均匀成像、裂缝扩张等风险问题，采取恰当的措施。

4.3 库区淹没范围模拟

在水库工程项目规划设计、防洪调度等工作中，要开展库区淹没范围模拟工作，其精度决定了决策的合理性。库区淹没范围模拟的本质是基于地形高程与设定水位的空间叠加分析。因此，通过应用低空倾斜摄影测量技术，获得高精度三维地形数据，做好充足的准备工作。对地形数据进行预处理，剔除其中的非地形要素，避免出现模拟误差。要明确库区原有的自然水域，避免将水域高层误判为陆地高层。基于预处理后的高精度 DEM 结合设定的水位参数，通过高程对比与空间拓展相结合的逻辑，开展淹没范围的模拟设计，构建相关模型，包括平面模型和三维模型两种形式 [6]。将淹没范围叠加到低空倾斜摄影生成的三维模型上，直观地呈现水位上升时淹没区域的拓展方式和路径，使淹没深度和范围可视化。

5 结语

综上所述，低空倾斜摄影测量技术在水库工程项目中的应用十分广泛，且有着突出的技术优点。在具体应用中，技术人员需要优化前期设计，做好航线规划，加强数据采集和处理，从而生成三维模型。可以应用于库区选址、坝体施工监测和淹没范围模拟分析等多个不同场景中，为水库工程项目设计施工提供重要的依据。在低空倾斜摄影测量技术的支持下，获得更高精度的三维数据，解决传统作业中的弊端，提高工作效率。

参考文献

[1] 孙茜. 倾斜摄影测量技术在水库大坝三维精细化建模中的工程应用[J]. 广州建筑,2025,53(5):62-67.

[2] 关健. 无人机倾斜摄影测量在水库中BIM建模的应用分析[J]. 黑龙江水利科技,2024,52(2):114-116.

[3] 张文献. 无人机倾斜摄影测量在水库巡检中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(9):172-174.

[4] 魏华锋. 无人机倾斜摄影测量技术在水库库容计算中的应用[J]. 河北水利,2024(5):46-48.

[5] 袁晨历,杨昆仑. 倾斜摄影测量技术在王家咀水库灌区地形图测绘中的应用研究[J]. 地下水,2020,42(3):109-110,155.

[6] 张亚林. 多旋翼无人机倾斜摄影测量技术在水利工程测量中的应用[J]. 四川水利,2021,42(5):43-46,88.