

水利工程测量中无人机航空摄影测量技术运用分析

宋蔚然

山东中鲁技术服务集团有限公司 山东 菏泽 274000

摘要: 本文围绕无人机航空摄影测量技术在水利工程测量中的应用展开系统分析。首先阐述了该技术的核心原理与作业系统构成,明确其融合航空摄影、惯性导航、三维建模等多项技术的现代化测绘特征。其次从作业灵活性、测绘效率、数据精度三个维度论证了该技术在水利测量中的应用优势。重点分析了前期航线规划、像控点布设采集、影像数据处理与成果优化三项关键作业技术要点。最后结合工程前期地形勘察、施工过程动态监测、运维期隐患排查三个阶段,阐述了该技术的具体应用路径。研究表明,无人机航空摄影测量技术可有效提升水利工程测量的覆盖范围、作业效率与成果精度,为水利工程全生命周期管理提供可靠的技术支撑。

关键词: 水利工程测量; 无人机; 航空摄影测量; 测绘技术; 工程应用

引言: 水利工程测量是工程规划设计、施工建设与运维管理的基础性工作,其数据精度与覆盖范围直接影响工程质量与运行安全。传统人工测量模式受作业效率、地形条件、安全风险等因素制约,难以满足现代水利工程大范围、高精度、全周期的测量需求。无人机航空摄影测量技术凭借低空飞行、自动化采集、高精度建模等优势,已成为水利工程测量领域的重要技术手段。本文从技术原理、应用优势、关键作业技术要点及工程应用四个层面,系统分析无人机航空摄影测量技术在水利工程测量中的实践价值,为提升水利测量技术水平提供参考。

1 无人机航空摄影测量技术核心概述

无人机航空摄影测量技术是依托小型无人驾驶飞行平台,搭载高分辨率数码相机、惯性测量单元(IMU)、GNSS高精度定位模块等专业设备,按照预设航线对目标区域进行连续影像采集,再借助专业数据处理软件完成影像拼接、空三加密、几何校正、三维建模与坐标解析等处理流程,最终生成数字正射影像图(DOM)、数字表面模型(DSM)、数字高程模型(DEM)、大比例尺地形图等测绘成果的现代化测绘技术。该技术深度融合了航空摄影测量、计算机视觉图像处理、卫星导航定位、三维实景建模等多项核心技术,区别于传统人工单点测量模式,可实现大面积、高密度、全域化的空间数据采集,显著提升测绘工作的覆盖范围与数据完整性^[1]。

在水利工程测量作业中,常用设备以多旋翼民用测绘无人机为主,具备垂直起降、低空慢速飞行、定点悬停稳定等飞行性能优势,不受复杂场地起降条件限制,完全适配水利工程施工区域地形起伏大、植被覆盖密、

交通不便等野外作业环境。整套作业系统主要分为飞行平台、影像采集载荷、地面数据处理系统三大核心模块,飞行平台负责航线执行与姿态控制,影像采集载荷负责获取高重叠度倾斜影像,地面处理系统负责空三解算与成果生产,各模块协同运作,保障测绘数据的高精度采集与高效处理。

2 无人机航空摄影测量技术在水利测量中的应用优势

2.1 作业灵活性强,适配复杂水利作业环境

水利工程作业区域多存在地形复杂、地势险要、人员通行困难的特点,山区河道、库区边坡、滩涂湿地等区域无法开展大规模人工实地测量,传统大型航空测绘设备起降条件要求高、飞行高度大,难以完成精细化低空测绘作业。而测绘无人机体积小、重量轻,无需专用起降场地,可在狭小空地、简易岸边快速起降,能够灵活调整飞行高度、飞行速度与航线,针对狭窄河道、陡坡堤坝、库区死角等特殊区域开展低空精细化拍摄。同时无人机可实现远程操控作业,作业人员无需进入危险区域,从根本上规避了野外测绘的安全风险,完美适配水利工程各类复杂、高危作业场景^[2]。

2.2 测绘效率高,缩短工程测量周期

传统水利工程测量需要作业人员逐点、逐段实地采集数据,大范围库区、河道测量往往需要数天甚至数周时间,且后期数据整理、图纸绘制工作量极大。无人机航空摄影测量可实现自动化航线飞行,单次飞行即可完成大面积区域的影像采集,数百平方公里的测绘区域可在短时间内完成全覆盖数据采集。同时配套的数据处理软件可自动完成影像拼接、畸变校正、点位匹配等工作,快速生成标准化测绘成果,大幅减少人工数据处理工作量。相较于传统测绘模式,无人机航测技术可将整

体测量作业效率提升数倍,有效缩短水利工程前期勘察、中期施工复测、后期运维监测的工作周期。

2.3 数据精度高,满足精细化测量需求

现代化测绘无人机搭载高像素专业航摄相机与高精度定位模块,结合像控点布设技术,可有效消除影像畸变、飞行姿态偏差带来的误差,平面定位精度、高程精度均可满足中小型、大型水利工程的测量规范要求。在低空飞行作业模式下,无人机采集的影像清晰度极高,可精准捕捉地面微小地形起伏、沟渠走向、堤坝裂缝、植被覆盖等细节信息。通过数据处理生成的三维地形模型、正射影像图、等高线数据,具备极强的真实性与精准性,能够满足水利工程地形分析、工程量计算、边坡监测、河道演变分析等精细化作业需求,规避了传统人工测量单点数据离散、细节缺失的问题。

3 水利工程中无人机航空摄影测量关键作业技术要点

3.1 前期航线规划与参数设置

航线规划是保障无人机航测数据完整性与精度的基础环节,作业前需结合水利工程测量区域的地形地貌特征、测量范围、精度等级要求,通过专业航测规划软件完成航线设计与参数预设。针对河道、堤坝等长条状水利区域,优先采用平行往复式航线模式,沿河道走向布设主航带,确保区域全覆盖无死角;针对库区、滩涂等大面积面状区域,采用网格化航线布局,保证影像覆盖均匀。同时需合理设置飞行高度、飞行速度、影像重叠度等关键参数,航向重叠度一般控制在65%至80%之间,旁向重叠度控制在30%至50%之间,确保相邻影像间具有足够的公共区域,避免出现影像漏洞与拼接断层。飞行参数需充分适配地形特点,地形起伏较大的山区水利区域,需开启地形跟随飞行模式,使无人机随地面高程变化自动调整飞行高度,保证拍摄距离均匀一致,确保影像数据统一精准,为后期空三解算与成果生产奠定基础^[3]。

3.2 像控点布设与采集作业

像控点布设是提升航测成果精度的核心环节,直接决定三维建模精度与地形数据准确性。在水利工程野外作业中,需选择视野开阔、无植被遮挡、地形稳固、地面辨识度高的点位布设像控点,优先选取河道岸边、堤坝平台、空地拐点、桥梁两端等标志性位置,确保控制点在影像中清晰可辨。像控点布设需遵循均匀分布原则,点位应覆盖测区四角及中部区域,避免集中布设于单一区域。大范围测量区域须加密布设点位,布设密度根据测区面积与精度等级综合确定;地形复杂区域如山谷、峡谷等高差较大地带,需适当增加控制点数量,有效抵消地形起伏带来的测量误差,保障高程数据的一致

性。点位布设完成后,须采用RTK或全站仪等高精度定位设备采集像控点平面坐标与高程数据,并在地面设置醒目标志,做好编号与坐标记录。采集数据需经校核无误后方可用于后期影像校正与空中三角测量解算,有效降低飞行姿态偏差、大气折光等外界因素造成的系统误差,保障航测成果精度满足工程测量规范要求。

3.3 影像数据处理与成果优化

无人机野外采集的原始影像存在镜头畸变、色彩偏差、拍摄角度偏差等问题,无法直接用于工程测量,须通过专业航测数据处理软件完成系统化处理。核心处理流程包括影像数据导入、镜头畸变校正、影像自动拼接、空中三角测量加密、像控点匹配、密集点云生成、三维实景建模、数字正射影像生成等步骤,各环节须严格按照技术规范依次执行。处理过程中需逐一筛查原始影像,剔除模糊失焦、曝光异常、遮挡严重的无效影像,保留清晰完整的有效数据。在空三解算阶段,需精准匹配像控点坐标数据,优化空中三角测量运算参数,修正因地形起伏、飞行姿态偏差造成的影像几何变形,提升解算精度。针对水利工程测量需求,可定向生成等高线图、数字高程模型、河道纵横断面图、全域数字正射影像图等专项测绘成果。同时对三维模型存在的漏洞、纹理偏差、接缝错位等问题进行人工修正优化,确保最终测绘成果准确贴合工程实际地形地貌,满足工程设计与施工测量的精度要求^[4]。

4 无人机航空摄影测量技术在水利工程测量中的具体应用

4.1 工程前期地形地貌勘查测量

水利工程立项规划、方案设计阶段,需要全面、精准的区域地形地貌数据作为核心依据,传统人工勘查方式受限于作业效率与覆盖范围,难以快速获取全域立体化地形信息。无人机航空摄影测量技术可快速完成工程建设区域及周边全域地形勘查,通过低空航摄采集完整的地表高分辨率影像数据,经专业软件处理后生成高精度数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、三维实景地形模型等测绘成果。依托上述测绘成果,技术人员可清晰掌握区域内地势起伏特征、河道走向与宽度、沟渠分布格局、植被覆盖状况、滩涂范围边界等基础地理信息,精准分析地形地貌条件对堤坝选址建设、河道综合治理、库区施工布局的制约因素与影响程度。同时可基于三维地形模型进行可视化分析,辅助评估工程方案的可行性与施工难度,为水利工程选址论证、方案比选规划、施工总体布局提供直观、精准的数据支撑,有效避免因地形数据不全或精度不足导致的设计偏

差与方案调整。

4.2 水利工程施工过程动态测量监测

水利工程施工周期长、施工范围广,施工过程中地形地貌与工程结构持续发生变化,需实时动态测量监测保障施工精度与施工安全。无人机航空摄影测量技术可在土方开挖、堤坝填筑、河道疏浚等关键施工环节中,定期开展航测作业,采集施工区域实时高分辨率影像与三维地形数据,并与施工前测绘成果进行叠加对比分析,精准核算土方开挖量、堤坝填筑量、河道疏浚量等工程量数据,动态掌握施工进度与实际偏差,及时纠正施工偏差。同时可对堤坝边坡、基坑边壁、围堰结构、临时挡水设施等关键施工部位进行高精度精细化监测,通过多时相航测影像对比与三维模型差异分析,及时发现边坡沉降位移、土体滑坡滑移、结构变形开裂、基坑收敛变形等安全隐患,第一时间向施工管理部门提供预警信息,为施工决策调整提供及时数据支撑。无人机动态监测无需中断施工作业,不受场地条件与施工工序限制,可实现不间断、全覆盖的施工过程监测,大幅提升监测频次与数据连续性。通过建立施工期动态监测数据序列,可完整记录工程建设全过程的地形变化与结构演变,为施工质量管控与安全管理提供精细化、量化的技术支持^[5]。

4.3 水利工程运维与隐患排查测量

水利工程投入运行后,受水流冲刷、泥沙淤积、冻融循环、地质变化等多重因素影响,河道淤积、堤坝裂缝、边坡冲蚀、库区岸坡坍塌等问题会持续发生,直接威胁工程运行安全与使用寿命。常规人工排查方式受限于作业效率与覆盖范围,难以全面发现细微隐患与全域性结构损伤,存在较大的监测盲区。无人机航空摄影测量技术可定期对河道、堤坝、库区、渠道、溢洪道等水利设施开展全域巡检测量作业,通过高分辨率航摄影像与三维地形模型进行多时相对比分析,精准排查堤坝表面裂缝走向与宽度、坡面破损范围与程度、河道淤积厚

度与分布、岸坡变形位移量等安全隐患,识别肉眼难以发现的细微结构损伤。同时可建立长期动态监测机制,持续跟踪河道演变趋势、库区地形变化、水土冲刷状况,积累连续多时相地形数据序列,为水利工程运维养护决策、隐患分级治理、设施修缮加固提供精准的量化数据支撑。通过定期航测数据与历史数据的对比分析,可评估工程结构的稳定性变化趋势,提前预判潜在风险,制定针对性养护方案,保障水利工程长期稳定安全运行。

结束语

无人机航空摄影测量技术凭借作业灵活性强、测绘效率高、数据精度优等核心优势,已在水利工程测量领域展现出显著的应用价值。从前期地形勘察到施工动态监测,再到运维隐患排查,该技术贯穿工程全生命周期,有效解决了传统测量模式覆盖范围有限、作业效率偏低、安全风险较高等突出问题。在实际应用中,需严格把控航线规划、像控点布设、数据处理等关键技术环节,确保测绘成果满足工程精度要求。随着无人机硬件性能持续提升与数据处理算法不断优化,该技术将在水利工程智能化测量与精细化管理中发挥更大作用,为水利基础设施安全运行提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]於文旭.无人机倾斜摄影测量在水利工程地形测绘中的精度分析与应用改进[J].科学技术创新,2026(7):17-20.
- [2]徐海涛.水电站安全巡检中无人机倾斜摄影测量技术的运用分析[J].中国新技术新产品,2026(8):133-135.
- [3]欧高清.地形图测绘中无人机倾斜摄影测量技术运用分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)自然科学,2026(2):041-044.
- [4]费明石.无人机技术在金属矿山测量中运用分析[J].中国金属通报,2026(5):156-158.
- [5]胡智华.水利工程测量中数字化测绘技术运用分析[J].新潮电子,2026(8):217-219.