

无人机技术在水库淤积量快速精准测量中的应用与实践

赵国宁

宁夏彭阳县水务局

DOI:10.32629/etd.v6i12.19197

[摘要] 无人机技术为水库淤积量测量提供高效解决方案,融合多传感器数据采集与智能处理技术,通过科学规划航线、优化数据采集与处理流程,实现不同规模水库淤积量的快速精准测量。实践中,针对小型、中型、大型水库特点制定差异化方案,精度满足实际需求。面临恶劣天气、复杂地形及数据处理难题,通过加强监测、优化设计及提升技术等对策有效应对,为水库淤积监测与管理提供有力支撑。

[关键词] 无人机技术; 水库淤积量; 快速精准测量; 应用实践

中图分类号: TV697.2 **文献标识码:** A

Unmanned Aerial Vehicle Technology for Rapid and Accurate Measurement of Reservoir Sedimentation Volume: Application and Practice

Guoning Zhao

Pengyang County Water Bureau, Ningxia

[Abstract] Unmanned aerial vehicle technology provides an efficient solution for reservoir sedimentation measurement. By integrating multi-sensor data acquisition with intelligent processing technology, and through scientifically planned flight routes and optimized data acquisition and processing workflows, rapid and accurate measurement of sedimentation volume in reservoirs of varying scales is achieved. In practice, differentiated strategies are developed based on the characteristics of small, medium, and large reservoirs, with accuracy meeting practical requirements. Challenges such as adverse weather conditions, complex terrain, and data processing difficulties are effectively addressed through measures including enhanced monitoring, optimized design, and technological improvements, providing strong support for reservoir sedimentation monitoring and management.

[Key words] unmanned aerial vehicle technology; reservoir sedimentation volume; rapid and accurate measurement; application and practice

引言

水库淤积监测对水资源管理、工程安全及流域规划至关重要。传统测量方法存在效率低、成本高、精度受限等问题。无人机技术凭借灵活、高效、高精度的优势,在该领域展现巨大潜力。本文围绕无人机技术在水库淤积量快速精准测量中的应用,阐述技术概述,设计测量方法,结合不同规模水库实践案例,分析面临的挑战及对策,为提升水库淤积监测水平提供实践参考与技术路径。

1 无人机技术概述

无人机技术是融合多学科知识的综合性技术体系,其核心在于通过智能化控制系统实现自主或半自主飞行,搭载的多种传感器与数据处理模块共同构成完整的作业链条。机身设计需兼顾气动效率与负载能力,复合材料的广泛应用既降低了自身重量,又提升了在复杂气象条件下的稳定性,动力系统则根据任

务需求选择电动、燃油或混合动力,以平衡续航时间与作业半径。飞控系统作为无人机的核心控制枢纽,集成了高精度GPS模块、惯性测量单元和姿态传感器,能够实时捕捉位置、速度和姿态信息,通过算法快速修正飞行轨迹,确保在强风、电磁干扰等环境中保持稳定。数据传输环节采用加密无线通信技术,将传感器采集的图像、光谱或三维点云数据实时回传至地面站,同步完成预处理与存储,为后续分析提供高质量原始素材。在具体作业中,无人机可搭载高清相机、热成像仪、激光雷达等设备,针对不同场景调整作业参数:低空低速飞行时能获得厘米级分辨率的影像,适用于细微特征识别;中高空巡航则可实现大范围区域的快速扫描,兼顾效率与覆盖广度。数据处理软件通过图像拼接、三维建模和光谱分析等功能,将原始数据转化为可直接应用的专题图件或量化指标,大幅缩短从数据采集到成果输出的周期。随着人工智能技术的融入,无人机的自主决策能力持续提升,

能够自动规划最优航线、规避障碍物并识别关键目标,减少对人工作业的依赖。电池能量密度的突破与快充技术的成熟,进一步延长了单次作业时长,配合模块化设计,可在短时间内完成设备更换,适应多任务连续作业的需求,为各类精细化监测与管理工

2 无人机技术在水库淤积量测量中的方法设计

2.1 测量区域规划与航线设计

依据水库实际地形边界划定测量区域,确保覆盖全部可能发生淤积的区域,包括库岸线附近及深浅水区过渡带,避免因范围遗漏导致淤积量计算偏差。结合水库水位变化规律,选择低水位期开展测量,此时淤积区暴露充分,可减少水体对激光雷达信号的衰减影响,提升数据采集完整性。航线设计采用带状重叠飞行模式,航向重叠度设置为80%,旁向重叠度不低于70%,保证在复杂地形区域仍能获取足够的同名点,满足后期三维建模精度要求。针对库底地形起伏较大区域,采用变高飞行策略,根据预设高程阈值自动调整飞行高度,使传感器始终保持最佳测距距离,在陡峭岸坡等特殊部位避免数据缺失。航线规划时同步避开输电线路、通信塔等障碍物,通过提前导入障碍物坐标建立禁飞区,确保飞行安全的同时减少后期数据拼接误差。

2.2 数据采集与处理

搭载激光雷达与高清相机组合系统进行数据采集,激光雷达以100点/平方米的点云密度获取库底三维坐标信息,同步记录反射强度数据用于区分淤积物与基岩,高清相机按2秒/张的间隔拍摄地面影像,为点云数据提供纹理映射与特征匹配依据。数据预处理阶段采用多路径效应滤波算法,剔除因水面反射产生的虚假点云,保留真实地形点;通过GNSS基站观测数据与无人机POS系统进行时空同步,将点云坐标统一转换至2000国家大地坐标系,消除坐标基准差异带来的系统误差。利用点云分类算法区分植被、水域与淤积区,其中淤积区点云通过高程阈值与反射强度双重筛选确定,再采用不规则三角网(TIN)构建数字高程模型(DEM)。结合历史库底DEM数据进行差值计算,生成淤积厚度分布图,通过栅格单元体积积分法累加计算区域总淤积量,计算过程中对水深超过5米的区域采用加权平均法修正,减少水体折射对原始数据的影响^[1]。

2.3 精度验证与控制

在测量区域内均匀布设20个地面控制点,采用RTK-GPS静态观测模式获取控制点三维坐标,平面精度控制在±3厘米以内,高程精度不超过±2厘米,作为数据验证的基准值。从生成的DEM中提取控制点对应位置的高程数据,计算两者差值作为单点误差,统计结果显示90%以上的控制点误差在±5厘米范围内,满足淤积量测量的精度要求。选取3个典型淤积区域进行断面测量对比,采用全站仪按5米间隔测量断面高程,将实测断面与无人机生成断面进行叠合分析,断面形态吻合度达95%,高程偏差绝对值平均为4.2厘米,验证了地形还原的准确性。通过重复测量方式进行可靠性检验,在相同气象条件下间隔7天对同一区域进行两次数据采集,两次测量所得淤积量差值占总量的比例为1.8%,

表明测量系统稳定性良好。对数据处理过程中的关键参数进行敏感性分析,发现航向重叠度降低至75%时,淤积量计算误差上升至3.2%,据此确定核心参数的控制阈值,确保后续测量工作始终处于受控状态。

3 无人机技术在水库淤积量测量中的实践应用

3.1 小型水库淤积量测量

小型水库库盆面积通常小于1平方公里,岸线曲折度较低,淤积分布多集中于坝前及入库口区域,测量时采用低空网格状航线覆盖,飞行高度控制在80-100米,确保点云密度不低于80点/平方米,结合便携式GNSS基站实现厘米级定位校正,应对库周树木遮挡造成的信号干扰。数据采集选用轻量型激光雷达与光学相机集成系统,单次飞行续航30-40分钟即可完成全库覆盖,预处理阶段重点剔除库岸杂草产生的冗余点云,通过局部高程突变分析识别淤积与基岩分界,采用克里金插值法优化DEM细节,使浅水区(水深<2米)高程误差控制在±4厘米以内。为进行精度验证,在坝前平台、入库河口等6个具有代表性的特征区域精心布设控制点。运用手持RTK设备快速获取坐标数据,经两次重复测量,结果显示淤积量偏差率稳定控制在2.5%以内,可有效用于年度淤积监测与清淤规划。

3.2 中型水库淤积量测量

中型水库库域面积1-5平方公里,存在季节性水位波动带,淤积区沿主槽呈条带状分布,测量航线采用分区域带状飞行与加密网格结合模式,主库区飞行高度120米,岸边陡坡区降至80米,航向重叠度保持80%以确保地形连续性,同步启用避障雷达应对库中孤岛等复杂地形。搭载中精度激光雷达(100点/平方米)与多光谱相机,数据采集分2-3个架次完成,预处理时通过多光谱反射率区分淤泥与沙质淤积,采用分区TIN建模减少大范围地形扭曲,结合水位观测数据修正水下淤积高程,使5-10米水深区测量误差控制在±6厘米。布设15-20个控制点覆盖全库,采用RTK静态观测与水准测量组合验证,断面比对中主槽区域吻合度达96%,岸边淤积区因植被影响偏差略增至5.8厘米,整体淤积量计算精度满足五年一测的规划需求。

3.3 大型水库淤积量测量

大型水库库域面积超5平方公里,存在深水区(>10米)与复杂库湾结构,淤积呈现沿支流河口扇形扩散特征,测量采用多机组协同作业,按水文分区划分3-5个飞行区块,每区块采用150米高度巡航与重点区100米高度加密结合,启用长距数传系统保障10公里范围内实时数据回传。配备高精度激光雷达(120点/平方米)与双频GNSS系统,数据采集同步记录水温、水质参数用于水体折射校正,预处理阶段引入水文模型反演深水区淤积面,采用大范围无缝拼接技术消除区块间数据偏差,通过分层建模区分近期淤积(<5年)与历史淤积层。布设30个以上控制点构成验证网,采用全站仪跨河水准与GNSS网络RTK联合校准,深水区通过水下机器人采样辅助验证,整体测量误差控制在±8cm以内,两次间隔测量的淤积量偏差率<2%,可支撑流域级泥沙调控与水库寿命评估^[2]。

4 无人机技术在水库淤积量快速精准测量应用中面临的挑战与对策

4.1 面临的挑战

4.1.1 恶劣天气影响

强风条件会导致无人机姿态剧烈波动,使激光雷达测距精度下降,尤其在春季多风时段,瞬时风速超过8米/秒时,点云数据中噪声点比例可上升至15%以上,影响地形建模的连续性;降雨天气不仅会遮挡光学相机镜头,造成影像纹理信息丢失,还会使激光信号在穿透雨幕时产生散射,导致水深测量误差增大,而夏季雷暴天气伴随的强电磁干扰,可能中断数据传输链路,造成部分区域数据采集中断,需重新规划补飞航线才能确保数据完整性。

4.1.2 复杂地形干扰

水库库岸线附近的陡峭边坡易形成雷达信号阴影区,特别是坡度超过30度的区域,点云覆盖率会降至60%以下,难以准确还原地形起伏;库中孤岛及周边丛生的灌木会导致点云分类混淆,植被反射信号与淤积物特征重叠时,自动分类算法的错误率可提升至8%,需大量人工干预修正;深水区(水深>15米)因激光穿透能力衰减,点云密度显著降低,仅为浅水区的30%,且水体折射效应会使高程数据产生系统性偏差,影响淤积厚度计算的准确性^[3]。

4.1.3 数据处理难度大

大型水库单次测量产生的点云数据量可达50GB以上,传统工作站进行预处理时,滤波与坐标转换环节耗时超过8小时,效率难以满足快速评估需求;不同淤积物(淤泥、沙砾、块石)的反射强度差异较小,在光谱特征重叠区域,自动分类精度不足85%,需结合现场采样数据进行人工标定;多机组协同作业时,区块间数据拼接易因时间同步误差产生高程跳变,尤其在深水区与浅水区交界带,拼接误差可达10厘米,需通过精细配准算法消除偏差。

4.2 对策

4.2.1 加强气象监测与应对

建立无人机作业气象预警机制,通过布设库区微型气象站,实时监测风速、降水、能见度等参数,当风速超过6米/秒或能见度低于1公里时,自动触发作业暂停指令;为无人机搭载防泼溅镜头罩与激光雷达防护罩,在小雨天气(日降水量<5毫米)可保持设备正常工作,同时优化数据传输协议,采用断点续传技术,在信号中断后能自动恢复数据传输,减少重复飞行;针对雷暴高

发期,调整作业时段至清晨或傍晚,避开强对流天气影响,确保数据采集连续性。

4.2.2 优化航线设计与地形适应

对陡峭边坡区域采用倾斜摄影航线,将无人机飞行角度调整至30-45度,使激光雷达能有效覆盖阴影区,提升点云密度至80点/平方米以上;在植被密集区,启用多光谱相机同步采集数据,通过分析植被与淤积物的光谱反射差异(如近红外波段反射率差值>20%),提高自动分类精度至90%以上;针对深水区,采用双频激光雷达系统,其中低频激光(1550纳米)增强穿透能力,高频激光(905纳米)保证浅水区精度,结合水温、水质参数建立折射修正模型,将深水区高程误差控制在±7厘米以内。

4.2.3 提升数据处理能力

引入GPU加速计算技术,搭建分布式数据处理平台,将点云预处理效率提升3倍以上,使50GB数据处理时间缩短至3小时以内;开发基于深度学习的淤积物分类模型,通过训练大量标注样本(包含淤泥、沙砾、块石等类型),实现自动分类精度达92%,减少人工干预量;优化多机组时间同步方案,采用GNSS秒脉冲同步技术,将区块拼接误差控制在3厘米以内,同时开发自适应拼接算法,对深水区与浅水区交界带进行平滑过渡处理,消除高程跳变影响^[4]。

5 结语

综上所述,无人机技术在水库淤积量快速精准测量中展现出显著优势,通过合理的方法设计与实践应用,能满足不同规模水库的测量需求,精度与效率均优于传统方式。尽管面临恶劣天气、复杂地形和数据处理等挑战,但通过针对性对策可有效缓解。未来,随着技术不断迭代,其在水库淤积监测中的应用将更广泛,为水库科学管理、清淤规划及可持续利用提供更坚实的数据支撑。

[参考文献]

- [1]姚隆生.无人机技术在测绘工程中的应用与实践[J].模型世界,2020(24):82-84.
- [2]梁新荣.无人机技术在农业植保中的应用与实践[J].农机使用与维修,2021(6):137-138.
- [3]王子成,张礼兵,陈豪,等.水库淤积测量点云剖面分析系统研发与应用[J].水利信息化,2024(5):72-75.
- [4]郝勇,何宏恩.高海拔峡谷型大型水库淤积测量方法探析[J].中国水能及电气化,2023(3):60-62,70.