

基于无人机航测的三维建模在南水北调工程运维中的应用研究

刘君晓

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450018

摘要: 无人机航测依托先进飞行平台与遥感设备,可自动化采集高精度地理信息。结合三维建模技术,能全面还原南水北调工程空间特征。本文详细阐述无人机航测与三维建模技术基础,剖析工程运维需求与痛点,探讨该技术在航测方案设计、建模流程优化及运维各环节的具体应用路径,并提出技术优化方向,为提升南水北调工程运维水平提供有力技术支持。

关键词: 无人机航测; 三维建模; 南水北调工程; 工程运维; 技术优化

引言: 南水北调工程规模宏大,其运维工作涉及输水安全、工程完好及水质保障等多方面,面临线路长、构筑物复杂等挑战。传统运维技术存在效率低、数据碎片化等局限,难以满足工程规模化、精细化运维需求。无人机航测与三维建模技术凭借高效、精准等优势,在工程运维领域展现出巨大潜力,深入研究其应用对保障工程稳定运行具有重要意义。

1 无人机航测与三维建模技术基础

1.1 无人机航测技术运行原理

无人机航测技术依托无人驾驶飞行平台,集成遥感探测设备、无线电遥控系统及机载程控模块,实现对目标区域的自动化、高精度影像与地理信息采集^[1]。飞行平台可根据作业需求选用固定翼或多旋翼机型,搭配全幅测绘相机、激光雷达等负载设备,通过预设航线完成数据采集任务。地面站航线规划软件可精准设置航高、飞行速度、影像重叠度等关键参数,同时实时监测飞行状态,保障作业安全性与数据完整性。其运行核心在于通过多视角影像采集,结合RTK定位技术获取影像POS信息,为后续三维建模提供带有精准地理坐标的原始数据支撑。影像采集过程中,垂直拍摄获取地物顶部信息,倾斜角度拍摄捕捉侧面纹理,多维度数据结合可全面还原目标区域空间特征,满足工程运维所需的精度要求。

1.2 三维建模核心技术流程

三维建模核心技术流程围绕数据处理与模型构建逐步推进,形成完整的技术闭环。首先进行数据预处理,对无人机航测获取的原始影像进行分类整理,剔除无效影像,对齐POS数据并校正时间戳误差,确保数据一致性。随后开展空中三角测量,通过算法提取影像重叠区域特征点,进行同名点匹配与平差计算,生成稀疏点云

并刺入控制点,保障模型坐标精度。基于稀疏点云进行密集点云重建,补充地物细节信息,再通过三角网格构建形成模型基本框架。后续进行纹理映射,根据三角面法线与影像夹角选择最优纹理,提升模型真实感,最后通过模型优化消除悬浮物、破洞等缺陷,完成建模全过程。整个流程可通过专业建模软件实现高度自动化处理,无需人工过多干预,既能提升建模效率,又能保证模型精度与完整性。

1.3 无人机航测与三维建模的技术适配性

无人机航测与三维建模的技术适配性体现在数据采集与处理的全流程衔接,两者的协同运作是实现高精度实景建模的关键。无人机航测的负载设备选型与航线参数设置,直接决定三维建模的原始数据质量,合理搭配飞行平台与传感器,可满足不同建模精度需求。航测过程中设置的航向与旁向重叠度,为空中三角测量的特征点匹配提供保障,减少建模过程中的细节缺失与精度偏差。建模软件可直接兼容无人机航测输出的影像与POS数据,实现数据无缝导入与处理,降低数据格式转换带来的误差。同时,无人机航测的高效数据采集能力,可快速获取大范围区域数据,匹配三维建模的自动化处理流程,大幅提升建模效率。两者的技术适配的核心在于参数协同优化,通过调整航测参数与建模流程,实现数据采集与模型构建的精准对接,为工程运维场景提供高质量的三维模型支撑。

2 南水北调工程运维的核心需求与技术痛点

2.1 南水北调工程运维的核心内容

南水北调工程运维围绕输水安全、工程完好及水质保障展开,覆盖干线渠道、渡槽、倒虹吸、泵站等各类构筑物的全生命周期管理。输水系统运维聚焦渠道防

渗、边坡稳定及输水能力维持,定期开展渠道清淤、衬砌层修复,防范渗漏、坍塌等隐患^[2]。构筑物运维针对渡槽、倒虹吸等关键设施,重点监测结构沉降、裂缝发展及构件损耗,及时开展加固与维护作业。泵站运维侧重设备运行状态管控,包括水泵、电机等核心设备的日常巡检与维护,保障输水动力稳定。水质运维贯穿整个输水过程,通过水质监测、污染源防控等措施,确保输水水质符合国家饮用水标准,同时兼顾工程周边环境维护,实现工程运维与生态保护的协同推进。

2.2 传统运维技术的应用局限

传统运维技术以人工巡检、常规监测为主,难以适配南水北调工程线路长、覆盖广、构筑物类型复杂的运维特点。人工巡检效率低下,受地形、气候等自然条件限制,无法实现大范围、高频次的全面排查,易遗漏隐蔽性隐患。常规监测技术多采用单点监测模式,监测数据碎片化,难以实现对工程整体运行状态的全面感知与精准研判。传统监测手段数据更新滞后,无法及时捕捉隐患发展趋势,导致运维决策缺乏时效性。此外,传统运维技术对复杂构筑物的监测精度不足,难以满足高风险区域的运维管控要求,且人工干预过多易产生操作误差,进一步影响运维质量与效率,无法适配工程规模化、精细化运维的发展需求。

2.3 三维建模技术在运维中的应用适配需求

三维建模技术在南水北调工程运维中的应用适配,需紧密结合工程运维核心内容与传统技术局限,聚焦精准化、高效化运维目标。针对工程构筑物分布分散、结构复杂的特点,需通过三维建模实现各类设施的可视化呈现,清晰还原构筑物空间结构与关联关系,为运维巡检、隐患排查提供直观支撑^[3]。结合传统监测数据碎片化问题,需实现三维模型与监测数据的无缝衔接,将分散的监测数据整合至模型对应位置,实现运维状态的一体化管控。基于隐患排查与修复需求,需通过三维模型精准定位隐患位置、分析隐患发展态势,为修复方案制定提供精准的数据支撑。同时,适配工程规模化运维需求,需通过三维建模提升运维流程的自动化水平,减少人工干预,提升运维效率与质量,实现运维工作从被动处置向主动防控的转变。

3 无人机航测三维建模在南水北调工程运维中的应用路径

3.1 工程运维场景下无人机航测方案设计

南水北调工程线路绵长且场景多样,不同场景对无人机航测有着差异化需求。在渠道区域,渠道蜿蜒曲折,两侧地形复杂。为精准获取渠道及周边信息,需依

据渠道走向规划“蛇形”飞行航线,保证无人机能完整覆盖渠道及一定范围缓冲地带,捕捉渠道边坡的细微变化、潜在渗漏迹象等。对于渡槽这类高空跨越结构,鉴于高度与跨度较大,采用分层递进式飞行。先以较高高度获取渡槽整体空间位置及与周边环境关系,形成宏观认知框架;再降低高度,对渡槽关键部位如支座、拱肋等进行细致拍摄,获取高分辨率影像。飞行参数设置要灵活适配场景。在植被茂密区域,为减少树叶遮挡影响,降低飞行高度并增加拍摄频率,提高影像重叠度;在开阔水域,适当提高飞行速度与高度以提升作业效率,同时确保影像清晰度满足建模要求。天气因素也不容忽视,晴天光线充足利于影像色彩还原,阴天光线均匀可减少阴影干扰,大风天气则需评估对飞行稳定性的影响,必要时暂停作业。

3.2 运维导向的三维建模流程优化

传统三维建模流程往往侧重于模型精度与视觉效果,在南水北调工程运维中,需以运维需求为导向对流程进行优化。在数据采集阶段,除获取常规影像数据外,还应增加多光谱、热红外等传感器数据采集,以便更全面监测工程结构与周边环境状态。例如,通过多光谱数据可分析植被生长状况,间接判断渠道边坡稳定性;利用热红外数据能检测建筑物渗漏部位,因渗漏处温度与周围存在差异。数据处理环节,要引入自动化与智能化技术提升效率。采用先进的图像匹配算法自动识别影像中的特征点,减少人工干预,加快空三加密速度。对于点云数据处理,运用机器学习算法自动分类不同地物,快速区分工程结构与自然景观,提高数据处理准确性与速度。模型构建完成后,增加运维信息标注功能,将工程结构病害、设施设备运行参数等信息直接标注在三维模型上,方便运维人员直观查看与分析。

3.3 三维建模在运维各环节的应用落地流程

在工程巡查环节,运维人员借助三维模型可快速定位到需要检查的部位,通过模型缩放、旋转等功能多角度查看结构细节,提前发现潜在问题。发现问题后,直接在模型上标记位置与问题类型,生成巡查报告,为后续维修提供准确信息。在维修决策环节,依据三维模型提供的详细结构信息与病害情况,结合工程历史维修数据与专家经验,利用数据分析软件模拟不同维修方案效果,选择最优方案。维修过程中,将维修进度与实际状况实时更新到三维模型,实现维修过程可视化管理与监控。维修完成后,再次利用无人机航测更新三维模型,对比维修前后模型变化,评估维修效果,为后续运维提供参考依据。

4 无人机航测三维建模应用的技术优化方向

4.1 无人机航测精度提升路径

无人机航测精度是保障三维建模质量与后续工程运维决策准确性的关键因素。在硬件层面,可对无人机搭载的传感器进行升级优化^[4]。选用高分辨率、低畸变的相机,能够捕捉更为清晰、准确的地面影像信息,减少因成像质量问题导致的测量误差。同时,采用高精度的惯性测量单元(IMU)与全球导航卫星系统(GNSS)接收机,可提升无人机飞行姿态与位置测量的精度,为航测数据提供更可靠的基准。在飞行参数设置方面,合理规划飞行高度、速度与航线间距至关重要。降低飞行高度虽能增加影像分辨率,但会扩大飞行盲区与增加作业时间,需综合工程规模与精度要求确定适宜高度。适当减慢飞行速度可提高影像采集的稳定性,避免因快速飞行产生的运动模糊。而科学规划航线间距,确保影像之间有足够的重叠度,以满足三维建模中影像匹配与空三加密的需求,进而提升整体测量精度。数据处理算法的改进也不容忽视。运用先进的影像匹配算法,如基于深度学习的特征匹配方法,能够更精准地识别影像中的同名点,提高空三加密的精度与可靠性。对GNSS/IMU数据进行严密平差处理,削弱观测误差对定位结果的影响,为三维建模提供更精确的空间坐标信息。

4.2 三维建模与运维数据的融合优化

将三维建模数据与工程运维数据进行深度融合,能为运维管理提供更全面、深入的信息支持。在数据格式统一方面,制定统一的数据标准与接口规范,确保不同来源的运维数据,如设备运行参数、结构检测数据等,能够与三维建模数据无缝对接。通过数据转换与映射技术,将各类运维数据准确关联到三维模型的相应位置,实现数据的可视化展示。在数据融合算法上,采用数据挖掘与机器学习技术,挖掘三维建模数据与运维数据之间的潜在关联关系。通过对大量历史数据的分析,建立设备运行状态与结构变形之间的预测模型,提前发现潜在的安全隐患。利用知识图谱技术,构建工程运维知识库,将三维模型、运维数据与相关规范、经验知识等进

行关联存储,为运维人员提供智能化的决策支持。

4.3 运维场景下建模技术的适配性改进

南水北调工程运维场景复杂多样,不同区段与结构对三维建模技术有着不同的需求。针对渠道、渡槽等线性工程,可研发专门的建模算法与工具,提高建模效率与精度。采用基于线特征提取与匹配的方法,快速构建线性工程的三维模型,同时结合工程的设计参数与几何约束条件,对模型进行优化与修正。对于建筑物密集区域,考虑建筑物之间的遮挡关系,采用多视角影像融合与分层建模技术。先对建筑物进行分层处理,分别对每一层进行建模,再将各层模型进行融合,解决遮挡问题,完整呈现建筑物的空间形态^[5]。在复杂地形区域,结合数字高程模型(DEM)与三维激光扫描数据,对地形进行精细化建模,准确反映地形的起伏变化,为工程运维提供真实的地形信息。

结束语

基于无人机航测的三维建模在南水北调工程运维中发挥着关键作用。通过合理设计航测方案、优化建模流程,实现了三维建模在运维各环节的有效应用。同时,从航测精度提升、与运维数据融合优化以及建模技术适配性改进等方面进行技术优化,进一步提高了三维建模的质量与应用效果。这不仅有助于及时发现并解决工程运维中的问题,保障工程安全稳定运行,也为类似大型水利工程的运维管理提供了可借鉴的经验与模式。

参考文献

- [1]曹承成.无人机航测三维建模在地质灾害监测中的应用[J].价值工程,2025,44(24):137-139.
- [2]邓强,张号.基于无人机航测的区域场景快速三维建模实现[J].河南科技,2021,40(19):21-23.
- [3]钱俊锦.无人机在高山区免像控三维建模航测方法研究[J].中国新技术新产品,2021(3):7-9.
- [4]谢欢.基于无人机LiDAR和航测影像的山区河道三维地形建模应用[J].广东水利水电,2024(4):98-103.
- [5]田方,史佳豪,李昊燊.无人机航测倾斜摄影测量三维地理信息建模分析[J].能源与环保,2021,43(5):79-83.