

水利勘察中无人机倾斜摄影测量技术的应用与精度分析

罗布次仁

西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院 西藏 拉萨 850000

【摘要】无人机倾斜摄影测量技术在水利勘察中的应用具有重要的价值。它不仅能大幅提升勘察效率，降低人工成本，还能提供精确的三维地形建模，助力水利工程的设计、建设、监测和管理。随着无人机技术的不断发展和数据处理技术的进步，未来在水利领域的应用前景将更加广阔。

【关键词】无人机；倾斜摄影；水利勘察；应用；精度

DOI:10.12417/2811-0528.24.24.076

1 水利勘察中无人机倾斜摄影测量技术的应用价值

1.1 提升勘察效率

无人机倾斜摄影测量技术能够快速地获取高分辨率的影像数据，尤其适用于大范围的区域勘察。相比传统的地面测量方法，无人机飞行覆盖面积广、数据采集速度快，极大地提高了勘察的工作效率。无人机能够在短时间内飞越目标区域，拍摄多角度的照片，获得全面的地形信息。不需要大量的人力在现场测量和勘探，降低了人工成本和潜在的安全风险。无人机倾斜摄影测量能够通过从不同角度（通常是垂直和倾斜角度）的照片进行三维重建，生成高精度的数字地面模型（DTM）和数字表面模型（DSM）。这对于水利勘察中的水流路径、坝体、渠系、河道等地形信息的获取至关重要。能够精准捕捉到地表的细节，如河床的起伏、水坝的结构、沟渠等。通过倾斜摄影，生成具有立体感的三维模型，能更准确地反映水利设施的空间关系，特别是在复杂的地形和水利设施周围。

1.2 精确的水体分析

在水利工程中，水体的监测和分析至关重要。无人机倾斜摄影测量技术不仅能获得地形数据，还能辅助进行水流量、流域形态、洪水预测等方面的研究。结合其他数据和模型，可以帮助水利工程师模拟水流变化，预测洪水泛滥、滑坡等自然灾害的可能性。利用无人机拍摄的图像进行水库水位和水质变化的长期监测，为决策提供实时数据支持。对于水坝、堤防、渠道、泵站等水利设施，定期的巡检至关重要。结合三维建模技术，用户可以通过虚拟现实（VR）或增强现实（AR）技术，进行更直观的现场分析。生成的高精度模型和地图可以方便地进行分享，促进跨部门和跨地域的协作。

1.3 可视化数据展示

传统的人工巡检方法存在效率低、成本高、风险大的问题，而无人机倾斜摄影测量技术能提供快速、全面的设施检查手段。通过无人机拍摄，可以获取高分辨率影像，发现设施的裂

缝、腐蚀、沉降等问题，及时进行维护。尤其在危险环境下（如高坝、堤防等），无人机巡检可以避免人工高风险操作，减少事故发生。在水利工程项目的规划阶段，环境影响评估是非常重要的环节。无人机倾斜摄影测量技术能够帮助获取精准的环境数据，为评估项目对生态环境的影响提供支持。通过长时间的监测，可以帮助评估水利工程建设对周围生态环境、植被、动植物栖息地等方面的影响。基于精确的地形数据，能够更好地规划生态保护措施，避免对自然环境的过度破坏。

2 传统水利勘察中存在的问题

2.1 数据采集与处理不足

传统水利勘察依赖人工测量和现场调研，数据采集往往存在误差或不完整，尤其在复杂地形或极端天气条件下，数据的准确性和可靠性受到较大影响。此外，数据处理方法较为传统，可能无法充分利用现代科技手段来进行数据分析，导致决策时的信息不足或误判。尽管一些地区已经开始引入先进的技术，如遥感、无人机、地理信息系统（GIS）等，但在很多地方，传统的水利勘察仍依赖人工调查和传统仪器，工作效率较低，且无法高效处理大规模、复杂的水文和地质数据。这些技术手段的更新和应用滞后，使得勘察精度和工作效率无法得到显著提升。

2.2 现场勘查过程中的安全隐患

在某些水利工程勘察过程中，勘察人员需要进入高风险的地形，如河道、山谷等地，这可能面临突发的自然灾害（如山洪、滑坡、泥石流等）或安全隐患。传统的勘察方式对环境变化的预判能力较弱，未能充分采取现代化的安全防护措施，增加了勘察人员的安全风险。传统水利勘察往往重视水文、地质、工程技术等方面的研究，但对于项目建设对生态环境、社会经济等方面的影响评估较为薄弱。随着环保意识的增强和环境法律法规的完善，水利工程建设必须全面考虑环境因素，而传统勘察方法往往在这方面存在欠缺。

2.3 勘察周期长, 效率低

由于传统的水利勘察通常依赖大量人工工作, 且需要在现场收集各类信息, 整个勘察过程周期长, 效率低。这不仅延长了项目的整体建设周期, 还可能影响项目的投资回报率。水利勘察工作通常涉及多个学科和领域的专业人员, 如水文、地质、测绘等, 需要不同领域的专家进行协调合作。然而, 传统勘察中往往存在人员配置不合理、沟通协作不畅等问题, 影响了整体工作效率和成果的质量。

2.4 项目风险评估不足

在传统的水利勘察过程中, 往往缺乏对工程潜在风险的全面评估。工程风险包括水灾、土壤液化、地质灾害、坝体沉降等, 这些问题如果不提前发现, 可能导致项目的失败或后期运行问题。传统水利勘察往往无法进行全面的风险识别和分析, 缺乏科学、系统的风险管理方法。传统勘察所得到的成果多为静态数据, 难以形成动态、实时的决策支持系统。随着科技发展, 水利工程项目越来越要求能够实时监控和预警, 但传统勘察方式无法满足这一需求, 导致成果的应用局限性较大。

3 水利勘察中无人机倾斜摄影测量技术的应用与精度分析

在水利勘察中, 无人机倾斜摄影测量技术的应用正在变得越来越重要。与传统的测量方法相比, 无人机倾斜摄影测量技术具有更高的效率、精度和灵活性, 尤其适用于水利工程中的大规模地形勘察、设施监测以及环境评估等任务。以下是无人机倾斜摄影测量技术在水利勘察中的应用及其精度分析。

3.1 无人机倾斜摄影测量技术概述

无人机倾斜摄影测量技术是通过搭载多镜头或单镜头的无人机摄影设备, 拍摄多个不同角度(如垂直和倾斜角度)的影像数据, 然后通过图像处理、三维重建等技术生成数字地面模型(DTM)、数字表面模型(DSM)及三维点云等数据, 进而进行地形分析、建模和数据处理。该技术的特点是能够在较短的时间内获取高精度的空间数据, 并通过倾斜的拍摄角度获得更多的地表信息, 比传统的垂直影像拍摄更全面, 尤其适用于复杂地形和大型水利工程设施的勘察。

3.2 无人机倾斜摄影测量技术在水利勘察中的应用

3.2.1 地形地貌测量与三维建模

无人机倾斜摄影测量技术能够快速、高效地获取区域的高精度地形数据。通过多个角度的影像, 可以准确捕捉地形特征, 生成三维数字地形模型(DTM)和数字表面模型(DSM)。对水利工程项目所在的流域、河道、湖泊及其他水利设施周边的地形进行详细测量, 特别是对于复杂地形(如山区、丘陵地

区等)的勘察, 传统方法可能无法获得足够的详细信息, 而无人机则能够提供更多的地表数据。通过生成高精度的三维模型, 工程师能够清晰地了解地形的起伏、坡度变化等, 这对于水流模拟、工程设计(如水坝、堤防建设等)至关重要。

3.2.2 水利设施监测与检查

在水利工程中, 水坝、堤防、桥梁、泵站等大型设施是保障水资源管理和防洪防涝的关键组成部分。这些设施在长期运行过程中, 可能会因自然环境、使用年限、材料老化等因素出现不同程度的损坏或劣化, 影响其稳定性和安全性。因此, 定期检查和监测这些设施的状态至关重要, 以及时发现潜在风险并采取预防措施。传统的巡检方法通常需要人工登高、测量和检查, 存在着较大的安全风险, 并且人工巡检的工作强度大、效率低、成本高。近年来, 无人机技术的应用为水利设施的监测和检查提供了新的解决方案。无人机通过搭载高清摄像头、倾斜摄影系统、激光雷达(LiDAR)等设备, 能够高效、精确地进行水利设施的巡检与监测。无人机能够飞行至设施的上方或周围, 拍摄高分辨率的图像。这些影像能够详细展示设施的各个部分, 如水坝的外观、堤防的稳定性、桥梁的接缝等, 帮助工程师准确判断是否存在裂缝、沉降、腐蚀等问题。无人机配备的倾斜摄影技术可以从多个角度对水利设施进行拍摄, 生成三维立体图像。通过这些图像, 工程师可以清晰地看到设施的立体结构, 分析其空间分布、变形趋势和潜在的安全隐患。

利用这些历史数据, 工程师可以进行比对分析, 判断设施的变化趋势, 例如裂缝的扩展、沉降的加剧或腐蚀的范围。这种对比分析不仅帮助识别问题, 还能预测潜在的故障或危险, 提前采取相应的维修和加固措施。无人机的使用大大降低了人工巡检的风险, 尤其是对于高危、难以接近的区域, 如高坝顶部、堤防边缘或高桥桥梁等。无人机巡检不仅能够提高工作效率, 还能够减少人工巡检的成本, 特别是在需要频繁检查的情况下, 经济效益尤为突出。无人机配备的实时图像传输系统, 可以将拍摄到的影像实时传输至控制中心或工程师终端。工程师可以通过远程系统即时查看设施的状态, 进行初步判断和分析。结合人工智能(AI)技术, 系统还能自动识别裂缝、沉降等问题, 辅助工程师快速做出决策。无人机还可以进行精确的地理测量, 使用GPS系统和激光雷达技术, 获取水利设施的详细坐标和几何数据。这些数据为设施的结构分析和长期监测提供了科学依据。

3.2.3 环境监测与影响评估

水利项目通常会涉及大量的环境影响评估, 特别是在生态敏感区。无人机能够高效地收集环境数据, 包括水体、植被、土壤等特征, 辅助进行环境影响评估。在进行水库建设或改造时, 通过无人机拍摄的影像, 可以评估水域的面积、流域形态、

植被覆盖度等，进而评估可能的生态影响。无人机能够长期、周期性地进行监测，帮助水利工程项目管理人员跟踪项目建设过程中的环境变化，及时采取措施减少负面影响。

3.2.4 灾后评估与恢复工作

在自然灾害（如洪水、滑坡、地震等）发生后，传统的地面勘察往往面临时间紧迫、人员和设备不足的问题，而无人机则能够快速获得灾后区域的地形数据，帮助灾后恢复工作。通过无人机倾斜摄影技术，能够快速准确地评估水利设施、堤防、桥梁等设施受损情况，并生成详细的三维模型和数据，为灾后恢复和重建提供依据。

3.3 无人机倾斜摄影测量精度分析

无人机倾斜摄影测量技术的精度受到多个因素的影响，包括飞行高度、相机分辨率、传感器精度、地面控制点（GCPs）数量与布设方式、飞行轨迹等。以下是一些影响精度的关键因素及其优化措施。

3.3.1 飞行高度

飞行高度直接影响拍摄的分辨率和精度。较低的飞行高度通常可以获得更高的分辨率，但覆盖面积较小，飞行时间和数据处理量增加。较高的飞行高度能够覆盖更大的区域，但分辨率较低，精度也会有所下降。根据项目的具体需求和地形复杂度选择合适的飞行高度，确保数据的覆盖范围与精度之间的平衡。

3.3.2 相机分辨率与传感器性能

无人机搭载的相机分辨率和传感器性能对测量精度有重要影响。高分辨率相机能够提供更多的细节信息，降低误差，提高三维模型的精度。

使用高分辨率的相机和高精度的传感器，特别是在需要高

精度地形建模和水利设施检查的场景中。如天气状况、光照条件、风速等因素也会对无人机拍摄效果产生影响。例如，强风可能影响飞行稳定性，弱光或阴天可能导致拍摄图像质量下降。在良好的天气条件下进行测量，避免强风和低光环境，确保拍摄质量和数据的可靠性。

3.3.3 地面控制点（GCPs）的布设与测量

地面控制点（GCPs）是无人机测量精度的重要保障。在无人机倾斜摄影测量中，GCPs 提供了关键的地理坐标，帮助将影像与实际地理空间对齐。在勘察区域合理布设足够数量的 GCPs，特别是在复杂地形或大范围区域的测量中，确保 GCPs 的准确测量和标定。

3.3.4 飞行轨迹与数据重叠度

飞行轨迹的规划及图像的重叠度会影响最终生成的三维模型的精度。一般来说，较大的重叠度可以提高三维重建的精度。设置合理的航线规划，确保图像间的重叠度符合要求（通常建议前向重叠度为 60%-80%，侧向重叠度为 40%-60%）。无人机拍摄的影像数据需要通过专业的软件进行处理和三维重建，软件的精度和算法的优化对最终结果的影响非常大。使用高效、精确的图像处理软件（如 Pix4D、Agisoft Metashape 等）进行数据后处理，确保生成的数字模型和点云的精度。

4 总结

无人机倾斜摄影测量技术在水利勘察中的应用具有显著的优势，尤其在精度、效率和安全性方面，能够有效补充传统方法的不足。通过合理的技术选择和参数优化，精度问题可以得到有效解决，从而为水利工程提供高质量的数据支持。随着无人机技术的不断发展和数据处理能力的提升，其在水利勘察中的应用前景广阔。未来，随着高精度传感器、自动化飞行控制技术、智能数据处理算法的进一步发展，基于无人机的倾斜摄影测量将在水利勘察中发挥越来越重要的作用。

参考文献：

- [1] 基于激光扫描和倾斜摄影技术的三维实景融合建模研究[J].李晓斌;林志军;杨玺;景行;文习鹤.激光杂志,2021(08).
- [2] 无人机航空摄影测量技术在矿区地形测量中的应用研究[J].任本伟;彭占山.测绘与空间地理信息,2021(04).
- [3] 无人机倾斜摄影技术在自然资源督察中的探索与实践[J].周志峰;安志宏;郑少开;荆青青;王笑.工程勘察,2021(03).
- [4] 无人机低空航空摄影测量在变电站大比例尺地形图的应用[J].孙生海;张建;景钦刚.电力勘测设计,2020(S2).