

水利施工中无人机测绘技术的应用与精度提升

李岑瑞

神木市水利工作队 陕西 榆林 719300

摘要：本文探讨了无人机测绘技术在水利施工中的应用与精度提升策略，无人机测绘技术以其机动灵活性、高效低成本及高分辨率数据获取等特点，在水利工程的地形测绘、规划、进度监测、质量控制及效果评估等方面发挥重要作用。文章分析了影响无人机测绘精度的外部环境、设备与技术参数、数据处理环节等因素，并提出通过合理选择无人机设备、优化航线规划与拍摄策略、采用先进数据处理方法等措施来提升测绘精度。随着技术进步，无人机测绘技术将为水利工程提供更精准高效的技术支持。

关键词：无人机测绘技术；水利施工；精度提升

1 无人机测绘技术基础

1.1 无人机测绘技术概述

无人机测绘技术是以无人机为平台，搭载高分辨率相机、激光雷达（LiDAR）、多光谱传感器等设备，结合全球导航卫星系统（GNSS）、惯性测量单元（IMU）及摄影测量技术，实现地理信息快速获取与三维建模的综合性技术。其核心流程包括航线规划、数据采集、影像处理、三维建模及成果输出，可生成数字正射影像图（DOM）、数字高程模型（DEM）、实景三维模型等多种测绘产品。

1.2 无人机测绘技术特点

（1）机动灵活性：无人机可快速部署至复杂地形区域，如高山峡谷、沼泽湿地等，突破传统测绘对起降场地的限制。例如，在某水利工程中，无人机仅用2小时即完成60公里输水干线的地形测绘，而传统人工测量需耗时5天。（2）高效低成本：无人机单日作业面积可达50平方公里以上，较传统测绘效率提升5—10倍，且运营成本降低60%以上。以1:1000比例尺地形测绘为例，无人机测绘成本约为每平方公里2000元，而全站仪测量成本高达每平方米1.5元。（3）高分辨率数据获取：无人机搭载的相机可实现亚米级甚至厘米级地面分辨率（GSD）。例如，DJI Mavic 3 Enterprise在100米飞行高度下，GSD可达1.2厘米，满足大比例尺测图需求。（4）多源数据融合：通过集成LiDAR、多光谱传感器，可同步获取地形高程、植被覆盖、水质参数等多维度信息，为水利施工提供综合决策支持^[1]。

1.3 无人机测绘技术在水利工程中的适用性分析

水利工程具有区域跨度大、地形复杂、施工周期长等特点，传统测绘技术存在效率低、成本高、数据更新滞后等瓶颈。（1）复杂地形适应性：在山高林密、通行

困难的测区，无人机可快速获取高精度地形数据，避免人工攀爬风险。例如，在西南某水电站建设中，无人机测绘技术成功获取坝址区1:500比例尺地形图，为枢纽布置优化提供依据。（2）动态监测能力：无人机可定期对施工区域进行航测，实时生成DOM和DEM，通过与设计模型对比，实现施工进度偏差的毫米级检测。某引水工程中，无人机每月飞行一次，累计发现12处偏移超标点位，及时指导施工方调整方案。（3）应急响应优势：在洪水、滑坡等灾害发生后，无人机可快速获取灾区影像，生成洪涝范围、水深分布等关键信息，为抢险救援提供时空数据支撑。2021年河南暴雨灾害中，无人机测绘技术助力绘制洪涝淹没图，指导转移群众12万人。

2 无人机测绘技术在水利施工中的应用

2.1 施工前的地形测绘与规划

在水利工程施工前，地形测绘与规划是至关重要的环节，它直接影响到工程的设计方案和施工进度。利用无人机测绘技术可以快速获取施工区域的高精度地形数据。无人机通过在施工区域上空按照预定的航线进行飞行拍摄，获取大量的高清影像数据，经过数据处理后可以生成数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）等。这些成果能够清晰地展示施工区域的地形地貌、地势起伏、植被覆盖等情况，为工程设计人员提供详细的基础资料；基于这些精准的地形数据，设计人员可以进行工程的规划设计。例如，在水库设计中，通过数字高程模型可以准确计算水库的库容、淹没范围等重要参数，为水库的坝体设计、溢洪道设计等提供依据；在河道治理工程中，根据数字正射影像图和河道断面数据，可以制定合理的河道疏浚方案、堤防建设方案等。同时，无人机测绘技术还可以为施工总平面布置提供支持。通过对施工区域的测绘，能够明确施工场地的

地形条件、周边环境等,合理规划施工道路、材料堆放场地、临时设施等的位置,提高施工场地的利用率,减少施工干扰。

2.2 施工过程中的进度监测与质量控制

在水利施工过程中,进度监测和质量控制是确保工程顺利进行的关键。无人机测绘技术可以实时、高效地对施工进度和工程质量进行监测。无人机可以定期对施工区域进行航拍,获取施工区域的影像数据。通过将不同时期的影像数据进行对比分析,可以直观地了解工程的施工进度情况。例如,在大坝填筑施工中,通过对比不同阶段的航拍影像,可以计算出大坝的填筑高度、填筑面积等参数,与施工计划进行比较,判断施工进度是否符合要求。如果发现施工进度滞后,可以及时分析原因,并采取相应的措施进行调整。在质量控制方面,无人机测绘技术可以对工程的施工质量进行监测。例如,在堤防工程施工中,通过无人机获取的影像数据,可以监测堤防的填筑厚度、压实度等指标^[2]。通过对影像数据的分析,可以发现堤防施工中存在的漏洞、裂缝等质量问题,及时通知施工人员进行整改。在水利施工中,可能会出现边坡滑坡、基坑坍塌等安全隐患。无人机可以对这些危险区域进行定期航拍,通过对影像数据的分析,及时发现边坡的位移、基坑的变形等情况,提前预警,确保施工安全。

2.3 施工后的效果评估与验收

水利工程施工完成后,需要对工程的效果进行评估和验收,以确保工程达到设计要求和标准。无人机测绘技术在这一环节也发挥着重要作用。在效果评估方面,无人机可以对完工后的工程进行全面的测绘,获取工程的实际形态和参数。将这些数据与设计数据进行对比分析,可以评估工程的施工效果。例如,在大坝工程验收中,通过无人机测绘获取大坝的实际坝高、坝长、坝顶宽度等参数,与设计参数进行比较,判断大坝是否符合设计要求;在河道整治工程验收中,通过对比整治前后的河道断面数据和影像资料,评估河道的行洪能力、水质改善等效果。在验收过程中,无人机测绘技术可以提供直观、准确的影像资料和数据成果,为验收人员提供有力的依据。验收人员可以通过查看无人机拍摄的三维模型和正射影像图,全面了解工程的建设情况,对工程的质量、规模等进行评估。同时,无人机测绘数据还可以作为工程档案资料进行保存,为工程的后续维护和管理提供参考。

3 无人机测绘精度的影响因素分析

3.1 外部环境因素

风速超过5级时,无人机飞行姿态不稳定,导致影像模糊和重叠度不足。某工程实践中,风速从3级增至6级时,点云密度下降35%,平面精度降低0.08米;逆光环境下,影像存在阴影遮挡,影响特征点提取精度。测试数据显示,顺光条件下像点位移误差为0.03米,逆光时增至0.12米;在山地测区,无人机需频繁调整飞行高度以保持相对航高,导致GSD不一致。某山区水库测绘中,高差达300米时,GSD波动范围达0.05—0.15米,影响模型拼接质量^[3]。

3.2 设备与技术参数因素

(1) 相机分辨率:相机像素数直接影响影像细节表现。以2000万像素相机为例,在50米飞行高度下,GSD为0.8厘米,可识别直径2厘米以上的地物;而1200万像素相机在相同条件下GSD达1.3厘米,细节捕捉能力下降40%。

(2) POS系统精度:IMU与GNSS组合定位误差每增加1厘米,三维模型高程误差将扩大0.05米。某工程采用高精度POS系统后,平面定位误差从0.15米降至0.05米。

(3) 重叠率设置:航向重叠度低于60%时,连接点提取数量减少60%,导致模型扭曲。推荐采用70%航向重叠度和60%旁向重叠率的组合方案,可兼顾效率与精度。

3.3 数据处理环节因素

控制点分布不均会导致区域网平差残差增大。某工程中,控制点间距从200米加密至100米后,平面中误差从0.12米降至0.05米;基于多视图立体匹配(MVS)的算法在纹理丰富区域精度可达0.03米,但在光滑表面(如水面)易产生空洞。采用深度学习补全算法后,模型完整率提升至98%;WGS84与CGCS2000坐标系转换时,七参数法较三参数法平面误差减小0.07米,高程误差减小0.03米。

4 水利施工中无人机测绘精度提升策略

4.1 无人机设备选择与优化

为了提升无人机测绘精度,合理选择和优化无人机设备至关重要。在选择无人机平台时,应根据水利施工的具体需求和作业环境进行选择。对于大面积、地形相对平坦的水利施工区域,可以选择固定翼无人机,以提高作业效率;对于小面积、地形复杂的区域,多旋翼无人机则更为适合,因其具有更好的灵活性和操控性。同时,要选择飞行稳定性好、续航能力强的无人机,以保证飞行过程的稳定和数据采集的完整性。根据测绘精度要求选择合适的相机或激光雷达等传感器。对于高精度的测绘任务,应选择高分辨率、低畸变的相机,以获得清晰、准确的影像数据。激光雷达传感器应选择精度高、稳定性好的产品,以保证点云数据的质量,还可以

对传感器进行校准和标定,如相机的内方位元素标定、激光雷达的距离校准等,减少传感器自身误差对测绘精度的影响。另外,还可以对无人机设备进行一些优化改装,如增加高精度的GPS模块和惯性测量单元(IMU),提高无人机的定位精度和姿态测量精度;安装减震装置,减少无人机飞行过程中的振动对传感器的影响,提高影像和数据的质量。

4.2 航线规划与拍摄策略

科学合理的航线规划和拍摄策略是提高无人机测绘精度的重要保障。在航线规划时,应根据测绘区域的地形地貌、范围大小和精度要求进行设计。对于平坦区域,可以采用平行航线规划方式;对于地形复杂区域,应采用交叉航线或倾斜航线规划方式,以确保能够获取足够的影像数据和细节信息。同时,要合理设置航线的重叠度,航向重叠度一般设置为70%-80%,旁向重叠度设置为60%-70%,以保证影像拼接和建模的精度。在满足测绘精度的前提下,适当提高飞行高度可以提高作业效率,但不能过高而影响精度;对于精度要求较高的区域,则应降低飞行高度。飞行速度应与相机的拍摄间隔相匹配,确保影像的重叠度符合要求,同时避免因速度过快导致影像模糊^[4]。在拍摄策略方面,选择合适的天气和时间进行拍摄。尽量选择晴朗、风力较小的天气,避免在雨天、大雾、大风等恶劣天气条件下作业。拍摄时间应选择光照充足且稳定的时段,如上午10点至下午3点,以减少阴影对影像的影响。对于一些特殊区域,如水域、植被密集区等,可以适当增加拍摄次数和影像重叠度,以保证数据的质量。

4.3 数据处理与精度提升方法

数据处理环节是提升无人机测绘精度的关键,采用科学合理的数据处理方法可以有效提高测绘成果的精度。在影像预处理阶段,应对影像进行严格的质量检查,剔除模糊、过曝、欠曝等不合格的影像。对合格的影像进行增强、去噪、畸变校正等处理,提高影像的质量和一致性。可以利用专业的影像处理软件,如Photoshop、ERDAS等,对影像进行处理,增强影像的对比度和清晰度,去除影像中的噪声。在空中三角测量

过程中,应合理布设控制点。控制点的数量应足够多,且分布均匀,能够有效控制整个测绘区域。控制点的精度应符合要求,可以采用全站仪、GPS等高精度测量仪器进行测量。在进行连接点匹配时,应选择影像中的明显特征点,如道路交叉口、建筑物角点等,提高匹配精度。可以利用自动匹配软件结合人工干预的方式,对连接点进行匹配和编辑,剔除错误的连接点。在三维建模和数据输出阶段,应选择先进的建模软件,如ContextCapture、Pix4D等,以提高建模精度。建模过程中,可以对模型进行精细化处理,如去除冗余点、填补漏洞等,优化模型质量。数据输出时,应进行坐标转换和格式转换,确保输出数据的坐标系统与实际需求一致,减少转换误差。同时,应对输出的测绘成果进行精度检验,如与已知控制点进行对比分析,计算误差大小,若误差超过允许范围,应重新进行数据处理,直至满足精度要求。

结束语

综上所述,无人机测绘技术在水利施工中具有显著的优势和广泛的应用前景。通过合理选择和优化无人机设备、科学规划航线与拍摄策略以及采用先进的数据处理方法,可以显著提升无人机测绘的精度和效率。随着技术的不断进步和应用经验的积累,无人机测绘技术将在水利施工中发挥越来越重要的作用,为水利工程的规划、设计、施工和管理提供更加精准、高效的技术支持。

参考文献

- [1]贺连军.水利领域测绘无人机技术的应用探讨[J].通讯世界,2020,27(9):187-188.
- [2]刘美兰.无人机航测技术在水利工程测绘中的应用分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(12):493-494.
- [3]孙超,刘元元.无人机航测技术在水利工程测量中的应用[J].建筑工程技术与设计,2022,10(6):55-57.
- [4]王明昌.无人机遥感技术的水利水电工程施工研究[J].中华建设,2022(27):126-128.