

无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用

桂玉玫

(山东华杰建工股份有限公司, 山东 曲阜 273100)

【摘要】随着现代测绘技术的不断发展,无人机测绘技术凭借其高效、灵活、经济等优势在建筑工程测量领域得到了广泛应用。本文首先分析了无人机测绘技术的优势,然后重点探讨了无人机测绘技术在建筑工程不同测量环节中的实际应用,包括外业航线规划与航摄、航摄数据处理、三维模型构建等关键技术,并结合实际工程案例分析了无人机测绘在建筑工程测量中的应用效果。最后,文章总结了无人机测绘技术在建筑工程测量中应用的发展趋势,并对进一步完善无人机测绘技术、提升建筑工程测量水平提出了相关建议。无人机测绘技术将很大程度上推动建筑工程测量向自动化、智能化、高效化的方向发展。

【关键词】无人机测绘; 建筑工程测量; 低空摄影测量; 三维建模; 倾斜摄影

引言:

建筑工程测量贯穿于建筑工程规划、设计、施工、竣工验收的全过程,是保障工程建设质量与安全的重要手段。传统建筑工程测量主要采用GPS、全站仪等设备,存在作业效率低、人力成本高、野外工作环境恶劣等问题。近年来,以无人机航摄为代表的低空摄影测量技术在测绘领域得到了快速发展和广泛应用。与传统测量技术相比,无人机测绘具有灵活机动、获取信息量大、测量精度高、经济高效等优势,其在建筑工程测量中的应用前景备受关注。

一、无人机测绘在建筑工程测量中的应用优势

将无人机测绘技术应用于建筑工程测量,与传统测量方式相比具有明显的优势,主要体现在以下几个方面:

(一) 大幅提高外业测量效率

传统建筑工程测量大多采用全站仪、GPS-RTK等设备逐点测量,野外作业工作量大、效率低。采用无人机进行低空摄影测量,可在短时间内获取大范围的高分辨率影像数据,大幅减少外业作业时间,提高工作效率3倍-5倍。无人机航测能够在数十分钟内完成数平方公里测区的航摄任务,数据获取效率是传统方法的数倍甚至数十倍。同时,无人机的灵活性和机动性使其能够对复杂地形、狭窄空间实施测绘作业,突破了地面作业的环境限制。此外,无人机自动航线规划和自主飞行能力可最小化人工干预,减少人为因素导致的测量误差和效率损失。因此,无人机低空摄影测量在提高建筑工程测绘效率方面优势显著。

(二) 显著降低劳动强度和安全风险

建筑工程施工环境复杂,在高空、地下等特殊

作业面人工测量难度大、安全风险高。无人机能够对人工难以到达或危险区域实施远程测量,在保证测量数据质量的同时,大幅降低作业人员的劳动强度和安全风险。无人机搭载多种传感器,可远距离获取高清影像和三维空间信息,代替人工实地踏勘和近距离测绘作业。尤其是在高层建筑、塔吊、基坑等高风险部位,无人机远程测量可避免人员直接暴露于危险环境中,最大限度保障作业人员生命安全。同时,无人机轻便灵活、携带方便,可大幅减轻外业人员的设备携带和搬运劳动强度,降低长时间野外作业的体力消耗,提高工作舒适度。

(三) 提供丰富的空间信息

无人机低空摄影测量可获取厘米级高分辨率影像,通过倾斜摄影等技术可真实重建建筑物表面纹理,构建高精度三维模型,满足设计、施工、验收等环节的空间信息需求。倾斜摄影通过多角度、大重叠度的影像获取,结合多视影像密集匹配等处理手段,能够获取真实、完整、精细的建筑物表面纹理和三维几何结构信息。这些空间信息通过与BIM、GIS等技术的融合应用,能够支撑工程设计方案优化、施工工艺模拟、施工过程管控、工程量统计等多个环节,为工程参与方提供多维度、立体化的空间信息支持。无人机倾斜摄影所提供的丰富实景三维信息将是未来建筑工程数字化管理的重要基础。

(四) 测量精度满足工程需求

在高精度无人机平台和高分辨率相机的支持下,无人机测绘的平面/高程测量精度可达到厘米级,能够满足1:500、1:1000等比例尺建筑工程图的测绘要求。随着RTK、PPK等高精度定位技术在无人机航测中的应用,无人机测图的空间定位精度和同步性得到进一步提升。在保证充足控制点布设和

科学像控测量的基础上,无人机能获取与传统航测相当甚至更高的测图精度。且无人机在低空慢速飞行,成像分辨率可达厘米乃至毫米量级,可满足建筑工程对高精度测绘成果的需求。近年来,各大无人机厂商不断推出高精度测绘版无人机,进一步为行业应用奠定了设备基础。

二、无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用

无人机测绘技术在建筑工程测量的各个阶段和环节中都有广泛应用,主要体现在工程规划、设计阶段的地形图测绘,施工阶段的形象进度监控、现场布置规划,竣工阶段的竣工图测绘等。本节将重点探讨无人机测绘在建筑工程测量主要环节中的关键技术及应用。

(一) 外业航线规划与数据采集

利用无人机开展建筑工程测量,首先需要根据测区范围、地形特点、成图精度要求等因素,合理规划外业飞行航线和布设像控点,并利用无人机搭载航摄仪开展影像数据采集。

1. 航线规划。航线规划的目的是通过合理设计航线和布设像控点,确保获取满足测量精度要求的影像数据。针对不同建筑工程测量阶段和测区环境,需采用不同的航线规划方案。如在工程规划设计阶段,测区范围较大,对测量精度要求相对较低,可采用大高度、宽基线的航线设计,兼顾测量效率和成本;在工程竣工阶段,对测量精度要求较高,且测区存在较多遮挡,需采用多视角、多航向、重叠度高的航线设计,确保数据的完整性和冗余度。航线规划需重点把控以下参数:(1)航高:根据成图比例尺确定航高,如1:500地形图测绘航高一般为150—200m;(2)航向重叠:一般不低于65%,高差大的山区可适当提高至80%以上;(3)旁向重叠:一般不低于35%,城区建筑物较多时可提高至50%以上。此外,还需科学设置无人机飞行速度、曝光间隔、照片分辨率等参数。

2. 像控点布设。为提高无人机测量的精度,需在测区布设一定数量的像控点,利用全站仪或GPS-RTK等设备实测其坐标,并在影像数据处理中引入这些高精度控制点,以此提高空三加密的计算精度。针对建筑工程不同阶段,像控点布设方案有所不同。如在工程规划阶段,测区范围大,像控点布设以满足空三加密要求为主,一般每平方公里布设4—5个像控点即可;在工程竣工阶段,像控点布设需满足高精度测图的符合精度要求,点位应布设在建筑物特征部位。

3. 影像数据采集。完成航线规划和像控点布设后,利用无人机搭载数码相机按照规划航线实施航

摄任务,获取高分辨率影像数据。针对建筑物体量大、纹理丰富、遮挡较多的特点,宜采用垂直+倾斜组合式摄影测量模式,在获取传统正射影像的同时,通过前后左右四个方向的倾斜摄影获取建筑侧面纹理信息。此外,为提高三维模型纹理的真实性,影像获取时间宜选在天气晴朗、阴影较短的正午前后,避免在逆光、阴天等恶劣条件下摄影。

(二) 航摄数据处理

无人机获取的海量航摄影像需经过一系列数据处理流程,才能生成满足测量应用需求的正射影像图、三维模型等成果数据。主要的数据处理环节包括:

1. 影像预处理。该环节主要完成航摄影像的筛选、质量检查,剔除画质差、重叠不足、偏焦模糊等不合格影像。同时,结合POS数据对影像进行初步定向,为后续空三加密处理奠定基础。

2. 空三加密。空三加密是利用影像间的连接点和像控点,解算影像的外方位元素,进而实现影像数据与地面坐标系的融合。常用的加密方法有光束法平差和区域网平差,前者精度较高但计算量大,后者计算效率较高。加密过程需引入足够数量、分布合理的连接点和控制点,并剔除粗差,进行平差计算,获取加密后的影像外方位元素,一般要求像点残差小于1个像素,测区整体点位中误差优于测图精度的1/3。

3. 生成正射影像。利用空三加密后的影像外方位元素、相机参数和高程数据,通过差分纠正、影像镶嵌等处理,生成正射影像图。正射影像消除了地形起伏、建筑倾斜等因素的影响,具备与地图相同的几何特性,可直接用于量测和制图。针对高差变化大的区域,还需进行分区域纠正、镶嵌,提高图像的几何精度和色彩一致性。

4. 提取点云和建模。无人机倾斜摄影测量的一大优势是能够获取测区的三维信息,并生成高精度点云数据和实景三维模型。利用多视影像密集匹配技术可获取海量三维点云,进一步通过点云滤波、分类、模型重建等处理,可构建反映真实地物形态和纹理的实景三维模型。在此基础上,可进一步生成Digital Surface Model (DSM)、Digital Elevation Model (DEM)、三维地籍模型等建筑工程测量所需的专题产品。

三、工程实例分析

下面以某建筑工程施工现场的无人机测绘应用为例,分析其实际应用效果。该工程位于武汉市武昌区,占地面积约6万平方米,建筑面积约15万平方米,建筑高度120米。施工现场地形起伏较大,场地

周边障碍物较多，常规测量难度较大。

（一）数据获取

利用大疆经纬M300 RTK无人机，搭载Zenmuse P1相机，开展了两次施工现场倾斜摄影测量，分别在主体结构封顶和建筑幕墙施工两个阶段。飞行高度120米，航向重叠80%，旁向重叠70%，分辨率为3cm。每次飞行时长30分钟左右，共获得影像1500张。

（二）数据处理

利用Pix4Dmapper软件对获取的影像数据进行处理，主要流程包括：影像筛选、空三加密、生成点云和三维模型等。空三加密中布设了30个控制点，采用区域网平差，加密后的区域网平均误差优于5cm。点云数据经分类、滤波等处理后，噪点少于0.5%。最终生成了高分辨率正射影像图（分辨率3cm）和实景三维模型（贴图分辨率3cm）。

（三）工程应用

将处理后的数据产品用于施工现场管理，主要应用包括：

1. 施工进度管控：根据倾斜摄影模型直观判断各区域施工进展，及时协调资源。
2. 现场布置优化：利用正射影像分析现场道路、堆场等临建布置，开展动态优化。
3. 工程量统计：基于三维模型提取土方开挖量、建筑面积等数据，误差均小于3%。
4. 安全隐患排查：对塔吊、基坑等危险源进行三维重建，及时预警和处置安全隐患。
5. 施工方案模拟：将三维模型导入BIM软件进行施工工艺模拟，指导作业。

经过两个多月的应用，项目形象进度、安全管理水平明显提升，高空坠物、临边防护等隐患同比下降50%以上，土石方实际量与合同量偏差小于1%，工期提前10天。充分体现了无人机测绘在建筑施工管理中的显著效益。

四、发展趋势与建议

随着无人机平台性能、数据处理能力的不断提升，无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用前景将更加广阔。为进一步深化其应用效果，提出以下建议：

（一）加强行业标准和规范建设

目前我国针对无人机测绘的国家和行业标准还不健全，难以规范和引导工程应用。建议加快《无人机航测技术规程》等关键标准制定，为建筑工程提供可操作的技术依据。同时，还需完善配套的数据质量验收、成果交付等管理规范，形成全流程的标准化体系，推动无人机测绘技术在建筑领域的规模化应用。

（二）突破数据处理和应用的技术瓶颈

海量无人机影像数据给存储、计算带来挑战，自动化解译和智能应用的能力还有待加强。建议攻关多源异构数据融合、智能语义提取等关键技术，开发云计算、大数据平台，提升数据处理和应用水平。未来，无人机数据处理应向全自动化、智能化的方向发展，实现人机协同的一体化业务流程，提高数据生产效率和应用深度。

（三）创新工程应用模式

目前无人机测绘在建筑工程中的应用还相对分散和单一，数据价值有待进一步挖掘。建议加强与BIM、物联网、AR/VR等技术的融合创新，探索施工过程中管控、运维阶段服务等新型应用场景，实现测绘数据的全生命周期应用。无人机倾斜摄影与BIM、三维GIS等技术的结合，将催生工程建设管理的新模式，推动建筑行业的数字化转型升级。

（四）强化人才培养和产教融合

我国无人机测绘专业人才相对缺乏，专业化服务能力不足。建议加强校企合作，开设无人机测绘工程专业，大力培养复合型工程技术人才。鼓励企业积极引进无人机测绘技术，加大工程应用实践，促进高校人才培养与工程需求的精准对接。建议政府部门加大政策支持和引导，搭建产学研用协同创新平台，实现人才培养、技术创新与产业发展的良性互动。

结束语：

无人机测绘技术以其高效、灵活、精准等特点，在建筑工程测量中展现出广阔的应用前景。通过合理规划航线、科学处理数据，可获取高分辨率正射影像图、实景三维模型等多维数据产品，为工程规划、施工管理、竣工验收等环节提供空间信息支持，有效提升了测量效率和工程管理水平。但同时，无人机测绘在建筑工程中的应用还面临标准规范不健全、技术瓶颈制约、应用模式单一、人才培养滞后等问题。未来，应加强行业标准制定，突破关键技术，创新应用模式，加快人才培养，多措并举推动无人机测绘技术在建筑工程测量中的规范化应用和创新发展，为提升工程建设水平、促进行业转型升级做出更大贡献。

参考文献：

- [1]张春智,赵亚军,高翔.基于无人机技术的建筑工程测量方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(11):72-74.
- [2]郑芳.无人机测绘技术在建筑工程测量中的应用分析[J].中华建设,2024,(03):137-139.