

融合地面三维激光扫描和无人机倾斜摄影的 建筑物三维重建

聂海滨 杨正炜

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450000

摘要：传统的利用全站仪，测距计，皮尺等工具测量建筑物和绘制相应图纸的方法存在工作量大，精度差，结果形式单一等问题。地面三维激光扫描具有精度高，速度快等优势，但是建筑物顶部有空洞，部分区域存在扫描盲点；无人机倾斜摄影测量具有效率高，作业方便等优点，但测图精度不够高，在三维建模过程中存在底层建筑遮挡等现象。因此，本文融合地面三维激光扫描和倾斜摄影测量进行建筑物三维建模。数据采集选择FARO Focus S150地面三维激光扫描仪和大疆精灵4RTK无人机，并对两种测量方法外业数据采集的流程进行了总结，内业采用ContextCapture软件将两种测量方式采集的数据进行融合处理，合理选择目标建筑物重建范围完成三维重建，获得了理想的重建模型，具有一定的应用价值。

关键词：三维激光扫描；点云数据；倾斜摄影；融合建模

1 引言

传统的建筑物测绘，基于传统地形图和传统摄影、人工测量，速度慢、效率低、准确度低，特别是对于结构复杂且形状不规则的建筑物无法获得完整的三维坐标信息，难以完成模型的三维重建和真实的进行模型还原。将新型测绘技术应用于建筑物数字化重建，可简化作业流程，同时使作业效率、精准性、全面性得到极大的提升。在各项新技术中，地面三维激光扫描和倾斜摄影测量技术在建筑物三维重建领域具有很高的应用前景^[1-3]。

地面激光三维扫描技术利用三维激光扫描仪外业扫描获取的点云数据进行真实性的建模工作，拥有传统方法无法比拟的数据采集速度，可以高效的从建筑物中获取点云数据和纹理数据，以及传统测量方式难以采集到的细节信息，结合完整的目标扫描方案，可以对目标建筑物进行全面的测绘，获取的数据量大、更加详细，并且能够实现全天候作业，效率更高^[4]。

倾斜摄影测量技术通过垂直视角和四个倾斜视角，即五个不同的视角同步进行影像采集工作，能够获取到丰富的建筑物顶面及侧视的高精度影像数据，以大范围、高精度、高清晰的方式对复杂场景实现全面感知，并利用高效的数据采集设备及专业的数据处理流程，得到的数据成果可以直观的反映地物的外观特征、地理位置、高度等，为真实的模型效果和测绘精度提供保障^[5]。

三维激光扫描技术和倾斜摄影测量技术在建筑物测

绘中都具有各自的优势，而同时又都存在一定的缺陷。地面三维激光扫描技术难以很好的采集建筑物顶部的信息数据，一些区域会出现扫描盲区，扫描数据缺失的情况难以避免。而倾斜摄影测量技术对于建筑物的内部信息，以及建筑物的细节信息采集并不完善，且自上而下的数据采集方式会造成建筑物底部存在遮挡，这种局限性会导致最终的三维模型成果失真、建筑物立面不够完整等多种问题。因此，地面激光三维扫描技术能够发挥非接触性、高精度、高密度、全天候作业等优势，倾斜摄影测量技术具有快速采集目标纹理信息和解决测量角度复杂问题等特点，将两者充分结合，可以实现优势互补，进一步提升建筑物三维重建的效率和质量，增强建模的完整性和真实性^[6]。

2 研究方案

本研究采用无人机倾斜摄影测量与地面三维激光扫描技术协同作业的模式，对目标区域实施多源数据融合的三维重建，旨在实现地物要素的精细化测绘。无人机倾斜摄影技术凭借其高效采集能力与灵活作业特性，能够快速完成大范围区域的多视影像获取。通过对航摄影像进行标记像控点、空中三角测量等处理，获取倾斜摄影密集点云。地面三维激光扫描技术通过发射激光脉冲获取毫米级精度的空间点位信息，在无人机航摄盲区、建筑物立面等位置实施点云采集，并经过点云去噪、配准及精简等预处理流程构建高密度点云数据集。

通过建立统一的空间参考基准，将激光点云数据与倾斜摄影模型进行严格的空

具宏观覆盖性与微观精度的三维实景模型。此技术路线（如图1所示）系统集成了从多平台数据采集、多源数据处理到模型优化重建的全流程方法体系。该融合方法不仅有效克服了单一技术手段的视角局限与精度瓶颈，同时充分发挥了倾斜摄影的大范围高效建模优势与激光扫描的高精度细节捕捉能力，最终保障了三维模型在几何完整性、纹理真实性与空间精度方面的综合质量。

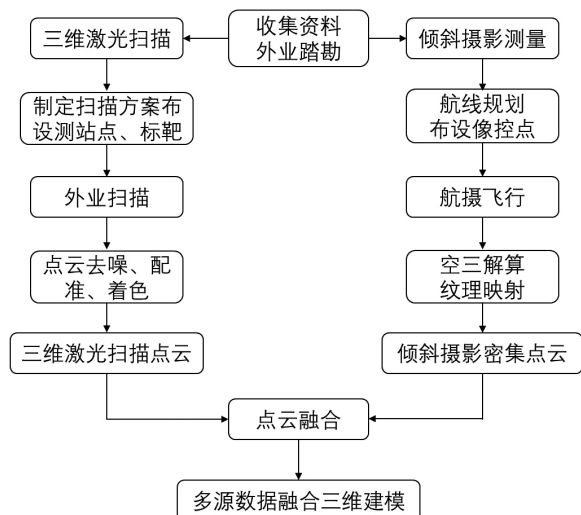


图1 融合建模技术路线

3 数据采集与处理

3.1 扫描点云数据采集与处理

本文选择FARO Focus S150地面三维激光扫描仪，重量轻便于携带，能够快速、高质量的对目标建筑物进行数据采集。三维激光扫描数据采集流程如下^[7]：

3.1.1 测区踏勘及布设测站点

结合现有资料在测区进行踏勘，并选择平坦、开阔的位置布设测站点，避免存在遮挡，扫描时测站之间重叠率不低于30%。

3.1.2 布设标靶

标靶主要用于点云数据配准拼接，均匀布设在整个测区内，尤其要注意不能使三个标靶共线或共面。对测站点和标靶进行控制测量，获取空间位置。

3.1.3 扫描数据采集

在测站点架设扫描仪，选择合适的分辨率，完成仪器参数设置后开始扫描采集点云数据。各测站扫描工作完成后导出原始点云数据。

采用FARO Focus S150地面三维激光扫描仪配套的数据处理软件FARO SCENE处理扫描点云数据，包括点云去噪、点云配准、点云着色等技术操作，去除噪声点减少数据冗余，并将不同站采集的点云数据拼接为整体。具体处理流程如下^[8]：

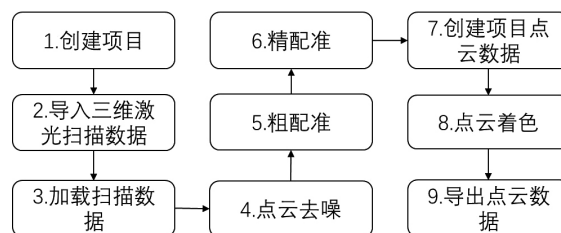


图2 三维激光扫描数据处理

3.2 倾斜摄影数据采集与处理

本文使用DJI PHANTOM4 RTK无人机采集测区的影像数据，具备高精度成像系统，低空摄影测量作业中优势明显。航摄影像数据采集基本步骤如下^[9]：

3.2.1 布设像控点

依据无人机航摄的飞行计划，制定合理的像控点布设方案，像控点布设的位置以及其坐标测定的精度将会对内业数据处理的成图精度产生直接影响。像控点应均匀分布，在测区内统一布点，像控点目标影像清晰，有利于识别。

3.2.2 航线规划

合理规划无人机的飞行路线，且为了保证飞行过程中无人机的安全，与建筑物最高处应保证30米以上的垂直距离，航向重叠度设置为80%，旁向重叠度设置为80%。

3.2.3 航摄数据采集

完成规划工作后，选择天气晴朗、风速低的时间段进行外业摄影测量，以获得质量更高的影像数据。在进行无人机航空摄影前，需要向相关航空管制部申请所区域无人机空域飞行，得到批准后才能实施飞行。

本文选择ContextCapture Center（简称CC）软件进行倾斜摄影数据处理，经过像控点刺点、空中三角测量等步骤获取倾斜摄影密集点云^[10]。利用CC软件进行影像处理的主要流程如下：

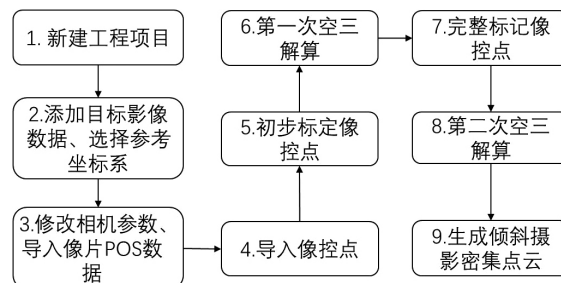


图3 倾斜摄影数据处理

4 结果与分析

在三维建模过程中，由于数据采集设备的差异性，导致获取的地面激光点云数据与倾斜摄影密集点云数据在初始坐标系中存在空间位置偏差。为实现两类数据的

精确匹配,本文采用Cloud Compare点云处理软件实施多阶段配准方案^[11]:首先基于人工选取的特征点(如建筑物角点、标靶中心等)计算初始变换矩阵,完成点云数据的粗配准;随后应用迭代最近点(ICP)算法进行精配准,通过最小化两个点云集中对应点之间的欧氏距离,经多次迭代优化获得最优空间变换参数。最终融合后的点云3D视图如图4所示。



图4 融合后密集点云3D视图

三维激光扫描点云底部及细节纹理效果较好,而建筑顶部的点云存在缺失;倾斜摄影空三解算后得到的点云数据顶部比底部更加密集,同时由于倾斜摄影通过多个角度进行拍摄采集影像数据,建筑侧面点云数据也更加完善。两者融合后由3D视图可知点云数据能够实现很好的配准,处于统一的坐标系统中,融合效果达到预期,可以进行建筑物重建项目。本文采用ContextCapture软件进行点云融合并重建模型,该软件具有强大的建模功能,支持多种数据源融合建模。在ContextCapture软件中提交重建任务。

完成参数配置后,启动ContextCapture Engine引擎并提交新的重建任务,输出成果格式设定为OSGB格式,然后执行计算任务。重建完成后得到多源数据融合建模的三维模型,通过将三维激光扫描与倾斜摄影的点云数据进行融合,很好的实现了两种测量方式的优势互补,在经过一系列处理后获得了质量较好的建筑物三维重建模型,能完整反映目标建筑物的实际状况,实现了预期目标。

5 结语

三维激光扫描和倾斜摄影测量技术的应用大大提高

了测绘工作的效率和成果质量,对建筑物的保护、可视化有着重要的意义。本文采用多源数据协同建模的方法有效克服了单独应用倾斜摄影或激光扫描技术的局限性:针对无人机倾斜摄影易受地表植被遮挡及相机镜头角度固定而形成采集盲区的不足,通过激光扫描精准获取建筑体中下部细节数据;同时利用倾斜摄影的多角度成像优势,弥补激光扫描因视角限制导致的顶部数据缺失问题,该方法较好地保留了建筑物纹理结构的完整性,使模型成果更加真实可靠。

参考文献

- [1]马力,王德盛,张弛,等.倾斜摄影与激光点云融合建模在城中村精细化测绘的探索应用[J].测绘通报,2024,(S2):156-159.
- [2]于翔,包琼.倾斜摄影与地面激光点云融合精细化建模研究[J].黑龙江科学,2023,14(12):124-127.
- [3]李捷斌,王宁,赵春晨.三维激光扫描仪在建筑物精细重建中的应用[J].测绘通报,2023,(08):126-129.
- [4]张怀阳,郭伟,王继斌,等.三维激光扫描在异形建筑房产测绘中的应用[J].测绘与空间地理信息,2025,48(04):203-205.
- [5]褚杰,盛一楠.无人机倾斜摄影测量技术在城市三维建模及三维数据更新中的应用[J].测绘通报,2017(S1):130-135.
- [6]连毅峰.基于倾斜摄影测量与三维激光扫描的古建筑测绘[J].北京测绘,2024,38(12):1692-1698.
- [7]孔令惠,陆德中,叶飞.三维激光扫描技术在历史建筑立面测绘中的应用[J].测绘通报,2022,(08):165-168+172.
- [8]郭海乐.基于三维激光扫描技术的建筑物三维建模研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(12):199-201+204.
- [9]高玉久,张亮,梁静.无人机倾斜摄影测量在城市建筑实景三维模型重建中的应用[J].科技与创新,2024,(09):191-193.
- [10]彭飞,王艳艳.无人机倾斜摄影与地面激光点云融合建模[J].经纬天地,2025,(01):49-52.
- [11]王树臻,郑国强,王光生,等.多源点云数据融合的建筑物精细化建模[J].测绘通报,2020,(08):28-32+38.