

倾斜摄影测量与三维激光扫描技术在风貌改造项目中的融合应用

李心原^{1, 2}

(1. 四川省地质环境调查研究中心, 四川 成都 610081;
2. 四川九〇九工程勘察设计有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘 要 风貌改造项目往往位于房屋老旧、密度大、造型复杂、局部植被茂密区域, 难以通过单一的测绘手段获取测区准确的房屋测绘数据, 本研究以海丰县人居环境整治风貌提升项目为研究对象, 探索采用无人机倾斜摄影、SLAM (同步定位与地图构建) 三维激光扫描技术相融合的手段, 为风貌改造项目提供高质量的测绘数据。研究表明: 无人机倾斜摄影成果可快速提供项目区立体化、真实的测绘数据, 初步识别整个测区空间布局; SLAM 三维激光扫描成果则提供了测区高精度测绘数据, 完善了倾斜摄影测量成果, 二者融合, 建立准确的数字化模型。两种测绘技术融合互补, 形成了风貌改造项目分层级精细化融合技术方法, 经应用验证, 可满足项目的精度和需求, 为各类风貌改造项目提供测绘方法。

关键词 SLAM 三维激光扫描; 倾斜摄影测量; 风貌改造项目

中图分类号: P23; TN24; TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.027

0 引言

为满足智慧城市与数字孪生对高精度模型的迫切需求, 单一的建模技术已难以胜任。因此, 业界正积极推动倾斜摄影测量、三维激光扫描与近景摄影测量的技术融合。倾斜摄影技术能高效获取的测区整体三维模型^[1], 但倾斜摄影测量技术存在固有局限, 受制于其“自上而下”的航空作业模式, 对于建筑底部、挑檐下部、密集街区内部等被遮挡区域, 往往无法有效采集数据, 导致生成的三维模型在这些区域出现扭曲、变形或大面积空洞, 影响模型的完整性与精度。而三维激光扫描技术凭借主动激光发射机制, 可实现高精度点云数据采集, 地面三维激光扫描能获取建筑物地面部分点云数据^[2]。本文就实际项目将倾斜摄影技术与三维激光扫描技术相融合, 使两项技术在该类项目中达到互补, 通过特定的数据采集顺序, 从“整体—局部”实现三维模型的快速、精准重建。

1 风貌改造项目中的测绘技术融合

1.1 倾斜摄影测量技术

倾斜摄影测量技术是将无人机用作核心测量设备, 利用该设备搭载五镜头相机, 从不同角度同步对测区实施垂直和倾斜摄影, 以实现各方向影像信息的同步获取, 并结合空中三角测量原理, 完成测绘区域三维模型构建。具体技术流程包括:

一是像控点布设: 根据测区面积, 在地面上均匀、有效地布设已知高精度坐标的标志点。二是航飞规划: 将测绘区域面积与成图比例尺要求作为依据, 对无人机飞行航线及其高度做出科学确定^[3]。三是图像采集和数据处理: 使无人机按设定航线飞行, 完成测绘区域多角度航摄影像获取; 利用专业软件结合像控点约束进行空中三角测量解算, 对影像数据进行处理, 生成数字正射影像 (DOM) 和三维模型。四是成果运用: 根据三维模型成果, 利用软件系统完成地形图编辑工作。

1.2 SLAM 三维激光扫描技术

SLAM 三维激光扫描技术主要在地面以“实时定位和地图构建”原理为基础, 利用手持三维激光扫描设备将激光束发出, 以实现目标物体表面三维点云数据的快速获取, 并同步完成设备自身位置计算, 可在不设置控制点的情况下精准采集数据。在该类中, SLAM 三维激光扫描技术主要适用于测绘房屋改造立面。测绘时, 第一步是对现场实施全面勘查, 以明确街道外立面基本环境条件, 合理确定扫描范围, 并结合房屋立面具体改造精度要求做好设备参数调整。第二步是手持扫描仪沿改造建筑外立面扫描, 避免出现扫描死角, 使点云数据采集保持连续。第三步是将原始扫描数据以 Las 文件格式导入专业化内业处理软件, 由软件自动完成点云配准和去噪处理, 再将处理后的点云附着到 AutoCAD 中, 完成改造房屋二维立面图绘制。

1.3 倾斜摄影测量与三维激光扫描融合基本原理

在这类测绘项目测绘中，单一的倾斜摄影技术与三维激光扫描技术应用都将面临明显缺陷，前者虽可实现全测区大范围宏观覆盖，完成整体立体化真实地形、房屋数据的获取，但由于测区房屋密度较大，植被比较茂盛，很容易出现测量死角，建筑立面墙角、门窗等测绘精度也存在明显不足，测绘结果将与立面实际改造需求不符；后者虽能够完成改造建筑立面细节数据精准获取，但覆盖面小，数据采集速度慢，大范围空间数据分布特征明显缺乏^[4-5]。为应对两项技术单独应用缺陷，在本次风貌改造项目中，将两种技术融合应用，以达到优势互补效果。

融合技术需在同一坐标系支持下为两项技术下的数据源建立统一关联，通过倾斜摄影测量技术对测区大范围地形及房屋等地物分布数据进行测量，采集测区整体数据；通过 SLAM 三维激光扫描技术对改造建筑立面细节数据进行扫描获取，使倾斜摄影测量技术精度短板得到有效填补，完善局部数据。具体测绘时，首先需要分别对倾斜摄影侧向数据和三维激光点云数据进行全面采集；然后将图根控制点作为基础完成数据配准，使三维激光点云数据全面对齐倾斜摄影数字化三维模型；最后利用软件，生成大范围、高精度的完整测绘成果图（见图 1）。

2 倾斜摄影测量与三维激光扫描技术在风貌改造项目中的融合应用案例

2.1 项目要求

海丰县老旧村社风貌改造项目测绘工作要求采用 2000 国家大地坐标系，1985 国家高程基准；绘制测区 3.6 km² 范围 1:500 比例地形图；对测区内 12 条路线内建筑进行立面图绘制，并对关键部位进行尺寸标注；建立全测区，包括完整地形及建筑立面细节的三维模型。为确保该项目测绘工作效果，满足老旧村社风貌改造需求，具体建模中，工作人员应注意以下几个核心建模需求：

一是将总面积为 3.6 km² 的整个测区范围地形地貌完整呈现在模型中；测绘区域内的高速与国道等各类

交通设施；所有水系和植被等地表关键信息要素等，为整体项目后续规划改造工作提供完整、详细的地形信息基础^[6]。二是需要对该项目中需要改造的 2292 栋既有建筑外观特征做到精准还原，需要还原的细节主要包含改造建筑墙体材质、立面结构和门窗尺寸等，为后续单栋房屋建筑针对性改造方案合理设计提供完善的数据支撑。三是确保该模型和行业内常用处理软件之间的良好兼容性，并将输出格式统一设定为 CAD（DWG）格式，为设计单位后续调用、查看等提供足够便利。四是要根据测绘区域现场外业实地检查数据对该模型实施进一步修正，使其中的所有元素完全与现场实际地形地貌保持一致，不可出现漏测或绘制错误等情况，为该项目后续改造施工提供足够可靠的数字化与可视化测绘信息支持。

2.2 倾斜摄影测量具体实施办法

为充分发挥倾斜摄影测量技术的应用优势，满足该项目大范围、多元素测绘工作要求，具体测绘时，工作人员需结合该项目实际情况及测绘工作要求等，采取合理的措施实施倾斜摄影测量工作。根据该项目基本测绘需求与技术标准采取以下步骤：

一是像控点布设。通过 6 台 GNSS 接收机对该项目测绘区域实施 RTK 网络测量，在交通便利、视野开阔且地面基础稳定的区域设置相控点。通过坐标偏差校准合格后，取两次测量数据平均值记作单点测量数据，最终形成包含 36 个像控点的成果表。二是无人机航测准备和实施。在完成像控点布设后，运用飞马 D2000 型无人机用作基础航测设备，搭载 D-OP3000 型五镜头相机开展倾斜摄影测量。将该项目测区范围内的 12 条线路具体分布情况作为依据，合理完成航线规划工作，使整个测区范围得到全面覆盖。三是内业处理。对于无人机倾斜摄影测量信息数据，先通过 ContextCapture 软件进行空三解算，完成正射影像和三维模型生成操作，再通过 CASS11.0 软件完成地形图绘制。

2.3 三维激光扫描融合技术的具体实施办法

三维激光扫描技术主要用来测绘改建房屋立面细节，并和倾斜摄影测量技术做到优势互补。根据倾斜

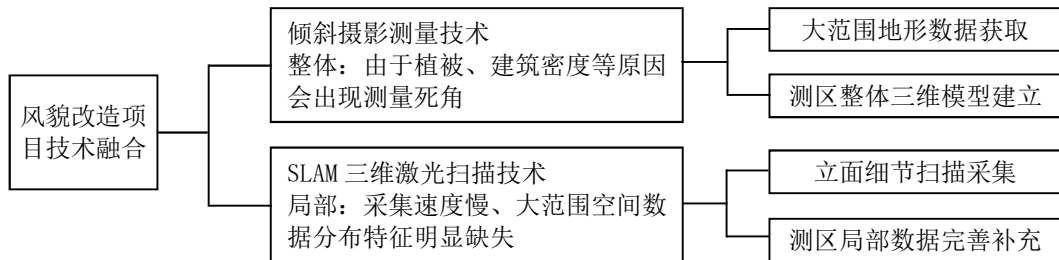


图 1 融合技术示意图

摄影测量的三维模型成果数据, 确定需完善数据的扫描范围, 进行如下步骤:

一是前期规划。根据该项目改造房屋建筑清单, 结合倾斜摄影测量数据成果, 按测区 12 条路线完成扫描计划分区设定, 到现场对每栋建筑外立面具体环境进行实地勘查, 以实现扫描点和扫描路径的合理确定, 防止电线杆塔或树木等对扫描造成遮挡^[7]。二是设备调试和扫描。将 SLAM 三维激光扫描仪用作扫描设备, 根据立面精度控制需求调节扫描距离、点云密度等关键参数, 确保所有建筑立面得到全面覆盖。之后按规划方案进行扫描, 并做好各项异常情况的同步记录。三是内业处理。将扫描获取的原始数据以 Las 文档格式导出, 输入专业化内业处理软件实施点云去噪和配准处理, 再利用 AutoCAD 软件完成处理后的点云附着, 最后按 1:500 比例完成建筑物各面立面图绘制, 将关键参数标注在测绘图上, 为每一栋改造建筑立面生成针对性测绘成果, 并关联存储到倾斜摄影测量成果伏虎地形图中^[8]。

2.4 数据融合与三维建模

按“整体一局部、统一基准、缺陷互补”原则实施数据融合处理, 使倾斜摄影测量技术与三维激光扫描技术成果得到有机整合。具体融合时, 先将 36 个图根控制点作为统一基准, 使 SLAM 点云和倾斜摄影模型一一对齐, 令两者在 2000 坐标系中的坐标参数保持一致, 全面消除坐标数据偏差。再利用倾斜摄影测量结果为 SLAM 提供补充, 包括屋顶檐口构造和坡度单根数据, 从而使 SLAM 测量获取的改造建筑立面细节全面融合到测区房屋和整体地形中, 并进一步填补倾斜摄影测量死角和改造建筑立面细节。最后借助内业软件对融合处理后的测绘数据实施整合与处理, 以实现一体化三维模型生成, 再以三级检查制度对该项目测绘成果进行验证, 确保模型中所有元素均与实际地形位置保持一致, 数据配准精度、整体模型进度均符合测绘要求^[9]。

为使融合中的关键工序参数可控、成果精度可追溯, 测绘单位对该项目关键任务完成情况和质量检查结果进行了统计, 经统计发现各项关键任务均已全面完成, 且质量检查结果均合格。

2.5 融合技术应用效果

通过该项目实践应用发现, 与传统全站仪模式下的逐点测绘工作相比, 倾斜摄影测量与三维激光扫描融合技术的作业周期显著缩短(由传统 20 个工作日缩短至 12 个工作日), 建筑立面数据采集效率显著提高, 整体采集效率提高 40% 左右。经进一步分析可知, 上

述效果主要得益于 SLAM 技术实际应用中不需要布设控制点, 可实现外业控制点选择、标记等准备工作时间的显著缩短; 且在倾斜摄影测量技术的大范围覆盖能力支持下, 局部测量工作中也不再需要重复扫描。另外, 在后续的工程设计阶段中, 融合技术模型也具有更高复用率, 设计单位可直接从模型中提取需要改造的墙体和门窗等参数, 以省略二次测绘, 实现整体项目时间和成本的显著节约。可见, 融合技术在该项目中的应用效果显著, 将该项目融合策略合理应用到后续同类测绘项目中, 可为其测绘精度和时效性提升提供技术支持。

3 结论

通过倾斜摄影测量数据, 对整个测区 3.6 km² 范围实现了全面覆盖, 为测区三维模型的建立、地形图的绘制、三维激光扫描仪作业范围提供数据支持。通过 SLAM 三维激光扫描数据对测区 2292 栋改造建筑立面形成全面覆盖, 完善了倾斜摄影测量技术单独应用的短板。二者融合建模, 从整体到局部的方法, 使得模型质量控制效果显著, 三级检查模式为成果可靠性提供了良好的保障。建模成果达到的效果突出, 最终成果大范围地籍测绘精度高, 改造建筑细节完整, 为该项目 2292 栋老旧建筑立面图绘制提供了精确的数据支持, 且可供后续同类项目测绘参考。

参考文献:

- [1] 周海平. 车载激光扫描技术在三维地籍测量项目中的精度分析[J]. 地理空间信息, 2018,16(10):14-16.
- [2] 孙杰, 谢文寒, 白瑞杰. 无人机倾斜摄影技术研究与应用[J]. 测绘科学, 2019,44(06):145-150.
- [3] 杜建丽, 陈动, 张振鑫, 等. 建筑点云几何模型重建方法研究进展[J]. 遥感学报, 2019,23(03):374-391.
- [4] 曾齐红. 机载激光雷达点云数据处理与建筑物三维重建[D]. 上海: 上海大学, 2009.
- [5] 贾晓博. 融合倾斜摄影和激光点云的城市实景三维重建方法[J]. 北京测绘, 2025(02):170-176.
- [6] 彭东方. 三维激光扫描结合倾斜摄影测量的异形建筑物立面测量研究[J]. 建筑技术开发, 2025(05):91-93.
- [7] 刘晓辉. 融合倾斜摄影测量与三维激光扫描技术的三维模型构建[J]. 智能城市, 2025(06):45-47.
- [8] 刘得朋, 赵芳杰, 朱小琼. 无人机倾斜摄影和三维激光扫描在历史建筑测绘中的应用[J]. 测绘, 2025(04):287-291.
- [9] 曹学伟, 张秋英, 徐洪峰, 等. 三维激光扫描与倾斜摄影测量数据协同建模技术研究[J]. 工程技术研究, 2025(08):210-212.