

三维激光扫描在历史建筑平移比对中的应用

曾严红

上海同丰工程咨询有限公司，上海

收稿日期：2025年7月4日；录用日期：2025年7月24日；发布日期：2025年8月6日

摘 要

建筑平移技术越来越多地运用在城市更新背景下的历史建筑保护及再利用中，与此同时平移前后对建筑主体的对比评估显得尤为重要。本文以某实际历史建筑平移项目为例，详细阐述采用三维激光扫描技术，基于前后两次的三维点云数据模型，在建筑平面轮廓、外立面损伤识别、墙面倾斜度中的对比应用。此外，在外立面损伤识别应用中，同时引入无人机倾斜摄影进行方法比对，突出了三维激光扫描技术在外立面损伤识别应用中具有更优的适用属性，上述可为今后类似的平移比对项目提供参考。

关键词

历史建筑，平移比对，三维扫描

The Application of 3D Laser Scanning in the Comparison of Historical Building Translation

Yanhong Zeng

Shanghai Tongfeng Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai

Received: Jul. 4th, 2025; accepted: Jul. 24th, 2025; published: Aug. 6th, 2025

Abstract

The technology of building relocation is increasingly applied in the protection and reuse of historical buildings in the context of urban renewal. Meanwhile, the comparative assessment of the building's main structure before and after relocation is particularly important. This paper takes a real historical building relocation project as an example to elaborate on the application of 3D laser scanning technology in the comparison of building plane contours, facade damage identification, and

wall inclination based on the 3D point cloud data models before and after relocation. In addition, in the application of facade damage identification, unmanned aerial vehicle oblique photography is introduced for method comparison, highlighting the superior applicability of 3D laser scanning technology in facade damage identification. The above can provide a reference for similar relocation comparison projects in the future.

Keywords

Historical Architecture, Translation Comparison, 3D Scanning

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,历史保护建筑的再利用已经成为城市更新大背景下的重要课题,历史保护建筑是城市文化传承的载体,也是城市发展的独特资源,越来越多的历保建筑、历保建筑街区经规划改造后焕发新春,成为城市的特色风貌景点,其在文旅融合、商业创新、文化展示等方面均展现突出效果。

历史建筑平移是先进的建筑保护技术,通过整体移动建筑物来避免拆除,可以在保护历史风貌的同时,实现城市空间的优化利用。近期上海地区较为有名的平移项目如淮海社区街坊[1]、永庆里石库门、张园石库门等。由于历史建筑结构体系均较为薄弱,即使采用一定加固措施,在平移后仍会产生一定影响,因此平移前后的评估工作显得尤为重要。三维激光扫描是一种实景三维测绘技术,可以全方位的采集并重构出房屋三维模型及点、线、面、体等一系列三维空间数据,其最大的特点就是现状还原能力,因此可以很好的适用于历史建筑平移前后的比对工作。本文将某历史建筑平移项目为例,详细介绍三维激光扫描用于比对的主要方法和处理流程,旨在为今后类似的项目提供参考借鉴。

2. 三维激光扫描技术概要

三维激光扫描是近年来在历史保护建筑领域较为热门的新型测绘技术,其基本原理是通过激光测距获取物体表面的三维空间信息,依托扫描仪内置的精密角度解码器或惯性测量单元,确定激光束发射的方位角和俯仰角,随后将各向距离转化为空间坐标,扫描数据成果是海量空间坐标点的聚集,称为点云数据[2]。

在点云数据的使用方面,按照点云包含的属性信息分类可分为无属性点云、带强度点云、带 RGB 颜色点云、带法向量点云、带多回波点云、带时间戳点云、带分类标签点云等。其中在建筑领域中常用带强度点云和带 RGB 点云,(1)带强度点云:包含每个点的三维坐标和激光反射强度信息,强度值指激光打到物体表面后,部分能量被反射回接收器,与物体表面材质、入射角、扫描距离、表面粗糙度等均有关,强度信息可以用于材质区分、目标识别,且不受光线影响,对于历史建筑而言,其最突出的优势在于用强度值点云较 RGB 点云可以更突出结构细节;(2)带 RGB 颜色点云:包含每个点的三维坐标和对应的 RGB 色彩,颜色主要来自扫描设备内置的相机或后期软件贴图形成,其最大的特点就是使得三维点云模型实景化,通过渲染软件介入后,可以使用户得以身临其境的感觉,但其受环境及光线影响因素较大。

三维激光扫描的主要工作流程包括现场踏勘、路线规划、现场扫描、数据拼接、数据配准、数据去噪等。

3. 案例应用

某历史建筑为一幢地上 2 层的砖木结构房屋，约建于 19 世纪末至 20 世纪 30 年代，为上海典型的老式石库门里弄住宅。房屋布局包含石库门、前后天井、客堂间、阁楼，外墙采用清水砖墙、石材门框、砖雕灰塑装饰，其风貌核心元素为石库门头、山墙、里弄肌理等[3]。房屋整体平面大致呈直角梯形，东西向总宽度为 19.80 m，南北向总长度为 55.15 m，总高度约为 8.7 m，房屋原作为居民住宅使用。

由于所处地块进行改造更新，根据最终规划方案，该房屋被选为个别原物保留建筑，需要在地块中进行平移。房屋于 2022 年于历史保护建筑甄别工作中已经采用三维激光扫描技术进行了现状数据采集，近期在房屋平移后，计划采集新一轮扫描数据，前后两次均采用徕卡 RTC360 型三维激光扫描仪，设备相关参数见表 1 所示，通过先后两期点云数据的对比，来明确房屋在平移后所发生的变化情况，房屋两次点云模型见图 1 所示。

Table 1. Main parameters of RTC360 scanner
表 1. RTC360 型扫描仪主要参数

距离测量系统	WFD 波形数字化技术
扫描范围	0.5~130 米
视场角	水平 360°垂直 300°
扫描速率	2,000,000 点/秒
测角精度	18"
测距精度	1 mm + 10 ppm
范围噪声	0.4 mm @ 10 m\0.5 mm @ 20 m

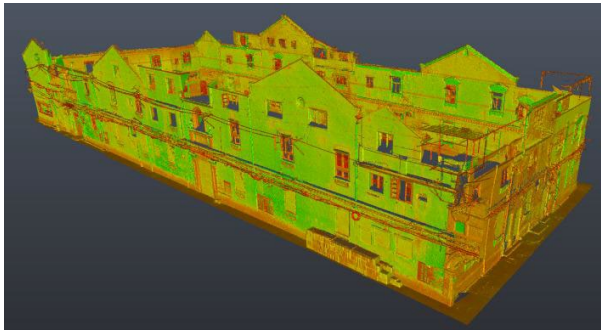


Figure 1. 3D point cloud model before and after translation
图 1. 平移前后的三维点云模型

3.1. 平面轮廓比对

基于三维点云模型，从房屋平面上进行比对。首先仔细检查平移前后点云模型的外立面，避开因平移采取加固或支撑等方式导致外部轮廓的局部变化部位，经过细致筛选后，本次选取一层窗户处一半的部位进行点云剖切，应结合几何特征点尽量确保两个点云模型的剖切位置一致，切片后轮廓点云数据见图 2 所示。

将两次点云切片进行进一步的去噪和轻量化处理后导入专业分析软件，此时可以采用最佳拟合或多点拟合的方式进行配准，多点拟合考虑角点或特征点，本次点选 4 个角点进行标记，通过配准将两次切片完成重合，随后需要对重合情况进行检查，如重合效果较差则需要反复利用各类的拟合方式进行多次尝试，直到得到理想的重合结果。两次点云切片的拟合配准结果见图 3 所示。

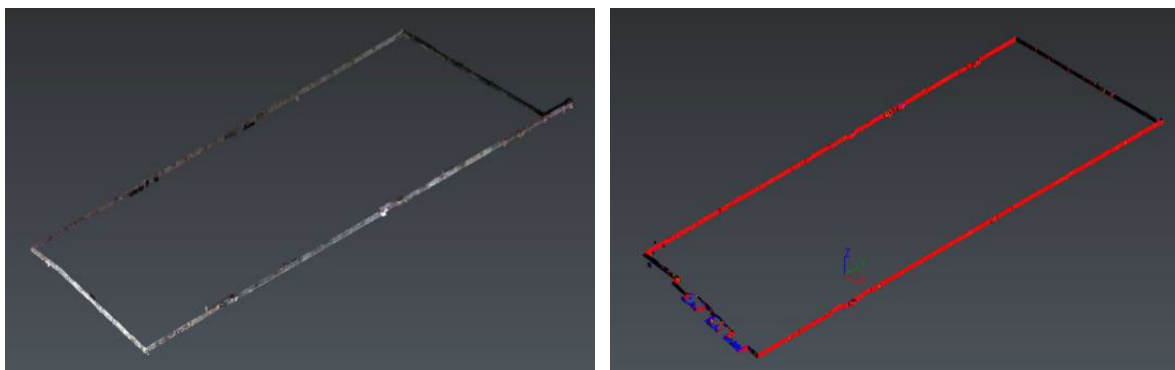


Figure 2. Slice contours before and after translation

图 2. 平移前后的切片轮廓



Figure 3. Fitting registration of two point cloud slices

图 3. 两次点云切片的拟合配准

对平移前后的两次切片模型进行比对分析，首先需要确定其最大偏差参数，分析色谱将根据不同的公差反映其偏离情况，可以从小到大选取如 5 mm、10 mm、20 mm 的步距依次进行计算分析，以此获取其整体的偏差情况，本项目当调试为 50 mm 时，色谱反映的包络基本在色谱范围之内，因此认为平移后的平面偏差范围控制在 50 mm 之内，比对分析结果见图 4 所示。

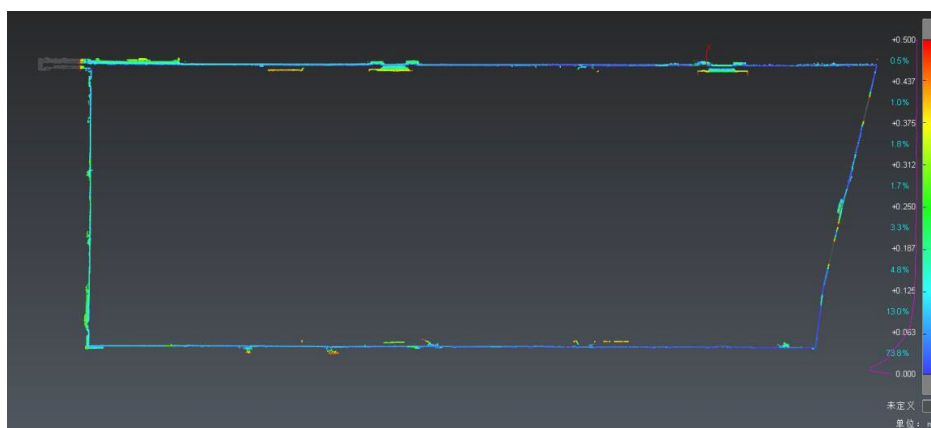


Figure 4. Comparative analysis of two point cloud slices

图 4. 两次点云切片的比对分析

3.2. 外立面损伤比对

由于砖木结构整体性较差,抗震能力薄弱,因此房屋平移后的比对工作尤为重要。基于两次的点云模型,分段将各个立面逐一截取出来,为了更好的显现损伤细节,使用带强度点云进行比对,平移前后的局部立面点云数据分别见图 5、图 6 所示。比对结果表明,平移后外立面存在多处墙体破损、开裂、粉刷脱落、砖面破损等损伤状况,将立面点云导入 CAD 中,对各类型损伤进行分类注释,对损伤的长度、走向、范围进行 1:1 的描绘,整理后为后续施工修补及统计工作量提供依据。

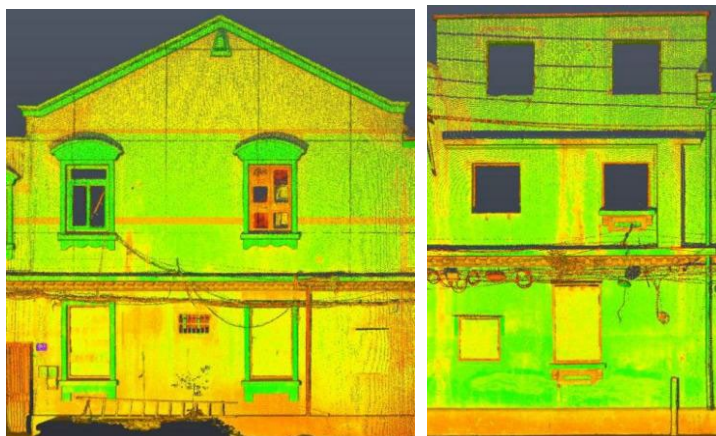


Figure 5. Translate the front elevation point cloud data

图 5. 平移前立面点云数据

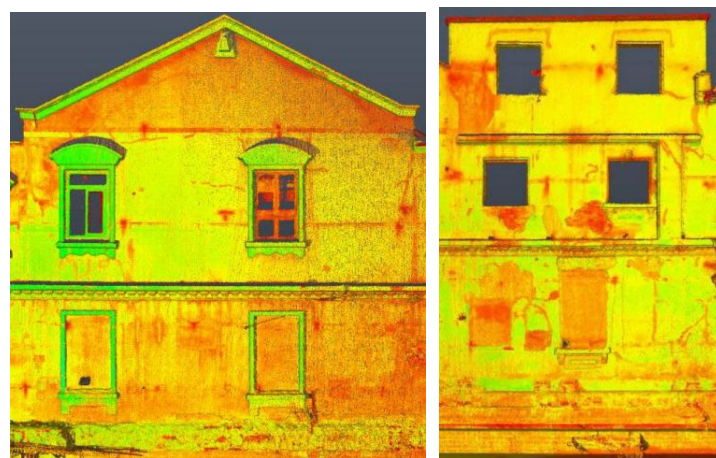


Figure 6. Translated elevation point cloud data

图 6. 平移后立面点云数据

另一方面,为探索更高效的损伤调查技术方法,现场同时采用三维激光扫描与无人机近景摄影对房屋外立面进行数据采集,无人机采集效率优于三维激光扫描,分别经后处理及建模软件处理后得到三维模型,见图 7、图 8 所示,对比两种三维模型可知,点云模型立面影像较为细致、全面,整体色彩度偏暗(依赖各类型设备的内置相机效果),但其转化为带强度点云后可较为清晰的显现损伤细节,同时点云数据便于后续矢量转换及统计工作;倾斜摄影模型实景效果突出,损伤反映的较为清晰、直观,但其受房屋构造、周边环境布局影响大,悬挑部位及下部容易出现一定程度的拉花变形或缺失,且其较难转化为矢量数据,因此建议当使用场景为房屋周边开阔无遮挡,且对损伤调查要求较为笼统的情况下使用。



Figure 7. Exterior point cloud model

图 7. 外立面点云模型



Figure 8. Tilt photography model of exterior facade

图 8. 外立面倾斜摄影模型

3.3. 墙面倾斜率比对

本次平移后的墙面倾斜率采用全站仪进行采集, 由于平移前未对房屋进行倾斜率测试或没有得到相关的检测数据成果, 考虑到平移前未做监测计划, 也没有预设的倾斜比对点, 因此只有通过此前的三维点云数据进行倾斜比对。

依据全站仪采集的测点位置, 共布置 11 个测点, 测点布置位置见图 9 所示, 将点云模型中所涉及的墙体逐一剖切出来, 此时需注意的, 为避免点云拼接后的误差累积及测站集群后导致的轮廓点云厚度等问题, 必须采用测试范围所涉及的未拼接的原始单测站进行剖切提取, 以此进行倾斜率计算和统计, 在调整好坐标系后, 点选全站仪测点高度范围的点云数据进行倾斜率计算[4]。

比对结果表明, 房屋各墙面测点东西向倾斜率变化无明显规律, 倾斜率变化量在 0.13‰~7.19‰之间; 南北向倾斜变化无明显规律, 各测点倾斜率变化量在 1.31‰~4.84‰之间; 平移前后墙面相对倾斜率见表 2 所示。

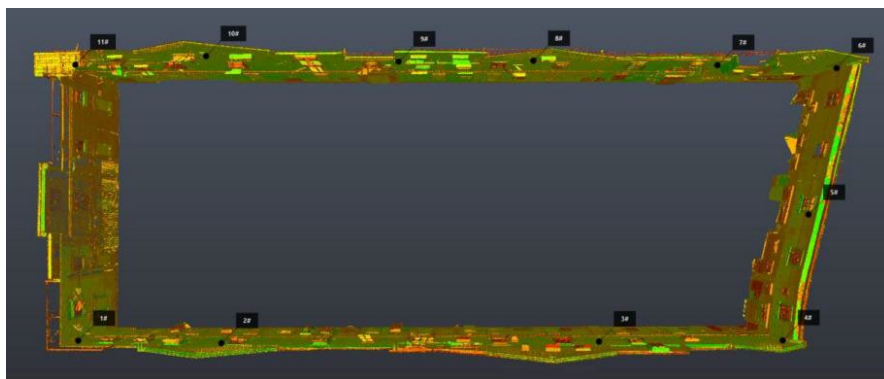


Figure 9. Point cloud tilt point layout position

图 9. 点云倾斜点布置位置

Table 2. Comparison results of relative inclination of the wall before and after translation
表 2. 平移前后墙面相对倾斜比对结果

点号	平移后(东西)		平移前(东西)		平移后(南北)		平移前(南北)	
	偏移方向	相对倾斜	偏移方向	相对倾斜	偏移方向	相对倾斜	偏移方向	相对倾斜
1	西	6.14‰	西	1.84‰	北	5.00‰	北	3.69‰
2	西	1.98‰	西	3.43‰	/	/	/	/
3	东	2.63‰	东	1.16‰	/	/	/	/
4	西	12.34‰	西	7.54‰	南	0.32‰	南	3.50‰
5	/	/	/	/	北	5.64‰	北	1.93‰
6	/	/	/	/	南	10.82‰	南	5.98‰
7	东	2.10‰	东	0.77‰	/	/	/	/
8	西	17.85‰	西	10.66‰	/	/	/	/
9	东	6.37‰	东	3.50‰	/	/	/	/
10	东	1.92‰	东	1.61‰	/	/	/	/
11	东	2.58‰	西	2.45‰	/	/	/	/

4. 结论

历史建筑是城市记忆和地域文化的物质化表达，承载着文化传承、历史见证等多重意义，历史建筑平移是历史建筑保护与城市更新的有机结合，具有非凡的意义。本文以实际项目为例，详细阐述采用三维激光扫描技术在历史建筑平移对比中的应用。

- 1) 基于平移前后的三维点云模型，经合理剖切及拟合后，分析其平面轮廓所产生的偏差极值及范围。
- 2) 基于平移前后的三维点云模型，采用带强度值点云进行外立面损伤细节比对，后将损伤点云矢量化，对损伤的长度、走向、范围进行准确定位及统计。此外与无人机倾斜摄影模型进行比对，分析总结两种技术在外立面损伤识别中的优缺点和适用条件。
- 3) 基于平移前的三维点云模型，在没有预设倾斜监测点的情况下，依据平移后的全站仪倾斜测点，由点云数据转化为先期倾斜值用于比对。

参考文献

[1] 涂祥. 城市更新下文物建筑群平移关键技术[J]. 建筑技术, 2024, 55(24): 2980-2983.
[2] 杨敏. 三维激光扫描结合无人机倾斜摄影在街区改造测绘中的技术应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(10): 250-251+254.
[3] 臧晓琳, 王兴田, 孙璘. 上海石库门里弄空间演化分析[J]. 城市建筑, 2024, 21(2): 83-85.
[4] 田绍泉. 三维激光扫描技术在柱形建筑倾斜度测量中的应用[J]. 经纬天地, 2023(4): 87-90.