

基于三维激光扫描技术的规划核实测量方法及精度验证

曾庆连

城乡院(广州)有限公司, 广东 广州

收稿日期: 2025年9月20日; 录用日期: 2025年10月13日; 发布日期: 2025年10月23日

摘 要

为克服传统建筑物竣工测量方法存在的效率低、环境适应性差及细节获取不足等问题, 本研究系统探索了新型徕卡RTC360三维激光扫描仪在该领域的应用。研究选取约40万平方米的建成住宅小区作为实验区, 建立了完整的技术流程: 利用RTC360进行外业快速数据采集; 采用徕卡Cyclone软件进行点云拼接、去噪与绝对定向处理; 基于处理后的高精度点云, 利用清华三维EPS软件绘制建筑物立面图与竣工地形图。精度检验结果表明, 所获立面图中误差为0.011 m, 地形图平面中误差为0.026 m, 高程中误差为0.013 m, 均满足《城市测量规范》要求。效率对比分析显示, RTC360方案总工期仅需5天, 远低于传统全站仪法(9.75天)和常规扫描仪法(7.5天), 其单站扫描速度快(最快26秒)、非接触测量方式有效解决了高空、异形结构测量难题, 并确保了数据完整性与可视化。尽管存在建筑密集区需设站较多(本实验74站)及顶部点云易缺失等局限, 研究证实RTC360为建筑物竣工测量提供了一种高精度、高效率、高完整性的创新解决方案, 具有良好的应用前景。

关键词

RTC360三维激光扫描仪, 竣工测量, 点云拼接, 精度检验

Planning Verification Measurement Method and Accuracy Verification Based on Three-Dimensional Laser Scanning Technology

Qinglian Zeng

Urban and Rural Institute (Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Received: September 20, 2025; accepted: October 13, 2025; published: October 23, 2025

Abstract

To overcome the issues of low efficiency, poor environmental adaptability, and insufficient detail acquisition in traditional building completion survey methods, this study systematically explores the application of the new Leica RTC360 3D laser scanner in this field. A built residential area covering approximately 400,000 square meters is selected as the experimental area, and a complete technical process is established: rapid data acquisition in the field using the RTC360; point cloud stitching, denoising, and absolute orientation processing using Leica Cyclone software; based on the processed high-precision point cloud, building elevation maps and completion topographic maps are drawn using Tsinghua 3D EPS software. The accuracy inspection results show that the error in the obtained elevation map is 0.011 m, the error in the topographic map plane is 0.026 m, and the error in elevation is 0.013 m, all of which meet the requirements of the "Urban Surveying Specifications". Efficiency comparison analysis shows that the total construction period of the RTC360 scheme is only 5 days, which is much lower than that of the traditional total station method (9.75 days) and conventional scanner method (7.5 days). Its single-station scanning speed is fast (up to 26 seconds), and its non-contact measurement method effectively solves the measurement challenges of high-altitude and irregular structures, ensuring data integrity and visualization. Despite limitations such as the need for multiple stations in densely populated areas (74 stations in this experiment) and the potential loss of top point clouds, the study confirms that the RTC360 provides an innovative solution for building completion surveying that is high in precision, efficiency, and integrity, with good application prospects.

Keywords

RTC360 3D Laser Scanner, Completion Survey, Point Cloud Stitching, Accuracy Inspection

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

建筑物竣工测量作为建筑工程生命周期中承上启下的关键环节,是建筑物实体建设完成、正式交付使用前不可或缺的质量控制和空间信息归档步骤。其核心目标在于精确获取建筑物最终的几何形态、空间位置及其与周边环境的拓扑关系,为后续的产权登记、规划核实、运维管理乃至城市三维基础数据库建设提供权威、翔实的空间数据支撑。传统竣工测量主要依赖全站仪、钢尺、测距仪等设备进行外业数据采集,通过逐点观测、手工记录的方式获取建筑物的角点坐标、边长、高度等关键几何参数[1][2]。这种方法虽然技术成熟,但在面对体量庞大、结构复杂或环境受限的现代建筑时,其局限性日益凸显:作业周期漫长、人力投入巨大、高空及危险区域测量安全风险高、异形结构(如曲面幕墙、历史建筑复杂构件)数据获取困难且易遗漏细节、内业成图效率低下且易受人为因素干扰。特别是在大型住宅小区、工业厂房或城市综合体等动辄数十万平方米的测区中,传统方法往往显得力不从心,难以满足现代工程建设对高时效性、高精度和全要素信息化的迫切需求。三维激光扫描技术应用于竣工测量的研究与实践已取得显著进展。国内外学者已证实其在大比例尺测图、立面测绘、竣工核实等方面的可行性与精度可靠性(如文献[1]探讨了其在建筑竣工测绘中的应用潜力,文献[3]聚焦于景观竣工测量,文献[4]则将其拓展至地铁隧道等特殊构筑物的竣工验收)。然而,该技术在推广应用中仍面临一些挑战:早期设备扫描速度相对较慢、外业设站繁多导致效率瓶颈;点云数据量庞大,内业处理(特别是点云配准、去噪、建模)流程复

杂耗时,对软硬件及操作人员技能要求较高;在应对超大型测区或需频繁搬站的环境时,整体作业效率和经济性仍有优化空间。以上已有研究多基于扫描速度相对较慢、自动化程度较低的设备,其在大规模竣工测量项目中的综合效率(尤其外业速度与内业处理时间)优势缺乏系统性量化验证。新型高速、高自动化扫描仪(如 Leica RTC360)在大型复杂竣工场景下的实际性能表现(精度、效率、数据完整性)评估不足。

基于已有研究的基础之上,文中研究聚焦于解决大型建筑物竣工测量面临的高效、高精度、全要素获取的实践难题。系统性地探索并验证新型徕卡 RTC360 三维激光扫描仪及其配套处理流程在大型实际建筑物竣工测量项目中的综合应用效果。设计并实施一套适用于大型竣工测量的、基于 RTC360 的外业数据采集与内业点云处理(拼接、去噪、定向)及竣工图(立面图、地形图)测制的完整技术路线。通过严谨的实地测量对比,定量评估基于 RTC360 点云数据生成的建筑物立面图与竣工地形图的几何精度(平面、高程),验证其是否符合国家相关测量规范(如《城市测量规范》)的严苛要求。本研究选择某实际占地面积约 40 万平方米的已建成住宅小区作为实验区。该区域建筑物与道路成型但绿化未施,通视条件良好,是检验 RTC360 在大范围竣工测量中性能的理想场地。研究成果旨在为测绘行业提供一套经过实践验证的、高效高精度的新型竣工测量技术方案,推动三维激光扫描技术在工程验收、城市规划管理及智慧城市建设中的更广泛应用,并为相关技术标准和规范的完善提供实证依据。

2. 实验区概况

为验证 RTC360 三维激光扫描仪的实际应用效果,选择某区块房屋竣工测量项目进行实验,该测区实际占地面积约为 400,000 m²。小区建筑物与内部道路均已完成,绿化工作均已完成,通视条件较优良,有利于开展三维激光点云采集工作。实验区如图 1(a)所示。



Figure 1. Scope and achievements of the experimental area
图 1. 实验区范围及成果

3. 实验设计

RTC360 三维激光扫描仪用于房屋竣工测量同样包括外业作业与内业数据处理, 其中主要工作在于内业数据处理, 大大降低了外业工作量, 能够有效提升工作效率, 本文涉及实验流程如图 2 所示。

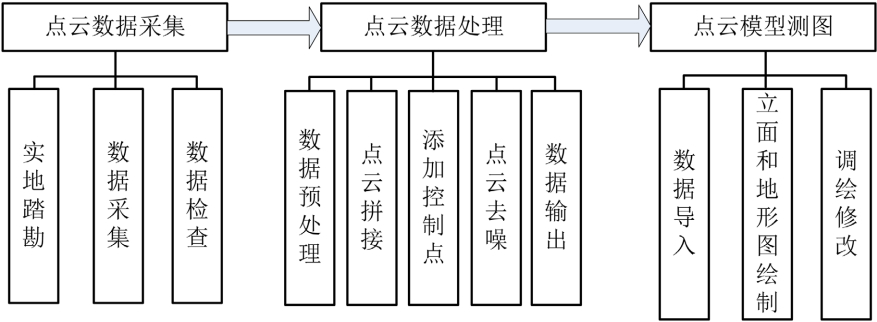


Figure 2. Technical process of RTC360 applied to house completion survey
图 2. RTC360 应用于房屋竣工测量的技术流程

RTC360 三维激光扫描仪应用于建筑物竣工测量的工作流程及其优势。RTC360 在建筑物竣工测量中的应用包含以下核心步骤:

- 1) 外业数据采集: 依据预设测站规划架设仪器并进行参数设置。每站扫描完成后即时进行点云数据预检, 全部外业数据采集完毕后再进行统一的内业检查[5] [6]。
- 2) 内业点云处理: 利用徕卡 Cyclone 软件完成点。
- 3) 点云测图成图: 基于处理后的高精度点云数据云预处理、控制点导入、去噪、拼接以及模型输出等关键处理步骤。在清华三维 EPS 三维测图系统中进行数字线画图(DLG)测绘, 准确表达地物要素的空间位置与属性信息。
- 4) 外业精度核查与补测: 针对内业成图中因遮挡导致点云缺失的区域, 采用传统外业测绘方法进行补充测量和调绘, 确保成果完整性。

相较于传统竣工测量方法(主要依赖皮尺、测距仪、全站仪等), RTC360 三维激光扫描技术展现出显著优势:

- 1) 创新的非接触式采集: 有效解决了传统方法在高空外墙、异形历史建筑等复杂或危险场景中面临的测量难题, 规避了人工操作的风险与局限。
- 2) 高效的场景数字化: 其扫描范围广(80~550 米), 单站作业仅需数分钟即可高精度记录海量空间信息(包含位置与色彩), 效率远超传统手段, 并实现信息可视化。
- 3) 信息完整性与可回溯性: 能够对现实场景进行全面的三维数字化记录, 一次采集即可满足多维度信息需求, 显著避免了因数据遗漏或不足导致的重复外业工作, 从而节省时间、人力及成本投入。

4. 实验结果

4.1. 实验区数据采集

为获取符合要求的点云数据, 需优化测站布设: 优先选择房屋间隙区域设站, 实验区内共设置 74 站。同时, 为提高站点间点云配准的效率和精度, 在测区内均匀布设了 12 个控制点。各控制点严格按图根级精度要求施测: 观测三测回, 每测回采集 10 个历元, 测回间间隔 1 分钟, 确保平面互差小于 2 cm, 高程互差小于 3 cm。扫描仪设置参数如表 1 所示。

Table 1. Main parameter settings of scanner**表 1.** 扫描仪主要参数设置

参数	数值
点云密度	5~10 点/cm ²
扫描距离	50 m
扫描角度	360° × 300°
分辨率	3 mm

4.2. 实验区数据处理

徕卡 Cyclone 软件中创建新工程并导入外业点云数据。随后, 基于点云视图进行自动拼接, 该过程极少需人工干预。完成整体拼接后, 将标靶控制点导入点云模型, 利用其坐标信息执行点云整体绝对定向, 最终输出满足后续生产要求的点云成果(如图 1(b)所示)。

4.3. 基于点云数据的竣工图测绘

(1) 立面图绘制

在清华三维 EPS 软件中创建新项目, 导入处理合格的点云数据。参照高清照片辅助完成点云模糊或稀疏区域的绘图。首先进行建筑物立面图绘制, 完成后移除点云数据。图 1(c)展示了基于点云数据绘制的、图 1(d)中箭头所指建筑物的立面图成果。

(2) 竣工地形图绘制

为避免建筑物、电杆等地物顶部点云干扰矢量提取, 需确定裁剪高程并对点云进行切片裁剪。待裁剪后, 在俯视状态下进行地形要素绘制。同样, 对于点云模糊或稀疏区域, 可参照高清照片辅助成图。所有地形要素绘制完毕后移除点云。图 1(d)展示了基于点云数据生成的实验区竣工地形图成果。

4.4. 精度检验

采用 TS02 型全站仪在实验区采集显著地物特征点作为检验点, 用于检验基于 RTC360 扫描仪生成的竣工图几何精度, 并辅以钢卷尺测量部分门窗长度。

(1) 立面图精度检验

选取测区内部分房屋, 实测其窗户长度、墙体长度及门高等尺寸, 与竣工立面图中对应尺寸值对比, 统计得到的相对误差分布如图 3 所示。

计算得出, 立面图最小误差为 0.001 m, 最大误差为-0.022 m, 误差极差为-0.02 m 至 0.02 m, 中误差为 0.011 m, 满足《城市测量规范》对立面测量的精度要求。

(2) 竣工地形图精度检验

在测区均匀布设 70 个平面检验点和 12 个高程检验点, 通过对比检验点坐标与图上同名点坐标进行几何精度检验, 其平面精度统计结果如图 4 所示。

平面精度: RTC360 方法: 平面误差范围: 0.002 m (最小)~0.048 m (最大), 均小于 0.05 m, 中误差 0.026 m。

传统方法: 平面误差范围: 0.001 m (最小)~0.032 m (最大), 均小于 0.04 m, 中误差 0.022 m。

两种方法成果均满足《城市测量规范》对竣工地形图的平面精度要求。

高程精度: 最小误差-0.003 m, 最大误差-0.018 m (极差-0.02 m 至 0.02 m), 中误差 0.013 m, 满足

《城市测量规范》的高程精度要求。

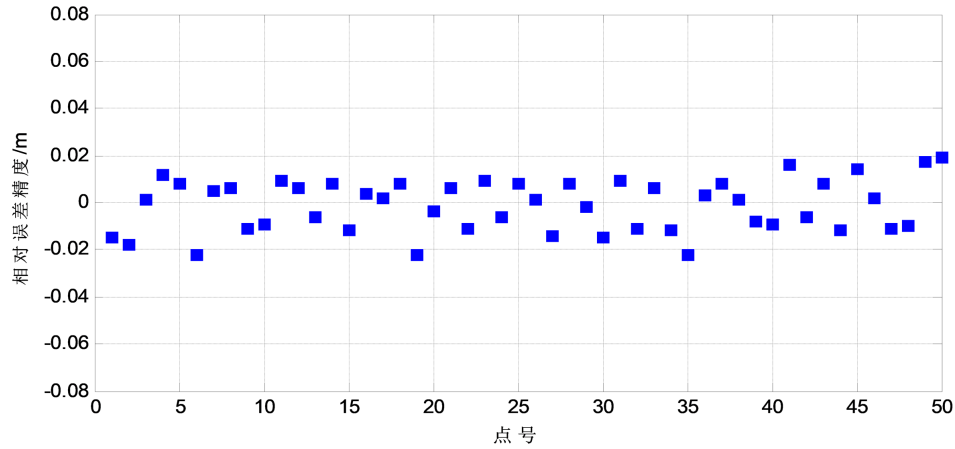


Figure 3. Distribution of relative error
图 3. 相对误差分布图

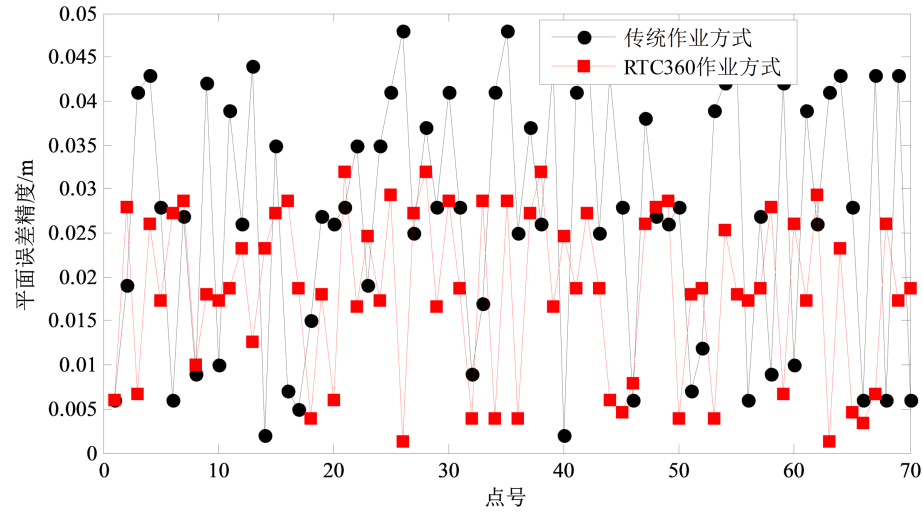


Figure 4. Distribution map of planar accuracy of completed topographic map
图 4. 与传统方法精度比较

4.5. 效率对比

以测区实际占地面积约为 400,000 m² 为例，分别使用不同作业手段开展实验区建筑物竣工测量，对比不同作业手段的作业时间，统计结果如表 2 所示。

Table 2. Comparison of completion measurement efficiency by different operation methods/day
表 2. 不同作业手段的竣工测量效率对比/天

作业手段	资料准备	导线布设	外业实测	内业成图	质量检查	总计
传统全站仪法	0.5	0.75	3.5	4	1	9.75
常规三维激光扫描仪	0.5	0	2	4	1	7.5
RTC360 三维激光扫描仪	0.5	0	0.5	3	1	5

表 2 显示,在竣工测量方法中,传统全站仪法的效率最低、耗时最长,而 RTC360 三维激光扫描仪则效率最高。得益于其单站扫描时间短的特点,RTC360 的外业实测时间显著少于传统全站仪法和常规三维激光扫描仪。同时,该设备依托其专业数据处理软件,能有效缩短内业成图时间。结果表明,RTC360 三维激光扫描仪可有效节约成本,在应对紧急项目时具有显著优势。

5. 结语

本研究通过将徕卡 RTC360 三维激光扫描技术应用于大型建筑物竣工测量实践,系统验证了其技术可行性与显著优势。实验表明,基于 RTC360 获取的高密度点云数据,经 Cyclone 软件高效处理及 EPS 三维测图系统成图,所生成的建筑物立面图中误差为 0.011 m,竣工地形图平面中误差为 0.026 m、高程中误差为 0.013 m,各项精度指标均严格满足《城市测量规范》要求,充分证明其成果可靠性。核心优势突出体现在效率提升与作业革新:

(1) 外业效率革命性突破:在 40 万平方米测区内,RTC360 凭借单站快速扫描(最快 26 秒)、视觉跟踪辅助设站及智能化流程,将外业数据采集时间压缩至仅 0.5 天,较传统全站仪法(3.5 天)和常规扫描仪(2 天)具有压倒性优势。

(2) 内业智能化程度高:集成 Cyclone 软件的自动拼接、去噪与定向功能,大幅减少人工干预,内业成图时间显著缩短至 3 天,总工期较传统方法降低近 50%。

(3) 数据获取能力全面升级:非接触式测量有效解决高空、异形结构及危险区域的数据采集难题;高精度点云完整记录建筑物几何与纹理信息,避免传统手段的遗漏风险,实现“一次采集、多维应用”。

同时需正视其应用局限性,对于建筑密集的大型小区,仍需较多测站(本研究达 74 站),搬站频率较高;建筑物顶部因视角遮挡易形成点云空洞,需辅以无人机倾斜摄影等补充手段。

综上所述,RTC360 三维激光扫描技术为建筑物竣工测量提供了一种高精度、高效率、高完整性的解决方案,特别适用于工期紧迫、结构复杂或安全性要求高的项目。随着设备轻量化、算法智能化及多源数据融合技术的持续发展,该技术有望进一步优化作业流程、拓展应用场景,为智慧城市建设和基础设施精细化运维提供更坚实的三维数据基底。

参考文献

- [1] 田泽海,杨友生,宋康明. 三维激光扫描技术在异形建筑规划条件核实测量中的应用[J]. 地理空间信息, 2021, 19(5): 81-84+5.
- [2] 梁智勇. 三维激光扫描技术在异构建筑规划面积核实测量中的应用[J]. 工程勘察, 2021, 49(3): 59-62+72.
- [3] 周晓波,杨化超. 无人机与三维激光扫描在规划核实测量中的应用[J]. 城市勘测, 2020(6): 111-115.
- [4] 王文晖. 三维激光模型在规划中的应用[J]. 测绘通报, 2017(9): 100-103+125.
- [5] 程俊. 三维激光扫描技术在城市规划核实测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(12): 180-182.
- [6] 胡尧,秦岩宾,张廷斌,等. 三维激光扫描在建设工程竣工规划核实中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(5): 109-111.