引文格式：李潇,卢荣. 空地协同测量在“多测合一”项目中的应用[J]. 地理空间信息, 2026, 24(1): 102-105. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.01.022

空地协同测量在“多测合一”项目中的应用

李　潇[1,2,3]，卢　荣[1,2,3*]

（1. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司，广东 广州 510060；2. 广州市资源规划和海洋科技协同创新中心，广东 广州 510060；3. 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室，广东 广州 510060）

摘　要：工程建设项目“多测合一”的重点在于联合测绘、成果共享。通过融合无人机倾斜摄影和地面三维激光扫描技术建立高精度的实景三维模型，完成现状地形图成图、面积计算、立面图绘制等工作，可实现“多测合一”项目的一次测绘、成果共享，节省了大量的人力物力。实际验证结果表明，基于无人机倾斜摄影技术的建筑场地三维模型的平面、高程中误差分别为±7.60、±9.50 cm，基于架站式和手持式三维激光扫描技术的建筑主体三维模型的点位中误差和边长中误差分别为±3.27、±1.83 cm，精度符合相关规范要求。

关键词：“多测合一”；联合测绘；无人机倾斜摄影测量；三维激光扫描

中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）01-0102-04

Application of Air-ground Integrated Measurement in the “Integration of Multiple Survey” Project

LI Xiao[1,2,3], LU Rong[1,2,3]

(1. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China;
2. Collaborative Innovation Center for Natural Resources Planning and Marine Technology of Guangzhou, Guangzhou 510060, China;
3. Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China)

Abstract: The focus of the “Integration of Multiple Survey” construction project is joint surveying and mapping and data sharing. In this paper, we established a high accuracy 3D real sense model based on the UAV oblique photogrammetry and 3D laser scanning technologies to proceed the topographic mapping, area computation and elevation survey, which could realize one-time surveying and mapping, achievement sharing, and saved a great deal of human and material resources. The actual verificatory results show that the plane and elevation accuracy of 3D model based on UAV oblique photogrammetry technology are 7.60 cm and 9.50 cm, the point position mean error and side length mean error of 3D model based on 3D laser scanning are ±3.27 cm and ±1.83 cm, which can meet the requirements of relevant specifications.

Key words: “Integration of Multiple Survey”, joint surveying and mapping, UAV oblique photogrammetry, 3D laser scanning

工程建设项目“多测合一”改革是贯彻党中央、国务院决策部署，推进政府职能转变，优化营商环境的重要内容。“多测合一”是指在同一工程建设项目中，对时间相近、内容相似、出资主体相同的多个测绘事项进行优化整合，执行统一的技术标准，实现同一标的物只测一次、同一测绘成果只提交一次的测绘服务模式，目前已在北京、上海、广州等地落地实施，各地也相应出台了配套文件。2023 年 12 月 25 日广州市规划和自然资源局与广州市住房和城乡建设局联合印发《广州市创新营商环境推进“多测合一”实施方案》和《工程建设项目“多测合一”技术规程》，将工程建设项目“多测合一”的实施划分为立项用地许可、工程许可、竣工验收 3 个阶段，并统一技术标准，鼓励采用新技术、先进方法但须满足相关精度要求。广州市“多测合一”竣工验收阶段包括规划条件核实测量、人防验收测量、不动产测绘 3 个事项，传统作业方法主要通过 RTK、全站仪、测距等方式进行人工外业测量，工作效率低且存在人为误差。为顺应工程建设审批改革需求，以简化流程、缩短时间为目标，在“多测合一”项目中引入无人机低空摄影、架站式三维激光扫描等先进测绘技术，以提高测绘成果的生产效率、展示层次、拓展应用，辅助实现

项目来源：广东省城市感知与监测预警企业重点实验室基金资助项目（2020B121202019）。
第一作者简介：李潇（1987—），硕士，高级工程师，研究方向为城市测量，E-mail：545421095@qq.com。
通信作者：卢荣（1972—），硕士，高级工程师，研究方向为国土测绘和城市测量，E-mail：871836000@qq.com。

审批改革背景下的建设工程审批信息化、数字化、智能化。已有多项研究[1-7]将这些技术应用于“多测合一”各阶段的测量中。

无人机倾斜摄影测量技术和三维激光扫描技术的发展，使测绘产品质量和效率产生了质的变化。相较于传统点对点的测量模式，新型测量技术能同时快速获取高精度DOM、DEM、DTM和三维实景影像产品，为建设工程规划审批提供三维测绘成果，不仅节省了大量的人力物力，更丰富了成果的展示形式。本文充分利用无人机倾斜摄影和地面三维激光扫描的技术优势，构建了一套空地一体协同测量技术方案：首先通过无人机倾斜摄影测量技术快速构建大范围的实景三维模型，并进行1∶500地形图制作；然后通过架站式三维激光扫描技术快速获取建筑主体的高精度三维点云，并进行面积计算和立面图绘制；最后通过SLAM三维激光扫描技术快速获取建筑的室内三维点云，并进行套内面积计算、车位尺寸量算等工作。通过实际验证，该方法的精度符合相关规范要求，且效率得到了明显提高，真正实现了“多测合一”项目的一次测绘、成果共享。

1　空地协同测量关键技术

1.1　基于PPP-RTK的无人机倾斜摄影测量

无人机倾斜摄影测量是通过无人机搭载特定参数的相机对物体进行多角度拍摄，再根据摄影测量原理确定相片的内外方位元素，最终计算得到特征点的三维坐标，可快速建立大范围、高精度、纹理真实的三维模型。基于无人机倾斜摄影测量的1∶500地形图制作已有广泛研究[8-11]。无人机倾斜摄影测量包括像控测量、无人机相片数据采集、空三计算、三维模型建立等步骤。无人机倾斜摄影测量精度主要受无人机飞行质量、影像质量、像控点精度、空三处理精度等因素影响，在飞行质量方面，主要通过适当增加影像重叠度和降低航摄高度来提高精度；在像控布设方面，已有研究[12-14]则通过免像控的方式进行倾斜摄影测量。

PPP-RTK的原理是数据中心接收稀疏分布参考站网数据，解算状态域精密卫星产品和区域大气延迟产品，再通过互联网单向播发给用户，供用户进行模糊度固定的精密绝对定位。常规网络RTK可实现瞬时模糊的固定，但当基准站存在故障或网络信号不好时，离基准站较远的地方得不到固定解，而PPP-RTK则能避免该问题。目前，笔者所在单位已搭建好基于北斗的PPP-RTK服务端系统，并已在广州市富源村、东风村等多个区域进行了免相控正射影像图精度测试。结果表明，平面精度标准差在2.1~2.3 cm之间。从工程实际出发，本文采用基于PPP-RTK的无人机免像控倾斜摄影测量技术可减少外业像控点布设和内业刺点工作，大幅提高作业效率。

1.2　室内外一体化三维激光扫描

三维激光扫描突破了单点测量的局限，不再利用皮尺、测距仪等直接量取长宽高，而是对建筑物进行大规模无接触扫描[15]。与传统测量技术相比，激光扫描测量技术具有不受天气限制、实时、动态、主动、数据采样率高、可直接获取高精度三维数据等优势。三维激光扫描按照载体分为机载激光扫描、车载激光扫描、架站式激光扫描和手持激光扫描。架站式三维激光扫描仪最大的优势为自动整平和自动配准技术[16]，具有扫描精度高、测量速度快等特点。手持式SLAM激光扫描仪则是采用SLAM算法，将激光扫描数据与IMU数据相结合，生成精确的三维点云，具有便携和操作灵活等优势[17]。陈富强[18]对架站式与移动式三维激光扫描仪进行了精度对比，得出架站式三维激光扫描仪精度优于移动式三维扫描仪的结论；汤同旭等[19]研究了移动手持激光扫描仪在建筑物竣工测量中的应用，结果表明建筑物点位平面精度为±4.6 cm，边长精度为±2.4 cm。因此，本文首先利用架站式三维激光扫描仪获取项目范围内验收建筑主体的三维点云，对整个项目进行整体控制，保障验收建筑主体的精度；再利用手持式激光扫描仪对建筑内部进行扫描，获取地下室、建筑内部等位置的三维点云；最后通过点云分层切片处理高效提取建筑物外轮廓，并以此进行面积计算。室内外一体化三维激光扫描的作业流程主要包括控制测量、点云扫描、点云处理、精度检核、成果制作等。

2　案例分析

本文以广州市某住宅项目为例，用地面积为3.5万m^2，包含9幢11~20层住宅和2层地下室，建筑面积约为10万m^2。

2.1　控制测量

本文首先利用GPS接收机进行首级RTK控制测量，并与广州市连续运行卫星定位综合服务系统进行链接，在线进行坐标转换得到控制点广州2000坐标，测量精度达到亚厘米级；然后利用全站仪进行附合导

线测量。附合导线需要合理规划路线，控制点应尽量视野开阔，能最大限度地观测到建筑物的各个关键点，以便后续架站式三维激光扫描。通过布设附合导线可对控制点进行加密，保障项目的整体精度，为三维激光扫描提供足够的控制点。

2.2 无人机倾斜摄影测量

本文选用大疆精灵4 RTK版无人机进行外业数据采集，首先将无人机与PPP-RTK系统进行链接，无需布设地面像控点；再通过无人机5向飞行进行倾斜摄影。由项目报建资料可知，项目建筑最高点为60 m，因此设置无人机飞行高度为100 m，航向、旁向重叠度均为80%。内业数据处理流程包括相片预处理、空三计算和三维模型构建。本文采用Bentley公司的ContextCapture软件快速全自动生成高分辨率真三维模型（图1）。

2.3 架站式三维激光扫描

本文利用RIEGL VZ400激光扫描仪进行了35个设站观测（图2），作业流程包括外业数据采集和内业数据整理。外业数据采集利用已有控制点进行设站观测，记录控制点点号并量取仪器高，当测站存在盲区时，可适当增加自由设站进行扫描，但扫描区域应具有一定的重叠度，避免解算出现偏移。内业数据整理利用RISCAN软件进行点云解算，包括数据导入、站点拼接、点云去噪、点云抽稀等步骤。本文采用录入控制点的方式进行点云拼接，通过录入控制点的广州2000坐标拼接得到广州2000坐标系统下的点云数据。



图1 无人机倾斜摄影三维模型

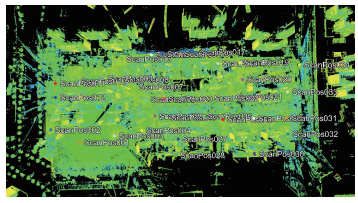


图2 架站式三维激光扫描站点拼接图

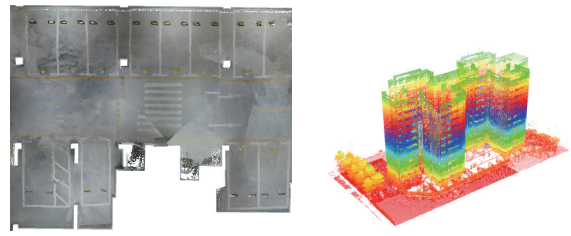
2.4 手持式三维激光扫描

本文利用ZEB-HORIZON手持激光扫描仪对建筑内部进行三维激光扫描，并对建筑天井、内阳台、架空层等架站式三维激光扫描盲区进行补充数据采集，可快速高效地完成细部采集，减少架站扫描的工作量。ZEB-HORIZON扫描仪的主要参数包括：扫描视场水平为360°、竖直为270°，激光波长为903 nm，激光扫描速度为300 000 点/s，工作距离为100 m，测距精度为1.5 cm。

外业数据采集同样利用已有控制点进行坐标定位，采集完成后利用GeoSLAM Hub软件进行点云数据处理，得到广州2000坐标系统下的点云数据（图3）。

2.5 精度分析

1）控制测量精度分析。首级控制点利用全站仪对边长与角度进行检核。结果表明，V201-V202和V201-V203点对的边长较差分别为0.006、0.018 m，边长精度分别为1/33 574、1/14 345，较差限差均为1/4 000；高差较差分别为-0.018、0.023 m，较差限差分别为±0.081、±0.103 m，精度符合广州市DB4401/T 101-2020《建设工程联合测绘技术规程》要求。本文采用全站仪进行附合导线测量，导线总长658.571 m，控制点9个，导线边10条，平均边长为65.857 m。结果表明，方位角闭合差的实测精度为0°01′52″、限差为0°02′13″，高程闭合差的实测精度为2.6 mm、限差为32.5 mm，符合广州市DB4401/T 101-2020《建设工程联合测绘技术规程》要求。



a 地下室车位三维点云　　b 建筑三维点云模型

图3 三维激光扫描成果

2）倾斜摄影三维模型精度分析。本文利用全站仪在已有控制点上对倾斜摄影三维模型（不含建筑主体）进行精度检核，共检核20个点位和高程。结果表明，平面、高程中误差分别为±7.6、±9.5 cm，符合DB4401/T 101-2020《建设工程联合测绘技术规程》中地物点平面和高程中误差小于±15 cm的要求。倾斜摄影三维模型主要用于1∶500地形图制作，与传统GPS+全站仪方法的整体精度相当，但倾斜摄影三维模型更加直观，地形图成图不易发生错绘、漏绘的情况，便于后期质量检核。

3）三维激光扫描精度分析。本文利用全站仪加测距仪量边的方式对建筑主体三维激光扫描点云数据进行点位和边长（包含套内边长）精度检核。结果表明（表1、2），点位中误差为±3.27 cm，边长中误差为

表1 点位较差

序号	点云坐标/m		全站仪实测坐标/m		较差/cm
1	*81.357	*91.727	*81.372	*91.739	1.92
2	*81.368	*95.719	*81.368	*95.737	1.80
3	*86.316	*98.583	*86.359	*98.598	4.55
4	*96.102	*52.745	*96.111	*52.747	0.92
…	…	…	…	…	…
20	*03.967	*65.286	*03.981	*65.287	1.40

表2　边长较差

序号	模型边长/m	检测边长/m	较差/cm
1	0.97	1.00	3.00
2	8.68	8.72	4.00
3	1.64	1.65	1.00
4	2.38	2.39	1.00
…	…	…	…
30	5.09	5.08	1.00

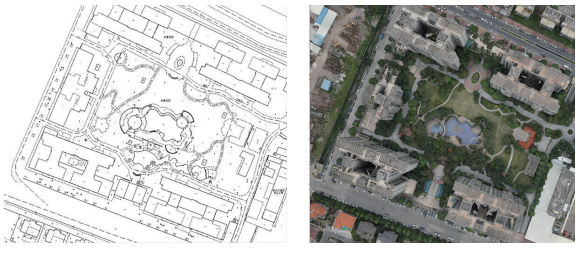
1.83 cm，满足DB4401/T 101–2020《建设工程联合测绘技术规程》中建筑物角点坐标和边长测量精度要求。与传统全站仪+测距仪量边的方式相比，该方式的整体精度更高，且不存在漏测建筑角点和边长量取错误的情况，避免了外业返工测量，便于后期质量检核。

2.6　效率分析

本文研究的项目规模中等，根据同等规模的项目统计，采用传统全站仪方式进行测量，外业需要3人2天共6人/天，内业成图需要1人3天共3人/天；而采用空地协同测量方式，无人机倾斜摄影和三维激光扫描可同时进行，外业需要2人0.5天共1人/天，内业成图需要1人3天共3人/天，外业效率明显提高，内业效率整体相当。

2.7　成果应用

1）1∶500现状地形图制作。本文利用无人机倾斜摄影制作的三维模型进行地形图制作。首先通过清华三维EPS软件对三维模型进行预处理，再采用双屏的方式（图4）进行内业制图。相较于三维激光扫描，无人机倾斜摄影三维模型具有较好的纹理特征，在此基础上制作的地形图更加直观，可直接勾画各种地形地貌。现状地形图的绘制主要包括建筑及附属设施、道路、绿化布置、车位布置、高程注记等要素，可遵循先整体后局部的原则进行布置，先绘制验收建筑主体、市政道路、小区道路等要素，再绘制其他次要地物，最后通过点云数据直接提取高程进行注记。现状地形图初步绘制完成后需进行外业核实，查找错漏并修改，得到最终的地形图。



a 地形图　　b 三维模型

图4　双屏模式内业成图

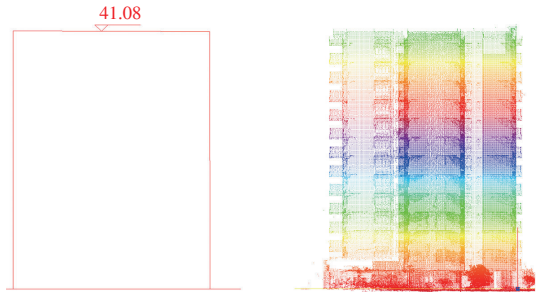
2）建筑面积计算。根据项目报建图纸的设计高度，选取高于所在楼层结构面1.2 m的点云数据进行切片处理，获取所在楼层的平面点云；再进行建筑外轮廓的勾画和面积计算（图5）。建筑外轮廓可采用“五点房”画法，以提高建筑轮廓的提取精度，应以建筑长边作为起始方向进行勾画。



a 建筑轮廓　　b 点云切片

图5　基于点云数据的建筑轮廓勾画

3）立面图绘制。在清华三维EPS三维测图模块中，通过裁剪显示的方式单独显示需绘制的建筑主体，选取所需绘制的立面方向，在立面测量的模式中直接绘制立面图（图6），地台和建筑高度可直接在点云数据中提取。不同于常规立面图绘制，规划验收测量立面图仅需绘制立面的轮廓和高度，用以核对验收建筑高度是否超过报建高度，是否符合限高要求。



a 立面绘制　　b 立面透视图

图6　利用点云数据进行立面图绘制

3　结　语

本文基于无人机倾斜摄影测量和三维激光扫描技术，构建了一套空地一体协同测量技术体系。首先利用基于PPP–RTK的无人机免像控倾斜摄影测量技术建立项目场地范围内的实景三维模型；再利用RIEGL VZ400架站式激光扫描仪与ZEB–HORIZON手持式激光扫描仪对项目主体进行室内外的三维激光扫描，获得建筑主体的高精度三维点云数据；最后进行规划条件核实测量、人防验收测量、不动产测绘，以实现“多测合一”项目的一次测绘、成果共享。实际案例验证结果表明，该方法精度符合DB4401/T 101–2020

（下转第121页）