引文格式：史晟恺. 新型基础测绘在土石方测量中的应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(3):121 –124. doi:10. 3969/j.issn. 1672–4623.2025.03.028

新型基础测绘在土石方测量中的应用

史晟恺[1]
（1. 上海市测绘院，上海 200063）

摘　要：随着近年来新型基础测绘工作的展开，更多新型测量仪器得到应用展示的空间，其中无人机和三维激光扫描仪因其便捷性和时效性被广泛应用。在常规工程前期快速获得土石方量是后续工程进行的前提。传统方法费时费力，且在测绘现场需要考虑作业人员的安全。将无人机的效率与三维激光扫描仪、背包式扫描仪的局部高精度相结合，对上海某地区进行大范围土石方测量，并进行了精度对比。实验表明，在精度要求相同的情况下，基于新型基础测绘的方法比传统方法更高效和安全。

关键词：新型基础测绘；三维激光扫描；倾斜摄影；土石方计算；精度对比
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672−4623（2025）03−0121−04

Application of New Basic Surveying and Mapping in Earthwork Measurement

SHI Shengkai[1]
(1. Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: With the development of new basic surveying and mapping work in recent years, more new measurement instruments have been applied and displayed, among which UAV and 3D laser scanners are widely used because of their convenience and timeliness. In the early stage of conventional engineering, quickly obtaining the amount of earthwork is a prerequisite for subsequent engineering. The traditional method is time-consuming and laborious, and the safety of operators needs to be considered in the surveying and mapping site. We combined the efficiency of UAV with the local high-accuracy of 3D laser scanner and backpack scanner, carried out a large scale earthwork measurement in a certain area of Shanghai, and compared the accuracy. Experimental result shows that when the accuracy requirements are the same, the method based on the new basic surveying and mapping is more efficient and safer than the traditional methods.

Key words: new basic surveying and mapping, 3D laser scanning, oblique photography, earthwork calculation, accuracy comparison

土石方测量是工程建设前期至关重要的一个环节，对于工程项目的成功实施和安全性具有重要意义[1]。在工程紧密周期下，高效获取土石方量能提高工程效率和减少成本，这时就需要利用新型基础测绘带来的新仪器[2]。无人机能在短时间内覆盖广大区域，实现高速测量[3]；且测量安全性高，可在危险区域执行任务；最重要的是，能实时收集和分析数据，为工程项目提供快速反馈，支持实时决策。除无人机测绘外，三维激光扫描可快速获取大面积、高密度、高精度的点云，也能在土石方测量中发挥巨大作用[4–5]。两种方法各有优劣，无人机测量能快速、成本较低地覆盖大面积，适用于遥远或难以进入的地区，并能提供实时数据，但受天气和地面植被的限制；三维激光扫描则能提供更高精度的地形数据，在植被不密集时仍能测得地面，但需要更多的时间和人力，不论是架站式还是背包式，在大范围测量效率上都逊色于无人机。因此，可在大面积无植被遮挡的区域内采用无人机技术，当存在稀疏植被覆盖时采用三维激光扫描技术。本文介绍了新型基础测绘相关技术应用于土石方量测量工作的主要操作流程，将无人机的大范围和高效率与三维激光扫描的局部精度相结合，探讨其在大范围土石方测量中的效率和精度，研究两种方法相结合创新应用的可行性。

1　相关背景和理论技术

1）新型基础测绘是对传统基础测绘的继承和发扬，与传统基础测绘相比，具备“全球覆盖、海陆兼顾、联动更新、按需服务、开放共享”等特征。它改变了测绘的作业模式，提高了技术发展速率，带动了生产组织体系的革新[6]。无人机倾斜摄影、三维激光扫描等新型测绘技术的出现，更加支持了我国推进新型基础测绘的相关工作[7]。

2）无人机倾斜摄影。目前无人机倾斜摄影技术已应用于城市运营、河道监测、管线普查、国土资源

作者简介：史晟恺（1992—），硕士，工程师，主要研究方向为摄影测量、工程测量，E-mail：346340968@qq.com。

调查等诸多领域[8-9]。它主要是利用安装在无人机云台上的高分辨率相机和搭载的GPS模块来获取地表图像和位置信息[10-11]。无人机倾斜摄影的关键步骤为：①像控点布设，首先确定模型采用的坐标系和高程系统，然后在测量区域内布设一定数量的像控点方便后期纠正[12]；②数据采集，无人机携带摄像头，飞越目标区域，拍摄多个角度和方向的图像，包括地面和建筑物等地物的多角度视图，通常采用五航带法飞行[13]；③影像处理，对采集的图像进行去畸变、色彩校正、图像配准等预处理，确保图像的质量和准确性，还需根据布设好的像控点对图片进行刺点[14]；④模型计算，根据图像中的像控点和拍摄时无人机的姿态信息，通过三角法、运动结构法、立体匹配和高程插值等算法计算每个地物点的三维坐标；⑤导出和应用，融合不同视角和方向的数据，并结合无人机的三维位置，通过程序拟合成一个完整的三维倾斜模型，该模型可转换为数字地形模型和数字表面模型（DSM）。

3）三维激光扫描技术是一种用于获取物体表面三维形状和结构信息的高精度测量技术，首先采用激光光束测量物体表面的距离和位置，再通过这些数据构建三维模型或海量点云数据。仪器主要包括三维激光扫描仪、背包式扫描仪和车载扫描仪。车载扫描仪主要用于道路，土石方测量时受地形影响较大；架站式扫描仪得益于其精度和可靠性，多应用于大工程领域；背包式扫描仪是一种便携式的激光扫描系统，使作业人员能在场地内自由获取三维空间信息。将三维激光扫描技术应用于土石方工程中可提高土地开发和土石方施工的效率、质量和安全性。

4）土石方测量是工程项目中计算土地或土石方体积的过程，目的是确定场地上挖掘或填方所需的材料数量[15]。土石方测量的主要方法包括：方格网法是将工程区域划分为若干个相等的网格或单元，再测量每个单元的面积及其角点高程，并与基准高程作差，最终计算得到场地的土石方量；不规则三角网法首先采集场地内的离散高程点构建空间三角网，再根据其角点高程形成无数个三棱柱，然后与设计标高进行对比，最后计算每个三棱柱的体积，所有三棱柱体积之和，即为填挖的土石方量；断面法适用于带状线性工程的土石方测量，其断面图由设计线和实测地面线两部分组成，两条线中间围成的封闭图形面积即为断面面积，设计线在实测地面线上的为填方面积，反之则为挖方面积[16]。

2 项目概要与实验流程

围绕着新型基础测绘在实际工程中的应用研究，笔者在某绿地建设项目上与上海某地产公司展开了深入合作，选取上海市浦东区某个处于施工前期的地块作为实验场地。在地块施工阶段，结合无人机基础地形测绘的技术优势和三维激光点云的高精度，对新型基础测绘在土石方计算的应用进行了深入研究。实验地块总面积约为0.145 km^2，海拔高度为4~7 m，地势相对平坦。实验区包含7个区域的土石方测量，区域位置分别靠近河道、马路，场地种类有清空的泥地和略有低矮小草的空地，其中北边4个区域的图像较整齐规律且有一定面积，南边3个地块较小且涉及生活区，图形轮廓比较复杂。

土石方测量包括外业和内业两部分工作，其中外业工作包含整体的无人机倾斜摄影和局部的三维激光点云补测，补测时需注意与倾斜模型具有足够的公共点；内业工作包含无人机倾斜模型拼接、三维激光点云拼接、与倾斜模型的公共点匹配、提取离散高程点、生成三角网和计算土石方量。

2.1 倾斜模型生产

实验采用搭载RTK模块的大疆精灵4无人机，采用五航带法测绘，航高根据需要设置。局部细节以手动飞行拍摄为主，以保证范围内所有位置都有照片。实验设置航向重叠度为80%，旁向重叠度为60%，最大飞行速度为5 m/s，采用无畸变模式定时拍照。通过无人机遥控器上的自带软件，将设计好的飞行参数输入平台，自动完成航线规划。

为了保证整体精度，通过RTK模块在场地内和四周布设30余个像控点，部分像控点为检查点（比例高于10%且不得少于3个）。由于场地地物相似性很高，因此所有像控点都会按照工程测量点之记的要求，记录点位与周边参照物的相对关系，同时拍照留档，避免刺点时出现影像模型拼接错误。平面坐标系采用上海2000坐标系，高程采用吴淞高程。实验采用Agisoft软件生成倾斜模型，采用清华山维的EPS工作平台进行点云的矢量处理和土石方计算。其主要流程包括影像数据检查、影像处理、像控点刺点、空三计算、倾斜模型拟合。拼接完成的倾斜模型见图1。

将生成的模型格式转换为DSM。DSM是土石方量计算程序的源数据，由于后续不再对模型进行修改，因此这一步需要尽可能地剔除模型的噪声和影响成果计算的部分，即去除植被、灌木和临时搭建的生活用

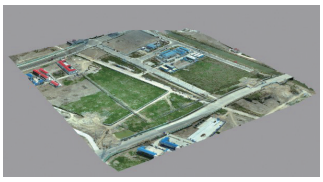


图1　倾斜模型示意图

房等。剔除实验区域外的数据后，利用Agisoft自带功能将模型转换为DSM模型。

2.2　三维点云生产

激光点云设备采用徕卡P50三维激光扫描仪，通过设置控制点和标靶进行拼接以提高精度。三维激光扫描仪主要用于对倾斜模型中因存在植被遮挡而无法拟合的地面以及拟合模型扭曲的部分进行点云补充。将三维激光扫描仪设置在可以测得倾斜模型不合理区域的位置，通常放置在高处以获得更好的视野便于后期拼接。为保证坐标系的统一，在三维激光点云拼接时必须与倾斜模型具有3个以上的重复点。

2.3　土石方量计算

土石方量计算的步骤为：①将DSM模型导入软件，找到需测量土石方的位置；②根据设计需要，勾勒出具体填挖土方的矢量图形；③根据点、线、面，利用软件自带的提取高程点功能提取模型上的高程，高程点网格间距为2 m；④剔除倾斜模型上不合理区域的高程点，确保没有因模型拟合问题而产生的计算误差，不合理区域的高程数据通过采集三维激光点云进行填补；⑤利用两种方式得到的高程点结果生成三角网，计算需要填挖的土石方量。土石方量计算需要选择上、下表面的类型，上表面类型为三角网，下表面类型为给定高程的水平网。

3　精度分析与效率对比

3.1　点位精度

为对比点位精度，本文选取实验区域内特征明显的部分点位与全站仪三角高程测量得到的数据进行对比，结果见表1，可以看出，由于刺点较密集，两种方法测得的平面和高程插值都在±5 cm以内，且平面精度略优于高程精度。

表1　点位精度对比表/m

点名	传统测绘			新型基础测绘			差值	
	X	*Y*	*H*	*X*	*Y*	*H*	平面	高程
1	−98 970.503	11 447.010	4.676	−98 970.469	11 447.011	4.720	0.034	0.044
2	−99 107.262	11 485.496	4.682	−99 107.238	11 485.509	4.727	0.027	0.045
3	−99 022.951	11 477.415	5.851	−99 022.943	11 477.434	5.822	0.021	−0.029
4	−99 047.731	11 508.824	4.987	−99 047.698	11 508.861	5.036	0.049	0.049
5	−99 070.216	11 321.777	4.780	−99 070.206	11 321.806	4.735	0.030	−0.044
6	−99 042.582	11 402.370	5.893	−99 042.547	11 402.406	5.928	0.050	0.036
7	−99 069.321	11 248.846	5.468	−99 069.312	11 248.847	5.441	0.009	−0.027
8	−99 079.177	11 373.241	6.121	−99 079.174	11 373.258	6.141	0.017	0.021
9	−98 878.339	11 341.527	5.786	−98 878.318	11 341.554	5.747	0.034	−0.039
10	−98 936.669	11 332.496	4.832	−98 936.637	11 332.507	4.868	0.035	0.037

3.2　尺寸精度

由于实验区域多为空地，因此只能对附近房屋进行平面边长和垂直边长的数据精度校验。对比数据为全站仪实测数据。为保证数据的合理性，点云模型的边长是在全站仪实测边长的基础上，挑选边界清晰的地物边长。统计结果见表2，计算得到模型反算的平面和高程与全站仪测得数据的中误差，根据选取的边长，平面边长的中误差为3.10 cm，垂直边长的中误差为5.22 cm。

表2　平面、垂直边长精度统计表/m

序号	全站仪对边长度	模型反算长度	全站仪对边高差	无人机模型反算高差
1	4.82	4.88	1.09	1.03
2	13.22	13.23	7.70	7.82
3	11.96	11.94	3.56	3.51
4	8.79	8.74	2.75	2.79
5	0.90	0.93	2.16	2.20
6	4.51	4.55	6.09	6.21
7	6.12	6.09	2.84	2.94
8	6.00	5.95	5.84	5.80
9	6.45	6.41	1.80	1.86
10	2.98	3.01	3.64	3.70
11	6.22	6.24	5.19	5.25
12	15.48	15.40	7.49	7.56

3.3　土石方成果对比

实验区7个地块的设计标高均为吴淞高程4.7 m，平均厚度为0.97 m。由于地块内总填方数量仅为52.62 m^3，因此只讨论挖方量计算的精度偏差比率。总挖方量的计算精度为0.62%，满足土石方计算国家质检部门的相关要求，但7个地块单独对比发现，并

非每个地块都满足要求。由表3可知，除地块1、5、7的差值最高达到2.17%外，其余地块的差值均在1%以内，整体上随着地块面积的增加，差距缩小；数据最好的是地块2，总挖方量为17 075.16 m^3，其挖方差值达到了0.14%，二者计算结果十分接近；数据最差的是地块5，虽然二者结果有一定偏差，但地块内部有水坑，测绘人员无法进入，从而导致传统测量方法中缺失一部分数据，因此在数据完整性上，基于新型基础测绘的方法更优，成果更可靠。通过数据分析可知，不论是在局部还是整体上，采用新型基础测绘方法的数据完整性更优，计算结果与传统测绘方法相差无几，且具有区域越大、差距越小的趋势。本文的平均挖方量计算精度为0.62%，最大不超过2.17%。

表3 土石方量成果对比/m^3

地块编号	传统测绘		新型基础测绘		差值	
	总填方	总挖方	总填方	总挖方	填方差	挖方差
1	1.60	4 894.30	3.54	4 998.41	1.94	104.11
2	5.84	17 075.16	7.09	17 051.27	1.25	−23.89
3	9.41	4 323.02	11.95	4 346.55	2.54	23.53
4	12.67	8 050.27	15.54	8 086.15	2.87	35.88
5	4.80	24 730.83	6.07	24 193.03	1.27	−537.80
6	10.61	4 394.35	9.97	4 416.02	−0.64	21.67
7	7.69	2 592.52	5.50	2 559.40	−2.19	−33.12
总计	52.62	66 060.45	59.66	65 650.83	7.04	−409.62

3.4 效率对比

新型基础测绘的效率明显优于传统测绘。实验中无人机测绘共用3组电池，加上电池更换时间，总作业时长约为45 min；三维激光扫描仪在有植被的区域测绘，耗时1 h；像控点布设花费约2.5 h，共计4 h15 min。传统人工外业测绘包括高程控制点布设和全站仪三角高程测量，用时1天半。采用无人机和三维激光扫描仪相结合的作业模式可大大缩短外业时间；若现场存在场地施工和跨越灌木丛等安全隐患，新方法则可完美避免这些干扰。

4 结 语

将无人机倾斜摄影结合三维激光扫描仪应用于土石方测量，不仅能一次性获取全范围内的所有地物，而且能分辨地上植被分布情况、直观感受立体的三维模型，从而提高了外业效率、减少了漏测和错测等误差。在合理操作和数据处理技术的支持下，土石方测量具有一定的准确性和可靠性，大面积测量误差可控制在相关要求范围内，但在小区域内的误差有待进一步提高，在实际应用中仍需注意操作的规范和数据处理的精度。

参考文献

[1] 陈晓刚,袁波,朱小刚. 风景园林工程土方测量方法比较分析[J]. 测绘通报,2016(12):81-85
[2] 刘桦. 土方量的表格法测算[J]. 测绘通报,2002(4):64-65
[3] 崔健. 台风灾害下无人机激光雷达技术的电网巡视应用[J]. 测绘科学,2021,46(4):63-67
[4] 王成,施宇军,权菲,等. 无人机倾斜摄影测量土方量测算及精度评价[J]. 测绘通报,2022(8):139-142
[5] 王延寿. 无人机航空摄影技术在三维边坡建模中的应用[J]. 遥感信息,2022,37(5):51-55
[6] 魏国忠. 新型基础测绘自动制图软件的设计与实现[J]. 遥感信息,2019,34(3):139-142
[7] 张继贤,张莉,张鹤. 面向新型基础测绘的质检任务探讨[J]. 测绘通报,2018(7):71-73
[8] 金伟,葛宏立,杜华强,等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感信息,2009,24(1):88-92
[9] 杨必胜,李健平. 轻小型低成本无人机激光扫描系统研制与实践[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12):1 972-1 978
[10] 文政兵,李冰峰. 基于实景三维模型的地形图质量检验方法[J]. 测绘通报,2023(8):167-171
[11] 程争刚,张利. 一种基于无人机位姿信息的航拍图像拼接方法[J]. 测绘学报,2016,45(6):698-705
[12] 丁玉兰. 无人机搭载大像幅相机在山区测图中的应用[J]. 测绘通报,2021(增刊2):39-42
[13] 李博,徐敬海. 无人机倾斜摄影测量土方计算及精度评定[J]. 测绘通报,2020(2):102-106
[14] 邱春霞,董乾坤,刘明. 倾斜影像的三维模型构建与模型优化[J]. 测绘通报,2017(5):31-35
[15] 李春梅,景海涛. 基于ArcGIS的土方量计算及可视化[J]. 测绘科学,2010,35(2):186-187
[16] 吴敬文,周丰年,赵辉. 基于格网节点的土方量计算方法研究[J]. 测绘通报,2006(11):43-45