

无人机机载激光雷达在土方测量中的应用研究

王 滔

咸宁市咸安区土地勘测规划院 湖北咸宁 437000

摘 要：对于土方测量而言，随着科学技术的快速发展，传统的人工测量方法已经很难满足大规模、高精度和高效率的要求。无人机机载激光雷达技术正逐渐显示出其独特的优势和潜力，激光雷达是一种先进的遥感技术，可在无人机平台上进行快速、立体扫描，大大提高测量精度和时效性，为土方量的计算提供坚实的数据基础。

关键词：无人机；机载激光雷达；土方测量；应用

在土方测量中，无人机机载激光雷达通过发射激光脉冲和接收回波来建立精细的三维点云模型。该模型不仅可以直观地显示地形起伏，而且可以通过专业软件进行处理，准确地计算出基坑开挖量、坡度等关键参数，为工程规划、设计及施工过程的决策提供有力的数据支撑^[1]。同时该方法具有较高的重复测量精度，有利于施工过程的监控和质量控制，为项目的顺利实施和精细化管理提供保障。

一、无人机机载激光雷达技术的概述

无人机机载激光雷达技术是一种快速获取高精度三维地形数据的技术，其基本原理是通过激光器发射脉冲激光，利用回波信号测量激光与地面之间的距离，从而获取地面高程信息^[2]。激光雷达将激光束发射到被测量物体上，激光束被物体反射后，经过光电探测器接收，转换成电信号，最后通过信号处理和数据处理等步骤获得物体的三维空间坐标和其他相关信息。无人机机载激光雷达技术具有高精度、高效率、非接触等特点。

二、在土方测量中应用无人机机载激光雷达的重要性

1. 提高测量精度与效率

无人机机载激光雷达技术可有效提高土方勘察的精度和效率，虽然全站仪、GPS-RTK等传统的人工测量方法可以得到比较精确的测量数据，但是受地形复杂、人员可达性、测量周期长等因素的限制，很难满足大范围、高精度和快速的测量要求。而无人机机载激光雷达则是利用激光脉冲的快速发射和接收能力，可以穿透植被，直接获得地表的三维坐标信息，大大提高了探测精度。同时无人机的高空作业能力使其可以快速覆盖大范围区域，大大缩短了测量周期，提高了工作效率^[3]。这种高效率、高精度的量测方法，对土方工程的设计、施工和

后期的监测具有重要意义，而且还可为工程造价和进度管理提供可靠的依据。

2. 克服复杂地形挑战

在复杂地形如山地、沼泽和森林中，传统地面测量方法面临着许多挑战，复杂的地形、茂密的植被遮挡了测量人员的视线，严重影响了测量结果的准确性和全面性。而无人机机载激光雷达凭借其高空飞行、穿透植被等优势，可以很好地克服上述障碍，激光雷达可穿透枝叶间隙获取地表信息，可在极端复杂地形条件下实现高精度DEM及地表覆被制图。该方法不仅为土方测量提供了前所未有的详尽数据，而且为后续的地形分析、方量计算和施工计划等工作打下了良好的基础，尤其在灾害评估和生态监测等方面，无人机机载激光雷达技术具有不可替代的作用。

3. 降低成本与风险

利用无人机机载激光雷达进行土方测量，可大大降低测量费用和安全风险。传统的测量方法需要大量的人力投入，并且在复杂、恶劣的环境下工作，很难保证人员的安全。与之相比，无人驾驶无人机只需要少数人在地面遥控操作，可以极大地减少人员需求、减少人力成本、避免人员直接接触危险环境。另外无人驾驶无人机具有灵活机动的特点，可以在恶劣天气条件下或难以到达的区域进行作业，进一步扩大测量范围，提高作业安全性。长期而言，无人机机载激光雷达技术的推广应用，将推动土方测量产业转型升级，实现更智能、高效和安全的测绘操作模式。

三、在土方测量中应用无人机机载激光雷达的策略

1. 现场踏勘与无人机飞行方案制定

对于土方测量而言，在应用无人机机载激光雷达

技术时，在测量前开展现场踏勘和制定无人机飞行计划是非常重要的。比如在现场踏勘阶段，可由专业人员携带高精度GPS设备，并配备必要的测绘工具，深入待测地块开展详细调查。在这一过程中，可对测区的地形起伏、植被、建筑或结构物分布情况进行有效勘察，分析可能存在的障碍等^[4]。而且通过现场踏勘，可对不同海拔高度进行初步划分，识别出需要特别注意的复杂地形，如陡坡、深沟峡谷或建筑群等，从而为后续无人机飞行计划的制定奠定基础。在实地勘察的基础上，在制定无人机飞行计划时，需要综合考虑多种因素，保证数据收集的效率和准确性。飞行高度需要兼顾数据分辨率和无人机续航能力，通常情况下，精测土方要求相对航高为50~100 m，这样不仅能保证高密度点云，还能降低高海拔引起的数据畸变。航线规划需根据地块形态及地形复杂性进行，如采用“之”字、“井”字等飞行方式，保证不漏测，重叠率一般控制在20%~30%左右，提高数据处理的可靠性与完整性。在选择飞行速度时，要兼顾无人机的稳定性和数据采集装置的响应速度，通常建议保持在8~12 m/s之间，这样才能保证数据的连续采集，同时防止高速运动造成的图像模糊。另外频率的设置也是很重要的，它直接关系到最后结果的细节。为保证在高速飞行条件下获取足够的地表信息点，激光雷达扫描频率应达到每秒10次以上，此外，还可以根据测区的特点适当调整扫描频率，如对地形变化较大的地区加大扫描频率，从而得到更为精细的地形模型。为充分展示不同地形特征无人机飞行方案，可参考表1：

表1 不同地形特征无人机飞行方案参数设定

地形特征	飞行高度 (米)	航线重叠率 (%)	数据采集频率 (次/秒)
平坦开阔地带	80	20	10
丘陵地带	60	25	12
复杂山区	50	30	15

2. 像控点与检核点的布设

将无人机机载激光雷达技术应用于土方测量中，是提高土方工作效率和精度的重要手段。为保证测绘成果的准确性和可靠性，必须科学、合理地布置各像控点和检控点，像控点是连接影像数据和地面坐标的桥梁，其布设必须严格遵循已有策略，保证无人机航拍图像精确映射到地理空间中，并能有效纠正镜头畸变、载体姿态变化等带来的误差。总体而言，测区周边及其内部要害部位均应均匀分布，形成网格状布局，相邻控点间距不

宜超过航拍图像2倍，确保每一像元均能获取充足的控制信息。在地形复杂、植被较密的地区，为提高影像配准精度，需对影像控点进行适当加密。检核点的设置是整个测量过程质量控制的重要环节，它并不参与前期图像处理工作，而是在生成DSM或点云数据后，可将其作为独立参考点来评价数据的准确性和一致性。为了保证评价的全面性和可靠性，检核点应设在测区易识别、稳定、代表地形特点的位置，如道路交叉口、建筑角点等，其数量不能超过像控点总数的10%。在实际应用中，检核点高程要求为厘米级，采用GPS-RTK（实时动态差分定位）、全站仪等高精度测量方法获得其精确坐标，为后续验证提供依据。以某大型土方工程为例，对10平方公里的测区采用无人机机载激光雷达进行测绘，为了保证测量精度，可布设200个像控点，平均间距在70 m左右，尤其是在地形起伏较大的河流、山脊等区域，每隔50 m设置1个观测点。同时，在测区内布设25个检核点，其中5个特殊检核点位于高程突变区。最后将生成的DSM数据和实际的地形进行比较，将高程误差控制在±5 cm内，将平均的位置误差控制在±10 cm内，提高土方测量的精度。

3. 高精度点云数据采集与处理

在土方测量领域，无人机机载激光雷达由于其高效率和高精度的特点，逐渐成为行业的首选技术。该技术利用无人机平台上搭载的高精度激光雷达系统，将短脉冲激光辐照到地面并接收回波，快速构建高密度高精度点云数据。这些点云数据包含了大量的地形地貌特征，是一片由三维坐标信息组成的海洋，为后续土方量计算打下了基础。数据处理环节是影响分析结果准确性的一个重要步骤，针对海量原始点云数据，需要利用高级分类算法对其进行初筛，有效去除非地基点云（如树木、建筑等）。在此基础上，利用随机森林等机器学习算法，并结合地面实测数据，实现地物目标的自动识别和分离，保证地面点云的纯度大于95%。同时进一步细化地表点云数据，包括去噪、平滑地形等，并结合 Cloth Simulation Filter (CSF) 等滤波技术，在保持地物细节的前提下，有效降低数据中随机误差，提升点云质量。另外还可引入人工编辑步骤，利用专业3D可视化软件，逐个检查自动处理后的点云数据，纠正可能出现的错误类别和缺失区域，以保证每个点云能够精确地反映地表状况。然后利用地面高精度点云数据，构建数字表面模型（DSM）、数字高程模型（DEM），为土方量的估算提供直接依据。

通过DEM和DSM进行对比分析,准确计算基坑开挖方量,为工程设计和施工提供科学依据。为充分展示高精度点云数据采集和处理,可参考表2:

表2 不同处理阶段点云数据的变化情况

处理阶段	点云数量(百万点)	精度提升比例(%)
原始数据采集	500	-
自动化初步分类	475(剔除非地面点)	5
人工编辑优化	470(最终地面点)	8(累计)

由表可知,这些措施的实施可有效提升土方测量的效率,提高数据的精度和可靠性,为最终决策提供强有力的数据支撑。

4. 土方高程计算与成果输出

无人机机载激光雷达技术可有效提高土方测量的精度和效率,尤其在土方高程计算和成果输出等方面具有明显优势。在获取高精度点云数据的基础上,对数据进行处理和分析是非常重要的,使用地理信息系统(GIS)对点云数据进行预处理,包括去噪、地面点分类、坐标系转换等,以保证数据的精度与一致性。在进行高程解算时,需要从点云数据中提取测点信息,并保证各测点的三维坐标(X、Y、Z)是准确的,这一方案具有通用性强,易于后期处理等优点,因此得到了广泛的应用。这一步建议采用合适的采样间隔,例如每平方米取1个点,这样既能减少计算量,又能提高处理速度。然后将DAT点文件导入以南方CASS为代表的专业土方量计算软件,实现土方量的准确计算。在南方CASS软件中,可通过设置高程基准,划分计算区,选用三角网、格网法等计算方法,生成方量成果图。在这一过程中,需要特别注意网格尺寸的选取,一般建议根据地形的复杂度进行调整,在地形变化较大的地区采用小网格,提高计算精度。同时设计合理的填挖方界线,以保证计算成果符合工程实际需要,并便于指导施工。在计算结束之后,可以在传统的二维平面图基础上,采用三维可视化技术,将土方计算结果叠加在一起,以直观的方式展示填方区的分布和体量,为工程决策者提供更直观、更全面的信息支撑。通过对不同时间节点实测数据的对比分析,准确分析土方开挖量的动态变化,实现对施工进度及土方平衡状况的评估,为工程管理及造价控制提供科学依据。

5. 技术标准与质量控制

无人机机载激光雷达技术应用到土方测量中,必须

保证测量精度和数据质量,要达到这个目的,就需要建立一套严格的工艺标准和质量管理体系,把每个细节都纳入精细化管理之中。比如为保证数据质量,需要对无人机的飞行参数进行合理的设置,按照国际上通行的测绘标准,飞行高度一般在地面50-300米之间,这个距离不仅可以保证雷达有效扫描距离,还可以有效地降低地面杂波的干扰。速度方面,建议以8-12 m/s为宜,这样不仅能保证数据连续采集,还能防止高速运动引起的数据畸变。而且针对复杂地形和植被覆盖地区,可采用较高的采样速率,提高测量精度。另外在资料处理阶段,需要使用先进的滤波算法,例如利用地面回波和植被回波分离等方法,降低植被对高程数据的影响。同时采用最小二乘法或卡尔曼滤波法对误差进行修正,以保证所得到的数据具有平滑性,并与实际地形特征相吻合。在土方计算中,推荐使用专业GIS软件或ArcGIS、CloudCompare等数据处理平台,实现体系变化自动计算、高精度DEM、方量报告等功能。

结束语

将无人机机载激光雷达技术应用于土方测量,不仅可以提高土方测量的精度和效率,而且可以减少人员伤亡,降低安全风险。随着技术的不断发展和算法的不断优化,数据处理能力越来越强,数据的可靠性也越来越高。该技术在未来将成为土方测量行业标准,在城市规划、工程建设、环保等领域将得到广泛应用,而且无人机机载激光雷达技术凭借其特有的优势,将引领土方工程向智能化、高精度方向发展,为行业持续发展注入新的活力和动力。

参考文献

- [1]陈泽文.基于无人机探测技术的国土空间规划用地测绘优化研究[J].华北自然资源,2023,(04):121-123.
- [2]董阳武.基于无人机机载激光雷达的三维地图构建研究[J].电子技术与软件工程,2023,(06):135-138.
- [3]李文山,吕小顺,李亚宁,栗智,李轶波.机载激光雷达在密林山区大比例尺测图的应用[J].西部资源,2023,(01):192-194.
- [4]戴永洪,刘林佳.无人机机载激光雷达在长江中游河道地形测量中的应用[J].水利水电快报,2022,43(S2):13-17.