

# 机载激光雷达技术应用于复杂地形土石方测量领域的研究

张之鹏

沅江市自然资源局

**摘要：**为了进一步促进机载激光雷达技术在复杂地形土石方测量中的应用，本文对这一课题展开了研究，首先，对机载激光雷达技术进行了简单的介绍，并结合实际工程案例分析了具体的应用措施与方法，最后总结了机载激光雷达技术在人力作业、效率方面的优势，结果认为，机载激光雷达技术在精度、效率方面都具有明显优势，应在复杂地形土石方测量中大力推广。

**关键词：**机载激光雷达；复杂地形；土石方测量；点云数据

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.023

土石方工程是大多数工程项目的重要分部分项，对于工程造价具有至关重要的影响，土石方测量不仅是工程施工的重要组成部分，也是工程预决算的重要依据，土石方测量的精准性对于工程施工以及工程造价都具有至关重要的影响。目前阶段，在工程领域当中，土石方测量的基本原理是基于测绘技术构建目标区域的三维模型，并通过土石方开挖前后的模型体积差异来计算土石方量。

在传统的土石方测量中，所采用的方法主要为方格网法、断面法等，这种传统的测量方法效率明显偏低，需要耗费大量人力物力，虽然在高程点的测量方面具有优势，但是由于测量点位的布置密度不高，当遇到山地、丘陵等地形，或者地表存在大量植被的复杂场地容易导致仪器的视线被遮挡，从而导致测量工作受到较大的阻碍。而采用运动恢复结构（Structure from Motion, SMF）法进行测量则对于地形条件也具有一定的要求，一方面，在植被相对茂密的地区，SMF所使用的光线往往也不能穿透传统植被，其应用会受到限制；另一方面，SMF的应用也容易受到天气的限制，在大风等天气下，基于SMF法所获得的照片会出现明显的变形从而导致建模的进度出现明显下降。现阶段的工程实践证明，基于SMF法所得到的稀疏云点所构建的模型其测量

精度相对较低，所以基于SMF进行土石方测绘本身的精度就相对较低。机载激光雷达技术能够实现地面测量数据的自动化获得，由于无人机良好的机动性能，这种测量技术能够适应各种不同类型的复杂地形，具备测量效率高、点位密度大，测量进度高等特点。由此可见，机载激光雷达技术即解决了传统测量方法难以适应复杂地形的缺点，又克服了SFM法测量在精度方面的缺陷。

机载激光雷达是通过主动传感系统发出并接收的脉冲来获得距离、坡度、反射率等测量数据，通过对这些数据的处理分析即可得不同测量点的三维坐标，通过对点云坐标的三维处理最终可以得到三维地形图。目前已有大量的学者对传统土石方测量方法与激光扫描测量方法的精度进行了对比分析，结果发现采用激光扫描测量方法其进度要明显高于传统测量方法，导致这种情况的主要原因在于测量点的数量与测量精度存在明显的正相关关系，激光雷达扫描所使用的点云测量法测量点数量要明显多于传统测量方法。为了进一步分析机载激光雷达测绘技术在复杂地形土石方测量中的应用，在本文的研究当中结合实际工程案例对此进行了研究与分析。

## 一、机载激光雷达技术简析

机载激光雷达技术一般是以无人机为测量平台，采用激光扫描测距系统开展测量的一种现代化测量技术。机载激光雷达不仅能获得地形表面的三维空间影像，还能获得地表的红外光谱，是获取地理信息的高效手段与强有力工具。机载激光雷达技术融合了激光测距、惯性测量、GNSS等多种现代化高新技术，能够实现高精度的动态差分定位。

机载激光雷达能够精准定位激光照射在物体上所形成的光斑，从而获得地理信息数据，最终形成地形三维模型，在测绘工作开始执勤先设定好激光器的扫描角度与高度，通过激光器的运行轨迹与设定参数能够有效计算出光斑的空间坐标，其基本原理如图1中所示。

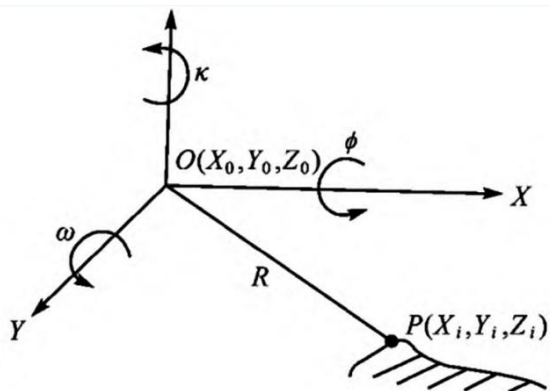


图1 机载激光雷达测绘原理图

在图1中，若已知O点的坐标  $(X_0, Y_0, Z_0)$ ，通过对O点与P点之间距离的测量，基于矢量计算可以得到P点的坐标  $(X_i, Y_i, Z_i)$ ，在利用光的位移公式  $R=ct$  即可得到斜侧距离R，并通过GNSS传感器计算得到坐标，再根据初始设定的测绘参数即可反算出地表坐标  $(X_i, Y_i, Z_i)$ 。

## 二、在复杂地形土石方测量中机载激光雷达技术的应用要点

机载激光雷达技术的应用相对较为复杂，且在不同环境下的应用技术看方案也大为不同，为了进一步分析其在视线不良的复杂地形下的应用策略，在本文的研究当中以某一商住楼土石方工程项目为例进行了分析。

### (一) 技术路线

在该工程项目当中所使用的机载激光雷达系统为大疆禅思L1激光雷达，该系统搭配大疆经纬M300 RTK无人机使用。由于该系统配置了惯性导航系统与高精度扫描系统，因此，在测绘精度方面具有明显优势，能够快速实现地理信息数据的测量。

该系统的具体技术流程为：机载激光雷达外业采集→高精度组合惯导解算→LAS点云数据解算→精度检查与分析→点云分类→点云数据压缩→地坪测量示意图。

### (二) 数据采集

该工程项目的现场条件图下图2中所示。该工程项目为某新建中学项目，占地面积约为80亩，由于业主要求交付时间短，工期较为紧张，且从图中可以发现，该项目场地植被较为茂密，多为高大的乔木，并混合有部分灌木与农作物，视线遮挡现象较为严重，采用传统土石方测量方法在效率与技术看方案上都不成立，有必要采用机载激光雷达测绘技术。



图2 场地条件图

在进行测量工作之前需要对场地进行踏勘，详细了解场地内的具体情况与条件，并根据测量任务、机载激光雷达系统的扫描参数设定最佳飞行航线。该项目航飞的相关参数如下表1中所示。

表1 航飞参数

高度/m	速度/m/s	旁向重叠率/%	回波模式
80	8	55	三回波

### (三) 数据处理

#### 1. 点云数据解算

无人机激光雷达所获得的数据必须要经过解算才能转化成地理信息数据，该系统航飞所获得的数据为组合导航(POS)数据信息，在该工程当中点云数据解算采用惯导探测器数据后处理方式，最终获得LAS点云数据文件，该工程项目解算后的点云数据如下图3中所示。

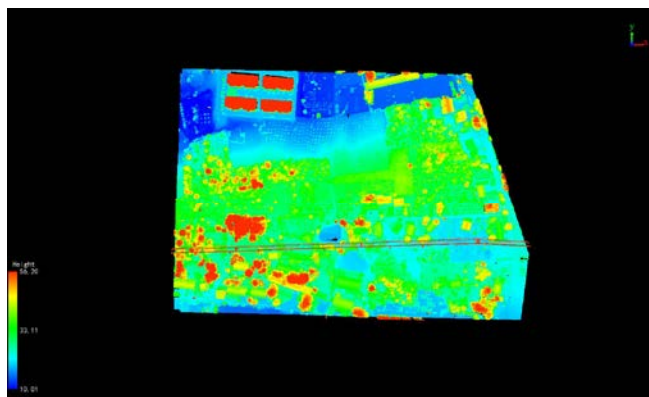


图3 解算后的点云数据

#### 2. 点云数据分类

对解算后的点云数据进行分类可以发现点云数据包含了地面点与非地面点，非地面点对于土石方工程没有意义，因此需要分离出地面点。由于点云数据体量相对

较大，在分类前需要将点云数据进行分割处理，尽量使得每个数据块的大小相同，点云数据分类一般可分为两步进行：（1）自动分类，自动分类一般采用数据处理软件LiDAR360，自动分类按照软件内部既定程序执行，先分离低点，再分离中空点，最后分离地面点；（2）人机交互分类，人机交互分类主要是通过人工判断的方式对自动分类的结果进行修正，如建立TIN格网后对区域内的整体进行分类，剔除“坑点”或“突出点”，细部可再根据横截面修正。由于规模和形态变化较为复杂，本项目中采用人机交互分类为主，在有条件的区域借助DOM进行辅助分类以提高准确率。

#### （四）精度分析与评价

对于土石方项目而言，精度具有非常重要的意义，在该项目当中精度分析与评价主要分为两个不同的方面，一是点云数据精度评价，另一个则是点云分类精度评价。

采用网络RTK采集21个检查点的坐标，并以此为依据进行评价分析，结果发现平面的误差为±21.7mm，高程误差为±23.6mm。对21个检查点的坐标进行复核发现激光点云数据的精度能够满足《低空数字航摄与数据处理规范》（GB/T 39612-2020）的规定。

在该项目当中在采集完点云数据的同时完成了摄影数据的分类，在完成点云数据处理分析之后对摄影图像进行精度点评分析，结果显示除陡坡地段外，点云分类效果都较为理想。

### 三、机载激光雷达技术应用效果分析

#### （一）减少人工作业量

传统土石方测量方法需要采用人工踩点、数据采集方式，需要大量的野外作业，人工作业量相对较大，记载激光雷达技术采用无人机飞行、自动获得数据，有效减少了人工作业方式。跟相关工程经验，若采用传统测绘方法，完成该项目的外业大约需要2~5人左右，在排除天气等意外情况下，大约需要一周时间，而采用机载激光雷达，人工测量工作基本能被完全替代，从而大幅度降低人工作业量。

#### （二）提高作业质量和效率

如上文所示，传统土石方测量方法在复杂地形下的应用受到很大限制，若遇到视线不良条件则需要进一步

密布测点，从而大幅度增加作业量，降低测绘速度。机载激光雷达技术土石方测绘技术克服了地形、地貌的束缚，测量工作变得更为简单便捷，是适应新时代工程建设的必然性技术。

我国作为一个基建大国、强国，必须要重视工程技术的创新发展与应用，基于记载激光雷达技术的测绘新技术应用即能满足土石方测绘的精度需求，又大幅度节省了人力物力，提升了工程建设的效率，理应成为当前阶段土石方测绘的重要技术方案。在本文的研究当中，笔者结合自己的实际工作经验对机载激光雷达技术在复杂地形下土石方测量中的应用进行了研究与分析，旨在进一步促进机载激光雷达技术在土石方测量工作中的进一步深化应用。

#### 参考文献

[1] 李林辉, 马云龙, 罗万达. 机载激光雷达在山地光伏发电项目密林地形测绘中的应用[J]. 红水河, 2023, 42(03): 75-78+94.

[2] 杨波, 付伟锋. 机载激光雷达技术在不规则高边坡面积测量中的应用[J]. 广东水利水电, 2023(06): 89-93.

[3] 纵路. HiCORS和机载激光雷达航测系统在海南省文昌至琼海高速公路测绘工程中的应用[J]. 资源信息与工程, 2023, 38(03): 71-74

[4] 袁喆. 机载激光雷达测量在北方山区高速公路不良地质体识别中的应用[J]. 北方交通, 2023(04): 59-61+65.

[5] 陈朝晖, 荆长伟, 凌在盈等. 大疆L1无人机激光雷达在数字高程模型制作中的应用研究[J]. 浙江水利科技, 2023, 51(02): 102-106.

[6] 梁静, 陈会明, 常文蝶. 面向机载LiDAR点云数据的双线河水体DEM构建方法[J]. 北京测绘, 2023, 37(03): 454-459

[7] 王强辉, 曹小朋. MicroStation VBA在机载激光雷达数据处理中的应用[J]. 北京测绘, 2023, 37(03): 356-359.

[8] 闫焯琛, 席雪萍, 于向吉等. 机载激光雷达在困难立地区大比例尺地形测绘中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(06): 108-111.