

基于机载 Lidar 点云的土石方量计量研究与应用

王志林 王晓鹏

江苏省工程勘测研究院有限责任公司

DOI:10.12238/btr.v8i2.4622

[摘要] 针对传统测量方法数据获取效率低、地形条件的差异导致土石方量计量精度难以满足规范要求等问题,采用机载Lidar采集高精度的点云数据建立准确的土方模型来精准计量土石方量。利用机载Lidar对测区地形进行扫描来采集点云数据,根据采集的点云进行去噪、滤波和分类等得到高质量的地面点云数据,最终基于地面点云数据生成接近于真实地面的地形模型,并与模拟平整后的地形模型进行计算得到准确的土石方填挖方量,将计算的结果与实际施工所统计的土石方量进行比较,检验土石方量计算的精度。实验证明,基于机载Lidar点云数据生成的土石方量计量模型所得到的结果较准确,能够满足规范精度需求。

[关键词] 机载Lidar; 点云数据; 地形模型; 土石方量计算模型

中图分类号: TV541 **文献标识码:** A

Research and application of earthwork quantity calculation based on airborne Lidar point cloud

Zhilin Wang Xiaopeng Wang

Jiangsu Engineering Investigation & Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] In order to solve the problems of low data acquisition efficiency of traditional measurement methods and the difficulty in meeting the requirements of the specification due to the difference in terrain conditions, airborne Lidar is used to collect high-precision point cloud data to establish an accurate earthwork model, accurately calculating the amount of earthwork. Airborne Lidar is used to scan and collect the terrain of the survey area, and high-quality ground point cloud data is obtained by denoising, filtering and classification according to the collected point cloud data. Finally, a terrain model close to the real ground is generated based on the point cloud data and calculated with the simulated leveled terrain model to obtain the accurate amount of soil and rock fill and excavation. Experiments show that the results obtained by the earthwork quantity calculation model based on airborne Lidar point cloud data are more accurate and can meet the requirements of standard accuracy.

[Key words] airborne Lidar; data of point cloud; Terrain model; calculation model of earthwork quantity

在水利工程施工建设过程中,土石方计量是工程项目建设中的重要环节,它是一项不可或缺的基础性工作,也是核心步骤。其计量精确与否不仅影响到施工方和建设方的经济利益分配,也关系着工程施工的质量和工期。大型项目施工周期长、工作量大、不同时期施工区域变化明显,为了合理安排施工进度和准确核算工程成本,需要高效、准确地计量土石方量。

对于土石方量的计量,国内外研究者也研究和提出了很多测量和计算的方法,但是每种方法都有其特定的适用范围,方法使用不当则会造成误差偏大,脱离实际工程。不同方法和相关软件的使用也是千差万别,软件计算的结果和精度也有所差异。因此,使用合适的方法构建土石方计量模型对土石方进行精确测

量和计算就显得尤为重要。目前土石方计量有多种设备和方法,传统的测量方法往往耗费大量时间以及人力物力,测量结果最终也未必能满足精度要求。与全站仪等传统的测绘工具相比,无人机、激光雷达等新设备的使用具有明显的优势,它可以快速地对地形进行全面采集,获取地形的高程数据,生成地形模型等成果资料。由于其采集速度快、采集范围广和采集数据精确等优点,逐渐被广泛使用,其测绘成果能有效反映地形特征,满足施工人员对地形高程信息获取和对土石方量精准高效计算的需求。

最初对于土石方量的计量,施工人员一般使用全站仪、GPS等传统测量工具对土石方进行测量,效率低且精度往往难以满足

要求,随着无人机倾斜摄影测量技术和三维激光扫描技术的发展,使用无人机进行地形的测量逐渐成为一种趋势。Marzieh^[1]等人使用无人机倾斜摄影技术对地形数据进行获取,探究不同DEM分辨率下土石方的计算结果。Han^[2]使用三维激光扫描技术,测量分布在地物表面上的大量点云数据,提出了一种基于点云的快速土石方计量方法,最后对计算结果进行精度评估,验证了无人机获取点云的准确性。张春明^[3]使用大疆无人机对吉林某地进行土石方测量,并对该复杂场地进行三维重建,基于重建的模型对土石方进行计算,将计算结果与传统方法进行比较,结果表明模型计算结果满足实际需要,提高计算效率。曾娟娟^[4]等人以湘潭某项目为例,使用无人机对测区进行测绘,同时使用传统RTK进行测绘,进一步表明无人机比传统测绘更具优势;黎胜^[5]等研究了应用三维激光扫描技术进行土石方测量并对精度进行了验证,说明了三维激光扫描技术在土石方计量方面的优势;李博^[6]研究了较大范围的复杂地区中应用无人机倾斜摄影技术提升了土石方计算的精度;凌晨阳^[7]研究了在复杂区域的土石方测量中,应用机载激光雷达技术提高了作业效率,获得了较准确的结果。

同时,国内外许多研究者对采集的高程数据进行分析处理,研究和采用多种计算方法优化土石方量计算的准确性。美国学者 Mawdesley^[8]、Harmanani^[9]等为了节省项目预算,研究如何精确计算挖填方量,对场地进行区域划分,利用计算机技术使用辅助软件来实现土石方量精确计算,该研究提高了土石方计算效率、节约了时间成本。

1 研究方法

针对传统测量方法数据获取效率低、地形条件的差异和复杂性导致土石方量计量精度难以满足规范要求等问题,本文基于机载Lidar三维激光扫描技术进行了外业数据的高精度采集;通过采集的点云数据实现了场地地形模型和平整后的区域模型的生成以及土石方量的精准计量,技术路线流程如图1所示。首先现场踏勘,根据施工区范围和地形合理进行航线规划,并在测区内实测一些地面检查点用于后期精度的验证。同时在UOM平台上申请空域,做好航飞准备。通过机载Lidar三维激光扫描技术对测区的地形数据进行采集;通过点云滤波分类等技术得到高精度的地面点云数据,结合三维建模、BIM等技术创建和模拟原始地形和经过填挖方后的设计场地地形,基于创建的两期地形模型对土石方量进行计算,与施工方案设计和记录的土石方量进行对比,检验土石方量计量方法的准确性和可靠性。

1.1 机载Lidar点云数据的采集

机载激光雷达系统由定位系统GNSS、惯性导航系统IMU、激光扫描仪、数码相机和中心控制单元等组成。定位系统用于快速准确地定位系统的位置信息,可实时提供可靠的航线横向偏差、航线纵向偏差等飞行平台状态数据;惯性测量IMU用于记录无人机平台的拍摄中心的瞬时俯仰角、侧倾角和航向角等空间姿态参数;飞行器飞行过程中,不同的脉冲激光束沿垂直于飞行方向运动,对地进行成片的扫描来获取测区内的数据,每秒可向

被照射目标发射几百万个激光点数据; 机载Lidar所搭载的相机主要用于获取影像, 能够充分记录丰富的地面和地物纹理信息等, 为地形图的生成以及点云着色渲染等提供了数据支持; 中心控制单元用于协调GPS接收机、惯性测量系统和激光扫描仪三者的工作, 使三者能够实时保持同步并且获取高精度的数据, 满足测区内测绘产品获取的要求。所采集的Lidar点云数据反映了真实的三维地表信息, 适合存在于地物覆盖遮挡下的大范围扫描。

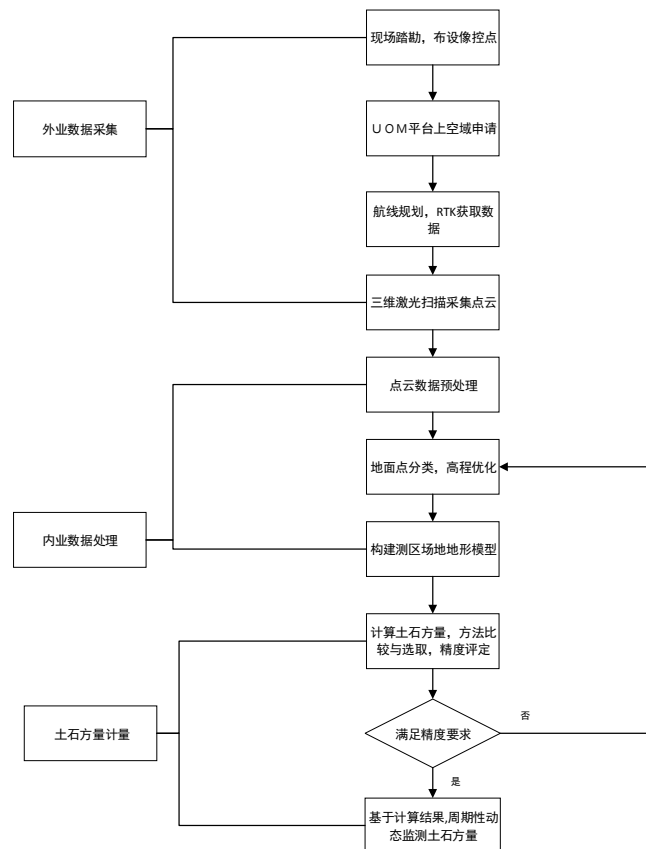


图1 技术路线图

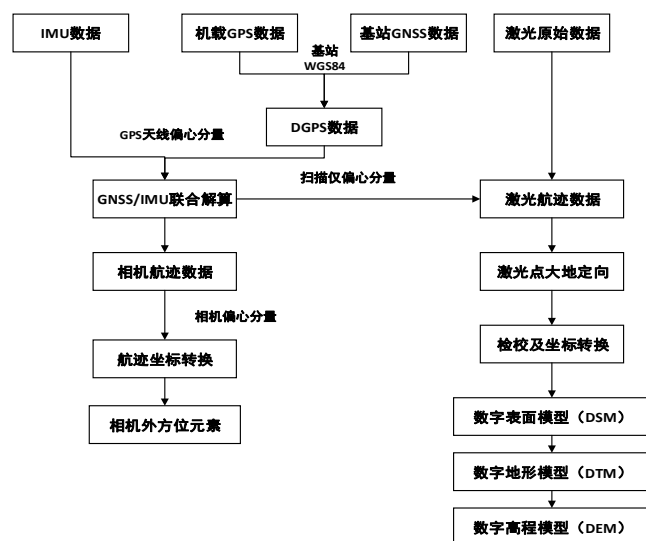


图2 机载Lidar工作流程图

总而言之, 机载Lidar不受天气条件的限制, 对地面进行重复扫描、多次回波, 通过激光进行逐点高密度采集三维点云数据, 对于中高低植被等具有较强的激光穿透能力, 能够获取高精度地面点三维坐标。

1.2 高精度地面点云数据的获取

点云数据是获取地形模型成果的基础, 为了提取到有效的地面点云, 点云滤波和分类是至关重要的步骤, 经过滤波和分类后所获取到的地面点是否准确, 直接影响到后续高精度地形模型的生成。由于受到地形、地物本身的特性等影响, 目前已有的自动滤波的方法在进行滤波分类时并没有综合考虑点云数据的空间分布特征; 同时, 由于存在茂密植被等地物的影响, 采集到的点云含有大量非地面点, 传统的自动滤波方法主要基于高程、坡度变化之间的差异来区分地面点和非地面点, 滤波后的结果往往没有将地面点和非地面点有效分离, 效果不佳。因此需参照获取的影像数据进行手动精细分类和处理点云数据, 从而提取有效的地面点。其流程如图3所示。

1.2.1 点云数据预处理

(1) 点云数据去噪

点云数据中存在许多噪点, 这些噪点会影响点云数据的识别, 从而降低数据的精确度。对于去除噪声需要合理选取距离和高程阈值, 范围太大或者太小都会对数据造成一定的影响。对测区内点云数据进行分块, 根据调试后的阈值滤除明显低于或高于地面的噪声点集合以及一定空间范围内分布异常的噪声点。

(2) 点云数据高程转换

经过处理后的点云数据高程系统通常为大地高。通过测区内均匀分布的控制点以及经过似大地水准面精化成果计算各点的高程异常值, 构建测区高程改正模型, 通过此模型进行高程拟合, 将测区内所有点云高程从大地高转换为85高程。

1.2.2 点云滤波和分类

(1) 点云自动分类

点云数据包含地面点、建筑物和中高低植被等多个地物类型, 基于反射强度、回波次数、地表形态变化等, 在Terrasolid软件中对地形变化参数、高程阈值等进行合理的调试和参数最优化选取, 形成最优的滤波分类算法, 从而实现地面点/非地面点的自动分类。

(2) 点云手动编辑

经过Terrasolid软件自动分类后的点云数据, 会存在分类错误的点, 需结合正射影像上

的地物进行人工判读, 对点云数据进行手动精细分类和处理。主要包括重新设置相关参数和算法, 进行小面积精细分类, 或采用人工编辑方式对分类错误的点进行重新分类。

1.3 地形模型的生成和土石方量的计算

通过上述点云滤波得到的点云数据, 获取对应的高程, 建立大量的邻近的三角形, 实现不规则三角网的构建。利用一系列离散的点云数据构建连续三角面, 再用不规则三角网内插生成地

形模型。

使用两期法计算土石方量。将得到的点云模型和数字高程模型等, 通过BIM技术模拟和生成填挖方原始数据场地模型, 同时基于设计标高生成设计场地地形模型, 比较和分析场地地形模型, 使用填挖方计算功能, 生成的土石方填方和挖方数据。

2 实验和结果分析

2.1 工程案例概况

为了验证上述方法的有效性, 选取孙家庄水库作为实验区域。孙家庄水库位于江苏省南京市溧水区, 地形以平原和丘陵为主, 范围内有林地、灌木、沟渠、旱地等。航摄时间在2023年4月初, 航拍期间测区水库内的水已经基本抽干, 地表大部分处于裸露状态, 有利于获取更多准确的地面点高程。

2.2 数据采集

本文项目经过现场踏勘后, 采用M350搭载大疆禅思L2对实验区域进行点云数据采集。基于现场地形情况, 进行航摄规划, 航线内飞行高度设置为150 m, 设置地面采样分辨率为3cm, 航测区设置航相重叠度70%, 旁向重叠度40%, 扫描方式为重复扫描, 回波方式采用五回波。同时, 本文项目利用RTK在测区范围内均匀测量检校点来验证地形模型高程的精度。

2.3 点云数据处理

2.3.1 点云去噪

采集后的数据中有许多噪点, 这些噪点会影响点云数据的识别和后期的处理计算, 从而降低数据的精确度。本文在航摄区域内基于格网划分, 根据划分的每个格网和实地地形地物变化情况来确定高差阈值, 对整个数据进行多次迭代从而去除噪点。

2.3.2 点云自动分类

经过去噪后的点云数据, 包含着地面点、植被等地物点, 通过反射强度、回波次数、地物形状等多种因素, 对地形变化参数、高程阈值等进行最优化调整和选取, 从而实现自动分类, 保证自动分类后的点云大部分能够满足地形模型生产的精度需求。

2.3.3 手动编辑分类

经过自动分类的点云数据, 仍可能存在噪声点、分类错误和高程突变区域点云异常现象, 需参照生成的正射影像数据进行手动精细分类和处理。对于结合正射影像判读后能够确定是否为地面点还是非地面点的数据, 进行小面积范围内的精细分类, 采用人工编辑方式对分类错误的点进行重新分类。

2.4 精度评价

为了进一步验证方法的有效性, 对模型高程点的精度和土石方量计量的准确性分别进行精度检验。

2.4.1 高程点精度检测

选取1500个现场实测的高程点和同一位置处的地形模型上的高程进行对比, 计算误差大小。中误差的计算公式如(1)所示。

$$E_h = \sqrt{\frac{\Delta h_i \Delta h_i}{n}} \quad (1)$$

其中, E_h 为高程中误差, Δh_i 为实测高程和同一位置处的地形模型上的高程较差, n 为现场实测的校核点的个数。

将计算的高程中误差和允许中误差限差进行对比, 根据高程精度要求规范, 如果在允许限差范围内, 则高程点数据满足精度要求。经计算地形模型的高程中误差为 0.037 米, 在允许误差范围内, 是完全满足精度要求的。

2.4.2 土石方量计算精度检测

将本文方法计量后的土石方量和作业方施工记录的土石方量进行对比, 计算两者之间的差值和差值占总土石方量的百分比, 如果两者计算的差值很小, 符合工程测量规范中土石方量计算误差在 5% 以内, 则说明该方法计量的土石方量的数值较准确。土石方量计量精度检测如表 1 所示。

表1 土方计量结果对比

单位: m^3

方法	净填挖方量
基于机载 Lidar 点云计量的土石方量	60283.67
施工方实际统计的土石方量	60804.79
统计差值: 521.12	误差百分比: 0.857%

经过计算和分析可以看出, 基于机载 Lidar 点云的土石方量计量方法所计量得到的土石方量与施工方统计的土石方量结果的误差差值较小, 能够满足规范精度要求。

3 结语

① 本文充分利用新技术和新方法, 根据机载 Lidar 能够穿透植被间隙并记录地表三维信息的特点, 将这一技术应用到水库中点云的采集, 相较于传统测量方法, 提高了工作效率, 采集的数据也能够满足精度要求。

② 本文基于采集的点云数据, 通过 BIM 等主流的建模技术, 构建原始场地地形模型和设计场地地形模型, 实现了对地形区域的填挖方直观模拟和有效计算, 提高了土石方计量的可靠性。

③ 本文不足之处是在点云处理方面在提取地面点云时还需要一定的人工干预, 后期可进一步研究和优化当前的点云滤波分类技术, 提高数据处理的效率, 进一步实现自动化和智能化。

[参考文献]

[1] Mokarrama M, Hojati M. Landform classification using a sub-pixel spatial attraction model to increase spatial resolution of digital elevation model (DEM)[J]. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2018, 21(1): 111-120.

[2] Han S. Mapping Using Point Cloud Data Obtained by Drone Photogrammetry[J]. ICC, 2019, 89.

[3] 张春明. 倾斜摄影测量在复杂场地土石方计算中的应用[J]. 经纬天地, 2023(04): 34-37.

[4] 曾娟娟, 刘娣, 陈伟. 无人机三维建模在土石方计量中的应用——以湘潭荷塘交通枢纽项目为例[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(18): 188-192.

[5] 黎胜. 基于三维激光扫描技术的土石方测量研究[C]. 中国测绘学会科技信息网分会. 全国测绘科技信息网中南分网第二十八次学术信息交流会论文集. 中国测绘学会科技信息网分会: 中国测绘学会科技信息网分会, 2014: 227-231.

[6] 李博, 徐敬海. 无人机倾斜摄影测量土石方计算及精度评定[J]. 测绘通报, 2020(2): 102-106+112.

[7] 凌晨阳, 余盛艳, 陈科场. 机载激光雷达技术在复杂地形土石方测量中的应用[J]. 城市勘测, 2020(5): 125-128.

[8] Mawdesley Michael J., Askew Bill H., Patterson Dan E., et al. A computer System for modeling the process of earthwork Planning in linear construction Projects. International Journal of Computer Applications in Technology.

[9] Harmanani Haidar M., Zouein Pierrette P., Hajar Aouni M.. A Parallel Genetic Algorithm for the Geometrically Constrained site layout problem with Unequal-size Facilities. International Journal of Computational Intelligence & Application, Dec. 2004.

作者简介:

王志林(1969—), 男, 汉族, 江苏扬州人, 测绘技术, 高级工程师。