

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.240604

# 无人机测绘技术在土石方量算中的应用

庄捷, 谢雨雨

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

**摘要:** 土石方作为工程建设的基础工程, 进行准确的土石方量算对于工程至关重要, 针对传统测量方式工作量大、效率低、难度高的问题, 提出利用无人机倾斜摄影三维模型及数字表面模型进行土石方量算。通过工程验证, 该方法可大大提高土石方量算的效率, 其精度也有可靠保证, 具有广泛的应用前景。

**关键词:** 无人机; 土石方量算; 倾斜摄影; 数字表面模型

中图分类号: TU196

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0273-04

## Application of UAV Mapping Technology in Earthwork Measurement and Calculation

ZHUANG Jie, Xie Yuyu

[Shanghai Highway and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

**Abstract:** As the foundation of engineering construction, the accurate earthwork measurement and calculation are crucial for engineering. The unmanned aerial vehicle (UAV) oblique photography 3D model and digital surface model are proposed to use for the earthwork measurement and calculation in response to the problems of heavy workload, low efficiency and high difficulty of traditional measurement methods. Through the engineering verification, this method can greatly improve the efficiency of earthwork calculation and measurement. And its accuracy is also reliably guaranteed with the broad application prospects.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle (UAV); earthwork measurement and calculation; oblique photography; digital surface model

### 0 引言

在工程施工中, 土石方工程作为最主要基础工程之一, 如何准确进行土石方量算对工程投资、预算、计量及施工安排至关重要。目前, 工程中常用的方法是采用全站仪设备、水准仪设备或GPS-RTK等测量仪器设备, 获取采集挖填方区域地面点的高程数据, 然后根据测量数据量算测区内现势标高与设计标高二者之间的填挖量或者量算测区内填挖前后的土石方量差值。常用的土石方量算方法有方格网法、DTM法、等高线法和断面法4种类型。在4类土石方量算类型中, DTM法计算精度最高, 应用最为广泛<sup>[3]</sup>。传统全站仪、水准仪或GPS-RTK测点工作体量大、耗时耗力, 在地面起伏落差大、地形环境恶劣的地区, 外业数据采集过程的难度大大增加。所以, 选择效率高、更容易便捷的操作作业形式十分重要。

近些年来, 无人机技术发展突飞猛进, 特别是民用无人机市场的发展, 无人机使用成本逐渐降低, 无人机使用的领域日益广泛。此外, 随着航线规划、图像拼接、三维建模、数据分析等各类软件开发日益成熟, 无人技术在工程应用领域更加广泛深入, 特别是在工程测绘领域, 无人机因其获取数据效率高、采集范围广、自动化程度高、成果精度高的特性, 使得无人机测绘技术在工程领域应用前景广阔。

为探索无人机测绘技术在土石方量算中的应用, 本文结合G228(上海浙江省界—老龙泉港以东, 海湾路以东—南芦公路)新建工程FXII-2标段工程实例, 利用无人机和水准仪2种方式进行土石方量算, 验证无人机测绘技术在土石方量算中的可行性。基于无人机测绘技术, 本文提出2种土石方量算方法: (1)利用倾斜摄影测量技术生成三维模型测算土石方量; (2)利用经过坐标校准后的挖填方前后两次正射影像(Digital Orthophoto Map, DOM)及数字表面模型(Digital Surface Model, DSM)测算挖填方量。除了无人机外还采用传统方格网计算土方量, 先实测

收稿日期: 2024-06-01

作者简介: 庄捷(1992—), 男, 本科, 工程师, 从事土木工程施工作业。

工程高程再利用土方计算地形分析软件(HTCAD)进行方格网土方量计算。通过3种计算方法计算所得结果对所测区域的土方平均厚度进行对比,得出应用成果。

## 1 工程概况

本文工程地处上海市奉贤区海湾镇,项目西起白石路以西,起点桩号K32+240,东至林海公路以东,终点桩号为K38+100,线路全长5.86 km。沿线跨越彭公塘河、一号河、泰青港、无名河(K32+655)箱涵、无名河(K33+214)箱涵。桥梁工程主要有彭公塘桥、彭公塘二号河桥、彭公塘三号河桥、一号河桥、泰青港桥,道路红线宽度45 m,设置55 cm的建筑再生旧料作为路面垫层。

## 2 倾斜摄影测量技术

无人机倾斜摄影是利用无人机负载镜头通过5个方向拍摄地面照片,通过数据预处理,空间三角测量、坐标点矫正、多视影像密集匹配、三维模型重建等过程生产三维模型,该模型可以真实反映地面物体外观、尺寸等属性,同时倾斜摄影可以输出具有空间信息的正射影像(DOM)及数字表面模型(DSM)。

### 2.1 数字正射影像(DOM)

数字正射影像(DOM)是对低空的摄影测量照片扫描进行后期处理,通过数字的微分矫正和镶嵌后再使用一定区域的图幅,剪裁而获得数字正射影像集。DOM同时具有地形图的几何精度和影像特征,且有着分辨率高、精度精准、信息充实、直观、十分逼真、现实性强等优点,从而能直接提取目标区域的平面信息。

### 2.2 数字表面模型(DSM)

数字表面模型(DSM)是指包含地表建筑物、桥梁和树木等高度的地面高程模型,通过DSM可以获得对象区域的高程数据。

### 2.3 飞行前准备

无人机飞行前,需先进行现场踏勘,了解飞行区域的飞行环境,确定飞行高度;此外,还需特别关注飞行区域内有无敏感场所,提前向有关部门申请空域,确保飞行安全合法。根据踏勘情况,制定飞行计划,本项目无人机采用大疆M210rtk,飞行高度50 m,航线重叠率80%,旁向重叠率80%,斜视角度 $-60^\circ$ 。

### 2.4 像控点布设

为提高成果的准确性,并统一各阶段成果的坐

标系统,在飞行作业前布设像控点,为保证与相应工程设计CAD图纸配对,像控点的坐标系与工程的坐标系保持一致,像控点布设应清楚、无遮挡,易于内业刺点,相邻像控点间距300~500 m,均匀地覆盖全部作业区域,采用全站仪或RTK测量。本项目共设置像控点5个,平面坐标采用上海市城市坐标系,高程采用吴淞高程,如图1所示。填筑前后的控制坐标点见表1和表2。

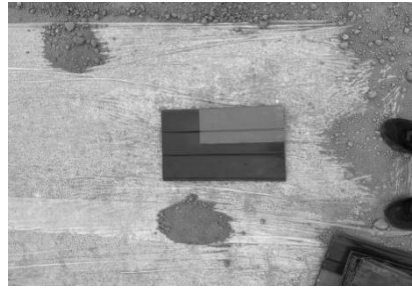


图1 L形像控点布设图

表1 填筑前控制点坐标

点号	X	Y	Z
1	10 264.434	-39 919.657	3.798
2	10 185.441	-39 956.40	4.088
3	10 224.672	-39 953.501	4.072
4	10 224.672	-39 953.501	4.072
5	10 277.609	-39 953.573	3.885

表2 填筑后控制点坐标

点号	X	Y	Z
1	10 269.427	-39 923.268	4.164
2	10 185.208	-39 959.687	4.259
3	10 192.483	-39 973.584	4.554
4	10 229.295	-39 957.124	4.607
5	10 277.970	-39 948.734	4.141

### 2.5 外业数据采集

根据预先编制的飞行任务计划,选择满足安全要求的飞行起降点位,规划航线并提交作业的计划任务。无人机起飞之前,应优先检查无人机的外观装置、飞行电池、飞行控制系统、地面站的飞行软件系统等,保证飞行作业安全。无人机作业的过程中应实时注意飞行状态,检查飞行中是否有漏拍照现象。本项目填筑前共采集照片影像656张,填筑后采集照片影像657张。

### 2.6 数据处理

本项目数据处理采用ContextCapture软件,该软件通过空三运算、控制点刺点、成果生产等过程,得到倾斜摄影三维模型、数字正射影像和数字表面模型成果,然后利用ContextCapture Viewer、ArcGIS软件进行土石方量算,如图2至图5所示。



图2 填筑前倾斜摄影三维模型



图3 填筑后倾斜摄影三维模型



图4 填筑前数字正射影像



图5 填筑后数字正射影像

### 3 3种方式土方量算

#### 3.1 基于倾斜摄影三维模型的土方量算

将带坐标的数字正射影像叠加到工程图纸上,确定出填筑范围,然后基于确定的填筑范围,利用倾斜摄影三维模型通过ContextCapture Viewer软件测算体积,如图6、图7所示。

打开ContextCapture Viewer,打开填筑前的三维模型,打开“测量工具”,选择“体积测量”,在模型上框选出填筑范围,选择“自定义平面”,高度选择一个低于现场实际高度数值,本项目选择为2 m,取样间

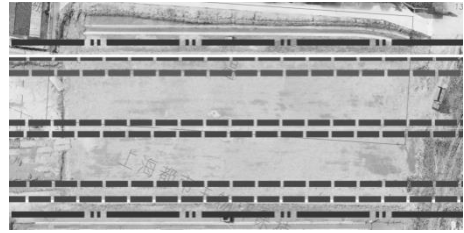


图6 填筑前正射影像叠加图纸

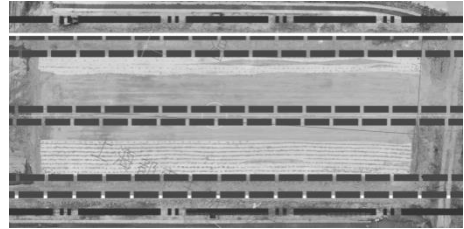
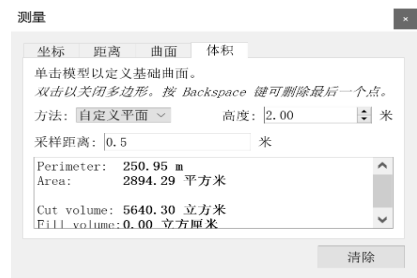
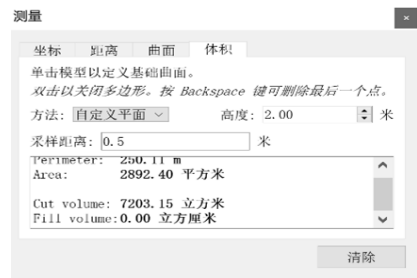


图7 填筑后正射影像叠加图纸

距根据所需精度选择,取样间距越小,精度越高,同样对电脑性能要求更高,本项目选择取样间距为0.5 m,软件能够自动计算出挖方的体积为5 640.30 m<sup>3</sup>,以同样的方法通过填筑后的三维模型得到挖方体积为7 203.15 m<sup>3</sup>,可得本项目填筑体积为:7 203.15-5 640.3=1 562.85 m<sup>3</sup>,如图8所示。



(a)填筑前数据



(b)填筑后数据

图8 填筑前后基于体积测量数据

#### 3.2 基于数字表面模型的土方量计算

##### 3.2.1 提取填筑范围

将填筑前后两次数数字正射影像及数字表面模型成果导入ArcMap软件,因为在数据处理过程中已经统一了两次数据的坐标系统,因此,两次数据自动对齐到同一位置,首先,利用数字正射影像通过“绘图”工具绘出填筑范围,然后利用绘出的范围裁剪出填筑范围内的数字表面模型,如图9、图10所示。

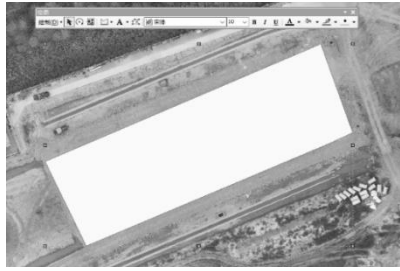


图9 绘制填筑范围

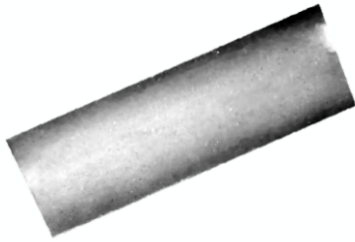


图10 裁剪后的数字表面模型



(a)填筑前实景



(b)填筑后实景

图11 填筑前后现场实景图

### 3.2.2 分析计算

打开“表面体积”工具,分别导入裁剪好的填筑前后的数字表面模型,“参考平面”选择“above”,平面高度设为2 m,可以计算得到从地表到2 m高平面之间的体积。将填筑前后两次的体积相减可得到填筑量,填筑体积为:6 889.31-5 422.83=1 466.38 m<sup>3</sup>。

### 3.3 方格网土方量计算

基于方格网测量时,在填筑建筑再生旧料前后进行了两次测量:2021年8月2日对路床顶面灰土高程进行了高程测量,共测量了197个数据,纵向每10 m测一处,横向在机动车道及中分带范围内共设了7个测点;2021年8月10日对建筑再生旧料碎石底基层顶面进行了高程测量,共测量了72个数据,测点分布与灰土层相同,如图11所示。

为确保填筑前后测量数据范围的一致性,在桩号K36+560至桩号K36+640共80 m范围的机动车道和中分带范围进行方格网计算,宽度为26 m,计算面积共2 080 m<sup>2</sup>,取得测量数据后采用HTCAD进行方格网土方量计算,为得到更精确的数据,方格网的边长越小则越精确,本次计算方格网边长设为1 m,计算总方量为1 126.89 m<sup>3</sup>,计算如图12所示。

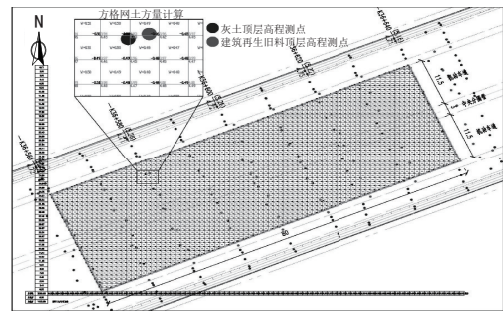


图12 填筑前后基于方格网土方量计算数据图形

表3 3种不同计算方式得出的平均厚度

序号	计算方式	计算面积/m <sup>2</sup>	土方量/m <sup>3</sup>	平均厚度/m
1	基于倾斜摄影三维模型的土方量算	2 894.29	1 562.85	0.539 9
2	基于数字表面模型的土方量算	2 753	1 466.38	0.532 6
3	基于方格网的土方量算	2 080	1 126.89	0.541 7

方式得到的结果直接加以应用,根据这3种计算方式的不同,分别加以不同方式的应用,结论如下。

(1)基于数字表面模型的土方量算,其除了可以达到上述2种方式的结果外,还能统一提取测量范围,减少不同阶段选取测量范围的选点误差,此外数字表面模型还可以用无人机垂直下视一个方向拍摄生成相片,减少数据采集和处理的工作量,该方式特别适合路线长、土方起伏较大或者不规则的大范围场区。

(2)基于倾斜摄影三维模型的土方量算适合作业范围较大、路线长、场地起伏大或者不规则的较大范围场区。

(3)方格网计算适用于土方量计算不大,或者测

## 4 结语

通过本文采用3种不同的土方计算方式均可以得到相应的计算结果,现对3种方式计算得出的平均厚度进行对比,如表3所列。

本文经过对建筑再生旧料碎石底基层的方量计算,上述采用的3种计算结果显示厚度均在54 cm左右,且变差在毫米级别,因此,完全可以将3种计算