

# 无人机倾斜摄影测量技术在石方量计算中的应用

梁春华

广东宽大建筑科技有限公司, 广东 阳江

收稿日期: 2023年7月5日; 录用日期: 2023年9月21日; 发布日期: 2023年9月28日

---

## 摘要

传统获取石方储量变化量的方法存在工作强度大, 精度较差的问题。结合技术成熟的无人机倾斜摄影测量技术实现两期石方储量的三维数据获取, 并利用Arc Engine二次开发技术实现两期石方储量变化量的监测。以某采石场两期石方储量为例, 并以传统方法作比较, 二者差值在3%以内, 科学准确地证明了无人机倾斜摄影技术进行石方储量变化量的快速与准确性, 同时也证明了该软件实现石方储量变化量计算的正确性与适用性。

---

## 关键词

倾斜摄影测量, Arc Engine, 石方储量, 二次开发

---

# The Application of Drone Tilt Photogrammetry Technology in the Calculation of Stonework Quantity

Chunhua Liang

Guangdong Kuanda Construction Technology Co., Ltd., Yangjiang Guangdong

Received: Jul. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Sep. 21<sup>st</sup>, 2023; published: Sep. 28<sup>th</sup>, 2023

---

## Abstract

The traditional method to obtain the variation of rock reserves has the problems of high work in-

**tensity and poor accuracy. Combined with the mature UAV tilt photogrammetry technology, the three-dimensional data acquisition of two phases of rock reserves is realized, and combined with the secondary development technology of arc engine, the change of two phases of rock reserves is monitored. Taking two phases of rock reserves of a quarry as an example, and comparing with traditional methods, the difference between the two methods is less than 3%, which scientifically and accurately proves that the UAV tilt photography technology is fast and accurate in calculating the change of rock reserves, and also proves the correctness and applicability of the software in calculating the change of rock reserves.**

## Keywords

**Oblique Photogrammetry, Arc Engine, Stonework Reserves, Secondary Development**

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

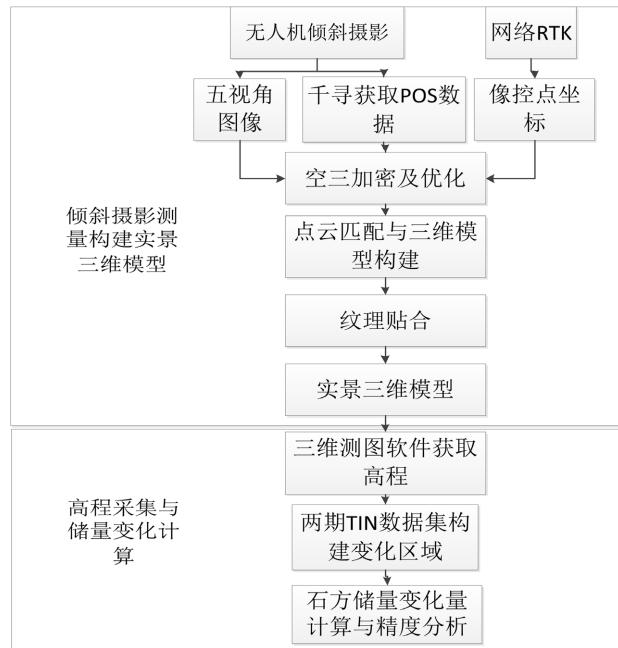
随着经济的发展，国内各大城市开始快速崛起，势必会带来基础设施大量的建设。其中砂石材料的需求逐渐增多。国内一些石料开采单位，为追求利益最大化，不规范开采，导致了资源浪费与生态环境破坏的问题时有发生。为此提高石料开采的科学化、规范化、合理化是目前解决资源浪费，环境破坏的最好方法。目前的石方动态监测主要是以全站仪获取轮廓特征的信息为数据获取方式。或者 RTK 碎部点采集的方式获取石料高程数据，再结合 EPS、CASS 等成图软件进行石方变化量的计算。虽然这种方式被生产单位广泛认可，但这种石方监测技术存在数据采集速度慢、采样密度低、误差大、分析困难等不足，而且如遇一些石料堆积高大，坡度较陡的情况时，常规数据获取会是一件非常危险与困难的工作。近些年随着无人机硬件成本的降低以及续航能力的提高，无人机技术应用领域越来越广泛，如文献[1]中介绍了基于无人机技术获取高程点，并利用方格网法与 DTM 法分别计算土方量，结果与传统 RTK 技术计算的土方量比对，差值符合工程项目需求。文献[2]中在无人机技术获取高程点基础之上，利用 GEOPAK DTM 方法快速实现废弃场地土方计算，效率提高的同时精度也有保障。文献[3]中详细阐述了倾斜摄影测量技术在土方量计算中的应用。文献[4]中在变电站土方计算中引入无人机技术具有高效率、高精度、成果直观等优点。文献[5]中依靠成熟的商用消费级无人机实现高程数据采集，并计算土方量与传统 RTK、全站仪棱镜模式计算结果差别较少[5]等等以上应用都是基于无人机技术发展而来，但是应用在石方储量监测方面较少，并且实现可视化、较直观地发现石方储量变化的内容较少。

本文在现有技术实现石方储量变化量计算不足的情况下，将无人机倾斜摄影测量技术应用于石方储量测量中，并利用 Arc Engine 二次开发技术设计出一套可视化石方储量监测软件，实现较直观地计算石方储量变化量与变化范围。最终以某采石场工程为例，与常规的手段作比较，验证了无人机倾斜摄影测量技术应用于石方储量的可行性，同时验证了本文开发的软件在实现石方储量变化监测方面的便捷化与可视化。

## 2. 石方储量变化监测总技术路线

在利用低空无人机进行石方储量计算过程中，包括重点几个过程，如测区踏勘，外业像控点选择与实测，无人机航飞获取影像，内页空三计算、加密、优化，DSM 模型组建，三维模型生成，高程点采集

及特征点高程采集，生成 TIN 数据集。基于 Arc Engine 二次开发实现石方储量变化计算包括导入 TIN 数据集，TIN 模型的渲染，储量三维可视化，确定变化范围与计算石方储量变化量，精度分析。主要流程见图 1 所示。



**Figure 1.** Main technology roadmap of rock reserves monitoring  
**图 1.** 石方储量监测主要技术路线图

### 3. 无人机倾斜摄影测量获取数据关键步骤

#### 3.1. 采石场像控点测量

外业进行像控点测量目的为内页中通过空三计算将每张像片的坐标转换为像控点坐标，一般根据测区周围环境并结合相关规范选择与实测像控点，要做到精度达标、费用节省的原则。其中也要包括待飞区中像控点均匀，有条件单位可选择强制对中像控点，每平方千米布设 8 个点左右就可以控制测区。像控点坐标系根据实际情况而定，一般利用当地的城市 CORS 系统获取，野外可制作标靶或者选择清晰地物角位置刺点。对于采石场来说，地形环境较复杂，石壁都在山头上，像控点选择较困难，一般选择在路边不易破坏的地方，并且选择像控点时间与航飞时间尽量间隔短，避免自然环境与人为破坏。

#### 3.2. 航向规划与倾斜摄影外业采集

开展外业航飞中要考虑天气的影像因素，所以一般在晴朗无云的天气进行飞行。风速一般小于 6.0 m/s，无人机中机载 POS 系统数据采样率小于 1 秒；一般选择测区范围内最高点与最低点海拔高程值均值为航高。采石场地形都较复杂，要充分了解该地区的最高点确保航飞无误。无人飞机的飞行速度也不要过快，一般设置为 8 m/s，如果飞行过快会导致受到气流影响飞机失稳的事情发生。航向重叠度设置数值一般为 65%~80%，旁向重叠度数值设置一般为 35%~55%。航向弯曲度一般不大于 3%。飞行时尽量保持飞机处于同一航高，同一航线相邻照片航高差应小于 20 m，最大航高与最小航高差应小于 30 m。飞行过程中时刻观察飞机电量与存储空间的剩余情况，重点观察相片的连续性与机载 pos 系统的失锁情况，如出现摄影漏洞，应按照原计划进行补飞。

### 3.3. 空三加密与采石场三维模型重建

无人机倾斜摄影测量技术中涉及到了空三解算有其人工干预少，自动化程度高，解算精度高且快等优点，各方面均优于传统航空航天正摄影像。目前大部分无人机自带 POS 系统，该系统能够实时快速地为每张像片获取外方位元素。最后利用无人机随机自带的建模软件进行空三解算、优化、模型重建。

以大疆某处理软件为例，新建项目，导入五个分别代表五个方向的文件夹，一次导入项目中，像控点刺点，一般选择相片周围分布均匀像控点为代表；选择坐标系统，空三解算及优化，生成空三解算质量报告；最后构建高分辨率的三维立体模型、DSM 及 DOM 相关产品；并通过该软件实现浏览三维立体模型。

### 3.4. 采石场高程采集

利用三维建模软件构建的石方场地三维模型，随后根据成图软件中高程点采集这一功能实现高密度高程点数据获取。为提高计算石方的准确性，在地貌变化明显地区重点采集，其中包括变坡处，坎上与坎下均需要错开采集高程。长斜坡中间增加高程点，以保持斜坡特性[6]。

## 4. 石方储量可视化软件实现

### 4.1. 软件简介

本文开发的软件取名为 Reserve Calculation (简称 RC 软件)，RC 软件可以实现的主要功能主要有 TIN 模型的加载；TIN 模型的三维可视化，以及放大、缩小、平移、旋转等操作；TIN 模型的渲染，可以根据 TIN 模型的高程属性对模型各高度层进行颜色区分显示；渲染属性选择，用户可以根据自己需求对模型渲染的颜色以及高程分层数进行设置；计算两个 TIN 模型之间的体积差，即两期数据的储量变化值。  
图 2 为该软件架构图。



Figure 2. Software architecture

图 2. 软件架构图

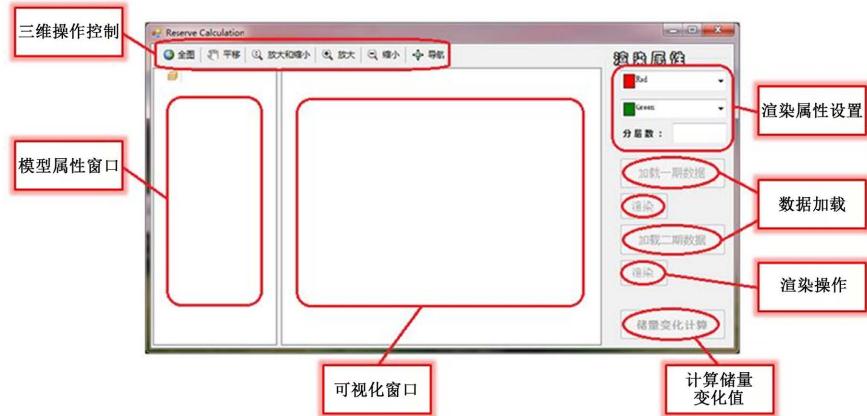
该软件界面开发是基于 Visual Studio 2010 的.NET Framework 3.5 框架下的 Windows 窗体应用程序创建下完成的，左侧的小窗口是 TOCControl 控件窗口，可以用于图层显示控制，右侧是 Scene Control 控件窗口，可用于三维数据显示。软件界面如图 3 所示。

### 4.2. RC 软件关键技术

RC 软件以 C# 为开发语言，该语言继承了 C 语言，C++ 语言，Java 语言这三种编程语言的特点，该语言简洁、自由、高效，并且开发环境友好，适用于快速开发软件。该软件以 Visual Studio .NET 作为开发平台，该平台可以用于快速构建面向 Microsoft Windows 与 Microsoft .NET 建立连接的应用程序，并以 ArcGIS Engine 为组件类库。该软件基于图形界面接口 GUI，可以实现用户在本地计算机上的运行[7] [8] [9] [10]。

RC 软件计算体积的方法是不规则三角网法，该方法的原理是通过在特定场地内建立一系列连续又不重叠的三角形来对地形地貌进行描述的，构建三角网的数据依据通常是一些离散点数据，这些离散点数

据通过无人机倾斜技术获得。将每个三角形的三个顶点高程值求平均后乘上三角形面积，就可以得到每个三角形下的土方量(三棱柱体积)，再对每个三棱柱体积进行求和就能得到该区域内的土石方量。不规则三角网法适合用于较为复杂的地形，它的精度与离散点的密度有关，离散点密度越大则 TIN 的精度越高。它具有灵活多变的特点，可以对生成的三角网进行删除、添加、修改等操作，相比其它几类计算方式，由这种方式计算得到的土石方量精度比较高，同时它的数据来源比较广泛，又方便进行三维可视化操作。



**Figure 3.** Software operation interface  
**图 3.** 软件操作界面

## 5. 工程实例

### 5.1. 项目概况

试验区位置属亚热带季风性气候，四季分明，温和湿润，年均气温 16.3℃，降雨量 1350 至 1600 毫米，状元岙、许家、南岙、兴奉四个采石场均在试验区境内。本文数据来自许家采石场，该采石场采用的露天开采的方式进行石料的获取，主要开采方式为钻孔爆破法将山体表面石料剥离山体，随即由大型铲车运至石料加工点将其粉碎至颗粒状。该种才石料方法形成的岩体表面陡峭整体分布程规律状。采石场影像如图 4 所示。



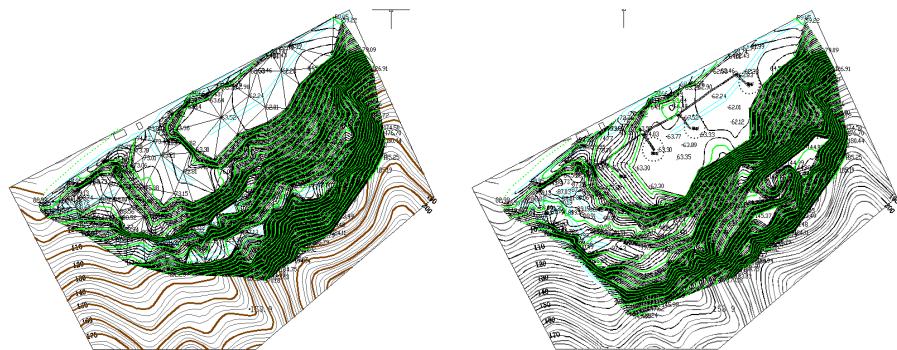
**Figure 4.** Orthophoto and 3D model of quarry  
**图 4.** 采石场正射影像及三维模型

本次石方量计算任务采用型号为大疆 M300 无人机，该无人机配备的 GNSS 定位模块可实现厘米级

精度定位，且配备了平衡稳定系统，该无人机最大续航为 55 分钟。为该机配备了 PSDK 102S 型号倾斜相机，该相机配备了五镜头，可实现一次航线飞行获取五个方向的影像。

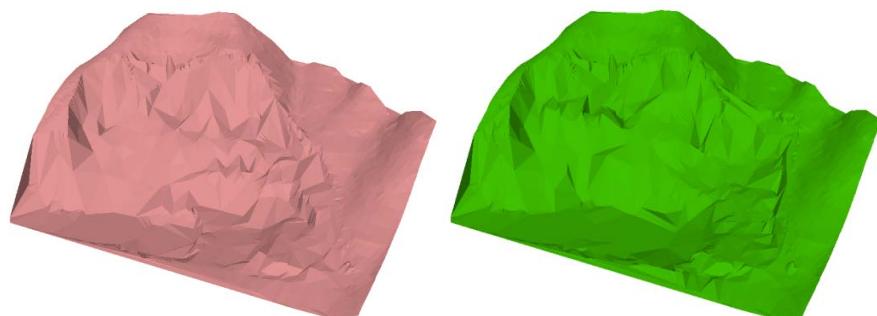
任务场地空旷无高耸建筑物及构筑物，飞行高度可选择 80 米，地面分辨率 1.5 cm，旁向与航向重叠度分别为 70%、80%。三维构建软件选用大疆公司研发的 DJL TERA 软件，生成的三维模型效果如图 4 所示。

针对该采石场进行两期无人机飞行，第一次飞行于 2022 年 9 月 3 日，第二次飞行于 2022 年 9 月 10 日，间隔 7 天来计算该采石场石方储量变化，由无人机获取的采石场地形图如图 5 所示。

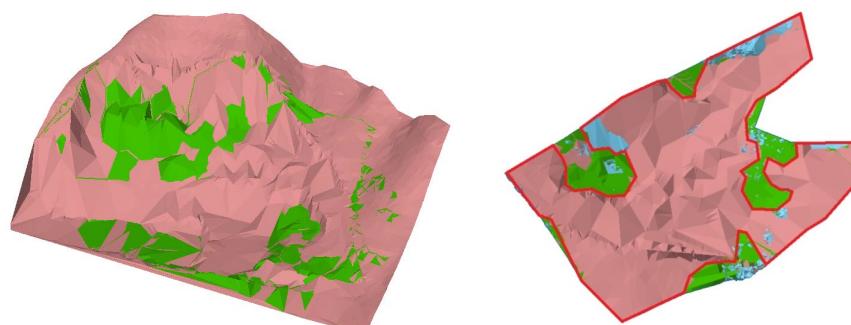


**Figure 5.** Topographic map of September 3rd and September 10th  
图 5. 9月3日与9月10日地形图

由地形图数据获取 TIN 数据集分别导入 RC 软件中，实现石方储量可视化显示，如图 6 所示。并将两期储量模型叠加，确定开采范围。如图 7 所示两期储量模型及模型叠加效果。RC 软件根据两期储量的变化范围确定储量变化，计算储量变化时以第一期数据为基准，以第二期数据为变化量。



**Figure 6.** Two phase stone reserve models  
图 6. 两期石方储量模型



**Figure 7.** Overlay of two phase models and determination of mining range  
图 7. 两期模型叠加及开采范围确定

## 5.2. 精度分析与可行性验证

为比较本文开发软件在计算石方储量中的正确性, 本文通过全野外实测的方法获取相同采石场的石方量, 通过传统的 EPS 软件, 利用软件格网法计算功能对两期石方储量变化值计算。数据 a 是利用传统的外业实测加上 EPS 软件格网法计算出的储量变化值, 其值为  $223954.50 \text{ m}^3$ ; 数据 b 是依据无人机倾斜摄影测量技术获取的特征点高程值, 以及本文开发的石方量软件计算的储量变化值, 其数值为  $226115.65 \text{ m}^3$ ; 数据 c 是石料开采单位根据石料平均密度与石料重量计算的体积, 也可以认为是开采单位提供的石料销售量, 其数值为  $229730.17 \text{ m}^3$ 。数据比较如图 8 所示。

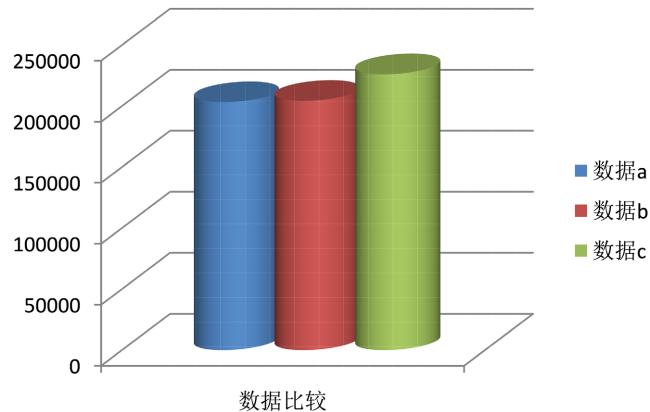


Figure 8. Data comparison

图 8. 数据比较

由  $(a - b)/a = -0.96\%$ ,  $(c - b)/c = 1.57\%$ , 可以看出数据 b 与数据 a、数据 c 相差较小, 二者差值均满足《城市测量》规范规定的两次石方量计算差值小于百分之三的规定, 证明了本文开发软件 RC 计算石方储量变化量的正确性, 该软件可靠。数据 a 数值最小, 主要因为野外实测高程采样间隔是 10 米, 而无人机高程采样间隔可以到达 0.5 米, 通过无人机采集的密度高程更能准确的反映出石料真实情况。数据 c 数值最大, 这可能与石料开采单位为追求利益最大化, 尽可能提高石料出厂体积有关。

## 6. 结论

本文充分利用无人机倾斜摄影测量技术获取采石厂两期的三维可视化模型, 通过商用测图软件获取该采石场的两期高程数据成果, 利用导出的 TIN 数据集并结合 Arc Engine 二次开发技术, 实现了石方储量的可视化监测, 与传统的全野外实测方法作比较, 证明了本文开发的软件在计算石方储量中的正确性。随着无人机技术的发展, 本文开发软件会逐渐成熟, 最终希望得到生产监测单位认可。

## 参考文献

- [1] 陈元洪, 潘少炜, 葛豪宇, 等. 基于无人机倾斜摄影测量技术的土方量测算研究——以广西某高校建筑工地为例[J]. 南方自然资源, 2022(11): 60-64.
- [2] 张勇勇. 集成无人机倾斜摄影测量技术与 GEOPAK DTM 的土方量计算[J]. 现代测绘, 2021, 44(6): 21-24.
- [3] 郭岚, 王磊. 基于无人机倾斜摄影测量的土方量测算技术[J]. 测绘标准化, 2020, 36(1): 50-53.
- [4] 柳闻仪, 高巍, 涂道勇, 等. 基于倾斜摄影测量技术的变电站土方量计算研究[J]. 电力勘测设计, 2019(11): 69-72+76. <https://doi.org/10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2019.11.013>
- [5] 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, 112.
- [6] 刘士宁. 青岛市大比例尺地形图测绘新技术[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.

- 
- [7] 苏衍坤, 王瑞, 薛志宏, 等. RTK 在大比例尺地形图航测数字化测图中的应用[J]. 测绘学院学报, 2005, 22(3): 191-193
  - [8] 王硕, 曾敬文. 北京市大比例尺地形图的需求分析与更新方法研究[J]. 北京测绘, 2011(2): 1-3
  - [9] 杨文府, 王冠杰, 李国锋, 等. 针对无人机倾斜摄影数据的不同处理软件空三加密[J]. 测绘通报, 2020(8): 96-100.
  - [10] 郭岚, 王春涛, 赵元务. 无像控无人机倾斜摄影测量在农村地籍测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(4): 216-218.