引文格式：朱立波, 黄文骞, 石志远, 等. 倾斜摄影三维建模及不同软件修模效果分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(10): 104-107. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.10.026

倾斜摄影三维建模及不同软件修模效果分析

朱立波[1,2]，黄文骞[1]，石志远[1]，胡泽群[1]，李泽宇[1]
（1. 海军大连舰艇学院，辽宁 大连 116018；2. 91937部队，浙江 宁波 315000）

摘　要：为构建精细化的实景三维模型，三维建模及模型修饰发挥着极为关键的作用，针对建模软件自动生成的三维模型效果欠佳的现状，总结分析了实景三维模型的常见问题，包括三维模型破洞、悬浮物、移动物体异常匹配、规则物体变形4个方面的内容，利用3款不同的修模软件对模型常见问题进行修复，从修模方法与效果、软件功能、使用便捷性及处理效率等方面对3款软件进行了对比分析，表明软件的选择直接影响着修模质量和效率，为实景三维模型问题的处理提供了解决思路，也为修模软件的选择提供了借鉴参考。

关键词：三维建模；模型修饰；修模软件；Dp-Modeler；Meshmixer；模方
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）10-0104-04

Oblique Photography 3D Modeling and Different Software Modification Effect Analysis

ZHU Libo[1,2], HUANG Wenqian[1], SHI Zhiyuan[1], HU Zequn1, LI Zeyu[1]
(1. Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China; 2. Troops of PLA 91937, Ningbo 315000, China)

Abstract: To construct a fine real scene 3D model, 3D modeling and model modification play a crucial role. Considering the inefficiency of modeling software automatically generated 3D model, we analyzed and summarized common problems of real scene 3D model such as 3D model hole, suspended solids, abnormal moving objects matching objects, regular objects deformation. We used three different modification software to repair the common problems of model, compared and analyzed these software from the aspects of modification method and effect, software function, ease of use and processing efficiency. The results show that the choice of software directly affects the modeling quality and efficiency, providing a solution for the processing of real scene 3D model problems and a reference for the selection of modification software.

Key words: 3D modeling, model modification, modification software, Dp-Modeler, Meshmixer, ModelFun

近年来，倾斜摄影技术快速发展，使得影像的获取不再受限于垂直角度拍摄，而是通过多个角度采集影像数据以获取更加丰富的地物信息[1]，但在实景三维建模过程中，自动化生成的三维模型效果往往差强人意，常出现水面、墙面、玻璃等物体模型破洞，车辆、施工塔吊等移动物体异常匹配，规则建筑物轮廓变形，以及出现大量悬浮物等问题。

针对这些问题，不少专家学者对此展开研究[2-5]。但是，这些研究采用的软件较为单一，对于三维模型常见问题及修模步骤总结得不够系统，也不够全面。

本文对倾斜摄影三维建模的关键步骤展开讨论，针对三维模型的缺陷进行问题总结分类并进行原因分析，通过Dp-Modeler、Meshmixer及模方软件进行模型修饰并展开修模效果对比分析，由此为建立精细化模型提供解决方法和技术参考。

1　倾斜摄影三维建模

利用倾斜摄影技术进行三维建模的流程主要包括影像数据采集与预处理、空中三角测量、三维重建以及模型修饰等。图1显示的是倾斜摄影三维建模的基本流程。

1.1　数据采集及预处理

无人机倾斜摄影技术相较于传统单方向（垂直）摄影测量，其实质是同时从垂直和倾斜角度对地物进行拍摄，数据可以由同一平台搭载多个传感器，也可由单镜头的无人机通过布设多航向航线或环绕航线进行采集。

数据预处理主要针对原始影像以及POS数据，对于原始影像，需要对其进行对比度、曝光以及色彩等

收稿日期：2022-05-05。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41871295）。
第一作者简介：朱立波（1994—），硕士研究生，主要研究方向为无人机测绘，E-mail：2439629916@qq.com。

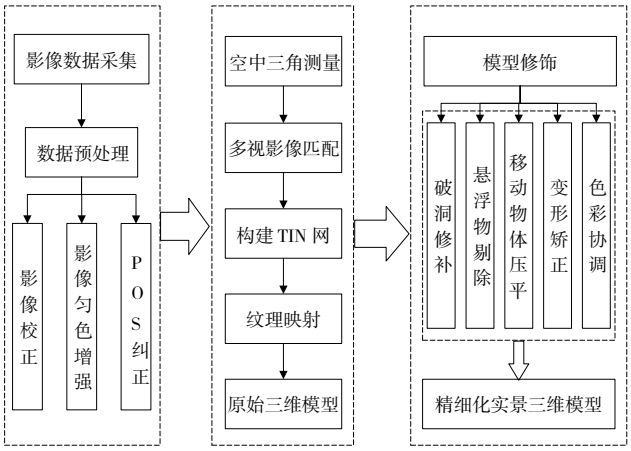


图1　倾斜摄影三维建模流程

的调整，使得影像数据更加清晰、色彩和谐、层次分明，另外需要保证影像数据不能重名。对于POS数据，原始POS数据信息要与影像数据一一对应，支持后差分模块的无人机系统，后期需要进行差分解算，以获取更高精度的POS成果。

1.2　空中三角测量

空中三角测量是利用少量控制点将整个区域网连接在一起，进而通过区域网平差获取影像的外方位元素以及加密点的平面和高程坐标[8]。

在数据处理软件中，首先导入影像数据、POS数据以及设置相机参数，软件会对影像进行大量的特征点计算提取，然后进行多视角影像特征点密集匹配，完成相对定向；最后需将外业控制点刺入影像中，利用这些点进行区域网平差，一般采用光束法区域网平差，由此解出每张相片的外方位元素和各加密点的地面坐标，完成绝对定向[9]。

1.3　三维重建

三维重建主要包括多视影像密集匹配、构建TIN网、纹理映射几个关键步骤。经过空三加密后，得到大量密集的点云数据，由此计算出不规则的三角形TIN网，生成三维模型的白模，最后通过纹理映射，得到实景三维模型。

三维模型自动生成数据量大，对电脑配置的要求比较高，提交重建任务需要根据电脑配置以及模型场景将模型进行瓦片划分，另外可以采用集群计算机的方式，这样可大幅提高三维重建效率。

1.4　模型修饰

通过软件自动化生产出的三维模型，由于受到遮挡、反光、运动物体、大面积纯色物体以及一些特殊地物的影响，就会出现模型的破洞、变形、碎片、凹凸不平等情况，因而需要借助一些软件对模型进行修饰，由此获取精细化的三维模型。

2　实景三维模型常见问题分类

2.1　三维模型破洞

模型破洞在实景三维模型中是最常见的问题之一，虽然三维建模软件拥有一些简单的修模功能，可以自动识别填充一些破洞，但是效果欠佳，仍需要后期进行处理。破洞问题产生的原因可以分为两类：一类是原始照片数量不足，主要由于地物遮挡或者照片重叠度不够等原因造成的。地物遮挡可能存在于地物之间的缝隙，也可能存在于一些特殊构造的地物上；照片重叠度不够则可能是由于地物处于测区边缘，也可能是由于定高飞行时地物相对较高导致较平地区域拥有较低的照片重叠度。另一类是弱纹理表面，主要包括水面、纯色墙体、玻璃、大片的沙滩及草原等，这类表面特征点较少，使得照片难以匹配甚至匹配错误，从而导致破洞的产生。

2.2　悬浮物

在软件进行空三加密生成密集点云时，由于影像质量欠佳或者一些地物的特殊结构，如形状过细、镂空地物等，使得在进行密集点云匹配时难以进行匹配，构建的三角网出现错误，进而导致悬浮物的产生。

2.3　移动物体异常匹配

在摄影测量的过程中，道路上的车辆、施工的塔吊等地物一直保持运动状态，这使得软件在进行影像密集匹配时难免出现一些错误，从而造成移动物体的几何模型出现扭曲变形、道路凹凸不平等，在纹理映射时也会因为纹理粘贴错误而导致纹理混乱的情况出现[10]。

2.4　规则物体变形

受照片分辨率、弱纹理表面、照片数量不足以及软件自身算法等因素的影响，难免无法绝对精准地进行点云匹配，使得在三维模型中出现扭曲变形，这在一些规则物体表面更为直观地表现出来，如道路的引导线、规则建筑物的轮廓等。

3　不同软件修模效果对比分析

3.1　实验区概况及软件介绍

本文的实验研究区域位于辽宁省大连市琥珀湾，整个测区面积大约0.1 km^2，飞行器采用精灵4pro，使用配套的DJI Terra进行飞行控制，航高设置为120 m，飞行速度设置为5 m/s，航向重叠率为80%，旁向重叠率为70%，相机使用精灵4pro自带的V2.0相机，共获

取81张原始影像数据。后期数据处理所使用的电脑是LENOVO 30DJS8HX00计算机，其采用了Windows 1 064位操作系统，搭载了i9-10900处理器，运行内存为128 GB，机身内存为10 T，可以稳定、高效地完成实景三维建模及模型修饰工作。本文通过瞰景Smart 3D软件进行自动化三维建模得到obj及osgb格式的实景三维模型数据，从中选取几个存在模型问题的典型场景用于模型修饰实验。

本文主要选取目前业内流行的Dp-Modeler、Meshmixer及模方软件这三款修模软件展开研究分析。

Dp-Modeler是一套基于多影像进行快速、精确三维建模、Mesh网格模型修饰的软件。该建模软件支持多种模型格式、三角网格的局部修改、模型纹理自动映射等功能，已广泛应用于数字城市大规模快速三维建模、工程竣工测量与土地的精确建模等相关领域。

Meshmixer是一款被广泛应用的三维模型设计软件，支持三角网的增减调节、模型的编辑变换，主要有模型的切割、拼接、修补、剥壳、着色、删除悬浮物等功能，另外还可以对模型进行结构分析，添加支撑以备打印。

模方软件是国内一款专门针对实景三维模型的冗余碎片、水面残缺、道路不平、标牌破损、纹理拉伸模糊等共性问题研发的实景三维模型修复编辑软件，为实景三维模型修饰提供了较好的解决方案。

3.2 修模效果对比分析

在三维模型破洞修复上，以水面修饰为例，Dp-modeler可以先将水域区域选中拟合到平面，以此避免水面的凹凸不平，然后再通过补洞工具及纹理修饰操作完成水面修饰，另外也可以直接用准备好的纹理图替换待修饰的水面区域；模方将水面修饰分为绘制水面范围、调整水岸线、确认水岸线、选取岛屿、选取色彩、瓦片操作6个步骤，只需按照软件提示进行操作即可，在Dp-modeler中也有水面修饰功能，但是并不是流程化的操作，不易掌握；Meshmixer首先需要对凹凸不平的水面进行置平，工具中的磨平笔刷对于道路这种起伏不大的平面置平效果还不错，但是对于起伏较大的水面失去置平的效果，在补洞方面，自动补洞不可能很好地检测并修复所有破洞，需要用到编辑工具中的填补功能，另外在纹理修饰方面，软件不能联动其他修图软件。三款软件对于水面修饰的修模效果如图2所示。

在对悬浮物的剔除上，Dp-modeler采用选取悬浮物工具，通过设置最小组件比例自动筛选出所选tile

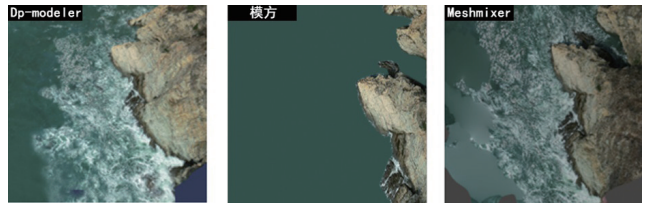


图2 Dp-modeler、模方与Meshmixer水面修复效果比较

中的所有悬浮物，最后完成剔除悬浮物的操作；模方则是通过删除小碎片工具，显示所有碎片并完成碎片的剔除操作；Meshmixer通过分析工具的检查器功能实现悬浮物的自动筛选，但是该工具仅支持单个tile的操作。三款软件对于悬浮物的剔除效果如图3所示。



图3 Dp-modeler、模方与Meshmixer悬浮物剔除效果比较

从图3中可以看出，三款软件均可以实现自动化剔除悬浮物，且均能达到不错的效果，但是Meshmixer只能针对单一tile进行操作，而且在操作中偶尔会出现错误填补破洞，处理速度也相对较慢。

在移动物体异常匹配上，以道路上移动的车辆为例，Dp-modeler首先通过拟合到平面工具将道路置平，然后通过Mesh纹理修改工具调用PS进行纹理的修饰；模方中有道路置平工具和表面置平工具，直接框选范围区域进行自动置平，纹理修饰可以通过调用PS进行处理，也可以通过设置空三文件，然后系统自动挑选出合适影像进行映射；Meshmixer在选择处理区域后通过平面切割工具对高出地面区域的物体进行切割完成区域置平，或者也可以直接删除异常匹配物体然后再进行补洞，不具备纹理修饰功能。三款软件对于移动物体异常匹配的修模效果如图4所示。



图4 Dp-modeler、模方与Meshmixer移动物体异常匹配修模效果比较

从图5中可以看出，Dp-modeler、模方在移动物体异常匹配上的修模效果都挺不错，但在操作便捷性上还是模方软件比较占优势；Meshmixer对于此类问题的解决则略加繁琐，且质量效果不佳。

在规则物体变形上，以规则建筑物为例，建筑物的扭曲变形常常体现在建筑物轮廓上，Dp-modeler可以通过墙线拉直工具对墙线进行矫正，也支持一体化模型构建，将建筑物通过线面工具绘制出来后再进行自动纹理映射，从而得到精细化的单体模型，但是对于单镜头影像，易出现因影像数据不足而导致自动纹理映射失败；模方中的立面修正工具同样可以对建筑物进行绘制，并提供融合到整体模型、从整体模型中挖除及不融合到整体模型3种选择，同样支持自动纹理映射功能；Meshmixer对于墙面的不平整可以通过磨平笔刷进行平整，但是效果并不理想，也不支持对于变形墙线的拉直等操作，修复效果相对较差。三款软件对于规则物体变形的修模效果如图5所示。



图5　Dp-modeler、模方与Meshmixer规则物体变形修复效果比较

在软件功能上，Dp-modeler功能比较强大，对于同一种模型问题拥有更多的解决方案，这在一定程度上拓宽了软件模型修饰的功能；模方软件的功能主要针对三维模型的共性问题，对各类问题提供了直观便捷的解决方案，功能基本满足实景三维模型的修复；Meshmixer的功能更多偏向于模型的设计，主要用于编辑修改以及拼接模型，对于倾斜摄影实景三维模型修复的适用性相对要弱一些。另外，Dp-modeler和模方软件都可以直接联动Photoshop软件进行纹理修饰，也支持一键式纹理自动映射，但是Meshmixer需要第三方修图软件进行操作，因此Meshmixer在纹理修饰上比较欠缺。

在使用便捷性方面，模方软件的使用最具有友善性及便捷性，对于一些模型问题的解决直接一键操作或以步骤化的形式列举出来，比较直观方便；Dp-modeler则专业性较强，使用起来不太容易操作；Meshmixer有一些简单使用的功能，但是对于模型常见问题的解决需要熟练掌握多个工具的组合，在初期使用起来会比较困难。

在处理效率上，Dp-modeler和模方对于加载和处理常规实景三维模型数据都比较高效，但是从处理模型共性问题的便捷性和速度来看，模方还是相对占一定优势，另外，模方的多瓦片联合处理功能极大提高了处理效率和处理效果质量，因此显得更加高效；Meshmixer加载一定数量的瓦片数据后，就会出现明显的卡顿现象，单瓦片的处理极大限制了处理效率，处理效率相对较低。

4　结　语

本文针对三维模型常见问题总结分类并进行原因分析，利用业内三款典型软件进行模型修饰，并对不同软件修模效果展开对比分析，结果表明：对于三维模型出现的几类常见问题，Dp-Modeler软件修复效果较佳，工具丰富，解决问题方案多样，但操作较为繁杂。而模方修复效果较佳，操作直观便捷，处理效率上也占一定优势，但工具较Dp-Modeler相对较少。Meshmixer主要侧重于模型设计，对于三维模型修复的适用性相对较弱，修复效果也差一些。随着实景三维建模技术的不断成熟，传统的测绘地理信息产品早就难以满足用户对于精细化模型的需求，选择可靠高效便捷的软件进行模型修饰直接影响着后期的作业效果及作业效率。本文选择的三款软件具有修模的典型性，总结提出的常见模型问题修模思路也比较清晰，可供相关人员参考借鉴。

参考文献

[1] 邸国辉,周国成,卞磊,等. 基于Dp-Modeler平台的空地一体化三维实景建模[J]. 地理空间信息,2020,18(11):48-50

[2] 杨彦梅,王莹,施磊,等. 基于DP-Modeler的精细化三维模型构建[J]. 测绘通报,2021(5):106-110

[3] 叶燕萍,詹莹. 基于倾斜摄影数据的实景三维建模修饰及应用探讨[J]. 大坝与安全,2018(6):66-69

[4] 罗天银,张平,马玉强,等. 实景三维模型修饰方法研究[J]. 测绘,2020,43(2):51-56

[5] 郑泽鹏. 基于ContextCapture的无人机实景三维建模与修模[J]. 地矿测绘,2019,35(2):39-41

[6] 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

[7] 王佩军,徐亚明. 摄影测量学:测绘工程专业[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005

[8] 赵帅. POS辅助空中三角测量技术现状及关键问题研究[D]. 西安:西安科技大学,2014

[9] 焦旺. 基于倾斜摄影数据的大比例尺地形图制作方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2020

[10] 赵政权,罗虹. 基于倾斜摄影测量的三维建模关键技术研究与应用[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2020,37(4):35-39

[11] 纪亮. 基于DP-Modeler倾斜摄影三维模型单体化研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(2):191-193