

# 无人机实景三维模型在大比例尺地形图测绘中的应用研究

任威

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

**摘要:** 本文针对无人机实景三维模型的应用优势展开分析, 讨论了无人机实景三维模型的应用要点, 内容包括无人机航空摄影测量、像控点布设与测量、进行空中三角测量、影像密集匹配处理、进行实景三维建模、三维模型数字测图、完成地形图绘制、三维测图精度分析等, 通过研究无人机实景三维模型成图质量评价要点, 其目的在于积累相应的实践经验, 为测绘体系的完善给予可靠依据。

**关键词:** 无人机实景三维模型; 大比例尺地形图; 测绘

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.119

在大比例尺地形图测绘活动中, 可选择的测绘方法相对较多, 其中以无人机为载体的摄影测绘技术, 因具有灵活性高、测量精度高等优势, 在该领域得到了良好的推广应用。依托无人机摄影测绘技术获取到的数据, 可在计算机软件辅助下建立实景三维模型, 真实还原目标区域的地形地貌, 从而为后续相关活动的推进给予可靠依据。

## 一、无人机实景三维模型的应用优势

总结已有推广经验可以得知, 无人机实景三维模型在应用中具有以下优势: (1) 自动化水平较高, 无人机这一飞行载体的体积相对较小, 能够在许多地区完成灵活起落, 并且从多个角度、高度获取实时和直观的影像数据, 数据也会在软件自动化功能辅助下完成高效处理, 最大限度反馈真实的应用场景。(2) 分辨率较高, 无人机实景三维模型中反馈图像的分辨率在0.05m以内, 能够满足大比例尺地形图测图要求, 真实反馈区域的地形地貌特征。(3) 应用成本较低, 在无人机实景三维模型的搭建中, 使用到的无人机体积较小、结构相对简单, 在采集数据阶段所需投入的成本相对较低。而后续数据处理阶段的软件自动化水平较高, 可减少相关成本支出, 可带来良好的经济效益。

## 二、无人机实景三维模型的应用要点

### (一) 无人机航空摄影测量

在前期无人机航空摄影测量阶段需注意以下内容:

(1) 做好航摄分区工作, 基于该区域的具体尺寸、地形地貌、气候条件等内容来划分航摄分区。并且基于设计线路来完成整个区域航线的布设工作, 确保航线可以完整覆盖航摄区域。(2) 科学设施航摄地面分辨率和航高, 以地面分辨率为例, 1:1000地形图的地面分辨率不能低于0.08m, 随后基于地面分辨率低, 使用公式

$H=f \times GSD/a$ 来计算摄影测量时的航高。公式中H表示无人机的航高, 计量单位为m; f表示摄影机镜头的焦距, 计量单位为mm; GSD表示地面分辨率, 计量单位为m; a表示摄像机的像元尺寸, 计量单位为mm。(4) 飞行参数设计, 为了得到完整的分析数据, 在实测时需将航向重叠率控制在70%以上, 而旁向重叠率控制在60%以上, 并且在航向上的覆盖率需要超过摄像区2条基线, 相邻航线航高应控制在30m以内, 设计航高和设计航高之间的差值不能超过50m, 以提高摄影测量结果的准确性。

### (二) 像控点布设与测量

进行像控点布设与测试时, 应注意以下内容:

(1) 在选择像控点时, 需要将像控点布置在重叠中线周围, 并且距离方位线之间的距离需要控制在像幅宽度的120%, 而距离片边缘应保持在0.1cm或50个像素以上。另外, 区域当中的弧线地物与阴影位置不能布置像控点, 避免该位置影像质量较差, 干扰到后续活动的进行。(2) 制作像控点刺点和地标点, 在像控点刺点的制作中, 会使用到Photoshop软件进行处理, 利用软件当中的相关工具, 来建立相应的点位图层、圆环图层和备注图层, 做好相应的标记工作, 利于后续活动的进行。在对地标点进行制作时, 会使用白灰直接洒在地面空旷位置, 在天顶角45°范围内不能存在过多遮挡, 制作的形状为“L”形, 长边的长度不能低于1.0m, 而短边的长度不能低于0.15m。(3) 进行像控点测量, 通常情况下, 会选择GPS-RTK测绘技术来获取像控点坐标和高程值, 保证获取数据的完整性与可靠性。

### (三) 进行空中三角测量

所谓空中三角测量是指, 在测量活动中会基于少量野外控制点, 使用空间前方和后方交会的方式, 来求解某些未知点坐标以及影像外方位元素, 从而为后续模型定向处理提供可靠依据, 而整个平差解算过程也被称作是加密, 因此空中三角测量也被称作是空三加密。在具体应用中, 空中三角测量会利用独立模型法、光束法、航带法等途径来处理相关数据, 以光束法为例, 其是将POS姿态数据作为整个外方位元素的初始值, 利用控制点坐标来完成平差计算, 建立相应的共线方程, 基于已知控制点坐标值, 来对已知控制点与待定加密点误差进行解算, 从而获取到像片的六个外方位元素, 并在空间前方交会方法的辅助下, 解算出加密点的地面坐标, 完成相应的数据参数修正, 利于后续建模活动的进行。

### (四) 影像密集匹配处理

前期获取到的各类影像和图片数据, 是多种视角影

像数据的匹配处理，而空三加密成果也会直接影响到影像密集匹配质量。在具体处理活动中，会使用运动恢复结构算法来处理和恢复影像外方位元素，随后会在多视图聚簇算法的辅助下，可以对联合平差得到的高精度外方位元素影像展开聚簇分类处理，做好这些影像信息的充分梳理，最后也会利用密集匹配算法来对得到的数据分析结果进行密集匹配处理，从而得到高密度点云数据。而这些数据在经过滤波处理之后，也可以顺利得到精度较高的三维点云，以满足后续分析活动的进行。

### （五）进行实景三维建模

完成上述分析处理后，进入到实景三维建模环节，基于以往应用经验可以得知，在对三维模型进行生产时，会将ContextCapture Master软件作为主要处理工具，用来处理海量的空三加密特征点。一般情况下，在三维建模活动中的计算任务总量较高，为了保证所有建模数据的处理速度，在具体的建模处理中，会将整个区域获取到的数据细分为若干模型单元，依次完成各单元数据处理，汇总后可以得到相应的三维模型，真实还原该区域的空间位置、形态、颜色和纹理。同时在ContextCapture Center Master软件辅助下，也可以完成各个分块DOM图的输出处理，所有生成的空三解算与三维模型数据也会进行切块处理，最终也会对外输出多个DOM图，利用Arc GIS平台当中的ArcMap软件，来对这些DOM图进行拼接，以得到完整的地形地貌图。

### （六）三维模型数字测图

等待三维建模活动顺利结束后，也会在模型上完成地形图绘制工作，具体实践中也需注意以下内容：

（1）对于模型像控点精度值进行校核，通常可以利用ContextCapture建模软件来完成精度的验证工作，也可以借助三维测图软件来完成相应的验证工作。（2）在大比例尺地形图测图中，所需要布设的像控点数量相对较多，因此可以在前期预留一些点来作为检查点进行应用，并且可以检查像控点精度的合理性。一般情况下，经常使用到测图处理软件包括SV360、EPS、TSD等，可以结合实际情况来对相对数据进行处理，完成处理后会对输出像控点精度报告。

### （七）完成地形图绘制

待上述工作完成后，进入到地形图绘制阶段，在该阶段的工作中需注意以下内容：（1）对于比例尺地形图规范进行梳理，结合其中的相关要求，利用规范符号与表示方法来各种地物位置、地物高程、地貌平面位置、地貌高程等，利于后续数据记录与整理活动的进行。（2）对于矢量化线画图进行制作，在实践中会利用中海达HiData来整理三维模型中的相关内容，以此来得到相应的矢量化线画图，并且在该图当中，也会对居民地、交通、水系、植被、地貌、注记及高程等要素进行标记，从而得到相应的地形图，直观反映出现场的地

形地貌情况。

### （八）三维测图精度分析

在三维测图精度的分析中，所分析的内容包括平面精度、高程精度、长度精度、面积精度等，以平面精度为例，在具体的验证活动中，需要注意以下内容：

（1）在测区范围内随机选择若干平面的检查点（数量不少于现场总检查点的2%），所有检查点数据会使用GMSS接收机进行采集，而且所有采集到的数据也会利用大地坐标系进行整理，便于后续分析活动的进行。

（2）整理检查点实测坐标值，并且会将实测值整理结果和对应点坐标计算值进行对比，从而得到数据的误差值情况。（3）所得到的平面误差值会和《1:500 1:1000 1:2000数字地形图测绘规范》中的相关内容进行比对，从而评价测区测图成果平面精度的合规性。若是误差值无法满足规范要求，那么此时也需要及时采取措施进行处理，以此来提高数据整理结果的科学性与合理性。

## 三、无人机实景三维模型成图质量评价

### （一）建立模糊综合评价体系

在对三维模型成图质量进行评价时，会利用模糊综合评价法来进行处理。该方法的处理原理在于，按要求建立相应的因素集与评价集，并且会利用模糊集合来描述相应的模糊概念，以此来完成地形图质量因素评价工作。在体系的具体建设中应包含以下内容：（1）指标集，其主要参考依据包括空三解算精度、三维重建精度、长度误差、平面误差等。（2）类别集，在三维模型当中所参考的类别，主要包括三维模型精度和地形图精度两种。（3）评价集，基于三维模型分类依据可以得知，可以将其细分为优级品、良级品、合格品与不合格品四种类型，以满足不同情况下的应用需求。

### （二）确定各项指标权重

在各类指标权重的计算活动中，一般会使用层次分析法、特尔菲测定法等手段来进行确定。若是在前期大比例尺地形图测绘精度的校核中，各项指标均满足要求，那么此时在指标集指标权重计算中，可以利用特尔菲测定法来进行处理，基于该方法当中的相关公式，来得到不同指标的具体权重。在类别集指标权重的计算中，会采用百分制进行计算，参考《数字测绘成果质量检查与验收》中的相关内容，完成指标体系当中各个指标子元素的评估计算，从而得到不同类别集的综合评分，利于后续分析活动的进行<sup>[1]</sup>。

### （三）整理质量评价结果

完成上述工作后，进入到大比例尺地形图测绘成果质量评估阶段，通过确定具体的隶属度来得到相应的质量等级评价结果。在具体实践中多使用“降半梯形”分布公式来计算相关内容，并以此来完成模糊评估矩阵的构建，依托评估矩阵得到相应的评价结果，但该结果

并不是最终的评价结果，也需要对结果向量进行再次处理，经常使用到的评价方法包括模糊分析法、最大隶属度原则、加权平均法等，从而得到准确的质量等级评定结果。根据最大隶属度原则结合评价结果向量可知，地形图的质量等级评价结果<sup>[2]</sup>。

#### 四、实例分析

##### （一）基础内容

某地区按要求开展1:500数字地形测绘及入库工作，目标区域的总面积为231.36km<sup>2</sup>。结合相关要求，该项目在2022年7月开始展开外业作业，在2023年4月完成测区内控制网布置和地形测量工作。为了提高所得分析数据的准确性，在此次测量活动中，使用了数字测图和无人机三维模型来完成地形图测绘，在获取到相关数据后，使用到ContextCapture软件来进行三维模型重建，以得到准确可靠的数据分析结果<sup>[3]</sup>。

##### （二）工作流程

在无人机三维模型重建活动中的工作流程如下：

（1）获取各项基础数据，利用现场布置的控制点来获取相关数据，同时也会利用无人机来获取多角度影像数据和POS数据，在软件辅助下初步完成相应的整理工作。（2）利用ContextCapture软件来对获取到的数据进行处理，并以此完成相应的建模活动，从而直观、完善地反映出目标区域的基础情况，利于后续分析活动的进行。（3）进行三维测图软件数据采集工作，基于相应规范中的相关要求，来对目标区域的相关数据进行采集，并且在软件提供的便利条件下，完成各类数据的综合处理<sup>[4]</sup>。（4）在发现遗漏问题后，开始进行外业调绘工作，以此来获取完整的数据整合结果。同时也需要对获取到的数据进行精度分析，根据分析结果来修正精度数据，以此来保证所有数据整合结果的科学性，利于地形图制作活动的进行。（5）根据获取到的数据，进行1:500数字地形图的制作，做好符号标记、属性标记等工作，提高所拟定大比例尺地形图的可靠性。

##### （三）实景三维建模

在三维建模活动中，ContextCapture软件属于经常应用到的工具，在数据处理活动中，所需要处理的数据包括多角度影像数据、POS数据以及像控点数据，在整理影像数据与POS数据时，主要利用了无人机这一工具。而像控点数据则利用外业数字测绘获得。结合该区域的时间情况，会以20000到40000个像素为间距来布置控制点，而该区域当中涉及差分的POS数据，则可以将像素间距控制在40000个像素以上。在完成数据测量之后，可以将相关数据直接导入到Context Capture中进行处理，实践中会先进行第一次空三计算，为加快数据计算结果，会使用集群展开计算<sup>[5]</sup>。等待第一次空三计算顺利完成后，开始引入控制点数据，这些

数据会在坐标系帮助下完成统一化处理，随后可利用ContextCapture软件展开建模，过程中也会进行第二次空三计算，逐步修正三维模型中的相关内容，同时对于模型中的参数进行细化处理，以提高所建立模型的直观性与可靠性，利于后续活动的有序推进。

##### （四）精度评价

完成建模工作后，也需要进行精度评价，这也是校核三维模型是否可靠的重要依据。为了校核三维测图的精准度，外业人员需要在实地进行检查点的合理化布置，并且将三维模型上采集到的地形图和实测的检查图镶嵌在一起进行分析，从而得到准确的精度评价结果。通过对比相关数据后可以得知，所得到的地形图精度误差均在5cm以内，这也表明此次利用无人机三维实景模型采集到的数字图形，可以满足1:500大比例尺地形图测绘规范中的相关要求。由此可见，在此次测绘活动中，利用无人机三维实景模型得到的大比例尺地形图拥有良好的应用价值<sup>[6]</sup>。

##### 结束语

综上所述，目前以无人机为载体的测绘技术，在许多领域中得到了广泛应用。无人机三维实景模型在应用中，可以利用无人机获取到完整、可靠的测绘数据，随后利用ContextCapture来对这些数据进行处理，以得到多种格式的应用数据，包括三维模型、点云数据、DOM数据、DSM数据等，并且所得到的大比例尺地形图测绘能满足1:500的数字测图要求，弥补了传统测绘活动中存在的不足。下阶段发展活动中，也需要做好先进技术的融入工作，不断提高建模效率和质量，为相关活动的推进给予可靠依据。

##### 参考文献

- [1] 宋媛媛, 张照杰, 刘明涛等. 无人机实景三维模型在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(06): 226-228.
- [2] 王虎. 无人机倾斜摄影大比例尺地形图测绘及质量评价[D]. 安徽理工大学, 2021.
- [3] 莫寅. 基于无人机倾斜摄影测量的大比例尺地形图测绘方法[J]. 北京测绘, 2020, 34(01): 79-82.
- [4] 程玉红. 无人机倾斜摄影技术在大比例尺地形图测绘中的应用研究[J]. 山西交通科技, 2019(06): 21-23.
- [5] 杨昆仑. 无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘方面的应用[J]. 测绘技术装备, 2019, 21(01): 84-88.
- [6] 周小杰, 胡振彪, 乔新. 无人机倾斜摄影技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 城市勘测, 2019(01): 63-66.