

# 倾斜摄影实景三维建模的孔洞修复方法

刘虎

(蚌埠市勘测设计研究院 安徽 蚌埠 233000)

**摘要:** 倾斜摄影测量作为一项新兴的测量技术,在三维建模和工程测量中有广泛的应用前景,为自然资源管理、城市国土空间规划、城市管理等各方面提供了有力的支撑。与传统三维建模技术相比,倾斜摄影实景三维建模技术有诸多优势,如省时省力、效率高、工作量少等。基于此,本文对倾斜摄影实景三维建模的孔洞修复方法进行了探讨,以供参考。

**关键词:** 倾斜摄影实景; 三维建模; 孔洞修复方法

## 0. 引言

近年来,无人机倾斜摄影技术是测绘领域中快速发展起来的一项新技术,倾斜摄影测量主要从垂直和倾斜共5个不同方向对物体信息进行采集,同时,在摄像时记录航速、航向、航高、航向重叠和旁向重叠等空中姿态信息。在获取影像数据后,利用倾斜摄影测量软件系统结合POS数据和地面控制点数据对倾斜影像进行内业处理,并生产测区的实景三维模型,然后在模型上采集空间信息,从而全面提升地理信息获取的精度、广度和深度。

## 1. 无人机倾斜摄影技术

倾斜摄影技术由垂直摄影技术发展而来,民用无人机技术的快速发展促使倾斜摄影技术的应用越来越广泛,可用于自然资源管理、城市规划、城市管理、市政道路设计等多个方面。使用无人机对拍摄目标合理规划航线进行航拍,可以获得一条垂直角度和前后左右四个方向上的拍摄影像照片。通过设置合理的航向和旁向重叠度等飞行参数,可以确保对于三维建模目标构筑物特征点至少在三张无人机航摄影像照片中可以找到,同时,无人机所拍摄照片会自动保存POS数据。在无人机航拍数据内业处理时,使用三维建模软件对采集到的影像照片进行空三加密解算、多视影像密集匹配、点云生成、三维纹理映射和三维模型生成等,就能实现对目标构筑物三维模型的构建。

## 2. 实景三维特征

传统的三维模型以外业影像照片、数字线划图DLG、数字正射影像DOM、数字高程模型DEM等为基础数据,利用3dsMax等三维处理软件对轮廓进行人工构建,从而构建建筑物的三维模型,照片处理和纹理贴图分为细节模型、主体模型和模型符号等方式,是依据现行的三维模型数据质量检查与验收的规范对传统三维模型数据进行质量检查、质量评定。实景三维模型数据是在外业(倾斜摄影、全景拍摄等方式)采集到的数据基础上,内业通过计算机进行数据预处理,多视影像区域网联合平差,多视影像密集匹配,数字表面模型生产,实景三维模型的生成。

倾斜摄影测量数据采集具有灵活、高效、高分辨率等优点,是实景三维建模数据采集普遍采用的一种方式。普通三维建模的模型等级高低、要素类型、精细程度均取决于地物要素的重要性,而倾斜摄影实景三维原始影像的分辨率和倾斜三维处理软件算法对模型的精细程度产生影响,与地物要素重要性等级无关,没有单体化之前的各类地物,其模型结构均按统一规则进行取舍,其精细度也基本一致。建筑物墙面、门窗、阳台等细节表现也较好,道路、水系、建筑物等模型结构基本上完整。但地物大小及其周边遮挡情况会影响模型的精细度,一些地物模型结构会出现不完整的现象,如漂浮、残缺、漏洞等,从而导致模型不完整、模型漂浮、模型残缺、模型漏洞等。这就要求在实景三维模型质量检查过程中,要区分地物要素的重要性,不能照搬现行规范,必须有选择、有重点地进行质量检查。

### 3. 基于无人机倾斜摄影的城市实景三维建模

#### 3.1 规划航线

根据项目分布区域确定飞行范围，合理规划飞行航线，确保航向重叠度保持在 80% 以上，旁向重叠度在 70% 以上。通常情况下，航线应按东西向直线飞行，在特定条件下亦可根据地形走向与专业测绘的需要，按南北向或沿线路、河流、海岸、境界等任意方向飞行，为适应大比例尺航测测图放大作业的特殊性，从航摄像片的最佳覆盖和简化方便测图作业考虑航线一般按照测区走向直线方法布设，在规划航线时，航线长度越长越好。

工作人员在规划航线时，应将无人机的飞行高度控制在合理范围内，考虑到相机拍摄角度，为保证边缘物体立体成像，航线覆盖超出测区边界线至少 250 米。如果在测量过程中，无人机缺乏航线规划的指导，将很难按照规律路线飞行，并且在飞行过程中，单纯依靠人工操作是很难对无人机的飞行方向进行掌控的。另外，工作人员要想确保采集数据的准确性，就需要保障无人机匀速飞行，均匀稳定地采集数据。同时，考虑到无人机在开展空中作业时，很有可能会受到空气流速等多种因素的影响，进而出现失衡、失稳、影像数据模糊等问题。三维建模等对影像数据的采样率和重叠率有着非常高的要求，若单纯依靠人工操作，将很难保证影像数据的采集质量，甚至不得不二次补测，严重降低了工作效率。因此，在采集实景数据之前，工作人员必须落实航线规划工作。在通常情况下，最理想的测区大多为矩形，这与传统航空摄影过程中所设置的矩形测区相类似，其规划相对简单，工作人员只需要设定平行航线后，操纵无人机折返拍摄即可，但在实际工作中，测区形状很有可能是不规则的多边形或者长条形，进而在一定程度上加大了航线规划以及执行的难度，而且考虑到项目目标区域范围较大和无人机的起降降落场地，采取分区块航空摄影。

#### 3.2 布设像控点

本项目采用平高区域网布点方案，由于航摄区域形状不规则，需划分为多个区域网，每个区域设有独立的像控点。区域网采用周边布设平高点，均匀布设平高点的方法；无人机摄影设备使用 IMU/DGPS 辅助测量，可大大降低地面像控点的敷设密度，每架次作业区域四角布设，中间区域布设；由于摄影重叠度高、有多视角影像，计算机密集点云数据匹配功能强等，外业布设像控点位基线跨度可适当放宽，但在加密过程中检查点精度需满足精度指标；鉴于目前使用的软件在空三加密区域网平差计算上已具备先进完善的功能，区域网大小根据航摄飞行情况、地形情况、计算机运算能力等进行综合划分，区域网之间的像片控制点应尽量选择在上、下航线重叠的中间，相邻区域网尽量公用像控点。

#### 3.3 像控点的选取

像控点应布设在航向三片重叠范围内，困难时可布设在二度重叠范围内；位于自由边的像控点连线应能控制住测图范围；对于控制线路方案的重点工程地段，应增加像控点。

因为像控点精度严重影响最终成果精度，所以在选取像控点时，需选纹理分明的点以保证像控点坐标采集精度。像控点精度主要包含两个方面，一是像控点的测量精度，二是像控点影像目标精度，它取决于地表影像纹理的丰富程度，所以在选取时应选择纹理明显的，对空通视，像控点位置平坦并均匀分布在测区，如果测区无明显纹理地物，应该先布设像控点目标可提高精度，像控点采集采用 GPS 进行测量，精度较高。

像控点影像目标精度取决于地表影像纹理的丰富程度，选取像控点宜选在近于直角的线状地物的交点或地物拐角上。在地物稀少地区，点位目标也可选在线状地物的端点或点状地物的中心。弧形及不固定的地物，不得作为刺点目标；像片高程控制点的点位应选刺在高程变化较小的地方；像片平高控制点的点位目标，应同时满足平面和高程控制点对点位目标的要求。；如果测区无明显纹理地物，则应该先布设像控点目标，再进行航空摄影。

像片控制点整饰应清晰、明了，同一测区不得有重号。

#### 3.4 外业数据获取

外业数据获取是利用无人机搭载五镜头相机获得测区范围的高分辨率的数字影像，为保障建模中空三解算的精度，在测区范围内利用 RTK 进行外业像控点坐标的布测，像控点可为实景三维建模精度评定提供外部参考，提高实景三维模型的精度，按照规范技术要求及航线设计需要，布设像控点。为了与其他成果较好地衔接与应用，选择 2000 国家大地坐标系和 1985 国家高程基准，采用徕卡 RTK 联测了测区附近的 8 个高等级 GPS 控制点，布测了 104 个像控点。无人机航摄根据空域审批情况及天气状态，合理选择外业航飞摄影时间段。根据测区范围及光线条件，规划布置飞行航线，本次无人机倾斜摄影设计航飞的航高为 150m，航向重叠度为 80%，旁向重叠度为 75%。每完成一个架次，均要进行飞行质量检查，内容主要包括影像质量、数量、是否漏拍、是否达到技术设计指标，并观察影像的清晰度、饱和度、亮度等质量，如有质量问题，立即安排重飞或补飞工作，以确保外业影像质量。

#### 3.5 基于无人机倾斜摄影的城市实景三维建模流程

基于无人机倾斜摄影的城市实景三维建模中主要包含两部分，分别是倾斜摄影数据处理与三维实景建模，具体步骤如下：城市倾斜摄影数据对倾斜摄影数据进行畸变校正与匀光匀色等处理，提升倾斜摄影数据质量，统一命名倾斜摄影数据，利于后续实景三维建模的顺利进行；空中三角测量：通过城市航摄影像的高精度初始外方位元素，辅助空中三角测量，获

取区域地物高程与平面位置；城市航摄影像密集匹配：利用实景三维建模软件，密集匹配区域全部影像，获取密集点云数据；Context Capture 三维建模软件依据城市区域的密集点云数据与地物高程及平面位置，建立区域的不规则三角网 TIN 模型；纹理映射：利用三维建模软件，将优化后的城市纹理，自动映射至 TIN 内相应的位置上，获取城市实景三维模型；城市实景三维模型输出：通过分层显示技术，分割区域实景三维建模区域，以 3D Mesh 格式呈现城市实景三维模型。

#### 4. 倾斜摄影实景三维建模的孔洞修复方法

在实景三维模型建立的过程中，受影像质量、软件算法及构建 TIN 模型等因素的影响，产出模型的局部存在瑕疵、畸变、扭曲、孔洞及异常等问题，因此需要对模型进行精细化修改和调整，确保与地理实体保持一致性。

##### 4.1 孔洞检测

点云孔洞检测对于后续的孔洞修复过程非常重要。当前的孔洞检测算法主要包括基于三角网格和点云数据两种检测算法。基于三角网格的孔洞识别是指通过三角化三维点云模型，识别基于三角面片之间的拓扑关系，当网格模型较大时，孔洞的边界点决定了计算量，从而降低了效率。

基于点云数据的孔洞检测方法通常是提取孔的边界点，方法是创建点云空间索引、浏览点云数据以及根据孔洞边界点的不同特征设置阈值过滤条；根据空间大小，基于点云数据的识别算法可以分为基于二维平面投影映射的识别和基于三维空间的识别；基于二维平面投影映射的典型边界识别算法包括创建投影平面、计算投影点的标准角度阈值差值以及确定孔洞的边界点；设定投影点后，阈值将根据与采样点相邻的点集中的场力的总和进行设置，该总和是点集的平均值，从而识别点云边界的要素点；基于三维空间的边界识别算法考虑点云数据的三维特征，并根据点云曲率、相邻点法线所描述的角度等设置单个或混合阈值，此算法对设置参数非常敏感。

此外，对于特定点云数据，存在基于阈值参数的边界提取方法，这些方法不允许使用阈值参数提取孔洞边界，而适用于优化内部不规则孔洞的识别。

##### 4.2 孔洞修补

孔洞分为建筑物孔洞和水面孔洞。建筑物孔洞是因为采集时图像缺失导致重建时没有进行正确的解算，因此重建软件会默认其为孔洞；水面孔洞是因为采集时水面出现了光反射，导致相机感光器件无法采集到图像信息，以至于后期计算时出现孔洞；建模区水域面积较大，受光线反射折射的影响，初始模型部分水域有大量的凸起和孔洞，需要进行水面异常

去除及孔洞修补；在水面异常凸起或凹陷部分，人为删除异常位置的点云数据，使其形成人为孔洞，利用孔洞修补程序进行自动修补；产生孔洞后需要通过三维模型修复软件对模型进行修补，减少孔洞对模型效果的影响；小面积的孔洞对于整体模型影响不大，但是大面积孔洞就要考虑是否为外业采集时重叠率过低、摄像参数设置不当等原因，需重新进行外业采集。

#### 5. 结语

综上所述，无人机三维扫描实景建模技术将无人机航拍、倾斜摄影与三维重建技术相结合，实现了将航拍景物三维重建并可实时调整观看视角，最终应用于广播电视节目中。通过 2022 年对蚌埠市 50 平方公里进行三维扫描实景建模工作，充分验证了无人机测绘航空摄影实景建模技术画面精细度和作业稳定性均达到标准，并能够在未来应用于自然资源管理，辅助国土空间规划及城市管理等多个方面提供有力支持。

##### 作者简介：

刘虎（1983.10-），男，汉族，安徽凤阳人，副高级工程师，硕士学历，研究方向：GIS 数据处理、地理信息工程开发、航空摄影测量等。

##### 参考文献：

- [1] 蔡威, 孙训斌, 周杰. 基于倾斜摄影测量的实景三维建模及精度分析 [J]. 山西建筑, 2022, 48(19): 166-168.
- [2] 刘钰, 陈延博, 李书丹, 李遥. 基于倾斜摄影的城市三维建模及单体化研究与分析 [J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(09): 248-251.
- [3] 赵坤, 张海军, 田骞. 基于倾斜航空摄影技术的三维实景建模研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44(09): 143-149.
- [4] 李青逊, 秦燕玲, 黄鹤. 基于无人机倾斜摄影测量的边坡建模及精度分析 [C]// 第十四届全国边坡工程技术大会论文集, 2022: 180-185.
- [5] 赵紫阳, 林文伟, 罗冠泰, 曾亮, 张陈涛. 基于图像分割和孔洞修复的三维伤口测量方法 [J]. 科学技术与工程, 2022, 22(24): 10572-10578.
- [6] 薛建华, 卞小雨. 基于无人机倾斜摄影测量的校园实景三维建模 [J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2022, 38(04): 96-99.
- [7] 倪少华, 姜志哲, 徐庆. 秦皇岛市倾斜摄影实景三维建模实施方案及模型后期修复方法探讨 [J]. 城市勘测, 2019(03): 78-82.