

# 无人机倾斜摄影测量在应急测绘中的应用

景军

江苏煤炭地质物测队

DOI:10.32629/gmsm.v3i2.613

**[摘要]** 无人机倾斜摄影技术是近年来发展起来的一项新的测绘技术,其改变了传统航测遥感影响只能从垂直方向进行拍摄的限制,利用多台传感器从不同的角度对数据采集,高效快速的获取海量的数据信息。获得的三维数据可真实反映地物的外观、位置、高度等属性;借助无人机,可快速采集影像数据,实现全自动化三维建模;倾斜摄影数据是带有空间位置信息的可量测影像数据,能同时输出DSM、DOM、TDOM、DLG等多种成果,实现全自动化三维建模,真实反映地物的外观、位置、高度等属性信息。为政府应急测绘顺利完成提供有力的保障。

**[关键词]** 无人机; 倾斜摄影; 应急测绘; 三维建模

## 1 概述

任务中,采用无人机倾斜摄影系统结合RTK技术进行像控点测量的方法,形成了从影像获取、影像整理、像控点布设与测量、工程建立、影像导入、控制点成果输入、空三计算、模型生成到成果应用的一整套作业流程。本文采用Smart3D软件进行三维模型构建,相比PIX4D和CAD等传统的三维建模软件,Smart3D软件具有自动化程度高、精度可靠、建效率高、情景真实等优点。实现大区域范围整体严密光束法平差流程和支持多源传感器混合平差等优势。在本次任务中得到了很好的应用。

## 2 应急测绘

应急测绘是为国家应对突发自然灾害、事故灾难、公共卫生事件、社会安全事件等突发公共事件高效有序地提供地图、基础地理信息数据、公共地理信息服务平台等测绘成果,根据需要开展遥感监测、导航定位、地图制作等技术服务。发生地震、山体滑坡、泥石流等自然灾害后,为及时获取灾区可量测三维数据,不能按照传统的作业方式进行控制测量,可通过在Google地图读取坐标、手持GPS测量、RTK测量等方式快速获取灾区少量控制点,生成灾区真三维模型,为灾后救援提供帮助。应急测绘保障服务是贯穿突发事件的预防、应对、处置和恢复全过程中的重要基础工作,是国家突发事件应急体系的重要内容,是新时期公益性测绘地理信息工作的重要业务。

## 3 影像获取与处理

影像获取与处理是运用无人机倾斜摄影测量技术进行三维模型构建的基础,主要包括影像获取、影像整理和像控点的布设与测量等工作。

### 3.1 影像获取

#### 3.1.1 无人机倾斜摄影系统介绍

传统航空摄影只能从垂直角度拍摄地物,倾斜摄影则通过在同一平台搭载多台传感器,同时从垂直、侧视等不同的角度采集影像,有效弥补了传统航空摄影的局限。那么,无人机倾斜摄影系统可以定义为:以无人机为飞行平台,以倾斜摄影相机为任务设备的航空影像获取系统。

#### 3.1.2 飞行平台的性能要求

目前,市场上无人机的种类繁多,按照动力系统可以区分为内燃机动力和电池动力;从飞行实现方式上可以区分为固定翼和旋翼(单旋翼、多旋翼)。由于飞行平台自身的振动问题,在成像质量上电池动力优于内燃机动力;在作业效率和续航时间上,固定翼优于旋翼;在飞行稳定性上,旋翼优于固定翼。由于无人机用途不同,其性能标准也不一样。测绘型无人机对飞行标准要求更高,可以在载重、巡航速度、实用升限、续航时间、安全性和抗风等级等方面做出限定。

#### 3.1.3 倾斜相机的性能要求

在《低空数字航空摄影规范》(CH/Z 3005-2010)中,对测绘航空摄影也就是垂直摄影的相片倾角有如下规定:倾角不大于 $5^{\circ}$ ,最大不超过 $12^{\circ}$ 。现有的航测软件处理能力已经有了很大提升,可以在这个标准的基础上,把倾角 $15^{\circ}$ 以上的都划归到倾斜摄影的范畴。倾斜摄影发展到今天,倾斜相机不再限定相机镜头的数量。倾斜相机的关键技术指标是获取不同角度影像的能力和单架次作业的广度和深度。这包括五镜头、三镜头、双镜头等多镜头相机及可以调整相机拍摄角度的单相机系统。在无人机航测标准中,要求航测相机像素不低于3500万,在倾斜摄影中不对单一相机的像素进行限定,而对一次曝光获取的影像像素进行控制。倾斜相机的性能要求可以从获取影像能力、作业时间、曝光功能、续航时间、POS记录功能等方面做出限定。

#### 3.1.4 航摄高度的确定

无人机倾斜摄影的飞行高度是航线设计的基础。航摄高度需要根据任务要求选择合适的地面分辨率,然后结合倾斜相机的性能,按照式(1)计算 $H=f \times GSD / \alpha$  (1)式中,H为航摄高度,单位为m;f为镜头焦距,单位为mm; $\alpha$ 为像元尺寸,单位为mm;GSD为地面分辨率,单位为m。本次应急任务中设置航高150m。

#### 3.1.5 航摄重叠度的设置

低空数字航空摄影规范规定“航向重叠度一般应为60%~80%,最小不小于53%;旁向重叠度一般应为15%~60%,最小不小于8%”。在无人机倾斜摄影时,旁向重叠度是明显不够的。不论航向重叠度还是旁向重叠度,按照算法理论建议值是66.7%。可以区分为建筑稀少区域和建筑密集区域两种情况进行介绍。

##### (1) 建筑稀少区域

考虑到无人机航摄时的俯仰、侧倾影响,无人机倾斜摄影测量作业时在无高层建筑、地形地物高差比较小的测区,航向、旁向重叠度建议最低不小于70%。要获得某区域完整的影像信息,无人机必须从该区域上空飞过。以两栋建筑之间的区域为例,如果这两栋建筑由于高度对这个区域能形成完全遮挡,而飞机没有飞到该区域上空,那么无论增加多少相机都不可能拍到被遮区域,从而造成建筑模型几何结构的粘连。

##### (2) 建筑密集区域

建筑密集区域的建筑遮挡问题非常严重。航线重叠度设计不足、航摄时没有从相关建筑上空飞过,都会造成建筑模型几何结构的粘连。为提高建筑密集区域影像采集质量,影像重叠度最多可设计为80%~90%。当高层建筑的高度大于航摄高度的1/4时,可以采取增加影像重叠度和交叉飞行

增加冗余观测的方法进行解决。如著名的上海陆家嘴区域倾斜摄影,就是采用了超过90%的重叠度进行影像采集以杜绝建筑物互相遮挡的问题。影像重叠度与影像数据量密切相关。影像重叠度越高,相同区域数据量就越大,数据处理的效率就越低。所以在进行航线设计时还要兼顾二者之间的平衡。

### (3) 区域覆盖设计

“航向覆盖超出摄区边界线应不少于两条基线。旁向覆盖超出摄区边界线一般不少于像幅的50%”,这是原规范在航摄区域边界覆盖上的保证,但在无人机倾斜摄影时是明显不够的。理论上,需要目标区域边缘地物能出现在像片的任何位置,与测区中心地区的特征点观测一样。考虑到测区的高差等情况,可以按照式(2)来计算航线外扩的宽度 $L=H1 \times \tan \theta + H2 - H3 + L1$ (2)式中, $L$ 为外扩距离; $H1$ 为相对航高; $\theta$ 为相机倾斜角; $H2$ 为摄影基准面高度; $H3$ 为测区边缘最低点高度; $L1$ 为半个像幅对应的水平距离。

#### 3.1.6 航飞要求

采用程控的模式进入航线实施航摄。作业前要掌握当前天气状况,并观察云层厚度、光照强度和空气能见度,拍照模式为定点曝光,一个飞行架次飞行时间为25分钟左右,需时刻监控无人机飞行状态,安全完成目标区域影像采集。

#### 3.2 影像整理

(1) 规范影像名称。倾斜摄影云台由多个传感器组成,同一时刻可以获取多个角度的影像数据,需根据传感器的顺序存放在相应的文件夹中,规范统一影像数据名称。

(2) 去除影像冗余。由于影像数据量太大会影响数据处理效率,需要去除各传感器在无人机上升、下降、转弯和任务区域范围外的冗余影像数据。

#### 3.3 空三测量

##### 3.3.1 像控点位选择要求

影像控制点的目标影像应清晰,选择在易于识别的细小现状地物交点、明显地物拐角点等位置固定且便于量测的地方。条件具备时,可以先制作外业控制点的标志点,一般选择白色(或者红色)油漆画十字形标志,并在航摄飞行之前试飞几张影像,确保十字标志能在倾斜影像上正确辨识。控制点测量完成后,要及时制作控制点点位分布略图、控制点点位信息表,准确描述每个控制点的方位和位置信息,便于内业刺点使用。

##### 3.3.2 控制点布设

六旋翼无人机采用GPS定位模式,POS数据定位精度无法满足空中三角测量要求,需要人工布设地面控制点,提高三维模型量算精度。一般在500X500m的航摄区域内布设5个控制点即可,具体方法是在4个角隅和中心点各布一个,控制点数越多模型精度越高。控制点选取在地面易识别的区域,最好是多个传感器影像的同名点,并把控制点对应的各传感器影像汇总在相应文件夹内。

##### 3.3.3 像片刺点

将野外测量的控制点信息,按照实际位置刺到自动建模系统中,这个工作叫做像片刺点。刺点位置一般是十字交叉的中心、直线的左右角点或直角的内角点,如斑马线的左右角点,根据影像分辨率和斑马线的宽度,估算角点所占的像素,把影像缩放到合适的大小完成刺点。

##### 3.3.4 像控测量

控制点成果可由卫星影像读取、手持GPS测里、RTK测量、传统导线测量等多种手段获取。为了保证空三的精度、确定地物目标在空间中的绝对位置。在常规的低空数字航空摄影测量外业规范中,对控制点的布设方法有详细的规定,是确保大比例尺成图精度的基础。倾斜摄影技术相对于传

统摄影技术在影像重叠度上要求更高,现在的规范关于像控点布设要求不适合应用于高分辨率无人机倾斜摄影测量技术。无人机通常采用GPS定位模式,自身带有POS数据,对确定影像间的相对位置作用明显,可以提高空三计算的准确度。

##### 3.3.5 空三精度

在《数字航空摄影测量空中三角测量规范》中,对相对定向中像片连接点数量和误差有明确的规定,但在无人机倾斜摄影空三中没有相对定向的信息,单个连接点的精度指标也未体现,不能完全照传统空三那样去挑粗差点,可以从像方和物方两个方面来综合评价空三的精度。物方的精度评定比较常用,就是对比加密点与检查点(多余像片控制点,不参与平差)的坐标差;像方的精度评定,通过影像匹配点的反投影中误差差来进行控制。空三常规的精度指标只能表现整体的精度范围,却不能看到局部的精度问题,通过外方位元素标准偏差更能全面的表现。通俗来讲,空三运算的质量指标包括:是否丢片,丢的是否合理;连接点是否正确,是否存在分层、断层、错位;检查点误差、像控点残差、连接点误差是否在限差以内。

## 4 三维建模操作流程

基于Smart3D软件的三维建模操作流程,主要包括工程建立、影像导入、控制点成果输入、空三计算以及模型生成等步骤。

### 4.1 工程建立

首先创建一个“New project”并命名,再为它选择一个project location,在该路径下得到一个s3m格式的文件。由于工程文件一般会比较大小,需要将工程文件存放在空间充足的盘符下。

### 4.2 影像导入

再次点击“New block”新建一个图块,可以在右侧选项中看到有两种加载影像数据的方式,分别为newblock和importblock(导入图块)。然后在“Photos”下导入之前整理好的影像文件夹。导入结束后,在“Sensor size”选项中输入摄影云台的遥感器参数。

### 4.3 控制点影像关联(成果输入)

在“Control points”对话框下,首先确定控制点的坐标系类型,例如CGCS2000、WGS-84等,然后逐个添加控制点,输入点名、经纬度和高程值等信息,并在汇总好的控制点影像上完成控制点的标注工作。对于具有像控点的航飞区域,需要在空三运算前将控制点与影像进行人工关联操作,该操作需要在Control points 界面下完成。

### 4.4 空三计算

该系统中空三计算是自动完成,采用光束法区域网整体平差方法进行。即以一张像片组成的一束光线作为一个平差单元,以中心投影的共线方程作为平差单元的基础方程,通过各光线束在空间的旋转和平移,使模型之间的公共光线实现最佳交会,将整体区域最佳地嵌入到控制点坐标系中,从而恢复地物间的空间位置关系。

具体点击“Submit aerotriangulation”进行空三编辑,根据实际情况选择控制点获取方式,设再完毕后点击“Submit”完成提交,软件会自动进行空三计算,由于此过程对系统资源占用较大,不能进行其他操作。

### 4.5 模型生成

空三计算完成后,在“3Dview”下检查空三结果是否符合要求,如果空间坐标系X、Y轴与模型位置平行,控制点分布符合实际,说明空三结果正确,点击“Spatial framework”进行三维模型的设计。

### 4.6 模型质量

无人机倾斜摄影测量技术能够提供三维点云、三维模型、真正射影像(TDOM)、数字表面模型(DSM)等多种成果形式,其中三维模型具备真实、细

致、具体的特点,通常称为真三维模型。可以将这种实景三维模型当做一种新的基础地理数据来进行精度评定,包括位置精度、几何精度和纹理精度3个位置精度方面。

#### 4.7 位置精度

三维模型的位置精度评定跟空三的物方精度评定有类似之处,通过比对加密点和检查点的精度进行衡量。在控制点周边比较平坦的区域,精度比对容易进行;在房角、墙线、陡坎等几何特征变化大的地方,模型上的采点误差比较大,精度衡量可靠性降低,可以联合影像作业,得到最终的结果矢量或模型数据再进行比对。

#### 4.8 几何精度

传统手工建模可以自由设计地物的几何形状,而真三维自动化建模,影像重叠度越大的地方地物要素信息越全,三维模型的几何特征就越完整。反之,影像重叠度不够可能出现破面、漏面、漏缝、悬空、楼底和房檐拉花等情况,影响地物几何信息的完整表达。这种属于原理性问题,无法完全避免,可以按照下面的方法进行评定。在三维模型浏览软件中参照航拍角度固定浏览视角,同时拉伸到与实际分辨率相符的高度去查看模型,看不出明显的变形、拉花即可判定为合格,反之为不合格。

#### 4.9 纹理精度

真三维建模完全依靠计算机来自动匹配地物的纹理信息,由于原始影像质量不同,导致匹配结果可能存在色彩不一致、明暗度不一致、纹理不清晰等情况。要提高纹理精度就必须提高参加匹配的影像质量,剔除存在云雾遮挡覆盖、镜头反光、地物阴影、大面积相似纹理、分辨率变化异常等问题像片,提高匹配计算的准确度。

### 5 成果应用

#### 5.1 目标布局展示

三维建模成果可以对目标区域进行全方位(360°)环绕监测,通过点云分布、三角格网、纹理贴图展示真实三维效果,操作快捷、形象具体,

对于快速掌握区域地理特点作用显著。

#### 5.2 坐标获取及地形监测

通过使用软件的量测工具,可以获取目标区域范围内任意点的三维坐标以及由于地震、泥石流、山体滑坡等自然灾害对地形造成的破坏面积、体积等信息,便于救援人员准确掌握熟悉地理环境,及时开展应急救援。

#### 5.3 透视分析

通过窗口漫游,可以从不同的位置 and 角度对目标进行透视分析,获取相应的距离和角度,便于选取最佳的位置实施测绘保障。

### 6 结束语

近几年我国乃至全球自然灾害频发,运用无人机倾斜摄影测量技术可以快速获取灾区影像,结合软件生成的三维模型进行监测和分析,极大地提高了应急测绘保障的时效性和真实性。下一步,笔者将结合三维模型成果格式多样化的特点,努力探讨三维模型成果与主流GIS平台的有机融合,更好地进行应急测绘保障的规划、模拟和演练。

#### [参考文献]

- [1]李军伟.倾斜摄影测量技术的应用及展望[J].建筑工程应用与设计,2017,(11):49.
- [2]谭金石,黄正忠.基于倾斜摄影测量技术的实景三维建模及精度评估[J].现代测绘,2015,38(5):21-24.
- [3]李秀全,陈竹安,张立亭.非量测相机影像三维模型构建及精度检验[J].测绘科学,2016,41(6):144-147.
- [4]郭凯文,刘恋,曹成荣.基于无人机倾斜摄影测量技术的三维模型构建研究[J].科学家,2016,(14):50-53.
- [5]周杰.基于无人机倾斜摄影测量技术构建实景三维模型的方法研究[J].测绘与空间地理信息,2016,(25):47-49.
- [6]朱国强,留用,程鹏正.无人机倾斜摄影技术支持下的三维精细模型制作[J].测绘通报,2016,(9):67-70.