

关于无人机摄影测量技术在大量数字化地形图测图的应用研究

欧立春

赣州市自然资源局

摘要：随着计算机技术和无人机摄影测量技术的快速发展，为数字化地形图制作提供了便捷高效高质的作业方案。本文以大面积的数字化地形图生产为例，对无人机航空摄影测量方法测图进行实践，同时分析了空三加密和成图精度，得到数字化地形图的检查点平面精度符合精度高、高程误差明显低于规范误差结果。应用无人机航空摄影测量生产数字化地形图，有成本低、效率高、质量优、方便快捷的优势。

关键词：无人机摄影测量；数字化地形图；影像图
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.21.115

引言

随着经济的快速发展，数字化测绘技术也在飞速发展，与卫星遥感、航空遥感和传统测量方法相比，无人机摄影测量具有灵活、高效、成本低廉等优势，为各个领域带来了许多新的应用和可能性。目前，无人机航空摄影测量技术在国土、规划、交通、林业等部门得到广泛应用，尤其在数字化地形图生产取得了良好的效果。本文以大面积数字地形图生产为例，对技术应用要点和成果进行研究，具有较大的应用价值^[1]。

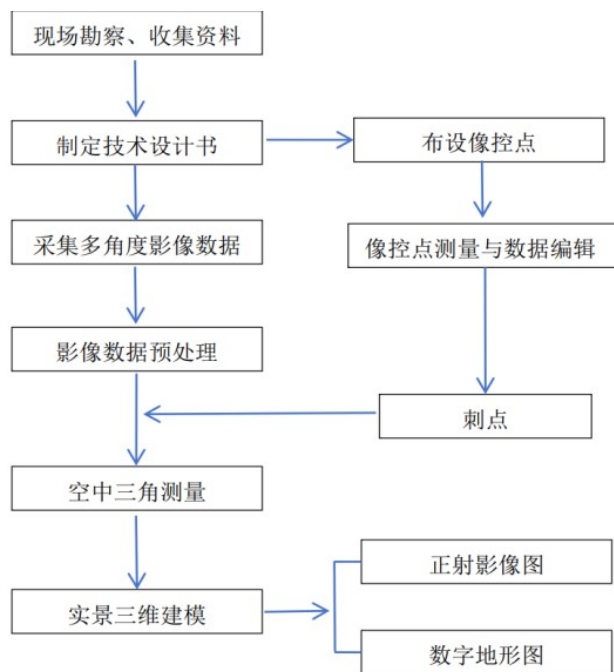
一、研究方法

无人航空摄影测量技术是指无人驾驶飞行器，其上装有飞控导航系统，配合地面站控制系统进行飞行任务，并利用高分辨率传感器获取目测区范围内地物真实的纹理信息，同时记录获取影像瞬间，飞行器的姿态角及其地理坐标信息，后期再通过摄影测量数据处理软件对影像进行处理后生产三维模型，达到各种使用要求的一项测量技术。

（一）技术路线

本文研究的技术路线是首先完成测区资料收集和现场勘测，依据相关测绘行业规范及实际任务中航拍区域地形落差、成图分辨率或比例尺，设计航拍相对高度、航向重叠度、旁向重叠度等参数，规划布设飞行航线；其次是制定像控点布设方案，并进行实地布设像控点和数据采集；然后按照事先规划的飞行线路进行获取测区下多角度影像；最后进行内业数据预处理，刺点，进行空三加密，若有需要及时补测，实景三维建模，制作正射影像图和数字地形图^[2]。

（二）技术流程图



倾斜摄影测量流程图

二、案例应用

（一）项目概况

本项目区属于丘陵地带、山高林密、地形复杂多变，属中亚热带季风湿润气候。项目工作量是要完成2900平方公里航空摄影，地面分辨率优于0.1米，生产1:1000正射影像图和地形图。主要工作量为：拍摄15个测区约40个架次4万余张影像照片，各架次平均高度约为1100m；像片控制点测量2306个、DOM外业检查点226个；空三加密；1:1000分幅正射影像图生成；制作工业园区1:1000地形图。

（二）技术要求

本次作业主要设备采用动力三角翼低空飞行器、尼康D800（3630万像素）相机和传感器CMOS（像幅大小7360*4912），符合精度要求的中海达动态GPS。采用高斯-克吕格投影、2000国家大地坐标系、85国家高程基准，采用1:1000比例尺，50*50矩形分幅。

（三）像控点布设与测量

考虑到地形及区域网结构、形状，在各区域网内布设点位时，所应用方案分为三种，具体为：一方案是针对加密平高控制点时，沿着周边布设6个或8个，隔8条基线布一个平高点，隔航线布点；二方案是隔8条基线布一个平高点，隔航线布点针对特殊区域，如跨大面积水域或原始森林，需要将布点间隔增加到12条基线；三方案是如果存在地形限制，可以采用不规则区域网进行

布点，具体为将平高点布设在凸出部位，将高程点布设到凹处，若凹凸角之间的间距大于两条基线，则将平高点设置到凹角处。

根据具体情况灵活考虑三种方案组合布设，本项目布设的点位数数量为2306个，同时利用相关设备，完成接收机连接和网络测量，同时将测区像控点平面精度均控制在5cm之内。

(四) 野外拍摄影像图

航摄影像图拍摄应选择天气情况良好、光照充足时候进行，同时检查无人机以及航摄镜头工作状态，做好充分的作业准备，确认无误后进行作业。航摄应注意的几点技术要求：

(1) 飞行指标：航摄基准面高程要略低于航摄分区的平均高程；航线航行的布设要按拍摄区的地形来确定，同一航线应避免地形起伏变化太大，地面起伏变化大于航高的1/3时，应进行分区设计。

(2) 合理划分航飞区域，保证每个架次的相对航高设计在1100米左右。

(3) 航飞构架航线要求：一是像片航向重叠度为60%~80%，最小布得小于53%；旁向重叠度为15%~60%，最小布得小于8%；二是像片倾角一般不大于2度，最大不超过4度，出现超过8度的像片不多于总数的10%，特别困难得地区不大于8度，最大不超过15度，出现超过10度的像片不多于总数的10%；三是像片旋偏角一般不大于8度，最大不超过10度；四是航向覆盖超出摄区边界线应不少于2条基线，旁向覆盖超出摄区边界线应不少于像幅的50%；五是同一航线上相邻像片的高差不大于30米，最大航高与最小行高之差不大于50米。

(五) 内业数据生产

在内业处理前，需要准备好外业采集获取原始航拍照片、POS、差分数据、相机畸变参数等资料，熟练相关处理软件应用，其主要工作是内业数据预处理、刺点、进行空三加密、实景三维建模、制作正射影像图和数字地形图^[3]。

三、精度分析

(一) 空三加密

空三加密主要是指通过对摄影测量解析方法的应用，对测量区域内全部影像外方位元素予以明确，其与数字化地形图生产精度和质量存在密切关联。本项目采用具有多方面功能和可以实现对影像数据有效处理的inpho软件进行空三加密处理。空三加密主要过程为内定向、相对定向、绝对定向，不同过程精度要求如下：

1. 校正影像畸变差和内定向分析

考虑到本项目无人机所搭载相机为专业的量测相机，在研究后得知，光学镜头畸变差和机械误差，是导致相机误差的主要原因。在详细划分后可知，畸变差由两个部分组成，分别为径向和切向，具体表现为在制作和使用镜头的过程中，像点与正确成像位置点存在误差。除上述误差外，机械误差亦属于影响成像质量的问题。

为控制影像畸变差的影响，保证空三加密精度，需

要对畸变差做校正处理。本项目通过相机畸变改成模型，达成这一目的。模型如下：

$$D_x = \frac{(K_0 + K_1R + K_2R^2 + K_3R^3 + K_4R^4 + K_5R^5 + K_6R^6 + K_7R^7)x}{R} + P_1(R^2 + 2x^2) + 2P_2xy + B_1x + B_2y$$

$$D_y = \frac{(K_0 + K_1R + K_2R^2 + K_3R^3 + K_4R^4 + K_5R^5 + K_6R^6 + K_7R^7)y}{R} + P_1(R^2 + 2y^2) + 2P_2xy$$

在上述公式中， $R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ；像主

点坐标由 x_0 、 y_0 表示；像点在像素坐标中的坐标由 x 、 y 表示； K_0 、 K_1 、 K_2 、 K_4 、 K_6 的取值范围通常为0；径向畸变系数由表示 K_3 、 K_5 、 K_7 ；偏心畸变系数由 P_1 和 P_2 表示；CCD非正方形比例系数由 B_2 表示。实际值会在相机参数内标出。在完成扫描分辨率和相机参数设置后，内定向会由系统自动完成。本项目为减少对存储空间占用，在校正后直接进行空三加密处理，在此基础上，将XML工程文件导出，之后，将其输入到Map-Matrix4.1立体测图工作站，由工作站处理畸变^[4]。以本项目为例，在加入控制点后，测区平差精度与要求相吻合，其中，平面中误差120cm，高程误差为100cm。

2. 相对定向和影像匹配分析

对摄影过程中，临近两影像摄影光束的相互关系予以恢复，确保同名光束相交，是相对定向的作用。现阶段，数字影像自动相对定向，不再仅以6个点位为主，而是通过对多个点位的利用，完成定向，通过这种方式，获取多余观测，从而为定向参数解算效果的提升，创造有利的条件，与此同时，多余观测的获取，还有助于将粗差自动去除。而上述目标的实现，要求影像匹配必须具备良好的精度和速度，其是否满足要求，关系到空三加密效果。以本项目为例，在测量过程中，利用计算机定向，并通过人工的方式，将粗差剔除。考虑到森林地区仅存在少量的匹配点，故采取手动的方式，使匹配点数量增加。最后，将测区内相对定向中误差控制在规定范围内，具体为2/3个像元^[5]。

各个区域的相对定向中误差为：区域YD1-5，相对定向中误差分别为0.00109mm、0.00149mm、0.00103mm、0.00069mm、0.00137mm；区域YD9-14，相对定向中误差分别为0.00158mm、0.00147mm、0.00127mm、0.00150mm、0.00112mm、0.00079mm，上述误差均满足要求。

3. 绝对定向分析

常规情况下，在对测区加密处理的过程中，粗差检测是首要步骤。在完成影像匹配处理后，需要将控制点布置到测区周围，其中，点位数不能小于4个，为PATB平差解算运用创造有利的条件。在初次解算时，需要对像点观测精度进行确定，通常为像元大小的50%，同时，保证控制点限差符合标准，具体为精度的300%。在解算之后，对测区像点观测限差进行sigama naught赋值，该值的来源为平差报告。之后，解算粗差，对于超过限制的粗差点，应予以剔除或校正处理。在报告像点精度与要求相符后，解算方可停止。本项目各分区的定向点平面中误差如表3所示。

表3 定向点平面中误差 单位 m

序号	RMSx	RMSy	中误差
YD1	0.31	0.39	0.47
YD2	0.27	0.34	0.38
YD3	0.28	0.30	0.44
YD4	0.27	0.23	0.56
YD5	0.28	0.37	0.51
YD9	0.19	0.28	0.50
YD10	0.36	0.38	0.45
YD11	0.28	0.26	0.48
YD12	0.22	0.23	0.56
YD13	0.26	0.28	0.53
YD14	0.33	0.35	0.47

(二) 空三加密精度分析

1. 在完成空三加密后, 需要对加密可靠性进行验证, 具体检测指标如下:

(1) 像点最大残值误差是否符合标准;

(2) sigama值是否符合标准, 该值代表观测误差, 通常情况下, 该值不能大于像元的50%;

(3) 控制点精度是否处在误差范围内, 如果超过误差范围则表明控制点精度不达标, 反之则达标。在计算控制点平面和高程误差的过程中, 可以利用下述公式:

$$m = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta i \Delta i) / n};$$

在上述公式中, 控制点中误差由m-表示, 单位为m; 控制点实测值和解算值之间的差由Δ-表示; 控制点评定参与个数由n-表示。

2. 区域控制点定向精度计算结果均符合要求。具体数据如下所述:

(1) 控制点最大残差: 成图比例1:500平面误差: 平地0.3m; 丘陵地区0.3m; 山地0.4m; 高山地区0.4m。高程误差: 平地0.26m; 丘陵地0.26m; 山地0.4m; 高山地0.75m。

成图比例1:1000平面误差: 平地0.6m; 丘陵地区0.6m; 山地0.8m; 高山地区0.8m。高程误差: 平地0.26m; 丘陵地0.26m; 山地0.6m; 高山地0.9m。

成图比例1:2000平面误差: 平地1.5m; 丘陵地区1.5m; 山地2m; 高山地区2m。高程误差: 平地0.8m; 丘陵地0.8m; 山地1.5m; 高山地1.9m。

(2) 检查点最大残差: 成图比例1:500平面误差: 平地0.5m; 丘陵地区0.5m; 山地0.7m; 高山地区0.7m。高程误差: 平地0.4m; 丘陵地0.4m; 山地0.6m; 高山地1.2m。

成图比例1:1000平面误差: 平地1.0m; 丘陵地区1.0m; 山地1.4m; 高山地区1.4m; 高程误差: 平地0.4m; 丘陵地0.4m; 山地1.0m; 高山地1.5m。

成图比例1:2000平面误差: 平地1.75m; 丘陵地区1.75m; 山地2.5m; 高山地区2.5m; 高程误差: 平地1.0m; 丘陵地1.0m; 山地2.0m; 高山地2.3m。

(3) 公共点最大残差: 成图比例1:500平面误差: 平地0.8m; 丘陵地区0.8m; 山地1.1m; 高山地区1.1m。高程误差: 平地0.7m; 丘陵地0.7m; 山地1.0m; 高山地2.0m。

成图比例1:1000。平面误差: 平地1.6m; 丘陵地区1.6m; 山地2.2m; 高山地区2.2m; 高程误差: 平地0.7m; 丘陵地0.7m; 山地1.6m; 高山地2.4m。

成图比例1:2000。平面误差: 平地3.5m; 丘陵地区3.5m; 山地5m; 高山地区5m; 高程误差: 平地2.0m; 丘陵地2.0m; 山地4.0m; 高山地5.0m。

本项目测区区域网内部平差, 其精度良好, 且各局域网之间的接边质量较高, 限差与设计要求相吻合。

(三) 数字化地图成图精度分析

将上文得到的空三加密处理结果作为依据, 通过摄像测量站工作站, 完成数字化地形图的制作, 本项目制作的地图, 其面积为11.5km²。考虑到无人机航拍次数较多, 容易导致模型接边差现象, 故在制作地形图的过程中, 针对各架次模型边界, 完成图形的立体测绘, 与此同时, 还与外部作业调查点相互衔接, 完成检验和校核工作, 如果模型之间有差异, 可以对超限架次加以明确, 并在此基础上, 重新对其进行空三加密^[6]。

本项目涉及的区域为490平方千米, 其1:1000航飞和DOM生产, 其质量均与技术设计要求和规范相吻合。所制作的地图整洁、清晰、变形小, 航内空三加密精度高。

结束语

本文通过对无人机航空摄影测量技术生产地形图的应用研究, 制作大面积数字化地形图案例, 分析了所制作数字化地形图的平面误差和高程误差均小于国家规定的误差。由此可见, 在地形图测绘和数字化地形图生产中, 应用此项技术, 可以取得良好的应用成效, 值得推广应用。

参考文献

[1]刘丽, 魏海霞. 无人机倾斜摄影测量技术在可建设城市屋顶光伏资源调查中的应用[J]. 测绘通报, 2023, (12): 142-146.
 [2]丁涛, 付贵. 消费级无人机在1:500地形图测绘中的应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, (6): 840-844.
 [3]欧立春. 关于铁路线路安全保护区平面测图的技术研究[J], 城镇建设, 2023, (10): 363-365.
 [4]王志新, 张琪. 无人机航空摄影测量技术在地形图测绘中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (16): 182-183.
 [5]刘静. 无人机航空摄影测量技术在地形图测绘中的应用探讨[J]. 西部资源, 2021, (04): 150-152.
 [6]张文吉. 数字航空摄影测量在航测数字化地形图中的应用[J]. 华北自然资源, 2021, (04): 56-57+60.

作者简介: 欧立春(1971-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 测绘地理信息、国土资源管理与规划、不动产登记。