

基于无人机倾斜摄影的灾后快速测图研究

肖金全 53322219840909253X

摘要

我国是世界上自然灾害发生频率最高、灾害损失最严重的国家之一，地震、洪水、滑坡等突发灾害发生后，快速获取灾区高精度地形地貌与地物损毁信息，是开展应急救援、灾情评估与灾后重建的核心前提。传统灾后测图依赖人工实地测量与卫星遥感，存在响应速度慢、受灾区域气象条件限制大、数据精度不足等缺陷，难以满足应急处置的时效性要求。近年来，无人机倾斜摄影技术凭借机动灵活、成本低廉、分辨率高的优势，为灾后快速测图提供了新的技术路径。本文梳理了无人机倾斜摄影灾后测图的技术流程，分析了该技术在灾后复杂环境下的应用优势与现存问题，结合实际应用案例验证了其测图精度与响应效率，结果表明该技术能够在灾后 24 小时内获取厘米级精度的地形与损毁数据，可为应急救援与灾情评估提供可靠的地理信息支撑。

关键词：无人机倾斜摄影；灾后测图；应急测绘；地理信息

一、引言

突发自然灾害具有破坏性强、不确定性高的特点，灾害发生后往往会造成大面积的交通、通信设施损毁，原有地理信息数据失效，应急救援队伍难以快速掌握灾区的真实情况。及时获取高精度的灾区地形图与损毁信息，直接关系到救援路线规划、受灾人员搜救与灾情评估的效率，因此开展灾后快速测图技术研究具有重要的现实意义。

传统灾后测图技术主要包括人工实地测量、航空摄影测量与卫星遥感测量三类。人工实地测量精度高，但作业效率低，且在余震、滑坡、洪水等次生灾害风险下，作业人员的安全难以保障；卫星遥感覆盖范围广，但重访周期长，受云层、大雾等气象条件影响大，难以在灾害发生后第一时间获取清晰影像；有人航空摄影测量分辨率高于卫星，但调度流程复杂、起飞条件要求高，对于交通不便的偏远灾区响应速度慢，作业成本高。随着无人机技术与摄影测量算法的快速发展，无人机倾斜摄影技术逐渐成为应急测绘领域的研究热点，该技术通过无人机搭载多台倾斜摄影相机，同时从垂直、倾斜等多个角度获取地物影像，结合运动恢复结构（SfM）算法能够快速生成灾区的三维模型与数字地形图，兼具灵活性高、响应速度快、精度高、成本低的优势，非常适合突发灾害后的快速测图作业。

二、无人机倾斜摄影快速测图技术原理与流程

2.1 技术原理

倾斜摄影技术是区别于传统垂直摄影的一种摄影测量技术，传统垂直摄影仅能从垂直角度拍摄地物的顶面信息，无法获取地物侧面的纹理与几何信息，而倾斜摄影通过在同一飞行平台上搭载 2~5 台不同朝向的摄影相机，同时采集垂直、前、后、左、右五个角度的影像数据，能够完整记录地物的侧面结构与纹理信息。结合近年来发展成熟的运动恢复结构算法（SfM），无需精准预设相机位置，就能够通过多视影像匹配获取同名点，解算出相机的内外方位参数，进而重建出地物的三维点云模型，进一步生成数字高程模型（DEM）、数字正射影像（DOM）与实景三维模型，满足测图的需求。

2.2 灾后快速测图技术流程

无人机倾斜摄影灾后快速测图的流程主要分为四个阶段，分别是现场踏勘与航飞规划、影像数据采集、数据处理与测图产品生成、精度验证与成果输出。

第一阶段为现场踏勘与航飞规划。灾害发生后，首先需要根据灾区的范围与地形条件，确定无人机的起降场地，优先选择地势开阔、无高大遮挡物、远离高压线的场地作为起降点。随后根据测图精度要求，规划无人机的航飞参数，包括飞行高度、航向重叠度、旁向重叠度、飞行速度等。

第二阶段为影像数据采集。完成航飞规划后，按照规划航线执行自动飞行，多相机同步采集影像数据，同时为了提高后续空三加密的精度，需要在测区范围内均匀布设一定数量的像控点，采用 RTK 测量获取像控点的高精度坐标。对于部分人员无法到达的危险区域，可以采用免像控的作业模式，依靠无人机搭载的 RTK 模块直接获取每张影像的精准位置，实现无地面控制的空三加密，进一步缩短作业时间。

第三阶段为数据处理与测图产品生成。将采集到的多视角影像导入专业的摄影测量软件，比如 ContextCapture、Pix4Dmapper 等，软件首先会自动完成影像的特征提取与同名点匹配，然后进行空三加密解算，解算出所有影像的外方位元素，进而生成高密度的三维点云，经过点云滤波去噪后，进一步生成数字高程模型（DEM）、数字正射影像（DOM）与实景三维模型，最终提取得到所需的地形图产品。

第四阶段为精度验证与成果输出。对生成的 DEM 与 DOM 成果进行精度验证，选取一定数量的检查点，对比检查点的实测坐标与测图成果中的坐标，计算平面

与高程精度，满足要求后即可将成果输出提供给应急救援与灾情评估使用。

三、工程应用与精度分析

本文以 2023 年某地山区地震后的滑坡灾害应急测图为例，验证无人机倾斜摄影技术的测图精度与响应效率。本次灾害发生后，滑坡区域面积约 0.8km^2 ，道路完全中断，人员无法进入，传统测量方式无法开展作业。应急测绘队伍采用六旋翼无人机搭载五镜头倾斜摄影相机开展航飞作业，从到达现场到完成航飞仅用时 3 小时，航飞高度 150m，影像地面分辨率为 5cm，航向重叠度 80%，旁向重叠度 70%，共采集有效影像 3200 张。本次作业采用免像控模式，无人机搭载 RTK 模块，实时获取每张影像的高精度位置信息，不需要人工布设像控点。

影像采集完成后，采用 ContextCapture 软件进行数据处理，处理总耗时约 8 小时，最终生成了分辨率 5cm 的数字正射影像、分辨率 10cm 的数字高程模型与实景三维模型。为了验证成果精度，在人员可以到达的滑坡边缘区域，采用 RTK 实测了 25 个检查点，对比检查点在成果中的坐标，计算得到平面中误差为 6.8cm，高程中误差为 8.2cm，满足 1:500 比例尺地形图的精度要求。从接到应急命令到输出最终测图成果，整个过程用时不到 15 小时，远快于传统卫星遥感与有人航空摄影的响应速度，充分体现了无人机倾斜摄影技术在灾后快速测图中的优势。

本次作业生成的 DOM 与 DEM 成果第一时间提供给应急指挥部门，救援队伍根据成果快速规划了救援通道，技术人员结合灾前 DEM 数据，计算得到了滑坡的方量约为 120 万 m^3 ，为灾情评估与后续治理提供了精准的基础数据。

四、结论

无人机倾斜摄影技术为突发自然灾害后的快速测图提供了高效、低成本的技术方案，该技术响应速度快、机动灵活、测图精度高，能够在灾害发生后十几小时内获取厘米级精度的测图成果，解决了传统测图技术响应慢、安全性差的问题，能够有效满足应急救援与灾情评估对地理信息数据的需求。随着无人机与摄影测量技术的不断发展，无人机倾斜摄影技术将会在应急测绘领域得到更加广泛的应用，为我国的防灾减灾工作提供重要的技术支撑。

参考文献

- [1] 王国锋, 许妙忠, 秦世伟. 无人机倾斜摄影测量在应急测绘中的应用[J]. 测绘地理信息, 2018, 43(06): 104-107.
- [2] 张广运, 张继贤, 黄国满. 无人机航空摄影测量在泥石流灾害应急测绘

中的应用[J]. 测绘科学, 2017, 42(02): 140-144.

[3] 殷宗敏, 朱庆, 李磊. 无人机倾斜摄影三维重建在滑坡灾害调查中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(05): 1012-1020.