

旋翼无人机在建筑物抗震能力调查中的应用*

和仕芳, 邓树荣, 张方浩, 杜浩国, 曹彦波, 余庆坤

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍旋翼无人机的工作原理和技术流程, 以无人机在2016年云南重点监视防御区建筑物抗震能力调查中的应用为例, 对其获取的12个调查点的房屋影像数据进行质量评价和照片拼接处理, 并对产生的正射影像全景图和三维点云模型进行了对比分析。结果表明, 旋翼无人机在云南山区具有明显优势, 可作为一种快速获取影像数据的技术手段, 为区域建筑物抗震能力评估提供有效的基础信息。

关键词: 旋翼无人机; 影像获取; 地震应急; 建筑物抗震能力

中图分类号: P315-39

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)04-0673-07

0 引言

无人驾驶飞机 (Unmanned Aerial Vehicle, 简称 UAV), 是一种有动力、可控制、能携带多种设备、执行多种任务并能重复使用的无人驾驶航空器, 简称无人机 (马子路等, 2013; 熊自明, 闫鹤, 2013; 田凯, 2013)。无人机最早出现于1917年, 早期的无人机主要用作军事目的上的靶机以及作战、侦查飞行平台, 随着无人机技术的不断成熟, 应用领域也越来越广泛 (邵金强, 2014; 黄春雷, 2015; 张启元, 2015)。无人机通过搭载不同的实用载荷, 可用于高空监控、灾害监测评估、输电线路巡检、工程检测、电视节目录制、农林植保、派送快件、地图测绘、应急救援等各行各业中 (邹春海等, 2016)。在国外, 已经有牧民开始利用旋翼无人机取代牧羊犬来放羊。而在2013年亚马逊底首次公开展示了 Prime Air 服务, 一架8旋翼无人机, 半小时内可以将一件五磅重的快递送到目的地。在国内, 多家电力公司利用多旋翼无人机进行电力巡检和放线。广东中山、河北廊坊等地区已经开始采用多旋翼无人机喷洒农药。2015年常州警方利用多旋翼无人机侦察, 成功侦破了一起化工原材料盗窃大案。无人机作为一种新科技, 正潜移默化地改变着人类的生活方

式。在地震应急救援中, 无人机因其机动灵活、现势性强、作业成本低和高分辨率等特点, 可以第一时间到达救援人员无法到达的危险区域, 及时获取灾区影像数据并实时回传, 为灾区的灾害排查、灾情评估、人员安置、救灾力量部署等应急工作提供科学依据。近年来, 无人机影像获取系统作为震后快速获取灾情信息的重要手段, 在2008年汶川地震 (龚建华, 赵忠明, 2008)、2010年玉树地震 (陆博迪等, 2011)、2011年盈江地震 (温奇等, 2012)、2013年芦山地震 (王晓青等, 2015; 刘亢, 尚红, 2013)、2014年鲁甸地震 (桂新, 祝红英, 2015)、2015年沧源地震 (李超等, 2015) 等历次地震应急救援工作中发挥了巨大作用。

目前无人机类型达数百种之多, 其分类方法也多种多样, 按照机翼形式可分为固定翼无人机和多旋翼无人机 (刘昌军等, 2014)。固定翼无人机具有飞行速度快、动力效率高、飞行高度高、续航远等优点, 但是存在起飞和降落场地要求较高、受低空紊流响应较大、无法在指定位置悬停、航线规划设计和数据处理耗时较长影响时效性、受航空飞行管制难以经常性展开等问题。旋翼无人机的体积和作业半径小、可垂直起降、可在空中悬停, 相比固定翼无人机, 对场地及气象条件要求较低, 在获取小区域高分辨率遥感影像方面具有更强的时效性 (李超等, 2015; 李翔, 2016)。云南地形复杂、西北高

* 收稿日期: 2016-05-16.

基金项目: 中国地震局震灾应急救援司专项课题“地震应急公共服务平台研究”、地震应急青年重点任务 (CEA-EDEM-201507) 和地震社会服务工程无人机灾情获取子系统建设项目共同资助。

东南低、海拔高差悬殊、高山峡谷相间、交通等基础设施落后,加之,云南地区地震发生频率高、灾害重,应急救援难度大,因此基于旋翼无人机的影像获取系统更适用于云南地震应急工作。

本文介绍了旋翼无人机的影像获取系统组成、特点和基于旋翼无人机的建筑物抗震能力调查技术,并以旋翼无人机在 2016 年云南重点监视防御区建筑物抗震能力调查中的应用为例,初步探讨了旋翼无人机在云南地震应急准备工作中的应用。

1 旋翼无人机工作原理

旋翼无人机的机械结构简单,具有小巧轻便、操作简单、环境适应性较强等优点。云南高原山区海拔高、气流变化快、作业面积较平原地区小。旋翼无人机以智能电池为动力,采用垂直起降方式,对场地条件要求低,满足高原山区野外作业要求。在飞控方面,旋翼无人机地面飞行控制灵活,可在空中自由悬停,对飞控手的要求也较低。常见的旋翼无人机包括四旋翼无人机、六旋翼无人机、八旋翼无人机、Y 型无人机、H 型无人机、单旋翼直升机等多种类型。不同类型的旋翼无人机在实用载荷、抗风能力等方面的性能有所差别,在实际应用中要根据任务要求和飞行环境来选择合适的机型。

旋翼无人机影像获取系统以旋翼无人机为飞行平台,搭载数码相机或数码摄录机获取地面影像信息,飞行过程中可同步传输影像并实时处理,产出正射影像地图等数据成果。无人机影像获取系统由无人机航摄平台、地面控制系统、数据处理系统组成,如图 1 所示。

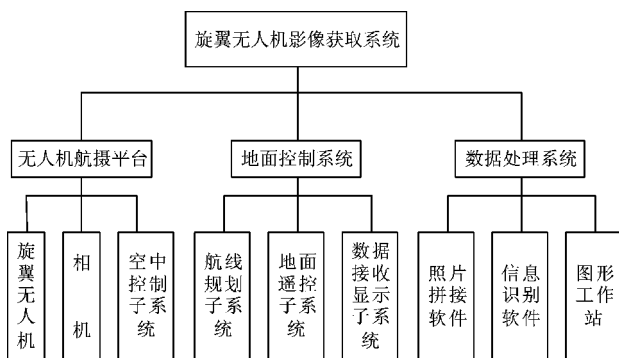


图 1 旋翼无人机影像获取系统组成

Fig. 1 Structure of image - acquisition system of the rotor UAV

2 基于旋翼无人机的建筑物抗震能力调查技术路线

基于旋翼无人机影像获取系统的建筑物抗震能力调查主要由前期准备、航拍和数据处理 3 个阶段组成。前期准备阶段主要包括图上作业、定点勘察、飞行条件测试、航线设计和飞行指令传输等。在云南高原山区特别要注意风力、天气以及高山峡谷的精确海拔数据。航拍阶段实时监视无人机飞行状态,保证无人机按照预设航线和高度飞行。

数据处理阶段主要包括照片拼接、三维建模、建筑物信息识别和抗震能力评估 4 个方面。旋翼无人机获取影像受无人机飞行高度和相机焦距的限制,很难用一张照片来拍下整个目标区域。照片拼接就是将有一定重合区域的大数量航拍影像,进行空间配准、图像融合后,形成视野范围较大的地面全景图像 (DOM),以达到扩展调查范围的目的 (吴荣华等, 2012; 温奇等, 2012)。

无人机获取影像分为正射影像和倾斜摄影影像两大类。正射影像是指垂直于地面拍摄获取的影像,影像范围较广,可拼接得到全景图,宏观把握区域房屋面积和房屋类型。但是正射影像存在只能垂直拍摄建筑物屋顶的局限性,不能表达建筑物侧面墙体信息。倾斜摄影是指从多个角度完整获取建筑物表面纹理信息,无人机倾斜摄影获取的影像一方面可用来获取重点关注区域信息,例如房屋墙体、层高、建筑物材料等,另一方面,利用影像处理软件生成三维点云模型,可更直观地表现某个建筑物的结构,并基于三维立体模型进行建筑物测量。因此,基于旋翼无人机影像获取系统的建筑物抗震能力调查中,利用正射影像拼接获得目标区域全景图,可以反映区域建筑物面积、数量、类型等基本情况,倾斜摄影影像反映局部关注信息,可以了解房屋高度、墙体、建筑物用材等信息,并建立单体建筑物三维点云模型。基于旋翼无人机影像获取系统的建筑物抗震能力调查技术流程如图 2 所示。

3 应用实践

3.1 航摄区域

2016 年 1 月 19 ~ 25 日,地震系统重点监视防御区调研工作组利用四旋翼无人机获取云南重点

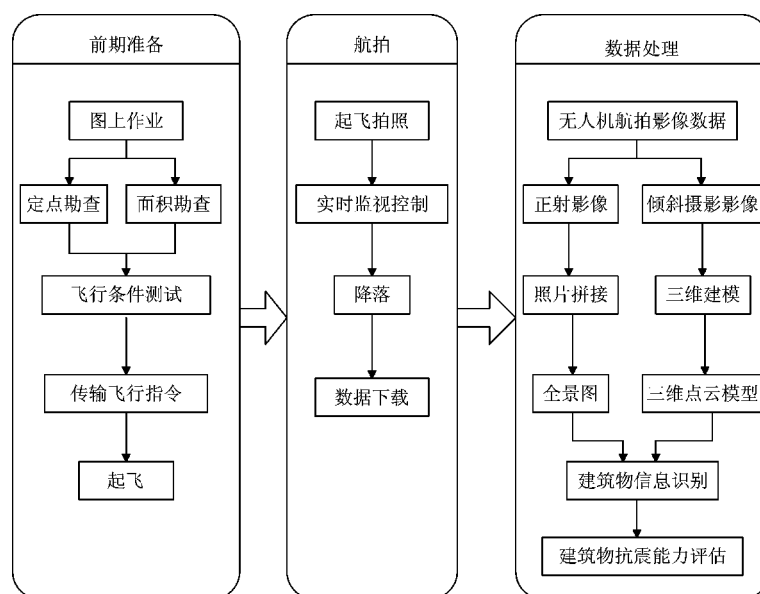


图2 基于旋翼无人机影像获取系统的建筑物抗震能力调查技术流程图
Fig. 2 Flow chart of the buildings' seismic - capacity survey techology based on the image acquisition system of rotor UAV

监视防御区的建筑物基础信息,用于建筑物抗震能力评估。航摄区域位于云南西北部横断山区,地形复杂、海拔高差大、天气多变。选取的航拍调查点共12个,无人机飞行环境包括高山峡谷、高原盆地、高原山地等云南典型地形地貌,最高海拔2 500 m,最低海拔1 460 m,最大海拔差1 040 m。航摄对象包括农村居民点、城镇居民点,涉及大理州、丽江市、保山市、楚雄州、玉溪市5个州(市),航拍总面积3.38 km²。图3为无人机航拍调查点示意图。

3.2 数据处理

旋翼无人机获取照片共1 292张,包括正射影像676张和倾斜摄影影像616张,数据总大小约7G。航摄平均海拔1 797 m,航拍高度47~160 m。根据目视观察和计算机自动快速检查产出的精度报告,图像清晰度和重叠度满足建筑物信息识别及照片拼接要求。通过对比分析,航拍高度越高,获取的影像面积越大,在建筑物抗震能力调查中,为获取更大范围的建筑物影像,正射航拍的高度较高,而较低飞行高度获得的倾斜摄影影像更便于观察建筑物结构。

无人机获取的原始影像数据经过质量检查,剔除重叠度低、图像质量不好的影像之后,利用影像处理软件进行照片拼接和三维建模。拼接照片数最多为107张,最少为21张,拼接照片最大

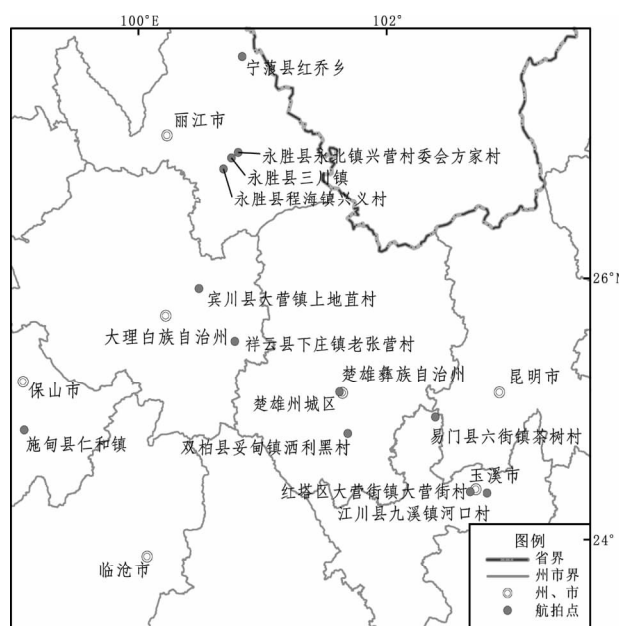


图3 无人机航拍调查点示意图
Fig. 3 Sketch map of the aerial photography survey spots of the rotor UAV

高差是13.6 m,照片重叠度越高,照片拼接效果越好。利用高性能移动图形工作站,以高精度处理模式处理100 M数据,照片拼接平均耗时约12 min,照片拼接能够多任务并行处理,具有拼接速度快、处理数据量大的特点。具体拼接影像信息如表1所示。



图4 楚雄州双柏县妥甸镇洒利黑村正射影像 (航高 100 m) (a) 及倾斜摄影影像 (航高 60 m) (b);
保山市施甸县仁和镇正射影像 (航高 150 m) (c) 及倾斜摄影影像 (航高 150 m) (d); 玉溪市
易门县六街镇茶树村正射影像 (航高 100 m) (e) 及倾斜摄影影像 (航高 80 m) (f)

Fig. 4 Orthophoto (aerial height: 100 m) (a) and oblique photographic images (aerial height: 60 m) (b) of the buildings in Salihei Village, Tuodian Town, Shuangbai County, Chuxiong Prefecture; the orthophoto (aerial height: 150 m) (c) and oblique photographic images (aerial height: 150 m) (d) of the buildings in Renhe Town, Shidian County, Baoshan City; the orthophoto (aerial height: 100 m) (e) and oblique photographic images (aerial height: 80 m) (f) of the buildings in Chashu Village, Liujie Town, Yimen County, Yuxi City

表 1 无人机影像拼接信息表
Tab. 1 Data of the UAV image stitching

调查点	地点	时间	海拔	天气	航拍面积	平均航高	航高差值	拼接幅数	拼接数据	拼接耗时
		年-月-日	/m		/km ²	/m	/m	/张	大小/M	/min
1	大理州祥云县下庄镇老张营村	2016-01-19	1 900	晴	0.46	158	0.8	25	155	18
2	丽江市宁蒗县红乔乡	2016-01-20	2 500	晴	0.32	100	1.5	69	422	45
3	丽江市永胜县永北镇兴营村委会方家村	2016-01-20	2 200	阴	0.26	100	6.6	69	430	50
4	丽江市永胜县三川镇	2016-01-21	1 700	晴	0.07	160	0.9	30	193	21
5	丽江市永胜县程海镇兴义村	2016-01-21	1 500	阴	0.1	110	6.1	66	412	43
6	大理州宾川县大营镇上地苴村	2016-01-21	1 600	阴	0.07	100	0.7	74	484	53
7	保山市施甸县仁和镇	2016-01-22	1 460	晴	0.23	150	1	107	676	68
8	楚雄州城区	2016-01-23	1 780	小雨	0.05	47	0.8	21	130	13
9	楚雄州双柏县妥甸镇洒利黑村	2016-01-24	1 970	雨夹雪	0.04	100	1	27	171	21
10	玉溪市易门县六街镇茶树村	2016-01-24	1 690	小雨	0.67	100	3.4	104	498	61
11	玉溪市红塔区大营街镇大营街村	2016-01-25	1 620	阴	0.99	110	13.6	86	405	43
12	玉溪市江川县九溪镇河口村	2016-01-25	1 650	阴	0.12	150	2.5	97	450	49

3.3 数据成果分析

3.3.1 正射影像全景图

正射影像图通过拼接产出 DOM（正射影像图）、DSM（数字表面模型）、KML 瓦片数据、高程 Shap 格式文件等数据成果。其中应用最多的是正射影像全景图，根据全景图可全面、直观地了解调查点建筑物类型、数量、面积等基本信息。无人机获取影像拼接的全景图分辨率和清晰度满足建筑物识别的一般需求。以玉溪市易门县六街镇茶树村全景图（图 5）为例，结合倾斜摄影影像可看出该村以土木结构和砖混结构房屋为主，建筑物总面积 0.31 km²，土木结构房屋占 84%，砖混结构房屋占 10%，还有极少数的砖木结构房屋，92% 的房屋为二层建筑，其他为平房和三层建筑。通过正射影像全景图能够较为全面、准确地把握当地房屋建筑情况，为评估当地建筑物总体抗震水平提供数据支撑，不仅节省人力、物力，而且信息获取方便、准确度高。

3.3.2 三维点云模型

利用 33 张倾斜摄影照片尝试构建大理州宾川县大营镇上地苴村某四合院建筑的倾斜摄影三维点云模型（图 6），由图 6 可知，该村房屋以砖木结构为主，是滇西北地区典型的“三坊一照壁”民居型式。构建的三维点云模型总体能够呈现该建筑物立体视觉效果，直观了解建筑物结构、墙体等详细信息，不足之处是，由于倾斜摄影角度和照片数量不够多，造成三维点云模型有“黑洞”

现象。利用倾斜摄影影像构建三维点云模型对照片重叠度的要求高，需要 360°无死角拍摄，专业性强，拍摄照片数量大，在地震应急工作中，尤其是地震现场应急特定周期内涉及的不多。



图 5 玉溪市易门县六街镇茶树村正射影像全景图（相对高度 100 m）

Fig. 5 Panoramic orthophoto map of the buildings in Chashu Village, Liujie Town, Yimen County, Yuxi City (relative height: 100 m)



图6 大理州宾川县大营镇上地苴村倾斜摄影三维点云模型

Fig. 6 3D point cloud model of the oblique photographic images of the buildings in Shangdiju Village, Daying Town, Bingchun County, Dali Prefecture

4 结论与讨论

由于旋翼无人机具有机动灵活、对场地要求低、不用申请空域等特点,其在高原山区的优势更加明显。云南地形复杂,山区占全省国土总面积94%,居民点多数分布在高山峡谷区,利用旋翼无人机可以快速获得人工难以得到的大范围房屋影像数据。无人机获取的影像数据通过软件拼接能够快速产出目标区域的建筑物正射全景图和三维模型,为建筑物抗震能力调查评估提供数据支撑,有效提高工作效率。通过旋翼无人机在云南重点监视防御区建筑物抗震能力调查中的实践,获得以下几点认识和结论:

(1) 天气对旋翼无人机的飞行安全影响很大,大风、下雨、温度过低等特殊天气状况下旋翼无人机不能正常飞行,工作人员应提前做好无人机飞行条件评估工作。

(2) 旋翼无人机的飞行距离不长,续航时间较短,在云南复杂的作业环境手动控制方式比自动程控方式更具有操作性。云南高原山区气流变化快,无人机飞行过程应尽量采取手动控制,遇到风向、风力突变等突发情况能够及时应变,保证飞行安全。旋翼无人机拍照方式有定距拍摄、

定时拍摄、手动拍摄3种,其中定距拍摄的照片容易有偏移,定时拍摄的照片容易出现照片数量较少或过多的问题,手动拍照方式获取的照片重叠度和覆盖度更高。

(3) 无人机正射摄影和倾斜摄影相结合可以获得更全面、准确的房屋基础信息。无人机正射影像拼接的全景图能够反映区域建筑物宏观基本信息,倾斜摄影获取的影像能够反映房屋墙体、结构等重点局部信息,实现建筑物的三维可视化。

(4) 无人机获取影像配合人工调查可以提高建筑物抗震能力评估结果的准确性。旋翼无人机获取的影像不能透视房屋内部结构情况,例如承重构件等信息需要人工入户调查。旋翼无人机作为一种快速获取影像数据的技术手段,在建筑物抗震能力调查评估中发挥重要作用,但不能完全替代人工调查。

目前旋翼无人机技术处于快速发展期,随着旋翼无人机续航时间、飞行器性能的不断提高,旋翼无人机技术在地震预评估、地震地质勘查等地震应急准备工作中的应用将越来越广泛。然而旋翼无人机影像获取系统也存在不足的地方,如没有专门的基于无人机获取影像的建筑物抗震能力评估信息识别软件,需要通过目视判断、图上测量和计算来提取建筑物类型、各类房屋所占比

例等信息。另外旋翼无人机在地震应急工作中的应用还未成熟,也没有相应的工作机制。在今后的研究中,还需要对这些方面做深入的探索。

参考文献:

- 龚建华,赵忠明.2008.四川汶川地震应急无人机遥感信息获取与应用[J].城市发展研究,15(3):31-32.
- 桂新,祝红英.2015.浅析无人机航空摄影测量系统及应用[J].江西测绘,(2):2-3.
- 黄春雷.2015.无人机航摄技术现状及应用分析[J].江西测绘,(4):35-36.
- 李超,柯尊杰,陈姣.2015.四旋翼无人机在云南应急测绘保障中的应用[J].地矿测绘,31(3):31-33.
- 李翔.2016.多旋翼无人机在库区水域环境监测中的应用[J].科技传播,8(1):73-74.
- 刘昌军,郭良,岳冲.2014.无人机航测技术在山洪灾害调查评价中的应用[J].中国防汛抗旱,(3):3-7.
- 刘亢,尚红.2013.地震救援机器人在芦山7.0级地震中的应用[J].城市与减灾,(5):26-28.
- 陆博迪,孟迪文,陆鸣等.2011.无人机在重大自然灾害中的应用与探讨[J].灾害学,26(4):122-126.
- 马子路,李敏林,江恺强.2013.无人机低空遥感在都江堰市乡村规划中的应用探索[J].南方农业,7(5):3-8.
- 邵金强.2014.浅述无人机及其技术在地质工作中的应用[J].黑龙江科技信息,(21):125-126.
- 田凯.2013.无人机在水文监测中的应用前景[J].现代农业科技,(17):221-222.
- 王晓青,窦爱霞,王龙等.2015.2013年四川芦山7.0级地震烈度遥感评估[J].地球物理学报,58(1):163-171.
- 温奇,陈世荣,和海霞等.2012.无人机遥感系统在云南盈江地震中的应用[J].自然灾害学报,21(6):65-71.
- 吴荣华,周茂春,申依薇.2012.无人机遥感数据处理探讨[J].江西测绘,(2):53-54.
- 熊自明,闫鹤.2013.改进SIFT小型无人机视频序列图像自动拼接方法[J].测绘科学,38(5):133-136.
- 张启元.2015.无人机遥感在青藏高原的应用现状及前景探讨[J].青海师范大学学报(自然科学版),31(4):68-72.
- 邹春海,周正伟,周晓东.2016.多旋翼无人机的发展及应用[J].航空模型,(1):80-83.

Application of the Rotor UAV in the Seismic – capacity Survey of the Buildings

HE Shifang, DENG Shurong, ZHANG Fanghao, DU Haoguo, CAO Yanbo, YU Qingkun

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Firstly, the working principle and technical process of the rotor UAV was introduced. Secondly, taking the application of the rotor UAV in the seismic – capacity survey of the buildings in the key monitoring and preparedness areas in Yunnan Province in 2016 as an example, we did the data quality evaluation and stitching the building images at 12 survey spots captured by rotor UAV, and analyzed the panoramic orthophoto maps and 3D point cloud model. The result showed that the application of the rotor UAV in maintain area in Yunnan has obvious advantage. As the technology method for quickly getting the image data, the rotor UAV could provide the useful primary data for estimating the seismic capacity of building.

Key words: rotor UAV; image capturing; earthquake emergency; seismic capacity of buildings