

李金香, 常想德, 姚远, 等. 无人机技术在新疆塔县地震的应用及实现[J]. 华南地震, 2019, 39(3): 57-64. [LI Jinxiang, CHANG Xiangde, YAO Yuan, et al. Application and Realization of UAV Technology in the Earthquake of Tajik Autonomous County of Taxkorgan, Xinjiang[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(3): 57-64]

无人机技术在新疆塔县地震的应用及实现

李金香, 常想德, 姚 远, 李亚芳, 张治广

(新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 目前, 地震灾情信息的获取主要依靠地震现场调查, 费时费力, 为第一时间快速了解灾区灾情, 以便尽快做出救灾决策, 指挥调度救援力量, 引进新的技术手段辅助获取灾情信息十分必要。进行了无人机技术在新疆塔什库尔干县地震的应用研究, 利用无人机技术, 获取了地震极灾区库孜滚村高分辨率影像数据, 结合震前 GF-1 遥感影像数据及地震现场震害调查数据, 获取极灾区灾情信息。结果表明: 无人机遥感技术可快速采集极灾区遥感影像, 有利于对灾情做出正确判断和评估。根据无人机遥感影像结合震前遥感影像和地震现场调查数据, 进行区域建筑物结构类型和损毁程度遥感解译, 可快速获取灾情, 无人机技术在地震应急方面应用效果显著, 为灾情评估、救援和灾后重建工作提供了科学决策依据。

关键词: 塔什库尔干县地震; 无人机; 地震应急; 震害

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)03-0057-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.03.008

Application and Realization of UAV Technology in the Earthquake of Tajik Autonomous County of Taxkorgan, Xinjiang

LI Jinxiang, CHANG Xiangde, YAO Yuan, LI Yafang, ZHANG Zhiguang

(Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract: At present, the acquisition of earthquake disaster information mainly depends on the investigation of earthquake site, and it takes time and effort. For understand the disaster situation at the first time, so as to make disaster relief decisions and command rescue force as soon as possible, we should introduce new technical means to obtain the disaster information. This paper discusses the application of the UAV technology for earthquake occurred near Taxkorgan Tajik Autonomous County, Kashi Prefecture, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China. By using UAV technology, the high resolution image data of the village in the earthquake

收稿日期: 2018-04-16

基金项目: 新疆地震科学基金项目(201510); 地震应急青年重点任务(CEA_EDEM-201511) 联合资助。

作者简介: 李金香(1984-), 女, 工程师, 主要从事地震应急与遥感技术应用研究。

E-mail: ljxhappy365@163.com.

stricken area were obtained. Combined with GF-1 remote sensing images before the earthquake and the investigation data, disaster information in earthquake stricken area is obtained. The results revealed that: UAV remote sensing technology can quickly collect remote sensing images of the earthquake stricken area, which is conducive to the correct evaluation of the disaster situation. Combined with the UAV remote sensing images, the GF-1 images before the earthquake and the investigation data, the building structure types and damage degree can be interpreted quickly, and the disaster situation can be quickly obtained. The application of the UAV technology in earthquake emergency is very effective, which provides scientific decision basis for disaster assessment, rescue and post disaster reconstruction.

Keywords: Taxkorgan Earthquake; UAV; Earthquake emergency; Disaster

0 引言

地震应急遥感灾情信息获取手段较多，目前主要有卫星遥感、航空遥感和无人机遥感，技术手段的不同，获取的灾情信息时效性和精度也存在差异，其中，卫星遥感覆盖范围广，观测精度可达到分米级，然而数据成本较高；航空遥感观

测精度可到厘米级，然而数据获取易受空域和天气条件制约，数据获取成本高，无人机遥感健全了对地观测技术在地震应急灾情信息获取中的应用，无人机作为遥感技术的一部分，很好地弥补了卫星遥感和航空遥感对地观测精度和频度上的不足，是我国地震应急遥感监测系统的重要补充（表 1）。

表 1 不同遥感观测平台的应用特点^[1]
Table 1 Application characteristics of different remote sensing observation platforms

对比项目	卫星遥感	航空遥感	无人机遥感
覆盖范围/km	10~100	10~100	0.1~1
第一时间获取数据能力	过境时间固定	易受空域和天气条件制约	灵活机动
重复观测精度	1~10 d	1~3 d	1 d
高空间分辨率观测精度	m	cm	cm
全天候全天时观测能力	一般	一般	较高
多谱段观测能力	高	较高	一般
数据成本	较高	高	低
系统建设成本	极高	较高	很低

无人机在自然灾害监测方面应用广泛^[2]，近几年，我国地震部门也加大了无人机在地震应急方面的应用与研究力度，如：无人机在汶川 8.0 级地震、玉树 7.1 级地震、鲁甸 6.5 级地震灾害应急中得到应用，并取得了一定的效果。无人机在地震现场的主要用途：一是快速获取和掌握灾情，采用自动快速拼接完成区域高精度影像处理，为救灾决策提供依据。另一方面是为救援探测可以通行的道路。

2017 年 5 月 11 日 05 时 58 分，新疆塔什库尔干塔吉克自治县(简称塔县，下同)发生 5.5 级地震(北纬 37.58°，东经 75.25°)，震源深度 8 km，震

中距塔什库尔干县城约 24 km。地震造成塔什库尔干县 8 人死亡、31 人受伤。震后，专业技术人员到灾区的各个角落进行地震现场调查和收集地震灾情，以便尽快做出救灾的决策，指挥调度救援力量。现场调查比较耗时，为快速开展震后灾情遥感应急调查，工作人员在第一时间利用机动、快速、灵活、使用成本低、操作简单的无人机低空遥感平台，获取灾区海量高分辨率遥感影像。在最短的时间内完成了宏观震中的遥感影像数据采集，为及时了解震后地震灾区的灾害情况提供信息，为灾情评估、救援和灾后重建工作提供了科学决策依据。

1 塔县地震现场无人机简介

根据地震现场调查发现,只有在造成严重破坏的地震中,无人机才能展现它的应用价值^[9]。因此,根据地震现场灾情获取的需要,特别是体现“快速获取”的目的,无人机需适应较恶劣环境的飞行,并且要体积小、重量轻、携带方便、易于搬运、装卸等。而升空准备时间短、飞行速度快、自动化、智能化程度高、操作简便、飞行姿态平稳、获取图像的分辨率高、系统的存放以及维护简便等等,都是地震应急及灾情获取对无人机的技术要求。

无人机地震灾情获取系统主要由飞行平台、飞行控制系统、遥感系统、无线电遥控系统和软件系统等组成。飞行平台主要指无人机机身,需要有一定的容积,便于放置遥感设备;飞行控制

系统主要指遥控接收机、GPS、平衡仪、自主飞行控制系统等^[9];遥感系统主要指无人机搭载的 CCD 数码相机、红外扫描仪等遥感设备;软件系统主要指无人机飞行状态监控软件、航迹规划软件、影像处理软件等;无线电遥控系统主要指传送无人机和遥感设备与地面之间信息的设备^[9]。

本次应急中使用的小型低空遥感无人机主要性能如下:有效载荷为 3.5 kg,最大飞行速度 20 m/s,最长飞行时间 18.5 min,工作环境温度-10℃至 40℃,自动起飞、自动返航、自动降落,具体参数及优缺点如表 2 所示。该无人机在本次地震应急中对于及时快速了解震后灾区建筑物损毁程度与空间分布,发挥了重要作用,为救援、灾情评估和灾后重建工作等提供了第一手的信息和科学决策依据。

表 2 INSPIRE1 电动无人机特点
Table 2 Characteristics of the INSPIRE1 electric UAV

性能参数	优点	缺点
电动无人机		
自动起飞、自动返航、自动降落		
最大起飞重量 3500 g	体积小、重量轻、携带方便、易于搬运、装卸;	
最大俯仰角度 35°	升空准备时间短,起飞安全性高;	
最大飞行速度 20 m/s	自动化、智能化程度高、操作简便;	续航时间短,飞行距离
最长飞行时间 18.5 min	飞行姿态平稳,无空中停车危险;	短,有效载重小
配备 20 mm 广角相机 Sony Exmor R CMOS	携带小型相机,获取图像的分辨率高;	
高精度防抖云台	适合高原地区航拍。	
工作环境温度-10℃至 40℃		

2 数据获取及处理

塔县 5.5 级地震发生后,新疆地震局地震应急组快速收集灾区相关资料,主要包括塔县行政区划、县乡村驻地、DEM、震前灾区“高分一号”2 m 分辨率全色影像和 8 m 分辨率多光谱影像(2016 年 8 月 18 日获取)等数据。同时派遣无人机飞行小组成立灾区第一线的“无人机”遥感小分队,对极灾区进行航拍,收集灾情信息。

“无人机”遥感小分队根据中国地震台网信息,联系当地政府,确定初步灾情及极灾区位置;于 5 月 12 日到达极灾区开展工作。无人机航摄影

像图的质量取决于多方面因素,如:天气条件、无人机航带、航迹和高度、航片重叠率等等^[9]。本次地震发生在高原地区,在地震现场无人机航测时期,无阴天、云雾流动过快天气,风速平缓,气流变化不大,飞机姿态稳定,拍摄的航片清晰,图像连续。航拍地震现场,在宏观震中附近,根据极灾区区域范围、影像分辨率等要求,确定无人机的航带、航迹和飞行高度。无人机组预先设定直线型飞行航带,按照航空摄影要求,整个航区没有出现漏拍现象。

对获取的震前震后影像数据进行处理,主要包括对震前高分一号遥感数据进行正射校正、几

何精校正,融合等预处理。利用灾区 DEM 数据进行影像正射校正,利用 Google 地图读取控制点对影像各波段进行几何校正,采用控制点—多项式拟合校正法及三次卷积内插法重采样进行图像点的精密校正;再采用 Gram-Schmidt (GS) 方法进行影像融合等,完成震前遥感数据预处理工作。对震后获取的无人机遥感数据进行处理,主要包括数据从云平台导出备份;对原图进行排序和重新编号,进行重叠率和变形大小分析,删除冗余图片和质量差的图片,使得上下左右图片重叠率

恰到好处,变形最小。使用专用软件进行大批量图片拼接,主要采用原始航空影像、相机参数、机载 POS 数据等作为输入数据,完成极灾区正射影像制作^[7],形成极灾区高精度遥感影像,最后对处理好的正射影像进行几何精校正,采用震前高分一号遥感数据几何精校正的控制点及数据预处理方法对无人机正射影像数据进行几何校正,确保震后无人机影像与震前高分一号影像空间位置精确匹配。

技术路线如下图所示:

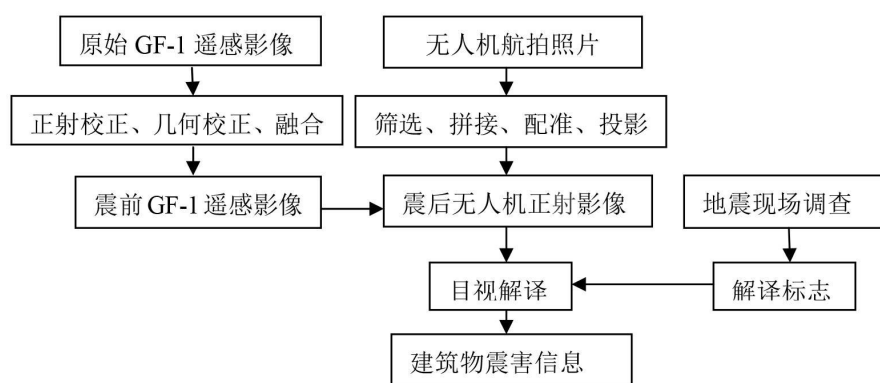


图 1 技术路线图

Fig.1 Technology roadmap

3 结果及应用

3.1 影像数据处理结果

采用以上方法对灾区原始高分一号遥感影像进行预处理,获得了极灾区震前影像图如图 2 所示,同时在飞行作业结束以后,对获取的无人机遥感数据进行快速拼接处理,主要采用原始航空影像、相机参数、机载 POS 数据等作为输入数据,进行区域正射影像制作^[7],形成极灾区高精度无人机遥感影像,进而进行快速灾情遥感解译。处理结果如图 3 所示。

图 2 为塔县地震极灾区震前遥感影像图,图中蓝色框线为无人机正射影像图边界线位置,无人机航拍影像经过拼接、配准、投影与灾区震前高分一号影像位置精确匹配,无人机航拍正射影像图分为 2 个部分,第一部分主要航拍极灾区库孜滚村村委会及埋压人员周边区域,该区域房屋损毁严重,灾情严峻,第二部分主要航拍安居富民房区域,用于识别此类房屋震害信息。

图 3 是无人机航拍获取的塔县 5.5 级地震震后

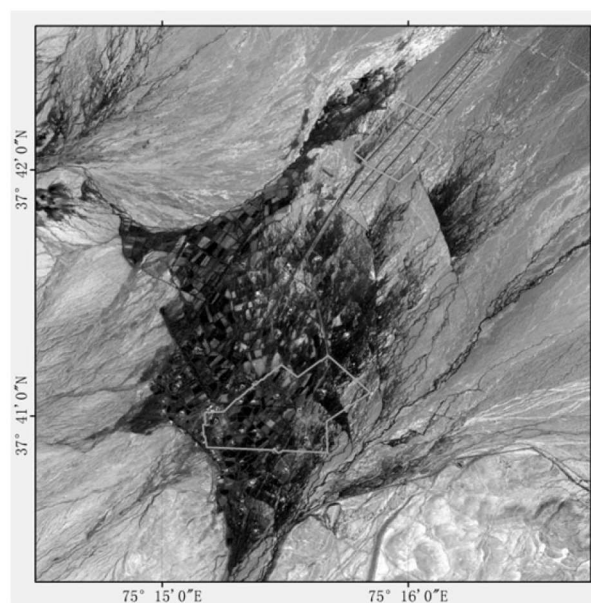


图 2 震前 GF-1 遥感影像图

Fig.2 GF-1 remote sensing image before earthquake

极灾区遥感影像,其中左图为两个架次飞机以村委会为中心进行航拍后由多张航片拼接的影像,右图为安居富民房区域航拍图,由图可知,简易房屋(主要为土石木结构房屋)在本次地震中出现

成片倒塌,土石满地,倒塌后的房屋已经分不清震前房屋的轮廓和房屋个数,后期需结合现场调查、震前 GF-1 影像、震前 Google 影像进行建筑

物震害遥感解译。右图中安居富民房基本完好,无一倒塌。

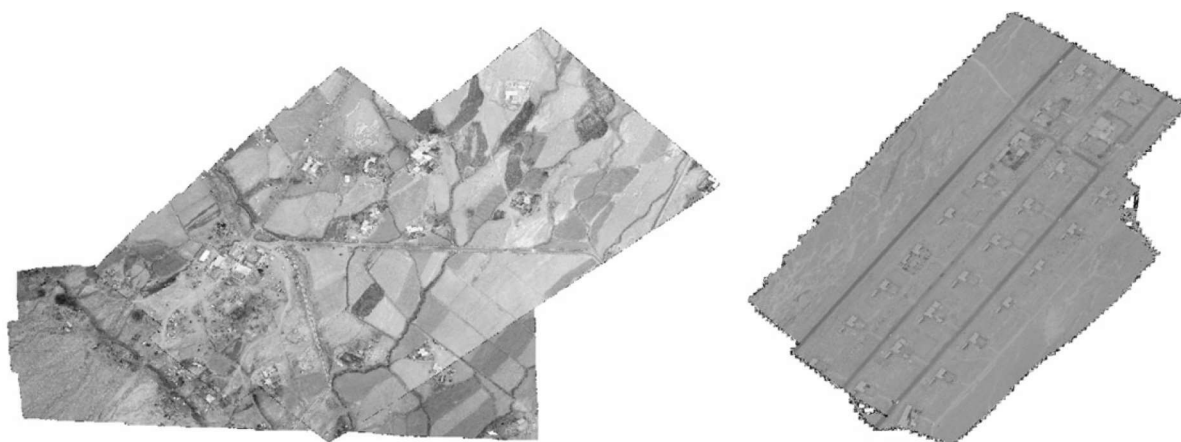


图3 震后无人机影像合成图

Fig.3 The composite images of UAV after earthquake

3.2 无人机技术在震后建筑物倒塌破坏识别中的应用

经过地震现场调查,对极灾区房屋毁坏情况进行调查,对处理后的塔县地震灾区无人机遥感影像进行判读,由于本研究采用的正射遥感影像,只能从屋顶损毁程度分辨建筑物损毁程度,故而经过人工目视遥感解译,将极灾区房屋的损毁程度分为:倒塌,局部倒塌和未倒塌^[8-11]。倒塌:房屋完全倒塌,或屋盖完全垮塌,或主体结构大部分垮塌、整体扭曲、变形或倾斜,影像特征为:房屋屋顶规则的外形轮廓特征消失,无规则的几何形态和线状纹理,倒塌物呈现出不同色调的杂乱斑点,呈漫反射状态,破坏截面比较粗糙,影像上表现为斑块状的低灰度值区域。局部倒塌:房屋结构少数垮塌,或屋盖局部破坏,或围护墙破坏、部分变形,影像特征为:房屋屋顶规则的

外形轮廓特征部分消失,几何形态和线状纹理不连续,部分角特征缺失,倒塌部分呈现出不同色调的杂乱斑点。未倒塌:房屋建筑未倒塌,未呈现出明显的局部破坏,影像特征为:房屋建筑具有规则的外部几何形态,屋顶轮廓线清晰,角特征明显,特征线排列整齐,具有建筑物自身的基本属性——区域特性^[12](图4)。图4为本次地震航测区域内建筑物损毁程度遥感解译典型影像,图4a为遥感解译为倒塌的房屋建筑影像,其特征符合上述倒塌影像特征规则,其房屋屋顶外轮廓完全消失;图4b为遥感解译为局部倒塌的房屋建筑影像,其特征符合上述局部倒塌影像特征规则,其屋盖局部破坏,房屋屋顶外形轮廓不规则,部分角特征缺失;图4c为遥感解译为未倒塌的房屋建筑影像,其特征符合上述未倒塌影像特征规则,房屋屋顶外形轮廓规则,角特征明显。



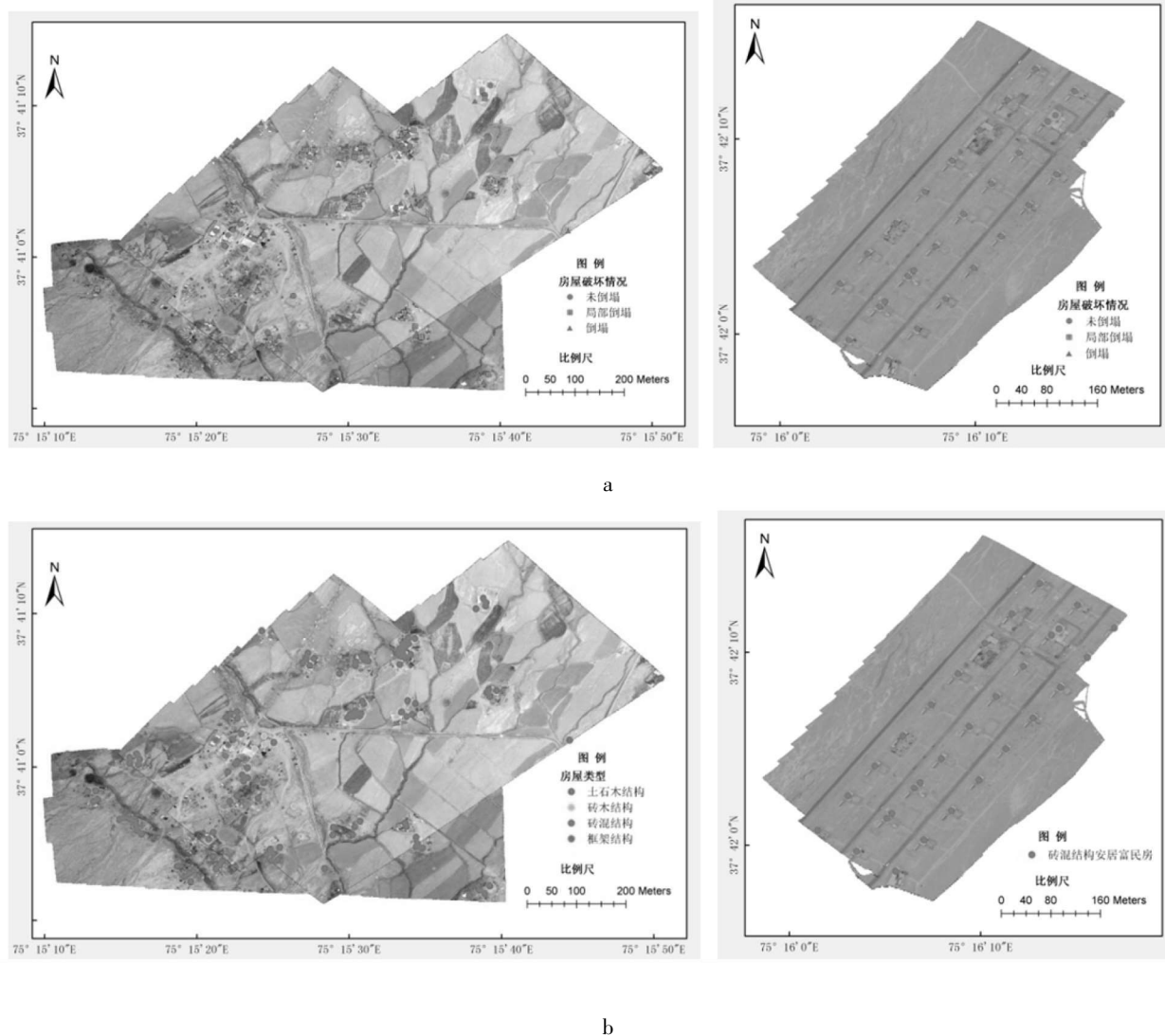
图4 航测区域建筑物损毁程度典型影像(a 倒塌 b 局部倒塌 c 未倒塌)

Fig.4 Typical images of damage degree of buildings in aerial survey area(a. collapsed, b. local collapse, c. did not collapse)

根据上述遥感解译标志,进行航测区建筑物损毁程度遥感解译,具体解译结果如图 5a 所示,图中红色三角形所在区域的建筑为倒塌建筑,由图可见,倒塌建筑分布广泛,出现连片倒塌现象,由图 4a 可知,建筑物倒塌后很难分清原始房屋位置和间数,因此,在解译倒塌房屋时,结合了 Google 地图震前影像进行分辨,最终结果如图 5a 红色点所示;图 5a 中黄色方框形所在区域的建筑为局部倒塌建筑,由图可见,局部倒塌建筑主要分布在村委会北部,可见该区域的房屋建筑较村委会南部的房屋建筑质量略好;图 5a 中绿色圆形所在区域的建筑为未倒塌建筑,由图可见,未倒塌建筑主要分布在村委会附近和安居富民房区域,结合地震现场调查可知,该区域的房屋为砖混、

框架结构房屋居多,房屋抗震性能好,在地震中未受损害,房屋的遥感特征表现为未倒塌。

结合地震现场抽样调查结果,进行航测区域内建筑物结构类型遥感解译,具体解译结果如图 5b 所示,图中红色点位置为土石木结构房屋建筑,该结构类型的建筑在灾区分布广泛,几乎覆盖了整个极灾区;图中黄色点位置为砖木结构房屋建筑,蓝色点位置为砖混结构房屋建筑,绿色点位置为框架结构房屋建筑,此三类结构类型的建筑数量较少,解译时主要结合现场调查结果进行,总体而言,抗震性能好的结构类型的房屋建筑主要分布在村委会附近及安居富民房区域,房屋质量好,抗震性能强是此处震害较轻的根本原因。



(a. 建筑物破坏情况分布图;b. 建筑物结构类型分布图)

图 5 航测区域建筑物结构类型及破坏情况分布图

Fig.5 Distribution map of structure type and damage degree of buildings in aerial survey area

结合图 5，进行各类型房屋建筑损毁程度统计分析(表 3)。

灾区位于帕米尔高原，自然条件恶劣，资源匮乏，经济落后，建设成本高，自建房屋主要为土石木结构房屋，质量差，抗震能力低，在本次地震中遭受到了毁灭性的破坏，造成严重震害。航测区域土石木结构房屋倒塌 77 间，局部倒塌 30 间，基本完好 9 间，倒塌和局部倒塌的房屋共计 107 间，占土石木房屋总数的 92.2%，占测区所有房屋总数的 81.7%，区域房屋建筑倒塌率较高。航测区域砖木、砖混、框架结构的房屋共计 15 间，经遥感解译，该 15 间房屋无一倒塌。此外，在第三架次航测的安居富民房航拍区域，所有的安居富民房屋 31 间无一倒塌。总体来说，区域内经济落后，房屋质量差，抗震性能低，是造成此次地震灾害较重的根本原因。

表 3 建筑物震害遥感解译结果
Table 3 Results of remote sensing interpretation of earthquake damage to buildings

结构类型	总数	占测区房屋比例/(%)	倒塌/间	局部倒塌/间	未倒塌/间
土石木结构	131	88.5	77	30	9
砖木结构	8	6.1	0	0	8
砖混结构	4	3.1	0	0	4
框架结构	3	2.3	0	0	3

此次地震由于房屋倒塌率较高，造成了 8 人死亡，31 人受伤，宏观震中塔什库尔干乡库孜滚村的典型震害图片如图 6、7 所示：



a 土石木结构房屋成片倒塌



b 安居富民房屋完好

图 6 地震现场调查图

Fig.6 Investigation photo of earthquake site

由图 6a 可知，地震极灾区土石木结构房屋成片倒塌，房屋整体结构在地震动的作用下完全垮塌，倒塌房屋无站立的承重构件，土块、石块、木头砸向地面，致使人员伤亡。而图 6b 为安居富民房屋基本完好，承重构件无一倒塌，房屋主体没有受损，该区域无人员伤亡事件出现。图 7 为塔县地震极灾区 8 名人员遇难现场，由现场调查图可知，倒塌的房屋均为土石木结构房屋，墙体和屋顶均由较重的建筑材料建造，房屋建筑材料质量差，抗震性能低，在地震动的作用下，房屋整体垮塌，造成人员伤亡。

4 结语

在塔县地震震后，新疆地震局启动地震应急响应，迅速组织了无人机遥感灾害监测工作组进行极灾区遥感测绘工作，在震后第一时间获取极灾区影像信息，为灾区地震应急救援工作和灾后重建工作提供了第一手资料。本文对无人机技术在塔县地震应急中的应用进行了探索，获得以下结论：

- (1) 无人机遥感技术提高了地震灾情监测能力。在地震震害严重、救灾任务紧的时候，借助无人机快速采集极灾区灾情信息，可为地震应急救援提供决策依据，提高了地震应急救援的时效性。
- (2) 无人机遥感影像提供了客观的灾情数据。在现场灾情信息采集出现意见相左等各种主观因素影响时，无人机遥感影像有利于对灾情做出正确判断和评估，制定科学、合理的救灾方案。



a 一名男童



b 一名老人



c 祖孙三人



d 三名工人

图 7 8 名人员遇难现场

Fig.7 Area of distress of 8 persons

(3)根据无人机遥感影像结合地震现场调查,进行区域建筑物结构类型和损毁程度遥感译解,在航测区域内房屋结构类型主要包括土石木结构、砖木结构、砖混结构、框架结构。倒塌和局部倒塌的房屋均为土石木结构房屋,倒塌和局部倒塌的房屋占土石木结构房屋总数的 92.2%,占航测区域内所有房屋总数的 81.7%,航测区域内安居富民房屋无一倒塌。当地经济落后,建筑材料质量差,抗震性能低,是此次地震灾害严重的主要原因。

使用无人机获取地震灾情目前尚处于探索阶段,进一步的应用还需要更深入的探索,如天气条件、无人机航带航迹、高度以及航片重叠率等对无人机起飞和图像质量影响很大,在获取最大面积灾区影像和影像质量方面需注意协调。在建筑物倒塌破坏识别时可研发和运用自动识别软件,提高建筑物倒塌破坏的识别效率等等。

参考文献:

- [1] 李云,徐伟,吴玮.灾害监测无人机技术应用与研究[J].灾害学,2011,26(1):138-143.
- [2] 高劲松,王朝阳,赵春玲.在对抗自然灾害中无人机的作用[D]/2008年防灾减灾论坛论文集.北京:中国科学技术协会,2008.
- [3] 徐志强,杨建思,姜旭东,等.无人机快速获取地震灾情的应用探索[J].地震地磁观测与研究,2009,30(5):66-70.
- [4] 藏克,孙永华,李京,等.微型无人机遥感系统在汶川地震中的应用[J].自然灾害学报,2010,19(3):163.
- [5] 程奕,柏江玲.无人机地震灾情监测系统在四川高原山区的应用研究[J].华北地震科学,2014,32(2):36-38.
- [6] 陆博迪,孟迪文,陆鸣,等.无人机在重大自然灾害中的应用与探讨[J].灾害学,2011,26(4):122-126.
- [7] 梁生甫,王延莲,刘鲁军,等.基于无人机影像的正射影像制作方法[J].青海大学学报(自然科学版),2012,30(4):54-58.
- [8] 王晓青,王龙,章熙海,等.汶川 8.0 级地震震害遥感量化初步研究——以都江堰城区破坏为例[J].地震,2009,29(1):174-181.
- [9] 王晓青,窦爱霞,王龙,等.2013 年四川芦山 7.0 级地震烈度遥感评估[J].地球物理学报,2015,58(1):163-171.
- [10] 王晓青,黄树松,丁香,等.尼泊尔 8.1 级地震建筑物震害遥感提取与分析[J].震灾防御技术,2015.10(3):481-490.
- [11] 王晓青,窦爱霞,孙国清.基于综合震害指数的玉树地震烈度遥感评估研究[J].地震,2013,33(2):1-10.
- [12] 窦爱霞,王晓青,丁香,等.遥感震害快速定量评估方法及其在玉树地震中的应用[J].灾害学,2012,27(3):75-80.