

# 灾评新技术在云龙 5.0 级地震烈度调查中的应用\*

周 洋, 明小娜, 杨艳珠, 张方浩, 杜浩国

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 通过介绍 2016 年 5 月 18 日云龙 5.0 级地震烈度调查与分布, 分析了此次地震中云南地震现场灾害损失调查系统和无人机技术在地震现场调查与灾害损失计算、灾民安置与政府救灾决策中的应用情况。针对云南省地势高低起伏大、山区村落分散、交通通行条件较差以及地震灾害损失调查时间紧、任务重的情况, 现场灾害损失调查系统以及无人机技术的应用在地震现场灾害损失调查工作中具有重要意义。

**关键词:** 云龙地震; 烈度分布; 现场调查系统; 旋翼无人机

**中图分类号:** P315.95

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)01-0161-06

## 0 引言

2016 年 5 月 18 日 00 时 48 分 47 秒, 云南省大理市云龙县 (26.10°N, 99.58°E) 发生 5.0 级地震, 震源深度 15 km。宏观震中位于长新乡多衣树一花三地一带, 极震区烈度为Ⅵ度。灾区主要涉及云龙县的长新乡、白石镇、检槽乡、关坪乡, 洱源县的西山乡、乔后镇和剑川县的象图乡共 7 个乡镇, 27 个行政村 (社区)。地震造成村镇民用房屋破坏, 生命线工程及水利等基础设施损坏。地震中无人员死亡, 4 人受伤, 10 768 户共 34 590 人受灾。

地震发生后, 云南省地震局第一时间启动地震应急Ⅲ级响应。省、州、县三级地震部门共 47 人组成云南云龙 5.0 级地震现场指挥部, 开展地震应急现场处置工作。5 月 18 ~ 20 日, 地震灾评及科考队 18 名灾评人员对云龙县、洱源县、剑川县的部分乡 (镇) 进行了灾情调查。<sup>①</sup>

新形势下, 政府在地震应急决策时对灾情信息的准确性、时效性要求越来越高, 对灾情信息的内容要求更加丰富 (明小娜等, 2015), 无人机的高分辨率遥感影像能够为灾害应急、损毁评估等工作提供客观翔实的数据 (温奇等, 2012), 基于无线通信的调查系统可以向指挥部提供实时的灾情和调查信息以做出科学的决策, 对相关人员或资源进行合理的指挥与调度, 从而提高区域应

急指挥的效率和救援能力 (刘军等, 2014)。基于纸质表格收集整理灾情的传统方法具有用人多、耗时长、任务重等缺点, 已不能完全满足快速制定应急措施、实施救灾决策的需要。云南省地震局一直致力于防震减灾领域的新技术、新方法在防震减灾领域的应用研究, 根据新技术应用现状和未来灾评工作发展需要, 此次地震应急中现场工作队应用云南省地震现场灾害损失调查系统和无人机技术开展地震应急工作。本文介绍了 2016 年 5 月 18 日云龙 5.0 级地震烈度与分布, 探讨了灾评新技术在此次地震现场工作中的应用。

## 1 烈度调查及分布

本次地震灾区位于云南省西部, 大理州西北部, 涉及大理州的云龙县、洱源县及剑川县。灾区地处横断山脉, 境内山岭纵横、层峦叠嶂, 地形及地理位置特殊, 交通通行条件较差、道路运载能力有限。地震现场灾害调查和烈度评定工作以《地震现场工作第 3 部分: 调查规范》(GB/T 18208.3—2011)、《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008) 为技术指导和评定依据。灾评与科考队总计调查了 127 个居民点震害情况, 在此基础上, 参考其他工程结构震害、地震地质背景、强震动记录、余震展布、震源机制解等资料 (卢永坤等, 2014; 周光全等, 2006), 并结合灾区无人机航拍影

\* 收稿日期: 2016-07-05.

基金项目: 大中城市地震灾害情景构建重点专项资助项目 (2016QJGJ04) .

① 云南省地震局. 2016. 云南云龙 5.0 级地震灾害直接经济损失评估报告.

像等资料,圈定了本次地震烈度分布(图1)。本次地震极震区烈度为Ⅵ度,宏观震中位于长新乡多衣树一花三地一带,等震线长轴方向总体呈北北西向。Ⅵ度区东起洱源县西山乡山高村小组,西至云龙县检槽乡清文村附近,北自剑川县象图乡松平—石登一带,南至云龙县关坪乡酸坪—胜利一带,总面积

约790 km<sup>2</sup>,其中,云龙县580 km<sup>2</sup>,涉及长新乡、白石镇、检槽乡、关坪乡;洱源县150 km<sup>2</sup>,涉及西山乡、乔后镇;剑川县60 km<sup>2</sup>,涉及象图乡。Ⅵ度区以外,云龙县团结乡、宝丰乡、诺邓镇,剑川县弥沙乡、沙溪镇、马登镇,永平县、兰坪县等个别乡镇少数民房遭受轻微破坏。

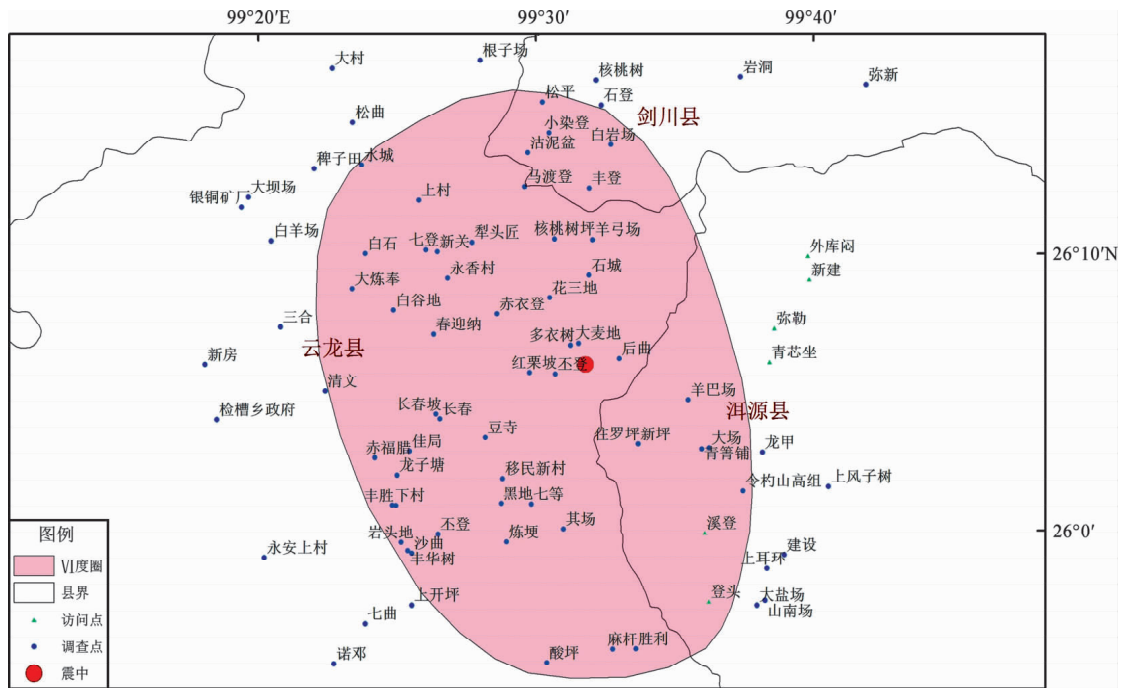


图1 云龙5.0级地震烈度分布图

Fig. 1 Intensity distribution map of Yunlong  $M_s$ 5.0 earthquake in Yunnan in 2016

## 2 灾评新技术在地震灾区的应用

对地震应急工作而言,新技术的应用核心就是提高工作时效,在此基础上结合业务特性进行专业领域应用拓展。本次地震应急中,运用云南地震现场灾害损失调查系统获取地震灾情、进行地震烈度调查和灾害损失评估计算,运用旋翼无人机开展小区域对地观测,完成灾民安置点核查。新技术相对于传统方法能够更快速、更直观地开展工

### 2.1 云南地震现场灾害损失调查系统

云南地震现场灾害损失调查系统以服务地震灾害损失调查与评估工作为出发点,依托互联网技术、移动通信技术、地理信息技术及其他软硬件设备,实现地震现场灾情速报、灾情调查与评估、工作成果展示、指挥调度等功能,从而提高了灾害损失评估工作效率和质量。该系统包括移

动端软件和服务器端软件,移动端主要为现场调查人员提供便捷获取灾情、快速上报、及时沟通等服务,包含基础信息、灾害调查、资料共享等功能;服务器端软件主要为指挥人员和专家组提供指挥调度、灾情查看编辑、数据汇总导出等服务,包含科技成果、灾情展示、灾情汇总、评估计算等功能(图2)。本次地震主要应用了该系统

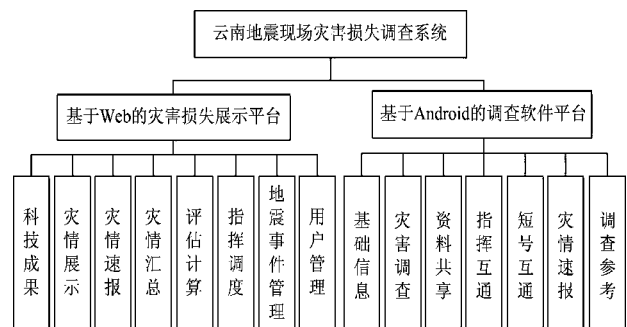


图2 调查系统软件功能图

Fig. 2 The function of survey system software map

中的灾情调查、灾情展示、损失评估计算等功能，对地震烈度调查和应急工作起到一定的辅助作用。

2.1.1 灾情调查与展示

云南地震现场灾害损失调查系统遵循国家地震现场调查工作规范设计调查表，调查点数据收集的内容包括：各调查点概况（调查点名称、位置、户数、面积等），房屋建筑破坏面积，人员伤亡数量，生命线工程、地震次生灾害、地震地质灾害破坏情况及震害照片描述（图 3）。在有网络的情况下，移动端通过灾情调查功能可实现调查点信息的实时采集与传输；在无网络的情况下，移动端通过离线形式登陆完成调查点信息的采集、录入及缓存，待有网络时自动将调查点信息传回指挥部。服务器端调查点信息可在基础地图上实时展示，包括人员伤亡、房屋倒塌、生命线工程破坏信息、次生灾害信息以及其他灾情信息。由于本次地震灾区受地形地势限制，城区移动通信信号覆盖率较高，山区移动通信信号较差，在县界交接处的山地林间基本处于无信号的状态，移动端上报数据出现数据无法传输或传输不完全情况，所以只有部分调查点数据通过该系统移动终

端上报，其余调查点数据通过网页填报方式上报，服务器端接收并展示调查数据（图 4）。借助于灾情展示功能，现场指挥部可以实时掌握每个调查点的基本信息、破坏情况以及调查点空间分布格局，适时进行调查路线的增补和调整。本次地震灾情调查中通过移动终端上传 7 个调查点信息，现场指挥部对调查点分布情况进行分析后对灾区洱源县西山乡、乔后镇采取了调查点补充工作。

2.1.2 调查点信息汇总

该调查系统对已上传的调查点信息按调查点烈度和房屋破坏信息 2 种形式进行分类、统计、汇总，为灾害损失计算与灾评报告编写整合基础资料。调查点烈度信息汇总于表 1，其中包含了各调查点名称、调查点坐标、调查点烈度和调查人信息，依据该表内容，借助于 GIS 平台，可开展调查烈度绘制工作。调查点详细信息（图 5）包含了单个调查点的类型、坐标、人口、户数、各类型房屋破坏情况等数据内容以及调查点典型破坏图片、视频信息。调查点详细信息为灾害损失评估计算提供基础数据。



图 3 调查点灾情收集图

Fig. 3 Gather disaster information of survey points



图 4 调查点灾情展示图

Fig. 4 Disaster data display map of survey points

表 1 调查点信息汇总表

Tab. 1 The Collection information of survey points

序号	调查点	$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$	烈度
1	山高组	99.617 9	26.024 1	VI
2	住罗坪	99.361 6	26.052 1	VI
3	羊巴场	99.588 9	26.054 8	VI
4	松平	99.504 2	26.257 8	VI
5	丰登	99.532 4	26.206	VI
6	红栗坡	99.496 4	26.095 2	VI
7	多衣树	99.521	26.111 7	VI
8	核桃树坪	99.511 4	26.175 3	VI
9	花三地	99.508 6	26.14	VI
10	长春	99.442 5	26.067 2	VI
11	永香	99.447 2	26.151 9	VI
12	清文	99.359 7	26.081 7	VI
13	丰华	99.423 1	25.987 8	VI
14	麻杆	99.546 4	25.928 6	VI
15	上村	99.429 8	26.198 5	VI
16	黑地	99.479 4	26.016 5	VI



**调查点：山高组**

生成Excel 编辑 删除

调查点类型：	农村调查点					
经度：	99.6179		纬度：	26.0241		
调查点户数：	24					
调查点人口：	106					
房屋破坏情况：	结构类型	毁坏	破坏	完好	合计	震害指数
	砖木结构 (m <sup>2</sup> )				0	
	土木结构 (m <sup>2</sup> )	400	2000		2400	
	其他简易结构 (m <sup>2</sup> )				0	
	框架结构 (m <sup>2</sup> )				0	合计 震害指数
	砖混结构 (m <sup>2</sup> )				0	
其他非简易结构 (m <sup>2</sup> )				0		
烈度：	6					
备注：						
调查人：	赵家本					




图5 调查点详细信息图

Fig. 5 Detailed information of survey points

### 2.1.3 损失评估计算

根据《地震现场工作第4部分：灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2011)的规定，借助于调查点的房屋建筑结构、房屋破坏等级等信息，结合灾区人口、人均建筑面积、房屋结构比、重置单价等基础数据，通过数学模型计算出各个评估区的房屋破坏面积和经济损失。数学模型设计时，按不同评估区统计计算各行政单元震害系数，一方面中和了行政单元内抽样点数量不均问题(卢永坤等，2011；周光全，2011)，另一方面减

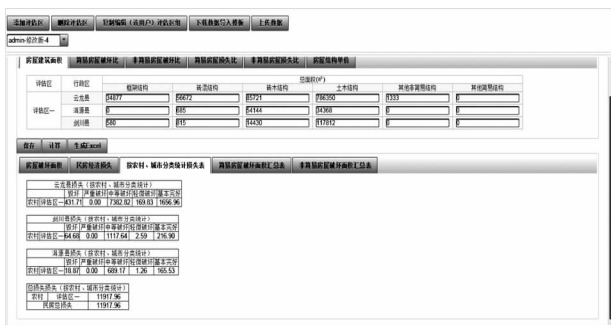


图6 损失评估计算图

Fig. 6 Loss assessment calculation chart

轻了工作量，计算结果不会引起偏差。该系统根据地震事件和行政区划建立不同评估区，各评估区选择调查点进行计算(图6)，计算结果以EXCEL表格形式导出，可直接用于编写灾害损失评估报告。

### 2.2 旋翼无人机

旋翼无人机具有体积小、灵活轻便、易于操控、图像清晰、处理相对简单等特点。重大自然灾害发生之后，在信息中断交通受阻的情况下，使用无人机可快速获取地理、资源、环境、灾害等空间遥感信息，非常适合于自然灾害发生后的灾情获取和评估工作(陆博迪等，2011)。

云南省地震局首次将旋翼无人机技术应用于本省地震应急救援工作，在此次地震中，根据现场指挥部安排和当地政府需求，现场工作队携带旋翼无人机前往极震区云龙县长新乡新塘村委会多衣树村(安置农户18户、村民76人)，航拍灾民安置工作影像。旋翼无人机共采集了极震区灾民安置影像47幅和约1G的高清视频资料，利用图像拼接软件Pix4D快速制作多衣树村灾民安置航拍影像图(图7)。从图7可见，灾民安置点地势平坦、开阔，遥感图像上浅蓝色、大小一致、规则排列的建筑物为灾民安置帐篷(红色椭圆区内)。政府根据航拍影像，可核实各安置点地理位置选择是否合理、已安置帐篷的数量，根据每顶帐篷理论安置人数估算灾区被安置的人员数量、生活物资发放数量，从而为地方政府指挥部署和制定灾民安置、救灾物资需求方案提供一定依据。



图7 多衣树村灾民安置点航拍图

Fig. 7 The aerial map of Duoyishu Village

同时,现场工作队对云龙县城区进行航拍,共拍摄800多幅高清影像,通过软件拼接处理制作了云龙县城区震后遥感影像图(图8),储备了第一手震后县城无人机影像基础资料。此外,还对城区地标建筑进行360°拍摄,并进行三维拼图,初步探索了无人机小区域航拍、单体建筑三维拍摄方面的应用。



图8 云龙县城区航拍图

Fig. 8 The urban aerial map of Yunlong County

### 3 结论

在本次地震中,由于地质环境和历史地震原因,民房出现震害叠加现象,运用新方法、新技术获取灾情,进行灾害调查,对地震现场应急工作全面掌握灾区情况、提高灾评工作效率起到了重要作用。

(1) 震害特征分析:本次地震中灾区民房土木结构占比较高,达到80%以上,破坏以墙体开裂或老裂加宽、加长为主;灾区处在云岭横断山脉地区,多数村组坐落在大于25°的坡地,部分建筑物破坏边坡效应明显;震区近年先后发生过2013年3月3日的洱源5.5级地震、4月17日洱源5.0级地震、2016年2月8日洱源4.6级地震,部分民房在前述几次地震中已经遭到破坏,根据现场抽样调查和无人机低空航拍影像综合分析,发现存在地震震害叠加现象。

(2) 云南地震现场灾害损失调查系统的应用,

在一定程度上提高了地震现场灾害调查效率。①该系统按照《地震现场工作第3部分:调查规范》(GB/T18208.3—2011)设计调查表内容,与传统调查方法(先纸质手稿记录、再人工整理电子表格录入)相比,实现了调查表格式化、规范化录入,有效节省了资料整理时间;②系统按照《地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估》(GB/T18208.4—2011)开展灾害损失初评估计算,在输入灾区房屋基础数据(不同结构类型房屋建筑面积)、重置单价、损失比和选择抽样调查点的情况下,系统自动按评估区计算各结构类型建筑物在不同破坏等级下的破坏比,在此基础上按不同行政区统计出民房、教育、卫生、公房的直接经济损失,并生成相关报表,缩减了计算时间;③调查点信息采集不受网络限制,在无网络的情况下,调查点内容缓存在系统中,当有网络时,系统后台自动将调查数据传回指挥部,缩短了资料回传时间,有利于现场指挥部快速、直观了解调查点空间分布以及受灾严重程度,为地震灾害调查现场指挥决策提供有力依据。

(3) 云南省地势高低起伏大、经济水平相对落后,山区村落分散,山谷、山腰均有分布,大部分地区交通通行条件较差、道路运载能力有限,地震后常伴有山体滑坡、滚石等次生灾害,极易出现交通堵塞、道路中断情况,房屋震害单点调查耗时耗力,利用无人机技术,可实现小区域影像快速获取,并通过目视判读了解航拍区建筑物、次生灾害和生命线工程毁损情况,有利于快速掌握解航拍区受灾程度;此外,对于较大的破坏性地震,可从影像上直接判读倒塌、严重破坏的建筑物,从而提高现场灾害调查工作效率。

### 参考文献:

- 刘军,宋立军,兰陵,等. 2014. 基于Android平台的灾情速报系统在7.3级地震中的应用[J]. 震灾防御技术,9(4):915-920.
- 卢永坤,代博洋,庞卫东,等. 2011. 基于云南3次震例对地震灾害区域等级评估方法的探讨[J]. 地震研究,34(2):214-221.
- 卢永坤,张建国,宋立军,等. 2014. 2014年云南鲁甸6.5级地震烈度分布与房屋震害特征[J]. 地震研究,37(4):549-557.
- 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.
- 明小娜,周洋,卢永坤. 2015. 云南地震灾情速报系统设计探讨[J]. 华北地震科学,33(4):62-65.

- 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. (1):88-95.
- 周光全,非明伦,施伟华,等. 2006. 1992~2005年云南地震灾害及其对农村民居的影响[J]. 地震研究,29(4):407-410. GB/T 18208.3—2011,地震现场工作第3部分:调查规范[S].
- 周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究,34 GB/T 18208.4—2011,地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估[S].
- 周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究,34 GB/T 17742—2008,中国地震烈度表[S].

## Application of New Technologies in Yunlong $M_s5.0$ Seismic Intensity Survey

ZHOU Yang, MING Xiaona, YANG Yanzhu, ZHANG Fanghao, DU Haoguo

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

### Abstract

In this paper, we introduced the investigation and distribution of the magnitude in Yunlong  $M_s5.0$  earthquake on May 18, 2016. we also analyzed the application of Yunnan earthquake site disaster loss investigation system and unmanned aerial vehicle (UAV) technology, which were used in the investigation and disaster loss calculation, disaster resettlement and government disaster relief decision. In view of the situation, which terrain was up and down, the villages were scattered in the mountainous areas and traffic conditions were poor in Yunnan Province, and also the time of earthquake disaster loss investigation is shorter, the task is heavier than before, the application of the site disaster loss investigation system and the UAV technology in the earthquake site disaster loss investigation work has great significance.

**Keywords:** Yunlong earthquake; intensity distribution; site investigation system; UAV rotorcraft