

许建华、张雪华、王晓青等,2017,无人机倾斜摄影技术在地震烈度评估中的应用——以九寨沟 7.0 级地震为例,中国地震,33(4),655~662。

无人机倾斜摄影技术在地震烈度评估中的应用 ——以九寨沟 7.0 级地震为例

许建华¹⁾ 张雪华¹⁾ 王晓青²⁾ 杜晓霞¹⁾ 袁小祥²⁾

1) 中国地震应急搜救中心,北京市石景山区玉泉西街 1 号 100049

2) 中国地震局地震预测研究所,北京 100036

摘要 以九寨沟 7.0 级地震为例,通过阐述无人机倾斜摄影技术的相关原理,说明该技术在地震烈度评估中的应用价值。结果表明,使用无人机倾斜摄影技术不仅能够直观地、全方位地展示震害信息,同时,还能对裂缝、滑坡等几何信息进行量测,为烈度评估等提供更加精确的信息。

关键词: 无人机遥感 倾斜摄影 烈度评估 九寨沟 7.0 级地震

[文章编号] 1001-4683(2017)04-0655-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

严重破坏性地震的发生往往可以导致大量建(构)筑物等在瞬间发生倒塌、道路中断,同时也会引起山体崩塌,形成滑坡,造成巨大的生命和财产损失。而震后指挥决策、生命救援、烈度图的绘制等都依靠灾情的快速获取,因此,快速准确获取灾区实时遥感影像至关重要。

20 世纪 80 年代以来,无人机技术的快速发展为遥感技术提供了新的平台。无人机遥感技术主要以多旋翼、固定翼无人机以及无人直升机等作为平台,通过底部安装光学或多光谱相机等进行拍摄,以获取高分辨率的遥感影像数据(崔红霞等,2005;晏磊等,2004)。因无人机具有携带方便、机动灵活、飞行高度低以及可通过航线设计自行飞往预先设置好的区域等特点,弥补了卫星遥感空间分辨率较低、受天气影响较大的缺点,在测绘、电力巡检、建(构)筑物损毁监测、矿山监测、资源调查等诸多领域得到广泛应用(史占军等,2011; Keemink et al,2012; Jahanshahi et al,2013; 薛永安等,2013; 李德仁等,2012)。

在地震灾害调查中无人机遥感也发挥了重要作用,如 2013 年芦山 7.0 级地震,王晓青等(2015)使用高分辨率航空影像和无人机影像快速解译并提取了灾区建筑物震害信息,通过建立震害遥感定量评估模型,实现了地震烈度分布遥感评估图的绘制;李金香等(2017)结合

[收稿日期] 2017-10-20; [修定日期] 2017-12-01

[项目类别] 中国地震应急搜救中心科研团队项目(GY1750012)和地震科技星火计划专项(XH1708031107)共同资助

[作者简介] 许建华,女,1981 年生,硕士,主要从事地震应急救援技术相关研究与应用、地震应急管理相关培训等工作。

E-mail: nerss_xjh@163.com

张雪华,通讯作者,男,硕士。E-mail: zhangxhua1990@163.com

现场震害调查和高分辨率无人机正射影像对 2015 年新疆皮山地震的建筑物震害信息进行了快速解译,为及时了解灾区灾害信息提供了支持。但无人机正射影像是通过无人机挂载垂直向下的相机对建(构)筑物等进行信息采集的,这种方式通常情况下只能获取其顶部信息,难以进行全方位信息的获取,特别是在灾害检测及评估方面容易产生错误分类,这就促进了能够获取建(构)筑物等侧面信息的倾斜摄影技术的发展。2010 年 4 月,北京天下图数据技术有限公司首次引进了一套当时世界上最先进的倾斜摄影设备,在随后的几年里我国无人机倾斜摄影技术得到快速发展(田野等,2013)。倾斜摄影技术是指在同一飞行平台上挂载多个不同角度的传感器同时进行数据采集,并且在数据采集的同时,记录每张照片拍摄时的位置、航高、飞行器姿态等信息,由此获得的倾斜影像数据不仅反映了建(构)筑物等的真实情况,而且包含立面信息及照片精确位置信息,为后续的数据处理提供了极大的方便(Høhle,2008;李硕,2016)。帅向华(2017)利用倾斜摄影技术对 2014 年云南鲁甸地震的建筑物、滑坡、滚石、堰塞湖等震害场景进行精确表达,实现了遥感地震灾情的精细化分析。无人机倾斜摄影技术的灵活性、影像多角度性和高分辨率等特点使该技术在地震应急及烈度评估等方面发挥着越来越重要的作用。

1 无人机倾斜摄影技术

无人机倾斜摄影技术通过在无人机飞行平台上搭载多个不同角度的传感器,同时获取建(构)筑物等地物的顶部、侧面信息,可以实现该地物空间信息的全方位表达,通过建立的三维模型还可以实现对其尺寸、体积等的量测,有效提高了观察效果,增强了获取数据的准确性(黄敏儿等,2014;江明明,2017)。

无人机倾斜摄影系统主要包括无人机系统、倾斜相机系统和后期影像处理软件等 3 部分。无人机系统主要是指无人机飞行平台及地面站操作系统。目前,无人机飞行平台主要以多旋翼、固定翼无人机为主。随着科技的发展,这 2 类无人机在朝着体积小、质量轻、携带方便等方向发展。但一般来说,多旋翼无人机在起降场地选择方面更加灵活,而固定翼无人机的航时更长,航程更远。地面站操作系统可实现航线规划、无人机控制等功能,进而获取人员视距外无法进入区域的影像。倾斜相机系统主要有 3 种类型:扇形布局、块状布局和马耳他十字形布局,通常是由 2~6 个不等的镜头组成,每个镜头根据镜头数量的不同,其倾斜方向及角度也不同(Petrie,2009;田野等,2013)。另外,也可使用同一相机通过镜头不同角度的倾斜进行多次航飞拍摄。目前,常用的倾斜相机系统为 5 个镜头,如 Vision Map_A3 相机系统、美国 Pictometry 相机系统、莱卡 RCD30 相机系统及中国测绘科学院的 SWDC-5 相机系统等(图 1)。

无人机飞行平台以及倾斜相机等硬件技术的发展,在便于获取高分辨率倾斜影像的同时,也促进了后期影像处理软件的发展。常用的数据处理软件包括美国 Pictometry 软件、Multi Vision 系统、法国 Street Factory 软件、莱卡 LPS 工作站、Street Factory 系统、Smart 3D 软件及国内的 DP-Modeler、Ledor AMMS 软件等(杨国东等,2016)。数据后处理软件系统整合了倾斜摄影技术采集的空间信息 and 应用功能,目前在地震应急、规划建设、测绘、三维建模等领域发挥着重要作用(李玮玮,2016)。

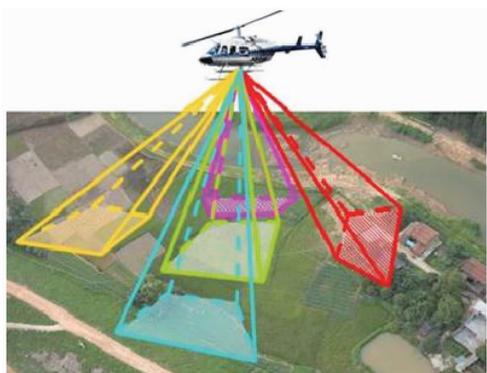


图1 五镜头倾斜摄影原理图(据李玮玮(2016))

2 全自动快速构建三维模型技术

图2为全自动快速构建三维模型技术路线图。在数据获取阶段,本文采用大疆 Mavic 单镜头无人机进行多次同航线飞行,每个航拍点飞行5次,镜头分别朝向正下、前倾、后倾、左倾、右倾,4个方向的倾斜角度为 40° (Petrie, 2009),进而模拟 Pictometry 五镜头倾斜摄影系统;在数据处理阶段,由于 Smart 3D Capture 三维建模技术可实现基于图形运算单元的快速运算,同时具有简单、全自动的特点(孙宏伟, 2014),可在调查行进中处理,在一定程度上满足地震烈度调查的应用,故本文采用 Smart 3D Capture 进行空中三角测量、多视影像密集匹配、构建 TIN 模型、自动纹理映射等步骤。

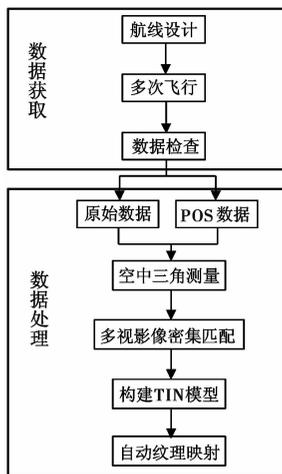


图2 全自动快速构建三维模型技术路线

3 倾斜摄影技术在九寨沟地震烈度评估中的应用

在九寨沟7.0级地震烈度评估工作中,共对漳扎镇九道拐附近公路处、红岩林场管理处附近单体建筑物、如意坝附近的山体滑坡、海子口村附近 S301 道路进行了低空倾斜航拍,航

拍区域涉及烈度Ⅸ、Ⅷ度区,航拍类型包括建筑物、道路、滑坡。数据获取后第一时间进行处理,于当天抗震救灾现场指挥部召开会议前提交,为烈度图绘制等提供了及时有力的信息。

本文依据《建(构)筑物地震破坏等级划分》(GB/T 24335-2009)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2009)、《中国地震烈度表》(GB/T 17742-2008)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2008)及《地震现场工作:调查规范》(GB/T 18208.3-2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2011)中的相关规定对调查点区域进行了烈度评估,下面分别进行详细描述。

表 1 九寨沟 7.0 级地震倾斜摄影航拍情况

飞行日期 (年-月-日)	飞行地点	原始航片 张数	分辨率 /cm
2017-08-10 上午	如意坝附近山体滑坡	77	10
2017-08-10 下午	九寨沟县九道拐公路处	411	2
2017-08-10 上午	海子口村附近 S301 道路	192	10
2017-08-11 下午	红岩林场管理处附近单体	64	2

3.1 建筑物破坏

由于汶川 8.0 级地震后,该地区建筑物设防等级较高,墙体出现裂缝及填充墙倒塌的建筑物较多。建筑物裂缝会降低结构承载力,使居民居住存在安全隐患,同时承重墙、柱等构件是否出现裂缝以及裂缝大小,也是烈度评定的重要指标。因此,无人机倾斜摄影技术的快速、多角度的灾害调查优势就凸显出来。此次九寨沟地震应急中,建筑物的倾斜航拍点包括漳扎镇九道拐公路处、红岩林场管理处附近建筑物。

由九道拐公路处的三维模型(图 3(a))可见,该处共有 3 栋建筑,其中,1 栋建筑已经完全毁坏,门墙发生倒塌,另外 2 栋建筑屋脊有梭瓦现象,从侧视角度还可见窗户下墙体均出现裂缝(图 3(b)),故判定该区域属于Ⅷ度区。

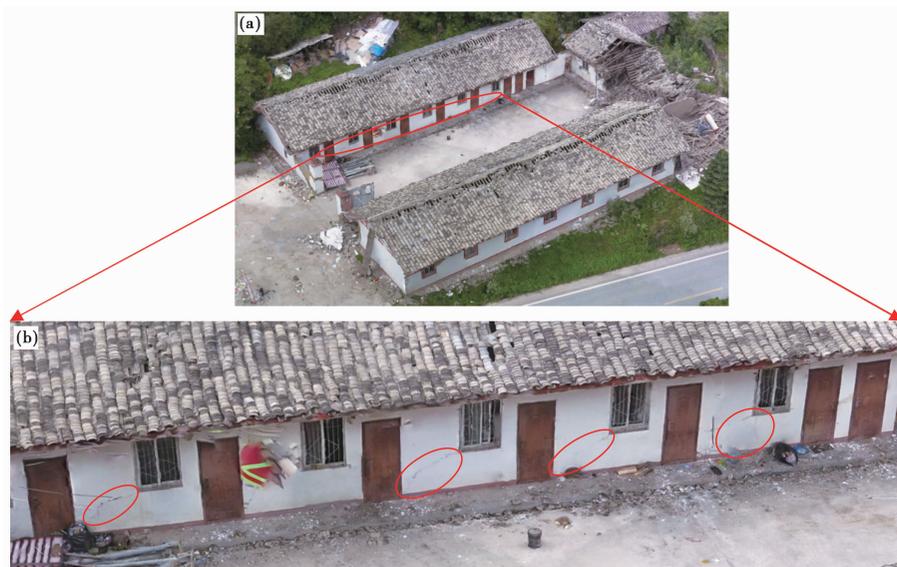


图 3 漳扎镇九道拐公路处三维模型

图4(a)~4(c)分别为红岩林场附近单体建筑不同角度的三维展示图。由图4可见,该建筑物顶部形状完整,无裂缝等破坏,从侧面可以观察到该建筑墙体出现斜向和“X”形剪切破裂,属毁坏级别。从正射影像上此类建筑极易判读为未倒塌或基本完好,进而造成震害评估不准确。图4(d)为裂缝宽度测量,从测量结果来看,该裂缝宽度约为3.8cm,已无修复可能,故判定该区域属于Ⅷ度区。



图4 红岩林场附近单体建筑三维模型

3.2 道路破坏

道路破坏也是烈度评定的一项重要指标,使用倾斜摄影技术可以实现道路塌陷、垂直错动和水平破裂等距离的量算。通过测量的破坏距离值可对该地区的道路破坏程度有定量的了解,这对于烈度评估具有重大的参考价值。

图5为S301省道海子口附近道路破坏量算图。由图5可见,该段道路最大垂直塌陷约为1.5m,最大水平破裂长度约为15m,通行能力受到严重影响。依据林均岐等(2013)对路基破坏等级的划分标准,判定该道路属于严重破坏。结合该区其他震害判断,该区属于Ⅸ度区。

3.3 滑坡灾害

滑坡灾害不仅对自然生态造成严重破坏,同时还会对道路造成堵塞、破坏,对行车、建筑及生命财产等造成重大威胁。九寨沟7.0级地震引发的滑坡灾害总数较多,其中,最大的滑坡体位于如意坝附近,通过倾斜航拍建立的三维模型进行量算,该滑坡体落石体积约为 250000m^3 ,滑坡面积约为 27000m^2 ,通过量测数值可知,该滑坡体属于大型滑坡,对判定该区属于Ⅸ度区提供了帮助。

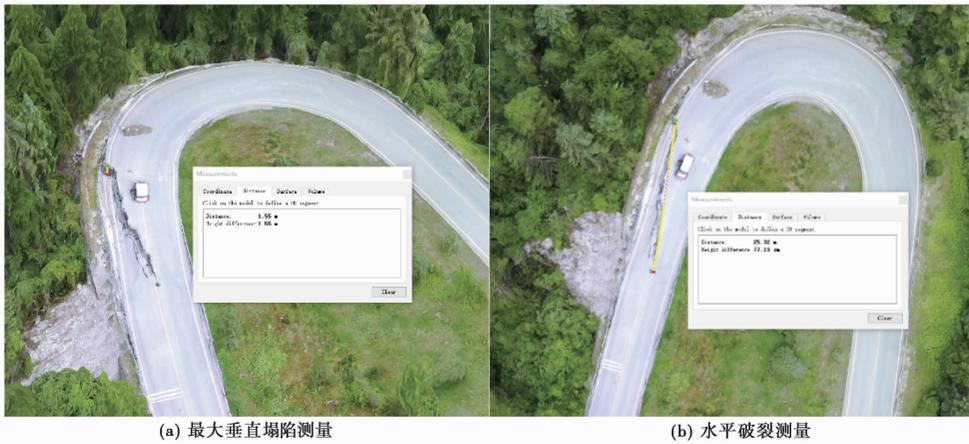


图 5 S301 省道海子口附近道路破坏量算图

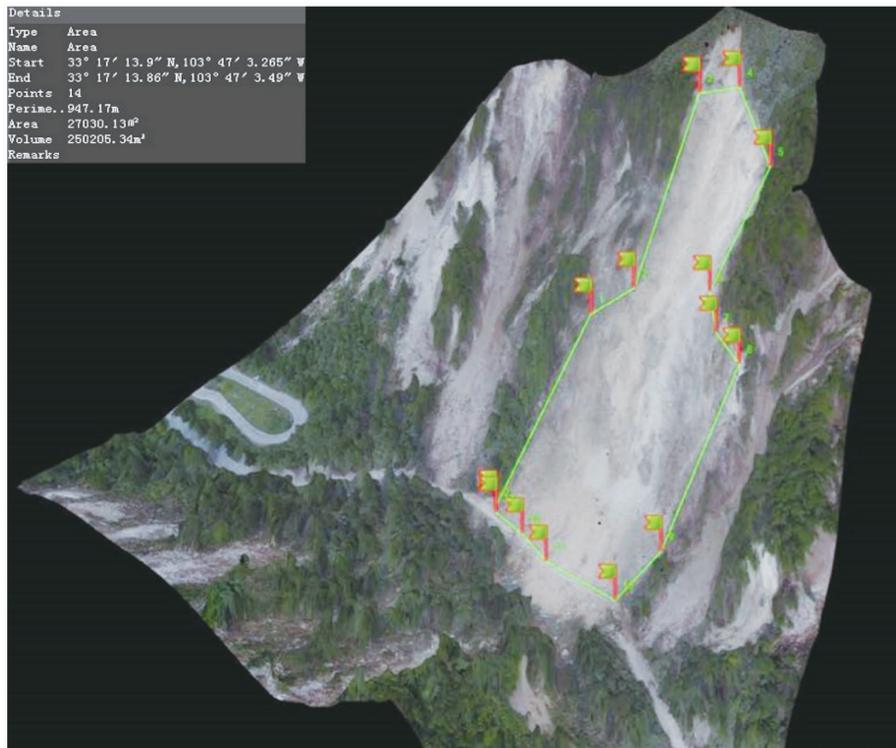


图 6 如意坝附近山体滑坡三维模型

4 结论与讨论

本文通过阐述无人机倾斜摄影技术的组成及全自动快速建模流程,说明了该技术可多角度获取灾害信息的优势,同时处理生成三维模型,实现了对建筑物及地质灾害的真实场景再现,使得灾害信息的表达、传递更加直观。另外,通过软件量测工具可得到建筑物破坏、道

路破坏、滑坡等的长度、宽度及体积等信息,在九寨沟地震中提升了烈度评估、灾害调查等工作的效率及准确性,对于地震应急工作具有重大应用意义。

使用无人机倾斜摄影技术虽然实现了快速、大范围、多角度的建筑物、道路、滑坡等灾情信息的获取,但是在灾区的特殊环境下,对于大面积的倾斜摄影影像数据的实时处理依然是一个难题。另外,基于倾斜摄影三维建模技术生成的研究区三维模型对于建筑物内部的结构破坏难以观察,影响了对部分建筑物震害的提取,难以达到地面调查的精度,今后应发展获取建筑物内部影像的新方法。

参考文献

- 崔红霞、林宗坚、孙杰,2005,无人机遥感监测系统研究,测绘通报,5,1~14。
- 黄敏儿、胡翰、杜志强等,2014,设计与开发大规模倾斜影像数据管理工具,地理信息世界,21(5),51~55。
- 江明明,2017,基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模,测绘与空间地理信息,40(3),189~190。
- 李德仁、王长委、胡月明等,2012,遥感技术估算森林生物量的研究进展,武汉大学学报(信息科学版),37(6),631~635。
- 李金香、李亚芳、李帅等,2017,无人机遥感技术在新疆皮山地震灾情获取中的应用,震灾防御技术,12(3),690~699。
- 李颀,2016,基于倾斜摄影技术在农村房屋权籍调查测量中的应用,测绘与空间地理信息,39(6),182~183。
- 李玮玮,2016,基于倾斜摄影三维影像的建筑物震害提取研究,硕士学位论文,北京:中国地震局地震预测研究所。
- 林均岐、李杰、刘金龙等,2013,公路系统地震破坏等级划分研究,世界地震工程,29(1),15~20。
- 史占军、于志忠、郭志强,2011,无人机摄影测量在1:2000地形图的应用,吉林地质,30(3),133~136。
- 帅向华,2017,云南鲁甸6.5级地震倾斜摄影震害图集,北京:地震出版社。
- 孙宏伟,2014,基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模,现代测绘,37(1),18~20。
- 田野、向宇、高峰等,2013,利用Pictometry倾斜摄影技术进行全自动快速三维实景城市生产——以常州市三维实景城市生产为例,测绘通报,2,59~62。
- 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,地球物理学报,58(1),163~171。
- 薛永安、王晓丽、张明媚,2013,无人机航摄系统快速测绘矿区大比例尺地形图,测绘地理信息,38(2),46~48。
- 晏磊、吕书强、赵红颖等,2004,无人机航空遥感系统关键技术研究,武汉大学学报(工学版),37(6),67~70。
- 杨国东、王民水,2016,倾斜摄影测量技术应用及展望,测绘与空间地理信息,39(1),13~15。
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2008,中国地震烈度表(GB/T 17742-2008),北京:中国标准出版社。
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2009,建(构)筑物地震破坏等级划分(GB/T 24335-2009),北京:中国标准出版社。
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2011,地震现场工作:调查规范(GB/T 18208.3-2011),北京:中国标准出版社。
- Höhle J,2008,Photogrammetric measurements in oblique aerial images,Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation,1,7~14。
- Jahanshahi M R,Masri S F,Padgett C W,et al,2013,An innovative methodology for detection and quantification of cracks through incorporation of depth perception,Machine Vision and Applications,24(2),227~241。
- Keemink A Q L,Fumagalli M,Stramigioli S,et al,2012,Mechanical design of a manipulation system for unmanned aerial vehicles,2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA),3147~3152。
- Petrie G,2009,Systematic oblique aerial photography using multiple digital cameras,Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,2,102~107。

The application of oblique photography technology in seismic intensity assessment—Taking the Jiuzhaigou $M_s7.0$ earthquake as an example

*Xu Jianhua*¹⁾ *Zhang Xuehua*¹⁾ *Wang Xiaoqing*²⁾ *Du Xiaoxia*¹⁾ *Yuan Xiaoxiang*²⁾

1) National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China

2) Institute of earthquake forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

Abstract This paper illustrates the application of UAV oblique photography in seismic intensity assessment by describing the relevant principles in the case of the Jiuzhaigou $M_s7.0$ earthquake. The results proved UAV oblique photography can not only show the earthquake damage information intuitively and comprehensively, but also measure cracks, landslides and other geometric information, and all of these provide more accurate information for the intensity evaluation.

Key words: UAV remote sensing; Oblique photography technology; Seismic intensity assessment; The Jiuzhaigou $M_s7.0$ earthquake