

李金香、常想德、赵朔等,2018,新疆塔什库尔干塔吉克自治县地震极灾区地震烈度遥感快速评估研究,中国地震,34(3), 513~524.

新疆塔什库尔干塔吉克自治县地震极灾区 地震烈度遥感快速评估研究

李金香 常想德 赵朔 李亚芳 郭寅

新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街338号 830011

摘要 2017年5月11日,新疆维吾尔自治区喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县发生 $M_s5.5$ 地震。为快速了解灾区灾情,本文基于无人机遥感技术获取的地震极灾区高分辨率影像数据,结合地震现场震害调查进行建筑物震害遥感解译,采用地震烈度遥感定量评估方法,进行极灾区地震烈度遥感评估。结果表明:灾区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,安居富民房屋无一倒塌,遥感评估的塔县地震极灾区地震烈度为Ⅷ~Ⅸ度,比中国地震局公布的地震烈度略高,今后需根据新疆实际情况修正模型,为新疆地震烈度遥感快速评估工作服务。

关键词: 塔县地震 无人机 地震烈度 遥感评估 建筑物震害

[文章编号] 1001-4683(2018)03-0513-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

新疆是我国大陆主要的强震活动区,面积约占全国国土总面积的六分之一,而地震活动远远高于这个比例。新疆也是我国地震灾害损失最为严重的地区之一,地震给当地人民带来了巨大的人员伤亡和经济损失,同时也严重扰乱了人们的生产、生活秩序。随着社会经济的发展,地震造成的经济损失和人员伤亡都呈上升趋势,且地震诱发的崩塌、滑坡等地质灾害易造成道路、河流阻断,给应急救援工作带来了严重影响(李爱农等,2013)。面积大、灾害重,使得应急救援工作难度提升。为提高救援效率,可引进高科技手段进行震害快速评估,为应急救援顺利进行提供决策依据。

目前,震害信息的获取主要依靠地震现场调查,通过该方法获得的数据精度和置信度均较高,然而具有工作量大、效率低、费用高和信息表达不直观等不足(柳稼航等,2004)。遥感技术具有获取信息快、信息量大、手段多等优势,为快速获取灾区震害信息提供了一种新的高效技术手段(魏成阶等,2008)。尤其是近年来随着遥感卫星影像分辨率的显著提高,遥感影像识别震害的能力也大大提高,遥感技术在震害信息提取中的应用越来越广泛(王龙等,

[收稿日期] 2017-10-17; [修定日期] 2018-07-31

[项目类别] 地震应急青年重点任务(CEA_EDEM-201511)、新疆地震科学基金项目(201510)、中国地震局工程力学研究所大中城市地震灾害情景构建重点专项(2017QJGJ02)共同资助

[作者简介] 李金香,女,1984年生,工程师,主要从事地震应急与遥感震害监测研究。E-mail:ljxhappy365@163.com

2007;陈文凯等,2010;王福涛等,2011)。如柳稼航(2003)利用遥感技术进行城市建筑震害的识别研究;赵福军等(2009)、曾涛等(2010)、王岩等(2009)等进行了面向对象的遥感震害信息提取研究;王丽涛等(2010)进行了青海玉树地震灾情遥感应急监测研究;王龙等(2007)基于遥感和GIS进行了建筑物震害损失评估方法研究。随着无人机遥感技术的快速发展,其机动、快速、灵活、使用成本低、操作简单等特点在震害信息获取方面更加突出,采用无人机遥感技术进行震害信息提取的专家学者越来越多(龚建华等,2008;徐志强等,2009;尹鹏飞等,2010)。

采用遥感技术进行震害信息获取主要是利用遥感影像进行震害程度的识别,其结果与地面调查的结果存在一定的差异,为使遥感解译结果与地面调查真实结果具有可比性,王晓青等提出了遥感震害定量化指标(王晓青等,2015;中国地震局地震预测研究所,2010;Wang et al,2012)^①,依照地震现场调查中地震烈度的评定思路,将“震害指数”的概念引入到遥感评估中,建立遥感综合震害指数与地面调查震害指数之间的定量关系,实现基于遥感的地震烈度评估,并在汶川、玉树和芦山等地震的一系列应急遥感评估中得到了应用。本次地震烈度遥感评估从快速产出角度出发,主要采用了震后快速获取的无人机遥感影像与震前Google影像的人机交互震害提取方法。通过地震现场调查结果与震后无人机遥感影像对比分析而建立的建筑物遥感解译特征,进行震害信息快速提取;采用基于“震害指数”的地震烈度遥感定量评估方法,快速确定极灾区地震烈度,并将遥感评估结果与地震现场调查结果进行对比分析,为地震应急提供决策支持。

1 塔什库尔干塔吉克自治县“5·11”地震极灾区及数据收集

2017年5月11日5时58分(北京时间),新疆维吾尔自治区喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县(以下简称塔县)(37.58°N,75.25°E)发生 M_s 5.5地震,震源深度8km,震中距塔县县城约24km。震中附近的喀什地区英吉沙县、阿克陶县、疏勒县、疏附县、喀什市有震感,地震造成塔县8人遇难、31人受伤。

地震灾区指地震发生后,遭受人员伤亡、经济损失的地区(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2008),本次地震灾区为塔县,其地质地貌情况为:灾区位于帕米尔高原塔什库尔干断陷谷地,谷地内发育有塔什库尔干河,震区附近谷地与两侧高差700~1200m,谷地总体走向近SN,宽数千米,呈狭长状,谷地两岸冰碛物堆积及冲洪积堆积发育,村庄沿河流阶地及山前冲洪积扇分布。地震极灾区指遭受地震灾害直接损失最严重的区域,不包括对社会经济无直接影响的地震地质灾害地区(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2012b)。本次地震震中位于新疆喀什地区塔县塔什库尔干乡,宏观震中位于塔什库尔干乡库孜滚村,本次地震的8名遇难者均出现在该村,库孜滚村为本次地震的极灾区。

在地震发生后,新疆维吾尔自治区地震局即刻组织无人机应急小组对地震极灾区进行航拍,以最快的速度完成了宏观震中喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县塔什库尔干乡库孜滚村的遥感影像数据采集工作,获取了极灾区海量高分辨率遥感影像数据。图1为塔县地震极灾区无人机影像镶嵌图。本次应急赈灾采用的无人机为INSPIRE1电动无人机,具体参

^① 王晓青、丁香、窦爱霞,2004,伽师地震遥感震害定量关系研究(内部资料)

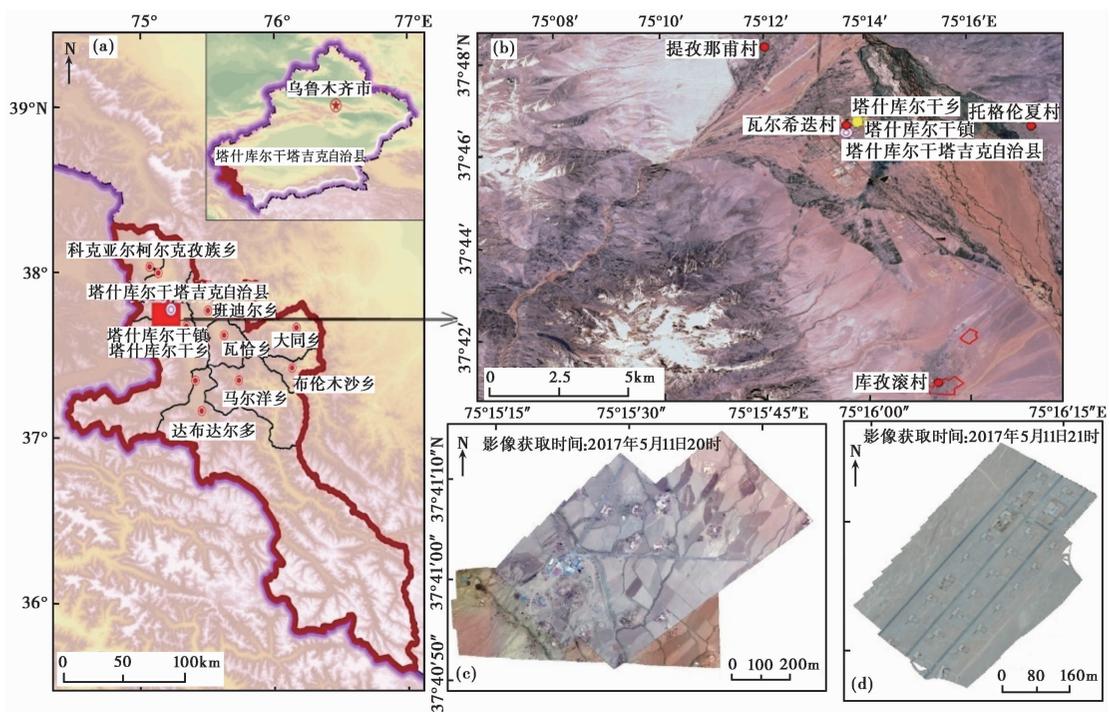


图 1 塔县地震极灾区无人机影像镶嵌图

(a)塔县位置示意图;(b)无人机影像位置图及无人机作业区域;

(c)库孜滚村村委会附近无人机影像镶嵌图;(d)库孜滚村安居富民房区域无人机影像镶嵌图

数为:有效载荷 3.5kg,最大俯仰角 35°,最长飞行时间 18.5min,配备 20mm 广角相机 Sony Exmor R CMOS 以及高精度防抖云台,工作环境温度-10~40℃。同时,派遣专业技术人员对灾区进行地震现场调查,收集地震灾情信息,为灾区灾情评估、救援和灾后重建工作提供了科学决策依据。

2 遥感震害定量化模型

目前,地震现场调查常采用震害指数来表征震害程度。震害指数是将房屋震害程度用数字来表示,通常以“1.00”表示全部倒塌,以“0”表示完好无损,中间按需要划分若干震害等级,用 0~1.00 之间的适当的数字来表示(胡聿贤,1988)。平均震害指数是指一个建筑物群或一定地区范围内所有建筑的震害指数的平均值,即为各级震害的建筑物所占的比率与其相应的震害指数的乘积之和(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2009)。

在同一地震烈度下,不同结构类型建筑物的震害程度是不同的,可表示为与结构相关的震害指数。某一调查点结构类型 i 的平均震害指数由下式计算

$$\bar{d}_i = \frac{\sum d_{ij}n_{ij}}{\sum n_{ij}} \quad (1)$$

式中, d_{ij} 表示 i 类房屋破坏等级为 $j(j=1,2,3,4,5)$ 的震害指数, n_{ij} 表示 i 类房屋破坏等级为 j 的房屋幢数或建筑面积。

在同一地震烈度下,不同结构类型建筑物抗震能力存在显著的差别。为了能够定量地确定某一地点的震害程度,通常选用砖混结构建筑物的平均震害指数作为标准(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2012a),建立其他结构类型建筑物*i*的平均震害指数 \bar{d}_i 与砖混结构建筑物的平均震害指数 \bar{d}_b 的经验统计关系,即将第*i*类房屋折合为等效的砖混结构平均震害指数 \bar{d}_{bi} 。这样,就可得到该地点的综合震害指数 D_i^c ,即

$$D_i^c = \frac{\sum \bar{d}_{bi} N_i}{N} \quad (2)$$

式中, N_i 为第*i*类房屋的幢数或建筑面积; N 为全部统计的房屋的幢数或建筑面积。

综合震害指数建立以后,通过综合震害指数与地震烈度的对应关系,就可以定量地确定该地点的地震烈度。

按照地震现场调查确定震害指数的思路,进行建筑物震害遥感解译,并进行震害指数的计算。不同的是,遥感影像受拍摄视角、图像空间分辨率等因素影响,在进行单体建筑物震害程度遥感解译时,通常分为3个破坏等级,即倒塌、局部倒塌、未倒塌。依照地面综合震害指数的计算方法,王晓青等(2009)定义了遥感综合震害指数,作为遥感震害定量化指标

$$D_i^{RS} = \frac{\sum \bar{d}_{bi}^{RS} N_i^{RS}}{N^{RS}} \quad (3)$$

式中, \bar{d}_{bi}^{RS} 为折合为等效的砖混结构的第*i*类房屋的遥感平均震害指数; N_i^{RS} 为第*i*类房屋的遥感判读幢数; N^{RS} 为全部遥感判读的房屋的幢数。与地面震害指数相对应,遥感震害指数取值范围也是[0,1]。

目前,在地震灾害损失评估中,基于震害指数评定地震烈度的方法应用广泛,而震害指数是在地震现场科学考察的基础上获得的,遥感解译的震害信息与地面调查结果略有差异,只能在一定程度上反应实际震害。为获得更加准确的地面震害信息,很多专家学者研究了遥感震害指数与地面实际震害指数的关系,并建立两者之间的定量转换模型,将遥感震害指数转换为等效的地面震害指数,实现震害指数的遥感评估。典型的定量转换模型主要有(窦爱霞等,2012;王晓青等,2013):

多项式拟合的定量关系公式

$$D_i^c = -0.405 (D_i^{RS})^2 + 1.092 D_i^{RS} + 0.306 \quad (4)$$

线性拟合的定量关系公式

$$D_i^c = 0.687 D_i^{RS} + 0.339 \quad (5)$$

根据获得的等效地面综合震害指数,依据中国地震烈度表中综合震害指数与地震烈度的对应关系,得到灾区地震烈度。

3 地震现场震害调查及遥感震害提取

3.1 地震现场震害调查

塔县5.5级地震发生后,新疆维吾尔自治区地震局地震现场工作组第一时间赶到灾区,对灾区建筑物震害、地表破裂、地震次生地质灾害进行了现场调查,获得了大量的第一手野外资料。根据地震现场调查发现,灾区建筑物类型主要有土石木结构、砖木结构、砖混结构



图 2 塔县地震极灾区典型建筑物结构类型
(a) 土石木结构; (b) 砖木结构; (c) 砖混结构; (d) 框架结构

及框架结构(图 2)。

土石木结构房屋按照承重墙体可分成两类,其中一类主要分布在山前洪积扇倾斜平原地带,多为当地居民就地取材而建,屋顶结构为先搭建房梁,然后在其上搁置短木条作为椽子,再在椽子上铺设草席后覆盖房泥,部分老旧房屋屋顶房泥较厚,墙体由卵石、粉土砌筑而成,粘结强度极差,加之施工质量和场地条件的影响,造成一定数量的房屋遭到毁坏或大面积破坏,是导致本次地震造成人员伤亡的主要原因;另一类主要分布在塔什库尔干河两岸阶地上,此类房屋多为土坯砌筑而成,由于该地区经济落后,交通极为不便,房屋建造成本高,存在大量 2000 年左右建筑的土石木房屋。地震中第一类房屋大面积倒塌,房屋倒塌基本为整体性倾覆,第二类土坯房倒塌相对略少,多为局部倒塌,两种房屋破坏量大且不具抗震性能,均列为土石木结构房屋。砖木结构房屋为近年新建居住用房,抗震能力好。老旧砖木房屋未经抗震设防,多为粉土砌筑,木质屋盖,且房屋普遍较高,开间较大,纵横墙体间无拉接、砌筑质量较差。此次地震中老旧砖木房屋无整体倒塌,未造成人员伤亡。砖混结构房屋主要为公用房屋及新建的安居富民房屋,其抗震能力较好,无整体倒塌。框架结构多为 2010 年后新建办公用房,抗震能力好,未产生结构性破坏,框架房屋的吊顶震落普遍,存在坠落伤人的安全隐患。

3.2 遥感震害提取

根据地震现场调查情况建立各类型建筑物解译特征,如图 2 所示:土石木结构建筑物大多开间较小,屋顶以房泥覆盖为主,边缘不十分规则;砖木结构建筑开间较土石木结构略大,屋顶边缘规则,可见外延木质房梁;砖混结构建筑开间与砖木结构建筑类似,屋顶边缘规则,无外延木质房梁,屋顶多以混凝土覆盖为主;框架结构建筑开间较大,屋顶以混凝土覆盖,边

缘规则,在灾区分布数量较少,多结合地震现场调查资料确定。对处理后的无人机遥感数据采用目视解译方法进行房屋结构类型识别,识别的房屋结构类型主要有土石木结构、砖木结构、砖混结构及框架结构。处理后的无人机遥感数据空间分辨率为0.05m,可用于灾区房屋结构类型的高精度遥感解译,具体的遥感解译结果如图3所示。图3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;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,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。

地震现场房屋震害调查时,将房屋破坏程度按《GB/T18208.3-2011 地震现场工作第3部分:调查规范》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2012a)划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏5个等级进行评定。然而在进行遥感震害提取时,受遥感图像拍摄视角、空间分辨率等因素的影响,单体建筑物遥感解译的震害程度通常分为3个破

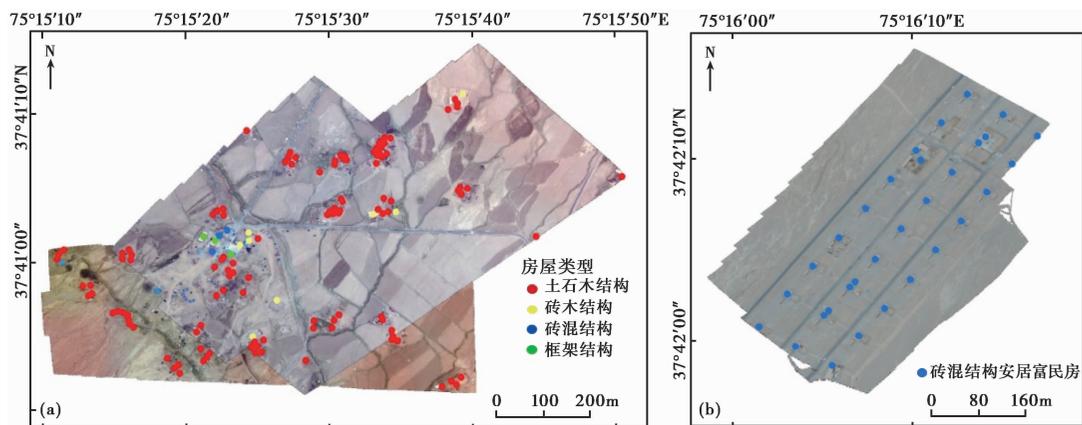


图3 塔县地震极灾区建筑物结构类型分布

(a) 影像获取时间:2017年5月11日20时;(b) 影像获取时间:2017年5月11日21时

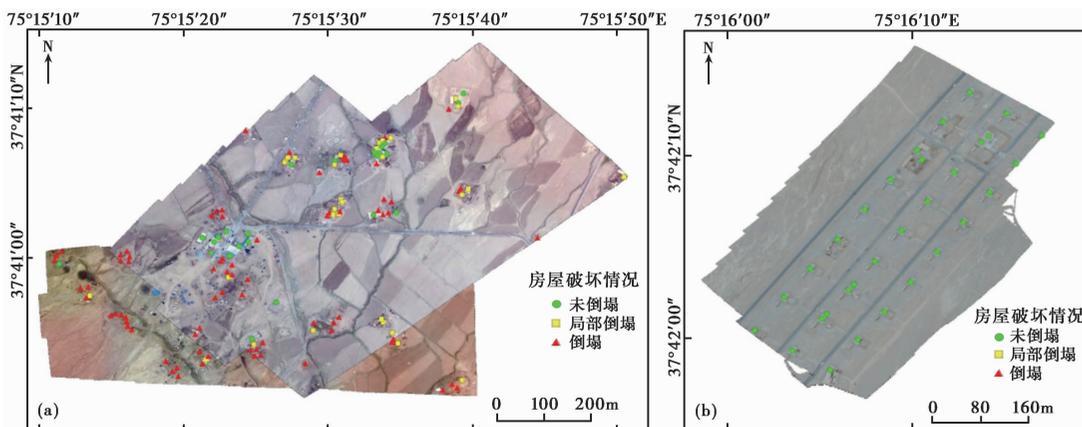


图4 塔县地震极灾区遥感解译建筑物破坏情况分布

(a) 影像获取时间:2017年5月11日20时;(b) 影像获取时间:2017年5月11日21时

坏等级,即倒塌、局部倒塌、未倒塌,其中,倒塌对应地震现场调查规范中的毁坏(倒塌),局部倒塌对应地震现场调查规范中的毁坏(未倒塌),未倒塌对应地震现场调查规范中的其他类型。因此在进行遥感震害指数计算时,公式(1)中房屋破坏等级 j 的取值为1、2、3。结合地震现场调查的房屋破坏特征,对处理过的无人机遥感数据进行目视解译,获取极灾区房屋建筑破坏情况,具体解译结果如图4所示。图4中红色三角为倒塌建筑,该类建筑在图中分布广泛,具有连片倒塌现象,由于建筑物连片倒塌后很难分清其原始位置,因此,在解译倒塌建筑时,结合了Google地图震前影像进行辨别;黄色方框为局部倒塌建筑,绿色圆形为未倒塌建筑,结合地震现场调查可知,未倒塌建筑以砖混、框架结构居多,建筑抗震性能好,在地震中未受损害,遥感特征表现为未倒塌。

选择43个现场调查点结果与遥感解译结果进行验证。因无人机影像分辨率较高,遥感解译结果与现场调查结果基本一致,43个点中只有2个点的遥感解译结果与现场调查存在差异,遥感识别准确率为95.35%,差异主要是将2个框架结构建筑物遥感解译为砖混结构,需要进行后期数据修正。总之,遥感识别的总体精度与可信度较高。

遥感解译结果的地震现场调查验证方法如图5所示:图5(a)为无人机影像,地震现场调查采用GPS定点、照片取证以及填写现场调查结果表的方式进行;图5(b)、5(c)分别为无人机影像中对应房屋调查点的GPS定位结果及其现场调查照片,该建筑为土石木结构建筑,遥感解译为局部倒塌,现场调查结果毁坏(未倒塌),解译结果与现场调查一致;图5(d)、5(e)分别为无人机影像中另一房屋调查点的GPS定位结果及其现场调查照片,该建筑为土石木结构建筑,遥感解译为倒塌,现场调查结果毁坏(倒塌),解译结果与现场调查一致。

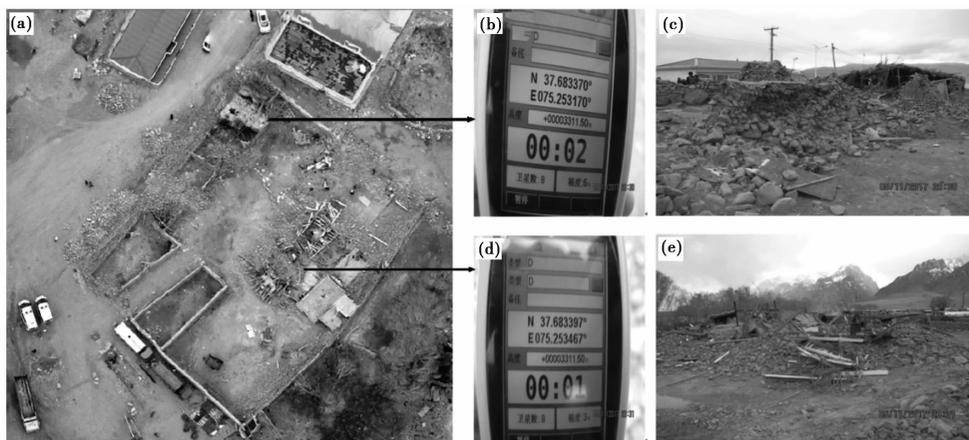


图5 无人机影像与现场调查对比图

(a)无人机影像;(b)无人机影像中对应房屋调查点的GPS定位结果;(c)无人机影像中对应房屋现场调查照片;
(d)为无人机影像中另一房屋调查点的GPS定位结果;(e)无人机影像中另一房屋现场调查照片

4 极灾区地震烈度遥感快速评估

根据无人机遥感数据结合地震现场调查情况,采用目视解译方法获得了极灾区建筑物

结构类型及破坏程度信息,完成极灾区建筑物遥感震害提取,根据提取结果,进行空间统计分析,并计算极灾区建筑物综合震害指数,结合地震烈度表,快速确定极灾区地震烈度,完成极灾区地震烈度遥感快速评估。

采用统计分析方法得出各类型建筑物破坏程度遥感解译结果,如表1所示,表1中将安居富民房区域的房屋进行了单独统计,该类房屋在建设时统一规划,开辟单独区域进行单类结构类型房屋集中建设,房屋质量好,抗震性能高,在本次地震中没有出现倒塌和局部倒塌现象。表1中数据为各类型房屋建筑不同破坏程度的数量。

表1 各类型建筑物破坏程度遥感解译结果(单位:幢)

结构类型	倒塌	局部倒塌	未倒塌
土石木结构	77	30	9
砖木结构	0	0	8
砖混结构	0	0	4
框架结构	0	0	3
安居富民房	0	0	31

《GB/T 17742-2008 中国地震烈度表》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2009)将5个等级的震害指数分别定义为:基本完好的震害指数范围为 $0.00 \leq d < 0.10$;轻微破坏的震害指数范围为 $0.10 \leq d < 0.30$;中等破坏的震害指数范围为 $0.30 \leq d < 0.55$;严重破坏的震害指数范围为 $0.55 \leq d < 0.85$;毁坏的震害指数范围为 $0.85 \leq d \leq 1.00$ (中华人民共和国国家标准,2009)。根据建筑物震害遥感定量评估方法及前人应用经验,本文将遥感解译的建筑物单体震害指数分别取值为:倒塌1.0;局部倒塌0.5;未倒塌0(窠爱霞等,2012;王晓青等,2013)。根据表1,结合式(1)计算各类型房屋建筑的遥感平均震害指数,计算得到各类型房屋建筑遥感平均震害指数,土石木结构为0.79,砖木、砖混、框架及安居富民房结构为0。

在实际应用中,地震烈度的评定通常由砖混结构的震害指数决定,故而将土石木结构房屋建筑平均震害指数折合为等效的砖混结构房屋平均震害指数,由于砖木、砖混、框架及安居富民房结构房屋建筑平均震害指数均为0,此处无需折算。本文收集了新疆维吾尔自治区自1993年以来具有地震现场调查数据的震害资料,获取其地震现场工作报告中烈度为Ⅶ度区的建筑物破坏比数据^②(表2、3),对土木(土石木)结构房屋建筑与砖混结构房屋建筑平均震害指数关系进行计算,将5个等级的震害指数分别取值为基本完好(0.05)、轻微破坏(0.2)、中等破坏(0.4)、严重破坏(0.7)和毁坏(1.0),对真实地震地面平均震害指数进行计算,获取8个真实地震中土木结构和砖混结构地面平均震害指数的关系,具体结果如图6所示。

根据图6中真实地震土木结构和砖混结构平均震害指数的关系,将本次地震土石木结构平均震害指数折合为等效的砖混结构平均震害指数,计算结果为0.36。采用式(3),计算本次地震极灾区遥感综合震害指数,计算结果为0.26,由于遥感震害评估的局限性,其结果不能完全代表地面真实震害情况,为获得更加准确的地面实际震害指数,采用前人已经建立的定量转换公式,即式(4)、(5)进行计算,由式(4)计算的等效地面震害指数为0.56,式(5)计算的等效地面震害指数为0.52。本文采用的无人机影像分辨率较高,影像震害信息识别结果比较接近实际地面调查结果,因此遥感综合震害指数0.26比较接近实际,由于遥感影像解译无法识别建筑物内部破坏情况,因此实际震害指数应比0.26略高。式(4)、(5)是根据

^②新疆维吾尔自治区地震局科研专项,2013,未来十年新疆潜在地震危险区地震灾害损失预测白皮书(内部资料)

表 2 新疆历史地震砖混结构建筑物破坏比 (%)

地震名称	结构类型	毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
1993年10月2日若羌6.6级地震	砖混结构	0.00	0.00	6.89	12.82	80.29
1996年3月19日伽师-阿图什6.9级地震	砖混结构	14.70	16.30	36.70	16.00	16.30
1997年1月21日伽师6.4、6.3级地震	砖混结构	0.00	25.00	23.00	33.00	19.00
2003年2月24日巴楚-伽师6.8级地震	砖混结构	0.50	12.00	27.50	34.50	25.50
2008年10月5日乌恰6.8级地震	砖混结构	0.00	8.72	37.81	43.21	10.26
2011年11月1日尼勒克、巩留交界6.0地震	砖混结构	0.00	0.00	8.00	23.00	69.00
2012年6月30日新疆-和静6.6级地震	砖混结构	0.00	0.40	4.20	40.30	55.10

表 3 新疆历史地震土木结构建筑物破坏比 (%)

地震名称	结构类型	毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
1993年10月2日若羌6.6级地震	土木结构	0.02	1.04	3.40	11.38	84.16
1996年3月19日伽师-阿图什6.9级地震	土木结构	16.70	38.60	25.40	2.30	17.00
1997年1月21日伽师6.4、6.3级地震	土木结构	2.81	16.23	61.50	16.70	2.76
2003年2月24日巴楚-伽师6.8级地震	土木结构	42.76	27.20	17.48	11.01	1.55
2008年10月5日乌恰6.8级地震	土木结构	6.73	17.39	43.63	19.07	13.18
2011年11月1日尼勒克、巩留交界6.0地震	土木结构	5.00	23.00	38.00	30.00	4.00
2012年6月30日新疆-和静6.6级地震	土木结构	1.50	5.50	17.30	34.30	41.40

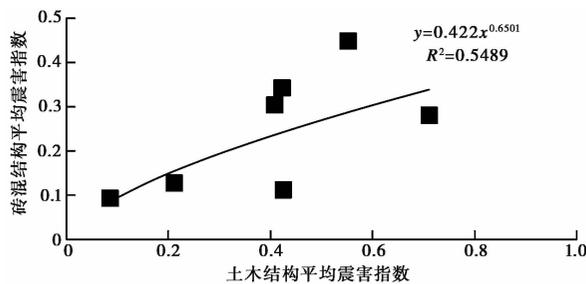


图 6 土木结构和砖混结构平均震害指数的关系图

玉树地震震害信息模拟获得,采用的遥感影像分辨率较本文无人机影像分辨率低,因此实际震害指数应比采用式(4)、(5)计算的结果低。故而本区域震害指数为0.26~0.56,更接近0.26。对应《GB/T 17742-2008 中国地震烈度表》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2009)中的地震烈度为Ⅷ~Ⅸ度,更接近于Ⅷ度。实际地震现场调查该区域地震烈度为Ⅷ度异常点,塔县地震烈度分布图^③中该区域地震烈度为Ⅶ度。本文计算的遥感烈度评估结果与实际调查结果较为接近,然而经过定量转换模型计算的结果比实际调查结果偏高。由于模型是根据玉树地震震害信息模拟获得,且玉树地震影像分辨率较低,而新疆地震地质情况、建筑物材料及抗震情况、影像分辨率等均与玉树存在差别,因此模型的适用性受到局

③ <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/468/553/102562/102564/20170513144218567209462/index.html>

限。今后需根据新疆的遥感震害信息和地面调查震害信息,修正定量转换模型,为新疆地震烈度遥感快速评估服务。

5 结论

本文利用无人机遥感数据结合地震现场调查信息,对塔县地震极灾区库孜滚村的建筑物震害信息进行提取,并计算极灾区不同结构类型房屋的遥感震害指数,结合新疆历史地震震害资料确定了极灾区遥感综合震害指数,根据遥感综合震害指数与地震烈度关系模型,确定了塔县地震极灾区地震烈度。结果表明:

(1)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解译,极灾区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%,占区域所有房屋总数的81.7%,极灾区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,是此次地震小震巨灾的主要原因。

(2)采用上述遥感估计方法确定了塔县地震极灾区的地震烈度为Ⅷ~Ⅸ度,计算的结果比地震现场调查的结果偏高,主要原因为采用的遥感综合震害指数和地面真实震害指数的定量转换模型是根据玉树地震震害信息模拟获得,而新疆地震地质情况、建筑物材料及抗震情况等均与玉树存在差别,因此模型的适用性受到局限。今后需根据新疆的遥感震害信息和地面调查震害信息,修正定量转换模型,为新疆地震烈度遥感快速评估服务。

(3)限于遥感技术的宏观、间接性,遥感震害信息提取结果并不能完全取代地震现场调查结果,二者之间仍存在一些差异,地震烈度评定的最终结果仍然要依据地震现场实地调查资料产生。遥感震害信息提取结果只能对极灾区的地震烈度做宏观判断,可以为地震应急救援提供及时的依据;同时,只有将地震现场震害调查和遥感快速评估有效结合,才能使地震烈度评定的速度和精度都得到进一步提高。

总的来看,无人机遥感技术提高了获取地震灾情信息的能力。在震害严重、救灾任务紧的时候,借助无人机快速采集极灾区灾情信息,可以获得灾区客观的灾情数据。在现场灾情信息采集受到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,同时通过定量研究并依据遥感资料,可在一定程度上确定灾区地震的烈度分布,为地震应急救援提供决策依据,提高地震应急救援的时效性。

致谢: 在新疆塔县地震极灾区地震烈度遥感快速评估过程中,新疆维吾尔自治区地震局防御自然灾害研究所提供了无人机遥感数据支持,中国地震局地震预测研究所王晓青研究员、窦爱霞副研究员给出了宝贵的建议,审稿专家给出重要修改意见,在此一并致谢。

参考文献

- 陈文凯、何少林、周中红,2010,基于多源数据的震害快速评估方法探讨,西北地震学报,32(1),76~81.
- 窦爱霞、王晓青、丁香等,2012,遥感震害快速定量评估方法及其在玉树地震中的应用,灾害学,27(3),75~80.
- 龚建华、赵志明,2008,四川汶川地震应急无人机遥感信息获取与应用,城市发展研究,15(3),31~32,42.
- 胡聿贤,1988,地震工程学,92,北京:地震出版社.
- 李爱农、张正健、雷光斌等,2013,四川芦山“4·20”强烈地震核心区灾损遥感快速调查与评估,自然灾害学报,22(6),8~

- 18.
- 柳稼航,2003,利用遥感技术进行城市建筑物震害的自动识别与分类方法研究,硕士学位论文,北京:中国地震局地质研究所.
- 柳稼航、杨建峰、魏成阶等,2004,震害信息遥感获取技术历史、现状和趋势,自然灾害学报,13(5),46~52.
- 王福涛、王世新、周艺等,2011,多光谱遥感在重大自然灾害评估中的应用与展望,光谱学与光谱分析,31(3),577~582.
- 王丽涛、王世新、周艺等,2010,青海玉树地震灾情遥感应急监测分析,遥感学报,14(5),1053~1066.
- 王龙、王晓青、丁香等,2007,基于遥感和GIS的建筑物震害损失评估方法研究与实现,地震,27(4),77~83.
- 王晓青、窦爱霞、孙国清等,2013,基于综合震害指数的玉树地震烈度遥感评估研究,地震,33(2),1~10.
- 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.
- 王晓青、王龙、章熙海等,2009,汶川8.0级地震震害遥感定量化初步研究——以都江堰城区破坏为例,地震,29(1),174~181.
- 王岩、王晓青、窦爱霞,2009,面向对象遥感分类方法在汶川地震震害提取中的应用,地震,29(3),54~60.
- 魏成阶、刘亚岚、王世新等,2008,四川汶川大地震震害遥感调查与评估,遥感学报,12(5),673~682.
- 徐志强、杨建思、姜旭东等,2009,无人机快速获取地震灾情的应用探索,地震地磁观测与研究,30(5),66~70.
- 尹鹏飞、尹球、陈兴峰等,2010,无人机航空遥感技术在震后灾情调查中的应用,激光与光电子学进展,47(11),112802.
- 曾涛、杨武年、黎小东等,2010,面向对象的高空间分辨率遥感影像信息提取——汶川地震城市震害房屋案例研究,自然灾害学报,19(5),81~87.
- 赵福军、张磊,2009,面向对象的遥感震害信息提取方法——以汶川地震为例,地震,29(增刊),130~138.
- 中国地震局地震预测研究所,2010,汶川地震建筑物震害遥感解译图集,204,北京:地震出版社.
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2008,GB/T 18207.1-2008 防震减灾术语 第1部分:基本术语,北京:中国标准出版社.
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2009,GB/T 17742-2008 中国地震烈度表,北京:中国标准出版社.
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2012a,GB/T 18208.3-2011 地震现场工作 第3部分:调查规范,北京:中国标准出版社.
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2012b,GB/T 18208.4-2011 地震现场工作 第4部分:灾害直接损失评估,北京:中国标准出版社.
- Wang X Q, Dou A X, Jin D J, et al, 2012, Study on the comparison of building damage extracted from different RS images acquired after 2010 $M=7.1$ Yushu, Qinghai, China earthquake, In: 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, Germany: IEEE, 935~938.

Rapid Assessment of Seismic Intensity from Remote Sensing Images in the Extreme Earthquake Disaster Area of Taxkorgan Tajik Autonomous County, Xinjiang

Li Jinxiang Chang Xiangde Zhao Shuo Li Yafang Guo Yin

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

Abstract On May 11, 2017, an earthquake ($M_s 5.5$) occurred with the epicenter (37.58°N , 75.25°E) near Taxkorgan Tajik Autonomous County, Kashi Prefecture, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China. The focal depth is 8km. In order to quickly acquire the disaster situation, this paper carries out an interpretation of the earthquake damage in the extreme earthquake disaster area based on the high resolution image data obtained by unmanned aerial vehicle(UAV) combined with the field earthquake damage investigation. By using the RS-based seismic intensity assessment method described in the paper, the RS-based seismic intensity assessment is carried out in the extreme earthquake disaster area. The results show that the building structure types in the extreme earthquake disaster area mainly include adobe/stonehouse, brick-wood structure, brick-concrete structure and frame structure. The collapsed and partial collapsed buildings are all adobe/stone houses. There is no government-subsidized anti-seismic living house collapsed. The seismic intensity assessed from RS is VIII ~ IX in the extreme earthquake disaster area of the Taxkorgan earthquake. It is higher than the seismic intensity officially released by CEA. In the future, the model should be revised according to the actual situation of Xinjiang so as to better serve the rapid RS-based seismic intensity assessment of the Xinjiang.

Key words: Taxkorgan earthquake; UAV; Seismic intensity; Remote sensing based assessment; Seismic damage of buildings