

四川汶川大地震震害遥感调查与评估

魏成阶, 刘亚岚, 王世新, 张立福, 黄晓霞

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 回顾了中国应用遥感技术调查评估地震灾害的历史及其进展, 经过综合论证, 给出了汶川地震 5 种震害的分类划分标准和灾害遥感调查评估总体技术流程, 总结了灾害遥感调查评估各个不同阶段, 采用不同遥感信息源和不同遥感技术方法识别不同震害的效果, 为汶川特大地震灾中救援和灾后重建提供了决策依据; 结合遥感技术发展的趋势和地震灾害的特点, 提出了震害遥感调查评估的发展趋势。

关键词: 汶川地震; 震害遥感; 调查评估; 地震遥感趋势

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

地震灾害是中国面临的最严重的自然灾害之一。强烈地震具有突发性、毁灭性的特点, 严重威胁人民生命和财产安全。目前, 人类还不能准确地预报地震。因此, 震前采取积极防御措施, 震后快速获取灾害信息, 快速完成调查评估是降低灾害损失的有效途径。

长期以来, 地震灾害调查, 获取灾情信息主要依靠实地勘测。这种方法获取的数据精度和置信度虽较高, 但存在着工作量大、效率低、费用高和信息不直观等不足^[1]。遥感技术具有获取信息快、信息量大、手段多、更新周期短, 能多方位和全天候地动态监测等优势, 为快速完成地震灾害调查与损失评估提供了一种新的高效技术手段。尤其为救灾、减灾决策提供可靠的基础信息方面较传统的实地调查方法具有独特的技术优势。

1 中国应用遥感技术调查评估地震灾害的回顾

从 20 世纪 60 年代中期开始, 中国科学院有关研究所和地震部门先后对 1966 年邢台地震、1975 年海城地震、1976 年唐山地震和 1988 年澜沧—耿马地震等强烈地震的重灾区进行航空摄影, 完成了不同比例尺的震害调查与制图, 为航空遥感技术引入中国强烈地震灾害的调查评估领域积累了丰富的经验。1966 年河北省邢台发生里氏 (M_s) 7.2 级,

震中烈度达到 10 度。周恩来总理亲自决定“采用航空方法开展邢台地震的震害调查”。这是中国首次大规模的航空地震灾害调查。空军对重灾区航拍了 17 条航带后, 由中国科学院地理科学与资源研究所和地质与地球物理研究所的科技人员快速地完成了震后房屋建筑、构筑物、生命线工程和地裂缝、喷沙、冒水等场地灾害及其破坏程度的 1:25000 比例尺制图, 解决地震灾害的快速调查及震后重建所需的现状资料问题。1975 年海城地震, 依照邢台地震航空遥感震害调查方法与经验完成了类似工作。

1976-07-28 M_s 7.8 级唐山地震使一个拥有百余万人口的重要工矿城市遭到毁灭性破坏。当时, 党中央、国务院立即决定进行大面积、大比例尺的航空摄影, 快速完成震害制图。由空军分两批完成灾区黑白航空摄影和首次使用国产假彩色红外胶片航空摄影。国家地震局、中国科学院、国家测绘局等单位联合编制了黑白正射影像图 10618 幅, 彩色红外正射影像图 570 幅, 相应的 1:10000 和 1:25000 比例尺地震震害分类分级判读图。其内容包括: 地震烈度 7 度以上高烈度区的房屋建筑物、构筑物、生命线工程和场地灾害等重要震害。中国科学院地理科学与资源研究所首次使用地球资源卫星图像编制了 1:50 万比例尺《京津唐地区卫星影像图》、《京津唐地区断裂构造骨架图》、《京津唐地区活动断裂分析图》。中国科学院地理科学与资源研

收稿日期: 2008-06-20 修订日期: 2008-07-07

作者简介: 魏成阶 (1945—), 男, 湖北人, 研究员。主要研究领域为资源环境遥感、灾害与应急应用研究。发表论文 70 多篇, 出版专著 3 部。E-mail: wei_chengjie@yahoo.com.cn

究所与上海技术物理研究所联合首次开展了地震区航空红外扫描的采样飞行,发现第四纪地层覆盖下的活动性大断裂具有向上传递物质流的物理特征。这些成果直接为中央抗震救灾决策和唐山市的重建提供了十分重要的科学依据,也为唐山大地震研究留下极其宝贵的历史资料^[2]。

后来,中国科学院遥感应用研究所与国家地震局分析预报中心等单位合作,以邢台、海城、唐山、澜沧—耿马等强烈地震为例,开展了“地震灾害损失快速调查评估与减灾辅助决策”的“八五”国家科技攻关^[3],制定了《地震灾害航空遥感调查技术规范》,研究了航空遥感获取震害信息及其震害分类分级标准和震害影像判读方法^[4]。首次实现了在GIS支持下,通过人机交互方式完成地震烈度包络线的快速生成。这一技术对于地面调查确定包络线是一项突破性进展,效率提高10倍以上^[5],为中国遥感技术调查评估地震灾害的深入研究奠定了基础。

随着高分辨率、多平台、多时相卫星遥感技术的发展,特别是高分辨率星载雷达和计算机图像处理技术的发展,使得地震灾情信息获取发生了根本性变化。1999-09-21中国台湾省南投县发生Ms7.6级强烈地震。魏成阶等首次成功地采用卫星遥感监测评估了这次地震震害^[6]。在使用星载雷达图像分析地震构造背景的基础上,经过对地震前、后高空间分辨率卫星图像的变化检测提取震害信息,用定量模型统计主要震害的数量指标,进而生成不同地震烈度包络线。这套方法在中国2003-02-24的新疆伽师—巴楚Ms6.8级强烈地震的调查评估中得到应用和进一步的发展^[7]。

此后,地震灾害遥感应用先后多次得到国家科技攻关和863计划的资助,人们开始尝试利用图像处理技术自动提取震害信息,获得了许多很有价值的研究成果和成功实例^[8-10]。

2004-12-26印度尼西亚苏门答腊岛西北海域发生Ms9.0级强烈地震,引发巨大的印度洋海啸。魏成阶、刘亚岚等应用国际灾害监测小卫星星座数据(DMC, Disaster Monitoring Constellation)对海啸灾害进行了监测评估^[11]。通过对图像中受损地物光谱与环境背景光谱变化的识别,完成了海啸灾害分类分级判读与数据统计,实现大范围海啸灾情遥感快速监测评估。

经过几十年的发展,随着遥感技术系统的发展日臻完善,遥感获取震害信息的技术在中国已进入实用化阶段。前期积累的大量应用技术方法和实

践经验为汶川Ms8.0级特大地震的灾害调查评估提供了技术保障和先验知识。

2 遥感技术获取汶川地震灾害信息的分类指标

2008-5-12-14时28分,中国四川省汶川县境内发生Ms8.0级特大地震。在这紧急时刻,遥感科技人员迅速采用遥感技术,对汶川地震区的灾情进行监测与评估,为有关部门提供抗震救灾的决策依据。

汶川Ms8.0级地震发生后,对这次地震灾害的分类分级是遥感调查评估的关键。根据以往的实践,提出从遥感图像判读分析出5个方面震害内容及其指标:(1)各类民房、工厂、学校、医院、政府机关等房屋建筑物的损坏情况,包括老旧农村平房、多层砖混结构、7层以上楼房等建筑群的倒塌率和单体房屋建筑的破坏程度。此外,房屋倒塌率通常取决于地震烈度、场地介质特性、房屋的抗震性能及相互间的协同,它是地震动强弱的真实标志。建筑物所具有的普遍性和类比性,其破坏效应可以成为宏观地震烈度评定的主要标志。(2)各类高炉、电视塔、微波站、通讯发射塔、烟囱、储油罐、储气罐和发电厂、变电所、超高压输电塔架、机场指挥通讯系统、供水系统中的水塔等构筑物的损坏情况。这些构筑物修建时有明确的抗震标准,反映地震动非常敏感,不同震级的地震动有不同的震害表现,其破坏程度和损坏部位也不一样。震后的破坏程度和损坏部位成为震后宏观地震烈度划分的重要依据。(3)公路、铁路、桥梁、主干供水管道、供电、通信等生命线工程的损毁程度。这类基础设施对救灾及保证灾后人民的生活具有极重要的作用。(4)地震断层、地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流、河流崩岸等震后的场地灾害。这些场地灾害会直接给人们带来巨大的伤害。(5)由地震场地灾害等堵塞河流引发的堰塞湖、水库大坝跨塌、火灾、有害气体泄露等次生灾害。次生灾害有时会造成比地震灾害本身更为严重的伤亡。这5项指标是确定地震极震区和重灾区宏观地震烈度的最主要依据。

以前,这5项地震灾害指标需要进入地震灾区实地调查。调查人员从震中区向四周辐射,按事先设计的线路在实地抽样调查。遥感技术的应用则可以根据以上5项内容及其指标,采用不同波谱分辨率和不同空间分辨率数据,通过图像数据处理和判读分析获取地震灾害指标。遥感图像中一时难

以直接准确判读的震害信息可以通过地震前后遥感图像数据的灰度聚类统计识别算法和变化检测技术自动提取^[12-18],也可以将遥感图像与非遥感数据复合,例如与基础地理数据的复合,进行综合分析后解决。在恶劣天气条件,尽可能使用雷达遥感卫星数据,有效快速获取震害信息。

3 汶川地震灾害遥感调查评估总体技术流程

汶川 M_s8.0 级地震遥感震害快速调查评估以高空间分辨率遥感图像数据作信息源,通过遥感和 GIS 技术的应用,形成一个针对震害目标调查评估的技术流程。包括:遥感图像数据处理→震害信息分类分级定性、定位、定量提取→GIS 支持下的震害快速评估→震害目标遥感制图(图 1)。

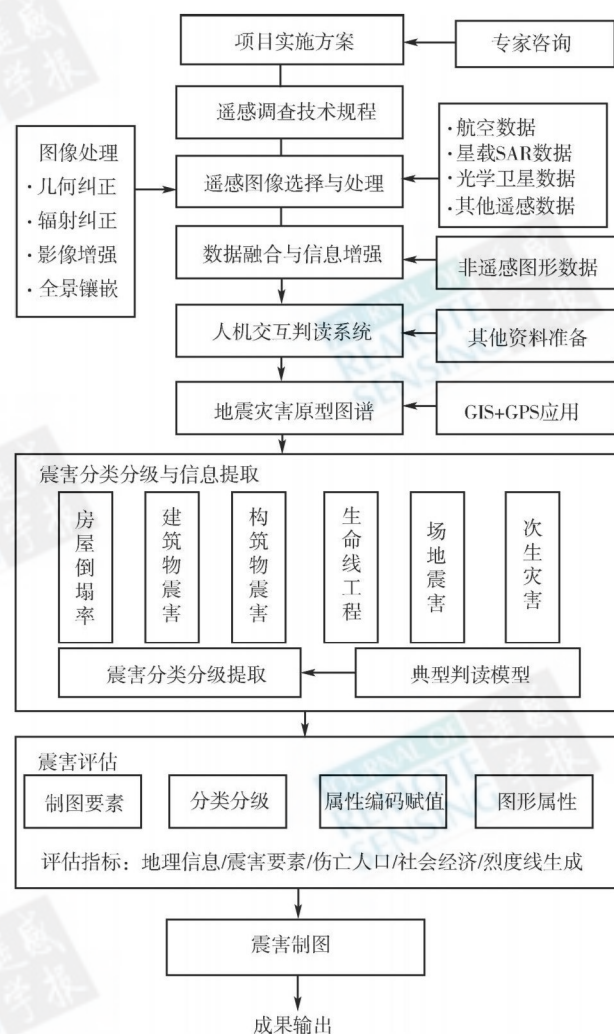


图 1 汶川地震灾害遥感调查评估总体技术流程

Fig. 1 Assessment flow for Wenchuan earthquake based remote sensing

从图 1 中可以看出:震害的遥感调查评估在相当程度上是每一工作过程控制着遥感图像数据流的运行。在有了实用的遥感技术方法后,震害的遥感图像数据的适宜性就是震害调查评估的关键。图 2 为在工作流程控制下的遥感数据流的协同运行框架。

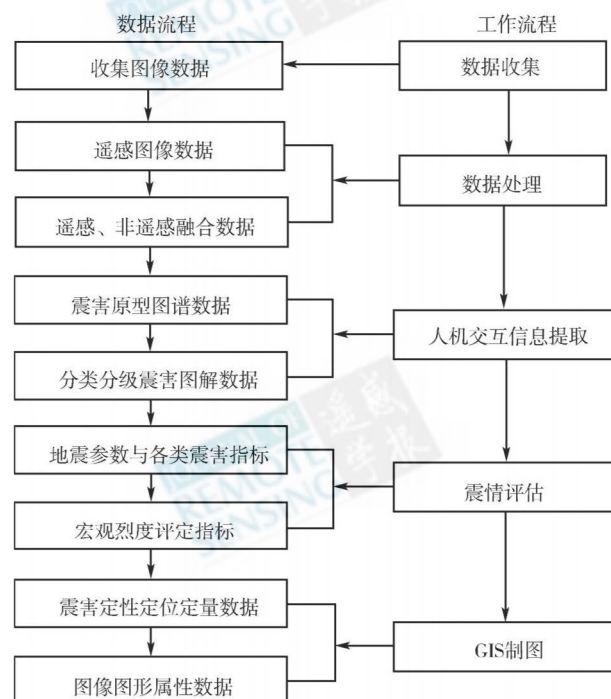


图 2 震后遥感数据流与工作流程的协同框架

Fig. 2 Cooperative frame for remote sensing data flow and workflow for Wenchuan earthquake

有了实用的遥感技术方法和适宜的遥感图像数据后,震害信息提取的效果是震害调查评估质量的决定因素,采用图 3 信息提取工作流程。

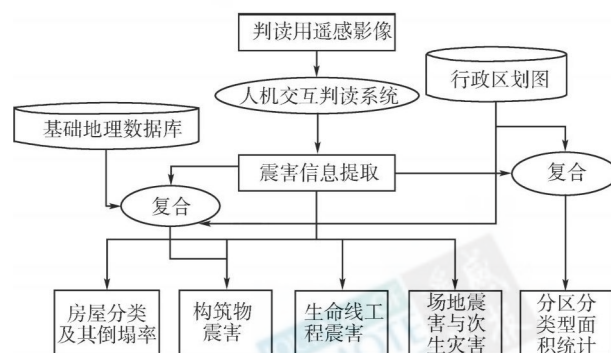


图 3 震害遥感信息提取流程

Fig. 3 Damage information extraction for Wenchuan Quake based on remote sensing

4 汶川地震遥感调查评估的不同阶段及其成果

汶川地震发生后,针对这次地震灾害的分类分级的遥感调查评估分别收集到震区受灾前后不同分辨率、不同传感器的卫星数据。采用国内外卫星遥感数据包括:可见光有中巴资源卫星 2 号 CBERS 02B、Beijing-1 小卫星,福卫 2 号 Fomosat-2、ALOS ETM/IM, ASTER, SPOT5 IRS P5/P6 Worldview, Ikonos, Quickbird, KH-II, 以及雷达卫星遥感一号 RS-1, TerraSAR, Cosmo-skymed, RADARSAT, ENVISAT ASAR 等 20 多种卫星遥感数据,航空 ADS40 机载合成孔径雷达,多模态 CCD 相机以及机载激光雷达 LIDAR 等数据。结合汶川特大地震灾害的特点和地震部门对震灾害调查与评估的需求,在采用不同遥感数据对 5 种震害分类分级识别的可行性分析基础上,分阶段逐步实施地震灾害的遥感调查与评估。其监测过程可以归纳为如下几个阶段。

4.1 地震地质构造背景分析

汶川 M_s8.0 级地震发生后,加强地质构造背景方面的分析研究,有助于对地震发生原因的科学解释。震害调查评估首先要做的遥感应用工作是地震构造背景分析。要求采用中空间分辨率,幅宽大,便于开展大区域的宏观分析的彩色卫星图像。Beijing-1 号小卫星 32m 空间分辨率,600km 幅宽的多波段(绿 523—605nm;红 630—690nm;近红外 774—900nm)合成的彩色卫星图像,对于地震构造背景的分析更为适合。我们对地震区 Beijing-1 号小卫星震前数据分析表明:汶川地震发生在全长 500km,宽约 60km 的龙门山断裂带和全长 600km,宽约 50km 的宁河—小江断裂带的交接处。龙门山断裂是汶川地震区主要的控制性断裂,在欧亚板块、印度板块和太平洋板块共同作用下,应力向东南方向推挤,使该断裂呈叠瓦状的逆冲推覆构造活动。在卫星图像中可以看出,穿过龙门山断裂的现代河流呈顺时针方向的同步肘状拐弯,据此推测龙门山断裂活动还伴随着顺时针的剪切作用。龙门山断裂带主要由灌县—江油断裂(前山断裂)、映秀—北川断裂(中央断裂)和汶川—茂县(后山断裂)组成。这次 M_s8.0 级强震就发生在中央断裂的映秀—北川断裂之上。根据遥感分析结果,和“汶川地震除了新疆、黑龙江、吉林 3 省外,全国其他各

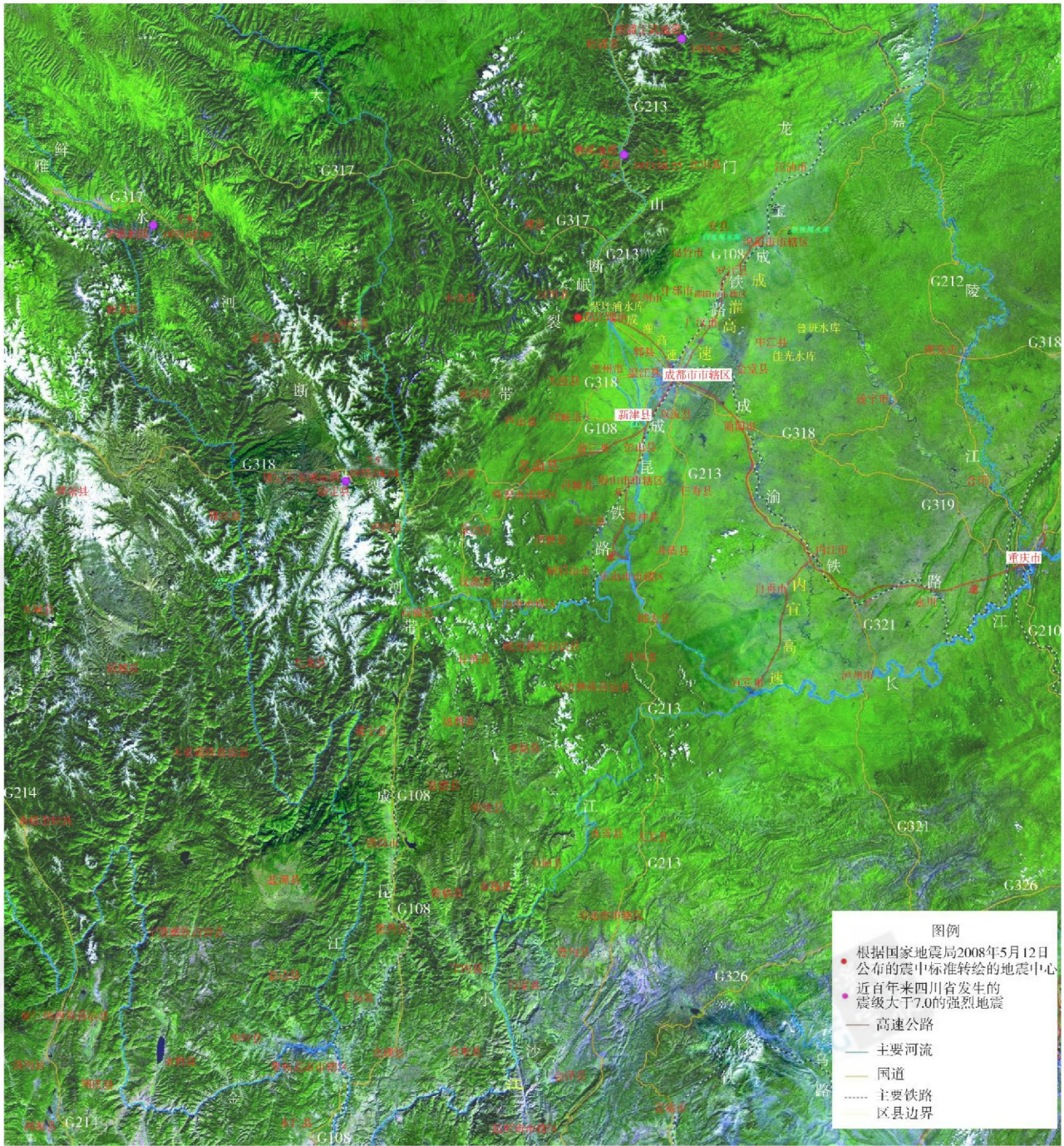
省市有震感”的报道,可以得出“汶川地震的震级要比唐山地震大,后经权威部门核实,其震级达到 M_s8.0 级,极震区地震烈度应达到 11 度”,这同时还印证了“地震的强余震将沿龙门山断裂向东北方向延伸”的看法(图 4)。

4.2 房屋建筑群倒塌率及构筑物的损毁分析

房屋建筑群倒塌率的分析统计,对于评估或预测地震后的人员伤亡具有极其重要的作用,也是指导灾后救人的重要依据。房屋建筑群倒塌率愈高,伤亡人数愈大。汶川地震后,重灾区的道路、电力和通讯等设施全部中断,震后连续大暴雨的恶劣天气,使得救援人员进入重灾区非常困难,飞机也难以及时起飞。震后第 2 天获得的灾区第一景高分辨率雷达影像卫星遥感数据为都江堰到汶川映秀镇的范围。通过分析,将都江堰市划分成 122 个街区,逐一进行各类建筑物的倒塌率及构筑物的损毁的分析,把学校、医院、政府机关作重点监测对象,并对通信设备、大型生命线工程等特别是对紫坪铺水库大坝和都江堰水利工程的受灾情况进行基本评估。随后,用高空间分辨率的航空光学遥感图像和卫星图像,对汶川、北川、茂县、理县、安县、青川、平武和绵竹等县市的各类建筑物的倒塌率分别进行了判读分析,重灾区的北川县城房屋倒塌率高达 85% (图 5(a) 为震后北川县城航空影像,图 5(b) 为高空间分辨率航空影像分析的北川县城房屋建筑物受损分布图,其中红色标明的部分为灾后没有倒塌的房屋,其他均为倒塌房屋)。这些结论及时向有关救灾指挥部门进行了报告。

4.3 场地灾害及其次生灾害对生命线工程损毁的调查

汶川地震主要发生在山区。其中龙门山断裂带经历了长期的地质演化,具有十分复杂的地质结构和极为破碎的岩石和悬崖峭壁,使得地震现场到处是滚石和崩塌,这是龙门山断裂带所经过的特殊地区的震灾特点。汶川地震使重灾区的场地灾害及其次生灾害极为严重。由地震引发的数以万计的山崩、滑坡、塌方和泥石流等严重场地灾害,毁坏了交通、通信等生命线工程。在汶川地震重灾区,由滑坡等场地灾害堵塞河流形成的众多堰塞湖,对河流下游群众带来极大威胁。例如北川县城附近有 4 处较大的山体滑坡堵塞湔江,其中唐家山滑坡堵塞湔江,形成堰塞湖,湖水淹没了漩平羌族乡,情



(注: 本图由国家科技部国家遥感中心数据管理与产业发展部, 二十一世纪空间技术应用股份有限公司提供, 作者参与判读分析)

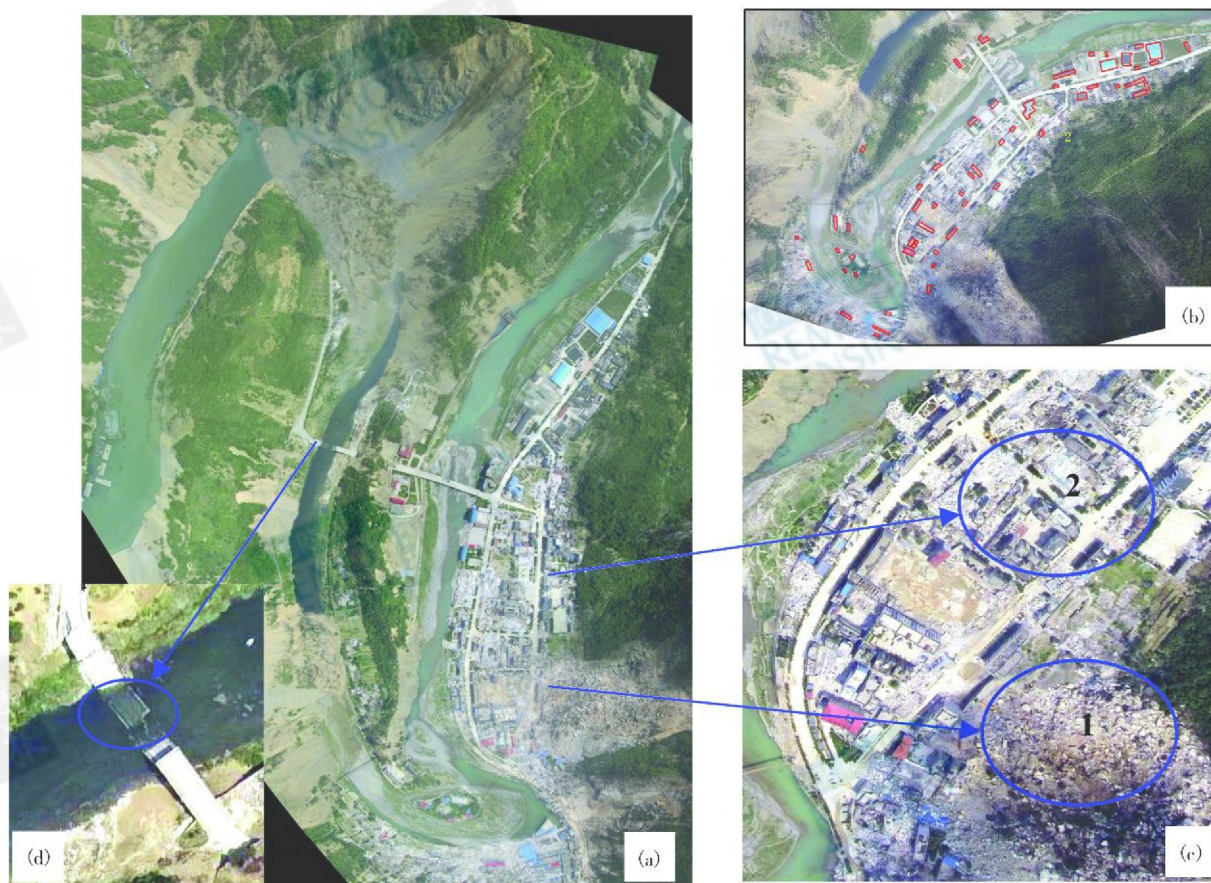
图 4 Beijing-1 小卫星汶川地震地质构造背景分析

Fig. 4 Geological structure and environment background for Wenchuan earthquake based Beijing-1 microsatellite

况十分严重。震后第 2 天, 利用 8m 空间分辨率多光谱卫星图像监测到唐家山堰塞湖后, 以最快的速度向有关部门报告。这是灾区最早报告唐家山堰塞湖的地震灾情监测报告。报告得到国务院领导的批示, 并及时转水利部门。此后, 对唐家山堰塞湖, 采用了多种遥感手段进行了 10 多次的动态监测 (图 6 图 7), 为救灾指挥部门解决唐家山堰塞湖的问题, 提供了极重要的救灾防灾减灾的决策依据。

4.4 灾情评估及灾后重建所需资料的调查阶段

灾情评估及灾后重建需要以行政单元为调查对象的、综合的、全面的震害信息。对以上 5 个方面的震害内容及其指标作详细的调查, 并以这些震害内容及其指标为地震烈度的评估依据, 最终完成地震烈度包络线。以道路为例, “汶川地震”后, 查清灾区道路被阻断损毁状况, 利用震后拍摄的航空



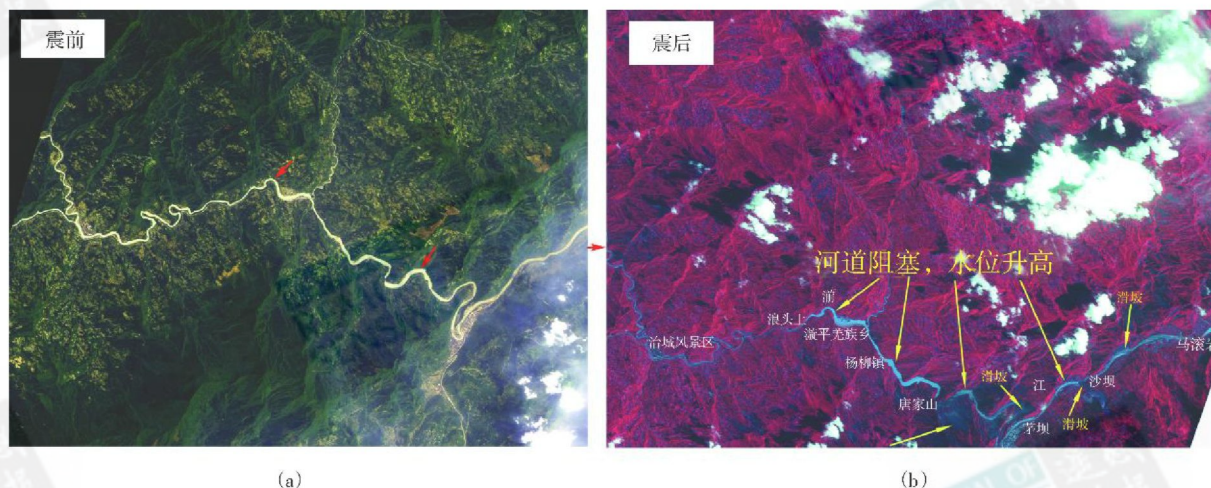
(数据来源:中国科学院遥感应用研究所 2008-05-22 航摄)

图 5 四川省北川县城灾情遥感监测分析

(a) 震后北川县城航空影像; (b) 红色标注的区域为未倒塌建筑, 其他均倒塌;
(c) 1 为房屋被滑坡掩埋, 2 为已倒塌的建筑被地震震塌; (d) 被震毁的桥梁

Fig. 5 Beichuan disaster monitoring based on airborne image

(a) the airborne image of Beichuan; (b) red regions are non-damaged buildings and the others were damaged;
(c) 1: damaged by landslide secondary disaster; 2: damaged by the earthquake directly; (d) broken bridge in Beichuan



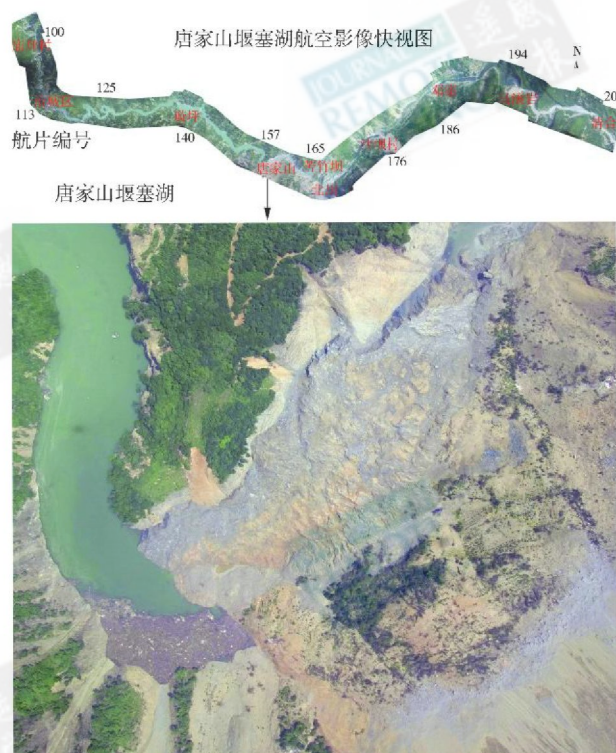
(数据由北京国遥万维信息有限公司提供)

图 6 大型滑坡导致北川县唐家山堰塞湖震前震后对比

(a) 2006-05-14 福卫 2 号 8m 多光谱图像; (b) 2008-05-14 福卫 2 号 8m 多光谱图像

Fig. 6 Monitoring Tangjiaoshan quake lake in Beichuan caused by large landslide based on remote sensing

(a) pre-earthquake Fomosat-2MS image (2006-05-14); (b) post-earthquake (2008-05-14)



(数据来源: 中国科学院遥感应用研究所 2008-05-22 航摄)

图 7 大型滑坡导致唐家山堰塞湖航空影像

Fig. 7 Tangjiashan quake lake caused by large landslide based airborne remote sensing

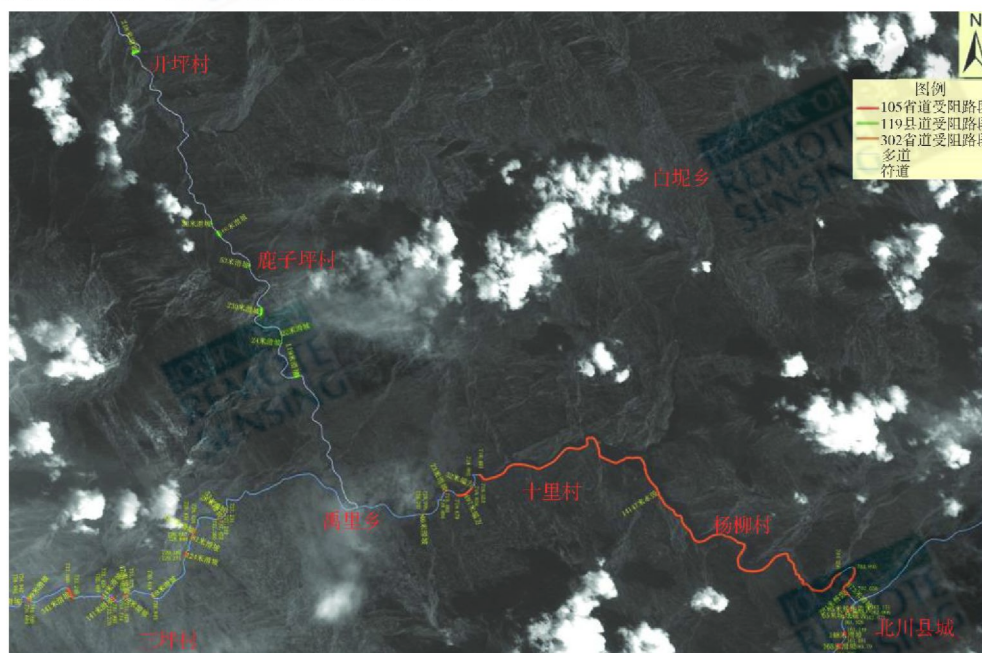
遥感数据, 对重灾区的国道、省道和桥梁等被阻断损毁的情况进行详细的定性、定位、定量判读与分析, 得到详细的监测图件与报告、报表, 结果如图 8、

图 9 所示 (图 8 为汶川地震重灾区北川主干道被阻断遥感监测结果图, 图 9 为地震重灾区都汶路交通被阻断典型影像, 图 5 (c) 为房屋为滑坡掩埋, 图 5 (d) 为北川桥梁被震毁)。

根据遥感分析: “汶川地震”重灾区有 5 条国道和省道, 被阻断损毁的道路占重灾区道路总长的 29.56%。被阻断损毁路段划分为 2 种类型: 道路被阻断, 但没有损毁, 或损毁程度不重, 路面经过清理马上就能通车使用的路段占被阻断损毁路段总长的 68.20%。道路损毁程度较重, 难以修复打通, 甚至需要避让, 另选线路, 重新修建的路段, 占被阻断损毁路段的总长 31.80%。

重灾区道路被阻断损毁的路段具有极明显的分段性。重大的阻断损毁路段表现为集群式的分布。主要集中在: 302 省道北川县境唐家山村—岩羊村段, 213 国道汶川县境的漩口镇—新店段, 213 国道汶川县城—茂县县城段, 317 国道理县县城—理县新店子村段。

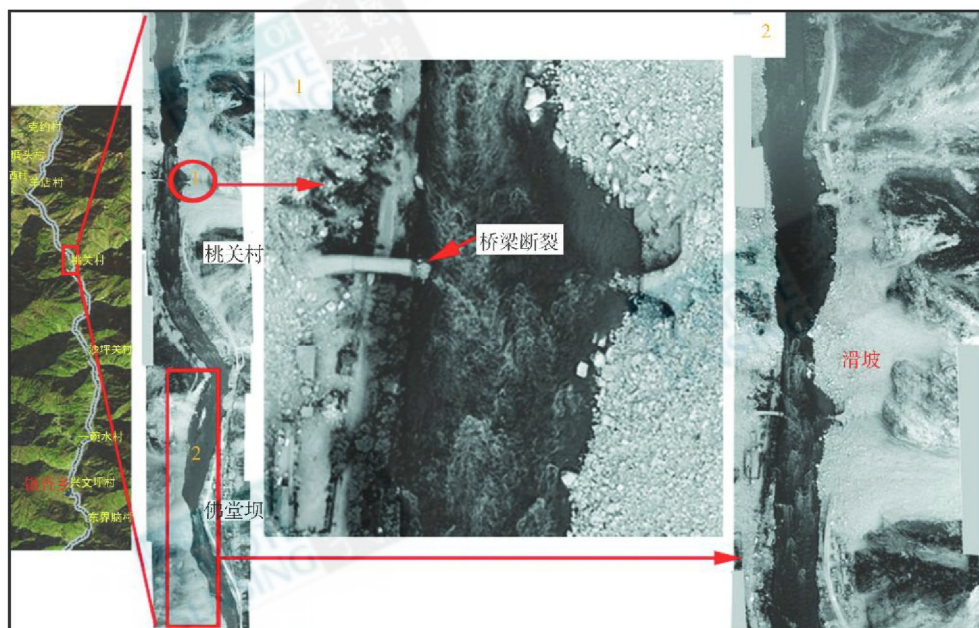
以上 4 条路段是重灾区地质灾害阻断损毁道路最严重的地段。在这些严重损毁路段中, 有一个共同的特点就是以滑坡及其滑坡群对道路造成的损毁尤为严重, 极难打通, 特别是北川县境内唐家山村—岩羊村路段损毁极其严重, 千万立方米以上体积的大型滑坡及滑坡群体沿 105 省道连续分布, 使这段道路的损毁比例高达 81.38%。据此给出了这段损毁道路对北川县唐家山堰塞湖的救险极为不利的监测报告。



(数据为福卫二号 2m 全色图像, 由北京国遥万维信息技术有限公司提供)

图 8 汶川地震重灾区北川主干道被阻断遥感监测结果图

Fig. 8 Damage monitoring of Beichuan highway in Wenchuan quake based on fomo sat-2



(数据来源: 中国科学院遥感应用研究所 2008-05-22 航摄)

图 9 地震重灾区都汶路交通被阻断典型航空影像

1: 地震导致桥梁断裂; 2: 滑坡导致都汶路 1km 多路段被掩埋

Fig. 9 Broken transportation airborne image caused by Wenchuan quake

1: Broken Bridge 2: Road damaged more than 1km

5 震害遥感调查评估的发展趋势

汶川地震发生后, 利用上述近 20 种遥感资料, 国家科技部、中国科学院、国土资源部、高校、水利部、国家减灾委、交通部、国家地震局等, 参与了地震灾害的调查评估。汶川地震使得遥感技术在地震灾害的调查评估中得到普及和提高。

今后, 随着遥感技术的不断发展与进步, 地震灾情遥感调查评估技术也将得到更大的发展。根据遥感技术发展的趋势和地震灾害本身的特点, 从目前“汶川地震”遥感应用情况来看, 遥感技术调查评估地震灾情还需要向以下几个方面发展:

(1) 遥感数据源的选择。重复周期短的高分辨率卫星影像应成为震害遥感数据源获取的主要选择对象。分辨率优于 1m, 特别是高空间分辨率雷达卫星数据应为首选。紧急状况下, 选择高分辨率卫星影像判读震害信息是一种较好的快速反应。在相当长一段时期内, 航空摄影的特殊作用不能被高分辨率卫星影像所替代。航空遥感在灾后信息的获取中尤为重要。

(2) 基础数据库建设。为了地震后的快速反应很多关键性的工作应作在地震发生之前。地震多

发地区大比例尺详细的地理基础数据库是快速评估灾情的先决条件, 包括: 政区界线、居民区房屋建筑的分布、道路、桥梁、河流湖泊、DEM 等基础地理信息; 人口、公共基础设施建筑、生命线工程、社会经济数据等基础属性数据, 活动断裂构造、发震构造等基础地质构造背景资料, 历史地震及地震活动资料; 地球物理等资料; 震前遥感资料等。

(3) 震害的遥感快速识别技术。“汶川地震”后, 为了应急, 作者对单一要素震害的监测较多、得到监测结果的时间也较快。但抗震救灾特别是灾后重建更需要综合的、全面的震害信息。今后震害的遥感快速识别技术, 应以区域性分析为基础。区域性遥感震害识别技术则具有更大的发展潜力, 并将成为今后重要的研究方向。

(4) 震害信息的人机交互判读更为实用。长期以来, 震害信息主要靠人工目视判读提取。近年来发展了震害信息的人机交互判读系统, 但还不能满足灾后应急的需求。震害信息的人机交互判读还有很大的发展空间。

(5) 在震害损失评估方面, 震后地震灾区现场的三维重建及其数据处理技术将得到快速的发展。为此, 以 3S 集成技术在震害损失评估方面将得到进一步的推广和深入应用, 并发挥独特优势。

致谢 本文由童庆禧院士提议撰写,亲自拟定了思路与内容,并做了文章修改,在此感谢。感谢参与本文中相关工作的诸位同事!感谢交通科学研究院提供的道路基础信息,感谢提供遥感影像数据的有关单位。

参考文献 (References)

- [1] Liu JH, Yang JF, Wei C J *et al* Acquisition of Earthquake Damage Information Based on Remote Sensing Technology History, Current Situation and Trend [J]. *Journal of Natural Disasters* 2004 **13**(5): 46—52 [柳稼航, 杨建峰, 魏成阶等. 震害信息遥感获取技术历史、现状和趋势 [J], 自然灾害学报, 2004 **13**(5): 46—52]
- [2] Liu H X. Damage of Tangshan Earthquake [M]. Beijing Press of Earthquake 1985 [刘恢先. 唐山大地震震害 [M]. 北京: 地震出版社, 1985]
- [3] Chen X L, Wei C J Quick Damage Assessment and Disaster Relief Decision of Earthquake Disasters Based on Aerial Remote Sensing [M]. Beijing Science Press 1995 [陈鑫连, 魏成阶. 地震灾害的航空遥感信息快速评估与救灾决策 [M]. 北京: 科学出版社, 1995]
- [4] Zhu B Q, Wei C J Zhang Y Z The Quick Extracting of Earthquake Disaster Data by Aerial Remote Sensing Survey [J]. *Journal of Natural Disasters* 1998 **7**(1): 34—39 [朱博勤, 魏成阶, 张渊智. 航空遥感地震灾害信息的快速提取 [J]. 自然灾害学报, 1998 **7**(1): 34—39]
- [5] Wei C J Zhang Y Z Zhu B Q, *et al* Application of Remote Sensing and GIS Techniques in Producing Earthquake Isoseismal [J]. *Journal of Natural Disasters* 1996 **5**(3): 18—28 [魏成阶, 张渊智, 朱博勤等. 地震烈度包络线的遥感与 GIS 方法快速生成 [J]. 自然灾害学报, 1996 **5**(3): 18—28]
- [6] Wei C J Liu Y L, Wang S X. Monitoring and Evaluation of “9.21” Earthquake Damage in Nantou, Taiwan Based on Remote Sensing [A]. Remote Sensing in China [C]. Beijing Press of Earthquake 2000 [魏成阶, 刘亚岚, 王世新. 台湾南投“9.21”地震震害卫星遥感监测评估 [A], 遥感在中国 [C]. 北京: 地震出版社, 2000]
- [7] Wang X Q, Miao C G, Wei C J *et al* The Extraction of Seismic Damage from Remote Sensing Images A Case Study of Badu-Jiashi Earthquake with Ms=6.8 Occurred on Feb. 24, 2003 [J]. *Earth Science Frontiers* 2003 **10**(suppl): 285—291 [王晓青, 苗崇刚, 魏成阶等. 震害遥感快速提取研究——以2003年2月24日巴楚—伽师6.8级地震为例 [J]. 地学前缘, 2003 **10**(suppl): 285—291]
- [8] Liu JH, Yang JF, Qin X W. Imagery Region Analyzing Method of Urban Building's Earthquake Damage a Comparative Study with Point Characteristics-Based Criterion Approaches [J]. *Journal of Natural Disasters* 2004 **13**(5): 149—156 [柳稼航, 杨建峰, 秦绪文. 城市房屋震害的区域分析法与点特征判据算法的对比研究 [J]. 自然灾害学报, 2004 **13**(5): 149—156]
- [9] Zhang J F, Xie L L, Tao X X. Pattern Analysis of Remote Sensing Imagery for Some Typical Earthquake Damages [J]. *Journal of Natural Disasters* 2001 **10**(2): 89—95 [张景发, 谢礼立, 陶夏新. 典型震害遥感图像的模型分析 [J]. 自然灾害学报, 2001 **10**(2): 89—95]
- [10] Zhang J F, Xie L L, Tao X X. Change Detection of Remote Sensing Image for Earthquake-Damaged Building and Its Application in Seismic Disaster Assessment [J]. *Journal of Natural Disasters* 2002 **11**(2): 59—64 [张景发, 谢礼立, 陶夏新. 建筑物震害遥感图像的变化检测与震害评估 [J]. 自然灾害学报, 2002 **11**(2): 59—64]
- [11] Liu Y L, Wei C J Wu X B, *et al* Monitoring and Assessment for the Tsunami Disaster of Indian Ocean by Remote Sensing A Case Study in Aceh Province of Indonesia [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005 **9**(4): 494—497. [刘亚岚, 魏成阶, 武晓波等. 印度洋海啸灾害遥感监测与评估——以印度尼西亚亚齐省为例 [J]. 遥感学报, 2005 **9**(4): 494—497.]
- [12] Li P, Tao X X, Yan S J 3S-based Quick Evaluation of Earthquake Damage [J]. *Journal of Natural Disasters* 2007 **16**(3): 109—113 [李萍, 陶夏新, 颜世菊. 基于3S技术的震害快速评估 [J]. 自然灾害学报, 2007 **16**(3): 109—113]
- [13] Estrada M, Matsuoka M, Yanazaki F. Use of Landsat images for the Identification of Damage due to the 1999 Kocaeli Turkey Earthquake [A]. Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing [C], 2000 **2**: 1185—1190
- [14] Gamba P, Houshmand B. Digital Surface Models and Building Extraction: A Comparison of IFSAR and LIDAR Data [A]. *IEEE Transactions on International Geoscience and Remote Sensing*, 2000 **66**(7): 1959—1967.
- [15] Hasegawa H, Yanazaki F, Matsuoka M, *et al*. Extraction of Building Damage due to the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake from Aerial HDTV Images [A]. Processing of Asian-Pacific Symposium on structural Reliability and its Application NCREC [C]. 1999
- [16] Inanaga A, Tanaka S, Takeuchi S, *et al* Remote Sensing Data for Investigation of Earthquake Disaster [A]. Proc. of the 21st Annual Conf. of the Remote Sensing Society [C], 1995
- [17] Koga K, Miura F, Nozawa M. Image Analysis for Damage Estimation of Building due to Earthquake [A]. Proceedings of the 3rd Symposium on the Mitigation of Urban Disasters by Near-Field Earthquakes [C], 1998
- [18] Chirouin L, Andre G. Damage Assessment Using High Resolution Satellite Imagery: Application to 2001 Bhuj India Earthquake [A]. 7th US National Conference on Earthquake Engineering Boston, USA, 2002

Investigation and Assessment of Damage in Earthquake Wenchuan Sichuan Quake Based on Remote Sensing

WEI Cheng-jie, LIU Ya-lan, WANG Shi-xin, ZHANG Li-fu, HUANG Xiao-xia

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Earthquake is one of the most destructive natural disasters in China. For a long time, investigation of earthquake damage has been based on field surveys, but disadvantages of this means, such as huge workload, low efficiency, too much expense and un-visualized information, make it not practical. However, remote sensing technique can provide a rapid and effective approach for quick investigation and assessment of earthquake damage, owing to its characteristics of objectivity, real-time and macro-scope view.

The history of investigation and assessment of earthquake damage based on remote sensing in China. Since mid of 1960s, institutes and departments of Chinese Academy of Sciences have done a lot of work on quake damage investigation and assessment and accumulated rich experience. Aerial photography was carried out for Xingtai quake in 1966, Haicheng earthquake in 1975, Tangshan quake in 1976 and Lancang-Gengna earthquake in 1988 and the monitoring and mapping for earthquake damage were accomplished in different scales. All of these achievements provided important scientific basis for decision-making of the earthquake relief and reconstruction. With the development of remote sensing technique for decades, this technology supplies technical support and prior knowledge for the investigation and assessment of Wenchuan quake damage.

There occurred open ended Richter 8.0 scale earthquake in the county of Wenchuan, Sichuan province on May 12th, 2008, which has caused huge destructive losses. In this, the remote sensing technique is used to investigate and paper assess the situation of the earthquake damage. There are five classes of features which can be interpreted according to the remote sensing imageries: (1) the damage degree of buildings, like civilian homes, factories, schools, hospitals and so on, which is related to the safety of human life and property directly; (2) the damage degree of structures, such as television towers, chimneys, oil tanks, power houses and etc., which can indicate the intensity of the earthquake; (3) the damage degree of the lifeline, for example, the highway, railway, bridge, power and communication supply, which are very important for disaster relief and human's life after the earthquake; (4) the field disasters of earthquake, such as landslides, debris flows, ground fissures; (5) the secondary disasters caused by field disasters, like quake lakes, emission of harmful gases. All of these five classes of features are the main data for determining the intensity of earthquake and the degree of damage. The features can be obtained according to different spectral and spatial resolution of remote sensing imageries through image processing and interpretation methods. Besides, other kinds of data can also be imported for assistant interpretation. The work flow includes remote sensing image processing, human-machine interactive classification, location, qualitative and quantitative information extraction, GIS-support assessment of earthquake damage, mapping of damaged objects.

In this study, the radar images are used. Due to the bad weather after the earthquake, and the optical remote sensing cannot get useful information. As a result, the all-weather radar sensor can provide lots of information and the 1m spatial resolution radar images have played an important role in the investigation. Certainly, the optical remote sensing imageries also played an important role. Using kinds of remote sensing images, the abundance of landslides, collapse debris flows, the rate of building damages, the situation of quake lakes and road damage are interpreted.

In conclusion, remote sensing technique can play an important role in the investigation and assessment of earthquake damage. Of course, remote sensing application in Wenchuan quake shows some shortcomings, and it may be improved and developed in five aspects as follows: (1) It is important to select imageries and high spatial resolution imageries are significant; (2) The basic database is needed to be built; (3) Quick interpretation techniques should be developed; (4) It is more practical to use human-computer interactive interpretation to extract earthquake information; (5) In investigation of earthquake damages, data process techniques of 3D rebuild will quickly be developed and remote sensing, GIS and GPS techniques will be combined and applied to the investigations in wider and higher level.

Key words Wenchuan quake, earthquake disaster remote sensing, monitoring and assessment, earthquake disaster remote sensing trends