

基于多光谱遥感的青海玉树地震震害监测与评估

王福涛^{1,2}, 周艺^{1*}, 王世新¹, 刘文亮^{1,2}, 魏成阶¹, 韩昱^{1,2}

1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 青海玉树7.1级地震使当地人民群众的生命和财产受到严重损失。利用多光谱遥感技术获取数据范围广、手段多等优势,以地震前后不同空间分辨率的航空和航天多光谱遥感影像作数据源,通过遥感和GIS技术的应用,对玉树地震的构造背景,地震重灾区的房屋建筑倒塌、场地震害、生命线工程等震害信息进行遥感监测和分析,并对监测区内毁坏严重的土木结构房屋分布、寺庙建筑损毁情况以及地裂缝滑坡、崩塌、碎屑流、塌陷等灾害的空间分布、规模、对道路等设施的影响进行了详细的评估。最后结合震害遥感评估结果,对震后恢复重建规划及实施从房屋建筑群烈度设防、房屋建筑群的具体选址以及房屋建筑的结构等方面提出了建议。

关键词 多光谱遥感;玉树地震;震害;评估

中图分类号: TP75 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)04-1047-05

引言

我国处在环太平洋地震带和欧亚地震带之间,是世界上地震灾害最严重的国家之一。强烈地震具有突发性和不可预测性,以及频度较高等特点,严重威胁人民生命和财产安全。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然较高,但存在工作量大、效率低、费用高和信息不直观等不足^[1]。

多光谱遥感是利用多光谱扫描系统或多光谱摄影系统通过从可见光到热红外不同的狭窄波段区感应能量,分别获得地物在不同谱段上影像的遥感技术。多光谱遥感具有的数据获取范围广、速度快、手段多、更新周期短和多方位动态监测等优势,为快速完成地震灾害调查与评估提供了一种新的高效技术手段,尤其为救灾、减灾、恢复重建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^[2,3]。

1 研究区域和数据

2010年4月14日7时49分,我国青海省玉树藏族自治州玉树县发生了Ms7.1级地震,仪器震中为北纬33.2°,东

经96.6°,震源深度为14 km,当地人民群众的生命和财产受到严重损失。

地震发生后,中国科学院、国家科学技术部、国土资源部迅速组织遥感科技人员,利用卫星和航空遥感数据,开展了玉树地震灾区的遥感监测与评估工作。

本文研究区域主要包括玉树地震极重灾区:玉树县结古镇全部;重灾区:玉树县仲达乡、巴塘乡大部、隆宝镇和安冲乡局部;一般灾区:玉树县上拉秀乡、下拉秀镇、小苏莽乡、毛庄乡的局部和称多县拉布乡、歇武镇的大部(如图1所示)。

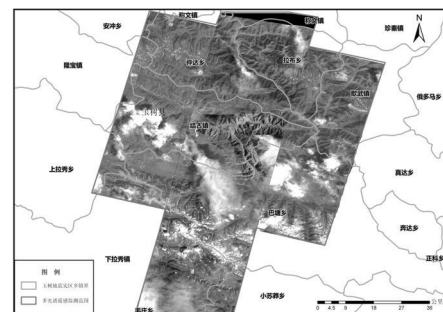


Fig 1 Region of remote monitoring and assessment in Yushu earthquake

收稿日期: 2010-05-14, 修订日期: 2010-08-03

基金项目: 中国科学院应急项目“国家玉树地震灾后恢复重建”资源环境承载力评价, 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-07), 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2009AA12Z101)资助

作者简介: 王福涛, 1983年生, 中国科学院遥感应用研究所博士研究生 * 通讯联系人 e-mail: zhouyi@irsa.ac.cn

研究使用的多光谱遥感数据源主要包括: Beijing 1 小卫星, 福卫 2 号 Formosat 2, SPOT-5, Quickbird, Rapideye, 航空 ADS80 等震前与震后的遥感影像。特别是震后 0.2 m 分辨率的 ADS80, 震前与震后 0.6 m 分辨率的 Quickbird, 2 m 分辨率的 Formosat 2 和 2.5 m 分辨率的 SPOT-5 等高分辨率多光谱遥感影像成为监测区详细评估的重要依据。

2 研究方法

首先, 采用中等空间分辨率、幅宽大、便于开展大区域宏观分析的 Beijing-1 号小卫星多光谱遥感影像对青海玉树地震的构造背景进行分析。

其次, 结合玉树地震灾害的特点, 针对应急和恢复重建的需要, 以高分辨率的航空和卫星遥感影像为基础, 采用“遥感图像处理→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”的震害遥感调查评估技术流程^[2,4]及相关监测评估方法^[5], 对房屋建筑的倒塌、场地灾害、生命线工程损毁等震害进行遥感评估与分析。

最后, 对监测区震害监测与评估情况作简要的总结, 并对灾后恢复重建规划与实施提出建议。

3 研究成果及分析

3.1 玉树地震的构造背景分析

对地震区 Beijing 1 号小卫星震前数据分析表明: 青海玉树 Ms7.1 级地震发生在北西—南东方向展布的玉树—甘孜活动断裂带上。该断裂带总长 500 km, 在地貌上总体表现为河谷形态, 是一条具有长期继承性活动的左走滑活动, 并兼有垂直差异活动的巨型断裂带。玉树—甘孜活动断裂带穿越玉树地震的震中及其极重灾区(如图 2 所示)。

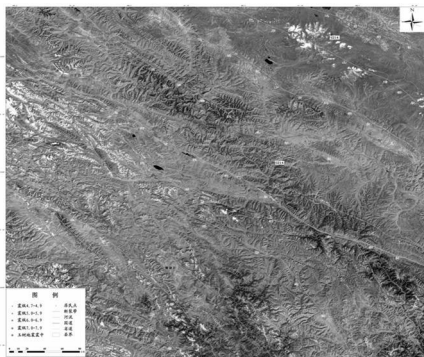


Fig 2 Geological structure and environment background for Yushu earthquake

3.2 房屋建筑倒塌监测与评估

玉树地震监测区内的土木结构房屋占房屋建筑总面积 60% 以上。根据这次地震有前震、主震和余震的形式, 以及玉树—甘孜活动断裂带的活动性分析, 这次的地震给低层土木结构的房屋建筑造成了巨大损坏。

3.2.1 房屋建筑总体损失

在监测区内, 低矮老旧土木结构建筑基本倒平全毁, 砖混结构房屋建筑部分倒塌, 监测区房屋建筑总体倒塌率约为 47.43%, 极震区结古镇房屋总体倒塌率约为 59.43%。

玉树县为我国三江源保护核心区域, 工业企业较少。根据地震前后高分辨率的遥感影像对比分析, 震区内的行政机关和沿国道、省道的服务业用房以框架结构为主, 损害级别主要为轻度受损。

3.2.2 房屋建筑群倒塌率分布

房屋建筑群倒塌率的分析统计, 对于评估人口伤亡和支持重建规划决策具有极其重要的意义。将玉树地震监测区分为 955 个街区和村庄、161 栋独立房屋。通过街区(村庄)数据统计, 进行了房屋建筑群倒塌率情况分析, 详细统计情况见表 1 和图 3。玉树地震监测区房屋倒塌分布状况见图 4 和图 5。

Table 1 Damage degree of structures in Yushu earthquake

编码	损失级别	倒塌率	面积/m ²
一级	倒平全毁	倒塌率 ≥ 80%	1 903 639.8
二级	大部倒毁	倒塌率 50% ~ 80% (含 50%)	1 589 965.5
三级	部分倒毁	倒塌率 15% ~ 50% (含 15%)	3 276 206.8
四级	少部倒毁	倒塌率 5% ~ 15% (含 5%)	4 067 507.9
五级	基本完好	倒塌率 < 5%	668 631.5

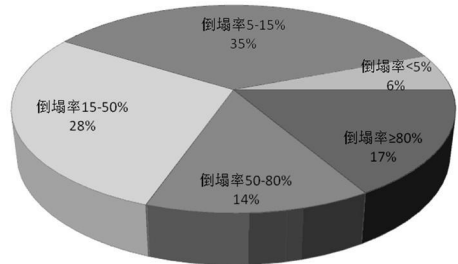


Fig 3 Size chart of the damage degree of structures in Yushu earthquake

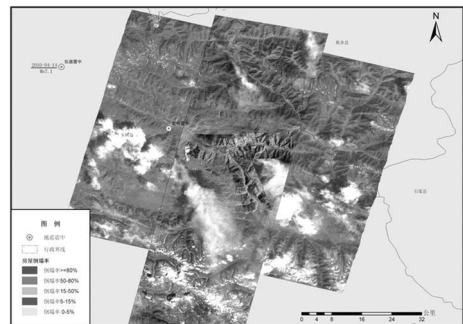


Fig 4 Damage monitoring of structures in Yushu earthquake (Overall situation), the scope of red box show is shown in Figure 5

3.2.3 土木结构建筑基本倒平全毁的地域差异及其原因分析

玉树县结古镇房屋倒塌的基本情况是: 以胜利路为界东

部地区多为砖混结构房屋，离玉树—甘孜活动断裂带较远，房屋倒塌率较低，除了老旧土木结构房屋大部分倒塌外，砖混结构房屋只有少部分倒塌。胜利路以西、胜利路南段地区房屋倒塌严重，土木结构房屋建筑群基本上倒平全毁，砖混结构房屋建筑部分倒毁，即使未倒塌的也多为结构严重破坏。

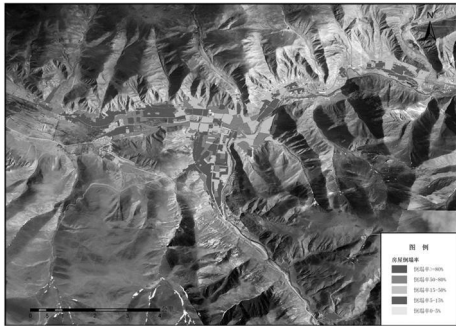


Fig 5 Damage monitoring of structures in Yushu earthquake (Jiegu)

此外，从房屋倒塌同地貌类型的关系方面来看，处于几处较大冲洪积扇区域前缘与河漫滩的交汇部位房屋损毁最为严重(如图 6 所示)，这些区域除土木结构的低矮老旧土木结构建筑倒平全毁外，砖混结构房屋也有较高的倒塌率。这主要是因为冲洪积扇和河漫滩上土质松软，地基欠稳，地震来袭时其上的建筑极易倒塌，造成灾难性后果。



Fig 6 Damage monitoring of structures in alluvial fan area

3.2.4 监测区内寺院损毁情况及分析

寺院在玉树老百姓生活中占有举足轻重的地位。监测区内特别是结古镇建城区内的大多数寺院受损情况相比较周围的民房受损情况而言较轻(如图 7 所示)，主要原因是寺庙主体框架为砖混结构，建筑修筑质量较高，具有较高的抗震性。但位于县城南部的禅古寺因处于构造破裂地裂缝穿越区，损毁较为严重(见图 8)。

3.3 场地灾害监测

3.3.1 地裂缝

通过高分辨率遥感影像解译获得的地裂缝分布与地震的构造背景分析中的主活动断裂带的位置基本一致(如图 9 所示)。地裂缝为构造破裂地裂缝，主要由 3 条主破裂组成，呈左阶排列，总体走向 310° 。北侧主地裂缝长约 32.39 km，中间主地裂缝长约 8.93 km，南侧主地裂缝长约 11.52 km，总

长约 52.84 km。各主地裂缝均由一系列支地裂缝雁列组成。破裂为左旋走滑性质。利用国家地震局野外实地考察资料进行了监测结果验证^[6]，位置完全吻合。



Fig 7 Damage monitoring of Jiegu Temple



Fig 8 Damage monitoring of Changu Temple

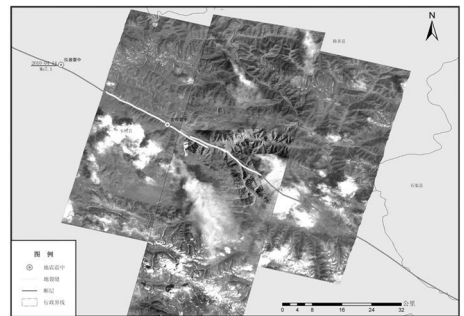


Fig 9 Distribution of ground fissure

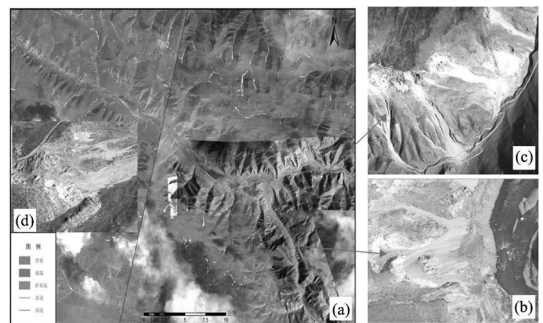


Fig 10 Distribution of Landslides, collapses and debris flows

(a): The remote sensing image of monitoring Region; (b): The remote sensing image of Landslide; (c): The remote sensing image of debris flows; (d): The remote sensing image of collapses

3.3.2 滑坡、崩塌、碎屑流与震陷

滑坡、崩塌、碎屑流主要出现在结古镇东南及西北部,其中面积较大的滑坡有 11 处、崩塌 48 处、碎屑流 12 处(如图 10 所示)。

结古镇南 G214 国道上发生 3 处明显震陷(如图 11 所示),栽星各玛震陷长 160 m、宽 120 m,造成 G214 国道路基塌陷,严重影响道路通行。民主村南部震陷有两处,其中较大的震陷长 160 m、宽 120 m,对 G214 国道造成一定影响。

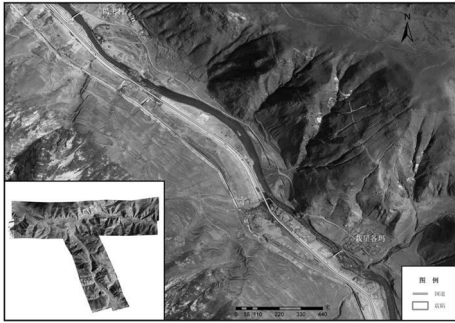


Fig 11 Distribution of earthquake subsidences

3.3 交通及水利工程评估

经监测分析,通往玉树的西宁—玉树、格尔木—玉树、甘孜—玉树三条主要公路受地震场地灾害影响不大,只有局部路段受到场地灾害影响。主要有禅古村西部的 1 处滑坡灾害对道路产生较严重影响(如图 10(b) 所示),影响路段长度 210.3 m;结古镇南的栽星各玛震陷造成 G214 国道路基塌陷,影响路段长度 324.9 m;民主村附近的震陷对 G214 国道造成一定影响,影响路段长度 183.7 m(如图 11 所示)。总体上玉树地震监测区内道路通行恢复情况良好。

位于玉树县结古镇南 10.5 km、通天河支流上的水库大坝基本完好。监测区内主要河流基本顺畅,未发现堰塞湖现象。

3.4 玉树地震极震区烈度遥感评价

根据玉树地震监测区上述监测结果分析,这次地震的极震区应从玉树县城西部的布庆给、若娘德来附近沿着省道 S308 和国道 G214 所处的沟谷区域,直到禅古村附近,包括了结古镇的西部、中部和南部的大部分区域,长轴为北西—

南东方向,长 14.1 km,宽 4 km,总面积约 40 km²,极震区地震烈度为 IX 度强。

4 结论与建议

玉树地震发生后,利用上述多种不同分辨率的多光谱遥感数据源,对地震极重灾区的房屋建筑倒塌、场地震害、生命线工程等震害信息进行了详细的遥感监测评估与分析,为玉树地震的救灾、减灾和应急决策发挥了重要的作用,也使遥感技术在地震灾害的监测与评估中得到了进一步的普及与提高。

地震灾区即将进入恢复重建阶段,灾后重建规划的编制和执行要吸取这次灾害造成重大人员伤亡的教训,充分考虑区域地震构造背景条件和资源环境承载能力,结合震害遥感监测与评估的结果,为玉树地震灾区恢复重建提出以下几点建议:

(1) 建议房屋建筑群烈度设防:地震极震区普通房屋建筑群的抗烈度设防以 7 度强为宜;学校、医院等人员聚集区房屋建筑群的抗烈度设防以 8 度为宜。

(2) 建议房屋建筑群最好避开较大规模的冲洪积扇前缘与河漫滩交汇区域。如需在此区域修筑房屋,建议适当加强房屋建筑抗震设计,提高房屋质量。

(3) 房屋建筑群应合理避让活动断裂、构造地裂缝所穿过的位置。在选择人口适宜集中安置区时,场地灾害多发区的适宜度不宜太高。

(4) 在房屋建筑的结构方面,应尽可能减少土木结构房屋。房屋建筑排列方向应考虑该地区大型活动断裂和构造地裂缝的活动形式及其运动方式。

致谢:在玉树地震震害评估与分析过程中,得到了下列部门或单位及时、丰富的数据支持,在此感谢:中国科学院对地观测与数字地球科学中心提供了灾后航空影像和灾前 SPOT-5 图像支持;国土资源部、国家测绘局提供了灾后航空影像和灾前 QUICK BIRD 图像支持;北京视宝卫星图像有限公司提供了灾后 SPOT-5、福卫 2 号和灾前 SPOT-5 数据支持;北京宇视蓝图信息技术有限公司提供了灾前、灾后北京一号小卫星数据支持;北京东方道迩信息技术有限责任公司提供了灾后 RAPIDEYE 数据支持。

References

- [1] LIU Jia hang, YANG Jiarr feng, WEI Cheng jie, et al(柳稼航,杨建峰,魏成阶,等). Journal of Natural Disasters(自然灾害学报), 2004, 13(5): 46.
- [2] WEI Cheng jie, LIU Ya lan, WANG Shi xin, et al(魏成阶,刘亚岚,王世新,等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2008, 12(5): 673.
- [3] WANG Shi xin, ZHOU Yi, WEI Cheng jie, et al(王世新,周艺,魏成阶,等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2009, 13: 364.
- [4] WEI Cheng jie, LIU Ya lan, WANG Shi xin, et al(魏成阶,刘亚岚,王世新,等). Remote Sensing in China(遥感在中国). Beijing: Press of Earthquake(北京:地震出版社), 2000.
- [5] WANG Shi xin, ZHOU Yi, WEI Cheng jie, et al(王世新,周艺,魏成阶,等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2008, 12(6): 900.
- [6] China Earthquake Site Emergency Response Team. 2010. <http://www.cea.gov.cn>.

Investigation and Assessment of Damage in Earthquake in Yushu, Qinghai Based on Multi Spectral Remote Sensing

WANG Fu tao^{1,2}, ZHOU Yi^{1*}, WANG Shi xin¹, LIU Wei liang^{1,2}, WEI Cheng jie¹, HAN Yu^{1,2}

1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The devastating Yushu Earthquake occurred in Qinghai Province, northwest China, with a magnitude of 7.1 on April 14, 2010, which has caused huge destructive losses. Most buildings along the seismic zone were ruined, especially the old and the basic civil structure houses completely destroyed. The earthquake also triggered geological disasters, such as landslides, collapses, debris flows, etc. In the present study, the remote sensing technique was used to assess and analyze the situation of the earthquake damage. There are four classes of feature which can be interpreted according to the remote sensing imageries: (1) the damage degree of buildings, like civilian homes, temples; (2) the field disasters of earthquake, such as ground fissures, landslides, collapses, debris flows, and earthquake subsidence; (3) the damage degree of structures, such as dam; (4) the damage degree of the lifeline, for example, the highway. The features can be obtained according to high spatial resolution of remote sensing imageries, through image processing and interpretation methods. Post disaster rehabilitation and reconstruction phase should fully consider the regional seismotectonic background and the carrying capacity of resources and environment. With the assessment results of earthquake disaster remote sensing, at last, preliminary suggestions were proposed for the rehabilitation and reconstruction planning of Yushu earthquake.

Keywords Multi spectral remote sensing; Yushu earthquake; Earthquake disaster; Disaster assessment

(Received May 14, 2010; accepted Aug. 3, 2010)

* Corresponding author