

文章编号: 1007-4619(2008)06-0865-06

多源雷达遥感数据汶川地震灾情应急监测与评价

邵 芸¹, 宫华泽^{1,2}, 王世昂^{1,2}, 张风丽¹, 田 维^{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: 合成孔径雷达(SAR)具有全天时、全天候成像能力和图像立体感强的优势, 在汶川大地震灾情监测与评估中发挥了不可替代的作用。利用多源多时相高分辨率雷达遥感数据, 对汶川地震灾区各城镇和次生灾害进行了快速、系统、连续的监测, 并根据雷达图像特征对房屋损毁情况、滑坡和堰塞湖的分布与规模等进行了快速定量评估, 建立了相应的解译标志。监测成果及报告呈送了国家各有关部门和救援队伍, 为抢险救灾及灾后重建工作提供了详实、可靠的科学依据。

关键词: 汶川地震; SAR; 房屋损毁; 滑坡; 堰塞湖

中图分类号: TP722.6/TP79 文献标识码: A

性滑坡进行系统深入的调查研究十分必要, 以弄清汶川地震次生灾害成因, 评价其危害程度。

具有全天候、全天时观测能力^[5,6]的高分辨率雷达遥感技术在汶川大地震的地震灾害及滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害的快速监测与评价中发挥了不可替代的作用。特别是利用高分辨率雷达遥感数据成功地识别了地震灾害引发的大量滑坡、堰塞湖, 确定其分布、规模、量算面积、长度等, 并及时上报国务院办公厅、水利部、国土资源部和国家地震局及救援部队。中国科学院遥感应用所参与了震后第一幅都江堰灾区雷达遥感影像图——都江堰地区房屋损坏情况评估和第一幅光学卫星遥感图像——北川唐家山滑坡堰塞湖遥感图像解译与监测工作。完成了北川唐家山滑坡堰塞湖监测解译报告 7份(5月 17 日, 20 日, 24 日, 25 日, 26 日, 29 日, 30 日), 北川县城选址建议报告 1份, 绵竹市、罗江市、安县新城(花荄镇)、旧城(安昌镇)、拱星镇、秀水镇、雎水镇、塔水镇、河清镇房屋损毁监测情况等报告, 青川县红光乡滑坡堰塞湖监测报告 2份, 马边彝族自治县滑坡堰塞湖监测报告 2份, 茶坪乡滑坡堰塞湖监测报告 2份, 汉旺镇滑坡堰塞湖监测报告

1 引言

2008年5月12日14时28分, 四川汶川发生里氏8.0级强烈地震, 这是建国以来发生的破坏性最为严重、波及范围最广、救援难度最大的特大地震灾害。汶川大地震持续时间1m in以上, 诱发的滑坡、泥石流、堰塞湖数量之多、规模之大、危害之重, 史所罕见, 城镇与村落直接被滑坡掩埋或堰塞湖淹没, 造成了惨重的人员伤亡, 大量的道路损毁, 交通阻断, 给救援工作带来了难以想象的巨大困难。利用高分辨率合成孔径雷达(SAR)遥感图像检测到许多巨型滑坡, 面积大, 滑行距离远, 往往从河道的一岸滑向另一岸, 这很难用常规的滑坡概念予以解释, 其中最大的滑坡面积达7km², 其最大滑行距离达4km, 滑坡形成的堆积物覆盖了对面的整条山沟。如此之多的物质迁移需要巨大的能量, 地震能够提供如此之多的能量吗? 为什么汶川地震会诱发如此严重的次生灾害? 其成因与机制究竟是什么? 到目前为止, 所有的调查和科学研究尚未能给出满意解答^[1-4]。因此, 对地震灾区巨型灾难

收稿日期: 2008-07-12 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 国家“863”计划课题(编号: 2007AA12Z168 编号: 2006AA120108), 中国科学院知识创新工程项目(编号: KZCX2-YW-313-2)和遥感科学国家重点实验室基金(编号: 03Q0033149)。

作者简介: 邵芸(1961—), 女, 上海人, 研究员, 博导, 博士, 中国科学院遥感应用研究所微波遥感室主任。1983和1986年分别获北京大学理学学士、硕士学位, 2001年获中国科学院遥感应用研究所博士学位。主要从事雷达遥感理论与应用研究, 发表论文90余篇, 其中SCI论文15篇, 出版专著5部。E-mail: yunsha@irs.ac.cn。

1份。为抗震救灾、受灾人员救援、次生灾害监测做出了贡献。

随着高分辨率雷达卫星 TerraSAR-X、COSMO-SkyMed、RADARSAT-2 的相继发射, 几何分辨率得到显著提高, 极化信息更为丰富, 雷达遥感技术在国土资源、林业、农业、地质矿产、灾情监测等方面的应用得到重要发展。由于 SAR 独特的侧视成像方式, 使得其对山区成像具有很强的立体感, 这一优势在汶川地震灾情应急监测中, 特别是滑坡和堰塞湖的识别和特征分析中, 得到了很好的体现。

本文主要介绍了利用多源多时相高分辨率雷达遥感技术进行房屋损毁和滑坡、堰塞湖监测评估的结果。

2 雷达遥感数据源

在汶川大地震震害应急监测与评估中, 采用了多源多时相高分辨率雷达遥感数据, 包括新型雷达数据 TerraSAR-X 和 COSMO-SkyMed。2 颗卫星的系统参数见表 1

表 1 雷达卫星系统参数表

Table 1 The Parameters of SAR System

发射卫星国家	德国	意大利
卫 星	TerraSAR-X	COSMO-SkyMed
发射时间	2007-06-15	2007-06-08
轨 道 参 数	轨道种类	太阳同步轨道
	卫星高度	514.8km
	重复周期	11d
	轨道倾角	97.44°
传 感 器 参 数	波长	X
	照射方向	右
	入射角	20°—55°
	聚束模 式分辨 率幅宽	1m 10km × 5km
	条带模 式分辨 率幅宽	3m 30km
	扫描模 式分辨 率幅宽	16m 100km
		30m 100km

SAR 在山区成像存在着难以克服的几何畸变现象, 如叠掩、阴影、顶底倒置等, 这些现象会给解译带来重重困难, 造成信息严重缺失。在汶川大地震震害雷达遥感应急监测与评估中, 通过向数据供应商提出雷达成像参数的选择建议, 大大减轻了雷达图像的几何畸变和信息损失达到了较好的成像效果。监测中, 使用的主要是 GEC 产品, 该级别产品经过了地理编码和椭球体校正, 可以满足快速解译分析的基本要求。

3 震区灾情应急监测

3.1 城镇房屋损毁程度评估

汶川大地震发生在四川龙门山逆冲推覆构造带上, 该构造带是青藏高原内部巴颜喀喇地块和中国东部华南地块的边界构造带, 包括灌县—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)及其相关褶皱, 经历了长期的地质演化历史, 具有复杂的结构和构造。地震持续时间 > 1m in, 巨大的地震能量沿着龙门山断裂带释放, 断裂带沿线城镇房屋遭到严重破坏, 破坏程度随地理位置不同有较大变化。图 1 是震后 2008-05-13 COSMO-SkyMed 与震前 KONOS 的对比图, 可以发现红色区域是房屋倒塌比较严重的区域。从雷达图像特征上来看, 城区完好的建筑物呈现比较规则的线状排列, 彼此之间的空间关系符合楼群特征, 由于没有倒塌, 可以看到呈直线状的清晰阴影。因为墙体或屋顶二面角反射效应而使得房屋一侧的后向散射强度高而呈现强回波特征, 强回波位置仍然符合房屋的排列关系。当房屋发生损毁, 房屋排列不再规则, 房屋纹理结构特征发生变化, 二面角反射效应减弱, 而粗糙程度加大, 使得回波普遍增强, 但是纹理结构特征消失, 雷达图像特征表现为一定区域内的高亮目标, 看不出房屋排列关系和阴影。

图 2 为安县安昌镇的房屋损毁评估图, 红色区域代表房屋损毁 60% 以上的区域, 紫色区域为损毁的桥梁。可以看出, 安昌镇的房屋几乎全部损毁。由于安昌镇位于灌县—江油断裂(前山断裂)上, 受到的损坏严重, 所幸周围地势比较平缓, 并没有造成滑坡和泥石流等次生灾害。安昌镇是安县老县城的所在地, 新县城已迁移到了远离断裂的平原地区, 花荄镇所在地, 从地震后的损毁情况来看, 安昌镇的损坏程度远大于花荄镇, 可见县城移址的决策十分正确。



图1 震后COSMO-SkyMed

(a) 2008-05-13与震前KONOS对比图

Fig. 1 Comparison between COSMO-SkyMed

image taken after the Earthquake

(a) 2008-05-13 and (b) before the Earthquake

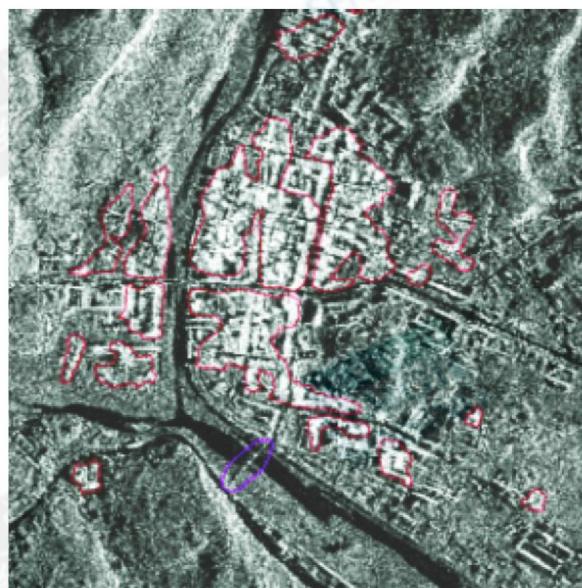


图2 安县安昌镇房屋损毁评估图

(2008-05-16 TerraSAR-X)

Fig. 2 Building damage assessment for An Chang Town,

An Xian County(2008-05-16 TerraSAR-X)

3.2 滑坡堰塞湖雷达遥感应急监测

雷达遥感在汶川地震灾害,特别是滑坡、堰塞湖的应急监测与评估中发挥了不可替代的作用。北川县唐家山巨型灾难性滑坡堰塞湖就是其中一个典型的例子。该滑坡掩埋了唐家山村,由此而被命名为唐家山堰塞湖。汶川大地震后,沿湔江发生了一系列串珠状的滑坡和堰塞湖,唐家山堰塞湖是此次地震诱发的最为严重的次生灾害,水位的持续上涨,造成治城风景区部分进水,堰塞湖尾部不断

向上游延伸,最终完全淹没了漩坪羌族乡所在地(图3)。图中详细标明了各时间节点唐家山堰塞湖的水位情况,可见随着震后长时间的大量降雨,由唐家山滑坡造成的堰塞湖逐渐淹没了漩坪乡、深坑子、治城等多处居民居住区。唐家山堰塞湖蓄水量一度超过 2亿 m^3 。

滑坡是斜坡上的岩体或土体在重力的作用下,沿一定的滑动面整体下滑的现象。四川西部山区植被覆盖率高,所以滑坡通常会造成植被的大面积破坏,雷达图像上表现出与周围植被覆盖区域明显不同的后向散射强度。另外,由于SAR对地表粗糙度和介电特性的敏感性以及立体感强的特点,使得SAR图像易于识别滑坡体后壁和前缘等特征。图4是2008-05-16TerraSAR-X雷达图像监测到的唐家山滑坡。根据照射方向调整目视解译角度,在增强了的立体效果下,解译出滑坡体后壁、从河道的一岸滑向另一岸的滑坡堆积物、滑行距离(1117.5m)和滑坡总面积(676950m^2)。红色箭头所指方向为滑坡滑动方向,可以看到南侧山坡大面积滑动,在河谷转弯处堆积,造成河道堵塞,在上游形成堰塞湖。由于堵塞位置位于河道转弯处,水流冲击能力小,加之滑坡巨大,因此短时间内滑坡体很难被冲垮而造成泄洪,上游蓄水量故而急剧上升。



图4 唐家山滑坡(2008-05-16 TerraSAR-X图像)

Fig. 4 Tangjiaoshan Landslide(May 16, 2008 TerraSAR-X)

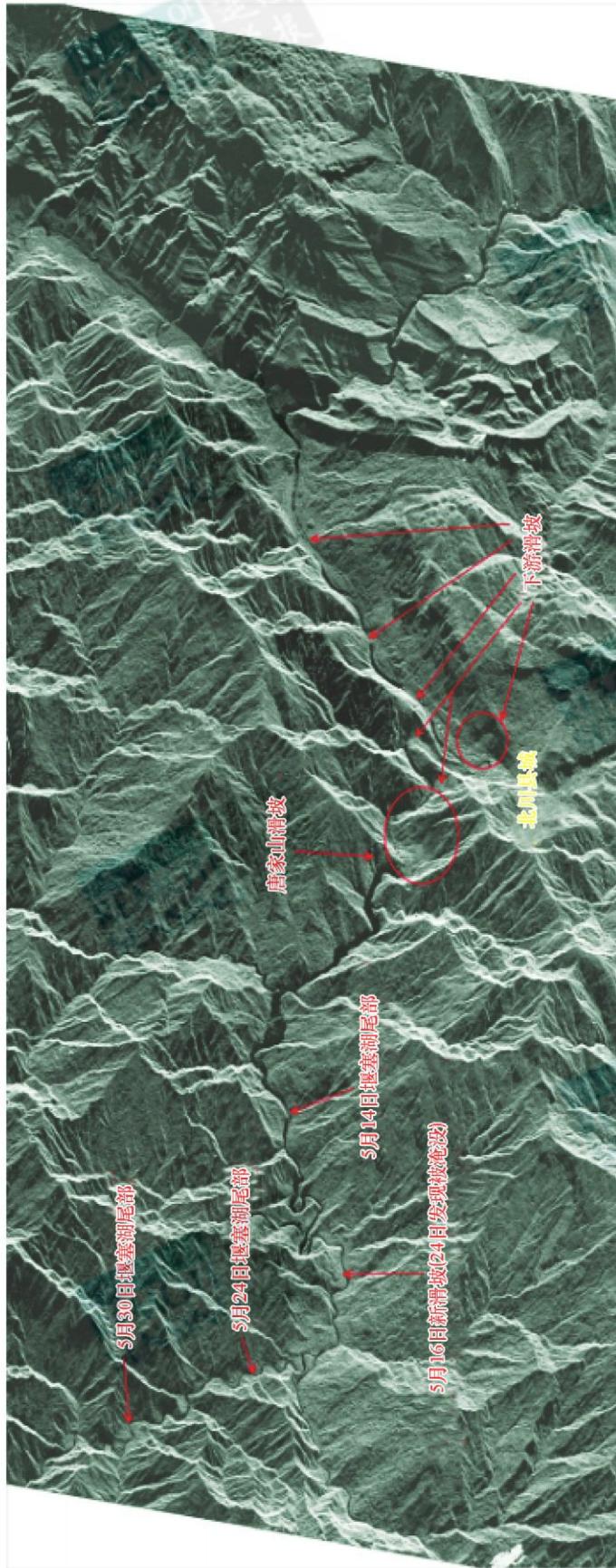


图 3 唐家山滑坡堰塞湖雷达卫星影像解译图
(根据 2008 年 5 月 16 日 7 时 02 分 3 米幅宽 30km TerraSAR-X 雷达卫星影像制作, 中国科学院遥感应用研究所, 北京视宝卫星图像有限公司)

Fig. 3 SAR Image interpretation map for tangjiashan landslide and landslide lake (May 16, 2008, TerraSAR-X)

通过对汶川地震滑坡监测来看,大型滑坡通常发生在存在大量山体凌空面的河谷地带。地震活动诱使山体岩石崩塌下来,引起山崩、滑坡,堵截阻断河道,蓄水而形成的湖泊,即堰塞湖。堰塞湖的拥堵物质不是固定不变的,它们受冲刷、侵蚀、溶解等作用产生崩塌。一旦拥堵物质被破坏,湖水便漫溢而出,倾泻下来,形成洪灾,对下游城镇乡村的居民带来巨大威胁。因此,对滑坡及其造成的堰塞湖进行监测是汶川地震雷达遥感应急监测的重点。

图5是高川乡泉水坪大滑坡解译图,雷达图像上量测该滑坡体滑坡总面积为 7044096 m^2 ,滑坡体滑行距离为4192 m,为目前在地震灾区所发现的最大滑坡,所幸该滑坡处远离河道和居民点,没有形成堰塞湖。但如此之多的物质运移显然需要巨大的能量,而仅仅是地震能提供如此之多的能量吗?需要深入的研究才能合理地解释发生于地震灾区的这些巨型灾难性滑坡。

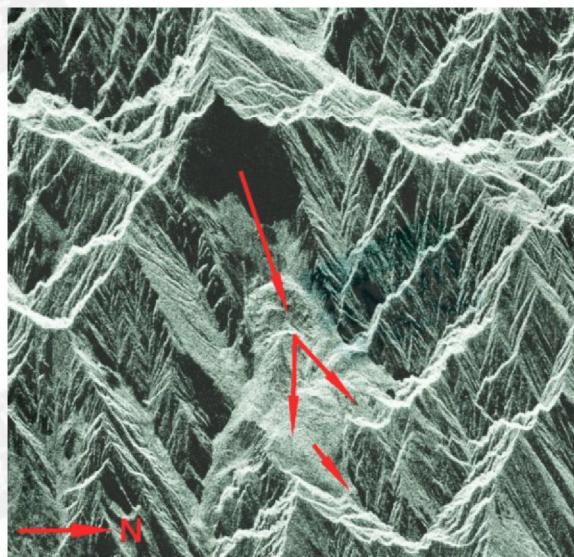


图5 高川乡泉水坪大滑坡雷达图像

Fig. 5 SAR image of quanshuping landslide

河道水体由于其表面光滑,雷达回波非常微弱,所以在雷达图像上表现为条带状蜿蜒的暗色调区域,容易识别。次生灾害中,堰塞湖的威胁要更大一些,所以对于堰塞湖的识别与监测是非常重要的。我们采取的流程是:

- (1)利用雷达图像水体的解译标志搜寻水体;
- (2)根据水体呈线状连续分布的特征,排除掉阴影;
- (3)根据地势分析出上下游关系,结合上下游

水面大小初步确定是否存在滑坡阻塞河道;

(4)在重点关注区域内,识别滑坡及相应的滑坡特征(滑坡后壁、滑坡舌和滑坡面等)。

对于已经确认的高危堰塞湖(如唐家山堰塞湖),利用可用的雷达遥感数据进行时序性监测。

图6是青川县红光乡东河口村滑坡,该滑坡阻塞在青竹江和红石河的交汇处,形成了2段堰塞湖。在东河口青竹江上游出现另一处滑坡,为河道两侧山体同时崩塌,碎石阻塞河道形成。图6左下角图像为震前SPOT-5图像,用于对比分析。

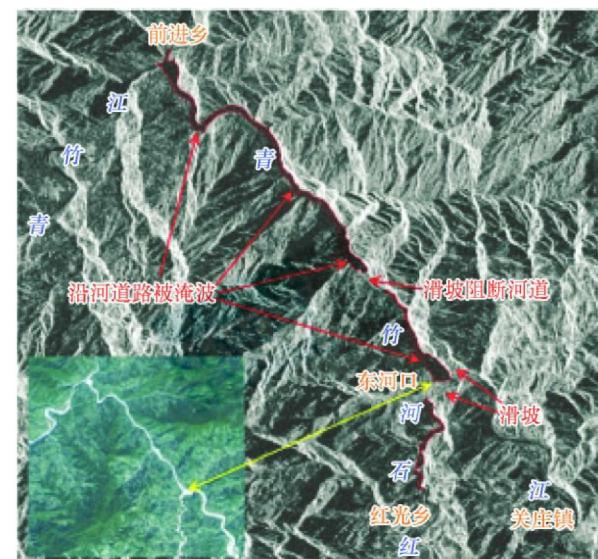


图6 东河口滑坡及堰塞湖雷达图像

Fig. 6 Donghekou landslide and landslide lake

4 结论与讨论

雷达遥感技术的全天时、全天候成像能力以及立体感强的优势,使得其在各类灾害监测中发挥着极其重要的不可或缺的作用。但是由于雷达图像的处理分析面临着许多困难,需要国家各相关部门予以重视和支持。

致谢 汶川地震多源雷达遥感应急监测与评估工作得到了北京视宝卫星图像有限公司和北京同天视地空间技术有限公司提供的震后雷达遥感数据和震前光学数据,同时得到了科技部国家遥感中心和中国科学院遥感应用研究所各位领导和同事的大力支持,在此表示衷心感谢!

参考文献 (References)

- [1] Stone R. Sichuan disaster Landslides flooding pose treats as experts survey quake's impact [J]. *Science, News of the Week*, 2008-05-23, **320**: 996—997.
- [2] Stone R. Wenchuan earthquake Scientists race against the clock to gauge landslide risk [J]. *Science, News of the Week*, 2008-06-13, **320**: 1408.
- [3] Stone R. Wenchuan earthquake An unpredictably violent fault [J]. *Science News Focus*, 2008-06-20, **320**: 1578—1580.
- [4] Parsons JT, Ji C, Kirby E. Stress changes from the 2008 Wenchuan earthquake and increased hazard in the Sichuan basin [J]. *Nature*, 2008, **454**: 509—510.
- [5] Guo H D. Radar for Earth Observation Theory and Applications [M]. Beijing: Science Press, 2000. [郭华东, 雷达对地观测理论与应用, 北京: 科学出版社, 2000]
- [6] Guo H D. Radar Remote Sensing Applications in China. Taylor & Francis Books Ltd(泰勒·弗兰西斯出版社), 英国伦敦, 2000.

M ultisource SAR Remote Sensing Data for Rapid Response to Wenchuan Earthquake Damage Assessment

SHAO Yun¹, GONG Hua-ze^{1,2}, WANG Shifang^{1,2}, ZHANG Feng-li¹, TIAN Wei^{1,2}

(1 State Key Lab of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Synthetic Aperture Radar (SAR) has significant advantages in disaster monitoring that are all weather, independent of illumination imaging capabilities and strong stereoscopic sense. SAR technology played irreplaceable role in rapid response to Wenchuan Earthquake monitoring and damage assessment. Wenchuan Earthquake generated numerous of landslides, landslide lakes and dams, as well as debris flows. Their quantity, scale and dimension broke historic records. Landslides buried towns and villages, blocked up river channels which inundated villages and heavily destroyed the road networks and made the rescue work extremely difficult. The hardship of rescue efforts was beyond of human imagination in Wenchuan Earthquake. With high resolution SAR images we detect a great deal of landslides and landslide lakes. Those giant catastrophic landslides reach very large size and scale. One of the largest landslides we detect has total area of 7 km² and fly distance of 4 km. They fly from one side of the river bank to the opposite bank. It is hard to explain their behavior and scale with ordinary concept of landslide. Moving such amount of material needs tremendous energy. Does Wenchuan Earthquake provide such amount of energy? Why does Wenchuan Earthquake generate so many seismic secondary disasters? Certainly geosciences community needs further research to solve this puzzle.

The microwave remote sensing division in Institute of Remote Sensing Applications made 7 reports on Tangjiashan landslide and Landslide Lake, Beichuan county with multi-temporal SAR images, 7 reports on other landslides and landslide lakes, 1 report on building damage assessment for several counties including Anchang town, Huagai Town, Mianzhu City and Luojiang City. All the reports were delivered to central and local government ministries and rescue teams. This paper summarizes the work that has been done for Wenchuan Earthquake.

This paper presents the SAR image interpretation on building damage assessment, landslide and landslide lake monitoring, especially their characteristics on SAR images. The damaged building normally has no clear texture or shadow in contrast with buildings in good conditions. Owing to the good stereoscopic sense of SAR images we can identify the back scar, debris deposit, fly trace and measure the total area and the flying distance of a landslide. With continuously acquired multi-temporal SAR images, including TerraSAR-X and COSMO-SkyMed satellite SAR images, we can track the development of a landslide lake such as Tangjiashan Landslide Lake. As water level rising, the small towns such as Xuan Ping, Zhicheng and village Shengkenzi are inundated. The Xuan Ping Town is finally total underwater. Many roads along the Jian River are inundated as well. The tail of Tangjiashan Landslide Lake extends toward upstream gradually, and widens the river channel obviously. All the information extracted and evaluation delivered from SAR images made great contribution to the decision making and rescue action.

Key words Wenchuan Earthquake, SAR, building damage, landslide, landslide lake