

文章编号: 1008-2786-(2008)3-257-06

# 基于多源遥感数据的 5·12汶川地震 诱发堰塞体信息提取

范建容<sup>1,2</sup>, 田兵伟<sup>2</sup>, 程根伟<sup>1,2</sup>, 陶和平<sup>2</sup>, 张建强<sup>2</sup>, 严冬<sup>2</sup>, 苏凤环<sup>1,2</sup>, 刘斌涛<sup>2</sup>

(1 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川成都 610041; 2 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041)

**摘要:** 5·12汶川地震诱发了大量的次生山地灾害, 主要包括崩塌、滑坡、堰塞湖和泥石流等。大型滑坡堵塞河道后形成的堰塞湖则是震后最为严重的次生灾害。本文利用多源遥感数据获取四川 5·12汶川地震诱发堰塞体信息, 查明了灾区主要堰塞体的分布数量及其分布规律, 同时获取了形成堰塞体的滑坡体的部分信息。研究表明, 主灾区堰塞体总数 37个, 其分布与地震断裂带一致; 73%的堰塞体呈串珠状分布; 80%的堰塞体发生在河流急拐弯区域。

**关键词:** 多源遥感; 汶川地震; 堰塞体; 堰塞湖; 调查

**中图分类号:** P316 P694 P642 TP79 P407

**文献标识码:** A

在山区地震中, 由于地震引发的山体滑坡造成滑坡体堵塞河道形成堰塞湖。堰塞湖是山区地震次生灾害的重要形式。聂高众等<sup>[1]</sup>根据堰塞湖形成原理和造成的灾害将我国自 1856 年以来产生的 141 个地震堰塞湖进行了分类; 吕杰堂等<sup>[2]</sup>开展了西藏贡嘎滑坡堰塞湖的卫星遥感监测初步研究, 快速获取溃坝前的湖面面积、水位、水量变化; 王治华等<sup>[3]</sup>采用滑坡发生前后 13 个时相的中高分辨率相结合 (ETM 15m, ASTER 15m, SPOT5 10m & 5m, QuickBird 0.6m, Orbview 1m, CBERS2 1m) 的 6 种传感器数据对发生在中印边界附近帕里河上的滑坡形成的堰塞湖进行调查, 采取人机交互解译的方法, 对滑坡体岩性、产状、坡型、滑坡体投影面积做出快速分析。国外研究较多地集中于利用多源遥感手段监测高山区冰碛物堰塞湖的发展以及评估冰湖溃坝的可能性。Quincey 等<sup>[4]</sup>利用 ERS1/2、SPOT5 以及航片数据对喜马拉雅山区冰川退化形成的冰碛物堰塞湖进行了研究, 研究表明遥感技术适用于对冰湖溃坝的危险性进行评估; McKillop 等<sup>[5]</sup>采用航空摄影数据调查了加拿大 British Columbia 西南部山区

的 175 个冰碛物堰塞湖, 基于 Logistic 回归分析方法得到了 4 个估算堰塞湖溃决可能性的最佳因子。而对于地震后大范围的堰塞体及堰塞湖的遥感调查技术与方法未见文献报道。

2008-05-12 T14 28 分四川省汶川县发生里氏 8.0 级大地震, 地震主灾区位于四川西部山区, 该区域交通条件相对较差, 加之由于地震震中地区的对外通讯、交通中断, 部分地区道路损毁严重, 救援人员无法进入, 这些都给救援工作带来很大困难, 迫切要求充分发挥遥感技术在抗震救灾工作中的作用。此次地震诱发大量崩塌、滑坡, 大规模崩塌、滑坡往往会形成堰塞体堵塞河道, 形成的堰塞湖威胁上下游人民的生命和财产安全, 是震后最为严重的次生灾害。本文探索基于多元遥感数据的堰塞体信息快速提取技术与方法, 为抗震救灾的应急提供支持。

## 1 研究区概况

研究区域为四川省 5·12 汶川地震重灾区, 包

收稿日期 (Received date): 2008-08-25.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院成都山地灾害与环境研究所 5·12 汶川地震科技救灾特别专项。[Supported by the Special Fund of Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences for the earthquake of May 12 in Wenchuan.]

作者简介 (Biography): 范建容 (1969-): 博士, 副研究员, 研究方向: 环境遥感和水土保持。E-mail: fjrong@imde.ac.cn [Fan Jianrong (1969

括汶川、北川、青川、安县、平武、茂县、都江堰、江油、彭州、什邡、绵竹、崇州等市县。地震的震中汶川以及随后的余震震中位于龙门山断裂构造带上。龙门山断裂构造带位于四川西部,由汶川-茂汶断裂、映秀-北川断裂、安县-灌县断裂及虎牙断裂构成,成北东-南西向延伸,长约 300 km,宽 50~70 km。断裂带的东南侧为成都平原,地势平缓,而西北侧为青藏高原东缘山区。地震区域为高山峡谷区,地势由东南向西北方向逐渐增高,大的山脉包括岷山和邛崃山,其中最高点为 6 250 m 的四姑娘山。区域地质构造复杂,断裂发育,属于滑坡和泥石流等山地灾害多发区,岷江、沱江、涪江嘉陵江及其支流网状布满整个区域,河道众多,震后极易形成堰塞湖。该地区受冬、夏季风的交替作用,全年干雨季比较明显。冬半年受西风环流的控制,寒冷干燥,夏半年,一般从六七月份开始,受副热带环流控制,海洋气候增强,雨日多,降水高度集中。而目前正逐渐进入雨

季,集中的降雨将会直接导致堰塞湖水量的增加,威胁人民生命财产安全。

## 2 堰塞体遥感信息提取方法

### 2.1 数据源

采用多源遥感数据、DEM 数据和地形图数据进行四川 5• 12汶川地震灾区堰塞体调查和分析。

#### 2 1 1 遥感数据

由于卫星绕地球运动具有周期性以及卫星成像幅宽的限制,同一平台的卫星数据覆盖无法在短时间内 (2~3 d) 获取研究灾区范围全部数据,更难以满足灾害面前应急调查快速监测的需求。除此之外,光学影像也无法在有云雨地区获得较好影像,所以包括雷达、光学和航片在内的多源遥感影像调查方法成为灾后整个灾区范围内堰塞体调查的最佳方法手段。调查中使用的主要遥感影像数据见表 1。

表 1 遥感影像数据  
Tab 1 Remote sensing image data

卫星类型	地面分辨率 /m	接收时间 /月. 日	有效数据部分覆盖区域
FORMSAT- 2	2	5. 14 5. 16 5. 19	北川, 都江堰, 茂县, 汶川等
SPOT- 5	2. 5	5. 15 5. 16	茂县, 汶川, 青川, 文县, 武都
TerraSAR	1. 0	5. 15 5. 17	安县, 北川, 广元, 中江等
COSMO	3. 0	5. 13	都江堰
Landsat- 5 TM	30	5. 15	北川, 都江堰, 茂县, 汶川等
RADARSAT	6. 25	5. 14 5. 17	成都, 德阳, 广元, 绵阳等
ENVISAT	12. 5	5. 22	平武, 德阳等
ALOS	2. 5	5. 15 5. 16 5. 18	平武, 北川, 安县, 绵竹等
Quickbird	0. 61	5. 14	德阳
WorldView	0. 5	5. 15 5. 16	汶川, 绵阳, 江油, 德阳

#### 2 1 2 地形图

主要采用 1: 25 万地形图, 部分点采用 1: 10 万和 1: 5 万地形图。地形图是一种精度高, 便于几何配准的基础图件。在调查中其主要作用有: 1. 以地形图为地理坐标基准, 对遥感数据进行几何精校正; 2. 通过地形图定位堰塞体的经纬度位置和所在的河流; 3. 其他相关地形信息的获取等。

#### 2 1 3 DEM

主要采用 100 m 空间分辨率的 1: 25 万 DEM, 部分采用 25 m 空间分辨率的 1: 5 万 DEM。DEM 是数字正射遥感影像制作过程中微分纠正的数字地

形支撑。在调查中它的主要作用有: 1. 高程分析及有关的地貌形态分析; 2. 遥感影像的正射校正。

### 2.2 调查方法

#### 2 2 1 遥感影像预处理

在已有矢量地形图、水系图、交通图、行政图和栅格 DEM 数据的基础上, 首先对多源多特征的各类遥感影像的在 Erdas 9. 1 中进行几何精校正和正射校正, 然后对这些数据进行融合和色彩增强。

#### 2 2 2 堰塞体信息提取

基于抗震救灾快速准确获取堰塞体位置和需求, 堰塞体的提取主要基于人机交互解译来完

成。为了保证精度, 由两组人分别进行解译和相互检验, 并结合野外实地调查资料进行部分验证。此外, 在初步绘制堰塞体分布图和研究堰塞体分布规律的基础上, 结合震前调查滑坡、泥石流分布图和有

效的遥感影像数据对堰塞体可能分布的地区 (如地震带范围内, 中小型河道等) 进行了拉网式调查。堰塞体形成过程和多源遥感调查流程如图 1。

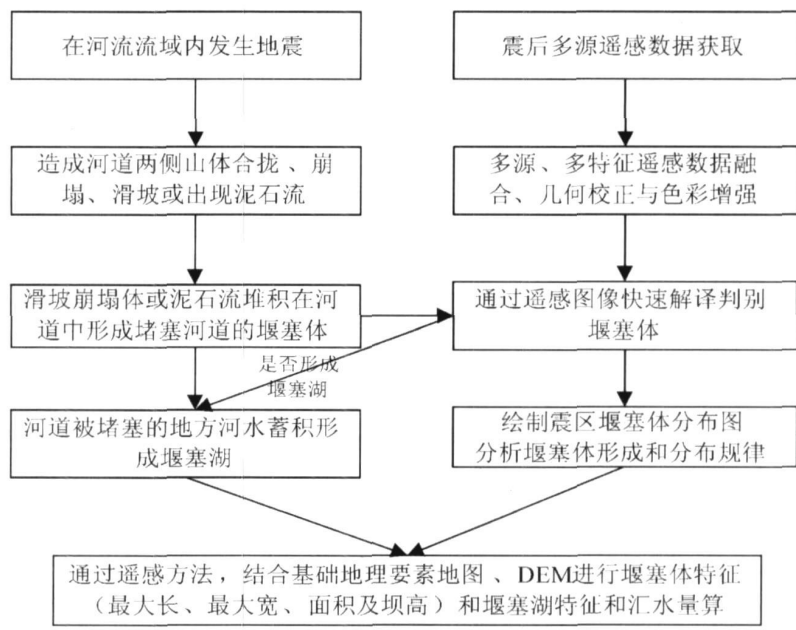


图 1 堰塞体形成过程和多源遥感调查流程图

Fig 1 Process of damming object formation and multi-platform remote sensing investigation flow chart

### 3 结果与讨论

调查表明, 地震灾区堰塞体广泛分布, 且堰塞体与地震、崩塌、滑坡、河道分布及山区河流形态之间存在一定的相关关系。

#### 3.1 堰塞体分布

截止 2008-05-19 四川灾区地震诱发滑坡或泥石流形成堰塞体共计 37 个, 其中北川 11 个, 安县 9 个, 什邡 5 个、青川县 4 个、绵竹 3 个、茂县 2 个、彭州 1 个、平武 1 个、汶川 1 个, 堰塞体分布见图 2。

#### 3.2 堰塞体与地震带分布的关系

通过对堰塞体分布与截至 2008-05-25 下午 4 0 级以上地震分布以及龙门山断裂和龙门山地震带叠加分析 (如图 3 所示), 堰塞体的分布规律与地震带的分布规律基本一致。这对灾害管理有着重要的意义, 当地震发生时, 可依据这种规律快速判断可能出现地震堰塞湖的地点, 及时做好准备, 预防和减少堰塞湖溃决可能带来的重大次生灾害。

#### 3.3 堰塞体与山区河道分布及河流形态的关系

堰塞体多分布于山区河道的中小河流, 由于堰塞体的存在致使堰塞湖形成, 尽管在岷江上出现了三处堰塞体, 由于山区河流比降较大, 河流径流量大, 并未堵断河道而形成堰塞湖。堰塞湖均出现在中小河流, 汇水面积最大的为唐家山, 其汇水面积 3 543.61 km<sup>2</sup>。

与地震带一致, 堰塞体分布于岷江、沱江、涪江、嘉陵江 4 个流域, 其中涪江流域堰塞体最多, 占总数的 57%。山区中分布的河道主要为弯曲型河道, 山区河流沿程由于地质构造和岩性的变异, 常发展成峡谷段和宽谷段相间的藕节状外形。堰塞体多分布于河流急转弯的区域, 该区域的堰塞体占总数的 80%, 且多呈串珠状分布, 串珠状分布的堰塞体占总数的 73%。

因地震诱发形成的堰塞体多呈串珠状分布, 但不是所有的堰塞体都形成堰塞湖。如图 4 卫星遥感影像所示, 北川唐家山滑坡堰塞体下游几公里内的 4 个堰塞因距上游堰塞体较近, 汇水面积非常小, 河

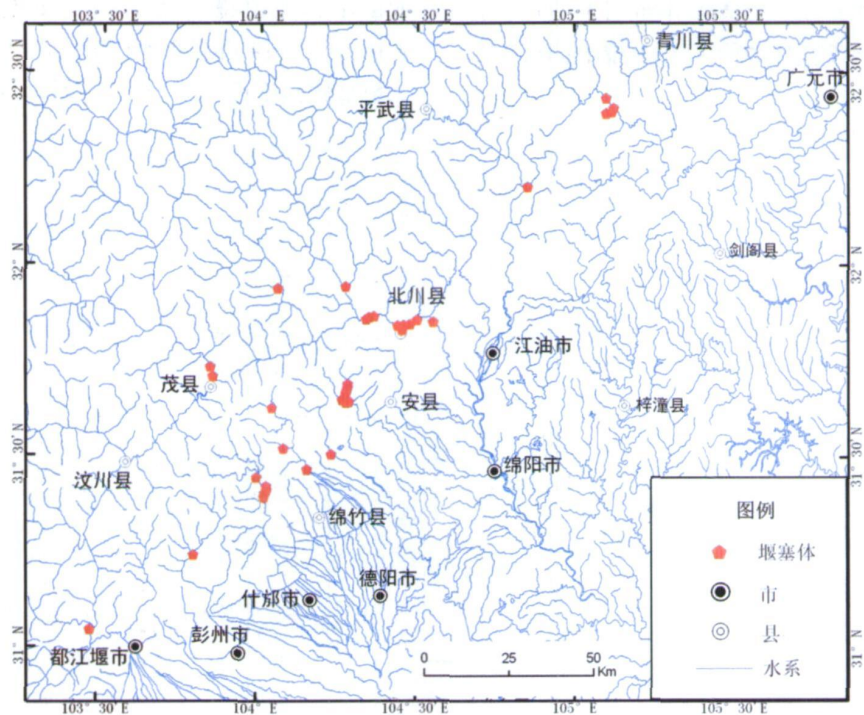


图 2 汶川地震诱发堰塞体分布图

Fig. 2 Distribution of the damming objects induced by earthquake of Wenchuan

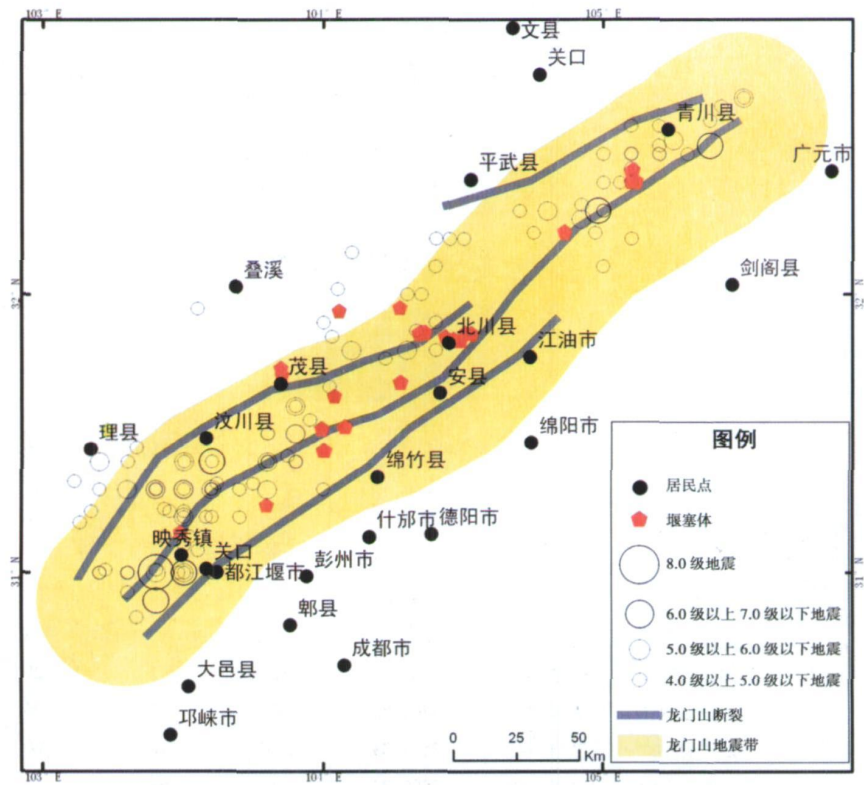


图 3 堰塞体与地震带分布的关系图

Fig. 3 Distribution relation between damming objects and earthquake fault zone

段仅有少量水, 并没形成堰塞湖, 在统计时应计算为一个堰塞湖, 否则堰塞湖数量偏大。根据遥感调查, 现有的实际堰塞湖数量少于堰塞体数量。

3.4 堰塞体及其滑坡体特征

根据 5 月 14 日至 5 月 19 日的卫星遥感影像, 获取了灾区堰塞体及其滑坡体的特征信息, 表 2 为北川县堰塞体及其滑坡体的主要特征信息。表中 1 号、2 号、11 号堰塞体为单体分布, 3~ 5 号、6~ 10 号分别为两个串珠状分布的堰塞体; 3 号、4 号、5 号堰

塞体在 14 日影像上未见坝体, 16 日影像上显示有坝体, 18 日、19 日影像均显示回水已淹没坝体; 唐家山滑坡为其中最大的滑坡, 同时形成的堰塞体也最高。

4 结论

利用多源遥感数据可以快速定位堰塞体的位置, 更加准确实时定位堰塞湖分布; 应用卫星遥感数

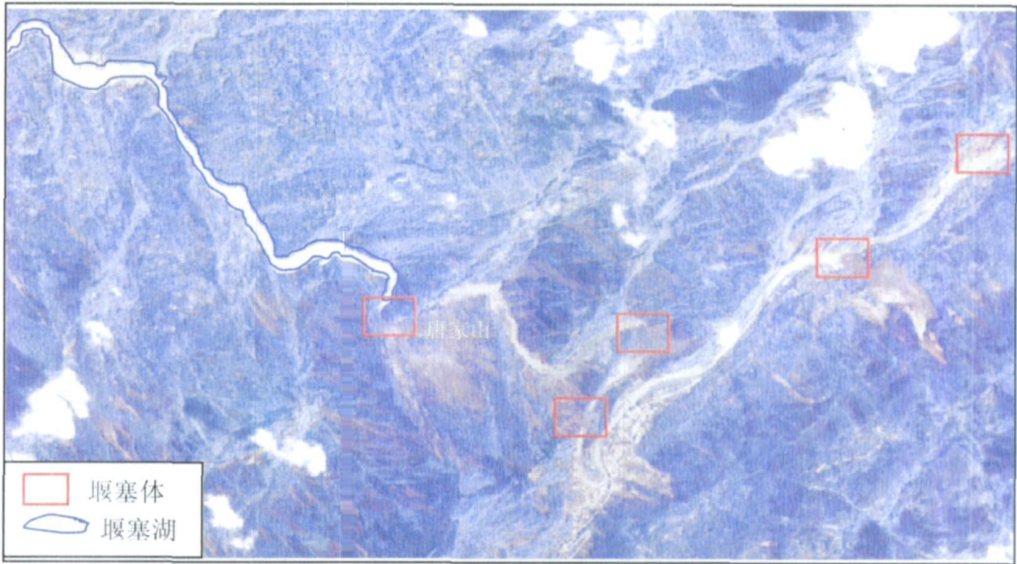


图 4 北川县城附近区域堰塞体与堰塞湖分布

Fig 4 Distribution of damming objects and dammed lakes in the region near the county town of Beichuan

表 2 北川县地震诱发堰塞体调查结果

Table 2 Results of investigation of the damming objects induced by the earthquake of Beichuan

序号	地名	河流	东经	北纬	汇水面积 (km <sup>2</sup> )	滑坡体特征			遥感影像时相 (月. 日)
						最大长 (m)	最大宽 (m)	面积 ( × 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	
1	白什	湍江上游青片河	104° 03′ 30″	31° 56′ 26″	70. 76	390	90	21	5 14~ 5 19
2	开坪	湍江上游后园沟	104° 16′ 28″	31° 57′ 05″	265. 56	310	350	5	5 14~ 5 19
3	水田坝	湍江	104° 20′ 36″	31° 51′ 37″	3313. 30	483	658	25	5 16
4	谢家坝	湍江	104° 21′ 04″	31° 51′ 47″	3317. 02	254	144	4	5 16
5	十里碑	湍江	104° 21′ 53″	31° 51′ 51″	3330. 95	160	802	20	5 16
6	唐家山	湍江	104° 26′ 17″	31° 50′ 51″	3543. 61	1340	1130	150	5 14~ 5 19
7	苦竹坝	湍江	104° 28′ 02″	31° 50′ 29″	3563. 76	620	427	29	5 14~ 5 19
8	新街村	湍江	104° 27′ 36″	31° 49′ 58″	3565. 88	405	350	24	5 14~ 5 19
9	沙坝	湍江	104° 29′ 33″	31° 50′ 02″	3581. 83	1780	460	60	5 14~ 5 19
10	白果村	湍江	104° 30′ 36″	31° 51′ 39″	3598. 34	356	637	17	5 14~ 5 19
11	马滚岩	通口河	104° 32′ 51″	31° 51′ 33″	3942. 24	750	390	21	5 14~ 5 19



据可准确获取地震次生灾害诱发堰塞体的滑坡体平面形态特征,结合DEM可较准确获取堰塞体的高度;同时,根据灾区多云的特点,雷达遥感数据能有效弥补云覆盖区信息缺乏的问题,满足抗震救灾应急需求。应用多源遥感影像通过堰塞体信息的获取,为进一步确定堰塞湖类型、特征及其危害提供依据。

**致谢** 调查工作得到中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所领导及章书成研究员的大力支持。文章使用的遥感数据由以下单位免费提供:福卫2号、TerraSAR、SPOT数据来自北京视宝卫星图像有限公司;部分QUICKBird数据和ALOS数据来自北京天目创新科技有限公司,TM、P6 RADARSAT数据来自中国科学院对地观测与数字地球科学中心;COSMO数据来自北京同天视地空间技术有限公司。在此对提供数据的以上单位表示衷心的感谢。

## 参考文献

[1] Nie Gaozhong, Gao Jianguo, Deng Yan. Preliminary study on earth-

quake-induced dammed lake[J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(3): 293~301 [聂高众, 高建国, 邓砚. 地震诱发的堰塞湖初步研究[J]. 第四纪研究, 2004, 24(3): 293~301]

[2] Lu Jietang, Wang Zhihua, Zhou Chenghu. A tentative discussion on the monitoring of the Yigong landslide-blocked lake with satellite remote sensing technique[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(4): 363~368 [吕杰堂, 王治华, 周成虎. 西藏易贡滑坡堰塞湖的卫星遥感监测方法初探[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 363~368]

[3] Wang Zhihua, Xu Qide, Yang Rihong *et al*. Remote sensing survey for a landslide disaster in the boundary river between China and India[J]. *Science & Technology Review*, 2007, 25(6): 27~31 [王治华, 徐起德, 杨日红等. 中印边界附近帕里河上的滑坡灾害遥感调查[J]. 科技导报, 2007, 25(6): 27~31]

[4] D. J. Quincey, S. D. Richardson, A. Luckman *et al*. Early recognition of glacial lake hazards in the himalaya using remote sensing datasets[J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 56(1-2): 137~152

[5] Robin J. McKillop, John J. Clague. Statistical Remote sensing-based approach for estimating the probability of catastrophic drainage from moraine-dammed lakes in southwest british columbia[J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 56(1-2): 153~171

# Investigation on Damming Object Induced by the Earthquake of Wenchuan on May 12 Based on Multi-platform Remote Sensing

FAN Jianrong<sup>1, 2</sup>, TIAN Bingwei<sup>1, 2</sup>, CHENG Gengwei<sup>1, 2</sup>, TAO Heping<sup>2</sup>,

ZHANG Jianqiang<sup>2</sup>, YAN Dong<sup>2</sup>, SU Fenghuan<sup>1, 2</sup>, LIU Bintao<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Sichuan Chengdu, 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Sichuan Chengdu, 610041, China)

**Abstract** The earthquake of Wenchuan on May 12 had led to large quantities of secondary mountain disasters such as rock fall, landslide, dammed lake as well as debris flow. The dammed lakes which were formed after the river channel had been dammed by large scale landslide were the most severe secondary disasters after the earthquake. Data of multi-platform remote sensing were acquired to obtain the information of the damming objects induced by the earthquake of Wenchuan while the quantity and distribution of the main damming objects in disaster area were investigated. At the same time, some information of the landslide mass which formed the damming objects was also obtained. The study shows that there were 37 damming objects in the main disaster area and the distribution of the damming objects was consistent with the distribution of the earthquake fault zone; 73% of the damming objects had a moniform distribution while 80% of the damming objects took place at the sharp turning areas of the river channel.

**Key words** multi-platform remote sensing; earthquake of Wenchuan; damming object; dammed lake; investigation