

文章编号: 1007-4619(2008)06-0900-08

汶川地震重灾区堰塞湖次生灾害危险性遥感评价

王世新, 周艺, 魏成阶, 邵芸, 阎福礼

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 地震堰塞湖的破坏性不亚于地震灾害的直接破坏, 开展堰塞湖的危险性评估, 对灾后重建具有重要的参考意义。利用高分辨率遥感数据, 结合辅助数据, 确定了汶川灾区 52 处主要堰塞湖的名称、空间位置, 识别出其鲜明的线状空间分布特征。堰塞湖的危险性评价, 分为极度危险(1个)、高度危险(5个)和危险(46个)3个等级。遵循溃坝威胁区确定原则和方法, 对堰塞湖溃坝威胁区进行了分析和划分, 结果表明, 重灾区受堰塞湖溃坝威胁的总面积为 963.27 km², 涉及 18 个县市(区)的 134 个乡镇。最后, 对汶川地震重灾区的重建规划和堰塞湖风险规避提出了初步的建议。

关键词: 汶川地震; 堰塞湖; 遥感分析; 危险性评价

中图分类号: TP79 文献标识码: A

1 堰塞湖及其危险性

堰塞湖是由于地震活动、火山熔岩流、冰碛物等原因引起山体崩塌、滑坡堵截山谷或河谷后储水而形成的湖泊。因地震引发大规模山体崩塌、滑坡并堵塞河道而形成的湖泊, 称为地震堰塞湖(简称堰塞湖)。

山体崩塌、滑坡等堵塞物作为堰塞湖的天然坝体, 堵塞了河道的正常水流, 会造成堰塞湖区内的水位不断升高, 水体的渗流压力逐渐增大, 在疏松堆积的堰塞湖坝上形成管涌, 从而造成垮坝。湖水溃决而出, 倾泻而下, 形成洪灾等次生灾害, 其破坏性不亚于地震灾害的破坏力。

堰塞湖溃决有瞬时全溃、瞬时部分溃决、逐步溃决等3种形式。瞬时全溃危险性最大, 逐步溃决相对危险性较小。通过对堰塞湖进行动态监测和风险评估, 对威胁大、风险高的堰塞湖采取及时、必要的除险措施, 实现可控的逐步溃决、降低水位, 将会极大降低堰塞湖的威胁程度。

在汶川地震中, 由于地震烈度、地质条件、水系分布和地形地貌背景等多重因素的共同作用, 形成了多处规模不等的堰塞湖, 给灾区造成了重大的次

生灾害威胁。堰塞湖的除险、防治和应急避险成为抗震救灾工作的一项重要内容。

在堰塞湖风险没有完全解除的情况下, 开展其危险性评估, 确定并划分堰塞湖威胁区, 对灾后重建科学规划和有效实施, 具有重要的参考意义。

2 汶川地震重灾区堰塞湖分布和危险性评估

2.1 汶川地震重灾区堰塞湖分布状况

堰塞湖的遥感监测主要利用 2008-05-12—2008-06-12 汶川地震重灾区的卫星、航空、无人机等高分辨率遥感数据, 结合相关部门提供的汶川地震堰塞湖基本情况, 分析、确定重灾区主要的堰塞湖及其空间位置^[1-3]。

堰塞湖主要根据其图像特征进行判断和确定。一般情况下, 在堰塞湖的下游存在明显滑坡体或崩塌堆积物, 且完全堵塞河道, 造成坝体上游河道显著加宽, 下游出现断流, 利用光学和 SAR 数据均可判断; 当堰塞湖水位高过坝体时, 在坝体顶部有溢流现象; 与正常河流相比, 堰塞湖水体由于坝体的阻隔, 水流缓慢, 造成泥沙沉积, 水体相对清澈, 水面有大量漂浮物存在, 利用光学图像可显著判别;

收稿日期: 2008-07-12 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 本研究得到中国科学院知识创新重要方向性项目“国家汶川地震灾后重建规划编制——资源环境承载能力评价”的支持。

作者简介: 王世新(1965—), 男, 研究员。毕业于中国科学院研究生院地图学与地理信息系统专业, 主要从事自然灾害与环境遥感应用研究, 发表 SCI、CSCD、EI 论文 42 篇。

由于水位的上升,堰塞湖岸边部分建筑物和道路被淹没,光学和 SAR 图像特征明显。

堰塞湖位置主要利用几何精纠正图像,根据坝体中心点位置,确定其经纬度坐标。

堰塞湖名称的确定主要利用 2001 年出版的《四川省地图集》⁴⁾,并结合 2008 年《四川省电子地

图》⁵⁾和国家测绘局基础地理信息中心提供 1:5 万基础地理数据,选取距离坝体最近、同岸的村镇而命名。一些堰塞湖处大山深处、村落稀少,采用较近的村镇,按上下游顺序编号进行命名。

截止到 2008-06-12 汶川地震重灾区共存在 52 处堰塞湖(详见表 1 和图 1)。

表 1 汶川地震重灾区堰塞湖基本情况

Table 1 The basic information of the 52 dammed lakes in the 'Wenchuan Earthquake'

序号	名称	所在市县	所在河流	空间位置	
				经度(东经(°))	纬度(北纬(°))
1	唐家山	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.428	31.8450
2	毛坪盖	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.460	31.8447
3	曲山镇	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.453	31.8348
4	茅坝	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.468	31.8414
5	沙坝	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.486	31.8515
6	石岭子	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.497	31.8586
7	小毛坡	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.551	31.8839
8	马滚岩	绵阳市北川县	涪江支流通口河湔江段	104.540	31.8625
9	肖家桥-1	绵阳市安县	茶坪河	104.283	31.6466
10	双河口	绵阳市安县	茶坪河	104.268	31.6492
11	明流口-2	绵阳市安县	茶坪河	104.270	31.6692
12	明流口-1	绵阳市安县	茶坪河	104.272	31.6713
13	明流口	绵阳市安县	茶坪河	104.273	31.6787
14	肖家桥	绵阳市安县	茶坪河	104.280	31.6479
15	芭蕉坪	绵阳市安县	茶坪河	104.268	31.6571
16	芭蕉坪-1	绵阳市安县	茶坪河	104.269	31.6640
17	茶坪-1	绵阳市安县	茶坪河	104.269	31.7098
18	茶坪-2	绵阳市安县	茶坪河	104.267	31.7111
19	老鹰岩	绵阳市安县	茶坪河	104.257	31.7297
20	龙神堂	绵阳市安县	茶坪河	104.264	31.7379
21	龙神堂-1	绵阳市安县	茶坪河	104.264	31.7399
22	龙神堂-2	绵阳市安县	茶坪河	104.264	31.7407
23	龙神堂-3	绵阳市安县	茶坪河	104.264	31.7413
24	茶园坡	绵竹市	绵远河上游清水河	104.150	31.4792
25	高桥	绵竹市	绵远河上游清水河	104.134	31.4961
26	长滩	绵竹市	绵远河上游清水河	104.130	31.5029
27	盐井村	绵竹市	绵远河上游清水河	104.113	31.5707
28	篾棚子	绵竹市	绵远河上游清水河	104.110	31.5828
29	篾棚子-1	绵竹市	绵远河上游清水河	104.112	31.5847
30	篾棚子-2	绵竹市	绵远河上游清水河	104.110	31.5876
31	小木岭-1	绵竹市	绵远河上游清水河	104.105	31.5938
32	小木岭	绵竹市	绵远河上游清水河	104.103	31.5984
33	唐家坝	绵阳市平武县	涪江支流洪溪沟	104.860	32.2212
34	文家坝	绵阳市平武县	涪江支流洪溪沟	104.874	32.2351
35	高家磨	绵阳市平武县	涪江支流洪溪沟	104.878	32.2593
36	石板沟	广元市青川县	青竹河	105.109	32.4316
37	东河口	广元市青川县	青竹河	105.126	32.4154
38	云盖村	绵竹市红白镇	金河	104.032	31.2848

续表

序号	名称	所在市县	所在河流	空间位置	
				经度(东经(°))	纬度(北纬(°))
39	董家湾	绵竹市红白镇	金河	104 022	31 2913
40	红白镇	绵竹市红白镇	金河	104 020	31 3938
41	金河磷矿-1	绵竹市红白镇	金河	104 012	31 4314
42	金河磷矿-2	绵竹市红白镇	金河	104 017	31 4280
43	金河磷矿-3	绵竹市红白镇	金河	104 006	31 4348
44	金河磷矿-3	绵竹市红白镇	金河	104 000	31 4360
45	龙宝坪	绵竹市红白镇	金河	104 005	31 4627
46	罐滩	绵阳市安县	安县白水河	104 223	31 5187
47	老街一豆芽坪	阿坝州汶川县	岷江干流	103 483	31 0898
48	关庄镇	广元市青川县	青竹河	105 148	32 3928
49	六项沟	崇州市	岷江支流文井江	103 380	30 8026
50	竹根桥	崇州市	岷江支流文井江	103 400	30 7877
51	火石沟	崇州市	岷江支流文井江	103 450	30 7506
52	梅子坪	崇州市	岷江支流文井江	103 484	30 7597

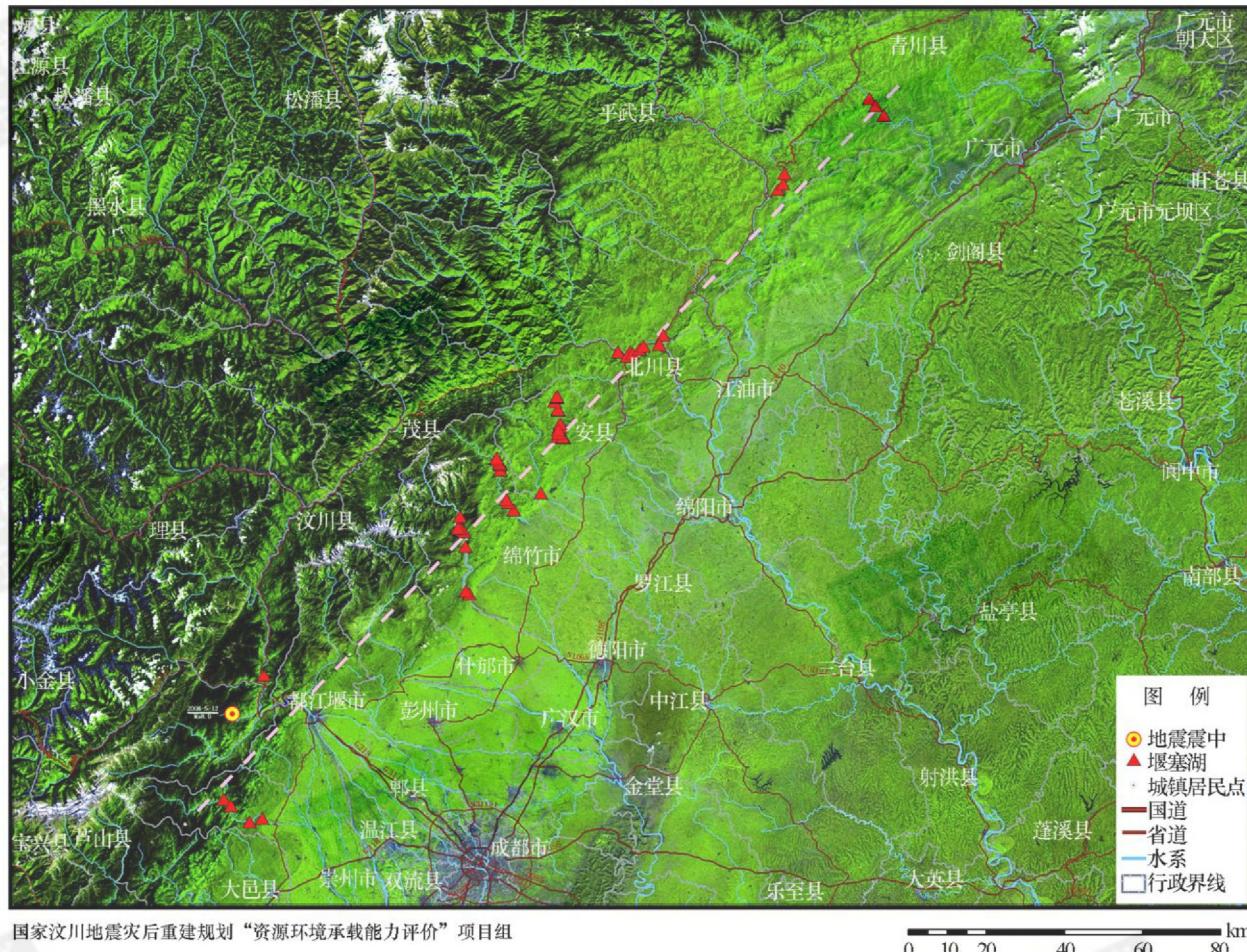


图 1 汶川地震重灾区堰塞湖分布图

Fig. 1 The spatial distribution of the 52 dammed lakes in the Wenchuan earthquake

根据堰塞湖分布与地震地质条件的空间关系,重灾区堰塞湖的分布具有鲜明的空间特征(图 2),即:位

于岷江、沱江和涪江的干支流、龙门山断裂带、沿映秀—北川—青川地震烈度中心区呈线状分布。

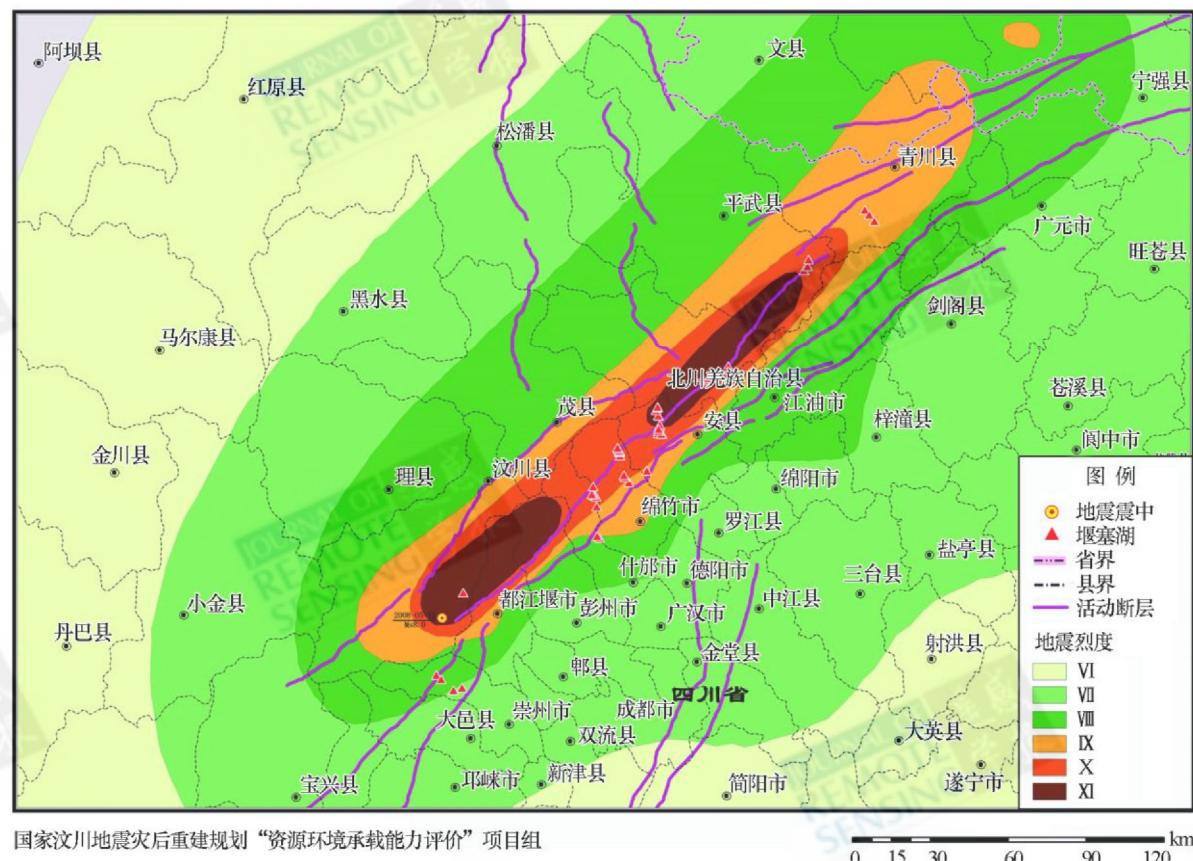
图 2 汶川地震灾区主要堰塞湖分布与地震地质条件关系分布图^[3]

Fig. 2 The spatial distribution of the dammed lakes and seismic-geologic conditions in the Wenchuan earthquake

2.2 汶川地震重灾区堰塞湖危险性评估

堰塞湖危险性的评估和分类一般考虑以下因素:

坝高。主要反映最大蓄水能力。

坝体组成。堰塞湖坝体组成一般分为岩块、岩屑、土屑和土石混合 4类, 主要反映坝体的稳定性。

集雨面积。反映可能的来水量, 间接体现蓄水能力。

下游人口和经济发展水平。反映可能的灾害影响程度。

考虑到评价指标的遥感获取能力, 我们把坝高、坝体组成和集雨面积等指标合成为一个指标——堰

塞湖蓄水量, 主要利用遥感监测的堰塞湖水体面积结合数字高程数据进行计算, 并作为堰塞湖危险性评估的主导因子。

对于汶川地震重灾区, 堰塞湖的下游为人口密度和经济发展水平较高且相对一致的成都平原, 人口和经济发展水平对该地区危险性评估结果不造成显著分异, 并且利用遥感技术无法直接获取这些数据, 因此, 在堰塞湖危险性评估中没有开展人口和经济因素的具体分析。利用高分辨率遥感监测数据计算得到的堰塞湖蓄水量, 按照 $> 5000 \text{ 万 m}^3$, $500 \text{ 万} - 5000 \text{ 万 m}^3$ 和 $< 500 \text{ 万 m}^3$ 3个区间, 将堰塞湖分为极度危险、高度危险和危险 3个等级。

表 2 汶川地震重灾区高危以上堰塞湖情况

Table 2 The different levels in danger of the dammed lakes in the Wenchuan earthquake

序号	名称	所在市县	蓄水量 历 m^3	危险等级
1	唐家山	绵阳市北川县	10350	极度危险
2	肖家桥	绵阳市安县	1117	高度危险
3	石板沟	广元市青川县	965	高度危险
4	唐家坝(南坝)	绵阳市平武县	831	高度危险
5	长滩(小岗剑上)	绵竹市	773	高度危险
6	老鹰岩	绵阳市安县	575	高度危险

在 52 个堰塞湖中,位于北川县湔江的唐家山堰塞湖为极度危险等级,位于安县茶坪河的肖家桥和老鹰岩堰塞湖、青川县青竹河的石板沟堰塞湖、平武县

洪溪沟的唐家坝(南坝)堰塞湖以及绵竹市绵远河上游清水河的长滩(小岗剑上)堰塞湖等 5 个为高度危险等级(图 3—图 8),其余 46 个堰塞湖为危险等级。



根据2008年5月22日遥感图像分析制作

中国科学院遥感应用研究所

成都军区测绘信息中心

北京国遥万维信息技术有限公司

中国科学院地理科学与资源研究所

图 3 北川唐家山堰塞湖

Fig. 3 The dammed lake of Tangjiashan of Beichuan county



中国科学院遥感应用研究所
电子科技大学

北京安翔动力科技有限公司

中国科学院成都山地灾害与环境研究所

西南交通大学

根据2008年5月18日无人机航拍图像分析制作

图 4 安县肖家桥堰塞湖

Fig. 4 The dammed lake of Xiaojaqiao of Anxian county



根据 2008年 5月 18日无人机航拍图像分析制作
中国科学院遥感应用研究所
电子科技大学
北京安翔动力科技有限公司
中国科学院成都山地灾害与环境研究所
西南交通大学

图 5 安县老鹰岩堰塞湖

Fig. 5 The dammed lake of Laoyingyan of Anxian county



图 6 青川县石板沟堰塞湖

Fig. 6 The dammed lake of Shibangou of Qingchuan county

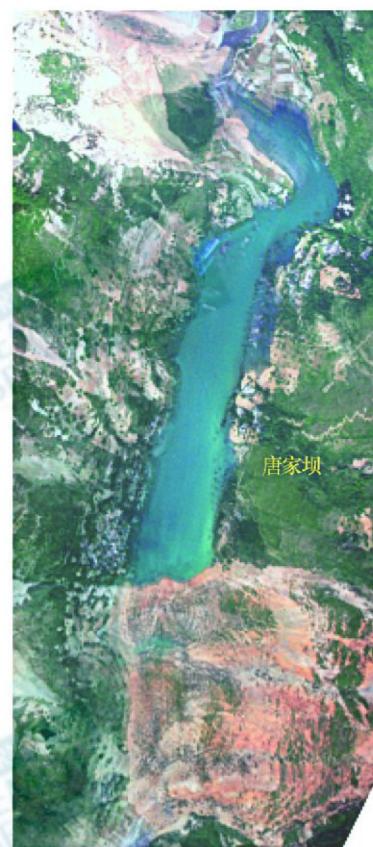


图 7 平武县唐家坝堰塞湖

Fig. 7 The dammed lake of Tangjiaba of Pingwu county



图 8 绵竹市长滩堰塞湖

Fig. 8 The dammed lake of Changtan of Mianzhu city

图 6—图 8系

根据 2008年 5月 26日航空遥感图像分析制作
由中国科学院遥感应用研究所; 成都军区测绘信息中心;
北京国遥万维信息技术有限公司;
中国科学院地理科学与资源研究所提供

3 汶川地震重灾区堰塞湖溃坝威胁区分析和划分

堰塞湖溃坝威胁区的确定,主要考虑高度危险以上等级的6个堰塞湖,以遥感监测数据、基础地理数据、地面调查数据和国家权威发布资料为分析依据,以最大安全性为目标,同时在区域上不过度扩展。

堰塞湖溃坝威胁区确定的主要方法:

(1)根据堰塞湖危险等级、目前排险情况,确定威胁程度和大致范围;

(2)参照《绵阳市北川县唐家山堰塞湖应急疏

散预案》确定淹没线高程;

(3)利用地形、高程数据,确定威胁区边界;

(4)结合城镇居民点、交通、堤坝等分布,进行威胁区边界修订;

(5)对重灾区以外存在的威胁区,不进行划分和评价。

根据上述原则和方法,对汶川地震重灾区堰塞湖溃坝威胁区进行了空间划分和影响范围评价。汶川地震重灾区受堰塞湖溃坝威胁的总面积为963.27km²,涉及四川省18个县市(区)的134个乡镇(图9)。溃坝威胁区主要分布在四川盆地山前平原、岷江、涪江、嘉陵江及其支流的低洼地区。

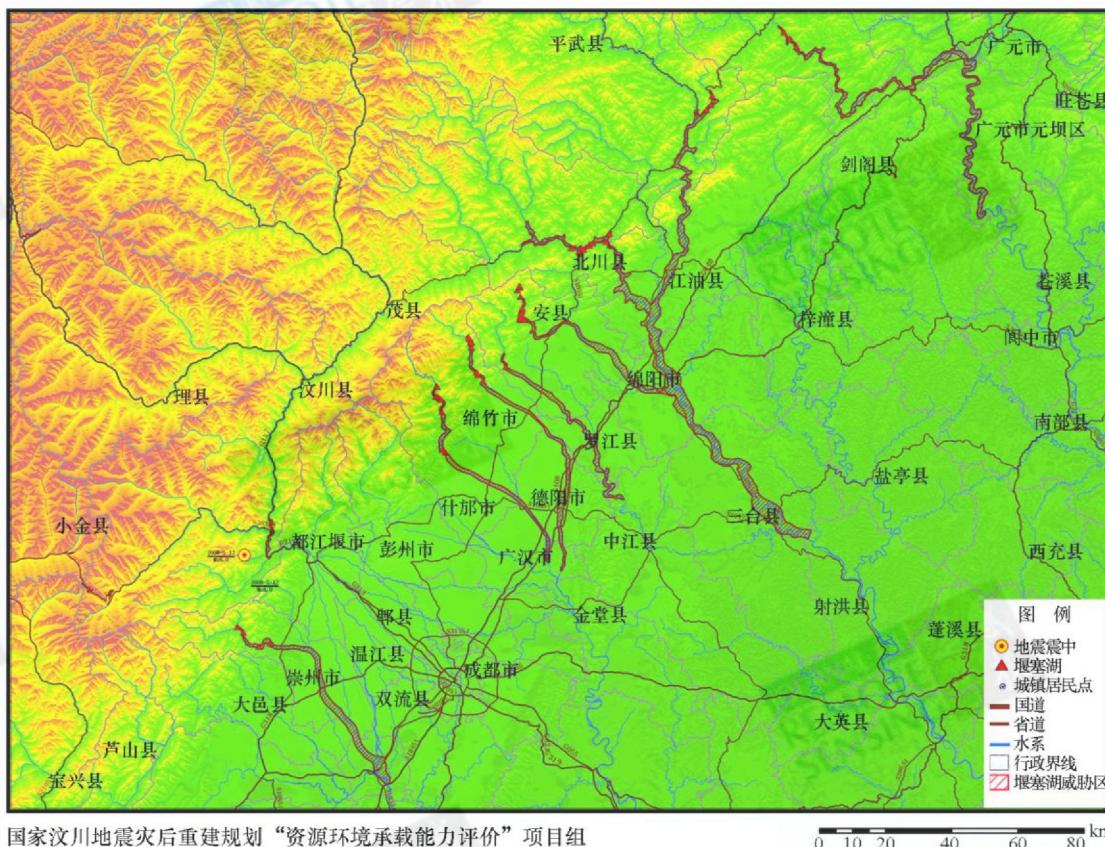


图 9 汶川地震重灾区堰塞湖溃坝威胁区分布图

Fig. 9 The spatial distribution of the potential inundation area when the dam-break events

4 汶川地震重灾区重建规划规避堰塞湖风险建议

(1)对堰塞湖进行动态监测和风险评估,随时监控堰塞湖坝体和水位的变化,防止溃决对下游造成突发性次生灾害;

(2)对威胁大、风险高的堰塞湖采取及时、必要

的除险措施,实现可控的逐步溃决、降低水位,以降低堰塞湖的威胁程度;

(3)对分布在堰塞湖溃坝威胁区内的区域,制定合理的灾后重建方案,必要时可暂缓于其他区域开展灾后重建。

致 谢 本研究所用的数据来源于北京国遥万维信息技术有限公司、北京宇视蓝图信息科技有限公司和中国科学院“无人机前线小分队”等。研

究过程中,中国科学院遥感应用研究所赵清、王丽涛、宫华泽等参与了堰塞湖的遥感监测工作。在此,一并向参与研究和提供数据帮助的单位和个人表示感谢。

参考文献 (References)

- [1] National Scheme on Wenchuan Post-Earthquake Reconstruction and Plan [R]. National Headquarters for Earthquake Disaster Mitigation, 2008 [国家汶川地震灾后重建规划工作方案 [R]. 国务院抗震救灾总指挥部, 2008]
- [2] Emergency Evacuation plan on Tangjiashan Dammed Lake, Beichuan County, Mianyang [R]. National Headquarters for Earthquake Disaster Mitigation, 2008 [绵阳市北川县唐家山堰塞湖应急疏散预案 [R]. 国务院抗震救灾总指挥部, 2008]
- [3] Website of China Earthquake Administration <http://www.cea.gov.cn> [中国地震局网站, <http://www.cea.gov.cn>, 2008]
- [4] Sichuan Province Atlas [M]. Beijing: Sinomaps Press, 2001 [四川省地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 2001]
- [5] Electronic Map of Sichuan Province http://map.mapbar.com/s_sichuan_map/, 2008 [四川省电子地图. http://map.mapbar.com/s_sichuan_map/, 2008]

Risk Evaluation on the Secondary Disasters of Dammed Lakes using Remote Sensing Datasets in the 'Wenchuan Earthquake'

WANG Shixin, ZHOU Yijie, WEI Chengjie, SHAO Yun, YAN Fu-li

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

Abstract Wenchuan Earthquake has seriously caused many huge landslides in the rivers in Sichuan Province. As a result, huge water volume was blocked in the rivers and numerous dammed lakes appeared in the following days, which may result in inundation on the lake area and flooding disaster in the lower reaches. Therefore, it is urgent to reconnoitre the existed dammed lakes and its spatial distribution, to monitor the stability of these dams and to evaluate the potential inundation area when the dam-break events occur.

Incorporating the basic information of dammed lakes provided by other ministries, high resolution remote sensing imagaries (including Spaceborne, Airborne and Unmanned Aerial Vehicle) from May 12 to June 12, 2008, were used to confine the spatial distribution and to reconnoitre these dammed lakes. Based on the 'Atlas of Sichuan Province in 2001', combining with 'Sichuan Electronic Map in 2008' and '1:50000 topographic map' as well, most of the dammed lakes were named from the nearest village at the same riverside, while other dammed lakes located deeply in the mountains with scarce villages were named from a nearer village with serial numbers.

Up to June 12, 2008, we have identified total 52 dammed lakes in the heavily-affected area of 'Wenchuan Earthquake'. The spatial distribution with high precision longitude and latitude of the dammed lakes indicates a significant linear feature, which is consistent with earthquake faults.

The risk evaluation of the dammed lakes in the heavily-affected area of 'Wenchuan Earthquake', was carried out mainly by using the monitoring results of high resolution remote sensing datasets and the authoritatively published results. According to the scale, the composition of the dams, the size and water storage capacity of these lakes, the distribution of the downstream cities and towns, population status and economic development levels, the possible affected area and the potential impact, the risk of the dammed lakes were divided into three levels: Extremely Dangerous, High Dangerous and Dangerous. Of the 52 dammed lakes, Tangjiashan is the only one in the Extremely Dangerous level, while the Xiaojiaojiao, Laoyingyan, Shiban'gou, Tangjiaba (Nanba), Changtan (Xiaogangjian) are 5 dammed lakes in the High Dangerous level, and the rest 46 dammed lakes are in Dangerous level.

Principles for determining the potential flooded area when dam-break occurs were developed: 1. the safety is taken as the most important objective; 2. the inundation area should be determined in accordance with sufficient and reliable monitoring results and basic datasets; 3. the region should not be over-extended. Further, we also developed the methods for confining the potential inundation area by which the total acreage of the potential inundation area determined amount to 963.27 square kilometers, involving the 134 townships of 18 counties (districts). At last, preliminary suggestions were proposed to avoid risks of the secondary disasters of dammed lakes in the reconstruction planning for heavily-affected area in 'Wenchuan Earthquake'.

Key words Wenchuan Earthquake, dammed lakes, remote sensing analysis, risk evaluation