

引用格式: Shangguan Donghui, Zhao Wei, Shi Yanmei. Mountain Hazards Investigation in Rasuwa District of Nepal After the Earthquake by Using Remote Sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(1): 78-83. [上官冬辉, 赵伟, 史艳梅. 尼泊尔震后 Rasuwa 区山地灾害遥感调查[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(1): 78-83.]

doi: 10.11873/j.issn.1004-0323.2017.1.0078

尼泊尔震后 Rasuwa 区山地灾害遥感调查

上官冬辉¹, 赵伟², 史艳梅³

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610040;

3. 中国人民解放军 61243 部队, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 针对尼泊尔 4·25 Gorkha 地震诱发山地灾害的现象, 基于多源光学遥感数据, 使用目视解译方法分析了震前和震后地物特征的变化, 调查了 Rasuwa 区影响抗震救灾的公路沿线滑坡、堰塞湖的空间分布。结果表明: 本次地震新形成的大型滑坡较少, 大部分为中小型滑坡、浅层滑坡及碎屑流、崩塌和落石等灾害, 并有堰塞湖。而在影像上能清晰识别的灾害点有 15 处, 其中 3 处危害较大, 分别为 Langtang 滑坡、Resuo 滑坡和 1 处堰塞湖。Langtang 滑坡造成了严重的破坏。

关键词: 尼泊尔地震; 遥感; 山区灾害; 滑坡

中图分类号: P 315.725; TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1004-0323(2017)01-0078-06

1 引言

2015 年 4 月 25 日, 尼泊尔 Gorkha 区 Lamjung (拉姆琼县) 东南 34km (28.147°N, 84.708°E) 于当地时间 11:56:26 发生 8.1 级 (USGS 为 7.8 级, 不同的算法) 强震 (国际上称: Gorkha 地震, 震源深度约 15.0 km)。这次地震为低倾角逆冲型地震, 破裂持续时间约 80 s, 具有单侧破裂特征, 断层面上的滑动分布比较集中。最大地震烈度为 X 度。地震波及尼泊尔、中国、印度、孟加拉等国。其后, 于 4 月 25 日和 26 日分别再次发生 6 级以上两次余震。5 月 12 日再次发生 7.3 级强震。NEPAL 地震导致多处文化古迹、村镇房屋折断、整体移位、损毁或倒塌, 如加德满都杜巴广场迪路迦摩罕纳拉扬神庙、帕坦杜巴广场的哈里桑卡神庙等。山区地震引发的雪崩、崩塌等山地灾害, 如珠穆朗玛峰南坡海拔约 7 000 m 处雪崩, 对尼泊尔的登山旅游与探险造成强烈冲击;

滑坡阻断中尼公路, 崩塌落石砸坏其沿线的汽车。受中国科学院委托, 由崔鹏院士为组长的中国科学院赴尼泊尔地震灾害调查专家组于 4 月 30 日前往加德满都进行地质灾害调查, 5 月 9 日结束考察。此次工作, 包括山地灾害遥感调查、野外调查与评估以及地震灾情调查与评估等。调查范围包括震中 Gorkha 地区、加德满都东北 Sindhupalchok 地区、樟木口岸中尼公路、吉隆口岸中尼公路等。

Rasuwa (拉苏瓦) 与中国西藏接壤, 位于加德满都西北部 80 km 处, 距离震中 40 余 km。我国通往尼泊尔的两条主要通道之一的加德满都往西藏吉隆口岸公路沿着 Trishuli 河途径拉苏瓦。根据 2011 年的统计结果, Rasuwa 面积 1 544 km², 有 9 778 个家庭, 总人口 43 300。拉苏瓦区域高差大, 海拔范围从 614 到 7 234 m。巨大的海拔落差, 形成了不同的气候带包括热带、亚热带、温带、亚高山带、高山带和海拔 5 000 m 以上的冰川积雪带^[1]。年降水量约

收稿日期: 2015-12-10; 修订日期: 2016-10-19

基金项目: 中国科学院国际合作局对外合作重点项目 (131551KYSB2015000), 国家自然科学基金面上项目 (41271082), 科技部重大科学研究计划 (2013CBA01808, 2013FY111400)。

作者简介: 上官冬辉 (1975-), 男, 江西临川人, 副研究员, 主要从事冰川资源及冰川灾害研究。E-mail: dhguan@lzb.ac.cn。

为 814 mm,77%的降水来自 6~9 月的季风^[2]。研究区地质上属花岗岩、片麻岩、片岩。区域自然资源丰富,区内有绿色的梯田、茂密的丛林和郁郁葱葱的草原,高山区覆盖冰川、积雪。拉苏瓦的 Langtang national Park(蓝塘国家公园)是徒步旅游、自然风光观光的天然场所。Langtang Khola 河发源于最

高峰 Langtang Lirung(海拔 7 234 m),为典型的 U 型河谷,并汇入到 Trishuli 河(图 1)。正是由于 Rasuwa 区地势险峻,公路两侧山体较高,且距离震中较近,地震在该区域容易引起山地灾害,且对该区域的旅游、交通等有较大影响。为此,我们选择 Rasuwa 区作为研究对象。

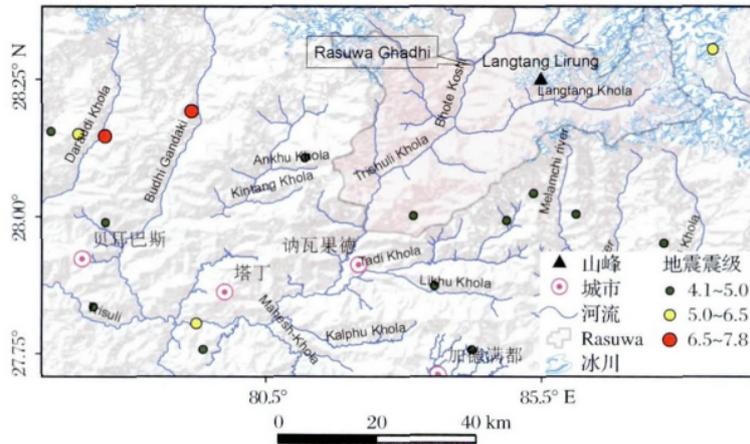


图 1 研究区域概况

Fig.1 Location of study area

空间信息技术作为一种高空间分辨率、高光谱分辨率和高时效的对地观测技术,被纳入到“空间与重大灾害国际宪章”(International Charter“Space and Major Disasters”^[3-4])。采用多源多时相高分辨率的 SAR 数据和光学遥感数据进行 Gorkha 地震震后调查是获取山地灾害的重要手段^[4]。本文将采用多源多时相的光学遥感数据,采用目视解译的方法,结合考察期间野外工作,对 NEPAL 境内 Rasuwa 区震后的山地灾害(含冰/雪崩、滑坡、堰塞湖、冰

湖)进行调查,分析其空间分布。

2 数据和方法

2.1 数据

本次调查,主要采用高空间分辨率光学遥感数据,数据源包括国产高分辨率卫星数据(包括 GaoFen-1(GF-1)和美国 Landsat 8、EO-1 和 World View 02/03 卫星数据。此外,Google Earth 图像也是重要的数据源。

表 1 数据源
Table 1 Data source

遥感数据	轨道号	过境日期	空间分辨率/m		数据来源
			多光谱	全色	
GF-1	48/109	2015-05-01	8	2	高分甘肃中心
GF-1	47/109	2015-05-01	8	2	高分甘肃中心
Landsat 8 OLI	141/41	2015-02-09	30	15	USGS
Landsat 8 OLI	141/40	2015-04-30	30	15	USGS
Landsat 8 OLI	141/41	2015-04-30	30	15	USGS
EO-1 ALI	141/41*	2015-05-01	30	10	USGS

注:*文件 ID:EO01N28_243465E085_5211732015050100000000MS00

2.2 方法

地震灾害遥感解译调查方法可分为自动识别与目视解译两种,而针对高空间分辨率的遥感数据类型,较适合采用人工目视解译的方法^[4-5]。本文依据

数据类型,主要采用人工目视判读的遥感解译方法,结合 Google Earth 影像数据以及其他前期 Landsat 和高分影像数据,通过比较分析地震前、后高空间分辨率卫星数据,判别灾害发生情况。通常山地灾害

会造成植被的破坏^[6]和新鲜岩层或土壤的出露,在光学遥感上,可以看到与周围光学特征不一致。解译范围为 Rasuwa 地区。但由于研究区处于喜马拉雅山南坡,云、雪覆盖比例大于 30%,尤其是山区,而 Trishuli khola-Langtang khola 沿线的河谷区域遥感影像质量较好,因此调查也集中于 Trishuli khola-Langtang khola 沿线的河谷。

3 结果

3.1 Rusuwa 山地灾害分布

本次地震引发的尼泊尔 Rasuwa 地区山地灾害具有十分显著的地域分布特征,主要分布在靠近青藏高原南缘的高山区域,其中包括伤亡十分惨重的 Langtang 大滑坡,而在该区域往南的低山区域,灾害分布较少。尼泊尔 Rasuwa 地区沿着 Trishuli 河和 Langtang 河两岸共解译 19 处明显的山地灾害点(表 2)。灾害类型以滑坡(含雪崩诱发滑坡)、滑坡导致的堰塞湖为主。其中 4 处为地震以前存在的(2 处雪崩、1 处冰川湖和 1 处岩崩);15 处为地震后新形成的山地灾害,主要是滑坡和堰塞湖(图 2)。从遥感调查结果可以发现,规模相对较大的滑坡点主要分布在 Trishuli 河谷的两岸。如在 Ramche 村附近 Trishuli 河流交汇处,崩塌滑坡现象十分显著,并在河流上游出现了小型堰塞湖,河流水面有一定的扩大但是仍有河水从堰塞坝体外下游流出,河流谷地公路损毁十分严重。在 Langtang 河也至少发现 4 处滑坡,其中 Langtang 滑坡破坏最大。在 Bhothe Koshi 河有 2 处滑坡。其中一处在热索口岸(Resuo Port/Rasuwa Port)。2015 年 5 月 5 日,野外调查结果也表明,本次地震新形成的大型滑坡很少,大部分为中小型滑坡、浅层滑坡及碎屑流、崩塌和落石等灾害。但由于遥感数据限制,小型碎屑流、崩塌和落石未能放入本次调查结果。

3.2 冰川、冰湖及 Langtang 滑坡

喜马拉雅山区分布有大量冰川与冰川湖^[6],也是冰川湖突发洪水的多发区。冰川湖松散坝体及其周围冰川堆积物容易被突然的冰崩或者管涌冲击或者侵蚀而导致冰川湖溃决^[7-9]。地震是相关冰川灾害的诱因之一。因此,强震以后,地震波对冰川的物理结构和动力特征都会产生影响,且地震对研究区冰湖坝体的松散堆积物产生影响。研究区有 138 条冰川,面积约 216 km²。有一个冰川湖,面积为 0.047 km²。没有冰川湖突发洪水历史的相关报道。本次工作未发现冰川湖异常现象。

表 2 Rasuwa 地区山地灾害统计

类型	数量	地震前/后	相关描述
滑坡	13	地震后	Langtang 滑坡破坏最大(图 3) Resuo 滑坡冲断口岸的公路(图 5) 其他均为小型滑坡,对公路有影响。
堰塞湖	2	地震后	未完全堵塞
雪崩	2	地震前	
冰川湖	1	地震前	
岩崩	1	地震前	

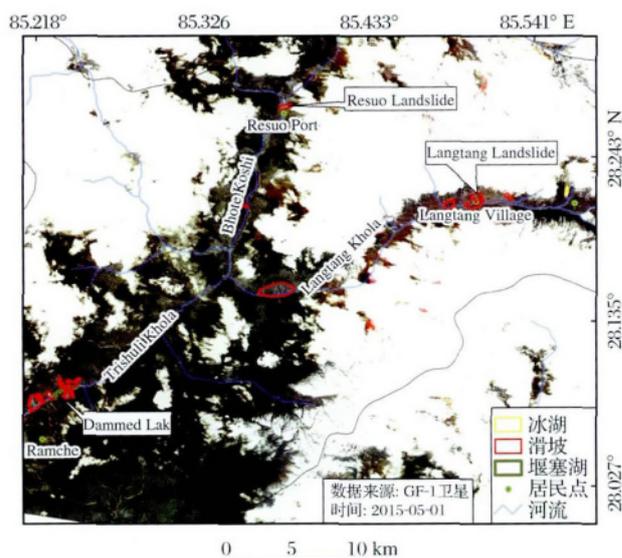


图 2 尼泊尔 Rasuwa 地区山地灾害空间分布

Fig.2 Distribution of hazards in Rasuwa district, Nepal

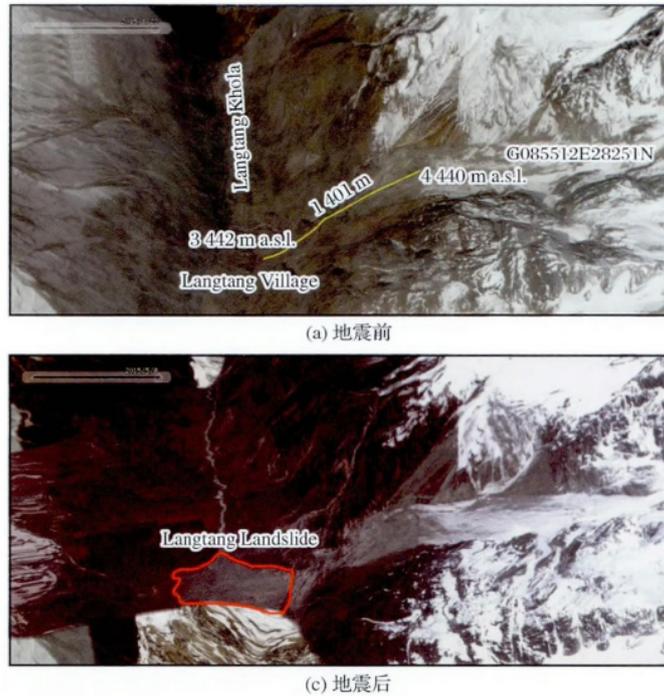
然而,在研究区内解译到冰川(ID: G085512E28251N)出现一处雪崩/冰川崩塌,并引发 Langtang 滑坡(85.501°E, 28.213°N, 3400 m a.s.l.) (图 3)。Langtang 滑坡是由于其造成的巨大破坏而被很好的记录和分析下来。图 4 显示,Langtang 滑坡的擦痕面约为 3.2×10^5 m²,堆积物约 5.0×10^5 m。遥感影像上解译的堆积物中含有冰/雪。综上所述,此次地震很可能诱发冰川动力特性改变,导致冰川跃动或者冰川的崩塌,冰从海拔 4 400 m 高程飞速滑向海拔 3 442 m 的 Langtang Village,在短短的 1 401 m 运动途中(图 3),夹杂石块、冰碛物等,形成摧毁 Langtang Village 的滑坡。并且对 Langtang Khola 形成一定的堵塞,所幸的是没有形成堰塞湖。根据媒体报道,此次滑坡造成至少 200 名人员遇难^[10]。

3.3 热索滑坡(Resuo Landslide)

中国与尼泊尔边境的热索口岸热索桥附近(加德满都到中国吉隆的公路,中国境内),于地震后 4 月 28

日强降雨诱发山体滑坡(28.275°N,85.379°E)。媒体首先报道这个滑坡^[8]。这一滑坡被本文获取的遥感影像证实(图 5)。滑坡堆积物(约 200 m×270 m)堵

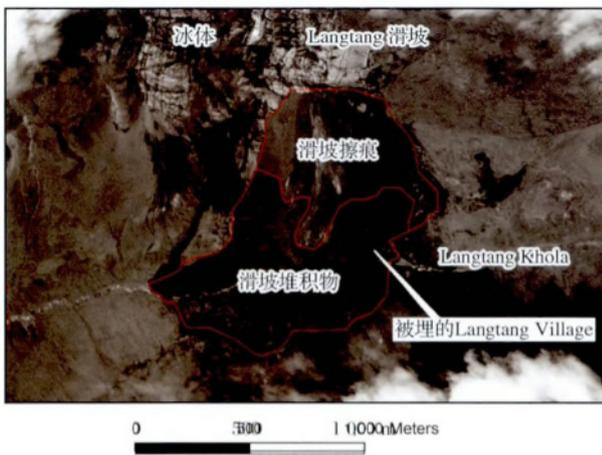
塞 Trishuli Khola 河道,但很快被河水冲刷开。滑坡也中断了吉隆到热索口岸的公路,使得当地居民不能通过公路离开受地震影响的山区。



(图片来源于 Google Earth,震前影像为 2015 年 1 月 22 日;震后影像 5 月 8 日)

图 3 Langtang 冰川引发滑坡

Fig.3 Langtang Landslide due to avalanche and icefall



(背景为 GF-1,2015-05-01 全色 2 m 遥感影像)

图 4 Langtang 滑坡

Fig.4 Langtang Landslide

3.4 堰塞湖

在 Ramche 村附近 Trishuli 河流交汇处,崩塌滑坡现象十分显著,并在河流上游出现了一个明显的小型堰塞湖(图 6)。此堰塞湖是由于下游的滑坡堵塞河流形成的。图 6 显示,滑坡堆积物并未完全堵塞河

流,河流水面虽有一定的扩大但是仍有河流从堰塞坝体外流出。此段河谷地公路损毁十分严重。

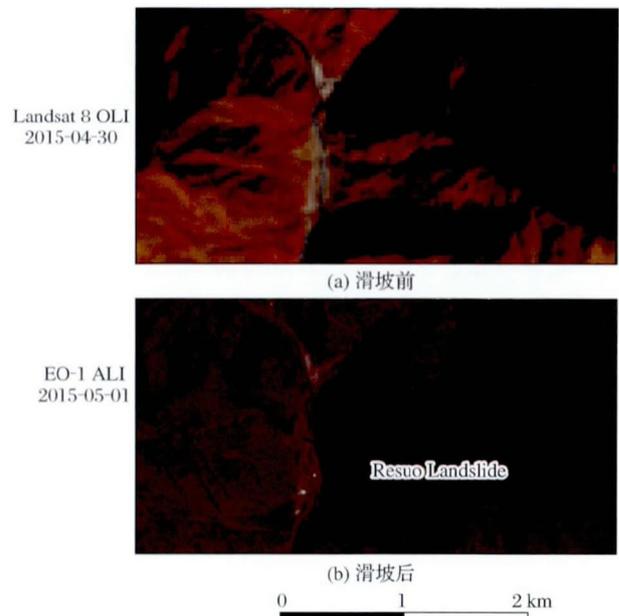


图 5 热索滑坡

Fig.5 Resuo Landslide

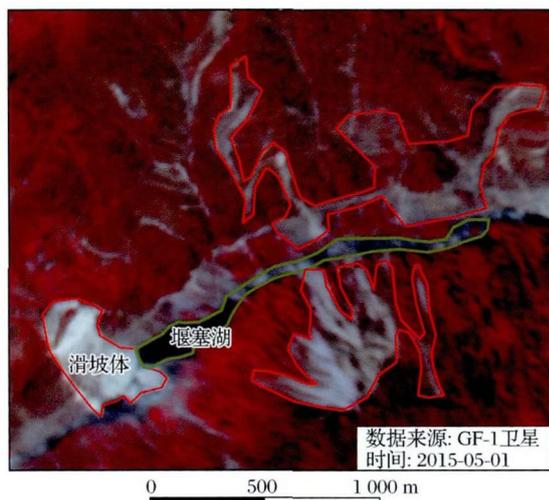


图 6 堰塞湖
Fig.6 Dammed Lake

5 结 语

4·25 Gorkha 地震 Rasuwa 区引发的山地灾害调查结果显示,Langtang 滑坡将 Langtang 村全部摧毁,破坏最大。尤其是这些冰、雪、泥和松散冰碛物滑坡堆积物相当不稳定,当季风降雨来临时,容易成为二次灾害如泥石流的物源。因此有必要继续观测。而对于本次地震新形成的中小型滑坡、浅层滑坡及碎屑流、崩塌和落石等灾害,如 Resuo 滑坡和 1 处堰塞湖等主要对吉隆—加德满都的公路形成破坏。

Langtang National Park 是 Rasuwa 区主要的旅游胜地。Trushuli 河和 Langtang 河沿线的公路是通往 Langtang National Park 的公路交通线。Langtang 村主要为旅游服务的居民和旅馆。Gorkha 地震对沿线公路和旅游居住地造成重大影响,因此对于尼泊尔旅游业的影响也是深远的。未来,地震对旅游业影响的生命周期、范围和大小程度有待进一步评估。

致谢:感谢尼泊尔地震灾害评估组其他成员对本次工作的支持,他们分别是中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所崔鹏院士、陈晓清研究员、苏立君研究员、Amar 博士,青藏高原研究所赵俊猛研究员、梁尔源研究员、龚平副研究员、李生海博士、刘晓波博士,特里布文大学常务校长 Hira Bahadur Maharjan,ICIMOD 专家 Samjwal Ratna Bajracharya。特别感谢高分甘肃中心提供的高分遥感影像数据支持!

参考文献 (References):

- [1] Ono Y, Sadakane A. Natural Background of the Yak Transhumance in the Langtang Valley, Nepal Himalaya[J]. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 1986, 21: 95-109.
- [2] Immerzeel W, Beek L P H van, Konz M, et al. Hydrological Response to Climate Change in a Glacierized Catchment in the Himalayas[J]. Climatic Change, 2012, 110(3): 721-736.
- [3] Li Deren, Chen Xiaoling, Cai Xiaobin. Spatial Information Techniques in Rapid Response to Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(6): 841-851. [李德仁, 陈晓玲, 蔡晓斌. 空间信息技术用于汶川地震救灾[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 841-851.]
- [4] Xu Chong, Dai Fuchu, Xu Xiwei. Wenchuan Earthquake-induced Landslide: An Overview[J]. Geological Review, 2010, 56(6): 860-874. [许冲, 戴福初, 徐锡伟. 汶川地震滑坡灾害研究综述[J]. 地质评论, 2010, 56(6): 860-874.]
- [5] Liu Yalan, Xu Qing, Zhang Zezhong, et al. Study on Characteristic Chart of Multi-spectral Remote Sensing Image for Typical Earthquake Secondary Geological Disasters[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(1): 18-24. [刘亚岚, 许清, 郑泽忠, 等. 典型地震次生地质灾害多光谱遥感影像特征图谱研究[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(1): 18-24.]
- [6] Che T, Xiao L, Liou Y A. Changes in Glaciers and Glacial Lakes and the Identification of Dangerous Glacial Lakes in the Pumqu River Basin, Xizang (Tibet)[J]. Advances in Meteorology, 2014, (1): 117-128.
- [7] Haerberli W, Alean J C, Muller P, et al. Assessing Risks from Glacier Hazards in High Mountain Regions: Some Experiences in the Swiss Alps[J]. Annals of Glaciology, 1989, 13: 96-102.
- [8] Chen Xiaoqing, Cui Peng, Yang Zhong, et al. Risk Assessment of Glacial Lake Outburst in the Poiqu River Basin of Tibet Autonomous Region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(4): 509-516. [陈晓清, 崔鹏, 杨忠, 等. 喜马拉雅山中段波曲流域近期冰湖溃决危险性分析与评估[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 509-516.]
- [9] Wang Xin, Liu Shiyin, Guo Wanqin, et al. Hazard Assessment of Moraine-dammed Lake Outburst Floods in the Himalayas, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(7): 782-790. [王欣, 刘时银, 郭万钦, 等. 我国喜马拉雅山区冰碛湖溃决危险性评价[J]. 地理学报, 2009, 64(7): 782-790.]
- [10] Sahina Shrestha. "Langtang is gone": Nearly All the 200 Inhabitants of this Tiny Village at the base of Mt Langtang are Presumed to Have Perished [N/OL]. <http://nepalitimes.com/article/nation/langtang-destroyed-in-earthquake>, 2205. 2015-5-17.
- [11] 记者亲历: 热索村遭遇降雨滑坡[Z/OL]. <http://news.cntv>.

cn/2015/04/29/VIDE1430318156553908.shtml.

ing Data[J].Journal of Natural Disasters,2009,18(6):29-32.

[12] Zhao Xiang,Li Changchun,Su Na.Extraction of Landslide/
debris Flow Information based on Multi-source Remote Sens-

[赵祥,李长春,苏娜.滑坡泥石流的多源遥感提取方法[J].自
然灾害学报,2009,18(6):29-32.]

Mountain Hazards Investigation in Rasuwa District of Nepal After the Earthquake by Using Remote Sensing

Shangguan Donghui¹,Zhao Wei²,Shi Yanmei³

(1.Northwest Institute of Eco-Environment and Resources,
Chinese Academy of Sciences,Lanzhou 730000,China;

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

3.Chinese Peoples' s Liberation Army Unit 61243,Lanzhou 730000,China)

Abstract: A few mountain hazards were induced by the Gorkha Earthquake of Nepal 4 • 25.In this paper,we investigated the landslide,Dammed Lake and so on along the road which effect the relief by using multiple sources of optical remote sensing images.We also analyzed the ground object changes before and after the earthquake by using visual interpretation method and investigated the distribution of mountains hazards in Rasuwa district.The results show that there is less newly formed large landslide.Most of hazards are small and medium landslides,shallow landslide,debris flows,avalanches,rockfall and Dammed Lake.On the image there are clearly identifiable 15 hazards,in which three harmful,respectively Langtang landslide,Resuo landslides and one Dammed Lake.Langtang landslides caused severe damage.

Key words: Earthquake in Nepal;Remote sensing;Mountain hazards;Landslide