

# 汶川地震大型单体滑坡遥感调查与危险性评价

张雪峰<sup>①,②</sup>, 何政伟<sup>①,②,③</sup>, 薛东剑<sup>①,②</sup>, 张东辉<sup>①,②</sup>, 杨晏立<sup>①,②</sup>

(<sup>①</sup> 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川成都 610059;

<sup>②</sup> 中海油能源发展股份有限公司采油技术服务分公司, 天津 300452;

<sup>③</sup> 首都师范大学 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037)

**摘要:**“5·12”汶川特大地震诱发了大量次生地质灾害, 山体大面积滑坡、崩塌, 给人民的生命财产造成了重大损失。对这些次生性灾害进行详细的调查与监测, 评价其近期的稳定性, 对于防灾减灾, 指导灾后重建具有现实意义。本文探讨了利用遥感影像对大型滑坡进行识别与解译, 并运用 AHP 层次分析法对汶川地震形成的文家坝大型滑坡进行危险性评价的方法。在野外调查的基础上, 对 2008 年 5 月 16 日获取的 SPOT5 影像进行解译, 实现了对滑坡的规模、结构、类型、物质组成、稳定性等特征的遥感调查; 选取与该滑坡发生有密切关联的地层岩性、坡度、区域降雨量、地震和水文条件 5 个因素作为滑坡危险性评价的指标, 采用比例标度法构建判别矩阵, 建立了滑坡危险度判别模型。经计算, 文家坝滑坡危险性指数为 0.684, 危险度较高, 有必要进行工程治理。

**关键词:** 遥感; 滑坡调查; 危险性评价; 文家坝滑坡

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.03.009

**中图分类号:** TP751      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3177(2011)115-0050-05

## Remote Sensing Investigation and Risk Assessment of Large Scale Individual Landslide Triggered by the Wenchuan Earthquake

ZHANG Xue feng<sup>①,②</sup>, HE Zheng wei<sup>①,②,③</sup>, XUE Dong jian<sup>①,②</sup>, ZHANG Dong hui<sup>①,②</sup>, YANG Yan li<sup>①,②</sup>

(<sup>①</sup> State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu 610059;

<sup>②</sup> CN OOC Energy Technology & Services Oilfield Technology Services Co., Tianjin 300452;

<sup>③</sup> Key Laboratory of Resource Environment and GIS in Beijing, Capital Normal University, Beijing 100037)

**Abstract:** A large number of secondary geohazards which were triggered by the 5.12 Wenchuan earthquake induced many landslides and rockfalls in mountain area. It has practical significance for the rebuilding in the disaster areas by assessing geohazards stabilization, which results in the production of hazards survey and monitoring. In this study, the remote sensing technology to detect and identify a large scale landslide was used, and also AHP analysis was used to make a hazard risk assessment. Based on the field survey, a SPOT 5 image of May 16th, 2008 has been interpreted, the basic characters of the landslide, such as scale, type, structure, material composition and stabilization have been surveyed. Five factors which influence the landslide occurrence, i.e., rock type, slope, rainfall precipitation, seismic intensity, and hydrological environment, were chosen as the risk assessment indices, using Proportion Criteria Method to build the judgment matrix. Then the landslide hazard was calculated by assessment discrimination model, the result shown the risk susceptibility of Wenjiaba landslide was 0.684, that means it is a more dangerous landslide and a project management is needed.

**Key words:** remote sensing; landslide investigation; risk assessment; Wenjiaba landslide

收稿日期: 2010-04-22      修订日期: 2010-06-26

基金项目: 国家 863 重点项目(2007AA120306); 国家科技支撑“十一五”计划(2008BAK49B02)。

作者简介: 张雪峰(1979~), 男, 主要从事遥感技术应用方面研究。

**E mail:** Rainbowyaa@163.com

## 1 引言

滑坡是指斜坡岩土体沿着贯通的剪切破坏面所发生的滑移现象<sup>[1]</sup>。当这一滑移过程影响到人类活动时,便成为了自然灾害。滑坡是当今世界上除地震以外能造成巨大经济损失和人员伤亡的自然灾害之一,尤其在环境保护和治理程度较差的发展中国家造成的危害更为严重。全球每年因滑坡造成的经济损失高达 100 亿美元(CNN, 2007),在发展中国家超过 0.5% 的 GNP 被滑坡灾害所吞噬。在我国滑坡灾害年均造成经济损失超过 50 亿元,尤以西南山区最为严重。

卫星遥感技术具有系统性、宏观性的特点,常用于地质灾害的研究。20 世纪中叶,美国、前苏联、日本、瑞士等国根据滑坡的影响因素使用航片对本国重点建设地区进行滑坡评价<sup>[2]</sup>。我国滑坡的遥感调查始于上世纪 70 年代末 80 年代初,当时使用航片,可以确定滑坡的范围、地形、排水、地表覆盖、地质材料以及人类对地貌作用的影响等因素<sup>[3]</sup>。近年来,随着 3S 技术的发展,“数字滑坡”被广泛应用于滑坡灾害的调查、监测、防治领域<sup>[4-5]</sup>,遥感已成为一种快速、有效的滑坡调查的手段。本文主要探讨通过遥感技术实现对大型滑坡的识别与解译,并运用层次分析法对汶川地震形成的文家坝大型滑坡进行危险性评价的方法。

## 2 遥感技术在滑坡减灾中的作用

滑坡减灾主要包括 4 个方面内容:滑坡的调查、滑坡的动态监测、预测与评价、高风险体的工程治理。遥感技术可直接用于滑坡的调查和对滑坡进行动态监测,结合统计学、信息科学等学科可对滑坡进行分析、评价与预测。

### 2.1 遥感用于滑坡的调查

遥感技术用于滑坡的调查主要指利用卫星图片对滑坡进行探测与识别<sup>[6]</sup>,通过遥感影像上所反映出的滑坡后壁、拉张裂隙、滑坡台、滑坡舌、滑坡鼓丘等要素,结合形态、色调、阴影、纹理及对比滑体周边的地质环境,可提取出滑坡的数量、类型、分布、形成年代等定性特征;遥感结合 GIS、GPS,通过建立目标区域的数字高程模型,可提取出滑坡体的坡度、坡向、高程、规模、物质位移量等定量特征。

### 2.2 遥感用于滑坡的动态监测

滑坡遥感监测指综合对比多时相的可见光、近红外、合成孔径雷达图像所反映出的坡体面积、形

态、位移速度、土壤湿度等信息,以判断坡体的稳定性的过程(Mantovani 等,1996)。与其他的滑坡监测方法,如大地精密测量法、GPS 法、近景摄影测量法、TDR 监测法相比,遥感对地形与气候条件的依赖性较低,可快速有效地对较大区域进行滑坡的调查与监测。

### 2.3 遥感用于滑坡的分析、评价与预测

在对目标区域滑坡遥感调查和监测的基础上,利用 GIS 对选取的孕灾和诱发因子进行分析,采用适当的模型可实现滑坡危险性、风险性的评价。该方法适用于不同比例尺度的调查,如调查尺度小于 1:10000,可对单体滑坡进行分析与评价;如调查尺度大于 1:100000,适用于区域范围的危险性划分。

在下面的章节中,将以汶川地震中形成的一处大型滑坡为范例,探讨利用遥感图像进行滑坡调查,并运用 AHP 模型对该滑坡进行危险性评价的方法。

## 3 文家坝滑坡的地质环境

文家坝滑坡所在的平武县位于扬子准地台、西秦岭褶皱带、松潘-甘孜褶皱带三大一级大地构造单元的结合部位。境内分布 3 条主要断裂:龙门山中央断裂、青川——古城断裂和虎牙断裂。文家坝滑坡位于南坝——关庄断裂线上,属龙门山中央断裂,为汶川地震主震带,走向北 48°东,倾向西北,倾角 35°~45°。上盘为寒武系,下盘为志留系,断裂附近地层平行劈理密集。力学性质是以压性为主的、兼具扭性冲断裂<sup>[6]</sup>。区域地貌以山地为主,岩性为千枚岩、板岩及页岩,在山坡处常发生滑坡、崩塌等不良地质现象<sup>[7]</sup>。属亚热带季风气候区,具有暴雨天气。区内水系呈不对称羽状分布。

## 4 滑坡遥感调查的方法与技术流程

### 4.1 数据选取

调查选用航拍图像、SPOT 图像和 ETM+ 3 类遥感影像数据,以及 1:50000 地形图数据和野外考察采集的 GPS 数据。航拍图像和 SPOT 数据用于滑坡解译;经过全色融合的 ETM+ 数据具有 15m 的空间分辨率,用于区域地质构造的背景研究;1:50000 地形图用于构建研究区 DEM 以及控制点的获取;GPS 数据用于滑坡的精确定位及对图像的几何校正。

### 4.2 数据预处理

通过遥感影像处理技术得到的遥感图像更利于应用人员获得较佳的目视解译效果,便于获取更多

的信息, 提炼更为准确的决策性观点。通过 ArcGIS 软件平台完成地形图矢量化、影像的几何校正、图像图形输出等工作; 通过 ERDAS IMAGINE 软件完成图像裁切拼接、图像融合增强, 以及影像后处理工作, 包括对图像的锐化、直方图均衡化、去霾处理、去相关拉伸等, 使其达到纹理丰富、色调均匀、反差适中的效果<sup>[8]</sup>。

### 5 文家坝滑坡的遥感解译

滑坡的解译标志主要是通过滑坡地貌的各种组成要素建立的, 如滑坡体的形态、滑坡后壁、滑坡舌, 以及滑坡对河流的改道或形成的堰塞湖、对道路的错段, 或在更高分辨率图像上偶尔可见的滑坡表面形成的裂缝、对植被的扭曲、滑坡舌对建筑的破坏等。

文家坝滑坡的解译主要通过汶川震后获取的 SPOT 影像与航拍图像(图 1)进行。首先通过汶川震前 ETM 图像(2000 年 11 月 2 日)与震后 SPOT 图像(2008 年 5 月 16 日)的对比发现文家坝滑坡为汶川地震后的次生性滑坡(图 1)。

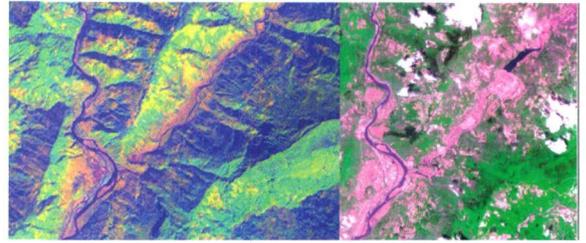


图 1 文家坝地区滑坡前后地貌对比

根据色调的差异确定滑坡周界, 在 SPOT 影像中, 滑体呈淡粉色, 与周围地表色调迥异。虽无明显位移但地表破碎, 具有拉张裂隙、房屋树木倾倒的区域划定为滑坡的影响区。滑体表面地形破碎, 起伏不平, 滑体上部发育拉张裂隙, 中部有不均匀陷落的局部平台。坡体表面发育有新生冲沟, 植被以灌木为主, 无巨大直立树木。滑体下部土石松散, 形成小型崩塌。滑坡表面呈凸状, 2 条冲沟将滑体分为北、中、南 3 部分。图像上可见滑坡后壁, 但不甚明显。滑体上部具有因拉伸而发育的横向张裂隙, 中部有 3 处次生滑坡。滑坡前缘直抵石坎河右岸, 形成滑坡鼓丘, 并直接导致石坎河断流形成文家坝堰塞湖(图 2)。



图 2 文家坝滑坡航拍图像及 SPOT 解译

根据实测, 文家坝滑坡前缘海拔 790m, 后缘海拔 1115m, 相对高差约 325m。滑体长 800m, 平均宽 600m, 滑坡周长约 3000m, 面积约  $48 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 滑坡厚度约为 20m, 估算其方量为  $960 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 属大型滑坡。滑坡主滑方向 NW320°, 与坡向一致。根据滑坡后缘裂隙及前缘阻断石坎河的宽度推算滑坡最大滑距为 200m。滑体具有上窄下宽的形态, 上缘发育有横向张裂隙和多级滑坡阶梯, 中部发育次级滑坡。滑体下部滑距较大, 在图像上可见滑坡前缘分布有崩落的巨石, 由此推断滑坡具有较快的滑速。滑坡滑动面较陡, 上部较浅下部较深(图 3), 滑体上部发育有横向拉张裂隙, 首次推断文家坝运动方式以牵引为主。

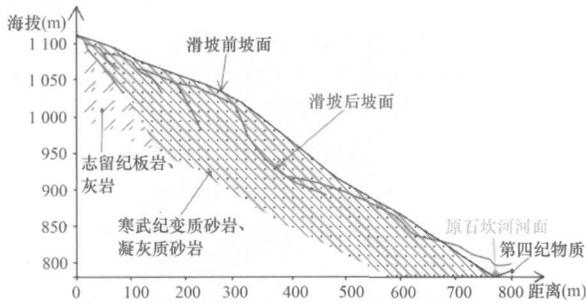


图 3 滑坡前后剖面图

## 6 滑坡危险性分析

### 6.1 构建判别矩阵

采用 AHP 多层次分析法来确定各影响因子的权重, 选定了地层岩性、坡度、区域降雨量、地震和水文 5 个因素作为滑坡危险性评价的指标, 通过比例标度法为指数标度构建判别矩阵<sup>[9]</sup>(表 1)

表 1 滑坡评估因子判断矩阵

C	B1	B2	B3	B4	B5	$\omega$
B1	1	1.277	0.481	2.08	0.783	0.163
B2	0.783	1	0.231	1.277	0.481	0.105
B3	2.08	4.327	1	9	1.277	0.413
B4	0.481	0.783	0.111	1	0.231	0.065
B5	1.277	2.08	0.783	4.327	1	0.254

B1 为坡度, B2 为岩性, B3 为地震因素, B4 与水文条件, B5 降雨量,  $\omega$  为权重

### 6.2 确定作用指数

通过对滑坡的解译, 结合研究区各项资料, 将影响滑坡的 5 项因子按对滑坡发生发育的作用大小进行分级, 并对判别因子的作用指数按 0~ 1 级进行量化, 具体的判别标准及作用指数见表 2。

表 2 评估因子特征及因子作用指数

评估因子	因子特征	作用指数
坡度	滑坡上陡下缓, 重心较高, 平均坡度 35°, 滑坡下缘由于堰塞湖的疏通进行了开挖, 具有临空面, 稳定性较差	0.6
岩性	滑体表面为大量松散堆积物, 平均堆积厚度为 20m, 主要物质为微变质砂岩、粉砂岩、千枚岩及页岩, 成为滑坡产生的物质基础。堆积物质下部为板岩夹灰岩, 透水性相对较差, 降雨时地表水经过上层滑体下渗受阻, 沿岩层接触面向石坎河排泄, 岩层接触面软化, 表层土体抗剪度降低, 利于滑坡的发育	0.5
地震	文家坝滑坡是由汶川地震诱发, 距离龙门山中央断裂不足 2 公里, 在较大余震条件下存在复滑可能, 是决定滑坡稳定性的主要因素	0.8
水文	滑坡前缘即为石坎河, 为滑坡形成提供了临空条件, 石坎河对滑坡基底的掏蚀和降水对滑坡后缘裂隙的浸润起着对滑页(带)软化和降低强度的作用	0.4
降雨量	滑坡区降雨丰富, 多年平均降水量为 807.6mm, 近 10 年月最大降雨量 179.7mm, 日最大降雨量 94.1mm, 具有暴雨天气。大气降雨是影响滑坡稳定性的另一主要因素	0.7

### 6.3 滑坡危险性分析

建立滑坡危险度判别模型:

$$D_L = \sum_{n=1}^n (\omega_i \cdot N_i)$$

式中,  $D_L$  为滑坡危险度,  $\omega$  为判别因子的权重,  $N_i$  为判别因子的作用指数。经计算, 滑坡的危险度为 0.684。根据滑坡危险度分级, 当  $D_L > 0.70$

时滑坡危险度为高, 当  $D_L$  介于 0.4~ 0.69 之间时滑坡危险度为较高, 当  $D_L < 0.39$  时滑坡危险度为低<sup>[10~12]</sup>。因此, 文家坝滑坡具有较高的危险性。

## 7 结束语

根据《区域环境地质调查总则》<sup>[13]</sup> 中有关滑坡调查的要求, 从规模、结构、类型、物质组成、稳定

性等方面对文家坝大型滑坡进行了综合的遥感调查,对于认识滑坡的形成机理、诱发因素、运动特征、滑坡危害的研究具有参考价值。在遥感调查的基础上,通过层次分析的方法对该滑坡的近期危险性进行了评价。取得的认识主要有:①通过对比地震前后该地区的遥感图像,文家坝滑坡为汶川地震所诱发的大型次生性滑坡。该滑坡由基岩强风化物、崩残坡积物等组成,较为松散,其下有滑动面,认定其具有较大的危险性;②确定地层岩性、坡度、区域降雨量、地震和水文条件5项元素作

为滑坡危险性的评价因子,采用AHP层次分析法对滑坡危险性进行评价,计算结果表明该滑坡具有较高的危险性;③该滑坡对目前在建的成(都)青(川)公路构成威胁,施工部门对该滑坡拟进行以格构锚固、排水、抗滑桩并结合生态恢复的综合治理;④研究也表明利用遥感对自然灾害进行调查与监测,可以直接对灾害体进行识别,确定其类别和性质,查明发生原因、规模大小,分析与评价灾害的危害程度、分布规律和发展趋势,既节约了时间和财力,又能提高调查的效率。

### 参考文献

- [1] 国土资源部、水利部、地矿部地质灾害勘察规范[Z]. 2008.
- [2] R. L. 舒斯特. 滑坡的分析与防治[M]. 中国铁道出版社, 北京, 1987.
- [3] 王治华. 遥感图像在滑坡调查中的应用, 滑坡分析与防治[M]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1984.
- [4] 王治华, 徐起德, 杨日红, 贾昭辉, 陆瑜瑜. 宣汉天台乡滑坡遥感调查研究的初步结果[J]. 遥感信息, 2004(4): 75-77.
- [5] 王治华. 大型个体滑坡遥感调查[J]. 地学前缘, 2006, 13(5): 516-523.
- [6] Graciela Metternicht. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial systems for hazard assessment in mountainous environments[J]. Remote Sensing of Environment, 2005: 284-303.
- [7] 吴文勋, 蒋勇, 唐伟, 吴彬. 四川省平武县地质灾害补充调查与区划报告[R]. 成都: 四川省冶金地质勘查局水文工程大队, 2007.
- [8] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 张建宝. ERDAS INMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 清华大学出版社, 北京, 2002.
- [9] 许辉熙. 空间信息技术在水电开发工程预可研中的决策支持[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [10] 褚洪斌, 母海东, 王金哲, 等. 层次分析法在太行山区地质灾害危险性分区中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003(3): 125-129.
- [11] 武立新, 王建国, 杨计准. 层次分析法在山体滑坡危险度评价中的应用[J]. 有色金属, 2009, 61(4): 66-69.
- [12] 樊晓一, 乔建平, 陈永波. 层次分析法在典型滑坡危险度评价中的应用[J]. 自然灾害学报, 2003, 13(1): 72-76.
- [13] 中国地质调查局工作标准(DD 2004-02). 区域环境地质调查总则(试行)[Z]. 2004.

### 中国研制成功万米高空全天候高分辨率测绘机载雷达测图系统

由中国测绘科学研究院科研人员历时3年研发的“机载多波段多极化干涉合成孔径雷达测图系统”(简称机载SAR测图系统)通过专家验收。这套测图系统突破了多项核心技术,使中国复杂地形区域测图将不再受雨雪云雾、山峦沟壑等恶劣的天气和地理条件制约,成功实现全天时、全天候从万米高空获取高分辨率测绘数据,快速成图,及时动态监测地理国情。这项技术是目前唯一可以在测绘困难地区实现全天时、全天候快速成图的遥感手段,具有传统光学遥感技术不可比拟的独特优势。世界各国都力争通过这项技术抢占测绘科技制高点。中国幅员辽阔,大面积多云雾地区难于获取光学影像。近年来,国家西部测图工程、第二次全国土地调查等工程的实施,加剧了对机载SAR测图系统的迫切应用需求。此外在灾情监测评估方面,急需利用机载SAR测图系统的机动灵活、高分辨率、高精度等优势,提高国家灾害应急能力。

该套具有自主知识产权的机载SAR数据获取集成系统,开发了工作站、地面数据处理系统,编制了系列技术规定,为国家培养了一支专业技术队伍,显著提升了中国SAR遥感数据获取与处理能力。目前该系统已成功应用于中国西部测图工程,在横断山脉区域获取约11km<sup>2</sup>、陕西渭南地区1200km<sup>2</sup>的SAR影像数据,用于1:1万、1:5万比例尺产品测制。系统可广泛应用于地形测绘、应急响应、资源调查监测、重大工程建设监测和国防安全等领域,提升中国对地观测技术水平,具有广阔的应用前景。