

# 汶川县地震次生山地地质灾害遥感调查

杨军杰<sup>1</sup>, 张志<sup>1,2</sup>, 王旭<sup>1</sup>, 谷延群<sup>3</sup>, 强建华<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074 2. 国家遥感中心地壳运动与深空探测部, 湖北 武汉 430074  
3. 河北省遥感中心, 河北 石家庄 050021 4. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 5·12汶川大地震瞬间释放巨大的能量, 致使山体破碎, 河流变迁, 极大的改变了震区的地貌和地表景观, 形成了崩塌、滑坡、泥石流等一系列次生山地地质灾害, 对人民群众的生命财产和社会经济的发展形成了严重威胁。采用传统实地调查山地地质灾害分布状况的方法困难很大, 航空遥感技术可以宏观、全面、精确、及时地获取地质灾害相关信息, 及时采取应急措施预防灾害的进一步发生。综合利用不同时相、不同传感器的影像对汶川县地震次生山地地质灾害进行监测, 很短时间内全面掌握了汶川境内的崩塌、滑坡、泥石流、堰塞点的分布情况, 利用先进的 RS、GIS技术, 在 DEM 的基础上, 结合地质信息, 通过水系流域的划分, 探讨了地震地质灾害的特点和分布规律, 为预防预警次生山地地质灾害提供了新的思路和方法。

**关键词:** 汶川大地震; 次生山地地质灾害; DEM; 流域

**中图分类号:** X141

**文献标识码:** A

2008-05-12T14:28 四川省发生里氏 8.0 级强烈地震, 全国大半地区有明显震感, 震中位于阿坝州汶川县的映秀镇 (31.0°N, 103.4°E) 附近, 直接严重受灾地区达  $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 地震造成了巨大的生命和财产损失。这次地震属于逆冲、右旋、挤压型断层地震, 震源浅, 破坏力巨大, 由于震中及影响区域大部分为高山峡谷, 地形切割强烈, 地震同时引发了一系列的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、堰塞湖等次生地质灾害, 致使受灾严重的 10 余县交通几乎瘫痪, 居民住所、工业设施、水利设施严重受损, 地面实地调查灾害情况显得十分困难。鉴于地震次生山地地质灾害的突发性和救灾的紧迫性, 遥感技术为地震地质灾害的调查和研究提供了崭新的技术手段。

遥感是 1960 年代蓬勃发展起来的一门综合性探测技术, 是用卫星、飞机或其他飞行器作运载工具, 以电磁能检测和量度目标性质的一种技术手段<sup>[1]</sup>。遥感具有传统获取目标信息方法无法比拟

的优点。首先, 它从高空成像, 不受地域和地面状况的限制, 无论是高山峡谷还是人迹罕至的无人区, 都能客观完整、连续逼真地提供地面真实的三维空间和时间特征信息; 其次, 它成像快, 且具有周期性, 可以在很短时间内获取地面资料, 更新资料; 第三, 它成像覆盖范围广; 第四, 遥感传感器波长分布范围很广, 可以收集从紫外一直到微波区域的地物信息, 大大延伸了人类的感官功能, 为我们提供更多的信息, 可深化我们对自然现象的认识。第五, 它的影像是地面某一时间点的实况, 而且能够长期保留, 便于进行不同时相的对比研究。

## 1 研究区概况

汶川县位于四川盆地西北部边缘, 居阿坝藏族羌族自治州东南部,  $102^{\circ}53' \sim 103^{\circ}44' \text{ E}$ ,  $30^{\circ}46' \sim 31^{\circ}44' \text{ N}$  之间, 东邻彭州市、都江堰市, 南靠崇州市、

收稿日期 (Received date): 2008-08-25。

基金项目 (Foundation item): 中国地质调查局“5·12 地震次生地质灾害航天遥感快速解译”项目。[Supported by the China Geological Survey “5·12 Earthquake-induced geological disasters in space remote sensing rapid interpretation”.]

作者简介 (Biography): 杨军杰 (1982-), 男, 汉族, 河南省延津县人, 硕士研究生, 主要从事遥感、地理信息系统应用方面的研究。[Yang Junjie (1982-), male Han nationality born in Yanjin County of Henan Province master degree candidate. Mainly engaged in remote sensing geographic information system.] Tel: 13552961081; E-mail 276262916@qq.com

大邑县,西接宝兴县、小金县,西北和东北分别与理县、茂县相连,县域东西宽 84 km,南北长 105 km,总面积 4 084 km<sup>2</sup>,森林覆盖率达 48 %。县城威州镇位于县境北部岷江与杂谷脑河交会处,海拔 1 325 m,国道 213 317线穿城而过。岷江及其支流杂谷脑河、草坡河、邛江为境内主要河流。

## 2 次生山地地质灾害遥感影像调查

山地地质灾害作为一种特殊的不良地质现象,其在遥感图像上呈现的形态、色调、影纹结构等均与周围背景存在一定的区别。因此,对山地地质灾害的规模、形态特征及孕育特征,均能从遥感影像上直接判读圈定。通过解译,对目标区域内已发生的山地地质灾害点或隐患点进行系统全面调查,在此基础上进行地质灾害区划,评价易发程度,为防治地质

灾害隐患,建立监测网络提供了基础资料<sup>[2]</sup>。

由于地震引起的滑坡、崩塌与常规的滑坡、崩塌诱因不同,在遥感影像上色调和形态具有相似性,不同地区又有不同的特点,有些专家将滑坡、崩塌统称为崩滑,实际上崩滑与崩塌、滑坡还是有区别的。崩塌(又称崩落、垮塌或塌方)是从较陡斜坡上的岩、土体在重力作用下突然脱离山体崩落、滚动,堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。地震引起坡体晃动,破坏坡体平衡,从而诱发坡体崩塌,一般烈度 > 7°以上的地震都会诱发大量崩塌。滑坡是指斜坡上的大块岩(土)体由于地震、大暴雨、地下水或人为因素等影响及岩体下伏物质不稳定,在重力作用下,沿着滑动面整块向下滑动的现象<sup>[3]</sup>。因此就地震滑坡的产生过程来说是一个先崩后滑的过程,仍然是滑坡,既不是崩塌(崩塌的产生经常发生在高坡度的地方,一般大于 60°),也不是崩滑(图 1)。

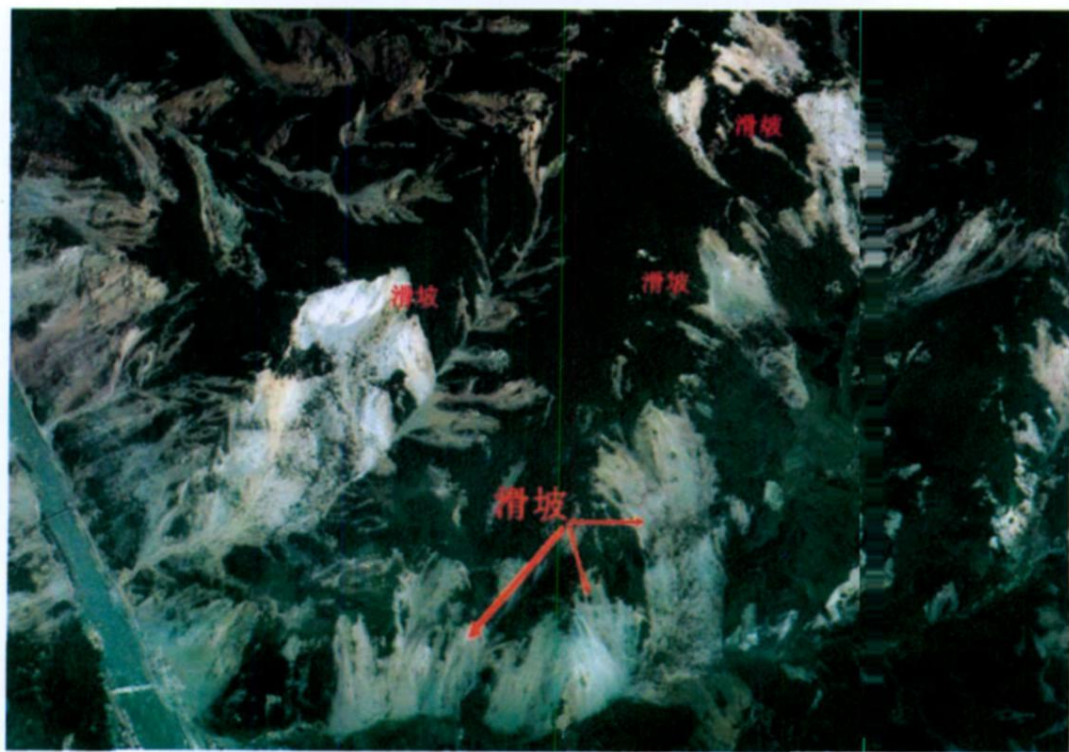


图 1 Quickbird上的地震滑坡

Fig. 1 The earthquake landslide on Quickbird

本文使用成像于 2008-06-14 的 Quickbird 数据调查震后山地地质灾害。Quickbird 在空间分辨率 (0.61 m), 多光谱成像 (1 个全色通道、4 个多光谱通道)、成像幅宽 (16.5 km × 16.5 km) 具有显著优势,可以容易的识别灾害的分布范围、形态结构等

细节信息。震前采用存档的 SPOT5 数据, SPOT 卫星具有高空间分辨率 (全色 2.5 m)、覆盖范围广 (60 km × 60 km) 的优点, 凭借其卓越的重访能力, 可以获取全球任意时间、任意地点的影像。通过最新时相的卫星遥感数据不仅可以更新灾害数据库, 制定

紧急预案计划来建立更有效的减灾救灾准备,还能通过历史的和最新的灾害情况的研究,提高灾害预测和模拟水平。

地震灾害应急的遥感影像,必须具有准确的空间位置信息,才能为前线的抗震救灾工作提供帮助,高空间分辨率传感器一般采用侧视及扫描成像。研究区地形起伏大,因此需要对影像进行正射纠正才

能有效消除系统误差和偶然误差。一般的融合方法如 HIS、Brovey、PC主成分等在融入高空间分辨率信息的同时,导致地物光谱信息失真较大。本文针对不同的传感器采用不同的融合方法 (Andorre 和 Pansharping),较好的保留了多光谱波段的光谱信息和全色波段的纹理信息,减少了识别地质灾害的难度,数据处理流程如图 2。

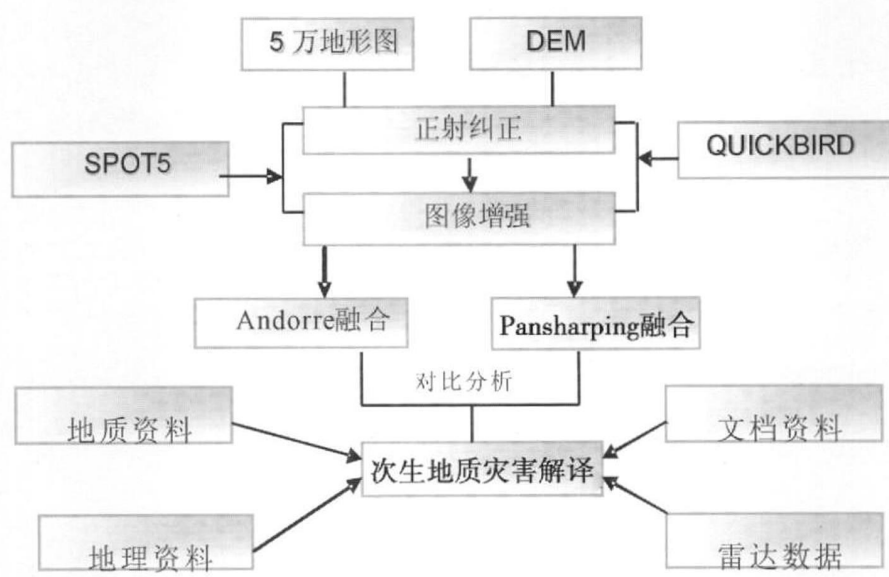


图 2 地震次生山地地质灾害遥感调查处理流程图

Fig. 2 The flow chart of secondary seismic mountainous geological disasters of remote sensing survey

通过震前震后影像对比,地震致使山体变形破碎,崩落的固体碎屑堵塞河道,滑坡、泥石流掩埋道路居民地,岷江两岸山地地质灾害密集分布,地表植被遭到严重破坏,露出岩石层,色调呈量白色 (图 3)。通过目视解译,调查结果显示汶川境内共有崩滑 1 509个,泥石流 8处,堰塞点 9处。

### 3 基于 DEM 的流域划分与次生山地地质灾害分布

#### 3.1 DEM 与次生山地地质灾害分布

虽然地震应力在山体的变形破裂中占主导作用,但是重力条件仍然是不可忽视的,同一地区相同地质背景条件下,由于高程和坡度的差异,山地地质灾害的发生概率就不一样。数字高程模型 (Digital Elevation Model), 是一定范围内规则格网点的平面坐标 (X, Y) 及其高程 (Z) 的数据集,它主要是描述区域地貌形态的空间分布,DEM 是对地貌形态的虚拟表示。通过 DEM 生成坡度图,提取水系、划分流

域,结合活动断裂等地质信息,与山地地质灾害调查结果叠加分析,可以较好的反映地质灾害的孕育特征和分布规律。

由图 4 图 5 对比分析发现:

1. 山地地质灾害沿着河谷分布,其中岷江两岸密集。原因是这些地方坡度都远远  $> 15^\circ$ ,在相同的地震应力条件下,坡度大的地方岩体碎屑物在重力的作用下更易脱离山体,又由于河流对两岸山体的冲刷作用,使得山体的不稳定性增加。
  2. 河谷地带人口密度大,交通发达,修建铁路、公路、水渠以及其他工程建筑时的不合理开挖,破坏了地表植被,人工改造的地貌打破了自然的山体结构,山坡的稳定性被破坏。
  3. 沟谷的分布是地下活动断裂带的结果,隐伏构造、活动构造控制了现代地貌和水系格局的发育,是山地地质灾害的起因,是影响场地稳定性的重要原因。
- 3.2 活动断裂、水系流域与次生山地地质灾害分布
- 地震是地壳内部应力积累和突然释放,地壳破



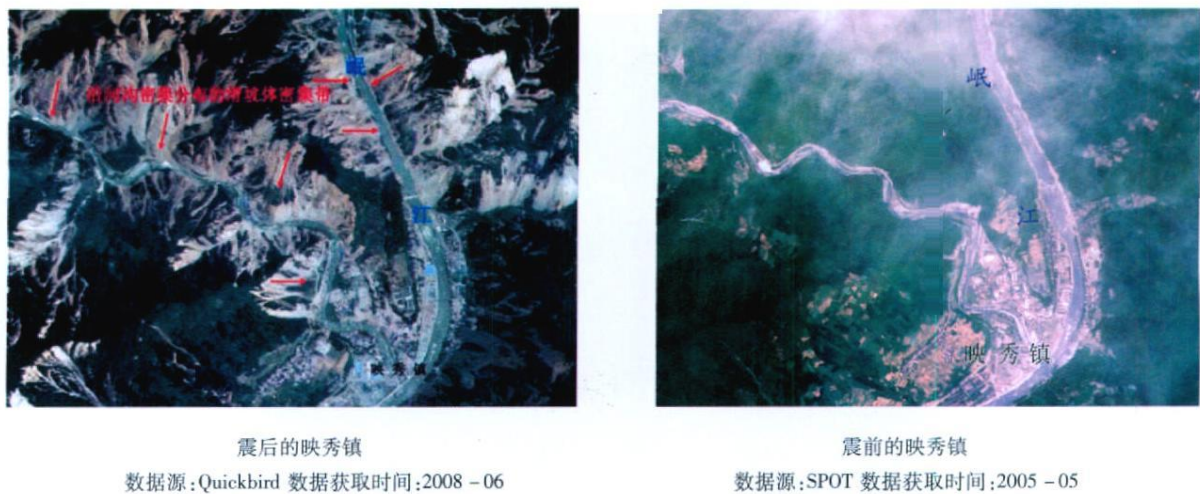


图 3 映秀镇及周边地区震前震后遥感影像对比图

Fig. 3 The Comparison of remote sensing images in Yingxiu and the surrounding areas after and before earthquake

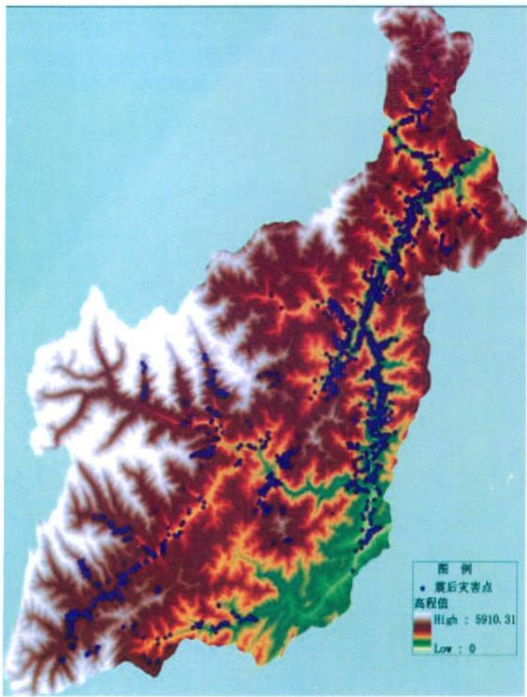


图 4 汶川县次生山地地质灾害分布区地貌图

Fig. 4 The Landform map of distribution area of secondary mountainous geological disasters in Wenchuan

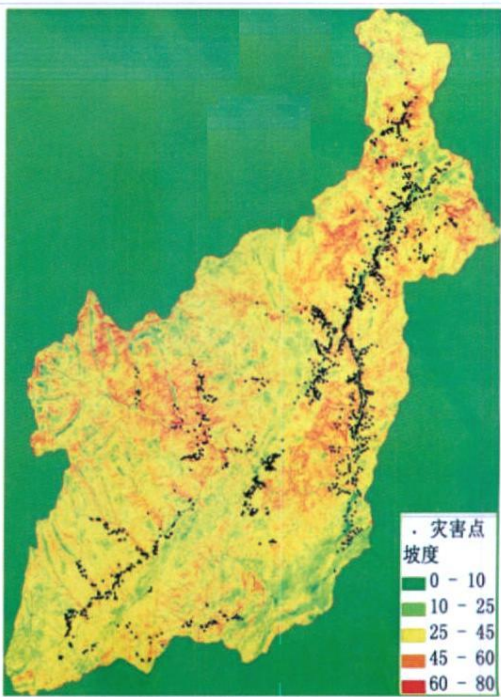


图 5 汶川县次生山地地质灾害分布区坡度图

Fig. 5 The Gradient map of distribution area of secondary mountainous geological disasters in Wenchuan

裂活动的一种表现形式。山地灾害通常是地球内部应力聚散时影响地壳表层的反应,地表活动性构造是地球应力形变的形迹,常常是深部的、隐伏的活动构造在浅表部位的显示。所以,遥感图像上能够解译隐伏构造、活动构造,它们控制了现代地貌和水系格局的发育,是区域地质灾害调查工作中首要的研究对象<sup>[2]</sup>。

且和断层线、褶曲轴部、节理裂隙带等构造有关,在图像上可以看到,滑坡、崩塌、泥石流常沿这些线性构造密集带或环形构造边缘呈线状或带状分布<sup>[4]</sup>。

汶川县内主要分布有两大断裂带:

1. 茂汶断裂带:属于左行逆冲推覆断裂带,位于龙门山陆缘活动带内,北起茂汶,南经汶川-陇东至泸定,长 230 km。其中耿达-汶川段主要发育于以花岗岩为主的前寒武系彭灌杂岩体中,韧性变形特

征十分明显,在龙门山主干断裂带中具有重要地位。研究表明它是一个由多条断层组成的一个构造应变更强化地带,也是一个具多期活动性的破裂带<sup>[5]</sup>。断裂带控制了岷江等水系的发育。

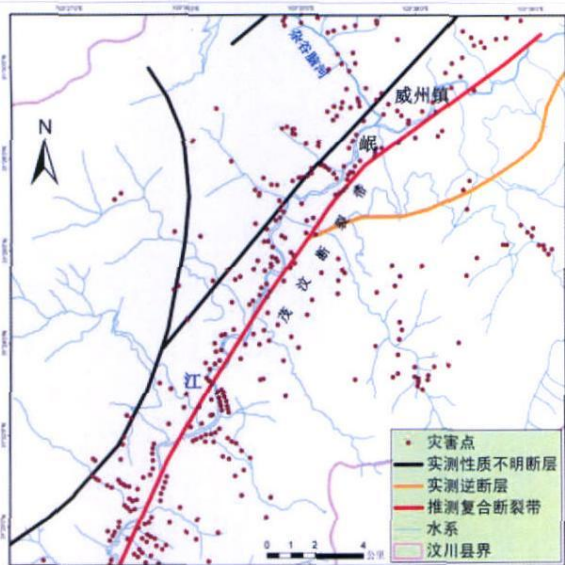


图 6 茂汶断裂带与次生山地地质灾害点分布图  
Fig 6 The Mao-Wen rupture zone and distribution of secondary mountainous geological disasters

岷江位于茂汶断裂带和另一条平行断裂带之间,属于构造活动强烈地带,地形切割强烈,崩塌、滑坡、泥石流沿着它们成平行带状分布(图 6)。

2 北川-映秀断裂带:该断裂带分隔了断裂西侧的彭灌杂岩体和东侧的上三叠统含煤系砂泥岩地层,属于逆冲推覆断裂带,为龙门山主中央断裂,北起广元,南达泸定,北入陕西,境内长 400 km,南接羌河断裂带,是松潘-甘孜带与扬子陆块的地壳拼接的地方。以映秀地区为例,图 7 反映了山地地质灾害点与流域分布、活动构造之间的关系。由图中可以看出:映秀地区大致可以划分为: A 岷江干流流域, B 岷江支流烧汤河流域和 C 岷江支流流域。流域(watershed),又称集水区域,是指流经其中的水流和其他物质从一个公共的出水口排出从而形成的一个集中的排水区域,每条河流都有自己的流域,一个大流域可以按照水系等级分成数个小流域,流域之间的分水地带称为分水岭,流域盆地是有分水岭分割而成的汇水区域<sup>[6]</sup>。通过 DEM 的地理信息空间分析,不仅可以提取水系,而且可以计算河流长度,划分河流等级和流域。

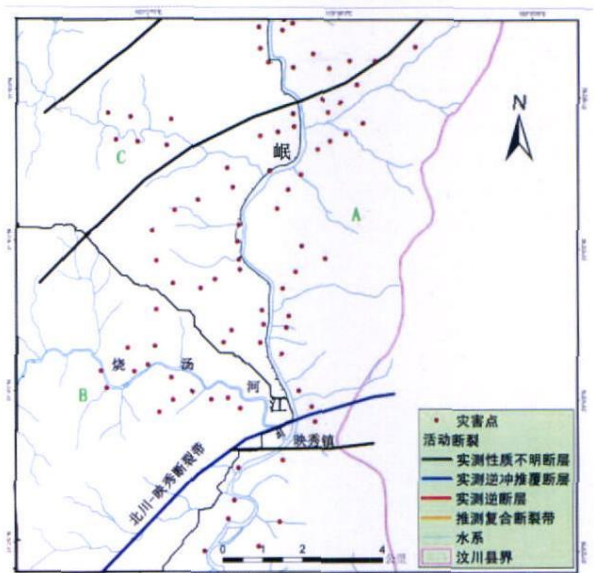


图 7 北川映秀断裂带与次生山地地质灾害点分布图  
Fig 7 The Beichuan-Yingxiu rupture zone and distribution of secondary mountainous geological disasters

映秀镇位于北川-映秀逆冲推覆断层和另一不明断层的交汇处附近,垂直运动和水平运动强烈,受灾也最为严重,但是次生山地地质灾害并不是沿着活动断裂成线状或者带状分布,而与河流的走向有关。所有灾害点位于三条断层之间,以岷江干流流域灾害最为严重,距离断层较远处流域次生地质灾害较少。

### 3.3 结论与建议

因此,汶川县地质构造复杂、断裂发育,新构造活动强烈;山高沟深,地形陡峻,流域形状便于水流汇集;地震引起的崩塌、滑坡以及大量固体碎屑物沿水系和活动断裂分布,进一步为泥石流的形成提供了必要条件;而且该地区夏季气候湿润,降雨量丰富;今后泥石流将成为该地区主要的山地地质灾害,必须加强措施,预防泥石流灾害的发生。

注:本文为项目集体成果,在此对参加本项目的全体人员表示感谢!

### 参考文献 (References)

- [1] Li Hongwei, Jiang Nan. Remote sensing image processing and mapping [Z]. The College of Surveying and Mapping of Information Engineering University, 2003. [李宏伟, 江南. 遥感图像信息处理与制图 [Z]. 解放军信息工程大学测绘学院, 2003.]
- [2] Liu Jun, Jia Ming. Talking about the application of Remote Sensing technology in geologic disaster investigation [J]. Sci/tech Information Development & Economy, 2005 (5): 170~171. [刘珺, 贾明. 浅谈

- 谈遥感技术在地质灾害调查中的应用 [J]. 科技情报开发与经济, 2005 (5): 170~ 171]
- [3] The Committee of Prevention and Governance of landslides and collapses The Engineering Manual of Prevention and Governance of landslides and Collapses[M]. Beijing Earthquake Press 2005 [滑坡与崩塌事故防治编委会. 滑坡与崩塌事故防治工程手册[M]. 地震出版社, 2005]
- [4] Wang Ruixue Application of remote sensing photograph to geological disasters investigation[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 1997 (4): 17~ 21 [王瑞雪. 遥感图像在地质灾害调查中的应用[J]. 昆明理工大学学报, 1997 (4): 17~ 21]
- [5] Lin Maobing Yu Guang Principal features of Maoen ductile fault zone (Wenchuan Gengda section) [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1997, 24(2): 40~ 47 [林茂炳, 俞广. 茂汶断裂带(耿达—汶川段)的基本特征[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(2): 40~ 47]
- [6] Tang Guoan Yang Xin ArcGIS Spatial Analysis Experimentation Tutorial[M]. Beijing Science Press 2006: 443 [汤国安, 杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006 443]

## Secondary Seismic Mountainous Geological Disasters Survey in Wenchuan County Based on Spatial Information Science

YANG Junjie<sup>1</sup>, ZHANG Zhi<sup>1, 2</sup>, WANG Xu<sup>1</sup>, GU Yanqun<sup>3</sup>, QIANG Jianhua<sup>4</sup>

(1. The college of earth science, China university of Geosciences, Wuhan 430074 Hubei China;

2. Department for crust dynamics & deep space exploration, NRSC, Wuhan 430074, Hubei China;

3. Hebei Provincial Center for Remote Sensing, Shijiazhuang 050021, Hebei China;

4. Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, China National Administration of Coal Geology, Xi'an 710054 Shanxi China)

**Abstract** 5.12 Wenchuan earthquake release enormous energy instantaneously resulting Mountain broken, the river changes. Greatly changing topography and landscape in the seismic area of the surface. Formed a series of secondary landslide, landslides, debris flows, and other mountainous geological disasters. It is a serious threat to people's lives and property and socio-economic development. It is very difficult to use traditional field survey methods, aviation remote sensing technology can macro, comprehensive, accurate and timely access to information related to mountainous geological disasters to take timely emergency measures to prevent further disasters occur. In this paper, we comprehensive utilize of different time, different image sensor on the geological disasters in Wenchuan County post-earthquake monitoring, in a very short time fully grasped distribution of the collapse, landslides, debris flows, damming point. Using of advanced RS and GIS technology with DEM and geological information, through the delineation of river basin, discuss the characteristics and distribution mountainous geological disasters in the earthquake, has provided new ideas and methods for the early warning prevention of secondary mountainous geological disasters.

**Key words** Wenchuan earthquake; secondary mountainous geological disasters; DEM; watershed