

基于遥感和 GIS 技术的北川县地震次生地质灾害分布特征

黄庭¹, 张志^{1,2}, 谷延群³, 周曼蒂¹, 强建华⁴

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: 以北川县为研究区域, 利用多源、多时相卫星数据判读地震次生地质灾害, 并在 ARCGIS 软件的支持下, 对地震次生地质灾害的空间分布规律及其影响因素做相关性研究。结果发现, 地层岩性、构造、水系、地形地貌等是地震次生地质灾害分布的主要影像因素。不同空间区域上各主要控制因素对次生地质灾害发育的控制力不一样。北川县的地震次生地质灾害沿北川—映秀断裂带密集分布, 受岩石地层结构组分的影响, 在志留纪地层中集中发育, 受地形地貌的影响, 在地形坡度 30° — 70° 区域内集中发育。这些分布规律的发现, 可以及时为北川县防灾规划和灾后重建提供科学依据。

关键词: RS GIS 地震次生地质灾害, 分布特征

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害(刘凤民等, 2006)。地震次生地质灾害的种类比较多, 主要有崩塌、滑坡、塌陷、地裂缝和砂土液化等。其破坏作用主要表现为: 危害人的生命健康, 造成不同程度的人口伤亡; 毁坏房屋、道路等工程设施, 造成不同程度的财产损失; 破坏耕地等, 造成不同程度的资源损失和环境破坏。地震次生地质灾害增强了地震灾害的破坏效应, 加剧了地震的损失程度, 因此是地震灾害研究的重要组成部分。

遥感技术(RS)是一门高科技手段, 能实时、快速、大范围地获取地震灾区的影像。遥感技术可以贯穿于地质灾害调查、监测、预警、评估的全过程(冯东霞等, 2002)。地理信息系统(GIS)以其优越的空间分析功能而区别于其他计算机辅助设计系统。通过 GIS 的空间分析功能揭示次生地质灾害的空间位置、分布特征以及控制其发育的相关地质地理因素、地质灾害隐患点可能影响对象、范围、程度, 从而为震后救灾决策、科学重建提供技术支持。

2 研究区概况

北川羌族自治县位于东经 $103^{\circ}44'44''$ — $104^{\circ}43'4''$, 北纬 $31^{\circ}41'30''$ — $32^{\circ}13'8''$, 处于四川盆地西北部, 隶属四川绵阳市。北川县西南部属于青藏高原东部的前缘过渡地带, 山势高峻, 海拔在 4 000—5 000 m, 东北侧即为海拔 1 000—2 000 m 的中低山区, 与东北部的中低山界线分明, 犹如屏障拔地而起, 两侧地形地貌反差悬殊。境内水资源十分丰富, 有一江五河四大沟, 河流总长 488 km, 年径流量 18.08 亿 m^3 。

龙门山造山带主要由山前带、中央带、后山带 3 个主要断裂带(图 1)构成。青川—茂汶断裂与北川—映秀断裂之间构造地层带为龙门山后山带, 主要由前震旦系黄水河群、志留系茂县群和泥盆系危关群浅变质岩以及前震旦系杂岩体组成。其前缘断裂为北川—映秀断裂, 走向北东, 倾向北西, 断裂构造岩发育, 应变矿物具低绿片岩相, 具脆—韧性断层特征。北川—映秀断裂与江油—灌县断裂之间构造地层带为龙门山前带, 主要由未变质的古生界和三叠系构成。断裂带沿线山高谷深, 植被茂密, 第四系沉积不发育。北川—映秀断裂是前龙门

收稿日期: 2008-07-15 修订日期: 2008-10-11

基金项目: 中国地质调查局: “5 $^{\circ}$ 12 地震次生地质灾害航天遥感快速解译”项目。

第一作者简介: 黄庭(1982—), 男, 中国地质大学(武汉)地球科学学院在读研究生。主要从事第四纪遥感应用、矿山遥感方面的研究。E-mail: huangjie@163.com

山与后龙门山的天然分界,它又被称为龙门山断裂带的中央断裂,北川—映秀逆断裂(中央断裂)整体走向 N35°—E45°,倾向 NW。断裂呈现出明显的分段活动性,北川以北断裂晚更新世以来不再活动(陈国光等, 2007)。从岷江阶地断错特征等推测中南段断裂垂直滑动速率为 0.6—1 mm/a,晚更新世

中期以来右旋滑动速率为 1 mm/a(赵小麟 & 陈社发, 1994)。沿该断裂历史上发生多次中强地震,例如 1958 年北川附近的 6.2 级地震。沿断裂各种断错地貌、断层槽沟、断塞塘等断裂地貌颇为发育,保存完好。该区域处于不稳定状态,活动构造易于引起地震而诱发次生地质灾害。

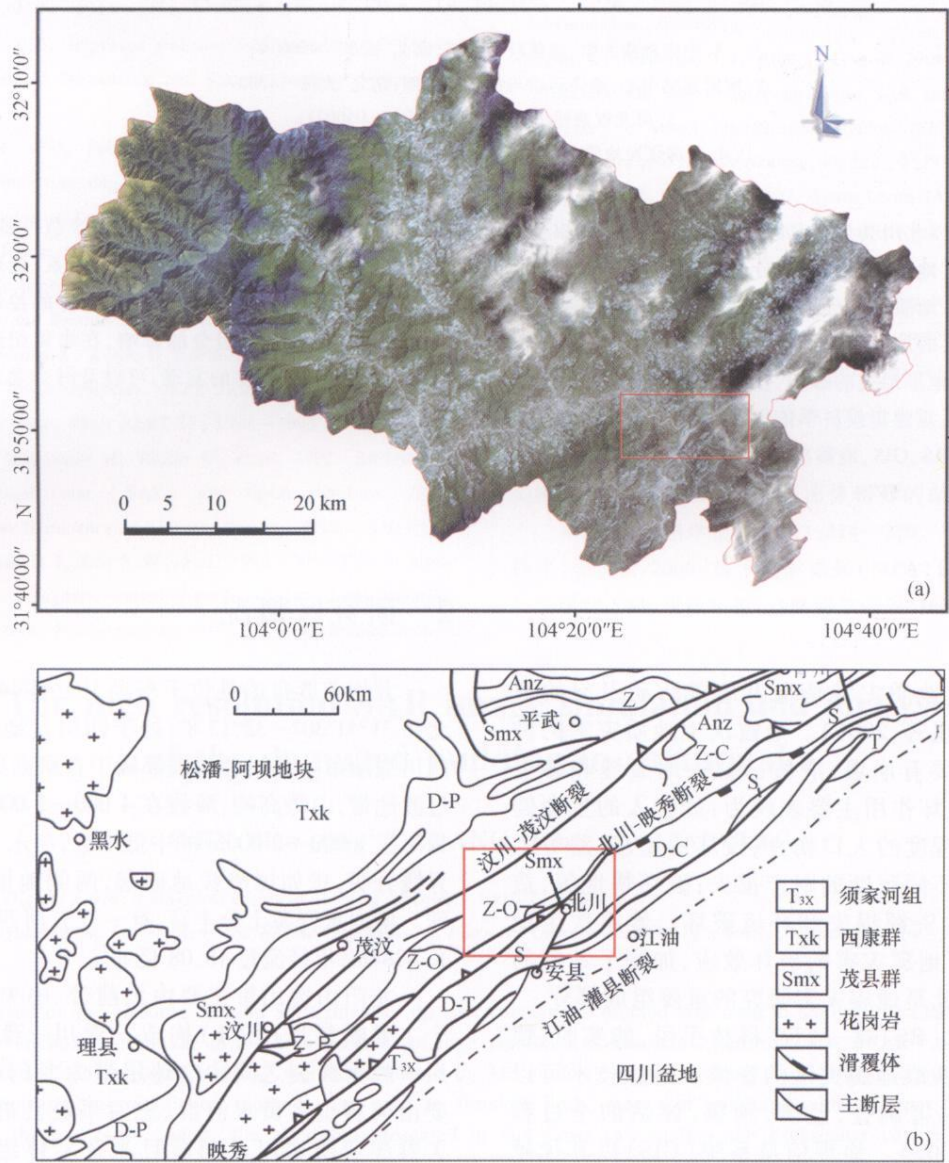


图 1 研究区 TM 遥感影像 (a) 与龙门山造山带地质图 (b)

Fig 1 The TM remote sensing image of study area (a) and Longmen mountain orogenic zone geological map (b)

3 地震次生灾害遥感调查

本文的流程(图 2)是基于整个北川县 1:5 万地形图利用 PCI、ENV 和 ERDAS 等图像处理软件,通过几何校正、DEM 配准、调色和镶嵌等图像处理技术,处理成图像清晰、过渡自然、高程比例协调,并

能反映实际地物的正射图像(王建等, 2004; 党安荣, 2003)。在充分收集已有地质环境与灾害资料的基础上,建立次生地质灾害及其发育环境的遥感解译标志,利用数字地质灾害技术,以人机交互解译为主要手段获取相关信息,即利用 PCI 和 ARCGIS 等软件平台,在已处理好的数字影像上进行,参考研究区已有地层岩性、构造断裂、微地貌及

阶地等基础地质环境,在正射影像图基础上对次生地质灾害的全貌、局部及周围进行观察和分析,确定目标物后,用上述软件直接解译,从而获取次生地质灾害的类型、范围和分布等成果。将解译的数据通过ARCGIS软件运用其强有力的空间分析能力,进行数据处理,得出结论。

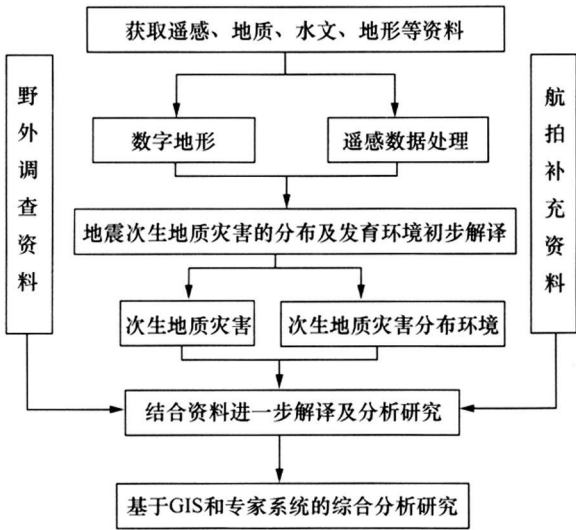


图 2 地震次生地质灾害遥感调查流程图
Fig 2 Flow chart of Earthquake-induced secondary geological disasters

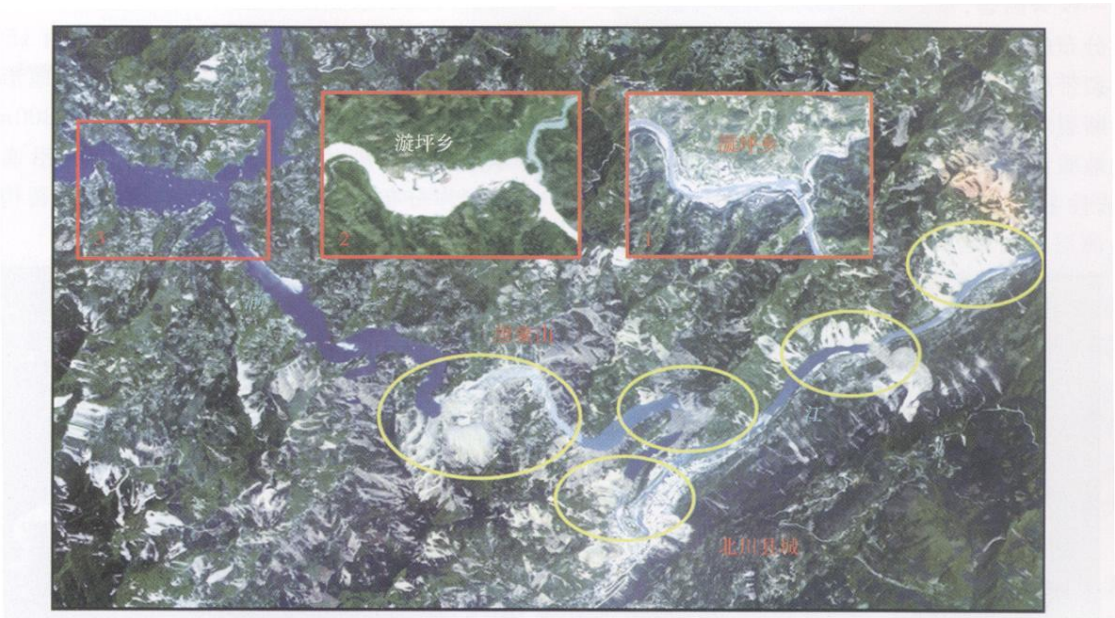
4 地震次生地质灾害分布特征研究

4.1 次生地质灾害等密度图生成方法以及空间分析原理

利用多源、多时相遥感影像解译出的次生地质灾害点,依靠地理信息系统的空间分析功能的距离插值进行分析,得出次生地质灾害等密度分布图,根据单位面积的地震次生地质灾害的数量将北川县分为不同的受灾程度,其中极重灾区地震次生地质灾害大于 5 个 / 25 km²,重灾区地震次生地质灾害为 1—4 个 / 25 km²,受灾地区地震次生地质灾害少于 1 个 / 25 km²。基于遥感影像数据通过矢量地理数据和基础地质数据对北川县次生地质灾害进行空间叠加分析,通过灾害与各种影响因素之间的耦合关系得出规律。

4.2 次生地质灾害分布基本规律

汶川地震后,北川县发育大量滑坡、崩塌、泥石流、地震裂缝等次生地质灾害,尤以县内的唐家山大型滑坡体堵江,引起堰塞湖的灾害现象最为典型(图 3)。众多地质灾害体,对国家经济和人民生命财产造成极大的破坏。地震次生地质灾害在空间分布上遵循着一定的规律。



1 为 2006-11-10 SPOT5 数据; 2 为 2008-05-14 福卫数据;
3 为 2008-06-04 SPOT5 数据; 黄色圆圈为沿江发育的大型滑坡体。
(注: 图 3 所在位置为图 1 中 TM 影像中红色标识范围)

图 3 北川县唐家山卫星影像图

Fig 3 The secondary geological disasters Sat image of in Beichuan Tangjia shan distributed characteristic

次生地质灾害主要集中在北川县东南部及中部地区,呈条带状分布。以禹里镇为分界点,分别以 NE40°及 NW30°方向呈带状展布,即擂鼓镇—曲山镇—陈家坝乡—桂溪乡段,禹里乡—开坪乡—小

坝乡—片口乡段,本文称之为 A区和 B区,以及墩上乡—坝底乡—马槽乡—白什乡—青片乡段呈零星分布,本文称之为 C区(图 4)。

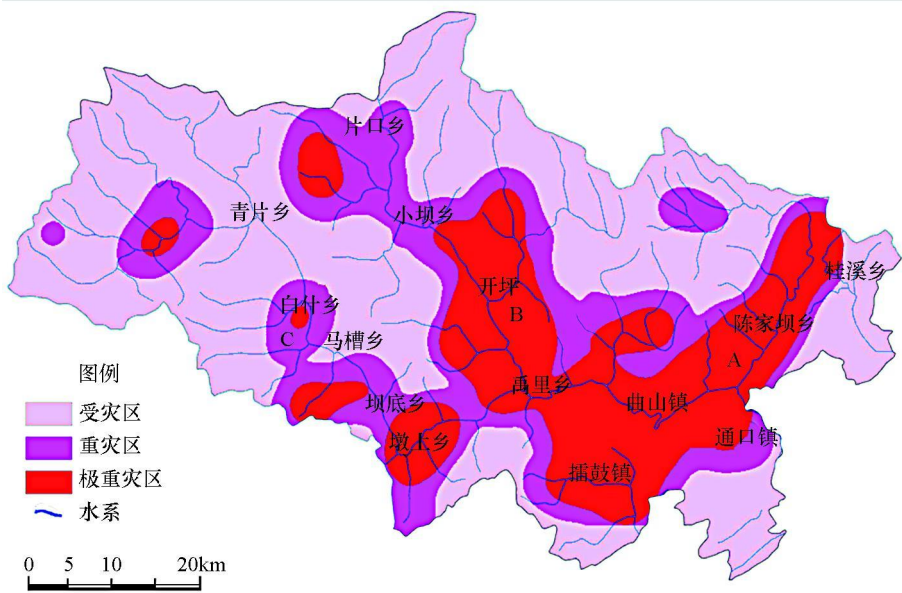


图 4 地震次生地质灾害发育程度分区图

Fig 4 The growth degree distribution map of secondary geological disasters

(1) A区位于龙门山造山带的中央断裂带,即北川—映秀断裂,整体走向 N35°—E45°,倾向 NW。带状分布的地质灾害和断层的走向较一致,并且距离断裂带越近地震地质灾害发生的程度越重,可以看出断裂对地质灾害的分带有着重要的影响;地震次生地质灾害集中发育于志留系中统罗惹坪组(图 5),岩性主要为沙质粉砂岩、黄绿色灰质泥岩、泥灰岩夹薄层灰岩,岩石较为软弱,且普遍具有崩解特

性,在其余地层地震次生地质灾害较少发育。湔江通口河段水系受控于北川—映秀断裂,河流水位较深,河床较宽,两岸坡谷,下缓上陡,坡角 15°—70°,局部为负坡。该区属于高山峡谷地貌,地形切割强烈,高差大,谷底到山顶高差在 400—800m 之间。水系两岸坡度的特点决定了地质灾害沿通口河河谷两岸分布,并且密集发育。地层与断裂构造决定着 A区灾害的发育与分布。

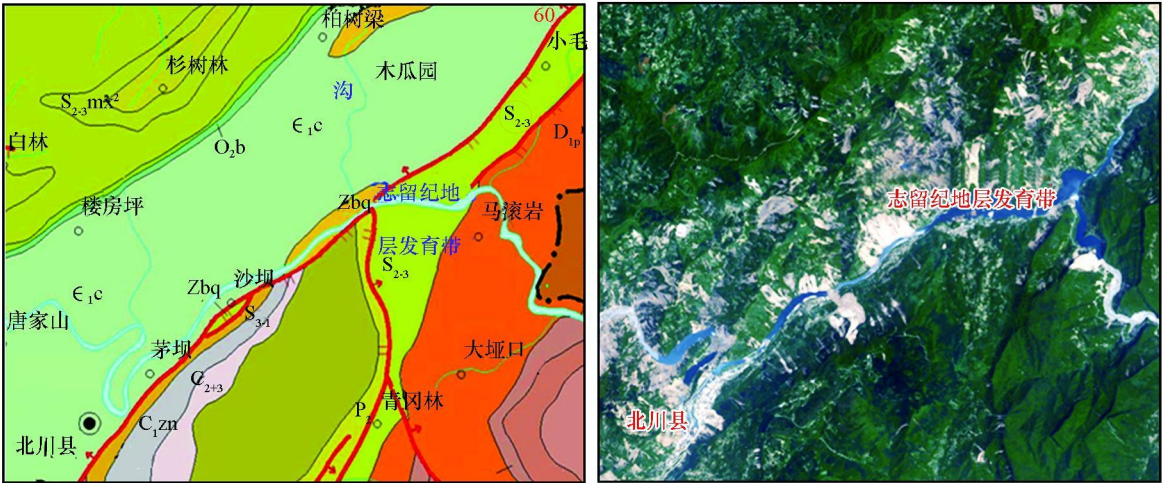


图 5 志留系地层地质灾害与遥感影像对比图

Fig 5 The Silurian series comparison map between geological image and remote sensing image

(2) B区的地质灾害次生地质灾害并不集中于单个地层发育,在地貌上是沿着水系发育并贯穿于该区的多个地层,水系切割河谷地形,河谷陡峭,易于发生地质灾害。该水系实际上是由以虎牙—北川—安县一线的近NW向的虎牙断裂和擂东断裂所控制。同时,该区的地形坡度相对较大,在远离水系的区域,坡度越大,次生地质灾害越为发育。次生地质灾害延展方向,河流流向以及断裂的走向耦合在一起。由此可见B区

的次生地质灾害分布受断裂构造的绝对控制,在远离断裂构造的区域受地形坡度的影响比较显著。

(3) C区的次生地质灾害主要集中于地形坡度较大的区域,地形坡度在 45° — 70° 之间(图6),山体的高差大,地势险峻,地形变化幅度大,极易发生重力崩塌,由于地震的由内自外释放能量,加剧了地震次生地质灾害的发育,C区的次生地质灾害主要受控于地形坡度。

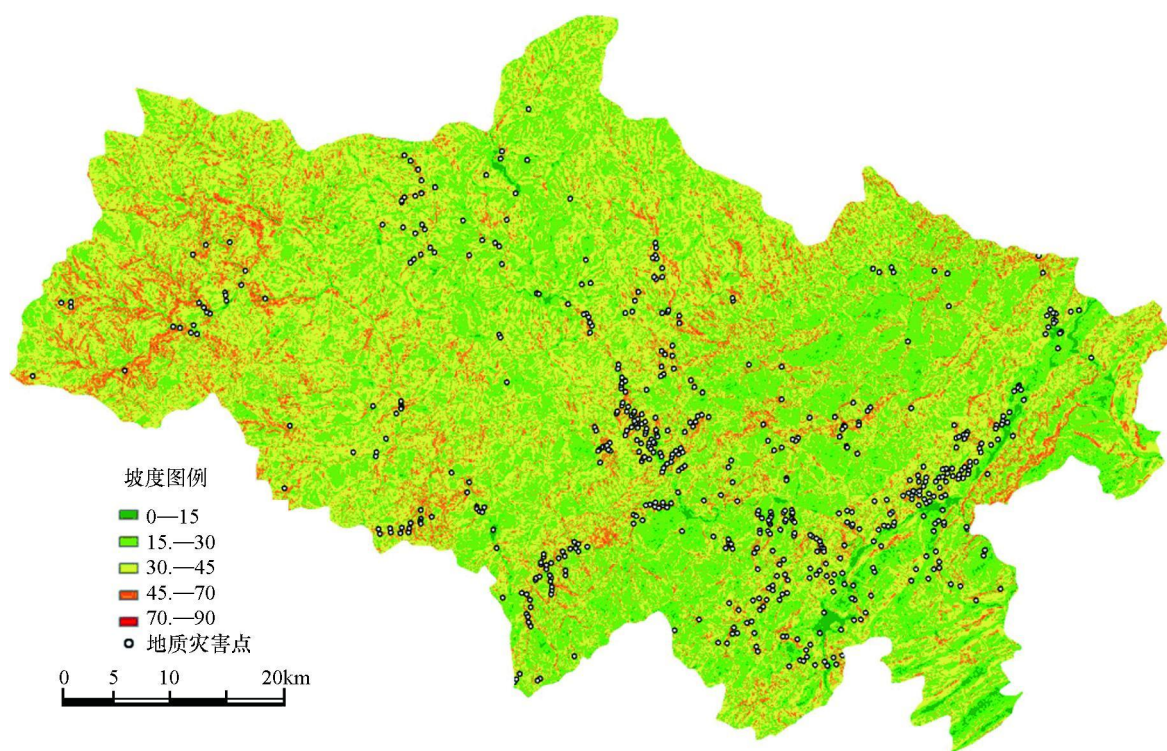


图6 北川县地形坡度与灾害分布图

Fig. 6 The Gradient map and the secondary geological disasters distribution map in BeiChuan

总的说来,北川县地震次生地质灾害的空间分布主要受到断裂构造、地层岩性、地形坡度以及水系的影响,其影响因素在空间分布上自东向西从以活动构造为主的地球内动力地质作用过渡到水系和地形地貌因子的外动力地质作用。地质灾害发育数量也由东向西递减,反映地震活动的能量释放规律。

5 结论

(1) 区域性活动构造的不稳定,是地震次生地质灾害的动力源。在活动构造的变形中,极易形成大规模的次生地质灾害,同时活动构造直接影响微地貌形态,直接决定着次生地质灾害的发生,其形成的断层崖等结构是次生地质灾害易于发生的区域。

(2) 地层岩性和结构决定着次生地质灾害发生的强度与密度。结构松散的砂岩、砂泥岩以及砂岩、页岩和泥岩的互层地层,岩性软弱,在构造作用、水力侵蚀和风化作用等其他作用下,易形成土状或者泥状的软弱层。北川的志留系地层岩石较为软弱,且普遍具有崩解特性,在地震作用下,易于发生地质灾害,因而沿着该地层发育着大量的大中型滑坡、崩塌等次生地质灾害。

(3) 地形坡度以及水系对于地震次生地质灾害的空间分布有着重要的影响。地形坡度尤其是坡度变化大的区域,属于次生滑坡和崩塌等地质灾害高发、多发区,河流水系河谷形态和河床坡降,它们直接影响泥石流等次生地质灾害的运动状态和持续时间,造成较强的破坏力。

地质构造对地震次生地质灾害有着重要的影响,活动构造是控制地震次生地质灾害分布的动力因素,活动构造带处于不稳定状态,易于引发地震灾害,地震次生地质灾害带展布方向耦合于活动构造走向。岩石地层单位的岩性是影响次生地质灾害分布发育程度的关键性因素,岩性软弱的地层,易于崩解,在受到内动力地质作用的时候,其结构不稳定,容易发生崩塌、滑坡。地形坡度是控制地震次生地质灾害分布的主要因素,地形坡度较大,次生地质灾害易于发生,尤其是地貌高差大,水系切割强烈的地区,次生灾害体的碎屑物汇集到河流中,易于引发堰塞湖、泥石流等灾害。

致 谢 本文在写作的过程中得到了国土资源部中国地质调查局和航空物探遥感中心的领导和专家的支持和指导,项目成果为集体成果,在此对项目全体人员表示衷心的感谢。

REFERENCES

- Chen G G, Ji F J, Zhou R J, et al. 2007. Primary research of activity segmentation of Jingshen Shan fault zone since late Quaternary. *Seismology and Geology*, **29**(3): 657—673
- Dang A R. 2003. Erdas imagine remote sensing image processing

- Beijing: Tsinghua University Press
- Feng D X, Yu D Q, Long J B. 2002. Application foreground researching of remote sensing technology about geologic disaster. *Hunan Geology*, **21**(4): 318—324
- Liu F M, Zhang L H, Liu H Q, et al. 2006. Danger assessment of earthquake induced geological disasters in China. *Journal of Geomechanics*, **12**(2): 127—131
- Wang J, Bai S B, Chen Y. 2004. Geography information cartography by surfer8 software. Beijing: SinoMaps Press
- Zhao X L, Deng Q D, Chen S F. 1994. Tectonic geomorphology of Mingshan uplift in western Sichuan, Southwest China. *Seismology and Geology*, **16**(4): 429—439

附中文参考文献

- 陈国光,计凤桔,周荣军等. 2007 龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究. *地震地质*, **29**(3): 657—673
- 党安荣. 2003. ERDAS MAG NE遥感图像处理方法. 北京:清华大学出版社
- 冯东霞,余德清,龙解冰. 2002 地质灾害遥感调查的应用前景. *湖南地质*, **21**(4): 318—324
- 刘凤民,张立海,刘海青等. 2006 中国地震次生地质灾害危险性评价. *地质力学学报*, **12**(2): 127—131
- 王建,白世彪,陈晔. 2004. Surfer8 地理信息制图. 北京:中国地图出版社
- 赵小麟,陈社发. 1994 岷山隆起的构造地貌学研究. *地震地质*, **16**(4): 429—439

Distributed characteristics research of earthquake induced secondary geological disasters in Beichuan County Based on GIS and remote sensing

HUANG Ting¹, ZHANG Zhif², GU Yan-qun³, ZHOU Man-di⁴, QIANG Jian-hua⁴

1. The Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Hubei Wuhan 430074, China
2. Department for Crust Dynamics & Deep Space Exploration, National Remote Sensing Center of China, Hubei Wuhan 430074, China
3. Hebei Provincial Center for Remote Sensing, Hebei Shijiazhuang 050021, China
4. Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, China National Administration of Coal Geology, Shaanxi Xi'an 710054, China

Abstract In this paper, we study the spatial distribution rules of earthquake induced secondary geological disasters and the relationships between the disasters and their impact factors, based on multi source multi temporal satellite data, which was support in ARCGIS software platforms. The results show that stratum lithology, geology structure, water system and topography are major controlling factors in disasters, mean while, different regions have different controlling factors. The distribution of BEICHUAN disasters is along the Beichuan-Yingxiu fault zone as banded, a mass of disasters develops in Silurian strata because of structural components, a mass of disasters affected by the topography developed in the terrain with slope of 30°—70°. The distribution regularity of disasters can provide scientific foundation for prevention earthquake plans and reconstruction after earthquake.

Key words remote sensing; GIS; earthquake induced secondary geological disasters; distributed characteristics