

汶川地震甘肃省文县地震地质灾害遥感分析^①

陈文凯^{1,2}, 何少林¹, 张苏平¹, 周中红¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:2008 年汶川地震诱发了大量的次生山地灾害。本文以多源、多时相的遥感影像(TM、ASTER、SPOT)作为信息源,基于地学知识,采用图像增强、人机交互的方式对甘肃省文县地区汶川地震引发的次生山地灾害进行解译。以 ArcGIS 软件为处理平台,运用空间分析技术,将解译结果与海拔高度、坡度、植被覆盖度和地震烈度进行空间分析,获得了研究区次生山地灾害的分布规律,其特点为:文县境内的次生山地灾害主要分布在 20°~60°的边坡;多发生在 1 000~2 500 m 的海拔高程范围内;主要分布在地震烈度Ⅶ度及以上区域。

关键词:次生山地灾害;遥感;GIS

中图分类号:P315.942

文献标识码:A

文章编号:1000-0844(2011)04-0363-07

Analysis on the Geo-hazards Triggered by Wenchuan Earthquake in Wenxian County, Gansu Province, Based on Remote Sensing Information

CHEN Wen-kai^{1,2}, HE Shao-lin¹, ZHANG Su-ping¹, ZHOU Zhong-hong¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract:The great Wenchuan earthquake in 2008 induced a large number of secondary mountain hazards. In this paper, the earthquake-induced mountain hazards in Wenxian County, Gansu province, are interpreted using the image enhancement technology and human-computer interaction technology based on the multi-type and multi-temporal remote sensing images(TM, ASTER, SPOT, etc.) and the geoscience knowledge. Based on GIS spatial analysis function, the analysis of the relationship between mountain disaster and elevation, slope, vegetation coverage and earthquake intensity, as well as the rules of development and distribution of mountain disaster reveals the following characteristics in the study area. The geo-hazard mainly generated in the slope varying from 20 to 60 degrees, mainly occur in slopes with the altitude from 1 000 m to 2 500 m; developed in the area where the earthquake intensity is Ⅶ or exceeding Ⅶ. The result should be significant in reconstruction.

Key words: Secondary mountain hazards; Remote sensing; GIS

0 引言

20 世纪 60 年代中期遥感技术就开始用于地质灾害调查。早期常用的遥感资料较单一,主要利用航片、美国陆地卫星图像对重点区域或重点工程项

目进行滑坡、泥石流等地质灾害调查工作^[1]。随着遥感新技术的快速发展,遥感技术在地质灾害研究中的应用逐渐从单一的遥感资料向多时相、多数据

^① 收稿日期:2010-05-21

基金项目:甘肃省地震局地震科技发展基金(2011Q03);中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2009A21);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2011050

作者简介:陈文凯(1983-),男(汉族),青海民和人,助理研究员,目前主要从事 RS 和 GIS 应用技术研究。

源的复合分析;从静态滑坡识别、形态分析向滑坡变形动态监测过渡;从对滑坡的定性调查向计算机辅助的定量分析过渡^[2]。遥感技术在地质灾害调查领域中,前人已经做了很多卓有成效的探索和研究工作。如卓宝熙将遥应用于大量的工程地质勘察中^[3];李发斌利用遥感和 GIS 技术进行了滑坡敏感性分析、可能性分析及风险性研究^[5];张继贤利用 3S 技术对滑坡进行监测、评估研究^[6];王治华提出了“数字滑坡”的概念^[7]。但目前还存在一些不足:多为平面解译;辅助数据如 DEM、环境因素等数据利用较少,解译精度不高;信息提取工作多为遥感数字图像处理, GIS 空间分析功能利用较少;自动解译方法中研究尺度较小,灾害提取范围较小;地震地质灾害遥感解译较少,烈度与次生地质灾害之间的关系研究较少。

强烈地震发生在山区时常常会导致大量的山地地震地质灾害的发生,尤其是在我国西北、西南的高山地区。这里由于新构造运动强烈,河流深切,山坡陡峭,基岩风化剥蚀严重,当有外界因素如强烈地震动影响时,就会发生大量的山体滑坡、崩塌、滚石等灾害。地震时高原峡谷地区道路破坏严重,地面调查条件恶劣,采用常规方法进行地震地质灾害调查十分困难。因此遥感技术在 2008 年汶川大地震后在地质灾害、房屋损毁、公路损毁等调查中被大量运用,并得到了较好效果^[10-17]。但是在甘肃省文

县地区的次生地质灾害研究中应用较少,尚无公开研究结果。根据前人研究结果了解到崩塌滑坡多发生在地震烈度 VII 度及以 VII 度上地区, VIII 度区及以上地区发生的可能性急剧增大^[9]。据中国地震局公布的烈度范围,甘肃省文县烈度包括 VII、VIII、IX 三个烈度区域,因此本文对甘肃省文县进行地震地质灾害遥感快速提取方法探讨,根据人机交互解译了该区域的次生地质灾害,并研究和探讨地震地质灾害影像特征、地震地质灾害与坡度、海拔高度、烈度之间的关系,分析文县区域地震地质灾害分布特点,为我国西部地震多发区的防灾提供参考,研究结果可为甘肃省文县灾后恢复重建工作提供科学依据。

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况

文县位于甘肃省陇南市的东南,东南接四川省广元市和九寨沟县,北邻陕西宁强县。地形自东向西由丘陵区向高山峻岭、深山峡谷区展布,形成西高东低的地形,山地约占总面积的 90%。境内白龙江、白水江由西至东穿流而过,汇入嘉陵江。山峰海拔高程 1 000~4 187 m 之间,河谷海拔高程 550~1 650 m。甘肃省文县在汶川地震中受到严重破坏,根据中国地震局公布的汶川地震烈度,文县烈度包含了 VI 度、VII 度、VIII 度、IX 度,其中 VII 度、VIII 度区占其绝大部分,肖家乡、碧口镇、中庙乡、范坝乡(东部)、

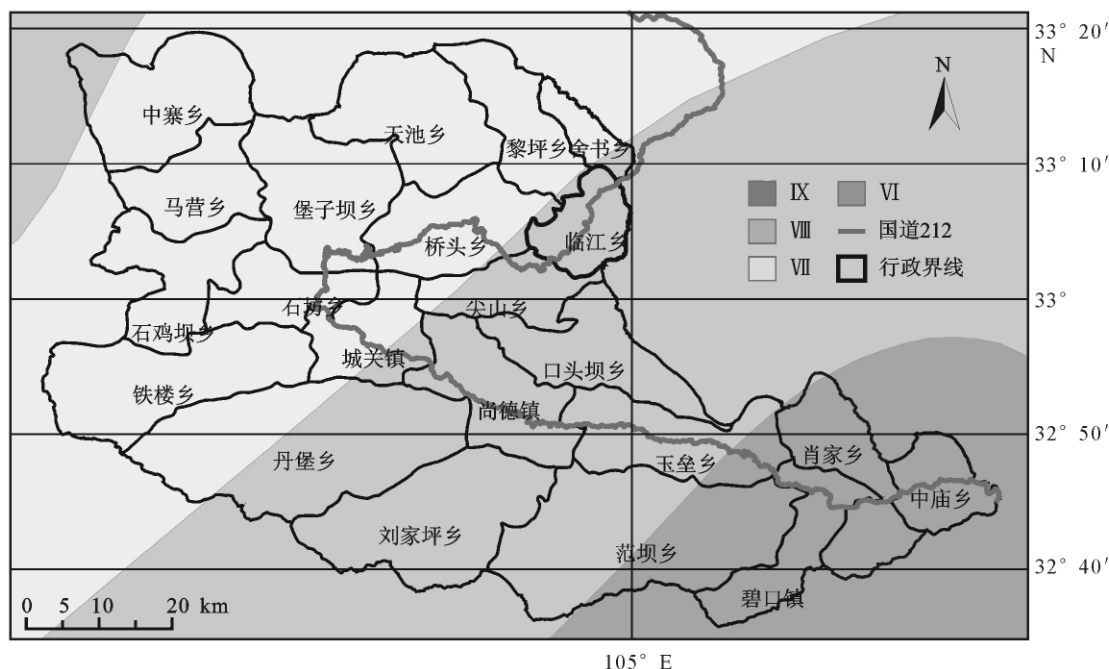


图 1 甘肃省文县烈度分布图(中国地震局,2008)

Fig. 1 Distribution of earthquake intensity in Wenxian county, Gansu province.

玉垒乡(东南)处于Ⅸ度高烈度区。

1.2 数据预处理

根据地震地质灾害特点,选用 TM、ETM 影像、Aster 影像、SPOT5 影像作为遥感数据源。影像空间分辨率为 2.5 m、15 m、30 m,其中 SPOT5 影像只有震后一景影像,Aster 影像有地震前后影像, TM/ETM 影像均为震前影像。其中 TM 影像为 2006 年 5 月 19 日拍摄的,ETM 影像为 2001 年 5 月 12 日拍摄的,Aster 影像为 2008 年 6 月 1 日和 2006 年 3 月 8 日拍摄的,SPOT5 影像为 2008 年 5 月 16 日拍摄的,有少量的薄云,图像整体质量较好。辅助数据为 1:5 万地形图、1:5 万 DEM、Aster-DEM 数据。

在已有的矢量地形图、行政区划图、栅格 DEM 数据的基础上,使用 ENVI4.6 对收集到的 SPOT 影像进行正射纠正,对 ASTER、TM、ETM、经过正射纠正过的 SPOT 影像分别进行几何精纠正,然后进行图像拼接、裁剪、增强等处理。在 ArcGIS 软件中进行地震地质灾害解译。DEM 数据要进行分类,得到坡度分类图和高程分类图,并将栅格数据转换为矢量数据。在植被遥感中,归一化植被指数(NDVI - Normalized Difference Vegetation Index)的应用最为广泛,因此本文中通过计算 NDVI 指数来表征文县的植被覆盖情况。由公式 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 得到文县的 NDVI,其中 NIR、R 为 TM 影像的近红外波段和红波段。然后利用公式 $F = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$ 得到该区域的植被覆盖度,其中 F 为植被覆盖度,NDVI_{max} 和 NDVI_{min} 分别为研究区内 NDVI 的最大值和最小值,最后得到文县植被覆盖度(图 5)。

2 震区地震地质灾害的影像特征解译分析

基于遥感技术的地震地质灾害的解译分析过程中一般采用历史比较法、直判法和综合辨认法。历史比较法就是采用地震前后两期遥感影像,通过对同一地区对比来发现有无地震地质灾害;直判法就是根据图像中的地物标志直接判断为震害。本文中根据地震地质灾害在震后遥感影像上的形状、色调、纹理等空间结构信息,结合 DEM 数据进行三维分析,并根据地震前后影像进行对比分析,了解地震地质灾害的影像特征,采用人机交互方法获取研究区的次生山地灾害分布信息。

(1) 滑坡。滑坡形成后在斜坡上具有周围较陡,中间有一个较平缓的台地的圈椅状或马蹄状特征。一个发育完全的滑坡具有滑坡体、滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌、滑坡鼓丘、破裂缘、后缘洼地等要素^[13-14]。滑坡在影像中常根据色调、形态和滑坡表面特征进行识别,具有明显的滑坡体和滑坡后壁特征;滑坡多呈圈椅状且坡度较陡;在 SPOT 影像中滑坡周边背景呈草绿色,而滑坡体则呈现粉红色,如图 2 所示。

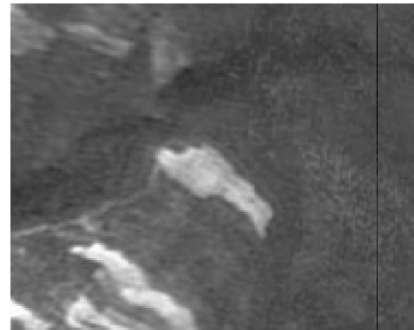


图 2 SPOT 影像中的滑坡
Fig. 2 Landslide on SPOT image.

(2) 泥石流。泥石流是介于挟沙水流与滑坡之间的山区土(碎石)、水、气的混合物,一般由物源区、流通区、堆积区组成。泥石流可分为沟谷型与坡面型。在 SPOT 影像中泥石流色调为粉红色,但其形状多呈勺状、漏斗状,多发生在沟谷中,泥石流流通区宽窄不一,沟槽弯曲(图 3)。

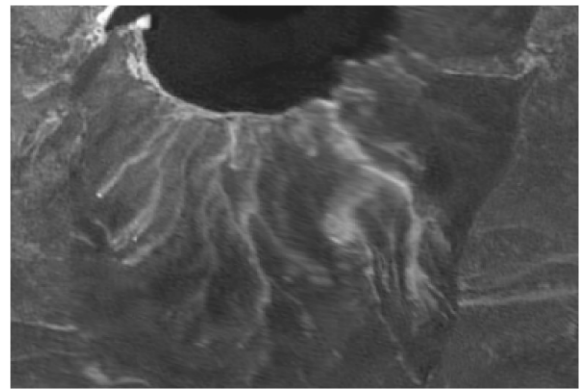


图 3 SPOT 影像中的泥石流
Fig. 3 Debris flow on SPOT image.

(3) 崩塌。崩塌是斜坡的一部分在重力作用下突然倾倒、跌落,多发生于坡度大于 45°、高度大于 30 m、坡面凹凸不平的陡峻斜坡上^[15]。崩塌具有明显的崩塌壁,其下方为崩塌堆积物。因此在遥感影像中表现为粗细间杂的纹理特征,新的崩塌色调呈白色,老的色调较深一些(图 4)。

本文中也探讨了利用植被指数(NDVI)来增强灾害体影像特征,自动提取次生山地灾害体。发现在植被覆盖较好,灾害体面积较大,且震前没有旧灾害体分布时效果较好,自动提取效果如图5所示,其自动提取的地震地质灾害精度为:地震地质灾害正确识别率为77.97%,虚警率为15.84%(正确识别

率 $f = N_r / N_s$, 虚警率 $s = N_e / N_j$, 其中 N_r 识别出的正确目标数, N_s 为实际目标数, N_e 为识别出的虚假目标数, N_j 为检测到的总目标数)。但在河谷、居民点、耕地等植被覆盖较低地区,灾害体面积较小时,这种方法并不适用,精度较低,自动选择合适的阈值较困难,对灾害体大范围难以有效提取。如图6,

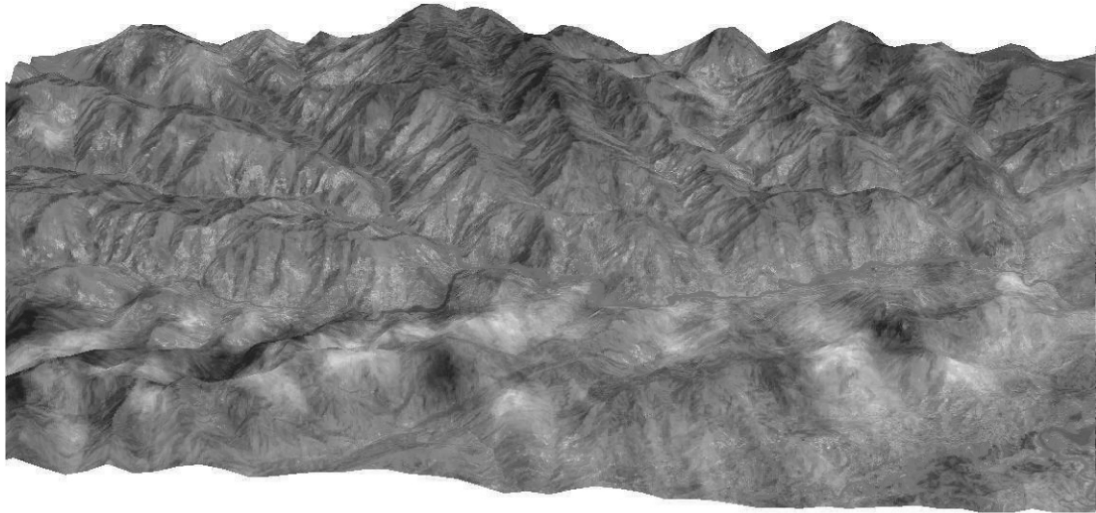
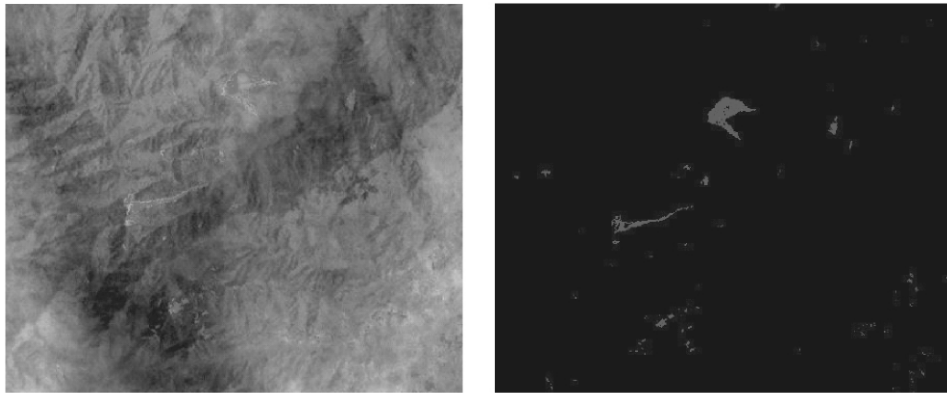


图4 震后 ASTER 三维影像

Fig. 4 ASTER three-dimensional image.

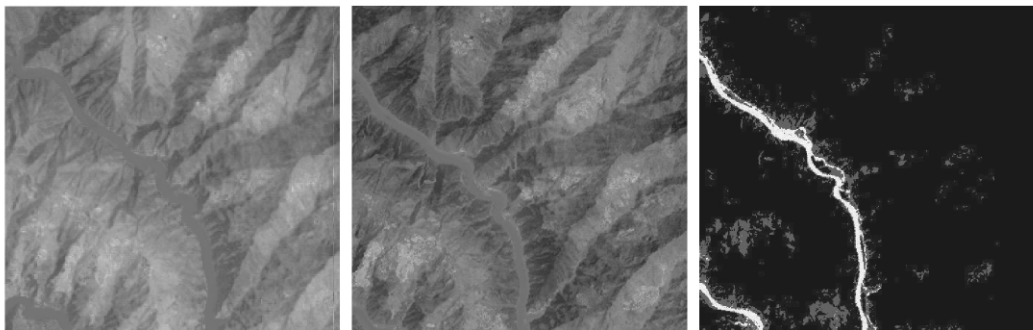


(a) ASTER影像

(b) 灾害体提取

图5 ASTER 影像自动提取灾害体

Fig. 5 Automatic extraction of hazard from ASTER image.



(a) 震前TM影像

(b) 震后ASTER影像

(c) 灾害体提取

图6 农耕区自动提取灾害体效果

Fig. 6 Automatic extraction of hazard on farming area.

可以看出自动提取灾害体,存在着大量的“同物异谱,异物同谱”现象,将河谷、居民地、耕地误作为地质灾害提取出来了。

3 次生山地灾害分布特征

基于地震前 TM、ETM 影像与震后 ASTER、SPOT 影像对比分析,根据地震地质灾害在遥感影像上的特征,得到研究区内山地灾害分布图(图 7)。据不完全统计,研究区中共解译到滑坡、泥石流、崩塌等地震地质灾害 545 条,主要集中分布在中庙乡、碧口镇、范坝乡、肖家乡、玉垒乡、尚德镇、城关镇、丹堡乡,山地灾害在空间上具有分布范围广、但又不均匀的特点。

从图中可以看出研究区内地质灾害在白龙江、白水江流域分布较广,具有沿河谷发育且呈不对称

分布的特点,但在高烈度区如范坝乡、碧口镇、中庙乡则没有明显的沿河谷发育的特点,断层影响并不是很大。河谷地区人类活动频繁,对地表植被破坏严重,河谷还有国道 212 线穿过,这些地区岩石破碎,在地震时产生了大量的崩塌、滑坡,对公路和居民点破坏严重。山地灾害与植被覆盖度也有一定的关系,这在高烈度区表现并不明显,但在低烈度区绝大多数地震地质灾害都发生在植被覆盖度低的区域。究其原因在高烈度区域地震是导致地质灾害发生的主要原因,如果没有地震这些地区可能很难发生地质灾害,而在低烈度区地震对地质灾害的影响力降低,地形环境、地震动两者都影响着地震地质灾害的分布,缺一不可。

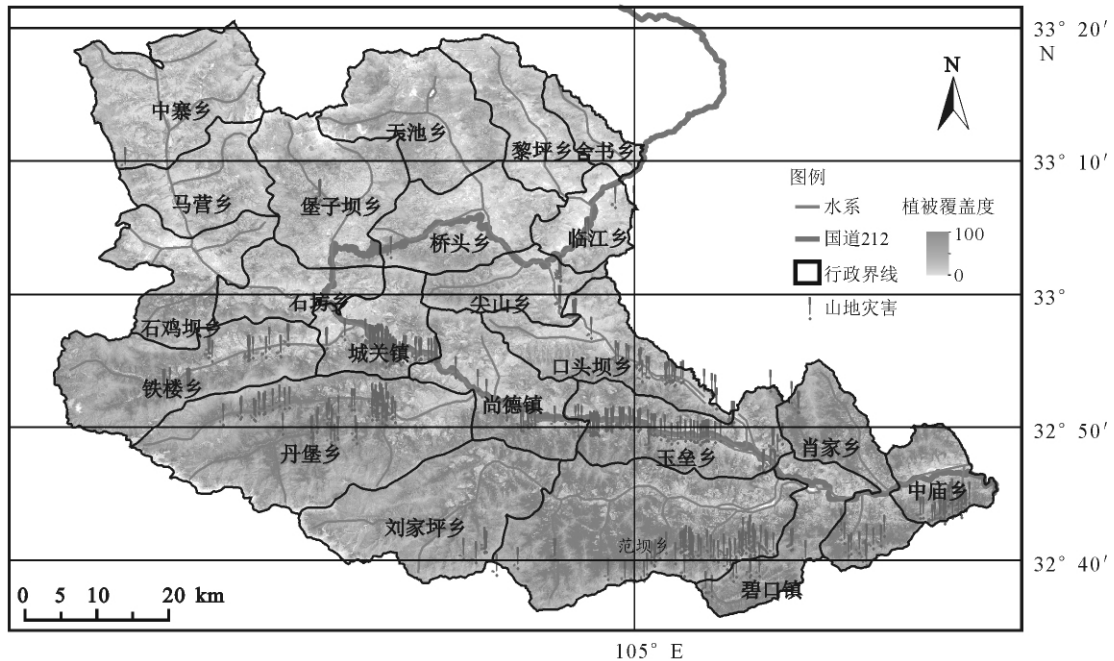


图 7 研究区地质灾害分布图

Fig. 7 Distribution of geo-hazard in the study area.

(1) 地震地质灾害与坡度之间的关系

利用文县的数字高程模型数据将研究区地形坡度按 10 度间隔划分为 8 级,图 8 是研究区内不同坡度范围的山地地震地质灾害分布面积统计图。从图中可以看出,文县地质灾害主要发生在坡度为 40°~50°、30°~40°间,其中坡度 40°~50°间地质灾害面积最多(占 40.25%);其次为 30°~40°(占 30.54%);在坡度 20°~30°与 50°~60°之间也有地震地质灾害分布,但相对来说较少;大于或小于这两

个坡度区间则地质灾害分布极少;大于 70°则没有地质灾害发生。由此可以认为地震导致的地质灾害多发生于 20°~60°的边坡上。出现这一现象的主要原因可能是坡面稳定性差,底层中的原始层面是构成岸坡变形破坏的主控面,而重力影响程度大小又主要取决于岩层面向临空方向的倾角。本来边坡地形在重力作用下就不是很稳定,当有强烈地震增加其作用力时更易发生地震地质灾害。

(2) 地震地质灾害与海拔高度之间的关系

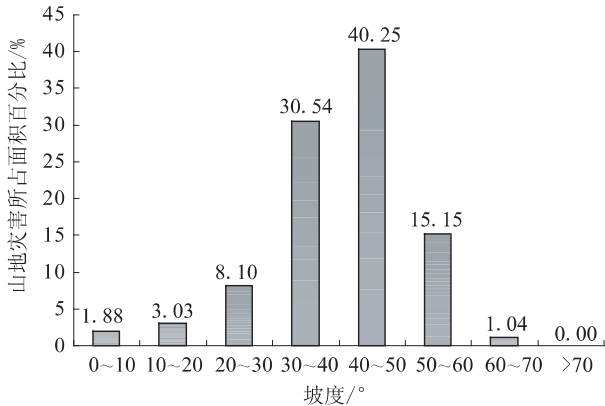


图 8 不同坡度地质灾害所占面积统计图

Fig. 8 Area cartogram of geo-hazard with different slopes.

利用研究区内的 1:5 万的数字高程模型 (DEM) 数据在 ArcGIS 软件下进行空间分析运算。首先高程数据按照 500 m 的等间隔划分为 12 类, 然后将分类栅格数据转换为矢量面状数据。在 ArcGIS 中利用 Analysis Tools 工具将高程面状数据与数字化好的山地灾害进行叠加分析, 得到不同高程范围内地质灾害的分布面积 (图 9)。从图 9 中可以看出, 研究区内地质灾害的分布具有明显的差异性,

从海拔 1 000~1 500 m 开始有地质灾害的分布, 到 1 500~2 000 m 分布最广, 然后随着海拔的升高地质灾害越来越少, 在 3 500~4 000 m 则没有地质灾害发生。

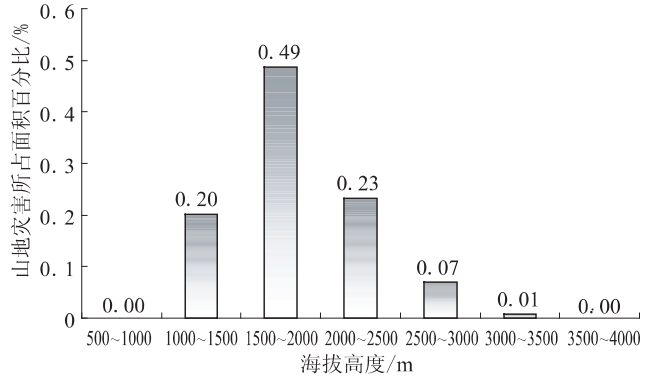


图 9 不同海拔高度地质灾害所占面积统计图

Fig. 9 Area cartogram of geo-hazard with different altitudes.

表 1 不同地震烈度区地质灾害分布统计表

地震烈度区	灾害面积/km ²	地震烈度区面积/km ²	个数	所占面积比/%
IX	3.198 376 0	764.415 7	240	48.62
VIII	2.926 771 4	1 860.957 8	230	44.49
VII	0.453 356 2	2 348.754 9	75	6.89

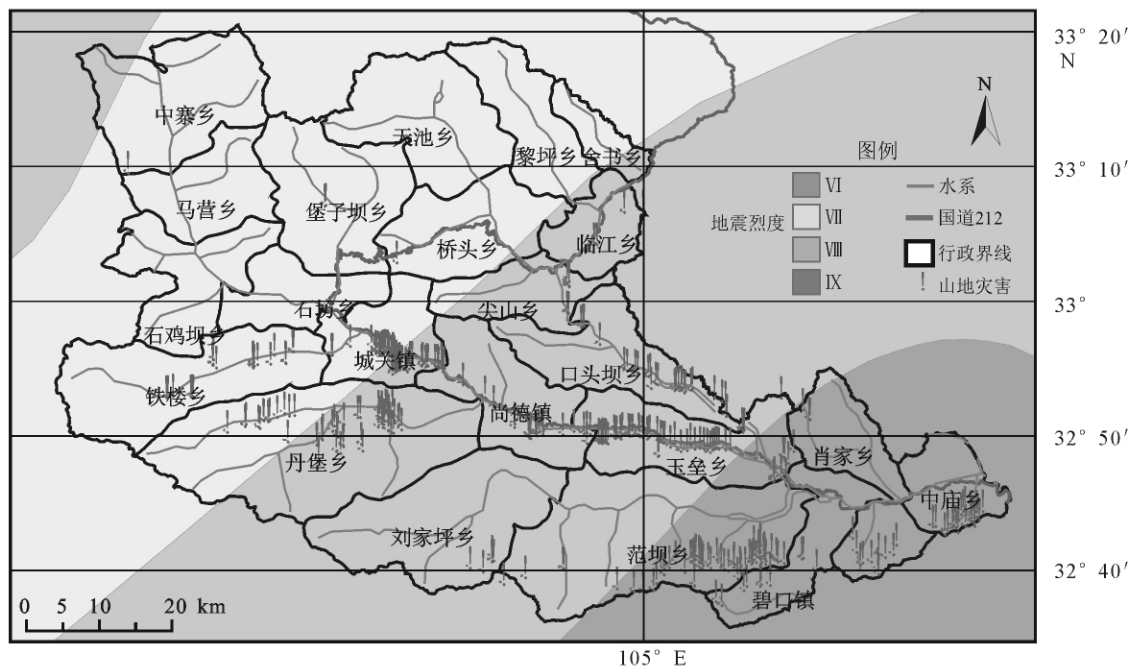


图 10 不同地震烈度地质灾害分布图

Fig. 10 Distribution of geo-hazard in different earthquake intensity areas.

(3) 地震地质灾害与烈度之间的关系
据不完全统计, 研究区中共解译到滑坡、泥石

流、崩塌等地质灾害 545 条, 地质灾害主要集中分布在 VIII 度、IX 度高烈度区内, VII 度区内地震地质灾害零

星分布,地质灾害点分布明显与地震烈度有关。本文中统计了文县不同烈度区内地震地质灾害分布个数、面积、面积比,如表1所示。从表中可以看出地震诱发的地质灾害主要发生在Ⅷ、Ⅸ度区,Ⅶ度区内山地灾害零星分布,这与孙崇绍等^[16]根据历史地震统计得到的结果一致,既地震引发的滑坡、崩塌等地震地质灾害多发生在地震烈度Ⅶ度及Ⅶ度以上区域。

根据解译结果如图10可以得到地震烈度较小时,如Ⅶ、Ⅷ度区地质灾害由地形地貌、植被覆盖情况、外力(地震动)等因素控制,因此低烈度区域地震地质灾害分布在河谷、低植被覆盖度地区。在高烈度区域地质灾害产生主要由外力(地震动)控制,所以在高烈度区地质灾害受地形地貌、植被覆盖等因素的影响较小,其分布在并没有沿着河谷、低植被覆盖度的地方分布。

4 结论与讨论

本文利用汶川地震前后的遥感影像对研究区文县进行了人机交互提取地震地质灾害,得到了文县地震地质灾害分布图,从中得到以下几点认识:

(1) 基于遥感技术的人机交互识别地震地质灾害,能够快速获取地震灾区的灾情。利用中等空间分辨率影像如 TM、ASTER 数据时,需要有地震前后影像对比判别,尤其是在河谷滑坡、泥石流多发地段,只有震后影像则无法准确判别是地震后发生的灾害还是地震前就已经有的老地质灾害。高空间分辨率影像如 SPOT 影像时则可以通过对地震地质灾害影像色调的对比来识别灾害体。

(2) 基于多光谱影像可以通过计算植被指数、湿度指数等特征来增强地震地质灾害,尤其是在植被覆盖度较高的地区更为适用。但在本来植被覆盖不好的地区如居民区、耕地、河谷等则不能够真实的反映该地区的地震地质灾害。自动提取方法阈值很难选择,大范围自动提取效果较差,需要进一步探索研究。

(3) 地震引发的山地地震地质灾害主要有滑坡、崩塌、泥石流等。在研究区文县境内山地地震地质灾害分布就有 500 多处,主要分布在高地震烈度区(范坝乡、碧口镇、中庙乡)、沿白水江和白龙江河谷地区。研究区内山地地震地质灾害集中分布在 20°~60°的边坡上,且在 1 000~2 500 m 的海拔高程范围以内发生地震地质灾害的概率更大一些。

(4) 地震次生山地灾害与地震烈度紧密相关,

随着地震烈度的增加,地震地质灾害分布也越来越多,面积也越多。根据研究区地震地质灾害分布图可以再次证明了地震次生山地灾害主要分布在Ⅶ度及Ⅶ度以上区域,与前人研究成果一致。烈度与地质灾害关系密切,如果在相同或相似的地形环境下建立起烈度与地震地质灾害之间对应关系,就可以根据地震地质灾害情况来客观迅速了解区域地震烈度,有利用地震灾情的快速获取。

致谢:感谢甘肃省地震局应急处为本研究免费提供了汶川地震前后遥感影像,感谢陈永明老师对本文研究过程中提供的帮助和指导。

[参考文献]

- [1] 秦绪文,张志,杨军杰,等. 5·12 汶川地震四川省平武县次生地质灾害遥感分析[J]. 地质科技情报, 2009, 28(2): 11-15.
- [2] 石菊松,吴树仁,石玲. 遥感在滑坡灾害研究中的应用进展[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 505-514.
- [3] 卓宝熙. 工程地质遥感译评与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [4] 唐新建,陶洪久,章光,等. 利用遥感图像对滑坡进行调查和监测分析研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增2): 2515-2520.
- [5] 李发斌,崔鹏,周爱霞. RS 和 GIS 在滑坡泥石流防灾减灾中的应用[J]. 灾害学, 2004, 19(4): 18-24.
- [6] 张继贤. 3S 支持下的滑坡地质灾害监测、评估与建模[J]. 测绘工程, 2005, 14(2): 1-5.
- [7] 王治华. 中国滑坡遥感及新进展[J]. 国土资源遥感, 2007, 74(4): 7-10.
- [8] 冯杭建,唐小明,游省易. 泥石流调查遥感解译新方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 124-129.
- [9] 孙崇绍,蔡红卫. 我国历史地震时滑坡崩塌的发育及分布特征[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(1): 25-30.
- [10] 苏凤环,刘洪江,韩用顺. 汶川地震山地灾害遥感快速提取及其分布特点分析[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 956-963.
- [11] 魏成阶,刘亚岚,王世新,等. 四川汶川大地震震害遥感调查与评估[J]. 遥感学报, 2008, 12(5): 673-682.
- [12] 范一大,杨思全,王磊,等. 汶川地震应急监测评估方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 858-863.
- [13] 陈世荣,马海建,范一大,等. 基于高分辨率遥感影像的汶川地震道路损毁评估[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 949-954.
- [14] 杨军杰,张志,王旭,等. 汶川县地震次生山地地质灾害遥感调查[J]. 山地学报, 2008, (6): 755-760.
- [15] 蔡山,张景发,陈文凯,等. 利用遥感资料绘制汶川地震烈度图方法研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(1): 31-35.
- [16] 杨重存,孙冠平. 国道 212 线甘肃段地貌特征与滑坡泥石流关系研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 310-315.
- [17] 邢爱国,吴志坚,陈龙珠,等. 汶川地震在甘肃省的次生典型边坡灾害特征[J]. 西北地震学报, 2010, 32(1): 95-98.