

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 5 - 624 - 08

芦山地震重灾区地形因子分析

张子瑜^{1 2} 范建容^{2*} 张建强² 苏凤环²

(1. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079;

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 610041)

摘 要: 地形条件与山地灾害的发育密切相关, 是山地灾害危险性评价的重要因子。以四川省芦山县“4·20”7.0 级强烈地震灾区的芦山、宝兴、天全 3 县为研究区, 应用 GIS 技术计算研究区坡度、地形位指数与地形起伏度, 通过流域水文分析方法实现宝兴县子流域划分并提取沟床纵比降, 分析灾区地形因子特征, 结合灾后崩塌滑坡遥感解译结果, 探讨次生山地灾害分布与地形因子的关系。结果表明, 研究区坡度大于 25° 的面积占区域总面积的 73.89%, 地形位指数大于 0.4 的区域面积占总面积的 85.92%, 起伏度大于 500 m 的占 87.41%, 各地形因子面积比率最大的区段分别为坡度 35°~40°、地形位指数 0.648~0.666、起伏度 500~1 000 m; 宝兴县子流域沟床纵比降数值集中于 100‰~300‰ 范围内。坡度 30°~50° 的区域为崩塌滑坡的高发地段; 崩塌滑坡的优势地形位处于地形位指数 0.228~0.246 和 0.34~0.61 之间的区域; 起伏度在 500~1 000 m 的区域为崩塌滑坡的集中分布区。研究结果可为灾害评估及灾后恢复重建提供参考依据。

关键词: 芦山地震; 地形因子; 坡度; 地形位指数; 地形起伏度; 纵比降

中图分类号: X43

文献标志码: A

在山区发生的地震容易引发山体崩塌滑坡等地震次生灾害, 崩塌滑坡等形成的固体松散堆积物遇较强降雨, 则可能引发泥石流灾害, 这些灾害不仅严重威胁到震区人民的生命及财产安全, 同时也破坏震区原有的生态环境。坡度、地形起伏度与子流域沟床纵比降 3 个地形因子与山地灾害的发生密切相关, 是山地灾害危险性评价的重要因子。本文计算获取上述 3 个地形因子, 并对其进行分析; 结合地形因子与芦山地震灾后崩塌滑坡遥感解译数据, 引入地形位指数与分布指数, 分析灾区崩塌滑坡分布的地形因子特征, 为地震灾区的灾害评估及灾后恢复重建提供参考依据。

1 研究区概况

本文选取四川省芦山“4·20”7.0 级地震强烈扰动区芦山、宝兴、天全 3 县为研究区(图 1)。该区位于雅安市北部, 地处四川盆地与青藏高原东南缘的过渡地带, 地貌上属四川盆地西部的盆周山地, 东部芦山一带属邛崃山南支余脉山地, 中部宝兴和西部天全属邛崃山系夹金山脉山地。地势总体为西北高东南低, 由西北向东南倾斜, 河谷深切, 地形起伏大, 区内最大高差 4 744 m, 地貌以山地为主, 分布有少量河谷平坝。研究区地处川西强震区, 境内地质构造复杂, 是著名的龙门山、鲜水河和安宁河三大断

收稿日期(Received date): 2013 - 06 - 03; 改回日期(Accepted): 2013 - 06 - 14。

基金项目(Foundation item): 中国科学院重点部署项目(KZZD - EW - 05 - 01) 和国家科技支撑计划课题(2011BAK12B03)。[Supported by key deployment project of Chinese Academy of Sciences(Grant No. KZZD - EW - 05 - 01) and National Science and Technology Supporting Program (Grant No. 2011BAK12B03) .]

作者简介(Biography): 张子瑜(1988 -), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 与遥感应用。[Zhang Ziyu(1988 -), female, born in Shijiazhuang, Hebei Province, postgraduate student, research direction is GIS and RS application.] E-mail: octopus1949@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 范建容(1969 -), 女, 四川井研人, 研究员, 博士生导师, 主要从事山地环境遥感与地理信息系统研究。[Fan Jianrong(1969 -), female, born in Jingyan, Sichuan Province, Professor, Doctor supervisor, mainly engaged in the study of mountain environment remote sensing and GIS.] E-mail: fjrong@imde.ac.cn

裂带通过和交汇的地区,地震烈度高,地震比较活跃^[1]。研究区属于以亚热带湿润季风气候为基带的山地气候,雨量充沛,降雨集中,高强度降雨较多,局地降雨受地形影响突出。年均降水量天全为1 663 mm、芦山为1 313 mm、宝兴为1 101 mm,70%以上的降水量集中在6—9月,丰富、集中和高强度的降水,为山洪、泥石流、滑坡形成提供了充足的水源条件,暴雨或高强度降雨常常成为灾害的主要诱发因素。另外,区内子流域沟床比降大,降雨易于汇集形成山洪,有利于沟谷型泥石流的形成。

芦山地震区地质构造复杂且新构造运动活跃,地质环境脆弱,地形起伏大,降雨丰沛,为崩塌、滑坡、泥石流等次生山地灾害的发育提供了有利条件。

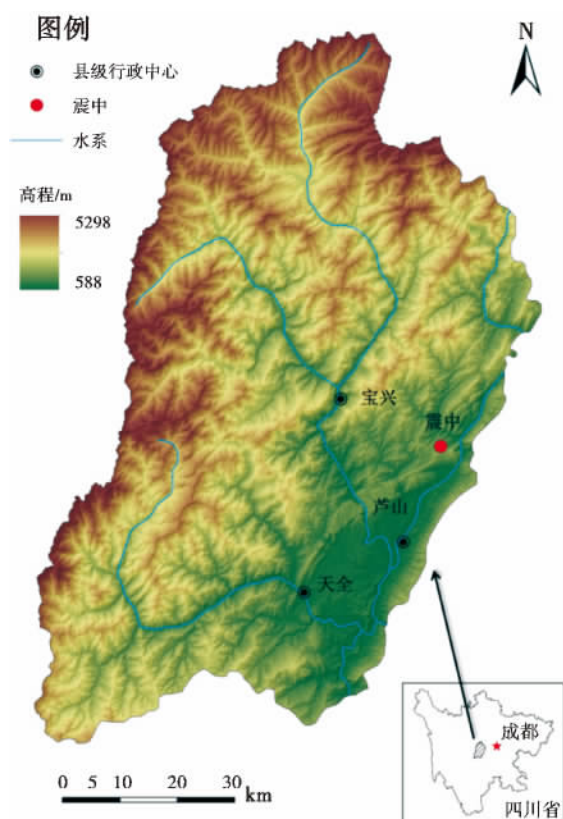


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of study area

2 数据与方法

2.1 数据

研究采用的数据包括DEM、航片、崩塌滑坡信息,其中DEM由国家测绘地理信息局提供的数字地形数据的等高线及特征点数据利用GIS地形分析功能生成,分辨率25 m,航片为国家测绘地理信息局

提供的灾后航摄遥感影像,灾区崩塌滑坡信息由灾后航片解译获取。

2.2 坡度的提取

坡度是地形分析里最常用的地形因子,是地面特定区域高度变化比率的量度,地面上某点的坡度是表示该点倾斜程度的一个量,当地形曲面已知时,某点坡度计算公式^[2]为

$$S = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (1)$$

式中 S 为地面某点的坡度, f_x 与 f_y 分别为 x 轴与 y 轴方向的高程变化率。本文采用 ArcGIS 中的坡度提取工具,对芦山地震灾区的地表坡度进行提取分析。为了方便后续分析,对坡度在 60° 以下的区域,以 5° 为间隔进行分级, 60° 以上的坡度所占比例较少,统一划为一级。

2.3 地形位指数与分布指数的计算

地形位指数是综合区域内高程值与坡度值来描述地形的一种地形因子。地形位指数能有效反映地形高程和地形坡度对景观空间分布的综合影响作用^[3]。采用喻红等^[4]的方法,基于DEM数据的地形位指数的计算公式如下

$$T = \log_{10} \left[\left(\frac{H}{H_{\text{mean}}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{S_{\text{mean}}} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

式中 T 为地形位指数, H 与 S 为栅格的高程值和坡度值, H_{mean} 与 S_{mean} 为区域内的平均高程值。栅格数据每个栅格的地形属性(高程与坡度),可由地形位指数来综合描述。高程低、坡度小的地方地形位指数小,而高程高、坡度大的地方地形位指数大,其他组合情况(如高程低、坡度大的地区,高程高、坡度小的地区以及高程和坡度均属于中等水平的地区)的地形位指数则居于中间值区间^[4]。由于地形位指数以栅格图像的形式表现,分布零散,故将其按从小到大的顺序等分为50级,便于显示与分析。

分布指数可以描述地震区崩塌滑坡在不同地形位指数上的分布,且可以消除不同地形位区段面积差异带来的影响。分布指数的公式如下^[4]

$$P = \frac{S_i/S}{A_i/A} \quad (3)$$

式中 P 为崩塌滑坡的无量纲分布指数, S_i 为第 i 级地形位下崩塌滑坡的面积, S 为研究区崩塌滑坡总面积, A_i 为第 i 级地形位的总面积, A 为研究区总面积。若分布曲线起伏较大,有明显的峰或谷,则表明崩塌滑坡对地形具有较强的偏好性^[4]。当分布指数 $P > 1$ 表示地形位 T 是崩塌滑坡分布的优势地

形位 P 越大,优势越明显;反之若 $P < 1$,表示地形位 T 是崩塌滑坡分布的非优势地形位;当分布指数 $P = 1$ 时,表示崩塌滑坡在地形位 T 上的比重与研究区内崩塌滑坡的比重相等^[5-6]。

2.4 地形起伏度的计算

地形起伏度,也称为地势起伏度,反映地表起伏变化,常用某一确定面积内最高点和最低点高程之差来表示^[7-9]。地形起伏度研究最早起源于1948年苏联科学院地理研究所提出的切割深度^[10]。采用移动窗口分析法^[11],对栅格数据中的每个栅格逐个进行邻域统计计算,得到每个栅格点位的地形起伏度值。对于栅格DEM数据,地形起伏度的计算公式为

$$M = h_{\max} - h_{\min} \quad (4)$$

式中 M 为统计窗口中心栅格的地形起伏度值, h_{\max} 为统计窗口内的最大高程值, h_{\min} 为统计窗口内的最小高程值。统计窗口的大小是进行地形起伏度计算的重要影响因子,每个区域都存在最佳尺寸的统计单元。笔者由Python编程,运用均值变点法进行窗口分析(具体方法见文献[12]),计算得四川省地形起伏度最佳统计单元大小为 2.34 km^2 ,统计窗口大小为 61×61 栅格(适于 25 m 分辨率DEM数据),利用ArcGIS空间分析中的焦点统计工具,计算研究区地形起伏度。

2.5 子流域沟床纵比降的计算

泥石流的形成,需要陡峻的地形和大量的松散固体物质以及充足的水源,地震发生时导致山崩地裂,会产生大量松散固体物质堆积在泥石流沟内^[13]。芦山地震后,震区大大小小的子流域内的土质变得疏松,且地震造成的崩塌滑坡也将一些松散土石堆积在了子流域内,当雨季来临时,降雨量增加,极易发生泥石流灾害。此外,陡峻的地形也是泥石流形成的重要因素。对泥石流形成影响较大的地形参数有形状系数、沟床纵比降、山坡坡度及形成区面积。一般情况下,子流域纵比降越大,越利于泥石流的发生^[14]。以宝兴县为例,对芦山地震灾区子流域的沟床纵比降进行计算分析。沟床纵比降的计算公式为

$$J = (H_{\max} - H_{\min}) / L \quad (5)$$

式中 J 为沟床纵比降,以千分数(‰)表示, H_{\max} 与 H_{\min} 分别为每个子流域主沟的沟源与沟口的高程值, L 为子流域的主沟长度。

水系数据由DEM提取生成:对DEM依次进行

填洼、水流方向、累积流量栅格计算,最后进行水系提取。在子流域沟床纵比降的分析中,子流域的划分尤为重要,首先使用ArcGIS水文分析工具初步提取子流域。为了对子流域划分得更加精确,结合山体阴影图与所提取的水系,对自动生成的宝兴县子流域进行修整,即根据实际情况对原有子流域进行合并、删除或修改。读取每个子流域的主沟的沟源与沟口的高程值,并计算每个子流域内的主沟长度。根据公式(5),计算每个子流域的沟床纵比降。

3 结果分析

3.1 坡度与高程特征

研究区坡度最大值为 82° ,最小值为 0° ,从图2中可以大致看出,坡度的空间分布总体上呈现西高东低的趋势。坡度值总体较高,大多在 25° 以上,坡度大于 25° 的区域面积占研究区总面积的 73.89% 。按 5° 间隔分段的坡度段中,坡度段所占面积随着坡度的增加,呈现先升后降的趋势(图3)。在 35° 以下的坡度段面积呈现平稳上升态势,坡度段面积在

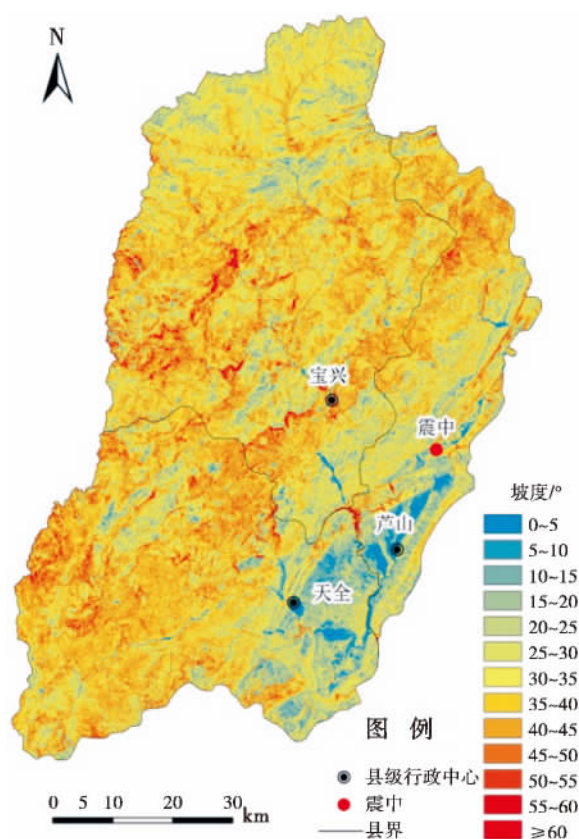


图2 研究区坡度

Fig. 2 Slope gradient of study area

35°~40°区段达到峰值,占研究区总面积的16.68%。随后坡度段所占面积呈现陡降,60°以上区段面积仅占总面积的0.67%。

研究区高程多处于1 000~4 000 m(见图3)。高程1 000 m以下的地段,坡度相对较缓,多小于30°,分布在30°以下的区域面积占此高程段总面积的85.75%;高程在1 000~2 000 m的区域多分布在15°~50°坡度段,占此高程区间总面积的86.01%;高程位于2 000~3 000 m的区域坡度主要为20°~50°,占此段高程总面积的83.06%;高程处在3 000~4 000 m区域也多在坡度20°~50°范围内,占此高程段总面积的85.77%;高程4 000~5 000 m的区域坡度多为15°~50°,此坡度段面积占此高程段总面积的84.77%;高于5 000 m区域的坡度总体分布较为分散,相对集中于35°~60°坡度段,此坡度范围内的区域面积占此高程区间总面积的64.18%。

高程在1 000~4 000 m、坡度处于20°~50°范围内的区域,占研究区面积比率达到60%。

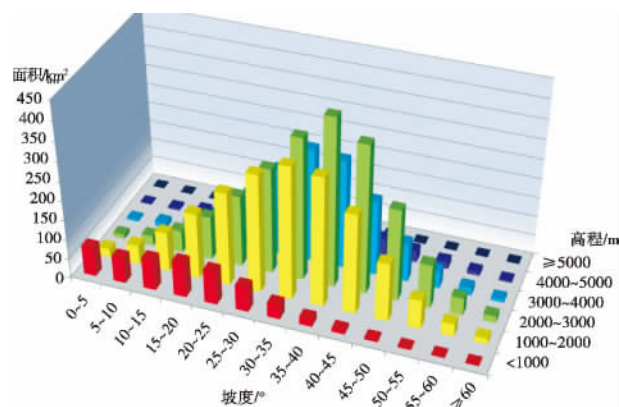


图3 高程、坡度的分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of elevation and slope

3.2 地形位指数特征

研究区地形位指数分布在0.099~1.013范围内,地形位指数大于0.4的区域所占面积比比较大,为总面积的85.92%。地形位指数在空间分布上与研究区高程、坡度一致,呈现出西北高、东南低的格局(图4)。在研究区西部与北部,地表高程与坡度都相对较高,地形位指数也处于较高的水平;在研究区东部与南部,地表高程与坡度都较低,地形位指数也相应较低。

地形位指数在等分为50级之后,可以清楚的

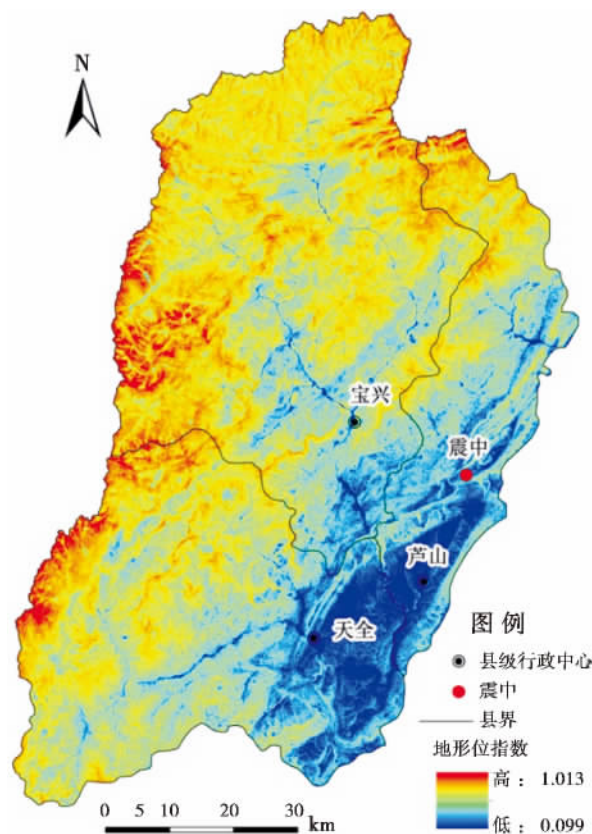


图4 研究区地形位指数

Fig. 4 Terrain niche index of study area

显示各区段地形位指数的面积分布(图5)。随着地形位等级的增加,地形位相应的面积整体呈现先增后降的趋势。1~8级地形位(地形位指数在0.099~0.246之间)各级的面积百分比均低于0.5%,且基本处于平稳状态;从9级地形位开始,面积百分比开始逐渐增加,在31级地形位(地形位指数介于0.648~0.666)面积比率达到最大值6.23%。从32级到45级地形位(地形位指数0.666~0.922)往后,随着级数增加,各个级地形位所占面积比率陡降,从6.22%降至0.08%,45级至50级(地形位指

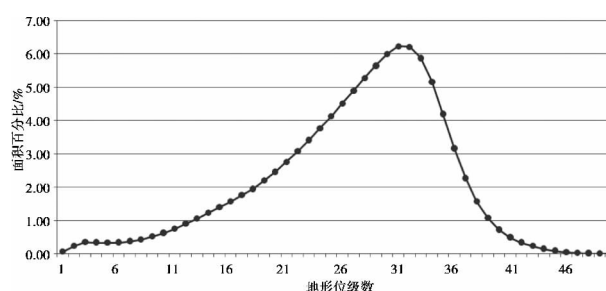


图5 研究区地形位指数-面积曲线

Fig. 5 Terrain niche index and area graph of study area

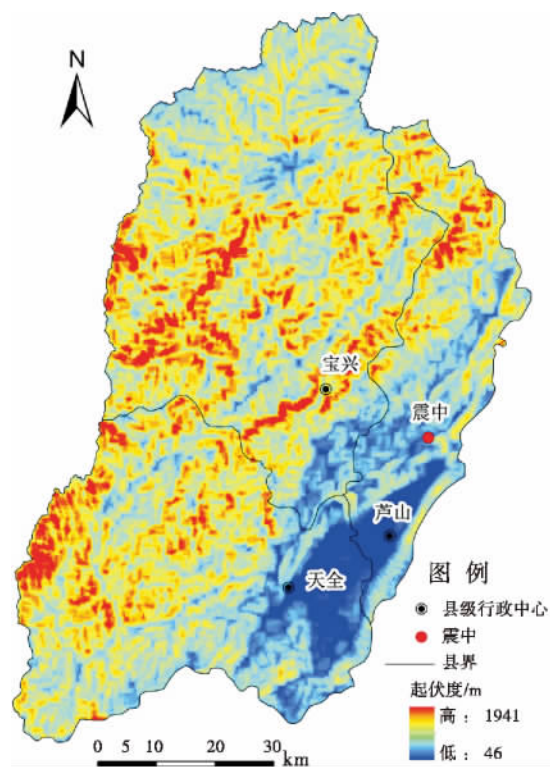


图6 研究区地形起伏度

Fig. 6 Relief amplitude of study area

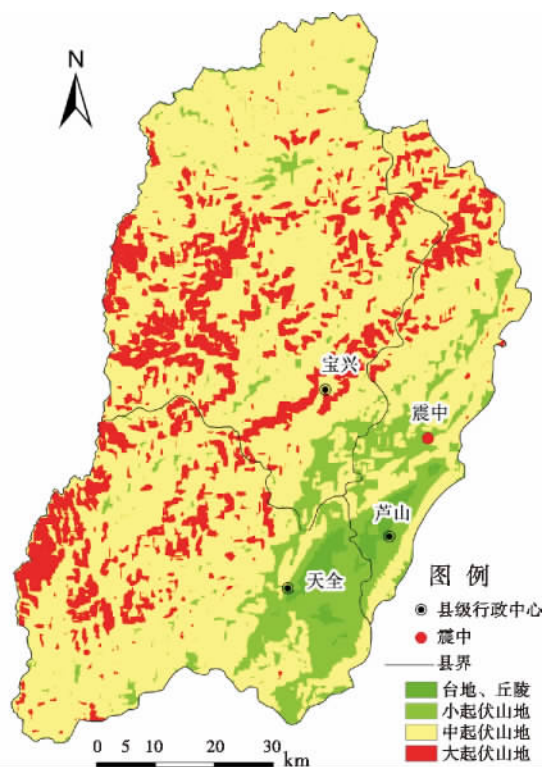


图7 研究区地貌

Fig. 7 Landform of study area

数 0.922 ~ 1.013) 各级地形位所占面积比率均极小。

3.3 地形起伏度特征

根据起伏度地貌制图标准^[15],地貌按起伏度分为:台地、丘陵(30 m ≤ 起伏度 < 200 m);小起伏山地(200 m ≤ 起伏度 < 500 m);中起伏山地(500 m ≤ 起伏度 < 1 000 m);大起伏山地(1 000 m ≤ 起伏度 < 2 500 m)。

研究区地形起伏度在 46 ~ 1 941 m,平均地形起伏度为 774 m,地形起伏呈西高东低的形态(图 6)。由研究区地貌图(图 7)可以看出,大起伏山地集中在西部和北部,小起伏山地与台地、丘陵集中在东南部,而震中处于中小起伏山地之间。起伏度大于 500 m 的区域面积占研究区总面积的 87.41%。研究区以中起伏山地为主(面积 4 696 km²),所占面积比为 70.61%;大起伏山地次之(面积 1 118 km²),所占面积比为 16.80%;小起伏山地(面积 722 km²)、台地与丘陵(面积 116 km²)的面积比分别为 10.85%、1.74%(图 8)。

3.4 子流域沟床纵比降特征

宝兴县子流域沟床纵比降最小值为 64‰,最大值为 768‰,平均纵比降为 284‰,可见宝兴县境内

的子流域沟床纵比降值整体较高。宝兴县子流域沟床纵比降数值集中于 100‰ ~ 300‰ 范围内。区域内相对较低的纵比降区域主要分布在河流上游段,高纵比降区域则分布在主干河流两侧的细小支沟流域内(图 9)。随着纵比降数值的增大,流域面积呈现先增加后下降的趋势。纵比降小于 100‰ 的子流域总面积为 287.92 km²,占 11.05%;纵比降在 100‰ ~ 200‰ 的子流域总面积达到 1 211.70 km²,占 46.48%;纵比降在 200‰ ~ 300‰ 的子流域总面积为 759.38 km²,占 29.13%;纵比降在 300‰ ~ 400‰ 的子流域总面积为 253.91 km²,占 9.74%;纵比降大于 400‰ 的子流域总面积仅为 93.80 km²,占 3.6%。

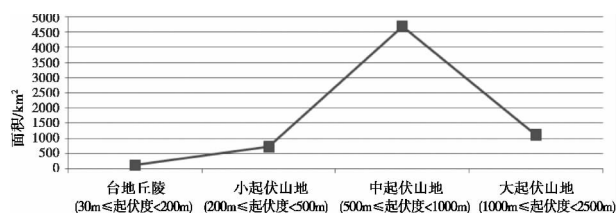


图8 研究区地形起伏度-面积曲线

Fig. 8 Relief amplitude and area curve of study area

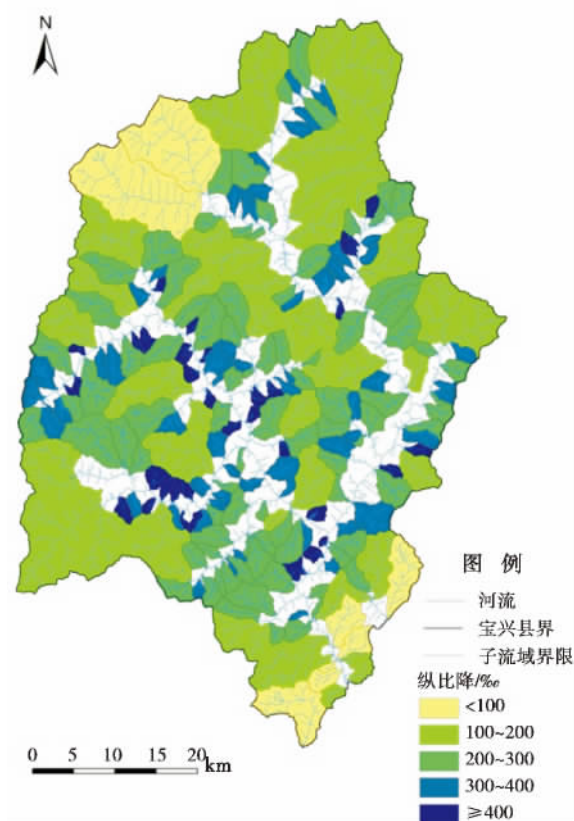


图9 宝兴县子流域沟床纵比降

Fig.9 Gully longitudinal gradient of Baoxing County

3.5 崩塌滑坡分布的地形因子特征

坡度是影响滑坡的一个重要因素,一般情况下即使没有地震的影响,坡度越大的斜坡也更容易发生滑坡灾害^[16]。蔡柯柯等^[17]对汶川地震中彭州市的灾毁与坡度的相关性进行了分析讨论,得出 $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 为灾毁最严重的区域。郭芳芳等^[18]在对鄂尔多斯及其周边滑坡研究中,总结出随着坡度的增加,地表发生滑坡的面积先升后降的规律。本文研究区内由芦山地震引发的崩塌滑坡在坡度上的大致分布见图10。地震引发的崩塌滑坡点1293个,面积为 2.69 km^2 。在 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 坡度段,各个 5° 坡度段的崩塌滑坡面积都在 0.3 km^2 以上,此坡度区段崩塌滑坡的总面积为 1.46 km^2 ,占崩塌滑坡总面积的54.27%,此坡度段为崩塌滑坡分布最多的区段。研究区崩塌滑坡随着坡度的增加呈现先增加后下降的趋势。 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的崩塌滑坡面积较小,为 0.11 km^2 ,占崩塌滑坡总面积的4.21%。随着坡度的增加, $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的崩塌滑坡面积急剧增加,在 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 达到最大面积 0.43 km^2 ,占崩塌滑坡总面积的16.02%。坡度在 45° 以上的区域,随着坡度增加,

崩塌滑坡面积减小。

崩塌滑坡分布于地形位2~36级(地形位指数 $0.118 \sim 0.757$)范围内,呈现先波动上升,之后平稳下降的趋势(图11)。分布指数在1~7级地形位中波动上升,在8级地形位(地形位指数 $0.228 \sim 0.246$)达到分布指数的一个极大值1.27,8级地形位的崩塌滑坡分布指数大于1,为崩塌滑坡分布的优势地形位;分布指数在9级地形位下降至0.55,随后则呈波动上升趋势,在14级地形位达到1.12;14~28级地形位(地形位指数 $0.34 \sim 0.61$)的崩塌滑坡分布指数均大于1,为崩塌滑坡分布的优势地形位,其中在22级地形位(地形位指数 $0.48 \sim 0.50$)分布指数达到最大值2.48;29~36级地形位(地形位指数 $0.61 \sim 0.76$)中,崩塌滑坡的分布指数平稳下降,从0.95降至0.04。综上所述,研究区崩塌滑坡的优势地形位为8级与14~28级(即地形位指数 $0.228 \sim 0.246$ 、 $0.34 \sim 0.61$)。

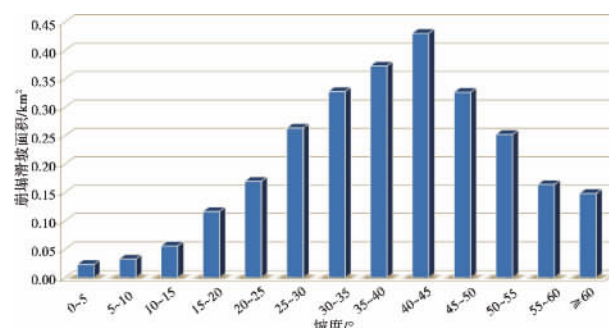


图10 研究区崩塌滑坡的坡度分布

Fig.10 Slope distribution of collapse landslides in study area

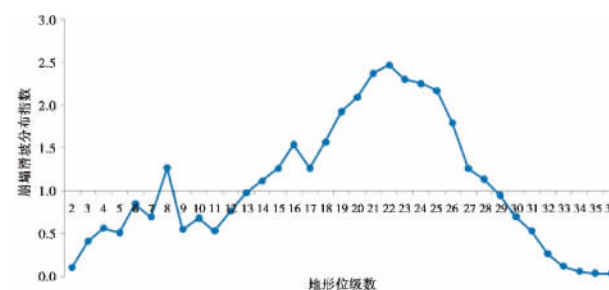


图11 研究区崩塌滑坡分布指数

Fig.11 Collapse landslides distribution index of study area

在区域范围内,地形起伏度和滑坡发育存在很好的相关性^[18]。研究区崩塌滑坡主要发生在中起伏山地范围内,即起伏度在 $500 \sim 1000 \text{ m}$ 的区域,崩塌滑坡面积为 2.12 km^2 ,占崩塌滑坡面积的

78.82%。而起伏度在 200 ~ 500 m、1 000 ~ 2 500 m 段范围内的区域,发生崩塌滑坡的面积仅为 0.3 km² 与 0.27 km²,分别占总崩塌滑坡面积百分比 11.02% 与 10.16%。

4 结 论

本文对与山地灾害的发生密切相关、同时也是山地灾害危险性评价重要指标的地形因子(坡度、地形起伏度与子流域沟床纵比降)以及综合体现高程与坡度的地形位指数进行了计算分析,阐述了芦山地震区宝兴、芦山、天全 3 县的坡度、地形位指数、地形起伏度与子流域沟床纵比降的分布特点,以及这些因子与灾区崩塌滑坡分布的关系。研究表明,这些地形因子能较好的刻画研究区地形特征。在坡度与崩塌滑坡关系的探讨中,发现随着坡度的增加,崩塌滑坡的面积呈现先增加后下降的趋势,30° ~ 50° 坡度段为崩塌滑坡集中分布地段。崩塌滑坡分布的优势地形位为 8 级(地形位指数 0.228 ~ 0.246)与 14 ~ 28 级(地形位指数 0.34 ~ 0.61)。起伏度在 500 ~ 1 000 m 之间的区域为崩塌滑坡的集中分布区域。此外,震后降雨会发生小规模崩塌和落石;不稳定斜坡会发育成中小规模滑坡;泥石流活动较震前将有所增加,其激发雨量会有所降低,暴发规模可能增大,活跃期约为 10 a 左右^[19]。在今后的灾后评估与灾后重建中,需要特别关注这些区域。

参考文献(References)

- [1] China. org. cn. Opinion of China [OL]. http://opinion.china.com.cn/opinion_26_69026.html, 2013 - 4 - 21 [中国网. 观点中国 [OL]. http://opinion.china.com.cn/opinion_26_69026.html, 2013 - 4 - 21]
- [2] He Zhenfang, Zhao Mudan, Han Yu. Comparison of extracting slope algorithms in different types of landscape [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(6): 126 - 192 [何振芳, 赵牡丹, 韩羽. 不同地貌类型坡度提取算法的比较 [J]. 水土保持通报, 2008, 28(6): 126 - 192]
- [3] Dong Youfu, Tang Guo'an, Zhao Yonghua. Terrain gradient characteristic analysis of landscape change in Guyuan County in the upper reaches of Jinghe River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(1): 222 - 226 [董有福, 汤国安, 赵永华. 泾河上游固原县景观变化地形梯度特征分析 [J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 222 - 226]
- [4] Yu Hong, Zeng Hui, Jiang Ziyang. Study on distribution characteristics of landscape elements along the terrain gradient [J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(1): 64 - 69 [喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究 [J]. 地理科学, 2001, 21(1): 64 - 69]
- [5] Si Junlang, Qi Wei, Qu Yanbo, et al. Distribution characteristics of land use pattern on terrain gradient in Jiaodong mountainous areas at county level [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 679 - 685 [斯钧浪, 齐伟, 曲衍波, 等. 胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 679 - 685]
- [6] Liang Guofu, Han Yan, Ding Shengyan. Forest landscape dynamics in north of Funiu Mountain along terrain gradient [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(2): 242 - 247 [梁国付, 韩艳, 丁圣彦. 伏牛山北坡森林景观变化的地形梯度特征分析 [J]. 地理科学, 2010, 30(2): 242 - 247]
- [7] Tu Hanming, Liu Zhendong. Study on Relief Amplitude in China [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1991, 20(4): 311 - 319 [涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究 [J]. 测绘学报, 1991, 20(4): 311 - 319]
- [8] Chen Zhiming. On The principle, contents and methods used to compile the Chinese Geomorphological Maps [J]. Acta Geographica Sinica, 1993, 48(2): 105 - 113 [陈志明. 论中国地貌图的研制原则, 内容与方法 [J]. 地理学报, 1993, 48(2): 105 - 113]
- [9] Tang Fei, Chen Xi, Cheng Weiming, et al. Relief amplitude in Junggar Basin and peripheral northwest mountains [J]. Arid Land Geography, 2006, 29(3): 388 - 392 [唐飞, 陈曦, 程维明, 等. 基于 DEM 的准噶尔盆地及其西北山区地势起伏度研究 [J]. 干旱区地理, 2006, 29(3): 388 - 392]
- [10] Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao, et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1073 - 1082 [封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性 [J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1073 - 1082]
- [11] Bi Xiaoling, Li Xiaojuan, Hu Zhuowei, et al. The extraction of relief amplitude and its application in the regional landslide hazard assessment [J]. Journal of Anhui AgriSci, 2011, 39(004): 2413 - 2416 [毕晓玲, 李小娟, 胡卓玮, 等. 地形起伏度提取及其在区域滑坡灾害评价中的应用——以四川省为例 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(004): 2413 - 2416]
- [12] Zhang Wei, Li Ainong. Study on the optimal scale for calculating the relief amplitude in China based on DEM [J]. Geography and Geo-Information Science, 2012, 28(004): 8 - 12 [张伟, 李爱农. 基于 DEM 的中国地形起伏度适宜计算尺度研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28(004): 8 - 12]
- [13] Xie Hong, Wang Shige, Kong Jiming. Distribution and characteristics of mountain hazards induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan, China [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(4): 396 - 401 [谢洪, 王士革, 孔纪名. “5.12”汶川地震次生山地灾害的分布与特点 [J]. 山地学报, 2008, 26(4): 396 - 401]
- [14] Li Li. The topographic factor study on the group of gully-type debris flow in strong earthquake [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012. [李丽. 强震区群发性沟谷型泥石流地形因子研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2012.]

- [15] Zhou Chenghu, Cheng Weiming, QianJinkai, et al. Research on the classification system of digital land geomorphology of 1:1000000 in China [J]. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(6): 707–724 [周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地1:100万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707–724]
- [16] Yao Xin, Xu Chong, Dai Fuchu, et al. Contribution of strata lithology and slope gradient to landslides triggered by Wenchuan Ms8 earthquake, Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(8): 1156–1162 [姚鑫, 许冲, 戴福初, 等. 四川汶川Ms8级地震引发的滑坡与地层岩性、坡度的相关性[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1156–1162]
- [17] Cai Keke, He Zhengwei, Ni Zhongyun, et al. Extraction and analysis of destroyed land information of Pengzhoubased on RS and GIS [J]. Research of Soil and Water Conservation 2010, 17(4): 43–45 [蔡柯柯, 何政伟, 倪忠云, 等. 基于RS和GIS的彭州市震毁土地信息提取及分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 43–45]
- [18] Guo Fangfang, Yang Nong, Meng Hui, et al. Application of the relief amplitude and slope analysis to regional landslide hazard assessments [J]. Geology in China, 2008, 35(1): 131–143 [郭芳芳, 杨农, 孟晖, 等. 地形起伏度和坡度分析在区域滑坡灾害评价中的应用[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 131–143]
- [19] Cui Peng, Chen Xiaoqing, Zhang Jiangqiang, et al. Activities and tendency of mountain hazards induced by the Ms7.0 Lushan earthquake, April 20 2013 [J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(3): 257–263 [崔鹏, 陈晓清, 张建强, 等. “4·20”芦山7.0级地震次生山地灾害活动特征与趋势[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 257–263]

Topographic Factors Analysis of Lushan Earthquake-hit Area

ZHANG Ziyu^{1 2}, FAN Jianrong², ZHANG Jianqiang², SU Fenghuan²

(1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: Important factors for mountain hazard risk assessment—terrain conditions, are closely related to the occurrence of mountain hazards. The worst earthquake-hit areas in Ms7.0 Sichuan Lushan earthquake are Lushan county, Baoxing county and Tianquan county. This paper takes these three counties as study area, applies GIS technology to compute slope gradient, relief amplitude and terrain niche index, divides mudslides sub-basins and extracts longitudinal gradient by hydrological analysis methods. Topographic factors are analyzed and the relationship between seismic secondary disaster distribution and topographic factors are discussed by combining collapse and landslides remote sensing interpreted results. It shows that areas with slope gradient more than 25° occupy 73.89% of study area, regions have terrain niche index greater than 0.4 account for 85.92% of study area and zones possess relief amplitude greater than 500 m hold 87.41% of study area. Zones which contain the most wide-spread ratio of each topographic factor respectively distribute in areas with slope gradient 35°~40°, terrain niche index 0.648~0.666 and relief amplitude 500~1 000 m. Baoxing county debris flow gully longitudinal gradient values are overall high and concentrated within the range of 100‰ to 300‰. Regions with 30°~50° slope gradient occur collapse and landslides most. Superior terrain niche of collapse and landslides includes grade 8 (terrain niche index from 0.228 to 0.246) and grade 14 to 28 (terrain niche index 0.34~0.61). Areas with relief amplitude within the range of 500 m to 1 000 m are collapse and landslides concentrated distribution ones. The result could be a reference for disaster assessments and disaster recovery and reconstruction.

Key words: Lushan Earthquake; topographic factors; slope gradient; terrain niche index; relief amplitude; longitudinal gradient