

# 凉山州山地灾害空间分布特征及人为驱动力分析

黄靖<sup>1</sup>, 第宝锋<sup>1</sup>, 边静虹<sup>1</sup>, 左进<sup>2</sup>, 胡晓曦<sup>1</sup>

(1. 四川大学 建筑与环境学院, 成都 610025; 2. 天津大学 建筑学院, 天津 300073)

**摘要:**基于凉山州 1970—2004 年间的山地灾害数据,采用 GIS 空间网格分析等方法,分析凉山州山地灾害的分布特征,进行了危险度评价,并划分了研究区山地灾害危险度等级。结果显示:凉山州山地灾害多沿水系呈带状分布,其中以中部安宁河流域和东北部地区较集中,山地灾害极高频区面积 3 080.6 km<sup>2</sup>,占州总面积比为 5.0%,高频区占 8.0%,中频区占 14.1%,低频区占 72.9%。通过山地灾害与人为驱动力(人口、土地利用类型等)的相关性分析,获得其间的响应关系。分析表明:一方面山地灾害危险度与人口密度分布显著正相关,另一方面不合理的土地利用结构也是山地灾害的重要驱动力,特别是旱地(坡耕地)和交通建设用地影响较大。研究结果对人为活动引起的山地灾害防范、县域山地灾害危险度划分和山地灾害风险管理等具有一定的指导意义。

**关键词:**山地灾害; 危险度; GIS; 人为驱动力分析; 凉山州

中图分类号:X43

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0278-06

## Analysis on the Spatial Distribution Characteristics and Human Driving Forces of Mountain Hazards in Liangshan Prefecture

HUANG Jing<sup>1</sup>, DI Bao-feng<sup>1</sup>, BIAN Jing-hong<sup>1</sup>, ZUO Jin<sup>2</sup>, HU Xiao-xi<sup>1</sup>

(1. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610225, China; 2. College of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300073, China)

**Abstract:** Based on the data of mountain hazards from 1970 to 2004, GIS spatial grid analysis was used to analyze the spatial distribution characteristics of mountain hazards in Liangshan Prefecture, which is located in southwestern Sichuan, evaluate mountain hazards risk and divide risk levels. The results showed that most mountain hazards were expressed by the zonation along the river, mainly in Anning River Basin and Jinsha River Basin. According to the occurrence frequency of disasters, Liangshan Prefecture was classified into four regions: the very high frequency region, high frequency region, moderate frequency region and low frequency region, which account for 5.0%, 8.0%, 14.1% and 72.9% of total area, respectively. By analyzing the correlation between mountain hazards and human driving forces (economic, demographic characteristics and land-use type etc.), the response relationship between them was obtained. According to the correlation analysis, it can be seen that the mountain disaster risk and the population density had a significant positive correlation. What's more, unreasonable land use was another important driving force on mountain hazards, especially dry lands (sloping lands) as well as transportation lands. These results will play an important role in preventing and mitigating mountain hazards caused by human activities, and the method used in this study will play guiding role in mountain hazard risk assessment and management.

**Key words:** mountain hazards; risk assessment; GIS; human driving forces; Liangshan Prefecture

山地灾害的分布特征是基于已经发生的山地灾害对区域进行的描述,认识山地灾害的分布特征是减

少山地灾害导致的人员伤亡和财产损失的必要途径。我国作为一个地质灾害严重的国家之一<sup>[1]</sup>,在灾害统

收稿日期:2013-08-08

修回日期:2013-10-05

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41101514);国家科技支撑计划课题资助项目(2013BAJ11B01);国际科技合作与交流专项(2012DFG91520)

作者简介:黄靖(1993—),男,贵州纳雍人,硕士在读,主要从事环境科学研究。E-mail:hjingcheer@126.com

通信作者:第宝锋(1978—),男,甘肃庆阳人,副教授,主要从事山地灾害与区域环境、GIS & RS 研究。E-mail:diwubf@gmail.com

计方面做了大量工作,国土资源部从1999年开始全国地质灾害严重的县(市)的地质灾害调查与区划工作,各省市也有自己的灾害统计数据。基于大量调查资料,国内外许多学者<sup>[2-6]</sup>提出多种描述区域山地灾害特征的方法和指标,如灾害发生条件概率、时间发生频率,灾害相对分布密度(灾害分布点密度、面密度、体积密度)及灾害发生频次、规模、流域面积比等;在灾害信息不够全面时,部分研究者<sup>[7-11]</sup>获取决定和影响山地灾害发生的自然因素如地貌、岩性、降雨等和人为活动因素,评价区域的灾害易发性和危险度;此外,有学者<sup>[12-14]</sup>研究了部分要素如前期降水量、坡度、土地利用类型等与山地灾害的关系。各类研究中,评价危险度的区域大小划分方法不尽相同,主要有网格法,行政区划法和自然环境分区法,网格区域和自然区域作为评价单元各有优缺点<sup>[5]</sup>,而行政区域的确定不仅考虑了管理上的便利,与社会经济指标相对应,而且考虑了山川、湖海、气候等的差异,应用较为全面<sup>[11]</sup>。

在现实工作中获取详实准确的灾害数据较难实现,前人多基于自然地理因素,开展于山地灾害的危险性相关研究,且取得了众多成果。但在较大区域尺度(以县域为基本单元),探讨山地灾害危险度及人为驱动力方面的研究较少。本文致力于评价凉山州灾害分布及危险度排序,并探究其人为驱动力。

## 1 研究区概况

凉山州彝族自治州(以下简称凉山州)位于四川省西南部,介于东经100.1°—103.9°北纬26.0°—29.3°,下辖17个县(市),凉山州总面积6.01万km<sup>2</sup>,人口约470万,气候类型属亚热带季风气候,日温差大,年温差小。凉山州境内有如雅砻江、金沙江、黑水河、安宁河等水系分布,水能资源丰富;凉山州社会经济发展总体较为落后,其中城镇化率为13.7%,远低于全国水平37.7%(2005,四川统计年鉴),人均GDP为4793元(2004,四川统计年鉴);州内各县(市)的社会经济发展水平差异大,西昌市人均GDP最高,为12340元,而木里藏族自治县(以下简称木里县)、金阳县、昭觉县等人均GDP不足3000元。不同县(市)人口密度相差高达到20倍,其中西昌市218人/km<sup>2</sup>,木里县10人/km<sup>2</sup>。凉山州以农业生产为主。土地利用类型以林地、草地和耕地为主,耕地以坡耕地为主,坡耕地占全州耕地的2/3<sup>[15]</sup>。

凉山州境内地貌复杂多样,地质结构复杂,相对高差大,地势由西北向东南降低;高山、深谷、平原、盆地、丘陵相互交错,生态环境十分脆弱,自然灾害频

发<sup>[16]</sup>。据《四川省救灾年鉴》,1985年7月1日,暴雨引起大规模山洪和泥石流,使西昌城受灾;1987年7月2日至7月5日,普格县西洛区暴发泥石流,区级机关单位和居民住户受灾。除强降雨等自然因素外,人为活动也是山地灾害发生的重要诱因。如1970年冕宁县盐井沟铁矿渣形成泥石流,造成铁路重大灾害伤亡;1990年甘洛县铅锌矿泥石流造成36人死亡;1990年会理易门煤矿泥石流造成31人死亡,29人受伤,并造成重大的经济损失。这一系列的山地灾害与高陡边坡下人为采矿引起的边坡失稳密切相关<sup>[17]</sup>。可以说,山地灾害活动主要受自然地理要素影响,但同时,人为驱动力也起到了一定的推动作用,如何从区域层面剖析部分人类活动对灾害危险度的影响是本文研究的重点。

## 2 数据收集

数据主要包括凉山州行政区划图;1970—2004凉山州山地灾害资料(包括滑坡、泥石流和山洪),来源于四川省人民政府防汛指挥部调查统计<sup>[18]</sup>;2004年凉山州社会经济数据,来源于四川统计年鉴和凉山州统计年鉴;凉山州土地利用类型数据,来源于2004年四川省土地利用变更调查表。所采用的空间分析工具为ArcGIS 10.0,数据分析工具主要为SPSS 18.0和Matlab 2012。

分析所获取的山地灾害数据,1970—2004年间,凉山州发生的山地灾害累计达1700余次,从数量上来看(表1),各县(市)灾害数量差异较大,其中,德昌县(178起)最多,布拖县(43起)最少。从分布密度上看,凉山州山地灾害分布点密度<sup>[11]</sup>为2.8处/100km<sup>2</sup>,其中喜德县山地灾害点密度最高,达7.8处/100km<sup>2</sup>,而木里县山地灾害分布点密度最小为0.4处/100km<sup>2</sup>。

## 3 山地灾害空间分布特征及危险度评估

### 3.1 山地灾害空间分布特征

山地灾害的历史资料,多以点的形式记录。为了更好地反映区域分布特征,并将灾害发生同区域特征相结合进行分析,绘制山地灾害空间分布,并通过网格统计灾害发生数量进行空间插值,得到凉山州山地灾害发生的空间分布图(图1)。网格大小即单位区域大小的选取一直没有公认的确定的方法,一般基于专家经验的计算公式法<sup>[19]</sup>。本文中采用10km×10km的网格大小,利用ArcMap空间连接功能统计每个网格发生的灾害数。将各网格中山地灾害的发生

数量作为内插值计算字段,对各网格进行插值。插值采用 IDW 插值法(Inverse Distance Weighted),插值权重为默认值 2。IDW 是一种最常用的插值方法,以

插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。IDW 通过对邻近区域的各采样点值平均运算获得内插单元。

表 1 1970—2004 年凉山州山地灾害点统计

县(市)名	面积/ km <sup>2</sup>	灾害点个数	点密度/ (处/100 km <sup>2</sup> )	县(市)名	面积/ km <sup>2</sup>	灾害点个数	点密度/ (处/100 km <sup>2</sup> )
凉山州	61723	1701	2.8	布拖县	1685	43	2.6
西昌市	2655	130	4.9	金阳县	1587	54	3.4
木里县	13252	53	0.4	昭觉县	2699	117	4.3
盐源县	8388	156	1.9	喜德县	2206	140	6.3
德昌县	2284	178	7.8	冕宁县	4423	145	3.3
会理县	4527	164	3.6	越西县	2257	79	3.5
会东县	4527	86	1.9	甘洛县	2156	46	2.1
宁南县	1667	64	3.8	美姑县	2573	82	3.2
普格县	1905	84	4.4	雷波县	2932	80	2.7

区域灾害分布特征一直提倡遵循以定性分析为主,定量分析为辅的评价原则<sup>[6]</sup>。为了将具有相似灾害发生频率的区域划为一类,以方便统计高发区面积,达到定性与定量分析相结合,评估整体山地灾害发生的分布规律。将网格区域内灾害发生频率进行等级划分(表 2)。绘制凉山州山地灾害低频区、中频区、高频区和极高频区分布图(图 2)。

区。山地灾害的分布情况说明山地灾害的发生除了受自然环境条件的主要作用外,还与其他因素如人类活动干扰有关。

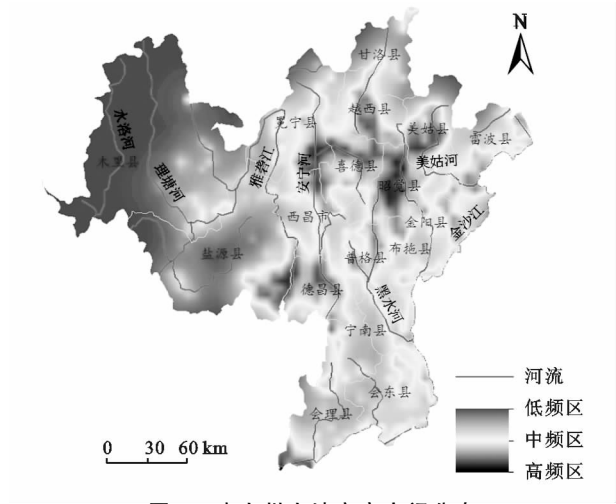


图 1 凉山州山地灾害空间分布

山地灾害多发区(图 1)显示,山地灾害多呈带状分布,安宁河、金沙江、美姑河流域及雅砻江德昌段为山地灾害多发区,除了沿水系网络分布外,会东县,会理县等地区也存在散落分布,但雅砻江上游地区盐源县和木里县山地灾害相对较少。其中安宁河流域为深切河谷地貌特征,断裂活动性强,使得山地灾害多发生于河谷两岸,沿水系网络分布<sup>[20]</sup>。从分布区域上看,山地灾害高发区主要在凉山州东北部和中部,为昭觉县、美姑县、德昌县、越西县、盐源县东南部等地;中发区在凉山州东部往南部一线;而低发区分布于凉山州的西部,主要为木里县和盐源县中西部地

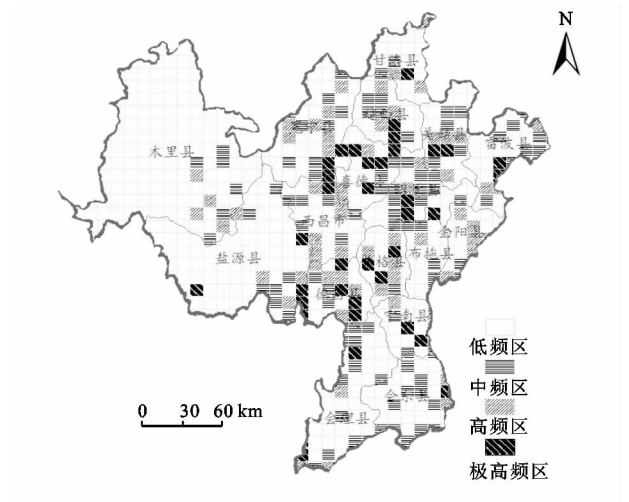


图 2 凉山州山地灾害发生频率分级

表 2 凉山州山地灾害发生频率等级划分

等级	灾害点个数	面积/km <sup>2</sup>	占幅员比/%
低频区	0~1	44999.6	72.9
中频区	2~4	8691.8	14.1
高频区	5~8	4951.0	8.0
极高频区	>8	3080.6	5.0
总计		61723.0	100.0

3.2 山地灾害危险度评估

山地灾害危险度的评价指标分为两类:一类是直接指标,已经发生的山地灾害的直接作用结果;另一类是间接指标,即山地灾害发育的自然环境条件<sup>[10]</sup>。直接指标常为山地灾害分布密度,包括点密度与面密度,前者是指每 100 km<sup>2</sup> 内山地灾害点的数量;后者是指每 100 km<sup>2</sup> 内山地灾害影响的流域面积。对于较小尺度的区域,点密度能较好地代表灾害发生的实

际情况<sup>[11]</sup>;而面密度法则需要较详尽的灾害信息,如滑坡或泥石流发生的受灾面积、滑坡量或流域面等,数据获取难以实现。本文中灾害数据多为 20 世纪数据,但山地灾害现象作为一种自然过程,它的发生发展具有相对不变的规律性,资料年代的新老并不会影响区域山地灾害危险度评价结果<sup>[11]</sup>。本文中使用的县(市)级行政区分区方法面积较大,区域内山地灾害分布不均,用点密度较难真实表征山地灾害发生的真实情况(图 3),因而在小区域点密度的基础上进行优化,得到研究县级行政区灾害危险度的方法如下。

3.2.1 山地灾害危险度研究方法

(1) 网格危险度赋值。按上文所述将研究区域网格化,对网格内灾害点个数分级并进行危险度赋值(表 3),赋值范围介于 0 ~ 0.5 之间,0 表示该区域内无发生山地灾害的危险,0.5 表示该区域内一定会发生山地灾害。

表 3 凉山州山地灾害发生频率危险性赋值

发生频率等级	低频区	中频区	高频区	极高频区
危险度赋值	0.1	0.2	0.3	0.4

(2) 以县(市)为单元计算危险度。设各县(市)各山地灾害发生频率等级的网格总面积为  $S_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )/ $\text{km}^2$ , 对应危险度赋值为  $\omega_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), 各县面积为  $M_j$  ( $j=1, 2 \cdots 17$ )/ $\text{km}^2$ , 各县(市)山地灾害危险度  $A$  的计算公式为

$$A = \frac{S_1 \times \omega_1 + S_2 \times \omega_2 + S_3 \times \omega_3 + S_4 \times \omega_4}{M_j} \quad (1)$$

山地灾害危险度  $A$  是一个无量纲数值,其大小代表了各县(市)山地灾害的危险度,值越大则该县(市)山地灾害发生的危险性越高。

3.2.2 山地灾害危险度结果 山地灾害危险度( $A$ )将多个较小网格的加权结果,得到了各县山地灾害危险度结果(图 3)。结果显示,凉山州所辖 17 个县(市)中山地灾害危险度最高为德昌县,介于山地灾害高频区和极高频区的地区包括德昌县、喜德县、西昌市、昭觉县和普格县,而山地灾害危险度最低的为木里县,其次为会东县和盐源县。

需要指出的是,一般情况下将评价区域的点密度作为危险度的划分依据。但本文中通过构建更小的区域(网格),计算各网格内点密度进行分级,加权得到危险度结果(即加权面积密度)。为了探讨本文中方法的可行性,将各县(市)的点密度与加权面积密度评价出的危险度标准化后进行比较(图 4)。其中标准化处理方法为极差标准化变换(Range Standardization Transformation),极差标准化的计算方法如下:

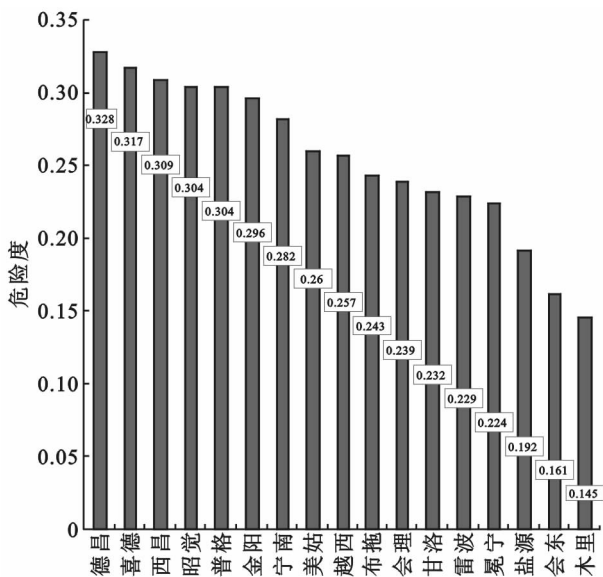


图 3 凉山州各县(市)山地灾害危险度排序

$$H_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中: $H_{ij}$ ——标准化结果; $X_{ij}$ ——某项指标中的某个数据; $X_{\max}$ ——该指标中最大值; $X_{\min}$ ——最小值。标准化结果均在 0 到 1 之间。

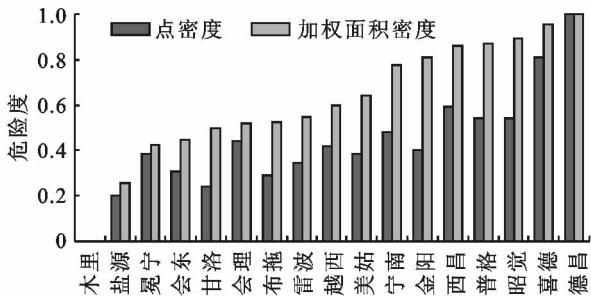


图 4 两种方法评价灾害危险度结果比较

结果显示两种方法除了危险度排序的差异外,各县(市)危险度大小也有差异。其中两种方法计算的金阳县危险度偏差高达 50%,普格、西昌、宁南、布托等县(市)偏差也在 35% 以上。而本文中的方法通过构建网格将较大区域(县域)转化为小区域(网格)后计算,使各个区域内灾害分布更为均匀。可以这样认为,在保证对同类网格赋值相同条件下,式(1)的计算方法更好地考虑了灾害点分布不均匀的特点。

4 山地灾害人为驱动力分析

人类通过多种方式影响山地灾害发生的载体——自然环境,包括人口密度、生产方式、土地的利用类型等。土地作为人类与自然相互作用最密切的部分,土地利用类型与山地灾害有密切关系,不合理的土地利用易导致山地灾害的发生<sup>[21]</sup>。以各县(市)为统计单元,选取表征社会经济活动的各类指标,使用主成分分析法去除各指标间的多重共线性影响,将

剩下的指标分别与山地灾害危险度进行相关性分析,研究山地灾害危险度与人为活动的关系。本文中最后选取的表征人为驱动力的指标主要包括经济密度,表示单位土地面积的生产总值;人口密度表示单位土地面积的人口数量;土地利用类型比表示不同土地利用类型面积占各县总面积的比例,包括耕地(水田、旱地)、林地(灌乔木林、其他类林地)、建设用地(城建用地、独立工矿、交通用地)、草地、水面和未利用地等。

对选取的指标做相关性分析,结果(图5)表明,土地利用类型中旱地和交通用地的占有量与山地灾害危险度相关系数分别0.641和0.498,各自在0.01和0.05显著性水平上线性相关;人口密度与山地灾害危险度相关系数为0.505,在0.05显著性水平上线

性相关。而山地灾害危险度与经济密度相关性不明显;此外,其他土地利用类型中,山地灾害危险度与林地面积比呈弱负相关,与城建用地面积比弱正相关,与草地、水面、未利用地等亦无显著相关性。

相关性分析结果表明交通用地(包括铁路、公路)和旱地对山地灾害发生有极大的促进作用。在山区公(铁)路建设期,由于地形的限制常需大规模的爆破,大面积挖掘,在公(铁)路两边形成大量的边坡,破碎和不稳定的斜坡极易发生滑坡等山地灾害。而山区的耕地中多为旱地,如美姑县的旱地面积为水田面积的113倍。凉山州地势起伏大,坡耕地分布极广,大量坡耕地不仅为滑坡泥石流等提供了物质基础,还提供了疏松的土层条件<sup>[21]</sup>。

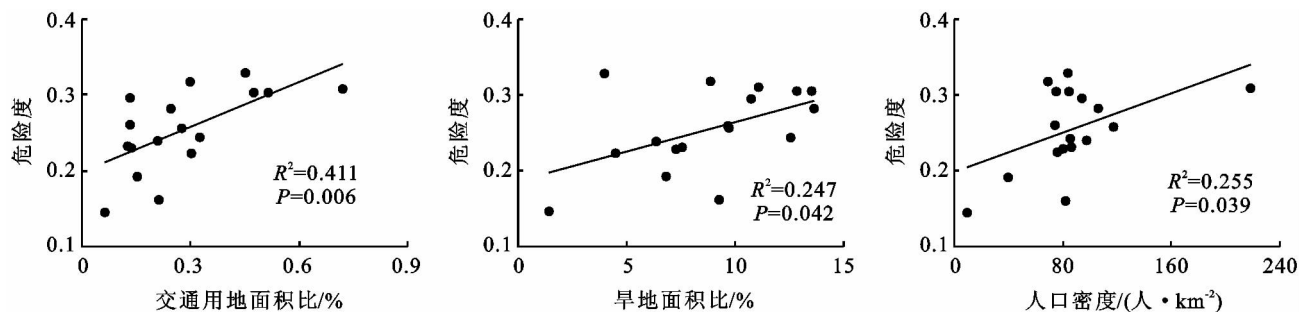


图5 山地灾害危险度与交通用地、旱地、人口密度的关系

人口密度对山地灾害也有促进作用。人口密度大小反映了人类活动强弱和干扰强度的高低。从某种意义上来说,土地利用类型的变更也是由人口的增长所带动的:一方面,土地利用类型决定了某个区域的生产能力,会对区域人口增长产生一定影响;另一方面,区域人口数量的增加要求改变土地利用类型以满足当地居民住房、交通等需求。对于凉山州,除了文中选取的社会经济指数和土地利用方式外,矿山开采、水利工程、伐木、飞播造林等都应该重要的人为驱动力。但因受到数据限制,在人为驱动力分析中并未做出相应的分析,在今后的研究中应该予以探讨。

## 5 结论及建议

凉山州自然环境脆弱,山地灾害频发,社会经济水平较为落后。通过研究凉山州山地灾害的分布特征,评价各县(市)山地灾害危险度,并分析人为驱动力,得到如下结论:(1)凉山州山地灾害沿水系呈带状分布,灾害高频区主要分布于安宁河流域及雅砻江德昌段。山地灾害极高频区和高频区面积分别占全州面积5.0%和8.0%。(2)采用GIS空间网格化分析,构建网格评价县(市)山地灾害危险度的方法比直接计算点密度更好地考虑了山地灾害点分布不均匀的特点,危险度结果更能反映实际灾害情况。(3)凉

山州各县(市)山地灾害危险度大小顺序为:德昌>喜德>西昌>普格=昭觉>金阳>宁南>美姑>越西>布托>会理>甘洛>雷波>冕宁>盐源>会东>木里。(4)凉山州山地灾害人为驱动力方面,人口密度和土地利用方式特别是交通用地和旱地(坡耕地)与山地灾害的发生有明显的相关性。

分析和评价山地灾害分布规律与人为驱动力的关系,有助于为区域山地灾害防灾减灾规划提供指导。同时,文中的评价方法也可为相似领域研究提供参考。在凉山州,各县市山地灾害的排序表明德昌、喜德等地为山地灾害多发区,在该地区进行大型水利设施、交通道路等工程建设时,应结合工程和生态治理措施,尽可能减少人类活动负面干扰,以降低山地灾害发生频率。此外,凉山州人口密度分布不均,土地利用结构不合理,应持续推进退耕还林、还草等生态恢复工程,合理减少坡耕地数量或进行坡改梯等保护措施,并加强用地规划,合理布局交通规划、水电开发等开发建设工程。

### 参考文献:

- [1] 李媛,孟晖,董颖,等.中国地质灾害类型及其特征:基于全国县市地质灾害调查成果分析[J].中国地质灾害与防治学,2004,15(2):29-34.
- [2] 张春山,张业成,胡景江,等.中国地质灾害时空分布特

- 征与形成条件[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 559-566.
- [3] 黄润秋, 李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2586-2592.
- [4] 刘希林, 张松林. 泥石流相对分布密度的确定方法[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 58-62.
- [5] Carrara A. GIS Technology in Mapping Landslide Hazard[C]//Carrara A, Guzzetti F. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1995: 135-175.
- [6] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 995-1005.
- [7] 韦方强, 谢洪, 钟敦伦. 四川省泥石流危险度区划[J]. 水土保持学报, 2003, 14(1): 59-63.
- [8] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 1-8.
- [9] 朱静, 唐川. 云南省泥石流灾害危险度分区研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(2): 86-93.
- [10] 敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 长江上游泥石流综合危险度区分[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 19-20.
- [11] 刘希林, 陈宜娟. 泥石流点密度和面密度对区域泥石流危险度的影响对比研究[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2): 36-39.
- [12] 马占山, 张强, 朱蓉, 等. 三峡库区山地灾害基本特征及滑坡与降水关系[J]. 山地学报, 2005, 23(3): 319-326.
- [13] 兰恒星, 伍法权, 周成虎, 等. 基于 GIS 的云南小江流域滑坡因子敏感性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1500-1506.
- [14] 何易平, 马泽忠, 谢洪, 等. 长江上游地区不同土地利用方式对山地灾害的敏感性分析: 以金沙江一级支流小江流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 528-533.
- [15] 刘永碧, 赵建民. 凉山州高寒山区水土保持措施研究[J]. 防护林科技, 2006(1): 37-38.
- [16] 何仁伟, 刘邵权, 刘运伟. 典型山区居民生活水平评价及空间差异: 以四川省凉山州为例[J]. 山地学报, 2012, 30(3): 264-275.
- [17] 邓绍辉. 建国以来四川山地灾害的特点及防治对策[J]. 西南民族大学学报: 人文社科版, 2004, 25(4): 194-300.
- [18] Di B F, Chen N S, Cui P, et al. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China[J]. International Journal of Sediment Research, 2008, 23(2): 138-148.
- [19] 高治群, 薛传飞, 尹飞, 等. 基于 GIS 的信息量法及其地质灾害危险度评价应用: 以滇中晋宁县为例[J]. 地质与勘探, 2010, 46(6): 1112-1118.
- [20] 孟晖, 张岳桥, 杨农. 青藏高原中缘东段地质灾害空间分布特征分析[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 219-223.
- [21] 陈和平, 王深法, 胡先松. 浙江突发性山地水土灾害与土地利用类型的相关性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(1): 89-93.