

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20170169

# 长江流域不同类型山洪灾害易发区划分

周建琴<sup>1,2</sup> 庞占龙<sup>1,2</sup> 蔡强国<sup>2</sup> 余新晓<sup>1</sup> 张克斌<sup>1</sup> 孙莉英<sup>2</sup>

(1 北京林业大学水土保持学院 2 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环与地表过程重点实验室)

**摘要:**长江流域因其复杂的地质地貌及气候条件成为我国山洪灾害发生最为密集的地区。山洪灾害易发区划分是山洪灾害防治工作的重要内容,针对长江流域大尺度(跨省级)区域的山洪灾害易发性研究可为长江流域及相似区域的山洪灾害评价研究以及规划、部署、实施山洪灾害防治工作提供科学依据。本文综合考虑影响山洪灾害形成的自然地理因素,以县域为评价单元,构建各类山洪灾害易发程度指标体系,基于 Matlab,采用层次分析法计算各类山洪灾害易发性指数。据此,利用 ArcGIS 自然间距分类方案将长江流域划分为 4 个山洪灾害易发区,即高易发区、中易发区、低易发区和非防治区。结果表明:溪河洪水灾害呈现由东向西灾害易发程度逐渐降低的趋势,分布较为密集的区域在流域的中东部地区;滑坡灾害高易发区主要分布在流域中部,上游干流附近滇北和陇南山地,尤以四川盆地以东地区最为集中;泥石流灾害高易发区主要分布在流域西部,其中以断裂带发育的第一、二阶梯过渡带最为密集。划分结果显示各类山洪灾害在流域内的分布差异较为明显,不同类型山洪灾害的历史发生次数在高易发区的集中程度均在 80% 以上,表明分区结果能够较好反映各灾害的区域分布特征。

**关键词:**山洪灾害;易发区;评价指标;层次分析法;灾害防治

中图分类号:X43 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2017)11-0056-09

ZHOU Jian-qin<sup>1,2</sup>; PANG Zhan-long<sup>1,2</sup>; CAI Qiang-guo<sup>2</sup>; YU Xin-xiao<sup>1</sup>; ZHANG Ke-bin<sup>1</sup>; SUN Li-ying<sup>2</sup>.

**Susceptibility zoning of different types of mountain torrent disasters in the Yangtze River Basin of southern China.** *Journal of Beijing Forestry University* (2017)39(11) 56-64 [Ch, 22 ref.]

1 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China;

2 Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, P. R. China.

The Yangtze River Basin has become the most intensive area of mountain torrent disasters in China because of its complex geological topography and climatic conditions. Susceptibility zoning of the mountain torrent disasters is of significance to the integrated disaster prevention system. The study on the susceptibility of mountain torrent disasters in view of the large-scale (inter-provincial) region of the Yangtze River Basin can provide scientific basis for the study of planning, deployment and implementation of mountain torrent disaster prevention in the Yangtze River Basin and similar areas. The assessment indices were established for the susceptibility evaluation of three kinds of mountain torrent disasters in the Yangtze River Basin, based on the affecting mechanism of natural geographical factors on the formation of the mountain torrent with county as assessment unit. The susceptible indicators for three kinds of mountain torrent disasters were calculated based on the method of analytic hierarchy process (AHP) using Matlab. The Yangtze River Basin was classified into four susceptibility degrees of areas for three kinds of the mountain torrent disasters, i. e. highly-susceptible area, medium-susceptible area, lowly-susceptible area and insusceptible area, using classification scheme by ArcGIS natural spacing. The

---

收稿日期: 2017-05-08 修回日期: 2017-07-30

基金项目: 长江水利委员会长江科学院开放研究基金(CKWV2015227/KY)、水利部公益性行业科研专项(201301059)。

第一作者: 周建琴。主要研究方向:水土保持、自然灾害理论与分析。Email: 289889475@qq.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学水土保持学院。

责任编辑: 孙莉英, 博士, 副研究员。主要研究方向: 水沙环境风险分析与控制。Email: sunliying@igsnrr.ac.cn 地址: 100101 北京市朝阳区大屯路甲 11 号中国科学院地理科学与资源研究所。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

river flood disaster showed a tendency to decrease gradually from east to west, and centered in the middle and eastern basin. The highly-susceptible area of landslide disaster is mainly in the middle of the basin and certain areas like northern Yunnan and the mountains of Longnan, southern Gansu in the upstream of the river, with the most concentrated area in the east of Sichuan Basin. The highly-susceptible area of debris flow disaster is mainly in the west of the basin, and happened most frequently on fault zones in the first and second ladder transition districts. The results showed obvious differences in the distribution of different mountain torrent disasters in the basin. Over 80% of historical disasters were located in the assessed highly-susceptibility area for all three types of mountain torrent disasters. The assessment results can well indicate the regional distributions of different types of mountain torrents.

**Key words** mountain torrent disaster; susceptible zone; assessment index; analytic hierarchy process (AHP); disaster prevention

山洪灾害主要包括溪河洪水, 及由溪河洪水引发的泥石流、滑坡灾害<sup>[1]</sup>, 其形成与发展主要受降雨、地形地质及人类经济社会活动3大因素的影响<sup>[2]</sup>。山洪灾害易发区是指在地质构造、地形和气候条件下容易或者可能发生山洪灾害的区域。自然灾害的易发区划分在灾害危险范围预测、灾害损失预测评估、灾害防治工程部署等方面发挥重要作用<sup>[3]</sup>。

目前, 长江流域山洪灾害易发性研究主要集中在中小尺度(如市、地区等)。例如, 唐余学等<sup>[4]</sup>利用ArcGIS软件技术, 对重庆市山洪灾害易发程度进行了4级分区。柳金峰等<sup>[5]</sup>采用模糊物元可拓方法对甘肃陇南市武都区泥石流易发程度进行了划分和评价。现有针对全流域范围大尺度山洪灾害的研究多集中于对灾害成因特点及防御对策的定性分析。王威等<sup>[6]</sup>分析了长江流域山洪灾害的成因特点, 提出了防御和治理山洪的原则及对策。蔡道明等<sup>[7]</sup>对长江流域山洪灾害预警系统进行了探讨。鉴于长江流域自然因素的复杂性, 全流域山洪灾害定量评估仍需进一步探索。

以往针对中小尺度山洪灾害易发性研究方法较多, 较常用的有层次分析法<sup>[8]</sup>、模糊综合判别法<sup>[9]</sup>、综合危险性指数法<sup>[10-11]</sup>、确定性系数法<sup>[12]</sup>以及基于GIS的空间分析法<sup>[13]</sup>等。鉴于各方法的优缺点, 现阶段在进行灾害易发性研究时, 往往需要将几种方法综合使用, 如层次分析模糊评判法<sup>[14]</sup>、信息模糊评判法<sup>[15]</sup>等。在综合方法中尤以与GIS空间分析技术相结合的方法最多, 如基于GIS的层次分析法<sup>[16]</sup>、基于GIS的确定系数法<sup>[17]</sup>等。虽然这些方法在中小尺度的灾害易发性研究中得到广泛应用, 但是是否适合大尺度流域灾害易发性的研究尚需进一步验证。

本文综合考虑影响山洪灾害形成的3大因素, 并考虑到山洪灾害发生的不确定性和模糊性, 以县

域为评价单元, 通过建立易发性评价指标体系, 采用层次分析法并结合专家打分法确定指标权重, 计算山洪灾害易发性指数, 再利用ArcGIS空间分析技术进行山洪灾害易发程度分级, 实现长江流域各类型山洪灾害的易发区划分。划分结果可为长江流域及相似区域的山洪灾害危险性评价研究及山洪灾害综合防治提供科学依据, 也可为大尺度区域山洪灾害定量评估研究提供科学参考。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

长江流域位于我国南部, 介于 $24^{\circ}30' \sim 35^{\circ}45'$  N,  $90^{\circ}33' \sim 122^{\circ}25'$  E之间(图1)。西依青藏高原, 东临东海, 流域面积180.85万km<sup>2</sup><sup>[18]</sup>, 占国土面积的18.8%, 是我国第一大流域。长江流域横跨我国西南、华中和华东3大经济地带, 是我国经济最发达的地区之一。该流域地跨高原高寒区、热带季风区和亚热带季风区3个气候区, 其中属亚热带季风区的面积约占全流域的2/3。流域降水空间上由西北向东南递增, 降雨充沛、集中且多暴雨。流域多年平均降雨量在1100 mm左右, 有70%~90%的降水集中在5—10月, 而暴雨尤以7—8月最为集中。地势西高东低, 横跨3级阶梯, 由西向东流经青藏高原、横断山脉、云贵高原、四川盆地、江南丘陵和长江中下游平原等重要地形类型, 山区面积广阔, 占全流域面积的70%以上(图2)。阶梯过渡地带高山峡谷分布, 地势陡峻, 地质活动强烈。

根据全国山洪灾害防治规划相关调查数据<sup>[19]</sup>, 长江流域发生过溪河洪水灾害的小流域超过7000条, 占全国小流域的比例约为38%, 发生溪河洪水灾害次数超过35000次, 占全国溪河洪水灾害次数的比例约为43%。长江流域发生过山洪灾害的泥石流沟超过5000条, 将近占全国泥石流沟比例的50%, 发生泥石流灾害6800余次, 占全国泥石流灾

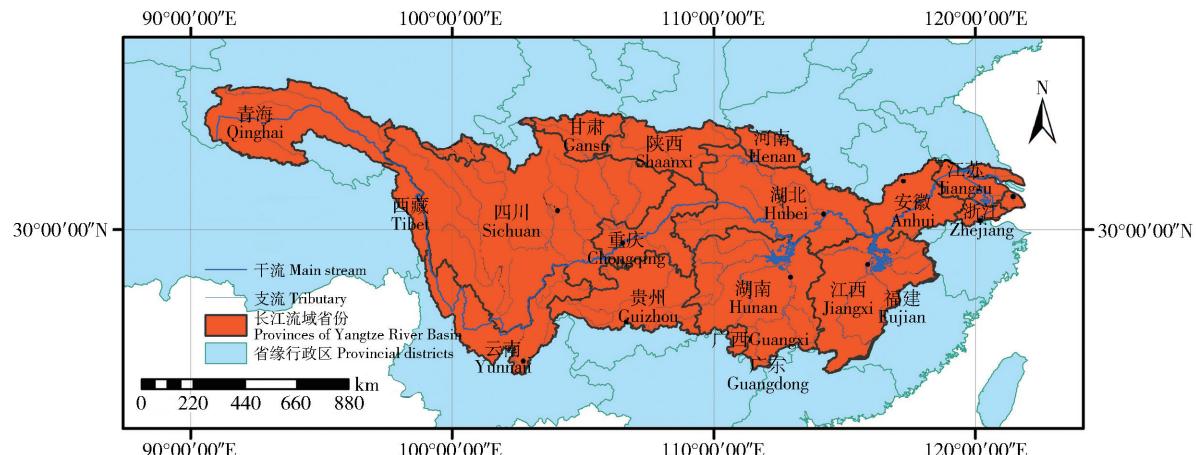


图1 长江流域地理位置图  
Fig. 1 Geographical location map of Yangtze River Basin

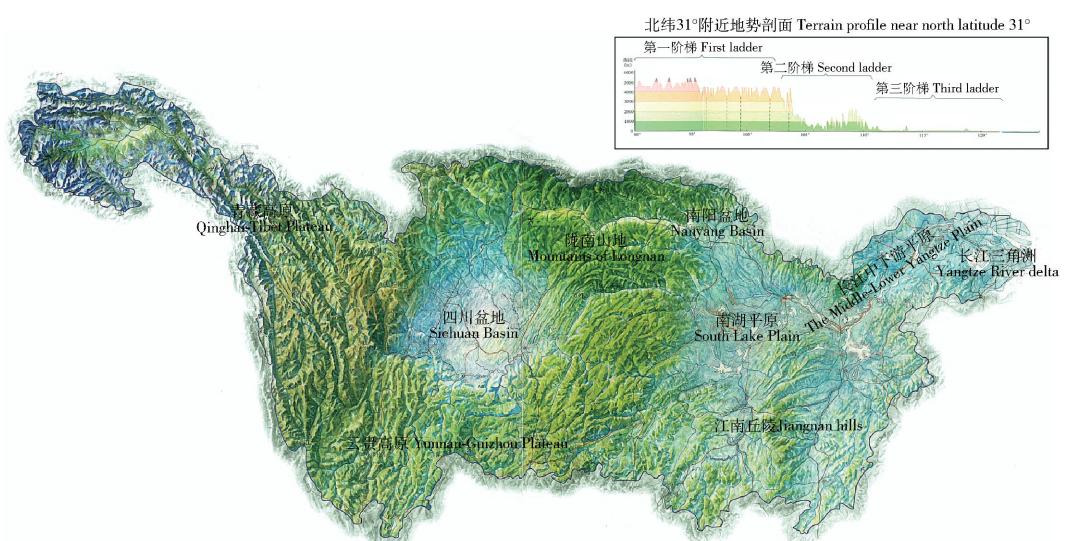


图2 长江流域地势及水系图  
Fig. 2 Land and drainage map of the Yangtze River Basin

害次数的45%左右,且长江流域发育有滑坡灾害点8183个,约占全国由溪河洪水诱发滑坡灾害点的50%。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 指标评价体系的建立

长江流域各类型山洪灾害的发生规律和影响因素是进行易发区划分的主要依据。本文根据山洪灾害发育程度和影响因素,遵循系统性、代表性、科学性和可操作性的原则,构建出长江流域3种类型山洪灾害(溪河洪水、泥石流、滑坡)易发程度评价指标体系。从整体来看,山洪灾害的形成主要包括3种因素:特殊的地形条件、松散岩石物质积存状况和能够激发堆积物运动的水动力条件,即地形条件、物源条件和水源条件<sup>[20]</sup>。其中,降雨是灾害发生的激发动力条件,地势起伏度可为灾害的发生提供势能,河网密度可反映区域地表的破碎程度及径流对山地

区的侵蚀强度,断裂带密度影响山体的稳定性,岩性指数及土壤可蚀性反映山体的抗侵蚀能力及稳定性,植被指数对灾害发生的概率影响较大。根据以往研究<sup>[21]</sup>,我国东部山区山洪灾害多发生在20°~30°之间,西部边缘高山区山洪灾害多发生在30°~70°之间,这里选取≥15°坡度百分比来表征坡度因素对灾害发生的影响。

结合长江流域实际情况,以各类型山洪灾害易发性为目标层,降雨、下垫面条件为准则层,按各准则层隶属关系再细化为若干指标,从而建立长江流域各类型山洪灾害易发性评价指标体系,如图3~5所示。

### 1.2.2 数据来源与算法

结合以往对影响山洪灾害发生发展因素的分析及合长江流域自身特点,收集整理得到长江流域县域图、地形地貌图、地质图等。研究所需的县域数据

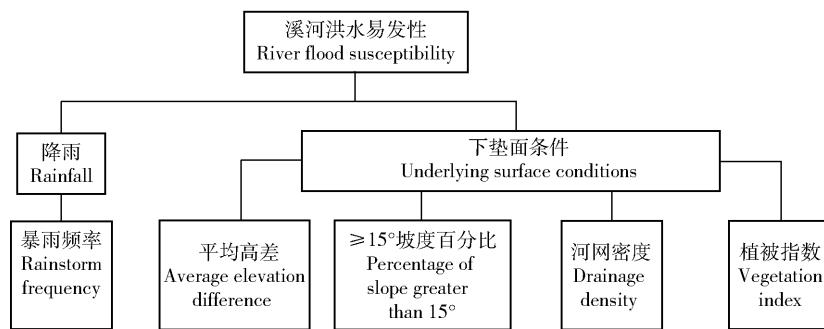


图3 溪河洪水易发性评价指标体系

Fig. 3 Assessment indices of susceptibility on river floods

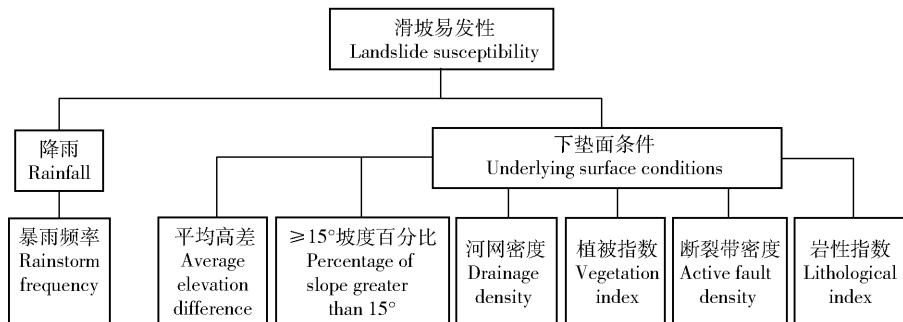


图4 滑坡易发性评价指标体系

Fig. 4 Assessment indices of susceptibility on landslide induced by river floods

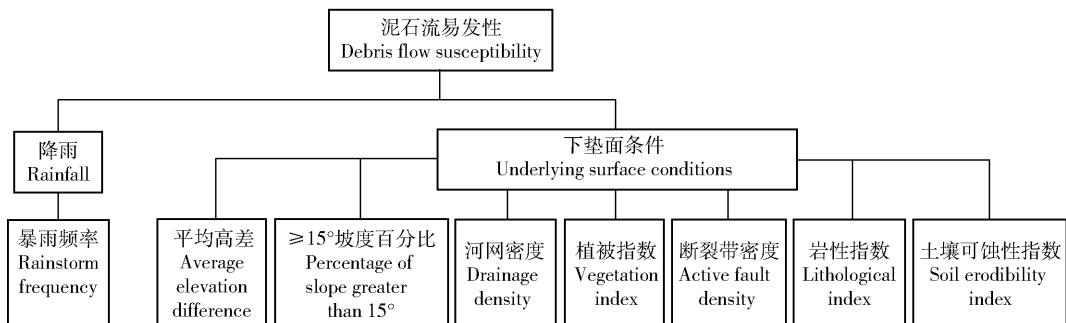


图5 泥石流易发性评价体系

Fig. 5 Evaluation system of susceptibility on debris flow induced by river floods

来自国家科技基础条件平台,各指标数据来源和提取方法见表1。

### 1.2.3 指标权重的确定

考虑到山洪灾害影响因素的复杂性,各指标对灾害易发性的影响程度不同。基于灰色关联分析法确定各因素对不同类型山洪灾害发生的影响程度。灰色关联分析法是针对灰色关系提出的一种量化处理的方法。首先选取影响因素和数据序列,对数据进行无量纲化处理,计算差序列,进而计算出灰关联系数,在灰关联系数基础上进一步求出灰关联度,从而得到各影响因素排序结果(表2)。

采用层次分析法并结合专家打分法,对影响长江流域山洪灾害易发性的指标进行赋值,运用Matlab计算出各指标权重,各指标权重见表3。

### 1.2.4 易发性指数计算

根据所选取指标因子的归一化数值及各指标因子对目标层的权重,计算山洪灾害易发性指数。计算公式如下:

$$R = \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (1)$$

式中:  $R$  为易发性指数;  $a_i$  为评价因子的权重;  $X_i$  为评价指标的归一化数值;  $n$  为评价因子的个数。

在计算易发性指数的基础上,利用自然间距分类方案(ArcGIS10.0)<sup>[12]</sup>将3种山洪灾害的易发程度划分为3级,即高易发区、中易发区、低易发区。其原理是根据数值统计分布特征寻找数值间存在的自然转折点、特征点,并将这些点作为分级的界限,可使类与类之间的差异最大化<sup>[12]</sup>。在进行分级后,

表1 指标数据来源和提取方法

Tab. 1 Data sources and index extraction methods

指标 Index	数据 Data	来源 Source	获取方法 Extraction method
降雨 Rainfall	暴雨频率 Rainstorm frequency	国家气象台站台数据 Data of national meteorological station	皮尔逊III法 Pearson method
	平均高差 Average elevation difference	地理空间数据云平台 Geospatial data cloud platform	ArcGIS 邻域分析 ArcGIS neighboring analysis
	≥15°坡度百分比 Percentage of slope greater than 15°	国际科学数据服务平台下载国家 90 m 分辨率 DEM 数据 Download DEM data of 90 metre resolution on international scientific data service platform	ArcGIS 表面分析、区域分析功能 Surface analysis and regional analysis function of ArcGIS
下垫面 Underlying surface	河网密度 Drainage density	国际科学数据服务平台下载 Download from international scientific data service platform	ArcGIS 水文分析功能 Hydrologic analysis function of ArcGIS
	植被指数 Vegetation index	地理空间数据云网站下载中国 1 km NDVI 月合成产品(TERRA 星) Download China one kilometer NDVI month synthetic product of China on geospatial data cloud website	2010 年 4—9 月 NDVI 数据, ArcGIS 栅格计算器、区域分析功能 The data of NDVI from April to September, 2010, the grid calculator and regional analysis function of ArcGIS
	断裂带密度 Active fault density	1:250 万中国地质图 Geological map of China of 1:2.5 million	ArcGIS 空间联合功能 Space joint function of ArcGIS
	土壤可蚀性指数 Soil erodibility index	长江流域土壤类型图、土壤可蚀性因子空间分布图 Soil type map of the Yangtze River Basin, space distribution of the soil corrosion factors	ArcGIS 叠加计算 Superposition calculation of ArcGIS
	岩性指数 Lithological index	全国岩性分区图 The map of national lithologic partition	提取长江流域岩性图 Extracting lithologic map of the Yangtze River Basin

表2 各类型山洪灾害影响因素排序结果

Tab. 2 Sequencing of influencing factors of three kinds of mountain torrent hazards

排序 Sequencing	影响因素 Influencing factor		
	溪河洪水 River flood	滑坡 Landslide	泥石流 Debris flow
1	暴雨频率 Rainstorm frequency	平均高差 Average elevation difference	坡度百分比 Percentage of slope
2	植被指数 Vegetation index	坡度百分比 Percentage of slope	平均高差 Average elevation difference
3	坡度百分比 Percentage of slope	植被指数 Vegetation index	植被指数 Vegetation index
4	平均高差 Average elevation difference	断裂带密度 Active fault density	断裂带密度 Active fault density
5	河网密度 Drainage density	暴雨频率 Rainstorm frequency	暴雨频率 Rainstorm frequency
6		岩性指数 Lithological index	岩性指数 Lithological index
7		河网密度 Drainage density	土壤可蚀性指数 Soil erodibility index
8			河网密度 Drainage density

表3 评价指标权重表

Tab. 3 Weights of assessment indices

指标 Index	权重 Weight		
	溪河洪水 River flood	滑坡 Landslide	泥石流 Debris flow
暴雨频率 Rainstorm frequency	0.49	0.11	0.09
平均高差 Average elevation difference	0.10	0.24	0.19
≥15°坡度百分比 Percentage of slope greater than 15°	0.15	0.20	0.20
河网密度 Drainage density	0.06	0.03	0.07
植被指数 Vegetation index	0.20	0.17	0.15
断裂带密度 Active fault density		0.15	0.12
岩性指数 Lithological index		0.10	0.08
土壤可蚀性指数 Soil erodibility index			0.08

结合流域内各地区灾害实际分布情况对已划分的级别进行适当调整。最后通过 ArcGIS 将全国山洪灾害防治区划图<sup>[1]</sup>中长江流域非防治区与已划分的 3 级易发区进行叠加, 得到长江流域各类型山洪灾害 4 级易发区分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 易发区划分结果分析

根据地形地、地质结构、地壳稳定性特点以及山洪灾害的分布, 长江流域大致西以“陇南山地—龙门山—乌蒙山”, 东以“伏牛山—武陵山”为界, 划分为西部、中部和东部 3 个区<sup>[6]</sup>。各类型山洪灾害的易发区分布在流域内也呈现出明显的区域特征。

#### 2.1.1 溪河洪水

溪河洪水易发程度分布图(图 6), 可见低易发区与非防治区面积占流域总面积的 47%, 中易发区占流域总面积的 22%, 高易发区占 26%。

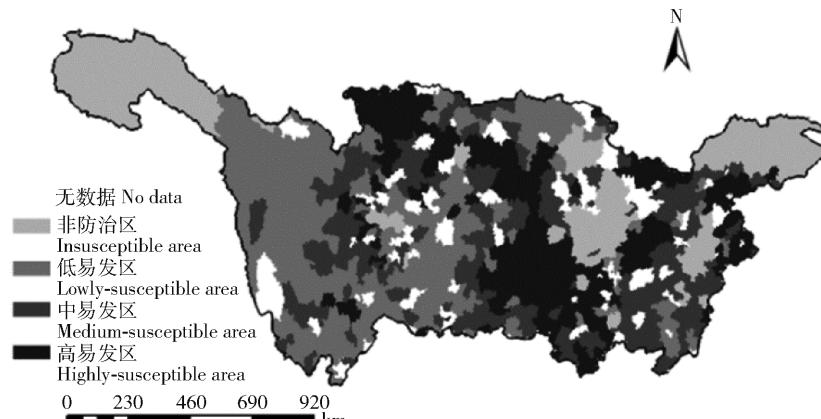


图 6 溪河洪水灾害易发区分布图

Fig. 6 Distribution diagram of susceptibility on river flood disaster

#### 2.1.2 滑坡

由图 7 可统计, 在滑坡灾害中低危险区及非防治区占流域总面积的 53%, 中危险区占流域总面积

的 20%, 高危险区占流域总面积的 22%。滑坡主要分布在长江流域中部地区, 上游干流附近滇北和陇南山区也有密集发育。且多呈片状或带状分布, 并

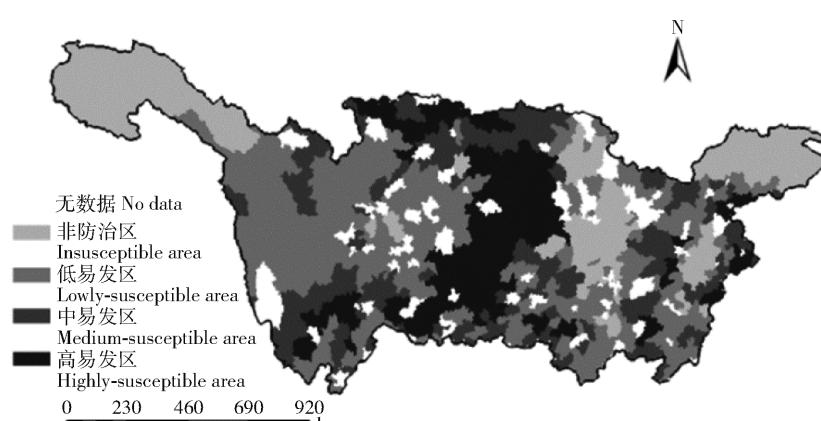


图 7 滑坡灾害易发程度分布图

Fig. 7 Distribution diagram of susceptibility on landslide disaster induced by river floods

较为集中,尤以四川盆地以东地区最为密集。

滑坡灾害易发区分布在地貌类型上主要以(极)大起伏山地和中小起伏山地的为主,尤以渝鄂湘山地区最为频发。渝鄂湘交界处山地面积广,分布着大巴山、巫山及武陵山等一系列中小型山脉。这一地带山体众多,地势落差大,高山峡谷,河流湍急,土壤结构疏松,新老断裂带分布比较密集,构造活动频繁,沟谷河流遍布于山体之中,与之相互切割,因而形成众多的具有足够滑动空间的斜坡体和切割面,极易发生滑坡灾害。

在云贵高原,地质活动复杂多变,断裂发育,存在着各种节理、裂隙、层面、断层发育的斜坡,且地震活动强烈,这些断裂带发育的地区成为滑坡灾害频发的地区。滑坡的产生需要一定的物质条件,在长

江流域中游地区,岩土类型主要是次软和软硬相间,其结构松散、抗剪强度和抗风化能力较低,在水的作用下其性质容易发生变化。因而,这些地区也是滑坡灾害高易发区域。

### 2.1.3 泥石流

泥石流灾害易发程度分布图如图8所示。其中,低危险区及非防治区面积占流域总面积的43%,中危险区占流域总面积的28%,高危险区占流域总面积的24%。泥石流灾害在长江流域西部地区分布最为密集。这一地带自西向东跨越我国岭谷相对高度变化最大的2个地貌过渡带:第1级地貌阶梯(青藏高原)与第2级地貌阶梯(云贵高原、黄土高原、四川盆地)的过渡带,即横断山区、四川盆周山地西部和陇南山地,暴雨型泥石流发育密集。

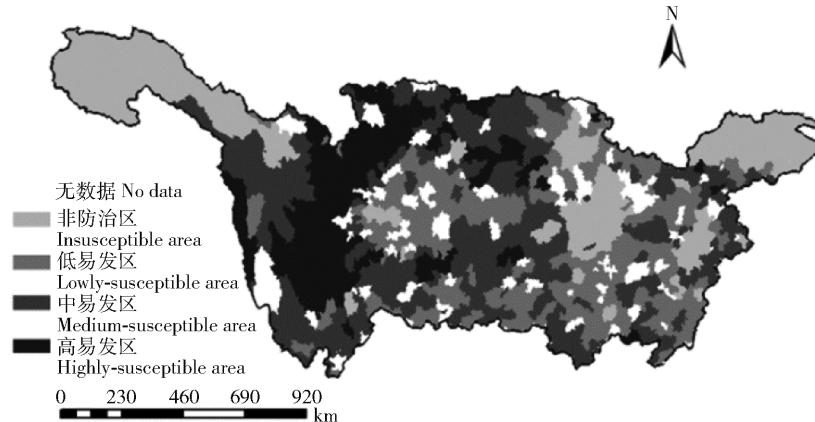


图8 泥石流灾害易发程度分布

Fig. 8 Distribution diagram of susceptibility on debris flow disaster induced by river floods

高易发区受活跃断裂带的影响极大,断裂带发育的地区成为泥石流灾害高易发区。长江流域地质构造条件复杂,断裂发育,尤其在第1、2阶梯过渡带表现最为明显,如安宁河断裂带、小江断裂带及白龙江断裂带<sup>[22]</sup>。这些断裂带密集区岭谷高差达2 000 m以上,河床纵比降大,多跌水和瀑布,河网密集,河谷深切发育,地形雨较多,且地质活动强烈,导致地震活动相对频繁。特殊的地质地貌条件为泥石流的产生提供了势能和物质条件,因而这些地区成为泥石流发育密集区。

综上所述,长江流域山洪灾害高易发区主要集中在四川盆地周边的中高山地,包括岷山、邛崃山高山峡谷区和龙门山、滇东、滇西、米仓山、大巴山、大娄山、武陵山、秦岭、雪峰山等中山峡谷区,以及长江中东部过渡地带的大别山、幕府山、罗霄山、黄山、武夷山等中低山区。在川中丘陵区、南阳盆地、江汉平原、洞庭湖平原及鄱阳湖平原等地势起伏较低地区的易发程度明显较小。3种不同类型的山洪灾害在长江流域的集中分布区域差异明显。溪河洪水灾害

高易发区主要分布在流域西部向东部的过渡地带。滑坡灾害高易发区主要分布在流域中部,在上游干流两侧滇北地区及陇南山地也有较集中发育。泥石流灾害高易发区主要分布在流域的西部,尤以川西高原上高易发区面积最大。

### 2.2 易发区划分结果验证

基于ArcGIS平台,将长江流域山洪灾害历史数据与各类型山洪灾害易发程度分布图进行叠加,以对山洪灾害易发程度结果进行验证(表4)。长江流域山洪灾害历史数据来自“全国山洪灾害防治规划”项目调查数据,包括了从1950—2002年左右的3种类型山洪灾害的数据。数据包括:溪河洪水7 097个灾害点,以及发生在不同年份的35 068次溪河洪水灾害;滑坡8 183个灾害点,以及发生在不同年份的8 181次滑坡灾害;泥石流5 236个灾害点,以及发生在不同年份的6 845次泥石流灾害。县域数据来自国家科技基础条件平台。分析结果表明溪河洪水、滑坡、泥石流3种山洪灾害历史发生次数分别有80.15%、85.71%、86.5%位于各灾害高

易发区;14.19%、12.62%、12.41%位于各灾害中易发区;5.66%、1.67%、1.09%位于各灾害低易发区

及非防治区。因此,易发程度分区能够较好反映各灾害的集中分布区域特征。

表4 各易发区内不同类型山洪灾害历史次数统计

Tab. 4 Statistics about historical disaster of different types of mountain torrent hazards in each susceptible area

灾害类型 Disaster type	分区类型 Zoning type	灾害次数 Disaster number	百分比 Percentage/%
溪河洪水 River flood	低易发区(非防治区) Lowly-susceptible area( insusceptible area)	1 985	5.66
	中易发区 Medium-susceptible area	4 976	14.19
	高易发区 Highly-susceptible area	28 107	80.15
滑坡 Landslide	低易发区(非防治区) Lowly-susceptible area( insusceptible area)	137	1.67
	中易发区 Medium-susceptible area	1 032	12.62
	高易发区 Highly-susceptible area	7 012	85.71
泥石流 Debris flow	低易发区(非防治区) Lowly-susceptible area( insusceptible area)	75	1.09
	中易发区 Medium-susceptible area	849	12.41
	高易发区 Highly-susceptible area	5 921	86.5

### 3 结 论

本文通过对长江流域各类型山洪灾害易发区进行划分,主要得出以下结论:

1)从划分结果来看,3种类型山洪灾害在流域内的分布差异较为明显,溪河洪水总体上由东向西灾害易发性呈递减趋势,滑坡灾害高易发区分布在上游干流两侧滇北地区及陇南山地,总体上则呈现由流域中部分别向东、向西递减的趋势,泥石流灾害集中在川西高原地区,总体上呈现由西向东的递减趋势。

2)山洪灾害的发生受诸多因素影响。其中,溪河洪水受暴雨影响明显,暴雨频发地区、时段与灾害的发生呈现出高度吻合的特征,滑坡灾害高易发区主要分布在起伏山地和断裂带发育的地区,地貌和地质条件是影响滑坡灾害发生的重要因素,泥石流灾害高易发区的分布与活动断裂带的分布较为一致。

3)将已划分的易发区与山洪灾害历史数据比较,验证结果较理想。因此,可以为长江流域山洪灾害危险范围预测、灾害损失预测评估、灾害防治工程部署等方面发挥作用。

本研究受限于资料的可得性,评价方法存在局限性,今后在评价单元和权重确定方法方面还需要进一步完善,特别探究如何缩小评价单元面积,进一步提高评价精度,以提高全流域山洪灾害易发程度划分结果的准确性,为长江流域防灾、减灾工作提供科学参考。

### 参 考 文 献

[1] 张平仓,赵健,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划[M].武

汉:长江出版社,2009.

ZHANG P C, ZHAO J, HU W Z, et al. Chinese mountain torrent disaster prevention regionalization [M]. Wuhan: The Yangtze River Press, 2009.

[2] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.

ZHANG P C, REN H Y, HU W Z, et al. An elementary study on Chinese mountain torrents disaster prevention regionalization [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 196-200.

[3] 王哲,易发成.基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J].自然灾害学报,2009, 18(1): 14-23.

WANG Z, YI F C. AHP-based evaluation of occurrence easiness of geological disasters in Mianyang City [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(1): 14-23.

[4] 唐余学,廖向花,李晶,等.基于GIS的重庆市山洪灾害区划[J].气象科技,2011, 39(4): 423-427.

TANG Y X, LIAO X H, LI J, et al. Regionalization of torrential flood disasters in Chongqing based on GIS [J]. Meteorological Science and Technology, 2011, 39(4): 423-427.

[5] 柳金峰,黄江成,欧国强,等.甘肃陇南武都区泥石流易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2010, 21(4): 8-13.

LIU J F, HUANG J C, OU G Q, et al. Susceptibility evaluation of debris flow in the Wudu District, Longnan City, Gansu Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4): 8-13.

[6] 王威,何志芸.长江流域防御山洪灾害对策浅探[J].人民长江,2003, 34(10): 14-15, 18.

WANG W, HE Z Y. Briefly explore the defensive countermeasures of mountain torrent disasters in the Yangtze River Basin [J]. Yangtze River, 2003, 34(10): 14-15, 18.

[7] 蔡道明,肖翔,孙金伟.区域山洪灾害预警难度评价:以长江流域为例[J].长江科学院院报,2015, 32(3): 84-88, 94.

CAI D M, XIAO X, SUN J W. Assessment of the difficulty of warning mountain torrent disasters: case study of the Yangtze River Basin [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,

- 2015, 32(3): 84-88, 94.
- [8] 赵成, 张永军, 赵玉红. 层次分析法在甘肃省地质灾害易发性评价中的应用[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 182-188.
- ZHAO C, ZHANG Y J, ZHAO Y H. Application of the hierarchical analytical methods to evaluating geological hazard tendency in Gansu Province [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(1): 182-188.
- [9] 郑乾墙. 滑坡危险性的模糊综合评判[J]. 江西地质, 1999, 13(4): 300-303.
- ZHENG Q Q. Fuzzy multidisciplinary assessment of landslide danger[J]. Jiangxi Geology, 1999, 13(4): 300-303.
- [10] 韩娟, 张永伟, 祁娟, 等. 综合危险性指数法在苍山县地质灾害易发区划分中的应用[J]. 山东国土资源, 2007, 23(6-7): 36-40.
- HAN J, ZHANG Y W, QI J, et al. Application of synthetic hazards index method in classifying geological hazards easy-happening areas in Cangshan County [J]. Shandong Land and Resources, 2007, 23(6-7): 36-40.
- [11] 乔伟. 综合危险性指数法在泰山区地质灾害易发区划分中的应用[J]. 防灾科技学院学报, 2015, 17(1): 53-58.
- QIAO W. Application of synthetic risk index method in division of areas vulnerable to geo-hazards in Taishan District [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2015, 17(1): 53-58.
- [12] 刘艳芳, 方佳琳, 陈晓慧, 等. 基于确定性系数分析方法的秭归县滑坡易发性评价[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(6): 209-217.
- LIU Y F, FANG J L, CHEN X H, et al. Evaluation of landslide susceptibility in Zigui County based on certainty factor method [J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(6): 209-217.
- [13] 李永红. 基于ArcGIS的陕西山洪灾害易发程度区划[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 37-42.
- LI Y H. Susceptible degree zoning of mountain torrent disasters in Shaanxi based on ArcGIS [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(1): 37-42.
- [14] 杨秀梅, 梁收运. 基于模糊层次分析法的泥石流危险度评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(2): 73-78.
- YANG X M, LIANG S Y. Application of fuzzy analytic hierarchy process method to debris flow dangerous assessment [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2008, 19(2): 73-78.
- [15] 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, 2000, 14(1): 59-63.
- WEI F Q, XIE H, ZHONG D L. Risk factors zoning of debris flow in Sichuan Province [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2000, 14(1): 59-63.
- [16] 金艳珠, 谈树成, 虎雄岗, 等. 基于层次分析法与GIS相结合的岩溶塌陷地质灾害易发性分区评估:以云南省师宗县为例 [J]. 热带地理, 2012, 32(2): 173-178.
- JIN Y Z, TAN S C, HU X G, et al. Geo-hazard susceptibility zoning evaluation of karst collapse based on the combination of AHP and GIS: a case study of Shizong, Yunnan [J]. Tropical Geography, 2012, 32(2): 173-178.
- [17] 许冲, 戴福初, 姚鑫, 等. 基于GIS与确定性系数分析方法的汶川地震滑坡易发性评价[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 15-26.
- XU C, DAI F C, YAO X, et al. GIS platform and certainty factor analysis method based Wenchuan earthquake-induced landslide susceptibility evaluation [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(1): 15-26.
- [18] 黄晓凤, 张丹茜, 李静芝, 等. 中国国家地理地图[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2013:20.
- HUANG X F, ZHANG D Q, LI J Z, et al. China national geographic map [M]. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2013: 20.
- [19] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 全国山洪灾害防治规划[R]. 北京: 国家防汛抗旱总指挥, 2009.
- National Flood Control and Drought Relief Headquarters Office. National mountain torrent disaster prevention and control planning [R]. Beijing: National Flood Control and Drought Relief Command, 2009.
- [20] 卢翔. 湖南省山洪灾害成因分析[J]. 人民长江, 2003, 34(6): 52-54.
- LU X. Causes analysed of mountain torrent disasters in Hunan Province [J]. Yangtze River, 2003, 34(6): 52-54.
- [21] 任洪玉, 邹翔, 张平仓. 我国山洪灾害成因分析[J]. 中国水利, 2007(14): 18-20.
- REN H Y, ZOU X, ZHANG P C. Analysis on the causes of mountain torrent disasters in China [J]. China Water Resources, 2007(14): 18-20.
- [22] 长江岩土工程总公司(武汉). 长江流域地质灾害及防治[M]. 武汉: 长江出版社, 2007.
- Changjiang Geotechnical Engineering Corporation (Wuhan). Prevention and control of geological disasters in the Yangtze River [M]. Wuhan: The Yangtze River Press, 2007.

(责任编辑 范娟  
责任编委 杨晓晖)