

林孝松, 刘强, 陈洪凯, 等. 四川省县域公路洪灾危险评价研究[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 79–84. [Lin Xiaosong, Liu Qiang, Chen Hongkai, et al. Hazard evaluation for highway flood of county territory in Sichuan Province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 79–84.]

四川省县域公路洪灾危险评价研究*

林孝松^{1,2}, 刘 强², 陈洪凯¹, 唐红梅¹, 王梅力², 赵 宇²

(1. 重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074)

摘 要: 以四川省县域公路洪灾为研究对象, 在影响因子分析基础上, 从地形地貌、降雨、岩性、河网及植被等方面构建了县域公路洪灾危险评价指标体系, 利用层次分析和专家效度相耦合方法计算各指标权重值, 采用综合指数法建立公路洪灾危险评价综合指数模型。在 ArcGIS 软件支持下, 获取各评价指标数据, 汇总各区县网格数据, 计算得到各区县公路洪灾危险指数综合值, 依据相应阈值将四川省县域公路洪灾划分为高、中、低和微危险四个等级。研究表明: 四川省县域公路洪灾危险综合指数值在 31.21 ~ 71.63 之间, 以中、低危险两个等级为主。

关键词: 公路洪灾; 危险评价; 综合分区; 县域; 四川省

中图分类号: X951; P954; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)04–0079–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.04.016

山区公路作为交通系统的重要组成部分, 在山区社会经济发展中起着非常重要的作用。但其作为一种带状构筑物, 经过路线长, 面临复杂的地形、地质、水文和气象条件, 其洪灾防治问题非常突出且复杂。据中国交通运输部 2006–2010 年统计, 中国公路洪水灾害造成直接经济损失共计 659.37 亿元。未来全球变化导致的极端气象事件不断增多将使我国公路洪灾防治工作变得更严峻。至今, 国内外科研人员和高校学者在公路洪灾孕灾环境^[1–5]、危险性^[6–11]、易损性^[12–13]和风险评估与预警^[14–16]等方面开展了大量工作, 取得了较丰硕成果。

以四川省县域公路洪灾为研究对象, 从地形地貌、降雨、岩性、河网及植被等方面构建公路洪灾危险评价指标体系, 采用综合指数法建立公路洪灾危险评价综合指数模型, 依据公路洪灾危险指数综合值以县级行政区为评价单元进行公路洪灾危险等级划分。

1 研究区域概况

四川省地处长江上游, 介于 97°21′ ~ 108°33′ E、26°03′ ~ 34°19′ N 之间, 幅员面积 48.6 万 km²。

地势总体特征为西高东低, 由西北向东南逐渐倾斜(图 1)。降水受季风环流和复杂地形综合作用影响, 局地性差异非常明显, 是中国降水差异大、变化复杂的地区之一。四川省全省 2012 年末常住人口 8 076.2 万人, GDP 为 23 872.80 亿元, 公路总里程 293 499 km, 公路旅客周转量 $1\,005 \times 10^9$ (人·km), 公路货运量 158 396 万 t。

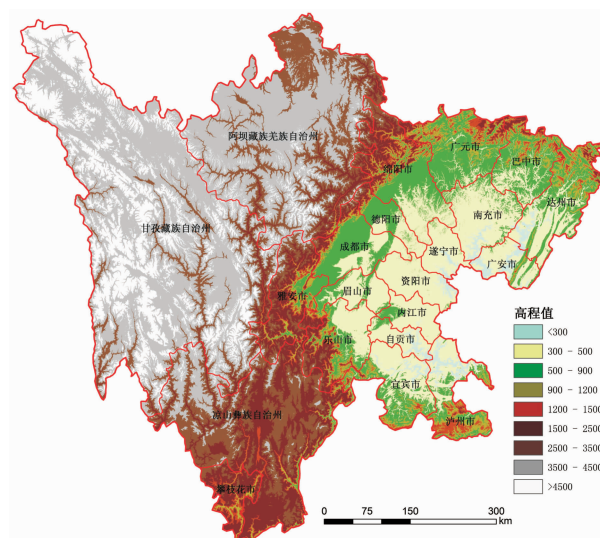


图 1 四川省 DEM 图

* 收稿日期: 2015–04–08 修回日期: 2015–05–21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071017, 51479015); 西部交通科技项目(2009318221035); 重庆市自然科学基金项目(CSTC2011JJA30012); 2013 年重庆高校创新团队建设计划资助项目(KJTD201305)

作者简介: 林孝松(1976–), 男, 湖南绥宁人, 博士, 教授, 主要从事自然灾害与地理信息系统方面的研究。

E-mail: lxsgis@163.com

据公路管理部门统计资料显示,2003 年至今,四川省每年公路洪灾造成直接经济损失在 5 亿元~17 亿元之间,其中 2009 年,四川省广元、绵阳、达州、阿坝等 21 个市(州)公路遭受暴雨洪灾袭击,造成公路大面积损毁,公路中断共计 2 839 处,直接经济总损失达 16.81 亿元。四川省现有县级行政单位 181 个,在论文研究中因将部分城区单位进行合并,最终评价单元总计为 160 个。

2 公路洪灾危险评价指标体系构建

2.1 公路洪灾影响因子分析

地形地貌是影响公路洪水灾害形成和发生的主要下垫面因子。在降雨条件相同的情况下,地形和地貌条件影响着公路洪灾的特性和规模大小。地形对公路洪灾的影响主要体现在地势高低和地形变化两个方面,其中可采用微地貌类型和地形坡位表征地势高低,用地形坡度表征地形变化。

降雨因子是造成公路洪灾的直接原因和激发条件,公路洪灾的形成与降雨量、降雨强度关系密切。通常情况下,降雨量大意味着雨强高、激发力大,很容易产生溪河洪水、泥石流及滑坡等灾害。四川省降雨丰富区与公路洪灾空间分布的吻合一致性反映出降雨与公路洪灾的直接关系。

公路沿线地层岩性影响公路洪灾的形成。岩性不同,其风化速度存在较大差异,软弱岩层比

坚硬岩层更容易遭受破坏,同时也越容易提供松散物质;岩性组合不同影响风化作用的强度和速度,软硬相间的岩性组合比岩性均一的岩石更容易受到风化,其侵蚀也更强烈,有利于泥石流和滑坡的孕育;岩性主要通过地貌和雨水入渗能力影响溪河洪水的形成,通常情况下如岩性坚硬致密则其入渗能力差,地表径流易汇集形成洪水。

河网分布与气候、土壤、岩性、植被、人类活动密切相关。河网疏密程度反映一个地区的降雨和下垫面条件,也间接反映洪水危险的大小。对于公路洪灾而言,公路离水系越近,其遭受洪水损毁的可能性越大,危险性也相应越高。

植被对降雨有截留、遮挡等作用,有利于雨水入渗,减缓汇流速度,减少汇流量。不同的植被覆盖度对洪灾的发生有着重要影响:植被稀疏地区降雨汇流迅速,易于形成洪峰;植被浓密地区,植被能减缓降雨汇流,延缓洪峰形成,降低洪灾爆发机率。

2.2 公路洪灾危险分区评价指标选取与量化

在分析洪灾影响因素和四川省公路洪灾资料统计基础上,结合相关专家意见,将四川省县域公路洪灾危险评价划分为高、中、低和微危险 4 个等级,选取微地貌类型(x_1)、地形坡位(x_2)、地形坡度(x_3)、年均降雨量(x_4)、24 h 降雨量(x_5)、岩性条件(x_6)、河网密度(x_7)和植被覆盖度(x_8)等 8 个因子作为洪灾危险评价指标,并建立了相应分级赋值量化标准(表 1)。

表 1 四川省公路洪灾危险评价指标及量化表

评价指标		高危险	中危险	低危险	微危险
微地貌类型 (x_1)	分级 赋值	峡谷、U 形谷 90	浅山谷、平地 60	开阔山坡、台地、 平地上小山 30	河源、局部山脊、 山顶 10
地形坡位 (x_2)	分级 赋值	山谷谷地 90	山坡下部、平地 60	山坡中部、山坡上部 30	山脊 10
地形坡度 (x_3)/(°)	分级 赋值	$\geq 35, < 5$ 90	25 ~ 35 60	15 ~ 25 30	5 ~ 15 10
年均降雨量 (x_4)/mm	分级 赋值	$\geq 1\,200$ 90	1 000 ~ 1 200 60	700 ~ 1 000 30	< 700 10
24 h 降雨量 (x_5)/mm	分级 赋值	≥ 100 90	75 ~ 100 60	50 ~ 75 30	< 50 10
岩性条件 (x_6)	分级 赋值	松散堆积物类 90	泥岩、页岩类 70	灰岩类 50	砂岩类 20
河网密度 (x_7)/(m/km ²)	分级 赋值	≥ 800 90	600 ~ 800 60	400 ~ 600 30	< 400 10
植被覆盖度 (x_8)/%	分级 赋值	< 10 90	10 ~ 30 60	30 ~ 60 30	≥ 60 10

2.3 公路洪灾危险评价指标权重计算

将层次分析法和物元专家效用度法进行耦合,计算公路洪灾危险评价指标权重值,其主要步骤如下:首先征求 18 位相关专家的意见,利用层次分析法构建判断矩阵,计算得到各评价指标专家权重值;然后利用物元可拓专家效用度法^[17]对专家权重进行修正得到最终权重值为微地貌类型(0.174 0)、地形坡位(0.125 9)、地形坡度(0.091 0)、年均降雨量(0.067 2)、24 h 降雨量(0.210 1)、岩性条件(0.106 0)、河网密度(0.148 0)和植被覆盖度(0.077 8)。

3 公路洪灾危险评价数据获取

3.1 地形地貌数据获取

基于 30 m 分辨率的四川省 DEM 数据,采用地形坡位指数(Topographic Position Index,TPI)计算方法获取研究区地形坡位和微地貌类型。其中 TPI 值的计算主要通过栅格高程与邻域栅格平均高程之差获得。如果某栅格 $TPI > 0$,则说明其处于凸起地形;如 $TPI < 0$,则表明其位于下凹地形;如 $TPI = 0$,则说明其位于平坦地带^[18]。地形坡位指数的计算与邻域范围大小有关,在研究中采用 3×3 DEM 网格矩形邻域窗口提取得到四川省 TPI 值。

通常可采用阈值和标准偏差两种方法进行地形坡位的划分^[18]。在四川省地形坡位类型划分中,采用 TPI 标准偏差方法并结合坡度值按照山谷谷地($TPI \leq -1SD$)、山坡下部($-1SD < TPI \leq -0.5SD$)、平地山坡($-0.5SD < TPI \leq 0.5SD$ 且坡度 $\leq 5^\circ$)、山坡中部($-0.5SD < TPI \leq 0.5SD$ 且坡度 $> 5^\circ$)、山坡上部($0.5SD < TPI \leq 1SD$),山脊($TPI > 1SD$)等标准进行划分,由此得到四川省地形坡位分布图(图 2)。

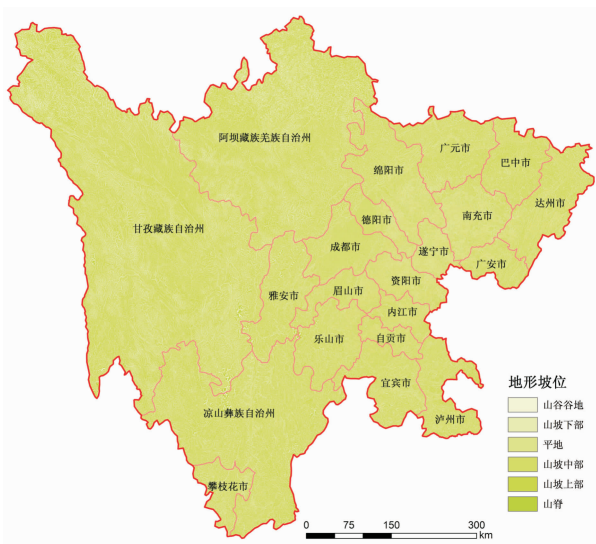


图 2 四川省地形坡位分布图

按照 Weiss 划分标准^[19],利用研究区 DEM 数据,采用 5×5 和 11×11 两种不同尺寸矩形邻域计算研究区 TPI 值,并将计算得到的两种尺度 TPI 值进行耦合,最终得到四川省 10 种微地貌类型(图 3)。

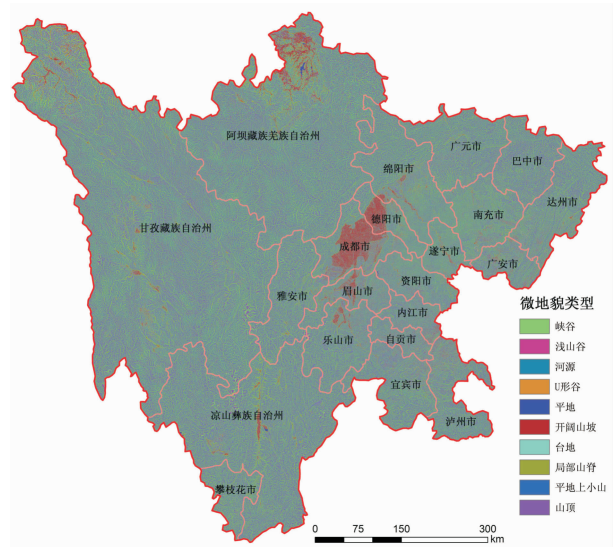


图 3 四川省微地貌类型分布图

基于四川省 DEM 数据,利用 ArcGIS 软件坡度提取功能,得到四川省地形坡度数据(图 4)。

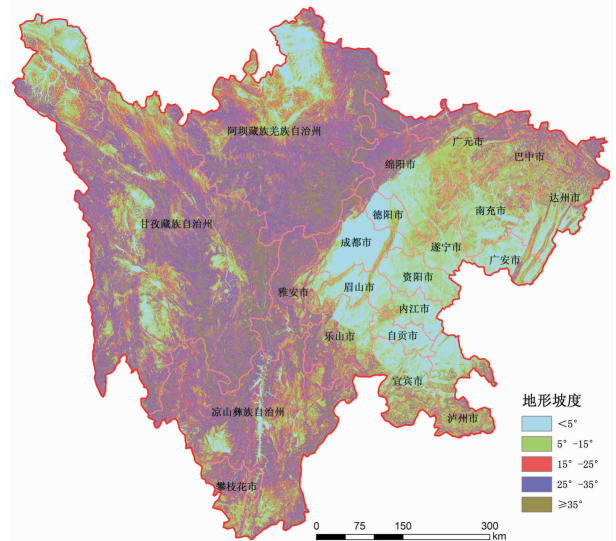


图 4 四川省坡度分布图

3.2 降雨数据获取

基于全国 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 分辨率多年平均降雨网格数据,利用 ArcGIS 栅格计算功能得到四川省年均降雨分布数据(图 5)并按照前述分级标准进行分级量化;以县级行政区评价单元为基准,利用 ArcGIS 分区统计功能,采用汇总求平均方法得到四川省各区县多年平均降雨数据。

利用四川省多年平均 24 h 降雨量等值线数据,采用 ArcGIS 软件空间插值方法计算得到栅格化的

四川省 24 h 降雨量分布数据;按照前述分级量化标准进行赋值量化,得到四川省 24 h 降雨量量化分值图(图 6);以县级行政区评价单元为基准,采用 ArcGIS 邻域分析功能中的汇总求平均方法得到四川省各区县 24 h 降雨量数值。

3.3 岩性数据获取

利用 MapGIS 将四川省 1:50 万纸质地质图进行矢量化,得到研究区岩性数据;按照前述标准将各种岩性归并为四类并进行分级量化赋值,得到四川省地质岩性量化分值图(图 7)。

3.4 河网数据获取

以四川省 1:25 万河网水系图为基础,利用 MapGIS 软件将河网数据进行矢量化,得到四川省河网水系分布图(图 8);将水系和县级行政区进行空间叠加,汇总得到各区县河网水系长度;利用各区县河网长度和区县面积计算得到各区县河网密度,并依据前述标准进行分级量化赋值。

3.5 植被覆盖数据获取

首先以四川省 1:50 万土地覆被类型(图 9)为原始数据,通过野外实地调查,并征求相关专家意见后按照森林(90%)、灌木林地(65%)、疏林(60%)、草地(40%)、山地草甸(30%)、水田(25%)、旱地(20%)、城市(10%)、寒冷荒漠(5%)、裸地(4%)和冰川(1%)转换标准获得四川省植被覆盖度数据;然后在此基础上对其进行分级量化赋值;最后以县级评价单元为基准,采用汇总求平均方法得到四川省各区县植被覆盖度量化数值。

4 公路洪灾危险分区及结果分析

4.1 县域公路洪灾危险分区模型建立

选取影响公路洪灾危险指标因子并获取原始数据,对各指标进行分级量化,得到各指标量化值;依据各指标重要性程度计算权重;利用多因素综合指数法以线性加权求和形式建立县域公路洪灾危险分区评价模型,并计算各评价单元公路洪灾危险分区综合指数值。模型公式为:

$$H = \sum_{i=1}^n Z_i W_i \quad (1)$$

式中: H 为洪灾危险分区综合指数, H 越大表示公路洪灾危险程度越高; Z_i 为危险分区各评价指标量化值; W_i 为各指标权重。

4.2 县域公路洪灾危险分区

按照危险评价指标量化标准对四川省公路洪灾危险分区各指标原始数据进行分级量化;基于 160 个县级评价单元对量化值进行汇总求平均,得到四川省各区县公路洪灾危险分区指标数据;利用式

(1) 计算得到各区县公路洪灾危险分区综合指数值;按照分区量化标准和各指标权重值计算得到县域公路洪灾各危险分区阈值为:微危险(≤ 21.59)、低危险($21.59 \sim 46.59$)、中危险($46.59 \sim 75.53$)和高危险(> 75.53);同时按照阈值平分原则将低危险细分为低下($21.59 \sim 34.09$)和低上($34.09 \sim 46.59$)两个等级;将中危险细分为中下($46.59 \sim 61.06$)和中上($61.06 \sim 75.53$)两个等级。最终得到四川省县域公路洪灾危险分区结果(图 10,表 2)。

表 2 四川省县域公路洪灾危险分区情况表

危险分区		分区阈值	面积百分比	区县数
微危险区		≤ 21.59	0	0
低危险区	低下	$21.59 \sim 34.09$	12.23	10
	低上	$34.09 \sim 46.59$	51.19	46
中危险区	中下	$46.59 \sim 61.06$	26.03	64
	中上	$61.06 \sim 75.53$	10.55	40
高危险区		> 75.53	0	0

从危险分区结果来看,四川省县域公路洪灾危险综合指数值在 31.21 ~ 71.63 之间,以低危险和中危险两个等级为主,无高危险和微危险等级。其中低危险等级区占总面积的 63.42%,中危险等级区县数高达 104 个,占区县总数的 65%。从空间分布来看,中危险区主要分布在四川省中东部和南部,低危险区主要集中在西部和西北部。

5 结论

(1) 以四川省县域为评价单元,在公路洪灾影响因素分析基础上,构建了由微地貌类型、地形坡位、地形坡度、年均降雨量、24 h 降雨量、岩性条件、河网密度和植被覆盖度等 8 个因子组成的县域公路洪灾危险评价综合指标体系。

(2) 在 GIS 支持下,利用 TPI 方法和 DEM 数据获得微地貌类型、地形坡位和地形坡度等指标网格数据;利用空间插值方法得到年均降雨量和 24 h 降雨量数据;基于地质岩性图和土地覆被类型图,通过量化得到岩性条件和植被覆盖度网格数据。

(3) 将各指标网格值按照区县进行汇总,基于综合指数法建立公路洪灾危险评价指数模型,计算得到各区县公路洪灾危险指数综合值,并按照相应阈值将县域公路洪灾划分为高、中、低和微危险四个等级。研究结果表明:四川省县域公路洪灾危险综合指数值在 31.21 ~ 71.63 之间,以中危险和低危险为主。

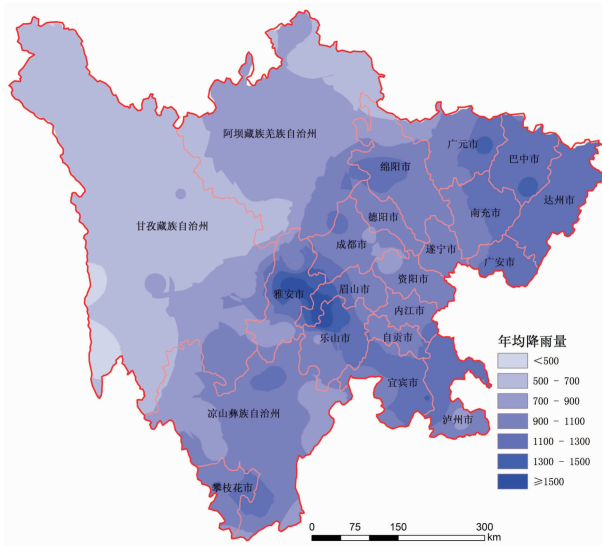


图5 四川省年均降雨量分布图

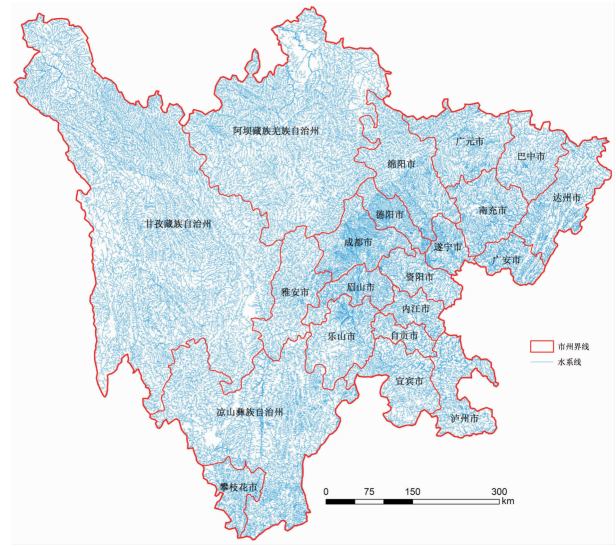


图8 四川省河网水系分布图

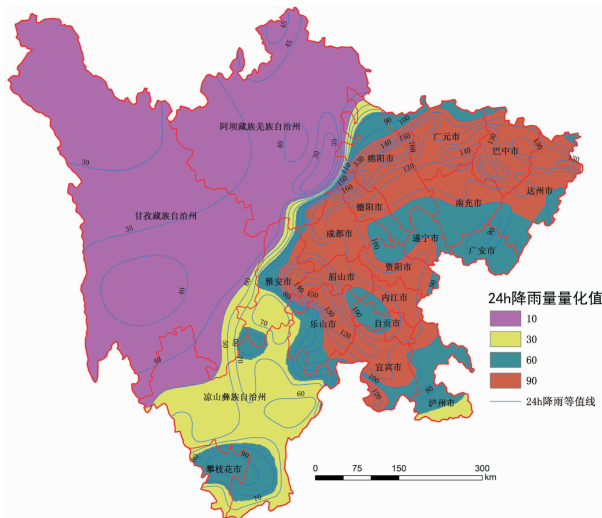


图6 四川省24 h降雨量量化分值图

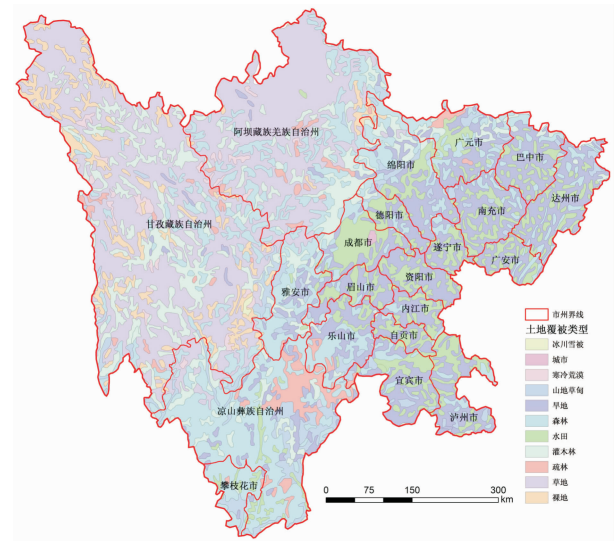


图9 四川省土地覆被类型图

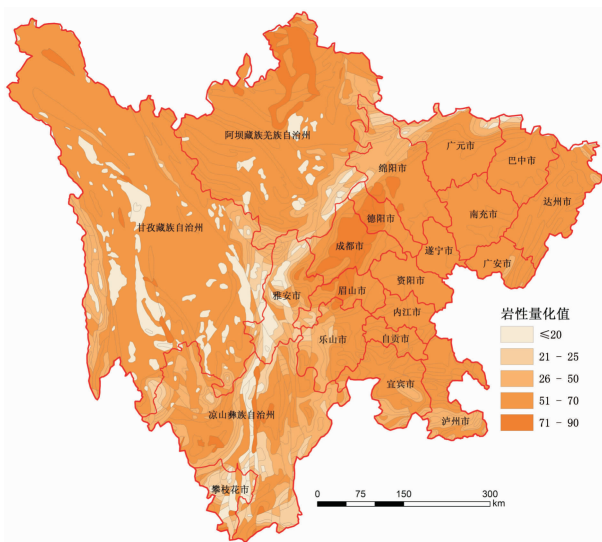


图7 四川省地质岩性量化分值图

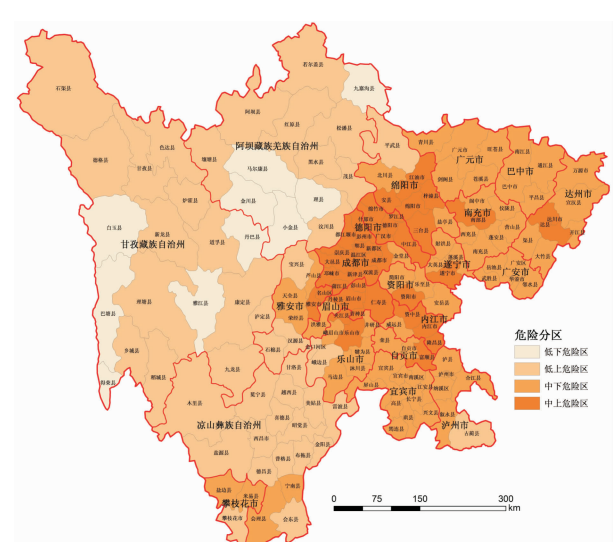


图10 四川省县城公路洪灾危险分区图

(4) 研究结果体现的是四川省各区县整体情况, 虽然与县域部分路段的实际情况难免存在一定程度的偏差, 但研究结果可为相关政府及公路管理部门提供宏观的县域公路洪灾危险分区信息, 为汛期防灾减灾提供辅助决策支持。

参考文献:

- [1] 白子培, 陈洪凯, 张智洪. 四川省公路水毁环境区划初探[J]. 重庆交通学院学报, 1993, 12(1): 50-55.
- [2] 凌建明, 官盛飞, 崔伯恩. 重庆市公路水毁环境区划指标的研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 141-147.
- [3] 覃庆梅, 林孝松, 唐红梅. 重庆市万州区公路洪灾孕灾环境分区[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(1): 89-94.
- [4] 林孝松, 陈洪凯, 王先进, 等. 西南地区公路洪灾孕灾环境分区[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 251-256.
- [5] 唐红梅, 廖学海, 陈洪凯. 基于模糊概率的阿坝州公路洪灾孕灾环境分区[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 52-56.
- [6] 张家明, 徐则民, 刘华磊. 云南省公路水毁时空分布与态势[J]. 山地学报, 2011, 29(1): 109-115.
- [7] 张家明, 王志奇, 张勇, 等. 云南省公路水毁时空分布宏观约束机制[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 35-40.
- [8] William Rasdorf, Hubo Cai, Chris Tilley. Approach to Determine Extent and Depth of Highway Flooding[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2007(6): 157-167.
- [9] 齐洪亮, 田伟平, 王栋, 等. 公路洪水灾害危险性评价指标[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 44-47.
- [10] 曾蓉, 陈洪凯, 李俊业. 熵权模糊综合评价法在公路洪灾危险性评价中的应用[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(4): 587-591.
- [11] 钟鸣音, 唐红梅, 陈洪凯. 重庆万州区公路网洪灾危险性评价[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(4): 828-832.
- [12] 田伟平, 马保成, 舒森. 山区沿河公路路基水毁灾害易损性评价[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 125-130.
- [13] 胡卓玮, 王志恒, 魏铎, 等. 基于 RS 与 GIS 混合编程的公路水毁灾情信息提取[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 94-101.
- [14] 曾蓉, 李俊业, 王宝亮. 基于熵权的模糊综合评价法在公路洪灾风险评估中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(3): 83-87.
- [15] Pierre Antoine Versini. Use of radar rainfall estimates and forecasts to prevent flash flood in real time by using a road inundation warning system [J]. Journal of Hydrology, 2012, (416): 157-170.
- [16] 林孝松, 陈洪凯, 王先进, 等. 重庆市涪陵区 G319 公路洪灾风险评估研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 244-250.
- [17] 林孝松, 陈洪凯, 许江, 等. 山区公路高切坡岩土安全评价分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(3): 66-71.
- [18] Sermin Tagil, Jeff Jenness. GIS-based automated landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey[J]. Journal of Applied Sciences, 2008, 8(6): 910-921.
- [19] Weiss A. Topographic position and landforms analysis[R]. San Diego, CA: ERSI User Conference, 2001.

Hazard Evaluation for Highway Flood of County Territory in Sichuan Province

Lin Xiaosong^{1,2}, Liu Qiang², Chen Hongkai^{1,2}, Tang Hongmei^{1,2}, Wang Meili² and Zhao Yu²
 (1. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
 2. School of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on highway flood in Sichuan province, 5 factors including topography and geomorphology, rainfall, lithology, river network and vegetation coverage are selected to construct the index system of hazards evaluation. The index weight are obtained through the combination of AHP and expert reliability, and the comprehensive index evaluation model for hazards evaluation is built by comprehensive index method. Supported by ArcGIS, comprehensive index for hazards evaluation in each grid is calculated by the analysis data of each index precisely obtained, then hazard evaluation of highway flood in Sichuan province are divided into different zones according to county administrative districts. The results show that the comprehensive index of hazards evaluation ranges from 31.21 to 71.63, and the hazard evaluation zones are mainly distributed in middle and low hazard area.

Key words: highway flood; hazard evaluation; comprehensive regionalization; county territory; Sichuan Province