

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. [ Tang Hong-mei, Liao Xue-hai, and Chen Hong-kai. Environment Zoning of Geological Hazards Development of Road Flood Based on Fuzzy Probability Method in Aba Area [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 52–56. ]

# 基于模糊概率的阿坝州公路洪灾孕灾环境分区<sup>\*</sup>

唐红梅, 廖学海, 陈洪凯

(重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074)

**摘 要:** 公路洪灾孕灾环境的合理分区可从理论上为公路洪灾的防治工作提供指导。以四川阿坝州为研究对象, 根据公路洪灾致灾原理, 遴选出公路沿线历史地质灾害发育、地貌条件、岩土体性质、年均降雨量、人口密度、植被覆盖度和地质构造 7 个因子, 依据专家系统分为 4 级后赋值构成评价指标体系。综合层次分析法和专家效用度法得到各指标的相对权重, 并结合模糊理论给出模糊权重。采用模糊概率综合评价模型将公路洪灾孕灾环境分成低易发区、中易发区、高易发区和危险区 4 个危险等级。分区结果显示: 阿坝州公路洪灾孕灾环境发展较为充分, 以县为单位分成了高易发区、中易发区和低易发区, 分别占全州面积的 38.1%、39.4% 和 22.5%, 研究成果对于该区公路洪灾的防治具有积极意义。

**关键词:** 道路工程; 公路洪灾; 孕灾环境分区; 模糊概率模型; 综合评价

**中图分类号:** X43    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000–811X(2014)04–0052–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.04.011

公路洪灾是指因降雨与洪水引发的一系列地质灾害等对公路基础设施造成损失的灾害事件<sup>[1–2]</sup>。自然因素引起的公路洪灾是世界各国面临的共同问题。在诸多对公路造成损失的灾害中, 公路洪灾的破坏程度尤其严重<sup>[3–4]</sup>。四川省地理环境复杂, 地质灾害发育频繁、类型齐全, 素有“地质灾害博物馆”之称。据近 10 年四川省公路洪灾损失统计资料显示, 四川省公路洪灾平均每年损失超过 9.27 亿元, 占全国公路洪灾损失的 1/5 以上, 其中 2007 年和 2009 年分别达到了 11.26 和 16.81 亿元。2008 年汛期, 造成阿坝藏族羌族自治州(以下简称“阿坝州”)汶川县克枯乡 G317 线 K148+400 发生山体滑坡约 4 000 m<sup>3</sup>, 都江堰至汶川段共 6 次断道等公路洪灾, 严重影响当地的交通运输, 造成了严重的经济损失。

近年来, 国内外诸多学者对公路洪灾中典型的地质灾害进行了研究和评价, 如 Francesca Cigna、刘希林、梁京涛和王克成等, 分别从滑坡的活动和强度评估<sup>[5]</sup>、区域泥石流评价<sup>[6]</sup>、公路工程地质的遥感调查与评价<sup>[7]</sup>和公路桥梁山洪破坏机理<sup>[8]</sup>等角度研究了公路洪灾中的一些问题。陈洪凯等学者针对四川等地区的典型公路洪灾类型进行了研究<sup>[9–10]</sup>和评价<sup>[11–12]</sup>, 取得了较为理想的成果。

公路洪灾严重威胁和制约着公路交通的安全和发展。针对小区域公路洪灾孕灾环境分区, 更具有针对性、指导性和可实施性, 可以更好地为该地区的公路洪灾防治提供参考。模糊概率模型已广泛运用于泥石流<sup>[13]</sup>、砂土地震液化<sup>[14]</sup>、和公路水毁<sup>[15]</sup>等评价领域中, 并取得了良好的效果。本文在陈洪凯团队研究成果的基础上综合了层次分析法(AHP)<sup>[16]</sup>和专家效用度法<sup>[17]</sup>得到各指标的相对权重, 结合模糊概率方法给出各影响因子的模糊权重, 运用模糊概率模型对阿坝州公路洪灾孕灾环境进行分区, 评价结果可靠合理, 可为该地区的公路洪灾防治工作提供理论参考。

## 1 研究区概况

本文研究区阿坝州地处青藏高原东南缘、横断山脉北端与川西北高山峡谷的结合部, 位于四川省西北部, 紧邻成都平地, 总面积 8.42 km<sup>2</sup>。区域内雪山耸立, 江河纵横, 高山、深谷、平地、盆地、丘陵相互交错, 相对高差达 5 000 m 多。陡峭地形导致公路边坡多在 60°左右, 山间坡陡谷深, V 字形沟谷发育。断层发育、地质构造变动强烈, 地震、泥石流、滑坡和崩塌地质灾害严重。出露地层主要为灰岩、泥岩、砂岩, 抗风化能力

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014–03–14    修回日期: 2014–05–01

基金项目: 四川省交通厅科技项目(glkj201227); 2013 年重庆高校创新团队建设计划资助项目(KJTD201305)

作者简介: 唐红梅(1968–), 女, 重庆市, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事地质灾害减灾理论与减灾技术研究。

E-mail: hmtang6778@sina.com

表1 阿坝州公路洪灾孕灾环境综合评价指标体系

指标分级赋值		低易发区( $a_{11}$ )	中易发区( $a_{12}$ )	高易发区( $a_{13}$ )	危险区( $a_{14}$ )
$u_1/(处/km)$	分级	<1	1~3	3~5	$\geq 5$
	赋值	[0, 50)	[50, 70)	[70, 90)	[90, 100]
$u_2$	分级	平地	微丘	重丘	山地
	赋值	[0, 30)	[30, 60)	[60, 80)	[80, 100]
$u_3$	分级	花岗岩、砂岩	灰岩	泥岩、碎屑岩	第四纪松散堆积物
	赋值	[0, 40)	[40, 60)	[60, 80)	[80, 100]
$u_4/mm$	分级	<1 000	1 000~1 200	1 200~1 400	$\geq 1 400$
	赋值	[0, 40)	[40, 50)	[50, 60)	[60, 100]
$u_5/(人/km^2)$	分级	<90	90~180	180~360	$\geq 360$
	赋值	[0, 50)	[50, 70)	[70, 80)	[80, 100]
$u_6/\%$	分级	$\geq 30$	20~30	10~20	<10
	赋值	[0, 50)	[50, 70)	[70, 80)	[80, 100]
$u_7$	分级	无褶皱、断裂区	向斜	背斜	断裂破碎带
	赋值	[0, 50)	[50, 70)	[70, 80)	[80, 100]

差,岩体破碎。气候条件复杂,气温自东南向西北并随海拔由低到高而相应降低,冬季少雨,夏季云雨较多,年均降雨量 800 mm 左右,集中在 5~9 月。该地区不良地质条件发育充分,植被覆盖率偏低,使得公路沿线坡面泥石流、表层土体滑坡、公路路基沉陷、公路路面被淹没、公路路基坍塌、公路防护结构水毁和小桥涵水毁等公路洪灾经常发生。阿坝州境内公路分布广泛,是主要的交通运输形式,公路洪灾的发生极大地制约了当地交通及经济的发展。

## 2 指标体系的构建及数据获取

影响公路洪灾的因素很多,地形条件、地貌条件和降雨量是导致公路洪灾的三个主要因素<sup>[12]</sup>。针对阿坝州公路洪灾特性和专家系统,公路沿线历史地质灾害发育( $u_1$ )、地貌条件( $u_2$ )、岩土体性质( $u_3$ )、年均降雨量( $u_4$ )、人口密度( $u_5$ )、植被覆盖度( $u_6$ )和地质构造( $u_7$ )7 个因子被选为孕灾环境评价指标。并将各指标按照表 1 所示的标准分成低易发区、中易发区、高易发和区危险区 4 个危险等级,等级低说明发生公路洪灾的可能性低。相反,则发生洪灾的可能性大。按照指标属性和危险等级采用相应内插法对其赋值,并由专家系统复核确定。

通过对阿坝州 2 条国道、7 条省道及部分乡镇道路 2002 年以来的水毁资料查阅和现场调查,分析整理出汶川县 G317 线 K148+400 等阿坝州 260 km 公路洪灾易发路段,将收集的 527 个公路洪灾数据平均到各县所属路段易发段后得出相应公路沿线历史地质灾害发育情况;结合阿坝地形地势分布图(1a)和地貌类型分布图(1b),根据地形起伏程度和地貌类型将各县地貌信息归纳为山地、重丘、浅丘和平地四类;以阿坝州地质岩性图(1c)为依据,运用 GIS 技术获取出露层岩性信息,将有关数据矢量化后进行矢量配对和拼接等,按前述标准分为四类,将各岩性与其占该县面积比例求和后以县域面积为单位平均后计算出各县的

岩性因子值;根据四川省气象局和阿坝州 2002—2010 年均降雨量分布图(1d)查询计算研究区各县年平均降雨量;根据第六次全国人口普查数据获取各县的人口密度;通过阿坝州林业局和查阅区县《林业志》等相关材料,获取各县的植被覆盖度;结合阿坝州地质构造图(1e)和断裂系统,以及研究区的地质构造运动,获取主要的地质构造规模大小,按前述标准赋值后以县级单位平均后得到各县分值。具体赋值情况如表 3 所示。

## 3 模糊概率评价模型<sup>[13-15]</sup>

### 3.1 模糊概率模型

模糊概率是指事件及其概率都是模糊的,包含了模糊性和概率性两个方面。在公路洪灾孕灾环境分区的过程中,不仅是指标值具有概率性和模糊性,而且山区公路洪灾本身也具有随机性、模糊性和复杂性等特征。采用模糊数学概率模型对山区公阿坝州路洪灾孕灾环境进行评价,比传统的评价方法更符合实际情况。该模型已经运用于泥石流<sup>[13]</sup>、砂土地震液化<sup>[14]</sup>和公路水毁<sup>[15]</sup>等评价领域,取得了很好的评价效果。采用该模型对公路洪灾孕灾环境分区的步骤如下。

(1)根据前面的条件建立模糊概率评价因子  $u_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )和评价等级  $A_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )的集合  $U$  和  $A$ ,即:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \quad (1)$$

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}. \quad (2)$$

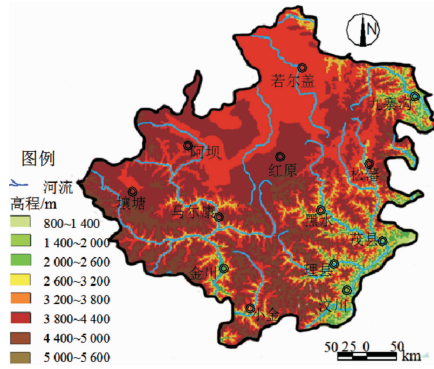
(2)根据  $u_i$ 和  $A_j$ 的模糊关系,选择合理的隶属函数  $A_j(u_i)$ ,求出  $A_j$ :

$$A_j = \frac{A_j(u_1)}{u_1} + \frac{A_j(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{A_j(u_n)}{u_n}. \quad (3)$$

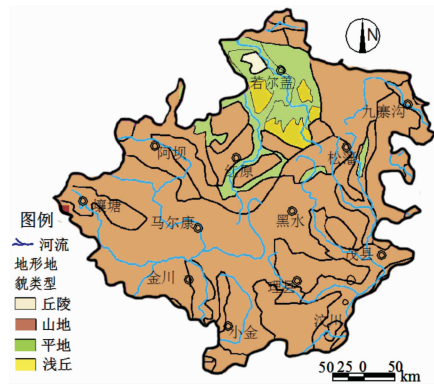
(3)确定  $u_i$ 的模糊权重  $\pi_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ),即把权重当成模糊数:

$$\pi_i = \text{"接近于 } \lambda_{i0} \text{"} = \frac{\beta_{i1}}{\lambda_{i1}} + \dots + \frac{\beta_{ik}}{\lambda_{ik}} + \frac{1}{\lambda_{i0}} + \frac{\beta_{i,k+1}}{\lambda_{i,k+1}} + \dots + \frac{\beta_{i,2k}}{\lambda_{i,2k}}. \quad (4)$$

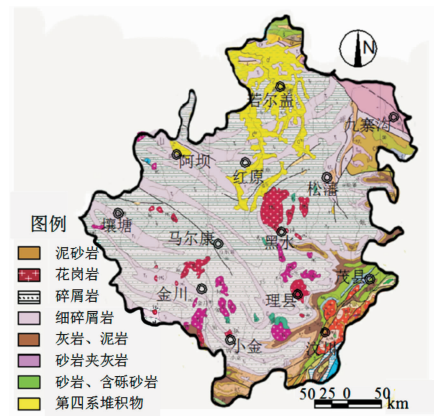
式中:  $\lambda_{i0}$ 为评价因素  $u_i$ 的相对权重,本文中由层



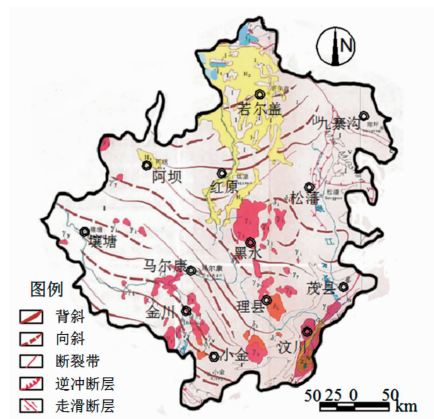
(a) 阿坝州地形地势分布图



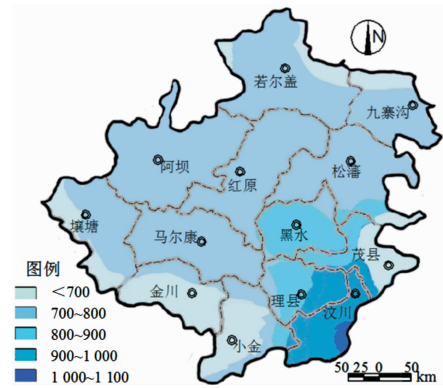
(b) 阿坝州地貌类型分布图



(c) 阿坝州地质岩性图



(d) 阿坝州地质构造图



(e) 阿坝州年均降雨量(mm)

图1 阿坝州公路洪灾因子获取图

次分析法(AHP)和专家效度法综合确定,满足 $\sum_{i=1}^n \lambda_{i0} = 1$ ;  $\beta_{ij}$ 为系数,可选择(0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9)中的某个数;  $\lambda_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k, \dots, 2k$ )由 $\lambda_{i0}$ 确定。

(4)模糊事件的语言概率公式:

$$(a_1\pi_1 + a_2\pi_2 + \dots + a_n\pi_n)(P) \triangleq \frac{\bigvee_{p_1+p_2+\dots+p_n=1} a_1p_1 + a_2p_2 + \dots + a_np_n = p}{p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1} \quad (5)$$

$$(\pi_1(P_1) \wedge \pi_2(P_2) \wedge \dots \wedge \pi_n(P_n)), \quad (5)$$

$$P(A_j) = A_j(u_1)\pi_1 + A_j(u_2)\pi_2 + \dots + A_j(u_n)\pi_n. \quad (6)$$

式中:  $p_i$ 为论域 $\{\lambda_{i1}, \dots, \lambda_{ik}, \lambda_{i0}, \lambda_{i,k+1}, \dots, \lambda_{i,2k}\}$ 上的任意取值;  $a_i$ 为任意危险等级的第 $i$ 个隶属度,对于第 $j$ 个危险等级而言,  $a_i$ 的值等于 $A_j(u_i)$ 。

根据式(5)和(6),可以求出各危险等级的模糊概率 $P(A_j)$ 。

(5)由信息集中原则,求取孕灾环境的评价结果。

$$P(A_j) = \frac{\alpha_{j1}}{\chi_{j1}} + \frac{\alpha_{j2}}{\chi_{j2}} + \dots + \frac{\alpha_{jk}}{\chi_{jk}}, \quad (7)$$

$$\sigma_j = \sum_{i=1}^k \alpha_{ji} \chi_{ji}. \quad (8)$$

式中:  $\alpha_{ji}$ 为 $\chi_{ji}$ 的隶属度。

进行归一化处理,

$$\bar{\sigma}_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{i=1}^m \sigma_i}. \quad (9)$$

式中:  $m$ 为孕灾环境分区等级,此处 $m = 4$ 。根据信息集中的最大化原则:

$$\bar{\sigma}_j = \max_j [\bar{\sigma}_j]. \quad (10)$$

则公路洪灾的孕灾环境危险等级为 $J$ 。

### 3.2 确定模糊概率评价指标的隶属函数

隶属函数是联系评价指标 $u_i$ 和危险等级 $A_j$ 的纽带。常见的隶属函数有:矩形分布与半矩形分布、梯形分布与半梯形分布、抛物型分布、正态分布、哥西分布和岭形分布等。根据公路洪灾孕灾环境的性质和便于运算的原则,本文选择如下梯形与半梯形分布的隶属函数形式:

$$A_1(u_i) = \begin{cases} 1, & u_i \leq a_{i1}; \\ \frac{1.62a_{i1} - u_i}{1.62a_{i1} - a_{i1}}, & a_{i1} < u_i \leq 1.62a_{i1}; \\ 0, & u_i > 1.62a_{i1} \circ \end{cases} \quad (11)$$

$$a_k(u_i) = \begin{cases} 0, & u_i \leq 0.38a_{i,k-1}; \\ \frac{u_i - 0.38a_{i,k-1}}{a_{i,k-1} - 0.38a_{i,k-1}}, & 0.38a_{i,k-1} < u_i \leq a_{i,k-1}; \\ 1, & a_{i,k-1} < u_i \leq a_{ik}; \\ \frac{1.62a_{ik} - u_i}{1.62a_{ik} - a_{ik}}, & a_{ik} < u_i \leq a_{ik}; \\ 0, & u_i > 1.62a_{ik} \circ \end{cases} \quad (12)$$

$$A_4(u_i) = \begin{cases} 0, & u_i \leq 0.38a_{i4}; \\ \frac{u_i - 0.38a_{i4}}{a_{i4} - 0.38a_{i4}}, & 0.38a_{i4} < u_i \leq a_{i4}; \\ 1, & u_i > a_{i4} \circ \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $a_{ik}$  ( $i=1, 2, \dots, 7; k=2, 3$ ) 为因子的等级划分标准值, 各因子的具体值根据专家系统结合阿坝州实际情况建立的分级标准(表1)而定。

### 3.3 模糊权重的确定

在各类评价方法中, 指标的权重值对评价结果的影响至关重要, 但又是很难确定的一个值, 尤其是对于模糊事件的概率而言, 仅用已有的神经网络方法等不能很好地反映指标之间的实际关系, 本文采用综合层次分析法(AHP)和专家效度法, 结合模糊权重来确定指标的相对权重。层次分析法即根据各有关元素的重要性状况构造判断矩阵, 通过文献[16]中的方法, 经过层次单排序、层次总排序构造了阿坝州公路洪灾银子判断矩阵, 通过一致性检验得出各指标权重值  $x_i$  (表2); 专家效度法即根据多位行业专家依据相关理论对指标赋值, 然后基于这些指标赋值采用文献[17]中提出的物元可拓专家效度法对专家权重进行修正后得到权重值  $y_i$  (表2)。然后依据实际情况对层次分析法和专家效度法进行耦合得到指标的相对权重值  $\lambda_{i0}$  (表2)。

即:

$$ax_i + by_i = \lambda_{i0}, \quad (i=1, 2, \dots, n) \circ \quad (14)$$

式中:  $a, b \in [0, 1]$ , 且  $a+b=1$ 。

根据相对权重和模糊概率理论, 建立如下各影响因素的模糊权重:

$$\pi_i = \text{"接近于"} \lambda_{i0} = \frac{\beta_{i1}}{\lambda_{i1}} + \frac{1}{\lambda_{i0}} + \frac{\beta_{i2}}{\lambda_{i2}} \circ \quad (15)$$

表3 阿坝州公路洪灾孕灾环境分区因子取值及评价结果

县(市)名	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_6$	$u_7$	$\bar{\sigma}_1$	$\bar{\sigma}_2$	$\bar{\sigma}_3$	$\bar{\sigma}_4$	评价结果(J)
若尔盖县	35.00	45.00	78.34	29.12	3.89	37.14	45.01	0.341	0.312	0.215	0.132	低易发
阿坝县	50.00	42.00	70.34	28.48	3.89	65.20	52.00	0.277	0.346	0.233	0.144	中易发
九寨沟县	60.00	70.00	60.82	30.00	8.33	47.14	56.22	0.205	0.318	0.285	0.191	中易发
红原县	30.00	30.00	71.71	30.12	2.78	35.64	76.00	0.419	0.307	0.169	0.105	低易发
松潘县	70.00	75.00	63.34	28.8	3.33	44.86	48.00	0.163	0.301	0.313	0.224	高易发
壤塘县	50.00	64.00	60.92	30.52	3.33	37.93	80.00	0.239	0.330	0.264	0.168	中易发
黑水县	70.00	72.00	62.92	33.32	8.33	46.42	60.00	0.152	0.309	0.316	0.222	高易发
马尔康县	60.00	86.00	65.38	30.12	5.00	34.10	30.00	0.205	0.276	0.302	0.217	高易发
茂县	80.00	83.00	46.61	19.63	14.44	47.07	47.00	0.177	0.267	0.302	0.253	高易发
金川县	60.00	74.00	45.00	24.64	6.67	37.86	48.00	0.260	0.308	0.258	0.174	中易发
理县	70.00	80.00	54.31	33.00	6.11	40.21	49.00	0.182	0.295	0.303	0.221	高易发
汶川县	80.00	78.00	56.81	37.22	13.89	37.14	75.00	0.121	0.281	0.331	0.266	高易发
小金县	60.00	83.00	46.00	24.56	7.78	31.86	50.00	0.264	0.290	0.258	0.188	中易发

系数  $\lambda_{i1}$ 、 $\lambda_{i2}$  的取值见表2; 为了确保覆盖权重取值的波动范围, 本文中  $\beta_{i1}$ 、 $\beta_{i2}$  分别取值为 0.7、0.8。

表2 相对权重及其系数取值

指标	层次分析法( $x_i$ )	专家效度法( $y_i$ )	相对权重 $\lambda_{i0}$	系数 $\lambda_{i1}$	系数 $\lambda_{i2}$
$u_1$	0.350 9	0.329 1	0.340 0	0.239 4	0.439 4
$u_2$	0.224 5	0.215 3	0.219 9	0.120 7	0.320 7
$u_3$	0.149 5	0.159 5	0.154 5	0.104 5	0.204 5
$u_4$	0.128 5	0.089 1	0.108 8	0.059 0	0.159 0
$u_5$	0.070 5	0.065 7	0.068 1	0.037 9	0.097 9
$u_6$	0.059 9	0.055 1	0.057 5	0.027 2	0.087 2
$u_7$	0.050 2	0.052 4	0.051 3	0.021 3	0.081 3

## 4 阿坝州孕灾环境分区结果

综合整理了野外考察数据、GIS 获取的信息和四川省公路局等提供的相关资料, 依据表1所示的标准进行插值计算, 并根据专家系统综合后列出阿坝州公路洪灾因子的取值如表3所示。根据表2所示的系数取值, 运用模糊概率方法计算和归一化处理后的阿坝州各县(市)的信息集中值  $\bar{\sigma}_j$  ( $i=1, 2, \dots, 7; j=1, 2, \dots, 4$ ) 及孕灾环境危险等级 J 的评价结果如表3所示。阿坝州公路洪灾孕灾环境各等级所占比例及行政单位孕灾环境分区图分别如表4和图2所示。

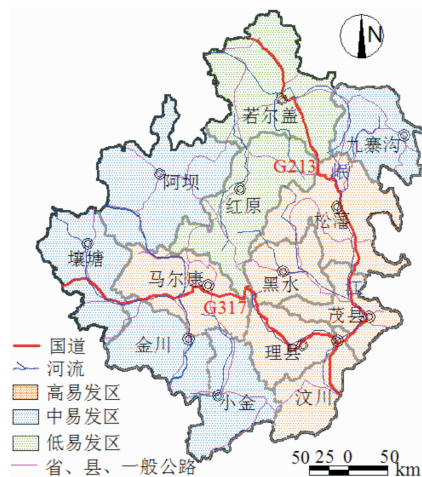


图2 阿坝州公路洪灾孕灾环境分区图

从表4中可知, 阿坝州公路洪灾孕灾环境共被



划分为高易发区、中易发区和低易发区,没有危险区,阿坝州公路洪灾孕灾环境主要处于高易发区和中易发区,占全州面积的 77.6%,其中高易发区为 38.1%,中易发区占 39.4%,低易发区占全州面积比例的 22.5%。除若尔盖和红原县外,阿坝州其余各县均孕育了较好的公路洪灾条件,潜藏较大的公路洪灾隐患,尤其是汶川、黑水等县,相应的公路管理部门在每年汛期应做好公路洪灾的防治工作。

表 4 阿坝州公路洪灾孕灾环境分区情况

	区县数/个	面积/km <sub>2</sub>	区县比/%	面积比/%
高易发区	6	32 134	46.2	38.1
中易发区	5	33 187	38.5	39.4
低易发区	2	18 921	15.3	22.5
总计	13	84 242	100	100

从图 2 中的分区结果可知,高易发区和中易发区分布于茂-汶断裂带、马尔康断裂带和龙门山断裂带的高山峡谷区域,低易发区集中分布于青藏高原东部边缘地形较平缓的山原地区。通过分析统计的多年来阿坝州各县(市)的公路洪灾发生情况可知,该评价结果与历史灾害的发生程度吻合较好。

## 5 结论与讨论

(1)根据公路洪灾孕灾环境致灾原理,结合研究区阿坝州的调研数据和专家系统,选取公路洪灾历史灾害发育等 7 个阿坝州公路洪灾孕灾环境影响因子,依据阿坝州实际情况分为危险、高易发、中易发及低易发区四级并赋值,构建了比较完善的公路洪灾孕灾环境分区评价体系。

(2)运用层次分析法(AHP)和专家效度法相结合的方法来综合确定公路洪灾孕灾环境各因子的相对权重,结合模糊概率方法给出各影响因子的模糊权重。较好的处理因子权重问题。

(3)运用模糊概率评价模型对阿坝州公路洪灾孕灾环境进行评价。充分考虑了因子和权重的模糊性,使得因子间的相互联系和确定的综合权重

更合理可靠,确保了评价结果准确有效。

(4)阿坝州公路洪灾孕灾环境分为高易发区、中易发区和低易发区。高易发区和中易发区占全州面积的 77.50%,该结果精细合理,与实际情况相吻合,可从理论上为该区公路洪灾的防治工作提供指导。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李继清,张玉山,王丽萍,等.洪灾综合风险的结构特征分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(6):805-809.
- [3] Gardenr J S, Dekens J. Mountain hazards and the resilience of social-ecological systems: Lessons learned in India and Canada [J]. Natural Hazards, 2007(41): 317-336.
- [4] 刘德地,陈晓宏.基于支持向量机的洪水灾情综合评价模型[J].长江流域资源与环境,2008,17(3):490-494.
- [5] Francesca Cigna, Silvia Bianchini, Nicola Casagli. How to assess landslide activity and intensity with Persistent Scatterer Interferometry (PSI): the PSI-based matrix approach [J]. Landslides 2013, 10: 267-283.
- [6] 刘希林.区域泥石流的风险评价研究[J].自然灾害学报,2000,9(1):54-61.
- [7] 梁京涛,王军,王猛,等.四川省绵竹至茂县公路工程地质遥感调查与评价[J].灾害学,2012,27(1):83-86.
- [8] 王克成,郑雪,夏玉荣.西南地区公路桥梁山洪灾害破坏机理研究[J].公路交通技术,2010(6):88-93.
- [9] 陈远川,陈洪凯.山区沿河公路地质风险形成机制[J].灾害学,2012,27(3):6-11.
- [10] 黄达,唐川,黄润秋,等.美姑河马洛西沟泥石流特征及危险性研究[J].成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(2):162-167.
- [11] 陈洪凯,唐红梅.川藏公路地质灾害危险性评价[J].公路,2011(9):17-23.
- [12] 覃庆梅,林孝松,唐红梅,等.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.
- [13] 方兴,刘章军.基于模糊概率的区域泥石流危险性评价[J].灾害学,2010,25(Supp.1):232-235.
- [14] 刘章军,叶燎原,彭刚.砂土地震液化的模糊概率模型[J].岩土力学,2008,29(4):876-880.
- [15] 张涛,任光明,徐树峰,等.基于层次分析法和模糊数学理论的库岸稳定性评价[J].水电能源科技,2013,31(1):115-118,214.
- [16] Sinha R, Bapalu G V, Singh L K, et al. Flood risk analysis in the kosi river basin, north bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process(AHP)[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2008, 36: 335-349.
- [17] 马国荣,杨申琳.基于物元分析的 AHP 确定指标权重方法[J].长安大学学报,2003,23(5):117-119.

## Environment Zoning of Geological Hazards Development of Road Flood Based on Fuzzy Probability Method in Aba Area

Tang Hongmei, Liao Xuehai and Chen Hongkai

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** A fit environment zoning of geological hazards developing of road flood can provide theoretical references for the road flood prevention engineering. The road flood in Aba area, Sichuan province is studied. According to the road flood causing principles, seven indexes are selected, such as historical geological hazards along the road, landforms, natures of rock and soil, average annual rainfall, population density, vegetation coverage and geological conditions, which are divided into four grades based on expert system, and then the comprehensive evaluation model of environment zoning of geological hazards development is established after assessment. Each index is calculated by Analytical Hierarchy Process (AHP) and Expert Scoring Method, and then got the fuzzy weights combined fuzzy theory. According to the fuzzy comprehensive evaluation model of probability, the environment zoning of geological hazards development is divided into low easy-happening area, medium easy-happening area, high easy-happening area and dangerous area. The result shows that Aba area have sufficient environmental conditions for road flood, and it is divided into low easy-happening area, medium easy-happening area and high easy-happening area according to the administrative districts, respectively accounts for 38.1%, 39.6%, 22.9% of the state area, this result has a positive significance for management and operation of the road flood in Aba area.

**Key words:** road engineering; road flood; zoning of disaster pregnant environment; fuzzy probability model; comprehensive evaluation