

# 重庆市公路水毁环境区划指标的研究

凌建明, 官盛飞, 崔伯恩

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:** 在明确公路水毁环境区划原则的基础上, 对重庆市公路水毁环境区划指标体系进行了系统地研究。以公路水毁的成因机理为基础, 通过专家咨询方法, 建立了公路水毁环境区划的二级指标体系, 应用层次分析法, 按照各个指标与公路水毁联系的紧密程度, 确定了它们的权重。根据现场调研和历史数据分析的结果, 将二级指标划分为 5 个等级, 并结合专家咨询方法, 确定了相应的分值; 建立了水毁环境区划综合值的计算方法, 并根据该综合值的大小, 提出了公路水毁环境区划的等级划分及其相应标准, 为公路水毁环境区划提供了技术依据。

**关键词:** 公路工程; 公路水毁; 环境区划; 指标体系; 层次分析法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0141-07

中图分类号: U418.5<sup>+</sup>4

## Indicators for Highway Flood Hazard Environmental Regionalization in Chongqing City

LING Jianming, GUAN Sheng-fei, CUI Bo-en

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Through investigation and analysis, the importance of environmental regionalization for natural hazard prevention and treatment has been revealed. Based on the work, principles for highway flood hazard environmental regionalization, such as regional differentiation, similarity, integration of comprehensive analysis, dominant factors, and practicability, are put forward. According to the principles, the index system for highway flood hazard environmental regionalization in Chongqing City is studied systematically. Based on the causes of highway flood hazard, a two stage index system is established by using Delfei method. The weight of each indicator is determined in the light of its relation with highway flood hazard by using analytic hierarchy process. The classification system of the secondary indicator including 5 grades is set up based on the outcome of in situ investigation and analysis of historical data. The value of the secondary indicator for each grade is also determined by using Delfei method and thus the methodology for calculating synthetically the value of highway flood hazard environmental regionalization is formed. The classification and corresponding criterion for highway flood hazard environmental regionalization are brought forward subsequently, which provide a basis for environmental regionalization work.

**Keywords:** highway engineering; flood hazard; environmental regionalization; index system; analytic hierarchy process

公路水毁是指在气候、水文和地质环境因素以及人类活动的综合作用下, 公路沿线所发生的一系列对公路工程的破坏现象和破坏过程。公路水毁环境是对诱发公路水毁的环境因子的统称, 主要由公路、地

质条件、地形地貌、气候、植被和人类活动等因子组成<sup>[1]</sup>。公路水毁环境区划, 就是根据这些环境因子的特征、功能性质及其与水毁关联程度的大小, 对空间环境区域进行划分, 指出各个区域的有利因素和不利

收稿日期: 2007-12-11

修回日期: 2008-01-05

资助项目: 交通部西部交通建设科技资助项目(2003-318-950-19)

作者简介: 凌建明(1966—), 男(汉族), 浙江省湖州市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事公路路基和机场工程研究。E-mail: jmling01@yahoo.com.cn.

通信作者: 官盛飞(1982—), 男(汉族), 江西省玉山县人, 博士研究生, 主要从事公路路基工程的研究。E-mail: guanshengfei@126.com.

因素,正确认识区域内部不同地区公路水毁的现状及水毁可能性,从而有利于把握公路水毁的时空演变规律。因此,水毁环境区划的成果是进行公路规划、建设、管理和养护不可缺少的基础资料和科学依据。通过区划工作,我们可以有针对性地协调人类活动与环境之间的关系,预防人为灾害的发生,减少由灾害造成的损失。

目前国内外对自然灾害区划的研究大多局限于洪水<sup>[2]</sup>、地质灾害<sup>[3]</sup>、泥石流<sup>[4]</sup>和地震<sup>[5]</sup>等少数几种类型灾害,而对公路水毁这一特定灾害形式的区划研究还十分薄弱。文献[1]对这一问题进行了一次有益的尝试。它以云南省公路水毁为研究对象,以崩塌、滑坡和泥石流为典型类型,以其标准点分布密度为量化指标,对云南省公路水毁灾害进行了环境区划。不同的水毁标准点分布密度反映了不同的水毁强烈程度,同时也在一定程度上间接反映了区域环境对公路水毁影响程度的差异,但是这并没有完全把握影响、控制水毁发生的根本因素。此外,由于气候、地质等环境因素的差异,重庆市与云南省在公路水毁形态、成因等方面都具有较大的差别,因此该研究所取得的成果无法直接应用于重庆市。

本文在对重庆市公路水毁类型、成因机理研究的基础上,结合水毁环境区划对其防治的作用,提出了公路水毁环境区划的原则;从影响水毁的环境因素出发,建立了水毁环境区划的二级指标体系,并采用层次分析法(AHP),确定了各指标的权值和重要性排序;通过专家咨询方法,构建了二级指标的等级划分标准和相应分值,建立水毁环境区划综合值的计算模型;最终以该综合值为指标,提出了重庆市公路水毁环境区划等级划分及其相应标准。

## 1 区划的原则

区划原则是进行公路水毁环境区划的基础,它为区划指标和区划方法的选取以及区划等级标准的确定提供依据。在进行公路工程水毁环境区划时,应充分考虑公路水毁的影响因素和形成条件,分析公路水毁的成因机理,应充分考虑公路水毁的影响因素,形式条件及其成因机理。因而,在进行公路水毁环境区划时,需要遵循以下原则。

(1) 区域分异性原则。在进行水毁环境区划时,首先必须对水毁环境区划的形成、结构和功能及其与

水毁产生因素之间的关系进行全面调查,从而揭示其区域分布规律,并在环境区划体系中真实反映这种区域分异性。

(2) 区域内相似性原则。在区划时,不同区域之间的条件应尽可能具有显著差异;而在同一区域内,则应追求最大程度的相似性,以降低水毁类型、成因分析的复杂度。

(3) 综合分析和主导因素相结合原则。影响公路水毁的因素众多,因此在进行环境区划时,既要全面分析,把握众多影响因素共同作用的效果,同时也要重点分析,突出主导因素的支配作用。

(4) 实用性原则。公路水毁环境区划成果应尽量与区、县行政区划结合考虑,以便将水毁环境区划的结果直接应用于公路部门的养护、管理和决策中,进一步体现水毁区划成果的实用性。

## 2 区划的指标与量化

### 2.1 指标体系的建立

公路水毁环境区划是在区划原则的指导下,遵循公路水毁的形成机制,综合分析公路水毁的影响因素及其空间分布规律,并以区划指标来反映这一规律。因而区划指标的选取应与公路水毁的影响因素紧密结合。

影响公路水毁的因素众多,概括起来主要包括以下几个方面:强降雨、地质条件、地形地貌、区域河流分布、植被覆盖、公路等级、防护设施以及公路与河流的位置关系等。

通过对重庆市公路水毁工程的调研、历年水毁资料的分析,并结合专家咨询的结果,将降雨强度、地质地貌、公路网密度和植被覆盖确定为公路水毁环境区划的一级指标。

由于受环境因素的影响,上述一级指标仍具有较大的随机性和可变性,因而需要对其进一步细化,以准确反应各个因素对公路水毁影响程度的大小。选用最不利季节月平均降雨量和一次性降雨强度来表征降雨强度对公路水毁的影响;以岩土地质类型和地貌类型来表征地质地貌对公路水毁的影响;将公路网密度对公路水毁的影响细化为区域河流流域密度、沿河公路分布密度、等级公路分布密度和人类经济活动影响4个方面。最终确定的公路工程水毁环境区划二级指标体系如表1所示。

表1 重庆市公路水毁环境区划指标体系

一级关系	一级指标	二级指标	二级关系
$A = f(B_1, B_2, B_3, B_4)$	降雨强度( $B_1$ )	最不利季节月平均降雨量( $C_1$ )	$B_1 = f(C_1, C_2)$
		一次性降雨强度( $C_2$ )	
	地质地貌( $B_2$ )	岩土地质类型( $C_3$ )	$B_2 = f(C_3, C_4)$
		地貌类型( $C_4$ )	
	公路网密度( $B_3$ )	区域河流流域密度( $C_5$ )	$B_3 = f(C_5 \sim C_8)$
		沿河公路分布密度( $C_6$ )	
		等级公路分布密度( $C_7$ )	
		人类经济活动影响( $C_8$ )	
	植被覆盖( $B_4$ )	植被覆盖率( $C_9$ )	$B_4 = f(C_9)$

## 2.2 指标权重确定

在所建立的水毁环境区划指标体系中,不同指标对公路水毁的影响程度并不相同。由于这种影响关系十分复杂,对其难以直接量化,因此本文采用层次分析法来确定不同指标的权重,以减少主观因素的影响。

2.2.1 层次分析法 层次分析法(analytic hierarchy process, 简称 AHP 法),是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代提出的一种定量与定性相结合的多目标决策分析方法。该方法是一种将复杂的、定性因素转化为定量的、可计算的数学方法,具有要求信息量少,决策过程花费时间短等优点<sup>[6-7]</sup>。目前该方法已被广泛应用于灾害风险分析<sup>[3]</sup>、公路社会效益评价<sup>[8]</sup>、多方案选择<sup>[9-10]</sup>等众多领域。

(1) 建立层次结构模型。对所面临的问题进行深入分析之后,将问题中所包含的因素划分为不同层次,如目标层、准则层、指标层、方案层、措施层等,用框图形式说明层次的递阶结构与因素的从属关系。当某个层次包含的因素较多时,可将该层次进一步划分为若干子层次。

(2) 构造判断矩阵。层次分析法的关键步骤是构造判断矩阵。判断矩阵元素的值反映了人们对各因素相对重要性的认识,一般采用 1—9 及其倒数的标度方法<sup>[6]</sup>来予以确定。

(3) 层次单排序及其一致性检验。判断矩阵  $A$  的特征根问题  $A W = \lambda_{\max} W$  的解  $W$ , 经归一化后即为一层次不同因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权重,这一过程称为层次单排序。为进行层次单排序(或判断矩阵)的一致性检验,需要计算一致性指标  $C_1$ , 即

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_{\max}$  ——矩阵  $A$  的最大特征根;  $N$  ——矩阵的阶数。

根据式(1)并查表得平均随机一致指标  $R_1^{[6]}$ , 即可得一致性检验指标  $C_R = C_1 / R_1$ 。当随机一致性比率  $C_R < 0.10$  时,认为层次单排序的结果具有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵的元素取值。

(4) 层次总排序。计算同一层次所有因素对于最高层(总目标)相对重要性的排序权重,称为层次总排序。这一过程是从最高层次到最低层次逐层进行的。若上一层次  $A$  包含  $m$  个因素  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , 其层次总排序权重分别为  $a_1, a_2, \dots, a_m$ , 下一层次  $B$  包含  $n$  个因素  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , 它们对于因素  $A_j$  的层次单排序权重分别为  $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}$  (当  $B_i$  与  $A_j$  无联系时,  $b_{ij} = 0$ ), 此时  $B$  层次总排序权重为

$$W_{B_i} = \sum_{j=1}^m a_j b_{ij} \quad (2)$$

式中:  $W_{B_i}$  ——因素  $B_i$  的总排序权重( $i = 1, 2, \dots, n$ )。

(5) 层次总排序的一致性检验。这一步骤也是从高到低逐层进行的。如果  $B$  层次因素对于  $A_j$  单排序的一致性指标为  $C_{1j}$ , 相应的平均随机一致性指标为  $R_{1j}$ , 则  $B$  层次总排序随机一致性比率为

$$C_R = \frac{\sum_{j=1}^m a_j C_{1j}}{\sum_{j=1}^m a_j R_{1j}} \quad (3)$$

类似地,当  $C_R < 0.1$  时,认为层次总排序的结果具有满意的一致性,否则需要重新调整判断矩阵的元素取值。

2.2.2 水毁区划指标权重计算 采用上述层次分析法确定公路水毁环境区划两级指标的权重,其计算过程如下。

(1) 建立判断矩阵  $A-B$ 。通过对水毁工程的现场调研、成因分析和专家咨询,建立如表 2 所示的判断矩阵  $A-B$ 。

表 2  $A-B$  判断矩阵

$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$B_1$	1	3	3	7
$B_2$	1/3	1	1/2	3
$B_3$	1/3	2	1	3
$B_4$	1/7	1/3	1/3	1

求解该矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  及其对应的特征向量  $W$ ,并对结果进行一致性检验,其结果为:  $\lambda_{\max} = 4.07$ ,  $W = [0.50, 0.17, 0.26, 0.07]^T$ ,  $C_1 = 0.02$ ,  $R_1 = 0.90$ ,  $C_R = 0.03 < 0.1$ , 满足一致性要求。因此,水毁环境区划一级指标降雨强度( $B_1$ )、地质地貌( $B_2$ )、公路网密度( $B_3$ )和植被覆盖( $B_4$ )的权重分别为 0.50, 0.17, 0.26 和 0.07。

(2) 建立判断矩阵  $B_1-C$ 。建立如表 3 所示的判断矩阵  $B_1-C$ 。

该判断矩阵最大特征根及其对应的特征向量分别为  $\lambda_{\max} = 2.00$ ,  $W = [0.25, 0.75]^T$ , 相应的一致性指标  $C_1 = 0$ ,  $R_1 = 0$ ,  $C_R = 0$ 。对于二阶矩阵,由于其自身的特殊性,决定它必然满足一致性的要求。

表 3  $B_1-C$  判断矩阵

$B_1$	$C_1$	$C_2$
$C_1$	1	1/3
$C_2$	3	1

(3) 建立判断矩阵  $B_2-C$ 。按照同样的方法建立判断矩阵  $B_2-C$ ,如表 4 所示。

表 4  $B_2-C$  判断矩阵

$B_2$	$C_3$	$C_4$
$C_3$	1	1
$C_4$	1	1

该矩阵的求解结果为:  $\lambda_{\max} = 2.00$ ,  $W = [0.50, 0.50]^T$ ,  $C_1 = 0$ ,  $R_1 = 0$ ,  $C_R = 0$ 。

(4) 建立判断矩阵  $B_3-C$ 。对公路网密度( $B_3$ )所包含的区域河流流域密度( $C_5$ )、沿河公路分布密度( $C_6$ )、等级公路分布密度( $C_7$ )和人类经济活动影响( $C_8$ )4 个二级指标建立判断矩阵,如表 5 所示。

表 5  $B_3-C$  判断矩阵

$B_3$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
$C_5$	1	1/3	1/3	1/2
$C_6$	3	1	1	3
$C_7$	3	1	1	3
$C_8$	2	1/3	1/3	1

求解该矩阵,所得结果为:  $\lambda_{\max} = 4.06$ ,  $W = [0.11, 0.37, 0.37, 0.15]^T$ ,  $C_1 = 0.02$ ,  $R_1 = 0.90$ ,  $C_R = 0.02 < 0.1$ , 也同样满足一致性要求。

(5) 权重总排序。根据上述计算结果,按式(3)进行层次总排序的一致性检验,得  $C_R = 0.02 < 0.1$ , 满足层次一致性的要求。因此,可以确定公路工程水毁环境区划指标的权重如表 6 所示。

### 2.3 二级指标的分级与量化

在确定各区划指标的权重后,还需要进一步对二级指标进行分级与量化,以准确反映它们对公路水毁的影响程度。这一工作可由专家打分法来实现。

根据公路水毁的成因机理、形成条件、控制因素及其敏感因子,按区域内公路设施发生水毁的概率大小,拟将公路水毁环境区域划分为强烈、较强、中等、轻微和无 5 个等级。为了保持综合指标与分项指标之间的一致性,将二级指标也划分为同样的 5 个等级,并确定相应的分值。

(1) 最不利季节月平均降雨量( $C_1$ )。最不利季节月平均降雨量是指重庆市水毁高发时段的月平均降雨量。根据重庆市历年公路水毁统计资料分析,每年 5—10 月份是该地区水毁的高发时段。因此,相应时段的月平均降雨量即为最不利季节月平均降雨量。在分析重庆市近 15 a 降雨量数据与公路水毁之间的关系后,将降雨量大小划分为 5 个等级,并对每一等级赋予相应的分值,如表 7 所示。

(2) 降雨强度( $C_2$ )。地表降雨强度是单位时段内的降雨量,以 mm/min 或 mm/h 计。短时间内连续的强暴雨往往导致河流水位迅速上升,从而爆发洪灾,引起公路水毁的发生。因此在分析强降雨与公路水毁之间联系的基础上,参考气象部门对降雨强度的定义,以 24 h 降雨量计,将其划分为 5 个等级,并确定各个等级下  $C_2$  的计算分值,如表 8 所示。

表 6 重庆市公路水毁环境区划指标权重

一级指标	权重	二级指标	权重	指标总权重 $\alpha_i$
降雨强度( $B_1$ )	0.50	最不利季节平均降雨量( $C_1$ )	0.25	0.125
		一次性降雨强度( $C_2$ )	0.75	0.375
地质地貌( $B_2$ )	0.17	岩地质类型( $C_3$ )	0.50	0.085
		地貌类型( $C_4$ )	0.50	0.085
公路网密度( $B_3$ )	0.26	区域河流流域密度( $C_5$ )	0.11	0.029
		沿河公路分布密度( $C_6$ )	0.37	0.096
		等级公路分布密度( $C_7$ )	0.37	0.096
		人类经济活动影响( $C_8$ )	0.15	0.039
植被覆盖( $B_4$ )	0.07	植被覆盖率( $C_9$ )	1.00	0.070

表 7  $C_1$  等级划分与分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
最不利季节月平均降雨量/mm	$\geq 160$	140~160	120~140	100~120	< 100
$C_1$ 分值	1	0.8	0.5	0.3	0.1

表 8  $C_2$  等级划分与分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
24 h 降雨量/mm	$\geq 100$	50~100	25~50	10~25	< 10
$C_2$ 分值	1	0.8	0.5	0.3	0.1

(3) 岩地质类型( $C_3$ )。按照有关标准, 将重庆市岩土体划分为黏土岩组、砂泥岩组、松散岩组、碳酸盐岩组、侵入岩组、喷出岩组、千枚岩、片岩—板岩组和其它变质岩组 8 类。从水毁灾害历史数据来看, 砂泥岩组对水毁比较敏感, 占水毁的 35.3%, 将其归为强烈类; 其次为黏性岩和松散岩组, 占水毁的 20.5% 和 19%, 归为较强类, 侵入岩组、喷出岩组和千枚岩、片岩—板岩组水毁比例处于 8%~11.5% 范围内, 归为中等组, 其它变质岩组占水毁的 4.8%, 归为轻微类, 而碳酸盐岩组由于工程性质良好, 发生水毁的比例仅为 1.1%, 归为无类。在确定各岩组水毁等级后, 对每一等级确定二级区划指标  $C_3$  相应的分值, 如表 9 所示。

表 9 岩组水毁等级划分与  $C_3$  分值

岩组水毁等级	强烈	较强	中等	轻微	无
$C_3$ 分值	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1

(4) 地貌类型( $C_4$ )。按形态划分, 重庆市地貌类型可分为中山、低山、丘陵、台地、平原(坝) 5 大类。不同的地貌, 决定了径流的形成、河流走向以及公路与河流之间的位置关系等, 因此它们与公路水毁间的关系也不相同。通过对每一类地貌确定相应的权重,

如表 10 所示, 以此来反映它们与公路水毁之间联系的紧密程度。

表 10 不同地貌类型与公路水毁联系的权重

地貌类型	平原	丘陵	台地	低山	中山
权重 $K$	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40

对于某一评价区域, 由于同时存在不同的地貌类型, 因此, 可以按照上述地貌类型与水毁之间的关系, 采用加权平均法来反映区域地貌对公路水毁的综合影响值。

$$G = \frac{\sum_{i=1}^5 S_i K_i}{S} \quad (4)$$

式中:  $G$ ——区域地貌对公路水毁的综合影响值;  
 $S_i$ ——第  $i$  种地貌类型所对应的区域面积 ( $\text{km}^2$ );  
 $K_i$ ——第  $i$  种地貌类型所对应的权重, 按表 10 取值;  
 $S$ ——区域总面积 ( $\text{km}^2$ )。

根据综合影响值  $G$  的计算结果, 划分该区域地貌对公路水毁的影响等级, 并同时确定  $C_4$  的分值, 如表 11 所示。

(5) 区域河流流域密度( $C_5$ )。随着河流流域面积的增加, 一方面扩大了汇水面积, 增加了下游河流

的流量,加剧水流对沿河路基、桥涵等构造物的冲刷破坏,增加了公路发生水毁的风险;另一方面,大面积的河流流域限制了公路路线的走向,增加了沿溪线的比例,这也进一步增大了公路发生水毁的概率。

区域内河流流域密度是指区域内河流流域的面积与区域总面积的比值,它能在一定程度上反映河流对公路水毁的影响。根据区域河流流域的密度来划分等级,并确定  $C_5$  的分值,如表 12 所示。

表 11  $C_4$  的等级划分与分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
综合影响值 $G$	$\geq 0.25$	0.20~0.25	0.15~0.20	0.10~0.15	$< 0.10$
$C_4$ 分值	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2

表 12  $C_5$  等级划分与分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
河流流域密度	$\geq 0.6$	0.4~0.6	0.2~0.4	0.1~0.2	$< 0.1$
$C_5$ 分值	1	0.8	0.6	0.4	0.2

表 13  $C_6$  的等级划分及其分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
沿河公路密度	$\geq 0.3$	0.25~0.30	0.20~0.25	0.10~0.20	$< 0.10$
$C_6$ 分值	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2

(7) 等级公路分布密度( $C_7$ )。随着公路技术等级的不断提高,其设计要求、采用的技术指标也愈来愈高,相应地抗水毁能力也不断得到增强。因此,高等级公路水毁发生的概率必然小于低等级公路。公路水毁的历史统计资料也证实了这一点。因此,为反映路网整体技术结构对公路水毁的影响,对不同等级的公路赋予不同的权重  $K$ ,通过加权平均的方法计算等级公路的分布密度  $D_c$ 。

$$D_c = \sum_{i=1}^5 L_i K_i / L \quad (5)$$

式中:  $L_i$  ——第  $i$  级公路里程(km);  $K_i$  ——第  $i$  级公路对应权重(表 14);  $L$  ——区域公路总里程(km)。

表 14 不同等级公路所对应的权重值  $K$ 

等级	高速、一级	二级	三级	四级	等外
权重 $K$	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80

按照等级公路分布密度  $D_c$  划分等级,并确定相应等级指标  $C_7$  的分值,如表 15 所示。

(6) 沿河公路密度( $C_6$ )。沿河公路密度为区域内沿河公路里程与总里程的比值。沿河路段是公路发生水毁的主要区段,在一定区域公路网中,沿河公路的比例愈高,相应发生水毁的概率也愈高。因此可以采用沿河公路分布密度来衡量公路与河流位置关系对公路水毁影响程度的大小。根据区域内沿河公路分布密度的大小划分等级,并确定相应等级  $C_6$  的分值,如表 13 所示。

表 15  $C_7$  等级划分及其分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
$D_c$ 值	$\geq 0.5$	0.4~0.5	0.2~0.4	0.1~0.2	$< 0.1$
$C_7$ 分值	1	0.8	0.6	0.4	0.2

(8) 人类经济活动的影响( $C_8$ )。人类在经济活动中,一方面不断使用公路设施,降低了其结构稳定性;另一方面通过改变自然生态环境,使公路所处的外部条件发生变化,从而对公路水毁产生影响。选取区域经济密度( $D_E$ )为指标,从经济活动的强度来评价人类经济活动对公路水毁的影响。

$$D_E = \frac{GDP}{S \cdot P} \quad (6)$$

式中:  $P$  ——区域人口总数(人);  $S$  ——区域总面积( $\text{km}^2$ );  $GDP$  ——区域生产总值(万元)。

根据指标的计算结果,划分人类经济活动对公路水毁的影响等级,并确定指标  $C_8$  相应的分值,如表 16 所示。

表 16  $C_8$  的等级划分与分值

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
$D_E$ 值(元/ $\text{km}^2 \cdot \text{人}$ )	$\geq 1000$	600~ 1000	200~ 600	50~ 200	< 50
$C_8$ 分值	1	0.8	0.6	0.4	0.2

(9) 植被覆盖率( $C_9$ )。植被覆盖率( $V_R$ )是指区域内植被覆盖的面积占总面积的比率。随着植被覆盖率的提高,河流洪水、冲刷等都将有所下降,相应公路发生水毁的概率及其严重程度也呈下降的趋势。因此,区域植被覆盖率可以在一定程度上反映公路水毁灾害的严重程度。根据区域植被覆盖率划分等级,并对每个等级确定  $C_9$  的分值,如表 17 所示。

表 17  $C_9$  的权重取值范围

等级	强烈	较强	中等	轻微	无
$V_R$ 值/%	< 10	10~ 20	20~ 35	35~ 50	$\geq 50$
$C_9$ 分值	1	0.8	0.6	0.4	0.2

### 3 公路水毁环境区划标准

根据各区划指标的权重,采用式(7)计算公路水毁环境区划的综合值(A)

$$A = \sum_{i=1}^9 a_i C_i \quad (7)$$

式中: $C_i$  ( $i=1, 2, \dots, 9$ )——公路水毁环境区划 9 个二级指标所对应的分值; $a_i$  ( $i=1, 2, \dots, 9$ )——与各二级指标所对应的总权重值,按表 6 取值。

以公路水毁环境区划综合值 A 为指标,采用专家咨询方法,同时结合公路水毁历史数据的统计分析,将重庆市公路水毁环境划分为强烈、较强、中等、轻微和无 5 个等级,等级划分的标准如表 18 所示。

表 18 重庆市公路水毁环境区划等级标准

水毁环境等级	强烈	较强	中等	轻微	无
区划综合值 A	$\geq 0.6$	0.4~ 0.6	0.2~ 0.4	0.1~ 0.2	< 0.1

### 4 结语

(1) 本文在明确公路水毁环境区划意义的基础上,提出水毁环境区划 4 大原则,即区域分异性、区域内相似性、综合分析和主导因素相结合及实用性。

(2) 以重庆市为依托,通过现场调研,历史数据统计分析,专家咨询等方法,在明确公路水毁成因机理及其影响因素的基础上,提出以降雨强度、地质地貌、公路网密度和植被覆盖为一级指标,以最不利季

节月平均降雨量、一次性降雨强度、岩土地质类型、地貌类型、区域河流流域密度、沿河公路分布密度、等级公路分布密度、人类经济活动影响和植被覆盖率为二级指标,以此建立了公路水毁环境区划指标体系。

(3) 通过层次分析法,确定了各个区划指标的权重。采用专家咨询方法,按强烈、较强、中等、轻微和无 5 个等级为 9 个二级指标分别建立了等级划分标准,并确定了相应的计算分值。

(4) 运用所确定的区划指标体系、权重、等级划分标准和相应分值,提出了公路水毁环境区划综合值的计算方法;以该综合值为指标将重庆市公路水毁环境区划为 5 个等级,并建立了相应的区划等级标准。

#### [ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 方向池. 山区公路水毁地质灾害系统工程地质研究 [ D ]. 成都:成都理工大学,1999.

[ 2 ] 张行南,罗健,陈雷,等. 中国洪水灾害危险程度区划 [ J ]. 水利学报,2000(3):1-7.

[ 3 ] 李相然,曹振斌,姚志祥. 济南市区地质灾害与环境岩土工程问题的风险度与风险评价 [ J ]. 土木工程学报,2005,38(9):125-129.

[ 4 ] 刘丽,王建中,王士革. 四川省泥石流灾害保险的风险分析与区划 [ J ]. 自然灾害学报,2003,12(1):103-108.

[ 5 ] Hagos L, Arvidsson R, Roberts R. Application of the spatially smoothed seismicity and Monte Carlo Methods to estimate the seismic hazard of Eritrea and the surrounding region [ J ]. Natural Hazards, 2006, 39: 395-418.

[ 6 ] 许树柏. 实用决策方法:层次分析法原理 [ M ]. 天津:天津大学出版社,1988.

[ 7 ] Omkarprasad S Vaidya, Sushil Kumar. Analytic hierarchy process: An overview of applications [ J ]. European Journal of Operational Research, 2006, 29 ( 1 ): 1-29.

[ 8 ] 马荣国,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:自然科学版,2003,23(5):117-119.

[ 9 ] 曲大义,王炜,邓卫. 基于系统层次分析法的公路网规划项目建设序列论证 [ J ]. 中国公路学报,2000,13(3):64-68.

[ 10 ] 冯仲仁,朱瑞康,姚爱民. 高速公路软基处理方案的多层次模糊决策 [ J ]. 岩石力学与工程学报,2002,21(6):915-918.