

文章编号:1672-9331(2018)04-0059-07

基于 GIS 的公路边坡地质灾害危险性评价

杜 敏¹, 闻德保^{1,2}, 周苏娅¹

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 广州大学 地理科学学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 针对丹巴县公路边坡地质灾害频发状况以及区域分布的特点,对丹巴公路边坡灾害进行了危险性分区研究。通过分析自然环境概况与公路地质灾害特征,选取坡度、岩土类型、降雨、河网密度、植被覆盖率和地震 6 个因素作为地质灾害危险性评价指标体系;采用影响因素叠加法构建危险性评价指数的数学模型,并运用云模型-层次分析法(CM-AHP 法)计算各评价指标的权重;基于 ENVI 5.2 与 ArcGIS 10.2 软件计算生成《丹巴县公路边坡地质灾害危险指数图》,同时考虑公路工程特点,划分了 II 低危险区、III 中度危险区、IV 高危险区和 V 极高危险区 4 个等级 16 个灾害区,依据定量区划范围并结合定性分析的评价方法对丹巴县公路进行地质灾害危险性进行评价。研究结果表明,评价结果与公路边坡灾害实际情况吻合,可为四川省丹巴县公路边坡灾害的预防治理工作提供一种新的途径。

关键词: 公路边坡; 地质灾害; ArcGIS; 云模型; 层次分析法; 危险性区划

中图分类号: U416.02; X43

文献标识码: A

Risk assessment of highway slope geological disasters based on GIS

DU Min¹, WEN De-bao^{1,2}, ZHOU Su-ya¹

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China; 2. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The risk regionalization of highway slope disasters was studied according to the situation of frequent geological disasters and the regional distribution characteristics of highway slope in Danba County. By analyzing the natural environment and highway geological hazard characteristics, the slope, rock and soil types, rainfall, river network density and vegetation coverage as the main factors were selected to build risk assessment index system. Based on the superposition method of the influencing factors, the mathematical model of the risk assessment index was established, and the weight of each evaluation index is calculated by using cloud model-analytic hierarchy process (CM-AHP method). Based on the software of ENVI 5.2 and ArcGIS 10.2, the hazard index map of "Danba county highway slope geological hazard" was plotted. In view of the hazard zoning index and the characteristics of highway engineering, the highway slope disasters in Danba county was divided into 4 grade 16 disaster areas, such as the low risk area, medium dangerous area, high dangerous area, extremely high danger area. According to the evaluation method of quantitative regionalization range and qualitative analysis, the geological disasters risk assessment of highway in

收稿日期:2018-09-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41674040)

通讯作者:闻德保(1974-),男,河南光山人,长沙理工大学教授,博士,主要从事 GNSS 电离层等方面的研究。

E-mail:460690366@qq.com

Danba county was carried out. The evaluation results coincide with the actual situation of highway slope disaster, which can provide a new way for the prevention and treatment of Danba County Highway slope disaster in Sichuan province.

Key words: highway slope; geological disasters; ArcGIS; cloud model; analytic hierarchy process; hazard zoning

近年来,我国公路交通得到了迅速发展。由于我国地形复杂,多数公路的设计与施工穿越山区。特别是在山区公路建设过程中,往往会因深挖高填路基而形成边坡。随着大量公路的建设与延伸,由边坡所引起的道路建设问题日益突出,已严重影响到了工程建设以及技术人员对其质量的把握与控制。因此,为正确引导设计施工,减少公路边坡工程破坏、失稳隐患和经济损失,做好公路边坡灾害防治与管理工作势在必行。

公路边坡地质灾害危险性评价研究,是建立在地质灾害特点和影响因素的基础上,根据危险性空间分布的差异和公路工程特点,将研究区划分为不同等级并加以分析与评价,为公路边坡地质灾害的防治与管理提供参考与借鉴。近年来,关于危险性与公路边坡问题,我国许多学者做了大量不同层面的研究。王栋^[1]通过对公路洪水灾害的研究,结合公路工程自身特点和公路洪水灾害实地调查,并基于专家调查法进行了指标赋权,建立了危险性评价模型。贺中统^[2]在地质灾害调查和数据总结整理的基础上,利用定性和层次分析法,对陕北黄土地区进行了地质灾害风险性区划。陶志刚等^[3]采用模糊数学综合评判方法和GIS空间矩阵差值运算法,对南芬露天铁矿采场高陡边坡进行了危险性区划的研究,按照极危险、危险、次稳定和稳定级别,共划分为4大区35个亚区。金凯平^[4]利用汶川地震资料,建立了以面密度作为区划指标的地震触发崩塌滑坡危险性区划判据。张宝才等^[5]以某露天铁矿高陡边坡的危险性为研究对象,采用层次分析法,选取对岩石边坡影响敏感的5个致滑因素进行分级,参照一定规模数量的边坡塌滑案例进行统计,基于ArcGIS得出采场高陡边坡易滑性分区图。李环禹^[6]以地层岩性、岩土体结构、地质构造、坡度及河流冲刷等为主要因素,建立了边坡危险性区划模型,在重庆地区滑坡与降雨关系的统计分析的基础上,建

立了降雨型滑坡风险分析模型。虽然对公路边坡灾害的研究较多,但对于评价体系的选择、影响因子权重的计算,尚没有形成统一的标准和完善的理论与方法。尤其是权重的确定,大多采用定性方法—专家调查法、定量方法—熵权法、定性定量相结合的方法—层次分析法,这些赋权方法虽然已经被广泛应用,但是对于不同研究区域,这些赋权的方法在一定程度上存在片面性,太过主观或客观,不能准确地反映影响因子对该地区灾害的影响程度,即便是两者相结合的层次分析法,有时也无法解决在具体综合评价时所产生的冲突。

因此,作者以地理信息系统(GIS)为平台,调查总结公路边坡地质灾害的特点,分析致灾因素,选取危险性评价指标,并采用影响因素叠加法建立评价模型。同时引入云模型理论,提出云模型AHP赋权方法计算各评价指标权重。以灾害频发且相关研究较少的丹巴县为例,计算地质灾害危险指数,再以此指标划分4个危险等级共16个灾害区,生成《丹巴县公路边坡地质灾害危险性区划图》,结合路网进行危险性评价,为丹巴县公路边坡地质灾害的管理与防治提供参考。

1 公路边坡地质灾害致灾因素分析

一个地区最基本的描述便是地形地貌,它反映了该地区的地势走向与形态变化,是分析边坡地质灾害的基本条件。地质条件是诱发边坡灾害的内在因素,为边坡的失稳提供了物质、力学基础。降雨则是诱发边坡地质灾害的关键因素,强降雨过后极易发生滑坡、崩塌等灾害^[7]。河网密度大的地区,由于汛期降水量的增加,导致水位上涨,形成地表径流,当遭遇强降水时沿河路基会被冲刷,从而造成边坡水毁。植被可以保持水土,对径流也有一定的调节作用。高植被覆盖可以减少水土流失,降低雨水侵蚀,减少边坡灾害发生。地

震作用可使边坡岩土体结构、应力状态发生改变,造成边坡崩塌、滑坡、泥石流等地震次生灾害^[7]。

通过综合分析,最终确定坡度、岩土类型、年平均降水量、河网密度、植被覆盖度、地震动峰值加速度 6 个因子作为评价指标,人类工程活动作为危险性评价的一个定性分析指标。

2 基于云模型的公路边坡地质灾害危险性评价方法

2.1 云模型一层次分析赋权法

赋权的合理性将直接影响评价结果的科学性,现有的指标权重赋值方法多存在片面性,即侧重主观经验或依从客观准则。云模型理论是李德毅院士提出的一种定性概念与其定量数值表示之间的不确定性转换模型^[8]。公路边坡地质灾害评价指标存在人为主观干涉,为有效考虑主客观的影响,克服主观经验确定权重的不足,本研究提出基于云模型的改进的层次分析法(CM-AHP)来计算各指标权重。

根据云模型理论^[8-10],假设存在论域 $U=(x)$, $x=1,2,3,\dots,9$,在域 U 上引入云模型 $A_i(E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$,数字特征包含:期望 E_{xi} 、熵 E_{ni} 、超熵 H_{ei} 。期望分别等于整数 1~9,数值大小与重要程度成正比。根据文献^[11]可得到九朵云判断模型, $A_1=(1, 0.437, 0.073)$, $A_2=(2, 0.707, 0.118)$, $A_3=(3, 0.437, 0.073)$, $A_4=(4, 0.707, 0.118)$, $A_5=(5, 0.437, 0.073)$, $A_6=(6, 0.707, 0.118)$, $A_7=(7, 0.437, 0.073)$, $A_8=(8, 0.707, 0.118)$, $A_9=(9, 0.437, 0.073)$ 。

利用浮动云的偏好集结性进行重要性判断,方法如下:设在论域 U 中两朵相邻基云 A_1 和 A_2 ,生成其间的浮动云 A ,表示两朵基云定性概念中的空白语言值,当浮动云 A 从 A_1 向 A_2 移动时,受 A_1 影响逐渐减少,受 A_2 影响逐渐增大。由于实际情况中,在建立某一层元素相对上一层某一元素的两两重要性进行比较的判断模型时,会有多位专家参与的情况,因此针对每个元素将出现多个模型。为综合利用每个专家的相关信息,在此利用 m 朵云的集结方法得到新的综合云计算方法:

$$\begin{cases} E_x = \sum_{i=1}^m a_i E_{xi} \\ E_n = \frac{\sum_{i=1}^m a_i E_{xi} E_{ni}}{\sum_{i=1}^m a_i E_{xi}} \\ H_e = \sqrt{\sum_{i=1}^m H_{ei}^2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: a_1, a_2, \dots, a_m 为可调节的准则权重值,由专家根据情况而定,满足和为 1;若专家认为不需要干预时, $a_1 = a_2 = \dots = 1/m$ 。

根据九朵云模型和式(1),建立两两比较重要性判断矩阵:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:对角线上元素的熵和超熵数值为零,即 $A_{ii}=(1, 0, 0)$,且满足

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} > 0. \quad (3)$$

$$A_{ij} = \frac{1}{A_{ji}} = \left(\frac{1}{E_{xji}}, \frac{E_{nji}}{E_{xji}^2}, \frac{H_{gji}}{E_{xji}^2} \right). \quad (4)$$

利用方根法计算期望、熵、超熵的加权平均相对权重 $W_i^{(0)} = [E_{xi}^{(0)}, E_{ni}^{(0)}, H_{ei}^{(0)}]$ 。引入云的乘法运算,设论域 U 中有 n 朵云 A_1, A_2, \dots, A_n ,其相乘的结果为:

$$E_{xi} = \sqrt[n]{E_{x1} E_{x2} \cdots E_{xn}}. \quad (5)$$

$$E_{ni} = E_{xi} \sqrt[n]{\left(\frac{E_{n1}}{E_{x1}}\right)^2 + \left(\frac{E_{n2}}{E_{x2}}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{E_{nn}}{E_{xn}}\right)^2}. \quad (6)$$

$$H_{ei} = E_{xi} \sqrt[n]{\left(\frac{H_{e1}}{E_{x1}}\right)^2 + \left(\frac{H_{e2}}{E_{x2}}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{H_{en}}{E_{xn}}\right)^2}. \quad (7)$$

$$E_{xi}^{(0)} = \frac{E_{xi}}{\sum_{i=1}^n E_{xi}} = \frac{\left(\prod_{j=1}^n E_{xij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n E_{xij}\right)^{\frac{1}{n}}}. \quad (8)$$

$$E_{ni}^{(0)} = \frac{E_{ni}}{\sum E_{ni}} = \frac{\left[\left(\prod_{j=1}^n E_{xij} \right) \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{E_{nij}}{E_{xij}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n E_{xij} \right) \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{E_{nij}}{E_{xij}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{n}}} \quad (9)$$

$$H_{\alpha}^{(0)} = \frac{H_{\alpha}}{\sum H_{\alpha}} = \frac{\left[\left(\prod_{j=1}^n E_{xij} \right) \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{H_{\alpha j}}{E_{xij}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n E_{xij} \right) \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{H_{\alpha j}}{E_{xij}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{n}}} \quad (10)$$

用一致性指标 C 和 R 进行期望的一致性检验。 $C = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$, 其中, $\lambda \approx$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n E_{xij} W_{ij}}{W_{ij}} \right); R \text{ 为平均随机一致性指数。}$$

计算一致性比例 I , 要求满足。

2.2 评价模型的构建

1) 评价指标分级。

各评价指标有不同的性质、不同的量纲, 即便是同一指标对灾害的影响程度也是不同的。为了便于定量计算和综合分析, 需要对它们进行分级, 建立同一量纲。各指标在地质灾害领域各有分级标准, 但是针对不同研究区则需要结合该区公路工程的特点以及相关研究成果, 以便适应该地区的特征。因此, 本研究在实例分析中会针对研究区给出具体的分级。

2) 评价计算模型。

在完成指标分级和确定指标权重后, 利用影响因素叠加法对公路地质灾害进行评价, 数学模型表达式为:

$$R = \sum_{j=1}^n F_j W_j \quad (11)$$

式中: R 为公路边坡灾害危险性指数; F_j 为第 j 个评价指标栅格单元的评分; W_j 为第 j 个评价指标的权重; n 为评价指标的数量。

3 实例分析

以四川省丹巴县为研究对象进行公路边坡地质灾害危险性评价。该地区属于典型的高山峡谷地貌, 群山环绕, 沟壑纵横, 加之处于断裂带, 地质活动极为强烈, 在降雨和人类工程活动的影响下, 地质灾害极易发生。

根据权重计算方法, 首先咨询 4 位相关领域专家对研究区指标进行重要度排序, 专家一(公路工程设计人员)认为: 岩土类型(r_2) > 年降水量(r_3) > 动峰值加速度(r_6) > 坡度(r_1) > 河网密度(r_4) = 植被覆盖度(r_5); 专家二(公路工程施工人员)认为: $r_3 > r_2 > r_1 > r_6 > r_4 > r_5$; 专家三(公路工程管理人员)认为: $r_6 = r_3 > r_2 > r_1 > r_4 > r_5$; 专家四(防震减灾工程人员)认为: $r_2 > r_3 > r_6 > r_1 > r_4 > r_5$ 。建立的重要标度矩阵如表 1 所示。

经浮动云集结后, 按式(2)计算并建立重要性判断矩阵(如表 2 所示)。

利用方根法, 按式(5)~(10)可计算得到相对权重(如表 3 所示)。

根据前述所确定的评价指标, 通过 ENVI 5.2 和 ArcGIS 10.2 软件, 对原始数据分别进行分析与处理, 获得所需要的评价因子图, 并参考有关分级标准, 结合研究区公路工程的特点, 经综合分析, 将评价指标分为 5 个危险等级。为统一度量, 将各评价指标按等级赋以相应的评分(如表 4 所示)。

表 1 评价指标重要标度矩阵

Table 1 Important scale matrix of evaluation index

	专家一						专家二						专家三						专家四					
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
r_1	1	1/5	1/5	3	3	1/3	1	1/3	1/5	5	7	3	1	1/3	1/5	3	5	1/5	1	1/7	1/5	3	5	1/3
r_2	5	1	1	7	7	3	3	1	1/3	7	9	5	3	1	1/3	5	7	1/3	7	1	3	9	9	5
r_3	5	1	1	7	7	3	5	3	1	9	9	7	5	3	1	7	9	1	5	1/3	1	7	9	3
r_4	1/3	1/7	1/7	1	1	1/5	1/5	1/7	1/9	1	3	1/3	1/3	1/5	1/7	1	3	1/7	1/3	1/9	1/7	1	3	1/5
r_5	1/3	1/7	1/7	1	1	1/5	1/7	1/9	1/9	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/9	1/3	1	1/9	1/5	1/9	1/9	1/3	1	1/7
r_6	3	1/3	1/3	5	5	1	1/3	1/5	1/7	3	5	1	5	3	1	7	9	1	3	1/5	1/3	5	7	1

表 2 评价指标重要性判断矩阵

Table 2 Importance judgment matrix of evaluation index

i	j					
	1	2	3	4	5	6
1	(1,0,0)	(1/4,5,0.021,0.007)	(1/5,0.017,0.006)	(3.5,0.437,0.146)	(5,0.437,0.146)	(1/2,84,0.053,0.016)
2	(4,5,0.437,0.146)	(1,0,0)	(1/1.83,0.125,0.038)	(7,0.437,0.146)	(8,0.437,0.146)	(3.33,0.426,0.127)
3	(5,0.437,0.146)	(1.83,0.149,0.127)	(1,0,0)	(7.5,0.437,0.146)	(8.5,0.437,0.146)	(3.5,0.437,0.146)
4	(1/3,0.017,0.012)	(1/7,0.009,0.003)	(1/7.5,0.008,0.003)	(1,0,0)	(2.5,0.437,0.146)	(1/5,0.017,0.006)
5	(1/5,0.017,0.006)	(1/5,0.017,0.006)	(1/8.5,0.006,0.002)	(1/2.5,0.07,0.023)	(1,0,0)	(1/6.5,0.01,0.003)
6	(2.8,0.426,0.127)	(1/3.33,0.038,0.011)	(1/3.5,0.036,0.012)	(5,0.437,0.146)	(6.5,0.437,0.146)	(1,0,0)

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/4.5 & 1/5 & 3.5 & 5 & 1/2.84 \\ 4.5 & 1 & 1/1.83 & 7 & 8 & 3.33 \\ 5 & 1.83 & 1 & 7.5 & 8.5 & 3.5 \\ 1/3.5 & 1/7 & 1/7.5 & 1 & 2.5 & 1/5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/8.5 & 1/2.5 & 1 & 1/6.5 \\ 2.84 & 1/3.33 & 1/3.5 & 5 & 6.5 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.806 \\ 2.777 \\ 3.562 \\ 0.374 \\ 0.257 \\ 1.411 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.226 \\ 17.723 \\ 22.602 \\ 2.401 \\ 1.759 \\ 9.092 \end{pmatrix}。$$

$$\lambda \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n E_{xij} W_{ij}}{W_{1j}} \right) = \frac{1}{6} \left(\frac{5.226}{0.806} + \frac{17.233}{2.777} + \frac{22.602}{3.562} + \frac{2.401}{0.374} + \frac{1.759}{0.257} + \frac{9.072}{1.411} \right) = 6.484。$$

$$I = \frac{C}{R} = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)R} = 0.077 < 0.1。$$

式中: n 为计算要素个数, 本研究为 6, 当 $n=6$ 时, 平均随机一致性指数 $R=1.26$ 。

表 3 重要度计算

Table 3 Calculation of importance

W_i	$W_i^{(0)}$
(0.806, 0.640, 0.53)	(0.088, 0.086, 0.083)
(2.777, 2.261, 1.86)	(0.302, 0.305, 0.291)
(3.562, 2.891, 2.384)	(0.388, 0.390, 0.373)
(0.347, 0.296, 0.247)	(0.041, 0.040, 0.039)
(0.257, 0.201, 0.167)	(0.028, 0.027, 0.026)
(1.411, 1.126, 1.197)	(0.153, 0.152, 0.188)

表 4 丹巴县公路边坡地质灾害评价指标分级表

Table 4 Scale score of Danba county highway slope geological hazard evaluation index

评价指标 分级	地形地貌	地质条件	降雨	河网	植被条件	地震	评分值
	坡度/(°)	岩土类型	年平均降雨量/mm	河网密度/ ($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)	植被覆盖度	动峰值 加速度/g	
轻微危险	<3	/	/	/	>0.8	/	1
低危险	[3,10)	硬岩	/	≤ 61	[0.5,0.8]	0.15	3
中度危险	[10,15)	/	<630	[65,68)	[0.2,0.5)	0.10	5
高危险	[15,25)	粘性土	[630,660]	[68,71)	[0.05,0.2)	/	7
极高危险	≥ 25	/	>660	≥ 71	<0.05	/	10

注:“/”为缺失值,由于研究区域范围限制,少数指标值的范围不能完全覆盖评价指标分级,故表中只注明该区域已存在数值。

经一致性检验,判断矩阵满足一致性。对应评价指标权重为: $Q_i = (0.088, 0.302, 0.388, 0.041, 0.028, 0.153)^T$ 。

根据前文所计算的指标权重和指标分级评分,按照评价模型,利用 ArcGIS 计算得到《丹巴县

公路边坡地质灾害危险指数图》[见图 1(a)]。

计算结果表明,丹巴县公路边坡地质灾害危险指数区间为 [3.988, 7.663]。通过对危险指数进行分析,并考虑当地公路网布设情况以及灾害对其公路的影响,将研究区分为轻微危险区

[3.988,4.7)、低危险区[4.7,5.1)、中度危险区[5.1,5.6)、高危险[5.6,6.4)、极高危险区[6.4,7.663]共 16 个区,分区名称命名格式采用“地理位置+危险等级”,详细区划方案见表 5。

据相关资料及研究区实况可知,丹巴县地处灾害易发区,可能会涉及到轻微危险区的评价等级个别指标。但经综合计算与分析后,轻微危险区所占栅格单元少且分散,未形成区域特征,故将

轻微危险区的指数值并入低危险区。利用 ArcGIS 将丹巴县的路网图与《丹巴县公路边坡地质灾害危险指数图》[见图 1(a)]叠加,生成《丹巴县公路边坡地质灾害区划图》[见图 1(b)]。结合《四川省丹巴县地质灾害详细调查报告》以及相关性资料可知,丹巴县实际公路边坡灾害危险性分布情况与本研究区划方案基本一致。

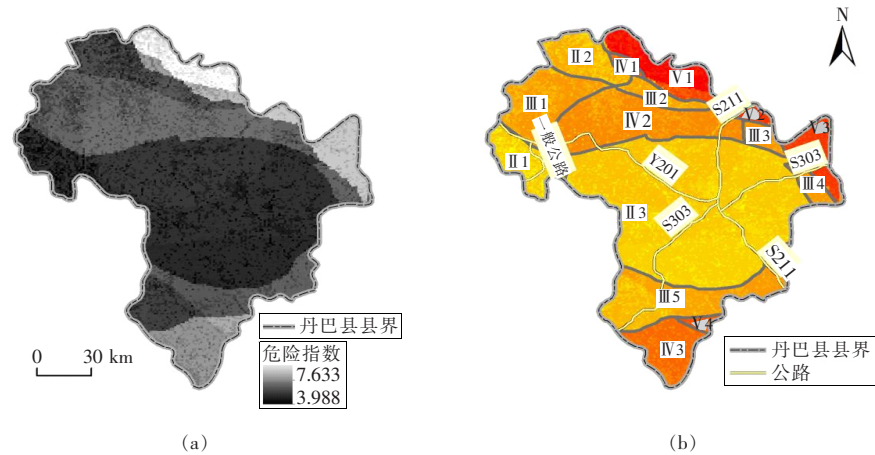


图 1 丹巴县公路边坡地质灾害危险指数图与区划图

Fig. 1 Geological hazard risk map and zoning map of highway slope in Danba county

表 5 丹巴县公路边坡地质灾害危险度区划方案

Table 5 Danba county highway slope geological hazard risk zoning plan

危险等级	区名称	途径公路
Ⅱ 低危险区	Ⅱ 1 边耳乡西部低危险区	一般公路
	Ⅱ 2 丹东乡北部低危险区	/
	Ⅱ 3 边耳乡、巴底乡南部—东谷乡北部—半扇门乡西部	S303、S211
	丹巴县中部(8个乡镇)低危险区	Y201
Ⅲ 中度危险区	Ⅲ 1 丹东乡南部—边耳乡西北部中度危险区	/
	Ⅲ 2 巴底乡北部中度危险区	/
	Ⅲ 3 巴底乡东部中度危险区	/
	Ⅲ 4 半扇门乡东南部中度危险区	S303
Ⅳ 高危险区	Ⅲ 5 东谷乡中部—格宗乡东南部中危险区	S303、S211
	Ⅳ 1 丹东乡东北部高危险区	/
	Ⅳ 2 边耳乡东部—巴底乡中部高危险区	Y201、S211
	Ⅳ 3 东谷乡南部高危险区	/
Ⅴ 极高危险区	V 1 丹东乡东部—巴底乡东北部极高危险区	/
	V 2 巴底乡东北部极高危险区	S211
	V 3 半扇门乡东北部—太平桥乡极高危险区	S303
	V 3 东谷乡东南部极高危险区	/

4 结论

作者通过了解丹巴县自然环境条件与公路边坡灾害类型区域分布特点,分析了影响地质灾害发生的各种因素,建立了以坡度、岩土类型、年平均降雨、河网密度、植被覆盖度和动峰加速度值为主体的评价指标体系。

1) 通过引进云模型理论,提出了基于云模型的层次分析法,改进了传统层次分析法的局限性,克服了依靠主观经验确定因子权重的不足,实现了定性与定量的不确定转换,提高了公路边坡地质灾害危险性评价的客观性和可靠性。

2) 基于影响因素叠加法,建立了公路边坡灾害危险性指数的计算模型,采用 CM-AHP 法计算各因子权重,利用 ArcGIS 软件生成《丹巴县公路边坡地质灾害危险指数图》,指数范围为[3.988, 7.663]。结合丹巴县公路工程特点,以危险性指数为分区指标,将丹巴县划分为低危险区、中度危险区、高危险区和极高危险区 4 个等级共 16 个区,极高危险区为巴底乡东北部和太平桥乡地区,涉及到的公路有 S303、S211,与实际公路灾害发生情况相符。

以 GIS 为切入点,将 ArcGIS 与 ENVI 作为主要工具,运用基于云模型理论的层次分析法和影响因素叠加法,对公路边坡地质灾害危险性进行评价,可以较为准确地评估出灾害易发区域,实现了多种互相关联因素的量化转换,为路网设计规划、公路养护和公路边坡灾害的预防治理工作提供了数据支撑和理论参考。

〔参考文献〕

- [1] 王栋. 公路洪水灾害危险性分析与区划研究[D]. 西安:长安大学,2013.
WANG Dong. Risk analysis and zoning of highway flood disasters[D]. Xi'an:Chang'an University,2013.
- [2] 贺中统. 陕北黄土地区公路边坡灾害危险性分区研究[D]. 西安:长安大学,2014.
HE Zhong-tong. Research on highway slop hazard regionalization in the north of Shaanxi province loess area[D]. Xi'an:Chang'an University,2014.
- [3] 陶志刚,郝振立,袁小峰. 南芬露天铁矿高陡边坡危险性区划研究[J]. 矿冶工程,2016,36(1):20-25.
TAO Zhi-gang,HAO Zhen-li,YUAN Xiao-feng. Research on steep slope hazard zonation for Nanfen open pit iron mine[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2016,36(1):20-25.
- [4] 金凯平. 高烈度山区地震触发崩塌滑坡危险性区划方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
JIN Kai-ping. Study of method of hazard zoning for earthquake triggered landslides and disaster alleviation of line selection in high intensity mountain area [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2018.
- [5] 张宝才,张伟,宫长亮. 基于 GIS 和 AHP 的某露天铁矿边坡滑塌危险性区划[J]. 勘察科学技术,2017(3):40-44.
ZHANG Bao-cai,ZHANG Wei,GONG Chang-liang. Slope collapse risk zoning of a open pit iron mine based on gis and ahp[J]. Site Investigation Science and Technology,2017(3):40-44.
- [6] 李环禹,陈朝晖,范文亮. 区域降雨型滑坡风险分析统计模型研究[J]. 自然灾害学报,2018,27(4):103-111.
LI Huan-yu,CHEN Zhao-hui,FAN Wen-liang. The statistical risk analysis model of rainfall-induced landslide in large areas[J]. Journal of Natural Disasters,2018,27(4):103-111.
- [7] 齐洪亮,尹超,田伟平,等. 基于 ArcGIS 的中国公路地质灾害危险性区划[J]. 长安大学学报:自然科学版,2015,35(5):22-27.
QI Hong-liang,YIN Chao,TIAN Wei-ping,et al. Risk regionalization of highway geo-hazards in China based arcGIS[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2015,35(5):22-27.
- [8] 张军,陈征宇,刘登峰. 基于云模型的岩质边坡稳定性评估研究[J]. 水文地质工程地质,2014,41(6):44-50.
ZHANG Jun,CHEN Zheng-yu,LIU Deng-feng. Stability evaluation of a rock slope based on the cloud model[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2014,41(6):44-50.
- [9] 贾兴利,许金良. 基于云模型的地震区公路震害风险评估[J]. 同济大学学报:自然科学版,2014,42(9):1352-1358.
JIA Xing-li,XU Jin-liang. Cloud model-based seismic risk assessment of road in earthquake region [J]. Journal of Tongji University: Natural Science,2014, 42(9):1352-1358.
- [10] 杨文东,杨栋,谢全敏. 基于云模型的边坡风险评估方法及其应用[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2018,46(4):30-34.
YANG Wen-dong,YANG Dong,XIE Quan-min. Study on slope risk assessment method based on cloud model and its application[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition,2018,46(4):30-34.