基于组合赋权法的中巴公路奥依塔克至布伦口段泥石流危险性评价

叶潇潇[1]，钱德玲[1]，朱志鹏[1]，谢 乐[1]，杨 罡[1]，刘 杰[1,2]

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院，安徽 合肥 230009；2. 新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院，新疆 乌鲁木齐 830006)

摘 要：[目的] 研究泥石流危险性，为泥石流多发地区危险性评价指标权重的确定提供一种有效的方法。[方法] 针对单一赋权法确定权重的缺陷，分别采用层次分析法和熵值法确定中巴公路泥石流危险性评价指标的主观和客观权重，再用组合赋权法确定指标的综合权重。以中巴公路沿线重点单沟泥石流为例，选取爆发规模、爆发频率、主沟长度、流域切割密度、流域面积、流域相对高差、主沟纵坡、24 h 最大降雨量、松散堆积物厚度、泥沙补给段长度比 10 个指标作为评价因子。获取泥石流现场调查数据后，依据上述方法对该区域泥石流的危险性进行评价，并将计算结果与集对分析方法和现场调查结果进行了对比分析。[结果] 属于中度危险的沟谷只有 5 条，占 25%，说明该地区大部分泥石流危险性偏高。[结论] 评价结果与现场调查结果吻合，证明了该方法的可行性。

关键词：中巴公路；泥石流；危险性评价；组合赋权法

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)01-0246-06 **中图分类号**：P642.23

文献参数：叶潇潇，钱德玲，朱志鹏，等. 基于组合赋权法的中巴公路奥依塔克至布伦口段泥石流危险性评价[J]. 水土保持通报，2018，38(1)：246-251. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.043. Ye Xiaoxiao, Qian Deling, Zhu Zhipeng, et al. Hazard assessment of debris flow at Aoyitake-Bulunkou section of China-Pakistan highway based on combined weight method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 246-251. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.043

Hazard Assessment of Debris Flow at Aoyitake-Bulunkou Section of China-Pakistan Highway Based on Combined Weight Method

YE Xiaoxiao[1], QIAN Deling[1], ZHU Zhipeng[1], XIE Le[1], YANG Gang[1], LIU Jie[1,2]

(1. *College of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui* 230009, *China*; 2. *Xinjiang Transportation Planning Surveying and Design Institute, Urumqi, Xinjiang* 830006, *China*)

Abstract: [Objective] The hazard assessment of debris flow was studied in order to provide an effective method for determining the weights of hazard assessment indexes in debris flow prone area. [Methods] In view of the weakness of single assigning weight method, analytic hierarchy process (AHP) and entropy method were adopted respectively to determine the subjective and objective weights of the debris flow hazard assessment indexes for the China-Pakistan highway, then the comprehensive weights were estimated based on combined weight method. Taking the debris flow along the China-Pakistan highway as a case study, this paper selected ten assessment indexes including magnitude, frequency, length of main groove, basin incision density, basin area, relative difference of elevation, longitudinal slope of main groove, maximum rainfall during 24 hours, thickness of loose deposit, length of mud and sand supply. The method mentioned above was used to assess the hazard of debris flow in this area after the acquisition of field data of debris flow. Besides, the results

收稿日期：2017-08-22 **修回日期**：2017-09-14

资助项目：国家自然科学基金项目“基于液化地基大变形桩基—高层建筑结构体系动力响应的研究”(51378168)；中央高校基本科研业务费专项资金项目“高速列车冲击荷载下隧道共振及其减震降噪的研究”(2012HGZY0024)

第一作者：叶潇潇(1994—)，男(汉族)，安徽省安庆市人，硕士研究生，研究方向为地基基础与结构相互作用及泥石流相关问题。E-mail：1197682721@qq.com。

通讯作者：钱德玲(1956—)，女(汉族)，安徽省合肥市人，博士，教授，博士生导师，从事地基、基础、上部结构体系动力相互作用、地铁及隧道工程、工程抗震、基坑工程及泥石流相关问题研究。E-mail：dlqian@sina.com。

coincided with the set pair analysis method and field investigation results. [Results] Only five debris flow gullies, accounting for 25% of the total, were moderate dangerous, which meant that most debris flow gullies in this area were high dangerous. [Conclusion] The evaluation results were consistent with the field investigation, which confirmed the reliability of the method.

Keywords: China-Pakistan highway; debris flow; hazard assessment; combined weight method

泥石流灾害是一种常见的地质灾害,也是世界性难题,其特点是规模大、活动频繁;历时短但破坏力极强。中国的泥石流灾害严重,上万条泥石流沟遍及26个省市的各大山区,每年造成的损失高达30多亿元,死亡人数也达到数百人。由此可见,对泥石流进行危险性评价至关重要。泥石流危险性评价即对流域内影响泥石流的各项因子进行综合分析,以确定泥石流的破坏能力及影响程度的大小,划定其危险等级。泥石流危险性评价是泥石流风险管理的基础,也是灾前预报的重要环节。国际上非常重视泥石流危险性评价,开展的研究工作也相对较早。在1928年,美国地质学家Blackwelder发表的《Mudflow as a geologic agent in semi-arid mountains》是世界上较早的有关泥石流的论文,使人们认识到泥石流是自然界中一种常见的地质现象,并非上帝的创作[1]。此后,越来越多的学者给予泥石流关注。1977年,日本学者足立胜治综合考虑泥石流的地形地貌、形态和大气降水等3个因素,首次对泥石流的危险度进行了概率计算[2]。2000年,Johnson运用GIS软件的二次开发平台对泥石流危险度评价系统进行了开发。2005年,Kavzoglu等[3]通过遥感影像获取泥石流的相关数据,并将人工神经网络方法应用在委内瑞拉的Jabonosa河盆地区地质灾害的危险性评价。

国内的泥石流危险性评价研究相对于国外而言,起步稍晚,但成果斐然。1988年,刘希林[4]提出将定性分析与定量分析相结合,建立了以8个评价指标为基础的多因子综合评价模型。2000年,汪明武[5]把神经网络引入到泥石流危险度评价中来,解决了指标权重难以确定的难题,其随后提出利用实码加速遗传算法的投影寻踪方法和改进集对分析方法建立泥石流危险度评价模型,也取得了较为理想的结果[6-7]。2006年,匡乐红等[8]基于粗糙集原理对泥石流危险度区划指标进行约简,并提出用组合赋权法确定评价指标的综合权重。目前相关专家学者先后提出了许多泥石流危险性评价的方法,如改进集对分析方法、模糊数学法、熵值法等,丰富了研究手段,并提高了评价结果的精度和合理性。

由于泥石流灾害的复杂性和不确定性,影响因素众多,评价指标的权重分配是泥石流危险性评价的一个难点。合理的评价指标权重是泥石流危险性评价结果准确性和有效性的保证。目前,国内外学者提出了很多确定权重的方法,其中主观赋权法有:AHP法、专家调查法等;而客观赋权法有:灰色关联度法、熵值法、神经网络法、集对分析法、主成分分析法等。主观赋权法能够考虑到专家在确定权重上的经验,但计算结果受主观影响因素很大,没有充分利用到客观数据。客观赋权法可以充分挖掘数据本身存在的关系,但却忽略了专家学者在确定权重上的经验。本文拟分别采用层次分析法和熵值法确定主观和客观权重,再用线性组合赋权确定综合权重。既能反映专家学者对泥石流的直观认识和经验,又能反映客观数据的自身规律。并以中巴公路为例,采用上述方法对该区域典型沟谷泥石流的危险性进行评价。

1　组合赋权法的原理及组合规则

1.1　层次分析法

层次分析法(AHP)是对与决策有关信息进行多层次分析,并进行定性和定量分析决策的一种方法。AHP法是在20世纪70年代初由美国运筹学家萨蒂提出的,该方法在确定复杂系统中不同层次的各指标权重时,简便快捷,具有独到的优势,因此被广泛应用[9-10]。本文采用层次分析法确定评价指标的主观权重,其步骤为:

(1) 建立层次分析模型。充分了解决策系统之后,将系统中的各评价指标划分成若干层次,可用框架图表达阶梯层次结构和各指标之间的从属关系。

(2) 构造判别矩阵。引入Saaty的1—9标度将各评价指标之间的重要性用具体数值表示出来,比较各评价指标之间的影响,采用两两对比,构造出判别矩阵P,判断矩阵标度及含义见表1。

表1　判断矩阵标度及其含义

标度值	含义
1	两元素相比,具有相同重要性
3	两元素相比,前者比后者稍微重要
5	两元素相比,前者比后者明显重要
7	两元素相比,前者比后者强烈重要
9	两元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示两元素相比在上述相邻等级的中间值

(3) 一致性检验。在上述步骤得到判别矩阵 $\boldsymbol{P}$ 后,代入公式(1):

$$\boldsymbol{P}W_j=\lambda_{\max}W_j \tag{1}$$

式中:W_j——特征向量;$\lambda_{\max}$——判别矩阵对应的最大特别征值。解出 $\lambda_{\max}$ 和 W_j 后,判断矩阵的不一致程度,一致性指标公式为:

$$I_C=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} \tag{2}$$

式中:n——评价指标数目。

查表得到平均一致性指标 I_R,取值见表 2。若满足 $CR=I_C/I_R<1$,则判别矩阵满足一致性,评价指标权重分配合理;否则需重新修改,直到满足一致性为止。

表 2 随机性指标(I_R)的取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

1.2 熵值法

在信息论中,熵是对不确定性事物的度量,信息量越小,不确定程度或系统无序化越大,熵越大;信息量越大,不确定程度或系统无序化越小,熵越小。泥石流作为一个具有某种混乱度的系统,受多种影响因素控制,而其中各种因素对泥石流灾害发生的影响又因地而异、因时而异的。采用熵值法确定客观权重,可以很好地表达泥石流的混乱程度,充分挖掘数据之间的关系,使评价结果更加准确,接近真实情况[11-12]。熵值法确定评价指标的客观权重的步骤为:

(1) 构造评价矩阵。设有 n 个泥石流危险性评价指标,m 个评价单元,那么 m 个评价单元对应的 n 个指标的指标值构成危险性评价矩阵为 $X=(X_{ij})_{m\times n}$。

$$\boldsymbol{X}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中:x_{ij}——表示第 i 个评价单元的第 j 个指标实际值。

(2) 规范化处理。由于评价指标实际值与转化值之间并不是线性变换,而是非线性变换,如果采用直线型或折线型等规范化公式会影响评价结果的准确性,因此本文采用曲线型规范化处理。正指标和逆指标分别采用公式(4)和(5)转化

$$r_{ij}=\left\{\exp\left[\frac{x_{ij}-\inf(m)}{\sup(m)-\inf(m)}\right]-1\right\} \tag{4}$$

$$r_{ij}=\left\{\exp\left[\frac{\sup(m)-x_{ij}}{\sup(m)-\inf(m)}\right]-1\right\} \tag{5}$$

式中:r_{ij}——第 i 个评价单元的第 j 个指标评价值;$\sup(m)$,$\inf(m)$——指标取值的上确界和下确界。

规范化处理后的评价矩阵为:

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{6}$$

根据信息熵的方法及理论,由公式(7)和(8)确定第 j 项评价指标的熵值,即:

$$E_j=-k\sum_{i=1}^{m}f_{ij}\ln f_{ij} \tag{7}$$

$$f_{ij}=\frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}r_{ij}} \tag{8}$$

式中:f_{ij}——第 j 个评价指标于第 i 个评价单元的指标值比重;K——常数,$k=1/\ln m$。

(3) 计算各项指标权重:

$$W_j=\frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-E_j)} \tag{9}$$

当熵值在某一特定范围内变化时,其相互间的细小差异却能引起熵权很大的改变。因此,在计算权重中,怎样将各指标间的熵值与相应权重相互转换是重点,直接影响各指标客观权重的准确性进而影响最终评价结果。根据熵值法原理,不同指标间的熵值若差别不大,则认为其提供有用信息量基本相同,相应的熵值也应一致。基于此,对公式(9)进行改进。

$$W_j'=\frac{\sum_{j=1}^{n}E_j+1-2E_j}{\sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{n}E_j+1-2E_j\right)} \tag{10}$$

1.3 组合赋权法

为了克服单一赋权法的不足,采用线性加权组合赋权法来确定指标的综合权重。设由层次分析法得到的主观权重为 W_j,熵值法计算得到的客观权重为 W_j',组合权重为 W_z。由线性加权综合法公式:

$$W_z=\alpha W_j+\beta W_j' \tag{11}$$

式中:α,β——指标主客观权重偏好系数。

线性加权组合法的重点在于确定 α 和 β 的取值。在目前的研究文献中,一般都根据作者的经验来取,因此带有很大的主观性。为了减小由于主观随意性对组合赋权法的影响,本文引入距离系数,将上述 2 种方法所得的权重值之间的差异程度与其对应的分配系数间的差异程度一致。

设主观权重 W_j 和客观权重 W_j' 之间的距离为 $d(W_j,W_j')$,则表达式为:

$$d(W_j-W_j')^2=\left\{\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(W_j-W_j')\right\} \tag{12}$$

为了使不同权重之间的差异程度和分配系数间的差异程度一致,使式(12)中距离系数与分配系数相等,则表达式为:

$$d(W_j-W_j')^2=(\alpha-\beta)^2 \tag{13}$$

$$\alpha+\beta=1 \tag{14}$$

其中,式(14)为分配系数的约束条件,联立方程(13),(14)可求出主客观权重偏好系数,再代入式(11)即可得到评价指标的综合权重值。组合赋权法的计算流程如图 1 所示。

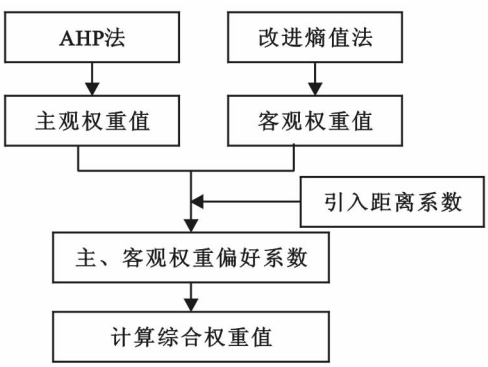


图 1　组合赋权法计算流程

2　研究区工程概况

中巴公路是一条连接中国与巴基斯坦的公路,北起中国新疆城市喀什,穿越帕米尔高原,经过中巴边境口岸红其拉甫山口,南到巴基斯坦城市塔科特。中巴公路在“一带一路”的经济发展战略下扮演着重要的角色,同时,它又是通往边陲县城塔什库尔干塔吉克自治县的唯一一条“生命线”。中巴公路的畅通对保障人民生命财产安全和边防稳定有着十分重要的意义。

中巴公路自 1979 年通车以来屡次遭受雪灾、落石、滑坡和泥石流等地质灾害的损害,其中泥石流灾害对沿线公路的破坏最为严重。奥依塔克至布伦口段自 2005 年来每年都发生不同程度的泥石流,导致道路中断,交通堵塞。表 3 为 G314 线奥依塔克至布伦口段 2005—2014 年公路遭受泥石流毁坏及影响情况,从表 3 中可以看出,该段线路每年都会遭受不同程度泥石流的影响,受阻车辆从 160～3 620 辆不等,严重影响了该段线路的交通运输,制约了当地经济发展,阻碍了中巴两国的经济与文化交流,因此迫切需要进行治理。

而依据新疆喀什公路管理局疏附公路分局养护资料统计,该区域的泥石流在 6 和 8 月爆发的频率最高,其次是 5,7 和 9 月,3 和 4 月偶尔爆发泥石流。由养护资料可知,该区域年降雨量主要集中在 5—9 月,其中 6 和 8 月降雨尤为显著。中巴公路自通车以来,目前已经历了 3 次改建。虽然新线路进行了许多优化和改进,但是部分新路段仍然在遭受着泥石流的威胁。因此,仅依靠线路的优化,并不能一劳永逸地解决泥石流灾害问题,更多地还要结合工程治理措施,才能取得更为理想的效果。如此频发的泥石流灾害使得治理刻不容缓,而首要的任务就是通过现场调查和搜集资料,对中巴公路沿线重点单沟泥石流危险性进行评价。

表 3　G314 线奥布段泥石流灾害情况

年份	爆发路段累计长度/km	清理路面泥石流量/m^3	受阻车辆/辆	抢修资金/万元
2005	143.60	79 038.04	447	78.06
2006	6.16	1 400.00	390	18.75
2007	9.80	11 911.40	400	112.67
2008	21.10	7 536.00	480	41.13
2009	23.20	15 420.90	160	18.86
2011	47.12	118 165.00	865	127.16
2012	8.20	8 522.00	1 470	68.70
2013	94.80	95 332.90	3 620	67.04
2014	71.00	13 479.40	440	13.06

3　中巴公路典型泥石流沟危险性评价

根据前文方法得到的泥石流危险性规范化评价矩阵为 R:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

将得到的综合权重值代入式(15)计算出泥石流危险度 $B(i)$。$B(i)$ 值越大,则表示泥石流的危险等级越高,发生泥石流的可能性越大,越危险。

$$B(i)=\sum_{j=1}^{n}W_z(j)\cdot r_{ij} \tag{15}$$

泥石流危险性评价在国内至今已进行了 30 a,然而却并未形成一个统一的评价指标体系,这是由于泥石流的区域性、复杂性及因素的广泛性所导致的。本文在参考多年来相关学者的研究,结合笔者在现场调查分析的结果,从泥石流的成灾背景和影响因素出发,最终选定了泥石流爆发规模、爆发频率、主沟长度、流

域切割密度、流域面积、流域相对高差、主沟纵坡、24 h 最大降雨量、松散堆积物厚度、泥沙补给段长度比 10 个指标共同组成泥石流危险性评价指标体系。

然而由于泥石流的复杂性和不确定性，不同区域泥石流危险性等级的划分也略有不同，本文依据泥石流灾害防治工程勘察规范(DZ/T0220-2006)并参考相关学者的研究[13-16]，将泥石流危险度在[0，1]范围内分为 5 个等级：0～0.2 为极低危险，0.2～0.4 为低度危险，0.4～0.6 为中度危险，0.6～0.8 为高度危险，0.8～1.0 为极度危险。本文参考文献[17]和泥石流灾害防治工程勘察规范(DZ/T0220-2006)并结合当地实际情况划分各评价指标危险等级，如表 4 所示。

根据现场勘察调研结果及新疆喀什公路管理局疏附公路分局多年养护资料获得各沟谷的基础数据(如表 5)，代入公式(1)—(15)计算可得各沟谷的危险性评价结果如表 6 所示。本文在通过组合赋权法对研究对象进行危险性评价的同时，采用集对分析方法对同样的研究对象进行危险性评价，并将 2 种方法得到的结论与实际调查结果进行了对比分析。

表 4 研究区泥石流危险性评价指标等级划分

评价指标	危险等级				
	极低危险	低度危险	中度危险	高度危险	极度危险
C_1 爆发规模/10^4 m^3	0～0.1	0.1～1	1～5	5～10	＞10
C_2 爆发频率/(次·100 a^{-1})	0～10	10～20	20～30	30～50	＞50
C_3 主沟长度/km	0～1	1～3	3～5	5～10	＞10
C_4 流域切割密度/km	0～3	3～5	5～10	10～15	＞15
C_5 流域面积/km	0～0.5	0.5～10	10～20	20～35	＞35
C_6 流域相对高差/km	0～0.2	0.2～0.5	0.5～1	1～1.5	＞1.5
C_7 主沟纵坡	0～0.1	0.1～0.2	0.2～0.35	0.35～0.5	＞0.5
C_8 24 h 最大降雨量/mm	0～5	5～10	10～20	20～35	＞35
C_9 松散堆积物厚度/m	0～1	1～5	5～10	10～15	＞15
C_{10} 泥砂补给段长度比	0～0.1	0.1～0.2	0.2～0.4	0.4～0.6	＞0.6

表 5 研究区泥石流沟谷基础数据

沟谷编号	C_1/10^4 m^3	C_2/(次·100a^{-1})	C_3/km	C_4/km	C_5/km^2	C_6/km	C_7/%	C_8/mm	C_9/m	C_{10}/%
K1549＋640	0.05	17	1.95	7.26	0.49	0.353	19	18.7	5.4	49
K1553＋600	0.83	75	1.81	8.52	0.86	0.544	32	21.5	4.6	70
K1555＋938	1.35	83	3.34	5.14	4.28	0.53	16	36.8	8.1	63
K1557＋900	0.76	67	1.23	3.65	0.62	0.383	33	28.6	6.5	50
K1558＋800	1.26	64	5.18	6.04	5.83	0.667	13	19.8	6.7	49
K1560＋183	12.68	82	11.71	2.23	25.2	2.246	20	39.6	6.3	66
K1562＋381	0.97	78	2.31	12.48	1.10	0.460	20	38.7	7.8	55
K1564＋520	0.65	65	1.55	11.26	0.71	0.557	27	30.4	6.4	70
K1564＋980	9.81	84	9.02	10.38	23.26	2.131	24	31.2	7.3	43
K1567＋272	0.65	45	5.84	9.87	9.87	1.565	27	18.7	2.8	47
K1568＋299	0.74	42	1.87	5.93	1.81	0.952	59	27.4	4.2	37
K1571＋439	16.27	93	4.5	18.26	4.62	1.178	27	37.2	10.1	59
K1573＋748	0.64	77	2.1	12.64	0.92	1.104	62	40.9	8.3	31
K1575＋578	3.42	63	5.66	2.69	15.36	1.673	31	26.3	15.6	63
K1578＋474	2.35	45	2.25	5.16	1.78	1.014	50	13.4	5.5	56
K1579＋079	11.69	56	3.69	7.65	9.23	1.054	30	24.3	12.7	46
K1582＋047	22.78	41	7.89	3.58	42.54	1.259	16	26.5	6.3	67
K1584＋478	8.76	33	6.1	4.63	15.24	1.905	32	32.6	34.8	76
K1592＋262	18.36	85	5.82	2.74	16.29	1.882	34	38.6	20.4	51
K1596＋212	15.24	81	3.51	16.38	6.45	1.307	40	25.9	7.9	82

由表 6 结果可知,本文计算结果与现场调查结果基本一致,但与集对分析方法有部分不同。例如 K1 560+183号沟和 K1579+079 号沟本文的计算结果分别为极度、高度,而集对分析方法计算结果为高度、中度,相对于本文结果来看偏于保守。结合现场调查结果来看,本文泥石流危险性评价结果更加接近实际情况。考虑到中巴公路的重要程度,评价结果应当为极度危险和高度危险。

表 6　泥石流危险性计算结果

沟谷编号	危险度	结论	集对联系隶属度	现场调查结果
K1549+640	0.43	中度	中度	中度
K1553+600	0.41	中度	中度	中度
K1555+938	0.62	高度	高度	高度
K1557+900	0.48	中度	中度	中度
K1558+800	0.51	中度	中度	中度
K1560+183	0.81	极度	高度	极度
K1562+381	0.69	高度	高度	高度
K1564+520	0.44	中度	中度	中度
K1564+980	0.70	高度	高度	高度
K1567+272	0.67	高度	高度	高度
K1568+299	0.64	高度	高度	高度
K1571+439	072	高度	高度	高度
K1573+748	0.60	高度	高度	高度
K1575+578	0.61	高度	高度	高度
K1578+474	0.63	高度	高度	高度
K1579+079	0.65	高度	中度	高度
K1582+047	0.61	高度	高度	高度
K1584+478	0.70	高度	高度	高度
K1592+262	0.81	极度	极度	极度
K1596+212	0.72	高度	高度	高度

4　结 论

泥石流危险性评价是一项复杂的工程,影响泥石流的影响因素众多,既有其内在的原因,也有外部因素的影响,有定性的指标也有定量的,只有综合分析、合理利用各评价指标才能对泥石流危险性作一个较为全面和准确的评价。

(1) 本文采用组合赋权法确定评价指标的综合权重,克服了单一赋权法的不足,使评价结果更加准确,符合实际情况。

(2) 本文计算方法相比集对分析方法,更接近于现场调查结果,集对分析方法偏保守。

(3) 由于危险度的划分各有不同,且在临界点上泥石流的危险性跨了 2 个等级,比如 0.61,0.59 分别为高度危险和中度危险,但 0.6 能否作为不同等级的分级临界值还有待商榷,其原因是泥石流这一复杂地质现象许多本质目前研究的并不是特别清晰。因此有些沟谷危险度处于同等级别,但危险性倾向有所不同,有的倾向于更高等级,有的则倾向于较低等级。

(4) 本文的泥石流危险性评价结果可为中巴公路沿线泥石流治理提供防治依据,并为以后的泥石流危险性研究提供科学参考。

[参 考 文 献]

[1] Blackwelder E. Mudflow as a geologic agent in semi-arid mountains[J]. Geological Society of America Bulletin, 1928,39(2):465-487.

[2] 足立胜治,德山九仁夫,中筋章人,等. 土石流发生危险度の判定につめて[J]. 新砂防,1977,30(3):7-16.

[3] Gomez H, Kavzoglu T. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificialneural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela [J]. Engineering Geology, 2005,78(1/2):11-27.

[4] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学,1988,3(3):10-15.

[5] 汪明武. 基于神经网络的泥石流危险度区划[J]. 水文地质工程地质,2000,27(2):18-19.

[6] 汪明武,金菊良,李丽. 投影寻踪新方法在泥石流危险度评价中的应用[J]. 水土保持学报,2002,16(6):79-81.

[7] 汪明武,李丽,金菊良. 泥石流危险度的改进集对分析模型[J]. 自然灾害学报,2009,18(6):124-128.

[8] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛. 组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重[C]// 深部岩石工程与岩土灾害防治测试新技术与应用研讨会,2006:1063-1067.

[9] 铁永波,唐川. 层次分析法在单沟泥石流危险度评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2006,17(4):79-84.

[10] 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.

[11] 徐林荣,王磊,苏志满. 隧道工程遭受泥石流灾害的工程易损性评价[J]. 岩土力学,2010,31(7):2153-2158.

[12] 杜国梁,高金川,李瑞冬. 基于模糊综合评价法和熵值法的泥石流危险度评价[J]. 安全与环境工程,2013,20(5):15-17.

[13] 毛硕,王运生,曹水合. 基于可拓和组合赋权的泥石流危险性评价[J]. 工业安全与环保,2016,42(1):56-60.

[14] 路遥,徐林荣,陈舒阳,等. 基于博弈论组合赋权的泥石流危险度评价[J]. 灾害学,2014,29(1):194-200.

[15] 张晨,王清,陈剑平,等. 金沙江流域泥石流的组合赋权法危险度评价[J]. 岩土力学,2011,32(3):831-836.

[16] 江强强,方堃,章广成. 基于新组合赋权法的地质灾害危险性评价[J]. 自然灾害学报,2015,24(3):28-36.

[17] 姚兰飞,钱德玲,方成杰,等. 基于灰色定权聚类模型的泥石流危险性评价[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2017,40(6):803-808.