

路基遭受泥石流灾害的易损性评价

徐士彬¹, 钱德玲¹, 姚兰飞¹, 方成杰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] 研究路基易损性, 为泥石流地区路基防治等级的确定和路基承灾能力评估提供一种有效的方法。[方法] 根据路基遭受泥石流灾害破坏的情况, 并结合前人对易损性的研究成果, 提出路基易损性的概念。根据路基承灾特点和泥石流致灾特征, 从泥石流作用效应和路基结构抗力 2 方面系统分析路基的地质选址、设计、施工、维修养护及泥石流致灾因子对路基易损程度的影响, 选取路基易损性评价指标, 确定路基易损性评价指标体系, 并借助于层次分析法确定各级指标权重, 然后采用岭型分布函数确定指标隶属度, 最后运用模糊综合评价法建立路基易损性评价模型, 进行路基易损性评估。[结果] 该方法对公路一处路基进行易损性评价, 结果为中度易损性。[结论] 评价结果与现场实际情况相符, 证实了该方法的可行性。

关键词: 公路工程; 路基易损性; 模糊综合评价法; 泥石流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0235-07

中图分类号: P642.23

文献参数: 徐士彬, 钱德玲, 姚兰飞, 等. 路基遭受泥石流灾害的易损性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 235-241. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.045

Evaluation of Vulnerability of Subgrade Suffering from Debris Flow Disasters

XU Shibin¹, QIAN Deling¹, YAO Lanfei¹, FANG Chengjie¹, LIU Jie^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China;

2. Xinjiang Transportation Planning Surveying and Design Institute, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830006, China)

Abstract: [Objective] The vulnerability assessment of subgrade was studied in order to provide an effective method for the determination of prevention rank and the assessment of the disaster-bearing capability of subgrade. [Methods] According to the subgrade suffering from debris flow and previous research, the concept of subgrade vulnerability was proposed. Based on the characteristics of the subgrade and debris flow, the influences of the subgrade geological location, the design, the construction and the operation maintenance on subgrade vulnerability were systemically analyzed. Then the evaluating indicators of subgrade vulnerability were determined. The weights of indicators at all levels were determined by using the AHP (analytic hierarchy process) method, and the ridge distribution function was used to calculate the membership grades of indicators. The assessment model of subgrade vulnerability was finally established based on the fuzzy comprehensive evaluation. [Results] The established model was applied to assess one subgrade of the highway and the result was moderate vulnerability. [Conclusion] The evaluation result was consistent with the actual situation, and confirmed the feasibility of the method.

Keywords: highway engineering; subgrade vulnerability; fuzzy comprehensive evaluation; debris flow

国道 314 线喀什至红其拉甫段又称为中巴公路, 济和国防等各方面都具有非常重要的地位。该线奥依塔克镇至布伦口湖段 (K1549 + 800—K1626 +

收稿日期: 2016-01-10

修回日期: 2016-01-15

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: 徐士彬 (1990—), 男 (汉族), 山东省济南市人, 硕士, 研究方向为地基基础与上部结构相互作用及泥石流相关问题。E-mail: 759215658@qq.com。

通讯作者: 钱德玲 (1955—), 女 (汉族), 安徽省合肥市人, 博士, 博士生导师, 教授, 主要从事地基—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。E-mail: dlqian@sina.com。

850)是中巴公路的瓶颈路段。该路线主要位于山岭重丘区,路线多依山傍河(盖孜)而行,山势险峻,公路路线位最高海拔高程为 3 560 m,自然条件极其恶劣,地质条件复杂,泥石流沟发育,泥石流和洪水不断地侵袭公路,常常冲毁桥涵,冲断路基,因其地质灾害严重和频繁而闻名于新疆内外。2001 年中巴公路 K1601 处一个 33 m 的大桥被泥石流冲毁,桥面被整体抬升,推移了 40~50 m;K 1615 处泥石流将路基冲开宽约 20 m 多的沟槽,下切近 15 m 深,造成严重的交通中断。泥石流灾害给新疆地区经济的发展和人民的生命安全带来巨大的危害,对中巴公路路基及其沿线桥涵和附属构造物的破坏尤其严重。因此,国内外许多专家学者都致力于泥石流灾害的研究^[1-2],从泥石流形成机理及试验观测、泥石流物理学、泥石流运动、沉积作用、泥石流两相流模型和防治技术等方面较全面地构建了泥石流研究体系。

然而,目前国内外关于泥石流灾害作用下承灾体易损性的研究相当薄弱,且易损性的研究多集中在社会易损性、经济易损性、物质易损性和环境易损性方面^[3-4],反映承灾体自身属性与性质的易损性研究较少,其中已经进行的研究有:徐林荣^[5]等进行了隧道工程遭受泥石流灾害的易损性评价研究;潘小涛^[6]研究了公路防治工程(桥梁、涵洞、渡槽)在泥石流灾害作用下的易损性;曾超等^[7]进行了泥石流作用下建筑物易损性评价;Hwang H. 等^[8]分析了地震作用下钢筋混凝土桥梁结构易损性等。可见,有少量学者开展泥石流灾害对公路构筑物的易损性研究,而未见直接针对泥石流灾害作用下路基易损性的研究。因此,路基易损性的研究已经成为减少山区公路路基遭受泥石流破坏的关键环节,基于此,本文拟进行泥石流灾害作用下的路基易损性研究,采用层次分析法和模糊综合评价法建立路基易损性评价模型,进行路基易损性评价,从而确定路基的防治等级和承灾能力,为公路部门设计路线和泥石流预警提供可靠的参考。

1 路基易损性的定义

国内外学者对易损性定义的理解存在着较大的差异,Maskery^[9]把易损性定义为“由于极端事件而导致损失的可能性”;Tobin 和 Montz^[10]将易损度定义为“损失的潜力”,这个定义反映了承灾体的部分属性;刘希林等^[11]将泥石流易损度定义为“在一定区域和给定时段内,由于泥石流灾害而可能导致的该区域内所存在的一切人、财、物的潜在最大损失”,这个定义从泥石流灾害和承灾体两方面定义了易损性,但承灾体的范围过于广泛;1991 年和 1992 年联合国两次

公布了自然灾害易损度的定义:“在给定地区由于潜在损害现象可能造成的损失程度,取值从 0 到 1”。通过综合考虑联合国关于易损度的定义和其他专家学者的研究成果,本文将泥石流灾害作用下路基易损性定义为:“在给定地区由于泥石流灾害而导致公路路基可能受到的损毁程度”。该定义体现了路基易损性研究的两个主要方面,即泥石流灾害和路基本身,该定义切合本文的研究内容同时指明了本文的研究方向。本文以中巴公路路基和泥石流灾害为研究对象,说明路基易损性的评价方法并建立易损性评价模型。

2 路基易损性评价指标体系

2.1 评价指标的选取及其分级

本文研究路基遭受泥石流灾害的易损性,因此根据路基易损性的定义,可以从路基和泥石流的相互作用出发,将研究对象分为路基和泥石流两部分。应用力学中将相互作用分为结构抗力和作用效应的原理,把路基抵抗泥石流的能力作为结构抗力,把泥石流对路基的影响作为作用效应,从路基抗灾能力(结构抗力) B_1 和泥石流破坏能力(作用效应) B_2 两方面选取评价指标。路基抗灾能力主要体现在路基的强度、变形和稳定性等方面,因此 B_1 主要考虑道路设计、施工及维修养护等因素($C_1—C_3$)对路基抗灾能力的影响,它们与公路等级密切相关,体现了路基的抗灾特点。根据刘希林等^[12-13]对泥石流危险度的研究,同时参考泥石流灾害防治工程设计规范^[14]等相关文献资料,选取泥石流规模、暴发频率以及防治措施等因素($C_4—C_6$)作为泥石流破坏能力 B_2 的评价指标,它们集中反映了泥石流的致灾特征。然后将路基抗灾能力 B_1 的次级指标细化,其中道路设计 C_1 主要考虑道路的选址及影响路基强度与稳定性的各种因素对路基易损性的影响($D_1—D_7$),其中道路排水设计 D_6 主要考虑过水涵洞及沿路基方向的排水沟的布置和设计;道路施工 C_2 主要考虑施工质量对路基易损性的影响(D_8),施工质量直接决定了路基的强度、刚度和稳定性,本文主要考虑路基压实度和边坡防护设施的施工质量对路基易损性的影响,路面铺装材料及附属设施等的施工质量对路基易损性影响较小,故不予考虑;道路维修养护 C_3 主要考虑道路在使用过程中的维修力度及道路服役过程中材料损伤对道路使用性能的影响(D_9, D_{10})。 $D_1—D_{10}$ 充分反映了路基的自身结构、材料、所处地质环境及施工和养护等路基的自身条件对路基易损性的影响,它们是决定路基强度、变形和稳定性的主要因素。最后将泥石流破坏能力 B_2 的次级指标细化,其中泥石流规模 C_4 主要考

虑松散固体物质储量、24 h 最大降雨量、流域面积等指标($D_{11}—D_{13}$)的影响; C_5 和 C_6 不做细分,直接作为下一级评价指标 D_{14} 和 D_{15} 。

以上分析确定了路基易损性的评价指标,共有 15 个,即影响路基抗灾能力的指标 $D_1—D_{10}$ 和 影响泥石流破坏能力的指标 $D_{11}—D_{15}$,它们共同决定了

路基的易损性。参考其他专家学者的研究成果,同时结合中巴公路现场实际情况,按各评价指标对易损性影响程度的大小将路基易损性分为极高易损性、高度易损性、中度易损性、低度易损性、极低易损性 5 个等级,并划分各个指标对应不同评价等级的取值范围。路基易损性评价指标及其分级^[5,6,12-13,15]见表 1。

表 1 路基易损性评价指标的取值范围

评价指标	极高易损性	高度易损性	中度易损性	低度易损性	极低易损性
路基与主沟道夹角 $D_1/(^\circ)$	0~20	20~40	40~60	60~80	80~90
路基与主沟道位置合理性 D_2	极不合理,会加剧泥石流对路基的冲击与冲刷破坏	不合理,不利于泥石流排泄,并会导致强烈的冲击与冲刷破坏	一般合理,较利于泥石流的排泄,但会引起一定程度的泥石流破坏作用	较为合理,较利于泥石流的排泄	合理,有利于泥石流的顺利排泄
路基处场地工程性质 D_3	地质条件极为复杂,不良地质作用极为发育	场地稳定性差,不良地质作用较发育	场地较为稳定,有小型不良地质作用发育	地形简单,地质条件良好	地质环境良好
道路横断面设计 D_4	路基横断面形式和尺寸设计极不合理,路基稳定性极差	路基横断面形式和尺寸设计不合理,路基稳定性较差	路基横断面形式和尺寸设计一般,路基稳定性一般	路基横断面形式和尺寸设计较为合理,路基稳定性较好	路基横断面形式和尺寸设计合理,路基稳定性强
路基路面材料及压实标准 D_5	路基路面材料性质很差,未进行压实	路基路面材料性质较差,压实不充分	路基路面材料性质一般,压实效果一般	路基路面材料选择较为合理,性质较好,压实较充分	路基路面材料选择合理,性质优良,压实充分
道路排水设计 D_6	排水系统不合理,水流淤积,不能疏散	排水系统布置和设计较不合理,水流疏散慢,时间长	排水系统布置和设计一般,水流疏散时间较长	排水系统较为合理,水流疏散较快,没有淤积	排水系统合理有效,水流能及时疏散,就近分流
防护和加固设计 D_7	没有采取任何防护和加固措施	仅在路基少量部位进行了防护和加固	路基多处进行了防护和加固,但仍不足	路基防护和加固措施较为完善	路基防护和加固措施完善有效
施工质量 D_8	很差,没有相应监管	存在一定质量问题	一般,基本不存在质量问题	有相应监管,质量较好	有严格监管且严格按照设计施工
公路使用时间/设计寿命 D_9	0.8~1	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0~0.2
维修力度 D_{10}	没有进行维修养护	灾后进行相应修补	灾后进行相应修复,但养护资金较不充裕	定期检查且养护资金较充裕	经常检查与定期检查相结合且养护资金充裕
松散固体物质储量 $D_{11}/10^4 \text{ m}^3$	>200	100~200	50~100	0.5~50	<0.5
24 h 最大降雨量 D_{12}/mm	>100	50~100	25~50	10~25	<10
流域面积 D_{13}/km^2	>35	10~35	5~10	0.5~5	<0.5
泥石流暴发频率 $D_{14}/(\text{次} \cdot \text{a}^{-1})$	>1	0.1~1	0.01~0.1	0.001~0.01	<0.001
泥石流防治措施 D_{15}	无防治措施	仅有简单防治措施,防治效果很差	有少量防治措施,防治效果一般	有较多防治措施,防治效果较好	有综合防治措施,彻底根治泥石流灾害

注:为便于结果定量化,把以上定性因子转化为有序尺度的变量对其进行定量化。在此采取 1~5 的有序尺度对定性指标进行定量化,即 0~1 代表极高易损性等级,如此类推,4~5 代表极低易损性等级,量值越小,代表易损性等级越高。

2.2 易损性评价指标体系的建立

为了方便理清各层评价指标相互的关系,而建立

递阶状层次结构,即易损性评价指标体系如图 1 所示。该体系分为 4 个层次:目标层(G)、I 级评价指

标层(B)、Ⅱ级评价指标层(C)和Ⅲ级评价指标层(D)。其中目标层是指路基在泥石流灾害作用下的易损性,是整个层次分析的核心目标,也是本文研究的主要内容;Ⅰ级评价指标层列出了影响路基易损性的两个主要方面,即路基抗灾能力和泥石流破坏能力;Ⅱ级评价指标层则表示影响路基抗灾能力和泥石流破坏能力的各种主要因素;Ⅲ级评价指标层表示影

响道路设计、施工及维修养护的各种因素以及影响泥石流规模、暴发频率和防治措施的各种因素,共有 15 个指标,包含了道路自身结构、材料、工程地质环境、施工质量及维护力度及松散固体物质储量、24 h 最大降雨量、流域面积、泥石流暴发频率、防治措施等各个方面,充分考虑了路基的自身属性和特点以及泥石流的致灾特征。

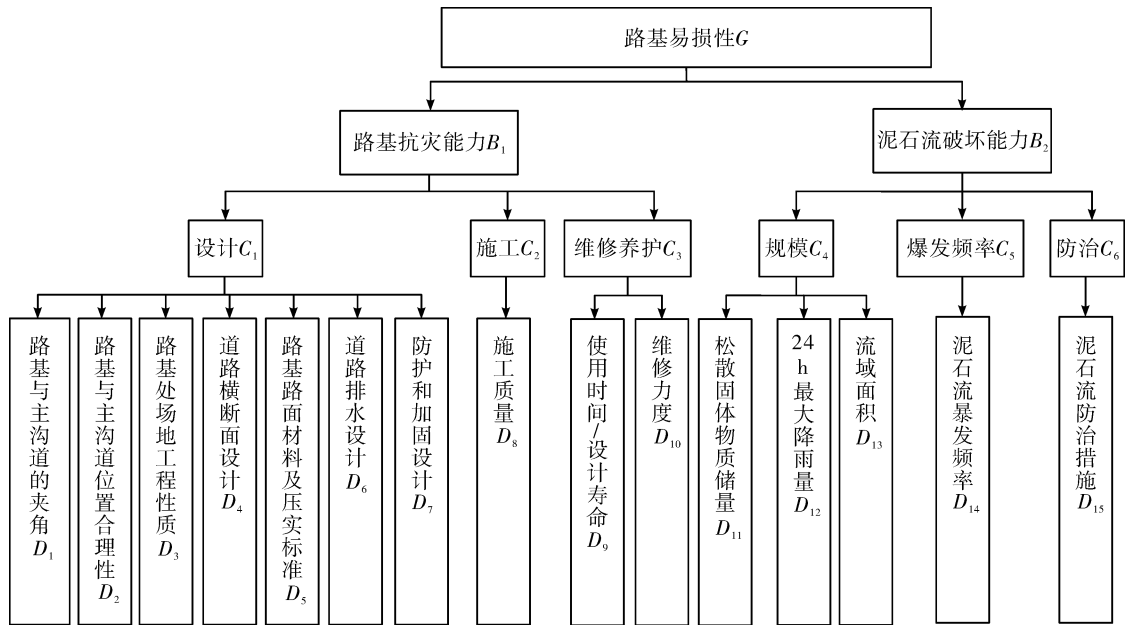


图 1 评价指标体系

2.3 层次分析法确定指标权重

确定了评价指标体系之后,为了进行路基易损性评价,需要确定各层评价指标的权重。本文采用层次分析法确定指标权重,该方法依据评价指标体系中的递阶状层次结构,根据同一层次的各指标关于上一层中某一准则的相对重要性构造判别矩阵,对判别矩阵进行相应计算从而确定各比较元素对于该准则的相对权重,并以此类推最终确定各层指标相对重要性的总排序。具体来说,层次分析法引入 Saaty^[16]的 1—9 标度方法将各指标的重要性用数值形式表示出来,从而构成判别矩阵 P ,然后根据公式 $P_w = \lambda_{\max} W$ 计算判别矩阵对应的最大特征值 λ_{\max} 和特征向量 W 。接着对判别矩阵进行一致性检验,采用公式:

$C_I = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ 计算一致性指标 C_I (n 为评价指标数目),查表得到平均一致性指标 R_I ,若满足 $C_R = C_I/R_I < 0.1$,则表示判别矩阵满足一致性,从而说明各评价指标权重分配合理。否则需要更改判别矩阵,重新进行一致性检验。本文在判别矩阵满足一致性的情况下,得到各级指标的权重(表 2)。

由表 2 可以看出,在 $D_1—D_7$ 中, D_6 的权重最大,表示 D_6 对 C_1 的影响是最大的,即道路排水设计是道路设计中的最关键的部分,其次是 D_4 对 C_1 的影响。其他Ⅲ级评价指标对各自对应的Ⅱ级评价指标的重要程度以及各个Ⅱ级评价指标对各自对应的Ⅰ级评价指标的重要程度也可以在表 2 中查出。最终可以确定各层评价指标相对重要性的总排序。

3 模糊综合评价模型的建立

路基易损性的影响因素众多,涉及到道路设计、施工、运营维护以及泥石流规模、暴发频率、防治措施等方面因素,其评价系统相当复杂,且所选择的评价指标可提供的信息具有模糊性和不确定性,因此路基易损性评价是一个不确定问题。模糊综合评价法是处理不确定问题的有效的数学工具,能在数据不完备、评价指标模糊的情况下对事物进行可靠评价,因此本文采用模糊综合评价法进行路基易损性的评价。

表 2 路基易损性评价各级指标权重

等级	一级				二级				三级			
指标	B_1	C_1	C_2	C_3	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8
权重	0.33	0.64	0.26	0.10	0.07	0.13	0.07	0.22	0.14	0.23	0.14	1.00
指标	B_2	C_4	C_5	C_6	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	
权重	0.67	0.54	0.30	0.16	0.75	0.25	0.52	0.36	0.12	1.00	1.00	

3.1 建立因素集和评判集

因素集是指路基易损性评价指标所组成的集合, 将因素集 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 按某种属性分为 s 类, 即

$$M_i = \{m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{in}\} \quad (i = 1, 2, \dots, s) \quad (1)$$

式中: n —— 因素总数; m_n —— 某个指标; i —— 第 i 种属性, 本文中, 因素集 M 即包含上文中所述 15 个易损性评价指标。

评价集是指各种评价结果所组成的集合

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\} \quad (2)$$

式中: p —— 评价结果总数; v_p —— 某个评价结果, 本文的评价结果为 5 个等级, 即:

$$V = \{\text{极高, 高度, 中度, 低度, 极低}\} \quad (3)$$

3.2 建立权重集

上文已经根据层次分析法建立了各层评价指标的权重, 将其按照因素类权重和因素权重进行分类。

$$\text{因素类权重集 } A = \{a_1, a_2, \dots, a_s\} \quad (4)$$

因素权重集

$$A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\} \quad (i = 1, 2, \dots, s) \quad (5)$$

3.3 确定指标隶属度

因素集 M 和评判集 V 间的评价关系可以用模糊关系矩阵 R 来表示。模糊关系矩阵 R 代表了因素集中每个因素对评判集中每一等级的隶属程度。用模糊数学处理带有模糊性的问题时选择适当的模糊分布函数很重要, 否则会脱离实际情况, 影响评价效果。针对中巴公路遭受泥石流灾害的实际情况, 鉴于路基易损性采用区间形式划分等级, 依据隶属函数确定的原则, 本文采用岭型分布函数, 建立以下隶属函数^[5,17], 可以准确反映指标的隶属度。

$$u_1 = \begin{cases} 0 & (x \leq \frac{a_3 + a_4}{2}) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} (x - a_4) & (\frac{a_3 + a_4}{2} < x \leq a_4) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_5 - a_4} (x - a_4) & (a_4 < x \leq \frac{a_4 + a_5}{2}) \\ 1 & (x > a_5) \end{cases}$$

$$u_2 = \begin{cases} 0 & (x \leq \frac{a_2 + a_3}{2}, x \geq \frac{a_4 + a_5}{2}) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_3 - a_2} (x - a_3) & (\frac{a_2 + a_3}{2} < x \leq a_3) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} (x - a_3) & (a_3 < x \leq \frac{a_3 + a_4}{2}) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} (x - a_4) & (\frac{a_3 + a_4}{2} < x \leq a_4) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_5 - a_4} (x - a_4) & (a_4 < x < \frac{a_4 + a_5}{2}) \end{cases}$$

$$u_3 = \begin{cases} 0 & (x \leq \frac{a_1 + a_2}{2}, x \geq \frac{a_3 + a_4}{2}) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (x - a_2) & (\frac{a_1 + a_2}{2} < x \leq a_2) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_3 - a_2} (x - a_2) & (a_2 < x \leq \frac{a_2 + a_3}{2}) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_3 - a_2} (x - a_3) & (\frac{a_2 + a_3}{2} < x \leq a_3) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} (x - a_3) & (a_3 < x < \frac{a_3 + a_4}{2}) \end{cases}$$

$$u_4 = \begin{cases} 0 & (x \leq \frac{a_0 + a_1}{2}, x \geq \frac{a_2 + a_3}{2}) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_1 - a_0} (x - a_1) & (\frac{a_0 + a_1}{2} < x \leq a_1) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (x - a_1) & (a_1 < x \leq \frac{a_1 + a_2}{2}) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (x - a_2) & (\frac{a_1 + a_2}{2} < x \leq a_2) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_3 - a_2} (x - a_2) & (a_2 < x < \frac{a_2 + a_3}{2}) \end{cases}$$

$$u_5 = \begin{cases} 1 & (x \leq \frac{a_0 + a_1}{2}) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_4 - a_3} (x - a_4) & (\frac{a_0 + a_1}{2} < x \leq a_1) \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_5 - a_4} (x - a_4) & (a_1 < x \leq \frac{a_1 + a_2}{2}) \\ 0 & (x > \frac{a_1 + a_2}{2}) \end{cases}$$

式中: u_i —— 各个评价指标的隶属函数; x —— 各个评价指标的实际值; a_i —— 评价指标分级的基准界限值, $a_0 < a_1 < \dots < a_5$ 。

3.4 模糊综合评价

3.4.1 II级模糊综合评判 对每一类的各个因素进行综合评判,设II级模糊综合评判的单因素模糊关系矩阵^[17]为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11}^{(i)} & r_{12}^{(i)} & \cdots & r_{1p}^{(i)} \\ r_{21}^{(i)} & r_{22}^{(i)} & \cdots & r_{2p}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1}^{(i)} & r_{n2}^{(i)} & \cdots & r_{np}^{(i)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

第*i*类因素的模糊综合评判为:

$$Q_i = A_i \cdot R_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ip}) \quad (8)$$

式中: $r_{np}^{(i)}$ ——矩阵 R_i 中第*n*行、第*p*列元素;
“ \cdot ”——模糊相乘符号; Q_i ——II级评判结果;
 q_{ip} ——II级隶属度向量元素, A_i 和 R_i 同前。

3.4.2 一级模糊综合评判 II级模糊综合评判的单因素评判结果构成I级模糊综合评判矩阵

$$R = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \vdots \\ A_s \cdot R_s \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Q = A \cdot R = A \cdot \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \vdots \\ A_s \cdot R_s \end{bmatrix} = (q_1, q_2, \dots, q_p) \quad (10)$$

式中: Q ——I级隶属度向量; q_p —— Q 的第*p*个元素, A 和 R 同前。如果有的子因素集 M_i 仍含有较多的因素,可以将 M_i 再划分,于是有III级模糊评价模型,自然有更多级模糊评价模型。对于计算得到的模糊运算结果,依据最大隶属度原则将模糊子集 Q 中向量值最大者在评价集 V 中所处等级作为易损性评价等级,最终确定路基的易损性等级。

4 中巴公路路基易损性评价

中巴公路第一合同段有3处主要的泥石流,分别为K1558+900,K1560+800,K1562+0003处,本文选取K1560+800处的泥石流沟为研究对象,进行路基易损性评价。

4.1 现场情况调查

4.1.1 泥石流沟详情 K1560+800处泥石流属于沟谷型泥石流,其形成区由2条较大的支沟组成,支沟沟谷较开阔,一般宽10~30 m,长约2.5 km;主沟

道一般宽100~400 m,最宽处达1 000 m,长约3 km;该泥石流沟支沟众多,汇水面积达25.4 km²;沟床纵坡约5°~10°,两侧山体坡度约53.5°~64°。沟谷两侧基岩为砾岩、泥岩等,处于全风化状态,破碎严重,多发生崩塌;沟谷两侧坡脚处坡积物发育,沟床中的堆积物极为丰富,堆积物厚度很大。该沟为季节性河流,洪水主要由融雪和降雨形成,降雨集中发生在6—9月,其余月份水量极少。降大雨或暴雨时就会形成较大型的泥石流,泥石流出口后,在山前堆积坡地上冲出沟槽,沟槽宽70~80 m,深4~5 m。沟口为泥石流堆积区,呈扇形伸入盖孜河内;堆积区末端受盖孜河冲刷,形成高3~5 m的陡坎。

4.1.2 地质构造 项目区域在大地构造上属西昆仑褶皱系,西昆仑褶皱系又可分为2个II级构造单元:以北昆仑断裂为界,断裂以南为公格尔—桑株塔格隆起褶皱带,断裂以北为恰尔隆—库尔浪优地槽褶皱带,本项目路线分别跨越这2个单元。项目区及附近较大的活动性断层主要有北昆仑断裂、木吉—慕士塔格断裂、康西瓦断裂。受褶皱和断裂影响,区内形成了大量的压碎裂岩、角砾岩、糜棱岩、断层泥。

4.1.3 水文气象 中巴公路奥依塔格—布仑口段属于盖孜河流域,项目区域属暖温带大陆性气候,主要气象指标如下:年平均气温5.6℃,绝对最高气温32.7℃,绝对最低气温-27.2℃,年平均降水量131.1 mm,且降水主要集中在6—9月,占全年降水量的77.2%。盖孜河流域7—8月日照时间最长,太阳辐射和气温的升高导致大量的高山冰雪消融,形成冰崩、雪崩及冰湖溃决等,导致泥石流的发生。

4.2 泥石流作用下路基易损性评价

按照表1的评价指标及其分级,经过专家及施工单位的现场调查,得到K1560+800处泥石流和路基的原始调查结果如表3。根据上述路基易损性模糊综合评价模型,按照式(1)~(10)进行计算,模糊综合运算结果如表4所示,对一级隶属度向量进行计算,最终得到路基易损性的隶属度向量 $Q = (0.010, 0.366, 0.475, 0.127, 0.022)$,根据最大隶属度原则,取隶属度向量中的最大值,即0.475,依据式(3),最终确定K1560+800处路基易损性属于中度易损性,说明路基抵抗泥石流灾害的能力较弱,容易受到泥石流灾害的破坏。

现场实际调查表明,原路位于老洪积扇以外,是泥石流的主要堆积区,泥石流爆发后道路被掩埋,泥石流的清理工作比较艰巨。将该处道路上的泥石流堆积物清理后,发现路基的受损情况并不严重,对路基进行一定程度的维修后道路就恢复了正常使用

功能,因此评价结果为中度易损性是合理的,从而证明了该方法的可行性。对隶属度向量进一步观察可以发现,0.475 是最大值,0.366 次之,而依据式(3),

0.366 对应的是高度易损性,说明 K1 560+800 处的路基易损性虽然属于中度易损性,但是也有向高度易损性倾斜的趋势。

表 3 K 1560+800 处泥石流和路基调查结果

指标	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}
数据	84°	1.8	2.6	2.3	3.7	1.3	1.4	3.6	0.75	3.9	78	41.7	25.4	0.5	2.7

表 4 模糊综合运算结果

指标	三级隶属度向量	二级隶属度向量	一级隶属度向量	综合隶属度向量
D_1	(0,0,0,0.024,0.976)			
D_2	(0,0.794,0.206,0,0)			
D_3	(0,0,0.976,0.204,0)			
D_4	(0,0.095,0.905,0,0)	(0.025,0.469,0.294,0.130,0.082)		
D_5	(0,0,0,0.905,0.095)		(0.027,0.364,0.188,0.354,0.067)	
D_6	(0.095,0.905,0,0,0)			
D_7	(0.024,0.976,0,0,0)			
D_8	(0,0,0,0.976,0.024)	(0,0,0,0.976,0.024)		(0.010,0.366,0.475,0.127,0.022)
D_9	(0.146,0.854,0,0,0)			
D_{10}	(0,0,0,0.655,0.345)	(0.110,0.640,0,0.164,0.086)		
D_{11}	(0,0.009,0.991,0,0)			
D_{12}	(0,0.068,0.932,0,0)	(0.004,0.145,0.851,0,0)		
D_{13}	(0.033,0.967,0,0,0)		(0.002,0.367,0.616,0.015,0)	
D_{14}	(0,0.962,0.038,0,0)	(0,0.962,0.038,0,0)		
D_{15}	(0,0,0.905,0.095,0)	(0,0,0.905,0.095,0)		

5 结论

(1) 本文在综合考虑易损性定义的基础上,以新疆中巴公路路基遭受泥石流灾害为工程背景,提出路基易损性的概念,并将路基易损性定义为:“在给定地区由于泥石流灾害而导致公路路基可能受到的损毁程度”。这一定义体现了路基由于自身结构、材料、施工质量和工程地质环境等特征的不同可能造成路基在泥石流灾害面前所表现出的易损度的不同。

(2) 本文从结构抗力和作用效应 2 方面进行路基易损性分析,选取路基抗灾能力和泥石流破坏能力为 I 级评价指标,并将影响路基抗灾能力的道路设计、施工、维修养护和泥石流规模、暴发频率及防治措施作为 II 级评价指标,然后将道路设计、施工及维修养护细化为 10 个 III 级评价指标,将泥石流规模、暴发频率及防治措施细化为 5 个 III 级评价指标,从而建立了易损性评价指标体系;查阅相关规范和文献并结合项目实际情况确定了各评价指标的取值范围并分级,然后借助于层次分析法及模糊综合评价法,建立了路基易损性评价模型。

(3) 本文在易损性评价的研究上还存在着一些不

足:由于泥石流作用下路基易损性评价的影响因素众多,在评价时不可能考虑所有影响因素,只能取主要影响因素进行考虑,且个别评价指标的获取及其等级划分具有一定的难度,因此易损性评价存在一定误差。此外,采用层次分析法确定易损性评价指标权重时存在主观因素的干扰,难以保证指标权重的客观准确性,导致评价结果与实际情况有所偏离。因此,在今后的研究中还应在以下 2 方面做出进一步改进:一是在易损性评价指标的选取方面,应该使评价指标在具有代表性和典型性的同时做到更全面、更细致,从而为路基易损性评价提供合理而全面的指标;二要改进指标权重的确定方法,减少主观因素的干扰,使指标权重更准确。

[参 考 文 献]

[1] 陈洪凯,唐红梅,叶四桥. 中国公路泥石流研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2008,19(1):1-5.
 [2] Ghilardi P, Natale L, Savi F. Modeling debris flow propagation and deposition[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, 2001,26(9):651-656.

(下转第 247 页)

- 抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 79-84.
- [9] 李民义, 张建军, 王春香, 等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 125-130.
- [10] 张瑞, 苟晓敏, 赵玉珍, 等. 东北黑土区土壤侵蚀对土壤持水性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 62-65.
- [11] 孙中峰, 张学培, 刘卉芳, 等. 晋西黄土区坡面林地土壤持水性能研究[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 343-347.
- [12] 李红, 范素芳, 张光灿, 等. 黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 27-30.
- [13] 王小红, 杨智杰, 刘小飞, 等. 天然林转换成人工林对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 177-182.
- [14] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 等. 黄土丘陵区植被恢复中土壤团聚体演变及其与土壤性质的关系[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 45-50.
- [15] 何淑勤, 郑子成, 宫渊波. 不同退耕模式下土壤水稳性团聚体及其有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 229-233.
- [16] 何淑勤, 宫渊波, 郑子成, 等. 不同植被类型条件下土壤抗蚀性变化特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 17-22.
- [17] Ghimire S K, Babel M S. Evaluation of erosion productivity impact calculator (EPIC) model for middle mountain region of Nepal[J]. International Journal of Sediment Research, 2004, 19(2): 106-122.
- [18] Sharply A N, Williams J R. EPIC erosion productivity impact calculator(1): Model documentation[M]. Washington D C: Department of Agriculture, 1990: 20-28.
- [19] 马云, 何丙辉, 何建林, 等. 三峡库区皇竹草植物篱对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 79-82.

(上接第 241 页)

- [3] 刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001(2): 7-12.
- [4] 赵源, 刘希林. 泥石流灾害损失评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 21-24.
- [5] 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.
- [6] 潘小涛. 泥石流公路防治工程易损性评价[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [7] 曾超, 贺拿, 宋国虎. 泥石流作用下建筑物易损性评价方法分析与评价[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1211-1220.
- [8] H Hwang, 刘晶波. 地震作用下钢筋混凝土桥梁结构易损性分析[J]. 土木工程学报, 2004, 37(6): 47-51.
- [9] Maskrey A. Disaster Mitigation: A Community Based Approach[M]. Oxford: Oxfam, 1989.
- [10] Tobin G, Montz B E. Natural Hazards: Explanation and Integration[M]. New York: The Guilford Press, 1997.
- [11] 刘希林, 莫多闻. 泥石流易损度评价[J]. 地理研究, 2002, 21(5): 569-575.
- [12] 刘希林, 唐川, 张松林. 中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 1-7.
- [13] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 10-15.
- [14] 中华人民共和国地质矿产行业标准. DZ/T0239-2004 泥石流灾害防治工程设计规范[S]. 北京: 中国地质调查局, 2004.
- [15] 朱林, 梁昌望, 赵青. 路基路面工程[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2008.
- [16] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mc Graw-Hill, 1980.
- [17] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.