

# 基于粗糙集的权重确定方法在我国喜马拉雅山地区典型冰碛湖溃决危险性评价中的应用

舒有锋<sup>1</sup>, 王钢城<sup>1</sup>, 庄树裕<sup>1</sup>, 刘伟<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 西藏自治区地质环境监测总站, 西藏 拉萨 850001)

**摘要:** 采用一种粗糙集改进方法, 针对我国喜马拉雅山地区典型冰碛湖, 认为溃决危险性冰碛湖具有冰川地貌陡峭, 冰川活动频繁, 湖盆规模较大, 终碛堤稳定性差以及气候湿热等5大特征。选取了冰碛湖溃决危险性评价指标, 结合实际调查结果确定各指标权重, 并通过模糊综合评判对其进行了验证。根据权重值得出影响冰碛湖溃决的最重要特征是冰碛堤稳定性(权重为0.42), 次要为气候特征(权重为0.18), 另3项特征(权重均约为0.13)接近。评价指标重要性等级为: 终碛堤宽度、水热组合为重要影响因素; 距冰舌前段距离、冰湖面积、海拔高度为中等影响因素; 背水坡度、终碛堤平均颗粒粒度为一般影响因素。模糊综合评判结果与实际调查接近一致, 权重的准确性较高, 对于我国冰碛湖的危险性评价具有重要的参考价值。

**关键词:** 冰碛湖; 溃决; 粗糙集; 危险性评价; 评价指标

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)05-0109-06

中图分类号: P642.22

## A Weight Determination Method Based on Rough Set for Hazard Assessment of Typical Moraine-dammed Lake Outburst in Himalayan Region

SHU You-feng<sup>1</sup>, WANG Gang-cheng<sup>1</sup>, ZHUANG Shu-yu<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>

(1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China;

2. Geological Environmental Monitoring Station of Tibet Autonomous Region, Lhasa, Tibet 850001, China)

**Abstract:** This study adopts an improved method of the rough set. In view of the typical moraine-dammed lakes in Tibet, China, it is proposed that the moraine lakes prone to outburst often have the five characteristics of steep glacial relief of moraine lake area, frequent glacial activities, large scale of moraine lakes, poor stability of moraine dam, and wet-hot climate condition. Based on the characteristics, evaluation factors are selected in the hazard assessment of moraine-dammed lake outburst. Then, weights are determined for the factors in consideration of practical survey result and verified by fuzzy comprehensive evaluation. By the weights, it can be concluded that the most important factor on outburst is the stability of moraine dam (weight value 0.42), the second is the climate condition (weight value 0.18), and the other three are closely equal (each weight value about 0.13). Width of moraine dam and warm-humid combination are the important influencing factors; lake-glacial distance, lake area, and altitude height are the secondarily important influencing factors; moraine distal flank steepness and average particle size of moraine dam are the ordinary factors. The result of fuzzy comprehensive evaluation is consistent with that of practical survey, so the weights of the high accuracy can be of great reference value to the hazard assessment of moraine-dammed lake outburst in China.

**Keywords:** moraine-dammed lake; outburst; rough set; hazard assessment; evaluation index

冰湖溃决灾害<sup>[1]</sup>是指冰湖溃决产生的洪水或由溃决洪水演变成的泥石流, 危害人类生命财产安全, 使自然环境和社会遭受严重破坏的自然灾害。近年

来在全球气候变暖的背景下, 世界环境计划署一项报告警告说, 喜马拉雅山地区在过去20 a平均气温整整上升了1℃。伴随气温的上升, 喜马拉雅山地区冰

雪融水明显增长,冰川及冰雪覆盖区出现强烈萎缩现象,冰湖水位持续增涨,冰湖溃决灾害发生频率已呈上升趋势。故研究冰湖溃决灾害对防灾减灾决策具有重大实际意义。

冰湖溃决危险性评价研究可谓方兴未艾,在评价方法上,国内外学者结合各自研究区冰碛湖特点提出相应的危险性评价方法<sup>[1-3]</sup>,研究方向存在从定性评价向半定性半定量、定量评价<sup>[1]</sup>发展的趋势。但影响冰碛湖溃决的因素复杂多样,致溃机理至今仍众说纷纭。因此不确定性数学方法(如粗糙集)在危险性评价上得到广泛的应用<sup>[3]</sup>。

影响各种评价方法评判结果的主要因素是评价指标权重的精度,因此在危险性评价中评价指标权重的确定是关键。客观准确的权重应该包括两部分<sup>[4]</sup>,一是单个指标在整个指标集中的重要程度,二是评价系统中单个指标自身的重要程度。目前权重一般采用专家经验打分评判法确定,这在一定程度上受主观影响较大,缺乏客观性,评价结果不稳定。

## 1 基于粗糙集的权重确定方法

粗糙集理论<sup>[4-7]</sup>是一种处理不完整性和不确定性的数学理论,该理论认为知识就是人类和其它物种所固有的分类能力。借助于知识表达系统进行研究,其基本成分是研究样本的集合,样本的知识通过指定样本的属性和它们的属性值来描述。知识表达系统  $S$  可以表示为,  $S = (U, R, V, F)$ ,  $R = CUD$  是样本的集合,  $U$  称为论域,是属性集合,子集  $C$  和  $D$  分别称为条件属性和决策属性,  $V = UV_r (r \in R)$  是属性值的集合,  $V_r$  表示属性  $r \in R$  的属性值范围,  $U/X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  表示论域  $U$  由  $X$  分类所产生的所有等价类关系的集合。  $f: U \times R \rightarrow V$  是一个函数,它指定每一个样本的属性值。

定义 1: 在决策表  $S = (U, R, V, F)$  中,  $R = CUD$  决策属性集  $D (R/D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\})$  相对于条件属性集  $C (U/C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\})$  的条件熵:

$$I(D/C) = \sum_{i=1}^m \frac{|C_i|}{|U|} \sum_{j=1}^k \frac{|D_j \cap C_i|}{|C_i|} \left(1 - \frac{|D_j \cap C_i|}{|C_i|}\right) \quad (1)$$

定义 2: 在决策表  $S = (U, R, V, F)$  中  $R = CUD$ ,  $\forall c \in C$ , 则条件属性指标  $c$  的重要度:

$$\text{Sig}(c) = I(D | (C - \{c\})) - I(D | C) \quad (2)$$

定义 3: 在决策表  $S = (U, R, V, F)$  中  $R = CUD$ ,  $\forall c \in C$ , 则条件属性指标  $c$  的权重:

$$W(c) = \frac{\text{Sig}(c) + I(D | \{c\})}{\sum_{a \in C} [\text{Sig}(a) + I(D | \{a\})]} \quad (3)$$

## 2 基于粗糙集的权重确定步骤

### 2.1 选取属性评价指标

粗糙集的研究对象是由一个多值属性(影响冰湖溃决的指标因素)集合描述的一个对象(冰湖样本)集合。粗糙集的决策问题是依据决策属性分类对象集合的过程。

我国西藏地区,喜马拉雅山北坡分布有众多的冰川湖,包括冰面湖、冰斗湖、冰坝湖、冰川终碛湖等类型。其中约 3/4 为冰川终碛湖(以下简称冰湖),而冰湖大多是由冰崩或冰滑坡导致溃决,极少数是由坝体渗透变形引起,因此本文研究由冰滑坡或冰崩导致的冰湖溃决。

现代冰川终碛湖<sup>[8]</sup>属于新冰期以来形成的溃决危险性冰碛湖,冰碛堤的成岸作用尚弱,结构较为松散,抗冲击性差,渗透性强,易失稳溃决;冰湖规模大,其蓄水体积也大,对堤坝产生的静水压力相对更大,渗透力增强,容易发生渗透溃决;陡峭的冰川地貌使冰川具有较高水平的势能储备,容易造成前缘冰川脱离主冰川坠入冰湖,产生涌浪冲击终碛堤导致溃决;冰川运动强弱决定冰川消涨规模,冰川活动性越强,冰川进退频率越高,冰雪消涨规模越大,越容易形成冰崩或冰滑坡入湖,溃决可能性也越大;气候冷湿与热融交替加快冰川融化速度,大量融水流入湖中,冰川前缘裂隙进一步发育完善直至冰体脱落坠入冰湖,威胁终碛堤安全。因此,潜在溃决危险性冰湖往往具有冰川地貌陡峭,冰川活动频繁,湖盆规模较大,冰碛堤稳定性差以及气候湿热等 5 大特征。

2.1.1 冰川地貌 主要指冰湖影响区纵比降,是冰湖溃决地质灾害的先天性影响因素。冰湖影响区是指影响冰湖湖盆的周边区域,包括后缘冰川汇水区、湖盆区、前缘冰碛堤以及下游主沟床。冰湖影响区纵比降是指冰湖影响区纵向上的平均比降。纵比降的大小与岩性、气候变化有密切关系。软弱岩冰碛湖区容易接受冰川气候的风化改造作用,造成湖区地势平缓,纵比降较小,同时产生大量的冰碛物受冰川前进推挤形成宽厚的终碛堤,不利于冰湖的溃决;反之,坚硬岩冰湖区地势陡倾,纵比降较大,终碛堤窄薄,有利于冰湖的溃决,而且陡倾的地势造成冰川的势能储备大,易产生推冰入湖的冰滑冰崩现象,对冰湖安全构成威胁。通过对研究区内的 14 个典型冰湖的调查数据进行分析,典型冰湖分别是白马林错、嘉龙湖、印达普错、穷比吓玛错、桑旺错、阿亚错、扎日错、金错、白湖、黄湖、阿玛直布错、龙巴萨巴错、郭洛错、郭洛强错。结果如图 1 所示,能较好地证明上述理论。

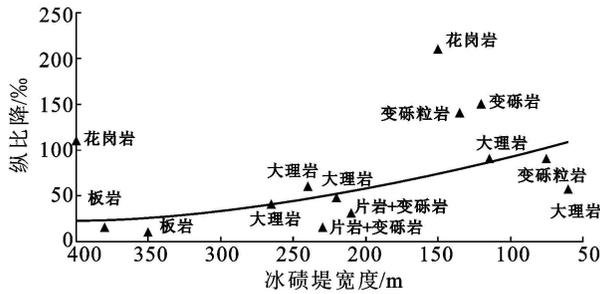


图1 冰碛堤宽度—纵比降关系拟合曲线

注:我国西藏地区一般岩石软硬程度:花岗岩>变砾岩>大理岩>板岩。

2.1.2 冰川活动<sup>[7-8]</sup> 主要指冰川活动频率和进退幅度是冰湖溃决地质灾害的直接诱发因素。频繁的冰川活动产生累计推进力,并不断向前传递至冰舌前缘,受到冰床以摩擦力为主的阻力作用得及时不到释放,不断蓄积增长。虽然冰床的蠕变过程可以释放推进力,但需要时间,频繁的冰川活动不能提供足够的时间。冰川进退幅度越大,单次推进力的蓄积值也越大,越容易造成冰滑坡的发生。例如,索县坡戈滑坡,1968年前冰川的前进,伸入冰湖内达700 m约 $5.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的冰体,是1972年7月溃决的必要条件。

2.1.3 湖盆规模<sup>[8]</sup> 主要指冰湖面积和深度。目前我国西藏冰湖面积呈扩大趋势。冰湖的面积增大,溃决的可能性也增大,一旦溃决,造成的危害也将必然加剧;但同时抵抗冰崩、冰坠或冰滑坡的扰动性也增加,即产生同样的溃决效果需要更大的冰崩体。冰湖深度不同,冰崩对冰碛堤产生的冲击作用也不同。深度越大,对整个坝体的冲击影响范围越大,不仅对上部坝体,对下部坝体也产生冲击。发生瞬时整体溃决的可能性也大,对下游危害更加严重。

2.1.4 冰碛堤稳定性 主要是终碛堆积体结构抗冲击、抗渗透能力,特别是冰碛堤形态、物质组成和坝内死冰体是阻止冰湖溃决灾害发生的重要因素。小冰期冰川前进,冰川上部携带后缘基岩崩塌松散堆积物,以细颗粒居多;冰床受到上部冰体的巨大掘蚀力,伴随冰川前进刨掘冰川底部岩层产生大量巨粒碎屑冰碛物,并在冰川退缩后与上部松散堆积物混合,受到这些厚实的冰碛物包裹保护作用,升温溶蚀受到限制,部分冰体残留于混杂碎屑冰碛物中,加强了局部甚至整个坝体的整体性,有利于坝体的稳定。而形态低平的冰碛堤相较于高陡的则更稳定。

2.1.5 气候变化<sup>[7]</sup> 尤其是气候的波动和波动频率的大小是冰湖溃决地质灾害的重要诱发因素。冰湖溃决的前提条件是长时间的湿冷气候形成的冰川积累前进和短时的剧烈升温。冰川前进使得冰舌接近

或伸入湖内,短时的剧烈升温导致大量冰雪融水或冰滑坡,水位暴涨,触发冰湖溃决。湿冷气候产生的作用直接可由冰川活动体现,而在反映气候变化的许多因素中,温度的升降变化与降水的多少和有无在时空上的共存关系称之为水热组合。水热组合分为4种类型,即湿热、湿冷、干热(暖)、干冷4种类型。前人研究成果表明,在水热组合中,相对湿热和干暖气候激发出现的冰湖溃决最多,相对湿冷和干冷最少。

国内外学者提出的影响冰湖溃决的具体指标,无论是McKillop等<sup>[2]</sup>研究加拿大British Columbia地区的冰湖,描述与冰湖相关18个指标,还是吕儒仁等<sup>[7]</sup>提出的7个评价指标构成的我国冰湖溃决危险性指标评价体系,均是基于这5大特征。因此依据此5大特征进行冰湖危险性确定的野外实地调查工作,通过现场走访问当地相关部门及牧民,了解后缘冰川规模,冰湖水位的变化情况,掌握冰碛坝形态,变形情况,物质组成及颗粒大小,查明溃决隐患条件,类比已调查的溃决冰湖各项记录数据,并参考文献[7]中确定的危险性,最终确定冰湖危险性等级。据此确定的实地调查结果虽存在一定的主观经验差异,但在目前冰湖的研究中具备良好的可靠性。

所谓典型冰湖是指冰湖的特征具有代表性,影响范围广,可能造成的危害大。本文以野外现场调查喜马拉雅山地区的41个重点冰湖数据资料为基础,选取其中的14个典型冰湖,依据5大特征,并考虑喜马拉雅山地区冰湖的特点<sup>[8-11]</sup>。

由于高海拔地区获取数据资料条件受限,现以终碛堤坝宽度、背水坡坡度、终碛堤平均颗粒粒度3项指标表征冰湖稳定性特征。背水坡度,堤坝宽度反映了坝体形态。在不考虑冰湖渗透变形溃决条件下,可忽略终碛堤颗粒级配的作用。

研究发现<sup>[2]</sup>,终碛堤颗粒粒度越大,抗冲击性越强,因此可以用终碛堤颗粒平均粒度表示坝体结构强度特征。另外,本文以冰碛湖面积指标表示冰碛湖规模特征;以海拔高度指标表示冰川地貌特征,一般情况下海拔越高,冰蚀作用越强烈,地形条件越恶劣,地势越陡;以距冰舌前段距离指标表示冰川运动特征;以水热组合指标表示气候特征。各属性指标数据来源和数据处理如下。

(1) 海拔高度是在野外调查现场通过GPS获取,冰湖面积、距冰舌前缘距离、终碛堤宽度(坝顶宽度)是采用测距仪现场测量获取。西藏地区有记录的15次冰湖溃决事件均在6—9月份<sup>[7]</sup>,由于这段时间的西藏地区气候适合野外调查,因此我们野外调查时间选在这几个月中进行,获取的数据较接近一年中冰

湖的最危险状态,具有较强的适用性。

(2) 由于高海拔地区条件所限,终碛堤粒径范围宽,大颗粒粒径达到到几米,取样困难,致使终碛堤颗粒级配无法准确获取,因此终碛堤平均颗粒粒度是现场使用卷尺测量颗粒大小,根据多位现场调查者目测物质级配组成比例,取 3 位野外经验较丰富者平均值作为最终的平均颗粒粒度。使用该方法获取数据难免产生人为误差,但在评价过程中通过在 30 cm 幅度内上、下调该指标值,发现其对评价结果的影响有限。

2.2 建立决策表

据以上评价指标,建立属性集  $U$  和属性特征集  $P$ , 属性集代表 14 个典型冰湖,用

$$U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$$

表示,属性特征集由条件属性和决策属性组成,用  $P = C \cup D$  表示,其中条件属性子集  $C = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\} = \{\text{海拔高度/m, 冰湖面积/km}^2, \text{距冰舌前段距离/m, 终碛堤宽度/m, 背水坡度/}^\circ, \text{终碛堤颗粒平均粒度/mm, 水热组合}\}$ , 决策属性集  $D = \{\text{危险等级}\}$ 。

根据吕儒仁提出的国内冰湖溃决评价指标体系<sup>[7]</sup>,参考文献[3]并综合本项目组现场调查分析,对表 1 中数据进行离散化处理,即将表 1 中数据用  $\{0, 1, 2\}$  表示。

表 1 典型冰碛湖属性特征原始值

属性集 $U$	属性特征集 $P$							决策属性集 $D$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	
1	4 669	1.009	950	220	15	610	干暖	低危险
2	4 332	0.268	0	200	33	638	湿暖	高危险
3	5 006	0.689	0	700	12	500	干冷	低危险
4	4 660	0.200	150	225	30	613	湿暖	高危险
5	5 150	5.375	0	600	20	460	湿暖	中危险
6	5 560	0.420	600	680	18	490	湿暖	低危险
7	5 386	0.374	0	100	18	505	湿暖	高危险
8	5 350	0.512	0	1500	33	540	湿暖	中危险
9	5 006	1.380	0	650	30	550	湿暖	高危险
10	5 057	1.045	0	150	22	420	湿暖	高危险
11	5 209	0.536	0	80	26	610	湿暖	高危险
12	5 392	0.756	0	420	35	445	湿暖	高危险
13	5 283	4.800	0	350	12	595	湿暖	中危险
14	5 325	5.625	0	63	22	560	湿暖	高危险
资料来源	现场调查	航片资料	航片资料	现场调查	现场调查	现场调查	气象资料	现场调查

海拔高度在 4 500 m 以上冰缘寒冻风化强烈,改造冰川区地形,5 200 m 以上为降雪为主的固态降水更接近现代冰川及规模更大的古冰川,冰川地势条件更为恶劣,有利于冰湖溃决的发生,所以对海拔高度

以 4 500, 5 200 m 为分界点;统计西藏已溃决冰湖发现其面积均  $> 0.200 \text{ km}^2$ , 且大多数面积  $> 0.600 \text{ km}^2$ , 故对冰湖面积以 0.200, 0.600  $\text{km}^2$  为分界点;据以往考察资料分析,冰舌和冰湖的距离在 0~500 以内,易产生冰湖溃决,  $> 800 \text{ m}$  少有溃决发生,因此,对距现代冰川冰舌前段距离以 500, 800 m 为分界点;从已溃决冰湖得知,坝顶宽度在 3~1 000 m 范围都能发生溃决,一般  $< 60 \text{ m}$  为易溃决,鉴于此,对终碛堤宽度以 60, 1 000 m 为分界点;西藏冰湖溃决坝体背水坡坡度一般都在  $25^\circ \sim 33^\circ$ , 故对背水坡坡度以  $25^\circ, 33^\circ$  为分界点;参考我们现场调查的已溃决冰湖的粒度情况,对终碛堤颗粒平均粒度以 450, 550 m 为分界点;水热组合是冰碛湖溃决时的气候条件:干冷、湿冷/干暖、湿暖分别用 0, 1, 2 表示,决策属性特征:高危险、中危险、低危险分别用 2, 1, 0 表示,离散化后建立表 2 所示的决策项:

$$U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$$

2.3 确定属性权重值

在表 2 中,首先用条件属性集  $C$  中的每一属性元素及其补集对  $U$  进行分类,然后用条件属性集  $C$  和决策属性  $D$  对  $U$  进行分类,再将分类结果带入公式(1), (2)和(3),计算出条件属性元素的各自权重值为:

$$W(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) = (0.1244, 0.1343, 0.1393, 0.2090, 0.1144, 0.0995, 0.1791)$$

表 2 典型冰碛湖决策项

属性集 $U$	属性特征集 $P$							决策属性集 $D$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	
1	1	2	2	1	0	2	1	0
2	0	1	0	1	2	2	2	2
3	1	2	0	1	0	1	0	0
4	1	0	1	1	1	2	2	2
5	1	2	0	1	0	1	2	1
6	2	1	1	1	0	1	2	0
7	2	1	0	1	0	1	2	2
8	2	1	0	2	2	1	2	1
9	1	2	0	1	1	2	2	2
10	1	2	0	1	0	0	2	2
11	2	1	0	1	1	2	2	2
12	2	2	0	1	2	0	2	2
13	2	2	0	1	0	2	2	1
14	2	2	0	0	0	2	2	2

2.4 权重分析

各指标因素根据以上权重,按权重由高到低顺序排列,终碛堤宽度  $>$  水热组合距冰舌前段距离  $>$  冰湖面积  $>$  海拔高度  $>$  背水坡度  $>$  终碛堤颗粒平均粒

度。终碛堤宽度为最大影响因素。终碛堤颗粒平均粒度为最小影响因素, 仅为最大影响因素权重的一半。终碛堤宽度、水热组合两指标权重之和占总体比重超出 1/3, 为重要影响因素; 距冰舌前段距离、冰湖面积、海拔高度 3 指标权重接近平均权重值, 为中等影响因素; 背水坡度、终碛堤颗粒平均粒度两指标权重之和与最大影响因素权重相当, 为一般影响因素。

### 3 终碛湖危险性模糊综合评判

#### 3.1 建立因子集和评价集

为了保证权重确定方法和评价方法的一致性, 采用前文的条件属性集  $B$  作为因子集  $U$ 。评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\} = \{I \text{ 级}, II \text{ 级}, III \text{ 级}\} = \{\text{低危险}, \text{中危险}, \text{高危险}\}$ 。评价标准是根据前人总结<sup>[7]</sup>的已溃决冰碛湖的相关数据进行建立(见表 3)。该评价标准与前面确定权重过程中离散化分界点的选取标准也是一致的。

#### 3.2 建立模糊综合评判矩阵

选取隶属函数<sup>[3]</sup>如表 4 所示。以 1 号冰湖为例,

根据隶属函数评定出因子集  $U$  中的各因素在评价集  $V$  中各等级的隶属度, 通过表 4 求出隶属函数  $R$  值, 得到单因素评判矩阵  $S$ 。用  $M(\circ \oplus)$  和  $M = W \circ S$  进行复合运算, 模糊变换方法采用型计算。计算结果见表 5。

#### 3.3 确定评定等级

$M_0 = \max M_t(p)$ , 若  $M_0(p) \geq 0.5000$ , 则评定  $p$  属于等级  $t_0$ ; 若  $M_0 < 0.5000$ , 则评定  $p$  属于等级  $t_0$  偏向  $t'_0 [\min R_t(p) < M_{t'_0}(p) < \max M_t(p)]$ 。

表 3 冰湖溃决危险性评价指标等级

评价 指标	危险性分级标准		
	低危险(I)	中危险(II)	高危险(III)
$x_1$	$\leq 4\ 500$	4 500~5 200	$\geq 5\ 200$
$x_2$	$\leq 0.200$	0.200~0.600	$\geq 0.600$
$x_3$	$\geq 800$	500~800	$\leq 500$
$x_4$	$\geq 1\ 000$	60~1 000	$\leq 60$
$x_5$	$\leq 25$	25~33	$\geq 33$
$x_6$	$\geq 550$	450~550	$\leq 450$
$x_7$	干冷	干暖/湿冷	温暖

表 4 隶属函数  $R$  值确定

区间	危险等级		
	低危险(I)	中危险(II)	高危险(III)
$x \leq a_1$ 或 $x \geq a_2$	$1 - \frac{x}{2a_1}$ 或 $1 - \frac{a_2}{2x}$	$\frac{x}{2a_1}$ 或 $\frac{a_2}{2x}$	0
$a_1 \leq x \leq \frac{a_1+a_2}{2}$ 或 $\frac{a_1+a_2}{2} \leq x \leq a_2$	$\frac{(a_1+a_2)-2x}{2(a_2-a_1)}$ 或 $1 - \frac{2(a_2-x)}{a_2-a_1}$	$1 - \frac{(a_1+a_2)-2x}{2(a_2-a_1)}$ 或 $\frac{2(a_2-x)}{a_2-a_1}$	0
$\frac{a_1+a_2}{2} \leq x \leq a_2$ 或 $a_1 \leq x \leq \frac{a_1+a_2}{2}$	0	$1 - \frac{2x-(a_1+a_2)}{2(a_2-a_1)}$ 或 $\frac{2(x-a_1)}{a_2-a_1}$	$\frac{2x-(a_1+a_2)}{2(a_2-a_1)}$ 或 $1 - \frac{2(x-a_1)}{a_2-a_1}$
$x \geq a_2$ 或 $x \leq a_1$	0	$\frac{a_2}{2x}$ 或 $\frac{x}{2a_1}$	$1 - \frac{a_2}{2x}$ 或 $1 - \frac{x}{2a_1}$

表 5 冰湖溃决危险性模糊综合评判结果

编号	I	II	III	评价结果	危险等级
1	0.2913	0.4587	0.2500	中偏低	低
2	0.1439	0.3338	0.5223	高	高
3	0.3303	0.4269	0.2428	中偏低	低
4	0.1559	0.3967	0.4474	高偏中	高
5	0.0997	0.3222	0.5781	高	中
6	0.1399	0.5185	0.3416	中	低
7	0.0919	0.3395	0.5686	高	高
8	0.2199	0.3040	0.4761	高偏中	中
9	0.1529	0.3916	0.4655	高偏中	高
10	0.0641	0.2629	0.6730	高	高
11	0.0975	0.2761	0.6264	高	高
12	0.0000	0.3765	0.6235	高	高
13	0.1404	0.2721	0.5875	高	中
14	0.1147	0.1684	0.7169	高	高

## 4 结论

(1) 本文采用了一种确定权重的新思路。以实地调查结果为依据, 选取适当的评价指标。权重的确定既考虑单个指标在整个指标集中的重要程度, 又包含评价系统中单个指标自身的重要程度。权重值较逼近真实值, 精度显著提高。

(2) 我国西藏地区喜马拉雅山北坡溃决危险性冰湖一般具有冰川地貌陡峭, 冰川活动频繁, 湖盆规模较大, 终碛堤稳定性差以及气候湿热等 5 大特征, 从权重结果的分析发现影响危险性冰湖溃决的最重要特征是终碛堤稳定性(比重为 0.42), 次重要为气候变化特征(比重为 0.18), 另 3 项特征比重(约为 0.13)接近均等。

(3) 根据确定的权重值现划分诱发冰碛湖溃决地质灾害各影响因素的等级水平为: 终碛堤坝宽度、水热组合为重要影响因素; 距冰舌前段距离、冰湖面积、海拔高度为中等影响因素; 背水坡坡度、终碛堤坝颗粒平均粒径为一般影响因素。

(4) 模糊评判结果较实地调查结果稍微偏危险, 可解释为模糊评判方法本身可能的缺陷带来的。本文模糊评判结果与实地调查结果的一致性效果良好, 验证了该权重确定方法确定的权重精度较高, 在冰碛湖危险性评价中此权重具有重要的参考价值, 对实地调查评判也具有指导意义。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 王欣, 刘时银, 郭万钦, 等. 我国喜马拉雅山地区冰碛湖危险性评价[ J ]. 地理学报, 2009, 64(7): 783-790.
- [ 2 ] McKillop R J. Statistical, remote sensing-based approach for estimating the probability of catastrophic drainage from moraine-dammed lakes in southwestern British Columbia[ J ]. Global and Planetary Change, 2007, 56: 153-171.

- [ 3 ] 黄静利, 王常明, 王钢城. 模糊综合评判法在冰湖溃决危险度划分中的应用: 以西藏自治区洛扎县为例[ J ]. 地球与环境, 2005(S): 109-113.
- [ 4 ] 鲍新中, 刘澄. 一种基于粗糙集的权重确定方法[ J ]. 管理学报, 2009, 6(6): 729-732.
- [ 5 ] 王珏. 粗糙集应用及其应用研究[ D ]. 西安电子科技大学, 2005.
- [ 6 ] Pawlak Z. Rough sets: theoretical aspects of reasoning about data[ M ]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- [ 7 ] 史忠植. 发现知识[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 143-145.
- [ 8 ] 程尊兰, 朱平一, 宫怡文. 典型冰湖溃决型泥石流形成机制分析[ J ]. 山地学报, 2003, 21(6): 716-720.
- [ 9 ] 吕儒仁, 唐邦兴, 朱平一, 等. 西藏泥石流与环境[ M ]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 69-105.
- [ 10 ] 徐道明, 冯清华. 西藏喜马拉雅山区危险冰湖及其溃决特征[ J ]. 地理学报, 1989, 44(3): 343-352.
- [ 11 ] 李吉均. 西藏冰湖溃决的原因[ R ]. 北京: 北京市综考会出版, 1977.

(上接第 108 页)

至 2010 年 4 月, 东汶河入库口人工湿地水质净化工程一期工程已全部完成, 水质达到地表 3 类水出水水质; 项目区实施封山育林 5 336  $\text{hm}^2$ 。完成新造林 2 669.8  $\text{hm}^2$ , 其中荒山造林 1 184.1  $\text{hm}^2$ 。构建成生态林场 4 处, 总面积 3 154  $\text{hm}^2$ , 实现生态修复面积 4 338.1  $\text{hm}^2$ , 成效显著。建立的 8.2  $\text{hm}^2$  山地桃园生草栽培示范试验点, 经调查, 桃园生草栽培较对照增加收益 182.6 元, 地表径流量降低 46.7%, 土壤流失量减少 43.8%, 经济、生态功能同步提高。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 张秀峰, 刘善涛, 孟庆红, 等. 岸堤水库水资源的保护和开发[ J ]. 山东水利, 2004(4): 17-18.
- [ 2 ] 沈国舫. 森林培育学[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [ 3 ] 王治国. 关于生态修复若干概念与问题的讨论[ J ]. 中国水土保持, 2003(10): 4-5.
- [ 4 ] 王朝辉. 加大林业生态修复整治巢湖水污染[ J ]. 中国林业, 2009, 9(20): 39.
- [ 5 ] 甘敬, 张振明, 余新晓, 等. 森林健康监测与评价研究[ J ]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 177-180.