

基于模糊数学法评价滇西保山地区麻榔河 泥石流沟的危险性

杨 艳¹, 张绪教¹, 叶培盛², 胡 悦¹, 吴中海²

YANG Yan¹, ZHANG Xu-jiao¹, YE Pei-sheng², HU Yue¹, WU Zhong-hai²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081

1. Faculty of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

摘要:通过野外实地调查云南省保山市怒江东岸麻榔河泥石流的发育特征, 并对其洪积物进行光释光(OSL)测年, 认为是一个年轻的泥石流沟, 危险性较大。在此基础上, 依据泥石流发生的影响因素具有复杂性和模糊性的特点, 采用模糊数学法对其危险性进行综合评判。选取 7 个因子作为泥石流危险度评价的主要关联因子, 评价结果与野外调查的实际情况相符, 属于中度危险()。同时指出了评价过程中的 2 个关键点: 建立权重集和确定隶属度。建立权重集的方法采用“理想点”的距离之和极小化为目标来优化确定, 隶属度利用半梯形分布模型原理设计隶属函数来实现。经过反复的实验计算, 证实此方法可操作性强, 结果更符合实际。

关键词:模糊数学; 麻榔河泥石流; 危险度评价; 滇西

中图分类号: P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2012)02/03-0351-05

Yang Y, Zhang X J, Ye P S, Hu Y, Wu Z H. Fuzzy comprehensive evaluation for risk assessment of the Malanghe debris flow gully in Baoshan area, western Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3):351-355

Abstract: Through investigation of the characteristics of the Malanghe debris flow on the east bank of the Nujiang River in Baoshan City, Yunnan Province, and determination of the age of the diluvium by OSL, this paper holds that the debris flow gully is young and dangerous. According to the complexity and randomness of specific factors which control and affect the dangerous degree of the debris flows, the fuzzy comprehensive evaluation was adopted to evaluate the fatalness of the debris flow. In this paper, seven factors were chosen as the main relevant factors. The evaluation result is the same as that of the field investigation, and the fatalness is in the degree of moderate risk (). Two key points in the evaluation process are pointed out in this paper, i.e., the establishment of the weight sets and the determination of the degree of membership. The first point is achieved and optimized by minimizing the distance summation between “ideal points”; and the second is implemented through the membership function designed on the basis of the half trapezoid distribution model. Repeated experiments have confirmed that this method is workable and more practical than other methods.

Key words: fuzzy comprehensive evaluation; Malanghe debris flow; risk assessment; western Yunnan Province

模糊综合评判法是模糊数学的一个分支, 应用非常广泛^[1]。其核心思想是利用参数之间的双重不

确定性替代数学假设基础上的解析关系, 选定主要关联因子后, 对判断的事物进行综合评价的一种方

收稿日期: 2011-05-10; 修订日期: 2011-12-30

资助项目: 中国地质调查局项目《云南 1:5 万马厂幅、道街坝幅区域地质调查》(编号: 1212010784004)和《泛亚铁路大理至瑞丽沿线地质构造综合研究》(编号: 1212010814054)

作者简介: 杨艳(1982-), 女, 在读博士, 从事生态地质学研究。E-mail: ly_yangyan@163.com

通讯作者: 张绪教(1964-), 男, 博士, 副教授, 从事地貌与第四纪地质、新构造运动的教学与科研工作。E-mail: zhangxj@cugb.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

法。这种方法被广泛地用在旅游、军事、经济、工业、比赛等诸多领域^[2-5],目前被许多研究者应用在地质灾害的危险性评价中^[6-9],其中在滑坡评价中应用得较多。结果表明该方法具有较好的适用性。

目前泥石流评价主要考虑影响泥石流的因素,然后按统一的标准进行打分,对照标准确定泥石流的危险性^[10-12]。由于打分具有很强的主观性,无统一的打分标准,故泥石流之间无可比性。从 1965 年 Zaddeh^[13]发表《模糊集论》后,陆续有学者开始用模糊数学方法处理风险问题,1998 年鞠鲁奥确定了模糊风险评价的法则^[14],之后随着科技的进步和发展,自然灾害的评估在理论和实践方面都取得了一定的成果。

考虑影响泥石流发生的因素具有复杂性和随机性的特点,采用模糊数学评判法对云南省保山市怒江东岸麻榔河泥石流的危险度进行评价,以预测其发展趋势,为防灾减灾提供科学依据。

云南省保山市怒江两岸地质灾害频发,许多学者从不同的角度对其进行了研究,大多侧重于区域性的区划分析,取得了一定的成果^[15-16],但对于泥石流的危险性评价报道得比较少。本文选择怒江东岸具有代表性的麻榔河泥石流沟作为研究对象,野外调查发现,该泥石流沟正在发育,且危险性较大,常常冲毁道路,影响交通。

1 麻榔河泥石流沟的特征和成灾条件

麻榔河泥石流沟(图 1)位于云南省保山市怒江东岸珀当村北,泥石流属于典型的山坡型中型泥石流,沟内洪积阶地发育,沟口北侧自然出露洪积物剖面,沟壁很陡,达 70° ,出露老的砾石层,坡高 4m,陡坡坡脚由于崩塌作用形成倒石堆,为泥石流的形成提供了丰富的物源。沟口南侧陡壁高 6.5m,有粗大的砾石层,砾石定向性差,细的砾石层有一定的定向性,磨圆较好,反映泥石流沟发育具有间歇性。在沟北侧剖面的洪积物中取样测年,经中国地震局地壳应力研究所新年代学实验室在 Daybreak 2200 仪器上完成光释光(OSL)测年(赵俊香 2009),可信度较高,OSL 测年结果为 $10.15\text{ka} \pm 0.34\text{ka BP}$,结合野外观测洪积物的胶结程度、风化强度,推测全新世以来,距今 100ka 发生了一次规模较大的泥石流,并且现在仍处于活跃期。

麻榔河泥石流沟为年轻的泥石流沟,从以往泥

石流发生的频率看,属高频泥石流沟,性质为稀性泥石流,汇水面积大,流通区纵降比大,堆积区开阔,在暴雨条件下,激发产生大规模泥石流灾害的危险性大大增加。泥石流沟的成灾条件叙述如下。

(1) 地形地貌条件

麻榔河泥石流沟地形总体上属于构造剥蚀中切割中低山丘陵地形。沟顶标高 1214m,沟底标高 954m,高差 260m,泥石流一次冲出方量约为 $0.9 \times 10^4\text{m}^3$,切割深度 500~1000m,山脊呈猪背状,河谷稍开阔。河谷断面多数仍显示 V 字形,谷底宽缓,宽度大于 150m;两侧岸坡度 $30^\circ \sim 50^\circ$,局部出现陡崖,近直立。

麻榔河泥石流沟流域形态汇水区、流通区、堆积区分区明显(图 2)。汇水区面积达 11934859m^2 ,整个沟域内总纵降比为 10.64%,流通区纵降比最大,为 13%,从上游向下游沟道逐渐变缓,至流通区沟道纵坡降为 5.35%,泥石流流出沟口后呈喇叭状一直延伸到潞江,致使此段现代怒江变窄,向西迁移。

(2) 流域水源条件

区内气候温和,兼具大陆性气候和海洋性气候的特点,既受北上海洋性季风的控制,也受内陆青藏高原南下气流的影响。低纬度、高海拔和复杂多样的地形地貌,使研究区气候“一山分四季,十里不同天”的特征明显。全区多年平均气温 15.9°C ,极端最高气温 32.3°C ,最低气温 -3.5°C 。

麻榔河泥石流沟中常年有水,径流主要接受大气降水和地下水的补给,支流发育,水系呈树枝状,沟北侧支流多余南侧,无常年流水,多属于季节性冲沟。

全区多年平均降雨量 966.5mm,多年平均降雨日数 187d,降雨变差系数 C_v 值为 0.16,多年平均蒸发量 1611.1mm,平均相对湿度 75%。研究区降雨大多集中在 5~10 月,大雨、暴雨较多。高强度的降雨成为引发泥石流的重要因素,为泥石流暴发提供了充分的水源条件。

(3) 松散物源条件

麻榔河泥石流沟发育于侏罗系中统勐戛组(J_2m)、柳湾组(J_2l)中,两侧坡积层较厚,主要分布第四系残坡积层,结构较松散,植被发育,常见滑坡、崩塌(图 3)、不稳定斜坡等外力地质灾害,为泥石流的发育提供了大量的潜在的松散固体物源。



图 1 麻榔河泥石流沟
Fig. 1 Malanghe mud-rock flow gully



图 3 麻榔河泥石流沟两侧的崩塌
Fig. 3 The collapses of Malanghe mud-rock flow gully

2 利用模糊数学法评价麻榔河泥石流沟的危险性

建立模糊数学评判法可归纳为 5 个步骤:

(1)建立评价对象的因素集 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$, 因素就是参与评价的 n 个因子的数值指标。

(2)建立权重集 A , 设各因素的权重分配为 U 上的模糊子集 $A=\{a_1,a_2,\cdots,a_i,\cdots,a_m\}$ 。其中 a_i 是第 i 个因素 u_i 所对应的权重, 规定 $\sum_{i=1}^m a_i=1$ 。

(3)确定评价集 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_m\}$ 和隶属度。 V 是与 U 相对的评价标准分级的集合。隶属度是模糊评判函数里的一个概念, 其特点是评价结果不是绝对的, 而是相对的研究范围中的任一元素, 都有一个数值与之对应, 当越接近 0 时表示元素属于这个数集的程度越低, 越接近 1 时, 表示元素属于数集的程度越高。

(4)构造模糊关系矩阵 $R_i=(r_{i1},r_{i2},\cdots,r_{ij},\cdots,r_{im})$, 第 i 个因素的单因素评判向量为 V 上的模糊矩阵。总的模糊评判矩阵为 $R=(r_{ij})_{m\times n}$ 。表示因素集 U 和评价集 V 的对应关系, 在数值上表示为方案层对目标层的权重向量, 于是 (U,V,R) 构成一个综合评价模型。

(5)模糊综合评价: 利用模糊运算 $B=A\times R$ 进行计算。

2.1 建立因素集

在野外地质调查和室内整理的基础上, 初步选

定 7 个因子作为麻榔河泥石流危险度评价的指标: 泥石流一次最大冲出量(u_1)、山坡堆积体厚度(u_2)、流域面积(u_3)、24h 最大降雨量(u_4)、河床纵比降(u_5)、河床弯曲系数(u_6)、流域切割密度(u_7)。因此, 因素集 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_m\}$ 。各因素集取值见表 1。

2.2 建立权重集

根据刘希林等^[17-18]的报道, 在泥石流发生的因素中起主要作用的有一次泥石流最大冲出量、泥石流发生频率; 起次要作用的有泥石流流域面积、主沟长度、切割深度、弯曲系数等。由于危险因子的取值范围较大, 需要对其进行量化处理, 并根据关联度特征确定因子的权重值, 进而确定泥石流的危险度。这次评价将泥石流的一次最大冲出量作为主要因素, 其它因素与其相关性越大, 其危险度就越大, 相应的权重也越大。

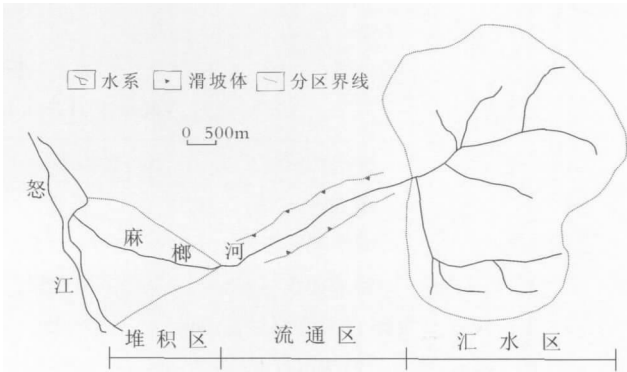


图 2 麻榔河泥石流沟形态分区
Fig. 2 Morphological zoning map of Malanghe mud-rock flow gully

表 1 麻榔河各因素综合取值

Table 1 General values of factors for Malanghe

评价 指标	一次最大冲 出量 $u_1/10^4\text{m}^3$	山坡堆积体 厚度 u_2/m	流域面积 u_3/km^2	24h 最大降 雨量 u_4/mm	流通区 纵比降 u_5	河床弯曲 系数 $u_6/\%$	流域切割密度 $u_7/\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$
取值	0.90	0.42	12	103	0.35	1.26	14

权重集的选取直接影响评判的准确与否,模糊数学评判的权重集研究直到现在没有统一的数学方法,大部分都根据经验主观确定或通过专家打分确定。本文选用“理想点”的距离之和极小化为目标,优化确定权重集的方法^[19]。其公式表示为:

$$u(x)=e^{-[(x-u)/\delta]^2} \tag{1}$$

其中, $u=\frac{i-1}{n-1}$ 表示第 i 个因素时的分布函数对称轴

参数 $u;\delta^2=\frac{\ln k}{(n-1)^2}$,通常可取 $0.05<k<0.2$ 。

据以上建立的优化模型,利用复合形法进行优化计算,优化精度为 10^{-4} ,优化后得到的权重集为:

$$A=\{0.286,0.119,0.143,0.071,0.167,0.142,0.238\}$$

2.3 确定评价集和隶属度

参照参考文献[7]中对泥石流危险度的分级标准,将泥石流划分为 4 个等级:无危险、轻度危险、中度危险、高度危险,即 $V=(v_1,v_2,v_3,v_4)$,来建立麻榔河泥石流沟的评价集,评价标准见表 2。

隶属度的确定是模糊综合评价的关键,目前还没有统一的公式。本文采用隶属度函数的模型,建立此模型需要一定的技巧和判别,需要反复多次的修改。在此利用半梯形分布模型原理设计隶属函数^[20],根据各因素的评价标准,设计隶属函数如公式(2):

$$Y_{v_1}(c_i)=\begin{cases} 1, & c_i \leq s_1 \\ s_2 - c_i / s_2 - s_1, & s_1 < c_i \leq s_2 \\ 0, & c_i > s_2 \end{cases}$$
$$Y_{v_2}(c_i)=\begin{cases} 0, & c_i \leq s_1 \\ c_i - s_1 / s_2 - s_1, & s_1 < c_i \leq s_2 \\ s_3 - c_i / s_3 - s_2, & s_2 < c_i \leq s_3 \\ 0, & c_i \geq s_3 \end{cases}$$
$$Y_{v_3}(c_i)=\begin{cases} 0, & c_i \leq s_2 \\ c_i - s_2 / s_3 - s_1, & s_2 < c_i \leq s_3 \\ s_4 - c_i / s_4 - s_3, & s_3 < c_i \leq s_4 \\ 0, & c_i \geq s_4 \end{cases}$$
$$Y_{v_4}(c_i)=\begin{cases} 0, & c_i \leq s_3 \\ c_i - s_3 / s_4 - s_3, & s_3 < c_i \leq s_4 \\ 1, & s_4 < c_i \end{cases}$$

式中, S_i 为评价集的上下界线; C_i 为各因子实际值。

2.4 构造模糊评判矩阵

由麻榔河泥石流危险性评价各因子的实际取值(表 1)和隶属度函数公式(2)计算,可求得评价因素

表 2 各因子评价标准

Table 2 Elevation standard of factors

评价因子	无危险(I)	轻度危险(II)	中度危险(III)	高度危险(IV)
一次最大冲出量 $\mu_1/10^4\text{m}^3$	≤ 1	1~10	10~100	≥ 100
山坡堆积体厚度 μ_2/m	≤ 0.15	0.15~0.35	0.35~0.55	0.55~0.75
流域面积 μ_3/km^2	≤ 0.5	0.5~10	10~35	≥ 35
24h 最大降雨量 μ_4/mm	≤ 25	25~50	50~100	≥ 100
河床纵比降 μ_5	≤ 0.15	0.15~0.20	0.20~0.25	0.25~0.36
河床弯曲系数 $\mu_6/\%$	≤ 1.10	1.10~1.25	1.25~1.40	≥ 1.40
流域切割密度 $\mu_7/\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$	≤ 3	3~8	8~13	13~18

U 对评价集 V 的隶属度,从而建立泥石流危险度评价模糊评判矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.07 & 0.18 & 0 \\ 0 & 0.92 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0 & 0.97 & 0.03 \\ 0 & 0 & 0.09 & 0.91 \\ 0 & 0.947 & 0.009 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \end{bmatrix}$$

2.5 危险度综合判别

将 A 、 R 集合带入危险度综合评判集 $B=A \times R$ 中,得到危险度综合评判集为:

$$B=A \times R=\{0.286, 0.274, 0.305, 2.202\}$$

根据最大隶属度的原则,麻榔河泥石流沟的危险度基本上处于第 3 级,也就是中度危险,这与麻榔河泥石流沟的实际情况相符。按照“贴近度”原则,根据最大隶属值,左侧大于右侧,说明危险度靠近轻度危险。但是,应注意避免人为因素的影响,以免人为影响为泥石流发生提供条件,使其发生的可能性增大。

3 结 论

(1)在运用模糊评判法对泥石流进行危险性评价的过程中,应注意 2 个关键点:权重集的建立和隶属度的计算。本文采用“理想点”的距离之和极小化为目标来优化确定权重集的方法进行计算,利用半梯形分布模型原理设计隶属函数,比以往的专家打分法更贴合实际,经过反复的实验计算,证明其可操作性强,适应性更好。

(2)经过模糊评判法进行评价,麻榔河泥石流沟是正在发育的泥石流沟,为中度危险(),与野外调查的结果一致,泥石流常冲毁公路,影响交通,危险性较大。此结果对认识麻榔河泥石流沟的发展趋势和进行灾害防治提供了科学依据。

(3)该区域正在修筑大理—瑞丽铁路,在设计 and 施工过程中经过此区域时,应注意泥石流对工程的威胁,同时避免人为因素增加泥石流发生的可能性,

应对此泥石流沟采取适当的监测措施。

致谢:该研究成果为地质灾害研究专题小组集体劳动的结晶,对参与野外工作的其他成员李宗敏、陈洁、张晋喆等表示谢意。

参考文献

- [1]陈伟.模糊数学在数学建模中的应用[J]. 数学的实践与认识,2005,35(4):2.
- [2]韩国才,澈丽木格模糊数学法在水环境质量评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技,2008,6(5):100-104.
- [3]张凤玲,王铁.基于 AHP 和模糊数学的旅游景观生态环境评价[J]. 中国管理信息化,2008,11(24):96-98.
- [4]黄浩.项目投资的模糊多属性决策[J]. 经济师,2006, (4):256-258.
- [5]王笑岩.基于模糊综合评判的高校教学评估方法研究[J]. 渤海大学学报(自然科学版),2010,31(3):300-303.
- [6]朵天惠,王永利,陈鹏飞.茶园沟泥石流易发性综合评价[J]. 防灾减灾学报,2010,26(4):41-44.
- [7]王春磊,吴云刚,隗锦涛.模糊综合评判法在泥石流危险度评价中的应用[J]. 安全与环境工程,2010,17(3):14-16.
- [8]霍张丽,梁收运.模糊数学方法在滑坡稳定性评价中的应用[J]. 西北地震学报,2007,29(1):62-65.
- [9]黄泽军,肖扬燚.模糊数学在某滑坡稳定性评价中的应用[J]. 山西建筑,2009,35(9):133-135.
- [10]王劲光,路玉宝.泥石流危险性评价模型改进分析[J]. 西部探矿工程,2009,1:17.
- [11]刘海,张青宁,彭昌翠.田家沟泥石流特征分析及危险性评价[J]. 甘肃水利水电技术,2010, 46(8):10-11.
- [12]曾作良,周跃,刘洪江.云南省楚雄州泥石流危险度评价[J]. 中国商界,2010, 12:186-188.
- [13]Zaddeh L A. Fuzzy Sets[J]. Information and Control,1965,(2):50-58.
- [14]Salmon G M, Hartford. Risk analysis for dam safety[J]. International Water Power & Dam Construction,1995,47(3):42-47.
- [15]周松林,谈树成,蒋顺德.云南省保山市隆阳区地质灾害空间分布规律及易发性分区与评价[J]. 地球与环境,2010,38(1):351-353.
- [16]徐世光,张志刚,郭远明,等.云南保山师专滑坡成因及防治[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(3):6-10.
- [17]刘希林,唐川.泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [18]刘希林,莫多闻.泥石流风险评价[M]. 成都:四川科学出版社,2003.
- [19]宋国民,翟羽健.一种确定模糊综合评判权重集的方法的探讨[J]. 模糊系统与数学,2000,10(14):299-302.
- [20]陆素刚,范柱国.模糊综合评判在大水箐泥石流危险度评价中的应用[J]. 地质学刊,2010,34(1):22-27.