

基于模糊可拓分析法在泥石流危险度评价中的应用

孙雪娇¹, 赵大军¹, 李明²

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林建筑大学土木工程学院, 吉林 长春 130118)

摘要:在可拓学理论上添加了模糊数学的思想,形成了一种基于模糊数学的可拓学分析方法。以辉南县庆阳镇雨季发生的泥石流地质灾害为例,采用模糊数学的可拓学理论综合考虑泥石流沟的危险度水平,综合各影响因素对泥石流危险度进行了合理的评价,并提出了具体的治理方案。

关键词:泥石流;可拓学;模糊数学;危险度

中图分类号:P642.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0083-04

Application of Fuzzy Extension Analysis Method in the Risk Assessment of Debris Flow/SUN Xue-jiao¹, ZHAO Da-jun¹, LI Ming² (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. College of Civil Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun Jilin 130118, China)

Abstract: Fuzzy mathematics is introduced to the basis of the Extenics theory to form an Extenics analysis method based on fuzzy mathematics. Take an example of geological disaster of debris flow occurred during the rainy season in Qingyang of Huinan County, Extenics theory based on fuzzy mathematics was adopted to comprehensively analyze the risk degree of debris flow gully. The risk degree of debris flow was evaluated by the comprehensive factors, and the specific control scheme was put forward.

Key words: debris flow; Extenics; fuzzy mathematics; risk degree

0 引言

泥石流危险度评价的准确性不仅是影响未来灾害学整体综合评价的要素之一,也是社会经济发展的要求之一^[1]。泥石流危险度的正确评估是泥石流灾害治理和工程措施的基础,但泥石流危险度评价是一个极其复杂的不确定性问题^[2]。由于泥石流危险度影响因素众多,若仅针对治理区泥石流基本特征,选取泥石流危险度的几个影响参数来近似代表泥石流的全部影响因素,其结果的精确度往往较低。而且针对个别因素而言,其危险度结果可能是相悖的。例如参考最大高差,泥石流危险度高;但参考日最大降雨量,泥石流危险度极低。针对影响泥石流危险度的复杂性以及传统评价方法的缺陷,本文采用模糊可拓分析法综合评价治理区泥石流沟的危险度水平,协调各影响因素对泥石流危险度的分析结果,并提出了具体的治理方案。

1 确立模糊数学的可拓学分析方法评价模型

可拓学是由我国学者蔡文教授于 1983 年提出的、解决不相容问题的一种理论。它通过引进物元

概念将事物的质与量结合起来^[3],以物元理论和可拓数学作为其理论框架^[4]。其研究的核心就是如何通过变换来处理各式各样的不相容问题和对立问题^[5],从而从定性和定量两个角度去研究和解决。可拓学的物元理论和可拓集合理论是泥石流危险度区划的基础,而将定性指标转化为定量指标正是模糊数学的特长。

基于模糊数学的可拓分析法综合评价的基本原理:把描述或评价对象的各特征参数量值隶属度化使其无量纲化,并组成一个整体——物元来研究,用可拓集合的关联函数值——关联度的大小来描述各特征参数与所研究对象的从属关系,从而把属于或不属于定性的描述扩展为定量描述。对于泥石流危险度区划,就是根据建立的泥石流危险度的标准物元模型,判断不同区域不同泥石流发育的因素组合条件下的泥石流危险度。这就需要首先选择影响泥石流发育的因素,即泥石流危险度区划指标,然后构建泥石流危险度区划的模糊可拓模型并建立关联函数和确定权系数,以计算待评物元实测数据对各特征元相应类别的综合关联函数值,最后按与各等级

收稿日期:2016-03-09; 修回日期:2016-08-10

作者简介:孙雪娇,女,汉族,1993年生,硕士研究生在读,地质工程专业,从事岩土钻凿新设备、新工艺方法的研究及地质灾害的防治研究工作,吉林省长春市西民主大街 938 号,386785492@qq.com。

集合的关联度大小进行比较来评定区划等级。可拓学的逻辑细胞分为基元(物元、事元和关系元)表示为 $R = (N, C, V)$, 其中 N 表示为事物的名称, C 表示为特征值, V 表示为量值^[6]。描述一个事物可以用不同的特征值对应就会有不同的量值, 那么, 物元可以表示成 n 维的形式:

$$R = (N, C, V) = \begin{bmatrix} N & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: N ——待评价单元; C_n ——影响因素; V_n ——影响因素对应的数量化后的量值。

1.1 确定经典域

设定 N_{ot} 为标准事物, 按照科学的评价级别和标准, 将评价工程的建设适宜性分成 T 种等级, 则工程建设适宜性的经典域物元 R_{ot} :

$$R_{ot} = [N_{ot}, C, V_{ot}] = \begin{bmatrix} N_{ot} & C_1 & \langle a_{ot1}, b_{ot1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{ot2}, b_{ot2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & C_n & \langle a_{otn}, b_{otn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: N_{ot} ——待评价的类别; C_n ——决定待评价类别的指标; V_{ot} ——待评价类别 N 相对于决定评价类别的指标 C_n 所确定的量值范围。

1.2 确定节域

评价节域物元 R_p 为:

$$R_p = [N_p, C, V_{pi}] = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $V_{pi} = a_{pi}, b_{pi}$ ——节域物元关于特征 C_i 的相应标准扩大的量值范围。显然有, $\langle a_{oti}, b_{oti} \rangle \cap \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

1.3 确定待评物元

对于安全等级, 请若干专家根据实际情况对某物质单元 $N_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 的各种特征值做出评价, 并根据给定的标准进行评分, 从而获得待评物元:

$$R_j = [N_j, C, V_j] = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & C_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: V_j ——搜集到的待评价区单元体对应于 C_n 的具体取值。

1.4 确定各评价指标关于各类别的关联度

某物质单元 N_j 关于等级 t 的关联函数如公式:

$$K_i(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, V_{ij})}{|V_{ij}|} \dots \dots \dots (v_i \in V_{ij}) \\ \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{ij})} \dots (v_i \notin V_{ij}) \end{cases} \quad (5)$$

其中:

$$\rho(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \right| - \frac{b_{ij} - a_{ij}}{2} \quad (6)$$

$$|V_{ij}| = |b_{ij} - a_{ij}| \quad (7)$$

$$\rho(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2} \quad (8)$$

式中: $K_i(v_i)$ ——第 j 个物质单元的第 i 个特征关于标准物元等级 t 的关联度。

1.5 确定待评物元各评价指标的关联度

对于每个特征 C_i 取权系数 W_i , 则某物质单元 N_j 关于等级 t 的关联度 $k_i(N_j)$ 如(9)所示:

$$k_{ij}(N_j) = \sum W_i k_{ij}(V_i) \quad (9)$$

式中: W_i ——各评价指标的权系数, $\sum W_i = 1$ 。

1.6 确定评价等级

根据(9)式计算出的结果取最大值从而确定此物质单元等级为 t_0 , 如式(10)所示。

$$k_{j0}(N_j) = \max(k_u(N_j)) \quad (10)$$

2 工程实例分析

2.1 工程概况

泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑, 地形险峻的地区, 因为暴雨暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流^[7]。泥石流沟发育在庆阳镇内, 由于雨季期间, 汛情严重, 沟内物源量大, 地势坡度大, 发生了多处泥石流灾害, 经实地调查, 冲毁大片农田、道路, 对居民及工程建筑造成了极大的威胁, 造成了严重的经济损失。治理区泥石流沟三维模型图如图1。

治理区泥石流沟可分为3条大的支沟, 类似“鸡爪形”。为方便研究, 将此3条支沟分别命名为左沟L, 中沟M与右沟R。其中, 中沟M与右沟R又可分为多条次级支沟。在泥石流爆发时, 这些次级支沟的泥石流物质汇入3条“鸡爪形”支沟内, 进而流入

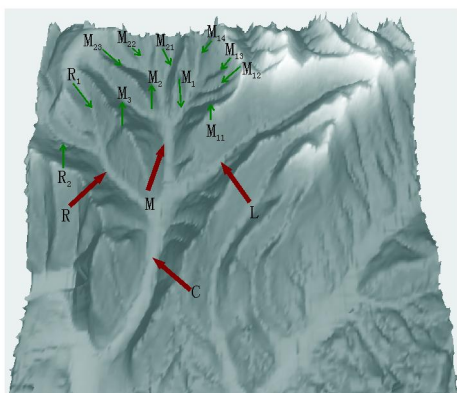


图 1 辉南县庆阳镇泥石流沟三维模型图

泥石流主沟 C 内,进而对堆积区的居民的生命与财产造成一定的影响。具体而言,可将右沟 R 划分为 2 个次级支沟,即 R_1 与 R_2 ;将中沟 M 划分为 3 个次级支沟即 M_1, M_2 与 M_3 ,其中, M_1 可分为更为次级的支沟,即 M_{11}, M_{12}, M_{13} 与 M_{14} ; M_2 可分为更为次级的支沟,即 M_{21}, M_{22} 与 M_{23} 。可见,辉南县庆阳镇泥石流的支沟较为发育且具有明显的阶梯意义,小型支沟的物源汇入中型支沟,进而汇入到主沟内,这样可最大程度的汇集泥石流区域轮廓内的松散物源,这也就决定了治理区泥石流的高危险度。

2.2 关于影响参数的选取

由于泥石流地质灾害的形成具有众多的影响因素,如若仅用单一评价因素来逐一对泥石流危险度进行评价,其结果的精确度很低,甚至针对个别因素而言,其危险度结果可能是相悖的,例如参考最大高差,泥石流危险度高;但参考日最大降雨量,泥石流危险度极低。针对这样的矛盾体,本文在可拓学理论基础上添加了模糊数学的思想,形成了模糊可拓分析法。针对治理区泥石流沟的支沟较为发育且具有明显的阶梯意义的基本特征并参考泥石流危险度国内外研究文献^[8-10],选取泥石流危险度影响参数:流域面积 P_1 (km^2),主沟长度 P_2 (km),最大高差 P_3 (km),流域切割密度 P_4 (km/km^2),主沟床弯曲系数 P_5 ,泥砂补给段长度比 P_6 ,日最大降雨量 P_7 (mm),人口密度 P_8 (人/ km^2),一次最大冲出量 P_9 ($\times 10^4 \text{ m}^3$),泥石流爆发频率 P_{10} (次/百年)。把上述影响参数应用模糊可拓分析法,综合评价泥石流的危险度水平,从而协调各影响因素对泥石流危险度的分析结果。

2.3 确定项目待评价物元经典域与节域

参照泥石流危险度划分文献^[11],选取治理区泥石流沟经典域与节域如表 1。

表 1 泥石流沟节域及经典域

危险度	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
轻	≤ 0.5	≤ 1	≤ 0.2	≤ 5	≤ 1.10	≤ 0.1	≤ 25	≤ 50	≤ 1	≤ 10
中	0.5 ~ 10	1 ~ 5	0.2 ~ 0.5	5 ~ 10	1.10 ~ 1.25	0.1 ~ 0.3	25 ~ 50	50 ~ 150	1 ~ 10	10 ~ 50
高	10 ~ 35	5 ~ 10	0.5 ~ 1.0	10 ~ 20	1.25 ~ 1.40	0.3 ~ 0.6	50 ~ 100	150 ~ 250	10 ~ 100	50 ~ 100
极高	≥ 35	≥ 10	≥ 1.0	≥ 20	≥ 1.40	≥ 0.6	≥ 100	≥ 250	≥ 100	≥ 100
节域	0 ~ 35	0 ~ 25	0 ~ 3.5	0 ~ 30	0.1 ~ 2.0	0.01 ~ 1	0 ~ 150	0 ~ 350	0 ~ 200	0 ~ 1600

2.4 确定待评物元

根据现场调查及地形信息,确定治理区泥石流沟不同参数值如表 2。

表 2 泥石流危险度可拓评价参数

影响因素	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
结果	3.49	1.56	0.23	2.68	0.9	0.81	135.7	100	9	50

2.5 确定各评价指标关于各类别的关联度

根据治理区泥石流沟影响因素值及泥石流危险度结果的节域与经典域,可确定各影响因素分别关于各危险度级别的关联度,如表 3 所示。

2.6 确定待评物元各评价指标的关联度

参考关联度的有关文献^[12],可取各影响因素权重值分别为 $W(X_1) = 0.0441$, $W(X_2) = 0.0294$,

表 3 各影响因素关联度

影响因素	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
低	-0.8780	-1.0000	-1.0000	0	-3.0000	-1.7059	-0.5918	0.3333	-1.0000	-1.7059
中	0.2100	0.5000	-0.0748	0.6780	0	-0.1466	-1.0000	0.2667	0.5000	-0.1466
高	-0.2857	-0.2000	8.0000	0	0	2.0625	0.0204	-0.1000	-0.2000	2.0625
极高	1.7072	0.5000	0.7009	0.0596	0.1765	0.1288	0.2563	0.9333	0.5000	0.1288

$W(S) = 0.2353, W(L) = 0.2353, W(H) = 0.1176,$
 $W(D) = 0.0882, W(B) = 0.0735, W(R) = 0.1029, W$
 $(R) = 0.0147, W(R) = 0.0588。$

根据式(9),可确定治理区泥石流沟关于危险度类别的关联度分别为: $K_1 = -0.9309, K_2 = 0.1056, K_3 = 2.1554, K_4 = 0.4308。$

2.7 确定评价等级

由治理区泥石流沟关于危险度类别的关联度可确定治理区泥石流沟危险度为高,爆发频率大;对其进行防治具有较大的必要性及重要性。治理区泥石流沟物源量大,可达 $200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,由危险度分析结果,可知泥石流沟稳定性差,由于物源量分布范围大,总量大,现有稳定性及危险性将会持续,迫切要求对泥石流沟进行支护或排导。

2.8 确定治理方案

为了控制泥石流的发生和发展,减轻泥石流地质灾害造成的损失,尽可能的改善和提高生态环境质量,以保证社会生产、生活秩序正常进行,力求控制泥石流地质灾害的发生频率。根据泥石流地质灾害防治原则^[13],结合治理区泥石流沟的危险度及具体情况,确定采用修建谷坊,并辅以生物防治的综合治理方案。

采用修建谷坊的治理方案,以达到拦砂节流,减小泥石流流速、容重,降低泥石流的冲击力,缓解泥石流危害,分段拦蓄泥沙,减小回淤段沟道纵坡,抬高侵蚀基面,防止沟床下切,减小对下游居民的危害。并适当的采取一些生物工程治理方案,保持水土,防止水土流失严重。

3 结论

针对辉南县庆阳镇泥石流地质灾害的实例,采用模糊数学的可拓学分析方法对泥石流沟的危险度进行合理的评价,得到如下结论。

(1)根据治理区雨季期间,发生的多处泥石流灾害,绘制了治理区泥石流沟的三维模型图。更加直观地展现治理区泥石流沟类似“鸡爪形”的分布,其中小型支沟的物源汇入中型支沟,进而汇入到主沟内,这种阶梯型的分布最大程度的汇集泥石流区域轮廓内的松散物源,因此决定了治理区泥石流的高危险度。

(2)由于治理区泥石流形成影响因素的众多性

及复杂性,如若仅用单一评价因素来逐一对泥石流危险度进行评价,其结果的精确度很低,甚至针对个别因素而言,其危险度结果可能是相悖的。针对这样的矛盾体,本文在可拓学理论基础上添加了模糊数学的思想,形成了模糊可拓分析法。根据三维图反应的泥石流沟的支沟较为发育且具有明显的阶梯意义的基本特征并参考国内外研究文献,选取了10个影响参数应用于模糊可拓分析法,综合评价泥石流沟的危险度水平,确定了治理区泥石流的高危险度。

(3)根据泥石流地质灾害防治原则,结合治理区泥石流沟的危险度及具体情况,结合泥石流综合防治体系和具体的工程措施,比选不同的泥石流治理方案,确定修建谷坊,拦砂截流,并辅以生物防治的综合治理方案。从而达到控制泥石流的发生和发展,减轻泥石流灾害造成的损失,尽可能地达到改善和提高生态环境质量的目的。

参考文献:

- [1] 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,(2):73-78.
- [2] 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,(6):124-128.
- [3] 谷复光,王清,张晨.基于投影寻踪与可拓学方法的泥石流危险度评价[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(2):373-377.
- [4] 康志强,周辉,冯夏庭,等.大型岩质边坡岩体质量的可拓学理论评价[J].东北大学学报:自然科学版,2007,28(12):1770-1774.
- [5] 蔡文,杨燕春.可拓学的应用研究、普及与推广(综述)[J].数学的实践与认识,2010,40(7):214-220.
- [6] 蔡文,杨燕春.可拓学的基础理论与方法体系[J].科学通报,2013,58(13):1190-1199.
- [7] 石振明,孔宪立.工程地质学(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [8] 陈鹏宇,乔景顺,彭祖武,等.基于等级相关的泥石流危险因子筛选与危险度评价[J].岩土力学,2013,34(5):1410-1415.
- [9] 牛岑岑.泥石流危险度评价指标的提取与等级划分[D].吉林长春:吉林大学,2013.
- [10] Tung - Chiung Chang, Yue - Hone Chien. The application of genetic algorithm in debris flows prediction[J]. Environmental Geology, 2013, 53(2):339-347.
- [11] 匡乐红,刘宝琛,姚京成.基于模糊可拓方法的泥石流危险度区划研究[J].灾害学,2006,21(1):69-71.
- [12] 刘林希,唐川.泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,2004.
- [13] DZ/T 0220—2006,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].