

基于突变理论的岷县山区泥石流危险性区划研究^{*}

杨 东, 焦 金 鱼, 田 娜

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 目前对泥石流的危险性评价方面使用的方法有模糊数学法、人工神经网络、GIS 等。但这些方法均缺乏系统间由量变到质变的非线性突变特征。运用突变级数法将突变理论和模糊数学相结合, 针对甘肃省岷县 6 个流域单元进行了危险性评价, 采用多准则多目标决策问题的基本思想和步骤, 不需对评价指标赋以精确权重, 它只考虑指标的相对重要性, 避免了直接使用难于确定且主观性较大的“权重”概念, 因而显得更加简捷方便。同时, 评价结果与当地实际情况相符合, 通过实例证明了该方法在泥石流危险性评价方面的可行性。

关键词: 泥石流; 突变级数法; 危险性区划

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0005-05

Research on Debris Flow Harzard Zonation Based on Catastrophe Theory in the Min County, Gansu Province

YANG Dong, JIAO Jin yu, TIAN Na

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: At present, there have many methods for the debris flow harzard assessments, such as fuzzy mathematic, artificial neural network, GIS etc. But, these methods are also short of nonlinearity catastrophe characteristic from quantitative change to qualitative change among systems. We use Catastrophe Progression Method to evaluate the harzard of the six valley units in the Min County of Gansu Province combining catastrophe theory with fuzzy mathematics. This paper adopts the main steps and ideas of a method using catastrophe theory called catastrophe progression method and only considers the relative importance of the index, so the method avoids the subjectivity for weight decision and works simply. The results are found to be coincident with practical situation, so it proves the catastrophe progression method works well at the aspect of the danger evaluation to the debris flow according to the factual case.

Key words: debris flow; Catastrophe Progression Method; harzard zonation

以岷县山区泥石流为主要研究对象, 深入实地进行多次考察, 提出触发泥石流灾害的主要因子, 并逐一统计量化, 用突变级数模糊隶属度函数法进行危险性评价, 对泥石流这一集模糊性与随机性为一体的现象, 将突变理论和模糊数学相结合, 采用多准则的突变级数法对其进行了综合评价^[1], 首次划分出岷县泥石流灾害的危险区, 以更好的为当地政府的防灾减灾提供参考。

1 研究区概况

1.1 自然状况

岷县位于东经 $103^{\circ}14' - 104^{\circ}59'$, 北纬 $34^{\circ}07' - 34^{\circ}45'$, 地处洮河中游、甘南高原、陇南山地及黄土高原接壤区, 东西狭长约 120 km, 南北最窄处约 15 km。在地质构造上, 属西

秦岭地槽褶皱系的北支秦岭海西褶皱带, 次级构造为弧形构造, 古地理环境为秦岭海槽。全县面积 3 500 km², 总人口 45 万余人, 总流域面积 35.78 万 hm², 其中: 耕地面积 4.18 万 hm², 水域面积 1.47 万 hm², 森林面积 6.47 万 hm², 草原面积 19.33 万 hm²。受亚热带和高原气候影响, 气候高寒阴湿, 多年平均降雨量为 560.8 mm, 平均蒸发量为 1 203 mm。全境地形属高原形态, 山的坡度在 45°左右, 整个地势西南面和东部山区较高。全境海拔 2 040~3 747 m, 其中岷县、迭部交界处的达拉梁海拔为 3 747 m, 属岷县最高峰。马坞油坊庄海拔为 2 040 m, 为最低点, 相对高差 1 707 m。

1.2 泥石流灾害概况

据不完全统计, 近 60 年来, 岷县地质灾害造成的伤亡人数达 129 人, 造成直接经济损失 2 135.7 万元, 具危害范围

^{*} 收稿日期: 2007-05-15

基金项目: 教育部重点项目(05JJDZH 234); 国家自然科学基金项目(40473006); 甘肃省自然科学基金(3ZS05FA25-009); 西北师范大学自然地理学省级重点学科

作者简介: 杨东(1968-), 男, 湖北宜昌人, 博士, 副教授, 主要研究方向为区域资源、环境变迁与全球变化。E-mail: jiaojinyu2006@163.com

广、威胁严重的特点。如 1995 年 6 月 6 日, 马坞乡黑鹰沟暴发稀性泥石流, 造成 31 人死亡, 56 户 235 人无家可归, 直接经济损失 350 万元。2001 年 7 月 24 日 3: 20– 5: 20, 马坞乡暴发大面积的泥石流, 造成 46 人死亡, 受伤 23 人, 冲毁房屋 630 间, 因灾死亡牲畜 1 283 头(只), 损坏房屋 3 009 间, 冲毁农田 400 hm², 毁坏公路 47 km, 桥梁 6 座, 涵洞 9 道, 冲毁通讯光缆 15 km, 造成 2 487 户 11 392 人无家可归。

2 运用突变级数法评价的基本原理

突变理论作为一门以突变现象为研究对象的系统理论, 被广泛应用到许多学科中。其中一种常见的应用, 是利用突变模型衍生出来的突变级数法来解决多准则决策问题。突变级数法的主要特点是它首先对系统的评价总目标进行多层次矛盾分解, 利用突变理论同模糊数学相结合产生的突变模糊隶属函数, 由归一公式进行综合量化运算, 最后归为一个参数, 即求出总的隶属函数, 从而进行评价^[2]。评价指标确定后, 评价者可根据经验(定性)确定各指标的重要性, 在同一属性、同一层次的指标中, 重要程度相对大的指标放在前面, 相对次要的指标放在后面, 这样就解决了权重确定的困难。由于一般突变系统的控制变量不超过 4 个, 所以相应的底层指标(相当于控制变量) 不要超过 4 个。用它来计算通常模糊数学的多目标评价决策问题, 就更适宜和更准确^[3]。

2.1 由突变模型的分歧集方程推出归一公式

基于突变理论的多准则评价方法, 汲取了现有层次分析法、效用函数法和模糊评价法的长处, 通过对分歧集的归一化处理, 得到了一种突变模糊隶属度函数, 应用这种评价法时无需确定各因素的权重, 但对各因素之间的矛盾主次关系应较好地把握。

几种常用突变模型的分歧集, 写成分解形式如下:

尖点突变: $a = -6x^2, b = 8x^3$

燕尾突变: $c = -3x^4$

蝴蝶突变: $a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$

为了便于利用其它评价方法(如效用函数法, 模糊隶属度函数)的资料, 可将上述分歧集方程进行归一化处理, 得到类似于模糊隶属度函数的突变模糊隶属度函数。

以尖点突变为例, 分解形式的分歧集方程可改写为

$$x_a = \sqrt[n]{\frac{a}{-6}}$$
$$x_b = \sqrt[n]{\frac{b}{8}}$$

x_a, x_b 是对应于 a, b 的 x 值。

如果令 $|x| = 1$, 则有 $a = -6$ 与 $b = 8$, 这样就确定了在评价决策时状态变量 x 和控制变量 a, b 的取值范围。其绝对值: x 为 0~ 1, a 为 0~ 6, b 为 0~ 8。但这样的 x, a, b 取值不统一。为了实际运算方便, 并且便于利用其它评价方法的已有资料, 可将状态变量和控制变量的取值范围均限制在 0 ~ 1 区间。为此, 只要把 a 缩小 6 倍, b 缩小 8 倍即可(可以证明, 缩小相对范围的方法, 不影响突变模型的性质)。

由此可得到尖点突变模型的归一化公式

$$x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}};$$

同样处理, 可得到

$$\text{燕尾突变: } x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}}, x_c = c^{\frac{1}{4}};$$

$$\text{蝴蝶突变: } x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}}, x_c = c^{\frac{1}{3}}, x_d = d^{\frac{1}{4}};$$

经过归一化处理, 状态变量和控制变量的取值范围均为 0~ 1, 称其为突变模糊隶属度函数。这是突变多准则评价方法的核心。^[4]

2.2 取值原则和评价准则

一般采用“越大越好”的突变模糊隶属度函数。实际应用时如有不同准则函数, 可以通过变换取得这种函数。

(1) 非互补准则。一个系统的诸控制变量之间, 其作用不可互相替代, 即不可相互弥补其不足时, 按“大中取小”原则取值, 即从诸控制变量(u, v, w, t) 相应的突变级数值中选择最小值作为系统的 x 值, $x = \min\{x_u, x_v, x_w, x_t\}$ 。

(2) 互补准则。诸控制变量(u, v, w, t) 之间可相互弥补其不足时, 按其均值取用, 即 $x = \{x_u, x_v, x_w, x_t\}/4$ 。其中 x_u, x_v, x_w, x_t 分别为一个系统中的突变指标(危险性因子) 对应的突变值, 如在本文泥石流危险性评价系统中 x_u, x_v, x_w, x_t 为二级突变指标松散物质、威胁对象、地形条件、水土流失所对应的突变值。

3 实例应用分析

3.1 确定评价区域

考虑到岷县泥石流受地质环境、岩性、地形地貌、流域分水岭、各乡(镇)的行政区划、人口和泥石流沟分布的密度以及人类生产经济活动等诸多因素的综合影响, 将整个研究区分为: 洮河干流流域(县城– 维新段) A_1 、洮河干流流域(县城– 西寨段) A_2 、纳纳河流域中上游(永驮) A_3 、蒲麻– 申都– 间井东山区 A_4 、马坞– 锁龙东山区 A_5 、十里、秦许、寺沟、麻子川南山区 A_6 六个评价区域。

3.2 危险性因子的选取

目前, 国内对泥石流的危险性评价尚无统一标准, 通过查阅有关甘肃省主要泥石流发育的基本条件等有关文献及根据该县泥石流地质构造、地形地貌和水文气象等特点, 在野外综合调查和综合分析的基础上, 参考谭炳炎在文献[5]中所用的评价标准, 选取了泥石流沟谷纵坡度、流域面积、流域相对高差、泥砂沿程补给长度比、流域植被覆盖率等 11 项因子进行对岷县泥石流沟易发程度的评价, 并且依据判别因子的量级, 评定在一定的暴雨激发条件下泥石流活动的规模和强度, 对人民生命和财产构成的威胁情况, 分为高危险、中度危险和低危险 3 个等级。具体量化分级数据见表 1。

3.3 指标的无量纲化

原始数据取值范围和度量单位各不相同, 它们之间无法进行相互比较。因此, 在使用归一化公式之前, 应依据突变理论综合评判的要求, 将控制变量的原始数据转化到 [0, 1] 之间。对各突变因子经过无量纲化后的标准数据见表 2。

3.4 权重的确定——熵值法

熵值赋权法就是在客观条件下由各评价指标监测值构成的判断距阵来确定各指标权重的方法, 通过数据本身所反映

的信息无序化效用值来计算权重系数, 由于尽量避免了各因子权重的主观性, 因而评价结果更能反映实际情况(表 3)^[6]。

表 1 泥石流危险区划分级标准

影响因素		高危险	中度危险	低危险
水土流失	C ₁ 滑坡及水土流失 (自然和人为活动的) 严重程度	崩塌、滑坡等重力侵蚀 严重, 多层滑坡和大型崩塌, 表土疏松, 冲沟十分发育	崩塌、滑坡发育, 多层滑坡和 中小型崩塌, 有零星 植被覆盖冲沟发育	有零星崩塌、滑坡和 冲沟存在, 发育轻微
	C ₂ 流域植被覆盖率/ %	< 10	10~ 30	> 30
	C ₃ 泥砂沿程补给长度比/ %	> 60	60~ 30	< 30
固体 松散物	C ₄ 岩性影响	软岩、黄土	软硬相间	硬岩
C ₅ 沿沟松散物储量/(10 ⁴ m ³ • km ⁻²)	C ₆ 产沙区松散物平均厚度/ m	> 10	10~ 5	< 5
		> 10	10~ 5	< 5
地形 条件	C ₇ 河沟纵坡/ ‰	> 213	213~ 105	105~ 52
	C ₈ 流域面积/ km ²	0. 2~ 5	5~ 10	< 5
	C ₉ 流域相对高差/ m	> 500	500~ 200	< 200
威胁 对象	C ₁₀ 人口/ 人	> 500	500~ 50	< 50
	C ₁₁ 财产/ 万元	> 500	500~ 100	< 100

表 2 突变指标及其标准化数据

突变 指标	洮河干流流域(县城– 维新) 48(条) A ₁			洮河干流流域(县城– 西寨) 39(条) A ₂			纳纳河流域中上游(禾驮) 21(条) A ₃		
	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险
C ₁	1. 0000	0. 4230	0. 2307	0. 0344	1. 0000	0. 3103	0. 0526	1. 0000	0. 0526
C ₂	1. 0000	0. 1142	0. 1142	1. 0000	0. 6500	0. 3000	1. 0000	0. 0526	0. 0526
C ₃	1. 0000	0. 0500	0. 0250	1. 0000	0. 0270	0. 0270	1. 0000	0. 1764	0. 0588
C ₄	1. 0000	0. 1052	0. 0263	1. 0000	0. 5217	0. 1739	1. 0000	0. 0526	0. 0526
C ₅	1. 0000	0. 0243	0. 0243	1. 0000	0. 0270	0. 0270	1. 0000	0. 0526	0. 0526
C ₆	0. 0243	0. 0243	1. 0000	0. 0270	0. 0270	1. 0000	0. 0526	0. 0526	1. 0000
C ₇	1. 0000	0. 5909	0. 3636	0. 8500	1. 0000	0. 1000	1. 0000	0. 6667	0. 0833
C ₈	1. 0000	0. 2800	0. 4800	0. 0285	1. 0000	0. 0857	1. 0000	0. 1333	0. 2667
C ₉	1. 0000	0. 8235	0. 1176	0. 2258	1. 0000	0. 0322	0. 5385	1. 0000	0. 0769
C ₁₀	0. 2142	1. 0000	0. 3214	0. 1612	1. 0000	0. 0967	0. 2000	1. 0000	0. 2000
C ₁₁	0. 4545	1. 0000	0. 5000	0. 0833	0. 5416	1. 0000	0. 0909	0. 8181	1. 0000
突变指标	蒲麻– 申都– 阎井东山区 17(条) A ₄			马坞– 锁龙东山区 15(条) A ₅			十里、秦许、寺沟、麻子川南山区 8(条) A ₆		
	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险
C ₁	0. 0667	1. 0000	0. 0667	0. 0769	0. 0769	1. 0000	0. 1667	0. 1667	1. 0000
C ₂	1. 0000	0. 6667	0. 2222	0. 1111	0. 8889	1. 0000	1. 0000	0. 2500	0. 7500
C ₃	1. 0000	0. 8889	0. 0000	1. 0000	0. 0769	0. 0769	0. 4000	1. 0000	0. 2000
C ₄	0. 4545	1. 0000	0. 0909	0. 3750	0. 5000	1. 0000	1. 0000	0. 1667	0. 1667
C ₅	1. 0000	0. 0667	0. 0667	1. 0000	0. 0769	0. 0769	1. 0000	0. 4000	0. 2000
C ₆	0. 0667	0. 0667	1. 0000	0. 0769	0. 0769	1. 0000	0. 1667	0. 1667	1. 0000
C ₇	0. 4444	1. 0000	0. 4444	0. 2222	1. 0000	0. 4444	0. 2500	0. 7500	1. 0000
C ₈	1. 0000	0. 0714	0. 1429	1. 0000	0. 4286	0. 7143	1. 0000	0. 2500	0. 7500
C ₉	0. 0667	1. 0000	0. 0667	0. 7500	1. 0000	0. 1250	0. 1667	1. 0000	0. 1667
C ₁₀	0. 0769	1. 0000	0. 2308	0. 0769	1. 0000	0. 0769	0. 1667	1. 0000	0. 0833
C ₁₁	0. 1000	0. 6000	1. 0000	0. 1667	1. 0000	0. 0833	0. 2727	1. 0000	0. 0909

表 3 各指标熵及熵权

指标	C ₅	C ₆	C ₃	C ₄	C ₁	C ₂	C ₉	C ₈	C ₇	C ₁₀	C ₁₁
信息熵	0.84	0.55	0.27	0.38	0.20	0.20	0.93	0.88	0.80	0.80	0.94
熵权	0.370	0.106	0.173	0.147	0.191	0.189	0.018	0.028	0.048	0.047	0.015

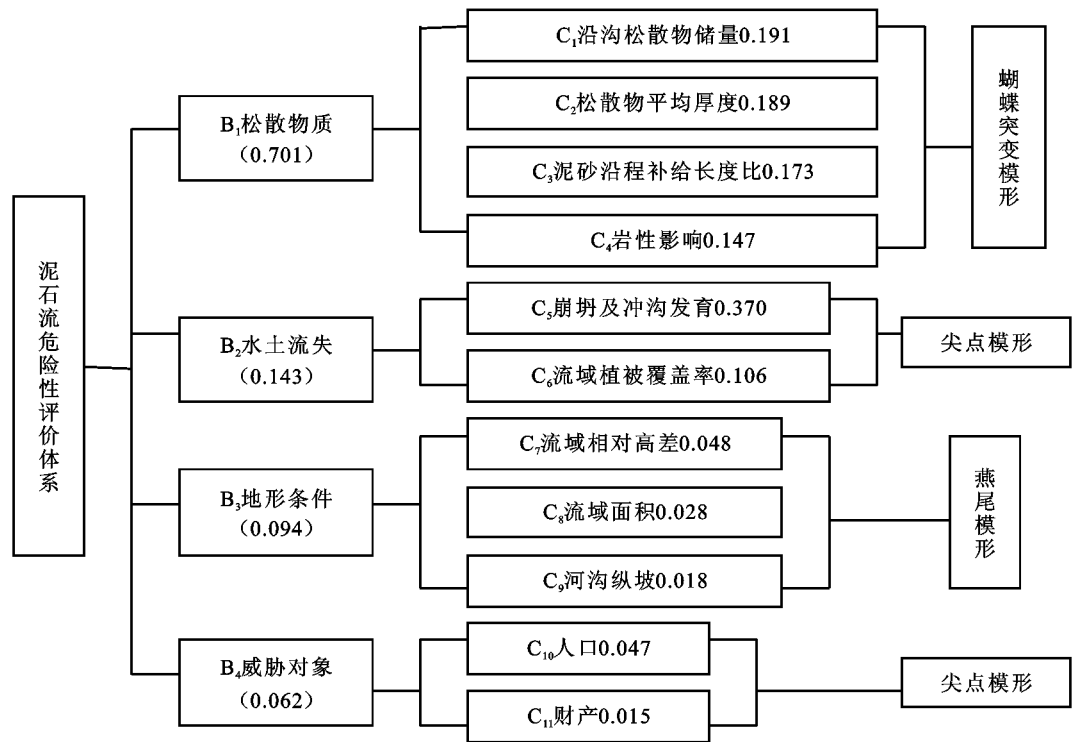


图 1 泥石流危险性评价体系及各指标权重

3.5 突变指标体系的建立

建立突变指标体系时,首先考虑各层次指标的重要性程度。这一过程一般是根据熵权值确定,重要的指标放在前面,次要的指标放在后面。在本文为了和谭炳炎的方法进行对比,参考谭炳炎的量级划分标准对最底层的 11 个指标进行重要性排序。然后考虑将 11 个指标按照层次理论进行分层,分层时要注意每层的指标数不超过 4 个。根据岷县泥石流沟所在局域的特点和突变理论的要求,将评价系统分成二

级层次,最后按照构建突变指标体系的原则,从而将区域泥石流危险性评价系统分解成由若干指标组成的多个因素影响的评价体系(图 1)。

根据突变级数模糊综合评判原理,利用系统中各突变模型的归一公式逐步向上进行综合量化运算,由归一公式最后归为一个参数,即最高层的总突变隶属函数值,并对评价对象进行最后评价时要用“小中取大”原则(表 4)。

表 4 综合评价结果

突变指标	洮河干流流域(县城-维新) 48(条) A ₁			洮河干流流域(县城-西寨) 39(条) A ₂			纳纳河流域中上游(禾驮) 21(条) A ₃		
	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险
总值	0.9429	0.8247	0.8346	0.8733	0.8707	0.8276	0.9052	0.8514	0.8163
突变指标	蒲麻-申都-间井东山区 17(条) A ₄			马坞-锁龙东山区 15(条) A ₅			十里、秦许、寺沟、麻子川南山区 8(条) A ₆		
	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险	高危险	中危险	小危险
总值	0.8785	0.9009	0.8187	0.8701	0.8741	0.8837	0.9032	0.9054	0.8955

由上述结果可知,属于高危险性的区域为洮河干流流域(县城-维新)段、洮河干流流域(县城-西寨)段、纳纳河流域中上游(禾驮)地区,属于中危险性的区域为十里-秦许-寺沟-麻子川南山区、蒲麻-申都-间井东山区,属于低危险性的区域为马坞-锁龙东山区(图 2)。

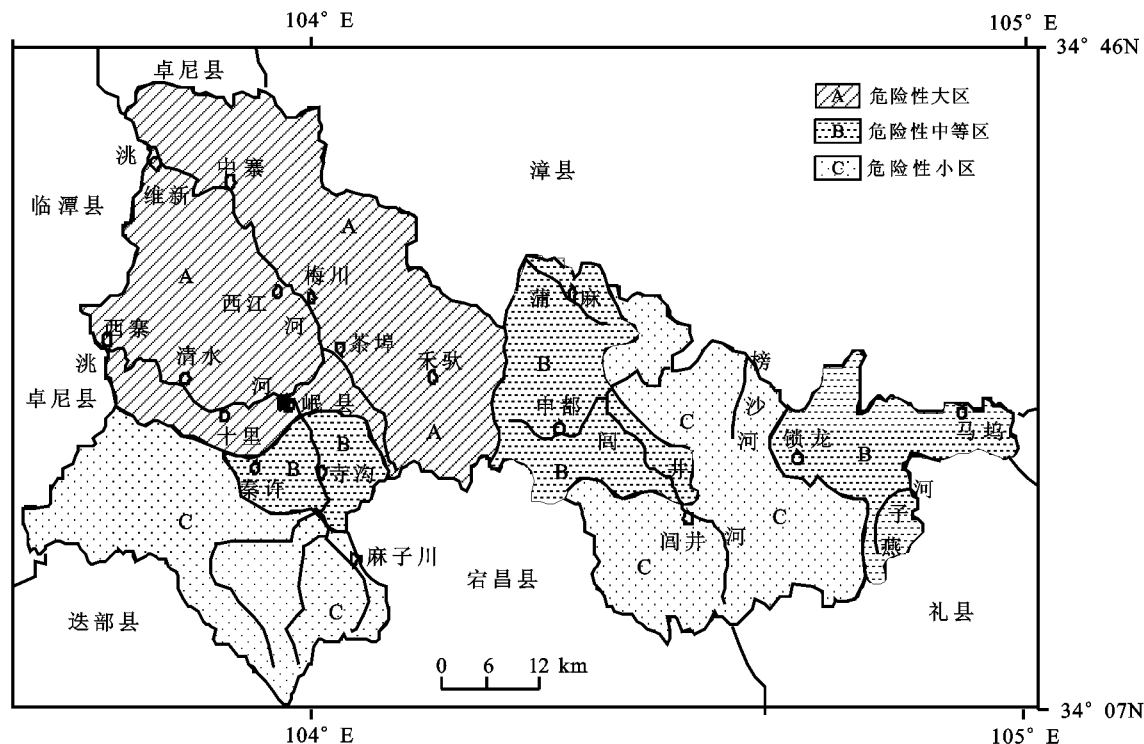
4 结 论

将以上最终分析结果根据实地野外考察及有关地资

料文献进行比较,明显看出洮河干流流域(县城-维新)、洮河干流流域(县城-西寨)段、蒲麻-申都-间井东山区、纳纳河流域中上游(禾驮)地区、十里-秦许-寺沟-麻子川南山区(十里沿洮河区为高危险区,秦许、寺沟、麻子川南山区为中小危险区)其结果完全符合当地实际情况。

从结果分析可知,因人为因素对自然环境的破坏而诱发的泥石流灾害越来越严重,使一些植被较好的区域由低危险区向中高危险区过渡(比如马坞-锁龙东山区)。马坞乡境内

条件,增加了形成泥石流的松散物质,促使泥石流活动性增强、规模增大、危害加重。当地政府应引起足够的重视,坚决制止人们对森林植被的肆意破坏,恢复天然植被,彻底治理矿区的尾矿堆积问题,保护好流域生态环境。一旦流域生态恶化,泥石流灾害发生的频率和规模将会加大。



参考文献:

本文运用突变级数模糊综合评判法对岷县山区进行泥石流的危险性区划,其最后计算的结果与实际情况相符合,具有较高的置信度。突变论的证明涉及数学基础虽然较深(如拓扑学、奇点理论等),但在具体应用方面较为简单。突变级数评价法使用归一化公式,其计算量小,易于编程,便于掌握。实例表明,突变级数法是合理、客观而可行的,它为解决泥石流多准则因子区域危险性评价提供了一种新的思路。