

# 灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用

邹翔, 崔鹏, 韦方强, 陈杰

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:**泥石流活动性评价是进行泥石流危险性评价的重要内容之一。本文采用处理非线性问题的有力工具——灰色系统理论中的关联度分析法, 建立了泥石流活动性评价的方法, 并用此方法, 以云南蒋家沟为参考序列, 对云南的 6 条典型泥石流沟进行活动性评价, 评价结果与实际的情况较吻合。并应用云南保山王官屯沟和云南怒江州六库的芭蕉河沟做了检验, 结果表明本方法是正确性可行的。

**关键词:** 泥石流; 活动性; 灰色关联度; 评价

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

泥石流是山区常见的一种自然灾害, 对山区生态环境及山区的经济建设有着重大的破坏性。泥石流的破坏性与泥石流的活动性有着非常密切的关系; 泥石流的活动性评价是泥石流危险性评价的重要内容, 也是泥石流地区工程建设可行性论证的重要内容。

泥石流的活动性与泥石流的危险性是两个既有联系又有区别的概念。泥石流的活动性是指泥石流自身的性质, 用暴发频率来定量表示<sup>[1]</sup>, 它主要和泥石流沟所处的自然环境以及泥石流沟的发育程度有关, 而泥石流的危险性是指人类及所在环境中的一切事物遭受泥石流损害的可能性大小<sup>[2]</sup>, 泥石流的危险性除与泥石流的活动性有关外, 还与工程构筑物所处的位置, 防洪工程的防洪能力及成灾范围内的经济和社会状况有关<sup>[1]</sup>。由此可见, 泥石流的活动性评价与泥石流的危险性评价是不能等同的。泥石流的活动性评价只是泥石流危险性评价的一部分。

过去的研究中, 对泥石流危险性评价的研究较多, 但对泥石流活动性评价研究较少。两种评价在内容上不同, 但评价方法却可相互借鉴。目前对泥石流的危险性评价的方法主要有: 荒溪分类法<sup>[3]</sup>、模糊数学法<sup>[4,5]</sup>、神经网络法<sup>[6,7]</sup>和灰色关联

法<sup>[8~11]</sup>等。自从邓聚龙教授提出了灰色系统理论<sup>[12]</sup>以后, 灰色方法在泥石流的活动性评价及危险性评价中得到了广泛的应用, 对推进泥石流的活动性及危险性评价的定量化起了很大的作用, 但仍存在着一些不足: 1. 选取的因子在物理意义上不独立, 有交叉重复; 2. 在选取参考序列时, 没有考虑到泥石流是一种非常复杂的非线性现象, 而简单采用各因子的上限值的组合作为参考序列; 3. 主要考虑因子之间的主次关系, 而对泥石流沟的相似性考虑很少。

泥石流是一种非常复杂的自然现象。影响因素众多, 且相互之间的关系十分复杂。由于影响泥石流活动性的各因子与泥石流活动性大小之间并不是简单的线性关系, 而是复杂的非线性关系, 因此, 采用常规的处理线性问题的方法是不能很好的解决泥石流活动性评价问题的。灰色系统理论是处理非线性问题的有力手段, 本文综合考虑影响泥石流活动性的各因子, 运用灰色关联度法, 通过沟与沟之间的相似性来判别泥石流沟的活动性。

## 1 灰色关联度方法的理论基础

灰色系统理论<sup>[12~14]</sup>充分利用系统中的已经掌

收稿日期(Received date): 2002-07-16; 改回日期(Accepted): 2003-04-15。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-306)。[Supported by the knowledge innovation project of Chinese Academy of Sciences (ID: KZCX2-306).]

作者简介(Biography): 邹翔(1973-), 男(汉族), 重庆永川人, 硕士研究生。[ZOU Xiang (1973-), male(Han), born in Yongchuan Chongqing, is a postgraduate.]

握的信息来解决只掌握了部分信息的,参数不完全的系统中因素之间的影响关系问题。设有 4 个因子在  $n$  个比较点组成 4 个序列如下

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}, \\ i = 1, 2, 3, 4$$

式中 选取  $X_1$  作为参考数列,  $X_2, X_3, X_4$  作为比较数列。假如 4 个数据序列如图 1 所示, 由于曲线(1)与(2)比较平行, 即认为  $X_1$  与  $X_2$  的关联度(定义与计算见下)大, ; 曲线(1)与(3)相差较大, 就认为相应的关联度较小; 而曲线(1)与(4)相差最大, 则认为关联度最小。

这当然只是一种直观的分析, 并不能精确的度量因素之间的关联度大小。在灰色系统关联度分析法中用关联系数来精确度量因素之间的关联程度的大小。

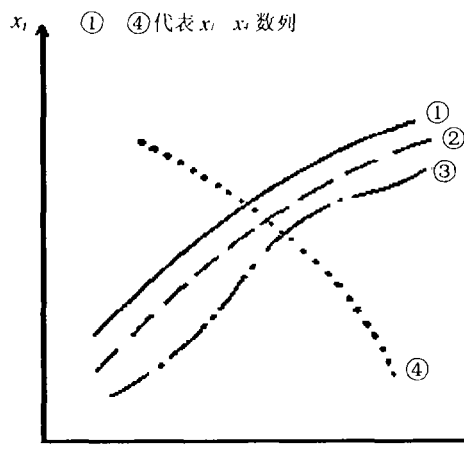


图 1 四个数列的数据序列图  
Fig. 1 Comparison between four series

### 1.1 因子选择

因子的选择应尽量遵守以下原则<sup>[1]</sup>:

- (1) 所选的因子要有明确的物理意义、有代表性;
- (2) 各因子之间应尽量相互独立;
- (3) 容易获取及量化;
- (4) 因子的个数不能太多。

### 1.2 参考序列的选择

参考序列的选择是灰色关联度方法的重要基础性工作, 参考序列选择在灰色关联度分析法中没有特殊的要求, 但是在具体应用中, 则应根据实际应用的需要进行选择。

### 1.3 无量纲化

一般来讲, 实际问题中的不同因子往往具有不同的量纲, 而在比较时, 要求量纲相同, 因此, 需要首先对各种数据进行无量纲化。具体方法如下:

假定一个因子的序列为  $x_i$ , 有多种方法对对变量进行无量纲化, 其中常用的两种方法为:

- (1) 对数列的原始数据作初值变换

$$x'_i(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(1)} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

- (2) 对数列的原始数据作均值变换

$$x'_i(k) = \frac{x'_i(k) - \bar{x}}{\bar{x}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中  $\bar{x}$  为数列  $X_i$  的平均值。

### 1.4 关联系数

设参考序列和比较序列分别为  $X_i$  和  $X_j$ , 在  $k$  点, 两个因子差的绝对值  $\Delta_{ij}(k)$  为

$$\Delta_{ij}(k) = |x_i(k) - x_j(k)|, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

两个因子最小和最大绝对差分别为

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |X_i(k) - X_j(k)|,$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |X_i(k) - X_j(k)|$$

定义数列  $X_j$  与  $X_i$  数列在  $k$  点的关联系数为

$$\zeta_{ij}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|X_i(k) - X_j(k)| + \rho \Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中  $\rho$  为经验数值, 取值范围为  $[0, 1]$ 。  $\rho$  的取值大小对计算结果的影响较大,  $\rho$  取值太小, 计算结果的区分度不大, 但  $\rho$  取值太大, 区分度虽然加大了, 却可能偏离实际情况, 因而一般取中间值 0.5。

### 1.5 关联度的计算

关联系数只表示各时刻数据间的关联程度, 由于它过于分散, 不便于比较, 因此用其平均值来表示比较数列  $X_j$  对参考数列  $X_i$  的关联度

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_{ij}(k) \quad (4)$$

## 2 灰色关联度法的应用

### 2.1 泥石流活动性因子的选择

根据 2.1 中的原则, 选择如下几个因子来评价泥石流的活动性:

- (1) 流域面积  $X_1(\text{km}^2)$  流域面积在一定程度上可以反映泥石流沟的产流域产沙情况, 沟谷流域面积与该沟谷是否为泥石流沟有很大的关系, 根据中国泥石流编目的统计, 发生泥石流的沟谷的流域

面积在 50 km<sup>2</sup> 以下的占 95%, 而且主要集中在 10 km<sup>2</sup> 以下。(2) 主沟床平均比降  $X_2$  (%) 沟床的平均比降可以间接的反映泥石流的动能情况。沟床的平均比降是泥石流发生的重要条件之一。泥石流的沟床的平均比降在一定的范围之内, 最容易发生泥石流, 而太大和太小均不利于泥石流的发生。统计表明, 泥石流沟床的平均比降为 5% ~ 25%, 大于 25% 的则因水流太快, 多形成水石流或山洪<sup>[2]</sup>。(3) 流域的切割密度  $X_3$  (km/km<sup>2</sup>) 流域的切割密度在一定程度上反映了流域内的地质与地貌情况, 通过该指标, 可以反映出流域内岩石的抗风化能力与强度和地貌发育的程度。(4) 泥沙补给段长度比  $X_4$ , 松散的固体物质是泥石流暴发的必备条件之一, 泥沙的补给长度则反映流域内能够为泥石流的发生提供多少松散固体物质的能力, 其值为泥沙沿途补给长度与主沟长度之比。(5) 年平均降雨量  $X_5$  (mm) 降雨量水激发泥石流的主要条件之一, 因此年均降水量的多少表示流域内的水源条件。

## 2.2 参考序列的选择

位于云南省东北部的小江流域, 是我国乃至世界上泥石流最为发育的地区之一, 共发育有 170 多条泥石流沟, 蒋家沟是其中最为典型的一条泥石流沟。蒋家沟流域位于小江流域中游, 流域内的泥石流极其活跃, 平均每年暴发泥石流 15 次左右, 最高达 28 次<sup>[15,16]</sup>, 中国科学院东川泥石流观测站便设在此沟, 拥有丰富的观测与研究资料, 因此, 本文选择云南东川蒋家沟作为参考序列。

## 2.3 关联度计算

本文根据专家意见选用文献[11]中的有代表性的 6 条沟的数据, 其中活动性较强的沟选了 2 条: 东川蒋家沟与东川大白泥沟; 活动性中等的选了 2 条: 金源沙湾大沟和金源老干沟; 活动性较弱的选了 2 条: 东川达德沟与保山黄龙山河。实际数据见表 1。

表 1 云南 6 条泥石流沟的原始数据

Table 1 Basic data of the 6 debris flow ravines in Yunnan province

泥石流沟名	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
东川蒋家沟	47.10	0.14	23.80	0.80	1200.00
东川大白泥沟	18.08	0.11	22.8	0.72	820.00
金源沙湾大沟	17.97	0.20	17.60	0.73	1080.00
金源老干沟	24.79	0.23	12.8	0.54	1080.00
东川达德沟	14.10	0.21	17.80	0.35	903.67
保山黄龙山河	7.77	0.11	4.30	0.35	965.40

根据公式(2), 对数据进行无量纲化, 无量纲化的结果见表 2。

表 2 云南 6 条泥石流沟无量纲化值

Table 2 Nondimensional value of the 6 sample debris flow ravines in Yunnan province

泥石流沟名	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
东川蒋家沟	2.18	0.84	1.44	1.38	1.19
东川大白泥沟	0.84	0.66	1.38	1.24	0.81
金源沙湾大沟	0.83	1.20	1.07	1.26	1.07
金源老干沟	1.15	1.38	0.77	0.93	1.07
东川达德沟	0.65	1.26	1.08	0.60	0.90
保山黄龙山河	0.36	0.66	0.26	0.60	0.96

根据公式(3)与公式(4), 计算出 5 条泥石流沟与蒋家沟的关联度(表 3)。

从表 3 中可以看出:

与蒋家沟最为相似的东川大白泥沟; 较相似的依次为金源沙湾大沟和金源老干沟; 东川达德沟和保山黄龙山河与蒋家沟最不相似。

表 3 关联度值

Table 3 Relative degree of debris flow

泥石流沟名	关联度	泥石流频率
东川蒋家沟	1.00	1500
东川大白泥沟	0.81	1200
金源沙湾大沟	0.72	150
金源老干沟	0.63	100
东川达德沟	0.62	30
保山黄龙山河	0.57	15

表 3 还列出了 6 条泥石流沟的暴发频率<sup>[11]</sup>。与表 3 的计算值进行比较可以看出, 两者是完全吻合的, 即泥石流活动性越强的沟与蒋家沟的关联度也就越大, 泥石流活动性越小的沟与蒋家沟的关联度也就越小。

## 2.5 实例验证

为了检验该方法的正确性, 选择文献[11]中的保山王官屯沟和怒江州六库的芭蕉河两条泥石流沟进行检验。据文献[11]中的资料可知保山王官屯沟

和怒江州六库的芭蕉河的活动频率分别为 20 次/100 a 与 13 次/100 a, 两条沟的活动性均较弱。保山王官屯沟和怒江州六库的芭蕉河的基本数据为:

保山王官屯沟:  $\{X_1 = 1.93, X_2 = 0.15, X_3 = 4.2, X_4 = 0.32, X_5 = 965.4\}$

怒江州六库的芭蕉河:  $\{X_1 = 4.1, X_2 = 0.14, X_3 = 6.6, X_4 = 0.25, X_5 = 1011\}$

把保山王官屯沟的数据加入到 6 条泥石流沟中重新进行运算结果如表 4。

表 4 加入保山王官屯沟后计算出的关联度  
Table 4 After adding the Wangguantun gully, the result of calculation

东川蒋家沟	东川大白泥沟	金源沙湾大沟	金源老干沟	东川达德沟	保山黄龙山河	保山王官屯沟
1.00	0.83	0.75	0.66	0.65	0.60	0.61

从表 4 中可以看出, 保山王官屯沟与东川蒋家沟的关联度  $r = 0.61$  刚好位于东川达德沟和保山黄龙山河之间, 因此可以判断出该泥石流沟的活动强度属于弱, 且其关联度值与保山黄龙山河最为接近, 可知其活动性应与保山黄龙山河的活动最为接

近。与保山王官屯沟的实际情况相比较可知, 此判断结果与保山王官屯沟的实际情况是相吻合的。

把怒江州六库的芭蕉河的数据加入到 6 条泥石流沟中重新进行运算结果见表 5。

表 5 加入怒江州六库芭蕉河后的计算出的关联度  
Table 5 After adding the Bajiaohe gully, the result of calculation

东川蒋家沟	东川大白泥沟	金源沙湾大沟	金源老干沟	东川达德沟	保山黄龙山河	芭蕉河
1.00	0.82	0.79	0.72	0.69	0.66	0.58

从表 5 中可以看出, 怒江州六库的芭蕉河与东川蒋家沟的关联度  $r = 0.58$ , 位于整个序列的最后, 因而其活动性可以判别为弱, 与实际情况相比较, 可知该结果是正确的。

### 3 结 语

从以上计算与分析表明, 选择典型的蒋家沟作为参考序列, 应用灰色关联度法, 通过活动性未知的沟与典型沟之间的相似性比较, 来判别未知活动性的泥石流沟的活动性, 可以获得与实际情况较吻合的结果。灰色关联度法虽然是判别泥石流沟的活动性的一种比较好的方法, 但在实际应用中, 该方法仍存在着一些不足。首先是原始资料的获取与准确性问题, 由于很多泥石流的资料缺乏或者所需资料不全, 因而限制了本方法的应用, 而且现有资料存在着数据不准确的问题, 因而给应用造成了一定的困难。其次是因子的选择问题, 虽然本文 1.1 中确定了因子的选取原则, 但是在实际的操作中, 由于影响泥石

流活动性的因子较多, 相互之间的关系较复杂, 因此在泥石流活动性评价中, 因子的选取仍然是相当困难的, 这种困难主要表现在到底应该选哪些因子和多少因子才合适, 本文限于时间关系没有在这一方面进行深入的研究, 因此该问题还有待于进一步的研究。本文采用的是暴雨型泥石流沟的数据, 因而只适用于暴雨型泥石流。

### 参考文献: (References)

- [1] Qi Long, Evaluation Method for Active Degree of Debris Flow Gully. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 365 ~ 368. [祁龙. 泥石流沟活跃程度的评价方法[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 365 ~ 368.]
- [2] Zhu Jing, Judgement of Debris Ravines and Evaluation of Risk Degree of Debris Flows. *Arid Land Geography*, 1995, 18(3): 63 ~ 73. [朱静. 泥石流沟判别与危险度评价研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(3): 63 ~ 73.]
- [3] Wang Lixian, Torrent Classification and Dangerous Area Mapping of Beijing Mountainous Area. *Mountain Research*, 1995, 13(3): 141 ~ 146. [王礼先. 北京山区荒溪分类与危险区制图[J]. 山地研究, 1995, 13(3): 141 ~ 146.]

- [4] Sun Guangren, Bi Hailiang. Application in Distinguish between Debris Flow Gully and Non-debris Flow Gully and Evaluating the Dangerous Degree of Debris Flow by FUZZY Method. (in chinese). *Environment of Qinghai*, 1997, 7(2): 72~77. [孙广仁, 毕海良. 模糊数学综合评判法在泥石流沟判别与危险度评价中的应用[J]. 青海环境, 1997, 7(2): 72~77.]
- [5] Xu Xinwang. Evaluating the Dangerous Degree of Debris Flow in Huairou County by FUZZY Method. *Journal of Anqing Teachers College (Natural Science)*, (in chinese) 1997, 3(4): 14~17. [许信旺. 怀柔县泥石流沟谷危险度 FUZZY 评判[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 1997, 3(4): 14~17.]
- [6] Wang Mingwu. The Zonation of Dangerous Degree of Debris Flow Based on Artificial Neural Network Method. *Hydrologic Geology and Engineering Geology* (in chinese), 2000, 2: 18~19. [汪明武. 基于神经网络的泥石流危险度区划[J]. 水文地质工程地质, 2000, 2: 18~19.]
- [7] Liu Yongjiang, Hu Houtian, Bai Zhiyong. Artificial Neural Network Method for Evaluating the Dangerous Degree of Debris Flows. *Geology and Prospecting*, 2001, 37(2): 84~87. [刘涌江, 胡厚田, 白志勇. 泥石流危险度评价的神经网络法[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 84~87.]
- [8] Liu Xilin, Zhang Songlin, Tang Chuan, Evaluation of the Risk Degree of Debris Flow in Ravine. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(3): 20~25. [刘希林, 张松林, 唐川. 沟谷泥石流危险度评价研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 20~25.]
- [9] Liu Yongjiang, Hu Houtian, Bai Zhiyong. Evaluation of Debris Flows According to Dangerous Degree, *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(2): 84~87. [刘涌江, 胡厚田, 白志勇. 泥石流危险度评价[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 84~87.]
- [10] Chen Ye, Zheng Yongshen, Wang Ying. Classification and Evaluation of Debris Flows According to the Dangerous Degree, *the Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1997, 8(1): 27~31. [陈冶, 郑永盛, 王莹. 泥石流危险度的分类评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(1): 27~31.]
- [11] Liu Xilin, Tang Chuan. Danger Assessment on Debris Flow, Beijing: Science Press, 1995. 1~26. [刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 1~26.]
- [12] Deng Julong. Basic Method of Grey Systems (in chinese). Wuhan: Huazhong University of Technology Press, 1987. 73~81. [邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987. 73~81.]
- [13] Xu Jianhua. Mathematic Method for Contemporary Geoscience (in chinese). Beijing: China Higher Education Press, 1996. 197~223. [许建华. 现代地学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996. 197~223.]
- [14] Yuan Zujia. Theory and Application of Grey Systems. Beijing: Science Press, 1990. 1~251. [袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 1~50.]
- [15] Wu Jishan, Kang Zhicheng, Tian Lianquan, et al. Researching Debris Flow of Jiangjiagou in Yunnan Province by Observation (in chinese). Beijing: Science Press, 1~251. [吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 1~251.]
- [16] Du Ronghuan, Kang Zhicheng, Chen Xunqian, et al. A Comprehensive Investigation and Control Planning for Debris Flow in the Xiaojiang River Basin of Yunnan Province (in chinese). Chongqing: Science Press, 1987. 1~287. [杜榕桓, 康志成, 陈循谦, 等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学文献出版社重庆分社, 1987. 1~287.]

## Application of Grey-correlation Method to Activity Evaluation of Debris Flow

ZOU Xiang, CUI Peng, WEI Fang-qiang, and CHEN Jie

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of  
Water Conservancy, Chengdu 610041 China)

**Abstract:** Activity evaluation is important in carrying out risk evaluation of debris flow. In this paper, taking Jiangjiagou as a reference series, the method of grey correlation has been used for the quantitative analysis of 6 typical debris flows in Yunnan province. The result agrees with actual condition. Then, it is proved to be correct by using two samples, Wangguantun gully and Bajiaohe gully.

**Key words:** debris flow; activity; grey correlation; evaluation