

基于改进灰色关联分析的泥石流危险性评价

曹洪洋¹, 王禹¹, 满兵²

(1. 石家庄经济学院 勘查技术与工程学院, 石家庄 050031; 2. 河北省地矿局 水文工程地质勘查院, 石家庄 050021)

摘要: 为了对龙门山断裂影响区域的泥石流次生灾害进行危险性评价研究, 应用灰色关联度方法分析了影响区内45条泥石流沟一次泥石流最大冲出量、流域面积、流域相对高差、植被覆盖率、松散物质储量、纵比降和24 h最大降雨量7个影响因子权重, 应用此权重替代传统灰色关联分析中的均值权重, 建立了泥石流危险性评价模型。模型评价结果表明, 松散物质储量和流域面积在影响因子中所占权重较大, 泥石流危险性评价结果与参考资料评价结果基本一致, 因此改进的灰色关联度评价法可为震区泥石流的防治提供有力支持。

关键词: 龙门山断裂; 泥石流灾害; 改进灰色关联度法; 危险性评价

中图分类号: P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0091-04

Risk evaluation of potential debris flow based on the improved grey correlation method

CAO Hong yang¹, WANG Yu¹, MAN Bing²

(1. College of Prospecting Techniques and Engineering Institute, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 2. Hydrogeology and Engineering Geology Survey Institute, Geology and Mineral Exploration Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The risk evaluation of the secondary debris flow disaster caused by the earthquake in the Longmenshan fault area was conducted in this paper. The grey correlation method was used to analyze the weights of seven impact factors, including the maximum output of debris flow, watershed area, elevation difference, vegetation coverage, loose material reserves, channel gradient ratio, and maximum precipitation in 24 hours. The weights were used to replace the average weights in the traditional grey correlation method and build the risk evaluation model of debris flow. The results showed that the weights of watershed area and loose material reserves are greater than those of other factors. The evaluation results were in line with the actual situation which indicates the improved grey correlation method can provide firm support for the prevention design of debris flow.

Key words: Longmenshan fault; debris flow hazard; improved grey correlation method; risk evaluation

2013年4月20日08时02分46秒在四川芦山发生M7.0级地震, 该地震是继2008年5月12日四川汶川M8.0级大地震后, 四川地区再次发生的严重破坏性大地震。这两次地震均发生在龙门山地震带上^[1,2]。在地震中, 大量的人员伤亡是由于次生灾害特别是次生地质灾害造成的^[3]。

在“5·12”汶川地震影响区, 各沟谷内存在大量松散固体物源和潜在滑坡, 具备发生泥石流的良好条件, 受强降雨诱发, 极易大规模破坏性泥石流^[4]。唐川^[5]指出, 至少在近10年内, 震区泥石流的活动比较强烈。因此采用科学的方法对“5·12”震后潜在泥石流危害进行评价就显得尤为重要。

目前, 关于泥石流的危险性定量评价方法, 主要有模糊评价法、可拓方法、GIS分析评价法及灰色关联法等。刘章

军^[6]运用模糊概率法对泥石流危险性进行了评价, 该方法在继承模糊综合评判法的思想和优点的同时, 克服了在实际应用中其评价因子权重取值的不确定性。匡乐红^[7]运用可拓学方法对泥石流危险性进行了评价, 利用物元的可拓性确定定性评价因素, 又可利用可拓集合中关联函数值进行定量计算。张洪等人^[8]利用GIS方法对云南省海子沟泥石流进行评价, 为泥石流防治工程提供了重要的依据。邹翔^[9]和张成杰^[10]利用灰色关联度方法分别对云南六条泥石流沟和西藏八宿沟泥石流进行了评价。以上方法在对泥石流定量化评价中都起到了推进作用, 但仍存有一定的主观性和缺乏对影响因子权重的分析等问题。

基于灰色数学在处理非线性问题中的能力^[11], 以及处理

收稿日期: 2014-01-27 修回日期: 2014-10-26 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1404.029.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301015); 国土资源公益性行业科研专项项目(201011003); 河北省科技支撑项目(11237174)

作者简介: 曹洪洋(1975-), 男, 副教授, 博士, 主要从事灾害地质和岩土工程教学和科研工作。E-mail: hongyangc@126.com

泥石流影响因子与泥石流危险性之间复杂的非线性关系的优势,灰色关联度方法在泥石流危险性评价中有着广泛的应用。但是以往在计算泥石流比较序列的关联度时,各个影响因素的权重被视为均等的,而本文试图在计算过程中对传统的灰色关联法进行修正,在评价模型中考虑影响因子的权重。

1 改进灰色关联度法评价模型建立

在泥石流危险性评价中,灰色关联度分析是通过参考泥石流沟(参考序列)和比较泥石流沟(比较序列)之间的相似程度来判断其危险性,相似程度越大,比较泥石流沟与参考泥石流沟的危险性越相同。

评价模型的建立分为三个步骤:首先确定泥石流危险性评价的影响因子,其次计算影响因子灰色关联度,最后对拟评价的泥石流沟进行关联度计算及评价。

1.1 影响因子确定

根据以往的研究资料,确定了 7 个影响因子: X_1 为一次泥石流最大冲出量(万 m^3); X_2 为流域面积(m^2); X_3 为流域相对高差(m); X_4 为植被覆盖率(%); X_5 为松散物质储量(万 m^3/km^2); X_6 为河流纵比降(‰); X_7 为 24 h 降雨量(mm)。

1.2 影响因子关联度的计算

设有 m 个影响因子在 n 个比较点组成的序列如下:

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

本模型中选取 X_1 (一次泥石流最大冲出量(万 m^3)) 作为参考序列,其余序列作为比较序列。

(1) 对泥石流影响因子数据做均值化处理,使其无量纲化。

$$X'_i(k) = X_i(k) / \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n X_i(k) \quad (1)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 求泥石流影响因子参考序列与比较序列的绝对差。

$$\Delta_i(k) = |X'_i(k) - X'_i(1)| \quad (2)$$

(3) 计算两极最大差和最小差。

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= \max_i \max_k \Delta_i(k) \\ \Delta_{\min} &= \min_i \min_k \Delta_i(k) \end{aligned} \quad (3)$$

(4) 计算影响因子的关联系数。

$$r_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \varepsilon \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + \varepsilon \Delta_{\max}} \quad (4)$$

其中 ε 为分辨系数,它的取值只能影响关联系数的大小,一般取 0.5。

(5) 求泥石流影响因子的关联度并对关联度值进行归一化。

$$\omega(i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_i(k) \quad (5)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$ 。

$$\omega'(i) = \omega(i) / \sum_{i=1}^m \omega(i) \quad (6)$$

此归一化的值即为泥石流影响因子的权重值。

1.3 泥石流危险性评价

为解决均等权重影响因子的问题,本评价模型在计算影响因子权重的基础上将其应用到计算泥石流危险性的关联度中。具体步骤如下。

设有 n 个比较点在 m 个影响因子组成的序列如下:

$$Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(m)\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

本模型中选取 Y_1 作为参考序列,其余序列作为比较序列。其中无量纲化处理、绝对差及极最大和最小步骤同式

(1)、式(2)和式(3),其结果分别记为 $Y'_i(l)$ 、 $\tau_i(l)$ 、 τ_{\max} 和 τ_{\min} 。

则泥石流沟的关联系数为

$$p_i(l) = \frac{\tau_{\min} + \varepsilon \tau_{\max}}{\tau_i(l) + \varepsilon \tau_{\max}} \quad (7)$$

式中: ε 为分辨系数,一般取 0.5。

泥石流沟比较序列的关联度为

$$q(i) = \sum_{l=1}^m \omega'(l) p_i(l) \quad (8)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n, l = 1, 2, \dots, m, \omega'(l) = \omega'(i)$ 。

2 震区泥石流危险性评价

汶川地震引发了众多的潜在泥石流,本次工作选择了龙门山断裂影响区内的 45 条泥石流沟,其空间分布见图 1。为了便于研究以下分别以 1 至 45 号顺序标记以上泥石流沟。

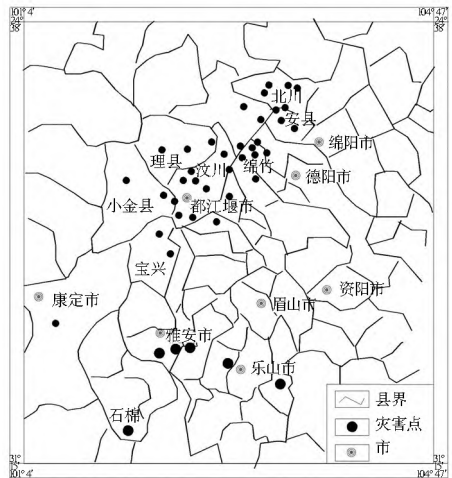


图 1 泥石流沟空间位置分布

Fig. 1 Spatial distribution of debris flow gullies

2.1 影响因子关联度计算

45 条泥石流沟中的部分基础数据见表 1。

表 1 泥石流沟的基础数据

Tab. 1 Basic data of debris flow gullies

泥石流沟 编号	影响因素						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	0.56	25.61	475	60	6.97	0.0368	140
2	0.82	1.1	960	60	6.65	0.485	233
3	1.16	2.14	660	25	22.5	0.25	151
4	1.83	8.22	1430	65	10	0.224	130
5	9.53	33.04	2621	80	30	0.3	55
6	1.42	0.6	800	70	10	0.645	233
...
40	1.75	2.12	1820	70	122	0.679	79.9
41	6	33.86	1673	80	12	0.44	145
42	0.54	0.35	890	50	45	0.1	96
43	85	32.9	3139	80	51	0.21	108
44	4.54	1.71	860	90	28.8	0.15	123.3
45	6.6	8.8	1235	70	5.3	0.211	220

- (1) 按公式(1)对数据做均值化处理,使其无量纲化。
 (2) 按公式(2)求参考序列与比较序列的绝对差。
 (3) 按公式(3)计算两极最大差与最小差,得:
 $\Delta_{\max} = 8.956$, $\Delta_{\min} = 0.005$
 (4) 按公式(4)计算关联系数,计算结果见表2。

表2 影响因子关联系数

Tab.2 Correlation coefficients of the impact factors of debris flow

泥石流沟 编号	影响因素					
	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	0.535	0.924	0.843	0.972	0.989	0.861
2	0.978	0.853	0.846	0.978	0.786	0.787
3	0.951	0.903	0.943	0.902	0.888	0.859
4	0.800	0.802	0.847	0.977	0.910	0.888
5	0.509	0.744	0.916	0.998	0.994	0.908
6	0.996	0.884	0.830	0.970	0.737	0.793
...
40	0.961	0.755	0.834	0.598	0.729	0.938
41	0.486	0.82	0.865	0.964	0.867	0.935
42	0.999	0.859	0.866	0.8	0.954	0.903
43	0.721	0.525	0.443	0.449	0.417	0.419
44	0.979	0.92	0.823	0.922	0.993	0.935
45	0.845	0.89	0.9	0.92	0.994	0.868

- (5) 按公式(5)求得关联度,计算结果见表3。

表3 影响因子关联度值

Tab.3 Relative degrees of the impact factors of debris flow

影响因素	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
关联度	1.000	0.864	0.835	0.822	0.845	0.819	0.816

- (6) 按公式(6)对关联度进行归一化,归一化结果见表4。

表4 关联度归一化值

Tab.4 Normalization values of the relative degrees

影响因素	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
关联度	0.167	0.144	0.139	0.137	0.141	0.136	0.136

表6 44条泥石流沟关联度值

Tab.6 Relative degrees of the debris flow gullies

泥石流沟编号	1	2	3	4	5	6	...	40	41	42	44	45
关联度	0.747	0.683	0.707	0.741	0.848	0.678	...	0.694	0.802	0.734	0.737	0.728

$0.9 \leq \varphi(i) \leq 1$, 为极高危险; $0.75 \leq \varphi(i) < 0.9$, 为高度危险;
 $0.6 \leq \varphi(i) < 0.75$, 为中度危险; $0 \leq \varphi(i) < 0.6$, 为低度危险。

2.3 讨论

根据河北省地矿局水文工程地质勘察院勘察报告,1号至5号泥石流沟(梓潼沟、黄央沟、山王庙沟、王家沟、幸福沟)的危险性评价结果分别为:高度、中度、中度、中度、高度。而本模型对梓潼沟计算的关联度值为0.747,基本上是处于高度和中度界限处,按本模型计算的影响因子权重排序,可以看出梓潼沟的 X_2 因子值较小,因此将此泥石流沟划为中度比较合适。40号至45号泥石流沟为关山沟、干沟、杨家湾沟、干溪沟和虹口小沟,按本评价模型分别为中度、高度、中度、中度、中度。其评价结果与文献[12-16]的评价结果基本一致。

从表4可以看出:在泥石流的6个比较序列中,影响因子权重的大小关系依次为: X_2 流域面积 > X_5 松散物质储量 > X_3 流域相对高差 > X_4 植被覆盖率 > X_6 河流纵比降 > X_7 24 h 降雨量。

2.2 泥石流沟危险性评价

经过分析对比,45条泥石流沟中,43号唐家沟泥石流被认为危险性最大的泥石流沟,因此本研究中将唐家沟泥石流作为参考序列,其余44条泥石流沟作为比较序列。计算过程如下。

- (1) 45条泥石流沟的基本数据见表1。

- (2) 按公式分别求得数据 $Y_i(l)$ 、 $\tau_i(l)$ 、 τ_{\max} 和 τ_{\min} 。

- (3) 按公式(7)计算关联系数,计算结果见表5。

- (4) 按公式(8)求得44条泥石流沟的关联度,计算结果见表6。

根据关联度值可知道各泥石流沟与唐家沟之间的关联程度,并据此分析出44条泥石流沟的危险程度。根据前6个泥石流沟的现场调查,确定出泥石流危险性分级标准:

表5 泥石流沟关联系数

Tab.5 Correlation coefficients of the debris flow gullies

泥石流沟 编号	影响因素						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	0.364	0.775	0.623	0.929	0.772	0.894	0.956
2	0.365	0.441	0.669	0.929	0.771	0.841	0.849
3	0.366	0.450	0.640	0.827	0.840	0.973	0.942
4	0.368	0.504	0.720	0.946	0.785	0.990	0.970
5	0.390	0.994	0.895	1.000	0.877	0.942	0.930
6	0.366	0.437	0.653	0.963	0.785	0.770	0.849
...
40	0.367	0.449	0.769	0.963	0.678	0.756	0.962
41	0.380	0.963	0.750	1.000	0.793	0.864	0.950
42	0.364	0.436	0.662	0.897	0.961	0.930	0.983
44	0.375	0.446	0.659	0.963	0.871	0.960	0.979
45	0.381	0.510	0.698	0.963	0.766	0.999	0.863

但是,文献[14]对42号泥石流沟的评价结果为高度危险,而本模型计算的影响因子 X_2 和 X_5 都为中等,因此将其定性为中等危险度。造成两种评价结果差异的原因主要是主要影响因子的选择不同,文献[14]中将年降雨量作为重要因子,而本文则以一次泥石流的冲量作为最主要因子。限于篇幅,在此不再一一分析其他泥石流沟的评价结果。不过总体看来,本模型评价结果与所引文献评价结果基本吻合。

3 结语

本文提出的基于灰色关联度的泥石流危险性评价模型,对传统的灰色关联法进行了调整,给出了所研究45条泥石流沟的影响因子权重排序及泥石流沟的危险性评价,结果较

为合理。但是,在应用本文的评价方法时需要注意以下问题:(1)应用本模型时,须考虑到区域的差异性,应根据实际情况选择影响因子,如果能基于现场实际调查来选择影响因子,则结果会更为客观;(2)对作为参考序列的泥石流沟的危险性要有一个客观的评价,否则会影响评价结果。

致谢

本研究中编号 1 至 5 的泥石流沟数据来源于河北省地矿局水文工程地质勘察院提供的勘察报告,在此表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 张勇,许力生,陈运泰. 芦山 4.20 地震破裂过程及其致灾特征初步分析[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1408-1411. (ZHANG Yong, XU Lisheng, CHEN Yur tai. Rupture process of the Lushan 4.20 earthquake and preliminary analysis on the disaster causing mechanism[J]. Chinese Journal of Geophysics. 2013, 56(4): 1408-1411. (in Chinese))
- [2] 刘杰,易桂喜,张致伟. 2013 年 4 月 20 日四川芦山 M7.0 级地震介绍[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1404-1407. (LIU Jie, YI Guixi, ZHANG Zhiwei. Introduction to the Lushan, Sichuan M7.0 earthquake on 20 April 2013, Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(4): 1404-1407. (in Chinese))
- [3] 兰恒星,周成虎,高星,等. 四川雅安芦山地震灾区次生地质灾害评估及对策建议[J]. 地理科学进展, 2013, 32(4): 499-504. (LAN Hengxing, ZHOU Chenghu, GAO Xing, et al. Secondary geological hazard assessment and hazard mitigation countermeasures in Lushan, Ya'an Earthquake, Sichuan Province[J]. Progress in Geography. 2013, 32(4): 499-504. (in Chinese))
- [4] 刘清华,唐川,常鸣,等. 汶川地震强震区映秀地区泥石流的危险性[J]. 山地学报, 2012, 30(5): 592-598. (LIU Qinghua, TANG Chuan, CHUANG Ming, et al. Risk of debris flow in epicenter of Wenchuan Earthquake, Yingxiu of Sichuan[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(5): 592-598. (in Chinese))
- [5] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(13): 341-349. (TANG Chuan. Activity tendency prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan earthquake areas[J]. Journal of Mountain Science. 2010, 28(13): 341-349. (in Chinese))
- [6] 刘章军. 基于模糊概率方法的泥石流危险性评价[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2007, 29(4): 295-298. (LIU Zhangjun. Debris flow danger evaluation based on fuzzy probability method[J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences, 2007, 29(4): 295-298. (in Chinese))
- [7] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛. 基于可拓方法的泥石流危险性评价[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(5): F6. (KUANG Le hong, XU Lirong, LIU Baochen. Debris flow hazard assessment based on extension method[J]. China Railway Science, 2006, 27(5): F6. (in Chinese))
- [8] 张洪,况明生. 基于 GIS 的云南省海子沟流域泥石流危险性评价[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 31(6): 139-142. (ZHANG Hong, KUANG Mingsheng. Based GIS the risk assessment of debris flow in Haizi Valley Basin of Yunnan province [J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science. 2006, 31(6): 139-142. (in Chinese))
- [9] 邹翔,崔鹏,韦方强. 灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用[J]. 山地学报, 2003, 21(3): 360-364. (ZOU Xiang, CUI Peng, WEI Fangqiang. Application of grey-correlation method to activity evaluation of debris flow [J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(3): 360-364. (in Chinese))
- [10] 张成杰,王常明,王钢城,等. 灰色关联法在泥石流危险性评价中的应用[J]. 吉林地质, 2005, 24(4): 111-120. (ZHANG Chengjie, WANG Changming, WANG Gangcheng, et al. An application of gray correlation method in evaluating debris flow hazard [J]. Jilin Geology, 2005, 24(4): 111-120. (in Chinese))
- [11] 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. (DENG Julong. Primary methods of grey system theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1987: 73-81. (in Chinese))
- [12] 柳金峰,游勇. 汶川地震触发潜在性泥石流研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2009, 41(S1): 70-75. (LIU Jinfeng, YOU Yong. Study on the potential debris flow triggered by Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition. 2009, 41(S1): 70-75. (in Chinese))
- [13] 沈军辉,朱容辰. 5.12 汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 513-517. (SHEN Junhui, ZHU Rongchen. Possibility geological analysis of Gangou debris flow in Longchi Town in Dujiangyan induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(5): 513-517. (in Chinese))
- [14] 魏斌斌,赵其华. 基于灰色关联法的地震灾区泥石流危险性评价—以北川县泥石流为例[J]. 工程地质学报, 2013, 21(4): 525-533. (WEI Binbin, ZHANG Qihua. Grey correlation method based hazard assessment of debris flow in quake hit area—Taking debris flows in Beichuan as an example [J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(4): 525-533. (in Chinese))
- [15] 邓碧云,王亮清. 四川雅安市干溪沟泥石流特征及综合治理研究[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(2): 13-17. (DENG Binyun, WANG Qingliang. Research on the characteristics and comprehensive management of Ganxi ditch debris flow in Ya'an city. [J]. Safety and Environmental Engineering, 2010, 17(2): 13-18. (in Chinese))
- [16] 张惠惠. 汶川强震区都江堰虹口小沟地震泥石流灾害调查研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(1): 42-48. (ZHANG Huihui. Study on the disaster of earthquake debris flows of Xiaogou gully, Hongkou, Dujiangyan in Wenchuan earthquake area, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2011, 38(1): 42-48. (in Chinese))