

兰州市城区泥石流危险性评价

刘 兴 荣

(甘肃省科学院 地质自然灾害防治研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 泥石流危险性的研究对于兰州市城区泥石流治理、防灾减灾对策的确定具有重要意义。笔者通过调查的 12 条典型沟道资料, 运用灰色关联分析的方法, 取得了评价兰州市城区泥石流灾害的定量指标, 并计算了各指标的权重, 在此基础上得出了兰州市泥石流危险度评价模型, 以此来对兰州市城区泥石流进行危险性评价, 并计算出了 12 条沟道的危险度作为检验, 评价结果与实际情况较吻合, 结果表明本方法可靠、简便和实用。

关键词: 危险度; 灰色关联分析; 权重; 评价模型; 检验

中图分类号: P642. 23; X43

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2016)01-0257-06

Hazard Assessment of Debris Flows in Lanzhou City

LIU Xingrong

(Geological Hazards Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Debris flow risk study has a great significance for the engineering harnessing, as well as the determination of disaster prevention and mitigation countermeasures for Lanzhou city. In this paper, the data of typical debris flows have been investigated and analyzed, the quantitative indexes for Lanzhou debris flow disaster evaluation have been obtained through using the method of grey relational analysis, and the weights of every index have been calculated. On the basis of the evaluation model, the risk of debris flow in Lanzhou city has been evaluated. And then, the calculated risk degree of these 12 debris flows has been taken as testing indexes. It's found that the evaluation results fit well with the theoretical results, showing this method is reliable, simple and practical.

Keywords: dangerous degree; grey relational analysis; weight; evaluation model; test

兰州市地处黄河上游黄土高原的西部, 其主城区城关区、七里河区、西固区和安宁区(简称兰州市城区)主要分布在黄河两岸的河谷阶地上, 南北两侧为绵延起伏的山地和沟壑纵横的黄土梁峁, 区内发育大量崩塌、滑坡, 为兰州市城区泥石流的形成提供了丰富的固体物质(刘希林, 2002), 随着人口的增加和城市规模的扩大, 大规模的基础设施建设活动对

周围环境的压力明显上升, 不合理的人类活动及水土流失日趋严重, 降低了泥石流暴发需要的激发因素, 诱发并加剧了泥石流的发生和发展, 致使该区泥石流活动将继续恶化, 其活动频率和规模都大大增加。每年都要造成大量人员伤亡和巨额的经济损失, 成为当地社会、经济发展和自然环境保护的重要限制性因素之一。但兰州市城区泥石流沟道多且规

收稿日期: 2015-05-14; **修回日期:** 2015-09-16

基金项目: 甘肃省科学院青年基金(2012QN-18); 兰州市社科规划项目(13-048F); 国家科技支撑计划项目(2011BAK12B07)

作者简介: 刘兴荣(1979-), 男, 甘肃省靖远县人, 2006 年获甘肃农业大学工学院工学硕士学位, 现任甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所泥石流室副主任, 副研究员, 主要从事地质灾害防治研究工作。E-mail: 402794885@qq.com

模大,要全部治理不太现实,因此,对该区域泥石流的危险性评价进行深入研究,并按照危险程度的大小划分轻重缓急,分步进行治理、规划或预防则显得较为重要。

一般认为泥石流活动是流域演化的一种非线性动力过程,而灰色系统理论是处理非线性问题的有力手段(吕学军等,2005;刘希林等,1995)。因此,笔者以兰州市城区泥石流沟为例,综合考虑影响泥石流活动性的各因子,运用灰色关联度法,建立兰州市泥石流危险度计算模型,通过模型的应用,为泥石流预测、治理和城市规划提供科学的依据。

1 兰州市主城区沟道的分布特征

兰州市主城区共发育面积大于 0.1km² 的沟道 105 条。其中,黄河右岸共发育沟道 39 条,平均发育密度为 0.93 条/km;左岸共发育沟道 66 条,平均发育密度为 1.58 条/km。

2 泥石流危险性评价指标的选取

泥石流是地表一种复杂的自然地理过程,影响泥石流发生、发展和预测的环境背景因子达 70 多种(刘希林,2002)。笔者根据区域特点、历史状况、形

成条件和前人研究的成果,选取了 10 个评价指标作为泥石流活动评价的关联因子(吕学军等,2005;刘希林等,1995;朱静,1995)。兰州市局地暴雨较多、沟道地形起伏较大,调查区内 105 条沟道基本都能满足诱发泥石流的条件,但其规模和发生频率均要受沟道内固体松散物质量的限制。因此,以固体松散物质的量(y)为主要危险因子,其他 9 个评价指标为次要危险因子:依次为流域面积(x_1)、主沟道长度(x_2)、主沟道平均比降(x_3)、沟道相对高差(x_4)、山坡平均坡度(x_5)、流域切割密度(x_6)、多年平均降雨量(x_7)、植被覆盖率(x_8)、流域内人口密度(x_9)。

3 关联度和权重的计算

兰州市是中国泥石流最为发育的省会城市之一,选取其中有代表性的泥石流沟道 12 条进行数据采集,并对 10 个评价指标采用灰色关联分析的方法来确定各因子间的关联度(刘兴荣等,2014;张丽萍等,1999;LIU X,1996;杨雪梅等,2014;刘兴荣等,2012)。

3.1 无量纲化

要对实际问题中的不同因子进行比较,就得要求比较对象量纲相同。因此,需要对各种数据进行无量纲化处理,即对数列的原始数据作均值变换,得出均值化矩阵 $X_k(i,j)$,无量纲化结果见表 1。

表 1 兰州市 12 条泥石流沟无量纲化值表
Tab.1 Nondimensional value of the 12 sample debris flow gullies in Lanzhou

沟名	y (10 ⁴ m ³)	x_1 (km ²)	x_2 (km)	x_3 (‰)	x_4 (m)	x_5 (°)	x_6 (条/ km ²)	x_7 (mm)	x_8 (%)	x_9 (人/ km ²)
寺儿沟	1.81	1.06	1.44	0.64	1.79	0.90	1.06	0.99	0.98	1.11
元托崋沟	0.40	0.15	0.24	1.49	0.91	1.03	0.88	0.99	1.04	0.74
脑地沟	0.66	0.28	0.53	1.47	1.44	1.28	0.79	0.99	0.92	0.23
大金沟	0.96	0.92	1.37	0.65	1.54	1.13	0.71	0.98	0.98	0.17
黄峪沟	1.32	1.79	1.21	0.78	1.27	1.08	0.53	0.98	1.10	0.11
硷沟	0.43	0.54	0.90	0.53	1.52	0.90	0.62	0.98	1.04	0.54
咸水沟	0.18	0.22	0.30	0.24	0.31	0.82	0.53	1.05	1.04	0.23
大砂沟	2.20	3.00	2.01	0.28	0.46	1.03	1.68	1.05	0.92	0.27
深沟	1.61	2.51	1.94	0.35	0.76	0.77	1.24	1.05	0.98	0.16
拱北沟	0.07	0.03	0.17	2.13	0.80	1.15	0.97	0.98	0.92	2.14
罗锅沟	1.92	1.42	1.64	0.28	0.76	0.90	0.97	0.98	1.10	1.38
老狼沟	0.43	0.08	0.25	3.15	0.44	1.03	2.03	0.98	0.98	3.12

$$X_k(i,j)=\frac{X(i,j)}{\overline{X(j)}}\tag{1}$$

3.2 关联系数计算

设参考序列和比较序列依次为 $X_k(i,l)$ 和 $X_k(i,j)$,进行求差序列计算。

$$\Delta(i,j)=|X_k(i,l)-X_k(i,j)|\tag{2}$$

2 个因子最小和最大绝对差分别为:

$$\Delta_{\max}=\max_i\cdot\max_j\Delta(i,j)$$

$$\Delta_{\min}=\min_i\cdot\min_j\Delta(i,j)$$

$$\text{关联系数}\ \xi(i,j)=\frac{\Delta_{\min}+K\cdot\Delta_{\max}}{\Delta(i,j)+K\cdot\Delta_{\max}}\tag{3}$$

式中 K 为经验数据,对计算结果影响较大,其取值范围为 $[0,1]$,若取值较小,则计算值区分度不大,若取值太大,则偏离实际情况,故一般取 0.5。

3.3 关联度计算

由于关联系数比较分散,只反映不同数据间的关联程度。因此,用关联数的平均值表示其关联度。

$$r_{ij}=\frac{1}{n}\sum_1^n\xi_{ij}\tag{4}$$

利用表 1 数据,按上述计算公式求得关联度(表 2)。关联度越大,对泥石流的影响越大。

表 2 定量指标与主导因子的关联度表
Tab. 2 Related degree of the constraint quantitative index and key factor

关联因子	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉
关联度	1	0.791	0.859	0.534	0.668	0.591	0.671	0.634	0.667	0.575
关联序	1	3	2	10	5	8	4	7	6	9

在选定的 10 个因子中,根据前面对各次要危险因子进行灰色关联度分析的结果,按照关联度大小对各次要因子进行排序,从平均关联度最小的次要因子开始,给定一个起始权数为基本单位 10^n (n 可为任何正整数,在此取 $n=0$),以此基本单位为公

差,依次呈等差数列向关联度增大的方向递增次要危险因子的权数;主要危险因子的权数以最大的次要危险因子权数为基数,以 2 为公比,呈等比数列继续递增(宋雪姐等,2004),则得出各定量指标的权数和权重(表 3)。

表 3 定量指标的权数与权重表
Tab. 3 Weight number and weight of quantitative index

定量指标	x ₃	x ₉	x ₅	x ₇	x ₈	x ₄	x ₆	x ₁	x ₂	y
权数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	18
权重	0.010 7	0.023 0	0.035 4	0.050 6	0.066 6	0.080 0	0.093 8	0.126 3	0.154 3	0.359 3

4 泥石流危险度模型的建立

各泥石流危险因子的赋值与其权重的乘积之和即为泥石流危险度,记为 R_d 。则兰州市城区泥石流危险度计算模型为:

$$R_d=0.359\ 3y_i+0.154\ 3x_2'+0.126\ 3x_1'+0.093\ 8x_6'+0.080\ 0x_4'+0.066\ 6x_8'+0.050\ 6x_7'+0.035\ 4x_5'+0.023\ 0x_9'+0.010\ 7x_3'\tag{5}$$

式中: R_d 为泥石流危险度; y_i' 和 x_i' 分别为泥石流沟道各项指标极差变换后的数值。

5 泥石流危险性评价

5.1 样本数据的归一化处理

对样本数据进行归一化处理,其处理公式如下(Z Pawlak,1991;邹翔等,2003):

主导因子的极差变换公式为:

$$y_i'=(y_i-\min y_i)/(\max y_i-\min y_i)\tag{6}$$

其他定量指标的极差变换公式为:

$$x_i'=(x_i-\min x_i)/(\max x_i-\min x_i)\tag{7}$$

利用公式(6)、(7),得到极差变换数据(表 4)。

表 4 兰州市 12 条泥石流沟危险度计算结果

Tab. 4 Calculating results of the dangerous degree of The 12 sample debris flow gullies in Lanzhou

沟名	y (10^4m^3)	x_1 (km^2)	x_2 (km)	x_3 (‰)	x_4 (m)	x_5 ($^\circ$)	x_6 (条/ km^2)	x_7 (mm)	x_8 (‰)	x_9 (人/ km^2)	R_d
寺儿沟	0.818	0.344	0.688	0.138	1.000	0.250	0.706	0.174	0.333	0.332	0.639
元托崙沟	0.153	0.041	0.038	0.430	0.404	0.500	0.235	0.174	0.667	0.875	0.216
脑地沟	0.278	0.082	0.194	0.423	0.759	1.000	0.176	0.174	0.000	0.038	0.267
大金沟	0.418	0.301	0.650	0.139	0.826	0.700	0.118	0.087	0.333	0.017	0.419
黄峪沟	0.588	0.591	0.566	0.185	0.647	0.600	0.000	0.087	1.000	0.000	0.519
硷沟	0.168	0.173	0.394	0.099	0.811	0.250	0.059	0.087	0.667	0.087	0.274
咸水沟	0.054	0.062	0.068	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.667	0.028	0.086
大砂沟	1.000	1.000	1.000	0.012	0.096	0.500	0.765	0.000	0.000	0.052	0.738
深沟	0.723	0.835	0.963	0.039	0.304	0.000	0.471	0.000	0.333	0.014	0.605
拱北沟	0.000	0.000	0.000	0.353	0.330	0.750	0.294	1.000	0.000	0.287	0.142
罗锅沟	0.868	0.468	0.799	0.015	0.300	0.250	0.294	1.000	1.000	0.422	0.682
老狼沟	0.168	0.018	0.046	1.000	0.083	0.500	1.000	1.000	0.333	1.000	0.294

5.2 泥石流沟道危险度的计算

利用公式(5),计算 12 条泥石流沟道危险度,结果见表 4。

5.3 泥石流危险性分级

对于任何 1 条泥石流沟道无论目前有无发生过泥石流,其都具有一定的泥石流危险度,但其危险度有大有小,这样,在计算完泥石流危险度后,要对其进行危险性大小分级(李建林等,2006;郭万铭等,2010;张茂省等,2011;李大鸣等,2012;徐海量等,2000)(表 5),其结果与调查和历史发生泥石流灾害情况基本吻合,具有较强的实用性。例如,寺儿沟、大砂沟、深沟和罗锅沟,人口密度分布密集(多为兰

州市开发区),人为不合理的活动较大,加上兰州市本来就脆弱的地质环境,造成泥石流的频繁发生,历史上发生较大规模泥石流超过 10 次;大金沟和黄峪沟地层出露较为复杂,植被稀疏,坡面裸露,加速地表风化侵蚀作用,导致泥石流发生频率较高,历史发生较大规模泥石流超过 7 次;元托崙沟和脑地沟为潜在泥石流沟道,植被覆盖状况不理想,山坡坡度陡,在地震或强降雨诱发下,将导致泥石流的发生,历史发生较大规模泥石流超过 3 次;咸水沟和拱北沟属于比较稳定的沟系,这些沟系人口居住较少,维持了较好的生态环境,历史发生较大规模泥石流超过 1 次。

表 5 泥石流危险性分区结果表

Tab. 5 Result of the risk zoning of the debris flow hazards

危险性分区	极高危险性	高度危险性	中度危险性	低度危险性	极低危险性
泥石流危险度 R_d 划分标准	0.80~1.00	0.60~0.80	0.40~0.60	0.20~0.40	0.00~0.20
泥石流沟道	寺儿沟、大砂沟、 深沟、罗锅沟		大金沟、黄峪沟、	元托崙沟、脑地沟、 硷沟、老狼沟	咸水沟、拱北沟

6 结语

泥石流灾害是兰州市最重要的地质灾害之一,

给人民生命财产已造成较大损失,同时对城市发展也构成较大阻碍。笔者本文以实际调查资料为基础,对兰州市 12 条泥石流沟道进行了危险性评价,主要获得以下几点认识。

(1)运用灰色关联度法建立的泥石流危险度计算模型得出的结论与客观实际状况相符,说明此模型应用于兰州市泥石流危险性评价是可行的。

(2)从导致泥石流爆发的诸多流域地形因子中,选取10个重要形态因子作为评判因子,计算其关联度的大小,能区分出各形态要素作用的大小及次序排列。经计算其排列次序为 $y > x_2 > x_1 > x_6 > x_4 > x_8 > x_7 > x_5 > x_9 > x_3$,即在兰州市城区影响泥石流发生的主要因素为固体松散物质的量、主沟道长度和流域面积;其次为流域切割密度、沟道相对高差、植被覆盖率和多年平均降雨量;最后为山坡平均坡度、流域内人口密度和主沟道平均比降。

(3)笔者利用泥石流危险度大小对泥石流危险性进行评价,对极高危险性和高危险性沟道要高度重视,对中度危险性和低度危险性沟道要提高警惕,对轻度危险性沟道可加强监测即可。

(4)对于危险度计算结果非常接近低度危险性临界点的沟道,要加强保护,防止人为因素改变和影响了泥石流的形成条件,造成其危险性等级上升。

(5)在经验的基础上采用推理和统计的方法建立泥石流危险度的理论模型,以此为例如兰州市城市泥石流危险度进行量化评价,从而指导兰州市城区泥石流沟道的规划、监测预警、防治等,向更科学、更合理的目标发展。

参考文献(References):

刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 1-9.

LIU Xilin. Advance in Research on Assessment for Degree of Regional Debris Flow Hazard[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(4): 1-9.

吕学军, 刘希林, 苏鹏程, 等. 四川色达县切都柯沟“7.8”泥石流灾害特征及危险性分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(2): 152-156.

LÜ XueJun, LIU Xilin, SU Pengcheng, et al. Characteristics and Hazard Analysis of Qieduke Gully Debris Flow in Seda, Sichuan, China[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2005, 25(2): 152-156.

刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 19-62.

LIU Xilin, TANG Chuan. The assessment of debris flow risk [M]. Beijing: Science Press, 1995: 19-62.

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): 63-71.

ZHU Jing. Judgement of Debris Flow Ravines and Evaluation of Risk Degree of Debris Flows[J]. Arid Land Geography, 1995, 18(3): 63-71.

刘兴荣, 王得楷, 吴玮江, 等. 长江上游陇南地区泥石流沟形态因素的非线性分析[J]. 人民长江, 2014, 45(13): 29-31.

LIU XingRong, WANG Dekai, WU Weijiang, et al. Nonlinear Analysis of Morphology of Debris Flows in the Upstream Changjiang River Region in Longnan City[J]. Yangtze River, 2014, 45(13): 29-31.

张丽萍, 唐克丽, 张平仓, 等. 半干旱地区泥石流沟道地形要素关联度评价——以神府-东胜矿区人为泥石流沟为例[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 348-353.

ZHANG Liping, TANG Keli, ZHANG Pingcang, et al. Connected Degree Evaluation on Watershed Topography Factors of Man-made Debris Flow Gully in Semiarid Area—Take Shenfu-dongsheng Minesite as Example [J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 348-353.

杨雪梅, 杨太保, 石培基, 等. 西北干旱地区水资源-城市化复合系统耦合效应研究——以石羊河流域为例[J]. 干旱区地理, 2014, 37(1): 19-30.

YANG Xuemei, YANG Taibao, SHI Peiji, et al. Coupling effect of water resources-urbanization composite system in north west arid region of China: A case of Shiyang River Basin[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(1): 19-30.

刘兴荣, 杨军, 姚正学, 等. 兰州市城区山洪泥石流现状评价及防灾减灾对策[J]. 中国水土保持, 2012, 22(12): 64-66.

LIU XingRong, YANG Jun, YAO Zhengxue, et al. Status Evaluation and Disaster Prevention and Mitigation Countermeasures include Torrential Flood and Debris Flow of Lanzhou City[J]. Soil and Water Conservation in China, 2012, 22(12): 64-66.

宋雪姝, 邱建慧, 李广杰, 等. 和龙市泥石流灾害危险性分区评价[J]. 世界地质, 2004, 23(3): 289-294.

SONG Xueda, QIU Jianhui, LI Guangjie, et al. Risk Zoning and Evaluation of Debris Flow Hazards in Helong City [J]. Global Geology, 2004, 23(3): 289-294.

皱翔, 崔鹏, 韦方强, 等. 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, et al. Application of Grey-correlation Method to Activity Evaluation of Debris Flow[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21, (3):

360-364.

李建林,冯起. 西北地区泥石流沟形态因素的非线性分析—以兰州市为例[J]. 干旱区地理,2006,29(5):658-662.

LI Jianlin,FENG Qi. Nonlinear Analysis of Debris Flow Gully in Arid and Semiarid Region in Northwestern China—A Case Study in Lanzhou City[J]. Arid Land Geography, 2006,29(5):658-662.

郭万铭,焦金鱼. 基于模糊综合评判法分析的岷县洮河流域单沟泥石流危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护,2010,21(2):15-18.

GUO Wanming,JIAO Jinyu. Hazard Assessment of Single Gully Debris Flows in the Taohe River Valley of Min County Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation,2010,21(2):15-18.

张茂省,黎志恒,孙萍萍,等. 舟曲三眼峪“8.8”特大泥石流灾害特征与风险减缓对策[J]. 西北地质,2011,44(3):10-20.

ZHANG Maosheng,LI Zhiheng,SUN Pingping, et al. The Disaster Characteristics and Risk Mitigation Measures of “8.8” Debris Flow at Sanyanyu Gully, Zhouqu [J]. Northwestern Geology,2011,44(3):10-20.

李大鸣,罗浩,刘江川,等. 基于粗糙集理论的泥石流危险度评价模型[J]. 中国农村水利水电,2012,(6):34-39.

LI Daming, LUO Hao, LIU Jiangchuan, et al. The Debris Flow Risk Assessment Model Based on Rough Set [J]. China Rural Water and Hydropower,2012,(6):34-39.

徐海量,陈亚宁,等. 洪水灾害等级划分的模糊聚类分析[J]. 干旱区地理,2000,23(4):350-352.

XU Hailiang, CHEN Yaning. Application of Fuzzy Clustering Analysis in the Classification of Flood Disaster Grade [J]. Arid Land Geography, 2000,23(4):350-352.

LIU X. Assessment on the severity of debris flows in mountainous creeks of southwestern China [A]. Proceedings of International Symposium of Interpraevent [C]. Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1996, (4):145-154.

Z PAWLAK. Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning About Data [M]. Netherlands: Kluwer, 1991.



《西北地质》特别提醒

《西北地质》独立网站以其清新活泼、美观大方、内容丰富,方便实用为特点。目前,《西北地质》已从2001年起全文上网,很多作者都在访问《西北地质》网站并使用在线投稿。由于《西北地质》具有广泛的学术影响力,因而市场上出现了许多假冒的《西北地质》网站,使一些作者上当受骗,造成了个人损失。因此,《西北地质》特别提醒作者注意,在《西北地质》网站投稿,作者投稿一律请登陆《西北地质》网站(www. xbdz. net. cn), 或者在百度直接输入“西北地质”字样,点击“欢迎访问西北地质编辑部”(不一定位于第一,通常位于第四),同时查看网址栏是否为 www. xbdz. net. cn 即可,其他字样的《西北地质》网址请不要点击进入,最好直接登陆《西北地质》网站(www. xbdz. net. cn)比较安全。

登陆《西北地质》网站后,按照提示注册并使用网络在线投稿,请注意记录稿件编号。一般情况注册后不会立即收取版面费,要经过审稿、退修及排版校对等过程,一般情况排版后才收取版面费,大概要在3个月左右。《西北地质》只收取版面费,不收取其他服务费,如果作者登陆网站并被要求立即汇寄服务费,那就需要警惕,十有八九是网络骗子。作者如有疑问可直接电话咨询《西北地质》编辑部(编辑部电话:029—87821951),以避免不必要的损失。

《西北地质》特别提醒,《西北地质》未曾委托任何机构和个人代为征稿及收取版面费,《西北地质》也不收取任何稿件处理费及各种明目的服务费,作者贸然汇款造成的经济损失由个人负责。