DOI: 10. 16031/j. cnki. issn. 1003-8035. 2019. 06. 06

基于灰色可拓模型的洮河下游泥石流易发性评价

崔传峰¹ ,王俊豪² ,崔志超¹ ,潘国营¹

(1. 河南理工大学资环学院,河南 焦作 454000;2. 中国地质环境监测院,北京 100081)

摘要: 泥石流易发性评价对其工程防治有重要意义,以往评价中,由于主观因素过多和缺乏足够数据的定量评价,对实际情况的分析还不尽完善。为此本文选取洮河流域下游地区作为研究对象,根据泥石流的地域特点、成因和其它影响因 子,在可拓学基础上建立一种泥石流易发性的评价模型,运用灰色关联度分析法定量化的分析影响因子的权重值,对研 究区泥石流沟进行易发性评价。结果表明,选取的11条具有代表性的泥石流沟,有2条易发程度较高 A 条易发程度中 等5条易发程度低,高易发和中易发泥石流沟在强降雨时期,易爆发泥石流,据此确定泥石流的重点防治区域,为研究 区泥石流治理提供参考依据。

关键词:泥石流;洮河流域;灰色关联度;可拓学;易发性 中图分类号:P642.23
文献标识码:A
文章编号:1003-8035(2019)06-0040-09

Evaluation of debris flow susceptibility in the lower reaches of Taohe River based on grey extension model

CUI Chuanfeng¹, WANG Junhao², CUI Zhichao¹, PAN Guoying¹

(1. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China;
2. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: The susceptibility evaluation of debris flow is of great significance to its engineering prevention and control , and in previous evaluations , due to the excessive subjective factors and the lack of quantitative evaluation of sufficient data , the analysis of the actual situation is not perfect. In this paper , the downstream area of Taohe Basin is selected as the study area , according to the regional characteristics , causes and other influencing factors of debris flow , an evaluation model of debris flow susceptibility is established on the basis of Extenics , and the weight value of the influence factor is analyzed by using the grey relational degree analysis. The results show that 2 of the 11 representative debris flow trenches are more prone ,4 are medium ,5 are prone to low degree , debris flow are very likely to outbreak in high prone and middle prone debris flow ditches during rainfall , the key prevention and control areas of debris flow are determined according to the results , which provides reference for debris flow control in the study area.

Keywords: debris flow; Taohe River Basin; grey correlation degree; extenics; susceptibility

- 第一作者:崔传峰(1992-),男,河南周口人,硕士,主要从事灾害地质、水工环地质等方面的研究工作。E-mail:1124509293@qq.com
- 通讯作者:王俊豪(1987-),男,河南安阳人,地质工程专业,硕士,主要从事灾害地质、水工环地质等方面的研究工作。E-mail: wangjh@ cigem. cn

收稿日期: 2018-12-11; 修订日期: 2019-03-11

基金项目:中国地质环境监测院地质调查与地质监测项目(中国地环[2017]DD0402);148E002007幅地质灾害调查评价(中国地质 调查局地质调查项目经费)

0 引言

泥石流是黄土地区常见的一种灾害地质现象 我 国西北部黄土地区的土质相对松散 植被覆盖率较低, 人类活动对地质环境的影响较为强烈,存在的环境地 质问题较为突出。在强降雨条件下,崩塌和滑坡失稳 从而为泥石流提供物源,提高了泥石流的易发程 度^[1]。泥石流地质灾害具有很大的破坏性,对泥石流 灾害采取有效的防灾减灾工程,必须要对泥石流灾害 发生的可能性、影响程度和范围、危险性做一个系统的 评价^[2-3]。泥石流危险性评价的前提是对泥石流易发 性的评价 对调查区域泥石流地质灾害发生的可能性, 是通过对泥石流形成条件以及对各影响因子的分析评 价来确定的^[4-5]。在地质灾害调查与评价的过程中, 易发性评价方法和模型有许多种^[6] 泥石流地质灾害 的影响因子存在着不确定性、局域性和评判标准的差 异性,以及泥石流的形成受人为工程地质的影响较大, 并且泥石流的运动也具有复杂性 因此 对泥石流的易 发性评价没有公认的方法^[7]。目前采用的泥石流危 险性评价方法有很多种 如模糊综合评判法、层次分析 法、人工神经网络法、规范法和可拓法等^[8-11]。王念 秦等^[8]将模糊数学的方法用来进行泥石流危险性的 评价;王学武等^[9]将多级模糊评价方法应用于泥石流 危险度评价中;赵源等^[10]运用神经网络的方法对泥石 流进行风险评估;韦方强等^[11]运用信息论中信息概念 和模糊数学中模糊评判的方法对泥石流危险度进行区 分。这些评价方法存在着较大的主观因素,有人为倾 向的缺陷,得到的评价结果与实际情况有一定的差异。

对黄土地区洮河流域泥石流易发性评价,可针对 泥石流地质灾害的影响因子和形成的特点,利用可拓 方法来解决泥石流地质灾害的易发程度和各影响因子 的关联度^[12-17]。建立灰色关联分析模型,利用灰色的 关联分析方法求各影响因子的权重^[18]。结合灰色关 联分析方法与可拓法,对洮河流域下游地区泥石流地 质灾害进行易发性进行评价。根据评价结果的易发性 的等级,来确定重点的防治区域。

1 研究区概况

研究区地处陇中黄土高原西南的洮河流域下游, 临夏盆地与临洮黄土高原西缘,深切黄土沟壑区,自然 条件较差,生态环境较脆弱。洮河流域下游区域属于 陇西旋卷构造体系和祁吕贺山字型构造的复合部位, 为祁吕贺兰"山字型"构造体系前缘西翼东南端的临 夏-临洮凹断束的一部分,实质上是为以前加里东旋回 中期的侵入岩为基底和震旦系变质岩的新生代盆地, 那勒寺一带是为盆地中心位置。盆地区内构造相对较 为简单,主要为洮河西岸的黑山断裂。该断层与洮河 大致近为平行,北西向展布于中新生代地层与加里东 期花岗岩之间,能统计到的可见长度约16 km。该断 层为逆断层,断层面倾向北东,倾角在50°~65°,在隐 伏的横向断层的影响下分为南北两段,但断层面呈坡 状形态的在北端有出现,倾向为北西方向,表现为正断 层性质^[19](图1)。





研究区处于祁吕贺兰"山字型"构造体系的西翼, 第四系广泛分布 前第四系主要出露新近系、白垩系、 三叠系、二叠系、震旦系及前震旦系等。由于受到河西 系的穿插,呈现北西向隆起与凹陷相间排列的多字型, 往往把上述构造体系中的构造形迹割裂成互不相连的 段落。两个截然不同的构造体系彼此复合,相互产生 强烈的干扰和影响,使构造形迹更加复杂,"山字型" 构造体系为纵贯研究地区的主要构造体系,"山字型" 的南缘与秦岭东西复杂构造带复合,构造形迹复 杂^[22]。流域内沟道及两侧存在大量的松散物源,若遇 暴雨 往往形成破坏性强的泥石流 给沟道内及泥石流 堆积区的人民群众的生命财产和生产建设造成严重的 灾害。历史上,1976年、1986年、1987年、1997年、 1998年、2002年及2008年,该区曾发生洪水、泥石流 灾害 毁坏房屋、农田、冲断公路及桥梁。如红旗乡出 不拉沟,1980年8月发生了小型泥石流,死亡1人,损 毁房屋 15 间; 达板镇红石沟, 1986 年 5 月发生了小型 泥石流 死亡1人 损毁房屋 25 间 中断交通 70 小时; 在其他乡镇发生泥石流均有死亡及较大的财产损失。

2 研究方法

2.1 评价方法

可拓学是基元表示为R = (N, C, V),在式中N表示为研究事物的学称 C表示为特征值 V是表示为的 量值^[13]。当用不同的特征值去描述同一个事物时 ,就 会有不同的量值 因此 ,物元可以表示成 n 维的形式: R = (N, C, V)

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

式中: N----待评价单元;

*C*_n----影响因素;

V_n——影响因素数量化后所对应的量值。

2.2 确定经典域

首先设定 N_{ag} 为标准事物,按照研究对象的科学 评价级别和标准 将评价泥石流的易发性分成 G 种等级 因此泥石流的易发性评价的经典域物元 $R_{ag} = [N_{ag} C N_{ag}]$:

$$R_{ag} = \begin{pmatrix} N_{ag} & C_{1} & \langle O_{ag1} & P_{ag1} \rangle \\ & C_{2} & \langle O_{ag2} & P_{ag2} \rangle \\ & & \cdots \\ & & C_{n} & \langle O_{agn} & P_{agn} \rangle \end{pmatrix}$$
(2)

式中: N_{ag} — 待评价的类别;

*C*_n——决定待评价类别的指标;

V_{ag}——待评价类别 N 相对于决定评价类别的指标所确定的量值的范围。

2.3 确定节域

设定
$$R_i$$
 为评价节域物元: $Rt = [N_i \ C \ V_{ii}]$
 $R_i = \begin{pmatrix} N_i \ C_1 & \langle a_{i1} \ b_{i1} \rangle \\ C_2 & \langle a_{i2} \ b_{i2} \rangle \\ & \dots \\ C_n & \langle a_{in} \ b_{in} \rangle \end{pmatrix}$
(3)

式中: $V_{ii} = a_{ii} b_{ii}$ 一一节域物元关于特征的相应标准所 对应的量值的范围。并有

 $(O_{agi} P_{agi}) \subset (a_{ii} b_{ii}) (i = 1 2 3 4 ; \dots n)$ 2.4 确定待评价的物元

对于泥石流易发性的等级 ,根据对于研究区的实 地调查情况对某物质单元 N_j (j = 1 2 3 4,…… m) 的各种相应的特征值做出评价 ,并对给出的评定的标 准来进行评分 ,从而获得持评物元: $R_j = [N_j \ C \ V_j]$

$$R_{j} = \begin{pmatrix} N_{j} & C_{1} & \langle a_{j1} & b_{j1} \rangle \\ & C_{2} & \langle a_{j2} & b_{j2} \rangle \\ & & \cdots \\ & C_{n} & \langle a_{jn} & b_{jn} \rangle \end{pmatrix}$$
(4)

- 式中: V_j——获取到调查区待评单元体对应于 C_n 的具体取值。
- 4.5 确定各评价指标关于各类别等级的关联度
 单项评价因子 N_j 关于各类别等级 t 的关联函数:

$$K_{i}(v_{i}) \begin{cases} -\frac{-p(v_{i}, V_{ij})}{V_{ij}}, & v_{i} \in V_{ij} \\ \frac{p(v_{i}, V_{ij})}{p(v_{i}, V_{ij}) - p(v_{i}, V_{ij})}, & v_{ii} \notin V_{ij} \end{cases}$$
(5)
$$\vec{x} \mathbf{\dot{r}}(v_{i}, V_{ij}) = v_{i} - \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} - \frac{b_{ij} - a_{ij}}{2} \\ V_{ij} = b_{ij} - a_{ij} \end{cases}$$

$$p(v_i P_i) = _i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2}$$

2.6 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 $k_i(N_i)$ 如下式:

$$k_{ij}(N_j) = \Sigma W_i k_{ij}(V_i)$$
 (6)

式中: W_i — 各评价指标的权系数, $\Sigma W_i = 1$ 。 2.7 确定评价等级

根据 $k_{i}(N_i)$ 计算出的结果取最大值从而确定此

物质单元等级为
$$t_0$$
 ,则:

$$K_{ij}(N_j) = \max(k_{ij}(N_j))$$
(7)

$$K_{i}(p) = \frac{K_{i}(p) - \min K_{i}(p)}{\max K_{i}(p) - \min K_{i}(p)}$$
(8)

$$t^{*} = \frac{\sum_{i=1}^{t} tKt(p)}{\sum_{i=1}^{t} Kt(p)}$$
(9)

则称 t^* 为 p 的等级变量特征值。例如: $t_0 = 2$ 时, 而 $t^* = 1.6$ 则表示这属于第 2 级 ,从 t^* 的数值可以看 出待评事物 p 偏向另一级的程度。

3 实例分析

根据洮河流域下游泥石流沟谷勘察资料,调查区 内主要为黄土覆盖区,出露有泥岩、砂岩及加里东时期 的花岗岩;选取11条有代表性的泥石流沟,进行分析 评价,泥石流沟编号及名称分别为:1(石拉泉沟)、2 (池长沟)、3(小圈沟)、4(出不拉沟)、5(张家沟)、6 (塔石沟)、7(站沟)、8(泉沟)、9(火烛光沟)、10(张尕 拉沟)、11(砂沟),所示泥石流的活动性与岩性有很大 的关系,人类活动使岩体较为破碎,为泥石流提供大量的物源,调查泥石流沟的位置如图2所示。



图 2 泥石流位置示意图 Fig. 2 Location map of debris flows gullies

3.1 影响因子分析与等级划分

3.1.1 地形地貌条件

研究区的泥石流沟位于洮河下游的两岸,从泥石 流沟的走向来看,大都呈现出东西方向的展布,地势上 呈现出由物源区向洮河方向,地势逐渐的降低,形成区 和流通区地处中山地貌,泥石流沟长较长,由于泥石 流沟大部分在海拔1750~2500 m,海拔最高的董岭 乡董家岭为2577.7 m,最低的洮河边缘海拔1735 m。 区内海拔在1850~2450 m,相对高差100~600 m。 由于泥石流沟两侧的山体存在着较大的高差(图3)和 丰富的松散坡积物,分布广泛,岩体在长期受到风化和 降雨侵蚀后,很容易从泥石流沟的两侧坡体上滑落下 来形成物源 给泥石流的形成提供了有利条件。



图 3 地形高差图 Fig. 3 Terrain height difference map

研究区山体坡度较大,一般20°~40°,坡面冲沟 相对发育,深度一般在30~70 m,宽度大部分在30~ 50 m。在洮河的西岸,泥石流沟两侧坡体坡度较大,有 部分坡度大于40°(图4),坡积物和风化后的岩体很容 易从泥石流沟两侧的坡体上滑落下来,对沟道具造成堵 塞,在降水时期,泥石流沟道具内容易形成积水,当水量 达到一定的程度,就会促使泥石流地质灾害的发生。



Fig. 4 Mountain slope map

3.1.2 降雨与植被条件

平均年降水量 539.6 mm,24 h 的最大降水为 143.8 mm,1 h 最大降水为 45 mm,降水主要集中在 6 月至9月(图5),占全年降水总量的70%,多年统计的 平均年蒸发量为1 421.2 mm,大约是年均降水量的 2.6 倍。年均暴雨天数2.9 d,最长的连续降雨天数可 达到 15 d^[20-21]。泥石流沟两侧的坡体坡度较大,坡积 物相对较松散,在没有充足植被的保护下,坡体受到降 水的冲蚀能力较大,松散的坡体覆盖物会被冲入沟内, 当冲入沟道内的堆积物过多时,会堵塞沟道,影响水和 物质的流通,当累积到一定的程度,就会形成大流量急 流,爆发泥石流地质灾害。

3.1.3 物源条件

泥石流沟的流域面积相对较大 ,物源的补给也较





为丰富,在泥石流沟的清水区部分,植被覆盖率较高, 降水很少冲蚀坡体 几乎不提供物源 有时只提供较少 的黏粒物质;在泥石流物源区的上段和中段,由于坡体 的植被发育相对较好,有45%的覆盖率,坡体的风化 程度较为一般 坡体的风化松散程度相对很弱 在降雨 时期 雨水会带有少量的黏粒物质 而坡体上会有大块 的碎石在泥石流沟内堆积 碎石粒径大于 40 cm 碎石 的含量占此段物源的 80% 以上,而粘粒的含量不足 10%;在泥石流物源区的中下段和流通区地段,由于两 侧的坡体受到人类活动的影响 植被发育较差 大约有 30%覆盖率 此段的坡体风化程度较为严重 在降雨时 期 此段的物源补给量较为丰富 物源补给的主要类型 为细粒碎石和从坡体上冲蚀下来的松散物的黏粒,松 散物质的含量占 50% 以上,另有一些从上游冲蚀下来 的碎石物质。物源补给品的丰富程度与泥石流的流域 面积、补给段长度比和泥石流沟床纵降比有很大的关 系 泥石流沟床纵降比相对较大 并且泥石流沟的流域 面积较大 物源补给会相对较为丰富 物源补给段在泥 石流沟长中占很大的比例 ,也为泥石流的发生提供了 充足的物源,但在不同的流域内,有一定的差异。在单 泥石流沟流域内 发育有支沟及一些发育规模不大的 冲沟 "泥石流的断面多呈"V"字型 ,沟谷的切割相对较 深 坡体陡峭 形成的良好的沟谷汇水面 由于较大的 纵降比 在降雨时期 松散的坡积物很容易从坡体上冲 入沟内,为泥石流形成提供有利的条件。

3.2 评价指标选择与等级划分

对于评价指标的选取要有明确的物理意义,要做 到尽量相互独立,且容易获取及量化处理^[13]。研究区 土壤类型较多 差异性较大 部分交错分布 且大部分 处于陡坡地段 质地松散 固结能力差 抗侵蚀能力弱, 易被水流冲刷流失。对于一些大流域面积的泥石流 沟,由于纵降比相对较大,沟两侧的山体高差较大,物 源区的山体坡度较大 植被覆盖率相对较差 泥石流沟 的物源补给段较长 物源相对较为丰富 并且在一定的 时期内 泥石流地质灾害的分布密集区是与降水集中 区相对应的 而且地质灾害的发生时间与降水周期也 是相吻合的。因此,对于不同的研究区域,评价泥石流 地质灾害的易发性,对评价因子的选取也是有所变化。 而对泥石流易发性的影响因子有很多 参照前人提出 的泥石流易发性评价评价方法^[16]结合本地区的实际 调查情况 针对所调查的各种影响泥石流爆发的因子 中 选取影响最为重要的7个因素作为评价指标,评价 因子分别为:补给段长度比 $C_1(\%)$,主沟纵坡 $C_2(\circ)$, 山体坡度 C₃(°),流域面积 C₄(km²),相对高差 C₅ (m) 植被覆盖率 C₆(%) 24 h 最大降雨量 C₇(mm)。 研究调查区内获取 11 条泥石流沟的指标实测数

据如表1所示 根据工程研究特性 把泥石流易发性评价因子划分一定的等级标准如表2所示^[16]。

表1 各评价指标实测值表

Table 1	The 1	neasure	d valu	es of eac	ch evalu	ation	factor
名称	C_1	C_2	C ₃	C_4	C_5	C ₆	C ₇
石拉泉沟	70	5	42	9.7	570	40	64.7
池长沟	65	7	56	3.7	430	48	143.8
小圈沟	62	4	50	8.6	720	65	143.8
出不拉沟	53	2	45	21.6	625	50	143.8
张家沟	65	13	42	2.5	620	40	64.7
塔石沟	42	14	55	1.3	260	25	44.5
站沟	72	4	47	11.0	460	7	143.8
泉沟	53	8	44	23.0	370	8	143.8
火烛光沟	65	14	55	0.6	354	70	64.7
张尕拉沟	62	14	45	0.7	430	65	64.7
砂沟	68	17	38	0.9	620	48	44.5

表2 泥石流易发性划分指标等级

Table 2 Index classificat	on of debris flo	w susceptibility
-----------------------------------	------------------	------------------

评价价		易发	等级	
指标 C	低易发	中易发	高易发	极易发
C_1	≤10	$10 \sim 30$	$30 \sim 60$	≥60
C_2	≤3	3~6	6~12	≥12
C ₃	≤15	15~25	25 ~ 32	≥32
C_4	≤5	$5 \sim 10$	$10 \sim 100$	≥100
C_5	≤100	$100\sim 300$	300 ~ 500	≥500
C_6	≥60	30~60	10 ~ 30	≤10
C ₇	≤25	$25\sim 50$	$50 \sim 100$	≥100

3.3 物元的构造

根据调查区的调查资料,对于泥石流易发性评价 的等级,可将泥石流易发性等级分为:不易发、中等易 发、易发、极易发,其易发等级分别记为 N_{ag1} 、 N_{ag2} 、 N_{ag3} 、 N_{ag4} ,则根据表1、表2可以构造出的泥石流易发 性评价的经典物元的各等级为:

		N_{ag1}	C_1	(0 – 10) J
			C_2	(0 - 3)
			C_3	(0 – 15)
R_{ag1}	=		C_4	(0 - 5)
			C_5	(0 - 100)
			C_6	(60 - 100)
		L	C_7	(0 – 25) J

[¹	V_{ag2} C_1	(10 - 30)
	C_2	$\langle 3 - 6 \rangle$
	C_3	$\langle 15 - 25 \rangle$
$R_{ag2} =$	C_4	$\langle 5 - 10 \rangle$
	C_5	$\langle 100 - 300 \rangle$
	C_6	$\langle 30 - 60 \rangle$
L	C_7	(25 - 50)
Γ <i>Ι</i>	V_{ag3} C_1	(30 - 60)
	C_2	(6 – 12)
	C_3	(25 - 32)
$R_{ag3} =$	C_4	$\langle 10 - 100 \rangle$
	C_5	$\langle 300-500 \rangle$
	C_6	$\langle 10 - 30 \rangle$
L	C_7	(50 - 100)
Γ <i>Ι</i>	V_{ag4} C_1	(60 - 100)
	C_2	(12 – 18)
	C_3	$\langle 32 - 60 \rangle$
$R_{ag4} =$	C_4	$\langle 100 - 200 \rangle$
	C_5	$\langle 500-800 \rangle$
	C_6	$\langle 0 - 10 \rangle$
L	C_7	(100 - 150)

则泥石流易发性评价的节域物元为:

	$\int T$	C_1	(0 - 100)
		C_2	$\langle 0 - 18 \rangle$
		C_3	$\langle 0 - 60 \rangle$
$R_T =$		C_4	$\langle 0 - 200 \rangle$
		C_5	$\langle\!0-800\rangle$
		C_6	$\langle\!0-100\rangle$
	L	C_7	(0 - 200) -

待评价的泥石流沟的易发性评价的物元为:

		$\lceil N_j \rceil$	C_1	v_1
			C_2	v_2
			C_3	v_3
R_{j}	=		C_4	v_4
			C_5	v_5
			C_6	v_6
		L	C_7	$v_7 \rfloor$

在上式中: $v_1 \, v_2 \, \cdots \cdots \, v_7$ 是为待评价泥石流沟的各 评价因子的数值 ,其值在表 1 中可查阅。计算待评泥

• 45 •

石流沟的关联函数值,对于石拉泉沟泥石流沟 根据关 联函数计算公式,可以计算得到其关联函数值见表3。 根据其计算方法,依次可以计算出其他泥石流沟 的关联函数值。

	表3	石拉泉沟泥石浇	流沟关联函数	值	
Table 2	Value of the com	alation function	of the debrie	flow ditab	in Shiloguo

	Table 5 Value of the correlation	in function of the debits now o	unun m Simaquan
$K_1(v_1) = -2/3$	$K_2(v_1) = -4/7$	$K_3(v_1) = -1/4$	$K_4(v_1) = 1/4$
$K_1(v_2) = -2/7$	$K_2(v_2) = 1/3$	$K_3(v_2) = -1/6$	$K_4(v_2) = -7/12$
$K_1(v_3) = -3/5$	$K_2(v_3) = -17/35$	$K_3(v_3) = -5/9$	$K_4(v_3) = 5/14$
$K_1(v_4) = -47/144$	$K_2(v_4) = 3/50$	$K_3(v_4) = -0.03$	$K_4(v_4) = -0.903$
$K_1(v_5) = -47/70$	$K_2(v_5) = -17/40$	$K_3(v_5) = -7/30$	$K_4(v_5) = 7/30$
$K_1(v_6) = -1/3$	$K_2(v_6) = 1/3$	$K_3(v_6) = -1/5$	$K_4(v_6) = -3/7$
$K_1(v_7) = -397/1044$	$K_2(v_7) = -147/794$	$K_3(v_7) = 147/500$	$K_4(v_7) = -353/1\ 000$

3.4 对于评价权重的确定

由于权重的确定对泥石流易发性评价结果的准确 性有很大的影响,各参评因子在灾害泥石流易发性的 表现程度不同,对其影响的重要程度不同,在对泥石流 易发性评价时,由于评价的目的和评价的重点有所不 同,因此,在进行灾害泥石流的易发性危险评价时,除 了确定评价因子外,还要确定评价的核心,既是各评价 因子的权重。在灾害泥石流易发性的评价中,因子的 权重确定普遍采用的有经验值法,用此方法确定的权 重存在一些较大的主观性,对于实际的情况不能客观 的反映出来,为了能够较为有效的反映各评价因子在 灾害泥石流易发性评价中所表现的重要程度,以及克 服评价中的主观因素和难操作性,本文的评价通过相 比较,采用灰色关联度来确定各评价因子权重。利用 灰色关联方法确定评价因子的权重^[18],由文献[18] 和表2得到各评价因子 c₁~c₆的权重分别为:

 $\lambda_1 = 0.1745 \ \lambda_2 = 0.1460$,

 $\lambda_3 = 0.179 \ 1 \ \lambda_4 = 0.144 \ 9 \ ,$

 $\lambda_5 = 0.0944 \ \lambda_6 = 0.1300 \ \lambda_7 = 0.1311$

根据上述公式(7)、表1和表2得到关于各泥石 流沟对各易发性等级的关联度见表4。

对于待评价的泥石流沟 k[#]易发性的程度,取最大 关联度对应的易发程度,即满足下式:

$$k_i = \max K_i(k^{\#})$$
 (10)

则待评价泥石流沟 k^{*} 的易发性程度为最大关联度 k_i 对应的易发程度。根据式(10) 和表 4 得到各条泥石 流沟的易发性程度,评价结果与实地勘查情况相吻合。

3.5 结果分析

依据上述评价计算方法,对另外的10条泥石流沟 进行同等的评价,评价结果表明见表5。洮河流域调 查区内选取的11条具有代表性的泥石流冲沟,在本文 的易发性评价方法中有2条易发程度较高,中等易发 程度的有4条/低易发程度的有5条。分析结果显示, 评价区内泥石流冲沟多为中等易发和低易发/且多为沟 谷型泥石流/主要对沟口公路、村庄和农田有一定程度 的危害影响程度较大/对居民的生活造成很大的威胁。

表4 各泥石流沟对各易发性等级的关联度

Table 4 Correlation degree of each debris flow ditch to

and each susceptibility grade						
泥石流		关耳	送度			
编号 <i>k</i> [#]	$K_1(\mathbf{k}^{\#})$	$K_2(k^{\#})$	$K_3(k^{\#})$	$K_4(k^{\#})$		
1	-0.4664	-0.1504	-0.173 9	-0.046 3		
2	-0.480 3	-0.397 3	-0.359 5	-0.1106		
3	-0.504 0	-0.337 0	-0.444 1	-0.096 5		
4	-0.438 5	-0.424 3	-0.312 4	-0.078 3		
5	-0.390 3	-0.373 2	-0.243 9	-0.088 9		
6	-0.435 1	-0.364 9	-0.255 5	-0.268 2		
7	-0.6159	-0.451 0	-0.330 3	0.053 1		
8	-0.5957	-0.4694	-0.074 2	0.010 2		
9	-0.412 3	-0.537 8	-0.367 0	-0.216 5		
10	-0.450 3	-0.383 5	-0.414 4	0.148 8		
11	-0.385 1	-0.469 1	-0.138 7	0.1437		

表 5 各待评泥石流沟易发性等级的评价结果

Table 5 Evaluation results of the vulnerability levels of

	debris flow trenches						
Ĭ	尼石流沟编号 k [#]	最大关联度 <i>K</i> _i	<i>t</i> * 的取值	评价结果			
	1	-0.046 3	0.7	低易发			
	2	-0.1106	1.3	中易发			
	3	-0.096 5	1.1	中易发			
	4	-0.078 3	0.8	低易发			
	5	-0.088 9	0.9	低易发			
	6	-0.255 5	3.1	高易发			
	7	0.053 1	0.8	低易发			
	8	0.010 2	0.5	低易发			
	9	-0.216 5	2.9	高易发			
	10	0.148 8	2.3	中易发			
	11	0.1437	2.1	中易发			

4 结论

(1) 洮河流域调查区内选取的 11 条具有代表性的泥石流冲沟,其分析结果表明,有 2 条易发程度较高,中等易发程度的有 4 条,低易发程度的有 5 条,对

于高易发性和中易发性泥石流沟在强降雨时期,极易 爆发泥石流,在工程上应该重点治理和监测。

(2)引起泥石流的爆发因素有很多种,本文研究 区域的泥石流地质灾害,在灰色可拓法的评价基础上, 构造关联函数时,在排除了主观因素影响后,有较高的 可行性,并且灰色可拓方法对评价因子不用重新赋值, 并且选取指标较少,避免了许多的人为因素的影响,针 对其特有的地域性特点来进行易发性评价,得到的评 价结果更加的符合实际情况,使评判结果具有客观性 和科学性,对泥石流的发展进行预判,并为防灾工作提 供一定的依据。

(3) 灰色可拓方法的数学计算较为简单可行,在 权重分析时更为有效的保留了原始的调查数据,可得 到相应准确的评价结果,使评价结果较为确切,在泥石 流易发性评价上提供更为有效的方法,对洮河流域下 游两侧的泥石流沟有一定的易发性预测,为该研究区 的地质灾害预防工作有一定的参考意义。

参考文献:

 [1] 张晨,王清,陈剑平,等.金沙江流域泥石流的组合 赋权法危险度评价[J].岩土力学,2011,32(3): 831-836.

> ZHANG Chen ,WANG Qing ,CHEN Jianping ,et al. Risk assessment of the combined empowerment method of debris flow in Jinsha River basin [J]. Geotechnical Mechanics 2011 32(3):831-836.

- [2] LIU X ,LEI J. A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan Province (SW China) [J]. Geomorphology ,2003 ,52 (3):181-191.
- [3] 侯兰功,崔鹏. 单沟泥石流灾害危险性评价研究
 [J]. 水土保持研究 2004,11(2):125-128.
 HOU Langong ,CUI Peng. Study on risk assessment of debris flow disaster in single [J]. Soil and Water Conservation Studies 2004,11(2):125-128.
- [4] SU F, CUI P, ZHANG J, et al. Susceptibility assessment of landslides caused by the Wenchuan earthquake using a logistic regression model [J]. Journal of Moutain Science 2010, 7(3): 234 - 245.
- [5] 朵天惠,王永利,陈鹏飞,等.茶园沟泥石流易发性综合评价[J].防灾减灾学报,2010,26(4):41-44.
 DUO Tianhui, WANG Yongli, CHEN Pengfei, et al. Comprehensive evaluation of the susceptibility of chayuangou debris flow [J]. Journal of Disaster
- Prevention and Reduction 2010 26(4):41 44 [6] CAN T ,NEFESLIOGLU H A ,GOKCEOGLU C ,et al.

Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses [J]. Geomorphology 2005, 72(1-4):250-271.

[7] 蒋小鹏,李少莉,翟明,等.基于可拓学理论对泥石 流危险度的评价[J].中国公路,2012(增刊1): 44-47.

> JIANG Xiaopeng , LI Shaoli , ZHAI Ming , et al. Evaluation of debris flow risk based on extenics theory [J]. China Highway 2012(S1):44 – 47.

[8] 王念秦,姚勇.基于模糊数学和权的最小平方法的 泥石流易发性评价方法[J].灾害学 2008 23(2): 5-9.

WANG Nianqin, YAO Yong. Evaluation method of debris flow susceptibility based on fuzzy mathematics and the minimum plane method of power [J]. Disaster Science 2008 23(2):5-9.

[9] 王学武,石豫川,黄润秋,等.多级模糊综合评判方 法在泥石流评价中的应用[J].灾害学,2004,19 (2):1-6.

> WANG Xuewu SHI Yuchuan ,HUANG Runqiu ,et al. Application of multistage fuzzy comprehensive evaluation method in debris flow evaluation [J]. Disaster Science 2004 ,19(2):1-6.

[10] 赵源,刘希林.人工神经网络在泥石流风险评价中的应用[J].地质灾害与环境保护,2005,16(2): 135-138.

ZHAO Yuan ,LIU Xilin. Application of artificial neural network in debris flow risk assessment [J]. Geological Hazards and Environmental Protection 2005,16 (2): 135 – 138.

- [11] 韦方强,谢洪,钟敦伦.四川省泥石流危险度区划
 [J].水土保持学报 2000,14(1):59-63.
 WEI Fangqiang, XIE Hong, ZHONG Dunlun. Risk zoning of debris flow in Sichuan Province [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2000,14(1):59-63.
- [12] 蔡文.物元模型及其应用[M].科学技术文献出版 社,1994.

CAI Wen. Matter element model and its application [M]. Science and Technology Literature Publishing House ,1994.

- [13] 蔡文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44
 (7):673-682.
 CAI Wen. Extension theory and its application [J].
 Scientific Bulletin,1999,44(7):673-682.
- [14] BABAKHANI A ,HAERIAN A ,GHAMBRI M. Effect of heat treatment ,lubricant and sintering temperature on dry sliding wear behavior of medium alloyed chromium PM steels [J]. Journal of Materials

Processing Technology 2008 , 204(1-3):192-198.

- [15] 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):1-6.
 KUANG Yuehong,XU Lingrong,LIU Baochen. Risk assessment of debris flow based on extension method [J]. China Railway Science 2006 27(5):1-6.
- [16] 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):68 – 72.

KUANG Yuehong, LIU Baochen, YAO Jingcheng. Study on the risk zoning of debris flow based on fuzzy extension method [J]. Disaster Science 2006 21(1): 68 – 72.

 [17] 谷复光,汪清,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.

GU Fuguang, WANG Qing, ZHANG Chen. Risk assessment of debris flow based on projection tracing and extenics method [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition) 2010 40(2): 373 – 377.

[18] 郑立峰 唐见兵.基于灰色关联分析的系统仿真因素权重确定[J].计算机仿真 2007 24(9):76-78.
 ZHENG Lifeng ,TANG Jignbing. Determination of the weight of system simulation factors based on grey

correlation analysis [J]. Computer Simulation 2007 24 (9):76-78.

- [19] 张廷. 基于 DEM 的洮河流域构造地貌分析 [D]. 北京: 中国地质大学 2010. ZHANG Ting. Structural geomorphology analysis of Taohe River basin based on DEM [D]. Beijing: China University of Geology 2010.
- [20] 李常斌,王帅兵,杨林山,等.1951—2010 年洮河流 域水文气象要素变化的时空特征[J].冰川冻土, 2013,35(5):1259-1266.
 LI Changbin,WANG Shuaibing,YANG Linshan, et al. Temporal and spatial characteristics of the changes of hydrometeorological elements in the Taohe basin in the 1951—2010[J]. Glacierpermafrost 2013,35(5): 1259-1266.
- [21] 冯尊斌. 基于 GIS 的兰州泥石流危险性评价 [D].
 兰州理工大学 2018.
 FENG Zunbin. Risk assessment of debris flow in Lanzhou based on GIS [D]. Lanzhou University of Technology 2018.
- [22] 曹兴山.甘肃的第四系 [J].甘肃地质,1997(2):
 1-51.
 CAO Xingshan. The fourth system of Gansu [J].

Gansu Geology ,1997(2):1-51.

(上接第39页)

CUI Peng , MA Dongtao , CHEN Ningsheng , et al . The initiation , motion and mitigation of debris flow caused by glacial lake outburst [J]. Quaternary Sciences 2003 ,23 (2):41 - 49.

- [10] 刘伟. 西藏典型冰湖溃决型泥石流的初步研究[J]. 水文地质工程地质,2006(3):88-92.
 LIU Wei. Preliminary study on debris flow induced by glacier lake outburst in Tibet [J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2006(3):88-92.
- [11] 吴积善,程尊兰,耿学勇. 西藏东南部泥石流堵塞坝 的形成机理[J]. 山地学报,2005,23(4): 399-405.

WU Jishan , CHENG Zunlan , GENG Xueyong. The forming mechanism of debris-flow dam in southeast Tibet [J]. Journal of Mountain Research , 2005 , 23 (4): 399 – 405.

[12] 游勇,程尊兰.西藏波密米堆沟泥石流堵河模型试验[J].山地学报,2005,23(3):288-293.
 YOU Yong, CHENG Zunlan. Modeling experiment of debris flow in Midui gully, Tibet [J]. Journal of

Mountain Science, 2005, 23(3) : 288 - 293.

- [13] 程尊兰,朱平一,党超,等. 藏东南冰湖溃决泥石流 灾害及其发展趋势[J]. 冰川冻土,2008,30(6): 954-959.
 CHENG Zunlan,ZHU Pingyi, DANG Chao, et al. Hazards of debris flow due to glacier-lake outburst in southeastern Tibet [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2008,30(6): 954-959.
 - [14] 乐茂华,唐川,张丹丹,等.基于逻辑回归法的西藏 地区冰湖溃决危险性预测模型[J].自然灾害学报, 2014,23(5):177-184.
 LE Maohua, TANG Chuan, ZHANG Dandan, et al. Logistic regression model-based approach for predicting

the hazard of glacial lake outburst in Tibet [J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(5): 177 – 184.

[15] 王绍武,董光荣.中国西部环境特征及其演变[M]. 北京:科学出版社,2002.

WANG Shaowu , DONG Guangrong. Environmental characteristics and evolution of the Chinese western regions [M]. Beijing : China Science Press , 2002.