基于灰色关联法的泥石流灾害易发性影响因素分析
——以甘肃舟曲瓜咋沟泥石流为例

郭瑞[1)],彭杨宏[2)],王其杰[2)],付江涛[2]
1)陕西理工大学土木工程与建筑学院,陕西汉中,723001;
2)甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院,甘肃张掖,734000

内容提要:2010年,甘肃舟曲"8·7"特大泥石流灾害给当地人民生命财产造成严重损失,泥石流的发生及其易发性程度受多种因素影响。为分析不同因素对泥石流灾害易发性影响程度,基于对甘肃舟曲瓜咋沟内不同泥石流沟道野外调查资料的总结与分析,运用层次分析法计算了泥石流灾害易发性指标,利用灰色关联度理论分析了泥石流灾害易发程度与各影响因素间关联程度。研究结果表明:运用层次分析法确定的泥石流灾害易发性程度与野外调研结果相一致;泥石流灾害的易发性受沟道内灾害点数量、主沟道坡降、日最大降雨量、植被覆盖率及汇水面积等的影响显著;沟道内灾害点数量和主沟道坡降,日最大降雨量、植被覆盖率及汇水面积,沟道长度、岸坡坡度及沟道宽度等分别对泥石流灾害易发性的影响程度较为接近;研究成果为类似地区泥流灾害防治工作部署具有一定指导作用。

关键词:地质工程;泥石流灾害;层次分析法,灰色关联理论;危险性

泥石流是自然界常见的地质灾害形式之一,其具历时短和破坏程度大等特点,易对其所在区域内人民生命财产和生态环境造成巨大破坏。据有关部门统计,我国每年因泥石流和滑坡等地质灾害造成的经济损失高达50多亿元,造成死亡和失踪人数1000~1500人,占其它自然灾害引起死亡总人数一半以上(王士革,2005)。例如仅2010年8月7日发生于甘肃省舟曲县的特大泥石流灾害一次致使1240多人遇难、490多人失踪,损坏和冲毁房屋达220余栋、掩埋农田达13.3 hm^2,给当地人民群众的生命和财产安全造成巨大损失,故有效地防治泥石流灾害已刻不容缓。泥石流的形成爆发是多种因素共同作用的结果(于秀治等,2004;刘传正,2012,2014;赵丽娅等,2018;石建军等,2018),且各个因素对其影响程度不仅相同,因此,只有明确了不同影响因素间主次关系,进而才能制定有效地防治措施,使泥石流灾害的防治具有针对性。目前,泥石流灾害危险性评价的常用方法有层次分析法、灰色关联度法及熵值法等。层次分析法具有易于计算、快速简便等特点,但其主观随意性较强,致使评价指标计算结果差异性较大,且该方法的计算结果较为繁琐(匡乐红等,2006;郭瑞等,2016)。熵值法虽然避免了层次分析法中的不足,但其对客观数据依赖性高,容易受数据波动影响,导致计算结果的精确性较差(路遥等,2014)。灰色关联度分析理论是是我国学者邓聚龙教授于1982年首先提出的一种数据处理与分析方法(冯逸等,2014;颜可珍等,2012)。该方法是分析和确定因子间影响程度或因子对主行为贡献程度的有效方法(陆建等,2010),能在"小样本、贫信息"条件下对系统进行分析,其克服了传统分析方法要求大样本,或样本服从典型分析,计算量大等方面的不足,使分析结果更为准确(熊锐等,2013),具有广泛地实用性。本文尝试通过灰色关联分析法,对不同因素对泥石流易发性影响程度进行了分析,以明确主要影响因素,为泥石流灾害的防治提供依据。

1 甘肃舟曲瓜咋沟地区地质背景条件

1.1 自然条件

1.1.1 地理位置

甘肃省舟曲县位于甘南藏族自治州东南方向,

注:本文为陕西理工大学人才启动项目(编号:SLGQD16-11)、陕西省教育厅专项科学研究计划项目(编号:18JK0172)的成果。
收稿日期:2017-10-20;改回日期:2018-08-24;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2018.06.012
作者简介:郭瑞,男,1982年生。工学博士,讲师,主要从事地质工程、路面工程方面教学与科研工作。Email:grlch2356@163.com。

其四面环山,地形呈宽带状展布。瓜咋沟作为舟曲县境内的主要沟道之一,其位于县城西南方向,距城区约 15 km 处,位于白龙江南岸的峰迭乡境内,沟口与白龙江和 313 省道正对,流域总面积达 74.3 km^2,根据调查可将其泥石流形成划分为如图 1 所示分区。根据野外调查资料瓜咋沟内沟谷发育,主要分布有格布沟、阿朱坡沟、针扦流沟、老猴沟、保斗沟、中厂沟、李家山沟及下巴山沟等 8 条沟道(如图 1 所示),各沟道的物源条件、地貌条件及诱发因素等差异较大,其主要特征参数见表 1。

1.1.2 气象水文

研究区所在流域属北亚热带向北温带过渡地带,受大气环流和地形影响,具有垂直气候分带明显和干湿季分明两大特点。多年平均气温 12.9℃,最高平均气温 23.0℃,最低平均气温 1.7℃,受地理位置、地形及植被等影响,河谷区气温明显高于山区。区域内年平均降雨量 435.8 mm,日最大降雨量 97 mm,年平均蒸发量 2000 mm。年内降水分布不均匀,主要集中在 5~10 月。降水常以连阴雨和暴雨形式出现,夏、秋半年降水多而集中,降水强度大;冬、春半年降水量少,降水强度亦小。研究区山体陡峻的山区,沟口处白龙江,地下水来源主要依靠大气降水和地表水入渗补给,主要类型为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。

1.1.3 地形地貌

研究区属西秦岭地质构造带陇南山地,区域内重峦迭嶂,沟壑纵横(如图 2(a)所示)。受构造侵蚀和流水冲蚀影响,研究内区地貌形态划分为构造侵蚀中高山和冲洪积河谷地貌两种类型。中高山地貌沿瓜咱沟沟道两侧分布,地形整体呈向白龙江一侧倾伏态势,起伏强烈,峰谷交错,区域内最高点高程 3271.7m,最低点高程 1408m;瓜咱沟沟口处为白龙江河谷地带,上游地段发育有二级阶地,属上叠阶地。

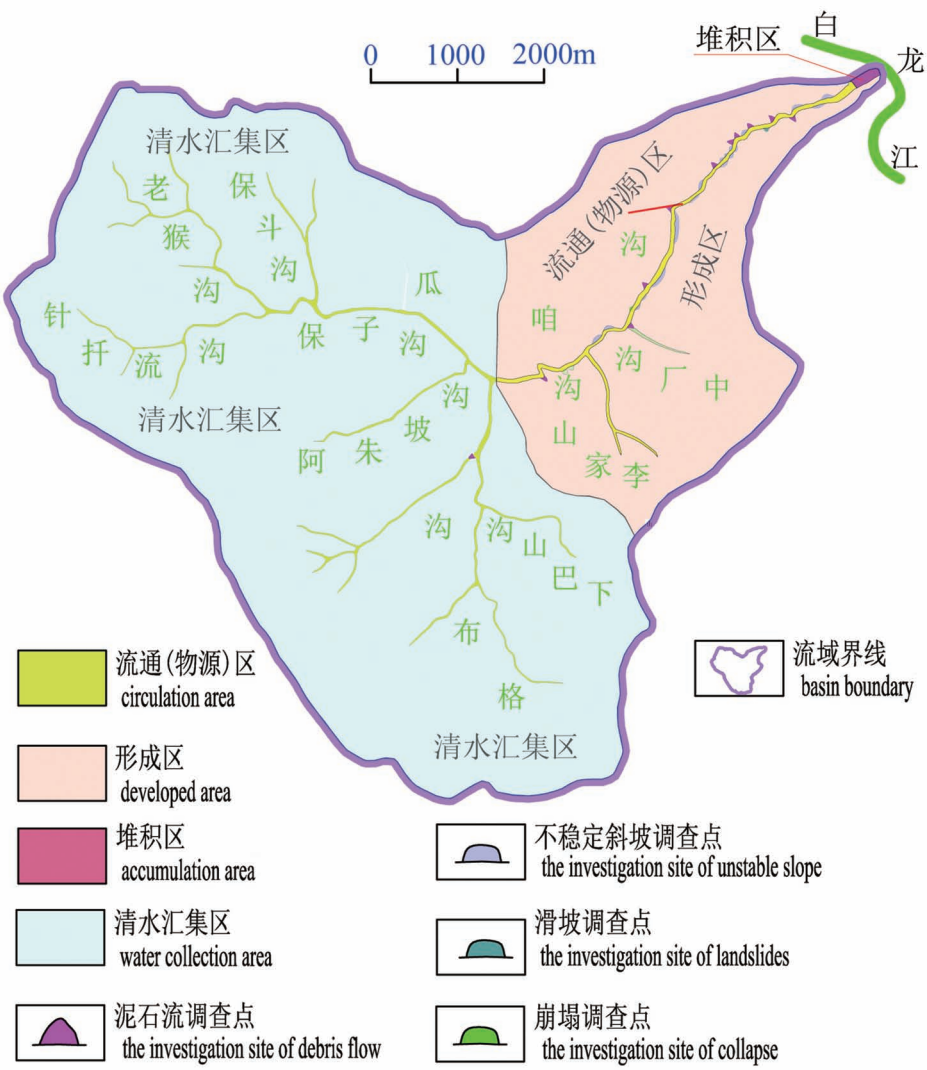


图 1 甘肃舟曲瓜咋沟地区泥石流分区与沟道分布图

Fig. 1The regional division and channel distribution of Guaza gully in Zhouqu, Gansu

1.1.4 植被覆盖

研究区流域上游段海拔较高,降水较为充沛,植被覆盖率较好,而下游段两侧山坡受降水冲刷、地震及人类工程活动影响,坡体植被遭破坏,局部地段坡体裸露,植被覆盖率差(如图 2b)所示)。

1.2 地质环境

1.2.1 地质构造

研究区位于白龙江复式背斜核部部位,区域内表层土体结构松散,沟谷中第四系堆积物较丰富,次级褶皱和断裂较为发育,沟中洪水强烈冲刷

表 1 舟曲瓜咋沟各沟道综合特征

Table 1 Comprehensive feature of different gullies in Guaza gully, Zhouqu

沟道名称	可参与物源量($\times10^4$ m^3)	灾害点数量(处)	汇水面积(km^2)	沟道长度(km)	平均坡降(‰)	平均岸坡坡度(°)	植被覆盖率(%)	沟道平均宽度(m)	日最大降雨量(mm)	人口密度(人/km^2)
格布沟	0.18	7	15.2	4.4	89	35	72	13	97	105
阿朱坡沟	0.05	5	4.8	4.5	177	40	71	10	95	68
针扦流沟	0.10	4	6.5	4.2	130	51	75	4	97	23
老猴沟	0.02	3	3.5	3.4	152	48	75	3	95	38
保斗沟	0.10	8	3.7	3.1	224	50	75	3	95	30
中厂沟	0.50	15	2.9	2.4	338	38	55	6	90	112
李家山沟	0.45	12	2.4	2.0	286	40	58	4	91	90
下巴山沟	0.30	10	2.2	1.2	301	48	60	5	90	68

坡面和松散堆积物,为形成泥石流形成提供了强大的物源和动力条件。

1.2.2　地层岩性

研究区出露地层主要为第四系的残坡积堆积物、泥石流堆积物及冲洪积物等,其厚度变化较大。除此之外还有属于前第四系泥盆系中统西汉水群古道岭组、志留系中—上统白龙江群及志留系下统的千枚岩、泥沙质灰岩、炭质千枚岩及砂质灰岩等。

1.2.3　地震活动

研究区位于青藏北部地震区南北地震带、舟曲—武都地震亚带,根据历史资料记载,研究区内曾发生多次 5 级及以上地震。2008 年 5 月 12 日,震惊世界的“5.12”汶川地震给研究内人们的生命财产和公共设施造成严重损失。

2　研究方法

2.1　层次分析法

层次分析法是一种系统化和层次化的多目标决策分析方法,其基本思路为:①依据所分析问题的性质及要达到目标,将各元素按照其属性和隶属关系分解成阶递状结构;②将同层不同元素相互比较,并给各指标的相对重要性予量化描述,基于各指标量化值构造判断矩阵;③由判断矩阵计算每层各指标的相对重要性次序值(权重向量),并做一致性检验;④确定指标层影响元素对系统总目标的综合评价结果。

2.2　灰色关联理论

灰色关联分析的基本思想是根据各参数几何曲线的相似程度来判断其联系的密切程度,曲线的形

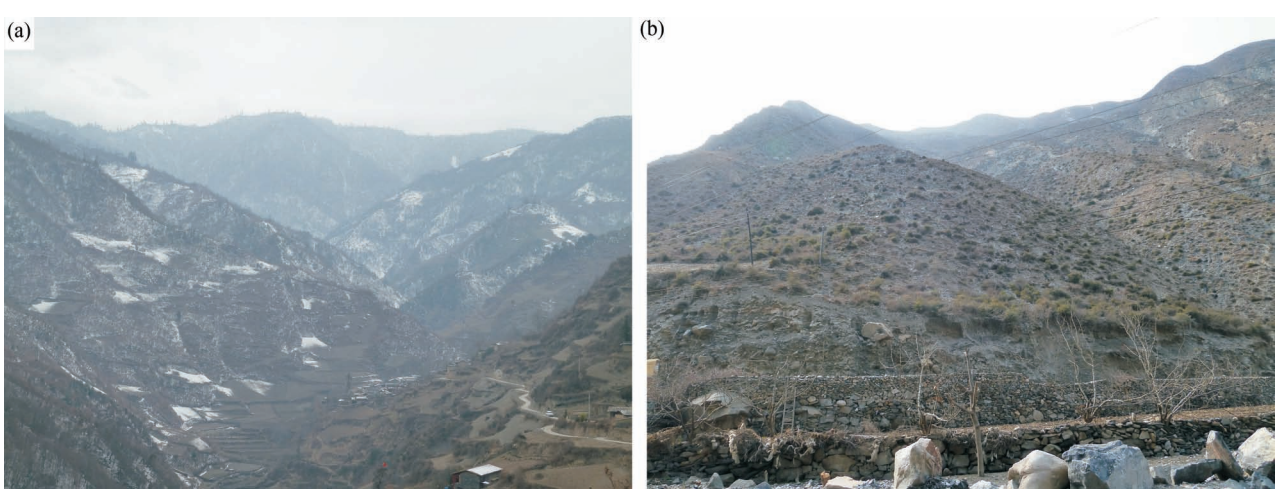


图 2 甘肃舟曲瓜咋沟地区地形地貌与下游段植被

Fig. 2 The terrains and landform, and vegetation of lower reaches with Guaza gully in Zhouqu, Gansu

(a) 甘肃舟曲瓜咋沟地区地形地貌 ; (b) 甘肃舟曲瓜咋沟地区下游段植被

(a) Terrains and landforms with Guaza gully in Zhouqu, Gansu; (b) vegetation in the lower reaches with Guaza gully in Zhouqu, Gansu

状越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之就越小,相似程度应用关联系数和关联度描述(颜可珍等,2012),主要步骤如下所述:

(1) 确定系统参考数列和比较数列

参考数列:$X_0 = x_0(k)$, $k = 1,2,\cdots,n$

比较数列:$X_i = x_i(k)$, $k = 1,2,\cdots,n$; $i = 1,2,\cdots,n$

(2) 数列均值化处理

参考数列:$Y_0 = \dfrac{x_0(k)}{\overline{x_0}}$, $k = 1,2,\cdots,n$, 其中, $\overline{x_0} = \dfrac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_0(k)$

比较数列:$Y_i = \dfrac{x_i(k)}{\overline{x_i}}$, $k = 1,2,\cdots,n$, 其中, $\overline{x_i} = \dfrac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_i(k)$

(3) 确定极值及分辨系数

两级最小值:$\min\min \Delta_i(k) = \min\min |Y_0(k) - Y_i(k)|$, $k = 1,2,\cdots,n$; $i = 1,2,\cdots,n$;

两级最大值:$\max\max \Delta_i(k) = \max\max |Y_0(k) - Y_i(k)|$, $k = 1,2,\cdots,n$; $i = 1,2,\cdots,n$;

分辨系数:分辨系数 $e \in (0,1)$,通常取值为 0.5。

(4) 计算关联系数及关联度

关联系数:

$$\xi_i = \frac{\min\min \Delta_i(k) + e \max\max \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + e \max\max \Delta_i(k)}$$

关联度:$r_i = \dfrac{1}{n}\sum \xi_i(k)$

3 结果与分析

3.1 泥石流易发性指标计算

本文选取易发性指标作为泥石流灾害易发性评价的参考数列,因此,合理确定易发性指标是准确评价各影响因素关联度的基础。根据前述和文献(郭瑞等,2016)中层次分析方法思路,泥石流易发性指标计算过程如下所述:

3.1.1 建立计算模型

基于对研究区详细地野外调研和作者所经历过的泥石流灾害治理工程建立如下图 3 所示泥石流灾害易发性指标计算模型,其中目标层为研究区内各沟道泥石流易发性指标(M),准则层(M_i)为物源条件、沟道特征及诱发因素,以沟道内可参与物源量、汇水面积及日最大降雨量等泥石流基础影响因子作为指标层(M_{ij})。

3.1.2 构造判断矩阵

根据表 1 中研究区瓜咋沟内各沟道综合特征值和图 3 泥石流易发性指标计算模型,采用指数标度法对不同影响因素进行赋值,根据其标度值构造判断矩阵 $\boldsymbol{M}$-$\boldsymbol{M}_i$(目标层—准则层)和判断矩阵 $\boldsymbol{M}_i$-$\boldsymbol{M}_{ij}$(准则层—指标层):

$$\boldsymbol{M}\text{-}\boldsymbol{M}_i = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5.194 \\ \dfrac{1}{3} & 1 & 1.732 \\ \dfrac{1}{5.194} & \dfrac{1}{1.732} & 1 \end{bmatrix};$$

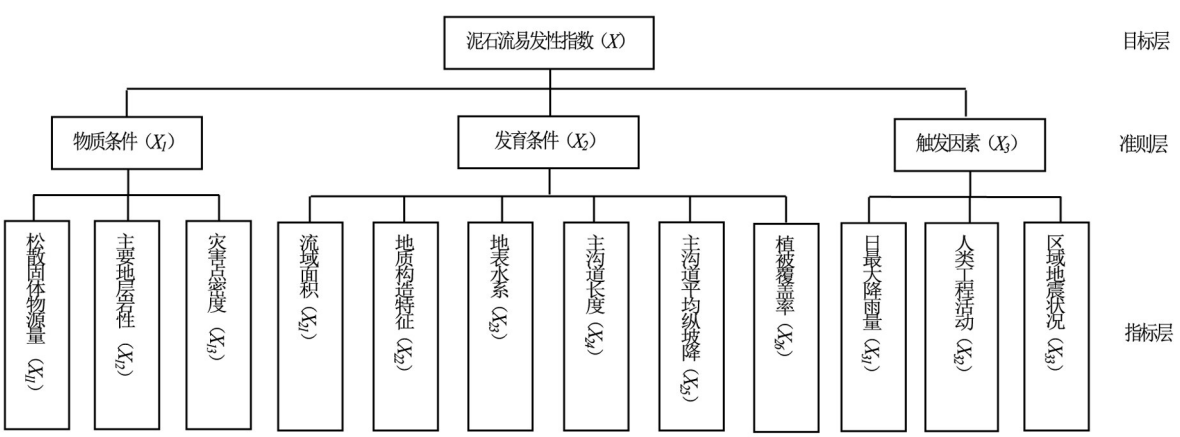


图 3 泥石流易发性指标计算模型

Fig.3 Model of vulnerability index of debris flow

$$\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{1j}=\begin{bmatrix}1 & 1.732\\ \dfrac{1}{1.732} & 1\end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{3j}=\begin{bmatrix}1 & 5.194\\ \dfrac{1}{5.194} & 1\end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j}=$$

$$\begin{bmatrix}1 & 1.732 & 2.279 & 3 & 5.194 & 9\\ \dfrac{1}{1.732} & 1 & 2.279 & 3 & 5.194 & 6.836\\ \dfrac{1}{2.279} & \dfrac{1}{2.279} & 1 & 3 & 3.947 & 5.194\\ \dfrac{1}{3} & \dfrac{1}{3} & \dfrac{1}{3} & 1 & 3 & 3.947\\ \dfrac{1}{5.194} & \dfrac{1}{5.194} & \dfrac{1}{3.947} & \dfrac{1}{3} & 1 & 3\\ \dfrac{1}{9} & \dfrac{1}{6.836} & \dfrac{1}{5.194} & \dfrac{1}{3.947} & \dfrac{1}{3} & 1\end{bmatrix};$$

3.1.3　一致性检验

经计算指标层、准侧层对其上一层的权重向量值分别为:

$\boldsymbol{W}_{\boldsymbol{M}_1-\boldsymbol{M}_{1j}}=(0.66,0.22,0.13)^{\mathrm{T}}$;

$\boldsymbol{W}_{\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{1j}}=(0.63,0.3)^{\mathrm{T}}$;

$\boldsymbol{W}_{\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j}}=(0.35,0.28,0.18,0.11,0.06,0.03)^{\mathrm{T}}$;

$\boldsymbol{W}_{\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{3j}}=(0.84,0.16)^{\mathrm{T}}$。

分别对目标层—准则层的判断矩阵($\boldsymbol{M}-\boldsymbol{M}_i$)和准则层—指标层的判断矩阵($\boldsymbol{M}_i-\boldsymbol{M}_{ij}$)进行检验,其结果如下:由于判断矩阵 $\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{1j}$ 和 $\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{3j}$ 的阶数为 2 小于 3,故知其一致性均能够满足要求;又因

$I_{\mathrm{C}(\boldsymbol{M}_1-\boldsymbol{M}_{1j})}=8.23\times10^{-9}$,

$I_{\mathrm{R}(\boldsymbol{M}_1-\boldsymbol{M}_{1j})}=0.36$,

$R_{C(\boldsymbol{M}_1-\boldsymbol{M}_{1j})}=1.42\times10^{-8}<0.1$,

$I_{C(\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j})}=0.029$,

$I_{R(\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j})}=0.82$,

$R_{C(\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j})}=0.036<0.1$,

故知判断矩阵 $\boldsymbol{M}_1-\boldsymbol{M}_{1j}$ 和 $\boldsymbol{M}_2-\boldsymbol{M}_{2j}$ 均满足一致性要求。

3.1.4　泥石流易发性指标计算及评价

对表 1 中研究区内各沟道综合特征值无量纲化处理,基于对不同沟道综合特征值无量纲化处理结果和各层次指标的权重计算结果,利用式

$$B=\sum_{n}^{j=1}a_j X_j \quad j=1,2,\cdots,n$$

计算各沟道泥石流易发性指标值,见表 2。

由表 2 理论计算结果可知,中厂沟、李家山沟及下巴山沟泥石流灾害易发程度高,格布沟泥石流灾害易发程度一般,阿朱坡沟、针扦流沟及保斗沟泥石流灾害易发程度轻,老猴沟泥石流易发程度低,其与野外实际调研结果相吻合,其表明运用层次分析法计算得到的泥石流灾害易发性指标值可靠。野外现场调研发现,中厂沟、李家山沟及下巴山沟内人类工程活动活跃,主要表现为开垦农田、开矿及修筑道路和房屋,沟道内及两侧沟岸边坡上植被破坏严重,灾害点数量多,泥石流灾害发生的可能性大;格布沟内人口分布较多,人类工程活动较活跃,主要表现为开垦农田、修筑道路和房屋,灾害点数量较多,植被覆盖较好,综合判断该沟泥石流灾害发生可能性一般;阿朱坡沟、针扦流沟及保斗沟内植被覆盖好,灾害点数量少,但沟内存在少量人类工程活动,综合判断泥石流灾害发生的可能性较轻;老猴沟位于瓜咋沟谷上游,内人口稀少,植被覆盖率高,灾害点数量少,泥石流发生的可能性低。

3.2　泥石流易发性影响因素分析

基于上述研究结果,通过对瓜咋沟内各主要沟道泥石流灾害成因的调查分析及归纳总结,确定了瓜咋沟内各支沟泥石流灾害易发性的主要影响因素为:灾害点数量(N),可参与物源量(A_{s}),沟道平均岸坡坡度(S_{b}),沟道长度(L),沟道平均宽度(W),沟道平均坡降(R_{cs}),汇水面积(A),植被覆盖率(R_{vc}),日最大降雨量(R_{d})及人口密度(D)等。

3.2.1　确定参考和比较数列并进行均值化处理

以表 3 中泥石流易发性指标作为参考数列,灾害点数量,可参与物源量,沟道平均岸坡坡度,沟道长度,沟道平均宽度,沟道平均坡降,汇水面积,植被

表 2 瓜咋沟各沟道易发性指标计算结果

Table 2 Comprehensive evaluation on the different gullies of Guaza gully

	格布沟	阿朱坡沟	针扦流沟	老猴沟	保斗沟	中厂沟	李家山沟	下巴山沟
理论计算	0.66	0.42	0.45	0.29	0.48	0.92	0.80	0.84
野外调研	中等易发	轻度易发	轻度易发	低度易发	轻度易发	极度易发	高度易发	高度易发

表 3 原始数据均值化处理结果

Table 3 The results on mean value of survey data

	I $X_0(k)$	A_s $X1(k)$	N $X2(k)$	A $X3(k)$	L $X4(k)$	R_{cs} $X5(k)$	S_b $X_6(k)$	R_{vc} X7(k)	W X8(k)	R_d X9(k)	D X10(k)
格布沟	2.30	3.20	2.07	3.61	1.80	0.92	1.25	1.57	3.15	1.62	3.18
阿朱坡沟	1.46	0.89	1.48	1.14	1.84	1.83	1.43	1.54	2.42	1.59	2.06
针扦流沟	1.57	1.78	1.19	1.55	1.71	1.35	1.82	1.63	0.97	1.62	0.70
老猴沟	1.01	0.36	0.89	0.83	1.39	1.58	1.71	1.63	0.73	1.59	1.15
保斗沟	1.67	1.78	2.37	0.88	1.27	2.32	1.79	1.63	0.73	1.59	0.91
中厂沟	3.20	8.89	4.44	0.69	0.97	3.50	1.36	1.20	1.45	1.50	3.39
李家山沟	2.78	8.00	3.56	0.57	0.81	2.96	1.43	1.26	0.97	1.52	2.73
下巴山沟	2.92	5.33	2.96	0.52	0.48	3.12	1.71	1.30	1.21	1.50	2.06

覆盖率,日最大降雨量及人口密度等影响因素作为比较数列形成原始数列,并对其进行均值化处理,生成的新参考和比较数列见表 3。

3.2.2 确定极值及分辨系数

基于前述灰色关联度计算方法,原始试验数据经均值化处理后生成新数列的两级最小值和最大值分别为:

$$min\ min\ \Delta_i(k) = min\ min\ |Y_0(k) - Y_i(k)|$$

$$|\ (k=1,2,\cdots,9;\ i=1,2,\cdots,6) = 0.02;$$

两级最大值:

$$max\ max\ \Delta_i(k) = max\ max\ |Y_0(k) - Y_i(k)|$$

$$|\ (k=1,2,\cdots,9;\ i=1,2,\cdots,6) = 5.69;$$

取分辨系数值为 0.5。

3.2.3 计算关联系数及关联度

根据已确定的原始数据均值化序列差的两级极大和极小值及分辨系数,计算泥石流易发性指标与各影响因素间关联系数,结果见表 4。

从表 4 可知,灾害点数量、可参与物源量、沟道平均岸坡坡度、沟道长度、沟道平均宽度、沟道平均坡降、汇水面积、植被覆盖率、日最大降雨量及人口密度等间相关程度由大到小顺序为:

$$\gamma_N > \gamma_{R_{cs}} > \gamma_{R_d} > \gamma_{R_{vc}} > \gamma_A > \gamma_L > \gamma_{S_b} > \gamma_W > \gamma_{A_S} > \gamma_D;$$

沟道内滑坡等灾害点数量和主沟道平均坡降与泥石流灾害易发性的相关程度较为接近,故二者对泥石流灾害易发性的影响程度基本相同,且由表 4 可知其影响程度最为显著;泥石流沟所在区域内日最大降雨量、各沟道所在区域内植被覆盖率及汇水面积等与泥石流灾害易发性的相关程度较接近,其对泥石流灾害易发性影响程度基本相同,影响程度较为显著;泥石流沟长度、沟岸岸坡平均坡度及沟道平均宽度等与泥石流灾害易发性的相关程度亦较接近,三者对泥石流灾害易发性影响程度基本相同,且由表 4 可知其影响程度一般;可参与物源量与泥石流灾害易发性相关程度及其影响程度较小;人口密度与泥石流灾害易发性相关程度及其影响程度最小。由上述分析可知,泥石流灾害易发性的主要影响因素有泥石流沟所在流域内灾害点数量、沟道平均坡

表 4 不同影响因素关联系数及关联度计算结果

Table 4 The results on correlation coefficient and correlation degree of different influencing factors

	A_s $\zeta_{01}(k)$	N $\zeta_{02}(k)$	A $\zeta_{03}(k)$	L $\zeta_{04}(k)$	R_{cs} $\zeta_{05}(k)$	S_b $\zeta_{06}(k)$	R_{vc} $\zeta_{07}(k)$	W $\zeta_{08}(k)$	R_d $\zeta_{09}(k)$	D $Z_{10}(k)$
格布沟	0.76	0.93	0.69	0.86	0.68	0.74	0.80	0.77	0.81	0.77
阿朱坡沟	0.84	1.00	0.90	0.89	0.89	1.00	0.98	0.75	0.96	0.83
针扦流沟	0.94	0.89	1.00	0.96	0.93	0.92	0.98	0.83	0.99	0.77
老猴沟	0.82	0.97	0.95	0.89	0.84	0.81	0.83	0.92	0.84	0.96
保斗沟	0.97	0.81	0.79	0.88	0.82	0.97	0.99	0.76	0.98	0.79
中厂沟	0.34	0.70	0.53	0.56	0.91	0.61	0.59	0.62	0.63	0.94
李家山沟	0.36	0.79	0.57	0.59	0.95	0.68	0.66	0.61	0.70	0.00
下巴山沟	0.54	0.99	0.55	0.54	0.94	0.71	0.64	0.63	0.67	0.00
关联系数(γi)	0.70	0.88	0.80	0.77	0.87	0.75	0.81	0.74	0.82	0.63

降、日最大降雨量、植被覆盖率及汇水面积等。

4　结论

影响泥石流灾害易发性的因素很多,本文结合甘肃舟曲瓜咋沟泥石流灾害实例,利用层次分析法和灰色关联理法分析了泥石流灾害危险程度与不同影响因素间关联度,得出以下主要结论:

(1)在综合考虑了自然和人类工程活动影响因素条件下,运用层次分析法分析了研究区内各沟道泥石流灾害易发程度,其与野外实地调研结果相吻合,故其能够用于评价泥石流灾害易发性。

(2)灾害点数量和主沟道平均坡降,日最大降雨量、植被覆盖率及汇水面积,沟道长度、沟岸岸坡平均坡度及沟道平均宽度,分别与泥石流灾害易发性的关联度值较接近,其对泥石流灾害易发性的影响程度基本相同。

(3)泥石流灾害易发性受沟道内灾害点数量和主沟道平均坡降等的影响最为显著;受日最大降雨量、植被覆盖率和汇水面积等的影响较为显著;受沟道长度、沟岸岸坡平均坡度及沟道平均宽度等的影响一般;受可参与物源量和人口密度的影响较小。

(4)泥石流灾害易发程度的主要影响因素有沟内灾害点数量、沟道平均坡降、日最大降雨量、植被覆盖率及汇水面积等。

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

冯逸,张诚,陈永云. 2014. 灰色关联理论在泡沫温拌沥青生产关键参数优选中的应用研究. 贵州大学学报(自然科学版),31(2):119~123.

郭瑞,马富存,郭一兵,毛 岳. 2016. 基于层次分析法的泥石流易发性评价. 东华理工大学学报(自然科学版),39(4):347~351.

匡乐红,徐林荣,刘保琛. 2006. 组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重. 地下空间与工程学报, 2(6):1063~1067.

刘传正.2012.汶川地震区文家沟泥石流成因模式分析. 地质论评,58(4):709~715.

刘传正.2014.中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型. 地质论评,60(4):858~868.

陆建,吴靖,王涛. 2010. 考虑驾驶员视觉特效的路段设计通行能力修正方法. 中国公路学报,23(2):71~76.

路遥,徐林荣,陈舒阳,曹禄来. 2014. 基于博弈论组合赋权的泥石流危险性评价. 灾害学,29(1):194~200.

石建军,李保珠,李鹏,黄杰,孙付来,刘冰. 2018. 元谋县 9.17 特大泥石流特征及形成机理分析. 地质论评,64(3):665~673.

王士革. 2005. 灾害逃生,先知者胜. 资源与人居环境,7:9~22.

熊锐,陈栓发,关博文. 2013. 冻融腐蚀作用下沥青混合料耐久性影响因素的灰熵分析.公路交通科技, 30(1):28~32.

颜可珍,蒋智禹,林峰. 2012. 沥青混合料低温性能影响因素额灰色关联分析. 广西大学学报(自然科学版),37(1):115~119.

于秀治,韦京莲. 2004. 灰色系统理论在北京山区泥石流危险度评价预测中的应用. 中国地质灾害与防治学报,15(1):118~120.

赵丽娅,韩丽君,樊姝芳,张启新,周爱红.2018.台风暴雨型矿山泥石流的形成条件及起动模式. 地质论评,64(4):947~955.

Feng Yi, Zhang Cheng, Chen Yongyun.2014&. The optimization studies oof foam warm mix asphalt production critical parameter based on gray relative theory. Journal of Guizhou University (Natural sciences), 31(2): 119~123.

Guo Rui, Ma Fucun, Guo Yibing, Mao Yue. 2016&. Debris flow evaluation of occurrence easiness based on AHP. Journal of East China University of Technology, 39(4):347~351.

Kuang Lehong, Xu Linrong, Chen Baoshen. 2006&. A combination weight method for determining the index weight in geological hazard risk assessment. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2(6): 1063~1067.

Liu Chuanzheng. 2012&. Anaysis on genetic model of Wenjiagou debris flows in Wenchuan earthquake area, Sichuan. Geological Review, 58(4):709~715.

Liu Chuanzheng. 2014&. Genetic types of landslide and debris flow disasters in China. Geological Review, 60(4):858~868.

Lu Jian, Wu Jing, Wang Tao. 2010&. Correction method of capacity of section design considering driver' s visual characteristic. Chinese Journal of Highway and Transport, 23(2): 71~76.

Lu Yao, Xu Linrong, Chen Shuyang, Cao Lulai. 2014&. Combined weight method based on game theory for debris flow hazard risk assessment. Journal of Catastrophology, 29(1): 194~200.

Shi Jianjun, Li Baozhu, Li Peng, Huang Jie, Sun Fulai, Liu Bing. 2018&. Analisis of characteristics and formation mechanism for the 9.17 giant debris flow in Yuanmo County. Geological Review, 64(3):665~673.

Wang Shige. 2005&. Seercan escape from hazards. Resource and Environment of Residence, 7: 9~22.

Xiong Rui, Chen Shuanfa, Guan Bowen. 2013&. Application of grey entropy method to analyze influencing factors of durability of asphalt mixture under freeze-thaw and corrosion. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 30(1): 28~32.

Yan Kezhen, Jian Zhiyu, Lin Feng. 2012&. Grey relation analysis of influence factors on low temperature performance of asphalt. Journal of Guangxi University(Natural sciences), 37(1): 115~119

Yu Xiuzhi, Wei Jingliang. 2004&. Grey system analysis and its application in the forecast mud-rock flow criticality of Beijing, The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 15(1): 118~120.

Zhao Liya, Han Lijun, Fan Zhufang, Zhang Qixin, Zhou Aihong. 2018&. Formation condition and starting mode of mine debris flow in typhoon rainstorm. Geological Review, 64(4):947~955.

Analisis on Hazard Evaluation of Debris Flow Based on Grey Relational Theory

——A Case Study on the Debris Flow in Guaza Gully, Zhouqu, Gansu

GUO Rui[1)], PENG Yanghong[2)], WANG Qijie[2)], FU Jiangtao[2)]

1) *School of Civil Engineering and Architecture, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi*, 723001;

2) *Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhangye, Gansu*, 734000

Objectives: The "8·7" huge debris flow disaster in Guaza gully, Zhouqu, Gansu, has caused serious losses to local people's lives and property. This paper focus on the correlation degree between the susceptibility index of debris flow disaster and different influencing factors that is to identify the main influencing factors, which is to provide basis for prevention of debris flow hazards.

Methods: Firstly, this paper summarizes and concludes the survey data with different debris flow gullies in Guaza gullies, which combined with "8·7" large debris flow disasters instance in Zhouqu County Gansu Province. Secondly, the susceptibility value of different mud-rock flow hazards gullies are calculated based on the AHP method. Finally, the influence degree of various environmental factors on the susceptibility index with the debris flow gullies is analyzed by the gray correlation method.

Results: the vulnerability of debris flow disasters determined by AHP is consistent with the results of field investigation, that the AHP can be applied to the prediction of debris flow hazard. It has a significant impact on the susceptibility of mud-rock flow hazards from the number of geological disasters in channel, the average slope of gully, day maximum rainfall quantity, forest cover and catchment sizes. The susceptibility of debris flow disaster is relatively close which are affected by the number of disaster and the channel slope, the maximum rainfall quantity, vegetation coverage rate and catchment sizes, gully length, beach angle and channel width.

Conclusions: The method of grey relational theory has been successfully applied to analysis the correlation degree between different influencing factors and the susceptibility of debris flow disaster, providing a guiding role for the prevention and control of mud-rock flow hazards in similar areas.

Keywords: geological engineering; mud-rock flow hazards; AHP; grey correlation theory; debris flow susceptibility

Acknowledgements: This study was supported by Major Research Projects of National Natural Science (No. 91225302) and Introduction Fund by Shaanxi University of Technology (No. SLGQD16-11)

First author: GUO Rui, male, born in 1982, doctor, mainly engaged in research on engineering geology and prevention of geological disasters. Email: grlch2356@163.com

Manuscript received on: 2017-10-20; Accepted on: 2018-08-24; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.06.012