

# 基于信息熵与 AHP 模型的小区域泥石流 危险性评价方法

高立兵, 苏军德

(甘肃有色冶金职业技术学院, 甘肃 金昌 737100)

**摘 要:**以白龙江流域为研究区域,在收集资料和野外勘察的基础上,选取地形地貌因子和地质因子作为泥石流危险性评价因子,并以栅格单元作为评价单元,对研究区内外动力环境因子进行了分析。在此基础上,基于信息熵与 AHP 模型分别建立了研究区泥石流危险性评价模型。结果表明:基于信息熵模型的泥石流危险等级分布与基于 AHP 模型的危险性等级分布呈现出整体上相似,局部地区有差异的规律,但基于信息熵模型的评价分区结果与泥石流实际分布情况更为吻合。在大区域范围内,基于信息熵模型的泥石流危险性评价分区具有良好的可塑性和实用性,在地质灾害预测方面具有重要的作用。

**关键词:**白龙江流域; 泥石流; AHP; 信息熵; 危险性评价

**中图分类号:**P642.23

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2017)01-0376-05

## Risk Assessment Method of Debris Flow in Residential Area Based on Information Entropy and AHP Model

GAO Libing, SU Junde

(Gansu Vocational & Technical College of Nonferrous Metallurgy, Jinchang, Gansu 737100, China)

**Abstract:** We collected data and carried out field survey in Bailongjiang River Basin, and selected landform factors and geological factors as the debris flow risk assessment indicators, used the grid unit as the evaluation unit, and analyzed the study area power environmental factors. Based on information entropy and AHP model study area debris flow risk assessment model was established, respectively. The result showed that based on information entropy model of debris flow risk level and the level of risk based on AHP model distribution appeared similar on the whole, there were differences between the local patterns, but landslide distribution based on the evaluation of information entropy model partition is more consistent with the actual results. Thus, within the scope of the large area, the debris flow risk assessment partition based on information entropy model has good plasticity and practicability, and plays the important role in geological disaster prediction.

**Keywords:** Bailongjiang Basin; debris flow; AHP; information entropy; risk assessment

白龙江流域位于甘肃南部,属于秦岭西段,地处青藏高原、黄土高原和四川盆地的交汇处,流长在甘肃省境内 381.5 km,是我国泥石流最为频发和严重的地区之一<sup>[1]</sup>。尤其是白龙江下游,其泥石流分布面积和爆发频率在省内居首位,给当地人民的生命安全带来了极大的威胁,严重制约了山区各项事业的发展。近年来,不少学者对白龙江流域的地质灾害进行

了调查研究<sup>[2-4]</sup>,但以往的研究多集中在白龙江流域某一较小的范围,关于整个白龙江流域泥石流的研究还较少。因此,对白龙江整个流域的泥石流易发性研究对开展区域的泥石流灾害危险性防治工作有较大的指导意义。

泥石流是发生在山区的一种突发性地质灾害现象,其发生、发展与山地的形成演化过程息息相关,是

收稿日期:2015-12-24

修回日期:2016-02-19

**资助项目:**甘肃省科技计划资助“基于无线传感器网络的矿山井下定位系统的开发研究”(1304GKCC044);甘肃省高等学校科研项目“基于无线传感器网络的地质灾害预警系统的研究和开发”(2015B-198)

**第一作者:**高立兵(1974—),男,甘肃金昌人,硕士研究生,讲师,主要从事物联网及计算机研究。E-mail:694443441@qq.com

**通信作者:**苏军德(1986—),男,甘肃金昌人,硕士研究生,助教,主要从事地质及地质灾害研究。E-mail:sujd2009@163.com

山地环境退化、地表结构恶化、生态平衡失调的产物<sup>[5]</sup>。由于泥石流的发生是多种因子综合作用的结果,其影响因子的复杂性,导致了各地泥石流的发生也具有区域的特点。因此,科学合理地防治泥石流灾害,首先要对灾害发生的可能性、危险性、危害范围和程度有一个基本的认识和评价<sup>[6]</sup>。近年来,随着 GIS 技术的发展,基于 GIS 对地质灾害易发性和安全性评价的研究也越来越深入<sup>[7-9]</sup>。目前,在地质灾害危险性评价的方法主要有层次分析法、人工神经网络法、信息量法、判别分析等。其中,AHP 模型分析是由美国运筹学家 Ash Robert<sup>[10]</sup>提出的一种目标决策方法,经过多年的发展,AHP 已成为一种成熟的方法,在地质灾害易发性评价中得到了广泛的应用。唐川等<sup>[7]</sup>运用 AHP 模型和信息熵模型对汶川周边地区地质灾害易发性评价研究中取得了很好的效果;刑钊<sup>[8]</sup>在对白龙江流域泥石流分布规律的研究中也用到了 AHP 模型和信息熵模型;Okimura<sup>[11]</sup>应用信息熵与 AHP 模型建立了美国东部地区的地质灾害危险性区划。

由此可见,AHP 模型和信息熵模型在地质灾害易发性与安全性评价中得到了越来越广泛的应用,本文就是运用信息熵与 AHP 模型分析,对整个白龙江流域泥石流进行易发性与危险性评价,并对两个模型结果进行对比分析,进而得到白龙江流域泥石流易发性与安全性评价分区结果。

## 1 研究区概况

本文研究范围为白龙江流域在甘肃省境内的部分,其分布范围为北纬 32°36′—34°24′,东经 103°0′—105°30′,流域面积为 18 436 km<sup>2</sup>。该区域属于秦岭山地,区内地势险峻,峰高坡陡,土薄石多,地震活跃,降雨集中且多暴雨,底层岩性复杂,泥石流的分布面积和爆发频率均居省内首位,且以粘性泥石流为主。经统计分析,研究区内泥石流分布密集,流域面积大于 1 km<sup>2</sup> 的泥石流沟共计 206 条,主要分布于舟曲县以下沿白龙江褶皱带的两岸,其中,从舟曲至武都河段,有泥石流沟 143 条,平均密度为 1.43 条/km。总体分布趋势是中部和东部较为密集,东南和西北分布稀疏。其中,以白龙江中游沿大断裂带两侧泥石流发育中,平均 2~3 条/km,局部可达 5~8 条/km(表 1)。

## 2 研究方法

本文通过收集研究区内的历史资料,在此基础上再对研究区进行野外勘查,并借鉴以往研究人员的经验,征求相关专家的意见,对研究区内泥石流的时空

分布进行深入分析,分别选取地质构造、地层岩性、地形地貌、地震活动、气候水文、土壤植被和人类活动 7 个因子,基于 GIS 对其进行分层分析,以实现研究区内泥石流的评价指标体系建立。在此基础上,分别采用信息熵和 AHP 模型对其进行分析评价,进而建立研究区内泥石流的危险性评估模型,生成泥石流危险性与易发性的评价图。

表 1 泥石流分布面积比例

县	泥石流沟面积/km <sup>2</sup>	总面积/km <sup>2</sup>	所占比例/%
宕昌	766.0987	3312.4300	23.13
文县	601.6784	5006.6543	12.08
武都	1351.5672	4678.4234	28.89
舟曲	1234.4563	3019.1656	40.88
迭部	37.3233	4493.7657	0.83

## 3 因子分析

### 3.1 单因子分析

泥石流的形成必须必备 3 个条件:丰富松散的固体物质、充足的水源和陡峭的地形<sup>[12]</sup>。因而,再对泥石流进行易发性评价是必须考虑这 3 方面的因素,然而,每个方面的因素又包括许多相关的因子。因此,根据我们对白龙江流域的实地考察及相关专家的意见,分别从地质构造、地层岩性、地形地貌、地震活动、气候水文、土壤植被和人类活动 7 个方面进行分析。

#### 3.1.1 地形地貌因子

(1) 海拔。海拔对泥石流的发生与分布有一定的影响<sup>[13]</sup>,通过调查发现,在研究区西北区域海拔较高,地表多为基岩,并有苔原植被覆盖,岩石不容易产生松散碎屑物,泥石流发生较少。而在白龙江的干流及二级支流,海拔相对较低,是泥石流的频发区。

(2) 坡度。坡度的大小会对泥石流的运动速度,径流以及堆积作用有较大的影响,因此,坡度的不同也会影响泥石流的发生与发展。在研究区,地形比较陡的区域坡面不稳定,泥石流发生较为频繁,尤其是坡度大于 35°的区域,是泥石流发生的活跃区,占到整个流域泥石流分布面积的 81.6%。

(3) 滑坡。在白龙江流域,泥石流的主要物质来源于滑坡体,因此,滑坡的多少将会对泥石流的发生产生一定的影响。在白龙江流域,滑坡的密度分布与泥石流的空间分布基本一致,有很好的正相关( $R^2=0.90$ )。具体表现在,白龙江干流及二级支流的河谷是滑坡的频发地带,其密度较大,而这些地区也是泥石流分布的密集区。尤其是滑坡点密度大于 0.06 的区域,是泥石流的频发地带(比如舟曲、武都),其泥石流分布面积占到整个流域泥石流分布面积的 71.67%。

### 3.1.2 地质因子

(1) 地层岩性。岩土体是泥石流发生、发展的主要物质来源,不同类型的岩石具有不同的物理化学性质,从而不同岩石其风化程度也各不相同。由于未被风化的岩石坚硬而不易破裂,其分布区一般不会发生泥石流。而在较易风化的岩石区,由于有风化碎屑物的产生,为泥石流的发生发展提供了物质条件,因此,在这些地区容易发生泥石流。通过对研究区地层岩性与泥石流的分布研究表明,研究区泥石流主要分布在千枚岩、板岩、薄灰层岩和粉砂岩、泥岩、薄层砂岩的分布区,这些岩石的岩性都比较脆弱,极易被风化产生松散的堆积物。这说明研究区的地层岩性对泥石流的发生有一定的影响。

(2) 断层。由于断层能够使两侧岩石破碎,产生大量的碎屑物质,因此,断层两侧常常是泥石流发生的重要区域。研究区内的泥石流多集中在断层两侧的区域,离断层距离越近,受到断层的影响就越大,泥石流的分布就越密集。尤其是武都、舟曲的大部分地区,都离断裂带较近,是泥石流的高发区,这说明离断层越近,受断层的影响就越大,土体就越不稳定,越容易产生丰富的固体物质,进而引发泥石流。

(3) 地震。地震是地球内部释放能量的一种地质作用,地震的发生可以对周围岩石产生极大的破坏,从而产生大量的松散物质,为泥石流的发生提供物质条件。在研究区内,武都中部以及文县东北部的动峰值加速度最大,为0.30 g,西北部的动峰值最小,为0.10 g,宕昌和舟曲的动峰值为0.20 g。整体上表现出自东南向西北逐步减小的趋势。这种趋势充分表明,东南区比西北区受到的地质灾害强烈,其相应的地区岩石稳定性较差。整体上表现出自东南向西北逐步减小的趋势。这种趋势充分表明,东南区比西北区受到的地质灾害强烈,其相应的地区岩石稳定性较差。

### 3.1.3 水文气候因子

(1) 降水。泥石流的发生总是发生在异常降雨的过程中,尤其是当降雨量超过一定的水平,更会导致泥石流的发生。由此可见,降雨量与泥石流的发生密切相关,所以降水能够很好地反映一个地区泥石流的活跃程度。在研究区内,降雨量相对集中,主要发生在6—9月份,尤其是7—8月份,降水量非常集中,且时有强降雨发生。

(2) 水系。水系有一定的等级,等级不同的水系所对应的汇水面积和水流量均不同。水系等级越高的干流,其对周围岩石的侵蚀作用就越大,进而使沿岸边坡的临空面增加,从而引发泥石流。研究区内水

系的侵蚀作用随着海拔的增加而减小,其次,离水系较近的区域,收到水系的侵蚀作用较大,泥石流的活性也越强。由此可见,水系也是影响泥石流发生与发展的一个重要因素。

### 3.1.4 植被与土地利用

(1) 植被。植被具有保持水土、涵养水源的作用,可以减小对地表的风化作用,植被指数越高,地表的风化作用越弱,岩石就越稳固,植被指数越低,地表岩石的风化作用就越强,也就越有利于泥石流的形成。本文对白龙江流域 NDVI 指数的分布研究发现,白龙江流域的泥石流主要集中在 NDVI 指数较低的武都、舟曲和宕昌北部,其 NDVI 指数为0.3~0.5,其泥石流的分布面积占到整个流域泥石流面积的90.12%。由此可见,NDVI 是影响本区域泥石流发生的一个重要因素。

(2) 土地利用。土地利用类型对泥石流的发生与发展有不同的影响,但影响程度存在差异。例如:在武都北部、宕昌东北部及文县北部地区,草地等植被覆盖率较高的地区泥石流分布数量较少;舟曲境内和文县白龙江两岸虽然多林地覆盖,但受地形、岩性、降水等因素影响,植被防侵蚀作用较弱,因此是泥石流频发的地区;武都全境、文县北部、宕昌东北部及南部、迭部西北部草地分布面积较广,但因人类活动频繁、破坏严重,所以泥石流发育较多。综上所述,研究区泥石流主要集中在人类活动频繁的地区,可见人类活动对泥石流的发育和发展有显著的影响。

## 3.2 各因子之间的线性回归分析

如果各因子之间存在明显的线性关系,则就会产生多重线性关系,从而对泥石流的易发性和危险性评价就会产生很大的影响。为此,我们对上述10种因子进行了线性回归分析。结果表明(表2),海拔的VIF之最大,为3.323,但经验判断方法表明,当VIF<10时,各因子之间的相关性很弱,并且数值越小,其相关性也越小。这说明上述提取的10种因子之间并不存在共线性。

## 4 基于 AHP 模型的泥石流易发性评价

### 4.1 评价指标分级

为了更好地对白龙江流域泥石流易发性进行评价,本文将泥石流危险性评价进行等级划分。根据研究区的实际情况和相关专家的研究经验<sup>[6-8]</sup>,将白龙江流域泥石流易发性评价采用5级评价体系,就是将各个因子分别划分为5个等级(表3),分别对其权重赋值为5,4,3,2,1。

表 2 评价因子线性回归分析

评价因子	非标准化系数			<i>t</i>	Sig.	共线性统计	
	<i>B</i>	Std	Beta			容差	VIF
常量	0.264	0.04			5.723	0.00	
10 min 降水量	−0.007	0.001	−0.069	−6.547	0.00	0.057	2.376
地震峰值加速度	0.612	0.081	0.066	7.469	0.00	0.648	1.533
断层距离	00.002	0.002	−0.093	−12.301	0.000	0.765	1.311
滑坡密度	0.770	0.067	0.110	12.289	0.000	0.570	1.746
土地利用	0.228	0.049	0.030	4.490	0.000	0.800	1.190
NDVI	−0.290	0.033	−0.077	−9.501	0.000	0.701	1.423
坡度	0.001	0.002	0.028	4.103	0.000	0.933	1.063
地层岩性	0.554	0.027	0.112	15.917	0.000	0.867	1.119
海拔	−0.001	0.001	−0.120	−9.497	0.000	0.305	3.323
水系距离	0.001	0.001	0.157	19.978	0.000	0.689	1.454

表 3 泥石流评价等级划分

项目	等级				
	1	2	3	4	5
距断层距离/m	>18800	12100~18800	6800~12100	2500~6800	<2500
坡度/(°)	<15	15~35	35~50	50~60	>60
海拔/m	>3300	2710~3300	2155~2710	1565~2155	<1565
地震峰值加速度	0.10	0.15	0.20	—	0.30
滑坡密度	<0.02	0.02~0.06	0.06~0.12	0.12~0.20	>0.20
10 min 平均降雨量/mm	<8.95	8.95~9.85	9.85~10.90	10.90~13.25	>13.35
距水系距离/m	>4245	2830~4245	1760~2830	785~1760	<785
NDVI	>0.60	0.50~0.60	0.40~0.50	0.30~0.40	<0.30
地层岩性	OD,vδ,ε,δ,βμ,E,Σ	C <sub>1</sub> ,T <sub>3</sub> ,Jx,C <sub>2</sub> , T <sub>1-2</sub> ,T <sub>2-3</sub>	P <sub>1</sub> ,P <sub>2</sub> ,P <sub>3</sub> ,D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> ,D <sub>3</sub> ,D <sub>2-3</sub> ,PS	Qn,N,S <sub>3</sub> ,Z <sub>1</sub> , Z <sub>2</sub> ,J <sub>2</sub> ,J <sub>2-3</sub>	S <sub>1-2</sub> ,S <sub>2-3</sub> ,K <sub>1</sub> ,K <sub>2</sub> , DX,D <sub>1-2</sub> ,S <sub>1</sub> ,S <sub>2</sub>
土地利用类型	未利用	林地	草地	耕地	居民用地

4.2 泥石流危险性评价结果与分析

4.2.1 基于 AHP 模型的泥石流危险性评价 由于本论文研究范围较大,再加之影响泥石流的因素众多,为了更精确地评价白龙江流域泥石流的安全性评价。本研究根据研究区的实际情况,运用 GIS 将研究区划分为 1 km×1 km 的栅格单元作为泥石流安全性评价的单元,然后基于 AHP 模型计算出每个单元各项评价指标的权重值以及等级赋值,之后在经过综合叠加分析,获得单元内泥石流危险性的综合指数。

叠加综合指数计算公式<sup>[14]</sup>：

$$V_j = \sum_{i=1}^n \theta_i Q_i$$

式中: $V_j$  为  $j$  评价单元泥石流的危险性综合指数; $\theta_i$  为第  $i$  类评价指标的权重; $Q_i$  为第  $i$  类指标的赋值; $n$  为评价指标的个数。

经过计算,本研究区  $V_j$  的范围为 1.564 3~4.738 8,根据白龙江的具体情况,确定泥石流评价等级划分标准(表 4),之后运用 AHP 模型获取研究区内的泥石流危险性评价结果(附图 5)。

从白龙江泥石流危险性评价结果(附图 5)可以看出,

白龙江流域泥石流从西北至东南呈现危险等级递增的趋势,极度危险区和高度危险区主要分布在宕昌南部、武都北部、文县中北部以及舟曲东北侧的白龙江干流沿岸;中度危险区主要在极度和高度危险区四周分布;轻度危险区分布比较分散,其主要的分布区有文县东北部、宕昌东北部及迭部西北部区域,微度危险区主要是在研究区的西北部,但在文县西南部也有少量的分布。

表 4 基于 AHP 模型的泥石流危险性评价等级划分

危险性级别	等级说明	等级标准
1	微度危险性	$V_j < 2.8$
2	轻度危险性	$2.8 < V_j < 3.2$
3	中度危险性	$3.2 < V_j < 3.6$
4	高度危险性	$3.6 < V_j < 4.0$
5	极度危险性	$4.0 < V_j$

4.2.2 基于信息熵模型的泥石流危险性评价 在对影响白龙江流域泥石流因素分析的基础上,本文将影响白龙江流域的 10 个评价指标数据整理成初始评价指标矩阵  $S(18325 \times 10)$ ,其中高程、距水系距离、距断层距离和 NDVI4 个指标为负指标,按照公式  $r_{ij} = \frac{\max(j) - x_{ij}}{\max(j) - \min(j)}$  进行标准化处理,其余指标为正指

标,按照公式  $r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(j)}{\max(j) - \min(j)}$  进行标准化处理,式中: $x_{ij}$  为第  $i$  个区划单元的第  $j$  个评价指标实际值; $\max(j)$  和  $\min(j)$  为评价指标值域的上下界; $r_{ij}$  为指标标准化值,其取值范围为  $0 \sim 1$ 。进行处理后,便可得到标准化矩阵  $R(18325 \times 10)$ ,在此基础上,在 Matlab 中按照上式进行计算,得到每个评价指标的信息熵  $E(j)$ ,指标权重  $W(j)$  以及每个栅格评价单元的易发性因子  $F(i)$ (表 5),由于易发性因子较多(18 325 个),在此不便给出。在此基础上本文根据研究区历史泥石流发生规模和频率,并参考以往学者研究的成果,将泥石流危险性划分为 5 级,具体见表 5。

表 5 泥石流危险评价等级划分

危险性级别	等级说明	等级标准
I	微度危险性	$0 < F(i) < 0.2$
II	轻度危险性	$0.2 < F(i) < 0.3$
III	中度危险性	$0.3 < F(i) < 0.4$
IV	高度危险性	$0.4 < F(i) < 0.5$
V	极度危险性	$0.5 < F(i) < 1$

在等级划分的基础上,本文利用 ArcGIS 软件将每个栅格单元的易发性评价因子与栅格数据相关联,从而得到研究区泥石流的危险性评价结果(附图 6)。结果表明在白龙江流域,泥石流易发性评价因子整体上呈现出从东南到西北递减的趋势,具体来说极度危险区和高度危险区主要分布在武都北部、宕昌南部、文县中北部地区以及舟曲的东北侧;中度危险区分布较为散乱,主要分布在文县的中部、东南部,也有少量分布在宕昌的中东部,总体来说,中度危险区主要分布在极度危险区和高度危险区四周;轻度危险区主要分布在文县的东南部、宕昌西北部以及武都南部;微度危险区主要在整个流域的西北部。

5 结论

在研究区,泥石流的发生与发展受诸多因素的影响,在此基础上,基于信息熵和 AHP 模型对影响泥石流的因素进行了综合分析,并获取了泥石流危险等级分布图,分级结果表明,在白龙江流域,基于信息熵模型的泥石流危险等级分布与基于 AHP 模型的危险性等级分布呈现出整体上相似,局部地区有差异的规律。具体表现为:白龙江流域泥石流从西北至东南呈现危险等级递增的趋势,极度危险区和高度危险区主要分布在宕昌南部、武都北部、文县中北部以及舟曲东北侧的白龙江干流沿岸;中度危险区主要在极度

和高度危险区四周分布;轻度危险区分布比较分散,其主要的分布区有文县东北部、宕昌东北部及迭部西北部区域,微度危险区主要是在研究区的西北部,但在文县西南部也有少量的分布。但通过实际调查发现,宕昌、武都、文县和舟曲是白龙江流域泥石流的频发区,其泥石流面积分别占整个流域面积的 21.3%,28.9%,12.08%和 40.88%,调查结果与信息熵模型评价结果更为相似,这说明信息熵模型能够更好地预测白龙江流域泥石流的发生与发展,对未来白龙江流域的灾害治理有很好的指导作用。

参考文献:

[1] 李志平,陈平货,阴国胜. 污染河水中磷对浅层地下水的影响[J]. 吉林大学学报,2004,34(3):435-440.

[2] 许小权,曾思伟,李鸿琰. 甘川公路的泥石流及其防治[C]//甘肃省冰川研究所. 泥石流学术讨论会兰州会议论文集. 成都:四川科学技术出版社,1986.

[3] 李永华,张小咏,崔之久. 陇南山地泥石流期、气候期与构造期的耦合[J]. 水土保持研究,2003,10(2):96-100.

[4] 任非凡,谌文武,韩文峰,等. G212 线陇南段泥石流发育成因及其时空分布特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(S1):3237-3243.

[5] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学,1988,3(3):10-15.

[6] 田菲,马金辉,弥沛峰,等. 基于 GIS 和 Logistic 模型的白龙江流域泥石流危险性分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(15):4725-4727.

[7] 唐川,马国超. 基于地貌单元的小区域地质灾害易发性分区方法研究[J]. 地理科学,2015,35(1):91-98.

[8] 刑钊. 基于信息熵与 AHP 模型的白龙江流域泥石流危险性评价[D]. 兰州:兰州大学,2012.

[9] 李雪平,唐辉明. 基于 GIS 的分组数据 Logistic 模型在斜坡稳定性评价中的应用[J]. 吉林大学学报,2005,35(3):361-365.

[10] Ash Robert R. Information Theory[M]. New York: Dover Publications, 1990.

[11] Okimura T. A slope stability method for predicting rapid mass movements on granitemountain slopes[J]. Natural Disaster Science, 1983,5(1):13-30.

[12] 谷天峰,王家鼎,付新平. 基于斜坡单元的区域斜坡稳定性评价方法[J]. 地理科学,2013,33(11):1400-1405.

[13] 丁宏伟. 甘肃省舟曲地质灾害发育特征及典型地质灾害剖析[J]. 甘肃地质,2012,21(1):47-53.

[14] Wadge G A, Wislocki P. Special analysis in GIS for nature hazard assessment[M]// Skidmore A. Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing. Oxford: Oxford University Press, 1993.