

# 甘肃南部武都地区泥石流危险性评价

宁娜<sup>1,2</sup>, 田黎明<sup>2</sup>, 张鹏<sup>2</sup>, 齐识<sup>2</sup>, 马金珠<sup>2</sup>

( 1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000 )

**摘 要:** 泥石流的发生受控于多种因子, 而各因子属性段对泥石流的发生起到不同的作用。以甘肃南部武都地区为研究区, 考虑到地震扰动影响并结合当地的地质环境条件, 选取了高程、坡度、岩性、土地利用类型、滑坡点密度、地震因子、地质构造缓冲区及归一化植被指数( NDVI ) 等 8 个评价因子进行危险性评价。而后基于信息量模型和敏感性分析法对各影响因子属性类进行计算分析, 得到各属性类的量化值。最后通过叠置分析, 得到泥石流灾害危险性分区。结果表明, 在中度、高度及极高度危险区内, 信息量模型中分布的泥石流面积占研究区泥石流总面积的百分比为 22.5%、24.7%、37.2%, 而敏感性模型中占到的比例分别为 25.5%、28.1% 和 36.4%。敏感性模型中中度危险区以上包含的泥石流比例占到 90%, 大于信息量模型的 84.4%, 因此, 采用敏感性模型得到的危险性分区结果具有更高的精确性, 能够为实际应用提供参考依据。

**关键词:** 泥石流; 危险性评价; 信息量法; 敏感性分析法

**中图分类号:** P642.23

**文献标志码:** A

随着人类社会的不断进步与发展, 对于发展中国家, 每年由于地质灾害和地质环境加剧恶化所产生的经济损失达到国民生产总值的 5% 以上, 因此说地质灾害已经成为人类社会所面临的一个巨大挑战<sup>[1]</sup>。泥石流作为最严重的地质灾害之一, 一旦发生, 造成的人员伤亡和财产损失颇为惨重。我国是多山之国, 受断裂等地质构造的影响, 山体陡峭且松散堆积物储量丰富, 常发生严重的泥石流灾害。因此, 泥石流灾害危险性评价愈来愈受到社会各界的广泛关注。近年来国外基于 GIS 技术的区域地质灾害危险性评价和预测预警研究发展较快<sup>[2-4]</sup>, 国内也随着全国“县(市)地质灾害调查与信息系统建设”项目的逐步实施, 使得基于 GIS 系统的区域地质灾害危险性评价快速推广发展。阮沈勇等人将信息量模型与 GIS 系统相结合, 对长江三峡库区新滩-巴东段的地质灾害进行了研究, 得出了该地区的危险性区划<sup>[5]</sup>。高克昌<sup>[6]</sup>等人以重庆万州滑坡为

研究对象, 运用 GIS 技术, 结合信息量模型, 对万州区的地质灾害进行危险性评价, 得到了分区结果。孟凡奇<sup>[7]</sup>等人将 GIS 与证据权模型相结合, 对吉林省磐石市泥石流危险度进行了区划, 得到了较精确的危险性分区结果。罗真富<sup>[8]</sup>等将 GIS 和信息量法相结合, 进行了泥石流流域滑坡危险性评价的研究, 体现了滑坡因子的重要性。魏从玲<sup>[1]</sup>基于 GIS 的空间分析功能和数理统计方法, 对巫山县滑坡泥石流灾害进行了综合研究。

综上, 在泥石流危险性评价中, GIS 技术和数理统计模型相结合越来越受到重视和应用。本文通过对研究区进行实地调查和资料收集, 参阅大量文献并考虑地震扰动影响, 最终选取了高程、坡度、岩性、土地利用类型、滑坡点密度、地震因子、地质构造缓冲区及归一化植被指数( NDVI ) 8 个评价因子, 基于信息量模型和敏感性分析法进行计算分析, 得到了武都地区泥石流灾害危险性分区结果。

收稿日期( Received date ): 2013 - 03 - 13; 改回日期( Accepted ): 2013 - 04 - 03。

基金项目( Foundation item ): 国家科技支撑计划项目( 2011BAK12B05 ) 资助。[ Supported by National Science and Technology Pillar Program ( 2011BAK12B05 ) . ]

作者简介( Biography ): 宁娜( 1989 - ), 女, 汉族, 甘肃武威人, 硕士研究生, 主要从事水文过程与泥石流灾害方面的研究。[ Ning Na, female, born in Wuwei, Gansu, master graduate student, majoring in the research on hydrological process and debris flow hazards assessment. ] E-mail: ningn11@lzu.edu.cn; Tel: 15002585512

## 1 研究区概况

研究区在行政上属于甘肃省陇南市武都区,介于  $104.34^{\circ} \sim 105.38^{\circ} \text{E}$ ,  $32.48^{\circ} \sim 33.43^{\circ} \text{N}$ , 面积  $4\,683 \text{ km}^2$ , 属长江流域嘉陵江水系。武都地区降雨量年内分配不均匀, 多年平均降水量  $487.2 \text{ mm}$ , 其中 5—9 月降水量占全年降水总量的  $75\% \sim 85\%$ 。泥石流灾害年内分配与降水量有很好的相关性, 主要集中在 7—9 月暴雨期。

武都地处地质、气候与生态环境脆弱带的重叠区域, 生态环境脆弱, 是全国主要泥石流分布密集区之一<sup>[9]</sup>, 区内泥石流活跃且正处于发展期, 暴发频率高。该区泥石流主要受地质构造控制, 加之地震和强降雨等自然因素的激励作用, 加剧了其暴发频率。“5·12”汶川大地震, 严重破坏了该区山体和岩土构造的稳定, 从而为泥石流的发生提供了更充足的松散物质条件, 加剧了滑坡、泥石流等的发生。经过调查统计, 目前全县有 275 个村庄处于地质灾害威胁之中, 受威胁的人员有 159 766 人, 占全县总人口的 31%; 受威胁的财产约 57 420 万元。全县具有危害、威胁人民生命财产安全和重要交通、工程设施的灾害性泥石流沟 264 条, 占泥石流沟总数的 75.7%, 区域上主要密集分布于武都区白龙江干流两岸, 北峪河马街以下地段以及勾坝河、福津河等地段。在白龙江干流, 其线密度可高达  $5 \sim 8 \text{ 条/km}$ 。

## 2 基于 GIS 技术的泥石流危险性区划

### 2.1 评价指标体系的建立

泥石流的形成受控于多种因素, 各个影响因素的性质以及作用的大小往往是不同的。针对武都地区特殊的地质环境, 一套评价体系不仅要反映当地泥石流发生、孕育的自然属性, 还要服务于相关部门的决策分析。因此, 对于研究区泥石流危险性评价, 我们应综合考虑因子的完整性, 以达到“最佳因素组合”。Van Westen 等<sup>[10]</sup>对多尺度下滑坡、泥石流灾害的危险性、风险性进行了分析研究, 并提出了相应的分析模型; 国内唐川、刘希林等也较早展开了区域泥石流危险性研究, 并选取地形指标、岩性指标、构造指标、地震指标等提出了区域泥石流危险度的多因子综合评价模型<sup>[11-12]</sup>。郭继发等<sup>[13]</sup>选取地貌、地质、灾害点分布、植被等因素进行了多尺度区

域泥石流危险性评价; 韩金华<sup>[14]</sup>从地质因子、地貌因子、水文气象因子及人类活动因子 4 个方面确定因子, 进行了泥石流危险性评价; 焦金鱼<sup>[15]</sup>结合灰色关联度分析法选择了高程、山坡坡度、植被覆盖率等 8 个因素作为泥石流危险性评判因子, 得到了岷县泥石流灾害危险性评判结果。本文通过分析当地的泥石流历史灾害特征, 同时结合研究区特殊的地貌及地质环境条件, 确定了以下 8 个评价因子, 各因子特征具体如下。

#### 2.1.1 高程

高程对泥石流的分布有着一定的影响。通过对研究区高程分布的分析, 泥石流在  $1\,800 \sim 2\,500 \text{ m}$  和  $2\,500 \sim 3\,100 \text{ m}$  范围内分布较为密集, 泥石流沟面积占到研究区泥石流沟总面积的 60.18%。而在小于  $1\,800 \text{ m}$  范围和大于  $3\,100 \text{ m}$  范围内泥石流分布相对较少。因此说, 高程分布在  $1800 \sim 3100 \text{ m}$  范围内时最有利于泥石流的发生。

#### 2.1.2 坡度

一般而言, 地形坡度为松散物质势能向动能转化的主要因素<sup>[16]</sup>。坡度控制着斜坡上松散物质的堆积厚度以及斜坡体稳定程度。坡度较小地区, 不易发生泥石流, 随着坡度的增大, 影响泥石流沟的水土势能增大, 相应泥石流发生的概率也增大。在 Arcgis 中将坡度分为 5 个类别, 然后与提取的泥石流沟进行叠加统计, 在坡度  $< 25^{\circ}$  范围内, 地势相对比较平缓, 尚不能为泥石流发生松散堆积物提供势能条件, 泥石流分布较少, 而在  $> 25^{\circ}$  范围内, 坡体稳定性降低, 坡体堆积物成为泥石流的丰富物源。经统计, 此范围内泥石流沟面积占到泥石流总面积的 55.80%, 因此该坡度范围为松散物源的堆积提供了条件, 也最有利于泥石流灾害的发生。

#### 2.1.3 地层岩性

一个地区的地层岩性与泥石流发育和形成关系密切, 地层岩性决定或影响泥石流的性质。研究区出露的地层主要有志留系、泥盆系、二叠系、三叠系、侏罗系、第三系和第四系。岩浆岩为印支期花岗闪长岩<sup>[17]</sup>。根据区域地质资料, 本文将研究区岩性类型进一步细化, 大致分为 7 类岩组, 分别为: G(厚层砾岩、砂砾岩)、C(变质安山岩、变质凝灰岩、变质玄武岩)、F(中厚层砂岩、板岩夹灰岩)、E(中厚层灰岩、板岩)、D(千枚岩、板岩、薄层灰岩)、B(变质砂岩、变质砾岩、板岩)、H(粉砂岩、泥岩、薄层砂砾岩)。经分析, 泥石流沟在 D 及 H 的岩组中分布较多, 泥

石流沟面积占到泥石流沟总面积的 61.67%。通过实地考察验证,D及H岩组主要为千枚岩、板岩、薄层灰岩及粉砂岩、泥岩,属软硬相间地层。一般软弱的岩层或软硬相间的岩层比岩性均一的坚硬岩层更容易遭到破坏,因此说此两类岩组岩性比较脆弱,极易风化成为泥石流的物源。

#### 2.1.4 土地利用类型

研究区土地利用类型主要为林地、草地、耕地、水域、工矿居民用地及未利用土地。在GIS技术支持下结合信息量算法分析其与泥石流沟分布关系,得知土地利用类型为草地、耕地、未利用土地及城乡工矿用地的区域发育泥石流沟相对较多,占到泥石流沟总面积的 88.68%。而在水域及林地地区由于植被涵养水源和固土能力较强,发育泥石流沟相对较少。通过实地考察验证,城乡工矿及居民点都主要建设在沟谷里、沟口冲洪积扇上,或古滑坡体上,建设过程中大量的开挖活动,改变了原有的地貌形态、坡度与下垫面条件,地表土层结构遭到严重破坏,是泥石流的很好物源。再者,在人为因素的影响下,人类大量垦坡种植,改变了地表原有形态,形成了厚层至中厚层松散堆积碎石土,在强降雨条件下较易发生泥石流。

#### 2.1.5 滑坡点密度

滑坡是泥石流产生的又一重要物源,在研究区域内,滑坡引发泥石流次生灾害情况较多,严重威胁着当地人民的生产生活。因此说,滑坡是引起泥石流的重要因子。本文结合研究区历史灾害情况,引入滑坡点密度这一因子用来表达泥石流灾害的物质来源。经过统计分析,滑坡点密度越高,泥石流发生的可能性也越大,滑坡点密度 $>0.03$ 范围内,泥石流面积占到泥石流总面积的 69.90%。

#### 2.1.6 地质构造缓冲区

研究区第四纪以来,构造活动比较强烈,形成了高山、峡谷的特殊地貌,地质构造较为复杂。地质图中,断层表现为呈走向一致的线,但实际上它呈具有一定缓冲宽度的条带状。且大多数泥石流沟都沿着大断层两侧发育,同时距离断层越近,岩石的破碎程度越高,松散物越多,泥石流物源越丰富,发生泥石流可能性越大。本文通过对断层进行缓冲区分析,得出在距离断层中心线 1 000~3 000 m 范围内泥石流沟发育程度最大,占到泥石流总面积的 81.88%。

#### 2.1.7 归一化植被指数(NDVI)

泥石流流域的植被分布是影响泥石流形成的重

要因素。一般来讲,植被覆盖率高,流域生态环境好,发生泥石流可能性就小,反之则大。武都地区,由于构造活动强烈、岩石破碎且崩塌、滑坡也较为发育,因此植被分布对泥石流的控制作用愈加明显。NDVI 是反映植被空间分布密度的最佳指标因子<sup>[18]</sup>,NDVI 数值的大小表示着植被的覆盖程度。统计发现,NDVI $<0.3$ ,泥石流沟面积约占到泥石流总面积的 65.53%,是泥石流灾害密集区和高发区,主要分布在白龙江干流两岸河谷地区,在此范围内,植被覆盖度较低,植被固土保水能力差,岩土体失稳,易于泥石流的发生。研究区内 NDVI $>0.60$  的区域面积较小,此范围内分布的泥石流流面积也较小。

#### 2.1.8 地震

研究区位于印度-亚洲板块碰撞带的东部边界,即我国南北地震带中北段,新构造活动极为强烈,地震活动频繁。汶川大地震诱发了崩塌、滑坡、地裂等一系列地质灾害,为泥石流的发生提供了丰富的物质条件,因此说,地震也是引发研究区泥石流灾害的重要因子。本文选用 50 a 超越概率为 10% 的地震动峰值加速度(gal)来表征地震因子。经分析,当地震动峰值加速度在 249.26~274.56 和 274.56~299.86 范围内时,有利于泥石流的发生,经叠加统计,此类别范围内发生的泥石流面积占到泥石流总面积的 73.46%,因此说当地震动峰值加速度大于 249.26 时,有利于泥石流的发生。

### 2.2 泥石流灾害危险性分析

信息量模型由于具有科学的信息量计算公式,其简明的计算原理和公式推导,使得每个因子特定类别的权重计算更为定量客观,避免了人为的主观臆断。敏感性模型将研究区和泥石流沟栅格化,得到各因子类别的敏感性计算值,而后据敏感性大小对各指标因子进行筛选,并按照敏感性大小比例对各指标进行量化。两种模型各因子最终的叠加分析,使得评价结果趋于定量、综合化,提高了评价结果的可靠性和精确度,在地质灾害评价及空间预测方面已得到了广泛的认可。本文首先基于GIS技术,结合信息量法进行了武都地区泥石流危险性区划,进而将GIS技术结合敏感性分析方法与信息量法相互进行印证,并结合实际情况,以得到较为准确的危险性区划结果。

#### 2.2.1 信息量法分析

信息量法应用于泥石流危险性区划的主要思路

是:把反映影响研究区域稳定性的各个因子特定属性段的实测值,结合 Arcgis 强大的数据处理能力及信息量模型计算,将实测值转化为能够反映研究区稳定性的信息量值,进而通过计算各影响因素对泥石流所提供的信息量大小来评价其对当地泥石流发生的贡献大小<sup>[19]</sup>。

使用信息量模型进行泥石流危险性区划就是在评价单元内将各指标对泥石流影响的信息量进行叠加,确定该评价单元内各因素对泥石流发生的综合信息量值,最后根据信息量值越大越有利于泥石流发生的原理,根据综合信息量值做危险性区划。具体过程如下:

1. 单独计算各评价因子类别  $X_i$  对泥石流发生 ( $H$ ) 提供的信息量  $I(X_i, H)$

$$I(X_i, H) = \ln \frac{P(X_i, H)}{P(X_i)} \quad (1)$$

式中  $P(X_i, H)$  为泥石流发生 ( $H$ ) 条件下出现某评价因子类别  $X_i$  的概率;  $P(X_i)$  为研究区内出现某评价因子类别  $X_i$  的概率。

公式(1)是信息量法的理论模型,我们在实际计算过程中,一般采用公式(2)进行信息量值计算

$$I(X_i, H) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

式中  $N_i$  为分布在某特定评价因子类别  $X_i$  内的泥石流流单元面积,  $N$  为整个研究区内泥石流分布的单元总面积,  $S_i$  为研究区内含有某评价因子类别  $X_i$  的单元面积,  $S$  为整个研究区域的单元总面积。

2. 计算单个评价单元内的总信息

$$I = \sum_{i=1}^n I_i(X_i, H) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (3)$$

式中  $I$  为某评价单元内总的信息量值,  $n$  为参评因子数。

根据信息量模型原理,将总的信息量  $I$  作为该评价单元影响泥石流发生的综合指标,其值越大越有利于泥石流的发生。因此,最后通过将各个评价单元的信息量值排序并进行范围划分,据此得到泥石流危险性分区。

将上述 8 个影响因素根据属性类赋值和式(1)~(3)计算得到各影响因素的信息量值,计算结果见表 1。

信息量法原理表明,评价因子各属性类别的值越大,此类别越易于泥石流的发生,对泥石流发生的贡献较大。从表 1 的计算结果,我们得出:当高程分布范围为 1 800 ~ 3 100 m,坡度 > 15°范围,岩性类

表 1 各因子信息量值计算结果

Table 1 Result of information values

评价指标	指标分类	信息量计算		
		$N_i$	$S_i$	$I_i$
高程/m	646 ~ 1 200	983	5 740	-0.600 890
	1 200 ~ 1 800	8 282	29 928	-0.121 000
	1 800 ~ 2 500	12 345	34 582	0.133 633
	2 500 ~ 3 100	1 686	4 363	0.212 914
	3 100 ~ 3 536	18	86	-0.400 260
坡度/°	0 ~ 15	4 104	14 350	-0.088 070
	15 ~ 25	6 199	19 698	0.007 586
	25 ~ 45	10 844	34 079	0.018 646
	45 ~ 60	2 057	6 306	0.043 462
	60 ~ 75	107	261	0.272 023
岩性	C	4 738	16 421	-0.079 230
	F	19	1 263	-3.033 090
	H	3 589	8 041	0.357 035
	D	10 778	19 911	0.549 950
	E	18	3 517	-4.111 280
	G	1 375	4 925	-0.112 160
土地利用类型	B	2 778	20 524	-0.836 150
	草地	12 367	37 031	0.066 991
	耕地	7 976	19 691	0.259 990
	林地	2 592	16 446	-0.683 940
	工矿居民用地	232	704	0.053 674
	水域	42	275	-0.715 390
NDVI	未利用土地	74	108	0.785 649
	<0.3	15 266	29 947	0.489 914
	0.3 ~ 0.4	5 376	23 932	-0.329 560
	0.4 ~ 0.5	2 055	17 279	-0.965 500
	0.5 ~ 0.6	553	3 446	-0.665 900
	0.6 ~ 0.67	45	76	0.639 644
构造缓冲区 /m	<1 000	9 130	23 634	0.212 594
	1 000 ~ 2 000	6 040	15 628	0.213 055
	2 000 ~ 3 000	3 903	10 768	0.148 882
	3 000 ~ 4 000	2 459	7 229	0.085 369
	4 000 ~ 5 000	1 080	4 495	-0.262 290
	>5 000	683	12 926	-1.776 79
滑坡点密度 /(个/单元)	<0.01	2 667	18 489	-0.772 51
	0.01 ~ 0.03	4 346	23 332	-0.516 85
	0.03 ~ 0.06	7 809	19 352	0.256 196
	0.06 ~ 0.1	4 854	8 510	0.602 276
	>0.1	3 619	5 169	0.807 233
地震因子 (gal)	<201.28	0	8 935	0
	201.28 ~ 227.52	101	11 177	-3.542 78
	227.52 ~ 249.26	6 082	20 351	-0.044 08
	249.26 ~ 274.56	9 205	21 458	0.3173 64
	274.56 ~ 299.86	7 907	12 931	0.6718 36

别为 D 和 H 岩组,土地利用类型除林地和水域之外,NDVI < 0.3,构造线缓冲区在 1 000 ~ 3 000 m 范围,滑坡点密度 > 0.03,地震动峰值加速度 > 249.26 时,此等类别的信息量值较大。然后用 Arcgis 的

Reclassify 功能进行各因子类别信息量赋值,由于 Arcgis 重分类赋值是取整运算,因此,将所有信息量值扩大 100 000 倍,以保持数据的精确度和有效性,最终得到各个因子的信息量专题图层,然后利用 Arcgis 的 Raster Calculation 功能将各信息量图层进行叠加计算,得到一个研究区的综合信息量值图层。再使用 Arcgis 重分类功能将综合信息量值分成 5 类,最后得到研究区泥石流危险性分区图(图 1(a))。最后,将最终得到的泥石流灾害危险性分区图与实际泥石流沟面积图层进行叠加,并进行相关的分析计算,如表 3 所示。

### 2.2.2 敏感性分析

为了对同一研究区的泥石流危险性分区结果进行检验和相互补充,以提高评价结果的精确度,我们拟运用敏感性空间分析法对前述信息量模型获得的结果进行检验。泥石流危险性评价因子的敏感性分析,就是用贝叶斯条件概率模型对泥石流和网格数据的各个因子属性进行相对频率定量计算,进而分析泥石流敏感性的空间分布<sup>[20]</sup>。具体过程如下:

1. 首先计算泥石流和栅格各个属性的相对频率:

对泥石流数据:  $DPmn(L) = Pmn(L) / Pm(L)$

对栅格数据:  $DPmn(G) = Pmn(L) / Pm(G)$

2. 计算各个因子属性的敏感性:  $PDmn = DPmn$

(L) /  $DPmn(G)$ ;

其中,  $Pmn$  代表因子  $m$  的某属性类别  $n$  出现的频率,  $DPmn(L)$  表示泥石流的属性类别相对频率,  $DPmn(G)$  表示栅格的属性类别相对频率。

3. 求出各因子属性类别的敏感性值,若敏感性值  $> 1$ ,说明该因子属性对泥石流的发生有影响,若敏感性值  $< 1$ ,说明该因子属性与泥石流的发生无关,在做危险性评价时就不作为参评因子。

通过对评价指标各因子属性类别进行敏感性计算,可以根据敏感性大小对各指标因子进行筛选,并按照敏感性大小比例对各指标进行量化,计算和筛选结果如表 2 所示。

4. 对于筛选出来的评价因子,得到各因子类别敏感性占有所有因子类别敏感性的比值作为指标权重,得到最终的泥石流敏感性分布图,然后使用 arcgis 重分类功能,得到研究区泥石流危险性分区图(图 1(b))。最后,将泥石流分布面积和危险性分区图层进行叠加,进行相关分析计算,如表 3 所示。

本文将两种方法进行比较,但敏感性分析法和信息量法是不能直接对比的,因此我们将评价结果与实际的泥石流沟进行叠加,然后利用 Arcgis 中空间分析的 Zonal Statistics 功能统计出各危险等级内发生的泥石流沟面积,如表 3 所示。从两种方法得到的危险性分区图可以看出,各危险级别的位置基本

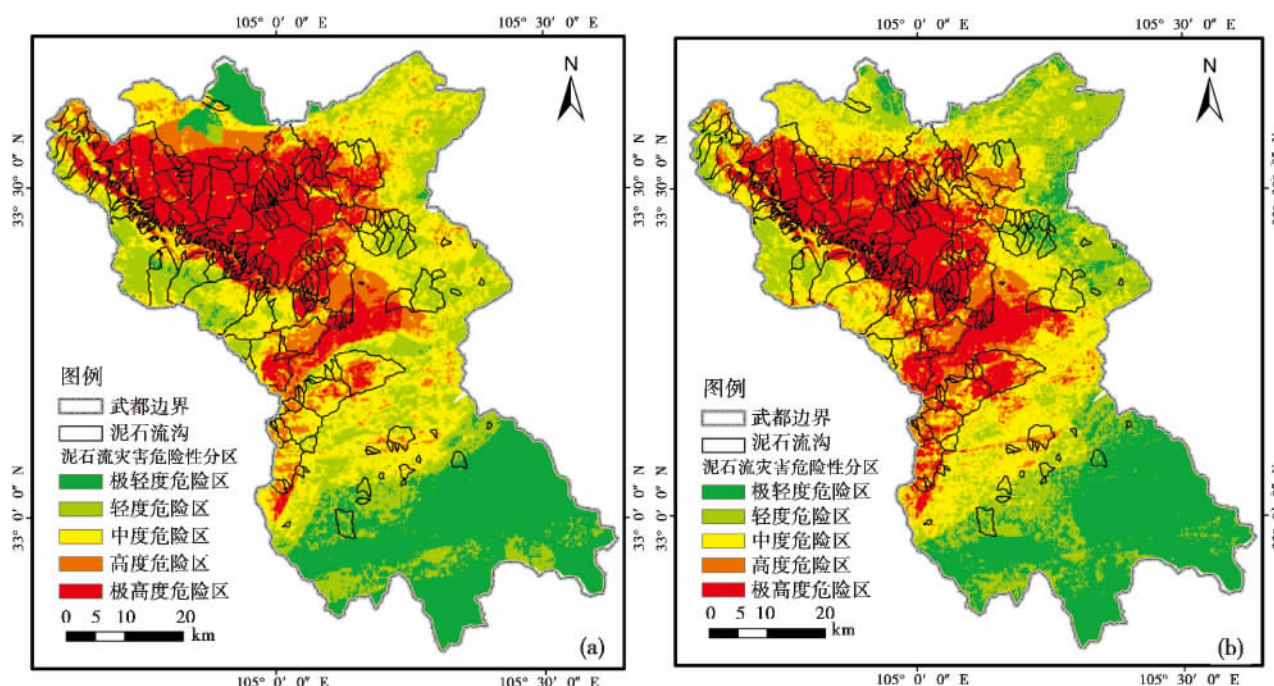


图1 武都泥石流危险性分区

Fig. 1 The debris flow hazard zoning map of Wudu

表 2 各因子敏感性值筛选和计算结果

Table 2 Value of selected indices for sensitivity analysis of debris flow

评价指标	指标分类	敏感性计算			是否影响	指标赋值
		DPmn( L)	DPmn( G)	PDmn		
高程 /m	646 ~ 1 200	0.042	0.077	0.548	否	
	1 200 ~ 1 800	0.355	0.401	0.886	否	
	1 800 ~ 2 500	0.530	0.464	1.143	是	0.035
	2 500 ~ 3 100	0.072	0.058	1.237	是	0.038
	3 100 ~ 3 536	0.001	0.001	0.670	否	
坡度 /°	0 ~ 15	0.176	0.192	0.916	否	
	15 ~ 25	0.266	0.264	1.008	是	0.031
	25 ~ 45	0.465	0.457	1.019	是	0.031
	45 ~ 60	0.088	0.085	1.044	是	0.032
	60 ~ 75	0.005	0.003	1.313	是	0.040
岩性	C	0.203	0.220	0.924	否	
	F	0.001	0.017	0.048	否	
	H	0.154	0.108	1.429	是	0.044
	D	0.463	0.267	1.733	是	0.053
	E	0.001	0.047	0.016	否	
	G	0.059	0.066	0.894	否	
	B	0.119	0.275	0.433	否	
土地利用类型	草地	0.531	0.496	1.069	是	0.033
	耕地	0.342	0.264	1.297	是	0.040
	林地	0.111	0.220	0.505	否	
	工矿居民用地	0.010	0.009	1.055	是	0.032
	水域	0.002	0.004	0.489	否	
	未利用土地	0.003	0.001	2.194	是	0.068
NDVI	0 ~ 0.3	0.655	0.401	1.632	是	0.050
	0.3 ~ 0.4	0.231	0.321	0.719	否	
	0.4 ~ 0.5	0.088	0.232	0.381	否	
	0.5 ~ 0.6	0.024	0.046	0.514	否	
	0.6 ~ 0.7	0.002	0.001	1.896	是	0.058
构造缓冲区 /m	< 1 000	0.392	0.317	1.237	是	0.038
	1 000 ~ 2 000	0.259	0.209	1.237	是	0.038
	2 000 ~ 3 000	0.168	0.144	1.161	是	0.036
	3 000 ~ 4 000	0.106	0.097	1.089	是	0.034
	4 000 ~ 5 000	0.046	0.060	0.769	否	
	> 5 000	0.029	0.173	0.169	否	
滑坡点密度 / (个/单元)	< 0.01	0.114	0.248	0.462	否	
	0.01 ~ 0.03	0.187	0.313	0.596	否	
	0.03 ~ 0.06	0.335	0.259	1.292	是	0.040
	0.06 ~ 0.1	0.208	0.114	1.826	是	0.056
	> 0.1	0.155	0.069	2.242	是	0.069
地震因子( gal)	< 201.28	0.000	0.120	0.000	否	
	201.28 ~ 227.52	0.004	0.150	0.029	否	
	227.52 ~ 249.26	0.261	0.273	0.957	否	
	249.26 ~ 274.56	0.395	0.288	1.374	是	0.042
	274.56 ~ 299.86	0.339	0.173	1.958	是	0.060

表 3 危险性评价结果与实际泥石流分布对比表  
Table 3 Comparison between evaluation results and actual debris flow distribution

研究方法	危险等级	各危险等级面积 /	各危险等级占研究区面积的% ( a )	泥石流沟面积	泥石流沟面积占泥石流沟总面积的% ( b )	泥石流分布密度	b/a
信息量法	极轻度	16 519	0. 221	363	0. 016	0. 022	0. 070
	轻度	15 736	0. 211	3 239	0. 139	0. 206	0. 659
	中度	18 448	0. 247	5 240	0. 225	0. 284	0. 909
	高度	11 582	0. 155	5 756	0. 247	0. 497	1. 591
	极高度	12 313	0. 165	8 700	0. 372	0. 707	2. 262
敏感性法	极轻度	16 507	0. 221	263	0. 011	0. 016	0. 051
	轻度	15 741	0. 211	2 071	0. 089	0. 132	0. 421
	中度	18 474	0. 248	5 936	0. 255	0. 321	1. 029
	高度	11 545	0. 155	6 551	0. 281	0. 567	1. 817
	极高度	12 331	0. 165	8 477	0. 364	0. 687	2. 201

注: 面积均以栅格数表示 栅格大小为 250 m。

对应 这两种结果是可以相互验证的 ,同时也说明了评价结果合理。通过泥石流危险性评价结果与实际泥石流分布对比表我们不难发现 ,当两种方法中各危险等级面积基本保持一致的情况下 ,两种方法的评价结果中统计得到的各危险等级中泥石流密度与研究区总的泥石流密度的比值随着危险等级的增加而增大。将野外实地泥石流调查数据和危险性区划图相叠加 ,得到信息量法各危险等级内的泥石流分布密度依次为 0. 022、0. 206、0. 284、0. 497、0. 707 ,而敏感性方法各危险级别内的泥石流密度依次为 0. 016、0. 132、0. 321、0. 567、0. 687 ,可以看出后者得到的泥石流密度在轻度和极轻度危险区较前者小 ,而在中度危险区以上较前者大。针对这一特征 ,我们进行了野外调查验证 ,在极轻度区、轻度区 ,泥石流发育程度较低 ,而在中度以上区域 ,泥石流发育程度较大 ,由此 ,泥石流实际发育程度与敏感性方法中泥石流密度分布情况更相符。再者 ,在中度危险等级以上 ,信息量法得到的泥石流沟面积占研究区泥石流沟总面积的百分比为 84. 4% ,而敏感性分析法得到的泥石流沟面积占研究区泥石流沟总面积的百分比为 90% ;在高度危险等级以上 ,敏感性分析法包含了 64. 5% 的泥石流沟面积亦大于信息量法包含的 61. 9% ;因此说 ,用敏感性分析法进行危险性分区较信息量法更精确一些 ,同时 ,能够通过危险性分区为当地泥石流灾害防治预警提供决策支持。

3 结论

1. 通过参阅大量文献和野外实地考察 ,首先选取了高程、坡度、岩性、土地利用类型、滑坡点密度、地质构造缓冲区及归一化植被指数( NDVI ) 等因子 ,尤其考虑到武都地区受强烈地震扰动这一影响 ,本文加入了地震因子进行研究区危险性评价 ,得到了较好的结果。

2. Arcgis 空间分析技术与信息量法和敏感性分析法相结合 ,实现了评价结果从单一、定性到综合、定量的转化 ,使得评价结果更为精确和可靠。同时 ,经统计计算结果表明 ,落在敏感性分析法中度危险区、高度危险区范围内的泥石流沟面积占研究区泥石流沟总面积的比值大于落在信息量法相应级别之内的比值 ,且敏感性法得到的泥石流密度在轻度和极轻度危险区较信息量法小 ,而在中度危险区以上较信息量法大 ,这相对更符合对应危险性级别内泥石流的发育规律和特点。因此说 ,使用敏感性分析法进行武都地区泥石流危险性分区较信息量法更精确一些。

3. 武都地区属泥石流重度威胁区 ,得出较为精确的危险性分区结果 ,不仅能较为客观地反映武都地区泥石流的灾害特征而且能够为相关部门进行防治、预警提供可靠的科学依据 ,同时有利于当地人民生活、经济的可持续发展。



## 参考文献(References)

- [1] Wei Congling. The study of hazard assessment about landslide in Wushan County [D]. Chongqing: Southwest University, 2008. [魏从玲. 基于 GIS 的巫山县滑坡地质灾害危险性评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.]
- [2] Merio M, Wohl E E. Geological hazard and risk evaluation using GIS: methodology and model applied to Medellin in Colombia [J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1994, 31(4): 459–481
- [3] Guzzetti F. Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy [J]. Engineering Geology, 2000, 58: 89–107
- [4] Carrara A M, Cardinali R D. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard [J]. Earth Surface Process and Landforms, 2001, 16(5): 427–445
- [5] Ruan Shenyong, Huang Runqiu. Application of GIS-based information model on assessment of geological hazards risk [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 29(1): 89–92 [阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用 [J]. 成都理工大学学报, 2001, 29(1): 89–92]
- [6] Gao Kechang, Cui Peng, Zhao Chunyong, et al. Landslide hazard evaluation of Wanzhou based on GIS information value method in the Three Gorges Reservoir [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 991–996 [高克昌, 崔鹏, 赵纯勇, 等. 基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 991–996]
- [7] Meng Fanqi, Li Guangjie, Qin Shengwu, et al. Zoning of debris flow hazard degree with weight-of-evidence method [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(6): 1380–1384 [孟凡奇, 李广杰, 秦胜伍, 等. 基于证据权法的泥石流危险度区划 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(6): 1380–1384]
- [8] Luo Zhenfu, Pu Dacheng, Xie Hongbin, et al. Landslide hazard evaluation in debris flow catchment area based on GIS and information method [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(11): 144–150 [罗真富, 蒲达成, 谢洪斌, 等. 基于 GIS 和信息量法的泥石流流域滑坡危险性评价 [J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 144–150]
- [9] Liu Jinfeng, Huang Jiangcheng, Ou Guoqiang, et al. Susceptibility evaluation of debris flow in the Wudu district, Longnan city, Gansu province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4): 8–13 [柳金峰, 黄江成, 欧国强, 等. 甘肃陇南武都区泥石流易发性评价 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 8–13]
- [10] Van Westen C J, Castellanos Abella E A, Kuriakose S L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview [J]. Engineering Geology, 2008, 102: 112–131
- [11] Zhu Jing, Tang Chuan. A study on the risk regionalization of debris flow hazards in Yunnan [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1996, 7(2): 86–93 [朱静, 唐川. 云南省泥石流灾害危险度分区研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(2): 86–93]
- [12] Liu Xilin, Zhang Songlin, Tang Chuan. Evaluation of the risk degree of debris flow in ravine [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 7(3): 20–25 [刘希林, 张松林, 唐川. 沟谷泥石流危险度评价研究 [J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 20–25]
- [13] Guo Jifa, Cui Tiejun, Cui Weihong. Multi-scale regional debris flow hazard assessment on fitting scale interval [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(1): 150–160 [郭继发, 崔铁军, 崔伟宏. 适宜尺度区间上的多尺度区域泥石流危险性评价 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(1): 150–160]
- [14] Han jinhua. Study on GIS-based risk assessment on debris flows of Bailong Basin [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010. [韩金华. 基于 GIS 的白龙江流域泥石流危险性评价研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010.]
- [15] Jiao Jinyu. Research on hazard assessment of debris flows in Min county Gansu province [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2009. [焦金鱼. 甘肃岷县泥石流危险性评价研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.]
- [16] Niu Quanfu, Cheng Weiming, Lan Hengxing, et al. Susceptibility assessment of secondary geological disaster based on information value methodology for Yushu earthquake region [J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(2): 243–249 [牛全福, 程维明, 兰恒星, 等. 基于信息量模型的玉树地震次生地质灾害危险性评价 [J]. 山地学报, 2011, 29(2): 243–249]
- [17] Cui Ruiping. The research about bailongjiang midstream area? s mud-rock flow and landslide prevention system and effectiveness [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006. [崔瑞萍. 白龙江中游滑坡泥石流防治体系与效益的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2006.]
- [18] Cheng Hongfang, Zhang Wenbo, Chen Feng. Advances in researches on application of remote sensing method to estimating vegetation coverage [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2008, 1(1): 13–18 [程红芳, 章文波, 陈锋. 植被覆盖度的遥感估算方法研究 [J]. 国土资源遥感, 2008, 1(1): 13–18]
- [19] Chen Liang, Meng Gaotou, Zhang Wenjie, et al. Application of information model on geological hazards investigating and zoning of counties and cities: As an example of Xianju County Zhejiang Province [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003, 3(5): 49–52 [陈亮, 孟高头, 张文杰, 等. 信息量模型在县市地质灾害调查与区划中的应用研究——以浙江仙居县为例 [J]. 水文地质工程地质, 2003, 3(5): 49–52]
- [20] Zou Qiang, Cui Peng, Zhang Jianqiang, et al. Quantitative evaluation for susceptibility of debris flow in upper Yangtze River basin [J]. Environmental Science and Technology, 2012, 35(3): 159–163 [邹强, 崔鹏, 张建强, 等. 长江上游地区泥石流灾害敏感性量化评价研究 [J]. 环境科学与技术, 2012, 35(3): 159–163]



## The Hazards Assessment of Debris Flow in Wudu of Southern Gansu ,China

NING Na<sup>1 2</sup> ,TIAN Liming<sup>2</sup> ,ZHANG Peng<sup>2</sup> ,QI Shi<sup>2</sup> ,MA Jinzhu<sup>2</sup>

( 1. College of Earth and Environmental Sciences ,Lanzhou University ,Lanzhou 730000 ,China;

2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems ( MOE) ,Lanzhou University ,Lanzhou 730000 ,China)

**Abstract:** The debris flow hazard is controlled by a lot of factors ,while each aspect of the factors has different effect on the occurrence of the debris flow. In this paper ,the Wudu district is introduced to be studied. And taking into account the effects of seismic disturbances combined with the local geological environment conditions ,we ultimately select elevation ,slope ,lithology ,land use ,landslides density ,seismic ,cumulative distance from fault interface and normalized NDVI( normalized difference vegetation index) for debris flow hazards assessment. Then ,the information method and sensitivity analysis method are applied to calculate all aspects of the factors. And at last ,the debris flow hazards zoning map was got by overlay analysis. The results show that in moderate danger zone ,highly danger zone and extremely highly dangerous zone ,the debris flow area accounts for 22.5% ,24.7% and 37.2% of the total debris flow area respectively by information method and accounts for 25.5% ,28.1% and 36.4% by sensitivity analysis method. All in all ,above moderate danger zone contains 90% of the debris flow by sensitivity method which large than the 84.4% of the information method. Thus it can be seen ,sensitivity analysis method combined with GIS technology for the debris flow hazards assessment has higher accuracy and it can be a reference to the practical application in the future.

**Key words:** debris flow; hazards assessment; information method; Sensitivity analysis method