

# 黄土高原腹地地质灾害致灾因素分析及易发性评价

阮征, 周少伟\*, 姚胜, 田焱

陕西省地质科技中心, 西安 710065

**摘要** 选取斜坡坡度、相对高差、坡向、坡型、工程地质岩组、地貌单元类型、降雨量、距河流距离、距主要交通干道距离等9个因素作为评价指标,以陕北某县为例,利用信息量模型评价该研究区地质灾害易发性并进行现实验证。结果表明:该县可分为地质灾害极高易发区、高易发区、中易发区和低易发区4种类型。全县地质灾害中易发区面积最大、占比可达64.64%,地质灾害极高易发区所占面积最小、占比为0.39%。根据验证结果可知,地质灾害极高易发区、高易发区的地质灾害隐患点密度均大于地质灾害中易发区、低易发区的密度,全区地质灾害隐患点密度最大的为极高易发区,地质灾害隐患点密度最小的为低易发区,模型评价结果较为合理。

**关键词** 地质灾害;易发性评价;信息量法;黄土高原腹地

地质灾害易发性评价在国外也被称为地质灾害敏感性评价,是进行危险性评价和风险性评价的基础,需要判断研究区内最容易发生地质灾害的区域<sup>[1]</sup>,通过测算在现有条件下的未来某段时间内,区域地质灾害发生的倾向性。目前,地质灾害易发性评价所用到的方法有层次分析法<sup>[2]</sup>、逻辑回归模型<sup>[3]</sup>、模糊综合评判法<sup>[4]</sup>、人工神经网络模型<sup>[5]</sup>、信息量模型<sup>[6]</sup>、证据权法等<sup>[7]</sup>。在选取评价指标时,地质

灾害易发性需要通过评价区域内地形地貌、气象水文、工程岩土体、斜坡特征等条件综合度量区域内未来灾害发生的概率<sup>[8]</sup>。黄土高原地区是我国生态环境最脆弱的地区之一,因其独特的自然环境条件和地质构造条件,成为中国地质灾害高发频发的地区之一。近年来,随着城市化进程不断加快,开挖边坡建窑修路等人类工程活动所导致的地质灾害逐渐增多,严重威胁到当地群众的生命安全和财产

收稿日期:2020-11-07;修回日期:2023-02-17

作者简介:阮征,助理工程师,研究方向为地质灾害风险调查与评价、地质灾害防治等,电子信箱:1550760293@qq.com;周少伟(通信作者),高级工程师,研究方向为水工环地质、地质灾害调查评价等,电子信箱:418585618@qq.com

引用格式:阮征,周少伟,姚胜,等.黄土高原腹地地质灾害致灾因素分析及易发性评价[J].科技导报,2023,41(10):115-124;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.10.011

安全。因此保障人民生命和财产安全,全面提高区域地质灾害防治水平迫在眉睫。研究区位于陕北黄土高原丘陵沟壑区腹地,是地质灾害易发高发区。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然地理与社会经济

研究区属大陆性季风气候、四季分明,年平均降水量为 456 mm。淮宁河、大理河在境内自西向东流过,河谷区地势比较平坦,其余地区均为黄土丘陵区,沟壑纵横,地形切割强烈。该县地处鄂尔多斯台地向斜,地质构造简单,断裂不发育,地壳比较稳定,地震出现的频率小且强度低。境内总体地势西北高东南低,海拔 863~1405 m。区内地层由老到新为中生界三叠系、侏罗系及新生界新近系、第四系。基岩出露于深切沟谷及河谷沿岸,新生界地层大面积出露,角度不整合于中生界地层之上,第四系黄土及松散堆积物广泛覆盖于中生界沉积

岩之上。全县辖 1 街道 11 个镇 1 个乡,278 个行政村,总面积约 2042 km<sup>2</sup>,截至 2021 年总人口约 29.11 万人。

### 1.2 地质灾害隐患发育现状

研究区位于黄土高原腹地,黄土结构疏松,垂直节理发育,地形切割强烈,植被覆盖较差,地质环境脆弱,矿产资源开发、工程建设等人类工程活动强烈,雨季或冻融期,滑坡、崩塌等地质灾害频发,是陕西省地质灾害易发区之一。目前,该县地质灾害隐患点 417 处,其中滑坡隐患点 207 处,崩塌隐患点 209 处,泥石流隐患点 1 处;按规模等级划分,大型 8 处、中型 75 处、小型 334 处;按稳定状态划分,基本稳定 349 处,不稳定 68 处。

### 1.3 地质灾害隐患分布规律

研究区地质灾害隐患点在时空上均有集中分布的特征。在时间分布上,在地质历史时期,滑坡、崩塌在全新世以后相对集中;在人类历史时期,滑坡、崩塌在人类活动强烈时期相对集中;在 1 年之内,滑坡、崩塌在雨季、冻融期相对集中(图 1)。

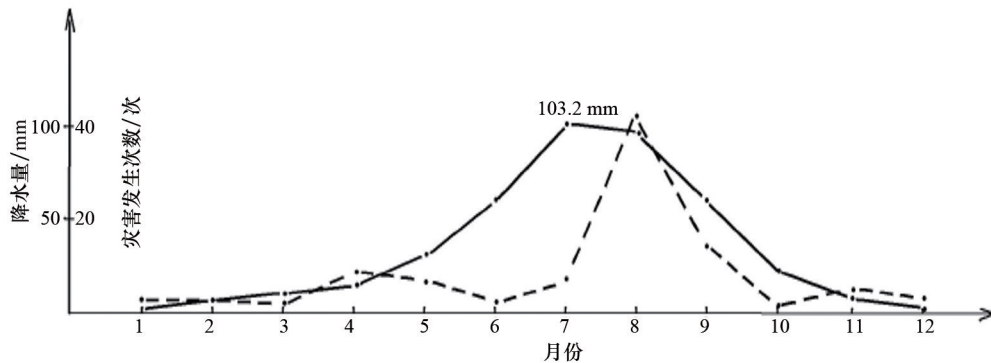


图 1 研究区月降雨量与地质灾害年内分布关系

在地貌类型分布上,研究区地质灾害隐患点分布在不同的地貌单元,在黄土梁峁区、黄土塬梁区以及淮宁河、大理河两岸河谷阶地区均有分布。黄土梁峁区地质灾害点分布数量最多,共计 257 处,占隐患点总数的 61.63%,在峁侧呈散点状分布,在梁侧呈线状分布。黄土塬梁丘陵区地质灾害隐患点分布 66 处,占隐患点总数的 15.83%。河流阶地区发育地质灾害隐患点 94 处,占隐患点总数的

22.54%,隐患点多分布在河道两岸,呈线形分布。

在流域分布上,研究区地质灾害的分布受自然环境地质条件和人类经济活动的制约,在空间上有沿水系呈树枝状分布和沿大理河、淮宁河流域主河道集中分布的规律。绝大部分地质灾害均沿水系分布于河谷两侧,特别是不稳定斜坡更具有沿水系呈线性分布特点。对大理河、淮宁河主河道与其支流附近发育的灾害点进行统计分析,发现大理河主

河道有 74 个地质灾害隐患点, 而其支流地质灾害隐患点数量在 10~20 个, 淮宁河主河道发育有 20 个地质灾害隐患点, 其支流发育有 3~4 个地质灾害隐患点(图 2)。

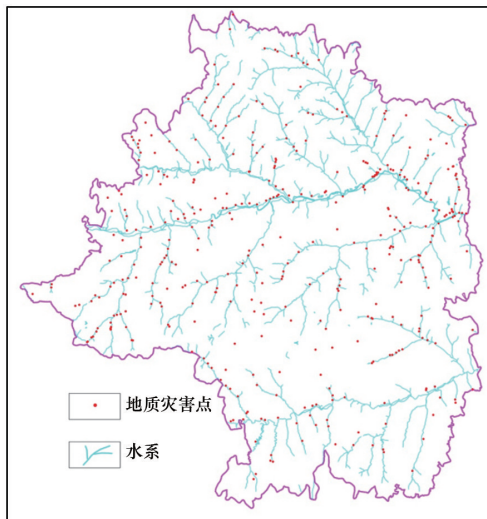


图 3 地质灾害隐患点流域分布

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

地质灾害现象受多种孕灾条件共同作用, 各因素所起作用的大小、性质是不同的, 地质灾害的发生是这些孕灾因素综合作用的结果<sup>[9]</sup>。地质灾害易发性是通过分析评价某地区已发生的地质灾害来预测未来将要发生地址灾害的倾向性<sup>[8]</sup>。本次易发性评价采用信息量模型进行计算, 信息量模型反映了一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间的组合, 具体是通过特定评价单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率相比较实现的。对应某种因素特定状态下的地质灾害信息量公式可表示为:

$$I_{Aj} = \ln \frac{N_j/N}{S_j/S} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中,  $I_{Aj}$  为因素  $A$  在  $j$  状态下地质灾害发生的信息量;  $N_j$  为因素  $A$  在  $j$  状态(或区间)下地质灾害分布的单元数;  $N$  为调查区已知有地质灾害隐患点分

布的单元总数;  $S_j$  为因素  $A$  在  $j$  状态(或区间)分布的栅格单元数;  $S$  为调查区栅格单元总数。

由于每个评价单元受众多因素的综合影响, 各因素又存在若干状态, 各状态因素组合条件下地质灾害发生的总信息量可用公式(2)确定:

$$I = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

式中,  $I$  为某斜坡单元地质灾害发生的总信息量;  $N_i$  为特定因素、第  $i$  状态(或区间)条件下的地质灾害面积或地质灾害点数;  $S_i$  为特定因素、第  $i$  状态(或区间)的栅格单元数;  $N$  为调查区地质灾害总面积或总地质灾害点数;  $S$  为调查区栅格单元总数。

### 2.2 数据来源

本文的 DEM 数据来源于陕西省地质科技中心收集资料, 坡度、相对高差、坡向、坡型、距河流距离、距主要交通干道距离等数据通过 ArcGIS 软件计算处理得到, 工程地质岩组、地貌单元类型、降雨量等数据由陕西省地质科技中心提供的地质灾害详细调查项目资料提取得到, 地质灾害隐患点数量来源于野外实地调查。

## 3 地质灾害易发性评价

### 3.1 评价单元划分

根据野外地质灾害调查工作的精度、该区域地质灾害隐患点发育分布情况, 结合 DEM 数据精度及地质灾害风险调查评价相关技术要求, 将研究区按照 25 m×25 m 划分栅格单元, 并在此基础上提取地质灾害定量评价指标。

### 3.2 指标体系选取与分析

地质灾害易发性评价应根据当地地质灾害的发育分布规律及孕灾地质环境条件, 选取影响地质灾害发生、发展的因素作为影响因子。本研究易发性评价, 在参考前人易发性评价指标体系建立的基础上<sup>[10-13]</sup>, 结合当地孕灾条件及数据可获取性, 选择斜坡坡度、相对高差、坡向、坡型、工程地质岩组、地貌单元类型、降水量、距河流距离、距主要交通干道距离等因素作为地质灾害易发性分区的评价指标。

1) 坡度。坡度是黄土崩滑灾害发生的一个重要控制因素,不同坡度发生崩塌和滑坡的类型、规模、危害程度均有不同。坡度可以明显改变坡体的应力状态分布,并且随着坡度的增大,坡体表面的应力带范围变大,一般情况下坡度与灾害点分布曲线呈正态分布,有研究表明在黄土高原地区,平均坡度 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的区域滑坡发育数量最多,小于 $10^{\circ}$ 的最少<sup>[14]</sup>。本研究利用 ArcGIS 从 1:5 万 DEM 数据中提取坡度信息,然后在斜坡单元内求取栅格坡度平均值作为易发性评价坡度指标(图3)。

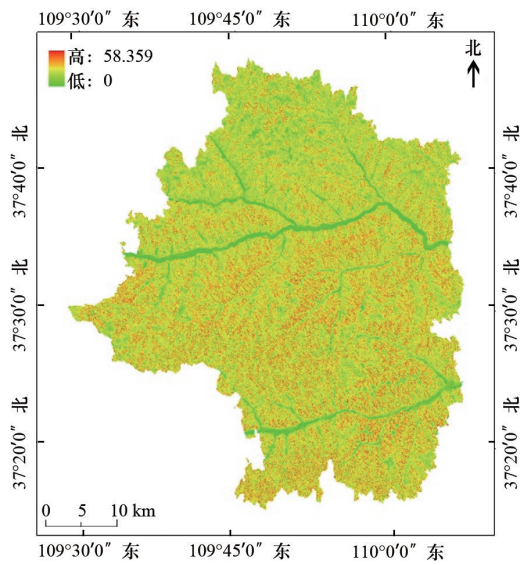


图3 坡度

2) 相对高差。相对高差对黄土滑坡的发生有显著的影响,它不仅决定着滑坡强度的大小,而且还影响着滑坡的滑距。坡高虽然没有改变斜坡内应力的分布状态,但是控制着坡体内各处的应力大小,随着坡高的增大、应力值呈线性增加,在相同坡度条件下,相对高差越大、坡体安全系数越小。相对高差指标从 DEM 数据中按  $25\text{ m}\times 25\text{ m}$  网格计算地形起伏度,然后在斜坡单元内求取地形起伏度平均值作为易发性评价指标(图4)。

3) 坡向。坡向对滑坡发育也有一定的影响,形成了沟谷两侧滑坡分布的不对称性。不同斜坡坡向的太阳辐射强度和光照时长有所区别,会影响水分蒸发量、植被覆盖、坡面侵蚀等诸多因素,即同

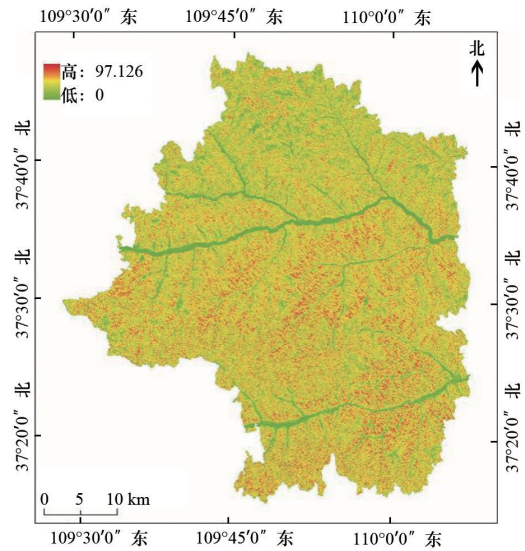


图4 相对高差

一山体的局部气候,如温度、降雨量等也有所不同,从而影响了斜坡的地下水孔隙压力的分布及岩土体物理力学特征,因而影响了斜坡的稳定性。利用 ArcGIS 从 1:5 万 DEM 数据中提取坡向信息,在斜坡单元内求取栅格坡向平均值作为易发性评价坡向指标(图5)。该县阳坡发生地质灾害隐患点的概率高于阴坡,据统计区内地质灾害隐患点多发生在坡向为 $90^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 东南至西南方向的斜坡地段、共计 282 处,占地质灾害隐患点的 67.62%。

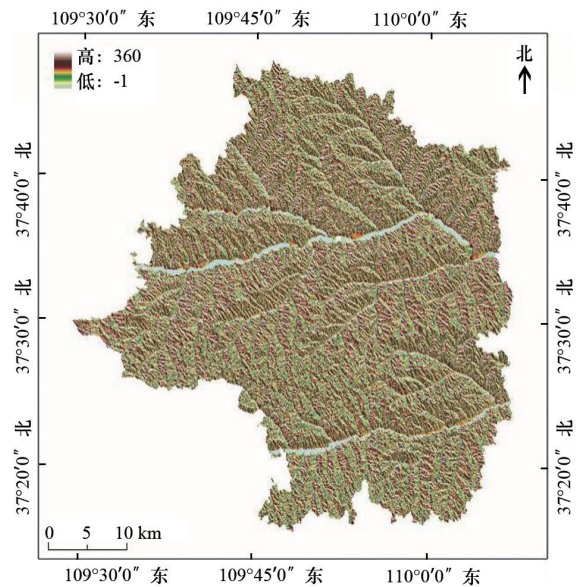


图5 坡向

4) 坡型。坡型是指地表坡面的形态,分为直型坡、凸型坡和凹型坡3种基本类型,可以利用地表的曲率 $P$ 进行描述和量化。当 $P \geq 0.5$ 时,坡型为凸型坡;当 $-0.5 < P < 0.5$ 时,坡型为直型坡;当 $P \leq -0.5$ 时,坡型为凹型坡<sup>[1]</sup>。研究区崩塌、滑坡主要发育在直型坡和凸型坡上,直型坡上下坡度一致,下部集中径流最多、流速最大,所以下部土壤冲刷较上部强烈,发生滑动的可能性较大;而凸型坡上部缓、下部陡而长,土壤冲刷较直线型坡下部更强烈,发生崩滑的可能性较大(图6)。

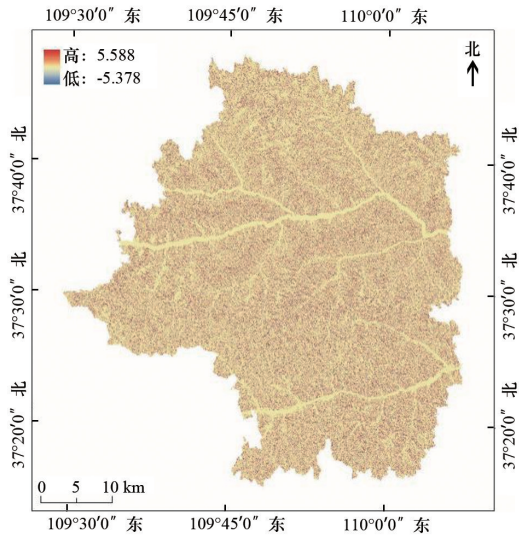


图6 坡型

5) 地貌单元。地形地貌是地质灾害发育的主要影响因素。研究区可划分黄土梁峁丘陵区、黄土梁峁丘陵区、河谷阶地区3种地貌类型。其中黄土梁峁丘陵区分布于大理河流域黄土区,也是分布面积最大的地貌单元类型,该区梁峁间主沟多呈“U”字型,支沟呈“V”字型,区内流水侵蚀及边缘重力侵蚀严重,地质灾害隐患点分布较为密集,共计257处。黄土梁峁丘陵区坡面及沟壑侵蚀剧烈,区内人口居住较分散,分布66处地质灾害隐患点。河谷阶地区阶面宽阔平坦,整体坡度小于 $7^\circ$ ,地质灾害隐患点分布有94处,并且往往在河谷阶地区向梁峁区转变的过渡地段,是灾害发育较多的区域(图7)。

6) 工程地质岩土体类型。地层岩性决定了岩

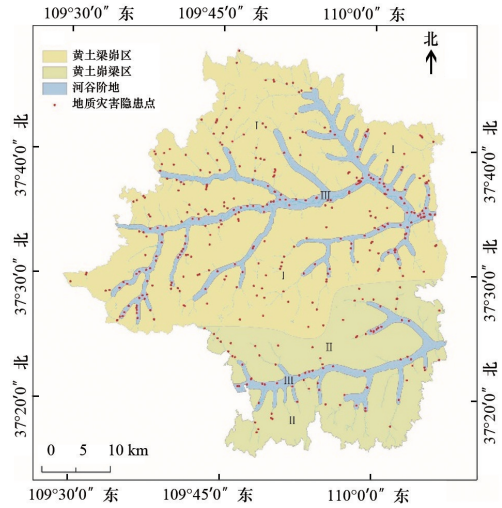


图7 地貌单元

土体的结构类型,岩土体特征是斜坡变形破坏的物质基础,其性质和结构对崩塌、滑坡的活动具有决定性作用。区内出露的地层主要为三叠系砂岩、侏罗系石英砾岩及砂泥岩层、新近系砂质粘土、第四系粉质粘土和河流河漫滩冲积物,第四系风积黄土广泛分布,黄土质地均一,含多量钙质或黄土结核,多孔隙,有显著的垂直节理,无层理,在干燥时较坚硬,被流水浸湿后,通常容易剥落和遭受侵蚀。根据地层出露情况及工程地质特征,将研究区工程地质岩土体类型划分为:黄土土体、砂砾类土、层状较软弱砂质粘土碎屑岩类及层状坚硬—半坚硬砂、泥岩互层碎屑岩类(图8)。

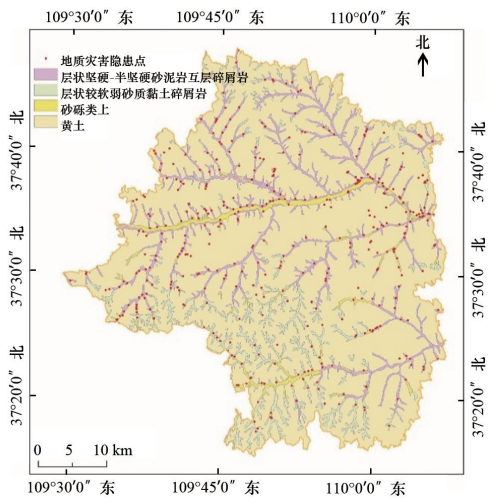


图8 工程岩土体类型

7) 降雨量。在诱发地质灾害的众多因素当中,降雨量发挥着十分重要的作用,为地质灾害发育提供了外动力条件。根据收集到的该县历史月累积降雨量(>5年)数据制作多年降雨量等值线图(图9),可以看到该县降雨量趋势基本由北至南逐渐增多,随着降雨量的增大地质灾害发生数量也逐渐增加,对不同降雨量范围内的地质灾害隐患点数量统计显示,地质灾害大多分布于年均降雨量为400~480 mm 范围内的区域内。

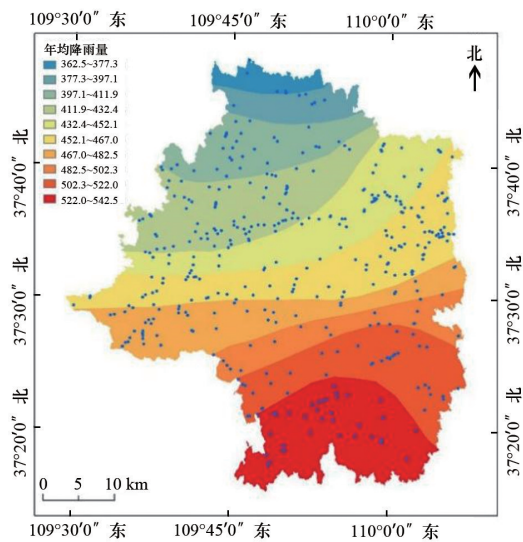


图9 降雨量

8) 距河流距离。该县地质灾害隐患沿河流两侧呈条带状分布,且多密集分布于河流曲率大、地形切割较深的沟谷中。地表水对本区地质灾害的影响,主要表现为河(沟)谷流水对河谷岸坡的侧蚀、对河(沟)道下切、搬运作用和雨期地表汇水对坡面的面蚀冲刷作用(图10)。

9) 距主要交通干道距离。该县地形地貌主要为黄土梁峁沟壑区,生活在黄土区的当地村民习惯于斜坡坡脚处修建房屋、挖窑洞居住。近年随着城镇化的迅猛发展,该区人口逐渐增多,人类活动频繁,不合理开挖边坡引发的地质灾害也日益增多。切坡建房往往会形成高陡边坡,打破斜坡的自然平衡状态,使坡体产生临空面,随着时间的推移和降雨的冲刷,边坡土体破碎,失去原有的稳定性,形成滑坡、崩塌和不稳定斜坡(图11)。

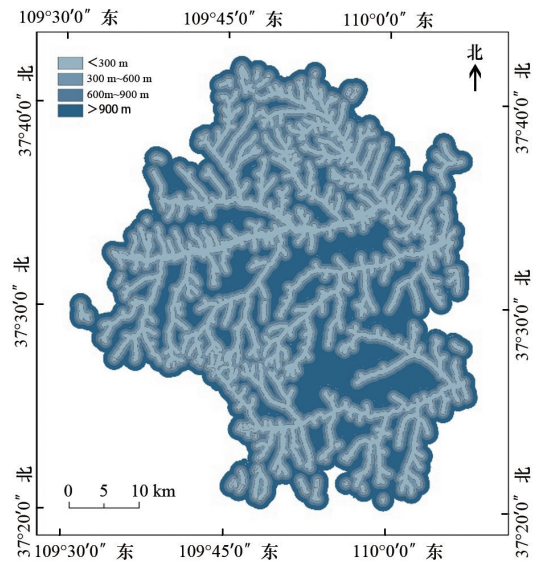


图10 距河流距离

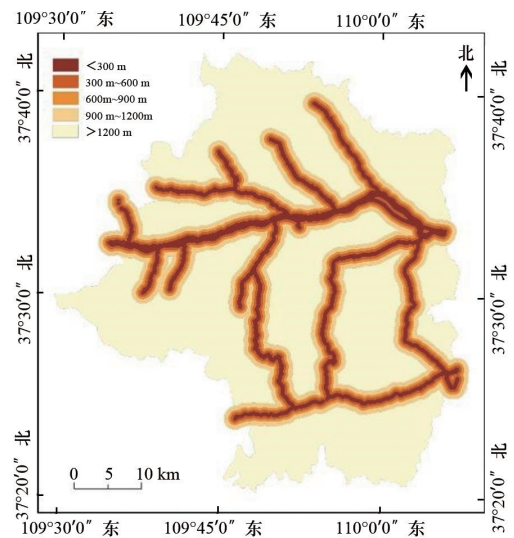


图11 距主要交通干道距离

### 3.3 评价结果

将各因子图层进行重分类后,分别和地质灾害隐患点分布图在 ArcGIS 中进行空间分析,得到地质灾害隐患点在不同因子不同分类中的分布密度,再根据式(1)可计算出各因子图层各类别对滑坡影响的信息量值(表1)。通过空间叠加分析最终生成地质灾害易发性评价图,利用自然断点法将全域分为极高易发区、高易发区、中易发区和低易发区4个等级(图12)。

表1 各指标信息量值

指标		各指标图层各类别对应值								
坡度	分类范围 (°)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	>40
	分类值	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	信息量值	-0.479961	-0.179364	-0.126832	0.149303	-0.164526	0.216653	0.121668	0.109519	0.307296
坡向	分类范围 (°)	-1~0	0~45	45~90	90~135	135~180	180~225	225~270	270~315	315~360
	分类值	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	信息量值	-0.400176	-0.844648	-0.244256	0.457031	0.343561	0.234075	0.009764	0.003555	-0.456004
坡高	分类范围 (°)	0~8	8~16	16~24	24~32	32~40	40~48	48~56	>56	—
	分类值	1	2	3	4	5	6	7	8	—
	信息量值	-0.584393	-0.152711	0.156798	-0.040902	0.111706	0.124908	0.324038	0.582392	—
坡型	分类范围	<-0.5	-0.5—0.5	>0.5	—	—	—	—	—	—
	分类值	1	2	3	—	—	—	—	—	—
	信息量值	0.522746	-0.109319	-0.444512	—	—	—	—	—	—
地貌单元	分类范围	黄土梁峁	黄土崩梁	河谷阶地	—	—	—	—	—	—
	分类值	1	2	3	—	—	—	—	—	—
	信息量值	0.000681	0.004407	-0.011444	—	—	—	—	—	—
工程地质岩土体类型	分类范围	黄土	砂砾类土	层状较软弱砂质粘土碎屑岩	层状坚硬-半坚硬砂泥岩互层碎屑岩	—	—	—	—	—
	分类值	1	2	3	4	—	—	—	—	—
	信息量值	-0.637700	1.136290	0.669703	1.519103	—	—	—	—	—
年均降雨量	分类范围 (mm)	<400	400~420	420~440	440~460	460~480	480~500	>500	—	—
	分类值	1	2	3	4	5	6	7	—	—
	信息量值	-0.791293	0.19097	0.242145	0.301304	0.04154	-0.228162	-0.390515	—	—

表1 各指标信息量值(续)

指标		各指标图层各类别对应值								
距河流距离	分类范围 (m)	<300	300~600	600~900	>900	—	—	—	—	—
	分类值	1	2	3	4	—	—	—	—	—
	信息量值	2.685593	0.254513	0.316320	0.154971	—	—	—	—	—
距主要交通干道距离	分类范围 (m)	<300	300~600	600~900	900~1200	>1200	—	—	—	—
	分类值	1	2	3	4	5	—	—	—	—
	信息量值	3.492422	0.827133	0.766664	0.513596	0.784345	—	—	—	—

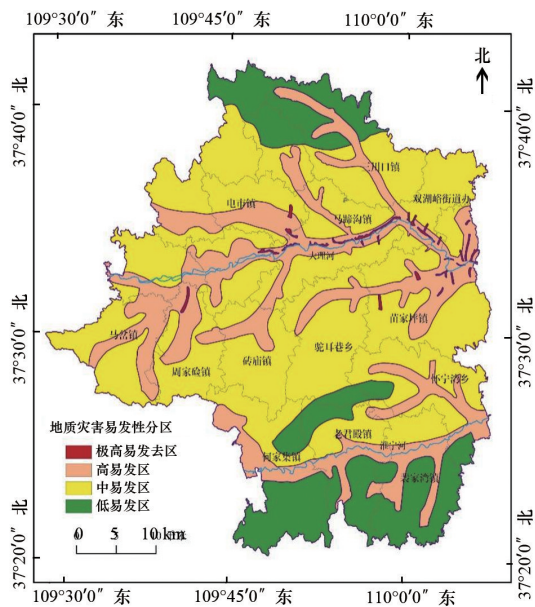


图12 地质灾害易发性评价

极高易发区面积为 7.89 km<sup>2</sup>, 占总面积的 0.39%, 该区域城镇化建设速度较快, 分布有公路、城镇建筑等。区内地质灾害密集发育, 主要位于大理河、岔巴沟、驼耳巷沟及 G307 国道部分路段零散分布, 小理河、清水沟两岸分布较少, 涉及乡镇包括马蹄沟镇中部、双湖峪街道西南部、苗家坪镇北部、高家坪办事处北部。

高易发区面积为 102.46 km<sup>2</sup>, 占总面积的 5.06%, 该区属河谷阶地区与黄土梁崩、黄土梁崩

区的过渡区, 岩土体类型以层状坚硬-半坚硬砂泥岩互层碎屑岩和沙砾类土为主。主要分布于大理河、淮宁河及小理河、岔巴沟、驼耳巷沟、清水沟等主要支沟两侧, 涉及的主要乡镇包括研究区中北地区的苗家坪镇东部-双湖峪街道西南部-马蹄沟镇中部-周家硷镇中部-苗家坪办事处被捕-槐树岔办事处东部及研究区南部的淮宁河镇东南部-裴家湾北部-老君殿镇中部-何家集镇西部。

中易发区面积为 1308.36 km<sup>2</sup>, 占总面积的 64.64%, 该区分布范围最广, 多分布在县中部地区, 所有乡镇均有涉及。区内地貌类型以黄土崩梁及黄土梁崩为主, 沟壑发育, 岩性主要为第四系风积黄土, 黄土垂直节理发育, 疏松多孔, 有发生地质灾害的可能性。

低易发区面积为 605.50 km<sup>2</sup>, 占总面积的 29.91%, 地貌以黄土崩梁及黄土梁崩为主, 低风险区主要分布在县城北部和淮宁河南部区域, 涉及的乡镇范围包括电市镇李孝河白草洼村-瓜园则湾草湾村-三川口镇杜沟岔村以北、何家集曹家沟村-西山村-胡家沟村-淮宁湾九沟村、何家集镇槐树塬村-老君殿镇张家渠村-裴家湾镇张家河村-淮宁湾镇姜家湾村以南。

### 3.4 结果验证

将地质灾害易发性评价图和目前在册地质灾害隐患点分布情况进行叠加, 然后进行统计分析,

讨论地质灾害隐患分布现状和模型计算的拟合结果(表2),对比发现,地质灾害易发性评价结果与地质灾害隐患点分布现状趋势大体一致:在极高、高易发区内的地质灾害隐患点有191个,占全部地质灾害隐患点的45.81%,其中极高易发区地质灾害隐患点密度最大,为3.8023,高易发区地质灾害隐患点密度为1.5713。中易发区地质灾害隐患点

个数为187个,所占比例达44.84%。隐患点密度为0.1429。低易发区隐患点个数仅为39个,所占比例为9.35%,隐患点密度为0.0644。地质灾害极高易发区、高易发区的地质灾害隐患点密度均大于地质灾害中易发区、低易发区的密度,可见,基于信息量法的地质灾害易发性评价结果与地质灾害隐患点分布现状较为吻合,评价效果较好。

表2 易发性评价与地质灾害隐患点分布对比

易发性等级	面积(km <sup>2</sup> )	所占面积百分比(%)	地质灾害隐患点个数(个)	隐患点所占比例(%)	隐患点密度(个/km <sup>2</sup> )
极高易发区	7.89	0.39	30	7.2	3.8023
高易发区	102.46	5.06	161	38.61	1.5713
中易发区	1308.15	64.64	187	44.84	0.1429
低易发区	605.5	29.91	39	9.35	0.0644
合计	2024	100	417	100	—

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

分析了研究区地质灾害分布现状及规律和孕灾条件下,利用信息量模型进行地质灾害易发性评价,通过ArcGIS软件进行空间分析与空间叠加得出地质灾害易发分区,将模型与地质灾害分布现实情况进行对比,验证了模型的可靠性,结论如下。

1) 本文选择斜坡坡度、相对高差、坡向、坡型、工程地质岩组、地貌单元类型、降雨量、距河流距离、距主要交通干道距离9个指标进行地质灾害易发性评价,将研究区分为地质灾害极高易发区、高易发区、中易发区和低易发区4种类型。

2) 评价结果显示,研究区全域面积中地质灾害中易发区面积最大,占比可达64.64%,地质灾害极高易发区所占面积最小,占比为0.39%。

3) 根据现实验证结果可知,地质灾害极高易发区、高易发区的地质灾害隐患点密度均大于地质灾害中易发区、低易发区的密度,全区地质灾害隐患点密度最大的为极高易发区,隐患点密度为3.8023个/km<sup>2</sup>,地质灾害隐患点密度最小的为低易发区,隐患点密度为0.0644个/km<sup>2</sup>,与现实情况对比,本次评价结果较为合理,可以为研究区今后地

质灾害防治工作提供科学参考。

### 4.2 讨论

地质灾害易发性评价重点分析一个地区地质灾害已经发生的程度,并预测未来将要发生地质灾害的倾向性,强调静态地质灾害易发条件和灾害发生的空间概率统计分析评价,是进行危险性和风险评价的基础。随着现在城市化进程加快、人类工程活动愈加频繁,地质灾害易发性评价的指标体系应不仅要侧重于地质灾害点发育密度、斜坡坡度、坡高、坡向、坡型、工程地质岩组、地貌单元类型、降水量、水网密度、距主要交通干道距离等反映区域地质灾害的发育分布规律及孕灾地质环境条件的因子,还应考虑土地利用情况、生态修复水平、人类工程活动程度等社会经济因子,将自然地质环境条件和社会经济活动程度相结合,全面、综合地分析评价地质灾害易发情况。

在今后的研究中可以在评价地质灾害易发性的基础上,对研究区进行地质灾害危险性评价,进一步划分危险区、防治区,结合当地地质灾害隐患时空特征及今后社会经济发展战略重点进行分区防治,提出适应当地环境的针对性防治建议,提高研究区地质灾害风险管控成效。

## 参考文献 (References)

- [1] 邱海军. 区域滑坡崩塌地质灾害特征分析及其易发性和危险性评价研究[D]. 西安:西北大学, 2012.
- [2] 王哲, 易发成. 基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 14-23.
- [3] 樊芷吟, 苟晓峰, 秦明月, 等. 基于信息量模型与 Logistic 回归模型耦合的地质灾害易发性评价[J]. 工程地质学报, 2018, 26(2): 340-347.
- [4] 王哲, 易发成, 陈廷方. 基于模糊综合评判的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 科技导报, 2012, 30(31): 53-60.
- [5] 向喜琼, 黄润秋. 基于 GIS 的人工神经网络模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000(3): 26-30.
- [6] 高治群, 薛传东, 尹飞, 等. 基于 GIS 的信息量法及其地质灾害易发性评价应用——以滇中晋宁县为例[J]. 地质与勘探, 2010, 46(6): 1112-1118.
- [7] 白光顺, 杨雪梅, 朱杰勇, 等. 基于证据权法的昆明五华区地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(5): 128-138.
- [8] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 995-1005.
- [9] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地质学前沿, 2001(2): 279-284.
- [10] 梁世川, 乔华, 吕东, 等. 伊犁谷地地质灾害分布特征及主控因素分析[J/OL]. 干旱区地理, 2023, 46(1): 1-11. [2023-02-12].
- [11] 王存智, 张炜, 李晨冬, 等. 基于 GIS 和层次分析法的沙河流域滑坡地质灾害易发性评价[J]. 中国地质调查, 2022, 9(5): 51-60.
- [12] 孙炜锋, 谭成轩, 王继明, 等. 陕西宝鸡地区千阳县地质灾害易发性评价[J]. 地质通报, 2008, 162(11): 1846-1853.
- [13] 孟晓捷, 张新社, 曾庆铭, 等. 基于加权信息量法的黄土滑坡易发性评价——以 1:5 万天水市麦积幅为例[J]. 西北地质, 2022, 55(2): 249-259.
- [14] 胡胜, 邱海军, 王宁练, 等. 地形对黄土高原滑坡的影响[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2697-2709.

## Geological disaster factors and susceptibility evaluation in the hinterland of the Loess Plateau

RUAN Zheng, ZHOU Shaowei\*, YAO Sheng, TIAN Yao

Shaanxi Geological Science and Technology Center, Xi'an 710065, China

**Abstract** With the continuous acceleration of urbanization, the impact of human activities on geological hazards has gradually increased, and people's lives and property safety have been threatened. Controlling geological hazards cannot delay. In this paper, nine factors such as slope gradient, relative elevation difference, slope direction, slope type, engineering geology groups, geomorphic type, rainfall, distance from rivers and distance from major traffic arteries are selected as evaluation indicators. The Information Value Model is used to evaluate the geological hazards susceptibility. The results show that: (1) This County can be divided into four types: extremely high susceptibility, high susceptibility, medium susceptibility and low susceptibility. Low susceptibility type is the largest, accounting for 64.64%, and extremely high susceptibility type is the smallest, accounting for 0.39%. (2) According to the verification, it can be seen that the density of geological hazards points in the extremely high areas and high areas is higher than that in medium susceptibility and low susceptibility areas, and the results are reasonable.

**Keywords** geological hazards; susceptibility evaluation; the Information Value model; the hinterland of the Loess Plateau ●



(责任编辑 卫夏雯)