

## 河南省嵩县地质灾害风险评价

王俊德, 杜晓阳, 黄天浩, 周晓鹏, 孙乐飞, 韩新志, 董培培

### Risk assessment of geological hazards in Song County, Henan Province

WANG Junde, DU Xiaoyang, HUANG Tianhao, ZHOU Xiaopeng, SUN Lefei, HAN Xinzhi, and DONG Peipei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202209005>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例

Provincial geological disaster risk zoning method based on natural disaster risk assessment framework: a case study in Jilin Province

张以晨, 郎秋玲, 陈亚南, 张继权, 田书文 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 104-110

#### 渝东北典型盆缘山区高位崩滑灾害风险评价

Risk assessment of high-level collapse and landslide disasters in typical basin-edge mountainous areas in northeast Chongqing: A case study of the Ningqiao area in Wuxi

谭真艳, 罗晓龙, 陈怡, 周灏 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 70-78

#### 甘肃定西地区地质灾害危险性评价

Risk assessment of geological hazards in Dingxi region of Gansu Province

沈迪, 郭进京, 陈俊合 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 134-142

#### 安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究

Study on risk assessment of geological hazards in Huizhou District, Huangshan City, Anhui Province

刘乐, 杨智, 孙健, 刘钦, 彭鹏, 段俊斌 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 110-116

#### 无人机载LiDAR和倾斜摄影技术在地质灾害隐患早期识别中的应用

The application of UAV LiDAR and tilt photography in the early identification of geo-hazards

贾虎军, 王立娟, 范冬丽 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 60-65

#### 基于数值模拟的群发性泥石流危险性评价

Risk assessment of mass debris flow based on numerical simulation: An example from the Malu River basin in Min County

曹鹏, 侯圣山, 陈亮, 冯振, 王立朝, 李昂, 刘军友 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 100-109



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202209005

王俊德, 杜晓阳, 黄天浩, 等. 河南省嵩县地质灾害风险评价 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(4): 86-96.

WANG Junde, DU Xiaoyang, HUANG Tianhao, et al. Risk assessment of geological hazards in Song County, Henan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(4): 86-96.

## 河南省嵩县地质灾害风险评价

王俊德<sup>1,2</sup>, 杜晓阳<sup>1,2</sup>, 黄天浩<sup>1,2</sup>, 周晓鹏<sup>1,2</sup>, 孙乐飞<sup>1,2</sup>, 韩新志<sup>1,2</sup>, 董培培<sup>1,2</sup>

(1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南 洛阳 471023; 2. 河南省生态环境与勘查地球化学应用工程技术研究中心, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 基于 ArcGIS 环境下, 通过选取河南省嵩县区域高程、地貌、工程岩组、植被覆盖度、距构造距离、距水系距离、坡度、坡向等 8 个因子建立危险性评价模型, 易损性选取建筑物、人员和交通等 3 个承灾因子, 分别采用信息量模型和层次分析法对河南省嵩县区域进行地质灾害易发性、危险性和易损性评价。研究结果表明, 嵩县区域划分为低风险区面积为 965.34 km<sup>2</sup>, 占嵩县区域面积 32%; 中风险区面积为 1 114.65 km<sup>2</sup>, 占嵩县区域面积的 37%; 高风险区面积为 826.23 km<sup>2</sup>, 占嵩县区域面积的 27%; 极高风险区面积为 102.68 km<sup>2</sup>, 占嵩县区域面积的 3%。研究成果可应用于嵩县防灾减灾及地质灾害风险管控等方面。

**关键词:** ArcGIS; 河南省嵩县; 地质灾害; 风险评价

中图分类号: P642 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2023)04-0086-11

## Risk assessment of geological hazards in Song County, Henan Province

WANG Junde<sup>1,2</sup>, DU Xiaoyang<sup>1,2</sup>, HUANG Tianhao<sup>1,2</sup>, ZHOU Xiaopeng<sup>1,2</sup>, SUN Lefei<sup>1,2</sup>,  
HAN Xinzhi<sup>1,2</sup>, DONG Peipei<sup>1,2</sup>

(1. The First Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Luoyang, Henan 471023, China; 2. Key Laboratory of Gold and Silver Polymetallic Ore-forming Series and Deep Prognosis of Henan Province Luoyang, Henan 471023, China)

**Abstract:** Using the ArcGIS environment, a risk assessment model is established by selecting eight indicator factors, including regional elevation, landform, engineering rock group, vegetation coverage, distance from structures, distance from water systems, slope, and slope direction in Song county, Henan Province, China. The vulnerability is evaluated under three disaster-bearing factors: buildings, personnel and traffic. The information volume model and analytic hierarchy process are used to assess the susceptibility, risk and vulnerability of geological disasters in Song county. The results show that the area of Song county is divided into low-risk areas, covering 965.34 km<sup>2</sup>, accounting for 32% of the total area; medium risk area, covering 1 114.65 km<sup>2</sup>, accounting for 37% of the total area; high-risk area, covering 826.23 km<sup>2</sup>, accounting for 27% of the total area; and extremely high risk area, covering 102.68 km<sup>2</sup>, accounting for 3% of the area. These research findings can be widely applied to disaster prevention, mitigation, and geological disaster risk control in Song county.

**Keywords:** ArcGIS; Song County, Henan Province; geologic hazard; risk assessment

收稿日期: 2022-09-05; 修订日期: 2023-04-12

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 2021 年度中央自然灾害防治体系建设补助资金项目“河南省嵩县 1:5 万地质灾害风险调查(普查)评价”(豫财招标采购-2021-929-包 10)

第一作者: 王俊德(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 矿业权评估师, 主要从事地质矿产、地质水工环及地质灾害等方面研究工作。

E-mail: 909902492@qq.com

## 0 引言

地质灾害风险评价主要包含地质灾害易发性评价、危险性评价和易损性评价等内容,综合评价、预测地质灾害发生的可能性大小,是一门自然属性和社会属性并重的交叉学科<sup>[1]</sup>。

地质灾害风险的概念最早由国外学者 Varnes 提出,国外诸多学者对地质灾害风险评价进行了研究<sup>[2-7]</sup>。近年来,国内很多学者对基于 ArcGIS 的地质灾害风险评价进行了研究<sup>[8-14]</sup>,建立了地灾风险评估体系和评价模式<sup>[15-20]</sup>。

随着全球气温上升,降雨量呈逐年增大趋势,近年来河南省嵩县白河镇、闫庄镇、纸房镇、何村乡、饭坡镇等乡镇先后发生 10 余起地质灾害,见图 1(c),其中小型滑坡 6 起,小型崩塌 4 起。多期地质灾害造成 2 人死亡,12 间房屋受损,直接经济损失达 70 余万元,见图 1(c)。政府对嵩县地质灾害防治高度重视,在 2021 年度中央自然灾害防治体系建设补助资金的资助下,2021—2022 年河南省第一地质矿产调查院有限公司开展了《河南省嵩县 1:5 万地质灾害风险调查(普查)评价》工作,项目研究成果对嵩县城市规划、防灾减灾及地质灾害风险管控方面具有积极的意义。



图 1 研究区地质灾害

Fig. 1 Site photos of geological hazards in the study area

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 自然地理及地质条件

嵩县位于洛阳市西南部伏牛山区,境内有河谷、丘陵、低山、中山等多种地貌形态。海拔高度自田湖镇千秋外河滩的 245 m 递增至白河乡白云山玉皇顶的 2 211.6 m,高差达 1 966.6 m。区内从新到老出露地层

主要为第四系、中新统洛阳组、下白垩统九店组、下古生界二郎坪群、上元古界栾川群、中~上元古界宽坪群、中元古界熊耳群鸡蛋坪组、中元古界熊耳群马家河组—鸡蛋坪组并层、太古界太华群、花岗岩等。区内主要断裂:北西西向断裂主要为黑沟—陶湾断裂带 F6、马超营断裂带 F4 和瓦穴子断裂 F7,东西向断裂主要为车村南—下汤大断裂 F5,北东向断裂主要为蝉堂—汝阳



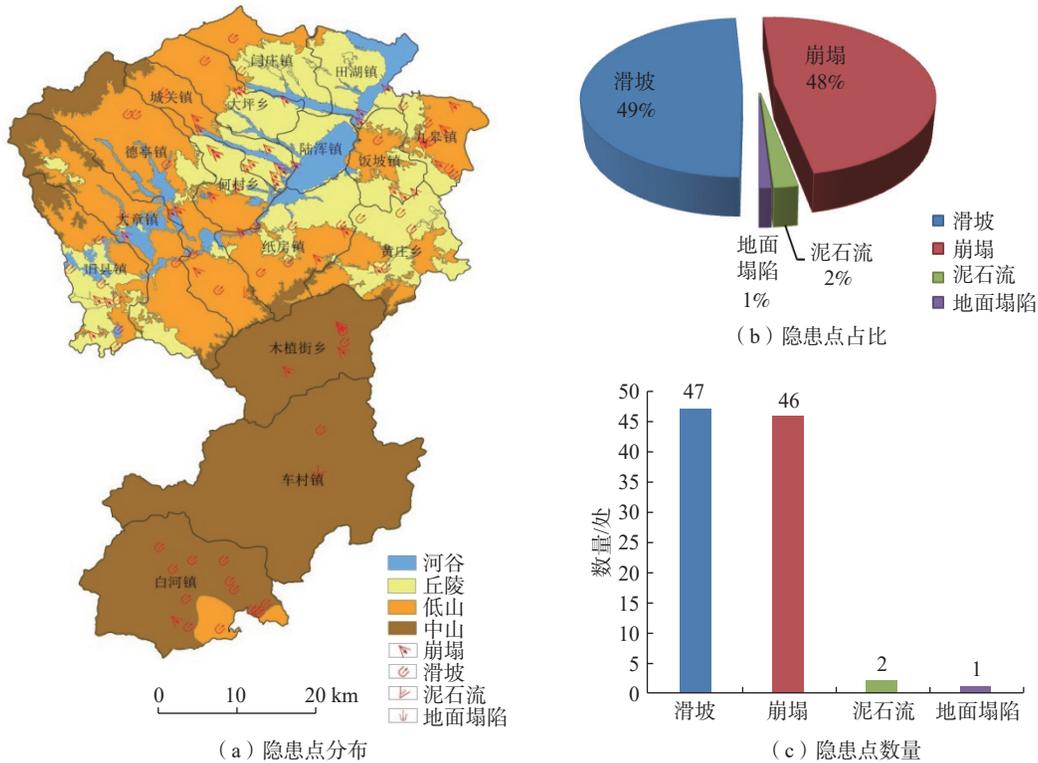


图 3 嵩县地质灾害隐患点分布图

Fig. 3 Distribution map of geological hazard potential sites in Song county

## 2 地质灾害易发性评价

### 2.1 信息量模型

信息量模型是从信息预测发展而来的一种评价预测方法<sup>[8]</sup>, 是基于 ArcGIS 环境下, 由信息量值来作为该单元影响地质灾害危险性的综合指标, 其值越大越容易发生地质灾害, 该单元的地质灾害易发性就越高, 计算公式如下<sup>[9-10]</sup>:

$$I_i = \sum_i^n I(X_i, K) = \sum_i^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中:  $I_i$ ——地质灾害易发性指数;

$N_i$ ——分布在因素  $X_i$  内特定类别的灾害面积/ $\text{km}^2$ ;

$N$ ——研究区有地质灾害总面积/ $\text{km}^2$ ;

$S_i$ ——某评价单元灾害面积/ $\text{km}^2$ ;

$S$ ——研究区总面积/ $\text{km}^2$ ;

$n$ ——评价体系中参评因子总数/ $\text{km}^2$ 。

### 2.2 评价因子的选取与分级

通过对研究区地质灾害与孕灾环境因素的分析, 选择高程、地貌、工程岩组、植被覆盖度、距构造距离、距水系距离、坡度、坡向等 8 个因子进行地质灾害易发性评价。高程、坡度、坡向因子由  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  DEM 数据

提取; 地貌、工程岩组因子由 1 : 5 万区域地质图获取; 距水系距离、距构造距离因子利用 ArcGIS 缓冲区分析计算提取; 植被覆盖度利用两景 Landsat8 影像, 采用归一化植被指数 (NDVI) 对其进行计算提取。对 8 个评价因子进行分级, 并根据式 (1) 计算信息量值, 结果见表 1。

### 2.3 评价结果分析

由表 1 可知, 地质灾害发育程度与距构造距离、植被覆盖度呈负相关, 距构造距离越近、植被覆盖度越低地区地质灾害易发性越高; 在丘陵地区及坡度在  $10^\circ \sim 25^\circ$  地区, 地质灾害易发性较高; 坡向为东向、南东向、南向的边坡地质灾害易发性较高; 地质灾害隐患主要分布在高程  $0 \sim 500 \text{ m}$  内软弱地层中; 河流水系对地质灾害的易发性, 表现出一定的距离效应, 距河流水系越近, 地质灾害易发性越高。

在 ArcGIS 环境下, 运用栅格计算器对各因子信息量值叠加计算出嵩县区域地质灾害易发性评价指数, 在此基础上采用自然断点法将嵩县区域划分为非易发区、低易发区、中易发区、高易发区等 4 个区, 得到地质灾害易发性分区图, 见图 4(a)。对地质灾害易发性评价结果进行统计见图 4(b)(c), 结果表明: 非易发区面

表 1 易发性评价因子分级及信息量值  
Table 1 Classification and information value of susceptibility assessment factors

评价因子	指标分级	$N_i/N$	$S_i/S$	信息量值
高程/m	[0, 500]	0.380 0	0.214 6	0.571 5
	[500, 1 000)	0.580 0	0.562 0	0.031 6
	[1 000, 1 500)	0.040 0	0.195 2	-1.585 4
	$\geq 1 500$	0.000 0	0.028 2	0.000 0
地貌	河谷	0.055 8	0.060 9	-0.088 3
	中山	0.298 8	0.398 5	-0.287 9
	低山	0.318 3	0.317 6	0.003 7
	丘陵	0.326 7	0.223 0	0.381 7
工程岩组	坚硬花岗岩岩组	0.152 0	0.300 1	-0.680 3
	坚硬片麻岩岩组	0.028 0	0.056 3	-0.699 2
	软弱黏性土岩组	0.100 0	0.088 1	0.126 8
	较软弱砾岩岩组	0.036 0	0.016 4	0.783 2
	较坚硬砂页岩互层岩组	0.016 0	0.011 3	0.345 2
	较软弱砂质砾岩岩组	0.188 0	0.117 8	0.467 4
	坚硬安山岩类岩组	0.308 0	0.342 1	-0.104 9
	较软弱石英云母片岩岩组	0.152 0	0.045 5	1.206 5
	较坚硬硅质板岩岩组	0.012 0	0.014 5	-0.191 0
	较软弱页岩岩组	0.004 0	0.002 1	0.639 3
较坚硬灰岩岩组	0.004 0	0.005 7	-0.350 3	
植被覆盖度	[0, 0.5)	0.100 4	0.055 3	0.596 7
	[0.5, 0.65)	0.510 0	0.294 5	0.549 3
	[0.65, 0.75)	0.313 3	0.379 9	-0.192 8
	[0.75, 1]	0.076 3	0.270 4	-1.265 1
距构造距离/m	[0, 500)	0.500 0	0.306 5	0.489 2
	[500, 1 000)	0.196 0	0.190 5	0.028 6
	[1 000, 1 500)	0.132 0	0.124 1	0.061 6
	[1 500, 2 000)	0.048 0	0.090 3	-0.631 8
	$\geq 2 000$	0.124 0	0.288 6	-0.844 6
距水系距离/m	[0, 500)	0.780 0	0.549 0	0.351 2
	[500, 1 000)	0.120 0	0.256 3	-0.758 8
	[1 000, 1 500)	0.060 0	0.110 1	-0.606 9
	[1 500, 2 000)	0.024 0	0.041 5	-0.547 6
	$\geq 2 000$	0.016 0	0.043 1	-0.991 9
坡度/(°)	[0, 10)	0.068 0	0.132 1	-0.663 7
	[10, 25)	0.320 0	0.211 7	0.413 3
	[25, 40)	0.296 0	0.293 6	0.008 2
	$\geq 40$	0.316 0	0.362 7	-0.137 8
坡向/(°)	FLAT(-1)	0.000 0	0.010 6	0.000 0
	N[337.5, 22.5)	0.068 0	0.142 7	-0.741 5
	NE[22.5, 67.5)	0.148 0	0.135 2	0.090 3
	E[67.5, 112.5)	0.136 0	0.113 0	0.185 6
	SE[112.5, 157.5)	0.172 0	0.116 4	0.390 1
	S[157.5, 202.5)	0.216 0	0.163 0	0.281 4
	SW[202.5, 247.5)	0.124 0	0.123 6	0.003 2
	W[247.5, 292.5)	0.084 0	0.092 2	-0.092 8
NW[292.5, 337.5)	0.052 0	0.103 3	-0.686 2	

积为 638.45 km<sup>2</sup>, 占整个嵩县区域面积的 21.22%; 低易发区面积为 686.51 km<sup>2</sup>, 占整个嵩县区域面积的 22.82%; 中易发区面积为 1 029.03 km<sup>2</sup>, 占整个嵩县区域面积的 34.21%; 高易发区面积为 654.14 km<sup>2</sup>, 占整个嵩县区域面积的 21.75%。

### 3 地质灾害危险性评价

地质灾害危险性分极高、高、中、低四个等级, 地质灾害危险性评价区划的主要目的及用途就是为当地政府制定详细的土地利用提供决策依据。调查资料显示,

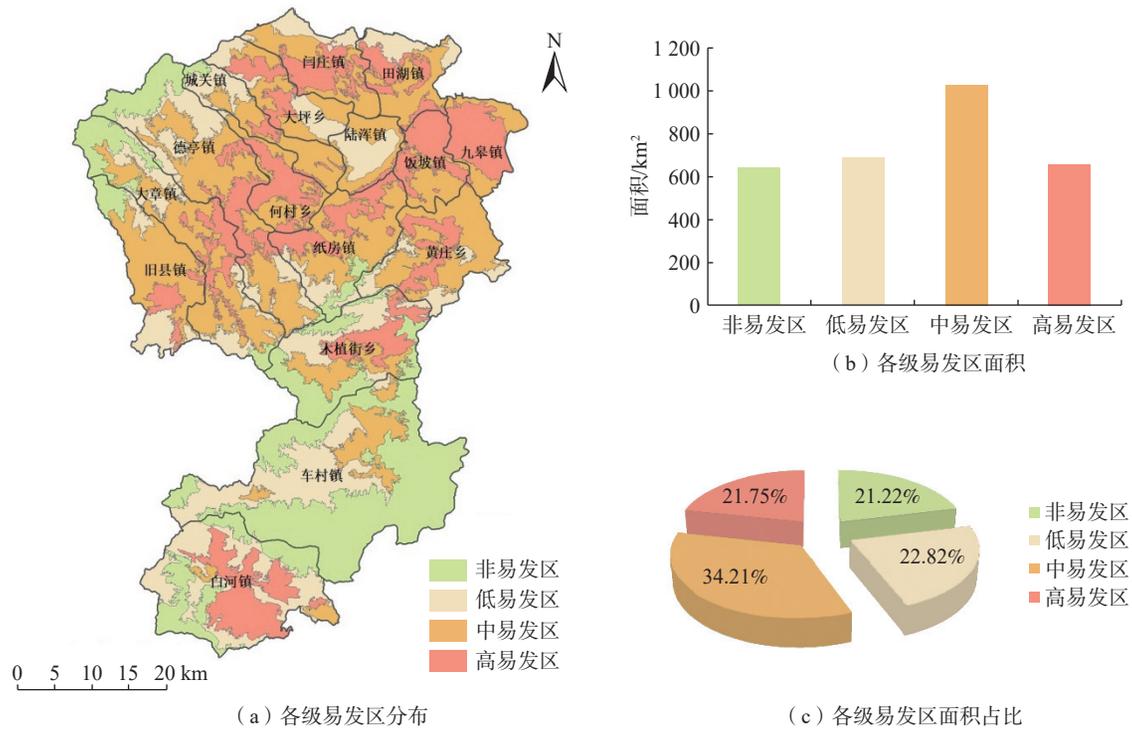


图 4 嵩县地质灾害易发性分区结果图

Fig. 4 Results of geological hazard susceptibility zoning in Song County

嵩县全区地震活动相对较弱,地震烈度和地震动峰值加速度在区域内区别不大,因此本次危险性评价中未考虑地震活动的影响因素,参与危险性评价的主要诱发因素为降雨量。

### 3.1 评价过程

本区地震活动相对较弱,而且能够代表地震活动程度的地震烈度和地震动峰值加速度在区域内区别不大,因此本次危险性评价中未考虑地震活动的影响因素。本次嵩县区域地质灾害危险性评价主要考虑因素为降雨诱发因素。根据收集到的嵩县区内 17 个气象站点 2014—2021 年的降雨量数据(表 2),计算月累计降雨量,并将其归一化处理(图 5)。在 ArcGIS 环境下,进行

归一化处理,对降雨量线性变换,使得结果映射到 0~1 之间,计算方法为:

$$y = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

式中: y——归一化值;

x——降雨值;

max(x)——降雨最大值;

min(x)——降雨最小值。

降雨量归一化结果与易发性归一化结果(图 6)进行叠加,按自然断点法划分为极高、高、中和低危险 4 个等级,得到嵩县区域危险性评价图(图 7)。

表 2 嵩县 1992—2021 年降雨量统计表

Table 2 Statistical table of Rainfall level in Song county from 1992—2021

年份	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
年降雨量/mm	576.90	675.20	529.60	470.70	959.10	418.10	773.10	589.90	760.30	433.10
月平均降雨量/mm	48.08	56.27	44.13	39.23	79.93	34.84	64.43	49.16	231.50	36.09
年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
年降雨量/mm	657.60	1 067.40	690.90	718.40	636.70	565.10	558.80	764.30	924.00	931.50
月平均降雨量/mm	54.80	88.95	57.58	59.87	53.06	47.09	46.57	63.69	77.00	77.63
年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
年降雨量/mm	649.50	518.60	674.10	594.80	562.70	745.30	690.10	690.10	642.50	944.40
月平均降雨量/mm	54.13	43.22	56.18	49.57	46.89	62.11	57.51	53.26	53.54	145.29

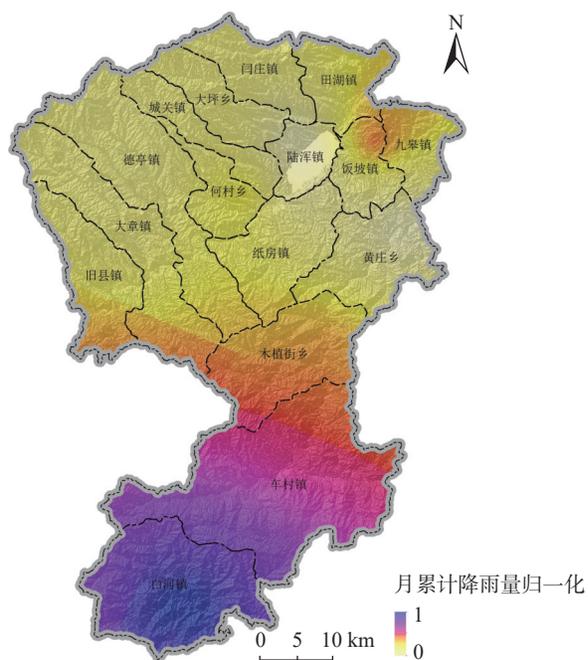


图 5 月累计降雨量归一化结果

Fig. 5 Normalized results of monthly cumulative rainfall in the study area

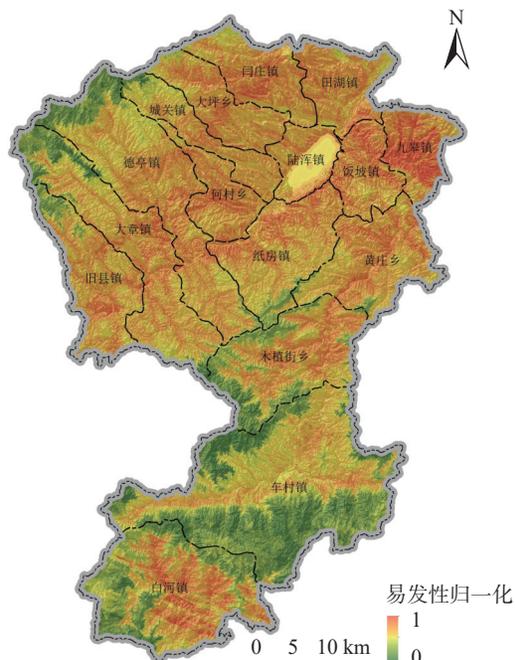
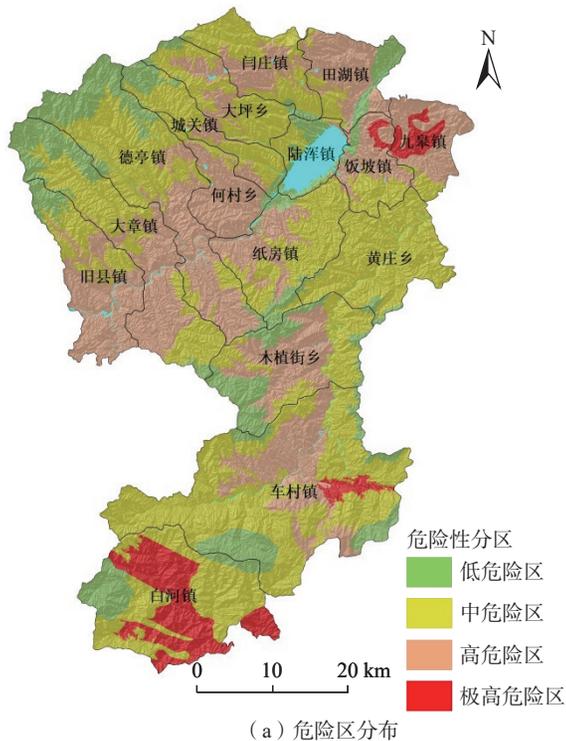
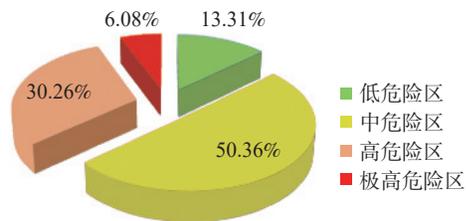
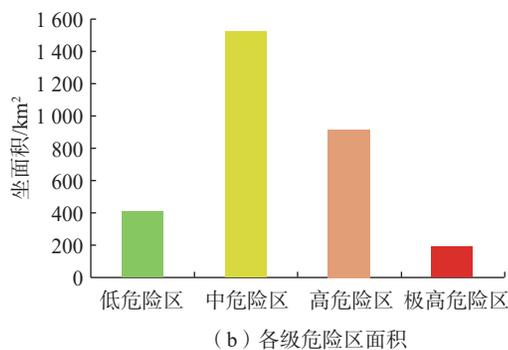


图 6 易发性归一化结果

Fig. 6 Normalized results of susceptibility in the study area



(a) 危险区分布



(c) 各级危险区面积占比

图 7 嵩县地质灾害危险性分区结果图

Fig. 7 Geological hazard risk zoning results in Song County

### 3.2 评价结果

在 ArcGIS 环境下, 将易发性归一化结果和 2014—2021 年月累计降雨量归一化结果叠加计算出嵩县区域地质灾害危险性评价指数, 通过自然断点法划分为

极高、高、中和低危险区等 4 个区, 得到地质灾害危险性分区图, 见图 7(a)。对地质灾害危险性评价结果进行统计, 见图 7(b)(c), 结果表明: 低危险区面积为 400.43 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 13.31%; 中危险区面积

为 1 515.14 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 50.36%; 高危险区面积为 910.38 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 30.26%; 极高危险区面积为 182.95 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 6.08%。

#### 4 风险区划

风险评价是一个综合过程, 是将地质灾害危险性和易损性评价结果的集成运用。

##### 4.1 易损性评价

本次易损性评价主要选取建筑物易损性、人员易损性和交通设施易损性等 3 个评价因子, 以 25 m×25 m 栅格评价单元为基础, 结合承载体易损性赋值表 3, 在 ArcGIS 环境下, 计算各评价因子的易损性值, 得到建筑物易损性、人员易损性和交通设施易损性等 3 个因子的分区图, 见图 8(a)(b)(c)。

在 ArcGIS 环境下, 通过计算平均易损性值, 选取建筑物易损性、人员易损性和交通易损性中的高值确定易损性指数, 结合危险性评价结果, 通过矩阵运算, 按自然间断法划分为低易损区、中易损区、高易损区、极高易损区, 完成嵩县区域易损性分级与区划图 9(a)。利用 ArcGIS 对研究区地质灾害易损性评价结果进行统计, 见图 9(b)(c), 结果表明: 低易损区面积为 1 229.71 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 40.88%; 中易损区面积为 1 005.94 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 33.44%; 高易损区面积为 653.81 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 21.73%; 极高易损区面积为 118.67 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 3.94%。

表 3 承灾体易损性赋值表

Table 3 Vulnerability evaluation table for disaster-bearing bodies

承灾体类型	分级	赋值
受地质灾害直接威胁人口数量	10~100 人	0.40
	<10 人	0.20
交通设施	高速公路	0.80
	国家级公路	0.70
	省级公路	0.40
	其他道路	0.25

##### 4.2 地质灾害风险评价

根据联合国对自然灾害风险的定义, 地质灾害风险度可以定量表达为:

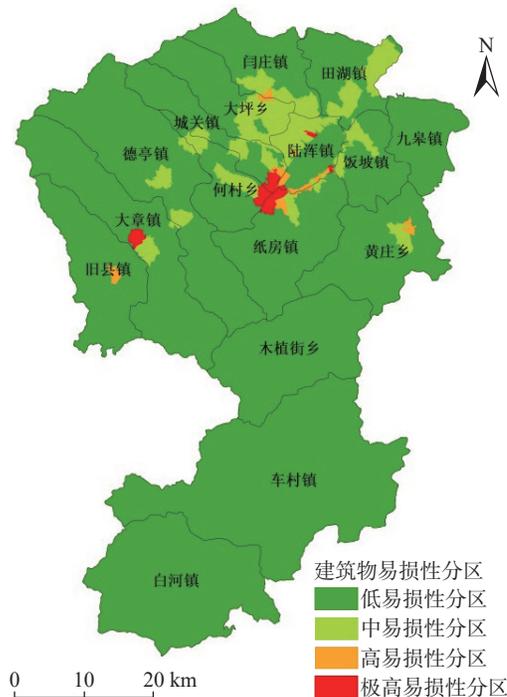
$$R = H \times V \quad (3)$$

式中:  $R$ ——地质灾害风险度;

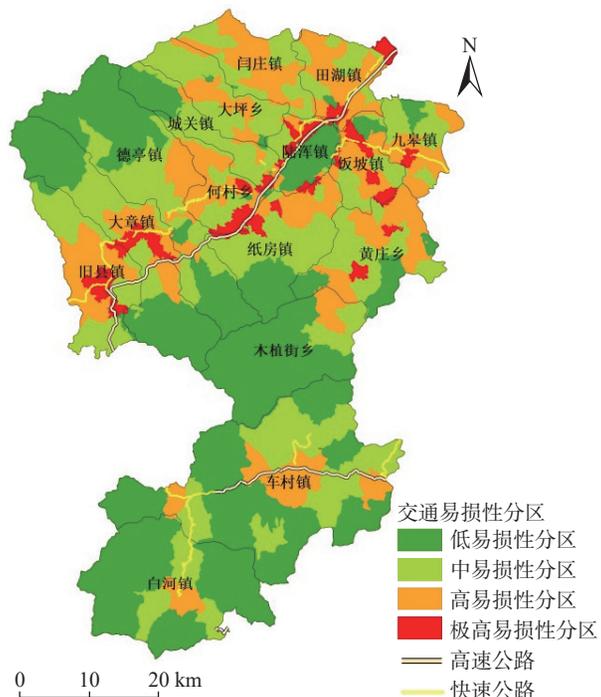
$H$ ——地质灾害危险度;

$V$ ——地质灾害易损度。

基于 ArcGIS 环境下, 依据自然间断法将研究区风险性划分为低风险区、中风险区、高风险区和极高风险区, 见图 10(a)。对分区面积进行统计, 见图 10(b)(c), 结果表明: 其中低风险区面积为 962.39 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积 31.98%; 中风险区面积为 1 111.43 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 36.94%; 高风险区面积为 824.56 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 27.40%; 极高危险区面积为 110.61 km<sup>2</sup>, 占嵩县全区面积的 3.68%。



(a) 建筑物易损性



(b) 交通易损性分区

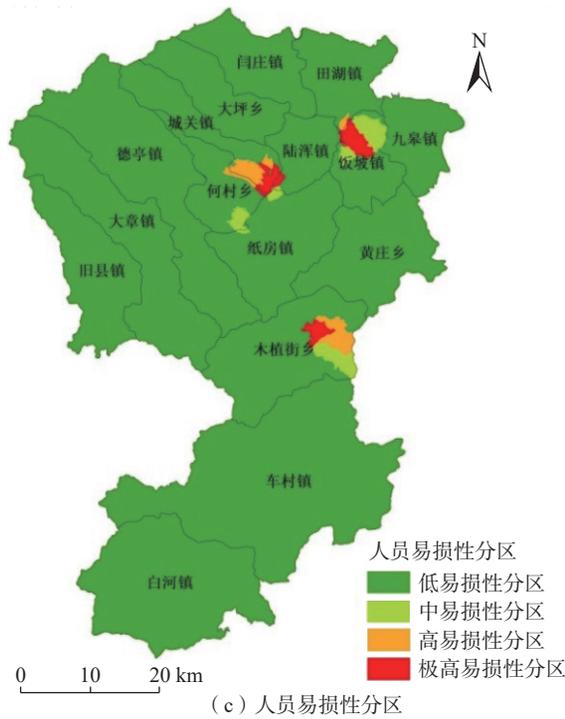


图 8 承载体易损性分级结果图

Fig. 8 Vulnerability classification results of bearing body

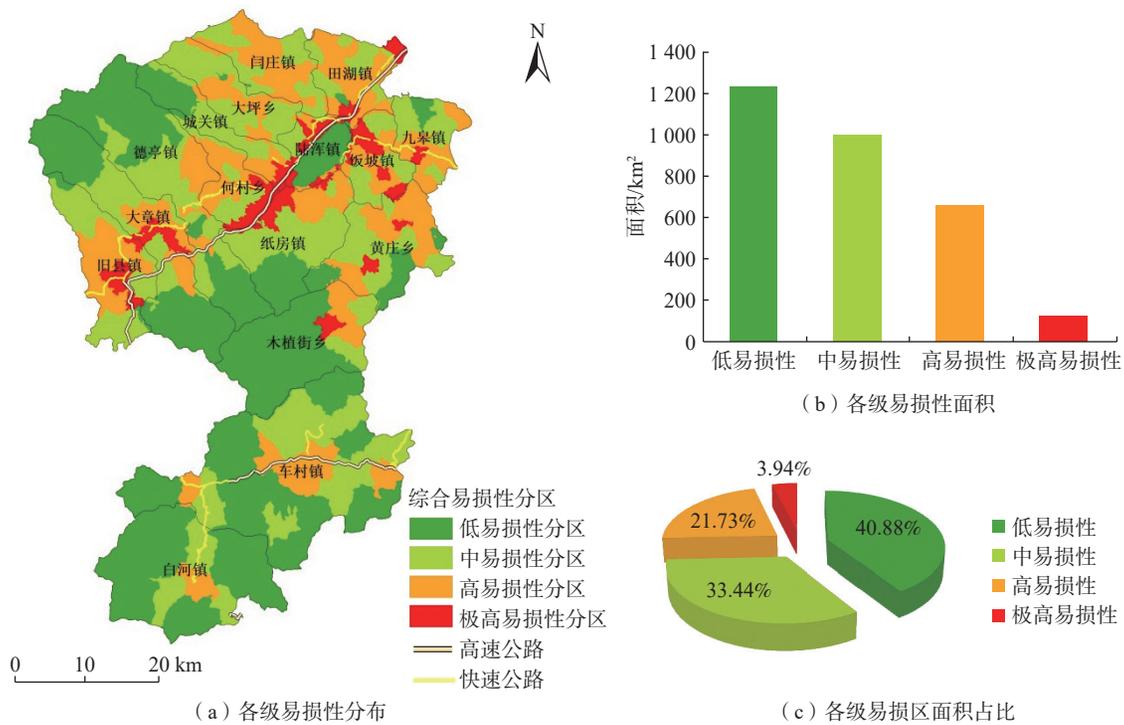


图 9 嵩县地质灾害易损性分区结果图

Fig. 9 Geological hazard vulnerability zoning results in Song County

### 5 结论

(1) 基于 ArcGIS 平台, 采用信息量模型选取高程、

地貌、工程岩组、植被覆盖度、距构造距离、距水系距离、坡度、坡向等 8 个因子建立河南省嵩县地质灾害易发性评价模型, 对研究区易发性进行了分区, 高易发区

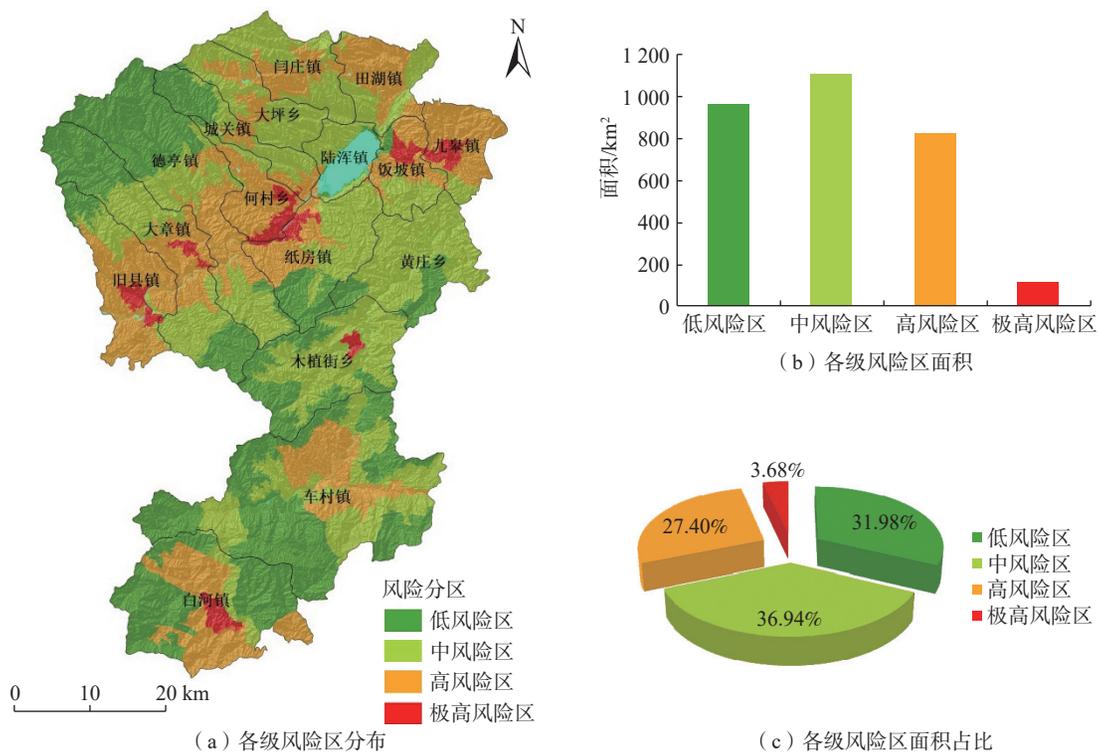


图 10 嵩县地质灾害风险分区图

Fig. 10 Geological hazard risk zoning map of Song County

主要位于白河镇中东部, 高易发区面积为  $637.91 \text{ km}^2$ , 占嵩县区域面积的 21%。嵩县区域极高风险区面积为  $178.04 \text{ km}^2$ , 占嵩县区域面积的 6%, 大部分分布于白河镇, 少量分布于车村镇和九皋镇。

(2) 在 ArcGIS 环境下, 将研究区风险性划分为低风险区、中风险区、高风险区和极高风险区。低风险区面积为  $965.34 \text{ km}^2$ , 占嵩县全区面积 32%; 中风险区面积为  $1114.65 \text{ km}^2$ , 占嵩县全区面积的 37%; 高风险区面积为  $826.23 \text{ km}^2$ , 占嵩县全区面积的 27%; 极高风险区面积为  $102.68 \text{ km}^2$ , 占嵩县全区面积的 3%, 其中极高风险区分布于白河镇中部、旧县镇中南、纸房镇西北部、何村乡东南部、饭坡镇北中部及九皋镇中西部, 在每个镇分布的面积都较小, 说明嵩县区域内风险性整体较低。

(3) 研究成果对嵩县防灾、减灾及地质灾害风险管控方面具有很好的应用价值, 嵩县区域内地质灾害防治主要以白河镇、纸房镇、何村乡、饭坡镇、旧县镇、大章镇、九皋镇等 7 个乡镇为主。

#### 参考文献 (References):

- [1] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究 [J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33-40. [ QI Xin, TANG Chuan, CHEN Zhoufeng, et al. Research of geohazards risk assessment [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 33-40. (in Chinese with English abstract) ]
- [2] MANTOVANI F, SOETERS R, VAN WESTEN C J. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe [J]. Geomorphology, 1996, 15(3/4): 213-225.
- [3] MICHAEL-LEIBA M, BAYNES F, SCOTT G, et al. Regional landslide risk to the Cairns community [J]. Natural Hazards, 2003, 30(2): 233-249.
- [4] UROMEIHY A, MAHDAVIFAR M R. Landslide hazard zonation of the khorshrostan area, Iran [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2000, 58(3): 207-213.
- [5] ALEOTTI P, CHOWDHURY R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1999, 58(1): 21-44.
- [6] Einstein H H. Landslide risk-systematic approaches to assessment and management [C] //In: Cruden D. and Fell R. ( eds. ), Landslide Risk Assessment. Rotterdam: Balkema, 1997: 25-50.
- [7] VAN WESTEN C. Geo-Information tools for landslide risk assessment: An overview of recent developments [M] // Landslides: Evaluation and Stabilization/Glisement de Terrain: Evaluation et Stabilisation, Set of 2 Volumes. CRC Press, 2004: 39-56.
- [8] 罗路广, 裴向军, 谷虎, 等. 基于 GIS 的“8·8”九寨沟地震景区地质灾害风险评价 [J]. 自然灾害学报, 2020, 29(3): 193-202. [ LUO Luguang, PEI Xiangjun, GU Hu, et al. Risk

- assessment of geohazards induced by “8-8” earthquake based on GIS in Jiuzhaigou scenic area [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2020, 29(3): 193–202. (in Chinese with English abstract)
- [ 9 ] 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. [ 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. (in Chinese) ]
- [ 10 ] 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]. *成都理工学院学报*, 2001, 28(1): 89–92. [ RUAN Shenyong, HUANG Runqiu. Application of GIS-based information model on assessment of geological hazards risk [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 28(1): 89–92. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 11 ] 刘福臻, 王灵, 肖东升. 机器学习模型在滑坡易发性评价中的应用 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2021, 32(6): 98–106. [ LIU Fuzhen, WANG Ling, XIAO Dongsheng. Application of machine learning model in landslide susceptibility evaluation [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2021, 32(6): 98–106. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 12 ] 倪晓娇, 南颖. 基于GIS的长白山地区地质灾害风险综合评估 [J]. *自然灾害学报*, 2014, 23(1): 112–120. [ NI Xiaojiao, NAN Ying. Comprehensive assessment of geological disasters risk in Changbai Mountain region based on GIS [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2014, 23(1): 112–120. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 13 ] 冯凡, 唐亚明, 潘学树, 等. 不同尺度下地质灾害风险评价方法探讨——以陕西吴堡县为例 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2022, 33(2): 115–124. [ FENG Fan, TANG Yaming, PAN Xueshu, et al. An attempt of risk assessment of geological hazards in different scales: A case study in Wubao County of Shaanxi Province [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2022, 33(2): 115–124. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 14 ] 李阳春, 刘黔云, 李潇, 等. 基于机器学习的滑坡崩塌地质灾害气象风险预警研究 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2021, 32(3): 118–123. [ LI Yangchun, LIU Qianyun, LI Xiao, et al. Exploring early warning and forecasting of meteorological risk of landslide and rockfall induced by meteorological factors by the approach of machine learning [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2021, 32(3): 118–123. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 15 ] 乔建平, 王萌, 石莉莉. 区域滑坡风险评估中的风险区划与概率分析 [J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(2): 51–56. [ QIAO Jianping, WANG Meng, SHI Lili. Risk zoning and probability analysis of regional landslide risk assessment [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2012, 21(2): 51–56. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 16 ] 刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的探讨 [J]. *山地学报*, 2000, 18(4): 341–345. [ LIU Xilin. Approaches to risk assessment of debris flow [J]. *Journal of Mountain Research*, 2000, 18(4): 341–345. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 17 ] 王嘉君, 何亚伯, 杨琳, 等. 基于GIS的山区村镇多灾种耦合风险评估 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2018, 29(1): 102–112. [ WANG Jiajun, HE Yabo, YANG Lin, et al. Comprehensive multi-hazard risk assessment of villages and towns in mountain areas based on GIS [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2018, 29(1): 102–112. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 18 ] 刘传正. 论地质灾害风险识别问题 [J]. *水文地质工程地质*, 2017, 44(4): 1–7. [ LIU Chuanzheng. Research on the risk recognition of geological disasters [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2017, 44(4): 1–7. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 19 ] 刘传正. 崩塌滑坡灾害风险识别方法初步研究 [J]. *工程地质学报*, 2019, 27(1): 88–97. [ LIU Chuanzheng. Analysis methods on the risk identification of landslide disasters [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2019, 27(1): 88–97. (in Chinese with English abstract) ]
- [ 20 ] ALEXANDER E D, *Natural Disasters* [M]. London: UCL Press Limited, 1993: 1–632.