

# 基于GIS的滑坡灾害危险性区划研究 ——以重庆市万州区为例

楚敬龙, 王金生, 滕彦国, 王小娜

(北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875)

**摘要:** 为了弥补滑坡灾害危险性区划研究中影响因子和等级划分的不确定性, 结合前人研究成果, 依据斜坡几何形态、岩性、地质构造、河流侵蚀、土地利用类型、人类工程活动、降水条件等影响因子与研究区实际已发生的滑坡灾害数之间的关系, 编制重庆市万州区滑坡灾害危险性评价标准, 并基于GIS技术和信息量模型法, 计算滑坡评价因子的信息量, 就万州区滑坡危险性进行区划, 最后基于乡镇行政区对该区滑坡危险性区划进行细化。结果表明: 建设用地、坡高为90~200 m的地形、1 024~1 060 mm的年降雨量以及侏罗系中统上沙溪庙组岩层等因素对万州区滑坡发生影响较大; 根据滑坡灾害危险性评价标准, 万州区滑坡灾害被划分为高、中、低、极低等4个危险区; 应用信息量模型法得到的万州区滑坡危险性区划与实际情况比较吻合; 高危险区和中危险区面积分别为564.4 km<sup>2</sup>和848.6 km<sup>2</sup>, 分别占万州区总面积的16.3%和24.5%, 主要分布于长江干流及支流两岸的居民相对集中区以及公路干线地段; 高危险和中危险乡镇主要分布在万州区经济较为发达的长江干流两岸, 尤其是左岸的黄柏乡、太龙镇、天城镇、李河镇等以及万州主城区。

**关键词:** 滑坡; 信息量模型; 危险性区划; 行政区; GIS; 重庆市

**中图分类号:** P642.22; P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)04-0409-07

## Study on Landslide Hazard Zonation Based on GIS —— Taking Wanzhou District of Chongqing City as an Example

CHU Jing-long, WANG Jin-sheng, TENG Yan-guo, WANG Xiao-na

(School of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** In order to make up the uncertainty of impact factor and classification while studying landslide hazard zonation, based on previous research results, assessment criteria of landslide hazard in Wanzhou District of Chongqing City was documented according to the relationship between the number of happened landslide hazard in the research area and the impact factors such as slope geometry, lithology, geological structure, river erosion, land use type, human engineering activity, precipitation condition, and so on; based on GIS and information content model, information content of evaluation factor of landslide was calculated, landslide hazard zonation in Wanzhou District was divided; finally, landslide hazard zonation was subdivided according to the administrative district of villages and towns in Wanzhou District. The result showed that construction land, slope elevation (90-200 m), annual precipitation (1 024-1 060 mm) and Upper Shaximiao Formation of Middle Jurassic System were major factors to cause landslide; landslide hazard in Wanzhou District was divided into high, medium, low and very low dangerous zones according to the assessment criteria; landslide hazard zonation divided by the information model coincided with the fact result; the areas of high and medium dangerous zones were 564.4 km<sup>2</sup> and 848.6 km<sup>2</sup>, and 16.3% and 24.5% of the total area of Wanzhou District, and the zones included arterial highway and relative centralized residential area which located at both sides of the Yangtze and its tributary; high and medium dangerous villages and towns included both sides of the Yangtze which were developed areas, especially Huangbai Village, Tailong Town, Tiancheng Town, Lihe Town and main zone of Wanzhou District.

**Key words:** landslide; information content model; hazard zonation; administrative district; GIS; Chongqing City

收稿日期: 2010-01-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAC04B05)

作者简介: 楚敬龙(1983-), 男, 山东高密人, 工学硕士研究生, 从事GIS应用及地质灾害风险评价等研究。E-mail: chujinglong@163.com

## 0 引言

近年来,地震、滑坡、泥石流、城市地面沉降等地质灾害呈明显加剧的趋势,受灾损失越来越严重,人类的生存和发展受到地质灾害的严重威胁<sup>[1]</sup>,尤其是 2008 年中国汶川发生的特大地震引发的特大地质灾害,某些特大滑坡形成了非常危险的堰塞湖。上述事件迫切需要加大防灾减灾的力度,并亟待开展地质灾害危险性评价的研究工作。近年来,GIS 技术与滑坡危险性评价方法相结合,对滑坡灾害多发区进行评价已经成为国际上的前沿课题<sup>[2-7]</sup>。2005 年在加拿大召开的滑坡风险管理会议,从地质灾害发生的空间、时间概率及其社会经济影响度来研究灾害的防治、控制与管理<sup>[8]</sup>。2007 年国际滑坡联合机构会同相关协会制定了土地利用规划的滑坡易发性、危险性、风险区划指南<sup>[9]</sup>。

基于 GIS 技术和信息量模型进行滑坡灾害危险性区划已经成为较为成熟的方法<sup>[2-3, 5, 10-12]</sup>,但滑坡灾害影响因子和等级划分存在不确定性。笔者以重庆市万州区为例,根据滑坡发生主要影响因子的实际资料,划分了研究区滑坡灾害危险性等级,并以 GIS 技术结合信息量模型用于研究区的滑坡危险性区划,再将区划结果与乡镇行政区相结合,进行乡镇级的滑坡危险性区划。

## 1 研究区概况

万州区位于重庆市东北部,总面积约 3 457 km<sup>2</sup>,地处四川盆地东部长江河谷带,地势东高西低。区内地貌明显受地质构造格局控制,山脉总的走向与区域构造线均沿北北东向展布。受岩性及水系的影响,区内具有河谷、丘陵、低山、中山等多样化的地貌景观。区内出露地层都为沉积岩,除第四系存在小面积或零星分布外,其余都为中生界地层,可分为 3 类:层状碎屑岩类;硫酸盐岩类;特殊岩类,包括煤层<sup>[13]</sup>。由于区域地层层状结构发育,且软硬相间,差异风化明显,力学强度低,为该区滑坡的发生提供了物质基础条件。

万州区滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害均有发育,以滑坡为主。根据万州区地质灾害调查报告,在有记录的 359 个滑坡中,松散岩类滑坡占滑坡总数的 93%,滑体物质主要为粉质黏土夹砂泥岩碎块石,其变形方式主要为蠕滑拉裂和滑移拉裂,产生滑坡的主要因素有降雨、河流水位变化、人类工程活动等,基岩滑坡占滑坡总数的 7%,发生的地层主要为

侏罗系红层、三叠系中统及三叠系上统,滑体物质主要由粉质黏土、碎块石及碎裂岩体组成,滑面多沿泥岩与砂岩接触面发育。

## 2 区域滑坡灾害危险性区划

### 2.1 信息量模型

对于滑坡灾害危险性评价,国内外研究较多,形成了许多专业分析模型,如信息量模型、模糊综合评判模型、本底因子贡献权重模型等<sup>[10, 14-15]</sup>。其中信息量模型是进行区域地质灾害预测的一种有效方法,它适应于中小比例尺区域地质灾害危险性评价,其特点是可以将主观经验和客观数据很好地结合,将评价单元内所有的信息等权值叠加,从而获得评价单元的总信息量,操作方便,可以进行快速评价和制图<sup>[11-12]</sup>。所以笔者选用信息量模型进行滑坡灾害危险性评价。

信息预测观点认为,滑坡灾害产生与否与预测过程中所获取信息的数量和质量有关,是用信息量来衡量的,而信息预测学对信息的基本描述是用概率来表示的<sup>[12]</sup>,即

$$I(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \ln \frac{P(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{P(Y)} \quad (1)$$

式中: $I(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 为因素  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  对滑坡等地质灾害现象  $Y$  所提供的信息量 (Nat);  $P(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 为因素  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  组合条件下滑坡等地质灾害的发生概率;  $P(Y)$ 为滑坡等地质灾害的发生概率,  $P(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 和  $P(Y)$ 都可用统计概率来表示。地质灾害受多种因素影响,信息量模型所考虑的是在一定环境下影响滑坡的最佳因素组合。当  $I > 0$  时,表示因素组合对滑坡灾害的发生有利;  $I < 0$  时,表示这些因素组合不利于滑坡灾害的发生。

区域滑坡灾害危险性评价是在对研究区域划分网格单元的基础上进行的,并进一步结合区域滑坡灾害分布开展信息统计分析。假定研究区被划分为  $N$  个单元,已经发生滑坡灾害的单元为  $N_0$  个;具有相同因素  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  组合的单元共  $M$  个,而在这些单元中有滑坡灾害的单元为  $M_0$  个。按照统计概率代表先验概率的原理,根据公式 (1),因素  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  在该单元内对滑坡灾害提供的信息量为

$$I(Y, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = \ln \frac{M_0/M}{N_0/N} \quad (2)$$

由于作用于滑坡灾害的因素很多,相应因素组合状态也特别多,样本统计数量受到限制,故采用单因素信息量模型分步计算,再综合叠加分析,所以单个评价单元内总信息量为

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \ln \frac{M_0^i / M^i}{N_0 / N} \quad (3)$$

式中: $I$ 为某评价单元的总信息量; $I_i$ 为因素 $x_i$ 在某评价单元对滑坡灾害提供的信息量; $n$ 为参评因子数; $M_0^i$ 为具有因素 $x_i$ 的单元中发生滑坡灾害的单元数; $M^i$ 为具有因素 $x_i$ 的单元数。用总的信息量 $I$ 作为该单元影响滑坡发生的综合指标,其值越大该单元的滑坡危险性也越高。

2.2 评价单元选取

在开展滑坡灾害危险性区划过程中,单元划分直接影响滑坡灾害危险性区划精度和结果的可靠性。目前常用的单元划分方法有3种:规则网格划分法、栅格单元划分法、滑坡机理和地貌分析的斜坡单元划分法<sup>[19]</sup>。笔者采用栅格单元划分法,栅格单元大小的选取受多种因素影响,原始数据特别是地形数据的分辨率是最主要因素。根据经验公式<sup>[17]</sup>

$$G = 7.49 + 0.0006S - 2.0 \times 10^{-9}S^2 + 2.9 \times 10^{-15}S^3 \quad (4)$$

式中: $G$ 为适宜网格大小; $S$ 为原始等高线数据精度的分母。计算得万州区滑坡危险性评价的 $G$ 为78 m,结合原始数据DEM分辨率,最终取栅格单元大小为90 m。由此得到万州研究区426 910个评价单元,略去长江干流、甘宁水库、登丰水库等区域,最终确定419 712个有效评价单元。

2.3 滑坡发生的影响因子

滑坡是一个复杂的系统,影响因素有很多。从区域角度看,准确选择滑坡发生的影响因素很困难,大多数情况下需要依赖经验判断。结合万州区地质环境条件、滑坡分布特征和前人对该区域的研究,在充分考虑专家经验、已有资料的研究精度、研究区尺度等,遵照科学性、合理性、可操作性及易量化等原则,选取了斜坡几何形态、岩性、地质构造、河流侵蚀、土地类型、人类工程活动以及降水条件为滑坡灾害危险性评价因子。不同研究区影响因子的等级划分有所不同,结合本研究区的实际资料,笔者对各影响因子的等级进行了划分。

2.3.1 斜坡几何形态

斜坡几何形态包括坡度、坡高和坡向3类要素,不同斜坡形态对滑坡发生的影响不同,研究选取了坡度和坡高两类要素。坡度太小不利于滑坡,坡度

太大便发生崩塌,只有坡度适宜才有利于滑坡发生。根据该区1962—2000年滑坡灾害次数与地形坡度关系的统计分析(图1),将地形坡度分为5个级别( $< 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $25^\circ \sim 35^\circ$ 、 $35^\circ \sim 50^\circ$ 、 $> 50^\circ$ )。而坡高和坡度类似,其大小不同对滑坡发生的影响也不同,以100 m为间隔,对研究区DEM进行栅格单元分类,并与滑坡分布图进行栅格叠加分析(图2),将研究区坡高分为4个级别( $< 200$  m、 $200 \sim 600$  m、 $600 \sim 1\,000$  m、 $> 1\,000$  m)。

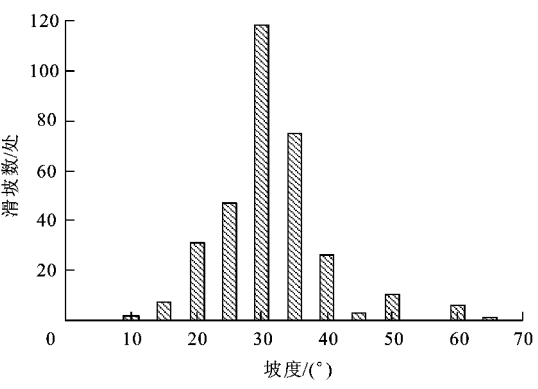


图1 坡度与滑坡数的关系  
Fig. 1 Relationship Between Slope Angle and Landslide Events

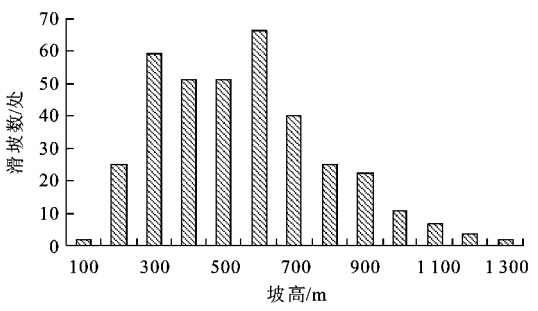


图2 坡高与滑坡数的关系  
Fig. 2 Relationship Between Slope Elevation and Landslide Events

2.3.2 岩性

岩性是研究区内滑坡产生的重要基础,不同岩性及其组合对斜坡的变形破坏有重要作用。研究区滑坡主要发生在侏罗系中统上沙溪庙组( $J_2s$ ),其岩性为泥岩以及砂岩泥岩互层,这样的岩性及其组合使岩体或岩体的互层界面抗剪强度较低,容易在坡体加载或水流侵蚀下形成滑移破裂面,极易产生滑坡。其次主要发生在侏罗系上统遂宁组( $J_3s$ )、三叠系中统巴东组( $T_2b$ )和三叠系上统须家河组( $T_3xj$ )等(图3)<sup>[13]</sup>。

2.3.3 地质构造

万州区构造形态定型于燕山运动末期,自第四

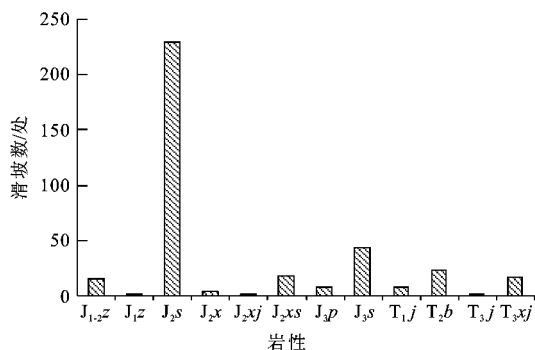


图 3 岩性与滑坡数的关系

Fig. 3 Relationship Between Lithology and Landslide Events

纪以来一直处于间歇性抬升过程中。研究区内滑坡主要发生在褶皱密集地区和断裂发育部位, 具有沿构造线方向密集展布的特点, 且以万州区复式向斜与方斗山背斜最典型<sup>[13]</sup>。运用 GIS 缓冲分析功能, 以 150 m 为间距, 统计分析地质构造对滑坡的影响, 确定影响半径为 450 m (图 4)。

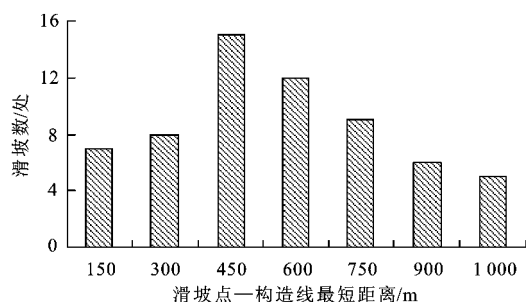


图 4 构造缓冲与滑坡数的关系

Fig. 4 Relationship Between Geological Structure Buffer and Landslide Events

#### 2.3.4 河流侵蚀

滑坡发生的必要条件是滑坡体前缘必须有临空面。当河流冲蚀坡脚时, 产生众多临空面, 使大量斜坡滑移控制面暴露, 引发滑坡<sup>[13]</sup>。以距离河流远近来衡量坡体受河流冲刷的程度, 对区域水系以 100 m 为间距做缓冲统计分析 (图 5), 最终将区域内距水系的距离分为 4 个级别 (0 ~ 200 m、200 ~ 400 m、400 ~ 600 m、> 600 m)。

#### 2.3.5 土地利用类型

根据中国土地利用数据库进行重庆市万州区土地类型分类, 在一定程度上反映了人类活动对自然界的改造和影响。建设用地是滑坡的易发区; 山区及丘陵区的旱地、水田无降雨遮挡物及固结斜坡的设施, 在降雨的渗透及地下水的长期侵蚀下, 软化坡体结构面, 使坡体抗剪强度降低, 导

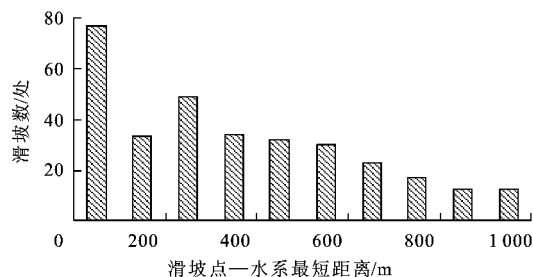


图 5 水系缓冲区与滑坡数的关系

Fig. 5 Relationship Between River Buffer and Landslide Events

致滑坡发生; 林地和草地能够降低降雨的入渗速度, 提高灾害体的力学参数, 不易发生滑坡 (滑坡密度小于 0.1, 图 6)<sup>[13]</sup>。

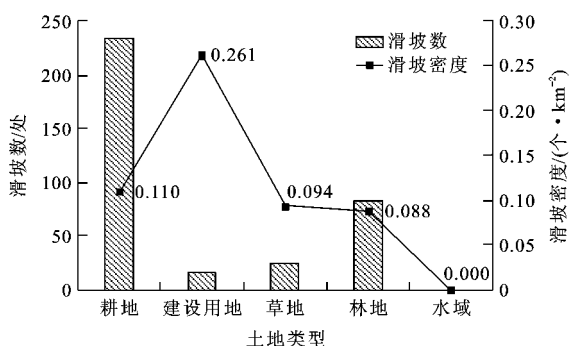


图 6 土地利用类型与滑坡数的关系

Fig. 6 Relationship Between Land Use Type and Landslide Events

#### 2.3.6 人类工程活动

人类工程建设、矿山开挖等活动都会诱发滑坡, 不合理的开挖、填方、工程爆破和建筑荷载等人类工程活动不同程度影响着斜坡的稳定性。由于人类工程活动的复杂性和不确定性, 其对滑坡发生的影响可以通过距离开挖道路的远近来反映。应用 GIS 缓冲分析功能, 以 10 m 为间距统计分析距离道路远近对滑坡的影响, 确定影响半径为 240 m (图 7)。

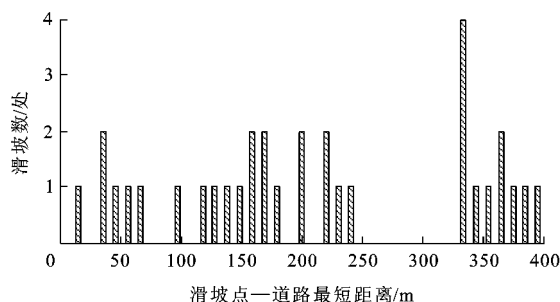


图 7 道路缓冲与滑坡数的关系

Fig. 7 Relationship Between Road Buffer and Landslide Events

2.3.7 降水条件

降水与其他外动力因素(如地表水冲蚀、山洪剧烈冲刷等)联合容易造成大量滑坡随降水同时或稍滞后发生,所以降水是滑坡发生的重要诱发因素<sup>[13]</sup>。根据中国科学院地理与资源研究所发布的中国自然资源数据库,得到万州区 1 km<sup>2</sup> 降水数据(1971—2000 年累年平均降水量),分析其区域差异性及与已发生滑坡的关系(图 8),

表 1 重庆市万州区滑坡灾害危险性评价标准

Tab. 1 Assessment Criteria of Landslide Hazard in Wanzhou District of Chongqing City					
因素		高危险条件	中危险条件	低危险条件	极低危险条件
斜坡几何形态	坡度	25°~35°	15°~25°	35°~50°	>50°或<15°
	坡高/m	200~600	600~1 000	90~200	>1 000
岩性	代号	J <sub>2</sub> s	J <sub>3</sub> s	T <sub>2</sub> b、T <sub>3</sub> xj、J <sub>2</sub> xs、J <sub>1-2</sub> z	其他
地质构造	类别	位于断裂带内,且断裂与河谷斜坡交会处	位于断裂带或褶皱轴线两侧 450 m 范围内	位于断裂带或褶皱轴线两侧 1 km 范围内	断裂带或褶皱轴线两侧 1 km 范围外
河流侵蚀	类别	位于河流两侧 200 m 范围内	位于河流两侧 400 m 范围内	位于河流两侧 600 m 范围内	位于河流两侧 600 m 范围外
土地类型	类别	城乡、工矿、居民用地	耕地,包括旱地、水田	草地	林地和水域
人类工程活动	类别	人类活动强烈区;道路两侧 240 m 之内	人类活动中等区;道路两侧 240 m 之内	人类活动较弱区;道路两侧 240 m 之外	人类活动极弱区;道路两侧 240 m 之外
降水条件	降水量/mm	1 024~1 060	1 060~1 080	1 080~1 100	1 100~1 154

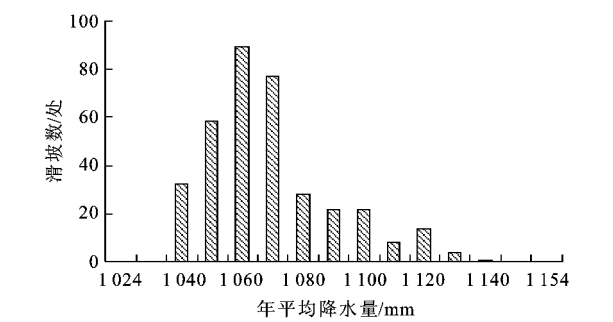


图 8 年平均降水量与滑坡数的关系

Fig. 8 Relationship Between Annual Precipitation and Landslide Events

2.5 基于GIS的信息量计算及滑坡危险性区划

结合各评价因子统计分析和滑坡危险性评价的分级标准,应用信息量模型对万州区滑坡灾害进行危险性区划。将评价因子图层和滑坡灾害分布图层在 ArcGIS 空间分析模块中进行栅格处理,得到信息量计算结果(表 2)。将滑坡灾害危险性区划的各评价因子栅格图层进行重分类,得到根据信息量计算结果生成的 8 张信息量图,并利用 ArcGIS 空间分析模块中 raster calculator 进行栅格叠加运算,获得研究区各个评价单元的综合信息量值,其中最大值为 2 859 Nat,最小值为-2 256 Nat。为了分析各单元信息量的分布特点并确定各危险性等级的分区界限,编制以

将年平均降水量分为 4 个级别(1 024~1 060 mm、1 060~1 080 mm、1 080~1 100 mm、1 100~1 154 mm)。

2.4 滑坡灾害危险性评价分级标准

根据上述选取的研究区滑坡灾害发生的影响因子,结合本区已发生滑坡灾害的分布特征和统计分析结果以及前人研究<sup>[2,15]</sup>,编制万州区滑坡灾害危险性评价的分级标准(表 1)。

0.4 Nat 为步长的信息量与累积栅格单元个数分布曲线(图 9),发现在-0.8、0.8 Nat 处出现明显的拐点。将全区按照滑坡危险性分为高危险区( $I > 0.8 \text{ Nat}$ )、中危险区( $0 \text{ Nat} < I \leq 0.8 \text{ Nat}$ )、低危险区( $-0.8 \text{ Nat} < I \leq 0 \text{ Nat}$ )、极低危险区( $I \leq -0.8 \text{ Nat}$ )(图 10)。

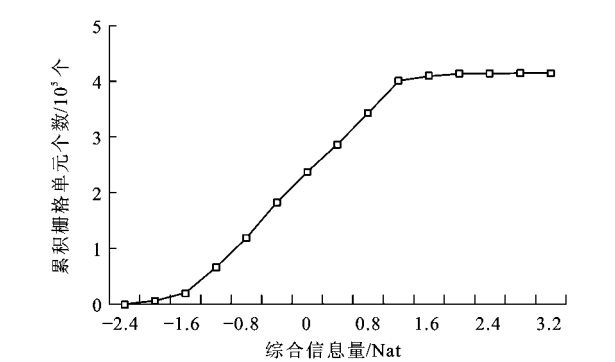


图 9 以 0.4 Nat 为步长的信息量与累积栅格单元分布  
Fig. 9 Distribution of Information Content and Cumulate Raster Cell When Step was 0.4 Nat

根据野外调查得到的 359 处滑坡资料,70%以上典型滑坡处于高危险区和中危险区内,有些更是特大型滑坡和大型滑坡。这些表明信息量法的计算结果与实际情况比较吻合。从各级别分区面积和比例来看,高危险区和中危险区面积分别为 564.4 km<sup>2</sup> 和 848.6 km<sup>2</sup>,分别占万州区总面积的

表 2 信息量计算结果

Tab. 2 Calculation Result of Information Content

评价因子	状态	变量	信息量计算			信息量
			$M^i$	$M_0^i$	$I_i/\text{Nat}$	排序
坡度/(°)	< 15	$X_1$	218 013	187	0.003	17
	15~25	$X_2$	131 382	114	0.014	15
	25~35	$X_3$	56 240	47	0.023	14
	35~50	$X_4$	12 713	11	0.012	16
	> 50	$X_5$	106	0		
坡高/m	90~200	$X_6$	9 956	21	0.903	2
	200~600	$X_7$	214 583	227	0.212	5
	600~1 000	$X_8$	157 640	98	-0.319	23
	1 000~1 700	$X_9$	36 275	13	-0.870	28
岩性	$J_2s$	$X_{10}$	158 063	183	0.303	4
	$J_3s$	$X_{11}$	61 176	59	0.120	10
	$T_2b$ $T_3xj$ , $J_2xs$ $J_1-2z$	$X_{12}$	91 135	51	-0.424	26
	其他	$X_{13}$	109 338	66	-0.349	25
与构造轴线 的距离/m	< 450	$X_{14}$	35 254	36	0.177	7
	$\geq 450$	$X_{15}$	384 458	323	-0.018	19
与水系 距离/m	0~200	$X_{16}$	80 821	82	0.171	8
	200~400	$X_{17}$	74 417	76	0.177	6
	400~600	$X_{18}$	62 295	60	0.119	11
	> 600	$X_{19}$	202 179	141	-0.204	21
与道路 距离/m	< 240	$X_{20}$	25 103	25	0.152	9
	$\geq 240$	$X_{21}$	394 609	334	-0.011	18
土地 类型	耕地, 包括水田、旱地	$X_{22}$	222 708	199	0.044	13
	城乡、工矿、居民用地	$X_{23}$	1 516	9	0.937	1
	草地	$X_{24}$	83 173	79	0.105	12
	林地	$X_{25}$	110 818	72	-0.275	22
年降水 量/mm	1 024~1 060	$X_{26}$	146 084	179	0.359	3
	1 060~1 080	$X_{27}$	145 153	105	-0.168	20
	1 080~1 100	$X_{28}$	72 760	44	-0.347	24
	1 100~1 154	$X_{29}$	49 852	27	-0.457	27

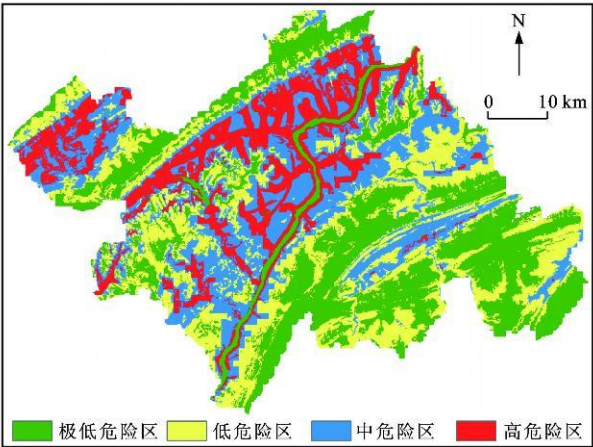


图 10 基于栅格单元的滑坡危险性区划

Fig. 10 Landslide Hazard Zonation Based on Raster Cell

16.3%和24.5%,主要分布于长江干流及支流两岸的居民相对集中区以及公路干线地段。

3 基于乡镇行政区的滑坡危险性区划

为了使不同层次政府部门的减灾防灾措施有效发挥作用,急需不同行政区的滑坡危险性区划,其中,以乡镇滑坡灾害危险性区划实用性最强。在此以万州区乡镇级滑坡灾害危险性区划为例说明其区划方法。

将已得到的区域滑坡危险性分区图与乡镇级行政单元进行矢量叠加,若某乡镇中某一危险性级别的面积占此乡镇面积的一半以上,则将该危险性级别视为此乡镇的危险性等级;若各危险性级别的面积均未超过此乡镇面积的一半,则对各乡镇的危险性等级进行加权处理

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^4 W_j \times A_{ij}}{A_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

式中:  $W_i$  为第  $i$  乡镇的加权指标值;  $W_j$  为第  $j$  级指标区的指标值;  $A_{ij}$  为第  $i$  乡镇中  $j$  级指标区的面积;  $A_i$  为第  $i$  乡镇的总面积,  $m$  为乡镇个数。

由此得到各乡镇的综合加权指标值,按照关联度原则对每个乡镇赋予危险性等级,得到以行政区为边界的滑坡灾害危险性区划图(图 11)。由图 11 可知,高危险乡镇和中危险乡镇主要分布在万州区经济较为发达的长江干流两岸尤其左岸的黄柏乡、太龙镇、天城镇、李河镇等乡镇以及万州主城区。

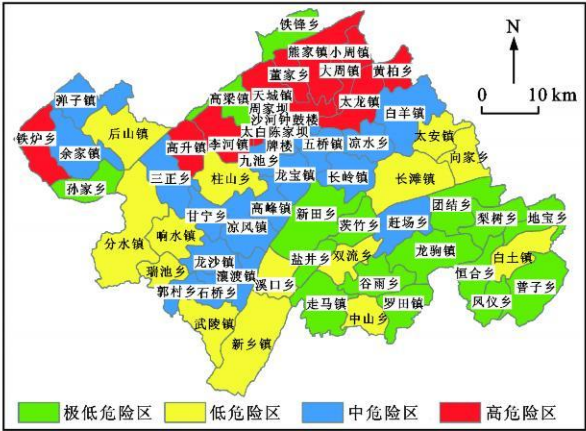


图 11 基于乡镇行政区的滑坡危险性区划

Fig. 11 Landslide Hazard Zonation Based on Administrative District of Villages and Towns

4 结语

(1)结合前人研究成果,根据斜坡几何形态、岩

性、地质构造、河流侵蚀、土地类型、人类工程活动、降水条件等滑坡发生的影响因子与研究区实际已发生的滑坡灾害数之间的关系,编制出重庆市万州区滑坡灾害危险性评价标准。建设用地、坡高为90~200 m的地形、1 024~1 060 mm的年降雨量以及侏罗系中统上沙溪庙组岩层等因素对万州区滑坡发生影响较大;根据滑坡灾害危险性评价标准,万州区滑坡灾害被划分为高、中、低、极低等4个危险区。

(2)基于GIS技术和信息量模型法,计算得到滑坡评价因子的信息量,并就万州区滑坡危险性进行了区划。应用GIS技术对所选取的滑坡灾害危险性评价因子进行处理,快速且效果明显,在编制区划图方面具有独特的优势;应用信息量模型法得到的万州区滑坡危险性区划与实际情况比较吻合;高危险区和中危险区面积分别为564.4 km<sup>2</sup>和848.6 km<sup>2</sup>,分别占万州区总面积的16.3%和24.5%,主要分布于长江干流及支流两岸的居民相对集中区以及公路干线地段。

(3)最后基于乡镇行政区对万州区滑坡危险性区划进行了细化。高危险和中危险乡镇主要分布在万州区经济较为发达的长江干流两岸,尤其是左岸的黄柏乡、太龙镇、天城镇、李河镇等以及万州主城区。基于信息量模型(采用栅格单元划分法)的区域滑坡危险性区划和基于行政区的滑坡危险性区划相结合,可更加方便的为不同层次政府部门的滑坡设防等提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 张俊香. 新一代自然灾害风险区划原理与方法研究——以地震灾害为例[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [2] 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.
- [3] Wang H B, Liu G J, Xu W Y, et al. GIS-based Landslide Hazard Assessment: an Overview [J]. Progress in Physical Geography, 2005, 29(4): 548-567.
- [4] 兰恒星, 伍法权, 周成虎, 等. 基于GIS的云南小江流域滑坡因子敏感性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1500-1506.
- [5] 张桂荣, 殷坤龙, 刘传正, 等. 基于GIS的陕西省旬阳地区滑坡灾害危险性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 39-43.
- [6] Van Westen C J. Landslide Hazard and Risk Zonation: Why is It Still so Difficult? [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2005, 65(2): 176-184.
- [7] Dai F C, Lee C F, Ngai Y Y. Landslide Risk Assessment and Management: an Overview [J]. Engineering Geology, 2002, 64(1): 65-87.
- [8] 张梁, 张业成, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [9] Australian Geomechanics Society Landslide Taskforce Landslide Zoning Working Group. Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Management [J]. Australian Geomechanics, 2007, 42(1): 13-36.
- [10] 朱良峰, 吴信才, 殷坤龙, 等. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 52-56.
- [11] 张春山, 韩金良, 孙炜峰, 等. 陕西陇县地质灾害危险性分区评价[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1795-1801.
- [12] 孙炜峰, 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, 27(11): 1846-1853.
- [13] 楚敬龙, 杜加强, 滕彦国, 等. 基于GIS的重庆市万州区滑坡灾害危险性评价[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1875-1881.
- [14] 唐川, 周钜, 朱静. 云南崩塌滑坡危险度分区的模糊综合分析法[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 48-54.
- [15] 王萌, 乔建平, 吴彩燕. 基于GIS和本底因素贡献权重模型的区域滑坡危险性评价——以重庆万州区为例[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1802-1809.
- [16] 石菊松, 石玲, 吴树仁. 利用GIS技术开展滑坡制图的技术方法与流程[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1810-1821.
- [17] 李军, 周成虎. 基于栅格GIS滑坡风险评价方法中格网大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 86-92.