

# 基于 GIS 的区域洪水灾害风险评估方法研究

刘国庆<sup>1</sup>, 徐刚<sup>2</sup>, 刘颖<sup>3</sup>

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 3. 成都市树德实验中学, 四川成都 610072)

**摘要** 介绍了洪水灾害风险评估的方法, 即从形成洪水灾害的机理出发, 首先建立研究区的洪水危险性评价模型和社会经济易损性评价模型, 然后再建立研究区的洪水灾害风险评估模型, 最后利用地理信息系统(GIS)的空间叠加分析法, 对研究区进行洪水灾害风险评估。

**关键词** GIS; 洪水灾害; 空间叠加分析

**中图分类号** X43 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)22-10562-03

## Study on Risk Evaluation of Regional Flood Hazard base on GIS Area

LIU Guo-qing et al (College of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715)

**Abstract** The method of risk evaluation of flood hazard was introduced, that is according to the formation mechanism of flood hazard, an evaluation model of regional flood's danger and regional socio-economic vulnerability of research area were set up at first, and then an evaluation model of regional flood hazard was set up, finally, flood hazard evaluated in research area were used by Spatial overlaying analysis of geographic information systems(GIS).

**Key words** GIS; Flood hazard; Spatial overlaying analysis

洪水灾害是一个复杂的系统, 是人与自然关系的一种表现<sup>[1]</sup>。正如所有灾害系统一样, 洪水灾害系统是由洪水致灾因子、孕灾环境、承灾体和灾情 4 个子系统相互作用形成的具有一定结构、功能、特征的复杂系统。区域洪水灾害风险评估, 即分析不同强度的洪水发生的概率及其可能造成的损失, 涉及到洪水致灾因子(如降水)、孕灾环境(如地形、河网)、承灾体(如人口、工农业产值)和灾情 4 个子系统的评价分析, 主要包括区域洪水危险性分析、社会经济易损性分析和洪水灾害的风险性分析。

洪水灾害风险评估涉及的区域环境因子及社会经济状况具有较强的区域差异性, 空间特征明显, 而 GIS 即地理信息系统能有效表达、分析和处理地理空间数据, 因此, 借助地理信息系统对区域洪水灾害风险评估, 既简单、易于操作同时精度亦能满足要求。

该研究从洪水灾害危险性和社会经济易损性两个角度出发, 利用 GIS 软件的空间分析功能对区域洪水灾害风险评估和分析, 以寻求更接近实际的洪灾评估和管理方法。

## 1 区域洪水灾害风险评估模型

洪水灾害的形成是自然环境因子与社会经济因子相互作用的结果, 据此, 可以将影响洪水灾害风险的因子分成 4 类。

**1.1 致灾因子** 致灾因子是指引起洪灾的主要动力因子。洪灾的致灾因子有很多, 洪灾的发生也可能是几种因子的结果, 但是洪水灾害类型不同, 主要致灾因子是不一样的, 如暴雨洪灾, 暴雨是主导因子, 而风暴潮灾, 主导因子则是强风暴。

**1.2 孕灾环境** 孕灾环境是指产生灾害的自然环境和人类环境, 主要是指下垫面的自然属性。考虑下垫面的自然属性时, 主要包括地形、地貌和河网特征, 这些因子可以很方便地从各种专题要素图中获得。

**1.3 承灾体** 即区域社会经济状况, 包括人口, 工农业产值等, 其反应的是洪灾风险区的承灾能力和易损性, 具有明显的空间特征。

因此, 洪水灾害风险评估模型可表述为<sup>[2]</sup>:

洪水灾害风险 =  $f$ (致灾因子, 孕灾环境, 社会经济状况)

或

洪水灾害风险 =  $F$ (洪水危险性, 社会经济易损性)

其中, 洪水危险性 =  $f$ (致灾因子, 孕灾环境), 社会经济易损性 =  $f$ (社会经济状况)。运用 GIS 进行空间分析时, 将上述因子的空间特征和时间特征进行定量化表述并分类, 分别赋予一定权重, 然后借助地理信息系统的空间分析功能, 综合各影响因子, 从而得出区域洪水灾害风险评估的结果。

## 2 评价步骤

**2.1 确定评价指标** 洪水灾害风险取决于洪水危险性和社会经济易损性的相互作用。影响洪水危险性的因素可分为天气因素和下垫面因素两个方面<sup>[3]</sup>, 主要包括降水、地貌, 土地利用类型等因子; 社会经济易损性取决于社会经济状况, 包括人口密度分布, 人均 GDP 等因子。具体指标的选择应结合特定区域洪水灾害特征, 参照如图 1 所示的洪水灾害风险评估体系选择评价指标。

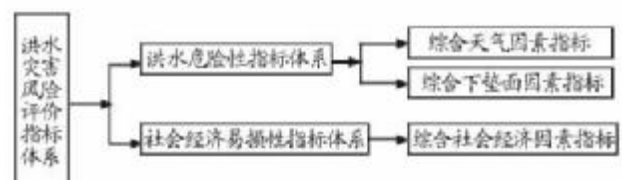


图 1 洪水灾害风险评估指标体系

Fig. 1 Indicator Systems of flood hazard evaluation

## 2.2 洪水灾害风险的影响因素分析

**2.2.1 洪水危险性影响因素分析。** 洪水灾害的危险性是指在一定的致灾因子和孕灾环境下, 区域一定时期内特定强度洪水发生的可能性, 主要取决于综合天气因素和综合下垫面因素。天气因素主要有降水(特别是暴雨)、台风等, 下垫面因素包括地形、地貌、河湖分布等。以暴雨洪灾为例, 下面选

取暴雨、地形和河网分布 3 个指标因子进行洪水危险性分析。

(1)暴雨与洪水危险性。暴雨洪水灾害是由暴雨引起的,因此在分析其对洪水的危险性时,主要考虑区域内各地历史上一定时期(例如近 50 年)发生暴雨的频次。根据暴雨发生越频繁的地区,其洪水危险性越大的原则,将一定时期各地暴雨的频次划分级别,然后确定各地不同级别的频次对洪水危险性的影响度,其中  $0 < \text{影响度} < 1$ ,如表 1 所示。

表 1 暴雨因子对洪水危险性的影响度

Table 1 Effect degree of rainstorm factor on flood's risk

暴雨频次(T)	Rainstorm frequency	影响度	Effect degree
$0 \leq T < T_0$		0.2	
$T_0 \leq T < T_1$		0.3	
$T_1 \leq T < T_2$		0.4	
$T_2 \leq T < T_3$		0.5	
$T_3 \leq T < T_4$		0.6	
$T_4 \leq T < T_5$		0.7	
$T_5 \leq T < T_6$		0.8	
$T \geq T_6$		0.9	

注: \*  $T_0, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$  根据研究区的历史暴雨资料确定。

Note: \*  $T_0, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$  were determined by historical rainstorm data in research area.

在空间上,根据暴雨频次的分布,利用一定大小的格网,以 Arc/Info 软件进行空间内插离散化<sup>[4]</sup>,再根据上述划分标准对研究区各地赋值,得到研究区的暴雨因子对洪水危险性的影响度图层。

(2)地形与洪水危险性。地形特征与洪水危险性紧密相关,主要表现在两个方面<sup>[5]</sup>:①“水往低处流”,地势较低的地方更容易受到洪水的侵袭,即海拔高度较低的地方,洪水危险性较大;②地势平坦的地方,积水不易排出,洪水危险性较大。因此,海拔高度越低,地形起伏越小,洪水危险性越大。地形起伏通常用坡度来表示,在 GIS 软件中,坡度一般仅考虑相邻栅格的高程变化,但实际上影响洪水危险性大小的是相邻范围内的地形变化。因此,分析洪水危险性时不宜使用地形坡度,而可以采用栅格相邻一定范围内高程的相对标准差来进行分析,标准差越小,相邻范围地形起伏越小,洪水危险性越高;相反,标准差越大,相邻范围地形起伏越大,洪水危险性越低。

利用研究区的数字高程模型(DEM)计算相对高程标准差,然后进行分级,再结合地形高程,确定地形因子对洪水危险性的影响度划分标准(表 2)。综合叠加地形高程和地形相对高程标准差的栅格图层,按表 2 的划分标准进行赋值,得到地形因子对洪水危险性的影响度图层。

(3)河网分布与洪水危险性。洪水是指河湖水位超过常规水位的现象,有洪水不一定会引起洪灾,只有当洪水溢出河道,才会致灾,因此,离河湖越近的地方,遭受洪水侵袭的可能性越大,且洪水的冲击力越强,洪水危险性越高。不同级别的河湖,其影响力及影响范围是不同的,干流比 1 级支流、1 级支流比 2 级支流具有更强的影响力和更大的影响范围。在用 GIS 软件分析时,分别对河流、湖泊、水库建立不同等级的缓冲区,缓冲区的宽度应综合考虑河流的级别、湖

泊水库的面积、所处地形高程。

确定缓冲区宽度后,利用 Arc/Info 的 BUFFER 功能建立河流、湖泊、水库的缓冲区,然后将其栅格化,得到缓冲区分布图。根据距离河流、湖泊、水库越近,洪水危险性越高的原则,给不同级别缓冲区的洪水危险度赋值,这样就得到了具有河网分布对洪水危险性影响度属性的图层。

表 2 地形因子对洪水危险性的影响度

Table 2 Effect degree of topography factors on terrain's risk

相对高程标准差级别*	地形高程 Terrain elevation				
	$< h_0$	$h_0 \leq h < h_1$	$h_1 \leq h < h_2$	$h_2 \leq h < h_3$	$\geq h_3$
1 级 First grade	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
2 级 Second grade	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
3 级 Third grade	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

注: \*  $h_0, h_1, h_2, h_3$  根据研究区的地形特征确定;相对高程标准差级别的具体划分也要依研究区而定。

Note: \*  $h_0, h_1, h_2, h_3$  were determined by terrain feature in research area; Concreted division of relative elevation standard deviation grade depended on different research area.

(4)洪水危险性评价模型。综合考虑暴雨、地形、河网分布等因子的影响,分别赋予各个影响因子一定权重,建立洪水危险性模型。如公式(1)所示

$$\text{洪水危险性} = a \times \text{暴雨影响度} + b \times \text{地形影响度} + c \times \text{河网影响度} \quad (1)$$

其中,  $a + b + c = 1$ ,  $a, b, c$  分别是暴雨影响度、地形影响度和河网影响度在洪水危险性中的权重。

综合暴雨、地形以及河网等影响因子的空间分布特征,利用 ArcGIS 软件的空间分析功能,得到研究区的洪水危险性分布情况,即研究区的洪水危险性评估图。

2.2.2 社会经济易损性评价。洪水灾害具有自然和社会双重属性,是致灾因子和孕灾环境与承灾体相互作用的结果。此外,同样强度的洪水,对不同地区造成的损失往往是不一样的,这与不同地区的承灾体属性密切相关,承灾体的这种属性被称为社会经济易损性。因此,进行洪水灾害风险评估,对社会经济易损性的评价和分析是必不可少的。

一般来说,社会经济条件可以定性的反映区域的灾损敏感度,即易损性的高低。一方面,社会经济发达的地区,人口、城镇密集,产业活动频繁,承灾体数量多,密度大,价值高,一旦遭受洪水侵袭,损失很大。另一方面,社会经济条件好的地区,其承灾体的承载能力相对较强。但是,综合考虑,同样强度的洪水,对人口密集、耕地面积大、经济发达的地区最后造成的损失往往更大。因此,社会经济易损性的分析可以选择人口密度、人均 GDP、耕地面积等指标。

(1)人口密度与社会经济易损性。洪水灾害对人类社会的的影响首先表现为人员的伤亡以及紧急转移,洪水造成的人员伤亡和需要转移的人员数量与承灾地区的人口数量密切相关。分析时,根据人口密度的范围确定人口密度对社会经济易损性的影响度,人口密度数据可由研究区的统计年鉴中获得。根据人口密度越大,影响度越大,以及  $0 < \text{影响度} < 1$  的原则,制定人口密度的影响度划分标准,如表 3 所示,进而生成人口密度因子对社会经济易损性的影响度图层。

(2)人均 GDP 与社会经济易损性。人均 GDP 是衡量一个地区经济水平的重要指标,其数据同样可从研究区的统计年鉴获得。根据人均 GDP 值越大,对社会经济易损性的影响度越大,以及  $0 < \text{影响度} < 1$  的原则,制定人均 GDP 的影响度划分标准,如表 3 所示,进而得到人均 GDP 因子对社会经济易损性的影响度图层。

表 3 人口密度、人均 GDP 值和人口密度的社会经济易损性影响度  
Table 3 Effect degree of Population density on socio-economic vulnerability

影响度	人口密度(D)	人口 GDP 值(V)	耕地面积(S)
Effect degree	Population density	GDP Per capita	Cultivated land
0.1	$D \leq d_0$	$V \leq v_0$	$S \leq s_0$
0.2	$d_0 < D \leq d_1$	$v_0 < V \leq v_1$	$s_0 < S \leq s_1$
0.3	$d_1 < D \leq d_2$	$v_1 < V \leq v_2$	$s_1 < S \leq s_2$
0.4	$d_2 < D \leq d_3$	$v_2 < V \leq v_3$	$s_2 < S \leq s_3$
0.5	$d_3 < D \leq d_4$	$v_3 < V \leq v_4$	$s_3 < S \leq s_4$
0.6	$d_4 < D \leq d_5$	$v_4 < V \leq v_5$	$s_4 < S \leq s_5$
0.7	$d_5 < D \leq d_6$	$v_5 < V \leq v_6$	$s_5 < S \leq s_6$
0.8	$d_6 < D \leq d_7$	$v_6 < V \leq v_7$	$s_6 < S \leq s_7$
0.9	$> d_7$	$> v_7$	$> s_7$

注: \*  $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$  根据研究区的人口密度确定; \*  $v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7$  根据研究区的经济水平确定; \*  $s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7$  根据研究区的耕地面积状况确定。

Note: \*  $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$  determined by population density in reasearch area; \*  $v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7$  determined by economical level in reasearch area; \*  $s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7$  determined by cultivated area situation in reasearch area.

(3)耕地面积与社会经济易损性。洪水灾害发生的地区,农作物被冲毁,农业损失通常很大,有时颗粒无收。用耕地面积这个指标能够很好地反映这方面的社会经济易损性。根据耕地面积越大,社会经济易损性越大,以及  $0 < \text{影响度} < 1$  的原则,制定耕地面积的社会经济易损性影响度划分标准,如表 3 所示,再生成研究区耕地面积因子对社会经济易损性的影响度图层。

(4)社会经济易损性评价模型。综合考虑研究区的人口密度,人均 GDP 以及耕地面积等因子,分别赋予各个影响因子一定权重,建立公式(2)所示的社会经济易损性模型:

$$\text{社会经济易损性} = e \times \text{人口密度影响度} + f \times \text{人均 GDP 影响度} + g \times \text{耕地面积影响度} \quad (2)$$

其中,  $e + f + g = 1$ ,  $e, f, g$  分别是人口密度影响度、人均 GDP

影响度和耕地影响度在社会经济易损性的权重。

然后利用 ArcGIS 软件的空间分析功能,便可得出研究区社会经济易损性分布情况,进而生成社会经济易损性图层。

2.3 建立洪水灾害风险评价模型 基于以上洪水灾害危险性评价和社会经济易损性评价,建立公式(3)研究区的洪水灾害风险性评价模型:

$$\text{洪水灾害风险} = \alpha \times \text{洪水危险性} + \beta \times \text{社会经济易损性} \quad (3)$$

其中,  $\alpha, \beta$  是洪水危险性指标和社会经济易损性指标在洪水灾害风险评价中的权重,即对洪水灾害风险的贡献度,  $\alpha, \beta$  介于 0 和 1 之间,且  $\alpha + \beta = 1$ 。  $\alpha, \beta$  数值有很多方法,可以通过历史灾情统计分析,专家经验等方法确定。

### 3 洪水灾害风险评价

通过上述分析,再利用 ArcGIS 软件中 Arc/Info 提供的栅格叠加和空间分析功能,首先叠加各危险性因子,得到研究区洪水灾害危险性评价;然后通过叠加各社会经济指标得到该研究区的经济易损性评价结果;最后综合叠加危险性图层和经济易损性图层得到研究区的洪水灾害风险评价结果图。将生成研究区洪水灾害风险评价结果图,与之前生成的研究区的洪水危险性评价图和社会经济易损性评价图进行对照分析,定性地确定哪些指标因子对洪水灾害风险的影响度大,从而指导研究区采取相应措施以增强防洪抗灾能力。

### 4 讨论

洪水灾害是一个复杂的系统,影响因素众多,将所有影响因子都纳入评价指标相当困难,该文利用 GIS 方法进行分析时,只选取了主要的指标因子,这并不是说其他因子的影响就不重要,具体分析时可以增加其他评价指标因子,从而优化评价模型。

### 参考文献

[1] 魏一鸣,杨存健,金菊良.洪水灾害分析和评估的综合集成方法[J].水科学进展,1999,10(1):25-30.  
 [2] 周成虎,万庆,黄诗峰,等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报,2000,55(1):17.  
 [3] 万庆.洪水灾害系统分析与评估[M].北京:科学出版社,1999.  
 [4] LEGGETT D J, JONES A. The application of GIS for flood defense in the Anglican region: developing for the future[J]. Internation Journal of Geographical Information Systems, 1996, 10(1): 103-116.  
 [5] 高吉喜,潘英姿,柳海鹰,等.区域洪水灾害易损性评价[J].环境科学研究,2004,17(6):31.

## 科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据,只需强调或阐述其重要发现及趋势。