

李军玲, 刘忠阳, 邹春辉. 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 气象, 2010, 36(2): 87-92.

# 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究<sup>\* 1</sup>

李军玲<sup>1,2</sup> 刘忠阳<sup>1,2</sup> 邹春辉<sup>1,2</sup>

1 河南省气象科学研究所, 郑州 450003

2 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003

**提 要:** 在分析洪灾形成的各主要因子的基础上, 提出了基于地理信息系统(GIS)的洪灾风险评估指标模型。在对指标体系赋予权重的基础上结合 GIS 进行洪涝灾害风险评估和区划分析, 结合河南省具体情况, 以降雨、地形和区域社会经济易损性为主要指标, 得出河南省洪灾风险综合区划图, 既有赋予权重后的准确性又有 GIS 区划图的一目了然, 具有一定的理论和实践意义。从所得到的洪涝灾害风险区划图可以看出, 信阳、驻马店、周口大部分地区由于降水较多和社会易损性影响度较大, 发生洪涝的风险最大, 焦作、郑州、开封和安阳、濮阳的部分地区, 由于处于黄河流域发生洪涝的可能也较大, 其他地区发生洪涝可能性不大。

**关键词:** 洪涝灾害风险评估, GIS 技术, 风险区划, 指标体系

## Assessment and Zonation of Flood Disaster Risk in Henan Province Based on GIS

LI Junling<sup>1,2</sup> LIU Zhongyang<sup>1,2</sup> ZOU Chunhui<sup>1,2</sup>

1 Institute of Meteorological Sciences of Henan Province, Zhengzhou 450003

2 Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique, CMA, Zhengzhou 450003

**Abstract:** Flood risk can, in general terms, be defined as probability time consequence. It consists of flood hazard analysis, vulnerability analysis and damage evaluation. At present, there are many studies on the flood disaster risk assessment, which is mainly by constructing evaluation system or regional torrent risk zonation based on GIS, but few researches are by using the combination. The GIS has been chosen to quantitatively represent the influencing factors, spatialize the data into the uniform grid system, and transfer all the data items into the effect degrees on the probability of flooding, and based on constructing evaluation system and combining GIS, the flood risk assessment and regional torrent risk zonation are analyzed. Finally, a categorical model for flood risk zonation has been put forward. The approach has been applied to the Henan Province flood disaster risk zonation. The accuracy of evaluation system by giving weight and the significance of regionalization map are provided. The case study shows that the GIS-based category model is effective in flood risk zonation. Therefore the paper has a certain theoretical and practical significance. The results of zonation show that the possibility of flood disaster risk is the biggest in the three urban districts of Xinyang, Zhumadian and Zhoukou because the indexes of rainfall on flooding and vulnerability of socio-economic properties are relatively high. Because of the higher influence indexes of river density in Jiaozuo, Kaifeng, Zhengzhou, Anyang and Puyang in the reaches of the Yellow River, the flood disaster risk in these areas is higher. However occurrence of floods in other areas is very few.

**Key words:** flood disaster risk assessment, GIS (geographic information system), risk zonation, evaluation system

\* 河南省气象局气象科学技术研究项目(Z200704)“河南省洪涝灾害监测评估技术研究”资助

2009 年 5 月 14 日收稿; 2009 年 7 月 22 日收修定稿

第一作者: 李军玲, 主要从事植被生态和生态农业气象研究. Email: lj18843@126.com

## 引言

世界各国约有百分之二一的土地面积定期遭受洪水危害。仅根据 1984 年的不完全统计,因洪水灾害造成的损失,印度超过 10 亿美元,日本超过 6 亿美元,美国则至少有 22 亿美元<sup>[1]</sup>。而且,洪灾损失在逐年增加。我国地形地势情况复杂,江河多,洪涝灾害发生频繁。水灾多发的几个省份中就包括河南。近几十年来,由于降雨的时空分布不均,河南省持续性暴雨洪涝灾害发生频繁,给当地国民经济特别是农业生产以及生态环境等带来很多不利影响,郑州、安阳、商丘、洛阳、平顶山、开封、信阳等地多次发生大的洪涝灾害。

美国、日本等发达国家早在 20 世纪 50、60 年代就开展了洪灾风险研究<sup>[2]</sup>,我国从 20 世纪 80 年代中期开始开展洪灾相关研究<sup>[3]</sup>,林开平等提出了气象洪级的划分方案及应用<sup>[4]</sup>,艾税秀等通过 1951 年以来长江流域 10 个洪水年降水量的分析与对比,对 1998 年长江流域降水致洪进行了评估<sup>[5]</sup>,黄勇等提出了淮河流域致洪暴雨预警系统<sup>[6]</sup>,陶诗言等通过分析南方流域性致洪暴雨和季风涌的关系提出了流域性致洪暴雨中短期预报的基本思路<sup>[7]</sup>,井宇等通过黄河中游的一次 MCC 致洪暴雨综合诊断分析提高了致洪暴雨的预报和预警能力<sup>[8]</sup>。另外,已有许多学者对洪灾风险进行了评价<sup>[9-18]</sup>,其中有建立指标体系进行指数计算的,这种方法能够在对各个致灾因子赋予权重的基础上,区分各因子造成灾害的重要程度,以提高结果的精确性,但没有区划图的直观;有的用 GIS 进行风险区划,这种方法利用 GIS 制作洪水灾害风险图,显然有区划图的直观性,但由于没有考虑各个因子的重要程度,所以会对结果造成一定的影响。本文在建立指标体系赋予权重的基础上结合 GIS 进行洪涝灾害风险评估和区划分析,既有赋予权重后的准确性又有 GIS 区划图的一目了然,具有一定的理论和实践意义。

## 1 洪水灾害风险评估模型及数据来源

### 1.1 洪水灾害风险评估模型指标的选取

洪灾风险评估是在危险性分析和易损性分析的基础上计算不同强度洪水可能造成的损失大小,因此洪水灾害风险评估模型的建立从洪水危险性分析

和洪灾易损性分析两方面入手。

#### 1.1.1 洪水危险性分析

危险性(Hazard)是指不利事件发生的可能性,危险性分析就是从风险诱发因素出发,研究不利事件发生的可能性,即概率。洪水危险性分析就是研究受洪水威胁地区可能遭受洪水影响的强度和频度,强度可用淹没范围、深度等指标来表示,频度即概率,可以用重现期(多少年一遇)来表示<sup>[10]</sup>。概括地说,洪水危险性分析就是研究洪水发生频率与洪水强度的关系。这里选取降水量、地形(高度和坡度)和河网密度作为衡量洪水危险性的指标因子。

#### 1.1.2 洪灾易损性分析

不同承灾体遭受同一强度的洪水,损失程度会不一样,同一承灾体遭受不同强度洪水损失程度也不一样,即易损性不同。所谓洪灾易损性是指承灾体遭受不同强度洪水可能损失程度,常常可用损失率来表示。洪灾易损性分析是研究区域承灾体易于受到致灾洪水的破坏、伤害或损伤的特征。为此,首先要识别洪水可能威胁和损害的对象并估算其价值,其次估算这些对象可能损失的程。概括地说,洪灾易损性分析是研究洪水强度与损失率的关系。这里选取人口密度和耕地百分比作为衡量洪灾易损性的指标因子。

根据以上所述,建立洪涝灾害农业损失评价指标体系如图 1 所示。

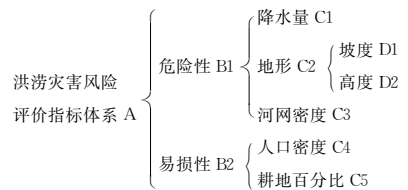


图 1 洪涝灾害风险评估指标体系

Fig. 1 The indicator system for flood disaster risk assessment

### 1.2 洪涝灾害农业损失评价指标的量化

如图 1 所列的具体指标,用于评价洪涝灾害对农业的影响评估,由于所选指标的单位不同,为了便于计算,将把各指标量化成可计算的 0~1 之间的无量纲指标来表示所有因子,区划分析中将有具体量化标准。

从指标性质来看,降水量、河网密度、人口密度和耕地百分比都属于正值,即它们的值越大,表示洪水灾害风险越大;地形高度和坡度属于负值,即它们

的值越大,表示洪水灾害风险越小。

### 1.3 层次分析法确定各指标权重

由于指标的性质不同,实际量化值各异,数据资料的准确程度也不一,其重要性相对于目标层肯定也不同,因此,确定指标的权重就十分必要。本文用层次分析法(The Analytic Hierarchy Pricess, 简称 AHP)来确定指标体系中各个层次指标的权重,层次分析法的基本原理是排序的原理,即最终将各方法(或措施)排出优劣次序,作为决策的依据。具体可描述为:层次分析法首先将决策的问题看作受多种因素影响的大系统,这些相互关联、相互制约的因素可以按照它们之间的隶属关系排成从高到低的若干层次,叫做构造递阶层次结构。然后请专家、学者、权威人士对各因素两两比较重要性,再利用归一法,层层得出各层对上层因子的权重(如 D 到 C, C 到 B, B 到 A 等),最后计算最下层各因子对目标层的权重(如 D 到 A)。结果如表 1 所示。

表 1 AHP 法确定的指标权重

Table 1 The index weight calculated by AHP

层次	CR	代号	该层次权重	相对目标权重
A-B	0.00794	B1	0.667	0.667
		B2	0.333	0.333
		C1	0.539	0.360
B1-C	0.00794	C2	0.297	0.198
		C3	0.164	0.109
		C4	0.333	0.111
B2-C	0.00794	C5	0.667	0.222
		D1	0.500	0.099
C2-D	0.00794	D2	0.500	0.099

层次分析法(AHP)是由美国运筹学家、匹兹堡大学萨第教授于 20 世纪 70 年代提出的,是一种定性与定量相结合的决策分析方法,它是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程。应用这种方法,决策者通过将复杂问题分解为若干层次和若干因素,在各因素之间进行简单的比较和计算,就可以得出不同方案的权重,为最佳方案的选择提供依据。但是,最后必须进行一致性检验。 $CR$  为随机一致性比率,当  $CR < 0.1$  时,人为成对比较阵具有满意的一致性,否则就必须重新调整成对比较阵,直到达到满意的一致性。当  $n < 3$  时,判断矩阵永远具有完全一致性。

### 1.4 评价指数

洪涝灾害风险评价指数是影响洪涝灾害的各个因子与其各自权重的乘积之和,用公式表达为: $A = \sum_{i=1}^5 w_i x_i$ ,其中  $w_i$  表示各指标权重值, $x_i$  表示各个指标标准化以后的值。那么把表 1 中各权重代入上式即为本文的评价指数:

$$A = 0.360C1 + 0.099(1 - D1) + 0.099(1 - D2) + 0.109C3 + 0.111C4 + 0.222C5$$

(注:降水量  $C1$ 、坡度  $D1$ 、高度  $D2$ 、河网密度  $C3$ 、人口密度  $C4$  和耕地百分比  $C5$  均为标准化以后的值)。

### 1.5 数据来源

河网密度和地形(坡度、高度)来自河南省 1:25 万基础地理信息系统;降水量来自河南省气象局统计数据,单位为 mm;各县人口数和耕地面积来自《河南省统计年鉴》,其中耕地面积单位为公顷,人口密度指单位面积土地上的人口数量,单位为 人/ $\text{km}^2$ ,耕地百分比是指耕地面积占总国土面积的百分比。

## 2 GIS 区划分析

### 2.1 河南省降水空间分布特征及其对洪水危险性影响

选取区域内观测站点多年平均(2004—2008 年)最大 3 日雨量,制作等值线图,在 ArcGIS 下转换成栅格点数据。将多年平均最大 3 日降雨量转换为对洪水危险程度的影响度(0~1)公式:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{170} & 30 < x \leq 200 \\ 1 & x > 200 \end{cases}$$

式中  $f(x)$  为降雨影响因子, $x$  为栅格点雨量数据。上式表示当最大 3 日降水量  $\leq 30$  mm 的时候,一般不会引起洪灾的发生,所以影响因子赋为 0;当最大 3 日降水量  $> 30$  mm 而  $\leq 200$  mm 的时候,会引起不同程度的洪灾;当  $> 200$  mm 的时候,一般灾害达到极大,影响度一般都赋于最大值 1。

根据上式生成降水影响因子(图 2)。从图 2 可以看出,豫南信阳、驻马店地区及南阳部分地区降水影响因子较大,表示这几个地区对洪水危险程度的影响度大;豫西三门峡地区及洛阳部分地区降水影响因

子最小,表示这两个地区对洪水危险程度的影响度最小。

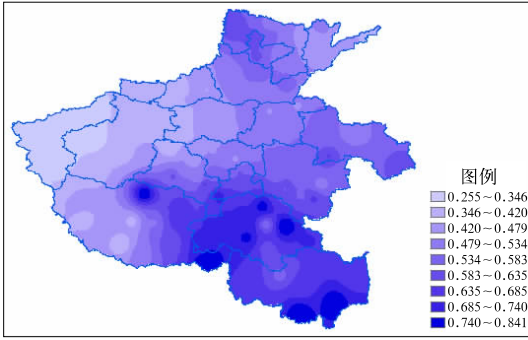


图 2 河南省降水因子影响度分布图  
Fig. 2 Influence index of rainfall on flooding in Henan Province

### 2.2 河南省地形分布特征及其对洪水危险性影响

利用国家测绘局出版“全国 1 : 25 万基础地理信息数据(2002 年更新版)”电子版高程数据在 ArcGIS 平台下转换成栅格数据。利用栅格周围 5 × 5 领域内栅格高程的标准差作为表征地形变化程度的定量指标。利用 Arc/info Grid 模块的 Focalstd 函数可以得到该指标。地形越高,受洪灾影响越小,而地形标准差主要反映的是地形的坡度变化,这种变化越大,洪灾影响越小,根据实际地形把高程数据划分为 4 级,将标准差划分成 3 级(表 2)。将高程栅格图层与地形标准差图层在 Arc/info Grid 模块中利用 Combine 函数进行属性项合并,根据表 2 确定地形综合影响因子图。

表 2 地形因子影响度分类标准

Table 2 Classification standard of influence index of topography on flood

地形标准差	1 级	2 级	3 级
地形 高程	(0~1)包括 1	(1~10)包括 10	(10 以上)
1 级(0~100 m)	0.9	0.8	0.7
2 级(100~300 m)	0.8	0.7	0.6
3 级(300~700 m)	0.7	0.6	0.5
4 级(700 m 以上)	0.6	0.5	0.4

从图 3 可以看出,豫西三门峡、洛阳、郑州、驻马店及南阳地区地形综合影响因子较小,说明这些地区对洪水危险性影响小;豫东商丘、周口、开封、濮阳等地区地形综合影响因子较大,说明这些地区对洪水危险性影响大。

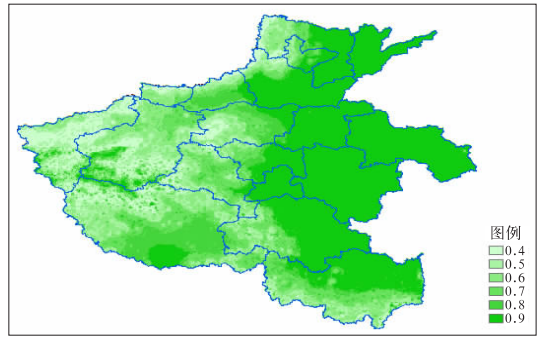


图 3 河南省地形因子影响度分布图  
Fig. 3 Influence index of topography on flooding in Henan Province

### 2.3 河南省河网密度对洪水危险性影响

离河道较近的地点更容易遭受洪水的侵袭,即其洪水危险程度较高。不同级别的河流其影响力是不同的,级别越高影响范围和程度越大,同一级别的河流因其所在的地形不同,影响范围和强度也会不同。利用 ArcGIS 缓冲区分析功能建立河流 1、2、3 缓冲区。1 级缓冲区距离河岸最近,洪灾影响程度最严重,综合考虑地形高程(因为地形越高越不容易受到影响),确定各级缓冲区宽度见表 3。

表 3 各级缓冲区宽度分类表(km)

Table 3 The width of the buffer zone at all levels

河流级别	地形高程		
	0~50 m	50~200 m	>200 m
1 级缓冲区	4	3	2
2 级缓冲区	12	9	6
3 级缓冲区	24	18	12

确定对洪水危险程度影响度:1 级缓冲区为 0.9,2 级缓冲区为 0.8,3 级缓冲区为 0.7,非缓冲区为 0.5。得到河网密度影响因子分布图(图 4)。

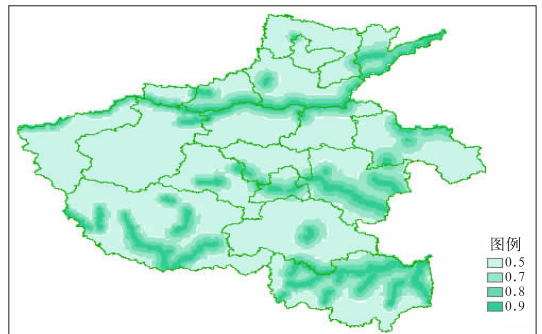


图 4 河南省河网密度因子影响度分布图  
Fig. 4 Influence index of river density on flooding in Henan Province

从图 4 可以看出,黄河、淮河等主要河道附近河网密度影响因子较大,说明这些地方对洪水危险性影响大;而其他离河道较远的地方几乎对洪水危险性没有影响。

### 2.4 确定洪涝危险性图

将降水空间影响因子分布图、地形对洪水危险程度影响因子分布图、河网密度影响因子图在 ArcGIS 平台下进行叠加(0.360 C1+0.198 C2+0.109 C3),得到洪涝危险性(图 5)。

从图 5 可以看出,洪涝危险性主要受河网分布影响比较大,能明显看到河网分布附近地区洪涝危险性比较大;另外西部山区明显比东部地区危险性小。

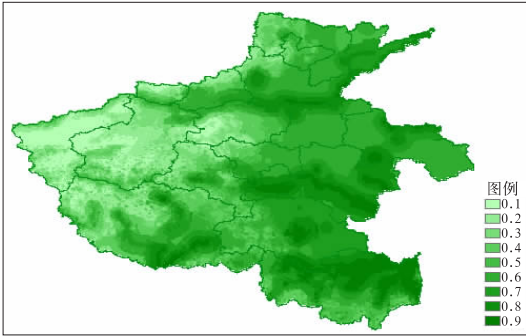


图 5 河南省洪涝危险性分布图

Fig. 5 Zonation of flood risk in Henan Province

### 2.5 洪涝灾害社会经济易损性

统计并计算各县人口密度和耕地百分比,在 ArcGIS 平台下得到分辨率为 250 m×250 m 的分县栅格图。根据均差和标准差,将人口密度和耕地百分比分成 5 类,并赋予不同的影响度。

将各县人口密度和耕地百分比栅格图转换成影响度分布图,并进行叠加(0.111 人口密度+0.222 耕地百分比)得到社会经济易损性影响度分布图(图 6)。

表 4 人口密度分类表

Table 4 Population density and influence index

分类号	分类范围	影响度
1	0~850.58	0.4
2	850.58~1512.86	0.5
3	1512.86~2175.14	0.6
4	2175.14~2837.42	0.7
5	2837.42~3499.70	0.8
6	3499.70~4139.18	0.9

从图 6 可以看出,郑州市区社会经济易损性影响度最大,这主要和郑州市人口密度大有关;而驻马店、周口、漯河部分地区经济易损性影响度相对较大,可能主要和这些地区的耕地百分比比较大有关。西部山区不仅人口密度小,而且耕地百分比也比较小,所以这些地区的经济易损性影响度明显比其他地区小。

表 5 耕地百分比分类表

Table 5 Cultivated land ratio and influence index

分类号	分类范围	影响度
1	0~14.1	0.4
2	14.1~32.87	0.5
3	32.87~51.64	0.6
4	51.64~70.41	0.7
5	70.41~89.18	0.8
6	89.18~100	0.9

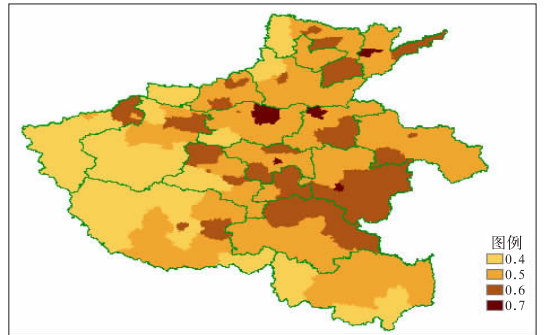


图 6 社会经济易损性影响度分布图

Fig. 6 Vulnerability of socio-economic properties to flooding in Henan Province

### 2.6 洪涝灾害风险图

在 ARCGIS 平台下将洪涝危险性图和社会经济易损性影响度分布图叠加,得到研究区洪涝灾害风险图(图 7)。

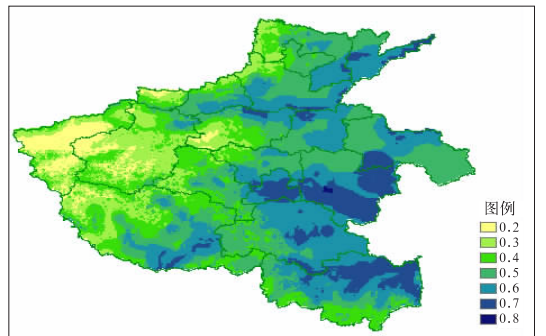


图 7 河南省洪涝灾害风险区划图

Fig. 7 Zonation of flood disaster risk in Henan Province

## 3 结论和讨论

### 3.1 结论

从洪涝灾害风险区划图可以看出,信阳、驻马店、周口大部分地区发生洪涝的风险比较大,黄河流域的焦作、郑州、开封和安阳、濮阳的部分地区发生洪涝的可能也较大,其他地区不大可能发生洪涝,特别是三门峡、洛阳、济源及南阳北部发生洪涝的概率很小。

河南省一般在 6—9 月处于汛期,大强度降水发生的可能大增,在这期间希望各地根据洪涝灾害风险图进行相关预防进行合理的防灾减灾工作,以便使各地洪涝灾害损失降到最低。

### 3.2 讨论

由于洪水灾害的形成非常复杂,影响因子很多,要完全定量地分析洪灾风险有一定困难,本文在层次分析法的基础上所建立的指标模型只是进行了一定程度的探索,今后研究应该综合考虑更多相关因子,通过实际验证建立更有效合理的指标模型方法。

指标模型是一种确定性方法,其实现通常需要与地理信息系统有机结合,本文在 AHP 方法和 ArcGIS 工具基础上实现各种指标的定量描述和综合,通过尝试给今后的研究提供一种有效合理的途径。

### 参考文献

- [1] 陈万秀. 洪水灾害损失评估系统——遥感与 GIS 技术应用研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999:4-5.
- [2] Richards B D. 洪水的估算与控制[M]. 北京:水利电力出版社,1958:16-31.
- [3] 孙桂华. 洪水风险分析制图实用指南[M]. 北京:水利电力出版社,1992:
- [4] 林开平,孙崇智,于玉斌. 气象洪级的划分方案及应用[J]. 气象,2004,30(12):74-77.
- [5] 艾琬秀,陈兴芳. 1998 年长江流域降水致洪的评估[J]. 气象,2000,26(2):15-20.
- [6] 黄勇,胡雯,张爱民,等. 淮河流域致洪暴雨预警系统[J]. 气象,2006,32(5):105-109.
- [7] 陶诗言,卫捷. 夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系[J]. 气象,2007,33(3):10-18.
- [8] 井宇,井喜,王瑞,等. 黄河中游一次 MCC 致洪暴雨综合诊断分析[J]. 气象,2008,34(3):56-63.
- [9] 万庆等. 洪水灾害系统分析与评估[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [10] Jiquan Zhang, Tomoharu Hori, Hirokazu Tatano, et al. GIS and flood inundation model-based flood risk assessment in urbanized floodplain [M]. Chen et al. GIS & RS in Hydrology, Water Resources and Environment. Volume 1, Guangzhou: Sun Yat-Sen University Press.
- [11] Zhang Jiquan, Okada Norio, Tatano Hirokazu, et al. Risk assessment and zoning of flood damage caused by heavy rainfall in Yamaguchi Prefecture, Japan [M]. Wu et al. Flood Defence 2002. New York: Science Press, 2002: 162-170.
- [12] 周成虎,万庆,黄诗峰. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理科学,2000,25(1):15-24.
- [13] 陈华丽,陈刚,丁国平. 基于 GIS 的区域洪水灾害风险评价[J]. 人民长江,2003,34(6):49-51.
- [14] 刘敏,杨宏青,向玉春. 湖北省雨涝灾害的风险评估与区划[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(5):476-481.
- [15] 刘合香,徐庆娟. 区域洪涝灾害风险的模糊综合评价与预测[J]. 灾害学,2007,22(4):38-42.
- [16] 赵思健,熊利亚,陈志远,等. 基于 GIS 的汕头市洪涝灾害分析、评估和决策综合系统[J]. 计算机工程与应用,2005,(8):228-232.
- [17] 张会,张继权,韩俊山. 基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游地区为例[J]. 自然灾害学报,2005,14(6):141-146.
- [18] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社,2002:227-240.