

文章编号:1004-9045(2007)04-0328-06

基于 GIS 的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究

万 君¹, 周月华¹, 王迎迎², 郭广芬¹

(1.武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2.湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074)

摘 要:从洪涝灾害的危险性及社会经济易损性两个角度出发,对湖北省暴雨频次、地形、河网密度、土地覆盖以及耕地面积、人均 GDP、人口密度等因素,运用地理信息系统(GIS)空间分析方法进行了洪涝灾害风险评估,得到湖北省洪涝灾害风险评估图。利用近 10 年的灾情资料对风险预估结果进行精度评价,结果显示本文统计的基于 GIS 的湖北省洪灾风险评估结果与实际灾情基本吻合。

关键词:风险评估;洪水灾害;GIS;湖北省

中图分类号:S422 文献标识码:A

1 引言

洪涝灾害是湖北省的主要灾害,也是危害最大的自然灾害之一。由于湖北省三面环山,江、河、湖、库众多,又处于梅雨带内,每当初夏梅雨来临时,常常连降暴雨,造成山洪暴发。平原湖区也因四周雨水汇入和本地强降水,江湖水位猛涨而形成外洪内涝。局部性的洪水灾害几乎每年都有^[1],湖北省的气候、地理条件决定了其易于成灾。无论是从省内各县、市社会经济发展角度,还是从流域城镇财产及人民生命安全角度考虑,开展湖北省区域性洪水灾害风险评估方法研究十分必要,它可从宏观上了解湖北省遭受洪水灾害损失的危险性程度,特别是对一些重点防洪城市和行蓄洪区,对于预先转移受灾区的生命财产,减少各类损失具有非常重要的应用价值。

地理信息系统(GIS)能有效表达、处理及分析与地理分布有关的专业数据,它提供了一种快速展示有关地理信息和分析信息的新手段和平台。该文从洪灾风险的组成因素——洪水危险性和社会经济易损性出发,以栅格作为评价的基本单元,以湖北省 1:25 万的地理信息数据为基础,分别分析评估造成洪涝灾害的危险性以及社会经济易损性等因子的影响程度,利用 GIS 软件空间分析功能进行叠加计算,建立湖北省洪涝灾害风险评估模型,从而得到洪涝灾害风险评估结果。

2 资料及建模思路

对于灾害影响评估来讲,将地理信息系统中存

贮的空间信息加上遥感图像的辅助信息,并结合地理信息系统中包含的人文、社会、地理特征数据,形成具有地理特征的数据分析结果,可有效进行洪涝灾害评估工作。研究过程中使用的主要数据如下:

(1) 湖北土地利用分类图:采用 2000 年 TM 卫星数据提取的湖北省土地利用分类图,该分类图有助于充分了解评估区域的土地覆盖情况,协助分析受灾区域土地覆盖类型。

(2) 地理信息数据:采用湖北省 1:250 000 地理信息数据,主要作为风险影响评估的基础数据。主要包括湖北省地形数据、湖北省边界数据、湖北省河网数据等。

(3) 降水数据:1956 年 12 月至 2005 年 12 月湖北省各地、市、县雨量数据。

(4) 其它数据:湖北省域耕地面积数据、社会经济数据、人口密度数据以及《暴雨致洪等级标准》。

本文主要考虑洪水灾害形成的自然因素即洪水危险性,如降水、地形、河网分布、土地覆盖等,以及社会经济易损性,如人口密度、耕地面积、人均 GDP 等,从两个方面进行湖北省洪水灾害评估。主要的建模思路如下(图 1)。

3 洪涝灾害风险评估方法

3.1 决定洪涝危险性评估因素

洪涝灾害的危险性主要取决于天气因素和下垫面因素。天气因素主要有暴雨、台风等。对湖北省来说,暴雨是引起洪灾的主要原因,因此湖北省的天气

收稿日期:2007-09-20;定稿日期:2007-10-31

基金项目:中国气象局新技术重点推广项目“长江中游气象水文预报与服务系统研究”(CMATG2006Z08);中国气象局多轨道建设项目“长江中上游暴雨洪水定量预报和水循环影响评估系统”共同资助

作者简介:万君,女,1981年生,助理工程师,主要从事GIS、RS应用研究。E-mail:vilinwan@163.com

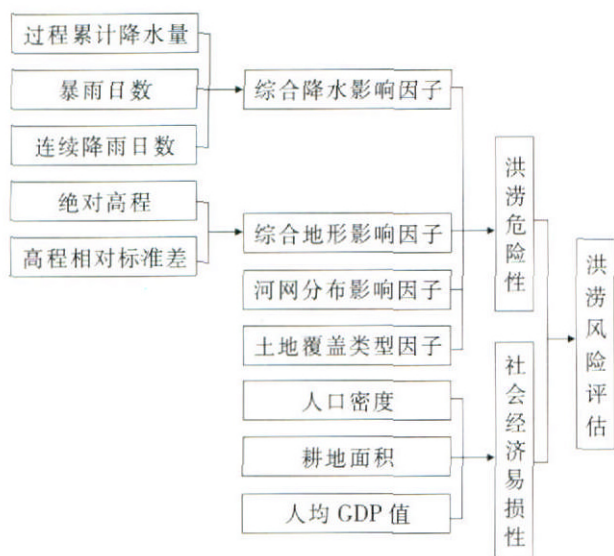


图 1 洪涝灾害风险评估建模思路图

影响因素主要是降水量和降水强度。下垫面因素包括地形、地貌、植被、土壤、江、河、湖泊及水库的分布, 土地覆盖类型等, 其中以地形及河网、江、河、湖泊和水库的分布以及土地覆盖类型对洪灾的危险性最大。本文洪水危险性主要考虑降雨空间分布特征、地形特征和河网分布特征以及土地覆盖类型对洪灾危险程度的影响。

3.1.1 降水空间分布特征对洪涝危险性的影响

湖北省位于典型的亚热带季风区内, 季风气候的影响特别显著^[4], 雨量主要集中在夏季, 占全年的 35%~45%, 暴雨主要发生在 5~9 月, 同时由于暴雨是引起湖北省洪灾的主要原因, 因此在分析降水对洪水危险性的影响程度上不适宜考虑各地年降水量的总量大小, 而是考虑各地历史上发生暴雨的频次。暴雨发生越频繁的地区, 其所承受的损失就越大, 未来发生洪灾的风险相应也越大。本文在实际评估过程中, 根据

表 1 暴雨致洪等级标准

天数*/d	总雨量 R/mm	洪涝等级
1	80 R<100	渍涝
	100 R<150	一般洪涝
	150 R<200	较重洪涝
	R 200	严重洪涝
2	100 R<150	渍涝
	150 R<200	一般洪涝
	200 R<250	较重洪涝
	R 250	严重洪涝
3	150 R<200	渍涝
	200 R<250	一般洪涝
	250 R<300	较重洪涝
	R 300	严重洪涝

* 天数表示连续降雨的天数, 当连续降雨时间超过 3 d 时, 则在该段降雨时间内取雨量最大的 3 d 计算总雨量。

暴雨致洪等级标准》(见表 1), 通过 1956 年 12 月至 2005 年 12 月近 50 年的降水数据, 统计湖北省各地 50 年间各等级洪灾累计发生的频次, 并将各等级的洪灾发生累计频次划分为五个级别(表 2)。

表 2 湖北省各地洪灾频次级别划分表

暴雨致洪等级	洪灾频次(T)划分级别				
	1级	2级	3级	4级	5级
渍涝	T<10	10 T<20	20 T<30	30 T<40	T 40
一般洪涝	T<10	10 T<20	20 T<30	30 T<40	T 40
较重洪涝	0<T 2	2<T 4	4<T 6	6<T 8	T>8
严重洪涝	T=1	T=2	T=3	T=4	T 5

再综合考虑《暴雨致洪等级标准》和各等级洪灾发生频次的因素, 根据降水量等级越高, 暴雨发生频次越高, 对洪水形成所起的作用也越大, 以及 0 < 影响度 < 1 的原则, 确定出了降水因子对洪灾形成的影响度划分标准(表 3)。

表 3 降水因子影响度划分标准

暴雨致洪等级	降水因子影响度				
	1级	2级	3级	4级	5级
渍涝	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
一般洪涝	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
较重洪涝	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
严重洪涝	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

* 当某地 50 年中没有发生某等级洪涝灾害时, 该等级得分为 0。

根据以上划分标准对各地进行评分, 并将该计算结果作为湖北省分县图的降水影响度的属性值, 然后进行栅格化, 得到湖北省降水因子影响度图。

3.1.2 地形特征对洪涝危险性的影响

湖北省地势起伏较大, 最高点是神农峰顶海拔 3 105.4 m, 最低点是龙感湖湖底, 海拔 10 m。全省地貌复杂, 既有中山、低山、丘陵、盆地和平原等一般类型, 也有河流、喀斯特、红层和古冰川等特殊地貌。中部平原向周围山地逐级上升, 呈向南敞开的马蹄形不完整盆地^[1]。

地形对洪水有直接的影响, 与洪水危险程度密切相关。主要表现在两个方面: 海拔高度及地形变化程度。海拔高度越低, 地形起伏越小, 越容易发生洪水。地形起伏大小通常用坡度来表示, 目前大部分 GIS 软件进行坡度计算的原理是考虑相邻栅格的高程变化程度。实际上影响洪水危险程度大小的是相邻范围内的地形起伏变化, 因此本文在进行地形特征对洪水危险性分析的时候考虑某个栅格单元相邻范围内高程相对标准差, 以此来取代常用的坡度。标准差越小, 表明该处附近地形起伏较小, 越容易形成洪水; 相反, 标

准差越大,表明该处附近地形起伏较大,形成洪水的危险性也较低。

本文将计算的高程相对标准差的结果划分为 3 个等级。根据地形因子中绝对高程越高、相对高程标准差越小,则洪水危险性程度越高的原则,确定出地形因子影响程度(0.0~1.0)划分标准(表 4)。综合叠加地形高程与地形相对高程标准差的栅格图层,并根据表 4 确定的综合地形因子影响度的划分标准,得到综合地形因子影响度的栅格图。

表 4 地形因子影响度划分标准表

地形高程/m	1级地形标准差	2级地形标准差	3级地形标准差
<100	0.9	0.8	0.7
[100, 200)	0.8	0.7	0.6
[200, 500)	0.7	0.6	0.5
[500, 800)	0.6	0.5	0.4
800	0.4	0.3	0.2

3.1.3 河网分布特征对洪涝危险性的影响

评价区域发生洪灾的概率很大程度上取决于区域内河网的分布。距离江、河、湖、库等越近,则洪水危险程度越高。河流级别越高,水域面积越大,其影响范围越大。分析过程中,通过对不同的河网建立缓冲区,来表征河网对洪水危险性的影响程度,不同的缓冲区宽度代表不同地段受洪水侵袭的难易程度。本文分别对河流以及湖泊、水库建立了 2 级缓冲区。缓冲区的宽度则综合考虑河流的级别、水域的面积,如长江、汉江属于一级河流,其他支流与河流属于二级河流;湖泊、水库等按面积划分为四个等级。具体等级的划定以及宽度的确定见表 5 与表 6。

表 5 湖泊和水库缓冲区等级和宽度划分标准表

水域面积/(10 ⁴ km ²)	缓冲区宽度/km	
	一级缓冲区	二级缓冲区
[0.1, 1)	0.5	1.0
[1, 10)	2.0	4.0
[10, 20)	3.0	6.0
20	4.0	8.0

表 6 河流缓冲区等级和宽度值划分标准表

河流	一级缓冲区	二级缓冲区
长江、汉江	8 km	12 km
其他支流与河流	6 km	10 km

根据距离河流、湖泊(水库)越近,洪水危险性越大的原则,确定各级缓冲区对洪水危险性的影响度:一级缓冲区为 0.9,二级缓冲区为 0.8,非缓冲区为 0.5。

3.1.4 土地覆盖分布特征对洪涝危险性的影响

根据湖北省测绘局《土地覆盖分类方法和代码》,土地覆盖数据按照 6 个一级分类和 24 个二级分类的

分类体系进行分类。一级分类主要为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地、未利用地等类型,二级分类是在一级分类基础上的细化。

采用湖北省 2000 年 TM 卫星制作的土地利用分类图,能清楚地了解湖北省的土地覆盖被情况,制定土地覆盖分布特征对洪涝危险性的影响度。本文研究过程中只考虑一级分类。根据洪水对耕地、城乡工矿居民用地的影响度最高,对未利用地的影响度较低,以及 $0 < \text{影响度} < 1$ 的原则,确定出了湖北省不同土地覆盖类型的影响度划分标准(表 7),分级得到湖北省各种土地类型影响度分布图。

表 7 土地类型的影响度划分标准表

标准	土地类型				
	耕地	城乡工矿居民用地	林地	草地	未利用地
影响度	0.9	0.8	0.7	0.6	0.2

3.1.5 洪涝危险性评估图的建立

综合考虑降水、地形、河网以及土地覆盖类型等多个评估因子的空间分布特征,利用 ARCGIS 软件的空间分析功能,得到湖北省洪水危险性评估图(图 2),区域的颜色越深表示洪水危险性等级越高。从图中可以看出,西部的洪水危险性较中部及东部低且面积小,分布较散,主要分布在湖泊、水库及江河等地附近;中部地区和东部地区洪水危险性高的地区面积较大,相对集中。



图 2 湖北省洪涝危险性评估图

3.2 决定社会经济易损性评估模型因素

洪水灾害具有自然属性和社会属性双重属性,同样的洪水发生在不同的地区,可能会导致不同的结果。洪灾的风险评估必须考虑社会经济易损性。社会经济易损性主要涉及经济、人口密度、耕地面积等因素,这三种因素均具有较强区域差异性。地理信息系统的空间数据管理与分析方法,提供对洪涝灾害评估的支持与辅助作用。本文主要采用人口密度、人均 GDP、耕地面积等三个指标作为洪灾社会经济易损性大小的评估指标。

3.2.1 人口密度影响因子

对于同样受灾来说,人口密度越大,受灾情况越

严重。根据湖北省 2004 年公布各地、市、县的人口、面积计算各地、市、县人口密度, 根据人口密度的范围确定人口密度的影响度。湖北省人口密度范围在 0.02~1.40 之间, 其中武汉周边地区人口密度最大, 鄂西人

口密度较小。

根据人口密度越大, 影响度越大, 以及 $0 < \text{影响度} < 1$ 的原则, 确定出了人口密度的影响度划分标准 (表 8), 分级得到湖北省人口密度分布图。

表 8 人口密度的影响度划分标准表

影响度	人口密度(C)																	
	C	0.02	0.02<C	0.04	0.04<C	0.06	0.06<C	0.08	0.08<C	0.1	0.1<C	0.2	0.2<C	1.0	1.0<C	1.3	1.3<C	1.4
	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	

3.2.2 经济影响因子

人均 GDP 值是衡量一个地区经济发展的重要指标, 经济越发达的地区, 发生气象灾害时, 所受的经济损失也就越大。由于只获取到了湖北省各地区的人均 GDP 值, 所以各地、市、县的人均 GDP 值以地区的人均 GDP 值代替。

根据人均 GDP 值越大, 影响度越大, 以及 $0 < \text{影响度} < 1$ 的原则, 确定出了人均 GDP 值的影响度划分标准 (表 9), 分级得到对湖北省经济影响度分布图。

从经济影响度图可以看出, 我省经济最发达的地

区主要是武汉, 其次是鄂州、宜昌地区黄石地区; 黄冈、恩施经济较差。在同样受灾的情况下, 经济影响度大的地区经济损失越大。

3.2.3 耕地面积影响因子

从农业受灾角度来说, 洪涝发生时主要是对耕地面积的影响, 耕地面积越大, 同样受灾情况下, 损失也就越大。根据湖北省各地、市、县的耕地面积大小, 依据耕地面积越大, 影响度越大, 以及 $0 < \text{影响度} < 1$ 的原则, 确定出了耕地面积的影响度划分标准, 分级得到湖北省耕地面积影响度分布 (表 10)。

表 9 人均 GDP 值的影响度划分标准表

影响度	人均 GDP 值/万元								
	0.6	(0.6, 0.8]	(0.8, 0.9]	(0.9, 1.0]	(1.0, 1.2]	(1.2, 1.3]	(1.3, 1.5]	(1.5, 2.0]	>2.0
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

表 10 耕地面积的影响度划分标准表

影响度	耕地面积 GD/万亩																
	GD<20	20	GD<40	40	GD<60	60	GD<70	70	GD<80	80	GD<100	100	GD<120	120	GD<150	GD	150
	0.1	0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	

从湖北省耕地面积影响度分布图可以看出, 湖北省耕地面积主要集中在襄樊、随州、江汉平原等地区, 这也是湖北省粮食的主产区, 相反鄂西海拔较高地区、鄂东人口密度较大地区耕地面积较小。

3.2.4 社会经济易损性评估模型的建立

综合考虑湖北省各地、市、县的人口密度、人均 GDP 以及耕地面积等因素, 利用 ARCGIS 软件的空间分析功能, 得到湖北省经济易损性评估图 (图 3), 区域的颜色越深表示经济易损性等级越高。从图中可以看

出, 东部地区经济易损性明显高于中部地区, 中部地区高于西部地区, 其中武汉及其周边地区经济易损性最高, 西部地区中以宜昌市区经济易损性较高。

4 洪水灾害风险评估模型建立

4.1 洪水危险性评估图与社会经济易损性评估图对比分析

湖北省洪涝危险性评估图 (图 2) 及社会经济易损性评估图 (图 3) 两张图显示了相同的风险趋势, 中部及东部地区风险程度都普遍高于西部地区, 其中又以武汉及其周边地区最为突出, 风险程度较高, 面积较大, 范围相对集中。

4.2 洪水灾害风险评估模型建立

基于以上洪涝灾害的危险性评估及社会经济易损性评估, 建立湖北省洪涝灾害风险评估模型:

$$Y=0.3x_1+0.15x_2+0.15x_3+0.1x_4+0.1x_5+0.1x_6+0.1x_7$$

其中, Y 是洪涝灾害风险度, x_1 是降水因子影响度, x_2 是综合地形因子影响度, x_3 是水系因子影响度,

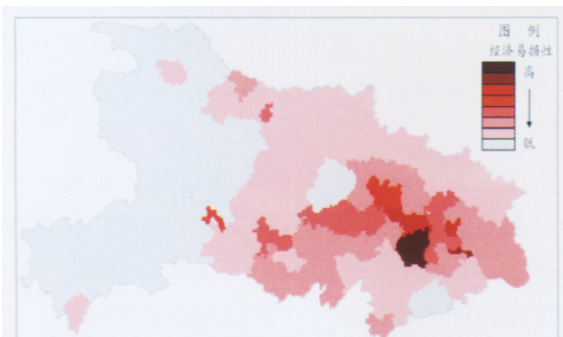


图 3 湖北省社会经济易损性评估图

x_4 是土地类型的影响度, x_5 是人口密度影响度, x_6 是经济影响度, x_7 是耕地面积影响度。

根据上述评估模型, 利用 ARCGIS 软件分析, 得到湖北省洪水灾害风险评估图(图 4)。

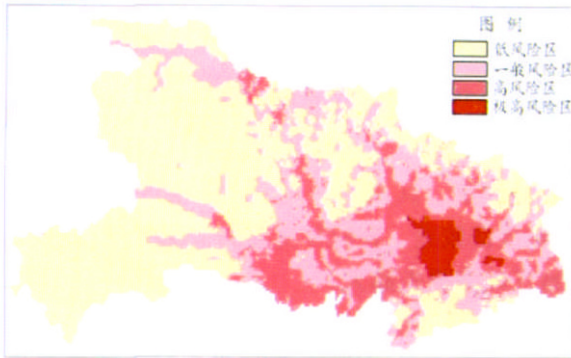


图 4 湖北省洪涝灾害风险评估图

从图 4 可以看出: 湖北省洪水灾害风险比较高的地区主要集中在江汉平原以及东部地区, 西部地区风险性较低。这主要是因为: 江汉平原及鄂东大部地区地形起伏不大, 区域内江、河、湖、库众多, 人口密度较大、经济较发达, 耕地面积较多, 降水年际变化较大, 暴雨中心多位于此区域, 因此洪水灾害风险性较高; 而鄂西地区地势较高, 地形起伏较大, 水流疏散快, 远离过境客水主干道, 洪水主要来自本地降水, 加之人口密度较小、经济条件略差, 耕地面积较少, 尽管如鄂西南也属于湖北省的暴雨中心, 降水比较丰富, 但总体来说洪水灾害风险性相对较低。西部洪水灾害风险性相对较高的地区主要分布在河流以及水库、湖泊两侧, 尤其是包含清江等在内的长江、汉江的各级支流一带的两侧。

4.3 洪涝灾害风险评估结果精度评价

对近 10 年(1996~2005 年)由暴雨洪涝而导致的社会经济损失、农作物受灾面积和受灾人口进行统计, 得到暴雨洪涝灾害损失分布图(图 5, 由武汉中心气象台提供)。由图可见, 经济损失严重的地区主要位于鄂东南、江汉平原和鄂东北的西部以及鄂西南的大部分地区。而农作物受灾面积损失严重的地区主要分布于江汉平原和鄂东北的西北部地区, 另外鄂东南的部分地区和鄂西南的部分地区农作物受灾面积损失也较为严重。其余地区受灾面积较小。受灾人口的分布与农作物受灾面积的分布基本一致。鄂西南受灾情况严重主要是由于当地海拔较高, 地形标准差较大, 河网分布较少, 是一个暴雨中心, 容易引起山洪、泥石流等灾害。因此基于 GIS 的湖北省区域洪水灾害风险评估与实际情况基本一致。

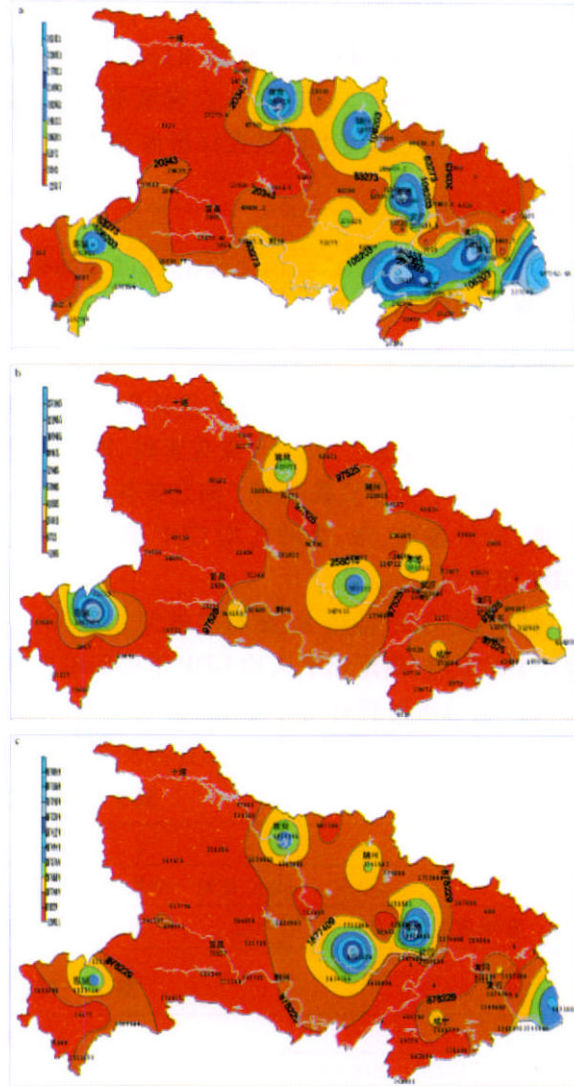


图 5 湖北省 1996~2005 年暴雨洪涝灾害损失分布图
(a) 经济损失; (b) 农作物受灾面积损失; (c) 受灾人口;

5 结论与讨论

本文在收集了湖北省近 50 年的降水资料和湖北省地形地貌、土地覆盖分类资料, 以及近年来全省人口分布、经济状况、耕地面积等资料的基础上, 充分借鉴比较成熟的地质灾害风险评估的理论与方法, 同时结合统计学和地理信息系统的有关知识, 进行了湖北省洪涝灾害风险评估。并结合近 10 年的灾情资料对风险预估结果进行了精度评价, 结果显示本文开展的基于 GIS 的湖北省洪灾风险评估结果与实际灾情基本吻合。

由于目前对气象灾害的风险评估还没有一个成熟的普遍实用的理论模型, 加上资料来源、精确程度的有限性, 现有可支持的理论方法稀缺性, 在整个过程中还存在许多有待进一步探讨和深化的问题。

(1) 根据具体情况, 掌握每个评估因子对洪灾评

估的贡献,从而达到优化最佳评估模型目的。

(2) 由于洪水灾害形成比较复杂,影响因子众多,在评价的过程中除了增加经济易损性的因子,还增加了湖北省土地利用类型,增强了洪水对不同土地类型影响的精确度,但还应考虑更多的因素如土壤类型、水利工程、堤防、各地区抗洪能力等;对于部分地区如鄂西南地区虽然地形因子、河网密度、社会经济易损性等评估指标对洪水灾害的影响不大,但是从实际灾情来说,受灾较重,因此对于这类地区在考虑评估指标的时候应尽量减小尺度,比如河网评估指标,除了考虑大尺度的河网以外,也充分考虑当地小的河网。

(3) 该研究中地理信息资料比例尺较大,各地经

济等数据空间尺度较大,对风险评估结果的精度有一定的影响。下一步可采用更高比例尺的数据,结合高分辨率的卫星影像和高精度的GPS技术,提高风险评估的精度。

参考文献:

- [1] 湖北省地图集编纂委员会.湖北省地图集[M].北京:中国地图出版社,1998.
- [2] 何报寅,张穗,杜耘,等.湖北省洪灾风险评价[J].长江科学院院报,2004.6(3):21-25.
- [3] 魏一鸣,杨存键,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(3).
- [4] 乔盛西.湖北省气候志[M].武汉:湖北省人民出版社,1989.

Flood Disaster and Risk Evaluation Approach Based on the GIS in Hubei Province

WAN Jun¹, ZHOU Yue-hua¹, WANG Ying-ying², GUO Guang-fen¹

(1. Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074; 2. Hubei Provincial Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the dangerous and society economic vulnerability of the flood disaster, in this article, Geographical Information System (GIS) spatial analysis methods are well used for evaluating risk degree and getting the charts of flood disaster from factors consisting of rainstorm frequency, terrain, density of river nets, land coverage and plantation areas, PPP, population density and so on. The disaster information in recently 10 years are used to assess the precision of risk evaluation based on GIS, which is approximately in accord with the disasters actually happened.

Key words: Risk evaluation; Flood disaster; GIS; Hubei Province