

文章编号:1001-5485(2004)03-0021-05

湖北省洪灾风险评价

何报寅¹,张穗²,杜耘¹,中山裕则³,李兵⁴

(1. 中国科学院 测量与地球物理研究所,湖北 武汉 430077; 2. 长江科学院 空间信息技术应用研究所,湖北 武汉 430010;
3. 日本大学 文理学部,日本 东京; 4. 湖北省第一测绘院,湖北 武汉 430071)

摘要:在 1:250 000 数字地形图的基础上,利用地理信息系统软件 ARC/INFO 对湖北省洪灾风险进行了初步的评价。综合考虑了降水、地形、河网(河流、湖泊、水库)以及历史上洪灾发生的频次的 4 个自然因素,进行了洪水危险性等级的评价;考虑了人口、耕地和国内生产总值的空间分布密度等社会经济因素,进行了洪灾易损性评价;对洪水危险性等级图和社会经济易损性评价图进行空间叠加,并得到湖北省洪灾风险等级评价图。结果显示,湖北省洪灾风险等级从低到高依次为:神农架高山地区;鄂西、鄂东北和鄂东南大部分山区;平原的周边地区和低岗地;江汉平原和襄樊盆地的大部分平原核心地区。评价结果与历年来防洪救灾的重点地段集中于江汉平原、武汉地区的实际是符合的。

关键词:湖北省;洪灾风险评价;GIS

中图分类号:TV877 **文献标识码:**A

洪灾有两层含义,一是要发生洪水,二是要形成灾害。造成洪水的因素很多,包括天气因素、径流因素和下垫面地形因素。洪水造成了生命财产损失就构成了洪灾。在空间分布上对洪灾进行风险评估是随着 GIS 技术发展和完善才得以开展的,因为只有 GIS 技术才能很好地把构成洪灾风险的众多因素的海量数据集成起来。此项工作目前仍然在探索之中,还没有形成统一标准。在国外,欧洲(如英国、荷兰等)开展过较多的工作,评价的比例尺达到 1:50 000 甚至 1:10 000。一般是公司、研究机构和政府部门进行合作,把洪灾风险评价和风险管理结合起来,为保险公司制定保险策略提供定量信息^[1,2];同时,在网上公开发布,定期更新,使公众可以方便查询到其财产所面临的洪灾风险,采取防范措施和购买保险,从而有效地提高抗灾能力,降低洪灾损失。在国内,这方面的工作开展得不多。陈秀万曾利用 GIS 技术对辽河流域的洪水灾害进行了评估^[3],张行南等曾对中国洪水灾害危险程度进行了 1:1 000 000 初步区划。针对一个行政省的洪水灾害风险进行中等比例尺的评价还未见报道。本文在 1:250 000 数字地形图的基础上,利用 ARC/INFO 地理信息系统对湖北省洪灾风险进行了初步的

评价,得到了湖北省洪灾风险等级评价图。

1 湖北省社会经济和洪灾概况

湖北省地处长江中游,面积 18.59 万 km²,总人口为 5 949.82 万人(2000 年第 5 次人口普查),人口密度为 320 人/km²,1999 年国内生产总值达 3 857.99 亿元,人均国内生产总值为 6 514 元^[4],粮食总产量为 2 451.88 万 t^[5]。省区内社会经济发展不平衡,鄂西山区人口分布稀疏,工农业生产较差,以农业为主;长江(自宜昌以下)以及汉江沿线(自钟祥以下)地势低平,工农业发达,人口密集,大中城市多,工农业产值高;自鄂西宜昌沿长江而下至武汉、鄂州、黄石以及汉江沿岸的襄樊、十堰、荆门等城市均是重要的工业基地;宜昌以下的长江沿线江汉平原区以及汉江流域均是我国重要的粮、棉、油基地。

洪水灾害是湖北省危害最大的自然灾害。由于湖北省四面环山,中间低平,湖泊、河流众多,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。平原湖区因境外客水进入和本地强降水,江湖水位猛涨而形成外洪内涝。汛期外江洪水常高于堤内地面数米至 10 余 m。局部性的洪水灾

收稿日期:2004-03-24

基金项目:国家自然科学基金(40271119);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-331, KSCX-SW-110);武汉大学测绘科学技术博士后流动站资助项目

作者简介:何报寅(1964-),男,广西玉林人,中国科学院测量与地球物理研究所副研究员,博士后,主要从事长江流域环境演变、资源环境遥感监测与评价、区域可持续发展等研究。

害几乎每年都有,大范围的严重洪水在近 40 年内也多次出现,如 1954,1969,1980,1983,1991,1996,1998,1999 年都发生过严重的洪水灾害^[6]。各地洪水灾害大多发生在盛夏。

2 洪灾风险评价的技术路线

本文的洪灾风险评价基于洪灾的形成机制,并综合考虑洪水风险的组成因素——洪水危险性和社会经济易损性。据此,把洪灾风险评价分成 2 个步骤:洪水危险性评价和洪灾风险评价。洪水危险性评价主要考虑洪灾形成的自然因素,如地形、水系分布、降水以及历史上洪灾发生的频度等;而洪灾风险评价则在洪水危险性分析的基础上结合社会经济易损性进行区划。

在技术上,采用地理信息系统(主要为栅格地理信息系统作为支撑手段)。在评价方法上,以栅格作为评价的基本单元,分别分析各评价因子对洪水危险性以及社会经济易损性的影响程度,然后利用 GIS 软件的空间分析功能模块提供的图层叠加功能,进行叠加操作,并进行分类,从而得到相应的结果,如图 1 所示。

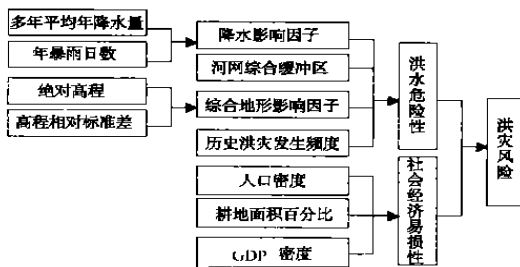


图 1 洪灾风险评价技术路线图

Fig. 1 Technological route for flood risk evaluation

3 洪水危险性评价

3.1 评价指标的选择

洪水的形成主要取决于天气因素和下垫面因素。本文在评价时主要考虑降水、地形、河网(河流、湖泊、水库)以及历史上洪灾发生的频次情况等 4 个因素。

3.2 降雨空间分布特征及对洪水危险程度的影响

洪灾的发生不仅与降水量有关,也与降水的强度有着密切的关系。降水强度可通过多年平均年暴雨日数来反映。在实际评价过程中,综合考虑了降水量和降水强度的因素,根据降水量越大,年暴雨日数越多,则对洪水形成所起的作用也越大,以及

$0 < \text{影响度} < 1$ 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 1)。据此并综合降水量以及降水强度(年暴雨日数) 2 个图层,利用 ARC/INFO 软件得到湖北省综合降水因子的影响度图。

表 1 综合降水因子的影响度划分标准

Table 1 Dividing standard for the affecting degrees of integrated precipitation factors

降水量 / mm	综合降水因子影响度		
	年暴雨日数 < 2 d	年暴雨日数 2 ~ 4 d	年暴雨日数 > 4 d
< 800	0.4	0.5	0.6
800 ~ 1 200	0.5	0.6	0.7
1 200 ~ 1 600	0.6	0.7	0.8
> 1 600	0.7	0.8	0.9

3.3 地形特征及其对洪水危险程度的影响

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。以 1/250 000 地形底图为基础,利用 ARC/INFO 软件生成 TIN,按 250 m × 250 m 进行栅格化得到湖北省数字高程模型,并进行分类而得到湖北省内高程分级图。

地形与洪水危险程度是密切相关的。地形对形成洪水的影响主要在于 2 个方面:地形高程及地形变化程度。地形高程越低,地形变化越小,越容易发生洪水。地形变化通常用坡度来表征。但是目前的 GIS 软件进行坡度计算的原理是仅考虑相邻栅格的高程变化程度,而实际上影响洪水危险程度大小的是在一定范围内的地形变化,故仅仅考虑相邻栅格不是很合理。ARC/INFO 软件的栅格(GRID)计算模块中提供了计算某个栅格一定邻域内高程相对标准差,该值能很好地反映栅格处地形变化程度,因此本文采用高程相对标准差来取代坡度。高程相对标准差的计算可利用 ARC/INFO GRID 模块中提供的 FOCALSTD 函数进行计算,得到地形标准差分布图。标准差越小,表明该处附近地形变化也越小,越容易形成洪水。本文根据计算得到的均值和方差,确定出如下 3 级:1 级(小于 23.777 m),2 级(23.777 ~ 54.199 m),3 级(大于 54.199 m)。

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,确定出综合地形因子影响程度(0.0 ~ 1.0)划分标准(表 2)。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 2 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。

3.4 河网分布以及对洪水危险程度的影响

河网的分布在很大程度上决定了评价区域遭受洪水侵袭的难易程度。距离河道、湖泊水库等越近,

表 2 综合地形因子影响度的划分标准

Table 2 Dividing standard for the affecting degrees of integrated topographic factors

地形高程 / m	综合地形因子影响度		
	1 级地形标准差 (< 23.777 m)	2 级地形标准差 (23.777 ~ 54.199 m)	3 级地形标准差 (> 54.199 m)
< 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

则洪水危险程度越高。河流级别越高,其影响范围越大,同一级别的河流如果其所处地形不同,影响范围也会不一样,平原区的河流具有更强的影响力。

在分析过程中,采用 ARC/INFO 软件提供的缓冲区分析功能来表征河网对洪水危险性的影响程度。通过对河网建立缓冲区,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、所处的地形。河流的地形属性是通过河流、湖泊图层与地形分级图层叠加分析得到。具体等级的划定以及宽度的确定见表 3。另外根据历史上洪水的强度情况(根据长江、汉江沿岸的历史溃口扇以及 1998 年特大洪水期间的遥感影像),对荆江(枝江以下)段以及汉江中下游(钟祥以下)的河段的缓冲区的宽度作了特别的规定(见表 4),以更加符合实际。

表 3 湖泊和水库缓冲区等级和宽度的划分标准

Table 3 Dividing standard for the buffer zone ranks and widths of lakes and reservoirs

地形高程 / m	缓冲区宽度 / km	
	一级缓冲区	二级缓冲区
< 100	4	10
100 ~ 200	3	8
200 ~ 500	2	6
500 ~ 800	1.5	4
800	1	2

表 4 河流缓冲区等级和宽度值的划分标准

Table 4 Dividing standard for the buffer zone ranks and widths of rivers

地形高程 / m	缓冲区宽度 / km			
	长江		汉江	
	一级缓冲区	二级缓冲区	一级缓冲区	二级缓冲区
< 100	8	16	6	14
100 ~ 200	6	14	4	12
200 ~ 500	5	12	3	10
500 ~ 800	4	10	2	9
800	3	9	1	8

注:长江缓冲区自枝江以下,汉江缓冲区自钟祥以下。

在利用 ARC/INFO 软件的 BUFFER 功能分别

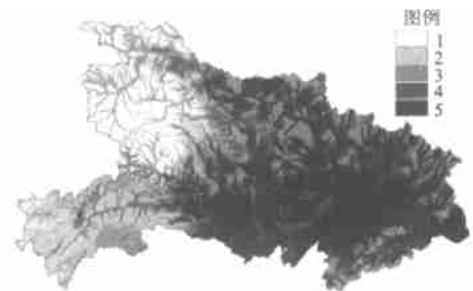
得到河流、湖泊(水库)的缓冲区后,再利用其提供的栅格化(GRID)功能,以 250 m × 250 m 为栅格单元的大小,把相应的多边形文件转换为栅格文件,并合并两者,得到综合缓冲区分布。根据距离河流、湖泊(水库)越近,洪水危险性越大的原则,可确定各级缓冲区对洪水危险性的影响度:一级缓冲区为 0.9,二级缓冲区为 0.8,非缓冲区为 0.5。

3.5 历史洪灾分布及其对洪水危险程度的影响

湖北省历史洪灾的分布可通过盛夏洪水灾害频次分布图来反映。根据频次越高,其洪水危险性也就越大的原则,确定出如下的历史洪水灾害对洪水危险性的影响度:小于 4 次的区域为 0.6,4 ~ 8 次的区域为 0.7,8 ~ 12 次的区域为 0.8,大于 12 次的为 0.9。据此并利用 ARC/INFO 软件得到湖北省历史洪水灾害对洪水危险性的影响度分布图。

3.6 湖北省洪水危险性评价及结果分析

综合考虑降水、地形、河网分布以及历史洪水灾害发生情况,并根据前述计算得到的降水影响度、地形影响度和河网影响度等栅格图层,在 ARC/INFO GRID 模块中的地图代数功能支持下,通过图层叠加,得到湖北省洪水危险性评价结果图,见图 2。



注:区域的灰度越深表示洪水危险性等级越高

图 2 湖北省洪水危险性等级图

Fig. 2 Grades of flood risk in Hubei Province (The darker the areas is, the higher the flood risk grade presents)

从图 2 可以看出:湖北省东部及中部地区洪水危险性普遍高于鄂西山区,这与东部以及中部地区降水丰富、地势低平以及坡度变化小,而西部尤其是鄂西北地区降水量少、地势高密切相关。而鄂西南虽然降水也比较丰富,但由于该区属于云贵高原的一部分,地势高,因此总体上其洪水危险性相对于中部来说要低一些;东南部也是同样的情况。危险性比较高的分布区基本上集中于枝江以下的长江沿线以及钟祥以下的汉江中下游一线两岸。而对于降水稀少并且地形较高的神农架地区,则危险性很低。对于西部地区,洪水危险程度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。洪水危险性评价是洪灾风险评价的前提和基础。

4 洪灾风险评价

洪灾具有自然属性和社会属性的双重属性,同样的洪水发生在不同的地区,可能会导致完全不同的结果。洪灾风险是洪水危险性和社会经济易损性的综合函数,洪灾风险评价必须考虑区域洪灾易损性特征。本文采用人口、耕地面积以及国内生产总值等 3 个指标作为洪灾社会经济易损性大小的代表性指标。

4.1 社会经济易损性分析

把湖北省各县市耕地面积、人口分布以及国内生产总值分布的各项统计数据输入并作成 DBF 数据库,然后在 ARCVIEW 中,根据关键字即各县市的名字,把 DBF 库中的统计数据 JOIN 到已经数字化了的湖北省政区分布图中的相应区域的属性库中,并根据相应的统计数据得到湖北省各县市耕地面积百分比(某县耕地面积与国土面积的百分比)、人口密度以及国内生产总值分布图。

根据人口密度越大,耕地面积百分比越大,国内生产总值越高,其洪灾易损性也越高的原则,结合人口密度、耕地面积百分比以及国内生产总值分布图的情况,确定出如下的各因子对洪灾的社会经济损失贡献度,见表 5。

表 5 人口密度分布、耕地面积百分比、国内生产总值对社会经济损失贡献度

Table 5 The contribution of population density, cultivated land percentage and GDP to soc-economic loss

因子名称	社会经济损失贡献度				
	分类等级				
	1	2	3	4	5
人口密度分布	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
耕地面积百分比	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
国内生产总值	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

根据表 5,即可分别把人口密度、耕地面积百分比以及国内生产总值分布图转换成其各自对洪灾的贡献度分布图,通过叠加,即得到社会经济易损性分析结果图(见图 3)。

4.2 洪灾风险评价结果

洪灾风险是洪水危险性和社会经济易损性的综合。在 ARC/INFO GRID 模块的支持下,把前边得到的洪水危险性和社会经济易损性的图层进行叠加,即可得到湖北省洪灾风险评价结果(见图 4)。



注:区域的灰度越深表示易损性等级越高

图 3 湖北省社会经济易损性等级图

Fig. 3 The grade of soc-economic vulnerability in Hubei Province



注:区域的灰度越深表示风险等级越高

图 4 湖北省洪灾风险等级图

Fig. 4 The grades of flood disaster risk in Hubei Province

结果显示,神农架高山地区风险性最低,风险值为 1;鄂西、鄂东北和鄂东南大部分山区洪灾风险性较低,风险值为 2;江汉平原周边和低岗地次之,风险值为 3;江汉平原和襄樊盘地的大部分平原核心地区洪灾风险性最高,风险值为 4。这个结果与实际情况是基本相符的。这是因为江汉平原核心地区地势低洼,又靠近主干河道或大型湖泊,同时也是人口经济密度最大的地区,所以其洪水灾害风险性最高。而在高山地区,由于地势高,水流疏散快,而且远离过境客水主干河流,洪水主要来自本地降水,即使有时暴发山洪,也由于人口经济和耕地密度小,其造成的损失也不大,所以其洪水灾害风险性最低。

5 结论和讨论

(1) 洪灾风险评价结果与实际情况基本上相吻合。江汉平原的洪湖、监利、石首、公安、松滋、荆州、仙桃、潜江等一带,武汉地区以及襄樊一带在评价结果图中均属于洪灾风险高的区域,而鄂西山区尤其是神农架林区以及鄂西北一带洪灾风险比较低,这与历年来防洪救灾的重点地段集中于江汉平原、武汉地区的实际是符合的。

(2) 评价结果具有一定的实际应用价值,可为

防汛救灾的各有关部门在宏观决策上提供依据。防汛指挥部门在制定湖北省洪灾防治规划和措施以及保险公司针对不同地区制定灾害保险额时可作参考。

(3) 急需提高评价的比例尺,在未来几年,依托可获得 1 m × 1 m 分辨率的卫星影像和高精度的 GPS 技术,可把评价比例尺提高到 1:10 000。

(4) 在评价洪水危险性时,还应该考虑更多的因素,如植被、土壤、水利工程、堤防等。在考虑社会经济损失时,除考虑人口、耕地、GDP 等因素外,还应考虑城镇、农村居民点、交通线、油田、名胜古迹、大型厂矿区、各种工程设施等的分布。

参考文献:

[1] CORREIA F N, FORDHAM M, DA GRACA SARAIVA M, BERNARDO F. Flood hazard assessment and man-

agement: Interface with the public[J]. *Water Resources Management*. 1998, 12(3): 209 - 227.

[2] CORREIA F N, REGO F C, DA GRACA SARAIVA M, RAMOS I. Coupling GIS with hydrologic and hydraulic flood modeling [J]. *Water Resources Management*, 1998, 12(3): 229 - 249.

[3] 陈秀万. 洪灾损失评估系统——GIS 遥感与技术应用研究[M]. 北京:中国水利出版社, 1999.

[4] 中国国家统计局. 湖北省统计年鉴(2000) [M]. 北京:中国统计出版社, 2000.

[5] 中国国家统计局. 湖北农村统计资料汇编(2000) [M]. 北京:中国统计出版社, 2000.

[6] 何报寅. 对长江洪水的分析[J]. 中国人口资源与环境, 2000, (10): 123 - 124.

[7] 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.

(编辑: 陈绍选)

Flood risk assessment of Hubei province

HE Bao-yin¹, ZHANG Sui², DU Yun¹, Yasunori Nakayama³, LI Bing⁴

(1. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China;

2. Yangze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 3. Department of Geosystem Sciences, Niben University, Tokyo, Japan; 4. The First Survey Institute of Hubei Province, Wuhan 430071, China)

Abstract: Flood risk in Hubei is assessed primarily on the basis of the digital topographic map of 1:250 000 scale by using ARC/INFO GIS platform. Firstly, precipitation, topography, river net (rivers, lakes and reservoirs) and frequency of flood happened in history, and the four natural factors which generate flood fatality, are taken into account and flood fatality grades assessment is conducted. Secondly, an evaluation for vulnerability of flood disaster is done considering the socio-economic factors—the spatial densities of population, GDP and cultivated land. At last, a map for flood risk grades in Hubei Province is made by overlapping the map of flood fatality grade and the map of vulnerability. Results show that, the areas from low flood risk grades to high in Hubei Province are as follows: (1) the western Shennongjia high mountain area; (2) most mountain areas in the west, north-east and southeast of Hubei Province; (3) Jiangnan plain perimeter and low hill areas; (4) the most part of the core areas in Jiangnan plain and Xiangfang plain. The assessment results are in agreement with the actual situations of flood in Hubei Province.

Key words: Hubei Province; flood risk assessment; GIS

简讯

长江委总工郑守仁院士视察长江科学院空间信息技术应用研究所并听取汇报

2004年4月14日下午,在长江科学院副院长(主持工作)郭熙灵、总工林绍忠陪同下,长江委总工郑守仁院士带领长江委有关专家来长江科学院空间信息技术应用研究所,听取了“三峡水库库容计算与复核”项目成果汇报。该项目于2004年1月8日顺利通过三峡总公司组织的验收,来自武汉大学、铁四院、湖北省测绘局及长江委院等单位的专家给予了很高的评价。