

上海市洪涝淹没风险图研究

张行南, 安 如, 张文婷

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 在水文学原理的基础上, 分析形成洪涝淹没的主要致灾因子, 根据下垫面性质、江河、道路等线状阻水建筑物的分布以及地形、水利区划等因素划分地理单元和计算单元。根据内涝及风暴潮不同的致灾原理, 分别建立沿海地区风暴潮洪水淹没、郊区内涝淹没和中心城区内涝淹没计算、评价模型。考虑防洪工程的分布及影响, 以地理信息系统和模糊数学分析法为工具, 进行不同区划单元洪涝淹没风险的综合计算分析与评价。以上海市为例, 对风险图绘制的基本原理和方法进行探讨。

关键词: 城市洪涝灾害; 风险图; 区划; 风险评价模型; GIS; 上海市

中图分类号: P333.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2005)03-0251-04

洪水风险图是了解区域遭受洪水灾害危险性大小的一种直观科学的专题地图, 是防灾减灾的一种非工程措施。洪水风险图可给出不同区域在发生溃坝、漫堤和大暴雨时, 受淹可能性的大小。根据风险图, 可给出洪水淹没风险的分布信息。

在一些经济发达和科技先进的国家, 绘制并应用洪水风险图进行防洪减灾已非常普遍, 我国也有很多学者对此进行了研究并取得了丰硕的成果。刘树坤等在 20 世纪 80 年代绘制了永定河泛区、小清河分洪区、黄河北金堤滞洪区、东平湖分洪区、太子河下游平原区、辽河干流及辽河油田、广州市等的洪水风险图^[1]。张行南等^[2]从气象、径流和地形 3 个因素考虑, 采用成因分析的方法, 制成了全国洪水危险程度区划图。程晓陶等^[3]在研究开发城市洪水演进一维、二维非恒定流混合模型的基础上, 分现状与规划措施实施后两种情况对各典型年暴雨、高潮的组合在深圳市可能造成的洪涝灾害进行了数值模拟与分析, 其结果为深圳市合理评价防洪(潮)规划提供了依据。仇劲卫等^[4]根据北江大堤可能出现的溃堤风险, 模拟了北江大堤溃决后保护区内洪水的演进过程, 模型的计算结果提供了淹没水深、淹没范围、淹没历时以及流速等洪水风险信息, 为北江大堤洪水风险图的绘制提供了依据。王腊春等^[5]采用河网非恒定流计算方法, 分析洪涝的发生过程, 并结合地理信息系统, 模拟洪涝的淹没范围, 为及时掌握洪涝灾情, 进行防洪减灾决策提供依据。

本文在对上述方法进行研究和归纳的基础上, 在分析上海市洪水灾害成因的前提下, 根据上海市的降水、地形、地物、洪涝灾害等特点, 研究洪灾的影响因素, 以及这些因素与洪灾危险程度间的相关关系, 求出危险程度隶属度。在地理信息系统平台上, 采用多边形叠置分析和聚类分析等手段, 研究洪水灾害危险程度区划的方法, 进而绘制成洪涝淹没风险图。本文所研究的淹没可能性, 或称为风险是一种相对的概念, 即不同区域之间风险大小的相对比较, 对防洪规划、社会和经济活动的决策等具有一定的意义。用本文方法研制的风险图, 在防洪工作中具有较强的实用性。

1 洪涝淹没风险图研究的基本原理

1.1 洪涝淹没的主要致灾因子分析

上海市地处东海之滨长江口, 受风暴潮和暴雨的威胁非常大, 极易造成洪涝灾害。

上海市的洪涝威胁主要来自两个方面: 一是台风季节高潮位与风暴潮遭遇时, 由于溃坝、漫坝而形成的洪水威胁; 二是由于暴雨形成的内涝。

对于洪水, 其成因包括两个方面: (a) 潮位和地形; (b) 堤防的抗洪能力。堤防的抗洪能力, 包括堤高设计标准和大堤本身的质量标准。本文首先不考虑大堤本身的问题, 这意味着只研究天然情况下不同区域可能遭

受洪水淹没的可能性,同时也意味着假定任何地方溃坝的可能性相同的情况下,遭受洪水淹没的可能性的空间分布。

对于内涝,与洪水相似,取决于两个方面,一是降雨和地形等自然因素,二是排水能力。前者是自然因素,后者是防洪工程措施。对于郊区内涝,本文同样先不考虑排水能力这一因素,意味着只考虑天然情况下和假定不同区域排水能力相同情况下,内涝淹没可能性的空间分布。对于中心城区,则着重考虑地下管网的排水能力。

对于防洪工程和排涝工程,从风险角度来说,其可以减少洪水的威胁,对隶属度是一种负聚类。因此,将其作用隶属度图层与不考虑工程条件下的风险图进行叠置分析,即可得到现状防洪工程下的洪涝淹没风险图。

1.2 洪涝淹没风险图的主要研究内容

1.2.1 洪涝特性区划

由于不同区域洪与涝特性的不同,风险图研制时应对整个上海市进行区划。由于下垫面阻水建筑的密度和特性的不同,应将上海市划分为中心城区和郊区两个部分。

对于中心城区和郊区,依据地形、地表覆盖、阻水建筑物、江河道道路等线状地理特征、水利区划的结果以及河网自排能力,将研究区域划分成多个相对独立的地理单元。对地理单元建立洪涝淹没可能性评价体系与评价方法。

地理单元的评价指标 (a)对于内涝主要有降雨、径流、面积、地势高低、坡度、坡向、河网密度、水利区划等 (b)对于风暴潮主要有潮位、地理位置、地形、线性与孤立状阻水建筑物的分布等。每一地理单元再根据地

势高低进一步划分成具体的计算单元,划分时将高程基本相同的区域划为一个计算单元,取高程平均值作为该计算单元的高程。在同一地理单元中,各计算单元洪涝淹没可能性的大小主要取决于地势的高低。由于从降雨到形成径流,对不同地理单元其入渗等损失不同,将采用不同的降雨径流相关模型或扣损模型得到各地理单元的净雨量,用于确定各计算单元可能被淹没的风险等级。

线状阻水建筑物,定义为堤岸和路基高于地表的道路,起到一定程度的阻隔水流动的作用。在本文中,线状阻水建筑物是洪涝特性区划的重要依据,这意味着处于不同地理单元具有相同高程的计算单元将可能具有不同的风险等级。洪涝特性区划的具体方法及流程见图1。图2为部分典型区洪涝特性区划结果。



图1 洪涝特性区划流程
Fig.1 Flow chart for flood and waterlogging behavior regionalization

由于风暴潮主要影响沿海、长江口、沿黄浦江两岸一定的区域范围,因此需划分出受风暴潮影响的区域。该区域的划分可采用地理信息系统中提供的制作缓冲(Buffer)区的功能,综合考虑增水量及地形条件,得到宽度不等的缓冲区。

对位于已形成缓冲区内的地理单元和计算单元,根据阻水建筑物、地形、河网连通等情况建立洪水演进淹没的评价模型,确定淹没范围。对不同的区域,采用不同的方法和模型,推求出相应的风险度。

1.2.2 风暴潮淹没范围研究

a. 历史高潮位频率计算。尽可能多地选定潮位代表站,对历年的高潮位进行频率计算,确定不同频率条件下的单站高潮位。由于历史高潮位实测资料中包含台风的影响因素,故需要对台风的影响进行分析。计算的频率拟采用1a,2a,5a,10a,20a,50a一遇。

b. 同频率高潮位的空间分布研究。潮位从外海到内河存在一个演进的过程,而潮位代表站是有限的。为此,需根据水力学的基本原理,确定同频率高潮位的空间分布图,以确定各计算单元同频率条件下的高潮位。

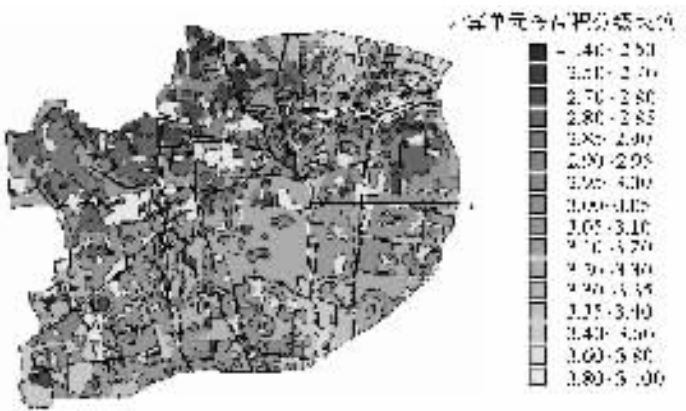


图2 部分典型区洪涝特性区划结果(单位:m)
Fig.2 Result of flood and waterlogging behavior regionalization for some typical areas

c. 典型潮位过程研究.潮位变化是一个涨落起伏的过程,此过程直接影响洪水的淹没范围.为此,需对各种潮位过程,包括台风条件下的潮位过程进行研究,确定典型潮位过程,供洪水淹没计算使用.

d. 洪水淹没过程模拟.按线性阻水建筑物划分计算单元,对孤立状阻水建筑物进行概化,按照地形分布建立洪水演进淹没的评价模型,由固定频率潮位过程进行洪水演进淹没模拟,确定相对应的淹没范围.

1.2.3 内涝淹没范围研究

- a. 首先进行洪涝特性区划,然后给出二级地理单元相应的降雨量.
- b. 根据历史暴雨的降雨量、水位及流量实测数据,估算不同单元的排水能力.
- c. 根据下垫面产流特性的不同,对地理单元进行分类,研究各种类型的径流系数.考虑地下管网及泵站、河网的排洪能力,给出各等级预警降水量相对应的内涝水量,再由数值高程模型计算相对应的淹没范围.
- d. 根据历史暴雨的调查资料,修正所得的淹没范围.

1.2.4 无工程条件下的风险度研究与综合

- a. 首先分别研制洪水和内涝风险图.在地理信息系统平台上,将不同频率淹没范围进行叠置分析,采用综合隶属度函数的方法,经边界均化处理等,制作成风险图.
- b. 对洪水和内涝风险图进行叠置分析,确定两者间的相对权重,经调试后制作成综合风险图.
- c. 在广泛征求专家咨询意见、与历史洪涝灾害进行对比分析的基础上,对风险图进行调整和修正.

1.2.5 防洪工程影响分析及隶属度计算

防洪工程分为两大类,一是堤防,二是排涝泵站.

堤防主要是防御风暴潮,其主要性能指标为防洪标准和工程质量.首先对堤防的空间分布进行研究,确定描述堤防的指标体系,根据指标对堤防进行分区.在地理信息系统平台上,根据地形和阻水建筑物,确定各堤防的影响范围.然后根据相对应的指标,采用隶属度的方法,制作防洪效应隶属度分布图层.

排涝泵站的主要指标体系是抽水能力.在地理信息系统平台上,首先根据地形、河网分布、地下排水管网的分布,确定各排涝泵站的影响范围,然后根据排涝能力制作防洪效应隶属度分布图层.

1.2.6 现状工程条件下的风险图研究

将无工程条件下的风险图与堤防和排涝泵站的防洪效应隶属度图层进行叠置分析,生成多边形图层.对各多边形的属性进行负聚类,确定分级指标,研制风险图.洪涝淹没风险图研制过程见图 3.

2 技术方法

洪涝风险图的研制主要有地貌学的方法、实际洪水法和水文学方法、水力学方法^{[7]①},其中水文学与水力学方法应用广泛.本文在水文学原理的基础上,以地理信息系统和模糊数学分析法为工具,进行洪涝淹没风险分析.本文的研究工作分为两步,首先在不考虑防洪工程措施状况下,研究和制作洪水风险图,在此基础上,考虑防洪工程的效应,根据防洪工程措施的作用范围,制作防洪效应隶属度图层,然后与不考虑防洪工程的风险图进行叠置分析,制作现状防洪工程条件下的风险图.

地理信息系统是一种在计算机硬件支持下的空间数据输入、存贮、检查、运算、显示、更新和综合分析的应用技术系统.随着计算机技术的发展,地理信息系统不仅大大提高了人们对空间数据的收集、存贮、分析、显示和信息处理的能力,同时还丰富了对信息处理的动态性和空间分析能力,现已成为一个具有广泛应用和发展前景的领域^[6].

模糊数学是用数学方法研究和处理具有“模糊性”现象的理论.随着研究对象的复杂化,对研究对象越来越难以精确地描述,这是一个突出的矛盾.对于一个复杂的系统,传统的方法不再适用,寻找一套处理模糊性

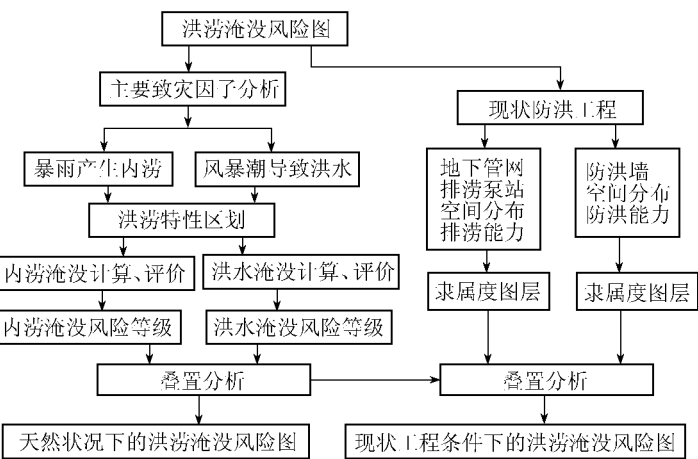


图 3 洪涝淹没风险图研制过程

Fig.3 Flow chart for compilation of flood and waterlogging risk map

① 徐向阳.城市防洪与减灾.河海大学,2001.

的数学方法,可以通过少量的信息而得到更好的成果。

由于影响洪水和洪灾危险的因素非常复杂,且界限模糊,因此,可以把洪灾区划问题视为一个模糊集,对于洪水危险程度的度量采用模糊数学方法。“有发生洪水的危险”作为一个模糊概念,在鉴别这一概念时,并不急于作肯定或否定的回答,而是用 $[0,1]$ 闭区间的一个实数去度量它,这个数便是隶属度。隶属度的引入使洪灾区划工作逐步走向量化,提高了洪灾区划工作的科学性。

隶属函数的确定可以采用统计方法、对比排序法和综合评定等。

洪水风险图的分类分级主要可以采用综合因子的累积排序或致洪因子的模糊聚类分析等方法。

3 结 论

本文以上海市为例,采用了对洪涝特性进行区划以及对区划单元建立洪涝淹没评价模型的方法,对城市洪涝淹没风险图的研制进行了探讨,所得的洪涝淹没危险程度的区划图是客观的。风险区划图上的危险等级只是相对值,没有绝对量的概念。地理信息系统强大的空间分析功能是宏观区划研究的有力工具。本文采用的技术手段和方法可供类似研究参考。

参考文献:

- [1] 李晓新. 洪水风险图的制作及应用[J]. 山西水利, 2002 (5): 32—33.
- [2] 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. 水利学报, 2000 (3): 1—7.
- [3] 程晓陶, 仇劲卫, 陈喜军. 深圳市洪涝灾害的数值模拟与分析[J]. 自然灾害学报, 1995 (4): 202—209.
- [4] 仇劲卫, 陆吉康, 李娜. 北江大堤洪水风险图信息管理系统中仿真模型的开发研究[J]. 灾害学, 1999 (4): 17—21.
- [5] 王腊春, 谢顺平, 周寅康, 等. 太湖流域洪涝灾害淹没范围模拟[J]. 地理学报, 2001 (5): 46—54.
- [6] 张梨. 城市洪水分析与模拟的 GIS 方法研究[J]. 地理学报, 1995 (增刊): 76—84.
- [7] 徐向阳, 刘俊. 洪水风险分析和定量评估[J]. 中国减灾, 1999 (4): 31—34.

Development of flood and waterlogging risk map for Shanghai City

ZHANG Xing-nan, AN Ru, ZHANG Wen-ting

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources
and Hydraulic Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract Based on hydrography and geography, dominant factors leading to flood and waterlogging were discussed. Geographic cells and calculating cells were divided in terms of the property of underlying surfaces, the distribution of linear waterproofing buildings, such as rivers and roads, land configuration, water conservancy regionalization, etc. According to different principles of flood- and storm tide-induced disasters, the calculating and evaluating models for storm tide-induced coastland submergence and waterlogging-induced suburb and central city submergence were developed respectively. In consideration of the distribution and influences of flood control projects, comprehensive analysis and evaluation were made on the flood and waterlogging risks with different regionalized cells by use of GIS and the fuzzy mathematical method. With Shanghai City as an example, the basic principle and method for compiling the flood and waterlogging risk map were discussed.

Key words flood and waterlogging disaster; risk map; regionalization; risk evaluating model; GIS; Shanghai City