# 城市实时洪涝风险图系统研究

李君钰1 王旭滢1 崔信民2 游洋3 孙雅茹1 钟华2

1．河海大学，江苏，南京210098；2. 南京水利科学研究院，江苏 南京 210029

3．江苏省水利厅，江苏，南京 210029；

**摘要:** 受气候变化及快速城镇化影响，近年我国城市受暴雨内涝灾害愈加频繁，呈明显上升趋势。城市实时洪涝风险图是城市防洪减灾的非工程措施之一。本文针对南京城市洪涝特性，探讨城市实时洪涝风险图系统的功能及特点，重点介绍城市洪涝预警预报与灾情风险分析，提升城市防灾减灾能力。

**关键字:** 城市防洪；洪水风险图；信息管理系统；洪涝预警

## 南京洪涝灾害情况

### 1.1 历史洪涝灾害

南京城市依长江、秦淮河而建，沿岸地势平坦低洼，部分城区高程低于历史最高洪水位2~5m，是典型的洪水走廊。受地理位置、降水特点和地形特征的共同影响，南京极易发生洪涝灾害。

南京城市的洪水来源主要是外来洪水和城市暴雨引起的内涝。外来洪水主要指长江、秦淮河等某一个流域发生洪水；或2个流域同时发生大洪水，沿江沿河堤防发生溃口或漫溢。暴雨内涝指南京城市范围内24小时内的短历时、高强度暴雨造成的内涝积水。随着南京城市经济、人口发展，一旦发生洪涝灾害，经济损失非常严重[1]。

据历史资料统计，南京市平均约8 年发生一次洪水灾害，尤其是20 世纪90 年代以来，先后发生了1991 年、1995 年、1996 年、1998 年、1999 年、2003 年、2008 年和2010 年大洪水，造成了一定程度的洪涝灾害损失[2]。南京市年均暴雨日为2.7天，年均大暴雨日为0.6 天，日最大雨量达到207mm( 2003年7月5日)[3]。短历时、高强度的暴雨在短时间内就可以在市区的低洼地形成积水，产生涝灾。再加上城市化进程的加快，地表不透水面积、蓄水空间分布、排水管网分布都发生了变化，加剧了城市内涝压力。例如，2015年6月两场暴雨，导致南京主城区至少出现24处积水点，积水最深处1m左右。

### 1.2 城市防洪现状

南京城市目前外江防洪能力，主城基本达到100年一遇，江北区域基本达到50年一遇。外洪威胁主要来自于长江等河流的河水顶托，近年来累计加固防洪堤128km[2]，城市抵御洪水能力大大增强。

南京主城区大部分区域通过管网收集积水，通过内河的汇集，经过泵站抽排汇入外秦淮河或外金川河，最后汇入长江。1998年之后修建、改建了大批水闸、泵站，新增城市排涝流量482m3/s城市排涝模数平均为2.47m3/s/km2 [2]。但是由于地形不利，城市化发展过快及城市排涝标准低，气候变化导致的极端暴雨频率增多，目前南京城市部分居民小区、城市道路仍旧暴雨内涝受淹严重，影响城市正常运行。

## 南京城市实时洪涝风险图系统研究

城市实时洪涝风险图系统是城市防洪减灾中最重要的非工程措施之一，具有投资小、见效快、效益大的特点，是国内外优先建设的防洪措施。目前我国已开展了城市实时洪涝预警及实时洪涝风险图的相关研究与应用[4~7]，但不同地区所面临的洪涝风险不同，各系统功能及特点也不一。本文试图以南京城市防洪防涝实际出发，根据洪水来源不同，分别从外洪和内涝的角度，介绍南京城市实时洪涝风险图系统的功能及特点，以及实现方式。

### 2.1 系统原理

南京城市实时洪涝风险图系统是利用水动力学洪水模拟技术、地理信息系统（GIS）可视化技术、数据库技术构建的具有信息查询、信息处理、洪水可视化时空分析等多种综合管理功能的应用系统。可利用预报降雨或水文站实时水位或者预报水位，实现洪涝风险预报、预警、风险信息查询、灾情统计、损失评估等功能于一体。利用GIS平台进行洪涝风险动态可视化展示、存储，以及避险转移路线规划。通过电子地图将区域内的空间数据进行表达，集成了空间分析、信息管理、实时洪水演进分析、风险分析等专业模型，可以辅助管理人员进行南京城市的洪水风险分析工作。

外洪方面，系统建设主要考虑外江洪水及堤防突发溃口作为洪水风险致灾因子，结合GIS平台和数据库技术建立研究区的空间及空间属性数据库，利用水动力学模型模拟洪水淹没过程，包括多种洪水淹没要素的计算，淹没水深、淹没范围、淹没面积、淹没流速等。

内涝方面，系统主要考虑超过致涝临界雨量的城区暴雨为致灾因子，采用基于城市排水管网模型[8-10]研制内涝积淹点风险图。在单位时间内落到市区路面或地面的降水一部分被渗透吸收，另一部分形成径流。如果雨强过大，径流超过管网体系的抽排能力，剩余径流就会依重力势能向低洼地区汇集，进而形成内涝。

### 2.2 建设步骤

#### 2.2.1 基础资料收集

（1）基础地理数据：大比例尺数字地形图、高分辨率影像图、DEM数据、相关河流水下地形以及南京主城区易涝点位置分布；（2）自然地理：包括水文气象数据，河流水系、排涝沟渠、湖泊等；（3）水利工程：堤防数据、水利工程及其调度规则、阻水建筑物、城市地下管网数据、城市积涝点数据；（4）社会经济：精确到街道的社会人口、经济数据。

#### 2.2.2 外洪风险建模分析

南京主要洪水来源之一为城市外洪，为了能够模拟城市外洪河道洪水、溃堤洪水，建立一维二维耦合水动力学模型，保障洪水风险分析的准确性。

根据南京城市范围内外的水文控制站或水利工程枢纽，建立一维河道水动力学模型，计算河道流量、水位、流速等信息。对于溃堤后洪水在南京城区内的演进，建立南京城市范围精细化的二维水动力模型，采用不同糙率表征城区街道、建筑物等对水流的影响，同时针对城市网格引入网格孔隙率概念，即区域内每一个网格面积上建筑物面积所占的比例，来反映建筑物在整个城区洪水淹没过程中影响[11~12]。采用侧向连接，在一维模型水位达到设定高程之后，一二维模型产生连接，二维参与计算，模拟河道洪水淹没城市过程[13]。

#### 内涝风险建模分析

对于城区内涝，以分析城区积水区域分布、易涝点淹没特征、积水与暴雨特征的关系为重点[14~15]。暴雨内涝洪水分析的上边界条件为实测暴雨过程，下边界条件包括河道水位过程、排水设施的出流过程等。

对于具有管网信息的区域，建立排水管网模型并与城市河道一维模型、二维模型相耦合，精确模拟城市内涝淹没情况。而对于地下排水管网数据缺失的区域，则利用二维水动力学模型采用直接降雨法进行模拟，并综合土地利用情况给出合适的下渗雨量，从而进行暴雨内涝模拟。

### 2.3 系统实现

按照需求分析的结果，运用地理信息系统（GIS）、组件技术，在WINDOWS环境下，采用客户/服务器（B/S）的应用结构，进行开发设计。应用Visual C#语言进行系统集成。系统逻辑上由系统支撑层——综合数据库、系统应用层——数学模型、人机交互层——GIS应用系统三部分组成。综合数据库为系统提供空间定位基础及相关信息；数学模型对洪涝灾害提供来水过程计算、动态模拟洪水淹没过程、灾情统计；GIS应用则面向用户，提供信息查询、模型结果可视化和信息管理等功能。系统运行平台如表1所示。

表1 系统运行平台

|  |  |
| --- | --- |
| 类别 | 运行平台 |
| 操作系统 | Windows 7 / Windows XP |
| 数 据 库 | SQL Server 2008 |
| 系统运行模式 | B/S |

系统整体层次架构如图1所示，由数据交换平台、数据资源层、应用平台层、业务应用层、应用交互层构成。

图1 系统层次架构

（1）数据交换平台。系统通过数据交换平台可从南京市防汛防旱综合信息管理系统汇集南京城区的基础空间、水雨工情、水利专题、社会经济等相关信息，为系统管理使用提供信息支撑。

（2）数据资源层。规范整合现有信息资源，建设系统数据管理平台，能够逻辑读取水文、防汛、水利工程数据库数据，完成对风险信息的汇集与存储，提供数据访问、数据管理服务，实现数据交换和共享。

（3）应用平台层。建设和完善能够保证系统运行的环境，搭建工作流、报表、地理信息系统、各种模型、数据交换等应用组件，用于支撑应用系统的开发、部署和管理。

（4）业务应用层。建设包括实时洪涝预警、洪涝风险图绘制与分析、洪水风险管理，实现洪涝风险分析的可视化、网络化，提高业务人员工作效率，构建协同工作的环境，逐步实现现代化的管理。

（5）标准规范体系。按国家、省、市行业相关标准规范，建立项目标准规范，支撑系统设计开发。

### 2.4 系统应用

系统可利用水文站、雨量站的实时信息，对南京城市外洪、内涝进行实时计算，进行风险预警；在超标准洪水、暴雨的情况下预报洪水到达时间、洪水淹没水深、洪水淹没历时等洪水信息。

结合社会经济情况进行受灾淹没损失分析。结合受淹区域内道路路网信息，实时计算分析道路淹没情况。以淹没范围、淹没水深、洪水流速和洪水到达时间等洪水风险信息为基础，综合人口分布、撤离道路、安置条件等进行避险转移分析，确定转移人员数量，规划安置场所，制定转移路线，为防汛指挥决策提供技术支持。

在防汛防涝指挥决策中，可能需要了解堤防突发性溃堤或者险工险段溃堤的可能性及后果，系统的动态溃口功能可满足这方面的要求。当堤防的险工险情段发生突发性的溃堤时，可以在堤防处任选择一处作为临时突发溃口，可以对起溃时间、溃口方式等进行设置，设置完成后可以调用模型进行计算分析。

系统功能结构如图2所示，主要功能包括：（1）实时连接雨水情信息或动态人工设定致灾因子（洪水、暴雨过程）；（2）实时水文模型、水动力模型耦合模拟计算；（3）动态河堤、江堤溃口人工设置；（4）洪水方案管理；（5）洪水演进展示；（6）积涝点淹没查询、洪水灾情分析、内涝预警。



图2 系统功能结构

## 结论

目前我国有防洪任务的城市有700余座，受暴雨内涝严重影响的城市数也逐年递增。本文试图对南京城市实时洪涝风险图系统进行研究，对其中的关键技术进行阐述。该系统的功能对南京城市防洪防涝的作用还需要进一步探讨和改进。该项工作将有助于推进南京市乃至全国的城市实时洪涝风险图与灾情仿真系统的发展，有利于我国城市防洪减灾工作。

## 致谢

本研究受中国浙江省水利厅科技项目“基于水文水动力耦合模型的城市实时洪涝预警研究与应用”（项目编号RB1501）、全国重点地区洪水风险图项目“衢州城市洪水风险图”（项目编号CTZB-QZ201450011）资助。

## 参考文献

[1]葛鹏,岳贤平. 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异-以南京市为例[J]. 灾害学,2013,01:107-111.

[2]缪大宏,张晓峰. 南京城市防洪规划研究[J]. 中国水利,2015,13:16-19.

[3]胡茂川,张兴奇. 南京市内涝灾害成因分析[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版),2011,03:28-30.

[4]谢放. “2D城市洪涝与流域汛情风险预警评估系统”应用探讨[J]. 长江科学院院报,2013,06:27-30+42.

[5]杜文印,肖羽. 动态洪水风险图在佛山城区防洪中的应用[J]. 水利信息化,2014,02:9-14.

[6]余丽华,佘亮亮,刘铁锤. 基于WEBGIS的宁波鄞东南地区动态洪水风险图编制研究[J]. 人民珠江,2014,04:102-104.

[7]南京水利科学研究院.衢州城市洪水风险图管理与应用系统[R].2015.

[8]赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,王浩正,曹尚兵,盛政. 基于GIS构建SWMM城市排水管网模型[J]. 中国给水排水,2008,07:88-91.

[9]陈小龙,赵思东,赵冬泉,盛政,罗睿,陆露,张俊. 城市排水管网模拟系统介绍[J]. 中国给水排水,2015,01:104-108.

[10]陆露,赵冬泉,盛政,陈小龙,刘小梅,张俊,张添. 城市排水管网一维与二维模拟技术对比研究[J]. 给水排水,2015,S1:355-358.

[11] 王志力,耿艳芬,金生. 具有复杂计算域和地形的二维浅水流动数值模拟[J]. 水利学报,2005,(04):439-444.

[12] Wang, Z. L,. Y. F. Geng, S. Jin. Two-dimensional shallow water equations with porosity and their numerical scheme on unstructured grids[J]. Water Science and Engineering,2013,(01):91-105.

[13] Wang, Z. L,. Y. F. Geng. An unstructured finite-volume algorithm for nonlinear two-dimensional shallow water equation [J]. Journal of Hydrodynamics(Ser.B),2005,(03):306-312.

[14]张念强. 城市洪水风险图编制的若干问题与探讨——以成都市洪水风险图编制为例[A]. 中国水利学会青年科技工作委员会.中国水利学会第四届青年科技论坛论文集[C].中国水利学会青年科技工作委员会:,2008:5.

[15]李永坤,董传红,薄丽东,轩靖. 城市洪水风险图编制技术研究[J]. 水科学与工程技术,2011,(05):74-76.