

# 平原河网地区防洪影响因素及其作用机制研究

蔡宏

常熟市防汛防旱指挥部办公室

DOI:10.12238/etd.v5i6.10896

**[摘要]** 平原河网地区防洪是一个复杂的系统工程,涉及多种影响因素。研究采用实地调查、数据分析和模型模拟相结合的方法,系统分析了地形地貌、河道特征、气候变化、人类活动等对平原河网地区防洪的影响。结果表明,河道泄洪能力、堤防质量、雨型分布和土地利用变化是主要影响因素。通过构建防洪影响因素作用机制模型,揭示了各因素之间的相互作用关系。研究成果为制定科学合理的平原河网地区防洪策略提供了理论依据和技术支撑。

**[关键词]** 平原河网; 防洪; 影响因素; 作用机制; 模型模拟

中图分类号: TV87 文献标识码: A

## Study on the Influence Factors and Action Mechanism of Flood Control in Plain River Network Areas

Hong Cai

Office of Flood Control and Drought Relief Command of Changshu City

**[Abstract]** Flood control in plain river network areas is a complex system engineering project that involves various influencing factors. The study adopted a combination of field investigation, data analysis, and model simulation to systematically analyze the impact of terrain and geography, river characteristics, climate change, and human activities on flood control in plain river network areas. The results show that river discharge capacity, levee quality, rainfall pattern distribution, and land use changes are the main influencing factors. By constructing a model of the action mechanism of flood control influencing factors, the interplay between the factors was revealed. The research findings provide theoretical basis and technical support for formulating scientific and reasonable flood control strategies for plain river network areas.

**[Key words]** plain river network; flood control; influencing factors; action mechanism; model simulation

### 引言

平原河网地区是人口密集、经济发达的重要区域,同时也是洪涝灾害频发的敏感地带。这些地区通常具有地势平坦、河网密集、排水不畅等特点,使其特别容易受到洪水威胁。随着全球气候变化的加剧和人类活动的深入,平原河网地区面临的防洪压力日益增大,洪涝灾害呈现出频率增加、强度加大的趋势。防洪问题的复杂性主要体现在影响因素的多样性和相互作用的复杂性上。地形地貌、河道特征、降雨模式、土地利用变化、水利工程建设等因素都可能对防洪产生重要影响。这些因素之间往往存在着复杂的相互作用和反馈机制,增加了防洪工作的难度。深入研究平原河网地区防洪的影响因素及其作用机制,对于准确评估洪水风险、优化防洪策略、提高防洪能力具有重要的理论和实践意义。

### 1 平原河网地区防洪影响因素识别

#### 1.1 自然因素

地形地貌特征是基础性要素,平坦地形导致排水缓慢,易形成积水。河道形态与水文特征直接影响泄洪能力,包括河道比降、断面形状和糙率等参数。气候条件与降雨特征是洪水形成的直接诱因,降雨强度、持续时间和空间分布对洪峰流量和洪水过程影响显著。地质条件决定土壤渗透性和地下水位,进而影响地表径流量<sup>[1]</sup>。植被覆盖状况通过改变水土保持能力和地表径流系数,间接影响洪水形成和演进。这些自然因素相互作用,构成复杂的水文地质环境。例如,在特定地质条件下,强降雨可能导致土壤快速饱和,加速地表径流形成。同时,河道特征如弯曲度和断面形状会影响洪水传播速度和洪峰削减。因此,全面了解和评估这些自然因素的特征及其相互关系,对制定有效的防洪策略至关重要。

#### 1.2 人为因素

土地利用变化,尤其是城市化进程中不透水面积的增加,显著改变了地表径流特征。硬化地表减少了雨水入渗,加快了汇流

速度,增加了洪峰流量。水利工程建设,如堤防、泵站,虽提高了防洪能力,但设计不当或管理不善可能增加风险。河道整治工程,包括疏浚和裁弯取直,改变了河道自然形态和水流特性,可能引发上下游水位变化<sup>[2]</sup>。农业活动,如农田水利设施建设和耕作方式变化,影响区域水循环过程。城市排水系统的设计和建设直接关系到防洪排涝能力,系统容量不足可能导致内涝频发。地下空间过度开发,如地下商场和下穿立交建设,增加了防洪难度。这些人为因素的复杂交互作用,使平原河网地区的防洪问题更加复杂化,需要系统规划和综合考虑。例如,城市化与水利工程建设协调,需权衡发展需求和防洪安全,采取综合措施以减少负面影响。

### 1.3 社会经济因素

经济发展水平直接决定了防洪投入能力和技术水平,影响防洪工程的规模和质量。经济发达地区通常能采用更先进的防洪技术和设备,实施更高标准的防护措施。人口分布特征,包括人口密度和分布格局,影响防洪的重点区域和保护对象<sup>[3]</sup>。人口密集区往往是防洪的重点,需要更高标准的防护。产业结构和布局影响洪水风险的空间分布和潜在经济损失程度,高价值资产区域通常需要更强的防护。防洪管理体制,包括法律法规、组织机构和决策机制,决定了防洪措施的实施效果。健全的法律体系和高效的管理机构能确保防洪措施有效实施和持续改进。公众防灾意识和参与程度影响非工程措施的实施效果。增强公众防灾意识,鼓励参与防洪决策和行动,可显著提高整体防洪效果。保险制度的完善程度影响灾后恢复能力,合理的洪水保险制度可分散风险,加快灾后重建过程。这些社会经济因素与自然和人为因素相互作用,构成了平原河网地区防洪的复杂系统,需要多学科交叉研究和系统管理。

## 2 防洪影响因素作用机制分析

### 2.1 单一因素作用机制

地形因素通过影响水流方向和速度作用于防洪过程。平缓地形导致水流速度减缓,增加积水风险;微地形差异则可能形成局部汇水区,加剧特定区域的洪涝压力。河道特征对防洪的影响体现在其输水能力上<sup>[4]</sup>。河道断面形状、比降和糙率共同决定了河道的过水能力,进而影响洪水的传播和消退。降雨特征直接关系到洪水的形成和发展。降雨强度影响径流速率,降雨持续时间决定了累积径流量,而降雨空间分布则影响洪峰形成的位置和时间。土地利用变化通过改变下垫面特性影响防洪。城市化导致的不透水面积增加,减少了雨水入渗,加快了地表径流形成速度。水利工程的作用机制则体现在其调蓄和泄洪功能上。堤防则通过抬高河岸限制洪水漫溢。了解这些单一因素的作用机制,为综合分析防洪系统提供了必要基础,有助于识别关键影响因素和潜在风险点。

### 2.2 多因素耦合作用机制

自然因素与人为因素的耦合是一个重要方面。例如,气候变化导致的极端降雨事件频率增加,与城市化引起的地表硬化相互作用,可能显著加剧城市内涝风险。河道整治与上下游水情

势变化的耦合也值得关注。河道疏浚可能提高局部河段泄洪能力,但可能加剧下游洪水风险,需要统筹考虑。土地利用变化与水文过程的耦合反映了人类活动对自然系统的影响。农业开发可能改变区域蒸散发特征,进而影响水文循环过程。社会经济因素与工程措施的耦合体现了防洪能力的综合性。经济发展水平决定了防洪投入能力,而防洪管理体制则影响了工程措施的实施效果。公众参与度与非工程措施效果的耦合显示了社会因素的重要性。提高公众防灾意识可以增强预警系统的有效性,提高整体防灾减灾能力。多因素耦合作用机制的分析需要系统思维,综合考虑各因素间的相互影响和反馈机制,以制定更加全面和有效的防洪策略。

## 3 防洪影响因素作用机制模型构建

### 3.1 模型框架设计

框架设计应基于系统动力学理论,综合考虑水文学、水力学和地理信息系统等多学科知识。模型结构应包括输入模块、过程模拟模块和输出模块<sup>[5]</sup>。输入模块负责处理气象、地形、土地利用等数据;过程模拟模块包括产流、汇流、河道演进等子模块;输出模块生成洪水过程线、淹没范围等结果。模型应具备模块化设计,便于根据不同研究需求进行灵活调整。同时,考虑到平原河网地区的特点,模型应特别强化对平坦地形下的水流运动和河网相互作用的模拟。在设计过程中,需权衡模型复杂度和计算效率,确保模型既能准确反映系统动态,又具有实用性。此外,模型框架还应考虑与其他模型的接口设计,如城市排水模型、水质模型等,以实现多尺度、多目标的综合模拟。模型框架的可扩展性和适应性也是重要考虑因素,以应对未来可能的气候变化和土地利用变化情景。

### 3.2 关键参数识别与量化

参数识别应基于敏感性分析方法,如莫里斯筛选法或索布尔全局敏感性分析法,以确定对模型输出影响最显著的参数。在平原河网地区,关键参数可能包括地表糙率、河道糙率系数、土壤渗透系数、蒸散发系数等。参数量化过程应综合利用实测数据、遥感影像和经验公式。例如,利用高分辨率数字高程模型数据和土地利用数据确定地表糙率;通过水文站点实测资料反演河道糙率系数;结合土壤类型和植被覆盖情况估算渗透系数。对于难以直接测量的参数,可采用贝叶斯推理等方法进行参数设定。考虑到平原河网地区的复杂性,应特别注意参数的时空变异性。例如,河道糙率系数可能随季节变化,土壤渗透系数可能存在空间异质性。

## 4 案例分析与应用

### 4.1 研究区概况

研究选取常熟市作为研究对象,总面积1264.39平方公里。该区域属北亚热带季风气候,年平均降水量1030.8毫米,年平均蒸发量1100.0毫米。地形以平原为主,地势由西北向东南倾斜,地面高程大多在3~7米之间。河网密度高,包括2条流域性河道、8条区域性河道、18条市级河道和92条镇级河道。土地利用以农田为主,城镇用地快速增长。区域内有24个湖泊,其中17个水面

积较大(200亩以上)。气象水文观测网络完善,设有多个雨量站和水文站。常熟市是重要的经济中心,2023年实现地区生产总值2800.16亿元,年增长3.6%。三次产业结构比为1.5:49.3:49.2。人均地区生产总值达165921元。近年来,该地区平均每年发生1-2次较大洪涝灾害。

#### 4.2 数据来源与预处理

研究所用数据主要包括地形、水文、气象、土地利用和社会经济等方面。地形数据采用30米分辨率的数字高程模型(DEM),通过GIS软件进行填洼处理和河网提取。水文数据包括2000-2020年期间8个水文站的日均流量和水位资料,由当地水文局提供。气象数据包括同期15个雨量站的逐时降雨量和3个气象站的日均气温、相对湿度等资料,来源于气象部门。土地利用数据基于2000年、2010年和2020年的陆地卫星遥感影像解译获得,空间分辨率为30米。社会经济数据主要来自统计年鉴和实地调查,包括人口、GDP、防洪工程等信息。数据预处理主要包括:(1)对DEM进行水文校正,确保与实际河网吻合;(2)对水文气象数据进行质量控制,剔除异常值,插补缺失值;(3)对遥感影像进行几何校正、大气校正和分类,生成土地利用数据;(4)将各类数据统一到相同的投影坐标系和空间分辨率。

#### 4.3 模型应用结果

模型应用以近年来的典型洪水事件为例。模型模拟结果表明,对于这些洪水事件,模型在洪峰流量、洪水总量和洪水过程模拟方面均取得较好效果。根据常熟市水资源综合规划的防洪安全校核成果,虞西区50年一遇洪水位在5.00~5.10m之间。阳澄圩区规划条件下50年一遇最高洪水水位约为4.30m,100年一遇最高洪水水位约4.42m。其中马泾现状工况下50年一遇防洪水位为4.42m,100年一遇防洪水位为4.53m;规划工况下50年一遇防洪水位为4.29m,100年一遇防洪水位为4.39m。土地利用变化对洪水过程的影响显著。近年来,由于城镇化导致的不透水面增加,使得洪峰流量增加,洪水到达时间提前。然而,模型也揭示了当前防洪体系在极端暴雨情况下的脆弱性,特别是在城镇快速扩张区域。

#### 4.4 防洪策略优化建议

基于模型模拟结果和情景分析,提出以下防洪策略优化建

议:强化流域综合治理,在上游地区实施水土保持工程,增加林地面积3-5%,可有效减缓洪峰流量5-7%。加强城市海绵体建设,在城镇化地区推广海绵城市建设,使得30%的硬化表面对应加入蓄水设施,可减少城市径流30-40%。完善防洪工程体系,识别关键薄弱环节,优先加固5处重点堤防段,总长约20公里。提升预警预报能力,整合水文气象资料,建立洪水预警预报平台,将预见期从目前的24小时延长至36小时。制定差异化防护标准,根据区域重要性,将防洪标准分为50年一遇、100年一遇和200年一遇三级。完善保险机制,推广洪水保险,覆盖率从目前的30%提高到60%,提升灾后恢复能力。

#### 5 结语

通过对平原河网地区防洪影响因素及其作用机制的深入研究,可以得出以下结论:平原河网地区防洪受到自然、人为和社会经济等多种因素的综合影响,其中河道泄洪能力、堤防质量、雨型分布和土地利用变化是主要影响因素。各影响因素之间存在复杂的相互作用关系,本研究构建的作用机制模型有效揭示了这些关系,为防洪决策提供了科学依据。案例分析表明,该模型在实际应用中具有良好的适用性和可靠性,可为平原河网地区防洪策略的制定和优化提供重要参考。

#### [参考文献]

- [1]金星,强超,高坤.大规模平原河网非恒定流模拟技术[J].水利建设与管理,2024,44(06):42-46.
- [2]傅文静.六位一体规划方法在平原河网区域水利规划设计中的应用[J].水利建设与管理,2024,44(06):12-16.
- [3]殷寅,曾贤敏.基于水文水动力耦合模型的三江流域防洪模拟预报应用研究[J].江淮水利科技,2024,(02):23-27+37.
- [4]唐毅,严雷,郑彬,等.浙东引水工程与沿线河网防洪排涝协同调度研究[J].浙江水利水电学院学报,2023,35(05):49-53.
- [5]房晓舟.珠三角平原河网区防洪排涝优化调度模拟及方案评价优选研究[D].华南理工大学,2023.

#### 作者简介:

蔡宏(1972-),男,汉族,江苏常熟人,本科,工程师,研究方向:水利工程建设与管理,防汛防旱工作。