

武澄锡虞区洪涝 协同安全防控模型研究与应用

周 毅¹, 杨璐宇¹, 周 强¹, 张 游¹, 刘 淼², 张文婷¹

(1. 江苏省水利数字中心, 江苏 南京 210012; 2. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029)

摘要:从区域协同角度出发,建立多学科交叉的洪涝协同安全防控模型,并利用该模型进行计算分析与应用研究,优化防洪排涝联合调度方案。开展武澄锡虞区洪涝安全防控研究,对进一步完善区域防洪减灾体系,全面提高区域防洪排涝能力,保障区域防洪安全具有一定意义。

关键词:水利模型; 武澄锡虞; 洪涝协调

中图分类号:TV211

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2025)04-0037-0003

Research and application of collaborative flood and waterlogging security prevention and control model in Wuchengxiyu District

ZHOU Yi¹, YANG Luyu¹, ZHOU Qiang¹, ZHANG You¹, LIU Miao², ZHANG Wenting¹

(1. Jiangsu Water Conservancy Digital Center, Nanjing 210012, China;

2. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: From the perspective of regional collaboration, a multidisciplinary collaborative flood and waterlogging safety prevention and control model is established. This model is then used for calculation, analysis, and applied research to optimize the joint operation scheme for flood control and drainage. Conducting research on flood and waterlogging safety prevention and control in the Wuchengxiyu District is of certain significance for further improving the regional flood control and disaster reduction system, comprehensively enhancing the regional flood control and drainage capacity, and ensuring regional flood control safety.

Key words: hydraulic model; Wuchengxiyu; collaborative flood and waterlogging

1 概 况

1.1 地理位置

武澄锡虞区位于太湖流域北部、江苏省南部,属太湖下游的低洼平原区,北依长江,南滨太湖,西界武澄锡西控制线与太湖湖西区相邻,东至望虞河东岸。行政区划涉及无锡、常州和苏州3市12个县(市、区),包括无锡市区、江阴、张家港的全部和常州市区、常熟部分区域,区内以白屈港东控制线为界,分为武澄锡低片及澄锡虞高片。

1.2 地形地貌

武澄锡虞区整体地形相对平坦,地势特点为四周较高、腹部低,境内地貌大部分属长江三角洲水网平原、圩田平原和高亢平原等类型,北端张家港市沿江地区属冲积平原区。区域内低山残丘主要分布在无锡市境内,无锡市区西南部和江阴市北部的山丘总体上呈北东及东西走向。

1.3 地质土壤

武澄锡虞区属扬子地层区江南地层分区,地层发育较齐全。境内土壤类型多样,主要包括水稻土

收稿日期: 2024-11-13

作者简介: 周毅(1975—),男,高级工程师,硕士,主要从事水文水资源相关工作。E-mail:116960261@qq.com

类、潮土类及黄棕壤土类。区内农业开发历史悠久,水稻土分布较广,区域的主要土类主要是人为的水成土。潮土类主要分布在太湖沿岸1 km范围内,潮土类有旱田黄土、堆迭土两类。黄棕壤土类主要分布在山丘区,是在酸性的石英砂岩风化残积物上发育成的地带性土壤,土壤呈酸性。

1.4 河流水系

武澄锡虞区属典型的平原水网区,江湖相连,水系沟通,依存关系密切。区域内河网密布,区域河道水面比降小。根据地形特点与水系分布,境内水系总体以京杭大运河为界,分成运河北部水系和南部水系。北部水系以南北向通江河道为主,包括武澄锡低片的澡港、桃花港、利港、新沟河、新夏港、锡澄运河、白屈港和澄锡虞高片的走马塘、张家港、十一圩港以及以承担流域引排任务为主的望虞河等通江河道,同时西横河、黄昌河、应天河、青祝河、锡北运河、九里河、伯渎港等东西向河道与通江河道相连。南部水系主要以入湖河道为主,包括直湖港、武进港、梁溪河、曹王泾和大溪港等入湖河道,以及锡溧漕河、武南河、采菱港、永安河等内部骨干引排河道。京杭大运河自西向东经常州、无锡两市区贯穿区域内部,起着水量调节和承转的作用,并联接上述诸多河道,形成纵横交错、四通八达的河网。

1.5 气象水文

武澄锡虞区属中亚热带北部向北亚热带南部过度的湿润性季风气候区,雨量充沛,日照丰富,无霜期长。年内春夏秋冬四季分明,热量充裕,冬季寒冷,夏季湿热。本地区多年平均降水量为1 112 mm,年平均降水日数为125 d。降水年际变化较大,年内降水主要集中在汛期5—9月份。每年春夏之交,出现典型的梅雨期,其特点为范围广、雨期长、雨量集中。区域主要引排口门分布在长江沿岸,该段潮型为非正规半日浅海潮,处于长江潮区界与潮流界之间,河段内的水位在潮汐作用下,每日两涨两落。全年大部分时间处于潮区界范围,汛期多呈单向流,只有小水年的汛期为双向流;枯季上游流量小,潮流作用明显,多为双向流。

2 模型构建与验证

武澄锡虞地区经济发达,城镇化程度较高,城市大包围使得城市洪涝风险向区域和流域转移,为促进区域现代化建设与可持续发展^[1-2],本研究通过对社会、经济等资料的分析,充分考虑城市群

防洪包围圈、农业圩区泵站集中排涝的影响,构建武澄锡虞区洪涝模型,为区域防洪减灾决策提供参考^[3-7]。

2.1 模型构建

2.1.1 建模范围

武澄锡虞地区是长江下游太湖流域北部的一片低洼平原,北临长江,南滨太湖,西部以武澄锡西控制线为界,与太湖湖西地区接壤,东至望虞河,区域总面积4 015.5 km²。同时综合考虑水系的完整性、边界条件的稳定性以及周围区域对武澄锡虞区洪涝水位的影响等因素,确定河网模型概化范围。

2.1.2 河网概化

武澄锡虞区属平原河网区,河道纵横交错,河网水流方向不确定,水系构成环状结构,在河网内部还有湖泊以及水闸、涵洞等水工建筑物。如果将所有的河道都概化在模型中,那么必将费时费力,并且有些河道调蓄作用很小或者基本不起输水作用,概化与否对水位流量的影响结果很小。因此,在河网概化的过程中以骨干河道为基础,进行合理的河道和湖泊概化。

本次研究以新沟河、望虞河、锡澄运河-京杭大运河、沈渎港-走马塘、白屈港、十一圩港、东横河、南横套、张家港河、九里河、伯渎港为干流,其他河道为支流形式汇入干流。河道仅概化规模较大的河道,对于调蓄作用较小的河道结合水面率的要求作为陆域面上的调蓄水面,湖泊概化为调蓄节点,对于只有景观作用而无调蓄作用的湖泊类似于小河道满足水面率要求。河网共概化河道225条,调蓄节点68个,闸泵站共233座,河道概化示意简图如图1。

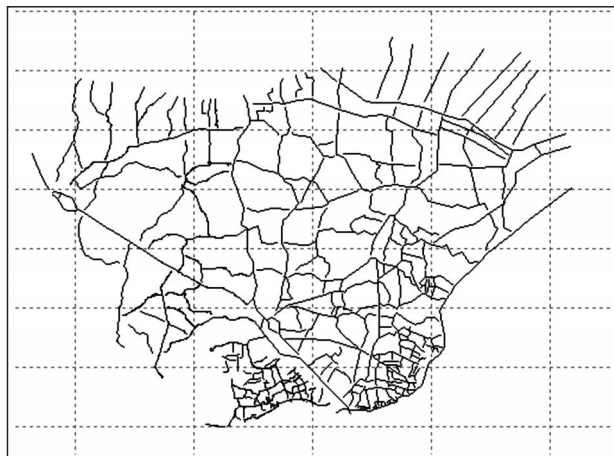


图1 河道概化示意简图

2.1.3 水工建筑物

人工控制建筑物包括水闸、船闸、涵洞、泵站等,在水流模拟中,不仅要正确模拟这些工程措施的规模、位置,同时也要模拟这些工程措施的控制运行方式。在模型中水工建筑物的设置一般非常直观,直接输入设计参数即可,同时也可以自定义其他各种水工建筑物。在本次研究中主要涉及可控水工建筑物的设置,模拟过程中按照各种预设的调度规则,模型可自动判断调整运行方式(如闸门的开启度、过闸流量等)。

2.2 率定与验证

为了保证模型参数的准确性,考虑了汛期和非汛期两种情况,选择了2017年8月14日至8月28日实测降水、潮位以及水位资料进行率定,选择2016年6月28日至7月12日实测降水、潮位以及水位资料进行验证。

2.2.1 率定

边界水位选取长江实测潮位、太湖实测水位等边界资料,按照实际水利工程运行设置闸泵调度。率定时,选取计算范围内有实测水位数据的水文站,本次选取无锡站、陈墅站、青旸站、甘露站、定波闸站和十一圩港闸站。模型率定结果表明,各站点水位的变化趋势基本一致,模拟水位与实测水位相差不大,在合理误差范围内,基本能够模拟区域内水量情况。

2.2.2 验证

选取2016年6月28日至7月12日长江实测潮位、太湖实测水位等边界资料作为边界水位,验证计算范围内有实测水位数据的水文站,无锡站、陈墅站、青旸站、甘露站、定波闸站和十一圩港闸站。验证结果(图2)显示水位的变化趋势基本是合理的,峰值较为接近,说明模型的计算结果是较可靠的。

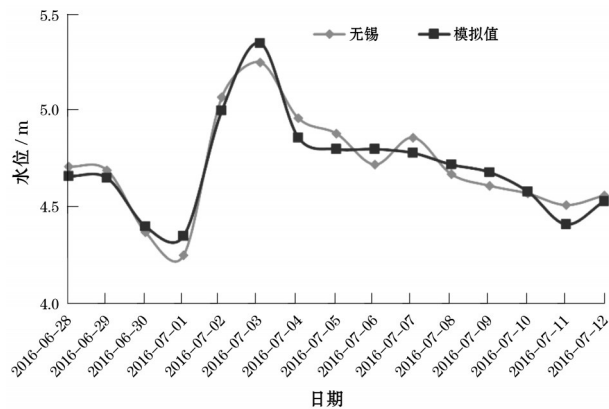


图2 无锡站水位验证结果

2.3 结果说明

本研究综合考虑了水系的完整性、边界条件的稳定性以及周围区域对武澄锡虞区洪涝水位的影响等因素,确定了研究区河网模型概化范围。

以骨干河道为基础,综合考虑其余调蓄作用相对较小的水面,进行合理的河道和湖泊概化,共概化河道225条,调蓄节点68个,闸泵站共233座。同时考虑了汛期和非汛期两种情况,选择了2017年8月14日至8月28日实测降水、潮位以及水位资料进行率定,选择2016年6月28日至7月12日实测降水、潮位以及水位资料进行验证。模型率定结果表明,各站点水位的变化趋势基本一致,模拟水位与实测水位相差不大,在合理误差范围内,基本能够模拟区域内水量情况。验证结果显示各站水位的变化趋势基本是合理的,峰值较为接近,说明模型的计算结果是可靠的。

3 模型应用

以武澄锡虞区为研究区,综合考虑研究区的防洪标准、设计暴雨及实际降水过程,拟定设计暴雨和设计潮位的4种组合场景(表1),针对每种组合场景,提出对应的城市防洪大包围和圩区联合调度方案。采用前文构建的洪涝模型进行计算分析,统计各场景下每个方案大包围内外最高水位以及大包围外骨干代表河道最高水位,为提高大包围控制工程的运行效率及优化防洪排涝联合调度方案提供技术支持。武澄锡虞区内不同调度运用方案主要表现为圩区及城市大包围的不同排涝模数,采用洪涝模型及设计暴雨,以《太湖流域防洪规划》确定的规划工况和调度原则为基础,拟定不同调度运用方案。

表1 组合场景内容

类别	设计暴雨	设计潮位	遭遇重现期/a	防涝标准/a
情景一	20年一遇	10年一遇	56	7
情景二	50年一遇	50年一遇	244	25
情景三	200年一遇	50年一遇	588	40
情景四	500年一遇	50年一遇	1 111	46

对特殊情景下大包围的运行情况进行分析后发现:在情景一下,限制防洪大包围的排水能力有助于分担外河水位上涨的压力,但大包围内防洪压

(下转第43页)

- 工作的发展基调及规划[J]. 河南水利与南水北调, 2021, 50(6): 17-18.
- [2] 曾令炜, 李睿, 刘强. 基于无人机技术的防汛抗旱减灾应用探讨[J]. 治淮, 2018(10): 33-34.
- [3] 王伟, 张泰山, 陈志松, 等. 混合储备模式下洪涝灾害应急物资配置结构优化[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(4): 66-73.
- [4] 耿勇, 陈晓宁, 赵金龙, 等. 电磁抛投器结构仿真分析与设置[J]. 大学物理, 2023, 32(11): 45-50.
- [5] 张海南. 超高压液压机具[J]. 液压与气动, 1998(2): 13-17.
- [6] 冯登夷, 金志伟, 李恩玉. 在新形势下推进防汛抢险移动泵机组的建设研究[J]. 水上安全, 2024(1): 191-193.
- [7] 席超波, 欧阳璐, 杨冰清. 移动式防洪墙防渗性能研究[J]. 中外建筑, 2023(4): 114-118.
- [8] 何磊, 张志民, 王万鹏, 等. 应急排水抢险技术装备的现状与未来展望[J]. 城市与减灾, 2023(2): 36-40.
- [9] 田金章, 查志成, 王秘学, 等. 视声一体化渗漏探测技术在面板坝渗漏检测中的应用[J]. 水电能源科学, 2019, 37(1): 88-90.
- [10] 侯英杰, 边国光. 大力推广应用防汛抗旱新技术新产品[J]. 中国水利, 2006(13): 61-62.

(上接第39页)

力也有所提高,限制无锡和常州大包围排涝的同时也限制圩区的排涝后,圩外骨干河道的水位降低明显,且大包围内的水位上涨也在可控范围内;在情景二下,防洪大包围的建设一定程度上增加了大包围外围地区的防洪压力,在保证城市重点区域水位不过高的情况下,可以适当对大包围和圩区进行限排,有利于降低外围河道水位,防止外河水位过高而产生洪水隐患;在情景三下,城市防洪大包围建设后,可有效保护城内防洪安全,此种情况下不宜对大包围进行限排;在情景四下,假设暴雨重现期达到500年一遇,属于超标准洪水,抽排速度小于水位上涨速度,大包围内外水位差距较小,那么各方案下骨干河道水位几乎无变化。

当未发生超标准洪水时,大包围和圩区联合限排方案对于降低外围河道的水位有明显作用。在保证城市重点区域水位不过高的情况下,可以适当对大包围和圩区进行限排,大包围可按照目前的一半排涝能力进行限排,根据大包围内水位的变化适当调整。当水位上涨速度略快时,放松排涝限制的强度直至达到设定排涝能力。当发生超标准洪水时,调度方案可考虑进一步扩大北排长江量,那么骨干代表河道最高水位均有所下降,说明在遇到强降水时,扩大北排长江对区域内水位下降作用明显,可以起到缓解区域内防洪压力的作用。

4 结 语

本文通过构建武澄锡虞区洪涝模型,分析计算

了不同组合场景下相应调度方案对区域防洪排涝的影响,根据结果可优化防洪排涝联合调度方案,对实现城市、区域、流域洪水的协同防控和保障区域防洪安全具有重要意义。在此研究基础上,今后可继续深入开展流域、区域、城市防洪除涝标准和工程布局以及调度方案协调性研究,统筹流域、区域、城市防洪需求及工程能力现状,进一步推进流域与区域工程体系联合调度研究。

参考文献:

- [1] 陆志华, 蔡梅, 马农乐, 等. 武澄锡虞区河湖水系连通与安全保障研究的思考[J]. 人民长江, 2020, 51(8): 118-122.
- [2] 刘海针, 许有鹏, 林芷欣, 等. 太湖平原武澄锡虞区水系结构及水文连通性变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(5): 1069-1075.
- [3] 许乙青, 喻丁一, 冉静. 基于流域协同的国土空间雨洪安全格局构建方法[J]. 自然资源学报, 2021, 36(9): 2335-2349.
- [4] 单玉书, 蔡文婷, 薛宣, 等. 环太湖城市群防洪大包围建设影响及对策[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(2): 56-59, 65.
- [5] 徐宗学, 叶陈雷. 城市暴雨洪涝模拟: 原理、模型与展望[J]. 水利学报, 2021, 52(4): 381-392.
- [6] 张金良, 罗秋实, 王冰洁, 等. 城市极端暴雨洪涝灾害成因及对策研究进展[J]. 水资源保护, 2024, 40(1): 6-15.
- [7] 李曦亭, 王磊之, 商守卫, 等. 流域、区域和城镇防洪工程工况与调度变化的洪涝互馈效应研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2024, 52(2): 12-18.