

苏南运河沿线防汛排涝 联合调度研究

朱建英¹, 李淮东², 刘国庆³, 周春飞¹, 陶娜麒¹, 范子武³

(1. 江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 江苏 南京 210029;

2. 江苏省太湖地区水利工程项目管理处, 江苏 苏州 215128; 3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要:通过构建苏南运河洪涝联合调度精细化河网模型,专题研究苏南运河沿线流域、区域、城市防汛排涝联合调度,以2016年6-7月实况雨水情、工情为基础,模拟分析了工情变化、圩区泵站限排、骨干工程运行、水位预降等措施对苏南运河沿线洪水的影响,提出了区域联合调度建议,为实际防汛调度提供技术支撑。

关键词:河网模型;洪水模拟;联合调度;苏南运河

中图分类号:TV125

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)03-0055-04

Study on flood control and drainage joint scheduling along Sunan Canal

ZHU Jianying¹, LI Huaidong², LIU Guoqing³, ZHOU Chunfei¹,
TAO Naqi¹, FAN Ziwu³

(1. Jiangsu Province Flood and Drought Disaster Control Center, Nanjing 210029, China;

2. Taihu Lake Region Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suzhou 215128, China;

3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: By constructing a refined river network model for flood joint scheduling of the Sunan Canal, flood control and drainage joint scheduling of watershed, region and city along the South Jiangsu Canal were studied. Based on the actual rainfall and work conditions from June to July 2016, the effects of changes in work conditions, limited discharge of pumping stations in polder areas, operation of key projects and water level drawdown on flood levels along the South Jiangsu Canal were simulated and analyzed, and suggestions for regional joint scheduling were put forward to provide technical support for actual flood control scheduling.

Key words: river network model; flood simulation; joint scheduling; Sunan Canal

1 概 述

苏南运河地处长江三角洲地区,涉及江苏省镇江、常州、无锡、苏州等4市。苏南运河自北向南穿越太湖流域腹地,沿途与太湖平原河网诸水系交汇,是太湖流域整个河网中一条纵贯南北的骨干河

道,涉及湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区、太湖区、杭嘉湖(苏)及浦西等水利分区,起着水量调节和承转作用^[1],直接影响沿线流域、区域及城市防洪排涝安全。在流域、区域遭遇洪涝灾害时,通过苏南运河排泄腹部地区洪涝水。苏南运河两岸堤防是沿线地区尤其是低洼地的重要防洪屏障,也是苏

收稿日期:2021-01-28

基金项目:江苏省水利科技项目(2016009)

作者简介:朱建英(1964—),女,高级工程师,硕士,主要从事水旱灾害防御调度工作。E-mail:1148169350@qq.com

州、无锡和常州市城市防洪的外围屏障。2015、2016、2017 年连续 3 年苏南运河沿线及区域出现超历史洪水位,反映了当时苏南运河沿线存在区域防洪、城市防洪排涝、圩区排涝之间需要协调的问题。因此,本文系统分析工情变化、圩区泵站限排、骨干工程运行、水位预降等措施对苏南运河洪水的影响,提出洪涝联合调度建议,对指导实际防汛工作具有重要意义。

2 洪涝联合调度研究

2.1 调度模型

苏南运河沿线流域、区域、城市防汛排涝联合调度模型构建范围,西至太湖流域边界,东临黄浦江,北濒长江,南以太湖大堤为界,属于江苏省太湖地区,涉及江苏省镇江、常州、无锡、苏州 4 市以及上海市、浙江省和安徽省部分区域,总面积约 2.16 万 km^2 。洪涝调度模型^[2]由山丘区、高城镇化地区水文模型、平原河网区一维水动力、二维洪涝及其耦合模型以及水利工程复杂调度模型组成,模型库包括了模型网络库(河道、圩区、水利工程拓扑关系等)、模型事件库(边值条件)、模型逻辑库(调度规则)。

水文模型^[3]产水量是根据太湖地区四大类用地类型即旱地、水田、水面以及建设用地分布,采用不同产流模型分布式计算得到;汇水模拟是根据地形、圩区、城市排涝排水规划等资料,以及现场调研、泰森多边形法来划分汇水单元。每个汇水单元的不同土地类型产汇流过程进行叠加,得到汇流单元流量过程线,再通过汇流路径分配到相关河段。

一维河道(河网)模型采用水动力学有限差分法直接求解 St. Venant 方程组的数值解,上、下游边界的控制条件采用水位、流量过程控制。

二维模型采用水力学有限体积法求解浅水方程组的数值解,基于地面高程模型,综合考虑道路、建筑物等的阻挡作用,通过设置不同类型地块糙率值、下渗值等,关注区域网格局部加密等实现地面积水退水过程的模拟。

一二维耦合模型中一维河网模型与二维洪泛区模型是通过“溢流单元”的连接条件来实现模型耦合,选定侧堰流公式实现溃口上下游水流信息的交互。

模型网络库包含河道断面及河网连接、圩区以及水闸、泵站和涵洞等水工建筑物,模型事件库为模型边值条件,主要由初始条件和边界条件组成。

初始条件主要考虑水库水位、不同二级圩区内部控制水位以及与枢纽工程连接的骨干河网水位,模型边界条件采用长江沿线潮位和太湖水位控制,降雨边界条件根据雨量站点空间分布划分为若干降雨单元,也是边界条件之一。模型逻辑库包括水闸、泵站、涵洞、水库的调度规则,其中逻辑控制包括依据关注点水位、工程内外水位差、运行状态以及综合条件判定等。

构建联合调度模型后,利用 2015 年 6 月 15 日至 6 月 21 日实况洪水数据进行模型率定,利用 2016 年 7 月 1 日至 7 月 10 日实况洪水进行验证,其中,选取的 26 个率定验证站点中,NSE 系数大于 0.7 的占比超过 88%,表示模式质量好;可决系数 R^2 基本接近 0.9,计算水位曲线形状与实测水位序列匹配较好,因此模型是可信且精度较好。

2.2 调度方式模拟结果

应用苏南运河洪涝联合调度模型,选取运河沿线丹阳、九里铺、常州(三)、洛社、无锡(大)、望亭(大)、苏州(枫桥)等 7 个代表站点,基于 2016 年工况以及遭遇 2016 年实况洪水^[4]或叠加区域 50 年一遇 24 h 降雨,分析代表站点在不同工情、不同调度方式下的水位变化,研究入江通道工情变化、城市防洪大包围工程及圩区排涝泵站运行、钟楼防洪控制工程运行、蠡河枢纽排水、河道水位预降等调度措施对苏南运河防洪的影响。

2.2.1 工情变化对比分析

本文考虑 5 组计算方案来研究工情变化对苏南运河沿线洪水的影响,其中计算方案 A1 为 2016 年实况工情,A2 为新沟河延伸工程投入运行,A3 为新孟河延伸拓浚工程投入运行,A4 为望虞河西扩投入运行,A5 为 3 个新工程都投入运行。不同计算方案代表站点最高水位统计见表 1。

根据 5 个方案对应的苏南运河代表站计算水位过程,比较水位峰值差、均值差,如图 1 所示。

由表 1、图 1 可知,新孟河延伸拓浚、新沟河延伸拓浚、望虞河西扩等工程的运用,都会降低苏南运河最高洪水位,其中,新孟河延伸拓浚工程可降低运河常州以上洪水位 0.25 ~ 0.35 m,并且降低湖西区金坛、洮湖、溇湖水位 0.16 ~ 0.22 m,减轻以上地区防洪压力;新沟河延伸拓浚工程可降低运河洛社至无锡段水位 0.07 ~ 0.16 m,从而降低无锡市防洪压力;望虞河扩大工程可降低运河无锡至苏州段水位 0.11 ~ 0.03 m,其对流域防洪效益更为明显。3 个工程如果都投入运行,将进一步降低苏南运河

表 1 不同计算方案代表站点最高水位统计

方案 编号	代表站点最高水位/m									
	金坛	王母观	坊前	丹阳	九里铺	常州(三)	洛社	无锡(大)	望亭(大)	苏州(枫桥)
A1	6.85	6.75	5.87	7.11	6.79	6.61	5.35	5.15	4.76	4.61
A2	6.84	6.74	5.84	7.1	6.78	6.59	5.28	4.99	4.71	4.58
A3	6.63	6.54	5.71	6.86	6.46	6.26	5.33	5.05	4.73	4.59
A4	6.82	6.72	5.86	7.09	6.78	6.6	5.34	5.04	4.73	4.58
A5	6.62	6.53	5.67	6.84	6.41	6.22	5.25	4.97	4.67	4.52

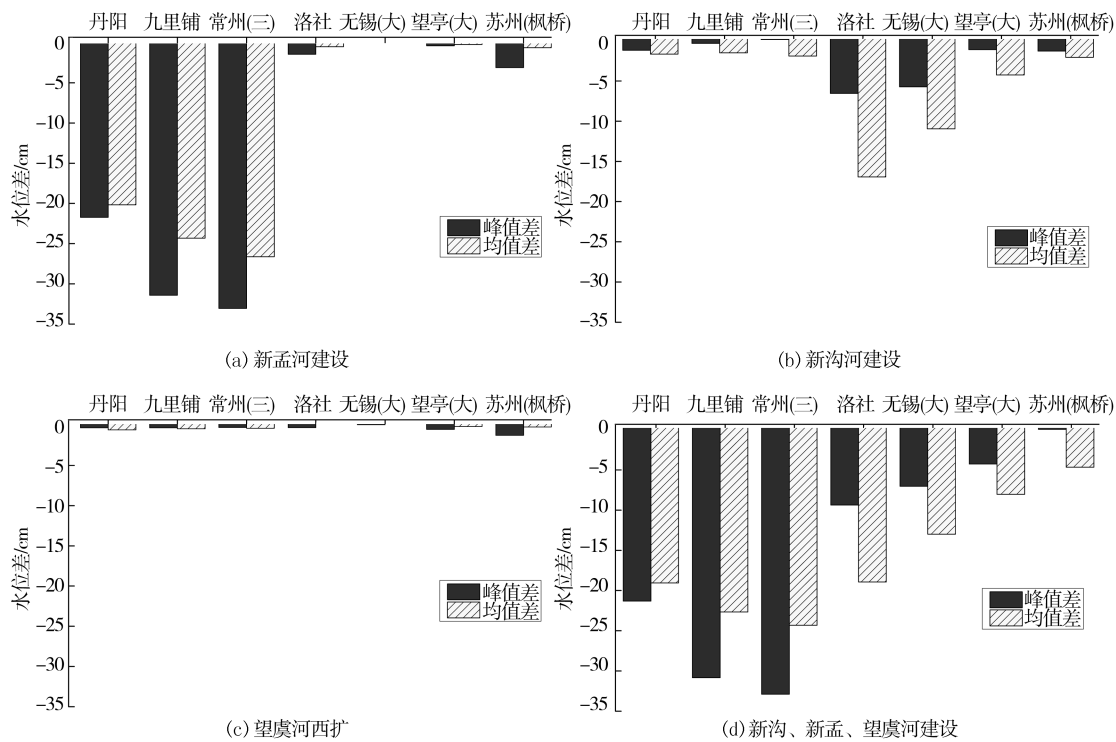


图 1 不同规划工程运行对运河特征水位影响

沿线最高水位,洛社以上段效果最为明显。

2.2.2 工程限排影响分析

(1)城市防洪大包围枢纽工程

基于 2016 年实况洪水及工情下,叠加苏、锡、常区域 50 年一遇 24 h 降雨,分析 3 个城市防洪大包围工程泵站按照能力的 50%、80%、100% 控制运行。计算结果表明,增加外排流量,能有效降低大包围内河水水位,但相应抬高苏南运河峰值水位,影响主要集中在洛社至苏州(枫桥)段,影响值约 0.04 ~ 0.07 m;大包围适当控制运行是可行的,基于大包围内外洪水风险均衡,统筹内部控制水位、运河高水位,适时错峰运行,尽量减轻大包围运行对苏南运河洪水的影响。

对苏锡常大包围单独运行与联合运行进行分析比较,发现城市防洪大包围工程排水对苏南运河洪水水位的影响范围主要集中在城市所在河段,叠加效应不明显。

(2)圩区泵站

考虑太湖地区遭遇 50 年一遇降雨,圩区泵站排涝按照不限排、限排 20%、50%、80% 方案共 4 组,研究工程限排对苏南运河沿线洪水的影响。

圩区泵站排涝限排对降低苏南运河沿线水位影响较明显,在遭遇 50 年一遇降雨时,与圩区不限排相比,圩区限排 20%、50%、80% 时,运河沿线各站点水位降低分别为 2 cm、2 ~ 10 cm、5 ~ 21 cm,其中常州至无锡段效果最为显著。

2.2.3 苏南运河控制工程运行影响分析

主要考虑钟楼闸防洪控制工程和蠡河枢纽。在 2016 年汛期,前者运行超 7 d,充分发挥了防洪减灾效益,为减轻常州、无锡、苏州的城市防洪压力作出了重要贡献;后者多次开闸排泄苏南运河洪水入望虞河,一定程度上缓解了苏南运河沿线的防洪压力。

考虑 2016 年实况调度和钟楼闸提前 12 h、24 h 启用,延后 12 h、24 h 启用,蠡河枢纽按无锡(大)水位大于 3.9 m 调度等计算方案共 6 组,研究两控制工程运行对苏南运河沿线洪水的影响。

(1)钟楼闸控制工程运行有利于统筹苏南运河上下游防洪压力。以 2016 年 7 月上旬钟楼闸控制运行为准,经分析,如提前或更早提前 12 h、24 h 关闭钟楼闸,会增加上游丹阳、九里铺、常州(三)峰值水位,下游无锡(大)、望亭(大)峰值水位会降低,延后关闭效果相反。2016 年 7 月上旬钟楼闸运行时是比较合适的,对均衡上下游洪水风险,缓解其下游地区防洪压力起到重要作用。

(2)蠡河枢纽排水运行有利于降低无锡至苏州段洪水位。影响主要集中在望亭(大)上下游段,影响范围上游至无锡洛社,下游可达瓜泾口,其中无锡段洪水降低效果明显。显然,以后在流域洪水不遭遇的情况下,适当增加蠡河枢纽的工程规模更能有效缓解运河防洪压力,蠡河枢纽分洪运用,要统筹流域防洪和区域防洪排涝的关系。望虞河为太湖主要行洪通道之一,也是沿线地区排涝河道,其水位受望亭立交泄洪、武澄锡虞区域涝水以及沿江枢纽运行影响,蠡河枢纽紧挨望亭立交,因此其分洪效果受到望亭立交泄洪以及下游水位影响,需要抓住流域防洪压力相对不大的机遇,提前抢排苏南运河洪水。

2.2.4 水位预降措施影响分析

基于 2016 年实况以及假设区域水位整体预降 0.10 m、0.20 m,研究水位预降对苏南运河沿线洪水位的影响。根据计算结果,在苏南运河沿线水位均预降 0.10 m、0.20 m 的情况下,可降低沿线站点洪峰水位 0.01 ~ 0.03 m、0.02 ~ 0.06 m,水位预降

措施对降低常州段、苏州段洪峰水位更显著。在长江水位较高致使沿江涵闸难以自排的情况下,可提前采用泵排的方式进行水位预降。

3 结论与建议

本文利用所建立的苏南运河洪涝联合调度模型,分析研究了新沟河、新孟河、望虞河等大型水利工程运行,城市防洪大包围及圩区排涝工程限排,钟楼防洪控制工程及蠡河枢纽运用,河道水位预降等调度措施对苏南运河沿线最高洪水位的影响,为苏南运河沿线洪涝联合调度决策提供了科学依据。研究成果反映了即将建成的新孟河延伸拓浚,目前已经竣工的新沟河延伸拓浚,将要建设的望虞河西扩等骨干工程以及蠡河枢纽工程对苏南运河沿线洪水位的降低情况,说明苏南运河沿线分段治理、分段缓解洪水压力的治水思路是科学合理的,对城市防洪大包围工程、圩区排涝泵站运行,要统筹考虑苏南运河防洪与大包围内、圩区排涝的关系。

为进一步加大苏南运河沿线防洪排涝能力,建议加强区域水环境治理,以降低直湖港闸等入湖工程启排水位,进一步缓解所在区域运河段洪水压力;加大蠡河枢纽工程规模,发挥区域骨干工程缓解苏南运河洪水压力的作用;在各区域遭遇洪水以及流域洪水发生时,充分发挥湖西区上游大中型水库的调蓄能力,实现削峰错峰,减轻下游防洪压力。

参考文献:

- [1] 太湖流域管理局. 太湖流域防洪规划[R]. 上海:太湖流域管理局, 2008.
- [2] 江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 南京水利科学研究院. 苏南运河沿线流域、区域、城市防汛排涝联合调度研究[R]. 南京:江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 南京水利科学研究院, 2020.
- [3] 程文辉, 王船海, 朱琰. 太湖流域模型[M]. 南京:河海大学出版社, 2006.
- [4] 江苏省防汛防旱指挥部办公室. 2016 年江苏太湖及秦淮河防汛抗洪调度[M]. 南京:河海大学出版社, 2018.