

# 苏锡常排涝对江南运河产生的洪涝转移特征

钟桂辉,刘曙光,娄厦,张泉鸣,魏乾坤

(同济大学土木工程学院,上海 200092)

**摘要:**基于丰富翔实的基础资料,建立了专门的水文水动力模型,分析现状调度方案、优化调度方案及不设防方案下苏锡常城市排涝对江南运河水位的影响,并分析城市内部洪涝特征及区域洪涝转移规律。结果表明:与不设防方案对比,现状调度方案能降低常州、无锡、苏州的城市洪峰水位0.28~1.10 m,说明城区大包围有效地降低了城区洪水风险,保证了城区安全,但江南运河的水位随降水量和苏锡常城市排涝量的增加而增大。若采用优化调度方案,城市起排水位适当抬高0.17~0.30 m,运河水位会降低0.00~0.12 m,说明在不大幅增加城市洪涝风险的基础上,可以适当减少城市的排涝量,从而降低江南运河水位,协调城市与区域的防洪关系。

**关键词:**苏锡常排涝;江南运河;运河水位;洪水;洪涝转移特征;水文水动力河网模型

**中图分类号:**TV877      **文献标志码:**A      **文章编号:**1006-7647(2020)05-0040-08

**Flood dispatching characteristics of Jiangnan Canal caused by drainage from Suzhou, Wuxi and Changzhou//**  
ZHONG Guihui, LIU Shuguang, LOU Sha, ZHANG Xiaoming, WEI Qiankun (College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Based on abundant and detailed basic data, a hydrological and hydrodynamic model was established. The influence of the urban drainage of Suzhou, Wuxi and Changzhou on the water level of the Jiangnan Canal under the current scheduling scheme, optimal scheduling scheme and no scheduling scheme was analyzed. The characteristics of urban flood and regional drainage were also analyzed. The results show that the current scheduling scheme can reduce the urban flood peak water level of Changzhou, Wuxi and Suzhou by 0.28–1.10m compared with the no scheduling scheme, revealing that the large surrounding of the urban area can effectively reduce the flood water level and ensure the safety of the urban area. However, the water level of the Jiangnan Canal increases with the rainfall and the drainage in Suzhou, Wuxi, and Changzhou. If the optimal scheduling scheme of which the beginning pumping stage rises by 0.17–0.30m appropriately is adopted, the water level of the canal will decrease by 0.00–0.12m. It shows that on the premise of not greatly increasing the urban flood risk, the amount of urban drainage can be appropriately reduced to decrease the water level of the Jiangnan Canal and the relationship between urban and regional flood control can be coordinated.

**Key words:** drainage from Suzhou, Wuxi and Changzhou; Jiangnan Canal; Canal water level; flood; flood dispatching characteristics; hydrological and hydrodynamic river network model

太湖流域位于长江三角洲的南翼,属于典型的平原河网地区,三面临江滨海,一面环山,总面积约3.69万km<sup>2</sup>,是我国城市化发展水平最高、经济最发达的地区之一,也是洪涝灾害最严重的地区之一<sup>[1-3]</sup>。为有效保障流域防洪安全,提升洪涝综合治理能力,目前已经形成了太湖调蓄,洪水北排长江、东出黄浦江、南排杭州湾的流域防洪工程布局。但近年来,随着城镇化进程的迅猛推进,太湖流域内城市和圩区规模迅速扩大,人类活动对水情的影响越来越剧烈,洪涝灾害风险越来越大<sup>[4-8]</sup>。一方面,

城镇化的快速发展使得降雨分布更加集中,强降雨事件增多<sup>[9-10]</sup>,另外一方面,城镇化土地利用空间格局的剧烈调整,使得不透水面积迅速增大,径流系数、径流量和洪峰流量增大,导致河网水位暴涨<sup>[11-12]</sup>,洪涝灾害波及的对象更多,造成的损失更大。为了防洪减灾,重点区域和主要城市不断提高其自保能力,大量开展城市防洪工程和圩区建设,尽管防洪工程提高了城市和若干低洼地区的保护标准,但也切断了河道湖荡通联性,削弱了流域洪涝调蓄能力,加大了流域骨干河道及圩外河道防洪压

基金项目:“十三五”国家重点研发课题(2018YFD1100401);水利部公益性行业专项(201501014)

作者简介:钟桂辉(1971—),女,副教授,博士,主要从事防洪减灾研究。E-mail:04098@tongji.edu.cn

力<sup>[13-15]</sup>,导致流域、区域和城市的洪涝关系及洪涝调蓄格局发生变化,影响了流域区域及城市的防洪治涝协调性。

贯穿整个太湖流域的江南运河,是京杭运河 7 大段之一,其北起镇江,南至杭州,是太湖流域内最长的河流,也是流域内唯一一条跨越多个水利区域的南北向洪涝调节河道<sup>[16]</sup>。江南运河流经常州、无锡、苏州,截至 2015 年底,这 3 座城市中心城区防洪包围圈已经全部建成,中心城区防洪标准提升至 200 年一遇,有力保障了城区防洪安全,但也改变了与江南运河水量的交换,加重了江南运河的防洪压力<sup>[17]</sup>。据统计,江南运河沿线苏锡常三大城市防洪工程及沿线圩区外排泵站向江南运河排水流量总规模为 1 047.96 m<sup>3</sup>/s,其中城市大包围直接排入运河流量 729 m<sup>3</sup>/s。强降雨期间,苏锡常等城市的集中排涝使得江南运河水位陡涨,单日涨幅甚至超过 1.5 m,江南运河防洪安全问题日益凸显,沿线区域的防洪除涝压力日益增大<sup>[17-18]</sup>,如 2017 年 6 月 10 日,太湖流域北部地区普降暴雨或大暴雨,江南运河苏锡常段一度全线超保证水位,江南运河无锡站、望亭(大)站水位分别达 5.32 m 和 5.07 m。本文建立专门的水文水动力河网模型,研究苏锡常向江南运河集中排涝对运河防洪安全的影响及区域洪涝转移规律,旨在为流域区域防洪及调度提供技术支撑。

1 研究区概况

江南运河北起江苏镇江的长江谏壁口门,绕太湖东岸到达江苏苏州,南至江浙交界的鸭子坝,全长约 213 km,途经常州、无锡、苏州、嘉兴和杭州等城

市,是流域整个河网中一条横贯南北的纵向骨干河道(图 1),起着水量调节和承转的作用,直接影响沿线区域及城市的防洪排涝安全。考虑太湖流域的水利分区及江南运河水文站点分布,本文研究范围界定为从江南运河的钟楼闸到平望水文站段,全长 150 km,包括武澄锡虞区、太湖区和阳澄淀泖区 3 个水利分区,总面积 9 051 km<sup>2</sup>(图 1)。

研究区域河网密布,水系发达。根据水体流向,水系大体可分为入江河道、入望虞河河道、入湖河道和内部调节河道 4 类。研究区地势低平,洼地、湖荡稠密,北、东、南三边受长江口及杭州湾泥沙淤积的影响,形成沿江及沿海高地。区域多年平均降水量约 1 100 mm,受梅雨、短历时暴雨及台风雨影响,洪涝灾害频繁而严重,历时上曾发生 1954 年、1991 年、1999 年和 2016 年 4 场流域性大洪水。为了防洪减灾,区域外围设有长江堤防控制线、环太湖大堤控制线、武澄锡虞西控制线、望虞河东岸控制线和太浦河北岸控制线。区域内部设有运河(望虞河-澹台湖段)东岸控制线,常州、无锡、苏州城市大包围,并在低洼地区建有大小联圩近 800 个,圩区面积约占研究区域总面积的 50%。

2 水文水动力模型的建立与验证

本文选择丹麦水动力研究所开发的 MIKE11HD 水动力模型和 NAM 水文模型,基于丰富翔实的基础资料数据及防洪工程调度资料,建立水文水动力模型,并利用历史实测数据进行率定和验证,研究苏锡常排涝对江南运河产生的洪涝转移特征。

MIKE11HD 一维水动力模型是一个垂向均质的

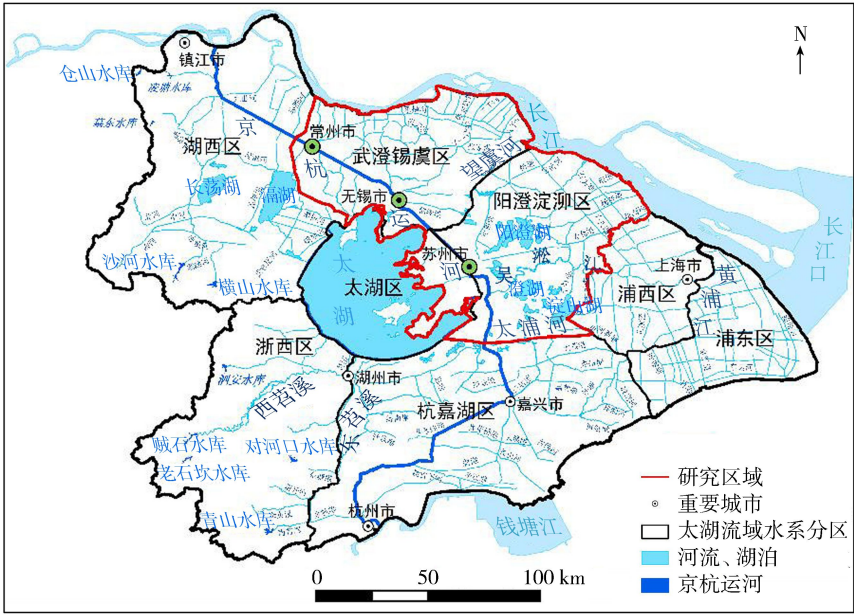


图 1 区域概况

水力学模型,具有计算稳定、精度高和可靠性强等特点,模型可以灵活方便地模拟复杂河网水流、模拟闸门水泵等各类水工建筑物的运营调度,尤其适合应用于水工建筑物多、控制调度复杂的情况<sup>[19]</sup>。其控制方程是圣维南方程组:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

式中: $x$  为距离; $t$  为时间; $A$  为过水断面面积; $Q$  为流量; $h$  为水位; $q$  为旁侧入流量; $n$  为河床糙率系数; $R$  为水力半径; $g$  为重力加速度。MIKE11 水动力方程的离散采用 6 点隐式 (Abbott) 差分格式求解。

嵌入于 MIKE11 HD 模型中的 NAM 模型是一个集总式、概念性降雨径流模型,其将每个子流域视为一个单元,基于水文循环的物理结构和半经验方程,通过有限的输入数据(如降雨、蒸发、温度等)输入,模拟水文循环的不同土壤状态,并连续计算积雪储水层、地表储水层、土壤或植物根区储水层和地下水储水层 4 个不同且相互影响的储水层含水量来模拟产汇流过程<sup>[20]</sup>。

## 2.1 数据的来源与处理

使用的数据主要包括基础地理数据、水文数据、河道断面数据、防洪排涝工程参数及调度数据等。基础地理数据中的河流水系、DEM 高程、道路交通及土地利用等取自 2013 年全要素矢量地图,比尺为 1:10 000,通过 ArcGIS 进行提取与处理,并对水文数据进行了检验和校正,水文数据为历史实测数据,包括研究区水文站点的降水资料、典型年主要测站的水位资料。骨干河道的断面为实测数据,测量间距为 2 km,对断面变化较大及转折点处进行了加密。其他河道断面为全国水利普查数据。防洪排涝工程参数及调度资料来自当地水务部门。

## 2.2 水文水动力模型的建立

### 2.2.1 边界设置

考虑武澄锡虞区、阳澄淀泖区及太湖区为太湖流域的独立水利分区,四周有五大控制线,因此用水文站点加口门作为模型的边界。主要的边界有长江沿线口门(31 个)、环太湖沿线口门(20 个)、武澄锡虞西控制线口门(7 个)、太浦河北岸沿线口门(8 个)及平望水文站、黄渡水文站和泖甸水位站。边界水位为实测水位(潮位)或实测水位(潮位)的插值,将初始水位设为河道多年平均高水位。

### 2.2.2 产汇流集水区的划分

建立 NAM 模型,首先要划分集水区。综合考虑圩区、非圩区、城市大包围产汇流的不同,并考虑

大型湖泊、阻水建筑物和地形的影响,共划分集水区 123 个。考虑降雨的空间差异,运用泰森多边形法对区域内 18 个雨量站进行了集水区降水空间划分。

### 2.2.3 河网的概化

研究区域内河流湖泊密布,在保留河网和湖泊功能和精度的基础上,对部分河网进行概化,共概化河道 398 条,其中圩外河道 281 条,圩内河道 117 条(图 2)。

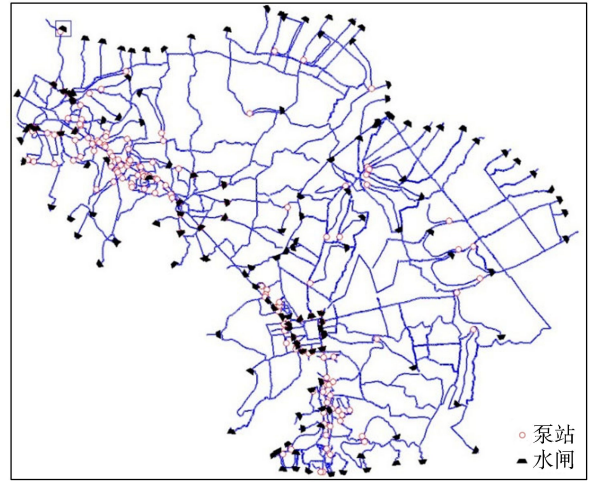


图 2 模型概化

### 2.2.4 水工建筑物的处理

区域内水工建筑物主要有水闸和泵站。考虑到边界河道、望虞河东岸、澹台湖以上(非城区包围)沿运河东岸、城市大包围等水工建筑物对区域水量交换的影响较大,按实际水工建筑物的位置、参数及调度进行处理。对圩区内的水闸和泵站,在保证圩区排涝总量不变的基础上,根据圩区规模、圩区排涝能力和圩区实际泵站分布进行概化处理,包含泵站 162 个、水闸 147 个(图 2)。

### 2.2.5 水文水动力模型的耦合

根据集水区的划分情况,在 MIKE 11 水动力模块中建立集水区与河道的连接,分别将圩区、非圩区、湖泊、城区等集水区与相联通的河道进行连接,实现水文水动力模型的耦合。

## 2.3 模型的率定和验证

研究区域属于平原河网地区,难以依靠流量资料单独率定 NAM 水文模型。本文选用枯水期实测资料对一维水动力模型的河道糙率进行率定,再选用丰水期实测资料对水文水动力耦合模型进行率定。选取 2012 年 9 月 25 日至 10 月 20 日降雨较少期的实测资料对河道糙率进行率定,河道糙率确定在 0.020~0.025 之间;选取 2009 年 7 月 1 日至 8 月 15 日丰水期实测资料对 NAM 模型进行率定,地表储水层最大含水量约为 20 mm,土壤层最大含水量约为 200 mm,坡面流系数为 0.2~0.7。

选取2013年10月16日至11月15日枯水期和2013年9月5日至10月15日丰水期的实测资料分别对河道糙率及水文水动力模型进行了验证。9月5日至10月15日降雨期间青阳、洛社、枫桥和湘城4个验证站水位的计算值与实测值见图3,均方根误差RMSE见表1。经验证,模型计算误差基本控制在10 cm以内,其中最大均方根误差为0.0911,表明模型精度良好。

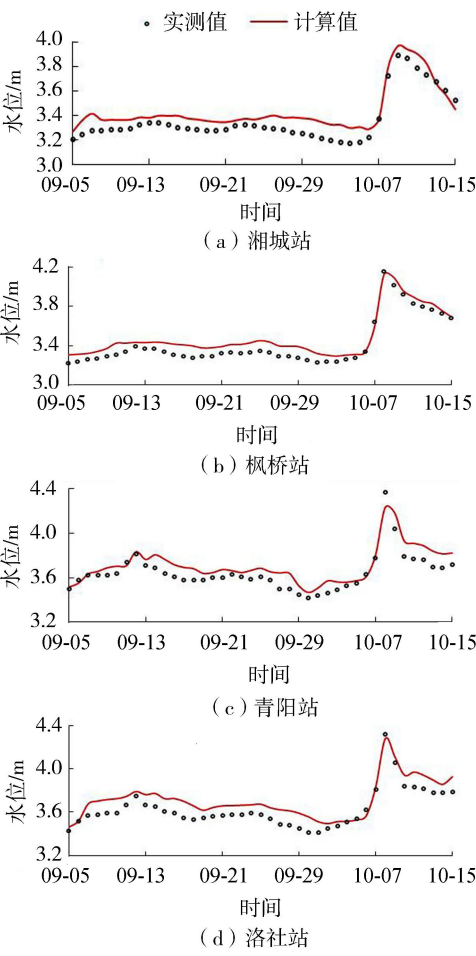


图3 2013年各测站水位计算值与实测值对比

表1 模型误差分析结果

| 水文站 | 最高水位/m | 出现日期  | 最大误差/m | RMSE 值 |
|-----|--------|-------|--------|--------|
| 湘城  | 3.967  | 10月9日 | 0.077  | 0.0911 |
| 枫桥  | 4.129  | 10月8日 | -0.031 | 0.0642 |
| 青阳  | 4.231  | 10月8日 | -0.139 | 0.0079 |
| 洛社  | 4.280  | 10月8日 | -0.040 | 0.0098 |

3 集中排涝产生的江南运河洪涝转移特征

3.1 方案设置

1991年和1999年太湖流域发生了流域性特大暴雨,导致了流域性特大洪涝灾害,其典型暴雨过程通常用于太湖流域的各项规划和设计中。本文选择的降雨方案为“91北部”50年一遇(A类)、“91北部”100年一遇最大39d设计暴雨及其过程(B类),

以及“99南部”50年一遇(C类)、“99南部”100年一遇最大30d设计暴雨及其过程(D类)4种。

选取9个关注点(图4),分别代表江南运河沿线水位(关注点1、2、3)、江南运河沿线附近区域水位(关注点4、5、6),苏锡常城区水位(关注点7、8、9),来分析不同降水量级和不同排涝方案下江南运河水位的变化情况,以及苏锡常城市和运河沿线区域对运河水位变化的响应程度。

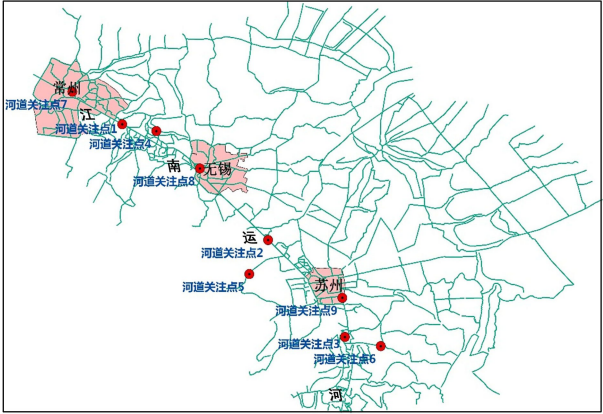


图4 河道关注点分布

根据《江南运河联合洪涝调度方案》以及《城镇化快速发展背景下太湖流域防洪关键问题研究》中有关“流域、区域和城市调度方式和工程布局协调性研究计算方案”<sup>[21]</sup>的研究成果,苏锡常城区排涝分现状调度方案(1类)、不设防调度方案(2类)、优化调度方案(3类)3种,具体调度方案见表2。与降雨方案对应,计算方案共12种(表3)。

表2 城市大包围调度方案设置

| 城市 | 代表站<br>水位/m | 现状调<br>度特征<br>水位/m | 优化调<br>度特征<br>水位/m | 调度方案         |
|----|-------------|--------------------|--------------------|--------------|
| 常州 | <5.80       | >4.30              | >4.57              | 启动大包围,开机排水   |
|    | 5.80~5.95   | <4.60              | <4.87              | 沿运河泵站停机      |
|    | 5.80~5.95   | >4.60              | >4.87              | 沿运河泵站开机排水    |
|    | >5.95       |                    |                    | 沿运河泵站不得向运河排水 |
| 无锡 | <5.00       | >3.80              | >4.10              | 启动大包围,开机排水   |
|    | 5.00~5.15   | <4.00              | <4.30              | 沿运河泵站停机      |
|    | 5.00~5.15   | >4.00              | >4.30              | 沿运河泵站开机排水    |
|    | >5.15       |                    |                    | 沿运河泵站停机      |
| 苏州 | <4.85       | >3.00              | >3.17              | 启动大包围,开机排水   |
|    | 4.85~5.10   | <3.00              | <3.17              | 沿运河泵站停机      |
|    | 4.85~5.10   | >3.00              | >3.17              | 沿运河泵站开机排水    |
|    | 4.85~5.10   | <3.00              | <3.17              | 沿运河泵站停机      |
|    | >5.10       | >3.00              | >3.17              | 沿运河泵站控制排水    |

3.2 对江南运河水位的影响

基于率定验证好的水文水动力模型,按照表3的计算方案分别进行计算,并重点关注江南运河水位的变化情况,从而分析苏锡常城市集中排涝对江南运河水位的影响。计算结果表明:江南运河的水位随降水量的增大而上升,随着苏锡常城市排涝量

表 3 计算方案

| 方案<br>编号 | 降雨频率                            | 边界水<br>(潮)位                     | 常州沿运<br>河水工建<br>筑物调度 | 无锡沿运<br>河水工建<br>筑物调度 | 苏州沿运<br>河水工建<br>筑物调度 |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| A1       |                                 |                                 | 现状调度                 | 现状调度                 | 现状调度                 |
| A2       | “91 北部”50 年<br>一遇最大<br>39 d 降雨  | “91 北部”50 年<br>一遇对应水<br>(潮)位过程  | 不设防                  | 不设防                  | 不设防                  |
| A3       |                                 |                                 | 优化调度                 | 优化调度                 | 优化调度                 |
| B1       |                                 |                                 | 现状调度                 | 现状调度                 | 现状调度                 |
| B2       | “91 北部”100 年<br>一遇最大<br>39 d 降雨 | “91 北部”100 年<br>一遇对应水<br>(潮)位过程 | 不设防                  | 不设防                  | 不设防                  |
| B3       |                                 |                                 | 优化调度                 | 优化调度                 | 优化调度                 |
| C1       |                                 |                                 | 现状调度                 | 现状调度                 | 现状调度                 |
| C2       | “99 南部”50 年<br>一遇最大<br>30 d 降雨  | “99 南部”50 年<br>一遇对应水<br>(潮)位过程  | 不设防                  | 不设防                  | 不设防                  |
| C3       |                                 |                                 | 优化调度                 | 优化调度                 | 优化调度                 |
| D1       |                                 |                                 | 现状调度                 | 现状调度                 | 现状调度                 |
| D2       | “99 南部”100 年<br>一遇最大<br>30 d 降雨 | “99 南部”100 年<br>一遇对应水<br>(潮)位过程 | 不设防                  | 不设防                  | 不设防                  |
| D3       |                                 |                                 | 优化调度                 | 优化调度                 | 优化调度                 |

的增大而上升。以无锡下游运河上的关注点 2 的水位为例(图 5),可以看出:

a. 江南运河的水位与降雨的总量和降雨时程呈正相关关系,随着降雨的增加或减少,河道水位相应上涨或下降,并随着降雨峰值的出现,水位也出现峰值,水位峰值出现的时间滞后于降雨峰值出现的时间约 25 h。降雨频率越大,江南运河水位越高。100 年一遇降雨频率下的江南运河水位全部高于 50 年一遇降雨频率下的江南运河水位。

b. 降雨总量对江南运河水位影响较大,“91 北部”雨型时,由于前期降雨总量较大,江南运河出现明显的洪峰,但“99 南部”雨型时,因前期降雨总量不大,江南运河水位上涨不明显。随着降雨总量的增加,加之运河水位退水较慢,出现较高水位的洪峰,且随着降雨频率的增加而增加。

c. 相同降雨不同调度方案下的江南运河水位由高到低的顺序为:现状调度方案、优化调度方案、不设防方案。说明现状调度方案情况下,苏锡常城市集中排涝抬高了江南运河水位,增大了运河水位洪水风险。

d. 若让城市适当承受部分内涝风险,即城市起排水位适当抬高 0.17~0.30 m,则能有效降低江南运河水位。以 A 类方案(“91 北部”50 年一遇最大 39 d 降雨)为例,优化调度(A3)方案下关注点 1、2、3 在第 1 次涨落过程中洪峰水位分别为 4.42 m、3.96 m 和 3.80 m,比现状调度方案(A1)洪峰水位分别低 0.03 m、0.03 m 和 0.00 m。在第 2 次涨落过程中,A3 方案下关注点 1、2、3 洪峰水位分别为 4.73 m、

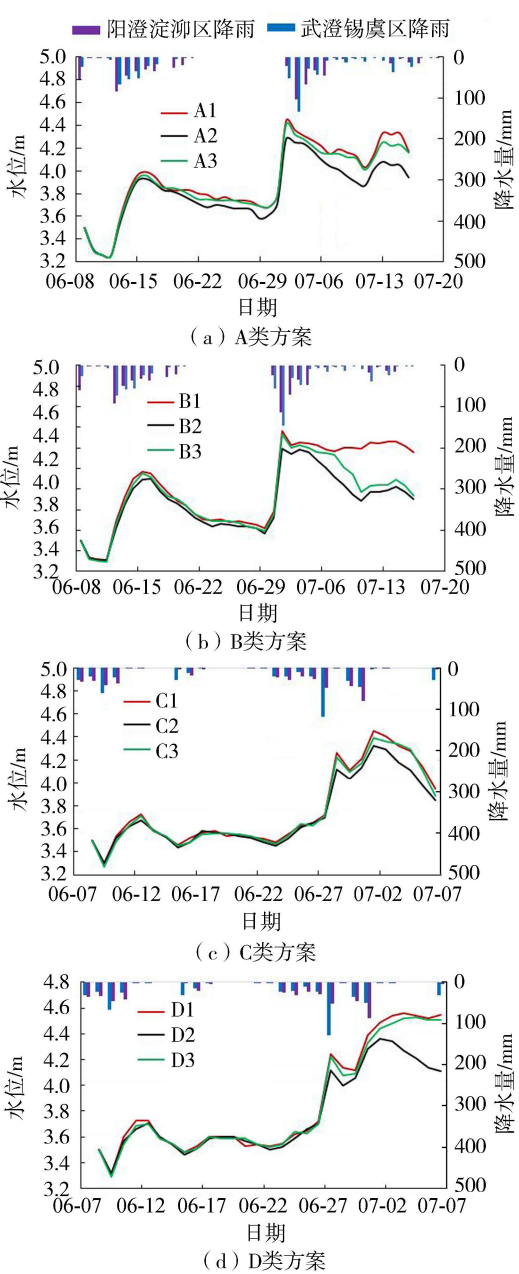


图 5 4 类方案下无锡下游关注点运河水位过程线

4.41 m 和 3.91 m,比 A1 方案下对应水位分别降低 0.08 m、0.03 m、0.01 m。说明在现状调度方案下,城市洪水水位较低,降低了城市洪水风险,但是江南运河水位明显上升,即城市洪水的风险转移到了流域及区域。

为剖析不同方案下江南运河沿程水位变化,将各类方案下运河水位纵断面洪峰水位提取成图。以 A 类方案组为例(图 6),可以看出:与不设防方案(A2)相比,设防方案(A1 和 A3)会导致运河水位明显上涨。现状调度方案下运河纵断面上的洪峰水位整体高于优化调度方案下的纵断面洪峰水位,高出值约 0.00~0.12 m。

不同调度方案下江南运河常州至无锡河段的洪峰水位受苏锡常城市大包围的影响最为显著,无锡

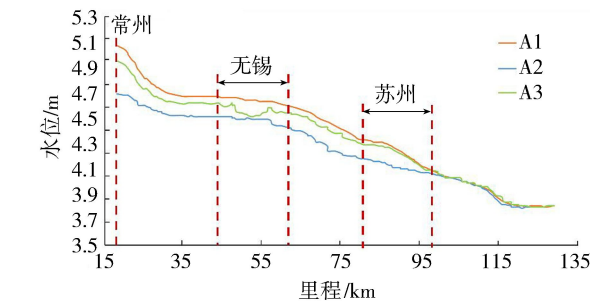


图6 A类方案江南运河纵断面洪峰水位

至苏州的洪峰水位受到的影响次之,苏州下游河段的洪峰水位受到的影响较小。与现状调度方案相比,优化调度方案能够适当降低江南运河干流的洪峰水位,降低江南运河的洪水风险。

### 3.3 集中排涝后的内部洪涝特征

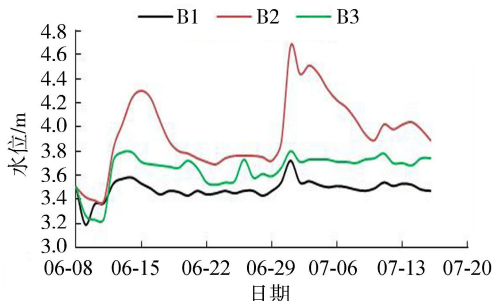
苏锡常城市集中排涝提高了江南运河的水位,但也有效降低城市内部河道水位,从而降低城市洪涝风险。目前,城市正在加大内部治涝工程、管网排水工程、重要基础设施自保工程和扩大蓄滞水空间的建设。了解不同调度方案下的城市内部洪涝特征,可以为治理城市内涝、协调城市与区域的防洪关系提供理论依据。

经计算分析得出:A类方案下,若城区不设防,常州、无锡和苏州城区第1次洪峰水位分别达到4.49 m,4.20 m和3.80 m,比现状调度方案分别高0.28 m,0.64 m,1.1 m,比优化调度方案分别高出0.22 m,0.44 m,0.86 m。第2次洪峰不设防水位达到4.59 m,4.54 m,4.02 m,比现状调度方案高出0.35 m,0.86 m,0.87 m,比优化调度方案高出0.30 m,0.75 m,0.84 m。相应地,B类方案、C类方案和D类方案下都有相似规律(图7),即不设方案下常州、无锡及苏州城区的水位明显高于现状调度方案水位,且洪峰水位高于各城区警戒水位,而现状调度方案及优化调度方案的水位明显降低,基本低于各城区警戒水位。说明城区大包围有效降低了各城区洪水水位,保证了城区安全。

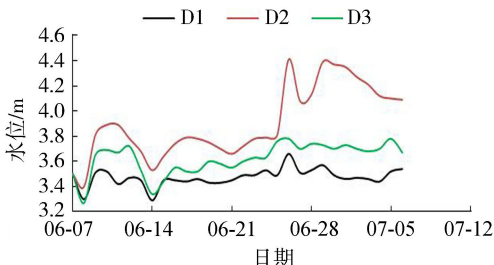
与不设防方案相比,设防方案由于城市涝水外排,城区内部河道洪峰水位明显降低,城区内部内涝风险降低。与现状调度方案相比,优化调度方案使得常州水位提高0.1~0.2 m,无锡水位提高0.1~0.3 m,苏州水位提高0.1~0.3 m,但都在城市洪涝风险可接受范围,说明在不大幅增加城市洪涝风险的前提下,可以适当减少城市的排涝量,从而降低江南运河水位,协调城市与区域的防洪关系。

### 3.4 集中排涝后江南运河及城市附近区域洪涝特征

河道关注点4、5、6分别位于江南运河常州、无锡和苏州之间的运河沿线附近区域,其水位变化分



(a) B类方案



(b) D类方案

图7 不同方案下无锡城区内部河道水位过程

别与关注点1、2、3的水位变化趋势类似,即洪水涨落过程中现状调度方案的水位最高,优化调度方案次之,现状调度方案最低,但排涝对运河沿线附近区域河道水位的影响程度较对运河干流的影响偏小,即苏锡常集中排涝能明显提高江南运河水位,沿线附近区域水位尽管有所抬升,但影响不大。

对于常州城区,根据流场结果(图8、图9)可知,现状调度与优化调度对常州大包围及其附近区域的流场影响不大,现状调度方案下京杭运河的流量更大,但其他主要行洪河道的流向和流量变化不大。现状调度与优化调度条件下常州大包围其他主要行洪河道在洪峰过境期间的平均水位差见表4。与现状调度方案相比,优化调度方案下,常州运包围除京杭运河外的其他主要行洪河道的洪峰水位出现一定程度的升高,升高的幅度在0.05~0.15 m。

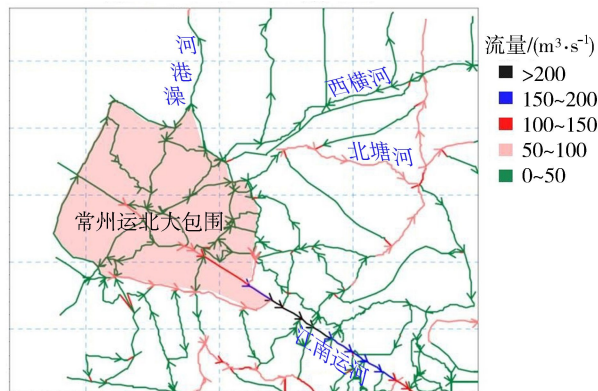


图8 现状方案(A1)常州大包围及附近区域流场示意图

现状调度与优化调度对无锡大包围、苏州城区大包围及其附近区域的流场影响也不大,现状调度

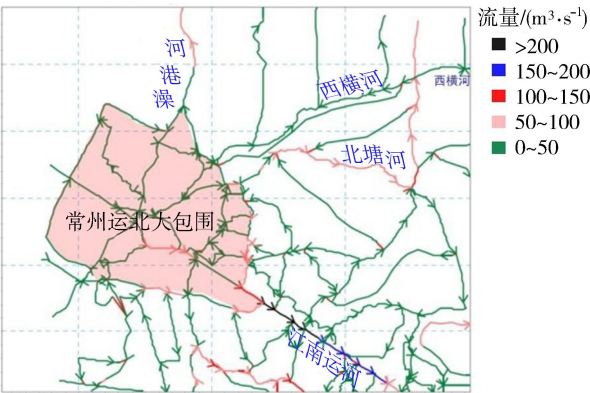


图9 优化调度(A3)方案常州大包围及附近区域流场示意图

表4 不同调度条件下常州大包围其他行洪河道洪峰水位差值平均值

| 河道    | 溧港河  | 西横河  | 北塘河  |
|-------|------|------|------|
| A 方案组 | 0.15 | 0.09 | 0.05 |
| B 方案组 | 0.15 | 0.06 | 0.07 |
| C 方案组 | 0.09 | 0.07 | 0.05 |
| D 方案组 | 0.07 | 0.07 | 0.10 |

方案下京杭运河的流量更大,但不同调度方案下其他主要行洪河道的流向和流量变化不大。与现状调度方案相比,优化调度方案使得无锡运东大包围除京杭运河外的其他主要行洪河道的洪峰水位出现一定程度的升高,升高的幅度在 0.03 ~ 0.24 m 之间,苏州城区大包围的其他主要行洪河道的洪峰水位升高幅度在 0.04 m 以内。这是因为优化调度降低了大包围向京杭运河排涝的水量,大包围内的积水更多地通过其他河道的泵站抽排排出。优化调度方案会导致原先排入京杭运河的涝水减少,排入其他行洪河道的涝水增多,使原先京杭运河的洪水风险向其他主要的行洪河道转移。

4 结 论

- a. 江南运河的水位与降雨的总量和降雨时程呈正相关关系,随着降雨的增加或减少,河道水位相应上涨或下降,并随着降雨峰值的出现,汇流时间约 25 h。降雨频率越大,江南运河水位越高。
- b. 为降低江南运河的防洪压力,根据现状调度方案及有关研究成果,设立苏锡常城市排涝的优化调度方案,即常州起排水位 4.87 m,比现状调度方案抬高 17 cm;无锡起排水位 4.30 m,比现状调度方案抬高 30 cm;苏州起排水位 3.17 m,比现状调度方案抬高 17 cm。比较后发现,与现状调度方案相比,优化调度方案能有效降低江南运河及沿线区域水位,遇到“91 北部”100 年一遇的降雨频率时,江南运河部分区域洪峰水位能降低 5 ~ 10 cm,遇“99 南部”100 年一遇的降雨频率时,江南水位部分水位降低大于 10 cm。

- c. 优化调度方案降低江南运河水位的同时,城区内部河道洪峰水位有所上涨,常州上涨 0.1 ~ 0.2 m,无锡上涨 0.1 ~ 0.3 m,苏州上涨 0.1 ~ 0.3 m,但内部水位仍低于除涝水位。表明若适当降低苏锡常城市排涝量,让城市内部承担部分洪涝风险,能有效降低江南运河水位,城市洪涝风险仍然可控。
  - d. 相较于苏州下游的江南运河水位,苏州上游的江南运河水位涨水时更易大幅度超过警戒水位,且退水时水位居高不下,对运河堤防的压力较大。相较于常州,无锡和苏州城区涨水时大幅度超城区内部最高控制水位,城区防洪压力较大。
- 建议在提高无锡和苏州城区防洪排涝能力的同时,提高苏州上游运河堤防的防洪能力,并优化苏锡常城区大包围的调度规则,适当减少排入江南运河的水量。另外,建议对苏州上游的运河沿线区域设置闸门在汛期时进行控制或者加强沿线区域河道的堤防建设,并建立按运河上重要水位站的特征水位值来设置城区沿运河水工建筑物。

参考文献:

[ 1 ] 章杭惠,李琛.太湖流域防洪形势及对策分析[J].中国防汛抗旱,2014(2):35-38. (ZHANG Hanghui, LI Chen. Analysis on the flood control situation and countermeasures in the Taihu Basin[J]. China Flood & Drought Management, 2014(2):35-38. (in Chinese))

[ 2 ] 王磊之,胡庆芳,王银堂,等.太湖流域2016年、1991年大洪水对比分析[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):471-478. (WANG Leizhi, HU Qingfang, WANG Yintang, et al. Comparison of the two flood events occurred in 2016 and 1991 in the Taihu Lake Basin[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2018, 46(6):471-478. (in Chinese))

[ 3 ] 王子悦,李一平,董志强,等.太湖流域平原河网分流比影响因素[J].水资源保护,2019,35(4):49-54. (WANG Ziyue, LI Yiping, DONG Zhiqiang, et al. Influencing factors of flow diversion ratio in plain river networks of Taihu Lake Basin [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4):49-54. (in Chinese))

[ 4 ] 王同生.太湖流域2016年大洪水分析[J].中国防汛抗旱,2018,28(6):60-62. (WANG Tongsheng, Analysis of major floods in the Taihui Basin in 2016[J]. China Flood & Drought Management, 2018, 28(6):60-62. (in Chinese))

[ 5 ] 王柳艳,许有鹏,余铭婧.城镇化对太湖平原河网的影响—以太湖流域武澄锡虞区为例[J].长江流域资源与环境,2012,21(2):151-156. (WANG Liuyang, XU Youpeng, YU Mingjing. Analysis of the urbanization effect on the Taihu plain river network[J]. Resources and

- Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21 (2): 151-156. (in Chinese))
- [6] 高俊峰. 太湖流域土地利用变化及洪涝灾害响应[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 150-156. (GAO Junfeng. Flood response to land use change in Taihu Lake Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 150-156. (in Chinese))
- [7] 尹义星, 许有鹏. 太湖流域腹部地区水位对降水变化及城镇化的响应[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 769-779. (YIN Yixing, XU Youping. Response of water levels to precipitation changes and regional urbanization in the core regions of the Taihu Lake Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26 (5): 769-779. (in Chinese))
- [8] 叶建春, 章杭惠. 太湖流域洪水风险管理实践与思考[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(5): 136-141. (YE Jianchun, ZHANG Hanghui. Practices and thinking of flood risk management in Taihu Lake Basin [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35 (5): 136-141. (in Chinese))
- [9] 张建云, 王银堂, 贺瑞敏, 等. 中国城市洪涝问题及成因分析[J]. 水科学进展, 2016, 27(4): 485-491. (ZHANG Jianyun, WANG Yintang, HE Ruimin, et al. Discussion on the urban flood and waterlogging and causes analysis in China [J]. Advances in Water Science, 2016, 27(4): 485-491. (in Chinese))
- [10] VANACKER V, LINDERMAN M, LUPO F, et al. Impact of short-term rainfall fluctuation on interannual land cover change in sub-Saharan Africa [J]. Global Ecology & Biogeography, 2005, 14(2): 123-135.
- [11] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 等. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响[J]. 自然灾害学报, 2003(3): 6-13. (YUAN Yi, SHI Peijun, LIU Yinghui, et al. Impact of land use change on urban flood disaster [J]. Journal of Natural Resources, 2003(3): 6-13. (in Chinese))
- [12] 顾晋飴, 李一平, 杜薇. 基于 InVEST 模型的太湖流域水源涵养能力评价及其变化特征分析[J]. 水资源保护, 2018, 34(3): 62-67. (GU Jinyi, LI Yiping, DU Wei. Evaluation on water source conservation capacity and analysis of its variation characteristics of Taihu Lake Basin based on InVEST model [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(3): 62-67. (in Chinese))
- [13] 周宏伟, 李敏, 王同生, 等. 太湖流域圩区排涝对区域防洪影响分析[J]. 水利规划与设计, 2015(11): 1-2. (ZHOU Hongwei, LI Min, WANG Tongsheng, et al. Analysis of influence on region flood control due to polder areas waterlogging drainage in Taihui Basin [J]. Water Resources Planning and Design, 2015 (11): 1-2. (in Chinese))
- [14] 钟桂辉, 刘曙光, 胡子琛, 等. 阳澄淀泖区圩区排涝对区域防洪的影响分析[J]. 人民长江, 2017, 48(21): 9-14. (ZHONG Guihui, LIU Shuguang, HU Zicheng, et al. Analysis of influence on region flood control due to polder areas waterlogging drainage in Yangcheng & Dianmao District [J]. Yangtze River, 2017, 48 (21): 9-14. (in Chinese))
- [15] 邵玉龙, 许有鹏, 马爽爽. 太湖流域城市化发展下水系结构与河网连通变化分析: 以苏州市中心区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(10): 1167-1172. (SHAO Yulong, XU Youpeng, MA Shuangshuang. Change of river structure and stream network connectivity in the Taihu Lake basin under the urbanization development [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21 (10): 1167-1172. (in Chinese))
- [16] 吴娟, 林荷娟, 武剑, 等. 江南运河水文情势变化分析[J]. 水文, 2018, 38(4): 78-82. (WU Juan, LIN Hejuan, WU Jian, et al. Analysis of hydrological regime of Jiangnan canal [J]. Journal of China Hydrology, 2018, 38(4): 78-82. (in Chinese))
- [17] 张春松, 宋玉, 陶娜麒, 等. 江苏省苏南运河沿线地区联合调度实践与思考[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(3): 4-6. (ZHANG Chunsong, SONG Ye, TAO Naqi, et al. Practice and thinking of joint dispatching in areas along jiangsu canal in Jiangsu province [J]. China Flood & Drought Management, 2018, 28 (3): 4-6. (in Chinese))
- [18] 诸发文, 伍永年, 姚淑君. 快速城镇化背景下太湖流域重大水利问题和科技需求[J]. 中国水利, 2015(8): 18-21. (ZHU Fawen, WU Yongnian, YAO Shujun. Key issues of water conservancy in the Taihu Lake Basin and sci-tech demands under fast urbanization [J]. China Water Resources, 2015(8): 18-21. (in Chinese))
- [19] 刘曾美, 冯斯安, 蓝福鹏, 等. 基于流域洪水危险分析的社工坑整治方案[J]. 水资源保护, 2018, 34(6): 38-43. (LIU Zengmei, FENG Sian, LAN Fupeng, et al. Regulation scheme of Shengong River based on watershed flood hazard analysis [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(6): 38-43. (in Chinese))
- [20] 黄欣祺. 基于 NAM 模型水文参数分析研究进展[J]. 河北水利, 2018(11): 34-35. (HUANG Xinqi. Research progress of hydrological parameter analysis based on NAM model. [J]. Hebei Water Resources, 2018(11): 34-35. (in Chinese))
- [21] 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院. 城镇化快速发展背景下太湖流域防洪关键问题研究[R]. 南京: 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 2017.

(收稿日期: 2019-10-15 编辑: 彭桃英)