

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2024.02.002

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

李曦亭^{1,2}, 王磊之², 商守卫², 苏鑫², 李伶杰², 揭仕青³

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津 300350;

2. 南京水利科学研究院水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210029;

3. 抚河水文水资源监测中心, 江西 抚州 330002)

摘要: 为系统探究流域、区域和城镇3个层面之间工况与调度变化的洪涝互馈效应,以太湖流域及其内部水利分区、城镇为例,基于控制变量的思路设计不同的模拟工况和调度情景,定量模拟了各层面在不同防洪工程工况与调度方案下的流域洪涝运动过程,从水位变化角度分析了各层面之间的洪涝互馈效应。结果表明:适当抬升城镇防洪排涝工程内部排水控制水位可在保证城镇内部洪涝安全的前提下降低外部区域和流域防洪压力,但效果有限;适当降低各区域沿长江和杭州湾外排工程排水控制水位可有效增加流域和区域洪涝外排水量,显著降低太湖水位以及区域水位,对城镇内部水位也有一定的降低效果;吴淞江等流域行洪工程可大幅提高流域外排能力,显著降低太湖以及区域水位,而区域层面的防洪排涝工程仅能增加本区域外排水量,降低本区域内水位,对流域和城镇几乎没有影响。

关键词: 防洪排涝; 互馈效应; 调度变化; 水位; 太湖流域

中图分类号: P333.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2024)02-0012-07

Research on mute feed effect of flood and waterlogging under change of working condition and dispatching of flood control project in basin, sub-basin and urban

LI Xiting^{1,2}, WANG Leizhi², SHANG Shouwei², SU Xin², LI Lingjie², JIE Shiqing³

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China;

2. The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

3. Fuhe Hydrology and Water Resources Monitoring Center, Fuzhou 330002, China)

Abstract: This paper conducted systematic research on the mute feed effect caused by the change of project scheduling conditions of flood and waterlogging between three levels of basin, sub-basin and urban in the Taihu Basin. Taking the Taihu Basin and its internal water conservancy districts and towns as an example, different simulation conditions and scheduling scenarios were designed based on the idea of control variables, and the flood movement process in the basin under different flood control project conditions and scheduling schemes at various levels was quantitatively simulated. The mute feed effect of flood and waterlogging was analyzed from the aspect of water level variation at various levels. The results indicate that properly raising the drainage control water level of urban flood protection and waterlogging drainage project can relieve the flood control pressure of basin and sub-basin while ensuring the safety of urban internal flood control and drainage, but with limited effect. Modestly reducing the control water level of sub-basin drainage project along the Yangtze River and Hangzhou Bay can significantly reduce the water level of the Taihu Lake and sub-basins, and can also have a certain effect on the internal water level drop of urban. The capacity of flood discharge of the basin has highly increased with implementation of the flood releasing projects such as the Wusong River, and can also substantially reduce the water level of the Taihu

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3000101-02); 国家自然科学基金项目(52109028, 52239008); 江苏省自然科学基金项目(BK20210042)

作者简介: 李曦亭(1990—),女,博士研究生,主要从事防洪除涝与城镇水文研究。E-mail: xiting1016@tju.edu.cn

通信作者: 王磊之(1991—),男,高级工程师,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail: wanglz@nhri.cn

引用本文: 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.

LI Xiting, WANG Leizhi, SHANG Shouwei, et al. Research on mute feed effect of flood and waterlogging under change of working condition and dispatching of flood control project in basin, sub-basin and urban[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2024, 52(2): 12-18.

Lake and sub-basins. However, further implementation of the sub-basin flood protection and waterlogging drainage project could only lower the internal water level of sub-basins, with almost no impact on the basin and the urban.

Key words: flood control and drainage; mute feed effect; change of project scheduling; water level; Taihu Basin

城镇化进程导致的城镇“雨岛”效应等机制使城区及下风区可能遭遇更多的强降水事件^[1],下垫面硬化也显著改变了洪涝的孕灾环境,强化了洪涝的集中性、冲击性,而人口和财富的高度集中化趋势则增大了城镇面对洪涝的暴露度和脆弱性^[2]。为此,城镇需要提高防洪排涝工程建设标准,形成除流域、区域之外的另一防洪排涝层次。由于城镇位于区域或流域之中,其防洪排涝工程的运行调度会对毗邻地区河道水位和流量产生显著影响,导致所在流域、区域洪涝情势发生变化^[3]。此外,流域、区域防洪排涝工程建设也会影响流域洪涝格局,对城镇内部洪涝情势产生反馈作用^[4]。

当前学术界围绕城镇化洪涝灾害风险评估^[5]、城镇洪涝预报技术^[6]、低影响开发模式^[7-8]等洪涝灾害应对策略与模式开展了集中探索,但研究多以单个城镇或其中心片区为范围,主要着眼于城镇内部洪涝管理,而关于城镇与区域或流域之间洪涝相互作用的研究较少。从当前流域或区域层面来看,城镇化对洪涝格局影响程度已明显超出很多流域防洪规划的预期范围;而从城镇来看,其外部环境也在迅速发生变化,城镇内涝与外洪的交织可能加剧^[9]。本文以位于高度城镇化地区的太湖流域部分水利分区为例,基于控制变量的思路,设置不同层面水利工程模拟工况和调度情景,采用水文水动力模型定量模拟不同水利工程工况和调度情景下的流域洪涝过程,并从代表站水位变化角度分析各层面之间的洪涝相互作用,以期有效协调流域、区域和城镇防洪排涝工程布局 and 调度运用提供参考。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

以太湖流域所属湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区和杭嘉湖区 4 个水利分区为研究区,研究区位置、水位代表站、水系和地形如图 1 所示。湖西区位于流域上游,有较多的山区,地形起伏较大,而其他区域地势低平,属太湖下游低洼平原区。研究区属典型亚热带季风气候,年平均气温 15~17℃,多年平均降水量为 1 177 mm,降水主要集中在 4—10 月。研究区内洪水主要由长历时梅雨和短历时台风风雨形成,部分洪水通过北部骨干排洪河道和泵站排入长江,其余经过太湖调蓄从望虞河和太浦河排出。研究区域内有常州、无锡、苏州和嘉兴 4 座重要城镇,均位于主要洪涝承转通道江南运河沿线,近年来,高度城镇化进程下城镇防洪排涝需求迫切,4 座城镇先后在中心城区建设了防洪排涝包围圈工程,汛期通过防洪排涝包围圈工程将中心城区内部涝水集中排入沿线运河以及所在区域骨干排洪河道,导致汛期运河水位陡涨陡落、行洪不畅,上下游城镇洪涝压制或顶托作用强烈,流域、区域与城镇之间的相互影响日益增强^[10-11]。

1.2 研究数据

研究数据包括两类:一是率定验证模型所用的水文数据,主要为近年来典型洪水期间雨量站降水量数据、水位代表站水位数据;另一类是工况调度资料,主要为各层面河道水系资料、防洪排涝工程及调度规则资料。水文数据方面,收集了太湖流域洪水典型年 1991 年、1999 年和 2016 年共 105 个雨量站洪水期间日降水量和 8 个水位代表站(图 1)日水位过程。各层面的工况和调度规则资料来自太湖流域管理局,涉及流域、区域和城镇 3 个层面的防洪排涝工程(图 2),可分为强化太湖外排工程、流域性防洪排涝工程和区域性防洪除涝工程 3 类。3 类工程侧重点不同,强化太湖外排工程主要是排泄太湖洪水,用于降低太湖水位,包括望虞河后续工程、太浦河后续工程和吴淞江行洪工程;流域性防洪排涝工程主要是流域性的骨干排洪河道,可以

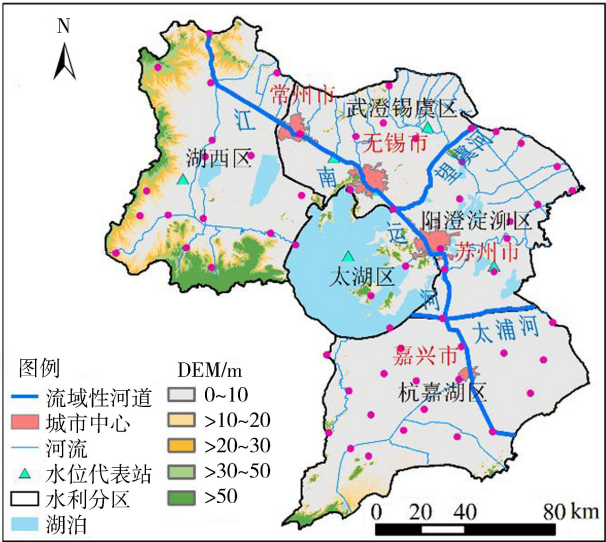


图 1 研究区位置、地形和水系
Fig.1 Location, topography and river system of study area

兼顾降低太湖水位和区域水位,包括新孟河延伸拓浚工程、新沟河延伸拓浚工程、扩大杭嘉湖南排工程和江南运河“四改三”工程;区域性防洪排涝工程主要用于降低区域水位,本文选择武澄锡虞区作为代表性区域,具体工程包括白屈港工程、锡澄运河北排扩大工程、澡港河拓浚工程和桃花港工程。

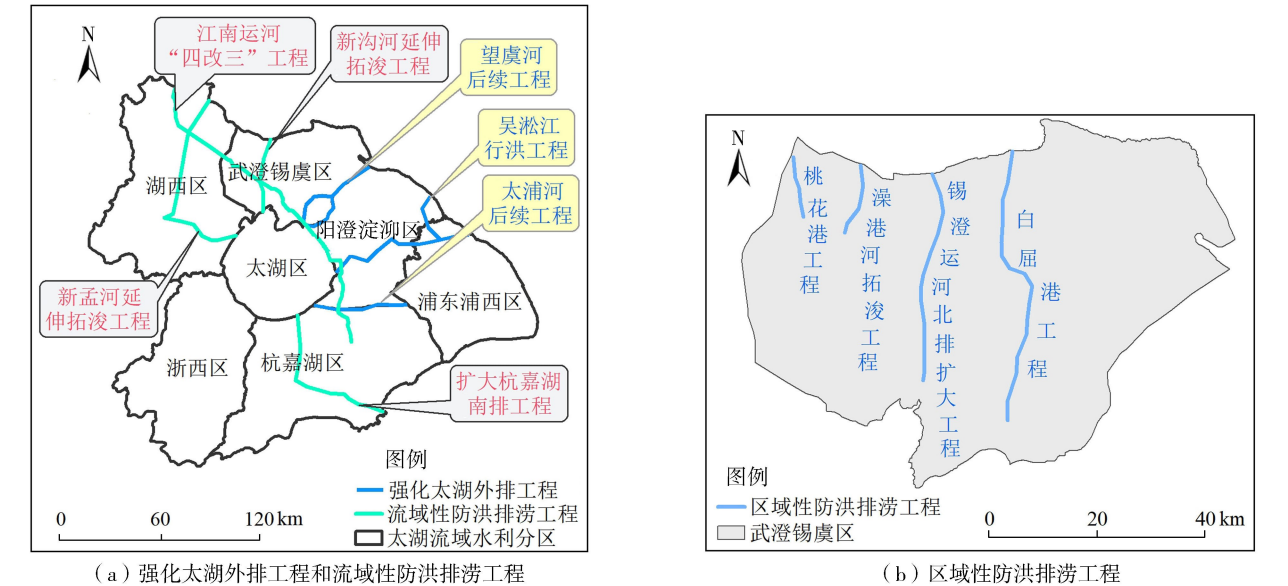


图2 研究区3类防洪排涝工程示意图

Fig.2 Sketch map of flood control and waterlogging drainage projects of three types in research area

2 研究方法

2.1 模拟模型

采用太湖流域模型作为开展洪涝互馈效应研究的定量工具,该模型已成功应用于太湖流域综合规划、洪水风险分析等。太湖流域模型是由河海大学开发的水文水动力学模型,模型耦合了流域产汇流模型和一二维河网水动力模型,并重点考虑了圩区和闸泵等工程对河道水位流量的调节作用^[12]。产流模型方面,平原河网地区和湖西区的产水量为水面、水田、旱地和城镇道路4种下垫面的径流深乘以相应面积后的总和,浙西山丘区采用三水源新安江模型计算产水量。汇流模型方面,在流域平原河网区采用分布式单位线方法计算汇集至河网或流域出口断面的流量。太湖流域模型计算原理详见文献[13]。本文以太湖流域2016年水利工程工况和调度规则为基准,进一步利用陈墅、常州、洛社、无锡水位站1999年实测水位数据以及纳什效率系数(NSE)和决定系数(R^2)对模型的计算精度和水位过程拟合效果进行验证。验证结果表明,4个水位代表站NSE为0.88~0.92, R^2 为0.89~0.96,模型模拟效果较好,图3为陈墅水位站验证结果。另外,模型模拟水位在退水阶段均较实测水位偏低,是太湖流域在2016年工况下排水能力提升所致。可见,太湖流域模型可以有效支持本文的洪涝互馈效应研究。

2.2 方案设置

2.2.1 调度优化设置

a. 设置思路。考虑到目前研究区范围内城镇层面防洪排涝工程的建设标准较高(防洪工程的设计标准达200年一遇,排涝泵站设计能力也超过20年一遇),但城镇所处区域的防洪排涝能力建设却相对滞后,导致城镇外排水出路不足^[14],因此,本调度方案的优化方向主要强调城镇要在保证自身安全的前提下适度分担洪涝风险,同时区域要尽可能增加外排水量,扩大洪水的出路。因此一共设置了6个优化调度方案(方案2~7)。

b. 具体方案。考虑到2000年前后是太湖流域城镇化进入快速化发展阶段的转折点^[15],以2000年为太湖流域城镇化进程的节点,统计城镇化前后城镇中心城区内部河网水位代表站和区域河网水位代表站的水

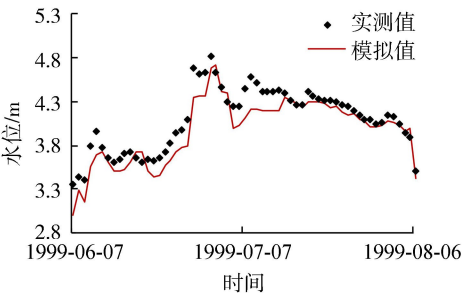


图3 太湖流域陈墅水位站模型验证结果

Fig.3 Results of model validation of Chenshu water level representative station in Taihu Basin

位上涨幅度,根据城镇内部河网和区域河网水位上涨幅度设置 6 个优化调度方案:①以城镇中心城区内部河网水位代表站上涨水位的 50% 和 100% 作为城镇防洪排涝包围圈内部控制水位的抬升值,确定城镇优化调度方案 I 和城镇优化调度方案 II。城镇优化调度方案中,城镇内部的调度控制水位略有抬升,可以减少城镇外排涝水量,降低城镇外部区域的洪涝压力。②以区域河网水位代表站上涨水位的 50% 和 100% 作为区域引排控制水位的降低值,确定区域优化调度方案 I 和区域优化调度方案 II。区域优化调度方案中,区域沿江、沿海调度控制水位略有降低,可以增大区域的外排水量,从而降低区域河道的防洪压力;③同步开展城镇优化调度和区域优化调度。各区域、城镇防洪排涝包围圈的调度控制水位优化调整值如表 1 所示。

表 1 各区域、城镇防洪排涝包围圈调度控制水位优化调整值
Table 1 Adjusting values of controlling water level of each sub-basin and urban flood control and drainage polder area

调整 幅度/%	调度控制水位优化调整值/cm							
	湖西区	武澄锡虞区	阳澄淀泖区	杭嘉湖区	苏州	无锡	常州	嘉兴
50	13.5	15.0	15.0	6.0	8.5	15.0	13.5	6.0
100	27.0	30.0	30.0	12.0	17.0	30.0	27.0	12.0

2.2.2 工程能力调整设置

a. 设置思路。为系统研究流域、区域和城镇防洪排涝工况变化的互馈作用,考虑了 3 类工程的工况实施方案(图 2),其中强化太湖外排工程主要是太湖行洪通道的疏浚和拓宽,目的主要是降低太湖水位,减轻流域防洪压力;流域性防洪排涝工程主要是流域性骨干排洪河道的疏浚和拓宽,目的可兼顾太湖水位和区域水位的降低;区域性防洪排涝工程主要是区域性骨干排洪河道的疏浚和拓宽,目的是强化区域外排能力,降低区域防洪压力。前两类工程的区别在于前者是外泄太湖洪水的骨干通道,直接的效果是降低太湖水位,后者则是流域性骨干排洪河道,直接的效果是降低流域和区域水位,防洪涵盖范围更广。通过这一系列工程类型的组合和模拟,探讨不同类型工程对不同层面水位和洪涝情势的影响。

b. 具体方案。在现状工况基础上考虑流域性防洪排涝工程,形成方案 8,再分别在此基础上增加强化太湖外排工程和区域性防洪排涝工程,形成方案 9 和方案 10,再将 3 类工程方案均考虑在内形成方案 11。

2.2.3 方案集

表 2 为模拟方案集,其中方案 1 为现状调度+现状工况,即基础方案;方案 2、3 为城镇优化调度方案,即适度抬升城镇内部控制水位,让城镇适当承担洪涝风险,限制其外排;方案 4、5 为区域优化调度方案,即适当降低区域控制水位,增大区域外排;方案 6、7 为同时执行城镇和区域优化调度方案。方案 8~11 是在方案 7 的基础上,考虑工程强化的方案。

表 2 模拟方案集
Table 2 Simulation schemes

模拟方案	区域调度	城镇调度	规划工况
1	现状调度方案	现状调度方案	现状工况
2	现状调度方案	城镇优化调度方案 I	现状工况
3	现状调度方案	城镇优化调度方案 II	现状工况
4	区域优化调度方案 I	现状调度方案	现状工况
5	区域优化调度方案 II	现状调度方案	现状工况
6	区域优化调度方案 I	城镇优化调度方案 I	现状工况
7	区域优化调度方案 II	城镇优化调度方案 II	现状工况
8	区域优化调度方案 II	城镇优化调度方案 II	流域性防洪排涝工程
9	区域优化调度方案 II	城镇优化调度方案 II	强化太湖外排工程+流域性防洪排涝工程
10	区域优化调度方案 II	城镇优化调度方案 II	流域性防洪排涝工程+区域性防洪排涝工程
11	区域优化调度方案 II	城镇优化调度方案 II	强化太湖外排工程+流域性防洪排涝工程+区域性防洪排涝工程

为系统研究调度和工况变化对各层面防洪排涝情势的影响,方案 2~7 应直接与基础方案 1 相比,而工况变化的比较方面,方案 8 和方案 7 相比可以对比流域性防洪排涝工程的影响,方案 9、方案 10 与方案 8 相比则可以对比强化太湖外排工程、区域性防洪排涝工程的影响。

2.2.4 设计暴雨情景

暴雨情景选用太湖流域防洪规划常用的“91 北部”“99 南部”两类暴雨,同时设置 50 年一遇和 100 年一遇两个暴雨重现期。这两类设计暴雨降雨中心分别分布于太湖流域的北部和南部,对研究区整体防洪较为不利。设计暴雨过程依据《太湖流域防洪规划》所提供的“91 北部”“99 南部”暴雨缩放系数在 1991 年和

1999 年实测降雨数据的基础进行同频率缩放求得。

3 结果与分析

3.1 流域、区域工况调度变化对城镇防洪排涝的影响

图 4 为 4 类设计暴雨情景和 11 个模拟方案下常州、无锡、苏州和嘉兴防洪排涝包围圈内部汛期平均水位。由图 4 可知:①方案 8 相较于方案 7 可较明显降低常州防洪排涝包围圈内部汛期平均水位,降低幅度为 3.8~4.4 cm,对其他防洪排涝包围圈的水位影响较小,其原因是新沟河、新孟河等流域性防洪排涝工程位于常州附近,这些工程的建设降低了常州外围的汛期水位,分担了常州城内的洪涝蓄滞压力,因此城镇防洪排涝工程在汛期排水更为顺畅。②方案 4 和方案 5 可在一定程度上降低防洪排涝包围圈内 4 个水位代表站的汛期平均水位,但对常州、无锡防洪排涝包围圈内部水位的降低幅度相对较大,其中方案 4 降低幅度分别为 3.7~4.2、3.7~4.0 cm,方案 5 分别为 9.8~11.1、9.5~9.9 cm。可见,对区域沿江控制线的调度方案优化以后,区域沿江外排水量增大,使得城镇外围洪涝压力降低,城镇防洪排涝工程外排水量相应增大,防洪排涝包围圈内部水位得以降低。③方案 10 相较于方案 8 可降低 4 座城镇内部水位,但效果有限。

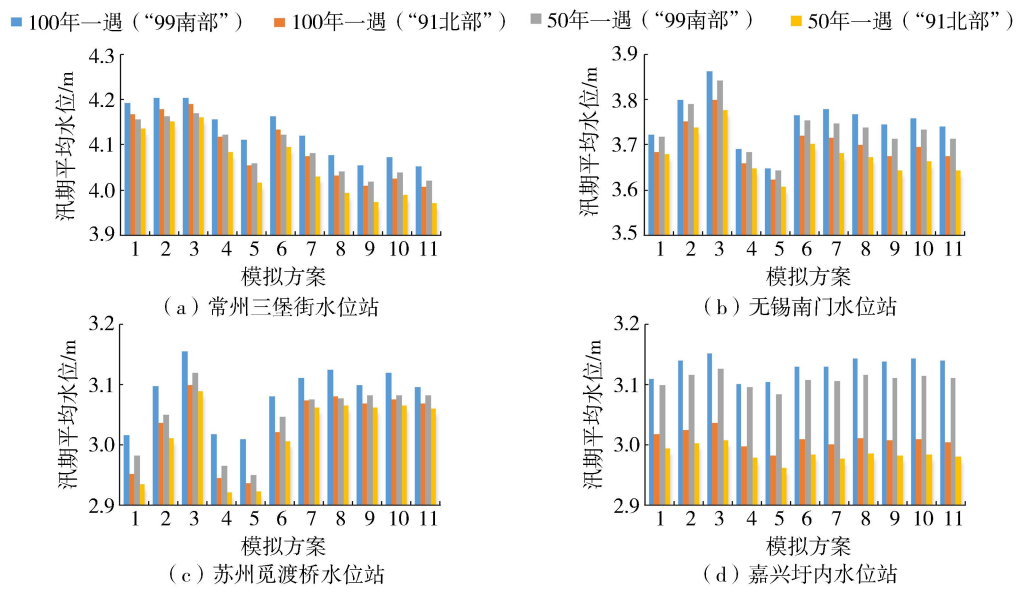


图 4 不同设计暴雨和模拟方案下各城镇防洪排涝包围圈内部汛期平均水位

Fig. 4 Mean water level within urban polder area in flood period under different design storm and simulation schemes

区域优化调度由于降低了区域外排的控制水位,增加了区域外排水量,更有利于城镇排涝,因此城镇防洪排涝包围圈内部水位降低效果显著。区域工程布局的完善仅对区域内城镇防洪排涝包围圈内部水位降低具有一定效果;流域性工程的实施可在一定程度上缓解部分城镇防洪压力,但总体效果一般。

3.2 区域、城镇工况调度变化对流域防洪排涝的影响

图 5 为 4 类设计暴雨情景和 11 个模拟方案下太湖全年和汛期平均水位。由图 5 可知:①对比方案 8 和方案 10,区域防洪标准的提高可小幅降低太湖水位,但影响较小。而区域调度控制水位降低可显著降低太

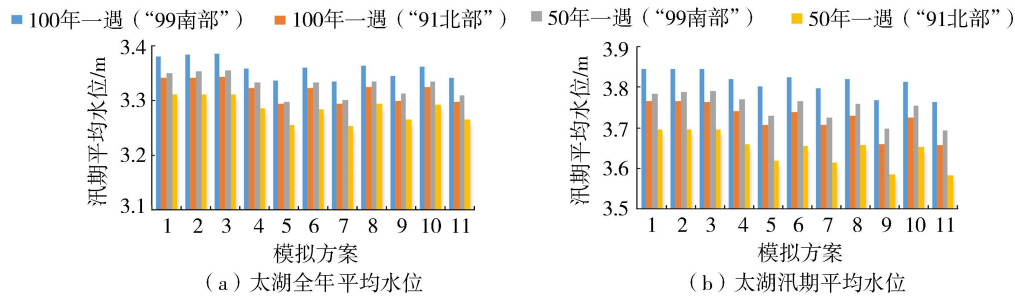


图 5 不同设计暴雨和模拟方案下太湖全年和汛期平均水位

Fig. 5 Annual and flood-period average water level in Taihu Lake under different design storm and simulation scheme

湖全年和汛期平均水位,方案4、5 分别降低太湖全年平均水位 1.7~2.5、4.5~5.6 cm,降低太湖汛期平均水位 1.4~3.6、4.4~7.8 cm。②对比方案1~7,方案2、3 对太湖流域全年和汛期平均水位影响甚微,方案6、7 对太湖水位的影响与方案4、5 相当,因此区域调度控制水位的降低可显著降低太湖水位。

可见,城镇调度水位的抬升和区域防洪排涝工程建设完善对太湖全年和汛期平均水位影响很小,而区域调度控制水位的降低对降低太湖水位影响较为显著。

3.3 流域、城镇工况调度变化对区域防洪排涝的影响

图6 为4 类设计暴雨情景和11 个模拟方案下各分区代表水位站汛期平均水位,可见城镇调度控制水位的降低和流域性防洪排涝工程的实施对区域水位的影响在不同分区有明显差异:①对比方案7 和方案8,流域性防洪排涝工程的实施可进一步大幅度降低湖西区水位代表站汛期平均水位,降幅达 5.5~9.8 cm,而对武澄锡虞区水位代表站水位影响较小;②对比方案8 和方案9,强化太湖外排工程可进一步降低湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区、杭嘉湖区水位代表站汛期平均水位 1.8~2.4、2.1~3.1、0.5~1.2、0.6~1.3 cm;③城镇调度规则的调整对区域水位代表站水位的影响甚微。

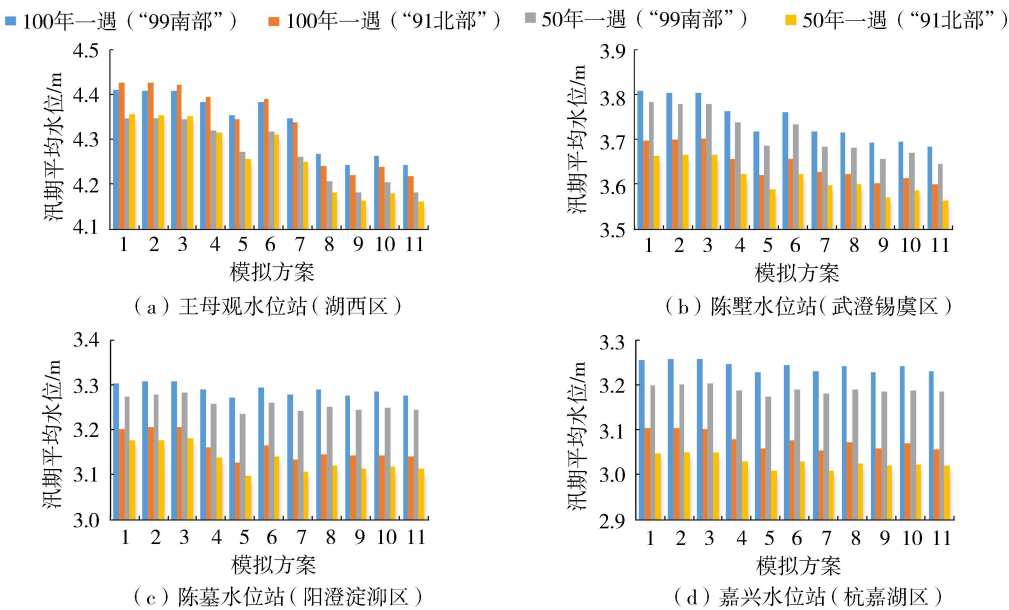


图6 不同设计暴雨和模拟方案下各分区水位代表站汛期平均水位

Fig.6 Average water level for each sub-basin in flood period under different design storm and simulation scheme

可见减少城镇外排涝水量对各分区汛期平均水位影响总体很小;强化太湖外排工程可进一步降低流域北部湖西区、武澄锡虞区水位代表站汛期平均水位,对阳澄淀泖区、杭嘉湖区水位代表站的汛期平均水位也有一定降低效果,但不如北部分区显著;流域性防洪排涝工程显著降低了湖西区水位代表站汛期平均水位,对武澄锡虞区、阳澄淀泖区和杭嘉湖区水位代表站的汛期平均水位影响较小。

4 结 论

- a. 城镇优化调度方案对城镇内部河道水位降低效果最佳,其次为区域扩大外排方案,而增强流域性河道的排洪能力对城镇内部水位影响甚微。
- b. 区域优化调度增大外排水量可大幅降低流域水位,若在此基础上提升区域性河道的排洪能力将进一步降低流域整体防洪风险。
- c. 流域性骨干排洪河道工况对各区域水位影响较大且具有明显的空间差异性,但限制城镇外排水量对区域及流域河道水位的控制效果不显著。

参考文献:

[1] OUDIN L,SALAVATI B,FURUSHO-PERCOT C,et al. Hydrological impacts of urbanization at the catchment scale[J]. Journal of Hydrology,2018,559:774-786.

[2] 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))

[3] 王银堂. 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:南京水利科学研究院,2019.

[4] 柳杨,范子武,谢忱,等. 城镇化背景下我国城市洪涝灾害演变特征[J]. 水利水运工程学报,2018(2):10-18. (LIU Yang, FAN Ziwu, XIE Chen, et al. Study on evolvement law of urban flood disasters in China under urbanization[J]. Hydro-Science and Engineering,2018(2):10-18. (in Chinese))

[5] SHUQI M, SHURAN L, YUDONG Z. Weighted clustering-based risk assessment on urban rainstorm and flood disaster[J]. Urban Climate,2021,39:1-17.

[6] OOTEGEM V L, VERHOFSTADT E, HERCK V K, et al. Multivariate pluvial flood damage models[J]. Environmental Impact Assessment Review,2015,54:91-100.

[7] 袁媛. 基于城市内涝防治的海绵城市建设研究[D]. 北京:北京林业大学,2016.

[8] 崔广柏,张其成,湛忠宇,等. 海绵城市建设研究进展与若干问题探讨[J]. 水资源保护,2016,32(2):1-4. (CUI Guangbo, ZHANG Qicheng, ZHAN Zhongyu, et al. Research progress and discussion of sponge city construction[J]. Water Resources Protection,2016,32(2):1-4. (in Chinese))

[9] 刘俊勇. 对近年珠三角区域外洪与内涝问题的新思考[J]. 人民珠江,2014,35(5):16-20. (LIU Junyong. New thoughts on external flood and internal waterlogging in Pearl River Delta region in recent years[J]. Pearl River,2014,35(5):16-20. (in Chinese))

[10] 龚李莉,蔡梅,王元元,等. 新沟河工程应急调水效果评估[J]. 水资源保护,2023,39(1):166-173. (GONG Lili, CAI Mei, WANG Yuanyuan, et al. Evaluation of emergency water diversion effect of Xingou River Project[J]. Water Resources Protection,2023,39(1):166-173. (in Chinese))

[11] 吴娟,林荷娟,姜桂花,等. 太湖流域超标特大洪水风险预警系统建设及应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(2):164-170. (WU Juan, LIN Hejuan, JIANG Guihua, et al. Risk warning system construction and application under excessive extreme flood[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2023,51(2):164-170. (in Chinese))

[12] 吴娟,林荷娟,季海萍,等. 城镇化背景下太湖流域湖西区汛期入湖水量计算[J]. 水科学进展,2021,32(4):577-586. (WU Juan, LIN Hejuan, JI Haiping, et al. Calculation of water quantity entering the Taihu Lake from the Huxi sub-basin during flood season under the background of urbanization[J]. Advances in Water Science,2021,32(4):577-586. (in Chinese))

[13] 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.

[14] 李曦亭,王磊之,王银堂,等. 基于安全裕度理论的太湖流域北部城市排涝与区域防洪标准衔接研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(2):150-156. (LI Xiting, WANG Leizhi, WANG Yintang, et al. Standard syntaxis of urban drainage and sub-basin flood standards based on safety margin theory in the north of Taihu Lake Basin[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2023,51(2):150-156. (in Chinese))

[15] 王磊之. 快速城镇化背景下太湖流域防洪除涝协调性研究[D]. 南京:河海大学,2019.

(收稿日期:2023 - 06 - 10 编辑:熊水斌)