

河道泵闸与市政泵站应对内涝的联动运行优化调度

谭琼, 张建频, 徐贵泉, 贾卫红

(上海市水务规划设计研究院, 上海 200233)

摘要: 为应对平原感潮河网地区城市排水系统面临的风、暴、潮、洪等多种不利因素带来的内涝风险,以上海市某独立水系的排水管网与河网为研究对象,建立区域排水管网与河网动态耦合的一体化模型,在区域暴雨内涝风险评估的基础上,基于多方案多工况模拟结果提出了市政泵站和河道泵闸在长历时特大暴雨中联动运行优化调度的建议,并建立了应急预警预报辅助调度平台。

关键词: 平原感潮河网地区; 暴雨内涝; 泵闸调度; 水力模型

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)19-0124-05

Optimal Combined Operation of Municipal Pumping Stations and River Pump Gates for Flooding Control

TAN Qiong, ZHANG Jian-pin, XU Gui-quan, JIA Wei-hong

(Shanghai Water Planning and Design Research Institute, Shanghai 200233, China)

Abstract: Urban drainage system in tidal flood plain area is confronted with flooding risks from multiple factors including typhoon, storm, tide, flood, etc. To cope with the risk, an integrated dynamic coupling hydraulic model was built based on drainage network and river network of an independent water system in Shanghai. The risk of regional storm waterlogging was firstly evaluated, then, suggestions on interactive operation of municipal pumping stations and river pump gates to minimize the flood risk were proposed based on simulation of multiple scenarios, and an emergency and control assistant platform of early warning and forecasting was established.

Key words: tidal flood plain area; storm waterlogging; pump gate operation; hydraulic model

平原感潮河网地区地势低平、河网密度较大,雨水径流的排放常形成城市排水管网和河网组成的区域二级排水格局,城市区域排水防涝形势复杂、严峻。然而,河道排涝泵闸和市政雨水泵站的运行调度往往分属不同部门管理,各自独立运行,协调性不足;特别是在风、暴、潮、洪等不利遭遇影响时,市政雨水泵站常因河道高水位超高而被迫停机,其排水能力不能得到有效发挥,影响区域防汛安全。如何使河道排涝泵闸配合市政雨水泵站实时联动,最大程度发挥好区域排水防涝安全效益,减少服务范围

的积水,对平原感潮河网地区具有重要的现实意义和实用价值。当前,平原感潮河网地区河道排涝泵闸与市政雨水泵站的优化调度已引起了高度重视^[1,2],但对河道排涝泵闸与市政雨水泵站进行联动调度的研究较为少见。

近年来上海发生的几场台风暴雨,常出现市政泵站被迫临时停机而导致的内涝现象,引发了对平原感潮河网地区河道排涝泵闸与市政雨水泵站联动调度的深入思考。为此,笔者以相对独立的上海杨树浦虬江水系及相关市政排水系统为研究对象,利

本研究采用 InfoWorks ICM v6.5 进行建模和分析,在同一平台建立管网和河网动态耦合的排水一体化数学模型,同步模拟管网、河网的泵闸调度。在此基础上,搭建 ICMLive 实时调度模型平台,为极端暴雨事先预警和联合调度创造条件。

3 数学模型的构建

3.1 模型建立

管网模型建立过程涉及管网属性(尺寸、高程)的输入、汇水区的划分、数字地面高程的建立、地面二维网格化、泵闸等控制性构筑物的概化仿真、旱流与降雨等边界条件的确定等。建模时,整合了研究区域内的地理数据、城市规划数据、排水管网数据和现场调研数据等详细信息作为管网模型基础。SCADA 运行记录、泵站手工运行记录、历史积水记录表等资料整理作为计算条件。

河网模型涉及河道拓扑及其断面输入、河道泵闸模拟、潮位边界整理等,主要来源为上海市水利普查资料和现场调研。

最终建立的排水管网与河网一体化模型的服务面积约为 43 km²,计算管段为 10 000 余根,管径为 150~3 000 mm,排水系统为 22 个,市政雨水泵站为 23 座(水泵为 130 台),概化河段为 31 条,河道泵闸为 2 座,节制闸为 3 座,二维计算网格为 36 万个。

3.2 模型率定与验证

在本研究中,产流模型针对不透水表面选用固定径流系数法,透水性表面选用 Green-Ampt 渗透公式;汇流模型采用 SWMM 非线性水库法。河网模型的主要水动力参数是糙率系数。

采用 2012 年 8 月 7 日—9 日“海葵”台风暴雨及 2013 年 9 月 13 日期间的降雨、水文同步监测资料进行模型参数的率定与验证。根据上海市降雨径流计算相关研究成果,确定排水管网与河网的水力学相关参数^[5]。经率定,主要泵站的降雨径流体积和峰值相对误差分别为 8.1% 和 6.7%,达到了模型应用要求。河网模型对照点的洪峰水位相对误差小于 5%,与实测结果吻合较好。

4 河道泵闸与市政泵站的联动运行

二级排水格局下,区域暴雨内涝的发生不仅受到市政管网和雨水泵站能力的制约,还受到河道调蓄规模、外排能力和潮位等条件的制约。本研究基于经率定的管网与河网动态耦合模型(含现状管网、市政雨水泵站、水系和河道泵闸),重点以历史

上遭遇的“麦莎”台风暴雨及其潮位组合为基本计算条件进行模拟分析。

4.1 边界条件

研究区域在“麦莎”台风暴雨期间同步实测的降雨及黄浦江潮位相关特性参数如下:总降雨量为 159.5~250.7 mm(平均为 227.6 mm),最大小时降雨量为 24.6~35.7 mm(平均为 31.5 mm),集中降雨历时为 14 h,黄浦江最高潮位为 4.97 m。

内河实际预降水位为 2 m。管网实际运行水位参照运行单位情况,由于上海实际采用高水位运行,一般高于设计水位。模拟采取的边界条件为同步实测外河潮位。

4.2 调度方式

不联动调度方式:即市政雨水泵站根据泵站前池水位,按照控制水位分级启闭;河道泵闸控制方式为自排加抽排,当内河水位高于外河潮位时开闸自排,否则关闸挡潮并开启河道排涝泵站抽排。

联动调度方式:在不联动调度控制的基础上,增加了市政泵站临时停机的应急调度。即当杨树浦港(东走马塘、虬江)达到保证水位时,临时停止排入 3 条河道的市政雨水泵站的运行。一级保证水位为 4.0 m,沿线市政泵站保持 1 台泵运行;二级保证水位为 4.2 m,沿线市政泵站全部停止运行。

4.3 内涝风险评价

“麦莎”台风暴雨期间总降雨量大,且高潮位同雨峰接近,因此内河水位出现超高,“麦莎”台风暴雨引起的积水风险较高。

采用不联动调度方式时,模拟结果显示:积水面积占区域总面积的 12%,43% 的路段出现积水,平均积水深度达 25 cm,基本接近 5 年一遇短历时设计暴雨的积水情况;平均积水时间约为 4 h,接近 100 年一遇短历时降雨的积水历时。虽然“麦莎”台风暴雨的最大小时雨强仅为 31.5 mm/h,不足 1 年一遇,但由于历时长、总降雨量大,区域遭遇的积水风险高于 5 年一遇短历时强降雨。内河平均最高水位达到 4.16 m,超出了河道保证水位,堤防薄弱段面临河道漫溢引起的内涝灾害风险。采用联动调度方式时,模拟结果显示:积水面积和路段较不联动调度时有小幅增长(约为 5%);由于市政泵站应急停机,内河平均水位保持在 4.0 m 以下,较不停机时下降了 5%。联动调度有效降低了河道水位和河道漫溢风险,区域整体内涝风险更低。

4.4 河道泵闸和市政泵站联动运行优化

河道的调蓄库容对二级排水具有较大的影响,在雨前通过水位预降,腾出河道库容,可降低区域内涝风险。此外,区域市政管道密度较高,在雨前预降管网水位的基础上,合理降低现状雨水泵站的分级

控制水位,也可提升排水管网系统的可用调蓄库容,进一步降低内涝风险。为充分挖掘现状排水除涝设施的潜力,在控制河道、管道水位的基础上,优化两网联动调度,对表 2 所示的 7 种联动运行方案进行模拟比选,模拟结果见表 3。

表 2 优化运行方案的工况条件

Tab. 2 Operation conditions of optimization schemes

项 目	现状方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7
管网初始水位	现状停泵水位	现状停泵水位	现状停泵水位	预抽空	预抽空	现状停泵水位	预抽空	预抽空
市政泵站控制水位	现状水位	现状水位	现状水位	低水位	低水位	现状水位	低水位	低水位
河网初始水位/m	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0
河道排涝泵站控制水位	现状水位	现状水位	现状水位	现状水位	现状水位	低水位	低水位	低水位
联动调度河道保证水位	一级、二级保证水位分别为 4.0、4.2 m	一级、二级保证水位分别为 3.8、4.0 m	保证水位为 4.0 m	同现状保证水位	同现状保证水位	同现状保证水位	同现状保证水位	同现状保证水位

表 3 不同运行方案的内涝风险模拟结果

Tab. 3 Simulation results of flood risk of different schemes

项 目	现状方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7
积水面积占比/%	12.40	13.57	12.47	10.66	10.92	11.92	10.52	10.30
平均积水时间/min	225	248	225	159	166	218	158	153
积水总量/m ³	143.1	156.8	143.7	124.2	127.6	137.4	122.8	119.8
内河平均最高水位/m	3.96	3.83	3.95	4	4	3.95	4	4

方案 1 和方案 2 显示了河道保证水位调整的效果。当采取比现状更低的河道保证水位时,有利于保障河道薄弱岸段的安全,内河平均最高水位进一步降低,但会导致地面积水指标高于现状,3.8 m 保证水位对应的积水面积增大 10% 左右。

方案 3 和方案 5 分别显示了市政管网和河道排涝泵站分别采取低水位运行时的效果。管网预抽空和控制市政泵站采取较低水位运行对暴雨积水风险具有较明显的改善效果,积水指标比现状减小 10%~14%。河网采取低水位运行的方案比现状方案的积水指标减小 4% 左右,内河平均最高水位同现状相比略有下降。

方案 4 和方案 6 反映了河道初始水位未达到规划预降水位时对区域泵站低水位运行的影响。结果表明,本区域市政管网低水位控制的效果优于河道预降及泵闸控制,这是由于区域水面率很低,河道槽蓄容量偏小,河道水位预降效果不显著。

方案 7 结合了方案 3 和方案 5 的两网优化调度

方案,应对内涝风险效果最优。

上述研究表明,在遭遇类似“麦莎”台风暴雨时,为减小区域内涝风险,应在雨前有效预降河道水位,实施管道水位预抽空,在雨中乘落潮开闸自排,高潮关闸挡潮,市政泵站和河道排涝泵站保持较低水位运行,同时根据河道保证水位适时进行临时停机调度,确保区域整体防汛安全。河道保证水位的选取是控制市政泵站停机防止河道漫溢的关键参数,宜因地制宜,通过科学计算加以确定。

5 应急预警预报辅助调度平台

建设基于降雨预报和在线监测的内涝预警预报系统是提高地区暴雨内涝灾害防御能力的另一重要辅助决策调度手段。在本研究区域,联合气象部门开展了示范研究,在本市建立的实时防汛预警决策支持系统^[4]的基础上,聚焦复杂多变的极端性暴雨对区域排水造成的内涝灾害,形成区域极端性暴雨、风暴潮及内涝一体化精细化预报技术,建立以极端性暴雨、风暴潮与内涝数值预报模型为核心的预报

系统应用平台,如图2所示。

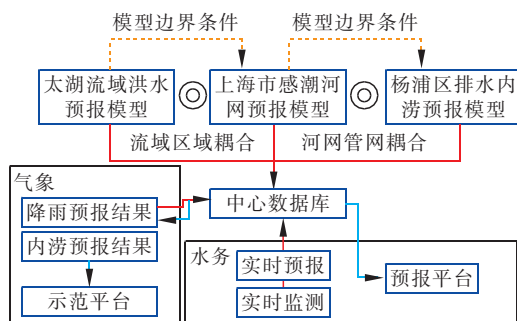


图2 内涝预警预报系统平台构架方案

Fig.2 Architecture of decision support platform of flooding forecasting and early warning

6 结论与建议

平原感潮河网地区的排水能力不仅受到管网和市政泵站规模的影响,还受到河道调蓄规模、外排能力和潮位等条件的制约,面临长历时大暴雨带来的内河水位超高漫溢的内涝风险。在发生类似“麦莎”台风暴雨高潮时,宜采取雨前河道水位有效预降,管道水位预抽空,雨中河道水闸高潮时关闸挡潮,市政泵站和河道泵站保持较低水位运行,同时根据合理的河道保证水位进行市政雨水泵站应急停机的联动调度策略,从整体上确保区域防汛安全。

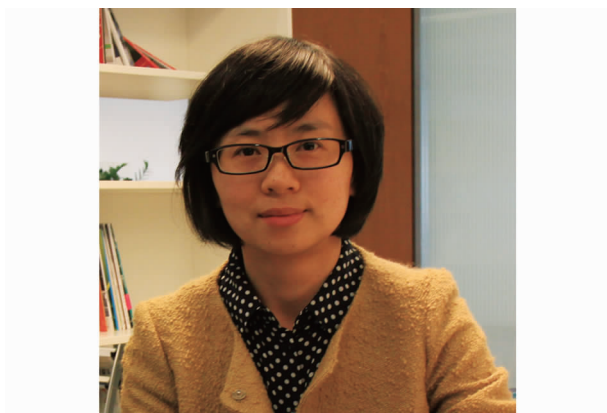
现状设施规模下,通过优化运行、预警预报等非工程性措施只能较小程度地减缓类似“麦莎”台风暴雨给研究区域带来的积水风险,并不能彻底解决这一问题。由于现状雨水系统设计标准低、河网管网蓄排能力低,造成研究区域内涝风险水平较高。研究区域应加强排水除涝设施的升级改造,加快推进区域河网排涝工程和河道薄弱岸段的达标建设,有条件的地区扩大河口宽度、增加地区水面率和河网调蓄能力,优化匹配河道泵闸外排能力,探索建设应急临时滞涝区,辅以海绵城市建设等综合措施,进一步提高区域防汛安全。

参考文献:

- [1] 李晓,唐洪武,王玲玲,等. 平原河网地区闸泵群联合调度水环境模拟[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2016,44(5):393-399.
Li Xiao, Tang Hongwu, Wang Lingling, et al. Simulation of water environment under joint operation of gates and pumps in plain river network area[J]. Journal of Hohai

University: Natural Sciences, 2016, 44(5): 393-399 (in Chinese).

- [2] 王磊磊,贺晓红,吕永鹏,等. 城市感潮河网应对内涝的水位控制可行性研究[J]. 给水排水, 2015, 41(1): 26-29.
Wang Leilei, He Xiaohong, Lv Yongpeng, et al. Feasibility of water level control to handle urban logging problem in tidal river network area[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(1): 26-29 (in Chinese).
- [3] 钱真,谭琼,贾卫红. 城市雨洪综合模拟方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(6): 57-61.
Qian Zhen, Tan Qiong, Jia Weihong. Method for integrated simulation of urban storm water flow and its application[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(6): 57-61 (in Chinese).
- [4] 谭琼,时珍宝,张建频,等. 排水实时模型在上海防汛中的应用示范[J]. 中国给水排水, 2012, 28(15): 49-52.
Tan Qiong, Shi Zhenbao, Zhang Jianpin, et al. Demonstration application of real-time drainage model in Shanghai flood control[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(15): 49-52 (in Chinese).
- [5] 谭琼,李田,周永潮,等. 城市雨水管网模型参数的率定与评价[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2008, 35(1): 31-35.
Tan Qiong, Li Tian, Zhou Yongchao, et al. Calibration of urban stormwater drainage model[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(1): 31-35 (in Chinese).



作者简介:谭琼(1980-),女,重庆人,博士,高工,主要从事水务相关规划与研究。

E-mail: tanq20@163.com

收稿日期:2018-03-06