

感潮河段城市湿地水动力模拟及改善方案研究

丁磊, 陈黎明, 王逸飞, 缴健

Study on hydrodynamic simulation and improvement scheme of urban wetlands in tidal reaches

DING Lei, CHEN Liming, WANG Yifei, JIAO Jian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20221205002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

感潮河段支流口门枢纽布置方法研究

Layout principles of hydraulic project in the branch mouth of a tidal river

水利水电工程学报. 2020(4): 96 <https://doi.org/10.12170/20190618001>

感潮河段航道整治设计理论与方法探讨

Study on design theory and method of waterway regulation in tidal river

水利水电工程学报. 2019(6): 86 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.010>

漂流河段水动力数值模拟研究

Study on hydrodynamic numerical simulation of drift reach

水利水电工程学报. 2021(6): 73 <https://doi.org/10.12170/20210120005>

基于同步原型观测的水质改善效果敏感性分析与应用

Sensitivity analysis and application research of water quality improvement effect based on synchronous prototype observation

水利水电工程学报. 2019(5): 1 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.05.001>

地形变异条件下长江口南港河段水动力变化

Hydrodynamic changes in south channel of Yangtze River estuary under topographic variation conditions

水利水电工程学报. 2020(1): 51 <https://doi.org/10.12170/20181223001>

内河框架码头桩柱绕流水动力特性的二维数值模拟

2D numerical simulation of hydrodynamic characteristics of water flowing around inland river frame wharf in tandem and parallel arrangement

水利水电工程学报. 2020(1): 74 <https://doi.org/10.12170/20181204005>





扫码进入官网，阅读更多精彩文章

关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20221205002

丁磊, 陈黎明, 王逸飞, 等. 感潮河段城市湿地水动力模拟及改善方案研究 [J]. 水利水运工程学报, 2024(1): 35-45. (DING Lei, CHEN Liming, WANG Yifei, et al. Study on hydrodynamic simulation and improvement scheme of urban wetlands in tidal reaches[J]. Hydro-Science and Engineering, 2024(1): 35-45. (in Chinese))

感潮河段城市湿地水动力模拟及改善方案研究

丁磊¹, 陈黎明², 王逸飞¹, 缴健¹

(1. 南京水利科学研究院 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029; 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)

摘要: 湿地具有固碳释氧、涵养水源等作用, 改善水体交换能力是湿地研究热点之一, 但关于潮汐变动水位条件下湿地水体调控措施的探究相对较少。以长江南京段绿水湾湿地为例, 建立平面二维水动力模型, 开展感潮河段城市湿地水动力模拟及改善方案研究。计算不同水文条件及闸泵调度方案下湿地流场, 分析潮位变动对绿水湾湿地水动力的影响, 分析不同闸泵调度措施对水体流动性的改善效果。研究表明, 闸泵联合调度可使枯季大部分区域水动力明显增强, 但仍存在主槽外坑塘等局部滞水区, 需通过湿地植被重构的方式提高水体自净能力。对易暴发藻类的4—5月, 闸泵联合调度可较好改善绿水湾内上游区域的水动力条件, 对于改善效果并不明显的下游区域建议增设补水点, 降低水体富营养化风险。本研究可为绿水湾湿地的设计、建设与管理提供科学依据。

关键词: 城市湿地; 二维水动力模型; 感潮河段; 闸泵调度; 生态补水

中图分类号: X171.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2024)01-0035-11

湿地为位于水、陆过渡区域的独特生态系统^[1], 具有固碳释氧、净化水质、涵养水源、水土保持等作用^[2-3]。城市湿地公园规模相对较小, 但具有调节局部小气候、旅游休闲等功能。湿地普遍存在水体流动能力较弱的问题, 因此如何改善湿地水体交换能力, 提高水体自净能力一直是研究热点。贾瑞鹏等^[4] 设定不同的生态补水情景, 分析了湖泊水动力、水质的演化特征; 张珺玲等^[5] 综述了国内湿地生态补水方案的方法体系; 王凯霖等^[6] 分析了人工补水条件下白洋淀湿地演变; 王璇等^[7] 分析了不同补水方案对北京汉石桥湿地水动力改善效果; 陈黎明等^[8] 研究了不同工程分布方案下城市湿地公园水动力状况及水体交换特性; 王志鹏^[9] 提出了三江平原挠力河湿地群湿地补水方案优化方法; 隗岚琳等^[10] 以绿水湾湿地为研究对象, 监测湿地水文变化及信号特征, 构建湿地水热运移与氮迁移转化模型, 揭示潮汐过程对湿地水热储量和除氮的影响及其季节性差异。

在推进长江大保护的过程中, 滨江湿地日益被重视。位于长江下游感潮河段的城市湿地受潮位变动影响, 水动力条件复杂, 在枯水期存在蓄水能力差的问题。长江南京段绿水湾湿地是感潮河段城市湿地的典型代表, 地表径流的天然平衡条件已遭破坏, 蓄水量失调, 同时因现状水系不畅, 部分区域及时段水质较差。刘云等^[11] 对绿水湾湿地进行健康评价时认为存在受人类影响较严重的区域, 需采取必要的工程措施改善湿地环境。

本文以绿水湾湿地为例, 开展感潮河段城市湿地水动力模拟及改善方案研究。通过建立湿地平面二维水动力模型, 计算不同水文条件下湿地流场, 分析潮位变动对绿水湾湿地水动力的影响。模拟不同闸泵调度措施对水体流动性的改善效果, 提出水动力改善方案。

收稿日期: 2022-12-05

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2023YFC3208500); 河口海岸保护与治理创新团队项目(Y220013); 中央级公益性科研院所基本科研业务费重大项目(Y223002)

作者简介: 丁磊(1993—), 男, 江苏盐城人, 工程师, 硕士, 主要从事港口海岸及近海工程研究。E-mail: lding@nhri.cn

1 设计概况

绿水湾湿地工程位于江苏省南京市江北新区长江大堤东侧,是江北岸线重要工程之一。汇入绿水湾湿地的支流包括五里河、城南河、七里河(图 1(a)),绿水湾可分为 3 个区域即城市客厅、夹江及湿地公园(图 1(b))。自然径流补给状况下,湿地水位存在年内变化大、保证率不高的问题,无法满足湿地保护、水源涵养的需要。现状通过向支流补水方式涵养湿地水源,五里河平均流量 $1.62 \text{ m}^3/\text{s}$,两河(城南河、七里河)总流量为 $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

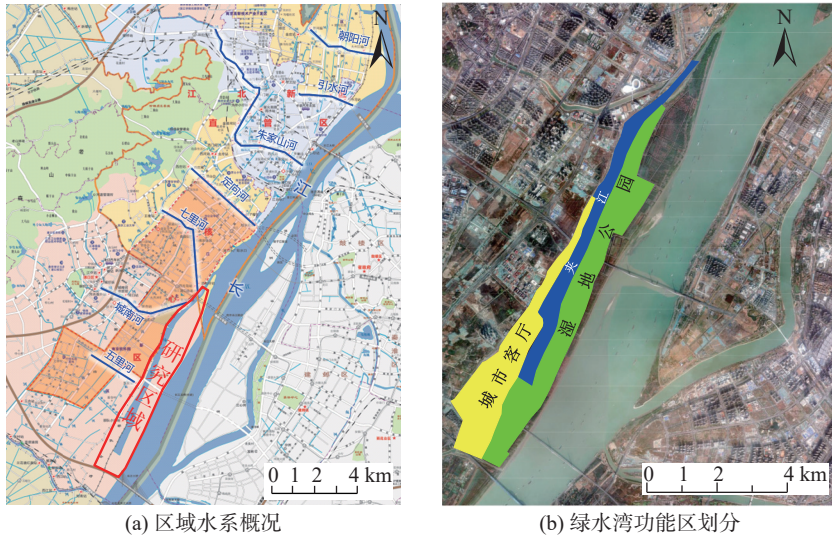


图 1 区域水系概况及功能区划分
Fig. 1 Overview of regional water system and division of functional areas

绿水湾湿地各区域间由现状已存在的堤防隔开。西侧主堤与陆地隔开,内部隔堤将湿地内部分为 6 个相对独立区域(图 2),区域间由涵洞连接,研究区域东侧血防堤将研究区域与外江隔开,仅能通过绿水湾闸与外江连通。各堤防高程如表 1 所示,本文所有高程体系均采用 85 高程。

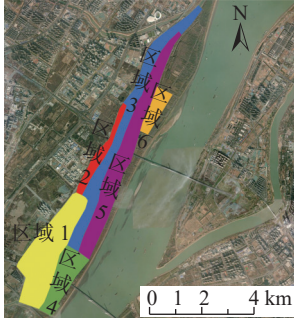
水闸位于两河入江口下游 400 m 处,枯季外江水位较低,为保证绿水湾内水位及蓄水量,需关闭下游绿水湾闸,保证绿水湾内水位达到 4.5 m。洪季外江水位较高,基本高于 4.5 m,开启闸门。

绿水湾内共设置 6 个活水泵站进行补水(图 3),其中补水点 1-1、补水点 1-2、补水点 2-1、补水点 2-2 的补水流量为 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,补水点 2-3、补水点 2-4 的补水流量为 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。现状两河(城南河、七里河)约一半流量由长江补水而得,活水泵站建成并运用后,两河将不再由长江补水,此时五里河、两河进入绿水湾湿地的水量均会有所减小,五里河平均流量为 $0.81 \text{ m}^3/\text{s}$,两河(城南河、七里河)总流量为 $4.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

绿水湾湿地设计高程如图 3 所示。夹江区域高程略低,基本低于 3 m,区域 4、5、6 深槽高程为 2.5 m,区域 1 深槽高程为 2.8 m,区域 2 深槽高程为 3.5 m。拟建绿水湾闸上游约 2 km 处夹江存在高程约 8 m 的堰(现状为城南河广场),堰中间有宽约 10 m 的过水通道。如绿水湾湿地下游保持与长江自然相通,则存在水域面积受潮汐影响明显、保证率低的问题。根据近 5 年(2017—2021 年)长江大通流量与南京站潮水位关系、绿水湾湿地水位与面积关系曲线,2018 年为枯水年(大通年均流量 $24\,670 \text{ m}^3/\text{s}$),绿水湾湿地设计地形条件下,水域面积超过 4 km^2 的保证率为 21%。枯季(1—4 月、11—12 月)水域面积超过 2 km^2 的保证率仅为 1%。2020 年为丰水年(大通年均流量 $36\,300 \text{ m}^3/\text{s}$),绿水湾湿地设计地形条件下,水域面积超过 4 km^2 的保证率为 42%。枯季(1—4 月、11—12 月)水域面积超过 2 km^2 的保证率仅为 8%。为满足湿地保护、水源涵养的需要,可考虑在绿水湾湿地公园下游设置水闸(闸顶高程 4.5 m),可在枯水条件下维持绿水湾内水面面积达到 6.4 km^2 。



(a) 绿水湾堤防位置图



(b) 绿水湾湿地区域划分

图 2 堤防位置及绿水湾湿地区域划分

Fig. 2 Location of embankments and division of Lvshuiwan Wetland area

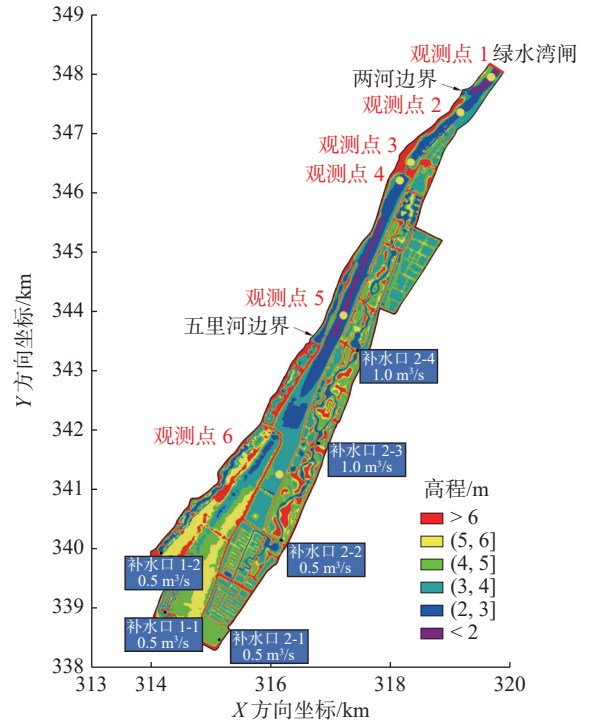


图 3 绿水湾湿地建筑物位置及设计高程

Fig. 3 Geographical placement and design elevation of buildings within Lvshuiwan Wetland

2 模型构建

本文应用二维非恒定流浅水方程组, 采用有限体积法对方程组进行数值求解, 模拟计算绿水湾湿地水动力状况。二维浅水方程和对流-扩散方程的守恒形式为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + gh^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = gh(s_{0x} - s_{fx}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + gh^2/2)}{\partial y} = gh(s_{0y} - s_{fy}) \quad (3)$$

式中: h 为水深; u 、 v 分别为 x 、 y 方向上平均流速分量; t 为时间; g 为重力加速度; s_{0x} 、 s_{fx} 分别为 x 方向上的水底底坡、摩阻坡度; s_{0y} 、 s_{fy} 分别为 y 方向上的水底底坡、摩阻坡度。

以绿水湾水域为主要研究范围, 构建平面二维水动力数学模型。模型北边界位于两河入江口下游 400 m 处, 西边界为长江主堤, 东边界为血防堤, 南边界为血防堤与子堤。采用三角形网格对计算区域进行划分: 网格尺寸为 10~50 m, 共计 54 660 个节点, 107 884 个网格单元(图 4); 最大网格面积为 1 673.4 m², 最小网格面积为 4.5 m²。

表 1 绿水湾堤防

Tab. 1 The embankment of Lvshuiwan

名称	长度/km	宽度/m	高程/m
主堤	14.7	30.0~40.0	11.0
子堤1	4.9	2.5~6.0	8.8~11.5
子堤2-1	2.0	2.5~5.5	7.8~10.2
子堤2-2	2.0	2.0~2.5	5.0~5.3
子堤3	7.6	1.4~5.3	6.9~8.0
血防堤	11.0	1.7~6.0	7.6~9.0

由于城市客厅区、湿地公园区(图 1)内水系复杂,河道较为狭窄,模型主要对城市客厅区、湿地公园区两部分区域进行局部加密,平均网格面积约为 75 m^2 ,针对水闸上游宽顶堰,修改周围地面高程至 8 m ,并在堰中间留出宽为 10 m 过水通道。夹江网格相对较大,平均网格面积约 680 m^2 。根据湿地设计图纸,采用设计水下地形资料对模型进行概化,整个区域内堤顶高程均高于 6 m 。

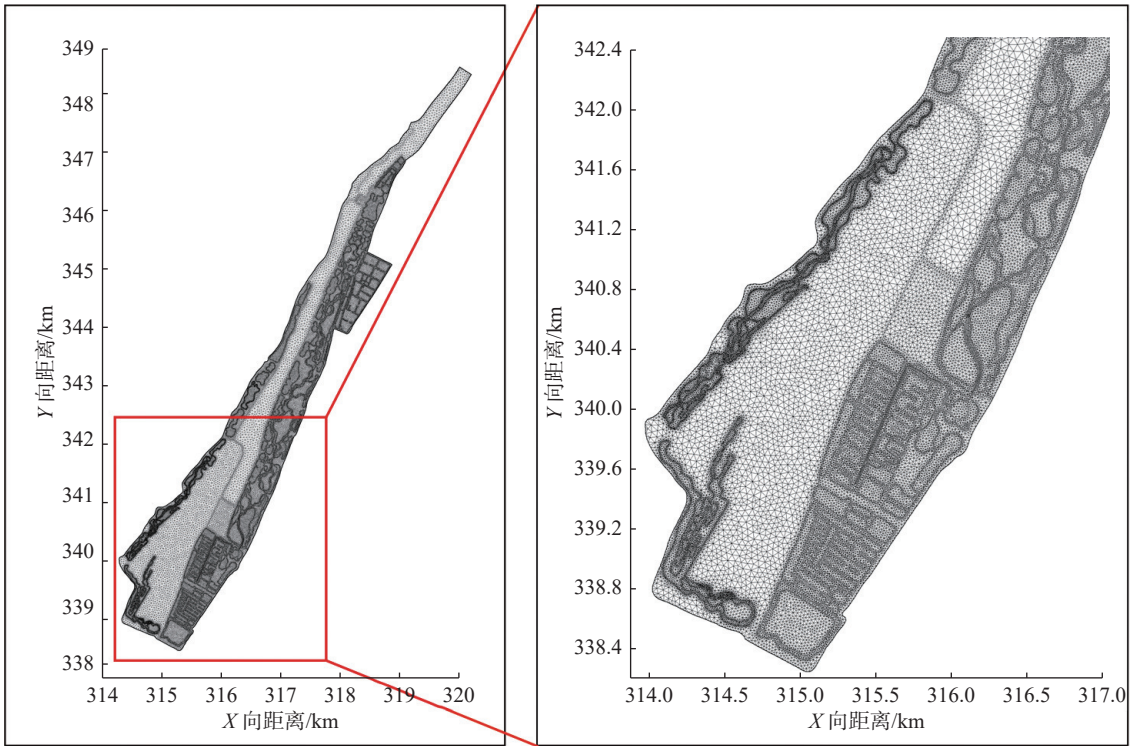


图 4 研究区域网格概化

Fig. 4 Grid division of the research area

流量边界为五里泵站、城南河、七里河流量过程,及生态补水流量过程。水位边界为闸址位置水位过程。外江水位过程取 2021 年 2 月(枯季工况)、8 月(洪季工况)及 5 月(过渡季工况)长江南京段潮位过程曲线(图 5)。

为了反映水边线的变化,采用富裕水深法根据水位的变化连续修正水边线,在计算中判断每个单元的水深,当单元水深大于富裕水深时,将单元开放,作为计算水域,反之,将单元关闭,置流速为 0 ,模型中设置干湿单元,其中完全干单元设置为 0.005 m ,完全湿单元为 0.100 m 。模型糙率的取值范围为 $0.030\sim 0.035$,深槽和滩地略有不同;紊动黏滞系数通过 Smagorinsky 方程求解获得。

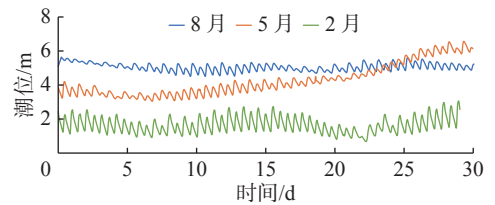


图 5 2021 年长江南京段潮位过程

Fig. 5 Tidal level variation in the Nanjing Section of the Yangtze River in 2021

3 数值模型计算

3.1 方案设置

设置7种计算方案(表2),以研究不同水文条件下闸泵建设及调度方案对绿水湾内水动力特征的影响。闸门具体调度为:闸顶高程4.5 m,长江潮位低于4.5 m时关闸,长江潮位高于4.5 m时开闸。补水泵站调度具体为区域1、2外源补水流量为1.0 m³/s,区域4、5、6外源补水流量为3.0 m³/s。设置5月为过渡季工况以分析水动力对藻类生长的影响,因为5月为绿水湾内藻类最易暴发的时间,为了预防藻类暴发,通常需要控制水体的换水周期小于14 d。

表2 计算方案
Tab. 2 Calculation scheme

方案	边界条件			工程调度	
	五里河流量/(m ³ /s)	两河流量/(m ³ /s)	下游潮位边界	补水泵站调度	闸门调度
方案1(枯季,闸泵运用前)	1.62	8.2	2021年2月	无	无
方案2(洪季,闸泵运用前)	1.62	8.2	2021年8月	无	无
方案3(过渡季,闸泵运用前)	1.62	8.2	2021年5月	无	无
方案4(枯季,闸泵运用后)	0.81	4.1	2021年2月	无	有,关闸
方案5(枯季,闸泵运用后)	0.81	4.1	2021年2月	有	有,关闸
方案6(过渡季,闸泵运用后)	0.81	4.1	2021年5月	无	有,关闸
方案7(过渡季,闸泵运用后)	0.81	4.1	2021年5月	有	有,关闸

3.2 计算结果分析

3.2.1 闸泵运用前 闸泵运用前,枯季、洪季、过渡季大潮落急时刻各区域水面面积占比见表3。枯季时(图6(a)、表4),仅有区域2、3、5过水。区域2受五里河入流影响,约80%区域流速为0.01~0.05 m/s。区域3几乎无流动的区域集中在过水通道上游,过水通道下游流速普遍较高,两河入口及过水通道附近流速较大。区域5因有涵洞与夹江相通,部分区域被水体覆盖,但总体流速较低。洪季时(图6(b)、表4),区域4、5、6水面面积有明显增加。区域1与区域2五里河上游已蓄水但几乎无流动,区域2五里河下游因水深增大,流速比枯季时有所降低。区域3过水通道下游流速普遍大于0.05 m/s。区域4几乎无流动。区域5流速较大区域集中在深槽。区域6约60%区域流速大于0.01 m/s。过渡季时(图6(c)、表4),大潮动力过程与洪季较为接近,流速分布规律基本相同。

表3 闸泵运用前大潮落急时刻水面面积占比
Tab. 3 Proportion of water surface area during peak high tide before implementation of gate pumps

工况	不同区域大潮落急时刻水面面积占比/%					
	1	2	3	4	5	6
枯季	0	22.8	63.3	0	58.1	0
洪季	43.3	50.9	85.5	58.0	64.5	87.3
过渡季	36.7	54.4	86.2	60.9	67.7	88.9

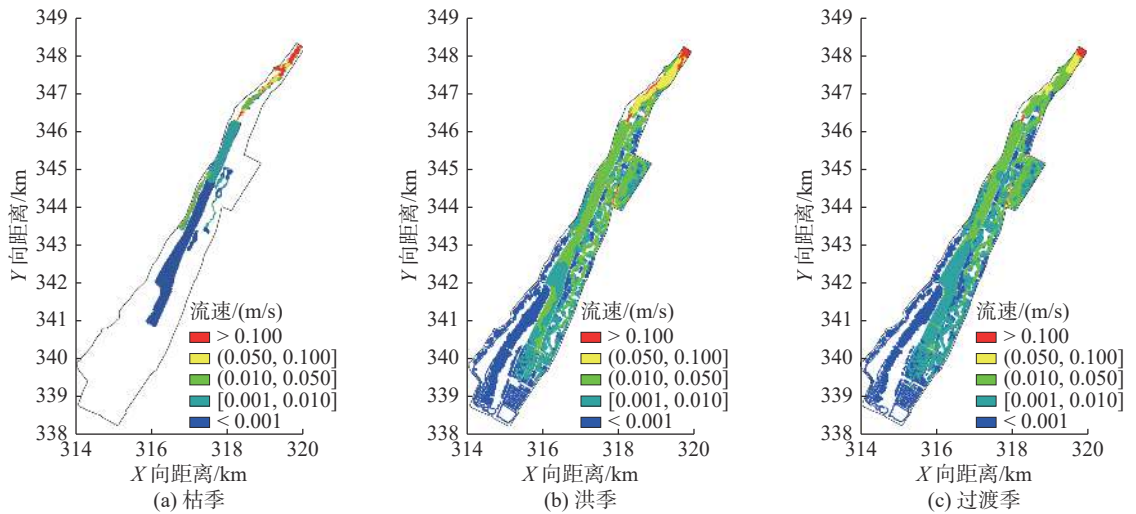


图 6 闸泵运用前不同季节流速分布模拟结果

Fig. 6 Distribution of flow velocity in simulation results during different seasons prior to the implementation of gate pumps

表 4 闸泵运用前不同流速区间的面积占比

Tab. 4 Proportion of area in different flow velocity ranges prior to the implementation of gate pump

工况	流速区间/(m/s)	不同区域水面面积占比/%					
		1	2	3	4	5	6
洪季	>0.050	0	0.5	17.2	0	3.4	1.4
	(0.010, 0.050]	0	7.8	57.2	5.1	37.5	58.7
	(0.005, 0.010]	0	19.7	21.8	13.3	16.8	22.8
	[0, 0.005]	100	72.0	3.7	81.5	42.3	17.1
枯季	>0.050	0	3.0	8.2	0	0	0
	(0.010, 0.050]	0	80.8	3.7	0	1.7	0
	(0.005, 0.010]	0	11.2	7.1	0	5.6	0
	[0, 0.005]	100	4.9	81.0	100	92.7	100
过渡季	>0.050	0	0.4	6.8	0.1	1.7	1.3
	(0.010, 0.050]	0	8.6	59.1	2.3	22.0	57.7
	(0.005, 0.010]	0	26.9	29.5	9.5	18.0	22.6
	[0, 0.005]	100	64.1	4.6	88.2	58.3	18.4

3.2.2 闸泵运用后 当两河口下游绿水湾闸建成并运行后, 绿水湾湿地内部将不再受涨落潮影响, 配合活水泵站可使得绿水湾湿地水位稳定保持在 4.5 m 以上。

(1) 仅关闸工况下, 枯季时(图 7(a)、表 5), 区域 1、4、5、6 内水几乎无流动, 区域 2 有超过 60% 的区域水几乎无流动, 区域 3 受关闸影响水动力明显减弱, 几乎无流动区域占比高达 95%。过渡季时(图 7(b)、表 5), 区域 1 内水几乎无流动, 区域 2 有超过 70% 的区域水几乎无流动, 区域 3 水动力条件相对较强, 有 90% 的区域流速超过 0.01 m/s, 区域 4 有超过 90% 的水几乎无流动, 区域 5、6 分别有约 65%、50% 的区域水几乎无流动。洪季时, 由于区域内水位均高于 4.5 m, 闸门全开, 计算结果与闸泵运用前工况一致。

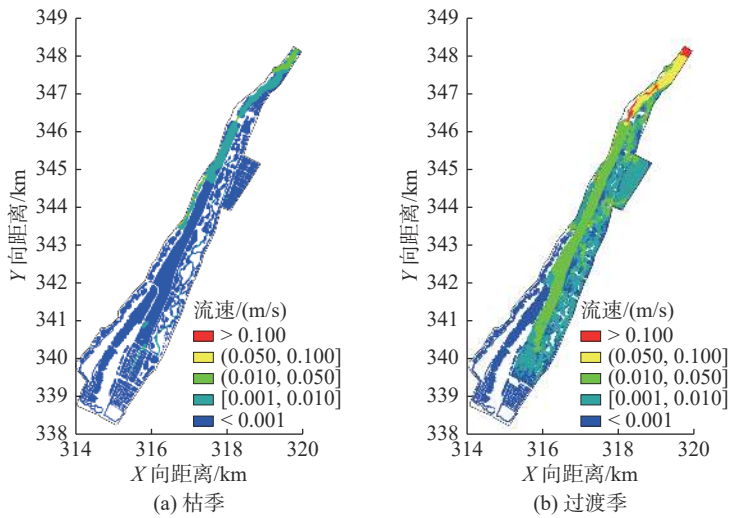


图 7 仅关闸条件下不同季节流速分布模拟结果

Fig. 7 Distribution of flow velocity in simulation results during different seasons under closed gate conditions only

表 5 仅关闸条件下不同流速区间的面积占比

Tab. 5 Proportion of area in different flow velocity ranges under gate closure conditions only

工况	流速区间/(m/s)	不同区域水面面积占比/%					
		1	2	3	4	5	6
枯季	>0.050	0	0.3	0.2	0	0	0
	(0.010, 0.050]	0	9.1	2.5	0	0	0
	(0.005, 0.010]	0	29.5	3.1	0	0	0
	[0, 0.005]	100	61.1	94.2	100	100	100
过渡季	>0.050	0	1.7	19.7	0.1	0.9	0.1
	(0.010, 0.050]	0	12.2	70.5	1.9	16.5	10.8
	(0.005, 0.010]	0	12.8	5.0	6.1	17.8	39.3
	[0, 0.005]	100	73.3	4.8	91.9	64.8	49.8

(2) 闸泵组合工况下, 枯季时(图 8(a)、表 6), 区域 1、4、5 有 10% 的区域水流速大于 0.01 m/s, 有约 75% 的区域水几乎无流动。区域 2 有超过 40% 的区域流速大于 0.01 m/s, 但有约 35% 的区域几乎无流动。区域 3 有约 20% 的区域水流速大于 0.01 m/s, 有 55% 的区域几乎无流动。区域 1、2、3、4、5 最大流速均大于 0.05 m/s, 区域 6 处于几乎静止状态。过渡季时(图 8(b)、表 6), 区域 1、4 约有 10% 的区域流速大于 0.01 m/s, 有约 80% 的区域几乎无流动。区域 2 有超过 25% 的区域流速大于 0.01 m/s, 但有约 40% 的区域几乎无流动。区域 3 水力条件相对较强, 有约 90% 的区域流速大于 0.01 m/s, 有 5% 的区域几乎无流动。区域 5 有 20% 的区域流速大于 0.01 m/s, 有约 60% 的区域几乎无流动。区域 6 有 10% 的区域流速大于 0.01 m/s, 集中在上游进口及下游出口位置, 有约 50% 的区域水几乎无流动。洪季时, 由于闸门全开, 补水泵站不开启, 不单独计算该工况。

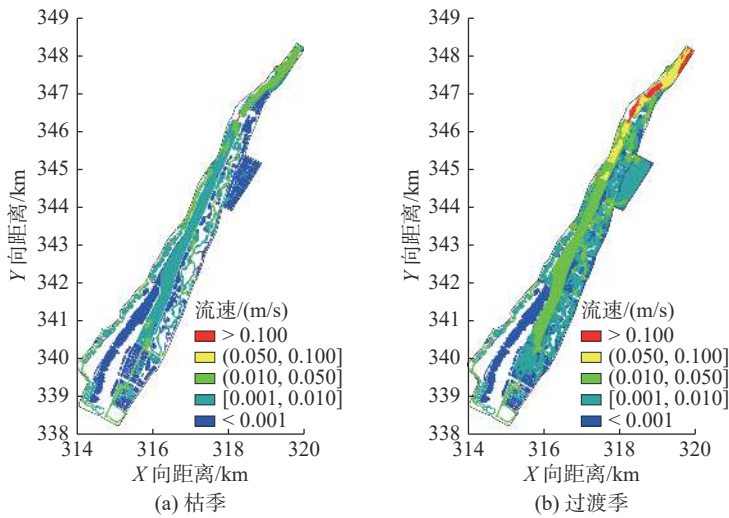


图 8 闸泵组合下不同季节流速分布模拟结果

Fig. 8 Distribution of flow velocity in simulation results during different seasons under combined gate and pump conditions

表 6 闸泵组合下不同流速区间的面积占比

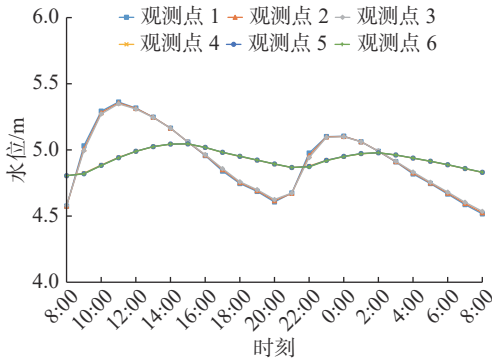
Tab. 6 The proportion of area in different flow velocity ranges under combined gate and pump conditions

工况	流速区间/(m/s)	不同区域水面面积占比/%					
		1	2	3	4	5	6
枯季	>0.050	0.1	0.9	0.6	0.2	0.4	0
	(0.010, 0.050]	10.7	40.1	19.1	10.6	9.9	0
	(0.005, 0.010]	11.4	24.6	24.9	11.2	17.0	0.1
	[0, 0.005]	77.8	34.4	55.4	78.0	72.7	99.9
过渡季	>0.050	0.1	1.8	27.6	0.9	1.0	0.1
	(0.010, 0.050]	10.9	25.1	64.6	11.1	19.0	10.2
	(0.005, 0.010]	11.3	31.1	3.2	10.8	18.6	39.0
	[0, 0.005]	77.7	42.0	4.5	77.2	61.5	50.6

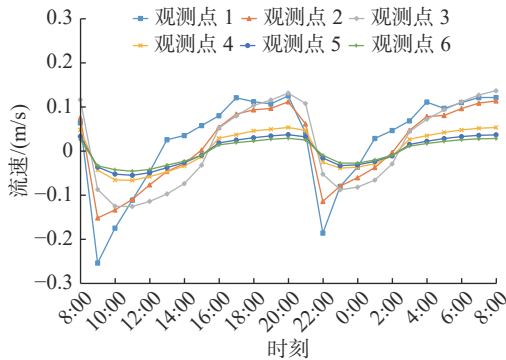
4 分析与评价

4.1 潮汐影响分析

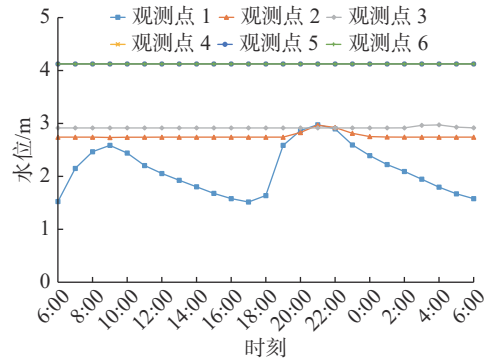
潮流流速观测点位置见图 3。根据观测结果可知, 枯季时, 长江潮差大于洪季, 但因水位较低, 涨潮流在夹江上溯过程中受两河入流顶托影响, 仅两河口下游有限范围内表现出往复流特征, 半日周期中约 1/6 时段表现为涨潮流, 流速变化明显, 最大涨潮流速接近 0.2 m/s, 其他时段表现为落潮流特性, 流速基本稳定在 0.15 m/s(图 9)。洪季时, 拟建闸址处半日周期中约 1/6 时段表现为涨潮流, 最大涨潮流速接近 0.25 m/s, 其他时段表现为落潮流特性, 最大流速为 0.12 m/s(图 10)。



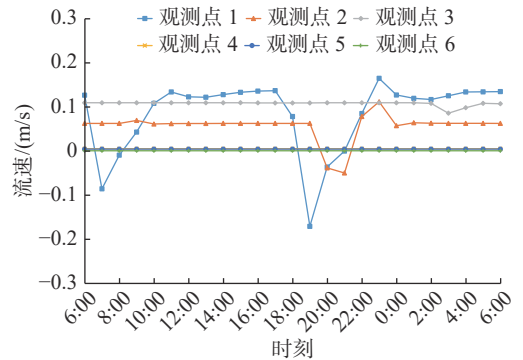
(a) 洪季大潮时不同观测点水位日周期过程



(b) 洪季大潮时不同观测点流速日周期过程



(a) 枯季大潮时不同观测点水位日周期过程



(b) 枯季大潮时不同观测点流速日周期过程

图 9 洪季大潮时不同观测点水位流速日周期过程

图 10 枯季大潮时不同观测点水位流速日周期过程

Fig. 9 The daily cycle process of water level and velocity at various observation points during the flood season and spring tide

Fig. 10 The daily cycle process of water level and velocity at different observation points during the dry season and spring tides

4.2 调度影响分析

仅闸门调度工况下,与建闸前相比,枯季水域面积大幅增加,主要集中在区域 1、4、5、6 及区域 2 上游部分,但增加水域水体几乎无流动。区域 3 受建闸影响水动力明显减弱,几乎无流动区域占比高达 95%;过渡季区域 1 的水动力没有变化,几乎无流动,区域 2、4、5 也无太大变化,区域 3 中的下游闸门对夹江的影响最大,流速大于 0.01 m/s 的区域面积由 70% 上升至约 90%,区域 6 水动力条件明显提升,几乎无流动区域占比由 50% 下降至 20%。

闸门泵站联合调度工况下,与仅建闸相比,枯季各区域流速有明显提升,几乎无流动的区域 1、4、5 中约 10% 水域流速提升至 0.01 m/s 以上,流动性较弱的区域 2、3 水体流动性有效提高,流速大于 0.01 m/s 区域面积为补水泵站运用前的 4 倍,区域 6 水体流动性无明显变化;过渡季时,原本几乎静止的区域 1 有 10% 以上区域流速大于 0.01 m/s,区域最大流速大于 0.05 m/s,区域 2 流速为 0.01~0.05 m/s 的面积由 10% 增加至 25%,主要集中在区域 2 上游,区域 3 夹江内的流速变化不大,区域 4 下游流速变化不大,但上游受补水泵站影响,部分水体流速增至 0.01 m/s 以上,区域 5、6 水体流动性无明显变化。

4.3 工程效果评价

闸门调度时可以抬高绿水湾内水位,增加水面面积,但绿水湾内部分区域流速减小。闸泵联合调度后,由于只有区域 6 没有补水口,因此相较于只开闸工况,枯季除区域 6 外,水动力条件都有明显改善。相对枯季,过渡季外江水动力条件本身较强,区域 3 和 5 与外江有水体交换,故补水效果不明显;而区域 6 没有补水口。因此,过渡季补水对区域 1、2、4 的水动力条件有较好改善效果,而对区域 3、5、6 的改善效果并不明显。

建议在枯季开启所有补水口进行生态补水,提高绿水湾各区域内水动力条件;在外江来水较多的过渡季及洪季关闭区域3及区域5的补水口。针对区域4、5生态补水难以置换到主槽外坑塘区域的情况,建议可结合湿地植被重构布置净水能力较强的挺水或沉水植物,以提高其区域水体自净能力。区域6整体水体交换能力较差,建议增设补水点,加强其水体交换能力。

5 结 语

长江南京段绿水湾湿地是感潮河段城市湿地的典型代表,现状条件下受潮汐变动水位影响存在蓄水量失调、枯季时水面面积保证率低等问题,可考虑建闸涵养水源,设置补水泵站保障湿地水体有效流动。数值模拟结果表明,闸泵联合调度后,枯季大部分区域水动力条件明显改善,但仍存在局部滞水区。针对生态补水难以置换到主槽外坑塘区域的问题,建议结合湿地植被重构布置净水能力较强的挺水或沉水植物,提高区域水体自净能力。4—5月绿水湾内上游区域的水动力条件有较好改善效果,而下游区域的改善效果并不明显。建议增设补水点,增加下游区生态水体交换能力,降低夹江及其他滞水区域的水体富营养化风险。

参 考 文 献:

- [1] 严思睿, 刘强, 孙涛, 等. 湿地生态水文过程及其模拟研究进展[J]. 湿地科学, 2021, 19(1): 98-105. (YAN Sirui, LIU Qiang, SUN Tao, et al. Research progress in wetland ecohydrological processes and their simulation[J]. Wetland Science, 2021, 19(1): 98-105. (in Chinese))
- [2] 王璨, 钱新, 高海龙, 等. 太湖地区贡湖生态修复区生态系统服务价值评估[J]. 湿地科学, 2017, 15(2): 263-268. (WANG Can, QIAN Xin, GAO Hailong, et al. Assessment of ecosystem services value of Gonghu ecological restoration area in Taihu Lake area[J]. Wetland Science, 2017, 15(2): 263-268. (in Chinese))
- [3] 王沛芳, 娄明月, 钱进, 等. 农田退水净污湿地对污染物的净化效果及机理分析[J]. 水资源保护, 2020, 36(5): 1-10. (WANG Peifang, LOU Mingyue, QIAN Jin, et al. Analysis of purification effect and mechanism of pollutant by the farmland drainage wetland[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(5): 1-10. (in Chinese))
- [4] 贾瑞鹏, 李桂秋, 窦明, 等. 生态补水对孝妇河湿地水华的预防效果模拟[J/OL]. 中国环境科学. (2023-09-13)[2023-10-24]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230908.019>. (JIA Ruipeng, LI Guiqiu, DOU Ming, et al. Simulation of the preventive effect of ecological water replenishment on hydrophobia in Xiaofu wetlands[J/OL]. China Environmental Science. (2023-09-13)[2023-10-24]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230908.019>. (in Chinese))
- [5] 张珮纶, 王浩, 雷晓辉, 等. 湿地生态补水研究综述[J]. 人民黄河, 2017, 39(9): 64-69. (ZHANG Peilun, WANG Hao, LEI Xiaohui, et al. A review of ecological water replenishment for wetlands[J]. Yellow River, 2017, 39(9): 64-69. (in Chinese))
- [6] 王凯霖, 李海涛, 吴爱民, 等. 人工补水条件下白洋淀湿地演变研究[J]. 地球学报, 2018, 39(5): 549-558. (WANG Kailin, LI Haitao, WU Aimin, et al. An Analysis of the evolution of Baiyangdian wetlands in Hebei Province with artificial recharge[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2018, 39(5): 549-558. (in Chinese))
- [7] 王璇, 谢焱, 张勇, 等. 基于水动力过程的湿地生态补水优化机制: 以北京汉石桥湿地为例[J]. 环境工程, 2023, 41(1): 61-71. (WANG Xuan, XIE Tian, ZHANG Yong, et al. Optimization of ecological water supply and long-term protection of wetland based on hydrodynamic process: a case study of Hanshiqiao Wetland in Beijing[J]. Environmental Engineering, 2023, 41(1): 61-71. (in Chinese))
- [8] 陈黎明, 陈炼钢, 李褪来, 等. 城市湿地公园生态补水调度方案对比分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(6): 162-167, 174. (CHEN Liming, CHEN Liangang, LI Tilai, et al. Comparative analysis of operation schemes for ecological water supply in urban wetland park[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(6): 162-167, 174. (in Chinese))
- [9] 王志鹏. 三江平原挠力河湿地群生态补水研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021. (WANG Zhipeng. Study on ecological water replenishment of Naoli River wetland group in Sanjiang Plain[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2021. (in Chinese))
- [10] 隗岚琳, 刘东升, 吴杰, 等. 径潮相互作用对感潮河段湿地水热盐影响的数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2023(4): 22-33.

(WEI Lanlin, LIU Dongsheng, WU Jie, et al. Numerical study on the influences of complicated hydrological processes on water, heat and salt in the tidal river wetland[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2023(4): 22-33. (in Chinese))

- [11] 刘云, 李升峰, 李沛泽. 南京市河流湿地生态健康评价与生态对策研究: 以绿水湾湿地为例[J]. *现代城市研究*, 2016(5): 10-15. (LIU Yun, LI Shengfeng, LI Peize. Ecological health assessment and bionomic strategies of riverine wetlands in Nanjing: A case research on the Lvshuiwan wetland for order[J]. *Modern Urban Research*, 2016(5): 10-15. (in Chinese))

Study on hydrodynamic simulation and improvement scheme of urban wetlands in tidal reaches

DING Lei¹, CHEN Liming², WANG Yifei¹, JIAO Jian¹

(1. *Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: Wetlands play crucial roles in carbon sequestration, oxygen release, and water conservation. Enhancing water exchange capacity is a key focus in wetland research. However, there is a relative scarcity of studies on wetland water regulation measures under varying tidal water levels. To address this gap, a two-dimensional hydrodynamic model was developed, using the Lvshuiwan Wetland in the Nanjing section of the Yangtze River as a case study. The model was employed to simulate and propose improvement strategies for urban wetlands in tidal areas. The study involved calculating the wetland flow patterns under different hydrological conditions and sluice pump scheduling schemes. It also examined the impact of tidal level changes on the hydrodynamics of Lvshuiwan Wetland, and evaluated the effectiveness of different sluice pump scheduling measures on water flow. The findings indicate that combined sluice-pump operations can significantly enhance the hydrodynamic forces in most areas during the dry season. However, certain stagnant areas, such as pits outside the main trough, require improvement in the self-purification capacity of the water through wetland vegetation reconstruction. During the months of April and May, characterized by frequent algae outbreaks, the combined operation of sluice pumps can improve the hydrodynamic conditions in the upstream area of Lvshuiwan Wetland. In the downstream area, where the improvement effect is not as pronounced, it is advisable to introduce water refill points to mitigate the risk of water eutrophication. This study provides a scientific foundation for the design, construction, and management of Lvshuiwan Wetland.

Key words: urban wetland; two-dimensional hydrodynamic model; tidal river reach; sluice and pump scheduling; ecological water replenishment