

doi:10.11988/ckyyb.20241198

2025, 42(12): 51-56

青草沙水库南侧排水对长兴岛水质的影响分析

高丽莎

(上海市水务规划设计研究院(上海市海洋规划设计研究院), 上海 200233)

摘要:为研究青草沙水库南侧排水工程建成投运对长兴岛河网水质的影响,构建了长兴岛一维河网水动力水质模型,量化分析了不同工况下工程运行对长兴岛河道水质的影响,并进一步提出了长兴岛水资源优化调度方案。结果表明:当长兴岛泵闸按日常调度时,工程的运行可将长兴岛高锰酸盐指数Ⅲ类及以上的河长占比由25%提升至35%~40%,总磷Ⅱ类及以上的河长占比由72%提升至77%~82%;西引东排方案对长兴岛河网的总磷改善效果明显优于日常调度方案,工程最大流量工况下可将长兴岛总磷Ⅱ类及以上河长占比提升至95%。

关键词:青草沙水库;排水工程;长兴岛水质;水动力水质模型;水资源调度

中图分类号:TV213.9 文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2025)12-0051-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Impact of South-side Drainage of Qingcaosha Reservoir on Water Quality of Changxing Island

GAO Li-sha

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

Abstract: [Objective] To investigate the impact of the completion and operation of the south-side drainage project of the Qingcaosha Reservoir on the water quality of the Changxing Island river network, this study quantitatively assesses the improvement effects of the project's drainage on the river network's water quality under different operating conditions. [Methods] Based on detailed fundamental data, a one-dimensional hydrodynamic and water quality model for Changxing Island was constructed, calibrated and validated using measured data. The improvement effects of the south-side drainage project on the river network water quality were quantified under different operating conditions; furthermore, a water resource scheduling approach for the Changxing Island river network was proposed and optimized under the planned scale conditions through multi-scheme comparison. [Results] The model simulation analysis showed that when the Changxing Island pump-gate system operated under routine scheduling, the project operation could increase the proportion of river length with a permanganate index of Class III and above from 25% to 35%~40%, and increase the proportion of river length with total phosphorus of Class II and above from 72% to 77%~82%. The west-to-east drainage scheme demonstrated a significantly better improvement effect on total phosphorus in the Changxing Island river network than the routine scheduling scheme. Under the maximum flow condition of the project, this scheme could increase the proportion of river length with total phosphorus of Class II and above to 95%. [Conclusion] The completion and operation of the south-side drainage project of the Qingcaosha Reservoir can effectively improve the water environment quality of Changxing Island river network. To make full use of the high-quality water resources, the west-to-east drainage scheme demonstrates a significantly better improvement effect on total phosphorus in the Changxing Island river network than the routine scheduling scheme, delivering greater environmental benefits. The research findings can provide technical support for promoting water circulation and water resource scheduling in Changxing Island.

收稿日期:2024-11-25;修回日期:2025-05-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC3206004-04);国家自然科学基金项目(42371030)

作者简介:高丽莎(1992-),女,山西运城人,工程师,硕士,主要从事平原河网地区水利规划研究工作。E-mail:gaolsgao@163.com

Key words: Qingcaosha Reservoir; drainage project; water quality of Changxing Island; hydrodynamic and water quality model; water resources scheduling

0 引言

长兴岛是上海 14 个水利分片之一,地处长江口,地势低平,四面环水,河网水系受潮汐作用和泵闸调度影响显著^[1]。现状岛内河网水系框架尚未完全形成,排水线路迂回曲折,缺少骨干排水通道,且水系联通性较差,断头浜较多,水体流动性和自净能力不足。近年来,通过工程措施和泵闸调度改善河网水动力条件,已经成为提高水环境质量的重要途径^[2-5]。胡尧文^[6]研究了引排水工程对杭嘉湖地区水动力和水环境改善的影响。陈典坤等^[7]研究了引江济太新建工程对梅梁湾水质分布的影响。黄欣^[8]和陈庆江等^[9]分别研究了上海市金山区浦南东水利片和青松水利片畅流活水水动力、水环境改善调度方案。王添等^[10]研究了平原河网水动力优化调度与水环境改善的影响关系。上述研究表明,引排水工程的实施和调度方案的优化有效改善了河网水动力条件,进而提高区域水环境质量。

青草沙水库位于长江口南北港分汉口、长兴岛西北侧,目前是上海供水规模最大、服务人口最多的饮用水水源地水库^[11]。近年来的水质监测资料显示,青草沙水库水质总体稳定在Ⅱ类,是目前上海境内水质最好的地表水水源地之一^[12]。受沿线高滩和水库管理区存在的影响,水库南侧在非咸潮期低水位运行时会出现多个低流速区,这些区域在夏季极易出现藻类聚集,进而影响水库水质^[13]。为保障水库供水安全,上海 2021 年在水库南侧新建了一座排水涵闸,将非咸潮期(每年 4—9 月份)水库下水排入长兴岛河网。一方面改善青草沙水库南侧低流速区的水动力条件,降低夏季藻类聚集风险,另一方面用于改善长兴岛河网的水环境质量。

本文以河网模型为工具,定量研究了不同工况下青草沙水库南侧排水工程对长兴岛河道水质的影响,可为长兴岛活水畅流及水资源调度等提供技术支撑。

1 区域概况

1.1 基本情况

根据《2024 上海市河道(湖泊)报告》,长兴岛水利片面积为 76.87 km²,河湖数量 218 条,河网密

度 3.24 km/km²,河湖水面率 23.35%。根据《全国重要江河湖泊水功能区划(上海部分)》,除青草沙水源一级和二级保护区水质需达到Ⅱ—Ⅲ类地表水标准外,长兴岛其他区域(本次研究范围)地表水水质标准为Ⅳ类及以上。长兴岛外围现状主要泵闸共 10 座,内河常水位一般在 2.2~2.3 m 之间。长兴岛现状河网及泵闸分布如图 1 所示。

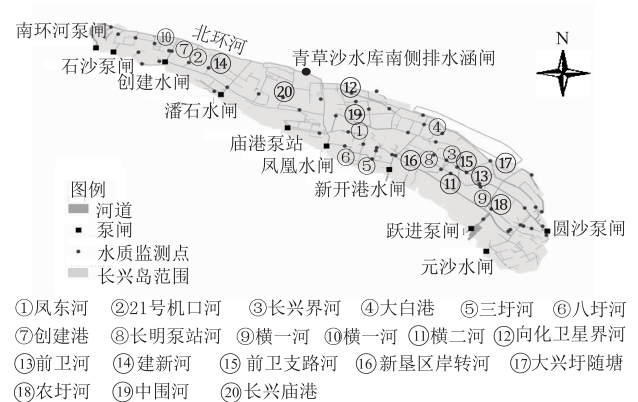


图 1 长兴岛河网及其主要泵闸分布

Fig.1 Distribution of river network and major pump-gate systems in Changxing Island

1.2 长兴岛和青草沙水质情况分析

根据《“十四五”国家地表水监测及评价方案(试行)》《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)和实际的水质资料数据,本文选取河道常规的 4 个水质指标进行分析评价,包括溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮和总磷。评价方法选用单因子评价法^[14-15]和类别比例法^[16]。通过对长兴岛 2020—2022 年每月 60 个河道水质监测数据分析可知,除 1 月份、6 月份、10 月份和 11 月份出现Ⅳ类外,其水质类别基本维持在Ⅲ类。考虑到青草沙水库在每年 4—9 月份进行换排水,故本次选取水质相对较差的 6 月份作为计算方案的代表时段,并对其各水质指标进行细化分析。长兴岛水质监测点分布如图 1 所示。

通过分析可知,长兴岛 2020—2022 年 6 月份河道水质综合评价为Ⅲ—Ⅳ类,青草沙水质为Ⅱ—Ⅲ类,水质优于长兴岛。从各监测断面水质指标来看,氨氮和溶解氧相对较优,Ⅲ类及以上占比均为 91.7%;总磷次之,Ⅲ类及以上占比均为 73.3%;高锰酸盐指数相对最差,Ⅲ类及以上占比为 25.0%,如表 1 所示。考虑到氨氮和溶解氧水质指标相对较好,本次选取高锰酸盐指数和总磷两个指标用于后续方案的计算分析。

表 1 长兴岛 2022 年 6 月各水质指标类别占比

Table 1 Proportions of water quality indicator categories in Changxing Island in June 2022 %

类别	溶解氧 DO	高锰酸盐指数 COD _{Mn}	氨氮 NH ₃ -N	总磷 TP
Ⅲ类及以上	91.7	25.0	91.7	73.3
Ⅳ—Ⅴ	8.3	75.0	8.3	26.7

2 长兴岛河网水动力水质模型构建

针对平原感潮河网地区水情、工情特征,上海市水务规划设计研究院自主研发了数字河网水动力水质模型。经过 40 多年的不断改进和完善,该模型已广泛应用于上海的防洪排涝^[17]、水环境综合整治^[18]、水资源利用与保护^[19]等方面的课题研究、规划设计以及调度管理工作中。实践表明,该模型能够真实客观地反映感潮河网在多因素影响、多动力作用下的水流运动和水质变化规律。

2.1 模型原理

2.1.1 水量基本方程

本模型水动力模块的基本方程采用圣维南方程组,数值离散采用成熟的四点线性隐式差分格式,使用矩阵标识法求解河网节点水位方程组。一维明渠非恒定流的基本方程组为

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q; \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_z + \\ g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{1.333}} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: t 为时间坐标; x 为空间坐标; Q 为流量(m^3/s); Z 为水位(m); u 为断面平均流速(m/s); n 为糙率系数; A 为过流断面面积(m^2); B 为主流断面宽度(m); R 为水力半径; q 为旁侧入流流量(m^3/s); B_w 为水面宽度(包括主流宽度 B 及起调蓄作用的附加水面宽度)。

2.1.2 水质基本方程

水质模型基本方程采用物质输移的对流扩散方程,数值离散方程采用成熟的有限体积法幂函数格式进行离散,联立方程求解。水质基本方程为

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(AUC)}{\partial x} = \frac{\partial(AE_x \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} - KAC + S_r \frac{A}{h} + \frac{dS}{dx} \quad (2)$$

式中: C 为污染物质的断面平均浓度; U 为断面平均流速; E_x 为纵向分散系数; S 为外部源(汇)项(包含

市政泵站放江的污染以及调蓄支河的流入和流出); K 为污染物降解系数; t 为时间坐标; S_r 为底泥释放系数。

2.2 模型构建

2.2.1 河网概化

本次河网模型的构建范围为整个长兴岛水利片,其河道主要包括横河、北环河和南环河等 7 条骨干河道、36 条支级河道以及 8 个湖泊。按照概化河网输水能力和调蓄能力与实际情况一致的原则,模型中概化河网包括了全部骨干、支级河道和湖泊,并按照长兴岛的水面率对模型进行了校核。本河网模型共包含河道 192 条段,水工建筑物(泵、闸、涵等) 16 个,具体情况如图 2 所示。

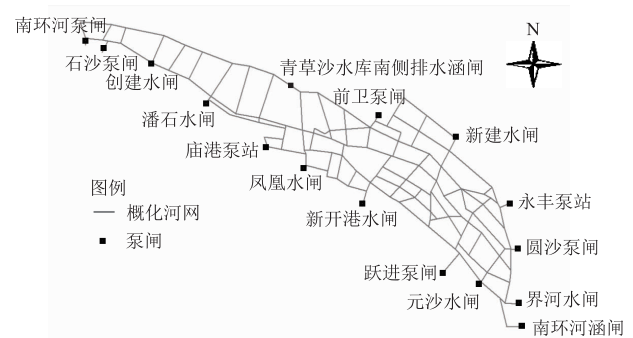


图 2 长兴岛河网概化

Fig.2 Generalized river network of Changxing Island

2.2.2 率定验证

本文选用 2022 年 6 月长兴岛的水质监测数据对模型进行了率定验证。经过率定,模拟计算水质与实测水质的变化趋势基本一致,如图 3 所示,高锰酸盐指数和总磷平均误差 $<15\%$ 。总体来看,模型误差较小,可用来模拟研究区域的水动力和水质变化规律。

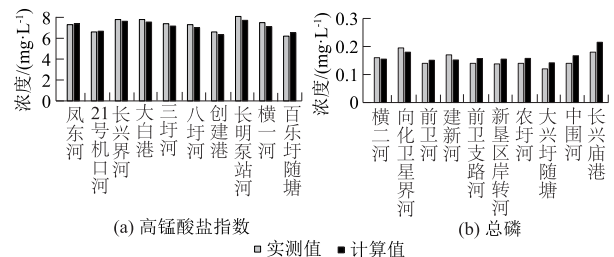


图 3 2022 年长兴岛水质率定验证结果

Fig.3 Calibration and validation results of water quality of Changxing Island in 2022

3 青草沙水库南侧排水对长兴岛水质的影响分析

3.1 现状调度

根据《上海市水利控制片水资源调度方案》(沪水务[2020]74号),长兴岛现状活水畅流的调度方

式为“引排有序,合理控制”。具体实施细则为:南环河泵闸、新开港水闸、跃进泵闸、元沙水闸,隔天至少引水一潮;创建水闸、潘石水闸、圆沙泵闸,隔天至少排水一潮;凤凰水闸可引可排;汛期面平均控制水位2.0~2.3 m。

3.2 方案设计

在青草沙水库南侧增设排水口后,排水主要通过北环河进入长兴岛现状河网。本次在现状河道达到规划规模条件下,共设计 8 个方案。其中方案 0—方案 3 均为现状工况,即长兴岛外围泵闸采用日常活水畅流调度方式,青草沙南排涵闸流量分别为 0、2、4、6 m³/s 进行排水;方案 4—方案 7 考虑充分利用优质水资源,即长兴岛采取西引东排的调度方式(凤凰水闸以西的泵闸以引水为主,以东的泵闸以排水为主),青草沙南排涵闸流量分别为 0、2、4、6 m³/s 进行排水。

3.3 结果分析

3.3.1 水动力结果分析

水位和流速是影响河道岸坡安全的重要因素^[20-21]。为保证排水安全,本次按青草沙排水口排入北环河的水位不超过最高控制水位2.7 m、河道断面平均流速小于不冲流速0.6 m/s 进行控制,计算结果如表 2 所示。通过分析可知,随着青草沙南侧排水流量逐渐增加,所排河道的最大流速、最高水位、平均水位以及长兴岛面平均水位均呈现逐渐增加的

趋势:①骨干和支级河道平均流速增幅为0.01~0.02 m/s,平均水位增幅为0.01~0.07 m;②长兴岛面平均水位略有增加,增幅为0.01~0.06 m。但所排河道(北环河)最大流速为0.59 m/s,最高水位为2.69 m,均未超过控制要求。

3.3.2 水质改善效果分析

通过计算分析,随着青草沙南排涵闸流量逐渐增大(0、2、4、6 m³/s),长兴岛水质呈现逐渐变好的趋势,见表 3。

对比方案 0—方案 3 可知,当长兴岛泵闸按日常调度时,青草沙水库南侧排水工程的运行可将长兴岛高锰酸盐指数Ⅲ类及以上的河长占比由 25% 提升至 35%~40%,总磷Ⅱ类及以上的河长占比由 72% 提升至 77%~82%;骨干和支级河道高锰酸盐指数Ⅲ类及以上的河长占比分别由 16% 提升至 21%~24%、由 9% 提升至 14%~16%,骨干河道总磷变化不大,支级河道总磷Ⅱ类及以上的河长占比由 36% 提升至 41%~46%。对比方案 4—方案 7 可知,当长兴岛泵闸采取西引东排调度时,青草沙水库南侧排水工程的运行可将长兴岛高锰酸盐指数Ⅲ类及以上的河长占比由 23% 提升至 32%~41%,总磷Ⅱ类及以上的河长占比由 79% 提升至 84%~95%;骨干河道和支级河道高锰酸盐指数Ⅲ类及以上的河长占比分别由 13% 提升至 19%~24%、由 10% 提升至 13%~17%,总磷Ⅱ类及以上的河长占比分别由

表 2 水动力计算结果

Table 2 Hydrodynamic calculation results

方案号	北环河			骨干河道(含北环河)		支级河道		长兴岛面
	最大流速/ (m·s ⁻¹)	最高水位/ m	平均水位/ m	平均流速/ (m·s ⁻¹)	平均水位/ (m·s ⁻¹)	平均流速/ (m·s ⁻¹)	平均水位/ (m·s ⁻¹)	平均水位/ m
0	0.51	2.52	2.30	0.13	2.31	0.07	2.32	2.32
1	0.54	2.55	2.31	0.13	2.32	0.07	2.34	2.33
2	0.55	2.57	2.33	0.13	2.33	0.07	2.35	2.34
3	0.57	2.59	2.34	0.14	2.35	0.08	2.36	2.36
4	0.57	2.48	2.26	0.14	2.23	0.08	2.23	2.23
5	0.58	2.53	2.28	0.15	2.26	0.08	2.26	2.26
6	0.58	2.6	2.31	0.15	2.27	0.08	2.27	2.27
7	0.59	2.69	2.42	0.15	2.38	0.08	2.39	2.38

表 3 水质计算结果

Table 3 Water quality calculation results

方案号	长兴岛				骨干河道				支级河道			
	高锰酸盐指数水质类别河长占比		总磷水质类别河长占比		高锰酸盐指数水质类别河长占比		总磷水质类别河长占比		高锰酸盐指数水质类别河长占比		总磷水质类别河长占比	
	Ⅲ类及以上	Ⅳ类	Ⅱ类及以上	Ⅲ类	Ⅲ类及以上	Ⅳ类	Ⅱ类及以上	Ⅲ类	Ⅲ类及以上	Ⅳ类	Ⅱ类及以上	Ⅲ类
0	25	75	72	28	16	30	36	9	9	45	36	19
1	35	65	77	23	21	25	36	9	14	40	41	14
2	39	61	79	21	24	22	36	9	15	39	43	12
3	40	60	82	18	24	22	36	9	16	38	46	9
4	23	77	79	21	13	33	39	6	10	44	40	15
5	32	68	84	16	19	27	42	3	13	41	42	13
6	38	62	94	8	24	22	44	1	14	40	50	7
7	41	59	95	7	24	22	44	1	17	37	51	6

39%提升至 42%~44%、由 40%提升至 42%~51%。由此可见,青草沙水库南侧排水工程的运行可以有效改善长兴岛河网的水环境质量。现状方案(方案 0)和优化方案(方案 7)高锰酸盐指数和总磷分布分别如图 4 和图 5 所示。

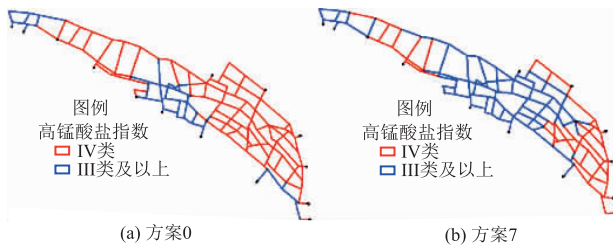


图 4 长兴岛现状方案和优化方案下高锰酸盐指数分布

Fig.4 Comparison of permanganate index between current scheme and optimized scheme

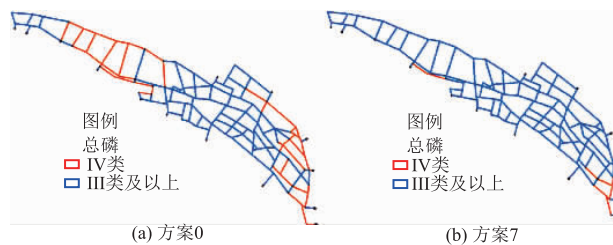


图 5 长兴岛现状方案和优化方案下总磷分布

Fig.5 Comparison of total phosphorus distribution between current scheme and optimized scheme

通过方案 0 和方案 4、方案 1 和方案 5、方案 2 和方案 6、方案 3 和方案 7 两两对比可知,现状调度方案与西引东排方案下的高锰酸盐指数改善效果相差不多,但是西引东排方案总磷改善效果明显优于现状调度方案。方案 7 可将长兴岛总磷 II 类及以上占比提升至 95%,基本实现全岛河网水质达到 II 类及以上。由此可见本文提出的西引东排方案对于长兴岛河网的水质改善是有利的。

4 结论与建议

本文利用构建的长兴岛一维水动力水质模型,量化分析了不同工况下青草沙南侧排水工程排水对长兴岛河网水质的改善效果,主要结论及建议如下:

(1) 青草沙水库南侧排水工程的建成投运可有效改善长兴岛河网的水环境质量。当长兴岛泵闸按日常调度时,工程的运行可将长兴岛高锰酸盐指数 III 类及以上的河长占比由 25% 提升至 35%~40%,总磷 II 类及以上的河长占比由 72% 提升至 77%~82%;当长兴岛泵闸采取西引东排调度时,工程的运行可将长兴岛高锰酸盐指数 III 类及以上的河长占比由 23% 提升至 32%~41%,总磷 II 类及以上的河长占比由 79% 提升至 84%~95%。

(2) 为充分利用优质水资源,本文在日常调度方案基础上,提出了西引东排方案。经过对比分析,西引东排方案对长兴岛河网的总磷改善效果明显优于日常调度方案,青草沙水库南侧排水工程最大流量工况可将长兴岛总磷 II 类及以上河长占比提升至 95%。

(3) 长兴岛内河网水系框架尚未完全形成,需进一步加强区域内横河、南环河、双孔水闸河等主要河道连通工程建设,保证水系畅通,提高水体流动性和自净能力。

(4) 青草沙水库南侧排水工程建设投运后,北环河河道流速有所增大,建议加强排水期间河道的巡查工作,确保河道岸坡稳定性和安全性。

参考文献 (References):

- [1] 阮仁良.平原河网地区水资源调度改善水质的机理和实践研究:以上海市水资源引清调度为例[D].上海:华东师范大学,2003.(RUAN Ren-liang. Study on Mechanism and Practice of Improving Water Quality by Water Resources Diversion in Plain River-net Areas[D]. Shanghai: East China Normal University, 2003.(in Chinese))
- [2] 陈进.严重干旱情景下长江水资源调控与管理[J].长江科学院院报,2023,40(3):1-5.(CHEN Jin. Regulation and Management of Water Resources in the Changjiang River under Severe Drought Scenarios[J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2023, 40(3): 1-5.(in Chinese))
- [3] 杨芬,魏尊莉,刘军梅,等.基于 SWMM 和 MIKE11 的改善雨后城市河湖水质优化调度方案研究[J].水利水电技术(中英文),2021,52(7):73-84.(YANG Fen, WEI Zun-li, LIU Jun-mei, et al. Study on Optimal Water Dispatching Plan for Improving Urban River and Lake Water Quality after Rainfall Based on SWMM and MIKE11[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(7): 73-84.(in Chinese))
- [4] 唐海华,李琪,黄璠瑶,等.流域洪水调控计算的组态耦合技术与应用[J].长江科学院院报,2021,38(8):146-150.(TANG Hai-hua, LI Qi, HUANG Li-yao, et al. Control Regulation Calculation for Basin Flood: Configuration Coupling Technique and Application[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(8): 146-150.(in Chinese))
- [5] 蒋建灵.杭州江北主城区排涝格局优化研究[J].长江科学院院报,2021,38(7):42-45.(JIANG Jian-ling. Optimizing Drainage Pattern in Jiangbei Urban District of Hangzhou[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(7): 42-45.(in Chinese))
- [6] 胡尧文.杭嘉湖地区引排水工程改善水环境效果分析[D].杭州:浙江大学,2010.(HU Yao-wen. Analysis of the Effects of Water Diversion Works for Water Environment Improvement in the Hangjiahu District[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.)

- gzhou: Zhejiang University, 2010.(in Chinese))
- [7] 陈典坤,杨 显.“引江济太”新建工程对梅梁湾总磷总氮分布的影响[J].净水技术,2022,41(2):34-39,110.(CHEN Dian-kun, YANG Xian. Influence of the Newly-built Project of “Yangtze River-Taihu Lake Water Diversion” on TP and TN Distribution in Meiliang Bay[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 34-39, 110.(in Chinese))
- [8] 黄 欣.基于数学模型的感潮河网水环境改善方案研究:以上海市金山区浦南东片为例[J].四川环境,2024,43(1):86-93.(HUANG Xin. Research on Improvement of Water Environment in Tidal River Network Area Based on Mathematical Model—Taking Punandong Area in Jinshan District, Shanghai City as an Example[J]. Sichuan Environment, 2024, 43(1): 86-93.(in Chinese))
- [9] 陈庆江,丁 瑞,赵 海.平原河网区活水畅流对水动力和水质的改善效果[J].水利水电科技进展,2020,40(3):8-13.(CHEN Qing-jiang, DING Rui, ZHAO Hai. Improvement Effect of Hydrodynamics and Water Quality by Flowing Water in Plain River Network Area[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(3): 8-13.(in Chinese))
- [10] 王 添,侯精明,栾广学,等.平原河网水动力优化调度与水环境改善的响应关系研究[J].水力发电学报,2024,43(8):98-111.(WANG Tian, HOU Jing-ming, LU-AN Guang-xue, *et al.* Study on Response Relationship between Hydrodynamic Optimization Scheduling and Water Environment Improvement in Plain River Networks [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2024, 43(8): 98-111.(in Chinese))
- [11] 田宗伟.青草沙水库:国内外最大的河口江心避咸蓄淡水水库[J].中国三峡,2018(2):64-67.(TIAN Zong-wei. Qingcaosha Reservoir: The Largest Reservoir in the Estuary and River Center at Home and Abroad to Avoid Salt and Store Light[J]. China Three Gorges, 2018(2): 64-67.(in Chinese))
- [12] 朱宜平.近十年来青草沙水库取水口水质变化趋势分析[J].华东师范大学学报(自然科学版),2022(3):50-60.(ZHU Yi-ping. Analysis of Changes in Water Quality at the Qingcaosha Reservoir Water Intake over a Period of 10 Years[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2022(3): 50-60.(in Chinese))
- [13] 陆姗姗.青草沙水库尾水改善长兴岛水系水动力分析[J].水利技术监督,2024,32(3):247-252.(LU Shan-shan. Exploration on Improving Hydrodynamic Situation of Changxing Island Water System with Tail Water of Qingcaosha Reservoir[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2024, 32(3): 247-252.(in Chinese))
- [14] 丛 铭,阳 辉,张晓静,等.单因子法与可变模糊法在水质评价中的应用[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(4):720-728.(CONG Ming, YANG Hui, ZHANG Xiao-jing, *et al.* Application of Single Factor Method and Fuzzy Variable Method in Water Quality Assessment[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(4): 720-728.(in Chinese))
- [15] 袁小梦,李 涛,孙 超,等.城市景观水体水质时空分布特征及其评价方法适用性研究[J].人民黄河,2024,46(9):144-149.(YUAN Xiao-meng, LI Tao, SUN Chao, *et al.* Study on the Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Urban Landscape Water Quality and the Applicability of Evaluation Methods[J]. Yellow River, 2024, 46(9): 144-149.(in Chinese))
- [16] 中国环境监测总站.十三五时期国家地表水环境质量评价技术要求[M].北京:中国环境出版集团有限公司,2022.(China National Environmental Monitoring Centre. Technical Requirements for National Surface Water Environmental Quality Assessment During the 13th Five Year Plan Period[M]. Beijing: China Environment Publishing Group Co., Ltd., 2022.(in Chinese))
- [17] 丁国川.上海西部地区“烟花”台风期间高水位成因分析与对策[J].长江科学院院报,2024,41(11):95-101.(DING Guo-chuan. Cause Analysis and Countermeasures of High Water Level during “Fireworks” Typhoon in Western Shanghai [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2024, 41(11): 95-101.(in Chinese))
- [18] 丁国川.上海市沿海地区排水口门工程规模论证[J].水利水电快报,2024,45(10):68-73.(DING Guo-chuan. Demonstration of Drainage Gate Project Scale in Coastal Area in Shanghai City [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2024, 45(10): 68-73.(in Chinese))
- [19] 高丽莎,高程程,汪 涛.基于精细化河网水动力模型的长宁区除涝能力评估[J].水资源保护,2021,37(5):62-67.(GAO Li-sha, GAO Cheng-cheng, WANG Tao. Assessment of Waterlogging Control Capacity in Changning District Based on Refined River Network Hydrodynamic Model [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5): 62-67.(in Chinese))
- [20] 刘中峰,黄本胜,刘 达,等.合理确定排涝泵站规模的感潮河道模型试验研究[J].长江科学院院报,2024,41(4):23-28.(LIU Zhong-feng, HUANG Ben-sheng, LIU Da, *et al.* Physical Model Test on the Scale of Drainage Pump Station on Tidal River [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2024, 41(4): 23-28.(in Chinese))
- [21] 吕庆标,岳红艳,朱勇辉,等.水位变化速率对河道崩岸的影响[J].长江科学院院报,2021,38(5):11-16.(LÜ Qing-biao, YUE Hong-yan, ZHU Yong-hui, *et al.* Influence of Water Level Change Rate on Riverbank Collapse [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(5): 11-16.(in Chinese))