

Water System Connection Plan in the Main Urban Area of Jiangyin City

Mojie Guo^{1*}, Lingkai Sun², Junrong Shao², Congling Wu², Xin Liu², Zhenyu Luan³

¹China Construction Water and Environment Co., Ltd., Beijing

²Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan Hubei

³Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

Email: 17050995@qq.com, sunlingkai@cjwsjy.com.cn, shaojunrong@cjwsjy.com.cn, wuconglin@cjwsjy.com.cn, liuxin@cjwsjy.com.cn, zyluan@nhri.cn

Received: Jul. 22nd, 2020; accepted: Aug. 6th, 2020; published: Aug. 13th, 2020

Abstract

The rivers and lakes in the main urban area of Jiangyin City are severely segmented, and the interconnection of the water system is generally poor. The existing water system interconnection project has a limited improvement effect on the west side of the main urban area. In this study, the Yangtze River is the main water source, and a systematic water system interconnection plan is formulated based on the basic idea of "divert water externally from Yangtze River and built active water system internally". One dimensional river network mathematical model is constructed for the main urban area of Jiangyin City, which is designed to analyze the hydrodynamic improvement effect after the implementation of water system interconnection project. It is shown that after the implementation of the water system interconnection plan, the increase in the velocity of main channels is between 0.01 and 0.1 m/s, and the effect of water system interconnection on the hydrodynamic improvement is obvious. At the same time, 83% of main channels have a flow rate higher than 0.05 m/s, which satisfy the requirements of water system interconnection target.

Keywords

Water System Interconnection, River Network Model, Effect Analysis

江阴市主城区水系连通方案研究

国墨杰^{1*}, 孙凌凯², 邵军荣², 吴从林², 刘鑫², 栾震宇³

¹中建水务环保有限公司, 北京

²长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉

³南京水利科学研究所, 江苏 南京

作者简介: 国墨杰(1983-), 男, 学士, 工程师, 主要从事水利工程规划、土木工程研究。

*第一作者。

Email: 17050995@qq.com, sunlingkai@cjwsjy.com.cn, shaojunrong@cjwsjy.com.cn, wuconglin@cjwsjy.com.cn, liuxin@cjwsjy.com.cn, zyluan@nhri.cn

收稿日期: 2020年7月22日; 录用日期: 2020年8月6日; 发布日期: 2020年8月13日

摘要

江阴市主城区河湖水系割裂严重,水系连通性整体较差,现有水系连通工程仅对主城区西侧有有限的改善效果。本研究以长江为主水源地,基于“外引长江、内活水系”的基本思路,制定了系统的水系连通方案,构建了江阴市主城区一维河网数学模型,分析了水系连通工程实施后水动力改善效果。经分析,水系连通方案实施后,骨干河道流速增了0.01~0.1 m/s,水系连通对水动力改善效果明显,同时骨干河道流速大于0.05 m/s的河道占比83%,满足水系连通目标要求。

关键词

水系连通, 河网模型, 效果分析

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

城区水环境治理是一项复杂、综合的系统性工程,措施体系涵盖控源截污、生态修复、水系连通、智慧管控等方面。控源截污、减少入河污染物是开展水环境治理的前提,在当前控源截污难以快速显效的情况下,开展河湖水系连通,从而改善水动力条件,提高水环境容量,是改善河湖水环境的有力措施之一。高强等[1]分析了感潮河湖水系连通对水环境的改善效果。崔广柏等[2]以引水实验与水量水质模型作为研究手段,分析了平原河网区水系连通对水环境的改善效果。杨卫等[3]采用数学模型评估了水系连通方案下湖泊群改善效果。黄慧群等[4]建立了水动力-水质耦合数学模型,揭示了水动力与水环境的变化响应关系。潘剑光等[5]提出以提升河流水动力条件和入河污染负荷削减为基础的水环境治理思路,实现水系水质的整体提升。现有研究重点关注水系连通效果分析,忽视了水系连通方案的制定。

江阴市水系发达,水网密布,水域面积占市域面积的 17.8%,是典型的江南水乡。改革开放以来,在城市建设快速扩张过程中,污染排放总量过大,加之受长江潮位顶托影响,水体流动性差,自净能力弱,水质普遍较差,水质型缺水成为江阴可持续发展的软肋,亟需开展水环境治理工作。为改善河道水环境,江阴市政府在加大控源截污治理力度的同时,因地制宜开展了河道整治并加强水系连通。鉴于现有水系连通性较差、水系连通工程对水质改善效果不明显,本研究基于“外引长江、内活水系”的基本思路,制定了系统的水系连通方案,促进江阴市主城区畅流活水,从而改善河道水环境,恢复河道水生态。

2. 水系连通现状及存在问题

2.1. 水系现状及问题

江阴市主城区位于澄江街道,北至长江,西至老夏港河,东到白屈港,南与南闸街道、云亭街道等接壤,

面积 76.95 km²。城区河网密布，有锡澄运河、白屈港等 53 条河道以及望江公园景观湖、黄山湖等 8 个湖泊(图 1)，现状骨干河道呈“三横三纵”格局，“三横”为西横河、东横河和应天河，“三纵”为老夏港河、锡澄运河和白屈港。现有“三横三纵”河道将主城区分为 5 个排水片区，南北向河道为排涝河道，东西向河道起沟通水系的功能。根据调查，现有河湖水系割裂严重，目前存在 28 条断头浜和 2 条死浜，水系连通性整体较差，水系连通性情况详见表 1。

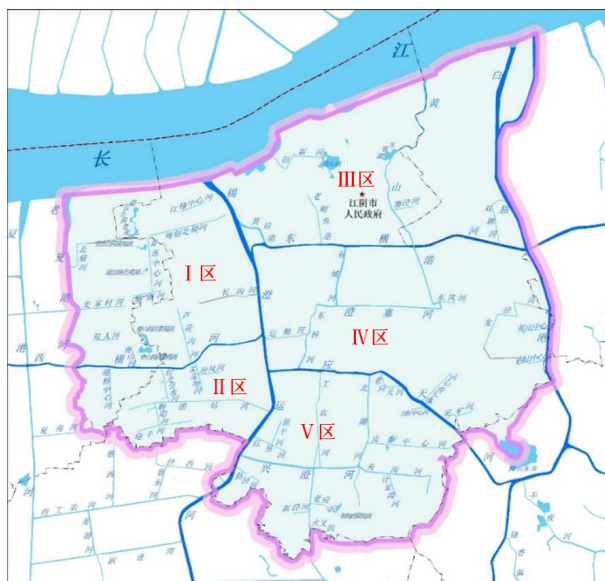


Figure 1. Water system in main urban area of Jiangyin City
图 1. 江阴市主城区水系现状图

Table 1. River interconnection of 53 rivers in main urban area of Jiangyin City

表 1. 江阴市主城区 53 条主要河道连通现状

编号	河道名称	河长(km)	连通性	编号	河道名称	河长(km)	连通性
1	锡澄运河	7.746	好	29	澄塞河	2.777	好
2	老夏港河	4.201	好	30	东城河	1.383	好
3	江锋中心河	0.565	死浜	31	龙泾河	2.413	好
4	北横河	1.914	好	32	绮山中心河	0.648	好
5	规划北横河	1.364	死浜	33	运粮河	0.990	好
6	普惠中心河	2.360	断头浜	34	东转河	1.579	好
7	史家村河	1.020	断头浜	35	东风河	0.349	断头浜
8	南新河	1.030	断头浜	36	祁山中心河	0.641	断头浜
9	芦花沟河	1.320	断头浜	37	璜大中心河	0.512	断头浜
10	长沟河	0.361	断头浜	38	采矿河	0.762	断头浜
11	双人河	0.530	断头浜	39	应天河	4.975	好
12	青山河	0.451	断头浜	40	工农河	3.577	好
13	西横河	4.444	好	41	北潮河	3.006	断头浜
14	葫桥中心河	0.948	断头浜	42	皮弄中心河	2.240	好
15	朱家坝河	0.795	好	43	兴澄河	2.701	好
16	迎风河	0.485	断头浜	44	夹沟河	2.051	断头浜
17	红光引水河	0.778	好	45	计家湾河	0.549	断头浜
18	朝阳河	0.511	好	46	红星河	0.819	断头浜

Continued

19	迎丰河	1.230	断头浜	47	新丰河	0.577	断头浜
20	团结河	3.216	断头浜	48	斜泾河	0.313	断头浜
21	白屈港	7.805	好	49	老应浜	0.509	断头浜
22	黄山港	6.382	好	50	新泾河	0.360	断头浜
23	创新河	1.465	好	51	火叉浜	0.494	断头浜
24	老鲋鱼港	1.175	断头浜	52	老应天河	0.726	断头浜
25	秦泾河	0.475	断头浜	53	立新中心河	0.385	断头浜
26	双牌河	1.311	好				
27	黄田港	0.964	好				
28	东横河	6.545	好				

2.2. 水系连通工程现状及问题

江阴市于 2001 年启动建设黄山港调水工程[6]，该调水工程利用黄山港闸站从长江引水(8 m³/s)，入黄山港河道北段，并通过东横河水立交工程，或直接进入东横河，或从河底箱涵穿越东横河到达黄山港河道南段，而后流入澄塞河、东转河、运粮河、应天河等河道，从而改善河道水质。2006 年实施完成了白屈港调水工程(80 m³/s)，该工程基于以动治静、以丰补枯理念，利用已建白屈港引排条件，通过白屈港泵站调引长江水，促进澄东地区河网畅流活水。考虑到现有白屈港泵站调水规模不足，而锡澄运河扩大北排工程建设期较长，2019 年实施了大河港泵站工程(30 m³/s)，利用大河港泵站对白屈港补水，进而及早提高白屈港引水流量。当前，江阴市正在实施锡澄运河扩大北排工程，拓浚老锡澄运河并在长江边老锡澄运河口新建定波枢纽，其中包括双向泵站锡澄运河泵站，设计流量为 120 m³/s(双向泵站，3 用 1 备)。锡澄运河泵站的规划建设为进一步提升锡澄片引江能力创造了条件，建成后将成为江阴市主要补水通道。江阴市水系连通工程实施情况见表 2。

除黄山港调水工程外，现有活水工程主要是补给无锡市区及澄东地区，水体不进入江阴市主城区，对江阴市主城区河道无改善作用。而黄山港调水工程由于引水量较小(8 m³/s)，仅对主城区西侧有有限的改善效果。

Table 2. The implementation of water system interconnection project

表 2. 水系连通工程实施情况表

编号	建设时间	工程名称	建设内容
1	2001	黄山港调水工程	新建黄山港泵站(8 m ³ /s)，向黄山港、东横河、澄塞河、东转河、运粮河、应天河等河道补水
2	2006	白屈港调水工程	新建白屈港泵站(80 m ³ /s)，通过白屈港泵站调引长江水，促进澄东地区河网畅流活水。
3	2019	大河港泵站工程	新建大河港泵站(30 m ³ /s)，向白屈港补水
4	2019	锡澄运河扩大北排工程(正在实施)	拓浚老锡澄运河、新建定波枢纽(包括双向泵站锡澄运河泵站 120 m ³ /s)，提升锡澄片引江能力

3. 水系连通方案研究

3.1. 研究原则

1) 统筹兼顾，服务大局

统筹流域、区域、城区各层面的水安全与水环境，兼顾全面和重点、当前和长远，科学谋划江阴市主城区水系连通方案。牢固树立服务经济社会发展大局意识，在确保防洪排涝安全的前提下，统筹引水与排水，促进江阴市水利与流域和区域协调发展。

2) 协调共享，适度新建

在工程总体目标实现前提下，本着“协调共享”的理念，利用已建的水系连通工程，充分发挥已建工程的综合效益，从节约投资角度适度新建必要的水系连通工程。

3) 建管并重，规范管理

工程建设与规范管理并重，工程措施和非工程措施并举。统筹已建和新建的水利工程，科学调配，统一调度，确保发挥工程最佳效益。

3.2. 研究目标

在充分识别城区水系连通问题基础上，围绕水系连通目标要求，加强生态环境补水，推进水系连通畅流活水，从而有效改善河道水环境，恢复河道水生态。到 2025 年，主城区骨干河网平均流速 $\geq 5 \text{ cm/s}$ 的河道占比不小于 80%。

3.3. 研究思路

本次研究遵循“问题分析 - 目标确定 - 方案制定 - 效果分析”的总体研究思路，即在深入调研江阴市主城区水系连通现状，收集区域自然地理、水文气象、河湖水系、社会经济等基本资料基础上，识别江阴市主城区水系连通方面存在的问题。结合《江阴市主城区防洪除涝规划(2017)》、《无锡市锡澄片骨干河网畅流活水规划(2018年)》等相关文件要求，合理确定水系连通目标。依托流域、区域水文水力资料，宏观确定引排格局，基于“外引长江、内活水系”的基本思路，制定水系连通方案。综合考虑水系布局的调整、水系结构的完整性、水体流向的合理性，构建水动力模型，利用率定验证后的水动力模型分析水动力改善效果及水系连通目标可达性。

3.4. 方案制定

本研究以长江为主水源地，基于“外引长江、内活水系”的基本思路，制定了水系连通方案。“外引长江”是在保留原有黄山港引水方案基础上(8 m³/s)，新增 3 条活水方案，利用新建望江公园北闸站-泵站、龙泾河引水泵站以及红星河引水泵站直接或间接从长江引水，从而增加河网水环境容量；“内活水系”则在城区“三横三纵”水系格局基础上，合理布局明渠、管涵沟通水系，充分利用现有闸站工程，科学布局闸站建设工程，优化城区内部水系沟通，增加水体调蓄能力，改善水动力，提高水体复氧能力与自净能力。水系连通方案详见表 3 和图 2。

Table 3. The interconnection plan of water system in main urban area of Jiangyin City

表 3. 江阴市主城区水系连通方案表

序号	类型	水系连通方案
1	外引长江方案	长江/澄西污水处理厂 - 望江公园景观湖 - 普惠中心河/北横河/规划北横河/滨江路南侧明渠
2		白屈港 - 龙泾河 - 绮山中心河 - 白屈港
3		锡澄运河 - 红星河 - 兴澄河
4		南新河 - 史家村河 - 老夏港河
5		普惠中心河 - 芦花沟河 - 西横河
6		芦花沟河 - 长沟河 - 锡澄运河
7		西横河 - 青山河/双人河
8	内活水系方案	西横河 - 葫桥中心河 - 西横河
9		西横河 - 朱家坝河 - 团结河
10		黄山湖 - 创新河 - 长江
11		东横河 - 老鲋鱼港 - 东横河
12		黄山港 - 秦泾河 - 黄山港
13		应天河 - 老应天河 - 应天河

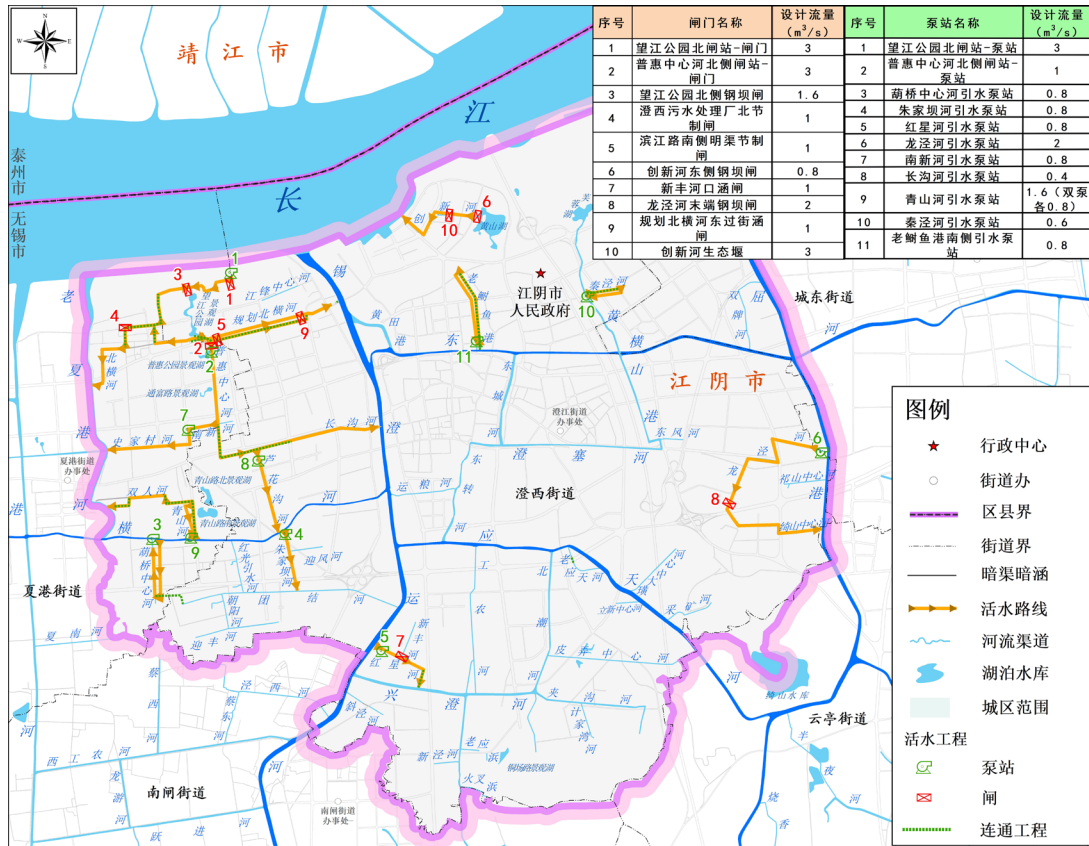


Figure 2. The interconnection plan of water system in main urban area of Jiangyin City
图 2. 江阴市主城区水系连通方案图

4. 水系连通数学模型

4.1. 模型建立

本研究构建江阴市主城区一维河网数学模型，控制方程组为：

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(a \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 A \cdot R} = 0 \end{cases}$$

式中： x 为距离(主河道流向方向)(m)； t 为时间的坐标(s)； A 为过水断面面积(m²)； Q 为流量(m³)； h 为水位(m)； q 为旁侧入流流量(m²/s)； C 为谢才系数(无量纲常数)； R 为水力半径(m)； a 为动量校正系数； g 为重力加速度(m/s²)。

方程组采用 Abbott 六点中心隐式差分格式进行离散，形成一系列隐式差分方程组，再用追赶法求解。

4.2. 模型范围

本研究将江阴市主城区河流概化为 45 条河道、3430 个断面，所涉及的河道有新沟河、新夏港河、老夏港河、锡澄运河、白屈港、张家港、北横河、西横河、东横河、团结河、工农河、跃进河、黄昌河、环山河、黄山港、澄塞河、应天河等干支河流。江阴市主城区为平原河网区，根据河道连通情况，模型计算范围往外扩展到新沟河、张家港，见图 3。河道地形采用 2019 年实测河道大断面数据。

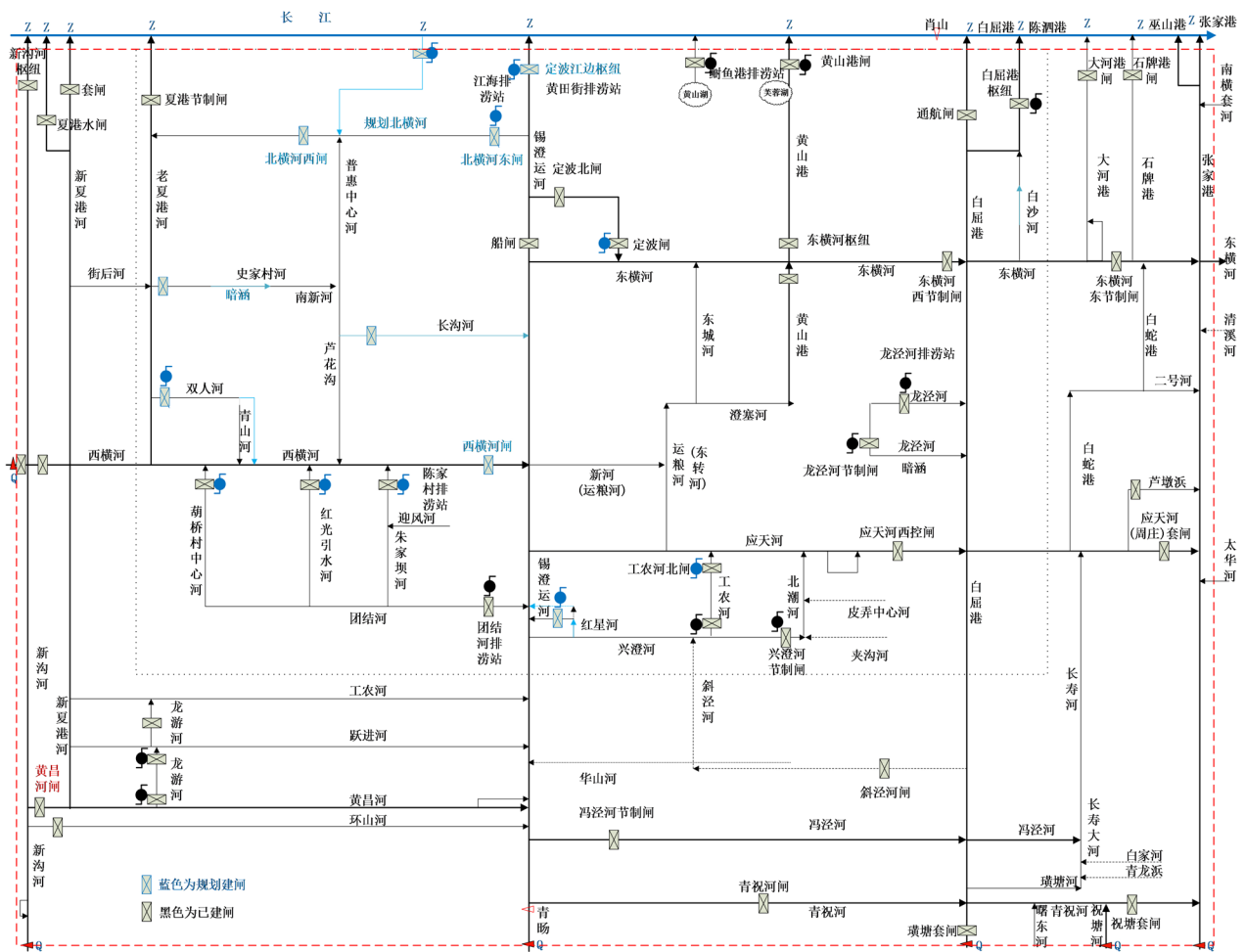


Figure 3. River network model in main urban area of Jiangyin City
图 3. 江阴市主城区河网概化图

4.3. 模型率定验证

采用 2018 年 8 月 16~17 日实测水位数据和江阴城区闸泵调度资料(2018 年 8 月 16~17 日有降雨, 16 日降雨量 39.4 mm, 17 日降雨量 113.1 mm; 白屈港抽水站泵未引水排水, 白屈港抽水站闸未引水, 排水 267.66 万 m³, 其中 16 日排水 5.33 小时, 排水量 182.14 万 m³, 17 日排水 3.25 小时, 排水量 85.52 万 m³; 白屈港套闸 16 日未排水, 17 日排水 219.75 万 m³), 对模型参数进行率定验证, 各河道糙率为 0.021~0.025。率定验证结果见图 4 所示。

通过开展水位对比分析可知, 模型平均误差为 0.01 m, 最大误差为 0.15 m, 建立的水动力模型具有良好的模拟能力, 可用于开展水系连通效果分析。

5. 水系连通效果分析

采用槽蓄法计算各河道生态需求, 并作为模型边界条件, 利用率定验证后的水动力模型开展水系连通效果分析。经分析, 引水期间骨干河道水位 3.29~3.97 m, 均不超过设计水位。主城区骨干河道流速增加了 0.01~0.1 m/s, 水系连通对水动力改善效果明显。统计可知, 骨干河道流速大于 0.05 m/s 的河道有 35 条(表 4), 占比 83%, 满足水系连通目标要求(主城区骨干河网平均流速 ≥ 5 cm/s 的河道占比不小于 80%)。

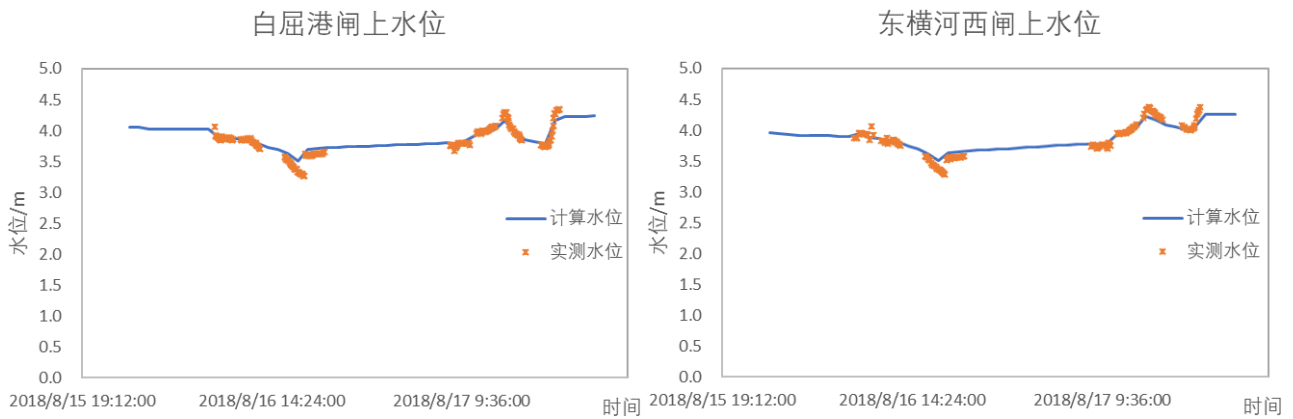


Figure 4. Comparison between calculated and measured water levels

图 4. 计算水位与实测水位对比图

Table 4. Maximum flow velocity and analysis of average velocity achievable

表 4. 河道最大流速及达标情况表 单位: m/s

序号	河道	最大流速	达标情况	序号	河道	最大流速	达标情况
1	白屈港	0.19	达标	22	东转河	0.19	达标
2	锡澄运河	0.18	达标	23	工农河	0.05	达标
3	老夏港河	0.11	达标	24	北潮河	0.07	达标
4	北横河	0.29	达标	25	皮弄中心河	0.07	达标
5	规划北横河	0.25	达标	26	兴澄河	0.05	达标
6	西横河	0.27	达标	27	夹沟河	0.05	达标
7	黄山港	0.20	达标	28	计家湾河	0.01	不达标
8	东横河	0.07	达标	29	双人河	0.03	不达标
9	应天河	0.06	达标	30	青山河	0.05	达标
10	史家村河	0.23	达标	31	长沟河	0.13	达标
11	南新河	0.18	达标	32	红光引水河	0.10	达标
12	普惠中心河	0.10	达标	33	创新河	0.07	达标
13	芦花沟河	0.06	达标	34	老鲇鱼港	0.06	达标
14	团结河	0.14	达标	35	秦泾河	0.05	达标
15	葫桥中心河	0.13	达标	36	双牌河	0.01	不达标
16	朱家坝河	0.05	达标	37	黄田港	0.23	达标
17	澄塞河	0.09	达标	38	祁山中心河	0.02	不达标
18	东城河	0.12	达标	39	红星河	0.07	达标
19	龙泾河	0.16	达标	40	斜泾河	0.04	不达标
20	绮山中心河	0.06	达标	41	老应天河	0.00	不达标
21	运粮河	0.05	达标	42	立新中心河	0.00	不达标

6. 结论

江阴市主城区污染排放总量过大,加之受长江潮位顶托影响,水体流动性差,自净能力弱,水质普遍较差,水质型缺水成为江阴可持续发展的软肋。加强区域生态环境补水,推进河道水系连通,从而有效改善河道水环境,恢复河道水生态十分必要且紧迫。鉴于现有水系连通性较差、水系连通工程对水质改善效果不明显,本研究以长江为主水源地,基于“外引长江、内活水系”的基本思路,制定了系统的水系连通方案。采用河网模型开展了水系连通效果分析,骨干河道流速增加了 0.01~0.1 m/s,水系连通对水动力改善效果明显,同时骨干河道

流速大于 0.05 m/s 的河道占比 83%，满足水系连通目标要求。

基金项目

城市水生态环境综合治理关键技术及应用研究(CX201804)。

参考文献

- [1] 高强, 唐清华, 孟庆强. 感潮河湖水系连通水环境改善效果评价[J]. 人民长江, 2015,46(15):38-40.
GAO Qiang, TANG Qinghua, MENG Qingqiang. Effect evaluation of water environment improvement at water system inter-connection in tidal rivers and lakes. Yangtze River, 2015, 46(15): 38-40. (in Chinese)
- [2] 崔广柏, 陈星, 向龙, 等. 平原河网区水系连通改善水环境效果评估[J]. 水利学报, 2017, 48(12): 1429-1437.
CUI Guangbo, CHEN Xing, XIANG Long, et al. Effect evaluation of water environment improvement at water system inter-connection in plain river network area. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(12): 1429-1437. (in Chinese)
- [3] 杨卫, 张利平, 李宗礼, 等. 基于水环境改善的城市湖泊群河湖连通方案研究[J]. 地理学报, 2018,73(1):115-128.
YANG Wei, ZHANG Liping, LI Zongli, et al. Study on interconnection plan of urban lakes based on water environment improvement. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(1): 115-128. (in Chinese)
- [4] 曹慧群, 李晓萌, 罗慧萍. 大东湖水网连通的水动力与水环境变化响应[J]. 人民长江, 2020.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1202.tv.20191116.1026.002.html>
CAO Huiqun, LI Xiaomeng, LUO Huiping. Response between hydrodynamics and water environment at water system inter-connection in Dadonghu Lake. Yangtze River, 2020. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1202.tv.20191116.1026.002.html> (in Chinese)
- [5] 潘剑光, 胡鹏, 杨泽凡, 等. 北方平原区城市水动力与水环境综合调控研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(2): 58-62.
PAN Jianguang, HU Peng, YANG Zefang, et al. Study on comprehensive regulation of hydrodynamics and water environment in northern plain urban. Yellow River, 2020, 42(2): 58-62. (in Chinese)
- [6] 无锡市水利局. 无锡市锡澄片骨干河网畅流活水规划[R]. 无锡: 无锡市水利局, 2018.
Wuxi Municipal Water-Control Bureau. Planning of smooth flow and living water in Xicheng River network at Wuxi. Wuxi: Wuxi Municipal Water-Control Bureau, 2018. (in Chinese)