

城镇水系统研究与应用

任云, 李国瑞, 李浙英, 等. 基于 MIKE 模型的城市河道补水与污染物控制——以淮安市两运夹地区为例[J]. 净水技术, 2026, 45(1): 133-141, 187.
 REN Y, LI G R, LI Z Y, et al. Urban river water replenishment and pollutants control based on MIKE model——Case of Liangyunjia Area of Huai'an City [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(1): 133-141, 187.

基于 MIKE 模型的城市河道补水与污染物控制——以淮安市两运夹地区为例

任 云^{1,*}, 李国瑞¹, 李浙英², 桂衍武¹, 周 俊³, 孙 宇¹

(1. 南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏南京 210008; 2. 光大水务<深圳>有限公司, 广东深圳 518033; 3. 南京工业大学生物与制药工程学院, 江苏南京 211800)

摘要 【目的】本文是为了科学地提出淮安市里运河与大运河之间的两运夹地区(以下简称“两运夹地区”)黑臭河道的整治方案,量化生态补水规模与河道水质改善的关系。【方法】本文基于 MIKE 模型,对两运夹地区排水系统的污染物削减效应进行动态模拟,分析了区域内入河污染物与河道水质及不同生态补水流量与水体达标的关系。【结果】模型分析和实际运行结果表明:在对黑臭河道进行底泥清淤的同时对圩河进行拓宽改造后,可明显改善内河的分流比;对河道所有排口进行整治并在清安河建设规模为 4 000 m³/d 的旁路湿地后,在不补水的情况下雨季和旱季均可消除水体黑臭问题。通过实际运行表明:河道保持一定生态流量,即外城河、内城河和清安河实际补水流量均为 0.2 m³/s,能进一步改善区域的水动力条件和水质状况,除文渠河和清安河外,氨氮均能达到地表水 IV 类水标准。【结论】本文为两运夹地区水质目标的实现及生态补水调度运行提供了技术支撑,并可为类似城市河流的水质改善提供参考。

关键词 城市河道 MIKE 模型 补水 水质模拟 防治对策

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)01-0133-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.01.016

Urban River Water Replenishment and Pollutants Control Based on MIKE Model——Case of Liangyunjia Area of Huai'an City

REN Yun^{1,*}, LI Guorui¹, LI Zheyeng², GUI Yanwu¹, ZHOU Jun³, SUN Yu¹

(1. Nanjing Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210008, China;

2. Everbright Water <Shenzhen> Co., Ltd., Shenzhen 518033, China;

3. College of Biotechnology and Pharmaceutical Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211800, China)

Abstract 【Objective】To scientifically formulate remediation plans for black and odorous rivers of the Liangyunjia Area between the Li Canal and Grand Canal (hereinafter referred to as "Liangyunjia Area") in Huai'an City, and to quantify the relationship between ecological water replenishment scale and river water quality improvement. 【Methods】Based on the MIKE model, this paper conducted dynamic simulations of pollutant reduction effects in drainage system of the inter-basin region, analyzing the correlation between river pollutants, water quality, and ecological water supply flow rates with compliance standards. 【Results】Model analysis and operational results demonstrated that dredging sediment from black-odorized sections combined and widening-reconstruction of the Wei River could significantly improve internal river diversion ratios; after regulating all outfalls along the rivers and constructing a bypass wetland with a capacity of 4 000 m³/d in the Qing'an River, the issue of black and odorous water bodies could be eliminated in

[收稿日期] 2025-09-05

[基金项目] 山西省重点研发计划(201903D211013)

[作者简介] 任云(1986—),男,高级工程师,主要从事水污染及水环境整治的咨询与设计等工作,E-mail: rynjau@163.com。

both rainy and dry seasons without additional water replenishment. Practical operation results indicated that maintaining a certain ecological flow in the rivers. The actual water replenishment volume for the Waicheng River, Neicheng River, and Qing'an River were $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, respectively, and could further optimize the regional hydrodynamic conditions and enhance water quality. Except for Wenqu River and Qing'an River, the ammonia nitrogen concentration in other rivers could meet the class IV of surface water quality standard.

[Conclusion] This paper provides technical support for the achievement of water quality targets and the operation of ecological water replenishment scheduling in the Liangyunjia Area, and can also serve as a reference for water quality improvement of similar urban rivers.

Keywords urban river MIKE model water replenishment water quality simulation control solution

随着城市的建设和发展,河流面临着一系列污染问题^[1-2],致使水体环境承载能力与自净能力下降^[3-4],严重影响了城市居民生活环境,限制了经济的高质量发展^[5-6]。为推进城市黑臭水体治理,近些年,国家针对黑臭水体整治开展了一系列相关工作,并出台了《水污染防治行动计划》,还实施了黑臭水体试点等相关政策,其核心目标在于消除黑臭水体^[7-8]。为解决城市水环境问题,国家相关部门组织竞争性评审,经过筛选确定了60个城市开展黑臭水体治理示范城市建设工作^[9],淮安市作为第一批城市入围黑臭水体治理示范城市名单。

城市黑臭水体治理是一项长期且复杂的系统性工程^[10-12]。近年来,我国黑臭水体治理理念和技术不断发展,围绕水质改善这一核心^[13]逐渐形成了“控源截污、内源治理、疏浚活水和生态修复”的治理思路^[14-17]以及融合了物理、化学和生物-生态等方法的综合治理技术^[18]。在治理过程中积累了大量的经验,但仍存在问题分析不到位、技术方案不科学等问题,导致出现治理成效不稳定、投资效益不明显、黑臭水体反弹的情况。

本文研究区域地处淮河流域下游,苏北平原中部,境内河流与湖泊众多,水网纵横交错,在城市的防洪排涝、文化景观等方面起到了关键作用^[19]。但同时受水力坡降的影响,污染物在河道内停留时间较长,迁移扩散相对较慢,不利于污染物的降解,河道中修建的水闸又影响了水体交换的速度,进一步加剧了该过程^[20],引补水量的多少对水质也有一定影响。为此,整治方案不能以经验为主,需对方案进行量化。

当前,用于城市河道补水与污染物预测的模型较多,不同模型在原理、适用场景和优势上存在差异。例如,暴雨管理模型(SWMM)在城市降雨径流及面源污染模拟方面表现突出,能精准计算不同下

垫面的产流、汇流过程,但在复杂河网水动力及长时段水质演化模拟上存在局限性^[2],河道水力分析(HEC-RAS)模型在河道水力计算和洪水模拟中应用广泛,但其水质模块功能相对基础,难以满足复杂污染物迁移转化的模拟需求^[21];环境流体力学(EFDC)模型虽然可实现水动力-水质-生态的耦合模拟,适用于湖泊、水库等大尺度水体,但对城市密集河网的精细化模拟适配性不足^[22]。历经长期发展,MIKE模型在城市水环境治理中获得了普遍应用。该模型具备强大的水动力-水质耦合模拟能力,可通过降雨径流(RR)、水动力(HD)、对流扩散(AD)等模块的协同,精准刻画城市复杂河网的水流运动规律与污染物迁移转化过程,且能有效整合闸泵等水利工程的调度规则,贴合城市河道受人类活动干预强的特点^[23-26]。汪聪等^[23]基于 MIKE11 模型软件建立了水动力-水质耦合模型,并将其应用于现状水系调度方案的研究制定中;冯文等^[24]基于 MIKE11 模型构建了一维水量水质耦合模型,对河网引配水方案进行模拟分析,合理确定补水水质、规模与闸泵布置方案;彭丽红等^[25]应用 MIKE 模型搭建了水文、水动力、水质模型,动态评估了不同情境下污染物时空分布和水质变化规律,并提出了流域分区分期的治理方案;陈燕平等^[26]采用 MIKE11 构建一维水动力水质模型,模拟主要水质指标变化趋势,研究了旱天和雨天不同运行工况条件下的补水方案对水质指标的变化,为城市内河水环境综合治理提供了科学依据。

综上,采用数学模型对水环境整治方案开展模拟评估是科学有效的方式^[23]。本研究在局部尺度上依据较为精准的数据,建立两运夹地区水量-水质模拟模型^[27]研究区域内入河污染源、工程截污水平下的污染负荷与河道水质之间的响应关系,判断补水流量、流量分流比及其污染物的水质演化过程,

以期为两运夹区域河道的调度运行管理及其水质目标提供技术支撑。

1 研究区概况

1.1 研究范围及河道情况

研究区域为淮安市里运河与京杭大运河之间的两运夹地区,位于淮河流域下游,多年平均降水量为970.3 mm,实测最大年降水量为1 439.6 mm,年降水量最低只有549.7 mm,年内降水主要集中在5月—9月,占年降水量的70.7%左右。区域总面积约为17 km²,共有河道11条,总长约为44.21 km,河网

密度达2.6 km/km²。区域内地势较平坦,自然地面高差不大,总体呈现北高南低、西高东低态势。区域内里运河与京杭大运河的水质优良,常年保持在Ⅲ类水以上。内河通过泵闸接受里运河和京杭大运河补水,区域排水通过外城河、内城河和圩河3条河流流入文渠河,再由文渠河的2个分支最终汇入清安河。区域内主要补水泵站有清安河活水泵站、运河泵站、内城河高家巷泵站、外城河西小闸泵站等,最大补水规模分别为1.5、3.1、1.5、2.0 m³/s。河道水系及闸站分布情况如图1所示。



图1 研究区域水系及闸站分布

Fig. 1 Distributions of Rivers and Sluices in Study Areas

区域内共有黑臭水体5个,分别为内城河、外城河、圩河、文渠河、清安河。其中:内城河、外城河、文渠河为轻度黑臭;清安河、圩河为重度黑臭。内城河总长为1.56 km,现状河底高程为7.00~8.20 m,河底宽为6~8 m,河口宽为10~12 m,内城河自里运河引水,由清晏园流入外城河。外城河总长为2.80 km,现状河底高程为6.50~8.50 m,河底宽为6~20 m,河口宽为8~60 m。外城河自里运河引水,途经楚秀园

流入文渠河。圩河总长为1.27 km,现状为直立挡墙断面,河道宽为4.5~10.0 m。圩河由外城河引水,汇入文渠河。文渠河总长为5.42 km,河底宽为6~12 m,河口宽为8~20 m,在航运路西分为两支,最终汇入清安河。清安河现状全长为22.6 km,其中:两运夹区域内长为9.2 km,现状河底宽为2~8 m,河口宽为2~20 m,清安河是大运河和里运河之间唯一的排水通道。黑臭水体指标如表1所示。

表1 黑臭河道基本情况

Tab. 1 Basic Conditions of Black and Odorous Rivers

水体名称	透明度/cm	溶解氧/(mg·L ⁻¹)	氧化还原电位/mV	氨氮/(mg·L ⁻¹)	黑臭情况
内城河	20	8.86	125.6	0.84	轻度黑臭
外城河	20	8.14	36.2	3.01	轻度黑臭
圩河	20	1.37	-236.2	16.80	重度黑臭
文渠河	20	4.67	178.4	3.68	轻度黑臭
清安河	21	0.23	-448.2	77.40	重度黑臭

1.2 现状入河污染物负荷评估

根据现场调查,研究区域河道沿线排污口共 17 个,其中外城河 4 个,内城河 4 个,圩河 3 个,文渠河 3 个,清安河 3 个(其中 1 个为工业排口)。根据统计分析,外城河、内城河、圩河、文渠河、清安河入河排口氨氮入河负荷分别为 3.01、4.75、7.57、4.67、14.6 t/a, 清安河氨氮入河负荷最高,其次为圩河。

2 研究方法和内容

2.1 研究方法

本研究水动力-水质模型基于通用模型软件 MIKE11 构建,根据研究区域的水系水动力特征及其研究目标,采用 MIKE11 软件的 RR 模块、HD 模块进行研究区域水动力模拟,采用 AD 对流扩散模

块进行河道水质模拟^[23]。

2.2 模型构建与边界条件设置

基于 MIKE11 模型,有效集成水动力模型及污染物迁移转化模型,结合淮安市两运夹地区相关的水文、水质资料,进行河网水系概化,利用相关监测数据,进行模型参数率定,构建淮安市两运夹地区水量-水质动态模拟模型。

河网水系概化除了遵循河网区一般河流概化原则外,还要强调河道分级以及闸坝等水利工程的影响,以期真实反映自然条件和人类活动二元因素共同作用下的河道水系水文循环特征。根据研究区域的水系分布、汇水范围,结合实测的河段断面数据,将范围内河道概化为 13 条河(段)。水系概化如图 2 所示。

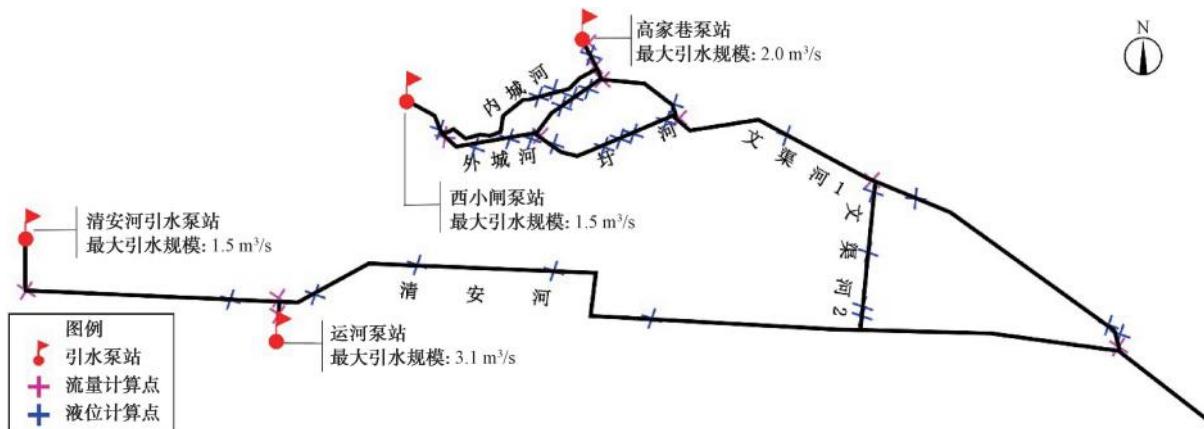


图 2 水系示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of River Systems

水力计算边界包括京杭大运河、里运河以及入海水道,以模拟年份的实测水位作为水位边界条件。计算区域内河道与外河相连的泵站设置泵站抽水运行条件。利用运东闸站 1956 年—2015 年共 60 年降雨数据进行区域降雨年型分析。

水质边界包括京杭大运河、里运河及入海水道,以模拟年份的水质监测资料作为水质边界条件。京杭大运河和里运河来水边界区氨氮质量浓度达到地表水Ⅲ类水质(1.0 mg/L),下游水质边界为开边界。

2.3 模型率定与结果验证

本研究采用实测数据对水质模型进行率定,选择外城河下游、内城河下游、圩河宝塔桥泵站、文渠河东支清安河入口、清安河运河大沟东侧的水质断面作为水质率定与验证断面,每个断面每日采样 3

次,分别在 8:00、13:00 及 17:00 进行采样。

选择 9 月 4 日—9 月 6 日水质监测数据进行水质参数的率定,每个断面共 9 组数据。其中:氨氮衰减系数($K_{\text{氨氮}}$)为 0.0013 d^{-1} 。

利用 10 月 12 日—10 月 13 日水质监测数据进行模型的验证。各水质断面氨氮模拟值与实测值的平均误差统计与纳什系数(NSE)如表 2 所示。分析可知,氨氮误差最大点位为文渠河东支清安河入口,相对误差为 17.47%,NSE 达到 0.71。分析结果认为:模拟值与实测值误差较接近,NSE 较高,水质模型能较准确地反映河道水质情况^[25]。通过对水量-水质模型率定结果分析,建立的研究区域水量-水质模拟模型具有较好的计算精度,可作为本次研究分析的技术工具。

表 2 水质模型率定误差统计

Tab. 2 Calibration Errors Statistics of Water Quality Model

断面	污染因子	平均相对误差	NSE
清安河	氨氮	12.75%	0.81
外城河	氨氮	10.95%	0.78
圩河	氨氮	15.20%	0.75
内城河	氨氮	11.68%	0.73
文渠河	氨氮	17.47%	0.71

2.4 模拟工况设置

根据控源截污工程实施后污染负荷的削减能力和设计水文条件,设置不同规模补水条件下,研究不同工况的区域内水质变化趋势模拟分析,从消除黑臭和水质提升的目标提出河道补水运行管理方案建议。本研究中,工况1氨氮入河量仅考虑排口入河量,排口氨氮入河量根据实测浓度和流量进行计算,工况2、3氨氮削减率根据不同工况及河道情况进行设置。具体工况设置如表3所示。

表 3 不同模拟工况

Tab. 3 Different Simulations of Operation Conditions

工况	控源截污措施	降水条件	氨氮入河量
1	现状排污情况	—	现状排污条件下,即外城河、内城河、圩河、文渠河、清安河氨氮入河负荷分别为3.01、4.75、7.57、4.67、14.6 t/a
2	对市政管网混接排口截流井进行截流,对截流式合流制溢流排口对应片区进行雨污分流;对工业企业排口实施企业内部改造,对淤积河道实施清淤,同时在清安河实施规模为4 000 m ³ /d的旁路湿地	旱季	外城河负荷削减80%,内城河、文渠河负荷削减85%,圩河负荷削减90%,清安河工业负荷削减70%,即外城河、内城河、圩河、文渠河、清安河氨氮入河负荷分别为0.60、0.71、0.76、0.71、4.38 t/a
3	同工况2	雨季	外城河负荷削减60%,内城河、文渠河负荷削减65%,圩河负荷削减70%,清安河工业负荷削减65%,即外城河、内城河、圩河、文渠河、清安河氨氮入河负荷分别为1.20、1.66、2.27、1.63、5.11 t/a

在上述工况下,研究外城河、内城河和清安河分别设置0、0.5、1.0、1.5 m³/s共4种补水调度流量时,以消除黑臭(氨氮质量浓度≤8 mg/L)和达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)IV类水(氨氮质量浓度≤1.5 mg/L)为标准,对各河道氨氮达标率进行评价。

3 结果与讨论

3.1 河道清淤前后水动力模拟分析

根据河道清淤前后断面变化和现有泵闸工程最

大调水能力(外城河西小闸泵站2 m³/s、内城河高家巷泵站1.5 m³/s、运河泵站3.1 m³/s和清安河补水泵站1.5 m³/s),进行清淤前后水动力模拟计算,分析研究区域主要河道流向、流量分布,具体如图3所示。

模型分析表明:河道按清淤后设计断面考虑,补水规模不变,清淤后外城河西小闸调水流量为2.00 m³/s,在清晏园处内城河分流流量由0.35 m³/s增加到0.58 m³/s,外城河分流流量由1.66 m³/s减



图 3 河道流向、流量分布

Fig. 3 Distribution of River Flow Direction and Discharge

少到 $1.43 \text{ m}^3/\text{s}$,在外城河与圩河连接处,圩河分流由 $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 增加到 $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$;其余内部河道之间的分流比基本没有变化。由此可知,清淤改善了一些内河的分流比,使得外河入境水量更趋于平均分配。圩河因清淤改善了水动力条件,提高了分流比,使得上游入境水量更趋于平均分配。若进一步降低圩河的底高程,可以使得其水动力条件得到改善。

3.2 水质模拟分析

3.2.1 工况 1

由表 4 可知,在工况 1 的条件下,以消除黑臭(氨氮质量浓度 $\leq 8 \text{ mg/L}$)为评价标准,不补水时氨氮达标率均在 80% 以下,而圩河的达标率仅有

33.15%,这与圩河的河底高程较高、断面较窄导致河道水流不畅有直接关系;当补水达到 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,除圩河和清安河外其余河道均能 100% 达标;为使各河道均能达标,补水需达到 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$;若要使水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类,补水需达到 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上。由此说明,在现状排污条件下,要使河道达到消除黑臭的目的,需进行大量补水,但这与当前的治理要求和理念相悖,也是对水资源较大的浪费。为此,应进行控源截污,削减入河污染物,同时降低圩河河底高程,适当扩大圩河断面,增加分流流量,改善水动力条件,提高水质达标率。

表 4 工况 1 模拟分析结果

Tab. 4 Simulation and Analysis Results of Working Condition 1

指标	河道补水水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ (消除黑臭)				河道补水水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ [达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV类]			
	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
内城河达标率	72.45%	100.00%	100%	100%	0	0	96.16%	98.90%
外城河达标率	76.34%	100.00%	100%	100%	0	98.36%	100.00%	100.00%
圩河达标率	33.15%	63.56%	100%	100%	0	0	0	0
文渠河达标率	58.16%	100.00%	100%	100%	0	50.14%	98.90%	100.00%
清安河达标率	79.73%	97.64%	100%	100%	0	0	94.79%	100.00%

3.2.2 工况 2

由表 5 可知,实施控源截污后,所有河道在不补水情况下,氨氮浓度均能达到消除黑臭的要求,但对照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水的要求,仅外城河有 15.89% 的达标率,其余均为 0;当补水达到 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,外城河、文渠和清安河氨氮浓度基本上都能达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水的要求,对照工况 1 发现,在此补水下,内城河、文渠和清安河的达标率均得到大幅提升,且清安河的达标率较其余河道较显著,

这说明清安河的旁路湿地对水质起到了净化作用,削减了部分污染物,同时与清安河的河道坡度较其他河道较大、水流速较快、自净能力较高有关;当补水达到 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,除圩河外氨氮浓度都能达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水的要求。从此工况的分析可看出,控源截污是黑臭河道整治的关键,在此基础上,通过生态净化和适当引补水后能一步提升水质,增加河道的流动性,提高河道自净能力。考虑到生态流量需求,建议为保持水体的流动性,结合水质提升要求给予最小流量。

表 5 工况 2 模拟分析结果

Tab. 5 Simulation and Analysis Results of Working Condition 2

指标	河道补水水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ (消除黑臭)				河道补水水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ [达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV类]			
	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
内城河达标率	100%	100%	100%	100%	0	57.53%	99.18%	100%
外城河达标率	100%	100%	100%	100%	15.89%	100%	100%	100%
圩河达标率	100%	100%	100%	100%	0	0	0	1.1%
文渠河达标率	100%	100%	100%	100%	0	98.63%	99.45%	100%
清安河达标率	100%	100%	100%	100%	0	99.18%	99.73%	100%

3.2.3 工况 3

由表 6 可知,在雨季,实施控源截污并对河道清淤后,所有河道在不补水情况下,氨氮浓度均能达到消除黑臭的标准;对照达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水的要求,在雨季不补水时外城河、圩河和文渠河的氨氮达标率达到 70% 以上且圩河的达标率提升较显著,这是因为雨季水量较大,圩河同时承担了上游外城河的来水,对水体起到了稀释作用。而内城河氨氮达标率仅为 45.48%,清安河仍为 0,这与内城河和清安河在雨季承担的

入河污染物量较大有关系。进一步分析内城河汇水范围内建设情况可知,此区域为老城区,建设密度较大,人口稠密,水面率较低,已建排水管网年代较长,导致雨季面源污染严重;而清安河作为整个区域内的排水通道,承担了区域内所有的面源污染,同时雨季以截流制为主的排水管网会发生溢流,也加重了清安河的污染负荷。为此,应在旱季加大管网养护力度,减少管道沉积物,并按照城镇污水处理提质增效要求,对排水源头进行整治,减少雨季入河污染物浓度,提高河道达标率。

表 6 工况 3 模拟分析结果

Tab. 6 Simulation and Analysis Results of Working Condition 3

指标	河道补水量/(m ³ ·s ⁻¹)				河道补水量/(m ³ ·s ⁻¹)			
	(消除黑臭)				[达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV类]			
	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
内城河达标率	100%	100%	100%	100%	45.48%	95.34%	99.45%	100.00%
外城河达标率	100%	100%	100%	100%	95.34%	100.00%	100.00%	100.00%
圩河达标率	100%	100%	100%	100%	96.71%	97.81%	98.36%	98.90%
文渠河达标率	100%	100%	100%	100%	72.88%	99.18%	99.45%	100.00%
清安河达标率	100%	100%	100%	100%	0	99.18%	99.73%	100.00%

3.3 模型成果应用

3.3.1 整治方案的应用

根据模型模拟结果,为在少补水的情况下取得较好的水质达标率,工程整治方案在工况 2 的基础上进一步优化,以控源截污为基础,对河道实施清淤疏浚、生态修复等内容,具体如下。

针对 17 个排口进行溯源排查整改,其中 8 个市政管网混接排口采用智慧截流井进行截流,确保晴天污水不下河,并按照污水处理提质增效要求,对源头进行改造;对 7 个截流式合流制溢流排口对应片区的主管网系统结合污水处理提质增效进行逐步改造完善,降低管网水位,但仍存在雨后晴天溢流的情况;针对 1 个工业企业排口由环保部门监督实施企业内部改造,并在排口处安装水质监测设备进行实时监控;针对 2 个污水处理厂尾水排口作为清安河的常态化补水水源。对河道进行水力清淤,清除河道底部的沉积物,减少内源污染。同时,根据模拟评估结果对圩河进行拓宽改造,增加河道分流比。在清安河实施处理水量规模为 4 000 m³/d 的旁路湿地,处理工艺为前置处理塘→强化处理塘→沉水植物塘的表流湿地,占地面积约为 4 000 m²。

3.3.2 运行效果

因水质检测仅在晴天开展,为此,只讨论晴天运行情况。在上述整治工程实施后,内城河、外城河和清安河补水量均为 0.2 m³/s 时,在 2022 年 6 月—9 月对河道氨氮浓度进行连续监测 3 个月,结果如图 4 所示。所有河道氨氮浓度均达到消除黑臭的标准,且除文渠河和清安河外,氨氮均能达到地表水 IV 类水标准,这与模型分析的工况 2 情况基本一致。同时,圩河拓宽改造后也进一步改善了水动力条件,提升了河道自净能力。

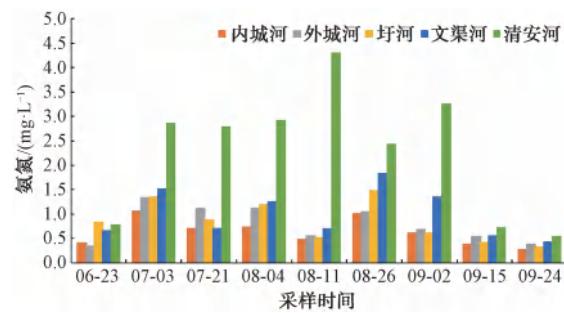


图 4 河道整治后实际氨氮浓度

Fig. 4 Actual Ammonia Nitrogen Concentration after River Remediation

3.3.3 黑臭水体防治对策建议

基于模拟结果与实际运行经验,为保障两运夹

地区河道水质长期稳定达标,防止黑臭反弹,提出以下对策建议。

一是要强化源头控制和管网维护。要按照污水处理提质增效要求,开展排水户的源头整治和排水管网的排查整治,对排水户进行分类整治,加大对私接乱排、超标排放等违法行为的查处力度,对排水管网开展排查整治和截流区域的分流改造及混接改造,确保污水应收尽收、分类收集,污水不入河。同时,要加强旱季管网清疏养护,减少沉积物,有效控制雨季面源污染和溢流污染。

二是要优化生态补水调度。建立基于水质、水量的动态补水调度方案,在保证基本生态流量的基础上,根据水文气象条件灵活调整补水规模,实现水资源高效利用。

三是加强长效监测与预警。利用在线监测设备,对关键断面水质和水量进行实时监控,建立水质预警体系,及时发现并应对水质恶化风险。

4 结论与展望

本文应用 MIKE11 模型构建了河道水动力—水质模型,并将模型模拟工况应用于实践工程中,实际运行结果表明:河道水质改善效果与模型预测的结果较为吻合,这说明模型的预测结果是可信的,所构建的模型具有良好适用性,可为城市河流的整治方案研究提供支撑。对于平原密集型河网区域,由于排水管网老旧,人口密度较大,面源污染较严重,对雨天水质达标的风脸较大,应按照城镇污水处理提质增效要求加强对排水源头和管网的整治,同时要控制城市面源污染和溢流污染,减少雨天入河污染物,提高河道水质达标率。

从实际结果可知,当补水量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,水质效果与模型预测的补水量为 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 的结果相似,说明同样条件下,小补水量也能实现模型预测的效果,也说明模型模拟结果与实际还存在一定的偏差,未来对于类似区域型河道整治,在水系联动运行、模型率定、参数选取和管网与河道的耦合模拟等方面还需进一步探索,尤其是在较为复杂的雨季工况下。

参考文献

- [1] 李萌萌,陈亮,陈慧华,等. 底泥环保疏浚技术及应用进展 [J]. 环境工程, 2025, 43(7): 48–63.
- LI M M, CHEN L, CHEN H H, et al. Progress of environmental dredging techniques for sediment and their applications [J]. Environmental Engineering, 2025, 43(7): 48–63.
- [2] 汤维明,付晓花,王盼,等. 基于 SWMM 和 MIKE11 的城市河流水质动态模型构建及应用 [J]. 西北水电, 2023(1): 6–12.
- TANG W M, FU X H, WANG P, et al. Building and application of water quality dynamic model for urban river based on SWMM and MIKE11[J]. Northwest Hydropower, 2023(1): 6–12.
- [3] 谭震. 东武仕水库水动力水质模拟研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2022.
- TAN Z. Simulation study on hydrodynamic water quality of Dongwushi Reservoir [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2022.
- [4] 郑天驹,许盛凯,田广宇,等. 黑臭水体生态协同修复技术研究及应用——以亳州市陵西湖疏浚工程为例 [J]. 环境科学与管理, 2022, 47(11): 104–108, 131.
- ZHENG T J, XU S K, TIAN G Y, et al. Study on ecological restoration technology of black and smelly water —A case study of Lingxi Lake in Bozhou City [J]. Environment Science and Management, 2022, 47(11): 104–108, 131.
- [5] 王妍,姚杰,杨朴,等. 北京市黑臭水体治理的动态遥感监测及影响因素分析 [J]. 环境工程学报, 2022, 16(9): 3092–3101.
- WANG Y, YAO J, YANG P, et al. Dynamic remote sensing monitoring and its influence factors analysis for urban black and odorous water body management and treatment in Beijing, China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(9): 3092–3101.
- [6] 韩璐,李庆龙,曾萍,等. 长江流域典型城市河段黑臭水体生态整治案例分析 [J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(2): 546–552.
- HAN L, LI Q L, ZENG P, et al. Case study on water ecological regulation of black and odorous water in typical urban sections of the Yangtze River Basin [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(2): 546–552.
- [7] 赖永剑,苗菁芸,严深润,等. 环境规制对城市异质性绿色技术创新的影响——基于“水十条”政策实施的实证分析 [J]. 南昌工程学院学报, 2025, 44(2): 84–90.
- LAI Y J, MIAO J Y, YAN S R, et al. Impact of environmental regulation on urban heterogeneity of green technology innovation: Empirical analysis based on implementation of “Water Ten” policy [J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2025, 44(2): 84–90.
- [8] 邵运贤,丁勇,于善初,等. 喀斯特地貌地区黑臭水体综合治理案例实践 [J]. 给水排水, 2021, 47(9): 63–68.
- SHAO Y X, DING Y, YU S C, et al. Case practice of comprehensive treatment for urban black and odorous water body in Karst landform area [J]. Water & Wastewater Engineering,

- 2021, 47(9): 63–68.
- [9] 杨可昀, 邓立静, 俞露, 等. 西南地区中小城市黑臭水体治理策略与示范[J]. 净水技术, 2023, 42(s2): 98–105.
YANG K Y, DENG L J, YU L, et al. Study and demonstration of the treatment strategy of black and odorous water in small and medium-sized cities in southwest China [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(s2): 98–105.
- [10] 刘名扬. 城市黑臭水体综合治理方案及应用实践[J]. 市政技术, 2025, 43(4): 256–263.
LIU M Y. Comprehensive management plan and application practice of urban black and odorous water bodies [J]. Journal of Municipal Technology, 2025, 43(4): 256–263.
- [11] 周蓉, 王绍贵, 陈东育, 等. 湛江市黑臭水体治理中暗渠清污分流设计与思考[J]. 中国给水排水, 2022, 38(22): 72–79.
ZHOU R, WANG S G, CHEN D Y, et al. Design and thinking of clean water and sewage diversion in culvert for the treatment of black and smelly water in Zhanjiang City [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(22): 72–79.
- [12] 李如良. 棠景沙涌流域综合治理实践与总结[J]. 中国给水排水, 2022, 38(14): 117–125.
LI R L. Practice and summary of comprehensive management of Tangjingsha river watershed [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(14): 117–125.
- [13] 张凤山, 魏俊, 唐颖栎, 等. 流域水环境模型在茅洲河流域系统治理中的应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 100–106.
ZHANG F S, WEI J, TANG Y D, et al. Application of watershed water environmental model in the systematic management of Maozhou River Basin [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 100–106.
- [14] 王丽雪, 徐亚会. 城市黑臭水体治理措施研究[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(9): 274–276.
WANG L X, XU Y H. Research on treatment measures of urban black and odorous water [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2024, 42(9): 274–276.
- [15] 黄小兵. 保山市易畴河黑臭水体治理案例分析[J]. 净水技术, 2025, 44(s1): 379–385.
HUANG X B. Case analysis on black-odorous water control of Yichou River in Baoshan City [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(s1): 379–385.
- [16] 贾莉, 郑刘根, 郁文哲. 池州市城区黑臭水体治理实例及成效分析[J]. 中国给水排水, 2024, 40(22): 119–125.
JIA L, ZHENG L G, YU W Z. Case study and effect analysis of black and odorous water body treatment in Chizhou [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(22): 119–125.
- [17] 李枫林, 黄守斌, 王卓艺, 等. 城区黑臭水体综合治理案例分析及设计要点探讨[J]. 环境工程, 2023, 41(1): 149–157.
LI F L, HUANG S B, WANG Z Y, et al. A case analysis of comprehensive treatment of urban black-odorous water and key points discussion on engineering design [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(1): 149–157.
- [18] 张瑞斌, 王乐阳, 潘卓兮, 等. 昆山市牛湾泾黑臭河道治理与生态修复[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 133–138.
ZHANG R B, WANG L Y, PAN Z X, et al. Treatment and ecological restoration of black and odorous water of Niuwanjing river in Kunshan [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 133–138.
- [19] 瞿尧, 黄帆, 王颖, 等. 基于数值模拟的嘉兴城区河网水文特征[J]. 净水技术, 2021, 40(6): 42–46.
QU Y, HUANG F, WANG Y, et al. Hydrological characteristics of river network in Jiaxing urban area based on numerical simulation [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(6): 42–46.
- [20] 李嘉明. 泵闸水动力调控对平原河网水环境质量的影响模拟研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2022.
LI J M. Simulation study on the effect of pump and gate hydrodynamic regulation on water environmental quality of plain river network [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2022.
- [21] 冯诗韵. 基于关键源区识别的水环境模拟与调控—以湖州市长兴县为例[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
FENG S Y. Water quality simulation and control based on critical source areas identification—A case study of Changxing County, Huzhou City [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [22] 赵柯, 康瑞鹏, 王琪, 等. 基于 MIKE11 模型的南方典型雨源型河流水质模拟[J]. 净水技术, 2024, 43(12): 148–159.
ZHAO K, KANG R P, WANG Q, et al. Water quality simulation for southern typical rain-source rivers based on MIKE11 model [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(12): 148–159.
- [23] 汪聪, 程树辉, 郭鑫宇, 等. 面向水环境改善的水系调度方案研究—以 A 联围为例[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 147–153, 161.
WANG C, CHENG S H, GUO X Y, et al. Research on water system scheduling scheme for water environment improvement—Case of polder [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 147–153, 161.
- [24] 冯文, 冯沈科, 胡剑. 基于 MIKE11 模型的城市引配水方案研究—以宁波市鄞东南平原为例[J]. 浙江水利科技, 2024, 52(4): 31–35.
FENG W, FENG S K, HU J. Research on water transfer scheme in urban area based on MIKE11 software: Taking southeast Yinzhou plain of Ningbo city as an example [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2024, 254(4): 31–35.

(下转第 187 页)

- tap drinking water in the Czech Republic [J]. Water Research, 2023, 247: 120764. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120764.
- [11] SIKORA D, PONIEDZIAŁEK B, RZYMSKI P. Assessment of PFAS levels in drinking water: A case study from Poznań County (Poland) [J]. Chemosphere, 2025, 377: 144326. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2025.144326.
- [12] INGOLD V, KÄMPFE A, RUHL A S. Screening for 26 per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in German drinking waters with support of residents [J]. Eco-Environment & Health, 2023, 2: 235–242. DOI: 10.1016/j.eehl.2023.08.004.
- [13] TEYMOORIAN T, MUÑOZ G, DUY S V, et al. Tracking PFAS in drinking water: A review of analytical methods and worldwide occurrence trends in tap water and bottled water [J]. Water, 2023, 3: 246–261. DOI: 10.1021/acs.estwater.2c00387.
- [14] 王懿, 孔德洋, 单正军, 等. 超高效液相色谱串联质谱法对水体中全氟化合物的测定 [J]. 安全与环境学报, 2011, 11(6): 88–92.
- WANG Y, KONG D Y, SHAN Z J, et al. Determining the perfluorinated compounds in water samples by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(6): 88–92.
- [15] 刘田, 周宇齐, 宋洲, 等. 全自动固相萃取-UPLC-MS/MS 法测定水中 17 种全氟化合物 [J]. 化学研究与应用, 2025, 37(2): 410–418.
- LIU T, ZHOU Y Q, SONG Z, et al. Determination of 17 perfluorinated compounds in water by fully-automated SPE-UPLC-MS/MS [J]. Chemical Research and Application, 2025, 37(2): 410–418.
- [16] 邬晶晶, 桂萍, 郭风巧. 固相萃取-UPLC-MS/MS 法测定水中 17 种全氟化合物 [J]. 中国给水排水, 28(12): 28–36.
- WU J J, GUI P, GUO F Q. SPE-UPLC-MS/MS for determination of 17 PFCs in water [J]. China Water & Wastewater, 28(12): 28–36.
- [17] 张琪雨, 吴艳龙, 张祥汉, 等. 固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法测定生活饮用水中 11 种全氟化合物的方法探究及应用 [J]. 净水技术, 2024, 43(s2): 246–251, 307.
- ZHANG Q Y, WU Y L, ZHANG X H, et al. Exploration and application of 11 determination perfluorinated compounds in domestic drinking water using solid-phase extraction ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(s2): 246–251, 307.
- [18] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准: GB/T 5749—2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Standards for drinking water quality: GB 5749—2022 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [19] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第 8 部分 有机物指标: GB/T 5750.8—2023 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Standard examination methods for drinking water—Part 8 Organic indicies : GB/T 5750.8—2023 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [20] 赵陈晨, 陈勇, 侯晓玲, 等. 在线固相萃取-液相色谱-串联质谱法直接测定水中 15 种全氟烷基化合物 [J]. 中国环境监测, 2024, 40(2): 185–197.
- ZHAO C C, CHEN Y, HOU X L, et al. Direct determination of 15 kinds of perfluoroalkyl substances in water by liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with online solid phase extraction [J]. Environmental Monitoring in China, 2024, 40(2): 185–197.
- [21] 陈星, 刘朝阳, 宋昕. 新污染物 PFOS 痕量级测定中的影响因素及优化 [J]. 环境工程学报, 2021, 15(6): 2143–2154.
- CHEN X, LIU Z Y, SONG X. Factors affecting and modification of the laboratory analysis of PFOS [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(6): 2143–2154.
- [22] 李偲琳, 杨愿愿, 刘思恩, 等. 器皿材料对水中全氟化合物的吸附特征研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2023, 55(3): 46–54.
- LI C L, YANG Y Y, LIU S S, et al. Adsorption of perfluoroalkyl substances in aqueous solution by containers made from different materials [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2023, 55(3): 46–54.

(上接第 141 页)

- [25] 彭丽红, 代洪亮. 基于动态水环境模型的龙王港流域综合治理方案及评估 [J]. 净水技术, 2023, 42(9): 148–159, 202.
- PENG L H, DAI H L. Pollution assessment and treatment of Longwanggang Basin based on dynamic water environment model [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 148–159, 202.
- [26] 陈燕平, 霍培书, 汤丁丁, 等. 基于水质目标可达性分析的城市内河生态补水方案 [J]. 净水技术, 2022, 41(5): 102–111, 149.
- CHEN Y P, HUO P S, TANG D D, et al. Proposal of ecological water supplement for urban rivers based on quality target reachability analysis [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 102–111, 149.
- [27] 袁行知, 许雪峰, 俞亮亮, 等. 基于水动力水质模型的平原河网排污模拟分析 [J]. 中国农村水利水电, 2022(12): 39–46.
- YUAN X Z, XU X F, YU L L, et al. Simulation analysis of sewage discharge in plain river network based on coupled hydrodynamic model [J]. China Rural Water & Hydropower, 2022(12): 39–46.