

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2017. 06. 20

昆山主城及周边区域活水畅流改善水环境方案研究

尚钊仪,张亚洲,戴晶晶,李勇涛,韦婷婷

(太湖流域管理局水利发展研究中心,上海 200434)

摘要:以昆山主城及周边区域为研究对象,在合理确定水质改善目标的基础上,依托流域、区域水文水力资料,宏观确定引排格局、引水水源和水量,结合已有规划和现状工况设计活水畅流方案情景,并通过 MIKE11 水动力水质数学模型进行微观模拟验证和决策分析,提出活水畅流工程建设布局及调度方案,旨在对其他平原河网地区开展引调水改善城市水环境提供借鉴。
关键词:水环境;平原河网;调水;MIKE11;昆山
中图分类号:X321 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933(2017)06 - 0125 - 08

Study on water environment improvement scheme by living water flow in Kunshan main city and its surrounding areas

SHANG Zhaoyi, ZHANG Yazhou, DAI Jingjing, LI Yongtao, WEI Tingting

(Water Resource Development Research Center, Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, China)

Abstract: This paper takes the main city of Kunshan and its surrounding areas as the research object. On the basis of reasonable determination of water quality improvement target and the hydrological and hydraulic data of river basin and region, water diversion and drainage pattern, water supply source and water quantity are determined macroscopically. Combined with existing planning and current situation, scenarios of live water flow scheme are designed. Besides, the microscopic simulation verification and decision analysis are carried out through MIKE11 hydrodynamic water quality mathematical model. The construction layout and scheduling scheme of live water diversion project are put forward. The purpose of this paper is to provide some reference for other cities in plain river network area implementing water diversion to improve the urban water environment.

Key words: water environment; river network in plain areas; water diversion; MIKE11; Kunshan City

平原河网地区城市群社会经济迅猛发展,人口高度集聚,工业化快速推进,使水体污染排放负荷急剧增加,给水环境带来巨大压力。平原河网地区地势平坦,坡降较小,水体自然流速缓慢,同时深受潮汐影响,水流流向不定,不利于水体流动和污染的稀释、降解。城市建设进一步挤占河湖空间、破坏水系结构与连通性。为保障防洪排涝安全而做的圈圩设闸更阻隔了水体交换,降低了水体纳污、自净能力,

最终导致河道水质恶化、生态退化、水体丧失自然修复能力^[1]。针对这一问题,国内外广泛开展了利用水利工程调度改善平原河网城市水环境的实践和研究^[2-4]。美国、德国、俄罗斯等均利用引调水修复水环境。上海在 20 世纪 80 年代中期就在浦东、嘉定等地开展了以水质改善为目标的水资源应急调度^[5],近年来苏州、南通等平原河网城市也尝试利

作者简介:尚钊仪(1988—),女,工程师,博士,主要从事水资源管理与保护工作。E-mail:shangzhaoyi@tba.gov.cn

用引调水解决突发水环境问题和提高水环境质量改善效果^[6-7]。相关学者分别采用 HOHY2、MIKE11、EFDC、WASP 等水量水质模型进行调度策略研究^[8-11]。研究表明,科学合理地利用水利工程进行引配水调度,能够快速、有效缓解城市水污染问题,是改善平原河网区水环境的重要技术手段。本文以昆山市主城及周边区域共 302 km² 范围为研究对象,基于现状水量、水质及水利工程情况,开展基于水量水质模拟的活水畅流改善水环境方案决策研究,提出活水畅流工程建设及调度方案,以期改善昆山市水环境,为昆山社会经济及城乡协调发展提供保障,并为其他平原河网城市提供参考。

1 研究区水动力及水环境特征分析

昆山市位于江苏省东南部,总面积 931.5 km²,下辖 3 个国家级开发区、2 个省级开发区和 8 个镇,2015 年 GDP 达到 3 080 亿元,连续多年蝉联全国百强县之首。昆山属亚热带南部季风气候区,平均降水量为 1 133.3 mm,年际差异较大,降雨呈明显季节性特征。

1.1 水动力特征

昆山市地处阳澄淀泖区腹地,水利坡降较小,水流相对缓慢。全市河流除东部边缘地带稍有潮感外,均属静水河流,流向以向东为主。娄江、吴淞江等流域性、区域性河道横贯昆山,虽然过境水资源丰富,多年平均过境水量达到总水资源量的 88.23%,但由于河道进出昆山未设控制,因此昆山水系与外部水系联系紧密,来水受流域、区域引排调度及上游城市调度影响,排水受下游城市水引排长江影响,引排自主性较低。

为保护低洼区域防洪排涝安全,多年来昆山形成了以小型圩区为主的防洪排涝体系,实行分片式管理。根据 2015 年水利普查结果,全市现有圩区 98 个,建成各类水闸 1 070 座,固定机电灌排站 765 座。由于水利工程主要遵循防洪排涝调度方案,缺乏水资源、水环境调度方案,加之部分闸站老化严重,因此非汛期闸站常年处于关闭状态,圩内外水体缺乏交换。

1.2 水环境特征

昆山地表水环境呈现“西优东劣、湖优河劣、外优内劣”的特征。根据已有监测数据,昆山市 31 个水功能区全年测次法评价达标率为 54.8%,达标区域集中在昆西、昆南湖泊群区域;昆中城市化地区圩外骨干河道受城市化区域污染排放影响,由西向东水质变差,西部傀儡湖、庙泾河水质为Ⅱ类,阳澄湖、

鳊鲤湖和杨林塘上段为Ⅲ类,水质相对较好,中部娄江、界浦港、张家港下段、叶荷河等水质为Ⅳ类,东部浏河、青阳港、汉浦塘等水质为劣Ⅴ类,NH₃-N、TP 为限制性指标,见图 1。对于圩内河道,由于圩区封闭管理进一步降低了水系连通性和水体自净能力,因此除西部部分河道外,基本为劣Ⅴ类,且中心城区个别河道呈现季节性黑臭。

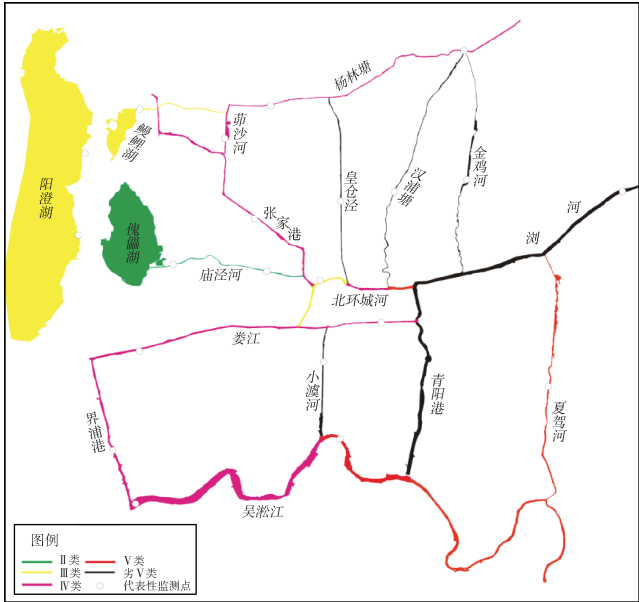


图 1 昆山市主城及周边区域骨干河道水质类别分布

2 活水畅流方案设计

2.1 活水畅流范围

确定活水畅流方案的范围,需要综合考虑水环境改善的重点、水系结构的完整性、水体流向的合理性、工程实施的经济性。昆山市水环境改善重点是高度城市化的中心城区,为中环线以内的 77 km²。但是,开展活水畅流改善水环境,必须遵循水文规律,打破行政管理界限,以河流水系为边界;同时,改善中心城区水环境需要依托区域原有水流特征,利用水质相对优良的西部水系。此外,适当扩大治理区域,可以提高圩区边界泵站对区域水动力条件改善的辐射效率和效益。因此,活水畅流方案范围最终确定为北至杨林塘、南至吴淞江、西至阳澄湖-界浦港、东至金鸡河-夏驾河共 302 km² 的区域,见图 2。

2.2 水质改善目标

确定昆山市主城及周边区域活水畅流水环境改善目标、代表性指标和指标限值,要抓住昆山水环境治理的重点,满足国家及省部级标准的要求,体现昆山先进性并兼顾目标的可达性。

已有分析表明,影响昆山市圩外骨干河道水功能区达标的关键因子为 NH₃-N 和 TP,圩内河道黑臭

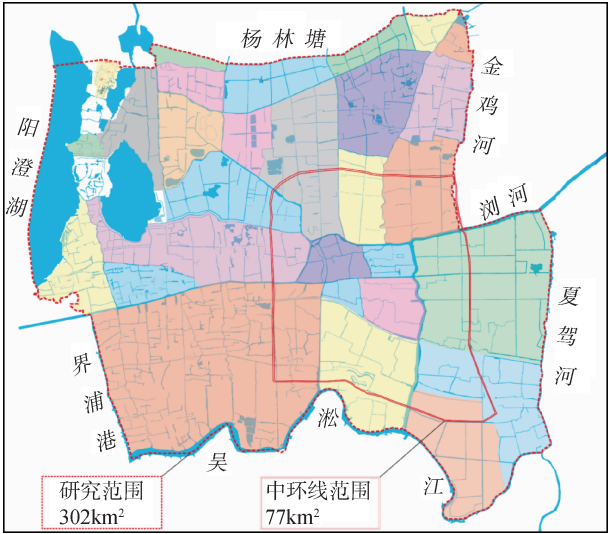


图2 研究范围示意图

现象较为严重,应以此为依据选择水质目标指标。本研究重点分析 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》、《城市黑臭水体整治工作指南》、江苏省环境保护委员会黑臭河道治理标准等标准文件中水质类别控制指标和限值的共性和差异^[12-14],同时基于后续监测的可行性,确定将 DO、COD_{Mn}、NH₃-N、TP 4 项指标作为理化控制指标。

在此基础上,结合研究区域圩内外水质现状及改善需求,确定活水畅流水质改善目标为:研究区范围内圩外骨干河道达到水功能区划目标,张家港—娄江以西区域圩内河道达到Ⅳ类水质标准,其他区域圩内河道近期消除黑臭,远期在控源截污实施的基础上进一步达到严格于黑臭河道标准的指标限值(表1)。

2.3 方案引排分析

2.3.1 引排格局分析

昆山市主城及周边区域活水畅流需要顺应流域、区域引排趋势。

在流域层面,太湖流域阳澄淀泖区洪水期有序

流动为沿长江地区以北排长江为主,平枯水期有序流动为北引长江、太湖调蓄、下游供水,形成“长江→阳澄片→长江”、“长江→阳澄片→淀泖片→拦路港”水体流动^[15];引江济太调度使望虞河水质提升,对东岸阳澄淀泖区河道水质改善有利。在区域层面,七浦塘工程增大了引长江水入阳澄湖流量,缩短了引水入湖时间,加快湖体有序流动,能有效改善阳澄湖水质,阳澄淀泖区形成“七浦引水、浏河排水、杨林塘视河网水位相机引排”的水环境调度格局^[16],见图3。



图3 流域区域引排格局

因此,昆山市主城及周边区域活水畅流配合流域、区域引排格局,充分利用西部上游来水,依托研究区范围内骨干河道及闸站水利工程,通过各个圩区的上游闸引、下游泵排,使上游圩外骨干河道水流经圩区内部后,再汇入下游骨干河道,把优质过境水资源的运动路径拉长,统筹整体与局部引排路径,形成“西水东引、南北排水”的活水畅流调度格局,促进水体在圩外“阳澄湖→区域河网→吴淞江/太仓塘/新塘河”方向及圩内有序流动,最终向沿长江口门和吴淞江排水。

为充分利用过境优质水资源,在以骨干引排水河道为边界、遵循骨干河道自然流向、保障各片区内

表1 水质类别分级及指标限值

相关标准	类别	$\rho(\text{DO})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氧化还原电位/mV	透明度/cm
《地表水环境质量标准》 (GB 3838—2002)	I	≥7.5	≤2	≤0.15	≤0.02	—	—
	II	≥6	≤4	≤0.5	≤0.1	—	—
	III	≥5	≤6	≤1	≤0.2	—	—
	IV	≥3	≤10	≤1.5	≤0.3	—	—
	V	≥2	≤15	≤2	≤0.4	—	—
建城[2015]130号《城市黑臭水体整治工作指南》	轻度黑臭	0.2~2	—	8~15	—	-200~50	25~10
	重度黑臭	≤0.2	—	≥15	—	<-200	<10
江苏省环境保护委员会黑臭河道治理标准	不黑臭	≥2	≤15	≤8	≤0.8	—	—
	黑臭	≤2	≥15	≥8	≥0.8	—	—
昆山圩内河道水质目标	近期	≥2	≤15	≤8	≤0.8	—	—
	远期	≥2	≤15	≤4	≤0.6	—	—

部单向流动的原则下,将研究区划分为西部、北部、中心、南部、东南 5 个子片区进行协调调度,见图 4。



图 4 昆山主城及周边区域活水畅流引排路径及调度分区

2.3.2 引换水量估算

阳澄湖代表站湘城站长系列水文监测资料^①及张家港、娄江代表断面近年监测资料表明,2003—2015 年受流域引江济太调度影响,湘城站水位较 1954—2002 年抬高 0.36 m,阳澄湖蓄水量明显增加,2014 年昆山段平均出湖流量约为 21 m³/s,最大达 30 m³/s,水量充沛;娄江入境昆山断面下泄流量均值为 13 m³/s,张家港入境昆山下泄流量均值为 17 m³/s,水量较为稳定。以上河道水质相对较好,同时引江济太、七浦塘、苏州自流活水工程的实施对其水量、水质均有一定提升作用,因此阳澄湖为主要引水水源,引水约 30 m³/s,张家港、娄江为辅助引水水源,分别引水约 10 m³/s,总计引水约 50 m³/s

根据现状水质分析,NH₃-N 是影响区域水质的关键限制性因子,也是河道黑臭的重要表征指标,因此,以各片区内现状和目标水质以 NH₃-N 浓度、河道水体体积为基础,在考虑稀释扩散作用,不考虑输移、降解及新增污染条件下,结合活水畅流内部分区及实际可引水量的限制,估算各个片区的换水量为:西部片区 25 ~ 30 m³/s,北部片区 25 ~ 30 m³/s,中心片区 5 ~ 10 m³/s,南部片区 25 ~ 30 m³/s,东南片区 15 ~ 20 m³/s,其中中心、南部、东南片区主要利用上游片区排水。根据引换水量估算情况,研究初步设计了研究区范围内活水畅流泵闸启闭调度方案。

① 资料来源于水文年鉴,已矫正沉降。

3 活水畅流水动力水质模型的构建与率定

3.1 模型构建

由于活水畅流调度与防洪排涝调度协调主要在非汛期开展,因此本次模拟不考虑降雨及地表径流造成的污染及其影响,采用 MIKE11 水动力模块(HD)与对流扩散模块(AD)耦合进行模拟。

研究区内依据现状条件共概化河段 341 条,泵、闸控制建筑物 392 个,属性均按照昆山市 2015 年水利普查资料进行概化,见图 5。模型上游边界为阳澄湖、娄江、吴淞江、巴城湖、茆沙塘等流量,下游边界为杨林塘、浏河、吴淞江水位,并按照长序列水文资料及昆山市地表水监测断面水质监测成果赋值。同时,根据昆山污水相关规划对研究区域内的点、面源污染进行概化处理。

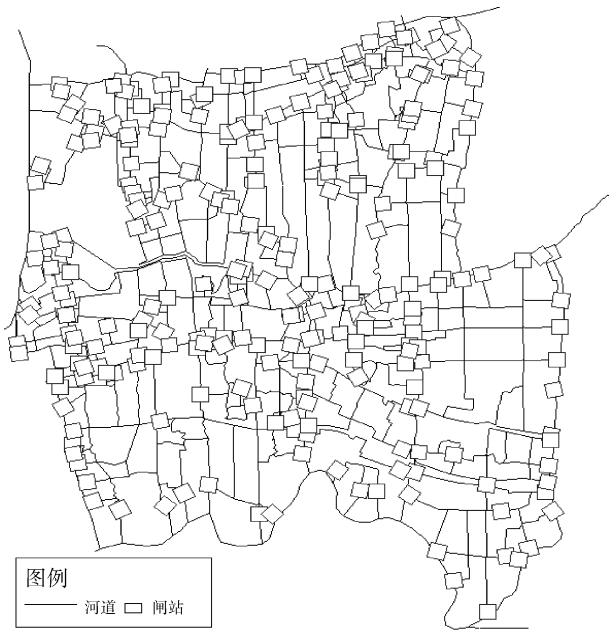


图 5 模型河网及工程概化图

3.2 模型率定

2016 年 6 月开展了连续 3d 的原型试验,各圩区泵闸调度尽量按照初步设计的活水畅流泵闸启闭调度方案开启,并在圩外、圩内河道监测 19 个测点的水位、流量、流速,6 h/次,监测 COD、NH₃-N、TP,12 h/次。基于监测结果,对不同等级河道的模型主要参数,包括曼宁粗糙系数和主要污染物 COD、NH₃-N、TP 衰减系数进行率定。

经率定,得到研究范围内曼宁粗糙系数在 0.020 ~ 0.035 s/m³之间,其中娄江、吴淞江、浏河、阳澄湖为 0.02 s/m³,青阳港、界浦港为 0.025 s/m³,杨林塘、小虞河、张家港为 0.026 s/m³,老杨林塘、汉

浦塘、金鸡河、皇仓泾为 0.03 s/m³,其他河道为 0.032 s/m³;COD、NH₃-N、TP 衰减系数范围分别为 0.08 ~ 0.25/d、0.05 ~ 0.2/d、0.05 ~ 0.08/d。具体见表 2。本文未对溶解氧进行模拟。

表 2 主要河道衰减系数率定结果 d ⁻¹				
类 别	河道	COD	NH ₃ -N	
圩外河道	娄江	0.192	0.048	0.072
	吴淞江	0.240	0.192	0.072
	浏河	0.072	0.048	0.048
	张家港	0.192	0.192	0.048
	杨林塘	0.072	0.048	0.048
圩内河道	阳澄湖、新泾港、马鞍山景观河、团结中心河、铁路河、俞皋村河	0.00072	0.00048	0.00048

率定结果表明,主要断面水位计算值与实测值的误差均在 5% 以内,水质计算值与实测值误差均在 30% 之内,基本能够模拟研究区水量水质情况,表明所构建模型可用于水量水质模拟分析。骨干河道部分断面水量、水质指标率定结果见图 6。由于

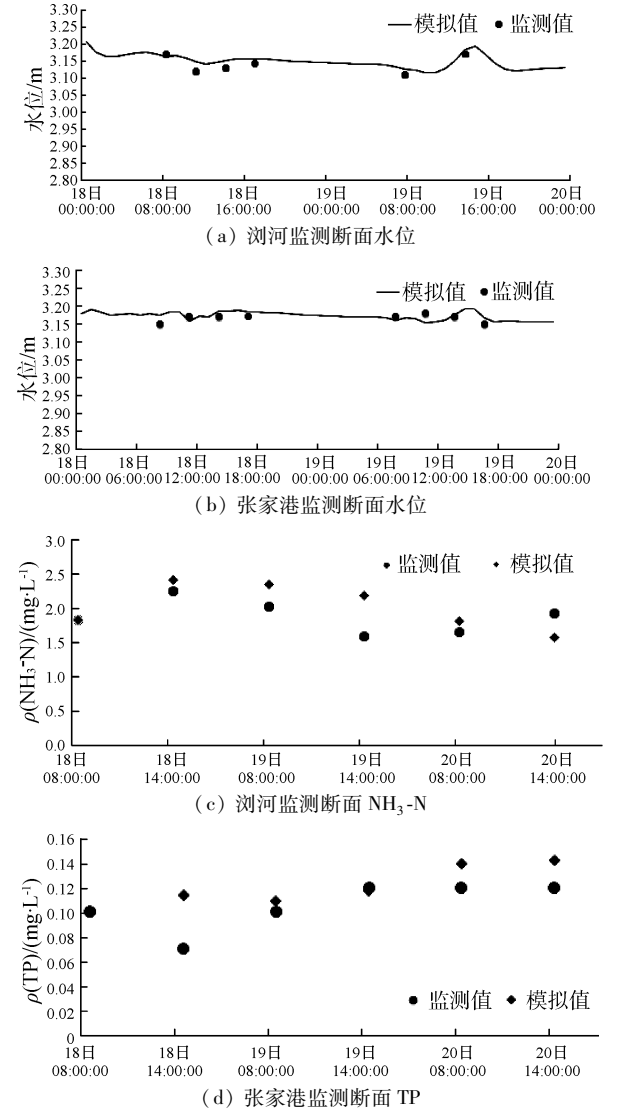


图 6 2016 年 4 月骨干河道部分断面水量、水质指标率定结果

原型试验中泵闸调度尽量按活水畅流引排方案运行,且研究区处于平原河网地区、河道流速变幅较小,因此认为率定参数能够基本满足后续情景方案的模拟需求。

4 基于水量水质模拟的活水畅流方案决策分析

在分析昆山水动力、水环境现状问题,明确活水畅流范围、水质改善目标、引排格局的基础上,研究基于 MIKE11 模型模拟分析调度及工程建设对水动力、水质的改善情况,进行活水畅流方案决策。

4.1 活水畅流情景设计

基于昆山市河网水系、农田水利、污水治理相关规划,在尽可能利用原有河道和工程,减少征地拆迁的原则下,根据工程建设的可能进度,研究共设计了 5 种不同河网、工况、调度、污染条件情景组合进行模拟。情景 1 模拟现状河网、现状工程,泵闸全部关闭的实际情况;情景 2 模拟现状河网、工程条件下泵闸按照设计调度运行的效果;情景 3 模拟西部片区 10 条骨干河道新开疏浚治理,全域非骨干河道新开、疏浚、拓浚等河网综合整治工程,全域老旧闸站更新改造等近期工程建设后按照设计调度运行的效果;情景 4 模拟远期 6 个控导节制闸工程建设后按照设计调度运行的效果;情景 5 模拟在情景 4 的基础上,控源截污实施完成后生活污水污染入河量削减 85% 后按照设计调度运行的效果。

不同河网、工况条件示意图见图 7。5 种活水畅流情景见表 3。

4.2 水量水质模拟分析

利用 MIKE11 模型模拟分析研究区范围内非汛期一个月各情景不同片区的流速和水质变化情况,结果见图 8。

情景 1 在闸站关闭情况下,各个片区圩内河道呈滞流状态。COD、NH₃-N、TP 水质指标值最高,NH₃-N 和 TP 均处于劣 V 类标准,COD、NH₃-N、TP 超过黑臭河道标准的河长分别为 35%、22%、30%,超过远期水质目标的河长分别为 35%、50%、48%^①。

情景 2 按照活水畅流设计方案进行工程调度后,流速和水质均有明显改善。各片区流速在 0.034 ~ 0.064 m/s,圩内水质污染物浓度有显著降低,由基本为劣 V 类改善为西部引水片区 II ~ III 类、其他片区部分圩区改善为 IV ~ 劣 V 类,COD、NH₃-N、

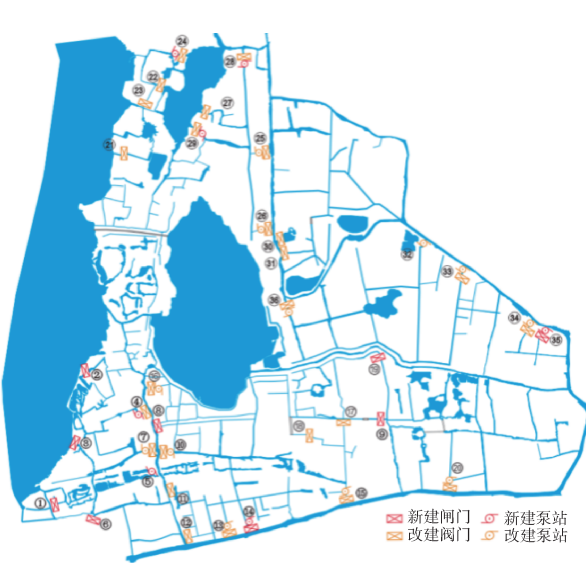
① MIKE11 模型中以 COD 进行模拟,评价时采用 COD_{Mn} 15 mg/L 对应的 COD 40 mg/L 作为评价依据。



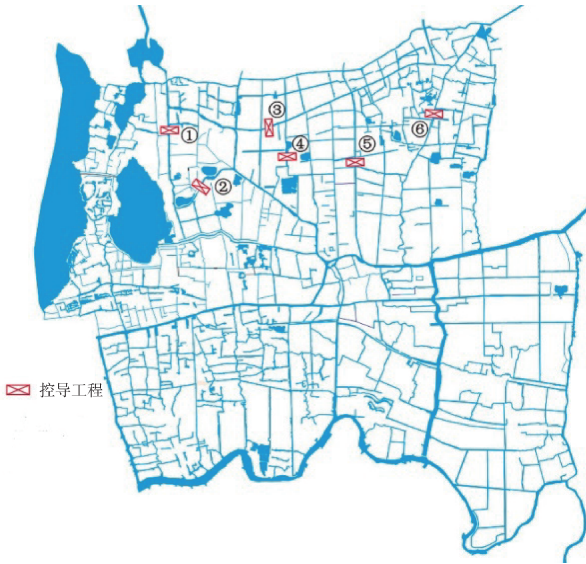
(a) 西部片区骨干河网治理示意图



(b) 河网综合整治示意图:西部片区为例



(c) 闸站更新改造示意图:西部片区为例



(d) 控导节制闸示意图

图 7 规划河网及工况情景示意图

表 3 活水畅流情景设计

情景	污染源	河网	工况	调度
1	现状	现状河网	现状工程	全关
2		现状河网	现状工程	设计 b
3		西部片区骨干河网治理 + 全域河网综合整治	全域闸站更新改造	设计 b
4		西部片区骨干河网治理 + 全域河网综合整治	全域闸站更新改造 + 控导节制闸	设计 b
5	规划 a	西部片区骨干河网治理 + 全域河网综合整治	全域闸站更新改造 + 控导节制闸	设计 b

注:a,规划污染为城镇生活污水渗漏污染总量削减85%;b,在圩内水位满足防洪排涝控制条件的基础上进行调度设计。

TP 超过黑臭河道标准的河长分别为 7%、3%、6%，超过远期水质目标的河长分别为 7%、14%、33%。

情景 3 在情景 2 的基础上开展西部片区骨干河网治理、全域河网综合整治和闸站更新改造，流速进一步增加，水质进一步改善。各片区流速提高至 0.043 ~ 0.066 m/s，COD、NH₃-N、TP 超过黑臭河道标准的河长分别为 4%、2%、2%，超过远期水质目标的河长分别为 5%、9%、14%。

情景 4 在情景 3 的基础上进行控导节制闸的建

设，用于调控水源结构和骨干河道水流。结果表明，圩内河道流速变化不大，但西部片区引水水源结构得到优化，从使用张家港、阳澄湖水源变为全部使用阳澄湖优质水源，同时北部片区水流方向得到有序调控。中心片区、南部片区水质得到明显改善，COD、NH₃-N、TP 超过黑臭河道标准的河长分别为 0%、1%、0%，基本实现消除黑臭的目标；超过远期水质目标的河长分别为 0%、4%、10%，但北部、南部、东南片区个别圩区 NH₃-N 超远期水质目标的河

长比例仍在 20% ~30%。

情景 5 在情景 4 的基础上消减污染源,北部片区、南部片区及东南片区水质得到明显改善,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 超远期水质目标的河长比例分别为 0%、1%、5%,基本实现活水畅流的远期目标。

模拟分析结果对活水畅流总体引排格局、引换水量、泵闸调度及规划工程体系布局,以及规划工程实施进度进行了印证。

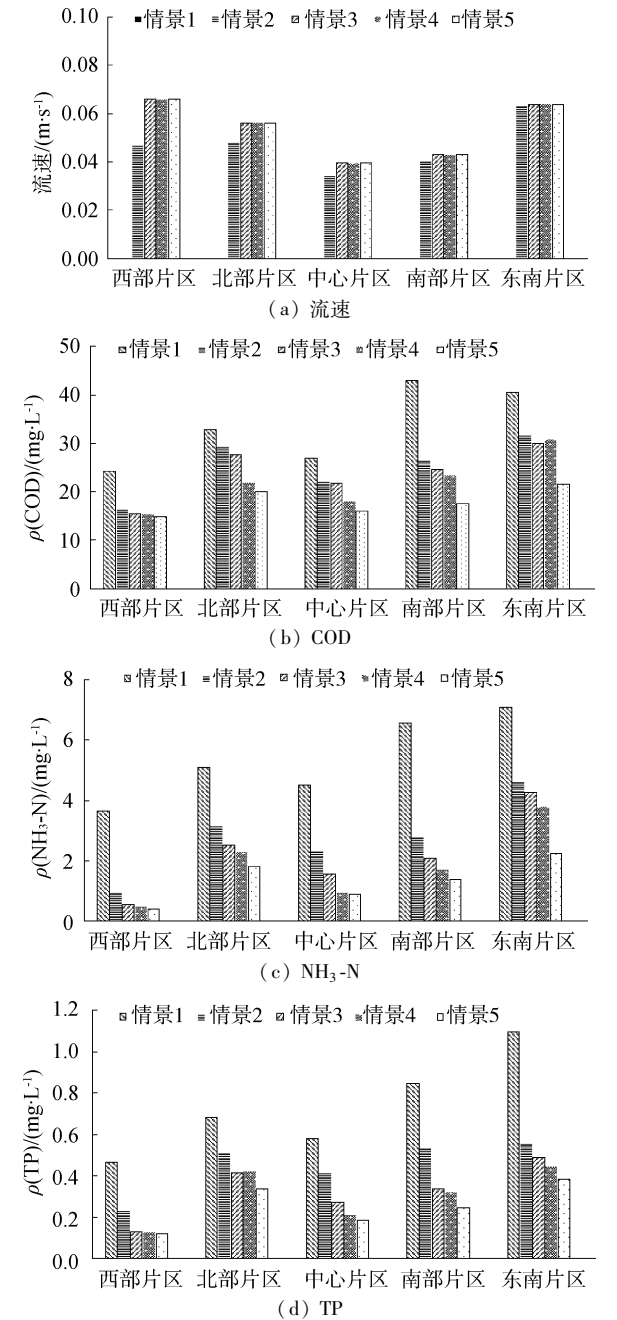


图 8 各情景不同片区水动力水质情况对比

5 结 论

a. 选择 DO 、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 作为控制指标并合理确定分区域指标限值,是活水畅流方案决策的重要前置条件。

b. 提出遵循水系特性、依托流域区域大引排趋势,充分利用和合理分配过境优质水资源,利用境内水利工程泵排自引,促进水体在圩内及圩外有序流动,形成“西水东引、南北排水”的调度格局及分区方案,是活水畅流方案决策的关键步骤。

c. 研究构建了 MIKE11 水量水质模型,并进行方案模拟验证。结果显示,通过现状工程调度和规划工程建设的实施,圩内河道平均流速达到 $0.057\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,圩内河道基本消除黑臭;辅以控源截污工程后,圩外骨干河道水质基本达到水功能区目标要求,圩内河道黑臭消除得到巩固加强,超过总体目标的河长百分比低于 5%,基本实现活水畅流远期目标要求,并在此基础上明确了工程体系建设方案布局及调度方案。

开展活水畅流工作,必须统筹好本区域与外部环境、治水与治污、当前与长远、水量与水质等多方面关系。本文提出的技术路线和方法对其他平原河网地区水环境改善方案研究具有一定的借鉴意义。

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] 夏琨,王华,秦文浩,等.水量调度对内秦淮河水质改善的效应评估 [J]. 水资源保护,2015,31(2):74-78. (XIA Kun,WANG Hua,QIN Wenhao,et al. Assessment on effects of water quality improvement in Inner Qinhuai River by water dispatching [J]. Water Resources Protection,2015,31(2):74-78. (in Chinese))

[3] 逢勇,王瑶瑶,胡绮玉.浙江温黄平原典型河流水质改善方案研究 [J]. 水资源保护,2016,32(2):100-105. (PANG Yong,WANG Yaoyao,HU Qiyu. Research on water quality improvement scheme for a typical river in Wenhua Plain in Zhejiang Province [J]. Water Resources Protection,2016,32(2):100-105. (in Chinese))

[4] 周芬,李红仙,盛海峰.基于浙东引水的萧绍宁平原引配水研究 [J]. 水资源保护,2016,32(4):34-38. (ZHOU Fen,LI Hongxian,SHENG Haifeng. Research of water diversion and allocation in Xiaoshao Ning Plain based on Eastern Zhejiang Water Diversion Project [J]. Water Resources Protection,2016,32(4):34-38. (in Chinese))

[5] 杜晓舜,陈长太,何斌,等.上海市引清调水工作的优化与完善 [J]. 水资源保护,2010,26(5):57-61. (DU Xiaoshun,CHEN Changtai,HE Bin,et al. Analysis of optimization and improvements of clean water diversion projects in Shanghai City [J]. Water Resources Protection, 2010,26(5):57-61. (in Chinese))

- [6] 陈建标,钱小娟,朱友银,等.南通市引江调水对河网水环境改善效果的模拟[J].水资源保护,2014,30(1):38-42. (CHEN Jianbiao, QIAN Xiaojuan, ZHU Youyin, et al. Simulation of improvement of water environment in river network of Nantong City by water diversion from Yangtze River[J]. Water Resources Protection, 2014, 30(1): 38-42. (in Chinese))
- [7] 陈浩,王飞,施巍巍.苏州古城区水环境改善方案研究:自流活水之配水工程[J].水利规划与设计,2015(7):86-89. (CHEN Hao, WANG Fei, SHI Weiwei. Planning research of water environment improvement in Suzhou ancient city: the water distribution project[J]. Water Resources Planning and Design, 2015(7): 86-89. (in Chinese))
- [8] 吴浩云.大型平原河网地区水量水质耦合模拟及联合调度研究[D].南京:河海大学,2006.
- [9] 丁一,贾海峰,丁永伟,等.基于EFDC模型的水乡城镇水网水动力优化调控研究[J].环境科学学报,2016,36(4):1440-1446. (DING Yi, JIA Haifeng, DING Yongwei, et al. Hydrodynamic optimization of urban river network of water towns based on EFDC model[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(4): 1440-1446. (in Chinese))
- [10] 殷洪,钱新,姚红,等.基于水质模型的河流水环境调控方案效果评估:以太浦河为例[J].环境保护科学,2015,41(2):48-52,66. (YIN Hong, QIAN Xin, YAO Hong, et al. Effect evaluation of the river water environmental risk prevention and control based on WASP by taking Taipu River as an example[J]. Environmental Protection Science, 2015, 41(2): 48-52, 66. (in Chinese))
- [11] 郭鹏程,轩晓博,闫大鹏.基于EFDC模型的人工湖水质保最佳运行方式研究[J].水资源保护,2014,30(1):53-56. (GUO Pengcheng, XUAN Xiaobo, YAN Dapeng. Optimal scheme of water quality assurance in artificial lakes based on EFDC model[J]. Water Resources Protection, 2014, 30(1): 53-56. (in Chinese))
- [12] 国家环境保护总局. GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国环境保护部.城市黑臭水体整治工作指南[R].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国环境保护部,2015.
- [14] 江苏省环境保护委员会.黑臭河道治理标准[R].南京:江苏省环境保护委员会,2014.
- [15] 太湖流域管理局.太湖流域综合规划(2012-2030)[R].上海:太湖流域管理局,2013.
- [16] 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司.七浦塘拓浚整治工程可行性研究报告[R].苏州:江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司,2011.

(收稿日期:2016-11-20 编辑:彭桃英)

(上接第 124 页)

- [10] 林勋励.长江口天文潮预报修正的一种方法[J].海洋预报,1985(1):38-46. (LIN Xunli. A method of updating the astronomical tide forecast in the Yangtze River Estuary[J]. Marine Forecast Service, 1985(1): 38-46. (in Chinese))
- [11] 李国芳,谭亚,张秀菊.感潮河段上游流量对潮位预报的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2006,34(2):144-147. (LI Guofang, TAN Ya, ZHANG Xiuju. Influence of upstream discharge in tidal level prediction for tidal reaches[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2006, 34(2): 144-147. (in Chinese))
- [12] 宋正逵,黄利亚,仇娟娟.长江上游径流对天生港站潮位影响浅析[J].水文,2010,30(4):56-58. (SONG Zhengkui, HUANG Liya, QIU Juanjuan. Influence of runoff from upper reaches of Yangtze River on tidal level at Tianshenggang Station[J]. Journal of Chinese Hydrology, 2010, 30(4): 56-58. (in Chinese))
- [13] 徐汉兴,樊连法,顾明杰.对长江潮区界与潮流界的研究[J].水运工程,2012(6):15-20. (XU Hanxing, Fan Lianfa, GU Mingjie. On tidal mark and tidal current mark in the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(6): 15-20. (in Chinese))
- [14] 侯成程,朱建荣.长江河口潮流界与径流量定量关系研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),2013(5):18-26. (HOU Chengcheng, ZHU Jianrong. Study on the quantitative relationship of the location of the tidal current limit and the river discharge in the Changjiang Estuary[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2013(5): 18-26. (in Chinese))
- [15] 杨云平,李义天,韩剑桥,等.长江口潮区和潮流界面变化及对工程响应[J].泥沙研究,2012(6):46-51. (YANG Yunping, LI Yitian, HAN Jianqiao, et al. Variation of tide limit and tidal current limit in Yangtze Estuary and its impact on projects[J]. Journal of Sediment Research, 2012(6): 46-51. (in Chinese))
- [16] 宋兰兰.长江潮流界位置探讨[J].水文,2002,22(5):25-26. (SONG Lanlan. Research on the location of tidal current limit of Yangtze River[J]. Journal of Chinese Hydrology, 2002, 22(5): 25-26. (in Chinese))
- [17] 夏云峰,闻云呈,梁婷.长江下游典型代表性潮型选择研究初探[C].//水道与港口工程国际学术研讨会论文集.天津:交通运输部天津水运工程科学研究院,2011:501-505.
- [18] GUO L, WEGEN M V D, JAY D A, et al. River-tide dynamics: exploration of nonstationary and nonlinear tidal behavior in the Yangtze River estuary: river tidal dynamics[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2015, 120(5): 3499-3521.
- [19] GODIN G. The analysis of tides[M]. Toronto, Buffalo: University of Toronto Press, 1972: 1005-1012.
- [20] 陈宗镛.潮汐学[M].北京:科学出版社,1980.
- [21] 俞慕耕.我国沿海潮汐的特点[C].//第一届潮汐与海平面学术讨论会论文集.天津:海洋局海洋科技情报研究所,1986.

(收稿日期:2017-01-09 编辑:彭桃英)