

以“自流活水”为核心的吴江松陵城区 水环境综合治理方案

谢 忱, 柳 杨, 丁 瑞, 刘珈荧, 范子武

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要:提出以“自流活水”为核心的水环境综合治理方案,经过数学模型计算及现场验证发现,通过控导工程激活城区水系,同时配合区域低洼地改造、河道整治、信息化建设等综合措施,城区大部分河道能够实现流动,流速达到 0.1m/s 及以上,河网水环境明显改善。

关键词:水动力; 水环境; 综合治理方案; 吴江

中图分类号:TV85

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)02-0026-05

Comprehensive water environment treatment scheme of Songling District of Wujiang with "gravity running water" as the core

XIE Chen, LIU Yang, DING Rui, LIU Jiaying, FAN Ziwu

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: A comprehensive water environment treatment scheme with "gravity running water" as the core was put forward. Through mathematical model calculation and field verification, It's found that the urban water system was activated through the control and guidance project, and with the comprehensive measures of regional low-lying land transformation, river regulation and information construction, most of the rivers in the urban area could flow, the flow rate reached 0.1m/s and above, and the water environment of the river network was obviously improved.

Key words: hydrodynamic; water environment; comprehensive treatment scheme; Wujiang

吴江松陵城区河网交织、水系复杂,是典型的平原河网区。近年来,随着城市化的快速发展,城市水网密度下降、城区河道水体富营养化、河道生态系统退化等问题突出。为了改善水环境质量,吴江区 2013 年开始实施了为期 3 年的综合整治和水系连通试点项目,2014 年 3 月,实施了牛腰泾清水工程,通过内苏州河和牛腰泾河向松陵城区内引水,2015 年以“清淤、活水、保洁、生态”为主题,开展了畅流活水工程,以畅流为重点,通过水系沟通、河道疏浚、岸坡整治、拆坝建桥等多种措施治理水环境。经过多年的治理,吴江区河网水环境有所改善,但在自流活水工程实施前,部分河道水质仍不

佳,甚至黑臭,城区水环境问题仍十分严峻。

目前,国内外主要通过物理、化学和生物等方法,控制水体外源性和内源性污染物的排入量,人工强化水体自身的净化能力,以降低水体中污染物的浓度,提高水体溶解氧浓度,提升河道水质^[1-5],具体措施包括控源截污、底泥疏浚、引清调度、生态修复等,此外,还包括水系改造和水系连通性治理等工程措施^[6-7]。对于吴江松陵城区而言,区域内河网纵横、水系密布,具有一定的水资源调蓄能力,且紧靠东太湖和京杭大运河,水质优良,水量充沛,为此,本文综合考虑吴江区水系及周边水系和水利工程分布等区域特点,提出以“自流活水”为核心的

收稿日期:2020-11-23

基金项目:江苏省水利科技重大技术攻关项目(2016005,2016009,2017001ZB)

作者简介:谢忱(1987—),女,高级工程师,博士,主要从事水环境治理、河湖健康评价等研究工作。E-mail:cxie@nhri.cn

水环境综合治理方案,通过综合治理,人工重构水位差,全面激活城区水系,提高水体流动性,同时配合区域低洼地改造、河道整治、信息化建设等综合措施,提升河网水体品质^[8-9],促进吴江松陵城区及苏州市生态文明建设。本文的研究成果可为其他平原城市的水环境提升提供技术借鉴和工程实践经验。

1 研究区域概况

吴江松陵城区西至内苏州河,南至安惠港,东至京杭运河,北至柳胥港,位于吴江区最北部,总面积 19.7 km²,处于长三角城市圈核心地带,东望上海市,北近苏锡常,南眺浙江省。区域内河网纵横,京杭大运河穿境而过,京杭运河以西沿太湖一线,属滨湖圩田平原型地貌,以东湖荡密布,属湖荡平原类型。吴江松陵城区主要河道有 32 条,水面率偏低,水闸 11 座、泵站 7 座、闸泵 10 座。区域内京杭大运河常水位 3.0 ~ 3.2 m(吴淞高程,下同),东太湖水位 3.2 ~ 3.4 m,城内水位控制 3.0 m 左右,不超过 3.15 m,油车河、木中小区低洼易涝区圩内水位不超过 2.6 m,其他低洼易涝区圩内水位不超过 3.15 m。

为改善水环境,松陵城区实施了一系列的工程措施,但依然存在以下几方面问题:城区水系复杂,水头差小,仅靠自然水势,水流引入后迅速从主干河道流走,难以分配进入内部中小河道;城区河道较弯曲束窄,连通性差,水流阻力大,主要靠闸泵抽排;存在多处低洼易涝小区,水位调控困难;河网内部缺乏控导工程,无法人为自由调控水流流量、流态;部分闸泵设施亟需翻新改造;部分河道两岸截污不彻底;区内闸泵众多,水网复杂,仅靠人工调度难以实现水资源高效利用等。

2 自流活水方案研究

2.1 引水水源比选

吴江松陵城区东临太湖、西接京杭大运河,通过对比太湖和京杭大运河水体水质、水量、工程设施等确定引水水源。

选择松陵大桥(太湖)和云里桥(大运河)两个典型断面的水质监测数据进行分析,如图 1 所示。图 1 可以看出,太湖的水质明显优于大运河。太湖流域面积约 36 000 km²,湖面面积约 2 338 km²,正常库容容量约为 45 亿 m³,从水量来看,太湖有着巨大的稀释和自净能力,并且,太湖常水位 3.2 ~ 3.4

m,京杭大运河水位为 3.0 ~ 3.2 m,太湖水位常年高于京杭大运河水位,另外,京杭大运河宽 90 ~ 100 m,有通航要求,引水构筑物建设可能对通航不利。综合分析太湖和京杭大运河的水体水质、水量和工程设施等因素,吴江松陵城区的引水水源确定为太湖。

2.2 引排路径分析

吴江松陵城区靠近太湖侧已建成牛腰泾河提升泵站,其中牛腰泾泵站共 4 台机组,内苏州河泵站共 6 台机组,牛腰泾河和内苏州河引水流量分别为 15 m³/s 和 10 m³/s,且都配有 12 m 宽闸门,因此,可选择内苏州河和牛腰泾河作为城区的两条清水通道。太湖优质水源经三船路河闸引入后,自南向北进入内苏州河,随后分配进入其他中小河道,或经牛腰泾闸和牛腰泾提升泵站引水进入牛腰泾河和内苏州河,其中,牛腰泾河清水主要供给松陵城区北部和东部,如西塘河、七里港、中山河等,内苏州河清水供给西部河流,如翁家塘港、小庙港、知青河等。

2.3 生态补水频次分析

依据河道实测断面,通过数学模型计算河道槽蓄量,获得松陵城区河网总水量,结合松陵城区引水工程总能力,并参考周边城市生态补水频次,制定松陵城区合理生态补水频次,确保水资源高效利用。

在常水位 3.0 m 时,河网总槽蓄量约 197 万 m³,水位每增加 10 cm,槽蓄量增加约 9 万 m³,如表 1 所示。依据现有引水工程,牛腰泾提升泵站最大能力 25 m³/s,24 h 引水量约为 216 万 m³,即 1 d 能蓄满河槽。参考周边城市生态补水频次,约 2 ~ 3 d 水体能够全部置换一次。

表 1 河槽水位水量关系

水位/m	水量/万 m ³
3.0	197
3.1	206
3.2	215
3.3	224
3.4	234
3.5	243
3.6	252

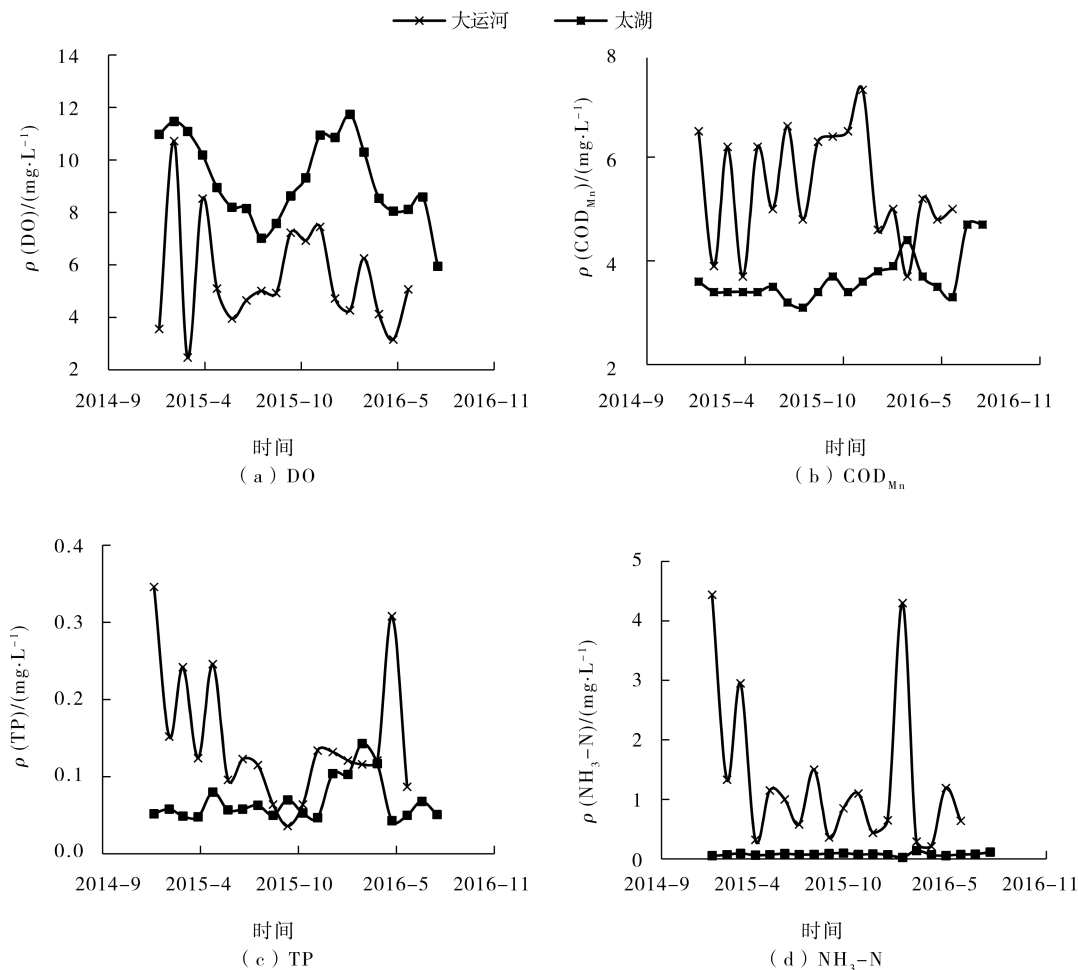


图1 太湖瓜泾口和大运河云里桥水质指标质量浓度对比

2.4 自流活水方案制定

(1) 水位重构与控导关键节点寻优

松陵城区河道是独特的“X”型河道,吴家港河与新桥河交叉处是关键节点,将太湖好水按需分配到每一条河流,并维持河道有序流动是活水难点,而在原工程条件下,城区内部能够用于调控水位的工程仅有梅石闸和西门闸,且东北部缺乏调控工程,无法实现人为分配水量。因此,通过新建3处控导工程,即西塘河溢流堰、水厂河闸、知青闸,增强内部调控能力,形成高水片和低水片,其中,高水片为溢流堰、西门闸、知青闸以西、溢流堰以北的区域,城区其他区域为低水片区。

(2) 自流活水实现

自流活水方案的原则是充分利用现有闸门,通过科学调度和联合调控尽可能自流。在原工程条件下,由于存在几处低洼地尚未改造,水位难以抬升,但在低洼区整治后,可调控梅石闸、西门闸、水厂河闸、知青闸、溢流堰,配合大运河、安惠港沿线闸门,内苏州河、牛腰泾河有条件抬高至3.5m高水

位,低水平区则通过调节运河沿线和安惠港沿线闸门,控制水位约2.9m,在高低水片形成后,经过区域内闸门精细调控,精确控制每条河道的分流比,让每一条河道都按照理想状态流动起来,实现全局调控。

3 水环境综合治理方案

如前文所述,吴江松陵城区存在多处低洼易涝区域,水系复杂、工程众多水位调控困难、区内闸泵众多,因此,在自流活水方案实施的同时,需结合河道整治、低洼地改造、智慧管理等工程与非工程措施,既要确保河道满足城市防洪排涝标准,保障居民安全,也要能够提高水体流动性,促进河道水质稳定提升。

综合吴江松陵城区水系、工程、地势等特点,为全面改善吴江松陵城区河网水环境,本方案在城区内建设或改造的工程共包括5类,分别为控导工程、低洼地改造工程、河道整治工程、闸泵站改造工程以及信息化建设工程。

(1)控导工程。为前文所述活动溢流堰(西塘河溢流堰)、水闸(水厂河闸、知青河东闸)3座控导工程,用于增强内部河网的调控能力,能够人为自由控制水位、流向、流量,也是自流活水的核心工程。

(2)低洼地改造工程。低洼易涝区的整治是达到最佳自流活水效果的必要前提。目前,吴江松陵城区存在多处低洼地,雨水管道管底高程低,暴雨时排水不畅,甚至会发生雨水倒灌。另外,由于低洼地均是建成区,自流活水要抬高部分河道水位,低洼易涝区控制水位较低(2.6~3.1 m),抬高地块竖向不具备条件,不能满足自流活水的整体要求。为保障居民的生命财产安全,维持日常生活秩序,低洼易涝区的整治至关重要。为此,本文针对城区内木中小区、油车小区的低洼地区,提出采用“小包围”治理工程,其中,木中小区排水进入九龙河,利用闸站控制九龙河水位,可解决小区排水不畅问题;油车小区向油车河排水,利用油车河上现有闸站可降低油车河水位,防止油车小区北部的内涝积水,而油车小区南部低洼地采用调整后的“小包围”治理措施,重新布置油车小区南的雨水管网,沿西塘河雨水出口封堵,使水流全部进入油车河,调整排水分区后采用“小包围”工程治理。另外,对于振泰小区、西塘小区两个低洼小区,依据海绵城市建设指南,在小区附近选择合适的地点建设独立的雨水花园,将雨水存于雨水花园,既可以抬高河道水位,满足自流活水的要求,也不致小区内涝。

(3)河道整治工程。包括九龙河中段暗渠改箱涵及明渠、西段污水拆除和岸坡整治,油车河实施污水管改造,文化宫小内河和江新河断头浜整治,小庙港、翁家塘港两条河道疏浚,梅石河束水断面拓宽,高新河北段与新开河交接处打通等,这些河道整治工程均有利于城区活水方案的实施。

(4)闸站改造工程。为增强区域内的闸泵站调控能力,实施油车河闸、江新河上江新闸和江新泵站改造工程。

(5)信息化建设工程。建设城区防洪与活水联控联调信息化系统平台,用于保障河网防洪和活水的精准程度与自动化程度,能够自动监测和调控河道水位,依据不同水位、工况执行不同的调度方案,为城区水环境精准调控提供技术支撑。

4 方案实施效果分析

4.1 数值模拟

(1)工况设计

针对前文所述的控导工程、低洼地改造工程、河道整治工程及闸站改造工程建设完成后的情景进行模拟和计算。根据太湖、内河及大运河可能发生的水位情况进行组合,共设计3种活水文况,即自引自排(工况1)、自引泵排(工况2)和泵引自排(工况3),其水位关系如图2所示。当太湖水位高于内河水位还高于大运河水位时,城区内部河道闸门开启、大部分泵站关闭,经过控导工程及闸门工程调控,可实现太湖优质水源自流进入城区内河再排入大运河,即工况1自引自排工况;当太湖水位高于内河水位并低于大运河水位时,需要开启沿运河侧大江河闸、北城河闸、东城河以及三江桥闸四座泵站排水入大运河,即工况2自引泵排工况;当太湖水位低于内河水位但高于大运河水位时,则需开启牛腰泾提升泵站分别引水入牛腰泾及内苏州河,促进城区活水自流,即工况3泵引自排工况。

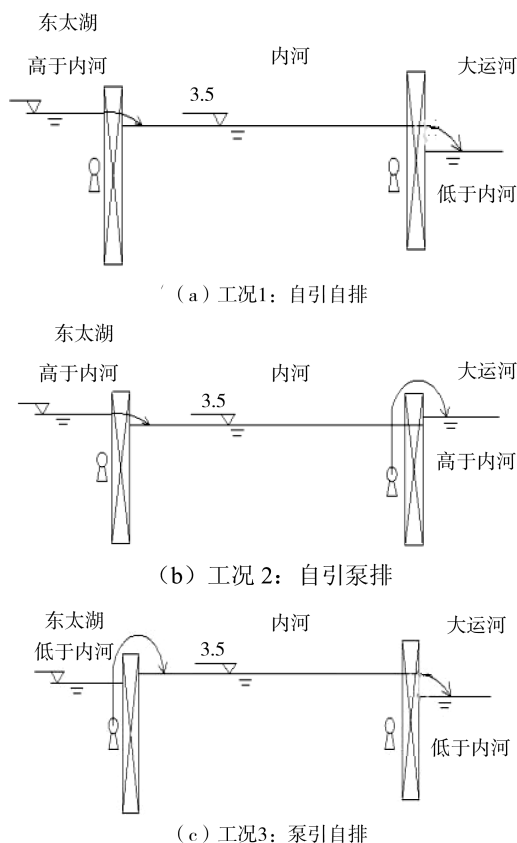


图2 3种活水文况对应水位示意图(单位:m)

(2)模拟结果分析

利用构建的吴江市松陵城区水动力数学模型,

计算 3 种工况条件下各河道的流量、流速,部分河道流量如表 2 所示。可以看出,经过精细调控,太湖优质水源不再从仅从骨干河道流走,而是进入城区内部中小河道,流量分配更加合理,大部分河道流速达到 0.1 m/s 以上。

表 2 不同工况下城区河道流量统计结果 单位: m^3/s

河道名称	工况 1	工况 2	工况 3
内苏州河	7.3	4.2	10.0
牛腰泾	25.5	11.3	15.0
大江河	8.6	1.5	1.5
东城河	2.9	6.0	10.5
花园河	4.1	2.8	6.0
新开河	5.3	3.2	7.0

4.2 现场验证

2019 年底西塘河溢流堰等控导工程、低洼地改造工程、闸站改造工程、信息化工程建设完成,城区水环境综合治理方案开始常态化运行,通过控导工程、信息化工程精确调控河道分流比,内部中小河道均流动起来,实现了城区全局调控和活水自流,吴江松陵城区水环境综合治理部分工程,如图 3 所示。



(a) 西塘河溢流堰工程



(b) 江新河北段断头浜治理工程

图 3 吴江松陵城区水环境治理工程

在城区水环境综合治理工程建设完成并投入运行后,根据信息化系统导出的瓜泾港、吴家港及行船路 3 个典型断面自 2020 年 1—8 月水质监测成果显示(图 4), $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 COD_{Mn} 质量浓度均稳定在Ⅲ类及以下水平,与以往相比,城区内水环境改善明显。

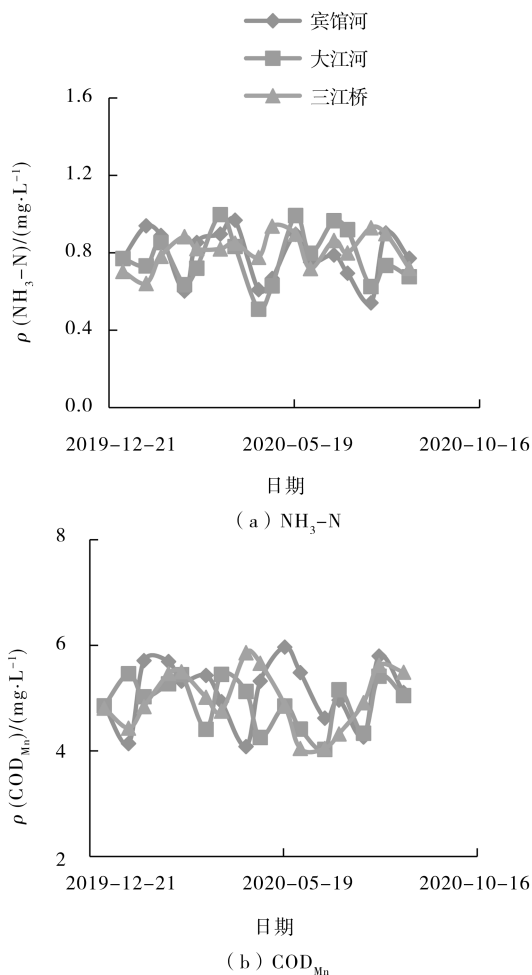


图 4 吴江松陵城区典型断面水质变化

5 结 语

吴江松陵城区为典型平原河网城市,水系呈独特的“X”型河道,地理位置西临太湖、东接运河,具有一定的代表性和独特性。利用优质丰富的太湖水作为引水水源,综合现有堤坝、闸、泵等水利工程科学调度,结合清淤拓浚、水系沟通、低洼地整治、控导工程、智慧管理等工程与非工程措施,形成了城区自流活水的河网络局,大部分河道平均流速达到 0.1 m/s,同时最大程度减少泵站使用,避免了泵站抽排带来的底泥翻起、水体感官变差、河道生态群落被干扰等问题。松陵城区水环境综合治理工

(下转第 36 页)

价标准界限值的评价因子对综合评价影响的差异,信息利用度高,进行综合属性测度计算后,能够反映评价因子的累积影响和综合污染效应。相对于熵权系数法确定权重,超标倍数赋权法在考虑污染因子的综合作用时,突出高浓度污染因子的作用,评价结果更符合实际,尤其当某项污染指标严重超出标准的情况下,且计算更加简便^[11]。可见,基于超标倍数赋权法的属性识别模型丰富和改进了地表水水质的评价方法。

参考文献:

- [1] 汪凤娣. 环境质量综合评价方法的改进[J]. 中国环境监测, 1999, 18(4):54-55.
- [2] 唐曾智, 田新成, 夏沅谱, 等. 基于属性识别理论的隧道施工超前地质预报可靠性分析[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(4):48-55.
- [3] 刘洋, 叶义成, 刘晓云, 等. 组合赋权-属性区间识别模型法优选采矿方法[J]. 金属矿山, 2017(7):25-30.
- [4] 陈伟, 李金龙, 方俊. 基于属性识别理论的油气管道施工质量风险评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2015(4):95-101.
- [5] 鲜涛, 姚安林, 李熠辰, 等. 基于属性识别法的学科质量评价[J]. 研究生教育研究, 2015(2):56-59.
- [6] 庞彦军, 刘开第, 张博文. 综合评价系统客观性指标权重的确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(8):37-42.
- [7] 杨学强, 李文俊, 岳勇. 综合评价指标权重确定方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2015, 29(1):101-105.
- [8] 高明美, 孙涛, 张坤. 基于超标倍数赋权法的济南市大气质量模糊动态评价[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(9):150-154.
- [9] 胡安焱. 博斯腾湖水水质评价的属性识别模型[J]. 水资源保护, 2006, 22(6):25-27.
- [10] 刘海术. 属性识别理论在福州内河水水质评价中的应用[J]. 海峡科学, 2014(6):34-36.
- [11] 阚宝珠, 付强, 宋族鑫. 基于超标倍数赋权法的模糊物元在湿地水质评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(1):97-99.

(上接第 30 页)

程顺利实施后,提高了城区河网水体流动性,改善了水环境,促进了水资源可持续高效利用与水环境生态系统改善。本文提出以“自流活水”为核心的吴江松陵城区水环境综合治理方案可在长三角地区乃至全国的平原河网地区城市进行推广应用,对推动平原河网水环境改善具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 张军, 周琪, 何蓉. 表面流人工湿地中氮磷的去除机理[J]. 生态环境, 2004, 13(1):98-101.
- [2] 段志勇, 刘超祥, 施汉昌, 等. 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8):4-7.
- [3] 唐艳, 胡小贞, 卢少勇. 污染底泥原位覆盖技术综述[J]. 生态学杂志, 2008(7):1125-1128.
- [4] 李锦秀, 杜斌, 孙以三. 水动力条件对富营养化影响规律探讨[J]. 水利水电技术, 2005, 36(5):15-18.
- [5] 耿震, 华伟, 沈晓铃. 仙蠡墩人工生态活水工程的设计[J]. 中国给水排水, 2007, 23(6):35-37.
- [6] 蔡晔, 顾俊, 刘德启, 等. 平原河网结构改造与水体有机物自净效果的实验研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(5):114-117.
- [7] 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究:概念框架[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3):513-522.
- [8] 梅新敏, 阮晓红, 张兰芳, 等. 调引太湖水改善苏州市水动力条件研究[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(1):60-62.
- [9] XIA J, ZHAI X Y, ZENG S D, et al. Systematic solutions and modeling on eco-water and its allocation applied to urban river restoration: case study in Beijing, China[J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2014, 14(1):39-54.