

长三角一体化示范区水生态环境治理思考¹

季永兴^{1,2}, 韩非非², 施震余², 陆扬²

(1. 华东建筑集团股份有限公司, 上海 200041:

2. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200061)

【摘要】为治理和提升长三角生态绿色一体化发展示范区水生态环境质量, 以示范区上海片区为例, 分析了河湖水资源和水环境状况, 提出系统治理的思维和流域治理的思路, 统筹陆上、滨水、河湖及信息系统 4 个空间的治理与管控, 通过雨污水源头治理与管控、清洁小流域与河湖生态修复、清洁水源与管网互联互通、防汛安全与水动力提升、智慧水务一体化管理协同五大治理措施, 逐步实现水生态环境综合治理的近远期目标。根据河网水量水质模型分析成果, 说明了省界河湖是上下游天然的水环境屏障。建议在上游水质尚未改善前慎用水资源调度模式, 滨水岸线生态修复的位置和标准需考虑历史原因、实际实施可行性和景观效果等因素。

【关键词】长三角一体化; 水生态环境治理; 水资源调度; 滨水岸线修复

【中图分类号】TV213;X52 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1004-6933(2021)01-0103-07

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.01.015

2018 年 11 月, 国家以上海青浦区、江苏吴江区、浙江嘉善县约 2400km² 的区域设立长三角生态绿色一体化发展示范区(以下简称“示范区”), 其中先行启动区约 660km²、协同区约 450km²(图 1), 并要求把保护和修复生态环境摆在优先位置, 打造“生态价值”“绿色创新发展”“绿色宜居”3 个新高地, 以“一河三湖”(即太浦河、汾湖、淀山湖、元荡)为重点, 加强生态环境综合治理, 构建优美和谐生态空间, 建设世界著名文化生态湖区。示范区位于典型的江南水乡区域, 河网纵横、湖荡密布, 水资源极其丰富。受行政区划影响, 区域内河湖水环境既受本地各类污染源排放影响, 也受上游来水水质影响。上海片区水环境既受上游太湖来水水质影响, 还受太浦河穿越江苏吴江、浙江嘉兴沿线汇水水质影响^[1-2], 也有来自江苏昆山经淀山湖下泄来水水质影响^[3-4]。虽然, 近年青浦环城水系^[5-6]、国家会展中心周边水系^[7]、新塘港、新谊河等河道经过综合整治, 但都是局部零星治理, 未形成整体系列治理, 仍然存在河湖水环境面貌不佳和水质状况不稳定等现象, 与《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》提出的要求还有很大差距。为了尽快提升上海片区水生态环境质量, 在示范区尚未完全形成一体化协作机制前, 上海市有关部门希望先行研究示范区上海片区水生态环境综合治理方案, 梳理河湖水系资源, 分析水环境状况, 提出水生态环境治理原则、目标、思路和措施, 并明确近期重点任务。

¹收稿日期: 2020-06-19

基金项目:上海市水务局科研计划(沪水科 2019-01);上海市黄浦区自主创新领军人才计划

作者简介:季永兴(1970-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水利工程设计研究。E-mail:jiyx@shl63.net



图1 长三角一体化示范区区域位置

1 水环境现状及问题

1.1 河湖资源

长三角生态绿色一体化发展示范区上海片区主要指上海市青浦区。青浦区总面积约 668km², 处于太湖流域下游, 地势低洼, 易受洪、涝、潮多重灾害威胁。区内河湖水系密布, 水资源禀赋丰富, 共有湖泊 24 个, 面积约 57km²; 河道 1945 条, 长度约 2418km, 河湖连通, 水面率约 18.66%。区内防洪除涝系统由流域骨干工程、区域骨干工程和坪区、城镇雨水排水系统组成, 依托水利片统一调度。规划防洪标准为 50 年一遇, 除涝标准为 20 年一遇, 受多种因素制约, 目前防洪除涝设施尚未按规划全面建成。区域内河湖大部分受人工调度控制, 常水位一般控制在 2.30~2.80m, 历史实测最高水位(青浦南门站)为 3.77m, 出现在 1999 年 7 月 1 日梅雨期间。

1.2 水环境现状及问题

根据调查, 区内水质总体还不稳定, 季节性变化较大, 2019 年 4 月全区水质监测结果显示(表 1), 河网水质总体逐渐提升, 主要河流(湖泊)水质集中在 II 类和 III 类, 但劣 V 类水未完全消除, 与水功能区划要求相比仍有一定差距。流域河道吴淞江、太浦河等水质基本稳定在 III 类、IV 类。重点湖区(淀山湖、元荡)水质仍不稳定, 总氮、总磷超标问题突出。另外, 河湖水环境面貌杂乱, 水体感官相对较差, 金泽、朱家角先行启动区水体透明度为 30~70 高品质水环境有差距, 冬季水体透明度优于夏季(图 2)。区内城镇污水处理率虽已超 90%, 基本达到了规划目标, 但城镇集建区以外地区(包括 195 个零星工业区块)尚有部分污水未集中收集, 生活污水、工业废水及初期雨水自排入河道, 影响了水质。另外, 农村生活污水排放标准偏低, 分散处理设施功能性退化及早期处理工艺达不到排放标准的问题较为突出。

表 1 2019 年 4 月青浦区主干河湖水质情况

水体	管理等级	水质等级
吴淞江-苏州河	市管河道	III、IV 类
油墩港	市管河道	III、IV 类
太浦河	市管河道	II、III 类
红旗塘-大蒸塘-园泄泾	市管河道	III 类

拦路港-浏河-斜塘	市管河道	II 类
淀浦河	市管河道	II、III 类
淀山湖	市管河道	III、劣 V 类（总氮超标）
元荡	市管河道	III、劣 V 类（总氮超标）
东大盈港	区管河道	III、V 类
西大盈港	区管河道	III、IV 类
新通波塘	区管河道	IV、V 类
新谊河	区管河道	III 类

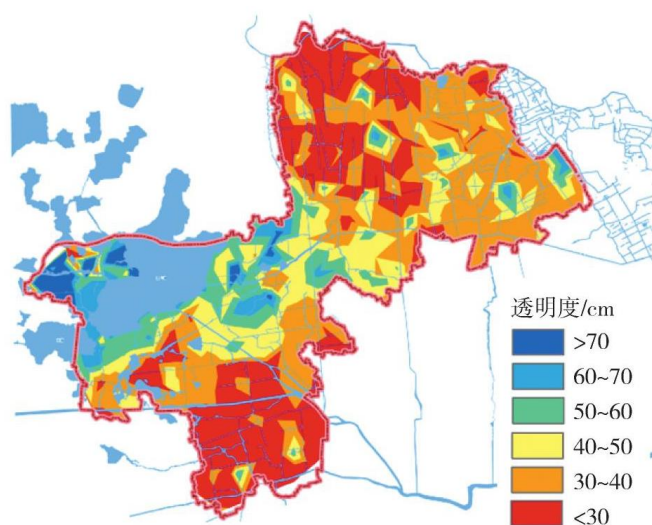


图2 2018年9月青浦区水体透明度分布

2 治理目标与思路

2.1 治理目标与范围

《长三角生态绿色一体化发展示范区总体方案》明确要“以太浦河、淀山湖、元荡、汾湖‘一河三湖’为重点，大力推进周边及沿岸地区工业点源污染治理、岸线综合整治”，并明确“到2025年，主要水体功能区水质达标率达到95%以上；太浦河水质稳定达到III类，淀山湖水质除总氮外所有指标达到IV类（总氮V类）”。近期，上海片区水环境治理将以此为目标，以先行启动区作为重点整治范围，以青浦新城、西岑科创中心、西虹桥商务区为重点区域，以跨界河湖整治为先行示范，以一体化示范区及其周边区域为研究范围，恢复水环境至20世纪80年代“人可下河、鱼可上桌”的水平。远期，上海片区的水环境将与示范区一起全面形成健康稳定可持续的水生态系统，全面建设成为示范引领长三角更高质量一体化发展的标杆，实现“清水绿岸、鱼翔浅底”目标。

2.2 治理思路与原则

上海片区的河湖既是示范区的生态绿色基底，也是上海重要的水源地，所以，水生态环境综合治理需要按系统治理的思维和流域治理的思路，总体以促进人与自然和谐相处、维护河湖健康、保障水资源可持续利用为主线，以保障水生态安全、防洪安全、供水安全为核心，统筹陆上、滨水、河湖及信息系统4个空间治理与管控，对标世界著名生态河湖群建设标准，通过

雨污水源头治理与管控、清洁小流域与河湖生态修复、清洁水源与管网互连互通、防汛安全与水动力提升、智慧水务一体化管理协同五大治理措施，逐步实现水生态环境综合治理目标（图 3）。同时，水环境治理坚持如下原则：

a. 生态优先，系统治理、水岸同治、城镇村共治。牢固树立生态优先的理念，统筹洪涝灾害防治、水资源利用、水生态环境保护，抓住影响区域水环境质量提升的主要因素，以问题为导向，坚持水岸同治、城镇村共治等多措并举的系统治理。

b. 区域协同，河湖连通，管网互通，集约高效。充分利用区域内现有河湖荡水系及东太湖、太浦河等优质水资源，加强河湖水系连通，增强流域、区域及坪（片）区的水力联系，完善雨水收集与处理，提高区域蓄泄调控和水资源利用能力；推进区域内供水、排水互连互通，提高供水排水安全保障能力。

c. 高起点规划，高标准建设，突出重点，分步推进。构建全区生态水网，高标准建设太浦河、淀山湖、元荡等重要跨省河湖的多功能生态廊道和岸线的达标与贯通；建成量质并重、节水优先、安全高效的供排水体系，率先在西虹桥商务区、华为科研基地等重点区域实现高品质供水，其他区域分步推进。

d. 科技创新，智慧管理，共建共享，综合调度。建设功能复合的智慧水网管理系统，实现示范区水情、雨情、工情、供排水厂及管网监测信息的全覆盖，逐步开展生态监测，提升智能化水平，推进跨区、跨行业信息共享与一体化水环境综合调度管理。

3 主要技术措施

3.1 雨污水源头治理与管控

雨水方面，在青松大控制片、商榻片、太北片、太南片四大水利分片布局基础上，坚持自排为主、强排为辅的排水模式，根据城市发展和排水设施建设情况，采用不同提标途径，形成“一网、一城、多区”的规划布局，并实施排水系统提标改造、雨水系统提质增效、初期雨水治理、海绵示范工程及智能化建设。“一网”，即由市政排水管道及泵站组成的市政排水管网；“一城”，即主要服务于青浦新城地区的雨水排水系统；“多区”，即由服务于多个乡镇集建区组成的雨水排水系统。

污水方面，一方面改变零星处理模式，调整“七片十厂”格局为“三片、六厂”布局（图 4）；另一方面通过污水处理厂扩建、管网互连互通、总管及泵站提质增效、污泥处理处置、农村污水改造、重点项目配套建设等措施，提高污水处理率，提升出厂水质。

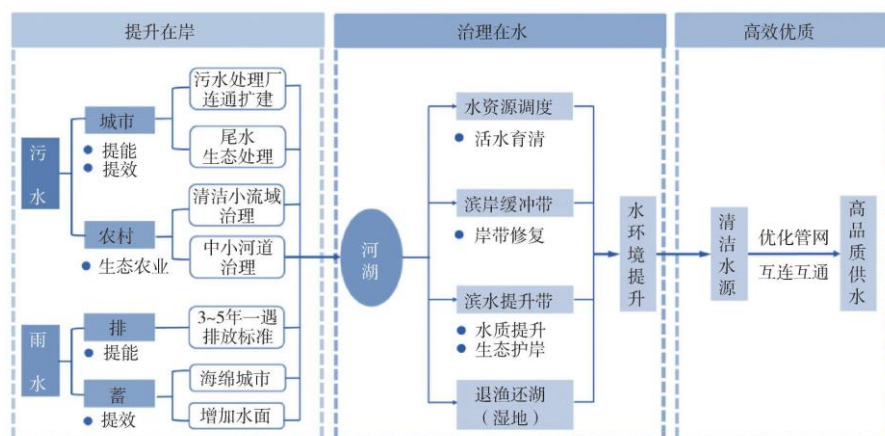


图3 水生态环境综合整治总体技术路线

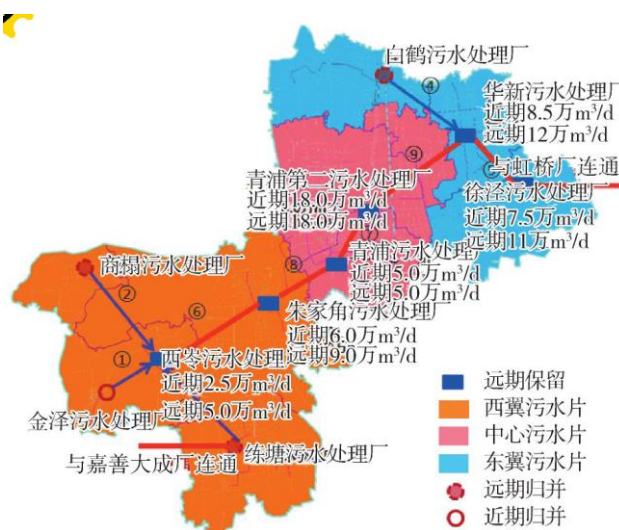


图4 规划污水分区处理示意图

3.2 清洁小流域与河湖生态修复

平原河网地区的河湖水系治理是一项复杂的系统工程。一方面是“污染在水里，根子在岸上”，另一方面是由于平原河网地区的河湖是连通的，单一的河道治理难以改善整体水环境，必须以系统治理的思维和流域治理的思路（在平原河网地区分片治理模式下，可称为“坪区治理”），通过“三道防线、五大措施”综合治理（图5）。“三道防线”，即生态修复、生态治理、生态保护；“五大措施”，即河湖水系治理、面源污染治理、水土流失综合防治、生态修复及人居环境改善。以治水为核心，生态修复为重点，通过水质的提升和生态系统的改善，打造环境优美、人水和谐的人居环境。根据各河湖水系在示范区的重要性，拟定分4批实施，近期重点治理元荡、淀山湖、太浦河、拦路港等省界河湖、生态绿廊以及虹桥商务区周边水系（图6）。



图5 生态清洁小流域治理模式

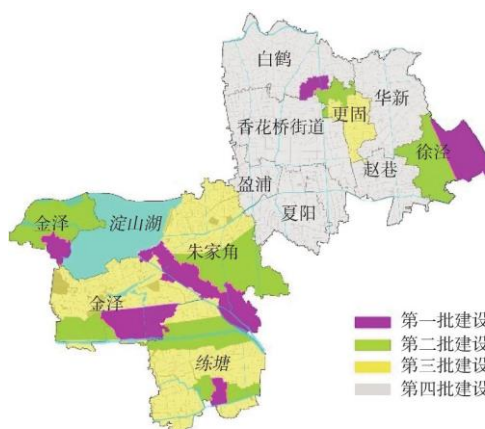


图6 清洁小流域治理分区及实施顺序

3.3 清洁水源与管网互连互通

黄浦江上游自闵行区西界至青浦区淀峰 45km 的黄浦江水域被划为水源保护区，包括淀山湖与元荡湖体，沿江湖两岸纵深 5km 陆域以及大泖港、园泄泾上溯 10km 的水域。2016 年底竣工蓄水的金泽水库是黄浦江上游重要的水源地，受益人口达 670 万人。金泽水库的水是通过泵站引东太湖经太浦河下泄途径的水，所以太浦河及周边水系为一级水源保护区。元荡、淀山湖及周边水系是二级水源保护区。因此，示范区的河湖水系是整个区域的重要清洁水源。

青浦现有 3 座水厂，水源来自不同地方。东部徐泾水厂的原水来自青草沙水库，中部第二水厂原水由太浦河取水泵站转输后供水，西部第三水厂原水来自金泽水库。一方面 3 座水厂的规模不够，另一方面 3 座水厂的管道尚未连通，供水安全保障不足，所以，为保障示范区供水安全和提高供水品质，一是需要提升河湖水源水质，二是要形成双路供水管道，三是要实现管网互连互通，还要研究建设直接由东太湖或其他水源供水的可行性，以及与嘉善、吴江、嘉定、松江、金山、市区相衔接的应急供水连通方案。

3.4 防汛安全与水动力提升

青浦区处于太湖下游，境内有吴淞江、急水港、拦路港或泖河、太浦河、大蒸塘等流域行洪通道，太湖流域东排涝水经本区境泄入黄浦江归海。另一方面，青浦地势总体低平，外围除涝泵站建设速度相对滞后，片内河道高水位高、持续时间长，除

涝风险日益突出,所以,在防洪除涝方面要构建流域防洪、水利分区防洪除涝和圩区防洪除涝 3 个层次的防洪减灾体系,妥善处理流域与区域、上游与下游、防洪与除涝的关系。根据《太湖流域防洪规划》,流域防洪采用防御流域不同降雨典型 100 年一遇防洪标准;水利分片防洪采用防御区域 50 年一遇防洪标准;城镇圩区除涝采用 20 年一遇最大 24h 降雨 1d 排出不受涝标准。在实施水环境治理的同时,开展河湖岸线堤防达标、水系连通、圩区优化、排涝能力提升等。

平原河网地区的另一个重要特点是水体流动弱、流速慢、水体自净能力低,所以需要通过增加人工动力,创造“流水不腐”的条件。对“引清调水”改善水环境的方式,许多学者做了研究和实践。上海较早地在苏州河水系实施了综合调水改善水环境,2002 年底基本消除了苏州河干流黑臭的现象^[13]。其后,引清调度技术成为江苏、浙江等平原河网地区水环境改善的研究热点^[13-16]。区域内位于国家会展中心周边水系的小丫来港,通过增加水动力和其他生物净化措施,让其被评为了“长江经济带最美河湖”,所以,在示范区既可以从流域、区域层面开展水动力提升建设和运行调度,也可以从水利分片和圩区层面开展水动力提升建设和运行调度。

3.5 智慧水务一体化管理协同

密布互连的河网水系、众多的调控泵闸枢纽、互连互通的水厂和管网等均迫切需要从数据、计算、分析到智能决策一体化,同时也为物联网、云计算、大数据、人工智能等新兴信息技术提供应用基础,所以,示范区水环境治理应基于物联网、云计算、大数据、人工智能等新兴信息技术,以“智慧驱动、精准治理”为理念,通过构建感知与仿真、决策与预警、调度与控制三大核心能力,实现感知全天候、业务全覆盖、监控全过程,建设功能复合的智慧水网。重点建设防汛排涝、水利水务工程运行管理和供排水监管三大应用体系,在提升水务安全运行保障能力的同时,实现水生态环境管理智慧调度。

4 关键问题讨论

4.1 水资源调度的影响

虽然水资源调度可以达到改善水环境的目的,但有学者研究发现,在污染源未有效治理或存在河湖局部污染较重的情况下,引水将会使污染物发生二次迁移,对另一部分河湖水质产生污染风险。DAI 等^[15]研究了引长江水入望虞河改善武澄锡虞区河网水质的作用,发现总体上调水后的河网水质优于不实施调水情况的水质,但是局部地区水质出现了恶化。宋兰兰等^[16-17]研究了太浦河泵闸联合调度向下游供水对流域水环境产生的污染风险。YAO 等^[18]研究了引水对湖泊生态系统的负面影响。

笔者建立了青松水利控制片一维耦合的河网水量水质模型,以 2018 年 3 月作为典型月份,初步模拟计算了利用淀山湖、元荡等西部较好水资源改善东部地区水环境的情况。结果显示:在淀山湖、元荡等省界河湖增设泵站引水,并在苏州河、淀浦河、拦路港等位置增加排水泵站,可以有效促进河网水系的水体有序流动,改善东部地区水环境。但是,在淀山湖增设 70m³/s 的引水泵站持续引水 1 个月后,湖内水位下降约 0.07m,大部分湖区总磷(TP)和总氮(TN)浓度均有所增加,特别是新塘江闸和淀西闸出水口附近最大增加幅度分别为 13%和 15%,水体水质类别未变。这结果与实测湖区富营养化程度分布基本一致^[19]。

由上分析可得出,省界河湖是上海片区天然的水环境屏障,上游来水到达省界湖泊后流速减小,泥沙沉淀,水质在大水体中得到生物净化,然后再流向下游。在上游河湖引水水源水质较好的情况下,通过增加水动力条件,可以改善局部水环境,但是在上游水质尚未改善时应慎用水资源调度模式,否则会加剧省界河湖水环境的污染。

4.2 生态岸线贯通位置及标准

河湖水环境修复的一项重要内容就是河湖滨水岸线生态修复,既要满足滨水岸线生态修复要求,还要满足一定的防洪要求和滨水空间营造要求。由于历史的原因,淀山湖、元荡的防洪以环湖第一条市政(交通)路为主,湖滨建设了墙顶高程约 3.5~4.2m

的护岸，第一条市政（交通）路至护岸有宽度不等的空间，地面高程约为 3.5~4.2m，其间有企业、村庄、商品房、公共设施和农田。根据淀峰水文站历史资料分析，100 年一遇洪水位为 4.01m，50 年一遇洪水位为 3.89m，20 年一遇洪水位为 3.72m，20 年一遇洪水位为 3.56m，历史最高水位为 3.89m。

如果考虑生态修复的滨水岸线与规划的防洪堤防结合，则临湖的岸线堤顶高程需结合防洪要求，根据 GB50201—2014《防洪标准》，按照 100 年一遇设防标准，考虑波浪爬高和安全超高后，堤顶高程约 5.74m。如果按此进行生态岸线修复和堤防建设，受临湖空间限制因素较多，同时过高的堤防遮挡了临湖视线，景观效果极差；如果生态修复的滨水岸线不与规划的防洪堤防结合，还是利用环湖第一条市政（交通）路防洪，则生态修复的滨水岸线只需满足保护第一条市政（交通）路的设施和人口安全，按照 GB50201—2014《防洪标准》，防洪标准可以降低至 10-20 年一遇，则护岸顶高程还是可以采用 4.2m。即使发生历史最高水位 3.89m 的情况，仅在发生大风大浪时有波浪越过护岸，但不会造成大面积洪水淹没风险。笔者认为，环湖生态岸线贯通应综合考虑防洪、护岸、环境、生态、交通、人行等综合功能需求，采用分级防洪思路；总体防洪标准不降低，环湖防洪仍以第一条市政（交通）路为主，按照 100 年一遇防洪标准；生态岸线贯通临湖实施（图 7），护岸顶高程采用 10-20 年一遇防洪标准。生态岸线修复可结合慢行系统贯通实施，一方面贯通岸线，另一方面硬化的路面可防止越浪对土体的破坏。



图 7 元荡防洪岸线及生态修复岸线位置示意图

5 结语

水是生态之基，示范区要构建人与自然和谐共生的生态格局，首要任务是以区域内交错密布的河湖水系的自然本底为生境建设基础，强化滨水湿地恢复与保护，治理和提升水体水环境。示范区内河湖水系具有平原河网水系显著特点，也具有江南水乡文化特色，所以水环境治理需要以系统治理的思维和流域治理的思路，统筹陆上、滨水、河湖及信息系统 4 个空间治理与管控，通过雨污水源头治理与管控、清洁小流域与河湖生态修复、清洁水源与管网互连互通、防汛安全与水动力提升、智慧水务一体化管理协同五大治理措施，逐步实现水生态环境综合治理目标。

位于示范区内的淀山湖、元荡、雪落漾、汾湖等湖泊是河流上下游天然的水环境屏障，可以起到沉淀泥沙、净化水质、修复生态的作用，但是初步研究结果显示，在上游水质尚未改善时应慎用水资源调度模式，否则会加剧湖泊水体的污染。同时，在修复水环境时应将滨水岸线生态修复作为一项重要内容，并考虑历史原因、实际实施可行性和景观效果等因素确定岸线贯通位置 and 标准。

参考文献：

-
- [1]阮仁良,屠鹤鸣,蔡肖月,等.太浦河开通对上海市水环境的影响[J].环境科学研究,1999(5):54-57. (RUAN Renliang, TU Heming, CAI Xiaoyue, et al. Water environment effects of River Taipu dredging in Shanghai [J]. Research of Environmental Sciences, 1999(5): 54-57. (in Chinese))
- [2]刘水芹,田华,胡岚.太浦河调水对黄浦江上游水源地水质影响的试验 M.水资源保护,2009,25(4):4-13. (LIU Shuiqin, TIAN Hua, HU Lan. Experimental study on water diversion from Taipu River and its effect on water quality of drinking water sources of the Huangpu River upstream reach [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 4-13. (in Chinese))
- [3]卢嘉,李小平,陈小华.淀山湖总氮和总磷的时空模拟分布[J].环境监测管理与技术,2010,22(6):32-38. (LU Jia, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua. Temporal and spatial distribution of total nitrogen and total phosphorus in Dianshan Lake [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2010, 22(6): 32-38. (in Chinese))
- [4]王子轩,逢勇,罗缙,等.淀山湖流域平原河网水环境容量及控制断面水质达标方案研究[J].水资源与水工程学报,2015,26(6):61-65. (WANG Zixuan, PANG Yong, LUO Jin, et al. Study of water environment capacity and standard program of water quality on control section in plain river network of Dianshan Lake basin [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering? 2015, 26(6): 61-65. (in Chinese))
- [5]李硕娇,季永兴,施皓.重塑上海水城,留住青浦乡愁:青浦环城水系治理工程[J].H+A 华建筑,2018(3):118-121. (LI Shuo, JIAO JI Yongxing, SHI Hao. Remodeling Shanghai water town, and holding back Qingpu nostalgia: treatment project of the round-the-city water-system in Qingpu [J]. H + A Hua Architecture, 2018(3): 118-121. (in Chinese))
- [6]陈庆江,季永兴.平原河网水系城市滨水空间更新改造 实践[J].上海城市规划,2020(3):69-74. (CHEN Qingjiang, JI Yongxing. The practice of urban waterfront renovation in the plain river system: a case study of urban river system-park of Qingpu City, Shanghai [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(3): 69-74. (in Chinese))
- [7]陈庆江,丁瑞,王维维.进博会区域河网水环境提升与效果评估水利水运工程学报,2020(3):122-128. (CHEN Qingjiang, DING Rui, WANG Weiwei. Improvement and effect evaluation of river network water environment in China International Import Expo area [J]. Hydro-Science and Engineering, 2020(3): 122-128. (in Chinese))
- [8]马骏,刘怡.考虑水资源约束的长江经济带绿色可持续发展评价水利经济,2020,38(3):13-18. (MA Jun, LIU Yi. Evaluation of green and sustainable development of Yangtze River Economic Belt considering constraint of water resources [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2020, 38(3): 13-18. (in Chinese))
- [9]黄德春,任也平,张长征.强度-总量控制下的水资源利用效率对人水和谐的影响[J]水利经济,2019,37(2):1-7. (HUANG Dechun, REN Yeping, ZHANG Changzheng. Effect of utilization efficiency of water resources on human-water harmony under intensity-total control [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(2): 1-7. (in Chinese))
- [10]徐贵泉,褚君达.上海市引清调水改善水环境探讨[J].水资源保护,2001,17(3):26-30. (XU Guiquan, CHU Junda. Water environment improvement by clean water diversion in Shanghai City [J]. Water Resources Protection, 2001, 17(3): 26-30. (in Chinese))
- [11]XU Zuxin, LU Shiqiang. Research on hydrodynamic and water quality model for tidal river networks [J]. Journal

of Hydrodynamics: Ser.B, 2003, 15(2):64-70.

[12]季永兴, 刘水芹. 苏州河水环境治理 20 年回顾与展望[J]. 水资源保护, 2020, 36 (1) : 25-30. (JI Yongxing, LIU Shuiqin. Review and prospect of Suzhou Creek water environment treatment in 20 years [J] . Water Resources Protection, 2020, 36(1) :25-30. (in Chinese))

[13]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) : 843. (CHEN Qingjiang, 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):843. (in Chinese))

[14]HU Weiping, ZHAI Shuijing, ZHU Zecong, et al. Impacts of the Yangtze River water transfer on the restoration of Taihu [J] . Ecological Engineering, 2008, 34 (1) :30-49.

[15]DAI Jiangyu, WU Shiqiang, WU Xiufeng, et al. Effects of water diversion from Yangtze River to Lake Taihu on the phytoplankton habitat of the Wangyu River Channel [J]. Water, 2018, 10(6):759.

[16]宋兰兰, 麻林, 刘凌. 太湖流域典型调水试验水质污染 风险研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(7):20~3. (SONG Lanlan, MA Lin, LIU Ling. Research on water pollution risk assessment of typical transferring water experiment in Taihu Lake Basin [J] . China Rural Water and Hydropower, 2013(7): 20-23. (in Chinese))

[17]黄志鸿, 董增川, 周涛, 等. 面向生态友好的水库群调度模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48 (3): 202~08. (HUANG Zhihong, DONG Zengchuan, ZHOU Tao, et al. Group operation model for ecological friendly reservoir [J] . Journal of Hohai University (Natural Sciences) , 2020, 48(3):202-208. (in Chinese))

[18]YAO Xiaolong, ZHANG Lu, ZHANG Yunlin, et al. Water diversion projects negatively impact lake metabolism: a case study in Lake Dazong, China [J]. Science of the Total Environment , 2017, 613/614:1460-1468.

[19]李宏祥, 田华, 梁国康. 淀山湖富营养化现状及生态修复措施分析[J]. 水资源保护, 2012, 28 (3) :83-87. (LI Hongxiang, TIAN Hua, LIANG Guokang. Analysis of eutrophication and measures for ecological restoration in Dianshan Lake [J] . Water Resources Protection, 2012, 28 (3):83-87. (in Chinese))