

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.01.004

苏州河水环境治理 20 年回顾与展望

季永兴¹, 刘水芹²

(1. 上海市水利工程设计研究院有限公司 上海 200061; 2. 上海市水文总站 上海 200336)

摘要:简要阐述了苏州河历史演变、水文特性和水环境变化过程,回顾了自1998年开始的苏州河环境综合整治一期、二期、三期工程及开展的相关科研工作,并利用干流历年水质变化过程分析了历次治理取得的成效。结果表明:一期整治工程对水质指标的改善效果较好,而二、三期工程影响不明显,但当郊区河道进一步治理后,干流水质得到进一步好转。最后,针对目前正开展的苏州河综合整治四期工程总体方案,指出更大范围、更加彻底的标本兼治苏州河支流水环境会提升苏州河干流水环境,但要恢复苏州河的“水清岸绿、鱼翔浅底”的生态功能,还需有漫长的过程,且需要上游的江苏省内河道同步治理。

关键词:苏州河;水环境;综合整治;干流水质;上海市

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)01-0025-06

Review and prospect of Suzhou Creek water environment treatment in 20 years // JI Yongxing¹, LIU Shuiqin²
(1. Shanghai Water Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200061, China; 2. Shanghai General Hydrology Station, Shanghai 200336, China)

Abstract: This paper briefly describes the historical evolution, hydrological characteristics and water environment change process of Suzhou Creek, reviews the first, second, and third stages of Suzhou River environmental comprehensive treatment project since 1998 and the related scientific research work, and analyzes the achievements of the previous treatment by using the water quality change process of the main stream over years. The results show that the improvement of water quality index is better in the first stage, but the influence of the second and third stages is not obvious. But when the suburban river is further improved, the water quality of the main stream is further improved. Finally, in view of the overall plan of the fourth stage of Suzhou Creek comprehensive treatment project, it is pointed out that a wider and more thorough treatment of the water environment of branchs of Suzhou Creek will improve the water environment of the main stream. However, to restore the ecological function of Suzhou Creek, which is “clear water, green bank, and fish swimming in rivers”, it needs a long process, and the upstream in Jiangsu Province needs to be controlled simultaneously.

Key words: Suzhou Creek; water environment; comprehensive treatment; main stream water quality; Shanghai City

苏州河被誉为上海的母亲河,自20世纪20年代逐渐被污染以来,恢复其清澈亮丽,一直是无数上海市民的夙愿。受制于经济原因,直到20世纪80年代初才开始研究治理,真正大规模实施是在1998年5月上海市政府批准《苏州河环境综合整治方案》之后。1998—2011年,上海市实施了苏州河环境综合整治一期、二期、三期工程,实现了苏州河由臭河浜向景观河的转变,水环境面貌大为改观。2018年12月31日,苏州河环境综合整治四期工程开工建设,期望进一步提升河道水质、防汛能力、综

合功能和管理水平。本文回顾了自1998年开始的苏州河环境综合整治一期、二期、三期工程及开展的相关科研工作,利用干流历年水质变化过程分析历次治理取得的成效,并依据苏州河综合整治四期工程总体方案,展望未来苏州河水环境治理,以期为更长一段时期苏州河治理提供借鉴。

1 苏州河概况

1.1 河道历史演变

根据《尚书》记载,苏州河在战国时期被称为

基金项目:华东建筑集团股份有限公司科研课题(18-1类-0130-综)

作者简介:季永兴(1970—),男,教授级高级工程师,博士,主要从事水利及海岸工程设计与研究。E-mail: jiyx@sh163.net

“松江”,到唐朝中期根据杜甫的“剪取吴淞半江水”诗句,将其称为“吴淞江”,因此苏州河上游至今仍被称为“吴淞江”。近代,西方人因其可以直通苏州而称其为“苏州河”^[1]。历史上的吴淞江是太湖的主要泄洪通道,黄浦江(旧称“黄浦”)则是它的一条支流,其交汇口位于现在的嘉兴路桥附近(旧称“黄浦口”)^[2]。北宋庆历二年(1042年),为便于粮食运输,在吴淞江与太湖的出口处建设长堤和长桥,其后由于下游来水不畅和泥沙随潮汐上溯,吴淞江的河道逐渐萎缩,而黄浦江的上游由于太湖洪水南泄,加上人工疏浚,河槽逐渐发育扩大。明朝隆庆三年(1569年),海瑞组织疏拓黄渡至宋家桥(今福建中路桥)40 km 的河道,使黄浦江与吴淞江在外白渡桥汇合(史称“江浦合流”)^[1-4]。后来,吴淞江上游段日渐淤积萎缩,黄浦江逐渐转变为太湖流域的下泄通道,而吴淞江则成为其支流,河面宽度约 15 ~ 25 丈(约 50 ~ 70 m)。

目前苏州河全长 125 km,西起江苏瓜泾口,东至黄浦江(图 1),蕰藻浜上游仍称“吴淞江”,以下称“苏州河”。上海市境内河长约 53.1 km,穿越上海市嘉定、长宁、普陀、静安、闸北、黄浦、虹口等中心地带。苏州河进入市区后蜿蜒弯曲,在约 17 km 范围内弯道多达 21 处,最小弯道转角达 150°左右。市区段内河面宽度平均 50 ~ 80 m,河口段最宽达 130 m 左右^[4]。



图 1 苏州河水系示意图

Fig. 1 Sketch map of Suzhou Creek system

1.2 水文特性变化

苏州河自明代以后河道规模与走向基本同现今一致,受黄浦江涨落潮影响成为一条非正规半日潮感潮河流,每天两涨两落。黄浦公园水文站 1950 年以来的水文资料统计显示,河口平均高潮位为 3.12 m,平均低潮位为 1.29 m,平均潮位为 2.21 m,平均潮差为 1.93 m。历史最高潮位发生在“9711”号台风期间,最高达 5.72 m(1997 年 8 月 19 日)。河口实测最低潮位为 1914 年 1 月 1 日的 0.24 m,最

大潮差为 3.55 m,最小潮差为 0.02 m,平均涨潮历时为 258 min,平均落潮历时为 488 min。苏州河上游水文站为赵屯站,其水位受潮汐影响小。据统计,受全球气候变化、海平面上升、地面沉降和黄浦江支河建闸控制等多种因素影响,苏州河河口水位呈不断抬升趋势,黄浦公园水文站不同年代最高潮位见表 1,历次水文频率分析中最高潮位频率统计结果见表 2^[4]。

表 1 黄浦公园水文站不同年代最高潮位

Table 1 Highest tide level during different chronology at Huangpu Park hydrologic station

时间	最高潮位/m	发生年份
1950—1959 年	4.65	1954
1960—1969 年	4.76	1962
1970—1979 年	4.98	1974
1980—1989 年	5.22	1981
1990—1999 年	5.72	1997
2000—2010 年	5.70	2000

表 2 黄浦公园水文站最高潮位频率统计结果

Table 2 Statistical results of highest tide frequency of Huangpu Park hydrological station

频率	1984 年 实测	1999 年 实测	2012 年 实测	2030 年 预测	2050 年 预测
0.01	6.29	6.77	6.9	7.01	7.14
0.02	6.16	6.62	6.75	6.86	6.99
0.10	5.86	6.25	6.38	6.49	6.62
1.00	5.40	5.70	5.83	5.94	6.07

1.3 水质变化

苏州河是上海市重要的自然地表水体,原本水质清澈(图 2)。苏州河水质恶化起于 20 世纪 20 年代,由于第一次世界大战,上海市人口增多,工业速度加快,河道两岸因水路交通便捷而建起大量工厂,大量生活污水和工业废水未经处理就直接排入了苏州河,远超出了河流的自净能力,于是开始出现黑臭^[5]。1949 年后,上海市工业进入高速发展期,苏州河两岸工厂更多、居民也更多;1956 年,苏州河黑臭段蔓延到北新泾;1964 年,黑臭段延伸到华漕;1978 年,苏州河已经全线黑臭(图 3)。苏州河严



图 2 1949 年苏州河照片

Fig. 2 Photo of Suzhou Creek in 1949



图3 1980年苏州河照片

Fig. 3 Photo of Suzhou Creek in 1980

重污染,水体功能受到严重损害,严重影响了两岸居民生活,对城市环境造成了十分不利影响,与上海国际大都市的环境要求极不相称,成为上海市可持续发展的一个主要问题。

2 水环境治理回顾

从20世纪50年代开始,苏州河就尝试了各种治理方法,直到1978年改革开放以后才更加受到重视。1988年上海合流污水一期工程开工建设,至1993年投入运行,为苏州河水质改善起了巨大作用。1995年4月,上海市政府成立由市环保局牵头,市水利局、市委、市航道局、市建委、市环卫局、市政局派员参加的“上海市苏州河污染综合整治管理办公室”,加强苏州河污染监督管理,筹划苏州河综合整治工作。1998年5月,《苏州河环境综合整治方案》获上海市政府批准。1998年9月,上海市成立了苏州河综合整治建设有限公司,开始了3期12年的苏州河环境综合整治,将苏州河由臭河浜转变景观河,并为今后苏州河水环境进一步改善和生态修复打下坚实基础。

2.1 一期工程及技术研究

苏州河综合整治一期工程1999年开工,集水利、防汛、市政排水、截污治污、环卫、绿化为一体,共实施了10项工程,包括:①通过6条支流截污,消除排入苏州河的直排点源污染;②通过支流建闸控制,减少输入苏州河干流的污染物总量;③搬迁环卫码头,削减传统生活方式的特定污染;④通过石洞口污水处理厂建设,处理截流污水;⑤通过上游底泥疏浚,增加河道槽蓄量,减少底泥耗氧量;⑥通过移动式曝气复氧,提高水体溶解氧浓度;⑦通过部分防汛墙改造,提高防洪安全和亲水性;⑧通过两岸部分绿化,改善脏乱环境;⑨通过综合调水,增加水体流动,提高自净能力;⑩通过相邻虹口港水系治理,改善水系相互影响。工程于2002年底竣工,基本实现了消除苏州河干流黑臭、两岸脏乱差环境明显改善的阶段性目标。

为确保综合整治效果,在编制苏州河环境综合

整治方案和可行性研究阶段,众多高校、科研和设计单位开展研究,重点对苏州河底泥、污染源、综合调水、水环境改善措施进行研究。在底泥方面,开展了底泥时空分布特征、底泥耗氧量、底泥对水环境影响、底泥疏浚生态学、环保疏浚工艺、泥水分离技术、底泥处置技术等研究^[6];在污染源方面,开展了污染源调查、排水泵站雨天溢流影响、既有截污治污设施利用、污水处理厂工艺试验等研究^[7-8];在综合调水方面,开展了苏州河水系同步水文水质调查、支流建闸控制影响、水环境数值模拟、综合调水试验、吴淞路闸桥改造可行性研究等^[9-13];在水环境改善方面,开展了水环境功能区规划、曝气复氧方案、水生态系统生态毒理学、水环境改善措施等方面研究^[14-16]。

2.2 二期工程及技术研究

一期工程完工后,干流水质仍然不稳定,主要因为市政泵站雨天放江、支流污染仍十分严重,两岸陆域环境仍然较差。为稳定苏州河干流水质、改善陆域环境,2003—2005年上海市政府实施了苏州河综合整治二期工程,包括:①建设5座市区雨水调蓄池,并改造3个分流制的排水系统;②建设市区两岸共90 km污水管道,将中下游污染源截污纳管;③建设2座南翔地区污水泵站,敷设污水管道27 km,上游水系部分污染源截污纳管并处理;④建设苏州河河口100 m宽水闸(图4),保障苏州河综合调水顺利实现;⑤建设梦清园公共绿地示范项目;⑥建设周桥公园等23万m²大型公共绿地,基本形成滨河景观廊道;⑦改造中上游沿河10处垃圾堆场,并建设黄浦区垃圾中转站、市容环卫执法管理和保洁维修基地。经过3年整治,苏州河干流上下游水质差别逐步缩小、中心城区主要支流基本消除黑臭(图5)。

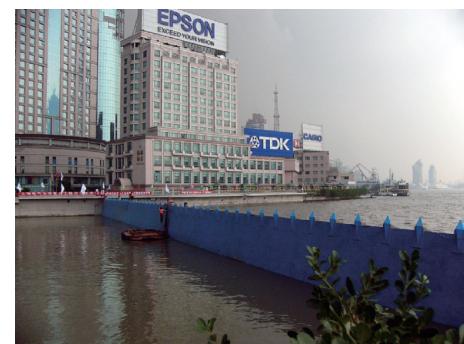


图4 苏州河河口水闸挡潮实景照

Fig. 4 Photo of Suzhou Creek Estuary sluice blocking tide

苏州河环境综合整治二期工程除了对工程实施的效果进行研究外^[17-18],重点和难点是为了满足综合调水需要,须在苏州河河口建设一座能灵活启闭、双向挡水,同时需满足防御千年一遇高潮、施工期不



图 5 二期工程后苏州河两岸及水环境实景照

Fig. 5 Photo of water environment on both sides of Suzhou Creek after phase II project

断航不断流的水闸^[19]。由于水闸位于黄浦江和苏州河的交界口,地理位置非常重要,为满足景观、通航需要,水闸须与河口同宽设置(图 6)。研究针对闸门型式、闸址位置、总体布置、闸门制造和运输、防渗和防冲减淤等技术难题进行了攻关^[4],设计了底轴驱动的翻板闸门作为挡水结构,由底轴旋转直接驱动门叶,改变了传统门叶受力方式,突破了闸门宽度对其厚度的制约^[20-21]。

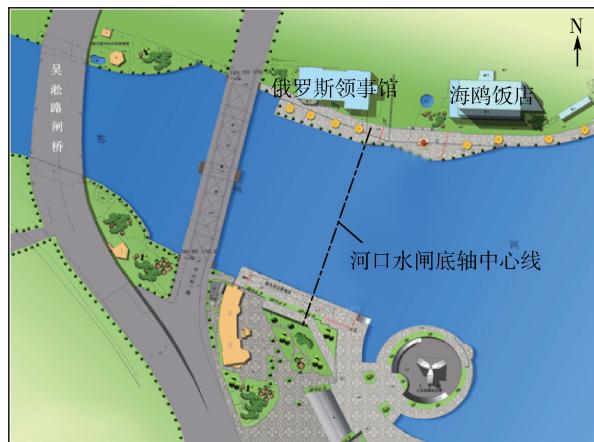


图 6 苏州河口水闸位置

Fig. 6 Sluice location of Suzhou Creek Estuary

2.3 三期工程及技术研究

为持续改善苏州河干支流水质,促进苏州河水系生态修复,针对二期建成后水质保障机制脆弱、水体自净能力尚未有效恢复、两岸面貌未根本改善等主要问题,2006—2011 年上海市又实施了苏州河环境综合整治三期工程,包括:①市区段底泥疏浚和防汛墙改建工程;②建设 4 座雨水泵站截流设施,改造和完善支流排涝泵站污水收集管网;③建设青浦污水处理厂配套管网;④搬迁长宁区 3 处环卫码头。工程实施后使苏州河干流与支流水质得到同步改善^[22-23],同时也带动了上海市中心城区、近郊和郊区的河道整治。

苏州河环境综合整治三期工程的研究重点是在一期相关研究基础上如何确定适宜的疏浚深度和如

何实施环保疏浚^[6]。为此,相关设计、施工和科研单位根据国内外疏浚设备参数进行优化改进,并开展了中试研究,选择了适合于苏州河底泥的疏浚设备和疏浚工艺,尽量减少底泥扰动对水质的影响^[24-27]。

3 下一步治理及展望

苏州河综合整治一期、二期、三期工程实施后,仍存在许多遗留问题:①干流安全隐患尚未完全消除,主要包括:真北路以西防汛墙高度尚未达标,暴雨期间市区段河道内水位过高;②两岸脏乱差现象仍然存在,与确定的“全球城市”发展目标尚有很大差距;③干支流水质仍未达到 V 类水标准(图 7),主要原因是两岸雨水泵站放江、污水处理厂未达标排放、上游污水直接排放、上游来水水质不稳定以及支流尚有污染排放等因素综合作用^[26]。因此,上海市政府开展了苏州河环境综合整治四期工程(简称“苏四期”)。

3.1 四期工程方案

苏四期以“市区联动、水岸联动、上下游联动、干支流联动、水安全水环境水生态联动”为原则,按照“水岸联动、截污治污”、“沟通水系、调活水体”和“改善水质、修复生态”三大步骤,从“控源截污、沟通水系、生态修复、环境整治、长效管理”5 个方面开展综合治理^[28]。范围包括:蕰藻浜以南、淀浦河以北、沪苏边界以东、黄浦江以西,4 个水利片 12 个行政区 12855 km² 内 2012 条河道。苏四期工程总投资约 254.5 亿元^[28],大于前三期的总和。工程于 2018 年底开始全面实施。

苏四期主要措施包括:①坚持水岸联动、标本兼治,污染源截污纳管、初期雨水拦蓄处理、污水处理厂提标改造、支流及周边环境整治同步实施,区域污染全面治理;②依托吴淞江工程,疏拓蕰藻浜以西段,建设两岸堤防,提高沿线 25 个排水系统能力,提高暴雨标准至 5 年一遇,并确保应对 100 年一遇强降雨;③贯彻“绿色、开放、共享”理念,完成苏州河中心城区 42 km 公共岸线空间贯通开放,因地制宜对苏州河堤防进行生态改造,并建设生态景观,提升苏州河防汛、航运、景观、人文、公务等综合功能;④以苏州河综合整治为示范,提升管理水平,形成市区联动、协同整治、条块联手、建管并举、良性互动的体制机制^[28]。

3.2 四期工程实施效果展望

根据总体方案,苏四期整治目标是:2020 年底前,干流消除劣 V 类水,支流基本消除劣 V 类水;2021 年底前,支流消除劣 V 类水、干流堤防全面达

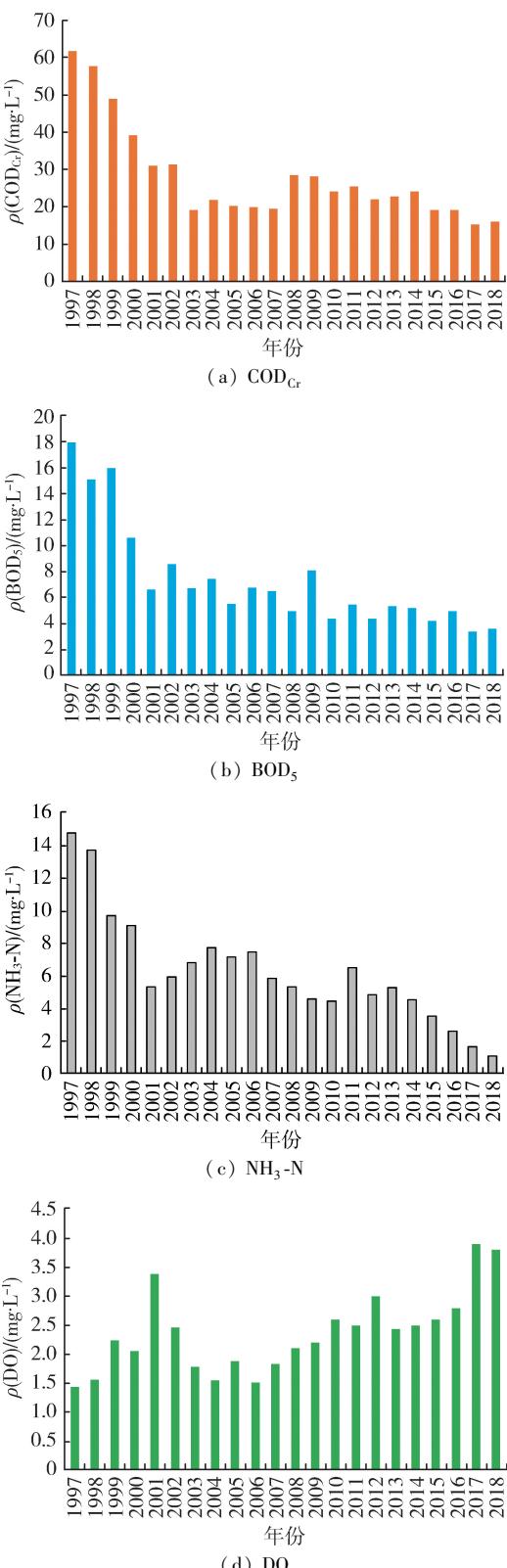


图 7 苏州河武宁路断面历年水质指标年均值

Fig. 7 Annual mean value of water quality index of Wuning Road section of Suzhou Creek over years

标、航运功能得到优化、生态景观廊道基本建成,形成大都市滨水空间示范区、水文化和海派文化开放展示区、人文休闲自由活动区,为最终实现“安全之河、生态之河、景观之河、人文之河”愿景奠定基

础^[28]。预计苏四期结束后,干流水质维持在V类标准,可为水体生态功能修复打下基础,但全面恢复苏州河的生态功能还需要采取其他措施。另外,苏州河还有一大部分位于江苏境内,该段河流的水环境治理对恢复苏州河整体生态功能具有不可替代的作用,需要整体协调。

4 结语

与欧洲诸多河流的污染历程类似,苏州河的污染也源于两岸工业大量兴起。欧洲的河流治理,一般历经20~30年,有的甚至更长^[29-33]。苏州河的水环境治理限于经济原因,起步较晚,但治理历时也不会太短。苏州河跨越江苏与上海,虽不属于两个国家,但也有行政区划问题,治理可以参考欧洲有些跨国河流,依托流域机构,实施统一治理^[31-33]。苏州河实施了环境综合整治一、二、三期工程,从水环境角度分析,一期工程对水质指标改善较快,而二、三期影响较小。但是在苏州河综合整治引导下的郊区河道进一步治理,支流水环境进一步改善,在2011年苏州河环境综合整治三期工程结束以后,干流水质逐步好转。正在实施的苏州河环境综合整治四期工程,更大范围、更加彻底地对支流水环境进行标本兼治,会同时提升苏州河干流水环境。但是,从治理的目标来看,要恢复苏州河的“水清岸绿、鱼翔浅底”的生态功能,还有漫长的道路要走,同时需要上游江苏河道同步实施治理。

参考文献:

- [1] 李敏,段绍伯.吴淞江的变迁和改道[J].学术月刊,1996(7):105-107. (LI Min, DUAN Shao. Wusong Jiang (River) changes and diversion [J]. Academic Monthly, 1996(7):105-107. (in Chinese))
- [2] 褚绍唐.吴淞江的历史变迁[J].华东师范大学学报(自然科学版),1980(2):102-111. (CHU Shaotang. The historical evolution of the Wusong Jiang (River) [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 1980(2):102-111. (in Chinese))
- [3] 傅林祥.吴淞江下游演变新解[J].学术月刊,1998(8):89-94. (FU Linxiang. A new explanation of river evolution on Wusong Jiang (River) downstream [J]. Academic Monthly, 1998(8):89-94. (in Chinese))
- [4] 季永兴,卢永金.苏州河河口水闸历史、现状及未来[J].上海水务,2014,30(1):1-8. (JI Yongxing, LU Yongjin. The history, present and future of the Suzhou Creek Sluice in Shanghai [J]. Shanghai Water, 2014, 30(1):1-8. (in Chinese))
- [5] 陈一申,吴国豪,黄解田,等.苏州河水环境污染现状分析[J].上海环境科学,1997(1):11-14. (CHEN

- Yishen, WU Guohao, HUANG Jietian, et al. Analysis on current status of Suzhou Creek pollution [J]. Shanghai Environmental Sciences, 1997(1):11-14. (in Chinese)
- [6] 许世远,陈振楼,俞立中,等.苏州河底泥污染与整治 [M].北京:科学出版社,2003.
- [7] 徐贵泉,陈长太,张海燕.苏州河初期雨水调蓄池控制溢流污染影响研究[J].水科学进展,2006,17(5):705-708. (XU Guiquan, CHEN Changtai, ZHANG Haiyan. Study on the influence of controlling pollution of the overflow from the initial rainwater storage tanks to Suzhou creek [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(5): 705-708. (in Chinese))
- [8] TIAN Yimei, ZHOU Ying, LI Hong, et al. Study on the pollution of urban scenic water body by municipal drainage in flood season and its control planning [J]. Journal of Hydrodynamics, 2008, 20(6): 797-803.
- [9] 马蔚纯,张超.基于GIS的水质数值模拟:以上海市苏州河为例[J].地理学报,1998(增刊1):67-75. (MA Weichun, ZHANG Chao. The numerical simulation of water quality of Suzhou Creek based on GIS [J]. Acta Geographica Sinica, 1998 (Sup 1):67-75. (in Chinese))
- [10] 刘水芹,阮仁良,屠鹤鸣.苏州河七条支流建闸控制工程水环境影响分析[J].长江流域资源与环境,2001(6): 570-577. (LIU Shuiqin, RUAN Renliang, TU Hemin. Suzhou Creek tributaries gate project water-EIA [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2001(6):570-577. (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] 王道增,林卫青.苏州河综合调水与水环境治理研究 [J].力学与实践,2005(5):1-12. (WANG Daozeng, LIN Weiqing. Study on flow augmentation and water environment rehabilitation for Suzhou Creek [J]. Mechanics in Engineering, 2005(5):1-12. (in Chinese))
- [13] FENG Le, WANG Deguan, CHEN Bin. Water quality modeling for a tidal river network: a case study of the Suzhou River[J]. Frontiers of Earth Science, 2011, 5(4): 428-431.
- [14] 陈伟,叶舜涛,张明旭.苏州河河道曝气复氧探讨[J].给水排水,2001,27(4):7-9. (CHEN Wei, YE Shuntao, ZHANG Mingxu. Approach on re-aeration of Suzhou Creek [J]. Water & Wastewater Engineering, 2001, 27(4):7-9. (in Chinese))
- [15] YIN Zhiyong, WALCOTT Susan, KAPLAN Brian, et al. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29(2):197-221.
- [16] ZHU Hongwei, CHENG Pengda, ZHONG Baochang, et al. Hydrodynamic effects on contaminants release due to resuspension and diffusion from sediments [J]. Journal of Hydrodynamics, 2013, 25(5):731-736.
- [17] 卢士强,林卫青,徐祖信,等.苏州河环境整治二期工程水质影响数值模拟[J].长江流域资源与环境,2006(2):228-231. (LU Shiqiang, LIN Weiqing, XU Zuxin, et al. Numerical simulation of phase II rehabilitation project for Suzhou Creek [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006(2):228-231. (in Chinese))
- [18] 徐祖信,卢士强,林卫青.苏州河干流防洪水位的数值计算[J].河海大学学报(自然科学版),2006(2):148-151. (XU Zhuxin, LU Shiqiang, LIN Weiqing. Numerical computation of flood control level for Suzhou Creek [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2006(2): 148-151. (in Chinese))
- [19] 上海市苏州河口水闸工程建设纪实编委会.上海市苏州河口水闸工程建设纪实[M].上海:上海科学技术出版社,2007.
- [20] 季永兴,陈文伟,卢永金,等.苏州河口水闸工程设计特色[J].水利水电科技进展,2007, 27(增刊1):5-7. (JI Yongxing, CHEN Wenwei, LU Yongjin, et al. Design characteristics of the Suzhou Creek Sluice project [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(Sup 1):5-7. (in Chinese))
- [21] JI Yongxing, YANG Fei, LU Yongjin. A siltation simulation and desiltation measurement study downstream of the Suzhou Creek sluice, China [J]. China Ocean Engineering, 2013, 27(6):781-793.
- [22] 程曦,李小平,陈小华.苏州河水质和底栖动物群落1996—2006年的时空变化[J].生态学报,2009, 29(6): 3278-3287. (CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua. An assessment of long-term changes in water quality and benthos community of Suzhou Creek (1996—2006) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (6): 3278-3287. (in Chinese))
- [23] 张广强,张明旭,韩中豪,等.苏州河近20年水质状况研究[J].中国环境监测,2009, 25(2):39-44. (ZHANG Guangqiang, ZHANG Mingxu, HAN Zhonghao, et al. The research on the Suzhou River water quality for the latest 20 years [J]. Environmental Monitoring in China, 2009, 25(2):39-44. (in Chinese))
- [24] 石正宝.苏州河底泥疏浚关键技术研究[J].人民长江, 2013, 44(20):85-88. (SHI Zhengbao. Research on key technology of sediment dredging in Suzhou River [J]. Yangtze River, 2013, 44(20):85-88. (in Chinese))
- [25] 朱红伟,尚晓,赵天彪.感潮河段污染底泥疏浚扰动对水质影响研究[J].人民长江,2013,44(21):108-111. (ZHU Hongwei, SHANG Xiao, ZHAO Tianbiao. Research on influence of dredging-caused bottom mud disturbance on water quality in tidal reach [J]. Yangtze River, 2013, 44(21):108-111. (in Chinese)) (下转第51页)

- [25] 魏宏森,曾国屏. 系统论的基本规律[J]. 自然辩证法研究,1995,11(4):23-29. (WEI Hongsen,ZENG Guoping. Principle of systematology [J]. Studies in Dialectics of Nature,1995,11(4):23-29. (in Chinese))
- [26] 王顺金,曹文强. 从物理学的观点看系统论和系统结构的层次性[J]. 自然辩证法研究,1992,8(2):67-74. (WANG Shunjin, CAO Wenqiang. Systematology and hierarchy of system structure from the point of view of physics[J]. Studies in Dialectics of Nature,1992,8(2):67-74. (in Chinese))
- [27] 郜建强,李爱花,唱彤,等. 水流功能分析及其在水利总体规划中的应用[J]. 水利规划与设计,2017,24(11):103-111. (LI Jianqiang, LI Aihua, CHANG Tong, et al. Function of water resources and application in water resources master plan[J]. Water Resources Planning and Design,2017,24(11):103-111. (in Chinese))
- [28] 夏军,朱一中. 水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报,2002,17(3):262-269. (XIA Jun, ZHU Yizhong. The measurement of water resources security: a study and challenge on water resources carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources,2002,17(3):262-269. (in Chinese))
- [29] OU C H, LIU W H. Developing a sustainable indicator system based on the pressure-state-response framework for local fisheries: a case study of Gungliau, Taiwan [J]. Ocean & Coastal Management,2010,53(5):289-300.
- [30] 彭建,吴健生,潘雅婧,等. 基于PSR模型的区域生态持续性评价概念框架[J]. 地理科学进展,2012,31(7):933-940. (PENG Jian, WU Jiansheng, PAN Yajing, et al. Evaluation for regional ecological sustainability based on PSR model: conceptual framework [J]. Progress in Geography,2012,31(7):933-940. (in Chinese))
- [31] 徐浩田,周林飞,成遭. 基于PSR模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J]. 生态学报,2017,37(24):8264-8274. (XU Haotian, ZHOU Linfei, CHENG Qian. Study on ecosystem health evaluation and risk assessment for Linghekou wetlands based on a PSR model [J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(24):8264-8274. (in Chinese))
- [32] 金菊良,陈磊,陈梦璐,等. 基于集对分析和风险矩阵的水资源承载力评价方法[J]. 人民长江,2018,64(7):35-41. (JIN Juliang, CHEN Lei, CHEN Menglu, et al. Evaluation method of water resources carrying capacity based on set pair analysis and risk matrix [J]. Yangtze River,2018,64(7):35-41. (in Chinese))
- [33] 李云玲,郭旭宁,郭东阳,等. 水资源承载能力评价方法研究及应用[J]. 地理科学进展,2017,36(3):342-349. (LI Yunling, GUO Xuning, GUO Dongyang, et al. An evaluation method of water resources carrying capacity and application[J]. Progress in Geography,2017,36(3):342-349. (in Chinese))

(收稿日期:2019-03-01 编辑:熊斌)

(上接第30页)

- [26] 陈长太,徐贵泉. 市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河水质的影响[J]. 水资源保护,2014,30(6):59-62. (CHEN Changtai, XU Guiquan. Influence of overflow discharge from municipal pumping station in rainy days on water quality of Huangpu River and Suzhou Creek [J]. Water Resources Protection, 2014, 30 (6): 59-62. (in Chinese))
- [27] 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))
- [28] 上海市人民政府. 上海市人民政府办公厅关于转发市水务局制订的《苏州河环境综合整治四期工程总体方案》的通知 [EB/OL]. [2019-01-16]. <http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2319/nw12344/u26aw54641.html>
- [29] 汪松年. 欧洲的水污染治理[J]. 城市问题,2002(2):71-72. (WANG Songnian. Wastewater treatment in Europe [J]. Urban Problems,2002(2):71-72. (in Chinese))

- [30] 姜礼燔. 英国治理泰晤士河污染的基本经验[J]. 中国渔业经济研究,1999(2):40. (JIANG Lifan. Basic experience of Thames River pollution control in UK[J]. Chinese Fisheries Economics,1999(2):40. (in Chinese))
- [31] 王思凯,张婷婷,高宇,等. 莱茵河流域综合管理和生态修复模式及其启示[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(1):215-224. (WANG Sikai, ZHANG Tingting, GAO Yu, et al. Comprehensive management of the Rhine River Basin and its experiences[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27 (1): 215-224. (in Chinese))
- [32] 徐国冲,何包钢,李富贵. 多瑙河的治理历史与经验探索[J]. 国外理论动态,2016(12):123-128. (XU Guochong, HE Baogang, LI Fugui. The Danube restoration history and its experience exploration [J]. Foreign Theoretical Trends,2016(12):123-128. (in Chinese))
- [33] 金太军. 论区域生态治理的中国挑战与西方经验[J]. 国外社会科学,2015(5):4-12. (JIN Taijun. Discussion of regional ecological governance challenge in China and experience in the West[J]. Social Sciences Abroad,2015(5):4-12. (in Chinese))

(收稿日期:2019-02-18 编辑:王芳)