



陆瑛, 魏俊, 蒋征波, 等. 杭州市市区河道水环境改善的宏观策略分析[J]. 环境科学与技术, 2016, 39 (S1): 334-337. Lu Ying, Wei Jun, Jiang Zheng-bo, et al. Analysis of macroscopic strategies to improve Hangzhou urban river[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 39 (S1): 334-337.

杭州市市区河道水环境改善的宏观策略分析

陆瑛¹, 魏俊², 蒋征波¹, 陈鹏¹

(1. 杭州市市区河道整治建设中心, 浙江 杭州 310000; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘 要: 文章介绍了杭州市市区河道的水环境现状和改善措施, 提出了急需解决的几个宏观层面问题, 包括: 市区河道的污染源构成; 已经实施的治理措施的绩效评价; 污染治理的环节分析; 污染源的削减比例等, 并通过量化研究, 为下一步杭州市区河道水环境改善指明了方向。

关键词: 杭州; 河道; 水环境; 宏观; 策略

中图分类号: X522 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2016.S1.067 文章编号: 1003-6504(2016)S1-0334-04

Analysis of Macroscopic Strategies to Improve Hangzhou Urban River

LU Ying¹, WEI Jun², JIANG Zhengbo¹, CHEN Peng¹

(1. Hangzhou Urban River Management and Construction Center, Hangzhou 310000, China;

2. Powerchina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper introduced the current condition of Hangzhou urban river environments and improvement measures. Several macroscopic questions needed to be answered immediately are raised, including constitution of the pollution source in urban river, evaluation of the performance of measures adopted, analysis of the process of pollution management, reduction ratio of pollution source and etc. By conducting quantitative research, suggestions and direction are given to help further improve Hangzhou urban river environments.

Key words: Hangzhou; river; water environments; macroscopic; strategies

杭州是一座山水城市, 水是杭州的灵魂。杭州市区范围内约有 474 条河道, 总长度约 1 021 km, 河网密度高达 1.3 km/km²。杭州市自 20 世纪 80 年代开始对市区河道进行综合整治, 目前已累计完成 247 条约 660 km 河道的整治工作, 累计投入百亿元^[1]。通过护岸、疏浚、截污、绿化及景观、历史文化挖掘与保护开发、其它配套公用与管理设施建设等, 极大改善了人居环境, 提升了河道水质, 主要河道如运河、中河、东河、新开河、上塘河等基本消除了劣五类水体。但是, 由于历史原因, 加上杭州河道数量众多, 市区范围内河道水质仍亟待改善。根据杭州市对市区 100 条城市河道和 2 个湖泊的 137 个断面进行的氨氮、总磷、高锰酸盐指数、溶解氧、透明度、水温等 6 项常规水质指标的监测结果表明, 劣五类水体仍占据较大比例(图 1)。杭州市用综合营养状态指数法对城区河道 50 个断面进行富营养化程度界定, 9.68% 处在轻度富营养

状态、6.45% 处在中度富营养状态、83.87% 处在重度富营养状态^[2]。

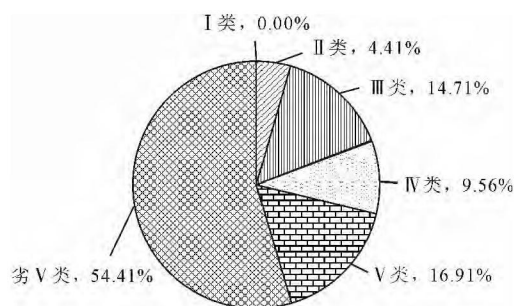


图1 杭州市区河道水质类别比例分布图

1 现有改善措施

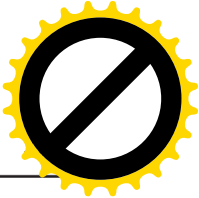
杭州市市区河道水环境整治现有相关措施主要包括截污、配水、清淤以及原位治理 4 大类。

《环境科学与技术》编辑部: (网址) <http://fjks.chinajournal.net.cn> (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjksxyjs@vip.126.com

收稿日期: 2015-11-23; 修回 2016-04-05

基金项目: 2013 年度浙江省建设科研项目: 杭州市市区河道水环境整治工程技术研究与应用课题项目

作者简介: 陆瑛(1979-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为河道整治技术、园林规划设计等, (电话) 0571-87761622 (电子信箱) 99087339@qq.com。



1.1 截污

国内外众多城市和杭州多年的实践表明,截污纳管仍是河道水质改善的最主要措施,如果不实施截污,河道水体的主要污染物将难以去除,截污也是削减河道污染负荷最经济有效的方式方法。截污包括片区截污和沿河截污,其中,至2013年,杭州市75%的河道敷设了沿河截污管道,管道长度约300 km^[3]。

1.2 引配水

杭州地处平原,河道水流速缓慢,容易富营养化。为了解决河道水质问题,杭州充分利用客水资源,通过调取钱塘江水、苕溪水等优质水资源,短时间内改善了市区河道水质,目前年均引水量约21亿 m³^[4]。同时,杭州专门编制了《杭州市区河道畅流工程规划》,打通断头河道,最大限度使市区河道相互贯通,增强河道滞留蓄积雨洪水的功能,发挥河道的海绵体功能,为建设海绵城市助力。通过河道的相互连通,也有助于改善河道水体水动力学条件,改善水质^[5]。

1.3 清淤

通过采样分析,杭州河道的底泥污染虽然不是河道污染的主要来源,但仍是不可忽视的内源,同时,底泥的淤泥对于河道行洪也极为不利。通过分析,杭州河道底泥主要有2个来源,一是排水管道沉积物,随雨水、污水等排入河道,形成底泥;二是河道实施引配水,外部配水水源中含有的泥沙和悬浮物沉积^[6]。目前杭州市市区河道总淤积量约为484万 m³,历年累计开展城市河道清淤126条(段),总长度约157.3 km,清淤量约138.4万 m³^[7]。

1.4 原位治理

原位治理是在河道中直接采用相关技术进行水质改善,目前主要有人工曝气法、种植水生植物、投加人工填料、投加制剂等方法,主要适合短期内水质改善要求比较高的河道、以及消除黑臭后需要持续进行水质提升的河道^[8]。杭州先行先试,目前在市区50余条河道中采用了十几种原位治理技术,取得了丰富的数据、积累了丰富的工程实践经验。

2 水环境问题

针对杭州市区河道水环境现状,虽然杭州市相关部门已经做了大量工作,但水质问题依然突出,尤其是一些河道在实施截污、清淤等规定动作后,水质仍达不到功能区要求。因此,对于下一步水环境改善工作如何开展,迫切需要回答几个宏观层面的问题,并最大程度做量化研究,才能指明方向,厘清困惑,作为下一步工作的依据和指引。这几个问题是:(1)市区河道的污染源构成是什么?(2)已经实施的四类治理

措施其绩效如何?(3)从污染治理的环节上是否存在不足?如何完善?(4)各类污染源分别需要削减多少才能使整体水质达到功能区要求?归纳起来,就是先要搞清楚来源,再评价现在的工作,然后找到突破的方向,最后提出削减的目标。

3 污染源构成分析

第1个问题是围绕杭州市区河道水质,一直未进行相关污染源构成的量化分析,而这个问题是最重要的基础性问题。根据收资及调研情况,目前杭州市区河道水环境污染源主要有6大类,分别是径流污染、未截留污水污染、达标排放尾水污染、合流制溢流污染、水面大气沉降及降雨污染、河道底泥污染。应用SWMM软件建立了杭州市绕城以内面源污染模型,并结合实测值分析了径流污染,同时,通过数据收集、补充检测等对其他五大类污染源分别进行了定量计算,最终得到现状污染负荷总量及构成(表1、图2~3)。

表1 杭州市市区河道水环境污染源主要产生量

6类污染源汇总	COD/t·a ⁻¹	TN/t·a ⁻¹
1.年径流污染负荷	54 202.2	3 244.2
2.未截留污水污染负荷	65 195.0	7 334.4
3.达标排放污水污染负荷	2 007.5	40.2
4.合流制溢流污染负荷	6 800.0	582.9
5.水面大气沉降与降雨污染负荷	1 235.5	24.7
6.河道底泥污染负荷	2 826.0	245.7
合计	132 266.2	11 472.1

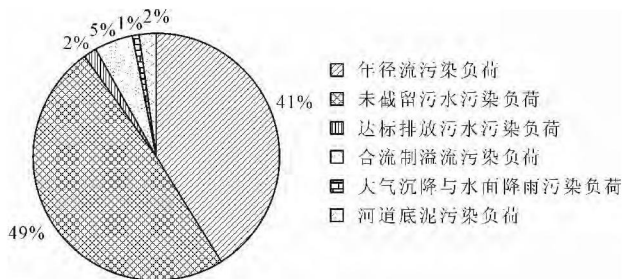


图2 COD构成分析

4 现有措施的绩效评价

第2个问题是对杭州市采取的截污、引配水、清淤、原位治理4类治理措施,一直缺乏定量化成本效益分析。这个问题不回答,就无法衡量不同措施的经济性,就无法为下一步措施的优化选择提供依据。成本分析包括初期投资和后期运行费用,效益分析主要是相应削减的污染物质量,评价标准是削减单位污染物质量的成本(元/g)。通过分析计算,在杭州地区采用四类治理措施的单位质量污染物削减成本如表2。

由于成本效益分析只是基于理想状态,同时,分

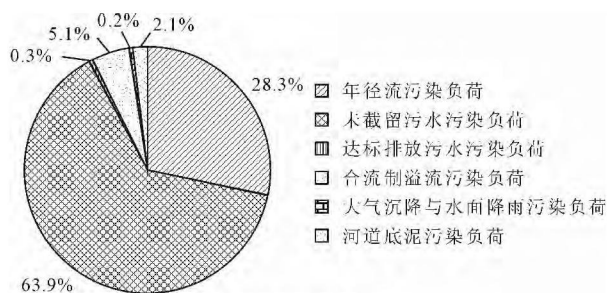
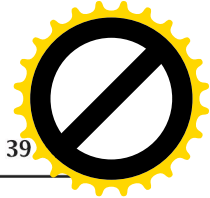
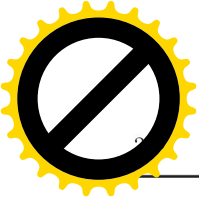


图3 TN构成分析

析不能只简单的从经济性角度进行,对于一些潜在的难以量化因素,在具体选择时也必须进行充分考虑(表 3)。

5 改善环节分析

第 3 个问题是将污染源与措施关联,可以发现一些我们尚未关注的环节,能否从这些环节着手,进行下一阶段有针对性的治理。

先对污染源的产生迁移路径进行定义:(1)“产

表 2 4 类治理措施成本效益比较表

去除成本/元·g ⁻¹	引水	生态修复			清淤	截污
		曝气+填料	浮床	生物类		
COD	0.004	0.018 2	—	0.12	0.041	0.006 5
高锰酸盐指数	0.013 6	—	—	—	—	—
NH ₃ -N	0.1	0.082	—	0.3	—	0.069
TN	0.1	—	0.84	—	0.05	0.063
TP	0.5	0.186	4.2	—	0.1	0.222

表 3 4 类治理措施综合比较及实施建议表

名称	其他效益	潜在不利因素	实施建议
截污	无	1、施工开挖影响范围大。2、管网建设投资高,平原区域需要修建中途泵站,增加提升费用。3、管网施工质量差时地下水渗入导致水量增加。4、管网建设不能一蹴而就,是个长期的过程,需要采用一些治标的方法,以及分散处理的方法。5、100%实现雨污分流难度较大,仍有部分污水混入雨水管道排放。	1、应作为河道水质改善的基本措施。2、应提高截污工程设计、材料采购、工程施工等各方面的准入门槛。3、灵活采用一些指标的方法和分散的处理措施。4、加大管网探测力度。
引水	无	1、仍只是河道水质改善的权宜之策。2、从引水段至出水段,水质改善呈现梯级效应,不均匀。3、调度复杂,需要考虑河道的其他功能。4、部分区域距离引水点较远,引水成本高。	1、增加了水体自净容量和水体流速,客水资源条件好、引水成本低的情况下可作为实质改善的主要措施。2、对水质要求高的区段,仍应注重引入活水。3、配合其他污染治理措施,逐步减小客水用量。
清淤	恢复防洪断面,有利于防洪排涝	1、淤泥的施工作业有不利影响。2、淤泥需要妥善处置。3、施工后一段时间内对水质、地下水会有不利影响。	1、对淤积严重,污染严重的河道应定期清淤。2、应结合河道断面恢复等措施同步考虑。
原位治理	有一定景观效果	1、有可能阻碍通航。2、需要分散维护。3、对水体流速等条件有一定要求。4、效益分析基于理想状态,实际污染物降解量偏低。	1、可作为局部水体如小支流、断头河等水质短期改善的手段。2、可作为缓速河段的污染治理。3、适合已实施综合整治河道但水质仍较差的河道。

生”指污染源产生环节,以产生污染的建筑物或构筑物红线为分界线,内部为产生环节。(2)“迁移”指从污染源到河岸控制红线之间的范围,一般包括管网和明渠等水力传输环节。(3)“终端”指河道水面线与河岸控制红线之间的范围。(4)“水体”指河道水面线涵盖的水体范围。当然,不是所有的污染源都遵从上述迁移路径,如水面大气沉降和降雨和底泥污染就只在“水体”环节产生。

对 6 大类污染源和 4 大类主要改善措施进行关联性分析:(1)“截污”针对未截流污水污染,是在“产生”环节采取的措施。(2)引配水可针对所有的污染

源,是在“水体”环节采取的措施。(3)“清淤”针对底泥污染,是在“水体”环节采取的措施。(4)原位治理可针对所有的污染源,是在“水体”环节采取的措施。

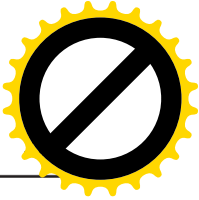
从表 4 看出,现有 4 大类污染治理措施涵盖的污染源迁移路径仍集中在水体部分,未在产生、迁移、终端等环节进行有效的治理。对于 6 类污染,从控制环节逐一分析如下:

(1)径流污染:即降雨形成的地表径流冲刷地表后携带污染物,通过雨水管道排入河道形成的污染。目前,对径流污染只是任由其排入河道,然后在水体中采用一些治理措施。下一步可以在“产生”环节实施

表 4 污染源迁移路径与治理措施关联性分析

污染源	迁移环节	径流污染	未截留污水	达标排放污水	合流制溢流污染	水面大气沉降和降雨	底泥污染
迁移路径	产生	○	●	○	○	○	—
	迁移	○	○	—	○	—	—
	终端	○	○	—	○	—	—
	水体	●	●	●	●	●	●

注:—表示污染源在此环节不产生;●表示现有污染治理措施已经控制的环节;○表示可以控制但未控制的环节。



低影响开发等措施,在“迁移”环节实施管道冲洗、减少混接、存储调蓄等措施,在“终端”环节实施径流处理等措施。

(2) 未截留污水:虽然杭州沿河截污比例显著提高,但市区河道仍受到未截流污水污染,主要有 2 个原因,一是由于城市建设开发的程度不同,许多片区截污管网未覆盖,污水直排河道;二是分流体制下存在的混流污染,根据杭州对已整治河道两侧已经实施雨污分流的雨水口旱季排污统计,流量约占总污水量的 10%,说明即便分流改造已经比较完善,仍有一部分混流污水通过雨水口排出,比例约在 10%左右。对前者,只有实施截污,对后者,应在“迁移”环节实施减少混接、旱季流量存储调蓄等措施,在“终端”实施分散处理等措施。根据污染源构成分析,未截流污水污染仍是杭州河道水环境现状污染的第一大污染源,因此,截污仍然是杭州市区河道水环境质量改善的重要手段和努力方向。

(3) 达标排放污水:即污水厂处理后排放的尾水,仍携带部分污染物进入河道。进一步提升的空间是在“产生”环节控制,即提标改造。目前,进入主城区的几个污水厂的尾水标准即将由一级 B 提升到一级 A,因此,该部分污染源进一步削减的空间有限。

(4) 合流制溢流污染:根据统计,杭州市主城区存在不同的排水体制,分别是内分外分(内部分流外排污水系统)、内分外合(内部分流外排雨水或河道系统)、内合外分(内部合流外排污水系统)、内合外合(内部合流外排雨水或河道系统),其中,只有内分外分是严格意义上的分流,另外 3 种排水体制在实施截流措施后,都将产生不同程度的溢流污染。由于其产生主要是由于合流制下降雨造成的,因此,可进一步采取的措施是采用更彻底的分流,并采用与径流污染类似的措施,可从“产生”、“迁移”、“终端”等环节着手。

(5) 水面大气沉降和降雨:应从大气污染控制方面着手,如控制工业废气、机动车尾气等,减小粉尘和酸性物质等进入大气,并随着沉降和降雨进入河道。大气污染大部分计入径流污染,其通过水面部分进入水体的污染贡献不占主要,但其对人体健康的影响不容忽视,因此仍应引起高度重视。

(6) 底泥污染:底泥是已经存在于水体中的内源污染,一般采用清淤,也可采用部分原位治理措施如底泥覆盖、生物酶降解等,底泥本身污染物质含量较高,但并不会瞬间释放到水体中,而是与水动力、上覆水体污染物含量等有关,达到某种相对平衡状态时释放速度降低^[9],杭州目前正在实施清淤工作。

6 削减比例分析

第 4 个问题是如果杭州市区河道要整体达标,那么现状的各类污染分别需要削减多少量。为简化计算过程,对若干条件进行了假定:(1) 由于达标排放污水、水面大气沉降与降雨、底泥污染负荷不占主要,削减量也较难控制,计算过程不考虑这 3 类污染的削减,按照现状污染负荷计算;(2) 按照污染控制的一般情况,未截留污水污染负荷按照削减 90%,合流制溢流污染负荷按照削减 50%考虑;(3) 现有绕城以内主要是营养物污染,因此,以 TN 为计算指标;(4) 由于配水规模对水质达标影响很大,因此,计算过程考虑配水的影响。

根据上述分析,杭州市区河道整体水质要达到 V 类标准,现状污染物削减有几种工况:(1) 维持现有配水规模,将径流污染负荷削减 70%;(2) 配水规模在现状基础上增加 50%,径流污染负荷削减 40%;(3) 配水规模在现状基础上增加 100%,径流污染负荷削减 13%;(4) 为有利于对比,提出第 4 种工况,即不考虑污染源的削减,仅仅增加配水规模使水质达标,则需要增加配水规模 230%。

根据现有杭州城市发展的特点,建议在有条件的新城区,采用工况(1),维持现有配水规模,径流污染负荷削减 70%;在老城区,由于实施径流污染控制措施的限制性条件较多,采用工况(2)或(3),适当增加配水规模 50%或 100%,径流污染负荷相应削减 40%或 13%。

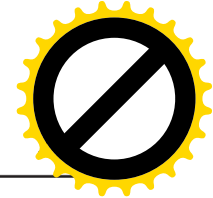
7 结论

(1) 目前,杭州市市区河道水环境污染源的主要来源是未截留污水污染、径流污染、合流制溢流污染,应针对上述 3 种污染源开展治理措施。其中径流污染已构成杭州河道水环境的第二大污染源,随着截污纳管和分流改造,未截留污水污染、合流制溢流污染比例将逐步下降,径流污染占比将日益增大,因此,下一步应充分重视径流污染的控制。

(2) 从量化成本效益分析,有机物降解最经济的措施依次为引水、截污、清淤、原位治理。营养物降解最经济的措施依次为清淤、原位治理(曝气+填料类)、截污、引水、原位治理(浮床、生物类)。杭州目前水质偏重营养物污染,因此,后者更具参考意义。

(3) 水环境改善措施的选择不能仅仅考虑经济性,还必须结合杭州市情况充分考虑各种难以量化的影响因素。从杭州市实际出发,应将截污、清淤作为河道水环境改善的规定动作,配合引配水,在河段水质仍

(下转第 345 页)



- of the integrating sphere method to separate the contributions of brown and black carbon in atmospheric aerosols[J]. *Environ Sci Technol*, 2009, 43(4): 1141–1146.
- [47] Graber E R, Rudich Y. Atmospheric hulis: How humic-like are they? A comprehensive and critical review [J]. *Atmos Chem Phys*, 2006, 6: 729–753.
- [48] American Society for Testing and Material [S]. Standard Classification of Coals by Rank (Designation: D388–99, reapproved, 2004)
- [49] 中华人民共和国国家标准, GB/T 5751–2009, 中国煤炭分类国家标准 [S]. 中国煤炭工业协会, 2009–06–01 发布, 2010–01–01 实施. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- The people's Republic of China national standard, GB/T 5751–2009, China coal classification national standard [S]. China Coal Industry Association, 2009–06–01 release, 2010–01–01 implementation. Beijing: China Standard Press, 2010. (in Chinese)
- [50] 陈颖军, 姜晓华, 支国瑞, 等. 我国民用燃煤的黑碳排放及控制减排 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 39 (11): 1554–1559.
- Chen Yingjun, Jiang Xiaohua, Zhi Guorui, et al. Black carbon emissions from residential coal combustion and reduction strategy [J]. *Sci China Ser D–Earth Sci*, 2009, 39 (11): 1554–1559. (in Chinese)
- [51] Zhi Guo Rui, Peng Cong Hu, Chen Ying Jun, et al. Deployment of coal briquettes and improved stoves: possibly an option for both environment and climate [J]. *Environ Sci Technol*, 2009, 43(15): 5586–5591.
- [52] Radke M, Schaefer R G, Leythaeuser D, et al. Composition of soluble organic matter in coals: relation to rank and liptinite fluorescence[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44 (11), 1787–1800.
- [53] Han Yongming, Cao Junji, Chow J C, et al. Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC[J]. *Chemosphere*, 2007, 69(4): 569–574.
- [54] Han Y, Lee S, Cao J, et al. Spatial distribution and seasonal variation of char-EC and soot-EC in the atmosphere over China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(38): 6066–6073.
- [55] 支国瑞, 蔡竞, 杨俊超, 等. 棕色碳气溶胶来源、性质、测量与排放估算[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(12): 1797–1814.
- Zhi Guorui, Cai Jing, Yang Junchao, et al. Origin, properties, measurement and emission estimation of brown carbon aerosols [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, 28 (12): 1997–1814. (in Chinese)
- [56] Yang H, Yu J Z. Uncertainties in charring correction in the analysis of elemental and organic carbon in atmospheric particles by thermal/optical methods[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36: 5199–5204.
- [57] 支国瑞, 杨俊超, 张涛, 等. 我国北方农村生活燃煤情况调查、排放估算及政策启示[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(8): 1179–1185.
- Zhi Guorui, Yang Junchao, Zhang tao, et al. Rural household coal use survey, emission estimation and policy implication[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 28(8): 1179–1185. (in Chinese)
- ※ 致谢: 本实验得到中国科学院烟台海岸带研究所李新竹、黄国培、宗政、蔡永兵等人的帮助, 文章写作时得到德国亥姆霍兹联合会海岸带研究所 Hendrik Wolschke 对于英文的帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

(上接第 337 页)

达不到要求的情况下, 局部考虑原位治理。

(4) 从污染控制环节分析, 现有污染治理措施涵盖的污染源迁移路径仍集中在水体环节, 未在产生、迁移、终端等环节进行有效的治理。下一阶段应大力推行低影响开发、小型分散处理等其他环节控制措施, 改善水质。

(5) 根据现有杭州城市发展的特点, 建议在有条件的老城区, 维持现有配水规模, 推行低影响开发等, 进一步削减径流污染; 在老城区, 由于实施径流污染控制措施的限制性条件较多, 建议适当增加配水规模, 减小径流削减比例。

[参考文献]

- [1] 杭州市市区河道整治建设中心, 杭州市综合交通研究中心. 杭州市市区河道综合整治与保护“十二五”发展规划[R]. 2011.
- [2] 杭州市市区河道整治建设中心, 中国华东勘测设计研究院有限公司. 杭州市市区河道水环境整治工程技术研究与课题总结报告[R]. 2015.
- [3] 杭州市综合交通研究中心. 杭州市沿河截污纳管现状调查及改善技术措施方案研究[R]. 2009.
- [4] 杭州市水利规划设计研究院. 杭州市市区河道配水规划[R]. 2007.
- [5] 杭州市水利规划设计研究院. 杭州市河道畅流工程规划[R]. 2014.
- [6] 杭州市城市规划设计研究院. 杭州市污水工程专业规划[R]. 2004.
- [7] 杭州市市区河道监管中心. 杭州河道清淤技术研究[R]. 2009.
- [8] 杭州市运河集团. 京杭运河(杭州城区段)水环境综合保护方案[R]. 2013.
- [9] 杭州市环境科学研究院. 杭州市市区河道水环境治理和生态修复普遍技术及关键环节工程示范应用研究[R]. 2013.