

张卫, 赵树旗, 卢兴超, 等. 华盛顿哥伦比亚特区合流制管网溢流污染治理及长效管控策略的工程经验分析[J]. 净水技术, 2022, 41(3):110-117.

ZHANG W, ZHAO S Q, LU X C, et al. Engineering experience analysis on pollution control and long term control strategy of combined sewer overflows in Washington D. C. [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3): 110-117.



扫我试试?

## 华盛顿哥伦比亚特区合流制管网溢流污染治理及长效管控策略的工程经验分析

张 卫<sup>1</sup>, 赵树旗<sup>1,\*</sup>, 卢兴超<sup>2</sup>, 尹文超<sup>2</sup>, 刘永旺<sup>2</sup>, 董紫君<sup>3</sup>, 姜成春<sup>3</sup>

(1. 北京工业大学建筑与工程学院, 北京 100124; 2. 中国建筑设计研究院有限公司, 北京 100044; 3. 深圳职业技术学院城市水良性循环工程研发中心, 广东深圳 518055)

**摘 要** 为长效控制华盛顿哥伦比亚特区合流制管网溢流(CSOs)污染问题, 华盛顿哥伦比亚特区供排水局(WASA)以流域管控为单元, 针对特区内各流域的本底情况和突出问题, 按“灰色与绿色”、“地上与地下”、“分散与系统”相结合方式, 制定长期有效的管控策略, 并借助水力模型和监测手段进行实时监测与评估。结果表明, 华盛顿哥伦比亚特区内CSOs体积削减了90%~95%, 溢流频次削减了95%~100%, 溢流污染负荷削减了30%~35%, 大肠杆菌数减少了35%~40%, 溶解氧含量提高了40%~50%, 流域整体水质得到显著提高。这对我国CSOs污染控制技术研究具有很好的借鉴价值, 在一些城市的老城区合流制区域提升改造、相关性流域综合治理以及黑臭水体控制与治理方面能起到较好的示范作用。

**关键词** 合流制管网溢流(CSOs) 长效管理计划 大肠杆菌 溶解氧 溢流控制率

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2022)03-0110-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.03.017

## Engineering Experience Analysis on Pollution Control and Long Term Control Strategy of Combined Sewer Overflows in Washington D. C.

ZHANG Wei<sup>1</sup>, ZHAO Shuqi<sup>1,\*</sup>, LU Xingchao<sup>2</sup>, YIN Wenchao<sup>2</sup>, LIU Yongwang<sup>2</sup>, DONG Zijun<sup>3</sup>, JIANG Chengchun<sup>3</sup>

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. China Architecture Design & Research Group Co., Ltd., Beijing 100044, China;

3. Urban Water Benign Cycle Engineering Research and Development Center, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

**Abstract** In order to control the combined sewer overflows (CSOs) pollution in Washington D. C. with a long-term situation, D. C. Water and Sewer Authority (WASA) takes river basin management as a unit, and points at the background and outstanding problems of river basins in Washington D. C. WASA plans long-term effective management strategy on the basis of combination of “gray and green”, “ground and underground”, “separation and concentration”, and carried out real-time monitor and evaluation with the help of hydraulic model and monitoring methods. Result shows that the volume of combined sewer overflow in Washington D. C. is reduced by 90%~95%. The frequency of overflow is reduced by 95%~100%. The pollution load of overflow is reduced by 30%~35%. The number of fecal coliform is reduced by 35%~40%. The content of dissolved oxygen is increased by 40%~50%, and the overall water quality of basin is significantly improved. It has a good reference value for the study of CSOs pollution control techniques at home. It can also play a good demonstration role in the upgrading and reconstruction of confluence system area in some old urban areas, the

[收稿日期] 2020-09-04

[基金项目] 深圳市科创委天蓝水清科技重大专项(KJYY20180717103207423)

[作者简介] 张卫(1996—),男,硕士,研究方向为城市合流制管道溢流污染控制技术,E-mail:274625593@qq.com。

[通信作者] 赵树旗(1963—),男,副教授,研究方向为城市雨洪管理与水资源综合利用,E-mail:zhaoshuqi@bjut.edu.cn。

comprehensive management of relevant river basins and the control and treatment of black and smelly water bodies.

**Keywords** combined sewer overflows (CSOs) long term control plan coliform dissolved oxygen (DO) overflow control rate

合流制管网溢流 (combined sewer overflows, CSOs) 污染是许多国家水环境污染治理面临的重点与难点<sup>[1]</sup>,其中,美国是最早着手于系统性解决 CSOs 污染的国家之一。美国环保署(EPA)早在 1989 年就发布了多项关于 CSOs 控制的基本措施,20 世纪 90 年代后美国各大城市则根据国家发布的 CSOs 控制要求及相关策略,开展 CSOs 控制工作,其许多州政府颁布的污染控制技术策略对发展中国家是一个很好的参考<sup>[2-3]</sup>。华盛顿哥伦比亚特区作为人口密集程度较高的城市,在 CSOs 管控方面实行了严格的管理措施与控制策略,其中,长效管控策略作为一种针对中长期 CSOs 污染控制的有效手段,值得借鉴与学习。

华盛顿哥伦比亚特区是一个老旧交替的城区,城市排水系统由合流制和分流制组成,在 20 世纪初由于工业化进程的加快、硬化路面比例增大、地表径流污染加重,导致其原有的合流制区域溢流污染逐渐突显,对周边水环境造成严重的影响。21 世纪初,哥伦比亚供水局(WASA)组织编制了《供排水局的推荐性合流制排水系统长效管理计划》(Long Term Control Plan, LTCP)<sup>[4]</sup>。通过采用政策、技术、宣传、经济分析等手段,将华盛顿哥伦比亚特区 CSOs 污染进行有效控制。本文对该管理计划的系统思想、整体策略、技术手段和控制效果进行分析讨论,旨在为国内 CSOs 相关控制工程提供参考经验。据 2016 年《中国城市建设统计年鉴》统计,全国城市仍有合流制管网( $1.09 \times 10^5$  km),占城市排水管道总长度的 18.8%,而小型城市及西部地区合流制管网比例较高达到了 25% 以上<sup>[5]</sup>,因此,研究内容对国内 CSOs 污染以及其导致的黑臭水体复发治理具有一定启示。

## 1 区域概况

### 1.1 现状分析

哥伦比亚特区比邻马里兰州(Maryland),其中,合流制排水区位于阿纳科斯蒂亚河(Anacostia River)、波多马克河(Potomac River)、洛克溪(Rock Creek)三大流域交叉口处,特区总面积约为 177 km<sup>2</sup>。特区中大约有 1/3 的地区采用合流制排水系

统,在整个特区内有位于波多马克河东岸的蓝水平原高级污水处理厂,旱天时收集周边的家庭和企业的污水,经处理后直接排放到波多马克河,雨天时部分混合污水输送至蓝水平原高级污水处理厂进行处理。当超过合流式排水系统的容量时,混合污水将排入三大河流及其支流水域,此时发生溢流现象,华盛顿哥伦比亚特区合流制区域分布如图 1 所示<sup>[4]</sup>,通过排查该区域共有 60 个 CSOs 排放口。



图 1 合流制区域

Fig. 1 Combined System Area

### 1.2 问题识别

根据华盛顿哥伦比亚特区地表水体的污染程度、污染物成分、CSOs 对水体污染的影响程度,将区域划分为三大流域,分别为阿纳科斯蒂亚河流域、洛克溪流域和波多马克河流域。

#### (1) 阿纳科斯蒂亚河流域

阿纳科斯蒂亚河是一个流动性相对较差的水体,受潮汐影响显著。在每年 6 月—8 月,经过雨天 CSOs、地表径流排放、上游边界污染物的下移,导致水中自然饱和容积氧含量降低、河道的流动性差,容易形成低溶解氧环境。据统计,平均每年夏天会持续 1~2 d,在溶解氧含量 < 2 mg/L 下,会造成鱼类生物死亡,而细菌浓度(粪大肠菌群)则相应升高,此

时平均年份的大多数月份中细菌浓度超过 EPA 所建议的 A 类月度细菌标准<sup>[4]</sup>。

### (2) 罗克河流域

罗克溪是一条流动性较好的河流,在其大部分河段上不受潮汐影响。由于河床底部不规则性因素,水流容易形成湍流,从而不易产生低溶解氧环境,但高浓度细菌仍是该河道的主要问题。水质检测统计,平均年内罗克溪的细菌(粪大肠菌群)浓度每月均高于 A 类月度细菌标准,经分析大部分负荷来自雨水和上游水源。

### (3) 波多马克河流域

波多马克河的水质比阿纳科斯蒂亚河和罗克溪好很多,河道中低污染负荷的汇入,以及河道本身对污染物的消纳能力比较高,导致从纪念桥到乔治敦的上游河段预计每年只会有一月超过 A 类月度细菌标准。从纪念桥下游开始预计每月不会出现超标情况,同时波多马克河也不易形成低溶解氧环境。

## 2 长效控制策略

### 2.1 控制策略技术思路

CSOs 污染长效控制策略从 20~40 年长期有效角度出发,通过源头减排、过程控制、末端治理三大主要控制路径,将污染从“源头”到“末端”加以控制并逐步去除,将溢流体积和频次控制在较高水平,辅以公民参与和经济分析手段每年对控制策略进行管理评估和完善(图 2)。表 1 为华盛顿特区 CSOs 问题控制策略。

(1) 源头削减。源头削减的意义在于面源污染的源头控制进入排水管道的污染物体积和浓度,内容主要包括建造“灰绿结合”的截流净化雨水类设施与政策、教育、法规结合一体式强化管理两方面。对新建和改造区域采用低影响开发(LID)措施,如屋顶绿化、雨水储存、雨水断接、雨水净化等分散式管理措施,削减雨水径流总量和径流污染负荷,从而减少排入管道的污染物浓度与体积,并且减少道路径流外排污染城市水体。在政策上对道路、广场进行定期清扫,对雨水口、集水池进行清淤,削减沉积污染负荷<sup>[6]</sup>。在教育上重视公共基础知识教育的普及,并且开展广泛的公众参与计划,旨在教育受影响的公众,获取他们在“LTCP”控制措施方面的投入咨询意见。公众参与过程包括公开会议、建立利益相关者咨询小组等。在法规方面需要进一步完善与污染排放相关

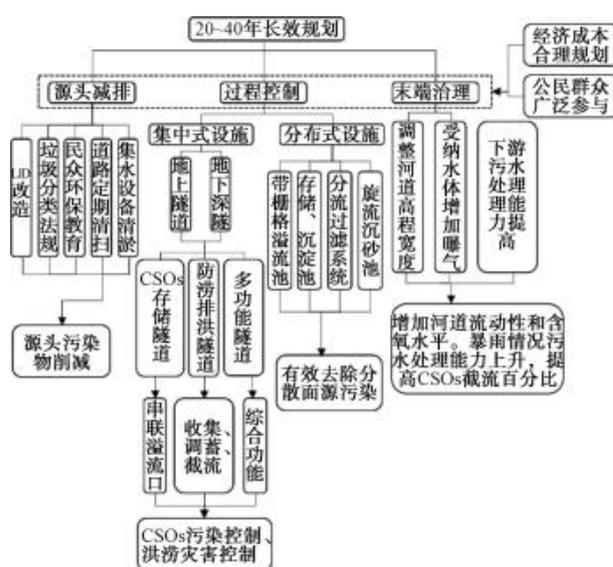


图 2 控制策略流程图

Fig. 2 Flow Chart of Control Plan

的法律法规,如更有效的垃圾处理禁令等。

(2) 过程控制。过程控制的任务为截流在运输途中的污染物,从而降低排放口风险。一般在排水系统中设置合流制截排调蓄设施进行 CSOs 截流控制,截排调蓄设施分为集中式和分布式。设置栅格、沉淀池、分流池、溢流调蓄池、旋流沉砂池等分布式设施,能够实现固液部分或完全分离,截流大块固体污染物并净化水质。通过增设地下深隧或地上隧道(涵洞)等集中式设施,降低溢流排放量和频次,构建实施控制系统,实现联动控制、溢流调控等自动控制技术<sup>[7]</sup>。

(3) 末端治理。在受纳水体增设曝气装置,局部调整河道的高程和宽度,增大河道的流动性,减少低溶解氧环境的产生概率,从而保证水生动物的生存繁殖,形成良好的河流生态环境。对下游蓝水平原污水处理厂溢流处理机组以及泵站等抽水设备进行全面升级,增强应对暴雨天气的污水处理能力和水量容纳能力。

### 2.2 阿纳科斯蒂亚河段流域管控策略

经过为期 3 年(1988 年—1990 年)的监测分析,阿纳科斯蒂亚河段的干旱和降雨年份年溢流频次分别为每年 1 次和每年 3 次。通过对该区域现有工程设施的最大限度利用,以控制溢流污染造成的影响。改造措施主要包括“O”街和东侧抽水泵站的改造、阿纳科斯蒂亚河东侧从杨树点到东北边界的 CSOs 存储隧道修建、从斯坦顿堡到杨树点的管道修

表 1 华盛顿哥伦比亚特区 CSOs 控制策略  
Tab. 1 Control Strategy of CSOs in Washington D. C.

控制路径	技术手段	整体效果
源头控制	(1) 低影响开发设施改造(全系统,向区政府提供技术和监管援助) (2) 道路、广场定期维护清扫(全系统) (3) 集水设施清淤处理(全系统) (4) 公众教育知识加强(全系统) (5) 加强垃圾分类法规(全系统)	大幅从源头上削减径流总量、径流污染负荷,同时削减沉积污染负荷;教育的加强和垃圾法的完善从源头上一定程度控制了垃圾对环境的输出
过程处理	(1) 在排水系统增设沉淀池、分流池、栅格等截污调节设施,松果枝建设 36 000 m <sup>3</sup> 深隧截流 CSOs(罗克溪流域) (2) 在杨树点到东北边界出口建立深隧(18 万 m <sup>3</sup> ),截流 CSOs;建立平行东北边界的 30 万 m <sup>3</sup> 隧道来缓解洪水;斯坦顿堡区域设置相应拦截设备将 CSOs 截流运输至隧道(阿纳科斯蒂亚河流域) (3) 增设从乔治敦到波多马克泵站的隧道(22 万 m <sup>3</sup> ),对波多马克泵站的抽排水能力增强(波多马克流域)	降低合流制管道溢流排放量,减少溢流频次,有效截流 CSOs,建设 CSOs 污染对片区的污染影响
末端治理	(1) 增设曝气装置(三大流域) (2) 蓝水平原污水处理厂的过流处理改进(新增 4 个一级过滤器)	加大水体流动性、形成有氧环境,保证水体鱼类的生存;污水处理厂处理污水能力显著提高

建。阿纳科斯蒂亚河东侧隧道的修建为 CSOs 提供额外储蓄空间,也能够缓解东北边界地区的街道和地下室的洪涝。而现有杨树点抽水泵站将由位于隧道末端的新颖抽排水设施取代,该设施既能对隧道进行排水,又取代了现有抽水泵站的功能,同时对码头附近河流西侧的 3 个 CSOs 有效截流,以消除其对该河流域的影响。

### 2.3 罗克溪河段流域管控策略

经过为期 3 年(1988 年—1990 年)的监测分析,罗克溪段的干旱和降雨年溢流频次分别为每年 1 次和每年 6 次,主要控制措施包括在派尼支流(Piney Branch)修建一个深隧道,用于有效截流派尼支流以南的 4 个 CSOs。预计罗克溪的控制措施将派尼支流的溢流量限制为每年 1 次。

### 2.4 波多马克河段流域管控策略

经过为期 3 年(1988 年—1990 年)的监测分析,波多马克河段的干旱和降雨年溢流频次分别为每年 0 次和每年 5 次,主要控制措施包括提高波多马克抽水泵站工作能力、从大桥西侧沿波多马克河岸(与乔治敦平行)修建一条 CSOs 存储隧道。其中,修建的隧道将截流乔治敦和罗克溪下游的 CSOs,同时增加波多马克抽水泵站机组数量,从而加强隧道排水能力。辅以设置分散式 CSOs 控制设施以逐渐控制消除键桥(Key Bridge)和罗克溪之间的所有 CSOs,最终消除这些 CSOs 对乔治敦滨水地区的影响,其中,CSOs 存储隧道结构如图 3 所示,水力旋流沉淀池结构如图 4 所示。预计将波多马克河的年溢流次数限制在 4 次以内。由图 3 可知,引水

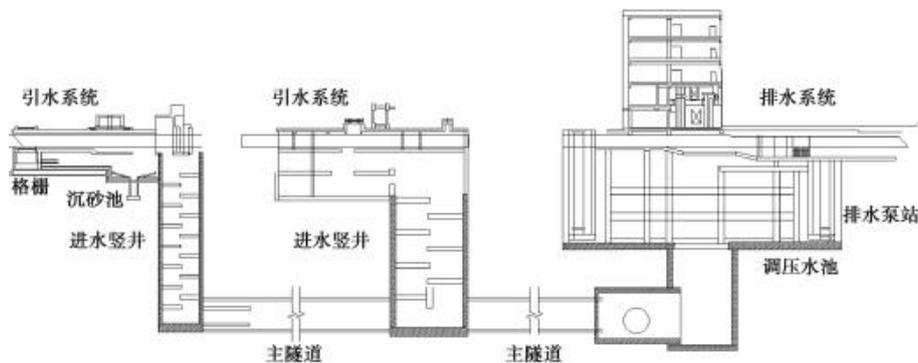


图 3 深隧结构示意图

Fig. 3 Diagram of Deep Tunnel Structure

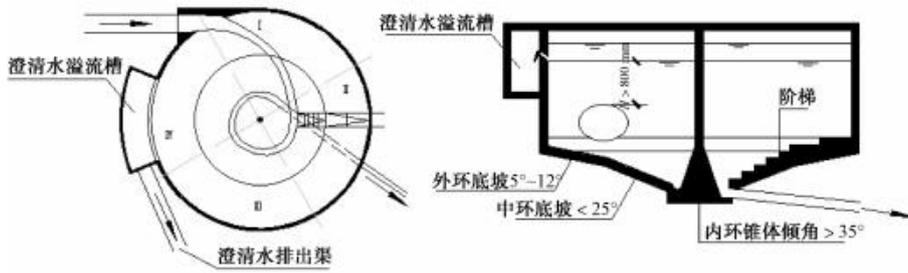


图 4 水力旋流沉淀池结构

Fig. 4 Structure of Hydraulic Rotational Flowing Pool

系统起到截流、沉砂等作用;进水竖井负责进水、调蓄、消能、排气;隧道主体用以调蓄和过水;排水系统负责转输、调蓄、调节压力与波动;通风系统负责通风和除臭。

如图 4 所示,沉淀池中进水管从沉淀区底部穿过外池壁进入池内,其管径逐渐变小并弯曲地呈环状进入池中间。进水从其出口以大流速和与池壁呈

切线方向流入池中,随后以水力旋流方式在池中由下而上地流动,由此形成无数的细小涡流,促进混合污水中的悬浮颗粒相互碰撞、接触而聚合成较大的固体颗粒,进而加速沉淀。流到最上面时,沉淀澄清水便流入溢流槽排出,污泥由坑底的排泥管排出。

三大流域 CSOs 管控策略与设施布置如图 5 所示。



图 5 推荐性控制策略<sup>[4]</sup>

Fig. 5 Recommended Control Strategy<sup>[4]</sup>

### 3 “LTCP”结果与讨论

#### 3.1 溢流程度有效控制

WASA 为了评价 CSOs 控制前后对受纳水体水质的影响,建立了合流制排水系统、分流制排水系统、流域系统相结合的计算机水力模型。模型根据历史数据以及在受纳水体、合流式下水道系统、CSOs、独立暴雨系统下收集的 9~12 个月监测数据进行校准和分析。

根据 EPA 的指导方针,CSOs 的规划是基于平均年份的条件。根据罗纳德里根国家机场 50 年降雨量数据,研究选择 1988 年—1990 年的降雨量作为平均条件的代表年,代表性的 3 年已经包括了丰水年、枯水年和平水年。利用该水力模型,分析了平均年份现有条件下的 CSOs 量和频率。对采取一期控制措施前后的 CSOs 模拟分析如下,具体评估及分析结果如表 2~表 3 所示。

表 2 年均 CSOs 评估<sup>[4]</sup>

Tab. 2 Annual Average CSOs Assessment<sup>[4]</sup>

类别	阿纳科斯蒂亚河溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	罗克溪溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	波多马克河溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	整个区域溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )
无一期控制	9.13	4.02	0.19	13.34
一期控制	5.62	3.61	0.2	9.43

类别	阿纳科斯蒂亚河溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	罗克溪溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	波多马克河溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	整个区域溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )
无一期控制	82	74	30	/
一期控制	75	74	30	/

注:一期控制工程于 1991 年完工

表 3 推荐 CSOs 年均减少量<sup>[4]</sup>

Tab. 3 Recommendation of CSOs Reduction<sup>[4]</sup>

类别	阿纳科斯蒂亚河溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	罗克溪溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	波多马克河溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	整个区域溢流量 /(百万 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )
无一期控制	9.13	4.02	0.19	13.34
“LTCP”计划	0.23	0.3	0.02	0.55
减少量	97.5%	92.5%	89.8%	95.8%

类别	阿纳科斯蒂亚河溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	罗克溪溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	波多马克河溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )	整个区域溢流次数 /(次·a <sup>-1</sup> )
无一期控制	82	74	30	/
“LTCP”计划	2	4	1/4*	/

注:\*表示 1 次发生在波托马克河支流,4 次发生在波多马克河干流

与 1991 年的情况相比(无一期控制),哥伦比亚特区的 CSOs 体积减至  $0.55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ,同比下降接近 96%。预计阿纳科斯蒂亚河溢流次数从平均每年的 82 次减少到每年 2 次,波多马克河和罗克溪河的溢流次数预计将分别从每年 74 次和 30 次减少到 4 次和 1 次。除了能够证明从目前的水平上减少了溢流,EPA 的 CSOs 政策还要求计算在合流制系统中截流率。无一期控制条件下,CSOs 截流率已经高达 76%,主要是由于末端蓝水平原污水处理厂在雨天处理污水能力的提高。随着“LTCP”的实施,预计整个系统的 CSOs 控制率达到平均 99%,与 EPA

的 85%截流率的建议截流率相比,已经大大超出。

#### 3.2 河道水质得到明显改善

细菌和溶解氧是评估该区域水质的 2 个常用指标,也是通过 CSOs 控制能够改善的目标。通过“LTCP”的实施,阿纳科斯蒂亚河中大肠杆菌含量超过 2 CFU/mL 的天数(图 6),由无一期控制的 239 d 降到 182 d,其中,在这 182 d 中,若河流内无其他细菌来源的情况下仅由 CSOs 使大肠杆菌浓度超标的天数为 7 d。同样波多马克河和罗克溪也有类似的情况。通过分析,相关 CSOs 控制策略对河道中细菌浓度水平的降低有一定作用,从无控制策略的 239 d 超

标降低到 182 d。进一步分析,进行“LTCP”控制后 182 d 细菌浓度超标的天数中仅有 7 d。CSOs 导致细菌超标,那么在此基础上继续投入大量成本进行 CSOs 治理是效益偏低且经济不合理的,应针对其他污染源进行分析治理从而进一步提高水质。

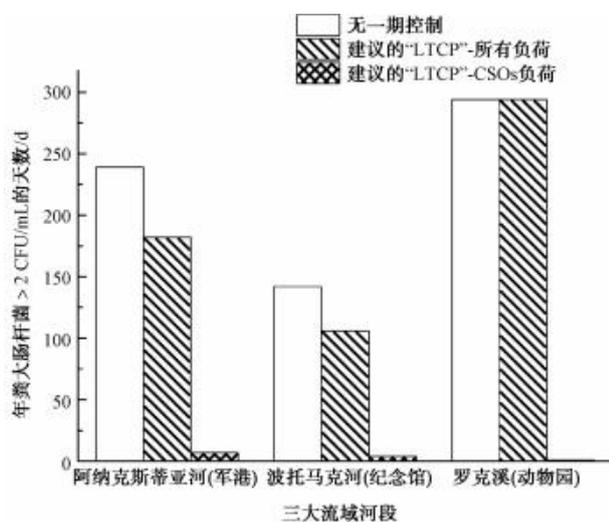


图 6 三大流域河段大肠杆菌数变化<sup>[4]</sup>

Fig. 6 Changes of Escherichia Coli Numbers in Three River Basins<sup>[4]</sup>

水中溶解氧含量 $<4$  mg/L 时,某些鱼类开始生存承受压力,而含量 $<2$  mg/L 的溶解氧水平会导致鱼类死亡的风险。由图 7 所示,通过“LTCP”的实施,将使阿纳克斯蒂亚河中溶解氧含量少于 5 mg/L 的天数从大约 93 d 减少到 66 d,其中在这 66 d 中,若河流内无其他污染负荷的情况下,仅由 CSOs 使

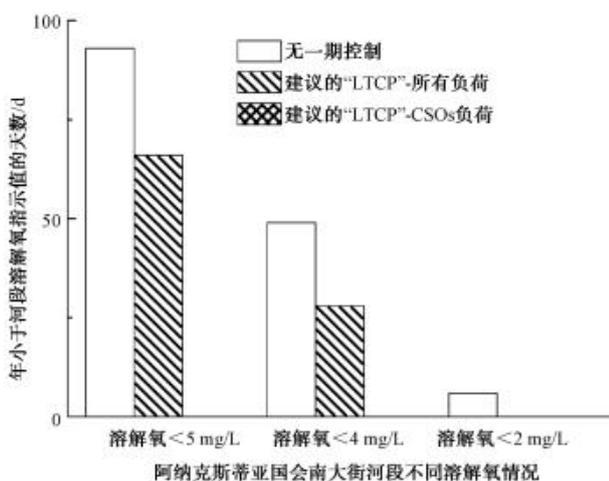


图 7 阿纳克斯蒂亚河-国会南大街河段的溶解氧变化<sup>[4]</sup>

Fig. 7 Changes of Dissolved Oxygen in Anacostia River-South Capitol Street Section<sup>[4]</sup>

溶解氧不达标天数为 0,同样溶解氧含量为 4、2 mg/L 的阈值也有类似的降低趋势。通过“LTCP”治理,各流域含氧量已经达到正常水平,CSOs 导致的溶解氧水平低于标准值的情况不复存在,应转而继续对其他污染源进行控制治理。

### 3.3 哥伦比亚特区 CSOs 污染与流域水质现状

从实施“LTCP”长效管控策略至近期,华盛顿哥伦比亚特区已经取得了卓越的 CSOs 控制与流域管控效果。目前,华盛顿哥伦比亚特区合流制系统仍然占 60%以上,政府对 CSOs 控制管理的投资巨大,超过雨水管理投资,其 CSOs 控制与污水及管网投资比例高达 1/4~1/2,并且严格遵循 20 世纪 90 年代 EPA 发布的 CSOs 控制战略、CSOs 控制政策、美国清洁水法、NPDES 排放许可体系,可以满足 EPA 对华盛顿哥伦比亚特区 CSOs 平均年溢流次数为 1~4 次、85%溢流总量削减的指标要求,在此基础上近年来又编制未来 10、20 年新的规划,并进行持续性投资。

在流域管控方面,得益于“灰绿结合”的技术思路与蓝水平原污水处理厂的不断改造,三大流域水质均在平均年内绝大多数月份满足 EPA 水质标准。而蓝水平原污水处理厂在 21 世纪后的不断扩建后引入砂滤池和氯化杀菌等设施,进一步提高出水质量,从而使得处理后的水基本上已经达到饮用水的标准。目前,蓝水平原污水处理厂拥有极限脱氮除磷技术(TP 含量 $\leq 0.18$  mg/L、TN 含量 $\leq 4$  mg/L)和北美最大污泥热水解系统,较好地保护了波多马克河的水质。

## 4 对国内相关工程启示

### 4.1 国内 CSOs 治理工程

国内许多城市合流管网历史欠账多、系统性差,大量雨污混合水未能得到有效收集而直接排入河道,造成水环境污染严重。以深圳市合流制系统存在的一些问题为例进行分析,并结合华盛顿哥伦比亚特区 CSOs 治理经验提出相关长效管控经验。

(1) CSOs 污染未按流域系统治理,导致系统整体性差。污水收集处理设施众多,但规划、建设和管理的各环节未按流域统筹,使得工程效益未充分发挥。管网建设未成片推进,原特区外大部分区域仅建成主干管,片区污水无法全面有效收集。多头治

水,部门之间,市、区、街道、社区之间协作联动不足。应按照流域系统进行综合治理,制定详细的源头控制—过程处理—末端控制策略。

(2)城市开发与排水设施建设的衔接不足,重地上、轻地下,灰绿设施建设不协调。部分片区排水设施建设落后于开发项目建设,开发项目建成后污水无出路,直接产生溢流污染。部分开发项目未取得排水许可即开工建设并投入使用,片区污水无序排放。轨道交通等市政建设项目排水管理不到位,原有排水系统被破坏,新增了大量溢流点。因而,在老城区改造与新城区建设过程中要按功能作用协调好地上、地下截污调蓄设施的建设,以灰色硬性设施为主,LID技术为辅,以此减少CSOs污染。

## 4.2 国内黑臭水体治理工程

国内黑臭水体引发的一部分原因是CSOs污染,根据“水十条”要求,2030年全国城市建成区域黑臭水体总体得到消除。截至2018年,以深圳为代表的经济发达的一线城市黑臭水体现象最为突出<sup>[8]</sup>。为了达到2030年全国消除黑臭水体目标,需要对相应地区推进长效管控计划。

(1)结合城市发展情况制定20年以上的长效管控策略,实现长期治标治本的效果。重视源头控制是减少黑臭水体反复频发的重点,加强垃圾分类法律法规的实施与工厂排放许可监管,对排放口标准提高进行详细规划。条件允许的情况下可以沿河岸地下设置调蓄深隧,集中控制河岸CSOs点的排放情况,同时结合适宜的末端曝气装置对黑臭水体进行针对性控制,例如控制黑臭水体效果良好的空气微气泡曝气设施等<sup>[9]</sup>。同时,在河岸岸坡设置LID设施与径流截排装置,以防止路面径流外排污染水体。

(2)针对流域整体管控治理,应当实现流域内各分区精准化截污,根据区域特定情况与实际需求选择功能适配的合流制截排调蓄设施,包括分散式、集中式雨污混合处理设施,“地上与地下”的联合布置。在对调蓄设施容积计算时需要考虑到流域内未来10年或20年长效管理条件下的人口增量、污水水排放增量等情况,并适当留有冗余空间对调蓄设

施扩建或新布置,实现长期情况下的精准截污,以控制黑臭水体发生频率。

## 5 结论

(1)根据“LTCP”控制实施效果可见,通过CSOs控制,华盛顿哥伦比亚特区内各流域显著降低河道细菌浓度并控制河道含氧水平,CSOs体积和频次均得到有效控制。但雨水和上游水源的污染同样导致河道细菌浓度超标,需要对其他水源进行控制,并合理考虑成本。

(2)“LTCP”计划从源头减排、过程控制和末端治理综合进行CSOs有效治理,技术手段按“灰色与绿色”、“分布和集中”等方案进行控制设施选择,流域性治理方式效果良好。

(3)对于国内相关工程而言,类似“LTCP”的长效控制管理方案值得借鉴参考,可以针对国内CSOs治理不到位与黑臭水体反复频发问题进行长效管控。根据各地区不同需求、不同条件和不同任务来针对CSOs治理制定“长期稳定有效、短期快速治理”有机结合的综合方案。

## 参考文献

- [1] 杜立刚,杨涛,石亚军.合流制溢流调蓄与处理设施设计方案——以武汉市庙湖水环境提升为例[J].净水技术,2020,39(12):43-47.
- [2] 车伍,葛裕坤,唐磊,等.我国城市排水(雨水)防涝综合规划剖析[J].中国给水排水,2016,32(10):15-21.
- [3] 唐磊,车伍,赵杨,等.合流制溢流污染控制系统决策[J].给水排水,2012,48(7):28-34.
- [4] WASA. WASA's recommended combined sewer system long term control plan [R/OL]. (2002-02) [2020-09-26]. [https://www.dewater.com/sites/default/files/Control\\_Plan\\_Highlights.pdf](https://www.dewater.com/sites/default/files/Control_Plan_Highlights.pdf).
- [5] 姚永连,杨新宇,周琪皓,等.基于合流制年溢流频次控制的调蓄池优化设计[J].净水技术,2021,40(7):79-85.
- [6] 张杰.合流制排水系统雨天溢流污染控制及优化调度研究[D].天津:天津大学,2012.
- [7] 程熙,车伍,唐磊,等.美国合流制溢流控制规划及其发展历程剖析[J].中国给水排水,2017,33(6):7-12.
- [8] 韦东.城市封闭性黑臭水体综合治理方案[J].净水技术,2020,39(8):160-166.
- [9] 王越,程婧雯,汪伯宁,等.微气泡曝气对模拟黑臭水体的治理效果[J].净水技术,2018,37(6):108-112.