

水环境综合整治

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.001

厦门浯溪黑臭水体合流制溢流污染控制技术

常胜昆, 周 丹, 马洪涛, 程慧芹, 郭迎新, 肖朝红, 郝 婧
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100044)

摘 要: 在消除水体黑臭的过程中,合流制溢流(CSO)污染不容忽视。如何实现溢流频次大幅度减少和削减入河污染量,是 CSO 污染控制的关键。详尽分析黑臭水体的现状问题和成因,制定合理的 CSO 控制目标和技术路线,比选多目标多阶段下的工程措施,才能给出切实可行的治理方案。以重度黑臭水体浯溪为例,梳理国内外 CSO 污染控制有效做法,根据浯溪特点和成因,以治理目标和技术思路为指引,统筹末端出口截流、调蓄池建设、污水处理和生态设施等工程,经模型优化比选得出最佳实施方案。结合合流改造工程开展动态评估,制定近远期工程措施,实现浯溪 CSO 污染得以有效控制和消除黑臭长治久清。

关键词: 合流制溢流; 污染控制; 方案比选; 黑臭水体治理; 调蓄池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0001-05

Technical Research on CSO Pollution Control of Black and Odorous Water Body of Wuxi River in Xiamen

CHANG Sheng-kun, ZHOU Dan, MA Hong-tao, CHENG Hui-qin, GUO Ying-xin,
XIAO Chao-hong, HAO Jing

(Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,
Beijing 100044, China)

Abstract: In the process of eliminating black and odorous water body, the pollution of combined sewer overflow(CSO) can not be ignored. How to reduce the overflow frequency and reduce the amount of pollution into the river is the key of CSO pollution control. This paper analyzes the current problems and causes in detail, formulates reasonable CSO control objectives and technical routes, compares and selects engineering measures under multi-objective and multi-stage, and gives feasible treatment scheme. Taking Wuxi River as an example, the effective methods of CSO pollution control at home and abroad are summarized. According to the characteristics and causes of Wuxi River, the treatment objectives and technical ideas are taken as the guidance. With the coordination of outlet interception, the construction of storage tank, sewage treatment and ecological facilities engineering, the best implementation scheme is obtained through model optimization and selection. Combined with the confluence reconstruction project, the dynamic evaluation was carried out, and the short-term and long-term engineering measures were formulated to effectively control and eliminate the black-odor and long-term pollution.

Key words: combined sewer overflow; pollution control; scheme comparison and selection; black and odorous water body treatment; storage tank

在开展黑臭水体治理过程中,合流制溢流(CSO)污染是客观存在且较难控制的,如何在黑臭水体治理过程中实现CSO污染的有效控制,是水体治理的重要内容。以厦门市翔安区重度黑臭水体浯流域整治项目为例,详细介绍黑臭水体治理中CSO污染控制的技术思路和工程方案。

1 CSO 污染控制的必要性

住房和城乡建设部于2015年8月牵头编制了《城市黑臭水体整治工作指南》,提到合流制污水系统沿岸排放口应采取永久性工程治理,应沿河岸或湖岸布置溢流控制装置。黑臭水体治理过程中,CSO污染控制是必须开展的工作任务。

1.1 黑臭水体治理的重点和难点

由于建设年代较早的城市,合流制排水体制偏多,排水设施不完善导致水环境污染严重,CSO造成黑臭水体问题凸显。

CSO污染对城市水体造成了严重威胁,已成为许多城市水体的主要污染源之一。城市合流制管道溢流污水中含有多种病原微生物、氮磷营养物及有毒有害物质,若未经有效处理便直接排入水体,则会严重破坏水环境功能并危及人类健康^[1]。鉴于此,国内一些城市就CSO污染问题采取了相关治理措施。CSO污染控制不仅关系到城市水环境质量的改善,而且关系到城市基础设施的规划与建设、流域治理以及城市可持续发展等重大战略问题。做好CSO污染控制,是消除水体黑臭和改善水环境的重点工作。

然而,国内大多城市对CSO污染情况不够重视,对其污染规律及控制措施研究薄弱,相关基础资料和数据严重缺乏,缺少工程经验的积累;加上,合流制排水体制多位于老旧城区,在这些区域开展合流制改造及溢流污染控制工程面临施工难度大、影响范围广、耗资巨大等诸多问题,因此CSO污染控制面临不少难题和困惑^[2]。另一方面,CSO控制不像污水直排口处理那么简单,直接采用末端截污纳管的方式很难取得良好的效果。可见,CSO污染控制必然是一项复杂的长期系统工程。

1.2 消除黑臭的必然要求

厦门市翔安区浯溪是住房和城乡建设部、生态环境部联合挂名督办的重度黑臭水体,消除其黑臭迫在眉睫。由于CSO是造成河道水质恶劣的重要原因,进行CSO污染控制是必然要求。以水质提升

为目标,倒逼排水设施建设、补齐污水处理短板,也是绿色发展、可持续发展迫切需要的。

对于合流制溢流问题,很多地方采取的方式是开展大范围合改分,认为只有进行合流制改分流制才能解决污染问题。其实,合流制排水系统产生的溢流才是水体黑臭的重点,关注点应该在控制溢流频次和溢流污水量上。通过雨污分流、源头减排、加大截流倍数和设置调蓄处理设施,能达到控制CSO污染的目的^[3]。

2 浯溪现状和问题分析

2.1 流域概况

浯溪起点为郑坂箱涵出口,终点为蔡浦鱼鳞闸,向西排入东坑湾入海。总长3.63 km,流域总面积7.73 km²。2015年7月对浯溪及其支流12个断面进行旱天监测,显示2个河段为重度黑臭水体,1个河段为轻度黑臭,其余8个断面为劣V类水质。浯溪沿岸共20个排水口,最大的是郑坂箱涵合流制排水口,两孔箱涵单孔尺寸为4.5 m×3.0 m。

利用QV和CCTV等手段对流域内排水管网进行混错接深度排查,火炬工业园区和体育场周边区域分别存在26处和5处市政混接点,最终排至浯溪。浯溪流域雨污混接位置及现场排查见图1。

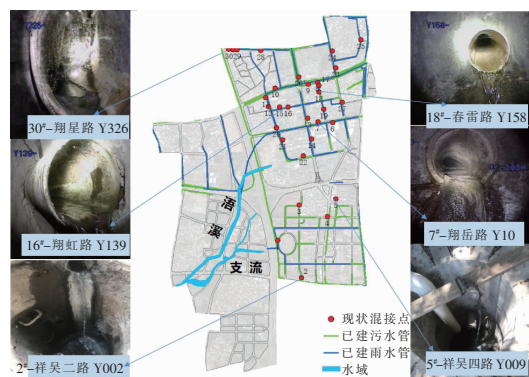


图1 浯溪流域雨污混接位置及现场排查

Fig. 1 Mixed connection for wastewater and rainwater pipeline and investigation in Wuxi River basin

2.2 问题分析

郑坂箱涵排水口上游区域内旱季污水量预测仅4 427 m³/d,但实测箱涵内污水量为(1.1~1.3)×10⁴ m³/d。由于现有临时泵站提升截流能力有限,郑坂箱涵在小雨时就会发生溢流,中大雨时问题尤为明显。以2018年6月30日为例,当日降雨量为20 mm时,合流污水超过临时提升泵站截流量,黑臭

水从箱涵出口溢流排放进入河道,污染程度极大。

对浯溪流域水环境污染情况进行量化核算,分别从旱天和雨天不同场景分析污染物占比情况。旱天污染物主要来自农村点源排放,占总排放量的67.70%。雨天污染物主要来自城市面源和CSO污染,分别占58.44%和32.98%。雨水水环境容量1.57 t/d,污染物排放量10.66 t/d,污染物排放量约为环境容量的6.81倍,直接导致水质变差并影响雨后水环境质量。

基于翔安区28年降雨数据分析,确定2005年为典型年,全年降雨场次122场,超过2 mm降雨64场。选择Mike Urban CS对郑坂箱涵现状进行模拟,溢流频次达100%。郑坂箱涵雨季总溢流量约为 $330 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,COD排放量为429 t/a。

可以看出,郑坂箱涵CSO形势严峻,到了非控不可的地步。削减进入河道的合流溢流量和溢流频次,事关浯溪黑臭水体治理成败。制定切实可行的治理目标和工程措施,能有效改善浯溪水环境,达到消除黑臭的目标。

3 浯溪CSO污染控制方案

通过一系列水环境改善项目,实现浯溪流域健康水循环,重构人水和谐关系,塑造水清岸绿、河畅景美、生态和谐的城市水系。在方案中,重点讨论郑坂箱涵CSO控制的技术策略。

3.1 目标和技术路线

① 浯溪黑臭水体治理目标和思路

浯溪流域消除黑臭近远期治理思路见图2。

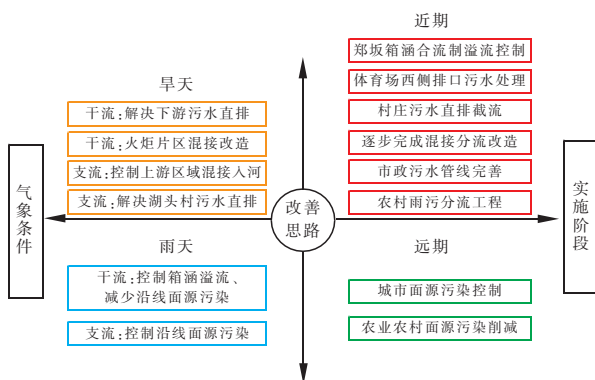


图2 浯溪流域消除黑臭近远期治理思路

Fig.2 Thoughts on the short- and long-term treatment of black and odorous elimination in Wuxi River basin

近期目标全面消除黑臭,旱天污水不入河;雨天控制合流污水,降低合流污水溢流次数和溢流量,保证雨天水体不黑不臭。远期目标稳定维持水体不黑

臭,建设良好景观环境达到生态和谐。雨天时,重要任务是控制郑坂箱涵合流溢流,同时削减面源污染入河。

② 浯溪黑臭水体治理技术路线

黑臭处理技术路线(见图3)从“控源截污、内源治理、生态修复、活水保质”四个方面落实水环境整治建设要求的工程指标和内容,从“源头减排、过程控制、系统治理”三方面制定水环境改善的工程方案。控制污染入河,治“疾病”,完善控源截污体系;提升自净能力,强“体魄”,提升水环境质量。

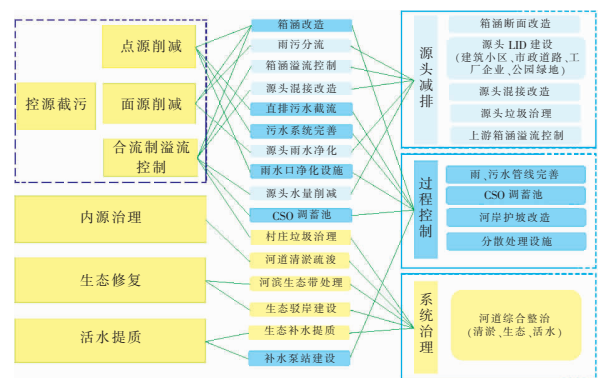


图3 浯溪流域黑臭治理技术路线

Fig.3 Technical route of black and odorous control in Wuxi River basin

明确以CSO污染控制、点源治理为核心,面源污染控制和内源削减等为辅助,环境容量提升为保障的原则,合理分配各工程措施目标,优化与调整工程规模,兼顾工程经济性的同时有效达到水环境改善。水环境改善措施指标分解见图4。

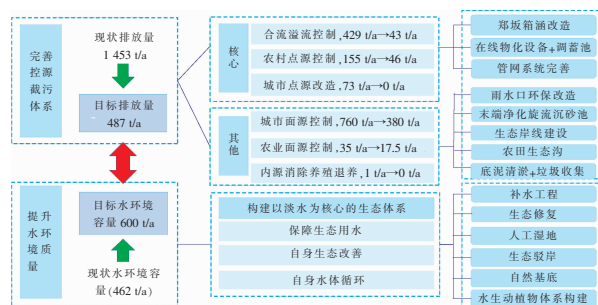


图4 浯溪流域水环境改善措施指标分解示意

Fig.4 Index decomposition of water environment improvement measures in Wuxi River basin

③ 浯溪CSO污染控制技术路线

旱天污水全截流至翔安污水厂;雨天先将旱天污水截流至翔安污水厂,一体化泵站提升后的合流

污水经箱涵调蓄后通过在线物化设备处理再排至湿地。为了控制典型年溢流频次,需要新建CSO调蓄池,超过溢流频次的合流污水经湿地后排河。CSO污染控制技术流程见图5。

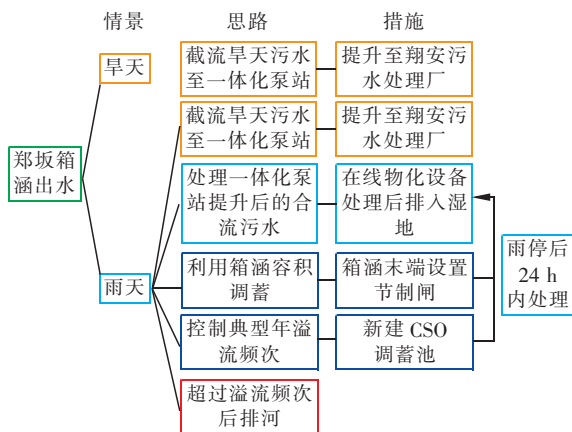


图5 郑坂箱涵合流制溢流控制技术流程

Fig.5 CSO control technical route of Zhengban culvert

3.2 CSO 综合整治方案

在浯溪黑臭水体治理中,从污染物削减和环境容量提升两大方面制定若干工程措施。

① 旱天污染物削减方案

基于旱天有大量污水排出,在箱涵出口建设一体化提升泵站,规模为 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,旱季污水全部截流进入污水处理厂。

在开展CSO调蓄和在线处理之前,应当充分完成上游火炬工业园区混接改造。火炬工业园区共排查26处(44个点)混接点,其中14处需工程整改,12处由工程排污执法处理。图6为浯溪流域混接点改造工程布置图,列出23#和27#改造详图。



图6 浯溪流域混接点改造工程布置

Fig.6 Mixed point transformation in Wuxi River basin

② 雨天CSO污染控制思路

CSO工程采取分期分阶段实施方法:郑坂箱涵出水首先由一体化泵站提升至污水厂,通过出口位置的节制闸利用箱涵调蓄一部分合流污水,近期通过在线物化设备处理后经湿地排河,起到控制溢流频次和削减入河污染物的作用;远期根据混接改造后的效果,评估CSO调蓄池容积及在线物化处理设备的规模。

③ 多目标工程措施比选

利用Mike Urban CS搭建郑坂箱涵上游区域模型,依据排水系统相对独立的汇水区域,对水文模型的集水区进行划分,并采用泰森多边形法进行连接,设置集水区水文模型参数,设置降雨水位边界条件后,即建立该区域管网的水文、水动力模型。

通过模型多方案比选,针对不同溢流控制目标,制定相应的合理工程措施设置方案。在此过程中,不断调整各溢流频次目标下的在线物化设备、CSO调蓄池等规模。对不同溢流次数控制目标进行对比,选取5、8、10、15、20、25、30和35次/a进行工程措施的制定。在一体化泵站提升富余能力 $8000 \text{ m}^3/\text{d}$ 和箱涵出口设置节制闸后箱涵的 10680 m^3 调蓄容积同等基础上,各目标下合理的在线物化设备规模、CSO调蓄池容积、总投资和运营费用数据如表1所示。

表1 多目标控制下的工程措施和投资数据

Tab.1 Engineering measures and investment data under multi-target control

溢流次数控制目标/(次·a ⁻¹)	在线物化设备/(m ³ ·d ⁻¹)	新建调蓄池/m ³	总投资/万元	运营费/(万元·a ⁻¹)
5	75 000	72 000	24 635	298
8	70 000	40 000	14 910	278
10	60 000	22 000	9 260	255
15	40 000	20 000	8 160	220
20	30 000	12 000	5 510	195
25	30 000	0	1 910	171
30	22 000	0	1 710	160
35	17 000	0	1 585	142

④ 近远期工程措施

为实现2018年底消除黑臭,遵循“以工程换时间,以工程换效果”的近期实施思路,开展以下工程:箱涵出口盖板暗渠化处理,长度160 m;旱天污水量提升至翔安污水厂;雨天利用泵站 $8000 \text{ m}^3/\text{d}$ 富余能力截流合流污水至污水厂;箱涵出口设置节

制闸,调蓄容积 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$;在线物化设备规模 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地 300 m^2 , $L \times B = 30 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 。近期工程实施后,年溢流次数控制目标为 36 次,对应日降雨量 10 mm。

通过模拟,得到降雨过程线和箱涵出口流量过程线,设置节制闸和 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 在线物化设备后,全年溢流量为 $137.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,相较于原来溢流总量 $330 \times 10^4 \text{ m}^3$,削减率达到 58.3%。

远期追踪箱涵上游混接改造情况,评估新建调蓄池的容积和在线物化设备规模。若混接改造效果良好,则缩减或取消新建 CSO 调蓄池规模。若混接改造效果不好,则按照 15 次/a 溢流次数控制目标。实现在线物化设备处理能力调整到 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地 $1\,250 \text{ m}^2$,尺寸 $L \times B = 50 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 。新建 CSO 调蓄池容积 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地 $4\,000 \text{ m}^2$, $L \times B = 100 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ 。远期年溢流次数控制目标 15 次/a,对应日降雨量 26.8 mm。远期工程措施实施后,郑坂箱涵出口全年溢流量 $51.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,削减率达 84.3%。

⑤ CSO 调蓄工程对箱涵行洪影响

郑坂箱涵本身为雨水排涝的通道,肩负着上游 3.9 km^2 区域范围内的行洪任务。进行郑坂箱涵改造和出口设置 2.7 m 节制闸后,降雨期间箱涵内壅水是否会造成火炬工业园区内涝积水也是需要关心的问题。

追踪郑坂箱涵出口主干渠道,对区域内的水位情况进行模拟。选取典型年 2005 年 8 月 13 日强降雨数据(215.1 mm)输入模型,得到上游区域箱涵管道水位线。结果显示,郑坂箱涵上游管道中最大水位线未超过地面检查井标高,区域内没有出现内涝积水,说明出口设置节制闸和 CSO 调蓄设施后,上游区域无内涝积水,不会对郑坂箱涵行洪产生影响。

4 结论

① 合流制排水系统区域应尽量避免“合改分”一刀切,需要详细梳理分析现状问题和成因,制定因地制宜的合流制改造方案。在能够进行合流改分流和混错接改造的基础上,做好 CSO 控制工作。

② CSO 污染控制重点在于雨天工程措施的制

定,应结合截流、调蓄、污水处理和生态设施进行多目标多方案比选,在溢流频次目标、技术可行性、工程实施难度和投资造价等方面,优化最佳方案实现控制溢流频次和削减溢流量。

③ 在确定工程方案之后,需及时跟踪“合改分”和混错接改造成果,动态评估 CSO 污染情况,制定近远期不同阶段工程措施。同时,分析合流管渠出口末端设置截流调蓄设施之后对上游区域行洪影响,避免造成合流溢流得以控制,但降雨期间排水不畅形成内涝积水。

参考文献:

- [1] 杨雪,车伍,李俊奇,等. 国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理[J]. 中国给水排水,2008,24(16): 7-11.
YANG Xue, CHE Wu, LI Junqi, et al. Control and management of combined sewer overflow pollution at home and abroad[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(16): 7-11 (in Chinese).
- [2] 车伍,唐磊. 中国城市合流制改造及溢流污染控制策略研究[J]. 给水排水,2012,38(3): 1-5.
CHE Wu, TANG Lei. Study on urban combined system reform and overflow pollution control strategy in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(3): 1-5 (in Chinese).
- [3] 王家卓,胡应均,张春洋,等. 对我国合流制排水系统及其溢流污染控制的思考[J]. 环境保护,2018,46(17): 14-19.
WANG Jiazhao, HU Yingjun, ZHANG Chunyang, et al. Some perspectives on combined sewer system and its overflow control in China[J]. Environmental Protection, 2018, 46(17): 14-19 (in Chinese).

作者简介:常胜昆(1987-),男,安徽宿州人,硕士,高级工程师(市政给水排水),北京分院设计一部副所长,研究方向为市政规划设计、海绵城市和水环境治理。

E-mail:changshengkun@163.com

收稿日期:2019-11-15

修回日期:2019-11-21

(编辑:丁彩娟)