

工程实例

城市黑臭水体水质提升技术及应用

盛倩¹, 陈惠珍², 黄志心³, 张一璠¹, 陈然³

(1. 上海同济环境工程科技有限公司, 上海 200092; 2. 福州经济技术开发区市政公用事业管理处, 福建 福州 350015; 3. 福州市规划设计研究院, 福建 福州 350108)

摘要: 将水质提升技术应用于城市黑臭水体治理工程的末端,是消灭水体黑臭的最终保障和维持水生态健康的长效措施。以福州市某黑臭河道治理 PPP 项目为例,水质提升技术以“旁路治理、原位治理、生态净化、人工增氧、活水循环”为工艺路线,结合实际水域特点分段应用。云端智慧管理结合常态化管理,可营造高效持久的水质提升外部环境。

关键词: 黑臭水体; 水质提升; 旁路治理; 生态修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)20-0072-06

Application of Water Quality Improvement Technology in Urban Black and Odorous Water

SHENG Qian¹, CHEN Hui-zhen², HUANG Zhi-xin³, ZHANG Yi-fan¹, CHEN Ran³

(1. Shanghai Tongji Environmental Engineering and Technology Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Fuzhou ETDZ Municipal Utilities Administration, Fuzhou 350015, China; 3. Fuzhou Planning Design and Research Institute, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Applying water quality improvement technologies to the terminal urban black and odorous water treatment project is a long-term measure to eliminate black and odorous water and maintain water ecological health. Taking a PPP project for the treatment of black and odorous river in Fuzhou as an example, the technology took “bypass treatment, in-situ treatment, ecological purification, artificial oxygen enrichment and active water circulation” as the process route to improve water quality and was applied in sections according to the actual characteristics. Cloud smart management combined with normal management can create efficient and lasting external environment for water quality improvement.

Key words: black and odorous water; water quality improvement; bypass treatment; ecological remediation

1 项目背景

福州城内河网密集,“水脉”见证着该城两千多年的历史发展,但同时也承载了城市排污引发的“黑臭之痛”,自 20 世纪 90 年代开展城市内河整治^[1],水环境得到一定程度的改善。2015 年国务院发布《水污染防治行动计划》,福州作为省会城市,被列入消除黑臭水体的首批城市;2016 年福州入选

海绵城市试点城市,对黑臭水体的整治提出了更为严格的要求。在内外环境的共同推动下,福州涌现诸多黑臭水体治理的典型工程。福州市某黑臭河道水质提升技术应用实例,可为城市黑臭水体末端治理提供工程实施参考。

城市黑臭水体治理是一项综合性工程,水质提升处于这项工程的末端,须保证控源截污和内源治

理等上游工程切实有效实施之后再开展,切不可为快速消除河道黑臭而颠倒整治时序,影响整治效果^[2]。河道水质提升技术着眼于“净化水体、恢复水生态系统,增强水体自净能力”,成为消灭黑臭水体的最终保障和长效措施。

2 水域概况

福州市某黑臭河道治理 PPP 项目将处理的水域分为 A、B、C 三段,A 段与 B 段共同汇入下游 C 段。A 段长约 0.5 km,宽约 8 m,平均水深约 3.5 m; B 段长约 0.7 km,宽约 8~20 m,平均水深约 2.5 m; C 段长约 0.4 km,宽约 22 m,水深随潮汐涨落在 3~4.5 m。该水域具有泄洪防汛要求,在黑臭水体水质提升技术应用之前,已基本完成了沿河排污口截污、驳岸修复、河道底泥清淤疏浚等一系列工程。

河道平面示意图 1。

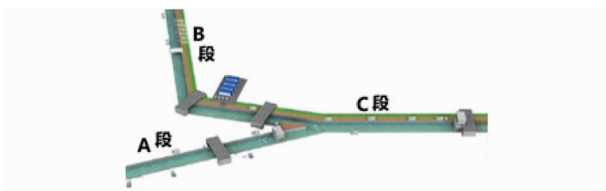


图 1 河道平面示意

Fig. 1 Sketch plane of river

河道分段特点描述见表 1。

表 1 河道分段特点

Tab. 1 Segmentation characteristics of river

河段	水域特点	污染情况	其他
A 段	水面窄、流速低,水生生态脆弱	整体污染严重,氨氮浓度 > 15 mg/L,溶解氧基本在 2 mg/L 以下	沿河为漫步道,景观相容性要求高
B 段	水面较为开阔、流速低	污染较为严重,局部氨氮浓度接近 12 mg/L,溶解氧 < 2 mg/L	沿岸村落建筑密集,雨污水管道排查困难,污水随雨水管道直排入河
C 段	靠近入江口,水面开阔,水位受潮汐影响	水质总体较好,局部黑臭	受生活区影响,呈现点状污染

3 水质提升工艺路线及技术应用

《城市黑臭水体整治工作指南》提到的水质提升技术措施主要有:旁路治理、原位治理(就地处理)、生态净化、人工增氧、活水循环等。该工程的工艺路线参照指南意见,并结合治理水域的特点分段应用。

3.1 旁路离线处理

A 段和 B 段是无外源补水的封闭水体,水体流

动性差,适宜采用旁路治理。旁路治理依托离线设备对黑臭水体进行处理,是一种常用方式,选择合适的取水和出水的点位是关键。系统通过抽取污染较为严重的河水,经离线设备处理后,削减了污染物总量,富氧出水以“清水补给”的方式回到河道,增加河道的溶解氧量,激活水体流动性。

旁路离线设备工作简图见图 2。

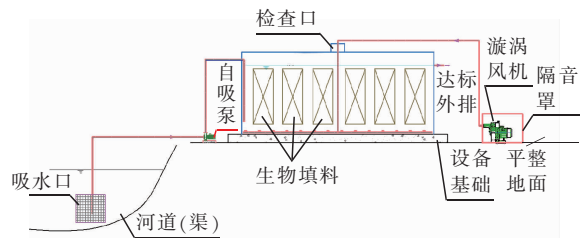


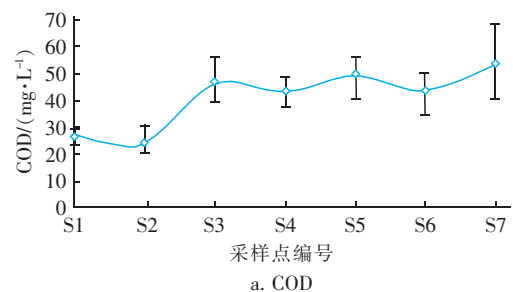
图 2 旁路离线设备工作简图

Fig. 2 Working sketch of bypass device

离线设备不适用于景观相容性要求高的区段, A 段沿河均为漫步道和亲水平台, B 段经过村落和高速匝道,离线设备对 B 段的景观影响较小。该工程对 B 段重点开展旁路治理。

3.1.1 离线设备布点

B 段上游村落的生活污水随漏接雨水口直排入河,形成区段污染,经截污改造,晴天实现完全截污,雨天部分混流污水溢流排河。选取 B 段 7 处采样点,每个点位间距约 100 m,自上游至 A、B 段交叉处,依次定义为 S1~S7,进行多次水质测定,主要水质指标见图 3。河道 B 段为轻度黑臭水体,主要的待治理区域集中在 S3~S7, B 段村落旁边的河道(S3、S4、S5)水质较上游明显恶化,且直接影响了下游 S6 的水质, B 段与 A 段交汇处(S7)受 A 段河道水质的影响,氨氮显著增加。考虑设备进场、运行管理的便利性,结合周边环境的协调性,将离线设备设置在 S5 的河岸平整地块, S5 作为取水点位,对受污染严重的河水进行处理后,出水排入下游 100 m 的 S6 水体处,出水增加水体流动性,提高溶解氧含量。



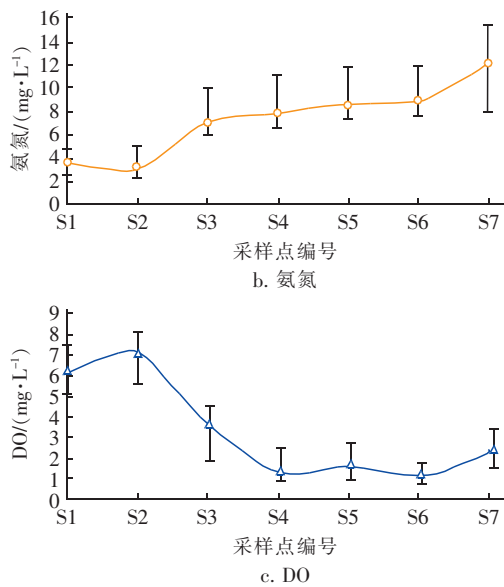


图3 B段主要水质参数

Fig. 3 Water quality parameters of section B

3.1.2 离线设备工艺选择

该旁路离线水处理系统采用“富酶活性填料生物处理工艺”,在反应器内安装一种富酶活性填料,填料上附着不同的生物种类,有利于黑臭水体污染物的附着,填料内部生长厌氧菌或兼氧菌,外部生长好氧菌,使硝化反应和反硝化反应同时存在,具有比表面积大、微生物量多、处理能力强、净化效果显著、污泥沉降性能好等特点。

旁路离线系统处理段河道的基本情况如表2所示。

表2 旁路系统处理段河道基本情况

Tab. 2 River condition in bypass system treatment section

河长/ m	平均河 宽/m	平均水 深/m	水域体 积/m ³	换水周 期/d	设计处理水量/ (m ³ ·d ⁻¹)
300	16	2.5	12 000	5	2 400

主要参数:设计处理水量为2 400 m³/d, COD 负荷为0.67 kg/(m³·d), 氨氮负荷为0.08 kg/(m³·d)。主要设备:一体化成套设备4套,单套处理能力为600 m³/d,配套自吸泵、漩涡风机,处理出水重力排放。

3.1.3 离线设备运行效果

旁路离线设备调试结束后即开始稳定运行,对其2017年(初始处理阶段)及2018年(常态处理阶段)的相同时段主要水质参数持续跟踪记录一个月后进行对比,可见其对主要污染物均有明显去除(见图4)。初始处理阶段,在进水 COD < 50 mg/L、

氨氮 < 10 mg/L 的条件下,出水 COD 稳定 < 30 mg/L,氨氮 < 4 mg/L。随着河道水质的改善,系统进入常态处理阶段,出水 COD 稳定 < 20 mg/L、氨氮 < 2 mg/L。随着处理浓度的降低,现场及时调整进水及曝气设备的运行工况,以应对不同的水质状态。

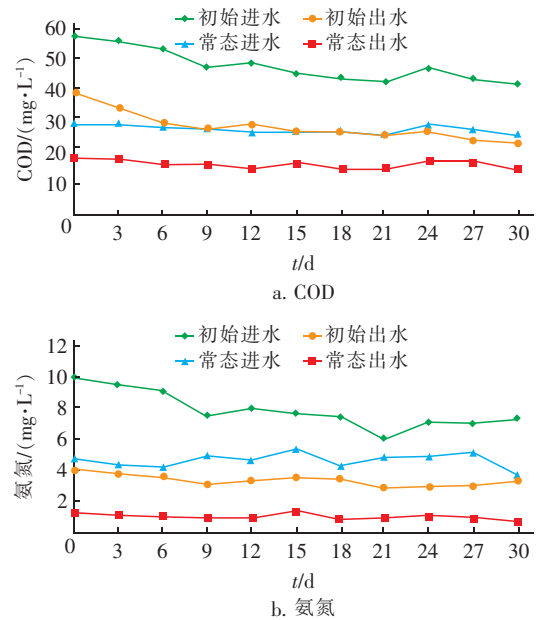


图4 旁路离线设备运行水质变化趋势

Fig. 4 Trend of water quality with bypass device

旁路离线设备实景见图5。

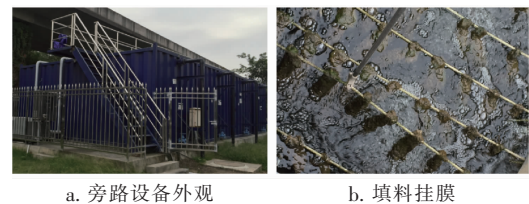


图5 旁路离线设备

Fig. 5 Bypass device

3.2 原位生态修复

3.2.1 原位生态修复工艺选择

原位治理选用适宜的方式进行就地处理,持久去除水体中的污染物,与生态净化修复的长效机制兼容并包。原位生态修复综合了原位治理与生态净化两项工艺。

采用生态浮床、种植水生植物等方式不仅可以就地去除水体中的有机物、氮、磷等污染物,还具有景观作用,是河道治理中常用的生态净化和修复方式,但该方式定期植物收割和处理处置成本较高,且有碍河道泄洪防汛。投加生物菌剂存在两方面问

题,首先是引进外来物种,不利于生态安全,其次是生物菌剂易随水流失,无法保持水体长效净化。该工程河道具有泄洪防汛要求,且需尽量避免外源微生物的影响。

采用本土微生物活化工艺,通过激活本土微生物优势,加强水体自净能力的同时持续修复水生态,改善水体环境。设备本身还具备占地小、维护简便、运行成本低、无二次污染等技术优势。

3.2.2 本土微生物活化原理及应用

受污染的河水经水泵提升进入本土微生物活化系统,分别在缺氧区和好氧区载入微生物生长活性剂、改性悬浮填料,通过控制微生物生长必要的环境因素,激发本土微生物快速繁殖,并通过出水管路回流河道,微生物世代周期短,繁殖过程中大量吸附、分解水体中的C、N、P等污染物质,大量增殖的本土微生物实现水生态修复。

微生物活化系统见图6。

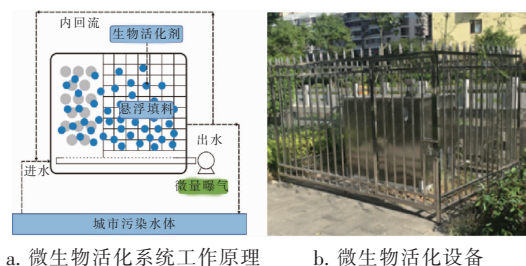


图6 微生物活化系统

Fig. 6 Indigenous microbial activation system

各段水体综合考虑水质提升技术应用措施、水体污染情况及河道宽度,A段和B段以每套本土微生物活化设备服务约150 m水域布置,即A段3套、B段4套,并在A、B段交汇处布置1套,C段以每套本土微生物活化设备按服务约100 m水域布置,即C段4套。

3.2.3 原位生态修复运行效果

本土微生物活化系统经过一个月的运行,检测设备布置点位河水水质,测得COD削减10%~30%,总氮削减15%~40%,各段水质均得到明显改善。这与该类设备在其他河流及水库方面的应用^[3-4]成效相吻合。

3.3 人工增氧

采用人工增氧措施,可有效增加水中溶解氧含量,促进水体流动,提高水体自净能力。A段水体长期处于黑臭状态,水体流动性差,溶解氧基本低于2

mg/L,适宜采用人工增氧技术。

3.3.1 增氧工艺选择

黑臭水体的增氧方式有表面曝气和底部曝气两种类型,工程实施中先后选用表面曝气和底部曝气措施。

① 表面曝气

采用表面曝气不易出现底泥堵塞,安装方便,是目前河道黑臭水体治理常用的人工增氧方式。沿河道A段布置表面曝气设备,以A、B段交汇处为0 m,在距离30 m处布置1台推流式曝气机($P=21$ kW);在距离380、430、480 m处分别布置3台表曝增氧机(单台 $P=2.2$ kW)。检测结果表明,溶解氧集中在增氧设备处,其他点位该值迅速下降;配套的增氧设备功率越高,溶解氧影响的范围越大,但能耗也相应增大。

溶解氧(DO)与曝气设备位置的关系见图7。

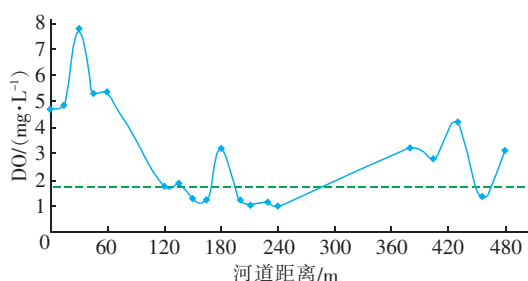


图7 DO与曝气设备位置的关系

Fig. 7 Relationship between DO content and location of aeration equipment

② 底部曝气

底部曝气布气均匀,平均能耗较低,但通常实施难度大,易受底泥影响,容易堵塞曝气设备。该工程的补水管道沿河一侧铺设,形成宽0.6 m的混凝土平面,为底部曝气器的铺设提供了有利条件。曝气区总长约400 m,配置漩涡风机和底部曝气器,充氧量按 $0.05 \sim 0.2 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 设置,根据水质情况调整设备运行工况。

采用人工增氧措施之后,河道感官有了很大改善,但表面曝气方式水体中溶解氧分布不均,局部能耗浪费,曝气效果持续性差,停止曝气后河道依然出现黑臭问题。底部曝气方式沿河水流动方向均匀曝气,沿河断面方向呈现溶解氧梯度,有利于不同种类微生物的生存,且曝气器布置在硬化的混凝土平面,受底泥影响小。因此底部曝气方式最终取代表面曝气方式,成为该工程实际应用的增氧形式。

3.3.2 增氧运行效果

通过布设底部曝气器对水体进行均匀有效充氧,运行一段时间后,全河段溶解氧稳定在 2 mg/L 以上,水体处于富氧状态,河道感官效果良好。

河道底部曝气安装与实际使用效果见图 8。

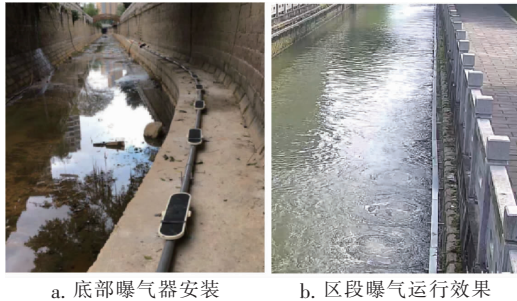


图 8 底部曝气安装与实际使用效果

Fig. 8 Aeration installation and its practical effect

3.4 活水循环

对于河道窄、水流动性差的水域,即使通过水质净化设施进行旁路或者原位治理,使水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的Ⅳ类或Ⅴ类要求,在经历较长的停留时间后,也可能出现黑臭问题。选择活水循环,增强水体流动性的方式,可解决该类水体黑臭状态。

因为 A 段河道窄、水流较慢,河道硬化导致水生态系统脆弱,所以采用生态补水的方式实现“活水循环”,调取较为清洁的水源,补给河道,促进水动力循环。生态补水设计参数见表 3。

表 3 生态补水设计参数

Tab. 3 Design parameters of ecological water replenishment

河长/ m	平均河 宽/m	补水深 度/m	平均补水 量/m ³	设计补水规模/ (m ³ ·s ⁻¹)
500	8	1.5~2.5	8 000	0.30

活水循环所需的补水量大,该项目将下游较为洁净的河水作为清洁水源,取水泵站采用一体化泵

表 4 水质提升技术措施

Tab. 4 Technical measures for water quality improvement of the project

技术措施	贡献率	投资占比	电耗占比	效果	维持时间	存在的问题
旁路离线处理	35	20	45	显著	长期有效	专人管理
原位生态修复	45	28	32	短期不显著	长期有效	不适合应对高浓度排水
人工增氧	20	2	15	显著	长期有效	设备噪声
活水循环	—	50	8	显著	短期有效	污染物转移

注: 各项占比仅为水质提升部分,不含黑臭水体综合整治的其他工程内容。

表 4 中贡献率指具体技术措施的长效运行对河道水质提升的贡献,综合考虑污染物的削减、水体自

净能力的提高、水生态的修复的一项表观评价。投资成本主要体现在设备费用、管道费用以及设备和

3.5 云端智慧管理及常态化化管理

水质提升技术的应用离不开有效的管理手段,利用大数据、云计算、物联网和“互联网+”等现代技术创新管理手段,使河道水处理工程的建设与管理更加高效与智慧。为实现在线实时水质监测,配置了水污染监测站,由仪表小屋和在线水质检测仪表等组成,能在线检测水质并实时发送数据至 PLC 中控系统和智慧管理平台。

水质提升技术应用需配合常态化管理,包括水域的日常保洁,控制水面漂浮物;定期开展河道清淤,消除内源污染;水处理设施的日常维护等。

4 工程实施效果及分析

4.1 水质评价

水质的改善是各项水质提升技术综合应用的结果,A 段水体治理之前,黑臭现象最为严重,联用“本土微生物净化修复、人工增氧、活水循环”措施,水质提升效果最为明显,增强了与周边环境的景观融合性。B 段水体采用离线水处理和本土微生物净化修复后,水质得到很大的改善。C 段由于水域宽,水质本身相对较好,采用单一水质提升措施,即可实现消除黑臭的目标。

水质提升技术的具体应用,使水体污染物得到了有效降解,水生态系统得到修复和重建,水体保持一定的流动性。河道透明度均达到 30 cm 以上,DO 浓度 ≥ 2 mg/L,ORP 稳定在 75~150 mV,氨氮均在 8 mg/L 以下,彻底消除黑臭现象。

4.2 技术经济分析

水质提升技术措施具体实施后,产生的投资及运行情况、使用效果见表 4。

管道相应的配套施工安装费用。

4.3 社会环境影响

河道综合治理工程是一项重要的市政公用工程和环境基础设施项目。该工程作为内河综合整治的重要典型工程,对缓解地区水环境污染状况有积极的促进作用,有利于改善城市内河水质、保护受纳水体,使城市环境得到进一步改善、居民生活质量得到进一步提高,对城市经济发展的多样化和可持续性起到了积极的作用,对构建良性城市生态廊道和城市宜居环境的建设具有重要意义。

5 结语

我国黑臭水体的治理处于控制性目标考核中期。上述黑臭水体水质提升技术应用经验,可为城市黑臭水体治理工程具体实施提供参考。

① 控源截污和内源治理是城市黑臭水体治理工程基础与前提,该工程整体水质的提升以多年的管网排查改造、河道的全面清淤疏浚等措施为保障。

② 旁路离线水处理应选择对水质适应性强、排泥少、运行管理方便的工艺,并应随着水质的逐步改善,调整设备运行条件。

③ 原位生态修复综合了原位治理与生态净化,作为一种较为温和的水环境治理办法,充分利用本土微生物,减少外来物种的侵入,是标本兼治的长效措施。

④ 对于水生态系统敏感的河段,需加强水体动力循环,见效快、无二次污染,但是一般工程投资较大,也会导致污染物的转移。

⑤ 水质提升技术应用配合智慧管理平台,可使水环境管理工作更高效;坚持开展常态化工作,可巩固黑臭水体治理成果。

参考文献:

- [1] 王峰. 福建福州市内河综合整治及其成效[J]. 中国防汛抗旱,2013,23(2):9-12.
Wang Feng. Comprehensive renovation and effectiveness

of inland rivers in Fuzhou[J]. China Flood & Drought Management,2013,23(2):9-12(in Chinese).

- [2] 邱艺文. 城市建成区黑臭水体整治实践[J]. 湖南城市学院学报:自然科学版,2019,28(2):15-19.
Qiu Yiwen. Practice of black and odorous water treatment in urban built-up areas[J]. Journal of Hunan City University:Natural Science,2019,28(2):15-19(in Chinese).
- [3] 易境,吴晓刚,柴晓利,等. IMA处理系统-微纳米曝气联用技术在黑臭水体治理中的应用研究[J]. 环境工程,2018,36(增刊):126-129.
Yi Jing, Wu Xiaogang, Chai Xiaoli, et al. Study on the application of IMA processing system & micronanoaeration technology in the treatment of black smelly water[J]. Environmental Engineering,2018,36(S):126-129(in Chinese).
- [4] 毋海燕. 外置式生物反应器对水库原水中总氮去除的试验[J]. 净水技术,2018,37(7):37-43.
Wu Haiyan. Experiment of external bioreactor for TN removal in raw water of reservoir[J]. Water Purification Technology,2018,37(7):37-43(in Chinese).



作者简介:盛倩(1986-),女,浙江金华人,硕士,工程师,主要从事市政排水工艺设计及河道水环境治理的研究工作。

E-mail:645021214@qq.com

收稿日期:2019-06-13