

南京城区某黑臭排涝水体综合整治

王皖蒙¹, 高占平², 付建新², 孙 阳³

(1. 中冶华天工程技术有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 中电环保股份有限公司, 江苏 南京 211102; 3. 光大水务科技发展<南京>有限公司, 江苏 南京 211100)

摘 要: 以南京市江宁区杨家圩河道为例,通过对河道周边排口、水质等状况进行调查,探讨河道水环境综合整治的方案设计及工程应用,并取得了一定的成果。结果表明,通过对该河道采取控源截污、集成式生物强化系统、多功能综合生态湿地、水下曝气复氧、生态组合修复以及环保清淤等综合整治措施,河道水质指标均有极大改善,溶解氧浓度从均值 0.48 mg/L 上升到均值 3.04 mg/L,提升了 5.96 倍,而氨氮、总磷和 COD 分别平均降低了 66.94%、78.73% 和 57.84%,基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准。

关键词: 黑臭水体; 综合整治; 工程设计

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0089-06

Engineering Application for Comprehensive Treatment of an Urban Black and Odorous River in Nanjing

WANG Wan-meng¹, GAO Zhan-ping², FU Jian-xin², SUN Yang³

(1. MCC Huatian Engineering & Technology Corporation, Nanjing 210019, China; 2. CEC Environmental Protection Co. Ltd., Nanjing 211102, China; 3. Everbright Water Technology Development <Nanjing> Co. Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: Taking Yangjiawei River in Jiangning District of Nanjing as an example, the project design and engineering application of river comprehensive regulation were discussed after investigation of surrounding discharge outlets and water quality. The results showed that the comprehensive regulation practices including source control and interception, integrated bioaugmentation system, multifunctional integrated wetland, underwater aeration reoxygenation, ecological restoration and environmental dredging had obviously improved the water quality. For example, the average DO concentration increased by 5.96 times from 0.48 mg/L in the original river to 3.04 mg/L in the treated river, and the $\text{NH}_3\text{-N}$, TP and COD concentrations decreased by 66.94%, 78.73% and 57.84% respectively, which achieved the criteria of level V in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002).

Key words: black and odorous water body; comprehensive regulation; engineering design

当前城市黑臭水体一直是人们极度关注的水污染问题之一。为改善我国水环境质量,2017 年国务院颁布实施《水污染防治行动计划》,其中城市黑臭

水体的防治是重中之重。迄今为止,国内有关城市黑臭水体的整治已有很多研究。例如,贾锐珂等^[1]利用生态廊道、生物沸石和生态浮床等技术组合修

复杭州西湖上游龙泓涧水体,将水中 COD、TP、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 分别去除 24%、46.24%、31%、24.43%、13.42%,解决了水体富营养化问题。张晓红等^[2]利用底泥污染物削减、生物接触氧化、造流曝气及水生生态系统修复等技术治理杭州虾龙圩河,对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 的去除率分别为 73.3%、80.1% 和 81.7%,运行一年后河道未发生过黑臭及水华。李广胜等^[3]采用曝气复氧、微生物菌剂等技术对短期内无法完全截污、大规模施工困难较大的黑臭水体进行试验,可有效消除水体黑臭,消除河道岸边黑泥、降低蓝藻暴发率。曹蓉等^[4]采用生物膜法可将黑臭水体中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 BOD_5 分别去除 45%、50% 以上。然而,黑臭水体既有“通病”,又有其特殊点,因而治理要“一河一策”,采用合适的技术手段才能有效治理,达到长制久清。

以南京市江宁区杨家圩河道水环境综合整治工程为例,以改善水生态环境及水质为目的,根据河道自身特点和存在的问题,通过实施控源截污、集成式生物强化系统、多功能综合生态湿地、曝气复氧、生态修复以及环保清淤等措施有效削减河道主要污染物,同时通过退耕还绿等配合河道综合整治,改善河道生态环境、提高河道自净能力,为城区黑臭水体治理提供借鉴。

1 项目概况

南京市江宁区杨家圩河道为排涝水体,位于区域中心地段,临近秦淮河。该河道为封闭水体,上游为断头河,始于拆迁区,下游与秦淮河一岸之隔,中间由排涝泵站闸门隔断,雨水期排涝通过泵站排至秦淮河;全长约 1.6 km,水面宽度平均约 50 m,常水位约 6 m,全线基本为土质岸坡。河道上有 4 座桥梁通行,汇水范围内主要是行政服务中心、住宅区(包含在建)及商业区(在建),汇水面积约 2.0 km²;河岸现有约 20 m 的绿化带,但大量绿化带被附近居民私建农田侵占,河道两岸多处堆积大量生活垃圾和建筑垃圾。

根据南京市公示信息,杨家圩河为轻度黑臭水体。通过现场踏勘和排口调查,河道主要污染源为附近居民区的生活污水和河道两岸的农田灌溉水,同时河道岸边存在大量生活垃圾和建筑垃圾等。

2 工程方案设计

针对河道两岸污水排口,通过调查明确排口水量和水质,采用直接封堵、截污处理等措施分类解

决;针对水体溶解氧不足的情况,为尽量少占用河道水面,减少环境噪声,与整治后的生态景观环境有机结合,采取水下曝气复氧的方式解决;为恢复水体自净能力,减少河道水面占用,采取“以水下森林为主,生态浮床为辅”的生态组合修复方式解决;针对河道底部内源污染,采取环保清淤方式解决。

2.1 截污 + 集成式生物强化 + 多功能生态湿地

对杨家圩河道进行现场调查,河道两侧多为居民住宅区,附近区域污水主要通过河道东侧南北向污水主管由北向南自流至南部污水泵站,再由泵站输送至污水处理厂。河道两侧岸边共 11 处排口,其中 7 处排口存在旱季排水,水质较差,气味难闻,是河道主要污染源;包含 6 处雨污水混合排口和 1 处生活污水排口,水质情况见表 1。雨污水混合排口说明周边住宅区内存在雨污管网的错接和混接等问题,生活污水排口表明存在部分管道未接入城区污水管网内。因此,在河道治理前期应对两侧的排污管道进行控源截污,将污染源引入市政管网进行统一处理,从源头上杜绝河道污染。

表 1 河道排口水质

Tab. 1 Water quality of river outlet $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	氨氮	总磷	COD	备注
1#排口	—	—	—	未有污水混入
2#排口	19.7	1.56	164	
3#排口	23.8	2.17	177	
4#排口	16.4	1.28	298	
5#排口	14.7	1.20	185	
6#排口	14.6	1.19	121	
7#排口	10.2	1.09	153	
8#排口	—	—	—	未有污水混入
9#排口	19.5	1.58	96.6	
10#排口	—	—	—	未有污水混入
11#排口	0.82	0.16	105	
《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015) B 等级标准	45	8	500	

经过管网排查,有 3 处排口由于污水量较大,排口标高较低,无法自流入市政污水主管网,管网污水主要来自附近老旧小区内,只能末端截污;但负责处理本区域的末端污水处理厂处理能力已饱和,扩容改造尚未开始,管网改造短期不易实施,因此近期就将污水全部拦截处理达标后排入河道,远期规划将污水截流至市政污水管网。3 个排口水量经调查依次约为 50、100、200 m³/d;雨季时,可截流大部分

河道,因此在每座桥两侧 20 m 处各设置 1 台潜水式离心曝气机,共 8 台,每台潜水式离心机增氧能力为 $9 \text{ kgO}_2/\text{h}$,辐射直径为 10 m。沿河道两侧栽种伊乐藻、金鱼藻等沉水植物组建水下森林,每边种植宽度为 8 m,种植密度为 $100 \text{ 棵}/\text{m}^2$ 。同时,在桥体两侧 50 m 处各设置 1 台生态浮床,共 8 台,上面种植美人蕉、黄菖蒲和西伯利亚鸢尾等多种挺水植物和铜钱草等浮游植物;生态浮床骨架采用 PPR 材质管道,并用扎带、渔网、毛竹、水泥地锚等材料固定。

2.3 水力冲挖清淤

国内较为常见的河道清淤方法主要有:干式清淤法、水力冲挖法、环保型绞吸式和挖泥船施工法。针对该河道作业面积不大、水深较浅的实际情况,最终采用水力冲挖法清理污泥,并且在施工中尽量避免扰动淤泥产生二次污染。首先,用围堰将河道分段隔开,每一分段施工长度约为 300 m,围堰采用袋装砂土叠筑,迎水面铺编织布防渗并用袋装砂土压盖,围堰高度比正常高水位高出 0.6 m;然后,用污水潜污泵将水抽干,潜污泵放置在淤泥上方 0.5 m 处,尽量减少对淤泥的扰动,水位降至 0.5 m 后换用小泵再抽,直至淤泥上层附近;最后,利用清水泵喷射高压水柱的切割作用对淤泥进行清除,在清淤段下游设置集泥坑,并采用泥浆泵将淤泥输送至干化场干化处理。集泥坑的位置需根据清淤段自然底坡及泥层厚度合理设置。

2.4 水样分析及水质指标测定

工程项目实施前后,分别选取河道上、中、下游三个位置进行采样,每月一次,其中利用哈希 LDO™ 便携式溶解氧测定仪直接测定水体溶解氧。水样采取后,通过过滤去除悬浮物,过滤后的水样储存在 4°C 冰箱,留待后续分析。氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定,TP 采用钼酸铵分光光度法测定,COD 采用重铬酸钾法测定。

3 工程效果与经济分析

3.1 工程效果

该河道水环境治理部分于 2017 年 6 月待河道两侧挡墙施工养护结束后开始施工,8 月底主体工程全部结束,9 月初开始运行。3 个月后测定水质指标变化(见表 2)。其中,溶解氧浓度从均值 0.48 mg/L 上升到均值 3.04 mg/L ,平均提升了 5.96 倍,氨氮、总磷、COD 分别平均降低 66.94%、78.73%、57.84%。河道黑臭不但完全消除,而且除氨氮之

外,其他指标基本接近《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准,达到河道综合整治目标。

表 2 治理前后的河道水体水质对比

Tab. 2 Comparison of river water quality before and after

		treatment		$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$			
时间	序号	采样位置	溶解氧	氨氮	总磷	COD	
治理前 (2017 年 3 月)	1	河道上游	0.33	10.70	1.10	74.0	
	2	河道中游	0.71	8.40	1.60	113.6	
	3	河道下游	0.41	13.20	2.35	95.3	
治理后 1 个月	1	河道上游	2.30	6.20	0.42	42.2	
	2	河道中游	2.81	4.30	0.39	38.1	
	3	河道下游	2.85	4.20	0.37	38.2	
治理后 2 个月	1	河道上游	2.85	3.75	0.36	39.2	
	2	河道中游	3.12	3.39	0.32	38.0	
	3	河道下游	3.20	3.32	0.30	38.2	
治理后 3 个月	1	河道上游	2.98	3.64	0.33	39.3	
	2	河道中游	3.03	3.36	0.33	38.2	
	3	河道下游	3.11	3.32	0.31	37.8	
标准值		地表 V 类	2.0	≤ 2.0	≤ 0.4	≤ 40	
		轻度黑臭	0.2 ~ 2.0	8 ~ 15	—	—	
		重度黑臭	< 0.2	> 15	—	—	

① 氨氮、总磷、COD 去除效果

采用对污水截流^[5]的方式,直接切断旱季污水入河,阻断氨氮、COD 等污染物对河道的污染^[6],在污水管道不具备雨污分流和截污纳管条件下,可有效降低河流受污染的风险。

采用“集成式生物强化系统 + 多功能综合生态湿地”处理生活污水,可有效削减氨氮、COD 等污染物,保证旱季进水质。集成式生物强化系统以生物膜法为基础,采用“AO(缺氧 + 好氧) + 斜板沉淀池”一体化工艺集成装置,同时在缺氧和好氧池内都加入立体弹性填料,提高污泥负荷。多功能综合生态湿地采用水平潜流型式,通过微生物再净化、物理吸附、生物吸附等多种措施并用,其中挺水植物通过根部吸收以及根系微生物的生长反应,进一步去除 COD、氨氮、TP 等污染物^[7-9];强化脱氮槽对氨氮进行强化去除^[10-11],沸石不仅对氨氮有极强的吸附和离子交换能力,也可作为硝化细菌、反硝化细菌等微生物的载体,对细菌具有富集作用,形成的生物膜将吸附的氨氮转化为氮气脱除,提高氨氮脱除率。

生态组合修复技术以水下森林为主、以生态浮床为辅。由大量挺水植物和浮水植物组成的生物修复技术^[1-2,12-13]应用无土栽培的原理,将具有净水、

观赏及经济价值的高等水生植物或经改良驯化后的陆生草本、木本植物移栽到富营养化水体的水面种植,利用可漂浮在水面并能够承受较大质量的生态浮板作为载体,通过水生植物深入水中强大根系的吸收、吸附、截留作用,削减水体中的N、P及有机物质,并以收获植物体的形式将其撤离水体,从而达到净化水质的效果。

该河道底泥沉积量较大,采用环保清淤的方式清理,可有效去除河道内的有机污染物(COD)、富营养化元素(N、P)及重金属,增强水体自净能力,解决河床淤积问题。

② 溶解氧提升效果

水下曝气增氧系统使水体充分曝氧,提高水中溶解氧(DO),改善水体环境,有助于消除黑臭现象,恢复微生物生长环境,从而去除水中有机物质,消除水的层化现象,降低氨氮、COD,能有效地防止非流动性的水体发臭^[3,14]。由于河道曝气复氧具有效果好、投资与运行费用相对较低的特点,已成为一些发达国家如美国、德国、法国、英国及中等发达国家与地区如韩国、中国香港等在中小型污染河流污染治理经常采用的方法。

3.2 技术经济分析

该河道治理的对象主要为河道水体本身以及生活污水,河道水量约 $14.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,生活污水约 $255.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,共计治理约 $269.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。运行费用主要为设备运行费、人工费和植物维护管理费。运行设备主要为截污、集成式生物强化系统及水下曝气复氧工程,所有设备运行功率约为75 kW,运行时间按24 h计、电价按1.2元/(kW·h)计,则电费约2.6万元/a;按配备2人考虑,平均工资为3000元/(人·月),则人工费为7.2万元/a;植物维护管理费包括人工湿地、水下森林、生态浮床等植物的栽植、补种、除草、除虫、收割、清理等产生的人工、材料和机械使用费等,约为15万元/a,因此运行总费用为24.8万元/a,折合运行费为0.092元/($\text{m}^3 \cdot \text{a}$),经济效益明显。

4 结论与建议

南京市江宁区杨家圩河道综合整治工程实施3个月后,水质得到改善,基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的V类标准。为保证河道水体绿水长清,建议从以下几方面完善长效机制:

① 长期运营维护。该项目为EPC项目,建议

抓紧确定专业运营维护公司。日常维护主要注意集成式生物强化系统污泥运行,以及人工湿地、水下森林、生态浮床等植物的生长情况。需定期检测集成式生物强化系统进、出水数据,关注运行生物系统是否正常,保证污水处理效果;要及时补种或收割植物,持续保持生态自净效力,避免枯死植物造成二次污染。

② 完善两岸管网,彻底控源截污,实现雨污分流,解决雨污混接问题。该工程虽然对生活污水进行了有效拦截与削减,但河道消除黑臭容易,水质长期稳定及提升不易,现在截污只能截流旱季污水;雨季时,存在混流后的污水直接下河,对河道水质影响较大。控源截污是河道治理成功的前提,只有切断外源污染,提升河道自净能力,河道水环境才能长久保持。

③ 扩建生态湿地,提高水体自净能力。将河道下游旁的生态湿地进行升级扩建,并且将河道与湿地进行有机结合,河水通过“河道下游→生态湿地→河道上游”实现活水循环,提高水体自净能力,可全面提高水体水质,有望稳定达到地表V类以上,甚至提升至地表IV类标准。

参考文献:

- [1] 贾锐珂,王晓昌,宋佳. 多元组合系统净化富营养化水体的示范工程[J]. 环境工程学报,2018,12(3): 975-984.
Jia Ruike, Wang Xiaochang, Song Jia. Demonstration project of eutrophic water purification by a multicomponent system [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(3): 975-984 (in Chinese).
- [2] 张晓红,宋肖锋,蔡国强,等. 生态修复综合技术在杭州虾龙圩河的应用[J]. 环境工程学报,2012,6(12): 4535-4542.
Zhang Xiaohong, Song Xiaofeng, Cai Guoqiang, et al. Application of comprehensive technique of ecological restoration in Xialongwei River, Hangzhou [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(12): 4535-4542 (in Chinese).
- [3] 李广胜,雷利荣. 曝气复氧+微生物菌剂修复黑臭河道工程试验[J]. 环境工程,2018,36(4): 34-36, 169.
Li Guangsheng, Lei Lirong. Remediation of black-odorous river with aeration reoxygenation combined with

- microbial agent process [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(4): 34–36, 169 (in Chinese).
- [4] 曹蓉, 邢海, 金文标. 生物膜处理城市河道污染水体的挂膜试验研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(3): 374–377.
- Cao Rong, Xing Hai, Jin Wenbiao. Study on biofilm colonization in treatment of urban polluted river water [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(3): 374–377 (in Chinese).
- [5] 邹伟国. 城市黑臭水体控源截污技术探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(6): 56–58.
- Zou Weiguo. Discussions on pollution source control and wastewater interception technology for urban black and odorous water body [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(6): 56–58 (in Chinese).
- [6] 李志一, 谢鹏程, 杜鹏飞. 昆明市老运粮河污染治理的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(5): 1657–1667.
- Li Zhiyi, Xie Pengcheng, Du Pengfei. Simulation of pollution control in Laoyunliang River, Kunming [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(5): 1657–1667 (in Chinese).
- [7] 肖雨涵, 庞燕, 项颂, 等. 多级生态库塘对低污染水体的净化[J]. 环境工程学报, 2018, 12(10): 2998–3004.
- Xiao Yuhuan, Pang Yan, Xiang Song, et al. Purification of multi-stage pond on low-polluted water [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(10): 2998–3004 (in Chinese).
- [8] 曾宪磊, 刘兴国, 吴宗凡, 等. 处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征[J]. 环境科学, 2016, 37(2): 615–621.
- Zeng Xianlei, Liu Xingguo, Wu Zongfan, et al. Community characteristics of ANAMMOX bacteria in subsurface flow constructed wetland (SSFCW) for processing of aquaculture waste water [J]. Environmental Science, 2016, 37(2): 615–621 (in Chinese).
- [9] Vymazal J. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development [J]. Water Res, 2013, 47(14): 4795–4811.
- [10] 吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 等. 改性沸石湿地脱氮除磷效能及机制[J]. 环境科学, 2017, 38(2): 580–588.
- Wu Peng, Lu Shuangjun, Xu Lezhong, et al. Efficiency and mechanism of nitrogen and phosphorus removal in modified zeolite wetland [J]. Environmental Science, 2017, 38(2): 580–588 (in Chinese).
- [11] 孙艳丽, 林建伟, 黄宏, 等. 天然沸石同步去除水中氨氮和磷酸盐[J]. 环境工程学报, 2012, 6(8): 2470–2476.
- Sun Yanli, Lin Jianwei, Huang Hong, et al. Simultaneous removal of ammonium and phosphate from aqueous solution by natural zeolite [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(8): 2470–2476 (in Chinese).
- [12] Hu G J, Zhou M, Hou H B, et al. An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic water [J]. Ecol Eng, 2010, 36(10): 1448–1458.
- [13] 武琳慧, 吴林林, 黄民生, 等. 人工浮床及其在污染水体治理中应用进展[J]. 净水技术, 2006, 25(4): 8–9, 50.
- Wu Linhui, Wu Linlin, Huang Minsheng, et al. Constructed floating beds' and their application advancement on polluted waterbody remediation [J]. Water Purification Technology, 2006, 25(4): 8–9, 50 (in Chinese).
- [14] 孙从军, 张明旭. 河道曝气技术在河流污染治理中的应用[J]. 环境保护, 2001(4): 12–14, 20.
- Sun Congjun, Zhang Mingxu. Application of aeration technique in river pollution control [J]. Environmental Protection, 2001(4): 12–14, 20 (in Chinese).



作者简介:王皖蒙(1987–),男,安徽淮北人,硕士,中级工程师,研究方向为水体污染及其防治。

E-mail: 15951958315@126.com

收稿日期: 2019–08–06