

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.019

# 浙江省档案局微污染景观水体生态修复工程实例

许青兰<sup>1,2</sup>, 孔令为<sup>1,3</sup>, 沈浙萍<sup>1,2</sup>, 邵卫伟<sup>1,2</sup>, 梅荣武<sup>1,2</sup>,  
王晓敏<sup>1,2</sup>

(1. 浙江环科环境研究院有限公司, 浙江 杭州 310007; 2. 浙江省生态环境科学设计研究院,  
浙江 杭州 310007; 3. 西湖大学工学院 浙江省海岸带环境与资源研究重点实验室, 浙江  
杭州 310024)

**摘 要:** 针对浙江省档案局内典型城市微污染景观水体, 构建了以沉水植物 + 生物操纵为核心、入湖植物削减带 + 曝气造流辅助工艺为主的示范工程。该工程经过 1 年的设计、建设、运行, 实际监测数据表明, 出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  均优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) I 类标准, 对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率分别为 88.61% 和 95.45%; TN 达到了准 I 类标准; 景观水体透明度  $> 1 \text{ m}$ 。冬季水体 TP 浓度有所升高, 有待进一步监测和进行机理分析。

**关键词:** 微污染景观水体; 生态修复; 渐沉式沉床移栽法; 沉水植物; 人工湿地

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0108-04

## Demonstration of Ecological Restoration Project for Micro-polluted Landscape Waters in Zhejiang Provincial Archives Bureau

XU Qing-lan<sup>1,2</sup>, KONG Ling-wei<sup>1,3</sup>, SHEN Zhe-ping<sup>1,2</sup>, SHAO Wei-wei<sup>1,2</sup>, MEI Rong-wu<sup>1,2</sup>,  
WANG Xiao-min<sup>1,2</sup>

(1. Zhejiang Environmental Research Institute Co. Ltd., Hangzhou 310007, China; 2. Ecological Environmental Science Design and Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China;  
3. Key Laboratory of Coastal Environment and Resources of Zhejiang Province, School of Engineering, Westlake University, Hangzhou 310024, China)

**Abstract:** A demonstration project was constructed with submerged plants and biological control as the core, as well as lake-entry plant reduction zone and aeration flow generation as the auxiliary technology for typical urban micro-polluted landscape waters in Zhejiang Provincial Archives Bureau. After one year of design, implementation and operation, the monitoring data show that the effluent  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  are better than those of level I in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The removal rates of  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  are 88.61% and 95.45% respectively. The TN reaches to the quasi-I level and the landscape waters transparency is greater than 1 m. The concentration of TP increased in winter, which needs further monitoring and mechanism analysis.

**Key words:** micro-polluted landscape waters; ecological restoration; progressive sunken bed

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2019C03110); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07206-002、2017ZX07206-004); 浙江省自然科学基金资助项目(LY18E080005); 浙江省科技厅院所专项(2018F10031)  
通信作者: 孔令为 E-mail: lw.kong@163.com

transplanting method; submerged plants; constructed wetlands

## 1 项目背景

浙江省档案局位于杭州市拱墅区萍水西街与丰潭路交汇处西北面丰潭路西侧,局内有一处典型新建的封闭式景观水体,实际水域面积约 500 m<sup>2</sup>,平均水深约 1 m,主要通过 2 根管道控制水位,水体比较浑浊,观赏性较差,水质有待提升。

2017 年 6 月 12 日现场调研时对此景观水体进行了采样分析,结果显示:COD<sub>Mn</sub>、TN 和 TP 浓度分别为 14.05、1.14 和 0.024 mg/L,属于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 V 类水质。根据实地勘察结果,景观水体底质为硬质,周边无明显废水汇入,污水基本已经接入市政管网,周围景观绿化带已经施工完成,对降水径流污染物具有一定的削减作用。

## 2 方案比选

针对微污染景观水体,现有工程化应用的处理方法包括以曝气和气浮为主的物理方法,以化学药剂投加为主的化学方法,以及以生物操纵、微生物菌剂、水生植物系统、人工浮岛、生物滤床<sup>[1]</sup>、人工湿地<sup>[2]</sup>等为主的生物、生态方法。对于小微水体而言,物理方法见效快、周期短,但水质不能保证,若水体面积较小,可采取低成本定期补换水的方式;化学方法可短期见效,但可能造成二次污染以及鱼类的死亡,其成本也较高<sup>[3]</sup>;生物、生态方法则从食物链出发,构建和完善生态系统并最终达到净化水质的目的。

在外源污染得到控制的前提下,水生植被(如沉水植物、浮叶植物、挺水植物等)可通过沉降、吸附和过滤等作用减少水体中沉积物的再悬浮<sup>[4]</sup>,从而达到稳定底质、控制内源污染释放的效果。景观水体的治理应以构建和恢复水生生态系统为目标,其中最重要的是水生植被的构建和恢复。根据不同的污染情况,针对景观水体的水生植物系统构建,特别是微污染水体的治理<sup>[5]</sup>,其手段又可分为多种(分别针对透明度低、底质有机物过多、水体氨氮和有机物过高、风浪干扰、水位剧烈变化、动物牧食以及藻毒素等情况)。例如,针对透明度低导致水下光照不足所带来的水生生态系统恢复,可选择人工湿地、人工水草、生物滤床、微生物菌剂、降低水位等多种手段<sup>[6]</sup>,但其污染类型、水质不同,且后期运行维护难

度和费用有差异,故在治理时所采用的方法也不同。

① 方案一:以沉水植物+生物操纵为核心、入湖植物削减带+曝气造流为辅助的耦合工艺。

a. 沉水植物。沉水植物通过光合作用向水体供氧,能吸收水中部分养分,大大改善水质。同时,针对外力(泥沙、风等)以及水体中生物扰动而引起的悬浮物含量高的情况,可通过表面吸附、沉积以及物理阻挡等降低浊度,提升透明度;针对浮游植物如藻类等引起的水体透明度低的情况,沉水植物可通过化感作用抑制藻类生长从而改善水体透明度。

虽然沉水植物在弱光条件下也能生长,但是水质浑浊会影响其光合作用。若透明度达不到沉水植物生长的要求,可以采用降低水位、提高水体透明度以及渐沉式沉床移栽技术<sup>[7]</sup>加以解决。针对本工程污染类型及现状,采用降低水位或渐沉式沉床移栽法,逐步提高透明度,然后将沉水植物种植区逐渐下移,以实现整个水体透明度的改善。

b. 生物操纵。从完整生态系统的构建和恢复角度,考虑整个景观水体自净能力的实现。拟在不同阶段采取分步投加浮游动物、底栖动物以及植食性鱼类的方法,加速恢复完整的生态系统。

c. 植物削减带。考虑到初期雨水的污染特性,拟在其进入景观水体之前,在现有景观水体护岸的基础上,选择特性植物强化构建 1~2 m 的入湖污染物植物削减带;另外,景观水体湖面点缀一定数量的浮叶植物,同时与周围已有植物和环境协调统一。

d. 曝气造流。通过定期开启曝气设备,尤其在非常规植物生长季节以显著改变景观水体中溶解氧水平,同时推波造流,向周边辐射,避免因水流短路而导致的局部水质恶化。

② 方案二:以人工湿地为核心,在实现景观美化的同时对景观水体污染物进行处理,降低 COD 以及保持氮、磷长效稳定达标。

人工湿地可分为 3 种,即表流式、水平潜流式以及垂直流式。不同的湿地类型具有不同的去污效果,投资也不同。该项目水体氮、磷浓度较低,COD 略高,可采用生态塘+潜流式人工湿地工艺。

综上,根据不同的处理效果、投资以及后期运维难易程度等对两种方案进行了比选,遵循系统性、生态可持续、景观及因地制宜等原则,从原位生态系统

的构建和完善角度考虑,最终选择方案一。

### 3 方案设计

#### ① 治理目标及分析测试

治理目标:保持景观水体氮、磷等指标稳定优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准, $COD_{Mn}$ 优于Ⅳ类标准,到2018年底水体透明度力争提升至50~80 cm。

分析检测:为客观反映示范工程效果,委托具有CMA认证的第三方检测机构对水样进行分析和检测,主要测定 $COD_{Mn}$ 、TN、 $NH_4^+-N$ 以及TP等指标。

#### ② 设施及设计参数

沉水植物:苦草等,种植土若干,沉水植物面积共150 m<sup>2</sup>;塑料沉箱尺寸为50 cm×40 cm×30 cm,共480个(改为根据水位条件种植);浮叶植物选择睡莲科,40 m<sup>2</sup>;植物削减带植物选择菖蒲、再力花等,共200 m<sup>2</sup>;水生动物选择浮游动物、河蚌、鱼类

等,共50 kg;曝气风机及管网系统流量为1.61~1.96 m<sup>3</sup>/min,风压为30 kPa,1套(后调整为浮水式喷泉曝气机,扬程70 kPa,功率1.5 kW,1台)。

### 4 实施效果及经济分析

#### 4.1 实施效果

该示范工程从2017年6月开始进行方案比选和设计,11月开始调控水位进行安装,其间因植物越冬导致存活率不高,于2018年6月再次补种沉水植物,同时曝气系统开始每天定期运行(10月已关闭曝气系统,仅依靠水生态系统自净能力)。图1是不同时期现场实景变化。从图1可以看出,示范工程景观水体的透明度逐渐提升。水生植物是水体生态系统的重要组成部分,主要通过过滤沉淀、吸收富集、呼吸作用、光合作用、协同和竞争等提高水体透明度、吸收营养盐、降解有机物,达到净化水体的目标。



图1 示范工程实施过程中的现场实景变化

Fig. 1 Change of the scene during the implementation of the demonstration project

图2是示范工程运行期间处理后主要污染物指标的变化。由2018年9月4日所检测的水质结果可知, $COD_{Mn}$ 、TN、 $NH_4^+-N$ 以及TP等主要水质指标已经优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类标准,且 $NH_4^+-N$ 更接近Ⅰ类标准。由于本示范工程区域在沉水植物系统恢复后清澈见底,因此透明度>1 m。

2019年1月9日监测发现,示范工程处理后的水质 $COD_{Mn}$ 、 $NH_4^+-N$ 均优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅰ类标准,分别为1.60、0.028 mg/L,去除率分别为88.61%、95.45%;TN为0.21 mg/L,达到准Ⅰ类标准(Ⅰ类标准TN为0.20 mg/L)。但本次所检测的指标中仅TP有所升

高,由于尚未监测到沉水植物的腐烂,故判断可能是出现了底泥沉积物中磷的释放。

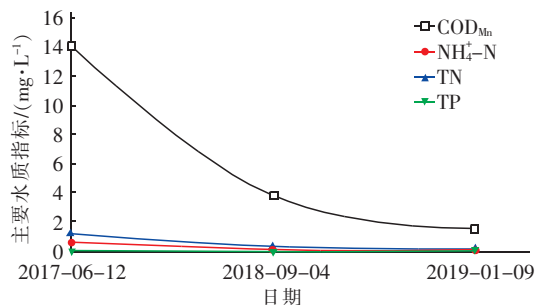


图2 运行期间处理后主要污染物指标变化

Fig. 2 Change of main pollutant indexes after treatment during operation



通过示范工程的实施,浙江省档案局景观水体的水质在总体上得到了显著提升,水生植物特别是沉水植物生长良好,水生态系统逐步成熟和完善,水体自净能力不断得到强化。该工程项目的后期运维和管理很重要<sup>[8]</sup>,而本示范工程的一个突出亮点是后期运行能耗为零,且管理维护简便。

## 4.2 经济分析

该示范工程的直接工程费用为7.03万元,最终投资约9.96万元;从运行维护角度来看,曝气机仅在前期污染程度严重时开启,后期的运行能耗几乎为零。

## 5 结论

① 浙江省档案局景观水体示范工程的 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅰ类标准,对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别为88.61%、95.45%;TN达到了准Ⅰ类标准;景观水体透明度 $>1\text{ m}$ 。

② 该示范工程后期运行能耗为零,且管理维护简便。

## 参考文献:

- [1] 孔令为,张义,汪璐,等. 新型生物滤床-人工湿地耦合系统强化处理生活污水研究[J]. 水处理技术, 2018,44(7):110-114.  
KONG Lingwei, ZHANG Yi, WANG Lu, *et al.* Study on domestic wastewater enhanced treatment by a new coupled system of biofilter bed-construct wetlands[J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44 (7): 110 - 114 (in Chinese).
- [2] KONG L W, HE F, XIA S B, *et al.* Research on the application of the modified aquatic mat pond and integrated vertical-flow construction wetland coupling process based on luffa sponge for micro-polluted water treatment[J]. Desalination and Water Treatment, 2017, 76:155-165.
- [3] 赵贺芳. 挺水与沉水植物对景观水体净化的研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2018,34(6):104-107.  
ZHAO Hefang. Study on purification of landscape water by emergent and submerged plants [J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2018, 34 (6):104-107(in Chinese).
- [4] 谢贻发,胡耀辉,刘正文,等. 沉积物再悬浮对沉水植物生长的影响研究[J]. 环境科学学报,2007,27(1):18-22.  
XIE Yifa, HU Yaohui, LIU Zhengwen, *et al.* Effects of sediment resuspension on the growth of submerged plants [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27 (1): 18 - 22 (in Chinese).
- [5] 孔令为,贺锋,夏世斌,等. 钱塘江引水降氮示范工程的构建和运行研究[J]. 环境污染与防治, 2014, 36 (11):60-66.  
KONG Lingwei, HE Feng, XIA Shibin, *et al.* Studies on construction and performance of the Qiantang River water diversion de-nitrification demonstration project [J]. Environmental Pollution and Control, 2014, 36 (11): 60 - 66 (in Chinese).
- [6] 马剑敏,成水平,贺锋,等. 武汉月湖水生植被重建的实践与启示[J]. 水生生物学报,2009,33(2):222-229.  
MA Jianmin, CHENG Shuiping, HE Feng, *et al.* Practice and implication of establishing aquatic vegetation in Lake Yuehu in Wuhan, China[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009,33(2):222-229(in Chinese).
- [7] 程南宁,朱伟,张俊. 重污染水体中沉水植物的繁殖及移栽技术探讨[J]. 水资源保护,2004,20(6):8-11.  
CHENG Nanning, ZHU Wei, ZHANG Jun. Reproduction and plantation technique of submerged macrophyte in polluted water[J]. Water Resources Protection, 2004, 20 (6): 8 - 11 (in Chinese).
- [8] 孔令为,邵卫伟,梅荣武,等. 浙江省城镇污水处理厂尾水人工湿地深度提标研究[J]. 中国给水排水, 2019,35(2):39-43.  
KONG Lingwei, SHAO Weiwei, MEI Rongwu, *et al.* Study on constructed wetland for advanced treatment of terminal effluent of wastewater treatment plant in Zhejiang Province [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (2): 39 - 43 (in Chinese).

**作者简介:**许青兰(1984-),女,浙江绍兴人,硕士,中级工程师,研究方向为水处理技术、生态修复等。

**E-mail:**154622794@qq.com

**收稿日期:**2020-03-19

**修回日期:**2020-03-30

(编辑:衣春敏)