

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.020

佛山亚艺湖水生态治理与运维管理实践

袁伟力

(广东绿盈环境科技有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 针对佛山亚艺湖水质恶化带来的生态退化及异味等问题,采取了控源截污、内源污染治理、水生态修复、混凝微滤净化和生态补水等工程措施。运行期间,面对外来鱼类入侵、藻华暴发、强降雨调蓄问题,采取了有针对性的防控措施。经过多元化综合治理,亚艺湖水质从地表水Ⅴ类标准提升至Ⅲ类标准,其中,COD<14 mg/L;DO平均值>6.22 mg/L,是治理前的2倍;氨氮<0.12 mg/L,氨氮去除率≥95%;TP<0.08 mg/L。可见,亚艺湖生态系统已恢复正常,水质处于稳定向好状态。

关键词: 水生态治理; 工程措施; 运维管理; 水质改善

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0126-05

Water Ecological Governance, Operation and Maintenance Practice of Yayi Lake in Foshan

YUAN Wei-li

(Guangdong Lüyíng Environmental Technology Co. Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: Aiming at the ecological degradation and odor resulting from water quality deterioration of Yayi Lake in Foshan, a range of engineering measures, such as pollution source control and sewage interception, endogenous pollution control, water ecological restoration, coagulation micro-filter purification, and ecological water replenishment, have been implemented. In response to challenges such as alien fish species invasion, algal bloom outbreaks, as well as regulation and storage of heavy rainfall during operation, specific prevention and control measures have been undertaken. Through diversified and comprehensive treatment approaches, the water quality of Yayi Lake has significantly improved from level V to level III in *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838-2002). Notably, the concentration of COD is now below 14 mg/L; the average DO exceeds 6.22 mg/L, twice as much as before treatment; ammonia nitrogen are below 0.12 mg/L with removal rate no less than 95%; TP concentration is below 0.08 mg/L. As a result of these efforts, the ecological system of Yayi Lake has been restored to its normal state with stable and good water quality.

Key words: water ecological management; engineering measures; operation and maintenance management; water quality improvement

近年来,为大力推进生态文明建设,全国各地陆续开展了水生态治理工作。亚艺湖作为佛山市的城市景观湖泊,其生态环境的优劣直接影响城市形象和居民身体健康。以亚艺湖生态治理工程为例,介绍我国南方城市景观水体的治理路径,可为类似工

程提供参考。

1 亚艺湖概况

亚艺湖位于佛山市禅城区亚艺公园内,总水域面积为 $16.5\times 10^4\text{ m}^2$,平均水深为1.2 m,总库容约 $20.3\times 10^4\text{ m}^3$,集水面积为 0.7 km^2 。亚艺湖东侧和西

侧两处连接奇槎涌,南侧连接明窰涌。奇槎涌由西往东补水,明窰涌由南往北补水,水流经过亚艺湖后从东北侧流出奇槎涌。南侧深村泵站的主要作用是补水和控制湖水水位,暴雨时利用深村泵站排水,设计洪水调蓄能力为30年一遇(见图1)。



图1 亚艺湖平面图

Fig.1 Plan of Yayi Lake

2 现状及存在的问题

亚艺湖水质长期处于地表水V类和劣V类之间,在湖内选取3个点位取样化验,得出主要水质指标平均值:DO为3.06 mg/L,COD为9.33 mg/L,氨氮为2.13 mg/L,TP为0.17 mg/L。湖水透明度为30~50 cm。湖体部分区域有死鱼及漂浮物,在东南角和西南角水体经常散发出臭味,引发周边居民投诉不断。亚艺湖主要污染原因分析如下:

① 各连通水系污染物影响

亚艺湖与周边河涌水系相互连通,各河涌水质较差,同时亚艺湖具有调蓄功能,暴雨期间奇槎涌和明窰涌的河水入湖,对湖水造成严重污染。非暴雨期间由于亚艺湖是开放的水体,周边河涌的污水也会排入,最终影响湖水水质。

② 内源释放的影响

亚艺湖自建造以来一直未进行清淤,根据2018年8月调查结果,污泥厚度为0.5~1.8 m,呈黑色至暗灰色。底泥中含有大量有机物和氮磷等,不断向水体释放污染物,致使水体内源污染严重。

③ 湖泊生态系统功能缺失

水体生态系统退化而结构单一,尤其是沉水植物缺失导致其自净能力相对较弱,水生动物群落结构失衡,野杂鱼泛滥,且长期以来汇入的污染物负荷已远超水体系统自净能力,使该湖水质持续恶

化,无法满足较高功能要求。经过日积月累,最终导致水体富营养化,藻类疯长。

综上所述,亚艺湖水环境综合治理刻不容缓。

3 治理目标与技术路线

3.1 治理目标

① 水安全保障工程:设计24 h最大暴雨排水期限为1 d,在近期30年一遇、远期50年一遇的大暴雨中,仍能保证水位不超过控制水位线。

② 水动力改善工程:通过新建或改造闸站,对河网水流量进行合理调度、定向控制,实现“以动治静、以清释污、以新提质”的目标。

③ 水环境整治工程:经点源、面源调查分析,主要水质指标(COD、氨氮、TP、DO)达到地表水Ⅳ类标准($TP \leq 0.3 \text{ mg/L}$),采取清淤、底泥修复等工程措施,使水体污染物浓度有效降低,水体透明度增加,水质显著改善。

④ 水生态修复工程:在流域水环境整治工程的基础上,通过曝气增氧、复合微生物系统建设、水草种植、修复水生动物、修复生态系统等措施,以保护和修复水生态系统为核心,逐步达到城市对水生态服务功能的要求。

3.2 技术路线

严格按照“排涝达标、控源截污、内源治理、活水循环、生态修复、景观提升、智慧管理”的总体技术方向来制定工程方案。

4 主要工程措施

4.1 控源截污

在片区清污分流改造、排水单元达标、污水收集率和处理率持续提升的基础上,为进一步减少进入亚艺湖的污水量,对周边管道、方渠进行清淤疏通,通过CCTV检测发现有缺陷的管道,采用点状或光固化等非开挖方法进行修复,对错接、混接、接口错位的管道进行彻底整改,对排查发现的2个雨污混合排口进行封堵。共整改53个雨污混接点,新建12 km截污管道。

在亚艺湖东北角设置新窰涌引水泵站,提高湖水的流动性,活化水体。在北侧设立2#水闸,南侧设立3#水闸,当外河涌水质较差时,关闭闸门以阻止污染水进入湖内,强降雨期间则开启闸门,发挥亚艺湖的调蓄功能。

与亚艺湖相关的河涌已基本完成截污,由于江

眉涌、深村旧涌地处城中村,管网敷设困难,因此在河涌两端设置闸门及泵站,将排入河涌的污水通过泵站输送至污水管网。

采取以上措施,平均减少 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 污水入湖。

4.2 内源污染治理

据调查,亚艺湖底泥有机质平均值高达9.2%,总磷含量平均值为 $3\,379\text{ mg/kg}$,属重度污染。为消解沉积底泥、有机残渣,防止底泥污染释放,对亚艺湖进行底泥清淤;为消除硫化氢、土臭素和氨引起的臭味,稳定底泥,防止淤泥上翻,对亚艺湖采取了底质改良措施。

① 底泥清淤

将湖水水位降至0.5 m后,将湖中的鱼类转移至暂存区域,再将湖水水位降至最低,清理湖底沉埋的垃圾杂物后,进行底泥清淤工作。

采用绞吸式全封闭水下潜管输送环保智能清淤技术,配置先进的GPS和测探仪测量原泥面标高,拼装绞吸式挖泥船用GPS和导标定位,利用全封闭DN300钢管输送淤泥,除绞吸船尾部自带200 m浮管外,其余全部采用水下潜管。淤泥进入泥浆泵经加压后,通过连在船尾的排泥管输送至堆泥场,采用一体化设备对淤泥进行脱水固结,在1座脱水站中完成淤泥输入与干泥输出,同时实现淤泥的污染控制、脱水、固结,各组成设备移动灵活方便^[1],处理后的淤泥具有一定抗压强度,减量化明显,可实现智能清淤、低噪作业,以及淤泥减量化、无害化、资源化利用。清淤深度为50 cm,清淤工程量为 $6.6\times 10^4\text{ m}^3$ 。

② 底质改良

底质改良采用广东省科学院微生物研究所研发的“水体复合污染的多界面微生物强化治理技术”及其底质改良混合制剂产品,该技术获得2018年广东省科技进步一等奖。底质改良剂产品是一种修复河湖水体底泥的环保型硝酸钙缓释颗粒,基于原位微生物生态调控原理,激发修复对象(原生微生物)的功能活性达到全方位自组织消除污染物的效果,对比市场上常用的外加人工菌剂^[2],具有更强的适应性和稳定性,所含物质均为天然、可降解材料,不会带来修复现场的二次污染。

底质改良在水深降到0.2 m后进行,由人工在驳船上按 0.2 kg/m^2 投放底质改良剂。在投放底质改良剂时用高压水枪冲刷搅拌,以达到改良剂与泥

水充分混合的效果。底质改良面积为 $16.5\times 10^4\text{ m}^2$ 。

4.3 水生态修复

生态修复作为一种新型环境生物技术已被广泛运用到污染河涌、湖泊的整治工程。这类技术主要利用微生物、植物等的代谢活动,对水中污染物进行转移、转化及降解,从而使水体得到净化,创造适宜多种生物繁衍生息的环境,重建并恢复水生生态系统。

① 水生植物恢复

底质改良实施完成后,在湖底种植沉水植物。在亚艺湖南门设置前置库,种植 500 m^2 水葫芦,密度为15株/ m^2 。在岸边1.5 m范围内种植 200 m^2 挺水植物,品种为美人蕉、再力花、鸢尾,密度为15株/ m^2 。其他区域种植苦草、金鱼藻、黑藻,种植面积为 $16.4\times 10^4\text{ m}^2$ 。种植完成后,湖内布置8套分隔网,以减少受鱼类侵扰影响的区域面积。分隔网规格为宽2 m,高2 m,总长895 m,4目塑料材质。

沉水植物种植及分隔网设置完成后,在湖面设置睡莲和主动浮岛以提高污染物净化效果,并提升整体景观。睡莲面积 500 m^2 ,密度为2丛/ m^2 ,规格2株/丛;主动浮岛面积 500 m^2 ,以鸢尾、再力花盆苗为主,株高20~50 cm,密度为9盆/ m^2 。

设置0.8 kW清污机器人4台、4 kW推流器6台,以增加水体表面漂浮物清理能力和水动力。

② 食物网构建

上述措施完成后,通过湖内一体化设备缓慢增加湖内水量,同时在湖内投放螺贝类、肉食性和滤食性鱼类,以平衡杂食性和草食性鱼类数量,构建完整生态系统。共计投放螺贝类(规格2~3 cm/个) $2\,800\text{ kg}$ 、肉食性鱼类(黑鱼,0.5 kg/尾)4万尾、滤食性鱼类(鲢鱼,0.5 kg/尾)3万尾。

4.4 混凝微滤净化和生态补水

为了保证亚艺湖的补水水质以及减少补水期间野杂鱼对水生态系统的影响,补水先经过2台混凝微滤一体化装置处理(见图2),再经过前置库深度净化后汇入亚艺湖。

设备参数:处理水量 $2\,000\text{ m}^3/\text{d}$,溶气水量 $20\sim 25\text{ m}^3/\text{h}$,回流比30%,混凝反应搅拌机(0.75 kW)2台,溶气水泵功率11 kW,空压机功率2.2 kW,刮渣机功率0.55 kW,系统总功率15.25 kW。池体为碳钢防腐材质,尺寸($L\times W\times H$)= $9\,000\text{ mm}\times 3\,000\text{ mm}\times 2\,100\text{ mm}$,污水进水管径DN200,外排水管DN200,

排渣管 DN150,放空管 DN80。

由明窰涌引水,经一体化处理设备净化后,通过输水管(埋深 0.7 m)送至亚艺湖前置库。2 台设备处理规模为 4 000 m³/d。

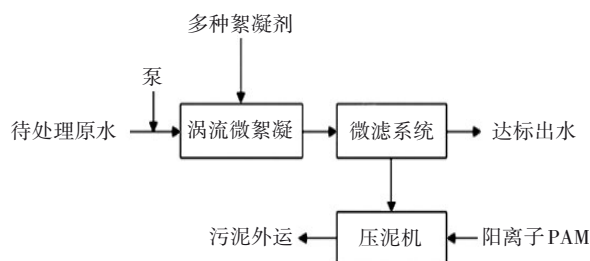


图2 混凝微滤一体化设备工艺流程

Fig.2 Process flow chart of coagulation and micro-filtration integrated equipment

5 运维问题与应对措施

5.1 外来鱼类入侵与防控

鱼类种群和数量的控制是维持草型清水态湖泊生态系统的关键,鱼类结构失衡和泛滥容易导致水体浑浊、水草退化、系统失衡。特别是在华南地区的罗非鱼等外来物种繁殖过快,更容易导致湖体生态系统失控。亚艺湖作为调蓄湖,需响应属地泄洪要求,由此大量污染物、罗非鱼和福寿螺(同为华南常见外来入侵物种)持续冲击亚艺湖生态系统。沉水植物在净化外源污染的同时极易疯长,露出水面导致景观效果变差。一方面,通过及时刈割过长的沉水植物,可以转移大部分污染物并恢复良好水

景观。另一方面,混入湖区的罗非鱼和福寿螺大量繁殖,加上不少市民游客放生的野杂鱼,鱼类结构失衡,有可能打破亚艺湖的生态平衡。

针对上述问题,运维管理期间定期开展鱼类结构调控工作。2024年5月—8月,亚艺湖配合属地完成3次泄洪,合计泄洪量 $>12 \times 10^4$ m³,以罗非鱼为主的外来入侵鱼类大量繁殖,搅动底泥、打洞做窝以及啃食沉水植物,导致沉水植物逐步退化,再叠加高温天气影响,藻类大量滋长。经综合研判,亚艺湖已存在生态失衡风险。2024年8月23日,启动鱼类调控作业,并在3 d内完成。在此期间清除的罗非鱼和部分野杂鱼一天两次及时密封转运,尽力降低作业期间对居民及游客的影响。

5.2 藻华应急处置

过量的磷会导致湖区生态系统稳定性差,进而诱发藻华问题。一般而言,藻华暴发的条件需同时具备:①较稳定的种源种群规模;②充足的营养盐(尤其是氮、磷)补给;③较为稳定的水动力学条件;④较高的水温及较好的光照。亚艺湖在泄洪后需及时开展鱼类结构调控和沉水植物群落再恢复工作,但在此期间水体总磷水平骤升并维持,另外沉水植物群落因罗非鱼啃食而退化,抑藻效果下降,加上较适宜的温度和光照强度,容易导致局部水域暴发蓝藻水华。针对局部藻华暴发,采取了一系列应急技术措施(见表1),基本保证了藻华问题及时解决。

表1 藻华应急处置技术措施

Tab.1 Technical measures for emergency treatment of algae blooms

技术措施	目的及原理
泼洒除藻剂及消毒剂、投放滤食性的鲢鳙	直接消杀和摄食藻类,以达到破坏藻类种源种群规模的目的
泼洒锁磷剂、投放微生物	固化底泥中磷的释放以及强化微生物与藻类争夺营养物质,以降低藻类可利用的营养盐
靶向清控罗非鱼,投放功能型鱼类	减少罗非鱼啃食水草和搅动底泥,以降低营养盐的释放和转化率
加密补植沉水植物	加快构建草型清水态水体,固着底泥,减少底泥磷的释放,进而破坏藻类种群规模和减少底泥营养的供应

5.3 强降雨应对措施

广东省具有显著的干湿季节分布,在每年的4月—9月经历一个较长的集中降雨期,地表径流和排水系统溢流都会对水体造成严重影响,其水生态系统面临严峻考验。因此,提出以下应对措施:

① 强降雨期间,由于汇入水量大,初雨水污染物含量高,为降低暴雨对水生态系统的强烈冲

击,当发布暴雨黄色预警时(6 h内降雨量达 50 mm 以上),启用深村泵站(排水量为 5.2 m³/s)+大型排涝泵车(5 200 m³/h)进行应急排水;当发布暴雨橙色预警(3 h内降雨量 50 mm 以上)或红色预警时(3 h内降雨量 100 mm 以上),则开启 2#和 3#水闸排水。

② 需保证水下植被的较高覆盖率,利用沉水植被发达的根系固定底泥,显著减少因暴雨带来的

底泥冲刷,减少水体中的泥沙含量。同时提高对汇入泥沙的沉降效果,加速水体澄清的速度,防止泥沙悬浮。

当沉水植物长出水面影响景观时,采取机械收割或人工打捞,一年收割1次,收割时间为枯萎后1周内。及时清除水体表面的植物及非目的性沉水植物。大风暴雨天气及泄洪后2~3 d,检查沉水植物情况,如有冲毁,应及时补植。

③ 构建的水下生态净化系统,每天可承受一定的污染负荷。若降雨导致汇入的污染物含量在一定程度上,系统水质仅需一周即可恢复正常,水质和水生态系统将持续达标。在降雨期间可采用开启曝气增氧装置、投放微生物等手段来缓解强降雨对水生态系统的冲击。

针对泄洪后水质变差的问题,通过投放复合微生物菌剂进行应急处理,如芽孢杆菌、硝化菌、光合菌、乳酸菌、酵母菌、反硝化菌、EM等复合菌,投加频次为1~2 d投一次。可参照单次用量为5 mL/m³,具体用量根据水质指标变化而定。

6 技术经济分析

经过24个月的系统治理,亚艺湖主要水质指标(COD、DO、氨氮、TP)从地表水Ⅴ类和劣Ⅴ类标准提升至Ⅲ类标准,优于合同约定的Ⅳ类水标准。其中,DO平均值>6.2 mg/L,是治理前的2倍;COD<14 mg/L;氨氮<0.12 mg/L,去除率≥95%;TP<0.08 mg/L;透明度>1.5 m。治理前后数据对比见表2。

表2 亚艺湖治理前后水质数据对比

Tab.2 Comparison of water quality monitoring data before and after treatment of Yayi Lake mg·L⁻¹

项目	DO	COD	氨氮	TP	水质类别
治理前	3.81	10	1.89	0.18	地表水Ⅴ类
	2.13	9	2.38	0.14	地表水劣Ⅴ类
	3.23	9	2.11	0.18	地表水劣Ⅴ类
治理后	6.86	14	0.086	0.08	地表水Ⅱ类
	4.87	12	0.124	0.08	地表水Ⅲ类
	6.94	12	0.119	0.07	地表水Ⅱ类

目前,亚艺湖水质净化效果明显。水草长势良好,水底鱼、螺类、虾类等水生动物成活率较高,蓝藻水华现象显著改善。

该项目采用EPC总承包模式,静态总投资为9 923.3万元,其中工程建筑安装费为7 277万元,工程建设其他费为849.9万元,基本预备费为812.7万元,3年水生态运维费用共983.7万元(327.9万元/a)。

7 结语

① 经综合治理后,亚艺湖水中DO含量明显提高,氨氮、总磷浓度大幅降低,底泥由弱酸性变为弱碱性,主要水质指标由地表水Ⅴ类标准提升至Ⅲ类标准,优于合同约定的Ⅳ类水标准。由此可见,亚艺湖水质治理效果显著。

② 亚艺湖经过24个月的系统治理,实现了“有河有水、有鱼有草、人水和谐”的美丽水生态构建目标,生物多样性得以恢复。

③ 亚艺湖水生态系统得到长效维持,能抵抗强降雨及泄洪调蓄带来的冲击负荷。

④ 面对华南地区独有的外来入侵物种防控难题,取得了较好的成效。

参考文献:

- [1] 朱晓峰. 城市河道底泥污染及清淤治理研究[J]. 陕西水利, 2021(7): 149-150, 158.
ZHU Xiaofeng. Research on sediment pollution and dredging treatment of urban river courses [J]. Shaanxi Water Resources, 2021(7): 149-150, 158(in Chinese).
- [2] 卢敬斌. SedCaN等底泥修复技术在北海仔河流域综合整治项目中的应用[J]. 科技创新与应用, 2021(20): 155-157.
LU Jingbin. Application of SedCaN sediment restoration technology in the comprehensive renovation project of Beihazai River basin [J]. Technology Innovation and Application, 2021(20): 155-157 (in Chinese).

作者简介:袁伟力(1971-),男,广东龙川人,高级工程师,主要从事水利市政工程建设及排水设施运维管理工作。

E-mail:645488193@qq.com

收稿日期:2024-07-17

修回日期:2024-09-20

(编辑:衣春敏)