

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.02.021

# 高密度城区人工景观湖(深圳荔枝湖)综合治理

韩小波<sup>1,2</sup>, 王维康<sup>2</sup>, 李燕<sup>2</sup>, 孙艳丽<sup>2</sup>, 付国徽<sup>2</sup>

(1. 深圳市水务<集团>有限公司, 广东 深圳 518031; 2. 深圳市利源水务设计咨询有限公司, 广东 深圳 518031)

**摘要:** 城市受污染景观湖的治理,是提升城市整体水环境质量面临的重大挑战。深圳市荔枝湖为人工景观湖,湖水为地表Ⅴ类水质,通过制定“岸水统筹、综合治理”的技术路线,实施“控源截污、内源清淤、生态修复、应急保障恢复和长效运维”五大工程措施,实现了湖水水质稳定达到地表水Ⅲ类标准的目标。

**关键词:** 人工景观湖; 水环境综合治理; 生态修复

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)02-0120-05

## Comprehensive Treatment of Artificial Landscape Lake in High Density Urban Area: A Case of Lizhi Lake in Shenzhen

HAN Xiao-bo<sup>1,2</sup>, WANG Wei-kang<sup>2</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, SUN Yan-li<sup>2</sup>, FU Guo-hui<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Water <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518031, China; 2. Shenzhen Liyuan Water Design & Consulting Co. Ltd., Shenzhen 518031, China)

**Abstract:** The successful treatment of urban polluted landscape lake is a major challenge to improve the overall urban water quality. The water quality of Lizhi Lake in Shenzhen was level V criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002) and was improved to level III stably by the technical route of the coastal water planning and comprehensive restoration strategy, as well as five engineering countermeasures including wastewater interception, endogenous elimination, ecological restoration, emergency safeguard recovery, long-term operation and maintenance, etc.

**Key words:** artificial landscape lake; comprehensive treatment of water environment; ecological restoration

人工景观湖是城市水环境的重要组成部分,如何解决城市人工景观湖的水质达标问题是当前城市治水的重点。这类项目的特点主要有:①地处高密度建成区,源头分流改造难度较大;②缺少清水补给来源,水环境容量基本丧失;③作为高质量景观水体的同时要兼顾雨季承担区域滞洪蓄洪的功能,水体功能和定位存在落差;④敏感因素多,建设要求高。

荔枝湖作为深圳重点市政公园的景观水体,近年来污染源的数量和浓度急剧增加,水质反复恶化。采用“控源截污、内源清淤、生态修复”等多种措施对

荔枝湖进行综合整治,最终实现了湖水水质达到地表水Ⅲ类标准的目标。

### 1 工程概况

荔枝湖位于深圳市福田区荔枝公园内,其下游为深圳与香港的界河——深圳河。荔枝湖流域面积为253.3 hm<sup>2</sup>,湖面面积为10.91 hm<sup>2</sup>,有效水深为0.5~1.5 m,蓄水量为11×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,由东、西、南、北四个湖组成,是市民重要的休闲娱乐场所,也是洪水的过渡地带。

荔枝湖的污染问题由来已久,深圳市政府先后

对其进行了4个阶段治理,如图1所示。

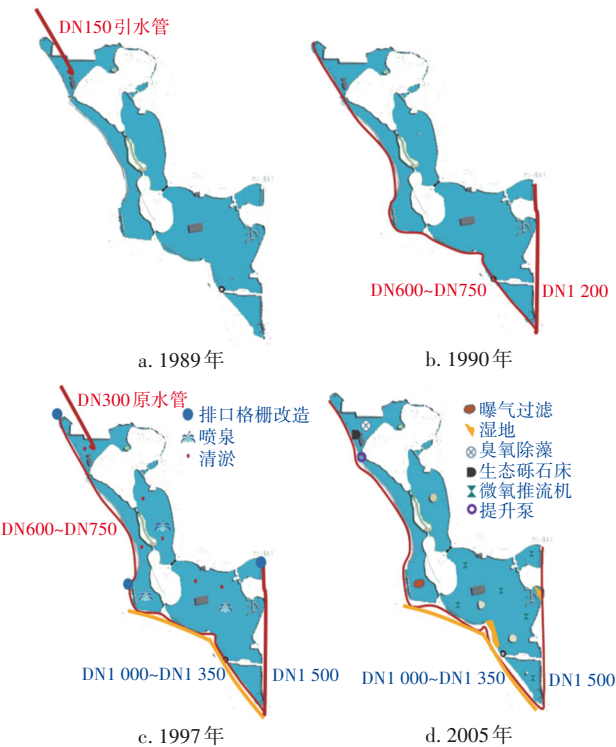


图1 荔枝湖治理历程

Fig.1 Past governance history of Lizhi Lake

第一阶段:引水稀释。1989年,通过敷设一条管径为DN150的水管,对荔枝湖进行补水和稀释。后因管径过小,导致管路堵塞,现已废弃不用。

第二阶段:清淤和截流。1990年,分别在荔枝湖东、西两侧敷设截污干管,对排入湖内的污水进行截流。工程结束后,效果明显,但随着沿湖人口的急剧增长,污水量大大超过原敷设截污干管的设计流量,造成湖水再次污染。

第三阶段:综合治理1.0。1997年,对荔枝湖进行了首次综合治理。①湖底清淤并安装DN300的引水管进行补水,设定补水周期为45 d;②新增截污干管,增加截流倍数,升级原有污水截流系统;③结合景观功能,在荔枝湖设置三级喷泉为湖水补氧。由于上游汇水区域污水管道的错接乱排问题未能解决,污水大大超出了原设计标准,尤其在雨季时混流污水和初期雨水溢流进入湖区,导致湖水水质变差。

第四阶段:综合治理2.0。2005年,汲取前面的治理经验,不再强调污水截流,更加注重湖区生态修复与建设。①对居民小区错接乱接的污水管网

进行整改,有效减少溢流污水量 $3.4\times10^4\text{m}^3/\text{a}$ 。②通过增设水力自动化曝气过滤→生态砾石床→臭氧灭藻处理工艺,强化湖水充氧和藻类去除。③新增 $824\text{m}^2$ 人工湿地,去除水中氮、磷,降低富营养化水平。④通过建立阿科曼生态基系统,栽种适宜性植物和放养鱼类、投放微生物菌种等生态修复措施,实现荔枝湖生态系统的良性生态平衡。⑤增加湖区水力推流循环系统,加强湖水流动,减少死水区域。经过治理后,荔枝湖水水质明显改善。

随着周边区域开发程度的提升,加上湖区管理不当,荔枝湖水水质再次恶化。根据2019年水质数据(见表1),湖水多为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类水质,其中,氨氮、总磷超标严重。为彻底解决荔枝湖水水质问题,提升其形象,深圳市政府开展了荔枝湖水环境综合治理工程,工程目标为满足地表水Ⅲ类水标准。

表1 治理前水质检测结果

Tab.1 Water quality test results before treatment

项目	透明度/cm	DO/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	氨氮/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	总磷/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
南湖	31	7.10	21	1.65	0.21
东湖	30	7.0	28.25	1.68	0.22
西湖	30	2.56	37.4	1.20	0.20
北湖	26	1.5	40	2.4	0.25
地表水Ⅳ类标准		3	30	1.5	0.1
地表水Ⅴ类标准		2	40	2	0.2

## 2 现状摸查及技术思路

### 2.1 现状摸查

通过现场摸查,发现荔枝湖存在的主要问题有:

① 荔枝湖流域跨度大,上游汇水面积大,周边居民小区密集,还有5个垃圾转运站、10家洗车店、4条食街。由于辖区内雨污分流不彻底,生活污水通过雨水管道流入水体。同时,垃圾转运站、洗车店、食街排水配套设施不齐全,导致地面污染物散排问题突出,遇雨天则随径流流入湖区。根据模型模拟,2017年荔枝湖全年发生溢流频次最高达85次,单次最高溢流量为 $22.77\times10^4\text{m}^3$ 。

② 湖区底泥淤积,有效水深和容积不足,导致水体自净能力差,雨季翻塘现象频发,内源污染严重。

③ 原有设施陈旧,运行工况堪忧。由于缺乏

有效的运维,处理设施无法正常工作。

## 2.2 技术思路

水域的治理不仅是对水域局部的治理,还要充分考虑水域是一个关联的整体<sup>[1]</sup>。荔枝湖曾于1989年—2005年进行了4次治理,短期内均达到了治理效果。随着城市高强度开发建设,环境容量不足引发环境矛盾的问题不断凸显,荔枝湖水质再次恶化,直接破坏了以往的治理成效。因此,提出了“岸水统筹、综合治理”的技术路线,决定采取源头减排、生态修复、长效运维等措施解决荔枝湖污染问题。

## 3 工程措施

### 3.1 控源截污工程

实施控源截污工程,提高对源头污水的收集率。此部分工程主要涉及源、网、站、厂四个环节。

#### ① 正本清源、强化污水收集

建筑小区是城市组成的基本单元,其正常有序的排水系统是黑臭水体治理的源头关键点<sup>[2]</sup>。流域内排水系统为分流制,但由于历史原因,流域内城中村及老旧小区等仍存在混流情况。

改造小区建筑立管,从源头实现雨污分流。分两种情况:a.建筑阳台排水地漏支管、厕所、厨房排水与建筑屋面雨水排水(立)管道连通的住宅楼,将原雨水立管改作污水管,接驳至污水井,并在屋面上2 m加设通气帽。增设一套雨水立管并伸顶至屋面,新增雨水立管底端距地面200 mm,散排至地面。b.建筑阳台立管与建筑屋面雨水排水(立)管独立设置的住宅楼,直接将现有阳台立管改入小区污水管道,不再增设排水立管。

对垃圾转运站、洗车店、食街进行排水设施改造和海绵化改造以减少径流污染。a.在垃圾转运站、洗车店新建或改建沉砂池和隔油池,增设300 mm×300 mm雨水及污水排水沟,防止降雨时地面污染物随径流入湖。对老旧排水管道和配套设施进行通畅性养护,避免污泥堵塞排水管,强化污水收集能力。b.开展海绵化改造。在垃圾转运站绿地建设植草沟、下沉式绿地、雨水花园等海绵设施,将建筑物及周边市政道路雨水引入海绵设施净化,削减面源污染。

#### ② 过程管网改造更新

城市市政管网是衔接源头小区与末端泵站、污

水厂的关键。管道破损缺陷、雨污管错接混接等问题导致污水外溢、雨污混流,最终水体受到污染。

开展市政排水管网改造更新工程,对存在堵塞、漏损的排水管网进行整改。针对点状破裂、渗漏缺陷、接口错位等问题管道,采用开挖或非开挖的方式修复。在排水管网全面梳理排查的基础上,建立管网缺陷台账,制定并落实更新与修复计划,逐一消项。参照城市管网缺陷等级分类表,3、4级缺陷按应急抢修模式发现一处,及时整治一处;2级缺陷在每年年初制定修复计划,年底前全部处理;1级缺陷每年复查一遍,如有恶化趋势则按上述原则处理;对于每一管段(两个检查井之间的管道)中缺陷超过3个(含)以上或管径偏小的则安排整体更新改造。采用清掏、高压清洗疏通管道污泥,降低污水管道高水位运行和污水溢流的风险,实现高位溢流点废除。

#### ③ 泵站建设与能力提升

为减少初期雨水污染入湖,在荔枝湖P2雨水排口附近新建一座全地下截污泵站,转输规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,经新建的de560 PE管与现状de560中水管碰通,截流的污水通过同心路DN600中水管输送至滨河水质净化厂细格栅进水池,解决了10 mm/h的初期雨水污染问题。

#### ④ 水质净化厂提标改造

统筹治污设施建设,确保入网污水全处理,对下游的滨河水质净化厂进行提标改造:a.拆除原有的氧化沟,新建 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理系统及污泥处理系统;b.开展 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理提标扩容工程,对原有的提升泵房、生化池及二沉池进行分组改造;c.拆除现状砂滤池、紫外消毒池及中水系统,新建反硝化滤池、中水系统及紫外消毒池;d.拆除现状污泥处理系统,新建磁混凝高效沉淀池、加药间及配电间等。近期滨河厂扩建到 $50\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。出水排放至深圳河,出水水质达到地表水Ⅳ类标准。

通过实施源、网、站、厂环节控源截污工程,荔枝湖环湖截污系统平均混流量由 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 下降到 $200\text{ m}^3/\text{d}$ (通过全地下截污泵站提升至滨河水质净化厂),平均氨氮值由33.3 mg/L降至0.37 mg/L,比整治前 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降低98%,基本实现了流域污水零直排。

## 3.2 底泥清淤工程

受溢流污水和地势影响,北湖和西湖底泥淤积



严重。根据现场调查情况,西湖、北湖淤积深度为50 cm左右,均为泥质型底泥。东湖底泥砂石含量高,有机质含量为0.882%;南湖底泥有机质含量最高,达8.63%。为防止底泥积累的污染物释放,同时增加水深和容积,为后续生态修复创造条件,采用泵吸式清淤,清淤量为1 500 m<sup>3</sup>/d。底泥沥水后送茅洲河底泥处理厂进行无害化处置。整个工程期间共清淤3×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,恢复有效水深至1.5 m。

### 3.3 生态修复工程

#### ① 生态补水

“控源截污”工程实施后,作为湖区补水的雨水被有效截流。深圳市气温偏高,蒸发量大,要满足水生态及景观需求,需进行补水。

a. 补水量。深圳市多年的平均降雨量为1 948.4 mm,月平均蒸发量为110 mm,旱季月平均蒸发量为150 mm,荔枝公园绿化面积为13×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>,因此湖水月蒸发量为109 100×0.15=16 365 m<sup>3</sup>,绿化用水量为130 000×0.003×30=11 700 m<sup>3</sup>,荔枝湖每日消耗水量为28 065 m<sup>3</sup>,即日均补水为935 m<sup>3</sup>。基于补充湖水渗漏和加强湖水循环的需求,确定荔枝湖的设计补水量为2 000 m<sup>3</sup>/d。

b. 补水水源。疏通并利用公园原有的DN300引水管,从泥岗路DN2 200的东深三期输水管中取水引入荔枝湖作为补水水源(地表水Ⅱ类标准),满足荔枝湖生态补水水质和水量要求。补水管为DN600聚乙烯PE塑料给水管,总长度为2.1 km。采用非开挖的水平定向拖拉施工,管道铺设于市政主干道路下。

在南湖末端新建双向式闸门。常态下,通过双向式闸门控制湖体水深在1 m左右,满足景观水位需求;雨季根据闸前液位自动控制开启进行泄洪。

#### ② 强化净水系统

在水环境中,沉水植物的生长速度极快,对污染物具有极强的净化作用<sup>[3]</sup>。结合深圳市气候特点及荔枝湖原有水生生物种类情况,构建以沉水植物为核心、挺水植物及浮叶植物为辅助的植物群落。

以矮生苦草为主的沉水植物种植面积占水域面积的70%。本工程水生植物种植主要有刺苦草、金鱼藻、黄菖蒲、红花美人蕉、睡莲等。该系统有利于固持底泥,吸收净化底泥中的营养物质,保护水质;同时,对去除和沉降面源污染物、抑制蓝藻也有一定作用。

### 3.4 应急保障恢复

深圳市夏季多暴雨,为防止水力冲击,有必要采取应急保障措施。废除原有的臭氧除藻设施,建设高效水处理设施1座,包括一体化水体循环处理设备1套、气浮除藻设备1套,可用于晴天提升水质和雨后湖水水质快速恢复。一体化水体循环设备采用自循环高密度悬浮污泥滤沉工艺,处理规模为4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。气浮除藻设备处理规模为2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。常态下,一体化循环水设备出水作为气浮除藻设备的进水,处理后的出水通过湖体补水管直达南湖水区,带动水体流动,提升水动力。

在雨量超过10 mm/h时,排口雨污水不可避免地溢流入湖,一体化水体循环处理设备作为应急兜底措施集中处理湖水,出水SS、TP、COD分别达到90%、90%、60%的削减率,保证湖水透明度在1~2 d内改善。

气浮除藻设施也可作为单体设施,实现高温季节削减藻类、净化水质的目的。最终出水藻类去除率高达95%,出水SS<8 mg/L,浊度<1 NTU。

### 3.5 长效运维工程

水环境治理作为复杂的系统工程,其长效运行管理的机制是确保水质长期稳定达标、工程效益长期保持的关键。2005年荔枝湖治理后水质再次恶化证明了这一点。对影响水体的因子进行系统监控,并结合气象系统、水务调度系统和智慧预警系统进行运维管理,构建荔枝湖长效运维体系(见图2)。荔枝湖长效运维管理由日常和突发情况两部分组成。

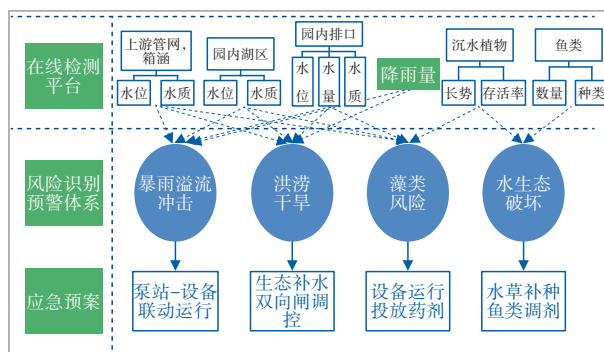


图2 长效运维体系

Fig.2 Long-term operation and maintenance system

#### ① 日常运维

专业运维管理:建立以专业湖泊工程运营公司为主体的水质改善工程长效运管模式。委托专业

的运营公司进场,现场采用人工结合智能清洁船的方式对水面进行保洁;采用自动收割机定期收割补种水生植物;严管市民放生鱼苗的行为。

跟踪监测与评估:布置多台水质在线监测设备,监测指标为氨氮、SS、COD;委托第三方检测机构定期检测与评价水体,检测周期为7 d,检测指标为透明度、DO、总磷、COD、凯氏氮和叶绿素a。每个湖水体的检测点不少于3个,取样点设置于水面下0.5 m处。

## ② 突发情况下的运维与管理

在暴雨溢流、旱涝灾害和藻华暴发的情况下,以“过程管理+事后控制”的方式,采取多防线的应急控制,保障水体在发生特殊事件后2~3 d内恢复水质。

a. 暴雨。过程管理:开启双向式闸门泄洪。事后控制:一体化水体循环处理设施处理并进行水面保洁。

b. 干旱。过程管理:关闭双向式闸门并进行生态补水。事后控制:影响评估。

c. 藻华暴发。过程管理:启动高效水处理设施并投放药剂。事后控制:水面保洁。

## 4 工程建设成效

对荔枝湖进行了为期1年的连续监测,治理后水质达到地表水Ⅲ类标准(见表2)。

表2 水质监测指标数据

Tab.2 Water quality monitoring index data

项 目	治理前	治理后	地表水Ⅲ类标准
透明度/cm	30±5	105±45	
DO/(mg·L <sup>-1</sup> )	2±0.5	7.50±0.5	5
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	35±5	15±5	20
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.99±1	0.12±1	1.0
总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.144±0.05	0.01±0.05	0.2(湖、库0.05)

## 5 结论与建议

① 经过综合治理,荔枝湖水体氨氮、总磷、COD等主要水质指标达到了地表水Ⅲ类标准,透明度达到1 m以上。

② 高密度城区人工景观湖治理必须摸清污

染源。通过源、网、站、厂多环节的控源截污,以小区排水户为起点、雨水排口为终点对市政排水管网及排水户进行污染源调查,查清雨水管中的污水来源并落实整改,保证雨污分流发挥最大效益。

③ 景观湖治理应从水生态、水景观考虑,注重水体良性生态的恢复和水体自净能力的提升。从长远角度看,水质提升后还应配套相应的维护管理措施,建立健全长效管理机制,确保水环境“长制久清”。

## 参考文献:

- [1] 彭艺艺,尹年,孟宪翠. 柳州市环境综合治理二期工程的关联性和创新性介绍[J]. 环境工程, 2011, 29(1): 107-109, 71.  
PENG Yiyi, YIN Nian, MENG Xianhui. An introduction to correlation and innovation of Liuzhou environment management project II [J]. Environmental Engineering, 2011, 29(1): 107-109, 71 (in Chinese).
- [2] 张月,方帅,王阳,等. 九江黑臭水体治理与提质增效技术的阶段性总结[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 77-80.  
ZHANG Yue, FANG Shuai, WANG Yang, et al. Phased summary of black and odorous water body management and the quality and efficiency improvement technology in Jiujiang [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 77-80 (in Chinese).
- [3] 张红星. 城市河道水环境生态治理探析[J]. 工程技术研究, 2020, 5(22): 255-256.  
ZHANG Hongxing. Discussion on ecological management of urban river water environment [J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5(22): 255-256 (in Chinese).

作者简介:韩小波(1979—),男,江苏淮阴人,博士,高级工程师,研究方向为水环境治理及饮用水安全保障。

E-mail: hanxiaobo@waterchina.com

收稿日期: 2021-04-23

修回日期: 2021-09-09

(编辑:衣春敏)