

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.017

城市湖塘水环境问题多维诊断与治理策略及实践

唐颖栋¹, 赵思远^{1,2,3}, 高祝敏¹, 吕丰锦¹, 宋卓霖¹, 刘俊国⁴,
田展⁵, 张凤山¹

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 311122; 3. 浙江省华东生态环境工程研究院, 浙江 杭州 311122; 4. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450046; 5. 南方科技大学 环境科学与工程学院, 广东 深圳 518055)

摘要: 随着我国水环境综合治理与黑臭水体消除工作步入“深水区”,城市湖塘水环境问题已成为制约打好水污染防治攻坚战“绊脚石”。以深圳市茅洲河流域宝安片区典型城市湖塘(定岗湖)为例,基于水环境问题多维诊断,以“区域协同,水岸赋能”为治理理念,提出了“区域联动-内外协同-水岸融合-智慧赋能”的四位一体城市湖塘综合治理策略,并开展工程实践。治理后的定岗湖水体透明度由20 cm以下提高至2 m,生物多样性显著改善,生态修复自净能力大幅增强,可为国内其他类似工程提供参考。

关键词: 城市湖塘; 水环境综合治理; 多维诊断; 生态修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0102-09

Multi-dimensional Diagnosis, Treatment Strategies and Practices for Water Environment Problems of Urban Lakes and Ponds

TANG Ying-dong¹, ZHAO Si-yuan^{1,2,3}, GAO Zhu-min¹, LÜ Feng-jin¹,
SONG Zhuo-lin¹, LIU Jun-guo⁴, TIAN Zhan⁵, ZHANG Feng-shan¹

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China;
2. College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 311122, China;
3. Huadong Ecological Environmental Engineering Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 311122, China; 4. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 5. School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China)

Abstract: With the comprehensive treatment of water environment and the elimination of black and odorous water bodies in our country entering the deep end, the environmental problems of urban lakes and ponds have become a stumbling block restricting the fight against water pollution. Taking Dinggang Lake, a typical urban lake in Bao'an area of Maozhou River basin in Shenzhen, as an example, based on multi-dimensional diagnosis of water environment problems and the concept of “regional coordination and water-shore empowerment”, a four-in-one urban lake and pond comprehensive treating strategy of

基金项目: 深圳市可持续发展专项(KCXFZ20201221173601003)

通信作者: 赵思远 E-mail: zhao_sy3@hdec.com

“regional linkage, internal and external collaboration, water-shore integration, and intelligent empowerment” was proposed with engineering practices. After treatment, the water transparency of Dinggang Lake was significantly improved from less than 20 cm to 2 m. Biodiversity was significantly improved, and the ecological self-purification capacity was greatly enhanced. The strategy and practice could provide a reference for subsequent domestic similar projects.

Key words: urban lakes and ponds; comprehensive treatment of water environment; multi-dimensional diagnosis; ecological restoration

自《水污染防治行动计划》(“水十条”)发布以来,全国地表水环境质量实现“七连升”,黑臭水体治理取得显著成绩。目前,水污染防治攻坚战已从“十三五”时期的“坚决打好”转向“十四五”时期的“深入打好”,这标志着我国水环境综合治理与黑臭水体消除工作已步入“深水区”。

以城市湖塘为代表的水环境“顽疾”已成为制约全面消除黑臭水体、深入攻坚水污染治理的“绊脚石”。城市湖塘主要指建成区内坑塘等小型水体,包括景观湖、养殖塘、风水塘等,具有调蓄雨洪、生态涵养、调节微气候、净化雨水等功能,是城市水系不可缺少的“细胞体”。由于城镇化的快速发展,城市湖塘逐渐演变成封闭性水体,受人为扰动和污染物影响更加剧烈,缺水、黑臭等现象普遍存在^[1-2]。以深圳市茅洲河流域宝安片区为例,该区域属于高密度建成区,传统产业园较多,粗放产业发展模式导致空间肌理破碎,用地结构不合理;产业发展层次不高,污染企业数量众多。根据2019年的调研结果^[2],该区域内湖塘水体共计44个,水域面积合计42.8 hm²,其中35个湖塘存在黑臭现象,占比约80%。

选择深圳市茅洲河流域宝安片区典型城市湖塘定岗湖作为治理对象,开展水环境问题多维诊断,针对性地提出综合治理策略并进行实践,以期国内类似城市湖塘水环境综合治理与生态健康恢复提供参考。

1 研究区概况

定岗湖位于深圳市西北部宝安区沙井街道壘岗社区,宝安大道与创新路交汇处西侧,属茅洲河流域,南部毗邻深圳宝安国际机场,周围地势优越(见图1)。定岗湖由1座主湖及其北侧的4座小组组成,总水面面积约6 hm²,最大水深4.5 m,湖体容积为(12~16)×10⁴ m³(水位随季节变动)。

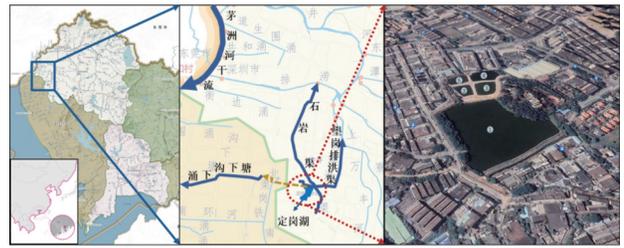


图1 定岗湖地理位置及治理前鸟瞰图

Fig.1 Geographical location of Dinggang Lake and its aerial view before treatment

改革开放前,定岗湖是天然堰塞湖改建成的水库,曾经是抗旱的重要设施。定岗湖作为蓄水湖,旱季为石岩渠和壘岗排洪渠补水,对周边农田进行灌溉。改革开放后,随着城市的快速发展,定岗湖周边区域逐渐演变为住宅区与中低端产业区,其蓄水灌溉功能逐渐弱化甚至废除,成为典型的封闭性城市湖塘。目前,定岗湖周边用地性质以工业用地、居住用地为主,伴有少量商业用地、教育用地。

2 多维视角下的问题剖析

2.1 与周边水体缺乏联通

定岗湖位于茅洲河流域西南角,东侧紧邻石岩渠(汇入排涝河),北侧紧邻壘岗排洪渠(汇入上寮河);远期规划中,西侧将通过在建寮丰路雨水箱涵与塘下沟下涌相连(见图1)。作为茅洲河流域为数不多与石岩渠、壘岗排洪渠、塘下沟下涌等多条水系相邻的湖体,定岗湖具有天然的地理位置优势,直接关系着上寮河、排涝河片区流域的生态补水系统,对湖塘周边片区乃至全流域城市生态提升具有至关重要的作用。

然而,定岗湖与周边水体虽相邻但互相孤立,缺乏有效串联。除强降雨期间湖水漫溢进入壘岗排洪渠外,与其他水体并无水力联系,未能充分发挥生态节点价值。

2.2 雨源性特征显著

定岗湖与周边水体相互独立割裂,呈现显著的雨源性特征,即“有雨即有流、无雨即断流”的状态。对定岗湖区域自然汇水情况进行分析(见图2),发现现状湖塘自然汇水主要包括湖塘区域直接降雨来水与西侧山体汇水,其中西侧山体植被稀疏、地表裸露,存在污染物随雨水冲刷入湖的风险。该工程治理前,定岗湖周边已开展雨污管网系统建设,接纳周边生活、生产污水及雨水。除强降雨期间存在雨水溢流入湖情况外,定岗湖周边居民及工业区的雨污水并不流入湖塘。

定岗湖区域自然水量平衡核算结果如表1所示,其中自然水平衡核算中补充水量主要为雨水径流,损失水量主要考虑蒸发量。由表1可知,定岗湖在旱季(1月—3月、10月—12月)蒸发量均大于降雨补充量,湖泊水位在旱季出现不同程度的下降,变幅为14.6(3月)~102.6 mm(12月)。由于该湖塘无调节能力,水量与气象“丰枯同期”,水位受季节

影响变动较大,旱季时湖泊长期停滞,水位随蒸渗损耗不断下降,难以维持正常水位,将伴随出现一系列生态环境与景观问题。

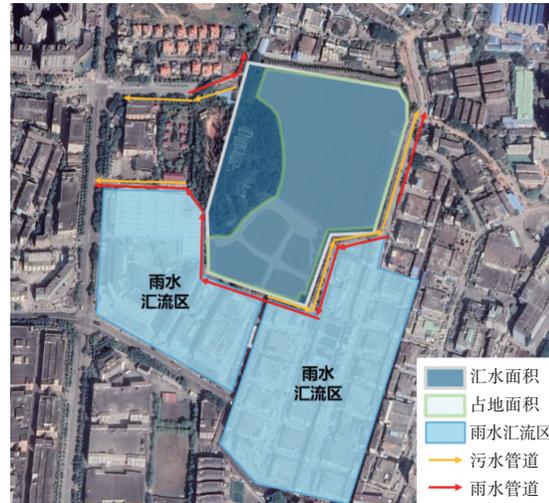


图2 定岗湖区域产汇流分析

Fig.2 Analysis of regional generating and collecting runoff in Dinggang Lake area

表1 定岗湖自然水量平衡核算

Tab.1 Calculation of natural water balance in Dinggang Lake

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
月平均降雨量/mm	26.4	47.9	69.9	154.3	237.1	346.5	319.7	354.4	254	63.3	35.4	26.9	1 935.8
径流系数	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
径流量/mm	2.6	4.8	7	15.4	23.7	34.7	32	35.4	25.4	6.3	3.5	2.7	193.5
汇水面积/hm ²	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
水体面积/hm ²	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
汇入雨水量/m ³	1 642	2 979	4 348	9 597	14 748	21 552	19 885	22 044	15 799	3 937	2 202	1 673	120 406
雨水补充量/mm	27.4	49.7	72.5	160	245.8	359.2	331.4	367.4	263.3	65.6	36.7	27.9	2 006.9
蒸发量/mm	87.1	87.1	87.1	135.1	135.1	135.1	175.9	175.9	175.9	130.5	130.5	130.5	1 585.8
水深变化/mm	59.7	37.4	14.6	24.9	110.7	224.1	155.5	191.5	87.4	64.9	93.8	102.6	421.1
水量缺口/m ³	3 584	2 247	878							3 893	5 628	6 157	22 387
日均需补水量/(m ³ ·d ⁻¹)	116	80	28							126	188	199	123

2.3 水动力条件不足

水动力条件直接影响水中藻类的生长繁殖过程,通过改变水体环境及营养盐状况等间接作用于水体富营养化,是影响水体富营养化状态和进程的主要自然因素^[3-4]。研究表明,水动力条件对底泥及其中污染物释放的影响显著^[5]。

除降雨期间场地雨水散排及周边区域雨水溢流汇入池塘外,定岗湖无其他水源补充,各水塘常年处于静止状态。另外,5座水塘间由砂石路相互分离,除强降雨天气水位上升发生漫溢外,各湖塘间无任何水力联系,几乎常年处于静止状态。

2.4 水体黑臭,生态基底薄弱

2019年3月,对治理前定岗湖开展水质采样监测,透明度为21.9 cm,氧化还原电位为122.8 mV,溶解氧为5.88 mg/L,氨氮为0.05 mg/L, COD为42.14 mg/L,总磷为0.08 mg/L,叶绿素a为6.57 mg/L。依据《城市黑臭水体整治工作指南》(建城[2015]130号)与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2022),定岗湖水质处于轻度黑臭状态,各区域水体明显浑浊,感官透明度偏低;COD超标严重,达到地表水劣V类水平;叶绿素a浓度极高,远高于水华形成时的叶绿素a浓度(0.01 mg/L)^[6],表明富营养化

现象严重。造成定岗湖水质较差的原因主要体现在以下几方面:①各水体长期处于静止状态,水体封闭,相互独立,水动力条件较差,水环境容量低,缺少基本的水体自净能力;②水体周边山体破损、碎石路面裸露,雨水作为唯一补充水源,冲刷面源污染严重;③湖塘长年未清淤,底泥持续释放内源污染。

定岗湖具有较完备的山、水、林、湖等资源要素,但受人为干扰、自然退化等因素影响,区域内栖息地生境破碎,地表植被种类单一,鱼类、鸟类少见,生物多样性缺失严重,生态基底较为薄弱。

3 治理策略与实践

面对城市小型湖塘富营养化演变及生态功能衰亡的必然趋势,针对犹如“景观化水缸”的功能退化型城市湖塘,以“区域协同,水岸赋能”为理念,提出了“区域联动-内外协同-水岸融合-智慧赋能”的四位一体城市湖塘综合治理策略,主要措施见图3。

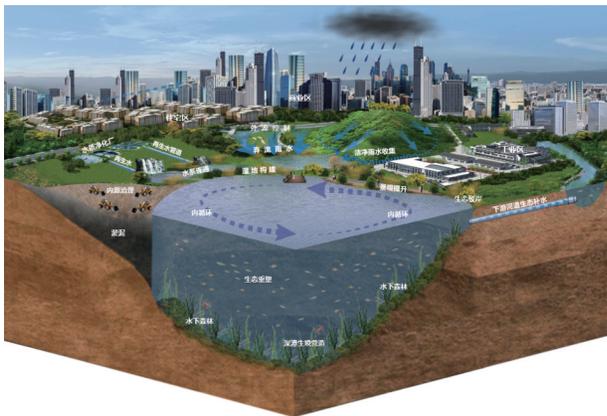


图3 定岗湖水环境综合治理措施

Fig.3 Comprehensive treatment measures for the water environment of Dinggang Lake

3.1 区域联动

定岗湖作为典型的城市封闭性湖塘,在不同尺度上均呈现割裂、孤立的特征。在大区域尺度上,定岗湖“源无活水”、被动溢流,与周围水系未形成循环通畅、调控有序的区域水网;在小区域尺度上,各湖体邻而未通,长期处于静止状态,进而引发一系列生态环境问题。因此,将区域联通,创造活水流畅的基底条件,是城市湖塘水环境治理的基础。

3.1.1 外部联通

针对城市雨源性湖塘自身水资源不足(单进)、排水系统单一(单出)的原生不利条件,充分调动区域水资源,实现区域水资源优化配置,通过水系连

通、季节调度等主要手段,制定了“双进三排”的大区域外部联通方案,如图4所示。进水方面,打造“雨水汇流+再生水补水”双水源格局,持续稳定保障活水注入,提高区域水资源分配灵活度;排水方面,充分挖掘片区排水潜力,将定岗湖与塘下沟下涌、石岩渠、壘岗排洪渠连通,“补排”结合,提高排水效率与水资源利用率,促进流域水生态环境的整体提升。采用晴雨差异化调度方案,持续保障城市湖塘水体循环的同时,串联周边管网、河网,带动区域水系循环。

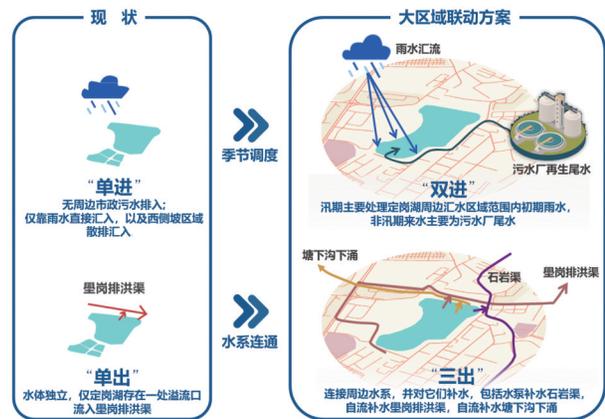


图4 定岗湖大区域外部联通方案

Fig.4 External connection scheme of Dinggang Lake

① 晴天条件下水系统调度工况

再生水凭借水质水量稳定等优势,已大规模应用于河湖等地表水体的景观、生态用水,既有效解决了水资源短缺的难题,又可以缓解水环境污染,同时满足周边居民对高品质生活环境的需求。研究表明,虽然再生水中氮、磷浓度偏高,但是通过水动力循环、生化/物理组合工艺技术等,可有效降低再生水补充地表水导致河湖水质进一步恶化的风险^[7]。相反,通过再生水进行活水循环,可积极促进封闭性城市湖塘的水环境改善。

为解决非降雨期间定岗湖的水源补充问题,新建再生水管道,并同沙井水质净化厂再生水补水系统相连,利用该厂尾水(再生水)补充定岗湖水资源缺口;同时,以定岗湖为节点,对再生水进行缓冲与净化后,作为下游河道生态补水,如图5(a)所示。

晴天确定再生水补水规模时,应考虑定岗湖自身水资源补充及下游河道生态补水两部分。根据表1自然水平衡核算结果,定岗湖日均补水规模为123 m³/d;根据《深圳市河道补水设施规划》《石岩渠

综合整治工程补水工程》等文件,定岗湖下游河道再生水补水需求分别为:石岩渠1 000 m³/d,垦岗排洪渠3 000 m³/d,塘下沟下涌2 000 m³/d。因此,晴天再生水对定岗湖补水规模为6 125 m³/d,水质为准IV类水标准。另外,设置12 000 m³/d最高日补水规模作为应急补水,以应对突发水质恶化事件。在应急补水工况下,定岗湖水体可在10 d内实现1次完全换水。

根据上述生态补水规模,考虑各水体水位差异,通过水泵向石岩渠河道进行补水,通过自流方式向垦岗排洪渠、塘下沟下涌补水。

② 降雨条件下水系统调度工况

降雨条件下,水系统调度主要需考虑降雨冲刷地表产生的面源污染及雨洪水的及时排出,如图5(b)所示。



a. 晴天



b. 雨天

图5 晴天和降雨条件下水系统调度工况

Fig.5 Operating modes of the drainage system under sunny and rainy conditions

进水方面,收集洁净雨水及周边区域初期雨水

作为湖塘水源。除水面接纳的直接降雨部分外,场地内洁净雨水还包括西面山体(区域①)的汇流雨水。区域①汇水面积为0.026 km²,沿着场地等高线布置500 mm×300 mm的海绵植草沟,汇集雨水进入定岗湖生态湿地。经计算,场地内洁净雨水汇集量为676 m³/d。周边区域初期雨水主要来自定岗湖西南侧广场、住宅(区域③)与南侧工业区(区域④),两区域均已完成雨污分流管网建设,汇水面积分别为0.056、0.076 km²,初期雨水(7 mm)汇入量分别为392、530 m³/d。排水方面,雨水通过多级溢流孔排入垦岗排洪渠,进入上寮河;远期将通过新建溢流管进入寮丰路雨水箱涵,最终汇入塘下沟下涌。

3.1.2 内部循环

打破原有5座小湖塘独立割裂分布的格局,重塑互联互通的活水路径,为水动力改善创造必要条件,如图6所示(右下角为治理前格局)。

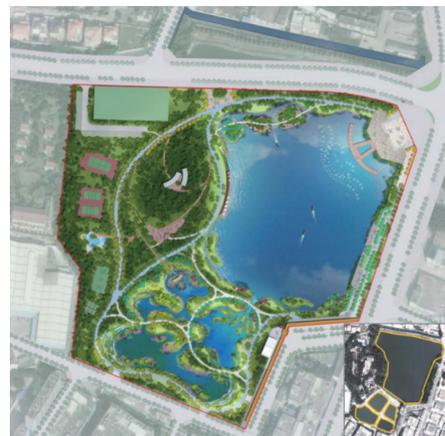


图6 定岗湖互联互通水系重塑方案

Fig.6 Renovation plan for the interconnected water system of Dinggang Lake

依据流线方向,各湖塘高程呈阶梯式设置,雨水及再生水进入定岗湖后可实现自流;同时,通过新建泵阀与连通管,在湿地区域内形成完整回路,构建内循环联动系统,如图7所示。

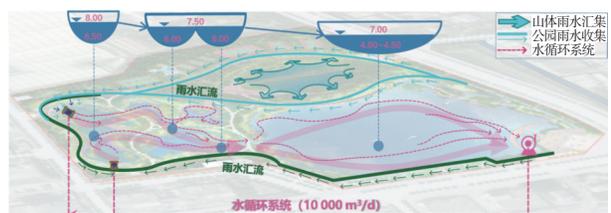


图7 定岗湖内部循环及高程设置

Fig.7 Schematic diagram of the internal circulation and elevation setting of Dinggang Lake

3.1.3 水动力条件改善分析

为进一步探究区域联动对定岗湖水动力条件的改善效果,借助Mike21建立定岗湖二维水动力模型,对湖区流场流态进行模拟,结果如图8所示。湖塘格局重塑后,在无外部补水与内循环条件下,整个湖区流速均低于 0.001 m/s ,接近死水,水动力条件差,如图8(a)所示。当以常规再生水补水规模($6\ 125\text{ m}^3/\text{d}$)对湖塘进行补水后,补水点附近区域流速显著改善(0.01 m/s 以上),补水受益区域仅在最南部,其余大部分湖区水动力条件仍然很差,如图8(b)所示。在应急工况下,再生水补水规模可达到 $12\ 000\text{ m}^3/\text{d}$,南部湖区流速明显增加,大部分区域流速达到 0.01 m/s 以上,而北部湖区由于距补水点较远,流速相对较小,如图8(c)所示。若在正常补水工况下辅以内循环,湖区整体流速提升效果达到最佳,补水点附近区域流速相对较大(0.05 m/s 以上),最南部区域水动力条件相对较好(0.01 m/s 以上),如图8(d)所示。

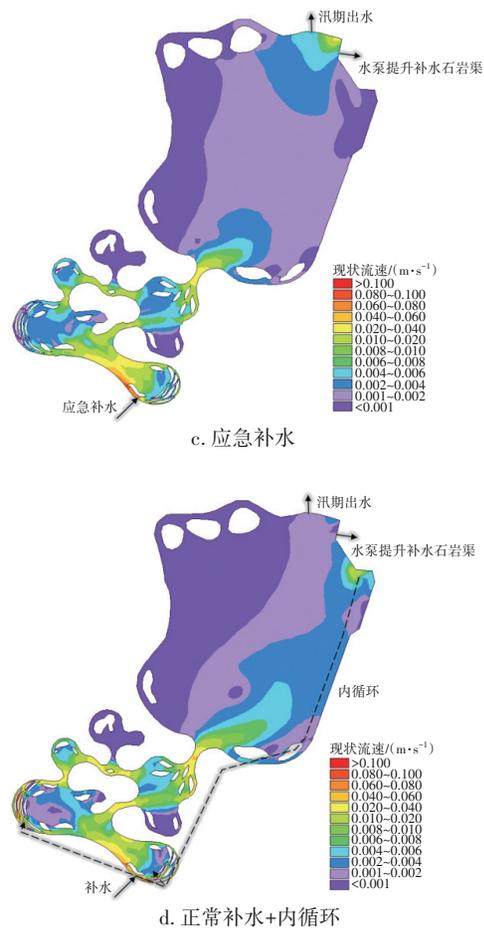
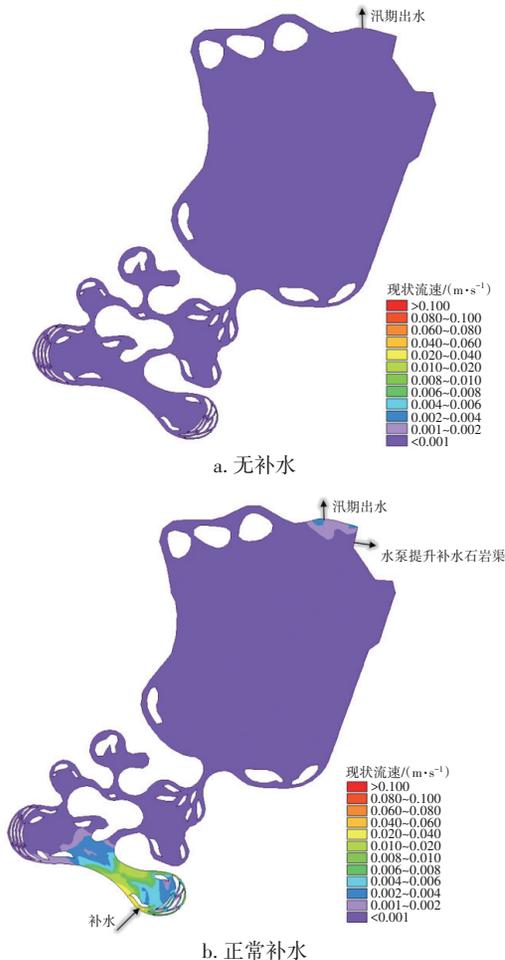


图8 定岗湖水动力改善效果模拟分析

Fig.8 Simulation analysis of the improvement effect of hydrodynamics in Dinggang Lake

三处湖区连接处由于地形变化大、过水断面较窄等因素,局部流速较大,高于 0.02 m/s ;北部湖区水动力条件也得到显著改善。模型模拟结果表明,通过区域联动措施,可以显著改善城市湖塘水动力条件。

受实际工程条件限制,湖塘区域中仍存在水动力条件相对较弱区域(北部区域),后期将通过增设内循环泵站及管线进一步改善该类区域的水动力情况。

3.2 内外协同

城市河湖水环境治理一般要经过水污染治理、自净能力恢复、生态系统修复的渐进式推进过程,其中“内外协同”是进一步改善水环境质量的重要前提。“外”主要针对由人类活动产生的外源污染所开展的一系列控源截污措施,包括截污管道、弃流井等;“内”主要针对水体自身情况开展的一系列治理及修复措施,包括内源治理、生态修复等。

3.2.1 环保清淤、内源治理

采用水陆两栖挖掘机、水力冲挖及吸污车清淤相结合的工艺,对定岗湖全塘进行环保清淤,清淤深度10~20 cm,自岸边向湖塘中心渐深,清淤总量约10 300 m³。清淤完成后,采用生石灰对湖底进行底质改良,局部沉水植物种植区铺设碎石+中粗砂作为种植层。

3.2.2 雨水净化、外源控制

定岗湖区域周边已完成雨污分流管网建设,依据《深圳市污染整治管控技术路线及技术指南》要求,进一步系统梳理现状水系雨水汇水路径及两岸排水口,加强雨水排放口路径监测管理,对发现污染事件及时溯源追踪,确保杜绝外源污染。

汇流进入定岗湖的雨水包括场地内的洁净雨水及周边汇水区的初期雨水,相应外源控制措施如图9所示。针对场地内的洁净雨水,利用海绵植草沟措施,梳理雨水汇集路线,将场地内洁净雨水排入定岗湖生态湿地(沉淀塘)进行净化调蓄。针对周边汇水区的截留初雨(7 mm),设置弃流井+沉砂池汇入梯级叠水湿地进行净化,后期洁净雨水弃流至市政雨水管。

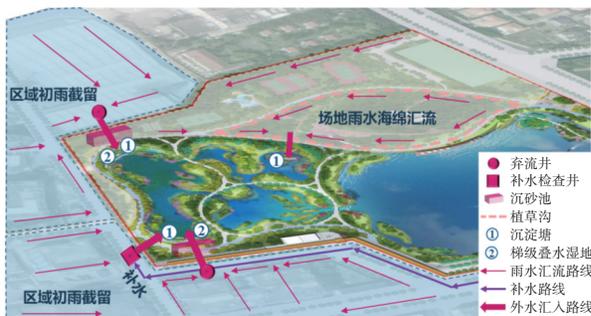


图9 外源污染控制措施布置

Fig.9 Layout diagram of external pollution control measures

3.2.3 湿地系统、过程削减

针对随水流运移的污染负荷,设置生态砾石床-沉淀塘-沉水植物塘-出水景观塘的多级湿地系统,开展过程削减,相关参数情况如表2所示。

降雨情况下,湖塘中的污染负荷主要来自周边汇水区域的截留初雨,其入水水质参考《深圳市污染整治管控技术路线及技术指南》确定(工业区COD取300 mg/L、TP取1.0 mg/L;住宅区COD取200 mg/L、TP取0.5 mg/L)。经目标可达性分析,该湿地系统对COD、TP的总去除率分别为50%~60%、

30%~40%,有效削减了面源污染。出水汇入出水景观塘,进一步稀释净化,保证湖体整体水质。

表2 湿地系统组成

Tab.2 Composition of wetland system

湿地组成	规模	停留时间/d	作用
生态砾石床	有效水深2.5 m,总面积380 m ²	降雨:0.6; 晴天:0.15	沉淀,降低SS
沉淀塘	有效深度1.2 m,总面积2 000 m ²	降雨:1.5; 晴天:0.39	COD去除率为15%~30%,降低SS、TP、NH ₃ -N浓度
沉水植物塘	平均水深1.5 m,总面积4 500 m ² ,其中沉水植物4 000 m ² 、挺水植物500 m ²	降雨:4.2; 晴天:1.1	COD去除率为15%~30%,提升水体的透明度
出水景观塘	深潭区:沉水植物生长区,水生动物栖息活动地;浅滩区:碎石浅滩,种植挺水、沉水植物,鱼类生境,鸟类觅食地		

晴天工况下,湖塘中的污染负荷主要来自再生尾水,入水水质参照地表水IV类水质确定(COD取30 mg/L,NH₃-N取1.5 mg/L,TP取0.3 mg/L)。经目标可达性分析,湿地净化后水体COD预期达到15~25 mg/L,NH₃-N达到1~1.3 mg/L,TP达到0.2~0.3 mg/L,进一步提升了污水处理厂尾水水质,保障了下游河道生态补水质量,实现了“工程水”向“生态水”的转化。

3.2.4 生境营造、多样性恢复

现状驳岸以硬质直线型为主,少量自然入坡驳岸空间凌乱。通过驳岸生态化曲线改造提升,改善滨水生态环境。在水面较开阔和水系坡度较缓的区域打造生态驳岸,生态功能健全稳定,坡度舒缓自然;模糊岸线,通过在岛边缘置石等人工措施,重建和修复水陆生态结构,使岸栖生物丰富,形成自然岸线的景观和生态功能;辅以适量硬质驳岸,承载广场、平台、跌水堰等。营造深潭浅滩、水岸植物带、枯树木桩、丁坝群等多类型生境,塑造接近自然的多样化环境,为生物多样性恢复创造条件。

3.2.5 生态重塑、强化保障

生物操纵是利用食物链摄取原理,通过改变水体生物群落结构,增强种间相互作用,从而减少浮游植物生物量,恢复生态系统活力和水体自净功能,抵御外部污染。借助深潭浅滩生境打造“水下森林”,构建以“沉水植物、微生物、底栖生物、浮游生物和鱼虾类”为食物链结构的水生态平衡系统,

进一步提升水环境自身的循环净化功能。考虑到系统的长期稳定性,应在沉水植物生长稳定后,分批投放水生生物,在系统逐步稳定后投放肉食性鱼类,以生态调控水体中的杂食性鱼类和底栖动物。

3.3 水岸融合

遵循“以人为本、生态优先”的基本原则,打造融合休闲运动、生态科普、娱乐游憩、社交互动功能于一体的水岸空间,是城市湖塘水环境治理的客观需求。依据相关规划文件,定岗湖及周边区域未来规划为公园用地,总面积为13.89 hm²,属于综合公园类别。定岗湖周边为大量住宅区,以水生态恢复为前提,面向全年龄段的目标服务人群,提出分区设计方案,划分生态湿地、生态共享区、公共活动区与生态运动区,形成能够满足周边社区居民多种功能性需求的自然、开放的绿色空间(见图10)。

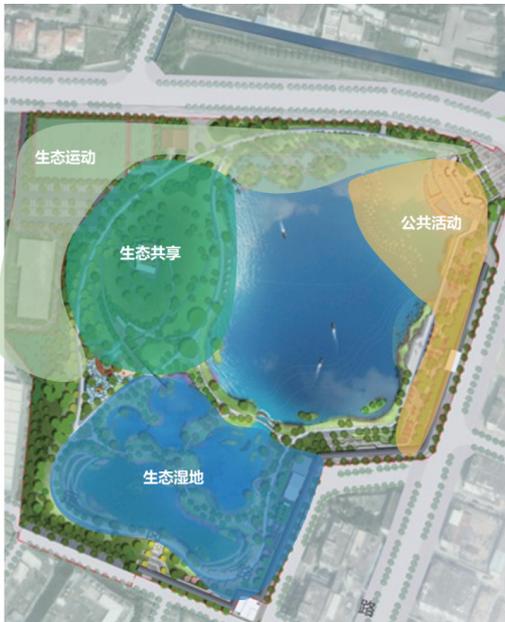


图10 水岸融合分区设计示意

Fig.10 Schematic diagram of zoning design for waterfront integration

3.4 智慧赋能

3.4.1 水生态智能管理

在湿地重要节点控制设施设置水质、水位监测传感器,建立云终端管控系统,结合监测数据对湿地系统内循环过程、补水工况、排水工况进行决策管控,并向社区居民实时公开信息。水生态智能管理方案如图11所示,通过引导,水从A口进入,经由设备智能化监测,数据传输云端,信息透明化,所有居民均可查看;湖水经过湿地净化,到达B处闸口,

进行设备智能化监测,若水质达标,则可进入出水景观塘,否则泵回继续净化;出水景观塘的水到达C口,进行设备智能化监测,若水质达标,则准许排入下游河道,若不达标,则泵回湿地继续净化。

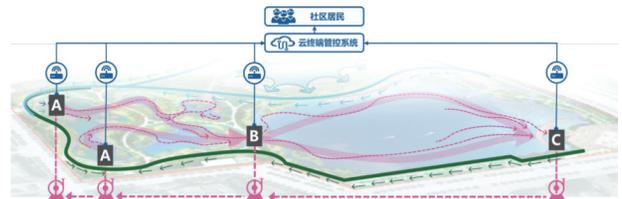


图11 水生态智能化管理方案

Fig.11 Intelligent management plan for water ecology restoration

3.4.2 公共设施智能管理

根据国内外智能建筑发展情况,利用现代的宽带信息网络和无线电网络平台,打造将设备控制、环境控制、监视监测、安全防范、信息交流、娱乐、小区管理和社会服务集于一体的智能社区公园。

4 治理成效

治理后的定岗湖水质得到显著改善,水体透明度由不足20 cm大幅提高至2 m,水下森林茂密繁盛,为鱼类与底栖生物提供了良好的栖息环境,大幅提高了生态修复自净能力,营造了人与自然和谐共生的自然环境。

5 启示与建议

① 具备系统思维,以区域视角统筹城市湖塘治理

城市湖塘治理应具备系统思维,以“控源截污-内源削减-生态修复-活水循环”为技术路线,以科学考虑内外污染源协同治理作为根本措施,以生态修复作为深度净化手段,以活水循环作为长效保障。应从区域视角出发,充分考虑城市水塘与周边水体的水环境、水资源、水生态情况,开展精细化治理,提高治理的系统性、针对性和有效性,恢复自然水系功能,完善流域综合治理体系,提升流域综合治理能力和水平。

② 坚持治水为民,城市湖塘治理需与城市环境综合提升紧密结合

以水兴城,以水美城,是尊重顺应城市发展的自然规律,是历史赋予的发展使命。城市湖塘水环境治理需以城市环境综合提升为抓手,依托公园打造、景观重塑等工程项目,实现“治水为基、治城为

民”的目标。

③ 注重建管并举,加强城市湿地公园管理,实现长治久清

水环境治理工程实施后,仍需健全日常维护体系、水质监测体系、应急响应体系等后期维护管理措施,应与湿地公园管理单位建立长效运维沟通机制,对补水运行、湿地养护、水域保洁、绿化管理等环节进行动态双向反馈,优化运维措施。

参考文献:

- [1] 郑兴灿,何强,陈一,等. 城市河湖水体综合整治与品质提升技术研究及示范应用[J]. 中国给水排水, 2022, 38(10): 1-9.
ZHENG Xingcan, HE Qiang, CHEN Yi, *et al.* Technical research and demonstration on comprehensive rehabilitation and performance improvement of urban river and lake waters [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(10): 1-9 (in Chinese).
- [2] 吕丰锦,贾娟华,李威,等. 深圳市宝安区小湖塘库水体生态治理工程分析[J]. 中国给水排水, 2023, 39(6): 127-133.
LÜ Fengjin, JIA Juanhua, LI Wei, *et al.* Analysis on ecological treatment project of small lakes and ponds in Bao' an District, Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(6): 127-133 (in Chinese).
- [3] 邵宇航,唐颖栋,吕丰锦,等. 以深圳麒麟山天鹅湖为例的南方城市湖塘整治[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 93-99.
SHAO Yuhang, TANG Yingdong, LÜ Fengjin, *et al.* Taking swan lake of Qilin Mountain in Shenzhen as an example for improvement of lakes and ponds in southern cities [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24):

93-99 (in Chinese).

- [4] 梁培瑜,王烜,马芳冰. 水动力条件对水体富营养化的影响[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 455-462.
LIANG Peiyu, WANG Yuan, MA Fangbing. Effect of hydrodynamic conditions on water eutrophication: a review [J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(4): 455-462 (in Chinese).
- [5] 秦伯强,范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式探讨[J]. 中国环境科学, 2002, 22(2): 150-153.
QIN Boqiang, FAN Chengxin. Exploration of conceptual model of nutrient release from inner source in large shallow lake [J]. China Environmental Science, 2002, 22(2): 150-153 (in Chinese).
- [6] 孔繁翔,高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
KONG Fanxiang, GAO Guang. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 589-595 (in Chinese).
- [7] 申颖洁. 再生水补给型河湖水体净化技术分析 with 适宜性评价[J]. 中国给水排水, 2015, 31(2): 6-10.
SHEN Yingjie. Analysis and suitability evaluation of reclaimed water supply-type river and lake water purification technology [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(2): 6-10 (in Chinese).

作者简介:唐颖栋(1975-),男,浙江绍兴人,硕士,正高级工程师,主要从事流域水环境综合治理工作。

E-mail:tang_yd2@hdec.com

收稿日期:2023-06-15

修回日期:2023-09-08

(编辑:衣春敏)

用生命之水

筑美丽中国