

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.018

圩区水环境生态修复案例:苏州市紫薇文化园

施怀荣¹, 甘露², 赵维文¹, 史冬峰²

(1. 北京邦源环保科技股份有限公司, 北京 100124; 2. 江苏环保产业股份有限公司,
江苏 南京 210019)

摘要: 针对城镇小流域水系水质恶化、水生态系统受损的问题,以苏州市渭塘镇紫薇文化园水体生态环境修复为例,采用控源截污、内源治理、水生植物修复、原位水质净化和生境调整等技术措施,对园区内水系(朱家巷河、北雪泾河、庙前河)进行综合治理。工程措施实施后,朱家巷河水质从《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)劣Ⅴ类提升至Ⅲ类水标准;北雪泾河、庙前河水质从地表水劣Ⅴ类提升至Ⅳ类水标准;水体生态系统得到恢复,水生生物多样性增加。

关键词: 城镇小流域; 生态修复; 控源截污; 内源治理; 水生植物修复; 原位净化; 生境调整

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2024)22-0111-08

Case of Water Environment Ecological Restoration in Polder Area: Ziwei Cultural Park in Suzhou

SHI Huai-rong¹, GAN Lu², ZHAO Wei-wen¹, SHI Dong-feng²

(1. Beijing Bangyuan Environment Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100124, China;
2. Jiangsu Environmental Industry Co. Ltd., Nanjing 210019, China)

Abstract: In view of water quality deterioration and aquatic ecosystem damage in small urban watersheds, taking the ecological restoration of water body in Ziwei cultural park, Weitang Town, Suzhou as a case, the technologies and measurements, such as pollution source control and interception, internal pollution source treatment, aquatic plant restoration, in-situ water quality purification and habitat adjustment, are adopted to comprehensively manage the water systems of Zhujiexiang River, Beixuejing River, and Miaoqian River in the park. After the implementation of engineering measures, the water quality of Zhujiexiang River was improved from inferior level V to level III in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The water quality of Beixuejing River and Miaoqian River were also improved from level V to level IV. The aquatic ecosystem has been restored and the diversity of aquatic organisms has increased.

Key words: small urban watershed; ecological restoration; pollution source control and interception; internal pollution source treatment; aquatic plant restoration; in-situ water quality purification; habitat adjustment

紫薇文化园是江苏省苏州市相城区的一个市政公园,园内建有景观园路、休闲场地、花坛、亲水平台

通信作者: 施怀荣 E-mail: 58326193@qq.com

等设施,是一个融自然、人文、绿色、生态于一体的体验式公园,但也面临水动力不足、水污染较严重、水生态系统退化的问题。

为贯彻落实《江苏省“十四五”生态环境保护规划的通知》中“外源减量、内源减负、生态扩容、科学调配、精准防控”的要求,并系统推进新一轮太湖流域治理,促进流域水质持续改善、水生态持续好转的目标,紫薇文化园实施了水环境生态修复工程。采取控源截污、内源治理、水生植物修复、原位水质净化和生境调整等工程措施后,园内朱家巷河水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准,北雪泾河、庙前河水质达到地表水Ⅳ类标准。

1 项目背景与工程目标

1.1 紫薇文化园水系

紫薇文化园水系位于苏州市相城区渭塘镇雪泾圩区,苏台高速南侧,凤阳路北侧,东侧毗邻北雪泾寺,如图1所示。

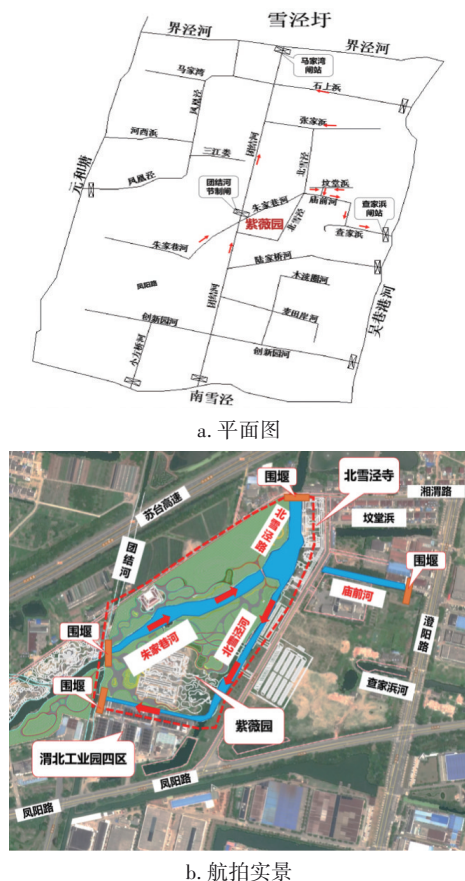


图1 紫薇文化园水系位置

Fig.1 Location of water system in Ziwei cultural park

园内水系包括北雪泾河、朱家巷河(含北雪泾寺庙西侧水体)和庙前河。北雪泾河与朱家巷河、张家浜、庙前河相通,起点为雪泾2组,终点为湘渭路,流经凤凰泾村,下游河道北岸为渭北工业园四区。朱家巷河起点为凤阳路,终点为北雪泾河,为排涝景观河道,两岸分布较多居民区,存在生活污水入河情况。庙前河起点为北雪泾寺庙放生池,终点为澄阳路。朱家巷河与团结河连通位置被封堵,北雪泾河南侧与团结河连通位置被封堵,北雪泾河北侧设置溢流堰,庙前河与查家浜河连通位置设置溢流堰,因此紫薇文化园水系水体基本不流通,水质置换速率低。河道南岸有相城区护理院,北岸分布有生产性企业。团结河设有马家湾闸和团结河节制闸两座闸站,查家浜设有查家浜闸站,一般情况下这些闸站处于关闭状态。降雨后紫薇文化园水系汇集周边地表径流,通过庙前河和北雪泾河的围堰溢流至查家浜、张家浜、团结河等,并通过查家浜闸站、马家湾闸站和团结河节制闸流出圩区。通过北雪泾河的水处理设备、推流曝气设备等活水循环工程使紫薇文化园水系形成内循环,从而提升水体流动性,起到提升水质和增加区域河道水环境容量的作用。

1.2 紫薇文化园水环境污染状况

河道周边点源污染、城市面源污染、水体内源污染及水生态系统不完善等原因,导致园区河道水体自净能力较差,水体生态系统受到破坏^[1],水质不能达标。

该园区水环境面临的主要问题有:

① 外源污染负荷较大,直接影响水质达标。河道周边有大量民居、饭店、宾馆等排污口,垃圾堆放、固废堆积问题严重,其中坟堂浜与庙前河相通,污水直排进入河道,外源污染负荷较大,严重污染水体,导致水质较差。

② 面源污染汇入,间歇造成污染冲击负荷。园区内水系发达,汇水面积包括居民区,地表径流携带大量污染物质进入河道,使得固体垃圾、落叶等漂浮于水面,地表径流最终汇入北雪泾河、朱家巷河和庙前河,在污染水体的同时也影响了河道美观。

③ 内源污染不断释放,增加水体污染负荷。由于多年污染负荷较重,使其底泥中积聚了大量污染物,在底栖生物、人为干扰下再向水体释放,导致

河道污染进一步加重;底泥中产生的恶臭气体(如硫化氢、氨气等)逸出带动底泥上翻,使得水体发黑,加剧水体环境恶化。

④ 水系沟通不畅,水动力不足。园内北雪泾河、朱家巷河、团结河等区域性河道河网交织,但城市建设等原因,造成主城区内水体连通性差,不能发挥水体的排涝及调蓄作用。尤其是旱季,园内水系河道比降小、流速低,水体循环动力差,自净能力降低,污染物在水中积存而无法排出。

⑤ 水生态系统不健康,水体自净能力弱。由于园区水体生态系统不完善,外来污染严重,水体中沉水植被群落脆弱,自净能力不足,抗污染负荷能力弱。水生生物的生存环境恶化,蓝藻^[2]成为季节性优势种群,频繁暴发蓝藻水华^[3]。

⑥ 缺乏科学的养护管理。园区非常关注河道常水位以上区域边坡的养护与管理,但对河道内水域生态的养护管理比较薄弱。河道内普遍存在垃圾堆积问题,未能定期打捞,严重影响河道的感官效果。园内水域生态系统也缺乏定期监测与调控措施,缺少应对突发性污染的应急方案,导致水体经常性出现水生态系统破坏、水质超标等问题。

1.3 工程目标

该项目的工程目标:庙前河、北雪泾河主要水质指标(溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮)达到地表水Ⅳ类标准,水体透明度不低于0.8 m;朱家巷河主要水质指标(溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮)达到地表水Ⅲ类标准,水体透明度不低于2.0 m;工程完工后,水体中沉水植物不少于3种(以四季常青矮型苦草为主),覆盖度达到50%以上,河道表面四季覆绿面积不小于0.5%。

2 紫薇文化园水体生态治理工程

2.1 生态治理工程技术路线

考虑不同技术措施的组合,将人工调控与生态系统相结合,同时完善水体生态链,使水生生物种群结构合理稳定,各种群生物量和生物密度达到相对平衡,营造生物多样性和景观多样性^[4],从而保持水生态系统长期稳定。

① 控源截污。首先对排入水体的污水进行有效截污;其次,根据渭塘镇特色紫薇园建设项目规划,对紫薇园区规划范围内的住户进行拆迁,从源头截除点源污染;最后,通过打造特色紫薇园区

及滨岸生态景观拦截带削减面源污染。

② 内源治理^[5]。对底泥进行原位消化与分解,有效去除大量底泥中的含氮污染物,减少污染物释放进入水体。通过底泥原位修复,满足后续水生态系统构建所需的基底条件。

③ 生态修复^[6]。在内、外污染源得到有效治理及控制的前提下,分阶段逐步构建水生态系统,并通过生物操纵技术进行生态调控,当遇到排洪及污水偷排等突发污染状况时,通过各种生境改善措施迅速调控及恢复水质。同时通过对园区内的景观进行构建,削减面源污染,重建具有生物多样性的生态水系,最终形成生态系统稳定、自净能力强、生态连通性佳、景观多样、层次分明的河道景观体系,满足景观休闲的相关要求。

④ 水质净化。在采取外源治理、内源治理与生态修复措施后,采用污水处理相关措施对河道内受污染河水进行净化,将污水中所含污染物质分离出来,或将其转化为无害和稳定的物质。

⑤ 生境调整。通过对河道形态的恢复与调整、河底地形的改造、硬质护岸的生态化改造等多方面生境改造措施,恢复场地的“可渗透性”,增加河流的水体交换能力和连通性,恢复与重建生境系统,为不同生态习性的水生动植物生长创造良好的生境条件。

根据以上设计思路,确定如图2所示的工程技术路线,完善北雪泾河和朱家巷河水生态系统,打造生态净水通道与紫薇文化园区景观建设带,实现太湖流域的城镇小流域水质改善和提升。

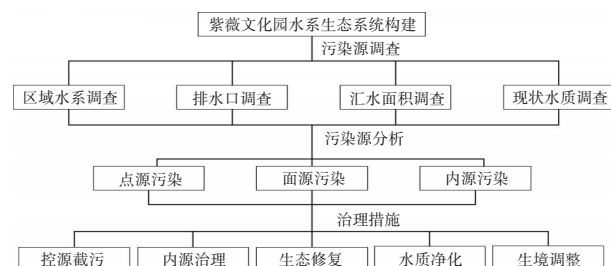


图2 紫薇文化园水系水生态系统构建工程技术路线

Fig.2 Technical route for constructing the water ecosystem in Ziwei cultural park

2.2 紫薇文化园工程设计

① 控源截污工程

为配合渭塘镇特色紫薇文化园建设项目,对紫薇文化园项目规划范围内的住户进行拆迁,同时对

庙前河居民聚集区管网进行排查修复,对坟堂浜排污口门进行封堵,并采用跌水坝的方式对庙前河进行补水,从源头截除点源污染。通过打造特色紫薇园区及滨岸生态景观拦截带,削减面源污染。

② 生境改善工程

驳岸清杂:对城区河道进行抽排水后,对驳岸、河床等区域进行清杂;地形微平整:对城区河道中部分地形进行微平整,配合水生植物的种植;底质改良、水质改善:针对沉水植物种植区域,在沉水植物种植前投加颗粒生物酶,种植完成后的第一次回水一次性投加水质改善剂,以提升水体透明度,提高植物成活率;临时坝:利用河道淤泥及周边现状泥土构筑简易临时坝,用于河道分段、施工降排水,工程结束后拆除,恢复原貌;电气布置:推流曝气机、曝气喷泉^[7]、水面垃圾打捞等用电设备布置,包含电缆敷设。

③ 生物强化处理工程

主要措施包括利用生态浮岛^[8]、浮水植物(铜钱草、风眼莲等)构建河道内生物强化净化区,实现水质净化;同时在河道内构建曝气系统,提升河道溶解氧含量,加强河道内好氧微生物活性,改善水体自净能力。

④ 河道生态景观提升工程

河道生态景观提升工程主要措施是喷泉曝气机的设置,在河道内进行浮水植物圈种,构建生态景观拦截带。通过植物的拦截吸附,减少入河污染物,搭配喷泉曝气机,提升河道景观效果。

⑤ 生态系统构建工程

主要措施包括沉水植物系统、水生动物系统^[9]、微生物系统、浮游动物系统的构建。水体生态系统的恢复需要通过底栖生境的配合来改善,一个完整的水体生态系统应包含种类及数量适当的生产者、消费者和分解者,即水生植物、鱼、虾、贝类等水生动物及微生物。通过水体生态系统的构建,促进水体中氮、磷的有效循环,去除水体中的富营养物质。

⑥ 活水净化

通过活水循环、清水补给增加水体流动性,改善水体生态系统。团结河水经过一体化设备处理后流入朱家巷河,对紫薇文化园水系进行补水,北雪泾河与朱家巷河通过管涵连接实现水系的连通。配合推流曝气机、喷泉曝气机增加水体流动性,带动深水区的水质净化。

2.3 紫薇文化园生态治理措施

由紫薇文化园生态治理工程平面布置(见图3)可以看出,该项目将不同技术措施进行组合,包括清淤疏浚、底质改良、生态修复、曝气增氧、生物操纵、活水循环等,从而完善水体生态系统,达到水体水质的提升与长效保持。

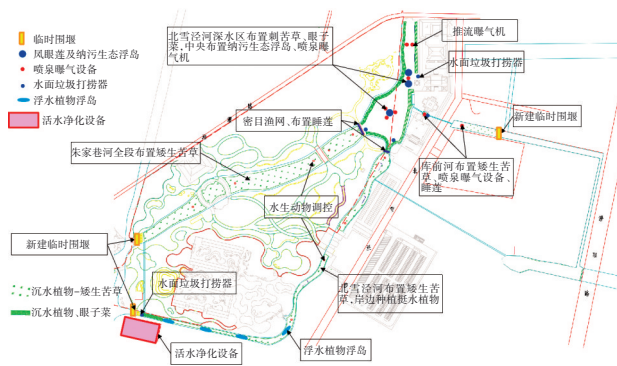


图3 紫薇文化园水系平面布置

Fig.3 Plan layout of water system in Ziwei cultural park

① 清淤疏浚

在紫薇文化园朱家巷河南侧、北雪泾河南两侧、庙前河中段共建设4座临时坝,并在北雪泾河深水区与浅水区、庙前河、朱家巷河交汇处布置密目渔网,防止降水过程中北雪泾河深水区的鱼类转移到其他区域。施工降排水结束后,通过驳岸清杂和地形微调整,将河岸杂草、河底的垃圾等清除,便于沉水植物的种植。

② 底质改良、水质改善

在沉水植物种植前投加颗粒生物酶(0.1~0.2 kg/m²)用于底泥消毒,去除泥土中的病原体,对底质环境进行改良,改善底栖微生物生长环境。种植完成的第一次回水后投加微生物净水剂(15~30 g/m³)以提升水体透明度,提高植物成活率。

③ 生态浮岛

在北雪泾河深水区布置纳污生态浮岛30 m²,纳污生态浮岛植物选取美人蕉、再力花、风车草、鸢尾等,种植密度为9株/m²;风眼莲浮水植物浮岛150 m²(种植密度为20株/m²);北雪泾河浅水区布置铜钱草等浮水植物浮岛80 m²(种植密度为20株/m²)。

④ 生态景观拦截带

在河道内进行浮水植物圈种及滨岸带挺水植物种植,构建生态景观拦截带。北雪泾河栽植1 000 m²挺水植物(千屈菜、菖蒲、水生美人蕉、黄花

鸢尾、再力花等,种植密度为9株/m²),同时栽种浮叶植物90盆(睡莲,种植密度为4株/盆)。

⑤ 沉水植被恢复

在北雪泾河、朱家巷河、庙前河构建水下森林,配置矮生苦草为优势种(株高大于15~30 cm,种植面积为11 500 m²,占比82%),刺苦草作为伴生种(株高约15~30 cm,种植面积为1 500 m²,占比11%),马来眼子菜、轮叶黑藻作为偶见种(马来眼子菜株高约25~40 cm,轮叶黑藻株高约15~30 cm,两种植物的种植面积各500 m²,占比7%),其种植密度分别控制在5株/丛、25丛/m²。

⑥ 曝气增氧

在北雪泾河布置2台推流曝气机(功率2.2 kW、溶氧能力3.1~4.3 kgO₂/h、循环水量580 m³/h)和4台喷泉曝气机(功率2.2 kW、溶氧能力5.3~6.2 kgO₂/h、循环水量350 m³/h),在庙前河布置2台喷泉曝气机。

⑦ 生物操纵

分批投放浮游-底栖滤藻类浮游动物,水生枝角类水蚤和挠足类水蚤两大类浮游动物2 m³,生物量投放密度为40只/m²。分批投放黑鱼、鲢鱼、鲫鱼等水生动物2 500 kg,水体生态修复初期投放滤食性鱼类,对水体中浮游植物密度进行调控;水生植物定植后投放肉食性鱼类,对水体中杂食性种类进行控制,投放密度为0.2~0.5尾/m²。

⑧ 活水循环、清水补给

紫薇文化园水系常态库容约90 000 m³,根据水系蒸发量及园区内灌溉用水量,设计日补充水量约为总水量的5%(约4 500 m³)。选用处理能力为4 500 m³/d的一体化水处理设备进行补水,分别为2 000 m³/d的磁混凝一体化设备和2 500 m³/d的超微气泡水质净化设备。根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)及工程目标要求,确定设计进、出水指标如表1所示。

表1 磁混凝一体化设备和超微气泡水质净化设备设计进、出水指标

Tab.1 Design influent and effluent quality for integrated equipment of magnetic coagulation and ultra-micro bubble water purification equipment

项目	SS/(mg·L ⁻¹)	高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	总磷/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	pH
设计进水	≤80	≤15	≤0.5	≤2	6~9
设计出水	≤10	≤6	≤0.2	≤1	6~9

两种工艺均采用泵站取水,污染河水经浮筒泵输送至磁混凝一体化设备和超微气泡水质净化设备,分别向两个设备中投加PAC和PAM,对于磁混凝一体化设备定期进行磁粉补充(见图4)。经两种设备处理后的清水排放至北雪泾河,再自流至朱家巷河。磁混凝一体化设备产生的磁泥进入磁回收系统进行处理,回收的磁粉再回用于磁混凝设备,剩余污泥进入叠螺污泥脱水机,脱水后外运处置。超微气泡水质净化设备产生的浮渣也进入叠螺污泥脱水机进行脱水,一并外运处置。两种工艺相结合,既能去除水中大量漂浮污染物,又能去除密度较小的藻类,同时有效降解有机质(TOC、氨氮)等(见表2)。

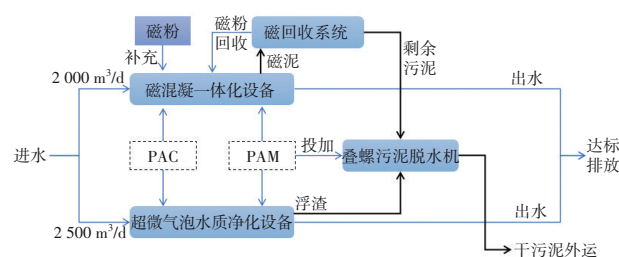


图4 磁混凝一体化设备和超微气泡水质净化器工艺流程

Fig.4 Process flow chart of integrated equipment of magnetic coagulation and ultra-micro bubble water purification equipment

表2 紫薇文化园水质净化设备进、出水水质

Tab.2 Influent and effluent quality of water purification equipment in Ziwei cultural park

项目	SS/(mg·L ⁻¹)	高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	总磷/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	pH
设备进水检测值	75.68	14.28	0.458	1.856	7.5
设备出水检测值	8.52	5.89	0.097	0.259	7.2

⑨ 运营维护

在朱家巷河、北雪泾河、庙前河共设置5台水面垃圾打捞设备(功率500 W),并安排专人专职负责水体养护管理(养护人员不少于2人)。对于突发性水污染、水灾害事故或险情,制定相应的应急预案。

3 生态治理效果评价

3.1 工程实施前水质状况

按照紫薇文化园水体水质治理目标,庙前河、北雪泾河主要水质指标必须满足地表水Ⅳ类标准;朱家巷河主要水质指标必须满足地表水Ⅲ类标准。依据2022年7月—9月治理前水系水质的检测结果

(见表 3),工程建设前期庙前河、北雪泾河、朱家巷河三条河道的溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮(以氮计)四项指标均未达标,全部超过地表水Ⅴ类标准,污染较为严重。

表 3 治理前紫薇文化园主要水系水质

Tab.3 Main water quality status of the Ziwei cultural park before treatment mg·L⁻¹

河道	检测项目	检测结果						
		2022-07-22	2022-07-31	2022-08-10	2022-08-21	2022-08-31	2022-09-10	2022-09-21
北雪泾河	溶解氧	2.3	2.2	2	1.8	1.9	2.6	2.5
	高锰酸盐指数	14.6	16.7	18.2	15.3	14.5	11.3	13.2
	总磷	0.679	0.456	0.877	0.759	0.685	0.561	0.668
	氨氮	1.235	1.254	1.456	1.549	1.328	1.477	1.678
朱家巷河	溶解氧	2.3	2.4	1.6	2.6	2.6	2.3	2.5
	高锰酸盐指数	10.3	11.2	9.5	12.5	12.3	10.8	12.8
	总磷	0.607	0.725	0.645	0.522	0.623	0.891	0.886
	氨氮	1.235	1.569	1.475	1.552	1.236	1.267	1.345
庙前河	溶解氧	1.2	1.4	1.1	0.9	1.1	0.9	1.5
	高锰酸盐指数	13.8	16.7	15.8	15.9	12.6	13.1	13.9
	总磷	0.678	0.999	0.985	0.689	1.256	1.125	0.752
	氨氮	2.596	1.958	1.977	2.387	2.596	2.432	2.536

3.2 工程实施后水系水质

工程实施后,根据 2022 年 12 月—2023 年 8 月水系水质检测结果(见表 4),紫薇文化园水系水体水质虽然随着季节变化存在轻微波动,但是随着生态设施的稳定运行,总体水质指标达到治理目标。其中,溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮(以氮计)四项指标均达到工程设计目标,水系水质状况明显改善。

表 4 紫薇文化园生态治理后主要水系水质检测结果

Tab.4 Results of main water quality of Ziwei cultural park after ecological treatment mg·L⁻¹

河道	检测指标	检测结果								
		2022-12-28	2023-01-26	2023-02-28	2023-03-15	2023-04-21	2023-05-27	2023-06-23	2023-07-15	2023-08-14
北雪泾河	溶解氧	6.1	6.2	5.8	5.9	5.2	4.8	5.3	5.6	5.6
	高锰酸盐指数	5.8	5.4	4.9	6.5	6.9	7.2	5.8	5.6	6.1
	总磷	0.187	0.169	0.158	0.175	0.036	0.035	0.028	0.036	0.031
	氨氮	0.896	0.856	0.785	0.956	0.604	0.365	0.148	0.125	0.108
朱家巷河	溶解氧	6.9	6.2	6.5	5.8	5.6	5.4	5.8	5.8	5.6
	高锰酸盐指数	4.9	5.4	5.5	5.4	5.3	5.2	4.6	4.6	4.2
	总磷	0.161	0.169	0.176	0.189	0.024	0.026	0.023	0.025	0.051
	氨氮	0.718	0.886	0.798	0.856	0.063	0.097	0.102	0.236	0.536
庙前河	溶解氧	6.7	6.7	6.5	5.6	5.8	4.9	5.2	5.9	5.5
	高锰酸盐指数	5.3	5.2	5.6	6.9	6.8	7.2	6.9	6.5	5.8
	总磷	0.178	0.168	0.156	0.198	0.021	0.022	0.028	0.025	0.024
	氨氮	0.731	0.854	0.912	0.654	0.426	0.238	0.254	0.376	0.253

紫薇文化园治理前后主要水系水质变化对比见图 5。

通过控源截污降低外源污染负荷;通过内源治理削减底泥污染释放,改善水环境;通过生态修复净化水质,降低水体污染负荷;通过曝气增氧、活水循环提高水体溶解氧;通过生物调控完善水体生态系统等措施对朱家巷河、北雪泾河、庙前河水生态系统进行构建,不但提升了水体透明度、削减了水体污染负荷,还抑制了水体水华和浮萍的暴发,具有较好的环境效益。通过水体曝气及活水循环工程的实施,提高了水体流动速率,水体溶解氧状况得到改善,氨氮得到有效去除。

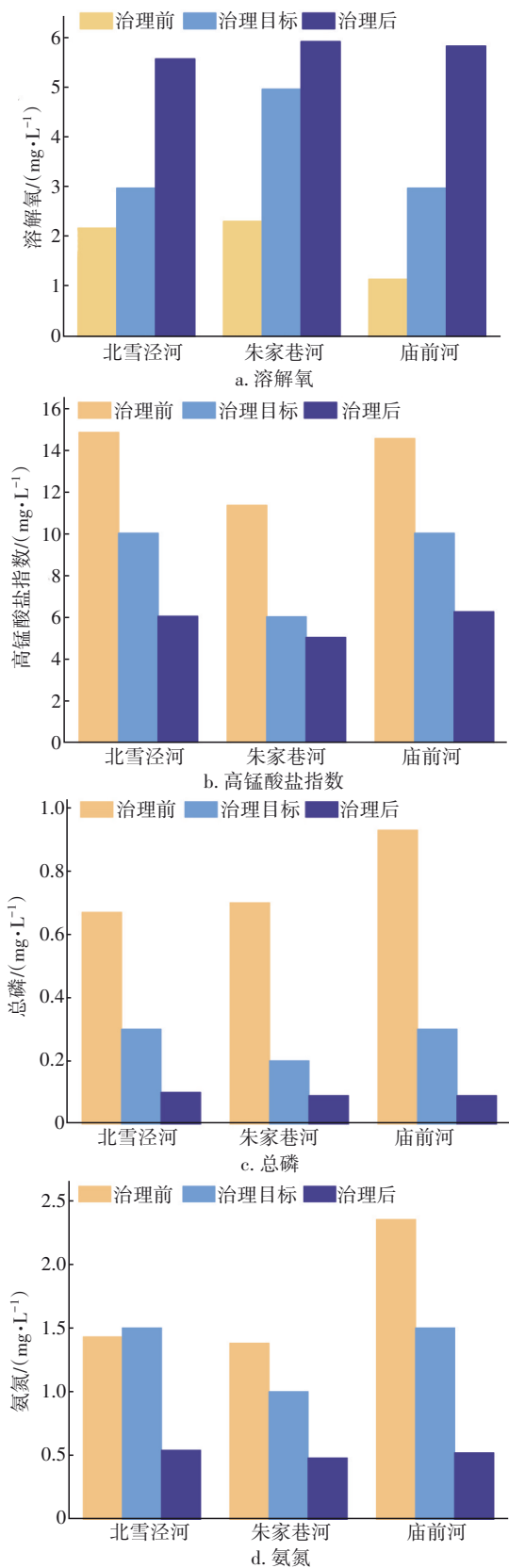


图5 治理前后水质变化对比
Fig.5 Comparison of water quality before and after treatment

工程实施后,紫薇文化园水系水质改善效果显著,总体达到生态修复工程整治目标。其中,庙前河、北雪泾河主要水质指标(溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮)达到地表水Ⅳ类标准,水体透明度不低于0.8 m;朱家巷河主要水质指标(溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、氨氮)达到地表水Ⅲ类标准,水体透明度不低于2.0 m;沉水植物系统生长稳定,覆盖度达到50%以上,河道表面四季覆绿面积不小于0.5%,挺水植物四季有绿;水生植物修剪、收割及时;对枯死水生植物按要求及时清理并实施更新补种,保证了群落结构的稳定;对河道水生动物生长繁殖情况进行定期巡查,避免了鱼类大面积死亡情况的发生,成功实现了恢复健康生态系统功能的目标。该项目同时与紫薇文化园后期的景观园路、休闲场地、花坛、亲水平台等工程结合,打造出了一个高品质景观公园,可为市民提供一个融自然、人文、绿色、生态于一体的体验式景观空间。

4 结论

① 苏州市渭塘镇紫薇文化园水系自净能力受限,生态系统脆弱。在实际治理过程中因地制宜,采用系列生态治理措施,发挥不同技术间的协同互补作用,实现水体生态系统的恢复构建,促进水体水质的长效保持。园内朱家巷河治理后水质达到地表水Ⅲ类标准,北雪泾河、庙前河治理后水质达到地表水Ⅳ类标准,水体感官效果显著提升,实现了水质改善、生态恢复、景观美化的可持续目标。

② 紫薇文化园水系水生态系统构建工程通过技术措施实现了水生态持续好转的目标,能够促进流域水质的持续改善,为城镇小流域水系水质提升与水生态系统改善提供了实际应用支撑。

参考文献:

- [1] 王超,陈卫. 城市河湖水生态与水环境[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
WANG Chao, CHEN Wei. Urban River and Lake Water Ecology and Water Environment [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010(in Chinese).
- [2] 邵俊元,陈芃. 藻类爆发影响因子及防控措施分析[J]. 资源节约与环保,2023(1):43-46.
SHAO Junyuan, CHEN Peng. Analysis of algal outbreak influencing factors and preventive and control

- measures [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2023 (1): 43-46 (in Chinese).
- [3] 杨凤娟,蒋任飞,饶伟民,等. 沉水植物在富营养化浅水湖泊修复中的生态机理[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(26):58-61.
- YANG Fengjuan, JIANG Renfei, RAO Weimin, *et al.* Ecological mechanisms of submerged macrophytes in the restoration of eutrophic shallow lakes [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(26): 58-61 (in Chinese).
- [4] 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).
- [5] 薄涛,季民. 内源污染控制技术研究进展[J]. 生态环境学报, 2017, 26(3):514-521.
- BO Tao, JI Min. The advance of control techniques for internal pollution [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(3):514-521 (in Chinese).
- [6] 张瑞斌,王乐阳,潘卓兮,等. 昆山市牛湾泾黑臭河道治理与生态修复[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 133-138.
- ZHANG Ruibin, WANG Leyang, PAN Zhuoxi, *et al.* Treatment and ecological restoration of black and odorous water of Niuwanjing River in Kunshan [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 133-138 (in Chinese).
- [7] 陈平,倪龙琦. 曝气技术在黑臭河道上的研究进展[J]. 化学工程师, 2020(5):63-65, 37.
- CHEN Ping, NI Longqi. Research progress of aeration technology in black-odor river [J]. Chemical Engineer, 2020 (5):63-65, 37 (in Chinese).
- [8] 梁诗雅. 城市河道生态修复设计研究[J]. 资源节约与环保, 2019(6):13.
- LIANG Shiya. Research on ecological restoration design of urban rivers [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(6):13 (in Chinese).
- [9] 吴伟龙,蔡然,王征成,等. 黑臭河道近自然河流的生态恢复与构建[J]. 中国给水排水, 2022, 38(14): 126-132.
- WU Weilong, CAI Ran, WANG Zhengshu, *et al.* Ecological restoration and construction of a black and odorous river by close-to-nature river method [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38 (14): 126-132 (in Chinese).
-
- 作者简介:**施怀荣(1983-),男,北京人,本科,工程师,主要从事地表水环境生态修复的治理研究、设计与施工工作。
- E-mail:**58326193@qq.com
- 收稿日期:**2023-10-23
- 修回日期:**2023-12-18

(编辑:衣春敏)

**坚持以高水平保护支撑高质量发展,
筑牢国家生态安全屏障**