

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.019

池州市城区黑臭水体治理实例及成效分析

贾莉^{1,2,3}, 郑刘根², 俞文哲¹

(1. 池州学院 材料与环境工程学院, 安徽 池州 247000; 2. 安徽大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230039; 3. 池州学院 环境治理与生态修复研究中心, 安徽 池州 247000)

摘要: 分析了红河黑臭水体治理前的环境状况和黑臭的原因, 针对治理目标, 采取控源截污、疏浚清淤、疏通补水等措施和系列生态修复工程进行黑臭水体治理, 提升河道的水质、水动力和生态恢复能力。经过治理与5年多的运营维护, 河道景观和水质感官效果提升明显, 水质优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的V类标准, 该区域成为主城区重要的景观河和市民休闲娱乐场所。

关键词: 黑臭水体; 水动力; 生态修复; 长效管理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0119-07

Case Study and Effect Analysis of Black and Odorous Water Body Treatment in Chizhou

JIA Li^{1,2,3}, ZHENG Liu-gen², YU Wen-zhe¹

(1. School of Materials and Environmental Engineering, Chizhou University, Chizhou 247000, China; 2. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230039, China; 3. Environmental Governance and Ecological Restoration Research Center, Chizhou University, Chizhou 247000, China)

Abstract: The paper analyzes the environmental conditions and causes of black and odorous water body in Red River before treatment. According to the treatment objectives, measures such as source control and pollution interception, dredging and silting, connecting and water replenishment and a series of ecological projects were adopted to treat black and odorous water body, in order to improve the water quality, hydrodynamic power and ecological resilience of the river. After treatment and over 5 years of operation and maintenance, the sensory effects of the river landscape and water quality has been significantly improved, the water quality is better than the category V criteria of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), and the area has become an important landscape river and a place for civic leisure and entertainment in downtown.

Key words: black and odorous water body; hydrodynamic power; ecological restoration; long-term management

基金项目: 安徽省高校优秀拔尖人才培养资助项目(gxgnfx2022082); 安徽省高等学校科学研究项目(2024AH051379)
通信作者: 郑刘根 E-mail: lgzheng@ustc.edu.cn

黑臭水体不仅损害了城市人居环境,也严重影响城市形象,是市民反映强烈的环境问题^[1-2]。对黑臭水体治理的研究更多侧重技术方面,包括工程技术^[3]、水质净化技术^[4-5]和生态修复技术^[6-7]等,一般采取控源、清淤、自净提升和景观提升等工程措施,结合生态修复理念,形成黑臭水体治理的典型思路^[8]。目前,各城市黑臭水体已基本消除,进入长效管护阶段,城市黑臭水体由“长治久清”到“长制久清”,需要更多有效的案例来验证治理技术和后续管理维护的成效。

2015年池州市获批国家首批海绵城市建设试点城市,消除城区黑臭水体是海绵城市建设必达目标之一。2018年底在安徽省率先完成10处黑臭水体整治工作,其黑臭水体治理与海绵城市建设的片区改造、管网建设、尾水湿地处理和流域水环境保护相结合,贯彻“源头削减、过程管控、末端整治、再生利用”的理念,构建“水安全保障、水生态恢复、水环境提升、水资源回用”治理体系,治理后实施常态化监管和长效维护机制,取得了较为显著的成果,成为全国海绵城市建设和黑臭水体整治工作的典范。主城区的红河是池州黑臭水体治理的典型代表之一,采取“截污、清淤、岸线整治、水生态构建”的技术路线,使臭水沟变成景观河,经过5年多的长效管护,水质和景观提升效果显著,目前成为池州城区的景观河和市民休闲娱乐的新地标。

以池州红河黑臭水体为典型案例,分析河道黑臭水体治理技术和现状,旨在探究黑臭水体治理技术的可行性和效果,城市黑臭水体在整治后的管护及成效,以期为后续县城和农村黑臭水体治理,以及黑臭水体管护提供参考。

1 红河概况

1.1 红河区位及环境条件

红河是池州主城区一条重要的排涝干沟,位于主城区东北部,以九华山大道为界分为东西两段,西接清溪河,东连平天湖排涝沟,南侧纳中心沟来水,全长1.3 km,如图1所示。整治前,多数岸线为自然土质岸线,北侧为华府骏苑和新城明珠小区,南侧为河滨花园小区和水塘,河滨花园区域沿岸原为池州啤酒厂的厂区,排放大量工业废水和建筑垃圾,加上厂区搬迁及沿岸房产开发,对水环境造成严重破坏和污染。根据2016年10月监测结果,河

水溶解氧、氨氮、透明度、氧化还原电位均值分别为4.2 mg/L、3.8 mg/L、24.3 cm和25.5 mV,属于轻度黑臭。但中心沟两侧COD和总氮偏高,COD超过40 mg/L(分别为55.8、44.7 mg/L),总氮超过20 mg/L(分别为28.6、22.2 mg/L),说明生活污水、农业种植和养殖污染对红河水质影响较大。城市发展过程中先后在红河上修建了九华山大道、平天湖大道等道路,由于施工机械和土体挤压等原因导致部分涵管损坏或错位,致使水流不畅,水体表面绿藻和漂浮物积累,部分区域变黑变臭,水生生物数量减少,水环境生态系统变差,河道景观和生态功能基本丧失,符合黑臭水体的典型特点^[9]。

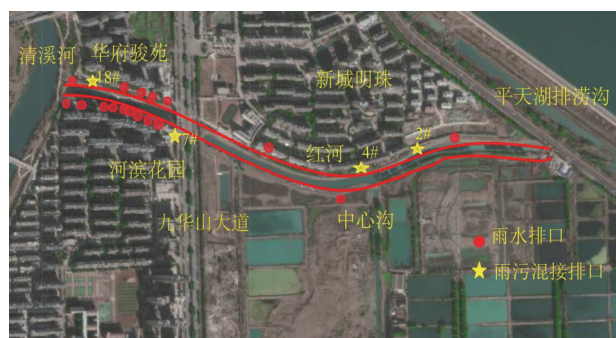


图1 红河区位和排口

Fig.1 Location and discharge outlet of Red River

1.2 红河黑臭原因及污染负荷分析

① 点源污染

红河的点源污染为雨水管网初期雨水污染,部分雨水排口有污水混接进入,导致排口污染增加。整治前有21处排口排入红河,其中2#、4#、7#、18#这4处为污水混接排口。

② 面源污染

雨水径流污染是红河面源污染的主要来源,临河3个小区雨水径流汇入河道,对河流造成污染。此外,新城明珠对面改造前沿岸为散住居民和水塘,污(排)水管网、水塘区域还存在多处零散养殖及非法农业种植污染,对红河水质造成影响。

③ 内源污染

底泥一部分由原池州啤酒厂(现河滨花园小区)排放的大量废水和垃圾沉积形成,另一部分由悬浮和漂浮物、水生植物和藻类、落叶和垃圾的腐败物沉积河道形成。在黑臭水体整治前,曾对该河沟进行整治,但施工管理不到位,仍有不少底泥存在,污染河道水质。

④ 水动力差和水生态系统恶化

整治前虽与清溪河、平天湖排涝沟连通,但连通涵管断面严重偏小,修建道路又导致部分涵管损坏,加上平天湖排涝沟流动性差,导致降水补给和平天湖排涝沟补给均具有不确定性,难以维持稳定的水动力,水体自净能力较差。另外,水生植物少,鱼虾数量也极少,生物结构单一,生态功能基本丧失,进一步导致水质和生态功能恶化。

2 红河黑臭水体治理技术

2.1 控源截污工程

图1中的2#、4#排口为新城明珠小区的雨水排口,混接了阳台洗衣废水,由于新城明珠小区不属于海绵城市工程范围,考虑源头改造成本高,采用改造管径的方式,即对上游雨水井进行改造,在改造井内设置浮力限流阀,设置DN100污水截流管进行污水截流,自改造井就近接入污水管网。7#排口位于九华山大道西南侧垃圾处理站旁,排口有大量垃圾处理站废水排出,考虑该排口管径较小、污水浓度高、污染严重,对该排口进行封堵,新增DN100污水管接入九华山大道已建污水管网。18#排口为华府骏苑小区雨水排口,该小区在海绵城市工程范围,结合海绵城市建设进行雨污管网改造,从源头解决该排口污水混接流出问题。

2.2 疏浚清淤工程

为避免底泥造成二次污染,需对内源底泥进行清理。针对整个红河黑臭水体进行底泥清淤,共设置77个点位测定淤泥厚度,从水利疏浚的角度,依据河底和两岸设计高程对比清淤前两岸和河底高程,以及生态驳岸放坡坡度估算清淤厚度,测得最小厚度为0.17 m,最大厚度为0.78 m,平均厚度约0.43 m,估算清淤面积29 796.8 m²。因淤泥平均厚度较浅,采用人工清淤,采取分段筑坝,将坝内积水导流、排干后,由小型机械和人工进行清淤,机械设备及技术工艺要求不高,成本较低。

2.3 疏通补水工程

按照汇景片区海绵城市建设要求,清溪污水处理厂尾水通过尾水湿地处理后补给中心沟、平天湖排涝沟和红河,最终补给清溪河水系。尾水湿地面积约26 hm²,按照清溪污水处理厂处理规模8×10⁴ m³/d进行设计,污水处理厂尾水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的

一级A标准,经湿地处理后要求达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水标准。目前清溪污水处理厂水质除氨氮外,其他指标优于地表Ⅳ类水,湿地处理压力不大,能达到生态补水要求。

水系贯通不设泵站,为提升液位高度,增强水动力,清溪污水处理厂尾水经泵井送入尾水生态处理工程,处理后出水重力流进入中心沟,在秋浦东路北侧规划一条河道,中心沟流经规划河道补给平天湖排涝沟,平天湖排涝沟水流向红河,红河流向清溪河(见图2)。处理后的尾水作为生态补水,增强了中心沟、平天湖排涝沟和红河的水动力。为保证红河的水动力,在平天湖大道下埋设3根DN2 000管涵与平天湖排涝沟相通。从平天湖排涝沟坡向红河,并设置闸门B灵活调度,4个闸门不同时期开启状态不同,既保证流量满足水动力要求,又满足调蓄要求,具体见表1。

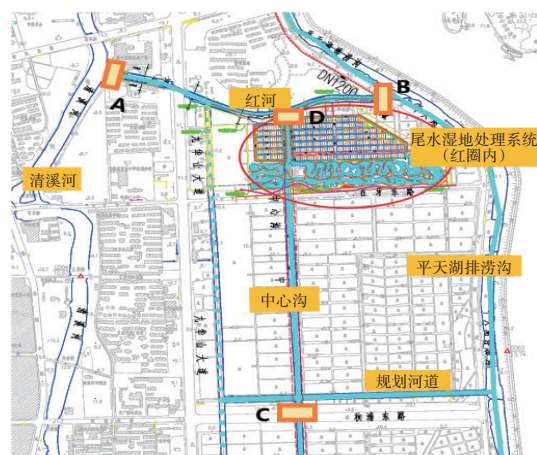


图2 生态补水、水系贯通示意

Fig.2 Schematic diagram of ecological water replenishment and water system penetration

表1 闸门不同工况补给状态

Tab.1 Replenishment status of gate under different working conditions

工况	闸门状态	尾水生态湿地处理系统
枯水期(11月—3月)	B闸门开	进水
丰水期(4月—10月)	A、B闸门开	进水
洪水期	A、B、C、D闸门开	不进水

2.4 生态修复工程

2.4.1 生态驳岸

生态驳岸可以减少外界对河道环境的冲击,具有一定的控制面源污染功能^[10],还可以体现景观资

源和美学价值,驳岸设计对生态修复和景观构建具有重要意义^[7]。红河生态驳岸(见图3)采取生态护坡的方式,依托河道现状,本着“亲水、生态、自然”的设计理念,为满足稳定的需求,现状河口宽度 $<36\text{ m}$ 的岸段,不直接放坡,在坡脚设置生态格宾石笼挡墙后再放坡至堤顶高程;对于河口宽度 $>36\text{ m}$ 的岸段,依托现状,采用自然放坡的河道断面型式。护坡采用三维水土保护毯,既保证护坡坡面不受水流的冲刷,又可在护坡上进行绿化,形成植被缓冲带,也可提升两岸的景观效果。河底坡脚处采用雷诺护垫,保护坡脚不受冲刷,同时考虑在现状驳岸边侧布置一条防汛通道,在满足河道功能的同时,增加市民的休闲娱乐场所。

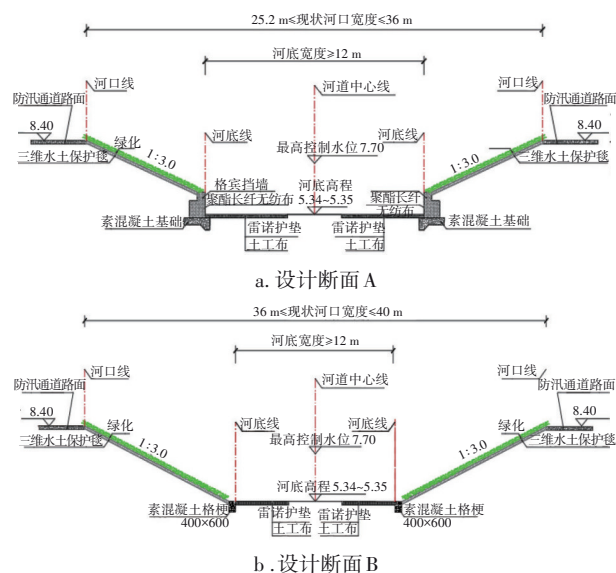


图3 红河生态驳岸设计断面示意

Fig.3 Design profile of Red River ecological reventment

2.4.2 生态湿地

新城明珠小区雨水引起的面源污染一部分通过自净能力去除,一部分超标雨水进入红河后,通过中心沟靠近红河一侧水泵井提升进入尾水湿地系统处理,消纳新城明珠的雨水污染对红河的影响。对九华山道路的雨水,在大道东侧、红河西侧设置人工生态湿塘,调蓄净化来自大道北侧的初期雨水。生态湿塘平面结构见图4,池底为混凝土结构,便于清淤,配水区消化、降低进入塘内水的流速,前置塘净化去除悬浮物,净化区的填料和水生植物去除水中有机物和营养物,主塘储存净化的雨水,定期排放至自然水体。

生态湿地包括人工湿地和生态湿塘,主要用于

处理初期雨水,是目前较成熟的控制雨水径流污染措施^[11]。红河的初期雨水主要来源于临河3个小区和九华山大道,根据实际情况,对雨水排口采用不同的处理方式。其中华府骏苑和河滨花园道路硬质铺装面积较大,地表径流较难控制,径流的末端是红河,在河南侧靠近最大的两个排口预留空间建设水平潜流人工湿地(见图5),处理小区雨水。雨水管通过湿地处理后溢流进入红河,体现生态性。

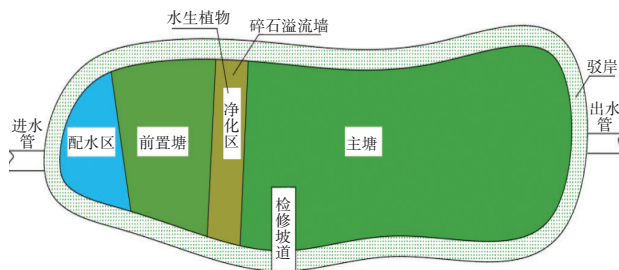


图4 生态湿塘平面

Fig.4 Plan of ecological wet pond

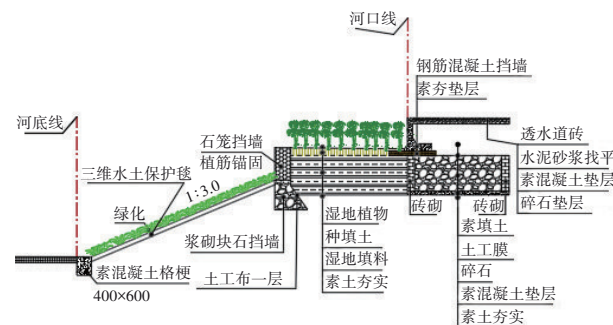


图5 人工湿地断面

Fig.5 Section view of constructed wetland

2.4.3 生态景观

城区河道的整治需考虑人与自然的联结,利用两侧的景观营造自然绿化空间,为市民提供和谐的生态人居环境,激发河道的活力^[12]。红河地处池州主城区,对生态景观建设有更高的要求,需增强绿化内涵,形成具有特色的城市绿色廊道,并考虑亲水性和休闲功能。景观设计以河为轴,整合沿线空间,全线贯通滨河步道,结合路网、居住区等区位特征,增建木栈道,强化亲水性和休闲功能,提升河道功能;考虑植物的生态功能和水质净化作用,同时满足景观要求,种植不同季节开花、不同色彩的挺水植物,形成特色鲜明的滨水绿化景观带。九华山大道西端两侧现状均为居住小区,设计采用开花型挺水植物为主;九华山大道东端北侧为居住小区,以浮叶植物和挺水植物搭配为主;南侧原有部分高

大乔木位于河道两侧,以水杉等高大水生植物为主题,打造密林生态景观。为进一步强化教育功能,还在植物旁设置宣传牌。

3 黑臭水体整治效果和运行管理

3.1 水质可达性分析

通过综合整治,排入红河的混接污水通过小区雨污混接改造或截流进入市政管网,基本消除点源污染;周边农业菜地、养殖全部拆除,建成人工湿地和公园,消除该部分面源污染。整治后的红河污染主要来源于雨水径流污染。

参考《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)、《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2000)及池州市城市排水工程专业规划,池州市雨水设计流量计算公式,以及2013年安徽华云气象灾害风险评估中心和安徽省气候可行性论证中心联合编制的池州市暴雨强度公式,计算红河汇水范围内外界排向红河的降雨量约为 $40\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 。参考相关文献^[13],取雨水的平均COD和TN浓度分别为125、4 mg/L,

则排向红河的雨水造成的COD和TN污染负荷分别约50、1.6 t/a。通过海绵城市改造、人工湿地和生态湿塘,参照海绵城市雨水径流污染削减率取50%,雨水引起的面源污染进入红河的COD和TN径流污染负荷分别约25、0.8 t/a,红河理论水量为 $5.8\times10^4\text{ m}^3$,为满足水动力要求设计的尾水湿地补水量约8 200 m³/d,可有效消纳雨水污染。若红河的水质不能得到保证,则将红河水引入尾水生态处理系统进行处理,再排入中心沟,促使平天湖排涝沟的水进入红河,通过红河的生态修复与尾水生态处理工程可消纳周边雨水造成的径流污染,保证红河水质达标。

3.2 整治效果

红河经过整治和维护,其河道生态环境和群落逐步形成,既提升了河道的自净能力,改善了水质,又维护了景观效果。整治前(2016年)和整治后(2017年、2021年和2023年)分别对红河沿岸8个监测点进行取样分析。

水质监测结果见表2。

表2 红河各监测点水质变化

Tab.2 Water quality change at each monitoring point of the Red River

点位	时间	透明度/ cm	溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	氧化还原 电位/mV	点位	时间	透明度/ cm	溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	氧化还原 电位/mV
1#	2016年	25.2	3.8	4.7	35	5#	2016年	16.3	4.6	4.1	20
	2017年	42.0	8.2	4.5	173		2017年	33.0	9.8	1.8	173
	2021年	48.0	7.3	3.2	148		2021年	48.0	7.6	1.9	132
	2023年	55.2	8.7	0.4	154		2023年	56.8	9.6	0.4	189
2#	2016年	25.6	4.6	5.7	25	6#	2016年	26.4	4.3	2.5	20
	2017年	44.0	7.9	4.3	166		2017年	30.0	9.6	2.1	195
	2021年	52.0	8.1	3.7	170		2021年	46.0	7.1	1.5	117
	2023年	58.6	8.8	0.3	185		2023年	67.8	9.4	0.3	193
3#	2016年	18.1	3.6	3.8	27	7#	2016年	27.3	4.7	3.7	27
	2017年	46.0	7.8	3.6	163		2017年	35.0	9.2	1.7	180
	2021年	48.0	8.5	2.6	150		2021年	54.0	8.5	1.9	138
	2023年	56.2	8.9	0.3	155		2023年	63.8	10.0	0.3	193
4#	2016年	25.3	4.3	2.3	20	8#	2016年	30.0	3.8	3.4	30
	2017年	36.0	9.2	1.9	230		2017年	39.0	8.7	1.8	176
	2021年	56.0	8.7	2.0	178		2021年	55.0	8.1	1.3	150
	2023年	64.4	10.1	0.3	218		2023年	76.2	9.3	0.3	196

注: 整治前2016年采样时间为10月,整治后采样时间为2017年12月;2021年和2023年采样时间为4月。

由2016年监测结果判定红河在整治前属于轻度黑臭。经过治理后,2017年底验收时各项指标明显优于治理前,从2018年初至今已有5年多,水质维持效果较好,2021年除个别点位溶解氧和氧化还原电位相对2017年底轻微降低外,其他点位和指标

均优于治理后,2023年明显远优于2018年治理后,其中溶解氧和氨氮优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类标准,水体自净能力恢复明显,河道运行维护效果显著,但河道水质在7月、8月有反复现象,主要原因一是气温的影响,二是尾

水湿地在洪水期用于调蓄不进水,影响了水质。

3.3 维护和管理

池州市黑臭水体整治和维护纳入海绵城市建设管理,2018年制定出台的《池州市海绵城市建设和管理条例》,不仅填补了国内海绵城市建设和管理条例领域地方性法规的空白,也为池州市黑臭水体运营维护提供了立法保障。黑臭水体的第三方运营维护主要由池州市住建委、池州市水环境公司和有关项目公司负责。在10年运营期内池州市政府委托第三方机构对第三方的履约情况进行全面的考核评估,按照设施日常维护(60%)+末端水质断面监测(40%)进行逐项指标考核,水质考核参照地表水Ⅳ类以上标准,日常考核每月、每季度进行,并与中期评估相结合(第一次中期评估在运行开始后2年内完成,然后每4年进行一次,共3次中期评估)。

红河的运行管理主要包括:及时种植和收割人工湿地和河道两岸的植物,对生长的杂草和落入河中的枯枝落叶及时清除;河面漂浮物清理、水生植物维护及两岸生态护坡植物的维护费用约23万元/a,由于人工湿地和红河还有末端调蓄功能,红河各闸门处每年需要清淤,尤其是红河及D号闸靠近红河段需要定时进行底泥清淤,尾水湿地进水总渠道及表流湿地部分也要根据具体情况进行清淤,清淤费用约15万元/a,这都会增加运行费用。

4 工程和管理创新

① 系统理念。黑臭水体目标达成包括水质和景观建设两个方面,围绕控源截污、清淤疏浚、水系连通、水生态修复等综合性、系统性治理措施,兼顾小区改造、雨水处理、生态修复和景观提升,采用系列工程和生态修复措施进行整治,提升了治理技术的应用范围和适宜性。

② 整体理念。红河黑臭水体治理和清溪污水处理尾水湿地处理、中心沟、平天湖排涝沟等工程结合在一起,最终改善了清溪河流域水质。在水系贯通不设泵站的情况下,提升各河道的水动力,保障了河流的自净能力,稳定了水体生态系统。

③ 亲民理念。红河地处主城区,与群众日常休闲生活联系紧密,在整治黑臭水体的同时,打造了城市绿色廊道。建设亲水栈道、景观桥、休闲步道、绿植宣传牌等设施,一方面为市民增加休憩娱乐的空间,另一方面也体现了亲水性、教育性和生

态性的理念,让市民真正感受到了水质和景观的改善,提升了休闲体验。

④ 长效理念

在《池州市海绵城市建设和管理条例》立法保障的前提下,逐渐转变城市的发展理念,并融入黑臭水体管理的各个方面。10年运营维护期内定期考核和评估,将考核结果与服务费用支付挂钩,建立监管长效机制,严防“返黑返臭”。运营维护的长效管理可以很好地保持、优化水质和景观效果,更能有效带动城区的休闲活力。

5 结论

红河属于小微黑臭水体,水环境破坏严重,景观和生态功能基本丧失。黑臭原因主要是点源、面源和内源污染问题,水体缺乏自净能力。采取控源截污、疏浚清淤和疏通补水工程措施改善河道水质和提升水动力;通过系列生态工程重点解决面源污染问题,提高河道景观和生态修复能力;绿植、亲水栈道和步道等亲水和休闲功能更好体现了人与自然的联结。经过5年多的长效运营维护,该区域成为市民休闲娱乐的新地标,河道水质明显改善,优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水标准,河道景观和水质感官效果显著提升。

参考文献:

- [1] 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 of water ecological treatment project in small lakes and ponds in Bao'an District, Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(6): 127-133 (in Chinese).
- [2] 冯强,易境,刘书敏,等. 城市黑臭水体污染现状、治理技术与对策[J]. 环境工程, 2020, 38(8): 82-88.
FENG Qiang, YI Jing, LIU Shumin, et al. The pollution situation, treatment techniques and countermeasures of urban black and odors water in China [J]. Environmental Engineering, 2019, 38(8): 82-88 (in Chinese).
- [3] 张贤君,张文强,李思敏. 观澜河流域(龙华区段)水质改善工程及其治理成效[J]. 环境工程学报, 2021, 15(8): 2810-2820.
ZHANG Xianjun, ZHANG Wenqiang, LI Simin. Effectiveness of engineering measures for water quality

- improvement in Guanlan River basin (Longhua section) [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2021, 15(8): 2810–2820 (in Chinese).
- [4] 常胜昆, 周丹, 马洪涛, 等. 厦门浯溪黑臭水体合流制溢流污染控制技术[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(6): 1–5.
- CHANG Shengkun, ZHOU Dan, MA Hongtao, *et al.* Technical research on CSO pollution control of black and odorous water body of Wuxi River in Xiamen [J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(6): 1–5 (in Chinese).
- [5] 商放泽, 许亮, 郎琪, 等. 基于新型光催化氧化的小微黑臭水体治理研究[J]. *环境科学与技术*, 2021, 44(6): 103–112.
- SHANG Fangze, XU Liang, LANG Qi, *et al.* Treatment of small and black-smelly water using a new photocatalytic oxidation technology [J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 44(6): 103–112 (in Chinese).
- [6] 韩璐, 李庆龙, 曾萍, 等. 长江流域典型城市河段黑臭水体生态整治案例分析[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(2): 546–552.
- HAN Lu, LI Qinglong, ZENG Ping, *et al.* Case study on water ecological regulation of black and odorous water in typical urban sections of the Yangtze River basin [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12(2): 546–552 (in Chinese).
- [7] 王子健, 胡婧, 张晨, 等. 景观湖泊黑臭水体生态修复措施和效果——以武汉市金湖生态修复工程为例[J]. *环境工程学报*, 2022, 16(5): 1702–1712.
- WANG Zijian, HU Jing, ZHANG Chen, *et al.* Ecological restoration measures and effects of black and odorous water bodies in landscape lakes: taking Jinhu ecological restoration project in Wuhan City as an example [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2022, 16(5): 1702–1712 (in Chinese).
- [8] 路金霞, 柏杨巍, 傲德姆, 等. 上海市黑臭水体整治思路、措施及典型案例[J]. *环境工程学报*, 2019, 13(3): 541–549.
- LU Jinxia, BAI Yangwei, AO Demu, *et al.* Analysis of regulation thoughts, measures and typical case for the black-stinking water body in Shanghai City, China [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2019, 13(3): 541–549 (in Chinese).
- [9] 王海珊, 邹平, 付先萍, 等. 黑臭水体组合生物净化技术研究进展[J]. *环境工程技术学报*, 2020, 10(1): 56–62.
- WANG Haishan, ZOU Ping, FU Xianping, *et al.* Research progress of combined biological purification technology for black and smelly water bodies [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2019, 10(1): 56–62 (in Chinese).
- [10] 程志永. 巢湖湖滨缓冲带生态景观构建与功能修复模式研究[J]. *西安建筑科技大学学报(社会科学版)*, 2015, 34(2): 58–62.
- CHENG Zhiyong. A research on the ecological landscape construction and the functional restoration model of Chaohu Lake buffer zone [J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Social Science Edition)*, 2015, 34(2): 58–62 (in Chinese).
- [11] 周传庭, 王梦玉, 幸韵欣, 等. 城市初期雨水污染及处理措施的研究进展[J]. *净水技术*, 2022, 41(7): 17–26.
- ZHOU Chuanting, WANG Mengyu, XING Yunxin, *et al.* Research progress of urban initial stormwater pollution and treatment measures [J]. *Water Purification Technology*, 2022, 41(7): 17–26 (in Chinese).
- [12] 王伟, 刘玥含, 杜悦, 等. 城市河流景观廊道生态修复技术研究[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 52(4): 602–609.
- WANG Wei, LIU Yuehan, DU Yue, *et al.* Study on ecological restoration technology of urban river landscape corridor [J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition)*, 2020, 52(4): 602–609 (in Chinese).
- [13] 朱子奇. 万州区海绵城市雨水径流污染影响因素分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.
- ZHU Ziqi. Analysis of Influencing Factors of Rainwater Runoff Pollution in Sponge City in Wanzhou District [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2019 (in Chinese).
-
- 作者简介:** 贾莉(1979–), 女, 安徽萧县人, 硕士, 教授, 主要从事水污染防治研究工作。
E-mail: benbenjiali79@163.com
收稿日期: 2023-07-21
修回日期: 2023-08-05

(编辑: 衣春敏)