

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.08.019

昆山市牛湾泾黑臭河道治理与生态修复

张瑞斌^{1,2,3}, 王乐阳^{1,2,3}, 潘卓兮^{1,2}, 祖白玉^{1,2}, 陈凡^{1,2}

(1. 江苏龙腾工程设计股份有限公司, 江苏 南京 210014; 2. 江苏省雨污水资源化利用工程技术研究中心, 江苏 南京 210014; 3. 南京市生态河道工程技术研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 针对昆山市牛湾泾黑臭河道现状,综合运用物理、化学、生物-生态、水动力学等优势技术,提出了控源截污、生态清淤、生态修复、景观营造、智慧管理的总体治理思路,开展了牛湾泾黑臭河道治理与生态修复工作。该工程建成后经过6个月的稳定运行,水体已全面消除黑臭,各项水质指标均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准,保障了生态景观系统的恢复,构建了牛湾泾“水清、岸绿、景美”的水环境,实现了水生态系统的良好循环。

关键词: 黑臭河道; 生态清淤; 生态修复; 景观营造; 智慧管理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)08-0133-06

Treatment and Ecological Restoration of Black and Odorous Water of Niuwanjing River in Kunshan

ZHANG Rui-bin^{1,2,3}, WANG Le-yang^{1,2,3}, PAN Zhuo-xi^{1,2}, ZU Bai-yu^{1,2}, CHEN Fan^{1,2}

(1. Jiangsu Long-leaping Engineering Design Co. Ltd., Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Rainwater and Sewage Recycling Engineering Technology Research Center, Nanjing 210014, China; 3. Nanjing Ecological River Engineering Technology Research Center, Nanjing 210014, China)

Abstract: In view of the current situation of black and odorous water of Niuwanjing River in Kunshan, the treatment and ecological restoration was carried out with the overall treatment idea of source control and sewage interception, ecological dredging, ecological restoration, landscape construction and intelligent management by comprehensive application of physical, chemical, bio-ecological, hydraulic dynamics and other advantages technologies. After half a year's operation, the water body is no longer black and odorous, and all water quality indexes have reached level V criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water*(GB 3838-2002), which ensures the restoration of ecological landscape system, constructs a new landscape of Niuwanjing River with “clear water and beautiful scenery” and realizes the good cycle of water ecosystem.

Key words: black and odorous river; ecological dredging; ecological restoration; landscape construction; intelligent management

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07208010); 南京市江宁区社会事业科技发展计划项目(2020SHSY0061)

通信作者: 张瑞斌 E-mail: zhangruibin@lg-lg.com

随着城市经济的发展,江苏省昆山市牛湾泾河道周边区域居民小区、商业店铺及饭店数量剧增,周边市政管网不完善导致排入河道的污染物日益增加,水体黑臭严重,影响周边居民生活及城市形象。为贯彻落实《水污染防治行动计划》,加快城市黑臭水体治理,改善人民生活环境,昆山市委市政府将牛湾泾河道治理列为黑臭水体整治的重点项目之一。按照住房和城乡建设部《城市黑臭水体整治工作指南》的要求,开展了牛湾泾黑臭河道治理与生态修复工作,综合运用物理、化学、生物-生态、水动力学等优势技术,打造牛湾泾“水清、岸绿、景美”的水环境。

1 牛湾泾概况

牛湾泾位于西河联圩,联圩总面积 1.932 km²,牛湾泾为圩内一条骨干河道,东起青阳港,西至东环城河,中间横穿 4 条主干道(分别是珠江路、黄河路、长江路、黑龙江路),主要通过牛湾泾东西站闸排涝及日常引调水,总长 1.8 km,平均河口宽 20 m。

牛湾泾河段概况见图 1。



图 1 牛湾泾河段概况
Fig.1 Location of Niwanjing River

牛湾泾水体感官浑浊,流动性差,河道两岸多为垂直硬质驳岸,隐藏大量直排雨水管。河道水深约 2.5 m,2013 年清淤以来已产生较厚淤泥层,深约 1 m,搅动气泡较多,池底厌氧程度高,无高等水生生物,总体呈现黑臭现象。治理前,委托专业检测机构对横穿牛湾泾的跨河桥梁段处进行取样和水质检测分析。水质取样点及水质检测结果如表 1 所示。由表 1 可知,根据《城市黑臭水体整治工作指南》规定,黄河路桥梁段总体水质指标劣于重度黑臭标准(主要体现在氨氮指标上),评价为重度黑臭水体;珠江路桥梁段、长江路桥梁段和黑龙江路桥

梁段有多项指标符合轻度黑臭标准,评价为轻度黑臭水体。经检测,4 个检测点的溶解氧、COD、氨氮、总氮、总磷均不满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准,尤其是珠江路桥梁段和黄河路桥梁段的氨氮和总氮超标 8~10 倍,评价为劣 V 类水。

表 1 牛湾泾治理前水体水质指标
Tab.1 Water quality indexes of Niwanjing River before treatment

项目	珠江路 桥梁段	黄河路 桥梁段	长江路 桥梁段	黑龙江路 桥梁段	轻度黑 臭标准	地表 V 类水
透明度/cm	12	14	20	28	10~25	
溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	0.68	0.92	0.83	0.75	0.2~2	2
氧化还原 电位/mV	-152	-127	-83	-51	-200~ 50	
氨氮/ (mg·L ⁻¹)	8.3	16.11	5.23	4.15	8~15	2.0
pH	6.3	7.8	7.4	6.9		6~9
COD/ (mg·L ⁻¹)	85.46	76.54	78.49	69.12		40
总氮/ (mg·L ⁻¹)	21.78	19.36	10.71	8.46		2.0
总磷/ (mg·L ⁻¹)	2.5	1.81	1.44	1.32		0.4

2 治理目标及总体思路

牛湾泾黑臭河道治理与生态修复的治理目标是通过控源截污,消除城市生活污水和工业废水直接排入河道的现象,结合生态修复,改善河道水质,全面消除河道黑臭,通过景观营造真正实现“水清、岸绿、景美”的效果,最终河道水质达到地表水 V 类标准^[1]。

根据河道现状及其治理目标,牛湾泾河道治理总体思路如下:①控源截污。通过控源截污、初期径流污染控制工程的实施,消除河道直接污染源。②生态清淤。通过生态清淤,消除内源污染,结合基底改良,提升河道自净能力。③生态修复。重建河道水生生态系统,保持水体水质长效稳定。④景观营造。通过景观绿化及其配套工程的建设,营造城市美丽景观,改善人居环境。⑤智慧管理。利用大数据、物联网等先进管理手段^[2],使工程建设与后期运行更加高效便捷。

3 工程设计

3.1 控源截污工程

牛湾泾两侧共有各类污水直排口75个,周边地区雨污分流不彻底,雨水管和污水管混接严重,且原有沿河侧污水管道建设年代久远,渗漏严重。针对牛湾泾水体黑臭状况,现状污水直排口全部进行截流式改造,结合昆山市相关规划及《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版),确定截流倍数为2.0。牛湾泾南北两侧沿岸新建窨井103座、溢流井14座、净化池1座;累计翻建DN400~DN600污水主管565 m(包含翻建DN600混凝土管315.8 m、DN400混凝土管249.2 m),新建DN400~DN600污水主管1489.3 m。为防止地下水渗入污水管网,污水截流主管采用HDPE波纹管。采用可调式闸门进行截流,通过调节闸门高度精确控制进入河流的溢流量^[3],旱季闸门将污水全部截入污水主管,汛期通过人工提闸方式保障河道顺利泄洪。牛湾经常水位2.50 m,20年一遇洪水位3.10 m,河道地面高程约4.0 m,截污主管的管底大部分位于洪水位以下,为防止河水倒灌,设置了浮箱式拍门,为减小雨季雨污合流水对污水处理厂的影响,还须设置限流阀。

3.2 生态清淤工程

3.2.1 河道清淤

由于牛湾泾河道不通航、水位浅以及岸边存在建筑和工厂,考虑采用干河施工、水力冲挖清淤方式,先将清淤区域采用围堰隔水,再通过高压水枪冲洗泥浆表面,使其形成水潭,放下泥浆泵抽吸泥浆,送到排泥区,最后通过专用泥浆车外运。淤泥清除部分可根据实际河床面高程及后期生态修复需求来考虑清淤程度,如需种植水下森林,则宜保留适量底泥。根据勘测单位测量成果计算,河道清淤总量大致为 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。针对河道清淤对底层干扰严重、易产生二次污染的问题,采用“河道绿色生态清淤处理系统及其处理方法”专利技术^[4],清淤精度达0.1 mm,在清除表层底泥的同时保证下层底泥不被破坏,保留底泥中的大量微生物及营养物质,降低清淤过程中的二次污染。采用原位透析技术分段隔离,逐段采用微磁强化絮凝-超磁高效沉淀工艺,设备内投加少量复合絮凝剂和改性磁粉,使泥水迅速形成磁核絮体,再通过高效沉淀实现泥水

分离,增加淤泥泥浆水脱水干化工序,使淤泥泥浆水变成泥块,方便运输,经计算运输成本降低约20%,且产生的淤泥经过改性处理后,可用于景观营造和护坡设计,可节约8%左右的工程成本。

3.2.2 基底修复

为种植水生植物以及保障其存活,清淤后会保留适量底泥,但此时河道基底仍积累了大量腐殖质及有毒污染物,可引发二次污染。根据一般工程经验,河道治理慎用化学药剂,以免破坏生态以及造成二次污染,故使用微生物制剂对河道基底进行改良是较好的选择,该方法温和高效、环保无污染,可为后续河道水生生态系统修复和生态群落结构构建创造有利环境,提高河道自净能力,且已有较多成熟应用案例。本工程清淤后,将基底底泥暴晒5~8 d,然后投加底泥改良微生物制剂,按照每0.5 kg微生物制剂添加50 L水的比例稀释后均匀泼洒在底泥上,处理面积 $4.6 \times 10^4 \text{ m}^2$,8 d后按照首次投放量进行第二次投放,基本可以达到改良效果。

3.2.3 淤泥处理处置

淤泥的处理处置是目前黑臭河道治理中的关键节点和重要难点,经取样分析,牛湾泾河底淤泥重金属指标未超出《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007)标准限值,为避免淤泥运输处置或弃置造成二次污染和处理成本高的问题,探索出一条低成本原料处理和高性能产品生产的淤泥制砖资源化利用路径^[5],以深度干化后的淤泥为主要原料(淤泥掺量可达到80%),添加硅铝类改性剂和复合矿料(如长石、高岭土、石英、云母等),挤压成型后进行干燥,在950~1050℃煅烧后制得劈开砖。不同淤泥掺量生产的劈开砖见图2。

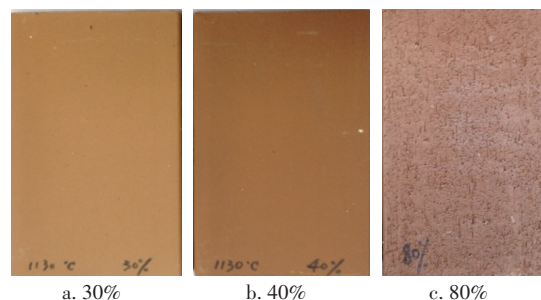


图2 不同淤泥掺量(30%、40%、80%)生产的劈开砖

Fig.2 Split brick produced with different silt content(30%, 40%,80%)

本工程共实现 $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 淤泥的资源化利用,生产约 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的劈开砖,节约近10万元的矿土原料成本。经检测,制得的劈开砖吸水率、强度、收缩以及放射性等性能均满足有关技术标准要求(见表2)。该技术采用自然堆场、阳光房和煅烧窑尾气三阶段组合干燥技术进行淤泥制砖,能耗降低16%,同时减轻了大量淤泥弃置对环境产生的二次污染,为淤泥的资源化利用提供了重要的技术支持。

表2 不同淤泥掺量生产的劈开砖性能指标

Tab.2 Properties of split brick produced with different silt content

序号	配比/%			砖体性能				
	淤泥	黏土	粉煤灰	塑性指数	成型含水率/%	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	吸水率/%	抗压强度/MPa
1	30	65	5	11.2	22.5	1.69	22.3	10.3
2	40	55	5	10.6	23.7	1.63	23.5	9.7
3	50	45	5	9.4	25.4	1.57	24.1	8.9
4	60	35	5	8.0	26.9	1.49	25.3	7.8
5	80	15	5	6.5	28.1	1.40	26.5	7.2

3.3 生态修复工程

3.3.1 生态浮床

牛湾泾河道较宽,可以沿河构建浮床净化带,特别是横穿牛湾泾的珠江路、黄河路、长江路、黑龙江路跨河桥梁段处直排口较多,污染较为严重,水质较差,因此须重点设计和布置。河道沿线设计布置高密度聚乙烯材质的生态浮床,其中沿岸布置间距为20~40 m,单个浮床面积为 15 m^2 ,以驳岸牵引方式固定,在净化水质的同时软化硬质驳岸;河道中央布置间距为30~50 m,单个浮床面积为 20 m^2 ,以重物抛锚方式固定,营造水面景观。浮床下层布设DN32微孔曝气管,水生植物采用种植篮形式加固在浮岛中心圆孔中,以本土植物为主,减少后期维护。

3.3.2 水生植物修复带

牛湾泾沿岸存在多处雨水排口,初期径流污染对河道水质影响较大,同时为减轻引水、风浪对底泥的扰动,提高水域生态系统的生物多样性,在雨水排口处设置水生植物修复带(见图3),用于雨天净化初期雨水,非雨天原位净化河水,设计距河边1~5 m处为挺水植物种植带,距河边2~5 m处为浮叶植物种植带,距河边7~10 m处为沉水植物种植带,其中距河边1~2 m且水深在0.7 m以上的为伊乐

藻、金鱼藻和苦草套种区,距河边5~8 m且水深为0.8~1.5 m的为轮叶黑藻和菹草套种区,在水质较差的珠江北路段—黄河路段两侧设置挺水植物带(香菇草 36 m^2 、黄菖蒲 13 m^2 、香蒲 4 m^2),挺水植物结合浮叶植物带(睡莲 62 m^2 、鸢尾 12 m^2),挺水植物结合沉水植物带(千屈菜 7 m^2 、美人蕉 8 m^2 、粉绿狐尾藻 34 m^2)。

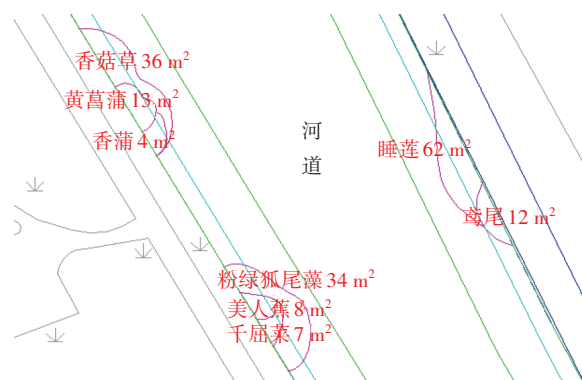


图3 水生植物修复带设计

Fig.3 Design of aquatic plant restoration zone

3.3.3 水动力改善及微生物强化降解

曝气增氧技术成本低廉,能够显著促进水体流动、增加水中溶解氧含量和消除水体气味,成为目前治理黑臭河道的首选技术。牛湾泾水体黑臭且流动性差,溶解氧低于 2 mg/L ,适宜采用曝气增氧技术。选择表面曝气结合底部曝气两种增氧措施:沿河道两端及4条主干路跨桥处均布置1台强力推流式曝气机(18 kW),促进河道水体流动;沿河全线布置6台表曝增氧机(单台 2 kW),增加设备周围水体溶氧量;在污染较重区域增设底部曝气设备,配置曝气风机和底部微孔曝气管,曝气区总长约650 m,充氧量 $0.10 \sim 0.25 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$,具体参数设置根据河道不同区域水质实际情况进行调整。

净水菌群是指一类既可以净化水体,调节河道水质,提高植物的成活率,又可以为水生动物提供丰富食物,对水体没有任何毒副作用的益生菌。河道蓄水后,每1 kg净水菌剂添加200 L水进行稀释,然后均匀泼洒入水体,每月泼洒一次,共泼洒2~3次,同时配合曝气增氧设备可将上泛的底泥和动植物尸体及残骸强力分解,将一些有害的污染物快速吸收和转化成无毒害或毒害较小的无机营养元素,避免了二次污染。

3.4 景观营造工程

根据河道 30 年一遇防洪标准,通过岸坡断面构建技术、生态浮岛与水生植物组合生态修复等^[6],对牛湾泾河道进行过水断面拓宽、驳岸及挡墙设计等一系列景观改造。经过实地踏勘及地形分析,牛湾泾河床整治以河道主流槽改造为主,使河道主流槽线型蜿蜒曲折,急流与缓流相间,深潭与浅滩交错;拆除部分硬质驳岸,新建生态石笼墙进行生态改造,以此改善地面径流与河水交接渗透,同时增强景观效果。新建格宾网式生态石笼挡墙 1 km,湿地平台及挡墙底基础处理 962.27 m³,生态护坡外购土方 1.8×10⁴ m³。

3.5 雨后水环境保障措施

昆山市为亚热带季风气候,夏季时常出现短时强降雨,牛湾泾水体温度、pH、溶解氧等发生剧烈变化,容易引起泛底缺氧,导致水生动物缺氧中毒和有益藻类的死亡,天气转晴后,藻类快速大量繁殖,引起坏水现象。为保障牛湾泾雨后水环境质量,须采取如下措施:强化雨后巡视检查,密切关注沿线排水情况及河道水环境,发现问题快速反馈、及时处理;加强雨后河道保洁,增加围网,及时打捞水面漂浮物;科学调度西河联圩循环水体;采取架设桩膜围堰、播洒生物制剂、加大曝气装置充氧量、稳固生态浮床等措施改善河道水质,抑制蓝藻生长。

3.6 智慧管理

近年来对河道治理的信息化、可视化水平要求日益提高,智慧河道应用越来越广泛。智慧河道是指通过数采仪、无线网络、水质水量表、水位控制装置等在线监测设备实时感知河道运行状态,并将其汇集到云计算服务器或数据平台进行快速分析,做出相应的判断和建议,以更加精细和动态的方式管理河道,达到高效、智慧的状态。牛湾泾黑臭河道治理和生态修复离不开有效的管理手段,除水域日常保洁、定期开展河道清淤、水处理设施日常维护等常态化管理措施外,还在河道两岸定点设立水质水量监测站进行实时监控。监测站由站房、水质/水量传感器和数据采集仪等组成,将采集到的数据通过无线装置实时发送至智慧管理平台电脑端,使河道主管部门通过显示屏随时随地了解河道现状。在牛湾泾沿岸两侧直排口处尤其是沪士电子雨污水管总排口处设置水量监测站,实时监控排污情况,检查截污效果;在横穿牛湾泾的珠江路、黄河

路、长江路、黑龙江路跨河桥梁段处设置水质监测站,实时监测河道水质情况;沿河道全线定点设置在线视频监控,为河道治污和排污监控预警和追源取证;通过水位控制装置自行启动引调水系统,流量 5.0 m³/s。

自该工程运行以来,已自动调水 20 余次,年均引调水频率 6~8 次。智慧河道建设与运维流程见图 4。

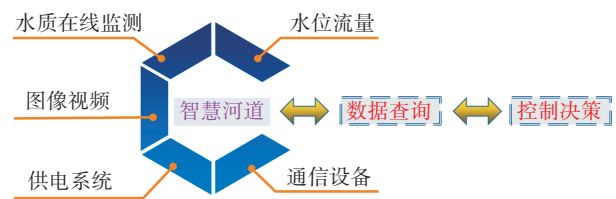


图4 智慧河道建设与运维流程

Fig.4 Smart river construction and operation and maintenance process

4 工程实施效果

昆山开发区在牛湾泾黑臭水体治理及长效管理方面做了大量工作,河道水质改善取得了显著成效(见表3)。

表3 牛湾泾治理后水质指标

Tab.3 Water quality indexes of Niuwanjing River after treatment

项目	珠江路 桥梁段	黄河路 桥梁段	长江路 桥梁段	黑龙江路 桥梁段	轻度黑 臭标准	地表Ⅴ类 水标准
透明度/cm	32	34	31	35	10~25	
溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	3.8	4.2	4.6	5.1	0.2~2	2
氧化还原 电位/mV	61	68	75	78	-200~ 50	
氨氮/ (mg·L ⁻¹)	1.77	1.53	1.56	1.38	8~15	2.0
pH	6.9	7.6	7.2	7.1		6~9
COD/ (mg·L ⁻¹)	38.64	36.77	29.45	30.63		40
总氮/ (mg·L ⁻¹)	1.95	1.84	1.78	1.51		2.0
总磷/ (mg·L ⁻¹)	0.34	0.31	0.28	0.26		0.4

该工程于 2017 年建成后经过半年的运行,水体已全面消除黑臭,各项水质指标均达到地表水Ⅴ类标准。河道生态群落逐步形成,水体自净能力逐步恢复。

牛湾泾治理前、后效果对比见图5。



a. 整治前

b. 整治后

图5 牛湾泾治理前、后效果对比

Fig.5 Effect comparison of Niuwanjing River before and after treatment

5 结论

牛湾泾黑臭河道治理与生态修复,通过截污控污、生态清淤、生态修复、景观营造、智慧管理等工程措施,解决了周边生活污水和工业废水直接排入河道的问题,全面消除了河道黑臭,增强了水体自净能力,恢复了牛湾泾水体生态系统健康,使河道水质达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准,构建了“水清、岸绿、景美”的水环境,实现了人居环境的改善。通过使用多项先进技术,该项目整体建设费用较低,处理效果稳定,淤泥制砖资源化利用有效解决了淤泥处理处置难题,重建后水生态系统的维护通过智慧管理手段得到有效保障,具有工程化应用推广的可能性,可为类似工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 隋圣义. 烟台市小鱼鸟河整治效果及长效管控对策[J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 81-86.
SUI Shengyi. Regulation effect and countermeasures of long-term management of Xiaoyuniao River in Yantai City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 81-86 (in Chinese).
- [2] 盛倩, 陈惠珍, 黄志心, 等. 城市黑臭水体水质提升技术及应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 72-77.
SHENG Qian, CHEN Huizhen, HUANG Zhixin, et al.

Application of water quality improvement technology in urban black and odorous water [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 72-77 (in Chinese).

- [3] 黄伟, 汪丽, 王阿华, 等. 水质控制与提升措施用于麻园河黑臭水体综合整治[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 83-86, 90.

HUANG Wei, WANG Li, WANG Ahua, et al. Application of water quality control and improvement measures in the comprehensive regulation of black and odorous water body in Mayuan River [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(22): 83-86, 90 (in Chinese).

- [4] 江苏龙腾工程设计股份有限公司. 河道绿色生态清淤处理系统及其处理方法: 201611214822.5 [P]. 2017-05-31.

Jiangsu Long-leaping Engineering Design Co. Ltd. River Green Ecological Desilting Treatment System and Its Treatment Method: 201611214822.5 [P]. 2017-05-31 (in Chinese).

- [5] 江苏龙腾工程设计股份有限公司. 一种利用太湖淤泥制备劈开砖的方法: 201210219141.3 [P]. 2012-10-17.

Jiangsu Long-leaping Engineering Design Co. Ltd. A Method of Making Split Brick from Taihu Lake Silt: 201210219141.3 [P]. 2012-10-17 (in Chinese).

- [6] 张瑞斌. 苏南地区河道水体综合整治技术方案研究[J]. 中国环保产业, 2017(7): 55-58.

ZHANG Ruibin. Study on technical scheme for comprehensive realignment of river-way water body in Sunan area [J]. China Environmental Protection Industry, 2017(7): 55-58 (in Chinese).

作者简介: 张瑞斌(1985-), 男, 山东潍坊人, 博士, 高级工程师, 主要从事水体污染治理及生态修复研究工作。

E-mail: zhangruibin@lg-lg.com

收稿日期: 2021-01-14

修回日期: 2021-06-11

(编辑: 衣春敏)