

常州藻港河黑臭河道治理与生态修复

郑继利^{1,2}, 潘红忠^{1,2}, 庄华清³

(1. 长江大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430100; 2. 长江大学 国际水生态研究院, 湖北 武汉 430100; 3. 常州上善生态科技有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要: 以常州市新桥镇藻港河西支为治理对象, 遴选深层微孔层流曝气、微生物强化降解、生态浮岛等技术进行集成, 对该黑臭河道进行治理与生态修复。第三方机构水质检测结果表明: 该工程经过5个月的调试运行, 河道水质状况明显改善, 总磷、氨氮和COD的去除率分别达到84.4%、98.6%和65.3%, 治理后达到地表水Ⅳ类水质标准。工程实践证明, 该集成技术能够有效去除黑臭水体中的有机物、氨氮、总磷等污染物, 增加水体透明度和溶解氧。通过建立长效管护机制, 可从根本上恢复河流生态系统, 进而改善和维护水质。

关键词: 黑臭河道; 生态修复; 生态浮岛

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)22-0090-06

Treatment and Ecological Restoration of Urban Black-odorous River in Changzhou Zaogang River

ZHENG Ji-li^{1,2}, PAN Hong-zhong^{1,2}, ZHUANG Hua-qing³

(1. College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 2. International Institute of Aquatic Ecology, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 3. Changzhou Shangshan Ecological Technology Co. Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: An integrated system of bottom laminar flow aeration, biological enhanced degradation, and ecological floating islands was used to treat the west branch of Zaogang River in Xinqiao Town, Changzhou. The testing results by the third party showed that the water quality in the river was significantly improved after five-month treatment. The average removal rates of TP, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, and COD have reached 84.4%, 98.6%, and 65.3% respectively. The water quality was better than level IV in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). Practice has proved that this integrated system could effectively remove pollutants such as TP, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and COD in the black-odorous river, increase water transparency and DO. Through the establishment of long-term protection plan, it could fundamentally restore river ecosystems and improve the water quality.

Key words: black-odorous river; ecological restoration; ecological floating island

随着我国经济的高速发展, 城镇化规模进一步扩大, 城市河道的水环境面临着严峻的挑战, 一些地区甚至出现了“有水皆臭, 有河皆黑”的状况。水体

黑臭的主要原因是河道内污染物水平超出河道本身的净化能力, 水体在厌氧条件下产生硫化氢、氨气等带有恶臭味的物质和铁、锰硫化物等黑色物质^[1]。

河道黑臭破坏了河道原有的生态系统,严重影响了居民饮用水安全和生活质量^[2]。

国内目前黑臭河道治理的技术众多,主要可以分为物理法、化学法、生态修复法和其他新方法^[3]。物理法主要包括人工曝气增氧^[4]、底泥疏浚^[5]、引水冲污^[6]、机械除藻^[7]等。化学法^[8,9]则是通过向河道内投放各种絮凝剂、沉淀剂等化学物质加速水体净化过程,虽能在短期内改善河道水质,但化学试剂对河道生态环境和水生动植物的生长都会带来一定的影响。其他新方法包括建设生态河堤、设置净化湖、生物膜处理等。生态修复法在我国起步较晚,该方法通过对水治理工程的顶层设计和生态规划,尊重河流系统的自然生态规律,致力于从源头恢复水生态系统的内部结构,利用生态系统自身的净化能力消除污染。该方法虽然运行周期较长,但能从根本上改善河道的水环境且运行成本低,能够与水体景观相融合,在治理水质的同时改善河道景观,如果加以合理管护,能实现水质的长效治理,目前已成功应用于宁波市中塘河^[10]、新加坡南京市生态科技岛^[11]、常州市白荡浜^[12]等地区的黑臭河道治理。

常州市新桥镇藻港河西支治理前绿藻较多,水面泛绿,漂浮物和藻类众多,富营养化明显,感官效果较差。经过实地考察和技术分析,决定采用深层微孔层流曝气、微生物强化降解、生态浮岛等技术对该河道进行治理。

1 项目背景

藻港河西支河道呈东西走向,正常流向为自西向东,河道中下段有东风大沟汇入,全长约 2.1 km,主要功能为泄洪、景观用水。施工河段为仁和路至长江北路约 600 m 长的河段,主河道宽约 14 ~ 15 m,水深 1.5 ~ 2 m,区位概况见图 1。



图 1 藻港河西支河段概况
Fig. 1 Location of the west branch of Zaogang River
河道整治前,河水呈黑褐色,散发刺鼻气味;虽

为行洪河道,但除汛期外,其余时段河道水体几乎不流动,水动力条件差;河道两岸为垂直驳石结构,排污口参差不齐,未进行有效截污,河水处于富营养化状态,甚至出现小面积水华现象,且未发现水生动植物,河道的生态多样性损毁殆尽。

西支河作为全区对新桥镇出入境考核的主要河道之一,对应考核断面分别为旅游学校南侧(入境断面)、查墅桥(出境断面);同时也被市里列为新北区“清水工程”长效管理河道,对应考核断面为宏图桥,考核目标要求为地表水Ⅳ类标准,在河道内设置 3 个水质监测点,工程实施前委托具有中国计量认证(CMA)检测资质的第三方公司检测水质,检测结果见表 1。治理前,河段水质指标都超过地表水Ⅴ类标准,属于劣Ⅴ类水体。工程实施前未对 3 个监测点的 COD 进行测量,根据新桥镇水利部门提供的前期资料,河道的平均 COD 含量在 200 mg/L 左右,远超Ⅴ类水的标准(40 mg/L)。

表 1 治理前藻港河西支河段水质
Tab. 1 Water quality of the west branch of Zaogang River before treatment

项 目	中学 南门西 80 m 处	中学 南门处	中学 南门东 60 m 处	标准值 (Ⅴ类)	水质 现状
透明度/cm	25	20	22	—	—
水温/℃	9.0	9.0	9.0	—	—
pH 值	7.9	7.8	8.4	6 ~ 9	达标
总氮/ (mg · L ⁻¹)	8.47	16.52	12.11	≤2	劣Ⅴ类
氨氮/ (mg · L ⁻¹)	5.5	10.7	8.4	≤2.0	劣Ⅴ类
总磷/ (mg · L ⁻¹)	0.48	1.16	0.81	≤0.4	劣Ⅴ类
溶解氧/ (mg · L ⁻¹)	0.69	0.64	0.58	≥2	劣Ⅴ类

2 河道污染原因分析

藻港河西支河段西部正在进行堤岸整修和道路建设,东部与龙虎塘交界处实施相关水利工程,河段内没有大型工业企业。区段内水系沟通不畅,水环境封闭,水流堵塞严重。西支河段底泥淤积严重,汛期时藻港河水位高,水流急,导致底泥上泛,释放的营养元素造成水体发黑发臭。河道污染的原因分析如下:

① 排污口众多,生活污水排放影响大。西支河段共有排污口 13 个,治理的 600 m 河段内有 8 个

排污口,其分布见图2。由此可以看出,西支河段分布着学校和居民小区,目前新桥中学沿线污水管网铺设不到位,生活污水、食堂废水长期直排入河,周边小区虽已建成雨污分流管道,但生活污水和雨水窜管情况时有发生。

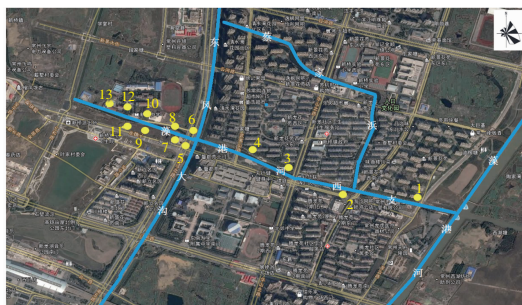


图2 藻港河西支河道排污口分布

Fig. 2 Sewage outlet distribution of the west branch of Zaogang River

② 底泥大量淤积导致河道内存有大量高负荷内源污染,汛期藻港河涨水时掀起的底泥释放高浓度污染物,对河水水质造成不可忽视的影响。

③ 河道自净能力较差。由于东西两河段的水利工程和道路施工使得西支河段的水流不通,水动力条件不足,河水滞留现象严重,从而使水环境容量小,生态系统修复能力差。

3 河道生态整治对策

3.1 河道治理目标及设计工艺流程

根据西支河工程现状和新桥镇政府要求,决定对该河新桥中学段进行治理,在征求业主方和管理部门的意见后,初步拟定了治理目标:水体透明度达到40 cm以上;基本消除水面杂草、水藻和生活垃圾等漂浮物,水体无臭味;各类水质指标达到地表水Ⅳ类标准,总氮、总磷去除率达到40%以上。根据河道整治目标,确定治理河段工艺流程见图3。

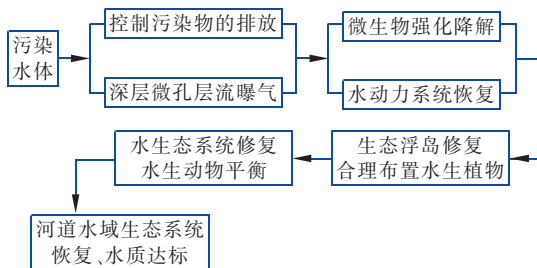


图3 藻港河西支河道生态处理流程

Fig. 3 Flow chart of ecological treatment process of the west branch of Zaogang River

3.2 主要治理设备及技术

针对西支河道的主要污染原因,决定采用深层微孔层流曝气、微生物强化降解、生态浮岛等技术进行集中整治,待水质改善后,通过投加水生动物恢复河道的水生态系统,达到长效治理的目的。

① 西支河道水体透明度低,水体发黑发臭,严重影响了两岸居民的生活品质。曝气技术在提高水体透明度、消除水体气味方面具有成本低廉、效果显著的优点,成为治理黑臭河道的首选技术。针对西支河道排污口众多、雨污分流管道不完善的问题,采用深层微孔层流曝气持续对水体进行曝气,增加水中的溶解氧,提高水体的透明度。为满足该河段水体增氧需求,曝气系统设2台2马力空压机、12个微孔曝气盘(图4中蓝色圆盘位置)、1800 m耐压自沉式输气管、10套耐压接头与支管,以浮游植物种植盘拼成“新北”二字汉语拼音,增强工程的景观效果,一侧具体布置见图4。曝气盘采用具有专利微孔曝气技术,在不搅动底泥的情况下增加水中的溶解氧,促进水体的流动,消除水体臭味。曝气装置安装完成后,24 h不间断曝气,保证水体上下层交换,营造良好的水生生态环境,为后期生态浮岛植物种植、恢复水生态系统提供条件。

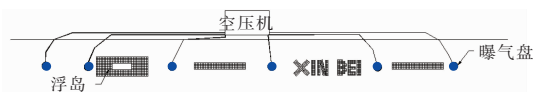


图4 藻港河西支河道曝气装置分布

Fig. 4 Aeration device distribution of the west branch of Zaogang River

② 长期以来,西支河道接纳的污染物质远远超出河段本身的自净能力所能承载的污染容量,水体和底泥内积累了大量有机污染物,导致水体严重缺氧,好氧细菌大量死亡,也抑制了好氧分解作用,有机物在缺氧状态下分解后产生硫化氢等恶臭气体,使得河道发黑发臭。针对西支河道的情况,使用微生物菌剂进行原位修复是较好的选择,该方法在黑臭河道的治理中已有较多的应用。本工程采用长江大学国际水生态研究院与美国环保科技公司联合研制的水生态修复高效复合微生物,按照每0.45 kg微生物添加50 L水的比例稀释0.9 kg微生物,均匀泼洒在1233 m³的水体中,10 d后按照首次投放量进行第二次投放,此后按照每月投放一次的频率,投放2~3次,基本可以达到治理效果。

③ 西支河道污染加剧后,水生植物大面积死亡,植物残体滞留在水体中也会产生污染。本工程设置生态浮岛,优选美人蕉、水芹菜、马尾草、鸢尾等植物组合,种植面积为 200 m^2 ,布置在河道污染严重的河段,既能改善水环境的景观效果,又能达到净化水质、稳定河道水生态系统的作用。

4 调试运行情况

4.1 运行结果

工程施工完成后于2017年3月中旬进行调试,通过5个月的运行,水质监测部分结果见图5。

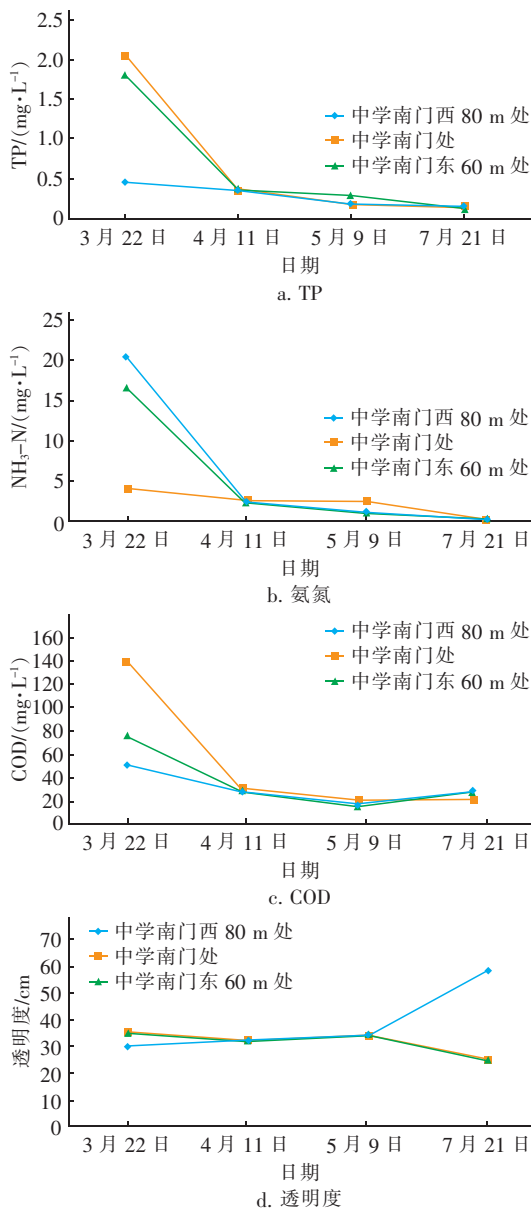


图5 治理后河道水质指标变化

Fig. 5 Change of water quality indexes of the west branch of Zaogang River after treatment

系统运行后河道内3个监测点TP、NH₄⁺-N和COD等指标呈明显下降趋势,其去除率分别达到84.4%、98.6%和65.3%,治理效果显著,已达到地表水Ⅳ类标准。但COD在7月份有上升的趋势,分析后发现汛期的到来使降雨量增加,城市管网排放污水量上升,按照工程设置的去除标准,短时间内难以去除过量污水带来的有机污染物,导致COD含量有所上升。监测点中学南门西80m处水体透明度明显上升,而中学南门处和南门东60m处水体透明度却有所下降,这是由于夏季河水上涨,水体扰动较大,曝气盘的位置有所偏移,引起底泥上泛导致水体透明度下降,后期工程维护中应针对该现象制定相应的对策。此外,治理河段水面清洁,水藻杂草类漂浮物基本消除,水体回归正常颜色,黑臭完全消除。生态浮岛中的植物长势良好,增添了河道的景观效果,水中依稀可见投放的水生动物,河道生态系统基本恢复。工程治理前后的水体对照见图6。



图6 工程治理前后水体对照

Fig. 6 Comparison of water body before and after improvement

4.2 主要经济技术指标

工程治理河段全长600m,水域面积为9000m²,总投资为59.8万元。电费为14.5元/d,人工费为50元/d,维护费为71.2元/d,总运行费为135.7元/d(4.8万元/a)。

4.3 运行管理

根据以往黑臭河道治理项目的经验,此类项目需配套严格的管理制度,并配备专业管理人员,才能够保证河道环境的长效维持。

① 曝气系统的管理维护

研究表明,深层微孔层流曝气可降低能耗,曝气效果也能达到最佳水平。项目使用设备需建立专职人员负责制度,接受专业的指导培训,熟练掌握设备的操作流程、故障处理和维护方法,定期对设备进行维护。设备和材料需要做到每天巡视一次,确定设

备运行状态、曝气盘位置和曝气效果是否正常,巡视后记录并签字。

② 微生物系统的管理维护

定期对水质进行检测,根据水质监测结果确定微生物的投放次数与投放量。工程实施前期,根据维护水体体积计算出投放量,以每月投放一次为宜,连续投放2~3次。投放时应先将微生物溶于水,均匀泼洒至河道内。通常情况下,微生物可在河道内繁殖,如未遇洪水等极端天气导致微生物流失的状况,则后期无需持续投放。

③ 生态浮岛的管理维护

浮岛的管理维护主要是水生植物的换季补种、收获梳理,杂草的清除与处理。需要制定严格的补种和清除计划,以保证浮岛的景观效果和水体净化效果。

④ 环境管理

施工河段实施专人管理负责制度,保证区域内环境卫生。项目负责人应积极与当地主管部门沟通,对河道内排污口实行严格监督,确保污水达标排放,从源头减少河道的污染物,保证治理效果。

5 结论与建议

工程运行5个月的连续监测数据表明,常州市新桥镇藻港河西支河道的治理与生态修复是成功的。项目前期通过深层微孔层流曝气提高水体的溶氧,消除水体黑臭,中期通过生态浮岛以及外源微生物的投加对水体和底泥中的有机污染物进一步处理,后期着力恢复河道的生态系统,致力于从生态系统的角度根治河道的污染问题。河道治理尤其要注意重建后水生态系统的维护,加大力度解决河道污水达标排放的问题。该项目整体运行费用较低,处理效果稳定,具有工程化应用推广的可能性。

参考文献:

- [1] 钱嫦萍,王东启,陈振楼,等. 生物修复技术在黑臭河道治理中的应用[J]. 水处理技术,2009,35(4):13-17.
Qian Changping, Wang Dongqi, Chen Zhenlou, et al. Application of titanium oxide photocatalytic technology in the field of sewage treatment[J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(4): 13-17 (in Chinese).
- [2] 钱嫦萍,陈振楼. 城市河流黑臭的原因分析及生态危害[J]. 城市环境,2002,(3):21-23.
Qian Changping, Chen Zhenlou. Analyzing reason and

ecological compromise of blackening and stink of city rivers[J]. Urban Environment, 2002, (3): 21-23 (in Chinese).

- [3] 邹丛阳,张维佳,李欣华,等. 城市河道水质恢复技术及发展趋势[J]. 环境科学与技术,2007,30(8):99-102.
Zou Congyang, Zhang Weijia, Li Xinhua, et al. Remediation technology and development tendency for water quality of urban rivers[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(8): 99-102 (in Chinese).
- [4] 朱敏,王国祥,王建,等. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2004,4(2):66-69.
Zhu Min, Wang Guoxiang, Wang Jian, et al. Comparative analysis of changes of pollutants in sediment in Nanjing Xuanwu Lake before and after sediment dredging[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology, 2004, 4(2): 66-69 (in Chinese).
- [5] 卢士强,徐祖信,罗海林,等. 上海市主要河流调水方案的水质影响分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2006,34(1):32-36.
Lu Shiqiang, Xu Zuxin, Luo Hailin, et al. Influence of water diversion schemes on water quality of Shanghai River networks[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(1): 32-36 (in Chinese).
- [6] 武涛,刘彬彬. 上海市黑臭河道治理技术应用研究[J]. 工业安全与环保,2010,36(3):27-29.
Wu Tao, Liu Binbin. Application and research of Shanghai black-odor river treatment technologies[J]. Industry Safety and Environmental Protection, 2010, 36(3): 27-29 (in Chinese).
- [7] 卢磊,高宝玉,许春华,等. 聚合铝基复合絮凝剂用于城市纳污河道废水处理[J]. 环境科学,2007,28(9):2035-2040.
Lu Lei, Gao Baoyu, Xu Chunhua, et al. Municipal wastewater treatment using a composite flocculant made of polyaluminum chloride and polydimethyldiallylammonium chloride[J]. Environmental Science, 2007, 28(9): 2035-2040 (in Chinese).
- [8] 陈友岚. 武汉地区水厂废水处理研究[D]. 武汉:华中科技大学,2004.
Chen Youlan. Research on Sludge Water Treatment in Waterworks in Wuhan[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2004 (in Chinese).
- [9] 徐续,操家顺. 河道曝气技术在苏州地区河流污染治理中的应用[J]. 水资源保护,2006,22(1):30-33.

- Xu Xu, Cao Jiashun. Application of river aeration technology in river pollution control of Suzhou area[J]. Water Resources Protection, 2006, 22(1): 30-33 (in Chinese).
- [10] 於建明, 吴成明, 陈哲, 等. 宁波市中塘河支流黑臭河道治理与生态修复[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 64-67.
- Yu Jianming, Wu Chengming, Chen Zhe, *et al.* Improvement and ecological remediation of malodorous river, Zhongtang River Tributary in Ningbo City[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 64-67 (in Chinese).
- [11] 黄伯平, 杨尚平, 李晓慧. 新加坡·南京生态科技岛河道生态修复案例[J]. 给水排水, 2016, 42(S1): 75-78.
- Huang Boping, Yang Shangping, Li Xiaohui. River ecological restoration case of Singapore·Nanjing Ecological Science and Technology Island[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(S1): 75-78 (in Chinese).
- [12] 沙昊雷, 章黎笋, 陈金媛. 常州市白荡浜黑臭水体生态治理与景观修复[J]. 中国给水排水, 2012, 28(14): 74-78.

Sha Haolei, Zhang Lisun, Chen Jinyuan. Ecological treatment and landscape restoration of malodorous water in Changzhou Baidangbang [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(14): 74-78 (in Chinese).



作者简介: 郑继利(1992-), 男, 山东莘县人, 硕士研究生, 主要研究方向为水治理与水生生态。

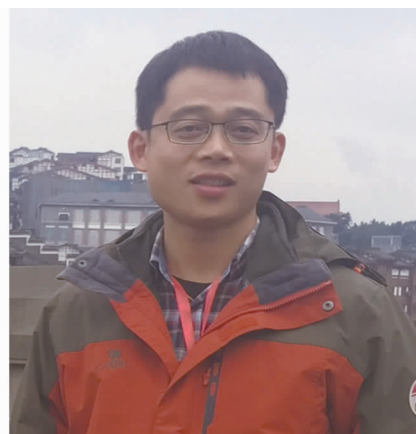
E-mail: jili.zheng@qq.com

收稿日期: 2018-05-07

(上接第89页)

- ing flux of ultrafiltration[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(8): 11-15 (in Chinese).
- [2] 李圭白, 杨艳玲. 超滤——第三代城市饮用水净化工艺的核心技术[J]. 供水技术, 2007, 1(1): 1-3.
- Li Guibai, Yang Yanling. Ultrafiltration—the 3rd generation key water purification technology for city[J]. Water Technology, 2007, 1(1): 1-3 (in Chinese).
- [3] 王秀芳. 超滤膜技术在宁波市江东水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 77-79.
- Wang Xiufang. Application of UF membrane technology to upgrading of Ningbo Jiangdong Waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 77-79 (in Chinese).
- [4] 陈翠仙, 奚韶锋, 郑晓红, 等. 热法 PVDF 中空纤维超滤膜在市政饮用水处理中的应用[A]. 第二届膜法城镇新水源技术研讨会论文集[C]. 北京: 中国膜工业协会, 2015.
- Chen Cuixian, Xi Shaofeng, Zheng Xiaohong, *et al.* Application of PVDF hollow fiber ultrafiltration membrane prepared via thermally induced phase separation method in the treatment of municipal drinking water[A]. Proceedings of the Second Symposium on Membrane Process for

New Water Sources in Cities and Towns[C]. Beijing: Membrane Industry Association of China, 2015 (in Chinese).



作者简介: 李都望(1980-), 男, 湖南临湘人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事水务运营与管理工作。

E-mail: 46773111@qq.com

收稿日期: 2018-09-20

- Xu Xu, Cao Jiashun. Application of river aeration technology in river pollution control of Suzhou area[J]. Water Resources Protection, 2006, 22(1): 30-33 (in Chinese).
- [10] 於建明,吴成明,陈哲,等. 宁波市中塘河支流黑臭河道治理与生态修复[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 64-67.
- Yu Jianming, Wu Chengming, Chen Zhe, *et al.* Improvement and ecological remediation of malodorous river, Zhongtang River Tributary in Ningbo City[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 64-67 (in Chinese).
- [11] 黄伯平,杨尚平,李晓慧. 新加坡·南京生态科技岛河道生态修复案例[J]. 给水排水, 2016, 42(S1): 75-78.
- Huang Boping, Yang Shangping, Li Xiaohui. River ecological restoration case of Singapore·Nanjing Ecological Science and Technology Island[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(S1): 75-78 (in Chinese).
- [12] 沙昊雷,章黎笋,陈金媛. 常州市白荡浜黑臭水体生态治理与景观修复[J]. 中国给水排水, 2012, 28(14): 74-78.

Sha Haolei, Zhang Lisun, Chen Jinyuan. Ecological treatment and landscape restoration of malodorous water in Changzhou Baidangbang [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(14): 74-78 (in Chinese).



作者简介:郑继利(1992-),男,山东莘县人,硕士研究生,主要研究方向为水治理与水生态。

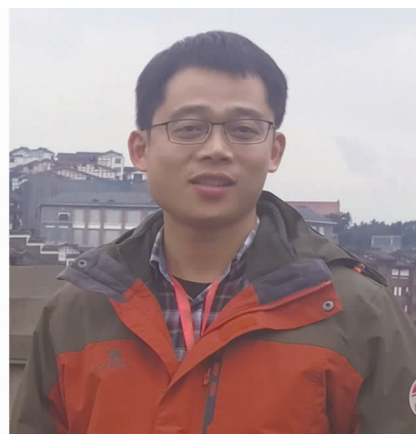
E-mail: jili.zheng@qq.com

收稿日期:2018-05-07

(上接第89页)

- ing flux of ultrafiltration[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(8): 11-15 (in Chinese).
- [2] 李圭白,杨艳玲. 超滤——第三代城市饮用水净化工艺的核心技术[J]. 供水技术, 2007, 1(1): 1-3.
- Li Guibai, Yang Yanling. Ultrafiltration—the 3rd generation key water purification technology for city[J]. Water Technology, 2007, 1(1): 1-3 (in Chinese).
- [3] 王秀芳. 超滤膜技术在宁波市江东水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 77-79.
- Wang Xiufang. Application of UF membrane technology to upgrading of Ningbo Jiangdong Waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 77-79 (in Chinese).
- [4] 陈翠仙,奚韶锋,郑晓红,等. 热法 PVDF 中空纤维超滤膜在市政饮用水处理中的应用[A]. 第二届膜法城镇新水源技术研讨会论文集[C]. 北京:中国膜工业协会, 2015.
- Chen Cuixian, Xi Shaofeng, Zheng Xiaohong, *et al.* Application of PVDF hollow fiber ultrafiltration membrane prepared via thermally induced phase separation method in the treatment of municipal drinking water[A]. Proceedings of the Second Symposium on Membrane Process for

New Water Sources in Cities and Towns[C]. Beijing: Membrane Industry Association of China, 2015 (in Chinese).



作者简介:李都望(1980-),男,湖南临湘人,大学本科,高级工程师,主要从事水务运营与管理工作。

E-mail: 46773111@qq.com

收稿日期:2018-09-20