

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.09.020

# 深圳市楼村湿地公园的改建、运行与管理

高娜, 杨明雪, 李凌云, 黄少杰, 邓木生, 吴颖萍  
(深圳市光明区环境水务有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 以深圳市楼村湿地公园为例,介绍了由预处理单元和水平潜流人工湿地所组成的水质净化系统改建前后,处理初期雨水及河道水的运行情况。2021年运行期间,出水水质稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,部分时期COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷等关键污染物指标可以达到Ⅲ类水标准。同时,分析了改建后系统处理初期雨水及河道水效能提升的技术原因及应用前景,论述了楼村湿地公园所取得的生态环境效益,探讨了管理过程中需要注意的问题,并就市场化、长效的管理机制提出了建议。

**关键词:** 湿地公园; 水质净化; 初期雨水处理; 生态环境效益; 运行管理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)09-0127-06

## Reconstruction, Operation and Management of Loucun Wetland Park in Shenzhen

GAO Na, YANG Ming-xue, LI Ling-yun, HUANG Shao-jie, DENG Mu-sheng,  
WU Ying-ping

(Shenzhen Guangming District Environmental Water Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** The paper introduced the operation of initial rainwater and river water treatment before and after the reconstruction of the purification system consisting of pretreatment unit and horizontal subsurface-flow constructed wetland in Loucun Wetland Park, Shenzhen. During the operation of the wetland in 2021, the effluent quality stably met the class IV limit specified in the *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838-2002), and the key pollutant indicators such as COD, BOD<sub>5</sub>, ammonia nitrogen and total phosphorus met the class III limit in some periods. In addition, the paper analyzed the technical reasons and application prospects of improving the treatment efficiency of initial rainwater and river water after the reconstruction, discussed the ecological and environmental benefits of Loucun Wetland Park, explored the problems that need to be paid attention to in the management process of the wetland park, and proposed suggestions on the marketization and long-term management mechanism.

**Key words:** wetland park; water purification; initial rainwater treatment; ecological and environmental benefits; operation management

随着城市化进程的发展,雨水径流带来的非点源污染问题已成为水质恶化的主要原因之一<sup>[1]</sup>。初

期雨水是指雨水径流初始阶段的雨水,具有较强的冲击性。目前,初期雨水的治理主要有源头分散、过

通信作者: 高娜 E-mail: 1186176309@qq.com

程控制和末端治理三个方向。调蓄池作为过程控制工艺,雨季时收集初期雨水以削减流量,降雨结束后再将储存的雨水送入污水厂进行处理,但调蓄池存在投资大、设计功能单一、利用效率低等缺点。人工湿地作为末端治理工程不仅具有净化水质、削减面源污染、生态修复等效能<sup>[2]</sup>,还兼具科学研究、科普教育、休闲游览等功能<sup>[3]</sup>,但同样存在处理效果受季节影响的缺点。

楼村湿地公园(别称:茅洲河人工湿地公园)位于深圳市光明区,占地面积约8.7 hm<sup>2</sup>,于2010年底完工,2011年8月试运行<sup>[4]</sup>。但由于进出水系统异常等原因,湿地生态系统无法发挥效能,于2017年停止运行。2019年7月,楼村湿地被作为新增子项纳入光明区全面消除黑臭水体治理工程。通过初期雨水处理、工艺优化、景观提升、农作物耕种和配套设施打造等举措的实施,在科学、专业的管理下,楼村湿地公园“旧貌换新颜”,不仅改善了水质、增强了自然净化能力,而且为周边居民提供了科普休闲场所,目前已成为光明区重要节日地点和靓丽门户之一,展示了光明区水环境治理成效和“高质量高颜值”发展的新形象。

笔者主要介绍了楼村湿地公园利用过程控制和末端治理相结合的方式对初期雨水和河道水的处理过程,并就处理效果、应用前景,以及运行过程中需要注意的问题进行了深入分析,同时提出了楼村湿地公园未来市场化和长效管理等方面的相关建议。

## 1 水质净化系统的建设

### 1.1 系统概况

楼村湿地公园原水质净化系统主要功能为净化新陂头河的河水,水质净化工艺为“格栅+接触氧化池+沉淀池+人工湿地”。改建工程利用原接触氧化池分别改造为调蓄池和移动床生物膜反应池(MBBR),改建后的主要进水水源为初期雨水和河道水,处理设施规模按照楼村社区排洪渠初雨规模3 000 m<sup>3</sup>/d进行设计,改建后主要采用“曝气沉砂池+调蓄池+MBBR生物反应池+沉淀池+水平潜流人工湿地”工艺,如图1所示,公园改造总费用约7 000万元。其中,沉淀池之前的工艺设施共同组成预处理单元,水平潜流人工湿地作为深度处理单元。本项目仅对COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷有所要求,改造前设

计出水水质执行广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二类第二时段城镇二级污水处理厂一级标准,改造后执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。设计进水COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷分别为100、20、25、2.5 mg/L,设计出水浓度分别为30、6、1.5、0.3 mg/L。

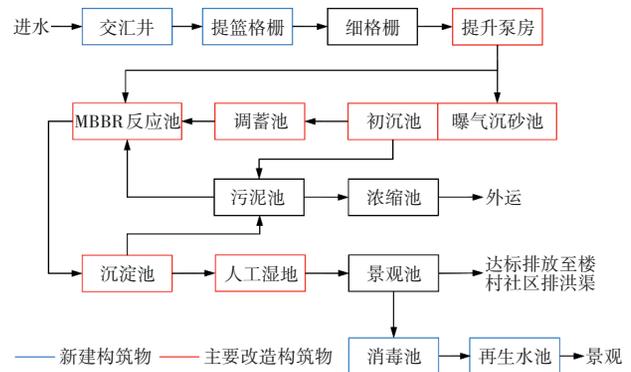


图1 水质净化系统工艺流程

Fig.1 Process flow of water purification system

楼村湿地公园进水有三类来源:主要水源、补充水源和备用水源。主要水源为楼村社区排洪渠初雨截流管中的初期雨水,收水面积为73 hm<sup>2</sup>,初雨处理规模近3 000 m<sup>3</sup>/d;补充水源为楼村社区排洪渠的河水,在降雨不足或无法满足湿地运行水量时,结合排洪渠补水工程,可实现最大取水规模10 000 m<sup>3</sup>/d;备用水源为公常路污水干管的污水,仅在进水水质无法维持生物反应池运行的条件下,才适当引入污水用以调节微生物所需营养物质。

### 1.2 主要工艺技术参数

#### 1.2.1 生化单元

MBBR工艺以悬浮载体为微生物提供生长条件,通过悬浮载体的充分流化,实现低浓度初期雨水的高效处理<sup>[5]</sup>。在有氧条件下,初期雨水与固着在填料表面的生物膜充分接触,通过生物降解作用去除初期雨水中的有机物、氮、磷等,之后通过斜管填料的高效沉淀作用进行分离,沉降污泥回流至生物反应池,出水进入后续人工湿地处理单元。采用直径为25 mm的高密度聚乙烯(HDPE)悬浮填料,有效比表面积≥450 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,BOD<sub>5</sub>负荷为1 kg/(hm<sup>2</sup>·d),设计曝气风量为12.5 m<sup>3</sup>/min。构筑物为2组4座,每组可单独运行,单座设计规模为750 m<sup>3</sup>/d,单座尺寸为13 m×13 m×5 m。生物反应池主要设计参数:好氧区池容为2 942 m<sup>3</sup>,好氧区HRT为23.54 h,

MBBR有效水深为4.6 m, MLSS为3 500 mg/L, 回流比为100%, MBBR好氧区溶解氧为3 mg/L, MBBR总有效生物膜面积为2.794×10<sup>5</sup> m<sup>2</sup>。

### 1.2.2 絮凝沉淀单元

由于在生化处理系统中产生的生物絮体沉淀性能通常较差,因此在沉淀单元设计中,选择设有填料的斜管类沉淀池,并在前端设置加药管,投加聚合氯化铝(PAC,含量为10%)辅助悬浮物沉降,现场运营人员可根据出水总磷指标调节加药泵,通过在线稀释系统使投加量平均为0.33 m<sup>3</sup>/d。斜管填料直径为25 mm,厚为0.5 mm,构筑物数量为2座,单座池容为294 m<sup>3</sup>,有效水深为5.2 m,表面负荷为1.34 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

### 1.2.3 人工湿地单元

水平潜流人工湿地面积为12 500 m<sup>2</sup>,处理水量为3 000 m<sup>3</sup>/d,最大可处理量为10 000 m<sup>3</sup>/d,停留时间为24 h。雨季工况下处理对象为初期雨水,人工湿地进水为预处理单元出水,处理规模为3 000 m<sup>3</sup>/d,水力负荷为0.24 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d), BOD<sub>5</sub>负荷为9.6 kg/(hm<sup>2</sup>·d);旱季工况处理对象为河水(水质需满足湿地进水要求),处理规模最大可以达到10 000 m<sup>3</sup>/d,水力负荷为0.80 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d), BOD<sub>5</sub>负荷为32 kg/(hm<sup>2</sup>·d)。

湿地为5个区并联布置,为保证布水的均匀性,各区内增设隔墙形成子单元,如图2所示。湿地填料主要采用沸石和砾石级配,空隙率在35%~40%,从进水至出水侧由粗渐细、自上而下均匀布置,进出水区填料厚度为1 000 mm,主渗区填料厚度为700 mm,中部采用两种粒径碎石铺设,底部和湿地侧墙采用“两布一膜”防渗系统。湿地配水系统由“进水总管—配水渠—配水管”组成,进水管位于湿地一侧,配水管开孔布水,经由基质、植物根区净化后,进入集水系统。集水系统由新建集水支渠和集水干渠组成,集水渠末端为跌水堰进入出水景观池,之后排入河道。

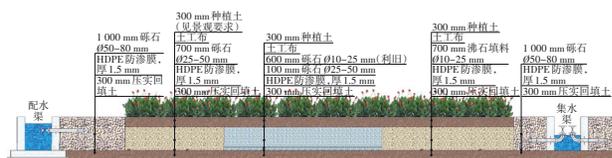


图2 楼村湿地公园水平潜流人工湿地剖面图

Fig.2 Cross-sectional view of horizontal subsurface-flow constructed wetland in Loucun Wetland Park

### 1.2.4 除臭单元

对系统内进水泵房、污泥池和污泥浓缩池、生物反应池以及调蓄池等恶臭气体散发点进行加罩,由除臭风管收集,经对应除臭装置处理。2套系统分别采用“生物+活性炭”除臭工艺和单独“活性炭”除臭工艺,除臭系统进口硫化氢浓度为1~30 mg/m<sup>3</sup>、氨浓度为1~5 mg/m<sup>3</sup>、臭气浓度为3 000~10 000。处理后气体浓度能够达到《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)一级标准。

## 2 现状运行情况

### 2.1 处理水量与水质

2021年楼村湿地公园水质净化系统日平均处理量为2 730.92 m<sup>3</sup>,关键污染物累积频率及去除情况分别如图3和图4所示。

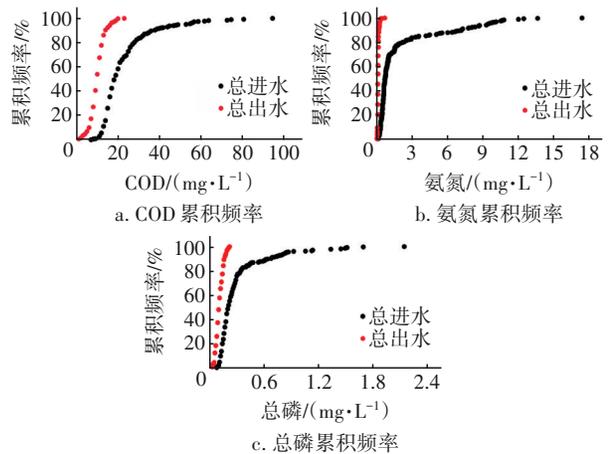


图3 关键污染物累积频率

Fig.3 Cumulative frequency of key pollutants

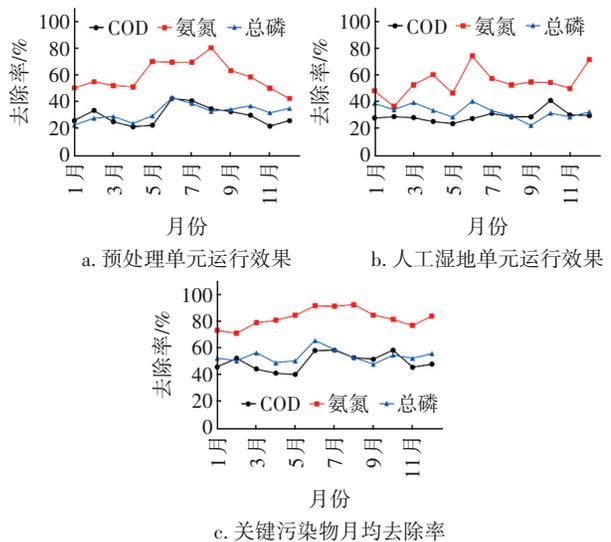


图4 关键污染物去除效果

Fig.4 Removal effect of key pollutants

从图3可以看出,2021年楼村湿地公园进水污染物均没有超出设计进水浓度范围,通过净化系统的有效处理,各污染物出水浓度均稳定达到了排放标准。从图4可以看出,湿地公园各处理单元均展现了稳定的处理能力,其中预处理单元对COD、氨氮、总磷的平均去除率分别为32%、62%、34%;人工湿地单元对上述关键污染物的平均去除率分别为30%、56%、38%。

楼村湿地公园改建前设计出水BOD<sub>5</sub>、COD、氨氮、总磷分别为不超过20、40、10、1.0 mg/L,改造后分别为不超过6、30、1.5、0.3 mg/L。可以看出,改建后出水水质指标明显提升,由广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)中第二类第二时段城镇二级污水处理厂一级标准提升至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。楼村湿地公园实际水质情况见表1。可见,总进水污染物浓度接近甚至低于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,属于极低负荷污水。各处理单元分别对进水浓度已经达到地表Ⅳ类水标准的污染物,仍然能保持稳定的去除效果,对高于地表Ⅳ类水标准的污染物同样表现出较好的去除效果,使得人工湿地公园年平均总出水BOD<sub>5</sub>、COD、氨氮、总磷等相关指标能够达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准。

表1 楼村湿地公园实际水质情况

Tab.1 Actual water quality of Loucun Wetland

项 目	Park			
	mg·L <sup>-1</sup>			
项 目	BOD <sub>5</sub>	COD	氨氮	总磷
总进水	<2	23.19	2.03	0.30
人工湿地进水	<2	14.78	0.52	0.16
总出水	<2	10.33	0.13	0.10

从水质净化系统整体来看,COD平均去除率为55%,氨氮平均去除率为84%,总磷平均去除率为56%。该净化系统对初期雨水或河水中氨氮的去除效果比COD、总磷要好,这主要是由于预处理单元的生化脱氮作用,以及人工湿地基质的多孔结构对氨氮具有良好的吸附作用,同时大小不一的孔洞结构有利于形成复杂的“好氧-缺氧-厌氧”微生物环境<sup>[6]</sup>,强化了生物脱氮,保障了最终出水水质稳定达标。2021年度楼村湿地公园关键污染物水质指标均达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。

## 2.2 生化工艺维护

楼村湿地公园来水主要为排洪渠初期雨水(雨季工况)和河水(旱季工况),考虑来水有机物浓度偏低,在MBBR填料挂膜成功且稳定运行后,逐渐调整气水比至4:1,使溶解氧既能满足需要,又不会导致过曝<sup>[5]</sup>。日常楼村湿地公园进水碳:氮:磷值为77:7:1,污水处理过程中需要额外补充碳源,但本着“降污减碳”的理念,根据实际情况向预处理单元引入生活污水(非常规工况)来保证生物反应池微生物的生长需求,以达到生物脱氮除磷要求。生化工艺出水(预处理单元出水),即人工湿地进水,每日对该部分出水进行取样检测,以确保生化出水水质达到湿地进水要求。预处理单元进出水水质见表1,出水水质满足湿地进水水质要求。

## 2.3 人工湿地运行管控

### 2.3.1 水位控制

楼村湿地公园采用水平潜流人工湿地,在基质的吸附过滤、植物的吸收代谢,以及微生物的降解利用等共同作用下,对污染物的去除效果表现较好。湿地运行初期,定期降低水位,刺激植物根系下探生长<sup>[7]</sup>。湿地正常运行后,在植物生长季节对湿地进行月度排空,再升高水位使氧气进入,加强特定污染物的氧化沉淀作用。

### 2.3.2 植物管控

人工湿地系统中的植物具有自我维护性,可随环境因素迁移或蔓延。楼村湿地公园的湿地植物主要为美人蕉、再力花等,每年4月、9月进行2次收割。植物的补种、收割等需要根据进水负荷、景观要求和冬季运行等多种因素确定,并非一成不变。每年秋季收割植物可以保障来年春季更加旺盛,而不进行收割则可以保护较小植物根系过冬。

### 2.3.3 防堵塞

人工湿地堵塞主要有以下三点原因:预处理效率不高,湿地污染物负荷和水力负荷过大;基质填料不合理;固体悬浮物、植物残体及分解产物、生物膜等积累这些都会导致湿地堵塞<sup>[8-9]</sup>。运行管理过程中更多是由于污染物负荷和水力负荷过大导致的堵塞。楼村湿地公园的预处理单元可以有效降低人工湿地进水的污染物负荷,当预处理单元沉淀池的絮凝沉降效果较差时,可通过投加PAC的方式提高沉降效率,预防湿地堵塞,延长使用年限。同时,在日常运行期间,可控制不同工况采取不同来

水的阶段式进水模式应对堵塞。

### 3 湿地公园的效益与前景

#### 3.1 处理效果分析

楼村湿地公园改建前主要处理河道水,改建后同时具有初期雨水水质净化和河道水生态修复的作用,可有效削减初雨径流污染入河,提升区域河道水环境质量。改建后的出水水质指标明显提升,由改建前的《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)中第二类第二时段城镇二级污水处理厂一级标准提升至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。改建后除了具有以上作用外,还兼具调蓄、排洪防涝等功能,对初期雨水进一步就地消纳,实践“三水分离”的理念。改建后采用MBBR预处理工艺,由于悬浮载体被拦截在生化池内,不再受排泥造成的工程泥龄限制,存在长泥龄菌群,提高了系统内硝化菌群的数量,在面对低温条件时能确保足够的硝化能力<sup>[10]</sup>。相比改建前接触氧化工艺,改建后的工艺具有显著优势,当进水污染物浓度较低时,仍然保持了稳定的去除率,为后续人工湿地提供相对稳定的进水水质。另外,楼村湿地公园采用潜流湿地,相比表面流及垂直流人工湿地,更能充分利用基质、植物根系和生物膜等去除水体中的污染物,对初期雨水具有较好的净化效果。此种方式的应用前景广阔,目前较多地应用于农村生活污水的处理。根据国家水环境治理的趋势,“低浓度预处理工艺+湿地生态系统”在水质提升和非点源污染方面具有广阔的前景,利用过程控制和末端治理相结合的方式改善初雨水质,实现水环境整治目标的同时提高了再生资源利用率。

#### 3.2 生态环境效益

楼村湿地公园的营建极大地改善了茅洲河流域水环境质量,公园结合新陂头河的景观脉络,构建了“山水园田城”于一体的绿色生态网络,为城中的黑脸琵鹭、白鹭等鸟类提供了栖息环境,为周边市民提供了休闲娱乐场所。作为茅洲河流域滞洪区之一,具有削峰调蓄能力,通过雨水花园、植草沟、透水路面、生态停车场等实现“海绵”功能,缓解城市“热岛”效应,改善空气质量的同时减少了道路噪声的传播<sup>[11]</sup>。经过水质净化系统后的水质稳定达到了地表Ⅳ类水要求,甚至更优,可用于景观植物和农作物的灌溉,同时为藻类植物、浮游动物和

鱼类等提供适合生存的水域生态系统。作为集水质净化系统、农作物耕种、生态景观于一身的综合体,不仅带来了良好的生态环境、提高了生物多样性,还具有较高的环境治理研究和自然科学教育的价值,可以作为科普和生态环境教育基地。

#### 3.3 存在的问题及应用前景

目前楼村湿地公园的建设及运营全部由政府出资补贴,从长远管理角度来看,可能会产生管养不精细、地方政府财政压力较大等一系列问题,适当地引入市场化经营机制,可以确保良好且持续性的管理和发展。从经济效益角度出发,对经济作物寻求收购,适度承办生态活动,开辟某些区域打造书吧等休闲场所,开发环保相关的文创产品等,增收的同时可多途径、多角度宣传保护生态环境的理念。随着光明区打造世界一流科学城和深圳北部中心区的发展需求,光明区人工湿地公园也需要不断完善和制定适应新任务的管理制度。加强专业技术人员与管理人士的联动工作和培训,提高运行管理人员的专业知识和服务水平。采用“MBBR+人工湿地+海绵元素”的模式,可以同时满足初期雨水、河道水和生活污水的有效净化,达到滞洪、水质净化双重效果,对雨污分流不完善、洪水多发地带的城市具有较好的推广意义,可使水质净化设施与生态景观进行有机融合,同时为城市去工业化提供了新思路。

### 4 结论

楼村湿地公园水质净化系统改建后运行稳定,与改建前相比,出水中关键污染物COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总磷等均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,甚至可以达到Ⅲ类水标准,改建后的预处理系统在初期雨水净化中发挥了积极作用,大大降低了湿地受季节影响的风险,改善了茅洲河流域水环境质量,展现了生态环境效益。从市场化经营、长效管理等角度为楼村湿地未来的经营发展指明了进一步努力的方向,使其更好地服务于广大群众,助力生态环境文明建设和城市区域发展。

#### 参考文献:

- [1] GAAFAR M, MAHMOUD S H, GAN T Y, *et al.* A practical GIS-based hazard assessment framework for water quality in stormwater systems [J]. *Journal of*

- Cleaner Production, 2020, 245: 118855.
- [ 2 ] 肖海文,刘馨瞳,翟俊,等. 人工湿地类型的选择及案例分析[J]. 中国给水排水,2021,37(22):11-17.  
XIAO Haiwen, LIU Xintong, ZHAI Jun, *et al.* Type selection of constructed wetlands and related design case analysis [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37 (22): 11-17(in Chinese).
- [ 3 ] 王翔,朱召军,张金菊,等. 异位组合人工湿地用于河流水质净化[J]. 中国给水排水,2021,37(14):137-141.  
WANG Xiang, ZHU Zhaojun, ZHANG Jinju, *et al.* Application of ex-situ composite constructed wetlands in river purification [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 137-141(in Chinese).
- [ 4 ] 赵洁浓. 茅洲河人工湿地污染治理工程工艺调试研究[J]. 环境科学与管理,2015,40(1):106-109.  
ZHAO Jienong. Debugging process of Maozhou River constructed wetland project [J]. Environmental Science and Management, 2015, 40(1): 106-109(in Chinese).
- [ 5 ] 邹敏,吴剑,王媛,等. A/O-MBBR工艺处理低浓度城镇污水研究[J]. 中国给水排水,2013,29(9):9-12.  
ZOU Min, WU Jian, WANG Yuan, *et al.* A/O-MBBR process for treatment of low-concentration municipal sewage[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(9): 9-12(in Chinese).
- [ 6 ] 刘慎坦,王国芳,谢祥峰,等. 不同基质对人工湿地脱氮效果和硝化及反硝化细菌分布的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版),2011,41(2):400-405.  
LIU Shentan, WANG Guofang, XIE Xiangfeng, *et al.* Effect of matrix on denitrification efficiency and distribution of nitrifying and denitrifying bacteria in constructed wetlands[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2011, 41 (2): 400-405 (in Chinese).
- [ 7 ] 杜曼曼,张琼华,连斌,等. 城市污水处理厂尾水人工湿地净化工程调试与运行[J]. 中国给水排水,2020,36(9):94-100,104.  
DU Manman, ZHANG Qionghua, LIAN Bin, *et al.* Commissioning and operation of constructed wetland project for purification of tail water from municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(9): 94-100, 104(in Chinese).
- [ 8 ] 魏俊,赵梦飞,刘伟荣,等. 我国尾水型人工湿地发展现状[J]. 中国给水排水,2019,35(2):29-33.  
WEI Jun, ZHAO Mengfei, LIU Weirong, *et al.* Development status of constructed wetland (CWs) for treatment of terminal effluent of wastewater treatment plants (WWTPs) in China [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(2): 29-33(in Chinese).
- [ 9 ] 张明珍,曹涛涛,刘伟,等. 水平潜流人工湿地堵塞初期微生物群落结构变化[J]. 水生生物学报,2022,46(10):1510-1517.  
ZHANG Mingzhen, CAO Taotao, LIU Wei, *et al.* Microbial community structure during the initial clogging stage in horizontal subsurface flow constructed wetlands [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46 (10): 1510-1517(in Chinese).
- [ 10 ] VYMAZAL J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: a review [J]. Ecological Engineering, 2014, 73: 724-751.
- [ 11 ] 刘然彬,赵亚乾,沈澄,等. 人工湿地在“海绵城市”建设中的作用[J]. 中国给水排水,2016,32(24):49-53,58.  
LIU Ranbin, ZHAO Yaqian, SHEN Cheng, *et al.* Application of constructed wetlands to construction of sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (24): 49-53, 58(in Chinese).

作者简介:高娜(1995-),女,河南周口人,硕士,助理工程师,主要从事水处理及环保技术咨询等工作。

E-mail: 1186176309@qq.com

收稿日期:2022-09-21

修回日期:2022-12-09

(编辑:任莹莹)