

周敏. 双碳背景下苏南地区生态人工湿地的设计与运行特点分析——常州市江边污水厂湿地案例[J]. 净水技术, 2025, 44(5): 173-179.
ZHOU M. Analysis of design and operation of ecological constructed wetland in southern Jiangsu under the dual carbon background——Case of Changzhou Jiangbian WWTP constructed wetland [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(5): 173-179.

双碳背景下苏南地区生态人工湿地的设计与运行特点分析——常州市江边污水厂湿地案例

周 敏*

(常州市排水管理处,江苏常州 213000)

摘 要 【目的】 文章以苏南地区的1座处理水量为4万 m³/d的厂内人工湿地为例,分析了冬季低温、夏季湿热地区的人工湿地设计特点以及运行过程中的关键点,以期为同类型湿地设计、潜流及表面流人工湿地运行管理提供合理借鉴。【方法】 文章介绍了江边污水处理厂人工湿地进水中污染物含量较低的特点、该人工湿地设计时采用“潜流湿地与表面流湿地相结合”的方法,分析了湿地启动期(0~6周)、过渡期(7~18周)与稳定期(19~30周及近1年)对尾水中COD、氨氮、TN、TP的处理效果并探讨各污染物削减的机理。人工湿地运行宜在春季启动,管理过程中应定时养护渠道管道、管理好湿地内的植物、适度对湿地动物的人为干预,做好湿地水质监测并说明湿地运行费用的组成及列支情况。【结果】 实际运行结果显示,该项目启动迅速,运行简便,稳定运行阶段中COD、氨氮、TN、TP的平均去除率分别为21.7%、20.0%、10.9%、10.4%。湿地稳定运行后,可以变“工程水”为“生态水”,改变公众对污水厂尾水的固有印象,赢得周边群众的理解,实现较好的社会效益。【结论】 人工湿地可以削减污水厂尾水中的COD、氨氮、TN、TP,进一步优化水质,增强人民群众对尾水的接纳度,为污水的资源化利用提供基础。

关键词 人工湿地 生态缓冲 运行要点 适时采收 生态水 社会效益

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)05-0173-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.05.019

Analysis of Design and Operation of Ecological Constructed Wetland in Southern Jiangsu under the Dual Carbon Background——Case of Changzhou Jiangbian WWTP Constructed Wetland

ZHOU Min*

(Changzhou Drainage Management, Changzhou 213000, China)

Abstract [Objective] This paper takes a factory constructed wetland with a water treatment capacity of 40 000 cubic meters per day in the southern Jiangsu region as an example to analyze the design characteristics and key points in the operation process of constructed wetlands in areas with low winter temperatures and humid and hot summers. The aim is to provide reasonable reference for the design, operation and management of similar wetlands, as well as subsurface and surface flow constructed wetlands. [Methods] The paper introduced the characteristics of low pollutant content in the influent of the constructed wetland of Jiangbian wastewater treatment plant(WWTP). The design of the constructed wetland adopted a combination of subsurface flow wetland and surface flow wetland. The treatment effects of COD, ammonia nitrogen, TN, and TP in tailwater during the wetland start-up period (0~6 weeks), transition period (7~18 weeks), and stable period (19~30 weeks and nearly a year) were analyzed, and the mechanisms of pollutant reduction were explored. The operation of constructed wetlands should be started in spring. During the management process, regular maintenance of channels and pipelines should be carried out, plants in the wetland should be maintained, human intervention in wetland animals should be controlled, and wetland water quality monitoring should be well done, and explain the compositions and allocation of wetland operating costs. [Results] The actual operation result showed that the project started quickly, operated easily,

[收稿日期] 2023-07-10

[通信作者] 周敏(1989—),女,硕士研究生,研究方向为污水处理技术,E-mail:928340588@qq.com。

and the average removal rates of COD, ammonia nitrogen, TN, and TP during the stable operation stage were 21.7%, 20.0%, 10.9%, and 10.4%. After the stable operation of wetlands, they could transform "engineering water" into "ecological water", change the public's inherent impression of WWTP's tailwater, won the understanding of surrounding people, and achieved better social benefits. [**Conclusion**] Constructed wetlands can reduce COD, ammonia nitrogen TN, TP of WWTP's tailwater, further optimize water quality, enhance people's acceptance of tailwater, and provide a foundation for the resource utilization of wastewater.

Keywords constructed wetland ecological buffering key points of operation timely collecting ecological water social benefit

人工湿地是1种模拟天然湿地、人工建造用于净化污水的设施,根据湿地内水的流动形态,可分为表面流、潜流。人工湿地主要通过模拟自然湿地的结构、功能来进一步削减尾水中的碳、氮、磷、重金属、类腐殖质成分等污染物,用来净化水质^[1-2]。

与自然水体相比,污水厂尾水因其特殊性,并不被群众全面接纳,湿地可以从水质、感官等不同角度改善污水厂尾水,使“工程水”变成“生态水”,增强人民群众对尾水的接纳度,为污水的资源化利用提供基础,符合国家提出的“碳达峰”“碳中和”目标要求。通过水生植物的多层次配置、水生植物与水景的有机结合、亲水平台的搭建,全面提升人工湿地景观质量,在适当条件下,可开放或者半开放这些人工湿地,变“邻避”为“邻利”,让污水厂周边居民多一处休闲娱乐场所。

人工湿地中的植物选择南北有别,北方地区以芦苇、菖蒲等为主,而南方地区湿地植物种类更为丰富,常见物种包括美人蕉、芦苇、菖蒲、狐尾藻、苦草等^[3]。与华北地区、东北地区的严寒冬季相比,长江三角洲地区冬季气候温和,水温常在冰点以上,可越冬的湿地植物种类较多。

1 江边污水处理厂人工湿地的设计特点

常州地处江苏省南部,是典型的长江中下游平原地区。本文所列举的项目为常州市江边污水厂厂内湿地,该湿地为江苏省生态净化型安全缓冲区示范项目,是“江苏省生态安全缓冲区典型案例”。常州市江边污水处理厂现状规模为50万 m^3/d ,分一至四期,其中四期规模为20万 m^3/d ,采用厌氧-缺氧-好氧(AAO)+深度处理工艺,出水执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB32/1072—2018)中“其他区域排放限值”。厂内湿地为四期配套工程,设计水量为4万 m^3/d ,江边厂四期部分出水排放至生态湿地,对出厂尾水进行再次净化提质,进一步降解常规污染物排放量,打造成水生态景观,实现“准自然水

体”回补河道地表水的目标生态。现以此为例,分析苏南地区湿地的设计特点。工程生态湿地设计工艺流程如图1所示。



图1 人工湿地设计工艺流程

Fig. 1 Design Process Flow of the Constructed Wetland

潜流人工湿地通过填料表面吸附、植物同化吸收、微生物作用,协同净化水质;表面流湿地主要依靠所种植的植物水下茎秆、表层填料附着的微生物去除污染物^[4]。如采用单一的“水平潜流湿地”,存在构造复杂、建设费用高的问题;采用单一的“表面流湿地”,存在占地面积大、自由水面大、夏季蚊虫多的问题,结合工程所处地区的气候特点,常州年平均气温为15.4 $^{\circ}\text{C}$,雨量集中,夏季湿热,冬季干冷,根据常州的环境条件、适合的植物群落,考虑所种植物的耐污染能力、水质净化能力、季节配置,选种适应性强、可利用性好的植物作为湿地植物,因此,本工程通过“水平潜流湿地+表流湿地”组合的设计方案,潜流湿地主要选择去污能力强的鸢尾、旱伞草等植物净化水质,表面流湿地主要考虑植物外形美观、种类丰富,活化水质,两者组合建设,土地用量少,处理效果优,湿地景观美。工程鸟瞰图如图2所示。



图2 江边污水处理厂湿地鸟瞰图

Fig. 2 Aerial View of the Wetland in Jiangbian WWTP

潜流湿地位于湿地地块东侧,是本湿地水质净化重要部分,总占地面积约为 15 亩(1 亩 \approx 666.67 m^2)。考虑到江边四期的实际出水 SS 质量浓度常年低于 4 mg/L ,TP 年均值低于 0.3 mg/L ,氨氮年均值低于 0.3 mg/L ,根据工程经验,水平潜流生态湿地放大处理负荷至 1 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,综合考虑净化效果、排放要求及建设运行费用,设计处理水量为 1 万 m^3/d ,超越水量为 3 万 m^3/d 。进水经配水系统,从湿地南端进填料床,与所种植物根部接触。根区填料层从上至下依次为:表层土壤、中层透水土工布、下层沸石碎石,下铺高密度聚乙烯(HDPE)防渗膜,基底素土夯实。潜流表层土壤,分区种植耐水性植物:旱伞草、花叶芦竹及鸢尾。由于设计时选用了合适粒径的碎石、沸石配比,再加上合理的运行管理,运行过程中并未出现明显的填料堵塞情况。

表面流湿地可以活化水质。本工程中,表面流湿地总占地面积约为 97.5 亩,设计水量为 4 万 m^3/d ,包括水域部分、陆域部分,其中湿地建设根据原有地形,依势而建,水域部分分深水区、浅水区;陆域部分种植植物、分布道路。陆域中设计有 5 座人工岛,互相之间采用“水上栈道”连通,游人可漫步其中,观

赏水景。表面流湿地种植的挺水植物主要为黄菖蒲、芦苇,搭配香蒲、再力花等;浮水植物有铜钱草、睡莲等;沉水植物有苦草、狐尾藻等。

生态湿地净化后的 4 万 m^3/d 水供给新龙商务城回用,对城市节水有重要意义。

2 江边污水处理厂人工湿地的运行效果

以江边污水处理厂厂内湿地为例,分析苏南地区湿地运行效果。湿地内植物种植完毕,通水即视为启动,启动期进水量为设计流量的 75%,根据设计,初定启动期时长为 6 周,期间每周监测进出水水质,适时调整流量,将水位降低,一般距离湿地床底 0.2 m。从监测情况来看,经过 6 周时间,湿地植物成活并长高约为 20 cm,各污染物指标都有所下降,再经过 12 周的过渡期之后,湿地植物长势良好,各污染物削减量也都达到设计值,此后即按照设计水量连续运行。其他地区若兴建类似湿地,若在启动阶段监测到污染物浓度明显降低,即可逐步增加处理水量,直至设计值,若遇到水质波动,则暂停增加水量,待系统稳定后再作调整。

2.1 江边污水厂湿地对 COD 的削减情况

江边污水厂湿地对尾水 COD 的削减情况,如图 3 所示。

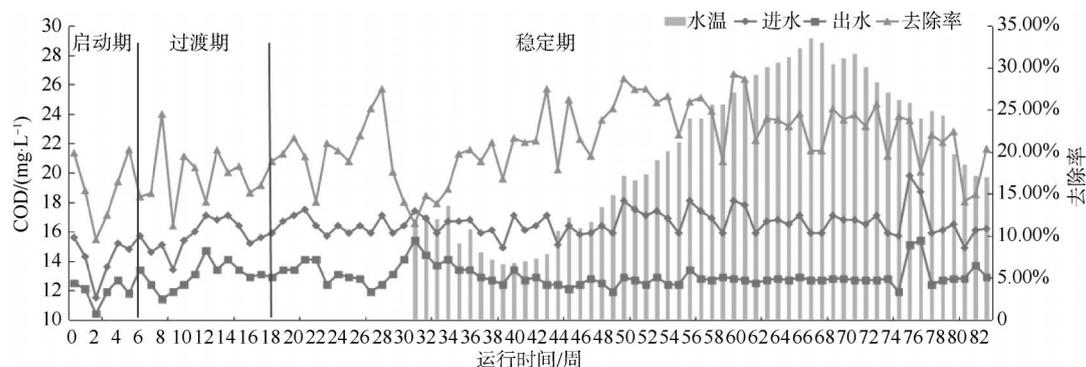


图 3 江边污水厂人工湿地对 COD 削减效果

Fig. 3 Effect of COD Removal in Constructed Wetland of Jiangbian WWTP

实际进水中 COD 质量浓度为 11.5~19.8 mg/L 。经湿地后,尾水中 COD 含量有所降低。尾水中 COD 浓度在启动阶段降低迅速。这是因为大部分有机物在尾水流动的过程中,经填料吸附、微生物降解、生物根系吸收被有效去除^[5]。稳定期尾水中 COD 的平均去除率为 21.7%,最高去除率接近 29.3%。实际进水中 COD 含量较低,且主要是经生化处理后难降解的 COD,故本工程对 COD 的去除能力一般。

2.2 江边污水厂湿地对氨氮的削减情况

江边污水厂湿地对尾水氨氮削减情况如图 4 所示。

实际进水中氨氮质量浓度为 0.071~0.142 mg/L 。潜流单元所用填料附着生长有生物膜,刚进入系统的尾水溶解氧丰富,氨氮转变为硝态氮。伴随水流动,水中溶解氧下降,发生初步反硝化。当潜流湿地底部处于缺氧状态时,硝化作用受到抑制^[5]。运行

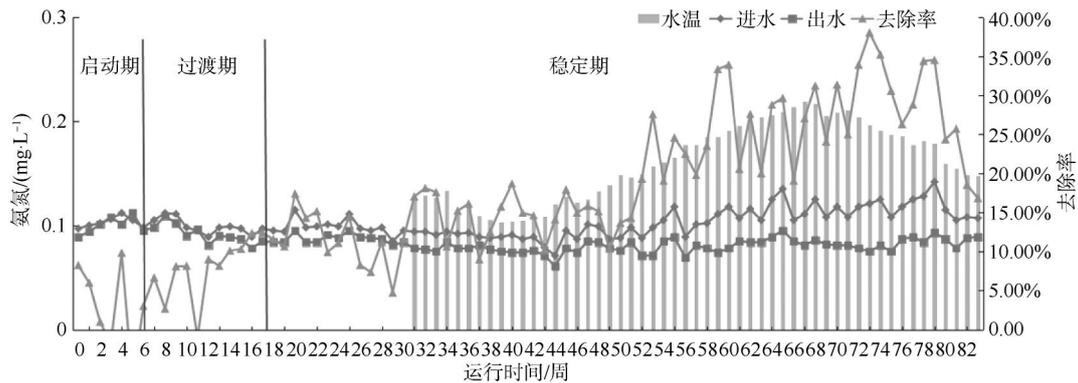


图4 江边污水厂人工湿地对氨氮削减效果

Fig. 4 Effect of Ammonia Nitrogen Removal in Constructed Wetland System of Jiangbian WWTP

稳定后,氨氮平均削减率为 20.0%,最高削减率为 38.0%。从监测期内监测到的数据来看,湿地出水的氨氮质量浓度为 0.061~0.112 mg/L,其中 2023 年 1 月—4 月平均水温为 16.0 °C,氨氮平均去除率为 14.3%,5 月—10 月平均水温为 26.9 °C,氨氮平

均去除率为 26.9%。

2.3 江边污水厂湿地对 TN 的削减情况

江边污水厂湿地对尾水 TN 削减情况,如图 5 所示。

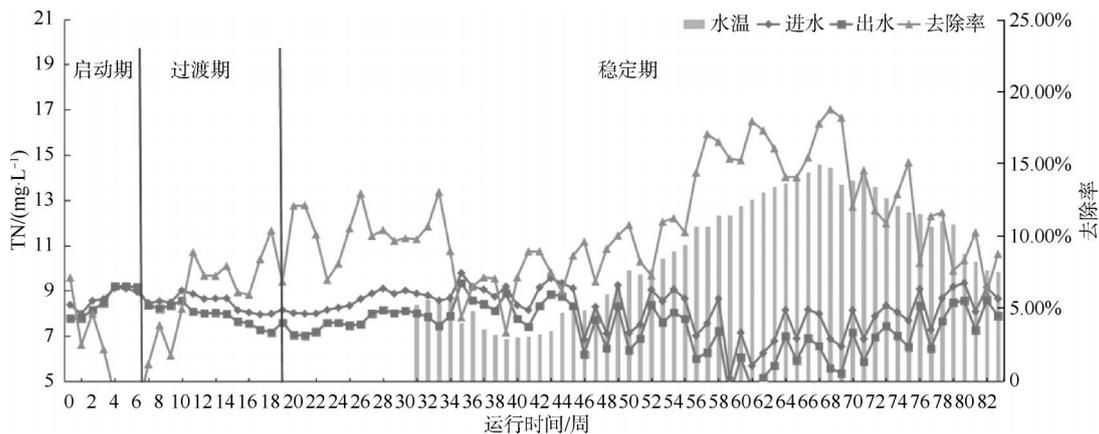


图5 江边污水厂人工湿地对 TN 削减效果

Fig. 5 Effect of TN Removal in Constructed Wetland of Jiangbian WWTP

实际进水中 TN 质量浓度为 5.14~9.78 mg/L,经系统处理后,TN 浓度有所降低。潜流湿地单元设计有穿水挡墙。本工程通过调控水流路径、延长填料尾水接触时间,实现高效脱氮。启动期间系统 TN 平均削减率为 4.1%。过渡期出现 3 周出水 TN 高于进水 TN 的情况。这是因为湿地启动初期,生物膜未完全形成,生物削减功能弱,加之浸泡后基质内的部分污染物溶入水体,使得出水 TN 浓度升高。过渡期时,系统对 TN 的去除率起伏较大^[4],去除率最高为 10.4%,最低为 1.2%,该期间为初冬季,水温低,微生物的活性弱,表面流处植物未完全长成,因此削减功能不强。系统稳定之后,TN 平均削减率为 10.9%,最高为 18.8%。

梅艺锋等^[6]指出,碳在反硝化过程中充当电子供体,因而在去除 NO_3^- -N 过程中扮演关键角色,混合人工湿地中,当 COD/NO_3^- -N 比率为 3.5 : 1 ~ 5 : 1 时, NO_3^- -N 的去除效果较好,当 COD/NO_3^- -N 比率低于 2 : 1 时, NO_3^- -N 的去除受到限制。本工程中 TN 的主要组成为硝态氮,由于实际进水中 COD 较低, COD/NO_3^- -N 比率低于 2 : 1,并且是生化处理后剩余的 COD,其中不易生物利用的 COD 占比高,C/N 相对不足,系统对 TN 削减效果一般。杨新萍等^[7]研究潜流湿地对微污染水体的脱氮除磷过程中提出,潜流湿地主要是利用微生物硝化反硝化作用、植物生长去除氮。水温低时,生物活性减弱,导致脱氮效率低下,这与监测到的湿地情况

一致。另外,石彬等^[8]在表面流人工湿地群提升河流水质方面的研究结果显示,表面流湿地中生长的苦草、金鱼藻等植物,以及鱼类贝壳类等动物,在稳定运行后,通过植物、水生动物生物链调控,去除水中的低含量氮、磷。目前江边污水厂厂内湿地运行时间仍较为有限,将继续关注湿地 TN

变化情况,探究湿地运行过程中微污染水体脱氮除磷的流程变化及机理,尝试挖掘系统脱氮除磷的潜力。

2.4 江边污水厂湿地对 TP 的削减情况

江边污水厂湿地对尾水中 TP 削减情况,如图 6 所示。

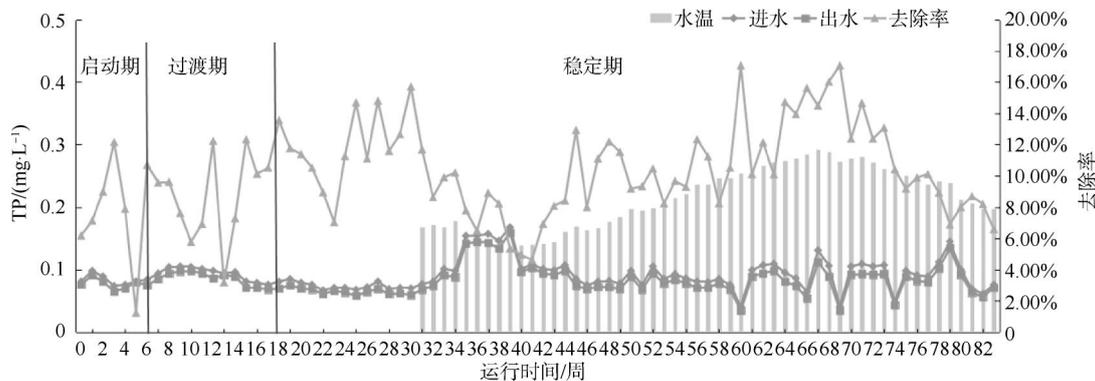


图 6 江边污水厂人工湿地对 TP 削减效果

Fig. 6 Effect of TP Removal in Constructed Wetland of Jiangbian WWTP

实际进水中 TP 质量浓度为 0.041~0.168 mg/L。潜流单元采用火山石、碎石作为中层填料介质,该介质可以高效吸附尾水中的磷^[9-10]。江边污水厂湿地可稳定削减 TP,过渡期的平均削减率为 9.1%,稳定期 TP 去除效果更佳,平均削减率达 10.4%,最高削减率接近 17.1%。这是由于随着系统进入稳定期,植物的生长活跃、微生物代谢旺盛,促使 TP 的削减率增高。

根据目前监测情况来看,本工程出水 COD 质量浓度长期稳定低于 30 mg/L,出水氨氮平均质量浓度为 0.081 mg/L。湿地出水的 TN 年均质量浓度为 7.21 mg/L,出水 TP 年均质量浓度为 0.087 mg/L,以上常规指标浓度均满足《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)的水质要求。

3 江边污水处理厂人工湿地的管理要点

3.1 污水厂内人工湿地的启动与运行

人工湿地启动阶段,引入未经消毒的河水润塘,其中含有天然的鱼卵、虾卵。随着人工湿地运行,可自然形成生物系统。考虑到消毒药剂对动植物的影响,宜在湿地出水阶段对尾水进行杀菌处理,使其达到排放标准。

湿地植物生长随季节变化,考虑到春季气温逐渐升高,且植物生长旺盛,因此,最宜在春季启动湿地运行。

3.2 生态湿地的维护管理

生态湿地污水处理系统要发挥其功能,管理与维护是关键。具体措施包括以下几个方面。

3.2.1 渠道管道管理

定期巡查,对潜流湿地出水管渠进行反冲洗,防止生成的生物膜过厚影响处理效果。加强日常巡查,确保进水、排水渠道管道通畅,保证设施有效地运行。

3.2.2 植物养护管理

江边污水处理厂厂内湿地的植物可以自然生长。日常护理主要在于及时清除杂草。冬季来临前,及时收割不耐寒的植物。及时移除生长过于旺盛的植物,防止其侵占其他植物生长空间。栽植时即选用长势良好、无病虫害的优质植株,发现染病植物,及时移除。目前湿地内危害植物生长的主要为福寿螺,对于有福寿螺卵块寄生的植株,及时发现、及时移除并用喷枪灼烧卵块。

3.2.3 动物养护管理

江边污水厂内湿地的动物主要为自然繁殖。江边污水厂与同济大学合作,开展湿地生态系统调查,研究发现,湿地内存在有浮游动物、底栖动物、鱼类、鸟类等多种动物,生物链完整,生物多样性丰富。江边污水厂科研小组人员定期放置地笼,捕捉湿地动物,估算鱼类、螺类密度,适时捕捞,防止湿地内鱼、螺密度过大。对于生活在湿地的白鹭、夜鹭、黑水鸡

等野生鸟类,采取视频探头远程观察,尽量减小人为活动对其影响。

3.2.4 水质监测与控制

对处理系统的水质进行日常监测,在进水、出水、潜流湿地、表面流湿地共设置7个监测点位,主要监测内容包括进水水质、出水水质、湿地水位、湿地内生物状况指标等,采样频率如表1所示。

表1 江边污水厂人工湿地常规监测内容
Tab.1 Routine Monitoring Content of Constructed Wetland in Jiangbian WWTP

监测参数	采样地点	采样频率
水温、溶解氧、透明度、pH	进水、出水	每周1次
COD、氨氮、TN、TP	进水、出水、潜流出水、 表面流监测点	每周1次
BOD ₅	进水、出水	每月1次
植被覆盖、生长情况	进出水口、中心	每季度1次
生物状况指标	表面流湿地内设置监测点	每季度1次

3.2.5 强化冬季防寒措施

常州冬季存在水面结冰情况,本工程设计时已考虑保温防寒措施。现采取秋季收割的芦苇、香蒲等挺水湿地植物地上部分覆盖在潜流湿地表面,起到保温防寒作用。等到春天气温开始升高时,再及时运离,以免污染物重新进入水体。

4 运行费用

目前湿地不使用药剂,用电设施设备主要为水泵、表面流喷泉,运行人员主要依靠污水处理厂原有人员,另外聘请5名专业绿化、保洁人员,负责湿地日常清洁、打扫。厂内湿地水质监测通过内部检测与委托具备中国合格评定国家认可委员会(China National Accreditation Service for Conformity Assessment, CNAS)和中国计量认证(China Metrology Accreditation, CMA)资质的常州市排水管理处监测站、第三方检测机构相结合的方式开展,湿地水质监测费用与污水厂水质监测合并计费。

5 结语

江边污水处理厂人工湿地采用“潜流湿地+表面流湿地”组合工艺,占地面积小,选择合适的潜流湿地充填材料以获得良好的湿地净化能力,选种合适的湿地植物,有利于发挥湿地的净化功能。稳定运行期间,湿地对COD、氨氮、TN、TP平均削减率依次为21.7%、20.0%、10.9%、10.4%,表明该工艺具有深度净化微污染水体的作用。

依据本工程的运行管理经验,人工湿地最宜在春季启动,运行过程中需要做好设施设备巡检、日常水质监测、动植物养护管理,尤其应强化冬季运行管理。

本人工湿地项目能深度净化尾水、美化环境,是“生态优先、绿色发展”理念纳入城市建设管理的重要体现。项目通过湿地净化,有效降低尾水生物毒性影响,让原来的“工程水”变成“生态水”。本项目具有较高的社会效益,湿地内同步建设集科普、宣传、教育多功能为一体的“邻里中心”,让此湿地既是污水处理知识的实景课堂,也是“生态引领党建文明”学习基地,每年接待前来参观学习的学生、同行约5000人次。本项目在设计及运行过程中积累的经验,可为类似项目提供参考。

参考文献

- [1] 程涵宇,刘汉湖,蒋雪阳,等.复合人工湿地系统对二级出水中汞的去除效果[J].中国给水排水,2023,39(7):120-125.
CHENG H Y, LIU H H, JIANG X Y, et al. Performance of hybrid constructed wetland for mercury removal in effluent from the secondary biological treatment system[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(7): 120-125.
- [2] 夏绍凤,薛竣,高文乔,等.尾水湿地系统中污染物去除过程及微生物群落结构分析[J].净水技术,2023,42(3):97-105.
XIA S F, XUE J, GAO W Q, et al. Analysis of pollutant removal process and microbial community structure in tailwater wetland system[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(3): 97-105.
- [3] 祝惠,阎百兴,王鑫壹.我国人工湿地的研究与应用进展及未来发展建议[J].中国科学基金,2022,36(3):391-397.
ZHU H, YAN B X, WANG X Y. Progress in research and applications of constructed wetlands in China and suggestions for future development[J]. Science Foundation in China, 2022, 36(3): 391-397.
- [4] 李朝明,许丹,万俊,等.不同基质湿地脱氮效果和机理的影响研究[J].水处理技术,2022,48(7):102-106.
LI C M, XU D, WAN J, et al. Nitrogen removal efficiencies and mechanisms of constructed wetlands with different substrates[J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(7): 102-106.
- [5] 周卫东,朱瑞亭,李青,等.复合式人工湿地尾水净化工程调试与运行[J].环境保护科学,2022,48(3):52-56.
ZHOU W D, ZHU R T, LI Q, et al. Commissioning and operation of compound constructed wetland project for tail water purification[J]. Environmental Protection Science, 2022, 48

- (3): 52-56.
- [6] 梅艺锋, 李楠. 人工湿地工艺研究现状及影响因素分析[J]. 节能与环保, 2023(6): 43-46.
MEI Y F, LI N. Research status and influencing factors analysis of artificial wetland technology [J]. Energy Saving and Environmental Protection, 2023(6): 43-46.
- [7] 杨新萍, 周立祥, 戴媛媛, 等. 潜流人工湿地处理微污染河道水中有机物和氮的净化效率及沿程变化[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2177-2182.
YANG X P, ZHOU L X, DAI Y Y, et al. Removal efficiency of C and N in micro-polluted river through a subsurface horizontal flow constructed wetlands[J]. Environmental Science, 2008, 29(8): 2177-2182.
- [8] 石彬, 李志今. 表面流人工湿地群提升河流水质的工程实践[J]. 给水排水, 2023, 49(3): 54-59.
SHI B, LI Z J. Engineering practice of surface flow constructed wetlands to improve water quality of inlet river of andromeda lake [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(3): 54-59.
- [9] 翟俊, 翟豪冲, 马宏璞, 等. 多级人工湿地对生活污水中磷素的去除规律[J]. 中国给水排水, 2020, 36(21): 75-79.
ZHAI J, ZHAI H C, MA H P, et al. Mechanism of phosphorus removal from domestic sewage by multi-stage constructed wetland [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(21): 75-79.
- [10] 孙健, 杨明, 贺珊珊, 等. 沸石和页岩陶粒对沉积物营养盐释放的抑制效果试验[J]. 净水技术, 2023, 42(2): 140-146.
SUN J, YANG M, HE S S, et al. Inhibitive effect test of nutrients release from sediments by zeolite and shale ceramics [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(2): 140-146.

(上接第 172 页)

参考文献

- [1] 何慧彬, 黄紫龙. 流域水环境治理中初雨调蓄池的功能及应用[J]. 水利规划与设计, 2022(2): 64-67, 118, 124.
HE H B, HUANG Z L. Function and application of initial rain regulation and storage tank in river basin water environment management [J]. Water Resources Planning and Design, 2022(2): 64-67, 118, 124.
- [2] 吕炎, 史静雯, 马晓雨, 等. 北方某新建城区初期雨水调蓄池设计案例分析[J]. 环境工程, 2023, 41(s1): 257-261.
LÜ Y, SHI J L, MA X Y, et al. Case study on the design of initial rainwater detention tank in a new-built northern city [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(s1): 257-261.
- [3] 夏加华. 全地下式处理设施与溢流污染控制的设计与运行[J]. 净水技术, 2023, 42(2): 169-176.
XIA J H. Design and operation of full-underground treatment facilities and overflow pollution control [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(2): 169-176.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇雨水调蓄工程技术规范: GB 51174—2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Technical code for urban stormwater detention and retention engineering: GB 51174—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.
- [5] 肖艳, 徐建初. 世博浦东园区雨水泵站初期雨水调蓄池冲洗方式设计[J]. 给水排水, 2009, 35(3): 50-52.
XIAO Y, XU J C. Design of flushing method for initial rainwater storage tank of rainwater pumping station in pudong park of expo [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(3): 50-52.
- [6] GUO Q Z, FAN C Y, RAGHAVEN R, et al. Gate and vacuum flushing of sewer sediment: Laboratory testing [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130(5): 463-466.
- [7] PISANO W C, O' RIORDAN O C, AYOTTE F J, et al. Automated sewer and drainage flushing systems in Cambridge, Massachusetts [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 129(4): 260-266.
- [8] 刘波. 新宛平调蓄池设备安装、调试及技术改进探讨[J]. 价值工程, 2019, 38(1): 125-127.
LIU B. Discussion on equipment installation, commissioning and technical improvement of Xinwanping storage tank [J]. Value Engineering, 2019, 38(1): 125-127.
- [9] 徐乾轲, 张力方, 张建民. 雨水调蓄池体型优化数值模拟研究[J]. 水利规划与设计, 2023(3): 69-74.
XU Q K, ZHANG L F, ZHANG J M. Numerical simulation study on shape optimization of rainwater storage tank [J]. Water Resources Planning and Design, 2023(3): 69-74.