

人工湿地组合技术在生态安全缓冲区中的应用

何鑫 甘海娇

上海太和水科技发展股份有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i11.2303

[摘要] 以扬中市兴隆污水处理厂生态安全缓冲区项目为研究对象,采用“生态塘+垂直流湿地+多级多态湿地+表流湿地”人工湿地组合技术构建生态安全缓冲区,并对其运行效果进行分析。运行结果表明:城镇污水处理厂尾水(一级A标准)经人工湿地组合技术治理后, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP达到地表水IV类水质标准,治理效果理想,为以后人工湿地组合技术在生态安全缓冲区的应用推广和示范研究提供直接的理论依据和实践经验。

[关键词] 人工湿地; 生态安全缓冲区; 污水厂尾水

中图分类号: S342.2 文献标识码: A

Application of Integrated Technology in Artificial Wetlands for Ecological Safety Buffer Zones

Xin He Haijiao Gan

Shanghai Taihe Water Science and Technology Development Co., Ltd.

[Abstract] Taking the ecological safety buffer zone project of Xinglong Sewage Treatment Plant in Yangzhong City as the research object, the combination technology of "ecological pond+vertical flow wetland+multi-level polymorphic wetland+surface flow wetland" artificial wetland was used to construct the ecological safety buffer zone, and its operational effect was analyzed. The operation results show that the effluent from urban sewage treatment plants (Class A standard) meets the Class IV surface water quality standards for $\text{NH}_3\text{-N}$, TP after treatment with artificial wetland combination technology, and the treatment effect is ideal. This provides direct theoretical basis and practical experience for the application, promotion, and demonstration research of artificial wetland combination technology in ecological safety buffer zones in the future.

[Key words] artificial wetlands; ecological security buffer zone; tail water of sewage treatment plant

引言

近十年来,中国城市污水年排放量逐年增加。根据住建部公布的《2022年城乡建设统计年鉴》,截至2022年,全国城市污水处理厂2894座,污水年排放量639亿立方米,污水年处理量为617亿立方米。其中大部分的污水处理厂尾水直接排入自然受纳水体,加剧了受纳水体的污染,若能进一步削减尾水中污染物,减轻受纳水体的污染负荷,对改善河湖水环境具有重要意义^[1]。因此,加强城市污水处理厂尾水深度处理极为必要。人工湿地工艺由于其基建及运营成本低、维护方便、具有景观价值等优点^[2],广泛用于世界各地的污水处理中,并已成为我国用于污水净化的工艺之一。

从全国各地已建或在建相关项目分析,目前多数尾水净化湿地采取了表流湿地、潜流湿地、稳定塘、预处理等技术。考虑到各类型湿地有自己的优势和短板,例如传统的表流湿地构造简单但处理效果一般、潜流湿地占地小但造价高等^[3]。该项目人工湿地组合技术将不同类型的人工湿地进行组合,充分发

挥不同类型湿地的优点,提高人工湿地对污水的净化效率。本文研究“生态塘+垂直流湿地+多级多态湿地+表流湿地”人工湿地组合技术在生态安全缓冲区中对污水厂尾水的净化效果,对类似生态安全缓冲区的建设具有重大的示范和参考意义。

1 工程概况

1.1 工程简介

扬中市兴隆污水处理厂处理规模为5.0万 m^3/d ,一级A达标尾水排入夹江。结合江苏省生态环境厅推进生态安全缓冲区建设的相关文件精神,利用79亩退企还滩地块建设扬中市兴隆污水处理厂尾水提升生态安全缓冲区,通过建设人工生态湿地,对污水厂尾水进一步生态降解净化,削减尾水入长江污染负荷,积极响应长江大保护行动,并利用生态湿地“碳汇”功能实现碳排放削减效果^[4]。

该生态安全缓冲区集水质提升、生态保育、环保教育和旅游功能于一体,其尾水用途广泛,既用于生态补水及景观用水,又用于周边园林绿化用水,真正实现“节能减排、节水减污”的

目的。本文主要研究人工湿地组合技术在生态安全缓冲区中对城镇污水厂尾水的净化效果,湿地系统的处理量为 $2\text{万m}^3/\text{d}$,其净化的尾水为扬中兴隆污水厂尾水,污水来源主要为生活污水,尾水执行的排放标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A排放标准。

1.2 工艺流程

扬中市兴隆污水处理厂尾水提升生态安全缓冲区项目采用“生态塘+垂直流湿地+多级多态湿地+表流湿地”的人工湿地组合技术。运行时,尾水通过管道进入生态塘,初步降低尾水悬浮物SS,并去除部分有机污染物;随后进入垂直流湿地,在植物、微生物、基质三者协同作用下,降解有机污染物;垂直流湿地耦合多级多态湿地,提高水中溶氧和改善水中微生物菌落结构,进一步提升湿地净化效率^[5];多级多态湿地出水进入表流湿地系统,通过沉水植物为主的水生态系统对尾水水质深度净化;系统末端达标水体一部分外排至夹江,一部分进行资源化回用,用于区域绿化、道路洒水等。

2 人工湿地分区布置及设计参数

2.1 生态塘

生态塘面积为 5760m^2 ,设计水深 1.5m ,水力停留时间为 0.43d 。塘水深 0.5m 以下区域种植挺水植物,品种为美人蕉、鸢尾等;塘水深 $0.5\sim 0.7\text{m}$ 区域种植浮叶植物,品种为粉绿狐尾藻和睡莲;塘水深 $0.7\sim 1.5\text{m}$ 区域种植沉水植物,品种为四季常绿矮型苦草。塘内安装有管道曝气系统,促进水质净化效率。生态塘作为污水处理厂尾水进入的第一级系统,其通过多条食物链的物质迁移、转化和能量的逐渐传递、转化,能够去除一定的有机污染物,保障后续湿地对污染物的去除效果和有效运行周期。

2.2 垂直流湿地

垂直流湿地有效面积为 7200m^2 ,根据地形情况设置5个湿地单元,每个单元面积为 1440m^2 。各单元结构形式及填料级配基本一致,单元墙体高度 1.4m ,填料及种植层 1.3m 。湿地由防渗膜、填料层、湿地植物、集配水系统构成,品种为美人蕉、香蒲等挺水植物。垂直流湿地从上到下设置有不同粒径、材质的基质(火山岩、石灰石、沸石),污水通过布水管进入湿地,由基质表面纵向流至湿地底部,经底部集水管收集排出湿地单元。处理过程中湿地处于不饱和状态,大气中的氧气可通过排水、通风和植物传输进入湿地,经填料层基质、植物根系及微生物三者的物理、化学和生物作用达到净化污水的目的^[6]。

2.3 多级多态湿地

多级多态湿地面积共 9464m^2 ,设计水深 1.5m ,水力停留时间为 0.71d 。多级多态湿地是一种高效脱氮除磷、可利用植物碳源、低管养型、多态氧环境交错的新型湿地。该湿地由漂浮湿地、生态涵养区及滤料净化区构成,其中:漂浮湿地由柔性纤维填料、挺水植物组成,通过推流-混流交错状态,实现污染物及浮游藻类的削减,区内呈现表层兼-好氧、水下缺-厌氧状态。生态涵养区由功能型沉水植物、浮游动物、底栖类动物和肉食性鱼类等构成,深度净化水质和促进磷的削减和转移。整个多级多态

湿地沿水流和营养盐递进方向呈现“缺氧-强氧-兼氧-强氧”多态氧环境交错状态,大幅提升系统脱氮除磷效能^[7]。滤料净化区由珊瑚砂和砾石填料组成,主要功能为pH值缓冲,植物残体和浮游藻类净化、SS,进一步确保尾水净化效率。

2.4 表流湿地

表流人工湿地水域面积 20607m^2 ,设计水深 1.3m ,水力停留时间为 1.34d 。该湿地以“控藻浮游动物引导水生态修复技术”为基础,构建“控藻浮游动物-水下森林-水生动物-微生物群落”共生系统,通过虫控藻、鱼食虫等形成食物链,构建沉水植被(四季常绿矮型苦草+刺苦草)主导的水生态系统,通过水生态系统的自净能力净化水质^[8]。沉水植物能够高效的吸收氮磷等物质,光合作用强;能够产生大量的原生氧,可保持水体高溶氧状态;改变水体氮磷营养盐循环模式,抑制底泥再悬浮及氮磷营养盐释放,促进氮的硝化/反硝化作用及磷的沉降。该湿地在净化水质的前提下还具有很强的观赏性,能够提高水下植物景观的立体性,结合陆域景观优化,打造一个集水质提升、生态保育、环保教育和旅游功能于一体的生态安全缓冲区。

3 运行结果及效益分析

3.1 运行结果

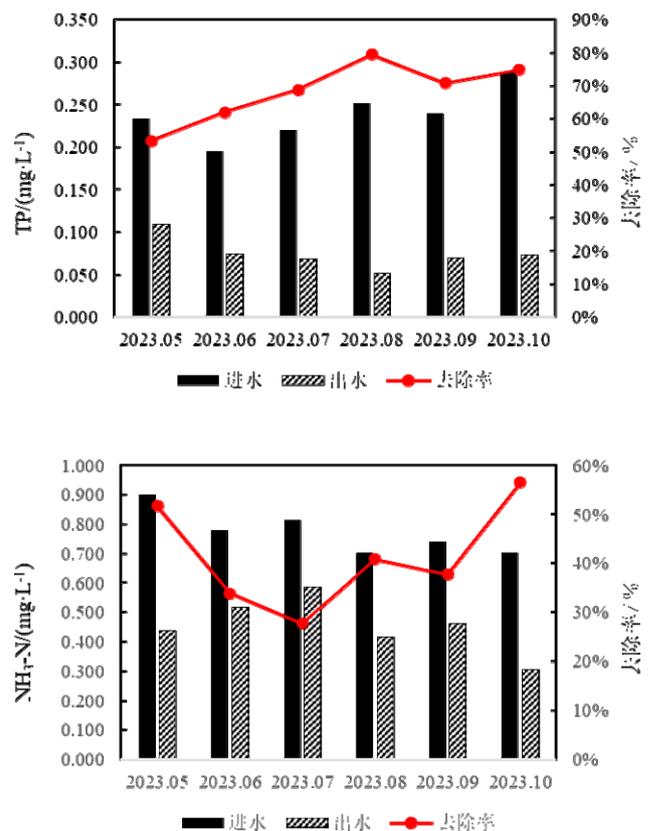


图1 人工湿地组合技术对TP、NH₄⁺-N的去除效果

生态安全缓冲区工程于2023年4月建设完成并投入使用,通过调取5月至10月期间湿地系统进出水口在线水质监测设备的检测结果,分析系统对TP、NH₄⁺-N的去除效果。由图1可知,该湿

地系统对污水厂尾水中TP的去除率为68.2%, NH₃-N去除率为41.4%。其中湿地系统对TP的去除率最高, 原因可能是该湿地系统中主要以水生植物为主, 适宜解磷细菌的生长, 而垂直流湿地中通过基质的化学沉淀和吸附作用也具备除磷的效果^[3,9]。NH₃-N的去除主要是通过硝化与反硝化作用实现, 沉水植物的光合作用提升了DO水平, 能够促进硝化作用^[9]。

3.2 效益分析

人工湿地组合技术构建的生态安全缓冲区可以降解水中污染物, 对污水厂尾水中各项污染物总量均有所去除, 预计NH₃-N年削减量2.33t, TP年削减量1.19t。缓冲区每天产出清洁的、生态的水, 实现尾水净化的同时也能够为周边绿化灌溉、道路清洁等提供用水, 预计可节约3万t/a的市政用水。同时缓冲区具有良好的景观效果, 能够给居民和游客提供亲水空间和休闲空间, 成为生产娱乐生活与自然水体的缓冲带。该项目还具有社会宣传与教育意义, 通过科普展示系统对各类人工湿地的介绍, 使公众能更多的参与到水环境生态治理的环节中。同时, 以本项目作为引线, 可以联系区域内不同业态, 跨部门合力践行两山理论的政治新生态, 成为全省生态安全缓冲区建设样板和引领。

4 结语

人工湿地组合技术构建的生态安全缓冲区, 能够稳定实现污水厂尾水由一级A标准向地表水IV类转化, 同时提升滨江带生态功能, 提高生态环境承载力, 改善流域环境质量, 落实“长江大保护”行动。通过湿地系统及景观绿化建设, 充分发挥湿地植物固碳作用, 本项目每年碳汇量为7.93tCO₂/a, 对于助力做好碳达峰、碳中和工作, 加快生态文明建设中有重要意义。人工湿地组合技术构建的生态安全缓冲区为解决污水厂尾水出路问题提供

了新思路, 生态安全缓冲区中的建设, 能够有效优化区域环境容量配置、实现尾水资源的利用、满足生态景观需求。不仅是改善当地水环境的重要措施, 也是区域性水污染防治的重要组成部分, 该类型项目能够产生巨大的社会效益、环境效益和经济效益。

[参考文献]

- [1] 郭亚君, 蔡伟. 城镇污水厂尾水人工湿地生态组合系统处理效果研究[J]. 环境工程, 2023, 41: 96-98.
- [2] 肖云. 复合型人工湿地在污水处理厂尾水深度处理中的应用[J]. 清洗世界, 2023, 39(11): 127-129.
- [3] 曹大伟, 沙玥, 金秋. 多级复合型人工湿地工艺对污水厂尾水处理净化效果的试验研究[J]. 环境科技, 2019, 32(3): 12-16.
- [4] 韦诚, 王菊, 汪晶, 等. 江苏省城市再生水利用模式研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 30-33.
- [5] 邵丹. 生态净化型生态安全缓冲区在宿迁污水处理厂尾水净化中的应用[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(2): 180-182.
- [6] 李娟红, 管福征. 复合型人工湿地对污水厂尾水处理效能及微生物群落研究[J]. 水处理技术, 2022, 48(10): 104-109.
- [7] 黄涛. 关于城镇生活污水水治理当中溶解氧的控制对废水处理效果的影响分析[J]. 清洗世界, 2021, 37(5): 39-40.
- [8] 林恒兆. 人工湿地技术对河道内湖水体及污水厂尾水进行深度处理的效用性分析[J]. 环境与发展, 2018, 30(8): 182-183.
- [9] 闫龙. 组合湿地技术在污水厂尾水水质提升中的应用[J]. 环境生态学, 2021, 3(5): 55-60.

作者简介:

何鑫(1996—), 男, 汉族, 江西抚州人, 大学本科, 水生态修复。