

“生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池 + 表面流湿地”组合工艺在城市污水处理厂尾水深度处理中的应用

何灵子 李倩倩 诸葛天阳

南京领先环保技术股份有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 介绍了“生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池 + 表面流湿地”组合工艺在污水处理厂深度处理尾水工程中的应用。本工程运行结果表明:“生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池 + 表面流湿地”组合工艺对城市污水处理厂尾水具有较好的净化效果, 经过一段时间的试运行, 其出水的 COD、NH₃-N 和 TP 指标均达到地表准 IV 类排放标准。

关键词: 生态芯快速渗滤系统; 生态强化处理池; 表面流湿地; 城市污水处理厂尾水; 深度处理

Application of the Combined Process of “Ecological Core Rapid Infiltration System+Ecological Enhanced Treatment Tank+Surface Flow Wetland” in the Deep Treatment of Urban Sewage Plant Effluent

Lingzi He Qianqian Li Tianyang Zhuge

Nanjing Leading Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: This paper introduces the application of the combined process of “ecological core rapid infiltration system+ecological enhanced treatment tank+surface flow wetland” in the deep treatment of tailwater engineering in sewage plants. The operation results of this project indicate that the combined process of “ecological core rapid infiltration system+ecological enhanced treatment tank+surface flow wetland” has a good purification effect on the effluent of urban sewage treatment plants. After a period of trial operation, the COD, NH₃-N, and TP indicators of the effluent have all reached the surface level IV discharge standards.

Keywords: ecological core rapid infiltration system; ecological enhanced treatment pool; surface flow wetland; tail water from urban sewage treatment plants; deep processing

0 前言

城市污水处理厂尾水深度处理是中国水环境保护工作的重要环节。近年来, 随着环保要求的不断提高, 城市污水处理厂尾水的排放标准与河道国控 / 省控监测断面的考核标准之间的差距日益凸显。为此, 探索一种高效、环保的尾水深度处理技术显得尤为重要。论文以“生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池 + 表面流湿地”组合工艺在城市污水处理厂尾水深度处理中的应用为例, 详细介绍该项目的技术路线、工艺设计、运行效果和经济技术指标, 以期为中国类似水体的水质改善工程提供技术参考。

城市污水处理厂排放的尾水是补充河道水源和维持水质稳定的有效手段之一。然而, 城镇污水处理厂尾水执行的排放标准与河道国控 / 省控监测断面的考核标准存在较大差异, 污水处理厂虽然削减了一部分污染物, 但其排放水仍含较多的污染物质, 达标排放的尾水仍属于劣 V 类水, 直接导致受纳水体自净能力减弱、缺氧和富营养化, 集中排入水体容易引发河道污染问题, 体现为下游国控 / 省控监测断面水质超标。现阶段城镇污水处理厂尾水提标任务依然呈现较

为严峻的态势。

项目采取的生态芯湿地技术(即生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池)与传统的技术相比, 在占地面积小, 建设投资、运行能耗、出水水质稳定等方面具有显著的优势, 在污水处理厂尾水深度处理的技术中提供了一种新的思路。江苏省丰县经济开发区污水处理厂选择高效生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池工艺(生态芯湿地)作为核心处理工艺, 并辅以末端表面流湿地进行水质涵养提升, 最终保障对污水处理厂尾水深度净化至 IV 类水的项目目标。论文从选择技术路线、工艺的详细设计、工程实施后的运行效果和项目的经济技术指标等内容对项目进行系统的介绍, 研究高效生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池工艺(生态芯湿地)的实施效果, 以期为类似水体的水质改善工程提供技术参考。

1 项目背景

经济开发区污水处理厂位于江苏省徐州市丰县经济开发区凤翔路西段南侧、复新河东侧, 由康达公司以 BOT 方式经营。污水处理厂由一期(设计规模 2 万 m³/d)和二期

工程（设计规模 2 万 m³/d）组成。

一期工程处理规模为 20000m³/d，占地 71.67 亩，二期工程处理规模为 20000m³/d，占地 24.23 亩。采用 A/A/O+ 混凝沉淀 + 纤维转盘滤池为主体的处理工艺，污泥浓缩脱水后外运填埋。污水经处理后满足一级 A 标准（GB18918—2002）。污水处理厂尾水通过管道排入史南河，最终进入复新河。复新河下游国控沙庄桥控制性断面，目前水质情况堪忧。国控断面水质，必须严格符合中国 GB3838—2002《地表水环境质量标准》所规定的 III 类水标准。然而，当前污水处理厂的尾水排放标准与断面水质考核指标之间，存在着显著的差异。在这种背景下，提升污水处理厂尾水的水质，对于恢复复新河的生态环境，确保国控断面水质长期稳定地达到规定标准，具有至关重要的价值和深远的影响。

本项目丰县经济开发区污水处理厂尾水处理工程，位于徐州市丰县经济开发区，凤翔路以南、丰邑路以西。项目通过建设以湿地为主的生态系统来解决污水处理厂尾水水质提标问题，同时打造安全、生态和优美的景观。

2 处理工艺

2.1 设计水量及水质指标

贯彻落实国家、省市对生态文明建设的要求，进一步实现减污降碳协同增效，降低对沙支河、复新河水质的影响，改善区域水生态环境。通过本项目进行丰县经济开发区污水处理厂 40000m³/d 尾水深度处理，处理后尾水主要指标

（包括化学需氧量、氨氮、总磷）满足 GB3838—2002《地表水环境质量标准》准 IV 类标准，其中化学需氧量（COD_{Cr}）由 50mg/L 降至 30mg/L，氨氮（NH₃-N）由 5（8）mg/L 降至 1.5mg/L，总磷（TP）由 0.5mg/L 降至 0.3mg/L，项目总占地约 140 亩，全年水质保障率达到 90% 以上。

2.2 工艺路线

本项目选择高效生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池工艺作为核心处理工艺，并辅以末端表面流湿地进行水质涵养提升，最终保障对污水处理厂尾水深度净化至 IV 类水的目标。

高效生态芯快速渗滤系统 + 生态强化处理池工艺，是一种结合了生物膜法与生态湿地法的新型水质净化人工湿地，有机结合了人工潜流湿地和微生物膜滤池的工艺优势。该系统将潜流湿地和微生物滤池串联叠加，先经前段的高效生态芯快速渗滤系统，在湿地介质、微生物和植物的共同作用下对来水中的营养盐进行吸附降解；后入下级生态强化处理池，利用滤池结构中高密度的微生物人工介质，强化系统脱氮除磷效率，提高出水水质达标稳定性。

综合考虑本项目出水水质 IV 类水、经济高效、节约占地的目标和难点，本项目核心处理工艺高效生态芯快速渗滤系统设计处理水量控制为 20000m³/d，另 20000m³/d 直接从提升泵站接入生态强化处理池中，并最后经辅助处理工艺的表面流湿地净化处理达标，工艺路线图详见图 1。

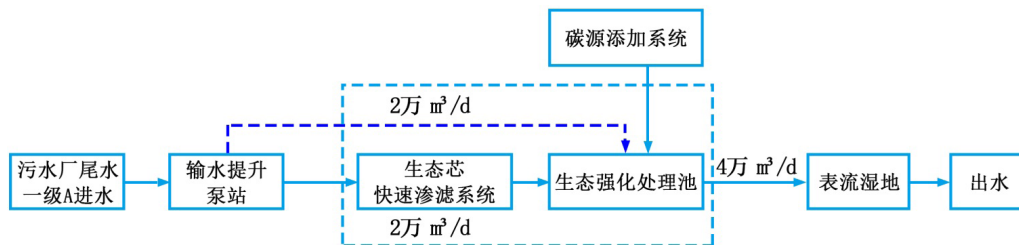


图 1 工艺路线图

2.3 平面布置

项目总平面布置图如图 2 所示。

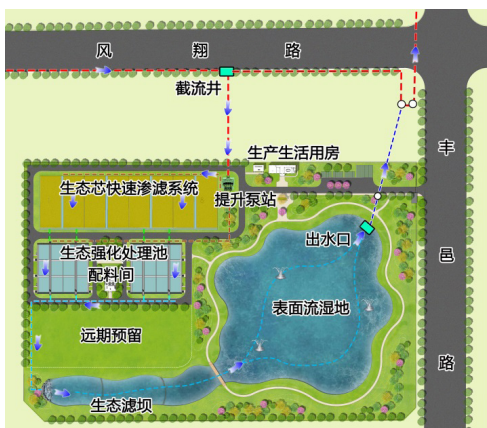


图 2 平面布置图

3 工程设计

3.1 工艺流程

项目尾水处理主要工艺为：污水处理厂尾水→截流井→提升泵站→生态芯快速渗滤系统→生态强化处理池→表面流湿地→达标排放。

3.2 截留井、提升泵站

经济开发区污水处理厂现状处理规模为 40000m³/d，远期规模将为 60000m³/d。排放标准为一级 A。本工程通过截流井截流丰县经济开发区污水处理厂尾水，引入生态芯快速渗滤、生态芯强化处理池及表面流湿地等生化处理单元，稳定水质后排放。

截留井设计：经济开发区污水处理厂尾水排放管道为 1 根 DN1200 钢筋混凝土 II 级管，根据尾水排放管管径及敷设坡度，近期（规模 40000m³/d）管道充满度（H/D）约为

0.5, 远期 (规模 $60000\text{m}^3/\text{d}$) 管道充满度 (H/D) 约为 0.75。本工程截流井采用电动平板钢闸门控制, 截流井平面尺寸为 $2500\text{mm} \times 4100\text{mm}$, 截流井下游出水管口设置 DN1200 电动平板钢闸门, 平时关闭, 可保证所有尾水均截流进入处理单元, 当截流井水位升高至 36.5m 时, 自动打开钢闸门向下游管道排水水位下降至 35.3 时, 自动关闭钢闸门, 截流尾水进入本工程提升泵站, 截流后引入管采用 DN1200 钢筋混泥土 II 级管, 管底高程为 33.54m。

提升泵站设计: 提升泵房采用地下潜水泵房, 土建按远期规模 $60000\text{m}^3/\text{d}$ 一次性建设, 泵房尺寸为 $10100\text{mm} \times 5500\text{mm} \times 5150\text{mm}$ (L×B×H), 采用大小泵搭配配置形式, 共选用 350WQ750-8-22 型潜水泵 2 台, 250WO370-8-11 型潜水泵 2 台。同时, 提升泵站中预留远期一台 350WO750-8-22 型潜水泵泵位。

3.3 生态芯快速渗滤系统

丰县经济开发区污水处理厂处理尾水经截流井截留和提升泵站提升后, 通过 DN500 配水总管进入处理单元配水系统, 快速渗滤系统填料层进水采用下进上出形式, 经下层过滤填料和上层水生植物营养物质过滤、吸附、削减后, 通过出水三角堰和出水渠流至生态处理渠单元。

设计参数:

总处理单元面积: 8000m^2 。

独立处理单元: 8 个, 每个处理单元为 1000m^2 , 长 $50\text{m} \times 20\text{m}$ 。

设计表面水力负荷: $2.50\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

生态芯快速渗滤系统于北侧接自提升泵站配水总管, 通过配水管沟中配水主管东西配水至各独立处理单元。各处理单元采用下进上出配水形式, 通过三角溢流堰进出水渠。各处理单元上部依次种植香蒲、水生美人蕉、西伯利亚鸢尾、黄菖蒲、千屈菜、水葱、黑三棱和慈姑。

各处理单元内填充瓜子片、碎石、沸石、陶粒、改性生物炭、砾石的填料。

3.4 生态强化处理池

生态强化处理池位于生态芯快速渗滤系统北侧, 占地面积约 7.7 亩。项目生态强化处理池分为两座, 每座分为独立运行的两组, 生态强化渠中间设置综合管廊, 用于安装曝气、配料管道及阀门。

设计参数:

总有效容积: $V=15120\text{m}^3$ 。

尺寸 (单座池): $L \times B \times H=50.3\text{m} \times 53.65\text{m} \times 4.5\text{m}$ 。

有效水力停留时间: 9h。

水力负荷: $2.59\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 。

生态强化处理池引进了先进的高分子微生物载体, 这种独特的填料具备卓越的性能, 诸如较高的比表面积、均匀的接触效果、迅速地传质能力以及低水头损失等多重显著优

势。在该处理池中, 孔洞设计精心分为大型孔洞、中型孔洞和微小孔洞, 旨在为特定微生物制剂提供固定基质。经过改性的表面特意设计出多种活性基团, 这些基团能够与微生物形成稳定的化学键, 从而赋予载体极强的吸附能力和固定化特性。

在这种生物载体的结合过程中, 微生物固化剂发挥着关键作用, 通过物理吸附、离子键合和共价结合等多种方式, 将微生物牢固地固定在载体上。这种结合力的坚固程度, 确保了微生物在处理过程中的高效稳定运行。

设计采用上下层固定式格栅板将高分子微生物填料填充其中, 上下层格栅板固定在槽钢层之上。

3.5 表面流湿地

尾水经生态芯快速渗滤系统、生态强化处理池深度强化处理后, 接入处理工艺末端的表面流湿地进行涵养和水质再提升。设计表面流湿地水面面积为 25000m^2 , 由西至东, 最后通过末端排水口出流接至污水处理厂尾水管道检查井, 并最后经沙支河至复新河。

设计参数:

占地面积: 25000m^2 。

设计表面水力负荷: $1.48\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

挺水植物布置在岸边或潜岛周边 2~5m 范围内, 种植水深小于 0.5m, 优选挺水植物为花叶芦竹、香蒲、慈姑、西伯利亚鸢尾、水生美人蕉、黄菖蒲、水葱、黑三棱等。沉水植物种植区域: 表面流湿地进水段、景观栈桥、水动力较弱区域, 种植水深小于 2.0m, 优选微齿眼子菜、苦草、金鱼藻等沉水植物品种。

4 应用效果分析

本工程于 2024 年 7 月步入试验性运行阶段。在为期两个月的运行期间 (7 月至 8 月), 我们针对进水口、生态芯快速渗滤系统的排放口、生态强化处理池的排放口以及表面流湿地的排放口, 实施了连续的水质监测。监测过程中, 我们按照每日两次的频率进行采样。各监测点的水质检测数据均值详见表 1。

在该项目中, 我们采用的“生态芯快速渗滤系统+生态强化处理池+表面流湿地”的综合工艺, 展现出对各类污染物的显著去除能力。具体而言, 该组合工艺对化学需氧量 (COD) 的总去除率达到了 57.36%, 对氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 的总去除率高达 83.67%, 对总磷 (TP) 的总去除率为 34.88%。经过处理后的出水, 其主要指标均符合 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中 IV 类水的标准。

通过表 1 的数据分析, 我们可以观察到, 各个处理单元在污染物去除上存在一定的差异。生态芯快速渗滤系统在去除总磷 (TP) 方面表现出卓越的效能, 而生态强化处理池则在消除氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 上展现出极高的效率。

表 1 出水指标和去除率

名称	COD	NH ₃ -N	TP
进水浓度 / (mg·L-1)	39.40	1.96	0.43
生态芯快速渗滤系统出水浓度 / (mg·L-1)	35.50	1.77	0.30
生态芯快速渗滤系统去除率 /%	9.90	9.69	30.23
生态强化处理池出水浓度 / (mg·L-1)	21.20	0.35	0.29
生态强化处理池去除率 /%	40.28	80.23	3.33
表面流湿地出水浓度 / (mg·L-1)	16.80	0.32	0.28
表面流湿地去除率 /%	20.75	8.57	3.45
总去除率 /%	57.36	83.67	34.88

项目建成后，每年将深度净化处理污水处理厂尾水 1460 万吨，对于污水处理厂尾水实现年削减 COD 292 吨、NH₃-N 51.1 吨、TP 2.92 吨。改善复新河的水质，大大促进沙庄桥国控断面水质稳定达标。生态湿地的落成不仅优化了城区生态环境，更带来了一种全新的生机与活力。这片湿地如同一颗绿色的宝石镶嵌在都市之中，为市民们提供了一个景色宜人、空气清新的休闲运动空间。

5 结论及建议

在试运行阶段，经过生态芯快速渗滤系统、生态强化处理池以及表面流湿地的多重净化，该污水处理厂的尾水水质显著提升，其化学需氧量（COD）、氨氮（NH₃-N）和总磷（TP）等关键指标均达到了地表水环境质量准Ⅳ类水的排放标准。

本项目污水处理水量 40000m³/d，生态芯快速渗滤系统与生态强化处理池联合构建的生态芯湿地系统，在抗污染负荷、处理效率、出水稳定性、防止堵塞、降低运行成本以及提升景观美观度等方面，均优于传统湿地系统。生态型湿地以其卓越的耐污染能力、高效的处理性能、持久稳定的出水品质、免维护的运行特性、低成本运营优势以及宜人的视觉

效果，不仅具有显著的实用性，也具备广阔的推广前景，为环保领域注入了新的活力。

参考文献：

- [1] 沈杰,金伟.城镇污水处理厂尾水对受纳水体影响的研究进展[J].环境工程,2020(3):92-98.
- [2] 汪锋,钱庄,张周.等.污水处理厂尾水对排放河道水质的影响[J].安徽农业科学,2016(14):65-68.
- [3] 胡芸芸.城镇污水处理厂尾水排放对受纳水体DOM组成的影响及其机制研究[D].马鞍山:安徽工业大学,2019.
- [4] 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.
- [5] 杨丹.生态芯湿地在污水处理厂尾水深度处理应用实例[J].科技创新与应用,2020(33):178-180.

作者简介: 何灵子(1988-),女,中国江苏淮安人,本科,工程师,从事水环境治理、河道及尾水湿地研究。

基金项目: 江苏省南水北调科技研发项目“基于高效生态芯湿地技术的污水处理厂尾水水质提标工艺集成研发与示范项目”(项目编号: JSNSBD202206)。