

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.14.022

# 生态处理系统处理村镇污水工程实践

王 波<sup>1</sup>, 杨书传<sup>2</sup>

(1. 江苏华新城市规划市政设计研究院有限公司, 江苏 连云港 222001; 2. 以农环境工程有限公司, 江苏 南京 210046)

**摘 要:** 随着对村镇污水处理要求日趋严格, 村镇污水处理技术探索的需求也日益迫切。以连云港市云台中学生活污水处理工程为例, 介绍一种用于村镇污水的生态处理系统。工程实践表明, 生态处理系统可以有效降低污水中的 COD、氨氮和总磷浓度, COD 去除率 $\geq 85\%$ , 氨氮去除率 $\geq 90\%$ , 总磷去除率 $\geq 80\%$ , 出水 COD 和氨氮可以达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 的Ⅳ类标准, 而总磷也可以满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。该工程减少污水排放 15 000 m<sup>3</sup>/a, 减少碳排放 13.5 t/a, 电费为 0.525 元/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 村镇污水; 生态处理系统; 总磷

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)14-0128-04

## Engineering Practice of Ecological Treatment System for Rural Sewage Treatment

WANG Bo<sup>1</sup>, YANG Shu-chuan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Huaxin Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Lianyungang 222001, China;  
2. Yinong Environmental Engineering Co. Ltd., Nanjing 210046, China)

**Abstract:** In view of the increasingly stringent requirement of sewage treatment and urgent need of its technology in villages and towns, this paper introduces the process and technology of ecological treatment system applied in Yuntai Middle School of Lianyungang and studies its operation and treatment effect. Engineering practice shows that the system can effectively reduce the pollutant concentrations of COD, ammonia nitrogen and total phosphorus in sewage with their removal rates of over 85%, 90% and 80% respectively. The effluent COD and ammonia nitrogen can meet the level IV criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), meanwhile the effluent TP also can meet the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). About 15 000 m<sup>3</sup>/a of sewage discharge and 13.5 t/a of carbon emission are reduced per year in this project. The electricity cost is 0.525 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** rural sewage; ecological treatment system; total phosphorus

### 1 项目背景

随着经济发展、人民生活水平和对环境保护要求不断提高, 我国对于村镇污水处理的需求也不断增加。然而根据住房和城乡建设部公布的数据, 截至 2016 年我国村镇污水处理率为 22%, 相比于高达 90% 的城市污水处理率, 我国村镇级别的污水处

理仍处于较低水平<sup>[1]</sup>。近年来, 我国对村镇污水处理投入不断增大, 但是由于村镇污水总量大、水质水量波动大、缺乏专业的运维人员以及收集管网不完善等特点, 村镇的污水处理发展仍较为缓慢<sup>[2]</sup>, 仍有大部分村镇污水未经处理直接排放到自然水体, 导致河湖等水体水质恶化。

由于村镇污水存在水质水量波动大、地域性差别大和单个污水处理站规模小等区别于城市污水的特点<sup>[3]</sup>,探索适合于村镇污水处理的技术与工艺尤为重要。以连云港市云台中学生活污水处理工程为例,介绍生态污水处理技术在村镇污水处理中的应用效果,以期为我国农村污水处理的技术和工艺探索提供参考。

## 2 设计水量和进、出水水质

该工程自2019年3月开始建设,污水收集系统是在原有暗管或明沟基础上进行整修和完善,生活污水通过收集系统全部排入处理系统。该校区生活污水主要来自冲厕污水、洗浴污水、餐厨污水等,水量与水质波动较大,收集污水中时常会有部分地表水、雨水等汇入。设计处理水量为60 m<sup>3</sup>/d,污水中基本不含有毒有害物质与重金属,但有机物、氮、磷等污染物质含量较高。

设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目	mg · L <sup>-1</sup>				
	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TP
进水水质	222.4	160	200	37.5	5.2
出水水质	50	10	10	5(8)	0.5

## 3 工艺流程与设计参数

### 3.1 工艺流程

工艺流程如图1所示。

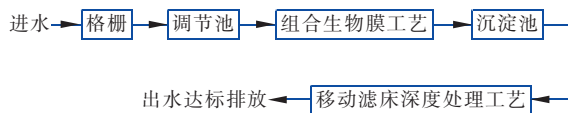


图1 生态处理系统工艺流程

Fig.1 Flow chart of ecological treatment system

生活污水经过格栅进行预处理,除去大颗粒物质,如漂浮垃圾、树枝等;经过预处理后的污水进入调节池进行水质、水量的均衡调节,再通过提升系统进入组合生物膜处理系统脱氮除磷以及去除有机物等;出水通过沉淀池进行泥水分离,上清液进入多级滤床进行深度处理,经过多级滤床处理后的出水达标排放。

### 3.2 工艺原理

生态污水处理工艺是一种新型生物接触氧化处理技术。该工艺主要包含生物移动膜和生物固定膜

组合的好氧处理过程(组合生物膜工艺)以及多级生物滤床深度处理过程。移动膜工艺兼具活性污泥法和生物膜法的优点:生化效率高,耐冲击负荷,产泥量少;固定膜接触氧化工艺具有负荷小、比表面积大、易挂膜等特点;多级滤床由多层植物培植床串联组成,培植床采用创新性蜂窝填料作为植物种植基及系统填料,此填料的高效吸附和过滤能力为植物提供了适宜环境,且使用周期长,不易堵塞,无需更换清洗;此深度处理采用多级重力流滤床技术兼具好氧和缺氧的生化过程,无需人工曝气,运行成本低,出水水质好。

生态污水处理工艺另一特点就是在各段反应池水面种植水生植物,植物层参与了整个生化活动过程,并且实现了增大菌群附着面积、延伸生物链、形成系统生物多样性的功效(见图2)。



图2 全流程植物种植

Fig.2 Whole process planting

其设计机理和功能表现为:

① 植物根茎对于泡沫表面张力的破坏作用,消除了大部分池面泡沫,植物根系还源源不断地将氧气导入水中,使得好氧反应阶段减少风机风量,实现了整个系统节能降耗的需求。

② 大量植物根系根毛系统形成了比表面积巨大的生物填料,作为天然菌床,可减少填料用量,降低工艺成本。作为天然菌床的根系还促进系统产生了更多样的菌群,延长了反应池的生态链,丰富了生物多样性,提高了出水水质和系统抗冲击能力。

③ 反应池上选种的特定植物不仅能掩盖生化反应过程产生的不良气味,而且一些植物的特殊气味和分泌物也起到了抑菌和驱赶蚊虫的功效,植物的种植在提升系统生态环境的同时也改善了空气质量,防止恶臭等二次污染的产生。

④ 适生植物在整个系统上具有良好的长势,发达的根系可对有机物进行吸附、降解和吸收利用,与微生物系统共同组成分解有机质的生态链,从而削减污泥产量。

### 3.3 工艺设计参数

设计处理水量  $60 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主要分为调节池、组合生物膜工艺系统、沉淀池和多级生态滤床系统 4 个单元。

① 调节池。针对农村污水变化系数较大的特点,为保证后续生物系统的正常运行,需设计大容积调节池进行有效的水量调节。本项目设计了超大调节池,有效容积  $50 \text{ m}^3$ ,停留时间 20 h。

② 组合生物膜工艺系统。生物移动膜和生物固定膜构成的组合生物膜工艺主要对原水中高浓度的有机质和氮、磷等进行降解和去除。设计停留时间为 6 h,填料填充率为 60%,污泥浓度为  $3\ 000 \text{ mg/L}$ ,采用微孔曝气;生物固定膜系统设计停留时间为 6 h,表面水力负荷为  $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

③ 沉淀池。采用竖流式沉淀池,设计表面水力负荷为  $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,采用间歇方式定期排泥,直接排在室外小片喜水植物根部就地消解处置。

④ 多级生态滤床系统。沉淀出水通过提升后进入多级生态滤床进行深度处理。

多级生态滤床每级分为下部培植床蜂窝填料和

上部耐污植物部分。蜂窝填料培植床设计铺设厚度为 100 mm,每级高度设计 200 mm。一般可分为 5 ~ 6 级,进水从最上级通过重力流的方式流过每一级滤床,最后汇入出水渠达标排放。

生态处理系统设计了超常规容量的调蓄池,大容量矩形调节池实质上形成了一个缺氧区,此区域较长的污水停留时间使氧化还原电位降低;设定一定量的前回流(部分回流进调节池),合理解决了反硝化和异养菌释磷碳源分配问题,提高了整个系统的生化脱氮除磷效果。实际观测结果表明,组合生物膜工艺极耐负荷冲击,水量波动范围为 50% ~ 150% 时出水水质达标。

### 3.4 处理目标

该项目设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,实际出水部分指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水标准。

## 4 调试与运行效果

### ① 运行数据分析

2019 年 5 月该项目开始施工安装,6 月进入调试阶段,在未接种污泥的情况下经过 15 d 的调试和驯化过程,6 月 15 日正式进入运行期。在此期间对进出水 COD、氨氮、总磷等指标进行不定期采样检测,结果如表 2 所示。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项 目	6 月 1 日	6 月 5 日	6 月 10 日	6 月 15 日	6 月 18 日	6 月 23 日	6 月 30 日	7 月 5 日	7 月 11 日
进水 COD/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	220	180	243	216	194	210	250	207	282
出水 COD/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	150	135	82.00	67.00	45.00	24.00	32.00	22.00	19.87
COD 去除率/%	31.82	25.00	66.26	68.98	76.80	88.57	87.20	89.37	92.95
进水氨氮/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	45.00	44.83	25.67	28.82	37.69	36.16	45.32	40.31	33.92
出水氨氮/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	38.00	35.48	12.24	4.86	2.90	2.11	1.73	0.66	0.50
氨氮去除率/%	15.56	20.86	52.31	83.15	92.30	94.16	96.18	98.36	98.53
进水总磷/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	5.70	6.41	3.91	4.62	5.12	6.09	4.02	5.20	5.66
出水总磷/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	4.20	4.56	1.97	1.23	1.02	1.10	0.59	0.70	0.62
总磷去除率/%	26.32	28.83	49.62	74.38	45.00	81.08	85.34	86.54	89.04

由表 2 可见,在调试期整个生化系统处于适应阶段,菌群正在驯化,污染物去除效果不太明显,特别是在调试前 5 天,COD 去除率在 40% 以下,氨氮和总磷去除率也分别低于 20% 和 30%,但是在第 5 ~ 10 天,各污染物的去除率稳步上升;在运行 23 d 后,COD 去除率稳定在 85% 以上,氨氮去除率达到 94% 以上,总磷的去除率也保持在 80% 以上。稳定

运行 35 d 后,出水 COD 和氨氮均达到并优于设计要求,并已经满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准。

伴随着水生植物多样性的形成,出水总磷浓度亦基本趋于满足设计要求。

### ② 技术经济分析

设备运行功率见表 3。



表 3 设备运行功率

Tab.3 Operation power of equipment

设备	功率/kW	数量/台	运行系数	备注
提升泵	0.35	2	0.80	1 用 1 备
回流泵	0.55	2	0.80	1 用 1 备
滤床清水泵	0.40	2	0.80	1 用 1 备
风机	0.75	2	0.90	1 用 1 备
排泥泵	0.40	1	0.01	
排风扇	0.18	1	0.90	污水处理 车间通风

该项目电耗为 45 kW · h/d, 电价按 0.7 元/(kW · h) 计, 则运行费用为 31.5 元/d, 折合 0.525 元/m<sup>3</sup>。

以上数据分析表明,生态处理系统经过短时间的适应后,可以迅速对污水进行净化处理。整套系统稳定运行后,出水 COD 和氨氮可以达到地表Ⅳ类水质标准,而总磷也基本满足城镇污水处理厂一级 A 的排放标准。该工程实施后,可减少污水排放量 15 000 m<sup>3</sup>/a,减少碳排放 13.5 t/a。该工程总投资为 50 万元,运行费用为 11 500 元/a(不含人工费)。

5 结论

① 针对村镇污水处理的难点,结合连云港云台中学生活污水处理的实际工程案例,介绍了生态处理系统的工艺特点和运行效果。

② 长期检测结果表明,生态系统在经过短期的适应后,可以快速稳定地达到预期处理目标,COD 去除率稳定在 85% 以上,氨氮去除率达到 90% 以上,总磷去除率达到 80% 以上。经过处理后的水质可以达到城镇污水处理厂一级 A 排放标准。

③ 生态处理系统与传统的活性污泥法相比,具有投资成本低、能耗少、污泥产量低以及无需投加

药剂等优势;与传统的生物膜法相比,生态处理系统可以达到更高的水质标准,处理效果更好,并且对环境更加友好,不会产生二次污染。

④ 该系统在连云港云台中学生活污水处理中表现良好,但是仍需更多工程实践验证,需要更长时间的运行效果评估。

参考文献:

[1] 王俊安,魏维利,潘华崑,等. 村镇污水处理系统设计与工程实践[J]. 给水排水,2017,43(11):33-38.  
WANG Jun'an, WEI Weili, PAN Huayin, et al. Design and engineering practice of sewage treatment system for towns and villages [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(11): 33-38 (in Chinese).

[2] 王青. 农村污水处理系统方案设计及应用[J]. 环境与发展, 2019(3): 59-60.  
WANG Qing. Design and application of rural sewage treatment system[J]. Environment & Development, 2019 (3): 59-60 (in Chinese).

[3] 范兴建,薛丹,杨文婷. 农村生活污水水量预测模型研究[J]. 农村经济与科技, 2016, 27(3): 16-17.  
FAN Xingjian, XUE Dan, YANG Wenting. Rural domestic sewage water volume forecast model research [J]. Rural Economy and Science - Technology, 2016, 27 (3): 16-17 (in Chinese).

作者简介:王波(1980 - ),男,江苏连云港人,大学本科,高级工程师,长期从事室外给排水工程设计工作。

E-mail:909059@qq.com

收稿日期:2019-08-08

修回日期:2019-11-13

(编辑:衣春敏)

实施国家节水行动,建设节水型社会