

工程实例

新型一体化农村联户污水处理装置研制与应用

郑俊^{1,2,3}, 余沛^{1,3}, 张德伟^{2,3}, 杨鑫¹

(1. 安徽工业大学 能源与环境学院, 安徽 马鞍山 243002; 2. 安徽华骐环保科技股份有限公司, 安徽 马鞍山 243061; 3. 安徽省 BAF 工程技术研究中心, 安徽 马鞍山 243061)

摘要: 研发设计了一种适合农村现状的一体化泥膜耦合联户污水处理装置, 并进行了试验和应用。在好氧池悬浮填料填充率为 25%、兼氧池球形填料填充率为 80%、DO 为 1.5 ~ 3.0 mg/L、温度为 (20 ± 5) °C 的运行条件下, 该一体化污水处理装置对 COD、氨氮、TN、TP 的去除率分别可达到 94.96%、95.03%、81.82% 和 91.17%, 出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。同时, 该一体化污水处理装置可大大减少运行成本, 电耗仅为 0.216 kW · h/m³。

关键词: 农村污水; 一体化装置; 循环三相流; 泥膜耦合; 设计运行

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0078-05

Development and Application of a New Integrated Device for Rural Domestic Sewage Treatment

ZHENG Jun^{1,2,3}, YU Pei^{1,3}, ZHANG De-wei^{2,3}, YANG Xin¹

(1. School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;
2. Anhui Huaqi Environmental Protection Technology Co. Ltd., Ma'anshan 243061, China;
3. BAF Engineering Technology Research Center of Anhui Province, Ma'anshan 243061, China)

Abstract: An integrated sludge and biofilm coupling sewage treatment device was developed and applied for rural conditions. Under the operation conditions such as suspended carrier packing ratio of 25% in aerobic tank and that of 80% in anoxic tank, DO concentrations of 1.5 to 3.0 mg/L, and the temperature of (20 ± 5) °C, the removal rates of COD, ammonia nitrogen, TN and TP reached 94.96%, 95.03%, 81.82% and 91.17% respectively. The effluent quality could meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). Meanwhile, the integrated sewage treatment device can greatly reduce the operation cost, and the electricity consumption is only 0.216 kW · h/m³.

Key words: rural domestic sewage; integrated device; cyclic three-phase fluid; sludge and biofilm coupling; design and operation

1 背景概述

近年来,农村环境问题日益被关注,重构“绿水青山”的愿景得到特别重视,但农村生活污水处理设施建设推进却相对缓慢。由于农村生活污水处理设施不足,大量生活污水未经处理随意排放,严重破坏了水环境,致使河流、水库、池塘水质不断恶化。

随着农村污水治理不断被重视,我国农村地区兴建了一批村镇污水处理设施。对于农村生活污水的处理,较多采用人工湿地处理技术^[1-2]、稳定塘处理技术^[3]、净化槽处理技术^[4]等。其中,稳定塘、人工湿地处理技术对有机物、氮、磷的处理效果好,但存在着占地面积大、处理效果受季节影响较大、容易滋生蚊蝇造成浅层地下水污染、有机负荷较低、容易堵塞、日常维护难等问题。净化槽属于一体化装置,集好氧、缺氧、厌氧处理于一体,具有处理效果好、占地面积小等优势,但对氮、磷去除率较低,设备工艺复杂,管理维护专业化程度略高。

我国村镇空间分布差异性较大,村镇污水处理缺乏有效的运营管理模式,大部分农村地区的污水处理设施难以实现正常运转。目前在农村生活污水

处理上大体有 3 种模式^[4-5]:①接入市政管网;②集中连片处理;③单独分散处理。村落污水集中就近处理方式通过管网收集村落内住户污水,并集中到村污水处理站统一处理,但是由于村落地形差别大,导致集中处理存在管网投资大的缺点;分户污水处理采用小型污水处理设备,将单户污水在住户的房前屋后原地处理或利用,虽可减少管网投资成本,但存在设备数量过多,风机等用电设备倍增,导致管理运行控制非常不便、管理运维成本太高的问题。

从运行效果不佳及电耗过高两个方面入手,通过调研分析,综合农村污水治理的难点,多次试验后,研发设计出一种结构简单、运维方便、处理效果好且成本低廉的一体化联户污水处理装置,单台适用人数为 40~60 人,并联适用 40~300 人的村落,并已应用于实际村落污水处理工程。

2 设计参数

2.1 设计水量与水质

单套设备设计处理水量为 $5 \text{ m}^3/\text{d}$,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)一级 A 标准。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	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ - N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
调研范围	161~308	110~150	37~63	43~70	2.8~4.7	7.0~7.4
设计进水水质	235	130	50	55	3.7	7.2
排放标准	≤50	10	≤5(8)	≤15	≤0.5	6~9

2.2 工艺流程及设备参数

2.2.1 工艺流程

工艺流程如图 1 所示。

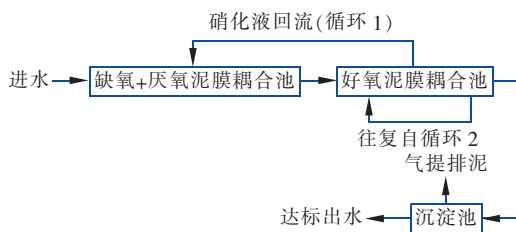


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage treatment process

生活污水自流进入一体化污水处理装置,采用泥膜耦合涡轮往复 A/O 技术,经布水器均匀分布至 A 池(缺氧+厌氧泥膜耦合池),与硝化液充分混合,A 池依次经历缺氧、厌氧生物处理;A 段混合液

处理后流至好氧泥膜耦合池,进行涡轮内循环往复处理后,部分流至 A 池,部分流至沉淀池,最后经沉淀后达标或消毒排放;好氧池设有好氧高效仿生水草填料,通过优化工艺、优选优质微生物载体来强化生物硝化效果,通过 O 段(好氧泥膜耦合池)完成生物硝化、除碳和吸磷过程,A 段完成生物脱氮和释磷过程,沉淀的部分吸磷污泥定期通过气提外排至污泥池或化粪池,完成污泥减量化、生物除磷。

2.2.2 主要设备参数

好氧泥膜耦合池(O 段)投加填充比为 25% 的高效悬浮填料,污泥浓度为 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ mg/L}$,水力停留时间为 8 h;缺氧厌氧泥膜耦合池(A 段)投加填充比为 80% 的球形固体填料,污泥浓度为 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ mg/L}$,水力停留时间为 5 h;风机 45 kW,共 2 台(1 备 1 用);高效悬浮填料直径为 25

mm,比表面积 $\geq 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$,孔隙率为98%,密度为 $0.95 \text{ g}/\text{cm}^3$;球形固定填料直径为150 mm,外部为网状球体,内部由纤维丝组成,比表面积为 $900 \sim 1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$,孔隙率为98%,密度为 $0.95 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

设备尺寸为 $\varnothing 1700 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$,外围设有防泥位移的加强固定环,上部设有加高环(300 mm/节,可累加),顶部设有检查井,采用PE环保材料,寿命可达50年。采用地理式安装,无人值守,运维简便。

3 一体化泥膜耦合污水处理装置

3.1 实际工程应用

新型一体化泥膜耦合循环三相流污水处理装置如图2所示。



图2 新型一体化泥膜耦合循环三相流污水处理装置

Fig.2 A new device of integrated sludge membrane coupled with circulating three-phase flow sewage treatment

新型一体化泥膜耦合循环三相流污水处理装置应用在马鞍山市黄村、双松村(见图3)。黄村污水处理站处理规模为 $20 \text{ m}^3/\text{d}$ (4台并联),双松村污水处理站处理规模为 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ (2台并联)。



a. 黄村

b. 双松村

图3 黄村、双松村污水处理站

Fig.3 Sewage treatment station of Huangcun and Shuangsongcun

3.2 一体化设备的应用

3.2.1 对COD的去除效果

运行期间装置对COD的去除效果见图4。由图4可知,该装置对COD的处理效果较为明显。挂膜前期,出水COD不断降低,在8~15 d时出水

COD浓度均低于 $50 \text{ mg}/\text{L}$,平均去除率在90%左右,出水COD优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。在进水COD波动较大时,也可稳定保持其去除量,说明该装置有较好的抗冲击负荷能力。COD去除效果较好主要是由于好氧泥膜耦合区悬浮填料比表面积较大,为微生物的生长繁殖提供了有利的栖息环境。

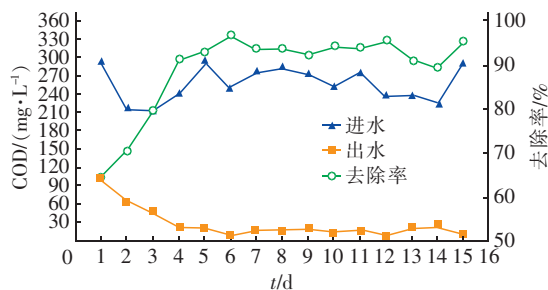


图4 挂膜启动至稳定运行阶段系统COD的去除情况

Fig.4 Removal of COD during start-up and stable operation

3.2.2 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

运行期间该装置对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果如图5所示。

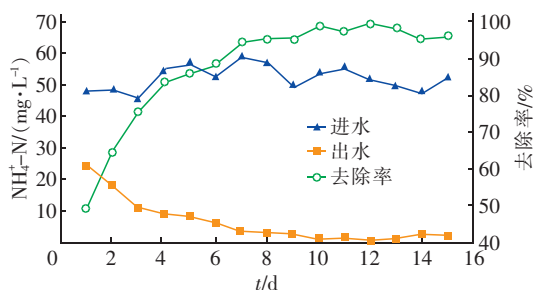


图5 挂膜启动至稳定运行阶段系统 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

Fig.5 Removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ during start-up and stable operation

由图5可知,该装置对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的处理效果也较为显著。挂膜初期,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度呈下降趋势,其去除率先快后慢。运行后期,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度均低于 $5 \text{ mg}/\text{L}$,平均去除率接近95%,达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

该装置在好氧条件下,通过硝化细菌的有氧呼吸对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 进行硝化作用,将 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化成 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 。由于好氧泥膜耦合区有较多的悬浮填料,充足的气流与大面积的污水接触,可降低运行能耗且使溶氧更均匀分布,从而提高对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。

3.2.3 对TN的去除效果

运行期间该装置对TN的去除效果见图6。

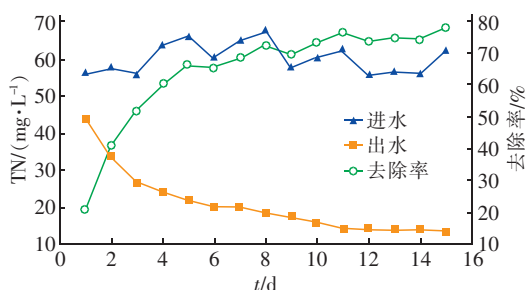


图6 挂膜启动至稳定运行阶段系统TN的去除效果

Fig.6 Removal of TN during start-up and stable operation

由图6可以看出,随着好氧池与兼氧池填料上附着的生物膜逐渐变厚,好氧池回流硝化液与兼氧池中的大量反硝化菌发生反硝化反应,从而转化成氮气去除。其进水TN平均含量为63.15 mg/L,在后期稳定运行后,出水TN平均含量为13.11 mg/L,出水TN均低于15 mg/L,平均去除率接近80%,达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

3.2.4 对TP的去除效果

运行期间装置对TP的去除效果见图7。

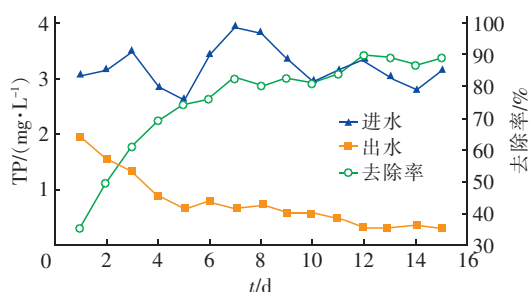


图7 挂膜启动至稳定运行阶段系统TP的去除效果

Fig.7 Removal of TP during start-up and stable operation

由图7可以看出,该装置对TP的去除效果也较为明显。由于污水中含有大量的有机物,虽然瞬间进入会给系统带来较大的冲击负荷,但同时也给厌氧释磷提供了充足的碳源,有利于提高除磷效果。在进水TP为3.2 mg/L时,稳定运行后出水TP平均为0.38 mg/L,TP平均去除率为86.14%,出水TP<0.5 mg/L,达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

3.3 稳定运行阶段

在运行稳定阶段,悬浮填料和固定填料上均出现黄褐色生物膜,并伴有泥腥味。将填料从反应器

中取出后,填料表面的泥状膜迅速脱落,只留下肉眼观察到薄薄的一层粘状物质附着在填料表面;将填料再次放回,数小时后在填料上又会重新附着一层泥状膜,这说明填料将生物膜和活性污泥富集在一起,形成泥膜耦合微生物群体,两者相互协同,共同完成对污染物质的降解;同时对好氧、兼氧泥膜耦合池而言,除了填料上附着的泥膜耦合微生物群体外,在各反应器内还存在着浓度较高且呈悬浮状态的活性污泥,与填料之间协同形成一个大的泥膜耦合系统,共同降解污染物质(见图8)。

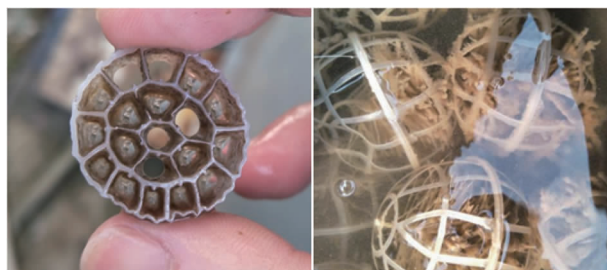


图8 填料挂膜完成标志

Fig.8 Filler after biofilm formation

再运行一段时间以后,系统的COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP去除率趋于稳定,微生物逐渐适应污水环境。各项污染物的去除效果较好,平均进水COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP浓度分别为255.35、56.47、61.17、3.3 mg/L,相应指标平均出水浓度分别为12.81、2.53、13.42、0.34 mg/L,去除率分别为94.96%、95.03%、81.82%、91.17%,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

实际运行一段时间后,由于该装置为埋地式,以重力流方式进水,在雨季受到雨水的干扰,导致进水碳氮比较低,对装置处理效果有一定的影响。

4 工程经济分析

由于该装置采用重力流,无需提升泵,仅有鼓风机为配套的机电设备,运行期间电耗为0.216 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,电价按0.6元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)计,则电费为0.13元/ m^3 。

5 结论

采用新型一体化农村联户污水处理装置处理农村生活污水,具有适用广泛、处理效果好且成本低等优势。应用案例显示,对COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP的去除率分别可达到94.96%、95.03%、81.82%和87.75%,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染

物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。同时,该一体化污水处理装置可大大降低运行成本,电费仅为0.13元/m³。

参考文献:

- [1] 叶芬霞,李颖,朱瑞芬. 塔式复合人工湿地处理农村生活污水的试验研究[J]. 中国给水排水,2008,24(21):60-63.
Ye Fenxia, Li Ying, Zhu Ruifen. Experimental study on tower-type integrated constructed wetland for treatment of rural domestic sewage[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(21): 60-63 (in Chinese).
- [2] 李先宁,金秋,姜伟,等. 蚯蚓人工湿地对农村生活污水净化效果试验研究[J]. 环境科学与技术,2010,33(1):146-149.
Li Xianning, Jin Qiu, Jiang Wei, et al. Purification of countryside wastewater in *Eisenia foetida* constructed wetland[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(1): 146-149 (in Chinese).
- [3] 张家伟,周志勤. 浅析农村生活污水分散式处理适用技术[J]. 环境科学与管理,2011,3(1):95-99.
Zhang Jiawei, Zhou Zhiqin. Analysis on appropriate technology for decentralized treatment of rural domestic sewage[J]. Environmental Science and Management, 2011, 3(1): 95-99 (in Chinese).
- [4] 吴光前,孙新元,张齐生. 净化槽技术在中国农村污水分散处理中的应用[J]. 环境科技,2010,23(6):36-40.
Wu Guangqian, Sun Xinyuan, Zhang Qisheng. Application of purification tank in distributed rural sewage treatment in China[J]. Environmental Science and Technology, 2010, 23(6): 36-40 (in Chinese).
- [5] 王保学. 我国农村生活污水处理技术分析[J]. 水电与新能源,2015(3):67-69.
Wang Baoxue. Discussion on the domestic sewage treatment technology for rural areas of China[J]. Hydropower and New Energy, 2015(3): 67-69 (in Chinese).



作者简介:郑俊(1965-),男,江苏宜兴人,博士,二级教授,博士生导师,主要从事水环境污染控制及水体修复研究。

E-mail: zhengjun6642@163.com

收稿日期:2018-10-12

贯彻《中华人民共和国防洪法》,
依法防御水旱灾害