

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.09.003

# 喀斯特地区乡镇污水一体化处理技术效果分析

肖炘圻<sup>1</sup>, 陈鑫<sup>2</sup>, 周伟<sup>3</sup>, 龙云川<sup>1,3</sup>, 王荣<sup>2</sup>, 吴学兵<sup>2</sup>, 周少奇<sup>1,3,4</sup>

(1. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 绿地环保科技股份有限公司, 贵州 贵阳 550000; 3. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550009; 4. 华南理工大学 环境与能源学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 某乡镇污水厂设计规模为 1 000 m<sup>3</sup>/d, 采用立式 A<sup>2</sup>O 工艺, 将厌氧、缺氧、好氧、沉淀等工艺合为一体, 并且无需混合液回流泵, 污泥也可以通过重力作用自然回流。经过 9 个月的现场连续运行监测, 得到该污水处理装置对 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN、TP 的平均去除率分别为 78.39%、88.36%、80.16%、72.75%, 出水水质可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。该一体化反应器结构紧凑、操作方便、出水水质优良, 适用于广大农村乡镇生活污水的集中式处理。

**关键词:** 农村生活污水; 立式 A<sup>2</sup>O 一体化工艺; 脱氮除磷; 喀斯特地区

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)09-0012-05

## Performance of Integrated Bioreactor Treating Rural Domestic Sewage in Karst Area

XIAO Xin-qi<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>2</sup>, ZHOU Wei<sup>3</sup>, LONG Yun-chuan<sup>1,3</sup>, WANG Rong<sup>2</sup>,  
WU Xue-bing<sup>2</sup>, ZHOU Shao-qi<sup>1,3,4</sup>

(1. College of Resource and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. LVDI Environmental Technology Co. Ltd., Guiyang 550000, China; 3. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550009, China; 4. School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Vertical A<sup>2</sup>/O technology was applied in a rural sewage treatment plant with the designed capacity of 1 000 m<sup>3</sup>/d. The device integrated anaerobic treatment, anoxic treatment, aerobic treatment, precipitation and other processes. There was no mixed liquid reflux pump in the integrated device, and sludge returned naturally through gravity. The newly integrated bioreactor system was operated successfully for 9 months with good performance and high removal efficiency of pollutants. The average removal efficiencies of COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TN, and TP were 78.39%, 88.36%, 80.16% and 72.75%, respectively. The quality of the effluent could meet the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The newly integrated bioreactor had compacted structure, convenient operation and satisfactory effluent quality, which was suitable for the treatment of rural domestic sewage.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400702); 贵州省科技厅项目([2018]4005、[2019]2957、[2020]6001); 贵州科学院研究开发项目([2018]19号)  
通信作者: 周少奇 E-mail: 2975742087@qq.com

**Key words:** rural domestic sewage; vertical A<sup>2</sup>O integrated process; nitrogen and phosphorus removal; karst area

近年来,一体化装置处理农村生活污水受到了较大关注<sup>[1-3]</sup>,但是对于A<sup>2</sup>O工艺的一体化装置处理农村生活污水<sup>[4-7]</sup>,特别是喀斯特地区低COD农村生活污水的研究还鲜见文献报道。笔者以贵州省典型喀斯特地区农村某乡镇污水处理厂为研究对象,基于新型立式一体化A<sup>2</sup>O工艺建设一体化污水处理装置,对该一体化装置处理西南农村地区生活污水的技术效果进行了分析。

## 1 污水厂概况

### 1.1 原水水质及工艺流程

某乡镇污水处理一体化装置设计规模为1 000 m<sup>3</sup>/d,进水主要来源于厨房用水、洗涤用水和厕所用水。由于该乡镇位于喀斯特地区,地下暗河多且管网敷设不太健全,污水在收集转运过程中容易混进雨水和河水,导致污水厂进水各项污染指标浓度都偏低。针对该乡镇污水水质、水量的特点,同时考虑后期运行管理的方便,该污水厂采用A<sup>2</sup>O工艺的立式一体化设计,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。污水厂设计进水水质如下:COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN、TP分别为200、80、100、20、30、3 mg/L,pH值为5~10。工艺流程见图1。

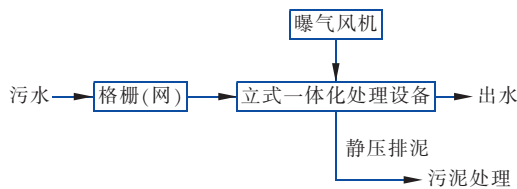


图1 乡镇污水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of rural sewage treatment plant

污水先进入格栅渠道,去除漂浮物后,由进水泵站提升进入调节池调节pH值、水质和水量,然后进入立式一体化处理设备(依次进入厌氧区、缺氧区、好氧区以及沉淀区),生化处理出水经斜管沉淀处理后进入带有紫外消毒器的管道,经消毒处理后达标排放。

### 1.2 立式一体化反应器的设计原理与特点

立式一体化反应器分为厌氧区、缺氧区、上流通道、好氧区以及沉淀区,如图2所示。反应器的中部

设有厌氧区,厌氧区贯通反应器的上顶面和下底面,其余空间为好氧区和缺氧区;缺氧区设置在好氧区底部,进水管设置在厌氧区顶部,与厌氧区连通,缺氧区和好氧区各自分别设有多个微孔曝气管,沉淀区设置在厌氧区上部,与出水管连通;微孔曝气管用于推动缺氧区和好氧区内液体流动,沉淀区利用斜管沉淀收集污泥,污泥通过重力作用自主沉淀回流。缺氧区的多个微孔曝气管分布在缺氧区底部;好氧区的多个微孔曝气管一部分分布为好氧区底部,其余分布为好氧区外围。剩余污泥排管设置在厌氧区底部,与厌氧区连通。厌氧区底部设有气室,气室与缺氧区连通,气室与鼓风机连接。缺氧区和好氧区通过缺氧区分割板隔开,缺氧区和厌氧区通过厌氧区分割板隔开,好氧区和厌氧区通过好氧区分割板隔开。厌氧区与缺氧区通过气提管连接,以气室提供的空气为动力,将厌氧区污水送到缺氧区。

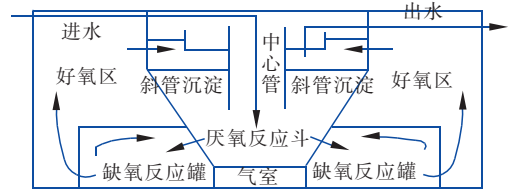


图2 立式一体化装置设计示意图

Fig.2 Design of vertical integrated device

### 1.3 污泥的培养

接种污泥取自附近污水处理厂的二次沉淀池。先向装置中加入约一半设计规模的污水,然后以1:3的泥水体积比投入活性污泥,适当投入面粉等营养源并连续曝气36 h后再加入另一半的污水,污水取自当地的污水管网(收集乡镇地区生活污水)。加入污水后继续闷曝12 h,待其SV<sub>30</sub>值为30%后装置即可间歇式出水,即连续闷曝4 h、连续出水4 h。间歇运行期间,针对装置的不同情况,缓慢增加连续出水时间,一般3~5 d后可正常连续出水,此时混合液中悬浮固体浓度(MLSS)增大到2.4 g/L左右,表明污泥状态良好。

### 1.4 试验方法

采样时间为2017年9月1日—2018年4月30日,采样点为污水总进水口和出水口。平均两天取

样1次,持续8个月,共128 d。采样时间为上午10点,使用采样瓶采集后立即送往实验室进行测定。COD:重铬酸钾法;BOD<sub>5</sub>:稀释接种法;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N:纳氏试剂分光光度法;TN:紫外分光光度法;TP:钼锑抗分光光度法;DO、水温:手持溶解氧仪;SV<sub>30</sub>:大量筒直接测定;pH值:pH计;气温:温度计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 好氧区曝气强度对装置除污性能的影响

好氧区曝气强度直接影响污水中溶解氧的含量,从而影响系统的有机物降解和硝化反硝化作用。为了研究曝气强度对反应器净化效果的影响,基于进水COD含量低和装置特性设计了3种工况,即控制DO浓度分别约为1.5、2.5和3.5 mg/L。试验结果表明,当好氧区DO浓度为1.5 mg/L时,对COD的平均去除率仅为69.7%,去除效果不太理想,这是由于溶解氧过低导致微生物对COD的降解不足;当DO浓度从1.5 mg/L上升到2.5 mg/L时,对COD的平均去除率上升到77.6%;当DO浓度进一步上升到3.5 mg/L时,COD平均去除率达到79.1%,去除效果良好。可以看出,好氧区的DO浓度越高,COD去除效果越好,原因是DO浓度升高有利于好氧区微生物对COD的降解。

当好氧区DO浓度为1.5 mg/L时,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的平均去除率仅为76.5%,去除效果不太理想,这是由于溶解氧过低导致好氧区的硝化细菌硝化能力不足;当DO浓度从1.5 mg/L上升到2.5 mg/L时,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的平均去除率上升到81.5%;当DO浓度进一步上升到3.5 mg/L时,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的平均去除率达到83.7%,去除效果良好,这是由于好氧区中溶解氧充足时,硝化细菌能对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N进行充分的硝化作用。可以看出,好氧区的DO浓度越高,对氨氮的去除效果越好,原因是在好氧区氨氮的去除主要依靠好氧区大量硝化细菌的硝化作用<sup>[8]</sup>。

当好氧区DO浓度为1.5 mg/L时,对TN的平均去除率仅为72.4%,去除效果不太理想,这是由于溶解氧浓度过低导致好氧区硝化细菌的硝化能力不足,对氨氮的去除率不高,从而使得TN去除率低;当DO浓度从1.5 mg/L上升到2.5 mg/L时,对TN的平均去除率上升到77.1%;当DO浓度进一步上升到3.5 mg/L时,对TN的平均去除率反而下降为76.3%。TN去除率下降可能是由于混合液回流带入了过多的溶解氧,而且对于前一周期积累的硝

酸盐,现阶段的进水不能提供足够的反硝化碳源,缺氧区中较高的DO浓度在一定程度上抑制了反硝化作用<sup>[9]</sup>。

当好氧区DO浓度为1.5 mg/L时,对TP的平均去除率仅为74.5%,去除效果不太理想,这是由于溶解氧浓度过低导致好氧区聚磷菌的好氧吸磷不充分;当DO浓度从1.5 mg/L上升到2.5 mg/L时,对TP的平均去除率上升到79.9%;当DO浓度进一步上升到3.5 mg/L时,对TP的去除率下降为78.7%。

综上,当好氧区溶解氧浓度为2.5 mg/L时,一体化装置的除污效果整体相对较好,对COD、TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TP的平均去除率分别为77.6%、77.1%、81.5%、79.9%。综合考虑处理效果和成本,好氧区DO浓度为2.5 mg/L较理想,出水COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN、TP均可满足GB 18918—2002的一级A标准。

### 2.2 一体化装置除污性能

一体化装置进、出水COD浓度变化如图3所示。装置进水COD平均为103.66 mg/L,出水COD平均为22.19 mg/L。一体化装置运行稳定,对原水水质、水量的变化具有较强的抗冲击能力,且能保持较稳定的出水水质。各月出水COD浓度基本稳定在50 mg/L以下,平均去除率达到78.39%,这说明该一体化装置对COD有很好的去除效果。其中,进水COD浓度最大的月份为2018年1月(平均值为110.83 mg/L)、最小的月份为2018年4月(平均值为95.91 mg/L),出水COD浓度最大的月份为2017年12月(平均值为27.19 mg/L)、最小的月份为2017年9月(平均值为17.83 mg/L)。冬季出水COD浓度升高是因为此时温度较低,微生物生长缓慢的缘故。

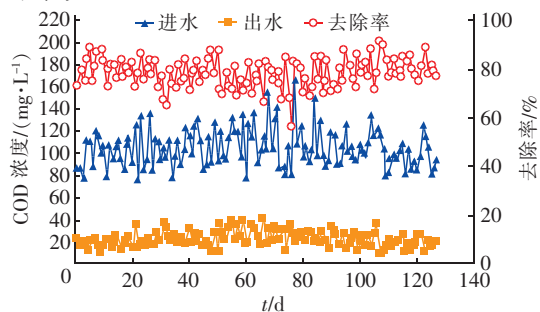


图3 立式一体化装置对COD的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of COD by vertical integrated device

污水厂进、出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度变化见图4。进水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均值为  $21.29 \text{ mg/L}$ , 出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均值为  $2.41 \text{ mg/L}$ , 平均去除率为  $88.36\%$ 。可以看出,一体化装置的硝化效果良好。污水在好氧池中进行硝化反应,将  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,反硝化细菌再将  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  转化为  $\text{N}_2$  去除。进水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  最大的月份为2018年12月(平均值为  $23.81 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年9月(平均值为  $19.10 \text{ mg/L}$ ),出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  最大的月份为2017年12月(平均值为  $2.83 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年9月(平均值为  $1.81 \text{ mg/L}$ )。冬季去除效果稍微下降的原因可能是当地温度偏低,而硝化反应的适宜温度为  $20 \sim 30^\circ\text{C}$ ,在  $15^\circ\text{C}$  以下时,硝化速度下降,在  $5^\circ\text{C}$  时完全停止<sup>[5]</sup>。

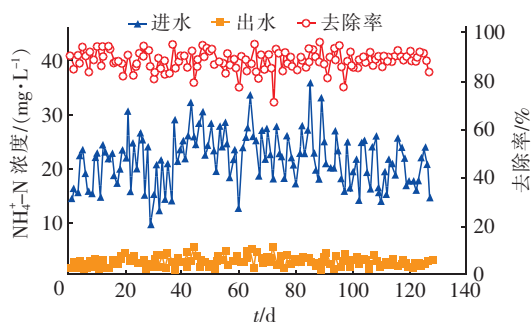


图4 立式一体化装置对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  by vertical integrated device

此外,进水 TN 浓度最大的月份为2017年12月(平均值为  $26.62 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年9月(平均值为  $22.38 \text{ mg/L}$ ),出水 TN 最大的月份为2017年12月(平均值为  $5.03 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年4月(平均值为  $4.46 \text{ mg/L}$ ),TN 平均去除率为  $80.16\%$ 。TN 去除效果与一体化装置的设计有着密切关系:在实际运行中,由于该装置的设计特点,其回流的混合液和刚加入的污水一起进入厌氧区,而刚进入的污水由于高度落差会夹带空气中的氧气进入,使其阶段性地形成了好氧及缺氧区,而正是由于系统中好氧及缺氧大环境的同时存在,使得同步硝化反硝化(SND)能够部分地进行,不仅节约了碳源,还很好地去除了 TN<sup>[9-11]</sup>。

污水厂进水 TP 浓度变化如图5所示。进水 TP 浓度最大的月份为2017年12月(平均值为  $1.58 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年9月(平均值为  $1.18$

$\text{mg/L}$ ),出水 TP 浓度最大的月份为2018年1月(平均值为  $0.35 \text{ mg/L}$ )、最小的月份为2017年9月(平均值为  $0.25 \text{ mg/L}$ )。一体化装置对 TP 的平均去除率为  $72.75\%$ ,其中去除率最低的月份为2017年12月,去除率为  $70.39\%$ 。对 TP 的去除效果随着温度的降低而降低,其原因可能是聚磷菌在低温环境下生物活性降低,导致磷的厌氧释放和好氧吸收速率降低<sup>[11-12]</sup>。

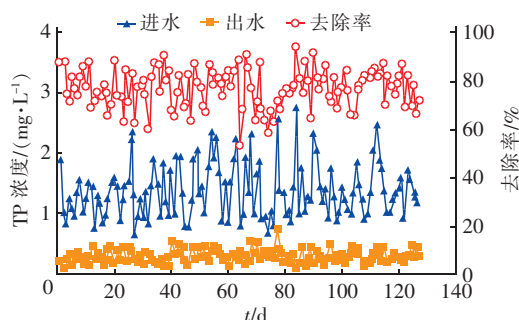


图5 立式一体化装置对 TP 的去除效果

Fig. 5 Removal efficiency of TP by vertical integrated device

### 3 结论

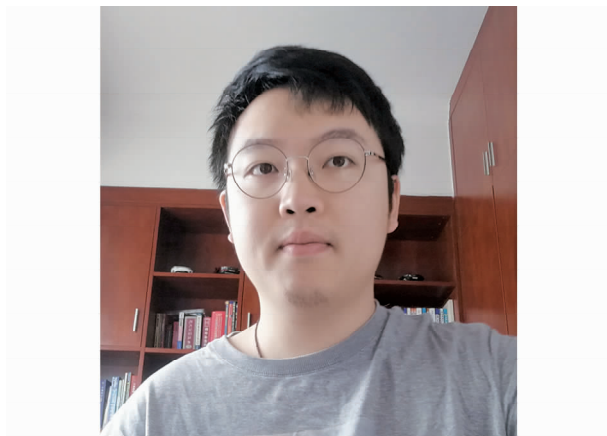
采用新设计的基于  $\text{A}^2\text{O}$  工艺的立式一体化装置处理喀斯特农村生活污水。运行结果显示,该立式一体化装置运行稳定,对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP 的平均去除率分别高达  $78.39\%$ 、 $88.36\%$ 、 $80.16\%$ 、 $72.75\%$ ,出水水质符合 GB 18918—2002 的一级 A 标准。该一体化污水处理装置具有投资和运营成本低、生物脱氮除磷效果好的特点,在乡镇污水处理领域有较好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 郑琳,冯欢,钱钰洁,等. 一体化生活污水处理装置运行性能研究[J]. 水处理技术,2011,37(2):73-76.  
Zheng Lin, Feng Huan, Qian Yujie, et al. Study on sewage treatment with a new type integrated device[J]. Technology of Water Treatment, 2011, 37(2):73-76 (in Chinese).
- [2] 刘明祥,陶丰收,余雪松.  $\text{A}^2\text{O}$  一体化污水处理池在某工业园区污水厂中的应用[J]. 中国给水排水,2017,33(6):69-72.  
Liu Mingxiang, Tao Fengshou, Yu Xuesong. Application of  $\text{A}^2\text{O}$  integrated wastewater treatment tanks in wastewater treatment plant in an industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6):69-72 (in Chinese).



- [3] 陈月芳,樊荣,刘哲,等. 一体化农村生活污水处理装置研究进展[J]. 安徽农业科学,2016,44(9):84-88.  
Chen Yuefang, Fan Rong, Liu Zhe, *et al.* Research progress of integrated rural domestic sewage treatment plant[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2016,44(9):84-88(in Chinese).
- [4] 杨卫,李孟. 一体化装置处理农村生活污水工程设计与调试运行[J]. 中国给水排水,2015,31(20):93-96,100.  
Yang Wei, Li Meng. Design and trial operation of integrated device for rural domestic sewage treatment[J]. China Water & Wastewater,2015,31(20):93-96,100(in Chinese).
- [5] 余建朋,温馨,肖诚斌,等. 一体化农村生活污水处理技术应用研究[J]. 环境工程,2013,31(s1):12-13,73.  
Yu Jianpeng, Wen Xin, Xiao Chengbin, *et al.* Study on application of integrated technology rural sewage treatment[J]. Environmental Engineering, 2013, 31(s1):12-13,73(in Chinese).
- [6] 贾晓竞,毕东苏,周雪飞,等. 一体化装置处理低浓度农村生活污水的中试研究[J]. 中国给水排水,2011,27(19):6-9.  
Jia Xiaojing, Bi Dongsu, Zhou Xuefei, *et al.* Pilot study on integrated reactor for treatment of low-concentration rural domestic sewage[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(19):6-9(in Chinese).
- [7] 杜炜锋. 复合式A/O脱氮除磷工艺的中试试验研究[D]. 上海:同济大学,2004.  
Du Weifeng. Pilot Scale Experimental Study on Combined A/O Process for Nitrogen and Phosphorus Removal[D]. Shanghai: Tongji University, 2004(in Chinese).
- [8] Healy M G, Rodgers M, Mulqueen J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters[J]. Bioresour Technol,2007,98(12):2268-2281.
- [9] Zhou S Q. Theoretical stoichiometry of biological denitrifications[J]. Environ Technol,2001,22(8):869-880.
- [10] 周少奇,方汉平. 低COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N比废水的同时硝化反硝化生物处理策略[J]. 环境污染与防治,2000,22(1):18-21.  
Zhou Shaoqi, Fang Hanping. Biotreatment of low COD/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratio wastewater by simultaneous nitrification and denitrification process[J]. Environmental Pollution & Control,2000,22(1):18-21(in Chinese).
- [11] 周少奇. 环境生物技术[M]. 北京:科学出版社,2003.  
Zhou Shaoqi. Environmental Biotechnology[M]. Beijing: Science Press,2003(in Chinese).
- [12] 操家顺,侯梁浩,方芳,等. 温度及外加碳源对生物脱氮除磷过程的影响[J]. 环境工程学报,2013,7(6):2013-2018.  
Cao Jiashun, Hou Lianghao, Fang Fang, *et al.* Effect of temperature and external carbon source on simultaneous nitrogen and phosphorus removal[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2013,7(6):2013-2018(in Chinese).



作者简介:肖妍圻(1993-),男,湖南益阳人,硕士研究生,主要研究方向为污水处理技术。

E-mail:460361848@qq.com

收稿日期:2019-09-23