

流量波动下新型一体化农村污水设备的处理效果

史会欣¹, 张伟², 荣懿¹, 章武首³, 金鹏康¹

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安市第五污水处理厂, 陕西 西安 710000; 3. 陕西朗正环保科技有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 针对农村地区生活污水的排放特点, 开发了一种以 MSBR 工艺为基础的新型一体化农村污水处理装置, 并考察了该装置在不同进水流量及进水方式下的处理性能。在模拟农村生活污水的进水条件下, 该一体化装置可稳定有效地去除 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP, 相应去除率分别为 95%、94%、84% 和 89%。调研发现, 农村生活污水在早、中、晚会 出现水力负荷冲击, 因此分析了连续和间歇两种进水方式下该设备处理污水的效果。结果表明, 在两种进水方式下, 出水 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 TN 均可稳定达到一级 A 标准, TP 可稳定达到一级 B 标准; 而且在间歇进水模式下, 对 TN 的去除率更高。为优化装置的处理性能, 采取预缺氧池、厌氧池分点进水的措施, 其最佳工况为 $Q_{\text{预缺氧}}:Q_{\text{厌氧}}=0.2:0.8$, 在此试验条件下, 系统对 COD、TN 和 TP 的去除率分别为 94%、74%、92%, 相应的出水浓度分别为 25.24、10.91 和 0.60 mg/L。

关键词: 农村污水; 流量波动; 一体化设备; MSBR 工艺; 进水方式; 分点进水

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0084-06

Performance of a New Integrated Rural Sewage Treatment Equipment under Flow Fluctuation

SHI Hui-xin¹, ZHANG Wei², RONG Yi¹, ZHANG Wu-shou³, JIN Peng-kang¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Fifth Sewage Treatment Plant, Xi'an 710000, China; 3. Shaanxi Langzheng Environmental Protection Technology Co. Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: According to the discharge characteristics of domestic sewage in rural areas, a new integrated rural sewage treatment equipment based on the MSBR process was developed, and its processing efficiency under different influent flow and modes was investigated. The integrated equipment was capable to remove COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN and TP stably and effectively under the condition of simulating the rule of rural sewage discharge, and their removal rates were 95%, 94%, 84% and 89% respectively. It was found that rural domestic sewage had hydraulic load impact in the morning, afternoon and evening. Therefore, the equipment performance under continuous and intermittent feeding modes was analyzed separately. The results indicated that the effluent COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TN could stably reach the first class A standard and the effluent TP could stably reach the first class B standard under two feeding

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400701); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07313-001-01); 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016TZC-S-19-3); 陕西省重点科技创新团队项目(2013KCT-13)

通信作者: 金鹏康 E-mail: pkjin@hotmail.com

modes. In addition, the nitrogen removal rate was higher in the intermittent feeding mode. Simultaneous feeding of pre-anoxic pool and anaerobic pool were adopted in order to enhance the device treatment efficiency, and the best flow ratio of $Q_{\text{pre-anoxic}}$ and $Q_{\text{anaerobic}}$ was 0.2 : 0.8. Under this condition, the removal rates of COD, TN and TP were 94%, 74% and 92%, and their average effluent concentration was 25.24 mg/L, 10.91 mg/L and 0.60 mg/L, respectively.

Key words: rural sewage; flow fluctuation; integrated equipment; MSBR process; influent mode; multiple-point feeding

随着经济的发展,居民生活水平得到很大提高。在我国农村地区,居民生活污水排放量逐年上升,但多数村庄缺乏完善的排污管道和污水处理设施。大量生活污水未经处理而直接排放,这对农村地区脆弱的生态环境产生了很大危害,并且严重威胁了居住环境和居民的身体健康^[1]。因此,为改善逐渐恶化的水环境需要选择适用于农村地区的分散污水处理技术。

现有的分散污水处理技术包括氧化塘、净化槽、生物滤池和生物转盘等^[2]。其中,氧化塘等自然处理系统的运行效果稳定、成本低、维护方便,但占地大、净化能力受季节影响较大^[3]。净化槽技术的出水水质较好、效果稳定、占地面积小,但建设与运行费用相对较高,且需要专业人员进行维护^[4]。生物滤池的出水水质较好、管理方便,但投资费用高、容易发生堵塞。生物转盘可处理高负荷的污水,并且处理效果较好,但其能耗较高,同时需要专业的管理人员维护。

面对农村地区布局分散、地形复杂、从业人员水平和管理水平较低的现状,传统工艺已不能满足分散污水处理的需求,因此研制开发管理方便、运行稳定、出水水质达标且投资运行成本低的分散式污水处理设备十分必要。针对农村生活污水排放量变化大、氮磷等营养物质含量高、基本无有毒物质、可生化性好等特点^[5],开发了一种以MSBR工艺为基础、具备水量变化适应能力的新型一体化农村污水处理装置。该装置占地面积小^[6],对水质、水量的变化具有很好的适应性,控制方便,可满足农村生活污水的处理要求。

1 材料与方法

1.1 工艺流程及试验用水

一体化装置采用钢板制成,包括厌氧池、缺氧池、好氧池、预缺氧池、污泥浓缩池、两侧兼氧池和二沉池,如图1所示。

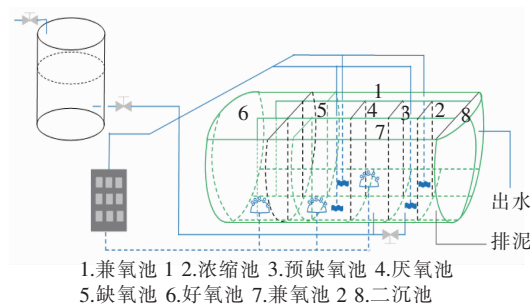


图1 一体化装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of integrated equipment

装置进水采用西安市某污水厂曝气沉砂池出水,其具有可生化性好、氮磷含量高等特点,与农村生活污水水质相似,具体进水水质:COD为216.0~532.1 mg/L,平均为327.6 mg/L;总氮为36.8~88.4 mg/L,平均为62.3 mg/L; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为24.3~44.6 mg/L,平均为35.6 mg/L; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为0.17~3.3 mg/L,平均为1.1 mg/L;TP为2.8~21.9 mg/L,平均为10.3 mg/L;pH值为7.21~7.6,平均为7.50;温度为17~25℃,平均为20℃。

活性污泥取自该污水处理厂的回流污泥,该回流污泥具有较高的活性,经过驯化后,试验装置进入稳定运行阶段。

1.2 工况设置及试验设计

装置稳定运行后,污水水温为18~28℃,pH值为7~8,进水流量 Q 为0.5 m³/h。曝气池溶解氧控制在1.5~2 mg/L,缺氧池溶解氧为0.3~0.5 mg/L,厌氧池溶解氧为0.1~0.3 mg/L,HRT为16 h,污泥内回流量为0.3 Q ~0.4 Q ,外回流量为1.3 Q ~1.4 Q ,混合液回流量为1.5 Q ,SRT为33 d。两侧兼氧池交替运行,运行周期为4 h,即曝气50 min、缺氧搅拌40 min、预沉淀30 min、出水120 min。农村生活污水日变化系数大,一般在早、中、晚各有一个用水高峰期,夜间排水量小,甚至可能断流,水量变化幅度大。试验共分为3个阶段:第1阶段考察进水

流量对装置的影响,流量分布如图2所示。待系统稳定运行后,每间隔2 h取一次水样。第2阶段考察进水方式对一体化装置处理效果的影响,进水时间分别为早上6:00—9:00、中午11:00—14:00及晚上17:00—21:00,早上和中午各进水3 m³,晚上进水6 m³,保证总进水量与连续进水阶段相同,期间好氧池采用间歇曝气模式,进水阶段打开曝气,停水阶段关闭曝气。第3阶段考察了预缺氧池、厌氧池分点进水对装置处理效果的影响,预缺氧池进水量占总进水量的比例分别为0、10%和20%。

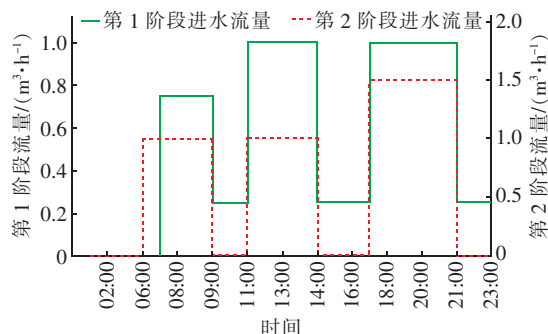


图2 流量的变化

Fig. 2 Change of flow

1.3 分析项目及方法

COD、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、TN和TP均按照《水和废水监测分析方法》(第4版)进行测定,DO和温度采用便携式溶解氧测定仪测定。

VFA采用气相色谱法检测。采用0.45 μm滤膜过滤水样,向5 mL水样中加入250 μL甲酸固定。气相色谱仪为Agilent6890N, FID检测器,气相色谱柱为DB-WAXETR(30 m × 1.0 μm × 0.53 mm),进样量为1 μL,分流比为10:1。进样器和检测器温度分别为100和250℃。采用程序升温,初始温度为100℃,保留2 min,以3℃/min的速度升温至160℃,保留2 min。

在测定比耗氧速率过程中,通过投加NaClO₃和烯丙基硫脲(ATU)选择性地抑制亚硝酸盐氧化菌(NO₃⁻)和氨氧化菌(AOB)的活性。取1 L好氧池混合液放于反应器内,用曝气头充氧气,使溶解氧接近饱和,使用溶氧仪在线监测溶解氧的变化。用磁力搅拌器搅拌,搅拌强度控制为污泥不发生沉降即可。共进行3组试验,第1组投加NaClO₃(0.02 mol/L),第2组投加ATU(5 mg/L),第3组不投加任何抑制剂。根据DO-t曲线和生物量(MLSS)计算活性污泥比耗氧速率(SOUR)。

2 结果与讨论

2.1 流量对一体化装置性能的影响

不同进水流量下,一体化装置对COD、氨氮、TN的去除效果表明,7:00—11:00范围内出水COD、NH₄⁺-N和TN浓度较其他时间的低。这是由于夜间停止进水过程中系统未停止曝气,而是仅降低了曝气量,因此污水中的有机物基本消耗殆尽,氨氮通过硝化作用反应完全,硝化液回流后进一步的反硝化使总氮浓度下降。在变流量进水条件下,一体化装置出水COD、NH₄⁺-N和TN浓度分别在16.9~36.8、0.33~2.84、3.06~12.32 mg/L之间波动,满足一级A标准。图3为系统对TP的去除情况,由于夜间停水,增加了污水在反应器内的停留时间,产生了无效释磷现象,导致早上出水TP浓度略微升高,因此进水之后系统出水TP浓度开始下降。该试验过程中,一体化装置的出水TP浓度均低于1 mg/L,满足一级B标准。可见,一体化装置对进水流量的变化具备良好的适应性。

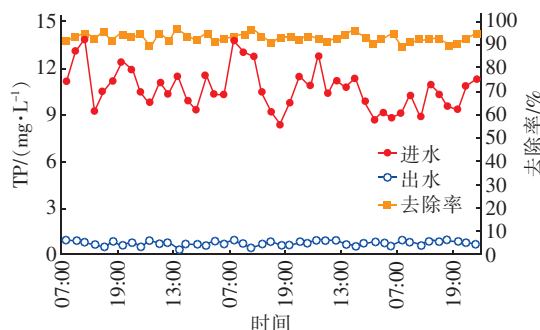


图3 不同进水条件下系统对TP的去除效果

Fig. 3 Removal effect of TP under different influent conditions

为找到一体化装置在变流量进水条件下对TN具有良好去除能力的原因,检测了好氧池中硝态氮和亚硝态氮的变化情况,如图4所示。可知,好氧池中NO₃⁻-N和NO₂⁻-N的平均浓度分别为6.5和3.9 mg/L,亚硝酸盐积累率达到40%左右,说明好氧池中发生了轻微的短程硝化现象。原因可能是日间好氧池的曝气量不变,当进水流量变化较大时,好氧池中DO由于稀释作用会发生变化,在0.35~1.2 mg/L之间波动。AOB具有饱食饥饿特性,可以适应溶解氧的波动。当溶解氧较低时,AOB处于低氧饱食阶段,利用少量的氧进行氨氧化反应;溶解氧浓度升高后,进入高氧饥饿阶段,AOB处于内源呼吸状态,恢复活性。而NOB由于不具有饱食饥饿特

性,从而不能适应 DO 的变化,因此在一体化装置运行过程中逐渐被淘汰。监测发现,运行后期 AOB 的比耗氧速率明显升高,NOB 的比耗氧速率下降,二者的比值由 1.2 升高至 4.1,表明后期好氧池中 AOB 占比较高,在好氧池中成为优势菌种。因此,流量波动引起的 DO 变化致使系统内微生物种群结构发生了变化,从而实现一定程度的短程硝化反硝化,这是系统对 TN 具有良好去除性能的主要原因。

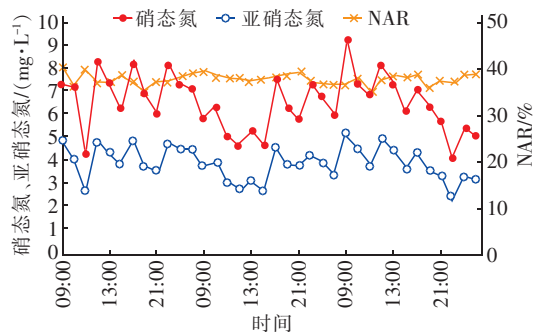


图4 好氧池中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的变化

Fig. 4 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- - \text{N}$ in aerobic tank

2.2 进水方式对一体化装置性能的影响

为研究装置抗水力负荷冲击的能力,使装置分别在连续和间歇两种进水方式下运行 30 d,试验结果如图 5 所示。从图 5(a)可以看出,系统在连续进水阶段和间歇进水阶段中,平均出水 COD 浓度分别为 27.8 和 24.5 mg/L,满足 GB 18918—2002 的一级 A 标准。可见,间歇进水方式对一体化装置去除 COD 的性能没有产生影响。分析原因,可能是一体化装置内的微生物在停水阶段处于没有碳源的“饥饿”环境,通过内源呼吸作用来维持一定程度的代谢速度和吸附能力,当系统再次进水后微生物能迅速吸附污水中的污染物,从而加速对污染物的去除。从图 5(b)可知,两种进水方式下,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均浓度均低于 5 mg/L,间歇进水条件下一体化装置对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率(90.4%)略低于连续进水条件的(92.1%)。这是由于在间歇进水条件下,自养硝化菌的硝化能力受到抑制,导致对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降。从图 5(c)可以看出,系统在连续进水阶段和间歇进水阶段中,出水 TN 平均浓度分别为 10.7 和 11.2 mg/L,间歇进水条件下系统对 TN 的平均去除率(80.3%)略高于连续进水条件的(77.2%)。从图 5(d)可以看出,连续进水方式改变为间歇进水后,出水 TP 平均浓度由 0.74 mg/L 变

为 0.75 mg/L,可见进水方式的改变并未影响对 TP 的去除。综上所述,系统在间歇进水条件下,出水 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 均能稳定达标,因此一体化装置具备较强的抗水力负荷冲击能力。

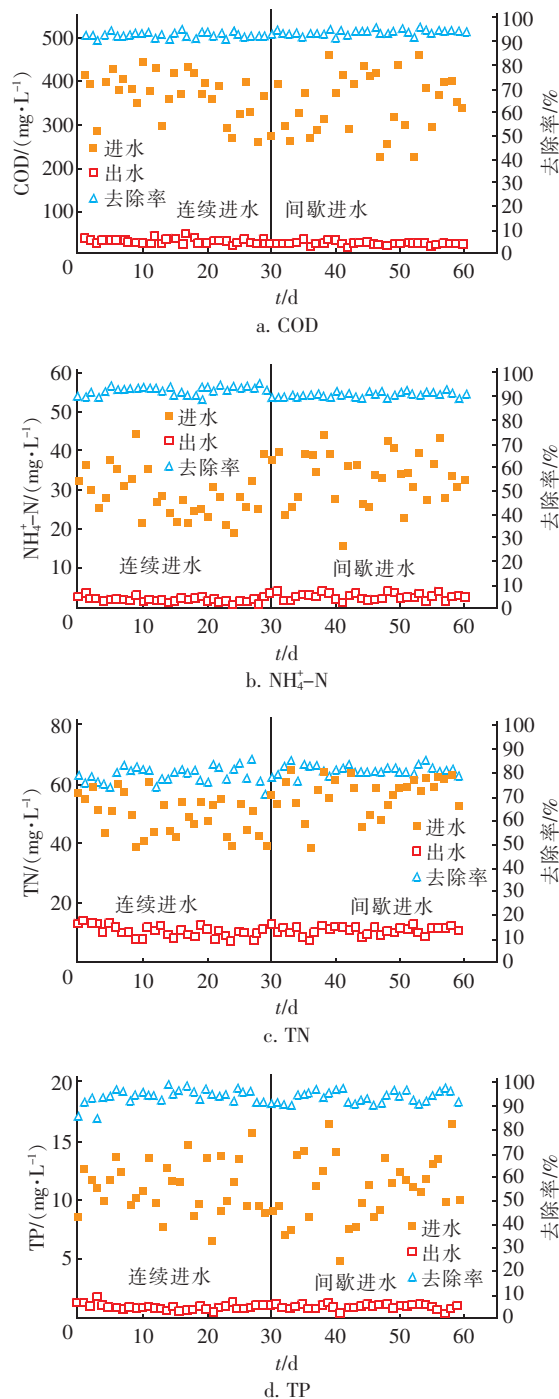


图5 不同进水方式下系统对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的去除效果

Fig. 5 Removal effect of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN and TP under different influent modes

为了探究间歇进水条件下一体化装置脱氮效果提升的原因,监测了连续进水和间歇进水两种方式下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在系统内的沿程变化。试验结果表明,间歇进水阶段预缺氧池对硝态氮的去除量(3.67 mg/L)高于连续进水阶段(1.94 mg/L),间歇进水时预缺氧池对硝态氮的去除率更高,这可能是由于间歇进水时回流污泥中有更多碳源参与了反硝化反应。

为了验证以上推断,检测了连续和间歇两种进水方式下浓缩池污泥中 VFAs 和乙酸的变化,结果如图6所示。

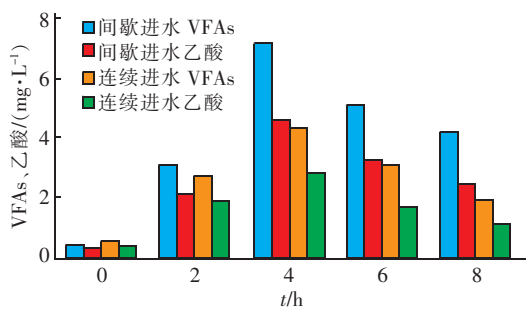


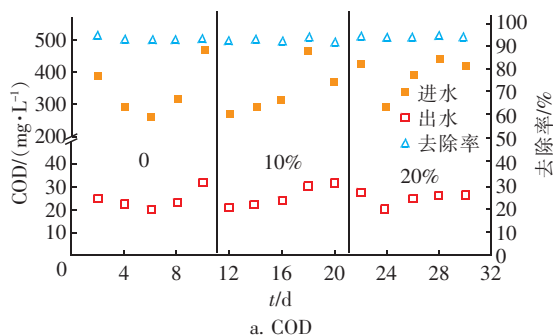
图6 VFAs含量变化

Fig. 6 Changes of VFAs content

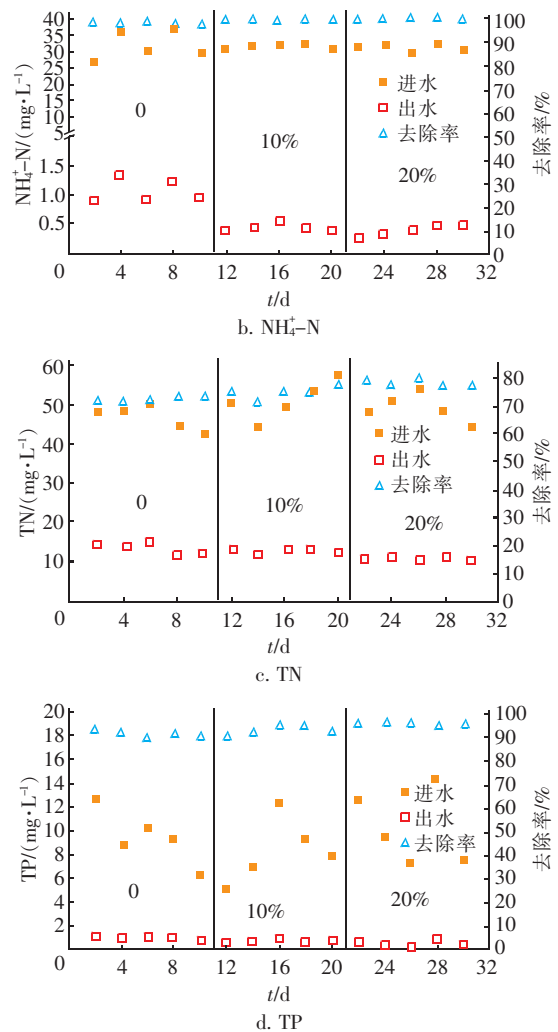
从图6可以看出,间歇进水时 VFAs 的含量始终高于连续进水的,可能是由于停止进水时系统内各回流的流量很小,仅能维持一体化装置内水流的循环,因此提高了浓缩池中污泥的停留时间,而且浓缩池底部设有斜板,具有导流沉淀作用,可更好地为发酵细菌提供厌氧环境,从而使可快速降解的有机物含量增加。因此,在间歇进水条件下,系统可利用的优质碳源增多,提高了反硝化性能,从而具有更好的脱氮效率。

2.3 分点进水优化系统去除污染物的性能

在预缺氧池不同分点进水比条件下,分析了系统对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的去除效果,结果如图7所示。



a. COD

图7 预缺氧池不同分点进水比下系统对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的去除效果Fig. 7 Removal effect of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN and TP at different distribution ratio in pre-anoxic pool

从图7(a)可知,预缺氧池分点进水比对系统去除 COD 的影响不大,在 $Q_{\text{预缺氧}}:Q_{\text{厌氧}}$ 分别为 0:1、0.1:0.9 和 0.2:0.8 进水条件下,系统对 COD 的平均去除率分别为 93%、92% 和 94%,平均出水 COD 均低于 50 mg/L,满足一级 A 排放标准。由图7(b)可以看出,在 3 种进水比例条件下,系统的出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度分别为 1.34、0.51 和 0.31 mg/L。随着预缺氧池进水比例增加,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度出现略微下降,这可能是由于分点进水后预缺氧池的内源反硝化过程减弱, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 生成量减少^[7],从而降低了一体化装置的硝化负荷。由图7(c)可知,随着预缺氧池进水量增大,平均出水 TN 浓度由 13.1 mg/L 下降到 10.91 mg/L,可见提高预缺氧池

分点进水的比例可以改善系统对 TN 的去除效果。当进水比为 0.2 : 0.8 时,系统对 TN 的去除率最高,达到 74%。根据 Peng 等^[8]的研究,总氮去除率增加的原因可能是由于预缺氧池分点进水提高了一体化装置反硝化过程中碳源的利用效率。由图 7(d)可知,随着预缺氧池分点进水比例升高,出水 TP 浓度逐渐下降,当预缺氧池分点进水比为 0.2 : 0.8 时,出水总磷浓度比单点进水时降低了 0.28 mg/L,这可能是由于随着分点进水比的增大,厌氧池中聚磷菌可以利用的优质碳源增多,释磷作用更充分,从而提高了一体化装置对 TP 的去除效果。

3 结论

① 新型一体化农村污水处理装置对进水流量波动具有良好的适应性;好氧池中发生了一定程度的短程硝化反硝化反应是系统具有良好脱氮性能的主要原因。

② 系统在间歇进水条件下,出水 COD、氨氮、TN 和 TP 均能稳定达标,一体化装置具有较强的抗水力负荷冲击的能力。

③ 预缺氧池、厌氧池分点进水的方式可以优化设备的处理性能,其最佳工况为 $Q_{\text{预缺氧}} : Q_{\text{厌氧}} = 0.2 : 0.8$,此时系统对 COD、TN 和 TP 的去除率分别为 94%、74% 和 92%,相应的出水平均浓度分别为 25.24、10.91 和 0.60 mg/L。

参考文献:

- [1] Liu J, Lu Z B, Zhang J, *et al.* Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage[J]. *Ecol Eng*, 2013, 61: 100 - 109.
- [2] 吴小苏,廖日红,何刚. 速分生化 + NAR 交换集成技术处理京郊新农村污水[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(2): 69 - 71.
Wu Xiaosu, Liao Rihong, He Gang. Integration of rapid separation biochemistry process and NAR exchange for treatment of rural sewage in suburbs of Beijing[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(2): 69 - 71 (in Chinese).
- [3] 谭月臣,姜冰冰,洪剑明. 北方地区潜流人工湿地冬季保温措施的研究[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(7): 1653 - 1661.
Tan Yuechen, Jiang Bingbing, Hong Jianming. The study of wintertime heat preservation measures in subsurface flow constructed wetland in northern China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(7): 1653 - 1661 (in Chinese).
- [4] 周琦,黄勇,李祥,等. 分散式生活污水处理工艺适宜性探讨[J]. *水处理技术*, 2014, 40(5): 22 - 26, 37.
Zhou Qi, Huang Yong, Li Xiang, *et al.* The study on the suitability of decentralized sewage treatment process[J]. *Technology of Water Treatment*, 2014, 40(5): 22 - 26, 37 (in Chinese).
- [5] 钱海燕,陈葵,戴星照,等. 农村生活污水分散式处理研究现状及技术探讨[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(33): 176 - 180.
Qian Haiyan, Chen Kui, Dai Xingzhao, *et al.* Present status and technology on decentralized treatment of domestic sewage in rural areas[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(33): 176 - 180 (in Chinese).
- [6] 杨殿海,顾国维. 改进型 MSBR 工艺特点与运行效果[J]. *中国给水排水*, 2004, 20(1): 62 - 65.
Yang Dianhai, Gu Guowei. Performance and operating result of modified MSBR process [J]. *China Water & Wastewater*, 2004, 20(1): 62 - 65 (in Chinese).
- [7] 邓仁健,张金松,曲志军,等. MSBR 工艺强化生物脱氮生产性试验研究[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(7): 9 - 13.
Deng Renjian, Zhang Jinsong, Qu Zhijun, *et al.* Full-scale experiment of enhanced biological nitrogen removal in MSBR process [J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(7): 9 - 13 (in Chinese).
- [8] Peng Y Z, Ge S J. Enhanced nutrient removal in three types of step feeding process from municipal wastewater [J]. *Bioresour Technol*, 2011, 102(11): 6405 - 6413.



作者简介:史会欣(1993 -),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向为水处理理论与技术。

E-mail: 2509107560@qq.com

收稿日期: 2019 - 02 - 22