



文章栏目：“农村和小城镇生活污水治理”专题

DOI 10.12030/j.cjee.202001101

中图分类号 X703

文献标识码 A

刘建伟, 刘雪丽, 高柳堂, 等. 强化复合厌氧反应器处理农村生活污水的快速启动[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2339-2345.

LIU Jianwei, LIU Xueli, GAO Liutang, et al. Rapid start-up of enhanced hybrid anaerobic reactor for rural domestic sewage treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(9): 2339-2345.

强化复合厌氧反应器处理农村生活污水的快速启动

刘建伟^{1,*}, 刘雪丽¹, 高柳堂^{1,2}, 康心悦¹, 胡明³, 王培京³

1. 北京建筑大学, 北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心, 北京 100044

2. 石家庄以岭药业股份有限公司, 石家庄 050035

3. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048

第一作者: 刘建伟(1979—), 男, 博士, 副教授。研究方向: 分散污水处理技术。E-mail: liujianwei@bucea.edu.cn
*通信作者

摘要 针对常规单一厌氧反应器处理农村生活污水启动时间长、处理效率低等问题, 构建了一种集填料型厌氧折流和厌氧滤池技术为一体的新型强化复合厌氧反应器, 并对该反应器的启动方法和运行特性进行了探究。采用接种污水厂活性污泥, 并通过逐渐缩短反应器水力停留时间(HRT)的方法, 进行反应器的启动。结果表明, 在运行时间为 25 d 时, 反应器出水 COD 降至 $65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD 去除率达 70.7%; 各格室 pH 和氧化还原电位(Eh)分别稳定在 6.9~7.0 和 $(-243 \pm 6) \sim (-289 \pm 6) \text{ mV}$; CH_4 产生量达 $365 \text{ mL} \cdot \text{d}^{-1}$, 反应器实现成功启动。其中, 折流区单元对 COD 的去除占主导作用, 折流区单元内污泥生长和填料挂膜状况良好。本研究构建的强化复合厌氧反应器能够成功实现快速启动, 为在农村生活污水处理中的实际应用提供了参考依据。

关键词 农村生活污水; 复合厌氧反应器; 厌氧折流板反应器; 厌氧滤池; 反应器快速启动

近年来, 农村生活污水排放量不断增大, 随之而引起的水体污染问题也越来越突出^[1]。由于农村污水产生面广且分散, 水质和水量波动大, 常规的好氧生物或生态处理工艺往往无法达到令人满意的处理效果^[2-3]。而厌氧生物处理技术以其较低的能耗、较少的污泥产生量和较好的能源回收潜力越来越引起研究者的关注^[4]。

厌氧生物处理技术主要依靠厌氧微生物的生物降解作用, 实现污水中污染物的去除^[5]。厌氧折流板反应器(ABR)和厌氧滤池(AF)是 2 种常用的污水厌氧处理技术, 具有处理效率高、结构简单等优点, 因而备受研究者的关注^[6-7]。

由于农村生活污水污染物浓度低, 厌氧微生物生长速度缓慢且对环境条件较为敏感, 故处理农村污水的厌氧反应器往往需要较长的启动时间。杨春等^[8]利用填充有无纺布填料的 ABR 处理农村污水, 在反应器运行至第 60 d 时才完成启动, 在启动期的最高 COD 去除率为 66%。赵丽等^[9]利用接种了厌氧颗粒污泥的 ABR 处理模拟畜禽养殖废水, 反应器的启动期长达 64 d。MOUSSAVI 等^[10]利用未接种污泥的上流式化粪池处理生活污水, 运行 81 d 才完成启动。由于处理农村生活污水的厌氧反应器的启动时间过长, 使反应器在实际污水处理的应用中往往受到一定限制。因此, 如何

收稿日期: 2020-01-15; 录用日期: 2020-06-14

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07102004-005)

对用于农村生活污水处理的厌氧反应器进行有针对性地设计以实现反应器的快速启动非常重要。

本研究构建了基于厌氧折流板和厌氧滤池工艺集成的强化复合厌氧反应器。通过考察反应器的COD去除率、 CH_4 产生量、各格室pH和Eh变化等,研究其快速启动特性。该研究结果可为强化复合厌氧反应器在农村生活污水处理的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 强化复合厌氧反应器的构建

通过有机结合填料型厌氧折流板反应器和厌氧滤池各自的优势,构建出强化复合厌氧反应器。利用厌氧活性污泥法和厌氧生物膜法的协同作用,强化反应器内的传质和微生物反应,提高污水中污染物的处理效率。

如图1所示,强化复合厌氧反应器分为填料型厌氧折流区单元和厌氧滤池区单元。强化复合厌氧反应器有效容积为120 L,长、宽、高分别为80、20和103 cm。反应器由上部的折流区单元和下部的滤池区单元串联而成。其中,厌氧折流区单元内设4个格室,上、下流格室宽度比为3:1,4个格室上部均悬挂立体弹性填料,填料的中心绳为聚酰胺材质,丝条材质为聚丙烯。厌氧滤池区以3 mm孔径的有机玻璃板为滤料支撑板,其上填充砾石和陶粒轻质颗粒滤料。其中的砾石粒径为5~8 mm、陶粒粒径为4~6 mm,两者的填充率为40%~50%。滤池区单元中间设倾斜布水板,底部设置锥形槽,折流区单元流失至滤池区单元的污泥可在锥形槽中有效沉积,并回流至折流区单元或排出,以避免滤池区单元的堵塞。待处理污水首先进入折流区单元,折流区单元未能降解的污染物在滤池区单元内进一步降解。

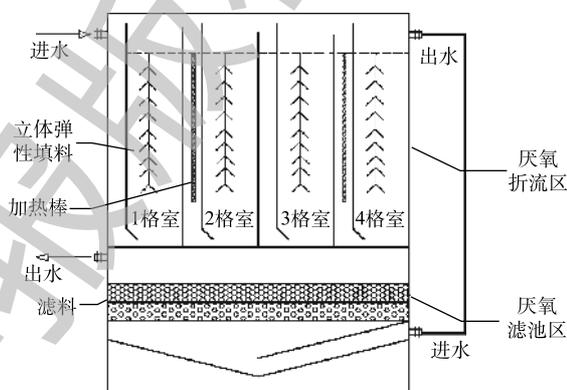


图1 强化复合厌氧反应器结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of enhanced hybrid anaerobic reactor

厌氧折流区单元的4个格室将不同类型的厌氧微生物分格室生长和代谢,实现产酸相和产甲烷相的分离。在厌氧折流区的4个格室均填充立体弹性填料,截留污水中的颗粒物及微生物絮体,使污泥不发生流失,确保各格室内有足够的微生物量;同时,格室型设计可为絮体在填料中的聚集和密度增大创造条件,有利于颗粒污泥的形成。厌氧滤池区单元则依靠滤料的截留、吸附以及厌氧微生物的生物降解作用,提高污水中污染物的去除效果,保证反应器出水水质和增强抗冲击负荷能力。

强化厌氧反应器的厌氧折流区单元和厌氧滤池区单元为上下串联形式,结构紧凑,能够大大减小整体占地面积。通过厌氧折流区污泥层和填料的截留和沉淀作用,污水中的大部分悬浮物得以去除,从而能够保证厌氧滤池区单元填料不发生堵塞。厌氧滤池区单元与厌氧折流区单元发挥协同作用,实现污水中污染物的高效去除。

1.2 接种污泥与进水水质

复合厌氧反应器采用实际农村生活污水作为进水,进水水质参数:pH为6.5~8.5、COD为187~380 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度为30~60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、TP浓度为3.0~7.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

接种污泥取自北京市某城市污水厂二沉池,经厌氧驯化、培养成熟后使用。培养期间加入一定的营养液并对上清液进行外排,不定时对污泥进行搅拌。污泥接种量为反应器有效容积的35%左右。接种污泥参数:pH为6.9、SVI为68.71 $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 、MLVSS浓度为5 643.52 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、MLSS

浓度为 $9\ 282.10\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3 强化复合厌氧反应器的启动

将厌氧驯化、培养成熟的污泥边搅拌边用蠕动泵均匀接种至反应器不同格室，并通入农村生活污水，静置 2 d 后，反应器开始连续运行。反应器启动采用维持进水浓度不变、逐步缩短 HRT 的方法，HRT 由最初的 40 h 逐渐缩短至 33、24 h；进水 COD 在 $187\sim 380\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、容积负荷为 $0.11\sim 0.38\ \text{kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$ (以 COD 计)。在反应器的启动期间，温度维持在 $(35\pm 1)\ ^\circ\text{C}$ ，不进行排泥。

1.4 检测指标及分析方法

各项检测指标均参照《水和废水监测分析方法》^[11] 进行测定。其中，COD 采用重铬酸钾-紫外分光光度法测定；MLSS 和 MLVSS 浓度采用重量法测定。甲烷体积采用湿式气体流量计计量法测定；pH 采用 FiveEasy Plus 台式 pH 计测定；Eh 值采用哈希 HQ11D 氧化还原电位检测仪测定。

2 结果与讨论

2.1 强化复合厌氧反应器对 COD 的去除效果

复合厌氧反应器启动期的进、出水 COD 和 COD 去除率变化如图 2 所示。可以看出，进水 COD 在 $187\sim 380\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。其中，在启动初期 (1~10 d)，反应器出水 COD 相对较高 ($113\sim 190\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)；到了启动中期 (11~19 d)，反应器出水 COD 逐渐降低，去除率逐渐升高，到第 19 天，COD 去除率已达 66.7%；到了启动后期 (20~25 d)，反应器出水 COD 进一步减小，在第 25 天时，反应器出水 COD 降至 $65\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，去除率达 70.7%，且趋于稳定。可见，在反应器启动初期，由于接种污泥尚未适应反应器中特殊的厌氧环境，优势微生物种群数量和活性均不高，对 COD 的去除率也相对较低；随着反应器运行期的延长，水解酸化菌和产甲烷菌快速增殖、活性增加，对 COD 的去除率不断升高，并逐渐趋于稳定。

强化复合厌氧反应器对 COD 的去除，主要基于折流区单元的生物降解作用及滤池区单元的截留、吸附和滤料表面生物膜层的生物降解作用。在反应器启动期，折流区和滤池区 2 个不同单元对进水 COD 的去除贡献率变化结果见图 3。可以看出，折流区单元对 COD 的去除贡献率为 70.3%~79.2%，平均为 76.4%；而滤池区单元对 COD 的去除贡献率仅为 20.8%~29.7%，平均为 23.6%。这表明，在反应器的启动期，折流区单元对整体 COD 的去除起主要作用。其原因在于：农村生活污水 COD 相对较低，经折流区单元处理后，其出水 COD 更低，这导致留给滤池区单元的进水 COD 负荷已不大，即使全部去除也无法提升滤池区单元对整体 COD 去除的贡献率；更重要的是，对于

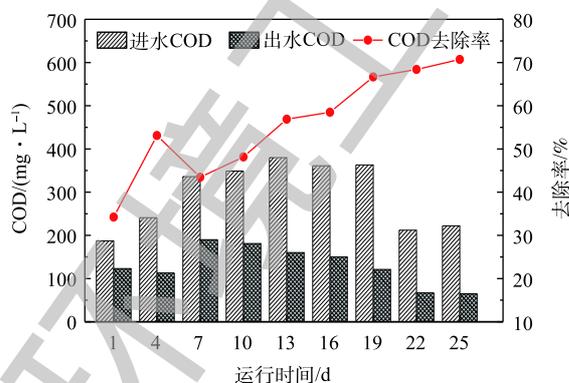


图 2 反应器启动期进、出水 COD 及 COD 去除率的变化

Fig. 2 Variations of COD concentration in influent and effluent and COD removal efficiency during start-up period of the reactor

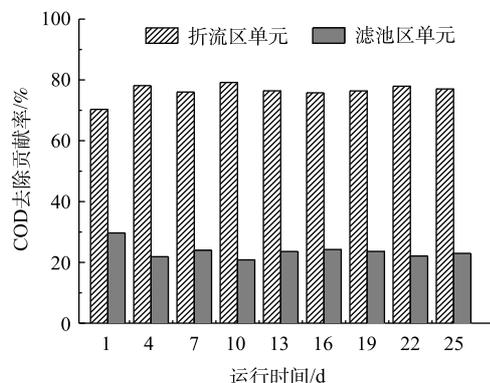


图 3 反应器启动期各单元 COD 去除贡献率的变化

Fig. 3 Variation of COD removal contribution rate during start-up period of the reactor

COD 较低的进水, 滤池区单元的滤料挂膜很难, 微生物和底物基质之间传质驱动力亦低, 从而导致对 COD 的生物降解作用较小, 使得滤池区单元对 COD 的去除主要基于滤料的截留、吸附等物化作用^[12]。因而滤池区单元对 COD 的去除贡献率相对较低且稳定。

2.2 强化复合厌氧反应器启动期不同格室 pH 的变化

pH 对厌氧微生物的生长及活性可产生重要影响, 进而影响整个厌氧处理过程^[13]。因此, pH 是反映启动期厌氧反应器运行正常与否的一个重要指标。在启动期, 反应器不同格室 pH 变化如图 4 所示。可以看出, 在启动期, 反应器不同格室的 pH 为 6.8~7.0, 在厌氧产甲烷菌生长的最适 pH 范围内^[13-14]。在污水厌氧生物处理过程中, 甲烷产生的最佳 pH 范围为 6.6~7.6, 如果 pH 降至 6.5 以下, 则会严重抑制甲烷的生成^[14]。

在启动初期和中期 (1~19 d), 反应器前端 (第 1、2 格室) 的 pH (6.8~6.9) 小于后端 (第 3、4 格室) 的 pH (6.9~7.0)。这是因为, 在启动期, 反应器的前端格室进水 COD 较高, COD 发生水解酸化, 产生较多量的挥发性脂肪酸 (VFAs), 且产酸菌和产甲烷菌之间没有建立代谢平衡, VFAs 的产生速率大于消耗速率, 致使前端格室内 VFAs 积累, pH 降低。在启动后期 (20~25 d), 反应器后端格室的 pH 变化渐小, 但前端格室特别是第 1 格室的 pH 有一定幅度的增加。这表明, 到了反应器启动后期, 不同格室内的产酸和产甲烷反应逐渐形成动态平衡, 产甲烷菌能有效消耗产酸过程产生的 VFAs。

2.3 强化复合厌氧反应器启动期不同格室 Eh 的变化

Eh 是表征污水厌氧生物处理系统的一个综合性指标, 既可以反映污水有机物的可生物降解潜力, 也可以指示反应器中水解酸化相和产甲烷相的分布^[15-17]。在启动期, 反应器 4 个格室 Eh 的变化如图 5 所示。可以看出, 在启动期, 反应器进水 Eh 在 $(-105 \pm 5) \sim (-197 \pm 3)$ mV、出水 Eh 在 $(-166 \pm 9) \sim (-294 \pm 5)$ mV。其中, 在启动初、中期 (1~19 d), 反应器 Eh 整体呈下降趋势, 各格室 Eh 范围为 $(-135 \pm 5) \sim (-296 \pm 6)$ mV, 且沿程方向逐渐降低; 在启动后期 (20~25 d), 反应器 Eh 变化幅度减小, 出水 Eh 在 $(-285 \pm 9) \sim (-294 \pm 5)$ mV。这表明, 在启动后期, 反应器中的产甲烷菌逐渐适应了系统内的环境, 其产甲烷反应和水解酸化菌的产酸反应趋于平衡。在本研究中, Eh 沿程降低的趋势符合厌氧系统水解酸化相和产甲烷相的分布特点^[15]。VONGVICHIANKUL 等^[18]发现, 厌氧过程产酸阶段的 Eh 在 (-284 ± 33) mV、产甲烷阶段的 Eh 为 (-336 ± 29) mV。

2.4 强化复合厌氧反应器启动期 CH₄ 产生量的变化

CH₄ 产生量也是衡量污水厌氧处理反应器运行状况的重要指标。反应器启动期 CH₄ 产生量的变化情况见图 6。可以看出, 在启动期,

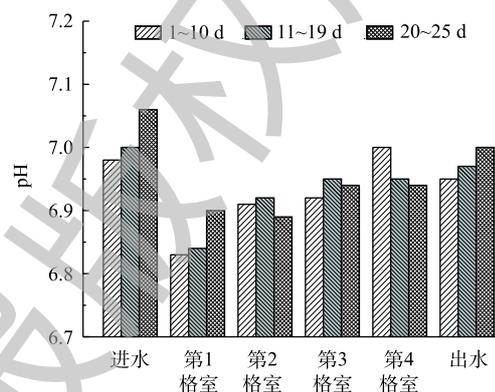


图 4 反应器启动期不同格室 pH 的变化

Fig. 4 Variations of pH in each compartment during start-up period of the reactor

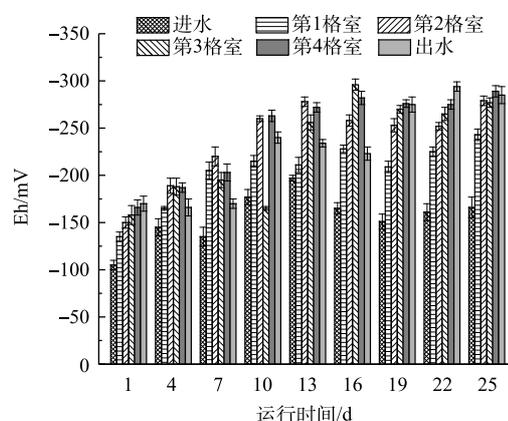


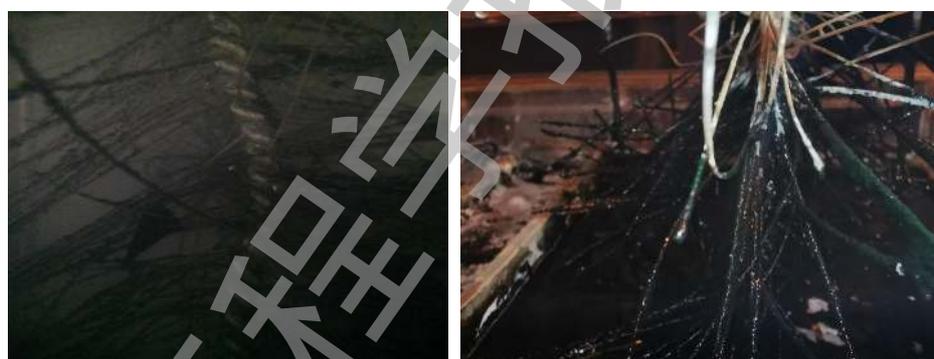
图 5 反应器启动期不同格室 Eh 的变化

Fig. 5 Variations of Eh in each compartment during the start-up period of the reactor

反应器的 CH_4 产生量随着有机负荷率 (OLR) 的增大而增大。自运行的第4天起, 反应器开始产生少量 CH_4 ; 到第10天, 进水 OLR 为 $0.10 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$, CH_4 产生量达 $116 \text{ mL} \cdot \text{d}^{-1}$; 到了第19天, OLR 升高至 $0.17 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$, 而 CH_4 产生量达 $309 \text{ mL} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在反应器启动初期, 厌氧微生物增殖缓慢且活性较低, 特别是产甲烷菌的增殖速度低, 因而限制了产甲烷过程, 导致反应器的 CH_4 产生量较低; 随着反应器启动期的延长, 特别是到了启动后期, 产甲烷菌数量和活性均有了较大的提高, 导致 CH_4 产生量增加并趋于稳定。

2.5 强化复合厌氧反应器折流区单元填料挂膜情况

分别对反应器启动初期 (第5天) 和启动期末 (第25天) 折流区单元的填料挂膜情况进行了分析, 结果见图7。可以看出, 在反应器启动初期 (第5天), 填料丝条表面附着一层絮状污泥, 污泥呈棕黄色, 污泥量少, 且缺乏光泽。在反应器启动期末 (第25天), 填料表面附着的污泥量增加, 相邻填料丝之间生物膜彼此连接, 厚度增加, 絮体和污泥床层中有气泡生成, 同时水面有一层白色浮膜形成, 这表明折流区单元内污泥生长和填料挂膜情况良好。



(a) 启动初期 (第5天)

(b) 启动期末 (第25天)

图7 反应器折流区单元填料挂膜情况

Fig. 7 Biofilm formation of packing in baffled unit of the reactor

同时, 对折流区单元4个格室的污泥层高度和不同高度处的污泥 VSS 浓度进行了分析。发现折流区单元4个格室的污泥层高度为 $24 \sim 32 \text{ cm}$, 不同高度处的污泥 VSS 浓度为 $6.7 \sim 23.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中, 不同格室污泥层高度和 VSS 浓度大小顺序均为第1格室>第2格室>第3格室>第4格室。

2.6 小结

综合分析反应器在启动期进水 COD 的去除率、 CH_4 产生量、不同格室 pH 和 Eh 变化, 可以得出: 强化复合厌氧反应器能够在 25 d 成功实现启动。与常规农村污水处理厌氧反应器相比, 强化复合厌氧反应器启动时间较短。RENUKA 等^[19]开发的厌氧折流板-滤池反应器 (PABFR) 共5个格室, 前端3格室设置为活性污泥单元, 后端2格室填充塑料鲍尔环, 反应器的启动时间为 61 d。其启动时间长的原因可能是, 前端3个格室中有可能发生部分活性污泥的流失, 从而导致格室中生物量的减少。

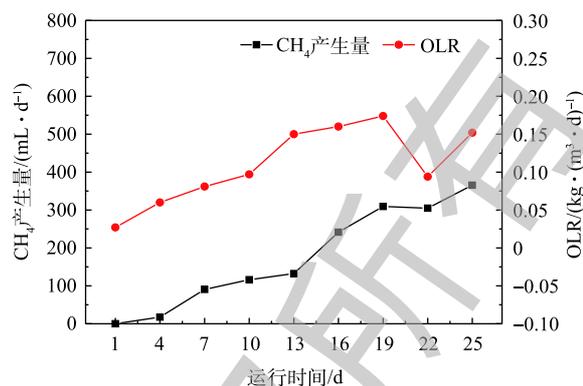


图6 反应器启动期 CH_4 产生量变化

Fig. 6 Variations of CH_4 production during start-up period of the reactor

3 结论

1) 就本研究构建的基于填料型厌氧折流和厌氧滤池技术的新型强化复合厌氧反应器而言, 在控制反应温度为 (35 ± 1) °C 条件下, 通过逐渐缩短 HRT 的方式, 反应器可在 25 d 成功实现快速启动。

2) 强化复合厌氧反应器对进水 COD 的去除主要基于折流区单元的生物降解和滤池区单元的截留、吸附和部分生物降解作用。其中, 折流区单元对整体 COD 的去除起主要作用, 而滤池区单元对 COD 的去除贡献相对较小。

3) 在启动后期, 强化复合厌氧反应器的 CH_4 产生量趋于稳定, 不同格室内的 pH 和 Eh 趋于平衡, 污泥生长和填料挂膜情况良好。

参考文献

- [1] 刘建伟, 赵高辉. 基于AHP的北京市典型农村污水处理技术适用性评估[J]. 水利水电技术, 2019, 50(5): 260-267.
- [2] STEFANAKIS A I, TSIHRINTZIS V A. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012, 181-182: 416-430.
- [3] SONG P, HUANG G H, AN C J, et al. Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 644: 536-546.
- [4] LIU J W, TIAN H Y, LUAN X R, et al. Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-concentration domestic sewage treatment: Performance and membrane fouling[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27: 6785-6795.
- [5] VALENTINA S, MARIA C T. Enhancing anaerobic treatment of domestic wastewater: State of the art, innovative technologies and future perspectives[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 635: 78-91.
- [6] HAHN M J, FIGUEROA L A. Pilot scale application of anaerobic baffled reactor for biologically enhanced primary treatment of raw municipal wastewater[J]. *Water Research*, 2015, 87: 494-502.
- [7] CHEN C, GUO W, NGO H H, et al. Impact of reactor configurations on the performance of a granular anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, 121: 131-138.
- [8] 杨春, 吕锡武. 农村生活污水处理ABR工艺的启动与污泥微生物特性[J]. 净水技术, 2017, 36(5): 79-85.
- [9] 赵丽, 陈晴, 王毅力. ABR处理模拟畜禽养殖废水中有机物的快速启动与运行优化研究[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(7): 3943-3951.
- [10] MOUSSAVI G, KAZEMBEIGI F, FARZADKIA M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater[J]. *Process Safety & Environmental Protection*, 2010, 88(1): 47-52.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] LI Y J, TABASSUM S, ZHANG Z J. An advanced anaerobic biofilter with effluent recirculation for phenol removal and methane production in treatment of coal gasification wastewater[J]. *Journal of Environmental Science*, 2016, 47: 23-33.
- [13] LEI Z, YANG S M, LI Y Y, et al. Application of anaerobic membrane bioreactors to municipal wastewater treatment at ambient temperature: A review of achievements, challenges, and perspectives[J]. *Bioresource Technology*, 2018, 267: 756-768.
- [14] RITTMANN B E, MCCARTY P L. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*[M]. Boston: McGraw-Hill,

2001: 754.

- [15] YUAN L M, ZHANG C Y, ZHANG Y Q, et al. Biological nutrient removal using an alternating of anoxic and anaerobic membrane bioreactor (AAAM) process[J]. *Desalination*, 2008, 221(1/2/3): 566-575.
- [16] NI C H, CHANG C Y, LIN Y C, et al. Simultaneous biodegradation of tetrahydrofuran, 3-buten-1-ol and 1, 4-butanediol in real wastewater by a pilot high-rate UASB reactor[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2019, 143: 1-9.
- [17] LI J Z, LI B K, ZHU G F, et al. Hydrogen production from diluted molasses by anaerobic hydrogen producing bacteria in an anaerobic baffled reactor (ABR)[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2007, 32(15): 3274-3283.
- [18] VONGVICHIANKUL C, DEEBAO J, KHONGNAKORN W, et al. Relationship between pH, oxidation reduction potential (ORP) and biogas production in mesophilic screw anaerobic digester[J]. *Energy Procedia*, 2017, 138: 877-882.
- [19] RENUKA R, MOHAN S M, SOWMIYA B, et al. Performance evaluation of panelled anaerobic baffle-cum-filter reactor in treating municipal wastewater[J]. *Ecological Engineering*, 2016, 97: 1-12.

(本文编辑: 金曙光, 郑晓梅)

Rapid start-up of enhanced hybrid anaerobic reactor for rural domestic sewage treatment

LIU Jianwei^{1,*}, LIU Xueli¹, GAO Liutang^{1,2}, KANG Xinyue¹, HU Ming³, WANG Peijing³

1. Beijing Engineering Research Center of Sustainable Urban Sewage System Construction and Risk Control, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China

2. Shijiazhuang Yiling Pharmaceutical Co. Ltd., Shijiazhuang 050035, China

3. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China

*Corresponding author, E-mail: liujianwei@bucea.edu.cn

Abstract In order to solve the problems of long start-up period and low treatment efficiency of conventional single anaerobic reactor for rural domestic sewage treatment, a novel enhanced hybrid anaerobic reactor which integrated anaerobic baffled reactor with packing and anaerobic filter was built, and its start-up method and operating characteristics were studied. The start-up of this hybrid reactor was performed by inoculating the activated sludge from wastewater treatment plant and gradually shortening its HRT. The results showed that after 25 days running, the effluent COD concentration decreased to $65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and the COD removal efficiency reached 70.7%, the pH and Eh in each compartment were stabilized at 6.9~7.0 and $(-243 \pm 6) \sim (-289 \pm 6) \text{ mV}$, respectively, and the CH_4 production was $365 \text{ mL} \cdot \text{d}^{-1}$, indicating the successful start-up of the hybrid reactor. Of which the baffled unit played a dominant role in COD removal, and the sludge growth and biofilm formation in the baffled unit were good. The results showed that the enhanced hybrid anaerobic reactor for rural sewage treatment can achieve the rapid start-up, it can provide reference for the practical application of this hybrid reactor in rural domestic sewage treatment.

Keywords rural domestic sewage; enhanced hybrid anaerobic reactor; anaerobic baffled reactor; anaerobic filter; rapid start-up of the reactor