

AnMBR 与 CWSBR 组合工艺处理水产加工废水

李 理, 何慧奇

(大连迈克环境科技工程有限公司, 辽宁 大连 116001)

摘 要: 采用厌氧膜生物反应器 (AnMBR) 与恒水位 SBR (CWSBR) 组合工艺处理水产加工废水, 装置连续运行 140 d, AnMBR 系统对水产加工废水中 COD 的总去除率平均为 91%, 其中生物作用对 COD 的平均去除率为 84%, 膜对 COD 的平均去除率为 42%, 出水 COD 维持在 140 ~ 180 mg/L。CWSBR 系统对 AnMBR 系统的出水具有良好的有机物去除能力和脱氮能力, 经 CWSBR 处理后的出水 COD 稳定在 30 mg/L 左右, 在低 C/N 值条件下, 出水 TN 仍能维持在 10 ~ 20 mg/L。当 AnMBR 系统膜恒定通量为 10 L/(m² · h) 时, 20 ~ 30 d 进行一次膜清洗即可。

关键词: 厌氧膜生物反应器; 恒水位序批式反应器; 水产加工废水; COD

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)21-0100-04

Treatment of Fishing Industry Wastewater by Combined Process of AnMBR and CWSBR

LI Li, HE Hui-qi

(Dalian MEC Environmental Technology & Engineering Co. Ltd., Dalian 116001, China)

Abstract: The application of a technology that combined anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) and constant waterlevel sequencing batch reactor (CWSBR) in the treatment of fishing industry wastewater was analyzed. After 140 d continuous experiment, the average removal rate of COD from the AnMBR system was 91%, in which the microbial removal of COD was 84%. The membrane showed 42% interception efficiency on COD, and the effluent COD remained between 140 mg/L to 180 mg/L. The CWSBR system demonstrated great efficiency in the removal of organics and nitrogen from the AnMBR effluent. The effluent COD remained stably at 30 mg/L. Under low C/N ratio conditions, the effluent TN was maintained between 10 mg/L to 20 mg/L. When the AnMBR system had a constant membrane flux of 10 L/(m² · h), the membrane cleaning was performed in 20 d to 30 d.

Key words: anaerobic membrane bioreactor; constant waterlevel sequencing batch reactor; fishing industry wastewater; COD

水产加工废水具有有机物负荷高, 蛋白质、油脂等大分子有机物质多, 氨氮浓度高等特点, 而且废水水温较低, 极易导致较低的生化降解速率和处理效果。目前, 若采用常规的好氧生物处理工艺, 有机物处理效果难以保证; 若采用常规厌氧生物处理工艺, 则无法满足中温消化(33 ~ 35 ℃)和高温消化(53 ~ 55 ℃)对水温的要求, 而加热运行则会明显增加运

行能耗和费用。厌氧膜生物反应器 (AnMBR) 结合了膜生物反应器和厌氧生物处理技术的优点, 能够利用较高的污泥生物量实现高容积负荷条件下的稳定运行, 且当低温或水温不稳定时, AnMBR 可通过维持较高的污泥生物量缓解因微生物生长速率和生化反应速率降低而导致的有机物去除效果下降问题^[1]。水产加工废水的有机物浓度较高, 因此必须

对其进行预处理以脱除有机物。恒水位序批式反应器(CWSBR)可以通过时序调整和各时序状态的配合,实现一个周期内缺氧-厌氧-好氧不同顺序的交替组合,并且根据进水水质的情况,实现单个周期内反应池的多次进水,同时可按照脱氮除磷过程对有机底物和溶解氧的不同要求,最大程度上满足微生物的需求,从而有效提高脱氮除磷效果。

笔者分析了 AnMBR 与 CWSBR 组合工艺处理水产加工废水的特性,旨在为水产加工废水的处理探究一种可靠、高效、稳定的技术途径。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

AnMBR 与 CWSBR 的组合装置如图 1 所示。

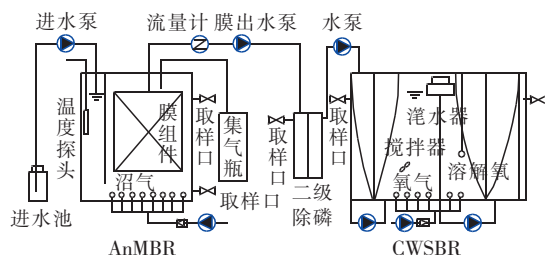


图 1 试验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of test device

试验装置由有机玻璃制成,AnMBR 的主体尺寸为 25 cm × 10 cm × 20 cm(长 × 宽 × 高),总容积为 5 L,有效容积为 4 L。反应器内放置一块隔板作为导流板,反应温度由加热棒控制在 23 ℃ 左右。膜通量为 10 L/(m² · h),试验所用的膜片面积为 0.04 m²。恒流泵连接膜组件进行负压出水,采用间歇抽吸方式,由真空表记录抽吸压力。

CWSBR 主体尺寸为 34 cm × 25 cm × 25 cm,总容积为 21 L,有效容积为 17 L。用柔性隔水布将其分成 3 个区域,中间反应区尺寸为 16 cm × 25 cm × 25 cm,总容积为 10 L,有效容积为 8 L。利用曝气泵以 0.5 L/min 的流量对系统进行供氧,溶解氧仪控制曝气泵和搅拌器。

1.2 废水水质

试验用水为某水产加工企业排放的废水,具体水质:COD、TN、NH₄⁺-N、TP 分别为 1 500 ~ 1 800、45 ~ 55、30 ~ 40 和 10 ~ 30 mg/L,pH 值为 6 ~ 7。装置运行过程中,根据反应器内的 pH 值,加入适量碳酸氢钠,使 pH 值在 6.8 ~ 7.2 之间,以利于 AnMBR 反应器内厌氧细菌的生长。

1.3 试验方法

装置连续运行 140 d,接种污泥取自邻近市政污水处理厂的二沉池。首先分别同时启动 AnMBR 和 CWSBR 的污泥培养驯化过程,装置启动完成后,AnMBR 系统的出水接入 CWSBR 系统中,待整个系统连续、稳定运行后,分析 AnMBR 和 CWSBR 组合工艺处理水产加工废水的效果。AnMBR 运行过程中的主要操作参数:温度为 22 ~ 25 ℃,膜工作压力为 0.01 ~ 0.04 MPa,HRT 为 35 ~ 42 h。COD、TN、NH₄⁺-N、TP 等指标均按照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)进行测定。

2 结果与讨论

2.1 AnMBR 的启动

由于接种污泥为非厌氧污泥,为了使其转化为厌氧污泥,在启动初始 15 d 向反应器内添加葡萄糖类物质,以保证微生物所需要的营养,此阶段控制反应器的进水 COD 在 800 mg/L 左右,HRT 为 2 d。15 d 后,按照一定比例投加水产加工废水和葡萄糖的混合废水,直到最终全部为水产加工废水。水产加工废水的比例按照 20%、40%、60%、80%、100% 递增,每个比例平均运行 5 d,控制容积负荷为 1.5 kg/(m³ · d),HRT 为 2 d。

图 2 为 AnMBR 系统启动过程中 COD 和容积负荷的变化。可知,经过 25 d 的培养驯化,当 AnMBR 系统进水 COD 为 800 mg/L 时,出水 COD 约为 300 mg/L,说明污泥已逐步适应了水产加工废水。

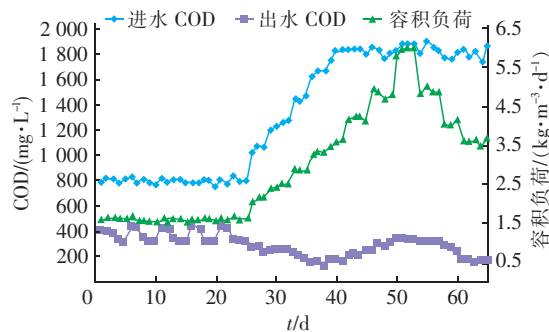


图 2 AnMBR 系统启动过程中 COD 和容积负荷的变化

Fig. 2 Variation of COD and volumetric loading during startup of AnMBR process

微生物完全适应水产加工废水后,放入膜组件,进水 COD 从 800 mg/L 逐渐升高至 1 800 mg/L,系统内污泥浓度由最初的 4 000 mg/L 提升至 8 000 mg/L,并维持稳定。在 25 ~ 40 d 之间,通过调整进

水 COD 浓度来控制系统的容积负荷。在 41 ~ 65 d 之间,通过调整系统运行容积来控制容积负荷,此过程中,进水 COD 容积负荷最高提升至 $6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,HRT 最低降至 1.5 d,负荷调整过程中,系统出水 COD 在 140 ~ 350 mg/L 之间。从图 2 还可以看出,进水 COD 容积负荷在 $3.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 左右时系统运行效果最佳,因此可确定进水 COD 在 1 500 ~ 1 800 mg/L 之间时,系统进水容积负荷为 $3.4 \sim 3.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,HRT 稳定在 1.5 ~ 2 d。

2.2 CWSBR 的启动

首先接种活性污泥,使 CWSBR 反应器中的 MLSS 达到 1 000 mg/L ,控制进水 COD 浓度为 150 ~ 250 mg/L ,总氮在 5 ~ 10 mg/L 之间,进水为水产加工废水和葡萄糖的混合废水,并逐渐增加水产加工废水的比例,直到最终全部为水产加工废水。经过近 15 d 的培养驯化,反应器内的 MLSS 达到 2 500 mg/L 以上,系统内的菌群基本完成,接入 AnMBR 系统的出水。图 3 为 CWSBR 中 COD 和 TN 的变化。0 ~ 25 d 过程中,AnMBR 系统出水处于波动状态,由于出水水质较好,仅对 CWSBR 系统的脱碳过程造成小幅冲击,导致 0 ~ 15 d CWSBR 系统的出水 COD 浓度较高。适应环境后,CWSBR 系统运行平稳。25 d 后,CWSBR 系统的进水 COD 浓度为 140 ~ 350 mg/L ,但并未影响系统对 COD 的去除效果,出水 COD 稳定在 50 mg/L 以下,对 COD 的平均去除率为 86%。

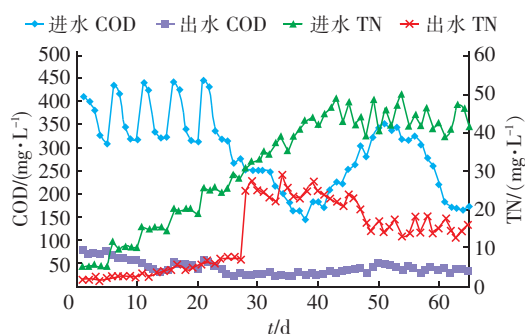


图3 CWSBR 系统中 COD 和 TN 的变化

Fig. 3 Change of COD and TN in CWSBR system

由于初期 AnMBR 系统对 COD 的去除没有达到最佳效果,并且进水 TN 较低,系统内 C/N 值较高。0 ~ 25 d,CWSBR 系统内 C/N 值均高于 12,此阶段脱氮效果明显,出水 TN 基本低于 8 mg/L 。25 ~ 45 d,CWSBR 系统进水总氮从 25 mg/L 逐渐升高至 50

mg/L 左右。在 40 ~ 65 d,由于 AnMBR 系统的负荷调整,CWSBR 系统内进水 COD 浓度明显变化,导致系统内 C/N 值在 4 ~ 12 之间变动,但是出水 TN 仍能维持在 10 ~ 20 mg/L 之间。

2.3 AnMBR - CWSBR 组合工艺的除污效果

图 4 为 AnMBR - CWSBR 运行过程中 COD 的变化。65 ~ 95 d,由于膜对悬浮物质和大分子有机物具有截留作用,在污泥驯化完成后,出水 COD 维持在 140 ~ 180 mg/L 之间,但 80 d 之后,上清液 COD 浓度从 270 mg/L 升高至 350 mg/L ,同时污泥浓度和发酵液黏度也显著增加。有文献指出,SRT 过长会导致微生物代谢活性降低,甚至会引起污泥中微生物细胞的自溶,而污泥胞外聚合物 EPS 和溶解性产物 SMP 含量则会随着 SRT 的延长而逐渐增加,从而加剧膜污染^[2]。因此,为了减轻膜污染并保证 AnMBR 系统的高效稳定运行,AnMBR 系统每天排出 80 mL 的泥水混合液以缩短 SRT。在 115 ~ 140 d,AnMBR 系统稳定运行后,反应器内上清液 COD 维持在 250 mg/L 左右,同时膜出水 COD 维持在 135 ~ 165 mg/L 。由此可见,缩短 SRT 可以有效控制反应系统中的上清液有机物浓度。从图 4 还可以看出,系统稳定运行后,AnMBR 系统对 COD 的总去除率平均为 91%,其中微生物对 COD 的平均去除率为 84%,膜对 COD 的平均去除率为 42%。CWSBR 系统对有机物的去除效果明显,系统稳定运行后,CWSBR 系统出水 COD 稳定在 30 mg/L 左右。

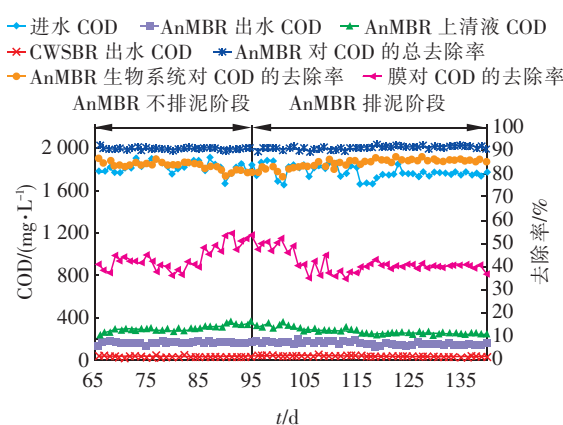


图4 AnMBR - CWSBR 运行过程中 COD 的变化

Fig. 4 Change of COD during AnMBR - CWSBR running process

AnMBR 系统内的进水 TN 在 45 ~ 55 mg/L 之间,AnMBR 系统出水 TN 稳定在 35 ~ 50 mg/L 之间,

可见 AnMBR 系统不具备脱氮能力。另外,AnMBR 进水氨氮维持在 30 ~ 40 mg/L 之间,AnMBR 出水氨氮浓度稳定在 35 ~ 45 mg/L 之间。因此,水产加工废水中的有机氮不仅易氨化,而且氨化率很高。

由于试验过程中水温较高,运行参数稳定,CWSBR 系统的出水氨氮基本在 1 mg/L 以下,平均为 0.39 mg/L。CWSBR 系统进水 COD 维持在 140 ~ 180 mg/L,总氮浓度在 35 ~ 50 mg/L 之间,平均氮负荷为 0.044 kg/(m³ · d),C/N 值小于 4,导致对 TN 的去除率较低,但是出水 TN 仍能维持在 10 ~ 20 mg/L 之间,说明 CWSBR 系统对低碳氮比进水有较好的脱氮效果。

水产加工废水总磷含量高达 30 mg/L,AnMBR 系统不具备除磷功能,而 CWSBR 系统的生物除磷作用不能满足除磷要求,因此在 AnMBR 系统出水进入 CWSBR 系统前需进行化学除磷。

2.4 AnMBR 的膜过滤性能

试验采用 10 L/(m² · h)的恒定通量方式运行,在膜过滤阻力变化过程中,运行初期和膜清洗之后膜过滤阻力上升的速度最快,这是由于有机和无机污染物的共同作用,主要表现为生物聚合物在膜孔和膜表面形成沉积,以及化学物质超过了膜表面的饱和浓度在膜孔内形成化学沉淀,导致膜表面形成污染层。之后膜过滤阻力上升速度开始减缓,这是因为随着过滤的进行,生物污染成为了膜污染的主要原因,细菌细胞或絮体在膜上沉积、生长和新陈代谢,微生物代谢活动产生的胞外聚合物在膜表面积累,形成滤饼层,从而造成膜污染。膜阻力突然上升到临界阻力后趋于平稳,是因为此时膜表面已经形成稳定的污染层和滤饼层,膜的过滤阻力很稳定,此时应及时对膜进行物理或化学冲洗。试验过程中,膜阻力第一次上升到临界阻力历时 28 d,进行第一次物理清洗,膜阻力第二次上升到临界阻力历时 23 d,进行第二次物理清洗,膜阻力第三次上升到临界阻力历时仅为 19 d,进行第一次化学和物理清洗。

3 结论

① 针对水产加工废水,AnMBR 系统具有良好的有机物去除效果和长期运行的稳定性,通过微生物降解和膜截留作用去除有机物。系统稳定运行后,控制进水 COD 容积负荷为 3.4 ~ 3.8 kg/(m³ · d)、HRT 为 2 d、进水 COD 浓度不超过 1 800 mg/L,

可以维持出水 COD 浓度为 140 ~ 180 mg/L,AnMBR 系统对 COD 的总去除率平均为 91%,其中微生物对 COD 的平均去除率为 84%,膜对 COD 的平均去除率为 42%。

② CWSBR 系统对低浓度有机物进水具有良好的脱碳能力,当进水 COD 为 140 ~ 180 mg/L 时,出水 COD 稳定在 30 mg/L 左右。

③ CWSBR 系统对低碳氮比进水具有较好的脱氮能力,出水氨氮浓度基本在 1 mg/L 以下,平均出水氨氮为 0.39 mg/L,在系统低 C/N 值情况下,出水 TN 仍能维持在 10 ~ 20 mg/L 之间。

④ 试验装置运行初期和水力清洗之后膜过滤阻力上升速度很快,然后膜过滤阻力开始缓慢上升,一段时间后膜过滤阻力突然上升到临界阻力,最后趋于平稳,运行 20 ~ 30 d 需要对 AnMBR 系统进行一次膜清洗。

参考文献:

- [1] Martinez-Sosa D, Helmreich B, Horn H. Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating low-strength wastewater under psychrophilic temperature conditions[J]. Process Biochem, 2012, 47: 792 - 798.
- [2] Lin H J, Peng W, Zhang M J, et al. A review on anaerobic membrane bioreactors: Applications, membrane fouling and future perspectives[J]. Desalination, 2013, 314: 169 - 188.



作者简介:李理(1982 -),女,辽宁大连人,硕士,工程师,主要研究方向为水污染控制技术。

E-mail: lili@ mec. com. cn

收稿日期:2018 - 04 - 18