

# 陶瓷平板膜与 PVDF 中空纤维膜在 MBR 中的应用

俞沈晶, 张亚超, 洪芳

(宁波中瑞环保科技有限公司, 浙江 宁波 315200)

**摘要:** 通过搭建 MBR 膜性能评价平台,开展膜组件性能评估,以新型陶瓷平板膜为主体,与国内主导型膜材料产品进行性能对比研究,监测长期运行过程中膜通量变化、在线清洗频率、膜曝气强度、离线清洗周期等参数,并对膜的抗污染性能及陶瓷平板膜的清洗方式进行了分析。结果显示,在维持定期在线反冲洗、在线化学清洗的情况下,陶瓷平板膜的离线清洗周期大于 6 个月,形成的膜污染主要以对 NaClO 溶液更为敏感的有机物污染为主,而酸性清洗剂较易洗脱的无机物污染少;较高的清洗液温度、较长的浸渍时间,均有利于膜通量的恢复。将陶瓷平板膜用于实际工程中发现,出水 COD 和石油类物质均能达到回用水水质标准。

**关键词:** 陶瓷平板膜; PVDF 中空纤维膜; 膜清洗; 回用水水质标准

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)03-0080-06

## Application of Ceramic Flat Membrane and PVDF Hollow Fiber Membrane in MBR Process

YU Shen-jing, ZHANG Ya-chao, HONG Fang

(Ningbo SSct Environment High-Tech Co. Ltd., Ningbo 315200, China)

**Abstract:** Membrane module performance was assessed through constructing a MBR membrane performance evaluation platform. The performance of new ceramic flat membrane was compared with that of domestic leading membrane products. The change of membrane flux in the process of long-term operation, online cleaning frequency, membrane aeration intensity, offline cleaning cycle and other parameters were monitored, and the resistance of membrane fouling and the cleaning method of ceramic flat membrane were analyzed. Under the condition of maintaining the regular online backwash and online chemical cleaning, the ceramic flat membrane offline cleaning cycle was more than 6 months. Membrane fouling was mainly caused by the organic pollutants that were more sensitive to NaClO solution, but less inorganic pollutants that were more easily eluted by acid detergent. Longer soaking time and higher cleaning fluid temperature were beneficial to the recovery of membrane flux. The effluent COD and oil could reach the standard of reuse water when the ceramic flat membrane was used in practical engineering.

**Key words:** ceramic flat membrane; PVDF hollow fiber membrane; membrane cleaning; water reuse standard

对陶瓷膜的研究始于 20 世纪 40 年代,其发展可分为 3 个阶段:用于铀的同位素分离核工业时期、以无机微滤膜和超滤膜为主的液体分离时期和以膜催化反应为核心的全面发展时期。虽然无机陶瓷膜

分离技术已初步产业化,但无机分离膜领域所占的市场份额还比较小。目前,国内 MBR 膜产品市场仍以有机膜为主导地位,陶瓷膜由于在价格方面处于较为明显的劣势,其市场份额较小<sup>[1-3]</sup>。但陶

瓷膜也具有明显的优点,如:很强的抗污染性、耐腐蚀性、耐氧化性、较大的膜通量等,使其在与有机膜的竞争过程中仍可占据相当的市场地位。从未来的发展趋势来看,随着原材料和膜制造成本的下降以及膜生产技术的飞速发展,膜产品往无机方向发展的趋势越发明显<sup>[4-5]</sup>。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验装置

采用两组陶瓷平板膜组件,分别为陶瓷平板膜A及陶瓷平板膜B,对比试验采用PVDF中空纤维膜。陶瓷平板膜的陶瓷部分主成分为三氧化二铝,集水部分为高分子聚氯乙烯(PVC),膜的种类为UF膜,膜孔径为 $0.1\ \mu\text{m}$ ,陶瓷部分的破坏强度为 $200\sim 300\ \text{N}$ ,膜片数为50张( $25\ \text{张}\times 2\ \text{层}$ ),膜面的有效面积为 $25\ \text{m}^2$ ,处理水量为 $12.8\ \text{m}^3/\text{d}$ ,外形尺寸为 $754\ \text{mm}\times 2\ 820\ \text{mm}\times 320\ \text{mm}$ ;PVDF中空纤维膜的材质为聚偏氟乙烯,给水管为ABS树脂,膜孔径为 $0.2\ \mu\text{m}$ ,膜片数为26片,膜面的有效面积为 $25\ \text{m}^2$ ,处理水量为 $11.7\ \text{m}^3/\text{d}$ ,外形尺寸为 $1\ 610\ \text{mm}\times 1\ 555\ \text{mm}\times 2\ 140\ \text{mm}$ 。

### 1.2 试验方法

初期膜通量及跨膜压差(TMP)考察阶段:第1~6周的透过水量分别为 $15.6$ 、 $22.5$ 、 $40$ 、 $40$ 、 $50$ 、 $50\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,膜清洗曝气量分别为 $20Q$ 、 $13Q$ 、 $10Q$ 、 $10Q$ 、 $8Q$ 和 $8Q$ ( $Q$ 为出水流量),每周采用次氯酸钠( $1\ 000\ \text{mg/L}$ )在线清洗1次。

在线清洗效果长期运行考察阶段:陶瓷平板膜A和B的透过水量均为 $40\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,PVDF中空纤维膜的透过水量为 $15.6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,陶瓷平板膜A和B的膜清洗曝气量均为 $10Q$ ,PVDF中空纤维膜的膜清洗曝气量为 $20Q$ ,陶瓷平板膜A每周采用次氯酸钠( $500\ \text{mg/L}$ )在线清洗1次,PVDF中空纤维膜和陶瓷平板膜B每月采用次氯酸钠( $1\ 000\ \text{mg/L}$ )在线清洗1次。

膜清洗曝气量削减效果考察阶段:陶瓷平板膜A和B的透过水量均为 $40\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,PVDF中空纤维膜的透过水量为 $15.6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,陶瓷平板膜A、B以及PVDF中空纤维膜的膜清洗曝气量分别为 $10Q$ 、 $8Q$ 、 $20Q$ ,均采用次氯酸钠( $500\ \text{mg/L}$ )每周在线清洗1次。

长期运行考察试验:陶瓷平板膜A和B的透过水量均为 $40\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,PVDF中空纤维膜的透过

水量为 $15.6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,陶瓷平板膜A和B的膜清洗曝气量均为 $10Q$ ,PVDF中空纤维膜的膜清洗曝气量为 $20Q$ ,陶瓷平板膜A和B每周采用次氯酸钠( $500\ \text{mg/L}$ )在线清洗1次,PVDF中空纤维膜和陶瓷平板膜B采用次氯酸钠( $1\ 000\ \text{mg/L}$ )每月在线清洗1次。

#### 1.2.1 膜组件抗污染性能及影响因素试验

利用电镜观察陶瓷平板膜A及PVDF膜的内外形貌,通过对生活污水的处理探讨膜组件的组成和结构对性能的影响。同时本试验通过跨膜压差的增长速率来表征MLSS对膜污染的影响,在系统稳定运行时,分析不同MLSS条件下两种不同材质膜压力增长率的变化情况。

#### 1.2.2 陶瓷平板膜离线清洗及恢复试验

不同材质的膜材料与混合液中膜污染诱因物质之间的电荷性质差异不同,使这些污染物质在膜表面及膜孔内部吸附或形成污染层的潜能不同,相应适宜的膜污染控制手段也应不同<sup>[6-7]</sup>。本试验对比了多种系统浸渍清洗对污染后膜通量恢复的能力,包括不同清洗药剂和不同组合试验。对陶瓷平板膜A和B进行对比分析,由于两个组件的膜污染程度相似,采用不同的浸渍清洗方式分别对两个组件进行清洗以评价浸渍清洗的优劣。

## 2 结果与讨论

### 2.1 膜通量分析

在逐渐升高膜通量的条件下,考察跨膜压差的变化情况,结果如图1所示。试验开始时,陶瓷膜A、陶瓷膜B、PVDF膜的膜通量均维持在 $15.6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。在1周的运行时间内,陶瓷膜A、陶瓷膜B的TMP均维持在 $15\ \text{kPa}$ ,而PVDF膜的TMP为 $10\ \text{kPa}$ 。由于中空纤维膜的比表面积远大于平板膜,因此在起初膜污染并未明显产生的情况下,TMP的差别主要来源于膜本身的阻力,在同样的膜通量条件下,中空纤维膜所需的过滤面积小于平板膜,其所产生的阻力也小于平板膜<sup>[8]</sup>。而在随后的1周,将膜通量同时升高到 $22.5\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 后,陶瓷膜A与陶瓷膜B的TMP基本没有太大的变化,而PVDF膜的TMP则明显上升。当膜通量均增加到 $40\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时,PVDF膜的跨膜压差有明显的跳跃,达到了 $35\ \text{kPa}$ ,而在7 d之后,TMP达到了 $50\ \text{kPa}$ 以上,PVDF膜已无法正常运行。此后过程中,PVDF膜的膜通量均保持在 $15.6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右。而当陶瓷膜的

膜通量达到  $40 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,其 TMP 有所上升,但趋势较缓,在 14 d 的运行时间内,TMP 基本保持在  $20 \text{ kPa}$  以下。但当陶瓷膜的膜通量上升到  $50 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,TMP 均快速上升,陶瓷膜 A 和 B 均无法正常出水。因此,从该结果看,陶瓷平板膜在生活污水处理中,其膜通量可达到  $40 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,且跨膜压差处于较低水平。

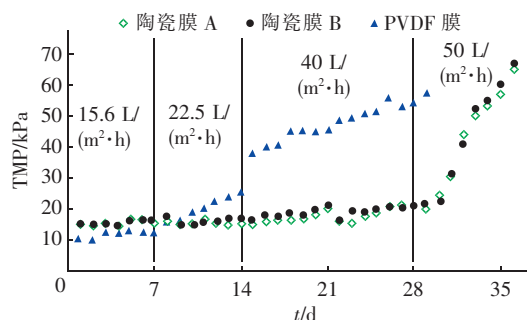


图1 膜通量对跨膜压差的影响

Fig. 1 Effect of membrane flux on transmembrane pressure

## 2.2 在线化学清洗频率分析结果

图2为在线化学清洗频率对跨膜压差的影响。

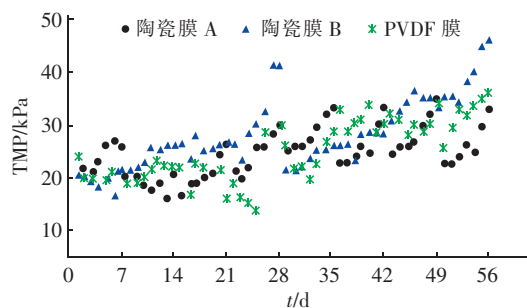


图2 在线化学清洗频率对跨膜压差的影响

Fig. 2 Effect of online chemical cleaning frequency on transmembrane pressure

从图2可以看出,在将近60 d的运行时间内,通过保持1周1次的在线化学清洗,陶瓷膜A的TMP上升较为缓慢。且在每次在线化学清洗后,陶瓷膜A的TMP可基本恢复到原有水平( $20 \text{ kPa}$ )。而陶瓷膜B在第28天的TMP达到了 $40 \text{ kPa}$ 左右,经过在线清洗后,TMP恢复到 $20 \text{ kPa}$ 左右。另外,PVDF膜的TMP上升速度明显低于陶瓷膜B,在第28天时,PVDF膜的TMP为 $30 \text{ kPa}$ ,但进行在线清洗后,PVDF膜的TMP无法恢复到初始的 $20 \text{ kPa}$ ,只能达到 $25 \text{ kPa}$ 左右。而化学清洗后,陶瓷膜B的TMP上升速度仍然高于PVDF膜。由此表明,陶瓷平板膜的抗污染性能低于PVDF膜,但是陶瓷平板膜的恢复性能却高于PVDF膜。因此,对于陶瓷平

板膜保证1周1次的在线化学清洗是必要的,而PVDF膜具有较好的抗污染性能,但为了保证膜的恢复性能,也需尽量提高在线清洗频率或者增大药剂浓度。

## 2.3 膜清洗曝气量的削减效果

图3为膜清洗曝气量对跨膜压差的影响。可以看出,陶瓷膜A的TMP在30 d的运行过程中,基本保持在 $22 \sim 35 \text{ kPa}$ 之间,而陶瓷膜B的TMP明显高于陶瓷膜A,在 $25 \sim 45 \text{ kPa}$ 之间。因此,太小的曝气强度不利于陶瓷平板膜的长期运行。PVDF膜的曝气量远远高于平板膜,主要原因在于中空纤维膜的结构形式更容易使膜丝积泥,因此需要采用更高的曝气强度。

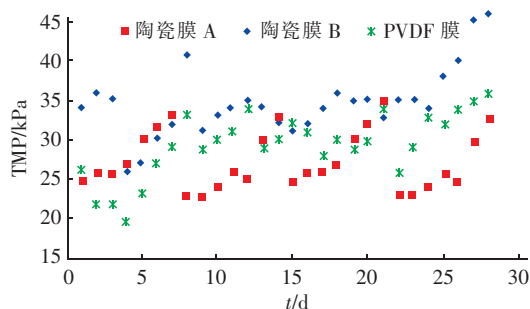


图3 膜清洗曝气量对跨膜压差的影响

Fig. 3 Effect of membrane cleaning aeration rate on transmembrane pressure

## 2.4 长期运行结果

长期运行条件下,陶瓷平板膜A和B、PVDF膜的运行效果如图4所示。

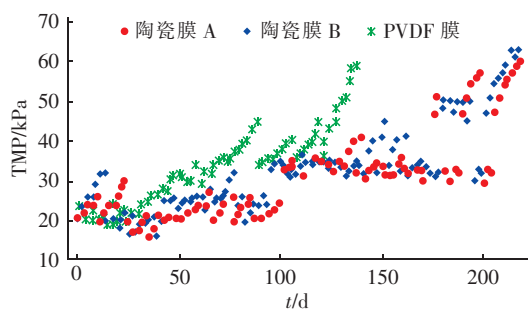


图4 不同膜的长期运行效果

Fig. 4 Long-term operation results of different membranes

从图4可以看出,130 d后PVDF中空纤维膜的TMP上升到了 $60 \text{ kPa}$ ,已无法正常出水,必须进行离线清洗。而陶瓷平板膜在210 d,即7个月后,TMP才达到 $60 \text{ kPa}$ 以上,需要进行离线化学清洗。可见,在保证1周1次的在线化学清洗,并设置有反冲洗的情况下,陶瓷平板膜的离线清洗周期可以延



长到7个月以上。而由于PVDF膜的在线清洗周期与陶瓷平板膜有差异,且通量也不一样,因此无法判断其离线清洗周期一定比陶瓷膜短。

## 2.5 抗污染性能分析

图5为污染前后膜的电镜扫描照片。

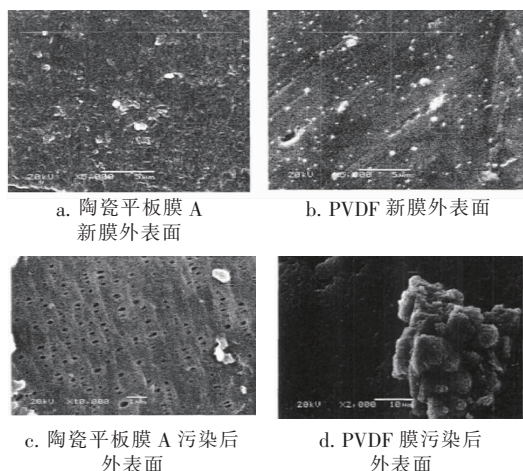


图5 受污染前后膜的电镜照片

Fig.5 SEM photographs of membrane before and after fouling

由图5(a)、(b)可知,两种膜表面均匀的凹凸状况呈现出表面的膜孔,从而保证截留一定范围的分子质量物质及良好的过滤效能。由图5(c)、(d)可知,①膜表面被一层物质覆盖,均匀的凹凸状况呈现的膜孔已经完全不可见,膜外表面黏附了大量细菌;②胶体状有机污染物也黏附在膜表面,与细菌形成致密层,堵塞了大部分的膜孔;③污染层上还有大小不一的白点,估计是无机元素形成的沉积物。综上所述,在本试验条件下,不同材质的膜形成的污染层结构是不同的。膜污染现象是影响膜通量的主要因素。从膜的参数分析,陶瓷膜的孔径低于PVDF膜,更容易接近膜孔径的微小颗粒在膜孔及膜面积累,说明小孔径的膜比大孔径的膜更易受污染。因为尺寸接近膜孔径的微小颗粒在通过膜孔时很容易造成膜孔的完全堵塞,减少有效过滤面积,降低膜通量,表现出PVDF膜的跨膜压差上升速度较陶瓷膜缓慢。

## 2.6 污泥浓度对膜污染的影响

长期运行过程中,观察到两种膜的压力增长速率随污泥浓度的变化趋势一致,随着污泥浓度的增大,混合液的黏度也在增大,污泥易在膜表面沉积,形成较厚的泥饼层,使膜堵塞严重,导致膜孔隙率降低,过滤阻力变大。当污泥浓度在5 g/L以上时,陶

瓷膜和PVDF膜压力增长速率均直线上升,且陶瓷膜的上升速率小于PVDF膜,说明不同材质的膜组件在相同运行条件下,膜污染的速度不同。

## 2.7 陶瓷平板膜离线清洗及恢复试验结果

浸渍清洗后,对比0.5%的NaClO溶液、0.3%的草酸溶液和0.05 mol/L的柠檬酸溶液对膜组件清水通量的恢复能力发现,NaClO溶液的清洗效果最好,而草酸和柠檬酸的清洗能力较差。根据不同清洗剂对污染物的作用特点,试验中形成的膜污染主要以对NaClO溶液更为敏感的有机物污染为主,而酸性清洗剂较易洗脱的无机物污染较少。清洗温度也是影响清洗效果的一个重要因素,提高洗液温度对膜通量的恢复有促进作用,洗液温度较高时,采用0.5%的NaClO溶液浸渍3 h后,膜通量即可恢复到86.5%。另外,浸渍时间的控制对膜通量的恢复能力也有影响,总体上来看,浸渍时间越长对膜通量的恢复能力越好,但达到一定浸渍时间后,清洗效果不再明显,0.5%的NaClO溶液浸渍4 d后清水通量的恢复率达到91.7%,而浸渍24 h后清水通量的恢复率就已达到87.2%。这是因为无论是水力清洗还是化学清洗只对膜的可逆污染有效,而对运行期间积累的不可逆膜污染则无能为力;另一方面,随着浸渍时间的延长,清洗液中的有效药剂浓度不断降低,清洗效果也随之减弱,因此有些膜组件会要求在清洗过程中补充一定的清洗剂,以保证适当的药剂浓度。综合温度和浸渍时间的因素,并考虑到工程规模扩大的实际情况,清洗液很难保证较高的温度,尤其在冬季,因此适当延长浸渍清洗时间十分有必要,应至少保证24 h。另外,分别采用1%的NaClO溶液和1%的NaClO与0.3%的NaOH混合溶液对两片膜组件进行了浸渍清洗。NaClO和NaOH的混合溶液比采用单一NaClO清洗效果更好,虽然NaOH会改变溶液的酸碱环境从而影响NaClO的清洗效果,但一般认为NaClO和NaOH可分别针对膜组件上不同种类的污染物,比去除单一污染物的效果更明显。

## 3 陶瓷平板膜的工程应用

中国石化某炼化公司采用以预处理+A/O+MBR为核心的工艺处理其含油污水,以达到出水补充循环冷却水的标准。采用陶瓷平板膜,膜孔径为0.1  $\mu\text{m}$ ,设计膜通量为40 L/( $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ),操作压力低于60 kPa,污水处理工艺流程如图6所示,对其整体

运行效果进行了跟踪,并对主要污染物指标 COD、石油类物质含量进行了为期半年的监测。

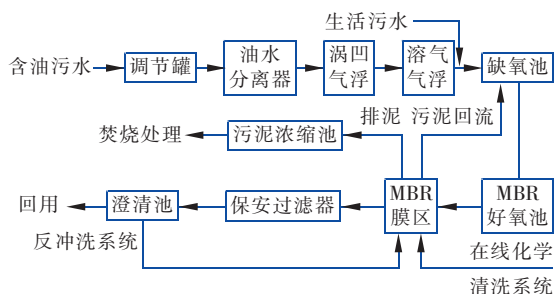


图6 污水处理工艺流程

Fig. 6 Flow chart of sewage treatment process

### 3.1 对COD 的去除效果

MBR 出水需补充循环冷却水,对 COD 有较高的要求,图7 为 MBR 工艺对 COD 的去除效果。

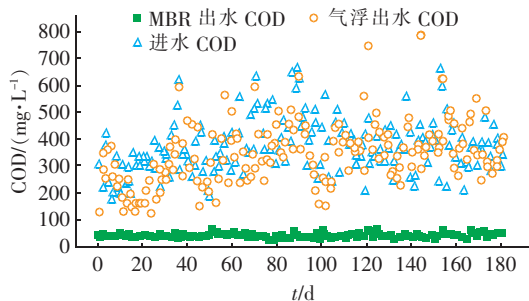


图7 MBR 工艺对 COD 的去除效果

Fig. 7 Effect of MBR process on COD removal

由图7 可知,含油污水的 COD 平均值为 406.6 mg/L,由于采用了大容积的调节罐,进水 COD 并未呈现大幅度的波动,介于 162 ~ 657 mg/L 之间。涡凹气浮 + 溶气气浮主要去除石油类物质,对 COD 的去除效率较低,气浮出水 COD 平均值为 344 mg/L。MBR 具有良好的 COD 去除效果,出水 COD 平均值为 41 mg/L,且可稳定保持在 60 mg/L 以下,对 COD 的平均去除率为 86.6%。

### 3.2 对石油类物质的去除效果

MBR 工艺对进水油含量有较高的要求<sup>[9]</sup>,经过预处理工艺的去除作用,进入生化系统的石油类物质含量可保持在 15 mg/L 以下。图8 为 MBR 工艺对石油类污染物的去除效果。原水的油含量与不同批次原油有较大关系,而在调节罐的均质作用下,进水油含量平均值为 113 mg/L,一般低于 300 mg/L。经过二级气浮处理后,油含量平均值为 14.1 mg/L,平均去除率达到 75%,保证了 MBR 生化系统的正

常运行。MBR 出水油含量平均值为 0.6 mg/L,运行期间低于 1.0 mg/L。

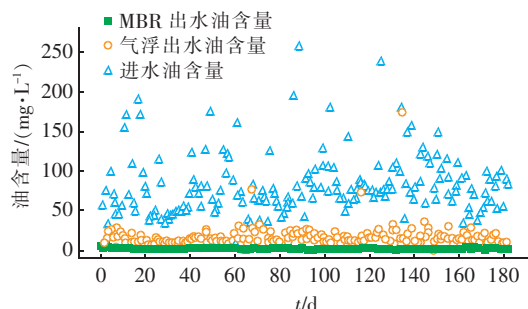


图8 MBR 工艺对石油类物质的去除效果

Fig. 8 Effect of MBR process on oil removal

## 4 结论

陶瓷平板膜的膜通量能够稳定维持在 40 L/(m<sup>2</sup> · h),在线化学清洗频率需要保持在每周 1 次(500 mg/L 的 NaClO 溶液),而陶瓷平板膜的曝气量为 10Q,远远低于 PVDF 中空纤维膜的 20Q;膜外表面的污染程度相对于内表面的污染要严重很多, PVDF 膜的跨膜压差上升速度较陶瓷膜缓慢,当污泥浓度在 5 g/L 以上时,陶瓷膜和 PVDF 膜压力增长速率均呈直线上升趋势,且陶瓷膜的上升速率小于 PVDF 膜,说明不同材质的膜组件在相同的运行条件下,膜污染的速度不同;形成的膜污染主要以对 NaClO 溶液更为敏感的有机物污染为主,而酸性清洗剂较易洗脱的无机物污染较少;较高的清洗液温度、较长的浸渍时间,均有利于膜通量的恢复;无论是水力清洗还是化学清洗均只对膜的可逆污染有效,而对运行期间积累的不可逆膜污染则无能为力;NaClO 和 NaOH 的混合药剂比去除单一污染物的 NaClO 清洗效果更为明显。将陶瓷平板膜用于实际工程中,膜出水中 COD 平均值为 41 mg/L、油含量平均值为 0.6 mg/L,均达到了回用水水质标准。

### 参考文献:

- [1] Lesjean B, Huisjes E H. Survey of the European MBR market: trends and perspectives [J]. Desalination, 2008, 231(1/3): 71–81.
- [2] Huang X, Xiao K, Shen Y X. Recent advances in membrane bioreactor technology for wastewater treatment in China [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 2010, 4(3): 245–271.
- [3] Buetehorn S, Koh C N, Wintgens T, et al. Investigating the impact of production conditions on membrane

- properties for MBR applications[J]. Desalination, 2008, 231(1/3):191-199.
- [4] Brepols C, Dorgeloh E, Frechen F B, *et al.* Upgrading and retrofitting of municipal wastewater treatment plants by means of membrane bioreactor (MBR) technology[J]. Desalination, 2008, 231(1/3):20-26.
- [5] Kang C W, Hua J S, Lou J, *et al.* Bridging the gap between membrane bio-reactor (MBR) pilot and plant studies[J]. Journal of Membrane Science, 2008, 325(2):861-871.
- [6] Koseoglu H, Yigit N O, Iversen V, *et al.* Effects of several different flux enhancing chemicals on filterability and fouling reduction of membrane bioreactor (MBR) mixed liquors[J]. Journal of Membrane Science, 2008, 320(1/2):57-64.
- [7] Luo J X, Zhang J S, Tan X H, *et al.* Characterization of the archaeal community fouling a membrane bioreactor[J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 29:115-123.
- [8] Wang D L, Li K, Teo W K. Preparation and characterization of polyvinylidene fluoride (PVDF) hollow fiber membranes [J]. Journal of Membrane Science, 1999, 163(2):211-220.
- [9] 李薇, 潘力军, 刘锋平, 等. UASB-SMBR 工艺处理某油田含油废水的可行性研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(5):1242-1248.
- Li Wei, Pan Lijun, Liu Fengping, *et al.* The feasibility study of UASB-SMBR process for treating oily wastewater from oilfield [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(5):1242-1248 (in Chinese).



作者简介:俞沈晶(1989-),男,浙江湖州人,硕士,工程师,研究方向为难降解废水处理技术。

E-mail:875087389@qq.com

收稿日期:2019-07-23

## · 会讯 ·

### “《中国给水排水》2020 年中国无废城市建设及固废资源化利用可持续高质量发展大会”定于 3 月 31 日—4 月 3 日在西安召开

为贯彻党中央《关于加快推进生态文明建设的意见》精神和党的十九大关于“加强固体废弃物和垃圾处置”“推进资源全面节约和循环利用”的部署,贯彻执行国务院办公厅印发的《“无废城市”建设试点工作方案》要求,更好地促进研究制订适应我国固废特征的循环利用和污染协同控制理论体系,攻克整装成套的固废资源化利用技术,形成固废问题系统性综合解决方案与推广模式,全面引领提升我国固废资源化科技支撑与保障能力,《中国给水排水》杂志社联合西安水务(集团)有限责任公司、西安水务(集团)生物质能源发展有限公司、中国市政工程华北设计研究总院、中国市政工程中南设计研究总院、中国建设科技集团股份有限公司、天津创业环保集团股份有限公司、天津华博水务有限公司等单位拟举办“2020 年中国无废城市建设及固废资源化利用可持续高质量发展大会”。届时将邀请住房与城乡建设部、中国土木工程学会、中国城镇供水排水协会等单位领导,固废和排水行业设计、科研、运营及建设单位的专家、学者、运行管理人员,解读行业政策,分享无废城市建设、固废资源化利用典型成功案例,搭建推介新技术、新工艺、新设备的平台。会议日程可通过公众号“中国给水排水”(微信号:cnww1985)获取。

时 间:2020 年 3 月 31 日—4 月 3 日(3 月 31 日报到,4 月 1 日—2 日会场交流,4 月 3 日参观)

地 点:西安香格里拉大酒店(陕西省西安市雁塔区科技路 38 号乙)

负责人:王领全,13752275003/022-27835639, wanglingquan88@163.com

(本刊编辑部)