

正渗透膜生物反应器膜过滤实验研究

王博

(咸阳职业技术学院, 陕西 西咸新区 712046)

摘要: 为研究正渗透膜生物反应器膜过滤特性, 在明确正渗透膜生物反应器工作原理与研究难点的前提下预设实验, 使用氯化钠为污水模拟驱动介质, 并基于OMBR通用处理技术进行生活污水处理方式模拟。充分记录关键性元件正渗透膜分离过程中驱动液浓度、膜朝向、错流速率、活性污泥浓度等可测物理量, 以标定分析相应因素对膜过滤性能的关联影响程度。研究表明: (1) 实验预设NaCl浓度由0.5mol/L上升至3mol/L过程中, 相应可测物理量水通量(J_w)增长速度明显, 数据显示由4.97L/($m^2 \cdot h$)递增至13.33L/($m^2 \cdot h$)。同样当NaCl浓度由0.5mol/L上升至3mol/L过程中, 反向盐通量 J_s 的数量级由9.26g/($m^2 \cdot h$)递增至42.58g/($m^2 \cdot h$); (2) 相关的 J_w 和 J_s 可测物理量在活性层朝向驱动液条件下(AL-DS)较活性层朝向原料液(AL-FS)条件下略微较大; (3) 水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 可测物理量均与水通量成正相关趋势; (4) 相应水通量 J_w 数量级与活性污泥浓度成反比。进一步可以看出活性污泥浓度由3000mg/L上升至5000 mg/L过程中水通量 J_w 数量级下降趋势缓慢。

关键词: 正渗透膜; 生物反应器; 过滤; 水通量; 反向盐通量

中图分类号: TQ 028.8

文献标识码: A

文章编号: 94047-(2020)01-040-04

随着技术的进步与时代的发展, 以低功耗、高效能为代表的新型技术及材料逐渐用于水处理行业, 正渗透膜及其相关技术就是典型代表, 在该领域, 国内外研究主要集中在: 工业化成品设备的运行参数优化, 及原液膜面流速对膜通量等相关可测物理量的互为影响规律上, 以及材料膜方面的污染效能研究和零部件耐久性优化^[1]。本文在明确正渗透膜生物反应器工作原理与研究难点的前提下预设实验^[2]。选用NaCl溶液进行相关污水模拟实验, 进一步研究OMBR通用处理技术在真实污水处理方式中的模拟。

1 工作原理

依据特殊膜结构及其渗流力学特点而设计制造的正渗透膜生物反应器(OMBR)具有低功耗、易维护、低成本等诸多特点, 关键性的膜生物反应器(MBR)是利用压力差原理进行超滤、微滤和反渗透污垢分离等一系列工序后进行截流和活性污泥降解而达到水质处理目的的。该种工艺相比其他传统的压力驱动型处理设备和工艺极具优势, 能在多维

环境下的低压条件下正常运行, 且能有效控制膜污染程度^[2]。当前相关延伸性技术和实用型改进研究方面成果居多, 在该技术研究历史方面, 正渗透膜生物反应器原型由Achilli学者团队首次提出, 并得出初始室内验证性结论: 正渗透膜生物反应器(OMBR)原型能有效清除污水中99%的有机物以及98%的氨氮, 相比原始的压力驱动膜生物反应器(MBR)在功耗和去污率上有较大提升。随后的研究当中Achilli学者团队改进原设计模型, 更加贴合实际的研制出了一台浸没式OMBR设备并开始不同负荷工况条件下的28d连续运行, 最终在测定膜污染极限任务的研究当中, 发现了通量减小程度与膜污染可测物理量成正比, 以至于在材料研究方面提供了一手数据资料, 并帮助美国HTI公司升级制造了正渗透膜生物反应器(OMBR)工业化设备上专用的膜纤维素三乙酸酯膜和经济性更好的薄膜复合材料^[3]。根据相关成品工业化设备实际运行参数可知, 相关的膜片对盐类物质截留率较好, 并且在盐类溶液的渗透压工作下还能反应提供有效的驱动力。根据笔者相关行业经验与文献调研总结正渗

收稿日期: 2019-12-17

作者简介: 王博(1980—), 男, 陕西咸阳人, 硕士, 讲师, 主要从事园林设计方面的教学与研究工作。

透膜生物反应器 (OMBR) 相关技术优势: ①良好的正渗透膜截留作用能有效提升系统终端水质; ②低压或者微压条件的运行环境能极大优化功效; ③正渗透膜出水工艺及其浓水回收工艺能优化膜污染产生率, 进一步优化能耗。

2 实验预设

2.1 仪器与分析

在此在经济合理的原则上选用FA2005B型电子分析天平, 并做好校正标定。动力设备上选用BT600LC蠕动泵, 并在相应测试仪器完整情况下搭建实验台架。原料液配制与储存方面首先进行溶液配制。具体成分为葡萄糖278, NaHCO₃ 111, 淀粉278, CaCl₂ 26, 蛋白胨28, FeSO₄ · 7H₂O 0.549, 尿素167, KH₂PO₄ 26.4, MgSO₄ · 7H₂O 66, MnSO₄ · 7H₂O 6。相应真实模拟活性污泥样品来自于某污水处理厂生化池。氯化钠等标准化工料均来自与正规渠道。且所有本产品、成品、原材料溶液, 试剂做无菌保持。为简化实验过程, 优化装置适配性, 将上述设备设施进行实验台架搭建^[4-5]。

实验用反渗透膜为HTI公司商业成品化的CTA-ES合格膜片。根据厂家提供技术参数可知, 该种成品膜有醋酸纤维素合成的活性层和聚酯筛网结构的支撑层。总体膜层厚60-80 μm。其余关键组件如错流式正向渗透膜以一定规格进行膜生物反应器的外置式悬挂, 流道设计方面促使原料液和驱动液进行独立式膜组件内两端定量错流循环运行。进一步表征相关膜组件的几何特征, 游标卡尺测得所用膜组件流道深4mm, 反应式有效工作面积为38cm²。进一步核算可知工作过程中的原料液与驱动液总有效体积为2L, 实验过程中运用天平实时监控驱动液变化情况来折算水通量数据, 同时整个实验在规定时间内常温环境下进行^[6]。

在分析方法及数据核算方面, 本研究在图1表述的典型OMBR装置下展开研究, 并记录24℃左右环境温度下进行2L模拟生活污水和活性污泥均质混合液并加入生物反应装置中, 进行实验准备。在曝气环节, 预设曝气量为3L/min。实验过程中, 首先将2L配比完善浓度均一的氯化钠溶液均衡置入驱动液预备桶, 并根据当前反应特征进行一定速率的错流量调节, 待检查完善后开始正渗透膜分离循环实

验操作。当整体实验台架运行10min后, 检查可测物理量变化程度, 如若系统稳定, 即可开始计算驱动液侧的相应NaCl质量变化。

2.2 结果与讨论

2.2.1 驱动液浓度对正向渗透膜过滤性能的影响

基于相关研究, 正渗透膜分离作用与驱动液性质有关。根据标准化室内实验研究可知, 如若正渗透驱动液在实验过程中能良好的溶解于水并且在短时间内升压(渗透压)至最高。后续的水分离效应较好, 重复循环利用价值高, 实验成功率强, 数据表征针对性好。根据上节实验预设可知, 本次实验用驱动液为0.5至3.0mol/L浓度的NaCl, 实验过程中置于3000mg/L浓度的活性污泥当中, 并且严格控制活性层朝向原料液(AL-FS)方向, 设定一定时间下的600mL/min错流速率进行实验, 实时记录标定驱动液浓度对水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 的多因素影响。在此整理相关实验数据做图1。

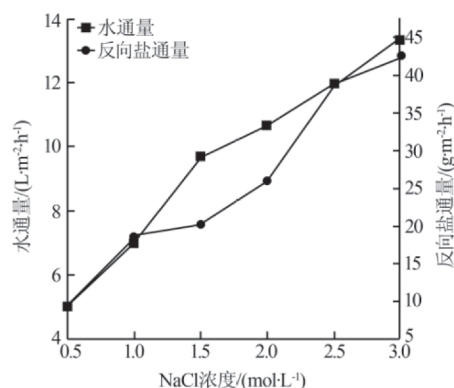


图1 NaCl浓度对 J_w 和 J_s 影响图谱

Fig.1 Influences of NaCl Concentration on J_w and J_s

根据实验所得图谱可知, NaCl浓度与 J_w 、 J_s 参数成明显正相关趋势。进一步分析数据可知, 实验预设NaCl浓度由0.5mol/L上升至3mol/L过程中, 相应可测物理量水通量(J_w)增长速度明显, 数据显示由4.97L/(m²·h)递增至13.33L/(m²·h)。该种实验现象可以理解因为原料液不变, 实验过程中相应NaCl浓度与渗透压参数也成正比关系, 相应的正渗透分离驱动力也随之加强, 高浓度的NaCl溶液离子数更多, 故 J_w 增长速度明显。同样当NaCl浓度由0.5mol/L上升至3mol/L过程中, 反向盐通量 J_s 的数量级由9.26g/(m²·h)递增至42.58g/(m²·h)。相应原理为, 正渗透膜不可能是完全致密的, 实验过程中水穿透FO膜到达驱动液侧时, 相关的驱动

溶质也会利用此通道少量的反向穿透膜片而至于原料液中,根据进一步测算研究,该种现象会随着NaCl浓度的增加而得到强化。

2.2.2 膜朝向对正向渗透膜过滤性能的影响 预设实验环境,将元器件置于3000mg/L浓度的活性污泥当中,并且调整活性层朝向,分别对准向驱动液(AL-DS)和原料液(AL-FS)方向,设定一定时间下的600mL/min错流速率运行,获取不同膜朝向下的水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 的多因素影响。在此整理相关实验数据,做图2。

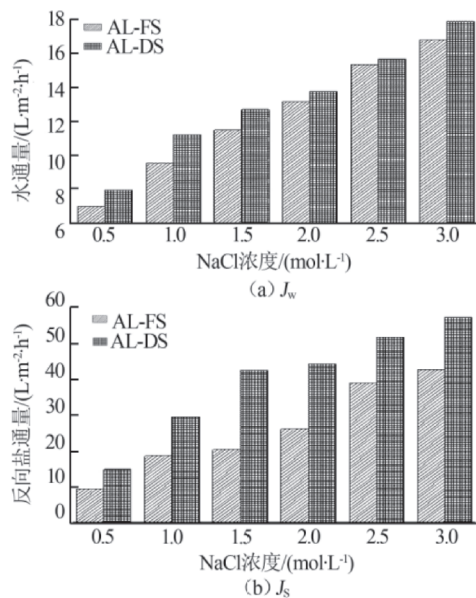


图2 不同膜朝向对 J_w 和 J_s 影响图谱

Fig.3 Influences of Different Membranes on J_w and J_s

根据实验结果可得,预设驱动液浓度相同,其他实验影响因素相似。相关的 J_w 和 J_s 可测物理量在活性层朝向驱动液条件下(AL-DS)较活性层朝向原料液(AL-FS)条件下略微较大。根据前期研究常识可知,正渗透前提下的无外接压力实验过程中,根据相关研究和实验正渗透膜水通量可测物理量和FO膜两侧溶液的渗透压差成正比关系。但是进一步实验研究可知,真实情况下的通量数量级相对预期值相差甚小。实验证明FO过程中成典型的浓差极化机理,而相关的浓差极化机理又可区分为为内浓差极化和外浓差极化。在活性层朝向驱动液条件下(AL-DS)实验状态下,水和溶质会成混合流态通过多孔支撑层,而活性层的内表面会因为毛细管力吸附,在浓缩型内浓差极化作用下形成极化层;同样,在活性层朝向原料液(AL-FS)条件下,水

会渗透通过相应活性层,冲击稀释多孔支撑层中残存的汲取液,反向解理内浓差极化。在宏观结构下相应的CTA-ES正渗透膜结构为非对称,以至于后续实验环节运行过程的膜两侧溶液错流速率偏大,形成不稳定湍流。所以在最终的分析计算环节需要忽略外浓差极化带来的相关影响。在此大胆分析,当驱动液侧NaCl浓度较高前提下(AL-DS)实验状态下的浓缩型内浓差极化反应相对于(AL-FS)条件下稀释型内浓差极化作用给予的有效驱动力偏小,以至于最终的(AL-DS)条件下的水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 可测物理量较大。

2.2.3 错流速率对正向渗透膜过滤性能的影响 预设实验,将元器件置于3000mg/L浓度的活性污泥当中,并调整实验环境为活性层朝向原料液(AL-FS),配置浓度为2mol/L的NaCl溶液供给实验。随后分别设定300、600、1200mL/min不同错流速率运行实验台架,记录水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 变化数据,表征相应可测物理量变化规律。在此整理相关实验数据,见图3。

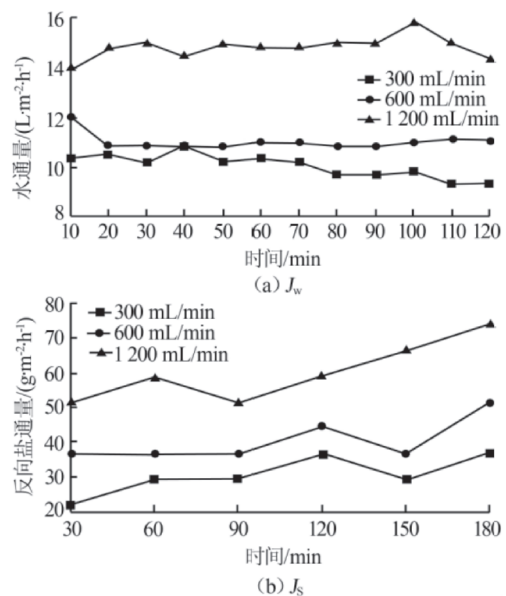


图3 错流速率对 J_w 和 J_s 影响图谱

Fig.3 Influences of Cross-flow Rate on J_w and J_s

根据实验所得图谱可知,水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 可测物理量均与水通量成正相关趋势。进一步分析数据可以看出300mL/min至600mL/min错流速率实验下水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 成缓慢增加趋势;600mL/min至1200mL/min错流速率实验下 J_w 和 J_s 增加幅度显著。所以膜片表面流体错流速率膜附件的

溶质浓度有改变效应,在整体运行框架下有效弱化浓差极化程度,强化实验过程中的正向渗透膜通量,以至于实验反应得出了通量与错流速率正相关的结果。当然,如若错流速率较低,相应的膜片两侧冲刷流击作用不显著,流体剪切效能不足,膜片会产生不同程度的污染。所以较强的错流速率能及时混合循环活性污泥,在污染发展趋势上得到有效遏制。在实用领域能帮助驱动液一侧进行渗透水导出,弱化支撑孔隙中的内浓差极化作用,提升污水净化设施稳定运行率。

2.2.4 活性污泥浓度对正向渗透膜过滤性能影响

水处理的重要一环是依靠不同活性污泥帮助系统运行。在宏观框架下污泥浓度对MBR处理成单一促进趋势,但是如若相应污泥浓度过高且处理不当则会导致整体运行设备负荷过载,并给后续膜分离运行环节带来影响。所以本实验框架下需要考量真实情况下的正渗透膜生物反应器多重工况的污泥浓度与正向渗透膜过滤性能的互为关系,并进行不同预设值前提下的标定。在此预设实验,设活性层朝向原料液(AL-FS)方向,相应工况为2mol/L NaCl浓度下进行600mL/min错流速率的实验,充分测定污泥浓度为3000 mg/L、5000 mg/L、7000 mg/L条件下的水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 可测物理量。在此整理相关实验数据,做图4。

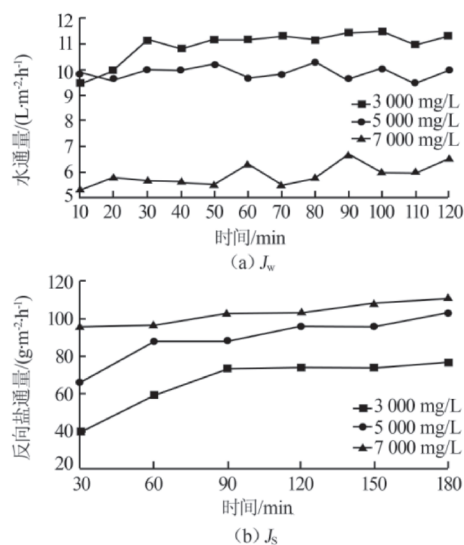


图4 活性污泥浓度对 J_w 和 J_s 影响图谱

Fig.5 Influences of Activated Sludge Concentration on J_w and J_s

根据实验所得图谱可知,测得的相应水通量 J_w 数量级与活性污泥浓度成反比。进一步可以看出活性污泥浓度由3000 mg/L上升至5000 mg/L过程中

水通量 J_w 数量级下降趋势缓慢。当活性污泥浓度由5000 mg/L上升至7000 mg/L时相应水通量 J_w 数量级下降趋势显著。由此可见,膜两侧的渗透压差会变小,随之相应的驱动力也同步变小。以至于水通量低下;同时需要注意的有相应的高浓度活性污泥会带来大量的污染物杂质,大规模扰动系统稳定性并损坏膜的工作效率,所以相关图谱结果显示其活性污泥浓度与反向盐通量 J_s 可测物理量成正比。

3 结论

(1) 实验预设 NaCl 浓度由 0.5mol/L 上升至 3mol/L 过程中,相应可测物理量水通量 (J_w) 增长速度明显,数据显示由 4.97L/($m^2 \cdot h$) 递增至 13.33L/($m^2 \cdot h$)。同样当 NaCl 浓度由 0.5mol/L 上升至 3mol/L 过程中,反向盐通量 J_s 的数量级由 9.26g/($m^2 \cdot h$) 递增至 42.58g/($m^2 \cdot h$)。

(2) 相关的 J_w 和 J_s 可测物理量在活性层朝向驱动液条件下 (AL-DS) 较活性层朝向原料液 (AL-FS) 条件下略微较大。

(3) 水通量 J_w 和反向盐通量 J_s 可测物理量均与水通量成正相关趋势。

(4) 相应水通量 J_w 数量级与活性污泥浓度成反比。

参考文献

- [1]段文松,李带,张方芳,等.正渗透膜生物反应器运行过程中溶质反渗对微生物群落的影响[J].化工学报,2019,70(5):1981-1990.
- [2]朱卫军,王新华,李秀芬,等.正渗透膜生物反应器与反渗透耦合系统的运行性能研究[J].膜科学与技术,2018,38(3):104-109.
- [3]马艳杰,纪献兵,全玉莲.正渗透膜生物反应器滤饼层性质研究[J].科学技术与工程,2017,17(21):156-164.
- [4]廖文超,李元高,严滨,等.正向渗透膜生物反应器运行参数优化研究[J].水处理技术,2013,39(12):24-27,32.
- [5]崔迎,顾玲,吴国旭.正向渗透膜分离技术在水处理中的应用研究进展[J].中国给水排水,2010,26(14):38-42,46.
- [6]李,李静.不同汲取液在正渗透膜处理垃圾渗滤液过程中的作用[J].三峡生态环境监测,2018,3(1):13-20.