

影响一体式好氧膜生物反应器膜清洗周期的几个因素^{*}

刘 锐 汪诚文 钱 易

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084 E-mail: she-den @ mail. tsinghua. edu. cn)

摘要 一体式好氧中空纤维膜生物反应器不同操作条件下处理生活污水的试验结果表明: 在膜通量 $10.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 污泥龄 20d, 污泥去除负荷 (COD/VSS) 为 $0.22 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 的正常稳定运行条件下, 该系统可在整个膜寿命期限内 (3–5a) 不用洗膜并得到优质出水: $\text{COD} < 20 \text{ mg}/\text{L}$, $\text{NH}_3\text{-N} < 1.0 \text{ mg}/\text{L}$, 无色无味透明, 未检出大肠杆菌。其中, 污泥去除负荷、系统运行稳定状况和反应器流态是影响膜清洗周期的重要因素。

关键词 好氧, 膜生物反应器, 污泥龄, 污泥去除负荷, 流态, 膜堵塞。

Factors Affecting Membrane Washing Period in the Integrated Aerobic Membrane Bioreactor

Liu Rui Wang Chengwen Qian Yi

(Dept. of Environ. Sci. and Eng., Tsinghua Univ. Beijing 100084 E-mail: she-den @ mail. tsinghua. edu. cn)

Abstract Aerated hollow fibers membrane bioreactor process for municipal wastewater treatment was researched in this paper. Results under different operating conditions show that it is technically feasible to treat domestic sewage with this system. Under stable operating conditions of flux $10.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, sludge retention time 20 days and sludge removal loading rate (COD/VSS) $0.22 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, high quality effluent ($\text{COD} < 20 \text{ mg}/\text{L}$, $\text{NH}_3\text{-N} < 1.0 \text{ mg}/\text{L}$, no color nor odor, no E. coli) was got without any chemical washing during the whole membrane life (three to five years). Sludge removal loading rate, system stability and flow state in the bioreactor are the major factors that could affect membrane washing period.

Keywords aerated, membrane bioreactor, sludge retention time, sludge removal loading rate, flow state, membrane fouling.

膜生物反应器处理生活污水, 一般条件下膜清洗周期很短, 增加了废水处理成本和操作复杂程度, 目前国内外对解决这一问题还未见深入系统的报道。笔者通过研究不同条件下一体式好氧中空纤维膜生物反应器处理生活污水的长期运行状况, 总结出影响该系统清洗周期的重要因素。

1 试验装置及流程

一体式好氧中空纤维膜生物反应器的试验装置及流程如图1所示。反应器容积为90L, 内部被隔板分成容积相等的2部分。一部分装有日本三菱公司生产的聚乙烯中空纤维膜(膜孔径 $0.03 \mu\text{m}$, 膜面积 2.0 m^2 , 膜平均使用寿命 3–5a)。膜下用穿孔管鼓风曝气。中空纤维膜为外

部进水, 内部间歇抽吸出水 (13min 开, 2min 关)。压差计用于测操作压力。

试验用水取自清华大学一号楼后污水泵站, 其水质类似于典型城市污水。

2 试验结果及分析

本试验共运行140d, 历经启动 (第1–10d) 及3个阶段的运行, 采用的污泥龄分别为: 20d (第11–80d)、10d (第81–118d) 和5d (第119–140d)。试验结果表明, 启动阶段结束后, 该系统出水 COD 低于 $20 \text{ mg}/\text{L}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 低于 $1.0 \text{ mg}/\text{L}$, 无色无味透明, 未检出大肠杆菌, 且在整个

^{*} 国家自然科学基金资助项目 (Project Supported by National Natural Science Foundation of China)

刘锐: 女, 24岁, 博士研究生

收稿日期: 1997-11-11

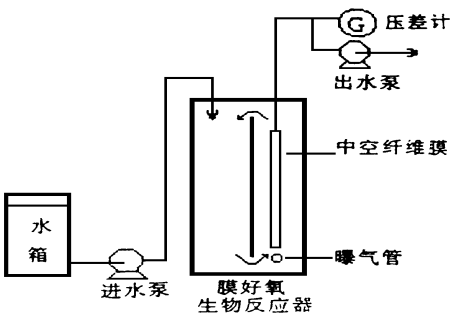


图1 试验装置与流程

膜寿命期限内不用洗膜. 试验表明, 污泥去除负荷、系统运行稳定状况、反应器流态是影响膜清洗周期的重要因素.

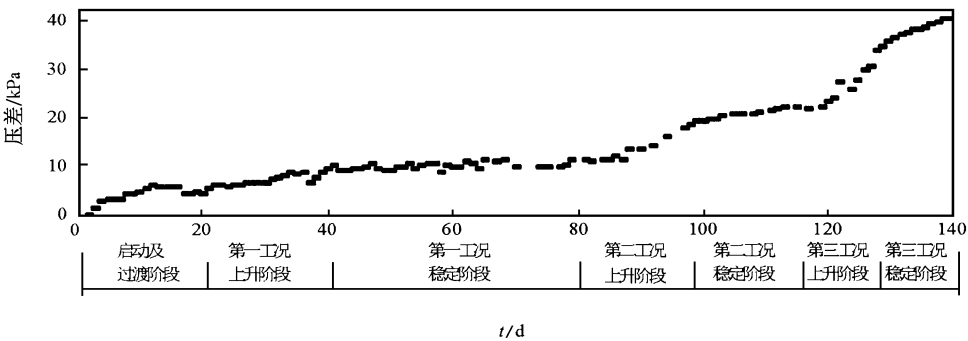


图2 膜操作压力随时间的变化情况

本试验各阶段运行参数及相应膜阻力系数 K 如表1所示. 从表1可归纳出 K 值的如下特点:

(1) 压差上升阶段均比稳定阶段 K 值大. 膜生物反应器运行初期或工况变更时期, 反应器内部处于不稳定状态, 微生物代谢能力较弱, 降解中间产物增多, 使凝胶层上污染物积累速度大于脱落速度, 因此压差增长很快. 一段时间后, 微生物恢复正常生化反应能力, 降解中间产物减少, 使凝胶层上污染物的积累与脱落达到一种动态平衡, 从而使压差趋于稳定.

(2) K 随污泥龄的缩短、污泥负荷的增加而增大. 图3、图4表明, 各运行工况下稳定阶段的 K 随污泥龄的减小呈指数增长趋势, 随污泥负荷的增加呈线形增加, K 与污泥去除负荷的关系式为:

$$K = 108U_s - 247 \tag{2}$$

式中 (2) 中, K 为膜阻力系数, Pa/d ; U_s 为污泥

2.1 污泥去除负荷对膜堵塞的影响

本试验通过改变膜的操作压力使膜通量在一固定值 $[q= 10.4\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$ 下运行. 图2是整个运行过程中膜操作压力随时间的变化情况. 可以看出, 污泥龄的改变对压差影响很大. 随污泥龄的缩短, 压差先有一个显著的增长阶段, 当系统运行稳定后即达到稳定水平. 操作压力随时间的变化函数可用分段线性函数拟合.

$$\Delta p = K \cdot t + \Delta p_0 \tag{1}$$

式(1)中, Δp 为操作压力, 即膜两边压差(Pa); t 运行时间(d); p_0 为运行时间为0时的操作压力(Pa); K 膜阻力系数(Pa/d). 膜阻力系数 K 反应了膜堵塞的快慢, 决定了膜的清洗周期.

COD 去除负荷, $\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$.

表1 试验各阶段的运行参数及相应 K 值

运行阶段	污泥龄 / d	污泥 COD 去除负荷 / $\text{kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	压差变化情况	K / $\text{Pa}\cdot\text{d}^{-1}$
1	20	0.24	上升阶段	215
			稳定阶段	26
2	10	0.39	上升阶段	401
			稳定阶段	154
3	5	0.59	上升阶段	1334
			稳定阶段	403

K 与污泥龄、污泥去除负荷存在这一关系是由于污泥龄缩短, 污泥浓度下降, 微生物代谢能力减弱, 反应降解的中间产物增加. 这些变化使膜堵塞过程加剧, K 值大幅度上升.

(3) K 值对膜组件运行周期有很大影响. 假定在原有基础上膜2边的操作压差增加 30kPa 就导致周期结束, 那么以第一工况稳定运行阶段的 K 值计算, 运行周期可为 $3a$ 多, 该周期恰为三菱膜的使用寿命, 因而可认为该工

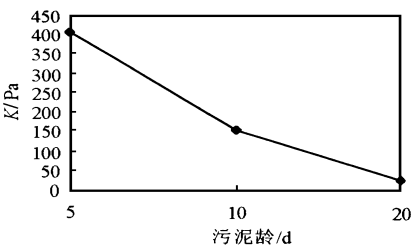


图3 不同工况下稳定阶段 K 值与污泥龄的关系

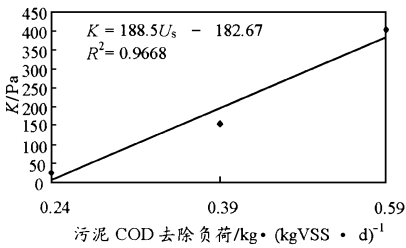


图4 不同工况下稳定阶段 K 值与污泥去除负荷的关系

表2 升降液面对膜压力和出水水质的影响

日期	操作	进水 COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	出水 COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	压力/ Pa
运行第31d	上升液面10cm	586.7	6.2	无明显增长
运行第40d	下降液面10cm, 膜稍露出	473.5	12.3	无明显增长
运行第49d	下降液面, 膜露出1/2 ¹⁾	832.7	134.3	由10.66kPa 升至15.80kPa

1) 膜经清水冲洗0.5h后, 经3.5d 压力恢复正常, 1周后出水水质恢复正常

正常工作。

2.3 流态对膜堵塞的影响

流态分析结果表明, 反应器中上升一侧气体的上升流速为1.9m/s, 远大于液体上升流速(0.38m/s)。大量气泡以较高速度穿过中空纤维膜组件的过程, 以及气体挟带的水流对膜表面的冲刷作用, 使膜表面处于剧烈紊动状态, 避免了凝胶层的增厚和堵塞物质的积累, 大大延长了膜清洗周期。因此, 上升一侧气体通过膜组件的流态、流速和流量对减缓膜堵塞至关重要。

本试验第29–31d, 由于曝气管破裂, 使得反应器上升一侧流态和流速发生了变化, 结果虽然系统出水水质仍很好, 但膜操作压力的上升速度却有所提高, 曝气管修复后5天才恢复正常。这一现象进一步说明了膜面紊动对减缓膜堵塞的重要作用。

3 结论

(1) 小试结果表明, 在膜通量10.4L/(m²·

况下膜在整个使用寿命期限内不用清洗。而若以第二、三工况稳定阶段的 K 值计算, 则运行周期分别为6个月和2个月。说明生物反应器的运行条件对膜的运行周期有很大影响。

2.2 液面升降对膜堵塞及处理效果的影响

在第一工况运行时, 改变反应器的液面, 观察出水水质和膜压力增长情况, 结果如表2所示。由表2可见, 液面大幅度下降致使膜大量外露最有可能导致膜面堵塞, 出水水质恶化。

出现上述现象的原因可能有2个: ①膜露出水面后, 其表面的凝胶层受到破坏, 而在这种强烈曝气紊动的情况下凝胶层的修复需1周左右的时间。②三菱公司提供的技术资料表明, 该种聚乙烯膜表面不能处于干燥状态, 否则其结构会受到影响。试验表明, 膜表面短时间的干燥会影响膜的性质, 削弱膜的作用。但由于这种破坏并不十分严重, 故调整一段时间后膜又可恢复

h), 污泥龄20d, 污泥 COD 去除负荷为0.22kg/(kg·d)的正常稳定运行条件下, 该系统可在整个膜寿命期限内不用洗膜并得到优质出水(COD<20mg/L, NH₃-N<1.0mg/L, 无色无味透明, 未检出大肠杆菌)。

(2) 膜阻力系数 K 随污泥龄的下降呈指数增长, 随污泥去除负荷呈线性增长。

(3) 膜面露出水面会使膜严重堵塞, 出水水质恶化, 其恢复需一周左右时间。

(4) 膜面紊动对减缓膜堵塞起重要作用。

参 考 文 献

1 钱易, 米祥友等编. 现代废水处理新技术. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 280–334

2 Yamanoto K et al.. Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank. Wat. Sci. Tech., 1989, 121: 43–54

3 Chen V et al.. Particle deposition during membrane filtration of colloids: transition between concentration polarization and cake formation. Journal of Membrane Science, 1997, 125: 109–122