

一体式膜-生物反应器长期运行中的膜污染控制*

刘锐, 黄霞, 汪诚文, 钱易, 张苗苗 (清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 100084 北京, E-mail: th-liu-rui@263.net)

摘要: 考察一体式膜-生物反应器运行过程中的膜污染情况, 探讨造成膜污染的原因和膜污染的控制方法。结果表明, 膜内表面微生物的滋生和膜外表面污泥层的附着是造成本试验膜污染的重要因素。采用 2%~5% 的次氯酸钠溶液进行在线药洗可以有效地去除膜内表面滋生的微生物, 使膜过滤压差下降 7.7~52 kPa; 停止进出水, 加大曝气量进行空曝气是去除膜外表面附着污泥层的重要手段, 可以使膜过滤压差下降 3.8~10.8 kPa; 采用处理出水进行反冲洗虽然有时可以使膜过滤压差出现较大程度的降低, 但随之会出现出水水质恶化, 膜过滤压差急剧升高的现象。

关键词: 膜-生物反应器, 膜污染, 在线药洗, 曝气, 反冲洗

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2000)02-0058-04

Membrane Fouling Control in an Integrated Membrane-Bioreactor*

Liu Rui, Huang Xia, Wang Chengwen, Qian Yi, Zhang Miaomiao (Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint Laboratory, Dept. of Environ. Sci. and Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084, China E-mail: th-liu-rui@263.net)

Abstract In this paper, the membrane-fouling problem when operating an integrated membrane bioreactor was investigated and membrane fouling reasons as well as countermeasures were discussed. As a result, growth of microorganisms on membrane internal surface and adhesion of sludge layer on membrane external surface were shown to be crucial factors for membrane fouling. Chemical cleaning online with 2%~5% hypochlorite sodium solution was proved to be effective in reducing microorganisms on membrane internal surface. Suction pressure during membrane filtration was reduced 7.7~52 kPa in this process. To remove the adhered sludge layer on membrane external surface, intensified aeration in the reactor without any influent and effluent revealed to be an important method, which also achieved a pressure decrease of 3.8~10.8 kPa. Although back washing with treated water can sometimes reduce the suction pressure largely, it is always followed by such phenomenon as the deterioration of effluent water quality and a dramatically increase of suction pressure.

Keywords: membrane bioreactor, membrane-fouling, chemical cleaning online, aeration, back washing

一体式膜-生物反应器由于其处理出水水质良好、装置结构紧凑、能耗低、剩余污泥产量少等优点而日益受到人们的重视^[1]。国外有关该工艺的研究开发较为活跃^[2~4], 国内近年也开始了相关研究^[5,6]。然而, 在一体式膜-生物反应器运行中, 随着运行时间的推移, 膜内外表面都会受到不同程度的污染, 致使膜过滤压力上升, 膜运行周期缩短。膜污染成为该工艺实际应用中的制约因素之一。本文在一体式膜-生物反应器处理生活污水中试试验的基础上, 通过测定运行过程中膜过滤压差的变化, 考察了

膜污染的发展情况, 并探讨了减缓膜过滤压差上升和膜污染的几种措施, 以期为该工艺实际应用中的稳定操作运行提供依据和经验参考。

1 一体式膜-生物反应器中试运行

一体式膜-生物反应器中试试验装置与工艺流程如图 1 所示。

生物反应池容积为 2.7 m³, 内置中空纤维

* 国家“九五”科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during Ninth Five-year plan Period)
作者简介: 刘锐(1972~), 女, 博士研究生。
收稿日期: 1999-04-09

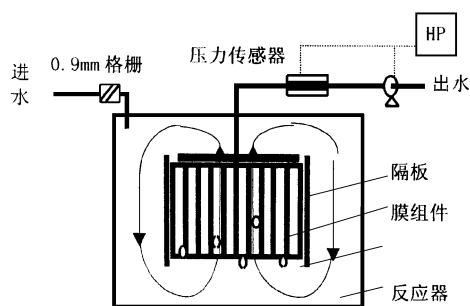


图1 一体式膜-生物反应器中试工艺流程

膜组件 11 个, 每个组件的膜面积为 4m^2 , 整个装置膜面积总计为 44m^2 。膜材质为聚乙烯, 膜孔径为 $0.1\mu\text{m}$ 。为供给微生物分解污水中的有机物时所需的氧气, 同时为在中空纤维膜面造成一定的循环流速以减轻膜面污染, 膜组件下设有穿孔管曝气, 曝气量为 $35\sim 50\text{m}^3/\text{h}$ 。

来自清华大学北区的生活污水($\text{COD } 53\sim 968\text{mg/L}$)经 0.9mm 的不锈钢筛网过滤后进入生物反应池, 其中的污染物经活性污泥中的微生物分解, 混合液在出水泵的抽吸作用下经膜

过滤后得到处理出水 出水泵采用间歇抽吸运行, 抽吸频率为 13min 开, 2min 停 压差计和压力传感器用于测定抽吸泵在工作过程中施加在中空纤维膜上的过滤压力, HP75000 用于控制生物反应池液面恒定并监控和自动记录膜组件过滤压力

生物反应池目前已运行近 300d 在此期间, 没有人为排泥, 生物反应器的污泥浓度(MLSS)在 $1.08\sim 6.03\text{g/L}$ 之间

2 膜污染原因初探及控制方法

2.1 运行过程中膜过滤压差的上升

在本试验过程中, 膜通量一直恒定在 $5.2\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。因此, 如果膜内外表面在运行过程中受到污染, 从而导致膜过滤阻力增加, 必将引起膜过滤压差的上升 因此, 通过连续观察膜过滤压差在运行过程中的变化情况, 便可随时了解膜的污染情况 膜过滤压差随时间的变化情况如图 2 所示

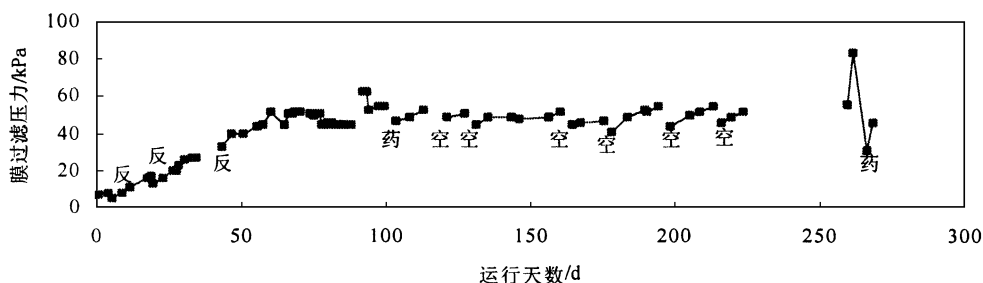


图2 膜过滤压差的时间变化

对照小试结果^[6]发现, 中试膜过滤压差在运行初期就上升较快 由于本试验是在抽吸压力下运行, 因此膜的过滤压差存在一个最大极限值 为尽可能地减缓膜污染速度, 降低膜过滤压差的上升速度, 以维持较长的运行周期, 本试验先后对以下几种膜污染控制方法的有效性进行了探讨

2.2 减缓膜污染的几种措施及效果

(1) 反冲洗 在运行第 8d 和第 50d , 分别用处理出水对膜从内向外进行反冲洗, 如图 2

中的点“反”所示 2 次反冲洗的水量为 $400\text{L}/\text{h}$, 时间分别为 10min 和 40min , 反冲洗泵压力为 20m 。结果是膜过滤压差暂时有所下降(约下降 6kPa), 但之后膜过滤压差又迅速上涨, 膜过滤出水水质恶化 图 3 表示了在运行第 50d 进行反冲洗后膜过滤压差和出水水质的变化

分析出现上述现象的原因可能是由于反冲洗水采用的是出水储存池中的处理水, 由于流动性差, 水池水面滋长了一些粘稠状物质, 这些物质在反冲洗时造成了膜内表面的污染 另外,

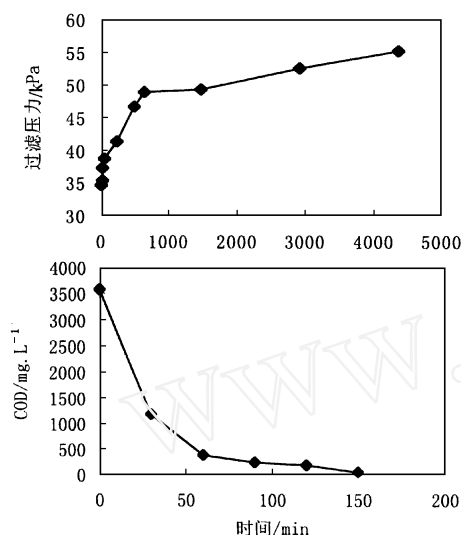


图3 反冲后膜操作压力和出水COD变化

反冲洗水量和反冲洗压力过大,也有可能对膜的结构造成损害,影响膜过滤压差的上升。

从上述结果来看,在本试验条件下反冲洗对减缓膜过滤压差的上升作用不明显。在其它运行条件下的反冲洗效果还需进一步探索。

(2) 空曝气 空曝气是指停止进出水,加大曝气强度连续曝气 2~3d,以冲脱沉积在膜表面上污泥层的方法。在运行过程中采用了多次空曝气,在图 2 中表示为点“空”。从图 2 中膜过滤压差的变化可见,空曝气可以使膜过滤压差下降 3.8~10.8kPa,如运行 164d 时,经空曝气后,过滤压差从空曝气前的 51.8kPa 下降到 44.9kPa。由于空曝气主要是去除膜面沉积的污泥层,由此可以推测此时膜面沉积污泥层是造成膜面污染的主要因素之一。但经空曝气后膜过滤压差总是又有一个先陡升后趋于平稳的过程。推测这可能是由于在空曝气后开始再次抽吸时,反应器中的活性污泥又重新迅速在膜面附着,形成污泥层,以达到膜面污泥浓度和反应器中污泥浓度处于动态平衡的状态。如果把膜的过滤压差达到 60kPa 作为膜运行的极限压差,则在反应器运行后期,膜污染较为严重时,一次空曝气可使膜继续连续运行 2 周左右。

需要强调的是,空曝气的的时间并不是越长

越好。当空曝气的的时间超过一定限度时(大于 3d)膜过滤压差将不再有很大的变化。

另外,空曝气并不是在任何情况下都有效。由于空曝气实际上是通过强化水流循环作用的物理清洗方法,因此,只有当膜面附着的污泥层对膜的过滤阻力造成的影响很大时,这种方法的效果才比较显著。

(3) 在线药洗 把一定浓度的 NaClO 溶液从管道加药口加入到中空纤维膜内部,让其在从膜的一端流向另一端的过程中和膜内表面充分接触,杀死并氧化滋生在膜面上的微生物,再使微生物残体和溶液随出水流出。当膜污染主要是由膜内表面微生物的滋生所造成的时候,此种方法的效果特别明显。如图 2 中“药”所示,在运行 99d 和 261d 时,用次氯酸钠溶液清洗后,膜过滤压差分别下降 7.7kPa 和 52.0kPa。

在运行第 63d,进行在线药洗前,曾从膜组件剪下一段膜丝,对膜丝的内表面进行了电镜观察,如图 4 所示。可以看到膜内表面长满了各种微生物,其中大量丝状菌交错形成支架,球菌以此为依附,成串地生长在上面,形成致密的一层,而短杆菌则插入空隙,更加堵塞了内表面的孔洞。说明经膜-生物反应器处理后残存在处理水中的少量有机物和营养物仍然可以供微生物生长和繁殖所用,微生物在膜内表面的滋生是不可忽视的造成膜污染的重要原因之一。

此外,在 10 月份(试验运行到 224d 时)由于故障停止运行 1 个月。这期间,由于膜内没有水的流动,从而造成膜内表面微生物大量滋生。待系统重新开始运行时膜过滤压差由原来的 53kPa 升至 83kPa。空曝气约 10d 仍不见效果。采用次氯酸钠进行在线药洗后,膜出水中瞬间出现黄色浑浊物,随后出水恢复清澈透明,膜过滤压差降至 31kPa。由此说明,采用次氯酸钠溶液进行在线药洗对于防治微生物在膜内表面的滋生,减轻膜污染非常有效。

在本试验中,在线药洗时采用的次氯酸钠溶液浓度为 2%~5%。由于在线清洗是膜浸在生物反应器混合液内时进行的,所以操作要谨慎,谨防将次氯酸钠溶液滴进生物反应器,以避



图 4 膜污染电镜照片

免造成对微生物的杀伤 为了考察在线药洗所用的次氯酸钠对生物反应器内活性污泥活性的影响,在试验中还经常检测了活性污泥的活性 结果表明,在本试验条件下,次氯酸钠药液对污泥的活性不会产生长期影响

3 结论

(1)膜在运行过程中的污染情况可以通过膜过滤压差的变化来反映

(2)在本试验条件下,附着在膜外表面的污

泥层和滋生在膜内表面的微生物是影响膜污染的重要因素

(3)空曝气可有效地去除附着在膜外表面的污泥层,在膜面附着污泥严重时是一种行之有效的方法

(4)采用 2%~5% 的次氯酸钠溶液进行在线药洗可有效地去除滋生在膜内表面的微生物,大幅度降低膜过滤压差,对维持膜的稳定运行,是一种有效的日常维护手段

(5)在本试验条件下,反冲洗对降低膜过滤压差,减轻膜污染,效果不明显

参考文献

- 1 黄霞等.膜生物反应器废水处理工艺的研究进展 环境科学,1998,11(1):40~44
- 2 Yamamoto K, Hiasa M, Mahmood T and Matsuo T. Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank. Wat. Sci. Tech., 1989, 21(1):43~54
- 3 Tatsuki Ueda, Kenh Hata, Yasuto Kiduoka and O samu Seino. Effects of Aeration on Suction Pressure in a Submerged Membrane Bioreactor. Wat. Sci. Tech., 1997, 31(3):489~494
- 4 Chiemchaisri C, Y K Wong, T U rase and K Yamamoto. Organic stabilization and nitrogen removal in membrane separation bioreactor for domestic wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 1992, 25(10):231~240
- 5 Kishino H, H Ishida et al. Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor. Desalination, 1996, 106:115~119
- 6 刘锐,汪诚文,钱易等.影响好氧膜生物反应器膜清洗周期的几个因素.环境科学,1998,19(4):26~28