

中空纤维膜生物反应器处理生活污水的特性*

李红兵 顾国维

谢维民

(同济大学环境工程学院污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)

(日本百事德净化设备上海有限公司)

摘要 中空纤维膜生物反应器生活污水处理特性的试验研究结果表明: 在 HRT 为 1.5h, COD 容积负荷为 $5.76\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 条件下, 均可实现 90% 以上的 COD 去除率; 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率可稳定在 90% 以上. 高 MLSS 浓度 ($8000\text{—}10000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 提供了内部厌氧环境, 使膜生物反应器的 T-N 去除率可达 50%—60%. 中空纤维膜生物反应器处理高效, 不受冲击负荷影响, 操作管理方便. 其生物反应器体积比常规生物处理方法至少可减少一半.

关键词 中空纤维膜, 中空纤维膜生物反应器, 生活污水, 去除率.

Domestic Wastewater Treatment Property Using Hollow Fiber Membrane Biological Reactor

Li Hongbing Gu Guowei

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse,

School of Environmental Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Xie Weimin

(Best Water Clarify Equipment (Shanghai) Co. LTD)

Abstract Study on domestic wastewater treatment property using Hollow Fiber Membrane Biological Reactor (HFMBR) was carried out in this paper. Research result suggested that under the condition of 1.5 hours HRT and $5.76\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ COD volumetric load, 90% removal rate of COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ can be easily achieved. The removal rate of T-N can get to 50%—60% because of the inner anaerobic environment supplied by the high MLSS concentration ($8000\text{—}10000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). HFMBR possesses the merits of high efficiency, immune to the shock loading and it is easy to manage. The volume of biological reactor can be half of that of traditional activated sludge or less.

Keywords hollow fiber membrane, hollow Fiber Membrane biological reactor, domestic wastewater, removal rate.

近年来膜作为一种新兴的水处理手段已受到越来越多的关注. 膜作为泥水分离手段与传统活性污泥过程联用具有以下优点: 通过膜组件代替二沉池并在生化反应器中保持高 MLSS 减小污水处理设施占地; 通过保持低 F/M 减少剩余污泥量; 出水水质好, 可直接回用于非饮用水^[1-3]. 特别是 1989 年 Yamamoto 等将中空纤维膜应用于活性污泥法以来^[4], 使组合工艺运行成本大大降低, 实际应用前景广阔. 本研究进行了用中空纤维膜生物反应器处理生活污水

的试验.

1 试验部分

1.1 中空纤维膜组件

实验用膜组件由百事德净化设备(上海)有限公司提供的 2 块聚丙烯材质中空纤维膜. 其有效面积分别为 2m^2 和 1.5m^2 , 每根纤维的有

* 中日合作项目

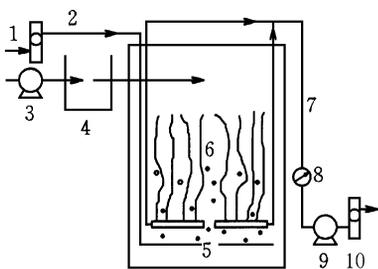
李红兵: 男, 28 岁, 工学硕士, 现在北京市环境保护科学研究院工程中心

收稿日期: 1998-07-08

效长度 370mm, 膜的微孔径为 $0.065\mu\text{m}$, 中空纤维内外径分别为 $400\mu\text{m}$ 和 $460\mu\text{m}$.

1.2 试验装置

试验装置工艺流程如图1所示. 曝气池为



1. 气量计 2. 曝气管 3. 进水泵 4. 水位控制箱
5. 曝气池 6. 中空纤维膜组件 7. 出水管
8. 真空表 9. 出水自吸泵 10. 出水流量计

图1 试验装置工艺流程图

长、宽、高 0.6m、0.2m、1.2m 的 PVC 材料窄箱式反应器, 两块膜组件并排连接后沿曝气池长度方向浸于曝气池中, 在曝气所形成紊流的带动下, 中空纤维膜丝呈悬浮分数状态, 同时曝气气泡接触纤维而有效去除表面沉积的污泥. 曝气管采用斜下 45° 穿孔曝气形式, 布于中空纤维膜组件的正下方. 设置水位控制箱以控制曝气池中水位.

1.3 试验用水

前 38d 用上海曲阳污水厂曝气沉砂池出水, 后 22d 为了提高进水浓度采用人工配水, 基本水质情况见表 1. 曲阳污水厂主要接纳附近居民小区、高等院校、写字楼等生活污水, 所占比例恒定在 95% 以上, 其余部分工业污染源水质与生活污水相似, 且不含有对好氧处理微生物有毒害或抑制作用的物质.

表1 试验用水水质/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

试验用水	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TKN	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	SS	pH	水温/
曲阳厂水	121.3- 292.2	21.6- 38.4	37.5- 62.3	0.03- 0.06	< 0.02	180- 240	7- 7.5	21- 29
配水	433.2- 3078.4	23.1- 52.8	73.1- 156.3	0.06- 0.14	2.6- 6.9		6.8- 7.5	24- 30

2 试验结果与分析

2.1 中空纤维膜通量及 MLSS 变化

图 2(A) 显示了总面积为 2.5m^2 的 2 块微滤膜的总透过通量(用 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 表示). 微滤膜在 0.06MPa 的真空度下运行. 初始运行期膜的通量为 $28.4\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 通量在几天内就可下降到原来的 20% 左右, 第 6、16、26、31、35d 对膜进行简单物理清洗(用清水洗去膜表面沉积的污泥并将部分粘附在一起的中空纤维丝散开, 而后在清水中浸泡 30—60min), 膜的通量恢复较为明显. 在第 50d 以后清水清洗基本无效. 由于膜的污染, 微滤膜的通量最终稳定在了一个比较低的水平.

图 2(B) 是曝气池内 MLSS 浓度的变化规律, MLSS 初始浓度为 $4000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 第 1—40d 每日从曝气池中取出 200ml 的污泥, 第 41—60d 每日从曝气池中取出 500ml 的污泥. 在前 30d MLSS 基本稳定在 $4000\text{—}5000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在第 40d 稳定在约 $6000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在运行

的末期为 $10000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右.

2.2 系统对 COD 的去除效果

由于接种污泥为曲阳污水厂回流污泥, 因此系统不需污泥驯化直接达到了较高的 COD 去除率, 膜生物反应器运行第 1d 出水 COD $26.7\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 去除率达 89.3%. 此后去除率稳定在 90% 以上, 出水 COD 一般 $20\text{—}50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 3).

膜生物反应器中 COD 去除有以下特点:

(1) 在短 HRT 和较高的容积负荷下实现 COD 去除. 装置运行前 5d HRT 分别为 1.41h、2.28h、4.17h、3.47h、5.75h, 出水 COD 分别为 26.7、27.5、25.6、16.1 和 $22.1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 可见在膜生物反应器内 COD 可迅速被稳定化. 运行末期进水浓度的提高使 COD 容积负荷最高为 $5.76\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. 在较稳态的运行中, 装置 COD 容积负荷约在 $0.8\text{—}1\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 表明高负荷运行期间与稳态运行时处理效率基本相同.

(2) MLSS 浓度对处理效果的影响. 试验

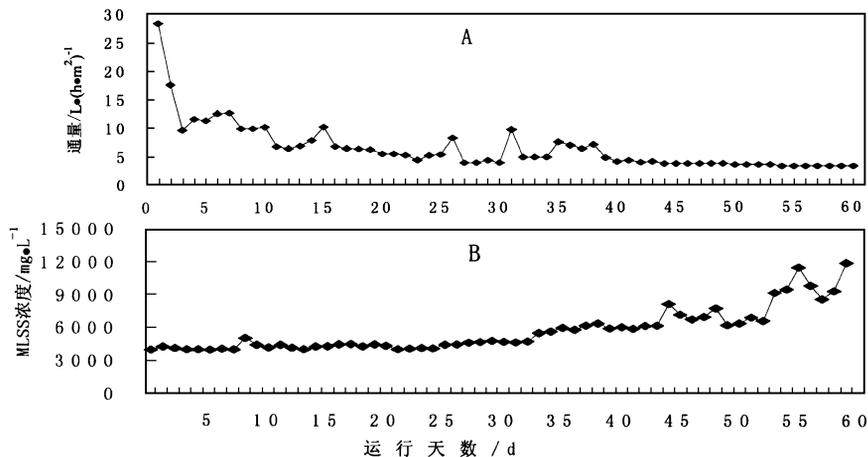


图2 膜生物反应器中膜通量及 MLSS 变化规律

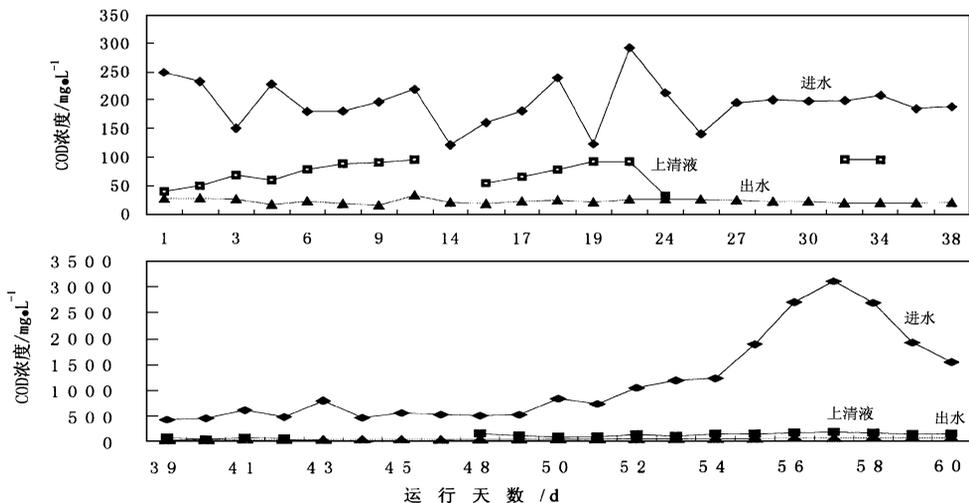


图3 COD 处理效果

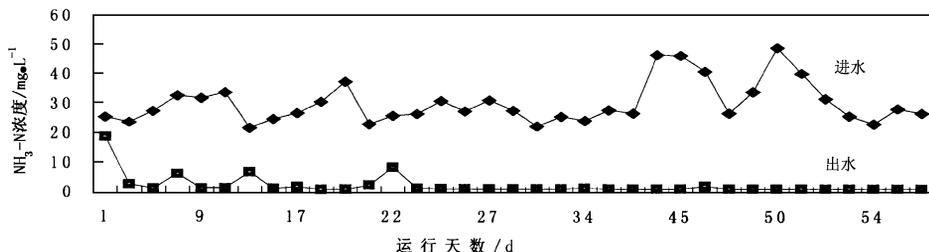
中 MLSS 浓度的变化对处理效果基本没影响,曝气池上清液中 COD 与 MLSS 浓度没有明显的相互关系,这可能与整个运行过程中污泥负荷较低有关. 稳态运行中污泥负荷一般为 $0.2 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$

(3) 微滤膜的拦截作用 微滤膜通过提供高浓度污泥来提高曝气池的生化反应速度和程度,同时通过对膜生物反应器出水水质与曝气池上清液水质的同步监测,可反映膜对溶解性有机分子的过滤作用对 COD 去除的贡献. 试验中上清液 COD 浓度变化较大,但出水 COD

保持稳定.

2.3 系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的处理效果

图 4 表明,膜生物反应器具有超过 90% 的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除能力,在进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 $20\text{--}30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量(除个别异常情况)基本都在 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下. 较长的泥龄为硝化细菌的生长提供了条件,膜对硝化细菌的拦截作用使硝化细菌在曝气池内积累,但膜的拦截作用本身对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除并无贡献,因 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在水中是以水和氨离子形式存在,属无机小分子,可自由穿过膜的微孔. 上清液与出水同步监测

图4 系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的处理效果

显示 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度完全相同。

2.4 系统对 TN 的去除效果

表 2 表明,膜生物反应器能达到较高的总氮去除率.在运行过程中随着 MLSS 浓度由约 $4000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 上升到约 $7000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和

$9000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮去除也有较明显提高.在好氧活性污泥过程中反硝化过程能够进行的原因是在好氧菌胶团的内部存在着厌氧环境,随着污泥浓度的增加,污泥可提供较多的厌氧环境,有利于反硝化过程的进行.

表 2 膜生物反应器中 TN 去除率

运行天数/d	19	26	27	44	45	48	49	50	51	52	53	54	55	56
TN 去除率/%	18.9	33.0	26.9	43.3	39.7	35.3	33.7	51.2	40.2	55.8	57.5	44.9	54.7	48.2

2.5 膜生物反应器中生物活性

通过测定混合液挥发性悬浮固体 (MLVSS) 与混合液悬浮固体 (MLSS) 浓度的比值可表达活性污泥的比活性.膜生物反应运转第 1d 取自曲阳污水厂回流泵房的污泥其 MLSS 和 MLVSS 比值为 0.786.但运转至第 58d 和 59d MLVSS/MLSS 分别为 0.6433 和 0.6428,明显低于初始污泥.膜生物反应器处理水每天均由曲阳污水厂曝气沉砂池引进一个贮水箱,在贮水箱中无机颗粒可以充分沉淀下来,排除了由于进水无机颗粒进入曝气池而使灰分大量增加的可能.因此膜生物反应器中污泥活性低于传统活性污泥法.其原因为:①较高的泥龄使惰性物质在曝气池中得以积累下来;②较低的负荷使死细菌数量增多.但膜生物反应器中单位体积污泥活性仍明显高于传统活性污泥法,这是由于膜生物反应器中 MLSS 浓度较高,发挥了整体效应的结果.

3 结论

(1) 膜生物反应器对 COD 去除率可基本稳定在 90% 以上.在停留时间短至 2h 以下仍可保持 90% 以上的去除率.在较高的 COD 容

积负荷下 ($5.76\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$) 可实现 90% 以上的 COD 去除率.

(2) 由于维持较长的泥龄与膜的拦截作用,使膜生物反应器对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除达 90% 以上.

(3) 高 MLSS 浓度为反硝化作用提供了内部厌氧环境, TN 去除率可达 50%—60%.

(4) 膜生物反应出水水质稳定,膜的拦截作用对稳定水质作用明显.

(5) 反应器中 MLVSS/MLSS 值低,但高 MLSS 浓度使单位体积污泥活性远高于传统活性污泥法.

参 考 文 献

- 1 Chiemchaisri C, Yamamoto K and Vigneswaran S. Household Membrane Bioreactor in Domestic Wastewater Treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 1993, 27(1): 171—178
- 2 Van Dijk L and Roncken G C G. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment: The State of the Art and New Developments. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, 35(10): 35—41
- 3 邢传宏, Tardieu Eric, 钱易. 无机膜-生物反应器处理生活污水试验研究. *环境科学*, 1997, 18(3): 1—4
- 4 Yamamoto K, Hiasa H, Talat M and Matsus T. Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membranes in an Activated Sludge Aeration Tank. *Wat. Sci. Tech.*, 1989, 21(4/5): 43—54