

膜生物反应器与传统活性污泥法污泥混合液过滤特性的比较

孙宝盛, 张海丰, 齐庚申

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 针对污泥混合液的过滤性能, 在运行条件相同的情况下对膜生物反应器(MBR)与传统活性污泥法(CAS)进行比较. 实验结果表明: MBR 工艺污泥混合液的过滤阻力是 CAS 工艺过滤阻力的 2~3 倍; 2 种工艺悬浮液过滤阻力占总阻力的 90% 左右. 过滤阻力分布实验表明, 沉积层阻力占 CAS 工艺总阻力的 87.30%, 占 MBR 工艺总阻力的 94.18%.

关键词: 膜生物反应器; 传统活性污泥法; 过滤阻力; 沉积层阻力

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)02-0315-04

Comparison of Sludge Filtration Characteristics Between a Membrane Bioreactor and a Conventional Activated Sludge Process

SUN Bao-sheng, ZHANG Hai-feng, QI Geng-shen

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: According to the filtration characteristics of sludge, a comparison between a membrane bioreactor (MBR) and a conventional activated sludge process (CAS) was carried out under similar conditions. Experiment results show that the filtration resistance in MBR was 2~3 times of that in CAS. The contribution of supernatant resistance to filtration resistance was about 90% both in CAS and in MBR. The test on resistance distribution showed the cake resistance made up 87.30% and 94.18% of total resistance in CAS and MBR, respectively.

Key words: membrane bioreactor (MBR); conventional activated sludge process (CAS); filtration resistance; cake resistance

用传统活性污泥法 (conventional activated sludge process, CAS) 处理废水时, 剩余活性污泥过滤性能的好坏直接关系到整个活性污泥系统的优劣. 虽然剩余活性污泥的体积不足整个废水处理量的 1%, 但用于处理剩余活性污泥的费用常达整个系统运行费用的 25%~50%^[1]. 众所周知, 膜生物反应器 (membrane bioreactor, MBR) 中混合液过滤性能直接影响到 MBR 工艺的经济性, 运行过程中的膜污染问题是限制 MBR 工艺发展的突出问题^[2].

MBR 工艺排泥量小和膜的无选择分离作用, 为不易沉降、生长较慢菌种的大量繁殖创造了条件, 丰富了反应器内的微生物相^[3], 不同菌体的代谢产物将对 2 种工艺污泥混合液的过滤性能造成差异; MBR 工艺为了维持稳定的膜通量, 需要提高膜表面的错流流速, 因而加大了对污泥混合液的机械剪切力, 势必会对污泥絮体产生影响. 通过污泥混合液过滤特性研究, 有助于加强对 2 种工艺污泥混合液过滤特性的理论认识并对其进行有效控制.

本实验在保证进水水质、水力停留时间、污泥龄、溶解氧、pH 等运行参数相同的前提下, 通过胞外

聚合物 (extracellular polymeric substances, EPS)、污泥颗粒粒径、生物相等方面的研究来比较 2 种工艺污泥混合液过滤性能.

1 材料与方法

1.1 实验装置

CAS 工艺接种污泥取自天津市纪庄子污水处理厂二沉池, MBR 工艺接种污泥取自天津大学中水处理站反应池, 2 种工艺接种污泥浓度在 5 000 mg/L 左右.

MBR 工艺膜丝材质为聚偏氟乙烯 (PVDF), 孔径为 0.1~0.2 μm , 膜过滤面积 1.0 m^2 (天津膜天膜公司提供). MBR 工艺曝气池有效容积为 10 L; CAS 工艺曝气池和沉淀池有效容积分别为 7 L 和 3 L; 2 种工艺运行条件: HRT = 6 h, SRT = 20 d, DO 为 5 mg/L $\pm$ 1 mg/L, pH = 7 $\pm$ 1, 水温为 19 $^{\circ}\text{C}$ $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$; 间歇驯化 15 d 后连续进水运行. 工艺流程见图 1.

收稿日期: 2004-12-01; 修订日期: 2005-01-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2002AA601240)

作者简介: 孙宝盛 (1957~), 男, 硕士, 副教授, 主要从事中水回用研究.

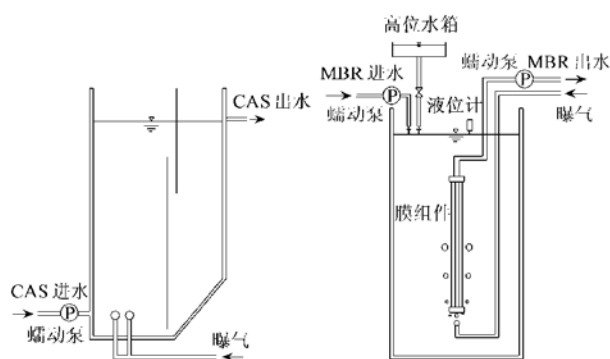


图1 CAS和MBR工艺流程

Fig. 1 Diagrams of CAS and MBR

1.2 实验用水

2种工艺采用相同的进水水质,实验用水为人工配水,模拟城市生活废水浓度,其组成见表1。

表1 人工配制有机废水组成及含量¹⁾/mg·L⁻¹Table 1 Organic components and concentration of artificial compounded water/mg·L⁻¹

成分	浓度	成分	浓度
葡萄糖	169	KH ₂ PO ₄	44
蛋白胨	169	CaCl ₂	23.3
NaHCO ₃	94	MgSO ₄ ·7H ₂ O	94
NaCl	63	(NH ₄) ₂ SO ₄	63
FeSO ₄ ·2H ₂ O	2.2		

1) 进水平均水质 COD 为 437 mg/L, BOD₅ 为 217 mg/L

1.3 分析方法

常规分析: SV₃₀、SS、SVI 均采用标准方法进行测定^[4]。

胞外聚合物(EPS)^[5]: 向离心试管加入待测样品 5 mL, 加 2% EDTA 溶液 2 mL, 定容至 10 mL; 在振荡器中 20℃下萃取 5 h, 在转速为 6 880 r/min 下离心 20 min, 将上清液用 0.45 μm 膜过滤, 滤液为分离得到的 EPS, 以总有机碳(TOC)表征其含量。

颗粒粒径: FAM 激光颗粒测量仪。

1.4 污泥混合液分离及过滤性能测定

(1) 料液的分离 2种工艺污泥混合液均在转速 366 r/s 下离心 5 min, 得到悬浮液与微生物絮体^[6]。

(2) 过滤性能测定 采用死端过滤实验方法测定污泥混合液的过滤性能, 死端过滤反应器是一个容积为 350 mL 的有机玻璃杯过滤器, 内设磁力搅拌子, 实验用膜为 PVDF 平板膜, 直径为 7.5 cm, 膜面积为 0.004 42 m², 孔径为 0.1~0.2 μm。

实验从产生滤液开始, 每 15 s 记录 1 次滤液质

量, 过滤时间 40 min 左右。实验装置见图 2。

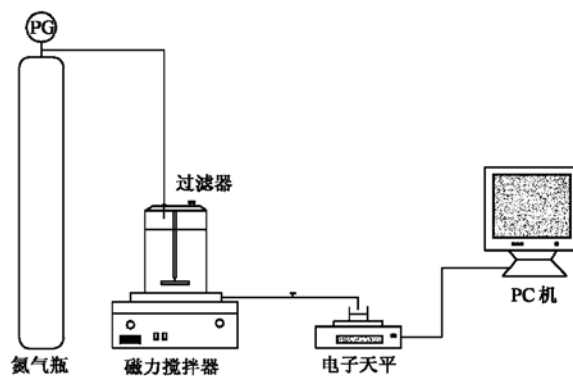


图2 死端过滤实验装置

Fig. 2 Experimental apparatus of dead-end filtration

2 结果与讨论

2.1 污泥混合液过滤通量与阻力分析

考虑污泥浓度对过滤性能的影响, 在运行第 40 d 用浓缩或稀释法保证 2 种污泥浓度在 7 000 mg/L, 进行死端过滤实验。实验条件: 压力 0.1 MPa 搅拌子转速 150 r/min。由图 3 可见, 2 种工艺污泥混合液相对膜通量都经过 5 min 左右急剧衰减至稳定值, 相应过滤阻力不断增加。MBR 污泥混合液过滤阻力大于 CAS 工艺, 是 CAS 工艺污泥混合液过滤阻力的 2~3 倍。

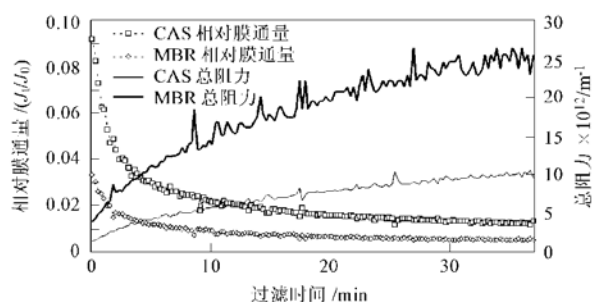


图3 CAS与MBR相对膜通量及阻力

Fig. 3 Relative membrane flux and membrane resistance in CAS and MBR

污泥自身性质是影响过滤性能的主要因素, 如微生物的种群组成、分泌的 EPS 性质和数量、污泥絮体的大小等。MBR 工艺过滤阻力主要由 EPS (TOC/MLSS) 含量与细微颗粒引起^[7], 众多研究者认为整个运行过程中, EPS 含量是引起膜过滤阻力增大的重要原因^[8]。

由图 4 可见, 在 MBR 反应器中 EPS 浓度 (TOC/MLSS) 出现了积累, 由运行初期 79 mg/g 增

加到 90 d 的 185 mg/g, EPS 浓度在运行第 30 d 为 95 mg/g, 到第 40 d 累积至 136 mg/g, 在短时间内浓度发生跳跃, 之后则持续增加. CAS 曝气池中 EPS 浓度变化不大, 实验运行中一直在 51~63 mg/g 范围内波动, 没有出现积累, 这主要因出水带走了大量微生物的代谢产物.

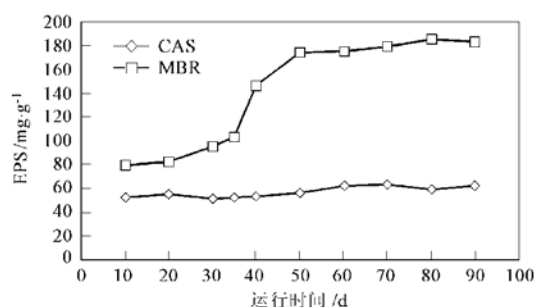


图 4 CAS 与 MBR 工艺混合液中 EPS 浓度的变化

Fig. 4 Extracellular polymeric substances concentration in the CAS and MBR

EPS 浓度直接影响污泥混合液的过滤性能, 改变沉积层的孔隙率和结构. EPS 和细微颗粒一并沉积并吸附在膜表面, 形成粘附性很强的凝胶层, 增加膜的过滤阻力. Huang 等人发现 EPS 浓度每增加 50 mg/L, 膜通量减小 70%^[9].

由图 5 可见, 在运行过程中 CAS 工艺污泥平均粒径集中在大尺寸区域, 在 75~107 μm 范围内波动, 在实验运行中颗粒尺寸变化没有规律; 镜检下污泥絮体密实, 排列规则, 主要以球菌、丝状菌和杆菌为主, 球菌和杆菌粘附在丝状菌上, 形成以丝状菌为骨架的菌胶团, 原生动物和后生动物种类繁多且活跃, 主要以纤毛虫类、轮虫、线虫为主. MBR 工艺中污泥平均粒径主要集中在小尺寸区域, 在运行前 30 d, 平均粒径变化很大, 由 42 μm 减小到 13 μm , 镜检发现污泥絮体松散, 未发现丝状菌, 主要以球菌和念珠菌为主, 菌胶团边缘混浊, 原生动物和后生动物种类少且表现呆滞, 循环纤虫出现概率较大; 运行 30 d 后, 镜检发现污泥絮体残片增多, 细菌多以自由悬浮状态存在, 原生动物和后生动物消失, 消失的原因是否与 EPS 含量的突变有关还有待进一步考证. 污泥平均粒径由 13 μm 减小至 4.3 μm , 污泥平均粒径随运行时间有减小的趋势. 微小颗粒的增加不但会导致 EPS 的释放, 而且直接影响膜通量. Y. Shimizu 认为尺寸在 8~15 μm 的颗粒控制着膜通量^[10], 小颗粒污泥虽有利于增强传质效果, 提高有机物的去除效率, 但会极大增加过滤阻力.

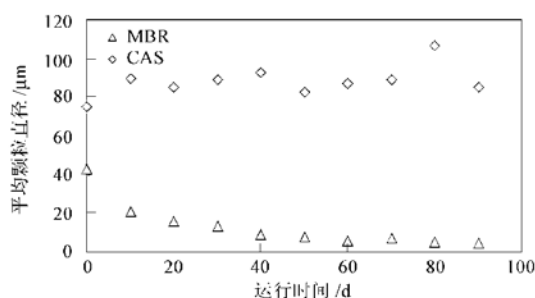


图 5 CAS 与 MBR 工艺污泥颗粒平均粒径在运行中的变化

Fig. 5 Sludge of average particle size in the CAS and MBR

2.2 悬浮液部分与微生物絮体部分过滤阻力分析

为了考察混合液的组成对膜过滤性能的影响, 利用离心方法将污泥混合液分离为悬浮液和微生物絮体 2 部分. 由图 6 可见, MBR 工艺悬浮液过滤阻力大于 CAS 工艺, 是 CAS 工艺悬浮液过滤阻力的 2 倍左右. 2 种工艺污泥混合液中悬浮液对膜阻力的贡献大, 占总阻力的 90% 左右. 因而对悬浮液中的优势污染物实施有效控制, 是改善 2 种工艺污泥混合液过滤性能的关键.

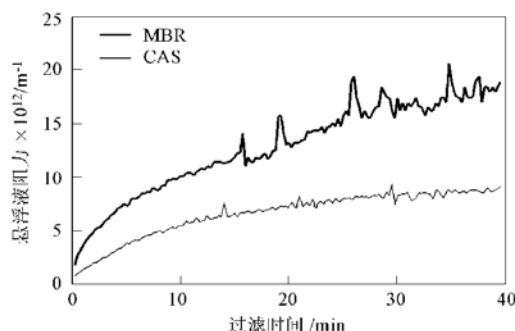


图 6 CAS 与 MBR 悬浮液阻力曲线

Fig. 6 The curve of supernatant resistance in CAS and MBR

由图 7 可看出, MBR 工艺微生物絮体的过滤

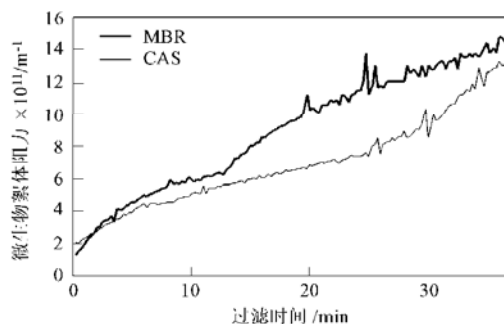


图 7 CAS 与 MBR 微生物絮体阻力曲线

Fig. 7 The curve of microbial flocs resistance in CAS and MBR

阻力略大,与 CAS 工艺微生物絮体过滤阻力的差别不明显,在过滤 5 min 内,曲线多处交叉;在过滤后期,曲线有再交叉的趋势,该部分阻力仅占总阻力的 10% 左右.

2.3 污泥混合液阻力分布实验

运用阻力分布测试方法^[11]对 2 种工艺污泥混

合液各项污染阻力进行了测定(表 2),实验结果表明在 CAS 工艺中,沉积层阻力(极化阻力与外部污染阻力之和)占总阻力 87.30%;MBR 工艺中沉积层阻力占总阻力的 94.18%;由此可见,2 种工艺的污泥混合液在过滤阻力分布上有共性,沉积层所产生的阻力占总阻力的比例大.

表 2 过滤阻力分布¹⁾/m⁻¹

Table 2 Resistance distribution during filtration/m⁻¹

混合液	膜固有阻力 R_m	极化阻力 R_p	内部阻力 R_i	外部阻力 R_e	总阻力 R
CAS	1.31E+ 11(10.15)	1.11E+ 12(86.05)	3.30E+ 10(2.55)	1.61E+ 10(1.25)	1.29 E+ 12(100)
MBR	1.30E+ 11(4.02)	2.95E+ 12(91.33)	5.8E+ 10(1.80)	9.2E+ 10(2.85)	3.23E+ 12(100)

1) 括号内值为占总阻力的百分比(%)

3 结论

(1) MBR 工艺污泥混合液的过滤阻力是 CAS 工艺过滤阻力的 2~ 3 倍,该工艺反应器内 EPS 积累和污泥粒径较小是产生较大过滤阻力的原因.

(2) 污泥混合液中悬浮液部分对 2 种工艺的过滤阻力贡献大,占总阻力的 90% 左右;就 2 种工艺而言,对悬浮液中的污染物实施有效控制,是改善过滤性能的关键.

(3) 过滤阻力分布实验表明,沉积层阻力占 CAS 工艺总阻力的 87.30%,占 MBR 工艺总阻力的 94.18%,沉积层阻力是过滤阻力的主要来源.

参考文献:

[1] Low E W, Chase H A. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment[J]. Water Research, 1999, **33**(5): 1119~ 1132.

[2] 张树国,顾国维,吴志超. 膜生物反应器中污泥特性对膜污染的影响研究[J]. 工业水处理, 2003, **23**(12): 8~ 12.

[3] 金若菲,等. 膜生物反应器中的生物学特征[J]. 微生物学通报, 2004, **31**(2): 121~ 125.

[4] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第三版)[M]. 北京:

中国环境科学出版社, 1989. 362~ 368.

[5] 康春莉,等. EDTA 萃取法分离自然水体中生物膜胞外聚合物[J]. 东北师范大学学报自然科学版, 2003, **35**(2): 120~ 122.

[6] Lee W, Kang S, Shin H. Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in submerged membrane bioreactors[J]. J. Membr. Sci., 2003, **216**: 217~ 227.

[7] Harada H, Momonoi K. Application of anaerobic UF membrane reactor for treatment of a wastewater containing high strength particulate organics[J]. Wat. Sci. Tech., 1994, **30**(12): 307 ~ 319.

[8] Nagaoka H, Ueda S, Miya A. Influence of Bacterial Extracellular Polymers On the Membrane Separation Activated Sludge Process[J]. Wat. Sci. Tech., 1996, **34**(9): 165 ~ 172.

[9] Shimizu Y. Filtration Characteristics of Hollow Fiber Microfiltration Membranes Used in Membrane Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment[J]. Wat. Res., 1996, **30** (10): 2385~ 2392.

[10] Shimizu Y. Effect of particle size distributions of activated sludges on crossflow microfiltration flux for submerged membranes[J]. Ferment. Bioeng., 1997, **83**(6): 583~ 589.

[11] 顾国维,何义亮. 膜生物反应器在污水处理中的研究和应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 298~ 299.