

膜-复合式生物反应器组合系统操作条件及稳定运行特性*

桂萍 黄霞 汪诚文 钱易

(清华大学环境工程系环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 对膜-复合式生物反应器的操作条件和稳定运行特性进行研究, 采用平板式聚丙烯腈超滤膜进行实验, 适宜操作压力为0.15 MPa; 适宜膜面流速为1.4—1.7 m/s; HRT 至少可以控制在4h; 悬浮污泥浓度是影响膜通透量的重要因素之一, 适宜值为2—2.5 g/L 左右。系统长期稳定运行可达60d 以上, COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率均可达95% 以上, 运行过程中未发现微生物代谢产物的明显积累, 但污泥的活性有所降低。

关键词 膜分离, 复合式生物反应器, 悬浮污泥浓度, 通透量

The Operation Parameters and Wastewater Treatment Characteristics of Membrane-Hybrid Bioreactor

Gui Ping Huang Xia Wang Chengwen Qian Yi

(State Key Lab. of Environ. Simulation and Pollution Control, Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084)

Abstract Operation parameters and wastewater treatment characteristics of membrane-hybrid bioreactor were studied using plate ultrafiltration membrane of polyacrylonitrile. The operation parameters were obtained at pressure about 0.15 MPa, crossflow velocity 1.4—1.7 m/s, HRT about 4h, suspended sludge concentration about 2 g/L. The membrane-hybrid bioreactor could be operated stably more than 60 days at COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ removal over 95% without the remarkable accumulation of the metabolite except a little drop of the activity of microorganism.

Keywords domestic wastewater, hybrid bioreactor, plate ultrafiltration membrane, suspended sludge concentration, flux of membrane

随着膜制造技术的进步和膜制造成本的降低, 70年代兴起的膜-生物反应器组合工艺在水处理中开始走向实用化, 如中水道处理技术, 粪便废水处理等^[1,2]。该工艺具有出水水质好, 占地省, 控制灵活, 管理方便等特点, 在水处理中的良好的应用前景受到广泛关注^[3]。生物反应器一般采用活性污泥法。许多研究表明, 活性污泥浓度的高低对膜的通透量影响较大^[4]。污泥浓度过高时, 膜的通透量下降快, 运行周期短。维持低浓度的活性污泥, 对改善膜的通透量有利, 但又会导致生物反应器的处理效果降低。为能同时取得膜分离和生物反应器2者的高效运行, 本研究提出采用复合式生物反应器, 即在维

持反应器内总污泥浓度较高的条件下, 使随混合液进入膜分离的悬浮污泥量保持很低, 以减少其对膜的通透能力的影响。

1 试验装置与试验方法

1.1 试验装置

图1为试验工艺流程示意图。本系统主要由复合式生物反应器和超滤膜2大部分组成。

污水由泵从污水箱提升至生物反应器内停留一定时间后, 反应器混合液再经泵增压进入

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

桂萍: 女, 26岁, 博士生

收稿日期: 1997-05-17

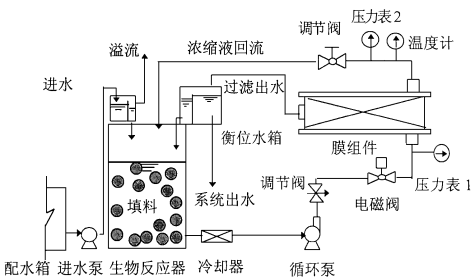


图1 试验工艺流程图

超滤组件, 混合液的一部分通过超滤膜形成过滤液; 而固形物和大分子物质则被截留形成浓缩液通过射流回流到反应器内。射流产生的曝气作用可供有机物生物分解所需的氧气。

生物反应器容积为125L, 型式为复合式反应器, 即在投加一定量的填料进行挂膜的基础上再投入一定量的活性污泥, 形成生物膜与活性污泥相复合的复合式反应器。

本试验所用填料为北京桑德公司生产的球形填料, 网格状球形外壳内填有纤维丝, 比表面

积为600—1000m²/m³, 球体直径为60mm。活性污泥取自北京第二毛纺厂二沉池。

超滤膜为日本三井石化公司生产的聚丙烯腈平板膜, 膜板尺寸为35.5cm × 15.5cm。切割分子量为20 000, 允许使用pH 范围1—10。

1.2 污水水质

试验采用清华大学北区污水泵站的生活污水作为试验用水。其水质如表1所示。

表1 试验污水水质/mg·L⁻¹

温度 /	SS	pH	COD	NH ₃ -N
15—25	300	6.8—7.2	95—652	14—27

1.3 试验方法与条件

(1) 操作条件的影响 本试验首先对膜复合式生物反应器的主要操作运行条件进行了研究, 包括操作压力和膜面流速及生物反应器的水力停留时间(HRT)和悬浮污泥(SS)浓度。

试验运行条件如表2所示。

表2 试验运行参数

试验项目	膜分离装置		生物反应器		
	膜面流速/m·s ⁻¹	操作压力/MPa	HRT/h	总污泥/g·L ⁻¹	SS/g·L ⁻¹
操作压力	1.2	0.04—0.2	7.5	5.3	2.3
膜面流速	1.2—1.68	0.15	7.5	5.3	2.3
HRT	1.2	0.15	4—7.5	5.3	2.3
SS	1.2	0.15	7.5	3.8, 4.83, 5.3	0.83, 2.3, 3.4

在膜面操作压力影响的试验中, 先使系统运行1d, 膜通透量的变化不大后, 再改变膜面压力, 观察通透量的变化。

在膜面流速、反应器的HRT以及悬浮污泥浓度的影响试验中, 每一条件下先运行一段时间稳定后, 清洗膜组件, 再进行该条件下试验, 同时观察膜通透量的变化, 分析处理出水水质。

(2) 长期稳定运行试验 在反应器的HRT为7.5h, 总污泥浓度5.3g/L (其中附着污泥3.0g/L, 悬浮污泥2.3g/L), 操作压力0.15MPa, 膜面流速1.2m/s条件下, 进行了膜

复合式生物反应器的长期运行试验。

运行过程中每隔5d 取样, 测定进水、反应器上清液和系统出水的COD、NH₃-N 的浓度变化和反应器内污泥浓度的变化。

在试验期间内, 没有进行排泥。

2 试验结果及讨论

2.1 操作压力和膜面流速对膜通透量的影响

(1) 操作压力 膜通透量随操作压力的变化曲线如图2所示。

当操作压力< 0.15MPa 时, 膜通透量随操作压力的增加呈线性增加, 即提高操作压力可

以有效地提高膜通透量,而当操作压力 > 0.15 MPa 后,膜通透量随操作压力的增加趋于平缓,膜的能量利用效率降低,由此可判断操作压力 0.15 MPa 左右为最佳操作压力

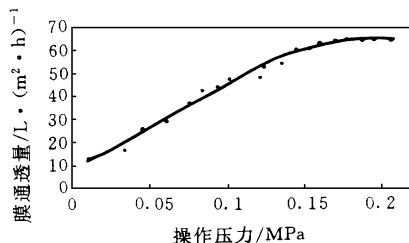


图2 膜通透量与操作压力的关系

(2) 膜面流速 试验中考察了膜面流速为 1.2 m/s 和 1.68 m/s 条件下膜的通透量变化,结果如图3所示

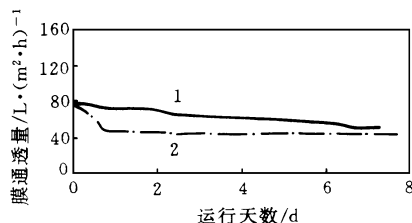


图3 膜面流速对膜通透量的影响

1. 膜面流速= 1.68 m/s 2. 膜面流速= 1.2 m/s

由图3可见,随着膜面流速的增加,膜的通透量及运行稳定性都得到提高,原因是膜面流速主要影响膜面沉积层的形成,膜面流速的提高可增加水流剪切力,减少污染物在膜表面的沉积,使过滤阻力减少,提高膜通透量。但膜面流速对膜面沉积层的影响程度与混合液污泥浓度有关。在污泥浓度较低时,膜通透量与膜面流速呈线性增加关系;但当污泥浓度较高时,膜面流速增加到一定值后,对沉积层的影响减弱,膜通透量增加速度减小。从膜通透量和泵的能量利用效率双重考虑,每一污泥浓度下,存在与此相应的最佳膜面流速范围,使在保持较高能量利用效率的条件下获得较大的膜通透量。根据以往研究结果,在本试验悬浮污泥浓度 2.3 g/L 的条件下,最佳膜面流速范围为 1.4—1.7 m/s。

2.2 SS 浓度和 HRT 的影响

(1) SS 浓度对膜通透量的影响 以往的研究表明,生物反应器混合液 SS 浓度越高,对通透量的影响越大。为保持较高的膜通透量,SS 浓度应维持在较低水平。本研究提出在膜-生物反应器组合工艺中采用复合式反应器,正是在保持反应器内总污泥浓度不变的条件下将 SS 浓度控制在一个较低值,以减少其对膜通透量的影响。为探讨 SS 浓度可能的最低范围,试验改变生物反应器的 SS 浓度,考察了膜通透量的变化,如图4所示。

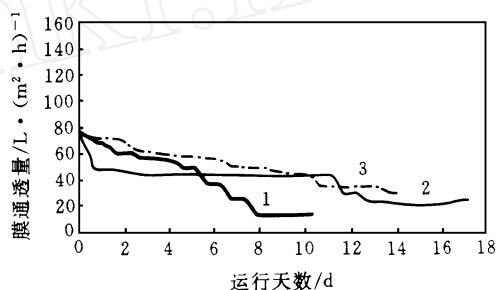


图4 反应器 SS 浓度对膜通透量的影响

SS= 0.83 g·L⁻¹ 2. SS= 3.4 g·L⁻¹ 3. SS= 2.3 g·L⁻¹

结果表明,SS 浓度过高或过低都会对膜通透量产生不利影响。在膜的过滤过程中,膜通透量主要受膜面污染物的影响。膜面污染物主要来自 2 方面,一是混合液中的固体物质;二是混合液中的溶解性有机物(主要是代谢产物)。污泥浓度过高时,污泥易在膜表面沉积,形成较厚的污泥层,导致过滤阻力增加,膜通透量低。另一方面,当污泥浓度太低时,污泥对溶解性有机物的吸附和降解能力减弱,使得混合液上清液中的溶解性有机物浓度增加,从而易被膜表面吸附,导致过滤阻力增加,膜通透量下降。因此,维持适中的污泥浓度,使膜表面的污泥沉积量和有机物的吸附量均维持在较低的水平,总阻力降低,可使系统的膜通透量得到提高。

由图4可以得出 10d 内的平均膜通透量与 SS 浓度的关系,如图5所示。由图5可推断,在本试验条件下,适宜 SS 浓度在 2—2.5 g/L 左右。

(2) HRT 的影响 考察了 HRT 为 4h 和 7.5h 2 种条件下的膜通透量的变化以及系统对 COD 和 NH₃-H 去除效果的变化。结果表明,在

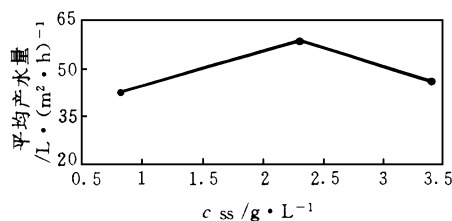


图5 反应器SS浓度与前10d平均产水量的关系

本试验条件下, HRT 对膜通透量没有明显的影响。同时系统对有机物 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果均保持良好, 无明显差异, 由此, 反应器的 HRT 至少可降低至 4h。

2.3 长期稳定运行特性

(1) 膜通透量的变化 由图6可看出, 膜-复合式生物反应器可维持相当长的一段稳定期, 膜通透量在 $20 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以上的运行时间超过 60d 以上。

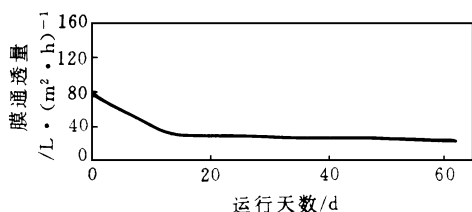


图6 膜-复合式反应器长期运行膜通透量变化

(2) 出水 COD 变化与代谢产物的积累 系统进水、生物反应器出水和系统出水的 COD 浓度及其随时间的变化如图7所示。

运行初期系统出水的 COD 浓度一般在 15 mg/L 左右, 运行 1 个月以后, 系统出水的 COD 浓度降到 5 mg/L 以下。

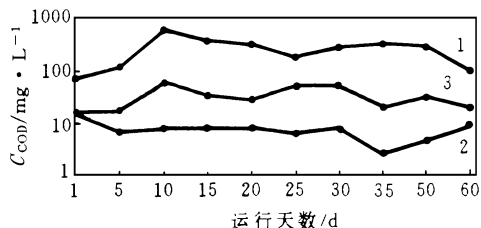


图7 膜-复合式生物反应器进水、出水和系统出水水质变化

1. 进入 COD 2. 系统出水 COD 3. 反应器上清液 COD

生物反应器的出水 COD 浓度高于膜分离

出水的 COD 值, 但变化不大。表明在试验运行期间, 反应器内的代谢产物无明显积累的趋势, 反应器中微生物对有机物的降解较完全。

COD 去除效率变化如图8所示, 系统的总去除率基本在 95% 以上, 生物反应器的去除效率一般维持在 90% 左右, 约占系统去除效率的 95%。

运行过程中出现了一个反应器去除效率下降点, 这是由于系统停电导致系统运行停止所致。而此时, 系统的 COD 总去除效率仍维持在 95% 以上。

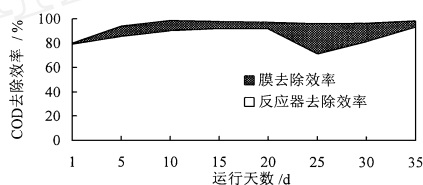


图8 膜-复合式生物反应器 COD 去除率的变化

(3) $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果 在长达 60d 以上的运行中, 系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 保持良好的去除效果, 去除率达 95% 以上。这主要是膜的分离截留作用使生长缓慢、世代时间较长的硝化细菌大量滞留在反应器内, 从而提高了系统的硝化效率。

(4) 生物反应器内污泥浓度变化 反应器内 SS, 附着污泥和总污泥浓度以及 SS 的 V_{SS}/SS 的变化如图9所示。

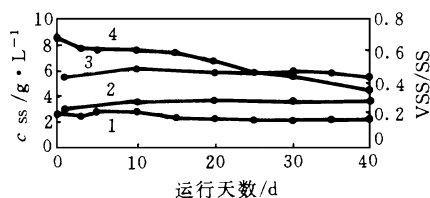


图9 反应器内污泥浓度变化情况

1. SS 2. 附着污泥 3. 总污泥 4. V_{SS}/SS

结果表明, 反应器内 SS 浓度以及总污泥浓度随着运行时间的增加有下降的趋势。原因在于进水有机物浓度偏低, 污泥负荷小, 引起污泥自身消化, SS 的 V_{SS}/SS 值也呈下降趋势, 污泥活性有所降低, 这是由于进水中无机组分在污泥中积累所致。

(下转第46页)

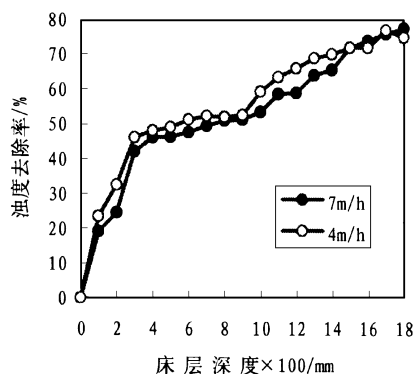


图5 生物陶粒沿床层对油度的去除

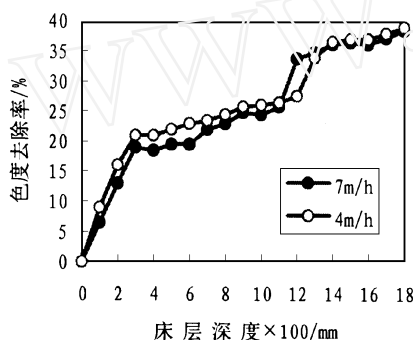


图6 生物陶粒沿床层对色度的去除

的截污能力有所提高, 这同生物陶粒反应器沿程对油度的去除规律相一致

从对表1和图2- 6的分析讨论可以得出:

(上接第38页)

上述分析可知, 在不排泥的条件下, 反应器内污泥略呈负增长, 且活性有所降低, 为维持一定的污泥活性, 运行过程中可适当排泥

3 结论

(1) 从膜通透量及能量利用效率考虑, 操作压力应控制在0.15MPa左右, 膜面流速适宜范围在1.4—1.7m/s, SS浓度在2g/L左右

(2) 生物反应器的HRT的变化在本试验范围内对污染物去除及膜通透量均影响不大, 至少可采用4h

(3) 本系统可保持长达60d以上的稳定运

在高水力负荷条件下, 生物陶粒反应器对水中污染物质的去除能保持理想状态, 这对生物陶粒应用于工程实际有较大意义, 根据研究结果, 在工程实际中可考虑采用水力负荷为 $7\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 停留时间15min作为生物陶粒反应器的设计参数和运用参数

3 结论

在水力负荷为4和 $7\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, 停留时间为27和15min, 生物陶粒反应器对水源水中的有机物(OC)的去除率都在20%左右, NH_4^+-N 去除率在90%以上, 浊度在76%左右, UV₂₅₄在30%左右, 色度在38%左右

参 考 文 献

- 徐袁春. 生物填料技术在污水回用中的应用. 清华大学硕士论文集, 1988
- 吴俊奇. 北京焦化厂工业用水水质改善试验研究. 清华大学硕士论文集, 1991
- 戴日成. 受污染水源水生物预处理技术的研究. 清华大学博士论文集, 1993
- 邯郸市自来水公司等. 给水深度处理研究会第三届学术交流会议论文. 1993
- 刘文君. 淮河蚌埠段饮用水水源水生物预处理生产性试验. 清华大学硕士论文集, 1995
- 水和废水监测分析方法. 第三版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989

行, COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效率均可达95%以上运行中未发现微生物代谢产物的明显积累

(4) 由于受进水浓度和无机成分的影响, 生物反应器的VSS/SS有下降的趋势

参 考 文 献

- 金山彦喜. ビル中水道における膜ろ過技術. 水质汚染研究, 1990, 13: 5
- 河村清史, 井上雄三. し尿処理における膜利用技術. 水环境学会, 1995, 18(2): 90
- 浦野纹平等. 膜を利用した生物処理の現状と方向. 水处理技术, 1990, 31: 183
- Magara Y et al. The Effect of Operational Factors on Solid-liquid Separation by Ultra-membrane Filtration in a Biological Denitrification System for Collected Human Excreta Treatment Plants. Water Sci Tech, 1991, 23: 1583—1590