第35卷 第3期
2003年3月

哈 尔 滨 工 业 大 学 学 报
JOURNAL OF HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Vol. 35 No. 3
Mar., 2003

污泥浓度对膜生物反应器运行特性的影响研究

封 莉, 张立秋, 吕炳南

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 反应器内的污泥浓度是膜生物反应器(MBR)运行的重要参数之一,它不仅影响污染物的去除效果,还影响膜组件的产水量. 考察了 MBR 处理生活污水过程中,污泥浓度的增长规律,结果表明:在试验初始阶段,MLVSS 与 MLSS 均随时间的增加而增加,在试验进行第 30 d 以后,MLVSS 值基本稳定在 6 200 mg/L 左右,而 MLSS 则继续增加,MLVSS/MLSS 值逐渐下降,由 85 %下降到 63 %. 在不同 MLSS 下,对 COD、NH_3 - N、TN 的去除效果进行了研究,得出在一定范围内,MLSS 的增加,有利于提高 COD 和 NH_3 - N 的去除效果;当 MLSS 过高时,反而会影响 COD 和 NH_3 - N 的去除效果;而 TN 的去除效果随 MLSS 的增加而增加. 文中最后考察了膜的产水量与 MLSS 浓度大小的关系,得出二者为线性负相关.

关键词: MBR;污泥浓度;MLSS;处理效果;膜产水量

中图分类号: TU992.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 0367 - 6234(2003)03 - 0307 - 04

Effect of sludge concentration on operational characteristics of membrane bioreactor

FENG Li, ZHANG Li-qiu, LU Bing-nan

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Sludge concentration in a bio-reactor is one of the important parameters for MBR. It influences not only the removal efficiencies of pollutants but also the flux of membrane module. This paper studied the increasing rule of sludge concentration during MBR treating domestic sewage. The result showed that MLVSS and MLSS both increased with time at the initial stages, but after 30 days the value of MLVSS was kept at about 6 200 mg/L, whereas MLSS continues to increase. The ratio of MLVSS/MLSS was decreased gradually from 85 % to 63 %. The paper simultaneity examined the treatment effects of COD、NH_3-N, TN under different mixed liquor suspended solids and drew the conclusions: the increasing of MLSS is in the favor of improving the removal efficiencies of COD and NH_3-N in a certain range. Finally, the relationship between the flow of membrane and the MLSS concentration was studied and the result is that they are linear minus correlation.

Key words: membrane bio-reactor; sludge concentration; mixed liquor suspended solid; treatment effect; flow of membrane

膜生物反应器(MBR)的重要特征之一就是通过膜组件的高效固液分离作用,将全部的污泥和悬浮物都截留在反应器内,使得反应器内可以维持很高的污泥浓度,降低了有机物 - 污泥负荷,从而提高了系统的处理效率. 在利用错流式 MBR 处理生活污水的试验中,系统连续运行 300 d 没有进行排泥,反应器内 MLSS 质量浓度最高达到 40～50 g/L,系统依然保持了较高的处理效率[1]. 还有研究人员进行了 MBR 无剩余污泥排放的研究[2]. 但笔者认为生物反应器中长期不进行排泥存在以下几方面问题:(1)对于某种特定的污水,在水力停留时间一定的条件下,反应器内的 MLVSS 浓度最终将趋于稳定,达到一最大值 $X_{V\max}$,此时,微生物的合成速率与其自身内源呼吸代谢速率达到一动态平衡,活性污泥的净增殖量 $\Delta X = 0$. 然而,由于污水中无机杂质、死亡微生物被分解时产生的残留物质等在反应器中的不断积累,使得 MLSS 还在继续增加,MLVSS/

收稿日期: 2002 - 01 - 28.
基金项目: 哈尔滨工业大学校科研基金资助项目(HIT.2000.27).
作者简介: 封 莉(1972 -),女,博士研究生;
吕炳南(1940 -),男,教授,博士生导师.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

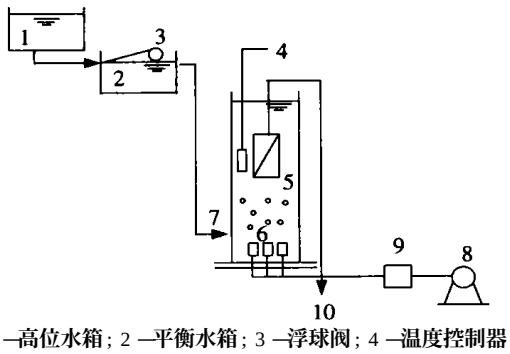
MLSS 值下降,即反应器内污泥的活性将会逐渐降低,最终将影响 MBR 系统的处理效果. (2) 在生物反应器内,污泥浓度的高低与膜通量的大小是密切相关的. 首先,有研究表明:污泥粘度 η 随着 MLSS 的变化呈现良好的线性关系,而污泥粘度与膜通量成反比关系,这说明膜通量会随着 MLSS 浓度的增加而减小[3]. 其次,随着 MLSS 的增加,污泥更容易在膜表面沉积,加快了膜污染,导致过滤阻力的增加,从而也会使膜通量降低. 可见,MLSS 对膜通量的影响是复杂的,Y. Magara 等人对不同 MLSS 浓度下的膜通量进行研究表明,膜通量与 MLSS 浓度的对数呈线性关系,即 MLSS 浓度越大,膜通量越小,处理单位水量所需的膜面积则越大,从而组件部分所需投资越大. (3) 反应器内污泥浓度过高,污泥粘度大,扩散系数降低,会影响氧的转移效率,为了维持反应器内足够的 DO,常常需要较大的气水比,特别是对于浸没式 MBR,为了保持一定的膜面流速,以防止膜污染,也需要较高的供气量,从而必然使供气能耗增加. 由此可见,MBR 处理系统也应该定期的进行排泥.

本文以生活污水为处理对象,考察了生物反应器内污泥浓度的增长规律,并对不同污泥浓度下 MBR 的处理效果、膜产水量的影响规律进行了研究,从而为 MBR 的工程设计提供参考.

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

本文采用浸没式 MBR,试验装置如图 1 所示.



1—高位水箱; 2—平衡水箱; 3—浮球阀; 4—温度控制器; 5—膜组件; 6—曝气装置; 7—进水管; 8—空压机; 9—气体流量计; 10—出水管

图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Scheme of experimental facility

示. 生活污水用泵提升至高位水箱 1,自流进入平衡水箱 2,通过浮球阀 3 自动调整进水量;膜组件 5 直接置于生物反应器中,利用反应器液面与出水管 10 的位置高差重力出水;反应器内的混合液温度,通过温度控制器 4 进行控制;生物反应器内氧的供应,由气泵 8 通过底部的曝气砂头 6 提供,在气泵后接气体流量计 9,测定供气量. 试验中采用的膜组件为聚丙烯材料,膜孔径 0.1 μm,膜面积为 1.5 m^2. 生物反应器为有机玻璃柱,总有效容积为 15.4 L.

1.2 试验用水

试验用水水质指标见表 1.

表 1 试验用水水质

Table 1 Quality of wastewater test mg/L

ρ(COD)	ρ(SS)	ρ(TN)	$\rho(NH_3\text{-}N)$	pH
146～324	33～160	13.8～31.2	11.2～27.4	6.8～7.7

1.3 试验方法

首先向反应器内接种处理相同污水的活性污泥,起始 MLVSS 质量浓度为 1 365 mg/L. 然后开始连续进水,控制水力停留时间为 8 h,水温 21 ℃,DO 质量浓度为 4 mg/L,连续运行 60 d,测定了反应器内污泥浓度增长规律,并相应地测定了不同污泥浓度下污染物(包括 COD、NH_3-N、TN)进、出水的变化情况,其中上清液污染物的浓度为反应器内混合液经滤纸过滤后的测定值,试验过程中除取样外,没有进行排泥. 之后,间断排放污泥,测定了膜产水量在不同污泥浓度下的变化情况. 水质分析按水质监测标准方法进行[4].

2 试验结果与讨论

2.1 污泥增长规律

在上述试验条件下,在 60 d 内反应器内 MLSS 和 MLVSS 的增长变化情况如图 2 所示.

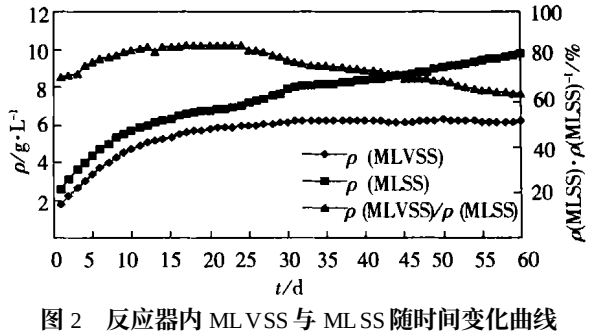


图 2 反应器内 MLVSS 与 MLSS 随时间变化曲线

Fig. 2 Variation of MLVSS and MLSS in MBR against time

从图 2 中可以看出,在试验的开始阶段,MLVSS 和 MLSS 值均随时间的增加而增加,在第 30 d 以后,MLVSS 值基本稳定在 6 200 mg/L,而 MLSS 值则继续增加,在试验的第 60 d,达到 9 735 mg/L. 上述试验结果说明,在进水有机物浓度、水力停留时间一定的条件下,经过一段时间以后,MLVSS 将趋于一稳定值,不再随时间增加而

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

增加,而 MLSS 则继续增加,污泥活性将会下降. 在图中可以看出,MLVSS/MLSS 值在试验进行至第 20～25 d 时达到最大,为 85 %左右,之后便逐渐降低,在第 60 d 时该比值下降至 63 %. 因此,MBR 应该定期排泥,以维持反应器内污泥的活性. 有研究表明[5],MBR 处理生活污水的最佳排泥时间在 35 d 左右.

2.2　污泥质量浓度对处理效果的影响

2.2.1　污泥浓度对 COD 去除效果的影响

测定了在不同 MLSS 的条件下,进水、反应器上清液、出水中 COD 的变化去除情况,结果如图 3所示.

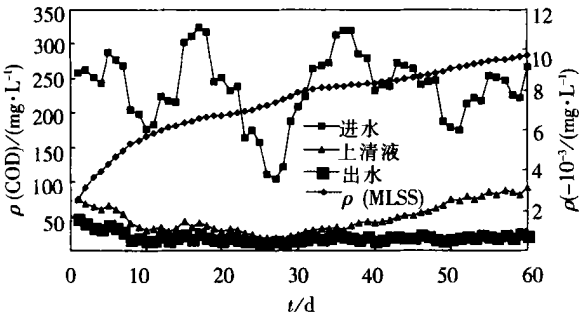


图 3　不同污泥浓度下 COD 变化曲线

Fig. 3　Variation of COD in different sludge concentrations

从图 3 中可以看出,在试验刚开始阶段,系统处理效果不够稳定,随着试验的进行,反应器上清液和出水 COD 质量浓度逐渐降低,在试验进行大约 10 d 以后达到稳定,出水 COD 浓度一直稳定在 20 mg/L 左右,而上清液中 COD 浓度在试验进行 35 d 以后,开始逐渐升高. 这是因为:试验开始时,反应器内污泥质量浓度较低,有机物 - 污泥负荷高,处理效果差,出水 COD 浓度较高. 随试验进行,反应器内污泥浓度逐渐升高,有机物 - 污泥负荷逐渐降低,出水效果变好并趋于稳定. 由图 2 可见,试验进行大约 30 d 后,MLVSS 达到稳定,此时有机物(COD) - 污泥负荷大约为 0.12 kg/(kg·d),之后,由于进水中营养物质相对不足,进水 COD 难以维持微生物的生长需要,部分微生物处于内源呼吸期,产生大量的溶解性微生物代谢产物(SMP),部分微生物甚至死亡,生成难降解的细胞壁等物质,细胞壁在酶的作用下溶解,使得反应器内上清液中 COD 的浓度在 35 d 后逐渐升高. 但由于膜组件的截留作用,将高分子量的 SMP 和细胞壁等物质都截留在反应器内,保证了出水效果的稳定.

2.2.2　污泥浓度对 NH_3-N 去除效果的影响

在不同 MLSS 的条件下,进水、反应器上清液、出水中 NH_3-N 的变化去除情况,如图 4 所示.

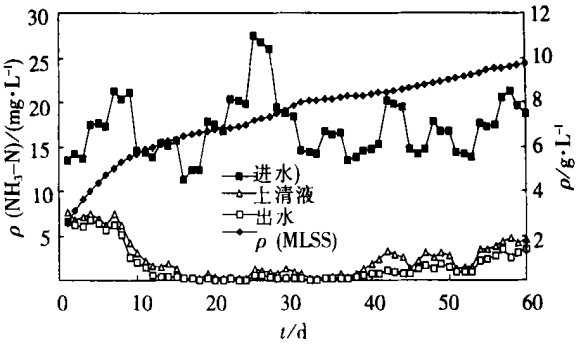


图 4　不同污泥质量浓度下 NH_3-N 变化曲线

Fig. 4　Variation of NH_3-N in different sludge concentrations

从图 4 中可以看出,在初始阶段,NH_3-N 的去除率比较低. 只有 50 %左右,这是因为反应器中硝化细菌和亚硝化细菌的数量少,硝化能力和亚硝化能力低所致. 随着试验进行,反应器内污泥质量浓度增加,硝化和亚硝化细菌的数量也随之增加,硝化效果逐渐提高,试验进行 15 d 后,出水 NH_3-N 质量浓度始终低于 1.0 mg/L,最高去除率为 100 %. 在试验进行 40 d 后,反应器上清液和出水中的 NH_3-N 质量浓度均有升高趋势,这是因为微生物内源呼吸产生的 SMP 发生积累,对硝化细菌产生抑制作用,从而影响了 NH_3-N 的去除效果.

2.2.3　污泥浓度对 TN 去除效果的影响

在不同 MLSS 的条件下,进水、反应器上清液、出水中 TN 的变化去除情况,如图 5 所示.

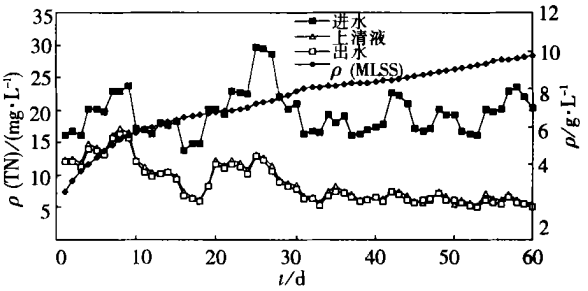


图 5　不同污泥质量浓度下 TN 变化曲线

Fig. 5　Variation of TN in different sludge concentrations

从图 5 中可以看出,试验开始时,TN 的去除效果较差,去除率不到 30 %,这是因为反应器内 MLSS 浓度低,DO 质量浓度为 4 mg/L,氧的穿透能力强,在菌胶团内部形成缺氧或厌氧的可能性较小,反硝化作用很弱,TN 的去除主要是微生物进行合成代谢的结果. 随着 MLSS 的增加,混合液的粘度增加,氧的传质作用相对减弱,在菌胶团表面为好氧区,而在菌胶团内部则形成较多的缺氧区,创造了反硝化细菌适宜的生长条件,使得反

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

硝化能力增强,TN的去除率有所上升,其最高去除率可达70%.但是,应该指出:在试验后期,由于NH_3-N去除率的降低,使得TN去除率进一步提高很难,从图5中可以看出,在试验后期TN的去除率趋于稳定.有研究表明[6],在同一反应器内发生同步硝化-反硝化,完成对TN的去除,与反应器内DO大小关系密切,当控制反应器内DO质量浓度为1.0 mg/L时,TN的去除率可达92%.

2.3 污泥浓度与膜产水量的关系

试验第60 d时,反应器内的MLSS质量浓度达到了9 735 mg/L,此时进行如下试验:控制反应器内水温为24 ℃,供气量为0.2 m^3/h,保证1.2 m的静水压差,间断排放污泥,测定反应器内MLSS浓度与膜产水量的关系,结果如图6所示.

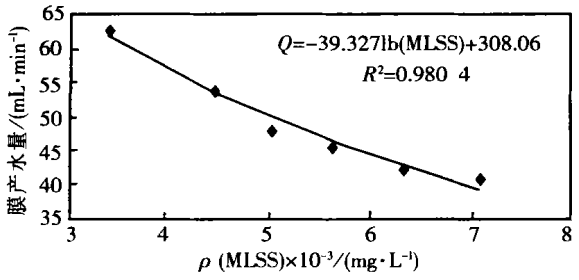


图6 膜的产水量与MLSS之间的关系图

Fig. 6 Relationship between flow of membrane and MLSS

从图6中可以得出膜的产水量与MLSS之间的关系式为

$$Q = -30.327\,lb(MLSS) + 308.06.$$

式中:Q为膜的产水量,mL/min.

从上式中看到,膜的产水量与MLSS的对数呈线性负相关,即MLSS值越大,膜的产水量越低.尽管较高的污泥浓度可以提高生物反应器的容积负荷,但膜通量的降低,又会影响MBR的处理能力,因此,膜生物反应器内的污泥浓度不宜过高.

3 结 论

(1) MBR在处理生活污水的试验中,开始阶段MLSS与MLVSS均随着时间的延长而增加,30 d以后,MLVSS基本维持在6 200 mg/L左右,而MLSS还在继续增加,MLVSS/MLSS值逐渐降低,说明污泥活性在逐渐降低,因此MBR应该定期排泥,以保持污泥活性.

(2) 随着MLSS的增加,有机物-污泥负荷降低,有利于提高COD的去除效率.但是,过低的COD-污泥负荷,使得微生物由于营养缺乏而死亡或进行内源呼吸,产生难降解的细胞壁和SMP物质,造成反应器上清液COD浓度升高.由于膜组件的截留作用,保证了系统最终出水的稳定.

(3) 在一定范围内,MLSS的增加有利于NH_3-N的去除,当MLSS过高时,内源呼吸产物SMP的累积会对硝化细菌产生抑制作用,反而使出水NH_3-N升高.

(4) 较高的MLSS,更有利于在反应器内形成缺氧或厌氧环境,有利于提高TN的去除率.

(5) 膜的产水量与MLSS的对数呈线性负相关,因此MBR应定期排泥.

参考文献:

[1] MULLER E B. Aerobic domestic waster water treatment in a pilot plant with complete sludge retention by cross-flow filtration[J]. Water Research, 1995, 29(4): 1179-1189.

[2] 杨造燕,匡志花,顾 平,等. 膜生物反应器无剩余污泥排放的研究[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(1): 16-18.

[3] 邢传宏,钱 易, ERIC Tardieu. 超滤膜-生物反应器处理生活污水及其水力学研究[J]. 环境科学, 1997, 18(5): 19-22.

[4] 国家环保局. 水和水质监测分析方法·3·[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1987.

[5] 张立秋,封 莉,何圣兵,等. 膜生物反应器中最佳排泥时间的确定方法[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(5): 68-71.

[6] 邹联沛,张立秋,王宝贞,等. DO对MBR同步硝化反硝化的影响[J]. 中国给水排水, 2001, 17(6): 10-14.

(编辑 蔡公和)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net