

MBR中溶解氧和污泥负荷对污泥产量的影响

何圣兵¹, 蒋轶锋², 王宝贞²

(1. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240)

(2. 哈尔滨工业大学水污染控制中心, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 采用 MBR 处理人工配制生活污水, 考察反应器中可控因子溶解氧 (DO)、污泥负荷 (F/M) 对系统污泥产率的影响。试验中分别考察了 DO 为 1mg/L、3mg/L 和 5mg/L 以及污泥负荷为 0.3gCOD/gMLSS·d、0.6gCOD/gMLSS·d 和 0.9gCOD/gMLSS·d 时系统的污泥产率变化情况。根据试验结果发现在相同污泥负荷条件下, 随着 MBR 中 DO 的升高, 污泥产率呈现降低的趋势; 在同一个 DO 水平下, 系统的污泥产率随着污泥负荷的升高而升高。以菌胶团内 DO 和基质浓度的分布为基础, 对 DO 和污泥负荷影响系统污泥产率的现象进行了理论分析。

关键词: 膜生物反应器; 污水处理; DO; 污泥负荷; 污泥产率

中图分类号: TQ028.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2005)09-0017-04

我国的城市污水和工业废水处理率逐年提高, 2001 年已分别达到约 25% 和 94.7%^[1]。污水处理的实质是将水中污染物的大部分变成不可溶的固体(污泥)、水、水溶物和 CO₂ 等, 从而达到净化水的目的。在活性污泥处理厂中, 污水在得到净化的同时, 会产生大量的生物污泥。这些生物污泥是一种二次污染物, 如果处理不当, 也会对环境造成污染。因此, 污泥处理与处置是污水处理过程中必不可少的重要环节。

目前研究开发的各种污泥处理处置技术均是基于城市污水和工业废水生物处理后不可避免地会产生剩余污泥, 为了防止对环境造成污染而不得不将其处理或利用。然而现有的污泥处理技术成本都比较高, 剩余污泥处理、处置的运行费用往往会占到污水处理厂总运行费用的 25%~65%^[2], 主要适合于大型污水处理厂。随着城市污水处理普及率的提高, 中小城市污水处理厂产生的污泥量也逐渐增多。污泥处理规模越小, 单位处理量的投资越高。因此, 从技术和经济两个方面考虑, 中小城市污水处理厂剩余污泥的处理必将成为一个新的问题, 需要研究开发合适的新技术。在这种背景下, 对污泥减量技术

的深入研究成为一种必然。

膜生物反应器是一种新型高效的污水处理与回用工艺。目前, 膜生物反应器已被成功地应用于生活污水、工业废水以及饮用水的处理中。由于超滤膜的强制截留作用, 使得膜生物反应器具有一些常规污水处理工艺所不可比拟的优越性^[3]。

本研究考察 MBR 工艺具有污泥产率低的特点, 处理生活污水可以减少剩余污泥产量。MBR 中 DO 和污泥负荷 (F/M) 等在实际运行中可控因素对系统污泥产率的影响。

1 实验装置

为了考察污泥负荷和 DO 对 MBR 反应器中污泥产率的影响, 实验采用了 3 组相同的 MBR 反应器。试验用膜为聚丙烯材质中空纤维膜, 最大膜孔径为 0.1 μm, 平均膜面积为 2.0m², 截留分子量为 50000; 反应器的内径为 100mm, 高度为 1.2m, 有效水深为 1.0m, 有效容积为 7.85L。运行中每个反应器的水力停留时间均采用 6h, 水温分别控制在 20℃ 左右。

2 实验原水

实验用原水采用人工配水, 原料为淀粉、蔗糖、

收稿日期 2004-09-10

基金项目 国家“863 计划”水污染治理技术与控制工程专项课题 (2002AA601230)

作者简介 何圣兵 (1974-), 男, 博士, 讲师 联系电话 021-54744540 E-mail: heshengbing@sina.com

氯化铵、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠和碳酸氢钠,可以根据每个反应器的不同工况要求配制不同有机浓度的原水。在本实验中,原水中氮和磷等营养元素均很充足,不成为污泥生长的限制性因素。实验的主要目的是考察污泥负荷和溶解氧对 MBR 中污泥产率的影响。

3 结果与讨论

3 个反应器采用接种污泥在相同的条件下运行 4 周,然后将这 3 个反应器中的混合液混合均匀重新平均分配到 3 个反应器中,使它们中的泥样基本相同。在此基础上开始进行实验,通过排泥使各个反应器中污泥浓度变化均维持在一个较小的范围内,污泥龄均为 30d,3 个反应器中的污泥负荷分别采用大致为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 、 $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 、 $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 。然后使这 3 个反应器均分别在 DO 为 1mg/L 、 3mg/L 、 5mg/L 左右的条件下运行约 1 个月时间,考察 DO 和污泥负荷对污泥产率的影响。

3.1 DO 对污泥产率的影响

图 1 描述了反应器在不同 DO 和不同污泥负荷运行条件下的污泥产率。

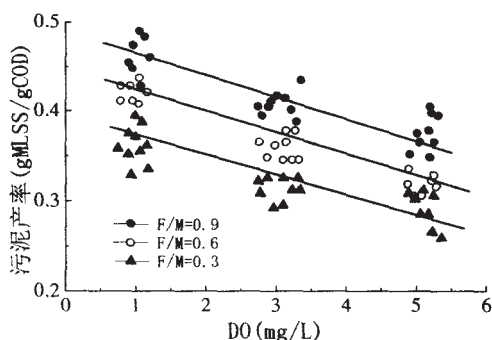


图 1 DO 对污泥产率的影响

从图 1 可以看出在 3 个不同污泥负荷的条件下,随着 DO 的升高,反应器中的污泥产率逐渐降低。当污泥负荷为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 时,反应器在 DO 分别为 1mg/L 、 3mg/L 、 5mg/L 条件下的平均污泥产率分别为 0.359gMLSS/gCOD 、 0.317gMLSS/gCOD 、 0.294gMLSS/gCOD 。DO 从 1mg/L 升高至 5mg/L 时,反应器中的污泥产率降低了 18.1%。当污泥负荷分别增加至 $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 和 $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 时,将反应器中的 DO 从 1mg/L 升高至 5mg/L ,反应器中的污泥产率分别降低了 22% 和 17.8%。总体看来,随着反应器中 DO 的升高,污泥产率呈现出降低的趋势。

3.2 污泥负荷对污泥产率的影响

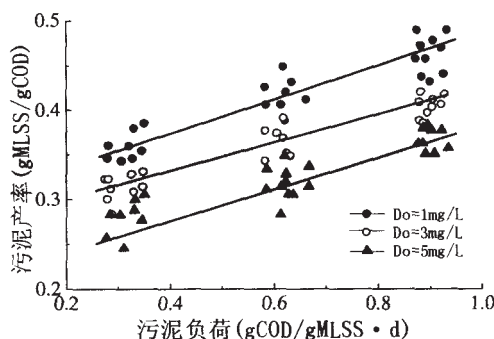


图 2 污泥负荷对污泥产率的影响

图 2 描述了反应器中污泥负荷对污泥产率的影响。在 DO 为 1mg/L 左右的条件下,当污泥负荷分别为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 、 $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 以及 $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 时,MBR 反应器中的平均污泥产率分别为 0.359gMLSS/gCOD 、 0.411gMLSS/gCOD 和 0.458gMLSS/gCOD 。此外,在反应器中 DO 分别固定为 3mg/L 以及 5mg/L 的条件下,看出随着污泥负荷的升高,反应器中的平均污泥产率均逐渐增加。

4 DO 与 F/M 对污泥产率影响的理论分析

污水生物处理过程就是将污水中的悬浮态和溶

解态的有机污染物转化为新细胞和代谢产物 (CO_2 、 N_2 、 H_2O 、 CH_4 、 SO_2) 的过程。微生物利用有机污染物作为碳源来提供能量和进行新细胞合成,通过分解代谢的途径将有机污染物转化成能量和代谢中间物,产生的能量用于维护微生物的生命活动和进行新细胞的生物合成,代谢中间物为合成代谢提供合成基底物质。而合成的新的细胞物质在一定条件下也可以进行下一轮的分解代谢产生能量和新的代谢物质。总体来说,微生物可以通过合成代谢和分解代谢两条不同的途径将有机物进行转化。为了减少剩余污泥的产生量,需要强化产能的分解代谢过程而弱化合成新物质的合成途径。

污水生物处理中的污泥是由细胞组成的复杂的微生物群体。可以单个细胞的形式存在,也可能以生物膜或微生物菌胶团形式存在的细菌群体。微生物存在着出生、成长、繁殖和死亡的生命过程,与周围环境中的其它微生物存在着共生、拮抗、竞争、捕食等多种复杂的相互关系。细菌在不同的生命阶段对有机底物的利用情况也是各不相同,详见表 1 所示^[4]。

污泥中含有一部分没有活力、处于呼吸状态的细菌,这些非活性的活体细胞维持自身生命过程,对底物的代谢影响很大,导致整个微生物系统的成长

表 1 微生物在不同状态下对有机底物的利用情况

微生物状态	底物用于维持生命	底物用于细胞合成	底物用于生物合成
具有活力的微生物	有	有	有
没有活力和处于呼吸过程的微生物	有	有	有
死亡微生物	无	无	无

状态是不断的演化。好氧、厌氧、缺氧环境决定了反应的速率常数,并因此而影响生物代谢效率。菌胶团可以产生局部化效应,分别对微生物的不同反应有不同的促进或抑制作用^[5]。

微生物代谢将有机物质转化为细胞物质,同时释放出呼吸产物。为了减少细胞物质的产生,应尽量使有机底物用于非生长性的呼吸过程而非细胞合成过程。对于死亡的细菌,它们的结构仍然保持完整,并不能够直接作为其它活细菌的食物,这些死亡的细菌是污泥中惰性组分的主要构成成分之一。但是,活细菌和死亡的细菌都可以被更高级的生物(如原生动物、后生动物等)捕食。细胞溶解后也将细胞物质释放到水中,提供自产底物,引起水中有机物质含量的升高。这些自产底物可以被重新用于生物代谢,其中的一部分转化成呼吸产物从系统中排出,从而导致系统的污泥产量减少。

由于污水中的有机碳可以转化成细胞物质和二氧化碳以及水,而细胞物质又可以通过自溶的途径成为自产底物为微生物所利用,这样部分有机碳的重复使用将会减少污泥的产量。据报道,国外已有数座污水处理厂利用这一原理使污泥产量大幅度的减少^[6]。

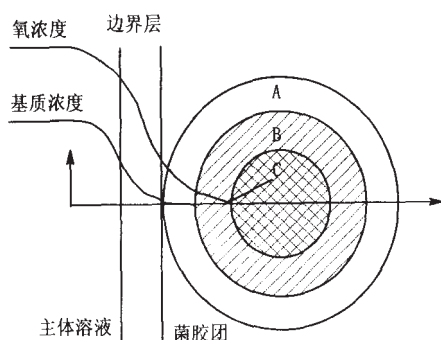


图 3 菌胶团内 DO 和基质浓度的分布示意图
A 区: 存在 DO 和基质; B 区: 存在 DO, 没有基质;
C 区: 存在基质, 没有 DO

图 3 描述了 DO 和基质在菌胶团内部的分布情况^[7]。根据菌胶团中 DO 和有机基质的分布情形,可以将菌胶团分为 A、B、C 三个区域。A 区位于菌胶团的最外缘,在这个区域中存在着由主体溶液中传递

过来的 DO 和有机基质,生物氧化可以在这个区域中很好地进行;当主体溶液中 DO 浓度较高时,在菌胶团内部出现了 B 区,由于有机基质在 A 区基本上消耗殆尽, B 区中不存在着有机基质而只存在着 A 区没有消耗尽的 DO。在此区域中主要进行内部死亡细胞水解产物的生物降解和氮化物的生物氧化。B 区面积越大,死亡细胞的生物降解作用就越强,导致产生的污泥量也就有所降低;在菌胶团的中心, DO 被完全消耗,出现了厌氧 C 区。在 C 区中生活的微生物均是惰性细菌,不能参与有机物的降解过程。在此区域中主要进行着死亡细菌的水解过程,通过水解过程产生的有机物质可以扩散至 B 区进行生物氧化。

为了精确和定量分析整个生物降解过程, Tyagi 等人对物质传递过程和微生物各个生化反应过程的反应速率进行了细致的研究^[8]。Matson 和 Characklis 推导了 DO 和葡萄糖基质通过菌胶团时的扩散系数,发现此时的扩散系数比在纯水中进行的实验数据要低^[9]。通过使用零级扩散反应模式,他们发现在高负荷处理工艺或存在较大生物絮体的处理工艺中氧的扩散是有限的。Herze 和 Mladenovski 将微生物的内源呼吸定义为死亡、水解和生长三个过程^[10]。Lishman 和 Murphy 测得了微生物的衰亡系数并证实微生物的水解是内源呼吸中反应速率的限制性步骤^[11]。通过本实验中发现当主体溶液中的 DO 升高时,会导致污泥产率降低。这是因为随着主体溶液中 DO 的升高, DO 可以穿透到菌胶团中一个更深的厚度,导致了菌胶团中好氧区域的增大,也就是 A 区和 B 区的范围扩大, C 区的范围被压缩。C 区中死亡细菌通过水解作用产生的底物可以迅速扩散至 B 区而得以生物降解,减少了死亡细菌在 C 区中的积累而使污泥产量降低。也就是说,高含量的 DO 强化了微生物自产底物的氧化分解,加速了含碳有机物质的循环利用和分解代谢。在实验中还观察到在 DO 相当条件下, MBR 中的污泥产率随着有机负荷的升高而增大。这是由于在低有机负荷条件下,基质浓度有限,好氧区域 A 区的范围变小,主体溶液中相同的 DO 浓度可以在菌胶团中得到更深程度的扩散,存在 DO 而不存在基质的 B 区范围扩大, C 区产生的水解底物可以在好氧 B 区得以降解。当有机负荷增加时,主体溶液中传递进入菌胶团的 DO 由于较多有机物质的存在而扩散受限,导致 A 区范围扩大,而 B 区被压缩, C 区也由于氧传递的限制而

增大。这样,在 C 区产生的水解产物就不能及时快速地扩散至好氧区域被降解而产生累积,这样就会使产生的污泥量增加。

5 结 论

采用 MBR 处理人工配制的生活污水,考察了 DO 和污泥负荷对系统污泥产率的影响。试验采用了 3 个 MBR 反应器,其中污泥负荷分别为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 、 $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 和 $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 。3 个反应器均分别在 DO 为 1mg/L 、 3mg/L 和 5mg/L 的条件下运行了 1 个月时间。根据试验结果发现在相同污泥负荷条件下,随着 MBR 中 DO 的升高,污泥产率呈现降低的趋势;当污泥负荷为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 时,反应器在 DO 分别为 1mg/L 、 3mg/L 、 5mg/L 条件下的平均污泥产率分别为 0.359gMLSS/gCOD 、 0.317gMLSS/gCOD 、 0.294gMLSS/gCOD ;在同一个 DO 水平下,系统的污泥产率随着污泥负荷的升高而升高。在 DO 为 1mg/L 左右的条件下,当污泥负荷分别为 $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 、 $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 以及 $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ 时,MBR 反应器中的平均污泥产率分别为 0.359gMLSS/gCOD 、 0.411gMLSS/gCOD 和 0.458gMLSS/gCOD 。

微生物可以通过合成代谢和分解代谢两条不同的途径将有机物进行转化。为了减少剩余污泥的产生量,需要强化产能的分解代谢过程而弱化合成新物质的合成途径。以菌胶团内 DO 和基质浓度的分布为基础,对 DO 和污泥负荷影响系统污泥产率的现象进行了理论分析。

参考文献:

- [1] 赵庆祥. 污泥资源化技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002, 1-2.
- [2] Q L Zhao and G Kugel. Thermophilic/Mesophilic Digestion of Sewage Sludge and Organic Waste [J]. J Environmental Science Health, 1997, 31:2211-2231.
- [3] D G V de Silva, V Urbain, D H Abeyinane and B E Rittmann. Advanced Analysis of Membrane-Bioreactor Performance with Aerobic-anoxic Cycling[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(4-5): 505-512.
- [4] 王维斌. 污水处理中减少污泥产量的方法和机理[J]. 给水排水, 2001,27(10): 38-42.
- [5] S Scuras, G Daigger and Jr. C P Leslie Grady. Modeling Competition in the Activated Sludge Floc Microenvironment[C]. Proceeding of the 2nd International Conference on Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes, 1997,151-154.
- [6] W L Euan, A C Howard. Reducing Production of Excess Biomass during Wastewater Treatment [J]. Water Research, 1999,33(5): 1119-1132.
- [7] B Abbassi, S Dullstein and N Rabiger. Minimization of Excess Sludge Production by Increase of Oxygen Concentration in Activated Sludge Flocs: Experimental and Theoretical Approach [J]. Water Research, 2000,34(1):139-146.
- [8] R D Tyagi, Y G Du and R Bhamidimarani. Dynamic Behavior of the Activated Sludge Process under Shock Loading: Application of the Floc Model[J]. Water Research, 1996,30(10):1605-1616.
- [9] J V Matson and W G Characklis. Diffusion into Microbial Aggregates[J]. Water Research, 1976,10(5):877-885.
- [10] M Henze and C Mladenovski. Hydrolysis of Particulate Substrate by Activated Sludge under Aerobic, Anoxic and Anaerobic Conditions[J]. Water Research, 1991,25(1):61-64.
- [11] L A Lishman and K L Murphy. The Significance of Hydrolysis in Microbial Death and Decay [J]. Water Research, 1994,28(12): 2417-2419.

INFLUENCE OF DO AND F/M ON SLUDGE YIELD IN MBR

He Sheng-bing¹, Jiang Yi-feng², Wang Bao-zhen²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Water Pollution Control Research center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: MBR was applied to treat synthetically domestic wastewater, and controllable ecological factors such as DO and F/M were studied to observe their influences on sludge yield. Under the conditions of DO 1mg/L , 3mg/L , 5mg/L respectively and F/M $0.3\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$, $0.6\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$, $0.9\text{gCOD/gMLSS}\cdot\text{d}$ respectively, it was found that the sludge yield in MBR decreased with the rise of DO. Whereas, the sludge yield varied in the same way with the variation of F/M. Based on the illustrative profile of DO and substrate concentration within a biological floc, the influence of DO and F/M on sludge yield was analyzed from the theoretical aspect.

Key words: MBR; wastewater treatment; DO; F/M ratio; sludge yield