

污泥臭氧化对 MBR 运行效能的影响

蒋轶锋¹,王琳²,王宝贞¹,刘硕¹,王正¹ (1.哈尔滨工业大学市政环境工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090; 2.中国海洋大学,山东 青岛 266003)

摘要: 结合 MBR 和污泥臭氧化各自的优点,开展了化学法和生物法相结合的污泥减量技术研究,对污泥臭氧化的特点及其对 MBR 运行效能的影响进行了考察.实验表明,污泥细胞的溶解随着臭氧投加量的增加而改善,但当投加量大于 0.16mg/mgMLVSS 时,污泥混合液的性状 (MLVSS、SCOD)变化趋缓.在最佳的投加量下,53.1%的 MLVSS 被臭氧溶解,而 SCOD 和 TN 分别升高 1287、143.9mg/L.臭氧对有机物的氧化使得液相中的 C/N 比仅为 8.6.通过 3 个 MBR 系统[污泥臭氧化的数量分别为进水流量(Q)的 0、0.5%和 1%]的平行运行,结果显示,臭氧化能够显著降低系统的污泥产率(0.5% Q 和 1% Q 系统的污泥产率仅为 0.17、0.12kgMLSS/kgCOD,较 0 Q 系统分别下降了 29%和 50%),同时不对硝化和有机物的去除作用产生明显的影响,系统出水水质良好.

关键词: 臭氧化; 污泥减量; MBR; 出水水质

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)05-0519-04

Influence of sludge ozonation on MBR performance efficacy. JIANG Yi-feng¹, WANG Lin², WANG Bao-zhen¹, LIU Shuo¹, WANG Zheng¹ (1.School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2.Ocean University of China, Qingdao 266003, China). *China Environmental Science*, 2005,25(5): 519~522

Abstract: The technical study of sludge reduction of combining the chemical method with biological method was developed, with integrating the merits of MBR and sludge ozonation. The characteristics of sludge ozonation and its influence on MBR performance were investigated. The solubilization of sludge cell improved with the increase of ozone dose, but the properties of mixed sludge liquor (MLVSS, SCOD) changed slowly when the dose was above 0.16mgO₃/mgMLVSS. Under the optimal dose, 53.1% of MLVSS was solubilized by ozone; while SCOD and TN raised 1287 and 143.9mg/L, respectively. The ratio of C/N in liquor phase was only 8.6 due to the oxidation of organic by ozone. Through parallel running of three MBRs systems (amounts of sludge ozonation were 0, 0.5% and 1% of influence flow rate respectively), ozonation could reduce markedly the sludge production rate of the system (the sludge production rate of 0.5% Q and 1% Q systems were only 0.17 and 0.12kgMLSS/kgCOD, with reduction of 29% and 50% respectively in comparison with the 0 Q system); meanwhile, no obvious influence was observed on nitrification and organic removal, the outflow water quality of the system was good.

Key words: ozonation; sludge reduction; MBR; outflow water quality

活性污泥法作为经济有效的污水处理技术,其运行中会产生大量剩余污泥^[1].如何降低剩余污泥的产量已成为研究的热点.当前,污泥减量技术可以分为 2 类,基于隐性生长的减量技术和基于解偶联生长的减量技术^[2].

膜生物反应器(MBR)通过膜组件对污泥的截留,实现了水力停留时间和污泥停留时间的彻底分离,易于维持反应器内高浓度活性污泥,使得 MBR 具有负荷低,泥龄长的特点.这既保证了系

统良好的出水水质,又强化了污泥的自身氧化和减量^[3].而臭氧近年来被广泛用于污泥的化学法减量研究,此法的最大特点是污泥溶解效率高且臭氧化后的污泥混合液易于生物降解^[4].

作者对污泥臭氧化的特点及其对 MBR 运行效能的影响进行了研究,使系统在获得污泥减量的同时仍然具有优良的出水水质.

收稿日期: 2004-12-02

* 责任作者, 教授, lwang@mail.ouc.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验装置

实验装置由淹没式 MBR 和污泥臭氧接触柱组成.膜为中空纤维聚丙烯超滤膜,总表面积 1.5m²,孔径 0.05μm.反应器有效容积 16.3L,水力停留时间 6h.反应器内的温度和溶解氧分别通过恒温器和气体流量计控制在 21 和 2mg/L 左右.污泥臭氧接触柱内径 5cm,高 1m,臭氧由底部的曝气器进入柱体.经过臭氧化的污泥回流至 MBR 进行下一步的生物降解.实验装置见图 1.

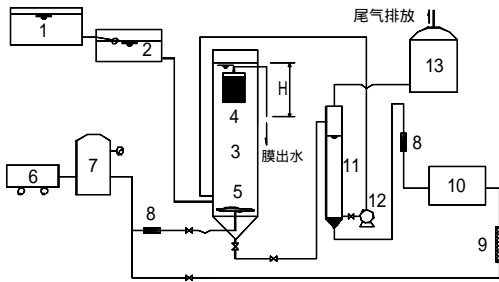


图 1 实验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of the experimental system

- 1.高位水箱 2.平衡水箱 3.好氧反应器 4.超滤膜 5.微孔曝气器 6.空压机 7.贮气罐 8.气体流量计 9.空气干燥器 10.臭氧发生器 11.污泥臭氧接触柱 12.臭氧化污泥回流泵 13.臭氧尾气破坏器

实验用水为哈尔滨工业大学二校区家属区的生活污水,必要时添加淀粉、葡萄糖、NH₄Cl、Na₂HPO₄、NaHCO₃ 以均衡水质.进水 COD 和 NH₃-N 分别控制在约 250,25.4mg/L.

1.2 污泥臭氧化实验

实验目的是寻找一个合适的臭氧投加量,使臭氧尽量用于污泥细胞的破裂和溶解,实验条件为臭氧浓度 1.2mg/L,供给率 4mg/min,反应时间 4h.臭氧投加量定义为进入反应器的臭氧数量(供给率×臭氧化时间)与初始污泥数量的比.

1.3 分析方法

所有分析项目均按文献[5]的方法进行检测,pH 值和溶解氧分别由 pH S-3C 型酸度计和

YSI(MODEL 50B)溶解氧仪测定.

2 结果与讨论

2.1 污泥臭氧化实验

由图 2 可见,臭氧投加量为 0.04~0.32mg/mg MLVSS 时,污泥的溶解和有机物的释放量随着臭氧投加量的增加而增加.但当投加量大于 0.20mg/mgMLVSS 时,污泥的溶解速率明显趋缓,表明过高的臭氧投加量无益于污泥溶解效率的提高,这与 Steensen^[6]的结论一致.而 SCOD 在 O₃ 投加量为 0.16mg/mgMLVSS 时达到极值,说明它在更高的臭氧投加量下易被彻底氧化生成 CO₂.

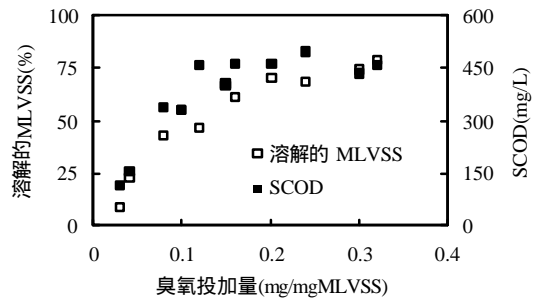


图 2 臭氧投加量对污泥溶解的影响

Fig.2 Effect of ozone dose on sludge solubilization
初始 MLVSS 在 1200~2800mg/L 范围内变化,SCOD 变化量根据 1000mgMLVSS 折算得到

臭氧通过攻击细胞壁中的磷酸酯、蛋白质等有机物使细胞破裂,并释放出细胞质(蛋白质、多聚糖和脂类为主),臭氧通过直接和间接反应将这些溶出物氧化或溶解.最终,污泥被分解成 3 部分,一部分被直接氧化为 CO₂ 和 H₂O;一部分转化成溶解性的中间产物;还有一部分为剩余的惰性物质.考虑到污泥臭氧化混合液中的有机物可以作为反硝化脱氮过程的电子供体,因此污泥臭氧化的目的是尽可能地使臭氧用于污泥细胞的破裂和溶解,而非氧化.因此,确定最佳的臭氧投加量为 0.16mg/mgMLVSS.

表 1 概括了在 0.16mg/mgMLVSS 的臭氧投加量下,污泥臭氧化的特性.由表 1 可见,53.1%的污泥 MLVSS 被臭氧氧化溶解,引起液相中 SCOD 上升.污泥溶出的有机物较大部分被臭氧

溶解到了液相,而其他部分则通过氧化作用损失了^[7].臭氧对细胞中含氮物质的溶解使得液相中 TN 的含量也有升高,变化量与理论值(176.4mg/L)接近.臭氧化对 COD 和 TN 的不同影响使得污泥臭氧化混合液的 SCOD/TN 仅为 8.6,而 Cui 等^[7]的结果为 10.8.这可能与本研究中较低的臭氧浓度有关,臭氧的浓度越小,其溶解污泥的效率也越低,损失的 COD 也就越多^[8].另外,Lin 等人^[9]认为臭氧能有效地氧化亚硝酸盐至硝酸盐,而对氨的氧化能力较弱,这与本研究的结果一致.此外,液相中 TN 主要以有机氮的形式存在.

表 1 污泥混合液臭氧化前后的性状比较

Table 1 Basic characteristics of mixed sludge liquid before and after ozonation

项 目	臭氧化前	臭氧化后	变化值
MLSS(mg/L)	3180	1610	1570
MLVSS(mg/L)	2770	1300	1470
SCOD(mg/L)	30	1317	1287
氨氮(mg/L)	2.8	12.3	9.5
亚硝酸盐氮(mg/L)	0.5	0.2	-0.3
硝酸盐氮(mg/L)	5.4	9.6	4.2
TN(mg/L)	9.2	153.1	143.9
SCOD/TN	3.3	8.6	5.3

2.2 臭氧化对 MBR 运行效能的影响

在此阶段,3 个相同 MBR 系统平行运行,但各自采用不同的污泥臭氧化数量以考察臭氧化对系统污泥产率和污染物去除效率的影响.3 个系统每天臭氧化的污泥数量分别为 MBR 反应器容积的 0、2%和 4%,即进水流量(Q)的 0、0.5%和 1%(分别编号 No.1、No.2 和 No.3).

2.2.1 臭氧化对污泥产率的影响 No.1~No.3 的 MLSS 随着系统的运行均呈现上升的趋势(图 3).其中 No.1 增长最快,在 40d 的运行时间内,MLSS 从 2254mg/L 上升到 6284mg/L,平均污泥产率为 0.24kgMLSS/kgCOD(图 4).而 No.2 和 No.3 的平均产率分别为 0.17,0.12kgMLSS/kgCOD,相比 NO.1 分别下降了 29%和 50%.这表明污泥臭氧化削减了系统的污泥产率,且随着臭氧化污泥的数量增加而增加,与 Egemen 等^[5]的报道相符.

这在单个系统中也有表现,如 No.3 系统,从第 25d 开始 MLSS 一直维持在一个相对稳定且较高的水平,平均污泥产率仅为 0.03kgMLSS/kgCOD.

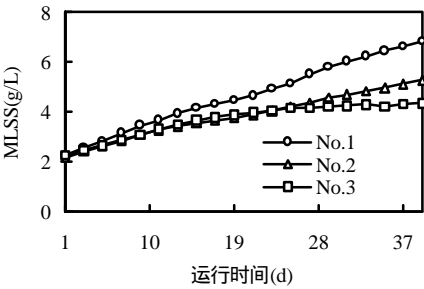


图 3 3 个系统中 MLSS 的变化

Fig.3 Variation of MLSS in the three systems

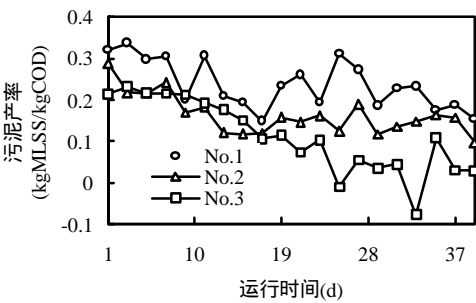


图 4 污泥臭氧化数量对系统污泥产率的影响

Fig.4 Effect of ozonated sludge flow-rate on sludge yield

2.2.2 臭氧化对出水水质的影响 3 个系统对 COD 的去除如图 5 所示.在 No.1 中,MBR 表现出高效稳定的 COD 去除能力,膜出水 COD 浓度一直在 30mg/L 以下.而 No.2 和 No.3 由于臭氧化单元的运行,膜出水 COD 略有上升,但平均维持在 40mg/L 以下.总之,随着臭氧化污泥数量的增加,系统对 COD 去除率依次降低,No.1~No.3 分别为 91.02%、90.80%和 88.46%.臭氧化后的污泥作为底物重新返回入 MBR 反应器增加了系统处理有机物的数量,No.2 和 No.3 实际上去除了比 No.1 更多的 COD,而这部分 COD 等于系统减少的污泥 COD 和被臭氧直接氧化的 COD 之和.尽管污泥的臭氧化过程会伴随难降解物质的产生而增加出水的有机物含量,但对于本研究系统,上述的臭氧化污泥数量并未导致出水 COD 含量的显著

上升,这体现了 MBR 的运行稳定性.

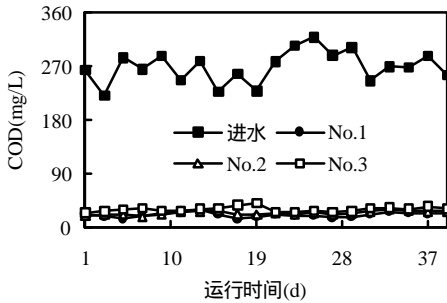


图5 进水和系统膜出水 COD 的变化

Fig.5 Variation of COD of influent and permeate

对系统出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 进行了跟踪测定,考察臭氧化对系统硝化性能的影响.如图 6. 3 个系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除情况与 COD 类似.虽然污泥的臭氧化同样增加了 No.2 和 No.3 的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷,但在本研究的污泥臭氧化数量下,系统的硝化性能没有受到不利影响,这 2 个系统出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的含量长期在 3mg/L 以下,去除率达到 93.81%和 91.36%,与 No.1 的 95.48%相当.这是因为 No.2 和 No.3 中臭氧化的污泥数量为反应器容积的 2%和 4%,使 2 个系统的泥龄分别控制在 50d 和 25d,这对于在 21 运行的活性污泥系统来说,已足够保证硝化的正常进行.

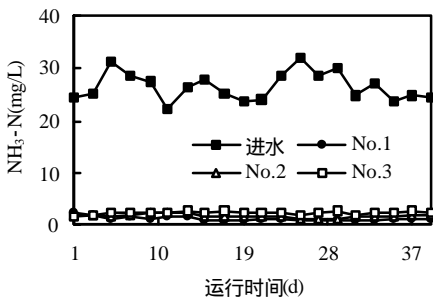


图6 进水和系统膜出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化

Fig.6 Variation of $\text{NH}_3\text{-N}$ of influent and permeate

3 结论

3.1 污泥臭氧化存在一个最佳的臭氧投加量.小于此投加量时,臭氧投加量的增加对污泥性状

的改变明显,反之臭氧化效率下降.本研究得到的最佳投加量为 0.16mg/mgMLVSS.

3.2 在最佳投加量下,53.1%的 MLVSS 被臭氧溶解,液相中 SCOD 和 TN 分别升高 1287mg/L 和 143.9mg/L.臭氧对有机物的氧化使得臭氧化后的污泥混合液的 C/N 仅为 8.6.

3.3 0.5%Q 和 1%Q MBR 系统的污泥产率仅为 0.17,0.12kgMLSS/kgCOD,为 0Q 系统的 71%和 50%;同时臭氧化对系统的硝化和有机物去除作用未产生不利影响,膜出水的水质保持良好.

参考文献:

- [1] 王琳,王宝贞.污泥减量技术[J].给水排水,2000,26(10):28-30.
- [2] 魏源送,樊耀波.污泥减量技术的研究及其应用[J].中国给水排水,2001,17(7):23-26.
- [3] Low E W, Chase H A. The effect of maintenance energy requirements on biomass production during wastewater treatment[J]. Wat. Res., 1999,33(3):847-853.
- [4] Egemen E, Corpening J, Nirmalakhandan N. Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation[J]. Wat. Sci. Tech., 2001,44(2):445-452.
- [5] 国家环境保护总局.水与废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [6] Steensen M. Chemical oxidation of the treatment of leachate process comparison and results from full-scale plants[J]. Wat. Sci. Tech., 1997,35(4):249-256.
- [7] Cui R, Deokjin J. Nitrogen control in AO process with recirculation of solubilized excess[J]. Wat. Res., 2004,38:1159-1172.
- [8] Weemaes M, Grootaerd H, Simoons F, et al. Anaerobic digestion of ozonized biosolids[J]. Wat. Res., 2000,34(8):2330-2336.
- [9] Lin S H, Wu C L. Removal of nitrogenous compounds from aqueous solution by ozonation and ion exchange[J]. Wat. Res., 1996,30(8):1851-1857.

作者简介:蒋轶锋(1978-),男,浙江上虞人,哈尔滨工业大学在读博士生,从事水污染控制技术研究.发表论 4 篇.