

生物接触氧化法的同步硝化反硝化影响因素研究

王永才¹, 陈卫¹, 郑晓英¹, 黄伟丽², 孙俊³

(1. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 常州市武进区农业局, 江苏 常州 213159; 3. 常州市武进区前黄镇人民政府, 江苏 常州 213172)

摘要: 研究了生物接触氧化法同步硝化反硝化系统中 HRT、DO、COD 及生物膜厚度对脱氮效率的影响。结果表明: 在 DO = 2.0 mg/L 的条件下, 出水 COD、TN、NH₄⁺ - N 值随 HRT 的增加呈下降趋势, 在 HRT 达到 8 h 时, 出水 COD、TN、NH₄⁺ - N 值趋于稳定, 去除率分别为 94%、55.9% 和 73.3%; 在 DO 为 2.0 ~ 4.0 mg/L 范围内, 对 TN 的去除率随着反应器内 DO 浓度的降低呈上升趋势, 保持较好脱氮率的溶解氧为 2.5 ~ 3.0 mg/L; 进水 COD 为 400 mg/L 时, 系统对 TN、NH₄⁺ - N 的去除率及容积去除率都处在较高水平, 对 TN 的平均去除率达到 60%; 生物膜厚度对同步硝化反硝化有较大影响, 增加生物膜厚度有利于同步硝化反硝化的进行。

关键词: 生物接触氧化; 同步硝化反硝化; 生物膜

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-4602(2011)07-0022-04

Influencing Factors of Simultaneous Nitrification and Denitrification in Biological Contact Oxidation Process

WANG Yong-cai¹, CHEN Wei¹, ZHENG Xiao-ying¹, HUANG Wei-li², SUN Jun³

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Agricultural Bureau of Wujin District, Changzhou 213159, China; 3. Wujin District Qianhuang Town People's Government, Changzhou 213172, China)

Abstract: The effects of HRT, DO, COD and biofilm thickness on nitrogen removal efficiency of simultaneous nitrification and denitrification system in biological contact oxidation process were investigated. The results show that when DO is 2.0 mg/L, the effluent COD, TN and NH₄⁺ - N are reduced with the increase of HRT and are stable with the removal rates of 94%, 55.9% and 73.3% when the HRT reaches 8 h. The removal rate of TN is increased with the decrease of DO from 4.0 to 2.0 mg/L in the reactor, and the DO for keeping a better nitrogen removal rate is 2.5 to 3.0 mg/L. The removal rates and volumetric removal rates of TN and NH₄⁺ - N are at high level when the influent COD is 400 mg/L, and the average removal rate of TN is about 60%. The biofilm thickness has great influence on the simultaneous nitrification and denitrification in the system. The increase of biofilm thickness is beneficial for simultaneous nitrification and denitrification.

Key words: biological contact oxidation; simultaneous nitrification and denitrification; biofilm

生物接触氧化是将活性污泥法与生物滤池相结合的污水处理技术, 其实质是在反应器内填充填料,

其上生长生物膜,通过曝气为微生物提供氧气,利用其新陈代谢作用使污水得到净化^[1]。

同步硝化反硝化(SND)是指在好氧的情况下,生物反应器中同时发生了硝化和反硝化过程^[2,3]。生物接触氧化法结合了活性污泥法与生物滤池的优点,可以在反应器内形成液、固、气三相共存体系,为SND的发生创造了良好的环境^[4,5]。

笔者采用生物接触氧化法处理生活污水,考察了实现同步硝化反硝化的可行性和主要影响因素,这包括:各种氮在反应过程中的变化情况;溶解氧、生物膜厚度和进水水质对同步硝化反硝化的影响;在此基础上探讨同步硝化反硝化的机理,并给出优化运行的初步建议。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验装置采用有机玻璃制成(如图1所示),内径为130 mm,有效容积为10 L。采用蠕动泵从反应器下端间歇进水。填料选用组合软性填料,它具有传质好、氧利用率高、不堵塞、耐冲击、处理效果稳定等优点,填料圆片直径为120 mm,串距为30 mm,装填量为500个/m³,在生物膜成熟后测得装填密度为15%左右。

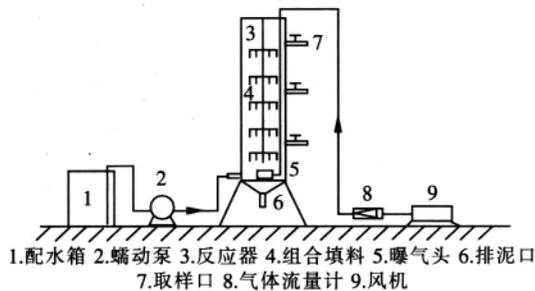


图1 试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

1.2 试验水质

采用自来水、葡萄糖、氯化铵、磷酸二氢钾、硫酸镁、碳酸氢钠、氯化钙、硫酸锰、氯化铁等配制模拟生活污水,其水质见表1。

表1 污水水质

Tab. 1 Raw wastewater quality

项目	COD/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	pH 值
数值	400	25	25	2.5	7.5

1.3 检测方法

温度: 温度计, pH值: 便携式pH计, DO: 便携式

溶氧仪, COD: 快速消解分光光度法, TN: 碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法, NH₄⁺-N: 纳氏试剂比色法, NO₃⁻-N、NO₂⁻-N: 标准方法, TP: 钼酸铵分光光度法。

1.4 试验方法

试验操作流程为进水—曝气反应—出水。利用蠕动泵从反应器下端一次性进水10 L,待反应结束后从下端排泥口排水,由于填料上的微生物呈固着态,因此每个周期经处理过的污水几乎可以完全排尽,提高了对池容的利用率。

2 结果与讨论

2.1 HRT对同步硝化反硝化效果的影响

待装置挂膜稳定后,考察不同HRT下反应器的SND效果,并确定最佳HRT。进水后维持反应器内DO为2.0 mg/L,每隔1 h取样检测一次,记录COD、NH₄⁺-N、TN等指标的浓度随反应时间的变化规律,结果见图2。

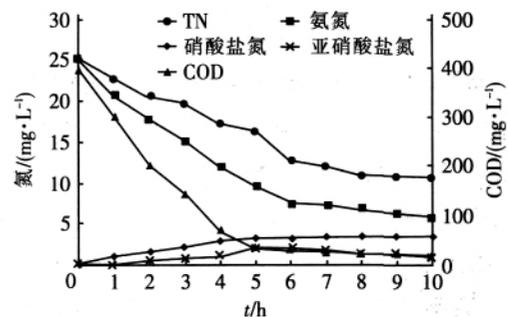


图2 各指标值随反应时间的变化

Fig. 2 Variation of pollutants concentration with time

从图2可以看出,生物膜反应器表现出良好的同步硝化反硝化特性,NH₄⁺-N浓度随曝气反应的进行而逐渐降低,最后随着碳源的耗尽则其值逐渐趋于平稳,NO₂⁻-N浓度先逐渐升高再降低,如果曝气时间足够长,NO₂⁻-N浓度将降至零。开始4 h内COD值迅速下降,去除率达到82.4%,6 h后去除率达到94%左右,同时对氮的去除速率也开始下降,反应8 h后,TN、氨氮值基本维持稳定,去除率分别达到55.9%与73.3%。可见,即使再延长反应时间,也只能将余下的氨氮转化为NO_x⁻-N,并不能提高对TN的去除率,因此确定适宜的HRT为8 h。

2.2 DO对同步硝化反硝化效果的影响

改变反应器内的DO值,考察DO对TN、氨氮的去除率及其容积去除率的影响。TN容积去除率是指在单位时间内单位反应器体积去除的TN量,它

能反映对 TN 的平均去除速率。结果见图 3。

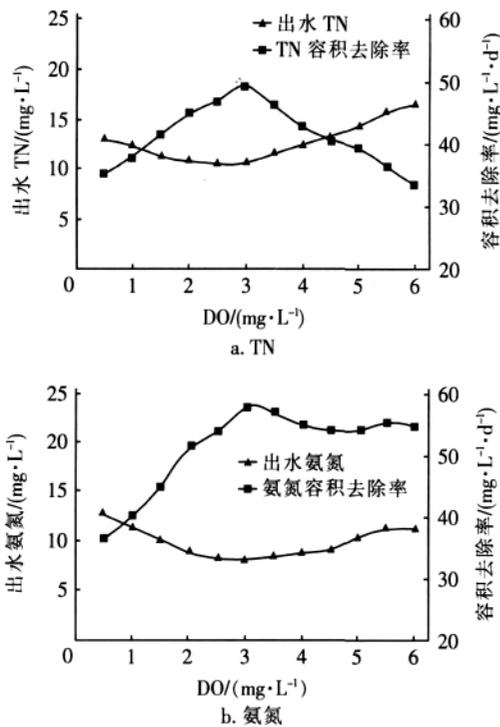


图 3 溶解氧对去除 TN 和 NH₄⁺ - N 的影响

Fig. 3 Influence of DO on TN and NH₄⁺ - N removal

从图 3 可以看出,反应器出水 TN、NH₄⁺ - N 值随 DO 浓度的增加呈先下降后上升趋势,其中在 DO = 2.5 ~ 3.0 mg/L 时出水 TN、NH₄⁺ - N 的浓度达到最低,去除率分别为 58.56%、67.52%,并且对 TN 和 NH₄⁺ - N 的容积去除率也处在较高的水平,分别为 49.51、57.87 mg/(L·d);当 DO > 4.0 mg/L 后,出水 TN 值陡然升高,对 TN 的容积去除率也快速下降,而出水 NH₄⁺ - N 值变化平缓,NH₄⁺ - N 容积去除率一直处于较高水平。

从上述现象分析,DO 浓度对同步硝化反硝化的影响较大。在生物膜系统中,膜的更新主要受反应器内剪切作用的影响,只有适宜的剪切条件才能维持生物膜的更新和持续生长。而曝气是剪切力的主导作用,因此,反应器内的溶解氧控制不仅要满足微生物生长的需要,又要满足生物膜的更新要求。系统的 DO 为 2.5 mg/L 时,对 TN 的去除效果最好,当 DO = 3.0 mg/L 时对 TN 的容积去除率最高。在 DO > 4.0 mg/L 时,出水 TN 浓度陡然升高,这是由于生物膜内部的缺氧微环境遭到破坏,影响到了反硝化效果;而当 DO < 2.0 mg/L 时出水 TN 浓度也较高,且容积去除率较低,这是因为硝化效果受到抑

制,导致对 TN 的容积去除率低,同时 DO 浓度较低也会影响生物膜的更新,老化的生物膜无法脱落将导致生物膜活性的下降,影响其生物降解功能^[6,7]。

在实际的运行中,建议将 DO 控制在 2.5 ~ 4.0 mg/L 之间的偏低水平,在 DO = 2.5 mg/L 时,虽然对 TN 的容积去除率不是最高,但能耗低且出水水质稳定。

2.3 C/N 值对同步硝化反硝化效果的影响

改变进水 COD 浓度而保持其他指标值不变,在 DO 为 2.0 ~ 2.5 mg/L 的条件下,反应器出水 TN、NH₄⁺ - N 浓度及其容积去除率的变化见图 4。

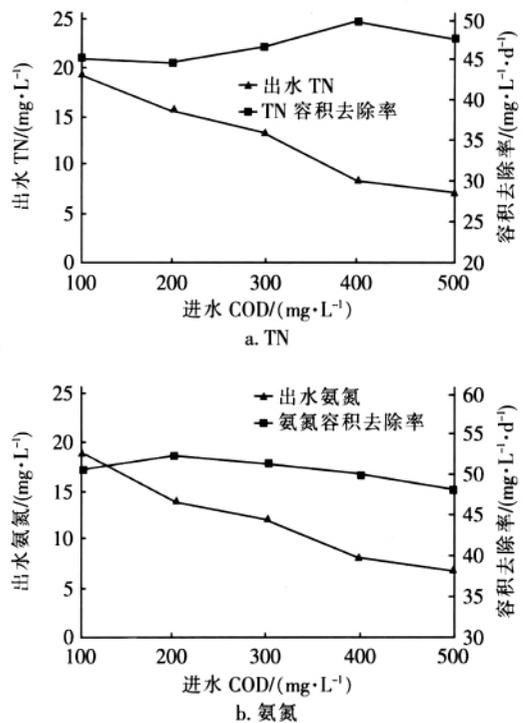


图 4 进水 COD 浓度对去除 TN 及氨氮的影响

Fig. 4 Influence of influent COD on TN and NH₄⁺ - N removal

从图 4 可以看出,增加进水 COD 浓度有利于同步硝化反硝化的进行,在较高进水 COD 浓度范围内,对 TN、NH₄⁺ - N 的容积去除率只有较小的波动,基本在一个水平上,而出水 TN、NH₄⁺ - N 浓度均随着进水 COD 浓度的增加而下降。

一些研究都提到提高原水 C/N 值能促进同步硝化反硝化^[8-10],试验也证明了这一点。从试验结果看,反应器的处理效率受 C/N 值的影响不大,而出水 TN 浓度受进水 COD 浓度的影响较大。当 C/N 值较小时,主要表现为反硝化碳源不足,出水硝态

氮浓度明显升高,而且当硝化反应进行到后期时,反应器内溶解氧会迅速升高,从而抑制反硝化的进行。对于处理实际污水又采用同步硝化反硝化的情况,为保证出水 TN 浓度符合排放标准,在进水 C/N 值较低时应有后续处理措施,如继续反硝化^[4]。否则,应对进水水质进行控制,适当投加部分碳源。

2.4 生物膜特性对同步硝化反硝化的影响

通过对反应器进行搅动和反冲洗,逐渐降低生物膜的厚度,考察生物膜厚度的变化对同步硝化反硝化的影响。其中,生物膜厚度采用如下估算方法获得:将填料串提起,并悬挂至无明显水滴滴下,用刀片刮开生物膜,目测卡尺读数,如发生生物膜堆积现象则不计在内^[4]。结果见表 2。

表 2 生物膜厚度对 SND 的影响

Tab.2 Influence of biofilm thickness on SND

项 目		容积去除率/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	
		$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TN
生物膜 厚度/mm	1.5 ~ 2.5	54.96	49.53
	0.8 ~ 1.5	52.14	40.72
	0.2 ~ 0.8	49.26	29.94

生物膜有很强的吸附和储碳能力,在反应初期将部分有机物吸附、输送到生物膜内部,可作为反硝化的碳源。从表 2 可以看出,随生物膜厚度的减小,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的容积去除率基本没有什么影响,而对 TN 的容积去除率降低。这是因为当生物膜的厚度减小时,破坏了生物膜内部的缺氧环境,导致反硝化能力不足。

3 结论

① 延长水力停留时间有利于对污染物的降解,在试验条件下最佳水力停留时间为 8 h。

② 降低反应器内溶解氧浓度有利于 SND 的进行,当 $\text{DO} = 2.5 \text{ mg/L}$ 时效果达到最佳,而当溶解氧 $> 4.0 \text{ mg/L}$ 后,反硝化的作用大幅下降。

③ 适当增加生物膜厚度有利于 SND 的进行。

④ 有机底物浓度对 TN 容积去除率的影响较小,但出水 TN 浓度随进水 COD 浓度的增加而降低。

⑤ 控制溶解氧浓度、生物膜厚度、进水 COD

浓度和合适的操作方法,通过同步硝化反硝化能使 TN 的去除率达到 52% ~ 70%。

参考文献:

- [1] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程下册(第 4 版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [2] Hibiya K, Terada A, Tsuneda S *et al.* Simultaneous nitrification and denitrification by controlling vertical and horizontal microenvironment in a membrane-aerated biofilm reactor[J]. J Biotechnol, 2003, 100(1): 23-32.
- [3] Yoo H, Ahn K, Lee H *et al.* Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in an intermittently-aerated reactor[J]. Water Res, 1999, 33(1): 145-154.
- [4] 李军,彭永臻,顾国维,等. SBBR 同步硝化反硝化处理生活污水的影响因素[J]. 环境科学学报, 2006, 26(5): 728-733.
- [5] 郭冬艳,李多松,孙开蓓,等. 同步硝化反硝化生物脱氮技术[J]. 安全与环境工程, 2009, 26(5): 41-44.
- [6] Poehana K, Keller J, Lant P. Model development for simultaneous nitrification and denitrification[J]. Water Sci Technol, 1999, 39(1): 235-243.
- [7] Spagni A, Marsili-Libelli S. Nitrogen removal via nitrite in a sequencing batch reactor treating sanitary landfill leachate[J]. Bioresour Technol, 2009, 100(2): 609-614.
- [8] 吕其军,施永生. 同步硝化反硝化脱氮技术[J]. 昆明理工大学学报:理工版, 2003, 28(6): 91-95.
- [9] Pochana K, Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification[J]. Water Sci Technol, 1999, 39(6): 61-68.
- [10] Peng Y, Hou H, Wang S *et al.* Nitrogen and phosphorus removal in pilot-scale anaerobic-anoxic oxidation ditch system[J]. J Environ Sci, 2008, 20(4): 398-403.

作者简介:王永才(1985-),男,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为水处理理论与技术。

E-mail: hohaiwyc@163.com

通讯作者:陈卫

收稿日期:2010-10-16