

缺氧生物膜滤池的自养脱氮性能研究

张树德¹, 李捷², 杨宏¹, 张杰^{1,2}

(1 北京工业大学 水质科学与水环境恢复工程实验室, 北京 100022; 2 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 在成功实现亚硝酸盐自养脱氮(厌氧氨氧化)的基础上,探讨了亚硝酸盐浓度对缺氧生物膜滤池脱氮性能的影响。结果显示,在一定范围内提高亚硝酸盐浓度可加快氨氮去除速率,当 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 为 118.4 mg/L 时氨氮去除速率达到最大;此后,进一步提高进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度会对氨氮的去除产生明显的抑制作用,导致反应速率下降,但此时的厌氧氨氧化菌仍具有较高的活性;为获得良好的脱氮效果,应控制进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值为 1.3。

关键词: 自养脱氮; 缺氧生物膜滤池; 厌氧氨氧化; 亚硝酸盐

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2005)10-0058-03

Performance of Autotrophic Nitrogen Removal in Anoxic Bio-film Filter

ZHANG Shu-de¹, LI Jie², YANG Hong¹, ZHANG Jie^{1,2}

(1 Key Lab of Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: In the successful achievement of autotrophic nitrogen removal for nitrite (anaerobic ammonia oxidation), the effect of nitrite concentration on nitrogen removal in anoxic bio-film filter was investigated. The result shows that increase of nitrite concentration to some degree can quicken the removal rate of ammonia nitrogen, with the highest removal rate at $\text{NO}_2^- - \text{N}$ of 118.4 mg/L. Afterwards, further increase of influent $\text{NO}_2^- - \text{N}$ will greatly inhibit the removal, resulting in the reduced reaction rate, but anaerobic ammonia-oxidizing bacteria still has higher activity. The influent $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ratio shall be controlled at 1.3, so as to obtain favorable nitrogen removal effect.

Key words: autotrophic nitrogen removal; anoxic bio-film filter; anaerobic ammonia oxidation; nitrite

1 材料与方法

下向流生物膜滤池为有机玻璃制成,容积为 8 L,填料采用页岩(粒径为 2.5~5 mm),填充高度为 1.6 m。以生活污水处理系统的二沉池出水为研究对象,其 COD 为 25~40 mg/L, TOC 为 9~12 mg/L,水

温为 25~28℃。为满足厌氧氨氧化(ANAMMOX)工艺对进水水质的要求,投加亚硝酸盐使滤池进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的配比满足不同的试验需求。

所有项目的检测均在北京工业大学水质科学与水环境恢复工程实验室完成,具体方法参见《水和

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2003AA601010)

废水监测分析方法》^[1]。

2 结果与讨论

2.1 亚硝酸盐浓度对自养脱氮速率的影响

国内外的研究结果显示,亚硝酸盐氮和氨氮浓度过高均会对厌氧氨氧化过程产生抑制。Christian Fux, Strous^[2,3]等认为,当 $\text{NO}_2^- - \text{N} > 100 \text{ mg/L}$ 时能完全抑制厌氧氨氧化菌的活性;而 Jetten 等^[4]认为,只有当 $\text{NO}_2^- - \text{N} > 280 \text{ mg/L}$ 时,ANAMMOX 过程才会被抑制。虽然对于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的抑制浓度各研究者的结果不同(这可能与试验水质及所采用的工艺形式有关),但都认为高浓度的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 会对 ANAMMOX 过程产生抑制作用。

笔者将 ANAMMOX 成功地应用于生活污水的深度处理中,并考察了 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的抑制作用,结果见表 1。

表 1 不同 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 时氨氮的去除速率

Tab 1 Ammonia nitrogen removal rate at different ratio of

$\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$

项目	$\text{NH}_4^+ - \text{N}_{\text{原水}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\text{NO}_2^- - \text{N}_{\text{原水}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	氨氮去除速率 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$
数值	36 ~ 40	15.4	1.04
		34.1	1.78
		53.1	2.63
		67.7	2.91
		106.3	3.25
		118.4	3.28
		124.5	3.02
		136.0	2.51

由于沿水流方向参加反应的基质浓度逐渐降低,而反应速度与基质物浓度有关,故以沿水流方向 0 ~ 20 cm 段滤层的氨氮平均去除速率来表示 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的抑制作用。

由表 1 可知,随着原水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的升高则氨氮去除速率增大,当进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 为 118.4 mg/L 时氨氮去除速率达到最大,此后再提高原水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度氨氮去除速率反而变小,这说明高浓度的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ($> 118.4 \text{ mg/L}$) 会对 ANAMMOX 反应产生抑制作用,但此时的 ANAMMOX 反应并没有停止,厌氧氨氧化菌仍具有较高的活性。

2.2 适宜 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值的确定

不同 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值时缺氧生物膜滤池的脱氮效果如图 1、2 所示。

由图 1 可知,在保持进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 稳定的前提

下,提高 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度可促进对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除。由图 2 可知,当 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 1.3$ 时出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 趋于零,而 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1.4$ 时出水中仍残留有部分 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 。

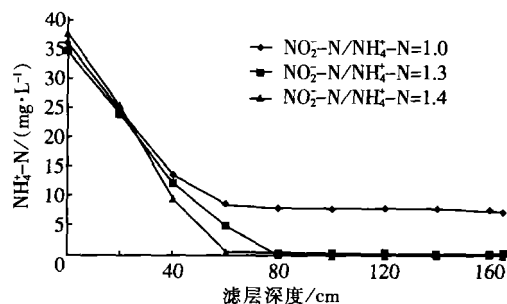


图 1 对氨氮的去除效果

Fig 1 Ammonia nitrogen removal effect

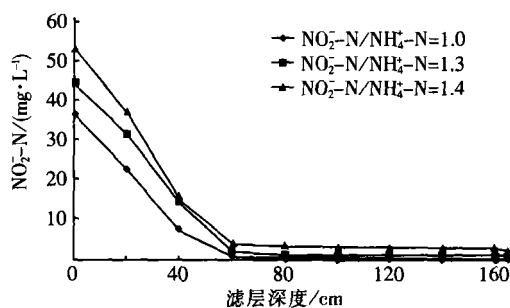


图 2 对亚硝态氮的去除效果

Fig 2 Nitrite removal effect under different ratio of

$\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$

综合图 1、2 可知,当进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1.0$ 时,由于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 不足(厌氧氨氧化菌得不到充足的电子受体), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 未得到完全去除反应就已停止;当进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1.4$ 时 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 充足,氨氮去除速率较高,但出水中残留有 $\text{NO}_2^- - \text{N}$;当 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1.3$ 时电子受体与电子供体完全反应,出水中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 都趋于零。可见,在将 ANAMMOX 用于生活污水(低氮废水)的深度处理时,控制进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1.3$ 可获得良好的脱氮效果,这也证实了 Marc Strous 通过元素平衡做出的厌氧氨氧化化学计量关系的推断。

3 结论

当把自养脱氮技术应用于生活污水的深度处理时,在一定范围内提高进水亚硝酸盐浓度能加快反应进程,当 $\text{NO}_2^- - \text{N} > 118.4 \text{ mg/L}$ 后,随 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的升高则其去除速率下降,说明高浓度的 NO_2^-

- N 对 ANAMMOX 反应存在明显的抑制作用,但此时的 ANAMMOX 菌仍具有较高的活性。从总体脱氮效果考虑,适宜的进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值为 1.3。

参考文献:

- [1] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 (第 3 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1998
- [2] Christian Fux, Marc Boethler, Philipp Huber, *et al* Biological treatment of ammonium - rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant [J]. Biotechnology,

2002, 99: 295 - 306

- [3] Strous M, Kuenen J G, Jetten M S M. Key physiology of anaerobic ammonium oxidation [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65 (7): 3248 - 3250.
- [4] Mike S M Jetten, Marc Strous, Katinka T van de Pas - Schoonen, *et al* The anaerobic oxidation of ammonium [J]. FEMS Microbiology Reviews, 1999, 22 (6): 421 - 437.

电话: (010) 67391648 ×4

E - mail: waterchina@emails.bjtu.edu.cn

收稿日期: 2005 - 04 - 10

· 会 讯 ·

西门子公司在上海举行水处理技术新闻发布会

2005 年 8 月 23 日上午, 西门子公司工业系统及服务集团在上海举行新闻发布会, 集团总裁海思乐 (Joergen Ole Haslestad) 先生和西门子 (中国) 有限公司总经理林汉威先生 (Mr Hans - Werner Linne) 在会上宣布, 自 2004 年夏季收购美净公司 (US Filter Corporation) 之后, 西门子工业系统及服务集团 (I & S) 目前已建立了水技术部, 它将面向水处理行业提供各类产品、系统、服务和自动化解决方案。

西门子还凭借其全球超过 20×10^4 套的水和废水处理装置的运行, 已能够满足最严格的法规要求和最苛刻的工业标准。通过收购美净公司, 工业系统及服务集团 (I & S) 已扩大其产品系列的范围, 包括膜、紫外线和臭氧技术。西门子工业系统及服务集团 (I & S) 还决定加大对其合资公司: 国美 (天津) 水务设备工程有限公司的投资, 并增强和中国市政工程华北设计研究院的合作。国美 (天津) 水务设备工程有限公司旨在提供适合于中国水和废水处理行业的创新产品和解决方案。“中国供水和废水处理市场需要本地化技术和本地化解决方案”, 林汉威先生在上海的新闻发布会上表示: “该合资公司为巩固西门子在快速增长的中国水市场的地位方面提供了新的机会”。国美 (天津) 水务设备工程有限公司拥有经验丰富的水处理技术人才, 可以制造并销售由西门子设计的符合当地标准的设备。为实现业务的快速增长, 经双方合作协商, 决定扩大天津合资公司的产品种类和数量。“这种合作伙伴关系有利于西门子将当地的人力和生产资源与其自身的技术优势有机结合, 更好地拓展当地销售渠道、资源和服务”。迄今, 西门子和国美 (天津) 水务设备工程有限公司已为十多个污水处理项目提供了交钥匙工程服务。西门子公司预测在 2010 年前, 为了满足每年 3% 的饮用水增长量, 中国的城镇还将新建 800 至 900 座饮用水处理工厂; 每年 10% 的污水增长量, 将使污水处理厂的数量由现在的约 700 座至少翻一番。根据林汉威先生的观点, 未来 5 年内中国在水行业的投资将翻一番, 达到 400 亿元人民币。

西门子公司将以其产品、技术和服务为中国水行业的发展做出自己的贡献, 在提供电气和自动化解决方案的同时, 还将从其下列公司为中国提供解决方案和产品: Envirex (粉末状活性炭处理和湿式空气氧化系统)、Wallace & Tieman (氯气消毒)、Memcor (膜过滤) 以及 Ionpure (连续电解式去离子技术)。到 2010 年, 西门子 (中国) 有限公司的销售额将超过 2.5 亿美元, 水处理解决方案业务将成为一个新的亮点。西门子水技术部 (Siemens Water Technologies) 面向全球市政、工业、商业和机构客户提供节约成本的、可靠的水和废水处理系统及服务。水技术部是西门子工业系统及服务集团 (I & S) 的分支机构, 可提供创新型解决方案和服务, 用于提高加工制造业和基础设施行业的竞争能力。2004 财政年度 (截至 9 月 30 日) 工业系统及服务集团 (I & S) 在全球范围的员工总数达到 3 万人, 实现销售总额 42.90 亿欧元。欲了解更多信息, 请登陆公司网站: www.usfilter.com 和 www.siemens.com。

(本刊编辑部 报道)