

# 乙酸钠为碳源时缺氧生物滤池深度脱氮研究

袁 敏<sup>1</sup>,周 琪<sup>1</sup>,杨殿海<sup>1</sup>,李树苑<sup>2</sup>,张怀宇<sup>2</sup>,何 飞<sup>2</sup>

(1.同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室,上海 200092;

2.中国市政工程中南设计研究院,湖北 武汉 430010)

摘 要:以乙酸钠为碳源,进行了生物滤池深度脱氮试验研究。结果表明,随着乙酸钠浓度的增大,生物滤池出水中总氮浓度越低,其去除率呈上升趋势。当乙酸钠浓度为 40mg/L 时,生物滤池出水中总氮低于 3.95mg/L,污水总氮去除率均在 59%以上;当乙酸钠浓度为 50mg/L 时,生物滤池出水中总氮低于 1.50mg/L,污水总氮去除率均在 88%以上;当乙酸钠浓度为 60mg/L 时,生物滤池出水中总氮低于 1.35mg/L,污水总氮去除率均在 89%以上。当滤速在 3~8m/h 间发生变化时,陶粒滤池的脱氮效果相差不显著;砂滤池脱氮效果稍好于陶粒滤池。

关键词:乙酸钠;碳源;生物滤池;深度脱氮

中图分类号:X703.1

文献标识码:A

文章编号:1000-3770(2008)06-023-03

水体富营养化会导致水环境质量日益恶化,对地表水体的生态系统及环境卫生方面造成严重影响<sup>[1-3]</sup>。目前我国的水体污染中氮已经逐渐上升为主要污染物,而且大部分南方城市的污水中 COD 值偏低,VFA 含量更低,只有每升几十个毫克。所以,开发出一种高效节能又适合城市污水中碳源不足的脱氮处理技术,具有非常现实的意义。生物滤池中生物浓度高、菌群结构合理、耐冲击能力强、受气温影响小、污泥停留时间长、占地省、运行操作简单等特点决定了它比一般的生物处理工艺更有优势<sup>[3]</sup>。昆明某污水处理厂的进水有机物浓度较低,要使出水总氮<10mg/L(保护滇池水体的需要),需采用补充碳源深度脱氮除磷工艺作进一步的处理。目前,寻找利用率高且不产生副产物的高效碳源引起了学者们的关注<sup>[4]</sup>。本文采用以乙酸钠为碳源缺氧生物滤池处理该污水厂的二级出水,通过调整工艺参数探讨其脱氮机理,探索可以获得高效、廉价的深度脱氮除磷污水处理技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 原水水质与试剂

试验进水为昆明市某污水处理厂二沉池出水,

试验期间(平均值)BOD<sub>5</sub>为 16.25mg/L,COD 为 55.35mg/L,SS 值为 8.45mg/L,TN 为 11.20mg/L,TP 为 0.35mg/L,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为 0.29mg/L。乙酸钠为分析纯。

### 1.2 试验装置

试验装置如图 1 所示。生物滤池(共 5 个)由铸铁管加工而成,直径为 10cm,高 350cm,(对照池)0<sup>#</sup>和 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>滤池内填装厚为 180cm 陶粒填料,陶粒粒径 2~3mm;4<sup>#</sup>生物滤池填装厚为 180cm 的石英砂,粒径为 1.5~2mm,垫层均为卵石。配水、反冲洗以及加药所用水箱体积为 0.125m<sup>3</sup>(0.50m×0.50m×0.50m),进水通过计量泵进入生物滤池顶端进水口,经过生物滤池滤料,从下部的出水口排出。反冲洗水从生

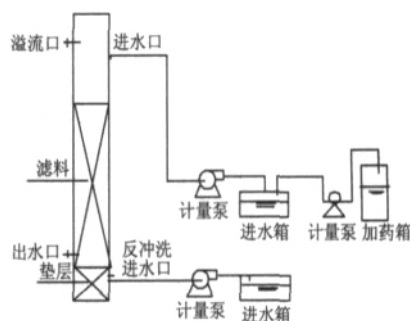


图 1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental setup

收稿日期 2007-11-05

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2005AA601010)

作者简介:袁 敏(1980-),男,博士研究生,主要从事水污染控制与资源化、环境毒理学方面的研究

联系电话:13648838284,E-mail:ym791114@yahoo.com.cn.

物滤池底部进入,从生物滤池上部溢流口排出。

试验中考察了乙酸钠投加量分别为 40、50、60mg/L 时对污染物的去除效果。补充碳源后原水的 C/N 比值分别为 11.14、11.18、11.76,相应的进水水质见表 1。

表 1 进水水质(mg/L)

Table 1 Characteristic of raw wastewater				
乙酸钠投加量	TN	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N
40	9.71	7.13	0.39	0.02
50	12.13	8.99	0.33	0.01
60	11.76	9.04	0.16	0.01

1.3 分析项目和方法

COD:重铬酸钾法<sup>[5]</sup>;TN:紫外分光光度法;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N:紫外分光光度法;NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N:N-(1-萘基)-乙二氨光度法;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N:钠氏试剂光度法;pDO、温度:YSI 便携式溶解氧测量仪;pH:pH 计;TP:过硫酸钾消解-分光光度法,测定频率为 1 次/d。

2 结果与讨论

2.1 生物滤池脱氮效果

生物滤池的脱氮效果见表 2。由表 2 可知,投加乙酸钠可提高生物滤池对进水中 TN 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除效果,且砂滤池的去除效果优于陶粒滤池。滤池出水中的 TN 随着滤速的变化其去除规律不明显,说明滤速对生物滤池的脱氮效果的影响不显著;对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除规律与总氮的相似,表明进水中的 TN 主要是通过生物滤池对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的反硝化作用去除的。投加了乙酸钠后生物滤池出水中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 及 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度较对照滤池均有所增加。

由表 2 可知,加乙酸钠的生物滤池出水中 TN 浓度显著低于对照滤池,而且随着乙酸钠投加量的增加生物滤池对污水中 TN 的去除效果增强。当乙酸钠浓度为 40mg/L 时,不同滤速加药滤池出水中 TN

均低于 3.95mg/L。0~4# 滤池对污水中 TN 的去除率分别为 5.22%、66.02%、59.81%、59.78%、71.73%;当乙酸钠浓度为 50mg/L 时,不同滤速加药滤池出水中 TN 均低于 1.50mg/L。0~4# 滤池对污水中 TN 的去除率分别为 4.27%、90.37%、89.21%、87.96%、90.51%;当乙酸钠浓度为 60mg/L 时,不同滤速加药滤池出水中 TN 均低于 1.35mg/L。0~4# 滤池对污水中 TN 的去除率分别为 -0.15%、88.78%、89.25%、89.45%、89.95%。从上可知,当乙酸钠浓度为 50mg/L 时,生物滤池可以达到较好的除氮效果。随着乙酸钠浓度的进一步增加,TN 去除率增幅很小,且滤池出水中 COD 大于 60mg/L,因此确定乙酸钠的较佳投量为 50mg/L。

2.2 出水中 DO、pH 和 COD 的变化趋势

试验结果表明,投加乙酸钠后生物滤池出水中 DO 均呈现出相同的变化趋势,加药滤池出水中 DO 浓度均显著低于对照滤池。0~4# 滤池的 DO 平均值分别为 0.76、0.41、0.42、0.18、0.17mg/L。生物滤池中 TN 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 呈现出较好的相关性,说明投加乙酸钠后生物滤池中存在丰富的亚硝酸盐细菌,这与 Hanaki K<sup>[6]</sup>等的研究相似,低的 DO 不会对氨的氧化产生影响,因为在低的 DO(0.5mg/L)条件下,亚硝酸细菌的生长量会增加,恰好补偿了 DO 太低引起的氨氧化速率的降低。王歆鹏、陈坚等<sup>[7]</sup>也发现在低的 DO(<0.8mg/L)会对硝酸细菌的生长酶系产生抑制作用,而对亚硝酸细菌的生长酶系则会起到促进的作用。进水中 pH 值为 7.81。0~4# 滤池出水中 pH 值分别为 7.69、8.27、8.39、8.36、8.38,可见加乙酸钠的生物滤池出水中 pH 值较对照滤池有所增加,说明在微生物脱氮的过程中将消耗一定量的碱度,而采用投加乙酸钠为碳源的方法可以补偿所消耗的碱度,保证滤池中反硝化反应的顺利进行。随着乙酸

表 2 生物滤池的脱氮效果  
Table 2 Nitrogen and phosphorus removal by biofilter  
表 2(a) TN、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的脱氮效果

乙酸钠 (mg/L)	滤速(m/h)					TN(mg/L)					NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)				
	0#	1#	2#	3#	4#	0#	1#	2#	3#	4#	0#	1#	2#	3#	4#
40	3.22	3.23	5.01	7.7	3.14	9.20	3.30	3.90	3.91	2.75	7.27	2.07	2.17	2.07	1.66
50	3.25	3.11	4.96	8.02	2.93	11.61	1.17	1.31	1.46	1.15	8.91	0.27	0.33	0.33	0.25
60	3.19	3.19	4.85	7.76	3.11	11.78	1.32	1.26	1.24	1.18	9.03	0.23	0.13	0.14	0.15

表 2(b) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的脱氮效果

乙酸钠 (mg/L)	滤速(m/h)					NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)					NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)				
	0#	1#	2#	3#	4#	0#	1#	2#	3#	4#	0#	1#	2#	3#	4#
40	3.22	3.23	5.01	7.7	3.14	0.24	0.28	0.20	0.21	0.21	0.04	0.79	1.02	0.95	1.30
50	3.25	3.11	4.96	8.02	2.93	0.15	0.28	0.32	0.25	0.20	0.01	0.27	0.43	0.46	0.36
60	3.19	3.19	4.85	7.76	3.11	0.18	0.20	0.22	0.30	0.13	0.01	1.04	1.13	1.10	0.78

钠浓度的增加,生物滤池出水中的 COD 浓度也有所增加,当乙酸钠浓度 50mg/L 时,滤池出水中 COD 浓度均少于 60mg/L,当添加的乙酸钠浓度为 60mg/L 时,除 3<sup>#</sup> 滤池出水中的 COD 浓度为 99mg/L 外,1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 滤池出水中 COD 均高于 100mg/L。当乙酸钠浓度为 40mg/L 时,滤池进水中 C/N 为 11.14,当浓度为 50mg/L 时,C/N 为 11.18,当浓度为 60mg/L 时,C/N 为 11.76,C/N 的增加提高了生物滤池中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的反硝化速率,降低了生物滤池出水中 TN 的浓度,达到了深度脱氮的目的。

### 3 结 论

通过以乙酸钠为碳源,提高污水中的 C/N 比,可显著提高生物滤池污水中硝酸盐氮的反硝化速率,降低滤池出水中总氮浓度,实现了补充碳源缺氧生物滤池深度脱氮的目的。

乙酸钠的加入改善了生物滤池中的微环境,滤池出水中 DO 均在 0.41mg/L 以下,滤池缺氧环境有利于反硝化细菌的生长与繁殖,促进了污水反硝化反应的进程,有利于污水中总氮的去除。

通过对乙酸钠 3 种不同浓度的缺氧生物滤池深度脱氮的比较实验,可知当乙酸钠浓度为 50mg/L

时,生物滤池可以达到较好的除氮效果,随着乙酸钠浓度的进一步增加,TN 去除率增幅不大,且滤池出水中 COD 大于 60mg/L,因此可认为 50mg/L 是其较佳投药量。

当滤速在 3.0~8.0m/h 间发生变化时,陶粒滤池的脱氮效果相差不显著;砂滤池的脱氮效果稍好于陶粒滤池。

### 参考文献:

- [1] 孙锦宜. 含氮废水处理技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003:36-45.
- [2] 郑兴灿, 李亚新. 污水脱氮除磷技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998:6-8.
- [3] Chui P C, Terashima Y, Tay J H, et al. Performance of a partly aerated biofilter in the removal of nitrogen [J]. Wat Sci Tech., 1996,34 (12): 187-194.
- [4] 高景峰, 彭永臻, 王淑莹, 等. 不同碳源及投量对 SBR 法反硝化速率的影响[J]. 给水排水,2001,7(5): 55-58.
- [5] 国家环境保护总局编. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] Hanaki K, Wantawin C, Ohgaki S. Nitrification at low levels of dissolved oxygen with and without organic loading in a suspended growth reactor[J]. Water Res., 1990,24(3):297-302.
- [7] 王歆鹏, 陈坚, 华兆哲, 等. 硝化菌群在不同条件下的增殖速率和硝化活性[J]. 应用与环境生物学报,1999,5(1):64-68.

## ACETATE SODIUM AS EXTERNAL CARBON SOURCE FOR NITROGEN REMOVAL IN ANOXIC BIOLOGICAL FILTER

YUAN Min<sup>1</sup>, ZHOU Qi<sup>1</sup>, YANG Dian-hai<sup>1</sup>, LI Shu-yuan<sup>2</sup>, ZHANG Huai-yu<sup>2</sup>, HE Fei<sup>2</sup>

(1. State Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Middle-South China Municipal Engineering Design and Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The acetate sodium as external carbon source for biological nutrient removal in biological filter was studied. The results showed that the concentration of TN is lower with increasing of acetate sodium concentration in the biofilter. When acetate sodium concentration was at 40mg/L, the sewage nitrogen is lower than 3.95mg/L, and removal rate of TN is above 59%; When acetate sodium concentration was at 50mg/L, the sewage nitrogen is lower than 1.50mg/L, and removal rate of TN is above 88%; When acetate sodium concentration was at 60mg/L, the sewage nitrogen is lower than 1.35mg/L, and removal rate of TN is above 89%. When the permeate rate of ceramsite filter is between 3~8m/h, the efficiency of biological nutrient removal is similar, and the efficiency of biological nutrient removal is better in the granulated filter than the ceramsite filter.

Keywords: acetate sodium; carbon source; biofilter; nitrogen removal

## 简 讯

### 亿利化学签订污水深度回用及零排放项目

2008年4月17日,内蒙古亿利化学工业有限公司与美国GE公司签订了年产40万m<sup>3</sup>PVC项目工程的污水深度回用及零排放工程项目,该项目将成为我国氯碱行业的第一套液体零排放系统。

该项目总投资为2亿元,装置采用零排放技术处理反渗透膜系统产生的高含盐量浓水。该工程建成后,每年可为亿利化学公司节约500万m<sup>3</sup>以上的工业用水,并达到真正意义上的零排放。

(钱伯章)