

# 曝气生物滤池同步硝化反硝化性能研究

陈 潜, 姚建国, 楼继锋

(杭州余杭水务有限公司, 杭州 311100)

**摘 要** 在曝气生物滤池 (BAF) 中, 考察了生活污水在不同水力负荷条件下系统的同步硝化反硝化性能。结果表明: (1) 同步硝化反硝化工艺对 COD、NH<sub>3</sub>-N 有较好的去除效果, 出水 COD、NH<sub>3</sub>-N 分别在 30mg/L、5 mg/L 以下, 但 TN 去除效果不理想, 经过硝化的 NH<sub>3</sub>-N 没有得到及时的反硝化; (2) COD、NH<sub>3</sub>-N 的去除效率随填料高度的增加而增加, 但后期增速逐渐减慢。

**关键词** 同步硝化反硝化 曝气生物滤池 填料高度 水力负荷

过多的含氮废水排入水体会使水体藻类、水生生物大量繁殖, 导致水体富营养化现象的产生, 给生活、生产用水带来危害。为了防止水体富营养化, 目前有关工业废水与生活污水的脱氮研究已成为国内外环境问题研究中的重要课题。

曝气生物滤池<sup>[1]</sup> (BAF) 是 20 世纪 80 年代末 90 年代初在普通生物滤池的基础上, 借鉴给水滤池工艺而开发的污水处理新工艺, 其最大特点是集生物氧化和截留悬浮固体于一体, 具有有机物容积负荷高、水力负荷大、水力停留时间短、出水水质高的特点。BAF 工艺类型和操作方式有多种, 各具特点, 但其基本原理是一致。BAF 处理污水的原理是反应器内填料上所附生物膜中微生物氧化分解作用、填料及生物膜的吸附阻留作用和沿着水流方向形成的食物链分级捕食作用以及生物膜内部微环境和缺氧段的反硝化作用。

根据传统的脱氮理论, 硝化反应在好氧条件下进行, 而反硝化反应在缺氧条件下完成。但是, 近几年国内外都有文献报道污水处理过程中有同步硝化反硝化现象 (Simultaneous Nitrification and Denitrification, 简称 SND), 特别指出各种不同的生物处理系统中存在有氧条件下的反硝化现象<sup>[2-5]</sup>。

关于同步硝化反硝化机理的研究目前国内外比较一致认同的理论有: (1) 微环境理论<sup>[6]</sup>: 微

生物的体积非常小, 因此微生物个体所处的环境也是微小的, 微环境直接决定微生物个体的活动状态, 但由于微生物的代谢活动和相互间的作用, 微环境所处的状态是可变的; 宏观环境的变化往往导致微环境的急剧变化和不均匀分布, 从而影响微生物群体的活动状态, 并在某种程度上出现所谓的表里不一的现象。由于氧传递和硝态氮传递的不均匀性, 导致曝气状态下菌胶团内液可存在一定比例的缺氧微环境, 因此在曝气状态下也可以出现某种程度的反硝化, 也就是所谓的同步硝化反硝化现象。(2) 好氧反硝化菌理论<sup>[7]</sup>: 近年来, 硝化反硝化的理论有了新的发现, 即许多异氧菌也能完成有机氮和无机氮 (氨氮) 的硝化过程, 而且在很多的生态系统中, 还比自氧菌占优势; 异氧硝化菌同时也是好氧反硝化菌, 因而能在好氧条件下把氨氮直接转化成气态最终产物; 另外, 还发现一些其它细菌也能耗氧反硝化, 如生丝微菌属 (Hyphomicrobium X)。(3) 中间产物理论<sup>[8]</sup>: 关于硝化作用的生物化学机制, 目前已初步搞清楚是按以下途径进行: NH<sub>3</sub>→H<sub>2</sub>N→OH→N<sub>2</sub>→N<sub>2</sub>O (HNO) →NO→NO<sub>2</sub><sup>-</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。因为好氧硝化或好氧反硝化产生了中间产物 N<sub>2</sub>O 作为气体逸出, 构成了好氧条件下一部分总氮的损失。

基于试验和报道的同步硝化反硝化现象及理论, 本研究将考察 BAF 同步硝化反硝化工艺对城市生活污水的处理效果及规律。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验装置

采用上向流态的曝气生物滤池, 实验装置流程如图 1 所示, 其主要组成部分有提升泵、沉淀池、加压泵、循环泵、空压机、反冲泵。同步硝化反硝化工艺中反应器有效体积  $V=78.5\text{L}$ 。BAF 中采用的填料为马鞍山市华骐环保科技发展有限公司自行研制的粉煤灰生物填料。填料外观为球形, 粒径为 4~6mm; 主要成分为  $\text{SiO}_2$  (54.29%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16.44%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4.23%),  $\text{CaO}$  (2.86%),  $\text{MgO}$  (0.46%); 比表面积为  $9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ ; 内部孔隙率达 30.6%, 外部孔隙率达 43.1%。

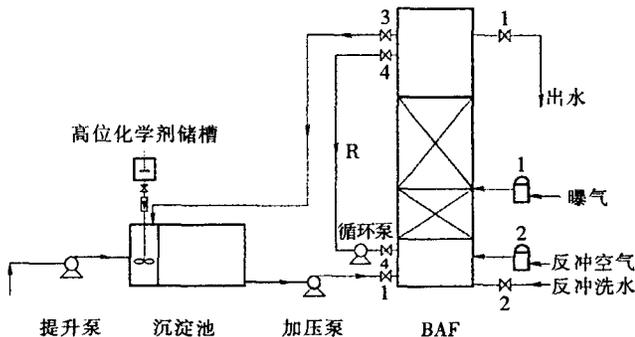


图 1 BAF 工艺流程图

流程说明: 提升泵将生活污水从化粪池取得, 为了避免将过多的杂质带入沉淀池和 BAF, 从而缩短工艺运行周期, 故在取水管上设置滤网, 提升泵将生活污水打入沉淀池, 同时将混凝剂投入沉淀池进行搅拌, 在沉淀池中实现物化除磷, 在不考虑除磷的情况时, 可省去混凝剂, 直接进行搅拌沉淀即可, 经过预处理的水, 由泵提升并计量后进入 BAF 底部, 空压机将空气经过流量计鼓入 BAF 内, 循环泵将硝化后的水经流量计与原水混合进行反硝化, 而后出水排放。运行一个周期后, 反冲洗水从底部反冲口进入, 同时打开空压机 2 将反冲空气经过流量计从 BAF 底部鼓入, 出水流入沉淀池。工作时打开空压机 1, 阀 1、4,

关闭空压机 2, 阀 2; 反冲洗时打开空压机 2, 阀 2、3, 关闭空压机 1, 阀 1、4。

实验柱采用气水同向运行, 污水从装置底部的进水口进入, 出水在上部出水口排出, 空气由填料底部的进气口 1 进入。有效填料高度为 2.5m, 反应器容积  $V=78.5\text{L}$ , 水力负荷选择 1.1m/h, 1.59m/h, 2.39m/h 三种工况。主要考察不同水力负荷和填料高度对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 等水质指标的去规律。

### 1.2 试验水质及运行控制

试验用水取自住宅小区内的生活污水, 平均水质状况如表 1, 整套试验装置采用 24 小时不间断连续流运行。

表 1 试验水质

水质指标	进水水质范围	平均值
COD (mg/L)	80.5~320	200
$\text{BOD}_5/\text{COD}$	0.41~0.53	0.47
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	20.1~45	32.6
TN (mg/L)	35~58.1	46.6
TP (mg/L)	1.41~4.43	2.92
pH	7.08~8.59	7.84

#### 1.2.1 分析监测项目与方法

试验中所涉及到的分析监测项目包括 COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TKN、 $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 、TN、pH、DO、MLSS。其中,  $\text{NH}_3\text{-N}$  采用纳氏试剂比色法, TKN 采用凯氏法,  $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  采用戴氏合金法, TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法, DO 采用溶氧仪 (TDO-100 型) 检测。

#### 1.2.2 接种挂膜

接种采用自然挂膜方式。挂膜开始时, 先将 BAF 装置内注满污水, 并对 BAF 装置进行闷曝, 闷曝期间不进水也不出水。连续闷曝三天后改成小流量进水 (进水流量  $Q$  约为 10l/h, 停留时间约为 8h), 使微生物逐渐适应进水水质, 待出水变清澈后, 逐渐减少停留时间 (即增加水力负荷), 本次研究挂膜终止时的停留时间为 1h。

在整个挂膜期间，每天对进水的有机物浓度（以 COD 为指标）进行监测。接种挂膜过程中，进水 COD 在 80.5~180.6mg/L 之间变化，后期出水稳定在 40mg/L 以下，COD 去除率整体上呈上升趋势，到 5 月 27 日，COD 去除率达到 83.3%。这表明 BAF 接种挂膜已经成功，至此结束 BAF 的接种挂膜，开始进行试验研究。

## 2 结果与讨论

### 2.1 COD 随填料高度的变化规律

在试验中，分别从 6 个取样口采样化验，得出不同的填料高度对 COD 去除率的关系，见图 2。从图 2 可以看出，COD 的去除同填料高度成正相关，最下层的 50cm 厚的滤料对 COD 的去除效率最高，当水力负荷为 1.1m/h、1.59m/h、2.39m/h 时分别达到 62.22%、53.45%、56.83%。填料超过 50cm 后去除率逐步上升，但速率变慢，尤其是当滤料超过 137cm 厚度后，COD 的去除不明显，这主要是由于此时 COD 已经降至 30mg/L 左右，由于其中可生物降解的有机物浓度太低，使得生物处理效果降低。当水力负荷从 1.1m/h 上升到 2.39m/h 时，COD 的出水浓度以及去除率只有轻微的变化，甚至当水力负荷从 1.1m/h 上升到 1.59m/h，COD 去除效果非但没有降低，反而有轻微的上升。可能的原因是水力负荷提高后，水流加大了对生物膜的冲刷，使微生物保持较强的活性。

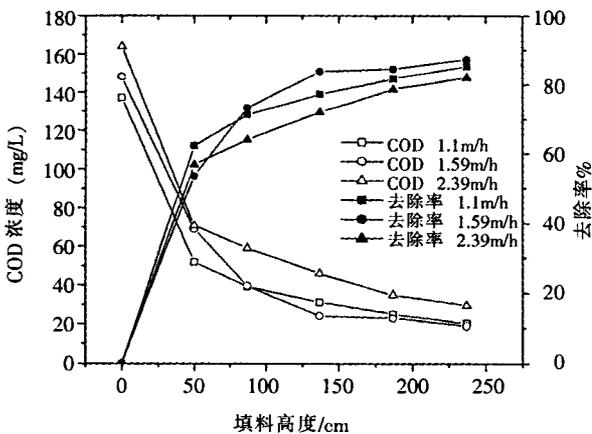


图2 COD去除率与填料高度的关系

### 2.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 随填料高度的变化规律

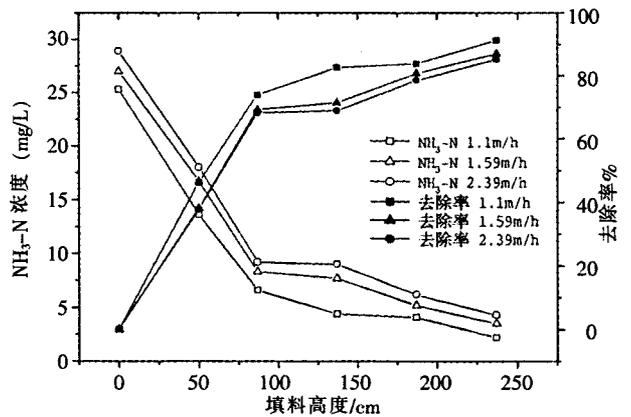


图3  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率与填料高度的关系

$\text{NH}_3\text{-N}$  去除率与填料高度的关系见图 3。从图 3 可以看出  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除同填料高度的关系，当水力负荷为 1.1m/h、1.59m/h、2.39m/h 时， $\text{NH}_3\text{-N}$  在最下层 50cm 厚的滤料的去除率分别为 46.3%、38.2%、37.7%。在反应前期  $\text{NH}_3\text{-N}$  出现较大的去除率，表明该滤层内存在较多数量的硝化细菌。因为硝化细菌具有生长在固体表面的习性；同时由于生物膜泥龄较长，有利于硝化细菌的增殖，所以在初期滤层内可以存在较多数量的硝化细菌。在三个不同的水力负荷下， $\text{NH}_3\text{-N}$  总的去除率最低的为 85.12%，并且出水浓度都在 5mg/L 以下，当水力负荷为 1.1m/h 时，出水浓度为 2.2mg/L，去除率高达 91.3%，说明去除效果良好。当滤料层超过 87cm 时  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效率随滤床高度逐步增加，但增加速率明显减慢。当水力负荷增加时，出水浓度由 2.2mg/L 上升到 4.3mg/L，总的去除效率由 91.30% 下降到 85.12%，由此可以看出水力负荷的增加对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除有一定的负面影响。

### 2.3 TKN 随填料高度的变化规律

本次试验中仅检测了当水力负荷为 1.1m/h 时的 TKN，TKN 的去除率随填料高度的关系见图 4。在好氧（缺氧）条件下，TKN 中的有机氮被异养菌转化成氨氮。但因为该试验污水中 TKN 的主要成分为氨氮，因此 TKN 随填料高度的去除规律与  $\text{NH}_3\text{-N}$  随填料高度的去除规律相似。

### 2.4 TN 随填料高度的变化规律

TN 去除率与填料高度的关系见图 5，从图 5 可

知出水TN浓度随填料高度增加有一定的下降,但是下降不明显,在三个水力负荷下TN的出水浓度都在25mg/L左右,去除率在30%左右,表明反应器中存在同步硝化反硝化现象,但在本文试验条件下效果不很理想。可能原因为:(1)滤层中的缺氧微环境不充分不能满足反硝化需要;(2)好氧反硝化菌较少;(3)停留时间短,来不及进行内源呼吸反硝化。

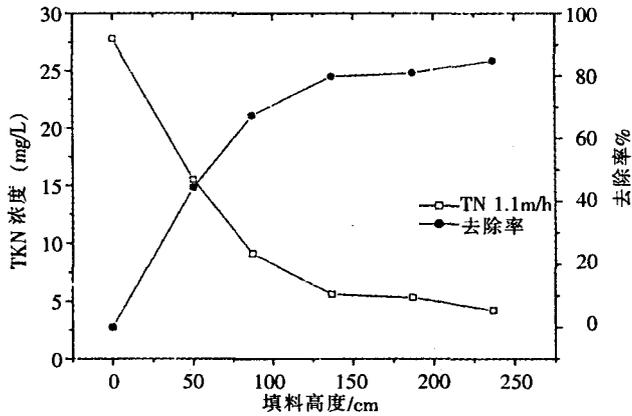


图4 TKN去除率与填料高度的关系

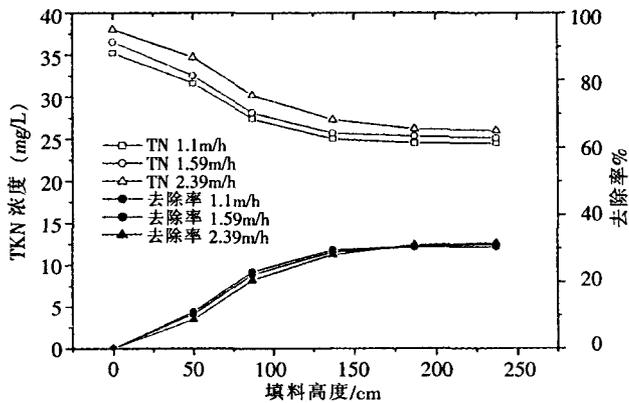


图5 TN去除率与填料高度的关系

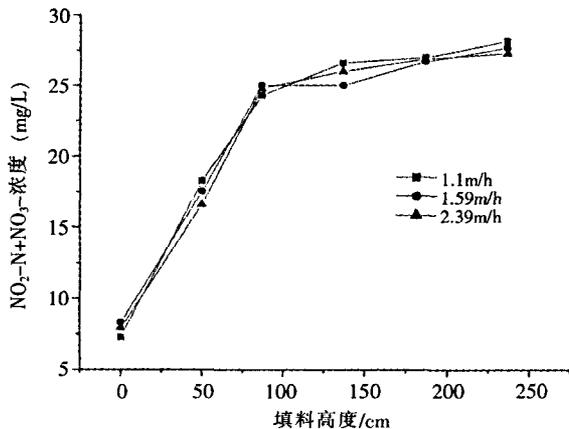


图6  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度变化与填料高度的关系

图6给出了 $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度变化与填料高度的关系,从图6也可发现 $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度随着填料的升高逐步增加,这表明经过硝化的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 没有得到及时的反硝化。因此,为了提高曝气生物滤池的脱氮性能,进行反硝化工艺的研究很有必要。本文的同步硝化反硝化的性能研究也为曝气生物滤池的反硝化工艺研究奠定了理论与实验基础。

### 3 结论

(1) 水力负荷为1.1m/h, 1.59m/h, 2.39m/h; 停留时间分别为2.27h, 1.57h, 1.05h时,同步硝化反硝化工艺对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有较好的去除效果,出水COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别在30mg/L、5mg/L以下。

(2) 同步硝化反硝化工艺对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效率随填料高度的增加而增加,但后期增速明显减慢。根据实验结果,对于一般生活污水建议填料高度不低于1.5m,即可满足COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 达标排放。

(3) 同步硝化反硝化工艺中,水力负荷在2.39 m/h以下时,水力负荷的变化对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除的影响较小。

(4) 工艺中同步硝化反硝化脱氮效果不理想,TN去除效率只有30%左右,其主要原因为经过硝化的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 没有得到及时的反硝化。

### 参考文献

- 1 郑俊等. 曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- 2 李丛娜, 吕锡武, 稻森悠平. 同步硝化反硝化脱氮研究. 给排水, 2001, 27 (1): 22-24.
- 3 Masuda S., Watanabe Y. and Ishiguro M. Biofilm properties and simultaneous nitrification and denitrification in aerobic rotating biological contactors. Wat. Sci. Tech. 1991, 23: 1355-1363.
- 4 Bruce E. Rittmann, Wayne E. Langeland, Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches, Journal WPCF, 1985, Vol.57.No.4.
- 5 Elisabeth V. Munch et al. simultaneous Nitrification and Denitrification in Bench-scale Sequencing Batch Reactor. WatRes1996, Vol30, No2.
- 6 吕锡武, 李丛娜, 稻森悠平. 溶解氧及活性污泥浓度对同步硝

# 基于常规给水处理工艺 COD 和 TOC 相关性研究

黄 静, 高良敏, 冯娜娜

(安徽理工大学, 安徽淮南 232001)

**摘 要** 通过对平山头自来水厂中各处理单元中水体有机物的 COD 与 TOC 监测数据的研究, 建立两者之间的线性回归方程, 结果表明, 两者存在良好的线性关系, 为平山头自来水厂水体中有机物的 TOC 监测代替 COD 监测提供了依据。

**关键词** 自来水厂 TOC COD 相关性分析

目前, 很多人对特定水源、水体进行了分析监测, 并对 COD 与 TOC 进行了相关性研究<sup>[1-5]</sup>, 并得出各自研究对象的相关系数和回归曲线, 对有机物污染状况和变化规律也作了初步分析与研究。由文献<sup>[1-5]</sup>可知, 不同的水质情况, 回归曲线以及相关系数是不同的, 本文通过对淮南市平山头水厂各工艺处理单元出水 TOC 和 COD 的测定, 找到它们直接的相关性, 为今后测定水体中有机污染物的总量寻求更方便快速的方法。

TOC 是指水中有机碳含量, 是以炭量表示水体中有机物质总量的指标, 其测定一般采用燃烧法或光催化氧化法, 可将水中的有机物几乎全部氧化。而 COD 的测定采用重铬酸钾强氧化剂加热回流法, 也可将水中的有机物部分氧化。由于水中的有机物大部分为 C、H、O 的有机化合物, 故理论上 TOC 与 COD 存在着一定的相关性<sup>[6]</sup>。

## 1 样品采集

本文选取平山头水厂水源水--瓦埠湖(平山

头水厂一级泵站处) 6 个点, 进厂源水 1 个点, 网格反应池 4 个点, 平流沉淀池 4 个点, V 型滤池进水 2 个点, 出水 2 个点, 清水库 1 个点, 出厂水 1 个点, 共 21 个点的水体进行样品采集。平山头水厂的采样点位置如图 1 所示, 净水工艺流程图如图 2 所示。

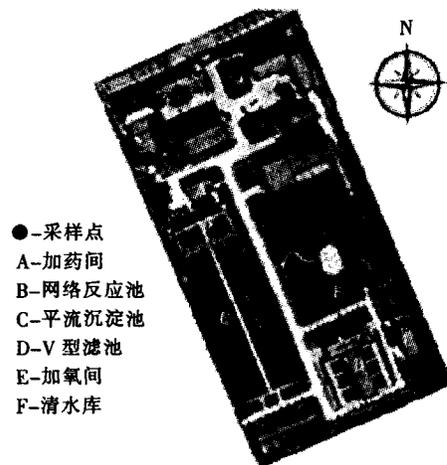


图 1 淮南市平山头水厂采样点分布图

化反硝化的影响, 城市环境与城市生态, 2001, 14 (1): 33-35.

7 Meiberg J. B. M., Bruinenberg P. M. And Harder W. Effect of dissolved oxygen tension on the metabolism of methylated amines in *Hyphomicrobium X* in the absence and presence of nitrate: aerobic denitrification. *J. Gert. Microbiol.*, 1980. 120, 453-463.

8 吕锡武. 同时硝化反硝化的理论和实践. *环境化学*, 2002, 21 (6): 564-570.

△作者通讯处: 311100 浙江省杭州余杭临平藕花洲大街 231 号, 杭州余杭水务有限公司