

研究报告

受污染水源水的生物处理工艺试验研究

桑军强¹, 王志农², 孟庆宇³, 张锡辉³, 何长义²

(1. 石油化工科学研究院, 北京 100083; 2. 深圳市蛇口格兰环保工程有限公司, 广东 深圳 518067;
3. 清华大学深圳研究生院环境工程与管理研究中心, 广东 深圳 518055;)

[摘要] 通过预曝气增加进水 DO 含量, 改进了生物处理装置的实际运行效果。试验采用常用的陶粒滤池工艺, 安装两套相同的反应器, 一套反应器采用传统的曝气方法供氧, 原水直接进入反应器, 另一套反应器的原水先进行纯氧预曝气, 使之 DO 达到超饱和状态, 反应器内不再进行曝气。试验结果表明, 原水预先充氧达到超饱和状态后进行生物处理, 原水中的 DO 可以满足微生物的需求, 各项污染物的去除效果优于采用传统曝气方法供氧的生物处理装置。试验结果表明, 开发适用于饮用水生物处理的无泡供氧装置具有现实意义。

[关键词] 生物处理; 水源水; 供氧; 无泡曝气

[中图分类号] R123 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2006) 03-0075-04

饮用水的生物处理是目前饮用水处理界的一个研究热点^[1,2]。向水中提供充足的溶解氧 (DO) 是饮用水生物处理保持良好运行效果的重要因素, 实际运行中如果 DO 不足, 好氧微生物的生命活动受到抑制, 最终会造成处理效果的下降。另外水厂的滤池中也存在好氧微生物的活动, 而由于进水 DO 不足, 往往造成滤池出水中的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量升高, 成为困扰国内很多水厂的一个问题^[3]。

近十几年来废水生物处理领域发展起来一种被称为无泡曝气 (bubbleless aeration, 也称为无泡供氧 (bubbleless oxygenation) 的新供氧方式^[4-6], 能够得到近于 100% 的氧利用率, 因此该技术在饮用水生物处理领域的应用开发不应该被忽视。

采用了国内常用的陶粒滤池生物处理技术, 通过纯氧预曝气把其进水 DO 提高到 20~30 mg/L 的超饱和水平, 研究了进水 DO 提高对饮用水生物处理装置运行效果的改善作用, 说明开发适用于饮用水生物处理过程的无泡供氧装置具有现实意义。

1 试验装置与方法

1.1 2套相同的生物预处理反应器试验装置

试验装置为小试规模的生物陶粒反应器 (见图 1), 柱体总高度 1.5 m, 内载体填充高度为 0.8 m。试验采用下向流方式, 由于滤层较薄, 采用 4 m/h 的较低滤速。两个相同的反应器, 分别采用不同的供氧方法, 反应器 A 采用传统曝气方法, 底部提供曝气, 由于原水污染较重, 采用 1:1 的高气水比; 反应器 B 不进行曝气, 而是在原水进入反应器 B 前, 先用纯氧对原水进行预曝气, 使原水的 DO 达到 20 mg/L 左右的超饱和状态, 以满足其中微生物去除水中污染物时对 DO 的需求。

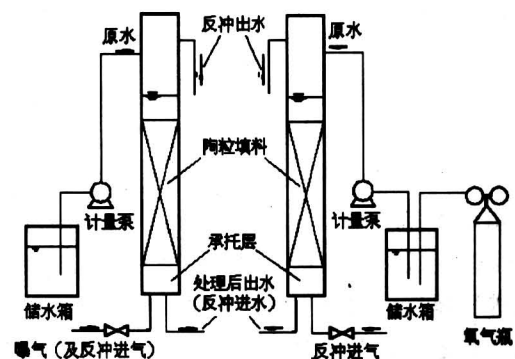


图 1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the two bio-reactors for testing

[收稿日期] 2005-08-08

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (50378048), 中国博士后科学基金资助项目 (2003034138)

[作者简介] 桑军强 (1974-), 男, 石油化工科学研究院博士, 主要从事水污染防治技术研究

1.2 水质分析项目与测定方法

测定的主要水质项目为 COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$, DO 以及浊度等。 COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 按国家标准分析方法进行测定, 浊度的测定使用 HACH 公司的 2100P 型浊度计, DO 的测定使用德国 WTW 公司的 Oxi340i 型溶氧仪。

2 试验结果与分析

试验所用原水 COD_{Mn} 在 6~12 mg/L 之间, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在 2~4 mg/L 之间, 属于污染较严重的原水, 另外浊度在 3~9 NTU 之间。根据原水水质和文献 [2] 对陶粒滤池的研究结果, 可以计算出对该试验原水进行生物处理时所需的氧气消耗量约为 10~20 mg/L。

2.1 2 反应器进水和出水中的 DO 变化情况

在两种不同供氧方式向微生物提供足够 DO 的情况下, 对比 2 反应器生物处理过程的实际运行效果, 图 2 为试验过程中反应器 A 和 B 进水和出水的 DO 变化情况。

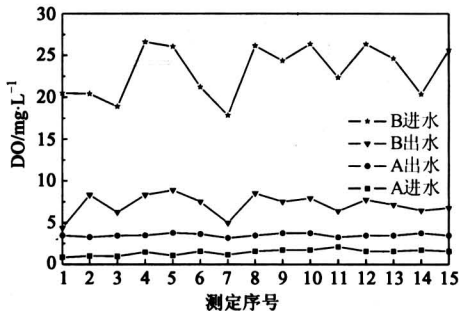


图 2 2 反应器进水和出水的 DO

Fig.2 DO in the influent and effluent of the two bio-reactors

由图 2 可见, 反应器 B 进水的 DO 在 18.0~27.0 mg/L 之间, 出水 DO 在 4.5~9.0 mg/L 之间, 仍然处于较高的水平。反应器 A 的进水 DO 含量很低, 基本不超过 2.0 mg/L, 这说明原水的水质较差, 水体接近于厌氧状态, 由于采用了 1:1 的高气水比进行曝气, 出水 DO 有所提高, 基本在 3.5~4.0 mg/L 之间。这一组测定数据表明, 两种不同的供氧方式都不存在明显的供氧不足问题, 可以满足反应器中微生物在降解水中污染物对 DO 的需求, 从而满足了对比试验所需的基本条件。

2.2 2 反应器对进水 COD_{Mn} 的去除情况

试验表明, 反应器 B 对原水 COD_{Mn} 的去除效果

要优于反应器 A。结果见图 3。

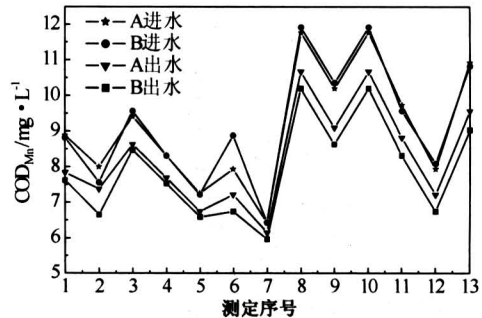


图 3 2 反应器对 COD_{Mn} 的去除

Fig.3 Removal of COD_{Mn} in the two bio-reactors

由图 3 可见, 反应器 B 出水 COD_{Mn} 一直低于反应器 A 出水的 COD_{Mn} 。反应器 A 中 COD_{Mn} 去除率在 4.4%~16.3% 之间, 平均去除率为 9.3%, 反应器 B 中 COD_{Mn} 的去除率在 7.3%~24.0% 之间, 平均去除率为 13.6%。这表明反应器 B 生物膜中异养菌的活性高于反应器 A 生物膜中的异养菌。

2.3 2 反应器对进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除情况

图 4 为试验过程中反应器 A 和 B 对进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除情况。

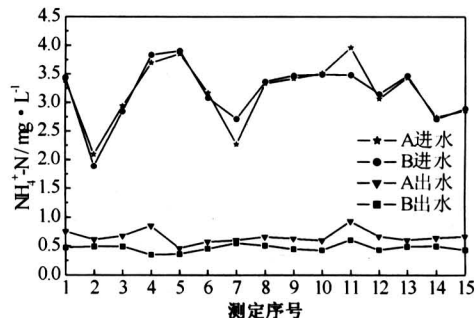


图 4 2 反应器对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除

Fig.4 Removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in the two bio-reactors

由图 4 可见, 反应器 B 出水的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 低于反应器 A, 反应器 A 中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率在 70.7%~83.0% 之间, 平均去除率为 78.7%; 反应器 B 中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率在 73.8%~90.9% 之间, 平均去除率为 84.7%。表明反应器 B 中硝化菌的活性高于反应器 A。

由于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的过程中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 为中间产物, 因此生物处理过程去除的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 包括由原水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化来的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和进

水中已经存在的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 。如果能够提供的 DO 不足，在好氧生物处理过程中会产生 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累现象^[7]，导致出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 高于进水。由于 2 反应器不存在明显的供氧不足的问题，试验中没有出现 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累现象。不同之处主要表现在 2 反应器出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量的差异（见图 5）。

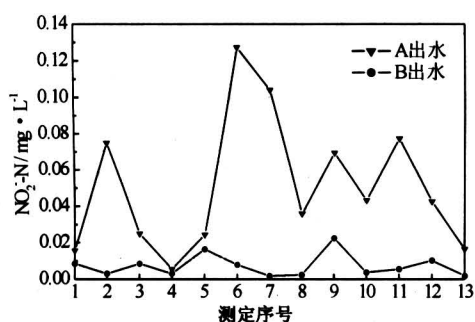


图 5 2 反应器出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量

Fig.5 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ in effluent of the two bio-reactors

由图 5 可见，试验过程中反应器 B 出水的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 低于反应器 A，反应器 B 出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 在 $20 \mu\text{g/L}$ 以下，反应器 A 出水的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 则在 $16 \sim 130 \mu\text{g/L}$ 之间。结果表明，反应器 A 中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除率在 $15.5\% \sim 97.6\%$ 之间，平均去除率为 68.8% ，反应器 B 中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除率约 $73.8\% \sim 90.9\%$ ，平均去除率为 89.2% 。

2.4 2 反应器对进水浊度的去除情况

由图 6 可见，试验过程中反应器 B 出水浊度低于反应器 A。各次测定结果表明，反应器 B 中浊度的去除率高于反应器 A，反应器 A 中浊度的去除率在 $4.9\% \sim 51.4\%$ 之间，平均去除率为 29.0% ，而反应器 B 中浊度的去除率在 $39.1\% \sim 59.2\%$ 之间，平均去除率为 49.7% 。生物滤池对于浊度的去除源于滤层的截留和微生物的生物絮凝两方面的作用^[8]。由于反应器 B 中不存在气泡引起的扰动作用，水力剪切作用自然小于反应器 A，有利于滤料对水中悬浮物的吸附截留。另外由于水中 DO 充足，反应器 B 滤层中微生物的活性也会高于反应器 A，有利于生物絮凝作用的发挥，因此反应器 B 对浊度的去除效果好于反应器 A。

2.5 讨论

在本试验中预先将进水 DO 提高到可以满足微生物需求的程度，取消了处理装置内部的曝气过程。结果表明，该方法不但可以向微生物提供足够

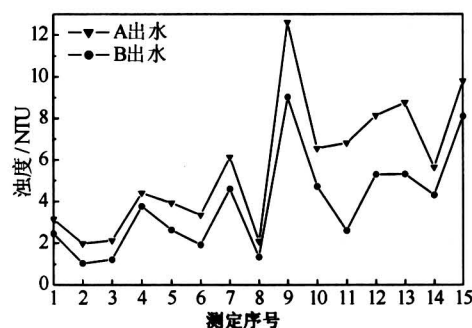


图 6 2 反应器出水浊度

Fig.6 Turbidity of effluent of the two bio-reactors

的 DO，而且提高了反应器中微生物的活性，使生物处理的效果优于采用传统曝气方法的生物处理装置。该试验结果从生物处理装置运行效果的角度，说明了预先充氧的供氧方式用于饮用水生物处理供氧过程的可行性。

除生物预处理工艺以外，可以由普通快滤池直接改造而成的生物活性滤池，也是当前引起颇多关注的一项饮用水生物处理技术^[1]。由于该工艺过程既要利用微生物作用去除水中可生物降解去除的污染物，又要保证水中浊度的有效去除，因此该过程需要消耗一定的 DO，同时又要尽量避免水流的扰动。因此由该试验结果可以推断，如果把生物活性滤池进水的 DO 适当提高，不但有利于生物活性滤池中的微生物发挥作用，而且可以提高浊度的去除效果。另外，对于水厂的普通滤池，如果适当提高进水 DO，也可以消除由于滤池中不完全的生物硝化作用而引起的出水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量升高的现象。

由于本试验主要研究进水 DO 提高后对生物处理效果的影响，因此只是采取了简单化的普通曝气预充氧方式把进水 DO 提高到足够的浓度。实际应用中则需要选择一种经济高效的预充氧方法。纯氧无泡曝气技术具有设备体积小、能耗低、曝气效率高、氧气利用率可以达到近 100% 的优点，目前在废水生物处理领域已经有较多的应用研究报道。因此，可以考虑把这一新兴的技术引入饮用水的生物处理领域，作为饮用水生物处理过程的供氧方法。由于无泡供氧技术在废水处理领域多同活性污泥法相结合，而饮用水生物处理多采用生物过滤的形式^[5]，而且相对于废水而言，饮用水及其原水中污染物的含量要低得多，生物处理过程所需提供的 DO 比废水生物处理过程少得多，因此，饮用水生物处理的无泡供氧装置所采用的膜材料及运行方式

与废水不同, 研究开发适用于饮用水生物处理过程的无泡供氧装置值得引起人们的关注。

3 结论与建议

研究了通过预曝气增加进水 DO, 取消在饮用水处理装置内部的曝气后, 生物处理装置的实际运行效果。结果表明, 原水预先充氧使 DO 达到超饱和状态后进行生物处理, 原水中的 DO 可以满足生物处理过程微生物的需求, COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 及浊度等各项污染物的去除效果均优于采用传统曝气方法供氧的生物处理装置。从生物处理装置运行效果的角度说明了这种预先充氧的供氧方式用于饮用水生物处理供氧的可行性。

建议把废水生物处理领域的无泡供氧技术引入饮用水生物处理领域, 并进行相关的研究, 开发出适用于饮用水生物处理过程的无泡供氧装置。

参考文献

- [1] 余 键, 曾光明, 施 周. 饮用水生物过滤处理工艺述评[J]. 中国给水排水, 2002, 18(3): 37 ~ 39
- [2] 桑军强, 王占生. BAF 在微污染源水生物预处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 21 ~ 23
- [3] 黄晓东, 谭为民, 曹天洪, 等. 自来水厂亚硝酸盐问题及处理方法的试验研究[J]. 给水排水, 1998, 24(12): 23 ~ 25
- [4] Pierre Côté, Jean-Luc Bersillon, Alain Huyard. Bubble-free aeration using membranes: mass transfer analysis[J]. J Membrane Sci, 1989, 47: 91 ~ 106
- [5] Pankhania M, Stephenson T, Michael J. Semmens. Hollow fiber bioreactor for wastewater treatment using bubbleless membrane aeration[J]. Wat Res, 1994, 28(10): 2233 ~ 2236
- [6] Ahmed T, Semmens J. Use of transverse flow hollow fibers for bubbleless membrane aeration[J]. Wat Res, 1996, 30(2): 440 ~ 446
- [7] Garrido J M, van Benthum W A J, van Loosdrecht M C M, et al. Influence of dissolved oxygen concentration on nitrite accumulation in a biofilm airlift suspension reactor [J]. Biotechnol Bioeng, 1997, 53(2): 168 ~ 178
- [8] 刘文君, 贺北平, 张锡辉, 等. 生物预处理对受有机污染源水中胶体 Zeta 电位的影响研究[J]. 中国给水排水, 1996, 12(4): 27 ~ 29

Study on the Biological Treatment for Polluted Raw Water

Sang Junqiang¹, Wang Zhinong², Meng Qingyu³, Zhang Xihui³, He Changyi²

(1. Research Institute of Petroleum Processing, Beijing 100083, China;

2. Shenzhen Shekou Green Environment Engineering Co. Ltd, Shenzhen, Guangdong 518067, China;

3. Research Center for Environmental Engineering & Management, Shenzhen Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen, Guangdong 518055, China)

[Abstract] The purpose of this study was to investigate the performance of a biofilter in which aeration process was not performed while adequate pure oxygen was dissolved into the influent before it was pumped to the biofilter. Two bio-ceramic filters were used in the experiment. The conventional aeration means was used in one bio-ceramic filter (BF-A) and raw water was pumped directly to the filter. At the same time, raw water was oversaturated by pure oxygen before it was pumped to another bio-ceramic filter (BF-B) and aeration was not performed in the filter. It was shown that dissolved oxygen in the influent of BF-B met the demand of microorganism in BF-B and the capability of BF-B to remove pollutants in raw water was superior to BF-A. This result indicated the significance of developing appropriate bubbleless aeration device fitting for oxygenation in biological treatment process of drinking water from the point of view of the biological treatment performance.

[Key words] biological pretreatment; raw water; oxygenation; bubbleless aeration