

曝气生物滤池工作性能与滤层高度的相关性

曲波¹, 张景成^{1,2}, 李玉华¹, 姚宏¹, 张自杰¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090, E-mail: qubo. water@163. com;

2. 哈尔滨工业大学 环保科技股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 研究了中试规模的上向流曝气生物滤池(UBAF)处理生活污水时, 滤层高度与工作性能的相关性。结果表明: 当水力负荷超过 $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率均与滤层高度呈正相关; 当水力负荷低于 $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, COD_{Cr} 的去除率只与滤池下部滤层高度呈正相关, 在滤池上部滤层处几乎保持不变, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率则与滤池上部滤层高度呈正相关。在所有水力负荷工况下, SS 的去除率均与滤层高度无相关性, 且 80% 以上的 SS 被反应器最下部 0.9 m 高的滤层所截获。

关键词: 上向流曝气生物滤池; 滤层高度; 工作性能; 相关性; 水力负荷

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 0367-6234(2003)07-0850-03

Correlativity between performance of biological aerated filter and its height

QU Bo¹, ZHANG Jing-cheng^{1,2}, LI Yu-hua¹, YAO Hong¹, ZHANG Zi-jie¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, E-mail: qubo. water@163. com; 2. HIT Environmental Technology Co. Ltd., Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The correlativity between performance and filter height has been studied in a pilot scale biological aerated filter for treating domestic sewage. The result show: for hydraulic loading higher than $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, the removal efficiency of COD_{Cr} , $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ have positive correlation with the height of filter. when hydraulic loading was below $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, the removal efficiency of COD_{Cr} only have positive correlation with height of lower section in filter and have almost no change in upper section of filter, however, the removal efficiency of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ have positive correlation with height of upper section in filter. Under all hydraulic loading operated during the experiment, removal efficiency of SS have no correlation with height of filter, and up to 80% of SS was captured in the first 0.9 m.

Key words: up-flow biological aerated filter; filter height; performance; correlativity; hydraulic loading

曝气生物滤池是填装有较大比表面积填料的固定床生物膜反应器, 将生物氧化、吸附与过滤结合在一起, 具有处理负荷高、出水水质好、占地面积省等优点。采用上向流(气水同向流)可使配水配气更加均匀, 增加滤层的纳污能力, 延长反冲洗周期。目前上向流曝气生物滤池(UBAF)已成为一种有竞争力的污水处理系统^[1,2]。

以往的研究表明 UBAF 中的水力流态接近于推流^[3,4], 这就使得滤层高度对反应器的工作性能有很大影响, 并在一定程度上决定基建投资。探讨滤层高度与工作性能的相关性有实际意义。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置见图 1。主体为圆柱体, 高 4.5 m、内径 1.0 m, 有效容积 2.355 m^3 。填料为膨胀粘土颗粒, 球形, 粒径 3~5 mm、体积质量 1.56 kg/m^3 、孔隙率 0.34、比表面积 $4.0 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$, 填装高度 3.0 m。反应器上设有 10 个取水口, 用于采取水样和测量水头损失, 从下至上编号, 间隔为 30 cm。

1.2 试验过程

反应器以表面负荷 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 启动, 并连续运行, 未进行接种。气水比为 4:1。每个负荷达到稳态并持续运行 5 d 后, 取水样分析。滤池

收稿日期: 2002-12-16。

作者简介: 曲波(1978-), 男, 硕士研究生。

反冲洗根据水头损失确定,本试验将1.0 m水头损失定为反冲洗操作参数. 操作顺序为:(1)气洗5 min: 关闭进水,以表面流速25 m/h通入空气;(2)气水联合反冲洗10 min:保持气速不变,以表面流速20 m/h通入清水;(3)清水漂洗:停止进气,保持水速漂洗10 min;(4)静沉10 min.

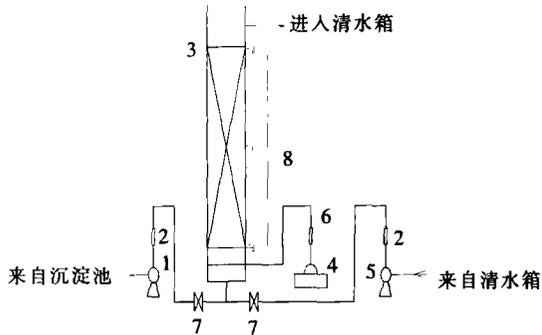


图1 UBAF 试验系统示意图

Fig.1 Scheme of UBAF system

1.3 原水水质、分析项目及方法

原水为小区生活污水,经沉淀后水质见表1. 检测项目中 COD_{Cr} , $NH_4^+ - N$, $NO_2^- - N$, SS 的分析方法见文献[5],其中 SS 为反冲洗后运行 12 h 的水样值. pH 值采用 pHS-3C 型酸度计;溶解氧、温度采用 JBB607 溶解氧测定仪.

表1 沉后原水水质

Table 1 Quality of settled domestic sewage

| 指标 | 数值 |
|------------------------------|---------------|
| $COD_{Cr}/mg \cdot L^{-1}$ | 200 ± 10 |
| $NH_4^+ - N/mg \cdot L^{-1}$ | 34 ± 2.0 |
| $NO_2^- - N/mg \cdot L^{-1}$ | 未检出 |
| pH | 7.5 ± 0.3 |
| $SS/mg \cdot L^{-1}$ | 50 ± 20 |
| $t/^\circ C$ | 15 ± 2.0 |

2 试验结果与分析

2.1 COD_{Cr} 的去除率与滤层高度的相关性

图2为不同 q 值下,各取样口 COD_{Cr} 的去除率(q 为水力负荷, $m^3/(m^2 \cdot h)$). $q = 3.0, 4.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时, COD_{Cr} 去除率与滤层高度呈正相关; $q < 3.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时,去除率在整个滤层高度上无一致的相关性; $q = 1.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时,从滤层最底部到4号取样口高度内,去除率与滤层高度呈正相关,4号取样口以上几乎保持不变; $q = 2.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时,去除率随滤层高度的变化与 $q = 1.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时相近,但呈相关性的滤层范围增到7号取样口处. 这说明由于良好的推流流态使得 UBAF 中的微生物呈一定的浓度梯度分布,在较低负荷($q = 1.0 \sim$

$2.0 m^3/(m^2 \cdot h)$, 容积负荷 $0.8 \sim 1.6 kg/(m^3 \cdot d)$) 时,好氧型异养菌主要聚居在滤池的下部,进入水中大部分有机物在较低的滤层范围内即得到降解. 随有机物质量浓度沿滤层高度的逐渐降低,去除率曲线趋于平缓. 而在稳态运行时,生物膜系统无法使底物质量浓度 $<$ 最小底物质量浓度 $S_{min}^{[6,7]}$. 当底物质量浓度低于 S_{min} 时,异养菌分解有机物所获得的能量无法满足其生理活动的需要,进而受到限制. 这也是在两个均较低但不同的 q 下,去除率几乎相同的原因. 但随 q 增加到 $3.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ (容积负荷为 $2.4 kg/(m^3 \cdot d)$),进入反应器的有机物随之增加,导致异氧菌逐渐占据整个滤层,表现为去除率与滤层高度呈正相关. 但此时最终去除率与 q 为 $1.0, 2.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时相接近,说明此负荷下,反应器刚好达到其去除有机物的最大能力. 当 $q = 4.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时,最终去除率明显下降,因为此时待处理水在反应器中的水力停留时间大为缩短,水中有机物还未来得及被降解就由水流带出反应器,致使出水 COD_{Cr} 质量浓度升高,即出现滤池穿透现象.

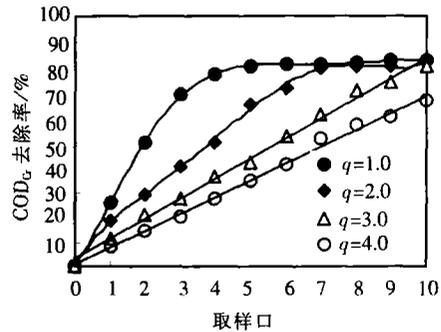


图2 COD_{Cr} 去除率与滤层高度的相关性

Fig.2 Correlativity of COD_{Cr} removal percentages and filter's height

2.2 $NH_4^+ - N$ 的去除率与滤层高度的相关性

污水中含碳有机物质量浓度是影响生物硝化的重要因素^[8]. 在推流流态的 UBAF 中,该影响更明显. 进入反应器的有机物引起异养菌的增长,一方面同化一部分 $NH_4^+ - N$,另一方面又与自养型硝化菌对滤池空间和营养物质(主要是 O_2) 进行竞争,导致 $NH_4^+ - N$ 去除率下降,因此滤层高度和运行工况对去除率有较大影响,见图3. 当 $q = 3.0, 4.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时,去除率与整个滤层高度呈正相关;而 $q < 3.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时, $NH_4^+ - N$ 的去除率在整个滤层高度上无一致相关性. $q = 1.0, 2.0 m^3/(m^2 \cdot h)$ 时去除率曲线分别在4号、7号取样口出现拐点,拐点以下滤层高度与去除率呈正相关,拐点以上仍呈正相关,但曲线斜率加大. 比较图2,3发现,各曲线拐点对应的取样口一

致. 说明由于好氧型异养菌有相对较高的最大比增长速率, 与自养型硝化菌对滤层空间竞争的过程中占优势, 硝化菌只能固定在异养菌受到抑制的上部滤层. 可以认为在较低滤层处 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除主要是由于此区域快速增长的异养菌对其的同化作用, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率与 COD_{Cr} 去除率相同, 与此部分滤层高度呈正相关. 而在拐点以上滤层处, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除则主要是硝化菌对其的氧化. 同时, 推流流态会使 UBAF 中底物与生物量均呈一定的浓度梯度分布, 去除率与此部分滤层高度也呈正相关. 而当 $q > 3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, 异养菌已布满整个滤层空间, 硝化菌活性受到了严重的抑制, 此时去除主要为异养菌的同化作用. 另一方面被同化的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 占被去除的 COD_{Cr} 总量稳定在 4.5% ~ 5.0%, 这与其他学者的研究结果相近^[9].

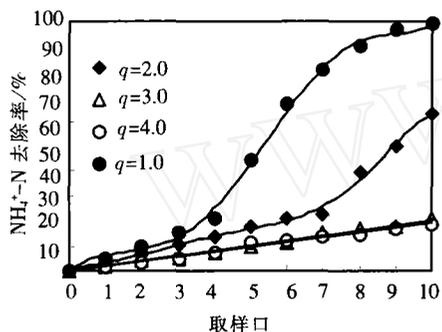


图 3 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率与滤层高度的相关性

Fig. 3 Correlativity of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal percentages and filter's height

2.3 SS 的去除率与滤层高度的相关性

UBAF 突出的特点是具有对 SS 物理截留和生物吸附的功能, 因此对 SS 的处理效果良好, 各种 q 值下水值均 $< 10 \text{ mg/L}$. 但从图 4 可看到 SS 的去除率与滤层高度无相关性. 80% 以上的 SS 均被 0.9 m 高的滤层所截获. 即 q 不断增加, 3 号取样口处 SS 的去除率仍无大幅度下降. 因为随 q 值的增加, 反应器中生物量也随之增加, 提高了生物

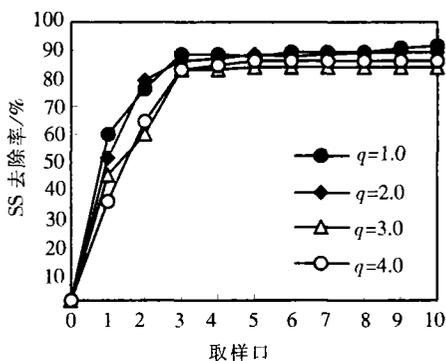


图 4 SS 去除率与滤层高度的相关性

Fig. 4 Correlativity of SS removal percentages and filter's height

膜的吸附能力, 增加的生物量也使填料间的缝隙变小, 增强了滤层对 SS 的截留能力, SS 很难随水流进入滤池的上部.

3 结 论

(1) $q > 3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率与全部滤层高度均呈正相关. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除主要是反应器中异养菌的同化作用.

(2) 当 $q < 3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, COD_{Cr} 去除率只与下部滤层高度呈正相关, 而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率则与上部滤层高度呈正相关. 此时 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 一部分被异养菌同化, 其余部分则被硝化菌氧化去除.

(3) SS 的去除率与滤层高度无一致相关性, 80% 以上的 SS 被反应器最下部 0.9 m 高的滤层所截获, 而且该百分比受水力负荷影响较小.

参考文献:

- [1] PUJOL R, CANLER P J. Biological aerated filter: an attractive an alternative biological process [J]. Wat Sci Tech, 1992, 26 (3/4): 693 - 702.
- [2] WATANABE Y. Study on the performance of up-flow aerated biofilter (UAB) in municipal wastewater treatments [J]. Wat Sci Tech, 1994, 30 (11): 25 - 33.
- [3] POLANCO F, GARCIA P. Influent of design and operation parameters on the flow pattern of submerged filters [J]. Chem Tech Biotechnol, 1994, 61(3): 153 - 158.
- [4] SEGURET F, RACAULT Y. Hydrodynamic behavior of a full-scale submerged biofilter and its possible influence on performance [J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(8/9): 249 - 256.
- [5] 国家环保局“水和废水监测分析方法”编委会. 水和废水监测分析方法(第三版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [6] RITTMANN B E, MCCARTY P L. A model of steady-state-biofilm kinetics [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1980, 22(4): 2343 - 2357.
- [7] SAEZ P B, RITTMANN B E. Improved pseudoanalytical solution of steady-state-biofilm kinetics [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1988, 32: 379 - 385.
- [8] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [9] HANAKI K, WANTAWIN C. Effects of the activity of heterotrophs on nitrification in a suspended-growth reactor [J]. Wat Res, 1990, 24(3): 289 - 296.

(编辑 刘 彤)