

# 一体化曝气生物滤池处理城市污水试验研究\*

何强, 徐建斌, 翟俊

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

**摘要:** 研究考察了一体化曝气生物滤池对处理城市生活污水的性能特点, 小试结果表明: 一体化曝气生物滤池去除生活污水中的 COD、SS 等具有较好的效果, 当进水 COD、SS 分别为 234 mg/L、112 mg/L, 水力停留时间 8 h, 曝气强度在 0.5 ~ 0.6 L/(m<sup>2</sup> · s) 时, COD<sub>cr</sub>、SS 的去除率分别在 90% 和 80% 以上。

**关键词:** 曝气生物滤池; 城市生活污水; 有机物; 生物膜

**中图分类号:** X703.1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1006-7329(2005)03-0072-04

## Research on Characteristics of Integrated Biological Aerated Filter for Municipal Wastewater Treatment

HE Qiang, XU Jianbin, ZHAI Jun

(Key laboratory of Eco - Environment in the Three Gorges Reservoir Region of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** The characteristic of the integrated Biological Aerated Filter (BAF) was studied in a pilot scale of sewage treatment. The experimental results show that the removal rate of COD and SS in BAF system were above 90% and 80% respectively under the influent COD and SS of 234mg/L and 112 mg/L with the proper hydraulic retention time of 8h, the optimal air - flow intensity of 0.5 ~ 0.6 L/(m<sup>2</sup> · s).

**Keywords:** Integrated biological aerated filter; municipal wastewater; organic pollutants; bio - film

传统的曝气生物滤池存在着对进水 SS 要求较高、易于堵塞等缺点, 严重制约了在实际工程中的应用。本研究针对上述缺点, 根据曝气生物滤池的基本原理, 在传统曝气滤池的基础上进行了改进, 开发了一种集缺氧、好氧于一体的新型曝气生物滤池。并对其应用于处理城市污水进行了试验研究。

### 1 反应器的设计

#### 1.1 基本构思

为了避免生物滤池易于堵塞, 在新型反应器底部设置了缺氧层(填料粒径为 10 ~ 15 mm)。缺氧层的截污能力可以减少进入好氧层的悬浮物, 避免好氧层微生物的过度繁殖以致堵塞, 从而延长反应器的运行周期; 利用缺氧层的微生物, 可将难降解的高分子有机物水解成易降解的小分子有机物, 提高污水的可生化性, 从而提高整个反应器的性能; 通过缺氧段还可以缺氧释磷。反应器的中部设置了曝气装置和冲洗装置, 可以根据需要对好氧层和缺氧层分开进行冲洗。反应器上部设置好氧层主要对污水中的溶解性有机物进行氧化除去。

#### 1.2 反应器构造

反应器由玻璃钢制成, 其外形尺寸为: 长 0.75 m, 宽 0.55 m, 高 2.00 m; 其中布水系统高 0.3 m, 缺

\* 收稿日期: 2005-02-19

作者简介: 何强(1965-), 男, 江苏江阴人, 教授, 博导, 主要研究方向为水污染控制规划和废水处理。

氧层高0.4 m,反冲洗和布气系统层高0.2 m,好氧层高0.85 m,超高0.25 m。在底层承托层以上每隔150 mm处设置了取样管,共7根;其中缺氧层均匀设置了2根,在布气层中部设置了1根,以便考察缺氧层的功能,其余4根设置在好氧层。如图1所示。

1.3 填料

试验中使用的填料为本实验室开发的酶促生物填料(专利产品),粒径为10~15 mm,堆积密度为1.56 g/cm<sup>3</sup>,空隙率为0.506,强度好。该种填料表面具有大量适合微生物生长的微孔,有利于微生物形成空间网状结构,易于挂膜启动,并具有促进各种微生物生长激化微生物活性的特点。

2 试验条件及过程

2.1 工艺流程

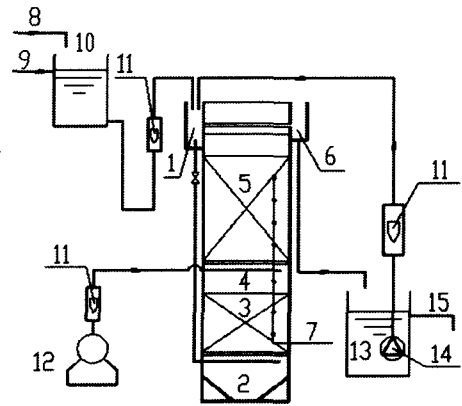
本试验是在重庆市某污水处理厂进行的,反应器的进水为污水厂初沉池的出水。整个工艺流程如图2所示。

2.2 试验水质

试验进水水质指标如表1所示。

表1 试验进水水质指标

项目	数值/mg·L <sup>-1</sup>
SS	89~165
COD <sub>Cr</sub>	195~411
BOD <sub>5</sub>	78~156
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	38~75
TN	45~80.7
TP	3.05~7.78
pH	6.7~7.9



1. 进水斗;2. 配水区;3. 缺氧层;4. 曝气和冲洗装置层;5. 好氧层;6. 出水堰;7. 取样口;8. 污水入口;9. 溢流口;10. 高位水箱;11. 转子流量计;12. 空气泵;13. 回流用水桶;14. 回流泵;15. 出水

图1 反应器构造及试验装置

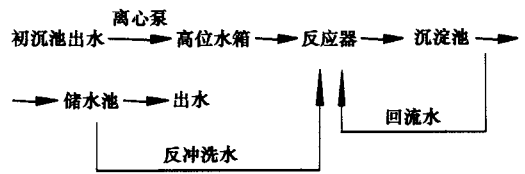


图2 工艺流程图

2.3 试验过程

试验是从2003年9月开始,至2004年11月结束。期间气温、水温、水质变化幅度较大。在无设备故障情况下,出水水质稳定,获得了较好的处理效果。水力停留时间分别控制在4 h、6 h、7 h、8 h、9 h、10 h,曝气强度在0.5~0.6 L/(m<sup>2</sup>·s)的情况下进行了6组试验。

3 试验结果与分析

3.1 启动期

3.1.1 启动试验结果与分析 启动开始时,向滤池内投加少量活性污泥(取自曝气池,10L),而后连续进水,流量控制在Q=65~70 L/h,HRT为10 h左右。前两周进、出水的COD变化如图3所示。

图3中可以看出,前3 d的出水COD较低,分别为100 mg/L、105 mg/L、109 mg/L。启动初期填料上的微生物很少,COD的降低主要是填料对不溶性和胶体性物质进行吸附和截留作用的结果;从第4 d开始逐渐上升。至第9 d,在光学显微镜下观察到小口钟虫和线虫、轮虫等后生动物,出水COD也开始降低,说明填料上的微生物发挥了主导作用,发生了生物降解。随着生物量的增加,出水COD逐渐降低。两周后,可观察到大量的后生动物,出水COD稳定在40~60 mg/L,可认为反应器启动工作完成。

3.1.2 启动特点 本反应器的启动试验是在连续进水的情况下进行的。污水中的微生物大多附着生长在悬浮物的表面,在流经滤池填料的过程中,填料可将其吸附和截留在缝隙之间,不易产生微生物的流失。试验证明这种培养方式较快,本研究中,启动两周后即获得稳定的出水。

3.2 负荷运行期

3.2.1 HRT与COD去除率的关系 在污水生物处理法中,HRT是一个很重要的参数,它的大小直接

影响反应器的运行效果和反应器容积的确定。在处理城市污水时, HRT 更是一个起限制作用的因素。当生物膜基本稳定时, HRT 越长, 有机物与微生物接触越充分, 有机物的降解就越彻底, 去除率也就越高。但为了减少反应器容积以降低构筑物造价和占地面积, 又必须尽量缩短 HRT。图 4 反映了 6 组试验进、出水 COD 平均值的变化情况。

从图 4 可以看出, 随着 HRT 的增大, 出水 COD 值逐渐降低, 去除率逐渐增大。同时可以看出, 当  $4 \leq \text{HRT} \leq 7$  时, 去除率曲线较陡, 去除率由 73.2% 提高到 87.8% (提高了 14.6%), 变化较快; 当  $7 \leq \text{HRT} \leq 10$  时, 去除率曲线较缓, 去除率由 87.8% 提高到 94.0% (提高了 6.2%), 变化幅度较小; 由此可知, 在 HRT 达到一定值后, 采用较长的 HRT 对提高反应器处理 COD 效率的贡献不大。当 HRT = 6 h 时, 出水 COD = 48 mg/L, 去除率为 81.9%; 这说明如果仅仅考虑反应器对 COD 的去除效果, 当滤池填料为 1.25 m 时, 水力停留时间控制在 6 h 左右, 就可以满足一级排放标准对出水 COD 的要求。

**3.2.2 HRT 与 SS 去除率的关系** 图 5 反映了 6 组试验进出水 SS 平均值的变化情况。从图 5 可以看出, SS 和 COD 的变化趋势基本相似。当  $\text{HRT} \geq 8$  h 时, 出水 SS  $\leq 20$ 。

图 4 和图 5 表明, 在曝气强度为  $0.5 \sim 0.6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的情况下, 当  $\text{HRT} \geq 8$  h 时, 出水 COD、SS 值均可以满足一级排放标准。就本试验而言, 在填料高度为 1.25 m 的情况下, 滤池 HRT 采用 8 h 较为理想, 此时有机负荷为  $0.97 \text{ kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 。

### 3.3 影响因素分析

**3.3.1 填料高度对 COD 去除效果的影响** 为说明滤层厚度与 COD、SS 去除效果的关系, 特将  $\text{HRT} = 8 \text{ h}$ 、曝气强度  $0.5 \sim 0.6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  情况下的试验数据用图表示, 图 6 为 COD 沿程变化曲线。

图 6 表明, COD 值沿流程长度逐渐降低, 且缺氧层中 COD 变化的趋势较大, 40 cm 厚的滤层去除了 47% 的 COD, 这是由于大量不溶或难溶性有机物被填料截留在滤层中, 同时缺氧层的微生物对 COD 起到了降解作用。好氧层中 COD 变化的趋势相对较小, 但也存在明显的浓度梯度, 这为自养微生物的生长提供了有利条件。

**3.3.2 填料高度对 SS 去除效果的影响** 不同的填料高度对 SS 的去除率变化曲线如图 7 所示。从图中可以看出, 在填料高度 0 ~ 60 cm 范围内, SS 的去除率随填料层高度的增加而增大, 且底部 40 cm 厚填料对 SS 的去除最为明显, 去除率达 51%, 出水为 47 mg/L; 随着填料的增高, 则去除率增加缓慢, 当填料厚度到 120 cm 时, SS 去除率趋于稳定, 最终的出水 SS 去除率达到 83.1%, 出水 SS 为 16 mg/L。

该组试验平均进水 SS 浓度为 95 mg/L, 缺氧层出水 SS 浓度为 47 mg/L, 可见缺氧层发挥了较大的截污能力。

**3.3.3 曝气强度对处理效果的影响** 曝气量的大小不仅影响污水处理效果, 还直接关系到污水处理的运行费用。在相同的 HRT (8 h), 污水成分近似 (进水 COD = 224 ~ 274 mg/L, SS = 85 ~ 120 mg/L), 温度

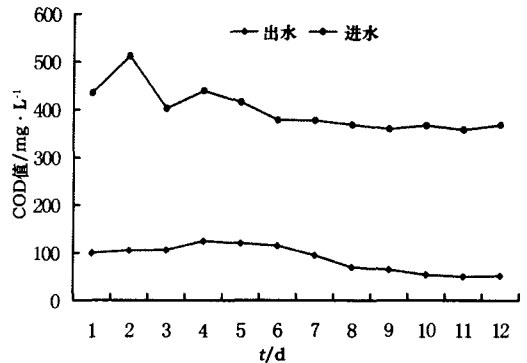


图 3 反应器启动期对 COD 的去除

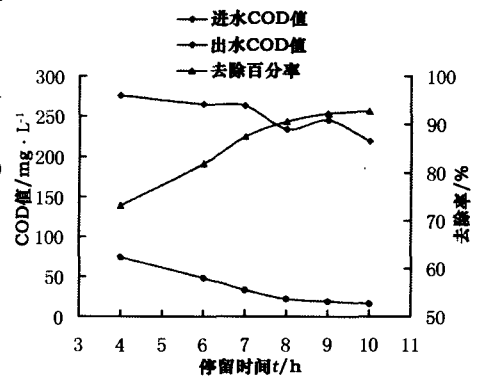


图 4 反应器对 COD 的去除效果

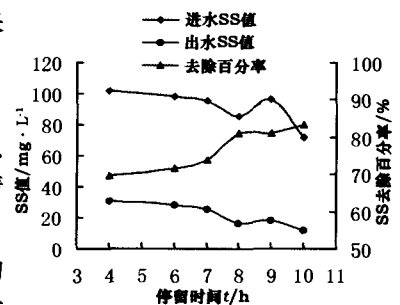


图 5 反应器对 SS 的去除

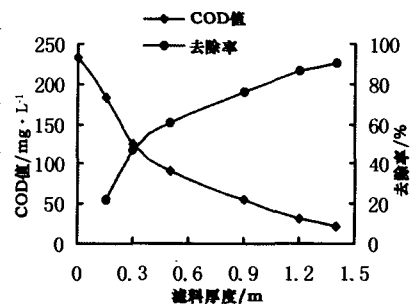


图 6 COD 沿程变化曲线

变化不大的条件下(水温  $t = 19 \sim 23 \text{ }^\circ\text{C}$ ),进行了曝气强度对反应器处理效果的影响试验。试验结果如图8所示。

从图8中可以看出,曝气强度为  $0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,SS 去除的效果最佳,若加大曝气量,COD 的去除率可以提高,但由于气体表观速率的增大,导致剪切力的增大,SS 的去除效果下降。但曝气强度在  $0.4 \sim 0.6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  之间变化时,反应器出水 COD、SS 去除率分别稳定在  $84.8\% \sim 90.6\%$ 、 $76.3\% \sim 82.2\%$ 。

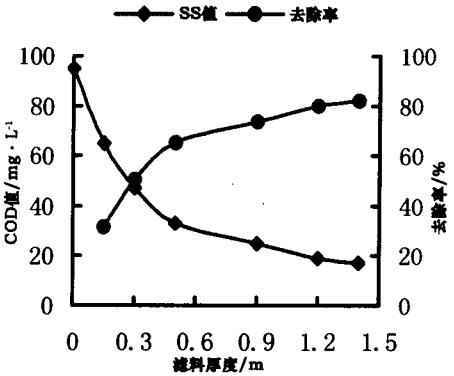


图7 SS沿程变化曲线

3.3.4 温度对处理效果的影响 微生物对有机质降解实质上是微生物利用体内的酶促生化反应来实现的,而微生物蛋白质活性受温度影响很大。本试验中,夏季水温比冬季水温高  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  (冬季最低水温为  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ ,夏季最高水温为  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ ),在相同的水力负荷下,在冬季温度较低时反应器出水 COD 明显升高。但由于冬季滤池进水有机物浓度较高,故冬季对 COD 的去除率与夏季相近,表明冬季温度较低时反应器仍有较好的处理效果。

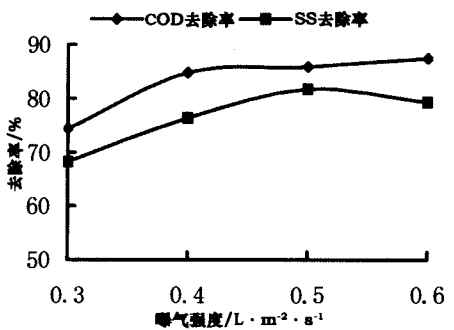


图8 曝气强度对 COD、SS 去除率的影响

#### 4 结论

1) 本试验过程中,曝气生物滤池采用连续进水的方式进行启动。在水力停留时间为 10 h 的情况下,经水质监测和生物相的观察,两个星期后,生物载体挂膜成功。

2) 在水力停留时间为 8 h、有机负荷为  $0.97 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、曝气强度为  $0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  情况下, COD、SS 的去除率分别为  $90.7\%$ 、 $83.1\%$ ;出水 COD、SS 浓度分别为  $22 \text{ mg/L}$ 、 $16 \text{ mg/L}$ 。取得了较好的处理效果。

3) 填料厚度对 COD、SS 的去除有密切关系。试验结果表明,当 HRT 为 8 h,填料厚度为 1.25 m (其中缺氧层厚 0.4 m、好氧层厚 0.85 m) 时,出水 COD、SS 均能满足一级排放标准对出水的要求。

4) 曝气滤池对 COD、SS 的沿程去除效果试验表明,该反应器在水力停留时间为 8 h 和曝气强度为  $0.5 \sim 0.6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的情况下,对 COD 和 SS 的去除获得了良好的效果,去除率分别在  $90\%$  和  $80\%$  以上。当曝气强度小于  $0.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,可观察到滤池表面气泡不均匀,出水水质变差。

#### 参考文献:

[1] Pujol P, Lemmel H, Goundsilles M. a keypoint of nitrification in an upflow biofiltration reactor[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38 (3): 43 - 49.

[2] Wijeyekoon S, Mino T, Satoh H. Fixed bed biological aerated filtration for secondary effluent polishing - effect of filtration rate on nitrifying biological activity distribution[J]. Wat Sci Tech, 2000, 4(1): 187 - 195.

[3] 郑俊, 吴浩汀, 程寒飞. 曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[4] 张杰, 曹相生, 孟雪征. 曝气生物滤池的研究进展[J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 26 - 28.

[5] 邱立平, 杜茂安, 冯琦. 二段曝气生物滤池处理生活污水的试验研究[J]. 环境工程, 2001, 19(2): 22 - 24.