



# A/O一体化曝气生物滤池处理城市污水效能研究

何 强, 段秀举, 刘亚丽

(重庆大学 三峡库区生态与环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

**摘 要:** 为解决传统曝气生物滤池易堵塞、运行周期短的问题,通过增加缺氧处理区,将之改造为缺氧/好氧一体化曝气生物滤池,并通过正交试验对其处理城市污水的效能进行了研究。结果表明: HRT、气水比、好氧填料层厚度三个因素对 COD、SS处理效能影响的主次顺序为: HRT > 气水比 > 好氧填料层厚度; 对  $\text{NH}_4^+$ -N 处理效能影响的主次顺序为: 好氧填料层厚度 > HRT > 气水比; 对 TN、TP处理效能影响的主次顺序为: HRT > 好氧填料层厚度 > 气水比。通过对各因素水平的综合比较得出缺氧/好氧一体化曝气生物滤池的适宜运行参数为: HRT = 9 h, 好氧填料层厚度 = 1.95 m, 去除 COD、 $\text{NH}_4^+$ -N 的最佳气水比 = 12:1, 去除 SS、TN、TP 的最佳气水比 = 6:1。

**关键词:** 污水处理; 曝气生物滤池; 去除效能; 正交试验; 运行参数

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)23-0084-04

## Research on Treatment Efficiency of Municipal Wastewater with A/O Integrated Biological Aerated Filter

HE Qiang, DUAN Xiu-ju, LU Ya-li

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** In order to resolve the problems of easy blockage and short operation periods of conventional BAF, it was reconstructed to A/O integrated biological aerated filter by adding anoxic treatment zone, and its treatment efficiency of municipal wastewater was investigated by orthogonal experiment. The results show that the affecting factors are HRT, air/water ratio and filler layer height. The affecting level for COD and SS removal is HRT > air/water ratio > filler layer height. The affecting level for  $\text{NH}_4^+$ -N removal is filler layer height > HRT > air/water ratio. The affecting level for TN and TP removal is HRT > filler layer height > air/water ratio. The suitable operation parameters of A/O integrated biological aerated filter are obtained through the synthetic comparison of different factors and levels. They are HRT of 9 h, filler layer height of 1.95 m, optimum air/water ratio of 12:1 for COD,  $\text{NH}_4^+$ -N removal and optimum air/water ratio of 6:1 for SS, TN and TP removal.

**Key words:** wastewater treatment; biological aerated filter; removal efficiency; orthogonal experiment; operation parameters

曝气生物滤池 (Biological Aerated Filter, BAF) 具有构筑物结构简单、生物浓度高、处理效果好、占

地面积小、运行管理方便等特点<sup>[1]</sup>,该技术在国内外尚有待进一步研究和开发利用。笔者通过生产性试验(处理能力为1 000 m<sup>3</sup>/d)考察了不同运行条件(曝气量、水力停留时间、好氧填料层厚度)下A/O一体化曝气生物滤池(BAF)的处理效能,并对工艺参数进行了优化。

1 工艺流程

试验地点位于重庆市城南污水处理厂。污水经粗格栅、细格栅、沉砂池、初沉池等处理后进入BAF,出水经二沉池沉淀后排放。工艺流程见图1。

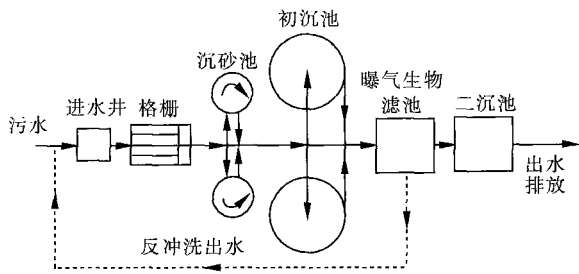


图1 工艺流程

Fig 1 Flow chart of experimental process

试验采用上向流A/O一体化曝气生物滤池,它是由城南污水处理厂的12<sup>#</sup>和14<sup>#</sup>缺氧生物滤池经安装鼓风机曝气系统和更换填料改造而成的,单池处理规模为500 m<sup>3</sup>/d,总处理能力为1 000 m<sup>3</sup>/d。滤池底部装填厌氧酶促生物填料,粒径为10~15 mm,厚度为60 cm;其上装填好氧酶促生物填料,粒径为5~8 mm。滤池尺寸为7 m×7 m×4 m,两种填料间安装穿孔曝气管,滤池结构如图2所示。

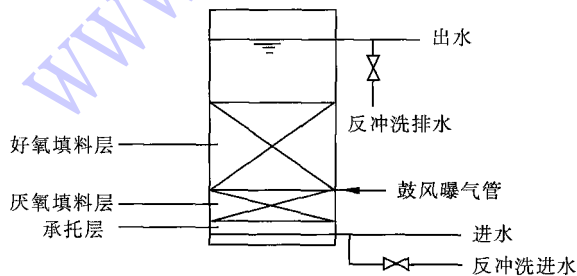


图2 BAF结构图

Fig 2 Structure of BAF

2 试验方案

温度、pH值、进水污染物负荷、气水比、填料层厚度、水力停留时间等都是影响曝气生物滤池处

理效能的重要环境因素,而温度、pH值、进水污染物负荷都是生产性试验中不可控制或较难控制的因素,因此选定气水比、好氧填料层厚度和水力停留时间三个因素设计正交试验,选择L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>)正交试验表,设计了9种试验方案。为保证数据的可靠性,每种方案的试验周期为一个月,取样频率为1次/d,分别测定COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、SS、TN、TP等水质指标,取试验数据均值作为最后结果。试验方案如表1所示。

表1 BAF处理效能正交试验方案

Tab 1 Scheme of the orthogonal experiment

| 试验编号 | 气水比      | HRT/h | 好氧填料层厚度/m | 空列 |
|------|----------|-------|-----------|----|
|      | A        | B     | C         | D  |
| 1    | 1 (6 1)  | 1 (5) | 1 (1.35)  | 1  |
| 2    | 1 (6 1)  | 2 (7) | 2 (1.65)  | 2  |
| 3    | 1 (6 1)  | 3 (9) | 3 (1.95)  | 3  |
| 4    | 2 (9 1)  | 1 (5) | 2 (1.65)  | 3  |
| 5    | 2 (9 1)  | 2 (7) | 3 (1.95)  | 1  |
| 6    | 2 (9 1)  | 3 (9) | 1 (1.35)  | 2  |
| 7    | 3 (12 1) | 1 (5) | 3 (1.95)  | 2  |
| 8    | 3 (12 1) | 2 (7) | 1 (1.35)  | 3  |
| 9    | 3 (12 1) | 3 (9) | 2 (1.65)  | 1  |

3 试验结果与讨论

3.1 试验结果及其统计分析

9种试验方案下BAF对污染物的去除率如表2所示。

表2 BAF处理效能正交试验结果

Tab 2 Removal performance of BAF %

| 试验编号 | COD<br>去除率 | SS<br>去除率 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N<br>去除率 | TN<br>去除率 | TP<br>去除率 |
|------|------------|-----------|----------------------------------------|-----------|-----------|
| 1    | 83.91      | 87.71     | 59.03                                  | 30.68     | 28.93     |
| 2    | 85.83      | 89.36     | 64.86                                  | 36.81     | 32.63     |
| 3    | 87.45      | 90.57     | 73.93                                  | 39.42     | 38.39     |
| 4    | 85.15      | 87.55     | 65.93                                  | 32.85     | 29.91     |
| 5    | 86.94      | 89.18     | 73.95                                  | 36.97     | 33.82     |
| 6    | 87.99      | 89.86     | 69.29                                  | 34.69     | 35.78     |
| 7    | 86.34      | 87.43     | 70.24                                  | 32.23     | 31.16     |
| 8    | 87.27      | 88.63     | 64.58                                  | 31.44     | 31.27     |
| 9    | 88.96      | 89.82     | 71.63                                  | 36.03     | 36.77     |

对试验结果的统计分析见表3。

表 3 正交试验统计分析  
Tab 3 Statistics of the orthogonal experiment

| 项目                               |                                                | 气水比       | HRT       | 好氧填料层厚度   | 空列        |
|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 对 COD 的去除                        | $K_1$                                          | 257.19    | 255.40    | 259.17    | 259.81    |
|                                  | $K_2$                                          | 260.08    | 260.04    | 259.94    | 260.16    |
|                                  | $K_3$                                          | 262.57    | 264.40    | 260.73    | 259.87    |
|                                  | $Q_j$                                          | 67 577.10 | 67 585.77 | 67 572.68 | 67 572.29 |
|                                  | $S_j$                                          | 4.83      | 13.50     | 0.41      | 0.023     |
|                                  | $P = 67\ 572.27, W = 67\ 591.04, S_T = 18.77$  |           |           |           |           |
| 对 SS 的去除                         | $K_1$                                          | 267.64    | 262.69    | 266.20    | 266.71    |
|                                  | $K_2$                                          | 266.59    | 267.17    | 266.73    | 266.65    |
|                                  | $K_3$                                          | 265.88    | 270.25    | 267.18    | 266.75    |
|                                  | $Q_j$                                          | 71 131.19 | 71 140.30 | 71 130.83 | 71 130.67 |
|                                  | $S_j$                                          | 0.53      | 9.64      | 0.17      | 0.0097    |
|                                  | $P = 71\ 130.67, W = 71\ 140.99, S_T = 10.32$  |           |           |           |           |
| 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除 | $K_1$                                          | 197.82    | 195.20    | 192.90    | 204.61    |
|                                  | $K_2$                                          | 209.17    | 203.39    | 202.42    | 204.39    |
|                                  | $K_3$                                          | 206.45    | 214.85    | 218.12    | 204.44    |
|                                  | $Q_j$                                          | 41 835.48 | 41 877.02 | 41 920.20 | 41 812.08 |
|                                  | $S_j$                                          | 23.41     | 64.95     | 108.13    | 0.0093    |
|                                  | $P = 41\ 812.07, W = 42\ 008.57, S_T = 196.50$ |           |           |           |           |
| 对 TN 的去除                         | $K_1$                                          | 106.91    | 95.76     | 96.81     | 103.68    |
|                                  | $K_2$                                          | 104.51    | 105.22    | 105.69    | 103.73    |
|                                  | $K_3$                                          | 99.7      | 110.14    | 108.62    | 103.71    |
|                                  | $Q_j$                                          | 10 764.06 | 10 790.68 | 10 780.29 | 10 755.07 |
|                                  | $S_j$                                          | 8.99      | 35.61     | 25.22     | 0.0031    |
|                                  | $P = 10\ 755.07, W = 10\ 824.88, S_T = 69.81$  |           |           |           |           |
| 对 TP 的去除                         | $K_1$                                          | 99.95     | 90.00     | 95.98     | 99.52     |
|                                  | $K_2$                                          | 99.51     | 97.72     | 99.31     | 99.57     |
|                                  | $K_3$                                          | 99.20     | 110.94    | 103.37    | 99.57     |
|                                  | $Q_j$                                          | 9 910.96  | 9 985.63  | 9 920.00  | 9 910.87  |
|                                  | $S_j$                                          | 0.095     | 74.76     | 9.13      | 0.00073   |
|                                  | $P = 9\ 910.87, W = 9\ 994.85, S_T = 83.98$    |           |           |           |           |

表 4 正交试验各因素方差分析

Tab 4 Square deviation analysis of the orthogonal experiment

| 方差来源 | 自由度 | 对 COD 的去除 |        | 对 SS 的去除 |        | 对氨氮的去除  |           | 对 TN 的去除 |           | 对 TP 的去除 |            |
|------|-----|-----------|--------|----------|--------|---------|-----------|----------|-----------|----------|------------|
|      |     | 均方        | F 值    | 均方       | F 值    | 均方      | F 值       | 均方       | F 值       | 均方       | F 值        |
| 因素 A | 2   | 2 415     | 210.00 | 0.265    | 54.64  | 11.705  | 2 517.20  | 4 495    | 2 900     | 0.0475   | 130.14     |
| 因素 B | 2   | 6.75      | 586.96 | 4.82     | 993.81 | 32.475  | 6 983.87  | 17.805   | 11 487.10 | 37.38    | 102 410.96 |
| 因素 C | 2   | 0.205     | 17.83  | 0.085    | 17.53  | 54.065  | 11 626.88 | 12.61    | 8 135.48  | 4.565    | 12 506.85  |
| 误差   | 2   | 0.0115    |        | 0.00485  |        | 0.00465 |           | 0.00155  |           | 0.000365 |            |

通过对正交试验结果的统计分析可知,曝气生物滤池对 COD 的处理效能随因素 A、B、C 的升高而增加;对 SS、TN、TP 的处理效能随因素 B、C 的升高而增加,随因素 A 的升高而降低; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  处理效能随因素 A、B、C 升高而有所波动。

组间偏差  $S_j$  可反映各因素对曝气生物滤池处理效能影响的主次顺序,由表 3 可知:

对 COD 的影响: $S_B > S_A > S_C$ ,三因素对曝气生物滤池 COD 处理效能影响的主次顺序从大到小依次为水力停留时间、气水比、好氧填料层厚度。

对 SS 的影响: $S_B > S_A > S_C$ ,对 SS 处理效能影响的主次顺序从大到小依次为水力停留时间、气水比、好氧填料层厚度。

对氨氮的影响: $S_C > S_B > S_A$ ,对氨氮处理效能影响的主次顺序从大到小依次为好氧填料层厚度、水力停留时间、气水比。

对 TN 的影响: $S_B > S_C > S_A$ ,对 TN 处理效能影响的主次顺序从大到小依次为水力停留时间、好氧填料层厚度、气水比。

对 TP 的影响: $S_B > S_C > S_A$ ,对 TP 处理效能影响的主次顺序从大到小依次为水力停留时间、好氧填料层厚度、气水比。

3.2 方差分析及显著性检验

对各因素的方差分析见表 4。

在显著性水平  $\alpha = 0.10, 0.05$  时,  $F_{0.90}(2, 2) = 9.0, F_{0.95}(2, 2) = 19.0$ 。由表 4 可见,在对 COD 去除效果的影响方面,由于  $F_A, F_B > 19, F_C > 9$ ,故认为因素 A、B 的影响非常显著,因素 C 的影响较显著;同理,在对 SS 去除效果的影响上,因  $F_A, F_B > 19, F_C > 9$ ,可认为因素 A、B 的影响非常显著,因素 C 的影响较显著;对氨氮、TN 和 TP 处理效果的影响,因  $F_A, F_B, F_C > 19$ ,而认为因素 A、B、C 的影响均非常显著。

对影响 COD 处理效能的各因素进行多重比较<sup>[2]</sup>,以因素 A 为例:

正交试验的  $S_e = 0.023, r = 2 \times 3, F_{0.90}(2, 2) = 9$ 。计算出  $d_T = F_{0.90}(2, 2) (S_e / r)^{1/2} = 0.56$ 。

因  $|k_{A1} - k_{A2}| > d_T, |k_{A1} - k_{A3}| > d_T, |k_{A2} - k_{A3}|$



$> d_T$ , 所以对于因素 A 水平 1、2、3 间均有显著差异。

同理分析因素 B、C 可知: 水平 1、2、3 间亦有显著差异。

对影响 SS、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP 处理效能的各因素进行多重比较, 可知因素 A、B、C 各水平之间均有显著差异。

#### 4 结论

对影响 A/O 一体化曝气生物滤池处理效能的三个因素的正交试验结果进行分析得出: 水力停留时间、气水比和好氧填料层厚度三个因素对 COD、SS 处理效能影响的主次顺序从大到小依次为: 水力停留时间、气水比、好氧填料层厚度; 对 TN、TP 处理效能影响的主次顺序依次为: 水力停留时间、好氧填料层厚度、气水比; 而对于氨氮则为: 好氧填料层厚度、水力停留时间、气水比。

水力停留时间、气水比、好氧填料层厚度对

COD、SS、氨氮、TN、TP 处理效果的影响在各水平间均有显著差异。

对各因素水平的综合比较可得一体化曝气生物滤池的适宜运行参数为: 水力停留时间 = 9 h, 好氧填料层厚度 = 1.95 m。去除 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的最佳气水比 = 12:1, 去除 SS、TN、TP 的最佳气水比为 6:1。

#### 参考文献:

- [1] Pujol R. Process improvements for upflow submerged bio-filters[J]. Water 21, 2000, 32(1): 25 - 29.
- [2] 蔡正咏, 王足献. 正交设计在混凝土中的应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.

E-mail: duanxiuju@126.com

收稿日期: 2006 - 08 - 25