

# 普通活性污泥系统曝气池中投加浮动填料 提高硝化能力的研究

林铸炉 盛兆琪 夏伟根

(华东理工大学环境工程系, 上海 200237)

**摘要** 在普通活性污泥系统的曝气池中投加一定量的浮动填料可增加曝气池中的生物量达  $6.5\text{g/L}$ , 能提高硝化菌的附着量和阻止硝化菌的流失. 实验证明, 在浮动填料活性污泥系统中 HRT (或溶积负荷) 对硝化能力的影响远小于普通活性污泥系统; 当 HRT 为 8h, 泥龄为 3d 时, 普通活性污泥系统对氨氮的去除率仅 25%, 而浮动填料活性污泥系统的去除率可达 71%. 在低泥龄时, 浮动填料活性污泥系统中氨氮降解过程遵循动力学方程  $U = U_{\max} \times S_e / (K_s + S_e)$ . 在本实验条件下,  $U_{\max}$  和  $K_s$  分别为  $14.66\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  与  $10.72\text{mg/L}$ .

**关键词** 浮动填料, 硝化, 硝化菌, 活性污泥法, 水力停留时间, 氨氮.

## A Study on Enhancing Nitrification by Adding Porous Floating Biomass-Supporting Packings in the Conventional Activated Sludge System

Lin Zhulu Sheng Zhaoqi Xia Weigen

(Dept. of Environ Eng., East China Univ. of Sci. and Tech., Shanghai 200237)

**Abstract** The biomass concentration could be augmented to  $6.5\text{g/L}$  when some porous floating biomass-supporting packing were added in the tank of conventional activated sludge system. The porous floating packing can increase the adsorption of nitrobacteria and thus retard their loss. It is verified by the experiments that the influence of hydraulic retention time to the nitrification in the suspended carrier activated sewage (SCAS) is much less than in the conventional activated sludge process (ASP). When the HRT is 8h and the sludge age is 3d, the removal of ammonia is 71% in the SCAS and only 25% in the ASP. It can be modeled with the dynamic equation of  $U = U_{\max} \times S_e / (K_s + S_e)$  that the degradation ammonia in the SCAS at the lower sludge age; the value of  $U_{\max}$  and  $K_s$  is  $14.66\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  and  $10.72\text{mg/L}$  respectively under this experimental condition.

**Keywords** floating biomass-supporting packing, nitrification, nitrobacteria, activated sludge system, ammonia.

在国外, 浮动填料活性污泥法已有十几年的发展历史, 到目前为止有 LINPOR, CAPTOR 和 RINGLACE 系统得到了实际应用<sup>[1, 2]</sup>.

### 1 实验装置与方法

#### 1.1 实验装置

图 1 为实验装置, 曝气池和二沉池由有机玻璃制成, 曝气池容积 6L, 二沉池容积 2L, 温度由温控器控制. 实验中 2 套装置同时运行, 进行投加浮动填料的浮动填料活性污泥系统

(Suspended Carrier Activated Sewage, SCAS) 和不加填料的普通活性污泥系统 (Activated Sludge Process, ASP) 的对比实验.

#### 1.2 实验方法

在 SCAS 曝气池中投加无纺布环柱状填料的单颗体积为  $\phi 5 \times 2 \times 25\text{mm}$ , 孔隙率为 29.4%, 比表面积为  $0.67\text{m}^2/\text{g}$ . 实验分 2 阶段进行, 废水组成见表 1, 实验条件见表 2.

林铸炉: 男, 28 岁, 硕士, 讲师

收稿日期: 1997-05-17

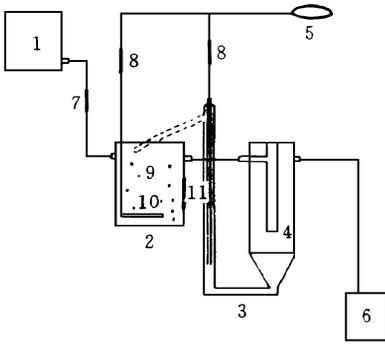


图 1 生化实验装置

1. 高位储槽 2. 曝气池 3. 空气提升管 4. 二沉池
5. 空气泵 6. 出水储槽 7. 液体流量计 8. 空气流量计
9. 浮动填料 10. 曝气头 11. 温度控制器

表 1 废水组成/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

|                                |   |           |
|--------------------------------|---|-----------|
| 人<br>工<br>合<br>成<br>废<br>水     | COD <sub>Cr</sub> (葡萄糖)                             | 400- 1000 |
|                                | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(NH <sub>4</sub> Cl) | 50- 200   |
|                                | NaHCO <sub>3</sub>                                  | 600- 1500 |
|                                | NaCl  | 140       |
|                                | MgSO <sub>4</sub>                                   | 120       |
|                                | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                     | 120       |
| pH                             | 7.5- 8.5  |           |
| 工<br>业<br>废<br>水 <sup>1)</sup> | COD   | 1200      |
|                                | BOD <sub>5</sub> / COD                              | 0.46      |
|                                | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(NH <sub>4</sub> Cl) | 100       |
|                                | NaHCO <sub>3</sub>                                  | 1200      |
|                                | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                     | 120       |
|                                | pH  | 6.5- 7.5  |

1) 上海某厂环氧车间总排出口废水稀释 10 倍后加入适量的 NH<sub>4</sub>Cl、NaHCO<sub>3</sub> 和 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

表 2 实验运行条件

| 时段     | 废水水质 | 废水流量<br>/L · d <sup>-1</sup> | 溶解氧<br>/mg · L <sup>-1</sup> | 泥龄<br>/d | 温度<br>/ | 回流比 | 填料投加量<br>(V <sub>填</sub> /V <sub>池</sub> )/% |
|--------|------|------------------------------|------------------------------|----------|---------|-----|--|
| 第 1 阶段 | 合成废水 | 12- 24                       | > 2                          | 3- 12    | 20 ± 3  | 1 1 | 12.5- 37.5                                   |
| 第 2 阶段 | 工业废水 | 12- 16                       | > 2                          | 3        | 25 ± 3  | 1 1 | 25   |

## 2 结果与讨论

### 2.1 浮动填料生物膜特性

无纺布浮动填料、合成废水和活性污泥混合后放入曝气池, 间歇挂膜 10d—15d 后, 开始连续进水和出水, 直至附着生长在浮动填料上的生物膜量达到平衡为止. 实验结果见图 2.

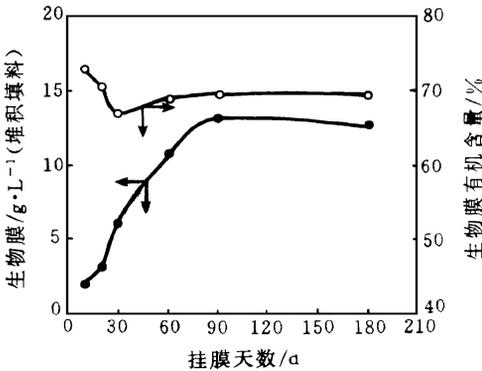


图 2 无纺布填料生物膜变化曲线

在无纺布填料内表面长着一层 1- 2mm 的生物膜, 呈灰黑色, 结构较松散; 而在外表面的凹下部分生长着一层极薄的棕色生物膜, 附着坚牢, 色泽浅显, 与文献上报道<sup>[3]</sup>的硝化膜很相似. 从图 2 可以看出, 1 个月以后填料上的生物膜的有机含量稳定在 69.5% 左右, 略

低于普通活性污泥系统中活性污泥的有机含量(75%左右); 而填料上的生物膜量则在 3 个月后才达到平衡, 每 L 堆积的浮动填料上生长有 13g 固着型活性污泥. 填料的投加量为曝气池容积的 25% 时, 可使生化系统生物体浓度达 7g/L 左右, 比普通活性污泥系统生物体浓度提高 75% 以上.

### 2.2 容积负荷对 2 种系统去除氨氮的影响

当浮动填料上生物膜量达到稳定以后, 在相同实验条件下(温度: 20 ± 3、填料投加体积比 V<sub>填</sub>/V<sub>池</sub>: 25%、泥龄: 5d), 容积负荷对 2 种系统去除氨氮能力的影响见图 3.

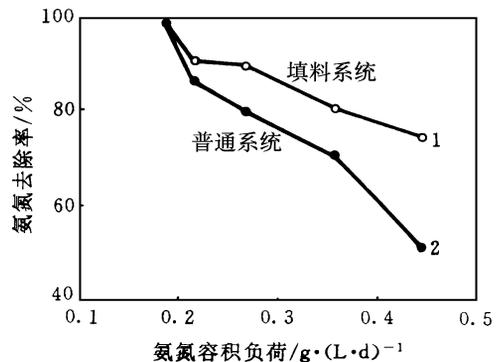


图 3 氨氮去除率与容积负荷的关系

如图 3 所示, 随着容积负荷的增加(或水

力停留时间减小), 2 种系统对氨氮的去除率下降, 但下降的快慢不同, 当  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  容积负荷小于  $0.2 \text{ g}/(\text{L} \cdot \text{d})$  时, 2 种系统对氨氮的去除率相差较小, 大于此值相差越来越大. 可见, 容积负荷(或水力停留时间)对浮动填料活性污泥系统硝化能力的影响小于普通活性污泥系统, 这一结果与文献[4]的报道相似. 笔者认为, 这种现象与曝气池中活性污泥的量有关.

### 2.3 填料投加量对去除氨氮的影响

实验结果见图 4. 从图 4 可知, 当曝气池中填料的投加量为 25% 时, 相应的 EMLSS (equivalent mixed liquid suspend solid) 为  $6.464 \text{ g}/\text{L}$ , 再增加填料投加量对提高氨氮去除率没有明显效果, 但若减少填料投加量, 则由于减少了曝气池中的 EMLSS, 相应增加了系统的氨氮污泥负荷, 使氨氮去除率降低. 填料投加量对总氮的去除率影响也不大. 另外, 当投加量增大到 37.5% 时, 填料在曝气池中的翻动效果受到影响, 因此, 在能满足出水水质要求时, 尽量减少填料投加量, 本实验推荐无纺布浮动填料的投加量以 25.0% 为宜.

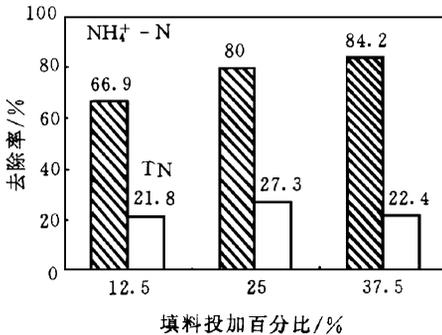


图 4  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 去除率与填料量的关系

### 2.4 泥龄对 2 种系统去除氨氮的影响

在 SCAS 曝气池中悬浮型生物量约占全部生物量的一半, 悬浮型污泥和固着型污泥都对有机物的生物降解起作用. 由于固着型污泥的停留时间较难确定, 故以系统中悬浮型污泥的量与每天排放的剩余污泥的量的商值来计算泥龄, 相当于系统中悬浮型污泥的泥龄. 在 HRT 为 8h, 氨氮进水浓度约为  $90 \text{ mg}/\text{L}$ , 进行了不同泥龄对 2 种活性污泥系统去除氨

氮效率的影响. 结果见表 3.

表 3 不同泥龄对氨氮去除效率的影响

| 泥龄 / d | 浮动填料活性污泥系统  |         | 普通活性污泥系统  |         |
|--------|---|---------|---|---------|
|        | 出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 去除率 / % | 出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 去除率 / % |
| 3      | 28.2  | 71.1    | 73.1  | 25.0    |
| 5      | 9.2   | 89.6    | 17.7  | 80.0    |
| 12     | 15.7  | 83.7    | 28.5  | 70.3    |

从表 3 可以看出, 在不同的泥龄下, SCAS 对氨氮的去降率均高于 ASP, 当泥龄为 3d 时 2 者的差别尤其明显. 在进水浓度几乎相等的条件下, 泥龄为 3d 的 SCAS 出水氨氮浓度 ( $28.2 \text{ mg}/\text{L}$ ) 和氨氮去除率 (71.1%) 与泥龄为 12d 的 ASP 的出水氨氮浓度 ( $28.5 \text{ mg}/\text{L}$ ) 和去除率 (70.3%) 几乎相等. 这一结果表明, 在去除氨氮方面曝气池中投加一定量的浮动填料改进后的活性污泥法可以代替延长泥龄而改进的延时曝气法, 因此在泥龄较短时 (3d), 浮动填料活性污泥法在去除氨氮方面明显地显示出其优越性. 此外, 泥龄为 5d 时氨氮的去除率要比 12d 时好, 这是因为微生物新细胞合成需要消耗氨氮, 对氨氮的去除也有一定的贡献. 泥龄越短, 产生的剩余污泥越多, 这部分的贡献就大. 尤其在 ASP 中更为明显.

### 2.5 低泥龄时 2 种系统去除氨氮效果的比较

泥龄为 3d, 2 种系统的氨氮进水负荷与氨氮降解速率的关系见图 5. 从图 5 可以看出, 在低泥龄时, SCAS 中氨氮的污泥降解速率明显高于 ASP. 这表明, 在低泥龄时, 添加浮动填料能滞留硝化菌于曝气系统中, 增强活性污

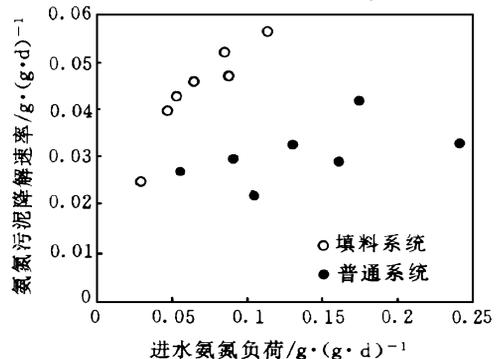


图 5 2 种系统氨氮污泥降解速率比较

泥系统的硝化能力。

## 2.6 动力学参数的确定

在低泥龄时, SCAS 去除氨氮的主要贡献来自于填料生物膜, 因此, 可以运用文献[5]提出的动力学模式来解释 SCAS 中氨氮降解规律。

$$U = U_{\max} \times \frac{S_e}{K_s + S_e} \quad (1)$$

将式(1)取倒数得:

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{U_{\max}} \times \frac{1}{S_e} + \frac{1}{U_{\max}} \quad (2)$$

式中,  $U$  为单位面积填料基质去除速度,  $U_{\max}$  为单位面积填料最大基质去除速度;  $K_s$  为饱和速率常数;  $S_e$  为出水基质浓度。

通过实验数据来求取在本实验条件下的动力学常数  $U_{\max}$  和  $K_s$ 。

表 4 2 种系统处理工业废水氨氮比较结果(温度 30 )

| 进水氨氮浓度<br>/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | HRT<br>/ h | SCAS                                      |            |   |               | ASP                                       |            |   |               |
|---|------------|---|------------|---|---------------|---|------------|---|---------------|
|   |            | 出水氨氮<br>/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 去除率<br>/ % | $\text{NO}_x\text{-N}$<br>/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | TN 去除率<br>/ % | 出水氨氮<br>/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 去除率<br>/ % | $\text{NO}_x\text{-N}$<br>/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | TN 去除率<br>/ % |
| 83.7  | 12         | 22.0                                      | 73.7       | 17.5  | 52.8          | 43.2                                      | 48.4       | 11.4  | 29.1          |
| 83.2  | 9          | 25.7                                      | 69.1       | 17.3  | 48.3          | 42.1                                      | 49.4       | 11.1  | 36.1          |
| 83.2  | 6.5        | 31.1                                      | 62.6       | 12.3  | 49.7          | 49.7                                      | 40.3       | 10.2  | 28.0          |

表 4 表明: SCAS 氨氮和总氮去除率均比 ASP 提高了 20% 以上; 从出水的  $\text{NO}_x\text{-N}$  浓度看出普通系统也有硝化发生, 这是因为在该实验期间白天温度较高(近 30 ), 而在 30 时发生硝化作用所要求的泥龄的理论值很短(1.9d), 所以在泥龄为 3d 时 ASP 也有一定程度的硝化作用发生。目前, 国内的一些污水处理厂在夏季出水的氨氮浓度  $< 15\text{mg/L}$ , 而到了冬季, 出水的氨氮浓度会超过排放标准。利用投加填料等措施可望在冬季也使这类污水处理厂的氨氮出水达标, 这也是开发研究 SCAS 的目的之一。

## 3 结论

(1) 无纺布环柱型浮动填料上的生物膜量可达  $13\text{g/L}$  堆积填料, 生物膜中有机含量为 69.5%; 采用 SCAS 不仅可使曝气池中的当量污泥浓度大大增加, 而且在低泥龄时可以阻止

实验及计算结果见图 6, 图 6 所示直线的相关系数  $R = 0.9880$ , 从图 6 中可求得  $U_{\max} = 14.66\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,  $K_s = 10.72\text{mg/L}$ 。

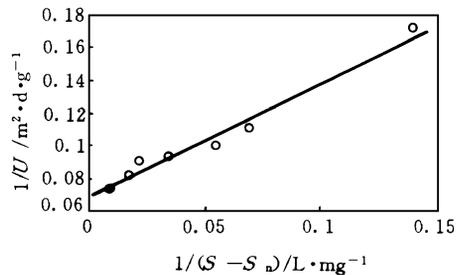


图 6 动力学参数的确定

## 2.7 实际工业废水连续运行实验

用表 1 所示的实际工业废水在 2 种系统中同时进行连续运行实验, 保持进水浓度不变, 泥龄为 3d, 实验结果如表 4。

生化系统曝气池中硝化菌的流失, 提高系统硝化能力。

(2) 低泥龄时, SCAS 中的氨氮降解过程遵循动力学方程  $U = U_{\max} \times S_e / (K_s + S_e)$ 。

(3) 处理上海某厂车间排放口废水的连续实验表明, SCAS 在氨氮去除方面优于 ASP。可利用 SCAS 改造现有的 ASP。

## 参 考 文 献

- 1 Wanner J et al. · Activated sludge process combined with biofilm cultivation. Wat. Res., 1988, 22(2): 207- 215
- 2 Jean-Paul Nicol et al. · Activated sludge system with biomass particle support structures. Biotechnology and Bioengineering, 1988, 31: 682- 695
- 3 柴田等. スポンジ添加活性汚泥法の 高負荷硝化条件の检讨. 用水と 废水, 1994, 36(9): 5- 9
- 4 王毓仁等. 膜法 A/O 生物脱氮技术处理化肥厂含氮工艺废水. 化工环保, 1993, 13(2): 89- 96
- 5 顾夏声. 废水生物处理数学模式. 北京: 清华大学出版社, 1993: 158- 163