



# 生物接触氧化/气浮处理微污染源水中试

王福龙<sup>1</sup>, 魏宏斌<sup>1</sup>, 王瑟澜<sup>2</sup>, 杨芸<sup>2</sup>

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 上海临港新城污水综合治理有限公司, 上海 200002)

**摘要:** 开展了生物接触氧化/气浮工艺处理微污染源水的中试研究(规模为  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 考察了生物接触氧化池的气水比、水力停留时间、悬浮生物填料填充率和气浮池混凝剂投加量、表面负荷对污染物去除效果的影响。结果表明, 当生物接触氧化池的气水比为 1.0、水力停留时间为 60 min、填料填充率为 40% 与气浮池的硫酸铝投加量为  $30 \text{ mg/L}$ 、表面负荷为  $7.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时, 工艺除污效果良好, 对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除率为 23%, 出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  及 TP 达到了地表水 II 类水水质标准。

**关键词:** 微污染源水; 生物接触氧化; 气浮; 气水比; 水力停留时间; 填料填充率; 表面负荷

中图分类号: TU991.2 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2006)01-0097-04

## Pilot-scale Research on Treatment of Micro-polluted Source Water by Biological Contact Oxidation / Air Flotation Process

WANG Fu-long<sup>1</sup>, WEI Hong-bin<sup>1</sup>, WANG Se-lan<sup>2</sup>, YANG Yun<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Lingang City Wastewater Treatment Co. Ltd., Shanghai 200002, China)

**Abstract:** A pilot-scale test with influx of  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  based on biological contact oxidation / air flotation process was carried out for treating micro-polluted source water. The influence of air-water ratio, HRT (hydraulic retention time), media-filling rate for biological contact oxidation tank and dosage of flocculating agent, surface loading for flotation tank on pollutants removal was studied. The results show that when the air-water ratio is 1.0, HRT is 60 min, media-filling rate is 40%, the dosage of flocculating agent is  $30 \text{ mg/L}$  and surface loading is  $7.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , pollutants removal effects are excellent with removal rate for  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , which can be up to 23%, its effluent  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and TP can achieve standards for II-class criteria of surface water.

**Key words:** micro-polluted source water; biological contact oxidation; air flotation; air-water ratio; HRT; media-filling rate; surface loading

天然湖泊、河道或人工湖、水库在国民经济及日常生活中具有重要作用,它具有城市供水、农业灌溉、调节气候、水产养殖、美化环境等功能。然而,经济建设等也造成了国内许多水体的富营养化,根据国内外治理大型湖泊的经验,防治湖泊富营养化最

有效、直接的方法是引清水入湖,增加水体的流动性。因此,研究探索一套经济可行的处理工艺,将微污染源水处理后作为大型人工湖的补充水非常必要,同时对小型人工湖治理及自来水厂净水工艺的发展 also 具有重要意义。为此,进行了“生物接触氧

化+气浮”工艺处理微污染源水的试验研究。

## 1 试验装置与方法

### 1.1 源水水质

试验用水为上海临港新城人工湖 D 港水,其水质见表 1。

表 1 源水水质  
Tab. 1 Quality of source water

| 指标                                                       | 最小值      | 最大值       | 平均值      |
|----------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|
| 水温/ $^{\circ}\text{C}$                                   | 15.6     | 20.2      | 19       |
| 溶解氧/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$                   | 4.2      | 7.0       | 6.0      |
| pH                                                       | 7.55     | 8.76      | 8.57     |
| 浊度/NTU                                                   | 42       | 79        | 59       |
| 氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$                    | 0.1      | 1.65      | 0.72     |
| $\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 11.78    | 17.83     | 15.53    |
| 叶绿素 a/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$               | 105.79   | 218.80    | 157.11   |
| 总磷/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$                    | 0.11     | 0.37      | 0.27     |
| 藻类/ $(10^4 \text{个} \cdot \text{L}^{-1})$                | 3 960.36 | 12 414.50 | 7 541.81 |

### 1.2 工艺流程

中试工艺流程见图 1。

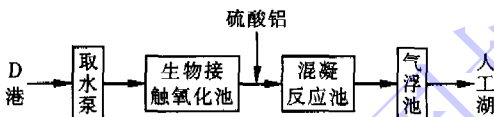


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pilot-scale test process

中试装置的规模为  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ , D 港水经过潜水泵提升进入钢制生物接触氧化池。生物接触氧化池采用穿孔曝气,并投加叠片展开式悬浮生物填料。气浮池前端设混凝反应池,通过自动加药系统向混凝反应池进水中投加混凝剂(固体硫酸铝),经过可调速搅拌机的搅拌使药剂与水充分混合反应后在气浮池进行泥水分离。生物接触氧化池为两个并联,每池的长×宽×高= $3.74 \text{ m} \times 1.50 \text{ m} \times 3.50 \text{ m}$ ,悬浮填料采用同济大学上海申耀环保实业有限公司生产的  $\text{Ø}100$  聚丙烯球形填料;混凝池的长×宽×高= $1.40 \text{ m} \times 1.70 \text{ m} \times 2.20 \text{ m}$ ,气浮池分离区的长×宽×高= $2.20 \text{ m} \times 1.70 \text{ m} \times 2.20 \text{ m}$ 。装置 24 h 连续运行,生物接触氧化池采用自然挂膜方式,挂膜成熟后进行试验的工况调整,每个工况运行 7 d 左右。整个试验在 2004 年 7 月至 2005 年 12 月完成。

### 1.3 水质分析方法

主要水质指标的分析方法见表 2。

表 2 水质指标的分析方法

Tab. 2 Test items and analysis methods

| 指标                       | 分析方法                     |
|--------------------------|--------------------------|
| 溶解氧                      | 溶氧仪                      |
| pH                       | pH 计                     |
| 浊度                       | 浊度仪                      |
| 氨氮                       | 纳氏试剂分光光度法 <sup>[1]</sup> |
| $\text{COD}_{\text{Mn}}$ | 酸性高锰酸钾法 <sup>[1]</sup>   |
| 叶绿素 a                    | 三色法                      |
| 总磷                       | 钼锑抗分光光度法 <sup>[1]</sup>  |
| 总氮                       | 紫外分光光度法 <sup>[1]</sup>   |
| 藻类                       | 目镜视野法 <sup>[1]</sup>     |

## 2 试验结果及分析

### 2.1 气水比的确定

试验期间生物接触氧化池的水力停留时间为 75 min,填料填充率为 50%,则生物接触氧化池对污染物的去除效果随气水比的变化情况见图 2。

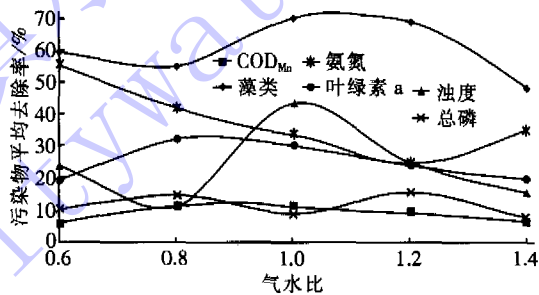


图 2 气水比对生物接触氧化池除污效果的影响

Fig. 2 Effect of air-water ratio on pollutants removal by biological contact oxidation tank

由图 2 可知,气水比对生物接触氧化池去除  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、浊度、藻类、叶绿素 a 的影响规律基本一致,当气水比为 1.0 时对这 4 种污染物的去除效果均较好。气水比对总磷的去除效果影响不大,没有表现出明显的规律。因此可确定气水比为 1.0。

由于曝气的原因,浊度、叶绿素 a 和藻类在生物接触氧化池内不可能自然沉降,因而对它们的去除机理主要为生物膜吸附和胞外酶水解<sup>[2]</sup>。Kyeong-Ho Lim 等<sup>[3]</sup>在对 Daechung 河源水进行预处理时发现:生物接触氧化工艺对叶绿素 a 的去除率可达 33.1%~40.5%。曝气的作用主要有两个方面:一是供给生物氧化所需的氧,二是确保生物填料能在全池均匀流化。但气水比过高会对生物膜造成强烈冲刷,导致生物膜流失,这对世代周期长的硝化细菌极为不利。试验中,生物接触氧化池内填料流态均



匀,使氧气、水和生物膜能充分接触,达到了良好的传质效果,因而微生物活性强,对藻类的去除率基本在60%以上,在气水比为0.8和1.0时,对叶绿素a的去除率均达到了30%,在气水比为1.0时,对浊度的去除率>40%。

生物接触氧化池去除氨氮的效果随气水比变化而波动较大。刘远采用相同的工艺和设备预处理高氨氮浓度(2.59~3.74 mg/L)的上海市宝山区潘泾河水的研究表明:在气水比为0.7~1.3时,生物接触氧化池对氨氮的去除率稳定在70%~85%,与笔者的结果有一定差异。经推究其原因可能是:源水氨氮浓度较低,供亚硝化菌和硝化菌生长繁殖的氮源不足,同时进水氨氮浓度波动非常大,在这种情况下,气水比不是氨氮去除的限制性因素。

## 2.2 生物接触氧化池水力停留时间的确定

保持气水比为1.0,则不同水力停留时间的生物接触氧化池对污染物的去除效果见图3。

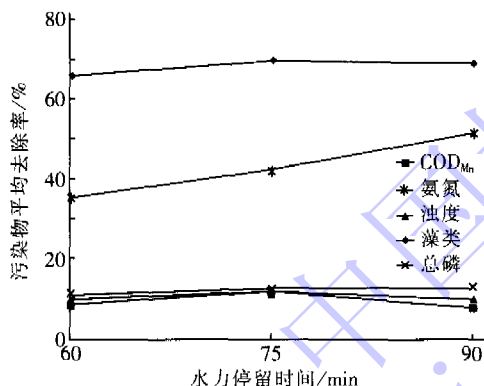


图3 水力停留时间对除污效果的影响

Fig.3 Effect of HRT on pollutant removal

水力停留时间是影响污染物去除效果的重要参数,适当延长水力停留时间,则水质净化效果会相应提高,但水力停留时间与工程造价密切相关,在满足处理要求的前提下应尽量减小。由图3可知,水力停留时间对浊度、藻类、总磷和COD<sub>Mn</sub>的去除率影响很小,主要影响对象为氨氮。因此,确定接触氧化池的水力停留时间主要是考虑对氨氮的去除效果。由于试验期间进水氨氮浓度较低,当水力停留时间>60 min时,出水氨氮浓度都在Ⅱ类水的氨氮标准值(0.5 mg/L)以下,不仅可以作为人工湖补充水,也可作为净水厂的源水。

## 2.3 填料填充率的确定

填料填充率在一定程度上决定了生物接触氧化

池内的生物膜量,因而与处理效果直接相关,同时它也是决定工程造价的重要参数,但目前国内尚无这方面的研究报道。

在生物接触氧化池的气水比为1.0、水力停留时间为60 min的条件下,考察了填料填充率为30%~50%时生物接触氧化池去除氨氮和COD<sub>Mn</sub>的效果,结果见图4。

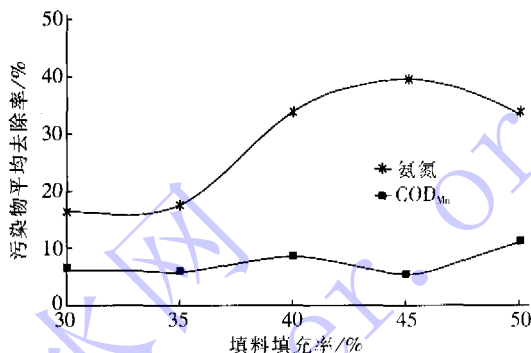


图4 填料填充率对氨氮和COD<sub>Mn</sub>去除效果的影响

Fig.4 Effect of media-filling rate on NH<sub>3</sub>-N and COD<sub>Mn</sub> removal efficiency

由图4可知,随着填料填充率从30%增加到50%,其对氨氮去除率的影响大于对COD<sub>Mn</sub>去除率的影响,当填料填充率为45%时对氨氮的去除效果最好,当填充率下降到35%时氨氮去除率大幅度下降,因此填料的填充率不宜低于40%。

## 2.4 气浮池混凝剂投加量的确定

研究了生物接触氧化池与气浮联合运行时合适的混凝剂投加量,其中生物接触氧化池的水力停留时间为75 min、气水比为1.0,气浮池的表面负荷为6.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),溶气回流比为10%,溶气压力基本稳定在0.33 MPa,相应的污染物去除效果见图5。

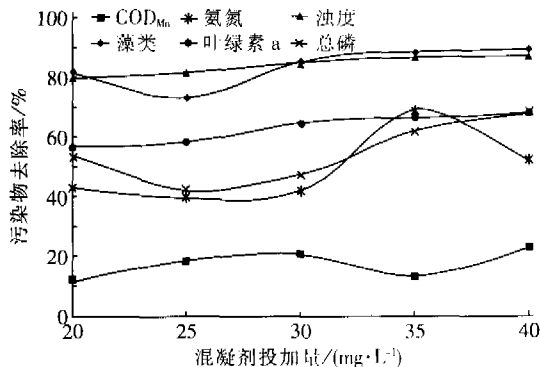


图5 混凝剂投加量对气浮池除污效果的影响

Fig.5 Effect of dosage of flocculating agent on pollutants removal by air flotation tank

由图 5 可知,除了氨氮和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  外,气浮池对浊度、总磷、藻类和叶绿素 a 的去除率随着混凝剂投加量的增大呈明显的上升趋势,并在混凝剂投加量为  $30\text{ mg/L}$  左右时出现了平台(总磷除外)。因此选用  $30\text{ mg/L}$  的混凝剂投加量比较合适。

### 2.5 气浮池表面负荷的确定

在生物接触氧化池水力停留时间为  $75\text{ min}$ 、气水比为  $1.0$ 、气浮池的混凝剂投加量为  $30\text{ mg/L}$ 、溶气回流比为  $10\%$ 、溶气压力基本稳定在  $0.33\text{ MPa}$  的条件下,考察了表面负荷对气浮池除污效果的影响,结果见图 6。

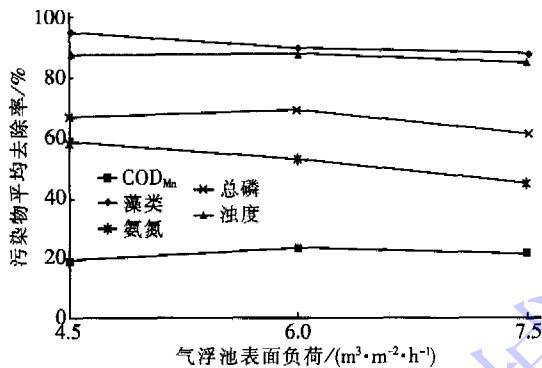


图 6 表面负荷对气浮池除污效果的影响

Fig.6 Effect of surface loading on pollutants removal by air flotation tank

由图 6 可知,浊度、藻类和总磷去除率随气浮池表面负荷的增加而呈小幅变化。当表面负荷为  $7.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,对各污染物的去除效果均较好,出水浊度  $<10\text{ NTU}$ ,出水入湖能有效控制湖内富营养化趋势。综合除污效果和经济因素,气浮池表面负荷取  $7.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  较合适。

### 2.6 总体除污效果

在接触氧化池的水力停留时间为  $60\text{ min}$ 、气水比  $1.0$ 、气浮池的表面负荷为  $7.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、硫酸铝投加量为  $30\text{ mg/L}$  的条件下,整个工艺对源水的处理效果见表 3。总体来讲,除了  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  以外出水氨氮和总磷都能达到地表水 II 类水标准。该工艺对叶绿素的去除率为  $68\%$ ,对藻类的去除率为  $89.71\%$ ,能很好地控制湖内可能发生的水华现象。由于试验期间 D 港水遭到生活污水的污染,导致进水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  平均浓度  $>16\text{ mg/L}$ ,尽管  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  平均去除率  $>23\%$ ,但出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度仍较高。

表 3 组合工艺对污染物的去除效果

Tab.3 Effect of combined process on pollutants removal

| 项目          | 氨氮/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | $\text{COD}_{\text{Mn}}$ /<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 总磷/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 叶绿素<br>a/( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 浊度/<br>NTU | 藻类/<br>( $10^4$ 个<br>$\cdot \text{L}^{-1}$ ) |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------|
| 进水          | 最大值                                        | 1.11                                                              | 17.38                                      | 0.37                                           | 168        | 7505                                         |
|             | 最小值                                        | 0.52                                                              | 15.63                                      | 0.27                                           | 105.79     | 3960                                         |
|             | 平均值                                        | 0.78                                                              | 16.36                                      | 0.31                                           | 135.11     | 5890                                         |
| 出水          | 最大值                                        | 0.59                                                              | 13.91                                      | 0.11                                           | 66.17      | 963                                          |
|             | 最小值                                        | 0.18                                                              | 11.30                                      | 0.07                                           | 33.60      | 293                                          |
|             | 平均值                                        | 0.37                                                              | 12.54                                      | 0.10                                           | 42.52      | 606                                          |
| 地表水 II 类水标准 | 0.5                                        | 4                                                                 | 0.1                                        |                                                |            |                                              |

### 3 结论

① 应用悬浮载体生物接触氧化法处理微污染源水时,对各种污染物均取得了良好的去除效果,流化状态好,改善了气、水及微生物之间的传质效果。

② 气水比对生物接触氧化池去除  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、浊度、藻类、叶绿素 a 的影响规律基本一致,最佳气水比为  $1.0$ 。

③ 在进水氨氮为  $0.10 \sim 1.65\text{ mg/L}$  的情况下,生物接触氧化池对氨氮的去除效果波动较大,气水比不是氨氮去除的限制性因素。

④ 填料填充率对氨氮的去除效果影响较大,而对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  去除效果的影响很小。合适的填料填充率为  $45\%$ 。

⑤ 在试验水质下,适宜的工作参数:生物接触氧化池的水力停留时间为  $60\text{ min}$ ,硫酸铝投加量为  $30\text{ mg/L}$ ,气浮池表面负荷为  $7.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑥ 生物接触氧化池/气浮工艺可有效去除微污染源水中的各种污染物,出水满足人工湖补充水水质要求。

### 参考文献:

- [1] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第 3 版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989.
- [2] Rohod, Harremoes. Degradation of non-diffusible organic matter in biofilm reactor[J]. Wat Res, 1993, 27(11): 1689 - 1691.
- [3] Keyeong - Ho Lim, Hang - Sik Shin. Operating characteristics of aerated submerged biofilm reactors for drinking water treatment[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(12): 101 - 109.

电话:(021)65980354  
传真:(021)65980354  
E-mail:w111f222l333@163.com  
收稿日期:2005-08-19