

弹性填料微孔曝气生物膜法修复污染源除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

肖羽堂¹, 吴鸣¹, 刘辉², 许建华² (1. 中国科学院大连化学物理研究所废水处理工程组, 大连 116023, E-mail: ytxiao@dicp.ac.cn; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要:采用弹性填料微孔曝气生物接触氧化法对受污染的水源进行修复除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 效果研究. 结果表明, 在正常水温 $20^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$ 条件下, 当污染源 COD_{Mn} $7 \sim 14 \text{mg/L}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ $0.7 \sim 2.0 \text{mg/L}$ 和生物修复工艺运行参数 HRT 为 1.4h , 气:水 = $0.5:1$, DO 为 $7 \sim 9 \text{mg/L}$ 时, 生物修复工艺可去除水源中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 $64\% \sim 95\%$; 在较低水温 $7^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$ 条件下, 当污染源 COD_{Mn} $6 \sim 11 \text{mg/L}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ $1.2 \sim 8.0 \text{mg/L}$ 和生物修复工艺运行参数 HRT 为 1.4h , 气:水 = $0.5:1$, DO 为 $8 \sim 10 \text{mg/L}$ 时, 生物修复工艺可去除水源中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 $40\% \sim 63\%$.

关键词:生物修复; 污染源; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; 生物接触氧化

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2001)03-04-0040

Removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ from Polluted Water Resources by Bioremediation of Biofilm Process with Elastic Packing & Micropore Aerator

Xiao Yutang¹, Wu Ming¹, Liu Hui², Xu Jianhua² (1. Wastewater Treatment Engineering Group, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China E-mail: ytxiao@dicp.ac.cn; 2. School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: The effect of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal in the polluted raw water of water sources by the bioremediation action of the biocontact oxidation process with the elastic packing and micropore aerator was studied in this paper. The research results showed the bioremediation process can reach a removal ratio of $64\% \sim 95\%$ for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ of water sources under the condition of ordinary temperature $20^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$, COD_{Mn} $7 \sim 14 \text{mg/L}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ $0.7 \sim 2.0 \text{mg/L}$ in the water sources and the running parameters HRT 1.4h , gas and water ratio $0.5:1$, and DO $7 \sim 9 \text{mg/L}$ for the bioremediation process and a removal ratio of $40\% \sim 63\%$ for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ of water sources under the condition of low temperature $7^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$, COD_{Mn} $6 \sim 11 \text{mg/L}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ $1.2 \sim 8.0 \text{mg/L}$ in the water sources and the running parameters HRT 1.4h , gas and water ratio $0.5:1$, and DO $8 \sim 10 \text{mg/L}$ for the bioremediation process.

Keywords: bioremediation; polluted water sources; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; biocontact oxidation

近年来,为解决水源污染问题,污染源生物修复技术受到国内外的极大重视和关注^[1-3]. 国外在此方面已经作了许多研究工作^[4-9], 国内研究报道较少^[10-13]. 本研究在国外有关研究成果的基础上^[4-9], 首次采用国产弹性立体填料微孔曝气生物接触氧化法修复某受污染原水, 并获得成功. 为我国污染源生物修复处理工业化应用开辟了一条新途径. 本文探讨了生物接触氧化修复工艺及其在常温条件下和低温条件下的除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 作用效果.

1 生物修复工艺设计

1.1 污染源水质

某受污染源常年水温 $20^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$, 夏季最高水温 $32^\circ\text{C} \sim 34^\circ\text{C}$; 冬季最低水温 $5^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$, 低温多为 $10^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$. 因上游化纤厂、造

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目(96-909-03-01-02)

作者简介: 肖羽堂(1966-), 男, 博士后, 主要从事水与废水处理技术研究以及可持续发展与环境保护战略对策研究.

收稿日期: 2000-09-06

纸厂、酒厂等工业废水、农田污水以及城市地表径流、生活污水等影响,该水源受到严重污染。原水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、有机物等较高,传统的常规净水工艺系统难以将水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等有效地除去。不仅水厂常年矾耗、氯耗都较大,水处理成本较高,而且水厂出水不能满足安全供水的要求。因此,亟需对该污染源进行生物修复以除去原水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和有机物,确保采用常规净水工艺的水厂提供安全可靠的饮用水。

1.2 生物修复工艺设计

(1) 池体 设计规模: $Q = 40000\text{m}^3/\text{d}$; 池体材料: 钢筋混凝土; 池体平面尺寸: $L \times B = 35.8\text{m} \times 17.8\text{m}$; 池高: $H = 5.9\text{m}$; 有效水深: 4.56m ; 有效停留时间: $t = 1.4\text{h}$; 池体布置: 池中设 YDT 弹性立体填料, 池下部设微孔曝气器及穿孔管曝气系统。

(2) 填料 填料装填高度 3.37m , 填料体积 1451m^3 , 装有填料的氧化池容积为 2083m^3 。填料选用 YDT 型弹性立体填料。填料的正确选用是直接影响生物修复工艺处理效果、充氧利用率、使用寿命、基建投资和运行费用的一个技术关键。YDT 弹性立体填料比表面积大, 微生物附着空间大, 对上升气泡的切割性能好, 有助于布气配水均匀, 氧的利用率高, 价格合理, 丝条能长期在水中保持辐射状伸展, 不堵塞等, 经过对市场各种填料比较筛选和试验证实后决定选用此填料。YDT 型弹性立体填料每立方米的综合造价约为蜂窝填料的 $1/2$ 、约为半软性填料的 $2/3$ 。填料主要技术性能参数: 填料丝径 0.50mm ; 填料直径 170mm ; 单位池容装填的比表面积 $41\text{m}^2/\text{m}^3$ 。

(3) 微孔曝气系统 曝气器的正确选用是影响生物修复工艺处理效果、充氧利用率、使用寿命、基建投资和运行费用等的又一重要关键技术, 经比较, 选用孔径小、氧利用率高、不易堵塞的 YMB 型膜片式微孔曝气器。该曝气器主要特性参数为: 曝气器直径 260mm ; 曝气器膜片平均孔径 $30 \sim 50\mu\text{m}$; 充氧利用率 $18.4\% \sim 27.2\%$ (水深 3.2m 条件下); 空气流量 $1.5 \sim 3\text{m}^3/\text{h}$; 服务面积 $0.5 \sim 1\text{m}^2/\text{个}$ 。为提高充氧效率, 水流与

空气逆向流动, 生物修复工艺池内共安装 D260YMB 型膜片式微孔曝气器 1200 个。

(4) 穿孔管曝气系统 穿孔管开二排交错向下, 与垂直方向成 45° 夹角的孔, $\phi 25\text{mm}$, 孔距 460mm 。穿孔管直径为 DN200。

(5) 鼓风机供气设备 采用型号 $L_2\text{ca}$ 的罗茨风机 2 台 (1 用 1 备), 主要参数: 额定空气流量 $19.14\text{m}^3/\text{min}$, 出口静压 49kPa , 主轴转速 $1850\text{r}/\text{min}$, 鼓风机配套电动机功率 37kW , 转速 $1480\text{r}/\text{min}$ 。

2 生物修复工艺挂膜与运行

生物修复工艺挂膜培菌, 采用动态培养的自然挂膜方法。当填料被水淹没后, 开启鼓风机曝气供氧, 一边进出水一边曝气, 挂膜初期宜采用较低的气水比, 有利于细菌附着生长和节约动力费用。当挂膜成功后, 可适当提高气水比, 增加曝气强度, 以提高生物修复工艺除污染效果。一般水温 20°C 以上时, 经 $5 \sim 7\text{d}$ 的挂膜运行, 填料表面覆盖了厚度约 0.1mm 的好氧生物膜, 原水氨氮去除率达 60% 左右时, 可认为挂膜成功, 转入正常运行。

运行过程中不断根据水质状况, 进行工况调整, 以探索最佳的处理工况和去除效果。常温条件下的运行结果表明, 当水力停留时间 $1.2 \sim 2.0\text{h}$, 气水比 $0.5 \sim 0.7:1$, 在稳态条件下氨氮去除率达 $80\% \sim 90\%$ 以上, 当水力负荷做大幅度调整时, 氨氮去除率短时间受到些影响, 但一般在 12h 内即能恢复到 80% 以上的去除效果。这说明好氧生物膜中的微生物能很快适应新的环境条件, 生物接触氧化修复工艺的耐冲击负荷能力较强。因此, 生物修复工艺比较适合水源水质变化和原水水量波动等情况。

生物修复工艺正常运行期间观察到的好氧生物膜呈黄褐色, 有泥腥味。填料上生物膜厚度 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 。在运行过程中, 微生物主要为硝化菌在填料上不断生长和繁殖。由于硝化菌世代生长期较长, 生长和繁殖速度比较缓慢, 好氧生物膜增加到一定厚度趋向零增长。

3 生物修复工艺除 NH_4^+-N 效果

对生物修复工艺常温运行条件下和冬季低温条件下的除 NH_4^+-N 效果进行分析及研究.

生物修复工艺常温下运行处理水量为 $40000\text{m}^3/\text{d}$, HRT 为 1.4h, 气:水为 0.5:1, DO 为 7~9mg/L. 正常稳定运行时不同原水水质条件下生物修复工艺除 NH_4^+-N 效果见表 1 和图 1 所示.

表 1 生物修复工艺常温下除 NH_4^+-N 效果

Table 1 Effect of NH_4^+-N removal under the condition of ordinary temperature by bioremediation process

水温 /°C	污染原水水质				生物修复工艺		NH_4^+-N 去除率 /%
	COD_{Mn} /mg·L ⁻¹	浊度 /度	NO_2^--N /mg·L ⁻¹	色度 /度	NH_4^+-N /mg·L ⁻¹	出水 NH_4^+-N /mg·L ⁻¹	
20	13.32	30.7	0.200	35	1.00	0.25	75
21	11.00	8.5	0.160	35	1.00	0.20	80
21	10.15	11.2	0.125	35	0.90	0.20	78
22	9.90	8.8	0.400	32	0.70	0.25	64
23	10.06	8.7	0.200	32	0.90	0.30	67
24	8.93	8.5	0.350	30	1.80	0.40	78
24	9.72	6.3	0.230	32	2.00	0.25	88
25	7.13	11.5	0.050	30	0.95	0.05	95
25	9.05	14.9	0.200	35	1.40	0.15	89
26	10.52	16.3	0.300	35	1.20	0.20	83
26	8.61	23.1	0.125	35	1.60	0.40	75
26	9.04	11.2	0.075	30	1.30	0.30	77
27	9.76	17.8	0.150	35	1.20	0.20	83
27	8.24	15.1	0.250	35	1.00	0.20	80
27	10.28	26.4	0.250	35	1.60	0.40	75

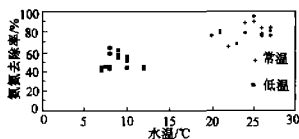


图 1 生物修复工艺常温/低温下除 NH_4^+-N 效果

Fig.1 Effect of NH_4^+-N removal under the condition of ordinary /low temperature by bioremediation process

从表 1 和图 1 可以看出, 常温 $20^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$ 下生物修复工艺稳定运行时对不同原水条件的 NH_4^+-N 去除率为 64%~95%. 对大量的生产运行结果统计得出, 生物修复工艺常温下一般可去除原水 NH_4^+-N 为 60%~90%, 具有极为显著的除 NH_4^+-N 效果.

冬季水源水温偏低, 生物修复工艺除 NH_4^+-N 效果受到明显影响. 因为低温条件下硝化菌新陈代谢活动受到抑制, 生命活动明显不如常温下活跃. 根据水厂水源常年水质资料,

冬季原水温较低, 一般为 $6^\circ\text{C} \sim 13^\circ\text{C}$. 生物修复工艺在冬季低温 $7^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$ 下运行处理水量为 $40000\text{m}^3/\text{d}$, HRT 为 1.4h, 气水比为 0.5:1, DO 为 8~10mg/L. 正常稳定运行时不同原水水质条件下生物修复工艺除 NH_4^+-N 效果见表 2 和图 1.

从表 2 可知, 冬季 $7^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$ 的低温条件下, 原水 NH_4^+-N 较高时, 生物修复工艺除 NH_4^+-N 为 40%~63%; 当原水 NH_4^+-N 较低时, 生物修复工艺除 NH_4^+-N 为 40%~50%. 从图 1 可知, 生物修复工艺冬季低温下的除 NH_4^+-N 效果显著低于常温条件下的运行效果.

当 HRT 为 1.8~2.5h 时, 生物修复工艺冬季低温下除 NH_4^+-N 可达 60% 以上. 由于冬季用户需水量减少, 水厂供水量下降, 因此可适当降低生物修复工艺处理水量, 延长水力停留时间, 以提高冬季低温下生物修复工艺除 NH_4^+-N 效果.

表2 生物修复工艺低温下除 NH_4^+ -N 效果Table 2 Effect of NH_4^+ -N Removal under the Condition of Low Temperature by Bioremediation Process

水温 /°C	污染原水水质					生物修复工艺		NH_4^+ -N 去除率 /%
	浊度 /度	NO_2^- -N /mg·L ⁻¹	色度 /度	COD_{Mn} /mg·L ⁻¹	NH_4^+ -N /mg·L ⁻¹	出水 NH_4^+ -N /mg·L ⁻¹		
12	11.6	0.040	32	6.53	1.20	0.70	42	
10	13.1	0.100	35	9.70	3.50	2.00	43	
10	10.2	0.200	32	7.03	3.00	1.50	50	
12	13.1	0.250	35	8.96	1.80	1.00	44	
10	13.2	0.135	35	6.59	2.80	1.30	54	
10	17.0	0.200	37	6.17	2.00	1.00	50	
9	11.8	0.450	35	7.11	3.20	1.25	61	
9	15.2	0.520	35	7.73	3.00	1.40	53	
8	13.0	0.500	35	7.38	3.50	1.50	57	
8	7.7	0.120	35	8.75	4.50	2.50	44	
8	13.8	0.070	37	10.19	6.00	3.50	42	
8	10.0	0.152	35	9.52	8.00	3.00	63	
9	9.0	0.100	37	10.05	8.00	3.50	56	
7	10.4	0.150	35	9.13	7.00	4.00	43	
7	8.8	0.135	35	9.17	8.00	4.50	44	
7	13.7	0.270	35	8.08	5.00	3.00	40	

4 结语

生物除 NH_4^+ -N 主要是生物修复工艺填料上生物膜在好氧条件下依靠硝化菌作用,将 NH_4^+ -N 氧化成 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 而去除。水温对硝化菌除 NH_4^+ -N 的影响作用很大。常温下和冬季低温下生物修复工艺的除 NH_4^+ -N 作用效果存在明显的差别。

弹性填料微孔曝气生物接触氧化法修复污染原水,具有投资费用小、运行费用低、操作管理方便、不会堵塞等优点,有很强的实用性和应用前景。

参考文献:

- Rittmann B E, Jackson D, Storek S L. Potential for Treatment of Hazardous Organic Chemicals with Biological Processes, in *Bioremediation Systems*, D.L. Wise Ed. (Boca Raton, FL: CRC Press, Inc), 1998, 15 ~ 64.
- Lazarova V Z, He B C, Nikolov L. Biofilm Performance of A Fluidized Bed Biofilm Reactor for Drinking Water Denitrification. *Wat. Sci. Tech.*, 1992, 26(3): 323 ~ 329.
- 许建华等. 微污染原水的生物接触氧化预处理技术研究.

同济大学报. 1995, 23(4): 376 ~ 379.

- Manem J A, Ritzmann B E. Removing Trace-level organic Pollutants in a Biological Filter. *J. AWWA*, 1992, 152 ~ 159.
- Edward J B, Patricia B C. Biological Processes in Drinking Water Treatment. *J. AWWA*, 1988, 80(9): 82 ~ 93.
- Lim K-Ho, Sun H-Sik. Operating Characteristics of Aerated Submerged Biofilm Reactor for Drinking Water Treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, 36(12): 101 ~ 108.
- Egashira K, Ito K, Yoshiv Y. Removal of Musty Odour Compounds in Drinking Water by a Biological Filter. *Wat. Sci. Tech.*, 1992, 25(2): 307 ~ 314.
- Hozalski R M, Goul S, Bouwer E J. TOC Removal in Biological Filters. *J. AWWA*, 1995, 40 ~ 47.
- Takasaki M, Hokim et al. The Submerged Biofilm Process as a Pretreatment for Polluted Raw Water for Top Water Supply. *Wat. Sci. Tech.*, 1990, 22(2): 107 ~ 113.
- 李家秋等. 富营养化湖泊水源生物预处理研究. *中国给水排水*, 1992, 8(6): 4 ~ 6.
- 黄晓东, 曹天祺等. 生物陶粒处理深圳水库水的试验研究. *环境科学*, 1998, 19(6): 60 ~ 63.
- 刘文君等. 淮河(蚌埠段)饮用水源水生物接触氧化预处理生产性试验. *环境科学*, 1997, 18(1): 22 ~ 24.
- 黄晓东, 于正丰, 王占生等. 受污染珠江水源水的生物预处理试验研究. *给水排水*, 1998, 24(7): 35 ~ 37.