

生物陶粒滤池预处理黄浦江上游水的生产性试验研究

朱 亮¹ 张文妍¹ 王占生²

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要:以黄浦江上游水为水源, 进行生物陶粒滤池预处理的生产性试验. 试验结果表明 (a) 不曝气时, 生物陶粒滤池对原水中的浊度、Fe 和 Mn 的去除效果比曝气工况好, 平均去除率分别达到 61.70%、73.86%、74.05%. (b) 在原水溶解氧浓度较高(平均为 4.8 mg/L)而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较低(平均为 0.28 mg/L)时, 曝气和不曝气工况下, 生物陶粒滤池对 COD_{Mn} 的去除率没有显著差别, 分别为 16.09% 和 15.60%. (c) 在原水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低的情况下, 生物陶粒滤池对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除效果均较差, 但试验结果显示, 曝气充氧有助于提高去除率. (d) 从生物陶粒预处理装置的运行要求来看, 其对浊度、有机物、Fe 和 Mn 等各项指标的去除效果良好, 且从去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的情况来看, 曝气充氧是必须的. 生物陶粒滤池的设计和运行参数可为微污染水源水厂的改造和新建提供科学依据.

关键词: 生物陶粒滤池; 水处理; 预处理; 生产性试验; 微污染水

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2003)04-0382-04

上海市以黄浦江上游水为水源的水厂, 出厂水的色度、嗅味、锰、耗氧量、氨氮等指标经常不合格, 而且 Ames 致突变试验为阳性. 常规饮用水处理工艺主要去除浊度和细菌, 而对去除有机物的效果较差. 流行病学研究表明^[1], 经过氯化消毒的饮用水和不断增加的某些癌症发病率之间存在着一定的联系. 水源中的有机物是氯化消毒副产物的潜质, 因此去除水中的有机物, 对降低癌症发病率尤为重要. 本研究主要针对黄浦江上游水源有机物含量较高的状况, 选择适当的预处理或深度处理工艺, 以提高对有机物的去除效率, 确保上海市自来水水质的安全.

生物陶粒滤池国内尚无工程实例, 本试验将为以黄浦江上游为水源的水厂在今后的设计和运行中提供设计依据和工艺方案.

试验以周家渡水厂为基地, 生物陶粒滤池的处理规模为 $5000\text{ m}^3/\text{d}$. 滤池分 3 格, 单格面积 14 m^2 . 试验从 2001 年 7 月 19 日开始, 到 2002 年 1 月 9 日结束. 本文主要研究该生物陶粒滤池的启动、挂膜以及对各污染指标的去除效果.

1 试验概况

1.1 工艺流程

试验采用生物陶粒滤池预处理加常规处理再加臭氧活性炭深度处理的工艺, 具体工艺流程见图 1. 原水首先进入生物陶粒滤池进行预处理, 出水加矾经静态管式混合器后流入机械反应池和斜管沉淀池, 再流入砂滤池、臭氧接触池和活性炭滤池, 加氯后进入清水池.

1.2 生物陶粒滤池的主要设计参数

该滤池为上海市政设计院设计, 主要设计参数见表 1. 滤池曝气方式采用底部设微孔扩散装置连续曝气, 反冲洗方式为单气冲 $2\sim 3\text{ min}$, 再单水冲 5 min .

1.3 原水水质

试验从 2001 年 7 月 19 日开始, 到 2002 年 1 月 9 日结束, 其间的原水水质参数见表 2.

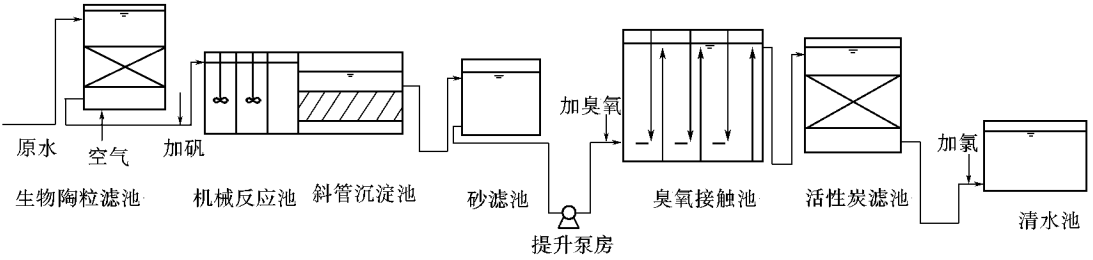


图 1 工艺流程

Fig.1 Technological process

表 1 生物陶粒滤池主要设计参数

Table 1 Main design parameters of biological ceramsite filter

设计参数	处理水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	滤速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	气水比	填料高度/m	空床停留时间/min	冲洗周期/d
参数值	5000	5.5	0.7:1~1:1	2.0	22	5~7

表 2 试验期间原水水质参数

Table 2 Water quality parameters of raw water during the process of experiment

参数值	浊度	$\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Fe ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水温 / $^{\circ}\text{C}$	pH 值	COD_{Mn} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Mn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	DO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
数值范围	17.2~148.0	0.02~1.10	0.15~4.50	4.50~33.0	6.5~7.7	4.70~8.44	0.001~0.110	0.05~0.38	0.7~9.6
平均值	51.0	0.28	1.55	21.4	7.1	6.20	0.031	0.17	4.8

1.4 启动与挂膜

从 7 月 19 日起 ,对生物陶粒滤池进行挂膜 .由于夏天水温较高 ,采用自然挂膜 .挂膜期间流量 $160 \text{ m}^3/\text{h}$,滤速 3.8 m/h ,曝气采用的气水比为 2:1 .到 8 月底 ,生物陶粒滤池的 COD_{Mn} 去除率稳定在 15%~20% .到 9 月 17 日 ,生物陶粒镜检发现已有膜生成 ,膜上菌胶团大小不一 ,较为疏松 ,有原生动物和后生动物 .通过分析数据 ,结合镜检结果 ,表明该生物陶粒滤池经过 40 多天完成挂膜 .

2 结果与讨论

2.1 对各污染指标的去除效果

试验分两个阶段运行 :第 1 阶段全天曝气 ,设计气水比为 0.7:1~1:1 ,但由于未能买到设计型号的鼓风机 ,实际运行时气水比为 2:1 ;第 2 阶段不曝气 .两个阶段对各污染指标的平均去除效果见表 3 .

表 3 曝气与不曝气情况下生物陶粒滤池的去除效果比较

Table 3 Comparison of removal effect of biological ceramsite filter under aeration and non-aeration condition

工况	污染指标	原水指标值 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	滤池出水指标值 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均去除率/%	工况	污染指标	原水指标值 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	滤池出水指标值 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均去除率/%
曝气	COD_{Mn}	5.14~7.84	4.35~6.30	16.09	不曝气	COD_{Mn}	5.86~6.82	4.40~5.89	15.60
	$\text{NH}_3\text{-N}$	0.03~0.20	0.01~0.11	38.54		$\text{NH}_3\text{-N}$	0.05~1.00	0.02~0.82	37.52
	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$	0.002~0.080	0.001~0.013	53.92		$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$	0.013~0.084	0.006~0.032	55.46
	Fe	0.40~4.50	0.15~3.50	37.38		Fe	0.25~4.50	0.03~1.50	73.86
	Mn	0.15~0.30	0.12~0.25	15.67		Mn	0.15~0.32	0.03~0.05	74.05

注 (a) 该表所列数据为试验中稳定运行期的数据 ,因此原水指标值的范围在表 2 所列范围之内 .(b) 曝气和曝气工况下 ,原水浊度值分别为 31.9~134.0 和 29.7~110.0 ,滤池出水浊度值分别为 21.3~87.0 和 11.0~39.4 ,浊度平均去除率分别为 28.20% 和 61.70% .

2.1.1 对浊度的去除效果

生物陶粒滤池对浊度的去除主要依靠粒状滤料的机械截留作用和生物接触絮凝作用 .在陶粒表面生长着生物膜 ,生物膜之间存在生物絮体 ,使得陶粒滤池内滤料充填更加密实 ,孔隙率更小 ,发挥了良好的吸附、凝聚作用 ,达到良好的物理截留作用^[2] .试验结果显示 ,在不曝气的情况下 ,生物陶粒滤池对浊度的去除率比曝气情况大得多 .这是因为不曝气时填料处于压实状态 ,孔隙率小 ,能有效截留颗粒状物质的缘故 .

2.1.2 对 COD_{Mn} 的去除效果

在生物陶粒滤池中,降解有机物的细菌主要为异养菌,此种细菌生长繁殖快,在载体表面与自养菌竞争溶解氧时居于优势,同时还由于原水中溶解氧含量较高,可以满足异养菌耗氧的要求,所以曝气与否基本不影响细菌对 COD_{Mn} 的去除率。

2.1.3 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除效果

本次试验对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率均未达到实验室中的理想效果,分析其原因可能是^[2] (a)原水水质较好, $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度仅为 0.28 mg/L ,低进水浓度必然导致低反应速率 (b)由于未买到合适的鼓风机,试验所用型号的鼓风机气量不可调节,在滤料刚开始挂膜的阶段滤池中气水比就达到 $2:1$,有可能气量过大使生物不能有效地附着在滤料表面,造成连续运行 40 多天后才形成生物膜,影响了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效率。(c)本试验中只把 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 列为常规检测指标,所以并不了解氮在水中的全部转化过程,有可能是原水中有机氮含量较高,在微生物作用下,原水中的有机氮被降解为氨氮,且有机氮降解速度大于氨氮的降解速度,造成了氨氮去除率低且不稳定的表面现象。(d)由于天气、设备等客观原因影响了滤池的稳定运行,滤池时开时停,有一阶段甚至滤干,曝气也不正常,而硝化菌和亚硝化菌受水力冲刷后恢复期长,这样,这类细菌在未能挂膜成熟时即受到强烈冲击,影响生物膜的生长。

虽然曝气阶段原水的氨氮浓度很低,不利于充分发挥生物降解的作用,但曝气阶段的氨氮平均去除率仍和不曝气阶段差不多,原因可能是:虽然原水的溶解氧含量比较高(平均为 4.8 mg/L),而一般工程上维持溶解氧 $3 \sim 4 \text{ mg/L}$ 就可以保持硝化过程的速率不受影响,但曝气除了供氧以外,还起到促进传质的作用,所以不曝气时,虽然溶解氧浓度足够,但可能填料间的传质不够充分,导致不曝气时 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率偏低,这说明,虽然本试验后期为曝气,但对于生物陶粒滤池除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 来说,曝气还是必要的,但应合理控制气水比。

原水中 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 浓度不高,加上 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低,从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的产物少,所以 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率也不高。从平均数据来看,不曝气和曝气工况下生物陶粒滤池对 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除效果差不多,但从每天的数据分析,在进水浓度 $0.068 \sim 0.080 \text{ mg/L}$ 时,曝气工况的去除率在 96% 以上,而同样的进水浓度下,不曝气工况的去除率仅为 $60\% \sim 70\%$ 。不曝气时的平均去除率低是因为该阶段中有几天的进水浓度比较低($0.012 \sim 0.016 \text{ mg/L}$)的缘故。因此,和去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 一样,曝气对于生物陶粒滤池去除 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 也是必要的。

由试验结果还可以看出,温度对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除效果影响不大,这是因为决定 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 去除效果的亚硝化杆菌和亚硝化球菌均适合在 $2 \sim 40^\circ\text{C}$ 条件下生长^[3]。

2.1.4 对 Fe 和 Mn 的去除效果

陶粒滤池对 Fe 和 Mn 的去除主要通过化学氧化和生物氧化,生物陶粒滤池对 Fe 和 Mn 的去除率较高,且不曝气时 Fe 和 Mn 的去除效果比曝气时好,说明生物氧化对 Fe 和 Mn 的去除起了主要作用,微生物把低价的可溶性的铁离子和锰离子氧化为不溶性的氢氧化铁和氢氧化锰,而不曝气时滤料对不溶性的氢氧化铁和氢氧化锰的截留作用更好。

2.2 反冲洗

设计的反冲方式为气水反冲,但反冲洗气冲用鼓风机一直运转不正常,实际操作中只用水冲。由于原水浊度不高,结果并未出现不良反应,反冲强度和周期按设计参数进行,效果良好。

2.3 对矾耗的影响

试验期间周家渡水厂的平均矾耗为 16 mg/L 硫酸铝,而利用同样黄浦江上游水源的浦东水厂的矾耗为 $28 \sim 30 \text{ mg/L}$ 硫酸铝。由于预处理的应用,节约硫酸铝用量 $43\% \sim 47\%$ 。这一方面是由于生物陶粒滤池本身对浊度和胶体物质有一定的去除作用,另一方面生物预处理可降低原水中胶粒的 Zeta 电位,使出水胶粒更易脱稳而凝聚^[4]。

3 结 论

a. 试验结果表明,作为预处理工艺,生物陶粒滤池的生产性实验是成功的。

b. 针对黄浦江上游水源,不曝气时,生物陶粒滤池对原水中的浊度、Fe 和 Mn 的去除效果比曝气工况好,平均去除率分别达到 61.70% 、 73.86% 和 74.05% 。

c. 在 原 水 溶 解 氧 浓 度 较 高 (平 均 为 4.8mg/L) 而 NH₃-N 浓 度 较 低 (平 均 为 0.28mg/L) 的 情 况 下 , 曝 气 和 不 曝 气 工 况 时 生 物 陶 粒 滤 池 对 COD_{Mn} 的 去 除 率 没 有 显 著 差 别 , 分 别 为 16.09% 和 15.60% .

d. 在 原 水 NH₃-N 浓 度 低 的 情 况 下 , 生 物 陶 粒 滤 池 对 NH₃-N 和 NO₂⁻-N 的 去 除 效 果 均 较 差 . 但 试 验 结 果 显 示 , 曝 气 充 氧 有 助 于 提 高 去 除 率 , 因 此 对 于 生 物 陶 粒 滤 池 去 除 NH₃-N 和 NO₂⁻-N 指 标 来 说 , 曝 气 是 必 要 的 .

e. 由 于 原 水 浊 度 不 高 , 反 冲 洗 时 只 用 水 冲 , 并 未 产 生 不 良 效 果 .

f. 由 于 在 常 规 处 理 单 元 前 增 加 了 生 物 预 处 理 工 艺 , 可 使 后 续 工 艺 中 混 凝 剂 的 投 加 量 减 少 .

致 谢 : 感 谢 清 华 大 学 王 占 生 教 授 对 本 试 验 的 指 导 .

参考文献 :

[1] 王 诤 , 付 学 起 . 饮 用 水 消 毒 净 化 过 程 产 生 的 副 产 物 [J]. 净 水 技 术 , 2000 , 18 (3) : 13—16 .
[2] 张 文 妍 , 朱 亮 , 薛 红 琴 . 微 污 染 水 源 生 物 预 处 理 氨 氮 去 除 影 响 因 素 探 讨 [J]. 给 水 排 水 , 2002 , 28 (11) : 1—3 .
[3] 王 毓 仁 . 提 高 废 水 硝 化 效 果 的 理 论 探 讨 及 工 艺 对 策 [J]. 给 水 排 水 , 1994 , 20 (8) : 27 .
[4] 王 占 生 , 刘 文 君 . 微 污 染 水 源 饮 用 水 处 理 [M]. 北 京 : 中 国 建 筑 工 业 出 版 社 , 1999 . 149—154 .

Productive experiments on biological ceramsite filter for
water pretreatment of the upper Huangpujiang River

ZHU Liang¹ , ZHANG Wen-yan¹ , WANG Zhan-sheng²

(1 . College of Environmental Science and Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;
2 . Dept . of Environment Science and Engineering , Tsinghua Univ . , Beijing 100084 , China)

Abstract : The biological ceramsite filter is studied for pretreatment of the upper Huangpujiang River water , and the results show that : (1) the biologic ceramsite filter is higher in efficiency under non-aeration condition than under aeration condition in removing turbidity , Fe , and Mn , and the removal rates are 61.70% , 73.86% , and 74.05% respectively ; (2) when the concentration of DO is high (4.8mg/L on an average) and the concentration of NH₃-N is low (0.28mg/L on an average) in the raw water , the COD_{Mn} removal rates of the filter are almost the same under aeration and non-aeration condition , being 16.09% and 15.60% respectively ; (3) under low concentration of NH₃-N in the raw water , the removal rates of NH₃-N and NO₂⁻-N are low , while aeration and oxygenation could help raise the removal rates ; (4) from the operation of the pretreatment facility , it is seen that the biological ceramsite filter is effective on the removal of turbidity , organic matters , Fe , and Mn , and aeration and oxygenation are necessary for the removal of NH₃-N and NO₂⁻-N . The design and operation parameters of the biological filter may provide a scientific basis for construction and reconstruction of water plants with slightly polluted water sources .

Key words : biological ceramsite filter ; water treatment ; pretreatment ; productive experiment ; slightly polluted water