

曝气生物滤池处理城市污水的试验研究

张志斌¹ 郭保华² 刘志强³ 毕学军³

(1 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092;

2 青岛市工程咨询院, 青岛 266071;

3 青岛理工大学)

摘要: 采用两级曝气生物滤池处理含工业废水的城市污水。结果表明: 在水温 26.7~29.5℃, 气/水比 6:1, 进水 COD_{Cr} 浓度为 260~600mg/L, NH₃ 浓度为 52~90 mg/L、SS 浓度为 60~90 mg/L、滤速为 2.2m/h 条件下, 系统取得了良好的处理效果, 其 COD_{Cr}、NH₃、SS 的平均去除效率分别达到 80.2%、97.8%、95.4%, 出水 COD_{Cr}、NH₃、SS 浓度满足污水综合排放要求。

关键词: 曝气生物滤池 城市污水 工业废水

Research on the Biological Aerated Filter to Treat Municipal Wastewater

ZHANG Zhi-bin¹ GUO Bao-hua² LIU Zhi-qiang³ BI Xue-jun³

(1. State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092;

2. Qingdao Engineering Consulting Institute, Qingdao 266071;

3. Qingdao Technological University)

Abstract : This paper was focused on the removal performance of the municipal wastewater treatment with the Biological Aerated Filter (BAF). The results showed that at the condition of the air / water ratio of 6:1, the water temperature of 26.7~29.5℃, the influent COD_{Cr} concentration of 260~600mg/L, the influent NH₃ concentration of 52~90mg/L, the filtration velocity of 2.2m/h, COD_{Cr}, NH₃, and SS removal efficiencies reached 80.2%, 97.8%, 95.4% respectively. The treatment effluent meets the National Wastewater Integrated Discharge Standard.

Keywords: Biological Aerated Filter municipal wastewater industrial wastewater

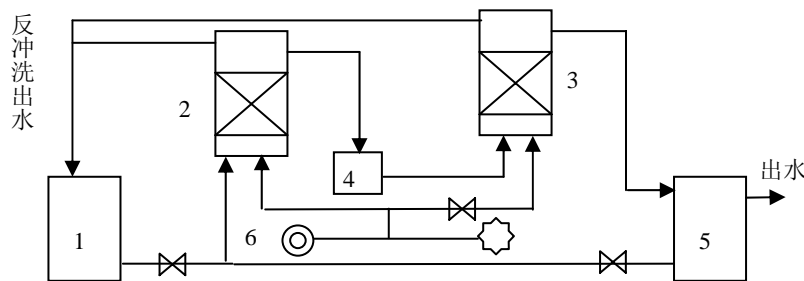
曝气生物滤池 (BAF) 是在生物接触氧化工艺基础上, 引入饮用水处理中过滤的思想而产生的一种好氧废水处理工艺。我国对曝气生物滤池的研究比国外晚了近 20 年, 直到最近才看到有关的研究报道^[1]。目前, 国内对 BAF 的研究也多以生活污水、微污染水源水、食品加工废水、城市污水处理厂二级出水为处理对象, 而 BAF 直接处理城市污水 (含工业废水) 的报道较少。

本课题在国内外研究的基础上^[2~5],采用两级BAF工艺,以实际城市污水(含工业废水)为试验水质,研究曝气生物滤池对城市污水的处理效果。

1 试验工艺流程及方法

1.1 试验工艺流程

试验工艺流程如图1所示。曝气生物滤池分碳化柱和硝化柱两级,两柱之间设一集水池储存硝化柱的进水。BAF反应器采用透明有机玻璃柱加工而成,柱内径150mm,单柱总高度2.8米,底部是气、水混合室,高度0.3米,填料高2.0米。试验选用粒径3~6mm的球形陶粒填料,进水方式为上向流,反冲洗采用气、水交替反冲洗的方式,每次反冲洗时间20min,碳化柱的反冲洗周期为一天,硝化柱的反冲洗周期为五天。反冲洗气的强度为 $40\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$,反冲洗用水为试验处理后的出水,碳化柱的反冲洗水强度 $60\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$,硝化柱的反冲洗水强度 $50\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。



1 进水水箱; 2 碳化柱; 3 硝化柱; 4 集水池;
5 反冲洗水箱; 6 工艺气泵; 7 反冲洗水泵

图1 试验工艺流程图

1.2 试验水质及试验方法

试验在青岛海泊河污水处理厂现场进行,该污水厂采用AB工艺处理城市污水。工业废水占进水总量的50%以上,主要包括印染、电镀、含油、味精废水等,而且主要是间歇式排放。由于饮食习惯的差异,青岛地区的生活污水中氮、磷含量相对较高,要求生物处理工艺有较高的硝化能力和除磷能力。参照该污水处理厂化验室的检测数据,A段进水中主要污染物的日平均浓度为:COD_{Cr} 550~650mg/L; NH₃ 60~80 mg/L; TN 80~110 mg/L; TP 9~13 mg/L; SS 300~400mg/L。中间沉淀池出水中主要污染物的日平均浓度:COD_{Cr} 300~400mg/L; NH₃ 50~70 mg/L; TN 60~80 mg/L; TP 7~10 mg/L; SS 90~120mg/L。中间沉淀池出水中主要污染物的浓度波动范围为:COD_{Cr} 220~650mg/L; NH₃ 50~90 mg/L; TN 60~110 mg/L; TP 7~10 mg/L; SS 65~100mg/L。试验装置的进水取自污水处理厂中间沉淀池随机时段的出水。

小试系统经过4周挂膜成功后,在1.5m/h、2.2 m/h和2.8 m/h三种水力负荷条件下,研究BAF工艺去除COD_{Cr}、SS、NH₃的效果。整个试验过程中,水温26.7~29.5℃,气水比维持在6:1。

1.3 检测项目及分析方法

水质指标分析项目及分析方法见表 1。

表 1 水质指标分析项目及方法

项目	方法
SS	重量法
COD _{Cr}	微波密封消解 COD 速测仪
NH ₄ ⁺ --N	纳氏试剂比色法
NO ₂ ⁻ --N	分光光度法
NO ₃ ⁻ --N	马钱子碱比色法
DO	溶解氧测定仪
温度	温度计

2 试验结果与讨论

2.1 COD_{Cr} 的去除

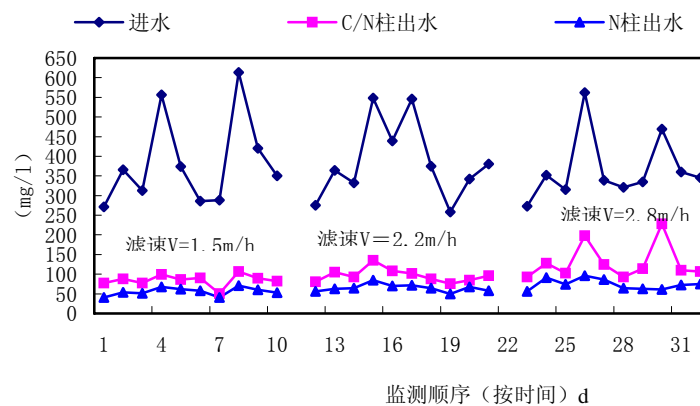


图 2 不同滤速条件下 COD_{Cr} 去除效果图

图 2 是不同滤速条件下 BAF 对 COD_{Cr} 的去除效果图，折线断开处为试验过程中不同滤速时的分界点。进水 COD_{Cr} 浓度为 260~600mg/L，在滤速为 1.5m/h、2.2m/h、2.8m/h 条件下，有机物平均去除效率分别为 84.8%、80.2%和 79.4%，硝化柱出水都小于 100 mg/L。分析其原因，滤料粒径 3~6mm，其平均比表面积为 4~5m²/g，空隙率约 0.339，可以在较短时间内将有机物从污水中吸附截留下来，另外，滤料巨大的比表面积为微生物的生长提供了载体，丰富的微生物量保证了有机物在反应器内的快速降解。在进水有机物浓度波动较大情况下，两级曝气生物滤池仍然取得了良好的有机物去除效率，出水 COD_{Cr} 比较稳定。滤速改变后，系统很快达到新的稳定状态，表明 BAF 具有很强的抗有机物冲击负荷能力。以上分析表明，采用两级 BAF 工艺处理城市污水，进水负荷在 5.52~11.55KgCOD/m³·d 之间，可以取得良好的有机物去除效果。滤速调整后，处理系统很快达到新的稳定状态，抗冲击负荷能力较强。

2.2 NH₃ 的去除

图3是不同滤速条件下的氨氮去除效果图。滤速为1.5m/h时，平均进水氨氮浓度为74.6mg/L，碳化柱平均出水氨氮浓度41.9 mg/L，硝化柱平均出水氨氮浓度6.2 mg/L，系统平均氨氮去除率91.7%，而且硝化效果稳定。滤速提高到2.2m/h，平均进水氨氮浓度为68.2 mg/L时，碳化柱平均出水氨氮浓度36.3 mg/L，硝化柱平均出水氨氮浓度1.5 mg/L，平均氨氮去除率97.8%。滤速从1.5m/h增加2.2m/h，BAF硝化能力增强，氨氮去除率提高。分析其原因，滤速增加有利于滤池布水布气均匀，提高了传质效果，另外，较大的水流速度对生物膜表面冲刷加强，使生物膜更新快，活性更高。而滤速提高到2.8m/h时，BAF硝化能力变差，平均进水氨氮浓度72.9 mg/L，出水氨氮浓度波动较大，甚至大于40mg/L，氨氮去除效率显著降低。分析原因，滤速为1.5 m/h和2.2 m/h时，碳化柱出水COD_{Cr}都小于100 mg/L，不大可能会影响到硝化柱的硝化效果，而滤速提高到2.8m/h时，碳化柱出水COD_{Cr}随进水波动性大，甚至超过200 mg/L，硝化柱进水COD_{Cr}超过200 mg/L将会影响到硝化柱对氨氮的硝化效果^[5]。以上分析表明，两级BAF处理城市污水，考虑到有机物对氨氮去除效果的影响，滤速不能过高。滤速2.2 m/h左右，氨氮负荷在0.70Kg/m³·d~1.19Kg/m³·d之间，系统取得了良好的NH₃去除效果。

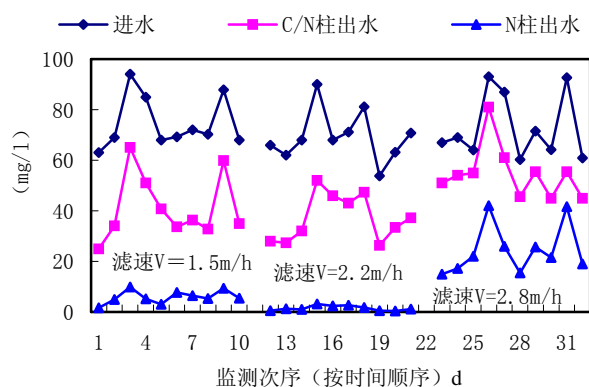


图3 不同滤速条件下NH₃的去除效果图

2.3 SS 的去除

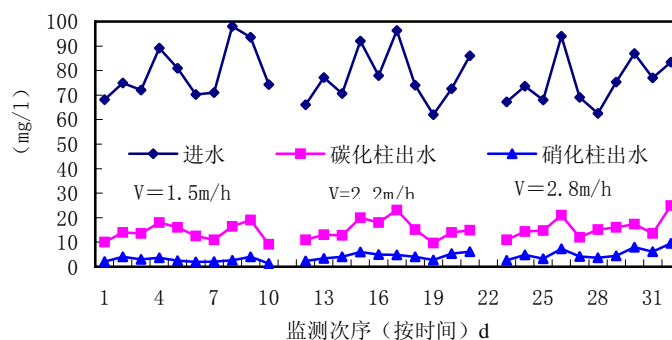


图4 不同滤速条件下SS的去除效果图

图 4 是不同滤速条件下 SS 的去除效果图。从图 4 中可以看出，三种不同滤速下，出水 SS 浓度差别较小。进水取自 AB 工艺 A 段的出水，在水箱中静沉后 SS 进一步降低，BAF 反应器进水 SS 在 60~90mg/L，碳化柱出水都在 10~20 mg/L，硝化柱出水都小于 10mg/L，SS 去除率在 95.4%左右。水流速度加快，依靠机械拦截和扩散作用被填料截留的 SS 量减小，但水流中携带的颗粒物在较大惯性力作用下在滤料上沉淀量增加，提高了 SS 的去除。碳化柱前端滤料脱落的生物膜随后又被吸附截留，硝化菌不易脱落，硝化柱对 SS 的去除起到了稳定化的效果。不同滤速下，沿滤料不同高度进行的微生物观察试验也显示，较大滤速有利于异养菌在滤池中分布区间宽度扩大，减少 SS 在滤料前端的截留量，防止滤料堵塞。试验结果表明，两级 BAF 工艺处理城市污水，进水 SS 小于 100 mg/L 时，可以取得良好的 SS 去除效果。但滤速不能过大，否则要增加反冲洗的频率。

2.4 与污水厂实际运行效果比较

表 2 是滤速为 2.2m/h 时两级 BAF 与海泊河污水处理厂 B 段实际运行效果的工况比较。污水厂 B 段的运行数据是参考该污水厂化验室的检测结果，各污染指标是日平均浓度。试验装置进水是污水厂随机时间段的进水，波动性较大。从处理效果看，两级曝气生物滤池的处理效果优于污水厂 B 段，两者 COD 去除效率相当，两级曝气生物滤池对氨氮和 SS 的去除明显优于 B 段。从水力停留时间来看，污水厂 B 段 HRT 为 10.4 小时，而滤速为 2.2m/h 时，两级曝气生物滤池的水力停留时间为 37 分钟，这表明，采用两级曝气生物滤池可以显著减少生物反应池的池容和造价。从运行稳定性来看，两级曝气生物滤池试验装置进水的波动性较大，但出水污染物浓度一直比较稳定，而且不会产生污泥膨胀现象。由此可见，两级曝气生物滤池作为高效一体的城市污水处理工艺具有很广泛的应用前景。

表 2 两级 BAF 与污水厂 B 段实际运行效果的工况对比

工艺 项目	B 段		两级 BAF (v=2.2m/h)	
HRT (Hr)	10.4		0.62	
COD _{Cr} (mg/L)	进水	300~400	进水	260~600
	出水	50~90	出水	50~85
	去除率	84%	去除率	84.8%
NH ₃ (mg/L)	进水	50~70	进水	52~90
	出水	15~30	出水	0.5~3.2
	去除率	62.5%	去除率	97.8%
SS (mg/L)	进水	90~120	进水	60~90
	出水	15~25	出水	<10
	去除率	81%	去除率	95.4%

3 结论

① 采用两级曝气生物滤池处理城市污水，在水温 26.7~29.5℃，气/水比 6:1，滤速 2.2m/h、进水 COD_{Cr} 浓度为 260~600mg/L，进水 NH₃ 浓度为 52~90 mg/L，进水 SS 浓度为 60~90 mg/L

条件下，系统取得了良好的处理效果，其 COD_{Cr}、NH₃、SS 的平均去除效率分别达到 80.2%、97.8%、95.4%，出水满足污水综合排放要求。

② 水力负荷是影响曝气生物滤池处理效果的重要因素之一，适宜的滤速可以使曝气生物滤池达到良好的布水布气效果和理想的传质效果，有机物、NH₃、SS 的去除效率同时达到最佳。

③ 采用两级曝气生物滤池处理城市污水，碳化柱和硝化柱采用不同的反冲洗周期，在碳化柱反冲洗后的恢复期内，硝化柱对出水有机物和 SS 起到了稳定作用，这既可以减少反冲洗的工作量，又增强了出水的稳定性。

参考文献

- 【1】 李汝琪，钱易，孔波等. 曝气生物滤池去除污染物的机理研究【J】. 环境科学，1999，20（6）：49~52.
- 【2】 齐兵强，王占生. 曝气生物滤池在污水处理中的应用【J】. 给水排水，2000，26（10）4~8.
- 【3】 Xavier Le Tallec et al. Effect of influent quality variability on bilfilter operation[J]. Wat Sci Tech,1997,36(1):111~117.
- 【4】 Allan T.Mann, Leopoldo Mendoza-Espinos and Tom Stephenson. Performance of floating and sunken media biological aerated filters under unsteady conditions[J]. Wat Res,1999,33(4):1108~1113.
- 【5】 F.Fdz-Polanco, E.Mendez, M.A.Uruena, et al. Spatial distribution of heterotrophs and nitriers in a submerged biofilter for nitrification. Wat Res, 2000,34(10):4081~4089.

基金项目：山东省环保局资助项目（59738150）

作者简介：张志斌 28 岁，男，在读博士生.

联系方式：上海市四平路 1239 号同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室（200092）

021-65984626 13764340178

E-mail: zhazhb@163.com