

折流式曝气生物滤池强化脱氮除磷效能的研究

周 健, 刘明月, 龙腾锐, 何 强, 李志刚, 吴迪清
(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 针对传统曝气生物滤池脱氮效率较低的问题, 结合重庆市新生镇污水处理示范工程的生产性试验, 考察了气水比和间歇曝气方式对折流式曝气生物滤池脱氮除磷效能的影响。试验结果表明: 在温度为 13~18℃、有机负荷为 0.86 kg/(m³·d)、HRT 为 8 h、气水比为 5:1 及交替间歇曝气 (曝气 1.0 h、停曝 1.5 h) 的条件下, 出水 COD、NH₃-N、TN、TP 浓度分别为 23.3、10.12、16.30、0.46 mg/L, 去除率分别为 80.5%、47.4%、43.7%、77.0%, 出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准。

关键词: 折流式曝气生物滤池; 气水比; 间歇曝气; 脱氮除磷

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2007)23-0011-04

Study on Enhanced Nitrogen and Phosphorus Removal in Baffled Biological Aerated Filter

ZHOU Jian, LIU Ming-yue, LONG Teng-rui, HE Qiang, LI Zhi-gang, WU Di-qing
(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Aimed at the problem of low nitrogen and phosphorus removal efficiencies in conventional biological aerated filter, the influence of air/water ratio and intermittent aeration mode on nitrogen and phosphorus removal efficiencies in baffled biological aerated filter was investigated in combination with the productive experiment of demonstration project of wastewater treatment in Xinsheng Town of Chongqing City. The results show that under the conditions of temperature 13 to 18℃, organic load 0.86 kg/(m³·d), HRT 8 h, air/water ratio 5:1 and intermittent aeration (aeration 1.0 h and non-aeration 1.5 h), the effluent COD, NH₃-N, TN and TP are 23.3 mg/L, 10.12 mg/L, 16.30 mg/L and 0.46 mg/L respectively, and their removal efficiencies are 80.5%, 47.4%, 43.7% and 77.0% respectively. The effluent quality reaches the B criteria specified in the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002).

Key words: baffled biological aerated filter; air/water ratio; intermittent aeration; nitrogen and phosphorus removal

针对传统曝气生物滤池易堵塞、运行周期较短、反冲洗水量及水头损失较大等问题^[1]而研发的折流式曝气生物滤池 (BBAF) 具有单位容积生物量大、处理效率高、所需池容小、占地面积小、布置灵活

等优点, 适合在中小城镇应用^[2]。笔者结合重庆市新生镇污水处理示范工程的生产性试验, 考察了气水比、间歇曝气工况等对折流式曝气生物滤池脱氮除磷效能的影响。

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2004BA604A01-01)

1 试验材料及方法

1.1 工艺流程

重庆市新生镇污水处理示范工程所采用的工艺流程见图 1。

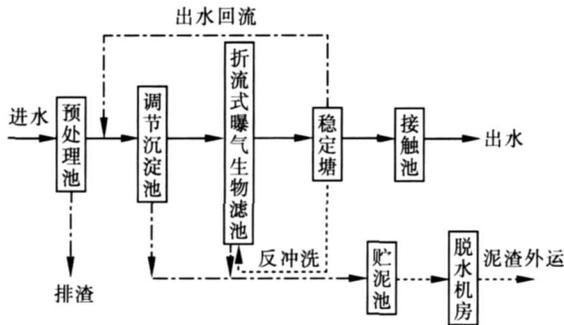


图 1 工艺流程

Fig 1 Flow chart of treatment process

1.2 试验水质

原水水质见表 1。

表 1 原水水质

Tab 1 Raw wastewater quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	范围	均值	项目	范围	均值
COD	108 ~ 130	117	BOD ₅	43 ~ 55	48.8
NH ₃ - N	17.80 ~ 22.16	20.40	TN	23.06 ~ 28.20	25.10
SS	103 ~ 160	122	TP	1.58 ~ 2.48	1.90

1.3 试验方法

1.3.1 气水比对脱氮除磷效能的影响

在有机负荷为 $0.86 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、水力停留时间为 8 h、温度为 $13 \sim 18$ 的条件下,控制气水比分别为 (2:1)、(5:1)、(10:1),测定出水的 COD、NH₃ - N、TN、TP 等指标,考察气水比对折流式曝气生物滤池脱氮除磷效能的影响。

1.3.2 间歇曝气对脱氮除磷效能的影响

在有机负荷为 $0.86 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、水力停留时间为 8 h、气水比为 5:1 的条件下,考察间歇曝气工况 (见表 2) 对脱氮除磷效能的影响。试验中,分别在间歇曝气工况交替时,取样并采用标准方法测定 COD、NH₃ - N、TP 及 TN 等指标^[3]。

表 2 试验工况

Tab 2 Experimental modes of BBAF h

工况	曝气	停曝
1	1.5	0.5
2	1.25	0.75
3	1.0	1.0
4	1.0	1.5

2 结果与分析

2.1 气水比对去除污染物的影响

2.1.1 对去除 COD 的影响

气水比对去除 COD 的影响见图 2。

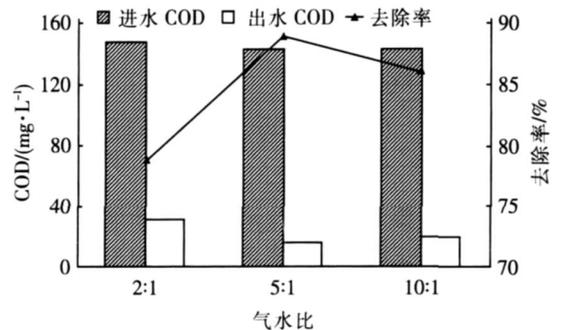


图 2 气水比对去除 COD 的影响

Fig 2 Effect of air/water ratio on removal of COD

由图 2 可以看出,当气水比为 (2:1)、(5:1)、(10:1) 时,出水 COD 平均浓度分别为 31.3、15.8 和 20.0 mg/L,去除率分别为 78.8%、88.9% 和 86.1%。当气水比从 2:1 增大到 5:1 时,对 COD 的去除率增幅较明显,而继续增大到 10:1 时,对 COD 的去除率反而略有降低,分析原因为: BBAF 采用连续曝气,反应器中氧气的传输主要通过界面转移^[4],根据双膜理论,氧气传递速率的大小由气、液膜间的阻力决定,气水比越大则相对于膜间的传质阻力越小,生物膜内的溶解氧浓度越高,这导致降解有机物的好氧异养菌的活性较高,因而能获得较好的去除有机物的效果;但当曝气量过大时,反应体系中氧的浓度由于受平衡溶解度的限制,不仅不再增加,过强的湍流反而会造成水中溶解氧的解析及填料上生物膜的脱落,降低了固定化微生物的浓度,出水 SS 增加,从而使出水 COD 浓度升高。同时,气水比增大也使动力消耗增加。故采用 5:1 的气水比较适宜。

2.1.2 对去除 SS 的影响

试验结果表明,当气水比为 (2:1)、(5:1)、(10:1) 时,出水 SS 的平均浓度分别为 11.3、12.0、16.7 mg/L,去除率分别为 89.1%、88.2%、83.9%,即对 SS 的去除率随气水比的增加而逐渐减小,这是由于气水比加大,导致水力剪切作用和气流扰动作用加强,对填料表面生物膜的冲刷作用增强,使生物膜的更新速度加快,进而导致出水 SS 浓度升高。但从总体来看,当气水比在 (2:1) ~ (10:1) 之间变化时,对 SS 的去除率均在 80% 以上,说明折流式曝

气生物滤池具有较好的去除 SS 的能力。

2.1.3 对去除氨氮的影响

试验结果表明,当气水比为 (2 1)、(5 1)、(10 1) 时,出水氨氮平均浓度分别为 5.36、1.94、0.74 mg/L,去除率分别为 76.4%、91.7%、97.1%。可见,在水力停留时间相同的条件下,随着气水比的增大,对氨氮的去除率升高。这是由于气水比越大则水中的 DO 浓度越高,而硝化菌的比生长速率随着氨氮、DO 浓度的增加而增大,且 DO 对比生长速率的影响要比氨氮的大得多。此外,气水比越大则气流的冲刷作用越强,使得反应器中的好氧区域增多,也会提高硝化菌的活性,有利于对氨氮的去除。

2.1.4 对去除 TN 的影响

试验结果表明,当气水比为 (2 1)、(5 1)、(10 1) 时,出水 TN 平均浓度分别为 20.23、16.22、17.15 mg/L,去除率分别为 27.8%、40.8%、38.9%,即随着气水比的增大,对 TN 的去除率先增加后降低,在气水比为 5 1 时达到最高。分析认为:通过对反应器 DO 的控制,可在生物膜内部形成溶解氧和底物的浓度梯度,进而形成具有不同生态条件的微环境区域,使得好氧和厌氧微生物能够在膜内不同层次占有优势地位,使反应器具有同步硝化反硝化脱氮能力^[5-9]。反应器中的 DO 浓度应满足有机物氧化及硝化反应的需要,同时 DO 浓度又不宜过高,以便能在微生物絮体或生物膜内产生 DO 浓度梯度,形成缺氧微环境,并防止有机底物被过度消耗(影响反硝化)。提高气水比则增加了滤池内的溶解氧浓度,扩大了硝化区域,对提高折流式曝气生物滤池的硝化能力有利,但反硝化区域缩小,不利于同步反硝化脱氮。同时,提高气水比还会增加反应器内的紊流程度,促进溶解氧扩散并加快生物膜的更新,也将使反应器内的缺氧区域减小,反硝化菌的数量和活性降低,故气水比不宜太大。试验结果表明:在气水比为 5 1 时,反应器中的 DO 为 4 mg/L,此时生物膜的构成有利于同步硝化反硝化脱氮。

2.1.5 对去除 TP 的影响

试验结果表明,在气水比为 (2 1)、(5 1)、(10 1) 时,进水 TP 平均浓度分别为 1.99、2.01、2.08 mg/L,出水 TP 平均浓度分别为 1.38、1.27、1.28 mg/L,去除率分别为 30.8%、36.8%、38.4%。随着气水比的增加,对 TP 的去除率稍有增加,但出

水 TP 浓度均未能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准,这部分磷的去除主要通过生物同化、生物絮凝吸附和物理过滤截留作用。根据有关报道^[10],在滤床中磷的最高物理过滤截留率可达 35%,其中有超过一半的磷在反冲洗中得到去除。

2.2 间歇曝气强化脱氮除磷的效果

2.2.1 对去除 COD 的影响

试验结果表明,在工况 1~4 下,系统出水 COD 平均浓度分别为 17.7、18.4、21.3、23.3 mg/L,去除率分别为 86.0%、85.2%、82.3%、80.5%。可见,运行工况对折流式曝气生物滤池去除有机物的影响不明显。分析认为,一方面在停曝期间可通过反硝化作用降解部分 COD,COD 的去除不会受到停曝的影响;另一方面,由于停曝的时间相差不大,而折流式曝气生物滤池的水力停留时间较长,从而对出水 COD 的影响不显著。

2.2.2 对去除氨氮的影响

试验结果表明,工况 1~4 下的出水 NH₃-N 平均浓度分别为 2.80、5.10、7.15 和 10.12 mg/L,去除率分别为 85.1%、72.6%、60.9%、47.4%。由 Monod 方程可知,硝化菌的比生长速率随着 NH₃-N、DO 浓度的增加而增加,在水力停留时间及进水氨氮浓度基本一致的情况下,曝气时间越长则污水中的 DO 浓度越高,硝化菌的比生长速率越大,对氨氮的去除率越高。因此,在曝气 1.5 h、停曝 0.5 h 的运行工况下,系统获得了较好的氨氮去除效果。由于停曝的时间较短,而折流式曝气生物滤池的水力停留时间较长,故即使是在曝气 1.0 h、停曝 1.5 h 的工况下,系统仍能获得较理想的硝化效果。

2.2.3 对去除总氮的影响

试验结果表明,工况 1~4 下的出水总氮平均浓度分别为 18.72、17.73、16.59、16.30 mg/L,去除率分别为 34.8%、38.4%、41.0%、43.7%,即随着停曝时间的增加,对总氮的去除率逐渐增大。这是因为较长的停曝时间使生物膜的反硝化效能得到了强化,从而能获得较高的生物脱氮效率。

2.2.4 对除磷的影响

在间歇曝气工况下,系统对总磷的去除效果见图 3。

由图 3 可知,工况 1~4 下的出水 TP 平均浓度分别为 0.93、0.76、0.60、0.46 mg/L,去除率分别为

56.5%、64.1%、70.3%、77.0%，出水 TP 浓度均低于 1.0 mg/L，达到了 GB 18918—2002 标准的一级 B 标准，与连续曝气相比，去除率提高了 20%~40%。这是因为间歇曝气可使厌氧、好氧环境交替出现，为聚磷菌创造了良好的生长环境，同时较长的停曝时间也有利于除磷。

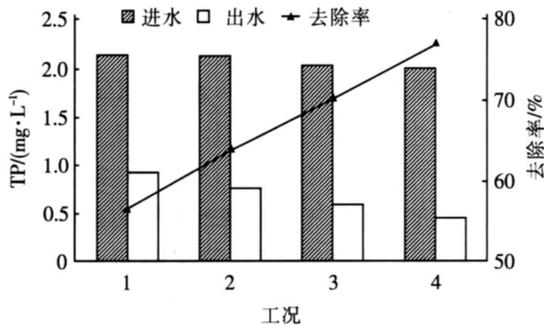


图 3 间歇曝气工况下对 TP 的去除效果

Fig 3 Effect of intermittent aeration on removal of TP

3 结论

在温度为 13~18℃、有机负荷为 0.86 kg/(m³·d)、水力停留时间为 8 h 的条件下，当气水比为 5:1 时，出水 COD、NH₃-N、TN 的浓度均较低，分别为 15.8、1.94、16.22 mg/L，去除率分别为 88.9%、91.7%、40.8%。除 TP 外，其他指标都达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

对折流式曝气生物滤池进行间歇曝气强化脱氮除磷，当采用曝气 1.0 h、停曝 1.5 h 的交替间歇曝气方式时，系统能获得较好的脱氮除磷效果，出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

参考文献：

[1] 郑俊, 吴浩汀, 程寒飞. 曝气生物滤池污水处理新技术

术及工程实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002

- [2] 陈焱, 翟俊, 龙腾锐. 折流式曝气生物滤池处理小城镇污水的工艺设计 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(8): 38-41.
- [3] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [4] 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(11): 49-52
- [5] 王建龙, 彭永臻, 王淑莹, 等. 复合生物反应器的同步硝化反硝化研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(9): 32-36
- [6] 吕锡武, 李丛娜, 稻森悠平. 溶解氧及活性污泥浓度对同步硝化反硝化的影响 [J]. 城市环境与城市生态, 2001, 14(1): 33-35.
- [7] 汪舒怡, 汪诚文, 梁鹏, 等. 膜曝气生物反应器的除碳脱氮特性研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(9): 40-43.
- [8] 张瑞雪, 向来, 季铁军. DO 浓度对 SUFR 系统同步硝化反硝化的影响 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(7): 70-73.
- [9] Zeng R J, Lenaire R, Yuan Z, *et al*. Simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal in a lab-scale sequencing batch reactor [J]. *Biotechnol Bioeng*, 2003, 84(2): 170-178.
- [10] Clark T, Stephenson T, Pearce P A. Phosphorus removal by chemical precipitation in a biological aerated filter [J]. *Water Res*, 1997, 31(10): 2557-2563.

作者简介: 周健 (1964-), 女, 江苏常州人, 博士, 教授, 研究方向为水处理理论与技术。

电话: (023) 66357572

E-mail: zhoujian@126.com

收稿日期: 2007-08-06

全面规划、统筹兼顾、

标本兼治、综合利用水资源