

新型侧向流曝气生物滤池处理生活污水

张红晶^{1,2} 龙腾锐² 何强² 曹艳晓²

(1. 重庆大学化学化工学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘 要 采用以沸石为填料的新型侧向流曝气生物滤池处理生活污水, 考察了水力负荷和汽水比的影响。结果表明, LBAF 在最佳工况汽水比 10:1, A、B 段曝气量比 1:1, 水力负荷 $0.43 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 下, COD、SS、氨氮、总氮和总磷的去除率分别为 88.01%、95.18%、78.97%、52.58% 和 21.02%; COD 去除率随 COD 容积负荷的增加缓慢下降。氨氮、总氮去除率随 COD 容积负荷的增大明显下降, 氨氮去除率随氨氮容积负荷的增大而明显降低。滤池纳污能力强, 不易堵塞, 可适当延长反冲周期。

关键词 侧向流曝气生物滤池 污水处理

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)10-0027-05

Lateral flow biological aerated filter for domestic wastewater treatment

Zhang Hongjing^{1,2} Long Tengrui² He Qiang² Cao Yanxiao²

(1. Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044;

2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045)

Abstract A zeolite media lateral biological aerated is designed and used to treat domestic wastewater. The experimental results that under the optimal technological conditions which hydraulic is $0.43 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ and gas/liquid is 10:1, the removal rates of COD, SS, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN, TP are 88.01%, 95.18%, 78.97%, 52.58% and 21.02% respectively. The research conclusions are that effluent COD capacity load increases with the COD removal reducing gradually and $\text{NH}_3\text{-N}$, TN removal reducing obviously, effluent $\text{NH}_3\text{-N}$ capacity load increases with the $\text{NH}_3\text{-N}$ removal reducing obviously. LBAF has large pollution carrying capacity; and is uneasy to be blocked, in comparison with traditional BAF, the operation cycle of LBA is postponed.

Key words lateral flow biological aerated filter domestic; wastewater treatment

研究开发简易、高效、节能并适合于我国国情的污水处理技术和设备, 是当前城市污水处理领域的迫切任务之一。曝气生物滤池具有处理效率高、占地面积小、费用低、管理方便和抗冲击负荷能力强等特点, 在城市污水处理中有着广泛的应用前景^[1-3]。传统的曝气生物滤池存在对进水 SS 要求较高、水头损失较大以及除磷效率低等问题, 针对以上不足, 本研究将侧向流引入曝气生物滤池工艺, 开发了侧向流曝气生物滤池 (lateral flow biological aerated filter, 简称 LBAF), 试图通过对传统曝气生物滤池进行改进, 达到减少水头损失、增强滤池纳污能力强, 适当延长反冲周期的目的。

侧向流曝气生物滤池的特点是采用填料框内的布置曝气系统, 能够灵活地对曝气点及回流点的位置进行设置, 实现在同一滤池内完成厌氧和好氧反应。

1 试验装置与方法

1.1 LBAF 试验装置

LBAF 实验装置如图 1 所示, 长 2.28 m, 宽 0.70 m, 高 1 m, 由 A、B 两段填料串联组成, A 段交错填装 5 筐粒径为 10~15 mm 的沸石, 每筐内放置一根微孔曝气器, 其特点是在池体内交错布置填料筐, 大部分污水穿过填料, 小部分污水会绕过填料筐, 通过填料筐与池壁间的空隙, 与穿过填料筐的污水汇合进入下一个填料筐, 这样填料利用率高, 可适当延长反冲洗周期, B 段每间隔 28 cm 放置一根微孔曝气器, 装填粒径为 3~6 mm 的沸石。采取这样的设计

基金项目: 国家“十五”攻关计划资助项目 (2004BA604A01); 荷兰政府赠款项目 (NGGP)

收稿日期: 2006-04-20; 修订日期: 2007-03-10

作者简介: 张红晶 (1967~), 女, 博士研究生, 主要从事水处理技术的研究。E-mail: zhhj0101@tom.com

主要是考虑到填料的粒径关系着滤池的反冲洗周期和硝化效能,粒径越大,则反冲洗周期越长,硝化效能越差^[4]。

1 2 试验方法

常规指标的分析测试主要参考文献 [5] 中规定的标准方法进行,具体的分析项目、方法和所用仪器设备见表 1。

表 1 主要试验仪器及分析方法
Table 1 Main analytical apparatus and methods

分析项目	测定方法	仪器、设备和型号
COD	重铬酸钾比色法	HACH COD Reactor HACH DR /2010
SS	过滤称重法	DT-100电光分析天平、CS101-2D干燥箱
氨氮	纳氏试剂分光光度法	721可见分光光度计
总氮	过硫酸钾氧化分光光度法	HACH DR4000UV分光光度计
总磷	过硫酸钾氧化 钼酸盐分光光度法	721可见分光光度计

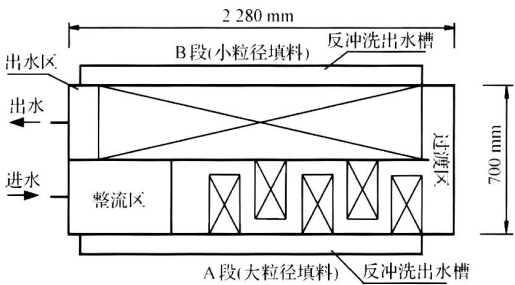


图 1 LBAF构造示意图
Fig 1 Sketch of constitution

1 3 原水水质

试验用水为重庆大学学生宿舍的生活污水,由水泵将污水从初沉池输送到实验室高位水箱,然后进入反应器。原水水质为:SS 105 ~ 220 mg/L, COD 103 ~ 596 mg/L, TN 109.79 ~ 11.12 mg/L, TP 3.1 ~ 11.8 mg/L, NH₃-N 9.02 ~ 96.31 mg/L, pH 6.5 ~ 7.5。

2 试验结果与讨论

2 1 水力负荷对去除率的影响

水力负荷是推流式反应器重要的运行条件,在反应器结构一定时,它与平均水力停留时间 (HRT) 呈一一对应关系。表 2 显示了在气水比 10:1, A、B 段曝气量比 1:1 时,水力负荷对污染物去除的影响。从表 2 可以看出,随着水力负荷的增加, COD、SS、氨氮、总氮和总磷的去除率随水力负荷增加而下降,但 SS、COD 平均去除率下降幅度较小,氨氮、总氮平均去除率下降幅度较大,总磷的去除率低且变化较小。从表 2 还可看出,因季节变化、降雨影响, COD、SS

氨氮进口浓度变化较大,标准偏差较大,但出水的 COD、SS、氨氮标准偏差较小,表明 LBAF 反应器运行稳定,抗冲击负荷能力较强。而总磷进口浓度的标准偏差较小,去除率的标准偏差较大,说明总磷的去除率变化较大。试验发现,每次反冲洗后第 1 d 除磷效果较好,去除率有时高达 70%,表现出一定的生物吸磷作用,但随运行时间增加,除用于合成微生物机体本身——同化作用去除一部分磷外,基本无生物除磷作用,去除率呈逐渐下降的趋势,最差时仅有 3.46%。

2 2 气水比的影响

2 2 1 总曝气量一定, A、B 段曝气量不同对 LBAF 运行性能的影响

为了优化气水比,需确定在总曝气量一定时, A、B 段曝气量怎样分布更合理。在水力负荷为 0.51 m³/m²·h,总气量 1.50 m³/h,总气水比为 10:1,温度 22.5 ~ 29.0 °C 时,对 A、B 段曝气量分别为 0.75 m³/h 0.75 m³/h (1:1) 和 1.0 m³/h 0.5 m³/h (2:1) 进行了运行性能的试验,结果如图 2 所示。

从图 2 可知,当 A、B 段曝气量由 1:1 变为 2:1 时, COD 平均去除率由 86.4% 下降到 76.6%,下降近 10%。NH₃-N 平均去除率由 84.35% 下降到 39.95%,下降了 44.47%。TN 平均去除率由 37.13% 下降到 30.90%,下降近 7%。由此可见,当总曝气量一定时, B 段曝气量减少,对 COD、NH₃-N 和 TN 的去除都不利,但对 NH₃-N 的影响最明显。这可能是由于去除 NH₃-N 的活跃层比 COD 更深,硝化菌对氧较为敏感, B 段曝气量减少,硝化菌不能得到足够的氧,硝化效果变差。

表 2 LBAF内污染物与水力负荷的关系

Table 3 Effect of hydraulic loading on contaminant removal

水力负荷 (m ³ /m ² · h)		0.18	0.32	0.43	0.50	0.61	
平均停留时间 (h)		13.62	7.70	5.71	4.92	4.10	
SS	进口	浓度	128.08	200.18	186.32	113.09	187.96
	(mg/L)	标准偏差	35.53	51.59	18.53	21.97	34.76
	出口	浓度	4.31	7.26	9.13	8.26	18.32
	(mg/L)	标准偏差	1.57	2.23	3.65	2.38	3.11
	去除率	去除率	97.32	96.51	95.18	92.5	90.08
	(%)	标准偏差	3.50	6.04	3.95	3.65	4.52
COD	进口	浓度	301.75	312.25	371.42	163.28	286.16
	(mg/L)	标准偏差	92.18	118.80	90.39	28.24	31.56
	出口	浓度	33.75	42.00	43.83	33.19	68.37
	(mg/L)	标准偏差	9.32	8.02	7.57	8.29	9.21
	去除率	去除率	89.34	87.19	88.01	79.16	76.91
	(%)	标准偏差	5.71	5.97	3.78	3.33	4.64
NH ₃ -N	进口	浓度	66.71	47.75	68.54	33.13	66.37
	(mg/L)	标准偏差	12.38	18.87	15.03	25.62	25.58
	出口	浓度	10.10	11.33	14.39	14.37	29.77
	(mg/L)	标准偏差	4.92	3.12	1.94	8.36	4.05
	去除率	去除率	83.68	76.08	78.97	60.78	57.44
	(%)	标准偏差	5.91	4.41	4.99	4.02	8.04
TN	进口	浓度	97.49	71.82	88.15	41.44	68.92
	(mg/L)	标准偏差	7.42	10.44	7.60	4.74	7.08
	出口	浓度	38.00	28.51	41.58	28.15	43.53
	(mg/L)	标准偏差	12.72	15.31	4.68	2.87	4.61
	去除率	去除率	61.42	59.98	52.58	29.35	36.83
	(%)	标准偏差	10.47	4.22	10.18	7.52	4.36
TP	进口	浓度	7.32	8.15	8.14	5.95	6.23
	(mg/L)	标准偏差	1.15	0.42	1.32	0.29	0.91
	出口	浓度	4.23	6.23	6.51	4.76	5.01
	(mg/L)	标准偏差	1.34	1.47	1.98	0.31	1.22
	去除率	去除率	42.31	22.55	21.02	20.39	19.78
	(%)	标准偏差	22.12	24.90	32.10	29.96	17.19

注:表中进口、出口及去除率的值均为该工况下的平均值

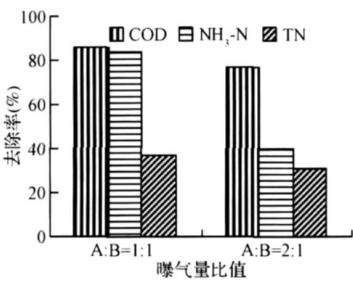


图 2 总曝气量一定,AB段曝气量对污染物去除的影响

Fig 2 Effect of changing aeration ratio of A zone to B zone on contaminant removal

2.2.2 气水比对 LBAF运行性能的影响

在水力负荷为 0.43 m³/m²·h时,采用气水比 7、10、12、16, A、B段曝气量比均取 1:1 的运行结果见图 3。由图 3可见,气水比从 7 增加

到 10 时, SS 的去除率变化幅度较小,当气水比超过 10 会造成出水 SS 增加; 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,对填料表面的生物膜的冲刷作用增强,使生物膜脱落增加,出水 SS 增加。气水比从 7 升高到 10 时, COD 的去除率有一定提高,气水比大于 10 后, COD 的去除率增加缓慢,并趋于稳定;气水比由 7 增加到 10 时,对氨氮的去除率可显著提高,而总氮的去除率在气水比 7 增加到 10 时增加不多,气水比大于 10 后总氮的去除率增加更不明显; LBAF 反应器的出口 DO 控制在 2 mg/L 左右,发挥同步硝化反硝化作用,因此, LBAF 反应器的总氮去除率受气水比的影响较小。气水比 7 增加到 10 时,滤池对磷的去除率有所提高,但气水比大于 10 后,总磷去除率变化不大。

通过对水力负荷和气水比的分析,同时考虑出

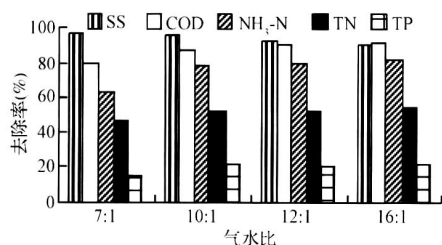


图 3 气水比对污染物去除的影响

Fig 3 Effect of the ratio of air to water on contaminant removal

水水质及运行费用等多方面因素,笔者认为 LBAF 的最佳工况为气水比 10:1, A、B 段曝气量比 1:1, 水力负荷 $0.43 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, 在此工况下, COD、SS、氨氮、总氮和总磷的去除率分别为 88.01%、95.18%、78.97%、52.58%和 21.02%。

2.3 容积负荷对去除率的影响

2.3.1 COD 容积负荷的影响

图 4 为 LBAF 反应器 COD 去除率与进水 COD 容积负荷的关系曲线。从图 4 可见, COD 去除率随 COD 容积负荷的增加缓慢下降。COD 容积负荷小于 $1.0 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 时, LBAF 有较强的有机物去除能力, 能有效抵抗有机物进水负荷的变化。由于试验采用生活污水作为培养基质, 进水污染物浓度不易调控, 所以有效增加反应器进水容积负荷的方法只有加大进水流量, 即增大水力负荷, 减少水力停留时间。

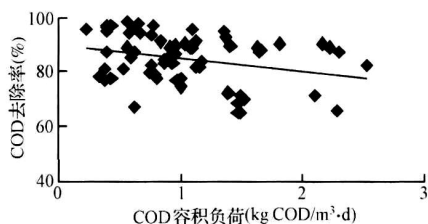


图 4 COD 容积负荷对 COD 去除率的影响

Fig 4 Effect of COD load on COD removal

图 5 为 LBAF 反应器氨氮去除率与进水 COD 容积负荷的关系曲线。图 5 显示, LBAF 的氨氮去除率随 COD 容积负荷的增大呈下降趋势。当 COD 容积负荷低于 $0.5 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 时, 氨氮去除率基本在 70% 以上; 而 COD 容积负荷增大后, 氨氮去除率下降到 40% ~ 70%。LBAF 氨氮去除率随 COD 容积负荷的变化一方面是受水力负荷增大的影响, 另一方面是由于硝化菌活性受到有机物浓度变化的影

响, COD 容积负荷高时, 异养菌大量繁殖, 抑制硝化菌生长, 使硝化效果下降。

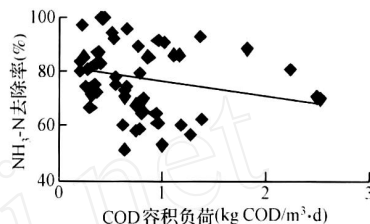
图 5 COD 容积负荷对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的影响

Fig 5 Effect of COD load on $\text{NH}_3\text{-N}$ removal

图 6 为 LBAF 反应器总氮去除率与进水 COD 容积负荷的关系曲线。从图 6 可知, 总氮去除率随 COD 容积负荷变化的趋势与氨氮去除率类似, 即随 COD 容积负荷增大而降低。但是总氮数据的离散程度较氨氮明显, 说明 LBAF 反应器总氮去除率没有氨氮稳定。

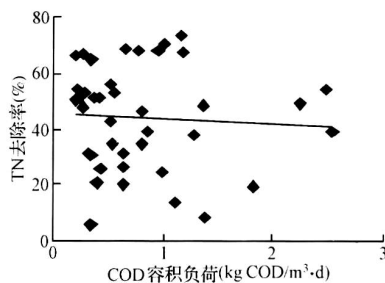


图 6 COD 容积负荷对 TN 去除率的影响

Fig 6 Effect of COD load on TN removal

2.3.2 氨氮容积负荷的影响

图 7 为 LBAF 反应器的氨氮容积负荷对氨氮去除率的影响。从图 7 可以看出, LBAF 的氨氮去除率随进水氨氮容积负荷的增大而明显降低, 但总氮数据较离散。由于本试验中增加氨氮负荷是通过增加水力负荷来实现的, 在增加水力负荷的同时也增加了有机物负荷, 所以当氨氮负荷增加时, 也就对硝化反硝化有影响。

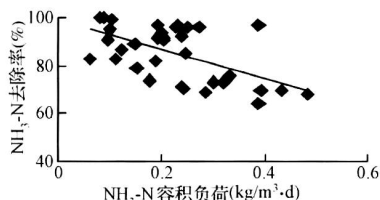
图 7 $\text{NH}_3\text{-N}$ 容积负荷对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的影响

Fig 7 Effect of $\text{NH}_3\text{-N}$ load on $\text{NH}_3\text{-N}$ removal

2 4 反冲洗

LBAF由于在 A 段设置“S 形小阻力流槽(见图 1)的作用,高出的水位会很快流入附近低水位的地方,从而造成 A 段没有液面落差,各个位置的水头损失基本相同,在 B 段没有“S 形小阻力流槽,因此水头损失逐渐减小。在试验中笔者是通过进出口间的水头损失和出水水质的关系来确定运行周期的,滤池在气水比 10 1 时,不同水力负荷下的运行周期见表 3。

LBAF的反冲洗采用气水联合反冲洗:先气洗 5 min再气水联合冲洗 3 min最后水洗 10 min,气冲强度 5 L/m²·s,水冲强度 5 L/m²·s。反冲洗后 LBAF的除污性能得以有效恢复。

表 3 LBAF处理生活污水试验运行周期表
Table 3 Statistics of operation period in domestic wastewater treatment trail

水力负荷 (m ³ /m ² ·h)	平均停留时间 (h)	运行周期 (d)
0.18	13.62	15
0.32	7.70	7
0.61	4.10	4

3 结 论

(1)本试验条件下,LBAF的最佳工况为气水比 10 1、水力负荷 0.43 m³/m²·h,平均停留时间 5.71 h,在此工况下,COD、SS、氨氮、总氮和总磷的

去除率分别为 88.0%、95.2%、78.97%、52.58%和 21.20%。出水 COD、SS及氨氮浓度满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 B 标准排放的要求。

(2)在一定范围内,COD去除率随 COD容积负荷的增加缓慢下降。氨氮、总氮去除率随 COD容积负荷的增大明显下降,氨氮去除率随氨氮容积负荷的增大而明显降低。

(3)由于滤池内 A 段设置的“S 形小阻力流槽的作用,滤池纳污能力强,不易堵塞。

参 考 文 献

[1] Pujol E., Canler J. P., Iwema A. Biological aerated filters: An attractive biological process Wat Sci & Tech, 1992, 26(3~4): 693~702

[2] Chen J. J.,McCarty D., Slack D., et al Full scale case studies of a simplified aerated filter (BAF) for organics and nitrogen removal Wat Sci & Tech, 2000, 41(4): 1~4

[3] Pujol R., Hamon Kandel X., Lemmel H. Biofilters: Flexible reliable biological reactor Wat Sci & Tech, 1994, 29(10~11): 33~38

[4] 田文华,文湘华,崔燕平,等. 填料粒径对曝气生物滤池硝化性能的影响. 中国给水排水, 2003, 19(5): 48~50

[5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版). 北京:中国环境科学出版社, 2002