



侧向流曝气生物滤池的工作性能与滤池长度的关系*

张红晶¹ 龙腾锐² 何强² 曹艳晓²

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

摘要 研究了侧向流曝气生物滤池工作时 COD、SS、氨氮和 TN 随滤池长度变化的关系。结果表明: (1) SS 的去除主要集中在滤池前部 0~1.42 m 段; (2) 对 COD 的去除, A 段(0.56~2.08 m)起了主要作用, B 段(2.78~4.66 m)弥补 A 段的 COD 去除效果; (3) 氨氮的去除主要发生在 2.53 m 以后, B 段承担了去除氨氮的主要作用。

关键词 侧向流曝气生物滤池 城市污水 工作性能

Performance of a lateral flow biological aerated filter Zhang Hongjing¹, Long Tengrui², He Qiang², Cao Yanxiao². (1. Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045; 2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045)

Abstract: The unique lateral flow biological aerated filter was developed for treatment of settled sewage. The bioreactor performed well for more than 100 days during two test periods; the operating conditions were: plug flow velocity = 0.45 & 0.73 m/h, HRT = 9.33 & 5.47 h, T = 18.2~23.6 & 10.1~17.5 °C, air/liquid feed ratio = 5 & 1, average influent COD = 218.37 & 300.14 mg/L, SS = 128.18 & 153.09 mg/L, and NH₄⁺-N = 30.09 & 33.25 mg/L, respectively for the first and second test periods. Samples were taken along the flow path to monitor the treatment effectiveness at various sections of the reactor. Most of the influent COD and SS were removed in the early treatment zone while most NH₄⁺-N was removed in the latter stage. The treatment was more effective during the lower loading and warmer first period; the average removal rates for COD, SS and NH₄⁺-N were 86.87% & 77.28%, 97.04% & 91.15%, 77.78% & 53.91%, respectively.

Key words: Lateral flow biological aerated filter Municipal wastewater Treatment performance

从 20 世纪 80 年代以来,曝气生物滤池在污水处理领域得到广泛研究和应用。目前,为中小城镇开发低耗、高效的污水处理工艺是我国污水处理技术研究领域亟待解决的重大课题^[1],而曝气生物滤池等为代表的低耗、高效工艺可以满足这一需求^[2]。

本课题组在吸取传统曝气生物滤池运行机理的基础上,开发了获得发明专利的侧向流曝气生物滤池(Lateral Flow Biological Aerated Filter, LBAF),该滤池将生物填料装载在填料框内,按 S 型布置在滤池中,大部分污水穿过填料框,小部分污水通过填料框与池壁间的空隙绕过填料框,经过长时间运行,填料表面的生物膜积累后,填料内的阻力会相应增加,污水将绕过前置的填料框进入下一个填料框,这样滤池内所有的填料都可以有效利用。本文主要探讨 LBAF 中 COD、氨氮、SS 和 TN 的沿程分布情况,对于确定适宜的滤池长度,降低成本有重要意义。

1 试验工艺流程与方法

1.1 试验设备

试验地点位于重庆市渝北区城南污水处理厂,

试验用水为该厂初沉池出水,由水泵将污水从初沉池出水渠输送到实验室高位水箱,然后进入 LBAF 反应器。LBAF 滤池池体长 2.28 m,宽 0.70 m,高 1.35 m,由调节池(0~0.56 m)、A 段填料(0.56~2.08 m)、过渡区(2.08~2.78 m)、B 段填料(2.78~4.66 m)和出水区(4.66~4.86 m)串联组成。A 段交错装填 5 框粒径为 10~15 mm 的沸石,每筐内放置 1 根微孔曝气管,在填料框与池体壁面之间形成 25 cm 宽的小阻力流槽。其特点是在池体内交错布置填料框,大部分污水穿过填料,小部分污水绕过填料框,通过填料框与池壁间的空隙,与穿过填料框的污水汇合进入下个填料框,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 1 根微孔曝气管,装填粒径为 3~6 mm 的沸石。填料层自下而上的构造为:沸石填料,反冲洗进水管,曝气器,反冲洗进气管,沸石填料。沿轴向每隔 28 cm 设置 1 组取样装置,每组取样装置由上、中、下纵向排列的取样口组成。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

表 1 试验污水水质

指标	COD	BOD ₅	氨氮	TN	硝态氮	SS	TP	pH
变化范围	136~596	39.6~197.1	15.8~41.5	34.9~69.0	0	43~220	3.1~7.8	6.7~7.9
均值	278	135.5	30.0	49.0	0	137	5.0	7.2

表 2 运行工况

项目	水力负荷/(m ³ ·h ⁻¹)	A 段气水比	B 段气水比	停留时间/h	运行时间	温度/
工况 1	0.45	5:1	5:1	9.33	2004.10.01~2004.11.10	18.2~23.6
工况 2	0.73	5:1	5:1	5.47	2004.11.21~2005.01.31	10.1~17.5

表 3 运行结果

项目	工况 1			工况 2		
	进水/(mg·L ⁻¹)	出水/(mg·L ⁻¹)	去除率/%	进水/(mg·L ⁻¹)	出水/(mg·L ⁻¹)	去除率/%
COD	218.37	25.12	86.87	300.14	59.15	77.28
SS	128.18	4.20	97.04	153.09	13.36	91.15
氨氮	30.09	6.80	77.78	33.25	15.22	53.91
TN	53.74	24.00	52.22	56.31	38.38	30.44

越长,硝化效能越差。所以,滤池内填料的布置在前段采用大粒径填料,后段采用小粒径填料,在保证适当延长反冲洗周期的情况下,获得较好的硝化效能和有机物的降解。

侧向流曝气生物滤池采用在填料框内布置曝气管,能够灵活地对曝气点及回流点的位置进行设置,能实现在同一滤池内完成厌氧和好氧反应,使得运行管理非常简单,并且经试验证明污水以接近推流流态通过生物滤池,可以保证较高的反应器容积有效利用率和较好的处理效果。

1.2 试验水质

试验污水水质见表 1。

1.3 检测项目与分析方法

常规指标的分析测试参见文献[3]。

2 试验结果与讨论

2.1 填料床的长度对污染物去除的影响

试验分别对两种工况(见表 2)进行了研究,运行结果见表 3。

2.1.1 对 SS 去除的影响

由图 1 可知,LBAF 去除 SS 效果非常好。两个工况,随填料床长度增加,SS 浓度逐渐减小,SS 去除率上升,从进水端到总长度的 29%处,SS 去除率超过 80%,在之后的 LBAF 内,SS 变化不大。所以,总长度的 29%以内是 SS 的主要截获区。

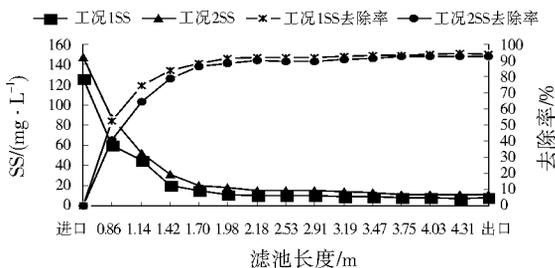


图 1 填料床的长度对 SS 去除的影响

传统的曝气生物滤池一般要求进水 SS 不超过 100 mg/L,最好控制在 60 mg/L 以下,否则容易发生堵塞,运行周期短、反冲洗频繁^[4]。LBAF 反应器的 A 段虽然采用 10~15 mm 的大粒径填料,但由图 1 可以看出,同样起到了有效截留 SS 的作用;由于 LBAF 反应器采用的粒径比传统曝气生物滤池的填料粒径大,填料之间的孔隙率较大(见表 4),且从进水到出水采用了粒径级配由大到小的填料,提高了整个滤层的纳污能力,因此 LBAF 在运行过程中水头损失增加缓慢,不易堵塞^[5]。

表 4 沸石填料的性能参数

填料位置	粒径/mm	含水堆积密度 ¹⁾ /(g·cm ⁻³)	含水表观密度 ²⁾ /(g·cm ⁻³)	内部孔隙率	外部孔隙率
A 段	10~15	0.85	1.86	0.14	0.54
B 段	3~6	1.82	2.85	0.32	0.35

注: ¹⁾ 包括填料内部空隙率和堆积颗粒间空隙率的填料密度;

²⁾ 仅包含填料内部空隙率的填料密度。

2.1.2 对 COD 去除的影响

从图 2 可见,两个工况,虽然进水 COD 有较大差别,但 COD 去除的规律完全一致,即 COD 随填料床长度的增加呈逐渐降低趋势,COD 的去除作用主要发生在进水端总长度的 35%范围内,以后逐渐减小,这主要是因为该段进水中 COD 高,占有绝对优势的异养菌新陈代谢旺盛,生化降解速率快,随着污水进入滤池越长,污水中可生物降解的有机物逐

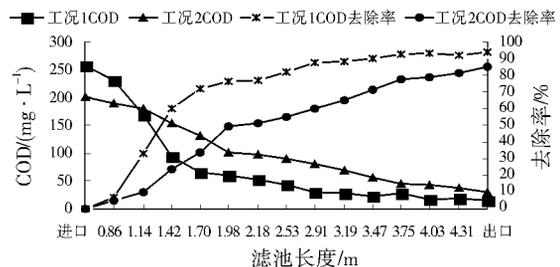


图 2 填料床的长度对 COD 去除的影响

渐减少, COD 的去除也逐渐减少;同时该段内 SS 的去除率也很大,对降低 COD 起了一定的作用。

2.1.3 对氨氮去除的影响

从图 3 可知,与 COD 不同,主要发生在总长度的 52% 以后,原因是碳化的异养菌与硝化的自养菌之间存在竞争。进水端异养菌竞争氧、营养物质和生存空间的能力比硝化菌强而占优势;污水流动过程中,含碳有机物浓度因生物降解逐渐降低,异养菌缺乏营养而减少,硝化菌才有可能进行正常代谢,因此硝化菌的活跃层在后面^[6,7]。

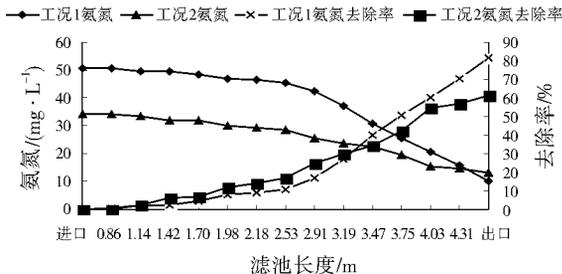


图 3 填料床的长度对氨氮去除的影响

2.1.4 对 TN 去除的影响

TN 包括氨氮、有机氮和硝态氮,在本试验条件下,氨氮去除率在水力负荷为 0.45、0.73 m/h 时,分别为 95%、60%,而 TN 分别为 70%、42%。氨氮转化为硝态氮只是氮的形态转变,就 TN 而言并没有减少,只有将硝态氮反硝化,最终以 N₂ 的形式从水中逸出,含量才能降低, TN 的减少说明了在 LBAF 内进行硝化的同时,也进行着反硝化反应^[8,9]。由图 4 可见, TN 从进口到出口逐渐减少。

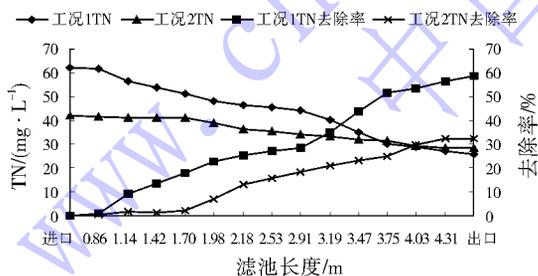


图 4 填料床的长度对 TN 去除的影响

2.1.5 对有机物及氨氮去除负荷的影响

当碳氧化和硝化在同一反应器中进行时,由于氧化有机物的异养菌和硝化氨氮的自养菌竞争生物膜表面空间和溶解氧,因此在不同滤池长度对有机物和硝化氨氮的能力也不同。在水力负荷 0.45 m/h 时, COD 和氨氮的去除负荷随填料床长度的变化如图 5 所示。

由图 5 可知,在滤池总长度的 29% 内, COD 去除负荷增加最为显著,达到 1.16 kg/(m³·d),而在总长度的 29%~52%,去除负荷开始减少,在总长度的 52% 后 COD 去除负荷趋于稳定。氨氮去除负

荷在滤池总长度的 52% 内,仅增加了 16.88 g/(m³·d),而在总长度的 52% 后,氨氮去除负荷逐渐提高,最终达到 46.00 g/(m³·d)。这一方面说明由于滤池接近平推流流态,在前段生长着大量异养菌,为异养菌的活跃层,主要以降解有机物为主,异养菌竞争底物、溶解氧和填料表面空间的能力比硝化菌强而占优势;同时,由于该段为 SS 的主要截获区,SS 的截获也提高了 COD 的去除负荷。另一方面说明由于硝化细菌比增长速率低,世代周期长,与异养菌相比属于弱勢菌种,导致硝化菌的活跃层较异养菌靠后,可以认为在前段氨氮的去除主要是由于此区域快速增长的异养菌对其的同化作用。在污水向前流动过程中,含碳有机物浓度因生物降解逐渐降低,使得异养菌因营养缺乏而减少,此时硝化菌才可能进行正常的代谢活动,使氨氮去除效果提高。而在总长度的 41%~52% 处有机物和氨氮的去除负荷均较大,表明异养菌和硝化菌在此段都有较高的活性,是硝化菌开始在底物和溶解氧的竞争

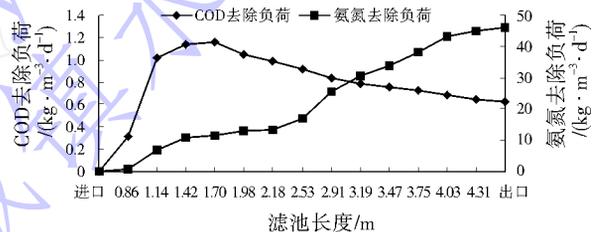


图 5 填料床的长度对有机物及氨氮去除负荷的影响

2.2 A 段、B 段对整池去除率的影响

LBAF 处理效能是 A 段、B 段共同作用的结果,通过分析 A 段、B 段对处理效能的影响能更深刻地理解 LBAF 的运行性能。

2.2.1 对 COD 去除的影响

图 6 是 A、B 段各自 COD 去除量占 LBAF 整池 COD 去除量的比例。从图 6 可以看出,在水力负荷为 0.45 m/h 时, A 段 COD 去除量对整池 COD 的去除量影响较大,占整池 COD 去除量的 50%~90%, B 段对 A 段进行补充;在水力负荷为 0.73 m/h 时, B 段 COD 去除量对整池去除量的贡献增大,增加到整池

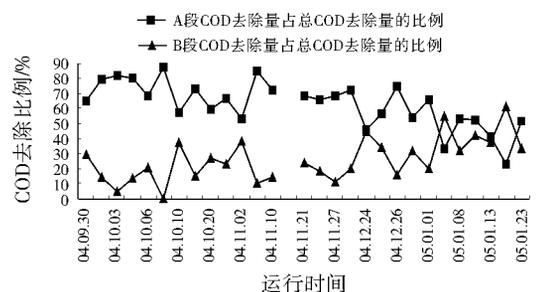


图 6 A 段、B 段对整池去除 COD 的影响

COD 去除量的 40%~60%, 这时 B 段去除有机物不再是对 A 段起弥补, 而是与 A 段均分有机物的去除。这主要是因为在该时期进水 COD 增高、水温较低, COD 主要去除段往后移造成的。

在试验期间, A 段 COD 去除效能平均贡献率为 70.0%, B 段 COD 去除效能平均贡献率为 30.0%。总体而言, A 段起到了承担主要有机物负荷的作用, B 段对 A 段的有机物去除效果进行弥补。

2.2.2 对氨氮去除的影响

图 7 反应了 A 段、B 段氨氮去除量对整池氨氮去除量的影响。从图 7 可以看出, 在试验过程中, B 段承担了主要的氨氮去除功能。试验期间, A 段平均氨氮去除量占整池氨氮去除量的 16.5%, B 段平均为 83.5%。

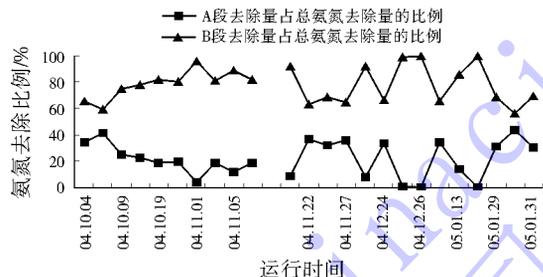


图 7 A 段、B 段对整池去除氨氮的影响

2.2.3 对 TN 去除的影响

A 段、B 段的 TN 去除量对整池 TN 去除量的影响如图 8 所示。从图 8 可以看出, A、B 段各自对 TN 去除量的影响出现剧烈变化。这种情况是由于 A、B 段去除 TN 的方式不同, A 段主要通过拦截作用去除悬浮物携带的 TN, 而 B 段主要通过反硝化作用去除 TN。当 LBAF 去除 TN 性能较好时, 反硝化起主导作用, 表现为 B 段的 TN 去除量所占比例较大; 当 LBAF 去除 TN 性能较差时, 拦截对 TN 去除的作用明显, 表现为 A 段的 TN 去除量所占比例较大。试验期间, A 段占总池去除量的 43.4%, B 段占总池去除量的 56.4%, B 段对 TN 的去除作用略为显著。

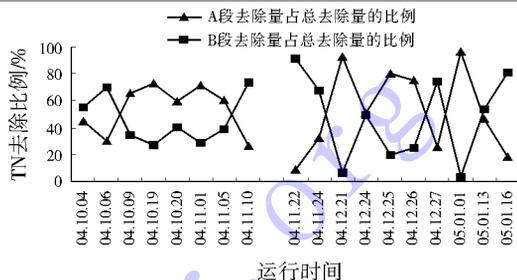


图 8 A 段、B 段对整池去除 TN 的影响

3 结 论

- (1) SS 的去除主要集中在 0~1.42 m 段。
- (2) COD 的去除主要集中在 0~1.70 m 段, 同时 A 段承担了主要去除作用, B 段对 A 段的 COD 去除效果进行弥补。
- (3) 氨氮的去除主要发生在 2.53 m 以后, B 段承担了主要去除作用。

参考文献

- [1] 王凯军. 城市污水控制技术和重点[J]. 中国环保产业, 2001(2): 25-27.
- [2] 张忠祥, 钱易. 废水生物处理新技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 350-354.
- [3] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [4] Pujol R. Process improvements for upflow submerged biofilters[J]. Water, 2000, 32(1): 25-29.
- [5] 张红晶, 龙腾锐, 何强, 等. 侧向流曝气生物滤池运行周期的确定[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(4): 91-94.
- [6] Fdz-Polanco F, Mendez E, Uruena M A, et al. Spatial distribution of heterotrophs and nitrifiers in a submerged biofilter for nitrification[J]. Wat. Sci. & Tech., 2000, 34(16): 4081-4089.
- [7] Sørensen K H, Thornberg D, Janning K F. Using advanced control, post-denitrification and equalisation to improve the performance of a submerged filter[J]. Wat. Sci. & Tech., 2000, 41(4/5): 177-184.
- [8] Puznava N, Payraudeau M, Thornberg D. Simultaneous nitrification and denitrification in biofilters with real time aeration control[J]. Wat. Sci. & Tech., 2001, 43(1): 269-276.
- [9] Pujol R, Tarallo S. Total nitrogen removal in two-step biofiltration[J]. Wat. Sci. & Tech., 2000, 41(4/5): 65-68.