

侧向流曝气生物滤池处理生活污水的试验研究

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: 采用以沸石为填料的侧向流曝气生物滤池 (LBAF) 处理生活污水, 考察了水力负荷和氣水比对其除污效果的影响。结果表明, 在氣水比为 10:1、水力负荷为 $0.43 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的最佳工况下, LBAF 对 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%; 将滤池水位增高导致出水氨氮恶化的突变点作为运行终点, 开始反冲洗; 当在水力负荷为 $0.43 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 下运行时, LBAF 的反冲洗周期为 5 d。

关键词: 侧向流曝气生物滤池; 生活污水; 水力负荷; 氣水比; 反冲洗

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)07-0082-04

Experimental Study on Lateral-flow Biological Aerated Filter for Domestic Wastewater Treatment

ZHANG Hong-jing¹, LONG Teng-rui², HE Qiang², CAO Yan-xiao²

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: A lateral-flow biological aerated filter (LBAF) with zeolite as media was used to treat domestic wastewater. The influence of hydraulic load and air/water ratio on the pollutant removal efficiency was investigated. The experimental results show that under the optimal conditions of 10:1 air/water ratio and $0.43 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ hydraulic load, the removal rates of COD, SS, $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP are 88.01%, 95.18%, 78.97%, 52.58% and 21.02% respectively. When the rise of water level in the filter causes increased concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ in the effluent, it indicates the end of the operation, and backwashing should begin. The backwashing period is 5 days when the hydraulic load is $0.43 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Key words: lateral-flow biological aerated filter (LBAF); domestic wastewater; hydraulic load; air/water ratio; backwashing

20 世纪 80 年代以来, 曝气生物滤池在污水处理领域得到了广泛的研究与应用^[1,2]。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问题, 将侧向流引入曝气生物滤池为解决这一问题提供了新思路。笔者采用侧向流曝气生物滤池 (LBAF) 处理生活污水

基金项目: “十五” 国家科技攻关课题 (2004BA604A01); 荷兰政府赠款项目 (NGGP)

水,考察了水力负荷和汽水比对其除污效果的影响,并确定了不同水力负荷下的反冲洗周期,以期为该工艺的工程化应用提供依据。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1所示。

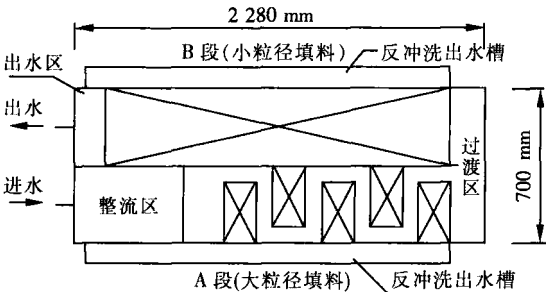


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental set-up

LBAF长为 2 28 m,宽为 0. 70 m,高为 1. 00 m,由 A、B 两段装填有不同粒径填料的池子串联组成,A 段交错设置五个填料框,装填粒径为 10 ~ 15 mm 的沸石,每框内放置一根刚玉微孔曝气器,其特点是在池体内交错布置填料框,使大部分污水穿过填料,小部分污水绕过填料框并与穿过填料框的污水汇合后流入下一填料框,这样可提高对填料的利用率并适当延长反冲洗周期;B 段装填粒径为 3 ~ 6 mm 的沸石,每隔 28 cm 布设一根刚玉微孔曝气器。A、B 两段池内填料层自下而上的布置均为:沸石填料、反冲洗进水管、曝气器、反冲洗进气管、沸石填料。

采用在填料框内布置曝气系统的方法,可灵活控制曝气点的位置,实现同一滤池内厌氧与好氧的分区,运行管理简单。另外,污水以推流态流过滤池,可保证较高的容积利用率和较好的处理效果。

1.2 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 = 11. 12 ~ 109. 79 mg/L,TP = 3. 1 ~ 11. 8 mg/L,NH₃ - N = 9. 02 ~ 96. 31 mg/L,pH = 6. 5 ~ 7. 5。

1.3 分析方法

常规指标的分析采用《水和废水监测分析方法》(第 4 版)中规定的标准方法进行^[3],水头损失通过滤池壁上的刻度测定。具体分析项目、方法及

所用仪器见表 1。

表 1 分析方法与仪器

Tab 1 Analytical method and apparatus

分析项目	测定方法	仪器
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

2 结果与讨论

2.1 水力负荷对除污效果的影响

在汽水比为 10 : 1 时,不同水力负荷下 LBAF 对污染物的平均去除率见表 2。

表 2 水力负荷对 LBAF 除污效果的影响

Tab 2 Effect of hydraulic loading on contaminant removal rate by LBAF

水力负荷 / (m ³ · m ⁻² · h ⁻¹)		0. 18	0. 32	0. 43	0. 50	0. 61
平均水力停留时间 / h		13. 62	7. 70	5. 71	4. 92	4. 10
SS	进水 / (mg · L ⁻¹)	128. 08	200. 18	186. 32	113. 09	187. 96
	出水 / (mg · L ⁻¹)	4. 31	7. 26	9. 13	8. 26	18. 32
	去除率 / %	97. 32	96. 51	95. 18	92. 5	90. 08
COD	进水 / (mg · L ⁻¹)	301. 75	312. 25	371. 42	163. 28	286. 16
	出水 / (mg · L ⁻¹)	33. 75	42. 00	43. 83	33. 19	68. 37
	去除率 / %	89. 34	87. 19	88. 01	79. 16	76. 91
NH ₃ - N	进水 / (mg · L ⁻¹)	66. 71	47. 75	68. 54	33. 13	66. 37
	出水 / (mg · L ⁻¹)	10. 10	11. 33	14. 39	14. 37	29. 77
	去除率 / %	83. 68	76. 08	78. 97	60. 78	57. 44
TN	进水 / (mg · L ⁻¹)	97. 49	71. 82	88. 15	41. 44	68. 92
	出水 / (mg · L ⁻¹)	38. 00	28. 51	41. 58	28. 15	43. 53
	去除率 / %	61. 42	59. 98	52. 58	29. 35	36. 83
TP	进水 / (mg · L ⁻¹)	7. 32	8. 15	8. 14	5. 95	6. 23
	出水 / (mg · L ⁻¹)	4. 23	6. 23	6. 51	4. 76	5. 01
	去除率 / %	42. 31	22. 55	21. 02	20. 39	19. 78

从表 2 可以看出,随着水力负荷的增加,LBAF 对污染物的去除率呈下降趋势,但对 SS 和 COD 去除率的下降幅度相对较小,这是由于对 COD 和 SS 的去除而言,滤池长度足够,滤池内填料及其上生物膜的总量能够保证滤池在较大的水力负荷下对 COD 和 SS 仍有较好的去除效果。LBAF 对氨氮和总氮的去除率随水力负荷的增加而下降得较为明显,当水力负荷为 0. 18 m³ / (m² · h) 时,对总氮的去

除率可达 61. 42%,这可能与 LBAF内好氧、缺氧的布气方式有关。LBAF对总磷的去除率较低且随水力负荷的升高降幅较大。这是因为 LBAF对磷的去除主要靠填料的物理截留作用和微生物的同化作用,水力负荷的增加使通过上述作用去除总磷的效果受限,因此系统对总磷的去除率不高且随水力负荷的增加下降明显。

2.2 气水比对除污效果的影响

在水力负荷为 $0.43\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 的条件下,考察了气水比为 (7 1)、(10 1)、(12 1)、(16 1) 时 LBAF的除污效果,结果见图 2。

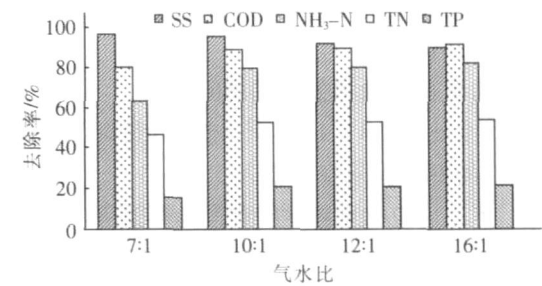


图 2 气水比对 LBAF除污效果的影响

Fig 2 Effect of air:water ratio on contaminant removal rate by LBAF

由图 2 可见,LBAF对 SS的去除率随气水比的增加而减小,这是由于气水比增大,对填料表面生物膜的冲刷作用增强,使生物膜的脱落量增加,出水 SS增加。对 COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率随气水比的增大而有所升高,且对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的增幅比 COD的大,这主要是因为硝化菌对氧较为敏感,气水比的增加可使其获得足够的氧,从而使硝化效果明显提高。对总氮的去除率在气水比由 7 1增至 10 1时有小幅上升(由 46.24%增加到 52.58%),当气水比 >10 1后则变化不再明显。当气水比从 7 1升至 10 1时,滤池的除磷效能有所提高,但当气水比 >10 1时,对总磷去除率的变化不大。

通过分析水力负荷和气水比对 LBAF除污效果的影响,同时考虑出水水质及运行费用等因素,笔者认为 LBAF运行的最佳工况是气水比为 10 1、水力负荷为 $0.43\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,在此工况下对 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 滤池反冲洗

通过考察 LBAF进、出口间的水头损失与出水水质的关系来确定运行周期。

水力负荷为 $0.18\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时,LBAF进、出口间的水头损失与出水水质的关系如图 3 所示。

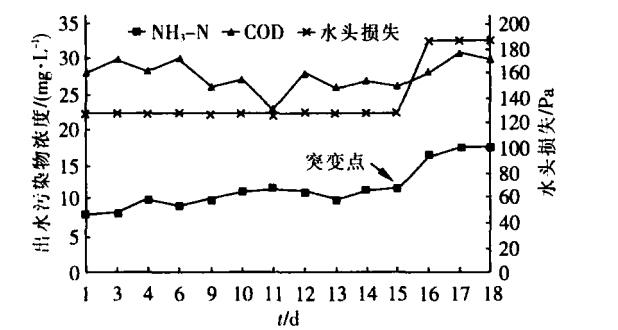


图 3 水力负荷为 $0.18\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时滤池进、出口间水头损失与出水污染物浓度的关系

Fig 3 Relationship of contaminant concentration and hydraulic pressure loss at hydraulic loading of $0.18\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$

由图 3 可以看出,滤池进、出口间的水头损失在较长的运行时间内保持不变,第 15 天时开始增加,同时出水氨氮浓度也大幅升高,但出水 COD 浓度基本维持在原来水平。通过考察不同水力负荷下滤池进、出口间的水头损失与出水水质的关系发现,当滤池水位增高时,对出水氨氮浓度的影响较 COD 的更为显著,为保护硝化菌活性,将水位增高导致出水氨氮恶化的突变点作为运行终点,开始反冲洗。不同水力负荷下 LBAF的运行周期见表 3。

表 3 不同水力负荷下 LBAF的运行周期
Tab 3 Operation period of LBAF at different hydraulic loading

水力负荷 / ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.18	0.32	0.43	0.61
平均水力停留时间 / h	13.62	7.70	5.71	4.10
运行周期 / d	15	7	5	4

LBAF的反冲洗采用气水联合反冲洗:先气冲 5 min,再气、水联合冲洗 3 min,最后水冲 10 min,气冲和水冲的强度均为 $5\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

反冲洗前、后滤池沿程的生物膜活性和生物量分别见图 4 和表 4。

由图 4 可见,反冲洗后,沿滤池长度不同位置处微生物的比耗氧速率 (SOUR) 比反冲洗前均有所增加,说明反冲洗后生物膜的生物活性有所提高;由表 4 可知,反冲洗后,沿滤池长度不同位置处填料上的生物膜量比反冲洗前均有大幅减少。经分析其原因为:反冲洗会使滤料表层老化的生物膜脱落,生物膜厚度减小,这有利于氧在其内部的扩散,所以反冲洗

后的生物活性较反冲洗前有所提高,而生物量却大量减少。反冲洗后,由于 LBAF内生物量的减少会造成一段时间内的出水水质变差,但因为生物活性得到增强,所以运行一段时间后,出水水质可恢复到反冲洗前的水平。

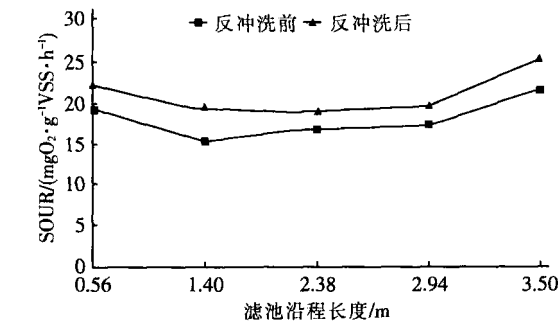


图 4 反冲洗前、后滤池沿程的生物膜活性
Fig 4 Activity of biofilm along LBAF before and after backwashing

表 4 反冲洗前、后滤池沿程生物量

Tab 4 Biomass along LBAF before and after backwashing

滤池长度 /m		0.28	0.56	0.84	1.12	1.40	2.38	2.66	3.22
生物量 / (mg·g ⁻¹ ·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	反冲洗前	12.32	13.12	11.86	11.26	11.89	8.63	6.86	4.59
	反冲洗后	5.03	5.10	4.56	3.53	3.22	2.98	2.56	2.62

3 结论

LBAF在气水比为 10 1、水力负荷为 0.43 m³/(m²·h)的最佳工况下,对 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%。

将滤池水位增高导致出水氨氮恶化的突变点作为运行终点,开始反冲洗,水力负荷为 0.43 m³/(m²·h)时的反冲洗周期为 5 d。

参考文献:

[1] Pujol F, Canler J P, Iwama A. Biological aerated filters: An attractive biological process[J]. Water Sci Technol, 1992, 26 (3): 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[J]. Water Sci Technol, 2000, 41 (4 - 5): 1 - 4
[3] 国家环保总局. 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

电话: (023) 65316430
E - mail: zhhj0101@tom. com
收稿日期: 2006 - 11 - 08

(上接第 81 页)

在后续的好氧吸磷过程中, ORP 与 pH 值均出现了指示好氧吸磷结束的特征点, 因此两者均可作为好氧吸磷结束的控制参数。

参考文献:

[1] 方茜, 张可方, 张朝升, 等. SBR 法处理低碳城市污水的除磷规律 [J]. 中国给水排水, 2004, 20 (8): 43 - 45
[2] Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Brandse F A, et al. Occurrence of denitrifying phosphorus removal bacteria in modified UCT-type wastewater treatment plants[J]. Water Res, 1997, 31 (4): 777 - 786

[3] Bortone G, Marsili Libelli S, Tilche A, et al. Anoxic phosphate uptake in the dephanox process [J]. Water Sci Technol, 1999, 40 (4 - 5): 177 - 183

E - mail: yaoyao6174@sina. com
收稿日期: 2006 - 11 - 17