

侧向流曝气生物滤池处理城市污水效能研究*

黄咏洲, 翟俊, 何强, 康岷春
(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:通过试验,研究了新型曝气生物滤池对城市生活污水的处理效果,考察了水力停留时间(HRT)和温度等的影响。结果表明,曝气生物滤池试验装置在流量为25.2~72 L/h、含氧量为2~4 mg/L、水温为10~25℃时滤池水中COD和SS的去除率为85%和95%。

关键词:曝气生物滤池;酶促填料

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)04-0072-04

Study on the New Aerated Bio-filter for Municipal Wastewater Treatment

HUANG Yong-zhou, ZHAI Jun, HE Qiang, KANG Min-chun

(Key Lab of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: An experiment was carried out on the use of a new type of aerated bio-filter for the treatment of municipal wastewater. The effect of hydraulic retention time (HRT) and temperature on the performance of BAF was studied. The results show that when the flow is 25.2~72 L/h, the amount of oxygen is 2~4 mg/L and the water temperature 10~25℃, the bio-filter can efficiently reduce the concentration of COD and SS with the removing rate of 85% and 95% respectively.

Keywords: aerated bio-filter; enzymatic medium

侧向流曝气生物滤池是一种新型污水生物处理技术,在生物膜上可形成更为复杂的复合生态系统。在纵向上,微生物构成了一个由细菌、真菌、藻类、原生动物、后生动物等多个营养级组成的复合生态系统;横向上,从液体到填料方向上,构成多级液-固接触附着好氧型,附着兼氧型和附着厌氧型的多种不同活动能力,呼吸类型、营养类型的微生物系统。具有运行稳定、抗冲击负荷、更为经济节能、无污泥膨胀、具有较大的单位体积生物量和良好的硝化与反硝化功能^[1]。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

模型曝气生物滤池由有机玻璃加工而成。尺寸为1 600 mm × 600 mm × 1 500 mm。

1.2 试验方法

原水来自于重庆大学B区学生宿舍的污水,其COD为250 mg/L左右(夏季)、500 mg/L左右(冬季);pH值为7.4~7.8。

采用横向进水。污水进水后经过一道穿孔板,相



图1 实验装置示意图

当于实际工程中格栅的作用,用于阻挡一些大颗粒杂质。而后经过初沉池、厌氧滤料区、过渡区,有一个跌水,高度为20cm,最后进入好氧滤料区、经二沉出水。

厌氧、好氧区均装有新型酶促生物填料,它以黏土为骨料、粉煤灰作掺合料,煤粉为发泡剂并加入适量的微生物生长促进剂经高温烧结而成。该填料表面粗糙度高,有大量微孔可作为微生物生存和繁殖的载体,所含促进剂具有激发微生物生长活性的特点,较陶粒或炉渣有更好的挂膜特性。

滤料装在滤料壳中,其尺寸为270 mm × 100 mm × 1 000 mm,每个滤料壳相隔50 mm,与反应器壁相隔30 mm,水流方向为折向流。厌氧滤料高60 mm,好氧滤料高80 mm。反应器总共有四个厌氧滤料壳和七个

* 收稿日期:2006-02-22

基金项目:国家“十五”攻关重大专项课题(201BA60401)

作者简介:黄咏洲(1977-),男,江苏省江阴市人,硕士,主要从事水污染控制理论与技术研究。

好氧滤料壳。

反应器启动时投加一定量的硝化污泥作为种泥,闷曝2 d后改为连续进水,系统运行一星期后,对COD的去除率达到70%,至此标志挂膜基本成功。试验在常温下进行,分夏季和冬季两个阶段,主要考察水力停留时间和温度对滤池运行性能的影响。污水在滤池内的水力停留时间通过进水流量的改变来调节,温度随季节而变化。

2 结果及分析

表1 滤池运行试验结果(一)

滤池 HRT /h	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	COD				
		进水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	厌氧区 出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%
夏季(2002年8月30日~2002年10月13日 水温 20.6~25.6℃)						
12	0.61	246	192	21.95%	43	82.52%
10	0.74	209	154	26.32%	53	74.64%
8	0.92	270	192	28.89%	52	80.74%
7	1.06	264	178	32.58%	49	81.44%
6.5	1.14	258	189	26.74%	113	56.20%
冬季(2002年10月13日~2002年12月12日 水温 11.0~20.6℃)						
12	0.61	367	253	31.06%	53	85.56%
10	0.74	415	264	36.39%	59	85.78%
8	0.92	509	254	50.10%	58	88.60%
7	1.06	534	236	55.81%	116	78.28%

表2 滤池运行试验结果(二)

滤池 HRT /h	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	SS				
		进水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	厌氧区 出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%
夏季(2002年8月30日~2002年10月13日 水温 20.6~25.6℃)						
12	0.61	100	62	38.00%	2	98.00%
10	0.74	105	59	43.81%	1	99.05%
8	0.92	135	89	34.07%	5	96.30%
7	1.06	196	135	31.12%	14	92.86%
冬季(2002年10月13日~2002年12月12日,水温 11.0~20.6℃)						
12	0.61	112	60	46.43%	1	99.11%
10	0.74	120	56	55.33%	3	97.50%
8	0.92	168	105	37.50%	3	98.21%
7	1.06	192	102	46.88%	14	92.71%

2.1 出水水质

试验中滤池的性能主要根据COD、SS去除率等指标来评定。由表1、表2可知,污水经滤池处理后COD去除率约为80%左右,SS约为97%以上,显然滤池对悬浮物的去除效果远好于有机物的去除效果。

COD的去除率在初期要高,随着不断运行有所下降,这是由于一方面滤料的吸附能力初期要高于后期;另一方面生物膜不断成熟使得生物降解能力的提高两方面共同作用的结果。

SS的去除在整个运行过程都很稳定。

2.2 水力停留时间(HRT)的影响

在厌氧/好氧污水处理技术中,HRT是一个至关

重要的参数,它的大小直接影响反应器运行效果和反应器容积的确定^[2]。在处理城市污水时,HRT更是一个限制因素。实验考察了HRT对生物滤池反应器处理效果的影响(见表1),以期得到最合适HRT。

由表1可知随着HRT的减少,COD的去除率基本成下降趋势,但HRT为12 h、10 h的COD去除率比HRT为8 h的COD的去除率增加了不到3%(在同时出水COD值小于60的情况下),而在HRT为7 h的状况下有时会出现出水COD值大于60的情况,在小于7 h的状况下,反应器的COD的去除效果也趋于不稳定状态。由此可见,在HRT达到一定值后采用较长的HRT对提高反应器处理效率的贡献不大,但会造成反应器处理能力的下降。在HRT小于一定值后水处理能力会迅速下降。

滤池运行期间,随着HRT的逐渐减小,出水SS也逐渐增大,这是因为进水流速增大,他所能带出的非溶解性或难溶解性杂质增多,也就导致SS的增大。此外,夏季滤池进水COD和SS值都较冬季低,这是因为冬季用水量远小于夏季用水量所致。

试验发现,滤池出水SS随运行延续时间的增加呈增加趋势,这一结果可能由两方面因素造成:一是随着HRT缩短和流量增加,水力负荷有所提高,气体产量也有所增大,增强了对悬浮污泥的搅动和对生物膜的冲刷作用,部分污泥被带到反应器上部,逐渐随水流冲出,但此因素只限于厌氧区,好氧区由于曝气的因素而使气体的搅动和对生物膜的冲刷作用微不足道,但也由于HRT的减少,使得污水与好氧生物滤料的接触反应作用减少,加上二沉池停留时间减少,导致出水SS略有增大;二是随滤池运行时段的延续,大量悬浮物被截留在填料层底部,且随着悬浮物的增多逐渐沿填料层上移,使得穿透填料层的悬浮物也逐渐增加。如发现出水SS明显增大则表明滤池填料层需进行冲洗。

试验中也同时发现滤池出水SS一直较稳定,其去除率也基本在90%以上,大多数在97%以上。造成这一结果的因素是:好氧区的连续曝气,使得原本截留在填料层上的悬浮物在气体的不断搅动下被水流带出并在二沉池沉淀,所以随着运行时段的延续而其工况改变不大。

2.3 温度的影响

温度对所有微生物的影响是多方面的,温度改变,参与净化的微生物(主要是细菌)的种属与活性以及生化反应速率都将随之而变化。与好氧微生物相比,厌氧微生物对温度更为敏感,对好氧生物膜反应器来讲,气体转移速率也将随温度的变化而变化。

本实验中,夏季水温比冬季水温高10℃左右,在

冬季温度较低时滤池在 HRT 为 7 h 时出水 COD 有明显升高,但由于进水 COD 比夏季也有明显的升高,但去除率并无显著的降低。冬季的微生物活性减小,所以必须定期投加活性污泥,以保持水中一定量的活性微生物量,尽量使冬季夏季的工况相差不大。使冬季温度较低时滤池仍有较好的处理效果。

在冬季温度较低时,在厌氧出水口的 SS 值较夏季时的要高,由 Stocks 公式可知,相同大小的悬浮颗粒在水温下降时,其沉降速度相应减小。因为温度降低,水的粘滞度增大。但滤池出水 SS 无明显升高,这证明好氧区的生物膜的吸附占有主导作用。

2.4 滤池中 N、P 的改变

N 和 P 是植物营养素,大量的有机物和 N、P 排入水体会使水体环境的污染和营养化日益严重^[3]。因此本实验考察了滤池中这二者的变化情况。以 TP 的去除为主要观察对象。

表3 滤池运行试验结果(三)

滤池 HRT /h	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	COD				
		进水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	厌氧区 出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率 /%
夏季(2002年8月30日~2002年10月13日 水温 20.6~25.6℃)						
12	0.61	8.60	4.40	48.84%	3.80	55.81%
10	0.74	7.09	4.23	40.34%	3.60	49.22%
8	0.92	7.62	5.26	30.97%	4.25	44.23%
7	1.06	8.70	5.83	33.05%	5.55	36.21%
6.5	1.14	7.25	6.40	11.72%	5.95	17.93%
冬季(2002年10月13日~2002年12月12日 水温 11.0~20.6℃)						
12	0.61	7.20	4.30	40.28%	3.50	51.39%
10	0.74	7.35	4.58	30.01%	3.98	45.85%
8	0.92	8.02	5.20	35.16%	4.05	49.50%
7	1.06	7.80	4.62	40.76%	3.98	48.97%

由表3可看出 TP 的去除率大约在 50% 左右,但厌氧区出水处的去除率占整个去除效果的 70% 以上,初步估计沉淀作用除 P 占有主导作用,当然 P 也可通过进入细菌细胞组织而被去除,其去除量取决于微生物机体生长对 P 的需求和污泥净产量。在此工艺中,污泥的净产量较低,因此微生物合成所消耗的 P 不是滤池去除的存主要途径。所以系统的厌氧区停留时间的增加可增加对 TP 的去除效果。滤池在冬季 TP 的去除率平均要大于夏季 TP 的去除率,一定程度上也可论证在生物除 P 中,其除 P 菌是嗜冷细菌,在一定范围内除 P 速度随温度增加而降低^[4-6]。

滤池对 TN 的去除率约为 30% 左右,其中氨氮的去除率约为 20% 左右。

3 运行与节能

3.1 填料的影响

如图2是对于 COD 的降解在反应器中沿程变化

曲线。其中 HRT 为 12 h、10 h 为夏季变化曲线;HRT 为 8 h、7 h 是冬季变化曲线。

由此可见冬季 COD 远高于夏季 COD,但最终出水 COD 相差不大。在污水经过第一个好氧滤料后,COD 有一个较大的降低。经半年多试验证明,经第一个好氧滤料壳后 COD 的去除率占总去除率的 30% 以上。表明在那里的生物活动非常活跃。镜检观测发现填料表面几乎完全被生物膜覆盖,填料空隙中也充满了大量的微生物活性物质。生物膜结构密实,呈黑色絮状,含有各种球菌、杆菌、丝状菌及菌胶团。

当污水经过第六、七个滤料壳后其去除率只占总去除率的 10% 左右,而此处的 COD 值一般已在 70 以下,特别夏季此处值大都在 60 以下。在此处镜检发现生物膜颜色较淡,菌类有所减少,出现大量轮虫及一些藻类,表明水质趋于净化,但仍有大量丝状菌,可知丝状菌形成的网状结构可起着维持生物膜的支架和保护作用,还提高了生物膜截留生物固体,吸附氧化有机物的性能。从而加快生物膜的增殖而形成了种类丰富、层次分明,结构致密的微生态体系。所以我们考虑在冬季,由于进水 COD 值较高且微生物的活性相对较低,我们可采用七个滤料壳,在效果不是非常好的情况下可适量增加;而在夏季我们可只采用六个,可节约成本。

同时发现在纵向上,底部污水 COD 值一般高于上部污水的 COD 值。

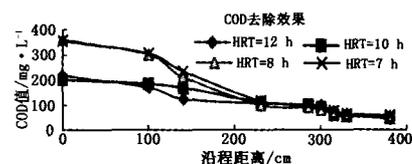


图2 COD 沿程变化曲线

3.2 溶解氧的影响

反应器内 DO 的多少对反应速度及微生物的生长均有较大的影响。一般以 2~4 mg/L 为宜^[4,6]。

在本试验中,我们为了更加精准定量其需氧量。分别测试了在不同好氧量 1.5~2 mg/L、2~2.5 mg/L、2.5~3 mg/L、3~3.5 mg/L、3.5~4 mg/L 五种工况下的污水处理效果。当充氧量在 1.5~2 mg/L、2~2.5 mg/L 时,污水处理效果不佳,在 2.5~4 mg/L 时均能取得较好效果,故建议夏季将含氧量控制在 2.5~3 mg/L 之间,因为含氧量在 3 mg/L 以上处理效果增加不明显,显然一定程度上造成了能源上的浪费;冬季由于温度的降低造成微生物活性降低及水的粘滞度增大导致氧的传输率降低,故建议将含氧量控制在 3~3.5 mg/L 之间。

4 改进试验装置和方法

4.1 改进后的试验装置

为了取得更好的处理效果,对原装置做了改进。将滤料壳的尺寸改为 280 mm × 50 mm × 1 000 mm,离反应器壁距离缩小到 20 mm,其厚度减少一半,增大过水孔径,由原来的 Φ6 mm 增大为 Φ10 mm。其余不变。相应滤料体积变大。

4.2 实验方法

为了更接近现实,试验地点定在污水厂内,取初沉池出水作为试验进水。其余不变。

4.3 结果及分析

表4 滤池运行试验结果(四)

滤池 HRT /h	流量/ m ³ · d ⁻¹	COD				
		进水/ mg · L ⁻¹	厌氧区 出水/ mg · L ⁻¹	去除率 /%	出水/ mg · L ⁻¹	去除率 /%
2003年7月5日~2003年10月10日 水温 18.9~25.6℃						
13.4	0.61	276	165	40.21%	32	88.41%
11.1	0.74	285	135	52.63%	26	90.87%
8.9	0.92	257	154	40.07%	34	86.77%
7.7	1.06	268	138	48.51%	40	85.07%
7.5	1.14	313	192	38.66%	42	86.58%
6.3	1.29	330	189	42.73%	48	85.45%
4.8	1.73	325	178	45.23%	52	84.00%

对于停留时间为 13.3、11.1、8.9、7.7 几个工况的试验时间较短,主要进行后三个工况的试验。

表5 滤池运行试验结果(五)

滤池 HRT /h	流量/ m ³ · d ⁻¹	SS				
		进水/ mg · L ⁻¹	厌氧区 出水/ mg · L ⁻¹	去除率 /%	出水/ mg · L ⁻¹	去除率 /%
2003年7月5日~2003年10月10日 水温 18.9~25.6℃						
13.4	0.61	39.21	32.56	16.96%	15.68	60.01%
11.1	0.74	38.52	33.65	12.64%	16.32	57.63%
8.9	0.92	40.25	34.25	14.91%	18.56	53.89%
7.7	1.06	37.65	30.56	18.83%	18.54	50.76%
7.5	1.14	41.65	34.23	17.81%	19.56	53.04%
6.3	1.29	42.23	32.65	22.69%	20.35	51.81%
4.8	1.73	38.71	31.98	17.39%	20.58	46.84%

4.4 比较

如图3所示,在同样的进水流量下,在厌氧区出水的处理效率相差不多,但在总出水的处理效率明显改进后的要好些,特别在大流量下,改进前出水不达标而改进后依然达到出水 COD 小于 60。改进后的氨氮去除率也达到 50% 以上,对 TN 的去除比以前有了较大的提高。SS、TP 的去除相差不多。

4.5 分析

改进后的各项处理效率都较以前有了较大的提高,主要原因如下:

1) 滤料壳厚度减小一半,则相对于污水接触体

积、面积增大;

2) 增大进水孔,使得微生物接触污水的几率增大;使得微生物的生长更胜于改进前。

3) 由于滤料与污水接触面增大,使得好氧区的曝气更均匀,使得微生物的好氧反应比以前更剧烈。但对 SS 的处理影响不大。

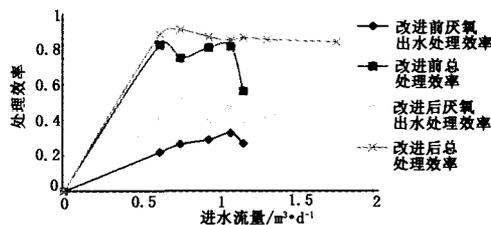


图3 滤池改进前后 COD 处理效率比较

5 结论

1) 改进后的曝气生物滤池在水温为 11~26℃ 条件下处理生活污水,COD 去除率可达 80% 以上,SS 去除率更是高达 95% 以上。冬季温度较低时,滤池出水 COD 和 SS 无较大的变化,仍有很好的处理效果。

2) HRT 对生物滤池性能有重要影响,COD 和 SS 去除率均随 HRT 的减少而降低,故不管夏季还是冬季其 HRT 均应控制在 4.5 h 以上。

3) 曝气生物滤池对 TP 有较好的去除效果,但以沉淀为主,对氨氮的去除也有一定的去除效果,约 50% 左右。

4) 曝气生物滤池在运行期间的 pH 值始终保持在 7.3~7.8 之间,表明系统缓冲性能良好。

5) 有关曝气生物滤池的硝化反硝化的运行效果及其影响规律尚需进一步深入,因此如何将如何更好的脱氮除磷,又能保证出水 COD、SS 等的优化研究将具有更重要的工程意义和应用价值。

参考文献:

- [1] 刘雨,赵庆良,郑兴灿.生物膜法污水处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 张自杰,顾夏声.排水工程(下册)[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] Pujol R, Hamon M, Kandel X, et al, Biofilters: flexible, reliable biological reactors[J]. Wat Sci Tech, 1994, 29(10-11):33-38.
- [4] 张军,王宝贞,张立秋,等.复合淹没式膜生物反应器脱氮除磷效能研究[J].中国给水排水,2000(9):9-11.
- [5] 邱立平,马军.曝气生物的短程硝化反硝化机理研究[J].中国给水排水,2002,(18):1-4.
- [6] 许保玖,龙腾锐.当代给水与废水处理原理(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2000.