

两段上向流曝气生物滤池处理生活污水

司马卫平^{1,2}, 何强¹

(1 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045 2 四川理工学院 建筑工程学院, 四川自贡 643000)

摘要: 采用半柔性填料和酶促好氧填料的两段(C段和N段)上向流曝气生物滤池(TUBAF)处理生活污水,考察了水力负荷、COD容积负荷对其除污效果的影响,并分析了C段和N段对系统处理效能的贡献。结果表明,在水力负荷为 $0.21 \sim 0.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的条件下,对COD、SS、氨氮和总氮的去除率均随水力负荷的增加而下降,其去除率分别由88.6%、95.8%、92.6%、38.6%下降到83.6%、89.5%、79.1%和29.4%;在COD容积负荷为 $0.3 \sim 1.0 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下,对氨氮、COD的去除率随COD容积负荷的增加而缓慢下降,去除率分别在83.2%、84.7%以上;TUBAF有效地实现了功能分区,C段对有机物的去除和N段对氨氮的去除均占总去除量的70%以上。

关键词: 两段上向流曝气生物滤池; 生活污水; 水力负荷; COD容积负荷

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2010)13-0015-04

Two-stage Up-flow Biological Aerated Filter for Domestic Wastewater Treatment

SIMA Weiping^{1,2}, HE Qiang¹

(1 Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045 China; 2 Institute of Architecture and Engineering, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000 China)

Abstract A two-stage up-flow biological aerated filter (TUBAF) with semi-soft media and enzyme-enhanced aerobic media (denoted by BAF-C and BAF-N respectively) was used to treat domestic wastewater. The influence of hydraulic load and COD volume load on the pollutant removal efficiency was investigated. The contributions of BAF-C and BAF-N were analyzed. The experimental results show that under the hydraulic load of 0.21 to $0.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, the removal rates of COD, SS, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN are decreased with increasing hydraulic load from 88.6%, 95.8%, 92.6% and 38.6% to 83.6%, 89.5%, 79.1% and 29.4% respectively. The removal rates of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD are gradually decreased with increasing COD volume load, being over 83.2% and 84.7% when COD volume load is 0.3 to $1.0 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. Both the removal rates of COD in BAF-C and $\text{NH}_3\text{-N}$ in BAF-N are over 70% of the total removal rate due to different functional areas implemented in TUBAF.

Key words two-stage up-flow biological aerated filter (TUBAF); domestic wastewater; hydraulic load; COD volume load

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07315-001)

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,两段上向流曝气生物滤池(TUBAF)的开发为这一问题的解决提供了新思路。TUBAF 实现了功能分区和生物相的分级,第一段(C 段)培养的优势菌种为异养微生物,主要用于去除 COD;第二段(N 段)主要培养自养型微生物,用于去除氨氮以及进一步去除有机物,从而使 TUBAF 获得稳定、良好的出水水质。笔者采用 TUBAF 处理生活污水,考察了水力负荷和 COD 容积负荷对其除污效果的影响,并分析了不同水力负荷条件下各段对 TUBAF 处理效能的影响,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。

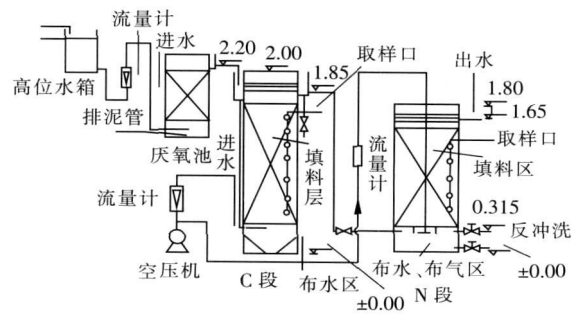


图 1 试验工艺流程

Fig 1 Flow chart of two-stage up-flow BAF

反应器主要由 C 段和 N 段两个不同的池子串联而成。其中, C 段长为 0.75 m, 宽为 0.55 m, 高为 2.00 m, N 段长为 0.75 m, 宽为 0.55 m, 高为 1.80 m。C 段选用半软性填料, 填料塑料环片直径、单片填料直径、片间距离分别为 75 150 100 mm, 利用铁丝将单片填料等间距串联并固定在支架上, 其特点是半软性填料可随气流和水流的扰动在立体空间不断变化, 生物膜更新快; N 段选用粒径为 3~6 mm 的酶促好氧填料, 其微孔结构和孔容分布合理, 有利于微生物的附着, 形成表面与内孔的空间网状生物膜结构。C 段和 N 段填料层自上而下依次为: 填料、穿孔板、反冲洗进水管、曝气器、反冲洗进气管。

1.2 试验水质

试验进水采用重庆大学 B 区学生宿舍的生活

污水, 由水泵将污水从初沉池输送到实验室高位水箱, 经厌氧接触池后进入反应器。反应器进水水质为: SS= 83~187 mg/L, COD= 171~482 mg/L, TN= 35.0~88.8 mg/L, TP= 2.1~9.1 mg/L, NH₃-N= 25.2~74.0 mg/L, pH= 7.5~8.5。

1.3 分析方法

COD: 重铬酸钾法; SS 过滤称重法; 氨氮: 纳氏试剂分光光度法; 总氮: 过硫酸钾氧化-分光光度法^[3]。

2 结果与讨论

2.1 水力负荷对处理效能的影响

在水力负荷为 0.21~0.42 m³/(m²·h)的条件下, TUBAF 对污染物的去除效能见图 2。

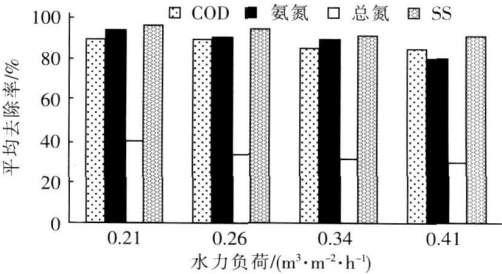


图 2 水力负荷对污染物去除率的影响

Fig 2 Effect of hydraulic load on pollutants removal

图 2 显示, 对 COD、氨氮、总氮、SS 的去除率均随水力负荷的增加而下降, 相比较而言, 对 COD、SS 去除率的降幅较小, 分别从 88.6%、95.8% 下降到 83.6%、89.5%。这是由于对 COD 和 SS 的去除而言, 滤池高度足够, 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。对氨氮、总氮的平均去除率随水力负荷的增加变化较明显, 分别从 92.6%、38.6% 下降到 79.1%、29.4%, 这可能与曝气及有机物含量有关。

2.2 COD 容积负荷对处理效能的影响

2.2.1 对去除 COD 的影响

试验结果表明: 当 COD 容积负荷为 0.3~1.0 kg/(m³·d) 时, TUBAF 对 COD 的去除率达 84.7% 以上, 且去除率随 COD 容积负荷的变化不明显。可见, TUBAF 去除有机物的效果较好, 且能有效抵抗进水有机负荷的变化。试验还发现, 在进水水质相对稳定, 通过调节流量来控制进水有机物容积负荷的条件下, 出水 COD 浓度随 COD 容积负荷的增大

而略有上升。这表明 TUBAF 具有较强的抗冲击负荷能力。

2. 2. 2 对去除氨氮的影响

由于 TUBAF 有效地实现了功能分区, C 段的环境适合异养菌生长繁殖, 而 N 段则适宜自养硝化菌的生长, 为硝化创造了有利的外部环境。测定显示, TUBAF 对氨氮的去除率随 COD 容积负荷的增大而略有降低, 当 COD 容积负荷为 $0.3 \sim 1.0 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 对氨氮的去除率在 83.2% 以上。硝化作用主要发生在 N 段, 由于 C 段去除了大部分的有机物, 使得硝化菌活性受到有机物浓度变化的影响减小, 保证了 TUBAF 具有良好的硝化效果。

2. 2. 3 对去除总氮的影响

TUBAF 对总氮的去除效能随进水 COD 容积负荷的变化见图 3。

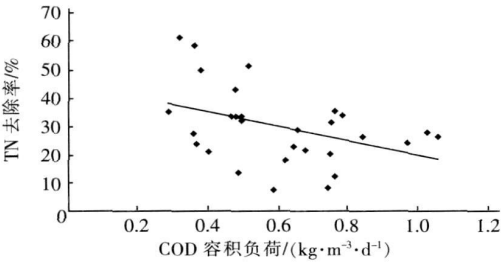


图 3 COD 容积负荷对去除 TN 的影响

Fig 3 Effect of COD load on TN removal

对总氮的去除率随着 COD 容积负荷的增加而降低, 且去除率数据的离散程度较氨氮的明显, 说明 TUBAF 反应器对总氮的去除率没有氨氮的稳定。这一方面是因为反硝化需以有机物作为电子供体, 而 N 段无法提供足够的碳源; 另一方面, TUBAF 运行的大环境是好氧状态, 仅填料内部及生物膜内层存在厌氧微环境, 无法提供反硝化菌大量生长繁殖的环境。

2. 3 C 段和 N 段的除污贡献

2. 3. 1 对去除 COD 的贡献

C 段和 N 段对反应器去除 COD 的贡献见图 4。从图 4 可以看出, COD 的去除主要发生在 C 段, 且在较低的水力负荷下其对 COD 去除的贡献较大。在水力负荷为 0.21 和 $0.26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 下, C 段去除的 COD 占总去除量的 70% 以上; 在水力负荷为 0.34 和 $0.42 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 下, N 段对去除 COD

的贡献增大, 去除量增加到总去除量的 35% 以上。试验期间, C 段对 COD 的平均去除贡献率约为 70%, N 段约为 30%。

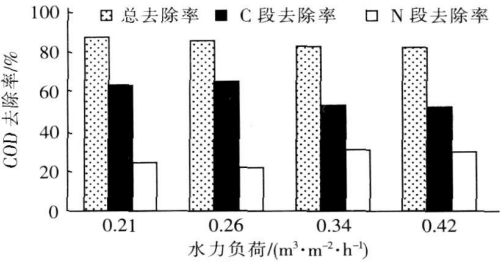


图 4 不同水力负荷下 C 段和 N 段对去除 COD 的贡献

Fig 4 Contribution of BAF-C and BAF-N to COD removal in different hydraulic loads

2. 3. 2 对去除氨氮的贡献

C 段和 N 段对反应器去除氨氮的贡献见图 5。

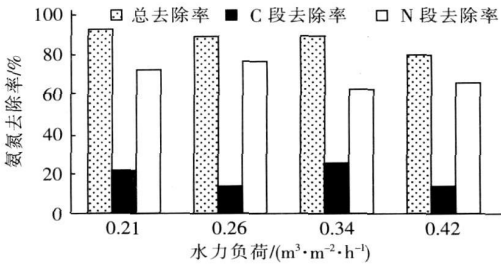


图 5 不同水力负荷下 C 段和 N 段对去除氨氮的贡献

Fig 5 Contribution of BAF-C and BAF-N to ammonia nitrogen removal in different hydraulic loads

由图 5 可知, 氨氮的去除主要发生在 N 段, 且水力负荷越低, 其对去除氨氮的贡献越大。在水力负荷为 0.21 和 $0.26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 下, N 段对氨氮的去除率为 75% 左右, C 段的去除率仅有 20%。

3 结论

① TUBAF 对 COD、氨氮、总氮和 SS 的去除率随水力负荷增加而下降, 其中对 COD、SS 去除率的下降幅度相对较小, 而对氨氮、总氮的去除率变化较明显。

② 对氨氮、COD 的去除率随 COD 容积负荷的增加而缓慢下降, 对总氮的去除率随 COD 容积负荷的增大而下降明显; TUBAF 具有较强的抗冲击负荷能力。

③ TUBAF 有效地实现了功能分区, C 段主要承担 COD 的降解, N 段主要实现氨氮的去除。

(下转第 21 页)

后生动物的出现时间较早, 数量多且种类更为丰富。在挂膜进行到第 8 天和第 10 天时, 分别于 2[#] 与 1[#] 反应器内观察到大量轮虫、线虫、累枝虫等, 在试验的中后期甚至在两系统内观察到高营养级别的仙女虫。变形虫、累枝虫等原生动物吞噬活性污泥颗粒和生物膜, 既能够控制细菌的过度生长, 有利于减少污泥量, 同时也起到了去除水中有机物的作用; 轮虫等后生动物能软化生物膜, 促使其定期脱落, 保证生物膜处于动态更新之中^[6]; 此外, 仙女虫等营养水平更高的微生物的出现说明序批式生物膜法能够提高系统内微生物种群的复杂程度, 这种复杂的营养结构为取得稳定的处理效果提供了保证。

3 结论

① 曝气过程中悬浮球与组合式双孔环填料对微气泡的切割、扰动作用极大地提高了氧的传质效率, 增加了反应器内的溶解氧浓度, 有利于好氧微生物的增殖和硝化反应的进行。

② 与组合式双孔环填料相比, 投加了悬浮球的 SBBR 反应器在去除 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 TN 方面表现得更为优异, 对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 的平均去除率分别达到了 90.3%、81.8% 和 59.7%, 平均出水浓度分别为 53.16 mg/L 和 42.3 mg/L, 出水水质满足国家正在制定的《味精工业污染物排放标准》(新标准拟将出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD 分别控制在 30、100 mg/L 以下)。

③ 在剩余污泥减量化方面, 比表面积更大的维纶丝(组合式双孔环填料)表现较好。

参考文献:

- [1] Irvine R L, Wihlerer P A, Flamm ing H C. Controlled unsteady state processes and technologies— an overview [J]. Water Sci Technol 1997, 35(1): 1– 10
- [2] 王亚宜, 李探微, 韦更生. 序批式生物膜技术 (SBBR) 的应用及其发展 [J]. 浙江工业大学学报, 2006, 34 (2): 213– 219
- [3] 刘勇, 王平, 胡曰利, 等. 蛭石在 SBR 系统中的应用研究 [J]. 环境科学与技术, 2005, 28(2): 90– 91.
- [4] 董滨, 周增炎, 高廷耀. 投料倒置 A/A/O 脱氮除磷工艺中试 [J]. 中国给水排水, 2004, 20(11): 14– 17
- [5] 邱光磊, 陈建光, 向连城, 等. 生物接触氧化工艺用于分散型污水处理的中试 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (5): 78– 81.
- [6] 逯新宇, 王增长, 李绯, 等. 投加新型生物流化填料强化 SBR 除污效能的研究 [J]. 中国给水排水, 2008, 24 (9): 5– 7.

作者简介: 刘键敏 (1986–), 男, 福建宁德人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制。

电话: 13526672280

E-mail anlianwar@ sina. com

收稿日期: 2010– 01– 22

(上接第 17 页)

参考文献:

- [1] Pujol E, Cankar J P, Iwana 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

作者简介: 司马卫平 (1979–), 男, 江西泰和人, 博士, 讲师, 从事水污染控制研究。

电话: 15215189990

E-mail smwp0814@ 126. com

收稿日期: 2010– 01– 14