

曝气生物滤池去除有机物及氨氮的影响因素分析

徐 颖^{1,2,3}, 张林军³, 曹 忠⁴

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 4. 南京大学化学化工学院, 江苏 南京 210093)

摘要 采用以陶粒为填料的曝气生物滤池(BAF)处理生活污水,研究气水比、水力负荷、进水 COD 和 NH₃-N 负荷对 BAF 去除 COD 及 NH₃-N 的影响,分析 COD 及 NH₃-N 沿滤柱的变化规律。结果表明:当试验进水 COD 及 NH₃-N 质量浓度分别为 300~370mg/L 和 20~40mg/L 时,最佳气水比为 4:1~5:1,最佳水力负荷为 1.0~2.0 m³/(m²·h)。当进水 COD 负荷为 1.69~6.47 kg/(m³·d)时,COD 去除率与进水 COD 负荷成正相关。BAF 的硝化性能与进水 NH₃-N 和 COD 负荷成负相关。

关键词 曝气生物滤池;生活污水;硝化;去除率

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2008)02-0076-03

Factors influencing organism and ammonia nitrogen removal by a biological aerated filter

XU Ying^{1,2,3}, ZHANG Lin-jun³, CAO Zhong⁴

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on shallow Lakes, Ministry of Education, Nanjing 210098, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. College of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: A biological aerated filter (BAF) with clay granular media was used for domestic wastewater treatment. The effects of gas to liquid ratio, hydraulic loading, and COD and NH₃-N loading in influent on the COD and NH₃-N removal rate of the BAF were analyzed, as well as the rule of COD and NH₃-N variation along the length of the granular media. The results showed that when COD and NH₃-N in influent were between 300~370 mg/L and 20~40 mg/L, respectively, the optimum gas to liquid ratio was between 4:1~5:1 and the optimum hydraulic loading was between 1.0~2.0 m³/(m²·h). When COD loading in influent was between 1.69~6.47 kg/(m³·d), the removal rate of COD was positively related to COD loading in influent. The amount of ammonia nitrogen nitrified by the BAF was negatively related to NH₃-N and COD loading in influent.

Key words: biological aerated filter; domestic wastewater; nitrification; removal rate

曝气生物滤池(BAF)是 20 世纪 80 年代末在欧美发展起来的一种新型污水处理技术,它充分借鉴污水处理接触氧化法和给水快滤池的设计思路,将生物降解与吸附过滤两种处理过程在同一单元反应器中完成^[1]。BAF 具有处理效率高和出水水质好等特点。由于 BAF 降解有机物的过程由附着生长在

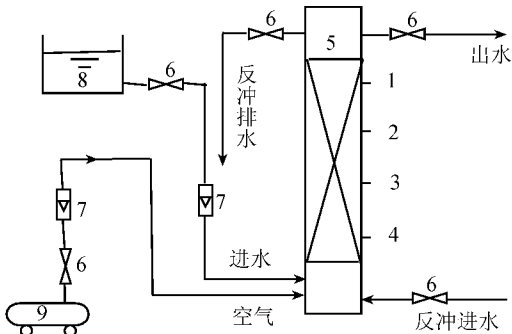
载体表面的微生物完成,而这些微生物又都生活在各自形成的特定环境中,与环境的关系尤为密切,因此为保证反应器高效运行,研究影响反应器运行的主要因素,为工程实际提供可借鉴的理论和实践资料十分必要。

作者简介:徐颖(1957—),女,上海人,教授,主要从事环境化学及环境工程方面的研究工作。E-mail:xyhohai@163.com

1 材料和方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示,采用直径为 7 cm 的有机玻璃柱,柱高 250 cm,滤柱上安装 4 个取样口。底部设有穿孔曝气管和反冲洗布水管,反应器采用上向流设计,污水由柱底进入,出水由上部排出。采用国产轻质陶粒滤料,粒径 3~5 mm,填料体积 5.77 L,堆积密度为 1400 kg/m³,填料层高度 150 cm。采用气水联合反冲洗,反冲水由顶部排出。



1、2、3、4—取样口 5—BAF 6—阀门；
7—流量计 8—水箱 9—空压机

图 1 BAF 装置示意图

1.2 试验水质

试验采用自配污水与实际生活污水的混合水,实际生活污水取自某校集水池,自配污水采用葡萄糖、面粉上清液、碳酸氢铵以及适量的氯化钙、磷酸二氢钾等加自来水配成。试验中有机物和 NH₃-N 浓度的改变通过投加葡萄糖、面粉上清液和碳酸氢铵实现。

2 试验结果与讨论

2.1 BAF 的启动和生物相

为尽快挂膜,取用某污水处理厂曝气池的回流污泥进行接种。将 3 L 活性污泥适当稀释后投加到滤柱内,同时投加 4 L 生活污水浸没填料,然后在曝气强度为 0.3 L/min 的条件下闷曝。经过 3 d 闷曝后,改用小流量循环方式运行,将曝气量调整到 0.15 L/min,进水流量调为 3.0 L/h。挂膜期间滤柱冲洗采用气水反冲,冲洗强度以滤料的膨胀度达到 8%~10% 为宜,反冲洗周期为 3~4 d。为使微生物得到驯化,逐渐提高待处理污水的浓度,并定时测定 COD、NH₃-N 浓度,以 COD 和 NH₃-N 的去除率达到 70% 作为生物膜成熟的标志,本次挂膜经历了 20 d。

微生物在挂膜初期主要为大量细菌,可以明显观察到生物膜内存在大量丝状菌和球形、指形的菌胶团,而其他微生物很少。随着时间推移,生物膜内逐渐出现许多较高等的微生物,如游泳型纤毛虫、钟

虫和吸管虫等。在挂膜后期处理效率较高的情况下,出水较为清澈,在显微镜下可看到生物膜大量的菌胶团和吸附在其上的固着型纤毛虫及游泳型纤毛虫,有时还可以看到少量线虫和纤虫。反冲洗出的生物膜具有较好的沉降速度,镜下观察同样可以发现大量高活性微生物。

2.2 气水比对 BAF 处理效果的影响

试验进水 COD 和 NH₃-N 质量浓度分别为 300~340 mg/L 和 26~40 mg/L,水力负荷为 1.0 m³/(m²·h),依次改变气水比,测定出水 COD 和 NH₃-N 浓度,气水比对 BAF 处理有机物及 NH₃-N 的影响如图 2 所示。试验结果表明,COD 和 NH₃-N 去除率与气水比的关系存在最佳值。在本试验条件下,最佳气水比为 4:1~5:1,此时 COD 和 NH₃-N 平均去除率分别可达 82% 和 74%。

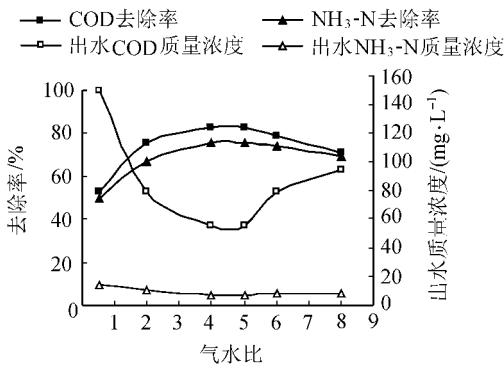


图 2 气水比对出水污染物质量浓度及去除率的影响

水力负荷和进水污染物浓度保持稳定时,曝气量是影响处理效果的主要因素之一。曝气量过小,会造成污水中溶解氧浓度较低,不利于好氧异养菌的繁殖生长。随着曝气量的增大,生物膜内的好氧微生物活性增强,所以 COD 的去除率提高。同时由于溶解氧水平的提高,硝化菌增殖速度增加,NH₃-N 的去除率也得到提高。但在一定温度下,当曝气量增大到一定程度后,湍流过强会造成填料上生物膜的脱落,致使 COD 及 NH₃-N 的去除率降低。

2.3 水力负荷对 BAF 处理效果的影响

控制进水 COD 和 NH₃-N 质量浓度分别为 310~370 mg/L 和 20~33 mg/L,在气水比为 5:1 的条件下,依次改变水力负荷,测定出水 COD 及 NH₃-N 质量浓度,考察水力负荷对处理效果的影响,结果如图 3 所示。试验表明:COD、NH₃-N 去除率呈现先增加后降低的趋势。这是由于在水力负荷较小时,气、水在滤池中的传递阻力较大,容易形成气、水流在滤池中的分布不均,此外在低水力负荷条件下,微生物会出现营养不足的情况^[2],导致 COD、NH₃-N 的去除率下降。随着水力负荷的提高,滤池中微生物营养丰富,促进了生物膜的生长,同时,较大的水力负荷也

强化了水流对填料表面生物膜的冲刷,促进了生物膜的更新,使 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率得到提高。

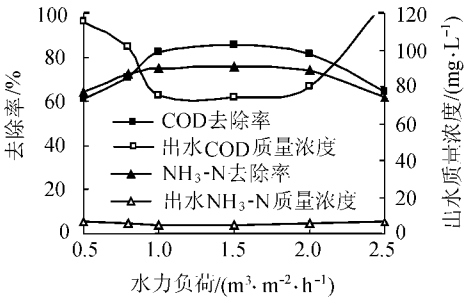


图3 水力负荷对出水污染物质量浓度及去除率的影响

但是,在一定的滤层高度下,水力负荷的提高超过一定限度时,会使污水在曝气生物滤池中的水力停留时间过短,污染物降解不充分,造成污染物去除率明显降低,同时水力负荷太大,汽水流动对生物膜的扰动和冲击增大,会造成生物膜脱落和滤料间生物絮体的破碎。此外水力负荷提高至一定程度后,由于滤柱中有机物负荷提高,好氧微生物数量增多,相应硝化菌的生长受到抑制,因而导致 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的下降。在本试验条件下,最佳水力负荷为 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

2.4 进水 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷对 BAF 处理效果的影响

在气水比为 5:1,水力负荷为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的条件下,改变进水 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度,观察进水 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的变化对处理效果的影响,由图 4 可见,当进水 COD 负荷在 $1.69 \sim 6.47 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,COD 去除率随着进水有机负荷的增高而加大,但当 COD 负荷增高至 $7.61 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后,COD 去除率明显下降。其原因为随着有机负荷的增加,微生物可利用的营养物质增多,在溶解氧较为充足的条件下,微生物生长旺盛,从而使 COD 去除率较高,但是在滤柱高度及滤料体积一定的条件下,若进水有机物浓度太大,超出了生物膜的氧化分解能力,未被降解的有机物穿透滤料,导致出水 COD 增加。

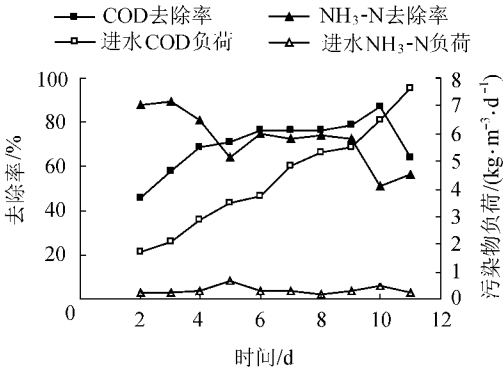


图4 进水污染物负荷对去除率的影响

图 4 表明,进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷在 $0.20 \sim 0.71 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷的增加而下降,可见进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷是影响 BAF 硝化性能的重要参数,此外有机负荷也是影响 BAF 硝化效率的控制指标,当进水 COD 负荷达 $7.61 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,由于 C、N 的质量比偏高,好氧异养菌与硝化自氧菌之间存在竞争性^[3-4],此时将抑制硝化菌的生长及代谢能力,致使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率明显下降。因此采用 BAF 进行同步除碳和硝化时,必须控制进水 COD 负荷或延长生物降解的流程。

2.5 沿滤柱不同高度 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的变化

污水在滤柱内由下往上的流动过程中,对滤柱上的 4 个取样口及滤柱进出水取样,测定水样 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度,观察沿滤柱不同高度 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的变化。由图 5 可见,COD 的降解主要在 80 cm 填料以下处,COD 的去除率可达 76.16%,80 cm 填料以上部分 COD 的去除率增加缓慢。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率沿滤柱高度的变化与 COD 有所不同,在 45 cm 填料以下的进水端, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率仅为 21.91%,在 45 ~ 115 cm 填料之间, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率增加至 64.88%,在 115 cm 填料以上部分 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率增加缓慢。

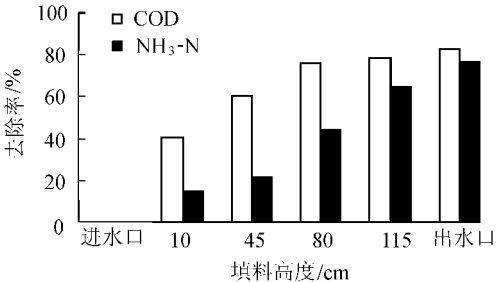


图5 污染物去除率的沿程变化

可见,滤柱中有机物的氧化主要在下部,而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的硝化主要在滤柱的中上部。可以认为:降解有机物的好氧异养微生物和自养硝化菌在滤料中的空间分布是不同的。这主要因为异养菌对营养物质和氧的竞争能力要强于硝化菌,所以在滤柱底部有机物浓度高、氧的传质速度快的条件下,异养菌具有较快的增殖速度,成为底部空间的优势菌种^[5]。随着污水向上流动,有机物逐步被降解,硝化菌开始正常的代谢活动,其数量逐渐增加,所以硝化菌的活跃层在滤柱的中上部。

3 结 论

a. BAF 处理生活污水对 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均有较好的去除能力。本试验中,在进水 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度分别为 $300 \sim 370 \text{ mg/L}$ 和 $20 \sim 40 \text{ mg/L}$ 的条件下,最佳气水比为 4:1 ~ 5:1, (下转第 81 页)

越小,溶解氧浓度并没有稳定在一个固定的数值上,而是在出现最大值之后在此最大值附近波动。最大溶解氧质量浓度值 9.79 mg/L 出现了 3 次,此后溶解氧浓度值就在此最大值附近波动,可以认为此时水中的溶解氧已达到饱和状态,这些点的变化比较平缓,作过这些点的直线交于 y 轴,此交点的纵坐标值即为实验条件下的饱和溶解氧浓度值,由直线方程可知此实验条件下的饱和溶解氧质量浓度约为 9.67 mg/L。笔者认为通过这样的方法确定饱和溶解氧浓度值更加准确。

4 分析与结论

以上讨论了 5 种确定饱和溶解氧值的方法,除了第 4 种方法,各种方法在实验条件下得出的结果分别为:查表法为 8.42 mg/L;计算法为 8.42 mg/L,8.48 mg/L;亨利定律法为 8.61 mg/L;新方法为 9.67 mg/L。

由上面结果可以看出,采用新方法测得的 C_s 值要比其他方法得出的值高出很多,下面对此现象进行了探讨,以进一步论证所提出方法的合理性和准确性。

气体在液体中的饱和溶解度是指气体和液体在一定条件下进行接触达到平衡状态时的溶解度。根据传质过程可以知道在相际传质过程进行时,其传质的极限都是以达到相际平衡为度量的。而要达到相际平衡,两相的接触需要经过很长时间后才能建立。同样,在清水充氧实验过程中,如果长期进行曝气,总会达到氧的饱和溶解度。但在连续曝气的情况下出现的是氧的过饱和状态下的浓度即氧的过饱

和浓度。根据对上面各种方法下得出的饱和溶解氧值的结果比较可以发现,实验水体用新方法得到的饱和溶解氧浓度与其他方法得出的饱和值相差很大,这是因为在曝气过程中,空气是以气泡形式吸入的,实际上曝气池内的饱和溶解氧浓度高于在液面与大气平衡时的氧的饱和浓度,因此实际实验过程中测得的是氧的过饱和浓度。考虑到在实验过程中曝气是一连续过程,而溶解氧值也是在此连续的状态下进行测定得到的,所以笔者认为 C_s 值应该用文中提出的新方法进行确定。这样确定出的 C_s 值更加合理准确,也更符合实际情况。推荐在清水充氧实验中使用这一方法。

参考文献:

[1] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京:中国环境科学出版社,2002:209-210.
[2] 张朝能.水体中饱和溶解氧的求算方法探讨[J].环境科学研究,1999,12(2):54-55.
[3] 姚玉英.化工原理(下)[M].天津:天津科学技术出版社,1992:77.
[4] 丁志强,曹瑞钰.非线性回归法计算曝气设备清水氧传递系数[J].环境污染与防治,2004,26(1):63-64,71.
[5] 彭党聪.水污染控制工程实践教程[M].北京:化学工业出版社,2004:55.
[6] 王鹤立,王绍文,吕炳南.均匀受限曝气机理及清水充氧试验研究[J].中国给水排水,2001,17(1):15-18.
[7] 高廷耀,顾国维.水污染控制工程(下)[M].2 版.北京:高等教育出版社,1999:142.
[8] 张希衡.水污染控制工程[M].修订版.北京:冶金工业出版社,1993:106.

(收稿日期 2006-12-29 编辑 高渭文)

(上接第 78 页)

最佳水力负荷为 1.0~2.0 m³/(m²·h),COD 和 NH₃-N 的平均去除率分别可达 82% 和 74%。

b. 曝气生物滤池具有一定的抗有机冲击负荷的能力,当进水 COD 负荷为 1.69~6.47 kg/(m³·d) 时,COD 去除率与进水 COD 负荷成正相关,但当 COD 负荷增高至 7.61 kg/(m³·d)后,COD 去除率明显下降。BAF 的硝化性能与进水 NH₃-N 和 COD 负荷成负相关。

c. 有机物的生物氧化主要发生在滤柱的底部,而 NH₃-N 的硝化则主要发生在滤柱的中上部,这一差别与滤柱高度上好氧异养菌和自养硝化菌的空间分布有关。

参考文献:

[1] 崔福义,张兵,唐丽.曝气生物滤池技术研究与应用进展[J].环境污染治理技术与设备,2005,5(10):1-7.
[2] 郭天朋,汪诚文,陈吕军,等.升流式曝气生物滤池深度处理城市污水的工艺特性[J].环境科学,2002,23(1):58-61.
[3] 郑俊,吴浩汀,陈寒飞.曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2002:76-77.
[4] 雷国元,吴克明,齐兵强,等.曝气生物滤池的工作性能与高度的关系[J].环境污染与防治,2002,24(1):26-28.
[5] 曹文平,张永明,钱鲁泓.两段曝气生物滤池废水处理的实验研究[J].水处理技术,2006,32(3):62-65.

(收稿日期 2006-12-09 编辑 徐娟)