

含有多孔载体的环流曝气塔处理污水的研究

范轶, 丁富新*, 杨海光, 陈筛林, 张文明, 邢新会 (清华大学化学工程系, 北京 100084, E-mail: fanyi97@mails.tsinghua.edu.cn)

摘要: 利用环流塔式曝气装置并且在曝气体系中投入聚亚氨酯载体以固定微生物, 可以用来同时去除污水中的 COD、氨氮和硝酸氮。在气速为 $0.117 \sim 0.156 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$ 之间, 实验装置对氨氮具有较高的去除效率; 而当气速大于 $0.039 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$ 时, COD 可以在 1 h 之内得到较完全的降解。研究了载体在整个体系中的填充率对 COD 和氮的脱除效果的影响, 当载体填充率达到 15% 时, 可以得到较高的 COD 和氨氮去除水平。通过实验确定了处理过程合适的温度范围在 25°C 左右。

关键词: 多孔载体; 环流反应器; 污水处理; 硝化; 反硝化; 活性污泥

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)05-04-0083

The Application of Air-lift Loop Column Filling with Porous Carrier in Wastewater Treatment

Fan Yi, Ding Fuxin, Yang Haiguang, Chen Shailin, Zhang Wenming, Xing Xinhui (Chemical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: fanyi97@mails.tsinghua.edu.cn)

Abstract: An air lift loop reactor filling with porous carrier particles was utilized as aeration column. Experiments were carried out in wide operating conditions. The experimental results showed that in the range of gas flow rate from 0.117 to $0.156 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$, a higher efficiency of removal of ammonium-N was achieved, and when the gas flow rate was above $0.039 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$, the COD was completely degraded in about 1 h. The filling ratio of the porous carriers in the column was an important factor for the removal of C and N compounds, and a filling ratio of 15% was proved to be most suitable in the operation ranges. The experimental results also indicated that the effect of aeration temperature on the removal efficiency was significant and the highest efficiency was obtained at around 25°C .

Keywords: porous carrier particles; airlift loop reactor; wastewater treatment; nitrification; denitrification; activated sludge

近年来,在同一设备中进行同时的硝化与反硝化的研究广泛开展,已成为当前研究热点之一^[1-3]。本文采用环流塔式曝气装置,并将多孔聚亚氨酯载体投加到活性污泥体系,以期获得同时硝化和反硝化的效果。在这种情况下研究了曝气过程中的 COD、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 和 NO_2^--N 的动态变化情况。多孔载体主要用于固定微生物,增加体系内微生物的总量。载体表面可以聚集生长缓慢的硝化细菌,达到硝化的目的;同时由于氧气在载体内的扩散阻力,接近载体中心的部分处于缺氧状态,造成有利于反硝化过程的环境,促进同时硝化反硝化的进行^[4];在体系中还存在着大量的悬浮污泥,完成 COD 的主要去除作用。当然,载体内部反硝化过程的进行,也会消耗一部分 COD。而微生物的增长也

会利用含氮物质。所有这些作用同时存在,可以有效的提高反应器处理污水的性能。

1 实验部分

本文采用直径为 180 mm, 高为 1000 mm 的硼硅玻璃曝气器作为曝气装置,内部装有快速导流筒,通气后可以在反应器内形成环流,气-液-固混合良好。实验装置和流程如图 1 所示。

实验采用模拟污水进行实验,成分包括葡萄糖、硫

基金项目: 国家“九五”科技攻关课题(99-315-08-03)

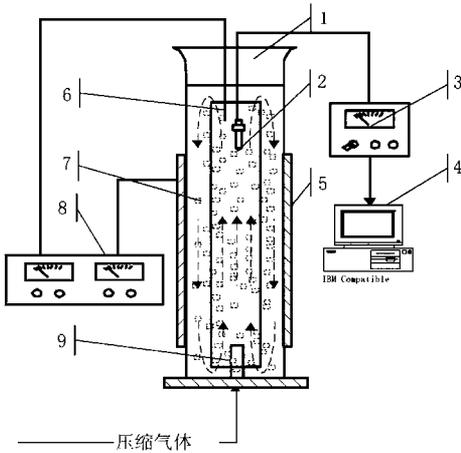
作者简介: 范轶(1975~),男,博士,讲师,主要从事工业和生活污水处理研究。

收稿日期: 2000-10-26

* 通信联系人

酸铵和磷酸氢二钠,分别作为体系中碳、氮和磷的来源.实验使用的活性污泥由北京市北小河污水处理厂提供.

实验采用批式操作,来自压缩机的气体经稳压器和流量计以及微孔气体分布器后进入反应器.实验设备总体积为 17L,污泥浓度(以 MLSS 表征)为 5.0g/L 左右.将模拟污水和活性污泥混合后加入曝气器开始试验,定时取样,采用 CTL-12 型化学耗氧量分析仪分析样品过滤后清液的 COD 浓度,使用比色法测量各种形式氮的含量.



1. 微孔曝气塔 2. 溶氧电极 3. 溶氧仪 4. 计算机数据采集系统 5. 电热夹套 6. 热电偶 7. 聚氨酯载体 8. 温控设备 9. 微孔分布器

图 1 实验设备与流程

Fig.1 Diagram of experimental equipment and process

实验投加的聚氨酯多孔载体的特性如表 1.

表 1 载体结构参数

Table 1 Parameters of carrier structure

材料	形状	边长 / mm	平均孔径 / mm	空隙率 / %	密度 / kg·m ⁻³
聚氨酯	正方体	10 ~ 20	1.25	90 %	30

在曝气实验进行之前,对载体进行了微生物的固定化.方法是在反应器中投加载体和活性污泥,定时投加营养物.经过一定时间后,微生物在载体上开始生长从而实现固定.

2 实验结果及分析

本文通过实验研究了温度、气速、载体填充率对脱氮的影响,模拟污水 COD: N: P=1000: 35: 10.

2.1 温度变化的影响

(1) 实验条件 载体:体积填充率 10%;温度 17℃

~33℃;气速 0.117 m³/(min·m³),污泥浓度(MLSS) 5.0~5.6g/L.

(2) 结果及分析 图 2 给出了不同温度下的 COD 降解曲线.进水料液中 COD 为 1000 mg/L,经过 4h 的反应,3 种温度下的出水中 COD 都已降到了 150 mg/L 以下.其中 25℃时的出水 COD 已降到 50 mg/L 以下,去除率达到 95%以上.与氨氮的去除情况相类似,温度适中的情况下,COD 降解的效率最高,温度太高或太低都会降低降解效率和反应速率.温度降低的负面影响更为严重.

从图 3 可以看出,在实验考察的 3 种温度下,25℃时的脱氮效果较好.这 3 种温度是工厂实际操作中通常所处的体系温度,可见如果控制温度,可以明显改变脱氮过程的效率.因此在下述实验中选择 25℃作为操作温度.

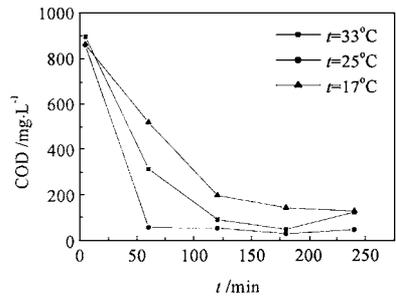


图 2 温度变化对 COD 去除的影响

Fig.2 Effect of temperature on removal of COD

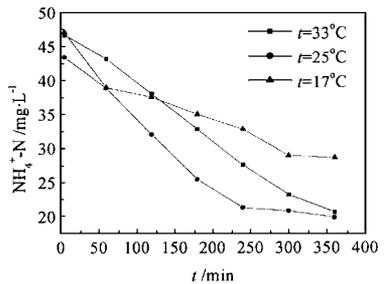


图 3 温度变化对氨氮降解的影响

Fig.3 Effect of temperature on degradation of ammonium-nitrogen

图 4 反映了硝酸氮在不同温度下随时间的变化.可以看出,在 25℃和 33℃下,硝酸氮的变化几乎相同:在实验开始后迅速降低,然后又逐渐上升.在 17℃下,情况有所不同,尽管在后期硝酸氮的变化与其他温度下基本相同,但是开始阶段的下降过程却远远超过了其他温度下所耗的时间.硝酸氮在开始的下降过程可

以解释为反硝化的结果,而后期上升则可以归结为硝化过程(氨氮降解)产生的硝酸氮积累的结果.图4的结果表明,在较低的温度下,反硝化的速率明显比其他温度下要慢.

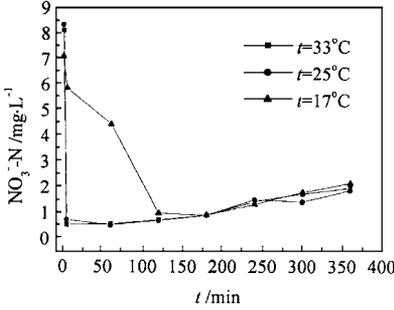


图4 温度变化对硝酸氮去除的影响

Fig.4 Effect of temperature on nitrate nitrogen

2.2 气速变化

(1) 实验条件 载体:体积填充率 10%;操作条件:温度 25 °C;气速 0.039 ~ 0.196 m³/(min·m³);污泥浓度 (MLSS) 4.5 ~ 5.5g/L.

(2) 结果及分析 图5反映了气速变化对 COD 去除的影响.由于气速增大会促进氧的传递,有利于 COD 的降解.但是,从图5可以看出,除了在气速为 0.039 m³/(min·m³)时,COD的降解速度较慢外,其他气速下 COD的变化基本相同,在很短的时间内就下降到了很低的水平.可见,在投加了多孔载体的环流曝气塔中,采用较低的气速就可以达到去除 COD的目的.

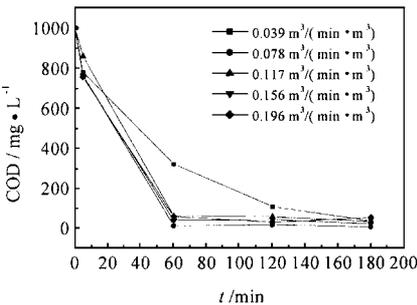


图5 不同气速下 COD浓度的变化

Fig.5 Variation of COD concentration at different gas flow rates

图6显示了气速从 0.039 ~ 0.196 m³/(min·m³)变化时氨氮随时间的变化.从图5中可以看到,随着气速从 0.039 ~ 0.196 m³/(min·m³)变化,氨氮去除效果在气速适中的 0.117 m³/(min·m³)和 0.156 m³/(min·m³),具有最高的去除率.这一现象可作如下解释,本实

验中采用的环流曝气塔可以有效地通过改变气速来调节塔内的溶氧水平.当气速较高时,塔内溶氧浓度提高,这有利于硝化作用的进行,但是较高的溶氧促进了氧向载体内的传质,对于反硝化却成了不利因素;相反,气速低时对于反硝化是起积极的作用,而对于硝化作用却是不利的.这说明,只有在一个合适的气速下才能使硝化与反硝化很好地匹配,使得在较短的停留时间就可达到脱氮的目的.

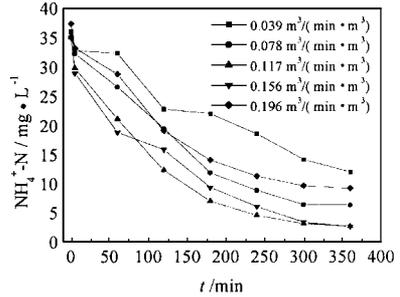


图6 气速变化对脱氮效果的影响

Fig.6 Effect of gas flow rate on denitrification

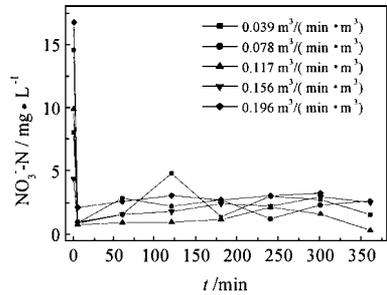


图7 不同气速下硝酸氮浓度的变化

Fig.7 Variation of nitrate nitrogen concentration at different gas flow rates

图7说明了气速变化时硝酸氮的变化情况.从图7可看出,不同气速下硝酸氮的变化没有太大差异,这主要是由于载体的存在促进了反硝化过程,使得硝酸氮含量一直处于较低水平,所以气速的变化对硝酸氮影响不大.从图7还可以发现,硝酸氮变化曲线存在一个先降低,然后略上升再维持稳定的过程,这和2.1温度变化过程中提到的变化是一致的.

2.3 载体填充率变化

由于载体表面微生物好氧生长和硝化作用对氧的消耗以及氧气向载体内部的扩散作用,使得载体内部出现了缺氧区域,保证了活性污泥体系中缺氧环境的存在.在一定意义上,载体的多少就表征了缺氧环境的

大小,代表了反硝化作用的处理能力.

(1) 实验条件 载体:体积填充率 0%~15%;操作条件:温度 25℃;气速 0.117 m³/(min·m³);污泥浓度 (MLSS) 2.5~3.5g/L.

(2) 实验结果与分析 图 8~图 10 分别是在载体填充率(载体占整个环流曝气器的体积比例)为 15%、5%和 0 时的实验结果.从氨氮、硝酸氮和亚硝酸氮的变化曲线来看,较高的载体填充率可以有效地提高系统硝化和反硝化的能力,使得在较短时间内可以达到较好的处理效果,游离在污水中氮的各种形式的化合物最终都保持在很低的水平.

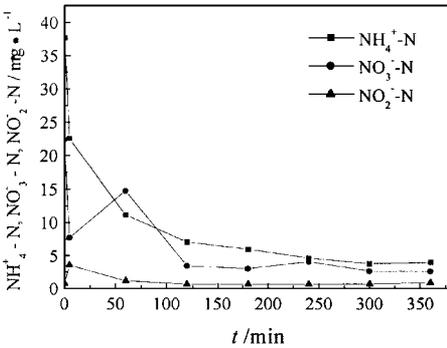


图 8 载体填充率为 15% 时氮的各种成分变化
Fig. 8 Components variation of nitrogen at filling ratio of 15%

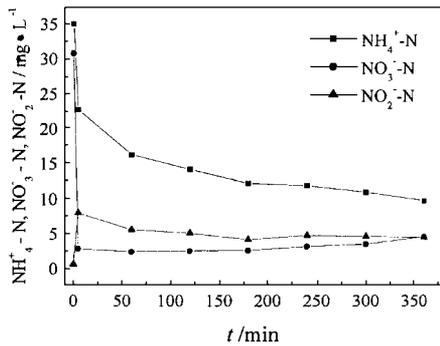


图 9 载体填充率为 5% 时氮的各种成分变化
Fig. 9 Components variation of nitrogen at filling ratio of 5%

从图 8 至图 10 可以看出,载体填充率为 15% 时取得最佳的去除效果,体系中的氨氮、硝酸氮及亚硝酸氮浓度都维持在较低的水平,相反,当体系内不存在载体时,降解明显变慢,最终的去除率下降,而其中的硝酸氮也明显增加.在填充率为 5% 的情况下,脱氮效果与没有载体相比提高不大.

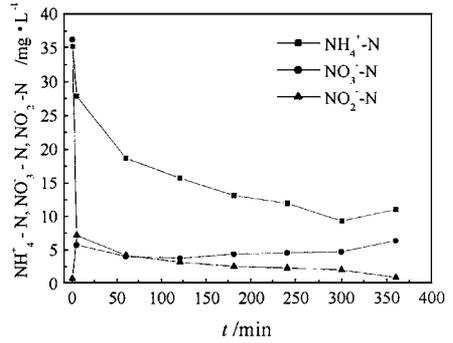


图 10 不加载体时氮的各种成分变化

Fig. 10 Components variation of nitrogen at no carrier

可见,在投加载体的环流曝气器中,要实现硝化和反硝化过程的协同作用,达到共同脱氮的目的,一定的载体填充率是必需的.载体的存在一方面提供了缺氧环境,有利于反硝化过程的进行;另一方面,在载体表面和外层溶氧丰富的位置,也吸附生长了大量的细菌,由于被固定在载体上,细菌在体系中的停留时间增加,使得生长缓慢的硝化细菌可以存在,有利于硝化过程的进行,促进了氨氮向硝酸氮的转化,而后在缺氧区域中,在经由反硝化过程转变为氮气,完成脱氮的整个过程.

3 结论

(1) 适宜的温度是保证微生物活性的必须条件,从而保证微生物对有机污染物和含氮物质的去除.实验证明,25℃左右是有利的温度条件.

(2) 在较低的气速下就可以实现 COD 和氨氮的高效去除,较高的气速不利于含氮物质的去除,对 COD 的去除来说,采用高气速也是没有必要的.这说明工业上采用环流曝气器是有实际应用价值的.

(3) 载体的填充率反映了体系内缺氧环境所占的比例,提高载体填充率,有利于硝化和反硝化过程的同时进行.实验结果对这一点进行了很好的验证.

参考文献:

- 1 Pochana Klangduen, Keller Jürg. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). Water Science and Technology, 1999, 39(6): 61~68.
- 2 Robertson et al. Simultaneous nitrification and denitrification in aerobic chemostat cultures of Thiosphaera. Appl. Envi. Microbiol., 1988, 54(11): 2812~2818.
- 3 Bakti et al. A model for a nitrifying suspended-growth reactor incorporating intraparticle diffusional limitation. Wat. Res., 1992, 26(12): 1681~1690.
- 4 Xin Hui Xing et al. Effect of C/N values on microbial simultaneous removal of carbonaceous and nitrogenous substances in wastewater by single continuous-flow fluidized-bed bioreactor containing porous carrier particles. Biochemical Engineering Journal, 2000, 5: 29~37.