

# 侧向流曝气生物滤池前置脱氮的研究

张红晶<sup>1</sup> 龙腾锐<sup>2</sup> 何强<sup>2</sup> 曹艳晓<sup>2</sup>

(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** 利用自行研究开发的侧向流曝气生物滤池(LBAF),考察LBAF内前置脱氮的现象。在原水流量为 $1\text{ m}^3/\text{d}$ 时,研究了缺氧/好氧区容积比和回流比等因素对处理效果的影响。试验结果表明,气水比 $10:1$ ,回流比 $1\sim 2$ ,缺氧/好氧区容积比分别为 $1:6.4$ 和 $1:4.0$ 时,可使 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN的去除率分别达 $87\%$ 、 $74\%$ 、 $64\%$ 以上。通过对滤池内含氮化合物的空间分布以及微生物数量的监测结果表明,采用前置脱氮的LBAF具有良好的硝化反硝化效果。

**关键词** 侧向流曝气生物滤池 前置脱氮 缺氧 好氧 回流比

传统的生物脱氮工艺都是在同一个反应器中,通过时间或空间上好氧和缺氧的交替进行来实现脱氮,如A/O、A<sup>2</sup>/O等工艺。目前国内外对前置反硝化原理应用于曝气生物滤池工艺的研究及应用鲜有报道,因此试验针对侧向流曝气生物滤池(LBAF)的特点,采用前置反硝化工艺对生活污水的处理效果及规律进行了研究。

## 1 试验设备与方法

### 1.1 试验设备

LBAF试验装置见图1,长 $2.28\text{ m}$ ,宽 $0.7\text{ m}$ ,高 $1.35\text{ m}$ ,由调节池、A段填料、过渡区、B段填料和出水区串联组成。A段交错填装5筐粒径为 $10\sim 15\text{ mm}$ 的沸石,筐内放置一根微孔曝气管,填料筐与池体壁面之间形成 $25\text{ mm}$ 宽的“S”形小阻力流槽,大部分污水穿过填料,小部分污水会绕过填料筐,通过“S”形小阻力流槽,与穿过填料筐的污水汇合进入下一个填料筐,这样填料利用率高,可适当延长反冲洗周期。B段每隔 $28\text{ cm}$ 放置一根微孔曝气管,装填粒径为 $3\sim 6\text{ mm}$ 的沸石,目的是为了增加生物量浓度,提高出水水质。填料层自下而上的构造为:沸石填料、反冲洗进水管、曝气管、反冲洗进气管、沸石填料。LBAF采用在填料筐内布置曝气管,能够按照工艺要求对曝气点和回流点的位置进行设置,实现在同一滤池内完成厌氧和好氧反应。

### 1.2 运行方式

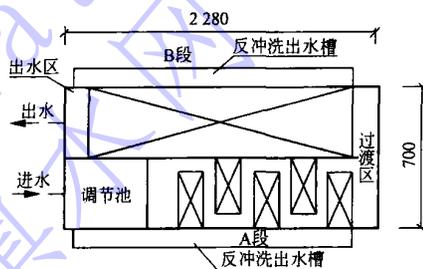


图1 LBAF结构示意图

前置反硝化时,试验分别选择在距反应器进口处 $1.14\text{ m}$ 和 $1.42\text{ m}$ 两个位置以后开始进行曝气,使前部缺氧区体积分别为 $162.4\text{ L}$ 和 $240.8\text{ L}$ ,好氧区体积分别为 $1041.6\text{ L}$ 和 $963.2\text{ L}$ ,缺氧区与好氧区的体积比分别为 $1:6.4$ 和 $1:4.0$ 。选择原水流量为 $1\text{ m}^3/\text{d}$ ,在反应器正常运行期间通过改变 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 负荷、缺氧区与好氧区的体积比( $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$ )、回流比等条件,考察反应器的运行性能。

### 1.3 试验方法

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 $75\sim 220\text{ mg/L}$ , $\text{COD}_{\text{Cr}}$  $201\sim 468\text{ mg/L}$ ,TN $61.63\sim 123.90\text{ mg/L}$ , $\text{NH}_3\text{-N}$  $40.13\sim 121.77\text{ mg/L}$ ,pH $6.5\sim 7.5$ , $\text{NO}_3^- \text{-N}$  $0\sim 2.94\text{ mg/L}$ , $\text{NO}_2^- \text{-N}$  $0\sim 0.017\text{ mg/L}$ 。连续测定滤池沿程的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、氨氮、总氮、硝态氮、亚硝态氮,定时测定溶解氧。微生物数量用MPN法,其他项目采用《水和废水监测分析方法》(第4版)中推荐的标准分析方法。



## 2 试验结果与分析

### 2.1 回流比的影响

由于回流增加了动力消耗,同时由于滤池水力负荷增加,为保证达到一定的硝化效果,必须相应增加反应器容积和填料体积,以满足污水在反应器和填料上的停留时间。在试验中,讨论了回流比对去除污染物的影响。试验工况为:原水流量为  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ ,气水比为 10:1,  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}} = 1:4.0$ 。不同回流比条件下各种污染物去除情况见表 1。

表 1 不同回流比条件下污染物去除率

回流比		无回流 (15.2~16.3)	1:1 (21.0~22.2)	2:1 (24.2~28.5)
COD <sub>Cr</sub>	进水 / mg/L	201~363 (294.0)	258~432 (334.9)	298~468 (394.8)
	出水 / mg/L	25~52 (36.9)	28~56 (41.2)	32~67 (49.5)
	去除率 / %	85.67~91.20 (87.50)	85.93~89.89 (87.70)	85.08~89.94 (87.60)
NH <sub>3</sub> -N	进水 / mg/L	75.45~121.77 (88.22)	40.13~61.58 (52.15)	56.77~74.94 (64.03)
	出水 / mg/L	25~52 (36.87)	7.83~13.10 (11.30)	12.21~23.37 (18.25)
	去除率 / %	43.29~71.16 (56.22)	70.92~85.96 (75.94)	66.15~79.06 (74.37)
TN	进水 / mg/L	86.89~123.90 (97.25)	61.63~81.56 (68.08)	67.45~76.79 (74.10)
	出水 / mg/L	36.26~84.16 (60.19)	12.30~24.17 (19.70)	16.37~27.36 (21.36)
	去除率 / %	26.29~59.52 (38.64)	61.78~81.32 (70.59)	61.78~81.32 (71.21)

注:括号内为平均值。

由表 1 可以看出,是否有回流对去除 COD<sub>Cr</sub> 几乎没影响,但 NH<sub>3</sub>-N 的去除率随着回流的出现明显上升。NH<sub>3</sub>-N 去除率上升可能有两方面原因:回流与温度。结合本文 2.3 中试验结果可知,回流对 NH<sub>3</sub>-N 去除几乎没有影响,NH<sub>3</sub>-N 去除率上升主要是因为试验期间温度从 15.2~16.3 上升到 20 以上。同时,回流比的改变对 COD<sub>Cr</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果影响也不大。

TN 的去除随着回流的出现,去除率由 38.64% 上升到 70% 以上,这一方面是因为温度增加,硝化和反硝化的效果会增加;另一方面是回流的影响,但当回流比从 1:1 上升到 2:1 时,TN 去除率变化不大,仅由 70.59% 提高到 71.21%。对于 TN 的去除,增加回流比会产生两方面的影响,一是导致回流

液携带至缺氧区的溶解氧增加,反硝化反应受到限制;二是当回流比小于临界回流比(缺氧区硝态氮浓度正好为零时的回流比)时,随着回流量的增加,硝态氮的去除率也增加,当回流比大于临界回流比,回流水中的硝态氮已经超过了脱氮负荷,再进一步增加回流比对硝态氮的去除不会再有影响。

### 2.2 $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$ 的影响

在原水流量为  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ 、气水比为 10:1、水温为 21.0~28.5、回流比为 1:1,  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  对污染物去除的影响见表 2。通过表 2 中试验结果的对比可以看出,  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  的变化对去除水中的 COD<sub>Cr</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 并没有太大的影响;但对 TN 的去除影响比较大。

表 2  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  对污染物去除的影响

项目		$V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$	
		1:4.0	1:6.4
COD <sub>Cr</sub>	进水 / mg/L	258~432(334.9)	282~496(366.4)
	出水 / mg/L	28~56(41.2)	22~46(37.5)
	去除率 / %	85.93~89.89(87.70)	83.69~91.33(89.52)
NH <sub>3</sub> -N	进水 / mg/L	40.13~61.58(52.15)	60.87~80.06(69.92)
	出水 / mg/L	7.83~13.10(11.30)	10.20~21.72(15.35)
	去除率 / %	70.92~85.96(75.94)	72.87~83.44(78.37)
TN	进水 / mg/L	61.63~81.56(68.08)	76.57~103.81(89.33)
	出水 / mg/L	12.30~24.17(19.70)	25.93~41.20(31.77)
	去除率 / %	61.78~81.32(70.59)	50.52~72.81(64.23)

DO 浓度是影响反硝化反应的关键因素。图 2 为在两种  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  条件下,反应器内溶解氧变化。由图 2 可以看出,两种条件下缺氧段溶解氧基本都高于 0.5mg/L,处于好氧状态,出现这种情况的主要原因是由于在两种条件下,回流水中都含有一定的溶解氧,经回流水稀释后,反应器入水口处的 COD<sub>Cr</sub> 浓度较低,回流水中的溶解氧在反应器前段不能很快地消耗掉,因此缺氧段仍然处于好氧状态。但由于反应器前段部分填料很厚,填料表面处于好氧状态,深入填料内部,氧传递受阻,产生缺氧层,反硝化菌占优势,硝态氮会在缺氧层得到去除,即反应器前段发生好氧反硝化。 $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  为 1:6.4 时的 DO 浓度比 1:4.0 时高,因此好氧层较厚,硝态氮不易进入缺氧区进行反硝化;同时溶解氧增加后,造成有机物过度消耗,不利于反硝化反应的发生。因此  $V_{\text{缺}}/V_{\text{好}}$  为 1:4.0 时的 TN 去除率要高于容积比为 1:6.4 时的 TN 去除率。

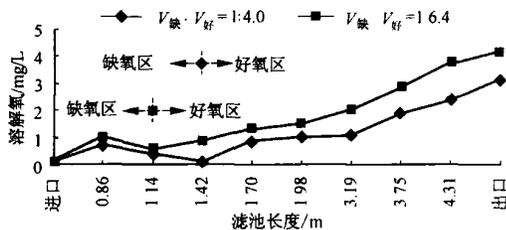


图2 DO沿滤池长度的变化

### 2.3 沿程含氮化合物变化情况

在原水流量  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ 、气水比 10 : 1、水温  $21.0 \sim 28.5$ 、回流比 1 : 1、 $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  分别为 1 : 6.4 和 1 : 4.0、进水有机负荷不同的条件下,考察 LBAF 内不同滤池长度处的总氮、氨氮、硝态氮和亚硝态氮的浓度变化,试验结果见图 3。

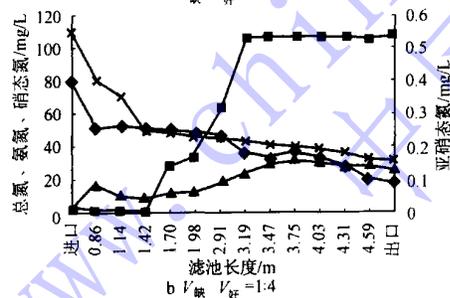
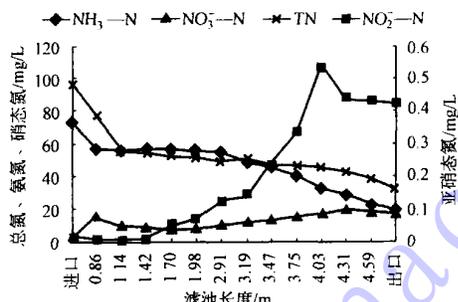


图3 滤池长度与氮的形态转化

由图 3 可见,除了在 LBAF 前段 0.86 m 长的范围内,由于回流水的稀释作用造成氨氮浓度减少以外,在缺氧区氨氮几乎不发生降解,而污水进入好氧区后,随着硝化反应的进行, $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度沿滤池长度逐步增加,且硝态氮含量远大于亚硝态氮的含量,这说明系统的硝化程度是较高的,好氧区不存在亚硝态氮的积累,氨氮几乎全部转化为硝态氮。由硝态氮的变化曲线可见,反硝化脱氮作用主要在缺氧区进行,总氮的数据也证明了这一点,在滤池好

氧段,总氮的去除很少。因此,强化缺氧区的脱氮作用是提高系统总氮去除率的根本途径。

试验测定了  $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  为 1 : 4.0 时,LBAF 不同部位填料上硝化细菌、亚硝化细菌和反硝化细菌的数量,测定结果见表 3。由表 3 可知,反硝化菌在滤池缺氧段的前部填料上最多,后部最少,相差一个数量级,而硝化细菌和亚硝化细菌未检出。在滤池好氧段的填料上,硝化菌和亚硝化菌的数量从前往后逐渐增加,反硝化菌在好氧段填料后部也存在,但比硝化菌和亚硝化菌少 1~2 个数量级。这说明好氧段内的硝化效果良好,并且在滤池后部还存在着少量的同时硝化与反硝化。图 3 的水质指标变化和反硝化菌在填料上的分布规律是一致的。

表 3 LBAF 内沿程的硝化菌、亚硝化菌、反硝化菌数量

项目	缺氧段		好氧段		
滤池长度 / m	0.86	1.42	3.19	3.75	4.31
硝化菌 / 个/cm <sup>3</sup> 填料	—	—	$3.4 \times 10^6$	$3.5 \times 10^6$	$8.2 \times 10^6$
亚硝化菌 / 个/cm <sup>3</sup> 填料	—	—	$8.9 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	$3.1 \times 10^6$
反硝化菌 / 个/cm <sup>3</sup> 填料	$4.8 \times 10^7$	$3.2 \times 10^6$	$4.4 \times 10^4$	$1.4 \times 10^5$	$4.5 \times 10^5$

### 3 结论

(1) LBAF 前置反硝化工艺具有较好的除碳、脱氮效果。当原水流量为  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ , $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  分别为 1 : 6.4 和 1 : 4.0,气水比为 10 : 1,回流比为 1~2 的条件下,可使  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 的去除率分别达 87%、74%、64% 以上。

(2) 溶解氧是限制前置反硝化工艺在 LBAF 中去除 TN 的关键因素。由于  $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  为 1 : 6.4 时比  $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  为 1 : 4.0 时的溶解氧高,因此采用  $V_{\text{缺}} : V_{\text{好}}$  为 1 : 4.0,有利于反应器缺氧段反硝化反应的完成。

(3) 当回流比从 1 : 1 上升到 2 : 1 时,TN 的去除效率变化不大。是否有回流及回流比的改变对  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的去除效果影响不大。

& 电话:(023)65316430

E-mail:zhbj0101@tom.com

收稿日期:2006-07-10

修回日期:2006-10-12