

双室(层)曝气生物滤池充氧性能及流态特征

崔燕平¹ 田文华² 文湘华² 钱 易²

(1 中国矿业大学化学与环境工程学院,北京 100083;

2 清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点实验室,北京 100084)

摘要 研究了双室(层)曝气生物滤池(DBAF)的充氧性能和流态特征,结果表明氧传质系数与曝气强度成正比,加滤料前后氧传质系数的差别与曝气强度的大小有关,曝气强度较低时,两者相差40%,随着曝气强度的增加,两者逐渐接近。DBAF可用 n 值为8~10阶式CSTR描述,流态接近推流式反应器。降低水力负荷和增大滤料高度时,DBAF的流态更趋近于推流式。

关键词 双室(层)曝气生物滤池 充氧性能 氧传质系数 流态 推流式反应器

Oxygen transfer efficiency and flow pattern in double-chamber aerated biological filter

Cui Yan-ping¹, Tian Wen-hua², Wen Xiang-hua², Qian Yi²

(1. School of Chemical and Environmental Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The oxygen transfer efficiency and flow pattern of the renovated double-chamber aerated biological filter (DABF) are studied. The results show that the mass transfer coefficient for oxygen displays a good linear relationship with aeration intensity, and the difference of mass transfer coefficient for oxygen between empty and packed bed is affected by the aeration intensity. Their difference is near 40% when the aeration intensity is very low, and decreased when the aeration intensity increased. The CSTR number of DABF is between 8 to 10, so that it can be considered as a plug flow reactor. Decreasing the hydraulic loading and increasing the height of the media make the flow pattern approach more to plug flow.

Keywords: Double-chamber aerated biological filter; Oxygenizing efficiency; Oxygen transfer coefficient; Flow pattern; Plug flow reactor

双室(层)曝气生物滤池(Double-chamber Biological Aerated Filter,简称DBAF)是清华大学环境

科学与工程系开发的一种新型的曝气生物滤池^[1]。它分为上、下两室,中间用多孔板隔开,上室采用粒

and method 552 for the analysis of HAA and chlorophenols. AWWA, 1992, 84(11): 94~98

4 APHA-AWWA-WEF. (6251) Disinfection by-products: Haloacetic acids and trichlorophenol. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Ed. Washington D C, 1995

5 Xie Y, Reckhow D A, et al. Analyzing HAAs and ketoacids without

diazomethane. AWWA, 1998, 90(4): 131~138

电话:(010)62782196

E-mail: liulx@hotmail.com

收稿日期:2003-10-16

给水排水 Vol.30 No8 2004 41

径 2~3 mm 滤料,下室采用粒径 4~6 mm 滤料。DBAF 的功能特点是:下层滤料主要实现脱碳和部分硝化功能,上层滤料主要实现硝化功能。下层的粗滤料有助于减小运行阻力,延长运行周期;上层的细滤料有助于增加附着的硝化细菌生物量,提高处理效果。

DBAF 的运行效果与它的充氧性能和流态特性有很大关系。反应器的充氧性能直接影响到好氧微生物特别是专属好氧性硝化菌群的生长情况,制约着反应器对氨氮的硝化效果。而反应器的流态则直接与反应器的动力学模型相联系。研究表明,反应器愈接近推流式,对氨氮的硝化作用^[2~4]和对悬浮物的去除效果愈好^[2]。因此本文对 DBAF 的充氧性能和流态特性进行了研究。

1 试验装置与试验方法

1.1 试验设备

试验用的 DBAF 结构见图 1,柱体用有机玻璃加工而成,外径 0.2 m,内径 0.185 m,高 5.05 m(液位高 4.7 m)。下室底部有 0.3 m 高的配水室,分布有反冲洗水管和反冲洗空气管,用多孔板布水。多孔板上有 0.3 m 卵石承托层,承托层中分布有工艺曝气管。下室滤料层高 1.5 m,上部有 0.3 m 的预留空间和 0.3 m 水垫层,水垫层中分布有中排管,管壁上开有装料孔。上室底部有 0.2 m 高的 6~8 mm 卵石承托层,其中分布有另一套工艺曝气管。上室滤料层高 1.5 m,另有 0.3 m 的预留空间和 0.2 m 的出水区。

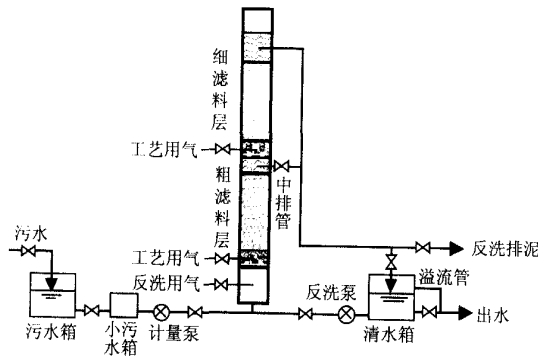


图1 DBAF 试验装置

1.2 试验方法

(1) 充氧试验。用泵将脱氧清水(自来水中加入一定量的 Na₂SO₃ 以消除水中的溶解氧)打入反应

器内,至设定水位,将溶解氧仪探头伸进反应器中指定位置,记录初始 DO 和温度,然后按要求迅速调节曝气量,记下溶解氧仪读数随时间的变化值,计算标准氧传质系数 $K_{La(20)}$ ^[5]。空床时在距液面分别为 1.7 m 和 0.5 m (9[#] 和 13[#] 取样口) 处进行测定,装填滤料后在 0.5 m 处进行了测定。

(2) 流态试验。采用示踪剂法,用 NaCl 作为示踪剂,用 AgNO₃ 滴定法测定 Cl⁻ 浓度。注样口和取样口位置见表 1,注样方法为^[6]:配制浓度为 5 mol/L 的 NaCl 溶液,注样量 25 mL,注样在 1 min 之内完成。上、下室流态试验的条件为:水力负荷 $L = 2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水比 = 4:1;全室流态试验的条件分别为 $L = 2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 $L = 4.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水比 = 4:1。

表 1 注样口和取样口位置

试验位置	下室	上室	全室
注样口位置	泵入口(0 m)	7 [#] (2.3 m) *	泵入口(0 m)
取样口位置	7 [#] (2.3 m)	14 [#] (4.6 m)	14 [#] (4.6 m)

注: * 进水口位置为 0 时的相对高度,其他同。

2 试验结果与分析

2.1 氧传质系数试验

2.1.1 上、下室同时曝气与下室单独曝气氧传质系数的比较

为了比较曝气方式对氧传质系数的影响,进行了相同曝气量时上、下室同时曝气与下室单独曝气的比较试验。上、下室同时曝气时曝气量分别为 0.08 m³/h 和 0.16 m³/h,下室单独曝气时曝气量为 0.24 m³/h。共进行了 3 组试验,结果见图 2,可见两种曝气方式下氧传质系数十分接近。另外试验过程中观察发现,气泡通过 DBAF 中间的多孔板后变小,说明 DBAF 的结构有利于增大氧传质系数,也说明没有必要在上室另装一套曝气系统,因此后续试验采用下室单独曝气的方式。

2.1.2 改变曝气强度对氧传质系数的影响

为研究曝气强度对氧传质系数的影响,在不同条件下进行了 3 组试验,水力负荷分别为 1.1 m³/(\text{m}^2 \cdot \text{h}), 2.2 m³/(\text{m}^2 \cdot \text{h}), 3.3 m³/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) 和 4.4 m³/(\text{m}^2 \cdot \text{h}), 气水比为 4:1 (曝气量分别为 0.118 m³/h, 0.236 m³/h, 0.355 m³/h 和 0.473 m³/h)。结果见图 3,可见氧传质系数与曝气强度之间呈正比关系。

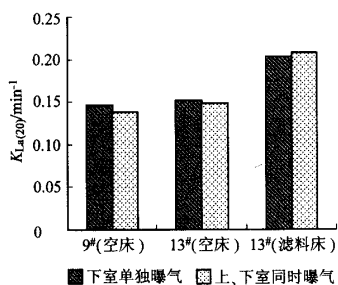


图2 上、下室同时曝气与下室单独曝气时
氧传质系数 $K_{La(20)}$ 比较

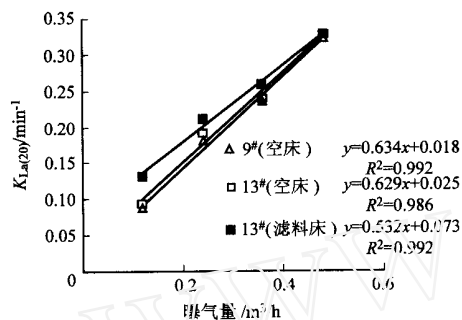


图3 氧传质系数与曝气强度之间的关系

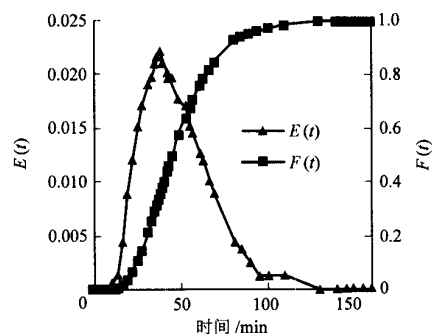
2.1.3 装填滤料前后氧传质系数的比较

图3同时显示了13#测点在装滤料前后氧传质系数的变化。可见装滤料后氧传质系数明显增大,曝气量为 $0.118 \text{ m}^3/\text{h}$ 时氧传质系数提高40%,但随着曝气量的增加两者逐渐接近。这是因为曝气强度较低时,由于滤料的切割作用,氧传质系数增大较多,但是由于氧传质系数与曝气强度之间成正比,在曝气强度较大时,氧传质系数较大,这时滤料切割所起的作用对氧传质系数的影响有限,两者基本相同。

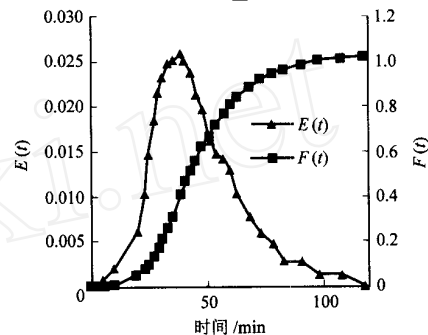
2.2 流态分布试验

在 $L = 2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水比=4:1时对上、下室的流态分布进行了测定,图4为上、下室的液龄分布曲线 $E(t)$ 和累积液龄分布曲线 $F(t)$ 。可见上、下室的流态分布曲线形状十分相似。

在 $L = 2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 $L = 4.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气水比=4:1时分别对全室的流态分布进行了测定,图5为不同水力负荷时全室的 $E(t)$ 、 $F(t)$ 曲线。从图中可看出两者流态分布曲线的形状是十分相似的,示踪剂都在一个较短的时间内集中从反应器中流出。

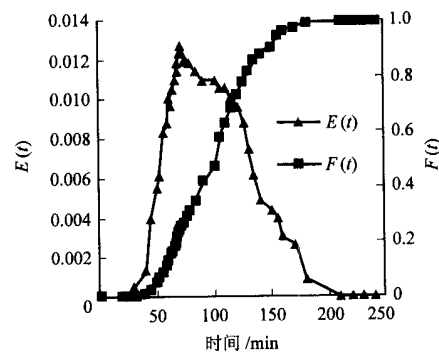


a 上室

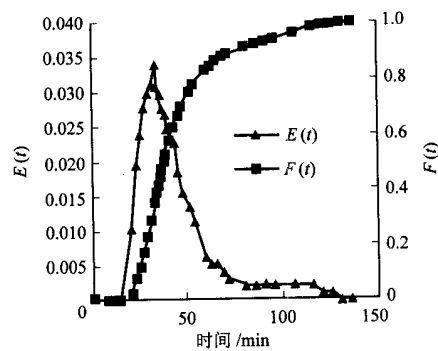


b 下室

图4 上、下室 $E(t)$ 和 $F(t)$ 曲线



a $L=2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$



b $L=4.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

图5 全室的 $E(t)$ 和 $F(t)$ 曲线

按文献提供的方法^[5]对上述试验结果进一步进行了理论计算。表 2 列出了不同工况下得到的特性参数:回收率,平均停留时间 $t_{\text{平均}}$,标准差,方差,分散数 D/UL , Pe 和阶式 CSTR 个数 n 的计算值。

表 2 DBAF 的流态特性参数比较

试验编号	1	2	3	4
位置	上室	下室	全室	全室
水力负荷/ $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	2.2	2.2	2.2	4.4
回收率/ %	86.3	82.6	124.6	106.3
$t_{\text{平均}}/\text{min}$	42.9	42.5	83.2	39.8
标准差	228.7	231.1	715.3	206.6
方差	0.124	0.128	0.10	0.130
D/UL	0.062	0.064	0.05	0.065
Pe	16.11	15.6	19.3	15.3
n	9.1	8.8	10.7	8.7

从表 2 可以看出,NaCl 的回收率在 82 %以上,方差在 0.15 之内,一般来说方差在 0.2 以内是可以接受的^[7],因此结果是比较可靠的。CSTR 阶式反应器的个数 n 是最适合描述返混程度的参数,一般最小需要 4 个连续的 CSTR 阶式来模拟推流式反应器^[5,8]。试验 3 和 4 的结果显示,当水力负荷从 $2.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 提高到 $4.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时, n 值从 10.7 降至 8.7,表明低水力负荷下 DBAF 的流态更接近于推流式。这与推流式活性污泥法工艺不同,这是因为水力负荷越高,滤料对水流的扰动作用越强,返混作用越强所致。

试验 1~3 的结果表明,在同一水力负荷下,全室的平均停留时间是上、下室平均停留时间之和,这说明 DBAF 相当于两个上向流 BAF 串连而成。同一水力负荷下,上、下室的 n 值分别为 9.1 和 8.8,而全室的 n 值则增大到 10.7,说明滤料高度增加时 DBAF 更趋近于推流式。

表 2 显示,在水力负荷 $4.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以内,描述 CSTR 阶式反应器的个数 n 值均在 8 以上,因此 DBAF 可作为推流式反应器来处理。而推流式反应器有利于增强硝化功能,在后续的试验中将对 DBAF 的硝化性能作进一步研究。

3 结论

(1) DBAF 采用下室单独曝气的方式较好。DBAF 中氧传质系数与曝气强度之间成正比。加滤料前后氧传质系数的差别与曝气强度的大小有关,

曝气强度较低时,两者相差 40 %,随着曝气强度的增加,两者逐渐接近。

(2) DBAF 阶式 CSTR 个数 n 值为 8~10,可看作推流式反应器。降低水力负荷和增大滤料高度时,DBAF 的流态更趋近于推流式。

参考文献

1 田文华,文湘华,崔燕平,钱易. 滤料粒径对曝气生物滤池硝化性能的影响. 中国给水排水, 2003, 19(5): 48~50

2 Mann A, Fitzpatrick C, Stephenson T. A comparison of floating and sunken media biological aerated filters using tracer study techniques. Trans Inst Chem, 1995, E 73B: 137~143

3 Azini A A, Horan N J. The influence of reactor mixing characteristics on the rate of nitrification in activated sludge process. Wat Res, 1991, 25: 419~423

4 Chudoba J, Cech J A S, Chudoba P. The effect of tank configuration of nitrification kinetics. JWPCF, 1985, 57: 1078~1083

5 许保玖,龙腾锐. 当代给水与废水处理原理. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2000. 75~118

6 Riemer M, Kristensen H, Harremoes P. Residence time distribution in submerged biofilters. Wat Res, 1980, 14: 949~958

7 Fdz Polanco F, Múdez E, Urueña M A, et al. Spatial distribution of heterotrophs and nitrifiers in a submerged biofilter for nitrification. Wat Sci Tech, 2000, 34(16): 4081~4089

8 Grobicki A, Atuckey D C. Hydrodynamic characteristics of the anaerobic baffled reactor. Wat Res, 1992, 26: 371~378

电话: (010) 82681916
E-mail: yumin @ccas. ac. cn
修回日期: 2003-10-14

两本国家标准开始公开征求意见

经各编制单位的协同努力,国家标准《室外给水设计规范》和《室外排水设计规范》已完成全部修订征求意见稿,即将在建设部及中国工程建设标准化协会的网站上全文公布公开征求意见,欢迎大家提出宝贵意见。

意见请寄:
地址: 200092 上海市政工程设计研究院技术中心
联系人: 许友贵 陈芸
电话(传真): (021) 65986899
E-mail: xuyougui @etang. com

(通讯员 李春光)