

内循环生物流化床反应器处理废水参数选择

温沁雪¹, 施汉昌¹, 陈志强²

(1. 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联合实验室, 北京 100084, E-mail: wqxshelly@263.net;

2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 为了提高反应器的处理效率, 综述了内循环生物流化床反应器在运行过程中关键参数对其处理效果的影响, 指导实际处理过程中如何选择水力停留时间、载体和接种污泥投加量以使反应器快速启动, 以及如何控制气含率、载体投加量和生物膜特性等参数。反应器启动阶段建议采用 <0.5 h 的水力停留时间和低接种污泥浓度。在一定范围内较高的载体投加量有助于提高反应器的处理效果。

关键词: 内循环生物流化床; 关键参数; 气含率; 生物膜

中图分类号: TU991.2

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2005)06-0721-03

Choosing of key parameters of IIFB in wastewater treatment

WEN Q in-xue¹, SH I Han-chang¹, CHEN Zhi-qiang²

(1. ESPC, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China, E-mail: wqxshelly@263.net; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The effects of key parameters on the performance of internal-circulation three-phase bio-fluidised bed (IIFB), a newly developed wastewater treatment technology, were discussed. The objective of the paper is to instruct the operation in practice on how to start up the reactor rapidly by choosing the right hydraulic retention time, carrier and the sludge inoculation concentration, and how to control the parameters such as gas holdup, carrier concentration and characteristics of biofilm in order to operate the reactor effectively. A short HRT of 0.5 h and less sludge inoculation concentration at the start up stage were proposed and more carrier concentration lead to higher efficiency. Other parameters were proposed to be chosen according to the practice.

Key words: internal-circulation three-phase bio-fluidised bed; key parameters; gas holdup; biofilm

内循环生物流化床反应器 (IIFB) 在反应器结构上对传统生物流化床进行了改进, 不仅具有传统流化床的特征, 还具有载体流化性能好, 氧转移效率高, 载体流失量少, 放大设计容易等优点, 因此得到了广泛的应用^[1]。

描述 IIFB 反应器的运行效果的参数与传统生化处理方法有较大的区别, 除了有机负荷、污泥浓度、污泥龄等参数外, 床层的膨胀行为、载体颗粒特性、生物膜厚度以及反应器中流体力学特性等对其处理效果关系重大。本文就内循环生物流化床反应器在废水处理中特有的关键参数选择进

行全面论述, 以期为该技术的广泛应用提供参考。

1 IIFB 的启动

1.1 HRT 的影响

生物膜反应器的挂膜方法有密闭循环法和快速排泥挂膜法, 目前普遍采用后者, 即将接种的活性污泥和污水混合后泵入反应器中, 使污泥与载体充分接触, 然后连续进新鲜的污水, 直至生物膜形成。利用这种方法在挂膜操作过程的最初阶段, 反应器中的污泥微生物存在悬浮生长和附着生长 (载体表面的生物膜) 两种形式。当 HRT 较长时, 接种污泥流失量小, 悬浮微生物的增长速率大于其流失速率, 从而在反应器内逐渐得到增殖而积累起来。由于附着生长的微生物更易受到生物膜内传质阻力和底物扩散限制的影响, 因此, 在

收稿日期: 2004-11-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2002AA601200)。

作者简介: 温沁雪 (1977-), 女, 博士后。

竞争底物的过程中悬浮生长的微生物更为有利^[2]. 当 HRT 较短时, 悬浮生长微生物的稀释率 D_s ($D_s = 1/\text{HRT}$) 大于其比增长速率 μ , 此时悬浮微生物可被冲出反应器外. 而生物膜附着生长在载体表面, 其稀释率 D_a 不会随 HRT 的减小而增大, 仍可在反应器内增殖. 因此, 为了使生物膜生长良好, 启动挂膜阶段必须采用较短的 HRT

1.2 载体的选择对挂膜的影响

载体的选择对生物流化床启动速度和处理效果起关键的作用. 通常在载体选择时需考虑级配、形状尺寸、体积质量及机械强度的影响^[3].

内循环生物流化床为底部进水, 因此, 反应器底部的有机物浓度相对较高, 该位置的生物膜较厚, 使得生物颗粒比床层上部的颗粒更轻, 易于上浮. 而床层上部的生物颗粒由于营养物质的减少, 生物膜更易脱落而变重下沉. 这种有浮有沉的结果使得流化床内始终保持良好的循环混合条件. 因此, 选择颗粒尺寸均匀一致的载体可以维持反应器内生物量的合理分布. 在内循环流化床反应器内, 载体受到的紊动作用可表示为^[4]: $Re = u d_p / \nu$, 式中, u 为液体内循环速度 (m/s), d_p 为载体直径 (m), ν 为水的黏滞系数 (m^2/s). 由方程式可见, 粒径的大小直接影响反应器内的雷诺数变化, 较大的载体直径相应较强烈的紊动, 不利于生物膜在载体表面的生长. 而表面粗糙、粒径较小的载体不但可以为微生物的生长提供良好的附着场所和较大的比表面积, 有利于反应器的快速启动和维持较高的污泥浓度, 由于对上升流速要求不高, 在降低运行能耗方面也起到了一定的作用. 但粒径过小的生物颗粒容易被水流冲出床外. 通常各种材料的载体颗粒粒径为 0.3~1.0 mm.

1.3 接种污泥量的影响

周平等^[4]对接种污泥浓度对反应器启动阶段载体挂膜的影响作了研究, 在接种污泥浓度为 1 g/L 和 3 g/L 时进行了对比. 试验结果表明, 接种污泥浓度对载体挂膜过程有较大的影响, 低浓度的接种污泥有助于内循环生物流化床反应器的快速启动. 这是由于初始的大量悬浮微生物抑制了生物膜的生长, 而污泥接种量少, 对附着微生物竞争营养生长有利.

2 气含率 ε_g 和载体加入量

内循环生物流化床内载体的流化过程如下: 当较低的气速和液速时, 载体沉积在反应器底部, 空气与废水在导流筒内向上流动时只能使部分载体松动, 形成膨胀床. 增大气速与液速, 但小于载

体的终端沉降速度时, 导流筒内有明显的两相界面, 载体处于传统的流化状态, 外套筒载体沉积, 循环速度为 0, 此时称之为初始流化状态. 继续增大气速或液速至大于载体的终端沉降速度后, 床层膨胀高度逐渐增加至最终超过导流筒的高度后, 载体进入外套筒, 并在自身的重力和水流作用下向下流动, 从而进入内循环的流化状态.

气含率 ε_g 指空气在反应器中所占的体积分数, 该值大小直接影响反应器中氧转移效率. 有研究表明^[5]在流化床中加入有效体积分数为 3% 和 6% 的载体, 随着载体量的增加, 初始流化所需要的气体流量也相应增加, 但在相同的气体流量下, 载体加入越多, 氧传递效率越低. 随着载体浓度 C_s 的增加, ε_g 也表现出下降的趋势. 这可能由于载体浓度大, 气体受到的浮力增加, 运动速度加快, 从而较容易逸出反应器使 ε_g 下降. 因此, 仅从相含率及气液传质性能方面考虑, 载体的加入量不宜过高. 然而对于附着了生物膜的载体在处理实际废水的研究表明^[6], C_s 的增加使废水 COD 去除率得到较为明显的提高. 这主要在于载体浓度的增加导致了生物浓度的增加, 从而提高对污染物的降解速率. 另外, 随着载体浓度的增加, 生物载体之间的摩擦碰撞加剧, 使生物膜易于脱落, 从而可以控制载体表面生物膜的厚度及其活性. 表 1 表明, 载体浓度增加致使表面积增长对生物量增加的影响 > 由于生物膜变薄而造成的生物量减少的影响.

表 1 载体浓度对生物膜特性的影响^[6]

C_s ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	X ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	δ μm	m_d ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	ρ_d ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-3}$)
35	3.17	92	98	75
50	4.62	89	92	80
106	6.02	65	57	79

注: X 为生物浓度; δ 为生物膜厚度; m_d 为单位质量载体生物量; ρ_d 为生物膜干密度.

3 载体分布和气体流速 u_g

在内循环生物流化床中的载体总量 (W) 由反应区的载体量 (W_r), 沉淀区的载体量 W_s , 沉积于反应器底部的载体量 (W_b) 组成. 对应不同气体流速条件下, 各区的载体分布情况见表 2

表 2 反应器内载体分布

u_g ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	$W = 3.6 \text{ kg}$			$W = 5.0 \text{ kg}$		
	W_r	W_s	W_b	W_r	W_s	W_b
0.85	48	23.6	28.3	—	—	—
1.27	50	23.9	26.1	56.1	23.1	20.8
1.70	51.4	23.9	24.7	58.7	22.9	18.4

从表 2可知,随着气速的增加,反应区中载体量增加,而沉积在反应器底部的载体量下降.同时反应器中各区的载体分布情况不随载体投加量的增加而发生明显的变化,说明气速是影响载体分布的主要因素.适当地增大气速有助于减少沉积反应器底部载体数量,增大反应器的有效容积,提高载体利用率和反应器的处理效果.也有研究表明^[5],内循环生物流化床中氧的传递效率随气体流量的增加而增高,但当气量达到一定水平后,由于液膜内气体浓度梯度趋于稳定,形成平衡,氧传递系数的增加相应减小.而且,过高的气速导致气泡并聚、增大,载体流失,生物挂膜困难等问题.因此,应根据试验确定适合的气体流量.

4 生物膜厚度

在生物膜反应器中,反应器的处理效果很大程度上取决于生物膜的活性,而生物膜的厚度直接影响其活性.有研究者提出了“临界生物膜厚”的概念^[7],认为在一定的生物膜厚范围内,生物膜的活性与其厚度成正比,当生物膜厚超过临界生物膜厚时,生物膜的活性不会增加.因此,为了提高内循环生物流化床反应器的效率,特别是在生物反应器的设计过程中,生物膜的厚度是一个重要参数.

对有机底物在生物膜内的浓度分布研究表明^[8],当生物膜很薄时,生物膜内浓度与液相主体中浓度相差不大,生物膜内的传质阻力小,有利于有机底物扩散到生物膜中.然而由于生物浓度较低,出水有机物浓度高.当生物膜很厚时,膜内外浓度差很大,在生物膜外层有机物浓度急剧下降,而在靠近载体的内层生物膜中,浓度下降得比较缓慢.由此可见,保持一定的生物膜厚度可以大大降低生物膜内有机物或毒物的浓度,提高了反应器抗冲击负荷的能力.然而很厚的生物膜却增大了膜内的传质阻力或使生物载体因密度下降而被冲出反应器,造成处理效果的下降.因此,生物膜过薄或过厚都是不利的.周平等^[8]对生物膜厚度对流化床效果影响的研究结果表明,在内循环生物流化床中,生物膜厚直接影响生物浓度 X 和效率因子 η ,以及 ηX 值.很多研究者还提出了“最佳生物膜厚”的概念^[8],认为将生物膜的厚度控制在最佳生物膜厚左右,反应器的处理效果最佳.然而对于不同载体、底物、容积负荷条件下,其最佳的膜厚度也是不同的.不同研究中的最佳生物膜厚列于表 3

表 3 不同条件下最佳生物膜厚

载体	载体直径 /mm	基质	最佳生物膜厚 / μm
陶粒	0.50~0.71	生活污水	90 ^[6]
陶粒	0.50~0.71	含酚废水	180 ^[8]
多孔聚丙烯酸酯	0.32~0.56	葡萄糖合成废水	140 ^[9]
陶粒	1.0	腐殖酸废水	40~60 ^[10]
石英砂	0.3~1.0	生活污水	100~200 ^[3]
粉煤灰	0.7~0.9	含酚废水	100 ^[11]

从表 3可知,不同试验条件下的最佳生物膜厚度值相差较大,生物流化床在设计和运行时,应参考前人研究结果,进一步试验获得最佳的生物膜厚.

参考文献:

[1] OCHIENG A, ODOYO O, MUTSAGO M. Biological treatment of mixed industrial wastewaters in a fluidized bed reactor[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, B96: 79 - 90.

[2] TJIHUS L. Formation and growth of heterotrophic aerobic biofilms on small suspended partical in airlift reactors [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1994, 44: 595 - 608.

[3] 潘涛, 郭扬善, 王绍棠. 基于床层膨胀特性的生物流化床设计方法 [J]. 中国给水排水, 2000, 16 (6): 28 - 31.

[4] 周平, 何嘉汉, 钱易. 内循环生物流化床反应器载体挂膜特性的研究 [J]. 环境科学学报, 1998, 18 (1): 68 - 72.

[5] 谢澄, 陈中豪, 疏明君, 等. 三相生物流化床的相含率及气液传质性能研究 [J]. 工业用水与废水, 2001, 32 (6): 1 - 4.

[6] 周平, 钱易. 内循环生物流化床处理生活污水的试验研究 [J]. 给水排水, 1998, 24 (10) 28 - 31.

[7] LAMOTTA E J. Kinetics of growth and substrate uptake in a biological film system [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1976, 31: 286 - 293.

[8] 周平, 王世和. 生物膜厚度对流化床反应器性能影响分析 [J]. 环境科学, 1994, 15 (2): 1 - 5.

[9] 潘永亮, 杨平, 何力, 等. 三相流化床中载体表面生物膜形成与膜厚影响因素实验研究 [J]. 四川大学学报 (工程科学版), 2001, 33 (1): 42 - 45.

[10] 钟佳希, 王晖, 郑岛岛. 内循环三相生物流化床的传质特性研究 [J]. 海南大学学报自然科学版, 2000, 18 (4): 353 - 357.

[11] 张金利, 李韦华, 袁兵, 等. 生物流化床法处理高浓度含酚废水的研究 [J]. 化学反应工程与工艺, 2001, 17 (2): 148 - 152.

(编辑 刘彤)