

三相生物流化床内构件的研究进展

李慧莉, 江锦前, 蔡锦潇

(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 生物流化床技术是基于生物膜法的废水生化处理技术, 总结了近年国内外生物流化床技术的研究成果和应用现状, 对三相生物流化床内关键内构件等进行概括, 同时对生物流化床技术的研究和应用前景进行展望。

关键词: 三相生物流化床; 内构件; 研究进展

中图分类号: TQ021

文献标志码: A

文章编号: 1004-0366(2014)01-0113-04

1 内循环流化床

内循环流化床与机械搅拌的生物反应器相比, 具有结构简单, 低能耗, 低剪切力等特点。然而大量的研究工作表明, 内循环生物流化床与传统流化床相比, 体积传氧系数 K_La 较小, 而在反应器内设置内构件可以起到强化混合, 改善气液传质的作用。

许多研究者采用了在内循环流化床的升流区设置的各种静态混合元件、填料及挡板等, 强化气液传质过程。这些固定在管内的混合元件, 使流经其表面的气液流体产生剪切、切割、旋转并重新混合, 造成相界面的连续更新及气体与液体之间的充分接触, 达到流体之间良好的混合与分散的目的^[1]。

肖宏亮等^[2]在空气—水—树脂三相体系中, 从气含率、液相循环速度和氧体积传递系数等方面研究了缩放型导流筒内环流反应器的流体力学与传质性能。结果表明, 与传统圆柱型导流筒相比, 缩放型导流筒的气含率和体积氧传递系数分别提高 8%~10% 以上。许贤华等^[3]的实验结果表明, 分段式导流筒的混合时间 < 鼓泡塔的混合时间 < 不分段式的导流筒的混合时间, 说明了分段式导流筒可以强化混合。陈钺等^[4]研究了具有溢流窗式导流筒及带二次气体分布器的内溢流式工业环流反应器 (容积 40 m³, 高 18.5 m) 的流体力学和传递性能, 据此得到了表观气速、装液量和二次气体分布器对气含率、循环液速、传氧系数等性质的影响, 并给出了各性质

的关联式; 同时建立了描述混合特性的模型; 以面包酵母发酵体系进行了传氧系数的测定, 最大传氧系数达 929.3 h⁻¹。周平等^[5]仿照化工中列管式换热器的结构, 采用多根升流管, 使反应器内的流型更接近 PFR 模型, 废水处理效率可以得到提高。吕效平等^[6]测定和分析了高粘度非牛顿流体在具有静态混合器和机械搅拌的内循环气升式反应器的流体力学性能; 结果显示静态混合器降低了流体循环速度以, 增加了混合时间 T_M 与平均气含率, 对强化传递性能影响不大; 静态混合器不能用于高粘度液体的强化混合与传质。

2 内构件的类型、作用及其特征

生物流化床反应器的内构件可分为横向内构件 (又称水平内构件)、纵向内构件和生物膜填料等。主要作用是破碎气泡, 改善旗鼓接触, 减少返混, 从而提高反应速度和反应转化率。另外, 添加内构件也是传统流化床中改善流化质量和改进气固流动行为的有效方法^[7]。

2.1 横向内构件

横向内构件的显著功能在于: (1) 有效提高反应器滞留污泥能力; (2) 改善流化质量, 破碎气泡, 增强传质。为有效滞留污泥, 许多研究者应用三相分离原理, 在反应器出口前设置内构件, 并对其效能进行了研究。Shreeshivadasan 等^[8]采用上流式厌氧多级反应器 (UASR) 处理大环内酯类抗生素制药废水, 在

收稿日期: 2013-09-03

作者简介: 李慧莉 (1970-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水处理和固体废弃物处理。E-mail: 294058471@qq.com

离每级反应器出口 50 mm 处设置 45° 倾角的三相分离挡板,有效滞留颗粒污泥(5 850 mgVSS · L),保证了反应器的高效稳定运行。

为改善反应器流化质量,实现流体有序流动,可以通过内置导流筒来强化混合与传质^[9]。为进一步减少短流、改善流型和增强传质,近年来,许多研究者对不同内构件进行了整合研究。韦朝海等^[10]通过在内导流筒顶端设置如图 1 所示的漏斗型导流内构件,以改变气液固三相的运动方向来强化反应器的多相混合与传质,提高了反应器的气含率和体积氧传质系数,降低了流动阻力和操作能耗。与不设内构件相比,升流区气含率平均提高 10%,体积传氧系数提高 15%,液相混合时间减少 10% ~ 25%。韦朝海等^[11]还针对内循环流化床液体流化状态的复杂性、相际碰撞的非稳态性以及能量耗散的多因素影响,在流化床底隙区设置十字挡板型内构件,实现了反应器流态由混沌到分离、流体矢量由离散到归一的转变,有效改善了反应器中的流体水力性能。

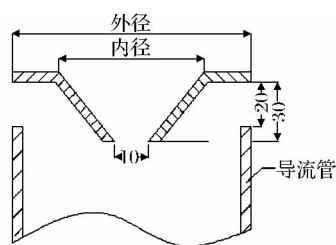


图 1 漏斗型导流内构件结构

Fig. 1 Schematic diagram of funnel-shaped diversion internal structure

金仁村等^[12]在气升式内环流硝化反应器的升流区引入静态混合器,改善了气体分布,增强了氧传递能力。所用的静态混合元件采用矩形不锈钢薄片左旋或右旋 180° 制成。多个左旋和右旋的元件交替相连,并在元件刃口处交叉成 90° 彼此互接成一个整体,置于同一内径的圆管内。当气液混合流体穿过静态混合器时,在元件的强制作用下,流体被多次分割和混合,可阻止气泡聚并,从而强化气液传质性能。

2.2 纵向内构件

生物流化床纵向内构件中最典型的代表即内导流筒,它发展于 20 世纪 50 年代末,主要应用于环流反应器内^[13]。在气升式内循环反应器 ILALR (Internal Loop Airlift Reactor, ILALR) 中,内导流筒具有良好的整流效果。韦朝海等^[14]研究了三重环流反应器(即 3 个长度分别为 300 ITlm, 200 mm,

100 m/n 的导流筒内构件,将导流筒分成三段,形成气、液、固三相三重环流的新型反应器,研究结果表明,采用三重环流的反应器气含率在相同实验条件下较单重环流的反应器高 10% ~ 15%,所需的混合时间少 10% 左右,氧传质系数提高 10% 以上。在上述研究工作基础上,进一步将单管、三重、五重及无穷重管的内导流筒进行比较,发现在面含率 < 10% 的条件下,五重管和三重管的氧传递系数比单重环流高 5% ~ 10%。

国内外研究近况表明,未来纵向内构件会沿着有机整合的多组内构件方向发展,这种多组合式的内构件形式,具有优化流场、减少中间产物抑制、促进相间混合与传质等功能,形成“多级串联,每级理想混合,级际有限混合”的全混流与平推流组合的反应器模型^[15]。

Van Lier 等^[16]在污泥床中设置若干三相分离挡板,开发了一种上流式分段污泥流化床反应器(USSB),整个反应器相当于若干 UASB 反应器的串联组合,反应区被分割成几个区室,每个区室产生的气体分别收集导出。

罗固源等^[17,18]以螺旋升式流化床反应器(SUFR),研究了具有一定倾角的多层叶片导流推动的内构件性能,用 Phoenics 商用软件进行流场模拟分析表明:SUFR 反应器具有明显的平推流特性,相当于 8 个完全混合式与平推流式反应格串联而成,反应器内流体呈螺旋式流动,有利于形成平推流流态,且推流单元与全混流单元间隔排列,推流流态容积占有率达 63%。

此外,西安建筑科技大学近几年来一直致力于造粒生物流化床反应器的研究,袁宏林等^[19]、李志华等^[20]将多组螺旋叶片组合式纵向内构件应用于生物造粒流化床反应器,增强了反应器的混凝、造粒和生物降解等功能。

2.3 生物膜填料

1978 年 Walter 等^[21]在流化床反应器内投加活性炭颗粒,开辟了以生物膜填料作为内构件的先河。20 世纪 80 年代,研究者在生物反应器内放置固定填料作为内构件,同样取得了滞留高浓度厌氧活性污泥的效果,由此研发了厌氧滤器,并拉开了厌氧生物膜法研究和应用的序幕。

20 世纪末,日本研发了泳动床技术,以亲水性丙烯酸树脂纤维(Biofringe)作为半软性填料,利用

生物载体随水流产生的“泳动”效应,提高了生物膜与污水的接触频率并优化了微生物菌群,提高了污水处理的能力与稳定性,其基本构造及工作原理见图 2. 生物载体上附着污泥形成内部厌氧(缺氧)外部好氧的环境,创造了多样化的生境,同时由于生物载体呈放射性状,在反应器的内循环水流与曝气作用下能产生“泳动”状态,增加与污水的接触频率,同时使生物膜能够均匀脱落,优化微生物种群,保持较高的活性;另一方面也延缓了生物膜的老化,避免厌氧层的过分增长,减轻生物膜的大面积脱落. 运行过程中污泥产率(MLSS/COD)为 0.177 5,仅为普通好氧工艺的 50%左右^[22].

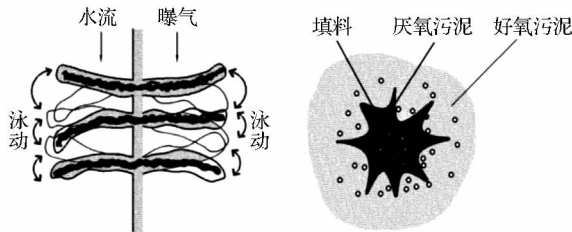


图 2 生物膜填料构造及泳动床工作原理

Fig. 2 Biofilm packing structure and principle of the swimming bed

3 结语

生物流化床具有比表面积大、微生物浓度高、容积负荷率和污泥负荷率高、传质快、耐冲击负荷能力强、净化能力强等特点. 目前,流化床生物反应技术已经在污水处理领域中得到广泛应用,但目前对生物流化床技术的研究大多数都限制于实验跟小规模投产阶段,水质处理效果还并不是非常好,而且其结构和优化设计并不完善. 总结现有的研究成果,今后可在如下方面进行更深入的研究:

(1) 积极研究生物流化床的自动化控制,完善结构优化,加强反应器的放大设计,实行能耗监测;

(2) 深入研究内构件的形状、尺寸、安装位置以及操作条件进一步优化流场,改善流化质量,提升反应器潜能;

(3) 建立内构件几何结构特征与流速、流型转变之间的关联式,以判别内构件结构参数对流化的影响,指导工艺的设计、优化和放大.

参考文献:

[1] 陆振民. 静态混合器的设置[J]. 化学工程. 1994, 22(5): 59-61.

- [2] 肖宏亮. 缩放型导流筒气升式环流生物反应器流体力学与传质特性的实验与理论研究[D]. 广州: 华南理工大学, 1997.
- [3] 许贤华, 郑宗坤. 198L 分段式内循环气升式反应器混合特性的研究[J]. 食品与机械, 1999, 15(3): 15-16.
- [4] 陈钺, 刘光辉, 曹竹安. 内溢流式工业环流反应器的流体力学和传递性能[J]. 化学反应工程与工艺, 1999, 15(3): 243-248.
- [5] 周平, 钱易. 内循环生物流化床反应器的理论分析[J]. 环境科学, 1995, 16(2): 88-90.
- [6] 吕效平, 王延儒, 时钧. 气升式反应器中加装内构件对传递性能的影响[J]. 淮海工学院学报, 2000, 9(1): 33-37.
- [7] 《化学工程手册》编辑委员会. 化学工程手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1987.
- [8] Shreeshivadasan Chellapan, Thomas Wilby, Paul J. Sa1. Iis. Performance of an Up-flow Anaerobic Stage Reactor (UASR) in the Treatment of Pharmaceutical Wastewater Containing Macrolide Antibiotics[J]. Water Research, 2006, 40: 507-516.
- [9] 韩威, 冯朴荪, 沈自求. 气升式环流反应器中气含率的研究[J]. 化工学报, 1985, 36(4): 225-232.
- [10] 韦朝海, 李磊, 吴锦华, 等. 漏斗型导流内构件对内循环三相流化床流体力学与传质特性的影响[J]. 化工学报, 2007, 58(13): 591-595.
- [11] 韦朝海, 李磊. 底隙设置挡板内循环流化床水力特性分析[J]. 化工学报, 2007, 58(10): 2 480-2 484.
- [12] 金仁村, 郑平, 王向东, 等. 改进型气升式内环流硝化反应器氧传递特性的研究[J]. 高校化学工程学报, 2006, 20(1): 40-45.
- [13] 陈甘棠, 王樟茂. 多相流反应工程[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1996.
- [14] 韦朝海, 谢波, 吴超飞, 等. 三重环流生物流化床的流体力学与传质特性[J]. 化学反应工程与工艺, 1999, 15(2): 166-173.
- [15] 陈小光, 郑平, 方佩珍. 废水处理生物流化床反应器内构件研究进展[J]. 中国沼气, 2008, 26(6): 8-12.
- [16] Van Lier J B, Nico Groeneveld, Gatzte Lettinga. Development of the Rmophilic Methanogenic Sludge Compartmentalized Upflow Reactors[J]. Biotech. Bioeng, 1996, 50: 115-124.
- [17] 罗固源, 豆俊峰, 吉芳英, 等. 螺旋升流式反应器脱氮除磷效果及其特性的研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(1): 15-20.
- [18] 季铁军, 罗固源, 王丹云, 等. 螺旋升流式反应器系统较长泥龄时运行效果及其流态释因[J]. 化工学报, 2007, 58(10): 2 163-2 168.
- [19] 袁宏林, 刘永军, 王晓昌, 等. 生物造粒流化床污水处理反应器中微生物生长比较分析[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 973-978.
- [20] 李志华, 王振, 王晓昌, 等. 造粒流化床对不同形态污染物的强化去除[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5): 29-33.
- [21] Walter J. Weber, Massoud Pirbazafil, Gail L. Melson. Biological Growth on Activated Carbon: An Investigation by Scanning Electron Microscopy[J]. Environment Science and Technology, 1978, 12(7): 817-819.
- [22] 张岩, 王永胜, 白玉华, 等. 泳动好氧颗粒污泥新技术处理生活污水的特性研究[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2 249-2 254.

Research and Application of Inner Components of Three Phase Fluidized Bed

LI Hui-li,JIANG Jin-qian,CAI Jin-xiao

(College of Civil Engineering,Lanzhou University of Technology,Lanzhou 730050,China)

Abstract: The biological fluidized bed is a kind of biochemical wastewater treatment technology based on the biological membrane method. An overall summary is made of the current research and application of the biological fluidized bed at home and abroad, the internal components of the bed are generalized, and the prospects of its further research and application are assessed.

Key words: Three phase biological fluidized bed; Internal components; Research progress

(上接第 78 页)

Performance Prediction of a Supercritical Boiler Feed Water Pump Based on Subsection Characteristics and Turbulence Models

YANG Cong-xin,LI Kun

(School of Energy and Power Engineering,Lanzhou University of Technology,Lanzhou 730050,China)

Abstract: With the type CHTZ6/6 supercritical boiler feed water pump as the study model, the 3D model of internal flow passage of the multistage-pump was established. Based on the CFD technology and the large-scale parallel computer, the steady numerical simulation of multi-operating points were conducted. It was shown that the simulated performance parameters of RNG mode obtained at the rated point and at the maximum flow point closely coincided with the experimental ones while the simulation error at the minimum flow point was large. A contrast between rated conditions and low flow condition showed that there were lots of shedding vortexes and rotating stall groups in the flow passage when the third channel center section was under the low flow condition. And then the SST model was used to piecewise calculate the low flow conditions, and when the SST simulation model was below $0.8 q_{v,n}$, the efficiency of the simulations was increased and the numerical error was decreased. Thus, the external characteristic curve that is closer to the real performance of the curve was obtained.

Key words: Multistage pump; Main channel; Numerical simulation; Turbulence models; Performance prediction