

厌氧移动床生物膜反应器侧伸式搅拌装置的试验研究

郑可嘉 杜俊琪

(北京化工大学 化学工程学院, 北京 100029)

摘要: 本文选取三种CBY型桨,对厌氧移动床生物膜反应器中采用的侧伸式搅拌装置进行了深入研究。探讨其最优桨型、安装角度、临界转速及其功率准数,为厌氧移动床生物膜反应器的搅拌装置的设计提供了参考。

关键词: 厌氧; 移动床生物膜反应器; 侧伸式搅拌; 优选

中图分类号: TQ027.36

季民教授等人应用厌氧移动床生物膜反应器处理高浓度有机废水^[1]、冰淇淋废水^[2]、制药废水^[3]的工艺进行了研究,取得良好的效果。Cubas等教授^[4-5]对厌氧序批式反应器进行了研究,表明搅拌保证了污泥充分与基质的混合,显著提高了反应器的效率。侧向搅拌装置在类似于水的流体中进行混匀操作时,比顶部插入式搅拌器在设备投资和操作费用两方面都便宜得多^[6]。对侧伸式搅拌现有的研究多集中于下沉颗粒的研究,对于上浮颗粒的搅拌效果研究的较少,而生物膜反应器中的填料多为密度小于或接近于水的悬浮填料。因此,开展侧伸式搅拌装置对上浮颗粒的搅拌效果研究,用搅拌的方式提高传质效率成为厌氧移动床反应器的研究还是极为必要的。本文以冷模试验为基础,对厌氧移动床生物膜反应器中采用的侧向搅拌装置进行了深入研究,探讨其最优桨型、安装角度、临界转速及其功率准数,为厌氧移动床生物反应器的搅拌装置的设计提供了参考。

1 试验装置及物系

1.1 试验装置

试验在直径2 m,高1.2 m的圆柱形搅拌槽中进行。搅拌槽采用PVC防水帆布和PVC管支架组成,侧向搅拌装置采用机械密封,距离地面高度 h 为0.50 m。

试验过程中快速混合要求搅拌桨可提供足够大的循环流量以缩短混匀时间,而生物膜生长过程则要求流体在搅拌过程中的剪切速率不宜过大。为同

时满足循环流量大、剪切速率低的要求。北京化工大学专利CBY型^[7]轴流式搅拌桨是国内自行开发的一种新型轴流桨,其工业应用日益扩大,但其对于上浮颗粒的搅拌效果的研究较少^[8]。因此,本文采用CBY型桨进行实验。

搅拌装置的主要作用是使漂浮在污水表面的填料能迅速与污水及水底的污泥达到充分的接触,使其表面与污泥中的菌类接触,迅速生长出适应该污水的生物膜,并与污水中的污染物充分接触反应,达到处理污水的作用。因此搅拌装置要兼顾液体表面填料和池底污泥两个方面的混合工作,只能在整个搅拌装置的中部位置。

1.2 试验物系

试验采用清水作为冷模试验的物系,试验中采用的填料的基本构造为圆柱体,比表面积为 $850\text{ m}^2/\text{m}^3$,材料为聚乙烯,密度为 $0.92\sim 0.96\text{ kg}/\text{m}^3$ 。该生物介质相对于其他介质具有更大的表面积,从而使生物附着面积较大,传质效率更高。其多孔性聚乙烯材料使挂膜容易,生物膜更新快,生物活性更高,有利于驯化周期的缩短和处理效率的提高。试验中所用三种CBY桨的尺寸见表1,表中 D —桨叶直径。

表1 桨型尺寸表

Table 1 Sizes of the CBY paddles

| 桨型 | D/mm | 叶片数 | 叶宽/ mm | | 角度/ $^\circ$ |
|-------|---------------|-----|-----------------|----|--------------|
| | | | 端部 | 根部 | |
| CBY-1 | 148 | 3 | 19 | 30 | 35 |
| CBY-2 | 193 | 3 | 100 | 53 | 33 |
| CBY-3 | 185 | 4 | 100 | 56 | 30 |

2 测试方法

2.1 搅拌功率的测定

采用AKC-205型扭矩传感器测定搅拌轴扭矩,

收稿日期: 2006-04-06

第一作者: 女,1981年生,硕士生

E-mail: zhengkj68@163.com

输出电压 0~20 mV。采用西门子 MARO-420 型变频器改变电机的转速并测定对应的频率,DT-22343 型光电测速仪测定搅拌转速。由于电机搅拌器转速和变频器输出频率之间存在着线形关系,本实验测得转速和频率的方程式

$$N = \frac{53.68 \times f + 21.018}{60} \quad (1)$$

式中, N 为转速, (r/s); f 为频率, Hz。

根据扭矩传感器说明书中的曲线得到扭矩

$$M = 0.4949 \times V + 0.0007 \quad (2)$$

由下式计算功率准数

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} - V_0 \quad (3)$$

$$N_p = \frac{M}{N^3 D^5} = \frac{2}{N^2 D^5} \quad (4)$$

$$P = N_p N_{js}^3 D^5 \quad (5)$$

式中, N_p 为功率准数; M 为扭矩, N·m; N 为角速度, 1/s; N_{js} 为临界转速, r/s; P 为临界功率, W; V_0 为空转时输出电压, mV; ρ 为溶液密度, kg/m³ (近似于水取 1000 kg/m³); V_1 为正向输出电压, mV; V_2 为逆向输出电压, mV。

2.2 临界转速的测定

固体填料密度比水略轻, 漂浮在水上, 临界转速的测定为观察法, 即固体悬浮颗粒在液体表面的停留时间不超过 2 s 的转速。

2.3 混合时间的测定

以甲基红为指示剂, 用 H₂SO₄ 和 NaOH 中和显色过程测量不同转速下的混合时间。

3 试验结果及讨论

3.1 三种桨型特性研究

3.1.1 功率准数的测定 将三种桨型在无填充量的情况下进行转速与扭矩关系的测量。测得的数据带入公式(4), 计算得到三种桨叶的功率准数。将其功率准数 N_p 与 Re 之值在双对数坐标纸标绘, 便可得到一条功率准数曲线。三种桨型的功率曲线如图 1 所示。如图可以得到功率准数与雷诺数的关系, 及三种桨型的功率准数, 当雷诺数大于 10⁵ 时, 功率准数曲线基本为一条水平线。将其平均得到三种桨型的功率准数如下: CB Y-1: 0.521; CB Y-2: 0.901; CB Y-3: 1.030。为后续桨型优化及桨型的工业选择提供了理论依据。

3.1.2 混合时间准数的测定 混合时间的测定用酸碱中和法。三种桨型混和时间的比较实验是在清

水介质中进行的。由于混合时间与雷诺数密切相关。

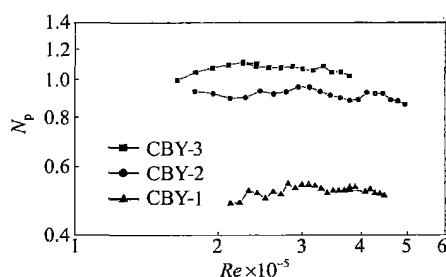


图 1 功率准数与雷诺数的关系曲线

Fig. 1 Relationship between power index and Re

图 2 表明在湍流区, 三种桨型的混合时间准数接近于一个常数。CB Y-3 的混和时间准数最小, CB Y-2 次之, CB Y-1 最大。而且, CB Y-1 和 CB Y-2 的时间准数相差显著, CB Y-2 和 CB Y-3 的时间准数相差不大。将其混合时间准数平均得到三种桨型的时间准数如下: CB Y-1: 314.4 CB Y-2: 153.5 CB Y-3: 137.7。

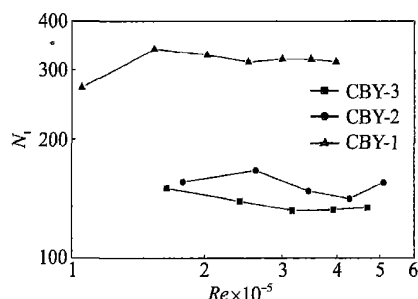


图 2 时间准数与雷诺数的关系曲线

Fig. 2 Relationship between time index and Re

3.2 搅拌装置安装位置的优化

3.2.1 安装角度的优化 试验首先采用 CB Y-1 型桨对侧伸式搅拌装置伸入槽中的偏右角度 α 和向下角度 β 进行了优化试验, 测量其在不同角度和不同填料填充量 C_v 下的临界转速 N_{js} 。根据前人对侧伸式搅拌装置的研究, 试验选择偏右 6~23°, 向下 1~11° 的范围进行优化试验。

由图 3、4 可以看出, 对于该试验物系和装置, CB Y-1 型桨在偏右 15~20°, 向下 5~11° 的条件下能够取得最低的临界转速 N_{js} , 达到能耗与搅拌效果的最优选择。

3.2.2 安装高度的优化 由于液面高度 H 和填料填充量可能对临界转速产生一定的影响, 因此试验还考察了填料填充量 C_v 和液面高度对 N_{js} 的影响。

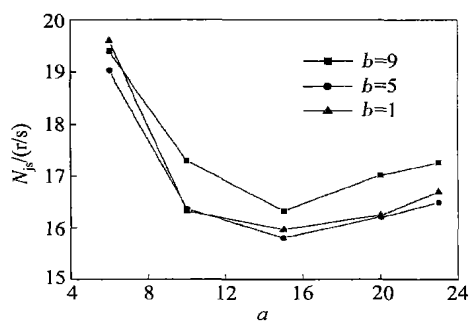


图 3 $C_v = 20\%$ 时 N_{js} 随角度的变化曲线

Fig. 3 Relationship between N_{js} and the angle for $C_v = 20\%$

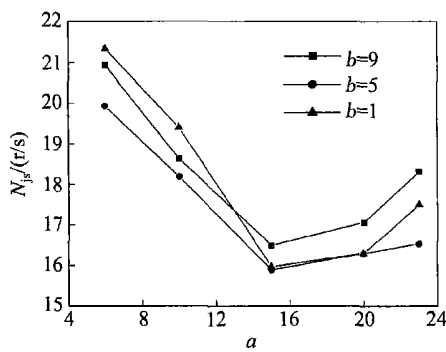


图 4 $C_v = 25\%$ 时 N_{js} 随角度的变化曲线

Fig. 4 Relationship between N_{js} and the angle for $C_v = 25\%$

其结果见表 2。

表 2 不同液面高度及 C_v 对 N_{js} 的影响

Table 2 Effect of different water levels and C_v on N_{js}

| h/H | $N_{js}/(m/s)$ | | |
|-------|----------------|--------------|--------------|
| | $C_v = 15\%$ | $C_v = 20\%$ | $C_v = 25\%$ |
| 0.55 | 13.870 | 15.121 | 15.887 |
| 0.5 | 15.806 | 16.008 | 16.653 |

从表 2 中可以看出 N_{js} 是随 h/H 的减小而加大的。本试验考虑到在实际的厌氧搅拌过程中,要兼顾液体表面填料和池底污泥两方面的混合工作,设置在整个搅拌装置的中部位置。液面高度越高意味着在同等的搅拌效果下电机的能耗越大。因此,搅拌位置选择位于反应器的中部略高为宜。

3.3 三种桨型的优选

3.3.1 三种桨型临界功率的比较 试验中选择了 CB Y-2 和 CB Y-3,与 CB Y-1 型桨叶进行桨型的优选。采用扭矩传感器测量 CB Y-2 和 CB Y-3 型桨叶在其最优角度下的不同填充量的扭矩。将此时的转速与测定的扭矩带入公式(5)计算得三种桨型的临

界功率。下表 3 是三种桨型在不同填料量下的临界转速,由表 3 及图 6 可以看出,在同样的填充量条件下,达到相同的混合效果,CB Y-3 型桨相对于 CB Y-2 型桨消耗的临界功率小 15% ~ 25%。而对于 CB Y-1 型桨,其消耗的功率还略高于 CB Y-3 型桨。在低填料填充量下三个桨型的临界功率相近,当填充率提高 30% ~ 50% 时 CB Y-1 的临界功率最高,CB Y-2 次之,CB Y-3 最小。因此可以判断 CB Y-3 型桨对于该物系的搅拌效果优于另两种桨型。

表 3 三种桨型不同 C_v 下的临界功率 P

Table 3 Critical power of the three agitator paddles at different filling percentages

| C_v | CB Y-1 | | CB Y-2 | | CB Y-3 | |
|-------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | $N_{js}/(m/s)$ | P/kW | $N_{js}/(m/s)$ | P/kW | $N_{js}/(m/s)$ | P/kW |
| 15% | 13.8 | 0.11 | 7.94 | 0.10 | 7.78 | 0.10 |
| 20% | 15.4 | 0.15 | 8.67 | 0.13 | 8.51 | 0.13 |
| 25% | 15.9 | 0.16 | 9.48 | 0.18 | 8.91 | 0.15 |
| 30% | 17.8 | 0.23 | 10.1 | 0.24 | 9.88 | 0.21 |
| 35% | 21.1 | 0.38 | 12.9 | 0.47 | 11.7 | 0.35 |
| 40% | 24.1 | 0.55 | 14.2 | 0.60 | 13.3 | 0.50 |
| 45% | 26.5 | 0.72 | 15.4 | 0.71 | 14.6 | 0.65 |

3.3.2 三种桨型混和时间的比较 根据测得的混合时间准数及功率准数,计算出三种桨型的混合时间随功率变化的曲线。由图 6 所示,在同样的功率下,CB Y-1 型桨所用的混合时间最长,而 CB Y-3 型桨所用混合时间最短。可以看出 CB Y-3 型桨在同样的功率下混合的效果最好。

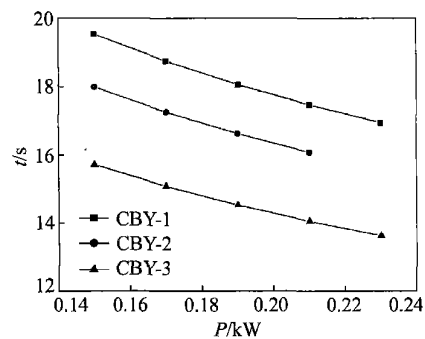


图 5 三种桨型混合时间随功率变化曲线

Fig. 5 Relationship between mixing time and power of the three agitators

3.4 不同填充量下的混合效果研究

图 6 是采用三种桨型在其最佳角度的临界功率与填料填充量的关系曲线。

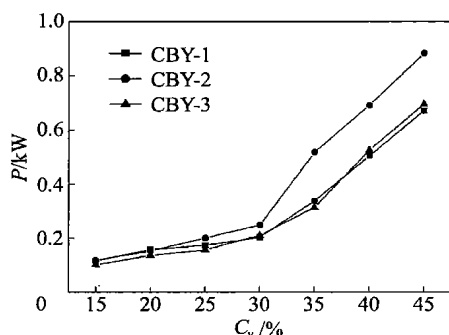


图 6 三种桨型在不同填充量下的功率曲线

Fig. 6 Power curves of the three agitator paddles with different filling percentages

由图 6 可以看出随填料填充率的增加,临界功率不断增加。由图中数据回归出三种桨型临界功率与填充量的方程如下

$$\text{CB Y-1 } P = 2.3909 C_v^{1.7381} R^2 = 0.9183 \quad (8)$$

$$\text{CB Y-2 } P = 3.0999 C_v^{1.9198} R^2 = 0.95 \quad (9)$$

$$\text{CB Y-3 } P = 2.2092 C_v^{1.7517} R^2 = 0.9263 \quad (10)$$

4 结论

(1) 实验测得 CB Y-1, 2, 3 三种桨型的功率准数分别为 CB Y-1:0.521 CB Y-2:0.901 CB Y-3:1.030, 混合时间准数分别为 CB Y-1:314.4 CB Y-2:153.5 CB Y-3:137.7 为工业放大中桨型的选择提供了理论依据。

(2) 实验对搅拌装置的安装角度和位置进行了优化比较,在水平偏角 $= 15^\circ \sim 20^\circ$, 向下偏角 $= 1^\circ \sim 5^\circ$, 搅拌位置选择位于反应器的中部略高为宜, $h/H = 0.55$ 时得到搅拌的最低临界转速。

(3) 实验对三种桨型进行了临界功率和混合时间的比较,得出 CB Y-3 型桨在同样的填充量下临界功率较另两桨型低,混合时间短,优于 CB Y-2 和 CB Y-1 型桨。

(4) 实验对不同填充量下三种桨型的临界功率进行测量,得出临界功率随填料填充量的曲线,回归出方程,为设计提供了参考。

参 考 文 献

- [1] 季民,任智勇,宋亚文. 厌氧-好氧移动床生物膜工艺处理冰淇淋废水的试验研究[J]. 环境工程, 2003, 21(1): 18 - 20.
- [2] 李静,姚传忠,季民,等. 厌氧-好氧组合工艺处理制药废水的试验研究[J]. 工业水处理, 2004, 24(1): 24 - 26.
- [3] 崔洪升,王琳,王宝贞,等. 厌氧-好氧生物膜处理污水、污泥的研究[J]. 中国给水排水, 2002, 18(9): 39 - 41.
- [4] Cubas S A, Foresti E, Rodrigues J A D, *et al.* Influence of liquid-phase mass transfer on the performance of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass[J]. Biochemical Engineering Journal, 2004, 17: 99 - 105.
- [5] Domingues A J, Ratusznei M S, Freitas E, *et al.* Influence of agitation rate on the performance of an anaerobic sequencing batch reactor containing granulated biomass treating low-strength wastewater[J]. Advances in Env Res, 2003, 7: 405 - 410.
- [6] 欧舒 J Y. 流体混合技术[M]. 王英琛,译. 北京:化学工业出版社, 1991: 15 - 18.
- [7] 黄雄斌,王英琛,林猛流,等. 轴流式搅拌器:中国, 92242172.2[P]. 1992-11-30.
- [8] 郑广俭. 采用 CB Y 轴流桨搅拌槽内壁局部传热膜系数的研究[J]. 广西师范学院学报:自然科学版, 2005, 22(1): 42 - 45.

Side cantilever agitators in an anaerobic moving bed bio-film reactor

ZHENG Ke-jia DU Jun-qi

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The action of a side cantilever agitator in an anaerobic moving bed bio-film reactor have been studied by using three different types of CB Y agitator. The optimal design and fixing angle, and the power index and time index have been determined. This work provides useful reference data for the future design of side cantilever agitators in anaerobic moving bed bio-film reactors.

Key words: anaerobic; moving bed bio-film reactor; side cantilever agitator; optimization