

生化工业用 P 型搅拌桨气液混合性能研究

郝惠娣, 伍 星, 孙吉兴

(西北大学 化工学院, 陕西 西安 710069)

摘要:采用搅拌功率测定与氧传递性能试验的方法,对 Parabola 型搅拌桨叶的混合性能进行了研究。通过与 Ruston 桨的对比表明,P 型桨具有如下优点:① 通气搅拌功率不降低,搅拌剪切力小;② 在一定功率输入和通气量下,容积传氧系数较高。因此,P 型桨应用于生物好氧反应的情况是非常有效的。

关键词:搅拌桨;气-液混合;生物化工

中图分类号:TQ027.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2003)05-0558-04

气-液搅拌反应器在生物化工生产中的应用非常广泛。为了生物化工生产的顺利进行,需要有充分的气-液两相接触,以提供丰富的溶解氧,供菌体细胞等生物体的生长代谢。长期以来,生物反应器均采用 6 平叶圆盘涡轮(Ruston 桨)。随着生物技术的不断发展,对于 Ruston 桨已有了新的认识,其主要缺点是剪切力过大,容易造成生物大分子的失活,从而降低反应效率。因而,自 20 世纪 80 年代以来,国际上相继开发出一系列适应生物反应的新型搅拌桨,试图改善反应混合效果,提高生物反应的可靠性与收率^[1,2]。本文着重介绍抛物线型搅拌桨(Parabola turbine,简称 P 型桨)的混合性能,探讨其工业应用的可行性。

1 结构与流动状况分析

P 型桨总体结构与 Ruston 桨基本相同,而叶片做成后弓形,其横截面形状为抛物线,见图 1。

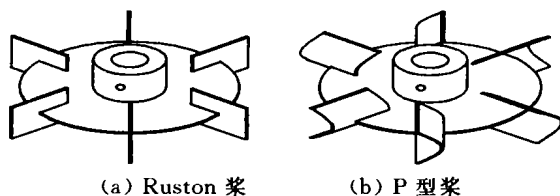


图 1 搅拌桨结构

Fig. 1 The structure of stirring turbine

在搅拌槽气-液混合过程中,不同形式的桨叶会造成流体流动形态的较大差异,从而导致混合与传质性能的异同。从理论上讲,P 型桨具有一定优点。

在 Ruston 桨搅拌槽中,流体与气体在桨叶转动力的作用下,做周向与径向运动,同时在叶片的上下边缘侧后形成一定的负压区,因而产生高速旋转的“气穴”。气穴的形成与发展过程如图 2 所示^[3]。文献^[3]认为,通气量越大,“气穴”尺寸越大,对一般搅拌桨而言,高速旋转的气穴会造成通气后搅拌功率降低,通气量越大,搅拌功率降低越严重。另外,气穴越大,旋转速度越高,造成的剪切力就越严重,这对生物大分子反应是非常不利的。减小气穴,降低剪切速率,是新型搅拌桨开发的重点之一。

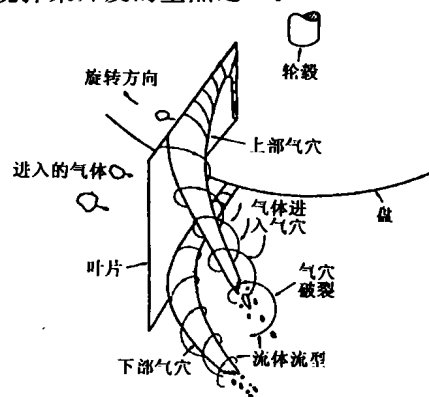


图 2 叶片后部气穴的形成

Fig. 2 The gas cave behind vane

收稿日期:2002-12-12

基金项目:陕西省科技攻关项目(97K10-G2)

作者简介:郝惠娣(1960-),女,北京人,西北大学讲师,硕士,从事化工及生物化工设备研究。

P 型桨叶片的特殊形状,决定了其在搅拌过程中的流体主要从径向流出,沿叶片上下边缘流出的量较少。因此,其上下边缘处产生的气穴较小,气穴旋转速度相对较低,剪切力较低,且通气后搅拌功率几乎不会下降。剪切力低,正是我们所希望的,也是 P 型桨的主要优势所在,有利于生化过程的进行。

2 试验方法

试验在容积为 21.2 L 的透明有机玻璃搅拌槽

中进行。槽径为 300 mm,装液高度为 300 mm,槽壁竖向安装 4 块挡板,挡板宽度为 28 mm。搅拌桨采用 P 型桨和 Ruston 桨,同时进行对比试验。桨叶直径为 150 mm。试验介质为水-空气、亚硫酸钠 (Na₂SO₃) 水溶液-空气。

搅拌桨转速的调节采用日本产“富士通用逆变器”,同时用数字测速仪测量转速;搅拌功率的测量用扭矩传感器与扭矩功率测量仪来完成;容积传氧系数采用亚硫酸钠氧化法进行测量^[1]。采用无油气体压缩机对搅拌槽通气,转子流量计测量气体流量。

表 1 搅拌功率 $P_0 \cdot V_L^{-1}, P_g \cdot V_L^{-1}$

Tab. 1 Stirring energy $P_0 \cdot V_L^{-1}, P_g \cdot V_L^{-1}$

W · m⁻³

N/ r · min ⁻¹	v=0		v=0.5		v=0.9		v=1.3	
	$P_0 \cdot V_L^{-1}$		$P_g \cdot V_L^{-1}$		$P_g \cdot V_L^{-1}$		$P_g \cdot V_L^{-1}$	
	P 型桨	Ruston 桨	P 型桨	Ruston 桨	P 型桨	Ruston 桨	P 型桨	Ruston 桨
100	53.68		56.93		58.42		58.27	
150	178.59	285.70	183.18		183.63		182.37	
200	416.30	677.21	416.31	643.18	409.38	435.94	415.40	328.72
250	820.83	1 322.66	807.28	1 113.24	835.18	945.70	804.32	778.16
300	1 390.66	2 285.75	1 404.29	1 984.28	1 422.81	1 742.80	1 418.07	1 501.31
350	2 199.55	3 629.40	2 270.07	3 218.93	2 256.07	2 890.54	2 219.08	2 562.16
400	3 310.41	5 417.20	3 459.55	4 880.58	3 341.42	4 452.42	3 195.45	4 024.26

3 试验结果与讨论

3.1 搅拌功率

分别测量 P 型桨与 Ruston 桨在不同转速与通气量时的搅拌功率,其数据如表 1。

3.1.1 未通气时搅拌功率与转速的关系 将未通气时的搅拌功率 ($P_0 \cdot V_L^{-1}$) 与搅拌转速 (N) 关系绘成图 3。

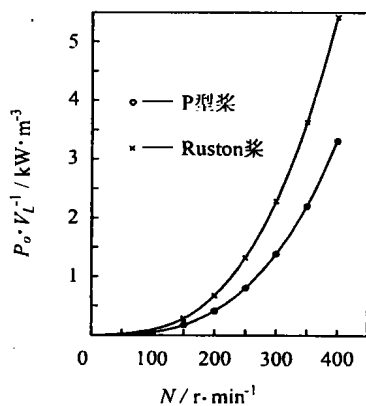


图 3 搅拌功率与转速关系

Fig. 3 Relation between stirring energy and rotational speed

由图 3 可见,搅拌功率随搅拌轴转速的增加而

增加,搅拌功率与转速成指数关系。采用数据处理软件“MATLAB6.1”进行曲线拟合,得出搅拌功率与转速的关系,即功率方程:

$$P \text{ 型桨 } P_0 \cdot V_L^{-1} = 5.2 \times 10^{-5} N^3;$$

$$Ruston \text{ 桨 } P_0 \cdot V_L^{-1} = 8.5 \times 10^{-5} N^3.$$

由此可见,在相同转速下,P 型桨搅拌功率较 Ruston 桨要小,是其值的 61%。搅拌功率与搅拌容积成正比,容积越大,搅拌功率越大。另外,分析表明物料的性质,如密度、粘度对搅拌功率也会有影响,其影响规律有待进一步研究。

3.1.2 通气后搅拌功率的变化规律 根据表 1 数据,计算通气搅拌功率 P_g 与未通气搅拌功率 P_0 二者的比值 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 。绘制 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 与转速 N 的关系曲线,见图 4。绘制 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 与表观气速 v 的关系曲线,见图 5。

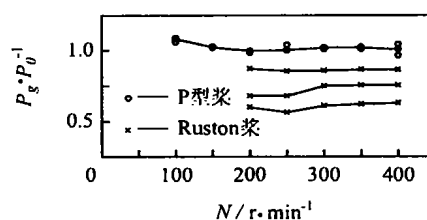


图 4 比功率与转速关系

Fig. 4 Relation between $P_g \cdot P_0^{-1}$ and rotational speed

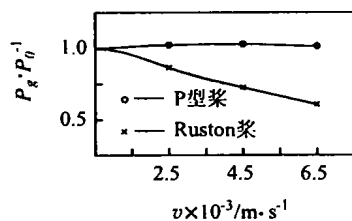


图 5 比功率与表观气速的关系

Fig. 5 Relation between $P_g \cdot P_0^{-1}$ and v

图 4 表明,在一定表观气速下,通气搅拌功率 P_g 与未通气搅拌功率 P_0 的比值 $P_g \cdot P_0^{-1}$,与搅拌转速的关系基本上是水平直线,这表明 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 随搅拌转速变化不明显。

由图 5 可知,比值 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 与表观气速 v 的关系因桨型不同而各异。Ruston 桨 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 随 v 的增加而降低,而 P 型桨 $P_g \cdot P_0^{-1}$ 则不随 v 的增加而降低。由此可预见,搅拌时 P 型桨叶片后所产生的气穴旋涡很小,不足以引起搅拌功率的降低,这说明 P 型桨的搅拌剪切力小,对生物反应非常有利。

3.2 容积传氧系数 K_{La}

分别测量了 P 型桨与 Ruston 桨,在不同通气量与搅拌转速条件下的容积传氧系数 K_{La} 。分别绘出 K_{La} 与 v 和 N 的关系图,如图 6,7 所示。

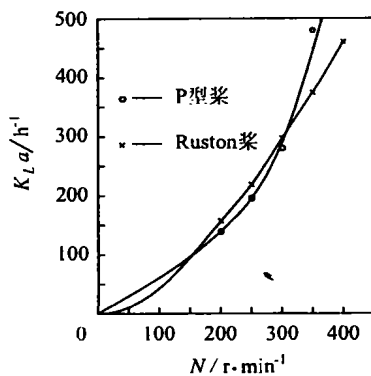


图 6 容积传氧系数与转速关系

Fig. 6 Relation between K_{La} and N

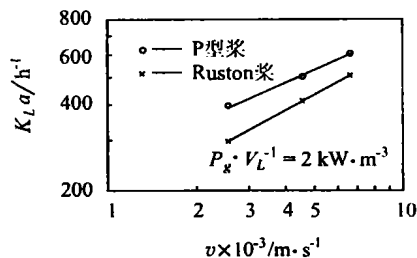


图 7 容积传氧系数与表观气速关系

Fig. 7 Relation between K_{La} and v

由图可见,容积传氧系数 K_{La} 随表观气速 v 和搅拌转速 N 的增加而增加, v, N 越高, K_{La} 越大。 K_{La} 与 v, N 成指数关系。

绘出体积搅拌功率与容积传氧系数关系图 8。由图 8 可见, $P_g \cdot V_L^{-1}$ 越高, K_{La} 越大,二者成指数关系。采用数据处理软件“MATLAB6.1”进行数据拟合,得出拟合曲线,即容积传氧系数方程:

$$P \text{ 型桨 } K_{La} = 24.68 v^{0.46} (P_g \cdot V_L^{-1})^{0.73};$$

$$Ruston \text{ 桨 } K_{La} = 114.6 v^{0.56} (P_g \cdot V_L^{-1})^{0.56}.$$

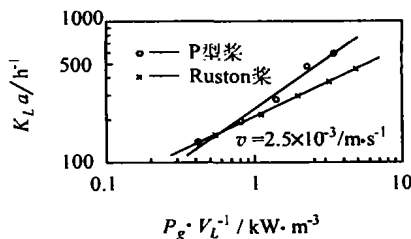


图 8 容积传氧系数与搅拌功率关系

Fig. 8 Relation between K_{La} and $P_g \cdot V_L^{-1}$

由此可见,在相同搅拌功率输入条件下,P 型桨容积传氧系数 K_{La} 高于 Ruston 桨。即 P 型桨具有低能耗,高传氧效率的特性。

4 结 论

采用试验的方法,对 P 型桨气-液混合进行了初步的研究,得出结论如下:

- 1) 由试验结果拟合了功率方程和容积传氧系数方程两组方程;
- 2) 论证了 P 型桨具有低能耗、高传氧特性、低剪切力型的桨叶,应用于生物好氧反应的情况下,是非常有利的。

今后,将进一步研究 P 型桨在非牛顿流体系统中的混合性能,以适应更加广泛的生物化工生产过程。

符号说明

- K_{La} ——容积传氧系数, h^{-1} ;
- N ——搅拌轴转速, $r \cdot s^{-1}$;
- P_0 ——未通气时搅拌功率, W ;
- P_g ——通气后搅拌功率, W ;
- v ——表观气速, $m \cdot s^{-1}$;
- V_L ——搅拌槽内液体体积, m^3 。

参考文献:

[1] 高孔荣. 发酵设备[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1996.

- [2] [日]山根恒夫.生化反应工程[M].周 斌译.西安:西北大学出版社,1991.
- [3] HARNKY N, EDWARDS M F, NIEROW A W. Mix-

ing in the Process Industries Butterworths[M]. New York: Reinhold Publishing Corp, 1975.

(编辑 姚 远)

The mixing characteristics of Parabola turbine used in biochemical engineering

HAO Hui-di, WU Xing, SUN Ji-xing

(College of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: The mixing characteristics of Parabola turbine have been studied by experiment. Compared with Ruston turbine, Parabola turbine has many advantages: ① stirring energy is not reduced, while gas is through in; shearing stress is little; ② on constant energy and gas velocity, K_{La} is higher. Therefore, Parabola turbine must be very efficient in biochemical engineering.

Key words: stirring turbine; gas-liquid mixing; biochemical engineering

(上接第 549 页)

参考文献:

- [1] 陈 平, 张 岩, 石 岩, 等. 潜伏性环氧树脂体系固化反应动力学参数的特征研究[J]. 复合材料学报, 1999, 16(1): 52-57.
- [2] 吴晓青, 魏俊富, 李嘉录. 差示扫描量热法研究改性双马来酰亚胺的固化过程[J]. 复合材料学报, 1999, 16(2): 34-38.
- [3] 陈继荣, 王井岗, 焦扬声. 改性双马来酰亚胺树脂的固化工艺研究[J]. 玻璃钢·复合材料, 1998, (3): 7-8.
- [4] 陈立新, 王汝敏, 蓝立文. 液晶环氧/双马来酰亚胺共聚体系的研究[J]. 材料科学与工程, 2001, (1): 34.
- [5] 高家武. 高分子材料热分析曲线集[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

(编辑 张银玲)

A study on cure reaction of BMI/Diamine/Liquid Crystalline Epoxy

FANG Qiu-xia¹, CHEN Li-xin²

(1. Department of Chemistry, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. Department of Chemistry, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The thermally initiated solidification technology of BMI/Diamine/Liquid Crystalline Epoxy is monitored by different scanning calorimetry (DSC), and kinetic parameters are obtained by Kissinger and Crane method; solidification technology is determined by solidification degree. It is showed that complete solidification can be obtained under the condition that when temperature is 90°C, it needs one hour; 120°C, two hours; 150°C, one hour; 180°C, two hours respectively.

Key words: BMI/diamine/liquid crystalline epoxy; solid kinetics; solidification