

新型搅拌桨在大型发酵罐中的应用

王 展¹ 尹应武²

1(清华大学机械工程系 北京 100084) 2(清华紫光英力技术有限公司 北京 100084)

摘 要 针对传统大型发酵罐中存在的混合性能差、能耗大等缺点,采用一种新型轴流式搅拌桨——英力桨,改进了传统的设计,并结合凹面叶涡轮桨的组合应用来获得较好的气液分散和整体混合效果。

关键词 轴流搅拌桨 搅拌器

英力桨为清华紫光英力技术有限公司最新开发的轴流式搅拌桨,是基于船用螺旋桨理论并结合流体力学的原理而开发设计的,其叶片的下边缘有独特的波纹边设计,以增加涡流搅拌的强度。

发酵工业中大多数产品(如抗生素、味精、酶制剂等)是在发酵罐中通过深层发酵而得到的。虽然目前有各种各样的发酵罐,如自吸式、液提式、气升式,但发酵工厂用得最多的还是传统的通用发酵罐。一个性能优良的发酵罐首先要能为菌株提供良好的生长和代谢环境,提高发酵单位,此外发酵罐的能耗越小越好,因为发酵罐的功率较大,如 50 m³ 的通用发酵罐搅拌功率约需 75 kW,发酵周期长,所以能耗费用在产品成本中往往占相当大的比例。目前,传统的通用发酵罐均采用径向流动方式的圆盘涡轮桨,其主要缺点是全罐的混合性能差,能耗大,目前国内外很多人主张将圆盘涡轮桨全部或局部改为轴流式搅拌桨,自 20 世纪 80 年代以来,美国 Cheminer 公司和英国 APV 公司先后进行了轴流式发酵罐的研究和实践,其产品已开始进入中国市场。

1 单个英力桨和涡轮桨性能的比较

为使发酵菌株在合适的环境条件下充分显示其优越性,发酵过程中需实现发酵罐中培养基成分浓度、温度和 pH 等的均匀,同时还需要气液接触充分,以提供足够的溶氧。发酵罐内设置搅拌的首要作用是打碎气泡,提高气液接触面

积,以提高气液间的传质速率,其次是为了使发酵液充分混合,并使发酵液中的固形物料保持悬浮状态。不同型式的搅拌桨打碎气泡的能力及流体混合的效果不一样。因此,体积氧传递速率、混合性能及能耗是评价一个搅拌桨好坏的重要指标。

圆盘涡轮桨的结构形式有直叶式、弯叶式和箭叶式,叶片数量 3~8 个,常用的为 6 个。在相同的搅拌功率下打碎气泡的能力,直叶大于弯叶,弯叶大于箭叶,但其翻动流体的能力正好相反。山东菱花集团 75 m³ 的味精发酵罐原先采用的是六弯叶圆盘涡轮桨。英力桨是基于船用螺旋桨理论并结合流体力学的原理而开发设计出的一种新型轴流搅拌桨,它的叶片采用类似机翼的断面,叶型参数如拱度比、沿直径方向的螺距、弦长、叶宽等是变化的,叶片的下边缘有独特的波纹边设计,波纹边在提高投影覆盖率的同时也增加了涡流搅拌的强度,并且其流线型的设计不会带来额外的功耗。它不同于传统的推进式叶轮,后者叶片宽度较窄,投影覆盖率约 5%,对气流的控制能力差,容易造成液泛,因此并不适用于发酵中的气液分散。

1.1 混合性能

英力桨的结构与涡轮桨明显不同,它能使液体同时产生径向和轴向流动,主体循环量增大,有利于罐内发酵液混合均匀,而涡轮桨却在罐内形成以盘面为界的上下 2 个循环区,全罐混合性差。经实验室研究,无通气条件下,在水或 CMC

第一作者 硕士生研究生。

收稿时间 2003-11-13

水溶液中 相同单位体积功率下 ,单个英力桨的混合时间是涡轮桨的 1/3。通气条件下 ,涡轮桨功率下降幅度较大 ,从而降低了搅拌效果 ;而英力桨独特的叶型设计尽量消除了桨叶后的气漩 ,保持了功率的恒定 ,从而获得了良好的混合效果。总之 ,在通气和非通气的情况下 ,英力桨的混合效果都好于涡轮桨。

由英力桨排出流中流体速度分布 ,计算得到英力桨的泵送系数 $N_{qd} = 0.75$,其泵送效率为 : $N_{qd}/N_q = 0.67$,而涡轮桨的泵送效率为 0.14^[1] ,这说明英力桨具有较好的混合效果。

1.2 流体剪切速率

搅拌桨产生的流体剪切速率大小对打碎气泡有较大影响。作为推进式桨的一种 ,英力桨产生流体的最大剪切速率 γ_{max} 和平均剪切速率 γ_{av} 是叶轮转速 N 的函数 ,与叶轮的直径 D 无关 ,最大剪切速率大约是平均剪切速率的 2 倍 ,并有如下关系^[1] :

$$\gamma_{max} = 0.113N$$

$$\gamma_{av} = 0.056N$$

涡轮桨产生流体的最大和平均剪切速率关系^[1]为 :

$$\gamma_{max} = 3.15ND$$

$$\gamma_{av} = 0.25N$$

涡轮桨产生流体的最大剪切速率不仅是叶轮转速的函数 ,也是叶轮直径的函数 ,其数值比英力桨大得多。涡轮桨产生的高剪切速率有利于打碎气泡 ,对提高氧传递速率有利 ,但剪切速率分布很不均匀 ,在桨叶端附近过大的剪切速率对剪切敏感的菌体(如一些丝状菌体)有伤害 ,严重时会使发酵过程恶化。

1.3 传质系数

许多好氧发酵情况下 ,菌株对溶氧要求较高 ,因此维持较高的溶氧 ,对增加发酵单位非常重要 ,而氧在发酵液里的溶解度很低 ,传氧的关键是空气向液体的传递。空气通常由 1 根通向罐底中心的管进入液体中 ,考虑到清洗方便 ,工业发酵罐一般不加空气分布器 ;由于通气量相当大 ,空气自管中出来后 ,气泡不可能为单个 ,而是

成串产生 ,形成气泡群 ,气泡的直径较大。为有利于气泡中的氧溶于发酵液中 ,要求气液两相的接触面积越大越好。涡轮桨打碎气泡的效果比英力桨好 ,因此在相同的转速下 ,涡轮桨的体积氧传递系数 K_{La} 要比英力桨高。提高英力桨的转速 ,流体湍流度增大 ,剪切速率提高 ,会提高 K_{La} 。如果提高英力桨转速直至达到与涡轮桨相同的搅拌功率时 ,英力桨体积氧传递系数 K_{La} 要略高于涡轮桨。

很多研究^{2,3]}表明 ,在湍流条件下 ,不论何种搅拌桨 ,氧的 K_{La} 基本相同。

$$K_{La} = A(\epsilon_T)(\nu_s)^{\beta}$$

式中 A α β 为与溶液性质有关的常数 ; ϵ_T 为通气条件下单位体积能耗 $\epsilon_T = P_g/V$; P_g 为通气功率 ; V 为发酵液的体积 ; ν_s 为气体的表观粘度。

在相同搅拌功率下 ,英力桨体积氧传递系数 K_{La} 要略高于涡轮桨。

1.4 能 耗

搅拌功率与搅拌桨一定半径上的断面阻力系数成正比 ,从流体力学的理论分析可知 ,涡轮直叶断面的阻力系数远大于英力断面的阻力系数。

理论研究^{4]}表明 ,涡轮桨阻力系数 C_D 约为 2.0 ,英力桨阻力系数 $C_D = 2\pi\alpha\sin\alpha$ (α 为英力攻角 β 为英力螺旋距角) ,由机翼理论研究结论及应用可知 ,对于一个良好的英力轴流桨而言 ,在典型半径 0.7R (R 为桨的半径)处 ,通常 $\alpha = 3^\circ$ $\beta = 20^\circ$,由此算得 $C_D = 0.113$,此值仅为直叶桨的 1/18 ,沿着半径方向 ,由于 α β 变化很小 , C_D 的变化也很小。

搅拌桨的功率 P 可用下式计算 ,

$$P = 2\pi n \int C_D \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot (2\pi r)^2 h r dr$$

式中 , n 为转速 ; r 为半径 ; ρ 液体密度 ; h 为桨高度 ; C_D 为阻力系数。由此可见 ,英力桨的功率远小于直叶涡轮桨功率。

在高雷诺数下 ,英力桨功率准数约为 1.0 (不同结构的英力桨其值可能有微小差异) ,而涡轮桨在湍流状态下功率准数 5.0~6.0 ,这也说

明英力桨的搅拌功率较小^[3]。

2 轴流式通用发酵罐及存在的问题

工业上为了提高生产效率,发酵罐的体积一般较大,国内外 200 m³ 发酵罐已很普遍,因此工业发酵罐需多层搅拌。图 2 为传统的通用发酵罐。图 3 为轴流式通用发酵罐。图 3(a)是将涡轮桨全部改为英力桨,图 3(b)保留最下一层搅拌桨仍为涡轮桨,其余改为英力桨。轴流式通用发酵罐与传统的通用发酵罐相比,全罐的混合效果提高了,并且功耗大幅降低。

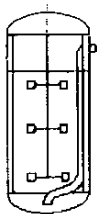


图 2 涡轮桨

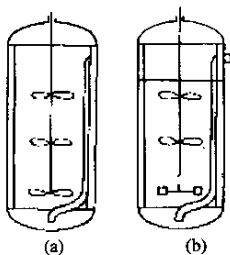


图 3 轴流式通用发酵罐

在工程实践中,我们选择图 3(b)作实际应用,因为在最下 1 层涡轮桨靠近出气口,对气泡的打散起着最为关键的作用,所以仍然选择剪切力较强的涡轮桨,在获得良好剪切效果的同时还避免了液泛的产生。

在山东菱花集团的 75 m³ 发酵罐的改造中,我们参照国外文献,自行设计了分散性能优越的凹面叶涡轮桨,将之作为靠近进气口的第 1 层搅拌桨,详细情形不在本文描述。通过凹面叶涡轮桨和上两层英力桨的组合使用,较好地完成了大型发酵罐的改造任务。

3 改造结果

经过改造,对连续 10 罐 75 m³ 发酵罐中反应物料的理化指标进行记录和分析,乳酸含量从原来的 1.1% 左右下降到 0.1% 这一极低的数字。乳酸是溶氧不足的产物,乳酸含量的下降就扩大了谷氨酸产率提高的空间。同时搅拌桨桨径由 1.8 m 扩大到 2.2 m,提高了发酵液的湍流系数,但搅拌功耗却有 10% 的下降。

经过工艺参数的调整,谷氨酸发酵的终产物含量有望从 9.7% 提高到 10.7%,每年可在原有年产 10 万 t 味精的基础上多产出 1 万 t,年新增效益 5 700 万元,同时每吨味精生产所需功耗还会有可观的降低,每年节能约 300 万 kW·h,节能的费用相当于 1/2 的技术改造的投资。

参 考 文 献

- 1 Weetman R, Oldshue J Y. 6th European conf on Mixing [C]. Paria, Italy, 1988. 43
- 2 Dawson M K. The influence of agitator type on fluid dynamics and oxygen mass transfer in a pilot scale vessel [D]. University of Birmingham. UK, 1993
- 3 Whitton M J, Nienow A W. Scale-up correlations for gas hold-up and mass transfer coefficients in stirred tank reactors [C]. 3rd Int conf on Bioreactor and Bioprocess Fluid Dynamics, 1993. 135~145
- 4 吴望一. 流体力学(下册). 北京:北京大学出版社, 1983

Deployed of New Type Agitator in Large-scale Fermentation Tank

Wang Zhan¹ Yin Yingwu²

¹(Department of Mechanical Engineering , Tsinghua University , Beijing , 100084)

²(Ziguang Yinli Inc. , Beijing , 100084)

ABSTRACT A new type YL agitator is deployed in large-scale fermentation tank to raise the performance of mixing and reduce the power cost. And this agitator is combined with concave turbine to get better effect of gas-liquid mixing.

Key words mixing , agitator

我国浓缩苹果汁出口再创新高

市场动态

据海关最新统计数字显示 2003 年我国浓缩苹果汁出口再创历史新高 , 一举突破 40 万 t , 达到 41.7 万 t , 同比增长 41 % ; 出口创汇 2.54 亿美元 , 同比增长 47 % 。 2003 年中国果汁出口的快速增长得益于以下 4 个方面 :

(1) 我国浓缩苹果汁生产规模快速增长。 2003 年我国浓缩苹果汁行业加工能力在 10t/h 以上 (含 10t/h) 的生产线总加工能力超过 1 800t/h , 增幅为 40 % , 新增生产能力 540t/h 。 出口份额目前占到了世界果汁贸易量份额的近 50 % 。

(2) 我国浓缩苹果汁成分较低 , 且“物美价廉”具有国际竞争优势。

(3) 国际市场需求增长较快 , 尤其是美国大量进口中国浓缩苹果汁 , 2003 年美国国内消费量达到 40 多万 t 。 而美国的自产量由于受生产成本限制却在逐年降低 , 每年只有 10 多万 t 。 目前 , 中国是美国最大的浓缩苹果汁供应国 , 2003 年美国共从我国进口了 16.37 万 t 的浓缩苹果汁 , 比 2002 年同期增长了 97 % ; 出口金额达 1.04 亿美元 , 同比增长了 81 % 。

(4) 国际市场培育出中国果汁的品牌效应。质量好、价格低的“果汁中国造”已经越来越受到美国、欧洲、日本、澳大利亚等国客户的青睐。 可口可乐、可果美等国际大公司多次来我国考察并订购苹果浓缩汁 , 2003 年仅出口美国、德国、日本、澳大利亚等主要国家市场的果汁就达 30 多万 t 。

据有关专家指出 , 2004 年我国浓缩苹果汁的出口仍将持续增长。主要原因是 , 我国浓缩苹果汁行业历经 4 年多应对美国的反倾销官司 , 于 2003 年 11 月 20 日以我国 10 家企业的最终胜诉而大获全胜。 2004 年 2 月 10 日 , 美国商务部根据美国国际贸易法院的终裁 , 签署了新的反倾销修正令。这不仅意味着持续 4 年多 , 耗资数千万的反倾销官司尘埃落定 , 更意味着我国浓缩苹果汁的出口将跃上一个新台阶。

政策、法规、标准
禽流感检测新
国标出台

北京检测检疫局主持提出的荧光 RT-PCR 检测禽流感病毒系列方法 , 近日通过国家标准化管理委员会审定 , 这意味着我国禽流感检测方法有了新的国家标准。

据国家标准委有关负责人介绍 , 目前我国普遍采用的禽流感检测方法是世界动物卫生组织推荐使用的鸡胚病毒分离法。这种方法虽然精确 , 但缺点也很明显——耗时过长 , 从提取样品到最终出具结果 , 最少需要 21d 的时间。近日通过审定的新方法 , 是利用分子生物学手段 , 检测高致病性禽流感病毒核酸 , 无需作鸡胚病毒分离培养 , 可将检测时间由原来的 21d 缩短为 4h 。 2004 年 1 月 8 日 , 这一方法通过了国家质检总局组织的项目鉴定。