

机械搅拌通风发酵罐的节能设计

徐清华^{1,2}, 马歌丽¹, 王建松³

1(郑州轻工业学院, 河南 郑州, 450002) 2(广东轻工职业技术学院, 广东 广州, 510300)

3(瓯龙生化工程设备有限公司, 浙江 温州, 325024)

摘要 在机械搅拌通风发酵罐设计和改造过程中, 从构造原理上强化其溶氧过程和降低发酵的能耗是一个值得研究和探讨的问题。生产实践表明, 用由喷嘴、混合管和循环管组成的射流混合器来强化机械搅拌通风发酵罐的第一次气体分散, 使搅拌器的层数减少是机械搅拌通风发酵罐提高溶氧效果、降低能耗的一种有效办法。

关键词 发酵罐, 机械搅拌器, 射流混合器, 节能

随着我国生物技术行业的蓬勃发展, 发酵罐日趋大型化。对于抗生素、谷氨酸、柠檬酸酵母等发酵工业生产用的大型通风发酵罐来说, 氧溶解速度往往成为好氧发酵过程的限制因素。目前我国普遍采用的标准式机械搅拌通风发酵罐通常是采用加大通风量、加强搅拌的方法来达到提高溶氧系数的目的, 但实际生产中获得的效果并不很理想, 表现为氧利用率较低、能耗高。据数据统计表明, 用于机械式搅拌所消耗的能源占发酵全过程的 50% 左右。随着高产菌株的不断使用, 标准式机械搅拌通风发酵罐的构造已难以满足对溶氧速率愈来愈高的要求和节能要求。因此, 如何保证在有良好的气液接触和液固混和性能等发酵要求的前提下, 尽量减少机械搅拌及通气过程所消耗的动力, 更有效、更合理地设计发酵罐, 无疑对改造老发酵罐, 设计新发酵罐具有重大的意义。本文将结合国内近年的研究成果和本人的生产实践就发酵罐设计中解决溶氧和节能 2 个技术问题进行探讨。

1 国内外发酵罐的溶氧和节能方法

近年来, 国内外研究者为了解决通风发酵过程的溶氧和节能问题提出的通风发酵罐种类很多, 据报道, 近几十年来已开发了气升式、自吸式、喷射式、筛板塔式等若干新型发酵罐, 有的已标准化并用于工业生产, 有的还未标准化, 更有一些仍在研究和开发阶段, 发展的主要趋势之一是从机械搅拌过渡到气流搅拌, 而改进的核心是提高传氧系数和节约能量^[1]。如按气泡分散所需能量的输入方式的不同可将发酵罐分为下列 3 大类。

(1) 利用机械搅拌输入能量

这类发酵罐是目前使用最广泛的发酵罐, 其典型代表是通用式机械搅拌发酵罐和自吸式发酵罐。在这类罐内气体在液相中受到 2 次分散。一次分散由气体分布管粗略完成; 二次分散由机械搅拌器的涡流剪切来完成。据生产实际统计, 这种罐气体分散的能量利用率较低。

(2) 利用气体输入能量

这类发酵罐主要通过喷嘴和内外环流管配合或筛板来分散气体, 无机械转动部件, 自 1980 年代开始有较多机构对其进行研究, 其的典型代表是气升式发酵罐^[2,3]。

(3) 采用泵送液体输入能量

这类罐的典型代表是采用两相射流混合器的射流气泡塔。两相射流混合器是该类罐的气体分散装置, 射流混合器的最大优点是具有很高的氧传质系数和传质面积。目前存在的问题是液体射流需要的能量由泵提供, 而泵入的液体含气量多, 易造成泵气蚀, 必须采用特殊的泵, 并且泵易损伤细胞和易造成污染, 迄今在发酵实际生产中仍不多应用^[4]。

国内外研究结果表明上述 3 类发酵罐的溶氧速率和能耗各不相同, 比较情况如下:

(1) 在通常操作条件下的溶氧传质系数 K_L 为:

气升式发酵罐的 K_L ($0.02 \sim 0.1 \text{ s}^{-1}$) < 机械搅拌罐的 K_L ($0.02 \sim 0.3 \text{ s}^{-1}$) < 射流气泡塔的 K_L ($0.06 \sim 0.4 \text{ s}^{-1}$)。

(2) 若就单位体积能耗而言则有:

机械搅拌罐 P_g/V > 射流气泡塔 P_g/V > 气升式发酵罐 P_g/V 。

通过比较可以看出两相射流混合器是最好的气体分散装置, 比其他分散方式具有最大的气液接触面

第一作者: 在读硕士研究生, 副教授。

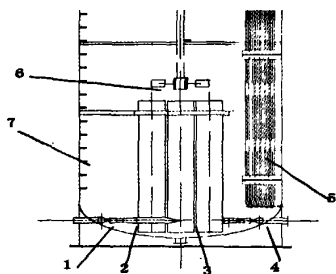
收稿日期: 2008-10-13

积,又不致增加太多能耗。

2 机械搅拌通风发酵罐节能结构

2.1 射流混合器与机械搅拌器结合使用

通过分析比较各种发酵罐的生产效果可看出,各种罐都有其自身优缺点。机械搅拌通风发酵罐是目前通风发酵最广泛使用的发酵罐类型。具有使用经验丰富、放大规律可靠、容易实现最优化操作和可通过灵活调节搅拌转数或通气量来满足不同发酵阶段对氧的需要量的优势,并可获得远比气升式发酵罐高的 K_L 值,但能耗大,发酵操作成本高。射流气泡塔在相同能耗下比其他罐型具有较大的 K_L 值,但是它的外部泵送和循环系统易使发酵液受到杂菌污染和使细胞损伤,此外由于罐内没有二次气体分散装置,在通风发酵罐容积不断增大、罐身直径随之增大和气泡聚合严重(例如在加有消泡剂时)的情况下,很难仍然保持较高的 K_L 值。通过深入研究,可以发现通过技术改造可将射流气泡塔的射流混合器应用到机械搅拌发酵罐中,与机械搅拌器协同作用,优势互补,是获得溶氧提高能耗下降的有效途径。具体做法是采用气体作射流介质的气体射流混合器来取代机械搅拌罐传统的气体分布管,利用射流混合器以强化通风搅拌罐的第1次气体分散,既可以增大 K_L 值,又可以减小第2次搅拌分散的负担从而提高溶氧降低能耗,如图1所示。



1—喷嘴 2—混合管 3—循环管 4—环形无菌空气总管
5—冷却装置 6—搅拌器 7—发酵罐罐体

图1 机械搅拌通风发酵罐的节能结构

2.2 气体射流混合器

气体射流混合器由喷嘴、混合管和循环管组成,喷嘴采用缩放喷嘴,直径20~30mm,混合管为渐放管,入口直径为60~70mm,锥角为80°左右^[5]。安装在发酵罐底部,安装角度与水平倾角40~80°。混合管出口和循环管底部切线对接。

2.3 机械搅拌器

机械搅拌器安装在循环管出口正上方,由多层搅拌器组成。第一层搅拌器(最底层)采用以进一步粉碎气泡为主的涡轮式搅拌器,直径要大于 $D/3$ (D 为发酵罐直径)。其余各层采用以强化发酵液的湍动和混和为主的搅拌器,其直径可比第一层搅拌器直径约小,为其直径的0.85~0.95倍。

3 工作与节能原理

发酵罐工作时,具有一定压力的无菌空气(表压一般大于0.2MPa)引入罐内从喷嘴高速喷射出,进入混合管同时也将混合管入口处的发酵液卷入混合管,高速的空气喷射流和被卷入的发酵液在混合管内强烈混合,空气得到有效分散^[4]。空气和发酵液在混合管内充分混合后从混合管流出,切线进入循环上升管底端并在管内进一步混合溶氧。由于循环上升管内的气液混合体的密度比管外的发酵液的密度低,形成循环推动力,推动发酵罐底部的发酵液循环混合。从循环管出来的气液混合体在出口处受到机械搅拌器的第一层搅拌器的进一步粉碎混合,气泡的直径被粉碎得更小,形成气液单相区。气液混合单相体离开第一层搅拌器混合区域上升时受到其余各层搅拌器进一步搅拌混合,强化发酵液中的气液之间的湍动和混和。发酵罐工作时,气体射流混合器充分利用了压缩空气能量形成了良好第一次分散,使机械搅拌通风发酵罐罐底的搅拌器可以取消,减少了搅拌器层数。在相同转速下,各层搅拌器间距适当时,多层搅拌器消耗的总功率约是单层搅拌器的倍数^[6]。如搅拌器层数为4层,则减少一层就可降低能耗约25%。此外,合理设计各层搅拌器直径,也可起到节能效果。让循环管出口正上方的搅拌器采用较大直径,可充分发挥其迅速粉碎气泡,形成气液单相区的作用;其余各层搅拌器对细化气泡的直径并不起很大作用,只起到保持气液之间的湍动和混和,可采用较小直径。机械式搅拌器的功率可表征为(湍流工况):

$$P = K n^3 d^5 \rho \quad (1)$$

式中: n ,搅拌器的转速, r/s ; d ,搅拌器直径, m ; ρ ,发酵液密度, kg/m^3 ; K ,与搅拌器形式、结构比例尺寸和物性参数有关的功率准数。

从(1)式可计算出,搅拌器直径减少10%,可降低能耗40%左右;反之,搅拌器直径增加10%,能耗就增加60%左右。如搅拌器层数为3层,底层直径增加10%,上面2层直径各减少10%,总搅拌能耗仍可降低能耗20%左右。因此,合理安排各层搅拌器

直径既保证气液之间的湍动和混和,又可节约能源。如配合转速降低,所节约的能耗就会更多。

4 生产应用

无锡市第二制药厂叶勋^[7]等人对 150m³ 柠檬酸发酵罐进行改进,把原发酵罐的最底层搅拌器放大,而将第 2、第 3、第 4 层搅拌器予以缩小,搅拌器转速下降 15 r/min;通气管采用大孔的环形管。改进后其发酵获得良好的结果,经测定,可节电 25.96%。四川制药厂^[8]将 50 m³ 传统机械搅拌发酵罐改造为射流搅拌发酵罐,取掉最下面的搅拌器。由于减少了搅拌器个数,能耗降低 20% 以上,发酵水平有较明显提高。本文作者采用本文提及的机械搅拌通风发酵罐的节能结构对周东莲花味精厂的 60 m³ 传统机械搅拌发酵罐进行改造,收到良好效果,运行 3 个月能耗平均降低 32.5% 以上,发酵水平还略有提高。

5 结束语

目前,用于通风发酵的发酵罐类型有多种多样并且各自有其优势和存在问题。在发酵罐设计和改造过程中如何将各种发酵罐的优势结合起来,在构造原理上强化其溶氧过程和降低发酵的能耗是一个值得研究和探讨的问题。生产实践表明,用由喷嘴、混合

管和循环管组成的射流混合器来强化机械搅拌通风发酵罐的第一次气体分散,使搅拌器的层数减少是机械搅拌通风发酵罐提高溶氧效果、降低能耗的一种有效办法。同时,配合合理安排各层搅拌器直径,将会获得更好节能效果。

参 考 文 献

- 1 王岁楼,张平之. 微生物生化工程的研究进展[J]. 食品与发酵工业,1993(4):67~71
- 2 陈再新,费黎明,范镇,等. 卧式矩形环流反应器中气含率和液相流动研究[J]. 化学反应工程与工艺,1996(3):48~54
- 3 高桥照男,宫原敏郎,薛冠申. 鼓泡塔的设计技术现状及其要点[J]. 化学工程,1987(6):13~15
- 4 聂法玉,叶振华. 喷射自吸式生化反应器气液传质的研究[J]. 化学工程,1987(5):59~62
- 5 卢泽民,吴守一,朱金华. 气体环流生化反应器中喷嘴对传质特性的影响[J]. 农业机械学报,1999(2):65~70
- 6 高孔荣主编. 发酵设备[M]. 北京:中国轻工业出版社,1991
- 7 叶勋,卓震. 发酵罐设计技术探讨[J]. 化工装备技术,1996(5):4~7
- 8 杨瑞,周肇义,蒋述曾. 新型高效射流搅拌发酵罐的开发和应用[J]. 食品与发酵工业,1999(5):41~63

Energy Efficiency Design of Ventilating Fermenter with Machine Agitating

Duqh Qinghua^{1,2}, Ma Geli¹, Wang Jiansong³

1(Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

2(Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

3(Oulong Biochemical Engineering Equipment Co., Ltd., Wenzhou 325024, China)

ABSTRACT In the process of design and improvement of Ventilating Fermenter with Machine Agitating, strengthening its oxygen transferring effect and decreasing energy consumption of fermentation based on structure principle are worth studying. Practices show that it will be an efficient method to increase the rate of oxygen transferring and decrease energy consumption of Ventilating Fermenter with Machine Agitating by reducing the number of stirrers and strengthening the first gas dispersed of Ventilating Fermenter with Machine Agitating which is strengthened by jet-stirring made up of nozzles, mixing tubes and circulating tubes.

Key words ventilating fermenter, machine agitating, jet-stirring, energy efficiency design