

轴芯通气喷气助力式搅拌发酵罐简析

王书堂

(北京华信依耀工程咨询服务有限公司, 北京)

摘要:

2008 年中国发酵罐行业发展迅速, 产品产出持续扩张, 国家产业政策鼓励发酵罐产业向高技术产品方向发展, 国内企业新增投资项目投资逐渐增多。投资者对发酵罐行业的关注越来越密切, 这使得发酵罐行业的发展研究需求增大。2009-2012 年是中国发酵罐行业发展的关键时期, 一批国家重大工程项目陆续开工建设, 对发酵罐行业需求市场必将产生极大的拉动作用。本文通过分析传统发酵罐存在的问题及原因, 针对性的研究了解决的方法, 并成功设计出一种新型发酵罐——轴芯通气喷气助力式搅拌发酵罐。

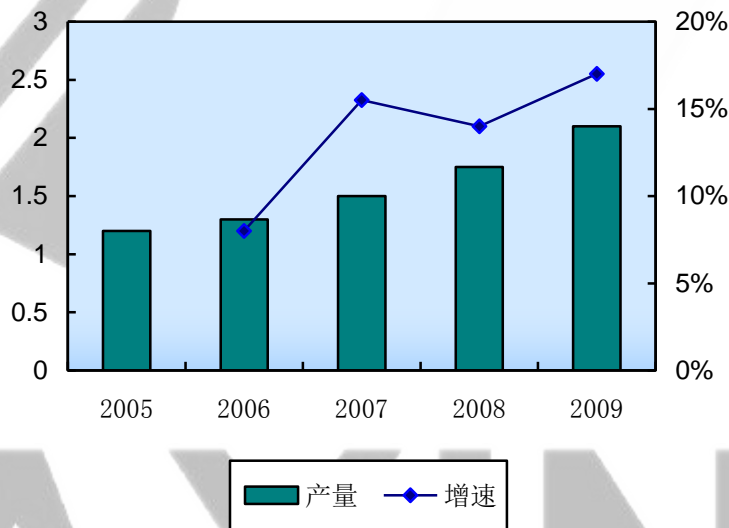
关键词: 生物工程; 发酵罐; 轴芯通气; 节能; 溶氧; 防损; 搅拌器

一、背景:

二十一世纪是以生物工程技术为先导的世纪, 发酵工程是生物技术产业化的基础。生物反应宏观动力学是发酵过程优化的基础, 而生物反应器是发酵过程的外部环境, 它同样影响发酵过程的效率与优化。

近年来, 中国发酵设备行业发展迅速, 产品产出持续扩张, 国家产业政策鼓励发酵罐产业向高技术产品方向发展, 国内企业新增投资项目投资逐渐增多。投资者对发酵罐行业的关注越来越密切, 这使得发酵罐行业的发展研究需求增大。

2005—2009 年中国发酵罐行业产品产量走势预测图: 【见图 1】



【图 1】

仅 2007 年 1-8 月，医药工业累计实现现价工业生产总产值 4328.18 亿元，比去年同期 3471.06 亿元增长 24.69%。

二、提出问题：

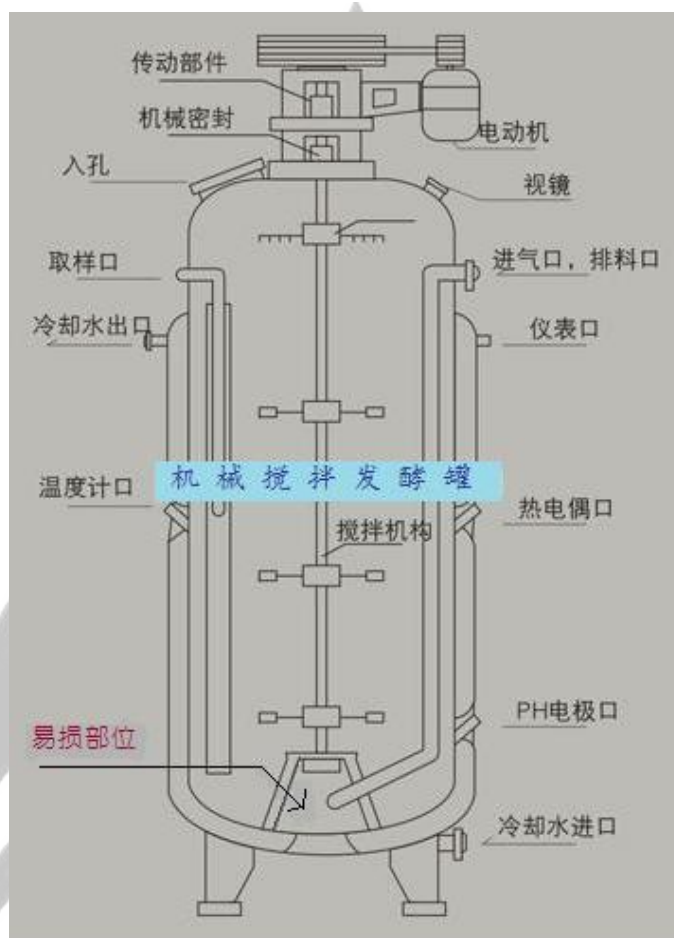
发酵设备是生物工程技术中的关键设备，它对于科研向生产的转化有着重要意义；同样在生产过程——发酵过程中决定着生产原料成本，产出质量，能耗大小，设备寿命的大小高低。以生物发酵罐为例：近年来，生物发酵工程的生产品种和规模飞速发展，抗生素、保健品、饮料添加剂、农用生物制品的生产广泛采用了生物发酵技术，单台发酵罐的体积已达到 300~400 立方米。但是，生物发酵设备是一类高能耗的生产装置，发酵供氧需通过搅拌和通入无菌空气来达到，培养基消毒加热需使用大量蒸汽，发酵过程中产生的热量需通过低温水和循环水带走。据统计，目前我国发酵装置中，动力费用约占发酵液成本的 25%~40%。

传统的发酵设备普遍存在着相对能耗大、溶氧率低、底物转化率低、设备寿命短等缺点。尤其随着水资源的日趋紧张，电力、煤炭、石油等燃料价格不断上升，解决生物发酵成本的问题已经变得刻不容缓。

经过长期的研究与工业实践，分析存在问题的原因，针对性的研究了解决的方法，并成功设计出一种新型发酵罐——轴芯通气喷气助力式搅拌发酵罐。

三、原因分析：

发酵设备中通气搅拌发酵设备被广泛应用【见图 2】，其原理是大多数产物在生长过程中耗用大量的氧。这样就需要在过程中提供充足的氧气并与之充分混合接触。发酵设备中通入压缩空气和设置搅拌装置即为达到此目的。而产物的质量与产量（生产单位）同样受到通气和搅拌的影响。（同样还有培养基、消毒灭菌、操作、种子质量系统的影响）。另外，通入空气实际利用率由于其难溶性等也受到影



【图 2】

经过长期的生产实践、逐步总结发现现有的发酵设备普遍存在如下问题：1). 能源大：发酵生产中的成本相当大的部分消耗在能源上，主要表现制备压缩空气消耗的功率。以抗生素发酵罐的通气量为例：其一般为每立方米发酵液每分钟通入 0.7~1.0 标准立方米压缩空气，制备每标立方米无菌压缩空气所需要的动力为 3~4 千瓦，即每立方米发酵液每小时通入的无菌压缩空气需消耗的电功率为 2.5~3.5 千瓦时。为使空气与发酵液充分混合接触，搅拌装置所消耗的功率较大（1m³ 发酵液的配用搅拌功率在 1.5~3 千瓦左右）。【见表 1】

【表 1】 抗生素发酵罐通气量（每立方米发酵液）

	指标	耗电系数	耗电量(平均)	耗电量
搅拌	1.5~3kW		2kW	1.5~3kW
通气	0.7~1.0Nm ³ /min	3~4kW/Nm ³ /min	3kW	2.5~3.5kW

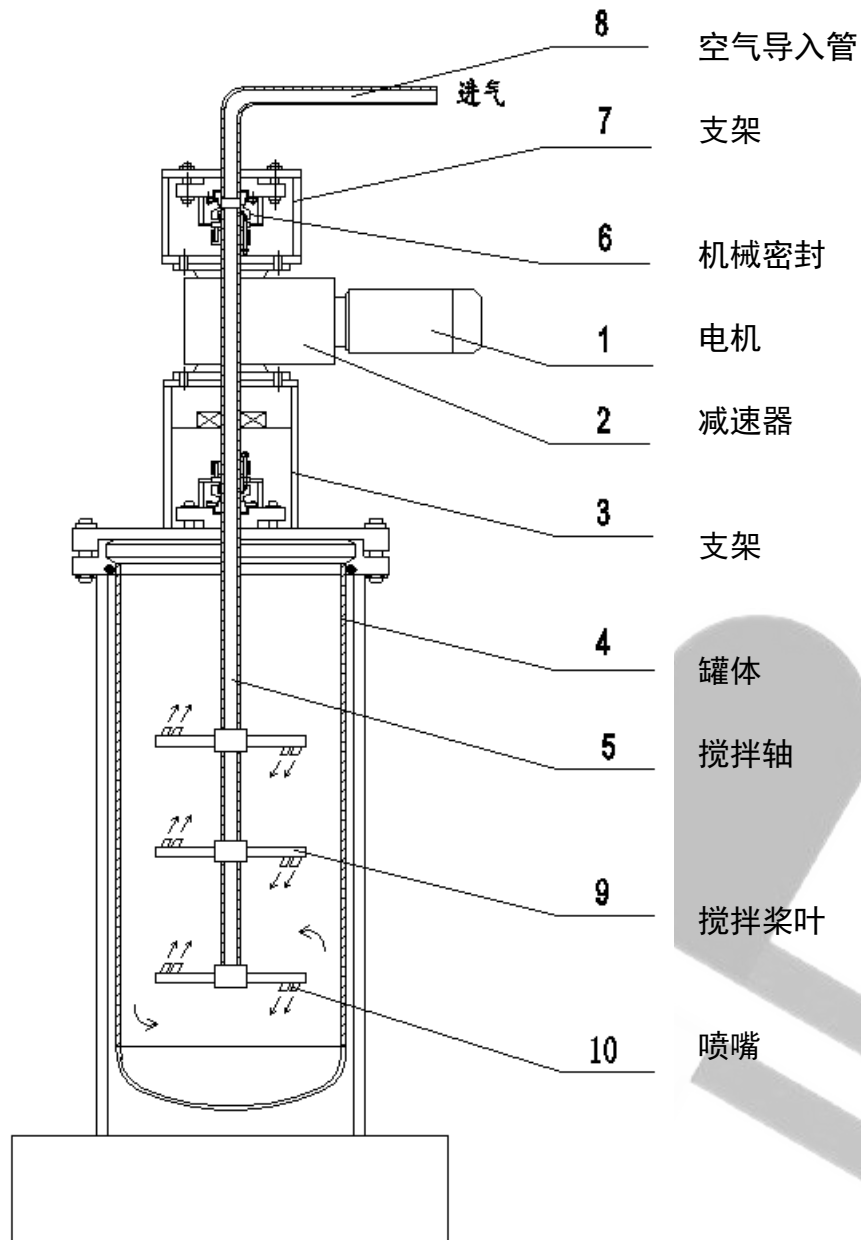
如上所述降低搅拌功率、充分利用所通入压缩空气能量，就成为我们发酵生产中降低能耗的主要手段；2). 氧的利用率低：由前次所述，氧的利用率低，除受搅拌和通气量的影响外，其他因素也存在着制约：首先通气气泡的打碎程度

——即气体与液体的接触面的大小，严重影响着压缩空气的利用率，以往的空气分布器受发酵液易堵塞的影响，孔径不宜做得太小，这样就容易形成气泡，又因分布器距搅拌器有一定距离，气体又有部分聚集并形成短路升至液面，气泡的产生就会减小气液接触面积，影响氧的利用率，一般的利用率只有 2%左右。而且为了克服液下压强，又消耗一部分功率。

其次受生长物限制又不能无限提高搅拌程度（打碎产物-如菌丝）从而使溶氧率不宜提高。总之标准发酵设备有的在提高氧的溶解率上进行必要的探索。3). 底物转化率：基于如上原因在产物生长的过程中受到了溶氧的影响，必然直接造成发酵单位下降，或达不到理论水平及生产不稳定。即造成底物转化率低、原料成本上升。4). 设备寿命降低：由于标准发酵罐的空气分布器都设置在发酵罐的底部，开口向下，经过长时间的空气（或气液混合物）的长期冲刷，封底局部减薄大大快于发酵罐的其他部位。通常对于碳钢材质在 5 年左右发酵罐损失掉 70%左右的壁厚，封底就要大封更换时加强。这样大大缩短了设备使用周期，也提高了生产成本。例如：西安利君制药有限责任公司通过对运行了 6 年的红霉素 50m³ 碳钢发酵罐底封头早期破坏现象和原因分析得出以下结论：一个 50 m³ 发酵罐为立式容器，直径Φ 3200mm，高度 7680mm，直筒高度 6000mm，罐壁厚 12mm，筒体材质为 Q235A。下封头中心空气分布器周围，直径Φ 1200mm 的范围内，由于空气冲刷和叶片搅拌时液体对筒壁的冲击力，使封头壁厚逐渐减薄破损，且有大量的不规则的点状蚀坑凹凸不平，最深的凹坑约 11mm，封头钢板拼接接头已形成深约 9~11mm、宽度约 18~25mm 之间、长约 1200mm 的沟槽。经超声波测厚仪检测，底封头破损处由原来的 12mm 减薄至 0.8~1mm，冷却蛇管、搅拌轴、盘、叶片材质均为 304 不锈钢，还能继续使用，根据等寿命原理选择将底封头更换为 304 不锈钢材质。

四、设备改造

通过长期的生产实践，对标准的发酵设备进行分析观察，我们从改变通气方式上入手，对普通发酵设备进行了改造，提出了一个全新的观点——轴芯通气搅拌发酵设备，（本设备改造已申请专利并通过初审：发明名称：《一种轴芯通气喷气助力式搅拌发酵罐》，申请号：200710000013.9，公开号：CN 101007997A）力图通过改造达到降低能源、提高溶氧率，从而提高底物转化率、提高生产水平的目的，其原理与结构主要有以下几个方面：【见图 3】



【图 3】

发酵罐采用通用机械搅拌发酵罐罐体结构，电机 1 侧置与减速器 2 直联形式的定型产品，减速器设计选型为上下两端直通式输出轴形式。减速器 2 通过支架 3 安装于发酵罐罐体 4 的上端。

搅拌轴 5 选用厚壁无缝管，经过精密加工（保证同心度）。一般应做成两部分，即上半轴和下半轴（特别小型的反应器可做成一根轴）。轴的固定支撑方法与普通反应器基本相同。不同之处就在于轴的上端伸出部分装有倒置机械密封 6，以便压缩空气导入。即上端倒置机械密封经支架 7 与减速器相连，并安装动环。静环与外界空气导入管 8 相连接，机械密封动环与搅拌轴相配合。这个机构设计完成了在转动状态下经过空心搅拌轴（等同空气导管）将压缩空气导入发酵罐。

压缩空气导入空心搅拌轴后,经由空心搅拌桨叶 9 喷射到生物反应器中(搅拌器不用采用中心带盘的形式,气泡不会沿搅拌轴短路升到液面)。搅拌叶同样采用空心经冲压或焊接制造,可根据不同发酵产品的品种设计桨叶形式和确定桨叶数量。在桨叶下沿非均匀分布开孔焊接喷嘴 10,喷嘴向斜下方布置且与搅拌旋转方向相反。远端相对喷嘴孔径加大,即加大空气流量。这样可尽量保证空气在液体中分布均匀。另外空气导出后在离心力的作用下会充分分散,并在下一个搅拌叶的作用下经过很短的路程被充分打碎并混合,避免了气泡未经打碎上升至液面的情况发生。大大提高了空气的利用率,从而使液体中溶氧率提高。同时空气喷嘴的反作用力对搅拌器到助推的作用,有利于搅拌效率的提高、能源的节约。搅拌器产生的离心力,使喷嘴处产生负压,有利于压缩空气动力源的节约。

通过对标准通气搅拌发酵设备的改造与重新设计,我们达到了如下目的:

1). 由于空气出口相距发酵搅拌设置的搅拌叶相对近,较好地实现了对空气的充分打碎,减少了空气短路现象的产生,使空气中的氧得到了充分利用,从而提高了底物转化率,同时提高了发酵单位。

2). 由于空气喷出时对搅拌桨反作用力,起到了助推作用,这样可以节约搅拌动力,达到节能的目的,理论计算一立方压缩空气可以提供 700 瓦左右的空气动力考虑到其他因素,经过实际经验可较以往传统设备节能 15%左右。

3). 由于改变了压缩空气的导入方式与位置,克服了原空气分布器对封底的破坏,大大提高了设备使用周期,延长了寿命,同时也可节约大量资金。

这里需补充说明,经过改造后,设备必然有不断完善与提高的环节,例如:

1). 由于空气导入位置相对较高,需要适当增加发酵液的轴向流动,达到液体氧气分配的均匀性; 2). 由于压缩空气喷嘴相对可能数量增加或孔径变小,故当特殊情况发生时有可能堵塞(停电倒料)可在轴芯通气上接口处接入清洗水、灭菌蒸汽已达到清洗疏通,灭菌彻底的目的; 3). 由于增加了一套机械密封,设备制造精度要求有所提高,但制造成本相对而言不会发生太大变化。

五、结束语

综上所述,随着我国大规模经济发展,水资源的日趋紧张,电力、煤炭、石油等能源价格不断上升,发酵设备的优化改造刻不容缓。通过对标准通气搅拌发酵设备通气方式的改造达到了降低能源、提高溶氧率,从而提高底物转化率、提高生产水平的目的。从技术和经济的综合考虑,有必要把本设备经过完善投入到生产实践中,这样必定会为广大企业带来良好的经济效益,并且使企业在市场竞争中获胜,有利于企业的长期发展。

参考文献

- 【1】 俞俊棠主编. 抗生素生产设备. 北京: 化学工业出版社, 1982.
- 【2】 尹光琳等主编. 发酵工业全书. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
- 【3】 王岁楼, 熊卫东主编. 生化工程. 北京: 中国医药科技出版社, 2007.
- 【4】 吴剑波主编. 微生物制药. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- 【5】 陈坚, 李寅著. 发酵过程优化原理及实践, 北京: 化学工业出版社, 2002.
- 【6】 李津, 俞泳霆, 董德祥主编. 生物制药设备和分离纯化技术. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- 【7】 郭俊忠. 50m³ 发酵罐更换底封头的改造实践, 医药工程设计, 2008, 29 (3): 19.
- 【8】 专利公开号: CN101007997A, 公开日期: 2008.07.01