

# 发酵空气过程控制与节能

陆飞浩\*岑文学

(1.宁波浩邦生物技术有限公司 2.宁波星邦生化设备有限公司 宁波 315040)

**摘要** 分析发酵空气从空压机进口到发酵罐排气(尾气)处理的全过程,论述其中各分过程的控制要求和节能点,并提出了相应方法措施。

**关键词** 发酵 空气过程 空气预处理 旋流分离器 尾气处理

好气性发酵需要持续的无菌压缩空气供应,作为微生物生长代谢的氧源。而制取压缩空气的空压机能耗巨大,因此对空气的制取、处理、利用和排放全过程必须加以严格控制。

发酵空气过程是指空气从自大气采集,被微生物发酵利用到再排入大气的全过程。包括五个分过程,即空气压缩、空气预处理、空气过滤除菌、发酵空气利用和发酵尾气处理。空气流动过程从空压机流向发酵罐,但分析空气过程控制与节能,本文则以逆向过程来研究,从排气(尾气)开始,至空压机供气,因为“提供”是由“需要”决定的,包含以下五个过程:

- 1、发酵尾气处理控制——我们需要洁净的环境
- 2、发酵空气利用控制——生产菌利用氧气的要求和发酵罐结构
- 3、空气过滤除菌控制——发酵需要无菌空气
- 4、空气预处理控制——满足过滤除菌的条件和发酵进气温度要求
- 5、空气压缩控制——满足生产菌利用和输送的需要

鉴于有关专家对空气过滤除菌阐述已较多,本文不再论述,重点探讨其余四个分过程的控制与节能。

## 一、发酵尾气处理控制——我们需要洁净的环境

大规模发酵生产,需要一个洁净的生产小环境,另外社会也需要一个安全舒适符合环保要求的大环境,所以必须对发酵罐尾气进行处理。

**基本处理控制:** 尾气中没有可见的生产原料、代谢产物等固液相物质;

**严格处理控制:** 尾气中没有异味、没有杂菌等肉眼不可见物质。

满足基本控制,生产经营者具有节能降耗的动力,满足严格控制需要环保压力和社会责任使命感。

### 1、尾气基本处理设备,多种多样,使用效果不一

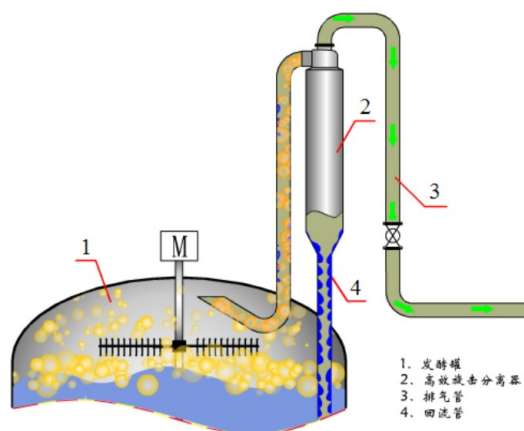
常见的是旋风分离器,其外置于发酵罐,特点:结构简单;缺点:分离效果差易逃料,收集物料不回流于发酵罐,只是把发酵逃料从空中转移至地面。

而有的工厂甚至没有任何处理设备,直接排空,尾气失控。

### 2、符合基本处理控制的设备

#### 节能点①:使用高效旋击分离器(参见图1)

特点:设备结构先进合理,全不锈钢精密加工制造,分离效果好(分离效率比旋风分离器提高20%左右),将尾气中液沫、水雾分离后回流至发酵罐内,形成闭路循环系统。系统不染菌,尾气不逃料;降低消泡剂用量,提高发酵定容;改善发酵环境,稳定生产。



发酵尾气液沫回收处理系统

图1 发酵尾气基本处理-高效旋击分离器应用  
(获国家专利授权)

3、符合严格处理控制的系统，包括尾气喷淋吸收系统、尾气集中高温燃烧处理系统、尾气集中臭氧除异味处理系统等。

前者通过吸收剂的循环，借助吸收反应床，可部分吸收尾气中的异味源物质，降低尾气中异味浓度，但不能确保杂菌的去除，还有产生高浓度吸收液二次污染的问题。再者尾气引入锅炉引风机，通过高温燃烧氧化，去除尾气中异味物质，但必须配备锅炉或专用燃烧炉。后者通过臭氧氧化，可大幅度降低异味源物质浓度，至异味可被基本接收的程度，也没有二次污染。臭氧发生器的电耗是个需要考虑的问题。

#### 节能点②：尾气高温燃烧处理

特点：汇集发酵尾气作锅炉燃烧的空气来源，仅仅增加了引风机的吸入阻力，可从技术上作处理。这是解决尾气中异味物质比较彻底，也比较经济的方法。

4、采用何种尾气处理和排放的方式，决定了发酵罐罐压P1。

罐压P1等于尾气处理设备的阻力、尾气排放管道的阻力和排放口静压转化动能的损失之和。罐压的控制，还需要考察不同罐压对生产菌生长代谢的影响。

## 二、发酵空气利用控制——生产菌利用氧气的要求和发酵罐结构

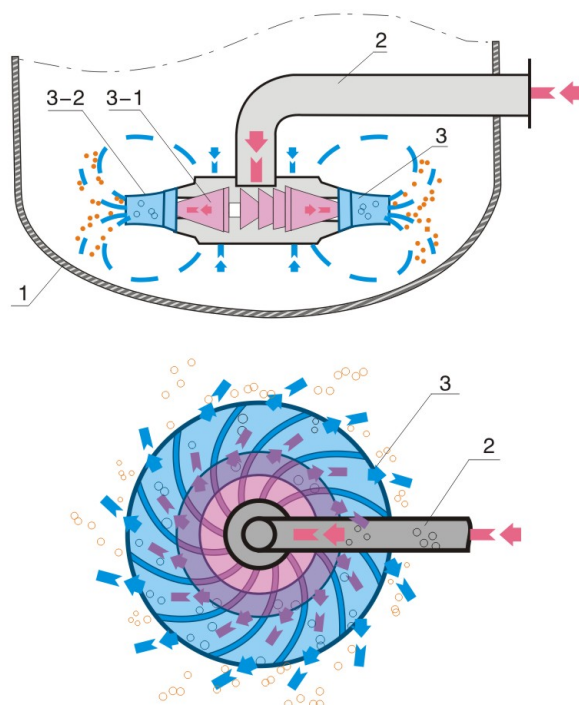
1、生产菌需要多少氧气决定了发酵液中溶解氧的浓度要求，而发酵液物理性质、发酵代谢进程、发酵罐的结构、搅拌的形式和转速、通气速率、进气装置形式等多种因素决定了溶解氧浓度和空气利用的效率。

节能点③：使用旋流混合器——新型进气装置（参见图2）

特点：设备采用空气喷射旋流混合原理，使空气与发酵液在设备装置通道内充分混合“乳化”，且沿切线方向旋转流出。增加空气和发酵液接触表面积及停留时间，提高空气利用率；提高溶解氧浓度在5%—20%之间。设备不染菌，不增加空气进气压力。

节能点④：使用旋流混合器，改进搅拌设置，甚至取消搅拌。

特点：旋流混合器即是进气装置，又相当于“静止”的搅拌器，可部分取代搅拌器的功能。配合发酵



旋流混合器

1发酵罐 2进气管 3旋流混合器  
3-1 空气分布内芯 3-2 旋流器壳体

图2 旋流混合器进气装置（获国家发明专利授权）

罐结构的改进，如设置导流筒，形成新型的气升式发酵罐，在维生素等发酵产品上推广使用。

2、发酵罐的液层高度、罐压、局部阻力损失（进出口、进气装置等）决定了发酵罐进气压力P2。设计时须控制发酵罐高度，降低液层静压，以降低空压机出口压力。

## 三、空气预处理控制——满足过滤除菌的条件和发酵进气温度要求

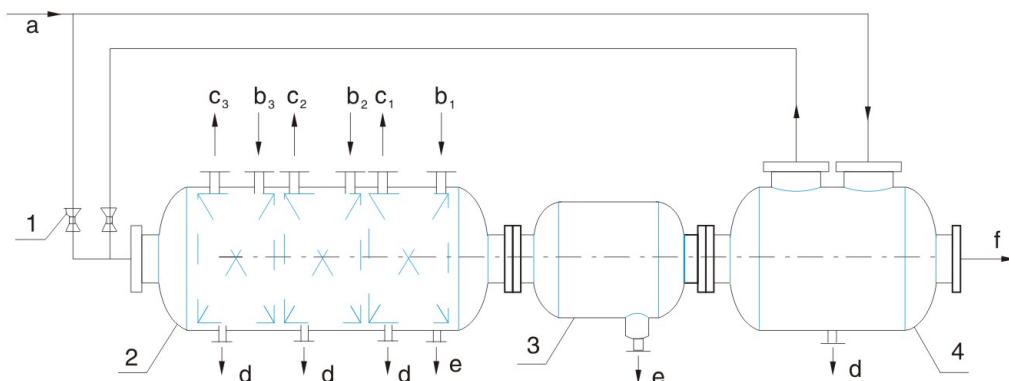
空气预处理系统具有冷却除水，加温降低相对湿度的功能。其设置的功能是满足除菌过滤器的需要，而不是发酵的直接需要。控制冷却和加热的幅度适当，符合膜过滤器要求和发酵进气温度要求即可。各温度的控制，最终由发酵进气温度决定，倒推确定如下：

进气温度决定加热温度——发酵罐冷却效果、生产菌不受影响

加热温度决定冷却温度——理论上两者温差15℃，相对湿度可控制在50%以下

冷却温度决定冷却介质——理论上低于压力露点温





1、调节阀 2、空气冷却器 3、高效卧式气液分离器 4、空气加热器  
a、高温湿空气（来自空压机） b、冷却水进 c、冷却水出  
d、排污（油水等杂质） e、冷凝水出口 f、干净空气（去过滤器）

图3 节能空气预处理系统（获国家专利授权）

度即可。

冷却介质决定了运行成本和生产的连续性——多用冷却塔循环水，少用冷冻水

#### 节能点⑤：使用节能空气预处理系统（参见图3）

特点：采用高效的换热器、气液分离器，利用空压机出口的高温空气循环加热冷却后的低温空气，形成节水、节电和节汽的空气预处理系统。

1、冷却温度合适，一般在 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间。在南方一年使用冷冻水2~3个月，北方1~2个月，以降低运行成本。

2、除水彻底。空气夹带的冷凝水在进入加热器之前须被彻底分离，否则增加加热器的热负荷，且影响空气质量。因除水设备采用高效卧式分离器，其分水效率比传统旋风分离器分水效率高出20%左右，比折板撞击式分水器分水效率高出10%--20%之间，而且连续排水，不易阻塞。使用高效卧式分离器替代上述传统除水设备，可解决冷凝水去除不彻底问题。

3、加热幅度合适， $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间。饱和湿空气加热温差一般在 $15^{\circ}\text{C}$ 时，其相对湿度可在50%以下。考虑加热后至膜过滤器的输送过程热量损失，加热幅度 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 比较安全合适。

4、使用空压机出来的热空气作加热热源，节约蒸汽。相比蒸汽加热，热空气作加热热源，设备投资略

有增加，但相比运行成本的降低，增加的一次投资几乎可忽略不计。如 $500\text{Nm}^3/\text{min}$ 系统，一般节约蒸汽3000 t/年，节约费用约60万元/年。

5、换热器采用翅片式换热器，替代传统的列管换热器。单台冷却器可采用多管程、多种冷却介质，节水在30%--70%之间，而且阻力极小。

6、简洁的直线布置。冷却、除水、加热设备进出口直联，一条直线布置。阻力损失最低。相比传统的多台列管换热器、旋风分离器等组成的系统，节能空气预处理系统空气阻力仅为传统系统的20%~50%，压降控制在0.01MPa以下。

## 四、空气压缩控制——满足生产菌利用和输送的需要

根据生产菌对氧气的需求量和发酵规模可以确定空气流量。对于确定的空压机，其运行压力不是由空压机本身决定的，而是由其后管道、各分过程设备的阻力决定的。根据上述各过程需要的进口压力和阻力损失，可以确定空压机出口压力。空压机功率与空气压力呈正相关关系，近似可变指数的幂函数关系。压力越高，功率越大。为了能耗考量，一般选择空压机额定压力在0.2MPa左右为宜。

#### 节能点⑥：使用低压单级压缩机。控制说明：

1、发酵空气低压化趋势下，单级压缩可满足要

求。某企业80m<sup>3</sup>发酵罐，空压机实际出口压力仅0.16MPa。

2、单级压缩，空气出口温度相对较高，可作为预处理系统内部加热热源或其它余热回收的对象，比如制取热水等。

3、多级压缩虽然压缩效率较高，但其有中间冷却器，冷却水循环需要独立的冷却塔系统支持，相应浪费电力和热量。如有后置冷却器，可以革除。压缩机的冷却必须与预处理系统统一考虑。

4、活塞式适合中小流量空气，螺杆式适合高压小流量。离心式适合低压大流量，适合当今大规模发酵需求。不同类型的压缩机对空气进口净化要求也不同。

5、选择无搅拌气升式发酵罐，在空压机出口压力不提高或提高不多时，才有可能综合节能的。

6、关于空压机余热利用。单级离心式空压机出口温度很高，约180℃。利用余热是个节能项目。需注意：

a、空气比热小，高温但不是高热量。尽量利用高温的属性。

b、余热利用以满足空气预处理系统内部加热需求为主，再提取热量制热水为其次。

c、制取的热水以工艺消耗为佳，循环使用次之。循环热水须用软水。

d、为了余热利用附加的支持系统不能影响预处理系统的安全稳定运行。

e、附加的支持系统尽可能简洁可靠，须考虑投资和回收热量收益之比。

f、总体分析工厂工艺流程，全局考量热量平衡。评估各种余热的品位，比较回收的经济性和可行性。

## 五、结论

在发酵工厂设计和生产运行中，必须综合分析发酵空气的全过程，科学合理地选定控制参数，树立节能、环保意识，采用新设备、新工艺达到最佳控制目标。在保证发酵生产空气需求的同时，最大程度地降低空压机出口空气压力、降低冷却和加热的能耗、提高空气利用率，改善生产环境，努力实现发酵生产三废零排放。

## 参考文献

- [1] 陆飞浩等. 好气性发酵节能空气预处理系统再述[J]. 医药工程设计, 2007, 28(3): 26-27.
- [2] 陆飞浩等. 旋流混合器在好气性发酵中的应用[J]. 发酵科技通讯, 2012, 41(1): 47-48.
- [3] 中石化上海工程公司. 化工工艺设计手册(第四版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 梅乐和, 姚善泾等. 生化生产工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.