

Calculate the Strength of Polymerizer Blades to Determine the Best Replacement Period

Jingyao Zhang

China Petroleum & Chemical Corporation Qilu Branch, Zibo, Shandong, 255000, China

Abstract

Polymerizer is an important process production equipment for acrylic fiber plant. Calculate the operating power of each blade of the polymerizer by analyzing the structure of the polymerizer and the state of the materials in the reactor, analyze the force of the blades, and calculate the structural strength of each blade, so as to determine that the blades are corroded by the materials in the reactor, the best replacement cycle of the US DuPont process makes up for the gap in the replacement of the polymerizer agitator blades after corrosion, and provides theoretical support for equipment maintenance and replacement of spare parts.

Keywords

polymerizer; power; blade strength; replacement period

计算聚合釜桨叶强度确定最佳更换周期

张敬尧

中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司, 中国 · 山东 淄博 255000

摘要

聚合釜是腈纶装置重要的工艺生产设备。通过对聚合釜结构和釜内物料状态分析计算出聚合釜各桨叶运行功率, 分析桨叶受力情况, 并对各桨叶的结构强度进行计算, 从而确定桨叶在经过釜内物料腐蚀后的最佳更换周期, 弥补美国杜邦工艺对聚合釜搅拌器桨叶在腐蚀后更换标准的空白, 对设备检修和备件更换提供理论支持。

关键词

聚合釜; 功率; 桨叶强度; 更换周期

1 引言

论文利用试验模型引用和数据计算的方式确定了聚合釜搅拌系统的功率消耗情况, 利用 A、B、C 三种类型桨叶的功率结果, 计算了搅拌过程中的各类型桨叶的弯曲应力, 通过应力的大小进一步确定了铝制聚合釜桨叶安全厚度, 利用计算结果制定最佳的桨叶更换周期方案, 弥补了美国杜邦工艺对聚合釜搅拌器桨叶在腐蚀后更换标准的空白, 为设备正常运行及备件的高效使用提供了理论依据。

2 聚合釜结构

釜体为纯铝制造, 搅拌器由搅拌轴和搅拌桨叶组成, 搅拌桨叶共三层叶片, 均为纯铝制造, 从上至下依次为 A 型、B 型、C 型。

A 型桨叶属于折页桨, 安装在搅拌轴最上侧, 桨叶叶片数量为 4, 桨面与运动方向夹角 θ 为 30° 桨叶宽度为 150mm, 桨叶总长 740mm, 厚度为 27mm。主要提供水平

环流和轴向分流, 只有少量的径向分流。

B 型桨叶也是折页桨, 安装在搅拌轴中间, 桨叶叶片数量为 4, 桨面与运动方向夹角 θ 为 45° , 桨叶宽度为 143mm, 桨叶总长 1194mm, 厚度为 50mm。主要提供水平环流、轴向分流和径向分流。

C 型桨叶为平桨, 安装在搅拌轴最下层, 桨叶叶片数量为 4, 桨面与运动方向夹角 θ 为 90° , 桨叶宽度为 150mm, 桨叶总长 1194mm, 厚度为 50mm。主要提供水平环流和径向分流^[1]。

3 搅拌器功率计算

3.1 影响搅拌功率因素

搅拌器的功率与釜内形成的液体流动状态有关, 所以影响流动状态的因素必然也是影响搅拌器功率的因素。而对于密度一定的牛顿型流体, 搅拌功率 P 的一般表达式如下:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_j^5 \quad (\text{式 1})$$

【作者简介】张敬尧 (1987-), 男, 中国山东淄博人, 本科, 工程师, 从事机械工程研究。

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d_j^5} = f(Re, Fr) \quad (式2)$$

N_p 为功率准数(雷诺准数 Re 和弗鲁德准数 Fr 的函数)。

3.2 全挡板条件验证和雷诺准数计算

试验证明,当挡板的条件符合下式时搅拌器的功率最大,这种挡板条件叫做全挡板条件,符合全挡板条件的搅拌器 Fr 数的影响可以忽略不计。一般认为,当取4块挡板,其宽度 $W = (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12})D$ 时,即可认为是接近全挡板条件。经计算本釜符合全挡板条件,计算中可以忽略 Fr 数的影响。而雷诺准数 Re 根据下式计算:

$$Re = n \cdot d_j^2 \cdot \rho / \mu$$

3.3 确定功率因数 N_p

Bates 算图提供了开启式涡轮和圆盘式涡轮的计算依据。

初步利用 Bates 功率曲线,查找确定对应的 N_p 值。本釜挡板数量为4块,所使用的A、B型桨叶属于折叶开启涡轮,C型桨叶属于平直叶开启涡轮。观察 Bates 曲线图,在 $Re > 10^4$ 以后,曲线功率准数 N_p 趋于恒定。根据聚合釜雷诺准数,分别取各桨叶对应的功率准数 N_p 值如下:

A型: $N_{pA1} = 5$

B型: $N_{pB1} = 1.5$

C型: $N_{pC1} = 2.5$

3.4 功率因数 N_p 的相关修正

Bates 功率曲线是建立在相关的实验结果基础上的,但在试验中所使用的搅拌器尺寸条件等与本文中聚合釜实际尺寸还有很多不一致的地方。因此,需要对初步选定的功率准数 N_p 进行一系列的修正,以保证最终计算出的结果符合实际情况。

3.4.1 对叶片角度进行修正

对照相关表可以看到,A型桨叶选择了的对应 Bates 图的2号曲线,但2号曲线在 Bates 试验中为平直桨叶,即与运动方向夹角 $\theta = 90^\circ$,而A型桨叶的夹角 $\theta = 30^\circ$,因此需要对所选择的功率准数 N_{pA1} 作出修正。

在湍流区,即 Re 数较大时,搅拌功率随 θ 角的增减变化较为明显,其关系式如下:

$$N_p \propto (\sin \theta)^{1.2}$$

带入 $\theta = 30^\circ$,便得出经过角度修正之后的 N_{pA2} 。

$$N_{pA2} = N_{pA1} \cdot \left(\frac{\sin 30^\circ}{\sin 90^\circ} \right)^{1.2} = 5 \times (0.5)^{1.2} \approx 2.175$$

B型和C型桨叶由于所选角度与 Bates 试验中一致,因此不用进行修正。从而有:

$$N_{pB2} = N_{pB1} = 1.5$$

$$N_{pC2} = N_{pC1} = 2.5$$

3.4.2 桨叶叶片数量修正

Bates 曲线使用的桨叶叶片数量均为6片,而聚合釜单层桨叶叶片数量为4。因此需要进行叶片数量修正。在全挡板条件下,圆盘涡轮桨叶的叶片数与功率准数之间有如下关系:

$$\text{当 } z=2, 4, 6 \text{ 时: } N_p' / N_p = (z/6)^{0.8}。$$

因此将 $z=4$ 带入上式中,便可得到进行桨叶叶片数量修正之后的功率准数 $N_{pA3} = 1.566$, $N_{pB3} = 1.08$, $N_{pC3} = 1.8$ 。

3.4.3 桨叶直径的修正

Bates 曲线中的 $d_j/D = 1/3$,而对比聚合釜的三种桨叶,只有A型桨叶与曲线数据相符,因此B、C型桨叶都要进行修正。平桨与涡轮桨在湍流状态下通过下式修正,修正后功率准数 $N_{pA4} = 1.566$, $N_{pB3} = 0.609$, $N_{pC3} = 1.015$ 。

$$N_p \propto (d_j/D)^{-1.2}$$

3.4.4 桨叶宽度修正

Bates 曲线的桨宽和桨直径之比 b/d_j 分别是0.2、0.125和0.125。而实际聚合釜三种桨叶对应的桨宽和桨直径比与曲线中所用桨叶一致,因此三种桨叶均不必对桨宽进行修正。

3.4.5 桨叶安装高度修正

对于有挡板的搅拌槽内,搅拌所需动力受搅拌桨叶安装高度的影响,会有一定的变化。参照无挡板高粘度物料搅拌功率随 c/D 变化趋势的分析及带钩窄叶桨随 c/D 变化表,考虑到聚合物淤浆底部可能会有体积相对较大的聚合物块存在,从而会影响到局部的密度和粘度,因此其所消耗功率应相对均一的溶液要稍大些,各种类型桨叶 c/D 值依次为:A型0.68,B型0.45,C型0.18。结合实际生产特点,分别取修正系数0.7、1.0、1.2,修正后功率准数 $N_{pA5} = 1.096$, $N_{pB5} = 0.609$, $N_{pC5} = 1.218$ 。

3.4.6 料层高度的修正

在湍流区,料层高度对功率准数的影响随着 Re 数的增大而明显。虽然在 Re 数大时,功率准数 N_p 值随着料层高度 H 的增大而增大,但当 H 增加到一定数值后, N_p 值的变化便趋于缓和,最后成为一个定值。浙江大学针对六叶涡轮桨叶做过有挡板和无挡板情况下 N_p 与 H/D 的关系曲线,根据曲线本聚合釜 $W/D\% = 10.3\%$,由此可以初步判断实际的聚合釜 N_p 值与 Bates 曲线中查询得到的 N_p 值相差不多,因此对于料层高度带来的影响可以忽略,不必对功率准数进行修正。

3.4.7 桨叶层数和间距系数修正

Bates 试验曲线是建立在单层桨叶的基础上的,当搅拌器上安装了多层桨叶的时候,搅拌功率的计算不应简单考虑单个桨叶情况,应综合考虑桨叶的层数和间距,并进行修正。

对于本聚合釜，A、B型桨叶间距约为0.93m，B、C型桨叶间距约为0.8m。经过计算得到修正系数分别为1.0、0.74、0.74，修正后功率准数为 $N_{pA6}=1.096$ ， $N_{pB6}=0.45$ ， $N_{pC6}=0.90$ 。这样经过功率准数的初选和一系列修正之后，现可以标记各搅拌桨叶对应的功率准数为 $N_{pA}=1.096$ 、 $N_{pB}=0.45$ 、 $N_{pC}=0.90$ 。

3.5 实际功率确定

确定了功率准数后，利用式1可以求得搅拌功率为 $P_A=3.7(kw)$ 、 $P_B=16.6(kw)$ 、 $P_C=33.3(kw)$ 。通常由于搅拌器功率计算所用的各种公式、数据存在一定误差，同时考虑到操作因素、设备制造误差以及物料性质数据的误差等，在确定点击功率时还应乘以备用系数 K_1 ，一般 $K_1=1.3\sim 1.8$ 。由于聚合釜电机的总功率会相对较大，同时各种影响因素本次计算考虑得较为周全， K_1 数值不必选择特别大；但考虑到在确定功率准数 N_p 时，进行修正的系数比较多，各参数也会产生一定的误差，因此将备用系数 K_1 选择为1.5^[2]。

使用计算得出的功率进行修正后分别得出各桨叶的功率：

$$P_A' = P_A \cdot K_1 = 5.55(kw)$$

$$P_B' = P_B \cdot K_1 = 24.9(kw)$$

$$P_C' = P_C \cdot K_1 = 49.95(kw)$$

4 桨叶强度计算

对于聚合釜A、B、C三种类型桨叶，工作中所受弯曲应力最大同时也是危险系数最高的为C型桨叶。C型桨叶属于平直叶开启涡轮桨，其桨叶截面为矩形，搅拌时液体阻力作用在桨叶上，使桨叶产生弯矩，最大弯矩出现在轮毂处的桨叶根部，由于叶片数为4，所以每片叶片所受弯矩值为

桨叶所受扭矩的四分之一。因此，可得：

$$M = \frac{97400 \cdot P}{4n_0} \approx 24350 \frac{P}{n_0}$$

由于实际生产环境并非理想化，釜内物料密度可能会变化较大，同时还有可能产生大量的自聚疤块对桨叶搅拌过程产生冲击。同时，也考虑到桨叶可能的生产缺陷，因此需要使用安全系数对桨叶强度进行修正。

同时考虑到腐蚀裕度问题，需要再在计算结果上加1mm。这样便算出安全系数为4的情况下C型桨叶的安全厚度是38.3mm。同样方法计算出A、B型桨叶的安全厚度分别是18.6mm和33mm^[3]。

5 结语

为了保障实际生产运行避免非计划停车，同时最大限度地保障设备附件的安全，确定最佳的运行周期，经过计算，A、B、C型桨叶的安全运行厚度为18.6mm、33mm、38.3mm。

由于釜内物料对铝制桨叶会缓慢腐蚀，如发现桨叶厚度已经接近计算的极限厚度，桨叶随时有可能会被折弯损坏，为了保障生产稳定运行，当实际检测到桨叶厚度即将减薄至安全厚度时，需及时对桨叶进行更换。

参考文献

- [1] 陈乙崇. 搅拌设备设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [2] 谢明辉. 桨式搅拌器功率准数三种取得方法的对比[J]. 化学工程, 2010(10): 167-170.
- [3] 孙云霞. 搅拌器桨叶疲劳断裂失效分析和预防控制[J]. 聚氯乙烯, 2005(9): 34-36.