

# 灌缝料的搅拌特性

## Stirring Characteristics of Gap-grouting Material

杨人凤, 马进福

YANG Ren-feng, MA Jin-fu

长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064

School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China

**【摘要】** 分析了影响灌缝料搅拌效果和搅拌功率的因素,并介绍了计算搅拌功率的几种方法。基于对搅拌系统的受力分析对搅拌系统进行了数值模拟,从数值模拟的结果上分析了灌缝料的搅拌特性,并提出了加强搅拌效果和降低搅拌功率的方法。

**【Abstract】** The factors which influence the stirring effect and power of gap-grouting are analyzed, and several approaches of calculating the power are introduced. Numeric simulation of the grouting system is done based on the stress analysis, and the stirring characteristics are analyzed based on the result of simulation. The way to reinforce the stirring effect and lower the stirring power is also given.

**【关键词】** 灌缝料;搅拌功率;搅拌特性;数值模拟

**【Key words】** gap-grouting material; stirring power; stirring characteristic; numeric simulation

中图分类号:U418.6

文献标识码:A

文章编号:1000-033X(2008)05-0038-03

### 0 引言

搅拌过程不仅牵涉到力学方面的问题,而且还涉及各种物理、化学反应,一般较为复杂,对于灌缝料的搅拌更是如此。因而对搅拌功率的计算也较为棘手。搅拌功率是搅拌操作中的重要数据,它不仅是选择电动机或液压马达的依据,而且对搅拌操作的效果有直接影响。单位液体容积所耗功率是搅拌操作的一个重要的放大基准。因此,搅拌功率是搅拌系统的一个基本参数,对其进行正确的计算有助于节约能量、提高搅拌操作的效率。

### 1 影响粘稠液体搅拌功率的因素

影响液体搅拌功率的因素包括搅拌桨片直径、叶片宽度、叶片倾角、转速、叶片数、罐形、罐径、液深、挡板数、挡板宽度、液体密度、黏度等。对沥青、密封胶等粘稠液体而言,由于其黏度比较大,因而有着更为特殊的搅拌特性:首先,流动性相对较差,造成搅拌阻力较大;其次,在搅拌的过程中液体相互混合的能力比较弱,只产生层流,容易产生搅拌死角。粘稠液体的传热性能也较一般液体低。

由于粘稠液体的上述特性,在进行搅拌的过程中,搅拌

桨的形式和面积、桨叶的倾角、搅拌速度等搅拌浆自身因素的影响将会加强,而搅拌容器形状、结构,如罐形、罐径、挡板等因素对搅拌功率的影响将减弱。因此,可将桨叶式的搅拌结构设计成无挡板式以避免死角的出现;将桨叶的直径和叶片设计成较大的尺寸并在其中开口,这样除了可以保证搅拌效果外,还可以降低搅拌功率。

### 2 搅拌功率的计算方法

搅拌功率的计算公式为

$$P=N_p \rho N^3 d^5 \quad (1)$$

式中: $P$ ——搅拌功率, W;

$\rho$ ——灌缝料密度, kg/m<sup>3</sup>;

$N$ ——转速, r/s;

$d$ ——搅拌桨片直径, m;

$N_p$ ——功率准数。

由于 $\rho$ 、 $N$ 和 $d$ 都很容易求得,故计算搅拌功率的关键是求出功率准数 $N_p$ 。

搅拌功率准数随流动状态以及搅拌装置的形状和尺寸等条件而变化,经常采用的搅拌功率计算方法有永田的关联式、龟井的关联式、Rushon的曲线图、Bates的曲线图等<sup>[1-2]</sup>。

### 2.1 功率准数的一般化关联式

功率准数计算的一般化关联式为

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} = K \left( \frac{d^2 N \rho}{\mu} \right)^p \times \left( \frac{d N^2}{g} \right)^q \times f \left( \frac{d}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H}{D}, \theta, \dots \right) \quad (2)$$

$$\text{即 } N_p = K (Red)^p (Fr)^q f \left( \frac{d}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H}{D}, \theta, \dots \right) \quad (3)$$

式中:  $Fr$ ——弗劳德数;

$K$ ——方程式系数;

$p, q$ ——方程式参数;

$D$ ——搅拌桶直径, m;

$g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

$\mu$ ——黏度, Pa·s;

$b$ ——叶片宽度, m;

$H$ ——液体深度, m;

$Red$ ——雷诺数。

对于一定的搅拌叶片, 则式(3)可以写成

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} = K (Red)^p (Fr)^q \quad (4)$$

### 2.2 桨式桨

桨式桨应用场合较为广泛, 桨叶形状可以根据不同的需要进行变化, 普遍应用于大部分液体的搅拌以及多相混合搅拌中。对于桨式桨(图1)有

$$N_p Red = 8n_p + \frac{75.9n_p^{0.85} \left( \frac{b}{d} \right)}{0.157 + \left( n_p \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right)^{0.611}} \quad (5)$$

式中:  $n_p$ ——搅拌桨的个数。

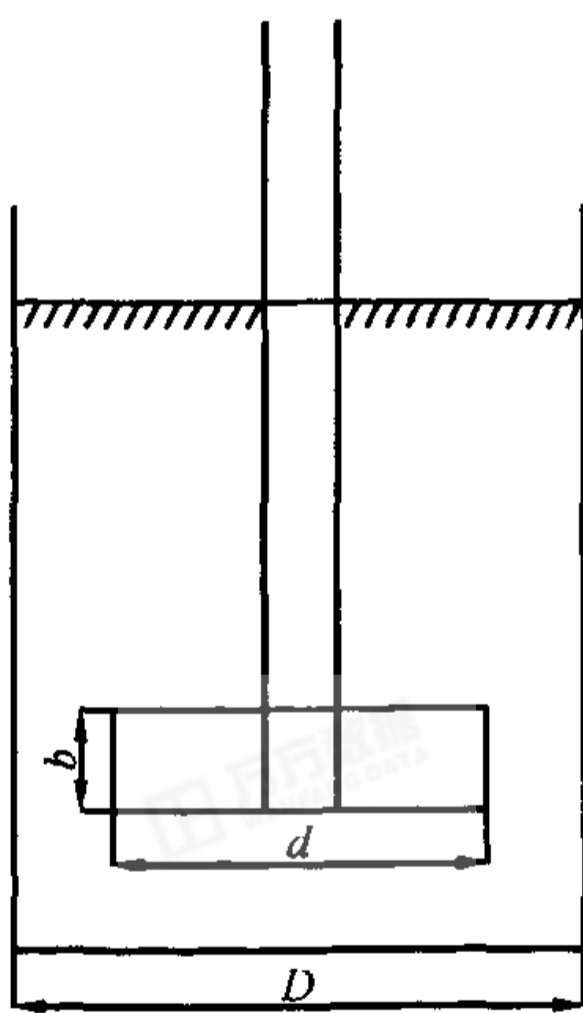


图1 桨式桨

通过求解  $N_p Red$  间接求解功率准数。  $n_p$  的取值范围为 2~8, 其计算值与实测值的平均误差为 8% 左右。对于两桨叶式桨(即  $n_p=2$ ), 永田提出更为简化的关联式

$$N_p Red = 4 + \frac{b}{d \left( 670 \left( \frac{d}{D} - 0.6 \right)^2 + 185 \right)} \quad (6)$$

### 2.3 锚式桨

锚式桨叶轮的桨径、罐径之比较大, 通常在低速下运

行, 罐内移动流量大, 不具有良好的混合均一性, 但能得到较大的传热膜系数。锚式桨常用于低速传热要求较好的情况, 也可以用来搅拌高浓度淤浆和沉降式淤浆, 如图2所示。

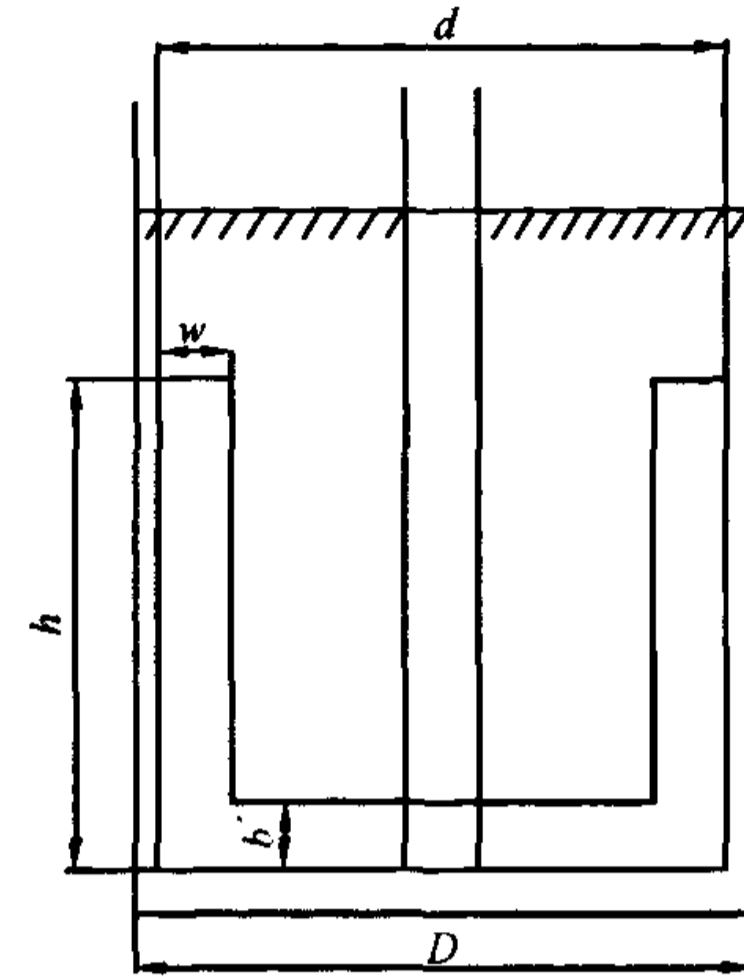


图2 锚式桨

锚式桨的计算方法需要考虑更多的因素, 如叶片高度、宽度和底边的宽度等, 在式(5)的基础上修正为

$$N_p Red = 8n_p + \frac{75.9Z_1 n_p^{0.85} \left( \frac{w}{d} \right)}{0.157 + \left( n_p \ln \left( \frac{D}{d} \right) \right)^{0.611}} \quad (7)$$

式中的修正系数

$$Z_1 = \left( \frac{b'}{H} \right) + 0.648 \left( n_p \ln \left( \frac{d}{d-2w} \right) \right)^{0.139} \quad (8)$$

式中:  $b'$ ——底边宽度, m;

$w$ ——桨片宽度, m。

式(7)的平均计算误差约为 6.4%。

### 2.4 双螺旋带桨

双螺旋带桨(图3)具有较好的混合均一性, 常用于各种粘稠液体, 尤其是较为粘稠并要求混合均匀的液体的搅拌。

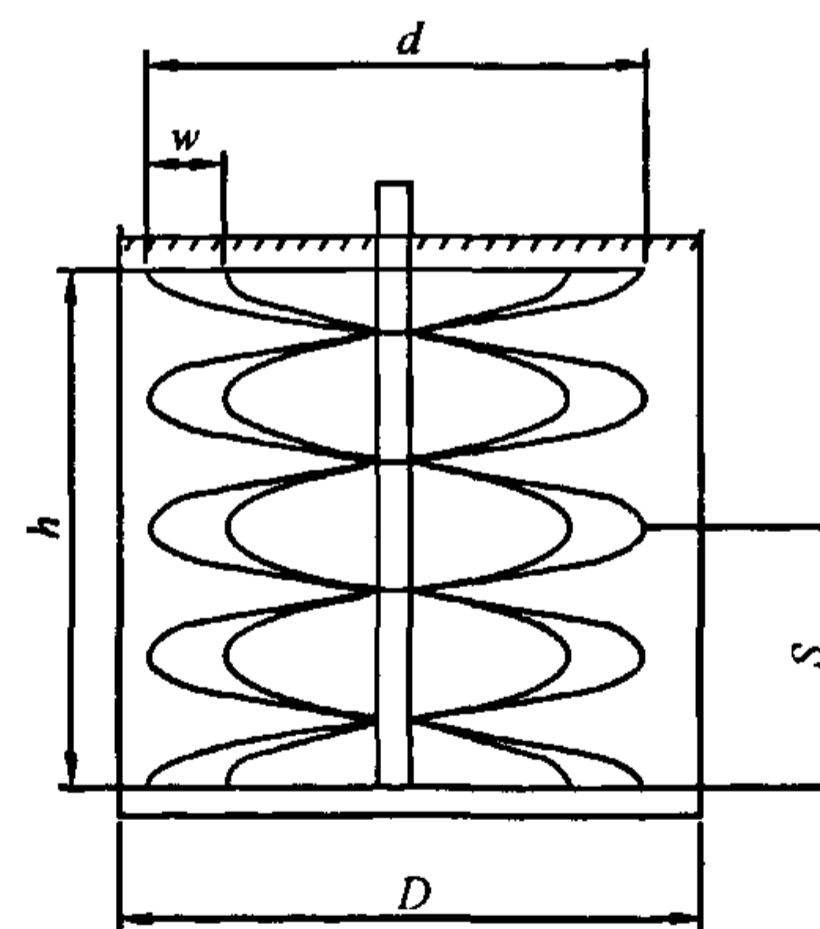


图3 双螺旋带桨

双螺旋桨螺距(一周的高度)和在槽壁面的叶片和水平面的角度的关系

$$\sin \alpha = \left( 1 + \left( \frac{\pi d}{S} \right)^2 \right)^{-0.5} \quad (9)$$

式中:  $S$ ——螺距(一周的高度), m;

$\alpha$ ——槽壁面叶片与水平面夹角, rad。

同时对适用于锚式桨的关联式(7)进行修正, 得到适用

于双螺旋带桨式

$$N_p Red = 8n_p + \frac{75.9Z_2 \left(\frac{n_p}{\sin \alpha}\right)^{0.85} \left(\frac{h}{d}\right)}{0.157 + \left(\left(\frac{n_p}{\sin \alpha}\right) \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)^{0.611}} \quad (10)$$

式中:  $h$ ——桨的高度, m。

式中的修正系数

$$Z_2 = 0.759 \left(\frac{n_p}{\sin \alpha} \ln\left(\frac{d}{d-2w}\right)\right)^{0.139} \left(n_p \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)^{0.182} n_p^{0.17} \quad (11)$$

关联式(10)的平均计算误差为8%左右。

### 2.5 普遍化关联式

将各种搅拌桨的普遍化关联式归纳为

$$N_p Red = 8n_p + \frac{75.9Z \left(\frac{n_p}{\sin \alpha}\right)^{0.85} \left(\frac{h}{d}\right)}{0.157 + \left(\left(\frac{n_p}{\sin \alpha}\right) \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)^{0.611}} \quad (12)$$

对于桨式桨:  $Z=1, \sin \alpha=1, h=b$ ; 对于锚式桨:  $Z=\left(\frac{b}{H}\right) +$

$0.648 \left(n_p \ln\left(\frac{d}{d-2w}\right)\right)^{0.139}$ ; 对于双螺旋带桨:  $Z=0.759$

$\left(\frac{n_p}{\sin \alpha} \ln\left(\frac{d}{d-2w}\right)\right)^{0.139} \left(n_p \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)^{0.182} n_p^{0.17}, \sin \alpha = \left(1 + \left(\frac{\pi d}{S}\right)^2\right)^{-0.5}$ 。

## 3 搅拌特性分析

为了进一步揭示灌缝料的搅拌特性, 通过对特定的桨叶式搅拌桨进行受力分析, 并在一定的驱动、形状等其他因素下对其启动搅拌特性进行了数值模拟。模拟分为2个部分, 包括对完整搅拌片的搅拌过程进行模拟和对搅拌片进行开孔的搅拌过程模拟。为了更好地分析启动过程, 这里提出了一个匀速搅拌功率的概念——把搅拌功率分为两部分, 一部分是维持现有速度的搅拌所需要的功率, 为匀速搅拌功率; 另一部分为使搅拌加速的功率, 称加速功率, 两者之和则为总的实际搅拌功率。数值模拟结果如下<sup>[3-4]</sup>。

(1) 对完整搅拌片的搅拌模拟, 如图4、图5所示。

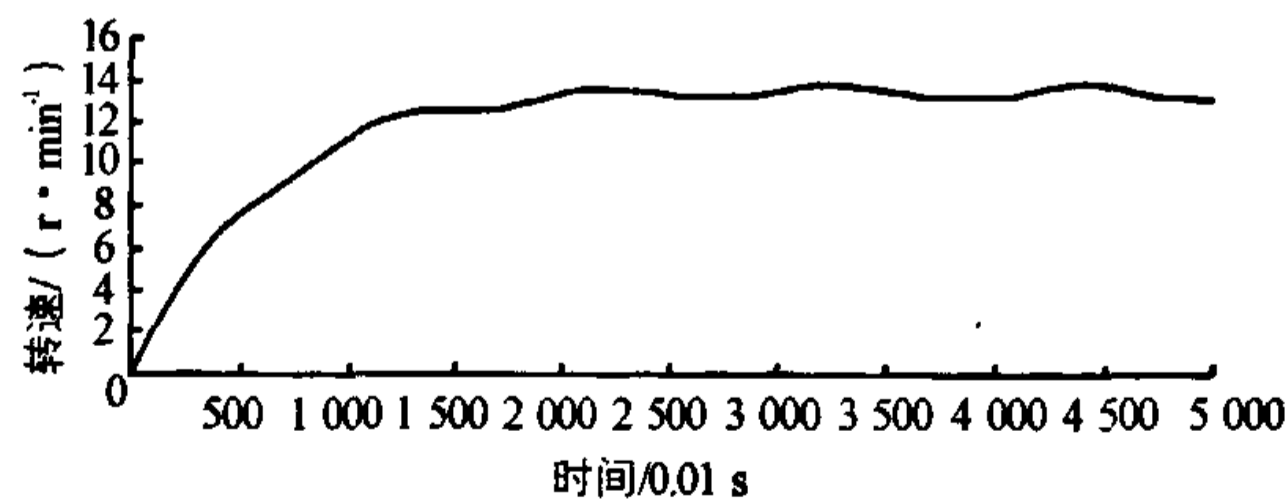


图4 完整搅拌片系统的搅拌速度随时间的变化关系

(2) 在其他条件不变的情况下, 对搅拌片进行合理开孔后的搅拌模拟, 如图6、图7所示。

由图4~图7数值模拟曲线可以看出, 对于灌缝料而言,

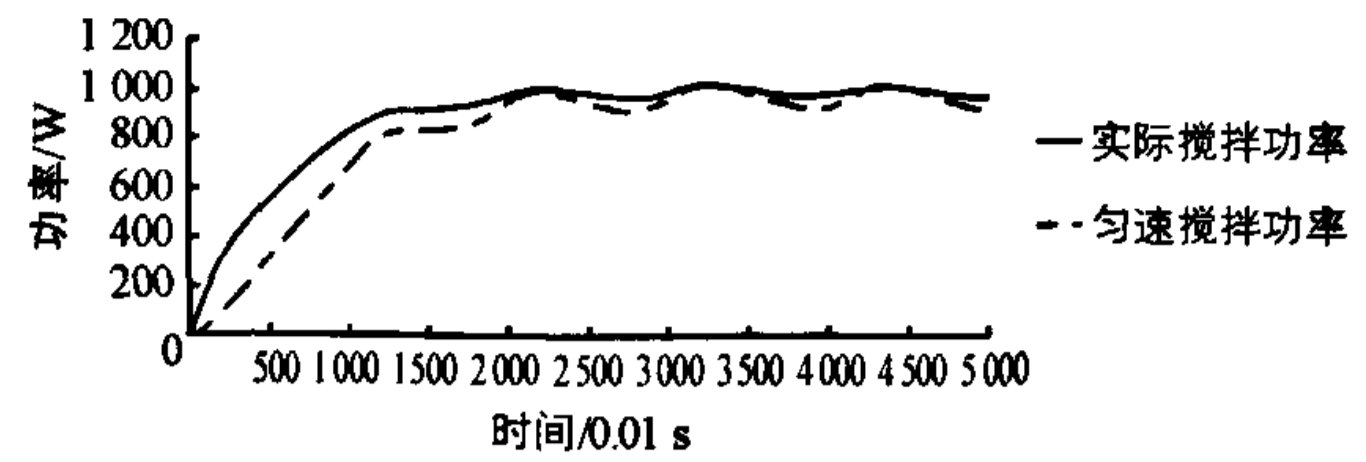


图5 完整搅拌片系统的实际搅拌功率和匀速搅拌功率曲线比较

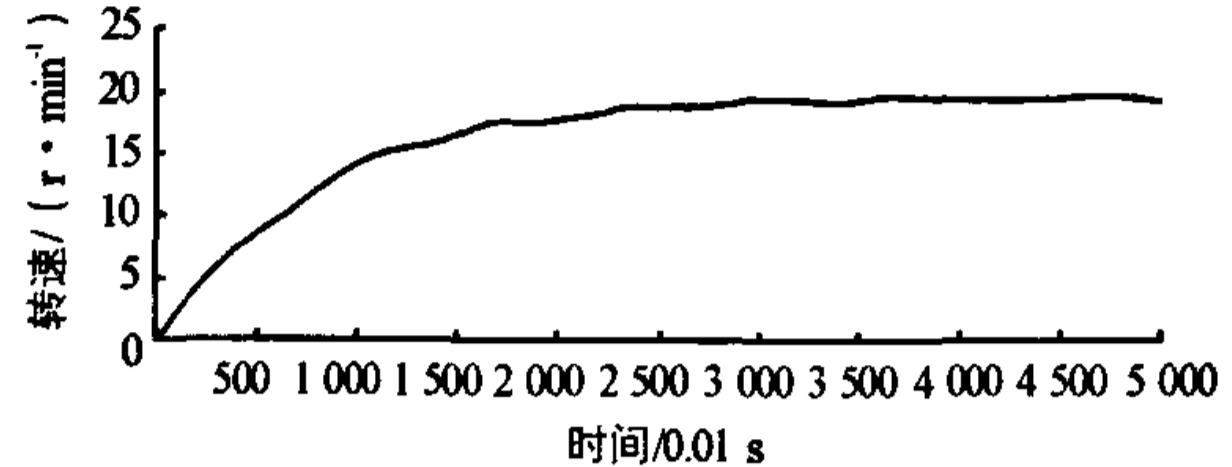


图6 开孔搅拌片系统的搅拌速度随时间的变化关系

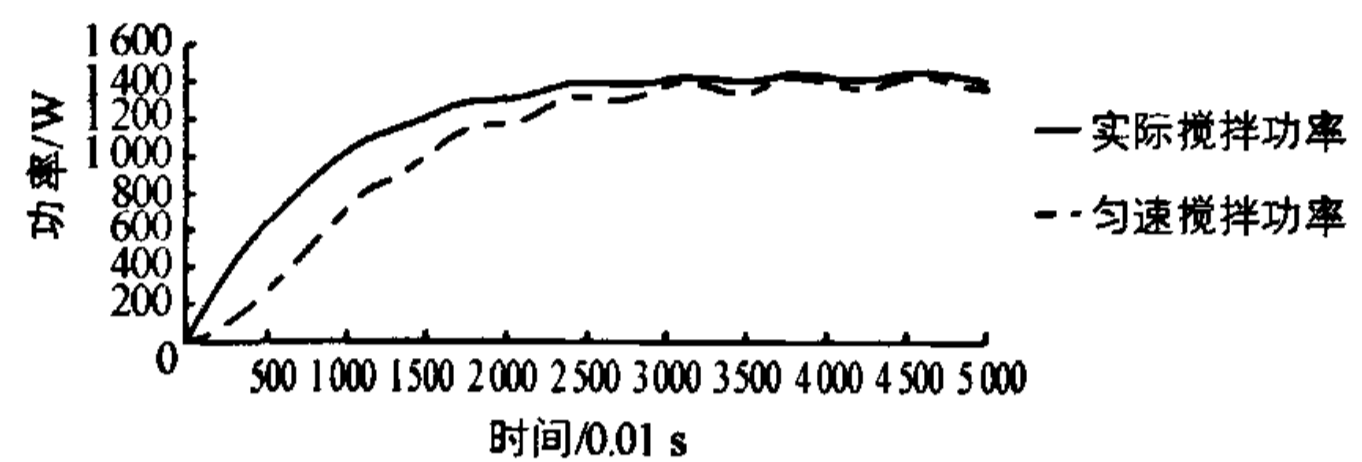


图7 开孔搅拌片系统的实际搅拌功率和匀速搅拌功率曲线比较

虽然设定的搅拌速度很小, 但由于搅拌液体的黏度很大(搅拌料量也很小), 使得搅拌启动时间较长。

由图4、图5可知, 灌缝料的搅拌波动力仍然会很大, 但在对搅拌片进行开口后(图6、图7), 波动情况明显减弱。开孔明显地降低了阻力并减小了波动, 在相同的驱动情况下, 搅拌速度明显增加; 相同的功率会使得搅拌加速变得更快。

由图5、图7可知, 灌缝料的粘滞性使其粘滞阻力较大, 维持其转动所需功率值较大, 而自身转动惯性量较小, 所以2条曲线中间面积不大, 但开孔搅拌片更容易进行加速。

在启动过程中, 由于不开孔造成的搅拌阻力较大, 同时速度增加差别不是很大, 所以会更快达到最大搅拌功率值。

## 4 结语

灌缝料具有黏度大、容易产生死角等特点, 因此不能照搬传统的搅拌方式和叶片设计方式。除了使用具有倾角的搅拌桨之外, 还可以采用扩大搅拌桨尺寸的方式解决边角处的死角问题, 并改善搅拌桨的形式以降低搅拌功率, 而不能纯粹地通过增加搅拌速度来改善搅拌效果。

### 参考文献:

- [1] 张和照. 几种常用搅拌桨的功率计算[J]. 化工设计, 2002, 31(4): 14-18.
- [2] 王凯, 虞军. 搅拌设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 李宁利, 李铁虎, 陈华鑫, 等. 改性沥青混合料的拌和与压实温度[J]. 中国公路学报, 2007, 20(2): 40-44.
- [4] 张争奇, 李宁利, 陈华鑫. 改性沥青混合料拌和与压实温度确定方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 36-40.

收稿日期: 2007-09-16

[责任编辑: 谭忠华]