

新型行星式搅拌器开发及性能研究

陈明义

(青岛科技大学 中德科技学院, 山东 青岛 266061)

摘要:介绍了新型行星式搅拌器的结构和设计原理。该新型搅拌器有一个传动轴和数个行星叶轮组成,行星轮自转的驱动力来自液体阻力,行星叶轮自转速度的大小与公转速度、公转半径和自转半径有关,而与行星叶轮高度无关;自转方向与公转方向相反。测试采用 IKA EUROSTAR power control 搅拌装置和 Labword 软件,试验介质为水和甘油。通过对搅拌器的搅拌性能试验研究发现,流体质点的轴向流线为高速螺旋线,主要流型为径向流和轴向流,因此,在主轴转速较低的情况下被搅拌液体亦可获得满意的混合效果。通过对试验数据分析处理,得到测试用行星式搅拌器的功率准数、混合时间数、排液量和循环量等搅拌性能曲线及经验公式。

关键词:行星;叶轮;搅拌器;混合;机械设计

中图分类号:TQ 051.7

文献标识码:A

文章编号:1005-9954(2010)07-0047-04

Development and performance research of new planetary agitator

CHEN Ming-yi

(Chinesisch-Deutsche Technische Fakultät, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, Shandong Province, China)

Abstract: The structure and design principle of new planetary agitator were introduced. The new agitator is made up of one transmission shaft and several planetary impellers, the rotation driving power of planetary impeller comes from liquid resistance, and the rotation speed is in relationship with revolution speed, revolution radius and rotation radius, but independent of the height of planetary impeller. The rotation direction is in opposition to revolution direction. The mixing performance of the new planetary agitator was studied through experiments by using IKA EUROSTAR power control mixer and Labword software with water and glycerol as medium. The results show that the axial flow line of the fluid particle is high-speed spiral-line, and the main flow pattern is radial flow and axial flow, so a satisfactory mixing result can be gotten even at low speed of main axis. According to the experimental results, the mixing performance curves and empirical formulas were found for power quasi-number, mixing time number, liquid drainage quantity and liquid circle quantity.

Key words: planet; impeller; mixer; mixing; mechanical design

搅拌是化工反应过程的重要操作,搅拌过程涉及流体力学、传热、传质及化学反应等多种过程^[1]。搅拌器叶轮形式目前已有几十种,而新的形式还在不断出现。本文介绍的一种新型行星式搅拌器就是作者在2008年发明的实用新型专利,这种搅拌器不同于已有的行星式搅拌器,传动轴只有一个,行星轮自转的驱动力来自液体阻力。

1 结构^[2]

图1为由2个行星轮构成的行星式搅拌器结构图,主体结构由传动轴、行星叶轮(包括叶片和轮

毂)、行星轮架、联接套、紧固螺母和联接件等部件组合而成,叶片焊接在行星叶轮轮毂上,叶片与轮毂共同构成行星叶轮,行星叶轮以自由转动方式安装在行星轮架的转轴上,行星轮架与联接套制成一体,联接套由紧固螺母和联接件与传动轴连接在一起,联接件用于传递扭矩,可以为键或销等,底端的紧固螺母,用于锁紧并承重,传动轴顶端与外动力联接。

传动轴主要用于传递动力;联接件用于传递扭矩;行星轮架上的轴用于支撑和安装行星叶轮,同时与联接套制成一体;联接套与传动轴配合并传递扭矩,联接套与传动轴的配合为过渡配合,并借助联接

件和紧固螺母将联接套固紧在传动轴上;行星叶轮将机械能传递给液体,它通过轴承或轴套与行星轮架上的轴相联接,行星叶轮由叶片与轮毂构成一体,叶片相对于轮毂轴线可以平行安装,也可以倾斜一定角度安装。

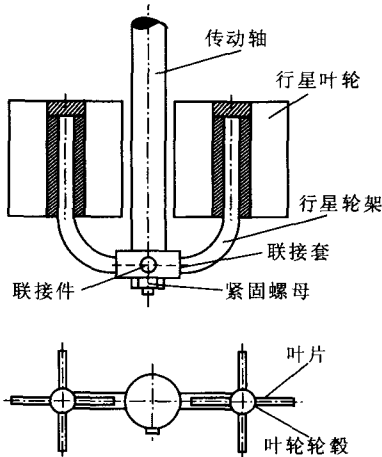


图1 行星式搅拌器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of mixer with planetary wheel

行星式搅拌器对称安装2—4个行星叶轮,行星叶轮直径小于搅拌器直径的0.5倍,行星式搅拌器直径与容器直径之比为0.3—0.9。行星叶轮上对称安装3—8个叶片,叶片可以制成平面叶片,也可以制成曲面叶片。行星叶轮高度取决于容器介质的液面高度,安装后叶轮的上端距液平面和下端距底面都要保持一定空间。

2 设计理论及工作原理

图2所示为行星式搅拌器示意图的一部分。设行星轮半径为 r_1 ,叶片高为 h ,行星轮公转半径为 R ,公转速度为 n_0 ,行星轮自转速度为 n_1 ,叶轮上对称装有4个叶片。由流体力学知识可知,当搅拌器旋转时,行星叶轮叶片会受到流体阻力的作用,作用力 F 的大小为^[3]:

$$F = C_0 \frac{1}{2} \rho u^2 A \quad (1)$$

由于沿半径方向各点的切线速度不同,所以,行星轮叶片受到的阻力大小不同,在叶片的来流侧面选取面积 dA ,则阻力为

$$dF = C_0 \frac{1}{2} \rho u^2 dA \quad (2)$$

式中: C_0 为阻力系数; ρ 为液体密度, kg/m^3 ; u 为液体来流速度, $u = 2\pi nr$, m/s ; dA 为物体在来流方向的面积, m^2 。

叶片外侧的阻力:

$$F_1 = C_0 \frac{1}{2} \rho \int_R^{R+r_1} u^2 h dr = C_0 \frac{1}{2} \rho (2\pi n_0)^2 h \int_R^{R+r_1} r^2 dr$$

$$\text{即 } F_1 = 2C_0 \pi^2 \rho h n_0^2 (3R^2 r_1 + 3Rr_1^2 + r_1^3) \quad (3)$$

叶片内侧的阻力:

$$F_2 = C_0 \frac{1}{2} \rho \int_{R-r_1}^R u^2 h dr = C_0 \frac{1}{2} \rho (2\pi n_0)^2 h \int_{R-r_1}^R r^2 dr$$

$$\text{即 } F_2 = 2C_0 \pi^2 \rho h n_0^2 (3R^2 r_1 - 3Rr_1^2 + r_1^3) \quad (4)$$

内外阻力之差为

$$\Delta F = F_1 - F_2 = 12C_0 \pi^2 \rho h n_0^2 R r_1^2 \quad (5)$$

此阻力差即为行星轮自转的动力。在内外缘阻力差的作用下,行星叶轮便会绕其轴自行转动,转动方向与行星轮架转动方向相反。行星叶轮的转速同样可以根据式(1)求得:

设作用力的合力作用在 $r_1/2$ 处,将 $u = 2\pi n_1 \frac{r_1}{2} = \pi n_1 r_1$, $A = r_1 \cdot h$ 和 $F = 12C_0 \pi^2 \rho h n_0^2 R r_1^2$ 代入式(1), 得

$$n_1 = n_0 \sqrt{\frac{24R}{r_1}} \quad (6)$$

即行星叶轮自转速度只与公转速度、公转半径和自转半径有关,而与行星叶轮高度无关,自转速度与公转速度的比值为 $\frac{n_1}{n_0} = \left(24 \frac{R}{r_1}\right)^{0.5}$ 。

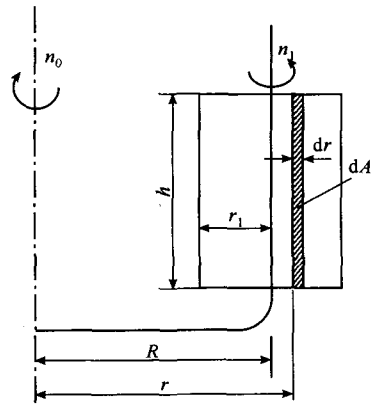


图2 行星轮叶片上的作用力

Fig. 2 Force acting on planetary leaves

行星叶轮在行星轮架的拖拽和流体阻力的共同作用下,既随传动轴公转,还相对行星轮轴自转。在行星式搅拌器行星轮自转时,叶片将流体沿径向方向推出,沿径向方向运动的流体在器壁的阻挡下,转向搅拌器上下两端再流入中心部,从而形成高湍动的充分混和区,且流体质点的轴向流线为高速螺旋

线,在低转速下即可产生较强的径向流和轴向流,消除了容器内的“死区”,介质混合均匀,反应时间显著降低。

叶片形状可以是平的,也可以是螺旋桨或斜叶式的,后者产生的主流型是轴向流,搅拌效果更好。

3 性能测试及分析

实验装置采用的是德国 IKA EUROSTAR power control 搅拌装置。IKA 系列的搅拌装置可通过 Labword 软件与电脑相连,进行参数的调整、输入与数据的测量、输出,可以直接通过计算机读出扭矩和转速等值。实验介质为水、甘油和质量分数为 83% 甘油溶液。搅拌器上安装行星轮 2 个,每个行星轮上安装 4 个叶片。搅拌器各部尺寸: $R = 28 \text{ mm}$, $r_1 = 20 \text{ mm}$, $h = 56 \text{ mm}$ 。容器直径 $D = 140 \text{ mm}$,液面深 $H = 130 \text{ mm}$,搅拌器底部距容器底面 20 mm 。

混合时间的测定采用去色法。循环特性的测定主要测定搅拌器的排出流量和循环流量,采用示踪粒子法测定。

3.1 液体质点流动分析

由于行星轮的作用,液体在容器内的流动非常复杂,宏观上容器内液体的主流型为径向流和轴向流。通过对示踪粒子的观察,液体质点的流动类型和各部的速度分布是不均匀的,在行星轮的周围,液体质点速度的大小和方向都是交变的,因此,在搅拌器的作用下,液体质点从叶片中部被抛出,然后呈螺旋线流动,再从搅拌器的上下进入中心区,液体湍动剧烈,即使不加挡板,容器内也不会有“死区”存在。转速 n 增加,周向速度会增加,因此主轴转速应加以控制。

3.2 搅拌功率与功率准数

经过对实验数据整理,给出搅拌器(介质为甘油)的功率 P 与雷诺数 Re 之间的关系曲线(见图 3)和功率计算经验式。

$$P = 0.0039Re^2 + 0.01Re + 0.7406 \quad (7)$$

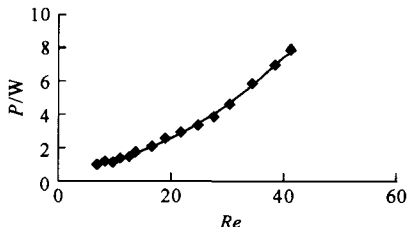


图 3 功率曲线

Fig. 3 Power curve

搅拌功率准数 N_p 反映了搅拌操作所需的能量消耗,定义为

$$N_p = \frac{P}{\rho n^3 d^5} = KRe^a Fr^b f\left(\frac{d}{D}, \frac{B}{D}, \frac{h}{D}, \dots\right) \quad (8)$$

式中: N_p 为功率准数; Fr 为弗鲁德准数; P 为搅拌功率; W ; d 为搅拌器直径, m ; n 为转速, s^{-1} 。

图 4 为搅拌器功率准数曲线(介质为甘油)。

$$N_p = 4.106Re^{-1.8} \quad (9)$$

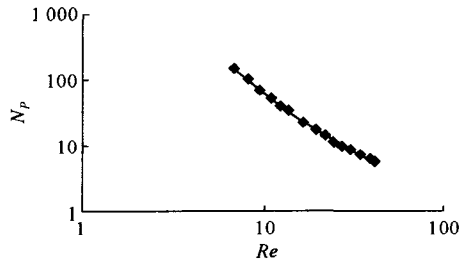


图 4 功率准数曲线

Fig. 4 Power number curve

3.3 混合时间数

混合时间数定义为 t_m 达到某个混合标准所需要的搅拌器转数。对搅拌器试验测定,标准是达到充分混合,介质为甘油,测得混合时间数曲线见图 5。其回归经验公式为

$$t_m = 0.1995Re^2 - 11.203Re + 169.19 \quad (10)$$

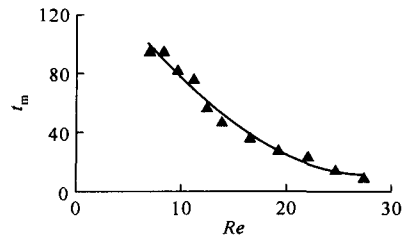


图 5 混合时间数曲线

Fig. 5 Mixing time curve

3.4 排出流量数和循环流量数

衡量搅拌器混合效果的指标之一是搅拌器的排液量 Q_d 和循环量 Q_c ,分别定义如下^[4]:

$$\text{排液量} \quad Q_d = N_{qd}nd^3 \quad (11)$$

$$\text{循环量} \quad Q_c = N_{qc}nd^3 \quad (12)$$

式中: N_{qd} , N_{qc} 分别为搅拌器的排出流量数和循环流量数。

测得搅拌器主轴转速为 100 r/min 时,在甘油液体中示踪粒子 10 min 内的平均循环次数 m 为 248 次,液体体积 $V = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$,排出流量可按照

下式求得:

$$Q_d = \frac{m \cdot V}{t} \quad (13)$$

将 $m = 248$, $V = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 和 $t = 600 \text{ s}$ 代入式 (13), 得 $Q_d = 8.27 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

由式(11), 排出流量数 $N_{qd} = Q_d/nd^3$, 可以得到当转速为 100 r/min 时搅拌器的排出流量数 $N_{qd} = 0.54$ 。

循环流量数采用下式进行估算^[4]:

$$N_{qc} = N_{qd} \left\{ 1 + 0.16 \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (14)$$

式中: $D/d = 1.34$, 代入得 $N_{qc} = 1.13$ 。

故 排液量(m^3/s): $Q_d = 0.54nd^3$;

循环量(m^3/s): $Q_c = 0.61nd^3$ 。

4 结论

(1)行星轮自转的驱动力来自液体阻力。宏观上容器内液体的主流型为径向流和轴向流。在行星轮自转时,叶片将流体沿径向方向推出,由于器壁的阻挡,然后呈螺旋线流动,分别从搅拌器的上下进入中心区,从而形成高湍动的充分混和区。

(2)行星叶轮自转方向与公转方向相反,自转速度与公转速度、公转半径和自转半径有关。自转速度与公转速度理论比值为 $n_1 = n_0(24R/r_1)^{0.5}$ 。

(3)在介质为甘油的情况下,测试得到如下经验公式:功率准数 $N_p = 4.106Re^{-1.8}$, 混合时间数 $t_m = 0.1995Re^2 - 11.203Re + 169.19$, 排液量 $Q_d = 0.54nd^3$; 循环量 $Q_c = 0.61nd^3$ 。

参考文献:

- [1] 郑津洋,董其伍,桑芝富. 过程设备设计[M]. 北京:化学工业出版社,2001:368-401.
- [2] 杨洪顺,陈明义,张祥光,等. 行星轮式搅拌器:中国, ZL200820016373.8[P]. 2008-11-19.
- [3] 戴干策,陈敏恒. 化工流体力学[M]. 北京:化学工业出版社,1988:287.
- [4] 王凯,虞军. 搅拌设备[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [5] 哈恩欠,俞芷清,译. 工业中的混合问题[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [6] 杨春辉,解宝忠,史文藻,等. 三叶后掠式搅拌器的流场试验研究[J]. 聚氯乙烯,1999(1):21-26.

【上接第 42 页】

(3)压力脉动信号的统计参数特征量与 AFSA 的神经网络相结合的流型识别方法是可靠的,能够快速识别出气固流化床 5 种流型且具有很高的识别精度,满足流型的在线识别的需要。

参考文献:

- [1] 黄轶伦,黄海,陈伯川. 复杂性在气固流化床流型识别中的应用[J]. 高校化学工程学报,2004,4(18):453-458.
- [2] 周云龙,孙斌. 基于神经网络和 D-S 证据理论的气液两相流型识别方法[J]. 化工学报,2006,57(3):607-613.
- [3] 孙斌,周云龙. 基于小波包能量特征的气液两相流型识别方法[J]. 化学工程,2006,34(2):33-36.
- [4] 周云龙,范振儒,苏耀雷. 基于图像傅里叶变换纹理特征和概率神经网络的气固流化床流型识别[J]. 化工自动化及仪表,2009,36(2):38-42.
- [5] 李晓磊,邵之江,钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践,2002,22(11):32-38.
- [6] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [7] PHAM D T, LIU X. Training of Elman networks and dynamic system modeling[J]. International Journal of Systems Science,1996,27(2):2212-2261.
- [8] MORE J J. The Levenberg-Marquardt Algorithm: implementation and theory[M]. New York:Springer-Verlag,1977.