

中心龙卷流型搅拌槽实验研究 I

郭笃信, 魏玉梅, 郝惠娣, 蔺运生

(西北大学 化学工程学系, 陕西 西安 710069)

摘要:介绍一种新型高效节能搅拌设备——中心龙卷流型搅拌槽。阐述了中心龙卷流型搅拌槽的流场形成机理,给出了该搅拌槽在 $Re > 10^4$ 时的功率准数,概括说明了其优越性及适用范围。

关键词:中心龙卷流; 功率准数; 高效节能

中图分类号:TQ051.7+2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274X(2001)01-0045-04

提高搅拌效率的关键是要使搅拌槽内的流动状态适合于某种操作目的需要。笔者认识到搅拌槽内的流动状态取决于搅拌槽、搅拌器、附件的类型以及搅拌器与附件在槽内的空间配置关系。在文献[1]的基础上开发出一种新型高效节能搅拌设备——中心龙卷流型搅拌设备。该搅拌设备应用典型的“径向流”搅拌器,却能利用流体力学原理在槽内形成强力的轴向流。兼有“径向流”和“轴向流”的搅拌特点。

1 中心龙卷流型搅拌槽运行机理

以地面某点为中心,如果其周围有向心流动的气流,当流速达到一定数值后,就可能产生龙卷风。图1为其简化示意图。

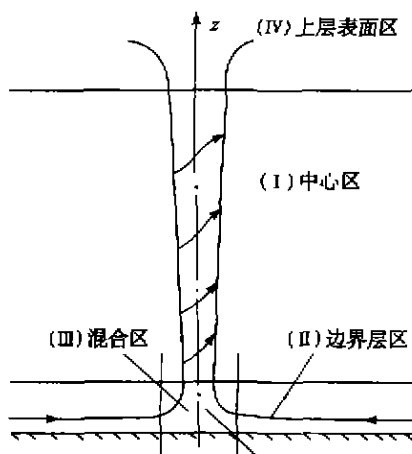


图1 龙卷风简化示意图
Fig.1 Schematic diagram of tornado

伯格(Burgers) 涡可作为中心区 I 的近似模型。对于圆柱坐标系,伯格斯的特解可表示为^[2]

$$\text{轴向流速 } u_z = 2az (a > 0);$$

$$\text{径向流速 } u_r = -ar;$$

$$\text{切向流速 } u_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r} = \frac{\Gamma_0}{2\pi r} (1 - e^{-ar^2}).$$

其中 a 是径向流量参数, Γ 为速度环量, ν 为流体运动粘性系数。 $a > 0$ 时流体流向对称轴后再沿 z 轴方向运动。定常伯格斯涡能存在的机理在于当涡量向外扩散时,从外向内的径向流把新的能量带回涡核。

搅拌槽内由径向流搅拌器排出的径向液流碰到槽壁后有一部分折转向下,如果加以合理引导,则可在槽底表面附近形成向心流,当其流速达到一定水平后也就可以在槽中心部位形成螺旋上升的龙卷流。如是,叶轮排出的径向流量越大,则越易形成龙卷流。笔者所作的有关实验证实了这一点。

在搅拌槽底表面附近的边界层内,液体的流动状态,可看作是一个强度为 Q 的点汇与一个环量为 Γ 的环流之叠加。叠加后复合势流的速度势函数 φ 和流函数 ψ 为

$$\varphi = -\frac{Q}{2\pi} \cdot \ln r - \frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \ln \theta = \text{常数}; \quad (1)$$

$$\psi = -\frac{Q}{2\pi} \theta + \frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \ln r = \text{常数}. \quad (2)$$

零流线方程 $\psi = 0$ 即

$$\frac{Q}{2\pi} \theta = \frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \ln r \quad \text{或} \quad r = e^{\frac{Q}{\Gamma} \theta}. \quad (3)$$

复合势流的径向流速和周向流速分别为

收稿日期:2000-03-31

基金项目:陕西省科委科技攻关项目(97K10-G2)

作者简介:郭笃信(1941-),男,河南洛阳人,西北大学教授,从事化工设备方面的研究。

$$u_r = \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = -\frac{Q}{2\pi r}; \quad (4)$$

$$u_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = -\frac{\Gamma}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}. \quad (5)$$

由此可知零流线是一簇对数涡线。笔者在槽底设置了合理形状及尺寸的导流板,径向流搅拌器安装于槽上部,组成了中心龙卷流型搅拌槽。其内流场示意图如图 2;图 3 所示为叶轮启动后中心龙卷流形成瞬间的流态。拍照时采用了“可视化技术”^[4],它消除了由于光线折射而造成的视差,得到槽内流场的真实图像。

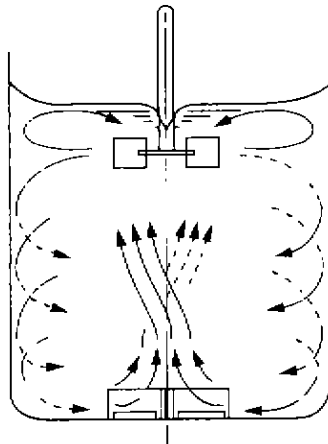


图 2 中心龙卷流型搅拌槽内流场示意图

Fig. 2 Flow pattern of the Mixer of ascending screwy Flow in the center

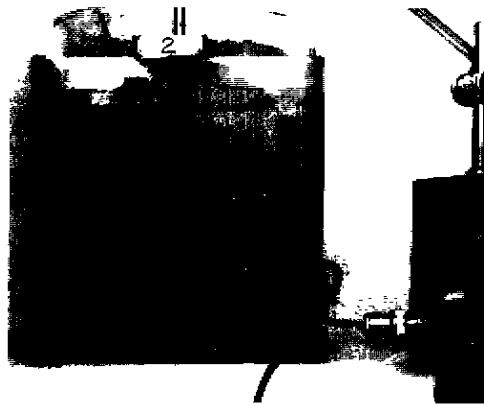


图 3 叶轮启动后的瞬间流态

Fig. 3 instantaneous flow pattern to start a impeller

2 中心龙卷流型搅拌槽的优点及其适用范围

2.1 功率准数测定及其分析

笔者测定了标准搅拌槽及中心龙卷流型搅拌槽的功率准数。测量系统如图 4 所示,其中扭矩传感器两侧的联轴器采用尼龙绳联轴器,它可消除由于安

装误差造成的附加弯矩之影响,以确保测量精度。现将有关资料数据及部分实测数据列于表 1 以便对比分析。

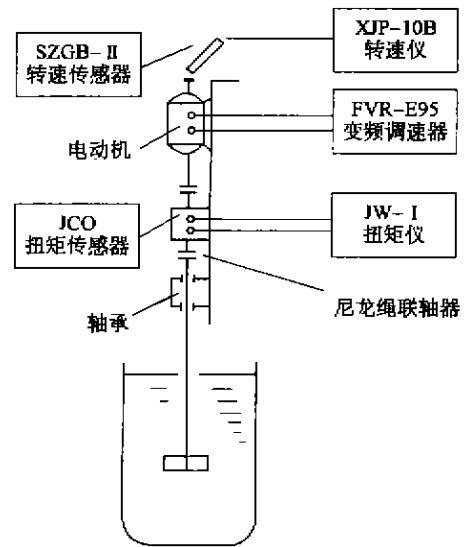


图 4 转速、扭矩测量系统

Fig. 4 survey system of the rotational speed and moment

从表 1 内第 2~6 行可知本测量系统测量结果是比较准确的。从第 7~8 行可知:中心龙卷流型搅拌槽的功率准数比标准槽的功率准数低得多,仅为 0.47。

无垂直挡板的圆筒形搅拌槽,在湍流状态下运行时,槽内液面下凹显著,流场内有“固体回转区”存在,不能吸收较大能量,其功率准数仅为 1.2。在槽内设置垂直挡板后,克服了上述缺点,槽内流体可以吸收很大能量,大大提高了搅拌强度。但是,由于流体与垂直挡板的猛烈冲击使很多能量转变为热量而耗散,对混合贡献不大。著名学者永田进治根据其研究成果指出:如果考虑动力消耗,其搅拌效果由于增加挡板反而降低了^[8]。其功率准数在 5~6 左右。在中心龙卷流型搅拌槽内,槽底导流板呈对数蜗线。当搅拌槽稳定运转时,可认为其槽底边界层内 $Q \cdot \Gamma$ 是常量。由公式(5)可知这时 $u_\theta \cdot r = \text{常数}$,即不同 r 处流体动量矩相等,说明流体沿蜗线流向中心时,只有流体本身机械能的转换,其他能量损失很少。其功率准数在 2~3 之间,能吸收较多能量,主要用于搅拌混合,搅拌效率高。

2.2 高效节能效果显著

图 5,6 所示为龙卷流型槽与标准槽的对比实验照片之一。在该对比实验中,两种搅拌槽的槽型、槽径、搅拌器形式及尺寸、搅拌轴转速均相同;槽内液体均为自来水,水温 26℃,固体颗粒均为 500 粒

$\Phi 1.4 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 塑料颗粒。十分明显,龙卷流型槽的搅拌效果(固体颗粒悬浮操作)大大优于标准槽。

搅拌轴功率的计算公式为

$$P = N_p \rho D^5 n^3$$

由于上述对比实验中两种搅拌槽的桨径 D 、搅拌轴转速 n 相等,槽内液体密度 ρ 相同,故其功率消耗与功率准数 N_p 成正比,即 $P \propto N_p$ 。如是,中心龙卷流型搅拌槽所耗功率仅是标准槽的 0.47,故上述对比实验表明中心龙卷流型槽节能程度也十分可观。

表 1 功率准数对比表

Tab. 1 Comparison of power coefficient

搅拌槽 (槽径 T)	挡板宽度 B	叶轮直径 D	叶轮安高 C	桨叶宽度 h	功率准数 N_p	资料来源
无挡板槽	—	$T/3$	D	$D/5$	1.2	文献[4]
四垂直挡板槽	$T/12$	$T/3$	D	$D/5$	5.1	文献[5]
四垂直挡板槽	$T/10$	$T/3$	D	$D/5$	6.1	文献[6]
四垂直挡板槽	全挡板条件	$T/(3 \sim 4)$			6.4	文献[7]
四垂直挡板槽 $T = 0.49 \text{ m}$		$T/3$			5.06	文献[7]
四垂直挡板槽	$T/10.7$	$T/3$	D	$D/5$	5.78	自测($T = 0.3 \text{ m}$)
四垂直挡板槽	$T/10.7$	$T/2$	D	$D/5$	5.34	自测($T = 0.3 \text{ m}$)
中心龙卷流型机理(有底导流板) 共同条件	—	$T/2$	$1.5 D$	$D/5$	2.49	自测($T = 0.3 \text{ m}$)

搅拌机:六平直叶圆盘涡轮; H (液深) = T ; $R_c \geq 10'$

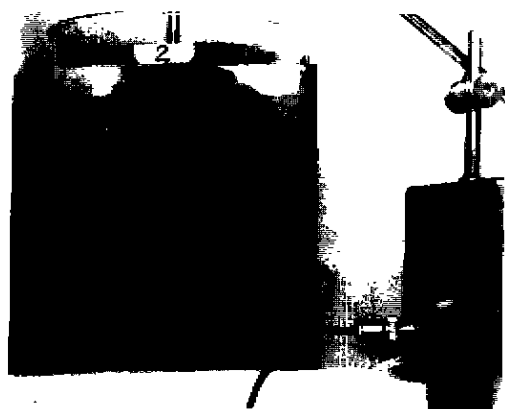


图 5 中心龙卷流型槽的悬浮状态

Fig. 5 suspended state of the Mixer of ascending screw flow in the center



图 6 标准搅拌槽的悬浮状态

Fig. 6 suspended state of the current mixer

下面举一个应用 21 升搅拌槽进行的固体颗粒悬浮操作功耗对比实验实例(表 2)。

从表 2 可知,同样达到完全离底悬浮状态,中心龙卷流型搅拌槽所耗搅拌轴功率仅是标准槽的 0.33。该新型设备固体颗粒悬浮操作节能程度与设备尺寸有关,其全面分析待发表。

2.3 适用范围

根据笔者目前的实验研究可知:中心龙卷流型

搅拌槽适用于低、中粘度液体的搅拌操作。特别是对于固体颗粒悬浮、液、液混匀,液体析出结晶操作,与标准搅拌槽相比高效节能效果显著,且易于放大。

另外,龙卷流型槽内,叶轮安装于槽上部,搅拌轴较短,故其结构简便,成本与标准槽相当或略低,是一种值得推广应用的新型搅拌设备。

表 2 21 升搅拌槽固体颗粒悬浮操作对比实验

Tab. 2 experimental comparison of solid suspension in the mixer by twenty-one l

项 目	中心龙卷流型搅拌槽	标准搅拌槽
设备条件	圆筒形平底槽 $T=300$ mm, 六平叶圆盘涡轮, $D/T=0.5$	
涡轮安装高度	$C=1.5D$	$C=D$
实验体系	液相: 自来水 $t=18^{\circ}\text{C}$ 固相: 石英砂 $\rho=1650$ $dp=0.5\sim 1$, 质量分数 0.02	
临界转速	153 r/min	171 r/min
搅拌轴功率	3.13 W	9.38 W

参考文献:

- [1] 盐原克巳. 高性能搅拌への対応“スーパミックス”[J]. 化学装置, 1994, 32(5): 54-58.
- [2] 董秉钢, 张炳喧, 崔尔杰. 非定常流与涡运动[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993. 118.
- [3] 上和野满雄. “ミキシング”技术の高度化に於て[J]. 化学装置, 1994, 32(5): 15-21.
- [4] (美) R. H. Perry. PERRY 化学工程手册(第六版)[Z]. 周理等译. 北京: 化学工业出版社, 1992. 15-19.
- [5] 丁绪淮, 周理. 液体搅拌[M]. 北京: 化学工业出版社, 1983. 56-58.
- [6] 陈乙崇. 搅拌设备设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 40-52.
- [7] 盐原克巳. 化学装置としこの搅拌[J]. 化学装置, 1994, 32(5): 22-32.
- [8] 永田进治, 山本一夫, 桥本健治, 等. 邪魔板付圆筒形搅拌槽内液の流动状态[J]. 化学工学, 1959, 23(9): 31-37.

(编辑 杨丙雨)

Experimental research to installation of the mixer of ascending Screw Flow in the Center I

GUO Du-xin, WEI Yu-mei, HAO Hui-di, LIN Yun-sheng

(Department of Chemical Engineering, Northwest Univeristy, Xi'an 710069, China)

Abstract: A new installation of mixer is introduced, which is efficient and saves energy resources—installation of the mixer of ascending screw flow in the center. It expounds the form principle to flow state in the installation of mixer, and puts forward an power coefficient of the installation of mixer to $Re > 10^4$, briefly explains the superiority and applying scope to installation of mixer.

Key words: ascending screw flow in the center; power coefficient; efficient and save on every resources

• 学术动态 •

资深环保作家唐锡阳先生到我校演讲

近日, 国家环保局环保大使、资深环保作家唐锡阳先生应邀到我校演讲。在以“环球绿色行”为主题的演讲会上, 唐先生用生动的语言将我国自然保护区与欧美国家的保护区进行了比较, 并介绍了他所建立的“大学生绿色营”和保护滇金丝猴的过程。在演讲中, 唐先生解释了自己的环保信条“物我同舟, 天人共泰, 尊重历史, 还我自然”。在演讲会之前, 唐锡阳先生还参观了生物学系、地质学系的标本陈列室和图书馆的珍藏室。

(薛 鲍)