

# 定转子型乳化机的关键结构分析及合理设计

崔政伟

(无锡轻工大学机械工程系, 无锡 214036)

**摘要** 定转子型乳化机的关键结构是一对精密配合的定子和转子,其结构形式多种多样。通过从理论上对各种定、转子结构分析研究,设计出一种较为理想的结构形式,并经实验证实。指出了各种结构的适用场合。

**关键词** 乳化机; 定子; 转子

**中图分类号** TQ027.35

## 0 前言

乳化工序是化工、食品、制药等行业多见的一种单元操作,是指将两种不相溶的液体(其中之一几乎总是水,另一相为不溶于水的“油”)转变成均匀分布的液-液分散体系(乳液)的过程。根据乳状液稳定性理论,要使形成的分散体系长期保持相对稳定状态,液滴应尽可能小。在实际操作中,减小液滴主要靠乳化机实现。

乳化机的种类很多,但其作用都是给乳化操作提供机械能,在此机械能的作用下,使一相混入到另一相之中,通过粗液滴的变形和破裂,使粗液滴的直径不断减小以至最终完成乳化过程。常用的乳化机械有:搅拌机、高压均质机、超声波乳化机、胶体磨以及定转子乳化机等。搅拌机只能作为粗乳化设备;高压均质机和超声波乳化机不仅能耗较大,而且混合的功能较差,用它们乳化的产品均一性不够好;胶体磨严格地讲属于定转子系统,缺点是乳液在环隙中的停留时间短,一般要经过多次循环乳化,或用几台胶体磨串联起来操作;定转子型乳化机由于具有自循环的功能,克服了胶体磨的不足,一般以间歇方式操作,只要给予一定的时间,就可保证整个容器内的物料全部充分地乳化,因而乳化效果好,在实际操作中得到较广泛的应用。

## 1 定转子型乳化机的乳化机理

### 1.1 液滴的变形和破裂机理

乳化操作过程中要求使液滴不断变形和破裂。研究表明,液滴的变形、破碎及其流体力学的稳定性主要取决于两个参数,即分散相的粘度与连续相粘度之比 $\lambda$ 和无因次准数韦伯

数  $We^{[1]}$ .

$$\lambda = \frac{-d}{-c} \quad (1)$$

$$We = \frac{c \dot{\gamma}_x}{e} \quad (2)$$

式中  $\mu_d$  为分散相的粘度 (Pa·s),  $\mu_c$  为连续相的粘度 (Pa·s),  $\dot{\gamma}_x$  为局部剪切速率 ( $s^{-1}$ ),  $x$  为液滴直径 (m),  $e$  为界面张力 (N/m). 在流体作用力的作用下, 液滴首先发生变形. 液滴变形的程度与韦伯数  $We$  成比例, 该准数是变形应力 ( $\mu_c \dot{\gamma}_x$ ) 与拉普拉斯应力 ( $e/x$ ) 之比.

若把乳液近似看成牛顿流体, 则在层流状态下, 剪切应力  $f$  与剪切速率  $\dot{\gamma}$  有如下关系:

$$f = \mu_c \dot{\gamma} \quad (3)$$

于是根据式 (2) 有  $We = \frac{fx}{e}$  (4)

在湍流过程中, 不断变化的流动速度和由此产生的脉动压力作用于液滴表面, 因此就产生了分裂液滴的张力, 称之为湍流张力  $du'^2$  (又称雷诺张力), 所以, 湍流过程的韦伯数为

$$We = \frac{du'^2 x}{e} \quad (5)$$

式中,  $u'$  为任意两点间的速度脉动 (m/s). 因此, 要达到乳化目的, 乳化机必须产生足够的剪切力或湍流张力.

## 1.2 定 转子型乳化机的结构和乳化原理

见图 1, 该乳化机的结构特点是: 由一个定子和一个与转轴相连并受电机驱动的转子组成, 根据实际操作的需要, 转子和定子的结构形状可变化成多种形式和尺寸以适应各种工况条件.

在一般情况下, 为使机器达到良好的工作条件, 常使转子和定子处于相对的高速运动状态. 由于高速运动, 物料加速并形成强烈的湍流. 被分散、乳化或混合的物料在转子和定子之间受到强烈的剪切、挤压、涡流和泄压等作用, 从而颗粒减小, 分散均匀, 相与相之间的接触良好. 也正是由于这种高速运动, 物料的处理时间要比传统的分散、乳化方式少得多. 根据牛顿粘性定理, 转子和定子之间的间隙越小, 产生的流体剪切力越大, 一般要求间隙为 0.1 mm 至 0.3 mm, 所以转子和定子结构上需精密配合.

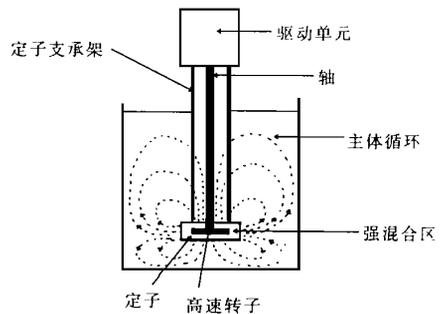


图 1 定 转子型乳化机结构简图

## 2 定 转子型乳化机的关键结构分析及合理设计

### 2.1 结构的种类

这种乳化机的关键结构是一对精密配合的定、转子. 定、转子有多种形状, 典型的几种结构<sup>[2]</sup>见图 2~ 6.

图 2 所示的是德国 IKA-MASCHINENBAU 公司的乳化机, 其定子的侧面加工成梳状, 转子的 3 个叶片有尖锐的边缘, 定子和转子的相对速度在 15~ 21 m/s.

图 3 所示的是德国 YSTRAL 公司的乳化机, 转子 (搅拌叶片) 加工成一条条的梳状, 定

子也是加工成梳状,不同之处是这些梳状缝隙并非平行于搅拌轴轴线,而是和轴的回转方向形成一定夹角,并且可根据所处理物料的不同粘度及工况条件选用不同的回转搅拌叶片。

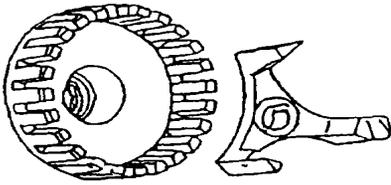


图 2 IKA-MASCHINENBAU乳化机

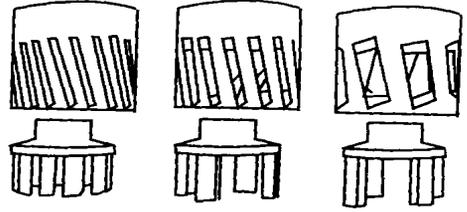


图 3 YSTRAL乳化机

图 4所示的是德国 YSTRAL公司的搅拌-乳化机,不同之处为转子是 3个回转叶片,适用于各种粘度物料的混合、搅拌。

图 5所示的是丹麦 Jorgen Jorgensen 公司的搅拌-乳化机,与图 4所示的属于同一类型,只是定子上开孔方式有所不同。

图 6所示的是美国 Rose 公司的乳化机。我国江苏启东长江机械厂、上海威宇机电有限公司生产的乳化机就模仿了该种结构,定子的开孔方式除图 6所示的长圆孔外,还有大圆孔或小圆孔等形式。

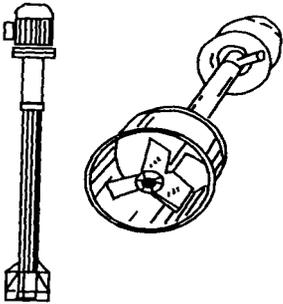


图 4 YSTRAL搅拌-乳化机

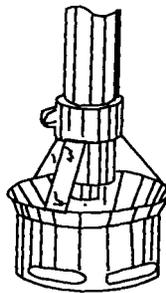


图 5 Jorgen Jorgensen搅拌-乳化机



图 6 Rose乳化机

### 2.2 定-转子结构的分类和合理设计

以上这些典型的定-转子结构,可分成两类:循环型和剪切型。从现有的各种定-转子结构看,流量和剪切往往是一对矛盾,对于一定的输入功率,有些结构产生的循环流量大,而剪切力相对较小,图 4、6所示的即具有这一特点,称为循环型;另一些结构则产生的剪切力较大,而循环流量相对较小,图 2、3所示的即属此类,称为剪切型。

对于无粒度变化要求的分散、混合操作,可选用循环型结构,因为循环型具有较高的混合强度,可在较短时间内,使各相物料混合均匀。乳化作业则要求供给足以使液体颗粒破碎的力,因此从颗粒破裂的角度看,剪切型结构较佳;但从提高生产能力,缩短乳化时间考虑,又希望液体能不断进出定-转子间的间隙,即循环流量越大越好。对于有粒度变化要求的分散、混合操作,也要求选用循环流量和剪切力都较大的结构。所以对于乳化、分散和混合等操作,定-转子结构产生的循环流量和剪切力都应越大越好,但现有结构尚难满足这种要求。

作者在研究现有的各种定-转子结构的基础上,设计了一种高剪切和高循环流量型的定-转子结构,见图 7。将转子改成回转面,上面开有一排排圆孔,中间的缺筋板随同转子转动,

带动流体产生高度湍流。定子和转子之间的间隙很小,大约在  $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ ,而定转子的相对速度很高,转子转速一般在  $3000 \text{ r/min}$ ,因此该间隙区可被认为是高度层流剪切区。定子上也开有一排排圆孔,通过控制定、转子上开孔的数量和孔径的大小,可以控制循环流量的大小。

### 2.3 试验研究

作者设计、研制了一台有效容积为  $250 \text{ L}$ ,具有图 7 所示定转子结构的乳化机,综合高剪切与高循环。用此设备生产豆奶,加入一定量的单甘脂,进料粒度  $80 \text{ 目}$ ,只需  $30 \text{ min}$ ,可使整个容器内的豆奶完全、充分地均质乳化,得到的豆奶细腻,无颗粒感,多次取样在显微镜下观察,粒度  $\leq 5 \mu\text{m}$ ,而且乳液稳定,无分层现象。实验证实,作者设计的乳化机具有较好的乳化功能。

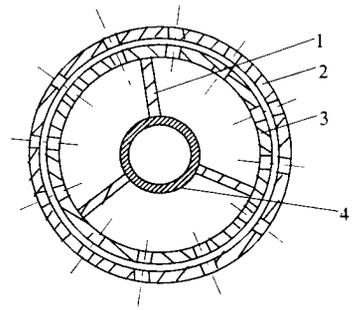


图 7 作者设计的高剪切和高循环流量型定、转子结构  
1- 筋板; 2- 定子; 3- 转子; 4- 轮毂

## 4 结 论

1) 各种类型式的乳化机中,定转子型乳化机性能较佳,乳化效果好,得到越来越广泛的应用。

2) 定转子型乳化机的关键结构是一对精密配合的定转子,其结构多样,基本上可分成循环型和剪切型两类。循环型主要用于分散、混合操作,剪切型主要用于乳化操作。

3) 作者设计的定转子结构综合了高剪切和高循环。试验证明,用于乳化、分散和混合,效果都较好,其性能优于目前市场上所见的各种乳化机。

### 参 考 文 献

- 1 Hamby N. 著. 工业中的混合过程. 俞芷青译. 北京: 中国石化出版社, 1991. 355
- 2 计范. 欧洲搅拌机发展近况. 化工装备技术, 1987. 41- 45

## The Analysis and Reasonable Design of Emulsifying Machine with Stator-Rotor

Cui Zhengwei

(Department of Mechanical Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

**Abstract** Having excellent performance, the emulsifying machine with a group of stator-rotor matched precisely is being widely used. In this paper, various structures of stator-rotor, the key part of the machine, are analysed theoretically and an ideal structure is proposed and verified experimentally. The applications of different structures are also indicated.

**Key words** emulsifying machine; stator; rotor

(责任编辑: 秦和平)