

基于 Fluent 的泽尼斯塔混合油滴上升过程模拟

王俊宾,赵晨伟,唐年初

(江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122)

摘要:采用泽尼斯法对混合油进行脱酸,可以精炼高酸价油、降低中性油皂化机率、减少皂脚夹油、降低生产成本等。在混合油泽尼斯法脱酸最佳工艺条件下利用 Fluent 软件,并采用 VOF 模型对泽尼斯塔内部混合油流动进行 CFD 数值模拟,得到泽尼斯塔内部流场的混合油相分布、速度矢量分布、绝对速度分布和动压力分布。通过分析模拟结果,可以得到将混合油通过单孔泵入泽尼斯塔时油滴的动力学特性,为泽尼斯塔的优化和油滴分布器的设计提供了新的研究方法和必要的理论依据。另外,通过建立模型进行数值模拟,得到了准确可靠的液—液两相流数据分布。

关键词:Fluent;VOF;泽尼斯塔;混合油

中图分类号:TQ 645.7⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)04-0050-05

Numerical simulation of miscella droplets rising process in zenith tower based on Fluent

WANG Jun-bin, ZHAO Chen-wei, TANG Nian-chu

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122)

Abstract: Miscella was deacidified by zenith method, which has many advantages such as refining higher acid value oil, reducing the chances of neutral oil being saponified, reducing residual oil in soapstock and reducing production cost. Under the optimal deacidifying process conditions, the flow of miscella inside of zenith tower was simulated by Fluent software with VOF model. The phase distribution, velocity vector distribution, absolute velocity distribution and dynamic pressure distribution of miscella of the flow field inner the tower was obtained. The result showed that the dynamic characteristics of the droplet were obtained by pumping miscella into the zenith tower through single-nozzle, which provided a new research method and the necessary theoretical basis for the optimization of zenith tower and the design of the oil droplet distributor. In addition, by establishing numerical simulation method, the accurate and reliable results of liquid-liquid two-phase flow were obtained.

Key words: Fluent; VOF; zenith tower; miscella

泽尼斯法精炼是将脱胶毛油,以油为分散相,淡碱液为连续相,形成水包油(o/w)类型的一种特殊脱酸工艺。混合油精炼是指在制油厂溶剂浸出车间

内,除去溶剂前对毛油的精炼^[1-2]。采用泽尼斯法精炼混合油是将混合油直接泵入泽尼斯塔进行脱酸反应。在本文利用 Fluent 软件对泽尼斯塔内流场进行模拟前,作者通过单因素实验考察了反应高度、反应温度、混合油浓度、碱液浓度、进料孔径和单孔进料流量对混合油泽尼斯法脱酸效果和反应得率的影响。

收稿日期:2015-02-04

作者简介:王俊宾,1989年出生,男,河北人,硕士。

通讯作者:赵晨伟,1980年出生,男,河北人,工程师。

响,并通过正交实验得到了混合油在泽尼斯法精炼应用的最佳工艺条件,即反应高度 1 400 mm、反应温度 65 ℃、混合油浓度 60%、碱液浓度 0.075 mol/L、进料孔径 0.5 mm、单孔进料流量 1.0 mL/min。在最佳工艺条件下,产品酸价为 0.27 mg KOH/g,碱炼得率为 92.0%。

近些年来,随着数值模拟技术的飞速发展,尤其是计算流体力学即 CFD 理论及相应软件的快速发展,数值模拟方法已成为研究流体流动的重要手段。数值模拟技术不仅资金投入少,而且计算速度快,可以较全面地揭示流场特性^[3-4]。因此,利用数值模拟技术研究泽尼斯塔内部流体的流动规律,可以大大缩短研发周期,对于泽尼斯塔内流体的流动规律和泽尼斯塔结构具有重要的理论研究和工程应用价值。

本文采用计算流体动力学分析软件 Fluent,模拟最佳工艺条件下的单孔混合油进料时泽尼斯塔内部流体的流动情况和流场分布。根据泽尼斯塔内部流体流动的特点和实验最优参数,选择层流模型。同时,将多相流模型确定为 VOF 模型。

1 泽尼斯塔结构

图 1 为实验室中模拟泽尼斯塔设备的示意图,反应器高 2 000 mm,内径 24 mm,外部有夹套用于通入热水控制反应温度。底部入口处有一单圆孔平头针头,用于泽尼斯塔混合油的进料。

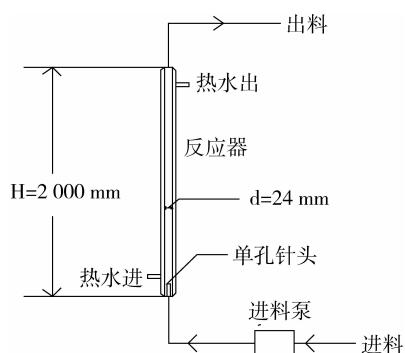


图1 泽尼斯反应塔示意图

实验室中,将一定酸值的混合油用进料泵通过单孔针头泵入盛有稀碱液的反应器中。由于重力作用和密度差异的原因,混合油会在稀碱液中上升最后聚集在反应器上部。在上升过程中混合油完成碱炼的过程,整个过程很大程度上节省了生产成本。

2 建模及求解

2.1 几何模型的建立及网格的划分^[5]

实验室的反应器虽然是模拟泽尼斯塔进行反应,但完全转化为三维模型也比较复杂。作者用 Fluent 前处理软件 Gambit 建立了如图 2 所示的圆柱体几何模型,其中,图 a 为三维模型全景图,图 b 为三维模型底部放大图。圆柱体高 1 400 mm,内径 24 mm,下底面圆中心有一直径为 0.5 mm 的小圆,此小圆为反应器进料口。出口为圆柱体上底面。

根据泽尼斯塔几何模型的特点,采用结构化的六面体/楔形网格来划分网格,并根据内部流场情况在圆柱中心加密网格,共生成了 1 324 456 个网格单元。

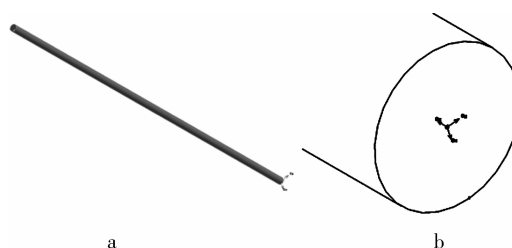


图2 泽尼斯塔简化几何模型

2.2 物性参数和边界条件的设置

物性参数设置中,计算介质为混合油和稀碱液,主相为混合油,密度为 794.5 kg/m³,黏度为 1.67 × 10⁻³ Pa·s;次相为稀碱液,密度为 992.01 kg/m³,黏度为 4.521 × 10⁻⁴ Pa·s。主相与次相间的界面张力为 1.16 × 10⁻⁵ N/m。

边界条件的设置中,入口设置为速度入口 VELOCITY_INLET,主相(混合油)的入口速度为 0.067 94 m/s。对于次相(稀碱液)则初始化定义,将圆柱体内部全部区域定义为稀碱液。出口设置为 PRESSURE_OUTLET,溢流口表压力为 0 MPa,即与大气相通^[6]。

2.3 求解器与计算模型的设置^[7-8]

模型的数值求解中,由于混合油脱酸时要求流体在层流范围内流动,所以进料口低速进料,采用层流模型。将压力速度耦合(Pressure - Velocity Coupling)方式定为更适合非定常流动计算的 PISO 算法,另外将 Pressure 方程的差分格式设为 Body Force Weighted。计算过程中,时间步长设定为 0.02 s。

3 结果与分析

3.1 混合油上升轨迹和塔截面主相混合油的分布

图 3 为混合油上升轨迹的主视图和俯视图。图 4~图 9 分别是 1.5、20、35、45、50、70 s 时不同截面的主相混合油的分布图。从混合油轨迹图中我们可以看出混合油在上升的初始阶段是按近乎直线的轨道上升,在上升到一定高度后运动轨迹不再是直线,而是变成近似于螺旋上升的规律。这一特点从不同截面的混合油分布情况也可以得出,在较低高度处的截面混合油分布在圆中心,在较高高度处,混合油变成随机分布在圆内,并非只在圆心处。

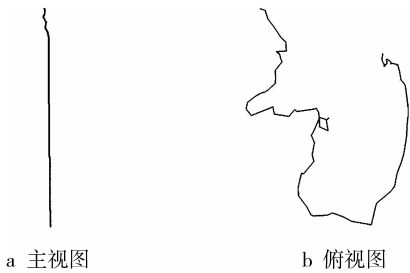


图 3 混合油运动轨迹图

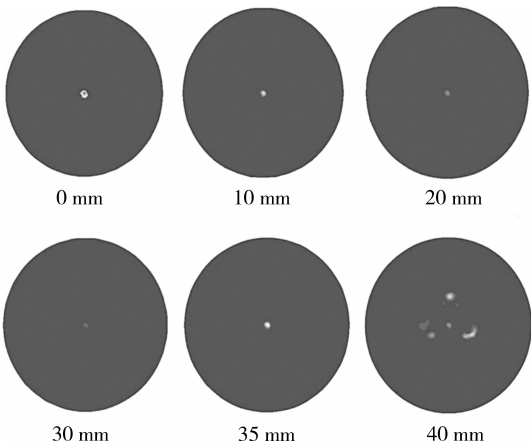


图 4 1.5 s 时不同截面主相混合油的分布

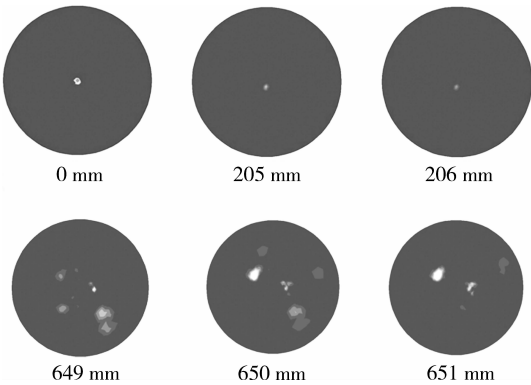


图 5 20 s 时不同截面主相混合油的分布

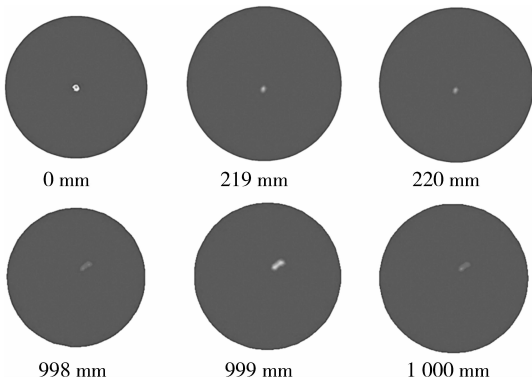


图 6 35 s 时不同截面主相混合油的分布

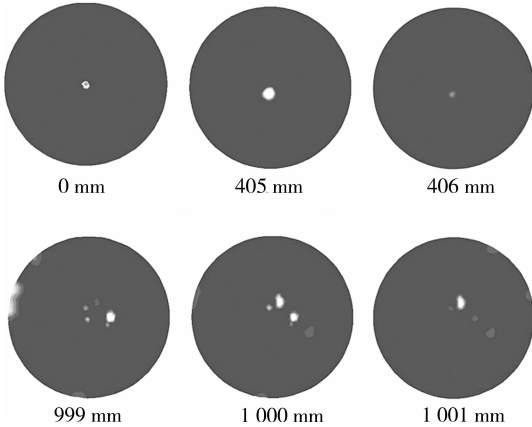


图 7 45 s 时不同截面主相混合油的分布

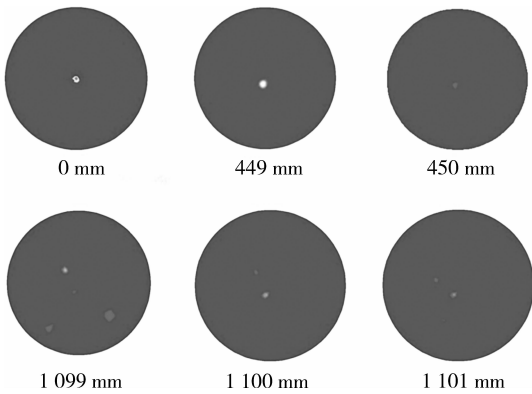


图 8 50 s 时不同截面主相混合油的分布

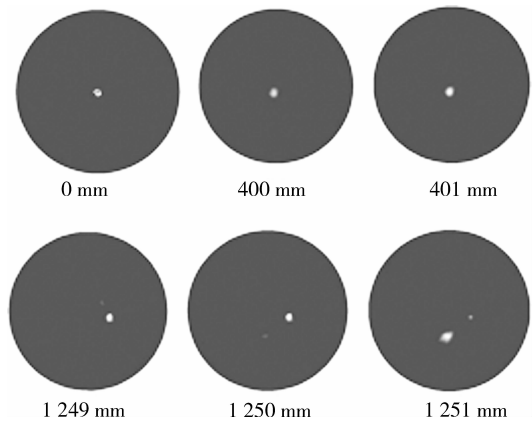


图 9 70 s 时不同截面主相混合油的分布

通过分析不同截面混合油分布还可得出以下两点结论。第一,分析较低高度的截面混合油分布,此时的混合油上升处于直线阶段。我们可以观察到混合油虽然处在圆中心,但是混合油的含量却不同(颜色不同代表混合油体积分数不同)。这就表明,混合油在上升阶段甚至是初始阶段就已经分散成混合油滴,加大了与稀碱液的反应面积,更有利于混合油的脱酸反应。第二,分析较高高度的截面混合油分布我们可以发现,有的截面内不仅会出现多个混合油滴,而且有的混合油滴不是近似于球形。这说明不同的混合油滴在上升的过程中,大小和速度会有所不同。混合油滴的形状也可能会因为互相的影响而有所改变。混合油滴之间很有可能会发生并聚。

3.2 速度矢量分布

图10为不同时刻泽尼斯塔轴截面的速度矢量分布图。为了能较清晰地显示结果,20、35、50 s的速度矢量分布图是将轴截面的一部分放大后的结果。从图中我们可以看出在上升运动过程中混合油滴内部以及周围液体的流场速度矢量分布。在混合油滴形成并长大的阶段,混合油滴及其周围液体除了有向上的速度外,还有向四周的速度,这就表明混

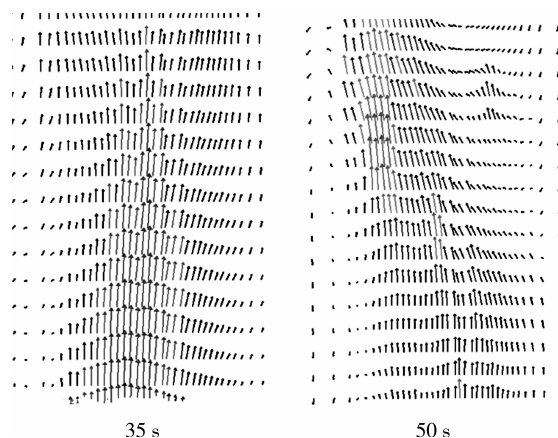
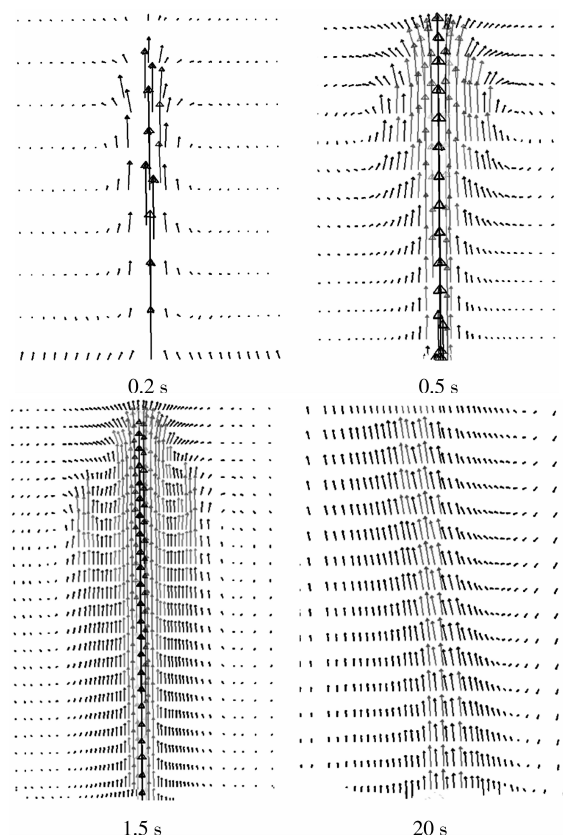


图10 不同时刻轴截面速度矢量分布

合油滴是在膨胀长大;在混合油滴形成后继续上升的阶段,总体运动方向是向上的,但在运动过程中也包含了向其他方向的速度。这表明不同的混合油滴有不同的速度,且运动方向不固定。

3.3 流场速度分布

图11为不同时刻泽尼斯塔轴截面的绝对速度流场分布图。在图中我们可以看出在混合油滴膨胀长大及上升过程中整个流场速度分布。根据图中颜色的不同我们可以得到油滴及周围液体的运动速度大小:在混合油滴中心速度最大,混合油滴表面速度较大,混合油滴周围液体速度次之,离混合油滴较远但能受到影响的部分速度较小,其他未受到混合油滴运动影响的液体部分速度最小。

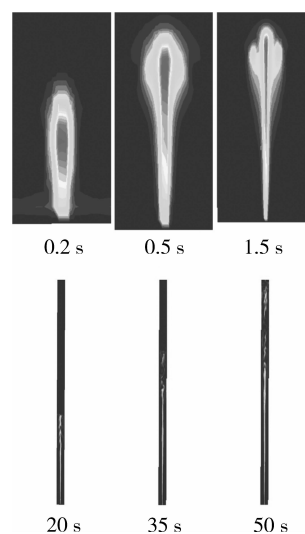


图11 不同时刻轴截面流场速度分布

由于不同位置速度差的影响,使得混合油滴在上升过程中不呈现球形,而是近似球形或是椭球形。在图中也可以看出混合油滴的上升也会引起稀碱液的波动,甚至是局部的涡流,这造成混合油滴在上升

过程中形成近似螺旋的上升轨迹。

3.4 动压力分布

图12为不同时刻泽尼斯塔轴截面的动压力场分布图。从图中我们可以看出在混合油滴膨胀长大及上升过程中整个动压力场分布,动压力可以侧面反应混合油滴的动力学行为。混合油滴中心的动压力最大,表面动压力较大,周围液相动压力次之,离混合油滴较远但能受到影响的液相部分动压力较小,其他未受到混合油滴运动影响的液相部分动压力最小。

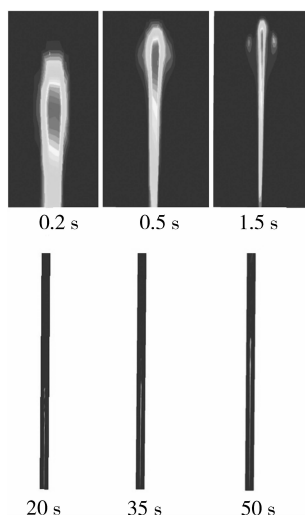


图12 不同时刻轴截面动压力分布

4 结论

应用 Fluent 模拟软件,采用 VOF 模型对泽尼斯塔内部混合油流动进行三维数值模拟,得到了泽尼斯塔内部流场的混合油相分布、速度矢量分布、流场速度分布和动压力分布的规律,分析了单孔泵入泽尼斯塔时混合油滴的动力学特性,为泽尼斯塔的优化和油滴分布器的设计提供了新的研究方法和必要

的理论依据。

本实验对多相流和两相流的研究具有重要的意义。在过去的几十年中,两相流研究受到众多学者的关注,已经形成了独立的应用学科。但两相流中大多研究的是气液两相流,对于液液两相流研究相对较少;而且,对于两相流的数值模拟大多数进行的是二维研究。由于实际的情况是三维空间状态,所以,二维模拟结果并不全面。本文通过液液两相流的三维数值模拟对泽尼斯反应器内流场进行了研究,打破了对两相流研究的传统实验测量方法,避免了二维模拟结果的片面,获得了准确可靠的数据、结果,为化工设备中液—液反应器的研究提供了重要的理论依据。

参考文献:

- [1] HOFFMANN Y. Jaocs news feature[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1973, 50(7): a260 - a267.
- [2] HUI Y H. 主编. 徐生庚,裴爱泳主译. 贝雷:油脂化学与工艺学(第四卷)[M]. 第五版. 北京:中国轻工业出版社,180 - 181.
- [3] 翟建华. 计算流体力学(CFD)的通用软件[J]. 河北科技大学学报, 2005, 26(2): 160 - 165.
- [4] GOURBESVILLE P, CUNGE J, CAIGNAERT G. Introduction to Part III: 3D CFD and Applications[M]//Advances in Hydroinformatics. Berlin: Springer Singapore, 2014: 277 - 278.
- [5] 王瑞金, 张凯, 王刚. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2007:50 - 54.
- [6] 王福军. 计算流体动力学分析: CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 于勇. FLUENT 入门与进阶教程[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2008.
- [8] 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT: 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2004. ㊞