

# 基于 Fluent 的榨汁机流场模拟及优化

陈 荣<sup>1</sup> 肖桂香<sup>1</sup> 李希宏<sup>2</sup>

(1.厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005; 2.漳州灿坤实业有限公司, 福建 漳州 363107)

**摘 要:** 针对企业生产的刀片式榨汁机存在果料沉淀, 出汁率不高的情况, 运用Fluent6.3对其内部流场进行模拟, 分析整体流场分布情况及刀片组切割范围内的流体流动情况, 以榨汁机杯体和刀片组作为研究对象, 分别就杯体外形和刀片扭转角度提出改进方案, 为榨汁机的设计和优化提供参考。

**关键词:** 榨汁机; 数值模拟; 内部流场; 刀片

中图分类号: TS203 TP391.7 文献标识码: A 文章编号: 1672-4801(2013)03-045-04

现今社会对饮食营养均衡性的要求越来越高, 人们更加注重对果蔬类营养的摄取, 榨汁机不仅能够给人们提供丰富多样的果蔬营养, 并且为人们带来了自制食品饮料的乐趣。现在市场上的榨汁机种类繁多, 刀片式榨汁机由于果汁与果肉纤维保留完整而受到市场青睐。

某企业生产的旋转刀片式榨汁机工作时果料易沉积杯底, 使果料无法被充分切碎, 造成出汁率不高, 且影响果汁口感。本文通过对榨汁机内部流场的模拟, 分析刀片组切割区域和杯底的流场分布, 通过改进刀片的扭转角度和杯体外形, 加大杯体底部流体的轴向上升速度, 使果料在流体的作用下反复进入刀片组的切割范围内, 从而达到果料充分切碎的目的。

## 1 流场数值模拟

流场数值模拟是运用计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD), 通过计算机数值计算和图像显示, 对包含有流体流动和热传导等相关物理现象进行系统分析。它将原来在时间域及空间域上连续的物理场, 用有限个离散点上的变量值的集合来替代, 按照一定的原则和方式建立这些离散点上场变量之间关系的代数方程组, 然后求解代数方程组获得场变量的近似值。

流场数值模拟在基本方程(质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程)控制下对流体进行数值计算, 可以得到复杂流场的分布情况, 因其适应性强、应用面广, 图像显示直观方便, 因而在流体机械仿真分析和优化中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。

## 2 Fluent 软件包简介

Fluent是在复杂几何区域内模拟和分析流体流动与热交换的CFD软件<sup>[1]</sup>。它具有丰富的物理

模型、先进的数值方法以及强大的前后处理功能, 在航空航天、汽车设计、涡轮设计等方面都有广泛应用<sup>[2]</sup>。

Fluent软件包含三大部分: 前处理、求解器、后处理。

1) 前处理软件用于创建所要求解模型的几何结构, 并对其网格划分<sup>[2]</sup>。本文采用Gambit作为Fluent的前处理软件。

2) 求解器是流体计算核心, 主要功能是导入前处理生成的网格模型、提供计算的物理模型、确定材料特性、施加边界条件、完成计算<sup>[2]</sup>。本文采用Fluent6.3作为求解器进行计算。

3) 后处理软件: Fluent具有较强大的后处理功能。此外还可使用其他后处理软件, 如运用Tecplot进行曲线、图形等绘制<sup>[2]</sup>。本文采用Fluent自带的后处理模块对分析结果作图形显示及曲线绘制。

## 3 几何模型的建立

本文利用Por/E建立榨汁的几何模型, 因重点分析榨汁机杯体内部及刀片组切割区域的流体运动, 故去除榨汁机底座、杯盖等不影响内部流场的零部件, 对榨汁机的物理模型进行适当简化, 仅保留杯体和刀片组结构。

针对刀片组和杯体外形, 提出了两种改进方案: 一种方案同时改变刀片组上下刀片的扭转角度, 将 $0^\circ$ 扭转角改变为 $30^\circ$ ; 另一方案将杯体形状改为抛物线形杯体。

### 3.1 原有榨汁机模型

原有榨汁机简化后的物理模型如图1所示, 其中杯体外形及刀片组结构的具体尺寸参数如图2及表1所示。

作者简介: 陈荣(1984 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向: 计算流体动力学和结构优化。



图1 简化后的榨汁机几何模型

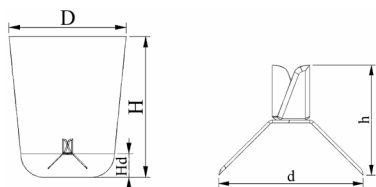


图2 榨汁机杯体和刀片的几何尺寸

表1 杯体外形及刀片组结构尺寸参数表

尺寸参数	尺寸值/mm	尺寸参数	尺寸值/mm
$D$	150	$d$	50
$H$	180	$h$	38
$Hb$	30		

### 3.2 改变刀片扭转角度方案的几何模型

此方案改变了刀片组上下刀片的扭转角度，将原来的 $0^\circ$ 改为 $30^\circ$  (如图3所示)。改进后刀片最大旋转直径 $d$ 为55 mm，刀片组高度 $h$ 为30 mm。

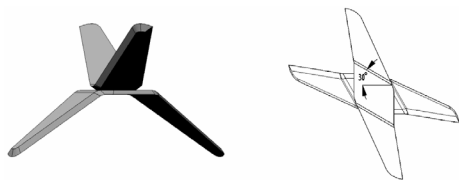


图3 改进后的刀片模型

### 3.3 改变杯体外形方案的几何模型

此方案是改变杯身的形状，将圆桶形杯体改为抛物线形，保持杯体高度和杯口直径不变，经过计算，杯体母线抛物线方程为 $y=(1.125 \times 10^6)x^2$  (如图4所示)。

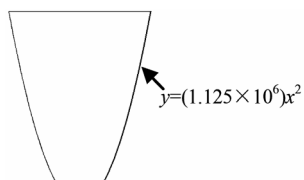


图4 改进后的杯身模型

## 4 数值计算

榨汁机内部流场为复杂的非线性湍流，并且

由于果汁和果肉同时存在，因此为多相流体，为简化计算，本文研究单相流场<sup>[4]</sup>。

将几何模型用STEP格式导入Gambit中划分网格，采用非结构化网格类型(Tet/hybrid单元格式)。建立转子区域及静子区域，两个区域之间通过界面(Interface)传递插值函数连接<sup>[3]</sup>。考虑到杯口处流体有回流现象产生，在杯口处采用压力出口边界条件。

Fluent软件基于有限体积法对控制方程进行离散，采用压力基求解器求解离散方程，压力速度耦合方式采用SIMPLE算法，湍流模型选择标准k-e两方程粘性模型，采用MRF多重参考系模拟方法<sup>[5,6]</sup>。设置转速为5000 r/min。

## 5 计算结果分析及比较

基于上述提出的两种改进方案，组合成4组计算模型，具体如下：

- a组：原有刀片组+原有杯体；
- b组：改进后刀片组+原有杯体；
- c组：原有刀片组+改进后杯体；
- d组：改进后刀片组+改进后杯体。

### 5.1 整体流线分布

图5所示为4组模型内部整体流场的流线分布情况。由图可见，在刀片的旋转作用下，流体总体呈现螺旋式运动趋势，与实际观察相一致。

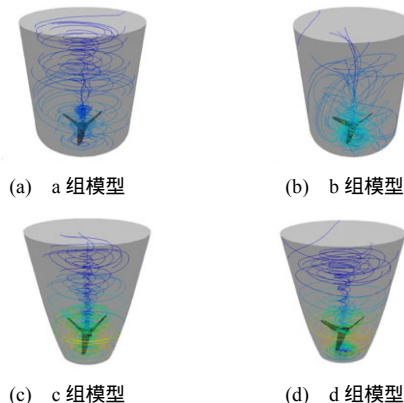


图5 4组模型流线分布

### 5.2 流场的速度分析

#### 5.2.1 整体速度分析

图6所示为两种杯形的榨汁机在初始刀片结构下内部流场速度矢量分布，基于榨汁机内部流体的轴对称旋转运动，截取杯体中间截面作为研究对象。由图可见，由刀片组旋转中心向外，流体的整体趋势为：沿着斜下方流出，并紧贴内壁

向上运动，行至杯口处，一部分溢出，一部分流向杯体中心，并向刀片组中心汇集。

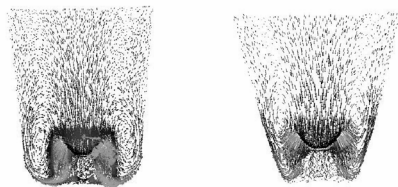


图 6 内部流场速度矢量

在中间截面任意选取一条自杯口至杯底的轴向线段La，及自刀片组旋转中心至杯体内壁的径向线段Lr(如图7所示)，分别为沿Z轴与X轴的线段。研究其上流体的整体速度。

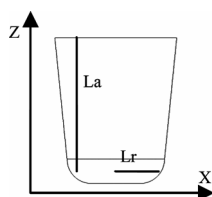


图 7 轴向和径向线段示意图

由图8可见，自杯口向下，流体速度逐渐增大，至刀片组切割区域，速度急剧增加，达到峰值，而随着杯底流体与刀片组的距离增大，其速度值逐渐减小。

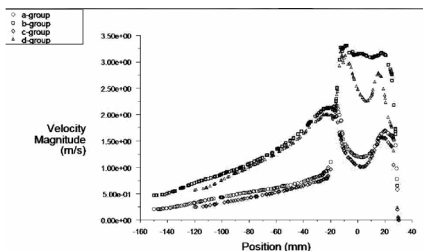


图 8 轴向线段的速度分布

由图9可见，流体自刀片组中心向外，速度呈平稳上升趋势。

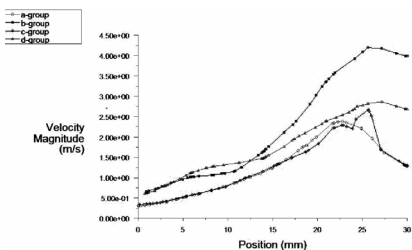


图 9 径向线段的速度分布

由各组的轴向和径向速度曲线可以看出，a组流体的整体速度值最小，由于湍流雷诺数与流

体平均速度成正比，可知a组的内部流场湍流强度最弱。而B组的整体速度最大，且在刀片组切割区域的速度波动最小，说明刀片组在旋转过程中较其余三组稳定。由图8看出，a组和c组速度变化趋势基本一致，b组和d组速度变化基本一致，可见，改变刀片组结构和杯体外形对流体整体速度都有影响，而改变刀片结构对流体的影响较显著。

### 5.2.2 分速度分析

果料的沉积情况主要取决于流体的轴向运动，杯体底部流体的轴向运动使果料上升，进而在整体流场的作用下进入刀片组的切割范围。故进一步对杯底流体的轴向速度进行研究。在上述径向线段Lr上取4个点a1、a2、a3、a4，其轴向速度(如表2所示)。

表 2 底部径向各点的轴向速度 m/s

组别	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	均值
a组	-0.348490	-0.292520	-0.183466	-0.039520	-0.215999
b组	-0.806635	-0.672158	-0.576808	-0.126596	-0.545549
c组	0.844452	0.391561	-1.229534	-1.478784	-0.368076
d组	-0.175265	-0.276438	-0.935915	-0.927449	-0.578767

注：“-”表示轴向上升

由表2可看出，各点处的流体基本呈现轴向上升运动，与期望相符。再比较其速度均值，b组与d组接近，且其轴向速度明显高于其余两组，可见杯体流体的轴向速度主要取决于刀片组的结构，且改变扭转角度对其影响显著。

## 6 结论

本文从榨汁机的整体流场入手，通过对杯体底部流体的轴向速度进行深入分析，得出结论：

单独改变杯体外形，可在一定程度上影响流场的整体速度；而改变刀片切割部分的扭转角度，可同时提高流体湍流强度，并显著提高杯底流体的轴向速度。

综合改变杯体外形与刀片组结构，则对流场湍流强度有明显提高，且能显著改善果料出汁率情况。

由此可见，刀片组结构是影响果料出汁率的主要因素。而综合改进则能更好地改善流场情况及榨汁机效率。

(下转第 52 页)



图4 5\*5 中值滤波和低通滤波效果

于椒盐噪声或脉冲式干扰具有很强的滤除作用，但对于高斯和乘性噪声效果不佳。当噪声为椒盐

噪声时，中值滤波器的效果比均值滤波好。因为这些干扰值与其邻近像素的灰度值有很大的差异，经过排序后取中值的结果就将此干扰强制变成与其邻近的某些像素值一样，从而达到去除干扰的效果。但是由于中值滤波方法在处理过程中会带来图像模糊，所以对于细节丰富，特别是点、线和尖顶细节较多的图像不适用。频域低通滤波具有更好的选择性，对噪声在一定范围内也可以起到抑制作用，同时也对图像的边缘细节和低频信息分量有更好的保持作用。使得图像在轮廓上显得更清晰<sup>[5]</sup>。但是由于低通滤波器对噪声等寄生成分滤除的同时，对有用的高频成分也有滤除作用，因此，这种去噪的美化处理是以牺牲清晰度为代价而换取的<sup>[6]</sup>。

### 3 结语

不同的平滑算法适应于特定类型的噪声模型，实际应用中应该根据实际图像中包含的噪声情况灵活地选取适当的平滑算法。本文对噪声模型及分类，图像平滑处理的两大方面即空间域和频率域，以及两种处理方向里的几种处理方法进行了介绍，并对一种常用的简单平滑算法进行了分析。结合不同的噪声类型，分析讨论了均值滤波、中值滤波和频域低通滤波3种平滑滤波技术在对几种典型噪声方面性能的优劣和视觉效果的对比，对在图像平滑处理方面提供了一定的参考。

#### 参考文献：

- [1] 梁一江.图像平滑处理方法初探及简单的算法介绍[J].才智,2009(4).
- [2] 阮秋琦.数字图像处理学[M].第2版.北京:电子工业出版社,2007:21-198.
- [3] 闫娟.数字图像的平滑处理方法研究[J].软件导刊,2009(1).
- [4] 求是科技.MATLAB7.0从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [5] 平丽.图像平滑处理方法的比较研究[J].信息技术,2010(1).
- [6] 林方特.几种常见图像平滑技术的研究[J].科技天地,2005,10(15):1-3.

(上接第47页)

#### 参考文献：

- [1] 王福军.计算流体力学分析[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 李进良,李承曦,胡仁喜.精通Fluent6.3流场分析[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [3] 张凯,王瑞金,王刚.Fluent技术基础与应用实例[M].第2版.北京:清华大学出版社,2010.
- [4] 杨锋苓,周慎杰.搅拌槽内单相湍流流场数值模拟研究进展[J].化工进展,2011,30(6):1158-1169.
- [5] 毕学工,岳锐,周进东,等.基于Fluent的搅拌流场模拟研究[J].武汉科技大学学报,2012,35(5):321-324.
- [6] 朱荣生,李维斌,黄道见,等.搅拌器搅拌流场的三维数值模拟[J].农机化研究,2003(4):75-77.