文章编号：1000-5773(2012)01-0113-08

基于 FLUENT 的动态高压微射流内部孔道流场的数值模拟*

刘　伟，李火坤，刘成梅，刘玮琳

（南昌大学食品科学与技术国家重点实验室，江西南昌　330047）

摘要：以动态高压微射流振荡反应腔内部孔道流场为研究对象，建立了反应腔内部孔道的几何模型和网格模型，选择 SIMPLEC 算法和 RNG k-ε 模型，运用 FLUENT 软件对流场进行数值模拟，以揭示流场内各位置上的静压和速度分布。计算结果表明：高速射流撞击增加了流场内的撞击作用力，流速的急剧增加使速度梯度迅速加大，剪切应力极大增强，保证了微射流均质机极佳的作用效果；由于反应腔内部孔道流场的静压与速度变化相反，静压的急剧变化使空穴效应及压力释放效应极大增强，空穴作用力得以强化，对微射流均质机反应腔内的材料产生“腐蚀”作用。设计反应腔内部孔道时，在保证撞击区速度的前提下，应适当减小进料速度和分流管进口拐角角度，并选用较短的出料管。

关键词：动态高压微射流；振荡反应腔；微孔道；流场分布；数值模拟

中图分类号：O521.9；TP602　　**文献标识码**：A

1　引　言

动态高压微射流均质机集输送、混合、超微粉碎、加压、膨化等多种单元操作于一体，主要由高压泵和振荡反应腔组成。在振荡反应腔中，增至 300 m/s 以上的液体在内部微孔流道中分成两股或更多股细流后进行强烈的垂直、Z 型或 Y 型撞击，瞬间释放出大部分能量以产生巨大的压力降，释放压力高达 100～300 MPa，从而对物料起到很好的超微化、乳化和均一化的处理效果[1]。动态高压微射流均质机[2]的应用主要包括：对液体悬浮液进行细化、均一化处理，以提高物料的稳定性；对物料进行改性，以改善物料的加工性能和营养特性；作为一种反应器，在对物料进行均匀混合的同时实现某些物理、化学反应[3]。目前，动态高压微射流技术在食品领域中主要应用在物料乳化[4]、大分子改性[5-6]、辅助杀菌[7]、营养物纳米粒和脂质体制备[8]等方面。

动态高压微射流均质机核心元件——振荡反应腔的设计是影响其作用效果的关键，主要技术参数包括：流体射流速度、微孔流道孔径 D、微孔流道的几何学形式。其中：流体射流速度与外加高压及系统密封程度有关；微孔流道孔径越小，产生的剪切力和压力降越大，但加工工艺困难，对液料中的颗粒直径大小提出了更高要求；微孔流道的几何学形式设计是指尽可能充分地利用各种力场的流道形式。许多学者对动态高压微射流均质机的作用机制进行了研究，例如：Mohr 等人[9]对高压均质过程中可能存在的高能振动作用和气穴现象进行了分析；Soon 等人[10]应用计算流体动力学手段对高速射流均质机中有机相流场的流速与能量分散速率进行模拟；Håkansson 等人[11]采用动态仿真模型对高压均质过程中

* **收稿日期**：2010-06-29；**修回日期**：2010-11-24

基金项目：国家自然科学基金(31060209，50909049)；食品科学与技术国家重点实验室目标导向课题(SKLF-MB-201004)

作者简介：刘　伟(1972－)，男，博士，副教授，主要从事食品高新技术与资源综合利用研究. E-mail：liuwei@ncu.edu.cn

通讯作者：刘成梅(1963－)，男，博士，教授，主要从事食品加工新技术研究. E-mail：chengmeiliu@yahoo.com.cn

可能存在的吸附、重聚集和破碎现象进行了研究。

高压微射流均质机之所以对物料起着良好的超细化处理效果，是因为提供了足够强大的作用力场。早期研究一般认为主要作用力是剪切力和气穴作用力[12]，Paquin[2]认为气蚀现象是占 60%的主要作用方式。刘伟等人[13-14]通过对振荡反应腔微孔流道各段流场的压力、能量及动力学行为进行分析，认为其主要的力学作用可能包括高速撞击作用、高频振荡、瞬时压力降、强剪切、气蚀作用等[1]，但对其作用机制和原理没有清楚解释。

由于动态高压微射流流场内流体压力、流体速度大小及分布情况对其间作用力的大小有决定性影响，所以进一步探究微射流流场内基本物理量的具体分布情况对认清流场作用机理很有必要，也是推动该项高压技术发展的有效途径。本研究创建动态高压微射流振荡反应腔内部孔道的几何模型和网格模型，选择 SIMPLEC 算法和 RNG k-ε 模型进行计算，设置边界条件及相关参数后，运用 FLUENT 软件对流场进行数值计算，模拟并揭示流场内各位置处静压和速度分布情况，为动态高压射流均质机作用机制的深入研究及动态高压射流均质机振荡反应腔的优化设计提供参考。

2 振荡反应腔内部孔道流场的数值模拟

2.1 几何模型和网格模型

对动态高压微射流均质机振荡反应腔内部微孔流道结构进行分区，分成进料管区、分流管区、撞击管区、射流管区、扩流管区和出料管区 6 个部分，如图 1 所示。图 1 中：A、B、C、D 分别为 x_1、x_3、x_4 和 x_5 面上的中心点；整体腔直径为 4 cm，总长为 8.4 cm；进料管区直径为 0.4 cm，长度为 2.4 cm；分流管区直径有 50 μm 和 75 μm 两种规格，长度为 1.6 cm；撞击管区直径为 50 μm；射流管区直径为 100 μm，长度为 0.2 cm；扩流管区直径为 200 μm，长度为 1.6 cm；出料管区直径为 0.4 cm，长度为 2.4 cm。振荡反应腔内部孔道为对称结构，本计算只采用上半部分作为计算区域。由于进料管区在相当长的距离内流速、压力等流体变量基本保持为常数，为节约计算资源、加快计算速度，对进料管区进行截取，只取分流管前 0.4 cm 作为计算区域，原点取在进料管进口的中轴线上。

采用美国 ANASYS 公司出品的 FLUENT 6.3 软件，对整个计算区域用结构网格及非结构网格进行离散，共 526 493 个节点 529 116 个网格单元。

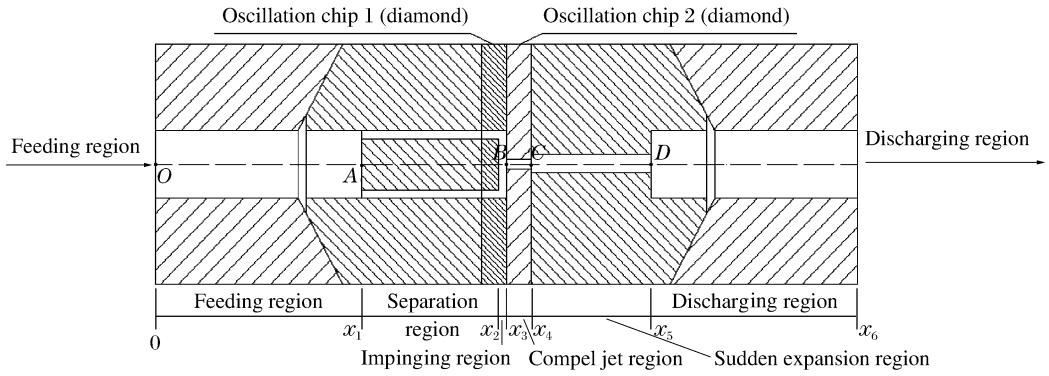


图 1 反应腔内部孔道

Fig. 1 Fixed-geometry microchannels of interactive chamber

2.2 计算模型

对振荡反应腔内部流场的模拟是基于单一水相，其流动形态为有粘湍流，并作为稳态的不可压流处理[15]。由于 RNG k-ε 模型可以更好地处理高应变率及流线弯曲程度较大的流动，适用于微射流流场模拟，故本计算选用 RNG k-ε 模型，并采用标准 k-ε 模型进行迭代计算，以加快计算收敛。由于标准 k-ε 模型及 RNG k-ε 模型都是针对充分发展的湍流有效，而在壁面区，特别是粘性底层，流动几乎是层流，湍流应力几乎不起作用，因此采用增强壁面处理方法[16]。

振荡反应腔内部孔道流体数值模拟的边界条件及基本假设包括:撞击区流速为 300 m/s;出口为压力出口,边界条件为压力 $p=0$;固体壁面取无滑移条件;其它边界取对称条件;不考虑流道的温度分布问题,即取等温条件;内部流体取温度为 20 ℃的水。

湍流参数雷诺数 $Re=ud/\nu$,其中 u 为截面平均速度(m/s),d 为管径(m),ν 为运动粘度(m^2/s),得到 Re 为 36 000,故为湍流。根据湍流强度计算公式 $I=0.16Re^{-1/8}$,得到湍流强度 I 为 0.043。

为加快收敛速度,采用标准 k-ε 模型在一阶精度格式下迭代计算收敛,然后转为二阶离散格式,并将能量松弛因子设为 0.8,其它保持默认设置后迭代收敛,最后采用 RNG k-ε 模型进行求解。

2.3 计算结果检验

通过残差图(收敛)、系统流量(不平衡度小于 0.1%)、网格衡量参数 $Y+$ 值(约等于 1 且不超过 5)3 方面对计算结果进行检验。

3 计算结果及分析

3.1 进料管区

微射流流场内压力和流体流速是决定微射流间撞击作用力和空穴作用力大小的重要参数。剪切力大小与流体速度梯度成正比,而微孔流道内流体流速主要由外加压力和微孔流道的具体尺寸和形式决定。从进料管区的静压及速度分布(见图 2)可以看出:静压分布较均匀,均处于同一数量级,速度场变化不大;右端(靠近分流管)中轴线附近的较大区域内静压值较高,最高可达 500.8 MPa,而此区域的速度值相对较小,最小值为 2.4 m/s;位于分流管进口的局部区域内静压值较小,最小值为 500.5 MPa,而速度值则高达 24 m/s。

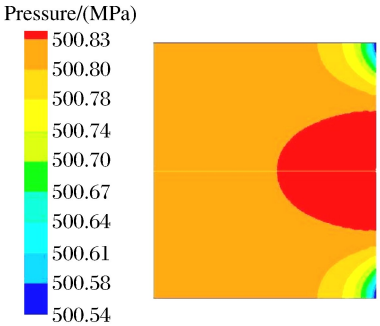


图 2(a) 进料管区(0~3.5 mm)的静压分布

Fig. 2(a) Pressure distribution in feeding region (0-3.5 mm)

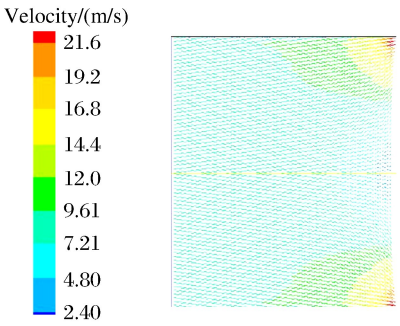


图 2(b) 进料管区(0~3.5 mm)的速度分布

Fig. 2(b) Velocity distribution in feeding region (0-3.5 mm)

3.2 分流管进口及分流管区

分流管进口的静压场及速度场如图 3 所示。可以看出:在 3.5 mm$<x<$4.0 mm 区域内,静压和速度的变化不大,静压值较高,几乎均为 501 MPa,速度值较低,最小值为零;$x=4.0$ mm 时,拐角处最小静压值为 307 MPa。对于微孔流道内高速流动的液体物料,由于静压力的突升和突降会导致其中的气泡在瞬时大量生成和破灭,形成压力释放效应,因此易产生“空穴”现象。对于气泡在溃灭时所形成的冲蚀压力 p_i 与连续射流的滞止压力 p_s,当气泡中的气体含量 c' 在 1/6~1/10 时,$8.6<p_i/p_s<124$,即空化冲蚀的冲击压力为连续射流滞止压力的 8.6~124 倍,因此空化冲蚀的冲击压力是动态高压微射流的重要作用力。

如果分流管进口处速度值大大提高(最大速度值为 532.5 m/s),在 4.0 mm$<x<$4.5 mm 范围内的静压值逐渐增大(最大静压值为 402 MPa),中轴线附近的速度值稍微减小直至不变,但位于拐角后下部分区域的速度值很小,且出现漩涡(发生在分流管进口拐角后),使水楔作用增强。在反应腔内部孔道内,由于大涡的影响,整个流场发生剧烈振荡,物料颗粒被混合脉冲卷吸着游动;在高压区形成向各个方

向运动的大量微小高压水团;物料颗粒在破碎过程中产生丰富的初始裂纹,高压水团在初始裂纹内形成水楔作用,在裂纹的尖端产生拉应力集中,并迅速使裂纹扩展,导致颗粒粉碎。因此,在颗粒初碎过程中或加入水射流粉碎系统之前,物料颗粒的初始裂纹越多,越有利于水楔作用的发挥。

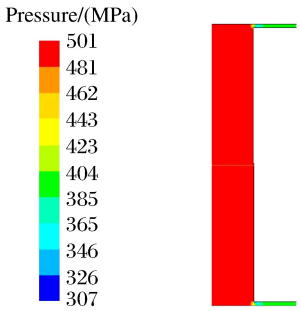


图 3(a) 分流管进口处(3.5～4.5 mm)的静压分布

Fig. 3(a) Pressure distribution in inlet of fluid separation region (3.5-4.5 mm)

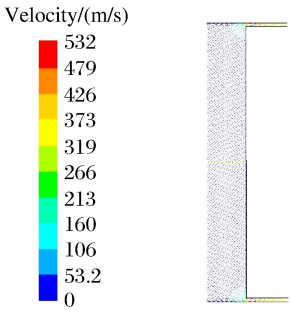


图 3(b) 分流管进口处(3.5～4.5 mm)的速度分布

Fig. 3(b) Velocity distribution in inlet of fluid separation region (3.5-4.5 mm)

图 4 给出了分流管中的静压和速度分布。可见,静压沿程减小,当 4.5 mm$<x<$5.0 mm 时,下壁面速度值较小,中上区域速度值较大;但当 $x>5.0$ mm 时,速度分布稳定,上、下壁面速度值相同(较小),中轴线上速度值较大,最大可达 405.8 m/s。

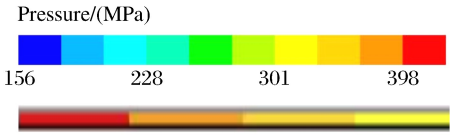


图 4(a) 分流管(4.5～19.5 mm)的静压分布

Fig. 4(a) Pressure distribution in fluid separation region (4.5-19.5 mm)

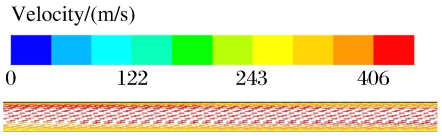


图 4(b) 分流管(4.5～19.5 mm)的速度分布

Fig. 4(b) Velocity distribution in fluid separation region (4.5-19.5 mm)

3.3 分流管、撞击管及射流管区

分流管-撞击管-射流管连接处、对撞区以及对撞后区域的静压和速度分布如图 5～图 7 所示。在 19.50 mm$<x<$20.00 mm 范围内,静压稍微减小;当 $x=20.00$ mm 及 $x=20.05$ mm 时,即在分流管与撞击管连接处拐角、撞击管与射流管拐角处,静压急剧下降,使得空穴效应显著增强,空穴作用力得以强化;当 20.00 mm$<x<$20.05 mm 时,靠近拐角处的静压较小,甚至出现负压,远离拐角处的静压较大,最小静压值为-156 MPa,最大静压值为 185 MPa;当 20.05 mm$<x<$20.50 mm 时,大部分区域内静压值先减小后增大。从整体上来看,速度场在大部分区域内没有发生很大变化,只是在分流管-撞击管连接处、撞击管-射流管连接处附近发生了剧烈变化:在分流管-撞击管连接处右上拐点附近(出现两个漩涡)及左下拐点后方(存在一个大漩涡)出现了速度很低的区域,同时在左下拐点处还出现速度极大点,达 704.16 m/s。在撞击管-射流管连接处:撞击区左端出现了沿中轴线对称的两个低速区,形成了对称的漩涡;在上、下两个对称拐点处速度较高;在撞击区后方沿壁面附近出现了上、下对称的两个低速区,也形成了漩涡,这些漩涡大大地增强了水楔作用。射流撞击后的一段距离内,流体的压力和速度变化十分剧烈,流体流速急剧增大,压力突然降低。高速射流撞击使流场内增加了强大的撞击作用力场;流体速度的急剧增加使速度梯度迅速加大,剪切应力显著增强;静压的急剧变化使空穴效应及压力释放效应极大增强,空穴作用力得以强化。这一方面有利于物料颗粒破碎,另一方面也会对反应腔内部的孔道材料产生气蚀作用下的“海绵状腐蚀”效应。

射流管区的静压和速度分布见图 8。从图 8 中可以看出:射流管中的静压为负值,出现了先增大后减小的趋势,最大值为-15.6 MPa,最小值为-20.5 MPa,变化幅度不大。靠近撞击区射流管壁面附近

的速度值较小,而中轴线处的速度值很大,为 499.96 m/s;随着 x 的增加,中轴线处的速度逐渐减小,壁面附近速度值增大至某定值,该定值小于中轴线附近的速度;当 $x \approx 21$ mm 时,速度场趋于稳定。

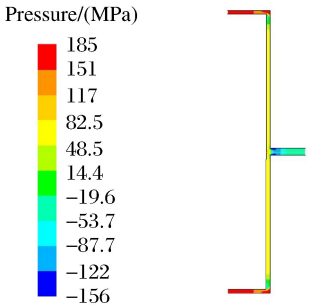


图 5(a)　分流管-撞击管-射流管连接处(19.50～20.50 mm)的静压分布

Fig. 5(a)　Pressure distribution in fluid separation-impinging-compel jet region (19.50-20.50 mm)

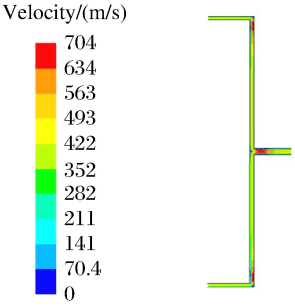


图 5(b)　分流管-撞击管-射流管连接处(19.50～20.50 mm)的速度分布

Fig. 5(b)　Velocity distribution in fluid separation-impinging-compel jet region (19.50-20.50 mm)

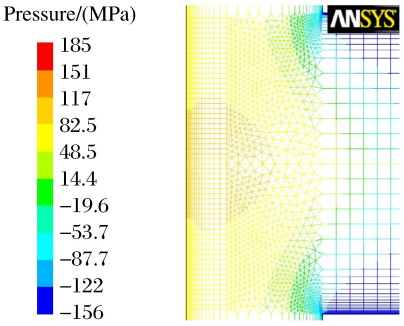


图 6(a)　对撞区(20.00～20.10 mm)的静压分布

Fig. 6(a)　Pressure distribution in impinging region (20.00-20.10 mm)

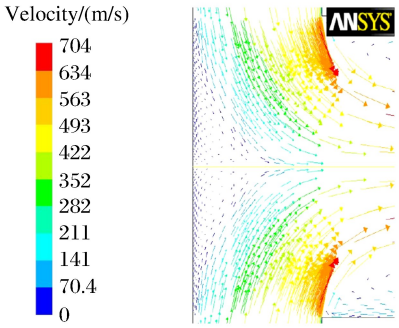


图 6(b)　对撞区(20.00～20.10 mm)的速度分布

Fig. 6(b)　Velocity distribution in impinging region (20.00-20.10 mm)

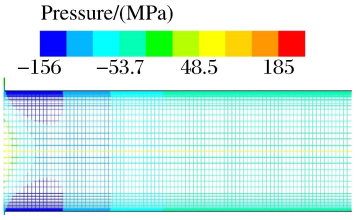


图 7(a)　对撞后区域(20.045～20.500 mm)的静压分布

Fig. 7(a)　Pressure distribution in impinging region (20.045-20.500 mm)

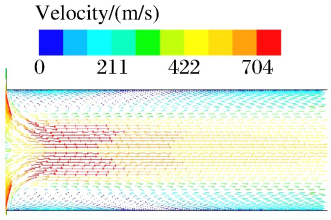


图 7(b)　对撞后区域(20.045～20.500 mm)的速度分布

Fig. 7(b)　Velocity distribution in impinging region (20.045-20.500 mm)

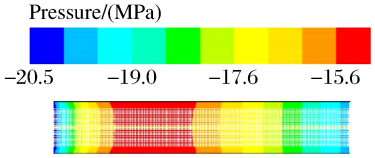


图 8(a)　射流管区(20.50～21.50 mm)的静压分布

Fig. 8(a)　Pressure distribution in compel jet region (20.50-21.50 mm)

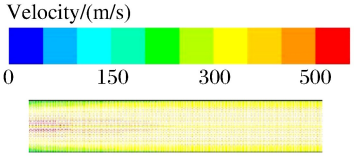


图 8(b)　射流管区(20.50～21.50 mm)的速度分布

Fig. 8(b)　Velocity distribution in compel jet region (20.50-21.50 mm)

3.4 射流管、扩流管及出料管区

射流管-扩流管连接处的静压及速度分布如图 9 所示。可以看出：随着 x 增大，静压先减小后在连接处局部增大，增大至 8.05 MPa 后保持不变；中轴线附近的速度值从总体上呈逐渐减小的趋势，但在扩流管上方及下方的局部区域，速度变化比较剧烈，出现了低速，并形成上下对称的 4 个漩涡，增强了水楔作用，使物料颗粒进一步细化。

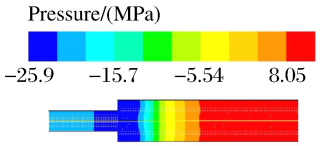


图 9(a) 射流管-扩流管连接处(21.50～23.50 mm)的静压

Fig. 9(a) Pressure distribution in compel jet-sudden expansion region (21.50-23.50 mm)

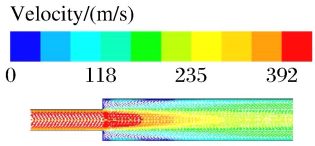


图 9(b) 射流管-扩流管连接处(21.50～23.50 mm)的速度

Fig. 9(b) Velocity distribution in compel jet-sudden expansion region (21.50-23.50 mm)

扩流管及扩流管-出料管连接处的静压与速度分布如图 10 所示。由图 10 可知：在扩流管中，静压随 x 增加呈逐渐减小趋势，速度场则是大部分区域小幅增大，然后基本保持稳定；在扩流管-出料管连接处，静压值由 2.5 MPa 逐渐减小，当 $x=34.05$ mm 时，即扩流管与出料管的交界处，出现负压；在出料管中，静压随 x 增大先减小后增大，在 $x=36.00$ mm 处静压最小，此处易产生“空穴”现象，产生的压力释放效应使物料颗粒进一步细化。在扩流管-出料管连接处中轴线上的速度值较高，只有右端速度略有下降，其它大部分区域的速度值较低；在 $x<34.05$ mm 区域内速度场较稳定，$34.05\ \text{mm}<x<36.00$ mm 区域内速度变化剧烈，共产生了 6 个漩涡。因此，位于扩流管区域的湍动能及壁面剪切应力变化不大，而扩流管-出料管连接处的湍动能及壁面剪切应力发生了显著变化，促进颗粒细化。

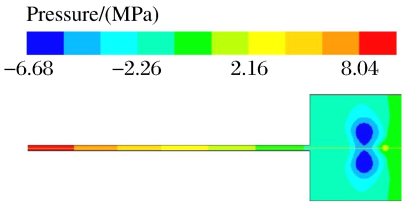


图 10(a) 扩流管、扩流管-出料管连接处(23.50～37.50 mm)的静压分布

Fig. 10(a) Pressure distribution in compel jet, sudden expansion-discharging region (23.50-37.50 mm)

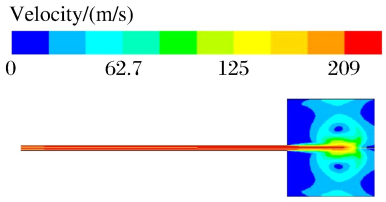


图 10(b) 扩流管、扩流管-出料管连接处(23.50～37.50 mm)的速度分布

Fig. 10(b) Velocity distribution in compel jet, sudden expansion-discharging region (23.50-37.50 mm)

从出料管中的静压及速度分布(见图 11)可以看出：出料管中的静压差很大，最大静压值为 718.6 Pa，最小静压值为 −0.285 MPa，出现负压，并且存在回流现象；出料管前端速度变化比较剧烈，呈“兔耳朵”型，同时出现低速区，湍动能 k 值及壁面剪切应力变化较剧烈；在 $x>40.00$ mm 的区域内静压、速度、湍动能及剪切应力比较平稳。

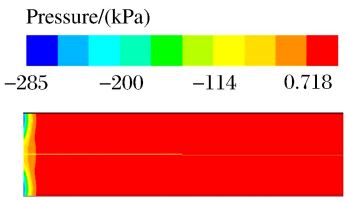


图 11(a) 出料管(37.50～62.05 mm)的静压分布

Fig. 11(a) Pressure distribution in discharging region (37.50-62.05 mm)

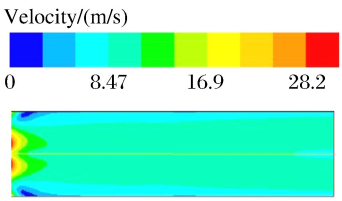


图 11(b) 出料管(37.50～62.05 mm)的速度分布

Fig. 11(b) Velocity distribution in discharging region (37.50-62.05 mm)

4 结　论

微射流均质机振荡反应腔内部孔道的流体速度梯度极大,流场内静压的变化非常剧烈,使微射流流场内产生极强的作用力场,包括颗粒间的撞击力、强剪切作用力、空穴作用力、压力释放效应以及水楔作用力。通过对射流均质机内部管道流体进行数值模拟,得到以下结论。

(1)在流体进入撞击管区之前,流体从截面较大的进料管区进入截面较小的分流管区,截面的突然变化使得分流管进口拐角处静压很小,易发生空化,存在压力释放效应,位于拐角后下部分区域的速度值很小,且出现漩涡(发生在分流管进口拐角后),使水楔作用增强,在分流管-撞击管连接处右上拐点附近及左下拐点后方也出现了漩涡;

(2)在流体撞击区出现了沿中轴线对称的两个低速区,形成对称的漩涡,在撞击区后方沿壁面附近出现了上下对称的两个低速区,也产生了漩涡,这些漩涡大大增强了水楔作用;撞击区内流体的压力和速度变化十分剧烈,在撞击后的一段距离内,流体流速急剧增大,压力突然降低。

(3)在撞击后的射流管区、扩流管区以及出料管区,由于管道截面的逐渐增大,流体速度呈逐渐减小的趋势,只是在管道截面突变处的局部区域内速度变化较剧烈,形成了上下对称的漩涡,增强了水楔作用,且在管道壁面处剪切应力变化剧烈,有利于颗粒的进一步粉碎。

可见,高速射流撞击使流场内增加了强大的撞击作用力场,流体速度急剧增加使速度梯度迅速加大,剪切应力极大增强,保证了微射流均质机极佳的作用效果。同时,由于振荡反应腔内部孔道内流场静压与速度变化是相反的,静压的急剧变化使空穴效应及压力释放效应极大增强,空穴作用力得以强化,对反应腔内部孔道材料产生“腐蚀”作用。因此在设计反应腔内部孔道时,在保证撞击区速度前提下,应适当降低进料速度,减小分流管进口拐角角度,并采用较短的出料管。

References:

[1] Liu W, Liu J H, Xie M Y, et al. Characterization and high-pressure microfluidization-induced activation of polyphenoloxidase from Chinese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(12): 5376-5380.

[2] Paquin P. Technological properties of high pressure homogenizers: The effect of fat globules, milk proteins, and polysaccharides [J]. Int Dairy J, 1999, 9(3-6): 329-335.

[3] Laneuville S I, Paquin P, Turgeon S L. Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein-xanthan gum complexes [J]. Food Hydrocolloid, 2000, 14(4): 305-314.

[4] Yuan Y, Gao Y, Zhao J, et al. Characterization and stability evaluation of beta-carotene nanoemulsions prepared by high pressure homogenization under various emulsifying conditions [J]. Food Res Int, 2008, 41(1): 61-68.

[5] Liu W, Liu J H, Liu C M, et al. Activation and conformational changes of mushroom polyphenoloxidase by high pressure microfluidization treatment [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2009, 10(2): 142-147.

[6] Liu W, Zhang Z Q, Liu C M, et al. The effect of dynamic high-pressure microfluidization on the activity, stability and conformation of trypsin [J]. Food Chem, 2010, 123(3): 616-621.

[7] Clemencia C L, Rosalba L, Annalisa S, et al. Effect of high pressure homogenization applied individually or in combination with other mild physical or chemical stresses on *Bacillus cereus* and *Bacillus subtilis* spore viability [J]. Food Control, 2009, 20(8): 691-695.

[8] Liu W, Liu W L, Liu C M, et al. Preparation of medium-chain fatty acids (MCFA) nano-liposome by means of high pressure microfluidization (HPM) [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2010, 24(4): 293-299. (in Chinese)
刘　伟,刘玮琳,刘成梅,等. 高压微射流制备纳米中链脂肪酸脂质体的研究 [J]. 高压物理学报, 2010, 24(4): 293-299.

[9] Mohr K H. High-pressure homogenization. Part Ⅰ. Liquid-liquid dispersion in turbulence fields of high energy density [J]. J Food Eng, 1987, 6(3): 177-186.

[10] Soon S Y, Harbridge J, Titchener-Hooker N J, et al. Prediction of drop breakage in an ultra high velocity jet homog-

enizer [J]. J Chem Eng Jpn, 2001, 34(5): 640-646.

[11] Håkansson A, Trägårdh C, Bergenståhl B. Studying the effects of adsorption, recoalescence and fragmentation in a high pressure homogenizer using a dynamic simulation model [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(4): 1177-1183.

[12] Feijoo S C, Hayes W W, Watson C E, et al. Effects of microfluidizer technology on *Bacillus licheniformis* spores in ice cream mix [J]. J Dairy Sci, 1997, 80(9): 2184-2187.

[13] Liu W, Liu C M, Ruan R S, et al. Analysis of heat conversion of pressure and energy in the high hydrostatic pressure processing [J]. Food Science, 2003, 24(7): 162-164. (in Chinese)
刘 伟, 刘成梅, 阮榕生, 等. 高压处理过程中的压力和能量分析 [J]. 食品科学, 2003, 24(7): 162-164.

[14] Liu C M, Liu W, Gao Y Y, et al. Analysis on fluid dynamic behavior in high velocity jet homogenizer [J]. Food Science, 2004, 25(4): 58-62. (in Chinese)
刘成梅, 刘 伟, 高荫榆, 等. 微射流均质机的流体动力学行为分析 [J]. 食品科学, 2004, 25(4): 58-62.

[15] Zhou Z G, Ma D Y. Numerical simulation of high-pressure jet nozzle based on fluent [J]. Machine Building and Automation, 2010, 39(1): 61-62. (in Chinese)
周章根, 马德毅. 基于 Fluent 的高压喷嘴射流的数值模拟 [J]. 机械制造与自动化, 2010, 39(1): 61-62.

[16] Zhao Y. Refined lanczos type methods for computing a partial singular value decomposition of a large matrix [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004. (in Chinese)
赵 妍. 应用 FLUENT 对管路细部流场的数值模拟 [D]. 大连: 大连理工大学, 2004.

Numerical Simulation of Microchannel of Dynamic High-Pressure Microfluidization Based on FLUENT

LIU Wei, LI Huo-Kun, LIU Cheng-Mei, LIU Wei-Lin

(*State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang* 330047, *China*)

Abstract: In order to analyze the flow field within the microchannel of dynamic high-pressure microfluidization, the geometric model and mesh model are established, and the pressure and velocity distributions of the flow field in interactive chamber are obtained with SIMPLEC solution algorithm and RNG k-ε model using FLUENT software. The simulated results show that the high-speed jet flow impinging increases the acting force field, and the sharp increment of the flow velocity rapidly increases the velocity gradient and shear stress. All these ensure the excellent effect of the high-pressure microfuidization. In addition, because of the opposite change of the static pressure and velocity in the oscillating chamber, the dramatic changes of static pressure greatly enhance the effect of gas cavity and pressure release, which corrode the material of the interactive chamber. It is desirable to appropriately decrease feeding speed, reduce the fluid separation inlet corner angle, and choose a short discharge nozzle on the condition of ensuring the impinging speed when designing the internal microchannel of interactive chamber.

Key words: dynamic high-pressure microfluidization; interactive chamber; microchannel; flow field distribution; numerical simulation