

基于 Fluent 的螺旋榨油机压榨段流场仿真

Research on simulation of flow field in press section of screw press based on Fluent

米国强^{1,2}黄志刚^{1,2}胡淑珍³安琪^{1,2}李贺^{1,2}MI Guo-qiang^{1,2} HUANG Zhi-gang^{1,2} HU Shu-zhen³ AN Qi^{1,2} LI He^{1,2}

(1. 北京工商大学人工智能学院, 北京 100048; 2. 塑料卫生与安全质量评价技术北京市重点实验室,

北京 100048; 3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100048)

(1. School of Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. Plastic Beijing Municipal Key Laboratory of Health and Safety Quality Evaluation Technology, Beijing

100048, China; 3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100048, China)

摘要:研究了双螺杆榨油机压榨过程中, 榨膛内部榨螺与油料相互作用产生的流场及其变化规律, 建立了榨螺和流体域的物理模型。在 Fluent 软件中进行有限元仿真求解, 获得油料在压榨段的压力场、速度场和浓度场分布, 一定范围内压力和温度越大, 浓度越大, 越利于出油。

关键词:榨油机; 流场; 浓度; 仿真

Abstract: In order to study the flow field distribution and variation law of the interaction between oil and screw in the chamber of a twin screw press, a physical model of the screw press and the fluid field was established. Fluent is used to solve the finite element simulation. The distributions of pressure field and velocity field and concentration field of oil in the press section were obtained. In the certain scope, the pressure and temperature were higher, and the concentration was higher, which was beneficial to get high oil yield.

Keywords: screw; flow field; concentration; simulation

压榨法是一种借助机械外力作用, 将油脂从油料中挤压出来的取油方法^[1], 螺旋榨油机可以连续化生产, 更适用于工业化。张学阁^[2]结合现有的先进方法, 建立了填充系数为 1 时榨膛内的油料实体模型; 通过模型简化, 建立了榨膛内油料压力模型, 并指出温度、孔隙度、压缩比等因素对压力的影响。Harper 等^[3]认为单螺杆压榨机主要依靠油料与油料之间、油料与榨螺外表面及油料与榨筒内壁

面之间的摩擦力输送油料; 双螺杆压榨机具有体积效应, 可防止物料随螺杆旋转, 具有更高的剪切能力和混合能力, 油料的破碎效果更好, 可用于较小油料的压榨, 并且可以手动控制物料循环和温度, 其设备生产能力受物料本身影响较小, 参数更容易设置。余南辉等^[4-5]建立了榨螺的三维模型, 并运用有限元分析得到榨螺变形及应力分布。

目前有关榨油机的研究主要包括压榨机理和榨螺受力分析, 但均停留在单螺杆榨螺结构理想的小型榨油机阶段, 以往对螺旋压榨机的仿真模拟研究多集中在榨螺结构及受力分析上^[6], 对于双螺杆榨螺结构复杂的榨油机内部流场的研究尚未见报道。文章拟借用 Fluent 软件, 通过对压榨机理进行分析, 探究双螺杆榨油机压榨过程中内部压力场、浓度场和速度场的分布, 并在此基础上分析压力和温度对油料浓度的影响, 旨在为榨油机的设计提供依据。

1 模型建立

1.1 螺杆模型和网格划分

双螺杆榨油机分为啮合和非啮合两类, 非啮合双螺杆榨油机因两螺杆之间没有啮合, 故在设计和制造上未受限制, 两螺杆受力后不会发生干涉和咬住并且可以得到更大的长径比。实际总压缩比是指油料经过压榨之后, 剩余饼粕的体积和未压榨前进入机内的体积之比^[7], 压榨段包括四级压榨结构, 榨螺在 Solidworks 软件中建立如图 1 所示榨螺三维模型, 轴套安装在螺杆末端与出饼口相连^[8], 在 Fluent 软件中对流体域进行网格划分。

Fluent 是非结构解法器, 支持多种网格结构。划分模型网格后需对网格质量进行检查, 得到的流体域网格如图 2 所示, 其剖面图如图 3 所示。

基金项目:国家重点研发计划项目子课题(编号: 2016YFD0400305, 2018YFD0400800); 北京市自然科学基金一市教委联合资助项目(编号: KZ20180011017)

作者简介:米国强, 男, 北京工商大学在读硕士研究生。

通信作者:黄志刚(1966—), 男, 北京工商大学教授, 博士。

E-mail: huangzg@btbu.edu.cn

收稿日期:2020-10-16

1.2 基本假设

考虑到榨膛内的结构、油料性质,以及压榨过程中流场的变化^[9],将榨膛内物料的模型简化:

- (1) 将流动物料简化为幂律流体。
- (2) 膛内油料的流动视为层流。
- (3) 惯性力、重力等远小于黏滞力,忽略不计。
- (4) 榨膛内充满物料。
- (5) 流体为连续不可压缩流体。

1.3 仿真前处理

使用 Fluent 求解问题主要包括网格划分、材料性质设定、设置求解器和物理模型等^[7],不考虑时间因素的影响,采用稳态方式迭代求解,输入连续体的物性参数,得到流体模型。CFD 可以分为有限差分法、边界元法、有限体积法^[10]。

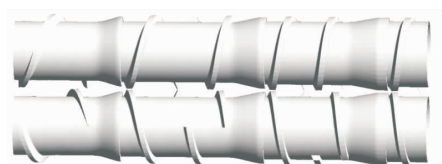


图 1 螺杆模型
Figure 1 Screw model

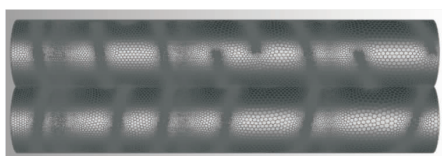


图 2 流体域网格划分
Figure 2 Grid partition of fluid field

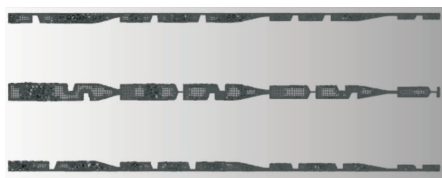


图 3 流体域网格剖面图
Figure 3 Grid partition profile of fluid field

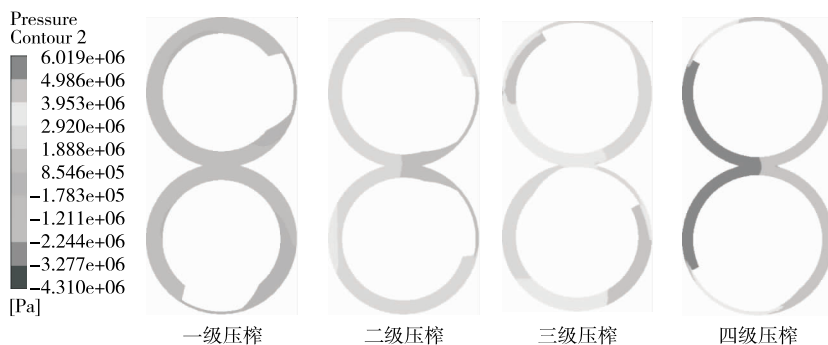


图 5 各级压榨结构压力云图
Figure 5 Pressure cloud field of pressing structures

Fluent 提供了多种物理模型,其中 $k-e$ 模型是应用最广泛的湍流模型,具有较好的稳定性和计算精度。由于 Simplec 稳定性较好,特别适用于层流的计算,故采用 Simplec 算法,同时用二阶迎风方程进行离散,设置收敛精度,再初始化流场。

2 模拟结果分析

2.1 压力场

压榨过程中膛内压力会对出油率产生影响,其值既不能太高,也不能太低^[11]。试验流体域的压力分布云图如图 4 所示。由于设定左侧为油料进口端,右侧为油饼出口端,沿 y 轴方向(螺杆长度方向)两螺杆的啮合不断形成和释放密封腔,随着油料从左往右运动,流场压力逐渐递增,达到压榨效果,这是因为榨膛内壁与螺杆表面间距离较近,油料主要受螺杆转动的影响,带动其连续地运动至出口,与此同时,忽略花生油从四周流出,只考虑其从模型出口位置流出。

对于应力集中的部位,可以通过优化设计结构、选择不同材料、改进加工方法或采用不同热处理方法等方式来有效解决^[12]。取各级压榨段横截面,得到压力分布如图 5 所示,多级螺旋螺杆和一级螺旋螺杆最大区别在于空余体积逐渐缩小,压榨压力逐渐增大,起建压作用,利于榨油。棱背面由于对油料作用力较小,形成了背压区域,此处压力值在截面上最小,即使是在同一截面上,油料所受压力大小也不同。若要得到更大的压榨压力,可

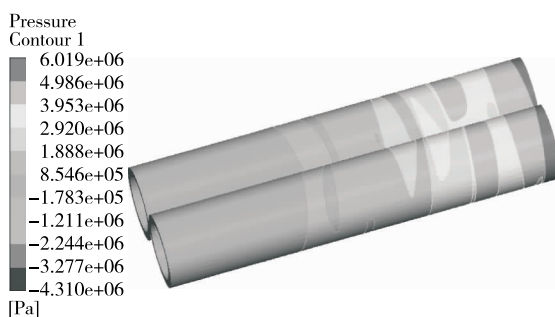


图 4 流体域压力分布云图
Figure 4 Pressure distribution of fluid field

以增加锥圈结构或减小榨膛容积。

2.2 浓度场

用体积分数表示油的浓度,流体域纵截面上的油料浓度分布如图 6 所示,随着螺杆转动推动油料运动,流场中油料浓度发生变化,进口端浓度为 0,是因为油料一开始进入到输送段,主要受螺杆转动的影响,向前运动,未起到压榨效果,油料浓度相对较小,随后进入一级压榨阶段,油料受到螺杆与榨膛挤压作用,油脂逐渐从植物细胞壁中被挤出,此时油料浓度逐渐增大,压榨效果也越明显,榨油充分。

取如图 7 所示的横截面进行分析,随着压榨的进行,油料浓度逐渐变化,压力越大处油料浓度越大,并且由于离心力的作用,部分油脂会偏离螺杆。

2.3 压力与温度对油料浓度的影响

2.3.1 压力对油料浓度的影响 截取一级压榨段的横截面如图 8 所示。由图 8 可知,当压力为 10 MPa 时,油料浓度为 0.004 61;当压力为 8 MPa 时,油料浓度为 0.004 49;当压力为 6 MPa 时,油料浓度为 0.004 43,一定范围内,压力越大,油料浓度越大。

2.3.2 温度对油料浓度的影响 榨膛温度是影响榨油机出油率和出油质量的主要因素^[13-15]。由图 9 可知,当温度为 60 ℃时,油料浓度为 0.004 43;当温度为 70 ℃时,油料浓度为 0.004 48;当温度为 80 ℃时,油料浓度为 0.004 51,一定范围内,温度越高,油料浓度越大。但温度过高会使油料变质,实际压榨过程中需根据被压榨的油料尽量选择适宜的压榨温度,温度过高可以对榨膛进行

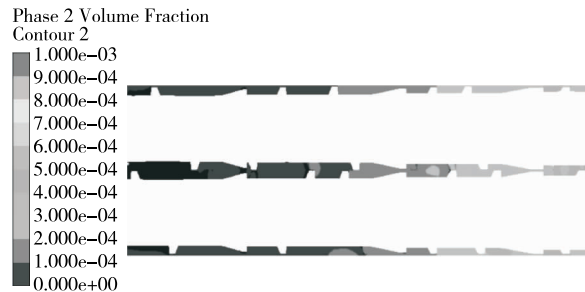


图 6 流体域浓度分布

Figure 6 Concentration distribution of fluid field

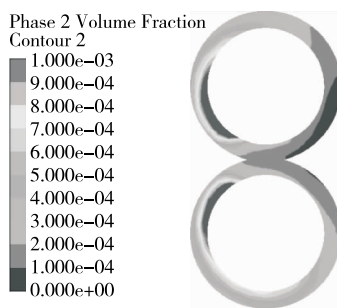


图 7 横截面浓度分布

Figure 7 Concentration distribution of cross section

降温,温度过低可以进行加热。

2.4 速度场

2.4.1 整体速度分布 由图 10 可知,在螺杆的带动下,油料大体沿着圆周运动,刚进入压榨膛内时,速度增加迅速,并且受螺杆转动的影响会产生波动,压榨段速度增加缓慢,同一截面处,油料速度存在较大差异,处于中间的油料速度略大。当油料靠近螺纹时,开始对油料进行压榨,速度急速上升,当油料远离螺纹时,空间会增加,速度下降。压榨过程中有油料回流,使得榨油机内部速度的变化更复杂。

2.4.2 压力对速度的影响 由图 11 可知,在一定范围内,压力越大,油料速度越大。

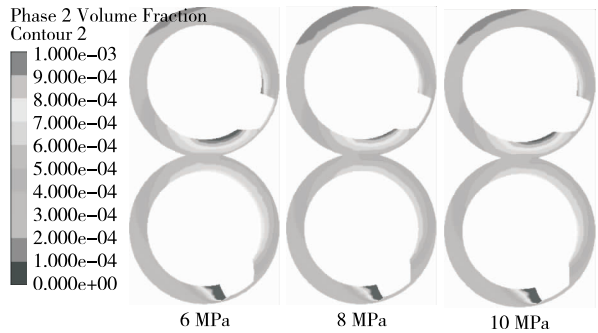


图 8 各压力下的浓度分布

Figure 8 Volume distribution under various pressures

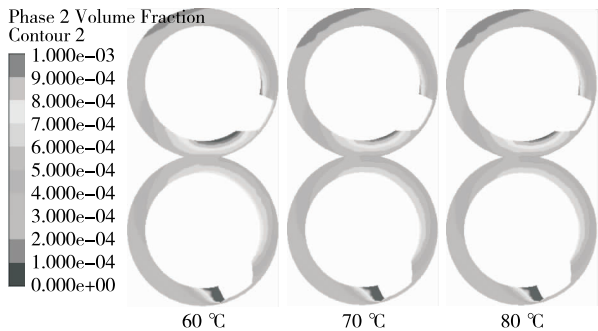


图 9 各温度下的油料浓度分布

Figure 9 Volume distribution under various temperature (6 MPa)

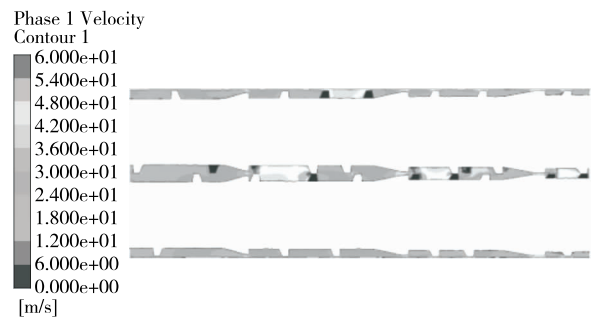


图 10 速度分布

Figure 10 Volecity distribution

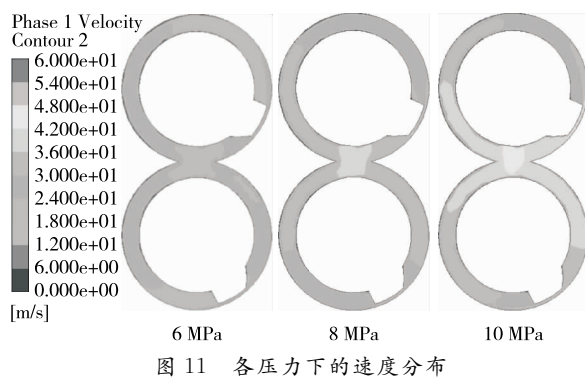


图 11 各压力下的速度分布

Figure 11 Velocity distribution under various pressures

3 结论

通过对双螺杆榨油机的基本结构和工作原理进行分析,建立了榨油机榨螺和流体域三维模型,运用 Fluent 软件对榨油机压榨段流体域的物理场进行仿真研究。结果表明,流场压力沿着螺杆逐渐递增,输送段压力增长快,压榨段增长较慢,出口处压力达到最大;同一截面处,油料速度存在分层现象,设定温度一定时,随着压力的增大,油料速度增大;流体浓度沿着螺杆长度方向递增但存在波动。设定压力不变,温度越高,油料浓度越高。设定温度不变,压力越大,油料浓度越高。后续应根据压榨理论对现有的模型进行改进,使其更接近于实际状态。

参考文献

- [1] 丁福祺. 食用液压榨法和浸出法压榨工艺的区别[J]. 中国油脂, 2005, 30(1): 5-6.
- [2] 张学阁. 双螺杆榨油机榨螺参数与榨膛内物料压力关系分析[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 35-40.

(上接第 84 页)

加入热场对其进行多场耦合仿真,以更接近实际的榨油状态,得到更为准确的仿真数据。

参考文献

- [1] MIZERA C, HERAK D, HRABĚ P, et al. Extraction of oil from rapeseed using duo screw press [J]. Agronomy Research, 2018, 16(Special Issue D): 1 118-1 123.
- [2] BOGAERT L, MATHIEU H, MHEMDI H, et al. Characterization of oilseeds mechanical expression in an instrumented pilot screw press [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 121: 106-113.
- [3] AMALIA KARTIKA I, PONTALIER P Y, RIGAL L. Twin-screw extruder for oil processing of sunflower seeds: Thermo-mechanical pressing and solvent extraction in a single step[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 32(3): 297-304.
- [4] 刘汝宽, 解士聪, 肖志红, 等. 双螺旋榨油机榨膛预热过程中温度分布及有限元仿真[J]. 中国油脂, 2017, 42(5):

- [3] HARPER J M. Extrusion of foods[J]. Food Technol, 1986, 40: 70-76.
- [4] 余南辉, 李诗龙, 柳德文. 基于有限元法的螺旋榨油机榨螺的应力分析[J]. 轻工科技, 2014, 30(2): 57-58.
- [5] 余南辉, 李诗龙, 宋良浩. 基于 ANSYS 的螺旋榨油机榨笼的应力分析[J]. 科技创新与应用, 2014(6): 34-35.
- [6] 古劲, 黄志刚, 米国强, 等. 基于 Fluent 单螺杆榨油机主压榨段流场仿真研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 80-86.
- [7] 杨丽彦. 螺旋榨油机压榨比的理论研究与分析[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 25-30.
- [8] SAVOIRE R, LANOISELLÉ J L, VOROBIEV E. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: A review[J]. Food Bioprocess Technol, 2013(6): 1-16.
- [9] GLENCROSS B, HAWKINS W, CURNOW J. Nutritional assessment of Australian canola meals: Evaluation of canola oil extraction method and meal processing conditions on the digestible value of canola meals fed to the red seabream (*Pagrus auratus*, Paulin) [J]. Aquaculture Research, 2015, 35(1): 15-24.
- [10] 张凯. 基于 Fluent 同向啮合双螺杆挤出机挤出聚乳酸热力学分析[D]. 北京: 北京工商大学, 2018: 30-37.
- [11] 李诗龙. 双阶多级压榨双螺杆榨油机研制[J]. 农业工程学报, 2010(26): 102-107.
- [12] 张国, 王春杰. 500 t/d 榨油机优化改进的研究与探讨[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(2): 46-47, 51.
- [13] 解士聪, 黄志辉, 李昌. 1 种螺旋榨油机榨膛内表面温度预估方法[J]. 华南农业大学学报, 2014(6): 104-107.
- [14] 刘汝宽, 解士聪, 肖志红, 等. 蓖麻籽螺旋压榨制油过程中榨膛温度分布及其数值拟合[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(6): 74-78.
- [15] 解士聪. 蓖麻籽螺旋榨油机榨膛温度与加热方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014: 20-25.

156-158.

- [5] 古劲, 黄志刚, 米国强, 等. 基于 Fluent 单螺杆榨油机主压榨段流场仿真研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 80-86.
- [6] 张强, 张旭, 孙绍安. 基于 EDEM 的家用榨油机压榨腔工作性能仿真研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24): 283-291.
- [7] 张东, 刘晓丽, 王恩志. 非均匀多孔介质等效渗透率的普适表达式[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 35-42.
- [8] 冯新东, 宋少云, 尹芳, 等. 脱壳油桐籽压榨的应力—应变关系研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2020, 39(1): 18-21.
- [9] 郑晓, 宛农, 林国祥, 等. 基于孔隙度的冷榨菜籽仁饼微观结构研究[J]. 中国油脂, 2004(12): 14-17.
- [10] 王经洲, 郑晓, 宛农, 等. 基于扫描电镜图像分析的菜籽仁饼孔隙结构分形研究[J]. 农业工程学报, 2008(3): 16-20.
- [11] 任小聪, 陈戈, 郑晓, 等. 双螺旋榨油机膛内压力分布测试及研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(4): 100-104.
- [12] 阮竞兰, 张学阁, 杨丽彦. 双螺旋榨油机榨螺参数与榨膛内压力的关系研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 89-92.
- [13] 胡志刚, 邱云峰, 涂德先. 榨膛内压力对榨螺应力应变及油料出油率的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 85-88.