

基于 EDEM 的单轴螺旋榨油机工况分析与参数优化

欧阳锐凌^{1,2},董霖¹,任洋^{1,2},李平^{1,2},雷元^{1,2},王霜¹,冉龙勇³,王清松³

(1. 西华大学 现代农业装备研究院,成都 610039; 2. 西华大学 机械工程学院,成都 610039;

3. 四川青江机器股份有限公司,四川 雅安 625000)

摘要:为了提高螺旋榨油机的日处理量,利用 EDEM 软件对 6YL-76 型单轴螺旋榨油机传输挤压段的工作过程进行仿真分析,以油菜籽-油液混合物颗粒群沿榨螺径向的合成速度波动幅度来表征颗粒的混合搅拌效果,并以合成速度波动幅度和日处理量为指标,对榨螺深度和榨圈圆弧半径进行了两因素三水平全面试验,建立了榨螺深度、榨圈圆弧半径与日处理量的回归模型并进行参数寻优,综合考虑合成速度波动幅度和日处理量得到最优值。结果表明:运用仿真试验对于研究螺旋榨油机内部工况具有优越性;螺旋榨油机日处理量随榨螺深度和榨圈圆弧半径增大有不同程度的提高;油菜籽-油液混合物颗粒合成速度波动幅度由榨螺深度主导;榨螺深度和榨圈圆弧半径的最优组合为榨螺深度 12 mm,榨圈圆弧半径 6 mm。在优化条件下,6YL-76 型单轴螺旋榨油机的日处理量提高了 18.26%,其工作性能得到较大幅度提升。

关键词:螺旋榨油机;榨螺;榨圈;EDEM;离散元仿真

中图分类号:TS223;TP3

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2022)09-0141-06

Working condition analysis and parameter optimization of single stage screw press based on EDEM

OUYANG Ruiling^{1,2}, DONG Lin¹, REN Yang^{1,2}, LI Ping^{1,2}, LEI Yuan^{1,2},
WANG Shuang¹, RAN Longyong³, WANG Qingsong³

(1. Institute of Modern Agricultural Equipment, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. School of Mechanical Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

3. Sichuan Qingjiang Machinery Company Limited, Ya'an 625000, Sichuan, China)

Abstract: In order to improve the daily processing capacity of the screw press, EDEM software was used to simulate the working process of the transmission extrusion section of 6YL-76 single stage screw press. The mixing and stirring effect of the particles was characterized by the fluctuation amplitude of the synthetic speed of the rapeseed-oil mixture particles group along the radial direction of the screw. The fluctuation amplitude of the synthetic speed and the daily processing capacity were taken as indicators, a two-factor, three-level comprehensive test was carried out on the worm depth and the circular arc radius of the pressure ring, and the regression model between the worm depth, the circular arc radius of the pressure ring and the daily processing capacity was established and optimized to obtain the optimal value by taking into account the fluctuation amplitude of the synthetic speed and the daily processing

收稿日期:2021-10-26;修回日期:2022-07-05

基金项目:国家重点研发项目课题(2016YFD0700401);四川省现代农业装备工程技术研究中心课题(XDNY2021-003);四川省科技厅重点研发项目(2021YFN0020);四川省科技计划重点研发项目(2022YFG0065)

作者简介:欧阳锐凌(1997),男,在读硕士,主要从事现代智能农业装备与技术的研究(E-mail)oyr970812@163.com。

通信作者:董霖,教授(E-mail)donglin11723@163.com。

capacity. The results showed that the simulation test had advantages for studying the internal working conditions of the screw press; the daily processing capacity of the screw press increased with the increase of the worm depth and the circular arc radius of the pressure ring; the fluctuation amplitude of synthesis rate of rapeseed-oil mixture particles was dominated by the worm

depth; the optimal combination of worm depth and circular arc radius of the pressure ring was 12 mm and 6 mm, respectively. Under the optimal conditions, the daily processing capacity of the 6YL-76 single stage screw press increased by 18.26% and its working performance was improved more significantly.

Key words: screw press; worm; pressure ring; EDEM; discrete element simulation

螺旋榨油机的榨螺榨圈在使用中易磨损,对其进行维护是螺旋榨油机最主要的维护成本之一^[1-3]。在榨油机研发和优化中,榨螺榨圈是螺旋榨油机结构设计的难点和重点;在榨膛结构设计前需要搞清楚榨膛中颗粒的运动情况,具体传输情况等重要问题。国内外主要的研究方向多在改善榨膛结构、增大榨螺尺寸与压缩比^[4-8]、对榨油机表面进行处理和改善设备材料^[9],以及运用有限元技术对榨螺榨圈受力进行分析^[10-16]等方面。但是,目前对榨螺榨圈的微观机制如传输和搅拌作用的研究还不多^[17-18],以颗粒散体物料分析方法的离散元技术对榨油机工况的分析研究少且深度浅。

根据非塞流理论分析可知,在螺旋榨油机榨油过程中,油料-油液混合物颗粒的速度、榨膛的压缩比^[19]与榨螺深度直接相关,油料-油液混合物颗粒的速度、位置分布以及榨膛容积与榨圈圆弧半径相关,基于螺旋榨油机的榨螺榨圈在使用中受冲击力较大,设计上要求较高^[20-21],本文选取榨螺深度、榨圈圆弧半径作为螺旋榨油机的重点研究参数。

本研究以油菜籽为原料,利用二次开发的 EDEM 离散元软件^[22]对 6YL-76 型单轴螺旋榨油机传输挤压段工况进行仿真模拟,对传输挤压段油菜籽-油液混合物颗粒运动形态进行分析,优化榨螺深度和榨圈圆弧半径,从而提高 6YL-76 型单轴螺旋榨油机的处理量。

1 仿真试验参数设置

1.1 榨膛结构体参数

选用 6YL-76 型单轴螺旋榨油机作为研究对象,构建了榨膛三维简化模型,设定了除榨螺深度与榨圈圆弧半径的其余结构参数,如榨螺外径 76 mm、榨圈厚度 18 mm、榨条宽度 11.5 mm,通过右手定则确定榨螺轴转动方向,并确定其转速为 33 r/min。

1.2 颗粒参数

以油菜籽为原料,通过无底圆筒试验得到了油菜籽-油液混合物颗粒的实际堆积角为 29.98°,通过 Plackett-Burman 试验、最陡爬坡试验和 Box-Behnken 试验,得到颗粒-颗粒滚动摩擦系数、颗粒-颗粒静摩擦系数及颗粒-不锈钢静摩擦系数寻优值分别为 0.26、0.213、0.336。其他参数设置为:不锈钢泊松比 0.3,剪切模量 79 000 MPa,密度 7 850 kg/m³,颗粒平均半径 1 mm,颗粒总生产量 0.2 kg,结构体提升速度 0.125 m/s。

1.3 求解器参数设置

仿真时间步为瑞利时间步的 20%,仿真时长为 15 s,数据保存间隔为 0.01 s,模拟器网格大小为最小颗粒尺寸的 2 倍。

2 传输挤压段油菜籽-油液混合物颗粒运动形态分析

在榨螺深度为 10 mm,榨圈圆弧半径为 4.0 mm 条件下,通过建立 6YL-76 型单轴螺旋榨油机传输挤压段的仿真模型进行仿真试验,得到总体传输过程、颗粒运动轨迹,并以颗粒运动速度表征其混合搅拌效果。

2.1 总体传输过程

油菜籽-油液混合物颗粒的总体传输过程仿真结果如图 1 所示。由图 1 可知,油菜籽-油液混合物颗粒从进料口快速进入螺旋榨油机之后在进料座内产生堆积,然后大量颗粒在榨螺的带动下向出料口移动并逐渐填满整个榨腔,10 s 左右传输过程达到稳定状态。同时,由仿真结果可观察到油菜籽-油液混合物颗粒群在运动到榨圈段出现了若干个分布规律的空白区域,这是由于榨圈的异形部分对油菜籽-油液混合物颗粒群产生了阻隔,可促进对油菜籽-油液混合物颗粒群的混合搅拌。

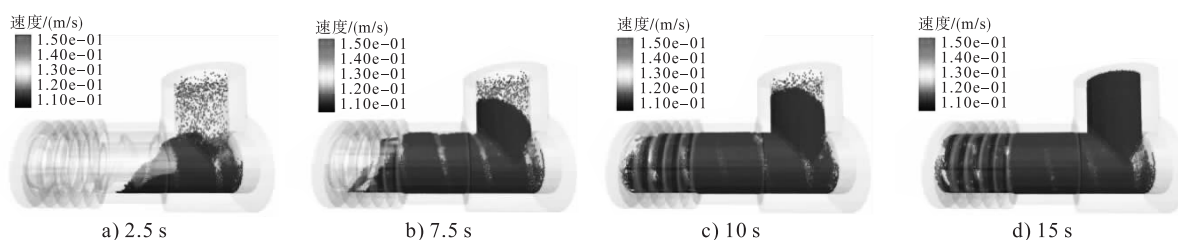


图 1 油菜籽-油液混合物颗粒的总体传输过程

2.2 运动轨迹

当传输过程达到稳定状态时,油菜籽-油液混合物颗粒运动轨迹的总体规律趋于一致。离散元仿真颗粒数大约在10万左右且每颗颗粒有编号。图2为编号6019的油菜籽-油液混合物颗粒的运动状态。编号6019颗粒在整个颗粒群中处于中间位置,无法通过透明筒实物试验直接观察,而仿真试验对于研究螺旋榨油机内部工况具有优越性。

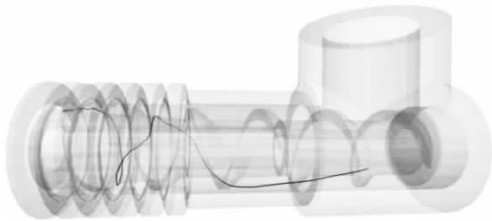


图2 编号6019颗粒的运动轨迹

由图2可知,油菜籽-油液混合物颗粒运动轨迹存在3个特征段:①刚进入榨膛时出现一段近似直线轨迹;②随着榨螺转动出现一段近似螺旋线轨迹;③离开传输挤压段时出现一段近似直线轨迹。

2.3 沿榨螺径向的合成速度

在榨螺转速和榨螺螺距一定的情况下,油菜籽-油液混合物颗粒群沿榨螺轴线(X 方向)的分速度是确定的。分速度可表征油菜籽-油液混合物颗粒在榨螺深度方向上的窜动情况,分速度越大,窜动越剧烈,混合搅拌程度越高。从EDEM软件中导出颗粒 Y 、 Z 方向的平均速度数据,导入到Matlab软件中绘制得到油菜籽-油液混合物颗粒沿 Y 、 Z 方向(均为榨螺径向方向)的平均速度变化曲线,如图3所示。

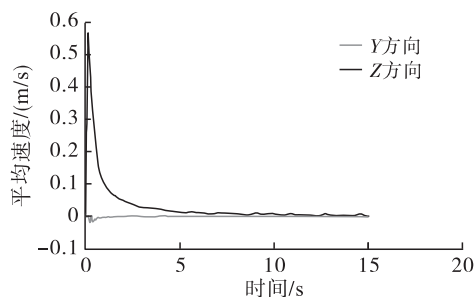


图3 油菜籽-油液混合物颗粒 Y 、 Z 方向平均速度变化曲线

由图3可知,开始时 Z 方向的平均速度远大于 Y 方向的平均速度,这是因为此时油菜籽-油液混合物颗粒群刚进入榨膛,在 Z 方向快速下落导致其速度变化幅度较大。随着时间的推移, Y 、 Z 方向的平均速度变化逐渐稳定,二者差距渐渐缩小。因此,

截取10~15 s的稳定区间进行研究。

为便于分析和理解,引入油菜籽-油液混合物颗粒群沿榨螺径向的合成速度(v_r)。按下式计算合成速度。

$$v_r = \sqrt{v_y^2 + v_z^2} \quad (1)$$

式中: v_y 为 Y 方向平均速度; v_z 为 Z 方向平均速度。

取图3中10~15 s油菜籽-油液混合物颗粒沿 Y 、 Z 方向的平均速度按公式(1)计算合成速度,绘制其变化曲线,如图4所示。

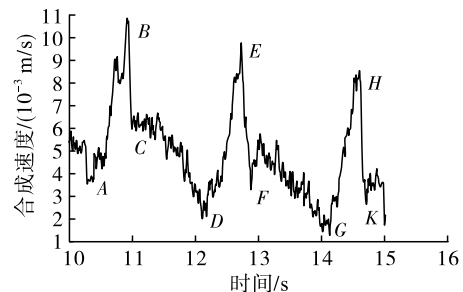


图4 合成速度变化曲线

由图4可见,此时间段内合成速度的波动幅度较大,而且呈现一定规律性。点A到点B合成速度急剧增大;点B到点C合成速度呈断崖式下降;点C到点D合成速度震荡减小;随后从点D开始到点G重复点A至点D的变化规律并且每段变化的极大值和极小值呈下降趋势,如点E低于点B,点F低于点C,点G低于点D。这一结果说明颗粒出现了间歇性的沿榨螺径向窜动的现象,这种窜动现象与螺旋榨油机运行时振动有一定关联,但窜动现象的存在也说明油菜籽-油液混合物颗粒得到了混合搅拌,所以在螺旋榨油机的研发和改良过程中应将其控制在适当范围内。

3 榨螺深度和榨圈圆弧半径对颗粒运动形态和流量的影响

3.1 榨螺深度的影响

在榨圈圆弧半径为4.0 mm条件下,选取3组不同的榨螺深度(8、10、12 mm)分别建立6YL-76型单轴螺旋榨油机传输挤压段的仿真模型进行仿真试验,通过分析和比较各试验组中的合成速度,分析榨螺深度对颗粒运动形态与日处理量的影响。

3.1.1 对颗粒运动形态的影响

取10~15 s油菜籽-油液混合物颗粒沿 Y 、 Z 方向的平均速度仿真数据计算合成速度,绘制其变化曲线,如图5所示。

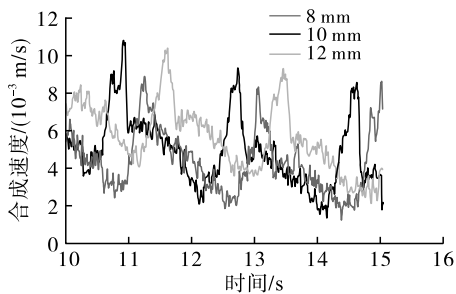


图5 不同榨螺深度时的合成速度变化曲线

由图5可见,榨螺深度10 mm试验组与榨螺深度12 mm试验组中合成速度在不同段的极大值和极小值基本在一个水平,10 mm试验组的合成速度变化曲线较12 mm试验组有所前移,更早进入波动变化循环,而8 mm试验组中合成速度在不同段的极大值和极小值均明显小于10 mm试验组和12 mm试验组。由此可知,当榨螺深度从8 mm增大到10 mm时,合成速度的波动幅度增大,但是随着榨螺深度进一步从10 mm增大到12 mm,合成速度波动幅度却没有明显变化,说明榨螺深度对合成速度波动幅度的增益效果只保持在一定范围内。在3个试验组中,基本可以认为榨螺深度在10 mm左右时,合成速度波动幅度达到了最大。因此,研发和改良螺旋榨油机时应当将榨螺深度保持在合适范围,不能无故增大榨螺深度。

3.1.2 对流量的影响

流量是螺旋榨油机的重要指标之一,决定螺旋榨油机的日处理量。通过 EDEM API 二次开发编译插件,得到对指定区域颗粒的 Mass Statistic(质量统计)的自定义统计属性,导出不同试验组的 API 自定义统计数据并绘制得到不同榨螺深度时的出口质量统计曲线,如图6所示。

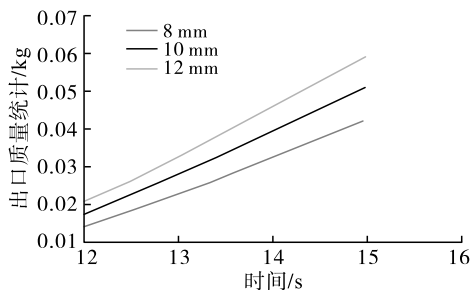


图6 不同榨螺深度时的出口质量统计曲线

由图6可见,在12~15 s仿真时间内,不同榨螺深度的试验组出口质量均呈线性增长,随着榨螺深度的增加,出口质量的起始量也随之增加,但不同榨螺深度时的出口质量统计曲线的斜率存在差异。由图6可得到不同榨螺深度时的流量(图6中曲线的斜率)及日处理量,如表1所示。

表1 不同榨螺深度时的流量及日处理量

榨螺深度/mm	流量/(kg/s)	日处理量/kg
8	0.009 30	803.625
10	0.011 18	965.945
12	0.012 72	1 099.020

由表1可知:榨螺深度与螺旋榨油机日处理量呈正相关;榨螺深度从8 mm增加到10 mm,日处理量的增幅为20.20%;榨螺深度从10 mm增加到12 mm,日处理量的增幅为13.78%。虽然榨螺深度以2 mm的幅度从8 mm到12 mm进行变化时,日处理量的增幅在减小,但是从10 mm到12 mm时,日处理量的增长幅度仍十分可观。因此,在研发和改良螺旋榨油机时值得考虑尽量增大榨螺深度。

3.2 榨圈圆弧半径的影响

在上述试验准备的模型与数据不变的基础上,榨螺深度为10 mm,选取3组不同的榨圈圆弧半径(1.5、4.0、6.5 mm)分别建立6YL-76型单轴螺旋榨油机传输挤压段的仿真模型进行仿真试验,通过分析和比较各试验组中的合成速度,分析榨圈圆弧半径对颗粒运动形态与日处理量的影响。

3.2.1 对颗粒运动形态的影响

不同榨圈圆弧半径试验组的合成速度变化曲线如图7所示。

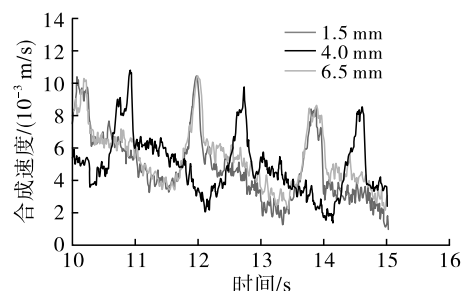


图7 不同榨圈圆弧半径时的合成速度变化曲线

由图7可见,改变榨圈圆弧半径对油菜籽-油液混合物颗粒合成速度波动幅度的影响不显著,在榨圈圆弧半径从1.5 mm到4.0 mm,再到6.5 mm的过程中,合成速度进入波动变化循环的时间点先推迟后又提前,但这对加强油菜籽-油液混合物颗粒的混合搅拌效果影响较小。因此,在考虑混合搅拌作用时可以将榨圈圆弧半径作为次要因素,优先考虑其他结构参数。

3.2.2 对流量的影响

按照3.1.2方法得到不同榨圈圆弧半径时的出口质量统计曲线,如图8所示。

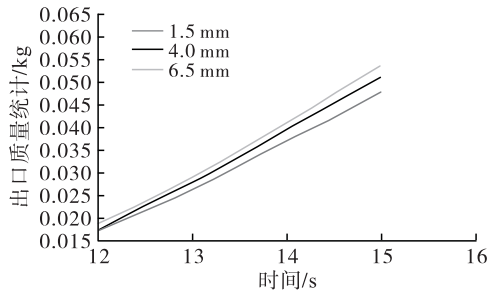


图8 不同榨圈圆弧半径时的出口质量统计曲线

由图8可得到不同榨圈圆弧半径时的流量及日处理量,如表2所示。

表2 不同榨圈圆弧半径时的流量及日处理量

榨圈圆弧半径/mm	流量/(kg/s)	日处理量/kg
1.5	0.010 12	874.793
4.0	0.011 18	965.945
6.5	0.011 61	1 003.340

由表2可见:榨圈圆弧半径与螺旋榨油机的日处理量呈正相关;榨圈圆弧半径从1.5 mm增加到4.0 mm,日处理量增幅为10.42%;榨圈圆弧半径从4.0 mm增加到6.5 mm,日处理量增幅为3.87%。由此可知,大幅增加榨圈圆弧半径不能使日处理量以相同幅度同步提高,因此在研发和改良螺旋榨油机时应将榨圈圆弧半径控制在适当尺寸。

4 结构参数优化

4.1 全面试验

在前面试验的基础上,以榨螺深度(A)和榨圈圆弧半径(B)为因素,以合成速度波动幅度(Y_1 ,为合成速度的最大值与最小值之差)和日处理量(Y_2)为考察指标,进行全面试验。全面试验方案及结果如表3所示。

表3 全面试验方案及结果

试验号	A	B	$Y_1/(m/s)$	Y_2/kg
1	1(8 mm)	1(1.5 mm)	7.70E-03	749.47
2	1	2(4.0 mm)	7.46E-03	803.63
3	1	3(6.5 mm)	7.09E-03	826.09
4	2(10 mm)	1	8.72E-03	874.79
5	2	2	8.45E-03	965.95
6	2	3	1.03E-02	1 003.34
7	3(12 mm)	1	9.65E-03	983.11
8	3	2	7.18E-03	1 099.02
9	3	3	7.84E-03	1 144.94

对表3试验结果进行极差分析,结果见表4。由表4可知:螺旋榨油机的日处理量随榨螺深度和榨圈圆弧半径增大而提高;榨螺深度对合成速度波动幅度和日处理量的影响大于榨圈圆弧半径,说明合成速度波动幅度和日处理量由榨螺深度主导。

表4 极差分析结果

项目	Y_1		Y_2	
	A	B	A	B
k_1	7.43E-03	8.70E-03	793.06	869.12
k_2	9.17E-03	7.70E-03	948.02	956.20
k_3	8.23E-03	8.40E-03	1 075.68	991.45
R	1.74E-03	1.00E-03	282.62	122.33

利用 Design Expert 软件对表3试验结果中的日处理量指标拟合得到二次回归模型: $Y_2 = -76.411 92 + 121.892 13A + 15.010 99B + 4.262 05AB - 3.414 00A^2 - 4.145 92B^2$ 。对模型进行方差分析,结果如表5所示。

表5 日处理量的二次回归模型方差分析

来源	平方和	均方	F	p
模型	1.46E+05	29 161.01	575.54	0.000 1
A	1.20E+05	1.20E+05	2 365.03	<0.000 1
B	22 443.52	22 443.52	442.96	0.000 2
AB	1 816.51	1 816.51	35.85	0.009 3
A^2	372.97	327.97	7.36	0.073 0
B^2	1 342.86	1 342.86	26.50	0.014 2
残差	152.00	50.67		
总和	1.46E+05			

注:决定系数(R^2)为0.999;校正决定系数(R_{Adj}^2)为0.997 2;精密密度为69.678 1

由表5可见:模型 p 值为0.000 1,说明模型拟合良好;榨螺深度和榨圈圆弧半径的 p 值小于0.01,说明二者的影响极显著;模型的决定系数(R^2)为0.999,校正决定系数(R_{Adj}^2)为0.997 2,说明模型可以初步用于预测日处理量。

4.2 最优参数组合

综合考虑日处理量和合成速度波动幅度两个指标对榨螺深度和榨圈圆弧半径进行参数寻优,将日处理量的二次回归模型按榨螺深度取最大值12 mm为目标进行求解,得到最优值为榨螺深度12 mm、榨圈圆弧半径5.967 mm。考虑机械加工的便利性将最优值修正为榨螺深度12 mm、榨圈圆弧半径6 mm,该参数组合下日处理量为1 142.358 kg,较现有参数组合下(榨螺深度10 mm,榨圈圆弧半径4 mm)的日处理量提高了18.26%,具有较高改良价值,因此本研究最终建议6YL-76型单轴螺旋榨油机的最优参数组合为榨螺深度12 mm,榨圈圆弧半径6 mm。

5 结论

(1)本研究利用 EDEM 软件对螺旋榨油机的工作过程进行仿真模拟,可以形象直观地观察到传输挤压段榨膛中不同层级颗粒的运动状态。

(2) 榨螺深度可在一定范围内增强油菜籽-油液混合物的混合搅拌效果,但是榨螺深度超过一定范围再继续增大时,对加强混合搅拌效果没有增益;榨圈圆弧半径对混合物颗粒的混合搅拌效果影响弱于榨螺深度的影响,但增大榨圈圆弧半径对日处理量的提高有较好的促进作用。

(3) 通过全面试验,综合考虑混合搅拌效果和日处理量的条件下,确定了针对 6YL-76 型单轴螺旋榨油机榨螺深度和榨圈圆弧半径的最优组合,即榨螺深度 12 mm,榨圈圆弧半径 6 mm。在优化条件下,榨油机日处理量提高了 18.26%。

(4) 本研究仅对螺旋榨油机的传输挤压段油料进行研究,而在实际榨油过程中,还需要压榨破碎油料达到出油效果。后续可进一步对破碎挤压段中油料颗粒的变化情况进行研究,在保证质量的情况下,对此榨油机结构参数进行优化。


参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 皮亚南,汪先明,戴莉莉,等. 螺旋榨油机榨螺轴的设计计算[J]. 中国油脂,1996,21(1):49-52.
- [4] 李诗龙,张永林,杨银初. SZX12×2 型双螺杆榨油机的研制[J]. 中国油脂,2010,35(12):52-56.
- [5] 李诗龙. 全压榨油机榨膛设计探讨[J]. 粮食与油脂,2010(9):7-9.
- [6] 施亮林. 蓖麻籽螺旋压榨机理及关键技术研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [7] 魏鹏飞,相海,胡淑珍,等. 螺旋榨油机关键设计的探讨[J]. 农机化研究,2013,35(11):92-94,98.
- [8] 杨银初. 双螺杆榨油机关键设计技术的研究[D]. 武

汉:武汉工业学院,2010.

- [9] 乔新义,吕玉芬,汪瑞军. 热喷涂技术在农机工程材料延寿中的应用现状[J]. 热喷涂技术,2013,5(4):1-5,59.
- [10] 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.
- [11] 邓全得,卢博友. 基于 ANSYS 的农业物料螺旋压榨机螺旋强度分析[J]. 农机化研究,2013,35(8):58-60.
- [12] 邓全得. 螺旋压榨机螺旋的有限元分析[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [13] 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.
- [14] 解士聪,黄志辉,李昌珠,等. 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,2014,35(6):104-107.
- [15] 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.
- [16] 彭勃. 螺旋榨油机压榨理论的研究与分析[D]. 武汉:武汉轻工大学,2019.
- [17] 魏文波,韩鹏,张经宇,等. 螺旋榨油机研究现状及发展建议[J]. 农业技术与装备,2021(1):17-19,22.
- [18] 李玲,邓干然,曹建华,等. 棕油榨油机研究与应用现状[J]. 中国热带农业,2014(2):65-67.
- [19] 阮竞兰,杨丽彦. 螺旋榨油机压榨比的研究进展[J]. 粮食加工,2013,38(3):54-56.
- [20] 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.
- [21] 张麟,刘学进,李栋. 低温螺旋榨油机榨螺表面爆炸喷涂涂层技术[J]. 农业工程学报,2010,26(7):113-117.
- [22] 王国强,郝万军,王继新. 离散元单元法及其在 EDEM 上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2010.

· 公益广告 ·



油脂加工精准适度

《中国油脂》宣