

## 单螺杆低温榨油机榨膛压力分布研究

姚占斌<sup>1</sup>, 相海<sup>1</sup>, 张晔<sup>1</sup>, 聂秋丰<sup>2</sup>, 楚军威<sup>3</sup>, 马崆松<sup>1</sup>, 郭金强<sup>4</sup>, 史永革<sup>5</sup>, 梁昊<sup>1</sup>

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 益海(石家庄)粮油工业有限公司, 石家庄 052165;

3. 中国包装和食品机械有限公司, 北京 100083; 4. 浙江三中粮油科技有限公司,

浙江湖州 313000; 5. 九三粮油工业集团有限公司, 哈尔滨 150090)

**摘要:**选择电阻应变片采集单螺杆低温榨油机榨膛内压力。利用材料试验机对电阻应变片进行标定, 得出应变片的压力-电流关系。榨油机工作过程中, 电阻应变片与高温熔体压力传感器在同一位置测得的每分钟最高压力相同, 证明应变片传感器标定准确, 可以用于榨膛内压力实时采集。榨油机稳定工作时, 榨膛内的最大压力出现在压榨段。通过调整榨油机的压缩比、榨条间隙和出饼间隙, 得出不同结构参数对榨膛压力分布的影响, 为调整榨膛结构参数以达到最优压榨效果提供了参考。

**关键词:**螺旋榨油机; 低温压榨; 压力监测; 压力分布

中图分类号: TS223.3; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)05-0135-05

### Pressure distribution in barrel of low-temperature single screw press

YAO Zhanbin<sup>1</sup>, XIANG Hai<sup>1</sup>, ZHANG Ye<sup>1</sup>, NIE Qiufeng<sup>2</sup>, CHU Junwei<sup>3</sup>,  
MA Yinsong<sup>1</sup>, GUO Jinqiang<sup>4</sup>, SHI Yongge<sup>5</sup>, LIANG Hao<sup>1</sup>

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China; 2. Yihai (Shijiazhuang) Grain and Oil Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 052165, China; 3. China National Packaging & Food Machinery Co., Ltd., Beijing 100083, China; 4. Zhejiang Sanzhong Grain and Oil Technology Co., Ltd., Huzhou 313000, Zhejiang, China; 5. Jiusan Oils and Grains Industries Group Co., Ltd., Harbin 150090, China)

**Abstract:** Resistance strain gauges were used to collect the pressure in the barrel of single screw press. The material testing machine was used to calibrate the resistance strain gauge, and the pressure-current relationship of the strain gauge was obtained through the test. During the working process of the press, the maximum pressure per minute measured by the resistance strain gauge and the high-temperature melt pressure sensor at the same position was the same, which proved that the strain gauge sensor was accurately calibrated and could be used for real-time collection of pressure in the barrel. When the press worked stably, the maximum pressure in the barrel appeared in the press section. By adjusting the compression ratio, cage bar gap and cake thickness of the press, the influence of different structural parameters on the pressure distribution in the barrel was obtained. The research provided a reference for adjusting the structural parameters of the barrel to achieve the optimal pressing effect.

**Key words:** screw press; low-temperature pressing; pressure monitoring; pressure distribution

收稿日期: 2020-11-24; 修回日期: 2021-03-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0400305)

作者简介: 姚占斌(1995), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事油脂加工技术与装备研究(E-mail) 16619950104@163.com。

通信作者: 相海, 研究员(E-mail) xh9377@163.net。

油料在螺旋榨油机内的受力复杂, 榨膛内的压力及其分布直接影响油脂分离效果。榨膛压力过小时, 油料细胞破碎不完全, 出油率降低; 压力过大或加压过快时, 油料被迅速压实, 无法形成足够的空隙, 油脂难以渗出, 出油率同样会下降。

对榨膛内压力进行采集, 并对其压力分布进行

研究,有利于更好地观察压榨过程中榨膛内的工作情况,有助于及时发现异常。国外榨油机制造商通常使用出饼端压力传感器测得榨膛内最大压力,但该方法无法获得榨膛内的压力分布<sup>[1-2]</sup>。日本学者 Shirato 等<sup>[3]</sup>使用压力传感器测试榨膛内压力。我国学者也对螺旋榨油机榨膛内的压力进行了大量的研究<sup>[4-5]</sup>,得出的榨膛压力分布大致相同,但研究发现高温熔体压力传感器和电阻应变片电测法测定结果存在差异<sup>[6]</sup>。

螺旋榨油机内,榨膛径向压力相对容易测得。同时,采集榨膛内的径向压力可为榨膛结构参数的调节提供参考。因此,本文采用电阻应变片作为压力采集传感器,并利用高温熔体压力传感器进行辅助校准,对单螺杆低温榨油机榨膛压力分布进行研究,以期为螺旋榨油机的结构设计、改进提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

油莎豆(新疆丰产八号);单螺杆低温榨油机,中机康元粮油装备(北京)有限公司;万能材料试验机,Instron 公司;榨条(900 mm × 11 mm × 18.5 mm);BX120-50AA 应变片;KG-3016H2 信号调理模块;PT124G-111 高温熔体压力传感器;PLC(6ES7214-1AD23-0XB8);MCGS 触摸屏(TPC1071Gi)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 榨条应变片标定试验

由于榨条承载能力存在个体差异,需将榨膛中粘有应变片的5根榨条全部拆下,并在榨条首尾写上编号,分别进行标定试验。试验步骤如下:

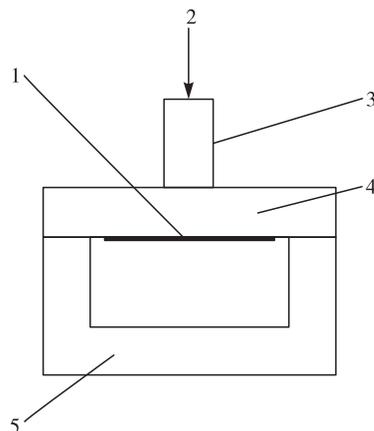
首先将受测榨条的电阻应变片、温度补偿应变片与2个120 Ω精密电阻组成电桥后连接调理模块。调理模块将应变片产生的电阻变化量转变为4~20 mA的电流值。

完成榨条接线工作后,将粘贴有电阻应变片的榨条置于材料试验机上进行弯曲试验,如图1所示。开启材料试验机,压力控制方式为恒速率加载,压力加载位置为简支梁中心点。其中,加压头与榨条接触面的表面积为1 cm<sup>2</sup>。

压力开始加载的同时利用万用表读取调理模块输出的电流值,将材料试验机采集的压力载荷数据和同一压力下记录的电流值进行整理,利用公式(1)将加载于榨条中心位置的力换算为压力。

$$P = F/A \quad (1)$$

式中: $P$ 为压力; $F$ 为加载力; $A$ 为加压头底部面积。



注:1. 电阻应变片;2. 试验载荷;3. 加压头;4. 榨条;5. 支座。

图1 榨条标定试验装置简图

由于榨条在实际压榨中的受力与简化后的简支梁受力不同,因此仅通过公式推导实际工况下的径向压力可能存在误差。所以当应变片接入榨膛后,需利用高温熔体压力传感器校正应变片压力监测数值,以确保压力监测的准确性,进一步准确监测榨膛压力。

#### 1.2.2 榨膛压力监测及压力分布试验

试验使用的榨油机共有5档榨条,将榨膛侧面最外侧榨条换成具有开孔的特殊榨条,用于安装高温熔体压力传感器。

试验仅利用高温熔体压力传感器的示数校正应变片输出的压力值,压力实时监测系统则主要利用应变片压力传感器。

特殊榨条的材质(20CrMnTi 渗碳结构钢)、长度与普通榨条相同,需加大厚度以容纳高温熔体压力传感器前端探头。将榨油机榨膛测试点处的同一水平线上的5根榨条替换为特殊榨条,榨膛内部不作改动。在紧邻高温熔体压力传感器的同一水平线位置的榨条上粘贴应变片,粘贴完成后如图2所示。



图2 压力传感器安装图

将贴好的应变片连接到信号调理模块,为保证压力数据准确性,本试验电阻连接信号调理模块采用半桥法接线。同时,考虑到榨膛温度的变化会影响应变片电阻值,对试验结果产生影响,需要使用温

度补偿应变片以消除温度对测量结果的影响。以图3所示的方法连接信号调理模块。模拟量信号以电流的形式通过PLC后,在触控面板上显示出该应变片所受的压力。

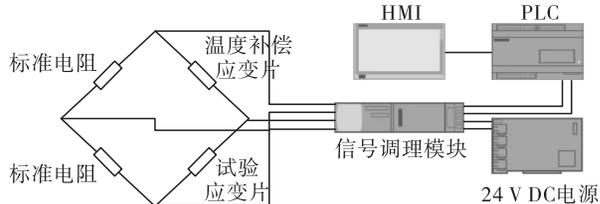


图3 应变片与信号调理模块安装示意图

为检测压力采集系统的可靠性,按照步骤安装压力传感器、排布榨条,并连接电控元件,以观察传感器工作情况。

压力采集系统实时采集榨条所受的径向压力。相比于物料在榨膛内的复杂受力,径向压力直接作用到榨条上,易于采集且能较好地代表榨膛内的压力状况。物料被螺杆推送着向前运动,榨膛上同一点测得的压力可能存在周期性的波动,所以要求系统记录榨条每秒受到的压力,供操作人员及控制后台查看。但显示屏只需显示这个位置每秒钟内的压力最高值,方便实时监测榨油机工作状态,同时让操作人员及时发现榨膛内硬件问题。

本试验选取油莎豆最适宜的压榨结构,即压缩比9.91,榨条间隙依次为1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm,出饼间隙1.5 mm,进行压榨试验,测试压力传感器监测效果,分析榨膛内压力分布形式<sup>[7]</sup>。

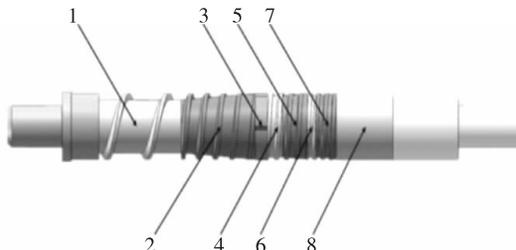
### 1.2.3 榨膛结构对榨膛压力的影响试验

分别选取榨膛中容易改变的3种结构参数,即理论压缩比、榨条间隙和出饼间隙作为变量进行压榨试验并监测榨膛压力,以探究榨膛结构对榨膛压力分布的影响。每组压榨试验首先开机预热15 min,之后正式下料,记录正式下料后16~20 min的各应变片传感器的示数,用这5 min内的压力示数平均值作图,以反映榨膛结构参数对榨膛压力的影响。

榨螺结构如图4所示。为探究榨螺理论压缩比对榨膛压力分布的影响,选取3组螺旋,参数及理论压缩比如表1所示<sup>[8]</sup>。满负荷进料,5档榨条间隙分别选择1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm,出饼间隙选择1.5 mm,进行压榨试验,监测榨膛压力。

为探究榨条间隙对榨膛压力分布的影响,结合类似油料的榨油机调试经验设置3组榨条排布方式,见表2。满负荷进料,榨螺理论压缩比为9.91,出饼间隙为1.5 mm,进行压榨试验。由于前2档榨条间隙

对应榨膛内的位置压力小、物料颗粒大,通常不会发生漏料,且第3档榨条间隙大于0.8 mm时会严重冒渣,因此3组试验中前3档榨条间隙保持不变。



注:1.1#螺旋;2.2#螺旋;3.齿圈;4.3#螺旋;5.4#螺旋;6.5#螺旋;7.6#螺旋;8.光套。

图4 榨螺结构示意图

表1 螺旋理论压缩比单因素试验分组

试验号	理论压缩比					
	1#螺旋	2#螺旋	3#螺旋	4#螺旋	5#螺旋	6#螺旋
1	1	2.35	4.45	6.09	6.36	8.17
2	1	2.35	4.45	6.09	7.20	9.02
3	1	2.35	5.70	7.62	7.90	9.91

表2 榨条间隙单因素试验分组

试验号	榨条间隙/mm				
	第1档	第2档	第3档	第4档	第5档
1	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8
2	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6
3	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6

榨膛中的物料经过挤压出油后,行至榨螺上的光套部分,光套与榨笼末端的出饼盘形成一圈缝隙。物料从这圈缝隙被挤出榨膛,形成榨饼。至此,压力完全释放。为探究出饼间隙对榨膛压力分布的影响,改变出饼端光套外径,调节出饼间隙大小。本文选择出饼间隙分别为1.5、2.0、2.5 mm,理论压缩比为9.91,5档榨条间隙选择1.2、1.0、0.8、0.8、0.6 mm,进行压榨试验,测试出饼间隙对榨膛压力的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 应变片标定试验结果

将不同压力下的5组应变片的电流值分别标注在图中,如图5所示。

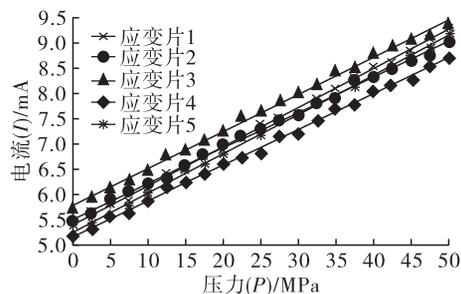


图5 压力与应变片电流值关系

分别对图 5 中 5 组试验数据进行拟合,得到各自的线性关系表达式: $I_1 = 0.0774P + 5.3888, R_1^2 = 0.9982$ ;  $I_2 = 0.0704P + 5.5029, R_2^2 = 0.9982$ ;  $I_3 = 0.0736P + 5.7748, R_3^2 = 0.9979$ ;  $I_4 = 0.0707P + 5.1620, R_4^2 = 0.9984$ ;  $I_5 = 0.0780P + 5.2429, R_5^2 = 0.9980$ 。

由图 5 可知,5 组应变片传感器趋势相似,但由于榨条、应变片和调理模块在制造和安装过程中存在差异,使得 5 组应变片传感器的标准曲线存在一定的特异性,因此需将 5 组应变片传感器按照原有的编号安装进榨笼内,分别参照其标准曲线读取榨条受到的压力。

## 2.2 榨膛压力监测结果及压力分布

试验过程中开始喂料 15 min 后出油、出饼连

续,即该机进入了完整的工作状态。

按照 1.2.2 的步骤安装压力传感器,并将压力传感器接入电控柜,采集在最优结构参数下榨膛内的压力情况。试验过程中榨油机出油、出饼正常,电流稳定保持在额定电流之下。试验过程中记录榨油机开始工作 20 min 内,5 档贴有应变片的榨条测得的每分钟最大压力。

表 3 为油莎豆在 40 kg/h 单螺杆榨油机试验过程中 20 min 内应变片传感器测得沿着螺旋推进的方向上的 5 点压力值。从表 3 可以看出,在油莎豆沿着螺旋推进的过程中受到的挤压力逐渐增大,实际测得的榨膛压力峰值为 40 MPa,出现在压榨开始 11 min 的压榨段。物料接近出饼端后,榨膛内压力下降。

表 3 试验 20 min 内应变片传感器压力采集结果

时间/min	各传感器测得压力/MPa					时间/min	各传感器测得压力/MPa				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	0	5	0	0	0	11	4	19	32	40	33
2	0	8	6	0	0	12	3	21	34	39	32
3	3	10	13	12	0	13	3	20	36	38	31
4	0	11	16	21	19	14	4	21	37	37	31
5	4	13	20	25	27	15	5	25	36	36	30
6	3	15	24	27	30	16	6	24	36	36	30
7	2	16	26	31	33	17	5	23	36	38	32
8	3	17	29	34	34	18	3	24	36	37	31
9	5	18	30	37	35	19	4	24	36	36	30
10	3	18	31	38	34	20	3	24	36	37	31

本文使用的小型榨油机螺槽深度较小,1#螺旋底径与榨膛内壁距离设计为 10.5 mm,恰好可以确保油莎豆能够进入榨膛并且避免其在榨膛内滚动或滑动,有利于物料被高效挤压、破裂和摩擦。因此,1 号传感器的压力示数始终不高(见表 3)。压榨刚开始时,榨膛内的油料并不连续,油料随着螺旋转动,快速向前推进。仅在初始的油料前进到 2#螺旋后,榨膛内压力环境开始建立,油料开始堆积,1#螺旋才对油料产生压力。

榨油机内的径向压力作用于物料可以使其破碎。2#螺旋末端的螺槽深度小于单颗油莎豆的最小直径,因此经过 2#螺旋后,所有油莎豆颗粒均已破碎。2、3 号传感器主要对应榨膛内的 2#螺旋。从表 3 可以看出,虽然榨螺的 1#螺旋、2#螺旋结构从未改变,但由于油料继续前进,在出饼段继续受到阻力,使油料体积继续缩小,2、3 号压力传感器测得的压力在前 10 min 上升明显。在榨膛内,油料在出饼段更难向前移动,即前进速度相对变慢,物料容易产生

“回料”而使压榨段形成更高压力。在此可以看出,合理的“回料”现象是压榨工艺所必需的,可以提高系统的整体压力。

油料到达齿圈后,继续被破碎研磨,至此,油莎豆已变成微小颗粒,破碎已基本完成。此后的径向压力作用于油料,使油脂从油路中流出。油料向前移动的过程中,压力作用使油料颗粒的间隙逐渐减小,到达出饼段后,油脂已基本榨尽,油料受径向压力挤压已基本形成榨饼,难以再发生形变。此后,榨螺给油料的力主要用于推动榨饼向前移动,并保持压力,避免油脂被重新吸入榨饼,所以压力峰值并不在压缩比最大的出饼端。

## 2.3 榨膛结构对榨膛压力的影响

按照 1.2.3 重新组装榨油机,记录 5 档应变片传感器在开始喂料后 20 min 内的压力最大值,取 16 ~ 20 min 的传感器测得的压力最大值的平均值绘制图 6 ~ 图 8,以直观反映榨膛结构参数对榨膛压力的影响。

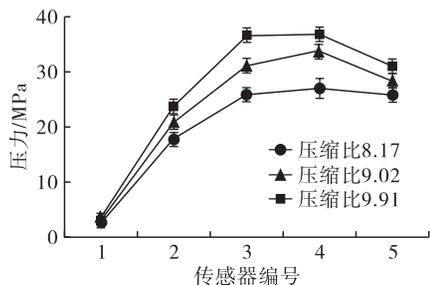


图6 压缩比对榨膛压力的影响

从图6可以看出,随着压缩比增大,榨膛内整体压力增加明显。2、3号传感器所对应的榨膛内的2<sup>#</sup>螺旋虽然没有更换,但随着榨膛整体压缩比的增加,榨膛前端的压力同样会伴随后端螺旋压缩比的增加而增大。

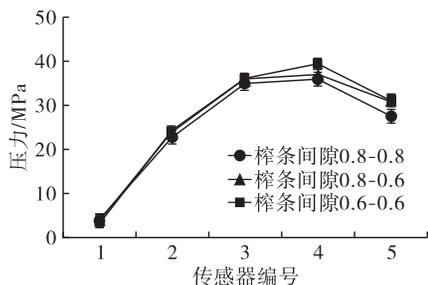


图7 榨条间隙对榨膛压力的影响

从图7可以看出,榨膛末尾2档榨条间隙对榨膛内的压力影响较小。这可能是由于压力传感器安装在榨条上,测得的压力主要来源于螺旋和榨条对油料的挤压。榨条间隙即榨膛内出油的缝隙,缝隙的大小对油料受到的挤压力影响较小。

所选3组榨条间隙中,当间隙偏大时,偶尔会轻微冒渣,导致此处瞬时压力减小,降低榨膛内整体的压力稳定性。榨膛末端油料已被完全破碎,油路主要取决于油料粒径的大小。且所选的3组榨条间隙没有造成压榨末端榨条间严重漏料,因此对榨膛内的径向压力影响不大。

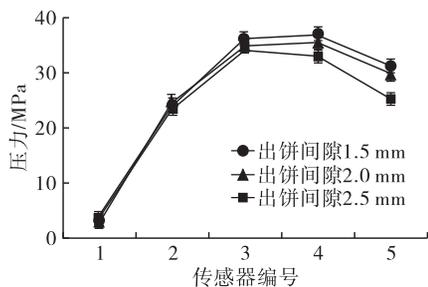


图8 出饼间隙对榨膛压力的影响

从图8可以看出,出饼间隙的大小影响了榨油机末端的榨膛压力。螺旋末端保压的作用是使压榨出的油脂充分沥尽,避免被榨饼吸回。

出饼间隙的大小决定了榨膛内物料泄压的速度。出饼间隙较大时,物料会以较快速度通过榨膛末段,但榨膛内难以维持较高压力,无法达到出饼端保压的效果。

### 3 结论

利用高温熔体压力传感器标定后的电阻应变片可以有效监测榨膛内的压力分布。监测系统可显示榨膛不同位置每分钟的压力最高值,供操作人员实时了解榨油机工作状况。从榨油机工作过程中的压力监测结果可以看出,榨膛内的压力分布在榨油机开始工作后15 min左右达到稳定状态。稳定工作时,榨膛内的最大压力出现在压榨段,即榨膛的中间位置。本文通过调整榨膛内的结构参数探究了压缩比、榨条间隙、出饼间隙对榨膛压力大小及压力分布的影响。压缩比对榨膛压力影响较大,且仅提高末端螺旋的压缩比时,榨膛整体压力均有提高。在不造成严重冒渣的前提下改变榨膛末端的榨条间隙,对榨膛整体压力影响较小。榨条间隙较大时会造成偶尔轻微冒渣,导致此处瞬时压力减小,降低榨膛内压力的整体稳定性。出饼间隙在不造成严重冒渣的情况下对榨膛末端的压力影响较小。以上压力监测试验结果可为榨膛内的结构参数调整提供参考。

### 参考文献:

- [1] ALUKO O B, OLA I A, MAKANJUOLA G A, et al. A wear testing rig for rapid comparative evaluation of maintenance materials for some oilseed screw press components[J]. J Food Eng, 2002, 55(4):367-372.
- [2] KULIC F, VASIC V, OROS D, et al. Data acquisition and control software realization for the pressing plant in vegetable oil industry[J]. Prog Theor Exp Phys, 2006, 10(3/4):89-93.
- [3] SHIRATO M, MURASE T, LWATA M. Pressure profile of power law non-newtonian fluids in screw extruders of constant pitch-straight taper type and varying pitch type[J]. Kagaku Kogaku Ronbun, 1981, 7(6):556-563.
- [4] 彭蕙苓, 范本隽, 倪培德. 螺旋榨油机榨膛压力测试与研究[J]. 中国粮油学报, 1989(4):45-53, 21.
- [5] 范本隽, 彭蕙苓. 螺杆式榨油机膛内压力的测试[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2003, 2(2):164-166.
- [6] 任小聪, 陈戈, 郑晓, 等. 双螺杆榨油机膛内压力分布测试及研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(4):100-104.
- [7] 姚占斌, 相海, 张晔, 等. 油莎豆低温压榨单螺杆榨油机的设计与试验研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(5):132-137.
- [8] 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.