



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.

1 种螺旋榨油机榨膛内表面温度预估方法

解士聪¹, 黄志辉¹, 李昌珠², 肖志红², 白鹏展¹, 杨星星¹, 刘汝宽²

(1 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083; 2 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘要:【目的】预估榨油机榨膛内表面的温度.【方法】运用有限元分析技术对榨油机榨膛结构进行了热学分析;通过构造榨膛外表面温度分布的目标函数,提出了 1 种根据榨膛外表面温度反求榨膛内表面温度的计算方法.【结果和结论】算例验证了该预估方法的有效性.此方法可为榨油机榨膛结构的研发提供理论依据,为高性能榨油机设计提供参考.

关键词:螺旋榨油机; 热学模型; 榨膛温度; 反问题求解

中图分类号:TH-39; S226.9

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)06-0104-04

A method to predict the temperature distribution on the inner surface of spiral oil press

XIE Shicong¹, HUANG Zhihui¹, LI Changzhu², XIAO Zhihong²,
BAI Pengzhan¹, YANG Xingxing¹, LIU Rukuan²

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
2 Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China)

Abstract:【Objective】To predict the temperature distribution on the inner surface of the spiral oil press.【Method】The finite element method was used to analyze the squeezing chamber's thermal. The objective function of the squeezing chamber's outside surface's temperature distribution was established and a method was put forward to solve the temperature distribution of the squeezing chamber's inner surface.【Result and conclusion】The effective of this method was varified. Analysis results show that this method can provide the theoretical basis for the development of a squeezing chamber and the design of high performance oil press.

Key words:screw press; thermal model; squeezing chamber temperature; inverse problem solution

螺旋榨油机广泛应用于从植物油料中提取油脂.高出油率与高质量的油和粕是榨油机设计的目标.影响榨油机出油率及油、粕质量的因素主要有榨膛温度、榨笼结构、压力、油料含水率等.张学阁等^[1]研究了对压力、油料的含水率以及榨笼结构对榨油机性能的影响,并提出了相应的改进措施.陆顺忠

等^[2]的研究表明含水率、饼粕厚度与出油率的关系类似,均在取得某一值时出油率最高,而压榨压力、温度与出油率的关系相类似,在研究取值的范围内压力越高、温度越高时出油率越高.榨膛内表面温度直接关系到榨油机的压榨性能,然而国内外有关榨油机榨膛内表面温度计算的研究相当缺乏.本文旨

收稿日期:2013-10-24 优先出版时间:2014-09-30

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20141003.1219.011.html>

作者简介:解士聪(1987—),女,硕士研究生, E-mail: xsc823@163.com;通信作者:黄志辉(1952—),男,教授,博士, E-mail: zhhuang@mail.scau.edu.cn;刘汝宽(1981—),男,副研究员,博士, E-mail: Liurukuan@gmail.com

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201304608); 国家科技支撑计划(2011BAD22B04)

在对榨油机榨膛内表面温度大小及其分布进行研究,以形成榨油机榨膛内温度分布的计算理论,从而为榨油机的设计和研发提供理论依据,对提高榨油机的压榨性能具有重要的理论指导作用.

1 材料与方法

1.1 榨油机榨膛热力学模型

榨油机榨膛(图 1)为均质材料,从榨膛内部到榨膛外部为热传导. 榨膛外部与空气接触,其与空气间为热辐射.

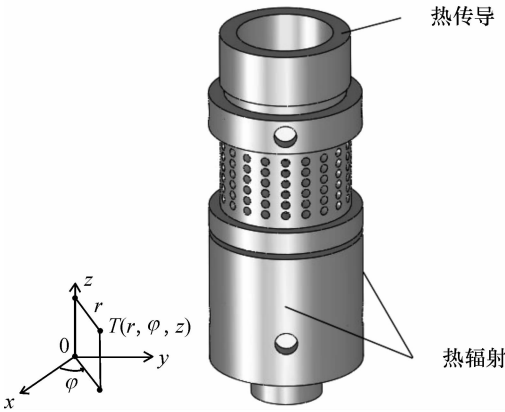


图 1 榨膛模型
Fig. 1 The model of squeezing chamber

本文分析的热传导是榨油机正常工作时榨膛的温度分布,属于稳态热分析问题. 榨油机工作时,螺旋轴对蓖麻做功,使得蓖麻温度升高,高温的蓖麻一方面通过自身的运动将热量以饼粕的形式带出榨油机,另一方面将热量传递给榨膛,榨膛通过与外界空气的热辐射进行散热. 对于榨油机榨膛自身结构来说,属于稳态热传导问题,其导热系数为常数,榨膛的温度场遵循以下规律:

$$\nabla^2 T = 0,$$

即

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0,$$

T 为绝对温度,在柱坐标系(图 1)下,对 $x = r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$, $z = z$ 进行偏微分求导可得柱坐标系下的导热微分方程:

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2},$$

榨膛的热流量为:

$$q_n = -kA_n \frac{\partial T}{\partial n},$$

式中, k 为导热系数, A_n 为垂直于热流矢量 q_n 的面积.

因此,稳态热传导的拉普拉斯方程^[4]可进一步写为:

$$\nabla^2 T + \frac{\ddot{q}}{k} = 0,$$

$\ddot{q}$ 为热生成率,可认为是蓖麻单位时间内生产的热量(由榨膛热传递所带走的热量).

在榨油机工作时,其边界条件为:

$$T_{\text{内}} = T_0, T_{\text{外}} = T_1.$$

1.2 榨膛内表面温度计算方法

对于导热反问题的研究已有半个世纪的历史,取得了众多的研究成果^[6-9],但这些研究仅仅限于二维导热反问题的研究. 对于多维反问题的研究也有一些方法^[10]. 本文结合榨油机热传导,将热传导反问题求解应用到榨油机研发设计中,对榨油机的研发具有重要的意义.

榨油机工作时,由于榨油机中榨轴沿周向旋转使得蓖麻受到挤压而出油,因此,榨膛内表面温度沿周向为一定值. 在求解时,将榨膛内表面进行分段,各段施加不同的温度(图 2),进行热传导、热辐射稳态求解;构造目标函数,使得榨膛外温度分布与实际一致时取得最小值;通过一阶方法^[5]求解目标函数,得到榨膛外温度分布与实际最接近时榨膛内外温度分布情况,再通过拟合得到榨膛内表面温度分布.

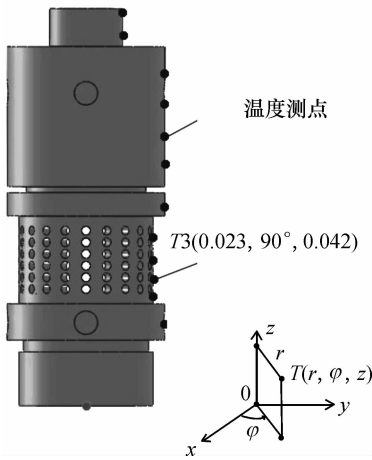


图 2 榨膛外表面测点
Fig. 2 The measuring points on the outer surface of a squeezing chamber

求解步骤如下:从上到下在榨膛外表面指定 12 个点,并指定其温度值(对应与榨油机运行时测量得到的榨膛外温度)为 $T_{r1} \sim T_{r12}$;把榨膛内表面,从下到上均分为 n 段,每段内表面施加一固定的温度值,仅施加在内表面上,其榨膛内仍然有热传导. 共有 n 个内表面分段温度值($T_1 - T_n$),此作为优化时的设计变量;根据榨膛内施加的初始温度求得榨膛外部

指定点的温度 $T_{cl} \sim T_{cn}$. 构造结构优化模型:

目标函数: $F = (T_{r1} - T_{cl})^2 + \cdots + (T_{rn} - T_{cn})^2$,

设计变量: $T_1, T_2, \cdots, T_n$.

对此问题进行求解,待求得最优解后,记录此时施加榨膛内部温度 $T_1, T_2, \cdots, T_n$,此时榨膛内的温度为榨膛内表面温度分布.

2 结果与分析

2.1 某榨油机榨膛内表面温度计算

针对一榨油机榨膛结构进行热力学分析,反求榨膛内表面温度分布,计算方法采用有限元方法,榨膛与出饼头为共节点连接方式,采取 10 节点四面体单元(SOLID87). 考虑到 ANSYS 软件几何接口问题,首先将几何模型导入到专业网格划分软件 HYPERMESH 中建立有限元模型(图 3),将有限元模型导入到 ANSYS 中进行求解,共生成单元个数 94 591 个,节点 151 641 个.

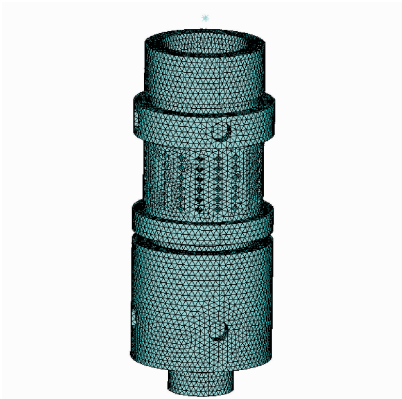


图 3 榨膛有限元模型

表 1 榨膛外表面测点坐标及指定温度
Tab. 1 The coordinates and the specified temperature of the measuring points on the outer surface of a squeezing chamber

测点标号	r/m	$\varphi/^{\circ}$	z/m	t/℃
1	0.027 0	90	0.028	35.5
2	0.023 0	90	0.036	39.3
3	0.023 0	90	0.042	42.1
4	0.023 0	90	0.050	44.1
5	0.023 0	90	0.058	47.5
6	0.027 0	90	0.068	49.8
7	0.027 0	90	0.085	51.9
8	0.027 0	90	0.096	52.4
9	0.027 0	90	0.106	50.1
10	0.027 0	90	0.115	52.3
11	0.012 5	90	0.125	63.5
12	0.012 5	90	0.136	65.3

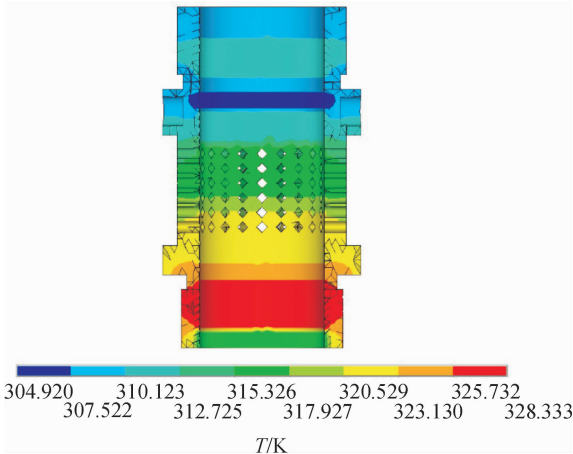


图 4 榨膛内表面温度分布

Fig. 4 The temperature distribution of inner surface of a squeezing chamber

榨膛材料为铁,其导热系数为 $80 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. 为方便测量榨膛外表面温度,从上到下均匀选取 12 个点,选点时错开榨膛出油孔,测点坐标及指定温度如表 1.

求解目标函数,使其取得极小值,求解方法为一阶优化算法,经过 20 次迭代求解后,得到榨膛内表面(图 4)温度分布.

将榨膛内温度值拟合成函数,其拟合函数结果如图 5.

通过图 5 中可看出,榨膛内表面温度随着 z 坐标逐渐变大. 榨油机工作时,蓖麻在榨膛中不断被压缩,整个过程共分为 3 个阶段,分别是颗粒状态、固体塞状态以及膏状流体状态,在每个状态均会有摩擦生热使蓖麻温度升高,因此温度是递增的,通过数值求解所得到的结果与此原理相符.

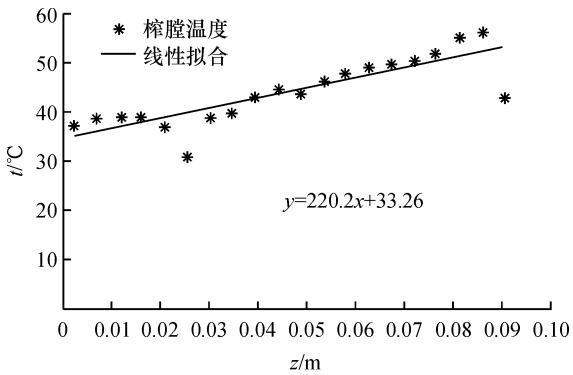


图 5 榨膛内表面温度分布拟合函数

Fig. 5 The temperature distribution fitting function on the inner surface of a squeezing chamber

2.2 试验验证

将图 5 拟合函数施加在榨膛内表面进行稳态热

传导、热辐射分析,其榨膛外表面温度分布如图 6。

提取图 6 外表面温度大小,与指定温度进行比较,如表 2。

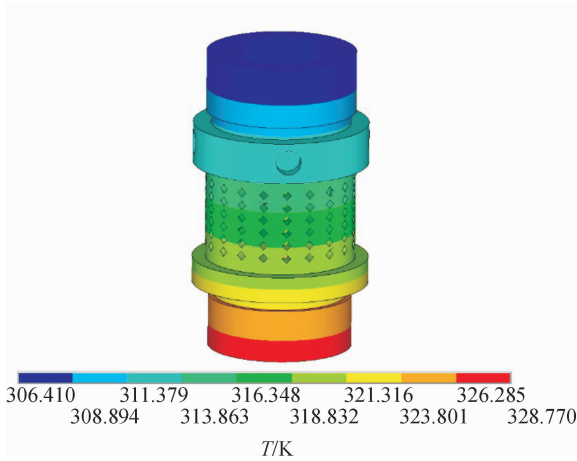


图 6 榨膛外表面温度分布

Fig. 6 The temperature distribution of outer surface of a squeezing chamber

表 2 榨膛外表面温度计算结果与指定结果比较
Tab. 2 Comparison between the calculated results and the designated results of outer surface a squeezing chamber

测点编号	$t_{\text{指定}}/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{计算}}/^{\circ}\text{C}$
1	35.5	35.54
2	39.3	39.27
3	42.1	42.09
4	44.1	44.06
5	47.5	47.32
6	49.8	49.80
7	51.9	52.05
8	52.4	52.09
9	50.1	51.66
10	52.3	51.97
11	63.5	63.42
12	65.3	65.22

从表 2 可看出,计算结果与指定结果非常接近,误差在接受范围内。

通过试验测得相同工作条件下榨膛外表面温度,并与计算结果进行比较,实测坐标、实测温度与计算温度如表 3。

将反问题求解得到的榨膛内表面温度分布函数施加在榨膛内表面,正求解得到榨膛外表面温度分布。从表 3 可看出,计算结果与实际结果非常接近,误差在可接受范围内,所以反问题方法预估榨膛内表面温度分布可行有效。

表 3 榨膛外表面温度计算结果与实际结果比较
Tab. 3 A comparison between the calculated results and the actual results of outer surface of a squeezing chamber

测点坐标/m	$t_{\text{实测}}/^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{计算}}/^{\circ}\text{C}$
0.032	38.2	39.01
0.046	43.1	42.14
0.054	45.8	43.94
0.063	48.6	45.95
0.089	52.1	51.78
0.117	57.9	58.05
0.130	64.4	60.97

3 结论

榨膛内温度大小及其分布是影响螺旋榨油机出油率及其油、饼质量的主要因素之一。榨油机工作中,榨膛外表面温度可很简单的通过仪器测定,但内表面温度很难通过试验方法测得,本研究运用有限元方法对榨膛进行热分析,提出 1 种通过榨膛外表面温度反求榨膛内表面温度分布的计算方法。由仿真和试验的结果对比表明,本文提出的方法能有效预估榨膛内表面温度分布,可为榨油机榨膛温度求解提供理论依据,对榨油机的研发具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 张学阁,伍毅,阮竞兰. 双螺杆榨油机螺杆与榨笼结构的研究进展[J]. 包装与食品机械,2012,30(3):47-49.

[2] 陆顺忠,曾辉. 蓖麻籽冷榨及蓖麻油精制研究[J]. 广西林业科学,2005,34(2):55-62.

[3] 刘大川,张麟. 100t/d 低温螺旋榨油机的研制[J]. 中国油脂,2006,31(7):20-23.

[4] 李友荣,吴双应. 传热学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[5] 程耿东. 工程结构优化设计基础[M]. 大连:大连理工大学出版社,2012.

[6] 戴华平,钱嘉. 铜精炼炉内温度测量研究[J]. 数值计算与计算机应用,2012,33(4):251-259.

[7] 王登科,刘迎曦,李守巨. 二维稳态导热反问题的正则化解法[J]. 吉林大学学报:工学院,2000,4(2):56-60.

[8] STOLZ G J. Numerical solution to an inverse problem of heat conduction for simple shampes[J]. J Heat Transfer, 1960, 82C:20-26.

[9] 俞昌铭. 计算热物性参数的导热反问题[J]. 工程热物理学报,1982,13(4):373-378.

[10] GARCIA S, GUYNN J, SEOTT E P. Use of genetic algorithms in thermal property estimation; Part II: Simultaneous estimation of thermal properties [J]. Numer Heat Trans, 1998, 33A:149-168.

【责任编辑 霍欢】