

基于 Simulation 软件的无簧油封设计

黄 乐

(广州机械科学研究院密封研究所, 广东 广州 510700)

摘要:采用有限元分析软件 Simulation 设计无簧油封。通过 Simulation 软件分析现有有簧油封安装后唇口接触压力大小及分布;在保证唇口接触压力大小及分布基本相同的条件下,建立无簧油封几何模型和材料模型;调整结构参数,进行应力仿真,设计出无簧油封;采用台架试验验证无簧油封使用效果。采用 Simulation 软件设计无簧油封可以减少研发费用和提高研发效率。

关键词:无簧油封;有限元分析;Simulation 软件;唇口接触压力;结构参数

缩短产品设计周期、降低产品制造成本、不断提高产品质量是企业提高市场竞争力、在竞争中立于不败之地的重要举措。在现代企业中,CAE(计算机辅助工程)软件与 CAD(计算机辅助设计)软件配合,可以合理构建几何实体模型,提高产品设计和变更能力。合理运用 CAE 软件,可以缩短产品开发周期,减少产品制造成本。Simulation 软件是美国 SRAC(Structure Research and Analysis Corporation)公司开发的 CAE 软件,它具有计算速度快、解题时占用磁盘空间少、使用方便、分析功能全面、与其他 CAD/CAE 软件集成性好,同时 Simulation 软件与主流三维 CAD 软件 SolidWorks 已经达到了无缝集成的境界。另外,Simulation 软件可以直接利用 SolidWorks, Pro/E, IDEAS, CADKEY 和 AMD 等三维 CAD 软件的几何模型。

油封是通过柔性橡胶与轴的接触来防止润滑油或其它介质的泄漏。根据边界润滑理论,油封密封性能主要取决于油封唇口与轴径之间油膜的厚度及接触压力的大小和分布,而接触压力的大小及分布又直接影响油膜的形成及存在状态。影响油封唇口接触压力大小及分布的因素较多,如油封腰部厚度、安装过盈量、R 值、前唇角度、后唇角度、弹簧劲度等。本工件利用 Simulation 软件,在分析唇口接触压力的基础上

进行无簧油封(以 $\phi 100 \times 125 \times 12$ 油封为例)的设计。

1 无簧油封设计

1.1 设计思路

通过 Simulation 软件分析现有有簧油封安装后唇口接触压力大小及分布,在唇口接触压力大小及分布基本相同的情况下,调整结构参数,设计出无簧油封,通过台架试验验证无簧油封的使用效果。与传统油封相比,无簧油封去掉了弹簧,同时相应增大了油封腰部厚度,以保证唇口接触压力不变。

1.2 几何模型的建立

现有有簧油封结构如图 1 所示,橡胶材料为丁腈橡胶胶料,无簧油封结构如图 2 所示。由于密封圈安装在轴与钢筒之间,边界受力具有圆周

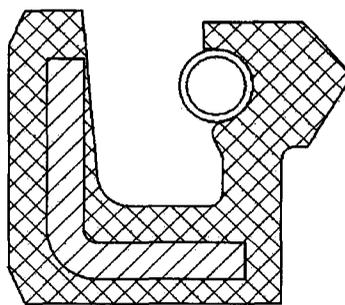


图 1 有簧油封结构

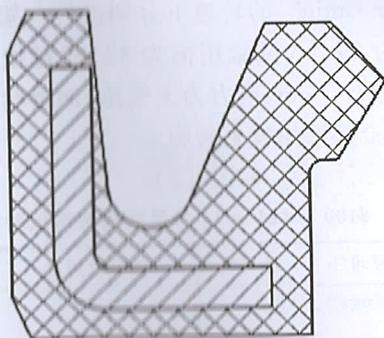


图2 无簧油封结构

对称性,因此油封模型可简化为平面轴对称模型,对其某一端面进行应力-应变分析,同时根据圣维南原理,建模时省略离密封唇较远处便于油封成型的倒角。

1.3 材料模型的建立

分析采用的橡胶材料模型为近似不可压缩弹性材料的 Mooney-Rivlin 模型。Mooney 理论基于的假设为:(1)橡胶不可压缩而且在变形前各向同性;(2)简单剪切包括先受简单拉伸再在平面上叠加,简单剪切服从胡克定律。Mooney-Rivlin 模型的表达式为:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3)$$

式中, W 为应变能密度, C_{10} 和 C_{01} 为 Rivlin 系数, I_1 和 I_2 分别为第一和第二 Green 应变不变量。

将油封胶料的拉伸试验数据,经软件拟和求得 C_{10} 为 2.08188919, C_{01} 为 -0.882423143,拟和曲线如图 3 所示。图中虚线是胶料单轴拉伸试验曲线,实线是采用 Mooney-Rivlin 模型的单轴拉

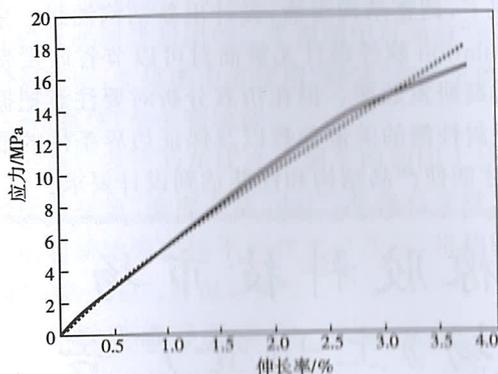


图3 单轴拉伸曲线

伸拟和曲线。由图 3 可以看出,选用的 2 个 Rivlin 系数所描述 Mooney-Rivlin 模型拟合曲线与试验曲线的吻合程度较高。

1.4 等效弹簧力

由于弹簧结构复杂,为便于分析,对油封结构进行了简化,省去了弹簧,采用在弹簧槽施加等效压力的方式替代弹簧力,如图 4 所示。

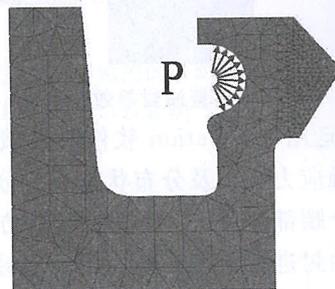


图4 等效弹簧力 P

1.5 边界条件及加载方法

由于油封唇部与轴是过盈配合,所以在建模时给轴一个倒角,使得自由状态时油封唇部与轴倒角接触。在模拟安装过程时,只需给油封一个 Y 方向的位移,使油封通过倒角移动到轴上,实现过盈安装,轴各个方向的位移约束与油封 X 方向的位移约束都为零。无簧油封安装有限元模型如图 5 所示。

1.6 计算仿真

首先,利用 Simulation 软件分析现有有簧油封安装时唇部接触应力大小及分布状态,仿真结果如图 6 所示。

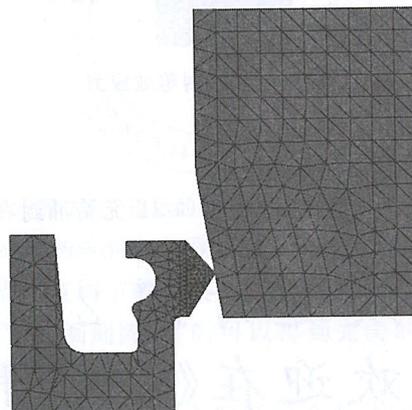


图5 无簧油封安装有限元模型

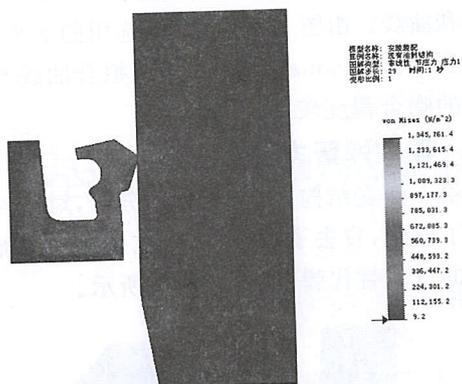


图6 有簧油封等效应力

然后,运用 Simulation 软件对无簧油封安装时唇部接触应力大小及分布状态进行分析。即初步估计一个腰部厚度并进行仿真,将仿真结果与现有有簧油封进行比较。如果无簧油封的唇部接触应力比有簧油封的唇部接触应力大,则减小腰部厚度再进行仿真;如果无簧油封的唇部接触应力比有簧油封的唇部接触应力小,则增大腰部厚度再进行仿真,直到无簧油封的唇部接触应力与有簧油封的唇部接触应力相等或近似为止,最终结构的无簧油封等效应力仿真结果如图 7 所示。

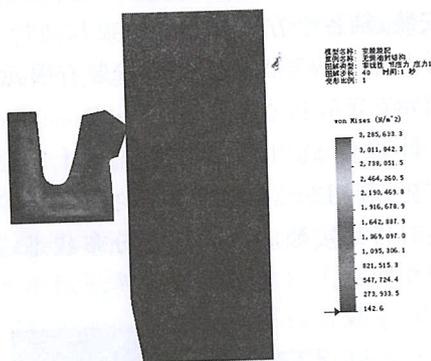


图7 无簧油封等效应力

2 台架试验结果

将设计的 $\phi 100 \times 125 \times 12$ 无簧油封在 2000

和 $6000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速下分别进行台架试验,试验温度为 $24 \text{ }^\circ\text{C}$,试验用油为 32# 机械油,轴表面粗糙度为 $1.6 \text{ } \mu\text{m}$,压力为大气压,润滑状态为 2/3 浸油,试验结果如表 1 所示。

表 1 $\phi 100 \times 125 \times 12$ 无簧油封台架试验结果

试验时间/h	油封状态	试验时间/h	油封状态
转速 $2000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$		101	完好
0	完好	转速 $6000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$	
2	完好	0	完好
4	完好	19	完好
29	完好	43	泄漏 ¹⁾
53	完好	67	泄漏 ²⁾
77	完好		

注:1)泄漏量 105 mL;2)泄漏量 320 mL。

从表 1 可以看出,无簧油封在 $2000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速下使用情况良好,而在 $6000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速下很快泄漏;但有簧油封在 $6000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 转速下密封效果好。分析原因:(1)试制的有簧油封内径为 98.5 mm ,而现有有簧油封内径为 97.5 mm ,所以有簧油封的唇口接触应力与无簧油封有差异;(2)等效弹簧力误差,弹簧力等效分析时采用在弹簧槽施加均匀分布的压力来替代弹簧压力,而弹簧槽施加的均匀分布压力与实际弹簧径向力的大小存在差异。

3 结语

采用 CAE 软件 Simulation 进行无簧油封开发具有一定的可行性。在开发无簧油封时,可以在保证关键参数(如油封唇口接触应力等)不变的情况下,调整结构参数,设计出新结构油封。采用 Simulation 软件设计无簧油封可以节省研发费用和提高研发效率。但在仿真分析时要注意把握影响油封性能的关键参数以及保证边界条件的准确性,才能使产品结构和性能达到设计要求。

欢迎订阅 2013 年《橡胶科技市场》
 欢迎在《橡胶科技市场》上刊登广告