

基于 ANSYS 的橡胶 Y 形圈两种有限元建模方法的对比

李 腾, 张付英*

(天津科技大学 机械工程学院, 天津 300222)

摘要:提出一种通过端盖固定、活塞杆轴向移动,得到预压缩状态模型的 Y 形圈有限元建模方法,并传统建模方法进行对比分析。按两种方法建模分析得到的形变位移近似,最大 von Mises 应力和接触压力的分布相差不大,说明该建模方法可行且更贴近实际安装过程,更合理。

关键词:橡胶; Y 形圈; 预压缩状态; 有限元模型

中图分类号:TQ336.4+2;O241.82 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2014)05-0304-04

Y 形密封圈(简称 Y 形圈)是液压和气动系统中常用的一种密封件,属于唇形密封,具有密封性能可靠、摩擦阻力小、密封装置结构简单和安装方便等特点。Y 形圈具有良好的自密封性能,主要应用于往复运动的密封。对密封圈进行有限元建模时,由于安装过程会使密封圈产生一定的预变形和预压缩应力,一些研究者便通过活塞(杆)侧向移动挤压密封圈来得到预压缩状态的有限元模型,然而却没有说明和验证这种方法的科学性和可行性。

本工作根据实际密封圈的安装情况,利用有限元分析软件 ANSYS,通过活塞杆轴向移动,得到预压缩状态的有限元模型,对 Y 形圈进行建模,并传统建模方法进行对比。

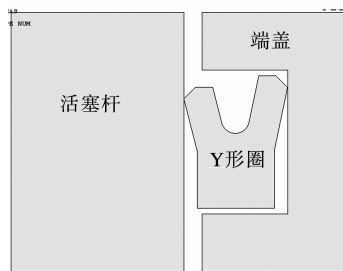
1 建模方法

活塞杆、Y 形圈和端盖组成的密封结构为轴对称结构,为节省 ANSYS 计算时间,将此结构简化为平面轴对称模型,可通过扩展命令将其扩展为三维实体模型进行观察。

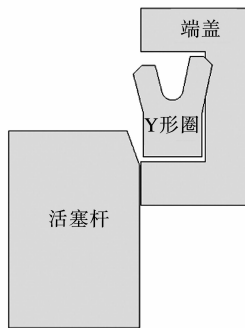
传统方法即普遍采用的方法中,端盖固定,活塞杆侧向(周向)移动挤压 Y 形圈,得到预压缩状态的有限元模型,几何模型如图 1(a)所示。

本研究采用的方法是,端盖固定,活塞杆轴向

移动,得到预压缩状态的 Y 形圈模型,几何模型如图 1(b)所示。图中 Y 形圈和端盖按选用的标准尺寸放置,有一定渗透,ANSYS 软件会通过自动 CNOF 命令消除这种渗透。



(a)传统方法



(b)本研究方法

图 1 Y 形圈几何模型

2 有限元分析模型

2.1 物理模型

有限元建模与分析基于以下几点假设^[1-3]:

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51075300)

作者简介:李腾(1987—),男,河北辛集人,天津科技大学在读硕士研究生,主要从事可持续性制造技术研究。

* 通信联系人

(1) Y 形圈橡胶材料具有确定的弹性模量和泊松比;

(2) Y 形圈橡胶材料各向同性且均匀连续;

(3) Y 形圈为近似不可压缩的超弹性材料;

(4) 不考虑温度变化的影响;

(5) 不考虑松弛和蠕变效应的影响。

橡胶材料具有复杂的材料非线性、几何非线性和状态非线性,一般采用 2 项参数的 Mooney-Rivlin 模型进行力学性能的模拟分析,其函数关系式为

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

式中 W ——应变势能函数;

I_1, I_2 ——第一和第二 Green 应变不变量;

C_{10}, C_{01} ——Rivlin 因数,均为正定常数,本计算中分别选定为 1.87 和 0.47^[1,4-6]。

2.2 计算模型

采用的 Y 形圈材料为丁腈橡胶,IRHD 硬度为 85,弹性模量为 14.04 MPa,泊松比为 0.499。单元类型选用 PLANE 183 的超弹特性^[7]。活塞杆和端盖材料为 45# 钢,弹性模量为 210 GPa,泊松比为 0.31。

相对于 Y 形圈,活塞杆和端盖的变形极其微小,可将活塞杆和端盖视为刚体,不再划分实体单元网格。接触类型选用刚体-柔体接触,接触方式为面-面接触。接触单元选用二维的 TARGE 169 目标单元和 CONTA 172 接触单元。

网格划分后通过两种建模方法得到的分析模型分别如图 2 和 3 所示。有限元分析模型中共 971 个节点 536 个单元。

3 计算结果与对比分析

3.1 形变位移

两种方法建模后得到的形变位移图如图 4 所示。由图 4 可以看出,两种方法建模后得到的形变位移图在形变上差别很小,本研究方法的 Y 形圈位置偏上,即轴向有一定位移,主要原因是活塞杆在沿轴向移动时与 Y 形圈接触面间有摩擦力,带动其沿轴向移动。

3.2 应力

von Mises 应力即等效应力,反映了截面上

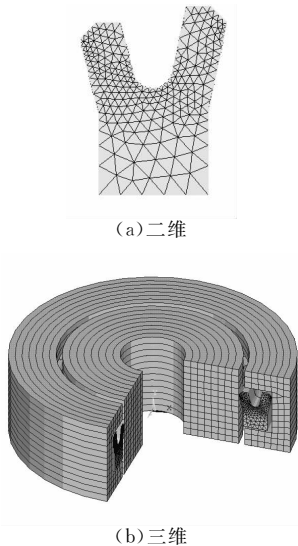


图 2 传统建模方法的有限元分析模型

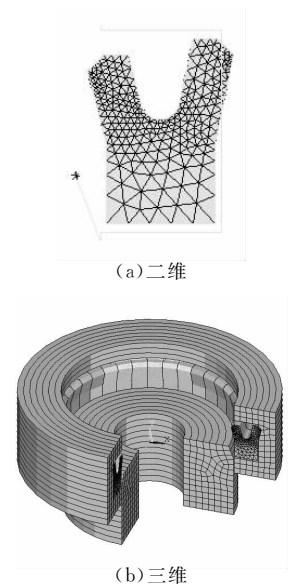
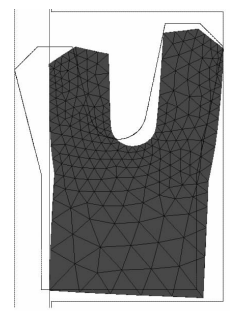


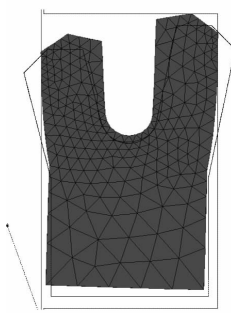
图 3 本研究建模方法的有限元分析模型

各主应力差值的大小。一般来说,等效应力越大的区域,材料越容易出现松弛,造成刚度下降,也就越容易出现裂纹,进而导致密封失效。而接触压力的大小则直接反映了 Y 形圈的密封性能, Y 形圈保证密封效果的条件是接触压力不小于密封流体的压力。建模后的 von Mises 应力云图和接触压力云图分别如图 5 和 6 所示。为了分析两种方法可能造成的模型误差,在流体侧施加了 10 MPa 的流体压力,与建模后的模型(即压力为零)进行对比,得到的最大 von Mises 应力和最大接触压力如表 1 所示。

由图 5 和表 1 可以看出,两种方法得到的

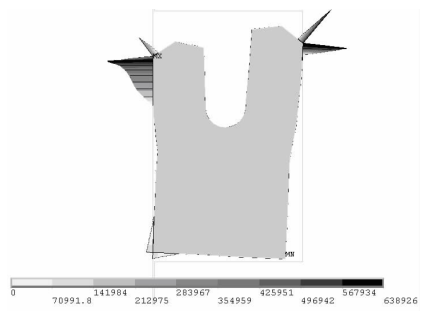


(a)传统方法

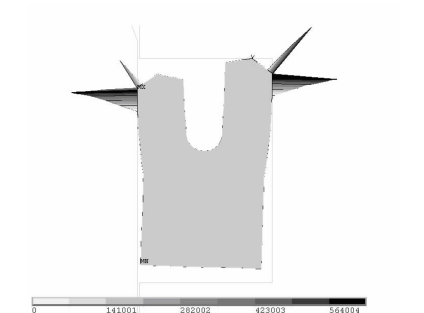


(b)本研究方法

图4 建模后形变位移图

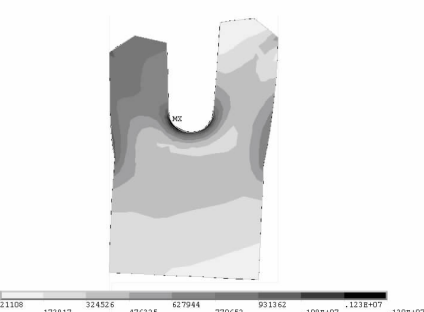


(a)传统方法

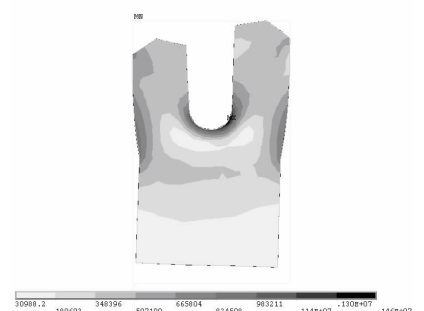


(b)本研究方法

图6 建模后的接触压力分布



(a)传统方法



(b)本研究方法

图5 建模后的 von Mises 应力分布

von Mises 应力分布有较大不同,但是最大值都出现在 Y 形圈双唇中间根部位置,可见这里是容易出现刚度下降和裂纹的位置,结构优化时应优先优化。两种密封流体压力下最大 von Mises

表1 不同密封流体压力下的最大 von Mises

应力和最大接触压力

MPa

密封流体压力	最大 von Mises 应力	最大接触压力
0 MPa		
传统建模方法	1.39	0.638 9
本研究建模方法	1.46	0.634 5
10 MPa		
传统建模方法	5.29	10.00
本研究建模方法	4.86	9.98

应力大小相差不大,分别为 0.07(密封压力为零)和 0.43 MPa(密封压力为 10 MPa)。可见,两种方法只是对 von Mises 应力分布产生了一定影响,但对最大值的影响不明显。

由图 6 和表 1 可以看出,两种方法得到的接触压力的分布区域相同,最大接触压力都出现在 Y 形圈双唇唇尖外侧。同一密封压力下最大接触压力相差不大,分别为 0.004 4(密封压力为零)和 0.02 MPa(密封压力为 10 MPa)。然而,不同密封流体压力下同一模型的最大接触压力明显不同,密封流体压力越大,最大接触压力也越大,这体现了 Y 形圈良好的自密封性能。可见,两种方法对接触压力的大小与分布造成的影响都较小,基本可以忽略。

4 结语

通过对比两种建模方法下得到的形变、von Mises 应力和接触压力的分布云图和最大值,表明两种建模方法下得到的有限元模型误差很小,即通过活塞(杆)侧向移动挤压 Y 形圈得到有限元模型的方法是可行的。

密封圈的有限元模型一般为平面轴对称模型,它是三维实体模型的一种简化,现有的建模方法将平面轴对称模型扩展还原为三维实体模型后,再进行活塞杆(活塞)的侧向移动,显然该方法不具有科学性。而新的建模方法更贴近实际的安装过程,更具科学性和合理性,其分析结果更具参考价值。

参考文献:

- [1] 陈国定, Haiser H, Haas W, 等. O 形密封圈的有限元力学分析[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(5): 740-741.
- [2] 周志鸿, 张康雷, 李静, 等. O 形橡胶密封圈应力与接触压力的有限元分析[J]. 润滑与密封, 2006, 31(4): 86-89.
- [3] 王伟, 赵树高. 结构参数对橡胶 O 形密封圈性能的影响[J]. 润滑与密封, 2010, 35(1): 71-74.
- [4] 王伟, 邓涛, 赵树高. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型中材料常数的确定[J]. 特种橡胶制品, 2004, 25(4): 8-10.
- [5] 李晓芳, 杨晓翔. 橡胶材料的超弹性本构模型[J]. 弹性体, 2005, 5(1): 50-58.
- [6] 左亮, 肖维雄. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型材料系数的一种确定方法[J]. 机械制造, 2008, 46(7): 38-40.
- [7] 尚付成, 饶建华, 沈钦凤, 等. 超高液压下 O 形橡胶密封圈的有限元分析[J]. 液压与气动, 2010(1): 67-70.

收稿日期: 2013-11-16

橡胶行业靠高附加值产品盈利

中图分类号: F426.72 文献标志码: D

2014 年 3 月 26 日在青岛开幕的 2014 中国橡胶年会暨中国橡胶工业展上的消息称, 2013 年我国橡胶行业效益水平显著提高, 重点企业利润大幅增长。2014 年, 预计橡胶行业主要经济指标将稳中有升。高附加值产品的增长是拉动效益提升的主要力量。

据中国橡胶工业协会统计, 2013 年 364 家重点企业利润增长 18%; 行业销售收入利润率为 5.57%, 较 2012 年提高 0.74 个百分点。

中国石油和化学工业联合会会长李勇武说: “近年来, 橡胶行业绿色发展意识明显增强, 制定实施了自律性标准《绿色轮胎技术规范》, 大力推进循环经济和清洁生产, 淘汰了一批落后生产工艺, 采用了一批先进节能减排和资源综合利用技术, 研制了一批安全、环保、节能的绿色橡胶产品, 行业结构调整取得积极进展, 发展的内生动力和活力明显增强, 为行业稳增长、调结构、提效益创造了良好条件。”

2013 年以来, 橡胶行业经济运行质量有所提升。中国橡胶工业协会会长邓雅俐表示, 行业效益变好, 主要是由于天然橡胶、合成橡胶价格下降, 同时, 一些企业停止了落后产品生产, 大力发

展优势主导产品。技术含量和附加值较高、符合市场需求的高性能产品、品牌产品产量实现了两位数增长, 如子午线轮胎、电动自行车轮胎、强力输送带和钢丝编织胶管等。

“2014 年这些高附加值、市场需求潜力大的新产品的增长还将延续。”邓雅俐预计, 2014 年橡胶行业主要经济指标将稳中有升, 经济运行保持平稳, 主要产品产量将保持增长; 全国轮胎出口增长在 10% 左右, 增幅将小于 2013 年; 出口额增长为 7% 左右, 增幅将大于 2013 年。

很多业内人士对 2014 年的橡胶行业走势保持较为乐观的态度。江苏韩泰轮胎有限公司副总经理马寰清认为, 2014 年的天然橡胶价格仍然将保持低位运行态势, 而欧美市场在不断复苏, 因此 2014 年轮胎产销不会太难, 特别是子午线轮胎市场扩大, 落后的斜交轮胎市场将进一步被压缩。当前韩泰正在美国兴建一个新的轮胎生产基地, 还是看中了当前日益扩大的欧美轮胎市场。

杭州中策集团董事长沈金荣称, 2014 年天然橡胶价格可能会小幅回升, 但总体仍保持低位运行, 因此对轮胎企业的影响不会太大, 企业会少量增加天然橡胶库存。

(摘自《中国化工报》, 2014-03-27)