

基于ANSYS的防尘密封圈密封性能研究

张清奎,何远宏,徐 敏

[安徽华菱星马(集团)汽车股份有限公司,安徽 马鞍山 243000]

摘要:借助大型有限元分析软件ANSYS,针对A型防尘密封圈(简称A型圈)大变形和非线性特征,建立以氟橡胶、丁腈橡胶、聚氨酯为基体的3种不同橡塑材料A型圈的非线性有限元分析模型,对3种材料A型圈进行了最大接触应力、平均接触应力及应力分布的分析对比。研究表明,A型圈唇部长度及唇尖厚度变化对接触应力及其分布形式有重要影响。

关键词:A型防尘密封圈;本构模型;接触问题;非线性有限元分析

中图分类号:O241.82;TQ336.4⁺2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)01-0036-05

A型防尘密封圈(简称A型圈)应用于往复运动的动密封,属唇形密封圈范畴。当A型圈装入密封腔体后,唇部被活塞杆压缩,发生微小扭转,并在接触表面产生一定的接触应力,利用这个应力实现防尘密封。因此,A型圈唇部结构尺寸直接影响密封圈的密封性能。目前,国内外对不同材料和非标准A型圈的研究较少。本工作利用大型有限元分析软件ANSYS建立A型圈轴对称有限元模型,对分别以氟橡胶(FKM)、丁腈橡胶(NBR)和聚氨酯(PU)为基体的3种橡塑材料A型圈进行接触应力、平均应力及应力分布的对比分析。

1 A型圈有限元分析模型

由于边界条件复杂,对A型圈进行有限元计算时必须将A型圈及活塞杆、密封腔体作为整体进行分析。A型圈与活塞杆、密封腔体之间存在挤压作用,因此A型圈的有限元分析包含橡塑材料和金属材料的接触问题。

1.1 橡塑材料的本构模型

目前密封产品大多采用橡塑共混材料,在对密封件进行有限元分析时,需明确其本构关系。由于橡塑共混材料防尘密封圈的基体仍然以橡胶材料为主,因此,橡胶材料的本构关系适用于橡塑

共混材料。

为了得到橡胶材料性质的数学表达式,通常采用“唯象”的处理方法,即不涉及分子结构理论而通过数学推理的方法获得。这种方法的主要作用是找到描述橡胶性质的最简便途径,而不用对分子级的物理意义进行解释。本文只对一般性的唯象理论,即适用于一般应变问题的Mooney-Rivlin理论进行研究^[1]。

Mooney-Rivlin模型用来模拟橡胶材料行为,该理论可以较好地描述橡胶类不可压缩超弹性材料在大变形下的力学特征,其应变能密度函数为

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) + \alpha(I_3 - 1)/2$$

式中, W 为应变能密度; C_1 和 C_2 为材料Mooney-Rivlin系数; I_1 , I_2 和 I_3 为第一、二和三格林(Green)应变不变量; $I_1 = \lambda_{12} + \lambda_{22} + \lambda_{32}$, $I_2 = \lambda_{12}\lambda_{22} + \lambda_{22}\lambda_{32} + \lambda_{12}\lambda_{32}$, $I_3 = \lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}$,其中 λ_i ($i=1,2,3$)为主拉伸率; α 为体积弹性模量,对于不可压缩的超弹性体,引入条件 $I_3=1$ 。

对于不可压缩超弹性材料,应力表征为应变能函数对应变的偏导数,其本构方程为

$$S_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}}$$

式中, S_{ij} 为比奥雷-克西霍夫(Piola-Kirchhoff)应力, W 为应变能密度, E_{ij} 为格林应变张量的分量^[2-3]。本文采用Mooney-Rivlin两项式应变能描述橡胶超弹性材料的特征。

作者简介:张清奎(1983—),男,河南新乡人,安徽华菱星马(集团)汽车股份有限公司工程师,硕士,主要从事汽车及相关产品分析工作。

1.2 A型圈有限元模型的建立

本研究A型圈材料为分别以FKM,NBR和PU为基体的3种橡塑材料,其邵尔A型硬度分别为85,90和95度,FKM基体材料的参数 C_1 和 C_2 分别为2.2和0.057,NBR基体材料的参数 C_1 和 C_2 分别为2.65和0.056,PU基体材料的参数 C_1 和 C_2 分别为3.2和0.055。轴径和开式沟槽尺寸按照文献[4]取值。有限元分析采用国际上通用的大型有限元分析软件ANSYS,其中部分后处理工作采用Excel数据处理软件,具体平面轴对称有限元模型见图1。

由于钢构成的密封腔体的弹性模量是橡胶的几万倍,因此将轴、沟槽视为刚性,不考虑变形,轴和密封腔体与密封圈的接触视为刚性与柔性的接触。在模型网格划分中,由于研究的是密封圈与轴之间接触应力,因此对密封圈的唇部划分较细,其中橡胶单元采用超弹性单元HYPER 74,模型中的接触单元由接触单元CONTA 172和目标单元TARGE 169配对组成。

1.3 A型圈有限元分析

参照文献[4]对A型圈进行建模分析,该步骤主要对A型圈与轴及密封腔体的接触应力分析,结

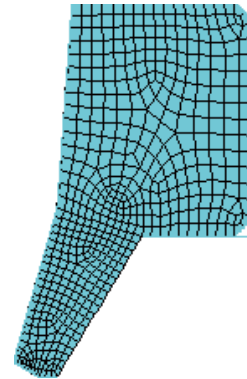


图1 防尘圈的平面轴对称有限元模型

合A型圈内应力分析,判定A型圈容易发生破坏的位置。由于A型圈系列标准公称尺寸很多,因此不能将分析结果图片全部给出。为了说明分析结论具有普遍性,选取全系A型圈两端(8和320 mm)及中部轴径(90 mm),分析结果如图2~7所示。

从图2~7中8,90和320 mm轴用防尘圈的接触应力和平均应力可以看出,A型圈应力分布规律有如下共性。

从接触应力看,唇部接触应力是保证A型圈防尘的关键,接触应力过大会使摩擦磨损增加,缩短A型圈的使用寿命;接触应力过小会降低A型圈的

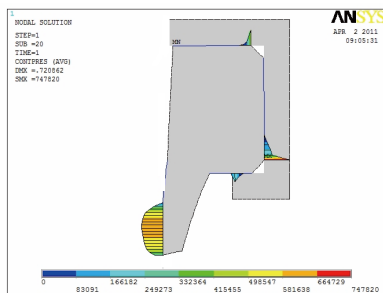


图2 8 mm轴用防尘圈接触应力分析结果

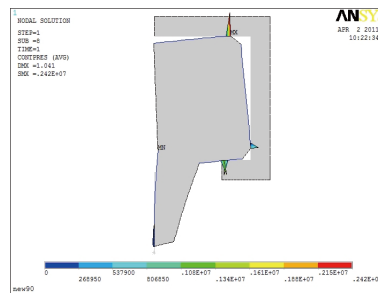


图3 90 mm轴用防尘圈接触应力分析结果

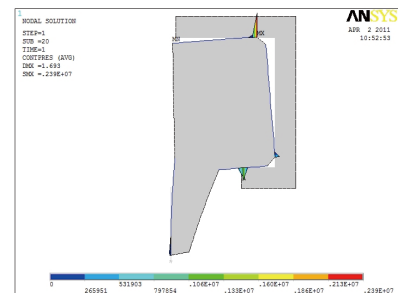


图4 320 mm轴用防尘圈接触应力分析结果

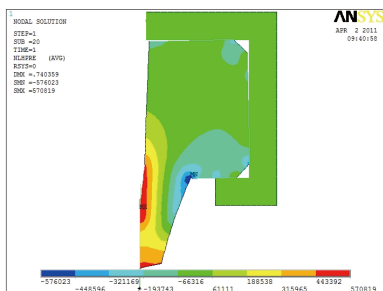


图5 8 mm轴用防尘圈平均应力分布分析结果

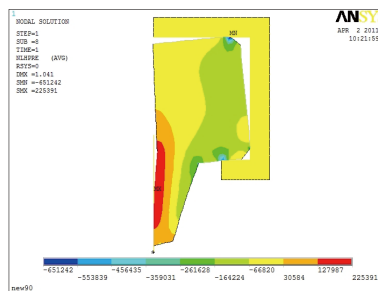


图6 90 mm轴用防尘圈平均应力分布分析结果

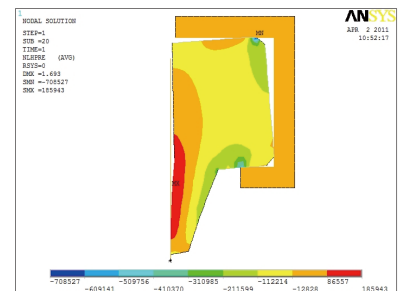


图7 320 mm轴用防尘圈平均应力分布分析结果

防尘效果。理想的密封性能需要A型圈唇部有适当的接触应力与合理的应力分布形式。

从平均应力分布看,唇部靠近轴面部位受到的拉伸应力最大,在轴往复运动过程中最易发生撕裂,即A型圈唇部是承受各种应力最为集中的部位。在A型圈实际使用过程中,唇部也是最容易发生破坏与失效的地方,因此A型圈唇部是关乎其防尘效果与使用寿命的关键部位。

此外,接触应力的分布形式对A型圈也非常关键。实践证明,唇部接触应力矩形分布是最理想的分布形式。

综上所述,研究A型圈唇部尺寸结构变化对应力及应力分布的影响尤为重要。

2 A型圈唇部尺寸对接触应力的影响分析

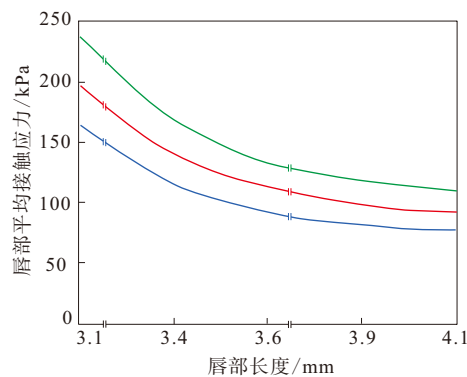
以40 mm轴用防尘密封圈为例,比较了以FKM,NBR和PU为基体的3种橡塑材料A型圈唇部尺寸对接触应力的影响,结果如图8~13所示。唇部长度标准值为3.6 mm,唇部长度变化值为3.1,3.4,3.9及4.1 mm。唇尖厚度标准值为0.85 mm,唇尖厚度变化值为0.55,0.65,0.75,0.95及1.05 mm。

对比图8和10可以看出,以NBR和PU为基体的橡塑材料轴用防尘圈的唇部长度与唇尖厚度变化后的最大接触应力曲线与以FKM为基体的橡塑材料轴用防尘圈相同,以PU为基体的橡塑材料轴用防尘圈唇部长度、唇尖厚度变化后的最大接触应力相对于以NBR为基体的橡塑材料轴用防尘圈的增幅比以NBR为基体的橡塑材料轴用防尘圈唇

部长度、唇尖厚度变化后的最大接触应力相对于以FKM为基体的橡塑材料轴用防尘圈的增幅大。唇部长度变化对最大接触应力影响比较稳定。对3种橡塑材料A型圈单个唇部长度、唇尖厚度变化分析(图略)可以得出:要降低最大接触应力,减小唇部长度得到的接触应力分布(矩形分布)比减小唇尖厚度效果更为理想,这是由于唇尖厚度变小时唇尖接触应力值过小,防尘效果不佳;要提高最大接触应力,增大唇尖厚度比减小唇部长度效果更为明显。需要注意的是,当增大最大接触应力时,最大接触应力会向唇尖处移动,优点是可以增强防尘效果,缺点是会增加摩擦磨损,缩短防尘圈寿命。

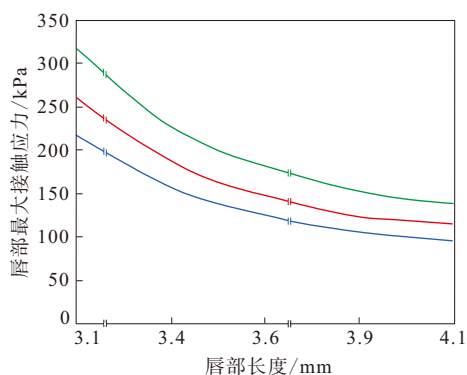
对比图9和11可以看出,3种材料A型圈唇部长度变化对平均接触应力的影响比唇尖厚度变化大,因此在唇部结构设计时需考虑唇部长度及唇尖厚度对平均接触应力的影响程度。

从最大接触应力与平均接触应力分析可以看



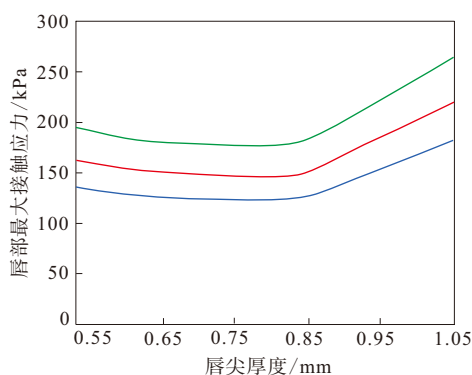
注同图8。

图9 唇部平均接触应力随唇部长度的变化



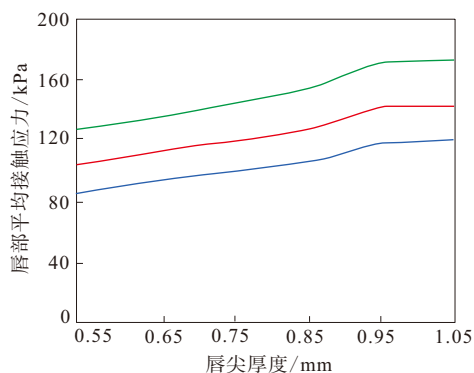
橡塑材料基体:—FKM;—NBR;—PU。

图8 唇部最大接触应力随唇部长度的变化



注同图8。

图10 唇部最大接触应力随唇尖厚度的变化



注同图8。

图11 唇部平均接触应力随唇尖厚度的变化

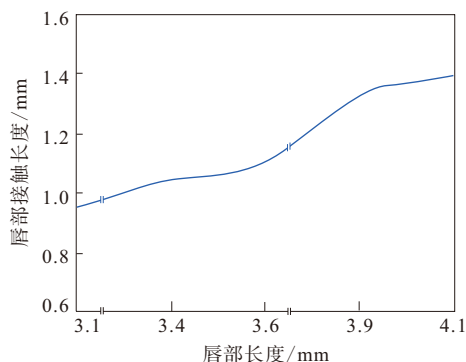


图12 40 mm A型圈唇部接触长度随唇部长度的变化

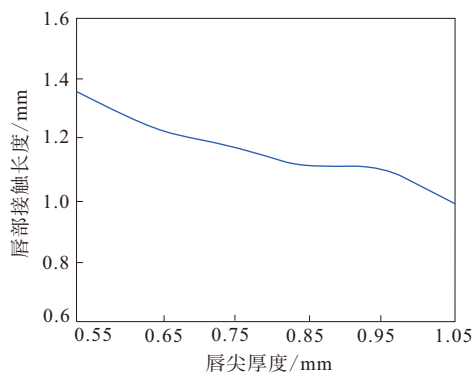


图13 40 mm A型圈唇部接触长度随唇尖厚度的变化
出:在只考虑材料硬度不考虑材料其他物理性能

的情况下,唇部最大接触应力随材料硬度的增大而增大(硬度每上升5度接触应力增加20%);3种材料的唇部平均接触应力与唇部最大接触应力类似,硬度每上升5度,平均接触应力增加20%左右。

综上所述,要得到预期接触应力及其分布,应结合唇部长度及唇尖厚度变化对接触应力及其分布形式的影响规律,合理设计唇部结构以得到最佳结构尺寸,从而达到最好的防尘效果和使用寿命。

3 结语

采用有限元方法分析了不同材料A型圈唇部尺寸改变对密封性能的影响,得出以下结论。

(1)唇部尺寸对接触应力大小及应力分布影响明显,通过分析对比,可以得到改善唇部结构尺寸的方法。降低最大接触应力,减小唇部长度得到的接触应力分布比减小唇尖厚度更为理想;提高最大接触应力,增大唇尖厚度比减小唇部长度效果更为明显。

(2)在只考虑材料硬度不考虑材料其他物理性能的情况下,唇部最大接触应力随硬度的增大而增大(硬度每上升5度接触应力增加20%)。3种材料的唇部平均接触应力与唇部最大接触应力类似,硬度每上升5度,平均接触应力增加20%左右。

参考文献:

- [1] 特雷劳尔 L R G. 橡胶弹性物理学[M]. 王梦蛟,等译. 北京:化学工业出版社,1982.
- [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] 徐红波,喻九阳,常跃,等. O形密封圈的非线性有限元分析[J]. 武汉工程职业技术学院学报,2006(12):21-24.
- [4] 成大先. 机械设计手册:润滑与密封[M]. 北京:化学工业出版社,2003.

收稿日期:2015-07-21

Performance of Dustproof Sealing Ring Based on ANSYS

ZHANG Qingkui, HE Yuanhong, XU Min

(Hualing Xingma Automobile Co., Ltd, Maanshan 243000, China)

Abstract: By using ANSYS software, according to nonlinear characteristics and large deformation of type A dustproof sealing ring, nonlinear finite element analysis models of type A dustproof sealing ring made of three kinds of rubber/plastic blends which were based on fluorine rubber, nitrile-butadiene rubber and

polyurethane rubber, respectively, were established. The maximum contact stress, average contact stress and their distribution were analyzed and compared. The results showed that the change of the lip length and thickness of type A dustproof seals had significant influence on the contact stress and its distribution.

Key words: type A dustproof sealing ring; constitutive model; contact problem; nonlinear finite element analysis

湿法混炼实现万吨级连续生产

中图分类号:TQ330.6⁺3 文献标志码:D

2015年11月9日,万吨级天然橡胶(NR)/白炭黑湿法混炼连续化生产线项目,在云南西双版纳通过中国石油和化学工业联合会组织的科技成果鉴定。该项目在国际上率先实现了万吨级NR/白炭黑湿法混炼连续化生产。

原化工部副部长、中国石油和化学工业联合会原会长李勇武出席鉴定会并赴现场参观。鉴定组专家在生产现场考察后表示,这一成果不仅是NR产业的重大技术突破,也将给橡胶加工能耗最高的混炼环节带来颠覆性改变,并为绿色轮胎制造提供新途径。

该成果由北京万向新元科技股份有限公司、勐腊曼庄橡胶公司、株洲安宝麟锋新材料有限公司、北京万汇一方科技发展有限公司共同完成。鉴定专家组认定,这一拥有完整自主知识产权的成果整体达到国际先进水平。

该项目研究开发了基于动态比值控制液相连续供料混合的非酸絮凝剂快速絮凝新技术,满足连续化生产要求,比传统凝固工艺节水50%,絮凝时间由5 h缩短为30 s,生产线是传统工艺占地面积的20%;开发并制造新型橡胶螺杆挤出连续脱水造粒一体机,实现挤压脱水造粒机出口端物料的含水率在30%以下,确保物料(白炭黑)流失率小于2%;设计开发了微波连续化浅层干燥新技术及装置,首次在NR生产中获得应用,实现了低能耗快速均匀干燥;建立了成套NR/白炭黑湿法混炼工艺的连续化生产技术工艺包,形成了自主知识产权并制定了企业标准。

该项目的突出特点是使白炭黑高比例应用在轮胎加工中成为可能,为绿色轮胎用橡胶提供了新方法。据项目组负责人介绍,他们开发并集成了橡胶与补强填料连续液相混合、快速絮凝、螺杆挤出脱水造粒、浅层微波连续干燥等新技术、

新装置,在国际上首次建成了1条万吨级NR/白炭黑湿法混炼工艺的连续化生产线,可生产白炭黑用量为10~90份的湿法混炼胶。

经权威机构检测及轮胎企业应用验证,混炼胶产品的白炭黑分散度、胶料强度、弹性、生热和滚动阻力等性能均有明显提高;轮胎的高速耐久性能提高,生热降低,滚动阻力下降10%~16%。

有数据显示,如果我国目前行驶的轮胎全部为绿色轮胎,每年可节油41万t,带来30余亿元的经济效益。但绿色轮胎生产需要添加大量白炭黑,而普通白炭黑的分散性较差,难以通过干法混炼实现高比例应用,制约了我国绿色轮胎产业化的进程。

降低橡胶加工能耗,是该项目成果的另一大特点。据介绍,橡胶加工中能耗最高的工序就是混炼,约占轮胎生产过程全部能耗的40%。传统橡胶干法混炼工艺每吨混炼胶耗电约400 kW·h。而NR/白炭黑湿法混炼胶已经将白炭黑均匀分散于橡胶之中,这不仅可以提高混炼胶料的质量、降低橡胶加工厂的粉尘污染,更能让胶料混炼的能耗降低15%~30%,每吨胶料可节电60 kW·h以上。

(摘自《中国化工报》,2015-11-12)

防腐蚀橡胶胶套及其制备方法和应用

中图分类号:TQ336.4⁺2;TQ332 文献标志码:D

由芜湖航天特种电缆厂申请的专利(公开号CN 104592570A,公开日期 2014-05-06)“防腐蚀橡胶胶套及其制备方法和应用”,涉及的胶套配方为:天然橡胶(NR) 100,炭黑 50~200,氧化镁 1~30,氧化锌 1~30,硬脂酸 1~30,防老剂 0.1~5,促进剂 0.1~5。其制备方法为:
(1)将NR、氧化锌、氧化镁、硬脂酸和炭黑混合得到混合物;
(2)向混合物中加入防老剂和促进剂进行融炼得到胶料;
(3)将胶料挤出成型得到防腐蚀橡胶胶套。该产品具有较好的耐腐蚀性能。

(本刊编辑部 赵敏)