

基于 Abaqus 的悬架空气弹簧静态力学特性研究

徐艳民, 郝 伟

(广东机电职业技术学院 汽车学院, 广东 广州 510515)

摘要:以某商用车悬架用空气弹簧为研究对象,应用非线性有限元分析软件 Abaqus 建立了空气弹簧的有限元分析模型,对其垂向静态力学特性进行了计算分析,并与悬架空气弹簧垂向静态力学特性台架试验结果进行对比。结果表明,仿真计算结果与试验结果吻合度较好,证明数值仿真方法可用于悬架空气弹簧设计开发。

关键词:悬架空气弹簧;静态力学特性;有限元法

中图分类号:TQ336.4⁺2;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2015)01-0041-04

汽车悬架弹性元件的力学特性直接影响着汽车的行驶平顺性和乘坐舒适性。悬架系统发展之初大都采用金属螺旋弹簧或钢板弹簧作为悬架系统的主要减震元件。金属类弹簧刚度在设计之初即已确定,实际工作过程中刚度恒定^[1]。商用车的装载量经常发生较大变化,由式(1)可知,在弹性元件刚度(k)保持不变的情况下,载荷(m)的大幅度改变会导致汽车自振频率(ω_n)在一个较宽的范围内变化,从而导致车辆在重载和轻载下运行品质存在较大差异。

$$\omega_n = \sqrt{k/m} \quad (1)$$

空气弹簧可以设计成理想的反‘S’形刚度曲线,呈现出明显的非线性弹性特性^[2]。在曲线的中间段具有低刚度,而在压缩或拉伸行程的边缘段刚度逐渐增大,这样就保证了汽车无论是重载还是轻载情况下都能保证自振频率恒定,从而提高了车辆的行驶平顺性和乘坐舒适性。空气弹簧因其具有普通金属弹簧不可比拟的优势已逐渐广泛应用于商用车和乘用车。某商用车底盘悬架系统空气弹簧如图1所示。

在空气弹簧产品开发过程中需要对其力学特性进行预测。空气弹簧因具有高度的几何非线性、材料非线性与接触非线性,应用传统力学经验公式很难做出准确计算。台架试验虽然能准确获得其力学特性参数,但成本高且周期长^[3]。随着



图1 某商用车底盘悬架系统空气弹簧示意

计算机技术与非线性有限元理论的日益成熟,有限元法为空气弹簧力学特性的预测提供了一条捷径。张广世^[4]用有限元的方法研究了空气弹簧的帘线层数与物理参数对气囊弹性特性的影响;J. Bunne等^[5]采用有限元技术对空气弹簧进行了结构优化,提出了空气弹簧结构设计的新方法;Q. Giuseppe^[6]对带有辅助气室的空气弹簧进行了试验研究和理论分析,并进行了计算机模拟研究。

本工作基于某商用车底盘悬架空气弹簧,应用 rebar 加强技术模拟气囊帘线层;采用静水流体单元模拟囊内气体流动,建立空气弹簧的有限元分析模型。通过垂向静态力学特性试验验证模型的精确性与分析方法的合理性。

1 有限元分析模型的建立

底盘悬架空气弹簧结构如图2所示,弹簧主体为轴对称结构,主要由进/排气口、上盖板、橡胶气囊与活塞组成。

空气弹簧的气囊由橡胶与帘线硫化而成,帘线层将气囊分为若干铺层,形成了由低弹性模量

基金项目:南沙科技计划项目(201201019)

作者简介:徐艳民(1979—),男,河南开封人,广东机电职业技术学院讲师,博士,主要从事车辆底盘空气悬架技术研究。



图2 悬架空气弹簧结构示意图

的橡胶层与高弹性模量的帘线层组成的复合材料。橡胶材料的弹性特性具有高度非线性,并且相对于剪切弹性而言有非常小的体积可压缩性,这种材料特性可以用超弹性材料来表示,其力学特性可用 Mooney-Rivlin 模型的应变能密度函数来描述^[7]:

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (2)$$

式中, C_{10} 与 C_{01} 为超弹性材料常数; I_1 与 I_2 为第一和第二偏应变量。通过胶料试样拉伸试验拟合得到的气囊橡胶材料参数为: $C_{10} = 0.5178 \text{ MPa}$, $C_{01} = 0.1426 \text{ MPa}$ 。采用 Abaqus 提供的四节点缩减积分壳单元 (S4R) 来模拟橡胶层, 设置壳厚 (气囊厚度) 为 2.6 mm 。活塞与上盖板的材料为铝合金, 相对于橡胶气囊, 其刚度非常大, 将其处理为离散刚体单元 (R3D3 与 R3D4)。

帘线层是空气弹簧的主要承载部件, 材料一般为锦纶或聚酯, 如图 3 所示。

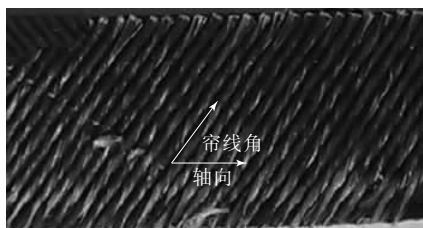


图3 橡胶气囊帘线层

Abaqus 提供了用于模拟层状结构加强筋的 rebar 单元, 主要参数有: rebar 的方向角、同层内相邻 rebar 的间距、rebar 的横截面积与 rebar 层数。rebar 的方向角定义为帘线在空气弹簧对称面上的投影线与橡胶材料 1 轴的夹角。建立气囊橡胶层壳模型的同时将 rebar 单元嵌入到橡胶层中。研究对象底盘悬架空气弹簧帘线参数为: 帘线角 $\pm 37^\circ$, 层数 2, 间距 0.11 mm , 直径

0.41 mm , 距中性面 $\pm 0.43 \text{ mm}$ 。

假定腔内气体为理想气体, 在工作过程中, 气体的质量与温度保持不变。采用满足流体静力学条件的流体单元, 即三维三节点流体单元 (F3D3) 与三维四节点流体单元 (F3D4) 来模拟空气弹簧密封腔内气体。应用 Hypermesh 软件的共节点命令将气体单元与橡胶材料壳单元合并节点, 从而实现气固耦合。在气囊腔内设置一气体单元参考点定义充气压力。F3D3 单元如图 4 所示。

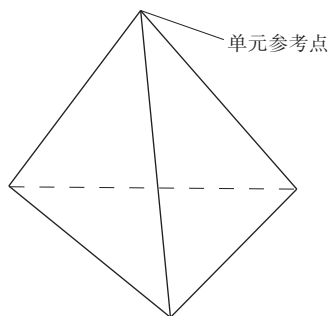


图4 F3D3 单元及其参考点示意

空气弹簧在工作过程中盖板与气囊的接触问题属于带约束条件的泛函极值问题。Abaqus 中对于变形体与接触体的接触问题采用 Lagrange 算法, 设置上盖板与橡胶气囊无滑移接触, 因橡胶气囊刚度小将其接触面设置为从面, 上盖板接触面为主面。

最终建立的悬架空气弹簧有限元模型如图 5 所示。共有 S4R 单元 935 个、F3D4 和 F3D3 单元 983 个以及 426 个离散刚体单元。盖板与活塞材料弹性模量为 205 GPa , 泊松比为 0.27 。帘线材料为聚酯, 弹性模量为 7.20 GPa , 泊松比为 0.31 。

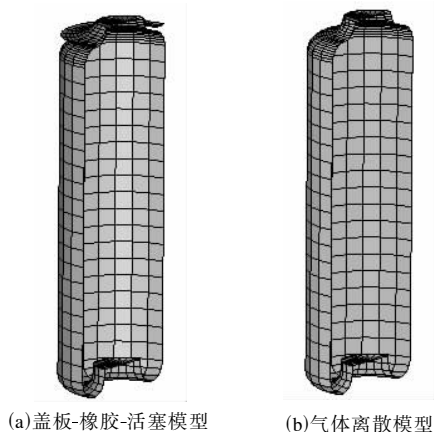


图5 悬架空气弹簧有限元模型

2 静态力学特性仿真分析

根据 GB/T 13061—1991《汽车悬架用空气弹簧 橡胶气囊》试验方法,在 Abaqus/Standard 中需要设置 2 个分析步计算空气弹簧垂向力学特性,如图 6 所示。第 1 个分析步约束上盖板与活塞的 6 个自由度,施加气压 0.6 MPa 对气囊进行充气。第 2 个分析步释放上盖板垂向位移约束并对其施加 ± 30 mm 的垂向位移。

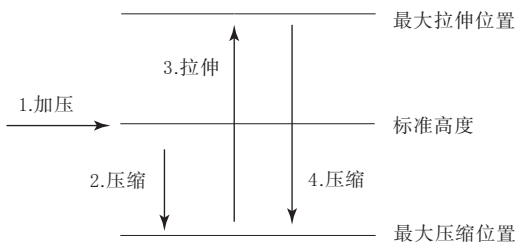


图 6 垂向静刚度仿真/试验过程

分别记录悬架空气弹簧在充气后拉伸与压缩过程中的位移与载荷数据。空气弹簧充气后压缩应力云图见图 7,拉伸应力云图见图 8。

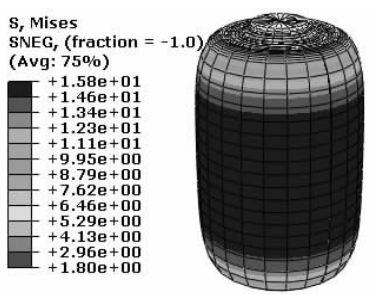


图 7 空气弹簧压缩应力云图

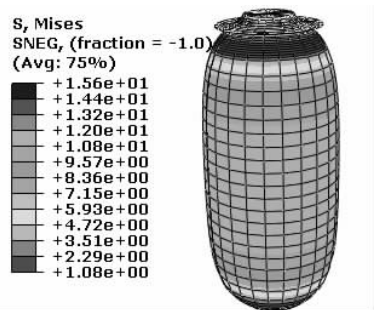


图 8 空气弹簧拉伸应力云图

3 静态力学特性试验

根据 GB/T 13061—1991 对空气弹簧进行垂向静态特性试验。试验设备为 MTS831 弹性体实验系统,通过专用工装将悬架空气弹簧与试验

台作动头固联,如图 9 所示。

试验过程中以空气弹簧标准高度为位移计算的零点进行拉压并记录位移-载荷数据。空气弹簧具体试验步骤为:



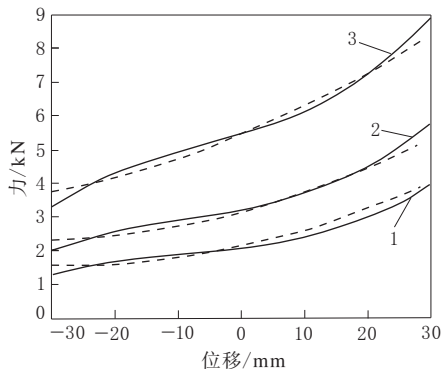
图 9 悬架空气弹簧试验装置

(1)伸缩试验:将悬架空气弹簧调至标准状态 ($H=186$ mm, $p=0.6$ MPa),断开气源并停留 5 min。随后在最大行程内缓慢地伸缩 5 次。检查气囊在伸缩过程中是否出现漏气或异常变形现象。

(2)静态试验:将空气弹簧调至标准状态后断开气源,将其拉伸到 -30 mm 处,停留 5 min。随后以 10 mm $\cdot$ min $^{-1}$ 的速度将其压缩到 $+30$ mm 处,循环 3 次。记录第 3 次拉压过程中位移-载荷曲线。

再将空气弹簧调整到标准高度,分别充以 0.4 和 0.8 MPa 的气压,重复以上试验过程。经过数据处理,最终得到的垂向静态力学特性仿真计算与试验对比曲线如图 10 所示。

由图 10 可知,空气弹簧垂向静态特性的仿真计算值与试验结果吻合较好,在工程误差允许范围之内。



—计算值,---试验值;气压/MPa:1—0.4,2—0.6,3—0.8。

图 10 静态刚度仿真与试验对比

4 结论

采用 Abaqus 软件对汽车悬架空气弹簧进行静态力学仿真建模和数值结果分析,并与试验得到的静态力学特性曲线进行对比,证明仿真得到的空气弹簧力学特性可信。

参考文献:

- [1] 陈鼎,李芾,黄运华.基于有限元的空气弹簧刚度分析[J].电力机车与城轨车辆,2010,33(6):8-12.
- [2] 张建文.空气弹簧非线性有限元分析和空气悬架大客车隔振性能的研究[D].长春:吉林大学,2003.
- [3] 陈燕虹,杨兴龙,王勋龙.大客车空气弹簧动态特性的试验分

析[J].汽车技术,2002,10:19-21.

- [4] 张广世.有限元法研究空气弹簧参数对横向特性的影响[J].铁道车辆,2000,38(9):13-16.
- [5] Bunne Jon, Jable Roger. Air Suspension Factors in Driveline Vibration [A]. 1996 SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition[C]. Detroit, Michigan, USA:1996:1-10.
- [6] Giuseppe Quagliai. Air Suspension Dimensionless Analysis and Design Procedure[J]. Vehicle System Dynamic, 2001, 35(6):443-475.
- [7] 刘宏伟,庄得军,陈燕虹,等.空气弹簧非线性弹性特性有限元分析[J].农业机械学报,2004,35(5):201-204.

收稿日期:2014-07-19

Analysis on Static Mechanical Properties of Air Spring Based on Abaqus

XU Yan-min, HAO Wei

(Guangdong Jidian Polytechnic College, Guangzhou 510515, China)

Abstract: A finite element model of air spring for commercial vehicle suspension was established, and the vertical static mechanical properties were analyzed by Abaqus which was powerful in nonlinear analysis. It was demonstrated that the finite element simulation results were in good accordance with bench test results, indicating that the simulation method was a useful tool in developing air spring for vehicle suspension.

Key words: air spring for suspension; static mechanical characteristic; finite element method

韩泰为 2015 款 Navigator 提供配套轮胎

中图分类号:TQ336.1 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014年10月8日报道:

韩泰轮胎公司将为 2015 款林肯 Navigator (领航员)豪华 SUV 进行配套,配套产品为其顶级高速公路全天候 SUV 轮胎 Dynapro HT,规格为 275/55R20T AS,如图 1 所示。



图 1 Dynapro HT 轮胎

该 20 英寸规格轮胎将作为 2015 款林肯领航员的标准配件,主要投放于北美市场。

韩泰表示,新的配套协议标志着韩泰轮胎对林肯以及豪华 SUV 配套市场的进一步深入。

继林肯 MKT 和 MKZ 配备了韩泰轮胎后,该公司在 2015 款林肯领航员的测试、调整和定制过程中成功地满足了林肯严格的原配标准要求。

韩泰称,该 Dynapro HT 轮胎可为新款林肯领航员提供出色的动力,同时保证车辆的行驶平稳性和舒适的驾乘体验。优化的轮胎胎面胶配方可提供更长的行驶里程、良好的雪地牵引性能并提升全天候性能,高强度的中心花纹块设计提高了汽车的转向响应能力。此外,加大且经过计算机优化的胎面接地印痕可在提高牵引力的同时降低噪声。

据韩泰全球配套部门副总裁 Byung Il Woo 称,韩泰的配套业务正在向高端汽车品牌扩张。他说:“我们非常激动能与林肯签署新的配套协议,2015 款林肯领航员不仅是全尺寸豪华 SUV 市场上最受期待的车型之一,还是豪华车市场中消费者倾向购买的品牌车型之一。”

(孙斯文摘译 吴秀兰校)