

液压悬置橡胶主簧静态力学特性计算与试验研究

郝伟, 徐艳民

(广东机电职业技术学院 汽车学院, 广东 广州 510515)

摘要:运用有限元理论和 Abaqus 分析软件建立某小型客车动力总成液压悬置橡胶主簧的有限元离散模型, 探讨橡胶主簧的轴向与径向静态力学特性的仿真计算方法, 对比仿真计算结果与试验结果, 验证了有限元分析方法的正确性。计算分析了胶料硬度对橡胶主簧静态力学特性的影响, 结果表明, 橡胶主簧静态刚度与胶料硬度正相关, 且径向刚度对橡胶硬度更为敏感。

关键词:橡胶主簧; 静态力学特性; 有限元法; 试验

中图分类号: TQ336.4⁺2; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2014)06-0355-04

车辆动力总成悬置系统的功用主要是支撑汽车动力总成并隔震。为了衰减路面不平度引起的低频大振幅激励, 悬置系统需要具有高阻尼大刚度特性。发动机振动为高频小振幅激励, 为了衰减动力总成高频振动向车身的传递, 需要悬置系统具有小刚度与低阻尼特性。普通橡胶悬置在低频激励下刚度与阻尼较小, 高频激励下又产生动态硬化现象, 对悬置系统隔震性能十分不利。液压悬置在很大程度上克服了橡胶悬置的缺点, 通过对液压悬置橡胶主簧与流道合理设计, 可以实现低频激励大阻尼、高频激励小阻尼, 进而大幅提高悬置系统的隔震效果^[1]。某小型客车动力总成液压悬置如图 1 所示。

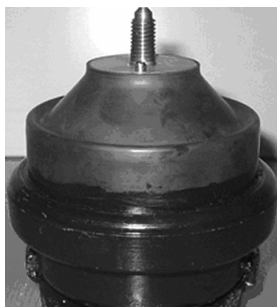


图1 某小型客车动力总成液压悬置示意

橡胶主簧是液压悬置的关键承载元件, 其力学特性对液压悬置的动刚度、刚度硬化频率、阻尼

角峰值与阻尼角峰值频率等参数有着直接影响, 这些参数是评价液压悬置隔震性能的关键参数。通过对橡胶主簧的合理设计可以显著提高液压悬置的隔震效果, 从而改善车辆的行驶平顺性与驾乘舒适性。橡胶主簧的设计是液阻悬置研发过程中非常重要的一环。

为了满足悬置系统匹配要求, 液压悬置的橡胶主簧设计结构一般较为复杂, 加之橡胶材料非线性本构关系及其复杂的力学行为特性, 使得对橡胶主簧弹性特性的理论计算十分困难。液压悬置台架试验虽然可以精确测得其力学特性参数, 但成本较高且不利于产品的快速开发。有限元理论与计算机技术结合而发展起来的有限元数值算法为液压悬置橡胶主簧的力学特性计算提供了一条捷径。王芳^[2]建立了奥迪某轿车液压悬置橡胶主簧有限元分析模型, 通过试验验证了模型的精确性; 龙岩^[3]探讨了橡胶主簧的有限元分析方法, 通过计算与试验系统阐述了橡胶主簧力学特性的影响因素; 梁天也等^[4]应用 Abaqus 软件建立了某轿车液压悬置橡胶主簧离散模型, 对橡胶主簧各结构参数设计进行了灵敏度分析。

本研究基于小型客车动力总成液压悬置橡胶主簧, 应用 Abaqus 软件建立了橡胶主簧有限元计算模型。对橡胶主簧的轴向与径向静态力学特性进行仿真分析, 通过试验对模型的精确性与分析方法的合理性进行验证。计算并探讨橡胶材料硬度对橡胶主簧轴向与径向静态力学特性的影响。

基金项目:广州市科技计划项目(12A52231618)

作者简介:郝伟(1977—), 男, 河南开封人, 广东机电职业技术学院讲师, 硕士, 主要从事车辆振动与噪声控制等方面研究。

1 橡胶主簧有限元模型的建立

橡胶主簧与金属骨架硫化结合为一体,相比于橡胶材料,金属骨架刚度足够大,变形可以忽略。在计算橡胶主簧静态力学特性时忽略金属骨架,在硫化部位施加约束。某小型客车液压悬置结构如图2所示。

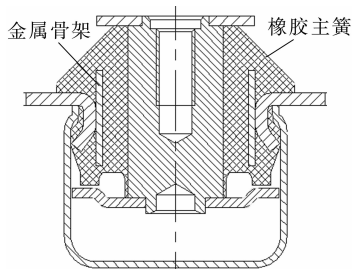


图2 某小型客车液压悬置结构示意图

橡胶是一种具有较强材料与几何非线性的超弹性材料,泊松比接近于0.5,一般视其为不可压缩材料。在大变形情况下橡胶材料分子链会重新排列,呈现出各向异性的特点。橡胶主簧在一般受载工况下变形较小,没有达到改变橡胶材料分子链排列的程度,可将其视为各向同性材料,其超弹性力学特性可用 Mooney-Rivlin 模型应变能密度函数来描述:

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

式中, I_1 和 I_2 为第一和第二偏应变变量, C_{10} 和 C_{01} 为超弹性材料常数。通过胶料三向拉伸试验数据拟合得到的橡胶材料参数为: $C_{10} = 0.5150 \text{ MPa}$, $C_{01} = 0.4082 \text{ MPa}$ 。

橡胶主簧为轴对称结构,采用二分之一模型对其进行计算。将3D数模导入到 Hypermesh 进行网格划分。

四面体单元精度差,不能很好地模拟橡胶材料的变形;一次单元在模拟橡胶材料时不仅能避免体积自锁而且具有沙漏控制功能;Abaqus 软件提供了杂交单元来模拟不可压缩或近似不可压缩材料^[5]。综合以上考虑,最终确定橡胶主簧主要单元类型为六面体线性杂交单元(C3D8H)。由于橡胶主簧形状较复杂,在非关键区域采用楔形线性杂交单元(C3D6H)。划分好的网格模型共有4 683个节点、3 040个 C3D8H 单元与 340个 C3D6H 单元,如图3所示。

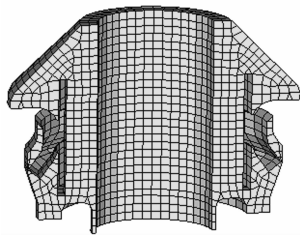


图3 橡胶主簧网格模型

2 橡胶主簧静态力学特性

2.1 仿真计算

将网格模型导入 Abaqus 软件进行材料参数、边界条件与历史数据输出设置。橡胶主簧与铝合金内芯硫化为一体,对铝合金内芯加载相当于对橡胶主簧内筒直接加载。在橡胶主簧内筒中心线位置设置一参考点,该参考点与橡胶主簧内筒运动耦合,如图4所示。橡胶主簧与金属骨架硫化部分固定约束,即约束硫化区域所有节点的6个自由度,截面采用对称约束边界条件。

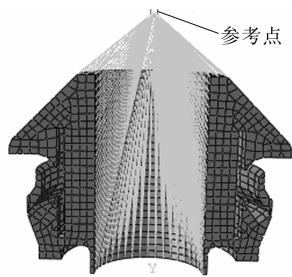


图4 参考点与内筒的运动耦合

橡胶主簧轴向与径向静态力学特性计算采用 Abaqus/Standard 求解器,激活 Nlgeom(非线性大变形)。通过设置增量步长实现逐步匀速加载。为了迭代计算更容易收敛,对参考点采取位移加载^[5]。计算轴向力学特性时设定位移4 mm,记录位移-反力数据。计算径向力学特性时位移加载量为3 mm。图5和6分别示出了橡胶主簧轴向和径向加载应力云图。

2.2 试验

橡胶主簧的静态力学特性测试采用美国 MTS 系统公司生产的 831 型弹性体试验系统,将试样安装在试验台上(见图7)。温度对橡胶材料力学特性影响较大,试验前试样需置于温度为22℃的调制室调制6 h。橡胶材料对加载速度较为

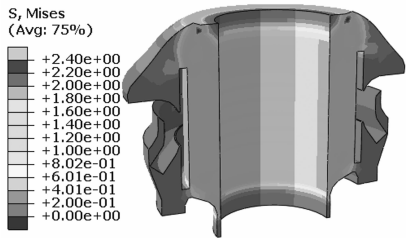


图 5 轴向加载应力云图

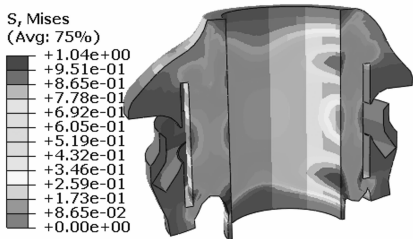


图 6 径向加载应力云图



图 7 橡胶主簧力学特性试验装置

敏感,测试时需缓慢加载。测试轴向静态力学特性时加载量为 4 mm,加载速度为 $5\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$;测试径向静态力学特性时加载量为 3 mm,加载速度为 $2.5\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。轴向与径向测试都需要预加载 2 次,记录第 3 次加载过程的位移-载荷数据。

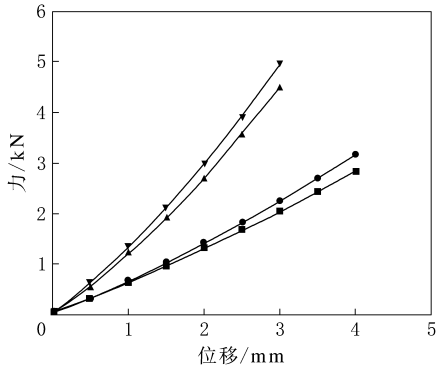
2.3 结果与讨论

经过试验数据处理,得到橡胶主簧轴向、径向静态力学特性试验与仿真计算对比曲线,如图 8 所示,误差对比见表 1。

仿真计算曲线与试验曲线总体趋势一致,产生误差的原因有计算未考虑温度对橡胶材料的影响、胶料试验拟合参数误差、模型简化等。仿真计算误差在工程允许范围内,证明建模与计算分析方法合理。

3 胶料硬度对橡胶主簧力学特性的影响

橡胶主簧产品开发过程中,主要依靠改变橡胶体结构与胶料硬度来实现轴向与径向力学特性



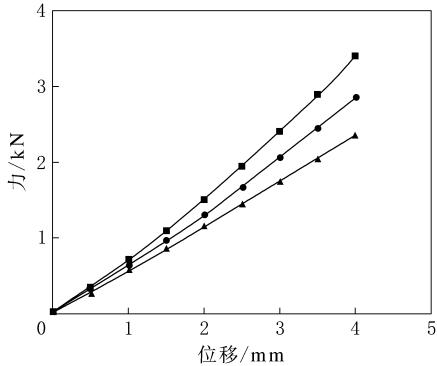
■—轴向仿真;●—轴向试验;▲—径向仿真;▼—径向试验。

图 8 静态力学特性仿真与试验对比

表 1 轴向、径向静刚度仿真值与试验值对比

项 目	轴向	径向
静刚度/($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)		
试验值	792	1 655
仿真值	711	1 501
相对误差/%	10.2	9.3

的调整。胶料硬度对橡胶主簧轴向和径向静态力学特性的影响如图 9 和 10 所示。



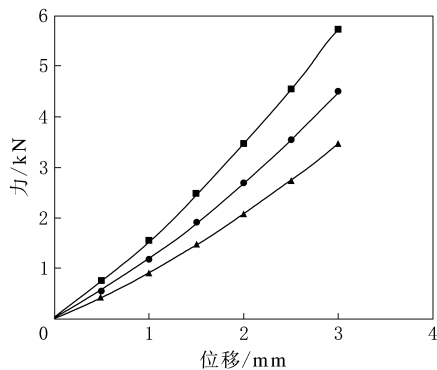
邵尔 A 型硬度/度:■—75;●—65;▲—55。

图 9 胶料硬度对橡胶主簧轴向力学特性的影响

从图 9 和 10 可以看出,胶料硬度对橡胶主簧静态刚度影响较大,橡胶主簧轴向和径向静态刚度随着胶料硬度的增大而增大。原因是橡胶材料的弹性模量与胶料硬度正相关,橡胶材料的弹性模量在一定范围内随着胶料硬度增大而增大,抵抗变形能力随之增强。通过进一步分析可知橡胶主簧径向刚度较轴向刚度对胶料硬度更为敏感。

4 结论

(1)橡胶主簧轴向和径向静态力学特性仿真



注同图9。

图10 胶料硬度对橡胶主簧径向力学特性的影响

计算结果与试验结果相近,误差在工程设计允许范围内,证明有限元模型与计算方法正确。

(2)随着胶料硬度的增大,橡胶主簧轴向和径向静态刚度均增大,其中径向静态刚度对胶料硬度

变化尤为敏感。

(3)有限元仿真计算可极大地减少液压悬置产品开发过程中样件试制与试验次数,降低开发成本并缩短研发周期。

参考文献:

- [1] 鲍宁. 动力总成液压悬置的参数化设计[D]. 长春:吉林大学, 2007.
- [2] 王芳. 橡胶主簧的数值建模分析与试验验证[J]. 机械设计, 2007, 24(4): 35-37.
- [3] 龙岩. 橡胶主簧的有限元分析及对液阻悬置性能的影响[J]. 机电工程, 2008, 25(4): 48-51.
- [4] 梁天也, 史文库. 汽车动力总成液压悬置橡胶主簧静特性有限元分析[J]. 振动与冲击, 2007, 26(9): 155-158.
- [5] 饶寿期. 有限元法和边界元法基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990.

收稿日期: 2013-12-26

Calculation and Experimental Study on Static Mechanical Properties of Main Rubber Spring for Hydraulic Engine Mount

HAO Wei, XU Yan-min

(Guangdong Jidian Polytechnic College, Guangzhou 510515, China)

Abstract: Based on the finite element method and Abaqus software, a finite element discrete model of the main rubber spring for a minibus hydraulic engine mount was established. The static mechanical properties simulation method of the main rubber spring was discussed focusing on axial and radial directions. The model was then verified by experimental results, which were in good accordance with the simulated results. The influence of rubber hardness on the static characteristics of main rubber spring was calculated and analyzed, and the results showed that the rubber hardness had great influence on the static characteristics of main rubber spring especially in radial direction.

Key words: main rubber spring; static mechanical property; finite element method; experiment

一种高模量、低生热的碳纳米管/ 橡胶复合材料制备方法

中图分类号: TQ332.5; TQ334.9 文献标志码: D

由北京化工大学申请的专利(公开号 CN 102924763A, 公开日期 2013-02-13)“一种高模量、低生热的碳纳米管/橡胶复合材料制备方法”, 提供了一种高模量、低生热的碳纳米管/橡胶复合材料制备方法, 即利用等离子体改性方法在碳纳米管表面沉积一层 1~2 nm 的聚丙烯酸无定形

层, 将这种改性后的碳纳米管与硅烷偶联剂通过机械共混的方法加入到橡胶中, 并采用高温状态下热辊处理的技术进一步增强其界面结合作用, 提高分散效果; 最后在高温高压状态下硫化制得产品。涉及的橡胶为天然橡胶、异戊橡胶、丁苯橡胶或顺丁橡胶, 碳纳米管为普通碳纳米管或具有一维取向排列结构的碳纳米管束。该复合材料的拉伸强度和模量明显提高, 压缩生热大幅降低。

(本刊编辑部 赵敏)