

液阻橡胶悬置的动特性试验分析及参数识别

束长东, 杨守彬

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要: 试验测试液阻橡胶悬置和橡胶主簧的低频动态特性。建立悬置集总参数模型, 采用流固耦合有限元方法和基于不动点理论的参数识别方法辨识悬置集总参数。两种方法辨识结果的一致性说明了有限元模型的合理性, 为液阻橡胶悬置设计开发提供了依据。

关键词: 液阻橡胶悬置; 动态特性; 参数识别

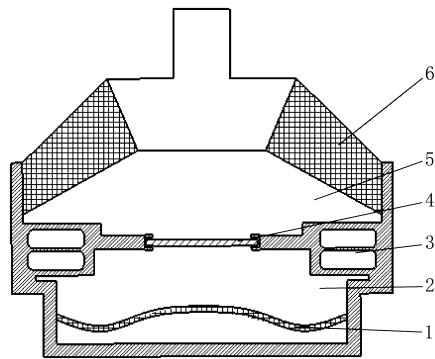
中图分类号: TQ336.4⁺2; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2012)11-0676-04

近年来, 液体阻尼式橡胶悬置以其优良的减震性能, 被广泛用于大中型轿车的发动机隔震系统中。不同于橡胶减震垫, 液阻型悬置的低频大阻尼和高频小阻尼特性明显提高了发动机悬置系统的隔震效果, 有效减小了发动机传给车体的振动。然而, 目前对液阻型悬置的设计开发仍存在悬置集总参数识别不易的问题, 通用的辨识方法主要有试验、理论经验公式推导和有限元法。试验方法虽然测试数据精确, 但需针对不同参数的测量设计出不同的工装, 存在试验周期长、经济性差等缺陷。理论经验公式方法简单, 但结果误差较大。而有限元方法由于模型简化的误差对分析结果也有一定的影响。

为了减小有限元参数辨识的误差, 在结合流固耦合有限元分析的同时, 本研究采用基于不动点理论的参数识别方法^[1]进行计算, 通过对比两者结果的一致性, 验证模型的有效性, 以期在设计前期能够建立合理的有限元模型, 并为悬置的动态特性仿真提供依据。

1 悬置结构特点及试验分析

试验以某型惯性通道-解耦盘式液阻橡胶悬置为研究对象, 其主要结构包括橡胶主簧、上下液腔、惯性通道、解耦盘和橡胶底膜, 如图1所示, 双惯性通道的结构特点增大了惯性通道长度。液体阻尼式橡胶悬置物理参数如下: 橡胶密度 1.195



1—橡胶底膜; 2—下液腔; 3—惯性通道; 4—解耦盘;
5—上液腔; 6—橡胶主簧。

图1 惯性通道-解耦盘式液体阻尼橡胶悬置

$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 上液腔底面面积 $3\,359.3 \text{ mm}^2$, 通道长度 375.6 mm , 通道截面面积 87.6 mm^2 , 液体密度 $1.045 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 液体粘性系数 $0.034 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

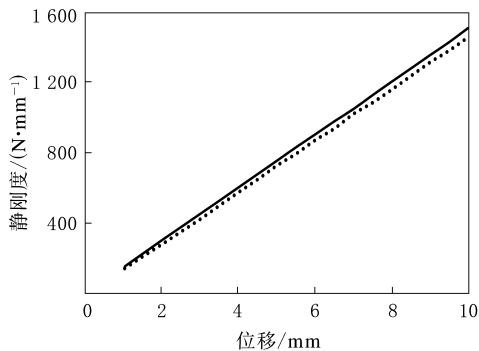
试验在 MTS 台架试验台上进行, 试验台及工装如图2所示。测试项目为悬置和主簧的静态及动态特性。悬置和主簧轴向静刚度如图3所示, 低频储能刚度及滞后角测试结果如图4所示。

根据振动理论, 悬置减震性能指标包括静态特性和动态特性, 动态特性评价指标又包括动刚度、滞后角和阻尼系数等。

试验结果表明, 悬置和主簧在静载荷下的刚度曲线呈线性, 且趋于一致, 说明悬置的静特性主要由主簧决定。对于主簧, 由低频动特性曲线可以得知, 储能刚度随激振幅值及频率的变化很



图 2 试验工装



——悬置;·····主簧。

图 3 悬置和主簧的轴向静刚度

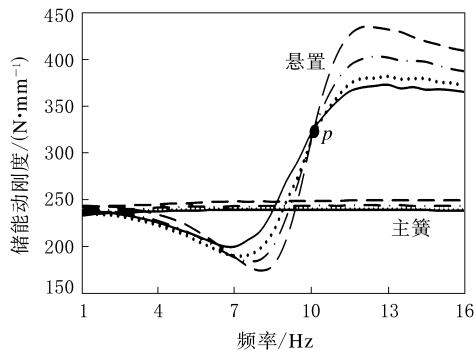
小,可以近似看成常数。而滞后角随频率有一定的变化,且呈增长趋势,但随频率增长速度缓慢。

液阻橡胶悬置在低频大振幅下不同幅值所对应的储能刚度曲线随频率变化一致,在低频段的主簧动刚度值显著大于主簧,说明液阻悬置在低频段的隔震性能明显优于普通橡胶悬置。

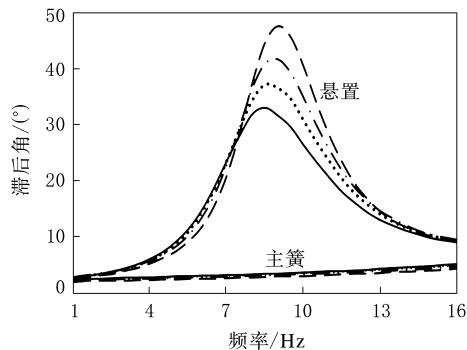
2 悬置集总参数的有限元识别方法

惯性通道液阻橡胶悬置的集总参数模型^[2]如图 5 所示。其中模型参数包括橡胶主簧刚度(K_r)、橡胶主簧阻尼系数(C_r)、主簧等效活塞面积(A_p)、上液腔体积柔度(C_1)、下液腔体积柔度(C_2)、惯性通道液体流量(Q_1)和解耦盘液体流量(Q_2)。

悬置的三维模型是建立在某型惯性通道-解耦盘式液阻悬置的原有数学模型上,通过对模型细节部分简化和修改,去除部分特征后得到。而有限元模型是在有限元前处理软件 HyperMesh 中生成,固体橡胶单元选用 8 节点六面体减缩积



(a) 动刚度



(b) 滞后角

振幅/mm: ——0.5; - · - 1.0; ····1.5; ———2.0。

图 4 悬置和主簧的动态特性

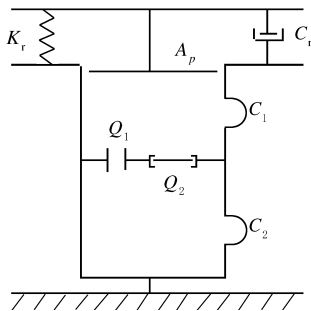
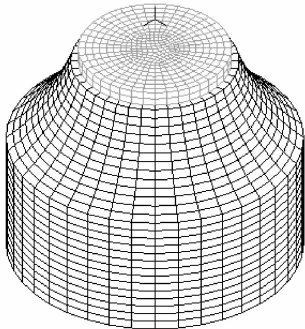


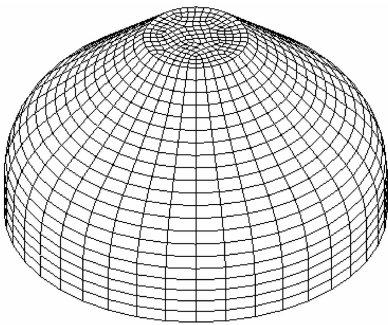
图 5 液阻悬置集总参数模型

分实体单元(C3D8R)^[3]。液阻悬置主簧及上液腔液体有限元模型如图 6 所示。

本研究通过流固耦合有限元方法以及通用有限元软件 ADINA^[4]识别惯性通道液阻悬置集总参数模型中的上液腔体积刚度(K_1)和 A_p 。这是悬置的 2 个重要参数,其中 K_1 对液柱共振频率、滞后角峰值频率和高频动刚度起决定作用^[5]。体积刚度表征的是体积与压力的关系,有限元识别 K_1 的方法是通过在液体底部加载一恒定速度,由于液体的不可压缩性,主簧受到液体压力后膨胀,



(a) 固体



(b) 液体

图 6 液阻悬置主簧及上液腔液体有限元模型

通过主簧所受压力和流入主簧的体积计算出 K_1 (如图 7 所示), $K_1 = 1.985 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^{-5}$ 。

A_p 的有限元识别方法是给主簧加载轴向位移, 由于液体的不可压缩性, 上液腔截面处的液体流出量与上液腔底面面积之比即为主簧等效活塞面积 (如图 8 所示), $A_p = 2\,697 \text{ mm}^2$ 。

主簧位移云图及液体压力云图如图 9 所示。

3 基于不动点理论的参数识别方法

不动点参数识别方法主要建立在试验的基础上, 通过建立悬置的数学模型, 分析表明当悬置惯

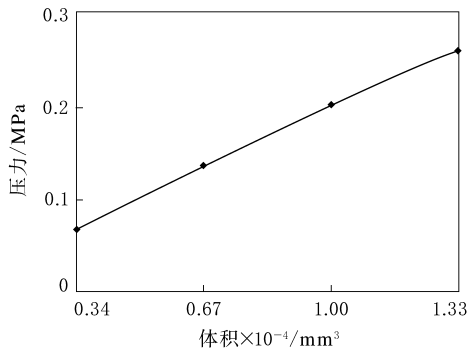


图 7 上液腔压力与体积的关系

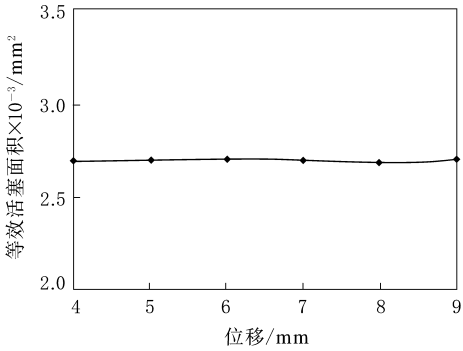
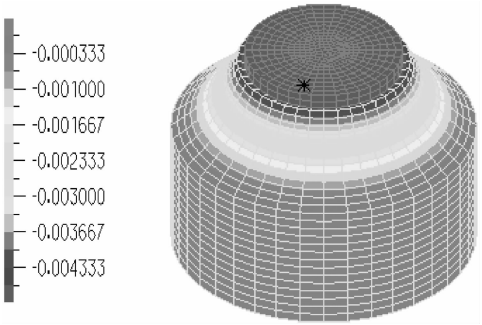
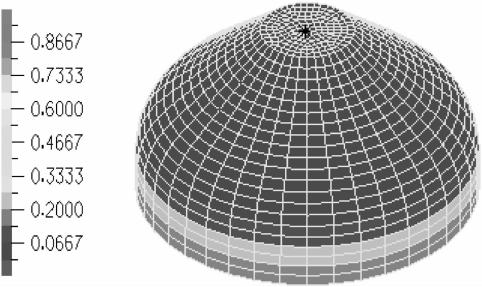


图 8 主簧等效活塞面积与位移的关系



(a) 主簧位移云图



(b) 液体压力云图

图 9 主簧位移云图及液体压力云图

性通道长度一定时, 在不同幅值位移激励下, 悬置储能刚度曲线的频变曲线簇均通过频率为 f 、储能刚度为 $K_r + A_p^2 K_1$ 的点 p [见图 4(a)], 即为悬置储能刚度的不动点。根据基于不动点理论

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S_i}{\rho_2 l} (K_1 + K_2)} \tag{1}$$

$$K_p = K_r' + A_p^2 K_1 \tag{2}$$

式中 f_p ——惯性通道液柱共振频率;
 S_i ——惯性通道截面面积;
 ρ_2 ——液体密度;

l ——惯性通道长度;

K_p —— p 点处悬置储能刚度;

K_2 ——下液腔体积刚度;

K_r' ——主簧储能刚度。

如图 4(a)所示,由试验结果识别出不同幅值曲线簇所经过的不动点 p 的频率为 10.2 Hz, K_1 根据式(1)计算出, $K_1 = 1.838\ 5 \times 10^{10}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-5}$, 与有限元识别方法对比有较好的一致性,说明有限元模型是合理的,所识别的参数可以用于悬置的仿真分析。

4 结论

(1)通过对某型液阻橡胶悬置进行低频动特性试验,得到了悬置以及主簧不同幅值下的动态特性曲线,对比分析了两者在低频段的频变及幅变特性。

(2)建立了悬置集总参数模型,用流固耦合有限元方法辨识了模型中的上液腔体积刚度和主簧

等效活塞面积两个参数。

(3)通过试验发现了悬置的不动点,用基于不动点理论的参数识别方法辨识了上液腔的体积刚度参数,并与有限元方法辨识结果进行对比,两者有较好的一致性,说明了有限元模型的合理性,为悬置的进一步仿真分析及优化设计提供了依据。

参考文献:

- [1] 范让林,吕振华. 液阻悬置非线性动特性及其参数识别方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 145-151.
- [2] 上官文斌. 液阻型橡胶隔震器液固耦合动力学特性仿真技术研究[D]. 北京:清华大学, 2003.
- [3] 于开平,周传月,谭惠丰,等. HyperMesh 从入门到精通[M]. 北京:科学出版社, 2005: 205-218.
- [4] 岳戈,梁宇白,陈晨,等. ADINA 流体与流固耦合功能的高级应用[M]. 北京:人民交通出版社, 2010: 20-110.
- [5] 范让林,吕振华. 三代液阻悬置非线性动特性的试验研究及其参数识别方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(5): 174-181.

收稿日期: 2012-05-28

Experimental Analysis and Parameter Identification on Dynamic Characteristics of Hydraulically Damped Rubber Mount

SHU Chang-dong, YANG Shou-bin

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The low-frequency dynamic characteristics of hydraulically damped rubber mount and rubber main spring were tested. A lumped parameter model of mount was established, and the lumped parameters were identified by using fluid-structure interaction finite element method and the parameter identification method based on fixed point theory, respectively. The results from these two methods were consistent with each other, which validated the finite element model. It could therefore provide the basis for design and development of hydraulically damped rubber mount.

Key words: hydraulically damped rubber mount; dynamic characteristics; parameter identification

废旧轮胎生产橡胶粉设备

中图分类号: TQ330.4⁺2 文献标志码: D

由安徽宏磊橡胶有限公司申请的专利(公开号 CN 202241684U, 公开日期 2012-05-30)“废旧轮胎生产橡胶粉设备”, 涉及的废旧轮胎生产胶粉设备包括研磨机、橡胶颗粒第一输送带、橡胶颗粒第二输送带、地坑、橡胶颗粒除丝装置和粉尘收集装置。研磨机通过橡胶颗粒第一输送带和

橡胶颗粒第二输送带与地坑连接, 橡胶颗粒第二输送带的一端置于地坑内, 包括机架、传动机构、转动磁棒、细钢丝输送带、集丝箱和由传动机构带动的转动滚筒的橡胶颗粒除丝装置位于地坑旁, 其中转动磁棒位于机架一侧的上方, 集丝箱位于转动滚筒旁侧下方。该设备改善了作业环境, 减少了环境污染, 降低了劳动强度。

(本刊编辑部 马 晓)