

DOI: 10.7652/xjtuxb201401008

发动机半主动液压悬置的动态特性及参数影响分析

史文库¹, 毛阳¹, 姜雪¹, 陈志勇¹, 马利红², 潘斌²

(1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室, 130022, 长春; 2. 建新赵氏集团, 315609, 浙江宁波)

摘要: 针对某发动机半主动液压悬置的动态特性及参数影响, 基于 AMESim 多领域仿真平台的理论方法建立了半主动液压悬置模型, 模型中考虑了发动机预载对液压悬置腔体内的液体初始压力和解耦膜位置的影响。仿真与试验结果的对比表明: 采用所建立的模型对半主动液压悬置的一些重要参数进行参数影响分析, 可以获得在 ON 和 OFF 状态时动刚度和阻尼角曲线随各参数的变化规律, 从而为后期的悬置结构优化奠定良好的基础; 适当增大等效泵压面积、减小橡胶主簧体积刚度及增加惯性通道长度有利于对悬置的低频隔振; 适当增大解耦膜直径有利于对悬置的高频隔振。这些结果可为悬置内部各结构、流体和气体运动以及空气通道开闭实现半主动控制等方面的研究提供参考。

关键词: 汽车发动机; 半主动液压悬置; 动态特性; 参数影响分析

中图分类号: U461.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2014)01-0042-06

Study on Dynamic Characteristics and Parameter Influence of Engine's Semi-Active Hydraulic Mount Using AMESim

SHI Wenku¹, MAO Yang¹, JIANG Xue¹, CHEN Zhiyong¹, MA Lihong², PAN Bin²

(1. State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. Jianxin Zhao's Group Corporation, Ningbo, Zhejiang 315609, China)

Abstract: To analyze the dynamic characteristics and parameter influence of a semi-active engine hydraulic mount, a model was established on the multi-field simulation platform AMESim. The model considers the effects of engine preload on the initial pressure of the liquid in hydraulic mount cavity and the decoupling membrane position. The comparison between the simulation results and the experimental data shows that the present model can be used to analyze the effects resulting from the important parameters of the hydraulic mount and to obtain the changes of dynamic stiffness and loss angle with each parameter in the ON or OFF state. Properly increasing equivalent pumping area and inertia track length and decreasing rubber stiffness facilitate vibration isolation of the mount at low-frequency, while increasing decoupling membrane diameter facilitates vibration isolation of the mount at high-frequency. This study may be beneficial to the researches on inner structure of mount, movement of fluid and gas, and semi-active control via opening and closing air channel.

Keywords: automobile engine; semi-active hydraulic mount; dynamic characteristic; parameter influence analysis

发动机是车辆的主要振动、噪声源之一,对其进行有效的振动隔离是提高车辆乘坐舒适性的一个重要手段^[1-2]。发动机悬置作为发动机的隔振元件,已经经历了橡胶悬置、被动式液压悬置和半主动/主动液压悬置的发展历程^[3]。半主动液压悬置不仅需要有效的控制策略,而且要求良好的动态特性^[4-6]。现有的液压悬置动态特性的理论研究方法包括数学模型、集总参数模型、键合图和有限元等^[7-12],各种方法都有各自的优缺点。

本文采用一种新的理论研究方法,即基于 AMESim 多领域仿真平台对半主动液压悬置进行动态特性研究,通过建立半主动液压悬置模型来模拟上下液室、解耦膜、惯性通道、空气通道等结构的工作情况,模型考虑了发动机预载对液压悬置腔体内液体初始压力和解耦膜位置的影响。对半主动液压悬置进行了动态特性试验并与试验结果进行了对比,验证了模型的正确性。此外,利用所建立的模型分析了半主动液压悬置的一些重要参数对悬置特性的影响,以期半主动液压悬置的优化设计奠定基础。

1 半主动液压悬置的结构及工作原理

图 1 所示为某款发动机的半主动液压悬置。悬置的 A、B 孔通过螺栓分别与发动机和车架相连;橡胶主簧 2 和惯性通道体 5、6 围成上液室 V1,惯性通道体和橡胶底膜 7 围成下液室 V2,液体可通过惯性通道在上、下液室之间相互流通;解耦膜 3 与惯性通道下体 6 形成空气腔 V3,其下端有一圆孔状空气通道 4,空气通道的开闭由电磁阀 8 控制。

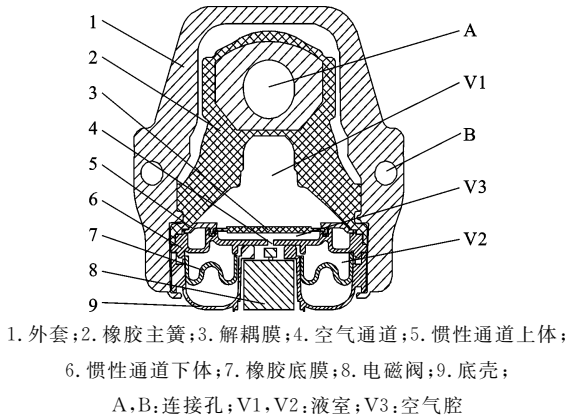


图 1 半主动液压悬置

半主动液压悬置的工作原理如图 2 所示。根据传感器采集到的车辆行驶工况,由控制单元向半主动液压悬置电磁阀发出 ON 或 OFF 的指令。收到

指令后的电磁阀控制其顶杆运动,使空气通道处于打开或关闭的状态,从而控制空气腔是否与大气相通。当空气腔与大气隔绝时,空气腔体积刚度增大导致上液室体积刚度增大,使悬置表现出大刚度、大阻尼特性;当空气腔与大气相通时,空气腔体积刚度减小导致上液室体积刚度减小,使悬置表现出小刚度、小阻尼特性。

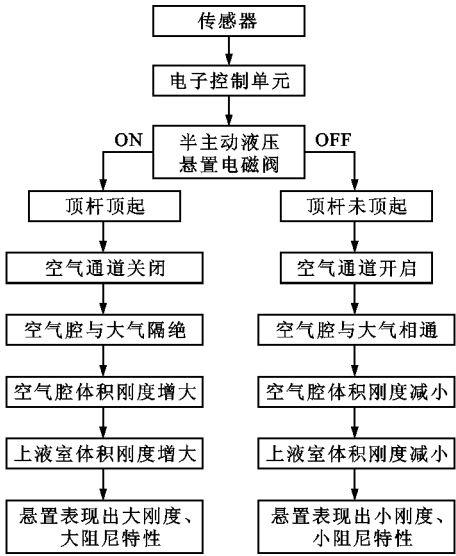


图 2 半主动液压悬置的工作原理

2 半主动液压悬置模型

2.1 仿真模型的建立

根据半主动液压悬置的基本结构和工作原理,建立基于 AMESim 多领域仿真平台的半主动液压悬置模型,如图 3 所示。

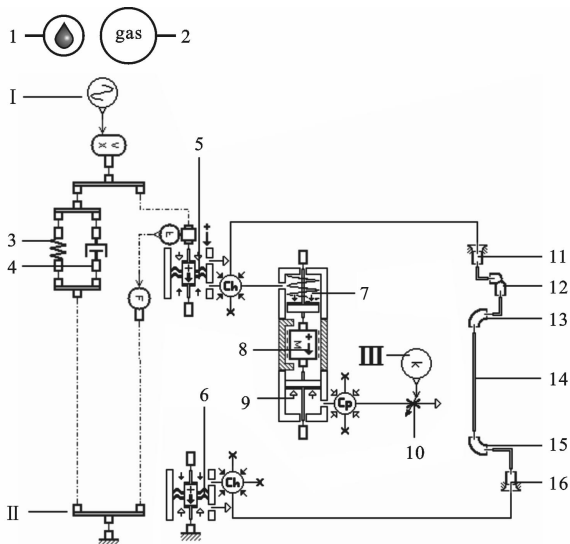


图 3 半主动液压悬置模型

模型中各个元件的名称、模拟的对象及具体参数如表 1 所示。从表中可以看出,该模型充分利用了 AMESim 多领域仿真平台的优势,集合了机械库、液压库、液阻库、气动库及信号控制库中的多个元件,是一个融合了机械、流体和控制等多学科领域

的高精度仿真模型。模型较好地模拟了半主动液压悬置上下液室、解耦膜、惯性通道及空气通道等结构的工作情况,并实现了悬置在 ON 和 OFF 两种状态之间的切换,体现了悬置半主动控制的特性。

表 1 模型中的元件及其模拟对象和具体参数

编号	代码	模拟对象	具体参数	参数值	
1	FP01	乙二醇溶液	密度	103 0 kg/m ³	
			黏度	0.01 Pa·s	
2	PNGD003	空气	理想气体常数	287 J/(kg·K)	
3	SPR000A	橡胶主簧	等效刚度	140 kN/m	
4	DAM000		等效阻尼	100 N/(m/s)	
5	HPAD12	上液室	体积	30 m ³	
			体积刚度	20 GPa/m ³	
			等效泵压面积	3 950 mm ²	
6	HPAD11	下液室	体积	10 m ³	
			体积刚度	10 MPa/m ³	
7	BAP016	解耦膜	等效质量	0.05 kg	
8	MAS005		直径	50 mm	
			刚度	12 N/mm	
9	PNPA001	空气腔	直径	50 mm	
			高度	2.8 mm	
10	PNVO002	空气通道	截面积	6.18 mm ²	
11	HR22F	惯性通道	通道长度	0.11 m	
12	HR22B		通道直径	10.5 mm	
13	HR232		弯道半径	40.5 mm	
14	HL006				
I	SIN0	位移激励	振幅,频率		
II	LCON13	力响应端	振幅,频率		
III	CONS0	控制端	ON/OFF 信号	1/0	

2.2 发动机预载的施加

发动机悬置在实际装车时需要承载发动机的重量,即悬置在初始状态时要承受一定预载的作用,这会使液压悬置腔体内的液体压强及解耦膜的位移发生改变,最终对动刚度和阻尼角特性产生一定的影响。在 AMESim 模拟时,通过元件 17 来模拟发动机静止时作用在悬置上的预载力,如图 4 所示。

对半主动液压悬置模型进行施加预载仿真时,需将 CONS0 元件设置成 OFF 状态,即打开空气通道使空气腔与大气相通,保持与实车状态一致。仿真获得的腔体内液体压强和解耦膜位置随时间的变

化曲线如图 5、图 6 所示。由图中可以看出,对半主动液压悬置模型施加预载后,腔体内的液体压强和解耦膜位置经历一段时间的波动后趋于一定值,且该值大于原始值。实际仿真时先按图 4 的模型对悬置施加预载,并通过软件中的设定终值(set final values)功能来记录施加预载后悬置内的液体压强和解耦膜位置,再将模型改成图 3 形式,即可实现对施加预载后的半主动液压悬置进行动态特性仿真分析。

2.3 仿真分析及试验验证

进行模型仿真时,首先对悬置施加 1 kN 的预

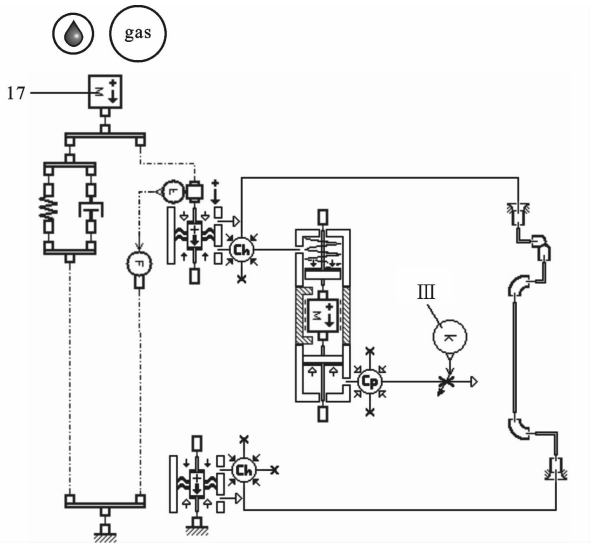


图 4 施加发动机预载

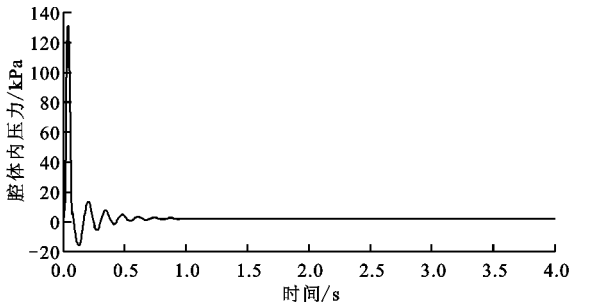


图 5 腔体内液体压强的变化

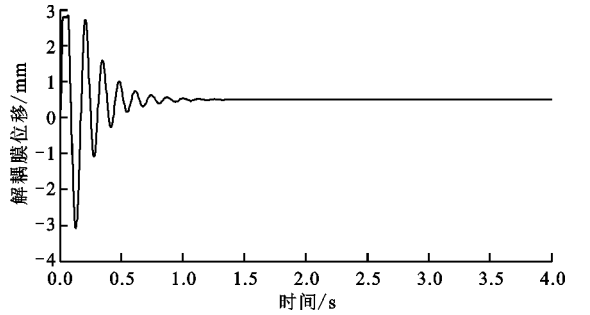


图 6 解耦膜位置的变化

载,进而通过信号输入端 I 加载谐波位移激励,激励频率范围为 1~40 Hz,频率间隔为 1 Hz,幅值为 0.5 mm;通过信号控制端 III 来控制悬置的 ON 和 OFF 状态;通过力响应端 II 提取力信号。由此,可获得半主动液压悬置在 ON 和 OFF 状态时的动刚度和阻尼角曲线。

为验证模型的准确性,对半主动液压悬置进行动态特性试验,试验中悬置的 ON 和 OFF 状态由直流稳压电源手动进行控制。

将仿真获得的动刚度和阻尼角曲线与试验结果

进行对比,如图 7、图 8 所示。从图中可以看出,仿真与试验曲线在峰值频率处和 30 Hz 以后有稍许差异。峰值频率处的差异主要是由于对惯性通道内流体紊流状态模拟不够精确造成的,而 30 Hz 以后的差异则是由解耦膜的非线性引起的。从整体上看,仿真与试验结果吻合得较好,误差在可接受的范围内,因此可以验证本文所建立的半主动液压模型的准确性。基于该模型,可对半主动液压悬置的一些重要参数进行参数影响分析,探索其对动刚度和阻尼角的影响。

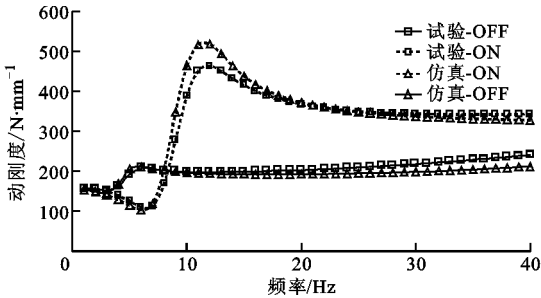


图 7 动刚度的仿真与试验结果

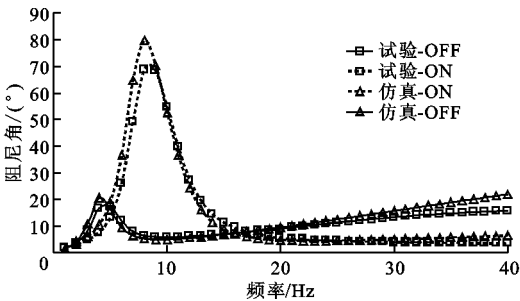


图 8 阻尼角的仿真与试验结果

3 液压悬置参数影响分析

3.1 等效泵压面积

橡胶主簧的等效泵压面积是指橡胶主簧向下运动单位位移所排挤出的液体的体积,是衡量橡胶主簧特性的一个重要参数,其值可以通过试验或有限元方法获得。分别对等效泵压面积所对应的主簧直径为 65、70 和 75 mm 的半主动液压悬置进行仿真,获得在 ON 和 OFF 状态时的动刚度和阻尼角曲线,见图 9、图 10。

从仿真曲线可以看出:半主动液压悬置在 OFF 状态时,随着等效泵压面积增大,动刚度曲线整体向上平移,阻尼角在峰值频率和大于 10 Hz 处有增大趋势;在 ON 状态时,随着等效泵压面积增大,动刚度曲线整体向上平移,阻尼角只在峰值频率处有所增大,这有利于悬置对低频激励进行隔振。

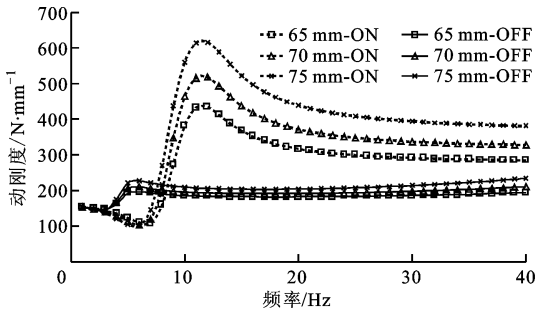


图 9 不同主簧直径时的动刚度仿真曲线

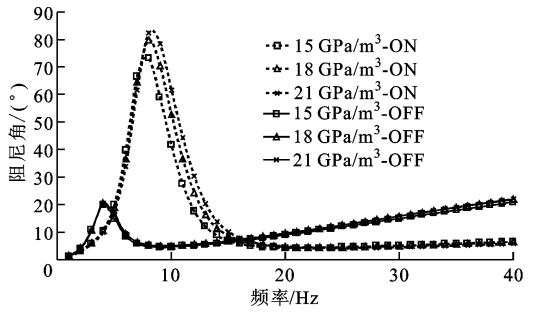


图 12 不同主簧体积刚度时的阻尼角仿真曲线

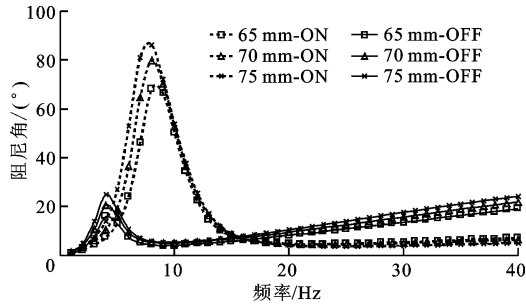


图 10 不同主簧直径时的阻尼角仿真曲线

3.2 橡胶主簧体积刚度

橡胶主簧体积刚度是指悬置工作腔内单位体积变化所引起的压力变化量。橡胶主簧体积刚度与解耦膜刚度共同决定上液室的体积刚度,其大小对液压悬置惯性通道内液柱的共振频率和液路阻尼都有一定的影响。分别取橡胶主簧体积刚度为 15、18 和 21 GPa/m³ 进行仿真,获得的半主动液压悬置在 ON 和 OFF 状态时的动刚度和阻尼角曲线如图 11、图 12 所示。

从仿真曲线可以看出:半主动液压悬置在 OFF 状态时,随着橡胶主簧体积刚度增大,动刚度和阻尼角曲线都变化不大;在 ON 状态时,随着橡胶主簧体积刚度增大,动刚度和阻尼角的峰值和峰值频率都有所增大,不利于低频隔振,因此橡胶主簧体积刚度不宜太大。

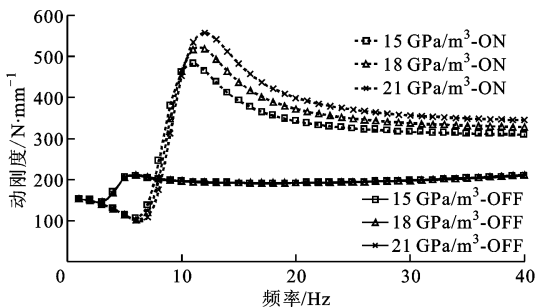


图 11 不同主簧体积刚度时的动刚度仿真曲线

3.3 解耦膜直径

解耦膜是液压悬置中隔离高频振动的关键部件,其刚度的大小直接关系到液压悬置能否较好地避免高频动态硬化问题。分别对解耦膜直径为 40、50 和 60 mm 的半主动液压悬置进行仿真,获得在 ON 和 OFF 状态时的动刚度和阻尼角曲线,如图 13、图 14 所示。

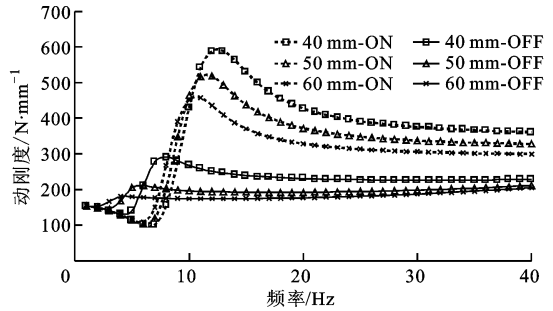


图 13 不同解耦膜直径时的动刚度仿真曲线

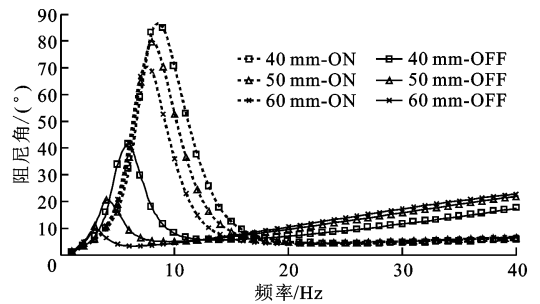


图 14 不同解耦膜直径时的阻尼角仿真曲线

从仿真曲线可以看出,半主动液压悬置在 OFF 和 ON 状态时,随着解耦膜直径增大,动刚度和阻尼角曲线的峰值和峰值频率都有所减小,动刚度在高频处也有减小的趋势,这将有利于高频振动的隔离。

3.4 惯性通道长度

惯性通道长度是指惯性通道从入口到出口的距离,它直接影响惯性通道的沿程能量损失和液柱的共振频率。分别对惯性通道长度为 0.11、0.21 和 0.31 m 的半主动液压悬置进行仿真,获得在 ON 和

OFF 状态时的动刚度和阻尼角曲线,如图 15、图 16 所示。

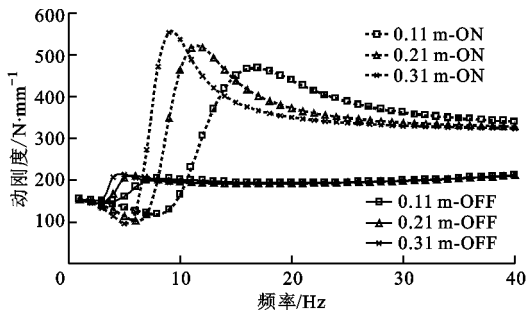


图 15 不同惯性通道长度时的动刚度仿真曲线

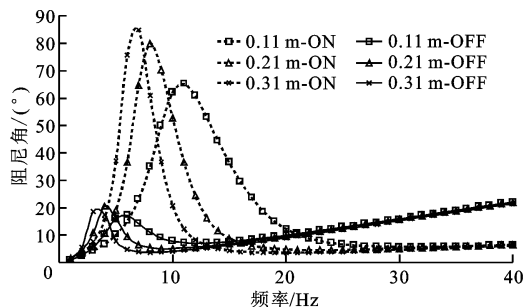


图 16 不同惯性通道长度时的阻尼角仿真曲线

从仿真曲线可以看出,半主动液压悬置在 OFF 和 ON 状态时,随着惯性通道长度增加,动刚度和阻尼角曲线的峰值增大、峰值频率减小,远离峰值频率处几乎无变化,这将有利于对低频振动的隔离。

4 结 论

(1) 基于 AMESim 建立了集机械组件、流体和控制为一体的半主动液压悬置模型,该模型能较好地模拟悬置内部各结构的运动情况,并且考虑了发动机预载对悬置内部产生的影响。

(2) 对半主动液压悬置进行了动态特性试验,通过将模拟获得的动刚度和阻尼角曲线与试验结果进行对比,验证了仿真模型的准确性。

(3) 基于所建立的模型,分析了半主动液压悬置的一些重要参数对其动态特性的影响,结果表明:适当增大等效泵压面积、减小橡胶主簧体积刚度和增大惯性通道长度皆有利于悬置的低频隔振;适当增大解耦膜直径有利于对悬置的高频隔振。

参考文献:

[1] COLGATE J E, CHANG C T, CHIOU Y C. Modeling of a hydraulic engine mount focusing on response to sinusoidal and composite excitations [J]. Journal of

Sound and Vibration, 1995, 184(3): 503-528.

- [2] GEISBERGER A, KHAJEPOUR A, GOLNARAGHI F. Non-linear modeling of hydraulic mounts: theory and experiment [J]. Journal of Sound and Vibration, 2002, 249(2): 371-397.
- [3] 孙林峰, 樊文欣. 发动机悬置技术的发展研究 [J]. 内燃机, 2010, 6(3): 19-22.
- SUN Linfeng, FAN Wenxin. Research of development of the engine mount [J]. Internal Combustion Engines, 2010, 6(3): 19-22.
- [4] 胡海岩, 郭大蕾, 翁建生. 振动半主动控制技术的发展 [J]. 振动、测试与诊断, 2001(12): 235-244.
- HU Hai-yan, GUO Da-lei, WENG Jian-sheng. Recent advances in semi-active control of vibration [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2001 (12): 235-244.
- [5] CHOI S B, HONG S R. Dynamic modeling and vibration control of electrorheological mounts [J]. Journal of Vibration and Acoustics, 2004, 12(6): 537-541.
- [6] KIM G, SINGH R. A study of passive and adaptive hydraulic engine mount systems with emphasis on non-linear characteristics [J]. Journal of Sound and Vibration, 1995, 179(3): 427-453.
- [7] 秦民, 林逸, 马铁利, 等. 汽车液压悬置系统动态特性研究 [J]. 汽车工程, 2003, 23(6): 381-384.
- QIN Min, LIN Yi, MA Tie-li, et al. A study on dynamic characteristic of hydraulic mount system [J]. Automotive Engineering, 2003, 23(6): 381-384.
- [8] 张云侠, 张建武, 上官文斌, 等. 新型发动机被动液阻悬置动态特性分析 [J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(6): 942-946.
- ZHANG Yunxia, ZHANG Jianwu, SHANGGUAN Wenbin, et al. The dynamic responses of a novel passive hydraulic engine mount [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(6): 942-946.
- [9] 张云侠, 张建武, 上官文斌, 等. 直接解耦盘式液阻悬置的动力学研究 [J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(9): 1406-1410.
- ZHANG Yunxia, ZHANG Jianwu, SHANGGUAN Wenbin, et al. The dynamic response of direct-decoupler hydraulic mount [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, 41(9): 1406-1410.
- [10] 吕振华, 梁伟, 上官文斌. 汽车发动机液阻悬置动态特性仿真与实验分析 [J]. 汽车工程, 2002, 24(2): 105-111.
- LÜ Zhen-hua, LIANG Wei, SHANGGUAN Wenbin. Simulation and experimental analyses of dynamic

(下转第 59 页)