

半主动减振器rattle噪音识别与优化

张 磊

同济大学汽车学院 上海 200082

摘 要: 半主动悬架系统能够提供不同的阻尼力, 相比传统的被动减振器, 阻尼的变化会使减振器内部产生更大的冲击, 随着里程数的增加, 减振器rattle会变得更加明显, 这对减振器内部阀系的设计提出了更高的要求, 以满足驾驶舒适性, NVH和安全的要求。由于减振器rattle主要通过结构传播进入车内, 很难用麦克风识别到, 本文通过对比减振塔端的振动与主观评价, 建议振动评价指标。为了优化减振器rattle噪音, 研究了半主动减振器在不同阻尼力下, 对减振器噪音的影响, 得到最佳控制电流。同时还研究了一定耐久里程下, 减振器的rattle的变化情况, 并通过台架实验, 找到问题原因, 并通过优化阀系耐磨性, 提高了减振器耐久后的rattle性能。

关键词: 半主动减振器; Rattle; CDC 阀; 电流控制; 气体氮碳共渗技术

前言

随着汽车逐渐走向电动化和智能化, 智能悬架越来越多地被应用在电动汽车上。由于缺少了发动机噪音的掩蔽效应, 电动汽车在行驶过程中格外安静, 对车内的各零部件的NVH带来了更大的挑战。

汽车悬架作为底盘系统的关键部件, 起着衰减路面激励的重要作用, 其性能的好坏决定着整车的操纵稳定性、平顺性以及NVH (Noise, Vibration, Harshness) 性能。影响悬架性能的因素很多, 橡胶衬套主要是用于约束悬架构件间的相对运动、缓冲各构件之间的振动冲击以及弥补装配制造误差等。

减振器的rattle主要是由于活塞杆的低幅值高频振动通过top mount传递到车身, 车身钣金再通过空气传入乘员的耳内。Rattle的主要频率在100 ~ 800Hz, 听起来表现为“咕噜咕噜声”。

提高可控减振器的NVH性能对于以后智能悬架在电动汽车上的普及具有很大的正面意义。

本研究主要针对减振器的rattle噪音, 通过分析半主动式减震器的激励源的振动特性, 建立橡胶模型, 分析并优化top mount的动态性能, 从而减小车内的rattle噪音。

作者简介: 张磊 (1991-), 男, 贵州铜仁人, 工程师, 同济大学, 硕士学历, 专业: 机械, 研究方向: 车辆工程。

一、半主动减振器的基本构造和工作原理

半主动减振器结构图如图1所示, 主要由控制线、活塞杆、密封圈、工作缸、储油缸、缓冲块、主动CDC阀、被动附阀以及被动底阀构成。

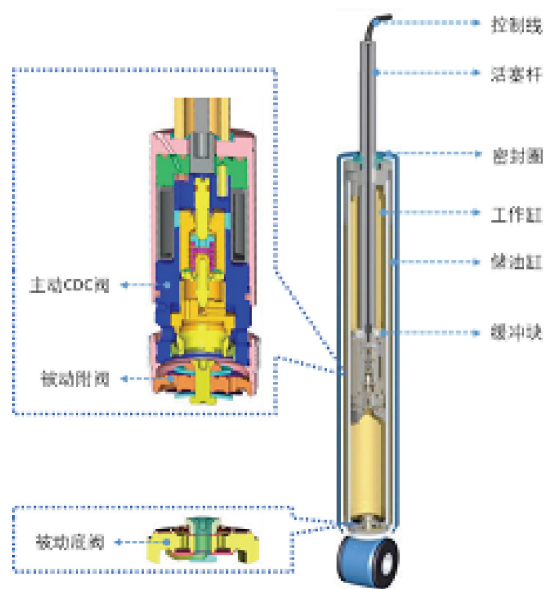


图1 半主动减振器结构图

主动CDC阀、被动附阀和被动底阀相互配合, 共同控制减振器内部油液的流动以及工作腔的压力平衡等, 使得减振器工作缸内不产生气泡, 避免减振器在压缩和复原过程中产生空程冲击现象。储油腔上部充有一定的氮气, 底部油液则通过底阀和工作腔的下腔相连, 在减振器活塞杆上下运动或由于环境温度的改变使得油液体积发生变化时, 能够保证油液的供给。

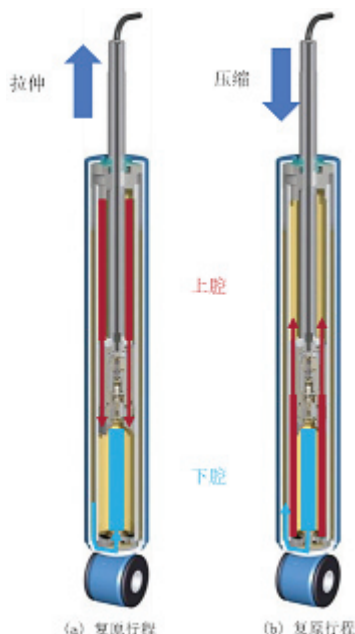


图2 减振器工作原理示意图

减振器的拉伸工作原理如图2(a)所示,减振器在拉伸行程时,活塞向上运动,此时外圈油液从上工作腔经CDC阀以及附阀流入下工作腔,同时由于下工作腔增大,储油腔里的油液也会经底阀流入下工作腔。油液主要经由CDC阀,附阀以及底阀时产生节流压力,将振动转换成热能消散出去,从而达到减振的目的。减振器的压缩工作原理如图2(b)所示,减振器在压缩行程时,活塞向下运动,油液从下工作腔经CDC阀以及附阀流入上工作腔,同时有一部分油液从下工作腔经过底阀流入储油腔。当油液经过阀系时,由于阀片的节流效应产生一定的节流压力,从而将振动转化成热能分散出去,达到减振的目的。

二、整车实验

当汽车在不平道路行驶时,在车内会听到从减振器附近发出的低频敲击声,主观描述为rattle,即“咕噜”声。首先我们需要通过设计整车实验,来分析rattle声的来源,传递路径以及特征频率。在实验中,我们选取某品牌SUV为研究对象,在试车场里的不规则混凝土路上以23km/h速度匀速驾驶,采集声音和振动数据,测试道路如图3所示。



图3 不规则混凝土路

实验中,我们在主驾内耳布置了一个麦克风如图4所示。在前减振器活塞杆,减振塔,以及减震筒下端布置分别布置了一个三向加速度传感器,如图5所示。

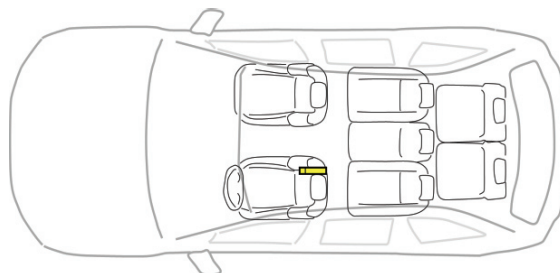


图4 车内麦克风位置

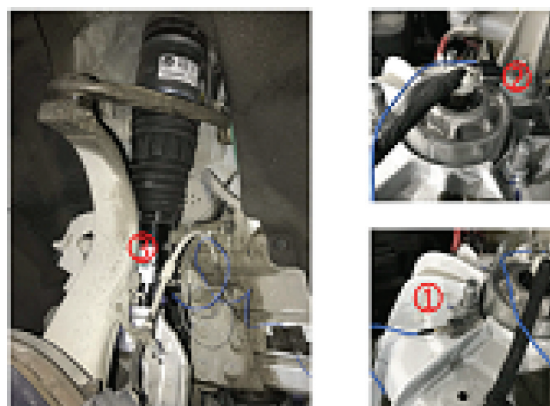


图5 加速度传感器位置

实验结果显示,减振器的rattle在车内是比较低频的“咕噜声”,通过分析车内麦克风采集的声音信号,无法识别到rattle特征。而通过分析在活塞杆,减振塔和减震筒底部采集的加速度信号,均可以识别到明显的rattle特征,频率范围在100-1600Hz之间。

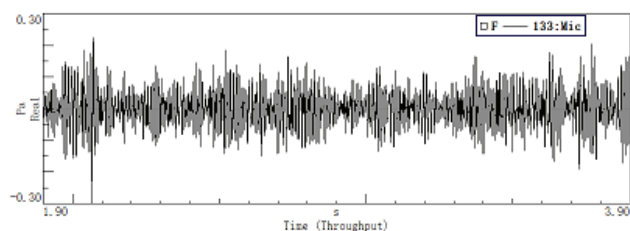


图6 主驾内耳噪声

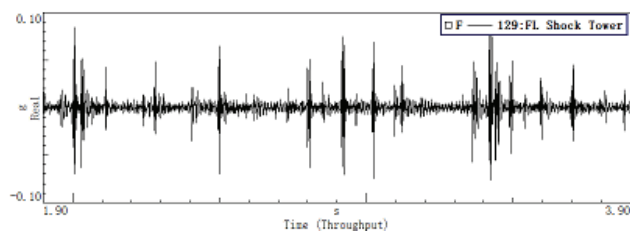


图7 减震塔端振动

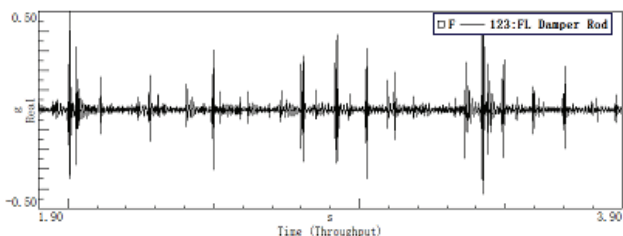


图8 活塞杆端振动

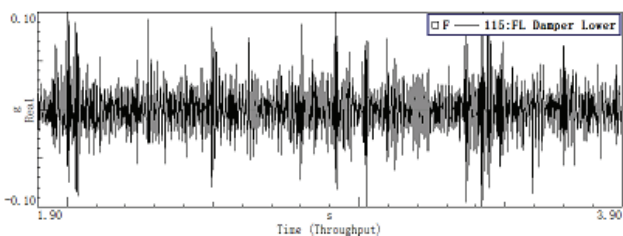


图9 减震筒下端振动

三、减振器电流对rattle噪音的影响

CDC减振器通过调整CDC阀的开度，调节节流压力，从而实现不同的阻尼。而CDC阀的开度调节则是通过控制减振器的通电电流实现的。在减振器工作状态下，减振器的电流会根据路面的颠簸情况，进行实时调整，波动范围在0-1.8A。为了研究电流对噪音的影响，我们以0.5A为单位，测试了减震塔上的振动。不同电流下噪音表现如图10所示，可以发现，从0A到1.8A，随着电流的增大，100-300Hz的振动值会逐渐变小，我们把该频率段的振动称为低频rattle。而300-1600Hz的振动值会逐渐变大，我们把该频率段的振动称为高频rattle。

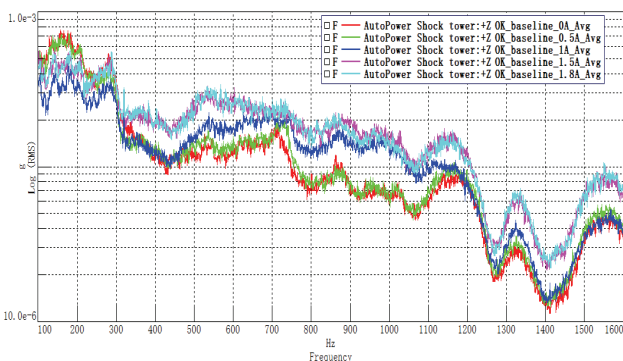


图10 不同电流下噪音表现

通过进一步以0.1A为单位，测试减振器的振动，并且分别以100-300Hz和300-1600Hz的振动均方根为纵坐标，以电流为横坐标，绘制曲线如图11所示。通过实验，我们发现当减振器电流在1.0A时，高频rattle和低频rattle综合表现最好。

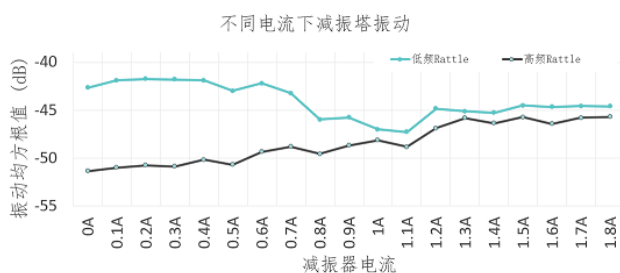


图11 不同电流下高低频rattle振动

四、行驶里程对减振器rattle的影响

为了研究随着里程的增加，减振器rattle的变化情况，我们以耐久车为实验对象，每个25%里程定期跟踪耐久实验车的减振器rattle情况。测试结果如图12所示，可以看到，随着里程数的增加，减振器rattle振动在逐渐增大。主观评价rattle噪音有明显恶化。

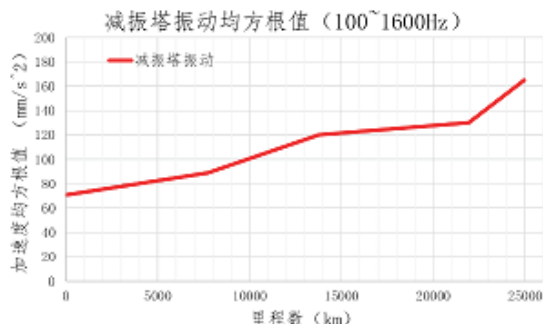


图12 减振器rattle随里程影响

五、减振器台架实验

为了研究减振器rattle产生的机理以及随耐久变化的情况，我们分别以新件和耐久后的样件为研究对象，在台架上进行振动实验。振动台架如图13所示，通过工装将活塞杆上端固定，然后在减振器下端施加路谱载荷。在活塞杆上布置一个三向加速度传感器采集振动信号。在减振器下端和活塞杆上布置拉线传感器，采集活塞杆的位移。

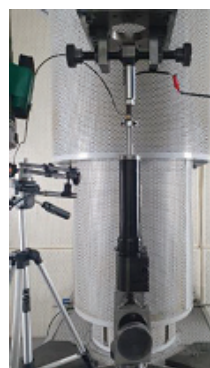


图13 减振器振动台架

实验结果如图14所示。可以看到，新的减振器和耐久后的减振器均存在rattle，rattle现象主要发生在压缩开始的时候。耐久后rattle明显增大，和整车表现一致。

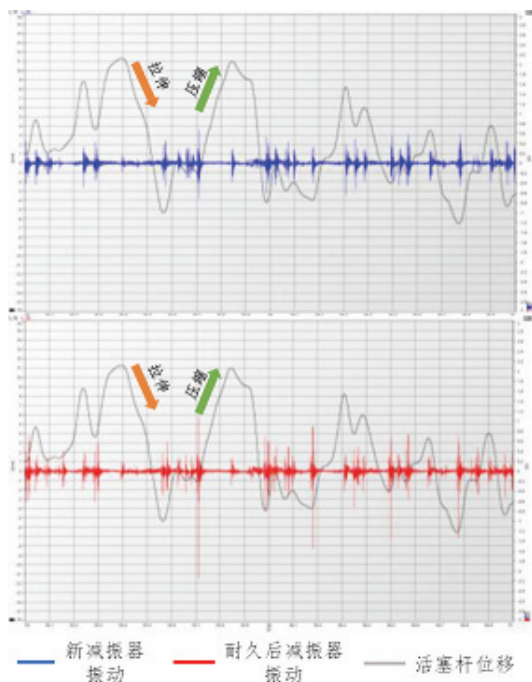


图14 耐久前耐久后振动对比

通过进一步对新减振器和耐久后减振器拆解分析，最终将问题锁定在主动CDC阀。主动CDC阀工作原理如图15所示。在拉伸行程时，油液从上工作腔经CDC阀流下工作腔，阀环受到油压的作用，向上运动。在压缩行程时，油液从下工作腔经CDC阀流入上工作腔，阀环受到油压的作用，向下运动。阀环的上下运动产生了rattle。

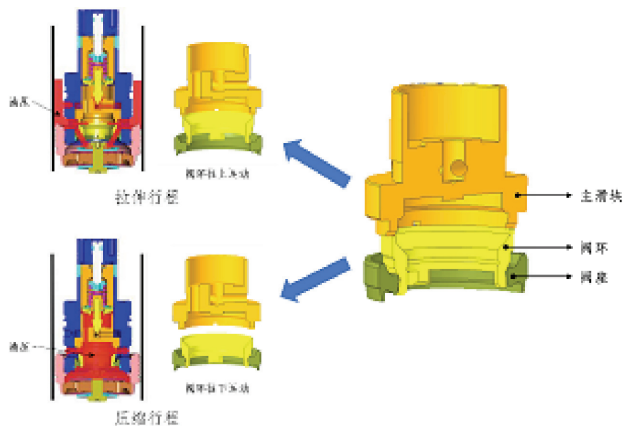


图15 CDC阀工作原理图

通过对阀环进行3D扫描，如图16所示，可以看到，经过一段里程行驶过后，阀环的上部比耐久前变得更平，阀环的下部发生了变形，更换新的阀环，rattle噪音明显

变小。从而我们得到结论，耐久后减振器阀环的磨损使rattle噪音变大。

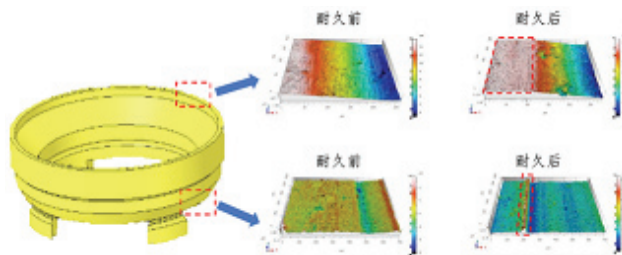


图16 阀环3D扫描图

六、减振器rattle优化方案

气体氮碳共渗技术是一种具有与传统盐浴氮碳共渗相同的质量和性能，但不存在质量和环境问题的氮碳共渗方法。一般情况下，气体氮碳共渗温度设定在570摄氏度左右。在此过程中，加入以氨气为主要成分的混合气体，使碳化物和氮化物在制造材料的表面形成复合层，从而在下面形成扩散层。氮化层的形成显著改善了钢部件的机械性能，包括耐磨性、耐腐蚀性和疲劳耐久性。

阀环是钢材通过机加工生产的。为了改善减振器耐久后的rattle噪音，需要降低阀环在耐久过程中的磨损。如图17所示，通过对阀环进行气体氮碳共渗处理，显著增加了阀环的耐磨性。

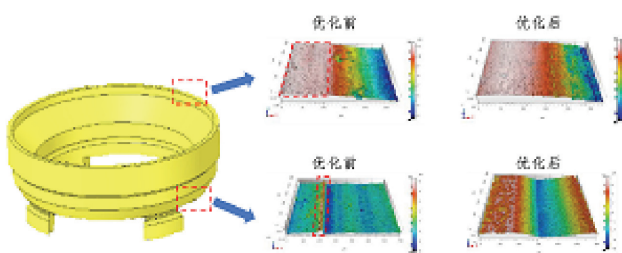


图17 阀环优化前后对比

结论

(1) 由于车内很难用麦克风采集到减振器rattle噪音。本文通过采集减振塔，活塞杆以及减振器筒下端的振动，发现减振塔的振动能够和主观评价很好的对应起来。并且识别到减振器rattle的主要频率范围为100-1600Hz。

(2) 减振器电流对rattle高低频振动产生不同影响，从0-1.8A，100-300Hz的低频振动会逐渐变小，300-1600Hz的高频振动会逐渐增大。车内噪音表现为，减振器电流小于1.0A时，rattle表现为低频的“咚咚”声。当电流大于1.0A时，rattle表现为“咕噜”声。减振器在1.0A时，整体rattle噪音表现最好，可以有效改善耐久前

的 rattle 问题。

(3) 随着里程数的增加, 减振器 rattle 会变大。结合 CDC 阀的工作原理, 通过台架分析, 发现 CDC 阀内的阀环在一定耐久里程后, 在上下运动的撞击点都产生了不同程度的磨损, 使得 rattle 噪音变大。对阀环进行气体氮碳共渗硬化处理, 可以显著提高阀环的耐磨性和耐腐蚀性。通过 3D 扫描撞击点表面, 优化后的阀环相比优化前改善明显, 从而解决了减振器耐久后的 rattle 的问题。

参考文献

- [1] 翁建生. 基于磁流变阻尼器的车辆悬架系统半主动控制 [D]. 南京航空航天大学, 2002.
- [2] 杨柳青, 陈无畏, 高振刚, 陈一锴. 基于电磁阀

减振器的 1/4 车辆半主动悬架非线性控制 [J]. 农业机械学报, 2014, 45 (04): 1-7+36.

[3] 赵宇. 阀控半主动减振器研究及整车应用 [D]. 吉林大学, 2013.

[4] 王恩慧. 汽车减震器的现状及其发展趋势 [J]. 科技资讯, 2021, 19 (12): 78-80.

[5] Park, Y., Kim, H., Joo, K., and Jeon, N., "Characteristic Evaluation and Improvement of Suspension Rattle Noise," SAE Technical Paper 2010-01-1141, 2010

[6] Seiyed Hamid Mousavi. Modeling and controlling a semi-active nonlinear single-stage vibration isolator using intelligent inverse model of an MR damper [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2020, 34(9).