

减振器异常噪声的试验研究与分析*

张立军 余卓平 靳晓雄 周 宏

(同济大学汽车工程系 ,上海 200092)

摘 要 本文从系统的观点出发 ,对减振器的异常噪声问题进行了实验研究。研究中将减振器作为悬架的组件之一 ,考虑路面激励特性、轮胎动特性和减振器动特性对减振器异响的影响。为此 ,设计了实车道路和室内台架实验方法 ,进行了轮胎和减振器结构的模态测试 ,并利用先进的数据分析处理手段 ,对减振器噪声的影响因素进行了深入的分析 ,得到了一些新的重要的结论。本文的研究对进一步从系统的观点了解减振器异响发生的机理 ,进而寻求异响控制手段具有一定的工程意义。

关键词 汽车 ,悬架 ,减振器 ,异响 ,模态分析 ,试验

中图分类号 U2700.1 ,TB53

0 引 言

随着生活水平的提高 ,人们对汽车舒适性的要求日益提高。对汽车进行振动和噪声控制的研究也日益重要。近年来 ,由于汽车上的主要噪声源和振动源 ,例如动力总成等得到了较好的控制 ,以前被忽视的其他运动零部件的噪声问题逐渐引起人们的重视。其中 ,轿车悬架液压减振器引发的车内异常噪声问题尤其突出。

对于减振器引起的车内异常噪声 ,国内外都进行了一定的研究。国外进行减振器噪声研究的主要是日本学者 ,文献 [1] 的研究认为 ,减振器的异常噪声常常发生在当车辆在不平路面上低速行驶时 ,属于固体传递声 ,发生具有随机性 ,在环境温度较低时发生的几率较大。而且 ,减振器噪声主要是由于内部阻尼力的紊乱导致活塞杆上阀门弹簧系统发生的振动 ,通过活塞杆传递到身后激发车身振动引起的。文献 [2] 在 [1] 的基础上 ,对低温下减振器阻尼力的紊乱机理进行了研究 ,并利用 CFD(计算流体动力学) 对阀片的运动规律进行了仿真分析。研究结论是 :阻尼力波动主要由于粘性工作液体的吸附作用使得阀片开启延迟所致 ,减小吸附作用可以有效减弱阻尼力的紊乱 ,进而降低减振器噪声。国内也进行了一些有关减振器噪声的研究。在文献 [3] 中的研究认为减振器噪声主要发生在 25km/h 左右速度行驶时 ;而且 ,减振器异常噪声的主要频带在 150—450Hz 范围内 ,与活塞杆的振动存在很大的关系。这与 [1] 的研究结论接近。另外 ,研制了减振器异常噪声实验室内再现台架 ,它可以利用白噪声激励激发出减振器单体的噪声。而文献 [4] 和 [5] 则较为深入地研究了减振器异常噪声发

生的机理 ,揭示并论证了泡沫特性是筒式减振器高频畸变的重要原因之一 ;对减振器异响的成因进行了系统的分类和分析 ,指出抑制和消除各类减振器异响的技术途径。但是综合来看 ,目前对减振器异响的研究仍然没有定论 ,主要表现在对发生机理仍然比较模糊和存在争议以及应用的研究方法和手段尚不成熟两个方面。

本文从系统的观点出发 ,以减振器的异常噪声问题进行了实验研究。研究中将减振器作为悬架的组件之一 ,考虑路面激励特性、轮胎动特性和减振器动特性对减振器异响的影响。为此 ,设计了实车道路和室内台架实验方法 ,进行了轮胎和减振器结构的模态测试 ,并利用先进的数据分析处理手段 ,对减振器噪声的影响因素进行了深入的分析 ,得到了一些新的重要的结论。本文的研究对进一步从系统的观点了解减振器异响发生的机理 ,进而寻求异响控制手段具有一定的工程意义。

1 试验研究技术路线

根据前面的研究目的 ,以某国产轿车为研究对象 ,研究在两种轮胎(195/60R14 和 185/70R13)和两种减振器(减振器 1 和减振器 2)交叉组合装车时的车内后部减振器异常噪声特性及其影响因素。研究主要以试验手段为主 ,研究技术路线如下 :

(1)减振器异常噪声实车道路实验 测量近减振器部位的车内后部噪声 ,分析噪声频率特性 ,结合专家的主观评价 ,确定减振器异常噪声的特性以及影响因素 ;

(2)减振器异常噪声的室内台架试验 测量车内

* 收稿日期 :2001 年 08 月 10 日
第一作者 :张立军 ,男 ,博士研究生 ,讲师 ,1972 年 3 月生

近减振器部位的车内后部噪声,分析噪声频率特性,并进行专家主观评价,研究室内减振器噪声的实验方法;

(3) 相关部件动特性测试 分别进行两种轮胎和两种减振器的模态特性测定,为噪声产生机理分析提供必要依据。

2 减振器异常噪声道路实验及分析

进行两种轮胎与两种减振器四种组合的实车道路

路实验,测量车内近减振器部位的车内后部噪声。试验系统组成如图 1 所示。利用声级计记录车内后部近减振器部位车内噪声信号来衡量减振器异常噪声。利用三个加速度传感器分别记录减振器外筒径向振动加速度、减振器活塞杆轴向振动加速度和行李箱上板的振动加速度信号。同时由汽车专家在后座椅处对噪声进行主观评价。在四种轮胎和减振器组合下,在水泥路面和沥青路面相间的水平路面上进行车速约为 25km/h 的直线行驶工况的噪声测量,变速器档位为 2 档。往返各 2 次。

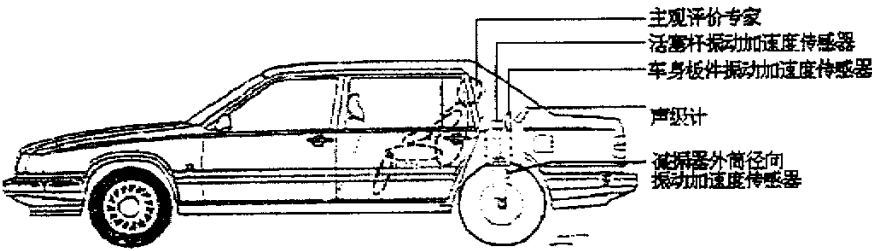


图 1 路试测试系统简图

根据得到的车内噪声频谱特性,统计各种减振器和轮胎组合下 178 – 280Hz 的车内噪声能量,车身板件振动能量、减振器径向振动和活塞杆轴向振动能量(皆为 4 次试验的均值)绘成图形如图 3 所示。

通过比较发现,除了减振器外筒径向振动外,对于车内噪声、车身板件振动和活塞杆轴向振动三个指标中,185/70R13 与减振器 2 的组合最差,而 195/60R14 与减振器 2 的组合最佳。而且,对于这三个指标,各种组合的排序几乎一致。

下面进一步讨论噪声和振动与路面之间的关系。在路试中已经得到“沥青路面上的噪声大于水泥路面”的主观感觉,以下将对此利用客观数据进行验证。首先建立表征主观评价结果的特征向量。由于路试试验次序为水泥路、沥青路、沥青路、水泥路、水泥路、沥青路、沥青路和水泥路,因此建立向量 $Road = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$ 其中 1 表示噪声或振动大,0 表示噪声或振动小。利用每次试验中实测得到 170 – 280Hz 频段的噪声、板件振动、减振器径向振动和活塞杆轴向振动统计能量,计算与主观评价向量 $Road$ 的关联程度,得到表 1。根据表 1 可知,对于各种减振器和轮胎组合,车内噪声、车身板件振动、减振器活塞杆轴向振动都存在“沥青路面上大于水泥路面”的规律,这隐约预示减振器的噪声与减振器活塞杆的轴向振动和车身板件的振动存在很大的关系。但减振器外筒径向振动则不然,这与前面阐述的减振器径向振动水泥路面小于沥青路面并不矛盾,因为前面对比的为多次试验的平均值。

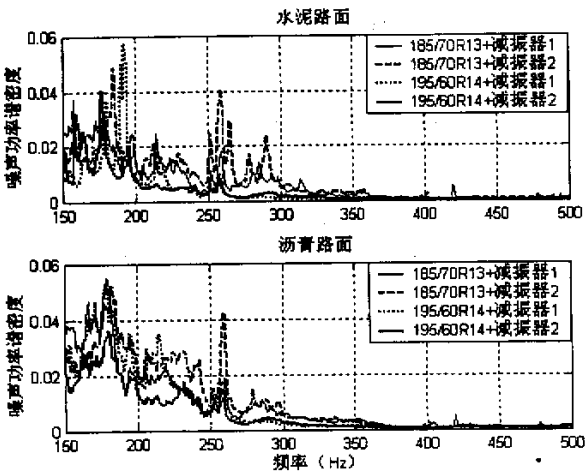


图 2 车内噪声频谱图

实车道路测试时主观评价专家对车内噪声的主观评价结论为 (1) 车内后部噪声在沥青路面上比在水泥路面上响 (2) 车内后部异常噪声主要为“咯咯”声。

将实测得到的车内噪声信号回放,并通过 1/3 倍频程滤波后由扬声器播出。由路试的主观评价专家倾听,对比路试时的减振器异响的感觉,确定减振器异常噪声的主要频段在以 200Hz 和 250Hz 为中心频率的频段内,即 178 – 280Hz 的频段内。对车内噪声进行频谱分析发现,车内噪声在 178 – 280Hz 频段上分为三部分:178Hz – 200Hz、200Hz – 250Hz、和 250Hz – 280Hz。其中在 256Hz 左右的存在峰值突起上,如图 2 所示。

接下来研究减振器噪声与振动关系。为此进行噪声信号与振动信号之间的相干函数分析。分析结果表明 170-280Hz 的频段内,车内噪声主要与车身板件的振动和减振器的轴向振动有关,而与减振器径向振

动关系很小。这说明车内后部近减振器部位噪声主要来源于车身板件振动引起,但是振源是减振器的轴向振动。该结论不仅与前面的分析一致,而且与文献 [1] 的研究结论也非常一致。

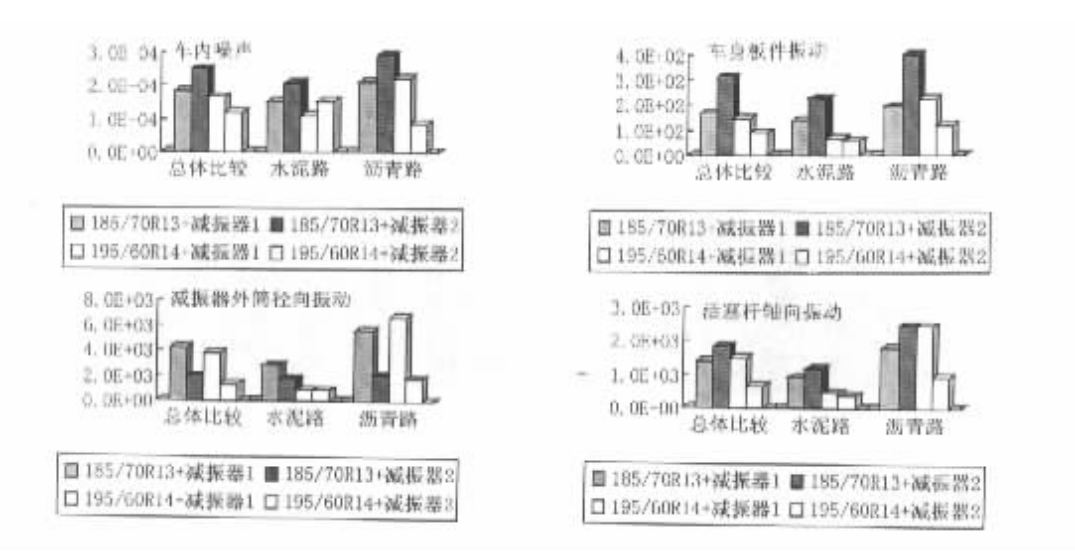


图 3 各种减振器和轮胎组合 170Hz-280Hz 频段声振能量对比

表 1 噪声和振动(170-280Hz)与路面的相关特性

轮胎与减振器组合	车内噪声	板件振动	减振器径向振动	活塞杆轴向振动
185/70R13+减振器 1	0.8013	0.8865	0.5985	0.7809
185/70R13+减振器 2	0.9535	0.9384	0.4773	0.9342
195/60R14+减振器 1	0.9138	0.9750	0.7390	0.9069
195/60R14+减振器 2	0.8224	0.9402	0.5146	0.9287

综上所述,实车道路试验主要得到以下结论:

- 车内异常噪声为“咯咯”声,频段在 178-280Hz

频段;

• 车内噪声、车身板件振动和活塞杆轴向振动三个指标中,185/70R13 与减振器 2 的组合最差,而 195/60R14 与减振器 2 的组合最佳。这说明在进行汽车零部件互换组合时需要慎重考虑;

• 对于各种减振器和轮胎组合,车内噪声、车身板件振动、减振器活塞杆轴向振动都存在“沥青路面上大于水泥路面上”的规律,说明减振器噪声与路面有很大的关系;

• 在 170-280Hz 的频段内,车内噪声主要与车身板件的振动和减振器的轴向振动有关。

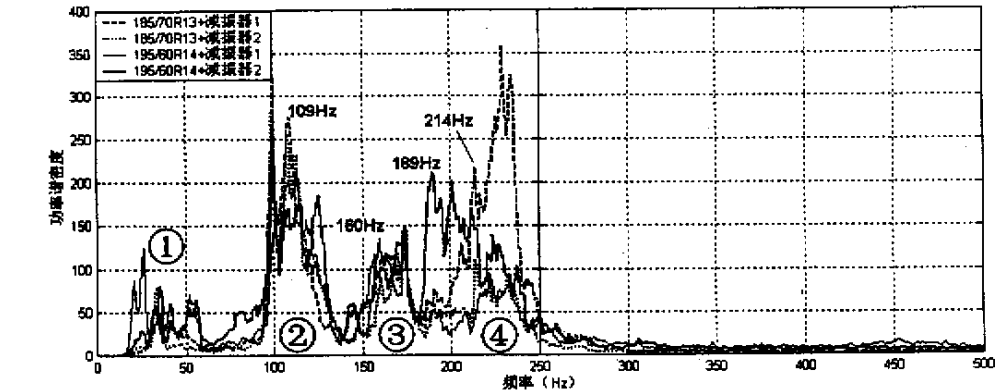


图 4 台架试验车内噪声频谱图

3 室内台架试验与分析

采用与道路试验完全相同的试验设置,在双通道

液压伺服振动台上对被试车辆的后轴进行激振,激振信号为 0-50Hz 的白噪声。

图 4 所示为四种轮胎和减振器组合的台架试验测

得的车内后部近减振器部位噪声的频谱特性的对比。从图中可以看出,各种组合的噪声能量分布特性相似,主要分布在如图 4 所示的四个频段内:16 – 58Hz、90 – 140Hz、140 – 183Hz 和 183 – 250Hz。但是详细考察不同轮胎与减振器组合下的噪声频谱特性在个别频段仍然存在很大的差别,如图 5 所示的噪声谱阵特性。

在进行台架实验时,主观评价专家普遍认为没有减振器异常噪声存在。但是测量得到的噪声频谱特性在道路实验中确定的噪声发生频带 170 – 280Hz 内具有较大的噪声能量,似乎存在矛盾。为了弄清楚上述疑问,按照图 6 所示的系统框图,对台架实验数据按照不同频率范围,组织专家进行了主观评价。

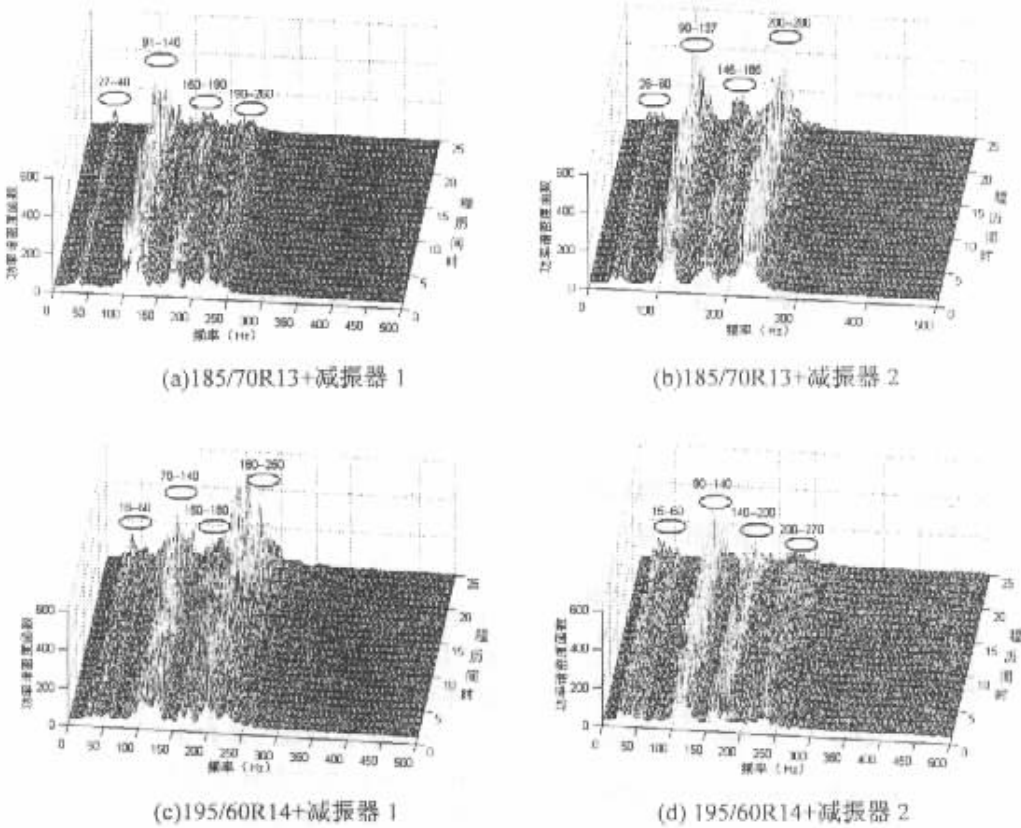


图 5 四种组合的车内噪声谱阵

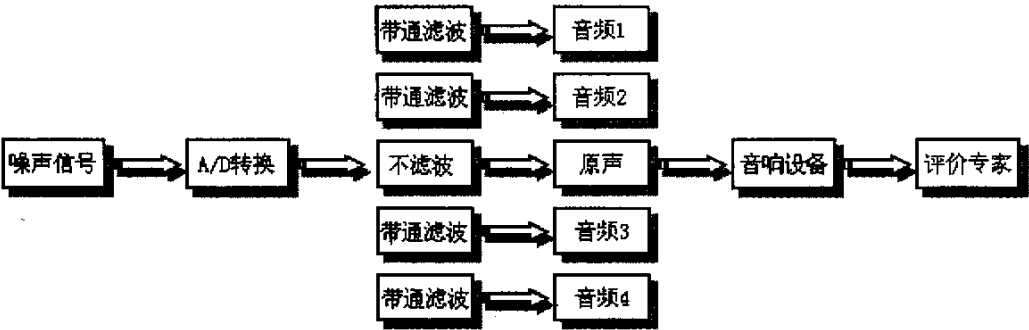


图 6 噪声回放主观评价系统框图

具体而言:将车内噪声台架试验的实际测量得到的噪声信号按照采样频率 21kHz 转换数字信号,对该数字信号分别按照其四个频带范围设计带通滤波器,将滤波得到的数字信号利用 MATLAB 软件中的音频处理函数转换为音频信号,通过回放音响进行回放,由多

位专家对上述各个组合的四个不同频段的噪声听觉与减振器异响进行对比。表 2 为主观评价的结果。

4 减振器和轮胎结构模态的测定

由于减振器结构的复杂性,测量其模态具有一定

的困难,本研究仅仅测量了其外壳的径向模态特性。测试时将被试振器(活塞杆处于半行程状态)支承在柔软的充气轮胎上,建立自由边界条件。采用单点激振,多点拾振的方法。利用力锤敲击减振器,用阻抗头测定激励力,利用加速度传感器测定减振器外筒上预定拾振点的径向振动加速度信号。拾振点共 35 个,在外筒沿轴向分 7 组等间隔布置,每组 5 个测点。测量系统和测试现场如图 7 所示。采用变时基触发采样,采样频率为 8000Hz(力通道)和 4000Hz(加速度)通道。计算频率响应函数(20 段平均),采用曲线拟合的模态识别方法确定减振器的模态参数。测量得到的两种减振器的模态频率对比见表 3。比较可知,两种减振器的模态频率相差很大,旧结构减振器的模态频率较高。而且,两种减振器的径向模态频率都在减振器异响的频带之外,说明径向模态振动与减振器的噪声关系不大,这与前面的结论也是一致的。

表 2 主观评价表格

组合	项目	原声	音频 1	音频 2	音频 3	音频 4
185/70R13 + 减振器 1	频带	—	27 - 40	91 - 140	150 - 190	190 - 260
	专家 1	A	A	C	D	D
	专家 2	B	A	C	D	C
	专家 3	A	A	B	C	C
185/70R13 + 减振器 2	频带	—	26 - 60	90 - 137	145 - 186	200 - 280
	专家 1	A	A	C	C	C
	专家 2	B	A	C	D	C
	专家 3	A	A	B	B	C
195/60R14 + 减振器 1	频带	—	18 - 60	70 - 140	150 - 180	180 - 250
	专家 1	B	A	C	C	D
	专家 2	A	A	C	D	C
	专家 3	A	B	C	C	B
195/60R14 + 减振器 2	频带	—	15 - 60	90 - 140	140 - 200	200 - 270
	专家 1	A	A	B	C	C
	专家 2	A	A	C	D	C
	专家 3	A	A	A	B	C

注(1)评分方法:A——无减振器异响、B——异响不明显、C——异响明显、D——异响很明显

从主观评价结果可以得到以下结论:

- (1)减振器异响在车内几乎听不到,是由于低频段的车内轰鸣噪声掩盖了减振器的异响;
- (2)减振器异响实际上一直存在,其主要频率范围在 140 - 250Hz 之间,与道路实验确定的频带基本一致;但在 140Hz 以下的频带似乎同样存在一定的异响;
- (3)对于各种减振器和轮胎组合,减振器异响都存在;
- (4)不同的轮胎和减振器组合的异常噪声在频带上存在一定的差别,这说明减振器的异常噪声不仅与减振器本身的特性有关,而且与轮胎特性有关。

轮胎自由状态下的固有振动特性(固有频率和固有振型)表征了轮胎的固有特性,它只决定于轮胎的固有物理属性(刚度和质量)。测量时,轮胎气压确定在 2.0bar。将被试轮胎用柔软的橡皮筋悬挂起来,建立自由自由边界条件。单点激振,多点拾振。利用力锤敲击轮胎的胎面,同时利用阻抗头测定激励力,利用加速度传感器测定胎面上预定拾振点的振动加速度信号。拾振点 120 个(轮胎 195/69R14)和 96 个(轮胎 185/70R13),在胎面上周向 24 组等间隔布置,每组 5 个(4 个)测点,测取轮胎面径向振动加速度。采用变时基触发采样,采样频率为 8000Hz(力通道)和 1000Hz(加速度)通道。计算频率响应函数(20 段平均),采用曲线拟合的模态识别方法确定轮胎的模态参数。图 8 所示为轮胎模态测试现场图。

表 3 两种减振器模态频率(单位:Hz)

阶次	1	2	3	4	5	6	7	8
减振器 1	357.13	445.03	840.93	916.39	993.80	1174.2	1402.8	1859.0
减振器 2	600.85	674.29	961.06	1018.5	1081.2	1488.2	1890.5	—



图 7 减振器模态测试系统



图 8 轮胎模态测试系统

表 4 两种轮胎模态频率和模态振型的对比

阶次	1	2	3	4	5	6	7	8
模态频率(Hz)的对比								
195/60R14	111.41	135.63	161.71	188.55	217.08	248.02	285.54	316.80
185/70R13	109.57	130.86	158.40	185.55	214.47	245.59	274.41	—
模态振型的对比								
195/60R14	椭圆	三瓣	四瓣	五瓣	六瓣	七瓣	八瓣	九瓣
185/70R13	椭圆	三瓣	四瓣	五瓣	六瓣	七瓣	八瓣	—

测试得到轮胎 195/60R14 的 8 阶模态和轮胎 185/70R13 的 7 阶模态。两种轮胎模态频率和模态振型的对比如表 4 所示。比较可知,两种轮胎的模态频率相差很小,轮胎 195/60R14 的模态频率稍高。相同阶次的模态振型相同。可见,两种轮胎的振动模态十分接近。

测量得到的轮胎模态前七阶频率都落在减振器异

响发生的频带内。而且,在台架实验测量得到的车内噪声频谱特性中,存在 109Hz、160Hz、189Hz 和 214Hz 附近的峰值,与轮胎模态测试得到的第 1、3、4 和 5 阶的模态频率非常接近。因此,可以认为,在减振器的异响特性中,轮胎必定存在很大的影响。研究减振器异响,不能忽略轮胎的动特性。

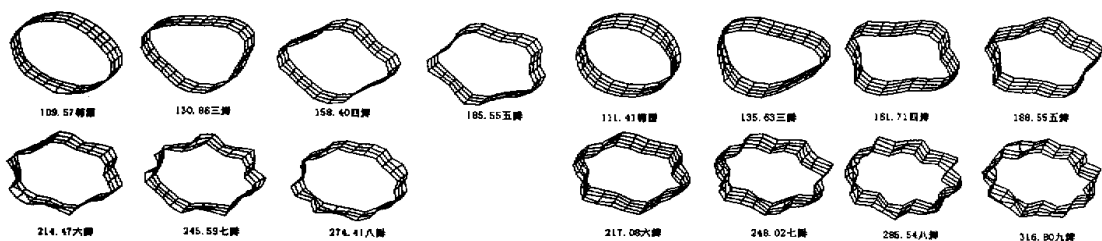


图 9 轮胎 185/70R13 模态振型

5 结 束 语

本文通过大量的实验研究,对减振器的异常噪声问题主要得到以下结论:

- 道路行驶时的减振器异常噪声为“咯咯”声,频段在 178 – 280Hz 频段,主要与车身板件的振动和减振器的轴向振动有关,与减振器径向结构特性无关,属于结构传递声;

- 道路实验和台架实验都说明,不同的轮胎和减振器组合使用时的减振器异响特性存在很大差别,说明减振器异常噪声问题是系统问题;

- 道路实验中,对于任何减振器和轮胎组合,车内噪声、车身板件振动、减振器活塞杆轴向振动都存在“沥青路面上大于水泥路面上”的规律,说明减振器异常噪声与路面有很大的关系;

- 减振器异响通常会被低频段的车内轰鸣噪声所掩盖,而表现出发生的“随机性”,而实际减振器异响一直存在;

图 10 轮胎 195/60R14 模态振型

• 减振器异响与轮胎动态特性存在很大关系。

本文的研究都是在实验的基础上进行的,所得到的结论将有助于加深对减振器异常噪声的理解,有助于减振器噪声的控制。文章得到的“减振器问题是系统问题”的结论,以及从系统观点出发所作的工作,为进一步通过理论分析和实验分析手段,深入探讨悬架系统,当然包括减振器固体噪声的产生问题奠定了良好的基础。

参 考 文 献

- 1 山浦保和,守屋胜之.車輛用緩衝器の异响解析.自動車技術,1989 A(4):119 – 125
- 2 森永洋史,久保田 正人,久米 英明,シヨツワアブソ バ异音・コトコト音发生メカニズム解析 TOYOTA Technical Review,1997 A(1):96 – 101
- 3 谭 珂.汽车减振器噪声控制研究[学位论文].上海:同济大学,1996
- 4 杨基忠,俞大卫.车辆筒式减振器高频畸变特性研究,兵工学报之坦克装甲车与发动机分册,1999 年第 3 期,12 – 18
- 5 俞大卫,罗金良.汽车筒式减振器异响成因分析,兵工学报之坦克装甲车与发动机分册,2000 年第 1 期,19 – 26

中澳建筑声学设计技术交流会在沪举行

由上海市建委科学技术委员会和上海市海外交流协会主办的中国 – 澳大利亚建筑声学设计技术交流会于 2001 年 11 月 15 日在沪举行。参加交流会的中外技术人员共 50 余人。澳大利亚马歇尔·戴声学公司(Marshall Day Acoustics Pty Ltd(MDA))波德·菲恩赛德等六位声学专家在会上介绍了澳大利亚建筑声学和噪声控制的概况,特别是在室内声场模拟、交通噪声模拟与预测、大楼通风系统噪声治理、房屋振动控制、隔声屏障、室内音响等方面的新进展。

MDA 是澳大利亚著名的声学公司,专门从事建筑项目、工业项目以及环境噪声与振动项目的评估、咨询、设计、治理等工作,已在新加坡、新西兰、马来西亚等国家设立了办事处,承担过美国、香港等亚太地区 2500 多个项目,具有高超的技术和雄厚的实力,并拟在中国设立办事处。

[中国船舶工业第九设计研究院 吕玉恒报导]