

文章编号:1006-1355(2017)03-0101-06

基于台架试验的汽车座椅异响评价方法探究

申超¹, 彭宇明¹, 杨明亮¹, 宋睿², 刘希鑫²

(1. 西南交通大学 机械工程学院, 成都 600031;

2. 中国汽车技术研究中心 汽车工程研究院, 天津 300300)

摘要:为了判断特定的零部件是否存在异响,目前主要通过台架试验进行主观评价。针对主观评价过度依靠有经验的人员且一致性较差的问题,首先详细地介绍座椅异响试验时载荷谱的采集和处理方法,然后对座椅异响评价方法进行探究,通过对主观评价结果和声学参数数据进行相关分析,总结出可反映主观评价结果的客观声学参数。该方法贴近工程实践且能将异响问题识别出来。

关键词:声学;NVH;评价方法;载荷谱;座椅异响;心理声学

中图分类号:TK417⁺.125;U467

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2017.03.020

Research on the S&R Evaluation Method of Automobile Seats Based on the BSR Tests

*SHEN Chao¹, PENG Yu-ming¹, YANG Ming-liang¹,
SONG Rui², LIU Xi-xin²*

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 600031, China;

2. Automotive Engineering Research Institute, China Automotive Technology and Research Center,
Tianjin 300300, China)

Abstract : In order to determine whether the specific parts have BSR phenomena, a squeak and rattle shaker system is employed for the subjective evaluation of the BSR tests. Since subjective evaluation has the disadvantage that it depends greatly on evaluator's experiences and is less identical, some other efficient and accurate methods for S&R evaluation need to be developed. In this paper, the collection and processing methods of the load spectra in the seat S&R test are described in detail. Then, the method of S&R evaluation of the seat noise is discussed. Through the regressive analysis of the subjective evaluation results and the acoustic parameters data, the objective acoustic parameters which can reflect the subjective evaluation results are summarized. The method is practical in engineering and can effectively identify the BSR.

Key words : acoustics; NVH; evaluation method; load spectrum; seat S&R; psychoacoustics

汽车噪声可以分为两类:持续型噪声和间歇型噪声。持续型噪声在车辆正常工作条件下会持续产生,例如发动机噪声、胎噪和风噪等。这些噪声会让用户感到不适,应首先消除^[1]。随着汽车品质的不断提高,这类噪声已被不断减小,间歇型噪声包括 Buzz、Squeak 和 Rattle 即 BSR(异响)问题变得更加明显,异响问题亟需消除,这样才能继续改善车辆品

质。异响现象会发生在汽车内任何两个有相对运动的表面上,其中仪表板、车门和座椅是汽车最容易产生异响的几个部件,占异响问题的百分之五十以上。产生异响的主要原因有尺寸公差、装配精度、接触材料的兼容性、结构设计、各种温度和湿度环境条件以及产品质量等^[2]。汽车企业常要求座椅供应商的产品有较好的抗异响性能,但目前的测试标准不明确,供应商并不知道他们的产品是否达到了客户的标准,因此需要明确试验方法并选取合适的评价指标以更好地描述产品的异响问题。

近年来主要用主观评价和频谱分析等方法对异响问题进行分析。Kumar 等在对座椅异响问题的研究中,利用小波分析对 Squeak 现象进行了鉴别和诊断^[3],该方法可较好地异响现象鉴别出来,但不适合作为评价标准;高印寒等针对某车型车内异响引

收稿日期:2017-01-13

基金项目:2016年中央高校基本科研业务费理工类科技创新资助项目(2682016CX032)

2015年四川省科技计划资助项目(2015GZ0126)

作者简介:申超(1992—),男,山西省长治市人,硕士生,主要研究方向为汽车噪声与振动。

通信作者:杨明亮,男,四川省资阳市人,博士,工程师。

E-mail: 13880648896@163.com

入声品质客观心理声学参数对车内异响进行了识别^[4];在上述研究基础上,作者提取出了座椅异响试验通用载荷谱并提出一种基于座椅异响问题点分类的主客观评价方法,以主观评价为基础,用客观评价方法对异响的听觉特性定量描述。该方法更贴近工程实践且能高效的将异响问题识别出来。

1 座椅异响问题

常见的汽车座椅主要由头枕、靠背骨架、泡沫、面套、调角器、座垫和滑轨等组成。如图1所示。



图1 座椅结构组成

座椅异响按发生部位可分为头枕异响、靠背异响、坐垫异响、调角器异响等。文中以头枕处异响为例进行主客观评价试验。

座椅头枕异响一般出现在汽车行驶在颠簸路面上,主要原因是头枕导套内径与头枕导杆外径配合有间隙,在颠簸路面时头枕晃动导致头枕导杆与头枕杆锁片相碰,产生撞击异响。

2 座椅异响试验载荷谱采集和处理

2.1 载荷谱的选取

汽车零部件 S&R 评价试验选择合适的激励很重要。如果激励过大,那么该部件会被过度设计,这会增加成本;若激励过小,一些潜在问题和缺陷会在试验过程中被忽视,会导致后期发生异响现象。另外一个问题是激励的频率成分是否正确,即使所用激励信号振幅足够,但如果激励信号中所包含的频率成分不正确,测试效果仍然不理想。因为某些问题会对某种特定的频率成分较敏感,若缺失这部份频率成分,某些动态问题不能被完全激发出来^[5]。

激励文件主要有时间历程振动信号和随机振动信号两种。时间历程信号的优点是可以较好地复现任何路面的振动情况。而随机振动是用功率谱密度(PSD Power Spectral Density)来模拟真实的随机振动的。随机振动会产生一种综合不同频率成分和振动等级的宽频振动,可以代表真实路面的振动情况^[6]。可以简单地将随机振动理解为许多正弦信号同时发生,那么每个曲线峰值代表了这条曲线窄频

段的振动能量。利用功率谱作为驱动文件的好处是:

- (1) 可以将不同的测试条件综合为一种输入;
- (2) 可以单次激励所有频段;
- (3) 生成的信号虽为高斯信号,但可以较好地模拟实际中的非高斯振动;
- (4) 随机振动输入方式更简单,只有十几组数据。因此本文的试验中使用 PSD 谱作为激励文件。

2.2 路谱的采集

路试时需将激励信号采集回来,以座椅为例,将三向振动传感器布置于座椅前安装点处进行路试。传感器位置及采集的时域信号如图2与图3所示。



图2 传感器位置示意图

为了将路面信息采集完整,路试过程中往往是在进入实际路面前就已经开始测试,驶出路面后才会结束测试。因此,在进行数据处理时,应将前后多出的平滑路面部分去除。如图3所示。

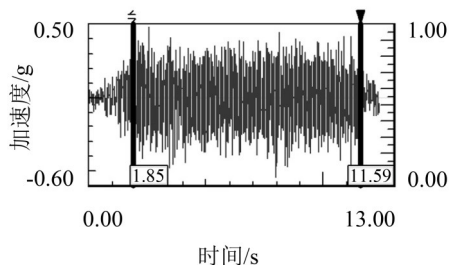


图3 采集时域信号示意图

实验室内的 S&R 试验常常将频谱中低频部份忽略掉,最常见的起始频率是 7 Hz 或 8 Hz,原因是低频部分的振动并不会引起异响问题,反而会引起较大位移,对试验设备造成不必要的损坏。另外,异响测试最高频率在 100 Hz 左右。这样选取出了图3所示两条竖线的中间部份。

2.3 路面的选择及路谱的处理

不同的测试路面可激发出车辆不同部件的异响问题。例如比利时路、鹅卵石路和粗糙沥青路等可引起内饰件的异响问题,扭曲路可引起车身、副车架等部件的异响问题等。这里针对座椅异响的产生机理,选择了比利时路、鹅卵石路和粗糙沥青路三条路面作为激励路面,如图4。



(a) 比利时路 (b) 鹅卵石路 (c) 粗糙沥青路

图4 试验路面示意图

对几款同类车采集的载荷谱进行分析和对比,发现激励的频率主要集中在 $10\text{ Hz}\sim 100\text{ Hz}$,几款车在同一路面的载荷谱有相似的频率范围,虽幅值大小存在差异,但存在一定的规律性。PSD谱有将不同载荷谱结合的优势,所以这里针对同一路面,采用不同车型进行载荷谱数据采集,然后用取包络线的方法生成座椅异响试验通用载荷谱。

图5、图6、图7分别为三种典型路面的载荷谱。三种不同路面的信号特征差异较大,若将三条路谱合成一条可能不会产生好的测试结果,因此采用三条路面分别作为测试路面进行试验。

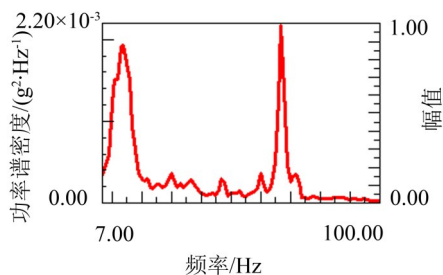


图5 比利时路载荷谱

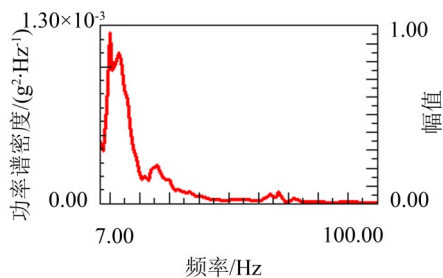


图6 鹅卵石路载荷谱

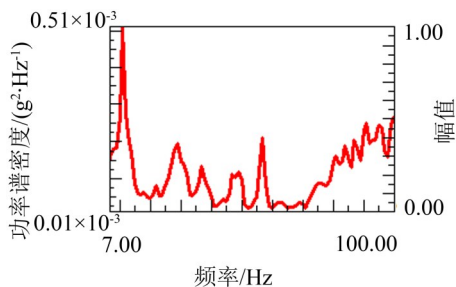


图7 粗糙沥青路载荷谱

经主观评价试验验证后发现,使用三条典型路面通用载荷谱可将几款座椅的异响问题激发出来,并且和实车状态下在实际路面的异响问题有较好的

一致性,证明了载荷谱的有效性。

3 座椅异响评价方法

3.1 噪声样本采集

异响试验采集布置情况如图6。将座椅固定在与试验台面连接的工装上,要求安装方式与实车一致。在距离规定的8个测点位置 150 mm 处布置频率响应范围在 $3.15\text{ Hz}\sim 20\text{ kHz}$,动态范围在 $15\text{ dB}\sim 146\text{ dB}$ 的声压传感器,测试前声压传感器采用 1 000 Hz 、 94 dB 的纯音标定。八个声压传感器按布点位置可分别反应头枕异响、靠背异响、坐垫异响、导轨异响等问题。此处以头枕处声压传感器所采集的数据为例,对几款座椅的头枕异响问题进行研究。



图8 异响试验声信号采集设置

3.2 主观评价方法及结果

常用的主观评价方法主要有等级评分法、成对比较法、排序法和语义细分法。成对比较法和排序法适合无经验的评价者,并且数据相关分析常包含多种变量,要获得精确的多重回归分析系数,要求评价人数较多。

根据以往工程经验和为了提高实际工程中的工作效率,文中评价方法采取了等级评分法。等级评分法是将声音信号按某一属性划分位若干等级,每个等级中又包含不同的分值,试验中评价者根据各自的主观感知程度给出对应的评价分值,最后对全部评分取算术平均分^[7]。该方法的主要缺点是对评价人员要求较高,同时需将评分范围明确划分,作为评价者评分时的参照。

因等级评分法自由度较大,为保证有意义的评价结果,评价人员选取了五名长期从事异响开发工作的工程师。同时制定评分标准如表1。

表1 主观评分标准

异响程度	评价得分	听觉反应
无异响	7	十分满意
轻微异响	5~6	能容忍但不满意
中度异响	3~4	不满意且抱怨
严重异响	1~2	难以容忍

将异响程度划分为四个等级、七种评分。评价人员需对异响发生部位和类型进行描述,并按评分

规则对不同位置的异响问题进行评分。

3.3 客观参数的选取和计算方法

3.3.1 传统声学参数的选取

A计权声压级是对噪声的评价的主要指标。计权声级的提出是为了模拟人对噪声的响度感觉和频率的关系,其设计是根据对人进行纯音响度反应试验结果得出的。A计权是为了反映人对噪声的感觉,从等响曲线中选取了40方曲线的倒置来模拟人耳对噪声的主观感受。下文计算了所采集声音信号的A计权声压级并与主观评分结果进行相关性分析。

3.3.2 客观心理声学参数的选取

虽主观评价反应了人对声音的真实感受,但主观评价一致性和可重复性较差,不能在工程中方便应用。为了克服主观评价的缺点,出现了声品质客观评价方法。目前,有一系列合适描述人对声音主观感受的物理参量,如:响度(Loudness)、粗糙度(Roughness)、尖锐度(Sharpness)、抖动度(Fluctuation)等^[7]。

3.3.3 响度

响度是对声品质评价中最常用的心理声学参数。异响测试中声音是随着时间变化的,因此它们的响度也是随着时间变化的。为了计算出这种随时间变化的响度,可按照ISO532B的方法进行计算,然后多次重复这一过程并得出累计结果即可。但这一方法没有考虑非同时掩蔽效应,平均响度不能很好地估算随时间变化的声音的总响度^[8]。因此,常采用整个时间段中超过10%的统计响度(N10)来预估对异响声音的主观感知。

3.3.4 粗糙度

粗糙度是描述人对声音信号顺势变化的感觉,与调制频率、调制比和中心频率等有关。为定量描述粗糙度,需要规定粗糙度的参考值。粗糙度的单位是asper,并规定用调制比为1的声压级为60 dB的1 kHz幅值调制纯音在调制频率为70 Hz时的粗糙度为1 asper。

目前粗糙度没有统一标准,存在好几种粗糙度算法,如Aures方法和Fastl方法等。这些方法的主要不同在于用何种途径把特征频带包络变化为粗糙度。这里采用了Aures方法,该方法先利用几个特征频带激励的包络算得有效调制指数,然后用有效调制指数计算粗糙度谱密度,总粗糙度由粗糙度谱密度对特征频带求和求出。该算法计算精度较高,适用范围广。

3.3.5 尖锐度

尖锐度是描述高频成分在声音频谱中所占的比例参数,它反映了声音的刺耳程度。由于人耳对高频声音比较敏感,因此尖锐度能较好体现人耳对声音感觉的舒适度,尖锐度值越高,给人的感觉就越刺耳。尖锐度的单位是acum,规定中心频率为1 kHz、带宽为160 Hz的60 dB窄带噪声的尖锐度为1 acum。噪声信号的频谱成分和窄带噪声的中心频率是影响尖锐度最重要的两个因素。

目前尖锐度的计算还没有统一的标准,一般采用对响度谱加权积分的方式来计算。

3.3.6 抖动度

抖动度是人耳对低频声音的感知强度,用于描述人耳对缓慢移动调制声音的感受程度,适用于评价20 Hz以低频调制的声信号,它反映了人耳主观感受到声音的响亮起伏程度^[9]。抖动度的单位是vacil,规定声压级为60 dB的1 kHz纯音经100%调制、4 Hz频率调制时的抖动度为1 vacil。

抖动度目前也没有统一的标准,本文计算采用了Zwicker和Fastl提出的音调抖动度计算模型。

3.4 主观评价结果和客观参数的关系

在获得了有效的主观评价结果后,计算出各组声音信号的A计权声压级与各心理声学参数值。经计算后得到六种座椅在三种路面下的共18组参数值如表2所示。

为证明客观评价方法的有效性,对计算出的A计权声压级和心理声学参数值与主观评价得分做相关性分析,应用SPSS(Statistical Product and Service Solution)统计软件分别计算A计权声压级、响度、粗糙度、尖锐度和抖动度五个声学参数与主观评价得分的相关系数值,结果见表3。这里因为计算得到的参量不服从双变量正态分布,因此不采用积差相关系数(Pearson)来表征相关性。这里采用Spearman等级相关系数来进行相关分析。它是利用量变量秩次大小做线性相关分析,应用范围比积差相关分析更为广泛,其基本公式如下

$$r_r = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

式中 D 是每对变量等级之差; n 是两列变量值的对数; r_r 是等级相关系数。

从相关性计算结果来看,响度、粗糙度和尖锐度三个心理声学参数均与主观评价得分有较好的相关性,而A计权声压级和抖动度与主观评分相关性较差。这是因为A计权声压级在各频率上的计权因子是固定的,计权以后将各个频率的声级值叠加计算

表2 六款座椅主观评分及客观心理声学参数值

座椅	路面	主观评分	传统声学参数		客观心理声学参数		
		平均得分	A声级/dB	Loudness(sone)	Roughness(asper)	Sharoneess(acum)	Fluctuation(vacil)
座椅A	Belguim	4.8	48.69	6.19	0.069	0.71	0.027 00
	Cobble	5.6	47.67	4.42	0.046	0.645	0.004 57
	RoughAsphalt	5.6	47.35	4.33	0.044 8	0.67	0.005 39
座椅B	Belguim	4.4	52.87	7.27	0.070 5	0.742	0.027 70
	Cobble	5.2	50.14	5.46	0.054	0.554	0.024 70
	RoughAsphalt	5.6	52.96	5.41	0.056 2	0.514	0.033 90
座椅C	Belguim	3.8	52.15	7.62	0.080 2	0.756	0.016 30
	Cobble	5	51.35	5.78	0.062 7	0.641	0.014 50
	RoughAsphalt	4.8	51.53	5.7	0.051 6	0.674	0.014 20
座椅D	Belguim	3.2	51.97	7.94	0.086	0.889	0.031 10
	Cobble	4.6	51.00	5.7	0.069	0.705	0.039 40
	RoughAsphalt	4.8	51.16	5.3	0.060 2	0.704	0.012 30
座椅E	Belguim	2.2	57.06	9.36	0.093 4	0.893	0.041 80
	Cobble	4	53.25	6.76	0.061 4	0.714	0.038 50
	RoughAsphalt	4.2	53.86	6.39	0.069 4	0.726	0.040 30
座椅F	Belguim	4.8	54.11	6.36	0.076 6	0.697	0.021 50
	Cobble	5.6	53.51	5.83	0.061	0.484	0.031 00
	RoughAsphalt	5.6	52.12	4.56	0.028 4	0.576	0.007 61

表3 心理声学参数与主观评分相关系数值

声学参数	A计权声压级	响度	粗糙度	尖锐度	抖动度
与主观得分相关系数	- 0.608	- 0.919	- 0.875	- 0.845	- 0.605

出A计权声压级。因此,对频谱形状不同的声音,可能具有相同的A计权声压级,对于A计权声压级相等但频谱形状不同的噪声,人们的主观感受可能不一样。所以对于异响这样的间歇性噪声,用声压级进行评价和主观感受存在偏差是难以避免的。而抖动度是人耳对低频声音的感知强度,用于描述人耳对缓慢移动调制声音的感受程度^[9],因此在异响评价中与主观感受相关性不大。

为全面反映主观感受,这里选取了响度、粗糙度和尖锐度三个参数作为评价指标。图9至图13是各声学参数与主观评价得分的相关性散点图。通过所计算的相关系数结果来看,响度与主观评分的相关性系数绝对值大于0.9,粗糙度与尖锐度与主观评分的相关性绝对值也都大于0.8,与主观评分具有显著的相关性。三个参数与主观评分结果呈负相关,而评分越高代表异响程度越严重,说明三个心理声学参数值与异响严重程度成正相关,即异响越严重,各心理声学参数值越高。

4 结 语

(1) 所提取的通用载荷谱可将座椅异响问题激

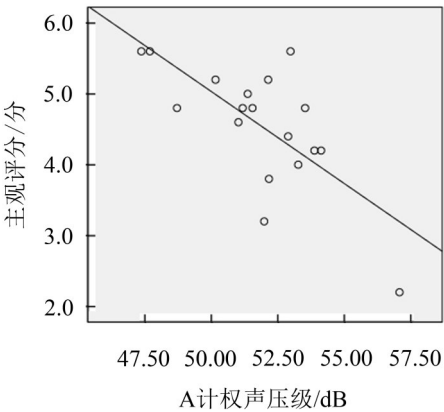


图9 A声级与主观评分相关性散点图

发出来,经主观评价试验验证与实车路试时的异响问题有较好的一致性,可用于小型车的座椅异响评价试验。

(2) 尽管在传统的噪声测量中A计权声压级被广泛应用,但A计权声压级无法有效地将异响问题识别出来,难以反映异响给人造成的听觉感受差别。

(3) 响度、粗糙度和尖锐度三种心理声学客观参数和主观评价结果有较好的相关性,可以定量地反映出人对异响的听觉感受。在实际工程中,可以

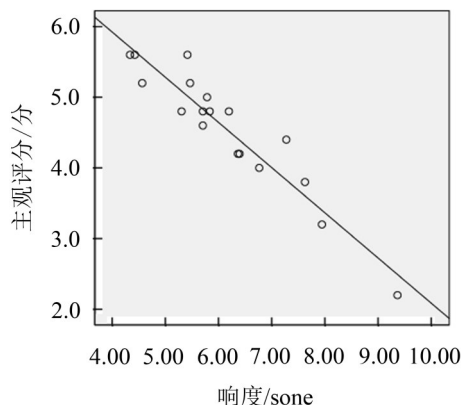


图10 响度与主观评分相关性散点图

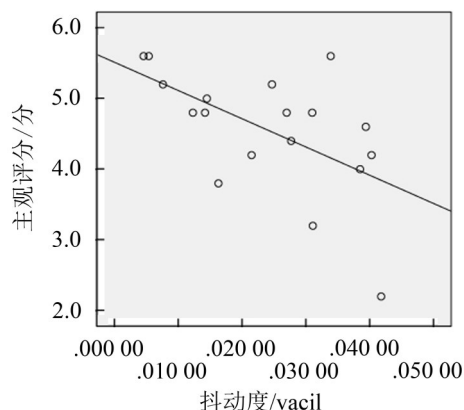


图13 抖动度与主观评分相关性散点图

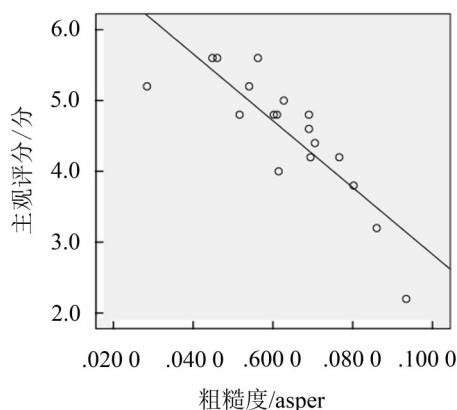


图11 粗糙度与主观评分相关性散点图

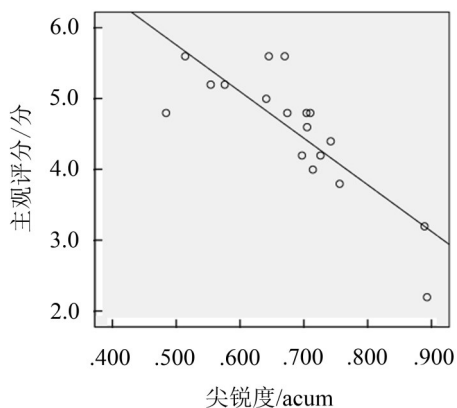


图12 尖锐度与主观评分相关性散点图

应用这三个客观参数实现对异响的评估。

参考文献:

- [1] TRAPP, MARTIN. Automotive buzz, squeak and rattle: mechanisms, analysis, evaluation and prevention[M]. Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2012: 131-160.
- [2] 王荣. 汽车内饰件振动异响探测方法研究[J]. 工业b, 2015(3):00066-00067.
- [3] KUMAR R P S, KUMAR N J, NAIR S. Seat squeak measurement and diagnosis[R]. SAE Technical Paper, 2013-26-0094.
- [4] 高印寒, 张澧桐, 梁杰, 等. 基于客观心理声学参数的重型商用车车内异响噪声分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(1):43-49.
- [5] ZHANG L L, SOBEK G, CHEN L, et al. Improving the reliability of squeak & rattle test[R]. 2005- 01- 2539. Traverse City, Michigan: SAE Technical Paper, 2005.
- [6] PETERSON E L, MCCORMICK R E. A systematic and disciplined process for developing drive files for squeak and rattle and durability tests in the lab[R]. 2009-26-0048. Inc., USA: SAE Technical Paper, 2009.
- [7] 梁杰. 基于双耳听觉模型的车内声品质分析与评价方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.
- [8] 谢军. 汽车声品质评价技术及方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
- [9] 黄海波, 李人宪, 丁渭平, 等. 基于EMD-WVD的车辆悬架减振器异响声品质客观评价研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(18):154-160.

(上接第77页)

- [18] WANG C, REN W X, WANG Z C, et al. Instantaneous frequency identification of time-varying structures by continuous wavelet transform[J]. Engineering Structures, 2013, 52: 17-25.
- [19] DAUBECHIES I, LU J, WU H T. Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool[J]. Applied and Computational Harmonic

Analysis, 2011, 2(30): 243-261.

- [20] 刘景良, 任伟新, 王佐才, 等. 基于同步挤压小波变换的结构瞬时频率识别[J]. 振动与冲击, 2013, 32(18):37-42.
- [21] 刘延柱, 陈立群. 非线性振动[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001:67-69.
- [22] NAYFEH A H, MOOK D T, Nonlinear oscillations [M]. Wiley Interscience, New York, 1979: 62-71.