

车辆悬架配置对驾驶员座椅振动舒适性的影响研究

夏 勇^{1,2}, 彭立华^{1,2}, 袁 健^{1,2}, 查国涛², 邹 波²

(1. 博戈橡胶塑料(株洲)有限公司, 湖南 株洲 412000;

2. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412000)

摘 要:在介绍 ISO 2631 标准对车辆乘坐振动舒适性的测试及评价方法的基础上,分别对橡胶弹簧悬架和钢板弹簧悬架配置的车辆进行特定工况下的驾驶员座椅振动舒适性测试与评价。结果显示,橡胶弹簧悬架对车辆驾驶员座椅振动舒适性有一定程度的改善。

关键词:悬架配置; 驾驶员座椅; 振动舒适性

中图分类号:U467.3

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.02.008

Research on Influence of Vehicle Suspension Configuration on the Vibration Comfort of Driver Seat

XIA Yong^{1,2}, PENG Lihua^{1,2}, YUAN Jian^{1,2}, ZHA Guotao², ZOU Bo²

(1. BOGE Rubber & Plastics(Zhuzhou) Co., Ltd., Zhuzhou 412000, China;

2. Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412000, China)

Abstract:After introducing the measurement and evaluation method of the ISO 2631 standard on vehicle riding vibration comfort, the authors conduct measurements and evaluations for specific condition vibration exposure of vehicles with two kinds of rubber spring suspension and leaf spring suspension. The results show that the rubber spring suspension improves the ride comfort of vehicle driver seat vibration.

Key words:suspension configuration; driver seat; vibration comfort

对于汽车座椅振动舒适性的评价,目前已有相关标准。例如,ISO 2631-1^[1]定义了影响舒适性的振动测试与评价方法,测评对象为一般车辆;GB/T 13441.1—2007^[2]规定了人体暴露全身性振动时振动参数的界限和评价准则,以保持乘坐的舒适性。本文根据 ISO 2631 为车辆配置不同类型的悬架(橡胶弹簧悬架和钢板弹簧悬架)进行实车测试,然后对驾驶员座椅振动舒适性进行对比评价。

置钢板弹簧悬架,另一辆配置橡胶弹簧悬架)之外,其他配置(如发动机、轮胎、驾驶室(含悬置)、半挂车悬架等)完全一致,尺寸参数也完全相同。牵引车头的前悬架均为钢板弹簧悬架,半挂车的三轴均配置钢板弹簧悬架,且均为满载状态。此外,两辆试验车的驾驶位均配置了参数相同的气囊减振座椅。试验实车如图1所示。



图1 试验实车

1 车辆配置与测试准备

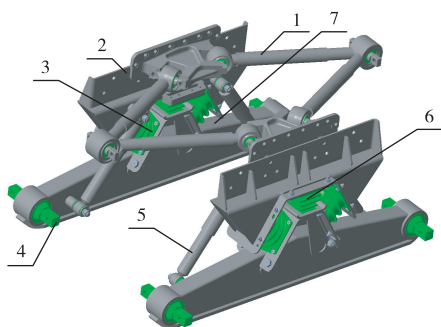
1.1 车辆配置

用于测试的两辆汽车列车都由牵引车头加半挂车组成,除牵引车头的中后桥悬架配置不同(一辆配

收稿日期:2024-08-20。

第一作者:夏 勇(1980—),男,硕士,正高级工程师,主要从事汽车减振降噪技术及其产品研究工作。E-mail:xiayong@csrzic.com。

目前,牵引车头的中后桥悬架主要有钢板弹簧、橡胶弹簧、空气弹簧三种配置。其中橡胶弹簧悬架是介于钢板弹簧悬架和空气弹簧悬架之间的一种轻量化悬架^[3],其主要由鞍座总成、橡胶弹簧、均衡梁总成等组成,如图2所示。与传统钢板弹簧悬架(如图3)相比,橡胶弹簧悬架具有变刚度、自重轻、承载能力强等优势;与空气弹簧悬架相比,橡胶弹簧悬架结构更为简单,成本更低,尤其适合对车辆自重要求较高的中低速运输车。橡胶弹簧悬架在可靠性和地形通过性方面比传统钢板悬架和空气弹簧悬架更具优势,已广泛应用于国省道运输车辆。



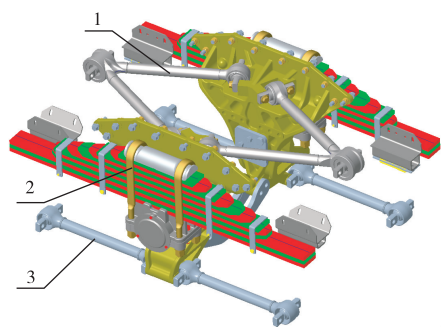
1—V形推力杆; 2—鞍座总成; 3—橡胶主簧; 4—均衡梁球铰;
5—减振器; 6—橡胶辅簧; 7—均衡梁。

(a) 三维图



(b) 实物图

图2 橡胶弹簧悬架及装车图片



1—V形推力杆; 2—钢板弹簧总成; 3—I型推力杆。

(a) 三维图



(b) 实物图

图3 传统钢板弹簧悬架及装车图片

1.2 测点布置

ISO 2631 提出汽车座椅的振动应按照振动输入位置的坐标轴进行测量,一般对3个区域进行数据采集,如图4所示。本次测试仅在驾驶员座椅坐垫面布置三个方向的测点,如图5所示,并根据此处的振动总体值进行驾驶员乘坐舒适性评价^[4-6]。

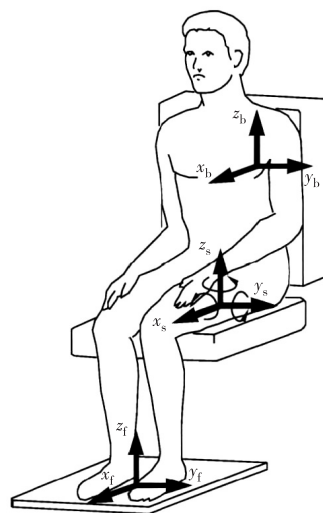


图4 标准要求



图5 驾驶员座椅实际测点布置

1.3 测试仪器

试验所使用的仪器设备包括:东方噪声所 INV 3020C 数据采集仪;东方噪声所 INV-8 抗混滤波放大

器,8通道;YD77S电荷式座椅三向加速度计,测试频率范围为0.1~125 Hz。数据采集系统框图如图6所示,数据采集频率为2 560 Hz,采样时间为30 s。

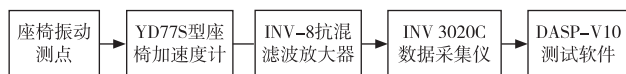


图6 数据采集系统框图

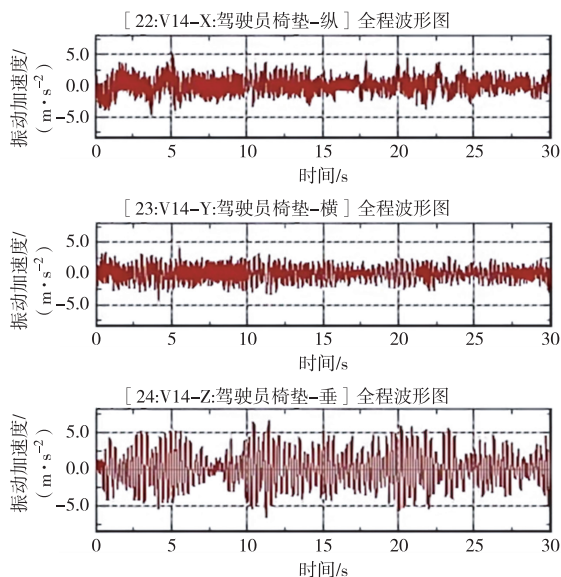
1.4 测试条件及工况

鉴于橡胶弹簧悬架主要应用于国省道运输车辆,本次测试选择在常用车速50 km/h的匀速行驶状态下进行,测试路面为平直干燥混凝土国道,测试环境为晴天无风,温度为25℃。测试分为“带半挂车”和“无半挂车”两种工况,对于每种工况,测试车辆除了牵引车头悬架配置不同外,其他配置及车辆状态完全相同。

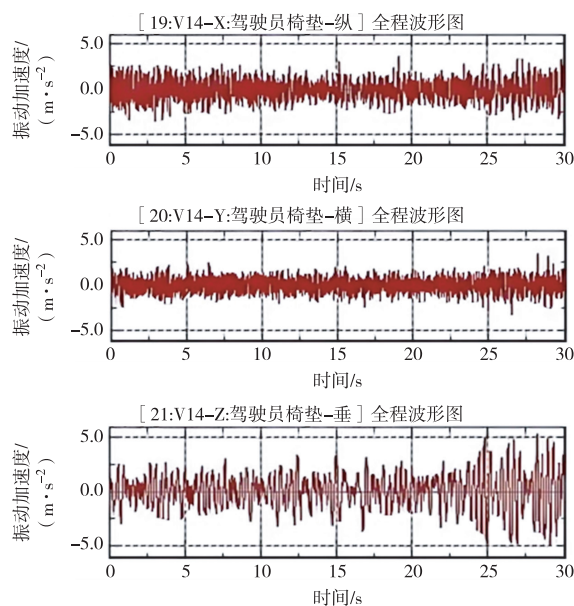
2 测试结果及评估

2.1 测试结果

为排除数据采集过程中的异常情况,本文对所采集的试验数据进行近似稳态分段处理,即观察图7中X、Y、Z方向的时域信号。若数据采集周期内座椅各方向振动加速度未见明显奇异点,可近似为稳态,对其进行频谱特性计算分析,获取其振动频谱特性,进而进行振动舒适性评价^[7-9]。



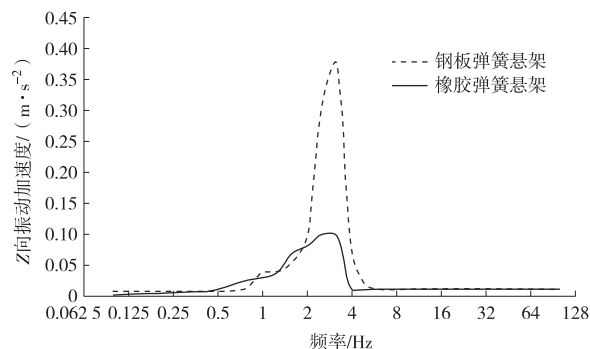
(a) 橡胶弹簧悬架



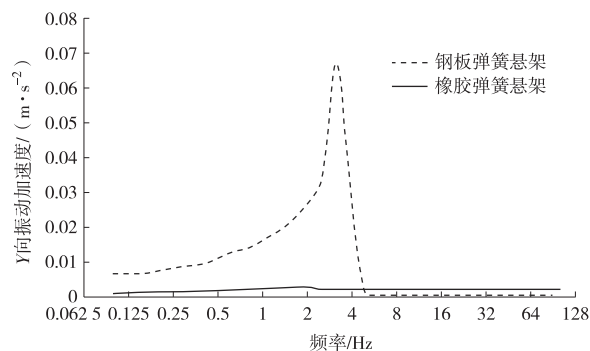
(b) 钢板弹簧悬架

图7 50 km/h 两试验车座椅振动时域数据

对图7中的时域信号进行频谱分析,得到图8所示的两试验车在50 km/h匀速行驶时驾驶员座椅位置X、Y、Z方向的振动加速度频谱曲线。从图8可知,橡胶弹簧悬架引起的驾驶员座椅各方向振动峰值明显低于钢板弹簧悬架引起的振动峰值,具体见表1。



(a) 座椅Z向



(b) 座椅Y向

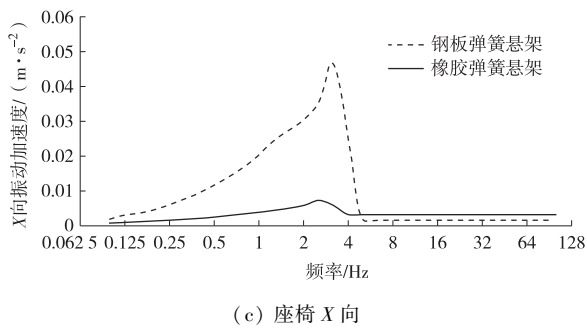


图8 50 km/h 两试验车座椅振动加速度频谱曲线

表1 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处各方向振动峰值及对应中心频率

测点方向	振动峰值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)		中心频率/Hz	
	橡胶弹簧 悬架	钢板弹簧 悬架	橡胶弹簧 悬架	钢板弹簧 悬架
座椅 X 向	0.007	0.047	2.36	3.15
座椅 Y 向	0.003	0.067	2.31	3.15
座椅 Z 向	0.099	0.376	2.59	3.15

2.2 实车座椅振动舒适性评价

2.2.1 计算频率加权加速度

由于本次测试仅在座椅坐垫处布置单点进行X、Y、Z方向的数据采集与分析,基于图8所示的实测振动加速度频谱数据,并结合ISO 2631规定的基本频率加权系数(图9),对座椅X、Y向振动加速度进行 W_d 频率加权,对座椅Z向振动加速度进行 W_k 频率加权。

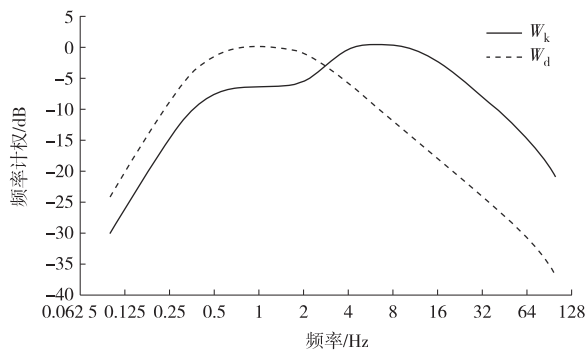


图9 ISO 2631 定义的基本频率加权系数

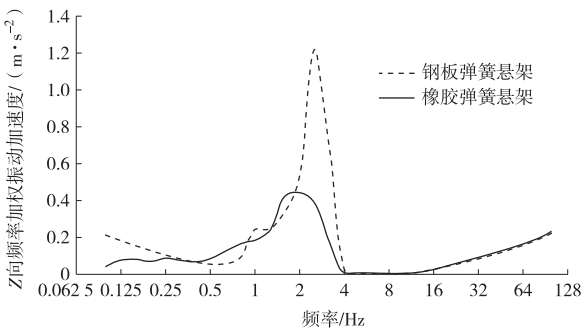
频率加权加速度计算公式如下:

$$a_{fi} = W_i a_i \tag{1}$$

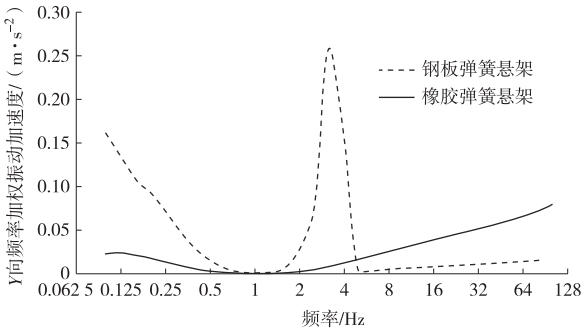
式中: a_{fi} 为第*i*个中心频率的加权加速度瞬时值,*i*为本文所研究频段(0~125 Hz)区间1/3倍频程的中心频率序号,总计31个,ISO 2631标准定义的此区间的

1/3倍频程的中心频率点分别为0.1 Hz,0.125 Hz,0.16 Hz……63 Hz,80 Hz,100 Hz; W_i 为图9中定义的1/3倍频程第*i*个中心频率点对应的加权系数 W_d 或 W_k ,如第1个1/3倍频程中心频率0.1 Hz处对应的 W_d 为-24.09 dB, W_k 为-30.11 dB; a_i 为图8所示的1/3倍频程第*i*个中心频率点的实测加速度。

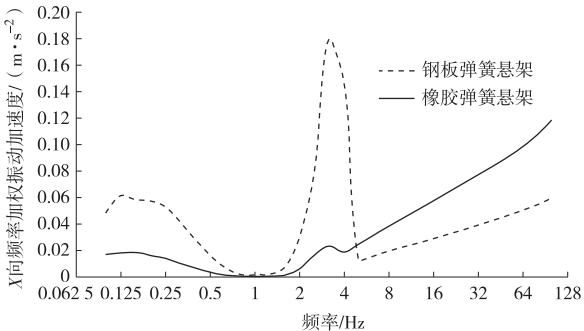
根据上述计算方法,对图8中两种悬架配置下座椅坐垫处的3个方向振动加速度进行频率加权计算和拟合处理,得到相应的频率加权加速度曲线,如图10所示。根据图10数据,表2列出了两种悬架配置下的驾驶员座椅各方向的频率加权加速度最大值及其对应中心频率。



(a) 座椅 Z 向



(b) 座椅 Y 向



(c) 座椅 X 向

图10 50 km/h 两试验车座椅频率加权加速度曲线

表 2 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处
各方向频率加权加速度最大值及对应中心频率

测点 方向	加权加速度最大值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)		中心频率/Hz	
	橡胶弹簧	钢板弹簧	橡胶弹簧	钢板弹簧
	悬架	悬架	悬架	悬架
座椅 X 向	0.118	0.179	100	3.15
座椅 Y 向	0.079	0.258	100	3.15
座椅 Z 向	0.443	1.216	2	2.5

2.2.2 计算频率加权加速度的均方根值

频率加权加速度均方根值 a_{rms} 的计算公式如下:

$$a_{\text{rms}} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (W_i a_i)^2 \right] / n \right\}^{1/2} \quad (2)$$

式中: W_i 、 a_i 的含义与式(1)相同; n 为频率范围(0.1~125 Hz)中心频率的点数,即 $n=31$ 。

按照式(2)计算两种悬架配置驾驶员座椅处各方向加权加速度均方根值 a_{rms} ,结果见表 3。

表 3 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处
各方向振动频率加权加速度均方根值

测点方向	加权加速度均方根/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	
	橡胶弹簧悬架	钢板弹簧悬架
座椅 X 向	0.05	0.056
座椅 Y 向	0.034	0.074
座椅 Z 向	0.171	0.3

2.2.3 计算波峰因数

ISO 2631 中定义波峰因数为频率加权加速度信号的瞬时最大值 a_{fi} 与其均方根值 a_{rms} 的比值,如橡胶弹簧悬架下的 X 方向振动波峰因数为 $0.118/0.05=2.36$ 。按照上述方法,计算两种悬架配置驾驶员座椅处各方向振动波峰因数,结果见表 4。

表 4 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处
各方向振动波峰因数

测点方向	波峰因数	
	橡胶弹簧悬架	钢板弹簧悬架
座椅 X 向	2.36	3.18
座椅 Y 向	2.31	3.47
座椅 Z 向	2.59	4.05

由表 4 可知,两种悬架配置座椅各方向振动波峰

因数小于 9。ISO 2631 规定,当振动的波峰因数小于或等于 9 时,建议以频率加权加速度 a_{fi} 为基础进行座椅振动舒适性评价的计算。

2.2.4 计算频率加权加速度谱值

ISO 2631 规定了对包括多点在内的振动舒适性评价时,应将综合振动加速度总体值定义为各测点(如坐垫、靠背或放脚处地板)振动频率加权加速度谱值平方和的平方根值;而对于每一个测点(也是本文的单测点情况)单一方向的频率加权加速度谱值,应用单一方向上的频率加权加速度平方和的平方根值来进行计算,计算公式如下:

$$a_w = \left[\sum_{i=1}^n (a_{\text{fi}})^2 \right]^{1/2} = \left[\sum_{i=1}^n (W_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中: a_w 为单一测点的频率加权加速度谱值; a_{fi} 、 W_i 、 a_i 、 n 的含义与式(1)、式(2)相同。

根据式(3)计算两种悬架配置的座椅坐垫处各方向的频率加权加速度谱值,结果见表 5。

表 5 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处
各方向振动频率加权加速度谱值

测点方向	加权加速度谱值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	
	橡胶弹簧悬架	钢板弹簧悬架
座椅 X 向	0.28	0.31
座椅 Y 向	0.19	0.41
座椅 Z 向	0.95	1.67

2.2.5 计算振动加速度总体值与振动舒适性评价

对于振动加速度总体值和舒适性评价,ISO 2631 要求考虑各振动方向频率加权加速度谱值对振动总体值的影响。ISO 2631 定义了座椅坐垫 3 个方向的加权因子都为 1,即 $k_x=k_y=k_z=1$ (其他测点位置各方向的加权因子都小于 1),然后通过式(4)计算得到座椅坐垫处振动加速度的总体值,进而对座椅舒适性进行评价。

$$a_v = [(k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2]^{1/2} \quad (4)$$

式中: a_v 为振动加速度总体值; k_x 、 k_y 、 k_z 为座椅坐垫处 X、Y、Z 方向的加权因子; a_{wx} 、 a_{wy} 、 a_{wz} 为座椅坐垫处 3 个方向频率加权加速度谱值,见表 5。

由式(4)、表 5 以及相应的加权因子得知,橡胶弹簧悬架座椅坐垫处振动加速度总体值 $a_v = [(1 \times$

$0.28)^2 + (1 \times 0.19)^2 + (1 \times 0.95)^2]^{1/2} = 1.01 \text{ m/s}^2$ 。同理可计算得到钢板弹簧悬架座椅坐垫处振动加速度总体值。结合 ISO 2631 标准推荐的振动舒适度评价准则(表 6)^[1], 两种悬架配置座椅坐垫处振动总体值及其对应的舒适性评价见表 7。

表 6 ISO 2631 推荐的振动舒适度评价准则

振动加速度总体值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	舒适性评价
<0.315	舒适
0.315~0.63	有点不舒适
0.5~1.0	相当不舒适
0.8~1.6	不舒适
1.25~2.5	非常不舒适
>2.0	极不舒适

表 7 不同配置试验车(有半挂车)驾驶员座椅坐垫处
振动加速度总体值与舒适性评价

悬架类型	振动加速度总体值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	舒适度评价
橡胶弹簧悬架	1.01	不舒适
钢板弹簧悬架	1.75	非常不舒适

由表 7 可知, 两种悬架状态下的车辆驾驶员座椅的振动舒适性均需改善。

另外, 为了解半挂车对驾驶员座椅舒适性的影响, 分别对两种不同悬架的试验车在无半挂车的情况下进行同样的驾驶员座椅振动舒适性测试评价, 结果见表 8。可以看出, 有无半挂车对两种悬架试验车驾驶员座椅的振动舒适性影响较小。

表 8 无半挂车时驾驶员座椅振动加速度总体值
与舒适性评价

悬架类型	振动加速度总体值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	舒适性评价
橡胶弹簧悬架	1.06	不舒适
钢板弹簧悬架	1.76	非常不舒适

为改善驾驶员座椅的振动舒适性, 基于有效且经济的观点, 建议首先对悬架的橡胶弹簧、底盘悬架衬

套、发动机悬置衬套等车辆减振系统进行优化设计^[10]。

3 结束语

两种不同悬架类型车辆的驾驶员座椅舒适性测试及评价结果显示, 在国省道路 50 km/h 匀速行驶工况下, 依据 ISO 2631 标准, 配置橡胶弹簧悬架的车辆会让驾驶员感到不舒适, 配置钢板弹簧悬架的车辆则会让驾驶员非常不舒适。因此从振动舒适性来看, 橡胶弹簧悬架对驾驶员座椅振动舒适性有一定的改善效果; 而有无半挂车对两种类型悬架车辆的驾驶员座椅振动舒适性的影响均很小。

参考文献:

- [1] International Organization for Standardization. ISO 2631-1: 1997. Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part1: Generation requirements[S]. 2nd ed. Geneva: ISO, 1997: 1-31.
- [2] 全国机械振动与冲击标准化技术委员会. 机械振动与冲击人体暴露于全身振动的评价 第 1 部分: 一般要求: GB/T 13441.1—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1-30.
- [3] 刘建勋. 重型卡车用非线性橡胶悬架系统设计技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [4] 田晓峰, 孔德刚, 苏锦涛, 等. 拖拉机驾驶座椅振动舒适性研究现状分析[J]. 农机化研究, 2010, 32(9): 249-252.
- [5] 朱天军, 宗长富, 杨得军, 等. 轿车乘坐舒适性主观评价方法[J]. 汽车技术, 2008(3): 8-11.
- [6] 朱新涛. 浅析汽车座椅舒适性评价方法[J]. 汽车零部件, 2021(16): 158-160.
- [7] 王光南. 汽车座椅振动舒适性评价[J]. 机械工程师, 2005(11): 62-64.
- [8] 徐中明, 黄义, 李俊鹏, 等. 出租车驾驶员振动舒适性监测[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2006, 29(5): 5-7.
- [9] 王昊. 汽车座椅舒适性区间评价方法[J]. 时代汽车, 2020(9): 115-117.
- [10] 莫崇卫, 申涛, 郭鹏程, 等. 商用车中排座椅振动特性分析与优化[J]. 汽车技术, 2018(12): 38-41.