

# 载荷及老化因素对动车组地板减震系统 振动传递率的影响

曾宪奎, 高远昊\*, 冯翰林, 鲍丽苹  
(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:**通过对动车组地板减震系统施加不同载荷以及更换不同老化程度的橡胶减震器, 研究载荷及老化因素对地板减震系统振动传递率的影响规律。结果表明: 载荷对地板减震系统振动传递率的影响主要集中在10~25 Hz频率范围内, 在此范围, 载荷越小, 振动传递率越大; 橡胶减震器老化程度越大, 振动传递率越大, 并且两者呈非线性关系, 建立的橡胶减震器老化减震性能损失率与振动传递率的数学模型可用于地板减震系统的优化设计。

**关键词:**动车组; 地板减震系统; 老化程度; 载荷; 振动传递率

**中图分类号:** TQ336.4<sup>+2</sup>

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-890X(2019)03-0213-04

**DOI:** 10.12136/j.issn.1000-890X.2019.03.0213

动车组地板减震系统减震性能的好坏直接影响车厢内振动、噪声以及旅客乘坐舒适性<sup>[1]</sup>。振动传递率是表征减震系统减震性能好坏的一个主要参数<sup>[2]</sup>, 其影响因素很多, 其中频率高低、载荷大小以及由于老化产生的减震器性能变化对其影响较大<sup>[3-4]</sup>。

本工作主要研究在0~105 Hz频率范围内载荷以及老化因素对动车组地板减震系统振动传递率的影响规律, 以期为地板减震系统的优化设计以及使用维护提供参考。

## 1 实验

### 1.1 试验设备和仪器

LD-50TP型三轴振动台, 广州市番禺凡正电磁振动机厂产品; INV9821型振动加速度传感器、INV3060S型信号采集仪和DASP-V11工程版分析软件, 北京东方振动和噪声技术研究所产品; GT-7017-NM型热空气加速老化试验箱, 中国台湾高铁检测仪器有限公司产品; UD-3600型动态测试分析仪, 中国台湾优肯科技股份有限公司产品。

**基金项目:** 山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EMM018)

**作者简介:** 曾宪奎(1967—), 男, 山东青州人, 青岛科技大学教授, 博士, 主要从事高分子材料加工技术与装备的教学及研究工作。

\*通信联系人(287288370@qq.com)

### 1.2 试验设计

(1) 热空气加速老化试验。试验温度为80, 90, 100, 110和120 °C, 试验时间为6, 8, 12和18 d。

(2) 减震性能试验。将经过加速老化的不同老化程度的橡胶减震器分别安装到地板减震系统中, 将该减震系统置于振动试验台上, 并在每个减震器正上方和正下方分别布置一对加速度传感器采集加速度信号。试验1, 加载载荷分别为400, 700和1 000 N, 振动频率为0~105 Hz, 测试载荷的变化对地板减震系统振动传递率的影响; 试验2, 加载载荷为400 N, 振动频率为35 Hz, 测试不同老化程度的橡胶减震器对地板减震系统振动传递率的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 载荷对地板减震系统振动传递率的影响

将减震性能测试试验1所得数据加以整理, 并按照式(1), 将加速度转化为振动传递率, 得到不同载荷下地板减震系统的振动传递率, 见图1。

$$\eta_p = Y(a) / X(a) \quad (1)$$

式中,  $\eta_p$ 为振动传递率,  $X(a)$ 为输入加速度,  $Y(a)$ 为输出加速度。

从图1各测点的振动传递率曲线可以看出: 在10~25 Hz频率范围内, 载荷的大小对振动传递率的影响较大, 载荷越小振动传递率越大; 在其他频

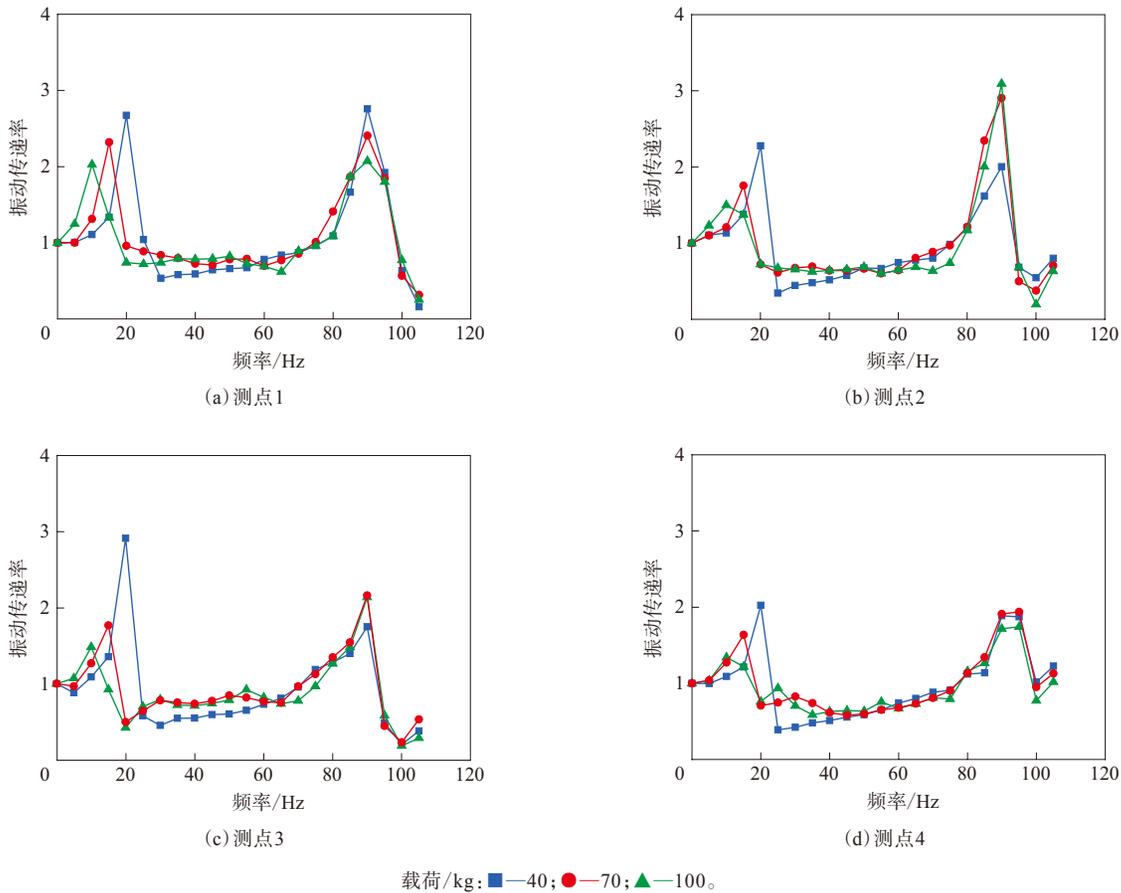


图1 不同载荷下地板减震系统的振动传递率

率段,载荷对振动传递率影响较小,各测点的振动传递率曲线基本一致,但也不完全相同,这是由于各测点所对应的橡胶减震器本身性能存在差异以及测量误差等造成的。

将各测点数据加和平均得到不同载荷下地板减震系统平均振动传递率,如图2所示。

从图2可以更清楚地看到,载荷对地板减震系

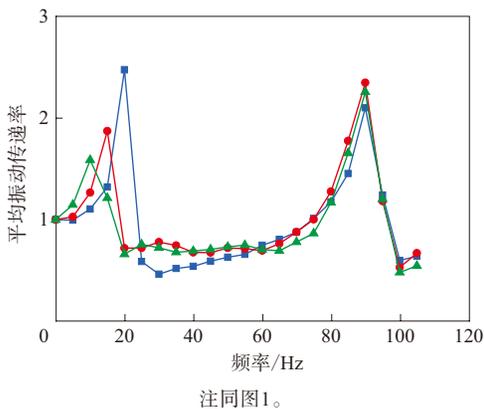


图2 载荷与地板减震系统平均振动传递率的关系

统振动传递率的影响主要集中在10~25 Hz 频率范围内,在此范围内,载荷越小,减震系统振动传递率越大,在其他频率范围,载荷的变化对减震系统振动传递率基本没有影响。

### 2.2 老化程度对地板减震系统振动传递率的影响

本课题组前期比较系统地研究了老化对橡胶减震器使用寿命的影响规律<sup>[5]</sup>,得到了该地板减震系统所用橡胶减震器寿命预测的数学模型,见式(2):

$$\tau = \frac{\exp[\frac{1}{0.64}(\ln \ln \frac{0.9934}{P_0} - \ln 10^{4.9696 - 2305.6 \times \frac{1}{T_0}})]}{365} \quad (2)$$

式中,  $P_0$  为减震器老化后减震性能保持率,  $T_0$  为老化温度,  $\tau$  为老化时间。本研究以橡胶减震器老化后减震性能损失率  $(1 - P_0)$  为参数,研究橡胶减震器老化程度对地板减震系统振动传递率的影响。

将试验数据代入式(2)得到如表1所示的橡胶减震器老化后减震性能损失率。

将减震性能试验2所得数据通过式(1)转化为振动传递率,得表2所示不同老化程度橡胶减震器所对应的减震系统振动传递率。

以表1数据为横坐标、表2数据为纵坐标,得到橡胶减震器老化后减震性能损失率与地板减震系统振动传递率的关系,结果如图3所示。

表1 橡胶减震器老化后减震性能损失率

老化时间/d	老化温度/°C				
	80	90	100	110	120
0	0	0	0	0	0
6	0.089	0.128	0.181	0.249	0.333
12	0.132	0.190	0.265	0.358	0.467
18	0.166	0.237	0.328	0.436	0.556

表2 不同老化程度橡胶减震器所对应的减震系统振动传递率

老化时间/d	老化温度/°C				
	80	90	100	110	120
0	0.506 07	0.506 07	0.506 07	0.506 07	0.506 07
6	0.523 23	0.523 90	0.545 83	0.538 71	0.561 84
12	0.534 53	0.536 40	0.538 77	0.551 29	0.600 11
18	0.535 81	0.550 96	0.530 73	0.549 59	0.601 47

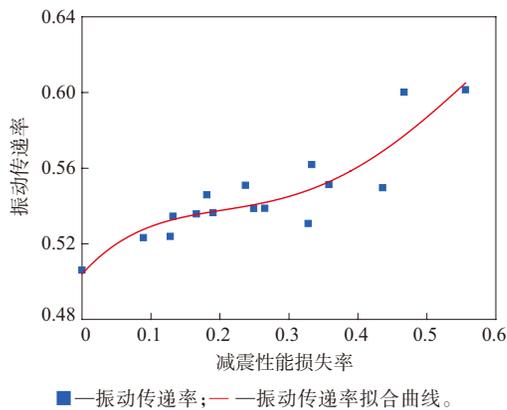


图3 减震性能损失率与振动传递率的关系

从图3可以看出:橡胶减震器老化程度越大,地板减震系统的振动传递率越大,并且两者呈非线性关系;当减震性能损失率小于0.3时,振动传递率的变化比较缓慢,当减震性能损失率大于0.3后,振动传递率变化明显加快,说明此时橡胶减震器的减震性能呈快速下降趋势。

将表1和2的样本数据进行拟合,得到橡胶减震器老化程度与地板减震系统振动传递率关系的数学模型:

$$Y = -2.770\ 01X^4 + 4.292\ 89X^3 - 1.931\ 39X^2 + 0.404\ 57X + 0.504\ 01 \quad (3)$$

式中, $Y$ 为减震系统振动传递率, $X$ 为老化后橡胶减震器减震性能损失率。

选取相同工艺下制备的新橡胶减震器,按照减震性能试验2的测试方法得到地板减震系统的振动传递率,将试验得到的振动传递率与式(3)得到的振动传递率对比,结果如表3所示。

表3 振动传递率测量值、拟合值及两者误差

测量值	拟合值	误差/%	测量值	拟合值	误差/%
0.505 07	0.504 01	0.21	0.453 89	0.455 79	0.42
0.525 23	0.527 57	0.44	0.519 77	0.499 44	4.07
0.528 90	0.532 41	0.66	0.535 73	0.548 34	2.30
0.514 33	0.493 61	4.20	0.560 84	0.549 01	2.15
0.535 81	0.535 48	0.06	0.551 50	0.552 78	0.23
0.545 83	0.536 44	1.75	0.549 61	0.568 96	3.40
0.536 40	0.536 99	0.11	0.590 01	0.577 20	2.22
0.550 63	0.539 81	2.01	0.602 47	0.605 03	0.42

从表3可以看出,根据橡胶减震器老化后减震性能损失率与地板减震系统振动传递率的关系,利用数学模型得出的振动传递率拟合值与测量值之间的最大误差为4.20%,小于5%,满足精度要求,该数学模型可用于地板减震系统优化设计。

### 3 结论

载荷大小对地板减震系统振动传递率的影响主要集中在10~25 Hz频率范围内,在此范围,载荷越小,振动传递率越大,在其他频率范围,载荷的变化对振动传递率基本没有影响。橡胶减震器老化程度越大,地板减震系统振动传递率越大,并且两者呈非线性关系,建立的橡胶减震器老化后减震性能损失率与振动传递率的数学模型可用于地板减震系统的优化设计。

### 参考文献:

- [1] 贾焕英. 高速动车组地板系统的分析研究[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(5): 36-39.
- [2] 曾宪奎, 张杰, 黄年昌, 等. 工作环境因素对橡胶减震器振动传递率的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(4): 445-447.
- [3] 李琛. 热老化对聚苯乙烯缓冲材料振动传递特性的影响[J]. 科技导报, 2013, 31(35): 56-59.
- [4] 方兴, 毕京丹. 过载状态下橡胶减震器动态性能分析[J]. 装备环境工程, 2017, 14(5): 12-15.
- [5] 韩广文. 橡胶减震器动静态性能及寿命预测研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2016.

## Influence of Load and Aging Factors on Vibration Transmission Rate of EMU Floor Damping System

ZENG Xiankui, GAO Yuanhao, FENG Hanlin, BAO Liping

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** The influence of load and aging factors on the vibration transmission rate of floor damping system was studied by applying different loads on the EMU floor damping system and replacing the rubber damper with different aging degrees. The results showed that the influence of load on the vibration transmission rate of the floor damping system was mainly concentrated on the frequency range of 10 ~ 25 Hz. In this range, the smaller the load, the higher the transmission rate was. When the damping performance loss rate of the rubber damper was greater, the vibration transmission rate was greater, and the relationship between them was non-linear. The mathematical model of the damping performance loss rate of the rubber damper after aging and the vibration transmission rate was established, and it could be used in optimizing the design of the floor damping system.

**Key words:** EMU; floor damping system; aging degree; load; vibration transmission rate

### • 国内外动态 •

普利司通推出Blizzak WS90冬季轮胎 美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2019年1月22日报道:

普利司通推出最新冬季轮胎Blizzak WS90(见图1),该产品将于2019年5月由普利司通授权的零售商销售。

为轿车和微型箱式货车设计的Blizzak WS90轮胎采用普利司通最先进的冬季轮胎技术。



图1 Blizzak WS90轮胎

(1)新胎面胶。采用公司Multi-Cell专利技术的新胎面胶可使轮胎的冰面制动距离比其替代的Blizzak WS80轮胎缩短。普利司通的Multi-Cell技术胎面胶具有亲水性,可以吸收和排出冰面上的积水,提高抓着性能。

(2)特殊设计的胎面花纹。Blizzak WS90轮胎采用特殊设计的胎面花纹,可延长轮胎的使用时间,即普利司通称相对于Blizzak WS80,Blizzak WS90轮胎“额外增加了一个冬季使用期”。该公司称,这是基于下述条件:非常寒冷地区的雪季约从10月中旬至下年度4月中旬的6个月,每月平均行驶1 931 km(1 200英里)。

除了提高耐磨性能外,Blizzak WS90轮胎还采用公司的新EdgePerformance技术,胎面上互锁的刀槽花纹提供更多花纹边缘,可提高雪/湿地性能。

Blizzak WS90轮胎现有381~483 mm(15~19英寸)51个规格,覆盖目前道路上行驶的轿车和微型箱式货车轮胎的86%。新轮胎价位与Blizzak WS80相同。

(吴秀兰摘译 赵敏校)