文章编号：1006-1355(2015)04-0035-03

减振运输箱道路运输仿真与试验

苏俊刚[1]，蒋美华[2]

（1. 蚌埠汽车士官学校 装备技术系，安徽 蚌埠 233000；
2. 军事交通学院 工程技术研究中心，天津 300161）

摘 要：通过仿真与试验，对钢丝绳隔振器减振运输箱进行研究。模拟路面的不平度信号，作为虚拟振动台的输入信号，运用ADAMS模拟减振运输箱在道路运输时的减振效果；进行道路运输试验，通过传感器来采集振动信号，对振动信号进行频域和时域分析，验证减振运输箱良好的减振效果。

关键词：振动与波；钢丝绳隔振器；减振；道路运输；仿真；试验

中图分类号：U467 **文献标识码**：A DOI编码：10.3969/j.issn.1006-1335.2015.04.008

Simulation and Test of Road Transit for the Vibration Damping Transportation Boxes

SU Jun-gang[1], *JIANG Mei-hua*[2]

（1. Equipment Technology Department, Bengbu Vehicle and Sergeant School, Bengbu 233000, Anhui China;
2. Engineering Technology Research Center, Military Transportation University, Tianjin 300161, China）

Abstract: The vibration damping transportation boxes with steel-wire rope isolators were studied by simulation and test. The roughness signals of road surface were simulated and used as the input signals of the virtual vibration test bench. Then, the process of transportation of the vibration damping box was simulated by means of ADAMS and the damping effect was obtained. The road transportation tests were carried out. The vibration signals were collected by sensors, and analyzed in frequency domain and time domain. Good damping effect of the vibration damping transportation boxes was verified.

Key words: vibration and wave ; steel-wire rope isolator ; vibration damping ; road transportation ; simulation ; test

为了保证军用物资和设备在运输过程中的使用精度，特别是在恶劣路面上进行运输时，需要使用减振运输箱进行运输。减振运输箱是为了减少物资在运输过程中产生的振动和冲击而设计制造的一种箱体(如图1)，由隔振器和箱体等部分组成，在此选择使用钢丝绳隔振器进行研究。

1 道路运输试验仿真

将路面不平度信号转换为振动台的振动信号，

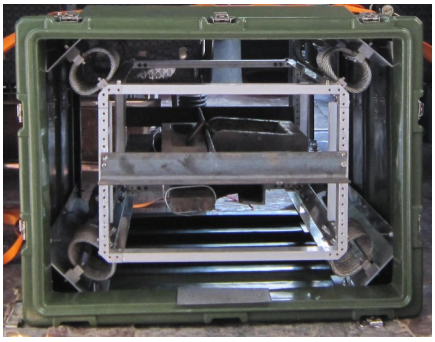


图1 钢丝绳隔振器减振运输箱

汽车在路面上行驶过程即为汽车在振动台上振动。在减振运输箱中固定一定质量的物体，随着车架的振动，被固定物体随之振动，仿真过程中需要测试出经过减振运输箱减振的响应信号，以及未经过减振的激励信号，进行比较[1]。

采用GGT 4.3-38的钢丝绳隔振器，在仿真过程

收稿日期：2014－11－24

作者简介：苏俊刚（1988－）男，河南安阳人，主要研究方向：军用车辆设计与性能研究。
E-mail: 742878726@qq.com

通讯作者：蒋美华（1962－）女，天津人，高级工程师。主要研究方向：军用车辆设计与性能研究。

中，对系统的模型做了一定程度的简化，建好的整车模型如图2所示。由于在进行运输时，振动主要体现在垂直方向上，在此取垂直方向来进行研究。

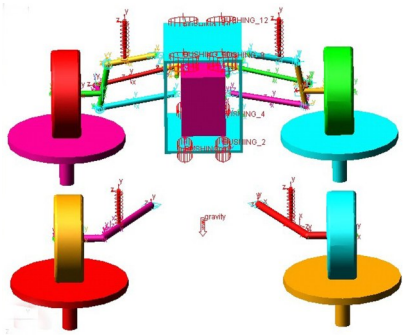


图2 道路试验仿真模型

表1 路面不平度的分级

路面等级	几何平均 $G_q(n_0)/10^{-6}\,m^3$	几何平均(σ_q /10^{-3} m)
A	16	3.81
B	64	7.61
C	256	15.23
D	1 024	30.45
E	4 096	60.90
F	16 384	121.81
G	65 536	243.61
H	262 144	487.22

1.1 路面输入频域模型

为精确预测减振运输箱对路面激励的响应信号，对路面信号进行适当的转换。通常用路面不平度来描述路面的情况，路面不平度是随机变量，通常用功率谱密度来描述其统计特性。对于不同等级的路面[2]，主要区别在于路面粗糙程度，可以方便地用谱密度函数来表达不同粗糙程度的路面，作为车辆系统的输入激励。设空间谱密度为$G_q(n)$，用下式作为拟合表达式

$$G_q(n)=G(n_0)(n/n_0)^{-w},\quad n_l\leqslant n\leqslant n_u \qquad (1)$$

式中n为空间频率，(m^{-1})；n_l、n_u为分别表示路面谱的上、下限空间频率；n_0为参考空间频率，n_0=0.1 m^{-1}；$G_q(n_0)$为参考空间频率下的路面谱(m^3)；w为频率指数。根据$G_q(n)$，可将路面分为8级[3]，表1列举了各级路面的$G_q(n_0)$范围和几何平均值。

1.2 路面输入的时域模型

对车辆振动系统进行分析时，根据车速u将空间频率功率谱密度$G_q(n)$换算成时间频率功率谱密度[4]$G_q(f)$。

车速u与空间频率n有以下的关系

$$f=un \qquad (2)$$

时间频率功率谱密度$Gq(f)$和速度u存在以下关系：

$$G_q(f)=G_q(n)/u \qquad (3)$$

将式(2)代入式(3)可以得到时间频率的路面功率谱密度$G_q(f)$

$$G_q(f)=G_q(n_0)(n/n_0)^{-w}/u=G_q(n_0)\,n_0^2u/f^2 \qquad (4)$$

根据式(4)，运用Visual Studio得到功率谱密度数据(txt格式)文件，在ADAMS中，导入此文件，定义Spline曲线，利用功率谱反变换函数INVPSD，驱动虚拟振动台进行振动，实现时域信号的输入，完成模拟。

1.3 道路试验仿真结果

对减振运输箱进行ADAMS动力学仿真，模拟在D级路面上的行驶状况，载重30 kg，速度30 km/h。选择仿真时间为20 s，过程为200步。在后处理模块中查看仿真结果，如图3所示，红色实线表示未经过减振的信号，蓝色虚线表示经过减振的信号。

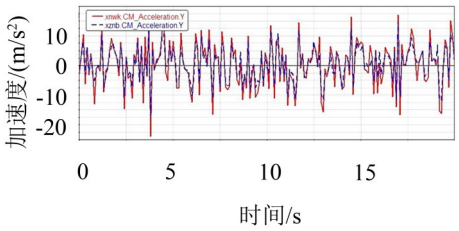


图3 加速度对比曲线

由加速度曲线可知，减振运输箱在绝大多数的点上，都具有减振效果，与预期的结果相一致；进一步分析ADAMS的仿真结果，可以从整体上观察曲线的差异和减振效果的程度，也可以在分散的点上观察具体的幅值大小。

2 减振运输箱道路试验

将减振运输箱放到运输车上，配重为30 kg；在减振运输箱内布置固定加速度传感器，分别在箱内底部和配重上固定加速度传感器，将加速度传感器与数据采集仪器连接，将车开到时速30 km/h，在越野路面进行试验，对数据进行采集。

2.1 时域分析结果

时域分析[5]可以对多通道的信号从时域进行波形分析，显示信号随时间的幅值波形，从波形图上可以得到信号在各个时间上的幅值大小。

图4表示采集到的减振运输箱试验结果波形图，

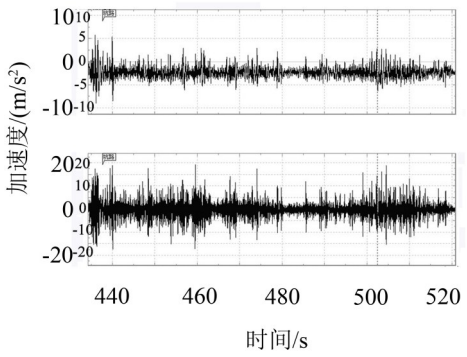


图4 试验结果波形图

上半部分表示经过减振的振动信号，下半部分表示未经减振的激励信号，可以看出经过减振后的信号明显减弱。对数据计算分析，得到经过减振的各项数据与未经过减振的各项数据，具体结果见表2。

2.2 频域分析结果

自谱分析是将信号从时域转换到频域，对信号进行频谱分析，研究对应频率上信号的谐波分量，对数据进行自谱分析，得出结果如图5所示。

表2 时速30 km/h时域指标统计

序号	指标	配重 竖直方向	箱子底部 竖直方向
EU	单位	m/s^2	m/s^2
1	最大值	8.996 0	15.649 3
2	最小值	−9.247 0	−14.126 1
3	平均值	−0.257 3	−0.247 0
4	平均幅值	1.067 5	2.632 6
5	有效值	1.549 9	3.655 6

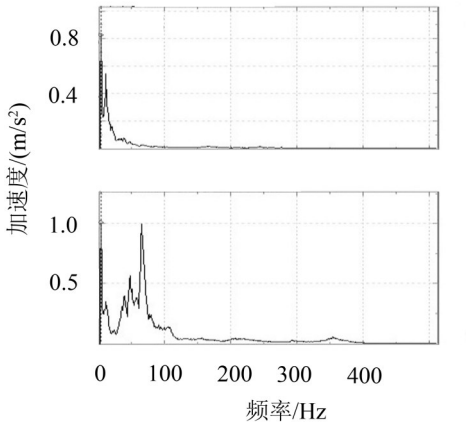


图5 垂直方向自谱分析图

2.3 试验结论

通过对以上试验结果的分析总结，得出本次试验结论如下：

（1）减振运输箱具有较好的减振效果，体现在时域上，振动的幅值明显减小；体现在频域上，对应频率上的信号强度减弱，隔掉了某些频率上的振动；

（2）减振运输箱在低频时减振效果较好，这是与自身结构有关系的，钢丝绳隔振器在变形时，由于钢丝绳股与股的摩擦，绳与钢板的摩擦等原因，消耗激励信号的能量较多，有效减小了激励信号[6]；

（3）对比自谱曲线可知，钢丝绳隔振器在较高频率（>30 Hz）时，减振运输箱对振动有很好的隔振作用，几乎过滤了激励信号，这是由减振的幅频响应特性决定的。

3 结 语

通过仿真和试验相结合的方法，研究了钢丝绳隔振器减振运输箱的减振效果，对道路运输过程进行模拟，提供了一种路面信号的模拟方法，试验通过具体的数字和图像反映了减振运输箱的减振效果。通过仿真和试验结果，表明采用钢丝绳隔振器减振运输箱进行运输时，能够有效的减少运输物资的振动，较少物资和设备受到的振动，对物资和设备具有保护作用。仿真结果与实际试验一致，试验从一定程度上验证了仿真的正确性，同时弥补了仿真的不足，也给仿真提出了更高的目标。

参考文献：

[1] 王其东，乔时侠. 汽车随机路面输入平顺性的仿真分析[J]. **合肥工业大学学报**(自然科学版)，2005，28(4)：347-350.

[2] 王江涛. 橡胶钢丝绳复合隔振器的试验研究[D]. 大连：大连理工大学，2010，6.

[3] 刘献栋，邓志党. 公路路面不平度的数值模拟方法研究[J]. **航空航天大学学报**，2003，29(9)：843-846.

[4] 余志生. 汽车理论第五版[M]. 北京：机械工业出版社，2009：205-211.

[5] 李恩奇，唐国金. X型固体导弹公路运输随机响应分析与减振方法[J]. **暨南大学学报**(自然科学版)，2005，26(1)：50-53.

[6] 蒋美华，张磊. 对钢丝绳隔振器的刚度和阻尼进行非线性特性等效的试验研究[J]. **军事交通学院学报**，2010，12(6)：73-76.