

国内包装件在汽车及推车配送环节的振动对比

仲晨, 王丽丽

(曲阜师范大学, 日照 276826)

摘要: **目的** 明确推车配送环节的振动水平 (PSD 曲线), 通过对比实验提供汽车与推车配送环节的振动差异数据, 为更好地进行运输包装设计提供可靠依据。**方法** 利用路谱记录仪 DER-1000 进行实验数据的记录。首先通过准备实验明确推车配送环节的加速度均方根(g_{rms})水平; 进而制作轻、重 2 种包装件原型, 先后测量推车配送环节不同道路和不同固定状态下的数据以及日照—上海实测汽车配送数据; 最后, 通过对比相应的 g_{rms} 和 PSD 曲线, 分别对推车配送环节与汽车公路运输环节进行对比分析。**结论** 推车配送环节的振动水平显著高于汽车运输环节, 约为公路运输的 10 倍, 在进行实际包装件设计时必须考虑推车配送环节的振动情况。

关键词: 振动; 推车; 包装件; 功率谱密度; 运输环境

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0028-06

Comparison of Vibration in Truck and Cart Shipping for Domestic Packages

ZHONG Chen, WANG Li-li

(Qufu Normal University, Rizhao 276826, China)

ABSTRACT: The work aims to determine the vibration level (PSD curve) during cart shipping and provide the difference in vibration levels during truck and cart shipping by comparing experiments, so as to provide reliable reference for a better design of transportation packaging. An instrument DER-1000 was used to record the experimental data. Firstly, a preliminary experiment was carried out to clarify the g_{rms} during the cart shipping. Secondly, two testing packages that represent light and weight package were designed. The vibration data in different road conditions and different fixed statuses and the real road transporting data by delivering the two testing packages with truck from Rizhao to Shanghai were measured in turn. By comparing the corresponding g_{rms} and PSD curve, the difference of the vibration levels between the truck and cart shipping stages was compared and analyzed. The vibration level of the cart shipping is significantly higher than that of the truck transportation. The gap of the PSD level is approximate 10 times the size of truck package transportation. Thus, it is necessary to consider the vibration during the cart shipping when we design a transportation package.

KEY WORDS: vibration; cart; packages; PSD; transport environment

振动是造成包装件破损的主要因素之一。据统计, 包装件在运输过程由各种环境因素引起的产品破坏中, 约有三分之一是由振动引起的^[1]。振动产生主要集中在流通过程中的运输环节, 运输环节分为长途运输和短途运输。长途运输主要采用汽车、

火车、船舶和飞机等交通工具; 短途运输工具主要利用叉车、电瓶车和推车。另外, 包装件在运输过程中, 不同的路面状况以及不同的运输方式所带来的振动不同^[2], 国内外学者对此进行了大量研究。在国外, 韩国^[3]对航运振动水平进行研究; 南亚^[4]

收稿日期: 2016-07-19

基金项目: 曲阜师范大学科研启动基金 (BSQD20130158)

作者简介: 仲晨 (1979—), 男, 山东济宁人, 博士, 曲阜师范大学讲师, 主要研究方向为运输包装、包装结构设计。

针对二轮三轮配送的振动水平进行研究; 北美^[5]、日本^[6]等国家对船舶的振动水平进行了研究; 也有学者做了汽车振动方面的研究^[7-8]。在国内, 一些学者针对汽车^[9-10]、高速动车^[11]、铁路^[12]、地铁^[13]等的振动情况进行了研究。不难看出, 目前振动的相关理论研究主要集中在长途运输, 基于短途运输的研究极少。近几年, 现代物流业在最优货运线路的基础上, 采用“汽车+推车”模式^[1], 在人口较为密集的道路、商贸区和园区多使用推车配送。该模式虽然可以提高配送效率, 节约物流成本, 但其运送过程中对包装件产生的冲击和振动是不容忽视的。此外, 目前的防振包装设计多以公路运输环节的振动情况为依据, 未考虑到推车配送环节包装件所受振动情况, 目前标准设计出的运输包装无法适应当今中国的物流运输业模式。文中研究在测量和分析推车配送环节不同路况的振动水平基础上, 设计具体运输包装件, 分别进行汽车长途物流运输和推车短途配送实验; 通过数据对比, 明确推车配送阶段的振动 PSD 曲线, 为更好地进行运输包装设计提供可靠参考。

1 实验准备

测量实际流通环境中的振动水平通常有 2 种方式: 将记录仪置于运输工具中, 以获得运输工具或外界环境的振动强度; 将记录仪置于包装件中, 以获得传递到内装物上的振动强度^[14-16]。显然, 由于包装件的缓冲效果不同, 2 种测量方式的实验结果是不同的。为调查不同路面状况对推车的动态振动特性, 使用第 1 种方法进行准备实验。

1.1 设计

文中研究所用实验推车为无弹簧悬架、橡胶车轮、钢体车身、车轮与车身刚性连接的普通推车, 使用路谱记录仪 DER-1000 (神荣测试设备株式会社, 日本) 进行振动数据的测试与记录, 通过其内置的便携式三轴数字传感器测量并记录动态振动数据, 其尺寸为 121 mm×135 mm×58 mm, 质量为 1 kg。DER-1000 的实验参数设置^[17]: 触发模式为时间触发; 帧长度为 1024 字节; 采样时间为 0.5 ms; 触发水平为 10%; 加速时间间隔为 0; 时间间隔为 1 s。

进行准备实验时, 将 DER-1000 紧固于推车台面中间位置, 行进速度控制在 80 步/min, 实验道路选取推车配送环节中常见的 4 种道路: 柏油路、大理石路、六边形石块路和盲道。推车配送环节的实验道路见图 1。考虑到载荷对振动的影响, 分别测量了承载质量为 1, 2, 5, 10 kg 时路面的振动情况。当承载质量为 1 kg 时, 将 DER-1000 直接紧固于推车上; 当承载质量为 2, 5, 10 kg 时, 在推车车厢上固定放置相应质量的铁块。

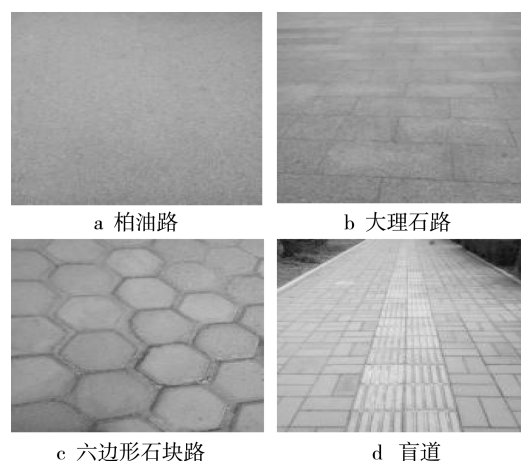


图 1 推车配送环节的实验道路

Fig.1 Experimental road conditions for cart shipping

1.2 结果

根据实验数据, 计算了不同道路、不同承载质量下的加速度均方根值(g_{rms}), 结果见图 2。通过对比可得, 不论何种路况, $g_{rms}(1\text{ kg}) > g_{rms}(2\text{ kg}) > g_{rms}(5\text{ kg}) > g_{rms}(10\text{ kg})$ 。可见, 随包装件质量的增加, 振动强度呈下降趋势, 增加负载在一定程度上可以降低 g_{rms} 值。路况不同, g_{rms} 值不同。六边形石块道路的 g_{rms} 值最大, 振动水平激烈; 大理石路面的 g_{rms} 值最小, 振动相对较平缓。按 g_{rms} 值由大到小依次为六边形半整齐路>柏油路>盲道>大理石路面, 这与在推车配送过程中观察到的实际振动情况是相吻合的。

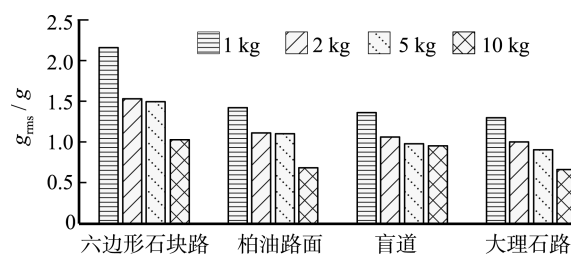


图 2 推车在不同路面上的 g_{rms} 值

Fig.2 The g_{rms} values in different road conditions

2 实际包装件运输实验

实验设计准备阶段中,实验推送采用紧固于推车的配重铁块载荷,与采用真实包装箱的载荷存在较大差距。真实非金属材料包装箱与平板推车构成一个有缓冲元件的动力学系统,在一定程度上会降低系统的振动程度。为了更为真实地对比长途汽车运输与短途推车配送环节的振动水平,在准备实验基础上,设计实际包装件,并分别进行相应实验。

2.1 实验包装件

运输包装件的结构一般比较复杂,通常将其简化为3部分,即内装物+缓冲衬垫+外包装,在该阶段实验中采用的实验包装件见图3。其中,使用特定亚克力箱和铁板模拟产品,选用EPE角垫,使用瓦楞纸箱作为外包装。这里设计了2种规格:2 kg包装件模拟轻小型包装,角垫厚度为40 mm,亚克力箱尺寸为205 mm×205 mm×100 mm,瓦楞纸箱尺寸为285 mm×285 mm×180 mm;10 kg包装件模拟重型包装,角垫厚度为80 mm,亚克力箱尺寸为220 mm×220 mm×220 mm,瓦楞纸箱尺寸为380 mm×380 mm×380 mm。

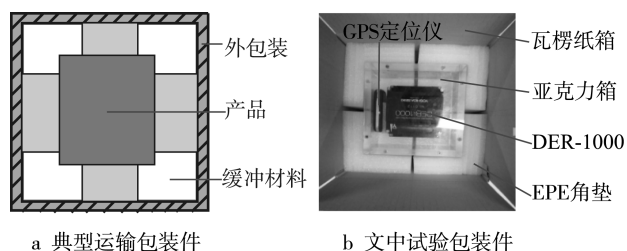


图3 实验包装件

Fig.3 The experimental package

2.2 包装件的推车配送运输实验

该阶段的实验方法、实验环境及仪器设置与准备实验相同,不同之处在于将准备实验的DER-1000及配重铁块更换为实验包装件。考虑到实际运输时,较重包装件常被压于车厢底部呈固定状态,较轻包装件常被置于顶部呈非固定状态,因此为和实际公路运输实验进行对比,在推车配送环节将2,10 kg的包装件分别做非固定测试和固定测试。

1) 2 kg包装件的设置。包装件置在推车台面上,见图4a,为防止实验过程中包装件掉落,在推车四周装有泡沫围栏。

2) 10 kg包装件的设置。包装件用捆绑绳紧紧固定在推车台面上,见图4b。

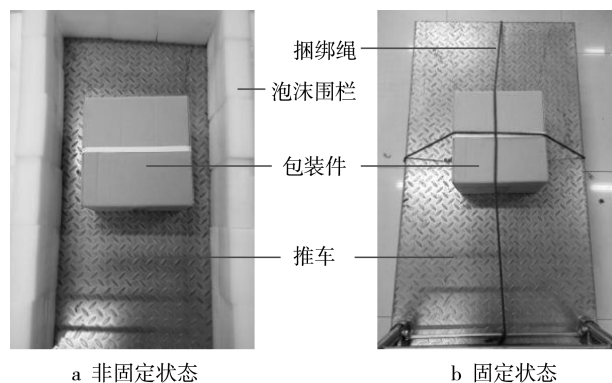


图4 推车配送实验的不同状态

Fig.4 Scenes of the cart shipping experiments

2.3 包装件的汽车实际运输实验

实验用车为圆通快递专用汽车,实验路线选定为日照—上海路段。该实验线路涵盖了高速公路、一级、二级、三级、四级公路等不同路况^[18]。分别对2,10 kg的包装件进行汽车实际运送实验,每次实验从始发地日照运到上海后,替换新的角垫材料及瓦楞纸箱后回寄到日照。每次实验周期为5 d左右。

2.4 实验结果与分析

根据实验数据,分别计算并得到相应实验的功率谱密度(PSD)。PSD曲线的横坐标为频率,纵坐标为功率谱密度,其数值反映了某频率下的振动能量大小。分析条件的设定:因运输途中的PSD以垂直方向为最大,分析通道仅分析了垂直方向PSD;分析模式为时间间隔模式(此模式为DER-1000的常规振动分析模式)^[17];时间间隔为0,即未做加窗处理。

2.4.1 推车配送

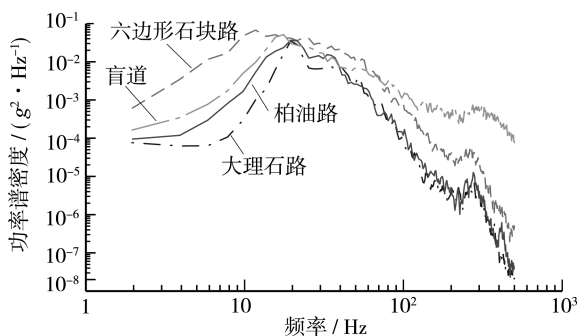
2 kg包装件不固定状态和10 kg包装件固定状态的PSD曲线见图5。

由图5a可得,包装件在不同道路上的振动水平不同,按PSD值由大到小依次为六边形半整齐道路>盲道>柏油路>大理石路,可见,选择合适的道路有利于降低产品所受振动水平。盲道的PSD

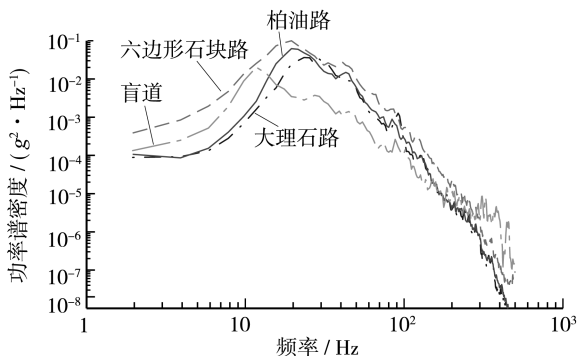
水平随频率增加而减少的趋势不明显。在高频区 PSD 值仍维持在 $1 \times 10^{-4} \text{ g}^2/\text{Hz}$ 以上。六边形石块路在 10 ~ 60 Hz 一直维持较高的振动水平。盲道、柏油路和大理石路这 3 种路况在 20 Hz 时均达到振动最强状态。

由图 5b 可得, 包装件在不同道路上的振动水平不同。按 PSD 值由大到小依次为六边形半整齐道路 > 柏油路 > 大理石路 > 盲道。盲道的总体振动水平显著低于其他道路, 其原因可能是推车车轮恰好卡于导盲石块均匀间隔接缝处, 使推送道路变为极其平整的路面, 此外, 六边形石块道路随频率在高频的振动不再明显。盲道在 12 Hz 时达到最强振动水平; 其他 3 种道路在 20 Hz 时达到最强。

对比图 5a 和图 5b 可得, 推车配送环节的 PSD 曲线的频率范围在 1 ~ 500 Hz, 振动能量主要集中在 8 ~ 60 Hz。在 0 ~ 100 Hz 区间内, 2 kg 包装件 PSD 的能量级在 $1 \times 10^{-5} \sim 0.1 \text{ g}^2/\text{Hz}$ 之间, 10 kg 包装件 PSD 的能量级在 $1 \times 10^{-4} \sim 0.1 \text{ g}^2/\text{Hz}$ 之间。不同路况的振动水平随包装件质量的不同并不完全一致, 具体体现在盲道路况上。究其原因应该是由于 2 种包装件在推车配送时的固定状态不同。



a 2 kg 包装件不固定状态



b 10 kg 包装件固定状态

图 5 推车配送阶段的 PSD 曲线

Fig.5 The PSD curves of the cart shipping stage

2.4.2 汽车运输

根据汽车实际运输实验数据分别计算了 2 kg 和 10 kg 的包装件汽车运输 PSD 曲线, 见图 6, 可知 2 kg 包装件汽车运输的 PSD 整体高于 10 kg 包装件, 即 2 kg 包装件在汽车运输途中所受振动水平大于 10 kg 包装件, 这应该是由 2 种包装件在运输途中放置状态的不同所致, 也说明在同等运输条件下, 增加质量在一定程度上可以减缓振动。公路运输 PSD 曲线频率范围在 0 ~ 125 Hz, 振动能量主要集中于 0 ~ 30 Hz, 与前述分析比较不难看出, 推车配送环节的频率带更大, 振动能量更大。2 kg 与 10 kg 包装件的 PSD 的峰值都出现在 2.4 Hz 附近, PSD 的整体趋势与 GB/T 4857.23^[19] (等同于 ASTM D4169—09^[20]和 ISO 13355^[21]) 中卡车公路运输功率谱密度趋势并不一致。不仅实况运输的振动能量级水平整体低于国家标准, 且频率范围也有所差异。这应该是因为国家标准中的 PSD 表征了汽车车厢的振动水平, 而实验所得的 PSD 则表示经包装件减振后内装物上的振动水平。

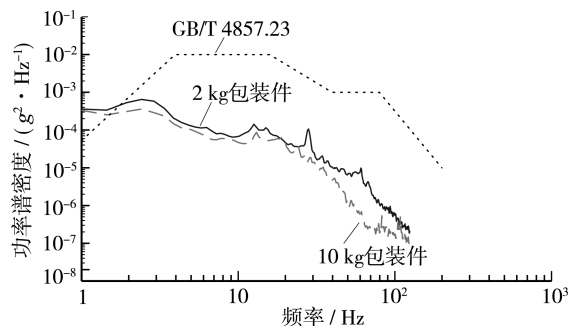


图 6 2 kg 和 10 kg 包装件汽车实况运输的 PSD 曲线

Fig.6 The PSD curves of 2 and 10 kg packages in truck shipping experiments

2.4.3 结果对比分析

进一步将包装件推车配送实验与汽车实际运输实验数据进行对比, 得到图 7, 可知推车配送的 PSD 显著高于汽车运输的 PSD, 此外, 推车配送的频率范围也远大于汽车运输的频率范围。无论包装件质量如何, 推车配送环节振动水平显著高于汽车公路运输振动水平, 约高出 2 个能量级。可见, 推车配送环节路途虽短, 但其造成的振动破坏不容忽视, 因此, 在进行包装件设计时必须考虑推车配送环节振动所带来的影响。

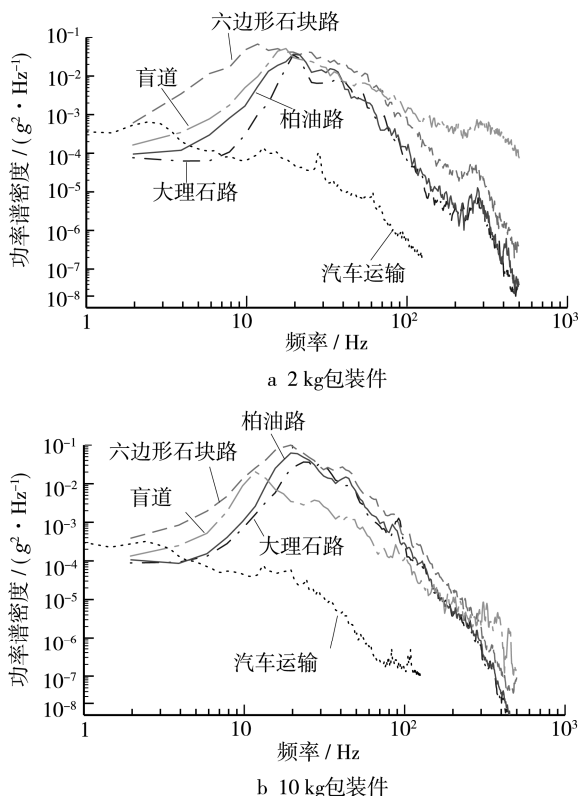


图7 不同质量包装件推车配送与汽车运输 PSD 曲线对比
Fig.7 Comparison of the PSD curves of different quality packages between cart and truck shipping experiments

3 指导性推车配送 PSD 曲线

为在今后的缓冲包装设计时和实验室实验时提供可靠依据,文中选取前期准备实验中振动水平最高的六边形石块路为对象,首先分析了1, 2, 5, 10 kg不同承载质量情况下的PSD数据,进而计算出它们的平均PSD曲线,最后在此基础上简化绘制出指导性推车配送PSD曲线。PSD曲线见图8,相关数据见表1,图8中的数字1—7分别对应表1中的序号。由图8不难看出,推车配送环节的运输

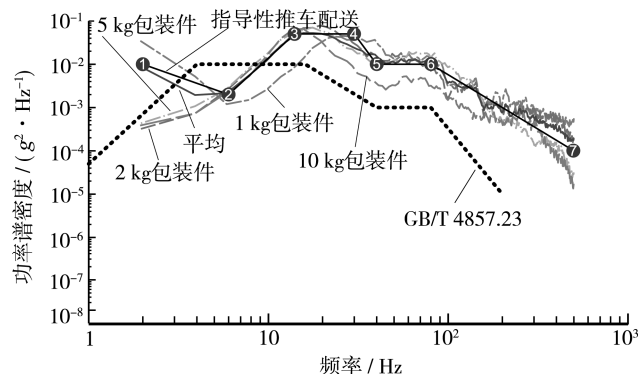


图8 指导性推车配送 PSD 曲线
Fig.8 Guiding PSD curve for cart shipping

表1 推车配送 PSD 曲线数据

Tab.1 Data table of guiding PSD curve for cart shipping

序号	频率/Hz	功率谱密度/(g ² ·Hz ⁻¹)
1	2	0.01
2	6	0.002
3	14	0.05
4	30	0.05
5	40	0.01
6	80	0.01
7	500	0.0001

环境振动水平显著高于汽车公路运输,峰值约高出10倍;推车配送的最高能量对应频率在14~30 Hz,而这一范围与一般运输包装件的共振频率相重叠,极易造成振动损坏,应在今后设计中多加重视。

4 结语

文中进行了推车配送环节的振动水平研究,通过测量和分析不同路面、不同质量及不同运输方式下的振动特性,明确了推车配送的PSD曲线,并得出以下结论:质量对推车配送的振动水平有影响,质量较小时振动水平较高;路面状况对推车配送的振动水平有显著影响,其中六边形半整齐石块路振动水平最大,大理石路振动水平最小,而盲道的振动水平则随包装件质量不同而不同;通过PSD曲线分析,可知推车配送环节的运输环境振动水平显著高于汽车公路运输,峰值约高出10倍;推车配送环节的最高振动频率带与一般包装件的共振频率重合,极易造成振动损坏。虽然推车配送环节在整个物流过程中占有的时间很短,但其振动严酷程度不容忽视,在进行运输包装设计时必须加以考虑。

参考文献:

- [1] 刘娜. 物流配送[M]. 北京: 对外经济贸易大学出版社, 2004.
LIU Na. Logistics Distribution[M]. Beijing: University of International Business and Economics Press, 2004.
- [2] 彭国勋. 运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [3] CHOI B L, LEE K D. Comparison of Disposable Dunnage and Reusable Cradles in Container Shipping of

- Steel Rolled Coils: A Case Study in South Korea[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(9): 801—809.
- [4] MUHAMMAD P K, VANEE C, SINGH S P, et al. Measurement and Analysis of Vibration Levels in Two and Three Wheel Delivery Vehicles in Southeast Asia[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(9): 836—850.
- [5] JONES E, SINGH J, SINGH S P. Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate These Conditions[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(6): 309—323.
- [6] SUDRA H, CHINA T, ASHIKAGA Y, et al. Basic Study on the Vibration Analysis for Development of Three Dimensional Transport Simulation Model for Produce[J]. Journal of the Society of Agricultural Structures, 2006, 36(4): 215—222.
- [7] LU F, KITAZAWA H, ISHIKAWA Y, et al. Effect of Vehicle Speed on Shock and Vibration Levels in Truck Transport[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(2): 101—109.
- [8] SWASDEE D, SINGH J J, SINGH S P, et al. Measurement and Analysis of Truck and Rail Vibration Levels in Thailand[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(2): 91—100.
- [9] LI B G, YAN L P, XIE J, et al. Measurement of Truck Transport Vibration Levels in China as a Function of Road Conditions, Truck Speed and Load Level[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(11): 949—957.
- [10] 李晓刚. 运输包装系统随机振动领域分析[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 50—54.
LI Xiao-gang. Analysis on Random Vibration of Transport Packaging System[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 50—54.
- [11] 任尊松, 刘志明. 高速动车组振动传递及频率分布规律[J]. 机械工程学报, 2013, 49(16): 1—7.
REN Zun-song, LIU Zhi-ming. The Law of Vibration Transmission and Frequency Distribution of High Speed EMU[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(16): 1—7.
- [12] 朱大鹏, 李明月. 铁路非高斯随机振动的数字模拟与包装件响应分析[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 1—5.
ZHU Da-peng, LI Ming-yue. Numerical Simulation and Response Analysis of the Random Vibration of Railway Non Gauss[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 1—5.
- [13] 刘卫丰, 刘维宁, 袁扬, 等. 地铁列车与道路车辆运行对环境的振动影响现场测试与分析[J]. 铁道学报, 2013, 35(5): 80—84.
LIU Wei-feng, LIU Wei-ning, YUAN Yang, et al. The Field Test and Analysis of the Influence of Metro Trains and Road Vehicles on the Environment Vibration[J]. Journal of China Railway Society, 2013, 35(5): 80—84.
- [14] 苏远, 吕勇, 赵德坚. 公路运输环境因素的测试[J]. 包装工程, 2007, 28(9): 1—4.
SU Yuan, LYU Yong, ZHAO De-jian. Measurement of Transportation Environment on Truck[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9): 1—4.
- [15] SINGIRES U. Mechanical Vibrations[M]. New York: Pearson Education, 2010.
- [16] CYRIL M H, ALLAN G P. Harris' Shock and Vibration Handbook[M]. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [17] Shinyei Testing Machinery. User Manual of DER-1000[EB/OL]. (2014-08-29) [2015-01-01]. <http://www.shinyei.co.jp/stc/>.
- [18] 中华人民共和国交通运输部. 2015 年交通运输行业发展统计公报 [EB/OL]. (2016-03-01)[2016-05-01]. http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201605/t20160506_2024006.html. Ministry of Transport of the People's Republic of China. Statistical Bulletin of the Transport Industry Development in 2015[EB/OL]. (2016-03-01) [2016-05-01]. http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201605/t20160506_2024006.html.
- [19] GB/T 4857.23, 运输包装件基本试验[S].
GB/T 4857.23, Basic Test of Transport Package[S].
- [20] ASTM D 4169—09, 卡车随机振动不同严酷水平的加速度功率谱密度[S].
ASTM D 4169—09, The Acceleration Power Spectrum Density of the Random Vibration of the Truck with Different Levels of Severity[S].
- [21] ISO 13355—2003, Packaging: Complete, Filled Transport Packages and Unit Loads, Vertical Random Vibration Test[S].