

单车道汽车行驶诱发的路面加速度频谱特性分析

李建端 李响 李鹏清 秦煜琪

江西水利职业学院, 中国·江西 南昌 330013

摘要: 通过现场测试和 MATLAB 编程, 可得到单车道汽车行驶诱发的路面加速度频谱特性。结果表明: 路面加速度的振动频率主要集中在 60Hz 以内, 汽车和路面结构两者的共振频率可能在 40Hz 左右, 且随着车速的提高频域内加速度峰值逐渐增大, 但其增长率却逐渐变小。另外, 路面振动主频大小在车速 40km/h 以内均为 17.14Hz, 而车速 50km/h 时却降为 12.31Hz。

关键词: 汽车荷载; 路面振动; 现场测试; MATLAB 编程; 加速度频谱

Analysis of the Spectral Characteristics of Pavement Acceleration Induced by Single-lane Car Driving

Jianduan Li Xiang Li Pengqing Li Yuqi Qin

Jiangxi Water Conservancy Vocational College, Nanchang, Jiangxi, 330013, China

Abstract: Through field testing and MATLAB programming, the spectral characteristics of pavement acceleration induced by single-lane car driving can be obtained. The results show that the vibration frequency of pavement acceleration is mainly concentrated within 60Hz, and the resonance frequency of both automobile and pavement structure may be about 40Hz, and the peak value of acceleration in the frequency domain gradually increases with the increase of vehicle speed, but its increasing rate gradually decreases. In addition, the main frequency of road vibration is 17.14Hz within 40km/h, but it is reduced to 12.31Hz at 50km/h.

Keywords: car load; pavement vibration; field testing; MATLAB programming; acceleration frequency spectrum

0 前言

随着城乡建设的快速发展, 公路交通流量也在逐年增加, 与此同时给路面振动带来的影响也越来越大。针对汽车运营引起路面振动问题的研究, 绝大多数的科研工作者, 要么将汽车荷载视为移动简谐荷载进行理论计算, 要么把路面结构当作有限单元进行数值模拟, 要么在车流量较大的区域进行非稳态环境下的现场测试。这些研究方法基本上都是从时域角度出发, 相应成果虽然都有一定的参考价值, 但均无法得到频域内单辆汽车在无干扰时对路面进行随机施加荷载的客观规律。因此, 汽车移动荷载作用下无环境干扰路面振动问题的频域解亟待探索。

论文采用现场测试和 MATLAB 编程的方法, 将所采集到的时程信息进行 1/3 倍频程处理, 最终得到单车道汽车行驶诱发的路面加速度频谱特性。

1 测试介绍

经测试人员事前现场勘察, 位于江西省南昌市经济技术开发区的沙港路, 路面平整度较好, 周边车流量较少, 大约 500m 的长度较为适宜, 可作为此次测试的理想场地。测试所用小型轿车的品牌是 2008 纪念款卡罗拉, 其轴距 2.6m、重量 1.28t、最高时速 195km/h、百公里加速时间 11.8s。测试所需的各类工器具包括: KD15000L/KD-YZ-ST10K 加速度传感器、KD-MINIV16 采集器、5m 的航插头-BNC 线缆、

10m 的 TNC/BNC 线缆、小米便携笔记本、含常规测试用具的工具箱, 以及螺钉、磁座、合格证、检测报告等附件。测试人员使用线缆对采集器和加速度传感器进行组装, 与小米便携笔记本连接之后, 安置在如图 1 所示的道路中部位置。

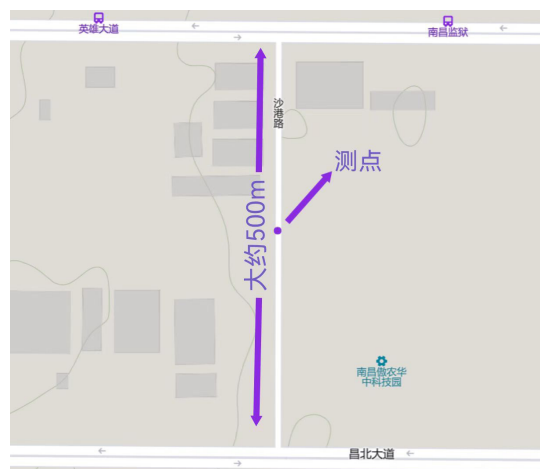


图 1 测试场地位置图

所设测点与西侧路缘石和白实线的距离分别为 257.6cm 和 47.8cm, 正式实测前完成各项调试工作。整个测试环节, 采样频率取 400Hz, 并考虑经过测点处不同车速时的工况。当测试人员发放“开始”指令后驾驶员启动车辆, 汽车经短暂加速后朝着测点匀速直线行驶, 图 2 为现场测试实景图。



图 2 现场测试实景图

2 数据处理

通过此次现场测试,可从通过缆线连接传感器和采集器的笔记本电脑上,得到汽车移动荷载作用下路面振动加速度大小随时间的变化关系。为了进一步分析单车道汽车行驶诱发的路面加速度频谱特性,通过 MATLAB 软件进行编程,将频谱曲线进行 1/3 倍频程滤波转化为 1/3 倍频图谱。其中,1/3 倍频程的处理过程,是先对采样信号进行快速 Fourier 变换 (FFT),计算出频域响应内的幅值谱,然后用幅值谱的数据计算每一个中心频率的带宽内的平均值。该数据处理所用的计算公式如下。

根据均方根值 (RMS) 的定义,并离散后可得:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{N\Delta} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n\Delta) \cdot \Delta} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)} \quad (1)$$

式 (1) 中, Δ 为采样时间间隔, $x(t)$ 、 $x(n)$ 分别为连续、

离散的信号时程。

将式 (1) 转换成频域表达式,得到连续形式的 Parseval 等式为:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df \quad (2)$$

将上式离散,并注意到连续的频谱与离散的频谱定义中相差一个 Δ , 得离散形式的 Parseval 等式:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) \cdot \Delta = \sum_{m=0}^{N-1} (X(f_m) \cdot \Delta)^2 \cdot \frac{1}{N\Delta} \quad (3)$$

即:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m^2 \quad (4)$$

3 频谱分析

如图 3 所示,呈现的是单车道汽车行驶诱发的路面振动加速度的频谱曲线。从该图可以看出,在这四种工况条件下,路面加速度的振动频率,均主要集中在 60Hz 以内的中低频范围,且随着车速的提高频谱曲线逐渐由密变疏,频域内加速度峰值也逐渐增大,这是因为车速越大则越接近路面结构的剪切波速,车辆和路面两种不同振源产生的振动波就会出现不同的干涉效果。另外,值得注意的是,在 40Hz 处频谱曲线的频域内加速度大小均比其他频率处的情况要小得多,这表明车辆和路面结构两者的共振频率可能在 40Hz 左右,该两种振源产生的振动波传播至测点处,其中一个振动波的波峰已经出现,另一个振动波的波谷也刚好达到,两者近乎干涉相消。而在个别频率处频域内加速度大小又明显比周边的大,这说明该频率条件下发生了波的干涉相长。

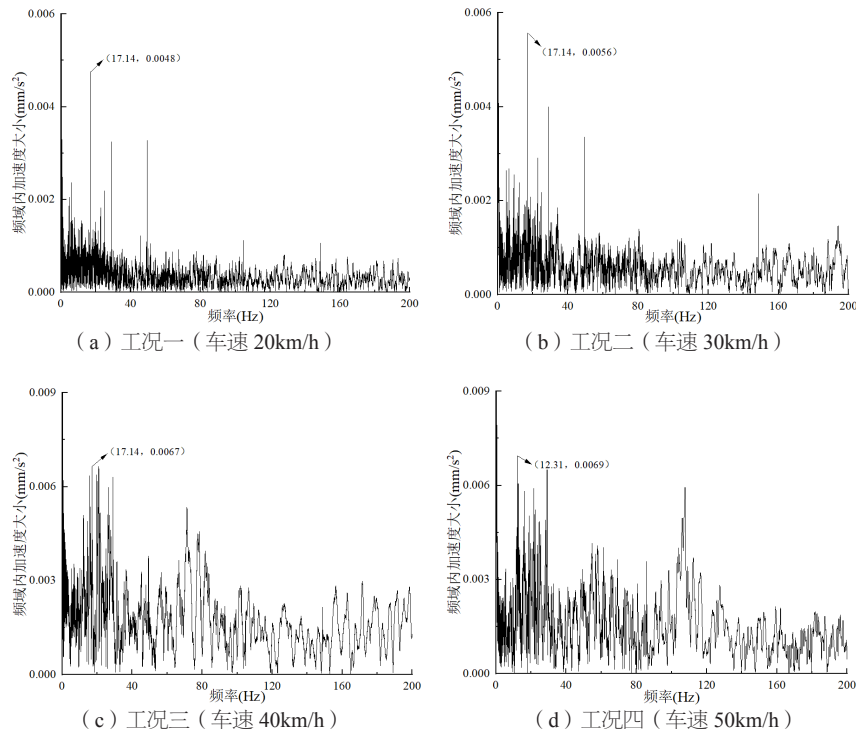


图 3 路面振动加速度频谱曲线

如表 1 所示，将不同工况下路面振动主频大小及加速度峰值进行汇总。由表可知，虽然车速的提高会导致路面振动频域内加速度峰值变大，但加速度峰值的增长率却越来越小，尤其是车速由 40km/h 提高至 50km/h 时，加速度峰值由 0.0067mm/s² 增至 0.0069mm/s²，增幅仅 0.002mm/s²，这说明路面振动频域内加速度存在阈值，车速的提高并不能使其无限增大。另外，车速为 20km/h、30km/h、40km/h 时，路面振动主频大小均为 17.14Hz，而车速提高至 50km/h 后，路面振动主频大小却降为 12.31Hz。

表 1 不同工况下路面振动主频大小及频域内加速度峰值

工况	一	二	三	四
车速（km/h）	20	30	40	50
主频大小（Hz）	17.14	17.14	17.14	12.31
频域内加速度峰值（mm/s ² ）	0.0048	0.0056	0.0067	0.0069

4 结语

通过现场测试和 MATLAB 编程，可得到单车道汽车行驶诱发的路面加速度频谱特性。结果表明：路面加速度的振动频率主要集中在 60Hz 以内，汽车和路面结构两者的共振频率可能在 40Hz 左右，且随着车速的提高频域内加速度峰

值逐渐增大，但其增长率却逐渐变小。另外，车速 40km/h 以内路面振动主频大小均为 17.14Hz，而车速提高至 50km/h 后却降为 12.31Hz。

参考文献：

[1] 赵锐,张毅刚.车辆引起的地面振动衰减计算方法[J].振动测试与诊断,2015,35(2):295-301+399.

[2] 查文华,洪宝宁,徐毅.交通荷载下路面振动响应信号的时频特征分析[J].工程抗震与加固改造,2007(4):105-109.

[3] 陈德奇.随机不平度激励下公路路面交通荷载特性数值分析[J].重庆建筑,2012,11(4):30-34.

[4] 邹锦华,陈焰华,黄龙田,等.交通荷载作用下市政道路路面振动测试与分析[J].路基工程,2019(5):40-46.

[5] 程伟,崔航,曾二贤.交通荷载作用下公路路面结构振动分析[J].土工基础,2011,25(2):38-43+50.

[6] 刘干斌,周晔,郑荣跃.交通荷载作用下软土路基-路面三维振动研究[J].宁波大学学报(理工版),2008,21(3):380-385.

[7] 李宇坤.随机交通荷载激励下城市路面环境振动响应及控制研究[D].福州:福建农林大学,2022.

作者简介: 李建端(1995-), 男, 中国江西南昌人, 硕士, 助教, 从事岩土工程研究。