

Research on the Method of Selecting Iterative Target Signal for Six Channels Test

Xiaojun Yang, Jun Li

Shanghai Huizhong Automotive Manufacturing Co., Ltd., Shanghai
Email: lijun111233@163.com

Received: Jun. 10th, 2016; accepted: Jun. 27th, 2016; published: Jun. 30th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this paper, the selection of the acceleration signals of the six channels road simulation test bench is researched. The correlation between the strain spectrum of sub frame and the acceleration spectrum of the car body is calculated by linear fitting. Acceleration signals are selected by the result of the correlation analysis. In addition, six acceleration signals were selected by comparing the pseudo damage of each acceleration spectrum. This group of acceleration signals was analyzed and compared with signals selected by correlation analysis within time-domain, frequency-domain and correlation-domain.

Keywords

Six Channels Road Simulation Test, Load Spectrum, Correlation Analysis, Acceleration Target Signals

六通道试验迭代目标信号筛选方法研究

杨晓俊, 李 军

上海汇众汽车制造有限公司, 上海
Email: lijun111233@163.com

收稿日期: 2016年6月10日; 录用日期: 2016年6月27日; 发布日期: 2016年6月30日

摘要

本文针对六通道道路模拟试验台迭代加速度目标信号筛选进行了研究,提出了一种将载荷谱离散进行单位化拟合的相关度分析方法,计算了前车身加速度信号和前副车架应变信号之间的相关度,提出了一种基于相关分析的台架迭代目标信号筛选方法。以伪损伤最大原则筛选了一组台架试验迭代目标信号,对相关分析法筛选结果与伪损伤最大原则筛选结果进行了时域、频域、相关性三个方面对比。

关键词

六通道道路模拟试验, 载荷谱, 相关分析, 加速度目标信号

1. 引言

路模拟道试验是在室内实现汽车及其零部件快速耐久性评价的重要手段,在新产品的开发中占有举足轻重的地位[1]。车辆在行驶过程中受到来自路面的各种激励,在不同的位置会产生不同的响应,能否从这些响应点中选出代表车辆行驶各工况受载情况的响应点,关系到道路模拟试验台模拟的准确性[2][3]。室内六通道道路模拟试验台如图1所示,根据其输入特性,需要筛选出X向1个,Y向2个,Z向3个加速度迭代目标信号。本文针对前副车架的六通道道路模拟试验评价,提出一种基于车身加速度信号的前副车架应变信号相关性分析的六通道台架试验迭代目标信号的筛选方法。

2. 基于相关分析的迭代目标信号筛选

2.1. 相关分析方法

相关分析一般用于分析两个随机信号之间的关联程度或者是同一个信号不同时刻的相似性[4]。车身加速度信号和前副车架应变信号性质不同,幅值变化范围不同,因此本文采取以下方法分析二者的相关性:在相同时域上将连续的应变信号和加速度信号离散化,提取出同一时刻加速度信号和应变信号的幅值,将连续信号转化为上百万个数据点;根据幅值分布情况,以最大幅值将数据点单位化;对单位化的应变幅值数据和加速度幅值数据进行拟合分析,拟合得到曲线的斜率大小就可以反映二者在时域上的相关程度。图2、图3分别是两组加速度和应变信号的相关分析结果图。

从图2可以看出,单位化后的加速度幅值和应变信号幅值二者具有负相关。图3中,应变和加速度幅值点杂乱无章,呈分散团状分布,没有相关性。

2.2. 前副车架应变信号的选取

根据有限元应力分析结果,在前副车架布置3个测点,测点位置如图4所示。在某试车场标准测试循环进行了9次数据采集,如果将这些信号按照不同的采集次数、不同的路段和不同的应变测点逐个与加速度信号进行相关分析,数据量庞大,不仅浪费时间,而且也没有必要。因此,从3个应变信号中,选取能够代表前副车架损伤程度的1个应变信号作为迭代目标信号筛选时的参考信号。

根据测试车辆前副车架所采用材料的力学性能,在N-Code软件中定义前副车架材料基本属性。力学性能为:抗拉强度极限为550 MPa,屈服极限为410 MPa, $S-N$ 曲线斜率 $b = -0.0872$,曲线拐点对应疲劳寿命为 10^6 循环,由此得到 $S-N$ 曲线。根据确定的 $S-N$ 曲线分别计算9组载荷谱中各个应变通道的损伤,选出每次采集损伤最大的通道,如表1所示。

Table 1. Damage comparison of 3 strain measuring points for 9 times
表 1. 9 次采集 3 个应变测点损伤比较

测点	1	2	3	损伤最大
第 1 次	2.0E-04	4.2E-03	1.2E-04	2
第 2 次	7.7E-04	4.3E-03	3.4E-04	2
第 3 次	1.0E-03	5.2E-03	4.4E-04	2
第 4 次	8.3E-04	4.7E-03	3.7E-04	2
第 5 次	8.8E-04	4.8E-03	3.8E-04	2
第 6 次	1.2E-03	6.0E-03	5.1E-04	2
第 7 次	3.0E-04	6.5E-03	2.0E-04	2
第 8 次	1.9E-04	3.8E-03	1.2E-04	2
第 9 次	2.0E-04	2.9E-03	1.3E-04	2

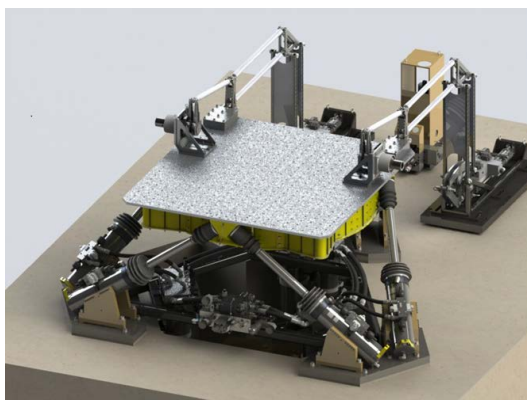


Figure 1. Indoor six channels road simulation test bench
图 1. 室内六通道道路模拟试验台

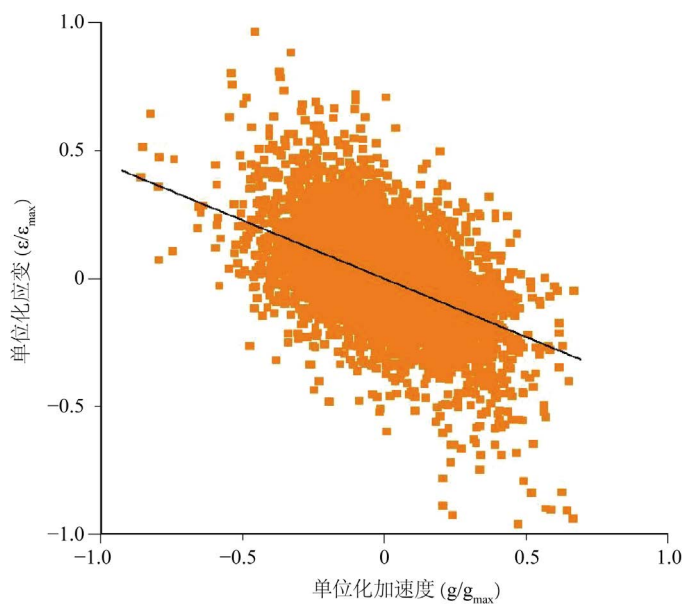


Figure 2. The result of negative correlation analysis
图 2. 负相关分析结果

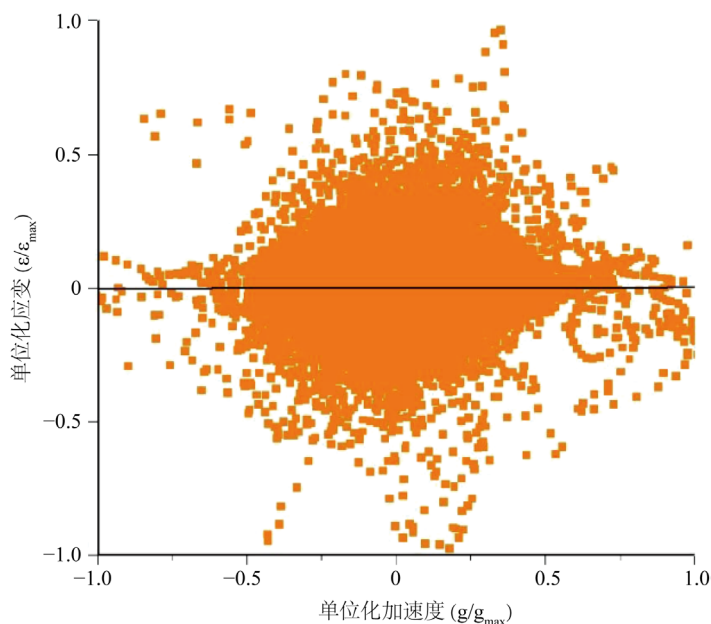


Figure 3. Uncorrelated analysis

图 3. 不相关分析结果

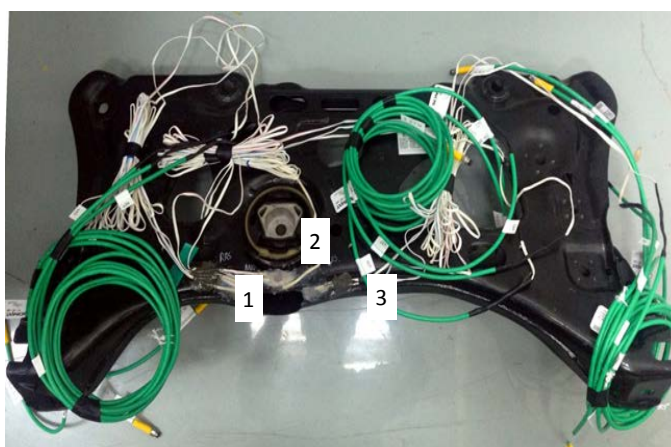


Figure 4. Measuring point of gauge of front sub frame

图 4. 前副车架应变测点

由表 1 可知, 中间测点 2 在一个循环中所受损伤最大, 因此选这点应变信号作为后续台架迭代加速度目标信号筛选的参考信号。

2.3. 加速度 - 应变信号相关分析

试验中 20 个加速度测点在车上的位置如图 5 所示, 在每个测点布置了三向加速度传感器, 在试车场进行了正反两次的道路载荷谱采集。计算两次采集 120 个加速度信号和 2 号应变测点之间的相关度。

在 N-code 软件中, 应用 Data Value Display 模块, 对载荷谱进行数据点的离散化, 为了不丢失峰谷信号, 以 500 Hz 的频率, 即每隔 0.002 秒提取一个幅值数据来进行信号的离散化, 对离散后的数据点进行单位化拟合, 分析计算结果如表 2 所示。

经过统计筛选得到的三个方向的加速度迭代目标信号如表 3 所示。

Table 2. Correlation of acceleration signal and strain measuring point 2
表 2. 加速度信号与应变测点 2 的相关度

测点序号	正向采集相关度			反向采集相关度		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-0.2650	0.2891	0.1314	0.2238	0.2739	0.1089
2	-0.2436	0.1173	0.1657	-0.2074	0.1433	0.1408
3	-0.2712	0.3175	0.1189	-0.2270	0.3036	0.1033
4	-0.2312	0.2603	0.1062	-0.2005	0.2666	0.0749
5	-0.2955	0.1650	0.1399	-0.2502	-0.0808	0.1266
6	-0.0859	0.1013	-0.1592	-0.0992	0.1229	-0.0879
7	-0.0688	0.0035	-0.0341	-0.1415	-0.0549	0.0196
8	-0.2251	0.0699	0.3374	-0.1933	0.0957	0.2026
9	-0.0462	-0.0695	0.2784	-0.1888	-0.0604	-0.1917
10	-0.2337	0.3210	0.1864	-0.2048	0.3161	-0.0347
11	0.2427	-0.0514	-0.0855	0.2293	0.1335	-0.0580
12	-0.2242	0.1316	0.0415	-0.1753	0.1049	0.0071
13	-0.2579	0.1993	0.1444	-0.2349	0.2410	0.1355
14	-0.1535	0.2412	0.0397	-0.1299	0.0936	0.0041
15	0.2025	0.2489	0.1100	0.1688	0.2753	0.0992
16	0.2417	-0.0664	0.0118	0.2242	-0.0513	0.0586
17	0.2118	0.2917	-0.2496	0.0287	0.1341	0.1623
18	0.1811	-0.0618	0.0109	0.1487	-0.0453	-0.0056
19	-0.2943	0.2346	0.0989	-0.2044	0.2652	0.1234
20	-0.1905	0.2194	0.1537	-0.1815	0.1898	0.1052
统计结果	5	3、10	8、9、17	5	3、10	8、9、17

Table 3. Correlation analysis iterative acceleration target screening results
表 3. 相关分析迭代加速度目标信号筛选结果

加速度方向	测点序号	位置
X	5	发动机左连接点
	3	发动机左悬置车身连接点
Y	10	整车质心
	8	发动机悬置副车架连接点
Z	9	发动机
	17	空调/制动主缸支架

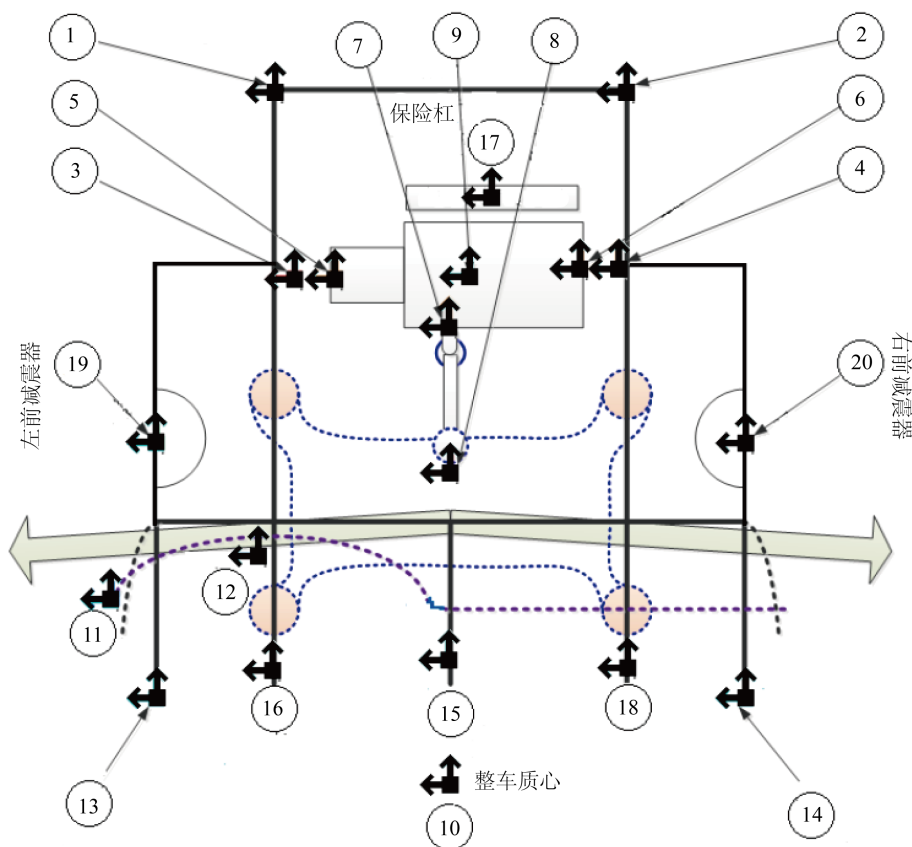


Figure 5. Acceleration measuring point layout
图 5. 加速度测点布置图

从筛选的结果看, X、Y、Z 三个方向加速度迭代目标信号所对应的测点, 相互之间没有重合, 比较独立, 可以全面的反映车头整体的载荷空间分布。

3. 基于伪损伤最大原则的迭代目标信号筛选

为了进一步对比验证本文所提出的基于相关度分析的加速度目标信号筛选方法, 采用传统的伪损伤最大原则进行加速度信号的筛选[5]。计算得到 20 个加速度测点 X、Y、Z 三个方向的伪损伤, 选出每个方向伪损伤最大的加速度信号, 如表 4 所示。

统计以后, 根据伪损伤分析结果, 筛选出如表 5 所示的加速度迭代目标信号。

统计结果表明, 基于伪损伤最大原则筛选出的加速度目标信号, 在 X、Y、Z 三个方向对应的测点互有重合, 集中于整车载荷谱采集过程中的前车身受载较大的部位, 没有考虑整个前车身的载荷空间分布, 以及前副车架的受载状态。

4. 两种筛选方法的对比分析

对筛选得到的两组信号进行对比分析, 为了保证各向对比的独立性, 每个方向选取不同测点进行对比分析, 伪损伤分析法只有一种选取结果: X 方向 9 号测点, Y 方向 6 号测点, Z 方向 7 号测点。对应相关分析筛选的信号中, 选取每个方向上相关度最高的测点进行对比: X 方向 5 号测点, Y 方向 10 号测点, Z 方向 8 号测点。对选出的两组测点信号, 进行时域特征、频域特征、与应变通道相关性四个方面的对比分析。

Table 4. Acceleration signal pseudo damage statistics
表 4. 加速度信号伪损伤统计

测点序号	正向采集伪损伤			反向采集伪损伤		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	6.0E-06	8.0E-06	6.6E-06	8.7E-06	1.2E-05	9.0E-06
2	6.4E-06	8.7E-06	9.6E-06	8.6E-06	1.2E-05	1.2E-05
3	6.1E-06	2.3E-06	3.2E-06	9.0E-06	3.4E-06	4.6E-06
4	6.6E-06	3.4E-06	6.4E-06	8.7E-06	5.0E-06	8.0E-06
5	7.6E-05	8.6E-07	1.6E-05	8.6E-05	1.1E-06	1.7E-05
6	2.5E-06	1.2E-04	2.2E-05	3.0E-06	1.2E-04	2.6E-05
7	3.7E-04	7.6E-05	1.4E-04	3.4E-04	1.0E-04	2.0E-04
8	7.1E-06	2.5E-06	1.9E-06	9.7E-06	3.7E-06	2.6E-06
9	7.0E-04	2.2E-04	1.6E-04	5.9E-04	6.4E-05	5.6E-06
10	6.8E-06	2.4E-05	1.9E-06	9.6E-06	3.5E-05	2.7E-06
11	6.7E-06	1.8E-06	3.8E-06	1.1E-05	2.8E-06	6.1E-06
12	7.6E-06	2.0E-06	6.5E-06	1.0E-05	3.0E-06	8.6E-06
13	6.8E-05	2.1E-06	5.3E-06	1.2E-05	3.2E-06	8.4E-06
14	6.9E-06	2.5E-06	8.2E-06	1.5E-08	3.8E-06	1.1E-05
15	6.3E-06	1.8E-06	7.8E-07	8.8E-06	2.6E-06	1.3E-06
16	6.3E-06	5.1E-06	2.0E-05	9.4E-06	6.8E-06	2.4E-05
17	2.4E-06	3.9E-06	9.8E-06	1.8E-05	2.0E-05	5.5E-05
18	7.4E-06	4.3E-06	1.7E-05	9.6E-06	5.9E-06	2.2E-05
19	8.0E-06	2.1E-06	3.7E-06	1.5E-05	4.1E-06	6.6E-06
20	5.5E-06	1.6E-06	5.3E-06	8.0E-06	2.2E-06	6.6E-06
统计结果	9	6、9	6、7、9	9	6、7	6、9、17

Table 5. Pseudo damage analysis acceleration iterative target signal screening results
表 5. 伪损伤分析加速度迭代目标信号筛选结果

加速度方向	测点序号	位置
X	9	发动机
	6	发动机悬置副车架连接点
Y	9	发动机
	6	发动机悬置副车架连接点
Z	7	发动机悬置中间连接点
	9	发动机

4.1. 时域特征对比

在信号处理中, 统计分析可以快速地将一长段信号转换成数个具有代表性的数值, 进而描述信号的特征[6]。统计分析可以快速直观地来评价信号的好与坏, 也可用来快速地评价信号与信号之间的差别[7]。对比结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出, 两组加速度目标信号的波动中心都在 0 点附近, 两组信号在这个参数上无显著差别; 两组信号的最大变程无明显的规律可循。均方根值和标准差的统计, 相关分析筛选的加速度目标信号各个方向上均小于伪损伤筛选的目标信号, 说明相关分析筛选出的加速度目标信号比伪损伤筛选结果更为稳定, 信号偏离均值的程度更小, 受到的随机因素干扰也更小。

4.2. 频域对比

通过对比两组信号的冲击响应谱来进行频域对比, 冲击响应谱可以用来衡量结构在激励载荷作用下的动态响应[8]。在 Glyph Works 中, 设置固有频率的范围为 1~100 Hz, 步长 1 Hz。每个固有频率对应的最大位移响应得到后, 以固有频率为横坐标, 最大位移响应为纵坐标即可绘制出冲击响应谱[9]。两种方法 3 个方向上的对比结果如图 6 至图 8 所示。

冲击响应谱对比结果表明, 在 X、Y 方向上, 相关分析法筛选的 5、10 号测点, 各个固有频率上对于冲击载荷的响应都明显高于伪损伤筛选的 9、6 测点; 在 Z 方向上, 相关分析法筛选的 8 号测点与伪损伤筛选的 7 号测点基本一致, 差别不大。由分析结果可知, 两种筛选方法所选择的加速度迭代目标信号, Z 方向上各固有频率对于冲击的响应差别不大; 在 X、Y 方向上, 各个固有频率对于冲击的响应, 相关分析法得到的加速度目标信号要明显优于伪损伤分析法得到的目标信号。

4.3. 相关性分析对比

两种筛选方法得到的加速度目标信号与前副车架应变信号之间的相关程度关系到台架试验是否可以真实反应前副车架在行驶过程中所受的载荷。两个随机信号之间的相关作为一种概率相关, 无法得出确切的函数关系, 但是可以从输入功率谱、响应功率谱、交叉谱、增长谱、一致性等方面来对信号之间的关联程度进行对比分析[10]。通过 N-code 软件 Glyph Works 中的相关分析模块 Frequency Response Analysis 来分析两组加速度目标信号, 三个方向上与 2 测点应变通道的相关特性。X、Y、Z 三个方向上两组加速度目标信号与应变信号之间的相关程度对比如图 9 至图 14 所示。

Table 6. Statistic correlation analysis of time domain characteristics of target signal and pseudo damage target signal

表 6. 相关分析目标信号与伪损伤目标信号时域特征统计对比

方向	测点	波动中心/g	标准差/g	均方根/g	最大变程/g	偏度/g ³
X	5	0	0.7696	0.7696	16.80	-0.1161
	9	0.00002	0.8275	0.8275	7.435	-0.1275
Y	10	-0.00004	0.1596	0.1596	2.615	-0.0584
	6	0.00002	0.1675	0.1675	2.935	-0.1473
Z	8	0	0.1670	0.1670	2.502	0.0763
	7	0	0.5052	0.5052	17.27	0.1402

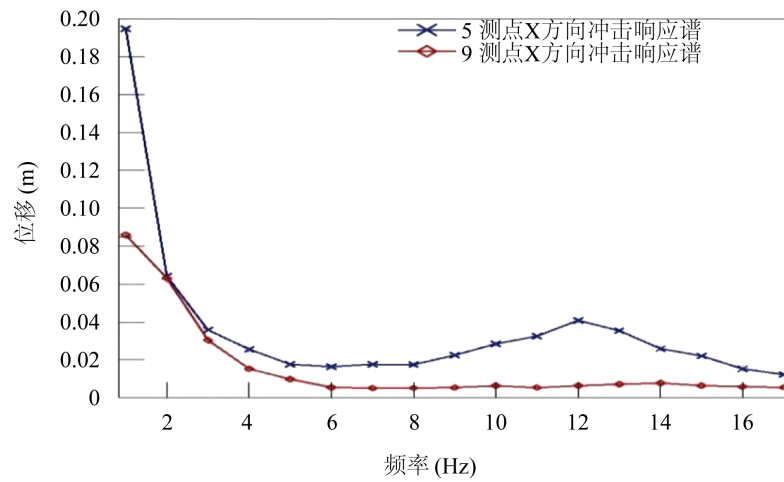


Figure 6. Comparison of shock response spectrum in X direction
图 6. X 方向冲击响应谱对比

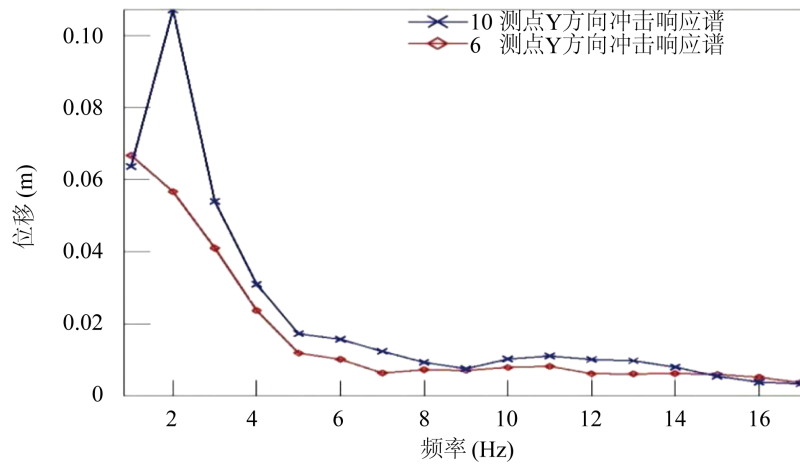


Figure 7. Comparison of shock response spectrum in Y direction
图 7. Y 方向冲击响应谱对比

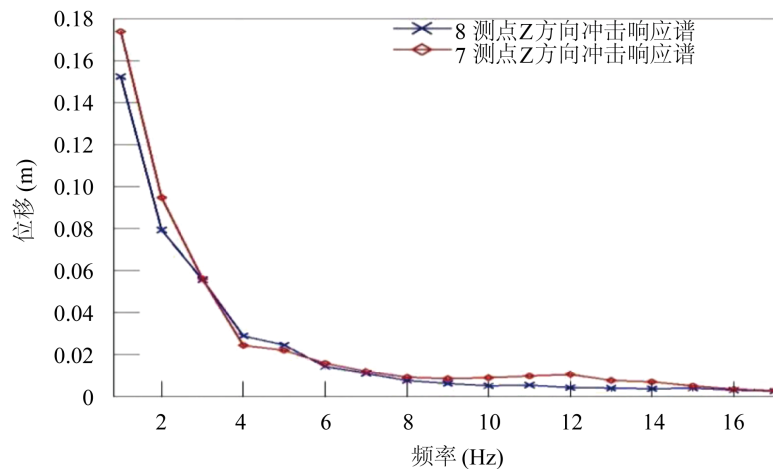


Figure 8. Comparison of shock response spectrum in Z direction
图 8. Z 方向冲击响应谱对比

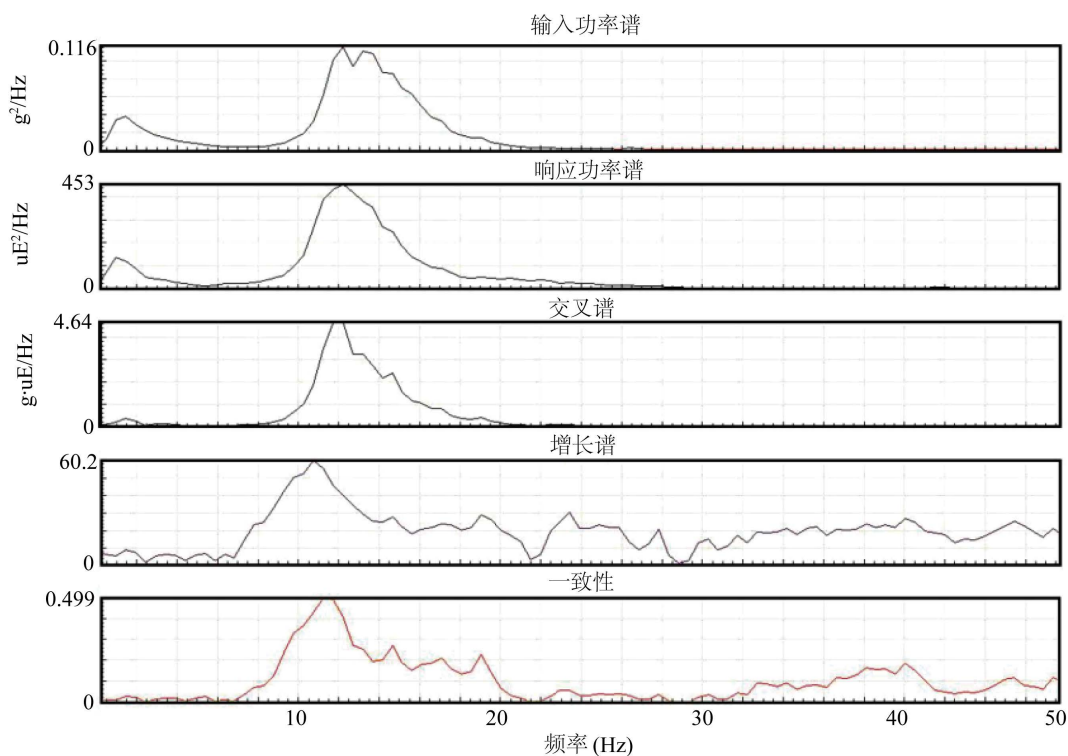


Figure 9. Correlation between the 5 point X direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 9. 5 测点 X 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

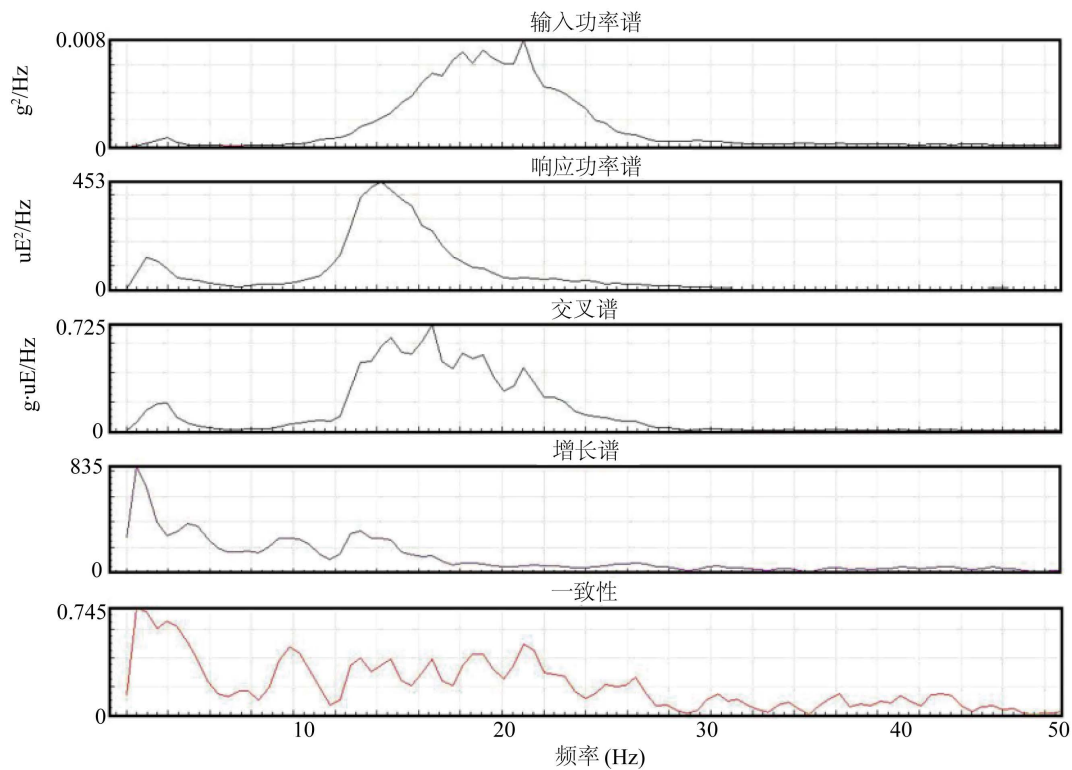


Figure 10. Correlation between the 9 point X direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 10. 9 测点 X 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

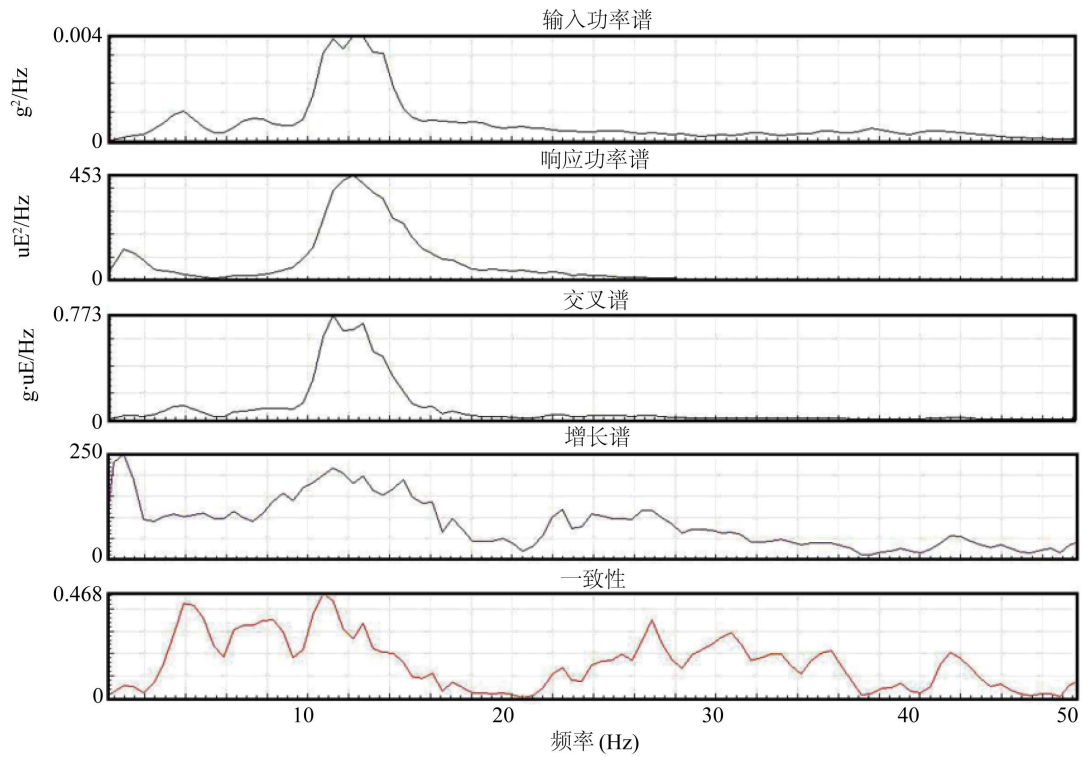


Figure 11. Correlation between the 10 point Y direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 11. 10 测点 Y 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

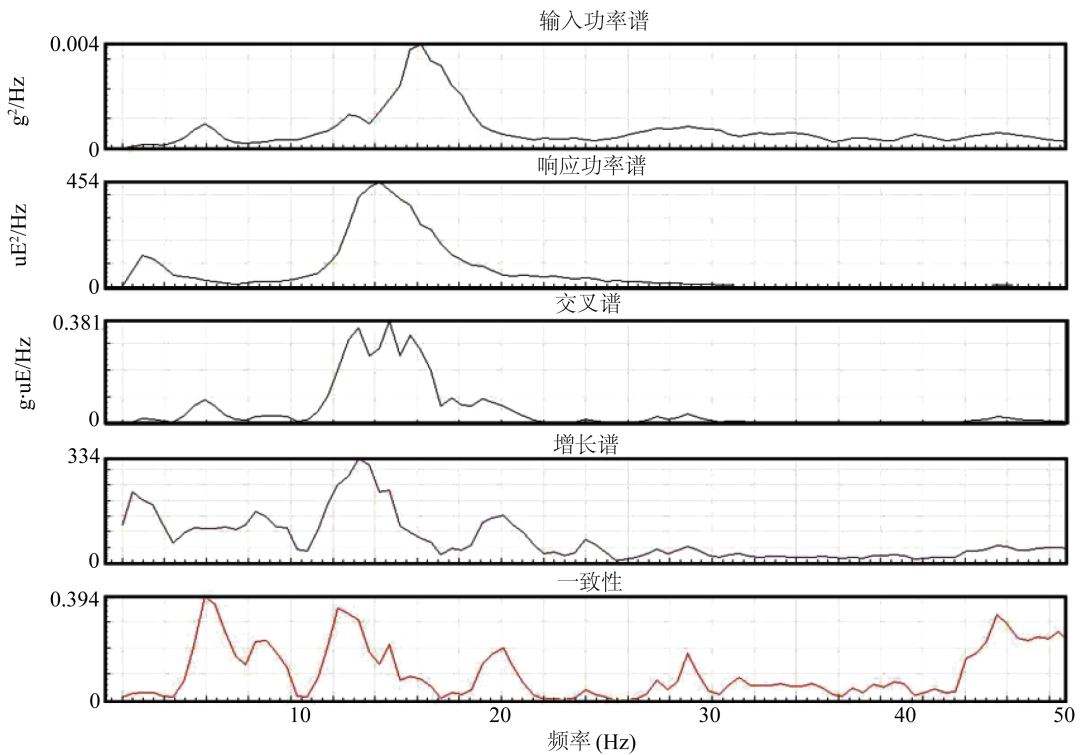


Figure 12. Correlation between the 6 point Y direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 12. 6 测点 Y 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

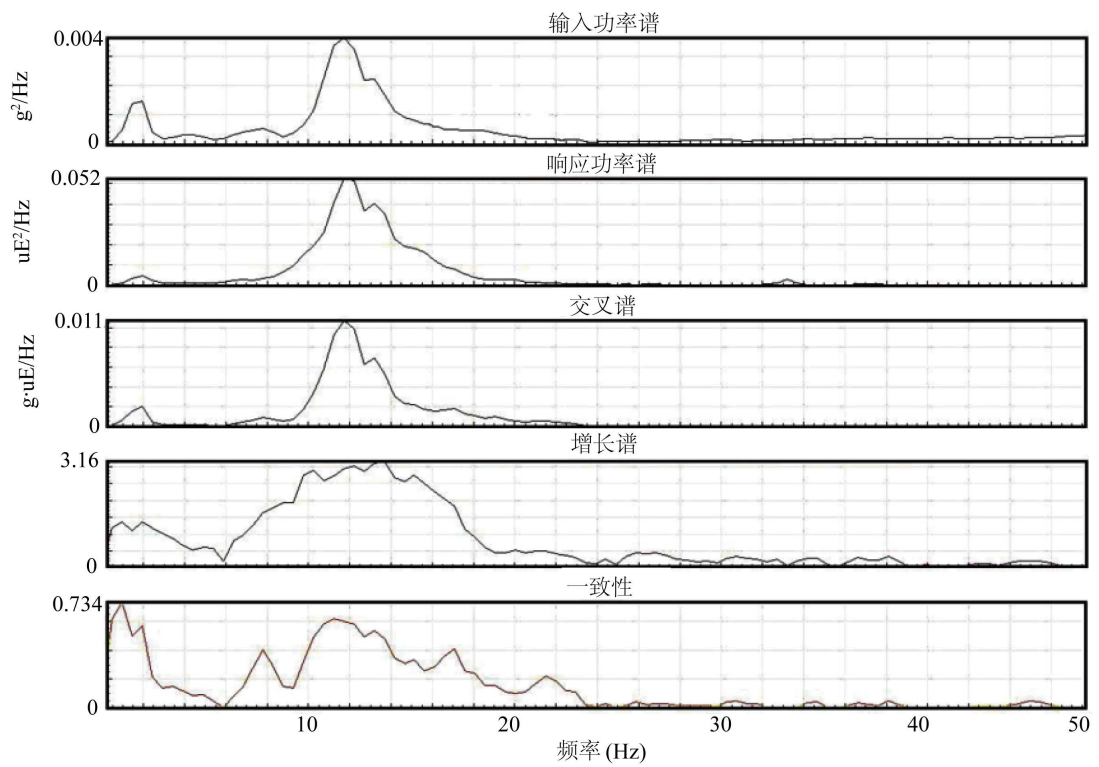


Figure 13. Correlation between the 8 point Z direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 13. 8 测点 Z 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

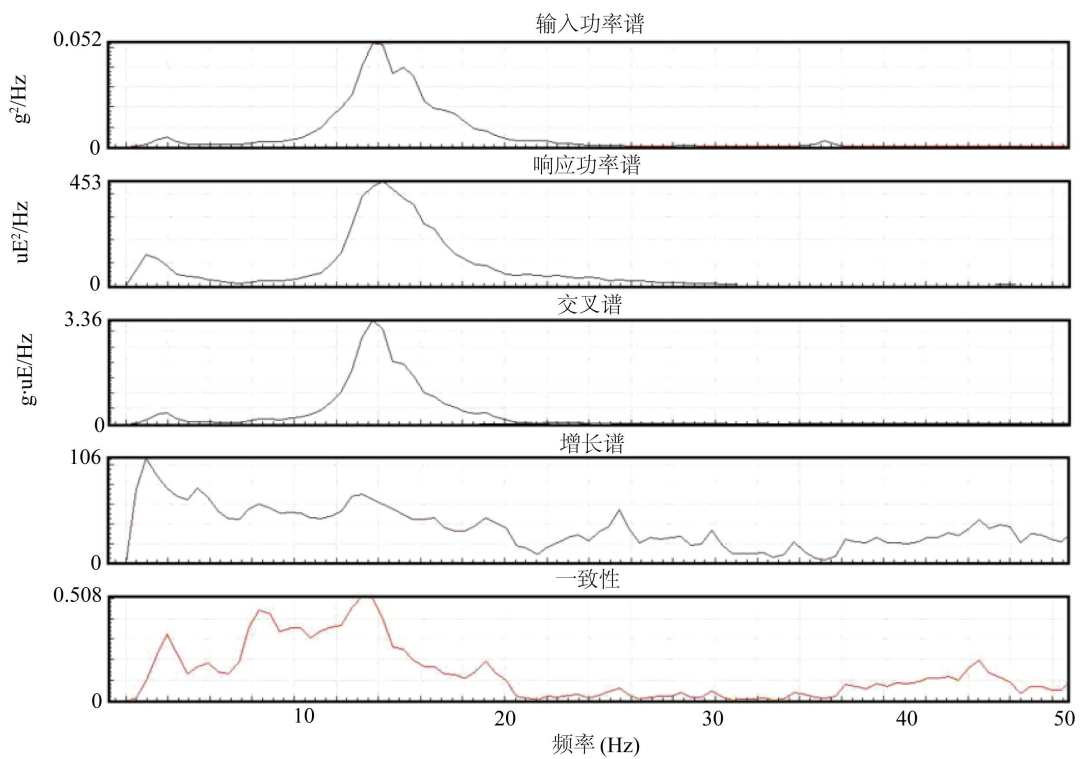


Figure 14. Correlation between the 7 point Z direction acceleration and the 2 channel strain signal
图 14. 7 测点 Z 方向加速度与 2 测点通道应变信号相关性

图9至图14中输入为各个测点加速度信号, 响应为2测点的应变信号。若二者之间相关性好, 则输入功率谱、响应功率谱、交叉谱三者在各个频率上的曲线形状应该大致相似, 三者频率结构分布一致性越好, 相关性越好。从图中可以看出, 在X方向上, 相关分析筛选出的5号测点的加速度信号与应变信号的输入功率谱、响应功率谱、交叉谱的波峰位置、峰值对应频率, 以及各个频率上的响应分布具有很好的 consistency, 基于伪损伤选出的9号测点X方向上的输入谱和响应谱之间有波峰对应频率不同, 图线形状不相似, 相关性较差。在Y方向上, 10测点加速度信号与应变信号之间的相关性也要明显优于6号测点。Z方向上, 相关分析所选的8号测点输入谱、响应谱、交叉谱分布较为一致, 基于伪损伤所选的7号测点功率谱之间的峰值也大致一致, 二者都具有一定的相关性, 差别不大; 进一步比较一致性曲线, 8号测点在响应较为集中的10 Hz到16 Hz的范围内一致性要好于7号测点。

5. 结论

针对前副车架六通道试验迭代目标信号的筛选问题, 本文提出一种先将载荷谱离散为数据点, 再用最大幅值单位化进行拟合的相关度分析方法。分析计算20个加速度测点X、Y、Z三个方向加速度信号与前副车架应变信号之间的相关度, 依据其相关性大小筛选出六通道道路模拟试验台三个方向上的6个迭代加速度目标信号。用伪损伤分析方法, 筛选出一组台架试验迭代加速度目标信号, 与相关分析法筛选得到的信号进行时域、频域、相关度三个方面的对比分析, 分析结果表明: Z方向信号筛选上, 两种方法筛选得到的信号在时域、幅值、频域上分布特点接近, 二者各有优缺点; 在X、Y方向信号筛选上, 相关分析法明显优于伪损伤筛选法。

参考文献 (References)

- [1] 沈宏杰, 周鋈. 汽车零部件道路模拟加载谱研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(2): 159-162.
- [2] 钱立军, 吴道俊, 杨年炯, 等. 基于室内道路模拟技术的整车加速耐久性试验的研究[J]. 汽车工程, 2011, 33(2): 91-96.
- [3] Abdullah, S., Nizwan, C.K.E. and Nuawi, M.Z. (2009) A Study of Fatigue Data Editing Using the Short-Time Fourier Transform (STFT). *American Journal of Applied Sciences*, 6, 565-575. <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2009.565.575>
- [4] 赵礼辉. 随机谱下零件的疲劳寿命评价与失效关联载荷分析[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海理工大学能源与动力工程学院, 2014.
- [5] 郑松林, 梁国清, 王治瑞, 等. 考虑低幅锻炼载荷的某轿车摆臂载荷谱编制[J]. 机械工程学报, 2014, 50(16): 147-154.
- [6] 邱天爽, 郭莹. 信号处理与数据分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [7] 李永利. 疲劳试验测试分析理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 55.
- [8] 王春雨, 李一兵, 黄世霖. 应用冲击响应谱分析汽车被动安全性试验中的冲击信号[J]. 汽车技术, 1995(9): 23-27.
- [9] 段虎明, 石锋, 马颖等. 基于功率谱密度的路面评价与特征参数提取[J]. 汽车工程, 2013, 32(4): 26-30.
- [10] 周水兵. 用户关联汽车道路载荷谱编制的研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2008.

再次投稿您将享受以下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>