

The research about characteristics of acceleration sensor damping in crash test

Zhongbo LIAO^{1,2}, Zhongxian LIU^{1,2}, Baolei CHEN^{1,2}, Huili YU^{1,2}, Taisong CUI^{1,2}, Hui ZHAO^{1,2}

¹State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, 401120

²Chongqing Changan Automobile Co Ltd, Chongqing, China, 401120

Email: lixiang1@changan.com.cn

Abstract: In the crash test, the damping of acceleration sensor will affect the test result. In this paper, this conclusion is verified through the comparison of drop test. In order to avoid the data inaccuracy and unnecessary damage caused by the sensor's own damping characteristics. It is suggested to select different types of acceleration sensors for different types of crash tests.

Keywords: damping; crash test; piezoresistive acceleration sensor

加速度传感器阻尼在碰撞试验中的影响研究

廖中波^{1,2}, 刘中宪^{1,2}, 陈堡磊^{1,2}, 禹慧丽^{1,2}, 崔泰松^{1,2}, 赵会^{1,2}

¹汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401120

²重庆长安汽车股份公司, 重庆, 中国, 401120

Email: lixiang1@changan.com.cn

摘要: 碰撞试验时, 加速度传感器的阻尼特性会影响试验结果, 在本文中, 通过跌落试验对比, 验证了该结论, 并建议针对不同类型的碰撞试验, 选用不同类型加速度传感器, 避免因传感器自身阻尼特性造成对数据的影响以及不必要的损坏。

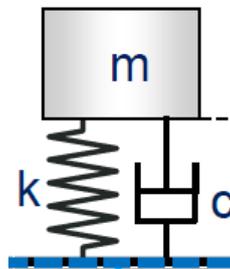
关键词: 阻尼; 碰撞试验; 压阻式加速度传感器;

1 引言

目前碰撞试验领域普遍采用压阻式 (PR) 加速度传感器, 基于压阻效应和弹簧质量块原理, 采用 MEMS 结构, 整个传感器的核心部件 (质量块、悬臂梁和支架) 都是由一个单晶硅蚀刻而成, 直接在硅悬臂梁的根部扩散出电阻并形成惠斯通电桥。根据 SAE J2570 的规定, 阻尼比 ≤ 0.05 的为无阻尼加速度传感器, 高于 0.05 的为有阻尼加速度传感器。阻尼的大小会影响加速度的真实测量, 因此需要研究不同阻尼加速度传感器的优缺点。

2 压阻式加速度传感器

加速度传感器内部可以等效为一个由质量块、弹簧和阻尼器组成的二阶系统, 示意图如下:



其动力学方程为

$$F(t) = mx + cx + kx$$

公式中 $F(t)$ 是动态冲击中产生的惯性力, m 是质量块的质量, c 为 MEMS 结构内的阻尼系数, k 是结构的刚性系数。

3 无阻尼加速度传感器

在众多型号加速度传感器中, 以 Endevco 的 7264C 加速度传感器为例, 该传感器阻尼比 0.005, 是典型的无阻尼加速度传感器, 不会造成输出波形的相位滞后、波峰降低以及波形失真, 能够准确反应剧烈碰撞的震荡过程, 因此被广泛应用于 H3 系列假人及其他类型假人中。但无阻尼加速度传感器存在以下缺点也很明显。

当无阻尼加速度传感器受到刚性冲击时, 传感器内部的弹簧质量块内部的空气间隙不能衰减刚性冲击, 质量块振动剧烈, 可能被激励达到共振状态, 从而造成以下影响:

1、导致硅悬臂梁出现机械性的损坏, 传感器报废, 在测试加速度波形上, 曲线直接到达满量程并成一条直线, 如图 1 所示。此外, 在 H3 系列假人骨盆位置, 也经常出现加速度曲线共振的问题, 造成曲线异常, 如图 2 所示。

2、饱和数据采集系统的前端放大器, 过载的放大器可能出现非线性的输出, 导致零点偏移 (或者说基线漂移), 零点偏移最直接的影响就是加速度曲线积分的速度和位移曲线出现计算误差, 导致严重偏差。

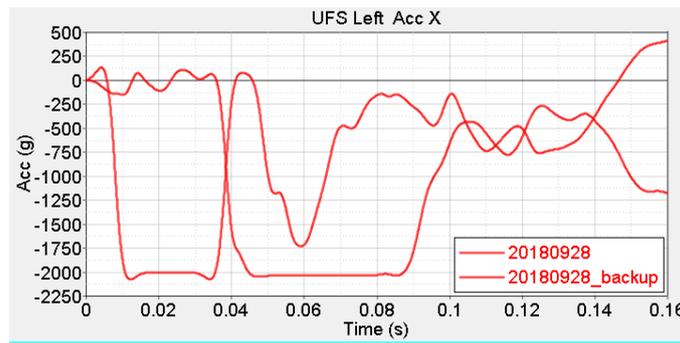


Figure 1. Damaged sensor example

图 1 传感器损坏满量程

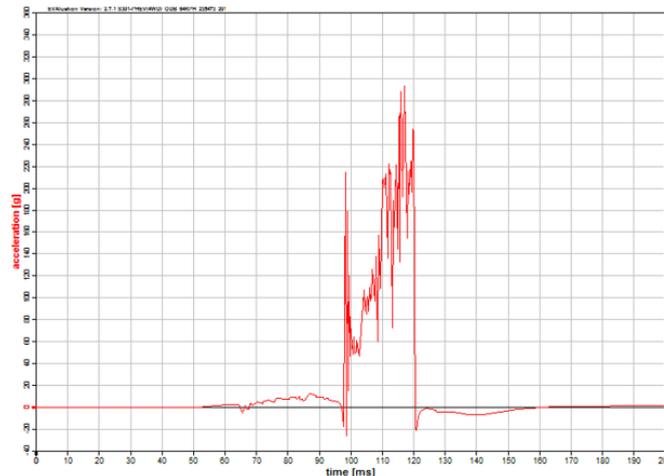


Figure 2. Abnormal acceleration curve

图 2 骨盆位置 X 向加速度曲线异常

综上所述，由于易共振，易损坏的缺点，无阻尼的压阻加速度传感器并不适用于刚性碰撞试验时，金属物体的加速度测量，例如行人保护头型冲击、台车模拟冲击以及保险杠冲击等试验工况。

4 有阻尼加速度传感器

在 MEMS 结构内部加入粘滞系数很小的空气作为阻尼材料，空气在内部各间隙间流动，产生阻尼，并且空气的粘滞系数随温度的变化很小，可以在较宽的温度范围内提供合适的阻尼，产生阻尼的同时也改善传感器的频率特性。目前应用于碰撞试验的有阻尼加速度传感器有 Endevco 的 726C 以及 MEAS 的 64X 等。

有阻尼加速度传感器的共振频率更高，在汽车碰撞冲击试验中，不易共振，加之有阻尼，不容易产生内部机械损伤，更重要的是不易造成零点偏移。

5 跌落冲击试验验证

5.1 跌落试验模型

如图 3 所示，该工装模拟传感器金属刚性冲击的跌落试验，由线性轴承和垂直的导轨组成，比较无阻尼加速度传感器与有阻尼加速度传感器的在冲击跌落时，加速度响应的时域信号，两种类型的传感器安装在线性滑块的金属本体上，滑块安装在垂直的线性导轨上，滑块沿着导轨垂直跌落，类似于自由落体运动。

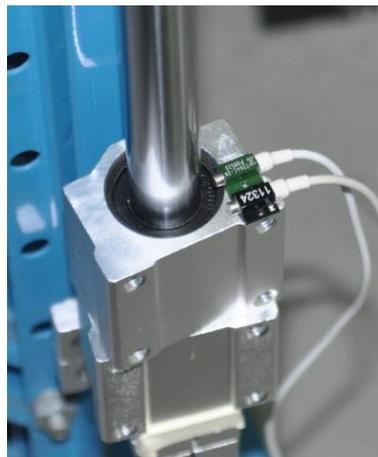


Figure 3. Sensor dropping test

图 3 传感器跌落试验

试验从 0.4m 的高度上跌落，跌落时间通过导电的锡箔纸进行计算得出，由于初速度为 0，跌落过程运动方程如下所示：

$$S = \frac{1}{2}at^2; \quad v = at$$

根据上述两个公式可以求出在线性滑块跌落的加速度以及撞击时刻的速度，结果如下表 1

Table 1. System resulting data of standard experiment

表 1 理论计算的跌落参数

跌落高度	0.4m
时间	0.4s
加速度	5.0m/s*s
速度	2.0m/s

5.2 跌落试验曲线对比

跌落试验采集加速度传感器时域信号，曲线显示如下图 4 所示。

滑块跌落至发生刚性碰撞冲击，刚开始为匀加速直线运动，速度曲线为斜线，撞击时，加速度峰值突变，积分的速度曲线也发生突变。

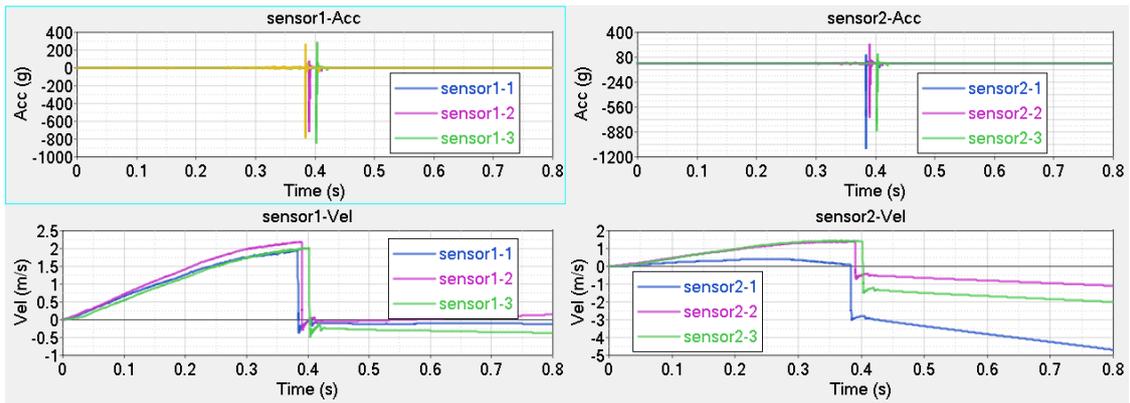


Figure 4. Data comparison about undamped sensor and low damped sensor

图 4 低阻尼和无阻尼传感器的数据对比

从曲线看，sensor1 传感器低阻尼，积分的速度曲线最初成一条斜线上升，撞击时，迅速直线下降，经过多次震荡，最终速度归为 0，这与实际的跌落情况相符。Sensor2 传感器无阻尼，积分出的速度曲线在冲击时刻会产生突变，但由于受到零飘的影响，与试验现象不一致，由此明显看出低阻尼传感器和无阻尼传感器之间的差别。

同时，对两种不同阻尼的加速度传感器也进行同样的冲击跌落对比试验，采集两种加速度传感器时域信号，曲线显示如下图 5 所示。

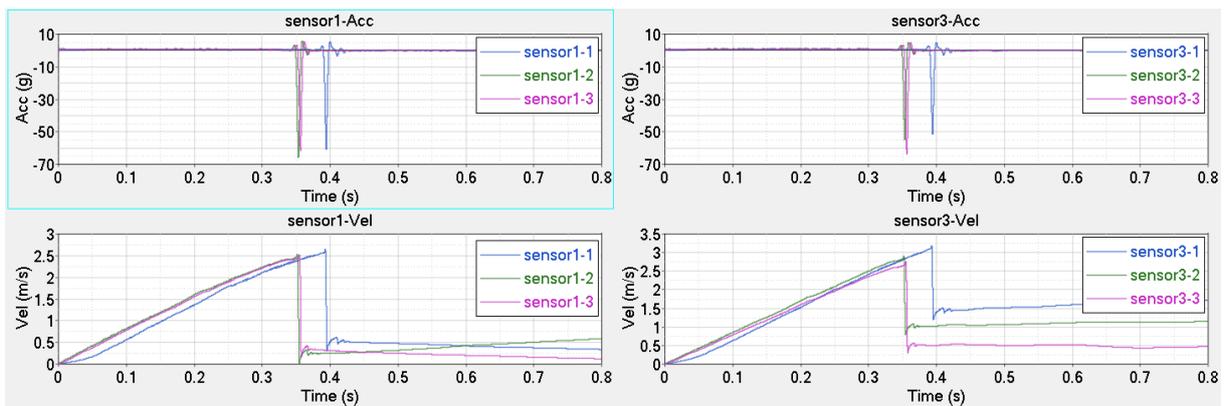


Figure 5. Comparison of sensor data with different damping

图 5 不同阻尼传感器的数据对比

从曲线看，两种不同阻尼的加速度传感器积分的速度曲线最初成一条斜线上升，撞击时，迅速直线下降，经过多次震荡，低阻尼加速度传感器的速度曲线，最终速度归为 0，这与实际的跌落情况相符，高阻尼传感器的速度曲线不能回到 0 位，这与实际现象不符。

产生如此明显区别的原因在于，无阻尼传感器被硬碰撞激发的情况下会出现共振，剧烈的共振引起数据采集系统前端放大器的非线性输出，从而造成加速度数据的零点偏移，微小的零点偏移造成了速度曲线的误差，如果碰撞剧烈，共振更会造成传感器不可逆的机械损伤，但传感器的阻尼也并非越高越好，高阻尼传感器同样会产生同样的问题。

6 结论

由于存在上述区别，在各种不同工况的碰撞试验中，传感器的选型应该有所区别，对于刚性冲击试验，建议选用低阻尼加速度传感器，例如保险杠冲击，台车动态冲击试验等；既能够保证数据的更准确，又能有效避免共振造成的传感器机械损伤。

参考文献

- [1] 卞玉民、郑峰、何洪涛 MEMS 压阻加速度传感器阻尼特性研究 MEMS 器件与技术 2010 年
- [2] 范茂军、王劲松、陈丽杰 阻尼对加速度传感器幅频特性的影响 传感器技术 2000 年
- [3] 毛海央、熊继军、张文栋 压阻式微加速度计动态特性与阻尼的关系研究 仪器仪表学报 2013 年