

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.04.06

高速气流对冲击振动加速度测试的影响

高瑞, 曹馨, 李世立, 杜文斌, 焦波

(西北机电工程研究所, 陕西 咸阳 712099)

摘要: 在火箭炮和导弹发射过程中, 用于测试发射装置振动加速度的加速度计会受到高速气流的冲击。为了探究高速气流对加速度测试可能造成的影响, 本文介绍了有关实验室及靶场测试方法与结果。在实验室内是采用压缩空气, 模拟高速气流环境, 观测加速度计分别在裸露与掩埋状态下的响应曲线。通过对测试曲线的比较分析, 并结合靶场测试结果, 得出在高速气流环境下应对加速度计进行气流防护的结论, 该结论及试验方法对火箭炮和导弹发射装置的加速度测试具有一定的借鉴意义。

关键词: 冲击振动; 测试; 加速度; 高速气流

中图分类号: TJ06

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)04-0024-03

Effects of High-speed Airflow on Measurement of Shock Acceleration

GAO Rui, CAO Xin, LI Shili, DU Wenbin, JIAO Bo

(Northwest Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Xianyang 712099, China)

Abstract: In the firing of rockets and missiles, the accelerometer used to measure the vibration of the launch device may suffer impacts by the high-speed airflow. In order to explore the effects of high-speed airflow on acceleration measurement, this paper introduces the protecting treatment and the measurement results in laboratory and field test. In laboratory test, the compressed air was used to simulate the blowing of the high-speed air flow, and the acceleration signal of a naked accelerometer was compared with that of the shielded accelerometer. With the laboratory and the subsequent field test, it is concluded that the accelerometer under the high-speed air flow must be protected with proper shield devices. The conclusion provides some useful and meaningful references for acceleration measurement under similar circumstances.

Key words: shock vibration; testing; acceleration; high-speed airflow

0 引言

冲击振动加速度的测试是设备环境试验的重要内容, 为设备冲击振动环境试验提供数据支持, 测试的正确与否关系到设备环境试验结果的质量^[1-2]。

设备的抗振、抗冲击性能是设计过程中必须考虑的问题, 包括设备的刚度、强度设计及缓冲设计等^[3-5]。在实际设计过程中要保证设计的有效性, 必须对这些设备进行振动冲击测试, 给设计人员提供一个定量的分析数据。

近些年, 随着火箭炮或导弹技术的飞速发展及大规模研发列装, 对于这些装备的冲击振动加速度测试也在不断增多。由于这类武器系统部分设备在火箭弹或导弹发射时会暴露在所产生的高速气流中, 如果不进

行特殊防护, 可能会严重影响到加速度测试的精度。本文在实验室进行了模拟测试, 并进一步通过靶场试验对比与分析, 来说明高速气流对加速度测试造成的影响。

1 高速气流模拟吹击实验

1.1 实验目的与原理

实验目的是通过压缩空气对加速度计的直接、间接吹击, 以及仅对加速度计安装台体的吹击, 对比加速度计所产生信号的幅值变化, 当加速度计暴露于靶场高速气流环境中时, 以此判定是否会产生严重影响加速度信号真值的干扰信号。实验原理框图如图 1 所示。

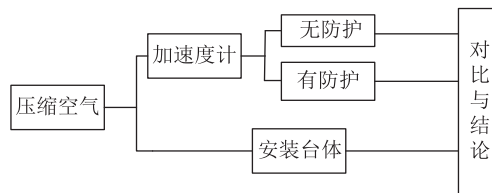


图 1 实验原理图

收稿日期: 2017-05-02; 修回日期: 2017-06-21

作者简介: 高瑞(1981-), 男, 工程师, 研究方向为火炮测试技术。

1.2 实验方法

首先，完全按照传统方式搭建实验与测试系统，具体过程为：①将传感器(PCB 的352C03 加速度计)通过强力胶粘贴在试验台上，并将传感器与适配器连接好，适配器输出接数据采集仪；②设置好数采通道参数，为了将所有信号尽可能多得采集到，本实验所设定的采样率为 1 M Sa/s；③准备好一些橡皮泥作为气流防护材料，在后续对比实验中用于涂敷加速度计。

其次，采用排气压力为 0.4 MPa 的空压机进行导弹发射时的高速气流模拟。传感器有无防护的对比输出如图 2 所示。具体模拟实验方式为：①将气管对准无防护的传感器正面吹，气流与传感器的敏感轴方向一致；②将气管从无防护的传感器侧面吹，气流与传感器的敏感轴方向垂直；③将气管对准用橡皮泥防护的传感器正面吹，气流与传感器的敏感轴方向一致；④将气管从用橡皮泥防护的传感器侧面吹，气流与传感器的敏感轴方向垂直；⑤将气管从安装传感器试验台的背面吹，传感器有橡皮泥防护；⑥将气管从安装传感器试验台的背面吹，让气流不影响到传感器。

2 测试结果及分析

2.1 测试结果

按照上述设计的试验方式进行测试，所得加速度测试结果如表 1 所示，测试曲线如图 2 所示。

表 1 测试结果			
序号	加速度/g	气流方向	备注
方式①	72.4	正吹	无防护
方式②	9.2	侧吹	无防护
方式③	15.3	正吹	有防护
方式④	8.4	侧吹	有防护
方式⑤	0.6	背吹	有防护
方式⑥	0.7	背吹	无防护

2.2 结果分析

实际上，由于加速度计的外壳是一个薄壁圆筒，不管高速气流是从传感器的顶部施加还是从侧面施加，也不管高速气流是稳定还是非稳定的气流，都会对这个薄壁圆筒产生一个强力的激励，从而引发基座及传感器的变形或振动。而由传感器外壳受到气流冲击引发基座的振动必然会导致“附加电荷量”的输出。

当高速气流从顶部施加时，可将薄壁圆筒传感器外壳近似地等效为等截面的一端固定一端自由的等值

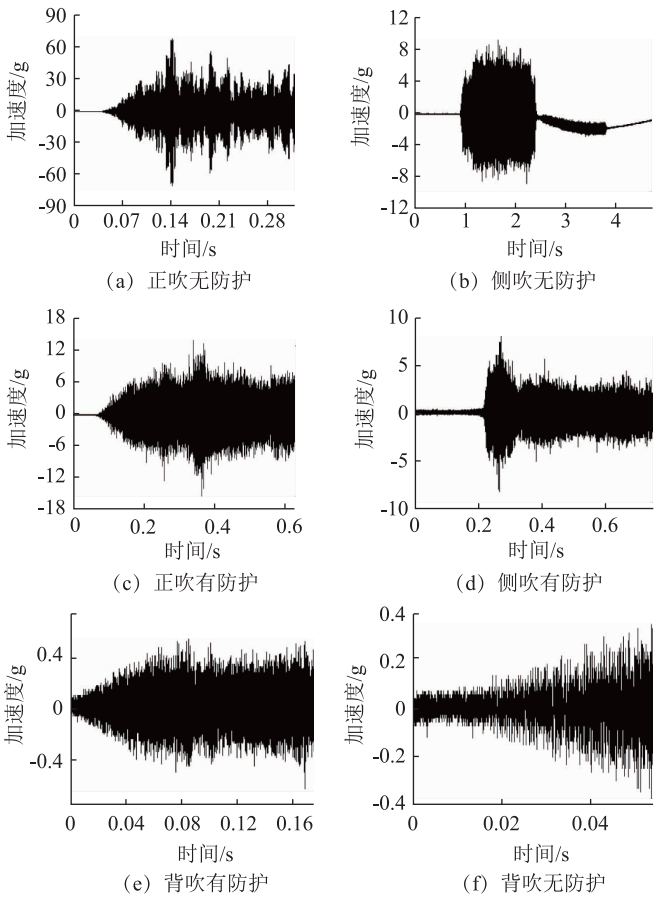


图 2 吹击实验测试曲线

杆。假设杆的横截面在振动时始终保持为平面，并做整体运动，略去杆纵向伸缩引起的横向变形。其自由端受到气流冲击激励时，前三阶振型如图 3 所示。

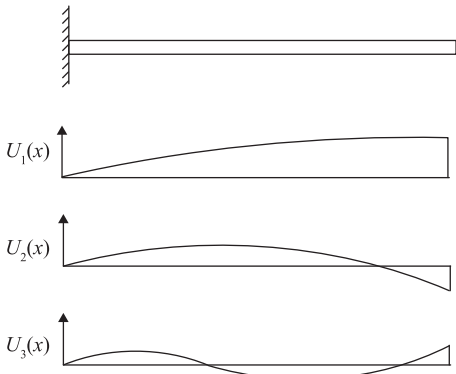


图 3 杆的振型示意图

当高速气流从侧面施加时，杆做垂直于轴线方向的振动，主要变形形式是梁的弯曲变形，可将薄壁圆筒传感器外壳近似地等效为等截面的一端固定一端自由的悬臂梁。假设梁各截面的中心轴在同一平面内，且在此平面内做弯曲振动，在振动过程中仍保持为平

面,不计转动惯量和剪切变形的影响,不考虑截面绕中心轴的转动,其自由端受到气流冲击激励时,前三阶振型如图4所示。

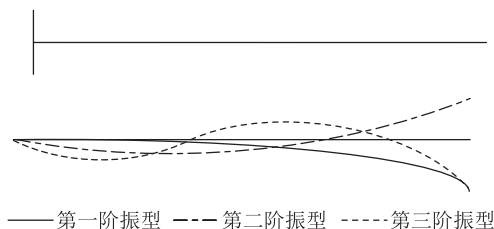


图4 悬臂梁的振型示意图

1) 正吹

从上述测试数据看,压缩空气是否直吹加速度计对测试结果影响很大。尤其是在正吹时,裸露在气流中的加速度计所测信号幅值明显大于加有防护的状态,也远大于仅吹击试验台体所测得的加速度幅值。

加速度计的结构框图及其简化等效结构图如图5所示。

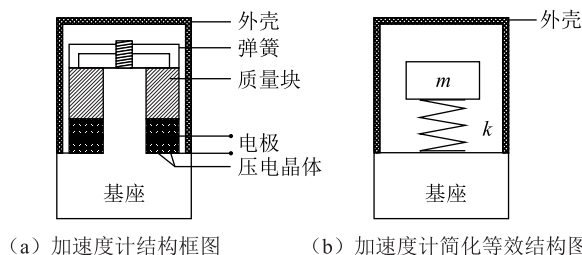


图5 加速度计结构简图

图5中,加速度计的外壳与其基座上的压电晶体没有直接连接,因此外界的通气流以及声压所引起的壳体微振不会影响到压电晶体。而当压缩气流直吹加速度计的壳体时,相当于直接冲击加速度计的基座,而该冲击是一个蕴含频率丰富的激励,极易导致加速度计在其共振频率上自激^[6]。本实验所用传感器的固有频率为50~70 kHz,而曲线中存在大量该频率段的振动,这是造成测试结果失真的主要原因。

2) 侧吹

侧吹时虽然数值量级变化不大,但曲线振动规律不同,如图2(b)和(d)所示。

如图6所示,当安装在被测部件上的加速度计遭受侧向压缩空气吹击时,加速度计可等效为一个竖立在被测部件上的悬臂梁,会在压缩空气的作用下发生高频晃动。在高频振动情况下,被测部件的表层结构的振动不是表现为一个完整的刚体,而是分化成许多独立的二阶振动单元。位置处于加速度计基座及其附

近的振动单元会因加速度计的横向高频晃动,而产生相应的高频应变与振动,并由此再传递给加速度计内部的压电晶体。

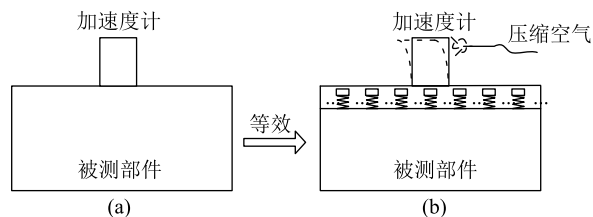


图6 侧吹等效示意图

所以,侧吹所产生的加速度信号,是一种典型的由测试传感器引入的干扰信号,无法真实反映气流直接吹击被测部件表面所引起的部件整体振动状况。

3) 背吹

方式⑤和⑥的测试曲线的振动量级与振动规律相当。如果只关心实验台的台体表面所响应的振动激励,其数值约在15 g左右,而被直接正吹的加速度计所产生的信号幅值高达70 g。所以,高速气流对传感器的影响远大于对试验台的冲击。方式③和⑤的数据差别较大,主要是由于试验台为木质台体,对冲击振动有缓冲作用,如果换成刚性台体,理论上数据应该接近。

3 靶场测试情况对比

在后续的一次导弹发射试验中,对导弹发射架体的振动加速度进行了测试。考虑到导弹尾焰气流可能造成的影响,采用黄蜡对加速度计及其信号线进行了涂敷防护。虽然发射架区域所承受的气流冲击远低于实验室的压缩空气约0.2 kg/cm²,但测试结果仍明显低于以往的未采取防护措施的数据。测试现场与测试曲线对比如图7、图8所示。



图7 导弹发射架及被涂敷保护的加速度计

图8中所示的两组曲线分别是完全裸露在空气中
(下转第35页)

表2 扭矩测量不确定度分量一览表

不确定度来源	概率分布	相对标准 不确定度/%
校准装置力值测量引入相对标准 不确定度分量	/	0.03
力臂测量重复性引入相对标准不 确定度分量	/	0.025
数显卡尺示值误差引入的相对标 准不确定度分量	$\sqrt{3}$	0.008
数显卡尺显示分辨力引入相对标 准不确定度分量	$\sqrt{3}$	0.005
温度变化引入相对标准不确定度 分量	$\sqrt{3}$	0.0017
合成标准不确定度	/	0.04
扩展不确定度($k=2$)	/	0.08

参 考 文 献

[1] 罗晓平, 武博, 倪博. 空间对接机构缓冲试验台多分量力
在线校准技术的实现 [J]. 计测技术, 36(S1): 109 –
113, 117.

[2] 李彦刚. 压电多维力传感器的静态标定系统研究 [D].
重庆: 重庆大学, 2010: 5.

[3] 杨敏, 申飞. 一种大量程六维力传感器标定方法 [C]//第
22 届全国结构工程学术会议, 乌鲁木齐, 2013.

[4] 张众. 大载荷六维力传感器及其标定技术研究 [D]. 大连:
大连理工大学, 2011: 6.

[5] JJF 1560 – 2016 多分量力传感器校准规范 [S]. 北京: 中国
标准出版社, 2016.

[6] 赵继亮, 李洪波, 张涛, 等. 性能台六维力传感器在线校
准加载装置设计与研究 [J]. 机械与电子, 2017, 35(2):
13 – 16.

(上接第 26 页)

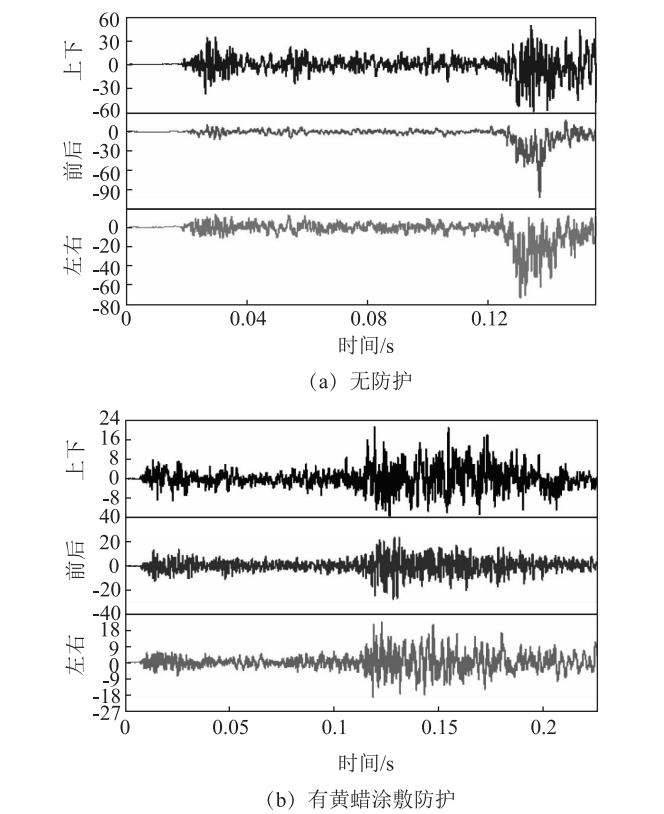


图8 有、无防护的加速度测试曲线对比

的加速度计所测得的信号与采用黄蜡涂敷防护的加速度信号，每个测点同时测量三个正交方向的加速度。虽然发射架的结构不完全一样，但对同一种型号的导弹，两组曲线在加速度量级上相差 3 ~ 4 倍，可见未防

护的加速度计所测得的信号存在很大误差。

4 结 论

通过实验室实验及靶场测试，可以得到如下结论：
暴露在高速气流中的加速度计无法真实测试其安装基座所遭受的实际振动冲击，必须对加速度计进行防护或者将其安装在设备背面，避开高速气流；应对信号线进行很好的固定防护，且线缆的固定不宜采用透明胶带，否则高速火焰气流会将透明胶带烧成一硬团挂在线缆上，增大了线缆在高速气流中的受力面积，通常会将线缆拽断；推荐使用石蜡或黄蜡对传感器防护并对线缆进行固定，其在实际使用中的效果较为理想。

参 考 文 献

[1] 高雨晶, 周新宇, 李革非. 电子产品正弦机械振动试验 [J]. 信息技术, 1995(4): 37 – 40.

[2] 季馨, 王树荣. 电子设备振动环境适应性设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 115 – 121.

[3] 杨平. 电子信息设备抗振动冲击防护理论与技术研究现状和展望 [J]. 中国机械工程, 2002, 13(13): 1163 – 1170.

[4] 满强. 电子装备爆炸振动损伤模拟方法研究 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007.

[5] 谢官模. 振动力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 69 – 72.

[6] 张洪润. 传感器技术大全 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 734 – 806.