

# 振动传感器在强噪声环境下的响应输出分析

苏秀红, 周桐, 黄海莹

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘要:** 目的 考察强噪声场下振动传感器的性能。方法 采用 GJB 150.17—86 对振动传感器进行噪声鉴定试验, 并分析传感器在噪声场中的响应输出, 对比试验前后的传感器性能指标。结果 振动传感器经过强噪声场试验后的性能正常, 振动传感器在强噪声场中的响应相对较小, 单项振动试验中的噪声场不会影响振动传感器的测试结果。结论 该传感器可以完成振动监测工作。

**关键词:** 振动传感器; 噪声试验; 响应输出

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.05.009

**中图分类号:** TJ01; TB123

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)05-0040-04

## Response Output of Vibration Transducer in Strong Noise Environment

SU Xiu-hong, ZHOU Tong, HUANG Hai-ying

(Institute of Systems Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

**ABSTRACT: Objective** To study characteristics of vibration transducer in strong acoustic field. **Methods** The noise test of vibration transducer was done according to the standard of GJB 150.17-86. The response output of the transducer in the noise field was analyzed. Indicators of the transducer before and after the noise test were compared. **Results** The performance of vibration transducer was proved to be normal after the noise test. The response of vibration transducer in strong acoustic field was relatively small. The acoustic field stimulated in single vibration test didn't influence test results of the vibration transducer.

**Conclusion** The sensor can complete vibration monitoring work.

**KEY WORDS:** vibration transducer; noise test; response output

核弹头在地面贮存、运输、机动及飞行过程中, 将遭受各种环境因素的影响, 其中, 再入环境的影响尤为突出<sup>[1-2]</sup>。核弹头再入时, 外表面的高超音速绕流流场将诱导复杂的振动、噪声、过载和气动热等环境, 有可能产生复杂的环境效应如结构破坏、核装置结构松动、电路板焊点脱落等。振动监测是核弹头地面测试中的重要环节。

核弹头在再入环境中会遭受强的噪声场, 噪声场将对振动传感器的正常工作带来安全隐患, 强噪声场是否会对传感器的正常工作带来影响是地面测试中必考察的一个项目。因此文中开展响应的试验研究工作, 考察强噪声场对加速度传感器性能指标的影响。振动传感器对噪声场的耐受能力决定其能否正常完

成监测任务。

机载、弹载武器系统的实际使用环境中, 振动与噪声载荷都同时存在。GJB 150 和 MIL-STD-810F<sup>[3]</sup>都有这样的描述: 如果宽带随机噪声总声压级不超过 130 dB 或每赫兹带宽小于 100 dB, 则噪声试验是不需要的, 但有些情况下并非如此, 噪声载荷与振动载荷相比不能忽略。目前大部分地面振动试验, 其测量的频率范围为 10~2 000 Hz, 而噪声载荷的频率范围为 50~10 000 Hz, 二者有较大的重叠。在一般的振动试验中, 振动传感器的响应并未考虑噪声载荷的影响, 如果振动传感器对噪声载荷存在响应达到一定数值会明显影响试验测量精度, 因此必须对振动传感器在噪声环境下的响应输出进行研究, 并在必要时采取降噪隔噪措施。

收稿日期: 2016-12-11; 修订日期: 2017-01-14

作者简介: 苏秀红 (1988—), 女, 山东临沂人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为动态测试技术。

## 1 试验设计

### 1.1 试验目的

振动传感器噪声试验的目的是验证它对于发动机噪声、主动段和被动段气动噪声环境的适应性，考核振动传感器在噪声环境中的工作性能，检验振动传感器的抗噪声能力。对振动传感器进行噪声试验，噪声试验标准采用 GJB 150.17—86<sup>[4]</sup>。该标准规定了军用设备噪声试验方法，是制定军用设备技术条件或产品标准等技术条件相应部分的基础和选用依据。噪声试验总声压级分别为 130, 140, 145, 150 dB。

### 1.2 合格判断

设备进行过噪声试验后，符合下列要求即认为是合格<sup>[5]</sup>：试验过程中需要进行功能测试的设备，试验时设备的功能不失效，性能、精度未超差；试验过程中不需要进行功能测试的设备，试验后设备的功能不失效，性能、精度未超差；试验后检查结构，不能出现变形、松动等结构变形。

### 1.3 传感器安装及试验步骤

在混响室内悬挂一金属厚圆板，圆板质量约 400 kg。金属圆板水平放置，圆板上对称安装两支振动传感器，传感器型号为 PCB356A01。两支传感器采用常规方式安装，利用 502 胶固定，传感器与金属圆板之间用绝缘胶木垫块进行连接。

试验步骤如下：按上述传感器安装方式将振动传感器固定；搭建测试系统，并进行信号敲检等准备工作；利用振动传感器进行无噪声环境的信号采集，作为参照数据；在强噪声环境下对振动传感器进行信号采集，噪声加载共采用 4 个不同的声压级，分别为 130, 140, 150, 155 dB。

## 2 试验数据分析

### 2.1 传感器时域响应分析

以传感器 1 为例，分别采集传感器在无噪声环境下和不同量级噪声环境下的信号输出<sup>[6]</sup>，并求取各自的功率谱密度曲线。信号分析软件采用 Ideas。

图 1 和图 2 为无噪声激励和噪声量级为 120 dB 时采集的时域信号。对比图 1 和图 2 的信号量值可以看出，振动传感器在噪声试验开始后有明显的信号输出。这是因为振动传感器放置于噪声混响室中，强噪声环境引起空气振动，空气振动的能量引起传感器的机械振动，传感器感受到机械振动产生信号输出，这是合理的现象。同时，由于传感器粘贴于金属板表面，空气振动引起金属板的机械振动也会传递到传感器

上，因此传感器的信号输出是空气振动和金属板响应的叠加作用。由于金属板的刚性强度很大，空气振动引起的机械振动很小，因此对传感器输出的影响很小，可以忽略。

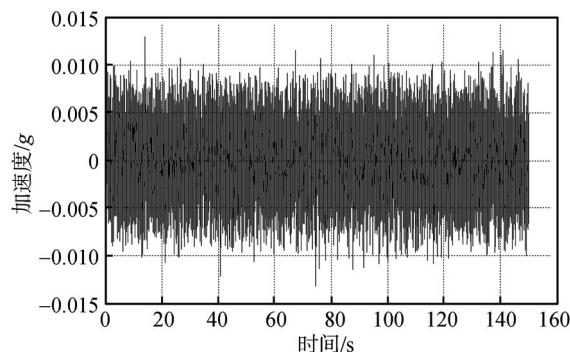


图 1 无噪声激励的时域信号

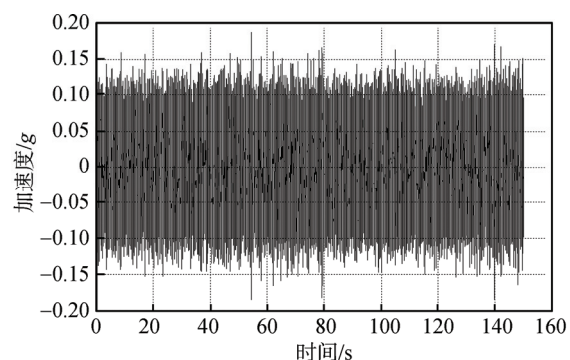


图 2 噪声量级 120 dB 的时域信号

### 2.2 加速度频响分析

加速度频率响应的分析采用 Matlab 软件<sup>[7]</sup>，处理方法采用快速傅里叶变换 (FFT)<sup>[8]</sup>。将测试系统采集的时域数据导入到 Matlab 中，对数据进行 FFT 分析，分别得到参照数据和试验数据的幅频曲线如图 3—5 所示。

图 3 说明无噪声激励时，采集的参照数据的频率幅值量级在  $10^{-4}$  以下。图 4 是噪声量级为 130 dB 时试验数据的幅频曲线。从图 4 可以看出，传感器响应的频率成分主要集中在 0~500 Hz 的范围内，并且振幅的量级已经达到了  $10^{-3}$ ，较之参照数据的幅频曲线有了明显增大。图 5 是噪声量级为 140 dB 时试验数据的幅频曲线，从图 5 可以看出，传感器响应的频率成分主要集中在 0~300 Hz 的范围内，振幅的量级已达到  $10^{-2}$ 。对比图 3—图 5 可以看出，噪声载荷的加载能够明显引起传感器的响应变化，并且随着载荷增大，响应增大明显。

### 2.3 加速度总均方根值响应分析

图 6 是传感器 1 在不同噪声量级下的功率谱密度

曲线<sup>[9]</sup>。从图6中可以看出,随着试验施加噪声量级的增大,传感器响应也相应变大。这是由于随着噪声量级的增大,机械振动强度相应增大,因此传感器的信号输出也相应增大。

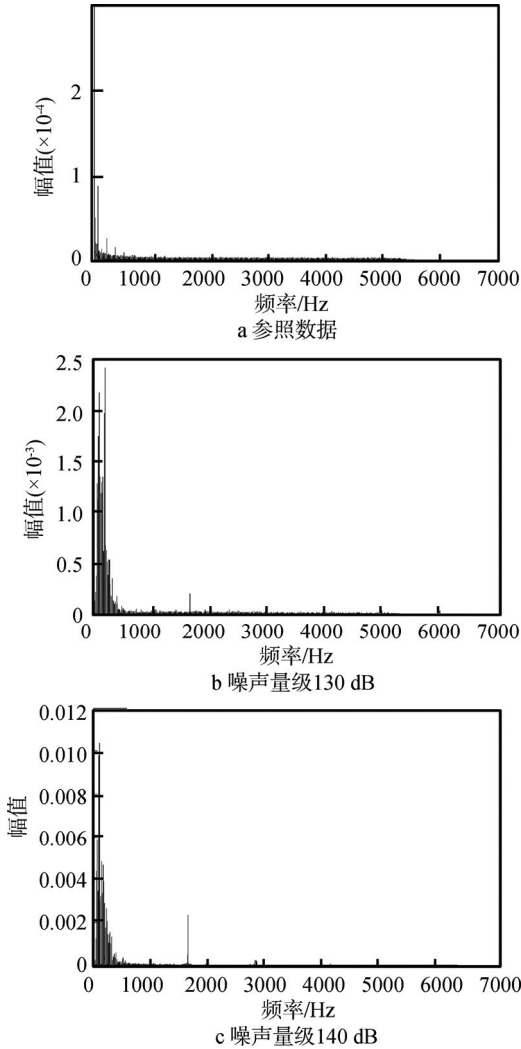


图5 试验数据的幅频曲线

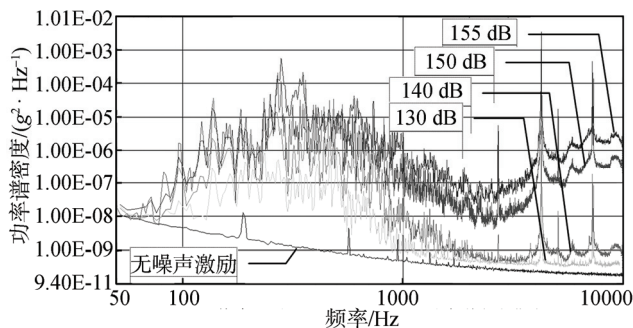


图6 传感器1在不同噪声环境下的功率谱密度曲线

表1和表2分别统计了50 Hz~10 kHz, 50 Hz~2 kHz, 2~10 kHz 频率范围内各传感器在不同噪声量级下功率谱密度的总均方根值。从表1中可以看出,在频率范围50 Hz~10 kHz内,随着噪声量级的增大,加速度传感器总均方根值相应增大。这说明随着噪声量级

的增大,传感器的响应也相应增大。这一规律在表2中也同样可以得出。

表1 50 Hz~10 kHz 内各传感器的总均方根值

噪声量级/dB	130	140	150	155
1	8.49E-03	2.87E-02	1.15E-01	2.47E-01
2	8.56E-03	2.86E-02	1.22E-01	2.64E-01

表2 50 Hz~2 kHz 各传感器的总均方根值

噪声量级/dB	130	140	150	155
1	8.20E-03	2.77E-02	6.86E-02	1.23E-01
2	8.23E-03	2.74E-02	6.79E-02	1.22E-01

表3为50 Hz~2 kHz 频段内传感器响应功率谱密度总均方根值与50 Hz~10 kHz 频段内总均方根值的比例。可以看出,噪声量级不同的条件下,传感器振动响应在2 kHz内所占比例基本保持在50%以上,在量级130 dB和140 dB时更是达到90%以上的比例。这说明在整个噪声试验频率范围内,2 kHz以下频段内的响应占主导作用。

表3 2 kHz内占总频率范围的百分比

噪声量级/dB	130	140	150	155
1	97%	96%	60%	50%
2	96%	96%	56%	46%

无论是振动-噪声复合试验还是单项振动试验,加速度传感器均是在噪声场中工作,这种影响理论上是无法完全消除的,传感器对声载荷的响应特性也无法改变。理论上说,噪声量级越低,传感器的直接响应也越小。

在该试验的条件下,传感器的响应是空气振动和金属板响应的叠加输出,其中强噪声引起空气振动,空气振动的能量在引起传感器的机械振动的同时,激励金属圆板产生振动,传感器采集的是二者响应的叠加。该试验采用的金属圆板质量高达400 kg,在噪声的激励下,自身的响应很小,几乎可以忽略,因此传感器采集的主要是传感器本身机械振动引起的响应。从表1中可以看出,噪声量级达到155 dB时,各传感器响应的总均方根值约为0.25。同时从表2中可以看出,当噪声量级达到155 dB时,传感器响应的总均方根值约为0.12。这说明在噪声强度达到155 dB时,传感器对噪声载荷的响应仍然很小。在考核产品性能的一般振动试验中,产品的响应占主导作用,振动产生的噪声载荷远小于155 dB。由此可以得出,在振动试验中,振动产生的噪声对最终试验结果的影响可以忽略,因此本传感器可以完成振动信号的监测任务。

### 3 传感器抗噪声能力分析

试验结束后,首先检查传感器的外形结构、电缆、接插件等部件,并未发现变形松动等现象,即两支传感器均外形良好,无结构变形现象出现。

对传感器重新进行性能指标的检定,并对比试验前的性能指标,结果见表 4。噪声试验后的性能指标与试验前的高度一致。

表 4 振动传感器性能指标对比

性能指标	试验前	试验后
灵敏度/(mV·g <sup>-1</sup> )	5.04	5.04
灵敏度幅值线性度/%	2.7	2.6

### 4 结语

为了考察振动传感器在噪声场中的性能,依据 GJB 150.17—86 开展了振动传感器的噪声考核试验,试验结果表明,传感器在噪声场中性能正常,并且噪声试验后传感器各项指标均正常。同时通过对传感器的响应输出进行分析可以得出,单项振动试验中,振动引起的噪声不会对加速度传感器的测试结果产生影响,因此该传感器可以完成振动监测工作。

#### 参考文献:

- [1] 赵东林,张立同,成来飞,等.再入大气环境的等效实验模拟方法[J].航空制造技术,2007(5):87—89.
- [2] 付刚,吴广志,李仁龙,等.再入环境中的遥测信号软解调研究[J].计算机测量与控制,2014,22(8):237—239.
- [3] 唐贵.近距离低功耗无线振动传感器网络设计与实现[D].太原:中北大学,2012
- [4] GJB 150.17—1986,军用设备环境试验方法——噪声试验[S].
- [5] 游亚飞,徐路,孙明阳.GJB 150.170A 噪声试验方法介绍与分析[J].装备环境工程,2010,7(6):33—35.
- [6] 程家军,李春枝,陈颖.舰载环境振动摇摆特性测试分析[J].装备环境工程,2015,12(1):114—119.
- [7] 唐胜景.基于 Matlab 的飞行器系统动态特性分析[J].北京理工大学学报,2004,10(24):866—873
- [8] 刘小群,周云波.基于 Matlab 的 DFT 及 FFT 频谱分析[J].山西电子技术,2010(4):48—49.
- [9] 李蓓蓓.振动分析的有效工具——功率谱密度[J].包装工程,2004,25(3):46—47.