

# 飞行器振动环境参数测量系统比对试验研究

石先杰, 李春丽, 王峰军

(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** 验证飞行器振动环境参数测量系统的匹配性及协调性。**方法** 设计考虑动态环境影响因素的振动环境参数测量系统的比对试验方案, 开展灵敏度检测及不同量级工况下的试验, 获取测量系统的振动加速度。对比试验控制输出、飞行器振动环境参数测量系统、地面参照系统的测量结果。**结果** 振动环境参数测量系统除 Y1 通道外的测量结果与试验控制输出、地面参照系统的测量结果的误差均在 5% 以内, 而 Y1 通道的误差最高为 27.2%。通过分析可知 Y1 通道的误差是由于灵敏度设置问题导致的。**结论** 比对试验能够验证测量系统的匹配性和协调性, 通过试验分析能够得到飞行器振动环境参数测量系统的测量误差水平, 为飞行器振动环境参数测量系统的应用提供了数据支撑。

**关键词:** 振动环境; 测量系统; 比对试验; 飞行器

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.03.010

**中图分类号:** TJ410.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)03-0049-04

## Comparative Test for Vibration Parameter Measuring System of Air Vehicle

SHI Xian-jie, LI Chun-li, WANG Feng-jun

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

**ABSTRACT: Objective** To verify compatibility and matchability of vibration parameter measuring system of air vehicle. **Methods** A comparative test scheme for vibration parameter measuring system was designed with consideration of the effects of the dynamic environment. Sensitivity inspection and vibration test with various conditions were carried out. Vibration acceleration response of the measuring system was obtained. The test control output were compared with measuring result of vibration environment measuring system and ground reference system of air vehicle. **Results** With the exception of Y1 channel, the errors for other channel results of the measuring system were smaller than 5% with the comparison of test control output results and ground reference results. The maximum error for Y1 channel was 27.2%. According to the further analysis, the error was caused by the sensitivity settings. **Conclusion** The comparative test can be utilized to demonstrate the compatibility and matchability of measuring system. Through the test results analysis, the measuring error for vibration parameter measuring system of air vehicle can be determined. It can provide data support for the application of the measuring system.

**KEY WORDS:** vibration environment; measuring system; comparative test; air vehicle

振动环境是飞行器环境剖面内最为重要的动力学环境之一, 实测数据及相关分析处理结果是开展飞行器振动环境分析和预示的基础<sup>[1-3]</sup>。飞行器振动环境测量是为了完整准确地获得飞行振动数据, 为地面

环境试验条件的制定提供数据支撑。GJB 150.16A—2009 振动试验标准中明确规定: 振动环境试验应尽可能采用实测数据<sup>[4-6]</sup>。为了完整有效地获取振动环境参数, 有必要对飞行器振动环境参数测量系统开展

比对试验研究，以验证测量系统的匹配性及协调性，为测量系统的改进提供相关依据<sup>[7]</sup>。

基于此，文中针对飞行器振动环境参数测量系统设计了比对试验方案，开展了比对试验，并对试验测量结果进行了对比分析研究。

### 1 振动环境参数测量系统

典型的飞行器振动环境测量系统原理如图 1 所示。

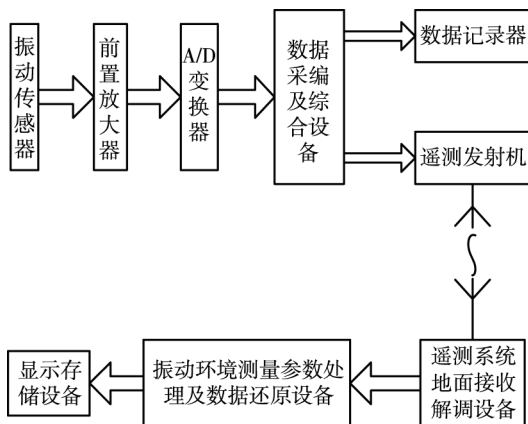


图 1 振动环境测量系统原理

传感器感知被测物理量信号，通过前置放大器、并通过 A/D 变换器将模拟信号转换成数字信号，并通过数据采编及综合设备形成遥测数据流，通过无线信道送至地面接收解调设备，同时遥测数据也可以进入数据记录器，在飞行试验后对记录器进行回收<sup>[8-10]</sup>。地面数据处理软件按照总体提供的数据处理方法对遥测源码进行处理，还原振动环境参数。

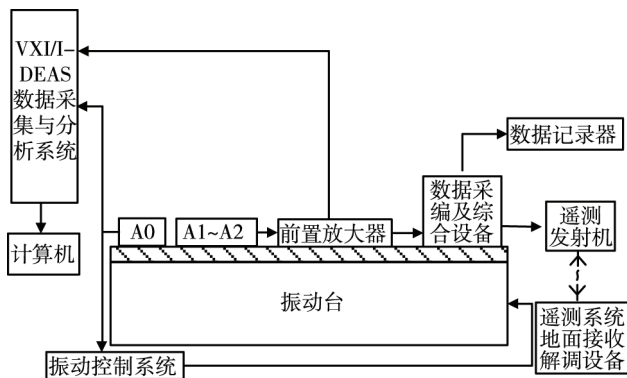
### 2 比对试验方案设计

为了较为真实地模拟振动测量系统在飞行过程中的工作状态，拟将振动前置放大器、A/D 变换器和数据采编及综合设备放置在振动台上，在动态环境下开展振动测量系统的比对试验研究<sup>[11]</sup>。搭建的飞行器环境参数测量系统比对试验系统如图 2 所示。为了将整个测量系统放置在振动台上，中间通过 30 mm 厚的钢板进行转接。相应地，振动测量系统的测量传感器粘接在钢板上，并要求与控制加速度传感器靠近粘接，如图 3 所示。

试验项目的设计应具有代表性，因此作了如下的设计。

1) 通道输出灵敏度试验，试验条件为：输入振动加速度 5g、频率 160 Hz 的正弦信号，试验时间为 2 min。

2) 随机振动，按照如图 4 所示的随机振动试验控制标准谱开展比对试验，加速度功率谱密度值  $PSD_i$ ：



A0—控制传感器；A1, A2—振动测量传感器

图 2 振动测量系统对比试验系统

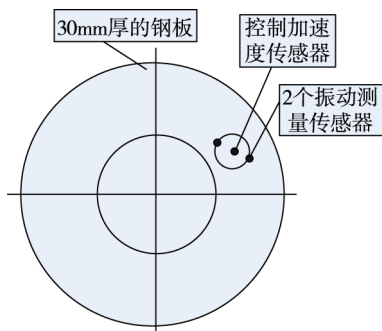


图 3 振动测量传感器布局

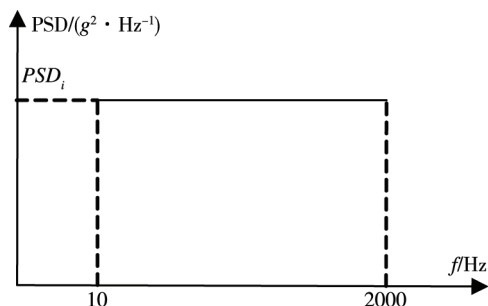


图 4 随机振动试验控制标准谱

$0.005g^2/Hz$  ( $G_{rms}=3.15g$ ) 和  $0.04g^2/Hz$  ( $G_{rms}=8.92g$ )。这两类试验项目均进行两个方向的试验，OX 向和 OY 向。

### 3 试验结果与分析

在比对试验中共产生三类数据。

A 类数据：I-DEAS 数据采集系统采集 A0 传感器的数据；

B 类数据：I-DEAS 数据采集系统采集 A1, A2 传感器的数据；

C 类数据：遥测系统采集 A1, A2 传感器的数据。

下面将分别对通道灵敏度检测和随机振动试验结果进行分析。

### 3.1 通道灵敏度检测

在通道输出灵敏度检测试验中，输入 5g、频率 160 Hz 的正弦信号，测得各通道的数据对比情况见表 1 和表 2。以 A 类数据（编号 BZ）为基准来分析各通道的测量偏差情况。OX、OY 向试验获得的波形对比情况分别如图 5 所示。除 Y1 通道外，其余通道时域信号的峰谷值偏差，其最大值为 4.62%，且分别获得的正弦波形吻合良好。根据数据偏差分析及波形对比情况可知，除 Y1 通道外的其余各通道的灵敏度设置是合理的。

表 1 OX 向 5g、160 Hz 正弦信号

信号通道	峰值/g	峰值偏差/%	谷值/g	谷值偏差/%	
BZ	5.107	—	-5.077	—	
B类	X1	5.187	1.57	-5.052	-0.49
	X2	4.958	-2.92	-4.919	-3.11
C类	X1	4.914	-3.78	-5.059	-0.35
	X2	5.039	-1.33	-4.936	-2.78

表 2 OY 向 5g、160 Hz 正弦信号

信号通道	峰值/g	峰值偏差/%	谷值/g	谷值偏差/%	
BZ	5.029	—	-5.078	—	
B类	Y1	3.81	-24.2	-3.83	-24.5
	Y2	4.846	-3.64	-4.843	-4.62
C类	Y1	3.83	-23.8	-3.70	-27.1
	Y2	4.809	-4.37	-5.044	-0.67

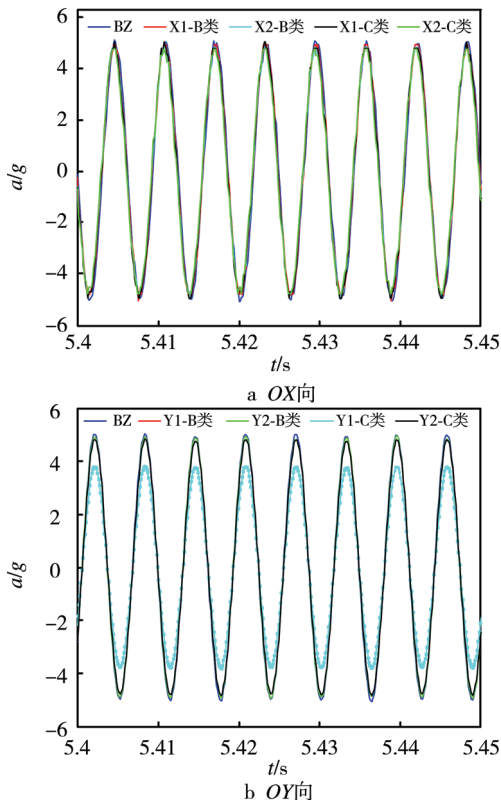


图 5 正弦信号对比情况

### 3.2 随机振动

在随机振动试验中，先后加载了  $0.005g^2/Hz$  和  $0.04g^2/Hz$  两个量级。在不同试验量级时的各测点加速度响应均方根值分别见表 3 和表 4。

表 3 OX 向随机振动总均方根加速度值

信号通道	低量级/g	偏差/%	高量级/g	偏差/%	
BZ	3.25	—	9.00	—	
B类	X1	3.31	1.85	9.24	2.66
	X2	3.20	-1.53	8.95	-0.56
C类	X1	3.41	4.92	9.16	1.77
	X2	3.32	2.15	9.15	1.66

表 4 OY 向随机振动总均方根加速度值

信号通道	低量级/g	偏差/%	高量级/g	偏差/%	
BZ	3.16	—	8.97	—	
B类	Y1	2.32	-26.5	6.65	-25.8
	Y2	3.11	-1.58	8.84	-1.45
C类	Y1	2.30	-27.2	6.68	-25.5
	Y2	3.10	-1.89	8.82	-1.67

从表 3 和表 4 的对比可知，除 Y1 通道外，各通道的总均方根加速度值吻合良好。现对比各通道的数据进行幅频特性。以  $0.04g^2/Hz$  量级随机振动试验项目为例，各通道的 OX 和 OY 向幅频特性分别如图 6 所示。

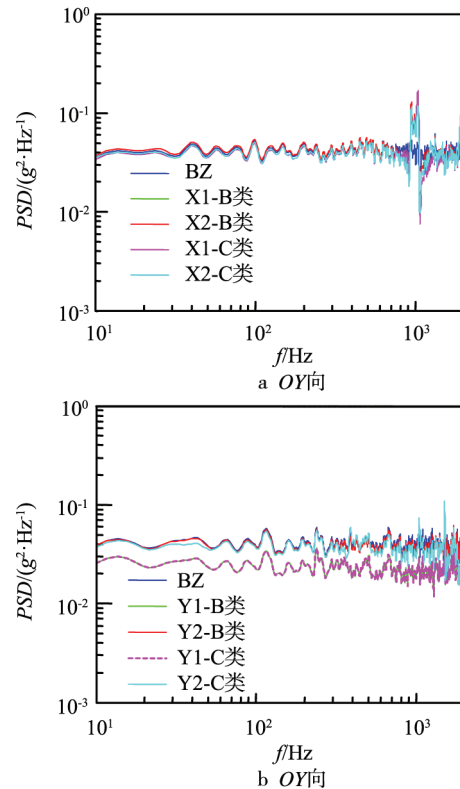


图 6 随机振动幅频特性对比情况

从图6的对比情况可以看出,  $Ox$  向各通道的幅频特性吻合良好, 而  $Oy$  向的 Y2 通道吻合良好, Y1 通道则较 BZ 通道的偏低。

根据总均方根加速度值和幅频特性的对比可以看出, 飞行器的振动环境参数测量系统 Y1 通道存在相关问题, 导致比对试验中幅值及频响特性相差较大。正弦和随机振动试验中, Y1 通道的幅值偏差约为 25% 左右。B 类和 C 类数据中 Y1 通道测量结果接近, 从而可知, 较大偏差主要由测量组件(传感器和放大器)导致。对测量组件进行检查分析发现, Y1 通道在归一化过程中, 将该通道灵敏度按照 X1 向灵敏度设置, 比该通道的实际灵敏度值偏大约 21%, 从而导致 Y1 通道的整体试验结果偏低。

将 Y1 通道的灵敏度重新设置, 开展了  $Oy$  向试验(随机振动, 量值为  $0.04g^2/Hz$ )。各通道的幅频特性如图7所示。

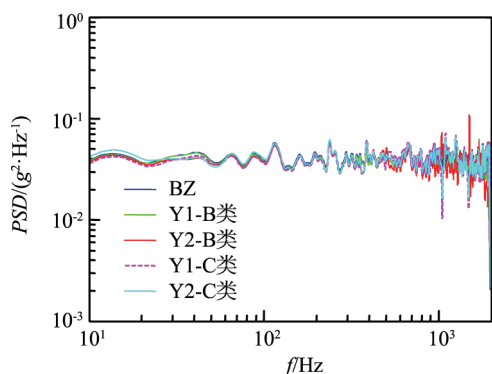


图7  $Oy$  随机振动幅频特性对比情况  
(Y1 通道灵敏度调整后)

从图7可知, 各通道测量结果与 BZ 通道的结果吻合良好, 说明问题定位准确。通过该比对试验发现了振动测量系统在灵敏度参数设置上的问题, 为后续工程应用提供相关借鉴, 从而避免了在后续飞行试验中出现测试结果不可用的现象。

## 4 结语

根据飞行器振动环境参数测量系统匹配性、协调性及相关测量误差的研究需求, 文中提出了振动环境参数测量系统比对试验研究方案, 包括试验系统及试验条件等。根据提出的方案开展了比对试验研究, 并对试验结果进行分析处理。

通过比对地面参照系统、飞行器振动环境测量系统及振动控制输出数据, 发现了振动测量系统中存在的问题, 并对问题进行查找分析, 确保了测量系统在后续试验中的匹配性和协调性。同时, 这也说明开展测量系统的比对试验研究是十分必要的。

### 参考文献:

- [1] 黄寿康, 何伯阳. 流体动力·弹道·载荷·环境[M]. 北京: 宇航出版社, 1991.
- [2] 樊会涛, 郭强岭. 战术导弹自助飞振动环境研究[J]. 战术导弹技术, 2015(2): 17-22.
- [3] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [4] GJB 150.16A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第16部分: 振动试验[S].
- [5] 马升, 徐明. 振动环境试验条件的确定[J]. 航空标准化与质量, 2014, 12(2): 24-28.
- [6] 雷晓波, 张霞妹, 李密, 等. 振动试飞数据归纳方法及在振动耐久试验中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2017, 37(5): 180-184.
- [7] 牛宝良, 王东升, 李思忠. 振动实验室比对探讨[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 102-105.
- [8] 刘向阳. 航天测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [9] 张建丽, 李文辉, 张荔, 等. 振动式滚磨光整加工过程中的受力测试与分析[J]. 表面技术, 2015, 44(7): 120-124.
- [10] 宣兆龙, 易建政. 装备环境工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [11] 李奇志. 环境振动试验若干技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2013.