

机载振动传感器校准技术研究

朱 丽 黎 玮

(中国飞行试验研究院 测试所 西安 710089)

摘 要: 针对目前机载振动传感器校准时间长、效率低的现状,提出在振动台台面上加装一个转接台面。通过对 CS18MF 中频校准系统进行深入研究,设计且制作了转接台面,并使用 ANSYS 软件对转接台面做了固有模态分析,得出其固有频率大于 39 kHz 时会产生共振,远高于机载振动传感器对频率的要求。通过实验室试验表明,制作的转接台面可安装多种类型振动传感器,且最多可安装 4 个传感器同时校准。该台面用于机载振动校准可大大提高工作效率,且校准精度满足课题要求的 5%。

关键词: 振动传感器;台面;校准

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Research on the technical of vibration sensor calibration

Zhu Li Li Wei

(China Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: In view of the status that the time of airborne vibration transducer calibration is long and the efficiency of calibration is low, the solution proposed in this article is adding a switching table on the shaking table. Through in-depth research of CS18MF intermediate frequency calibration system, design and product the switching platform, and use ANSYS software to do the natural modal analysis, then get the resonance frequency. It is concluded that the natural frequency is more than 39 kHz will resonate, far higher than the required frequency of the airborne vibration sensor. Through laboratory test shows that various types of vibration sensor can installed on the switching table and multiple sensors can be installed at the same time to calibration. The switching platform used for airborne vibration calibration can greatly improve the work efficiency and the calibration accuracy can meet the requirements of less than 5%.

Keywords: vibration sensor; platform; calibration

1 引 言

飞行试验中,振动试验被认为是世界航空界三大 I 类风险科目之一,振动参数越来越受到关注。在一架飞机上加装的振动传感器也越来越多,有时可以达到 300 多只甚至更多。根据 GJB1692-93 的要求,振动传感器装机前须进行定期校准,校准周期为 1 年^[1-3]。

一般振动传感器用背靠背或者肩靠肩方式安装在振动台面上。在振动参数多的情况下,振动校准时间会长达一月之久。目前,试飞振动参数校准是使用德国 SPEKTRA 公司生产的 CS18MF 中频校准系统完成的。但该系统只能用 10-32 螺钉安装单一类型的振动传感器,且由于安装被校传感器的台面较小,安装的传感器个数较少导致校准时间长、效率低,影响飞行试验的进度^[4]。

文章提出在 CS18MF 中频振动台台面上加装一个转接台面,在转接台面上可安装多种类型传感器。首先对振动校准使用的 CS18MF 中频校准系统做简单介绍,描述振动参数测试系统校准的原理,转接台面的制作及使用,最后通过对安装转接台面前后振动参数校准的误差比对,得出转接台面对振动校准精度的影响,是否满足试飞课题对振动参数精度的要求。

2 CS18MF 中频振动参数校准系统

CS18MF 中频振动校准系统用于机载振动传感器的校准。通过对系统的校准,获取在规定条件下具有置信度概念的输入-输出特性,作为飞行试验数据处理的依据^[5-6]。中频振动校准系统的组成如表 1 所示。

表 1 CS18MF 振动校准系统组成

名称	型号	编号	厂商
控制系统	SRS35	201305	SPEKTRA
振动台	SE-10	031	SPEKTRA
传感器	M353B17	LW157035	PCB
放大器	PA14-180	B14-180	SPEKTRA
软件	CS18	Ver. 2. 12. 2	SPEKTRA

使用 CS18MF 系统进行校准,其校准框图如图 1 所示。在软件 CS18 的用户界面上设置频率与振动值,通过控制系统控制信号发生器及功率放大器,使振动台 SE-10 产生加速度值,被校准传感器产生输出至采集记录器。

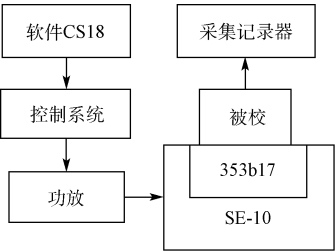


图 1 振动校准框图

SE-10 是德国 SPEKTRA 公司生产的振动激振台。它是根据电磁感应原理设计的,台体是由恒定磁场和位于磁场中的载流线圈相互作用产生的电力来驱动的。电动振动台主要由驱动线圈、运动部件、导向装置、励磁及消磁装置、台体及支撑装置等部分组成。驱动线圈和运动部件是振动台的核心部件。振动台的驱动线圈处在一个高磁感应强度的空隙中,当需要的振动信号从信号发生器或振动控制仪产生并经功率放大器放大后通到驱动线圈上,这时振动台就会产生所需要的振动波形^[7-8]。SE-10 具有质量较轻的铝外壳;磨砂钢制台面,具体参数信息参见表 2。

表 2 SE-10 振动台技术指标

名称	指标
驱动力	100 N(22lb)
频率	DC(3 Hz)~10 kHz
轴向谐振频率	>12 kHz
最大制动	10 mm(0.39 in)
最大速度	1.5 m/s(59 in/s)
动圈重量	165 g(0.36lb)
最大载荷	500 g(1.10lb)
纵向运动	典型:3 Hz~7 kHz,<10%; 7 Hz~10 kHz,<25%
最大电流输入	13 A RMS
总重量	9.5 kg(21lb)
工作温度	5~40 ℃(41~104 ℉)
存储温度	-25~55 ℃(13~131 ℉)
振动台	8 针 Speakon
传感器(与内部传感器型号有关)	BNC

SE-10 振动台面实物图如图 2 所示。

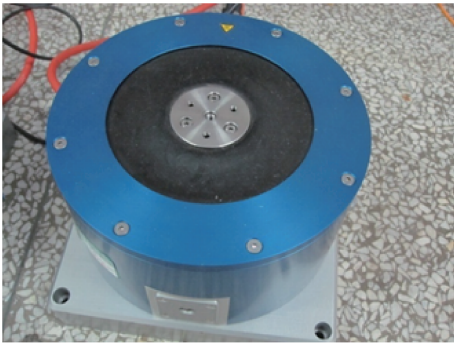


图 2 SE-10 台面实物

如图 2 所示,SE-10 台面只能安装 3 只具有 10-32 螺纹的振动传感器。试飞中使用 10-32 螺钉安装的振动传感器多为环境振动使用,当遇到颤振、抖振类传感器时,校准很难进行。原因有二:1)传感器的安装方式有刚性连接、蜡粘及胶粘等。颤振传感器可以使用胶粘或蜡粘方式进行校准,但是产生的人为误差较大;2)颤振、抖振传感器尺寸较大,而该激振台面较小,每次最多只能进行 1 只颤振、抖振传感器的校准,大大增加校准时间。

3 多型振动传感器台面设计

振动分为环振、颤振、炮振以及高温振动等。目前,使用 SE-10 原装台面只能安装环境振动传感器,其他传感器不具有安装孔。

振动台面设计首先需要确定台面尺寸大小,大约可以安装多少种类型传感器。其次台面选材与加工,最后进行振动试验。对常用的机载振动传感器型号及尺寸进行梳理分析,如表 3 所示。

表 3 常用机载振动传感器特征

传感器型号	尺寸/mm	重量/g
PCB 公司 3741B 系列	25.4×21.59×7.5	9.92
Endevco 公司 7703-50	15.88×19.8	25
Endevco 公司 J353B33	18.92×23.6	27

经过对传感器尺寸及安装方式的分析,设计的新振动台面尺寸图、台面实物图如图 3 所示,总重为 50 g。



图 3 新台面设计图及台面正、反面实物

4 新台面振动校准试验

4.1 新台面模态分析

为了确定制作的振动台面对振动校准的影响,使用 ANSYS 软件对其做了模态分析。对其进行网格划分,如图 5 所示。对其进行 6 阶固有模态分析,得出其固有频率分别为:39 772 Hz、39 920 Hz、41 582 Hz、41 924 Hz、45 291 Hz、47 479 Hz。从这 6 阶固有频率点可知,只有当频率大于 39 kHz 时才会产生共振。而机载振动校准时,一般只关注 2.5 kHz 以内的信号。

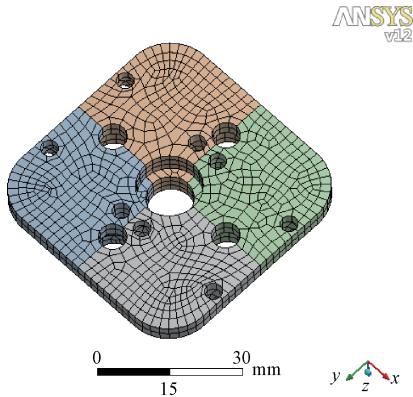


图 5 新台面网格分析

4.2 新台面试验

振动传感器的技术指标很多,校准的内容也较多,通常只对传感器的 3 项内容进行校准,具体为^[9-10]:

1)灵敏度:它是指在规定的频率范围和周围环境条件下输出量(电压、电荷)与输入量(振动的位移、速度、加速度等)的比值。

2)频率特性:频率特性分为幅频特性和相频特性,幅频特性是传感器灵敏度随频率变化的特性;相频特性是输入量与输出量之间的相位差随频率的变化的特性,一般只考虑校准幅频特性。

3)线性范围:线性范围是指传感器输入量与输出量之间保持线性关系的最大机械输入量的变化范围。

根据机载振动传感器校准流程,只对前两项内容进行校准。因此新台面设计制作完成后,只对前两项内容进行试验验证,是否可以满足课题要求。新台面对校准精度的影响需要对多种类型传感器都进行验证。本文中只取一种振动传感器 353B33 为例进行试验说明。

首先,对振动传感器进行灵敏度校准试验。353B33 为 ICP(内置集成电路型)型振动传感器。其灵敏度一般为 100 mV/g 左右。现将 4 个 353B33 传感器,编号分别为 LW181887、LW181851、LW181849、LW181894 使用新台面安装在振动台面上进行校准,如图 6 所示。

设置频率为 60 Hz,依次记录 4 个传感器在加速度值为 1g、2g、4g、6g、8g 时的电压输出,所得的数据计算出实测灵敏度,再与传感器出厂灵敏度进行比对,如表 4 所示。

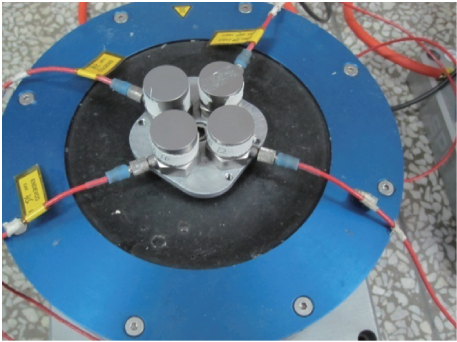


图 6 新台面对 353B33 进行校准

表 4 实测与出厂灵敏度比对

编号	1887	1851	1849	1894
出厂灵敏度 mV/g	102	101.8	100.8	99.4
实测灵敏度 mV/g	101.5	100.9	100	100.2
误差 mV/g	-0.5	-0.9	-0.8	0.8
相对误差/(%)	-0.5%	-0.88%	-0.79%	-0.8%

从表 4 数据可知,安装台面后,测得的实测灵敏度与传感器出厂灵敏度相比,最大相对误差不超过 1%。相对误差计算方法为(实测灵敏度-出厂灵敏度)/出厂灵敏度×100%。

其次,进行频率特性校准^[10]。设置加速度值为 2 g,记录扫频点分别为 20 Hz、40 Hz、60 Hz、80 Hz、100 Hz、300 Hz、500 Hz、700 Hz、1 000 Hz、1 200 Hz、1 500 Hz、1 700 Hz、2 000 Hz、2 200 Hz 时 4 只传感器输出的电压值,如表 5 所示。

表 5 扫频校准电压输出

编号	1887	1851	1849	1894
扫频点	(mV)	(mV)	(mV)	(mV)
20	204.32	204.04	202.2	201.2
40	204.04	204.46	201.16	201.78
60	203.05	205.03	200.79	202.2
80	207.58	201.64	205.99	197.21
100	207.01	201.92	204.11	198.51
300	204.89	203.05	202.36	199.88
500	205.45	203.05	203.35	199.46
700	205.88	203.9	203.59	200.49
1 000	207.15	204.61	204.2	201.18
1 200	208.57	205.17	205.69	201.89
1 500	209.7	146.4	206.9	203.15
1 700	211.1	147.1	208.34	203.73
2 000	211.1	147.7	208.28	204.99
2 200	210.97	148.2	208.28	205.62

从表 5 的实测扫频数据可知,以 60 Hz,2g 时的输出作为基准,可算得 4 个传感器在 20 Hz~2.2 kHz 时的最大相对误差分别为 3.97%,2.21%,3.76%,1.69%,满足课题对精度 5% 的误差要求。

一种类型、单个试验并不能说明该台面可用于试飞振动参数校准,因此还选用 3741 系列颤振传感器、7240 系列炮振传感器进行同样的试验,误差都不超过课题要求的 5%。

5 结 论

近几年,型号任务迅速增加,如何提高试飞振动参数校准效率成为试飞人急需解决的一个问题。本文通过设计制作新台面,并通过大量实验室试验,得出结论,该新台面可应用于机载试飞振动参数校准。

目前该新台面已应用于实验室振动参数校准,大大提高了工作效率,为科研试飞节约人力物力,为型号试飞提供保障。

参考文献

- [1] 杨晓伟. 振动校准现状及发展综述[J]. 航宇计测技术, 2000, 20(6): 41-47.
- [2] 赵海宇, 于惠忠. 温度传感器动态校准的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2001, 15(3): 25-29.
- [3] 牛刚, 贾志海, 王经. 基于 ANSYS 的多极板电容传感器仿真研究. 振动传感器宽频校准方法介绍[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(3): 280-284.

- [4] 毛宏宇, 胡卓林, 朱宇川, 等. 一种提高振动传感器动态校准精度的方法[J]. 计测技术, 2013, 33(S1): 94-96.
- [5] 胡斌, 武向娟, 王少辉, 等. 地温传感器现场校准多通道采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 42-43.
- [6] 闫利军, 赵亚娟, 高志远. 压电加速度传感器在机载测试领域中的安装研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(7): 130-134.
- [7] 郑威, 陈怀海, 贺旭东. 一种多维动态力传感器校准系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(1): 43-45.
- [8] 王真, 朱丽, 黎玮. 基于电磁振动台的振动传感器校准技术研究[J]. 中国科技信息, 2013(14): 140-141.
- [9] 匙庆磊. 低频标准振动台系统和振动校准技术研究[J]. 国际地震动态, 2015(4): 40-41.
- [10] 何伟, 磁电式振动速度传感器灵敏度校准的测量不确定度评定 [J]. 中国计量, 2009(2): 97-98.

作者简介

朱丽, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机载传感器测试技术研究。

E-mail: zl313427@163.com

黎玮, 硕士, 工程师, 主要研究方向为机载传感器测试技术研究。

E-mail: 1179842929@qq.com