

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2021.04.11

# 惯性器件多参数测试设备校准技术关键问题

关伟

(国营长虹机械厂, 广西 桂林 541002)

**摘 要:** 多参数测试设备的高精度校准对提升惯性器件实战性能有重要影响。通过归纳分析现有多参数测试设备的计量标准, 指出分立校准的环境条件与多参数测试设备的使用条件不一致, 校准结果适用性有限。建议研制适用于多参数复合环境的传递标准, 开展多通道异步数据的同步采集与动态校准技术和多参数测试设备可计量性设计等研究, 形成与多参数测试配套的计量技术体系, 提升惯性器件多参数测试设备的校准能力。

**关键词:** 惯性器件; 多参数; 测试设备; 分立校准; 计量标准

**中图分类号:** TB93

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2021)04-0059-04

## Key Problems of Calibrating Multi-parameter Testing Equipment for Inertial Devices

Guan Wei

(State-owned Changhong Machinery Factory, Guilin 541002, China)

**Abstract:** High-precision calibration of multi-parameter testing equipment plays an important role in improving the performance of inertial devices in practical conditions. By introducing latest developments of calibration standards for multi-parameter testing equipment, the shortcoming of isolated calibration that caused by the difference between the isolated calibration environment and the composite condition produced by the multi-parameter testing equipment is analyzed. To solve the problem and improve the capability of calibrating multi-parameter testing equipment, it is suggested to develop transmission standards suitable for multi-parameter composite environment, carry out research on synchronous acquisition and dynamic calibration technology of multi-channel asynchronous data, and carry out research on metrological design of multi-parameter test equipment to form a metrological technology system supporting multi-parameter test.

**Key words:** inertial devices; multiple parameters; testing equipment; isolated calibration; metrological standard

## 0 引言

惯性器件多参数测试通过专门的试验设备按规定要求产生加速度、角速度、温度、湿度等多种参数激励惯性器件(包括惯性仪表和惯性系统), 以辨识多种非理想输入综合作用导致的惯性器件误差模型并进行针对性补偿, 是一种聚焦惯性器件实际使用的复杂高精度标定技术。从技术发展脉络看, 惯性器件多参数测试技术脱胎于综合环境试验技术, 如国家军用标准规定的温度-湿度-振动-高度试验<sup>[1]</sup>、振动-加速度试验<sup>[2]</sup>等。因此, 现有的惯性器件多参数测试设备, 大多参考综合环境试验设备设计, 如标定惯性器件温度敏感性的离心-温度测试系统、转台-温度测试系统<sup>[3]</sup>, 标定振动引入误差的离心-振动测试等<sup>[4]</sup>等。相应的计量检定标准和校准规范, 如全国惯性技术计量技术委员会组织编制的《离心-振动复合装置校准规范》《离心-温度复合装置校准规范》等<sup>[5]</sup>标准规范, 也参考了环境

试验设备校准检定标准, 如电工电子产品环境试验设备的检定方法<sup>[6]</sup>、军用机载设备气候环境试验箱的检定方法<sup>[7]</sup>, 以及环境试验系统的国家校准规范<sup>[8-9]</sup>等。

随着惯性技术的不断发展, 以及实战化、野战化战斗要求的不断提升, 惯性器件多参数测试设备的指标要求越来越高, 逐步脱离了环境试验设备的范畴。比如, 某型石英加速度计为标定  $1 \times 10^{-3} (\text{m} \cdot \text{s}^{-2}) / ^\circ\text{C}$  量级的偏值温度系数, 要求温箱的温度误差为  $\pm 0.5 ^\circ\text{C}$ ; 为标定  $3 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$  的振动整流误差, 要求正弦振动峰值加速度允差为  $\pm 5\%$ 。因此, 如使用振动-温度复合测试系统考察该加速度计偏值在振动和温度复合作用下的变化情况, 则应参考上述指标配置测试系统。而一般环境试验用温箱允许的温度误差为  $\pm 2 ^\circ\text{C}$ , 正弦振动峰值加速度允差为  $\pm 10\%$ , 所以环境试验设备的校准规范或检定方法越来越不能满足惯性器件高精度标定的要求。更重要的是, 目前多参数测试设备的校准方法主要沿用环境试验设备计量校准采用的分立

校准方法,即在保证校准过程中环境条件变量单一的情况下单独评估多参数测试设备的某个输出参数的量值准确性。这种变量单一的校准条件与多参数试验设备的实际运行条件有很大区别,导致校准结果的实用性有限。

本文分析多参数测试设备的校准问题,综述国内多参数测试设备计量技术的研究情况,指出提升高多参数测试设备校准能力需要解决的关键问题,供相关研究人员参考。

## 1 多参数测试设备校准技术现状

惯性器件多参数测试是高精度试验,只有同时准确获取多个参数的量值,才能构建多个参数复合作用与惯性器件输出误差之间的模型。因此,在多参数同时存在、相互耦合的情况下开展校准工作是多参数测试设备校准的基本要求。然而,由于技术水平所限,目前多种参数复合条件下的校准方法,依然是在保证环境变量单一的情况分别进行分立校准。在温度-湿度-振动综合环境试验系统校准规范中,规定在振动台不工作的情况下,校准温度、湿度和气流风速<sup>[9]</sup>;在电磁-温度-湿度复合试验系统中,研究人员提出对温度、湿度进行独立标定<sup>[10]</sup>。在包含多种参量的风洞测量系统中,对测量压力、温度、应变等各种传感器和测量系统进行分立检定<sup>[11]</sup>。

虽然分立校准的方法能够大幅度减少其他参数对被校准参数的影响,获得较为准确的测量数据。但是,由于校准环境与实际工作环境不一致,难以严格保证在多参数复合环境下各参量传感测量元件或系统能够按照校准的特性工作。在包含振动台的振动-温度-湿度综合环境试验系统中,振动台工作时产生的电磁和机械振动,可能影响温湿度传感器和风速传感器,造成测量误差<sup>[12]</sup>。在离心-振动机试验系统中,由于振动传感器的横向灵敏度特性,离心-振动机产生的横向加速度将造成振动传感器测量误差<sup>[13]</sup>。在低气压-温度试验中,有学者指出,低于1 kPa的真空试验辐射传热占据主导位,温度计的放置位置、面积和表面发射率等对测量结果都有影响,与高于1 kPa的情况有较大区别<sup>[14]</sup>。

因此,在多参数测试设备的校准工作中,从准确掌握被校产品或系统的实际工作特性出发,分立校准方法有较大的限制。为实现在多参数同时存在、相互耦合的情况下开展高精度校准工作,需要开展专门的多参数复合条件下的校准技术研究。

## 2 多参数测试设备校准技术的关键问题

### 2.1 适用于多参数复合环境的传递标准

传递标准或标准测量传感器是多参数测试设备计量的基础。传递标准与产品一样受多参数复合影响。如前所述的振动传感器,因为本身的传感器机理、结构特性、材料特性等方面原因,使传感器输出受到了多个参数干扰。为实现多参数复合环境下各种参数量值的准确传递,需要从硬件和软件两方面入手。

硬件方面,参考自校准技术在多通道测试设备中的应用,需要研制新型的传感器,作为各种参数的传递标准<sup>[15]</sup>。一种是在环境试验箱内的“内基准”,负责敏感温度、湿度、气压、电磁、噪声等与环境参数,一种是在环境试验箱外的“外基准”,敏感加速度、角速度等运动信息参数,主要是各种惯性仪表。内基准面临的多参数复合作用较为复杂,尤其是温度、湿度、气压紧密耦合,在加速度、角速度作用下温度场、湿度场等可能呈现特殊的变化,导致环境试验箱内的试验条件难以直观分析,在复杂条件如何保证测量数据的有效性是内基准设计的难点;外基准受到的干扰主要来自多参数测试设备本身,包括机械结构安装设计误差、热传递、空间电磁干扰等,属于传统的惯性仪表误差。硬件方面对于误差的处理,思路之一是采用隔离的办法,比如为测量噪声的传感器设计专门的温控装置,保证其不受温湿度影响,或采用专门设计,避免产生影响校准的各种干扰,如采用半导体温控,可以避免电磁辐射和音频振动等干扰<sup>[16]</sup>;思路之二是采用补偿措施,比如采用温度敏感的应变片,补偿温度引起的传感器底座变化,保证传感器安装稳定。

软件方面主要是补偿多参数复合作用导致的传感器输出误差。多个参数有各自的时、空变化规律,且有的参数相互影响,由此导致对传感器的干扰呈现非线性时变特性,如何在算法层面剥离这种干扰,还原传感器的有效测试数据是软件方面的主要工作。软件算法主要用于事后处理,在数据采集与处理系统中实现。从目前的技术水平和实践经验来看,多参数测试一般是“准静态测试”,待测试环境较为稳定时进行测试工作。此时测试设备中多个参数相互影响引起的输出波动能够控制在相对小的范围内,使各参数的传感器以线性特性为主,以便通过多元线性回归等方式获得可实用的结果。在各参数短时波动较大且不规律的情况下,通过神经网络、灰色预测等非线性建模手段难以获得重复性、一致性较好的结果。

## 2.2 多通道异步数据的同步采集与动态校准技术

多参数测试要求获取不同参数共同作用下被测产品的特性,例如在加速度、温度、气压与惯性器件某项技术指标之间的多输入-单输出关系,这就要求实现不同参数数据的同步采集、实时显示及数据融合处理。

第一,要求采用有线或无线的方式,构建包含内基准、外基准的多传感器网络,解决硬件互联的问题;第二,要求考虑多个参数不同的时空变化规律和综合作用引起的非线性时变特点,设计合理的采集方案。比如,温度、湿度、气压的联动变化及各自延时变化特点影响了内基准所处环境的稳定时间;机械结构热传导和电气部件电磁场的时变规律不同步,也影响了外基准所处环境的稳定时间。所以,选取内外基准稳定窗口的交叉部分,才能获取有意义的测量数据。第三,要研究动态校准技术,在各个参数发生系统工作特性(比如稳定性、重复性、空间的均匀性等)不一致的情况下,实现动态多参数的测试校准。

## 2.3 多参数测试设备的可计量性设计

目前多参数测试设备的设计主要参考综合环境试验设备,尚未建立起专门的惯性器件多参数测试设备设计理论和方法,虽然在提升试验设备精度方面取得了较大的进步,但是在设备研制之初并未系统性地考虑其计量需求,导致多参数测试设备的计量工作出现难题。比如,在振动-温度-湿度综合试验中,因电磁振动台和温湿度发生系统工作时产生的电磁干扰,实质上是电磁-振动-温度-湿度综合激励,且电磁环境比较复杂,对电磁敏感的惯性仪表开展此类测试将带来较大的测试误差。如果在试验系统设计之初不考虑电磁干扰影响及计量要求,就会给后续计量工作带来较大的限制,比如磁场传感器的安装位置、体积、质量等等,以至于难以准确获取电磁干扰的数据,无法补偿其引入的误差。另一个典型的例子是离心-振动机试验系统,如前所述,振动台控制系统是通过振动传感器敏感振动加速度,再进行反馈控制以达到设定的振动幅值。离心-振动机正常运转时,若通过离心机的导电滑环传递振动传感器模拟量数据(弱电信号),则会引入较大的误差,必须考虑其他的数据采集方式,比如无线数据采集,或者本地数据采集存储。但是,无线数据采集方式带来的数据丢失问题、带宽限制问题,以及本地数据采集存储模块的可靠性问题,都是需要提前考虑和设计解决的,否则实际使用存在较大困难。

## 3 结论

惯性器件多参数测试设备的校准能力决定了多参数复合条件下惯性器件的测试水平和误差补偿能力,对提升惯性器件实际使用精度和评估鉴定能力有重要影响。现行多参数测试设备没有成体系的计量标准,采用分立的方式校准多参数测试设备存在校准环境与实际工作环境不一致的问题,影响了校准结果的实用价值。通过开展多参数测试设备的可计量性设计研究,开发适用于多参数复合环境的传递标准,突破多通道异步数据采集与动态校准等关键技术,能够有力支撑多参数测试设备的校准能力提升。

### 参 考 文 献

- [1] GJB 150.24A-2009 军用装备实验室环境试验方法第24部分:温度-湿度-振动-高度试验[S].北京:总装备部军标出版发行部,2009.
- [2] GJB 8384 核战斗部振动-加速度试验方法[S].北京:总装备部军标出版发行部,2015.
- [3] 李颖奇,孟晓风,董雪明.离心-温度复合试验箱温度精密控制方法[J].计测技术,2015,35(2):15-18.
- [4] Guan W, Meng X F, Dong X M. Testing Accelerometer Rectification Error Caused by Multidimensional Composite Inputs with Double Turntable Centrifuge[J]. Review of scientific instruments, 2014, 85(12): 125003.
- [5] 董雪明,关伟.惯性计量技术规范体系架构浅析[J].中国标准化,2019(11):58-63.
- [6] HB 6783.1 军用机载设备气候环境试验箱(室)检定方法[S].北京:中国航空工业总公司,1993.
- [7] GB/T 5170.1 电工电子产品环境试验设备检验方法[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [8] JJF 1101 环境试验设备温度/湿度校准规范[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [9] JJF 1270 温度、湿度、振动综合环境试验系统校准规范[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [10] 武剑,贾小青.基于混响室的电磁环境及自然环境综合试验箱设计和仿真技术[J].宇航计测技术,2020,40(1):67-72.
- [11] GJB 5224 风洞测量系统设计及检定准则[S].北京:总装备部军标出版发行部,2004.
- [12] 孙月刚,王健.基于电磁混响技术的电磁环境与自然环境综合试验技术[J].装备环境工程,2016,13(5):48-53.
- [13] Guan W, Meng X F, Dong X M. Testing Vibration Rectification Error with Vibrafuge[J]. MAPAN-Journal of Metrology Society of India, 2014, 29(4): 289-294.
- [14] 赵文韬,承磊,沈惠峰,等.基于传热学的低气压-真空综合环境试验设备校准技术研究[J].计量学报,2019,40(4):676-680.

- 引用格式: 关伟. 惯性器件多参数测试设备校准技术关键问题[J]. 计测技术, 2021, 41(4): 59-62.

(广告)

# 室内空气中甲醛检测方法研究进展