

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.02.11

角运动传感器灵敏度的动态(角冲击)校准

孙丰甲, 彭军, 何群, 郭建麟

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 利用本实验室现有的动态角加速度标准装置, 产生标准的角冲击运动(半正弦), 实现对角运动传感器(角速度及角加速度传感器)灵敏度系数的动态校准, 通过对不同脉冲宽度及冲击幅值下获得的校准数据进行分析, 可以验证研制的动态角加速度标准装置具有较大的角冲击量程, 较好的角冲击重复性, 可以对角运动传感器灵敏度进行动态(角冲击)校准。

关键词: 动态校准; 角冲击; 灵敏度; 脉冲

中图分类号: TB93

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)02-0042-03

Dynamic Calibration of Sensitivity of Angular Motion Transducers

SUN Fengjia, PENG Jun, HE Qun, GUO Jianlin

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: The dynamic angular acceleration calibration device is used to realize an angular motion (Primary Angular Shock), and we can calibrate the angular motion transducers in conditions of optional pulse width and pulse amplitude. The research results of the dynamic sensitivity calibration indicated that the calibration device is feasible and reliable.

Key words: dynamic calibration; primary angular shock; sensitivity; pulse

0 引言

随着角运动传感器(角位移传感器、角速度陀螺及角加速度计)在航空、航天、兵器、汽车、机械制造等领域中的广泛应用, 角运动传感器的动态特性对整个系统的动态响应及系统精度有着十分重要的影响^[1-2], 因此对角运动传感器的动态特性的校准是保证数据准确可靠的基础环节。

目前国内外在对传感器动态特性校准中, 基本都是采用正弦激励方式对传感器的幅频特性及相频特性进行校准^[3-4], 例如: 俄罗斯、德国联邦(PTB)、美国及中国都建立了自己的正弦角振动实验设备^[5-8]。我所在已完成的正弦角振动标准基础上, 利用高精度空气轴承, 通过振动控制、光栅测量及数据采集等系统实现了对角运动传感器的角冲击动态校准, 该装置可以产生半正弦的冲击波形, 实现对角运动传感器在不同脉冲宽度及不同冲击幅值下的动态响应进行校准, 来保证角运动传感器灵敏度在角冲击条件下的量值准

确可靠。

1 标准装置组成及原理

动态角加速度标准装置如图 1、图 2 所示, 主要由标准转台、振动控制系统、光栅测量系统、数据采集及处理系统组成。



图 1 动态角加速度标准装置实物图

标准转台结构上采用气浮轴系, 不仅可以得到较高的回转精度, 而且摩擦小, 运行平稳, 具有较高的运动性能, 将整个测量装置置于隔振地基上, 安装被校传感器的台面选择大理石材料, 来降低电磁干扰的影响。

收稿日期: 2014-03-05; **修回日期:** 2014-03-18

作者简介: 孙丰甲(1980-), 男, 工程师, 硕士, 从事角运动量计量及测试技术研究。

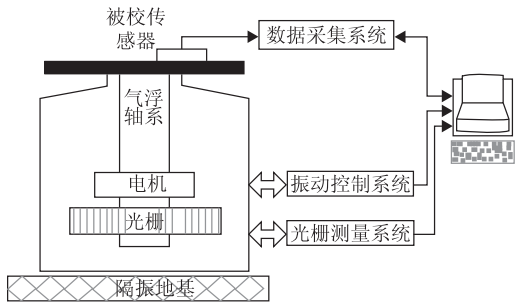


图2 动态角加速度标准装置组成图

振动控制系统用于发生半正弦角冲击信号来激励标准转台产生角冲击运动，采用高分辨力的光栅作为测量单元，数据采集及处理系统以 PXI 总线系统为核心，实现对标准装置输出的标准信号与被校传感器的输出信号的同步采集，得到标准信号峰值 μ 与传感器输出电信号峰值 ν ，进而得到被校传感器灵敏度 $\delta = \nu / \mu$ ，图3 为时域微分方法处理冲击加速度信号流程图。

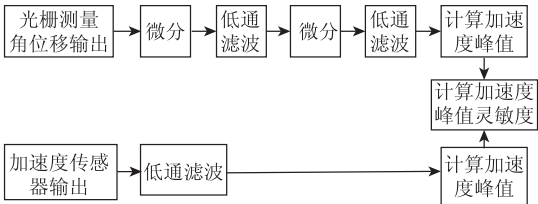


图3 时域微分方法处理冲击加速度信号流程图

2 实验过程及结果

分别选取 JY-01 型角加速度传感器和 VG949P 型角速度传感器为被校对象，依据 JJF 1453 - 2014《角运动传感器(角冲击绝对法)校准规范》，对传感器的参考灵敏度及重复性和灵敏度非线性度进行校准，图4 为振动控制系统输出的半正弦冲击激励信号，图5 为传感器角冲击校准的实测波形。

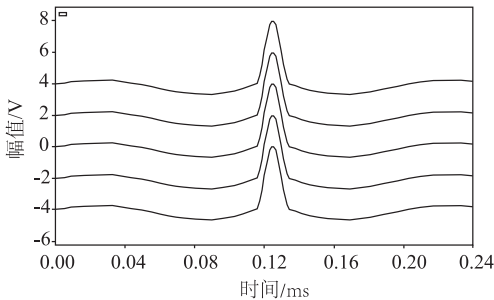


图4 半正弦角冲击信号

2.1 角加速度传感器角冲击校准

将 JY-01 型角加速度传感器刚性安装在标准转台的台面上，使传感器敏感轴与转台轴线平行，按被校传感

器要求进行预热与通电，标准装置进入角加速度控制模式。进行参考灵敏度及重复性校准时选择半正弦角冲击脉冲宽度为 10 ms 作为参考点，在角加速度传感器测量范围内将标准转台的脉冲幅值控制在 $8500 (^{\circ})/s^2$ ，在此参考点下对角加速度传感器进行 10 次重复角冲击，同时记录下标准输出与传感器输出，校准数据见表 1。

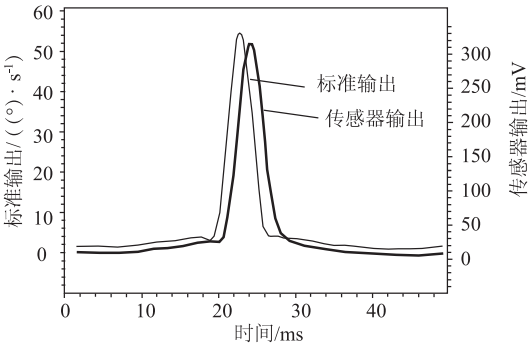


图5 角冲击校准实测波形

表1 JY-01 型角加速度传感器
参考灵敏度校准数据

序号	标准输出 / $((^{\circ}) \cdot s^{-2})$	传感器输出 /V	灵敏度 / $(mV \cdot (^{\circ})^{-1} \cdot s^2)$
1	8491.1	3.8438	0.453
2	8431.3	3.8390	0.455
3	8413.6	3.8405	0.456
4	8409.7	3.8352	0.456
5	8466.7	3.8427	0.454
6	8403.5	3.8408	0.457
7	8478.3	3.8425	0.453
8	8448.4	3.8335	0.454
9	8422.4	3.8409	0.456
10	8455.2	3.8311	0.453

计算 10 次灵敏度的平均值和实验标准偏差，得到角加速度传感器的参考灵敏度 $\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = 0.455 \text{ mV}/((^{\circ}) \cdot s^{-2})$ ，参考灵敏度重复性 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n - 1}} = 0.002 \text{ mV}/((^{\circ}) \cdot s^{-2})$ ，其中 $n = 10$ 。

对 JY - 01 型角加速度传感器灵敏度非线性度校准时，选择半正弦角冲击脉冲宽度为 10 ms，将标准转台的脉冲幅值控制在角加速度传感器测量范围内，并选择 10 个测量点，同时记录下标准输出与传感器输出，校准数据见表 2。

表 2 JY-01 型角加速度传感器灵敏度非线性度校准数据

序号	标准输出 $/((^{\circ}) \cdot \text{s}^{-2})$	传感器输出 $/\text{V}$	灵敏度系数 $/(\text{mV} \cdot (^{\circ})^{-1} \cdot \text{s}^2)$
1	3049.5	1.3897	0.456
2	3295.2	1.5065	0.457
3	4502.2	2.0621	0.458
4	5120.0	2.3544	0.460
5	5820.1	2.6899	0.462
6	6377.0	2.9467	0.462
7	7415.1	3.3832	0.456
8	8436.9	3.8364	0.455
9	9409.7	4.2900	0.456
10	11680.1	5.3119	0.455

依据 JJF 1453 - 2014 中 7.2.2.3 数据处理方法得到传感器角冲击灵敏度非线性度为 0.8%。

2.2 角速度传感器角冲击校准

将 VG949 型角速度传感器刚性安装在标准转台的台面上,使传感器敏感轴与转台轴线平行,按被校传感器要求进行预热与通电,标准装置进入角速度控制模式。进行参考灵敏度及重复性校准时选择半正弦角冲击脉冲宽度为 80 ms 作为参考点,在角速度传感器测量范围内将标准转台的脉冲幅值控制在 $27(^{\circ})/\text{s}$,在此参考点下对角速度传感器进行 10 次重复角冲击,同时记录下标准输出与传感器输出,校准数据见表 3。

表 3 VG949 型角速度传感器参考灵敏度实验数据

序号	标准输出 $/((^{\circ}) \cdot \text{s}^{-1})$	传感器输出 $/\text{V}$	灵敏度系数 $/(\text{mV} \cdot (^{\circ})^{-1} \cdot \text{s})$
1	26.75	0.1754	6.556
2	26.70	0.1746	6.540
3	26.72	0.1752	6.557
4	26.71	0.1744	6.530
5	26.68	0.1744	6.536
6	26.65	0.1744	6.545
7	26.67	0.1749	6.561
8	26.76	0.1755	6.559
9	26.73	0.1751	6.550
10	26.80	0.1753	6.541

计算 10 次灵敏度的平均值和实验标准偏差,得到角加速度传感器的参考灵敏度 $\bar{\delta} = 6.547 \text{ mV}/((^{\circ}) \cdot \text{s}^{-1})$,参考灵敏度重复性 $s = 0.011 \text{ mV}/((^{\circ}) \cdot \text{s}^{-1})$ 。

对 VG949 型角速度传感器灵敏度非线性度校准时,选择半正弦角冲击脉冲宽度为 30 ms,将标准转台的脉冲幅值控制在角加速度传感器测量范围内,并选择 10 个测量点,同时记录下标准输出与传感器输出,校准

数据见表 4。

表 4 VG949 型角速度传感器灵敏度非线性度校准数据

序号	标准输出 $/((^{\circ}) \cdot \text{s}^{-1})$	传感器输出 $/\text{V}$	灵敏度系数 $/(\text{mV} \cdot (^{\circ})^{-1} \cdot \text{s})$
1	11.65	0.0773	6.636
2	23.19	0.1522	6.562
3	34.63	0.2265	6.541
4	51.91	0.3392	6.535
5	69.06	0.4504	6.522
6	86.33	0.5621	6.511
7	98.64	0.6411	6.500
8	115.55	0.7496	6.487
9	139.12	0.9000	6.469
10	172.63	1.1102	6.431

依据 JJF 1453 - 2014 中 7.2.2.3 数据处理方法得到传感器角冲击灵敏度非线性度为 0.4%。

3 结论

通过对角加速度传感器和角速度传感器在角冲击条件下的灵敏度校准结果进行分析,可以得出在参考点时灵敏度具有较好的重复性,并可以得到角运动传感器在角冲击条件下传感器灵敏度非线性度,对角运动传感器性能研究和实际应用有着非常大的意义。

本实验室现有的动态角加速度标准装置能产生可控的角冲击运动,可对角运动传感器的灵敏度进行动态(角冲击)校准,且准确可靠。

参 考 文 献

[1] 彭军,何群,孙丰甲. 动态角运动校准技术综述[J]. 计测技术, 2008, 28(5): 1-4.

[2] 吴校生, 陈文元. 角加速度计发展综述[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(04): 458-463.

[3] 杨雪松, 李长春, 母东杰, 等. 正弦激励法在传感器校准中的新应用[J]. 传感器, 2014, 33(7): 154-160.

[4] 范锦彪, 祖静, 林祖森, 等. 高 g 值加速度传感器激光绝对法冲击校准技术研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(11): 149-153.

[5] 薛景锋, 彭军, 李新良, 等. 角振动校准装置研究[J]. 航空学报, 2014, 31: 1-8.

[6] 国防科学技术工业委员会 GJB/J 6205 - 2008 角振动传感器校准规范[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 2008.

[7] ISO16063 - 15 Primary angular vibration calibration by laser interferometry[S].

[8] Taubner A, Martens HJ. Measurement of angular accelerations angular velocities and rotational angles by grating interferometry [J]. Measurement, 1998, (24): 21-32.