

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.01.12

# 冲击传感器不同安装方式对校准结果的影响分析

张洁文, 秦敏, 刘科, 张剑平

(中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 通过多次冲击传感器校准实验发现: 冲击传感器在冲击加速度比较校准装置上安装方式不同, 传感器的校准结果会有较大差异, 严重时会导致冲击传感器灵敏度幅值线性度变差。本文系统分析了冲击传感器不同安装方式对测试结果产生的影响及产生影响的原因, 并根据分析结果提出了相应的解决措施, 对规范和完善冲击传感器的校准过程有比较重要的意义。

**关键词:** 冲击传感器; 灵敏度幅值线性度; 幅频响应

**中图分类号:** TB936; TP336

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2016)01-0046-04

## Effect Analysis of Shock Sensors on Calibration Based on Different Installation Modes

ZHANG Jiewen, QIN Min, LIU Ke, ZHANG Jianping

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** During repeated shock sensor calibration, it's found that different mounting modes of the sensor on the comparison-method calibration device will result in different calibration results, and may even cause severe deterioration on the linearity of the measured sensitivity magnitude. This paper systematically analyzes how and why the different installation modes result in different testing results, and proposes the corresponding solutions. The analysis here is important to standardize and improve the calibration process.

**Key words:** shock sensor; linearity of sensitivity magnitude; amplitude-frequency response

## 0 引言

冲击测量广泛应用于航天、航空、兵器、建筑、交通、船舶、矿山、物探及环境设备试验等领域。为了保证冲击测量结果的准确性, 开展冲击加速度的校准工作具有十分重要的意义。由于高冲击加速度校准时的信号具有信号幅值高、脉冲持续时间短、激励的频谱宽等特点, 其对校准系统包括传感器、信号调理器、数据采集系统的带宽等技术指标提出较高的要求。

传感器的安装连接方式对传感器的安装谐振频率带来较大的影响。从多次校准实验结果来看, 如果传感器的安装方式不当则可能导致其测得的灵敏度幅值线性度变差。

本文通过分析校准冲击传感器采用不同的安装方式时出现的问题, 系统分析不同安装方式对测试结果产生影响的原因, 根据分析的结果提出相应的解决措施, 这对规范和完善整个校准过程具有非常重要的意义。

## 1 冲击传感器校准原理和方法

冲击加速度比较法校准原理是借助于加速度的标准器具——参考标准传感器——与被校加速度进行比较来传递冲击加速度量值的。在冲击比较校准中, 被校冲击传感器与参考冲击传感器背靠背安装, 承受同一冲击激励, 对两只传感器的冲击响应量值进行比较, 得到被校传感器的冲击校准灵敏度。

开展实验用的比较法校准装置是由 ENDEVCO 公司的 2925POP 冲击台提供冲击激励源。该设备主要包括 POP 冲击台、参考传感器、信号适调仪、低通滤波器、信号采样系统, 其校准原理示意图如图 1 所示。

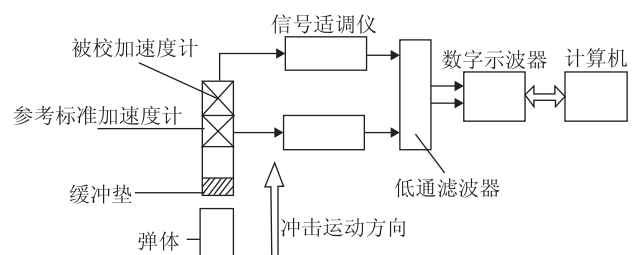


图1 冲击传感器比较校准原理示意图

收稿日期: 2015-10-20; 修回日期: 2016-01-06

作者简介: 张洁文(1973-), 女, 上海人, 技师, 多年从事振动、冲击计量检定工作。

用气压驱动弹体沿炮筒向上方运动，以一定的初速度撞击装有标准传感器和被校传感器的砧子。子弹撞击砧子后，砧子在惯性作用下运动，在运动较短距离后被指状限止器弹回，此时被校传感器和参考传感器将同时测得一个预先设定的冲击加速度。当使用不同的砧子、质量块、不同厚度的垫层或者调节气压值时可获得不同的冲击加速度值和冲击脉冲持续时间。

2 冲击传感器安装方式比较实验

2.1 传感器校准试验一

在比较法校准装置(加速度值 $\leq 1 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ )上校准某公司生产的 CA-YD-125 型冲击传感器，以下对实验过程的描述以编号为 73706#的冲击加速度传感器为例。该型号传感器的测量面有一个圆柱形凸台，如图 2 所示。将此传感器的测量面用 502 胶水粘贴于金属转接块使得被校传感器与参考传感器背对背安装，承受同一冲击激励，其安装方式如图 3 所示。按规程的要求进行冲击传感器的校准，得到其测量数据如表 1 所示。从实验测得的结果发现冲击传感器灵敏度的幅值线性度超过规程的要求(规程要求 $\leq 10\%$ )。对同型号的其它传感器进行相同的校准操作，发现其灵敏度的幅值线性度均超过规程的要求。



图 2 磨平前传感器外观图

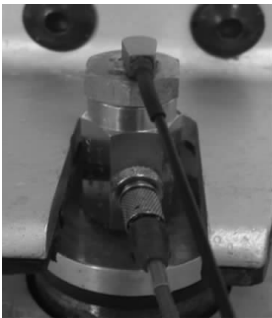


图 3 73706#在 POP 上安装方式

表 1 73706#灵敏度的幅值线性度(底面磨平前)

| 加速度值/ $g$                         | 灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 2192.6                            | 0.6567                          |
| 3786.1                            | 0.6728                          |
| 5701.9                            | 0.7015                          |
| 6676.1                            | 0.7079                          |
| 8285.2                            | 0.7274                          |
| 9518.5                            | 0.7351                          |
| 幅值线性度/%                           | 16.7                            |
| 冲击灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ | 0.700                           |

2.2 传感器校准试验二

在比较法校准装置(加速度值 $\leq 1 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ )上校准某研究所生产的 988 型冲击传感器，以下对实验过程的描述以编号为 1175#的冲击传感器为例。与 988 型传感器一起送检的包括客户提供的平时测量时配套的胶木块。将客户提供的胶木块作为转接件将被校传感器和参考加速计进行背对背安装，承受同一冲击激励，其安装方式如图 4 所示。



图 4 1175#传感器胶木块

按规程的要求进行校准，得到其测量数据如表 2 所示。从实验测得的结果发现冲击传感器灵敏度的幅值线性度超过规程的要求(规程要求 $\leq 10\%$ )。对同型号的其它传感器进行相同的校准操作，发现其灵敏度的幅值线性度均超过规程的要求。

表 2 1175#灵敏度的幅值线性度(胶木块连接)

| 加速度值/ $g$                         | 灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 2859.2                            | 0.3952                          |
| 3811.8                            | 0.3929                          |
| 5880.2                            | 0.4209                          |
| 7254.4                            | 0.4460                          |
| 9141.4                            | 0.4670                          |
| 10353.8                           | 0.4823                          |
| 幅值线性度/%                           | 36.9                            |
| 冲击灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ | 0.434                           |

上述两种类型的传感器均出现了灵敏度幅值线性度超标的现象。经过与厂家的沟通，初步排除传感器本身的质量问题。经过分析认为灵敏度幅值线性度超标的问题可能是由于传感器的安装方式引起的。

3 实验结果分析

3.1 校准试验一的分析

CA-YD-125 型传感器采用了环状剪切式结构，传感器内部的质量块作用于感应电极板的外围产生微剪切应力，压电敏感晶体片将这种剪切应力转换成电信

号输出。而该型号传感器上的凸台是为了方便客户进行振动测试而设计的,在进行振动校准时没有出现数据异常的现象。

由于在高冲击载荷下传感器将承受较大的冲击力,以往校准的传感器的安装面都被设计成均匀的平面,以保证传感器能均匀承受冲击力。基于这样的经验,初步判定问题出现的原因是由于传感器安装面的结构设计不合理,导致传感器在承受冲击载荷时外壳产生了附加弯曲应力,且凸台周边(特别是连接信号线一端)会产生较大的应力集中,这种弯曲应力由外壳传导至传感器内部的压电敏感晶体片,从而导致传感器的灵敏度在不同的冲击载荷下产生了较大的偏差。在高冲击力下传感器的受力情况如图5所示。

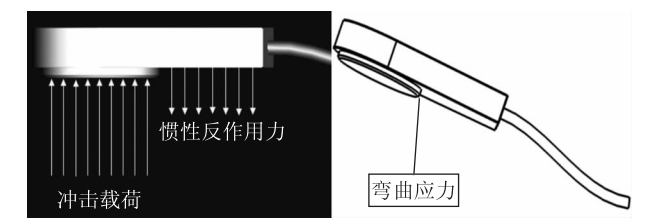


图5 CA-YD-125型传感器受冲击载荷时的受力示意

随着冲击载荷的加大,这种弯曲应力会进一步变大,从而进一步影响压电晶体片的正常工作,这也在测试结果中得到了体现,即随着加速度值的增大,传感器的灵敏度显著增加。很显然,为了解决这个问题,应当消除(减小)这种弯曲应力对压电晶体片产生的影响。基于这样的分析思路,建议厂家将安装底座磨平,使得冲击传感器能承受均匀的冲击载荷,以减小附加弯曲应力的影响。

3.2 校准试验二的分析

988型传感器的安装底座是平滑的,所以不存在3.1中出现的问题,那导致传感器幅值线性度超标的原因是什么呢?

在校准传感器的灵敏度或确定其固有频率时,需在传感器底座上加一质量为180 g或比传感器重10倍的质量块,这样确定的固有频率叫做“安装谐振频率”。安装谐振频率在校准时还受到安装条件的影响,如安装螺纹刚度、安装表面光洁度以及接触面的硬度、刚度等。理论推导表明:传感器的安装谐振频率与传感器的安装刚度和传感器底座质量有关。一般来说,安装刚度越高,基座质量越小,安装谐振频率就越高,而安装刚度与安装的松紧程度、传递杆(锥形杆)长短有关。

由于在校准的过程中采用的是客户提供的胶木块转接块,其密度小,质量轻,但接触刚度小,从而导致了冲击传感器的安装谐振频率减小,进而使得传感器的工

作频率上限变小。因此,在试验过程中传感器可能工作于频率响应曲线的上翘段,导致其灵敏度的幅值线性度超过规程的要求,如图6所示。图6中, $f_l$ 为工作频率下限; $f_0$ 为安装谐振频率; $f_h$ 为工作频率上限。

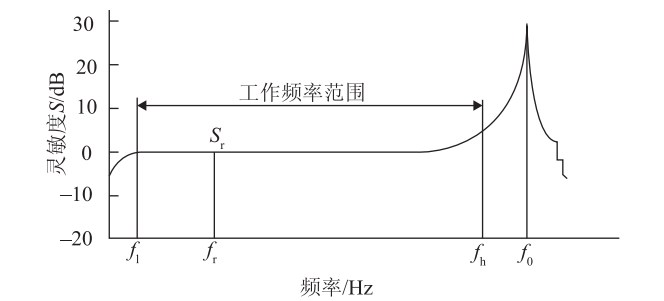


图6 传感器的典型幅频响应

基于这样的分析,建议采用质量较大的金属转接块以提高振动系统的接触刚度,从而提高传感器的安装谐振频率。

4 解决措施

4.1 校准试验一的解决措施

按前面的分析过程,建议某公司技术人员将CA-YD-125型传感器的底面磨平,磨平后的外观如图7所示。将磨平后的传感器重新在冲击加速度比较校准装置上按规程进行了校准,检定结果如表3所示,传感器灵敏度的幅值线性度变为3.6%,符合规程要求,这个结果进一步验证了之前的分析过程是正确的。

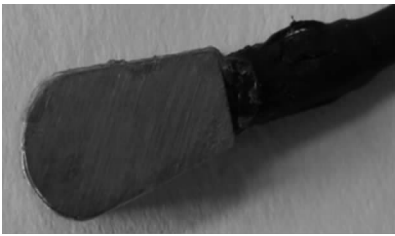


图7 磨平后传感器外观图

表3 灵敏度的幅值线性度(底面磨平后)

| 加速度值/g                      | 灵敏度/(pC·g <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|---------------------------|
| 3054.2                      | 0.5860                    |
| 5664.8                      | 0.5917                    |
| 6820.4                      | 0.5939                    |
| 7829.1                      | 0.5972                    |
| 9237.9                      | 0.5988                    |
| 10775.8                     | 0.6005                    |
| 幅值线性度/%                     | 3.6                       |
| 冲击灵敏度/(pC·g <sup>-1</sup> ) | 0.595                     |

基于本次试验的结果, 厂家接受了我们的建议, 并在其后续新产品的设计上固化了我们在结构设计上的建议, 比如该公司之后研发的 CA-YD-125A 型传感器, 其加速度值  $\leq 2 \times 10^5 \text{ m/s}^2$  的新产品上就采用了新的外壳结构设计(安装面均匀光滑无凸台)。

## 4.2 校准试验二的解决措施

对 988 型传感器而言, 将胶木连接块换为金属连接块, 并用螺钉紧固进行背对背安装, 如图 8 所示, 以增大系统的刚性。在比较校准装置上按规程重新进行了校准, 校准结果如表 4 所示, 传感器灵敏度的幅值线性度变为 5.6%, 符合规程要求, 这个结果也验证了之前的分析过程是正确的。



图 8 1175#传感器金属块转接安装方式

## 5 结论

在冲击传感器的校准过程中，传感器的安装方式会对校准结果产生很大的影响。传感器的安装底座应

(上接第 45 页)

槽水平；而在  $-40^{\circ}\text{C}$  时，由于搅拌不够充分，介质粘度变大致使性能变差，上、下水平面温度均匀性为  $0.03^{\circ}\text{C}$  左右，垂直温场均匀性小于  $0.06^{\circ}\text{C}$ 。

## 4 结论

采用微型制冷和侧搅拌技术研制的便携式低温恒温槽,各项技术指标与实验室使用的恒温槽相比在下限  $-40^{\circ}\text{C}$  略差一些,但是作为现场校准设备已可解决  $-40 \sim 95^{\circ}\text{C}$  温度范围内的复杂温度传感器难以校准的问题。在校准时,对于允差较大的温度传感器可直接使用该恒温槽作为标准器;而对于允差较小的温度传

该光滑平整，无凸起，无明显缺陷和倾斜，从而保证

表4 灵敏度幅值线性度(金属块连接)

|                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 加速度值/ $g$                         | 灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ |
| 1942.2                            | 0.3743                          |
| 3829.1                            | 0.3773                          |
| 5120.0                            | 0.3768                          |
| 8722.6                            | 0.3853                          |
| 9407.4                            | 0.3869                          |
| 10530.3                           | 0.3918                          |
| 幅值线性度/%                           | 5.6                             |
| 冲击灵敏度/ $(\text{pC} \cdot g^{-1})$ | 0.382                           |

测量过程中传感器受到均匀的冲击载荷。基于本次校准试验结果的分析，我们给出的建议也帮助厂家优化了冲击传感器的结构设计，并在后续新产品的设计上固化了我们在传感器安装面设计上的建议。

使用转接块连接时，应尽量选用质量小，接触刚度较大的金属连接块，以一定预紧力将传感器进行背对背的安装，以保证测量过程中冲击传感器工作在其工作频率范围内，这样才能得到正确的测量结果。

## 参考文献

- [1] 洪宝林. 力学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [2] 李科杰. 传感技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1989.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 233-2008 压电加速度计检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] 武强. ZWB 157-2001 冲击加速度计检定规程[S]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 2001.
- [5] 胡向东. 传感器与检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

感器，可以配接标准铂电阻温度计做标准器开展校准工作。

## 参考文献

- [1] 李玉华, 单纯利, 时阳, 等. 航空发动机短型温度传感器校准[J]. 计测技术, 2007, 27(S1): 69-71.
- [2] 王涛, 李艾华, 王旭平, 等. 一种小型化便携式恒温槽的设计[J]. 计量与测试技术, 2012(8): 3-4.
- [3] 刘建文, 徐仲玉, 马红梅, 等. 一种新的高精度低温恒温槽的研制[J]. 实验室研究与探索, 2009(4): 198-200.
- [4] 国家质量技术监督局. JJF1030-2010 恒温槽技术性能测试规范[S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.