



中华人民共和国国家标准

GB/T 13823.18—1997

振动与冲击传感器的校准方法 互易法校准

Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups
Primary vibration calibration by reciprocity method

1997-06-06 发布

1998-01-01 实施

国家技术监督局 发布

前 言

本标准是根据国际标准 ISO/DIS 5347-20:1989《振动与冲击传感器校准方法——互易法一次校准》编制的,在技术内容和测试方法上与该国际标准等同,但有几处微小的差异,即:(1)3.1 和附录 A1 中凡是出现“不确定度”之处,统统将国际标准原文中的“±”去掉;(2)根据我国的气候条件,将第 4 章中的室温和相对湿度分别改为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和小于 75%;(3)附录 A3 中对符号 R 的说明国际标准原文将“标准系数”误写成“标准灵敏度”,本标准作了更正。

本标准中使用的名词、专业词汇、基本概念均引自 GB/T 13823.1—93《振动与冲击传感器的校准方法 基本概念》。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准由全国机械振动与冲击标准化技术委员会提出并归口。

本标准由中国计量科学研究院起草。

本标准主要起草人:谷毅。

中华人民共和国国家标准

振动与冲击传感器的校准方法 互易法校准

GB/T 13823.18—1997

Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups
Primary vibration calibration by reciprocity method

1 范围

本标准详细规定了互易法对加速度传感器进行绝对校准所用仪器及测试步骤。

本标准适用于直线型加速度传感器,校准频率范围 40~1 250 Hz,加速度 10~100 m/s²。本方法在参考点(160 Hz,100 m/s²)和放大器增益档位置于参考位置时,校准不确定度为 1%。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 13823.1—93 振动与冲击传感器的校准方法 基本概念

3 仪器设备

3.1 仪器设备所处的环境条件应满足第 4 章中的要求和规定。

3.2 信号发生器和频率计

频率不确定度 0.01%;

频率稳定度优于 0.01%;

幅值稳定度优于 0.01%。

3.3 振动发生器系统

总失真度 < 2%。

横向、弯曲、摇摆加速度应小于主轴方向 10%,在 1 000 Hz 以上其最大值可以允许为 20%。

信噪比应优于满功率输出的 70 dB。

加速度幅值稳定度:在测量周期内优于 0.05%。

由加速度传感器安装而引入的基座应变应不影响灵敏度的测量。

3.4 激振器底座的质量

激振器底座应具有比激振器运动部件(紧固件及传感器)至少大 2 000 倍的质量,并由低阻尼弹簧悬起,如果地面振动有影响的话,悬浮共振频率不论是水平的还是垂直方向的都应小于 2 Hz。

3.5 比率计(电压表)

频率范围:40~1 250 Hz;

不确定度:分辨率及短期稳定度为读数的 0.1%。

3.6 相位计

频率范围:40~1 250 Hz;

不确定度:1°。

3.7 电阻器

应使用低感元件,功率参数应远大于实际功耗,在校准频率范围内和有效功耗下不确定度 $\leq 0.05\%$ 。

3.8 质量块

选10个等质量间隔的质量块,最大的应选为激振器可动部件的1至2倍。

不确定度:0.05%。

3.9 失真度测量仪

测量范围:0~10%;

频率范围:40 Hz~10 kHz;

不确定度:最大读数的10%。

3.10 示波器

频率范围:40~5 000 Hz。

3.11 其他要求

加速度传感器与放大器应作为一体进行年稳定度校准。加速度传感器的结构应紧固;基座应变灵敏度在参考值为 2.5×10^{-4} 时应小于 $0.2 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,横向灵敏度应小于1%;加速度计和放大器套组年稳定度应优于0.2%。

4 环境条件

校准应在下列环境条件下进行:

室温: $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$;

大气压力: $100 \text{ kPa} \pm 5 \text{ kPa}$;

相对湿度:小于75%。

5 优先选取的幅值及频率

加速度:10,20,50,100 m/s^2 ;

参考加速度:100 m/s^2 (第二选择为10 m/s^2);

频率:40,80,160,315,630,1 250 Hz;

参考频率:160 Hz(第二选择为80 Hz)。

6 操作步骤

6.1 一般说明

互易法校准使用线性、可逆、无源的电动式传感器,其输入、输出端具有机电等效转换互易性,该传感器是电动激振器的线圈。激振器能给紧靠它安装的加速度传感器提供振源。

包括一支被校加速度传感器在内,实验共需三支传感器,至少有一支传感器(线圈)具有上述三种特性;在实验一中,它作为驱动线圈,在实验二中,它作为速度线圈。

为了使包括驱动线圈和传感器在内的结构系统,由共振所引起的相位失真度保持最小,校准时的激振频率必须远远低于其共振频率。

在两种不同的情况下(见6.2.1和6.2.2)激振被校加速度传感器,第一种情况下需在有质量块和无质量块的两种条件下进行测量。

将适调放大器的档位开关设置在参考位置,优选频率160 Hz(第二选择点为80 Hz),加速度100 m/s^2 (第二选择点为10或20 m/s^2),经这样优化设置之后进行校准,并给出其参考灵敏度。

选择其它的加速度值和频率点进行校准,并给出这些校准结果与参考灵敏度的百分比偏差。

在实验一和实验二中,线圈在磁隙中的平衡位置应保持相同,此外,在测量过程中,平衡位置不允许偏离这一恒定量。

对于每一个频率点和加速度值其失真度、横向、弯曲、摇摆加速度、噪声和哼声必须进行测量,而且要满足前面“仪器设备”中给出的限制条件。

在校准时不用的仪器、设备最好关上电源。

6.2 方法

用两个激振器或一个双驱动线圈激振器做下列二组实验。

6.2.1 实验一

驱动线圈电流与传感器输出电压比的测量

由驱动线圈传感器输出电压之比得出导纳。其比值在无质量块时为 Y_0 ,在已知质量下的比值为 Y_n 。动圈电流可由串联电阻的电压测定。见图 1。

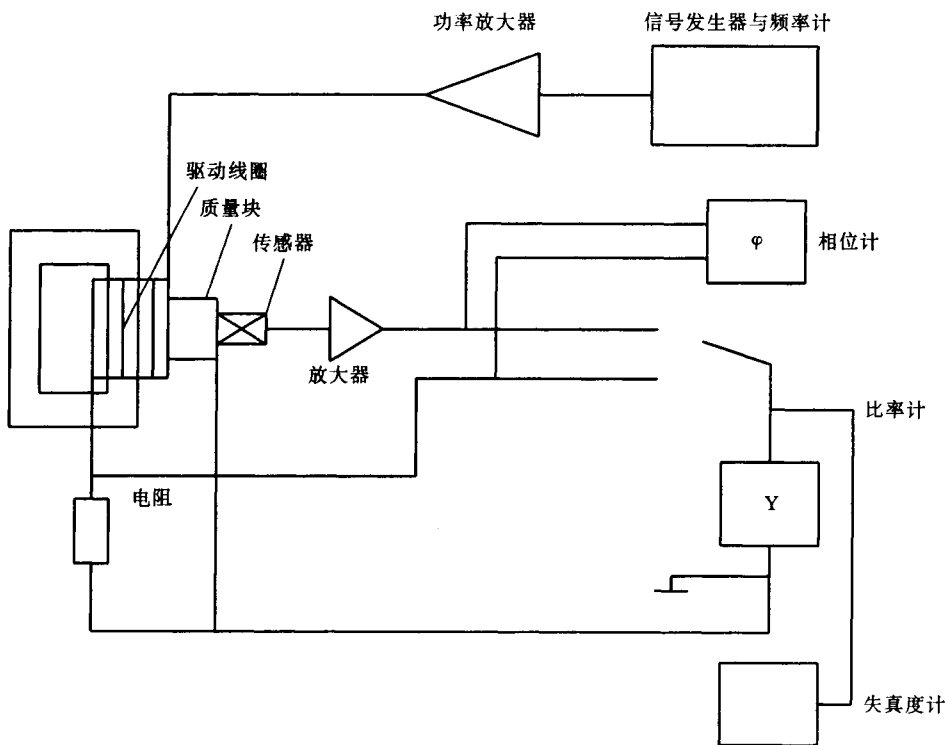


图 1 实验一方框图

6.2.2 实验二

传感器输出电压与线圈开路输出电压比的测量

由加速度传感器输出电压与线圈开路输出电压的比可得出传输比。导纳测量中的驱动线圈被用作速度线圈,该驱动线圈是一个辅助激振器或第二动圈。这个比值在无质量条件下为 R_0 。见图 2。

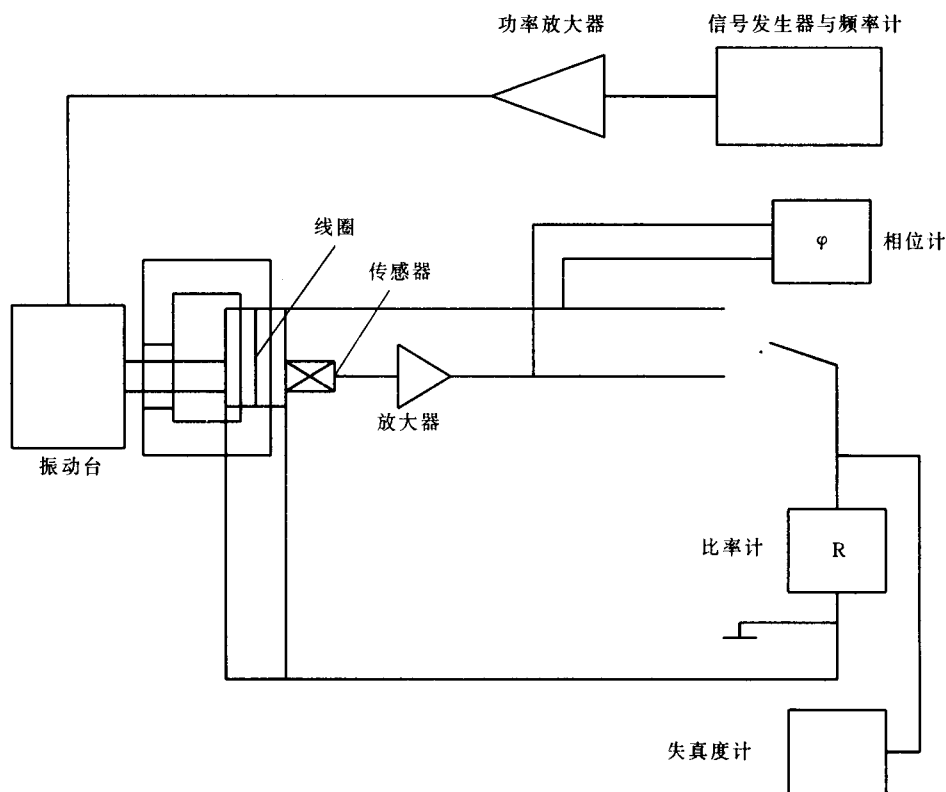


图 2 实验二方框图

7 灵敏度的计算

用下面两种方法计算灵敏度：作图法和曲线拟合（即最小二乘法）。

R_0, Y_0 和 Y_n 的实部、虚部计算如下：

$$R_r = R \sin \Phi \quad Y_r = Y \cos \Phi$$

$$R_i = R \cos \Phi \quad Y_i = Y \sin \Phi$$

7.1 作图法计算灵敏度（见图 3）

$$\left. \begin{aligned} Z_{mr} &= \frac{M_m}{Y_{mr} - Y_{or}} \\ Z_{mi} &= \frac{M_m}{Y_{mi} - Y_{oi}} \end{aligned} \right\} \text{根据不同的质量 } M_n \text{ 标出离散点作直线。}$$

做直线：
$$Z = \frac{M_n}{Y_n - Y_0}$$

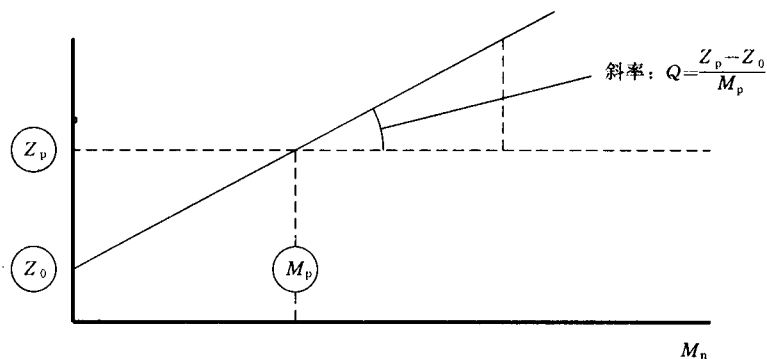


图 3 作图法计算灵敏度

图中各离散点可以看成是质量的统一加权,或者说图中各离散点被加权后正比于质量,例如一个质量块是最小质量块的5倍,加权系数就是5。

选择一点 M_p ,由曲线可得 Q, M_p, Z_p 和 R_0, Y_0 实部、虚部的相关测量,从而得到:

$$S = \sqrt{\frac{\bar{R}_0 \bar{Z}_0}{j2\pi f} \left(\frac{1}{1 - \bar{Q}(\bar{Y}_p - \bar{Y}_0)} \right)}$$

由经验得出在大多数情况下 Q 是可以忽略不计的, $Q \approx 0$, 当加速度计的质量与激振器运动部件质量之比很小时, $Y_p = Y_0$, 这时上面方程可简化为:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\bar{R}_i \bar{Z}_i}{j2\pi f}}$$

7.2 曲线拟合法计算灵敏度

对于质量的统一加权最小二乘法曲线拟合由下式给出:

$$\bar{Z}_0 = \frac{\sum M_n^2 \times \sum \frac{M_n}{\bar{Y}_n - \bar{Y}_0} - \sum M_n \times \sum \frac{M_n^2}{\bar{Y}_n - \bar{Y}_0}}{N \times \sum M_n^2 - (\sum M_n)^2}$$

因加权与质量成正比,这样就有:

$$\bar{Z}_0 = \frac{\sum n^2 M_n^2 \times \sum \frac{n^2 M_n}{\bar{Y}_n - \bar{Y}_0} - \sum n^2 M_n \times \sum \frac{n^2 M_n^2}{\bar{Y}_n - \bar{Y}_0}}{\sum n^2 \times \sum n^2 M_n^2 - (\sum n^2 M_n)^2}$$

式中: n ——对应 M_n 的加权系数;

N ——使用的质量总数。

灵敏度用下式计算。

$$S = \sqrt{\frac{\bar{R} \times \bar{Z}_0}{j2\pi f}}$$

7.3 符号和定义

S ——灵敏度, $V/(m \cdot s^{-2})$;

M_n ——安装质量, kg;

n ——质量块序数, 1, 2, 3, ... (从最小开始);

R ——传感器输出电压/开路线圈输出电压;

Y ——驱动线圈电流/传感器输出电压;

f ——振动频率, Hz。

脚标 0 表示没有安装附加质量块;脚标 n 表示安装附加质量块序数。

报告校准结果时,总的校准不确定度和相应的置信系数应根据附录来计算,最好选用 99% 的置信系数(或选用 95%)。

附录 A
(标准的附录)
不确定度的计算

A1 总的校准不确定度的计算

对于规定置信水平总的校准不确定度 X_{CL} 用式(A1)计算(在本标准中置信水平一般取 99%或 95%):

$$X_{CL} = \sqrt{X_r^2 + X_s^2} \dots\dots\dots (A1)$$

式中: X_r ——随机不确定度;
 X_s ——系统不确定度。

对于规定置信水平的随机不确定度 $X_{r(CL)}$ 用式(A2)计算:

$$X_{r(CL)} = t \sqrt{\frac{e_{r1}^2 + e_{r2}^2 + \dots + e_n^2}{n(n-1)}} \dots\dots\dots (A2)$$

式中: e_{r1}, e_{r2}, \dots ——系列中单次测量的算术均方差;
 n ——测量次数;
 t ——规定置信水平和测量次数下的学生分布值。

系统误差首先经修正和剔除后,再计算不确定度; $X_{s(CL)}$ 用式(A3)计算:

$$X_{s(CL)} = \frac{K}{\sqrt{3}} e_s \dots\dots\dots (A3)$$

式中: $K=2.0$, 对应于 95% 的置信水平;
 $K=2.6$, 对应于 99% 的置信水平;
 e_s ——在校准频率、幅值和放大器增益已设定时,校准系数的绝对不确定度, m/s^2 。

A2 校准频率、幅值和增益档已定的校准系数的绝对不确定度 e_s 的计算

A2.1 e_s 的计算

对于校准频率和幅值及放大器增益已定的校准系数的绝对不确定度 e_s 用式(A4)计算:

$$\frac{e_s}{S} = \sqrt{\left(\frac{e_f}{2f}\right)^2 + \left(\frac{d}{200}\right)^2 + \left(\frac{a_T T}{200e}\right)^2 + \left(\frac{a_H}{2a}\right)^2 + \left(\frac{e_M}{M}\right)^2 + \left(\frac{e_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{e_R}{2R}\right)^2 + \left(\frac{e_R}{2Y}\right)^2} \dots\dots (A4)$$

式中: S ——校准系数, $V/(m \cdot s^{-2})$;
 e_s ——校准系数的绝对不确定度(条件是参考频率和幅值及放大器增益已定), $V/(m \cdot s^{-2})$;
 f ——振动频率, Hz;
 e_f ——频率的绝对不确定度, Hz;
 d ——总失真度, $d=100 \times \sqrt{\frac{a_{tot}^2 - a^2}{a^2}} \%$;
 a_{tot} ——总的加速度有效值, m/s^2 ;
 a ——振动频率下的加速度有效值, m/s^2 ;
 a_T ——横向、摇摆与弯曲加速度, m/s^2 ;
 T ——加速度计最大横向灵敏度, 用测量方向加速度幅值的百分数表示, %;
 a_H ——由噪声与哼声引起的加速度幅值, m/s^2 ;
 e_M ——质量误差, kg;
 M ——质量绝对值, kg;

- e_I ——限流电阻误差, Ω ;
- I ——限流电阻的绝对值, Ω ;
- e_R ——加速度计输出与驱动线圈输出电压比误差;
- R ——电压比的绝对值;
- e_Y ——驱动线圈电流与加速度计输出之比误差;
- Y ——驱动线圈电流的绝对值与加速度计输出之比的绝对值, 电流由串联电阻上的电压测出。

注: 在计算灵敏度误差方程中的每一项时, 由于频率是一半, 每项误差就用 $1/2$ 来近似, 失真度、噪声和哼声误差可以用电压表上的窄带滤波来减小, 采用同一块电压表通过比值法来测电压。 e_R 和 e_Y 要乘 2, 主要因为它要测两次, 一次有质量块, 一次没有质量块。

A3 校准系数在全频段和幅值范围内的总不确定度 e_{S1} 的计算

校准系数的绝对不确定度 e_S 仅仅是在有效的校准频率、幅值和放大器增益档位下的值, 在全频段和幅值范围下校准系数的总绝对不确定度 e_{S1} 用式(A5)计算:

$$\frac{e_{S1}}{S} = \sqrt{\left(\frac{e_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{R}{100}\right)^2 + \left(\frac{L_{IA}}{100}\right)^2 + \left(\frac{L_{IP}}{100}\right)^2 + \left(\frac{L_{aA}}{100}\right)^2 + \left(\frac{L_{aP}}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_A}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_P}{100}\right)^2 + \left(\frac{E_P}{100}\right)^2 + \left(\frac{E_A}{100}\right)^2} \dots\dots\dots (A5)$$

- 式中: S ——校准系数, $V/(m \cdot s^{-2})$;
- e_S ——在参考频率、幅度和定放大器增益下的校准系数的绝对不确定度, $V/(m \cdot s^{-2})$;
 - e_{S1} ——在全频段和幅值范围内校准系数的总绝对不确定度, $V/(m \cdot s^{-2})$;
 - L_{IA} ——对应于参考放大器的参考校准系数的频率线性均方差, %;
 - L_{IP} ——对应于参考加速度计的参考校准系数的频率线性均方差, %;
 - L_{aA} ——对应于参考放大器的参考校准系数的幅值线性均方差, %;
 - L_{aP} ——对应于参考加速度计的参考校准系数的幅值线性均方差, %;
 - I_A ——参考校准系数的参考放大器增益不稳定性和源阻抗误差, %;
 - I_P ——参考校准系数的参考加速度计不稳定性误差, %;
 - R ——参考校准系数的参考放大器跟踪范围误差(即不同放大器不同档位的增益误差), %;
 - E_A ——参考校准系数由参考放大器的环境影响引入的误差, %;
 - E_P ——参考校准系数由参考加速度计的环境影响引入的误差, %。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
振动与冲击传感器的校准方法
互 易 法 校 准
GB/T 13823.18—1997

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 15 千字
1997年12月第一版 1997年12月第一次印刷
印数 1—600

*

书号: 155066·1-14339 定价10.00元

*

标 目 324—23



GB/T 13823.18-1997