

振动传感器加速度示值测量结果的不确定度评定

钟美芳

(江西省计量测试研究院, 江西 南昌 330002)

摘要: 随着测试技术的不断数字化、智能化和计算机化, 振动传感器成为振动测试中的关键因素, 一般可选择加速度来测量振动。本文以某一型号的测振仪为被测对象, 选用比较法中频振动标准装置, 在一定的环境条件下, 对参考频率和参考加速度下的示值进行测量, 并对振动传感器加速度的示值误差测量结果的不确定度进行分析和评定。

关键词: 振动传感器; 加速度; 示值误差; 测量不确定度

中图分类号: TM930.115

文献标识码: A

文章编号: 1672-4984(2006)03-0143-02

Evaluation of measurement uncertainty of vibration acceleration sensor

ZHONG Mei-fang

(Jiangxi Institute of Measurement and Testing Nanchang 330002 China)

Abstract: Along with test technology development, digitization and intellectualization, vibration sensor becomes the key factor in the vibration test. Acceleration test often is used in vibration test. Taking middle-range frequency standard equipment for comparison as example, this article discussed measurement of acceleration and evaluation of measurement uncertainty in the test.

Key words: Vibration sensor; Acceleration; Indication error; Uncertainty of measurement

1 引言

在航空、航天、车辆、机械、土木、化工等工程领域, 机械振动和结构动力学问题日益突出。振动测试和动态分析已成为机械、结构产品研究、设计、生产和使用、维护中不可缺少的重要手段。随着测试技术向数字化、智能化和计算机化方向的发展, 它们发挥着愈来愈重要的作用, 振动传感器成为振动测试中的关键因素, 一般可选择加速度来测量振动。本文对振动传感器加速度的示值测量结果的不确定度进行分析和评定。依据 JJG 233—1996《压电加速度计》检定规程, 选用比较法中频振动标准装置, 检定 VM-63 测振仪。

2 测量不确定度分析

本文以 VM-63 测振仪为被测对象, 在温度 (25 ± 5 °C), 湿度 ≤ 80% 的环境条件下以参考频率 160Hz 和参考加速度 10.0 m/s² 测量为例, 分析其测量结果的不确定度。

数学模型:

$$\delta = a_p - a_0$$

式中: a_p —— 传感器 3 次读数平均值;

a_0 —— 中频振动标准装置的加速度示值;

δ —— 加速度示值误差。

3 标准不确定度分量来源分析及评定

3.1 标准不确定度 $u(a_0)$ 的评定

标准不确定度 $u(a_0)$ 的来源主要是比较法中频振动标准装置的误差引起的, 采用 B 类方法进行评定。根据振动传感器中心的验收论证, 比较法中频振动标准装置在参考频率 160Hz 和参考加速度 10.0 m/s² 下所引入的不确定度为 $U_{99} = 2\%$, $k = 3$, 比较法中频振动标准装置为多种仪器的组合, 不确定度可认为是正态分布, 查表 $k = 3$:

$$u(a_0) = 10.0 \times \frac{0.02}{3} = 0.0667 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

由于以正态分布估算, 查表, 自由度 $\nu = 13$

3.2 标准不确定度 $u(a_p)$ 的评定

标准不确定度 $u(a_p)$ 主要来源是传感器的不重复性引入, 可通过连续测量测量列, 采用 A 类方法进行评定。

用一台稳定度好的信号源, (本例采用 BK 公司的信号源 1027), 通过一标准电容, 将信号加给传感

收稿日期: 2005-11-04; 收到修改稿日期: 2006-01-15

作者简介: 钟美芳(1972—), 女, 工程师, 主要从事力学检定工作。

器,调整信号源输出,使传感器读数为 10.0m/s²,连续读取测振仪读数 10 次,得到测量列:

9.98 10.1 9.99 10.1 10.2 10.2
10.0 10.1 10.0 10.1

$$a_p = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} a_i \approx 10.07 \text{m/s}^2$$

单次测量标准差:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (a_i - a_p)^2}{10 - 1}} \approx 0.087 \text{m/s}^2$$

再任取两台同型号的传感器,连续测量 10 次,共得到 3 组测量列,分别计算单次实验标准差如下:

$$S_1 = 0.087 \text{m/s}^2 \quad S_2 = 0.071 \text{m/s}^2 \quad S_3 = 0.091 \text{m/s}^2$$

合成样本标准差:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 S_j^2}{3}} = 0.083 \text{m/s}^2$$

实际测量情况,在重复性条件下连续测量 3 次,以 3 次测量的平均值为测量结果,则可得到:

$$u(a_p) = \frac{S_p}{\sqrt{3}} \approx 0.048 \text{m/s}^2$$

自由度为: $v = 3 \times (10 - 1) = 27$

4 合成标准不确定度的评定

4.1 灵敏系数

数学模型:

$$\delta = a_p - a_0$$

灵敏系数:

$$C_1 = \frac{\partial \delta}{\partial a_p} = 1 \quad C_2 = \frac{\partial \delta}{\partial a_0} = -1$$

表 1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度	不确定度来源	种类	C_i	u_i	v_i
$u(a_0)$	比较法振动标准装置的误差	B	1	0.0667	13
$u(a_p)$	传感器的不重复性	A	-1	0.048	27

4.2 合成标准不确定度的计算

输入量 a_p 与 a_0 彼此独立,互不相关,所以合成标准不确定度可按下式得到:

(上接第 136 页)

$$X = \frac{218904 \times 309.6 \times 0.5 \times 10^{-3}}{575695 \times 5.0 \times 10^{-3}} = 11.77 \mu\text{g/L}$$

所以,合成标准不确定度:

$$u(X) = 11.77 \times 3.50\% = 0.41 \mu\text{g/L}$$

2.4 扩展不确定度

置信水平为 95%,取 $K = 2$,则扩展不确定度:

$$U_{P=95\%} = 2 \times u(X) = 0.82 \mu\text{g/L}$$

$$U_c^2(\delta) = \left[\sum_{i=1}^n |C_i| \cdot u(x_i) \right]^2$$

$$U_c(\delta) = \sqrt{\left[c_1 \cdot u(a_p) \right]^2 + \left[c_2 \cdot u(a_0) \right]^2} = \sqrt{(0.048)^2 + (0.0667)^2} \approx 0.082 \text{m/s}^2$$

c_1, c_2 为灵敏系数 $c_1 = 1 \quad c_2 = -1$

合成标准不确定度的自由度

由于 $v = \infty$ 所以:

$$V_{eff} = \frac{U_c^4(\delta)}{\frac{c_1^4 \cdot u^4(a_p)}{v_1} + \frac{c_2^4 \cdot u^4(a_0)}{v_1}} = 26.3$$

4.3 扩展不确定度的评定

比较法中频振动标准装置为多种仪器的组合,不确定度可认为是正态分布,传感器读数不确定度可认为是正态分布,所以合成标准不确定度是正态分布。按置信概率 $P = 99\%$, $V_{eff} = 26$,查表得:

$$k_p = t_{99}(26) = 3$$

则扩展不确定度:

$$U_{99} = t_{99}(26) \times U_c(\delta) \approx 3 \times 0.082 \approx 0.24 \text{m/s}^2$$

5 结果表示

用比较法中频振动标准装置,对传感器在参考频率 160Hz 和参考加速度 10.0m/s² 下的示值进行测量,示值误差测量结果 (10.0m/s²) 的扩展不确定度为 $U_{99} = 0.24 \text{m/s}^2$, $k = 3$ 。

参考文献

[1] JJF1059-1999 GJB3756-1999 测量不确定度的评定与表示[S].

[2] JJG233-1996 压电加速度计[S].

[3] JJG189-1997 机械式振动试验台[S].

[4] JJG190-1997 电动式振动试验台[S].

[5] 张令弥. 振动测试与动态分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992

[6] 李永敏. 数字化测试技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.

[7] 周秀银. 误差理论与实验数据处理[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1986

2.5 测量结果表示

取样量 5.0mL, 置信水平为 95%, 测得结果为: $11.77 \pm 0.82 \mu\text{g/L}$

参考文献

[1] NY/XQ421-2003, 动物尿液中盐酸克伦特罗(瘦肉精)残留的检测方法-气相色谱/质谱法[S].

[2] JJF1059-1999 测量不确定度评定与表示[S].

[3] 赖芳华. HCA-3B 型微机数显自动分析仪测定锰磷硅的不确定度评定[J]. 理化检验-化学分册, 2005, 41(7): 498