



中华人民共和国国家标准

GB/T 5170.14—2023

代替 GB/T 5170.14—2009

环境试验设备检验方法 第 14 部分：振动 (正弦)试验用电动式振动系统

Inspection methods for environmental testing equipments—Part 14: Electrodynamic
vibrating type system for vibration(sinusoidal) test



2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检验项目 2

5 测量仪器 2

 5.1 振动幅值测量仪器 2

 5.2 频率测量仪器 2

 5.3 失真度测量仪器 3

6 检验条件 3

 6.1 环境条件 3

 6.2 外观和安全条件 3

 6.3 加速度计的安装规定 3

7 检验方法 3

 7.1 外观和工作环境条件的检查 3

 7.2 安装传感器 3

 7.3 横向振动比 3

 7.4 加速度波形失真度 4

 7.5 台面加速度幅值均匀度 4

 7.6 振动幅值示值误差 4

 7.7 扫频速率误差和扫频幅度偏差 4

 7.8 频率示值误差 5

 7.9 频率稳定度 5

8 测量不确定度 5

9 检验报告 5

10 检验周期..... 6

附录 A（资料性） 基本参数允许误差 7

附录 B（资料性） 检验中测量不确定度的描述 8

参考文献 12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 5170 的第 14 部分。GB/T 5170 已经发布了以下部分：

- GB/T 5170.1—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第 1 部分：总则；
- GB/T 5170.2—2017 环境试验设备检验方法 第 2 部分：温度试验设备；
- GB/T 5170.5—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第 5 部分：湿热试验设备；
- GB/T 5170.8—2017 环境试验设备检验方法 第 8 部分：盐雾试验设备；
- GB/T 5170.9—2017 环境试验设备检验方法 第 9 部分：太阳辐射试验设备；
- GB/T 5170.10—2017 环境试验设备检验方法 第 10 部分：高低温低气压试验设备；
- GB/T 5170.11—2017 环境试验设备检验方法 第 11 部分：腐蚀气体试验设备；
- GB/T 5170.13—2018 环境试验设备检验方法 第 13 部分：振动（正弦）试验用机械式振动系统；
- GB/T 5170.14—2023 环境试验设备检验方法 第 14 部分：振动（正弦）试验用电动式振动系统；
- GB/T 5170.15—2018 环境试验设备检验方法 第 15 部分：振动（正弦）试验用液压式振动系统；
- GB/T 5170.16—2018 环境试验设备检验方法 第 16 部分：稳态加速度试验用离心机；
- GB/T 5170.17—2005 电工电子产品环境试验设备 基本参数检定方法 低温/低气压/湿热综合顺序试验设备；
- GB/T 5170.18—2022 环境试验设备检验方法 第 18 部分：温度/湿度组合循环试验设备；
- GB/T 5170.19—2018 环境试验设备检验方法 第 19 部分：温度、振动（正弦）综合试验设备；
- GB/T 5170.20—2022 环境试验设备检验方法 第 20 部分：水试验设备；
- GB/T 5170.21—2023 环境试验设备检验方法 第 21 部分：振动（随机）试验用液压式振动系统。

本文件代替 GB/T 5170.14—2009《环境试验设备基本参数检验方法 振动（正弦）试验用电动振动台》。与 GB/T 5170.14—2009 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 为了便于使用，重复列出了 GB/T 5170.1 中的某些术语和定义（见 3.3、3.5）；
- 更改了检验项目，将“额定参数”“加速度幅值稳定度”“试验系统加速度信噪比”“台面漏磁”“辐射噪声最大声压级”“连续工作时间”“台面温度”检验项目删除；将“台面横向振动比”修改为“横向振动比”，将“频率指示误差”改为“频率示值误差”，将“扫频定振精度”改为“扫频幅度偏差”（见第 4 章，2009 年版的第 4 章）；
- 增加了测量仪器系统扩展不确定度的要求；根据 GB/T 2423.10，“试验设备”未规定相关要求的检验项目从文件中删除，并相应地删除相关测量仪器的要求（见第 5 章）；
- 为了便于使用，列出了具体检验时的环境条件（见 6.1）；
- 删除了“一般规定”中“检验用负载”“加速度计”的相关规定（见 2009 年版的 7.1、7.2）；
- 变更了“横向振动比”的计算公式（见 7.3，2009 年版的 8.5）；
- 增加了“测量不确定度”一章（见第 8 章）；

——根据 GB/T 5170.1 的要求,列出了检验报告的内容(见第 9 章)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会(SAC/TC 8)提出并归口。

本文件起草单位:广州赛宝计量检测中心服务有限公司、厦门赛宝工业技术研究院有限公司、广东中创智腾技术服务有限公司、西安从吾电子科技有限公司、江苏瑞蓝自动化设备集团有限公司、广东莱伯通试验设备有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、北京中元环试机电设备技术有限公司、苏州苏试试验集团股份有限公司。

本文件主要起草人:杨霖、郑术力、陈东、丁翔、刘展、沈晓媛、郑文炜、汪卫华、李盛峰、刘放飞、陈勃琛、张越、黄晓光。

本文件于 1985 年首次发布,2009 年第一次修订,本次为第二次修订。



引 言

GB/T 5170《环境试验设备检验方法》主要适用于 GB/T 2423《环境试验 第 2 部分:试验方法》部分标准所用试验设备和类似试验方法标准所用试验设备的检验,目的是确认试验设备是否符合试验方法的要求。GB/T 5170 拟由以下部分组成。

- 第 1 部分:总则。目的在于规定环境试验设备检验的通用术语、检验条件、检验周期等通用要求。
- 第 2 部分:温度试验设备。目的在于规定温度(含低温、高温和温度变化)试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 5 部分:湿热试验设备。目的在于规定湿热试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 8 部分:盐雾试验设备。目的在于规定盐雾试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 9 部分:太阳辐射试验设备。目的在于规定太阳辐射试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 10 部分:高低温低气压试验设备。目的在于规定高低温低气压(含低气压、低温低气压和高低温低气压)试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 11 部分:腐蚀气体试验设备。目的在于规定腐蚀气体试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 13 部分:振动(正弦)试验用机械式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用机械式振动系统的检验方法及相关要求。
- 第 14 部分:振动(正弦)试验用电动式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用电动振动台的检验方法及相关要求。
- 第 15 部分:振动(正弦)试验用液压式振动系统。目的在于规定振动(正弦)试验用液压式振动系统的检验方法及相关要求。
- 第 16 部分:稳态加速度试验用离心机。目的在于规定稳态加速度试验用离心机的检验方法及相关要求。
- 第 17 部分:低温/低气压/湿热综合顺序试验设备。目的在于规定低温/低气压/湿热综合顺序试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 18 部分:温度/湿度组合循环试验设备。目的在于规定温度/湿度组合循环试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 19 部分:温度、振动(正弦)综合试验设备。目的在于规定温度、振动(正弦)综合试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 20 部分:水试验设备。目的在于规定水试验设备的检验方法及相关要求。
- 第 21 部分:振动(随机)试验用液压式振动系统。目的在于规定振动(随机)试验用液压振动台的检验方法及相关要求。
- 第 22 部分:声振试验用混响场试验设备。目的在于规定声振试验用混响场试验设备检验的项目、条件、矩阵、方法、结果的处理和时间间隔。

本文件给出的检验方法主要用于 GB/T 2423.10 所用振动(正弦)试验用电动式振动系统的检验。振动(正弦)试验用电动式振动系统是用来产生振动(正弦)激励的环境试验设备,用于对试件进行预先规定条件的振动(正弦)试验,其检验方法是质量表征的基本手段,可靠一致的检验方法是检验数据可比性的保证。根据 GB/T 2423.10 试验要求,文件对振动(正弦)试验用电动式振动系统的检验方法做了规定。

环境试验设备检验方法 第14部分:振动 (正弦)试验用电动式振动系统

1 范围

本文件规定了振动(正弦)试验用电动式振动系统(以下简称振动系统)的特性要求、测量仪器、测量不确定度、检验负载、检验条件、检验方法、检验结果、检验周期等内容。

本文件适用于 GB/T 2423.10 振动试验用振动系统的检验,类似试验设备的检验参考本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5170.1 电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分:总则

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

GB/T 5170.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

频率示值误差 frequency indication error

振动发生器系统的频率指示值与真值之差。

3.2

扫频 sweep

[振动发生器系统]某一自变量(通常为频率)连续地通过某一区间的过程。

3.3

扫频速率 sweep rate

自变量(通常为频率)的变化率。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.7]

3.4

扫频速率误差 sweep rate error

扫频速率的标称值与真值之差,一般采用相对误差的形式表示。

注:对数扫频时,扫频速率误差按公式(5)计算。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.15,有修改]

3.5

振幅 amplitude

正弦振动的最大值。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.10]

3.6

扫频幅度偏差 sweep amplitude deviation

振动发生系统扫频时,扫频幅值的波动度量,又称扫频定振偏差。

注:对数扫频时,扫频幅度偏差按公式(6)和公式(7)计算。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.15,有修改]

3.7

失真度 distortion

波形中不希望存在(或发生)的变化。

注:失真度一般用谐波失真度来定量表示,见公式(2)。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.19,有修改]

3.8

横向振动比 transverse vibration ratio



振动台或冲击台沿垂直于工作轴方向运动的加速度(速度、位移)与工作轴方向的加速度(速度、位移)的最大比值。

[来源:GB/T 5170.1—2016,3.3.21,有修改]

4 检验项目

振动系统的检验项目见表 1。

表 1 检验项目

| 序号 | 检验项目 |
|---|----------------|
| 1 | 横向振动比 |
| 2 | 加速度波形失真度 |
| 3 | 幅值(加速度、位移)示值误差 |
| 4 | 扫频幅度偏差 |
| 5 | 台面加速度幅值均匀度 |
| 6 | 频率示值误差 |
| 7 | 频率稳定度 |
| 8 | 扫频速率误差 |
| 注:检验项目根据 GB/T 2423.10 或有关标准、合同、用户的具体要求选择。检验项目的允许误差参考附录 A。 | |

5 测量仪器

5.1 振动幅值测量仪器

采用由加速度计(包括三向加速度计)或位移计,带积分和滤波网络的放大器,显示器或动态信号分析仪组成的振动幅值测量系统,振动幅值测量系统的扩展不确定度(包含因子 $k=2$):加速度优于 3%;位移优于 5%。

5.2 频率测量仪器

采用由加速度计(包括三向加速度计),带积分和滤波网络的放大器,频率计或动态信号分析仪组成

的振动频率测量系统,频率测量系统扩展不确定度应优于 0.1% ($k=2$)。

5.3 失真度测量仪器

采用由加速度计,带积分和滤波网络的放大器,失真度仪或动态信号分析仪组成的失真度测量系统,失真度测量系统扩展不确定度应优于 10% ($k=2$)。

6 检验条件

6.1 环境条件

检验时的环境条件为:

- a) 环境温度为 $(15\sim 35)^\circ\text{C}$,相对湿度不大于 80% ;
- b) 电源电压的变化应在额定电压的 $\pm 10\%$ 范围内;
- c) 振动系统应保持清洁,周围无腐蚀性气体、液体;
- d) 振动系统在检验时的其他条件应符合 GB/T 5170.1 的规定。

6.2 外观和安全条件

振动系统的外观和安全条件应符合 GB/T 5170.1 的规定。

6.3 加速度计的安装规定

加速度计应牢固地固定在台面中心及离台面中心最远的 4 个安装点上。

7 检验方法

7.1 外观和工作环境条件的检查

对振动系统的工作环境条件和外观进行检查,检查结果应符合第 6 章的各项规定。

7.2 安装传感器

振动系统按规定准备完毕,按第 6 章的要求,在振动系统台面上安装加速度计,并连接好测量系统。

7.3 横向振动比

振动系统空载,将三轴向加速度计牢固地连接在振动系统台面中心,加速度计(含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。在振动系统规定的工作频率范围内,按倍频程选取 6 个频率值(包括上限、下限频率值),在所选频率下以振动系统主振方向所允许最大振动幅值的 50% 进行振动,从动态信号分析仪上同时测量三个方向的加速度时域信号,按公式(1)计算出横向振动比 T 。

$$T = \max_t \left\{ \frac{a_T(t)}{a_z} \right\} \times 100\% = \max_t \left\{ \frac{\sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t)}}{a_z} \right\} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- T —— 振动系统台面加速度横向振动比;
- $a_T(t)$ —— t 时刻垂直于主振方向平面内的横向加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- $a_x(t)$ 、 $a_y(t)$ —— t 时刻垂直于主振方向平面内两个正交的横向加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- a_z —— 主振方向的加速度幅值,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

7.4 加速度波形失真度

振动系统空载,在振动系统的工作频率范围内,均匀选取不少于 6 个频率值(包括上限、下限频率值),在所选频率下最大振动幅值 50% 的大小振动。动态信号分析仪采用平顶窗函数,测量其基波和至少 5 次谐波。按公式(2)计算谐波失真度。

$$d = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2 + \dots}}{a_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- d ——谐波失真度;
- a_1 ——给定正弦振动信号基波幅值;
- a_2 ——为基波的二次谐波幅值;
- a_3 ——为基波的三次谐波幅值;
- a_4 ——为基波的四次谐波幅值;
- a_5 ——为基波的五次谐波幅值。

7.5 台面加速度幅值均匀度

振动系统空载,在振动系统工作频率范围内,按倍频程选取不少于 10 个频率值(包括上限、下限频率值)及相应频率下最大振动幅值的 50% 进行测量,在同次测量中,采用动态信号分析仪测得各个位置的加速度幅值,并按公式(3)计算出台面的加速度幅值均匀度 N 。

$$N = \frac{|\Delta A_{\max}|}{A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- N ——振动系统台面加速度幅值均匀度;
- A ——同次测量中,中心点的加速度幅值,单位为米每二次方秒(m/s^2);
- $|\Delta A_{\max}|$ ——同次测量中,各点与中心点加速度幅值的最大偏差,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

7.6 振动幅值示值误差

在规定的工作频率范围内,选取高、中、低三个频率值,分别对应加速度(或速度、位移)控制段,在所选频率值下取大、中、小 3 个加速度(或速度、位移)幅值进行测量,示值误差按公式(4)计算。

$$\delta_a = \frac{a_d - a_s}{a_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- δ_a ——振动系统的振动幅值示值误差;
- a_d ——振动系统的振动幅值示值,单位为米每二次方秒(m/s^2)或米每秒(m/s)或毫米(mm);
- a_s ——动态信号分析仪测量的振动幅值。

7.7 扫频速率误差和扫频幅度偏差

振动系统空载,在频率上限、下限范围内,按额定工作特性曲线的 50% 幅值设置扫频曲线,以 1 oct/min 的速率作扫频振动。用动态信号分析仪记录其扫频曲线,幅值为对数坐标 dB。按公式(5)计算扫频速率误差。按公式(6)、公式(7)计算扫频幅度偏差。

$$\delta_{\text{SR}} = \frac{R_s - \lg(f_H / f_L) / \lg 2 / t}{R_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

δ_{SR} ——扫频速率误差；

R_s ——规定的扫频速率，单位为倍频程每分(oct/min)；

t ——实测扫频时间，单位为分(min)；

f_L ——振动系统工作频率下限值，单位为赫兹(Hz)；

f_H ——振动系统工作频率上限值，单位为赫兹(Hz)。

$$\delta_{\max} = 20 \lg \frac{a_{\max}}{a_0} \dots\dots\dots (6)$$

$$\delta_{\min} = 20 \lg \frac{a_{\min}}{a_0} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

a_{\max} ——扫频过程中加速度(或位移)幅值的最大值，单位为米每二次方秒(m/s^2)或毫米(mm)；

a_{\min} ——扫频过程中加速度(或位移)幅值的最小值，单位为米每二次方秒(m/s^2)或毫米(mm)；

a_0 ——加速度(或位移)幅值的设定值，单位为米每二次方秒(m/s^2)或毫米(mm)；

δ_{\max} ——扫频幅度偏差的正波动值，单位为分贝(dB)；

δ_{\min} ——扫频幅度偏差的负波动值，单位为分贝(dB)。

7.8 频率示值误差

在振动系统频率上限、下限范围内，按倍频程选取 9 个以上频率点进行测量，记录振动系统频率示值和动态信号分析仪频率示值并计算其误差。

7.9 频率稳定度

振动系统空载，在振动系统最大位移幅值与最大加速度幅值的交越频率或振动系统上限频率以最大加速度幅值对应的位移幅值作连续定频振动，每隔 10 min 记录一次分析仪的频率示值，试验时间 1 h，频率稳定度 F_c 按公式(8)计算。

$$F_c = \frac{\Delta f_{\max}}{f_0} \times 100\% \text{ 或 } |\Delta f_{\max}| \dots\dots\dots (8)$$

式中：

F_c ——频率稳定度，%或赫兹(Hz)；

f_0 ——给定的试验频率示值，单位为赫兹(Hz)；

$|\Delta f_{\max}|$ ——各次测量中，分析仪频率示值相对于给定频率值的最大偏差，单位为赫兹(Hz)。

8 测量不确定度

应按照 JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示，测量不确定度应使用扩展不确定度 U 来表达。本文件的使用者参考附录 B，评定测量系统的扩展不确定度，满足第 5 章的要求。

9 检验报告

检验结果应在检验报告中反映，检验报告应至少包括以下信息：

- a) 标题“检验报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行检验的地点(如果与实验室的地址不同)；

- d) 证书的唯一性标识(如编号),每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被检对象的描述和明确标识;
- g) 进行检验的日期,如果与检验结果的有效性和应用有关时,应说明被检对象的接收日期;
- h) 检验所依据的标准的标识,包括名称及代号;
- i) 本次检验所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 检验环境的描述;
- k) 对标准偏离的说明;
- l) 检验不确定度说明;
- m) 检验人员、核验人员的签名,签发人员的签名、职务或等效标识;
- n) 明确的结论;
- o) 检验单位公章;
- p) 检验结果仅对被检对象有效的声明;
- q) 未经实验室书面批准,不应部分复制证书的声明。

10 检验周期

正常使用的设备,每一年至少进行一次检验。对设备的重要部位(指对试验条件的变化有直接影响的部位)维修或更换后,应立即进行检验。设备在安装调试之后或启封重新使用之前均应进行检验。

附 录 A
(资料性)
基本参数允许误差

除非有关规范另有规定,振动系统检验时,基本参数的允许误差可参照表 A.1。

表 A.1 基本参数误差

| 序号 | 检验项目 | 允许误差 | 备注 |
|----|----------------|--|---|
| 1 | 横向振动比 | 频率 $<20\text{ Hz}$, $\leq\pm 25\%$; 20 Hz \leq 频率 $<500\text{ Hz}$, $\leq\pm 15\%$; 500 Hz \leq 频率, $\leq\pm 50\%$ | |
| 2 | 加速度波形失真度 | 频率 $<20\text{ Hz}$, $\leq\pm 25\%$; 20 Hz \leq 频率, $\leq\pm 10\%$ | |
| 3 | 幅值(加速度、位移)示值误差 | $\pm 15\%$ | |
| 4 | 扫频幅度偏差 | $\pm 1.5\text{ dB}$ | |
| 5 | 台面加速度幅值均匀度 | 25% | 在额定的频率范围内,允许有 1 个~2 个均匀度较大的频带,在该频带内最大加速度幅值均匀度不大于 50%,频带宽度不超过最大均匀度对应频率的 $\pm 10\%$ |
| 6 | 频率示值误差 | 频率 $<100\text{ Hz}$, $\leq\pm 0.5\text{ Hz}$; 100 Hz \leq 频率, $\leq\pm 0.5\%$ | |
| 7 | 频率稳定度 | 频率 $<100\text{ Hz}$, $\leq\pm 0.5\text{ Hz}$; 100 Hz \leq 频率, $\leq\pm 0.5\%$ | |
| 8 | 扫频速率误差 | $\pm 1\%$ | 振动系统在规定的频率范围内作扫频振动,扫频方式为对数形式,扫频速率为 1 oct/min |

附录 B

(资料性)

检验中测量不确定度的描述

B.1 测量扩展不确定度(U)的计算

B.1.1 目的

参照 JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示方法,建议用“扩展不确定度” U 来表述检验中的测量不确定度。给出 U 的目的是提供 $y-U$ 到 $y+U$ 的一个区间,在这个区间里期望 Y 值能具有高的概率。为确信估计 $y-U \leq Y \leq y+U$,扩展不确定度按以下方法确定。

B.1.2 分析不确定度来源和建立测量模型

B.1.2.1 分析不确定度来源

由测量所得的测得值只是被测量的估计值,测量中可能导致测量不确定度的来源一般可从以下方面考虑:

- a) 被测量的定义不完整;
- b) 复现被测量的测量方法不理想;
- c) 取样的代表性不够,即被测样本不能代表所定义的被测量;
- d) 对测量过程受环境影响的认识不恰如其分或对环境的测量与控制不完善;
- e) 对模拟式仪器的读数存在人为偏移;
- f) 测量仪器的计量性能(如最大允许误差、灵敏度、鉴别力、分辨力、死区及稳定性等)的局限性导致的不确定度,即仪器的不确定度;
- g) 测量标准或标准物质提供的量值的不确定度;
- h) 引用的数据或其他参量的不确定度;
- i) 测量方法和测量程序中的近似和假设;
- j) 在相同条件下重复观测中测得的量值的变化。

测量不确定度的来源根据实际测量情况进行具体分析。分析测量不确定度来源时,除了定义的不确定度外,可从测量仪器、测量环境、测量人员、测量方法等方面全面考虑,特别要注意对测量结果影响较大的不确定度来源,尽量做到不遗漏、不重复。修正仅仅是对系统误差的补偿,修正值是具有不确定度的。在评定已修正的被测量的估计值的测量不确定度时,要考虑修正引入的不确定度。

B.1.2.2 建立测量模型

测量中,当被测量(即输出量) Y 由 N 个其他量 X_1, X_2, \dots, X_N (即输入量),通过函数 f 来确定时,则公式(B.1)称为测量模型。

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

f ——测量函数。

设输入量 X_i 的估计值为 x_i ,被测量 Y 的估计值为 y ,则测量模型可写成公式(B.2)的形式。

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

B.1.3 标准不确定度的评定

B.1.3.1 概述

每个测量不确定度的来源用其概率分布的标准偏差估计值表征,称标准不确定度分量,用 u_i 表示。标准不确定度分量的评定就是要获得每个分量的标准偏差估计值。根据对 X_i 的一系列测得值 x_i 得到实验标准偏差的方法为 A 类评定,根据有关信息估计的先验概率分布得到标准偏差估计值的方法为 B 类评定。在识别不确定度来源后,对不确定度各个分量作一个预估算是必要的,测量不确定度评定的重点放在识别并评定那些重要的、占支配地位的分量上。

B.1.3.2 标准不确定度的 A 类评定

对被测量进行独立重复测量,通过所得到的一系列测得值,用统计分析方法获得实验标准偏差 $s(x)$,当用算术平均值 \bar{x} 作为被测量估计值时,被测量估计值的 A 类标准不确定度见公式(B.3)。

$$u_A = u(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

A 类评定时,重复测量的方法尽可能考虑随机影响的来源,使其反映到测得值中去。如加速度计安装是测量程序的一部分,获得 A 类评定的数据时注意每次测量要重新安装加速度计,以便计入每次安装的随机变化导致的不确定度分量。

B.1.3.3 标准不确定度的 B 类评定

根据有关的信息或经验,判断被测量的可能值区间 $[\bar{x} - a, \bar{x} + a]$,假设被测量值的概率分布,根据概率分布和要求的概率 p 确定 k ,则 B 类标准不确定度 u_B 可由公式(B.4)得到。

$$u_B = \frac{a}{k} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

a ——被测量可能值区间的半宽度。

区间半宽度 a 根据有关信息确定,信息来源一般有:

- a) 以前测量的数据;
- b) 对有关材料和测量仪器特性的了解和经验;
- c) 生产厂提供的技术说明书;
- d) 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据;
- e) 手册或某些资料给出的参考数据及其不确定度;
- f) 检定规程、校准规范或测试标准中给出的数据;
- g) 其他有用的信息。

B.1.4 计算合成不确定度

当被测量 Y 由 N 个其他量 X_1, X_2, \dots, X_N 通过线性测量函数 f 确定时,被测量的估计值 y 为: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 。

被测量的估计值 y 的合成标准不确定度 $u_c(y)$ 按公式(B.5)计算。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

y ——被测量 Y 的估计值,又称输出量的估计值;

- x_i —— 输入量 X_i 的估计值, 又称第 i 个输入量的估计值;
 $\partial f / \partial x_i$ —— 被测量 Y 与有关的输入量 X_i 的函数对于 x_i 的偏导数, 称灵敏系数;
 $u(x_i)$ —— 输入量 x_i 的标准不确定度;
 $r(x_i, x_j)$ —— 输入量 x_i 与 x_j 的相关系数, $r(x_i, x_j)u(x_i)u(x_j) = u(x_i, x_j)$;
 $u(x_i, x_j)$ —— 输入量 x_i 与 x_j 的协方差。

当各输入量间均不相关时, 相关系数为零。被测量的估计值 y 的合成标准不确定度 $u_c(y)$ 按公式(B.6)计算。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

当简单直接测量, 测量模型为 $y = x$ 时, 应分析和评定测量时导致测量不确定度的各分量, 若相互间不相关, 则[见公式(B.7)]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

B.1.5 扩展不确定度

扩展不确定度 U 由合成标准不确定度 u_c 乘包含因子 k 得到, 按公式(B.8)计算。

$$U = k u_c \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

在通常的测量中, 一般取 $k = 2$ 。当取其他值时, 应说明其来源。当给出扩展不确定度 U 时, 一般注明所取的 k 值。若未注明 k 值, 则指 $k = 2$ 。

当 y 和 $u_c(y)$ 所表征的概率分布近似为正态分布时, 且 $u_c(y)$ 的有效自由度较大情况下, 若 $k = 2$, 则由 $U = 2u_c$ 所确定的区间具有的包含概率约为 95%。若 $k = 3$, 则由 $U = 3u_c$ 所确定的区间具有的包含概率约为 99%。

B.1.6 报告结果

完整的测量结果包含被测量的估计值及其测量不确定度以及有关的信息。报告尽可能详细, 以便使用者可正确地利用测量结果。

B.2 整个加速度范围内的加速度测量扩展不确定度

对于某一个频率、加速度和信号适调放大器增益设置, 可用公式(B.9)计算加速度的相对扩展不确定度 U 。

$$U = k u_{c, \text{rel}}(A) \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

- k —— 包含因子;
 $u_{c, \text{rel}}(A)$ —— 加速度相对合成标准不确定度。
 公式(B.9)中 $u_{c, \text{rel}}(A)$ 可由公式(B.10)计算可得:

$$\begin{aligned}
 u_{c, \text{rel}}(A) &= \frac{1}{A} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u_{\text{rel}}^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u_{\text{rel}}(x_i) u_{\text{rel}}(x_j)} \quad \dots\dots (B.10)
 \end{aligned}$$

式中:

- A —— 被测量加速度均方根值;

- x_i —— 输入量 X_i 的估计值；
 $f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ —— 估计加速度均方根值；
 $\partial f / \partial x_i$ —— 被测量 Y 与有关的输入量 X_i 的函数对于 x_i 的偏导数，称灵敏系数；
 $u(x_i)$ —— 输入量 x_i 的标准不确定度；
 $r(x_i, x_j)$ —— 输入量 x_i 与 x_j 的相关系数， $r(x_i, x_j)u(x_i)u(x_j) = u(x_i, x_j)$ ；
 $u(x_i, x_j)$ —— 输入量 x_i 与 x_j 的协方差(如果不相关，则为零)。

表 B.1 列出了一些不确定度来源，该表包含了所有重要的不确定度来源，但不能保证包括了全部。

表 B.1 加速度的相对测量不确定度评定

| 序号 | 标准不确定度分量 $u(x_i)$ | 不确定度来源 | 相对扩展不确定度或估计误差分量的范围 | 包含因子 | 相对不确定度贡献 $u_{\text{rel},i}(A)/\%$ |
|----|-------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------|
| 1 | $u(S)$ | 加速度计幅值灵敏度的校准 | 2 | 1/2 | 1 |
| 2 | $u(S_s)$ | 不确定度 | 0.5 | $1/\sqrt{3}$ | 0.29 |
| 3 | $u(G)$ | 加速度计幅值灵敏度的年稳定度 | 0.1 | $1/\sqrt{3}$ | 0.058 |
| 4 | $u(e_s)$ | 适调放大器的增益 | 0.1 | $1/\sqrt{3}$ | 0.058 |
| 5 | $u(e_{fr})$ | 适调放大器的归一化 | 0.1 | $1/\sqrt{3}$ | 0.058 |
| 6 | $u(V)$ | 适调放大器的频率响应 | 0.2 | $1/\sqrt{3}$ | 0.115 |
| 7 | $u(e_{R,N})$ | 交流电压幅值的测量不确定度 | 0.05 | $1/\sqrt{3}$ | 0.029 |
| 8 | $u(e_h)$ | 安装参数(电缆的固定、扭矩等)的影响 | 0.002 4 | $1/\sqrt{3}$ | 0.001 4 |
| 9 | $u(e_{Tr})$ | 加速度谐波失真度 | 0.5 | 1/3 | 0.167 |
| 10 | $u(e_{re})$ | 横向运动比的测量的影响 | 0.05 | $1/\sqrt{3}$ | 0.029 |
| 11 | $u(e_{rl})$ | 基座应变的测量的影响 | 0.03 | $1/\sqrt{3}$ | 0.017 |
| 12 | $u(e_{dl})$ | 传感器非线性的测量的影响 | 0.03 | $1/\sqrt{3}$ | 0.017 |
| 13 | $u(e_{rg})$ | 动态信号采集仪非线性的影响 | 0.00 | $1/\sqrt{3}$ | 0.00 |
| 14 | $u(e_m)$ | 重力测量的影响 | 0.03 | $1/\sqrt{3}$ | 0.017 |
| 15 | $u(e_e)$ | 振动系统的磁场的影响 | 0.03 | $1/\sqrt{3}$ | 0.017 |



参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.10 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)
 - [2] GB/T 5170.1—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分:总则
-

