



中华人民共和国国家标准

GB/T 5170.13—2018
代替 GB/T 5170.13—2005

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

Inspection methods for environmental testing equipments—
Part 13: Mechanical vibrating type system for vibration (sinusoidal) test



2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 特性要求 3

5 测量仪器 4

6 测量不确定度 4

7 检验条件 5

8 一般规定 5

9 检验方法 5

10 检验结果..... 7

11 检验周期..... 7

附录 A（资料性附录） 检验中测量不确定度的描述 8



前 言

GB/T 5170 包含以下部分：

- 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—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；
- 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—2005 电工电子产品环境试验设备基本参数检定方法 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—2005 电工电子产品环境试验设备基本参数检定方法 水试验设备；
- GB/T 5170.21—2008 电工电子产品环境试验设备基本参数检验方法 振动（随机）试验用液压振动台。

本部分为 GB/T 5170 的第 13 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 5170.13—2005《电工电子产品环境试验设备基本参数检验方法 振动（正弦）试验用机械振动台》，与 GB/T 5170.13—2005 相比，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、3.4、3.7）；
- 删除了原第 4 章“检定项目”，改为“特性要求”（见第 4 章）；
- 将 GB/T 2423.10“试验设备”未规定相关要求的检验项目从本部分调整出，并相应地删除相关测量仪器的要求；
- 增加了“测量不确定度”一章（见第 6 章）；
- 为了便于使用，列出了具体检验时的环境条件（见 7.1）；
- 删除了“一般规定”中“多轴向振动台”“频率点选取”“振幅选取”“加速度和位移的转换公式”的相关规定；
- 变更了“横向振动比”的计算公式（见 9.4，2005 年版 8.5）；
- 根据 GB/T 5170.1 的要求，列出了“检验报告应至少包括以下信息”（见第 10 章）；
- 删除了原附录 A、附录 B；

——增加了附录 A“检验中测量不确定度的描述”。

本部分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。

本部分起草单位:工业和信息化部电子第五研究所、广州赛宝计量检测中心服务有限公司、佛山赛宝信息产业技术研究院有限公司、西安光麒科技有限公司。

本部分主要起草人:郑术力、张毅、阚飞、沈晓媛、徐俊、范程钢、刘国栋。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 5170.13—1985、GB/T 5170.13—2005。



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

1 范围

GB/T 5170 的本部分规定了振动(正弦)试验用机械式振动系统(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。

本部分适用于 GB/T 2423.10 振动试验用振动系统的检验。

本部分也适用于类似试验设备的检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2016 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—2012 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

GB/T 5170.1—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 5170.1—2016 中的某些术语和定义。

3.1

频率指示误差 frequency indication error

振动发生器系统的频率指示值与真值之差。

3.2

扫描 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

扫描速率 sweep rate

自变量(通常为频率)的变化率。

[GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.7]

3.4

线性扫描速率 linear sweep rate

扫描时自变量(通常为频率)的变化率为常数的扫描速率, $df/dt = \text{常数}$ 。

注:其中 f 为频率, t 为时间。

[GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.8]

3.5

对数(频率)扫描速率 logarithmic (frequency) sweep rate

每单位频率的变化率为常数的扫描速率, $(df/f)/dt = \text{常数}$ 。

3.6

扫描速率误差 sweep rate error

扫描速率的标称值与真值之差,一般采用相对误差的形式表示。对数扫描时,扫描速率误差按式(1)计算。

$$\delta_{\text{SR}} = \frac{R_s - \frac{\lg(f_H/f_L)/\lg 2}{t}}{R_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

δ_{SR} ——扫描速率误差,%;

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 ——振动试验系统工作频率下限值,单位为赫兹(Hz);

f_H ——振动试验系统工作频率上限值,单位为赫兹(Hz)。

注:改写 GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.15。

3.7

振幅 amplitude

正弦振动的最大值。

[GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.10]

3.8

振幅指示误差 amplitude indication error

振幅示值与真值之差。

注:改写 GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.11。

3.9

扫描幅度偏差 sweep amplitude deviation**扫频定振偏差 sweep frequency deviation**

振动发生系统扫描时,扫频幅值的波动度量。对数扫描时,扫描幅度偏差按式(2)计算。

$$\delta_{\text{max}} = 20 \lg \frac{a_{\text{max}}}{a_0}$$

$$\delta_{\text{min}} = 20 \lg \frac{a_{\text{min}}}{a_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

a_{max} ——扫描过程中加速度(或位移)幅值的最大值,单位为米每二次方秒或毫米[m/s²(或 mm)];

a_{min} ——扫描过程中加速度(或位移)幅值的最小值,单位为米每二次方秒或毫米[m/s²(或 mm)];

a_0 ——加速度(或位移)幅值的设定值,单位为米每二次方秒或毫米[m/s²(或 mm)];

δ_{max} ——扫描幅度偏差的正波动值,单位为分贝(dB);

δ_{min} ——扫描幅度偏差的负波动值,单位为分贝(dB)。

注:改写 GB/T 5170.1—2016,定义 3.3.15。

3.10

失真度 distortion

波形中不希望有的变化。失真度一般用谐波失真度来定量表示,见式(3)。

$$d = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2 + \dots}}{a_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

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。

注：改写 GB/T 5170.1—2016，定义 3.3.19。

3.11

台面振动幅值均匀度 amplitude uniformity for vibration table

振动系统台面任意一点振动幅值(加速度、速度或位移)和参考点振动幅值(加速度、速度或位移)相对偏差的最大绝对值。

3.12

横向运动比 transverse motion ratio

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的最大比值。

注：改写 GB/T 5170.1—2016，定义 3.3.21。

3.13

信号容差 signal tolerance

振动系统实际运动和基本运动的差异程度。见式(4)。

$$ST = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

ST ——信号容差，%；

NF ——未经滤波的信号 r.m.s.值；

F ——经滤波的信号 r.m.s.值。

4 特性要求

4.1 基本运动

基本运动应为时间的正弦函数，振动系统台面的各点应基本上同相位并沿平行直线运动，并符合 4.2 和 4.3 限定的要求。

4.2 横向运动

振动系统横向振动比应不大于 50%。横向运动的测量仅需在规定的频率范围内进行。在特殊情况下，例如对小样品振动试验，有关规范可以规定允许横向运动的振幅不大于 25%。在某些情况下，对于大尺寸、大质量的样品振动试验或在某些频率上要达到上面的要求是困难的，则应给出横向运动比的实测值。

4.3 失真度



振动系统的加速度波形失真度不超过 25%。

4.4 振幅容差

振动系统在所要求轴线上的基本运动幅值与标称值的偏差应在下列容差范围内：

a) 位移幅值示值误差和定振偏差：

振动系统的位移幅值示值误差应不超过±15%，扫描幅度偏差应不超过±1.5 dB。

b) 振动系统台面位移幅值均匀度：

振动系统工作时，振动试验系统台面位移幅值均匀度应不大于 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，在该频带内最大位移幅值均匀度不大于 50%，频带宽度不超过最大均匀度对应频率的±10%。

4.5 频率容差

振动系统在规定的频率范围内，其频率容差符合表 1 的规定。

表 1 频率容差

频率范围	$5\text{ Hz} \leq f \leq 50\text{ Hz}$	$f > 50\text{ Hz}$
频率示值最大允许误差	±1 Hz	±2%
频率稳定度	±1 Hz	±2%

4.6 扫频速率误差

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，扫频速率误差应不超过±1%。

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：加速度优于 3%($k=2$)；位移优于 5%($k=2$)。

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 0.5%($k=2$)。

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 测量不确定度

按照 JJF 1059.1—2012 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。本部分的使用者参考附录 A 所作的不确定度估计来证实其不确定度水平(见第 5 章)。

7 检验条件

7.1 环境条件

按以下环境条件进行检验：

- a) 环境温度为 15℃～35℃，相对湿度不大于 80%；
- b) 电源电压的变化应在额定电压的±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—2016 中第 4 章的规定。

7.2 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—2016 中第 8 章的规定。

8 一般规定

8.1 检验用负载

检验用负载应由金属材料制成外形对称的刚性体，其质量、质心高及安装偏心距应符合有关规定。负载与振动系统面连接表面的平面度应优于 0.1 mm，表面粗糙度 Ra 优于 5.0 μm 。负载与台面刚性连接，固定点均匀分布且不少于 4 个。

8.2 加速度计的安装

加速度计应刚性地固定在台面中心及离台面中心最远的 4 个安装点上。

9 检验方法

9.1 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 7 章的各项规定。

9.2 安装负载

根据检验要求选择空载或安装检验用负载。检验用负载应满足第 8 章的要求。

9.3 安装传感器

振动系统按规定准备完毕，按第 8 章的要求，在振动系统台面或负载上安装加速度计，并连接好测量系统。

9.4 横向振动比

振动系统空载或满载。位移计(或加速度计，含适调放大器)连接多通道动态信号分析仪。如果采用加速度计，需进行二次积分。在振动系统规定的工作频率范围内，均匀选取 6 个频率值(包括上、下限频率值)，在所选频率下以振动试验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位移时域信号，按式(5)计算出横向振动比 T 。其结果应符合 4.2 的规定。

$$T = \max_i \left\{ \frac{a_T(t)}{a_z} \right\} \times 100 = \max_i \left\{ \frac{\sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t)}}{a_z} \right\} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- T ——振动试验系统台面位移幅值横向振动比，%；
 $a_T(t)$ —— t 时刻垂直于主振方向平面内的横向位移，单位为毫米(mm)；
 $a_x(t)、a_y(t)$ —— t 时刻垂直于主振方向平面内两个正交的横向位移，单位为毫米(mm)；
 a_z ——主振方向的位移幅值，单位为毫米(mm)。

9.5 加速度波形失真度

振动系统空载或满载。在振动试验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。按式(3)计算谐波失真度。其结果应符合 4.3 的规定。

9.6 台面位移幅值均匀度

振动系统空载或满载。在振动系统工作频率范围内，至少均匀选取 6 个频率值(包括上、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振动位移幅值，并按式(6)计算出台面幅值均匀度 N ，其结果应符合 4.4b) 的规定。

$$N = \frac{|\Delta A_{\max}|}{A} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- N ——振动试验系统台面位移幅值均匀度，%；
 $|\Delta A_{\max}|$ ——同次测量中，各点与中心点位移幅值的最大偏差，单位为毫米(mm)；
 A ——同次测量中，中心点的位移幅值，单位为毫米(mm)。

9.7 位移幅值示值误差

振动系统空载，在频率范围的下限值上或振动系统的最大位移幅值与最大加速度幅值的交点上，在最大位移幅值范围内均匀选取 5 个位移幅值进行测量，记录振动系统位移示值及动态信号分析仪位移示值。位移幅值示值误差 δ 按式(7)计算，其结果应符合 4.4a) 的规定。

$$\delta = \frac{A_i - A_r}{A_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- δ ——位移幅值示值误差，%；
 A_i ——振动系统的位移示值，单位为毫米(mm)；
 A_r ——分析仪的位移示值，单位为毫米(mm)。

9.8 扫描速率误差和扫描幅度偏差

振动系统空载或满载，在额定频率范围内，以 1 oct/min 的速率自动扫频，位移幅值为频率上限值上的最大加速度值对应的位移幅值。用动态信号分析仪记录其扫频曲线，幅值采用对数坐标，单位为分贝(dB)。按式(1)计算扫频速率误差，其结果应符合 4.6 的规定。按式(2)计算扫描幅度偏差，其结果应符合 4.4a) 的规定。

9.9 频率指示误差

在振动系统额定频率范围内，均匀选取 6 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，测量结果应符合 4.5 的规定。

9.10 频率稳定度

振动系统满载,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上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 按式(8)计算,测量结果应符合 4.5 的规定。

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

式中:

F_c ——频率稳定度, % 或 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)。

10 检验结果

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,包括名称及标准编号;
- 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,不得部分复制证书的声明。

11 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

(资料性附录)

检验中测量不确定度的描述

A.1 测量扩展不确定度(U)的计算

A.1.1 目的

根据国际度量衡委员会(CIPM)推荐的方法——GUM,应该用扩展不确定度 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。

A.1.2 分析不确定度来源和建立测量模型

A.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必须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,应尽量做到不遗漏、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。

A.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,则式(A.1)称为测量模型。

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

式中大写字母表示量的符号, f 为测量函数。

设输入量 X_i 的估计值为 x_i ,被测量 Y 的估计值为 y ,则测量模型可写成式(A.2)的形式:

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

A.1.3 标准不确定度的评定

A.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应放在识别并评定那些重要的、占支配地位的分量上。

A.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 类标准不确定度按式(A.3)计算:

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

A 类评定时,重复测量的方法应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 类评定的数据时应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。

A.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 可由式(A.4)得到:

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

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。

A.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 $u_c(y)$ 按式(A.5)计算:

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

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;

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ ——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 $u_c(y)$ 按式(A.6)计算:

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

当简单直接测量,测量模型为 $y=x$ 时,应该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,则按式(A.7)计算:

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

A.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,按式(A.8)计算:

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

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,一般应注明所取的 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%。



A.1.6 报告结果

完整的测量结果应报告被测量的估计值及其测量不确定度以及有关的信息。报告应尽可能详细,以便使用者可以正确地利用测量结果。

A.2 整个频率和位移范围内的位移测量扩展不确定度

对于某一个频率、位移和信号适调放大器增益设置,可用式(A.9)计算位移测量的相对扩展不确定度 U :

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

式中:

k ——包含因子;

$u_{c, \text{rel}}(D)$ ——加速度相对合成标准不确定度。

式(A.9)中 $u_{c, \text{rel}}(D)$ 可由式(A.10)计算可得:

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

式中：

D ——被测量位移；

x_i ——输入量 X_i 的估计值；

$f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ ——估计位移；

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ ——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,为零)。

表 A.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 A.1 位移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 $u_{\text{rel},i}(D)/\%$
1	$u(S)$	加速度计(或位移计)幅值灵敏度的校准不确定度	2	1/2	1
2	$u(S_s)$	加速度计(或位移计)幅值灵敏度的年稳定度	0.5	$1/\sqrt{3}$	0.29
3	$u(G)$	适调放大器的增益	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
4	$u(e_s)$	适调放大器的归一化	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
5	$u(e_{fr})$	适调放大器的频率响应	0.1	$1/\sqrt{3}$	0.058
6	$u(V)$	交流电压幅值的测量不确定度	0.2	$1/\sqrt{3}$	0.115
7	$u(e_{R,N})$	安装参数(电缆的固定、扭矩等)的影响	0.05	$1/\sqrt{3}$	0.029
8	$u(e_h)$	加速度谐波失真度	0.0024	$1/\sqrt{3}$	0.0014
9	$u(e_{Tr})$	横向运动比的测量的影响	0.5	1/3	0.167
10	$u(e_{re})$	基座应变的测量的影响	0.05	$1/\sqrt{3}$	0.029
11	$u(e_{rl})$	传感器非线性的测量的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
12	$u(e_{dl})$	动态信号采集仪非线性的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
13	$u(e_{rg})$	重力测量的影响	0.00	$1/\sqrt{3}$	0.00
14	$u(e_m)$	振动系统的磁场的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017
15	$u(e_e)$	其他环境条件的影响	0.03	$1/\sqrt{3}$	0.017


