



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 298—2015

标准振动台

Standard Vibrators

2015-12-07 发布

2016-06-07 实施



国家质量监督检验检疫总局 发布



中国国家标准全文数据库

2015—2015

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 检 定 规 程
标 准 振 动 台

JJG 298—2015

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 34 千字
2016年3月第一版 2016年3月第一次印刷

*

书号: 155026 • J-3104 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

标准振动台检定规程

Verification Regulation of
Standard Vibrators

JJG 298—2015
代替 JJG 298—2005

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

本规程委托全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

蔡晨光（中国计量科学研究院）

李京胜（中国计量科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 磁通密度	(1)
4.2 信号噪声比	(1)
4.3 频率示值误差	(2)
4.4 稳定性	(2)
4.5 加速度谐波失真度	(2)
4.6 横向振动比	(2)
4.7 测量系统电压测量误差	(2)
4.8 测量系统电压比测量误差	(3)
4.9 测量系统相位差测量误差	(3)
4.10 加速度幅值控制误差	(3)
4.11 最大加速度幅值	(3)
5 通用技术要求	(3)
6 计量器具控制	(3)
6.1 检定条件	(4)
6.2 检定项目	(5)
6.3 检定方法	(5)
6.4 检定结果的处理	(9)
6.5 检定周期	(9)
附录 A 检定证书内页格式	(10)
附录 B 检定结果通知书内页格式	(12)
附录 C 检定结果在比较法振动校准中的使用	(14)
附录 D 检定结果在绝对法振动校准中的使用	(16)
附录 E 检定结果测量不确定度评估	(17)
附录 F 幅值均匀度测量方法	(22)

引 言

本规程依据 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》进行修订。本规程主要计量性能参照国家标准 GB/T 20485.11—2006《振动与冲击传感器校准方法 第 11 部分：激光干涉法振动绝对校准》、GB/T 20485.21—2007《振动与冲击传感器校准方法 第 21 部分：振动比较法校准》和国际标准 ISO 16063-41:2011《振动与冲击传感器校准方法 第 41 部分：激光测振仪校准 (Methods for the calibration of vibration and shock transducers—Part 41: Calibration of laser vibrometers)》确定。本规程对 JJG 298—2005《中频标准振动台 (比较法)》进行了修订。与 JJG 298—2005 相比,除编辑性修改外,本规程主要技术变化如下:

- 将原名称“中频标准振动台 (比较法)”修改为“标准振动台”;
- 适用于绝对法和比较法标准振动台;
- 频率范围扩展到 0.1 Hz~20 kHz;
- 取消了原规程中对加速度幅值的限制;
- 取消了原规程中对幅值均匀度的要求;
- 增加了对部分标准振动台测量系统电压测量误差、电压比测量误差、相位差测量误差、加速度幅值控制误差的要求;
- 部分计量性能要求和检定方法做了调整;
- 附录 C、D、E、F 为资料性附录。

本规程的历次版本发布情况为:

- JJG 298—2005;
- JJG 298—1995;
- JJG 298—1982。

标准振动台检定规程

1 范围

本规程适用于频率范围在 0.1 Hz~20 kHz 内的标准振动台（比较法或绝对法）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJG 233 压电加速度计

JJF 1156 振动 冲击 转速计量术语及定义

GB/T 20485.11—2006 振动与冲击传感器校准方法 第 11 部分：激光干涉法振动绝对校准

GB/T 20485.21—2007 振动与冲击传感器校准方法 第 21 部分：振动比较法校准

ISO 16063-41: 2011 振动与冲击传感器校准方法 第 41 部分：激光测振仪校准 (Methods for the calibration of vibration and shock transducers—Part 41: Calibration of laser vibrometers)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 概述

标准振动台是对振动传感器和测量仪进行检定或校准时产生标准正弦振动激励的装置。它通常由振动台、功率放大器（或驱动器）、控制系统（或信号源、频率计和电压表）、控制传感器及辅助设备所组成。振动台通常利用洛伦兹力、逆压电效应、液压或机械结构产生机械振动；控制系统通常采用具有信号发生和采集功能的分析系统实现，通常同时具备正弦振动控制和振动校准功能。

4 计量性能要求

4.1 磁通密度

传感器安装位置的漏磁通密度应不大于 5 mT。

4.2 信号噪声比

振动台面加速度信号噪声比应满足表 1 的要求。

表 1 振动台面加速度信号噪声比

校准方法	绝对法	比较法
信号噪声比	≥ 60 dB	≥ 50 dB

4.3 频率示值误差

标准振动台工作频率范围内，其频率示值误差应满足表 2 的要求。

表 2 频率示值误差

校准方法	绝对法	比较法
频率示值误差优于	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$

4.4 稳定性

标准振动台在参考频率点（160 Hz，80 Hz，16 Hz，8 Hz 或 1 Hz 等），以最大加速度幅值连续振动 100 s，在任一个 10 s 的时间间隔内，其稳定性应满足表 3 的要求。

表 3 稳定性

校准方法	绝对法	比较法
频率最大变化	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.1\%$
加速度幅值最大变化	$\leq 0.1\%$	$\leq 0.3\%$

4.5 加速度谐波失真度

标准振动台工作频率范围内，振动台面加速度谐波失真度应满足表 4 的要求。

表 4 加速度谐波失真度

校准方法	绝对法			比较法
	条纹计数法	最小点法	正弦逼近法	
加速度谐波失真度	$\leq 2\%$	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$	$\leq 5\% (f > 20 \text{ Hz})$ $\leq 10\% (f \leq 20 \text{ Hz})$

注：在工作频率范围内，除参考点外，允许有（1~2）个频带中的加速度波形失真度超过表 4 的要求，其频带宽度应不大于最大失真度频率的 $\pm 10\%$ ；（10~20）Hz 范围内允许有（1~2）个频带中的加速度波形失真度超过表 4 的要求，最大失真度不超过 15%。

4.6 横向振动比

标准振动台工作频率范围内，振动台面横向振动比应满足表 5 的要求。

表 5 横向振动比

校准方法	绝对法	比较法
横向振动比	$\leq 10\% (f \leq 1 \text{ kHz})$ $\leq 20\% (f > 1 \text{ kHz})$	$\leq 10\% (f \leq 1 \text{ kHz})$ $\leq 30\% (f > 1 \text{ kHz})$

注：在工作频率范围内，除参考点外，允许有（1~2）个横向振动比较大的频带，在该频带内最大横向振动比可大于表 5 的要求，其频带宽度应不大于最大横向振动比对应频率的 $\pm 5\%$ 。

4.7 测量系统电压测量误差

标准振动台工作频率范围内，其控制系统电压测量误差应不超过表 6 的要求。

表 6 测量系统电压测量误差

频率范围	$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$	$f > 10 \text{ kHz}$
测量系统电压测量误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$

4.8 测量系统电压比测量误差

标准振动台工作频率范围内，其控制系统通道间的电压比测量误差应不超过表 7 的要求。

表 7 测量系统电压测量误差

频率范围	$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$	$f > 10 \text{ kHz}$
测量系统电压比测量误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$

4.9 测量系统相位差测量误差

标准振动台工作频率范围内，其控制系统通道间的相位差测量误差应不超过表 8 的要求。

表 8 测量系统相位差测量误差

频率范围	$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 5 \text{ kHz}$	$5 \text{ kHz} < f \leq 10 \text{ kHz}$
测量系统相位差测量误差	$\pm 0.5^\circ$	$\pm 0.2^\circ$	$\pm 1^\circ$

4.10 加速度幅值控制误差

标准振动台工作频率范围内，其加速度幅值控制误差应不超过表 9 的要求。

表 9 加速度幅值控制误差

频率范围	加速度幅值控制误差
$0.1 \text{ Hz} \leq f \leq 20 \text{ Hz}$	$\pm 5\%$
$20 \text{ Hz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$\pm 2\%$
$1 \text{ kHz} < f \leq 5 \text{ kHz}$	$\pm 3\%$
$5 \text{ kHz} < f \leq 10 \text{ kHz}$	$\pm 5\%$
$10 \text{ kHz} < f \leq 20 \text{ kHz}$	$\pm 10\%$

4.11 最大加速度幅值

标准振动台的最大加速度幅值等应满足振动标准装置测量范围的要求。

5 通用技术要求

标准振动台各部分应有铭牌，标明型号、规格、制造厂、出厂编号和日期。振动台台面应无明显毛刺、划痕及其他瑕疵。出厂的技术指标中，应给出振动台运动部件的等效质量、共振频率、工作频率范围、额定推力、最大负载质量、空载和满载时的最大加速度幅值、最大位移幅值、最大横向振动比、最大加速度失真度，并应给出额定工作特性曲线及连续工作时间等。

6 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检查。

6.1 检定条件

6.1.1 环境条件

6.1.1.1 工作环境温度

用于绝对法振动校准的标准振动台为 $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ ；用于比较法校准的标准振动台为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

6.1.1.2 工作环境湿度：相对湿度应不大于 75%。

6.1.1.3 背景噪声声压级应低于 55 dB (A)。

6.1.1.4 电源电压的变化不超过额定电压的 $\pm 10\%$ 。

6.1.1.5 振动台应安放牢固，必要时需采取相应的隔振措施。

6.1.1.6 振动台周围环境应无强震动源；无腐蚀性气、液体；无强电磁环境。

6.1.2 检定用器具

6.1.2.1 动态信号分析仪：交流电压幅值测量误差不超过 $\pm 0.2\%$ ，频率示值误差不超过 $\pm 0.015\%$ ，动态范围应不小于 70 dB，通道一致性不超过 0.1 dB。

6.1.2.2 数字电压表（可选）：交流电压幅值测量不确定度优于 0.05% ($k=2$)。

6.1.2.3 频率计（可选）：测量不确定度优于 0.01% ($k=2$)。

6.1.2.4 正弦信号发生器（可选）：失真度不大于 0.1% ，频率稳定性不超过 0.1% ，幅值稳定性不超过 0.1% 。

6.1.2.5 特斯拉计：测量不确定度优于 2% ($k=2$)。

6.1.2.6 声级计：2 级。

6.1.2.7 参考加速度计套组

可以用多个套组分频段满足以下要求：灵敏度幅值测量不确定度： 0.5% （参考点）， 1% ($0.1\text{ Hz} \sim 5\text{ kHz}$)， 2% ($5\text{ kHz} \sim 10\text{ kHz}$)， 5% ($10\text{ kHz} \sim 20\text{ kHz}$) ($k=2$)。

6.1.2.8 加速度计套组

可以用多组加速度计套组分频段满足以下要求：灵敏度幅值测量不确定度： 2% ($0.1\text{ Hz} \sim 5\text{ kHz}$)， 3% ($5\text{ kHz} \sim 10\text{ kHz}$)， 5% ($10\text{ kHz} \sim 20\text{ kHz}$) ($k=2$)；低频加速度计的本底噪声不大于 $10^{-4} (\text{m/s}^2) / \sqrt{\text{Hz}}$ 。可以用正立方体将 3 个或 5 个加速度计组成一个三轴向加速度测量系统，用来测量横向振动比；用正立方体安装组成的三轴向加速度测量系统各轴向的横向灵敏度应不大于 3% 。如果 10 kHz 以上用激光测振仪检定，加速度计套组则不需要 10 kHz 以上的要求。

6.1.2.9 三轴向加速度计套组（可选）

可以用多个三轴向加速度计套组分频段满足以下要求：灵敏度幅值测量不确定度： 2% ($0.1\text{ Hz} \sim 5\text{ kHz}$)， 3% ($5\text{ kHz} \sim 10\text{ kHz}$)， 5% ($10\text{ kHz} \sim 20\text{ kHz}$) ($k=2$)；低频三轴向加速度计的本底噪声不大于 $10^{-4} (\text{m/s}^2) / \sqrt{\text{Hz}}$ ；每个轴向的横向灵敏度应不大于 3% 。如果 10 kHz 以上用激光测振仪检定，加速度计套组则不需要 10 kHz 以上的要求。

6.1.2.10 激光测振仪（可选）

幅值测量不确定度： $1\% \sim 3\%$ ($k=2$)。可以用 2 套激光测振仪通过正立方反射体测量横向振动比。

6.1.2.11 三维激光测振仪（可选）：幅值测量不确定度： $1\% \sim 3\%$ ($k=2$)。

6.2 检定项目

检定项目见表 10。

表 10 检定项目表

序号	检定项目	检定项目选择		
		首次检定	后续检定	使用中检查
1	工作环境条件	+	+	+
2	磁通密度	+	—	—
3	最大加速度幅值	+	—	+
4	信号噪声比	+	+	+
5	频率示值误差	+	+	+
6	稳定性	+	+	+
7	加速度谐波失真度	+	+	+
8	横向振动比	+	+	+
9	控制系统电压测量误差	* 1	* 1	* 1
10	控制系统电压比测量误差	* 1	* 1	* 1
11	控制系统相位差测量误差	* 1	* 1	* 1
12	加速度幅值控制误差	* 1	* 1	* 1

注：表中“+”表示需要检定的项目；“—”表示不需要检定的项目；“* 1”表示：如果标准振动台的控制系统具备这些功能，且这些功能无法脱离振动台单独使用，需要检定。

6.3 检定方法

6.3.1 一般检查

依据 5 通用技术要求进行检查。符合要求后，再进行以下各条的检定。

6.3.2 工作环境的检查

按本规程 6.1.1 检查标准振动台的工作环境及外观，其结果应符合本规程 6.1.1.1～6.1.1.6 的规定。

6.3.3 磁通密度

振动台处于工作状态时，用特斯拉计测量传感器安装位置的磁通密度，其结果应符合本规程 4.1 的规定。

6.3.4 最大加速度幅值

振动台台面空载时，把参考加速度计（或加速度计、或三轴向加速度计）刚性地在安装在振动台台面中心，参考加速度计套组（或加速度计套组、或三轴向加速度计套组）的输出接动态信号分析仪（或频率计和数字电压表）。在振动台规定的工作范围内，选取参考频率点（160 Hz，80 Hz，16 Hz，8 Hz 或 1 Hz 等），调节振动台的功率放大器（或驱动器）和控制系统，使振动台台面中心达到最大加速度幅值，其结果应符合振动台出厂时的技术指标。

6.3.5 信号噪声比

振动台台面空载时,把参考加速度计(或加速度计、或三轴向加速度计)刚性地在安装在振动台台面中心,参考加速度计套组(或加速度计套组、或三轴向加速度计套组)的输出接动态信号分析仪(或频率计和数字电压表)。当振动台处于工作状态,功率放大器(或驱动器)增益调至最大,且无激励信号输入时,测量台面中心的加速度幅值 a_0 ,并按公式(1)计算出台面信噪比 M 。

$$M = 20 \lg \frac{a_{\max}}{a_0} (\text{dB}) \quad (1)$$

式中:

$a_{\max}$ ——振动台额定最大加速度幅值, m/s^2 ;

a_0 ——无激励信号输入,台面中心的加速度幅值, m/s^2 。

其结果应符合 4.2 的规定。

6.3.6 频率示值误差

把参考加速度计(或加速度计、或三轴向加速度计)刚性地在安装在振动台台面中心,参考加速度计套组(或加速度计套组、或三轴向加速度计套组)的输出接动态信号分析仪(或频率计和数字电压表)。在标准振动台工作频率范围内,适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在的不少于 10 个频率值进行检定,按公式(2)计算出振动台频率的标称值与实测值之间的误差 δ_f 。

$$\delta_f = \frac{f_0 - f_1}{f_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

δ_f ——频率示值误差, %;

f_0 ——标称频率, Hz;

f_1 ——实测频率, Hz。

其结果应符合 4.3 的规定。

6.3.7 稳定性

把参考加速度计(或加速度计、或三轴向加速度计)刚性地在安装在振动台台面中心,参考加速度计套组(或加速度计套组、或三轴向加速度计套组)的输出接动态信号分析仪(或频率计和数字电压表)。选取参考频率点(160 Hz, 80 Hz, 16 Hz, 8 Hz 或 1 Hz 等),测量该频率下的最大加速度幅值,每隔 10 s 记录一次频率和加速度幅值,连续测量 11 次,其频率和加速度幅值在 10 s 内的稳定性按公式(3)和公式(4)计算。

$$S_f = \frac{2 |\Delta f(i, i+1)|_{\max}}{f_i + f_{i+1}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

S_f ——频率稳定性, %;

$|\Delta f(i, i+1)|_{\max}$ ——10 s 内频率的最大变化量, Hz;

f_i, f_{i+1} ——10 s 内频率的最大变化量对应的两个频率值, Hz。

$$S_a = \frac{2 |\Delta a(i, i+1)|_{\max}}{a_i + a_{i+1}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

S_a ——加速度幅值稳定性, %;

$|\Delta a(i, i+1)|_{\max}$ ——10 s 内加速度幅值的最大变化量, m/s^2 ;

a_i, a_{i+1} ——10 s 内加速度幅值最大变化量对应的两个加速度幅值, m/s^2 。

其结果应符合 4.4 的规定。

6.3.8 加速度谐波失真度

把参考加速度计 (或加速度计、或三轴向加速度计) 刚性安装在振动台台面中心 (或用激光干涉仪测量振动台台面中心的振动), 参考加速度计套组 (或加速度计套组、或三轴向加速度计套组、或激光干涉仪) 的输出接动态信号分析仪。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 按公式 (5) 测量加速度谐波失真度以及超过 4.5 要求的最大加速度谐波失真度频率和频带宽度。

$$\gamma = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2}}{a_1} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

γ ——加速度谐波失真度, %;

a_1 ——基波的加速度幅值, m/s^2 ;

a_2 ——二次谐波的加速度幅值, m/s^2 ;

a_3 ——三次谐波的加速度幅值, m/s^2 ;

a_4 ——四次谐波的加速度幅值, m/s^2 ;

a_5 ——五次谐波的加速度幅值, m/s^2 。

其结果应符合 4.5 的规定。

注: 当五次谐波接近传感器的安装谐振频率时, 安装谐振将增加加速度谐波失真度测量的不确定度, 此时建议采用激光干涉仪测量加速度谐波失真度。

6.3.9 横向振动比

横向振动比有以下两种检定方法:

方法 1: 采用加速度计测量的横向运动合成法

把三轴向加速度计 (或用正立方体将 3 个或 5 个加速度计组成一个三轴向加速度测量系统) 刚性安装在振动台台面中心, 三轴向加速度计套组 (或由 3 个加速度计组成的正交测量套组) 的输出接动态信号分析仪。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 同时测量并记录三个方向的加速度信号, 按公式 (6) 计算出横向振动比 T , 并测量超过 4.6 要求的最大横向振动比频率和频带宽度。

$$T = \max_t \left[\frac{a_T(t)}{a_z} \right] \times 100\% = \max_t \left[\frac{\sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t)}}{a_z} \right] \times 100\% \quad (6)$$

式中:

$a_T(t)$ ——垂直于主振方向平面内的横向加速度, m/s^2 ;

$a_x(t), a_y(t)$ ——垂直于主振方向平面内两个正交的横向加速度, m/s^2 ;

a_z ——主振方向的加速度幅值, m/s^2 。

方法 2: 采用激光测振仪测量的横向运动合成法

频率较高时 (比如 10 kHz 以上), 三轴向加速度计 (或用正立方体将 3 个或 5 个加速度计组成一个三轴向加速度测量系统) 可能会产生横向共振, 引入较大的横向振动比测量不确定度, 从而导致测得的横向振动比超出 4.6 的要求。此时可以按公式 (6), 用两套激光测振仪通过正立方体发射体测量横向振动比, 或直接用三维激光测振仪测量横向振动比。

其结果应符合 4.6 的规定。

6.3.10 测量系统电压测量误差

把正弦信号发生器的输出同时接测量系统和动态信号分析仪 (或数字电压表)。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 同时记录测量系统的示值和动态信号分析仪 (或数字电压表) 的实测值, 按公式 (7) 计算出控制系统电压测量误差 δ_v 。

$$\delta_v = \frac{U_0 - U_1}{U_1} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

δ_v ——测量系统电压测量误差, %;

U_0 ——测量系统的示值电压, V;

U_1 ——动态信号分析仪 (或数字电压表) 的实测电压, V。

其结果应符合 4.7 的规定。

6.3.11 测量系统电压比测量误差

把控制传感器的输出同时接测量系统的两个输入通道。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 记录测量系统两通道间电压比的示值, 按公式 (8) 计算出测量系统电压比测量误差 δ_{VR} 。

$$\delta_{VR} = (V_R - 1) \times 100\% \quad (8)$$

式中:

δ_{VR} ——测量系统电压比测量误差, %;

V_R ——测量系统两个输入通道的电压比。

其结果应符合 4.8 的规定。

6.3.12 测量系统相位差测量误差

把控制传感器的输出同时接测量系统的两个输入通道。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 记录测量系统两通道间相位差的示值, 按公式 (9) 计算出测量系统相位差测量误差 δ_φ 。

$$\delta_\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 \quad (9)$$

式中:

δ_{φ} ——测量系统相位差测量误差, (°);

φ_1, φ_0 ——测量系统两通道测得的相位, (°)。

其结果应符合 4.9 的规定。

6.3.13 加速度幅值控制误差

把参考加速度计刚性安装在振动台台面中心 (或与控制传感器背靠背安装), 参考加速度计套组的输出接动态信号分析仪 (或数字电压表)。在标准振动台工作频率范围内, 适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值; 在各频率的最大加速度幅值下, 同时记录标准振动台测量系统的加速度示值和动态信号分析 (或数字电压表) 的实测值, 按公式 (10) 计算加速度幅值控制误差 δ_a 。

$$\delta_a = \frac{a_0 - a_1}{a_1} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

δ_a ——加速度幅值控制误差, %;

a_0 ——加速度示值, m/s^2 ;

a_1 ——实测加速度, m/s^2 。

其结果应符合 4.10 的规定。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的标准振动台, 出具检定证书, 检定证书内页格式见附录 A; 不符合本规程要求的标准振动台, 出具检定结果通知书, 并注明不合格项目, 检定结果通知书的内页格式见附录 B。

6.5 检定周期

标准振动台检定周期一般为 1 年。

附录 A

检定证书内页格式

检定结果

- 一、一般检查
- 二、频率示值误差、加速度谐波失真度、横向振动比

频率 Hz	加速度幅值 m/s ²	频率示值误差 %	加速度谐波失真度 %	横向振动比 %

- 三、控制系统电压测量误差、电压表测量误差、相位差测量误差、加速度幅值控制误差

频率 Hz	加速度幅值 m/s ²	电压测量 误差 %	电压比测量 误差 %	相位差测量 误差 (°)	加速度幅值 控制误差 %

- 四、其他
1. 磁通密度：_____ mT；

以下空白

附录 B

检定结果通知书内页格式

检定结果

一、一般检查

二、频率示值误差、加速度谐波失真度、横向振动比

频率 Hz	加速度幅值 m/s^2	频率示值误差 %	加速度谐波失真度 %	横向振动比 %

三、控制系统电压测量误差、电压表测量误差、相位差测量误差、加速度幅值控制误差

频率 Hz	加速度幅值 m/s^2	电压测量 误差 %	电压比测量 误差 %	相位差测量 误差 (°)	加速度幅值 控制误差 %

四、其他

1. 磁通密度：_____ mT；

2. 信噪比：_____ dB；

3. 最大加速度：_____ m/s^2 ；

4. 参考频率为: _____ Hz 时, 频率稳定性: _____ %, 加速度稳定性: _____ %;

5. 最大加速度谐波失真度: _____ %, 频率: _____ Hz, 带宽: _____ %;

6. 最大横向振动比: _____ %, 频率: _____ Hz, 带宽: _____ %。

检定结果不合格项: _____。

以下空白

附录 C

检定结果在比较法振动校准中的使用

本规程 4.1~4.9 是比较法振动校准的主要测量不确定度影响量, C.1~C.9 通过实例给出了这些影响量引入测量不确定度的评定方法。

C.1 磁通密度

8305 型加速度计的典型磁灵敏度为 $1 \text{ (m/s}^2\text{)}/\text{T}$ 。当磁场强度为 5 mT 时, 由磁场产生的加速度测量误差为 0.005 m/s^2 , 当标准加速度幅值为 10 m/s^2 , 由其产生的测量误差为 0.05% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.029% 。

如果标准振动台的测量系统具有频谱分析、窄带滤波等功能, 可进一步抑制磁通密度引入的测量不确定度。

注: 加速度计的磁灵敏度并不一定是线性关系, 此处仅举例说明由磁通密度引入的测量不确定度。

C.2 信号噪声比

最大加速度幅值是 20 m/s^2 时, 50 dB 信噪比对应的本底噪声为 0.06 m/s^2 , 当标准加速度幅值为 10 m/s^2 , 由其产生的测量误差为 0.6% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.35% 。

如果标准振动台的测量系统具有频谱分析、窄带滤波等功能, 可进一步抑制信噪比引入的测量不确定度。

C.3 频率示值误差

频率示值误差为 0.1% , 概率分布为矩形分布, 当利用一次积分进行速度传感器校准时, 由频率示值误差贡献的标准不确定度分量为 0.058% 。

C.4 稳定性

加速度幅值稳定性为 0.3% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.18% 。

C.5 加速度谐波失真度

如果标准振动台的测量系统具有频谱分析、窄带滤波等功能, 失真度对振动传感器校准测量不确定度的贡献相对很小, 可以忽略不计; 当采用真有效值电压表测量时, 可参照 GB/T 20485.21—2007 表 D.1 评估加速度谐波失真度引入的测量不确定度分量。

C.6 横向振动比

参考加速度计横向灵敏度为 2% , 被校加速度计横向灵敏度为 5% 。横向振动比为 10% 时, 根据 GB/T 20485.21—2007 表 D.1 给出的公式评估横向振动比引入的标准测量

不确定度分量为 $\sqrt{\frac{(0.02^2 + 0.05^2)0.1^2}{18}} = 0.13\%$; 横向振动比为 30% 时, 横向振动比

引入的标准测量不确定度分量为 $\sqrt{\frac{(0.02^2 + 0.05^2)0.3^2}{18}} = 0.39\%$ 。

注：包含因子为 $\sqrt{18}$ 是基于横向运动是直线运动假设的前提下导出的，实际上横向运动的形式更为复杂，极端情况下横向运动为圆形，此时包含因子将转换为3。因此，在横向振动比引入的测量不确定度分量的评估过程，建议适当放大。

C.7 测量系统电压测量误差

对振动测量仪器进行校准时，电压测量误差0.2%，概率分布为矩形分布，贡献的标准不确定度分量为0.12%。

C.8 测量系统电压比测量误差

对加速度传感器灵敏度幅值进行校准时，电压比测量误差0.2%，概率分布为矩形分布，贡献的标准不确定度分量为0.12%。

C.9 测量系统相位差测量误差

对加速度传感器相移进行校准时，相位差测量误差0.2°，概率分布为矩形分布，贡献的标准不确定度分量为0.12°。

C.10 声压级

通常声压级对校准结果影响较小，本规程删去对声压级的要求。如果需要考虑声压级引入的测量不确定度，可按下面的例子评估。

8305型加速度计的典型声灵敏度在154 dB SPL时为0.008 m/s²。声压级为154 dB SPL，当标准加速度幅值为10 m/s²，由其产生的测量误差为0.08%，概率分布为矩形分布，贡献的标准不确定度分量为0.047%。

如果标准振动台的测量系统具有频谱分析、窄带滤波等功能，可进一步抑制声压级引入的测量不确定度。

附录 D

检定结果在绝对法振动校准中的使用

本规程 4.1~4.6 也是绝对法振动校准的主要测量不确定度影响量, D.1~D.6 通过实例给出了这些影响量引入测量不确定度的评定方法。

D.1 磁通密度

8305 型加速度计的典型磁灵敏度为 $1 \text{ (m/s}^2\text{)}/\text{T}$ 。当磁场强度为 5 mT 时, 由磁场产生的加速度测量误差为 0.005 m/s^2 , 当标准加速度幅值为 10 m/s^2 , 由其产生的测量误差为 0.05% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.029% 。

如果绝对法测量系统采用正弦逼近法, 可进一步抑制磁通密度引入的测量不确定度。

D.2 信号噪声比

最大加速度幅值是 20 m/s^2 时, 60 dB 信噪比对应的本底噪声为 0.02 m/s^2 , 当标准加速度幅值为 10 m/s^2 , 由其产生的测量误差为 0.2% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.12% 。

如果绝对法测量系统采用正弦逼近法, 可进一步抑制信噪比引入的测量不确定度。

D.3 频率示值误差

频率示值误差为 0.05% , 概率分布为矩形分布, 当利用一次微分进行加速度校准时, 由频率示值误差贡献的标准不确定度分量为 0.029% 。

D.4 稳定性

加速度幅值稳定性为 0.1% , 概率分布为矩形分布, 贡献的标准不确定度分量为 0.058% 。

D.5 加速度谐波失真度

如果绝对法测量系统采用正弦逼近法, 失真度对振动传感器校准测量不确定度的贡献相对很小, 可以忽略不计。

D.6 横向振动比

被校加速度计横向灵敏度为 2% , 横向振动比为 10% 时, 横向振动比引入的测量误差为 0.2% , 概率分布为特殊分布, 包含因子为 $\sqrt{18}$, 贡献的标准不确定度分量为 0.048% ; 横向振动比为 20% 时, 引入的测量误差为 0.4% , 概率分布为特殊分布, 包含因子为 $\sqrt{18}$, 贡献的标准不确定度分量为 0.094% 。

注: 包含因子为 $\sqrt{18}$ 是基于横向运动是直线运动假设的前提下导出的, 实际上横向运动的形式更为复杂, 极端情况下横向运动为圆形, 此时包含因子将转换为 3。因此, 在横向振动比引入的测量不确定度分量的评估过程, 建议适当放大。

附录 E

检定结果测量不确定度评估

标准振动台的计量性能参数共有 11 项,可分为以下 4 类:

1. 环境参数:磁通密度;
2. 频率相关参数:频率示值误差、频率稳定性;
3. 电压相关参数:控制系统电压测量误差、电压表测量误差、相位差测量误差;
4. 加速度相关参数:最大加速度幅值、信号噪声比、加速度幅值稳定性、加速度谐波失真度、横向振动比。

其中,本规程 6.1.2 中要求的磁通密度、频率、电压的测量不确定度远优于 4 计量性能要求中的要求,因此本规程中主要评估加速度幅值、加速度谐波失真度、横向振动比的测量不确定度。

E.1 加速度幅值

根据国家标准 GB/T 20485.21—2007 和 GB/T 20485.11—2006 中推荐的不确定度评定方法进行加速度幅值的测量不确定度评定。加速度幅值的测量流程如图 E.1 所示。

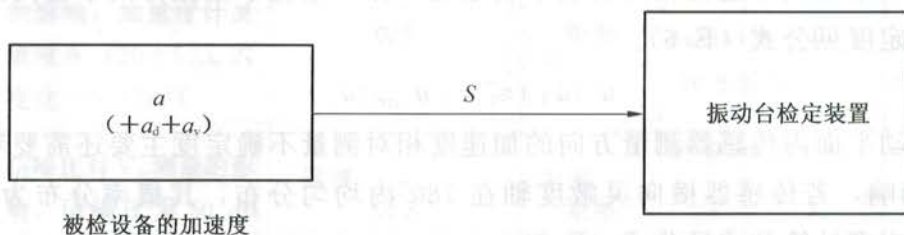


图 E.1 加速度幅值的测量流程

图中: a ——主运动方向的加速度;

a_v ——横向加速度;

a_d ——加速度失真;

S ——加速度计的灵敏度。

加速度幅值 a_m 的测量模型为:

$$a_m = SV_m \quad (\text{E.1})$$

式中:

V_m ——动态信号分析仪测得的电压信号的幅值。

实际测量中,考虑到传感器安装因素、被检器具的横向振动比、失真度等都会对被输出电压 V 的幅值的测量引入不确定度,因此加速度幅值 a_m 的数学模型扩展为:

$$a_m = SV_m \times I_1(V_m) \times \cdots \times I_M(V_m) \quad (\text{E.2})$$

由于式 (E.2) 中各输入量相互之间不相关,加速度幅值 a_m 的测量不确定度为:

$$u_{c,\text{rel}}^2(a_m) = \frac{u_c^2(a_m)}{a_m^2} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{u_{\text{rel},i} c_i}{|x_i|} \right)^2 \quad (\text{E.3})$$

加速度幅值 a_m 的相对测量不确定度评定如表 E.1 所示。

E.2 加速度谐波失真度

加速度谐波失真度的测量模型见公式 (5)。基波和各次谐波的加速度幅值可以通过频谱分析、滤波等信号处理算法测量，其测量不确定度可参照加速度幅值测量不确定度评定的方法进行评估。基于数字信号处理的方法，可认为基波和各次谐波的加速度幅值相互之间不相关，加速度谐波失真度 γ 的测量不确定度见公式 (E.4)，相对测量不确定度见公式 (E.5)。

$$u_c(\gamma) = \sqrt{\sum_{i=0}^5 \left[\frac{\partial r}{\partial a_i} \right]^2} u^2(a_i) \leq \sqrt{2} \gamma u_{\text{rel}}(a_m) \quad (\text{E.4})$$

$$u_{c,\text{rel}}(\gamma) \leq \sqrt{2} u_{\text{rel}}(a_m) \quad (\text{E.5})$$

根据加速度幅值测量不确定度评估实例，加速度谐波失真度 γ 的相对扩展测量不确定度见表 E.2。

E.3 横向振动比

横向振动比的测量模型见式 (6) ~ 式 (8)，主振方向的加速度幅值测量不确定度可参照加速度幅值测量不确定度评估方法进行评估。根据公式 (6)，假设横向运动平面内两个正交测量方向加速度相对测量不确定度一样，垂直于主振方向平面内的横向加速度测量不确定度见公式 (E.6)。

$$u_c(a_T) \leq a_T u_{c,\text{rel}}(a_x) \quad (\text{E.6})$$

横向运动平面内传感器测量方向的加速度相对测量不确定度主要还需要考虑横向灵敏度 S_v 的影响，若传感器横向灵敏度轴在 180° 内均匀分布，其概率分布为正弦分布，其测量不确定度计算公式见公式 (E.7)。

$$u_{c,\text{rel}}(a_x) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(a_m) + \frac{a_x^2 S_v^2}{4 a_x^2}} \leq \sqrt{u_{\text{rel}}^2(a_m) + \frac{S_v^2}{2 T^2}} \quad (\text{E.7})$$

横向振动比 T 的相对测量不确定度见公式 (E.8)，测量不确定度见公式 (E.9)。

$$u_{c,\text{rel}}(T) \leq \sqrt{2 u_{\text{rel}}^2(a_m) + \frac{S_v^2}{2 T^2}} \quad (\text{E.8})$$

$$u_c(T) \leq T \sqrt{2 u_{\text{rel}}^2(a_m) + \frac{S_v^2}{2 T^2}} = \sqrt{2 T^2 u_{\text{rel}}^2(a_m) + \frac{S_v^2}{2}} \quad (\text{E.9})$$

通常， $2 T^2 u_{\text{rel}}^2(a_m) < \frac{S_v^2}{2}$ ，公式 (E.9) 可近似简化为公式 (E.10)。

$$u_c(T) \leq \frac{S_v}{2} \quad (\text{E.10})$$

即横向振动比的测量不确定度近似于传感器横向灵敏度， $U(T) \leq 3\%$ ($k=2$)。

表 E.1 加速度幅值 a_m 的相对测量不确定度评定

不确定度来源	描述	相对扩展不确定度或估计误差分量的范围/%	概率分布模型	因子 x_i	灵敏度系数 c_i	相对不确定度贡献 $u_{\text{rel},i}(y)/\%$
S	加速度计幅值灵敏度的测量不确定度 (0.1 Hz~5 kHz)	1	正态	2	1	0.5
	加速度计幅值灵敏度的测量不确定度 (5~10) kHz	2	正态	2	1	1
	加速度计幅值灵敏度的测量不确定度 (10~20) kHz	5	正态	2	1	2.5
V_m	交流电压幅值的测量不确定度	0.2	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.12
$I(V_{m,T})$	温度变化对 V_m 测量的影响；加速度计灵敏度在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 内变化 $< 0.1\%/^\circ\text{C}$	0.5	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.29
$I(V_{m,H})$	信噪比对 V_m 测量的影响，信噪比为 50 dB 引入的测量误差	0.3	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.18
$I(V_{m,N})$	安装参数（电缆、插座、扭矩等）对 V_m 测量的影响 (0.1 Hz~5 kHz)	0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.06
	(5~10) kHz	0.2	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.12
	(10~20) kHz	0.4	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.24
$I(V_{m,d})$	加速度失真度可以通过频谱分析、窄带滤波等有效的消除	估计 ≤ 0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.06
$I(V_{m,v})$	横向振动比对 V_m 测量的影响，传感器的横向灵敏度 S_v 为 3%，横向加速度 a_T 为 10% (0.1 Hz~1 kHz)	$S_v a_T = 0.3$	特殊	3	1	0.1

表 E.1 (续)

不确定 度来源	描述	相对扩展不确定度 或估计误差分量的 范围/%	概率分 布模型	因子 x_i	灵敏度 系数 c_i	相对不确 定度贡献 $u_{\text{rel},i}(y)/\%$
$I(V_{m,v})$	横向加速度 a_T 最大为 30% (1~20) kHz	$S_v a_T = 0.9$	特殊	3	1	0.3
$I(V_{m,e})$	基座应变对 V_m 测量 的影响	估计 < 0.2	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.12
$I(V_{m,r})$	传感器等效质量等造 成相对运动对 V_m 测 量的影响 (0.1 Hz~ 5 kHz)	0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.058
	(5~10) kHz	0.2	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.12
	(10~20) kHz	0.5	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.29
$I(V_{m,L})$	传感器非线性对 V_m 测量的影响	估计 < 0.03	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.017
$I(V_{m,l})$	动态信号采集仪非线 性对 V_m 测量的影响	估计 < 0.03	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.017
$I(V_{m,G})$	重力对 V_m 测量的 影响	估计 < 0.03	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.017
$I(V_{m,B})$	振动台磁场 (10 mT) 对 V_m 测量的影响	估计 < 0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.058
$I(V_{m,E})$	其他环境条件 (包括 声压级) 对 V_m 测量 的影响	估计 < 0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.058
$I(V_{m,RE})$	其他影响量 (如重复 性测量中的随机效 应; 算术平均值的实 验标准偏差) 对 V_m 测量的影响	估计 < 0.1	矩形	$\sqrt{3}$	1	0.058
$u_{\text{rel}}(a_m)$	0.1 Hz~1 kHz		标准不 确定度 ($k=1$)			0.66
	(1~5) kHz					0.72
	(5~10) kHz					1.13
	(10~20) kHz					2.58

表 E.1 (续)

不确定 度来源	描述	相对扩展不确定度 或估计误差分量的 范围/%	概率分 布模型	因子 x_i	灵敏度 系数 c_i	相对不确 定度贡献 $u_{\text{rel},i}(y)/\%$
$U_{\text{rel}}(a_m)$	0.1 Hz~1 kHz		扩展不 确定度 ($k=2$)			1.3
	(1~5) kHz					1.4
	(5~10) kHz					2.3
	(10~20) kHz					5.2

表 E.2 加速度谐波失真度 γ 的相对扩展测量不确定度

$U_{\text{rel}}(\gamma)$	0.1 Hz~1 kHz	相对扩展不确定度 ($k=2$)	1.8
	(1~5) kHz		2.0
	(5~10) kHz		3.2
	(10~20) kHz		7.3

附录 F

幅值均匀度测量方法

根据台面尺寸,选取适当数量的加速度计,刚性地安装在振动台台面参考加速度计安装位置及其他被校传感器安装位置。在标准振动台工作频率范围内,适当选取包括频率范围上、下限及工作频率范围内的参考频率点在内的不少于 10 个频率值;在各频率的最大加速度幅值下,同时测量并记录各安装点的加速度幅值;以参考加速度计安装位置为参考点,按公式 (F.1) 计算台面加速度幅值均匀度 N 。

$$N = \frac{|\Delta a|_{\max}}{a} \times 100\% \quad (\text{F.1})$$

式中:

a ——同次测量中参考加速度计安装位置的加速度幅值, m/s^2 ;

$|\Delta a|_{\max}$ ——同次测量中其他被校传感器安装位置与参考加速度计安装位置的加速度幅值的最大偏差, m/s^2 。



JJG 298-2015

版权专有 侵权必究

*

书号:155026·J-3104

定价: 27.00 元