



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 23716—2009/ISO 8041:2005

## 人体对振动的响应 测量仪器

Human response to vibration—Measuring instrumentation

(ISO 8041:2005, IDT)

2009-04-24 发布

2009-12-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布



## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和符号 .....	2
4 参考环境条件 .....	6
5 性能规范 .....	6
6 安装 .....	16
7 环境和电磁标准 .....	16
8 使用辅助设备的规定 .....	18
9 仪器标识 .....	18
10 仪器文件 .....	18
11 试验和校准 .....	18
12 型式评价 .....	20
13 检定试验 .....	29
14 现场检查 .....	33
附录 A (规范性附录) 振动现场校准器规范 .....	34
附录 B (资料性附录) 频率计权 .....	36
附录 C (资料性附录) 频率计权滤波器的实现 .....	55
附录 D (资料性附录) 运行均方根时间平均 .....	58
附录 E (资料性附录) 振动传感器的特性 .....	60
附录 F (资料性附录) 安装系统的试验 .....	62
附录 G (规范性附录) 仪器文件 .....	64
附录 H (规范性附录) 非均方根值测量的相位响应要求 .....	68
参考文献 .....	73



## 前 言

本标准等同采用 ISO 8041:2005《人体对振动的响应 测量仪器》(英文第 2 版)。

本标准等同翻译 ISO 8041:2005。

为便于使用,本标准做了如下编辑性修改:

- 用“本标准”代替“本国际标准”;
- 用小数点“.”代替国际标准英文版中的小数点符号“,”;
- 删除了 ISO 8041:2005 的前言,重新编写了本标准的前言;
- 对 ISO 8041:2005 中引用的其他国际标准,有被等同采用为我国标准的,用我国标准代替对应的国际标准,其他则直接引用国际标准。

本标准的附录 A、附录 G 和附录 H 为规范性附录,附录 B 至附录 F 为资料性附录。

本标准由全国机械振动、冲击与状态监测标准化技术委员会(SAC/TC 53)提出并归口。

本标准起草单位:中国计量科学研究院、杭州爱华仪器有限公司、浙江大学分析测试中心、国营 4380 厂嘉兴分厂和浙江省电力试验研究院。

本标准主要起草人:于梅、杨丽峰、张绍栋、陈锋、刘爱东、舒国华、刘敏。



## 人体对振动的响应 测量仪器

### 1 范围

本标准规定了用于评价人体对振动响应的振动测量仪器的性能规范和允差限。它包括型式评价、周期检定和现场检查的要求,以及用于现场检查的振动校准器的规范。

本标准规定的振动测量仪器可以是单一的仪器、仪器组合或基于计算机的采集分析系统。

本标准规定的振动测量仪器可应用于以下一种或多种用途的振动测量:

- 手传振动(参见 ISO 5349-1);
- 全身振动(参见 GB/T 13441.1—2006, GB/T 13441.2—2008, ISO 2631-4);
- 在 0.1 Hz~0.5 Hz 频率范围的低频全身振动(参见 GB/T 13441.1—2007)。

可以根据每种应用中所定义的一个或多个频率计权设计振动测量仪器。

在本标准中定义了三个等级的性能试验:

- a) 型式评价,根据本标准规定的规范进行的仪器全性能试验;
- b) 周期检定,用以保证仪器的性能规范在要求的范围内所进行的一组中间试验;
- c) 现场检查,表明仪器在要求的性能规范范围内运行所需要的最低等级试验。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 13441.1—2007 机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第1部分:一般要求 (ISO 2631-1:1997, IDT)

GB/T 13441.2—2008 机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第2部分:建筑物内的振动 (1 Hz~80 Hz) (ISO 2631-2:2003, IDT)

GB/T 14412—2005 机械振动与冲击 加速度计的机械安装 (ISO 5348:1998, IDT)

GB/T 17799.2—2003 电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验 (IEC 61000-6-2:1999, IDT)

GB/T 20485.1—2008 振动与冲击传感器校准方法 第1部分:基本概念 (ISO 16063-1:1998, IDT)

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 (ISO 16063-11:1999, IDT)

GB/T 20485.12—2008 振动与冲击传感器校准方法 第12部分:互易法振动绝对校准 (ISO 16063-12:2002, IDT)

GB/T 20485.13—2007 振动与冲击传感器校准方法 第13部分:激光干涉法冲击绝对校准 (ISO 16063-13:2001, IDT)

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 16063-21:2003, IDT)

GB/T 20485.22—2008 振动与冲击传感器校准方法 第22部分:冲击比较法校准 (ISO 16063-22:2005, IDT)

ISO 2041 振动与冲击 术语

ISO 2631-4 机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第4部分:振动和旋转运动对固定

# 轨道交通系统中乘客及乘务员舒适影响的评价指南

ISO 5347(现行有效的所有部分) 振动与冲击传感器的校准方法

ISO 5349-1:2001 机械振动 手传振动的测量与评价 第1部分:一般要求

IEC 61000-4-2:2001 电磁兼容(EMC) 第4-2部分:试验和测量技术 静电放电抗扰性试验

IEC 61000-4-3:2002 电磁兼容(EMC) 第4-3部分:试验和测量技术 辐射、射频、电磁场抗扰性试验

IEC 61000-4-6 电磁兼容(EMC) 第4-6部分:试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰性试验

CISPR 22:2003 信息技术设备 无线电干扰限值和测量方法

GUM 测量不确定度表示指南, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993

## 3 术语、定义和符号

### 3.1 术语和定义

本标准使用 ISO 2041 的术语和定义, 以及下面给出的术语和定义。

#### 3.1.1

**振动加速度 vibration acceleration**

使用标准规定的测量轴方向上的加速度分量。

#### 3.1.2

**带限频率计权 band-limited frequency weighting**

由高通和低通带限滤波器确定的频率计权分量。

#### 3.1.3

**带限频率范围 band-limited frequency range**

由频率计权带限确定的频率范围。

#### 3.1.4

**标称频率范围 nominal frequency range**

相关测量标准规定的、关注的频率范围。

#### 3.1.5

**频率计权值 frequency-weighting values**

##### 3.1.5.1

**时间平均计权加速度值 time-averaged weighted acceleration value**

在指定轴方向上的频率计权振动加速度均方根值, 单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>)或弧度每二次方秒(rad/s<sup>2</sup>)。其表达式为:

$$a_w = \left( \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(\xi) d\xi \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$a_w(\xi)$ ——在指定轴方向上, 作为时间  $\xi$  函数的直线或旋转计权振动加速度, 单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>)或弧度每二次方秒(rad/s<sup>2</sup>);

$T$ ——测量时间。

##### 3.1.5.2

**时间平均计权加速度级 time-averaged weighted acceleration level**

频率计权均方根振动加速度级, 单位为分贝(dB), 其表达式为:

$$L_w = 20 \lg \frac{a_w}{a_0} \dots\dots\dots (2)$$



式中:

$a_w$ ——见 3.1.5.1 中的定义;

$a_0$ ——参考加速度(ISO 1683 定义为  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ )。

### 3.1.5.3

**运行均方根加速度值 running r. m. s. acceleration value**

频率计权的运行均方根振动加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ ),其表达式为:

$$a_{w,\theta}(t) = \left( \frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^t a_w^2(\xi) d\xi \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$a_w(\xi)$ ——时间  $\xi$  时的频率计权瞬时振动加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ );

$\theta$ ——测量的积分时间;

$t$ ——时间。

注:对于运行的均方根法,可以使用指数平均作为线性平均的近似值。指数平均被定义为:

$$a_{w,\tau}(t) = \left( \frac{1}{\tau} \int_{-x}^t a_w^2(\xi) \exp\left(\frac{\xi-t}{\tau}\right) d\xi \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中  $\tau$  为时间常数。

### 3.1.5.4

**最大瞬时振动值 MTVV maximum transient vibration value**

当积分时间等于 1 s 时,运行均方根振动加速度的最大值。

### 3.1.5.5

**运动病剂量值 MSDV motion sickness dose value**

计权瞬时振动加速度  $a_w(t)$  二次方的积分的二次方根,单位为米每 1.5 次方秒( $\text{m/s}^{1.5}$ ),其表达式为:

$$\text{MSDV} = \left( \int_0^\phi a_w^2(\xi) d\xi \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\phi$ ——运动发生的总时间。

注 1: 频率计权均方根振动加速度值乘以  $\phi^{1/2}$  可获得运动病剂量值。

注 2: 对于测量仪器,可以认为暴露时间  $\phi$  等于测量时间  $T$ ,除非另有说明。

### 3.1.5.6

**振动剂量值 VDV vibration dose value**

计权瞬时振动加速度  $a_w(t)$  四次方的积分的四次方根,单位为米每 1.75 次方秒( $\text{m/s}^{1.75}$ ),其表达式为:

$$\text{VDV} = \left( \int_0^\phi a_w^4(\xi) d\xi \right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\phi$ ——暴露发生的总时间(每日)。

注 1: 振动剂量值对峰值比均方根值更灵敏。

注 2: 对于测量仪器,可以认为暴露时间  $\phi$  等于测量时间  $T$ ,除非另有说明。

### 3.1.5.7

**振动总值 vibration total value**

三轴向直线振动的合成振动,其表达式为:

$$a_{wy} = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$a_{wx}$ 、 $a_{wy}$ 、 $a_{wz}$ —— $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个正交坐标轴的振动值;

$k_x$ 、 $k_y$ 、 $k_z$ ——由测量应用确定的常倍数。

### 3.1.5.8

**振动峰值 peak vibration value**

频率计权加速度的瞬时(正和负)峰值的最大模。

### 3.1.5.9

**波峰因数 crest factor**

在一个测量周期内,具有相同频率计权的振动加速度峰值与均方根值的比值。

### 3.1.6

**线性工作范围 liner operating range**

在每一个量程上,线性误差在本标准规定的使用允差限内的下限和上限之间的范围。

### 3.1.7

**过载 overload**

出现超过线性工作范围上限的状态。

### 3.1.8

**欠量程 under-range**

出现振动值在线性工作范围下限以下的状态。

### 3.1.9

**参考测量量程 reference measurement range**

规定用于振动测量仪器特性试验的振级量程。

注:这个量程用于测量参考振动。

### 3.1.10

**参考振动信号 reference vibration signal**

正弦振动信号。本标准规定了用于人体振动计机电性能试验的正弦振动信号的幅值和频率。

注:根据仪器的应用情况规定不同的参考振动信号。

### 3.1.11

**校准核查频率 calibration check frequency**

用于检查仪器振动灵敏度所规定的频率。

### 3.1.12

**纯音猝发音 tone burst**

在波形零点交叉处开始和结束的一个或多个完整周期正弦信号。

### 3.1.13

**信号猝发音 signal burst**

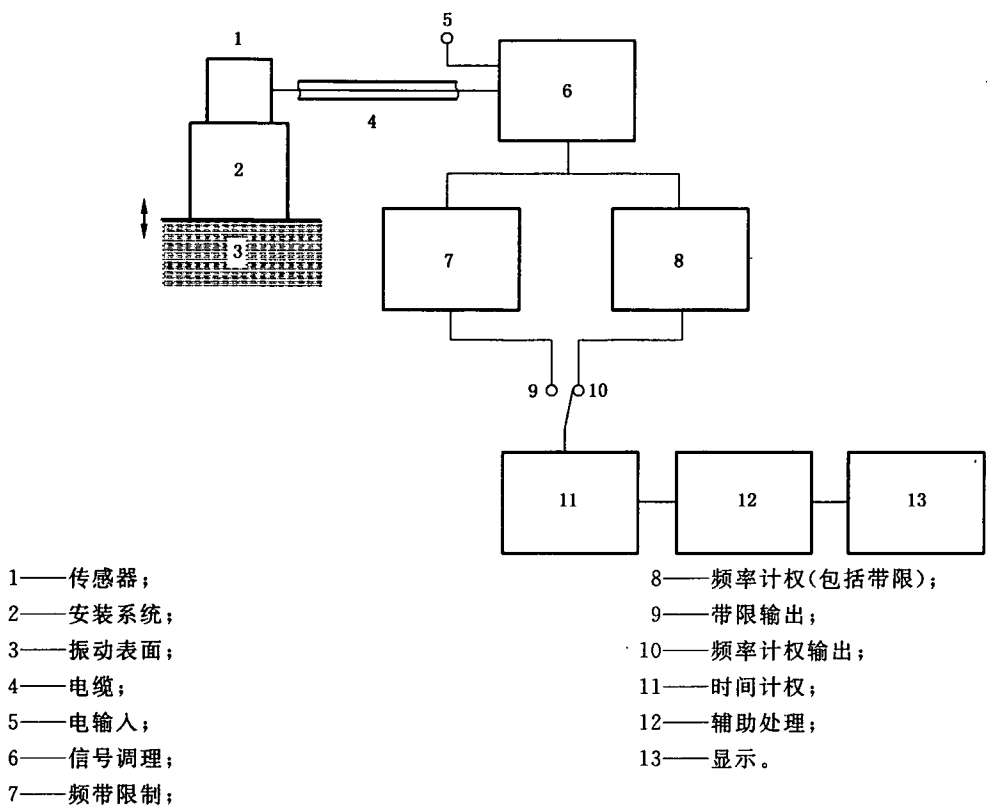
在波形零点交叉处开始和结束的一个或多个完整的周期信号(如锯齿波)。

### 3.1.14

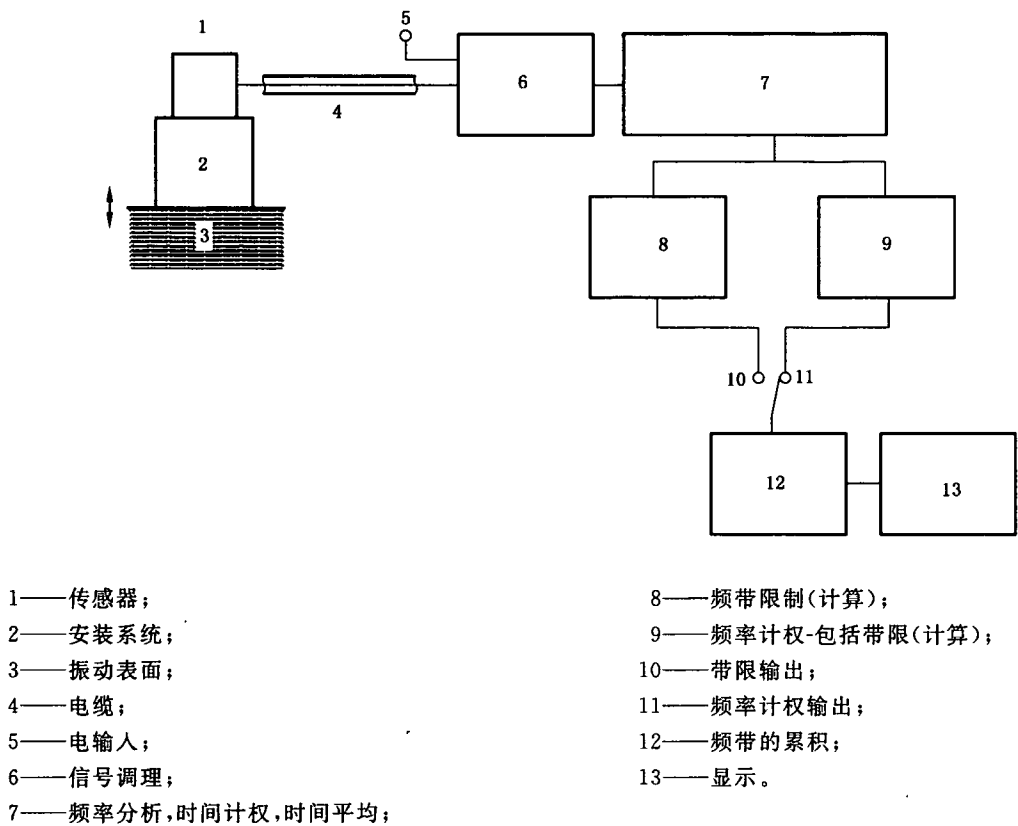
**振动测量仪器 vibration measuring instrumentation**

振动传感器、信号处理和显示器的组合。可以是测量人体振动响应相关参数的任何一种单个仪器或者仪器的组合。

注:参见图 1。



a) 时域信号处理



b) 频域信号处理(不适用于 VDV 处理)

图 1 振动测量仪器或测量系统基本功能路径输出框图

## 3.1.15

## 仪器文件 instrument documentation

安装手册、操作程序或为用户使用振动测量仪器提供的其他文件。

## 3.2 符号

下列符号和简略术语适用于本标准。

$a_w$ ——时间平均频率计权的单轴向振动加速度；

$a_w(t), a_w(\xi)$ ——在时间  $t$  或  $\xi$  处, 瞬时频率计权直线或旋转的单轴振动加速度；

$f$ ——频率；

$H$ ——总频率计权函数；

$k_i$ ——用于  $i$  轴的全身频率计权加速度值的常倍数；

$n$ ——1/3 倍频程频带数；

$t$  或  $\xi$ ——瞬时时间；

$T$ ——测量持续时间；

$s$ ——拉普拉斯变换的变量；

$W_x$ —— $x$  频率计权；

$\phi$ ——暴露持续时间；

$\Delta\phi$ ——相位误差；

$\tau$ ——指数平均时间常数；

$\theta$ ——线性平均时间；

MTVV——最大的瞬时振动值；

MSDV——运动病剂量值；

VDV——振动剂量值。

## 4 参考环境条件

确定振动计性能的参考环境条件：

——空气温度: 23 °C；

——相对湿度: 50%。

## 5 性能规范

## 5.1 一般特性

本章的性能规范适用于参考环境条件。

人体振动测量仪器至少应提供下列显示功能：

——整个测量持续时间内的时间平均计权振动加速度值；

——整个测量持续时间内的带限时间平均振动加速度值；

——测量的持续时间。

人体振动测量仪器还应给出一种方法以指示在测量期间内的任何时刻是否产生过载。

人体振动测量器应提供设置和调整振动灵敏度的方法。

人体振动测量仪器可以包括本标准给定性能规范的部分或所有的设计特性。仪器提供的设计特性应与应用的性能规范一致。

如果测量仪器有一个以上的测量量程, 仪器文件应对所涉及的测量量程和测量量程控制器的操作进行描述。仪器文件还应明确参考测量量程。

参考振动信号的频率和幅值见表 1。

表 1 参考振动值和频率

应用	频率计权	附录中表 (资料性)	标称频率范围/ Hz	参考		在参考频率点 的计权因子	在参考频率和 加速度 (r. m. s.)处的 计权加速度/ (m/s <sup>2</sup> )
				频率	加速度 (r. m. s.)/ (m/s <sup>2</sup> )		
手传	$W_h$	B. 6	8~1 000	500 rad/s (79.58 Hz)	10	0.202 0	2.020
全身	$W_b$	B. 1	0.5~80	100 rad/s (15.915 Hz)	1	0.812 6	0.812 6
	$W_c$	B. 2				0.514 5	0.514 5
	$W_d$	B. 3				0.126 1	0.126 1
	$W_e$	B. 4				0.062 87	0.062 87
	$W_i$	B. 7				1.019	1.019
	$W_k$	B. 8				0.771 8	0.771 8
	$W_m$	B. 9	1~80			0.336 2	0.336 2
低频全身	$W_f$	B. 5	0.1~0.5	2.5 rad/s (0.397 9 Hz)	0.1	0.388 8	0.038 88

如果仪器能够测量振动的最大值(如 MTVV)和峰值,应提供“保持”功能。仪器文件应描述保持特性的操作和清除保持显示的方法。

本标准中的许多指标和试验都要求使用电信号替代振动传感器信号。仪器文件应规定与振动传感器信号等效的电信号替代方法,以及在没有振动传感器的整个仪器上进行电试验的方法。如果适合,仪器文件可以说明人体振动计试验具体操作的可供选择的两种方法。

注:人体振动计制造商可为进行仪器电试验提供一个输入试验点,或一个具有特定电阻抗的虚拟振动传感器,或一个等效输入适配器(电或非电)。

仪器文件应规定振动传感器的振动最大峰值和在电输入设备上能够施加的最大峰峰值信号(如电荷或电压)。最大振动值和最大峰峰值电压不应造成仪器的损坏。

本标准给出的允差限包括相关测量的扩展不确定度,它遵循 GUM 导则评定得到,包含因子  $k=2$ ,置信水平约为 95%。

5.2 信号幅值的显示

5.2.1 概述

对于能够显示一个以上测量参量的仪器,应当提供一种方法明确地表明显示值所表示的参量,最好用标准缩写词或字母符号表示。

在仪器文件中应对每台显示设备上对应的显示值和人体振动计能够显示的参量一起进行描述。

仪器应显示频率计权的加速度值。它还可按照 GB/T 13441.1—2007 规定显示乘以  $k$  因子的频率计权加速度值。使用相乘因子时,应在仪器上清楚表明,并且仪器能够显示相乘因子。

显示组合轴向输出,如式(7)振动总值时,仪器应能够显示所使用的相乘因子数值。

当测量结果以数字形式输出时,仪器文件应说明将数字数据传输或下载到外部数据存储器或显示设备的方法。仪器文件应明确计算机软件以及接口硬件。

推荐使用与国际标准兼容的接口总线。

仪器文件中规定的满足本标准规范的每一个可选择的显示信号值的设备被认为是该仪器的组成部分。这些可选设备应作为符合本章性能规范和第 7 章使用环境规范要求的组成部分。可供选择显示设备的例子包括电平记录仪或带有显示屏的计算机。

对于使用显示设备量程小于 5.7 规定的线性工作范围的仪器,仪器文件应说明超出显示器量程的

线性度试验方法。

5.2.2 分辨率和更新速率

仪器文件规定显示器的分辨率应为显示值的1%或更高。

如果仪器只有一个连续显示的模拟或类比模拟的显示器,其显示应是振动值的对数。模拟显示器的区域应包括至少2个十进位的显示,并且每个十进位至少是10 mm宽。对显示量程未覆盖仪器整个线性范围的情况,应可转换显示量程以观测整个要显示的线性范围。

如果使用一个数字指示器,并且所显示的测量量是振动参数,应以一定的时间间隔更新显示。更新的时间间隔应与所显示的测量相适应。数字显示范围应至少覆盖线性工作范围。

对于带可定期进行更新的数字显示器的仪器,每次显示更新后的指示值应是显示更新时用户选择的参量示值。在仪器文件中可以明确显示更新时其他的显示模式,此时在仪器文件中应对这些模式的操作做出说明。仪器文件应说明哪些模式符合本标准的规范要求,哪些不符合。

5.2.3 稳定性、测量开始和显示时间

在一般的环境条件下,仪器开机到稳定和准备使用所要求的时间间隔应不大于2 min。

当仪器开机后准备使用、改变量程或改变滤波器选择时,显示器应显示。

用户初始化测量和测量开始之间的时间应不大于0.5 s。

注:可能需要一个初始化过程,特别是对低频全身振动。即:保证在前一个测量结束后,仪器处于测量开始前的工作状态。

在获得测量结果前,仪器显示器应明确地指示测量是否在进行中,或是否初始化正在进行中。

5.3 电输出

如果提供交流电输出,仪器文件应说明输出信号的特性。其特性应包括:

- 电压峰峰值的范围,其值应不低于1 V;
- 输出端的内部电阻抗;
- 最小负载阻抗;
- 用于输出信号的频率计权。

无存储电能的无源阻抗与电输出的连接(包括短路),对正在进行的任何测量的影响应不大于2%。

5.4 振动灵敏度

仪器文件至少应规定一种模式的振动现场校准器,作为检查和保持人体振动计机械灵敏度的工具。振动现场校准器应满足附录A给出的要求。

振动测量仪器的文件应说明通过使用规定的振动校准器,将所指示的振动调整到符合本标准规范的程序。该调整应适用于仪器文件中推荐振动计使用的各种型号的振动传感器,还应适用于振动计制造商为振动传感器与振动计连接所提供的任何电缆、连接器和其他附件。

5.5 在参考条件下参考频率点指示的准确度

显示结果允差的要求见表2。示值的允差是指在表1中规定的适当参考频率和参考振动值处,当仪器置于参考测量量程,将正弦机械振动施加到振动传感器或规定的安装设备基座上时的允差。在按5.4进行调整和经过规定的稳定时间后,这些要求适用于本标准规定的所有频率计权。

表2 在参考频率和振动值处示值的允差

参 数	允 差
在参考环境条件下,参考频率点示值的允差	±4% (对于手传和全身振动)
	±5% (对于低频全身振动)
任一频率计权测量参量的示值与相应的带限测量值乘以合适的计权因子的示值之间的差值(在参考频率和参考振动值处输入一个稳定的正弦振动信号)	±3%
在任一测量时间内,具有带限频率计权的运行均方根振动示值和具有线性时间平均均方根值的带限频率计权振动示值之间的差值(对在参考频率和参考振动值处的一个稳定的正弦振动输入信号)	±2%

## 5.6 频率计权和频率响应

## 5.6.1 参数

人体振动计应有一个或多个频率计权(见表1),包括合适带限的计权。频率计权由公式(8)~公式(12)定义,并在表3中给出参数。

表3 频率计权的参数和传递函数

计权	带限				$\alpha$ - $v$ 变换			高阶				增益 K
	$f_1$ / Hz	$Q_1$	$f_2$ / Hz	$Q_2$	$f_3$ / Hz	$f_4$ / Hz	$Q_4$	$f_5$ / Hz	$Q_5$	$f_6$ / Hz	$Q_6$	
$W_b$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	16	16	0.55	2.5	0.9	4	0.95	1.024
$W_c$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	8	8	0.63	$\infty$	1	$\infty$	1	1
$W_d$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	2	2	0.63	$\infty$	1	$\infty$	1	1
$W_e$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	1	1	0.63	$\infty$	1	$\infty$	1	1
$W_f$	0.08	$1/\sqrt{2}$	0.63	$1/\sqrt{2}$	$\infty$	0.25	0.86	0.062 5	0.80	0.10	0.80	1
$W_h$	$10^{8/10}$	$1/\sqrt{2}$	$10^{31/10}$	$1/\sqrt{2}$	$100/(2\pi)$	$100/(2\pi)$	0.64	$\infty$	1	$\infty$	1	1
$W_j$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	$\infty$	$\infty$	1	3.75	0.91	5.32	0.91	1
$W_k$	0.4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	12.5	12.5	0.63	2.37	0.91	3.35	0.91	1
$W_m$	$10^{-0.1}$	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	$1/(0.028 \times 2\pi)$	$1/(0.028 \times 2\pi)$	0.5	$\infty$	1	$\infty$	1	1

注1: 对于  $W_b$  计权, ISO 2631-4:2001 表 A.1 对参数  $Q_1$  值四舍五入到第2个小数位, 此表规定的参数是其精确值。

注2: 对于  $W_h$  计权, ISO 5349-1:2001 表 A.1 对参数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  和  $f_4$  值四舍五入到5位有效数字, 参数  $Q_1$  值到第2个小数位, 此表规定的参数是其精确值。

角频率  $\omega_1$ 、 $\dots$ 、 $\omega_6$  ( $\omega_i = 2\pi f_i$ ,  $f_i$  是表3中的  $f_1$ 、 $\dots$ 、 $f_6$ ) 和谐振品质因数  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_4$ 、 $Q_5$  和  $Q_6$  是公式(8)~公式(12)中传递函数的参数, 它们决定总的振动加速度频率计权。总频率计权函数是带限、 $\alpha$ - $v$  变换和高阶滤波器的乘积。

## 5.6.2 带限滤波器

带限组件是高通和低通二阶巴特沃斯(Butterworth)滤波器特性的组合。其组件的定义如下:

## a) 高通

$$H_h(s) = \frac{1}{1 + \frac{\omega_1}{Q_1 s} + \left(\frac{\omega_1}{s}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

## b) 低通

$$H_l(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{Q_2 \omega_2} + \left(\frac{s}{\omega_2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$H_h(s)$  和  $H_l(s)$  的乘积表示带限传递函数。

5.6.3  $\alpha$ - $v$  变换滤波器

$\alpha$ - $v$  变换滤波器在较低频率与加速度成正比, 在较高频率与速度成正比:

$$H_t(s) = \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)K}{1 + \frac{s}{Q_4 \omega_4} + \left(\frac{s}{\omega_4}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

注: 当  $f_3$  和  $f_4$  ( $\omega_3$  和  $\omega_4$ ) 都等于无穷大时,  $H_t(s) = 1$ 。

## 5.6.4 高阶滤波器

高阶滤波器有一个近似每倍频程 6 dB 陡度,与加速度成正比:

$$H_s(s) = \frac{1 + \frac{s}{Q_5 \omega_5} + \left(\frac{s}{\omega_5}\right)^2}{1 + \frac{s}{Q_6 \omega_6} + \left(\frac{s}{\omega_6}\right)^2} \dots\dots\dots (11)$$

注:当  $f_5$  和  $f_6$  ( $\omega_5$  和  $\omega_6$ ) 都等于无穷大时,  $H_s(s)=1$ 。

## 5.6.5 总频率计权

每一个计权  $W_x$  的总频率计权函数是带限、 $a-v$  变换和高阶滤波器的乘积,即:

$$H(s) = H_b(s) \times H_l(s) \times H_t(s) \times H_s(s) \dots\dots\dots (12)$$

对这些公式的最通用的解释是在频域。频率计权的模(幅值)和相位被描述为虚数角频率的函数:

$$s = j2\pi f.$$

注 1:有时用字母  $p$  替代  $s$ 。

注 2:  $s$  也可被视为拉普拉斯(Laplace)变换的变量。

附录 B 给出的表格和计权曲线举例说明了公式(8)~公式(12)所定义的、作为频率  $f$  函数的频率计权的幅值和相位。

如果人体振动计提供一个或多个可供选择的频率响应,仪器文件应说明设计目标的频率响应和可保持在设计目标值附近的允差限。如果某个标准中规定了一个可选择的频率响应,设计目标频率响应应满足该标准的规定。

可以通过简单模拟滤波器的组合,实现表 3 和公式(8)~公式(12)定义的滤波器。附录 C 给出了在时域和频域用数字算法实现频率计权的实例。

## 5.6.6 允差

频率计权的允差应满足表 4 和表 5 的要求。表 5 中的允差限适用于在所有测量范围内包括相应带限的计权。允差限应包括适用的最大测量扩展不确定度。

对不是基于均方根平均值的测量参数,如峰值、MTVV 和 VDV,振动测量仪器的相位响应是重要的。公式(8)~公式(12)给出了相位响应。但是,由相位响应误差引入的测量误差取决于相位误差随频率变化的速率,而不取决于绝对相位误差本身。因此,使用特性相位偏差( $\Delta\varphi_0$ )评定相位响应,定义为:

$$\Delta\varphi_0 = \left| \frac{f_n \Delta\varphi_{n+1} - f_{n+1} \Delta\varphi_n}{f_{n+1} - f_n} \right| \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$f_n$ ——1/3 倍频程频带指数  $n$  时的中心频率;

$\Delta\varphi_n$ ——相对 1/3 倍频程频带指数  $n$  时频率点的相位误差。

表 4 用于频率计权允差的转换频率

计权	允差转换频率/Hz			
	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$
$W_b$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)
$W_c$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)
$W_d$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)
$W_e$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)



表 4 (续)

计权	允差转换频率/Hz			
	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$
$W_t$	$10^{-13/10}$ (0.050 12)	$10^{-9/10}$ (0.125 9)	$10^{-4/10}$ (0.398 1)	$10^{0/10}$ (1)
$W_h$	$10^{6/10}$ (3.981)	$10^{10/10}$ (10)	$10^{29/10}$ (794.3)	$10^{33/10}$ (1 995)
$W_j$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)
$W_k$	$10^{-6/10}$ (0.251 2)	$10^{-2/10}$ (0.631)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)
$W_m$	$10^{-3/10}$ (0.501 2)	$10^{1/10}$ (1.259)	$10^{18/10}$ (63.1)	$10^{22/10}$ (158.5)

表 5 频率计权的允差

频率/Hz	幅值允差	特性相位偏差 $\Delta\phi_0$
$f \leq f_{11}$	+26%, -100%	$\pm\infty$
$f_{11} < f < f_{12}$	+26%, -21%	$\pm 12^\circ$
$f_{12} \leq f < f_{13}$	+12%, -11%	$\pm 6^\circ$
$f_{13} < f < f_{14}$	+26%, -21%	$\pm 12^\circ$
$f_{14} \leq f$	+26%, -100%	$\pm\infty$

注：特性相位偏差只适用于不是基于均方根值测量参数的仪器。

5.7 幅值线性

在整个测量范围内,显示的信号值应是振动传感器上的机械振动的线性函数。该设计目标适用于在任何给定的频率计权或频率响应下仪器的频率范围内任一频率点。线性指标适用于包括传感器在内的整个仪器,以及所有测量的振动参数。

在所有测量量程所覆盖的完整区域内,线性误差应不超过输入值的 6%。在参考测量量程和参考频率点,线性工作范围应至少为 60 dB。

注：对于手臂振动,可能需要一个较大的线性范围以测量高冲击振动信号。

仪器文件应说明在没有欠量程或过载指示情况下,线性误差不超过 6%的振动值范围。该要求适用于在标称频率范围内任一频率点的稳定正弦信号。

对于具有多级手动选择测量量程的仪器,在相邻的测量量程振动示值的重叠应至少是 40 dB。

对于每一个测量量程,仪器文件应说明在没有欠量程或过载指示情况下,能够测量的振动值范围,即线性工作范围的上下限。

5.8 仪器噪声

对于时间平均的频率计权振动,仪器文件应说明当仪器的振动传感器被安装在一个不会明显增加示值的无振动物体上时,在显示设备上观察到的典型示值。至少对于参考环境条件,显示值应相当于推荐的人体振动计中的振动传感器和其他部件组合的总的本底噪声。

5.9 信号猝发音响应

人体振动测量仪对信号猝发音响应的要求,通过参考频率锯齿波信号的响应给出。图 2 说明

了锯齿波试验信号。使用具有表 6 给出特性的锯齿波猝发音进行试验。表 7～表 9 给出的响应对应于  $1\text{ m/s}^2$  的幅值信号,并应与实际试验信号的幅值相乘。

- 注 1: 用滤波器特性的数字模拟来确定对锯齿波信号猝发音的响应。
- 注 2: 为了保证信号猝发音包含有已知相位关系的频率组合,选择了锯齿波形状。因此锯齿波猝发音试验保证了在不同的频率进行频率计权的相关相位响应试验。

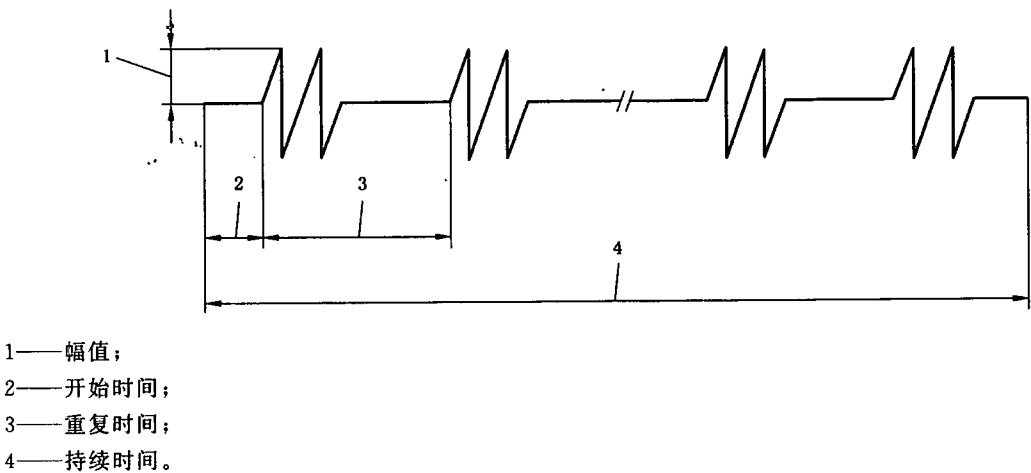


图 2 锯齿波猝发音试验信号(2 个周波猝发音图示)

表 6 锯齿波信号猝发音试验特性

应用	计权	角频率/ (rad/s)	开始时间/ s	周波数	重复时间/ s	持续时间/ s
手臂	$W_h$	500(79.58 Hz)	0.2	1,2,4, 8 和 16	2	12
全身	$W_b, W_c, W_d, W_e, W_j, W_k, W_m$	100 (15.915 Hz)	1		10	60
低频全身	$W_i$	2.5 (0.397 9 Hz)	40		400	2 400

表 7 用于手臂振动测量仪的锯齿波信号猝发音响应

计权	每个猝发音的锯齿波周波数	均方根	允差/ %
带限	1	0.044 8	10
	2	0.063 3	10
	4	0.089 5	10
	8	0.127	10
	16	0.179	10
	连续	0.565	10
$W_h$	1	0.010 3	10
	2	0.013 3	10
	4	0.016 8	10
	8	0.022 4	10
	16	0.030 9	10
	连续	0.094 6	10

表 8 用于全身振动测量仪的锯齿波信号猝发音响应

计权	每个猝发音的锯齿波周波数	均方根	允差/ %	VDV	允差/ %	MTVV 线性	允差/ %	MTVV 指数	允差/ %
带限	1	0.043 3	10	0.498	12	0.137	10	0.135	10
	2	0.061 2	10	0.593	12	0.193	10	0.188	10
	4	0.086 5	10	0.705	12	0.274	10	0.258	10
	8	0.122	10	0.838	12	0.387	10	0.344	10
	16	0.173	10	0.994	12	0.547	10	0.437	10
	连续	0.546	10	1.77	12	0.547	10	0.549	10
$W_b$	1	0.031 4	10	0.342	12	0.099 1	10	0.096 8	10
	2	0.043 5	10	0.403	12	0.137	10	0.132	10
	4	0.061 4	10	0.482	12	0.194	10	0.182	10
	8	0.086 7	10	0.575	12	0.274	10	0.243	10
	16	0.123	10	0.685	12	0.387	10	0.309	10
	连续	0.387	10	1.22	12	0.388	10	0.388	10
$W_c$	1	0.022 2	10	0.244	12	0.070 3	10	0.068 4	10
	2	0.029 2	10	0.275	12	0.092 3	10	0.088 5	10
	4	0.039 7	10	0.318	12	0.126	10	0.117	10
	8	0.055	10	0.374	12	0.174	10	0.153	10
	16	0.077	10	0.445	12	0.243	10	0.192	10
	连续	0.24	10	0.788	12	0.243	10	0.242	10
$W_d$	1	0.006 69	10	0.077 9	12	0.021 2	10	0.019 7	10
	2	0.009 06	10	0.085 2	12	0.028 6	10	0.026 4	10
	4	0.011 6	10	0.092 3	12	0.036 6	10	0.033	10
	8	0.014 8	10	0.101	12	0.046 9	10	0.04	10
	16	0.019 7	10	0.115	12	0.061 1	10	0.048 1	10
	连续	0.059	10	0.197	12	0.061 1	10	0.059 4	10
$W_e$	1	0.003 42	10	0.040 9	12	0.010 8	10	0.009 92	10
	2	0.004 78	10	0.045 2	12	0.015 1	10	0.013 5	10
	4	0.006 37	10	0.049 3	12	0.020 1	10	0.017 6	10
	8	0.008 16	10	0.053 5	12	0.025 5	10	0.021 4	10
	16	0.010 2	10	0.059 2	12	0.031 1	10	0.024 4	10
	连续	0.029 5	10	0.098 7	12	0.031 1	10	0.029 7	10
$W_i$	1	0.043 5	10	0.517	12	0.138	10	0.135	10
	2	0.061 6	10	0.609	12	0.195	10	0.189	10
	4	0.087 4	10	0.723	12	0.277	10	0.261	10
	8	0.124	10	0.859	12	0.392	10	0.349	10
	16	0.175	10	1.02	12	0.554	10	0.443	10
	连续	0.554	10	1.81	12	0.555	10	0.557	10

表 8 (续)

计权	每个猝发音的锯齿波周波数	均方根	允差/ %	VDV	允差/ %	MTVV 线性	允差/ %	MTVV 指数	允差/ %
$W_k$	1	0.029 9	10	0.323	12	0.094 4	10	0.092 2	10
	2	0.041 1	10	0.38	12	0.13	10	0.125	10
	4	0.057 7	10	0.455	12	0.182	10	0.171	10
	8	0.081 4	10	0.543	12	0.257	10	0.228	10
	16	0.115	10	0.648	12	0.363	10	0.289	10
	连续	0.362	10	1.15	12	0.364	10	0.363	10
$W_m$	1	0.014 9	10	0.165	12	0.047 2	10	0.045 6	10
	2	0.019 7	10	0.185	12	0.062 3	10	0.059 4	10
	4	0.026 4	10	0.211	12	0.083 6	10	0.077 5	10
	8	0.036 3	10	0.247	12	0.115	10	0.101	10
	16	0.050 7	10	0.294	12	0.16	10	0.126	10
	连续	0.158	10	0.52	12	0.16	10	0.159	10

表 9 用于低频全身振动测量仪的锯齿波信号猝发音响应

计权	每个猝发音的锯齿波周波数	均方根	允差/ %	MSDV	允差/ %
带限	1	0.034 1	10	1.671	10
	2	0.048 7	10	2.386	10
	4	0.069	10	3.38	10
	8	0.098 2	10	4.811	10
	16	0.139	10	6.81	10
	连续	0.439	10	21.51	10
$W_f$	1	0.019 7	10	0.965 1	10
	2	0.023 6	10	1.156	10
	4	0.030 4	10	1.489	10
	8	0.041 6	10	2.038	10
	16	0.057 1	10	2.797	10
	连续	0.176	10	5.622	10

## 5.10 过载指示

人体振动计应有一个每次显示都有效的过载显示器,并且可以检测出振动信号通道中所有临界点处的过载状态。应通过合适的方法(如选择适合预期测量的传感器、选择组装在传感器中的电子过载检测器、使用机械滤波器)避免传感器过载。

当信号值增大到规定的上限范围以上,在超过线性允差限或信号猝发音响应允差之前应显示过载。该要求适用于标称频率范围内的任何频率。

过载显示器应对正、负两个半周信号起作用。引起过载显示的正、负两个半周信号的差值应不大于15%。

当使用振动计测量时间平均振动值时,过载显示器应在发生过载状态时能够锁定。锁定状态应保留至测量结果被复位。该要求也适用于测量最大振动值、峰值振动值或测量期间计算或测量后显示的

其他量值。

当使用振动计测量运行均方根时间计权振动值时,在存在过载期间和过载影响示值测量的任何周期中(一个周期等于线性运行均方根加速度值的积分时间,或两倍于指数平均的积分时间),过载显示器都应保持显示的状态。过载后,显示器对于手臂振动应保持大于 1 s 时间;对于全身和低频全身振动应保持大于 8 s 时间。

仪器文件应对过载显示的工作状态做出说明,并给出清除锁定显示的方法。

5.11 欠量程指示

如果时间计权人体振动或时间平均人体振动低于线性工作范围的下限,在超过线性允差下限之前,欠量程指示应起作用。只要欠量程或影响示值的测量状态存在,欠量程指示就应保持。对于手臂振动,显示的最短时间为 1 s;对于全身和低频全身振动,显示的最短时间为 8 s。

5.12 时间平均

仪器应允许用户选择或控制时间平均计权加速度值的测量持续时间。

5.13 运行均方根加速度

对于提供运行均方根加速度的仪器,应检查时间常数。应在输入端输入稳定的参考频率正弦电信号,然后突然切断信号。在切断信号之前,对线性时间平均应施加至少 5 倍积分时间的稳定信号;对指数时间平均则施加 20 倍积分时间的稳定信号。有关线性和指数运行的均方根时间平均的详细内容,可参见附录 D。

对于线性时间平均,显示的输出信号值应以表 10 规定的速率衰减;对于指数时间平均(如果应用),应以表 11 规定的速率衰减。应从衰减开始到显示值小于初始值 10%的时间来测量衰减速率。该要求适用于参考测量量程。

表 10 时间计权衰减速率,线性时间平均

时间常数/s	到初始信号值 10%的时间/s
0.125	0.124±0.005
1	0.99±0.05
8	7.92±0.2

表 11 时间计权衰减速率,指数时间平均

时间常数/s	到初始信号值 10%的时间/s	等效衰减速率/(dB/s)
0.125	0.58±0.03	31~40
1	4.61±0.25	3.8~4.9
8	36.8±2	0.48~0.62

5.14 复位

对于所有给定的频率计权,用于测量时间平均人体振动、最大瞬态振动值和振动剂量值的仪器,应包括清除数据存储设备和重新初始化测量的功能。仪器文件应说明复位功能是否清除过载显示。仪器文件也应描述复位功能的作用,并且说明手动或远程复位功能的操作和测量初始化之间的标称延迟时间。

复位功能的使用不应使显示设备上出现虚假的显示。

5.15 计时功能

测量时间平均人体振动的仪器应显示自积分开始后经历的持续时间。也可提供间隔为 1 s 增量的预置积分时间的能力。

指示经历时间的允差限是 0.1%。经历时间的显示分辨力应为 1 s 或更高。

仪器文件应对显示设备量程内,测量任何信号值的时间平均振动值的最小和最大积分时间做出

说明。

#### 5.16 电串扰

当一台仪器同时对一个以上的振动轴(或通道)提供输入信号时,任何一个通道对其他任何输入通道信号的响应应小于输入信号幅值的 0.5%。

#### 5.17 振动传感器的特性

应根据测量的应用选择振动传感器的特性,附加指南参见附录 E。

#### 5.18 电源

对于电池供电的仪器,应给出确认电源足以保证仪器在本标准规范内进行工作的指示。电源状态的检查不应应对任何正在进行的测量造成干扰。

对振动传感器施加振动校准信号时,如果振动测量仪器的电源电压从标称值降至仪器文件规定的最小电压值,信号指示值的变化量不应超过 3%。

如果用内部电池为人体振动计供电,仪器文件应推荐允许使用的电池型号,并说明在参考环境条件下,安装满容量电池时,预期仪器的相应连续工作时间。

对于设计能够在超过电池标称寿命的持续时间内测量振动值的电池供电仪器,仪器文件应说明用外部电源驱动仪器的适用方法,包括电源的适用电压范围和纹波含量(包括高频尖脉冲信号)指标。

### 6 安装

如果需要或提供一个特定的机械滤波器、安装系统或电缆,仪器文件应说明只有当安装了规定的器械时,仪器才满足可应用的频率计权要求。

随仪器提供或为使用推荐的安装方法应满足 GB/T 14412—2005 的通用要求。试验安装系统指南可参见附录 F。

仪器文件应对提供的任何安装系统所适用的应用范围做出说明,并且应对使用安装系统可能导致较大测量不确定度的环境作出规定。

### 7 环境和电磁标准

#### 7.1 概述

各种工作环境下的所有灵敏度技术指标都应以参考环境条件下和校准核查频率点的机械灵敏度为参考。仪器文件应对环境条件变化后振动计稳定所需典型时间间隔加以说明。

一次性使用的振动测量仪可能有一个受限的环境应用范围。应在仪器文件中说明所适用的受限范围。

注:一次性(One-off)使用的系统是由独立的信号处理、分析(记录)和显示单元组成的系统,系统的每一个单元都按照相关标准或制造商的指标进行过型式评价。

#### 7.2 空气温度

在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,规定空气温度的变化对机械灵敏度的影响。在规定的温度范围内空气温度变化对振动灵敏度的影响应不超过 $\pm 5\%$ 。

空气温度变化的影响指标适用于整个振动计或通常暴露在温度变化较大的环境中的振动计组件。

对于那些在仪器文件中指定要放置在受控环境范围内(如室内)的振动计组件,可以将温度范围限制在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该温度限制范围不适用于整个振动计。

在规定的空气温度范围内,参考频率点的线性误差和参考测量量程上线性工作范围的大小应保持在 5.7 给定的允差限内。

#### 7.3 表面温度

在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 表面温度范围内,规定测量表面温度变化对振动灵敏度的影响。在规定的温度范围内,表面温度变化量对振动灵敏度的影响应不超过 $\pm 4\%$ 。

表面温度变化量影响的指标适用于加速度计、电缆和与振动表面直接接触的安装系统。

在本章给出的表面温度范围内,在参考频率点的线性误差和参考测量量程内线性工作范围的大小应在 5.7 规定的允差限内。

#### 7.4 静电放电

应尽可能减少静电放电对振动计或振动计系统应用组件工作的影响。

暴露在高达 $\pm 4$  kV 静电电压接触放电或高达 $\pm 8$  kV 静电电压空气放电之后,振动计应能继续正常工作。静电电压的极性是相对于大地而言。

除非仪器文件中可能做出了规定,否则暴露在本章规定的静电放电中不应引起振动计技术指标的降低或功能的丧失。仪器文件可以规定由于静电放电,振动计的性能或功能可以降低或丧失。规定的功能降低或丧失不应包括工作状态、设置的改变,任何存储数据的毁坏或丢失,以及工作性能的永久性的降低。

#### 7.5 射频发射和公共电源干扰

应尽可能地降低振动测量仪器的射频发射。

如果人体振动计允许用接口或连接电缆连接,仪器文件应推荐典型的电缆长度,并应说明电缆可以连接的所有设备的特性。

仪器外壳端子发射的射频场强度在频率为 30 MHz 至 230 MHz 时,应不超过 30 dB(相对于  $1 \mu\text{V}/\text{m}$ ),频率大于 230 MHz 至 1 GHz 时不超过 37 dB。仪器文件应说明仪器和其他连接设备产生最大射频场发射的工作模式。

传导到公共电源的最大干扰,在交流电源端的准峰值和平均电压限值应在表 12 规定的范围内。当使用准峰值测量设备时,如果振动测量仪器符合传导干扰的平均电压限,就应认为人体振动计同时满足准峰值和平均电压限的要求。

表 12 对公共电源电压传导干扰的限值

频率范围/ MHz	干扰电压的限值/dB(相对于 $1 \mu\text{V}$ )	
	准峰值	平均
0.15~0.50	66~56	56~46
0.50~5	56	46
5~30	60	50
注 1: 准峰值测量接收机的特性参见 CISPR 16-1-1。 注 2: 转换频率点使用较低的电压限。 注 3: 在 0.15 MHz~0.50 MHz 范围内,电压限随频率的对数呈线性降低。		

#### 7.6 对工频场和射频场的抗扰度

整台仪器(或仪器文件指定可使用的部件)暴露在规定的工频场和射频场中,应不引起任何工作状态、设置的改变,或任何存储数据的毁坏或丢失。这个要求适用于与正常工作一致的任何工作模式。仪器文件应说明仪器和任何连接设备对工频场和射频场的最小抗扰度(最灵敏)的工作模式。

对工频场的抗扰度适用于暴露在频率为 50 Hz 和 60 Hz、强度为 80 A/m(均方根)的均匀磁场中。在放置振动计之前,建立均匀的磁场强度。振动计在磁场中的方位应是仪器文件规定的对工频场最灵敏的方位。

对射频场的抗扰度适用于 26 MHz~1 GHz 载频范围。射频场载频信号采用仪器的参考频率(或多个频率)的正弦信号进行调幅,调制深度为 80%。当未调制和未放置振动计时,射频场应有一个 10 V/m(均方根)的均匀电场强度。

注: 仪器文件可以说明振动计在大于 10 V/m 的未调制均方根电场强度下符合本标准规范。

当使用工频场或射频场时,振动示值的变化量应不超过 $\pm 10\%$ 。

对于带有交流输入电源口或交流输出电源口的振动计,射频共轭干扰的抗扰度适用于 0.15 MHz~80 MHz 频率范围。

对于带有信号或控制接口的振动计,当系统各部分之间相互连接的电缆长度超过 3 m 时,对射频共轭干扰的抗扰度适用于 0.15 MHz~80 MHz 频率范围。

#### 7.7 防水和防尘

振动计应能够防水和防尘。制造商应规定仪器的 IP 等级。仪器的 IP 等级应与设计的应用相符(如:在工厂对人体振动暴露进行评价可能要求等级为 IP65;实验室条件下测量可以只要求等级为 IP42)。

注:IEC 60529 规定了仪器外壳的 IP 防护等级。

### 8 使用辅助设备的规定

如果振动计制造商所提供的可选延长电缆能够连接加速度计和振动计的其他部件,仪器文件应详细给出对采用本方式所得测量结果进行修正的方法。

仪器文件应给出由振动计制造商提供的可选附件影响的数据。数据应适用于由附件安装导致的所有振动计相关特性。可选附件包括加速度计安装装置和机械滤波器。仪器文件应给出对灵敏度和频率响应典型影响的数据。

仪器文件应对安装可选附件后振动计是否符合本标准要求的规范做出说明。

如果连接外部滤波器,仪器文件应说明怎样进行连接和如何使用仪器测量经过外部滤波的振动信号。

仪器文件应详细说明有关辅助设备与振动计连接、以及这些设备对仪器电特性的影响(如果有)。辅助设备包括打印机、计算机和磁带记录仪。

### 9 仪器标识

对符合本标准所有规范的仪器应做出标识,或用参考标准的编号和出版日期来表示。标识应注明对整个仪器技术规范负责的供应商的名称和商标。另外,标识应包括型号名称和序列号。

如果仪器由几个独立的单元组成,每个重要单元或组件应尽可能的按照本章的要求进行标注。组成完整仪器的所有重要单元应统一标识。

### 10 仪器文件

应对符合本标准技术规范的振动计或类似仪器提供仪器文件。

如果仪器由几个独立的单元组成,仪器文件应对整个振动计的组合是有效的。仪器文件应对所有必要的组件以及它们相互间的影响做出说明。

所有仪器技术指标应以 SI 单位给出。

仪器文件应包含附录 G 中规定的涉及仪器的信息。

### 11 试验和校准

本标准定义了三个等级的性能试验:

- a) 型式评价(对象为制造商):对某型号仪器抽样完成的全部试验。型式评价可以用于振动测量仪器的产品型式试验或型式批准。这些试验的目的是证明仪器设计能够满足本标准规定的技术规范。
- b) 周期检定(对象为制造商和用户):



- 为了确定技术指标是否维持在本标准规定的技术规范内,定期(如购置前或购置时,以及其后的1年或2年)进行的一组中间试验;
- 为了验证一次性使用的仪器系统满足本标准要求所进行的一组中间试验;
- 在进行可能会影响仪器性能的改进和修理后所进行的一组中间试验。

c) 现场检查(对象为用户):表示仪器可能在所要求的性能规范内运行的最低等级的试验。在测量前和测量后应立即进行这些试验。

设计这些试验用以评价工作特性和第5章~第10章确定的规范。表13给出规范和相关试验章节之间的关系。

表 13 工作特性和试验要求一览表

技术要求		试验类型		试验条款		
条款	性能特性	电	机械	型式评价	检定试验	现场检查
5.1	一般特性			12.5	13.5	14.2
5.2	信号幅值的显示			12.5	13.5	
5.3	电输出	●		12.17		
5.4	振动灵敏度		●	12.7	13.7	14.3
5.5	在参考条件下参考频率点示值的准确度	●		12.7	13.7	
5.6	频率计权和频率响应	●	●	12.11 附录 H	13.10 附录 H	
5.7	幅值线性	●	●	12.10	13.9	
5.8	仪器噪声		●	12.12	13.11	
5.9	信号猝发音响应	●		12.13	13.12	
5.10	过载指示	●	●	12.10,12.14	13.9,13.12	
5.11	欠量程指示	●	●	12.10	13.9	
5.12	时间平均	●		12.13	12.12	
5.13	运行均方根加速度	●		12.13	13.12	
5.14	复位			12.15	13.14	
5.15	计时功能			12.18		
5.16	电串扰	●		12.8	13.8	
5.2	组合轴输出	●		12.16		
5.17	振动传感器特性		●	12.9		
5.18	电源			12.19		
6	安装			附录 F		
7	环境和电磁标准			12.20		
8	使用辅助设备的规定	●		12.5,12.17	13.5	
9	仪器标识			12.4	13.4	
10	仪器文件			12.4	13.4	
注: ●表示需做的试验项目。						

## 12 型式评价

### 12.1 概述

本章给出了验证振动测量仪器与本标准所有强制性技术规范符合性所需试验项目细节和使用的试验方法。

当计入检测实验室实际测量的扩展不确定度后,偏离设计目标的测量结果如果完全位于规定的允差限内,则证明振动测量仪器符合本标准规范。

应依据 GUM 确定测量不确定度。由检测实验室计算实际的扩展不确定度,其包含因子不小于 2。

本章给出的测量扩展不确定度是用于在本章验证与本标准规范符合性的最大允许值。如果实际测量的扩展不确定度超过了最大允许值,则检测实验室不应进行验证与本标准符合性的试验。

本章中规定的试验不应省略,除非仪器不具备拟试验的功能。

如果不是另有规定,本章中描述的所有试验均适用于多通道测量仪的每一个通道。

### 12.2 试验要求

用于型式评价并影响试验结果不确定度的仪器应在有效的校准周期内,并可溯源到国家标准。

输入信号频率的偏差应在要求值的 $\pm 0.2\%$ 范围内。

机械输入信号幅值的偏差应在要求值的 $\pm 0.2\%$ 范围内。

注 1: 目前 GB/T 20485 已出版的部分未提供 0.4 Hz 以下的校准方法。

试验时的主要环境条件应在以下范围内:

——空气温度:20℃~26℃;

——相对湿度:10%~75%(无凝露)。

正弦机械振动试验输入的总失真度  $d$  应不大于 5%。

正弦电试验输入的总失真度  $d$  应不大于 0.1%。

注 2: ISO 2041 中定义的用百分数表示的总失真度  $d$  为:

$$d = \frac{\sqrt{a_{\text{tot}}^2 - a_1^2}}{a_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$a_1$ ——激励频率处的均方根加速度值;

$a_{\text{tot}}$ ——总的带限均方根加速度值(包含  $a_1$ )。

### 12.3 提交试验的物品

应提交用于试验的振动测量仪器,连同仪器文件和仪器文件中规定作为常规使用配置中整个仪器组成部分的所有附件或辅助设备。作为附加附件或辅助设备的典型例子,包括加速度计、安装装置和电缆。

### 12.4 振动计标识和仪器文件信息

应确认按照第 9 章的规范对仪器作了标识。

在进行任何试验之前,应确认仪器文件中包含第 10 章要求的所有信息,且这些信息适用于振动计具有的功能。完成所有试验后,应该对信息进行审查,以保证其正确性和在合适的允差限内。

### 12.5 强制性功能和一般要求

应确认振动计满足 5.1 的要求。

对于具有多个测量量程的仪器,应确认其重叠的测量量程满足 5.7 的技术要求。

应确认仪器的显示功能满足 5.2 的技术要求。

若仪器文件中规定使用特殊型号和类型的电池,则应使用这种电池。

若仪器不满足本条列出的要求,就不应进行验证仪器符合本标准性能规范的试验。

### 12.6 仪器试验前准备

进行试验前,应为仪器提供在制造商规定的工作极限内的电源。应对仪器、传感器和振动校准器进行外观检查,并进行所有控制操作的检查,以保证它们处于正常状态。

应按照仪器文件中给定的程序设置仪器校准核查频率点的振动灵敏度。在参考环境条件下,应该使用 5.4 要求的和仪器文件中规定的调整方法,将振动计的灵敏度调整到显示正确的振动值。

## 12.7 参考条件下参考频率点的示值

参考频率点(见表 1)的参考加速度示值的误差,用同一测量点上仪器显示的振动值与经合适方法校准过的参考振动传感器测得的对应振动值之间的偏差确定。

试验测量值  $a_{\text{test}}$  的误差  $\epsilon$  可以用参考振动传感器测量值  $a_{\text{ref}}$  的百分比表示,即:

$$\epsilon = \frac{a_{\text{test}} - a_{\text{ref}}}{a_{\text{ref}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

在使用振动计测量振动幅值之前,应使用参考振动传感器测量在参考振动幅值和参考频率下产生的机械振动输入值。在进行这些测量的过程中,应将振动计设置到参考测量量程、带限频率计权、线性时间平均,测量时间的设置对于手臂振动、全身振动及低频全身振动分别不小于 30 s、1 min 和 5 min。输入信号值加上本底噪声应至少为本底噪声值的 10 倍。

应通过三次测量获得示值误差的最小值。对于每一次测量,在记录示值以前,应允许仪器有不小于仪器文件中规定的稳定时间,以使仪器达到与常规环境条件平衡。三次测量中最大值与最小值之间的偏差应不大于 3%。

测量的示值误差的算术平均值应在表 2 给出的适用允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于每一个给定的频率计权,应对电输入装置施加相应参考频率的稳定正弦电信号。用带限频率计权,将输入信号调整到在参考测量量程显示参考振动值,频率计权的振动示值等于带限计权的振动示值与合适的计权因子(见表 1)的乘积,其示值应在表 2 允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于提供时间计权的仪器,应对电输入装置施加参考频率的稳定正弦电信号。振动测量仪器设置为带限频率计权,将输入信号的幅值调整到在参考测量量程显示参考振动值。用相同的输入信号,在每一个时间计权上的振动示值都应等于参考振动示值,并在表 2 允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

## 12.8 电串扰

对于多通道的测量仪器(如三轴向测量仪),应进行通道间电串扰试验。

所有通道都应设置为参考测量量程。应依次向每一个通道输入参考频率电信号;其他所有通道的输入端应用替代阻抗进行端子连接。试验信号的幅值应在参考量程上端的 5 dB 内。在试验过程中,应该对所有通道的输出进行监测。

所有通道的输出不应超出 5.16 中的要求。

## 12.9 振动传感器

加速度振动传感器的特性(附录 E)应按照 ISO 5347 和 GB/T 20485 的相关部分进行试验。

## 12.10 幅值线性度和欠量程指示

### 12.10.1 幅值线性度的电试验

在表 14 中列出的频率点,用稳定的正弦电信号进行仪器幅值线性度的电试验。测量幅值线性度时,仪器应设置为带限频率计权的时间平均测量方式。

表 14 幅值线性度试验频率和加速度值的增量

应 用	试验频率 <sup>a</sup> / Hz	加速度增量/dB	
		过载和欠量程 5 dB 内	所有其他值
手臂	8,80,800	1	5
全身	1,4,16,63	1	5
低频全身	0.2,0.4	1	5

<sup>a</sup> 所示为标称中心频率。应使用准确的 1/3 倍频带的中心频率(例如:“8 Hz”代表的频带中心频率为  $10^{9/10}$  Hz ≈ 7.943 Hz)。

对指定的电输入装置应施加参考频率信号,开始幅值线性度试验。应将输入信号调整到振动计在参考测量量程内显示参考振动示值。

在任一频率点上,任一测量量程幅值线性度试验的起始点应是参考振动值与标称衰减系数的乘积值,该衰减系数是由相对于参考测量量程的测量量程控制器所确定。

在参考测量量程内,应以表 14 规定的增量,将试验频率的输入信号值从该测量量程规定的下限开始递增,直到显示第一次过载。然后将信号值从引起第一次过载显示开始,以表 14 规定的增量减小,直到规定的测量量程下限。对于每一个输入信号值,都应记录仪器显示设备的示值和输入信号值。

对于每一个试验频率的输入信号值,从规定的参考测量量程的下限直到显示第一次过载,幅值线性度偏差应在 5.7 适用的允差限内。参考测量量程的参考频率线性工作范围应满足 5.7 对规定的上下限标称振动幅值间线性工作范围的要求。最大测量扩展不确定度为 2%。

在完成参考测量量程试验后,应在所有其他的测量量程内进行幅值线性度试验。对于每一个测量量程,试验应在规定的频率点,并以表 14 中规定的增量,从低于测量量程下限的起始点直到测量量程的上限进行试验。

在振动测量仪的每一个附加测量量程内,当在仪器文件规定的整个线性工作范围和直到出现第一次过载显示时,幅值线性度误差都应在 5.7 适用的允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于测量时间加权振动值且线性工作范围大于显示器显示范围的仪器,在输入信号超过显示器显示范围上限时,可以使用纯音猝发音测量幅值线性度。

对于具有时间平均功能且线性工作范围大于显示器显示范围的振动计,超过显示范围上限的线性度误差可以使用从稳定的输入信号中提取的纯音猝发音来测量。对于手臂振动,纯音猝发音的持续时间应不小于 30 s;全身振动应不小于 5 min(该试验方法对低频全身振动不适用)。积分时间应大于纯音猝发音的持续时间。

对于每一个测量量程的每一个试验频率,当显示的信号值大于或等于规定的测量量程下限时,欠量程指示器应不显示。在每一个测量量程和每一个试验频率点,当信号值比规定的测量量程下限低 1 dB 时,欠量程指示器应有显示。

#### 12.10.2 幅值线性度的机械试验

振动计幅值线性度的机械试验应使用表 14 所列频率的稳定正弦机械信号。测量幅值线性度时,仪器应设置为带限频率加权的时间平均测量方式。幅值线性度由显示器的示值减去经适当方法校准的参考振动传感器测量的振动值来确定。振动传感器校准时应按照 GB/T 20485.21—2007 的要求进行安装。

在任一频率点上,任一测量量程幅值线性度试验的起始点应是参考振动值与标称衰减系数的乘积值,该衰减系数是由相对于参考测量量程的测量量程控制器所确定。

应将参考频率信号施加到振动传感器基座,开始幅值线性度试验。调整输入信号使振动计在参考测量量程显示参考振动示值。

幅值线性度机械试验应在不小于 40 dB 的测量范围内进行。

在参考测量量程,应以表 14 中规定的增量,将试验频率的输入信号值从测量量程规定的下限递增到以下三种情况中的最小值:

- 试验仪器出现第一次过载的显示值;
- 输入装置能够产生的最大振动值;
- 参考传感器线性振动幅值范围的最大值。

然后,应以表 14 中规定的增量,将信号从引起第一次过载显示递减到以下三种情况中的最大值:

- 试验仪器规定的下限值;
- 输入设备能够产生的最小振动值;
- 参考传感器线性振动幅值范围的最小值。

对于每一个输入信号值,都应记录仪器显示设备的示值和参考传感器的测量值。

当在不同振幅下产生恒定的振动值时,应考虑实验室参考振动传感器的幅值线性度。

对于每一个试验频率的输入信号值,从规定的参考测量量程的下限直到显示第一次过载,幅值线性度偏差应在 5.7 适用的允差限内。参考测量量程的参考频率线性工作范围应满足 5.7 对规定的上下限标称振动幅值间线性工作范围的要求。最大测量扩展不确定度为 3%。

在完成参考测量量程试验后,应在所有其他的测量量程进行幅值线性度试验。对于每一个测量量程,试验应在规定的频率点,并以表 14 中规定的增量,从低于测量量程下限的起始点直到测量量程的上限进行试验。

在每一个附加测量量程,当在仪器文件规定的整个线性工作范围和直到出现第一次过载显示时,幅值线性度误差都应在 5.7 适用的允差限内。最大测量扩展不确定度为 4%。

12.11 频率计权和频率响应

12.11.1 概述

在此描述的评价频率计权和频率响应特性的程序是假设振动测量仪器没有电输出端。如果有电输出端并用于试验,应做一些初步试验以确定仪器显示的频率计权振动值与输出端的电压值之间的对应关系。在任何频率计权试验中不考虑线性度误差。

对于振动测量仪器提供的每一种频率计权应用(手臂、全身和低频全身),应选择一种频率计权方式进行正弦机械信号和电信号两种试验。其他频率计权应采用机械或电信号进行试验。

如果可能,频率计权和频率响应试验应在参考测量量程进行。而当实验室认为测量量程控制器的调节可能会影响仪器与规定的频率计权或频率响应符合性能力时,则应做附加试验。所有测量应在线性度误差满足 5.7 给定允差限的测量量程进行。

频率响应试验应在表 15 规定的频率范围,以不大于 1/3 倍频程的频率间隔进行试验。

表 15 机械和电频率响应试验的试验频率

应用	1/3 倍频程带宽试验频率范围 <sup>a</sup>	
	电试验	机械试验
手臂	4 Hz~2 000 Hz	8 Hz~2 000 Hz
全身	0.25 Hz~160 Hz	0.5 Hz~160 Hz
低频全身	0.05 Hz~1 Hz	0.4 Hz 和 0.5 Hz
<sup>a</sup> 所示为标称中心频率。应使用准确的 1/3 倍频带的中心频率(例如:“8 Hz”代表的频带中心频率为 10 <sup>8/10</sup> Hz≈7.943 Hz)。		
注:频率计权的相位频率响应试验方法由附录 H 给出。		

12.11.2 频率响应的机械试验

振动仪器的机械频率响应应通过与校准过的实验室参考振动加速度计测得的非计权加速度值的比较来确定。频率响应误差应该是振动测量仪器的频率计权加速度示值减去实验室参考传感器测得的振动值与合适的频率计权因子的乘积。加速度计校准应按照 GB/T 20485.21—2007 的要求进行安装。

应在参考频率点调整输入的机械振动,使试验仪器在规定的线性范围下限以上 20 dB 产生非计权振动示值。该输入信号的非计权加速度值  $a_{in}$  应被用作后续试验的参考输入值。

应在每个试验频率点调整输入信号,由实验室参考振动传感器测量给出相同的输入振动值  $a_{in}$ 。在表 15 中对机械试验规定的每一个试验频率点,都应记录输入振动加速度值和振动仪器的示值  $a_{ind}$ 。

在频率  $f$  处的频率响应误差  $\epsilon(f)$  为:

$$\epsilon(f) = a_{ind} - a_{in}(f)w(f) \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$w(f)$ ——频率  $f$  处的频率计权因子。

当在不同频率点产生恒定振动值时,应考虑实验室参考振动传感器的频率响应。

如果不能在整个频率范围内保持恒定的振动值,对于实验室参考振动传感器在试验频率和参考频率下所测得的振动值之间的偏差,应根据需要修正仪器显示的信号值。

对于在合适的标称频率范围内的所有频率点,最大测量扩展不确定度为 4.5%。

注:当对振动传感器和振动仪器的电部分分别进行试验时,在频率  $f$  处的频率计权误差  $\epsilon$  为:

$$\epsilon(f) = \epsilon_s(f) + \epsilon_e(f) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$\epsilon_s$ ——振动传感器响应的误差;

$\epsilon_e$ ——仪器电单元的误差。

两种情况下,误差是测量结果的视在误差  $\epsilon_m$  与测量扩展不确定度  $u_m$  的合成,即:

$$\epsilon_s = \sqrt{\epsilon_m^2 + u_m^2} \quad \dots\dots\dots (18)$$

附录 F 给出了应与仪器一起提供的安装系统的试验信息。

### 12.11.3 频率响应的电试验

正弦电信号施加到仪器的电输入端。

应在参考频率  $f_{ref}$  处对输入的电信号进行调整,以使试验仪器在规定的线性范围下限以上 20 dB 产生带限振动示值。该输入信号的频率计权示值  $a_{ind}$  应被用作后续试验的参考值。

在每个试验频率,应将输入信号的均方根值  $u_{in}$  调整到与频率计权示值  $a_{ind}$  相同的示值。在表 15 中对电试验规定的每一个试验频率,都应记录输入信号值与振动仪器的示值。

在频率  $f$  处电单元的频率响应误差  $\epsilon_e(f)$  为:

$$\epsilon_e(f) = a_{ind} - \frac{u_{in}(f)}{S} w(f) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$w(f)$ ——频率  $f$  处的频率计权因子;

$S$ ——灵敏度,即:

$$S = \frac{u_{in}(f_{ref})}{a_{ind}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

在任一频率点,输入信号加上仪器噪声的均方根值应至少为仪器噪声均方根值的 10 倍。

如果在整个频率范围内不能保持相同的振动示值,对于在试验频率和参考频率输入电信号的振动值之间存在的偏差,应根据需要对仪器的示值进行修正。对于试验频率示值与参考频率示值之间存在的非线性误差,也应根据需要对仪器的示值进行修正。

在合适的标称频率范围内的所有频率处,最大测量扩展不确定度为 3%。

### 12.11.4 符合性

对于那些采用机械试验的频率计权试验,通过试验可直接给出频率计权误差,即公式(16)中的  $\epsilon(f)$ 。对于仅使用电试验的频率计权试验,则总频率计权误差必须计入振动传感器的频率响应误差  $\epsilon_s(f)$ 。 $\epsilon_s(f)$  值是通过从频率计权的机械试验的结果  $\epsilon(f)$  中减去偏差  $\epsilon_e(f)$  得出的。

例:仪器有两种全身计权方式:  $w_d$  和  $w_k$ 。选择  $w_d$  进行机械和电两种频率响应试验。由  $w_d$  的机械和电试验结果之间的偏差给出振动传感器的响应。该振动传感器的响应加到  $w_k$  的电响应上,给出仪器  $w_k$  的总频率响应。

对于所有可用的频率计权方式,仪器的总频率响应误差应在 5.6 规定的适用允差限内。在适用的标称频率范围内的所有频率,最大测量扩展不确定度为 5%。

其他可供选择的频率响应应满足仪器文件中表明的设计指标和允差限。

### 12.12 仪器噪声

将仪器的振动传感器安装在一个不会明显增大振动示值的无振动物体上,由十次测量的算术平均

值确定仪器噪声的典型值。对于时间平均和时间计权振动,都应进行此项试验。对于时间平均人体振动,应说明平均时间。手臂振动平均时间应至少 1 min,全身振动至少 5 min,低频全身振动至少 30 min。

### 12.13 信号猝发音响应

仪器设置为参考测量量程和适用的带限计权,施加表 6 规定频率的稳定正弦电信号,并调整信号值以获得在给定线性工作范围上限 50% 处的示值。然后对所有适用的时间计权和频率计权施加表 6 规定的猝发音信号。

锯齿波信号的下降时间应不大于  $1/(5f_2)$ , 其中  $f_2$  为表 3 定义的适用频率计权带限组成的上限频率。

当产生锯齿波时,可能会引起高频切换瞬变。为避免由此影响试验,在信号发生器与被测仪器间连接一阶低通滤波器可能是必要的。该滤波器的截止频率应足够高(如  $100f_2$ ),以避免对试验结果产生影响。

应以 10 倍率递减稳定的输入信号,直到输入信号值给出比仪器规定的线性工作范围下限至少大 3 倍的示值,重复进行信号猝发音响应的测量。

增加猝发音信号幅值直到第一个过载指示,重复单周波猝发音响应的测量。

根据实际应用情况,与输入信号的振动幅值有关的信号猝发音响应振动示值应符合表 7~表 9 的规定。信号猝发音响应的误差应在表 7~表 9 给定的允差限内。最大测量扩展不确定度为 3%。

### 12.14 过载指示

施加参考频率和表 14 规定频率的正、负半周正弦电信号进行过载指示试验。仪器设置为参考测量量程和带限频率计权,并使用正半周信号,增加信号直到出现第一个过载指示。用负半周信号重复以上操作。在每一种情况下,都应将引起第一个过载指示的最小输入信号值记录下来。引起第一次过载指示的两个输入信号的差应不超过 5.10 给定的允差限。最大测量扩展不确定度为 2%。

注:除了在本章中规定的频率点所要求的试验外,还可以在实验室所选择的其他频率点进行过载指示试验。

在输入信号大于引起过载指示的最小输入信号值直到仪器文件给定的最大输入信号值,过载指示都应工作。

在测量时间平均振动值或最大振动值时,按照 5.10 的规定,一旦发生过载,过载指示就应处于锁定状态。而当使用振动测量仪器测量时间计权振动幅值时,应按 5.10 的规定指示过载。

### 12.15 复位

如有复位功能,应确认复位操作能删除先前显示的示值,并且其操作不会引起任何显示设备上出现虚假示值。

### 12.16 组合轴的输出

当显示组合轴输出(如平方和的二次方根的总振动值或总 VDV)时,本试验保证多轴向输入的组合作是按照适用的测量标准进行的。

应将仪器设置到参考测量量程。依次对每一个轴输入参考振动值时的电输入信号。每一个轴的示值都应记录下来,并用以根据相应的国际标准(ISO 5349-1, GB/T 13441.1—2007, GB/T 13441.2—2008 和 ISO 2631-4)计算组合轴的结果。然后,应同时向三个输入通道施加输入信号,组合轴的示值应等于计算结果,其偏差在  $\pm 3\%$  以内。

将一个通道上的信号反接(即  $180^\circ$  倒相)。信号倒相后示值的变化量应不大于 2%。

对于全身振动,用于  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的计权和用于合成单轴向数据的乘积系数  $k$  值均取决于应用(如健康、舒适和感知)。应采用 GB/T 13441.1—2007 来确定期望的输出。

### 12.17 交流输出

在参考测量量程上,对仪器施加一个与参考频率点的参考幅值相对应的电信号,并应记录示值。然后,短路交流输出端,记录仪器示值。振动示值间的偏差应不超过 5.3 规定的允差限。

## 12.18 计时功能

验证时间平均振动值测量的最小平均时间,其值应不大于仪器文件规定的最小平均时间。验证时间平均振动值测量的最大平均时间,其值应不小于仪器文件规定的最大平均时间。

测量时间应在 2 000 s 以上进行,其经历时间的误差应在  $\pm 2$  s (即  $\pm 0.1\%$ ) 内。最大测量扩展不确定度应为 0.01%。

## 12.19 电源

随振动计提供的振动现场校准器作用于加速度计上,在标称电源电压下,记录参考测量量程的振动信号示值;然后电源电压降低到仪器文件规定的最小电压,记录振动信号示值。该信号示值应在 5.18 规定的允差限内。

注:所谓电源包括电池。

## 12.20 环境、静电和射频试验

### 12.20.1 概述

整个振动计应满足本章中应用于该仪器规定用途的所有规范。为满足本章规范,应根据仪器文件中说明的常规操作模式,将加速度计连接到仪器上。

对工作环境敏感的每一项规范都适用于开机状态的仪器,并设置为典型模式进行测量。

在进行环境、静电和射频试验之前,而非试验期间,应使用 5.4 规定的振动现场校准器在校准频率点进行校验,必要时,调整仪器使其显示参考环境条件下的参考振动值。调整应按仪器文件中给定的程序。

相对于参考环境条件下产生的振动值,按仪器文件中给定的程序,计算环境条件对振动校准器产生的幅值的影响。

应将示值检验时的环境条件记录下来。在进行环境试验时,使用振动现场校准器提供一个已知的振动信号。应将振动计设置为进行频率计权、线性时间平均均方根振动幅值的典型测量。

对于每一种试验条件,都应记录振动计对振动现场校准器信号响应的的时间平均振动示值。

### 12.20.2 环境试验条件测量的扩展不确定度

空气温度测量的实际扩展不确定度应不超过 0.5 °C,相对湿度测量的实际扩展不确定度应不超过 10%。

### 12.20.3 空气温度和相对湿度影响试验的环境适应性要求

应将振动现场校准器和振动计(或相关部件)放置于环境试验箱中,进行空气温度和相对湿度对测振仪影响的试验。

对于空气温度和相对湿度的影响试验,在适应环境期间,应从振动现场校准器上移去加速度计,并关断两个仪器的电源。

允许振动现场校准器和振动测量仪器在参考环境条件下至少放置 12 h,以适应新的环境。

在完成环境适应期后,应将加速度计安装在振动现场校准器上,并开启两个仪器的电源。

### 12.20.4 空气温度和相对湿度的综合影响试验

在完成 12.20.3 中描述的环境适应性程序后,在下列空气温度和相对湿度综合条件下,应记录振动测量仪器对振动现场校准器响应的振动示值。对于所有组成部分都能在 7.2 要求所覆盖的任一空气温度和相对湿度综合条件下工作的振动测量仪器,试验条件为:

- 参考空气温度和参考相对湿度;
- 空气温度为  $-10$  °C 和相对湿度为 65%;
- 空气温度为 5 °C 和相对湿度为 25%;
- 空气温度为 40 °C 和相对湿度为 90%;



——空气温度为 50 °C 和相对湿度为 50%。

对于每一个试验条件,振动测量仪器的示值相对于参考空气温度和参考相对湿度下振动示值的偏差应不超过 7.2 的规定值。

#### 12.20.5 表面温度的影响

在参考空气温度和湿度以及下列环境适应性条件下,应记录下列表面温度时测振仪对参考幅值和频率的振动信号响应的振动示值。应将在规定的安装装置上的加速度计直接安装在温度可控制在  $\pm 5$  °C 范围内的一个表面上。使用如下表面温度:

- 参考温度;
- 表面温度为  $-10$  °C;
- 表面温度为  $5$  °C;
- 表面温度为  $40$  °C;
- 表面温度为  $50$  °C。

对于每一个试验条件,振动测量仪器示值与在参考空气温度和参考相对湿度条件下的振动示值的偏差应不超过 7.3 的规定值。

#### 12.20.6 静电放电的影响

确定静电放电对测振仪工作影响所需的设备应符合 IEC 61000-4-2:2001 第 6 章的要求。试验设置和试验程序应依据 IEC 61000-4-2:2001 第 7 章和第 8 章给出的要求。

应对处于工作状态的振动测量仪器进行静电放电试验,并通过预先的试验将其调整到对静电放电最为敏感的状态。加速度计应连接到所有输入通道。如果在仪器文件中规定的常规工作模式配置中不需要的仪器连接装置,则在静电放电试验中不应连接电缆。应记录试验时仪器的配置。

不对凹进连接器或测振仪表面的电接线插脚进行静电电压放电。

应通过接触放电和空气放电两种方式,分别施加 10 次 7.4 规定电压和极性的静电放电。应对试验实验室认为是适用的振动计的任何一点施加放电,见 IEC 61000-4-2。这些点应限定为在正常使用过程中易受影响的那些点。如果使用者需要接近振动计内的一些点,试验就应包括这些点,除非仪器文件规定在进入仪器内部的过程中应预防由静电放电造成仪器的损坏。

在重复施加放电以前,应保证完全消除了放电对被测仪器造成的所有影响。

振动测量仪器设置为参考测量量程,接触放电和空气放电的电压应是最大正电压和最大负电压。

放电后,振动测量仪器应恢复到放电前相同的工作状态。放电后不应改变放电前仪器储存的任何数据。施加放电时允许仪器性能发生非实质性的变化。

#### 12.20.7 射频发射和公共电源干扰

在 7.5 规定的频率范围内,用准峰值检波器测量射频场强发射级(dB,以  $1 \mu\text{V}/\text{m}$  为参考)。测量接收器、天线和试验程序应符合 CISPR 22:2003 中第 10 章的规定。所有的发射级应符合 7.5 规定的要求。应记录试验时的主要环境条件。振动计进行射频发射试验时,应使用优选电源供电,并按仪器文件规定设置为产生最强射频发射的模式工作。

所有用来固定测振仪位置的工作夹具和配件的设计都应使对仪器射频发射测量的影响可忽略不计。

首先将振动计置于参考方位,测量 7.5 中规定频率范围内的射频发射级。用合适电缆连接的加速度计放置在仪器箱上方,高度约 250 mm 的中心位置。如果电缆长度大于 250 mm,则应将其折叠成 8 字形均等长度的偶数折,并在折线的尾端和其中中心处将所有部分固定在一起。

当保持本章中规定的加速度计-电缆-仪器-箱的排列方式时,至少应在另一个平面上测量射频发射级。其他平面应与参考方位的主平面近似垂直,并在用以测量射频发射级的系统确定的范围内。

如果振动计有准许带接口附件或连接电缆的任何连接装置,则应该连同连接到所有可用到的连接装置的电缆进行射频发射级的测量。电缆应采用仪器文件推荐的长度。电缆端不应空置,而且应按照

CISPR 22:2003 中 8.1 的描述进行排列,除非振动计制造商也提供了通过电缆可与振动计连接的装置,在这种情况下,应将所有装置连接在一起进行射频发射级的测量。

对相同的连接装置可以有几种连接方式的情况,应用仪器文件中规定产生最大射频发射级的配置测量射频发射级。可以在仪器文件中以相应配置的表格形式,提出包括具有相同或较小射频发射级的其他配置,如果被测的设备配置完全符合 7.5 的规定,将不需要做另外的试验。

对于用公共电源供电的振动计,对公共电源的干扰应按照 CISPR 22:2003 第 9 章描述的方法进行测量,并应符合 7.5 的要求和表 12 给出的传导干扰的限值。

#### 12.20.8 对工频场和射频场的抗扰度

对工频场和射频场抗扰度的试验,仪器应由优选电源供电,并处于工作状态。

任何振动计对工频场和射频场的抗扰度,应通过振动传感器与人体振动计相连接来验证。机械振动施加到振动传感器。该振动应是参考频率正弦振动。在没有施加工频场和射频场的情况下,该试验信号的带限时间平均振动值应符合表 16 给出的数据。如果提供了多个测量量程,应在下限最接近但不超过表 16 所给数据的测量量程上显示振动值。

表 16 对工频场和射频场的抗扰度试验值

应用	振动信号值/ ( $\text{m/s}^2$ )	测量量程下限的最大值/ ( $\text{m/s}^2$ )
手臂振动	2	1
全身	0.2	0.1
低频全身	0.2	0.1

应以不干扰工频场和射频场的方式,对加速度计施加振动信号。而且这种施加振动信号的方法应不干扰振动计的正常工作,或不干扰仪器对工频场和射频场的敏感度。

当施加工频场或射频场时,振动示值的变化应不超过 $\pm 10\%$ 。

对于带有交流输入电源口或交流输出电源口的仪器,应在 0.15 MHz~80 MHz 频率范围内对射频共模干扰的抗扰度进行验证。由测量所用的参考频率正弦信号对射频场进行 80% 的幅值调制。未进行调制时,从 150  $\Omega$  的信号源发射出的射频电压的均方根值为 10 V。根据 GB/T 17799.2—2003 表 4 的要求,电源快速瞬变的抗扰度试验应施加峰值电压为 2 kV 和重复频率为 5 kHz 的信号。对于电压暂降、电压中断和电压浪涌抗扰度的其他要求应按照 GB/T 17799.2—2003 表 4 的规定。

对于带信号和控制端口的仪器,当系统任一部分之间的连接电缆超过 3 m 时,按 GB/T 17799.2—2003 表 2 的要求,采用非调制时电压均方根值为 10 V,频率范围为 0.15 MHz~80 MHz,进行射频共模干扰的抗扰度试验。对公共电网系统快速瞬变的抗扰度指标应按照 GB/T 17799.2—2003 表 2 的要求,采用峰值电压 1 kV 和重复频率 5 kHz 的信号进行试验。

根据 IEC 61000-4-6,对于手持振动计,在规定的频率范围内进行共模射频干扰的抗扰度验证试验中,应将一只人造手放置在仪器周围。

仪器文件可以说明在小于表 16 给出振动示值上,测振仪满足对暴露于工频场和射频场的要求。在这种情况下,对所有小于表 16 给出的试验值直至所标明的较小振动值,振动计都应满足适用允差限。这一要求适用于全部规范的所有测量范围。仪器文件应规定较小值,并适用于仪器所有的工作模式。

#### 12.21 试验报告

应在试验报告中详细给出有关试验设置、试验仪器方位、试验条件和试验结果,包括相应的实际测量扩展不确定度的所有信息。试验报告应说明被检的整个仪器是否符合本标准的规范。

试验报告应包括 IEC 61000-4-3:2002 第 8 章规定的附加试验信息。在静电放电、工频场试验或射频场试验结束后,应在报告中给出所记录的所有性能降低、功能损坏或数据丢失的信息。

## 13 检定试验

### 13.1 概述

本章给出了振动测量仪器与本标准规范符合性检定所必需的试验细节和使用的试验方法。

在计入检测实验室实际测量的扩展不确定度后,偏离设计目标的测量结果如果完全位于规定的允差限内,则证明振动测量仪器检定符合本标准规范。

应依据 GUM 确定测量不确定度。由检测实验室计算实际的扩展不确定度,其包含因子不小于 2。

本章给出的测量扩展不确定度是用于在本章验证与本标准规范符合性的最大允许值。如果实际测量的扩展不确定度超过了最大允许值,则检测实验室不应进行验证与本标准符合性的试验。

本章中规定的试验不应省略,除非仪器不具备拟试验的功能,或者试验不合适。

当一次性(One-off)系统有限定的环境应用范围时,应对其作出说明。

如果不是另有规定,本章中描述的所有试验均适用于多通道测量仪的每一个通道。

### 13.2 试验要求

用于检定试验并影响试验结果不确定度的仪器应保持在有效的校准周期内,并可溯源到国家标准。

输入信号频率的偏差应在要求值的 $\pm 0.2\%$ 范围内。

机械输入信号幅值的偏差应在要求值的 $\pm 3\%$ 范围内。

试验时的主要环境条件应在以下范围内:

- 空气温度: $19\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 相对湿度: $\leq 90\%$ (无凝露)。

正弦机械振动试验输入的总失真度应不大于 $5\%$ 。

正弦电试验输入的总失真度应不大于 $0.1\%$ 。

### 13.3 提交试验的物品

推荐与振动仪器一起使用的某一型号的振动传感器应随振动测量仪器一起提供。

如果其他振动传感器与提供试验的传感器技术指标类似,不同于提供验证试验的其他振动传感器可以与振动仪器一起使用。

### 13.4 振动计标识和仪器文件信息

应确认按照第 9 章的规范对仪器作了标识。

在进行任何试验之前,应确认仪器文件中包含第 10 章要求的所有信息,且这些信息适用于振动计具有的功能。完成所有试验后,应该对信息进行审查,以保证其正确性和在合适的允差限内。

### 13.5 强制性功能和一般要求

应确认振动计满足 5.1 的要求。

对于具有多个测量量程的仪器,应确认其重叠的测量量程符合 5.7 的技术要求。

应确认仪器的显示功能满足 5.2 的技术要求。

若仪器文件中规定使用特殊型号和类型的电池,则应使用这种电池。

对于检定试验,应确认振动计至少有一个带限计权滤波器。

若仪器不满足本条列出的要求,就不应进行验证仪器符合本标准性能规范的试验。

### 13.6 仪器试验前准备

进行试验前,应为仪器提供在制造商规定的工作极限内的电源。应对仪器、传感器和振动校准器机械外观检查,并机械所有控制操作的检查,以保证它们处于正常状态。

应按照仪器文件中给定的程序设置仪器校准核查频率点的振动灵敏度。在参考环境条件下,应该使用 5.4 要求的和仪器文件中规定的调整方法,将振动计的灵敏度调整到显示正确的振动值。

### 13.7 参考条件下参考频率点的示值

参考频率点的参考加速度示值的误差,用同一测量点上仪器显示的振动值与经合适方法校准过的

参考振动传感器测得的对应振动值之间的偏差确定。

试验测量值  $a_{\text{test}}$  的误差  $\epsilon$  可以用参考振动传感器测量值  $a_{\text{ref}}$  的百分比表示,见公式(15)。

在使用振动计测量振动幅值之前,应使用参考振动传感器测量在参考振动幅值和参考频率下产生的机械振动输入值。在进行这些测量的过程中,应将振动计设置到参考测量量程、带限频率计权、线性时间平均,测量时间的设置对于手臂振动、全身振动及低频全身振动分别不小于 30 s、1 min 和 5 min。输入信号值加上本底噪声应至少为本底噪声值的 10 倍。

应通过三次测量获得示值误差的最小值。对于每一次测量,在记录示值以前,应允许仪器有不小于仪器文件中规定的稳定时间,以使仪器达到与常规环境条件平衡。三次测量中最大值与最小值之间的偏差应不大于 3%。

测量的示值误差的算术平均值应在表 2 给出的适用允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于每一个给定的频率计权,应对电输入装置施加相应参考频率的稳定正弦电信号用带限频率计权,将输入信号调整到在参考测量量程显示参考振动值,频率计权的振动示值等于带限计权的振动示值与合适的计权因子(见表 1)的乘积,其示值应在表 2 允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于提供时间计权的仪器,应对电输入装置施加参考频率的稳定正弦电信号。振动测量仪器设置为带限频率计权,将输入信号的幅值调整到在参考测量量程显示参考振动值。用相同的输入信号,在每一个时间计权上的振动示值都应等于参考振动示值,并在表 2 允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

### 13.8 电串扰

对于多通道的测量仪器(如三轴向测量仪),应进行通道间电串扰试验。

所有通道都应设置为参考测量量程。应依次向每一个通道输入参考频率电信号。试验信号的幅值应在参考量程上端的 5 dB 内。在试验过程中,应该对所有通道的输出进行监测。

所有通道的输出不应超出 5.16 中的要求。

### 13.9 幅值线性度和欠量程指示

应在参考频率点用稳定的正弦电信号进行仪器幅值线性度的试验。测量幅值线性度时,仪器应设置为带限频率计权的时间平均测量方式。

对指定的电输入装置应施加信号,开始幅值线性度试验。应将输入信号调整到振动计在参考测量量程内显示参考振动示值。

任一测量量程内幅值线性度试验的起始点应是参考振动值与标称衰减系数的乘积值,该衰减系数是由相对于参考测量量程设置的测量量程控制器所确定。

在参考测量量程内和参考频率点,试验频率的输入信号值应以表 14 规定的增量,从该测量量程规定的下限开始递增,直到显示第一次过载。然后该信号值应从引起第一次过载显示开始,以表 14 规定的增量减小,直到规定的测量量程下限。对于每一个输入信号值,都应将仪器显示设备的示值和输入信号值记录下来。

对于每一个参考频率点的输入信号值,从规定的参考测量量程的下限直到显示第一次过载,幅值线性度偏差应在 5.7 适用的允差限内。参考测量量程的参考频率线性工作范围应满足 5.7 对规定的上限和下限标称振动幅值间的线性工作范围的要求。在参考频率点的电频率计权值与在参考测量量程上参考振动幅值的示值是一致的。最大测量扩展不确定度为 2%。

在完成参考测量量程试验后,应附加进行最高和最低测量量程的幅值线性度试验。对于每一个测量量程,试验应在规定的参考频率点,并以表 14 中规定的增量,从低于测量量程下限的起始点直到测量量程的上限进行试验。

在每一个被测的附加测量量程,当在仪器文件规定的整个线性工作范围和直到出现第一次过载显示时,幅值线性度误差都应在 5.7 适用的允差限内。最大测量扩展不确定度为 2%。

对于测量时间计权振动值且线性工作范围大于显示器显示范围的仪器,在输入信号超过显示器显

示范围上限时,可以使用纯音猝发音测量幅值线性度。

对于具有时间平均功能且线性工作范围大于显示器显示范围的振动计,超过显示范围上限的线性度误差可以使用从稳定的输入信号中提取的纯音猝发音来测量。对于手臂振动,纯音猝发音的持续时间应不小于 30 s;全身振动应不小于 5 min(该试验方法对低频全身振动不适用)。积分时间应大于纯音猝发音的持续时间。

对于每一个测量量程的每一个试验频率,当显示的信号值大于或等于规定的测量量程下限时,欠量程指示器应不显示。在每一个测量量程和每一个试验频率点,当信号值比规定的测量量程下限低 1 dB 时,欠量程指示器应有显示。

### 13.10 频率计权和频率响应

#### 13.10.1 概述

在此描述的评价频率计权和频率响应特性的程序是假设振动测量仪器没有电输出端。如果有电输出端并用于试验,应做一些初步试验以确定仪器显示的频率计权振动值与输出端的电压值之间的对应关系。在任何频率计权试验中不考虑线性度误差。

对于振动测量仪器提供的每一种频率计权应用(手臂、全身和低频全身),应选择一种频率计权方式进行正弦机械信号和电信号两种试验。其他频率计权应采用机械或电信号进行试验。

频率计权和频率响应试验应在参考测量量程进行。而当实验室认为测量量程控制器的调节可能会影响仪器与规定的频率计权或频率响应符合性能力时,则应做附加试验。所有测量应在线性度误差满足 5.7 给定允差限的测量量程进行。

频率响应试验应在表 15 规定的频率范围,以不大于倍频程的频率间隔进行试验。

注:频率计权的相位频率响应试验方法由附录 H 给出。

#### 13.10.2 频率响应的机械试验

振动仪器的机械频率响应应通过与校准过的实验室参考振动加速度计测得的非计权加速度值的比较来确定。频率响应误差应该是振动测量仪器的频率计权加速度示值减去实验室参考传感器测得的振动值与合适的频率计权因子的乘积。加速度计校准时应按照 GB/T 20485.21—2007 的要求进行安装。

应在参考频率点调整输入的机械振动,使试验仪器在规定的线性范围下限以上 20 dB 产生非计权振动示值。该输入信号的非计权加速度值  $a_{in}$  应被用作后续试验的参考输入值。

应在每个试验频率点调整输入信号,由实验室参考振动传感器测量给出相同的输入振动值  $a_{in}$ 。在表 15 中对机械试验规定的每一个试验频率点,都应记录输入振动加速度值和振动仪器的示值  $a_{ind}$ 。

在频率  $f$  处的频率响应误差  $\epsilon(f)$  由公式(16)给出。

当在不同频率点产生恒定振动值时,应考虑实验室参考振动传感器的频率响应。

如果不能在整个频率范围内保持恒定的振动值,对于实验室参考振动传感器在试验频率和参考频率下所测得的振动值之间的偏差,应根据需要修正仪器显示的信号值。对于试验频率示值与参考频率示值之间存在非线性时,应根据需要修正仪器显示的信号值。

对于在合适的标称频率范围内的所有频率点,最大测量扩展不确定度为 5%。

附录 F 给出了应与仪器一起提供的安装系统的试验信息。

#### 13.10.3 频率响应的电试验

正弦电信号施加到仪器的电输入端。

应在参考频率  $f_{ref}$  处对输入的电信号进行调整,以使试验仪器在规定的线性范围下限以上 20 dB 产生带限振动示值。该输入信号的频率计权示值  $a_{ind}$  应被用作后续试验的参考值。

在每个试验频率,应将输入信号的均方根值  $u_{in}$  调整到与频率计权示值  $a_{ind}$  相同的示值。在表 15 中对电试验规定的每一个试验频率,都应记录输入信号值与振动仪器的示值。

在频率  $f$  处电单元频率响应误差  $\epsilon_e(f)$  由公式(19)给出。

在任一频率点,输入信号加上仪器噪声的均方根值应至少为仪器噪声均方根值的 10 倍。

如果在整个频率范围内不能保持相同的振动示值,对于在试验频率和参考频率输入电信号的振动值之间存在的偏差,应根据需要对仪器的示值进行修正。对于试验频率示值与参考频率示值之间存在非线性误差时,也应根据需要对仪器的示值进行修正。

在合适的标称频率范围内的所有频率处,最大测量扩展不确定度为3%。

#### 13.10.4 符合性

对于那些采用机械试验的频率计权试验,通过试验可直接给出频率计权误差,即公式(16)中的 $\epsilon(f)$ 。对于仅使用电试验的频率计权试验,则总频率计权误差必须计入振动传感器的频率响应误差 $\epsilon_i(f)$ 。 $\epsilon_i(f)$ 值是通过从频率计权的机械试验的结果 $\epsilon(f)$ 中减去偏差 $\epsilon_e(f)$ 得出的。

例:仪器有两种全身计权方式: $w_d$ 和 $w_k$ 。选择 $w_d$ 进行机械和电两种频率响应试验。由 $w_d$ 的机械和电试验结果之间的偏差给出振动传感器的响应。该振动传感器的响应加到 $w_k$ 的电响应上,给出仪器 $w_k$ 的总频率响应。

对于所有可用的频率计权方式,仪器的总频率响应误差应在5.6规定的适用允差限内。在适用的标称频率范围内的所有频率,最大测量扩展不确定度为5%。

其他可供选择的频率响应应按照仪器文件规定的设计指标和允差限进行检定。

#### 13.11 仪器噪声

将仪器的振动传感器安装在一个不会明显增大振动示值的无振动物体上,由十次测量的算术平均值确定仪器噪声的典型值。对于时间平均振动应进行此项试验。对于时间平均人体振动,应说明平均时间。手臂振动平均时间应至少1 min,全身振动至少5 min,低频全身振动至少30 min。

#### 13.12 信号猝发音响应

仪器设置为参考测量量程和适用的带限计权,施加表6规定频率的连续锯齿波电信号,并调整信号值以获得在给定线性工作范围上限50%处的示值。然后对所有适用的频率计权和时间计权施加表6规定的8个周期的猝发音信号。

锯齿波信号的下降时间应不大于 $1/(5f_2)$ ,其中 $f_2$ 为表3定义的适用频率计权带限组成的上限频率。

当产生锯齿波时,可能会引起高频切换瞬变。为避免由此影响试验,在信号发生器与被测仪器间连接一阶低通滤波器可能是必要的。该滤波器的截止频率应足够高(如 $100f_2$ ),以避免对试验结果产生影响。

应以100倍率递减稳定的输入信号,直到输入信号值给出比仪器规定的线性工作范围下限至少大3倍的示值,重复进行信号猝发音响应的测量。

根据实际应用情况,与输入信号的振动幅值有关的信号猝发音响应振动示值应符合表7~表9的规定。信号猝发音响应的误差应在表7~表9给定的允差限内。最大测量扩展不确定度为3%。

#### 13.13 过载指示

施加参考频率正、负半周的正弦电信号进行过载指示试验,仪器设置为带限频率计权和参考测量量程,并使用正半周信号,增加信号直到出现第一个过载指示。用负半周信号重复以上操作。在每一种情况下,都应引起第一个过载指示的最小输入信号值记录下来。引起第一次过载指示的两个输入信号的差应不超过5.10给定的允差限。最大测量扩展不确定度为2%。

注:除了在本章中规定的频率点所要求的试验外,还可以在实验室所选择的其他频率点进行过载指示试验。

在输入信号大于引起过载指示的最小输入信号值直到仪器文件给定的最大输入信号值,过载指示都应工作。

在测量时间平均振动值或最大振动值时,按照5.10的规定,一旦发生过载,过载指示就应处于锁定状态。而当使用振动测量仪器测量时间计权振动幅值时,应按5.10的规定指示过载。

#### 13.14 复位

如有复位功能,应确认复位操作能删除先前显示的示值,并且其操作不会引起任何显示设备上出现虚假示值。

### 13.15 组合轴的输出

当显示组合轴输出(总振动值)时,本试验保证多轴向输入的组合是按照适用的测量标准进行的。

应将仪器设置到参考测量量程。依次对每一个轴输入参考振动值时的电输入信号。每一个轴的示值都应记录下来,并用以根据相应的国际标准(ISO 5349-1, GB/T 13441.1—2007, GB/T 13441.2—2008 和 ISO 2631-4)计算组合轴的结果。然后,应同时向三个输入通道施加输入信号,组合轴的示值应等于计算结果,其偏差在 $\pm 3\%$ 以内。

将一个通道上的信号反接(即 $180^\circ$ 倒相)。信号倒相后示值的变化量应不大于 $2\%$ 。

对于全身振动,用于 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴的计权和用于合成单轴向数据的乘积系数 $k$ 值均取决于应用(如健康、舒适和感知)。应采用 GB/T 13441.1—2007 来确定期望的输出。

### 13.16 试验报告

应在试验报告中详细给出有关试验设置、试验条件和试验结果,包括相应的实际测量扩展不确定度的所有信息。试验报告应说明被检的整个仪器已按本标准的规范通过检定,或者没有通过检定。

## 14 现场检查

### 14.1 概述

现场检查用于在一次测量或一系列测量之前和之后进行的现场试验。其作用是对仪器的基本校准和功能性的检查。

仪器文件中应包括常规现场检查的操作指南。

### 14.2 初始检查

仪器文件应规定外观检查,以确认仪器的物理完整性,该检查应包括以下内容:

- 加速度计、电缆和仪器外壳的外观应无明显物理损坏痕迹;
- 加速度计、电缆和仪器间的连接,以及振动仪器部件间的其他连接都应是可靠的。

### 14.3 振动灵敏度(现场校准)

仪器文件应规定振动灵敏度的现场检查。检查应包括以下内容:

- 使用规定的振动校准器,在参考测量量程上的参考振动值和校准检验频率点,对振动仪器的机械振动灵敏度进行检查的程序。
- 在正常使用时,可能产生的振动灵敏度最大变化示值(即振动灵敏度调整的预期范围;当调整超过该范围时,可能出现仪器故障的显示)。
- 记录现场校准结果的推荐程序;它应包括试验日期和时间、测振仪和现场校准器的设置、初始灵敏度和对灵敏度调整的详细信息。

附 录 A  
(规范性附录)  
振动现场校准器规范

A.1 概述

振动现场校准器提供产生具有规定特征的机械振动。这个振动可提供给振动传感器进行振动灵敏度现场检查。

机械校准器应有一个安装振动传感器的耦合平面(振动台面)。

A.2 技术要求

现场机械校准器应满足下列要求：

振动矢量方向	相对于耦合平面的法线
横向轴/横向振动	在规定的有效负载范围内<10%
空间定位	任意
预热时间	从开机到符合制造厂和本标准规定要求之间的时间<10 s
频率	校准器应工作在表 A.1 给出的一个或多个频率点,也可以提供其他频率
幅值	见表 A.1,也可提供其他振动幅值
负载能力,允许质量	足以承载被校振动传感器(如果适用,包含连接件),但是不小于 70 g(使用标准传感器检定所需的质量)。应在仪器文件中指出最小和最大负载能力
总失真	在规定的负载范围内<5%
台面的平面度	通常是平坦的,以使测量不受基座应变影响,失真度在允差范围内
(带内螺纹的)安装孔	90°±1°
在任何方向靠近振动传感器的 交变磁场强度	<1 mT
电磁兼容	按照 IEC 61000-4-3 规定的试验水平 2 级
防尘、防水保护等级	根据应用情况,必须在仪器文件中给出
温度范围	0℃~40℃
相对湿度范围	10%~90%,无凝露

随现场校准器提供的技术数据(以校准证书或者仪器文件的形式)应列出校准器可选频率和幅值所有组合的计权加速度(振动计的所有适用模式)的预期读数。

表 A.1 现场机械校准器的优选值和误差限

特性	测量类型			
	手臂		全身	低频全身
频率	500 rad/s±0.5% (79.577 Hz)	1 000 rad/s±0.5% (159.155 Hz)	100 rad/s±0.5% (15.915 Hz)	2.5 rad/s±0.5% <sup>a</sup> (0.397 9 Hz)
均方根加速度	10 m/s <sup>2</sup> ±3%	10 m/s <sup>2</sup> ±3%	1 m/s <sup>2</sup> ±3%	0.1 m/s <sup>2</sup> ±5%
<sup>a</sup> 现场校准器通常不适用于如此低的频率,拾振器的校准标准目前还不能提供在该频率点的有效校准方法。为了进行低频全身振动可靠的测量,在测量的频率范围内的某个频率点进行校准检查是必要的。另一种办法是进行静态加速度检查(即传感器倒置提供 2 g 的加速度变化)或者在比测量范围高得多的频率点进行测试。但是这两种选择都不理想。				



### A.3 型式评价和检定试验

现场校准器(包括现场使用的便携式校准器)的型式评价和检定应基于与 GB/T 20485.21—2007 范围内的参考振动传感器比较试验的方法进行验证。

试验方法采用与直接安装在现场校准器耦合面上的参考传感器比较。测量校准器产生的加速度均方根值和频率。应确认现场校准器产生表 A.1 给出相关应用频率和幅值的振动信号。根据 GB/T 20485.21—2007 附录 A 计算的测量扩展不确定度。

**附 录 B**  
(资料性附录)  
**频 率 计 权**

表 B.1~表 B.9 给出和图 B.1~图 B.18 表示的频率计权值和允差值是由表 3、表 4、表 5 和公式(8)~公式(12) 所定义的设计目标计算得到。

表中给出的频率计权值是基于准确的  $1/3$  倍频程中心频率  $f_c$ 。

$$f_c(n) = 10^{n/10} \text{ Hz} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

$n$ ——根据 IEC 61260 给出的频带指数。

中心频率按 IEC 61260 规定,使用  $\log_{10}$  计算  $1/3$  倍频程中心频率。

给出的标称中心频率通常仅仅被用作描述各个频带,当把频率计权因子用于  $1/3$  倍频程频带数据时,总是使用准确中心频率的计权因子。

注 1: 一些测量标准已经根据标称的中心频率将频率计权制成表格。在本标准中频率计权是基于实际的中心频率。

这样可能导致某些计权因子不同于那些测量标准。

本附录中以表格形式表示的计权滤波器是总频率计权(由公式 12 定义的),即表列的计权包括带限。给出的允差适用于带限和计权滤波器。

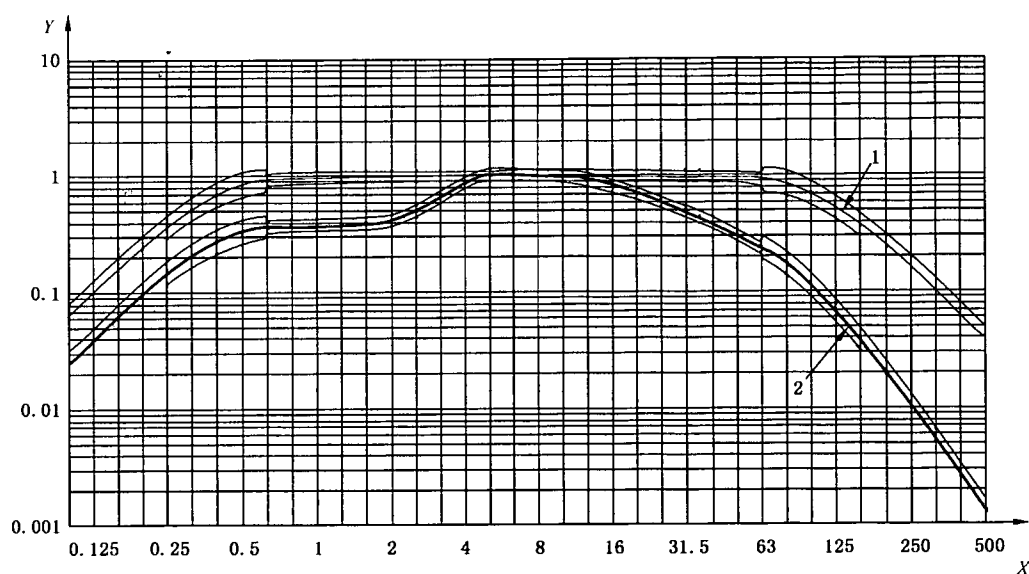
注 2: 对于本附录中的信息,计权因子、相位和准确的中心频率以四位有效数字表示,分贝计权级给出两位小数。这些表列值的准确度并不表示仪器所要求的准确度。

**表 B.1 频率计权  $W_b$ , 基于 ISO 2631-4, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人**

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_b$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.024 94	-32.06	160	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.039 41	-28.09	154.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.061 98	-24.15	147.4	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.096 45	-20.31	138.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.146 4	-16.69	126	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.211 3	-13.50	110.7	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.28	-11.06	93.14	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.334 7	-9.51	75.73	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.366 6	-8.72	60.94	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.380 8	-8.39	49.84	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	0.385 3	-8.29	42.42	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	0.386 4	-8.26	38.51	+12/-11	+1/-1	+6/-6

表 B.1 (续)

n	频率/Hz		带限			计权 $W_b$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\varphi$ / (°)
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	0.391 6	-8.14	38.27	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	0.416 8	-7.60	41.76	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	0.496	-6.09	46.57	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	0.665 3	-3.54	45.79	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	0.885	-1.06	34.64	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	1.026	0.22	17.75	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	1.054	0.46	1.77	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	1.026	0.23	-11.94	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	0.974 5	-0.22	-24.56	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	0.904 2	-0.87	-37.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	0.814 4	-1.78	-49.93	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	0.708 8	-2.99	-62.89	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	0.597 3	-4.48	-75.75	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	0.490 6	-6.18	-88.55	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.395	-8.07	-101.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.311 8	-10.12	-116	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.238 9	-12.44	-132.2	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.173 4	-15.22	-150.9	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.115 4	-18.75	-171.3	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.069 29	-23.19	-191.3	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.8	0.038 18	-28.36	-208.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.019 99	-33.98	-222.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.010 2	-39.82	-232.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.005 154	-45.76	-240.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.002 591	-51.73	-247.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



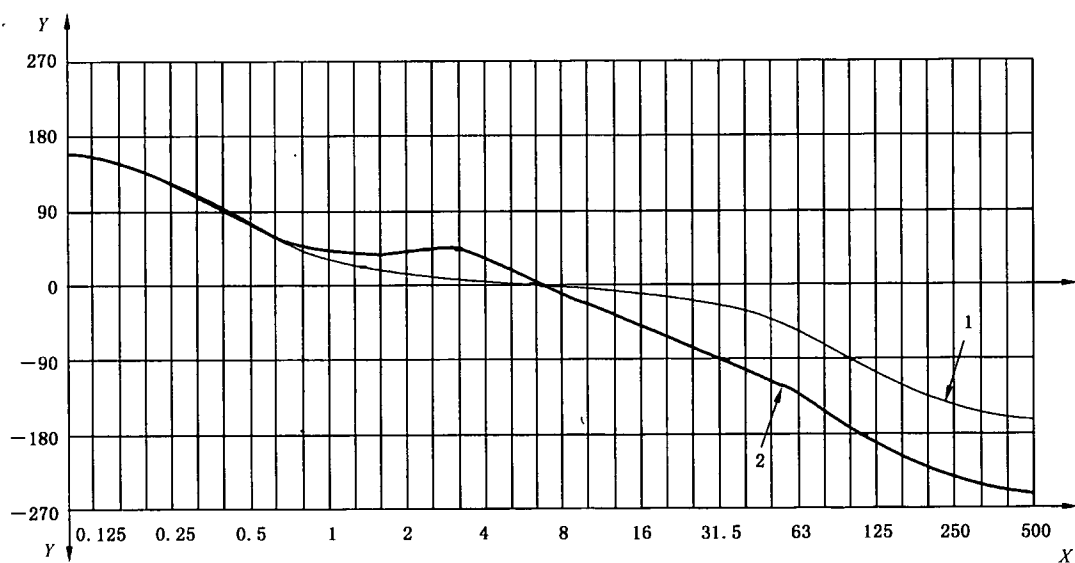
$X$ ——频率, Hz;

$Y$ ——加权因子;

1——带限;

2——加权。

图 B.1 频率加权  $W_b$  的幅值, 基于 ISO 2631-4, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人



$X$ ——频率, Hz;

$Y$ ——相位( $^{\circ}$ );

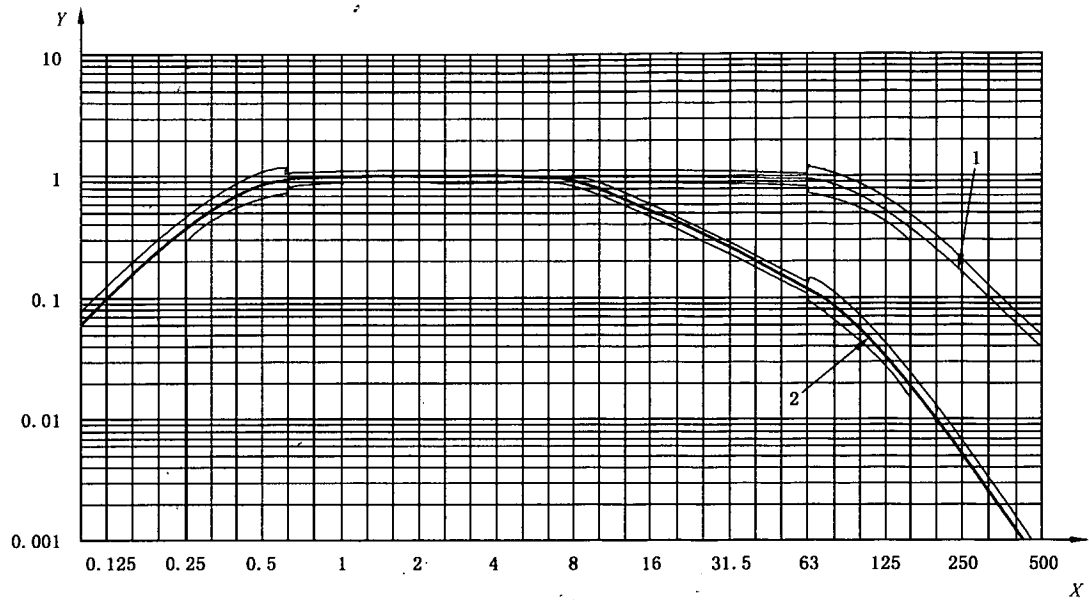
1——带限;

2——加权。

图 B.2 频率加权  $W_b$  的相位, 基于 ISO 2631-4, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人

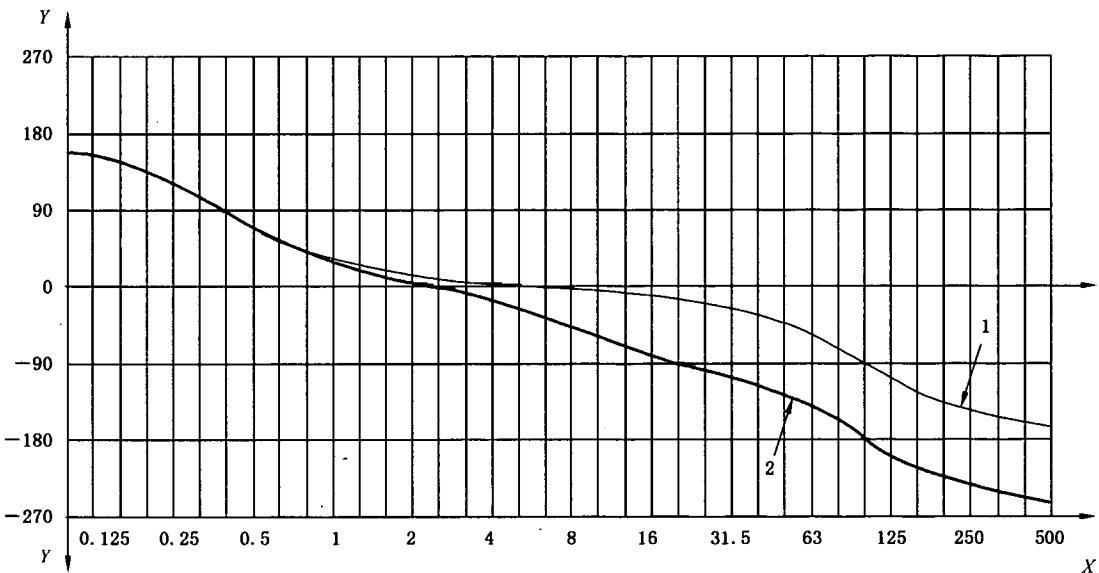
表 B.2 频率计权  $W_c$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于水平全身振动,  $x$  轴, 座椅-靠背, 坐姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_c$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.062 38	-24.10	158.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.098 58	-20.12	153.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.155 1	-16.19	145.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.241 5	-12.34	135.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.366 9	-8.71	123	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.530 2	-5.51	107	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.704 2	-3.05	88.38	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.844 2	-1.47	69.65	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.929 2	-0.64	53.11	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.971 6	-0.25	39.64	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	0.991	-0.08	28.88	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	1	0.00	20.11	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	1.006	0.06	12.66	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	1.012	0.10	5.957	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	1.017	0.15	-0.531 8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	1.023	0.19	-7.327	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	1.024	0.21	-15	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	1.013	0.11	-24.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	0.973 9	-0.23	-34.91	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	0.894 1	-0.97	-47.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	0.776 2	-2.20	-59.37	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	0.642 5	-3.84	-70.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	0.516 6	-5.74	-80.61	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	0.409 8	-7.75	-89.43	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	0.323 6	-9.80	-97.78	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	0.254 9	-11.87	-106.4	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.200 2	-13.97	-115.9	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.155 7	-16.15	-127.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.118 2	-18.55	-141.2	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.085 38	-21.37	-158	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.056 65	-24.94	-177	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.033 94	-29.39	-195.8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	8.46	-123.8	0.018 68	-34.57	-212.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.009 772	-40.20	-225.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.004 987	-46.04	-235	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.002 518	-51.98	-242.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.001 266	-57.95	-248.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



X——频率, Hz;  
Y——计权因子;  
1——带限;  
2——计权。

图 B.3 频率计权  $W_c$  的幅值, 基于 GB/T 13441.1, 用于水平向全身振动,  
 $x$  轴、座椅-靠背, 坐姿的人

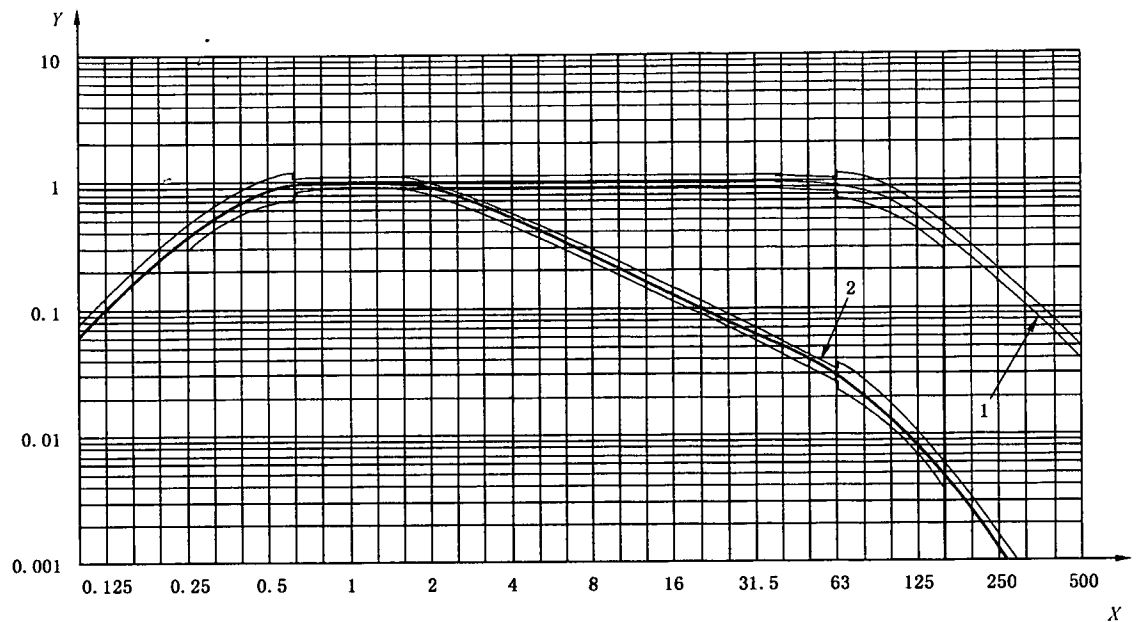


X——频率, Hz;  
Y——相位( $^{\circ}$ );  
1——带限;  
2——计权。

图 B.4 频率计权  $W_c$  的相位, 基于 GB/T 13441.1, 用于水平向全身振动,  
 $x$  轴、座椅-靠背, 坐姿的人

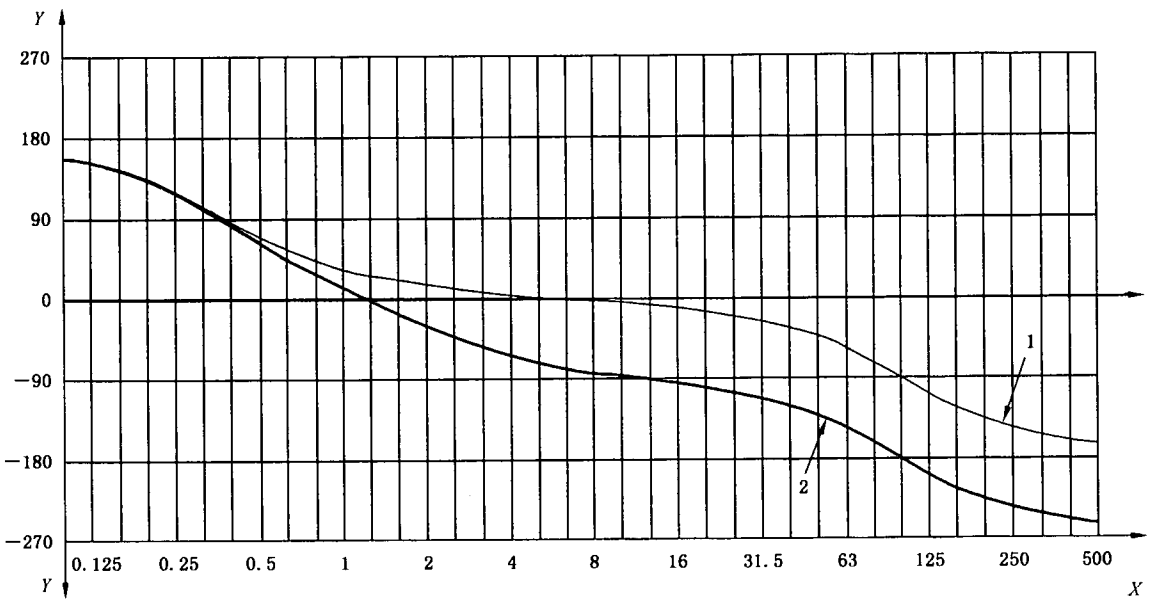
表 B.3 频率计权  $W_d$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于水平向全身振动,  $x$  轴或  $y$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_d$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi_0$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.062 42	-24.09	157.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.098 67	-20.12	151.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.155 3	-16.18	143.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.242	-12.32	133.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.368 2	-8.68	119.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.533	-5.47	102.8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.709 7	-2.98	83.11	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.854	-1.37	62.84	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.944 3	-0.50	44.21	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.991 4	-0.08	27.86	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	1.011	0.10	13.09	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	1.007	0.06	-1.131	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	0.970 7	-0.26	-15.55	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	0.891 3	-1.00	-30.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	0.773 3	-2.23	-43.71	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	0.639 8	-3.88	-55.44	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	0.514 3	-5.78	-64.89	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	0.408 1	-7.78	-72.34	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	0.322 6	-9.83	-78.34	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	0.255	-11.87	-83.39	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	0.201 7	-13.91	-87.9	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	0.159 7	-15.93	-92.2	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	0.126 6	-17.95	-96.59	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	0.100 4	-19.97	-101.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	0.0795 8	-21.98	-106.8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	0.062 99	-24.01	-113.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.049 65	-26.08	-121.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.038 72	-28.24	-131.4	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.029 46	-30.62	-144.4	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.021 3	-33.43	-160.6	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.014 14	-36.99	-179	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.008 478	-41.43	-197.4	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.8	0.004 668	-46.62	-213.4	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.002 442	-52.24	-266.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.001 246	-58.09	-235.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.000 629 3	-64.02	-243.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.000 316 4	-70.00	-249	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



X——频率, Hz;  
Y——计权因子;  
1——带限;  
2——计权。

图 B.5 频率计权  $W_d$  的幅值, 基于 GB/T 13441.1, 用于水平向全身振动,  $x$  轴或  $y$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人



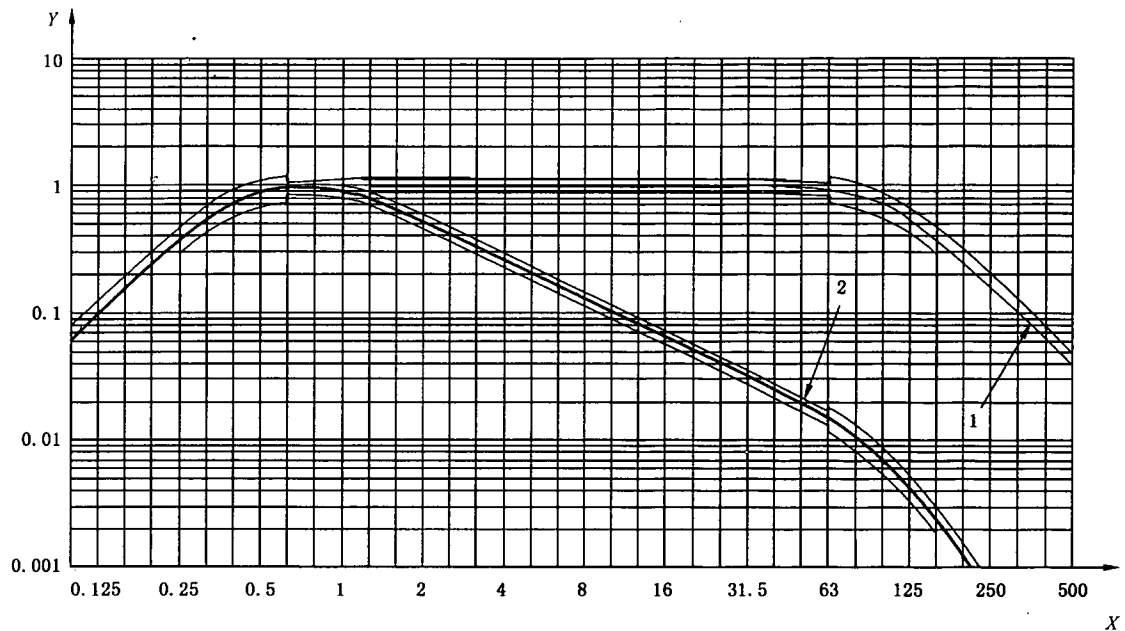
X——频率, Hz;  
Y——相位( $^{\circ}$ );  
1——带限;  
2——计权。

图 B.6 频率计权  $W_d$  的相位, 基于 GB/T 13441.1, 用于水平向全身振动,  $x$  轴或  $y$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人



表 B.4 频率计权  $W_c$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于旋转全身振动, 所有方向, 坐姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_c$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\varphi_0$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.062 52	-24.08	155.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.098 93	-20.09	149.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.156	-16.14	140.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.243 5	-12.27	129.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.371 5	-8.60	115.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.539 4	-5.36	96.68	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.719 8	-2.86	74.87	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.863 5	-1.27	51.65	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.938 9	-0.55	29.04	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.942 3	-0.52	7.786	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	0.879 8	-1.11	-11.85	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	0.768 3	-2.29	-29.24	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	0.637 2	-3.91	-43.67	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	0.512 7	-5.80	-55.05	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	0.407	-7.81	-63.83	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	0.321 8	-9.85	-70.66	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	0.254 3	-11.89	-76.11	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	0.201 2	-13.93	-80.61	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	0.159 4	-15.95	-84.51	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	0.126 3	-17.97	-88.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	0.100 2	-19.98	-91.49	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	0.079 54	-21.99	-94.99	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	0.063 14	-23.99	-98.77	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	0.050 11	-26.00	-103.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	0.039 75	-28.01	-108.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	0.031 47	-30.04	-114.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.024 81	-32.11	-122.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.019 35	-34.26	-132.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.014 73	-36.64	-145	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.010 65	-39.46	-161	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.007 071	-43.01	-179.3	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.004 239	-47.46	-179.7	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.8	0.002 334	-52.64	-213.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.001 221	-58.27	-226.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.000 623 2	-64.11	-236	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.000 314 7	-70.04	-243.4	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.000 158 2	-76.02	-249.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



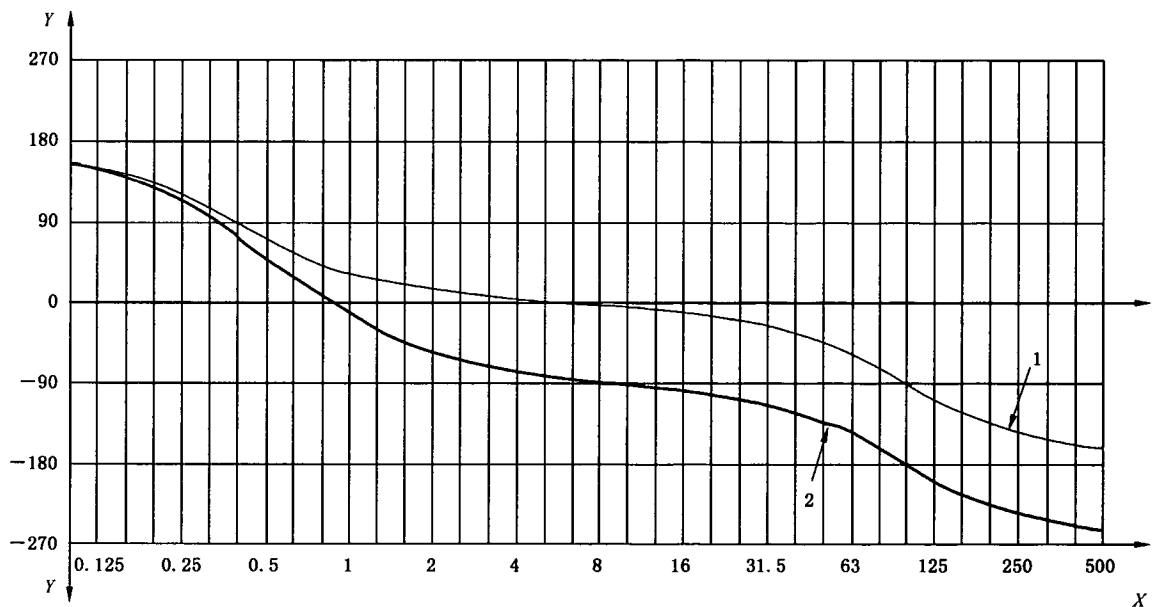
X——频率, Hz;

Y——计权因子;

1——带限;

2——计权。

图 B.7 频率计权  $W_b$  的幅值, 基于 GB/T 13441.1, 用于旋转全身振动, 所有方向, 坐姿的人



X——频率, Hz;

Y——相位( $^{\circ}$ );

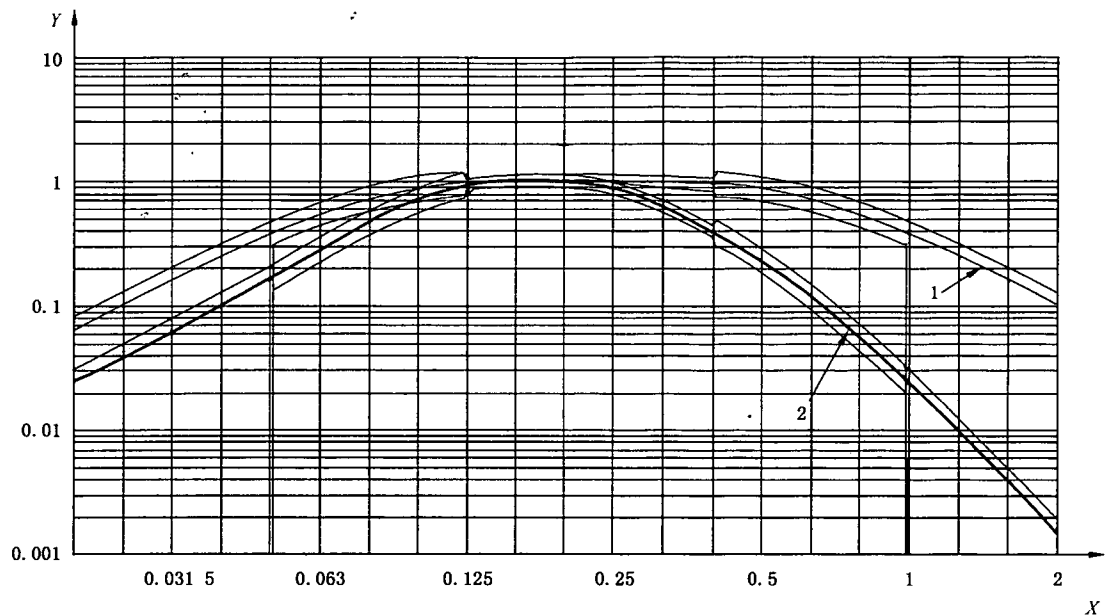
1——带限;

2——计权。

图 B.8 频率计权  $W_b$  的相位, 基于 GB/T 13441.1, 用于旋转全身振动, 所有方向, 坐姿的人

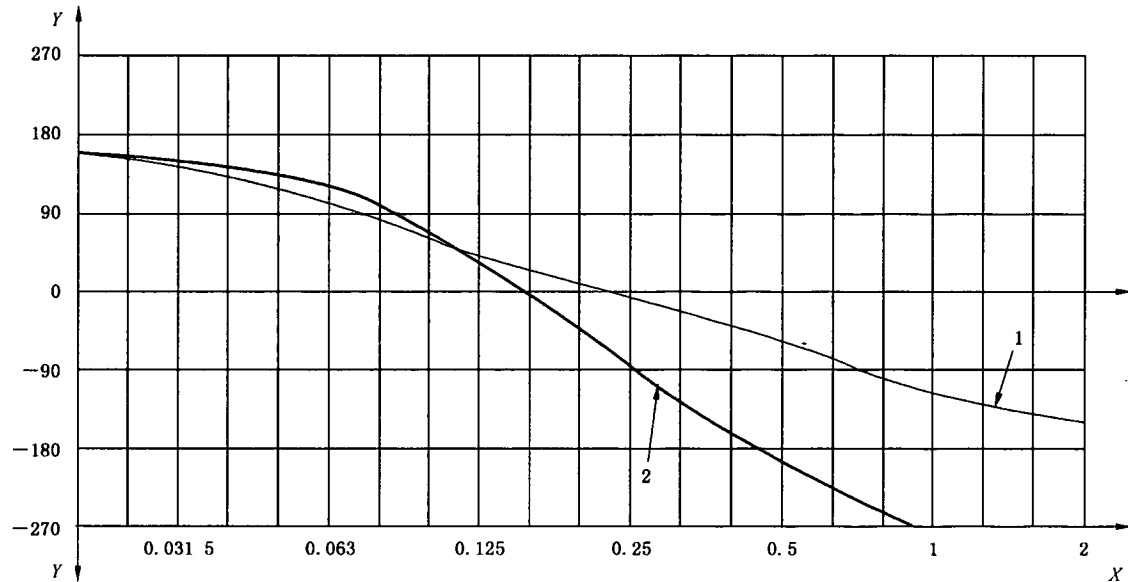
表 B.5 频率计权  $W_f$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于垂向全身振动,  $z$  轴, 运动病, 坐姿或立姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_f$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi$ / (°)
-17	0.02	0.019 95	0.062 08	-24.14	156.8	0.024 07	-32.37	160.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-16	0.025	0.025 12	0.098 11	-20.17	150.5	0.038 03	-28.40	156.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-15	0.031 5	0.031 62	0.154 4	-16.23	142.4	0.060 21	-24.41	150.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-14	0.04	0.039 81	0.240 4	-12.38	131.8	0.096 19	-20.34	143.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-13	0.05	0.050 12	0.365 3	-8.75	118	0.157 5	-16.06	134.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-12	0.063	0.063 1	0.528 2	-5.54	100.6	0.267 5	-11.45	121.4	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-11	0.08	0.079 43	0.702	-3.07	80.31	0.453 7	-6.86	99.53	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-10	0.1	0.1	0.842	-1.49	59.38	0.695 1	-3.16	68.36	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-9	0.125	0.125 9	0.926 5	-0.66	40.04	0.9	-0.92	32.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-8	0.16	0.158 5	0.967 1	-0.29	22.97	1.004	0.04	-5.596	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-7	0.2	0.199 5	0.982 4	-0.15	7.579	0.992 8	-0.06	-44.61	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-6	0.25	0.251 2	0.982 6	-0.15	-7.217	0.850 1	-1.41	-85.43	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-5	0.315	0.316 2	0.967 7	-0.29	-22.58	0.614 9	-4.22	-125.5	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-4	0.4	0.398 1	0.927 9	-0.65	-39.6	0.388 4	-8.22	-162.1	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-3	0.5	0.501 2	0.844 7	-1.47	-58.89	0.222 5	-13.05	-195.6	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.705 9	-3.02	-79.79	0.115 7	-18.73	-226.8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-1	0.8	0.794 3	0.532 4	-5.47	-100.1	0.054 34	-25.30	-254.6	+26/-21	+2/-2	+12/-12
0	1	1	0.368 9	-8.66	-117.6	0.02352	-32.57	-277.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
1	1.25	1.259	0.242 9	-12.29	-131.5	0.009 705	-40.26	-295.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
2	1.6	1.585	0.156 1	-16.13	-142.2	0.003 916	-48.14	-309.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
3	2	1.995	0.099 2	-20.07	-150.4	0.001 566	-56.11	-320.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



X——频率, Hz;  
Y——加权因子;  
1——带限;  
2——加权。

图 B.9 频率加权  $W_f$  幅值, 基于 GB/T 13441. 1, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 运动病, 坐姿或立姿的人

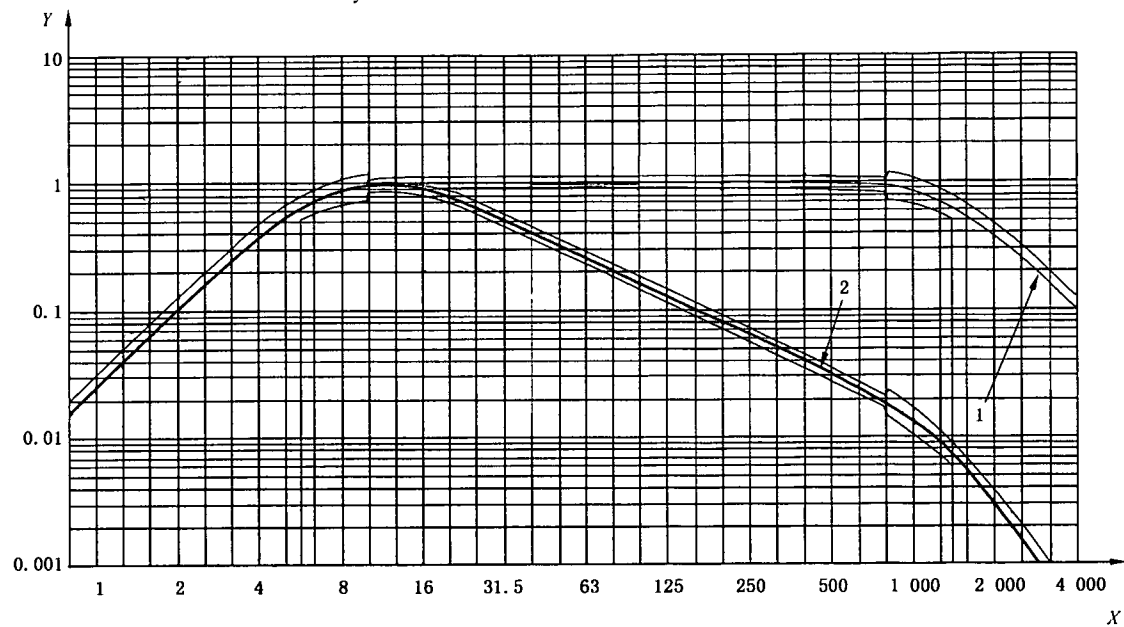


X——频率, Hz;  
Y——相位( $^{\circ}$ );  
1——带限;  
2——加权。

图 B.10 频率加权  $W_f$  相位, 基于 GB/T 13441. 1, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 运动病、坐姿或立姿的人

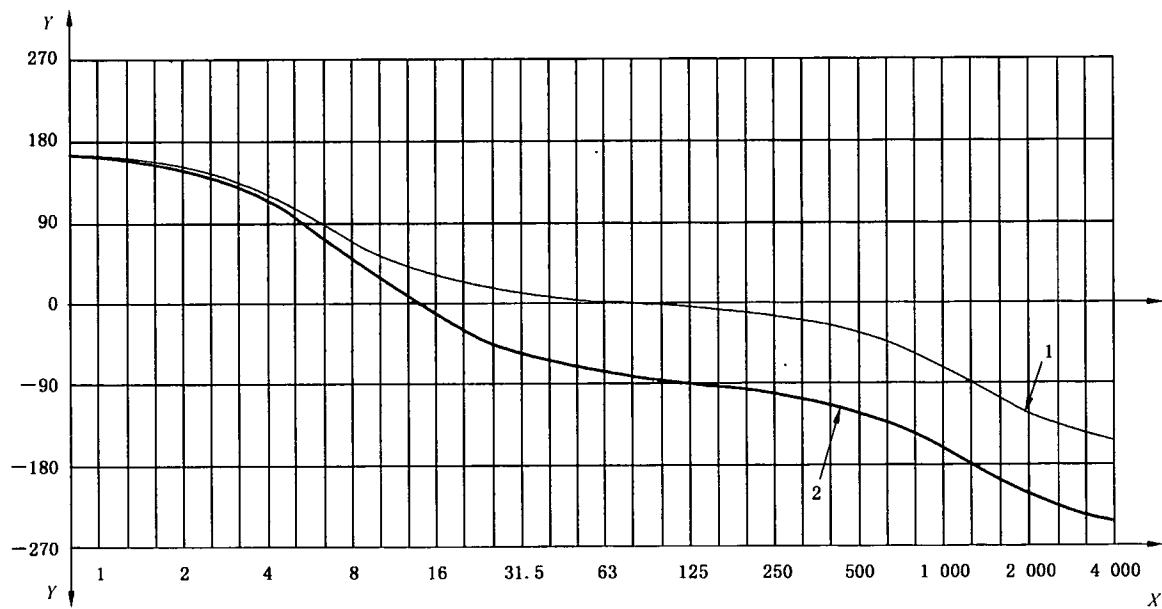
表 B.6 频率计权  $W_n$ , 基于 ISO 5349-1, 用于手臂振动, 所有方向

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_n$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi_0$ / (°)
-1	0.8	0.794 3	0.015 85	-36.00	169.7	0.015 86	-36.00	168.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
0	1	1	0.025 11	-32.00	167	0.025 14	-31.99	165	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
1	1.25	1.259	0.039 78	-28.01	163.5	0.039 85	-27.99	161	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
2	1.6	1.585	0.062 97	-24.02	159.1	0.063 14	-23.99	155.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
3	2	1.995	0.099 5	-20.04	153.4	0.099 92	-20.01	149.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
4	2.5	2.512	0.156 5	-16.11	146.1	0.157 6	-16.05	140.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
5	3.15	3.162	0.243 6	-12.27	136.4	0.246 1	-12.18	129.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
6	4	3.981	0.369 9	-8.64	123.7	0.375 4	-8.51	115.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
7	5	5.012	0.533 6	-5.46	107.9	0.545	-5.27	96.7	+26/-21	+2/-2	+12/-12
8	6.3	6.31	0.707 1	-3.01	89.59	0.727 2	-2.77	74.91	+26/-21	+2/-2	+12/-12
9	8	7.943	0.845 7	-1.46	71.3	0.873 1	-1.18	51.74	+26/-21	+2/-2	+12/-12
10	10	10	0.929 1	-0.64	55.36	0.951 4	-0.43	29.15	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.969 9	-0.27	42.62	0.957 6	-0.38	7.81	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.987 7	-0.11	32.76	0.895 8	-0.96	-12.05	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.995	-0.04	25.14	0.782	-2.14	-29.71	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	19.15	0.647 1	-3.78	-44.37	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.999 2	-0.01	14.34	0.519 2	-5.69	-55.89	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.999 7	0.00	10.38	0.411 1	-7.72	-64.78	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.999 9	0.00	7.027	0.324 4	-9.78	-71.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.999 9	0.00	4.065	0.256	-11.83	-77.27	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	1	0.00	1.33	0.202 4	-13.88	-81.94	+12/-11	+1/-1	+6/-6
20	100	100	1	0.00	-1.33	0.160 2	-15.91	-86.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
21	125	125.9	0.999 9	0.00	-4.065	0.127	-17.93	-89.92	+12/-11	+1/-1	+6/-6
22	160	158.5	0.999 9	0.00	-7.027	0.100 7	-19.94	-93.75	+12/-11	+1/-1	+6/-6
23	200	199.5	0.999 7	0.00	-10.38	0.079 88	-21.95	-97.8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
24	250	251.2	0.999 2	-0.01	-14.34	0.063 38	-23.96	-102.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
25	315	316.2	0.998	-0.02	-19.15	0.050 26	-25.97	-107.5	+12/-11	+1/-1	+6/-6
26	400	398.1	0.995	-0.04	-25.14	0.039 8	-28.00	-113.8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
27	500	501.2	0.987 7	-0.11	-32.76	0.031 37	-30.07	-121.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
28	630	631	0.969 9	-0.27	-42.62	0.024 47	-32.23	-131.8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
29	800	794.3	0.929 1	-0.64	-55.36	0.018 62	-34.60	-144.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
30	1 000	1 000	0.845 7	-1.46	-71.3	0.013 46	-37.42	-160.8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
31	1 250	1 259	0.707 1	-3.01	-89.59	0.008 94	-40.97	-179.2	+26/-21	+2/-2	+12/-12
32	1 600	1 585	0.533 6	-5.46	-107.9	0.005 359	-45.42	-197.5	+26/-21	+2/-2	+12/-12
33	2 000	1 995	0.369 9	-8.64	-123.7	0.002 95	-50.60	-213.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
34	2 500	2 512	0.243 6	-12.27	-136.4	0.001 544	-56.23	-226.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
35	3 150	3 162	0.156 5	-16.11	-146.1	0.000 787 8	-62.07	-235.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
36	4 000	3 981	0.099 5	-20.04	-153.4	0.000 397 8	-68.01	-243.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



$X$ ——频率, Hz;  
 $Y$ ——计权因子;  
1——带限;  
2——计权。

图 B.11 频率计权  $W_b$  的幅值, 基于 ISO 5349-1, 用于手臂振动, 所有方向

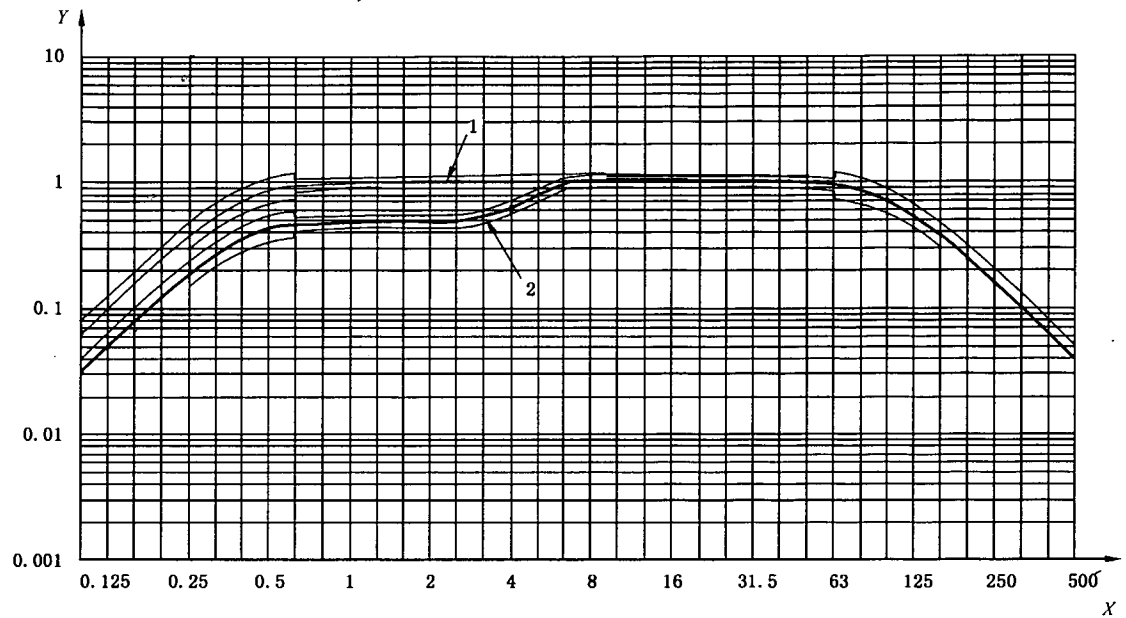


$X$ ——频率, Hz;  
 $Y$ ——相位( $^\circ$ );  
1——带限;  
2——计权。

图 B.12 频率计权  $W_b$  的相位, 基于 ISO 5349-1, 用于手臂振动, 所有方向

表 B.7 频率计权  $W_j$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于垂向头振动,  $x$  轴, 卧姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_j$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\phi$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.030 99	-30.18	159.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.048 97	-26.20	154.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.077 03	-22.27	147	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.119 9	-18.42	137.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.182 1	-14.79	125.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.263	-11.60	109.9	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.348 9	-9.15	92.06	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.417 6	-7.58	74.31	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.458 5	-6.77	59.02	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.477 6	-6.42	47.18	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	0.484 4	-6.30	38.57	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	0.485 1	-6.28	32.71	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	0.483 2	-6.32	29.31	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	0.481 9	-6.34	28.42	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	0.488 9	-6.22	30.41	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	0.524 6	-5.60	35.14	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	0.625 1	-4.08	39.31	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	0.794 8	-1.99	36.78	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	0.947	-0.47	27.42	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	1.016	0.14	17.07	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	1.03	0.26	8.688	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	1.026	0.22	2.043	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	1.019	0.16	-3.729	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	1.012	0.10	-9.33	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	1.006	0.06	-15.31	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	1	0.00	-22.16	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.991 1	-0.08	-30.43	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.972	-0.25	-40.78	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.930 4	-0.63	-53.9	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.846 5	-1.45	-70.15	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.707 5	-3.01	-88.68	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.533 8	-5.45	-107.1	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.8	0.37	-8.64	-123.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.243 7	-12.26	-135.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.156 5	-16.11	-145.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.099 51	-20.04	-153.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.062 97	-24.02	-158.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



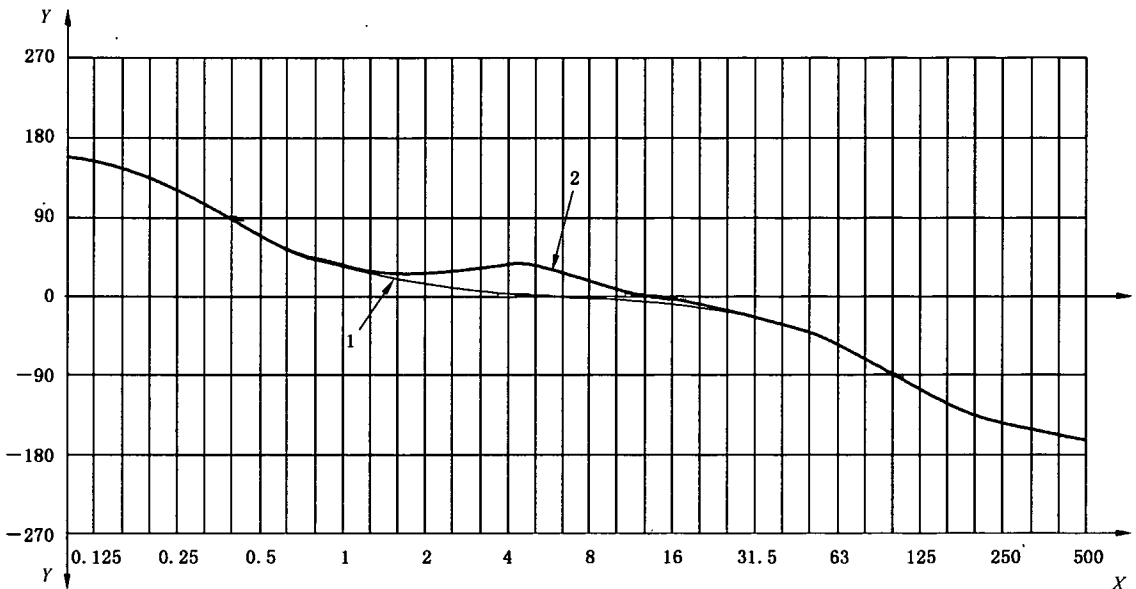
X——频率, Hz;

Y——计权因子;

1——带限;

2——计权。

图 B.13 频率计权  $W_j$  的幅值, 基于 GB/T 13441.1, 用于垂直向头部振动,  $x$  轴, 卧姿的人



X——频率, Hz;

Y——相位( $^{\circ}$ );

1——带限;

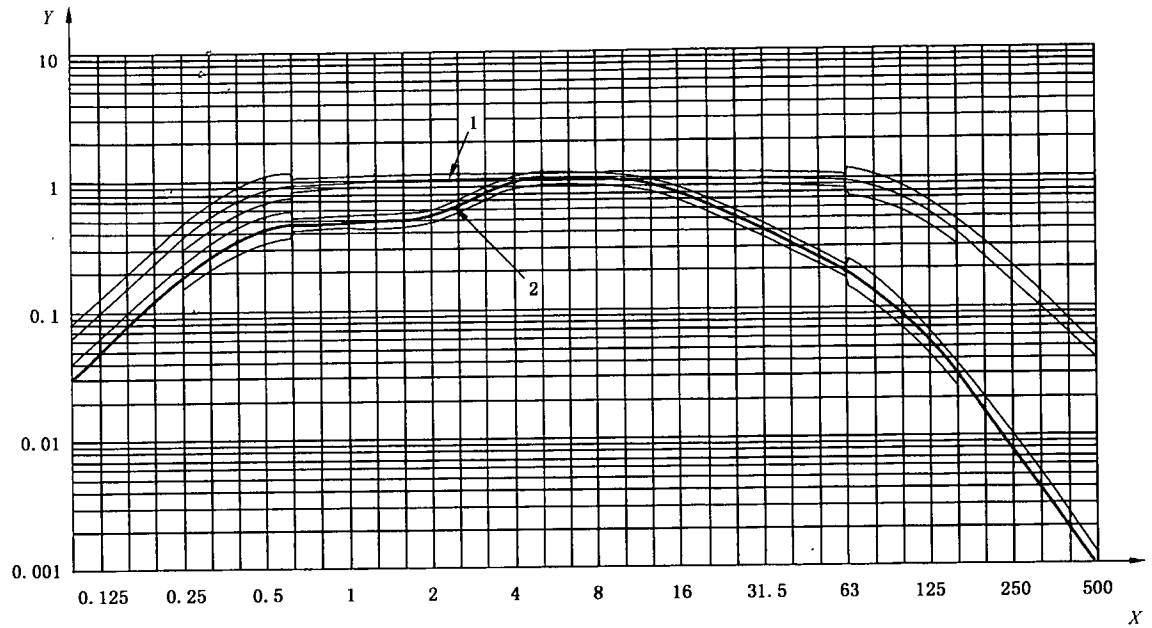
2——计权。

图 B.14 频率计权  $W_j$  的相位, 基于 GB/T 13441.1, 用于垂直向头部振动,  $x$  轴, 卧姿的人



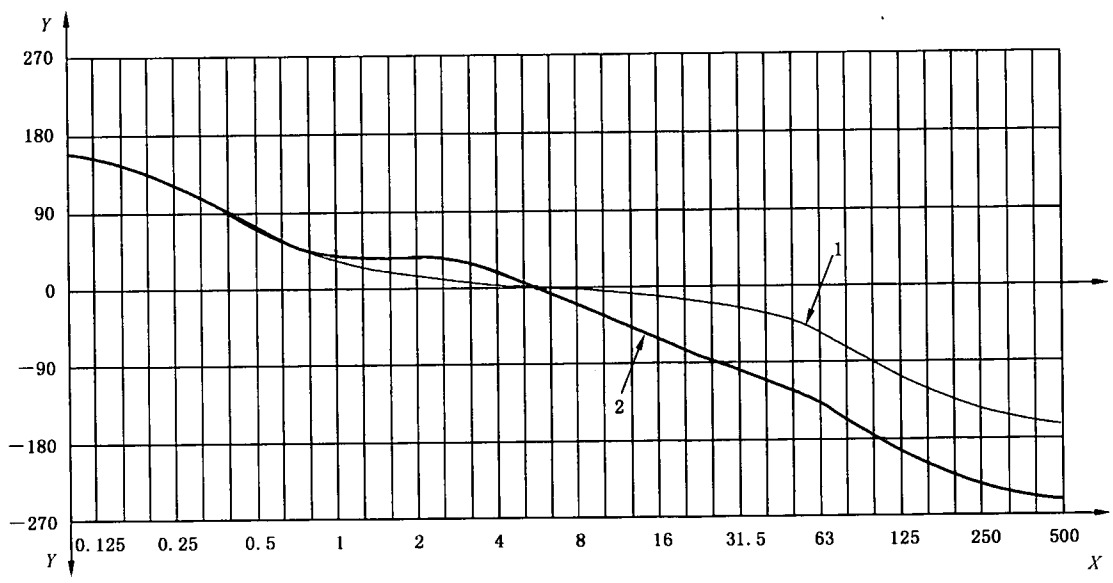
表 B.8 频率计权  $W_k$ , 基于 GB/T 13441.1, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人

$n$	频率/Hz		带限			计权 $W_k$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\varphi_0$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.062 38	-24.10	159.3	0.031 21	-30.11	159.8	+26/-100	+2/-	$+\infty/-\infty$
-9	0.125	0.125 9	0.098 57	-20.12	153.6	0.049 31	-26.14	154.3	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
-8	0.16	0.158 5	0.155 1	-16.19	146.3	0.077 56	-22.21	147.1	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
-7	0.2	0.199 5	0.241 5	-12.34	136.6	0.120 7	-18.37	137.7	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
-6	0.25	0.251 2	0.366 9	-8.71	124.1	0.183 2	-14.74	125.4	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
-5	0.315	0.316 2	0.53	-5.51	108.3	0.264 4	-11.55	109.9	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-4	0.4	0.398 1	0.703 7	-3.05	90.06	0.350 4	-9.11	92.2	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-3	0.5	0.501 2	0.843 4	-1.48	71.76	0.418 8	-7.56	74.54	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-2	0.63	0.631	0.927 9	-0.65	55.78	0.458 8	-6.77	59.44	+12/-11	+1/-1	+6/-6
-1	0.8	0.794 3	0.969 3	-0.27	43.01	0.476 7	-6.44	47.96	+12/-11	+1/-1	+6/-6
0	1	1	0.987 4	-0.11	33.15	0.482 5	-6.33	40.06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
1	1.25	1.259	0.994 9	-0.04	25.54	0.484 6	-6.29	35.55	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.998	-0.02	19.58	0.493 5	-6.13	34.48	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.999 2	-0.01	14.84	0.530 8	-5.50	36.45	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.999 7	0.00	10.97	0.633 5	-3.97	37.98	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.999 9	0.00	7.74	0.807 1	-1.86	32.73	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 9	0.00	4.941	0.964 8	-0.31	20.35	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	1	0.00	2.416	1.039	0.33	6.309	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	1	0.00	0.024 4	1.054	0.46	-6.841	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	1	0.00	-2.366	1.037	0.32	-19.73	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-4.887	0.988 4	-0.10	-33.3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-7.679	0.898 9	-0.93	-47.62	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-10.9	0.774 3	-2.22	-61.84	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-14.75	0.637 3	-3.91	-75.03	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-19.47	0.510 3	-5.84	-87.02	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-25.4	0.403 1	-7.89	-98.35	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.97	0.316	-10.01	-109.9	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.78	0.245 1	-12.21	-122.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-55.49	0.185 7	-14.62	-137.6	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71.41	0.133 9	-17.47	-155.2	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.68	0.088 73	-21.04	-174.8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.9	0.053 11	-25.50	-194.1	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.8	0.029 22	-30.69	-210.7	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.4	0.015 28	-36.32	-224	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146.1	0.007 795	-42.16	-234.2	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.5	0.003 935	-48.10	-241.9	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.2	0.001 978	-54.08	-247.9	+26/-100	+2/- $\infty$	$+\infty/-\infty$



X——频率, Hz;  
Y——计权因子;  
1——带限;  
2——计权。

图 B. 15 频率计权  $W_k$  的幅值, 基于 GB/T 13441. 1, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人

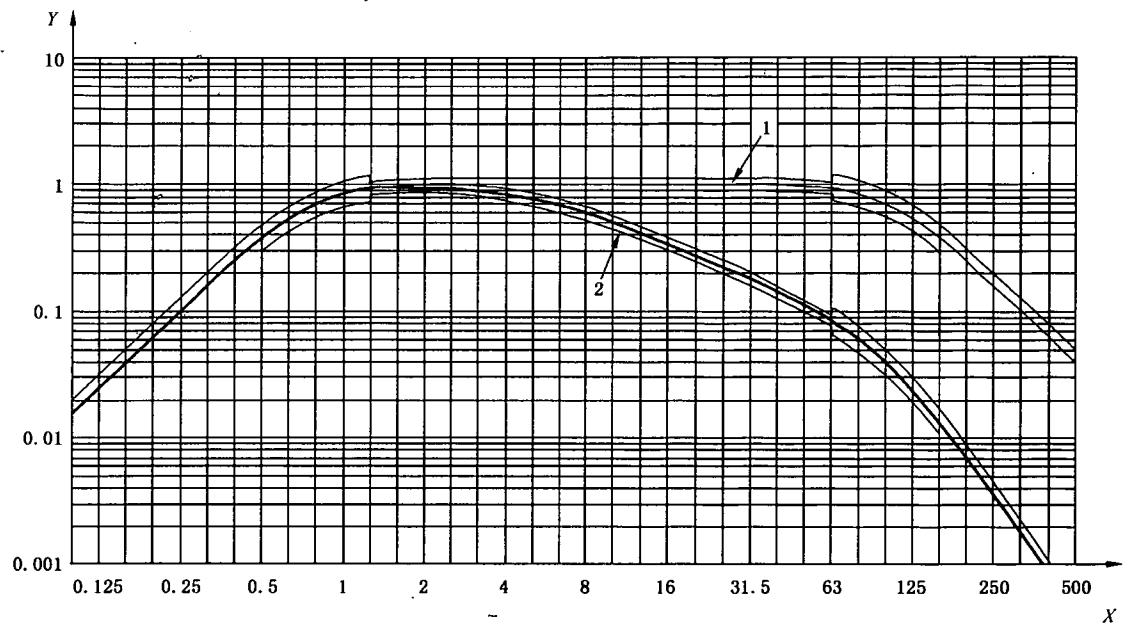


X——频率, Hz;  
Y——相位( $^{\circ}$ );  
1——带限;  
2——计权。

图 B. 16 频率计权  $W_k$  的相位, 基于 GB/T 13441. 1, 用于垂直向全身振动,  $z$  轴, 坐姿、立姿或卧姿的人

表 B.9 频率计权  $W_m$ , 基于 GB/T 13441.2, 用于建筑物内的全身振动, 所有方向

n	频率/Hz		带限			计权 $W_m$			允差		
	标称值	准确值	因子	dB	相位/ (°)	因子	dB	相位/ (°)	%	dB	$\Delta\varphi_0$ / (°)
-10	0.1	0.1	0.015 85	-36.00	169.7	0.015 84	-36.00	168.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-9	0.125	0.125 9	0.025 11	-32.00	166.9	0.025 1	-32.00	165.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-8	0.16	0.158 5	0.039 78	-28.01	163.5	0.039 76	-28.01	161.9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-7	0.2	0.199 5	0.062 97	-24.02	159.1	0.062 93	-24.02	157.1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-6	0.25	0.251 2	0.099 5	-20.04	153.4	0.099 41	-20.05	150.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-5	0.315	0.316 2	0.156 5	-16.11	146	0.156 3	-16.12	142.8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-4	0.4	0.398 1	0.243 6	-12.27	136.3	0.243	-12.29	132.2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-3	0.5	0.501 2	0.369 9	-8.64	123.6	0.368 4	-8.67	118.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
-2	0.63	0.631	0.533 6	-5.46	107.7	0.530 4	-5.51	101.3	+26/-21	+2/-2	+12/-12
-1	0.8	0.794 3	0.707 1	-3.01	89.36	0.700 3	-3.09	81.4	+26/-21	+2/-2	+12/-12
0	1	1	0.845 7	-1.46	71	0.832 9	-1.59	61.03	+26/-21	+2/-2	+12/-12
1	1.25	1.259	0.929 1	-0.64	54.98	0.907 1	-0.85	42.49	+12/-11	+1/-1	+6/-6
2	1.6	1.585	0.969 9	-0.27	42.14	0.934 2	-0.59	26.56	+12/-11	+1/-1	+6/-6
3	2	1.995	0.987 7	-0.11	32.17	0.931 9	-0.61	12.83	+12/-11	+1/-1	+6/-6
4	2.5	2.512	0.995	-0.04	24.39	0.910 1	-0.82	0.545 9	+12/-11	+1/-1	+6/-6
5	3.15	3.162	0.998	-0.02	18.2	0.872 1	-1.19	-10.89	+12/-11	+1/-1	+6/-6
6	4	3.981	0.999 2	-0.01	13.15	0.818 4	-1.74	-21.86	+12/-11	+1/-1	+6/-6
7	5	5.012	0.999 7	0.00	8.884	0.749 8	-2.50	-32.52	+12/-11	+1/-1	+6/-6
8	6.3	6.31	0.999 9	0.00	5.135	0.669 2	-3.49	-42.85	+12/-11	+1/-1	+6/-6
9	8	7.943	0.999 9	0.00	1.68	0.581 9	-4.70	-52.73	+12/-11	+1/-1	+6/-6
10	10	10	0.999 9	0.00	-1.68	0.494 1	-6.12	-62.07	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12.5	12.59	0.999 9	0.00	-5.135	0.411 4	-7.71	-70.84	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15.85	0.999 7	0.00	-8.884	0.337 5	-9.44	-79.15	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19.95	0.999 2	-0.01	-13.15	0.273 8	-11.25	-87.25	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25.12	0.998	-0.02	-18.2	0.220 3	-13.14	-95.45	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31.5	31.62	0.995	-0.04	-24.39	0.176	-15.09	-104.2	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39.81	0.987 7	-0.11	-32.17	0.139 6	-17.10	-114	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50.12	0.969 9	-0.27	-42.14	0.109 3	-19.23	-125.7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63.1	0.929 1	-0.64	-54.98	0.083 36	-21.58	-139.8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79.43	0.845 7	-1.46	-71	0.060 36	-24.38	-156.9	+26/-21	+2/-2	+12/-12
20	100	100	0.707 1	-3.01	-89.36	0.040 13	-27.93	-176.1	+26/-21	+2/-2	+12/-12
21	125	125.9	0.533 6	-5.46	-107.7	0.024 07	-32.37	-195.1	+26/-21	+2/-2	+12/-12
22	160	158.5	0.369 9	-8.64	-123.6	0.013 26	-37.55	-211.5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
23	200	199.5	0.243 6	-12.27	-136.3	0.006 937	-43.18	-224.6	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
24	250	251.2	0.156 5	-16.11	-146	0.003 541	-49.02	-234.7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
25	315	316.2	0.099 5	-20.04	-153.4	0.001 788	-54.95	-242.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
26	400	398.1	0.062 97	-24.02	-159.1	0.000 899	-60.92	-248.3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



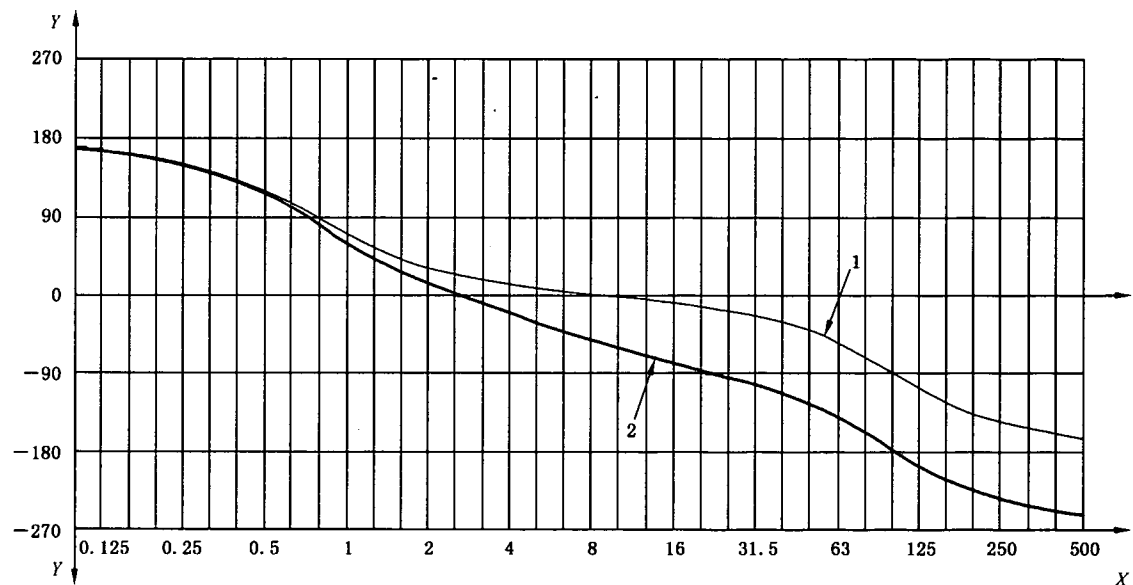
X——频率, Hz;

Y——计权因子;

1——带限;

2——计权。

图 B. 17 频率计权  $W_m$  的幅值, 基于 GB/T 13441.2, 用于建筑物内的全身振动, 所有方向



X——频率, Hz;

Y——相位( $^{\circ}$ );

1——带限;

2——计权。

图 B. 18 频率计权  $W_m$  的相位, 基于 GB/T 13441.2, 用于建筑物内的全身振动, 所有方向

附 录 C  
(资料性附录)  
频率计权滤波器的实现

C.1 频域

C.1.1 总则

可以使用模拟或数字、实时、1/3 倍频程或 FFT 分析等任何一种频率分析形式,通过计权频谱分量  $a_i$ (r. m. s.) 的平方和平方根得到频率计权均方根加速度值:

$$a_w = \left[ \sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中  $w_i$  为第  $i$  个频带的计权因子。

注: 频率分析不能用于 VDV。频率分析不能用于本标准要求的运行均方根值测量,这是由于短(1 s)的平均时间(或时间常数)与滤波器带宽的倒数有关。

C.1.2 1/3 倍频程频带分析

对于 1/3 倍频程频带,使用表 B.1~表 B.9 规定的中心频率。1/3 倍频程频带范围至少比频率带限(表 3 中的  $f_1$  和  $f_2$ )高一个倍频程和低一个倍频程。

由公式(C.1)求出平方和之前,用振动加速度值乘以 5.6 计算出的相应频率计权因子(由表 B.1~表 B.9 给出)。

C.1.3 快速傅立叶变换(FFT)

加速度计权均方根值可以使用公式(C.1)由 FFT 均方根频谱分量得到;或使用公式(C.2)由功率谱密度分量( $P_i$ )得到。但是,计权因子  $w$  应通过公式(8)~公式(12)得出,而不是由表 B.1~表 B.9 得出。

$$a_w = \left[ \sum_i w_i^2 p_i \Delta f \right]^{1/2} \dots\dots\dots (C.2)$$

在功率谱求和的过程中,应该考虑由时间窗函数引起的谱重叠。对于宽带谱,用由(C.2)计算得到的频率计权加速度  $a_w$  除以与等效理想滤波器带宽对应的因子,该理想滤波器通过与白噪声源相同的功率。参见表 C.1。

表 C.1 时间窗函数及其有效带宽

时间窗函数 <sup>a</sup>	噪声带宽因子	应用
汉宁窗	1.5	一般目的、非平稳随机过程
平顶窗	3.77	周期或正弦信号(如校准)
<sup>a</sup> 可以使用其他的窗函数,而且可能更适合特殊应用。		

通常,应在 FFT 分析仪的功率谱函数中考虑时间窗函数噪声带宽因子。

FFT 的频率分辨率应小于标称频率范围内最低频率的 40%,最好是 20%。采样频率应至少是标称频率范围内最高频率的 5 倍。

C.2 时域

C.2.1 概述

有关人体响应的振动加速度信号的评价包括使用 5.6 规定的一种滤波器的频率计权。对于线性时间平均,频率计权可以使用在一个时间历程的均方根值平均之前或均方根值平均谱计算之后,两种方法会得到相同的结果。但是,对于像 MTVV 这样的参数(见公式 3 和公式 4),需要运行均方根信号的最

大值(见附录 D)。在这种情况下,由定义应在积分之前对时间历程进行频率计权,然后确定计权加速度的最大值。

时域中数字滤波的应用替代了模拟滤波器,否则成本昂贵、体积较大,特别是对多通道系统将更突出。

### C.2.2 频域到时域滤波器的转换

拉普拉斯(Laplace)变换适用于频域中模拟滤波器的设计,而  $z$  变换通常用于以软件实现的数字滤波器。数字滤波器的传递函数可以用它的  $z$  变换  $H(z)$  表示。在  $z$  域里,通过以下乘积公式,建立数字滤波器输出的变换  $Y(z)$  与输入信号的变换  $X(z)$  间的联系。

$$Y(z) = H(z) \cdot X(z) \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$H(z)$  可以表示为:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

$a_i$  和  $b_i$ ——系数;

$M$  和  $N$ ——分别是零点和极点个数。

时域的等效表达式为:

$$y(t_i) = \sum_{k=0}^M b_k x(t_{i-k}) - \sum_{j=1}^N a_j y(t_{i-j}) \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中  $x(t_i)$  和  $y(t_i)$  分别为  $t_i$  时刻采样得到的输入和输出信号。

### C.2.3 滤波器系数的计算

滤波器系数  $a_i$  和  $b_i$  可以通过双线性变换法或冲激响应不变法(参见参考文献[8])得到。双线性变换法最适合于 5.6 描述的高通和低通巴特沃斯(Butterworth)滤波器。二阶滤波器的  $z$  变换可通过代替拉普拉斯变量  $s$ ,由 5.6 中传递函数的拉普拉斯形式获得:

$$s = \frac{z-1}{T_s(z+1)} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

$T_s$ ——采样间隔。

对于  $\alpha$ - $v$  变换和高阶滤波器,可以使用类似的方法,或用冲激响应不变法。

### C.2.4 滤波器的应用

单独的滤波器应用于按公式(C.5)的 IIR 滤波技术(无限冲激响应)以连续序列方式的采样时间数据。

例如,图 C.1 给出了  $W_k$  滤波器的 MATLAB® 代码,它利用了内置函数‘filter.m’和信号分析工具箱中的‘butter.m’与‘bilinear.m’<sup>1)</sup>。

注:为了获得满足本标准要求的滤波器,图 C.1 中的 MATLAB® 代码要求采样率至少为上限频率  $f_2$  (表 3)的 9 倍。可以修改 MATLAB 代码以允许采用较低的采样率,例如使用余切变换:

$$s = \frac{2\pi f_c}{\tan(\pi f_c T_s)} \cdot \frac{z-1}{z+1} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

$f_c$ ——截止频率。

1) MATLAB® 是已商业化的适用产品的例子。给出这个信息是为了方便本标准的用户,并不说明 ISO 认可该产品。

```

function y = isofilwk(x,fs)
% ISOFILWK
% Filter ISO 8041 Wk, whole body, vertical direction
% y = isofilwk(x,fs)
% y output signal, acceleration
% x input signal, acceleration
% fs sampling frequency Hz
% bilinear transformation algorithm is used
f1 = 0.4;
f2 = 100;
f3 = 12.5;
f4 = 12.5;
Q4 = 0.63;
f5 = 2.37;
Q5 = 0.91;
f6 = 3.35;
Q6 = 0.91;
% Note that in the function "butter" the variables Q1 and Q2 are
% effectively set to equal to 1/sqrt(2), therefore they don't need
% to be explicitly set here.
w3 = 2 * pi * f3;
w4 = 2 * pi * f4;
w5 = 2 * pi * f5;
w6 = 2 * pi * f6;
nyq = fs/2; % Nyquist frequency
% determine parameters for band limiting high pass and low pass
[b1,a1] = butter(2,f1/nyq,'high'); % High pass
[b2,a2] = butter(2,f2/nyq); % Low pass
% determine parameters for a-v transition
B3 = [1/w3 1];
A3 = [1/w4/w4 1/Q4/w4 1];
[b3,a3] = bilinear(B3,A3,fs);
% determine parameters for upward step
B4 = [1/w5/w5 1/Q5/w5 1] * w5 * w5/w6/w6;
A4 = [1/w6/w6 1/Q6/w6 1];
[b4,a4] = bilinear(B4,A4,fs);
% Apply filter to input signal vector x (output to signal vector y)
y = filter(b2,a2,x); % Apply low-pass band limiting
y = filter(b1,a1,y); % Apply high-pass band limiting
y = filter(b3,a3,y); % Apply a-v transition
y = filter(b4,a4,y); % Apply upward step

```

图 C.1 用于时间信号的频率计权  $W_k$  的代码实例

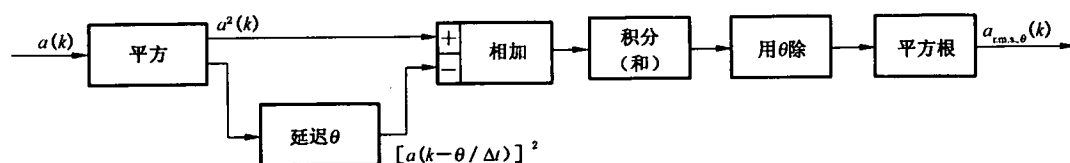
## 附录 D

### (资料性附录)

#### 运行均方根时间平均

##### D.1 线性运行均方根时间平均

由于可以采用低成本大容量的数据(信号采样)储存,由公式(3)计算的线性运行均方根加速度在实践中可用数字信号处理的方式实现。见图 D.1。

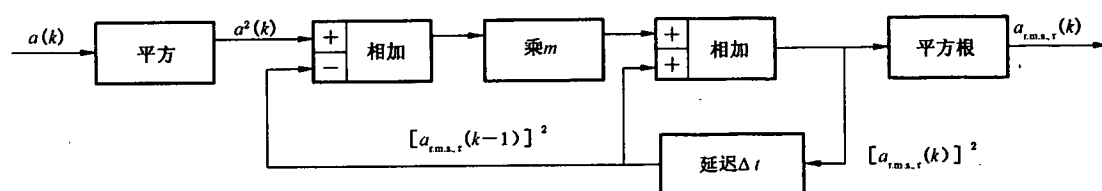


$k$ ——采样数;  
 $\Delta t$ ——采样间隔;  
 $\theta$ ——积分时间。

图 D.1 获得线性均方根平均值的方法

##### D.2 指数运行均方根时间平均

在声学测量和人体振动测量领域,长期以来使用公式(4)指数运行均方根评估方法。首先,将声级计时间计权“慢”(时间常数为 1 s)和“快”(时间常数为 0.125 s)进行标准化,后来用于人体振动计(ISO 8041:1990)。指数时间计权也称为“指数平均”、“指数时间计权均方根”或“带指数时间窗的运行均方根”。图 D.2 给出了如何获得指数运行均方根加速度平均值的方法。



$m = 1 - \exp(-\Delta t / \tau)$ ;  
 $\tau$ ——时间常数。

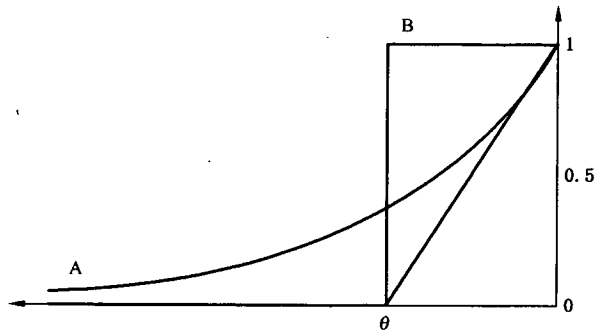
图 D.2 获得指数均方根平均值的方法

##### D.3 线性和指数运行均方根时间平均值的比较

公式(3)和公式(4)给出的均方根平均的结果可能有较大的差别。根据应用情况和信号的类型,有以下两种主要的等同准则可用以比较方法的影响。

- a) 等同准则 1(图 D.3):最适合于脉冲信号(冲击)的运行均方根的最大值(如MTVV)。线性平均的积分时间应近似等于指数平均的时间常数。但是可能会出现较大的差别,这取决于冲击的持续时间和波形。

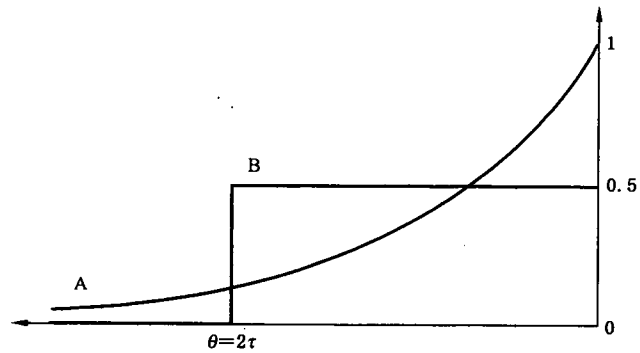




A——指数；  
B——线性。

图 D.3 近似等于脉冲信号最大运行均方根值的等效时间窗

- b) 等同准则 2(图 D.4): 最适合于随机信号运行均方根的方差和置信水平(或其他统计参数), 线性平均的积分时间应是指数平均时间常数的两倍。在脉冲串和周期信号情况下的波动可用同样的方法处理。然而, 对于后者和线性平均, 可能会引起严重的干扰影响, 这取决于平均时间与周期的持续时间的关系。



A——指数；  
B——线性。

图 D.4 近似等于均方根平均值或其他统计参数的等效时间窗

**附录 E**  
(资料性附录)  
**振动传感器的特性**

**E.1 概述**

人体振动响应测量的振动传感器的选择取决于诸多因素,例如:

- 一般应用,即手臂、全身或低频全身振动;
- 特殊应用,如用于健康、舒适和感知目的的测量;
- 环境条件,如热、潮湿或灰尘环境;
- 安装限制,如固定在轻型结构上,受可用空间的限制。

本附录给出了评价典型健康影响所用振动传感器的典型技术规范。其他的一些应用可能要求较少的技术规范;而另一些应用则可能要求更加严格的技术规范。

注:本标准的说明是基于振动加速度作为传感器检测到的量值。在满足全部要求的条件下,可以使用测量其他振动量(如振动速度)的传感器。相应地可以修改电信号试验的要求。

**E.2 技术要求**

表 E.1 给出了对振动传感器推荐的最低技术要求(这些技术要求不可能适用于所有情况)。

表 E.1 振动传感器技术要求

特性	测量问题——对测量不确定度的影响	手臂振动	全身振动		低频全身振动
			车辆	建筑物	
最大总质量(所有振动传感器和安装系统)	小于振动结构有效质量的10%	30 g	座位上 450 g,其他地方 50 g	1 kg	1 kg
振动传感器的最大质量		5 g	50 g	200 g	200 g
最大总尺寸(所有振动传感器和安装系统)	不显眼且对正常活动影响最小	边长为 25 mm 的立方体	座位上: $\phi 300 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ (半刚性的圆盘,见 F.2) 其他位置: 边长为 30 mm 的立方体	$200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ (高)	$200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ (高)
最大安装高度	振动传感器安装在振动表面的上方(如安装块上)使之成一直线,测量平行该振动面的振动。振动传感器测量轴和安装面间的距离应尽可能的小。这样可将旋转加速度分量的幅值减到最小。	10 mm	10 mm	25 mm	50 mm
温度范围		$-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
电磁场(50 Hz 或 60 Hz 处 30 mT)		$< 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{T}$	$< 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{T}$	$< 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{T}$	$< 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{T}$

表 E.1 (续)

特性	测量问题——对测量不确定度的影响	手臂振动	全身振动		低频全身振动
			车辆	建筑物	
声灵敏度		$<0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{kPa}$	$<0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{kPa}$	$<0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{kPa}$	$<0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{kPa}$
横向灵敏度	单轴向传感器对沿着与主轴方向成 $90^\circ$ 的轴振动的灵敏度。参见注 1 和注 2。	$<5\%$	$<5\%$	$<5\%$	$<5\%$
最大无计权的冲击加速度	虽然提供了测量频率范围内的准确信息,但是振动传感器还需具有承受无计权高冲击加速度的能力。	$30\,000 \text{ m/s}^2$ (气锤可能到 $50\,000 \text{ m/s}^2$ )	$1\,000 \text{ m/s}^2$	$500 \text{ m/s}^2$	$500 \text{ m/s}^2$
相位响应	对非均方根值参数 VDV、MTVV 和峰值的测量是重要的。	对振动仪器,在特性相位偏差要求范围内(在标称频率范围内相位不随频率快速变化)			
最低共振频率	应约大于标称上限频率的 10 倍	10 kHz	800 Hz	800 Hz	5 Hz
最低的密封要求	推荐的密封要求以防水防尘。某些应用可能需要其他要求(如:基于实验室环境的测量可能不需要任何 IP 防护要求,而暴露在大气中的测量则需要较高的 IP 防护等级)。	IP55	IP55	无	IP55
注 1: 横向灵敏度取决于轴向、可能的频率和幅值;通常给出单一值表示最差情况。 注 2: 在做多轴向(3 或 6 轴)测量时,可以利用提供的相关详细信息,修正振动传感器横向灵敏度对测量结果的影响。					

## 附录 F

### (资料性附录)

### 安装系统的试验

#### F.1 手臂测量

##### F.1.1 概述

应为手臂振动测量提供轻、小、刚性的安装固定系统,以确保振动传感器能准确复现振动表面的振动加速度值。

本附录给出了用于单轴向和三轴向安装固定系统的可选基本试验程序。

##### F.1.2 试验程序

试验应在图 F.1 安装的加速度计上进行。参考振动传感器应满足本标准对加速度计的要求。试验安装系统和试验加速度计应是按照本标准评价的仪器配套使用所规定的试验安装系统和传感器。

试验棒应为直径 25 mm、长 125 mm 的刚性圆柱体。应在如图 F.1 所示的方向上对棒施加振动。试验棒可通过不影响试验安装系统的任何一点或多点支撑,如果合适,也可采用手持方式。应沿着振动输入轴进行所有的测量。

对于设计成手持式的安装,应使用松紧适当的握紧力进行手持试验。如果在仪器文件中规定了附加固定,应该使用它进行这些试验。

注:理想的是在整个测量过程中能够监测和控制握紧力。测量中握紧力的改变可能会影响安装系统的视在响应。

如图 F.1 所示,施加一个单轴白噪声输入振动谱。谱的频率范围应不小于 31.5 Hz~1 250 Hz,总的  $W_h$  计权均方根值为  $10 \text{ m/s}^2$ 。在试验棒的参考点上测量时,白噪声谱的允差应在  $\pm 20\%$  范围之内。

以频率增量不大于 8 Hz,覆盖的频率范围不小于 31.5 Hz~1 250 Hz,对参考加速度计和安装试验加速度计的输出生进行双通道分析(窄带参数测量的附加信息参见附录 C)。

进行三次重复测量,测量时间不小于 30 s。在每次测量之间,重新拆装安装系统。

在所有频率点,参考振动传感器和安装的被测振动传感器之间的频响函数应是 1.0,允差不超过  $\pm 15\%$ 。在 31.5 Hz~1 250 Hz 范围内的所有频率点,频率响应函数的相干性应优于 0.8。

如果不能进行双通道分析,对安装的被测传感器和参考振动传感器同步进行谱的测量。在 31.5 Hz~1 250 Hz 范围内的所有频率点,被测加速度计的谱与参考振动传感器谱的差值应在 15% 之内。

如果可能,应该将试验加速度计直接安装(即刚性安装,用螺钉或胶,不用试验安装系统)在试验棒上进行初始试验。这些附加试验可为最终试验结果的规格化提供基本数据。

##### F.1.3 试验报告

仪器文件应包括以下信息:

- a) 参考传感器的型号和序列号;
  - b) 频率分析的频率增量;
  - c) 对  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的每一个试验,与参考频谱频率和幅值的最大偏差(以参考值的百分比表示)。
- 也可选择提供试验频响函数的打印输出。

#### F.2 全身振动测量

ISO 10326-1 规定了在坐着人的椅盘或靠背上进行人体全身振动测量的安装方式。

ISO 10326-1 规定,对于车辆座椅振动的实验室试验,加速度计应固定在一个直径为  $(250 \pm 50) \text{ mm}$  的安装圆盘的中心。圆盘应尽可能薄,高度应不超过 12 mm。这个半刚性的安装圆盘由邵氏硬度约为 80 HSA~90 HSA 的橡胶或者塑料模压制成,它应有一个放置加速度计的中心空腔。加速度计应连接到厚度为  $1.5 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 、直径为  $75 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  的金属薄圆盘上。

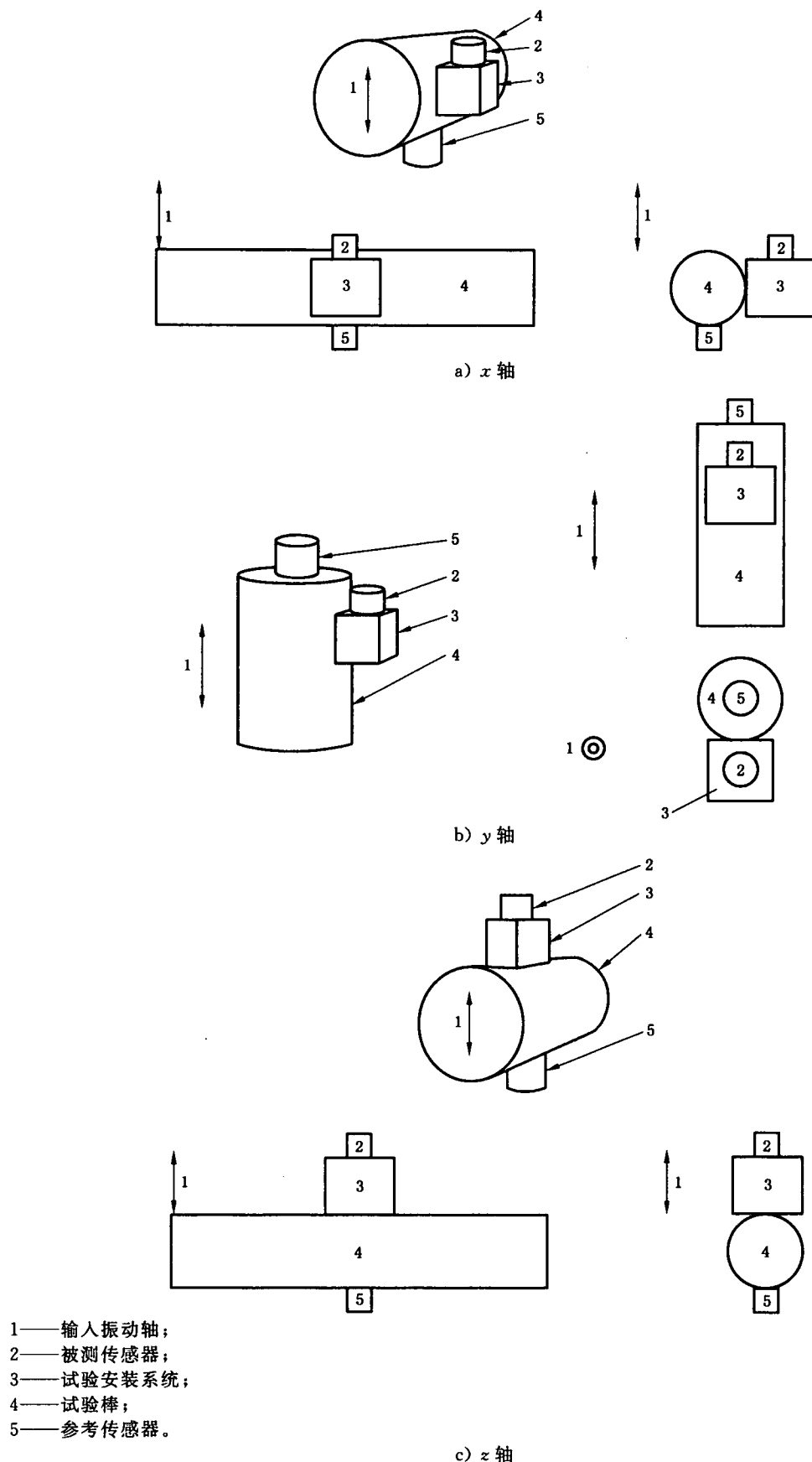


图 F.1 试验结构

**附 录 G**  
**(规范性附录)**  
**仪 器 文 件**

**G.1 基本信息**

应给出下列信息：

- a) 参考本标准；
- b) 型式评价的日期和试验量值具有向国家计量标准的溯源性；
- c) 对于正常操作模式下整台仪器结构配置的描述，如果使用，包括延长电缆、安装系统、机械滤波器或相关装置；
- d) 推荐与仪器配套使用的加速度计的说明；
- e) 对于多通道仪器，说明每个通道的特性和工作方式；
- f) 为了符合规范的要求，仪器可能需要的所有附件的识别（如机械滤波器，安装系统或电缆；专用软件也可以是仪器的组成部分）；
- g) 特殊应用要求的可替代附件的识别，以及这些附件使用的场合（如用于高冲击环境的安装固定装置或振动传感器）。

**G.2 设计特性**

应给出下列信息：

- a) 以分别或组合的形式，说明仪器能够测量的参量（如时间计权振动值，时间平均振动值，振动剂量值）；
- b) 说明符合本标准规范的频率计权和带限计权；
- c) 单轴数据合成方法的说明，包括频率计权和提供组合轴数据时所用相乘因子的识别；
- d) 对于仪器能够测量、但本标准未给出性能规范的参量，设计目标特性和应满足的允差限信息；特性包括频率计权和频率响应；
- e) 时间计权说明；
- f) 测量范围和测量量程控制器操作说明；
- g) 所有显示设备的说明，包括数字显示设备的工作模式和每台显示仪器上显示的测量参量的识别，如果提供的显示设备不只是一台，关于这些设备符合本标准规范或用于其他目的的声明（见注）；
- h) 整台仪器常规工作模式说明；
- i) 提供可选功能的识别和本标准对其给出的性能规范；
- j) 在每个测量量程内，参考频率点的线性工作范围上限和下限处的标称振动值的说明；
- k) 对于给定的每一个频率计权和频率响应，作为频率的函数并在适用允差限内可测量的标称振动值总范围上下限的说明；
- l) 任何保持特性的操作和清除保持显示方法的说明；
- m) 对于时间平均振动值、最大振动值、振动剂量值、最大瞬态振动值测量的复位功能操作的说明，有关复位功能的操作是否清除过载指示的说明，以及复位功能的操作和测量开始之间的标称延迟时间的说明；
- n) 有关过载和欠量程显示的操作和判读，以及清除过载和欠量程方法的说明；
- o) 仪器运行所需的任何计算机程序软件的唯一性标识，以及软件安装和使用程序；

p) 获得符合本标准所需的任何外部软件版本或内部固件的识别。

注：只有交流、直流或数字输出的接口并不是显示设备。

### G.3 振动灵敏度

应给出下列信息：

- a) 用于确定仪器振动灵敏度的振动校准器的标识；
- b) 校准核查的频率(一个或多个)；
- c) 在参考测量量程内的参考振动值和校准核查频率点,推荐的检查和调整仪器振动灵敏度的程序；
- d) 在正常工作条件下灵敏度漂移的预测速率的说明；
- e) 现场试验程序(见第 14 章)。

### G.4 环境条件变化的灵敏度

应给出下列信息：

- a) 当实际温度和湿度与参考环境条件不同时,温度和湿度影响测量结果的调整程序。
- b) 满足本标准对环境条件变化灵敏度适用规范的振动计部件的识别。
- c) 环境条件变化后,振动计稳定需要的典型时间间隔的说明。
- d) 静电放电对振动计工作影响的说明;如果有,对暴露在静电放电中导致振动计性能和功能降低或功能丧失的说明;如果需要,对用户维修需要触及仪器内部多处电路的仪器,有关使用预防静电放电造成损坏的措施的规定说明。
- e) 仪器符合本标准对交流工频和射频场抗扰度要求的技术规范的说明。
- f) 对交流工频和射频场具有最小抗扰度(即最灵敏)的仪器和任何连接设备的工作模式。
- g) 对交流工频场最大灵敏度的方位。
- h) 符合射频发射规范的说明。

### G.5 电源

应给出下列信息：

- a) 对于由内部电池供电的仪器,推荐允许使用的电池型号,以及装有满容量电池时,在参考环境条件下连续工作的标称持续时间；
- b) 推荐的检查电源状态方法的说明；
- c) 对于电池供电的仪器,推荐由外部电源为仪器供电的方法；
- d) 对于使用公共交流电网供电的仪器,说明电源的标称电压和频率。

### G.6 振动传感器

应给出下列信息：

- a) 频率响应(加速度计型号的典型响应的举例,或提供的振动传感器的实际响应)；
- b) 振动传感器的质量和提供的任何安装系统的质量；
- c) 振动传感器和安装系统的尺寸；
- d) 振动传感器轴相对于安装点的位置；
- e) 温度范围和温度灵敏度；
- f) 电磁场灵敏度；
- g) 声灵敏度；
- h) 横向灵敏度；

- i) 最大冲击加速度;
- j) 谐振频率;
- k) 防止湿气和灰尘侵入的能力。

#### G.7 附件

应给出下列信息:

- a) 当在加速度计和振动计其他组件间使用可选择的延长电缆时,对测量结果进行的修正;
- b) 推荐的加速度计和振动仪器之间连接电缆的最大长度;
- c) 对于交流电输出,可使用的输出电压范围、输出端的内部电阻抗、推荐的负载阻抗范围,以及对输出端信号的允差限;
- d) 当配置外部滤波器时,与振动计使用有关的信息;
- e) 振动计与辅助设备连接以及这些辅助设备对仪器电特性影响的有关信息;
- f) 对于允许通过接口或者连接电缆连接的振动计,推荐的典型电缆长度和电缆可以连接的所有仪器特性的说明。

#### G.8 仪器的操作

应给出下列信息:

- a) 打开电源后,在通常的环境条件中可使用仪器测量振动值的初始时间。
- b) 在一次测量完成后,显示读数前的时间间隔。
- c) 最小和最大平均时间的说明。
- d) 预置积分时程程序的说明。
- e) 推荐的传输或下载数据到外部数据存储器或显示设备的方法说明;完成这些工作的计算机软件 and 硬件的识别。
- f) 至少对于参考环境条件,由推荐的振动传感器和仪器其他组件组合的本底噪声相对应的典型示值(对于所有可用的频率计权,应以规定积分时间的时间平均振动值给出典型示值)。

#### G.9 试验的附加信息

应给出下列信息:

- a) 对于本标准条款未覆盖的试验程序,证明符合本标准或者仪器文件给定规范所推荐的实施试验的程序和方法。
- b) 参考测量量程及其下限指标的识别。
- c) 加速度计等效电阻抗的说明;推荐取代等效加速度计信号的电信号的方法;对电信号输入装置的说明。
- d) 加速度计的最大振动加速度值和电信号输入设备的最大峰峰电压的说明。
- e) 可使振动计满足本标准规范的最小电源电压值的说明。
- f) 对暴露在射频场影响试验的参考方位的说明。
- g) 振动计和任何连接装置产生最大射频发射的工作模式的说明;产生相同或较低射频发射的仪器配置表。
- h) 空气温度变化对振动灵敏度影响的说明。

#### G.10 补充信息

就原理而论,可将人体振动计视为一个对外部激振具有明确反应(或抗扰度等级)的黑匣子。但是好的技术文件也应为用户、校准和服务人员提供仪器内部的相关信息。



通过提供所采用技术的基本说明和给出整台仪器的主要功能部分或子单元的方框图,可以解答有关仪器使用和维修方面的许多问题。

同样强烈推荐提供下列超出本附录规定要求的信息,例如:

- a) 传感器的类型,即用以感应振动的物理效应。
- b) 如果是通过导线的模拟传输,用作从传感器传输到仪器的信号载体的物理量或参数,可选择的无线传输和/或数字传输的基本参数。
- c) 矢量和以及均方根检测的顺序,尤其是在数字信号处理的情况下。
- d) 预滤波的频率带宽,低通(抗混)和高通滤波器的类型。
- e) A/D转换器的字长和采样速率;在降低采样速率情况下,低采样后主信号处理前的字长和采样速率。
- f) 用作带限和计权的信号处理类型,例如:
  - 1) 使用模拟滤波器直接处理;
  - 2) 使用数字递归滤波器(无限冲激响应)直接处理;
  - 3) 使用数字横向滤波器(有限冲激响应)直接处理;
  - 4) 使用恒定百分比带宽数字滤波器(固定的滤波器类型和作为倍频程分数的带宽)进行谱分析;
  - 5) 使用离散或快速傅立叶变换(固定的时间窗函数、重叠,分辨率和线数)进行谱分析,以及:
    - 频率计权(幅值和相位)后反变换到时域;
    - 频率计权(仅幅值)后在频率带宽内求取功率和。

## 附录 H

## (规范性附录)

## 非均方根值测量的相位响应要求

## H.1 概述

诸如峰值、基于四次方的振动剂量值(VDV)和最大运行均方根值(MTVV),这些非均方根值的测量都对相位误差比较灵敏。本附录旨在强调当进行振动信号处理以获得峰值和其他非均方根参数时存在的相位响应问题,并提供评价仪器相位响应的试验方法。

注:5.9确定了非均方根参数对锯齿波信号总响应的设计目标。由于锯齿波信号主要由基波和二次谐波信号组成,因此锯齿波试验的实际响应对相位误差是灵敏的。但它不能实现所有频率点的相位响应试验。

如果测振仪(包括传感器)是根据5.6给定的复数频率计权函数设计的,由相位偏差引入误差的可能性相对要低一些。如果计权滤波器是由简单的模拟滤波器构成,则可自动地获得正确的相位响应。

当使用数字滤波器进行频率计权时,用采样频率足够高的递归数字滤波器可以获得正确的计权。但是,使用非递归(横向)数字计权滤波器(如零相移滤波器)或通过频率分析(带通滤波器或傅立叶变换DFT或FFT)对信号计权,都可能引起非均方根值的较大误差。

## H.2 相位响应的定义和评价

## H.2.1 概述

由公式(8)~公式(12)定义相位响应的设计目标,并可由下式计算得出:

$$\tan(\varphi) = \frac{\text{Im}[H(s)]}{\text{Re}[H(s)]} \quad \dots\dots\dots (\text{H.1})$$

式中  $H(s)$  由公式(12)表示。表 B.1~表 B.9 中包括了相位角  $\varphi$  的值。

人体振动仪的相位响应应与相位响应的设计目标进行比较。但是,由相位偏差引起的误差并不完全与仪器响应和设计目标之间存在单一偏差关系;重要的因素是相位误差如何随频率变化。由于此原因,定义参数特征相位偏差( $\Delta\varphi_0$ ,或 CPD)。它由实际和理想的相位响应函数之差得出:

$$\Delta\varphi_0(f) = |\Delta\varphi(f) - f \cdot \Delta\varphi'(f)| \quad \dots\dots\dots (\text{H.2})$$

式中:

$f$ ——频率;

$\Delta\varphi(f)$ ——相位偏差;

$\Delta\varphi'(f)$ ——导数( $\Delta\varphi(f)$ 曲线的斜率)。

如果规定相位偏差  $\Delta\varphi(f)$  的允差,要想得到规定的非均方根值测量的准确度,则需要非常窄的允差限。对于相同的测量准确度,将其转换为  $\Delta\varphi_0(f)$  使实际的相位响应更具有灵活性。

注1:恒定的群延迟时间(与频率成比例的相位偏差,即响应曲线的恒定斜率)可能会远远超过相位偏差的允差限,但它既不影响要测量的振动参数,也不影响其特性相位偏差值。另一方面,取决于频率的群延迟时间(响应曲线的可变斜率)可能造成被测振动参数的显著偏差,而不超过相位偏差的允差限。

实际上对于离散的频率序列  $f_n$ ,选择 1/3 倍频程步长足以确定  $\Delta\varphi_0(f)$ 。公式(H.2)由公式(H.3)近似得到[即公式(13)]:

$$\Delta\varphi_0(f_n) = \left| \frac{f_{n+1} \cdot \Delta\varphi(f_n) - f_n \cdot \Delta\varphi(f_{n+1})}{f_{n+1} - f_n} \right| \quad \dots\dots\dots (\text{H.3})$$

除了最高频率点之外,在每一个频率点  $f_n$  都可以计算  $\Delta\varphi_0(f_n)$ 。

表 5 和表 B.1~表 B.9 给出了推荐的特性相位偏差的允差值。

由  $\Delta\varphi_0(f)$  引起的很可能是最大的峰值偏差  $\Delta PV_{\max}$ ,可由下式近似得到:

$$\Delta PV_{\max} \approx \pm \max \cdot \{0.48 \times \sin[\Delta\varphi_0(f_n)]\} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{H.4})$$

最大特性相位偏差为  $12^\circ$  时,最大峰值偏差约为  $10\%$ 。

注 2: 公式(H.4)是对数字结果的近似,并仅适用于较小的  $\Delta\varphi_0$  值( $<30^\circ$ )。根据信号波形,实际的峰值偏差通常小于  $\Delta PV_{\max}$ ,  $\Delta PV_{\max}$  是最不利的方式、由两个频率分量的幅值和零相位角合成的最坏情况的估计值。但是在有更多分量起不利作用的极不可能的情况下,实际的峰值偏差可能会变得更大。从统计学的角度讲,可以假定“最大”这个术语是一个非常低的百分点。虽然最初制定的这种方法用以峰值测量,但也可以用它作为 VDV 测量的第一估计值。

在本附录中规定了直接和间接试验特性相位偏差的两个程序。第一个试验程序假定在提取信号参数之前,即刻使用频率计权信号(模拟或数字),这样在信号通道中就不会产生进一步的相移。如果不能取得该信号,而又组合了峰值测量,则推荐使用第二个双音程序。

## H.2.2 相位响应的直接试验

如果频率计权信号(模拟或数字)可以在提取信号参数之前即刻使用(以致在信号通道中不会产生进一步的相移),根据 GB/T 20485.21—2007(比较法),使用已校准过相位响应的参考振动传感器,就可以进行振动测量仪器的相位响应试验。根据 GB/T 20485.11—2006(激光干涉法)或 GB/T 20485.12—2008(互易法)可以进行参考传感器的相位响应校准。

## H.2.3 相位响应的双音频法试验

### H.2.3.1 双音频试验的条件

如果频率计权信号不易在提取信号参数之前获得,而组合了峰值测量的模式,则推荐使用双音频法间接测量其相位响应。

### H.2.3.2 双音频试验的原理

用参数  $f_{fu}$ 、 $r_{fu}$ 、 $\varphi_{fu}$  和  $f_{ha}$ 、 $r_{ha}$ 、 $\varphi_{ha}$  (其中  $f$  为频率,  $r$  为均方根值,  $\varphi$  为正弦函数的零相位角;下标  $fu$  代表基波,  $ha$  代表谐波)表示的两个谐波振动叠加在一起,并通过振动台施加到被测的振动计上。选择参数  $f_{fu}$ 、 $r_{fu}$ 、 $f_{ha}$ 、 $r_{ha}$  的值,以使所显示的峰值对信号通道中不希望的微小相移最为灵敏。例如:

$$f_{fu}/f_{ha}=1/3 \text{ 和 } r_{fu}/r_{ha}=3$$

当改变谐波的零相位角  $\varphi_{ha}$  时,在  $\varphi_{ha}=3\varphi_{fu}$  处,峰值经过一个比较锐利的极小值,此时曲线的两个波峰改变了它们作为最大点的作用。该点必须通过移相器和人体振动计本身的显示器找到。

在最小值附近,峰值的微分偏差用  $1.75\%$  每度逼近它的最大绝对值。峰值本身的最小值等于  $0.943r_{fu}$ 。

图 H.1 表示  $\varphi_{ha}=15^\circ$  和  $\varphi_{fu}=0^\circ$  时的信号波形,图 H.2 表示当  $\varphi_{fu}=0$  时峰值与  $\varphi_{ha}$  的关系曲线。

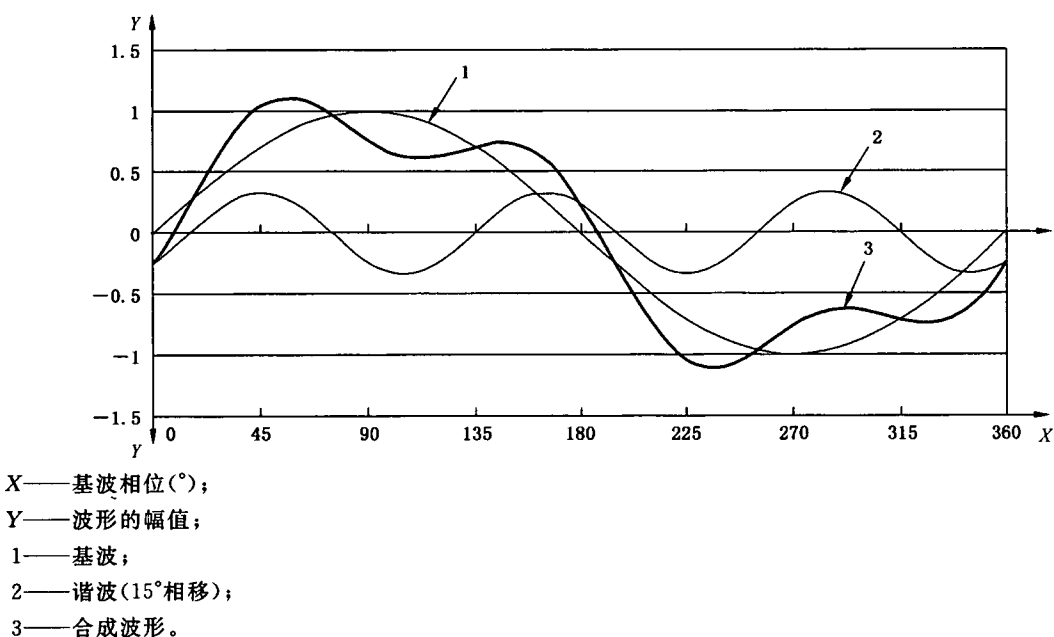
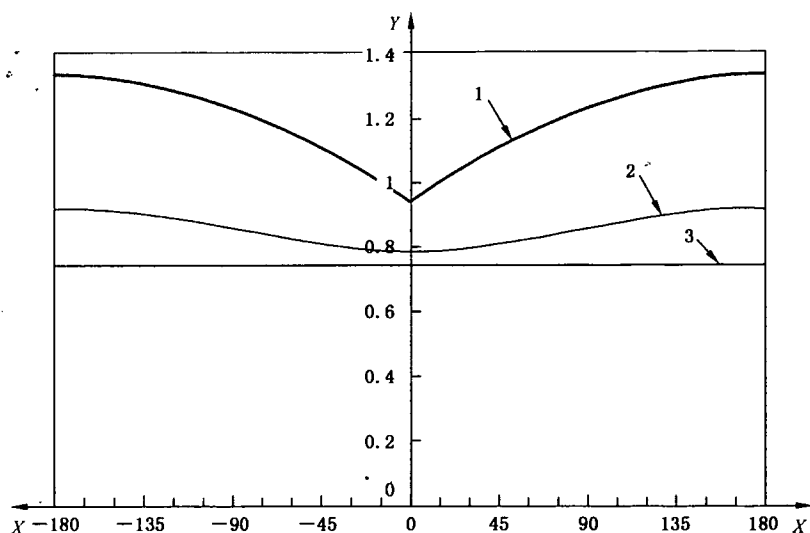


图 H.1 函数曲线图



X——谐波信号的相移( $^{\circ}$ );

Y——振动值;

1——最大峰值,  $\text{m/s}^2$ ;

2——VDV,  $\text{m/s}^{1.75}$ ;

3——r. m. s. 均方根值,  $\text{m/s}^2$ 。

图 H.2 峰值和 VDV 值与谐波相移的关系曲线(幅值恒定的基波和谐波的正弦波形)

此方法也给出了在该特殊情况下由相移引入的峰值误差的范围。当使用任意波形信号时,此影响可能较小(幅值和/或频率的其他比值)或较大(陡沿信号或短脉冲)。

### H.2.3.3 必需设备

双音频法所需要的大多数设备是实验室配备进行频率响应校准用的设备,如:

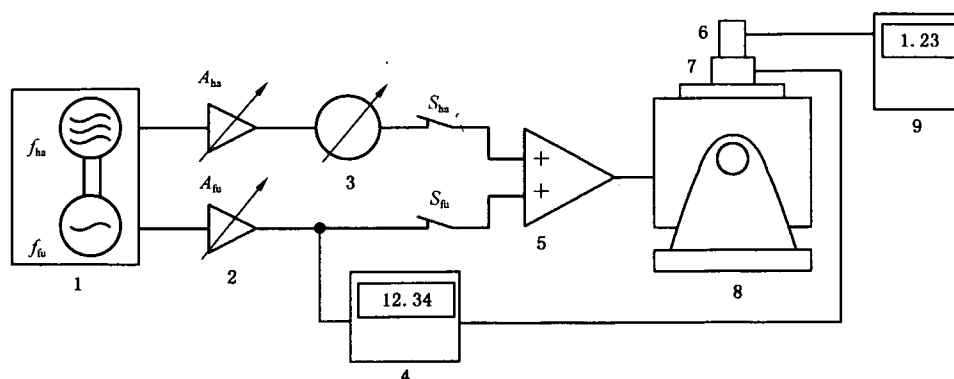
- 一台可提供调谐相关输出信号的双音频信号发生器/振荡器(至少提供 1:3 频率比),或一台单音频信号发生器加上一台倍频器或分频器;
- 如果信号发生器不能提供可调的幅值和零相位角,则需:
  - 两台幅值控制器(可调放大器或衰减器,尽可能组合为一个混合控制器);
  - 一台相移控制器(相位电桥,延迟线)。
- 如果信号混合器不是其他仪器的一部分,则需要一个信号混合器(加法放大器或混合控制器);
- 一台带功率放大器的振动激励器(振动台);
- 一只校准过幅值和相位响应的参考振动传感器;
- 一台能够测量相移或调谐相关正弦信号之间的相位延迟时间的相位计;
- 被测的人体振动计。

推荐的附加设备是:

- 一台 FFT 分析仪;
- 一台示波器。

图 H.3 为整个试验安装的框图。

以下的工作指南描述了本方法。为实现程序自动化,推荐使用计算机控制的仪器。



- 1——双音频相位耦合信号发生器；  
 2——幅值控制器；  
 3——移相器；  
 4——相位计；  
 5——求和及功率放大器；  
 6——人体振动计(HVM)的传感器；  
 7——参考传感器；  
 8——振动激励器；  
 9——人体振动计(HVM)。

图 H.3 双音频法框图

#### H.2.3.4 试验程序

将人体振动计(HVM)设置为指示频率计权振动的峰值,按照以下程序进行操作:

- 调节信号发生器的频率到被测频率范围的中间(如对于全身振动,设置  $f_{fu}$  和  $f_{ha}$  分别为 9 Hz 和 27 Hz)。
- 接通  $S_{fu}$  和切断  $S_{ha}$ , 调节幅值控制器  $A_{fu}$  使人体振动计的  $a_{peak, fu}$  指示合适的示值(如满量程的 60%)。从相位计读取  $\phi_{fu}$  值。
- 切断  $S_{fu}$  和接通  $S_{ha}$ , 以同样的方式调节幅值控制器  $A_{ha}$  使人体振动计的  $a_{peak, ha}$  示值等于  $a_{peak, fu}$  的 1/3, 即  $a_{peak, ha} = a_{peak, fu}/3$ 。

调节移相器使相位计的示值(按  $f_{fu}$  计算的)约等于步骤 b) 的示值, 同时还需修正参考传感器不同的相位延迟时间。相位计将指示(按  $f_{fu}$  计算的):

$$\phi_{ha} = \phi_{fu} - \phi_{tr, fu} + \phi_{tr, ha} \frac{f_{ha}}{f_{fu}} \quad \dots\dots\dots (H.5)$$

式中:

$\phi_{tr, fu}$ ——参考传感器在频率  $f_{fu}$  处的相移;

$\phi_{tr, ha}$ ——参考传感器在频率  $f_{ha}$  处的相移;

$f_{ha}/f_{fu}$ ——按  $f_{fu}$  计算转换得到的因子  $\phi_{tr, ha}$ 。

当两信号叠加时, 该调整将在振动台台面上产生相等的零相位角的振动。

注 1: 假设相移以较低频率显示, 因此  $\phi_{tr, ha}$  必须由因子  $f_{ha}/f_{fu}$  转换。所有的相位量都可以被转换为相位延迟时间(除以  $2\pi f$ ), 以便对它们进行比较或合成。在这种情况下, 可将相位计转换到直接显示相位延迟时间。

注 2: 相移控制设备可能会影响幅值, 反之亦然, 因此应进行反复检查。如果必要可重新调整。幅值适度的变化对相位测量影响较小。

- 接通  $S_{fu}$  和  $S_{ha}$ , 调整相移使人体振动计指示最小峰值。

这意味着人体振动计峰值检波器的基波和谐波具有相等的零相位角, 即它们为同相。

检查幅值, 读取人体振动计的示值, 它应等于  $0.943r_{fu}$ 。移相到人体振动计的最大指示, 它应等于

1.333 $r_{fu}$ 。返回到最小示值。

- e) 切断  $S_{fu}$  和接通  $S_{ha}$ , 从相位计读取  $\phi_{ha+}$ 。计算步骤 d) 加到移相器的附加相移, 即该差值为:

$$\Delta\phi = \phi_{ha+} - \phi_{ha}$$

由步骤 c) 得到  $\phi_{ha}$ , 由步骤 e) 得到  $\phi_{ha+}$ , 两个值都根据  $f_{fu}$  计算。

计算相位延迟时间的相应偏差:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\phi}{2\pi f_{fu}}$$

它等于人体振动计在  $f_{ha}$  和  $f_{fu}$  处的固有相位延迟时间之差。

- f) 通过因子 3 向上或向下改变两个频率, 重复步骤 b) 到 e), 直到两个频率覆盖本标准规定的整个频率范围(如对于全身振动: 1 Hz/3 Hz, 3 Hz/9 Hz, 9 Hz/27 Hz, 27 Hz/81 Hz)
- g) 从最低频率开始, 分别累加相位延迟时间差值  $\Delta\theta$ 。除了对每一个采样都相等的未知固定延迟时间以外, 作为频率函数的累加相位延迟时间差值的数据序列将代表连续函数(曲线)的离散采样。
- h) 为了增加中间采样点, 通过因子  $3^{0.2}$  向上或向下改变两个频率(相当于 1/3 倍频程的 95%), 重复步骤 b) 至 g)。
- i) 重复步骤 h) 4 次, 每次用新的采样序列结束。组合 5 组序列构成一个大的序列, 在对数坐标上频率点是等间距的。对于每一个初始序列, 由未知的固定延迟时间引起的、在对数坐标系上作为纵坐标所绘制的关联延迟时间将显示出激烈的振荡。
- j) 平滑曲线(函数), 即使用适当的程序, 通过一个接一个地调整固定的延迟时间, 排列采样的序列以达到最佳拟合状态。它可通过绘图或数值的方式实现, 例如, 在双对数坐标中, 采用迭代法, 对连接序列所有相邻采样点的多边形曲线的边长进行极小化处理。
- k) 由本标准规定的相移设计目标, 计算人体振动计相位延迟时间对频率的理论频率响应函数, 即用度表示的该值除以  $-(360^\circ \times f)$ 。在除以前, 为避免出现负的相位延迟时间, 相移必须减去  $180^\circ$ (相当于信号反相)。

该函数对应于反正切函数的主值, 但是在表 B.1~B.9 和与之对应的图 B.2~图 B.18(仅为偶数)中已经加上了  $180^\circ$ 。

注: 所有频率成分在  $180^\circ$  相移后信号波形不变, 但是会在试图应用 CPD 准则时造成严重的后果。这是矛盾的。由于引入的 CPD 准则只用于评价相位响应与设计目标的偏差, 因此它不应使信号反相。信号反相是信号处理中的一种独特形式, 它需要采用自己的试验程序, 在振动方向对测试结果非常重要的情况下(如正峰, 负峰, 冲击响应谱)进行极性试验。这不属于本标准所涉及的情况。

- l) 调整实验数据保持固定的延迟时间, 同步骤 j), 使由实验获得的所有采样组合序列的排列尽可能地与步骤 k) 的理论函数曲线相一致。

如果相位响应有一固有特性, 这将相对简单。在这种情况下, 双对数坐标中的曲线在宽频带范围内将是相对线性的。对本标准中定义的所有计权函数它都是正确的。

- m) 转换人体振动计相位延迟时间的频率响应函数, 根据步骤 l) 排列, 返回到相位域[乘以  $(360^\circ \times f)$ ], 生成相移频率响应函数。
- n) 将 CPD 准则(H.2.1 中定义的)应用于由步骤 m) 建立的相移频率响应函数。CPD 准则相对于延迟时间是不变的。因此, 任何保持的固定延迟时间(除  $180^\circ$  以外)不会对测量结果造成任何影响。

参 考 文 献

- [1] ISO 1683 Acoustics—Preferred reference quantities for acoustic levels.
  - [2] ISO 10326-1 Mechanical vibration—Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration—Part 1: Basic requirements.
  - [3] IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP code).
  - [4] IEC 61260 Electroacoustics—Octave-band and fractional-octave-band filters.
  - [5] IEC 61672-1 Electroacoustics—Sound level meters—Part 1: Specifications.
  - [6] CISPR 16-1-1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus; Measuring apparatus.
  - [7] DIN 45662 Schwingungsmesseinrichtungen—Allgemeine Anforderungen und Prüfung.
  - [8] PARKS T. W. and BURNS C. S. Digital filter design. John Wiley & Sons, New York, 1987.
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
人体对振动的响应 测量仪器  
GB/T 23716—2009/ISO 8041:2005

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

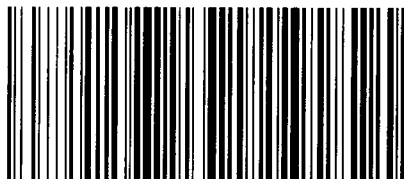
\*

开本 880×1230 1/16 印张 5 字数 143 千字  
2009年8月第一版 2009年8月第一次印刷

\*

书号: 155066 · 1-38034 定价 66.00 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)68533533



GB/T 23716-2009