



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 18707.2—2010/ISO 10326-2:2001

---

## 机械振动 评价车辆座椅振动的实验室方法 第2部分：应用于机车车辆

Mechanical vibration—  
Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration—  
Part 2: Application to railway vehicle

(ISO 10326-2:2001, IDT)

2010-12-23 发布

2011-06-01 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 ..... I

引言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、符号和缩写术语..... 1

4 振动方向 ..... 2

5 振动传递的描述 ..... 3

6 一般观测 ..... 4

7 测点 ..... 4

8 测试仪器 ..... 5

9 安全要求 ..... 6

10 试验座椅和试验人员..... 6

11 输入试验振动..... 6

12 用于表征振动传递的参数..... 7

13 测试程序..... 8

14 试验报告..... 8

附录 A（资料性附录） 激励产生过程的示例 ..... 11

参考文献 ..... 14

## 前 言

GB/T 18707《机械振动 评价车辆座椅振动的实验室方法》分为两部分：

——第1部分：基本要求；

——第2部分：应用于机车车辆。

本部分是 GB/T 18707 的第2部分。

本部分等同采用 ISO 10326-2:2001《机械振动 评价车辆座椅振动的实验室方法 第2部分：应用于机车车辆》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 10326-2:2001。

为了使用方便，采用 ISO 10326-2:2001 时做了如下编辑性修改：

——删除了国际标准的前言；

——对部分标点符号进行了修改和删减；

——对于 ISO 10326-2:2001 中引用的其他国际标准，有被采用为我国标准的用我国标准代替对应的国际标准。未被采用为我国标准的直接引用国际标准。

本部分的附录 A 是资料性附录。

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

本部分主要起草单位：中国铁道科学研究院、郑州机械研究所、北京理工大学。

本部分主要起草人：范荣华、石春珉、马筠、孙成龙、韩国明、高利。

## 引 言

尽管铁路车辆上的乘客感受到的振动总是低幅值的,然而事实上在座椅坐垫和座椅靠背接触面形成的加速度有时要比车体构架激励传递来的加速度要大得多。因此,对铁路座椅进行试验的最根本目的是获取座椅及其各组件整体动态方面的特性;这些组件包括:座椅框架、悬挂系统、衬套、座椅面等等。最终这些特性将对选择最适宜的座椅组件和进一步改善乘客的舒适度提供有用的指导。

实验室试验能够在明确定义并具有可再现性的激励条件下进行试验。因此,这些试验提供了与现场实施的调研互为补充的一个基本研究方法。

铁路车辆座椅底部的振动是随机的,属于宽频带类型。其谱的复杂形式和非平稳性取决于车辆自身结构、自身荷载、车轮断面条件、轨道几何尺寸及质量状态等因素。因此,本部分中规定对有一个试验人员乘坐的座椅在  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  坐标轴三个方向上连续宽频带伪随机振动的激励。它的振动谱相当简单并且具有足够的量值,可以涵盖轨道上所观察到的大多数真实的谱,但又与后者有很大的不同之处。

在实验室不同环境条件下的试验结果中,对人体-座椅系统不同响应点所测量的数据可用来与极限值或可接受的数值比较。因此,本部分规定了采用这些测试数据来确定人体-座椅系统在座椅坐垫和椅背面在  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  轴三个方向上的频率响应函数。这些频率响应函数足以描述带有乘坐人员座椅的振动特性。从而能够清楚证明激励方向,有利或不利的频率以及相应的增益。这些输入参数与不同结构座椅的对比有关。

通过自动计算的频率响应函数可以用来评价一个与实际车辆上使用的座椅所受激励相似的激励的特定座椅的固有特性。最终,它们必须用模数和相位确定。直接和交叉比率是相关的,如同垂直、横向与纵向运动之间存在耦合同样。在本部分中该试验规程允许这些相互作用。

然而,这类计算的有效性只是基于假设所考虑的人体-座椅系统是充分线性的情况。要在实验室条件下检验这种假设,本部分规定要增加一个测试周期。在测试中,使用在伪随机激励下得到的峰值频率,作为正弦曲线激励频率和高振幅模式来进行试验。

与铁路条件相关的频率范围限制在  $0.5\text{ Hz}$ ~ $50\text{ Hz}$  之间。铁路座椅传递低于  $0.5\text{ Hz}$  的振动时不加调制修正。然而,高于  $50\text{ Hz}$  的振动,由于在实际使用中座椅隔离,通常振动量太小以致不为座椅上的乘客所觉察。

# 机械振动

## 评价车辆座椅振动的实验室方法

### 第2部分:应用于机车车辆

#### 1 范围

GB/T 18707 的本部分规定了铁路动车及拖车车辆上旅客和乘务人员乘坐座椅的实验室试验方法。

本部分涉及的频率为 0.5 Hz~50 Hz 的三轴向的直线振动。本部分规定了用于座椅测试的输入试验振动方法。

本部分使以频率响应函数的形式来表征振动如何传递到乘员的方式成为可能。然而,这种表征只有在人-座椅系统被看作是充分线性的条件下才完全有效。

#### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 18707 的本部分的引用而成为本部分的条款。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部分,然而,鼓励根据本部分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部分。

GB/T 2298 机械振动、冲击与状态监测 词汇(GB/T 2298—2010,ISO 2041:2009,IDT)

GB/T 13441.1 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(GB/T 13441.1—2007,ISO 2631-1:1997,IDT)

GB/T 13823(所有部分) 振动与冲击 传感器的校准方法(ISO 5347,IDT)

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

GB/T 18707.1 机械振动 评价车辆座椅振动的实验室方法 第1部分:基本要求(GB/T 18707.1—2002,ISO 10326-1:1992,IDT)

GB/T 23716 人体对振动的响应 测量仪器(GB/T 23716—2009,ISO 8041:2005,IDT)

GB/T 20485(所有部分) 振动与冲击传感器的校准方法(ISO 16063,IDT)

ISO 13090-1 机械振动与冲击 真人测试和试验安全指南 第1部分:全身机械振动与反复冲击

#### 3 术语和定义、符号和缩写术语

##### 3.1 术语和定义

GB/T 2298 所确定的术语和定义适用于本部分。

##### 3.2 符号和缩写术语

本部分采用下列符号和缩写术语:

$a_{rms}$ ——加速度均方根值,  $m/s^2$ ;

$a(t)$ ——加速度时间历程的瞬时值,  $m/s^2$ ;

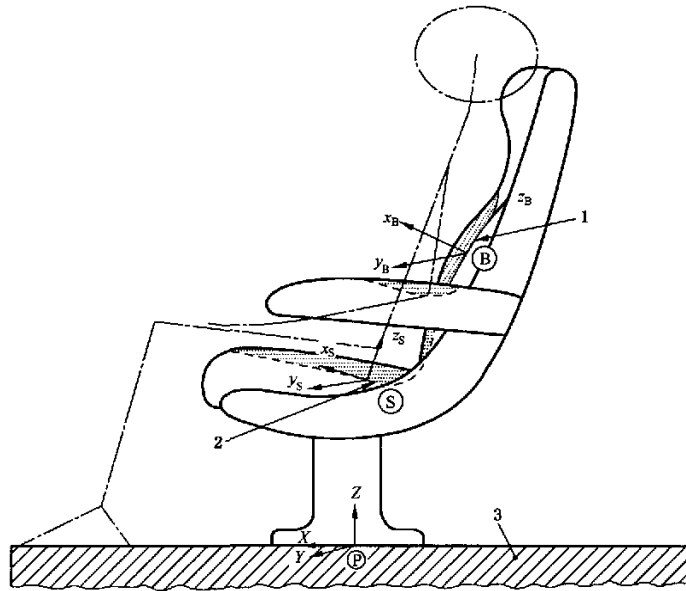
$a(t, B_e, f)$ ——频率在  $(f - B_e/2) \sim (f + B_e/2)$  范围内被滤波的加速度时间历程  $a(t)$  的瞬时值,  $m/s^2$ ;

$b(t)$ ——加速度时间历程的瞬时值,  $m/s^2$ ;

- $b(t, B_e, f)$ ——频率在  $(f - B_e/2) \sim (f + B_e/2)$  范围内被滤波的加速度时间历程  $b(t)$  的瞬时值,  $\text{m/s}^2$ ;
- $b'(t, B_e, f)$ ——频率在  $(f - B_e/2) \sim (f + B_e/2)$  范围内被滤波的加速度时间历程  $b(t)$  的瞬时值, 相移  $\pi/2$ ,  $\text{m/s}^2$ ;
- B——座椅靠背加速度的测点;
- $B_e$ ——频率分析的分辨率, Hz;
- $C_{ab}(f)$ —— $G_{ab}(f)$  的实部,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- $d$ ——在单一频率的振幅, m;
- $f$ ——频率, Hz;
- $f_r$ ——频率响应函数峰值对应的频率, Hz;
- $G_a(f)$ ——时间历程  $a(t)$  的加速度功率谱密度函数, 以加速度单位的平方每单位频率带宽来表示,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- $G_{ab}(f)$ ——两个加速度时间历程  $a(t)$  和  $b(t)$  的互功率谱密度函数, 是一个复函数, 也称为加速度互谱密度,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- $|G_{ab}(f)|$ —— $G_{ab}(f)$  的模数,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- $G_b(f)$ ——时间历程  $b(t)$  的加速度功率谱密度函数, 以加速度单位的平方每单位频率带宽来表示,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- $H(f)$ ——频率响应函数, 是无量纲量、频率的复函数;
- P——测试平台上加速度的测点;
- PSD——功率谱密度;
- $Q_{ab}(f)$ —— $G_{ab}(f)$  的虚部,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- S——座椅坐垫上加速度的测点;
- $t$ ——时间, s;
- $T$ ——信号测量与分析的持续时间, s;
- $T_R$ ——传递率(无量纲);
- $x, y$  和  $z$ ——小写字母用于表征座椅坐垫(S点)和靠背(B点)的振动方向;
- X、Y 和 Z——大写字母用于表征座椅平台(P点)的振动方向;
- $\gamma_{ab}^2(f)$ ——两个加速度  $a(t)$  与  $b(t)$  之间的相干函数, 是一个在 0~1 之间变化的无量纲函数;
- $\theta_{ab}(f)$ —— $G_{ab}(f)$  的相位(实函数), rad.
- 本部分使用下列下标:
- $i$ ——平台振动的方向, 以 X、Y 或 Z 表示;
- $k$ ——S点或B点振动的方向, 以  $x, y$  或  $z$  表示;
- rms——均方根值;
- s——表示三次连续的试验平均的结果;
- w——表征基于频率计权信号的计算得到的参数;
- $\alpha$ ——表征加速度测点的位置, 以 S(座椅坐垫)和 B(靠背)表示。

#### 4 振动方向

本部分中评价人体暴露于全身振动的  $x, y$  和  $z$  坐标轴是按照 GB/T 13441.1 标准中规定的正交生物动力学坐标系, 见图 1 所示。在本部分中使用了这样两个基本中心坐标系, 其原点在臀部与坐垫的分界面、原点在座椅上人的后背与座椅靠背的分界面。它们的坐标轴大致与图 1 中显示的坐标轴平行。



- 1——安装盘；  
2——座椅坐垫；  
3——平台。  
注：箭头所指为正方向。

图1 振动测量方向

描述车辆的直线振动的坐标轴由一个正交坐标系定义,该坐标系与车辆的主轴相平行。X轴平行于纵向轴,Y轴与横向轴平行,Z轴向上,垂直于X轴与Y轴构成的平面。由于实际原因,例如座垫的角度或座椅相对于车辆的纵向轴的实际位置,用于描述车辆振动的坐标系统通常不与乘坐者的坐标系统平行。

## 5 振动传递的描述

### 5.1 振动的描述

#### 5.1.1 概述

应采用三个量(即均方根加速度、加速度功率谱密度和加速度互谱密度)来描述振动。

#### 5.1.2 加速度均方根值 $a_{rms}$

加速度信号的均方根值  $a_{rms}$ ,由公式(1)计算得出:

$$a_{rms} = \left( \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

#### 5.1.3 加速度功率谱密度 $G_a(f)$

加速度功率谱密度  $G_a(f)$ ,由公式(2)计算得出:

$$G_a(f) = \frac{1}{B_e \cdot T} \int_0^T a^2(t, B_e, f) dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

#### 5.1.4 加速度互谱密度 $G_{ab}(f)$

加速度互谱密度用于连接两个加速度信号,一个是  $a(t)$  或激励座椅的输入加速度,另一个是  $b(t)$  或人体-座椅系统在给定接触点的输出加速度响应。互功率谱密度  $G_{ab}(f)$ ,由公式(3)计算得出:

$$G_{ab}(f) = C_{ab}(f) - jQ_{ab}(f) = |G_{ab}(f)| \times e^{-j\theta_{ab}(f)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$$C_{ab}(f) = \frac{1}{B_e \cdot T} \int_0^T a(t, B_e, f) \cdot b(t, B_e, f) dt$$

$$Q_{ab}(f) = \frac{1}{B_e \cdot T} \int_0^T a(t, B_e, f) \cdot b'(t, B_e, f) dt$$

$$|G_{ab}(f)| = \sqrt{C_{ab}^2(f) + Q_{ab}^2(f)}$$

$$\theta_{ab}(f) = \arctan \frac{Q_{ab}(f)}{C_{ab}(f)}$$

## 5.2 振动传递的表征

### 5.2.1 概述

以下参数用于表征来自座椅紧固点的输入振动的加速度信号  $a(t)$ , 到人体-座椅接触点的输出加速度信号  $b(t)$  的传递。

### 5.2.2 频率响应函数 $H(f)$

无量纲的频率  $f$  的复函数。由公式(4)计算得出:

$$H(f) = G_{ab}(f) / G_a(f) \quad \dots\dots\dots (4)$$

### 5.2.3 相干函数 $\gamma_{ab}^2(f)$

频率  $f$  的无量纲的实函数。由公式(5)计算出来:

$$\gamma_{ab}^2(f) = |G_{ab}(f)|^2 / G_a(f) \cdot G_b(f) \quad \dots\dots\dots (5)$$

### 5.2.4 传递率 $T_R$

传递率是一个实数, 无量纲量, 被定义为人体-座椅接触面测量的加速度均方根与座椅安装平台测量的加速度均方根的比。

注 1: 传递率主要取决于输入振动, 尤其是它的功率谱密度函数。

注 2: 对于座椅的单个(共振)频率的传递率, 在 GB/T 18707.1 中用符号  $T$  表示。

### 5.2.5 计权传递率 $T_{Rw}$

这是依照基于 GB/T 18707.1 的加速度计权计算出的传递率。频率计权曲线和容差应符合 GB/T 23716 的规定。

注: 对于在 S 点垂直方向上的计权传递率  $T_{Rw}$  与在 GB/T 18707.1 中定义的 SEAT 系数等同。

## 6 一般观测

本部分描述的实验室测试方法需要使用一个测试台, 通过该测试台可以将单一方向的直线振动按 X、Y 和 Z 方向连续施加到所要测试载人座椅的紧固点上。

本部分规定了所要采用的表征振动传递的方法。这种振动是从受激励的座椅底部(图 1, P 点)沿 X、Y 或 Z 单一方向传递到位于人体-座椅接触面的两个点, 即位于座椅坐垫的一个点(S 点), 和另一个位于靠背的点(B 点)。在这两个点的每一个点, 在  $x$ 、 $y$  和  $z$  三个方向上将同时测量到响应; 其相应的频率响应函数, 传递率以及计权传递率应能计算出来。

在座椅测试中所要采用的输入试验振动在本部分第 11 章中有详细说明。

## 7 测点

根据图 1 布置图应测量九个加速度值:

——振动平台的三个输入加速度, 在 P 点;

——座椅坐垫的三个输出加速度, 在 S 点;

——座椅靠背的三个输出加速度, 在 B 点。

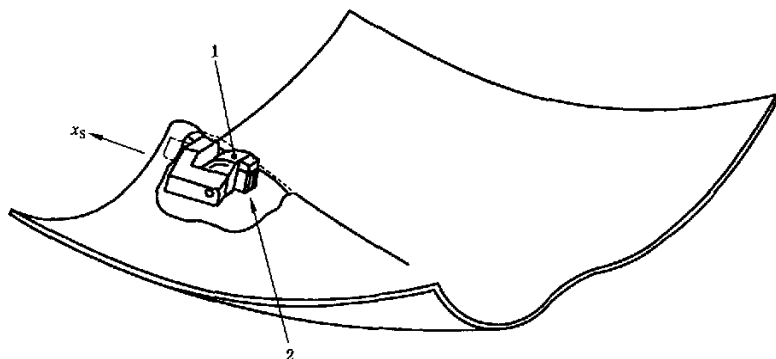
P 点应位于距离 S 点垂直投影小于 100 mm 的平台上。

## 8 测试仪器

测量仪器设备应符合 GB 18707.1—2002 中第 4 章、第 5 章的要求；I 型使用仪器应符合 GB/T 23716 要求。

对于 S 点的测量，一个薄的、半刚性材料的座椅坐垫，做成符合图 2 和图 3 所示的形状，并且应放置在乘坐者与座椅的接触面上。座椅坐垫的形状和材料应能符合乘坐者的形态，从而不会对人产生任何不适感。座椅坐垫应在 S 点采用一个可调式装置用来沿着如图 1 中给出的三个正交轴  $x_s$ 、 $y_s$  和  $z_s$  同时测量加速度。

加速度计应尽可能地安装在 S 点。但也可以把它放在靠前些，因为在前部对于测试对象更加舒适，并且能够接近传感器倾斜摆动装置。

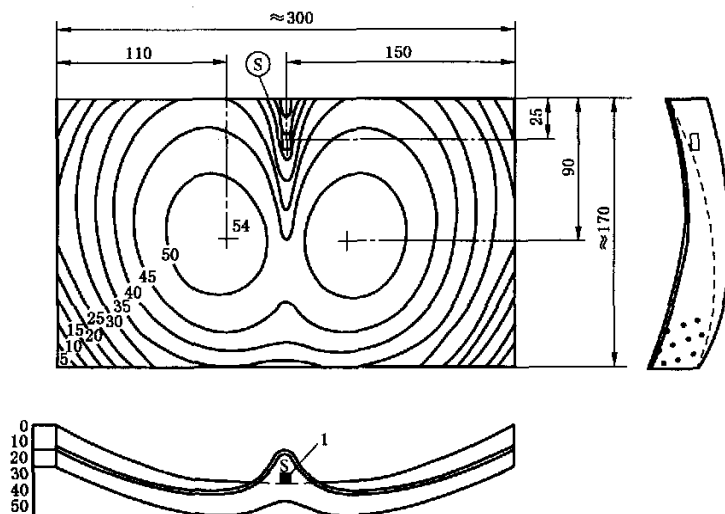


1——传感器固定装置；

2——S 点传感器。

图 2 座椅坐垫

单位为毫米



1——传感器。

注：大约每平方厘米一个 1 mm 直径的穿孔。

图 3 座椅坐垫详图

## 9 安全要求

应当执行 ISO 13090-1 中的安全防范要求。

## 10 试验座椅和试验人员

### 10.1 试验座椅

用于试验的座椅应是一系列产品型号的代表。如果需要,根据生产商提供的说明书,座椅在试验之前可先行试车磨合;并且如果有条件,应当事先调整座椅,以适应试验对象的身高和体重。

当座椅有紧固到车辆上的装置时,座椅应采用与安装在车辆上同样的紧固装置安装在试验平台上,以保证在测试中包含紧固件的刚度和阻尼特性的影响。

没有采用上述的紧固装置时,也可把它直接固定在试验平台上。

一旦座椅在车辆上面,在测试平台上应安装一个适当的传感器组件。这个传感器组件安置在地板范围以外的一个点或几个点上(例如侧向车体)并应有足够刚性,以保证其测试的加速度与平台自身的加速度一致。

当座椅带有内置的位置调节装置时,通常被使用者经常使用的位置应定为在实验室里进行测试的标准位置。

应在实验室中进行最初的磨合运转。为此,一个 $(75 \pm 7.5)$  kg 的惯性质量应放在座椅坐垫上(即 10.2 中规定的位置上)。这个座椅应承受垂直正弦激励达 2 h,垂直正弦激励的频率应等同于系统最低的共振频率。调节它的幅值以获得一个  $3 \text{ m/s}^2$  加速度均方根值。

### 10.2 试验人员

应该用两个人进行测试,一次一人只占用一个座位,即使座椅是多座位类型的。

在试验开始前,试验人员应找到他(她)能够在整个试验中始终保持的一个位置。尤其是对于司机座椅的情况,试验人员应采用工作状态时通常的姿式。

试验人员的脚应平放在试验平台上,如果有必要,也可放在一个与实验平台相连的刚性装置上。后背应自然地靠在座椅靠背上,座椅有扶手时,将肘部放置在扶手上,双手自然平放在大腿上。

在多座位型座椅的特殊情况下,试验人员应坐在垂直激励作用下垂直座椅坐垫加速度均方根值最大的位置。这个位置应由初始测试确定。

试验人员应在座椅上坐了足够长时间后,测试才能开始。这样做能够保证座椅坐垫原材料变形和可能的短期蠕变,以及保持座椅坐垫和靠背加速度计的温度稳定性。为此,一般需要约十几分钟的时间。

应当相继应用两个试验人员。他们的体重应分别等于 $(50 \sim 55)$  kg 和 $(90 \sim 95)$  kg。为了达到这个质量要求,每一个试验人员的体重可以用沙袋绑在腰间最多增加 10%。

## 11 输入试验振动

### 11.1 概述

试验中的人体-座椅系统的动态特性应当在特定幅值的宽带伪随机振动作用下加以研究。也应在正弦振动作用下加以研究,以探测可能存在的非线性。

### 11.2 伪随机激励

#### 11.2.1 激励信号的产生

振动台的激励信号应当是伪随机类型的。

这种类型的激励防止在分析中发生任何频谱泄漏。该频谱容易形成,以至于仅激励那些关注的频率范围内的频率。尤其是,它能用于补偿试验设备的频率响应,并提供一个在关注的频率范围内平坦的频谱,如公式(6)和公式(7)所要求的那样。此外,这种评价可以用平均少量序列的结果来实施。

应用 18 个连续的相等长度序列形成激励信号,每个序列持续 5 s 或更长时间,这要根据频率分辨率而定。5 s 是满足 0.2 Hz 分辨率要求的最短时间。所以,激励持续的总时间应至少为  $18 \times 5 \text{ s} = 90 \text{ s}$ 。

激励信号每一个序列的时间历程应是由纯正弦分量的总和形成,这些分量的个数取决于频率分辨率。每一分量的幅值应遵循公式(6)和公式(7)给出的功率谱密度。每个分量的相位,应是一个由  $0 \sim 2\pi$  组成的均匀密度概率的随机变量。

作为例子,附录 A 说明一个控制信号产生过程的详细流程图。

### 11.2.2 功率谱密度

对 X、Y 和 Z 每个方向激励产生的加速度功率谱密度由公式(6)和公式(7)计算(频率范围:0.5 Hz~50 Hz):

$$G(f) = 0.05 f^4 (\text{m/s}^2)^2 / \text{Hz}^5 \quad f < 1 \text{ Hz} \dots\dots\dots (6)$$

$$G(f) = 0.05 (\text{m/s}^2)^2 / \text{Hz} = \text{常数} \quad 1 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz} \dots\dots\dots (7)$$

分辨率应小于或等于 0.2 Hz。

### 11.2.3 加速度均方根

在频率 0.5 Hz~50 Hz 范围内的加速度均方根值应为  $1.6 \text{ m/s}^2$ 。

### 11.2.4 容差

在进行试验时,在振动台 P 点测量到的加速度功率谱密度所允许的最大容差应为 0.5 Hz~50 Hz 范围内每一个频率下的规定数值的  $\pm 20\%$ 。就均方根值而言,要求容差为  $\pm 0.16 \text{ m/s}^2$ 。

### 11.3 正弦激励

座椅也应在纯正弦条件下被激励,激励频率为在测试期间根据随机激励确定的频响函数模数到达最大值的频率。

若不能做到,座椅应在 1.5 Hz 和 10 Hz 的频率下激励。

加速度的两个幅值应当相继使用:  $(0.5 \pm 0.1) \text{ m/s}^2$  和  $(1 \pm 0.1) \text{ m/s}^2$ 。

作为实例,附录 A 说明一个控制信号产生过程的详细流程图。

## 12 用于表征振动传递的参数

### 12.1 伪随机激励

对于每一个测点 S 和 B,表征振动传递由如下参数来确定:

——频率响应函数  $H(f)_{\text{sk}}$  (应给出每 0.2 Hz 或更小间距的模数与相位,频率范围从 0.5 Hz~50 Hz);

——相干函数  $\gamma^2(f)_{\text{sk}}$ ;

——传递率  $T_{\text{Reik}}$ ;

——计权传递率  $T_{\text{Rwaik}}$ 。

可能会出现这样一种情况,即与某些频率响应函数有关的函数的数值相对较低。通常在非振动台激励方向上测量到的座椅响应的加速度相当微弱。在与某个频率响应函数相关的相干函数小于 0.6 时,该频率响应函数可视为 0,但其模数及相位的计算结果应在试验报告中体现。

### 12.2 正弦激励

对于伪随机激励下的频响函数模数  $H(f)$  曲线图中突显的峰值所产生每一个频率值  $f_r$ ,在加速度幅值分别为  $0.5 \text{ m/s}^2$  和  $1 \text{ m/s}^2$  正弦激励下的频率响应函数模数  $H(f_r)_{\text{sk}}$  的两个新值将会被计算出来。

这两个频率响应函数模数  $H(f_r)$  之差应能计算出来。这个差以数值较高的百分数表示。

超过 30% 的差表示包括相关频率及其响应、激励方向明显的非线性。

### 13 测试程序

#### 13.1 初始程序

把座椅安装在试验平台上,搭载试验人员并试车。座椅传感器的倾斜度调整到和图 1 所示的方向相一致(见第 4 章)。

选择测量链的部件,安放到位并进行连接。加速度计按照 GB/T 13823 和 GB/T 20485 中相关部分的说明校准,并安装好。特别是在 P 点,要符合 GB/T 14412 中的建议。

#### 13.2 伪随机激励下的试验

第一个试验人员坐在相应的座椅上。

试验在 X、Y 和 Z 的激励方向上连续进行。

指定方向的激励和第 11 章中规定的内容相一致。测试持续时间至少 90 s。每个测试应重复进行,直到连续三次试验的频响函数模数的算术平均值与每次试验值的差别在±5%之内为止,试验频率范围为 0.5 Hz~50 Hz。三次测试的频率响应函数,相干函数和传递率的平均结果确定测试的最终结果,并以  $H_s(f)_{\text{olk}}, \gamma_s^2(f)_{\text{olk}}$  和  $T_{\text{Rsoik}}$  的形式表示。

第二个试验员应坐在相应的座椅上,并按照以上的详细说明再做一次新的测试。

#### 13.3 在正弦激励下测试

应施加符合 11.3 的正弦激励。

每个测试应重复进行,直到连续三次测试中频响函数模数的平均值与每次试验值的误差在±5%之内为止。得到的平均值被确定为最终结果,以频响函数模数  $H_s(f_s)_{\text{olk}}$  的形式表示。

### 14 试验报告

#### 14.1 座椅

安装座椅的装置和把它紧固到试验平台上的装置应正确地描述记录下来。坐垫和靠背上的测点应详细说明。

#### 14.2 试验人员

每个试验人员的体重、身高、年龄、性别应说明。

当使用多座位座椅时,在测试中所使用的座位应报告,以免混淆。

#### 14.3 测量链

测量链应符合 GB/T 18707.1 中的要求。

#### 14.4 测试结果

测试结果应按照下列规范书写。

伪随机激励条件下的测试结果应以数字和图表的形式表示出来。

每个频率响应函数模数、相位和相干函数应以一组值描述,这些值在 0.5 Hz~50 Hz 范围内,以每 0.2 Hz 或更小的步长记录。

图表应符合图 4 中的规定。

用于计算的传递率值和加速度均方根值应报告出来。

在正弦激励下的测试结果应与表 1 中规定的一致。

纵向伪随机激励(X 方向)

试验人员:编号 1

体重:55 kg      身高:1.66 m

性别:女      年龄:32 岁

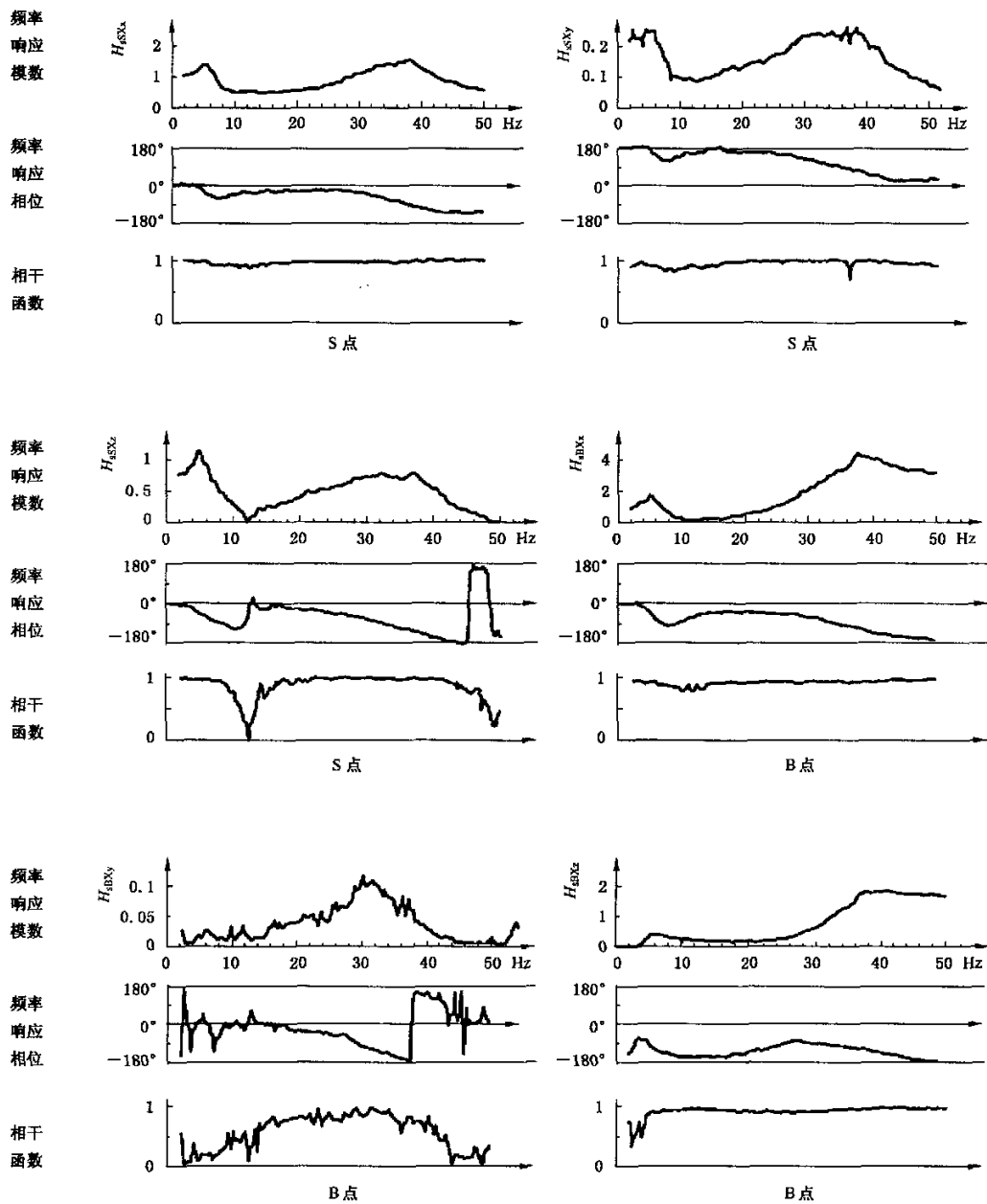


图 4 伪随机激励条件下的测试结果（示例）

表 1 正弦激励条件下的测试结果(示例)

| 频率 $f_r$ 的响应模数(由伪随机激励产生的频率) <sup>a</sup>                                                  |                     |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
|                                                                                           | 5 Hz                | 36 Hz              |
| $H_{sSX_z}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 1.38<br>1.07<br>22  | 1.59<br>1.55<br>3  |
| $H_{sSX_y}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 0.24<br>0.23<br>4   | 0.25<br>0.21<br>16 |
| $H_{sSX_x}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 1.13<br>1.04<br>8   | 0.78<br>0.67<br>14 |
| $H_{sBX_z}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 2.02<br>2.39<br>15  | 4.64<br>4.84<br>4  |
| $H_{sBX_y}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 0.055<br>0.050<br>9 | 0.12<br>0.13<br>8  |
| $H_{sBX_x}$<br>正弦激励幅值 0.5 m/s <sup>2</sup><br>正弦激励幅值 1 m/s <sup>2</sup><br>相对于高值的差值百分比,%  | 0.53<br>0.46<br>13  | 1.78<br>1.99<br>11 |
| <sup>a</sup> 纵向正弦激励(X方向)<br>试验人员:编号 1<br>体重:55 kg      身高:1.66 m<br>性别:女          年龄:32 岁 |                     |                    |

**附 录 A**  
(资料性附录)  
**激励产生过程的示例**

**A.1 概述**

本附录的示例给出了可以对试验设备产生控制信号的方法。

可以应用下列两种激励方法：

——伪随机激励；

——正弦激励，仅在伪随机激励试验中出现的共振频率下激励。

**A.2 伪随机激励**

该激励必须是纯的、相位随机变化的正弦激励的集合。

如果分辨率  $B_s$  是 0.2 Hz，该激励可以覆盖 0.4 Hz~50 Hz 的频率范围。

因此激励频谱由  $(50 \text{ Hz} - 0.4 \text{ Hz}) / 0.2 \text{ Hz} + 1 = 249$  条谱线构成。

本部分用加速度功率谱密度  $G_a(f)$  定义产生的激励；见 11.2。

通常用一个位移信号来控制试验设备。如果在这个位移振幅谱(频率分辨率  $B_s$ )中频率  $f$  线有一个位移幅值  $d$ ，则相应的加速度功率谱密度  $G_a(f)$  具有下列数值：

$$G_a(f) = d^2 \times 8\pi^4 f^4 / B_s \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

因此，得出  $d$

$$d = (2B_s G_a(f))^{1/2} / (4\pi^2 f^2) \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中  $G_a(f)$  由公式(6)和公式(7)得出。

测试可以按照图 A.1 所示流程图进行。

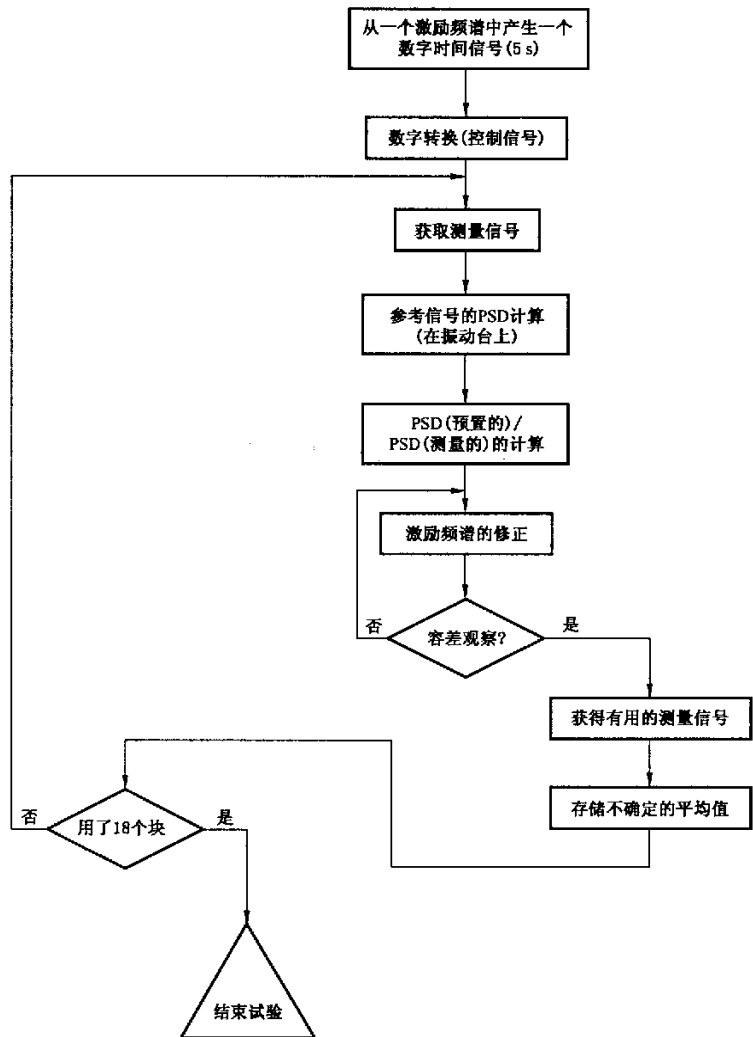


图 A.1 伪随机激励试验过程流程图

A.3 正弦激励

每一测试可以按照图 A.2 中所示流程图进行。

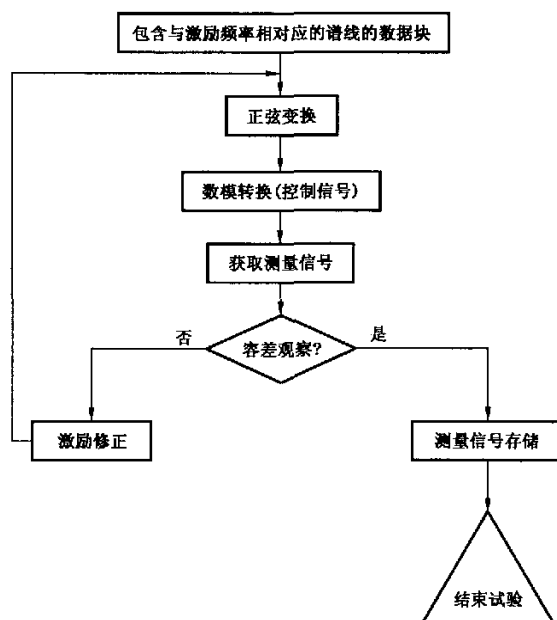


图 A.2 正弦激励测试过程流程图

参 考 文 献

- [1] ISO 2631-4 Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems.
  - [2] GB/T 15619 机械振动与冲击 人体暴露 词汇 (GB/T 15619—2005, ISO 5805:1997, MOD)
  - [3] ISO 8727 Mechanical vibration and shock—Human exposure—Vocabulary.
  - [4] ISO 10056 Mechanical vibration—Measurement and analysis of Whole-body vibration to which passengers and crew are exposed in railway vehicles.
  - [5] ENV 12299 Railway applications—Ride comfort for passengers—Measurement and evaluation.
-