



中华人民共和国国家标准

GB/T 20485.22—2008/ISO 16063-22:2005
代替 GB/T 13823.10—1995

振动与冲击传感器校准方法 第 22 部分：冲击比较法校准

Methods for the calibration of vibration and shock transducers—
Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer

(ISO 16063-22:2005, IDT)



2008-03-03 发布

2008-08-01 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

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

振动与冲击传感器校准方法
第 22 部分:冲击比较法校准

GB/T 20485.22—2008/ISO 16063-22:2005

*

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

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 1.5 字数 38 千字
2008 年 5 月第一版 2008 年 5 月第一次印刷

*

书号:155066·1-31380 定价 20.00 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 20485.22-2008

前 言

GB/T 20485《振动与冲击传感器校准方法》预计结构由基本概念、绝对法校准、比较法校准和环境模拟校准等大类以及以下几部分组成：

- 第 1 部分：基本概念；
- 第 11 部分：激光干涉法振动绝对校准；
- 第 12 部分：互易法振动绝对校准；
- 第 13 部分：激光干涉法冲击绝对校准；
- 第 15 部分：激光干涉法角振动绝对校准；
- 第 21 部分：振动比较法校准；
- 第 22 部分：冲击比较法校准。

本部分是 GB/T 20485 的第 22 部分。

本部分等同采用 ISO 16063-22:2005《振动与冲击传感器校准方法 第 22 部分：冲击比较法校准》（英文版）。

本部分等同翻译 ISO 16063-22:2005。

为使用方便，本部分作了如下编辑性修改：

- “国际标准的本部分”一词改为“本部分”；
- 删除国际标准的前言；
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；
- 对 ISO 16063-22:2005 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，未被等同采用为我国标准的直接引用国际标准。

本部分代替 GB/T 13823.10—1995《振动与冲击传感器的校准方法 冲击二次校准》。

与 GB/T 13823.10—1995 相比，主要修改内容如下：

- 原标准中规定的频率范围 40 Hz~1 250 Hz 改为 40 Hz~5 000 Hz，并对仪器设备要求做了相应的调整；
- 校准环境条件中室温由 20℃±5℃改为 23℃±5℃；
- 校准频率的选择改为按照 1/3 倍频程；
- 增加了加速度计灵敏度相移的计算内容；
- 增加了第 3 章 测量不确定度；
- 附录 A 中增加了 A.1.2 和 A.2.2 复灵敏度相移校准的不确定度计算。

本部分的附录 A 为规范性附录，附录 B 为资料性附录。

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提出并归口。

本部分起草单位：中国兵器工业第 202 研究所、中国计量科学研究院、中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所。

本部分主要起草人：温波、于梅、李新良、顾国富。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 13823.10—1995。

目次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量不确定度 2

5 仪器 2

5.1 总则 2

5.2 砧子式冲击校准器(100 m/s²~100 km/s²) 2

5.3 霍普金森棒(Hopkinson bar)冲击校准器 6

5.4 示波器 8

5.5 带计算机接口的波形记录仪 8

5.6 带数据处理功能的计算机 8

5.7 滤波器 8

5.8 其他要求 8

6 环境条件 8

7 优选的加速度和脉冲持续时间 8

8 方法 9

8.1 试验程序 9

8.2 数据采集 9

8.3 信号处理 9

9 校准结果报告 11

附录 A(规范性附录) 校准中测量不确定度的表示 13

附录 B(资料性附录) 不确定度例子——校准中测量不确定度的表示 15

参考文献 18

振动与冲击传感器校准方法

第 22 部分:冲击比较法校准

1 范围

本部分规定了采用测量随时间变化的参考加速度、速度或力的方法,对直线加速度计进行冲击比较法校准的仪器设备及操作程序。本方法适用于冲击脉冲持续时间范围¹⁾为 0.05 ms~8.0 ms,动态范围(峰值)为 100 m/s²~100 km/s²(与脉冲持续时间有关)。这些方法可以得到传感器的冲击灵敏度(也就是加速度传感器输出量的峰值和加速度峰值的关系)。

这些方法不用于模态分析中用的动态力传感器的校准。

注 1: 本部分针对的是那些从事冲击测量的用户,他们需要如 GB/T 19001《质量管理体系 要求》(idt ISO 9001)和 GB/T 15481《检测和校准实验室能力的通用要求》(idt ISO/IEC 17025)所述的可溯源性。

注 2: 本部分规定的方法基于加速度的时间历程的测量,从根本上不同于 GB/T 20485.1—2008 所述基于速度变化原理的其他冲击校准方法,因此冲击灵敏度也从根本上不同于后者得到的冲击校准因子,但和 GB/T 20485.13—2007 冲击灵敏度一致。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 20485 的本部分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 机械振动与冲击 术语

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)

ISO 5347-22 振动与冲击传感器校准方法 第 22 部分:加速度计谐振测试 通用方法²⁾

ISO 18431-2 机械振动与冲击 信号处理 第 2 部分:用于傅里叶变换分析的时域窗

3 术语和定义

GB/T 2298 及下列给出的术语和定义适用于本标准。

1) 例外情况,冲击脉冲持续时间可能更长或更短。

2) 下一个版本成为 ISO 16063 的一部分。

3.1

峰值

冲击脉冲幅值的最大值或绝对值的最大值。

4 测量不确定度

冲击灵敏度测量的不确定度如表 1 所示。

表 1 比较法校准不确定度参考条件

冲击校准装置	加速度峰值 ^a / (km/s ²)	最小脉冲持续时间 ^{a,b} / ms	不确定度
摆锤式	1.5	3	5%
落球式	100	0.100	5%
气动活塞式	100	0.100	5%
采用速度比较法的霍普金森棒	100 ^c	0.050 ^c	10%
采用加速度比较法的霍普金森棒	100 ^c	0.050 ^c	6%
采用力比较法的分离霍普金森棒	100 ^c	0.050 ^c	10%
^a 峰值和持续时间变化=±10%。 ^b 脉冲持续时间是在峰值的 10%处测量(见第 7 章)。 ^c 较大的加速度(峰值)和较短的脉冲持续时间是可能的,但是不能以绝对法校准做参考。			

测量不确定度表示为相对扩展测量不确定度,与 GB/T 20485.1—2008 一致(简称不确定度),该不确定度包含因子 $k=2$,置信概率约 95%。

校准时,只要激励引起的传感器或冲击机械结构中任何固有共振模态的谱能量相对于校准频率范围内的谱能量很小,就可以达到表 1 所列的不确定度指标。传感器固有频率的测试按照 ISO 5347-22 进行。

注:对高精度等级传感器(如参考传感器)的校准,应仔细操作,确保给出的全部不确定度分量比相应的规定(不确定度的分量参看附录 A)都足够小,可以得到比表 1 所列要小的不确定度。对摆锤、落球和气动活塞的冲击校准器,在加速度峰值范围 200 m/s²~2 000 m/s² 内,已在多个实验室进行的比较校准中得到了 1%的不确定度^[1]。

加速度峰值可以用标准重力加速度表示,符号表示为 g_n (1 $g_n=9.806\,65\text{ m/s}^2$;1.5 km/s²≈150 g_n)。

根据传感器生产厂家的指标,应该考虑传感器所适用的最窄冲击持续时间,以避免加大测量不确定度和损坏或毁坏传感器。

5 仪器

5.1 总则

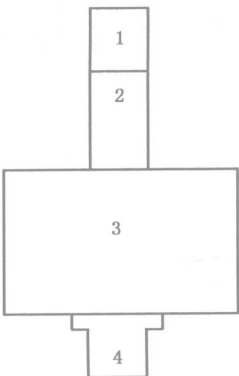
安装传感器(参考或被校传感器)的所有表面应该抛光、平整和清洁。安装传感器的表面粗糙度,用算术平均偏差 R_a 表示,其值应小于 1 μm。表面平面度的要求是:在对应于任何被校传感器的最大安装表面内,该表面应包容在距离为 5 μm 的两个平行平面之间。连接传感器用的通孔和螺纹孔相对于安装面的垂直度应小于 10 μm,即该孔的中心线应被包含在一个直径 10 μm、高度等于孔深度的圆柱形区域内。根据安装表面的材料,可以在各种的参考文献找到合适的螺钉和螺栓的安装力矩,在任何情况下都应遵循传感器生产厂家的建议。

5.2 砧子式冲击校准器(100 m/s²~100 km/s²)

5.2.1 总则

本章给出了能满足第 4 章中不确定度要求的砧子冲击校准器的推荐指标。当用落球冲击校准器或

气体驱动活塞冲击校准器进行背靠背校准时,建议被校传感器直接安装在参考传感器顶部,如图 1 所示。不推荐摆锤式冲击校准器采用这种安装方式,其安装方式参见 5.2.2 和图 3。由于参考传感器的灵敏度和频响随着附加质量的大小有轻微的变化,为得到最佳准确度,被校传感器和安装夹具的尺寸或质量不应明显大于参考传感器。为了消除过冲和共振激励产生的振铃,对所有方法被校传感器的固有周期(等于共振频率的倒数)应小于所施加冲击脉冲的半正弦脉冲持续时间的 0.2 倍。



- 1——被校传感器;
- 2——参考传感器;
- 3——试验质量;
- 4——砧子。

图 1 推荐的传感器、砧子和试验质量的安装方式

5.2.2 摆锤式冲击校准装置

摆锤式冲击校准装置用于传感器的冲击灵敏度和幅值线性度的测定,以及大批量传感器的校准。采用比较法校准的加速度范围 $100\text{ m/s}^2 \sim 1\,500\text{ m/s}^2$ ($10\text{ g}_n \sim 150\text{ g}_n$),半正弦冲击脉冲持续时间(在 10%幅值处测量)为 $3\text{ ms} \sim 8\text{ ms}$ 。摆锤式冲击校准装置示意图如图 2 所示。冲击脉冲持续时间 T 跟加速度的峰值有关,例如在 $1\,500\text{ m/s}^2$ 时是 3 ms ,而在 100 m/s^2 时是 8 ms 。幅值线性度可以通过摆锤 4 到 7 次的碰撞测得,或者通过多次不同加速度幅值的冲击测得。

摆锤式冲击校准装置包括一个刚性支架、一个摆锤和一个砧摆。支架的典型尺寸约为 $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ 的方形基座,高度为 780 mm 。结构的总质量大约 60 kg 。砧摆的长度约为 400 mm 。将摆锤转到需要的角度处释放,摆锤对砧摆产生一个碰撞。提供角度刻度尺来确定摆锤的角度。碰撞期间的最大速度变化量小于 3 m/s 。参考传感器和被校传感器安装在摆上,如图 3 所示。用角度刻度尺测量摆锤角位移。两个摆的转动惯量大致相同,以产生一系列幅值逐渐降低的碰撞。通过两个摆之间的橡胶垫,将已知脉冲形状的碰撞从一个摆传递到另一个摆。橡胶垫的硬度决定脉冲的形状、脉冲持续时间以及可用的撞击次数。要产生一个半正矢脉冲形状,丁二烯橡胶垫的典型规格是 8 mm 厚,硬度为 56 HSA。被校传感器和参考传感器安装在砧摆的第一阶轴向模态的节点处,以避免结构振动而影响数据的灵敏轴重合^[15]。

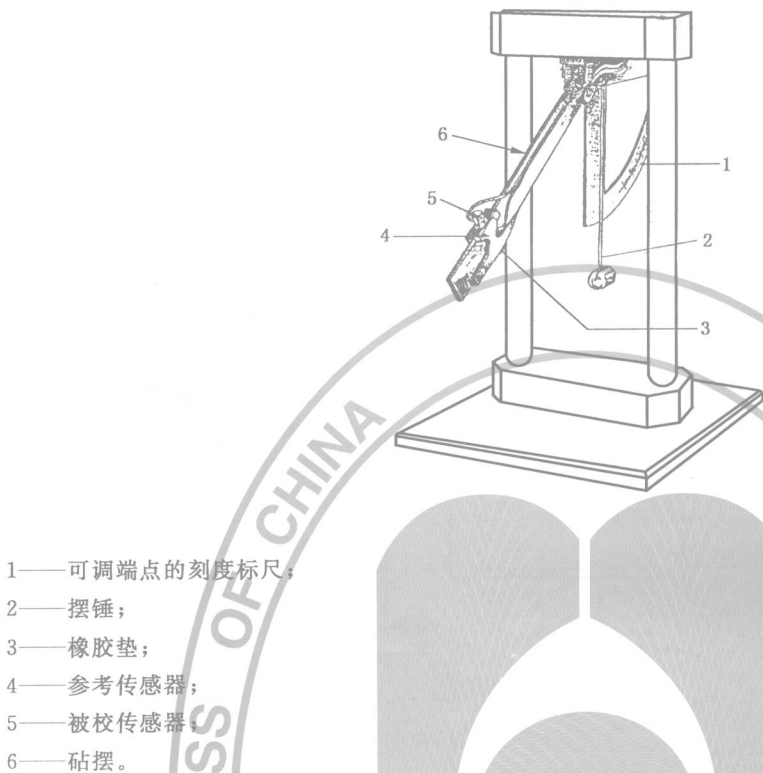


图 2 摆锤式传感器冲击校准装置示例

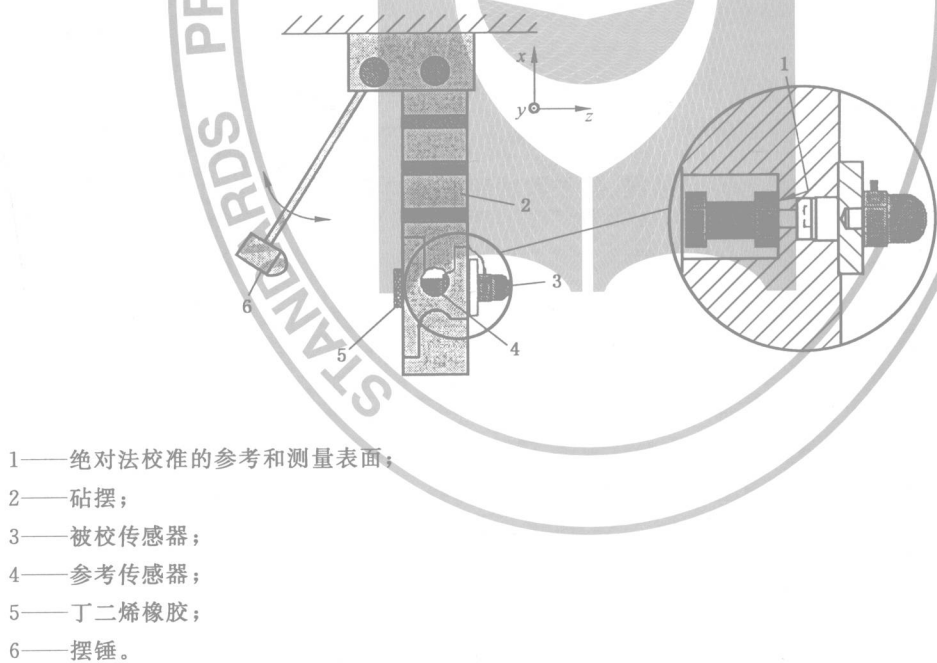


图 3 摆锤式冲击校准装置上传感器的正确安装和参考传感器参考表面的选择

5.2.3 落球式冲击校准装置

落球式冲击校准装置使用一个参考传感器与被校传感器背靠背安装在钢制的砧子上,见图 4。用该落球可产生脉冲持续时间为 0.100 ms~10 ms、加速度峰值为 100 m/s²~100 km/s² 的冲击脉冲。传感器位于砧子的底部,构成的组合体插入落球装置的管子中。砧子靠磁性固定在管子内适当的位置。用真空吸盘定位和释放位于落球装置管子顶部的钢球,这样落球撞击位于管内的砧子中心。在撞击砧子时,落球产生机械的冲击脉冲,使砧子自由跌落到位于校准装置管子内部磁性吸盘下面的泡沫橡胶接

收装置中。通过改变落球的直径和质量^[2]，以及改变附加在砧子撞击表面材料的阻尼，可以调整撞击产生的峰值和脉冲持续时间。

落球装置用于确定作为加速度峰值(g_n)或频率函数的灵敏度^[3]。理想的情况下，应改变参数，在 5 kHz~10 kHz 频率范围内产生一系列不受限于峰值的有效谱能量的冲击脉冲。例如，产生 100 g_n ~1 000 g_n 峰值加速度幅值冲击脉冲的砧子，其直径小于 25 mm。柱塞的用途是避免直径相对较小的落球与砧子在初次碰撞后产生多次撞击。使用小落球和小尺寸的砧子产生冲击有两个优点。首先，减小砧子的质量能降低砧子碰撞接受装置时损坏传感器的风险。其次，减小砧子的尺寸能提高它的固有频率。由于砧子的共振能明显地调制机械冲击脉冲的包络，在确定时域幅度的峰值时第二点尤其重要^[3]。

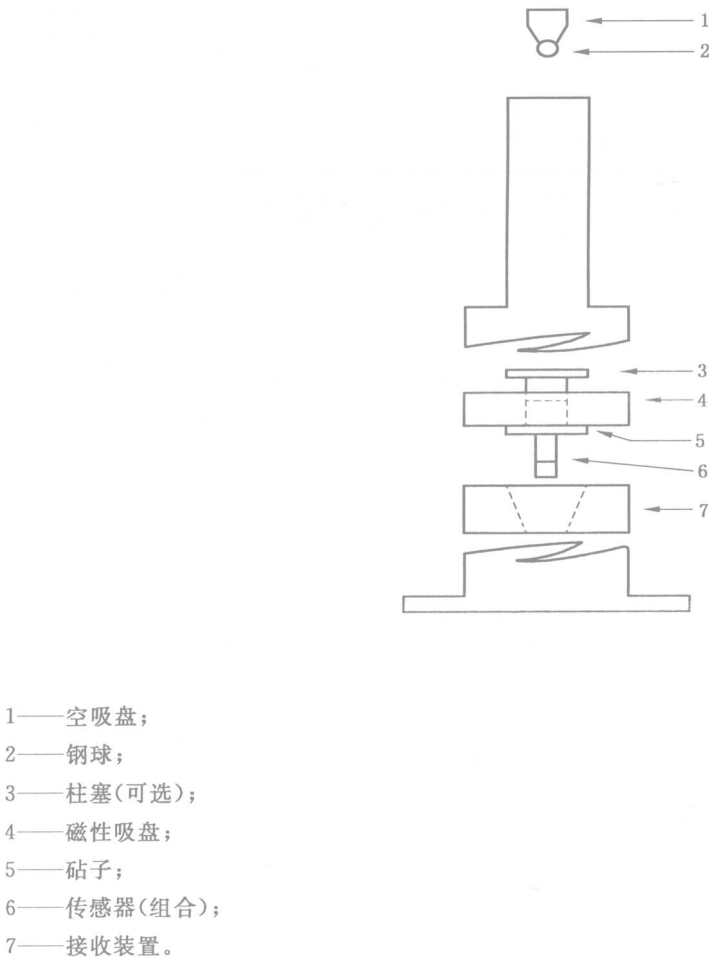


图 4 落球式传感器冲击校准装置示例

5.2.4 气动活塞式冲击校准装置

一个向上运动的气动活塞提供简单、可控和可重复的传感器比较法校准的手段，如图 5 所示^[4]。射出的子弹(活塞)撞击在砧子上，产生冲击峰值幅度为 200 m/s²~100 km/s² (20 g_n ~10 000 g_n)，脉冲持续时间为 100 μ s~3 ms 的半正弦脉冲。典型的砧子材料为钢和铝。参考传感器与被校传感器背靠背地安装在砧子上。用一个调压器控制子弹压力，通过一个阀门释放压力并精确控制子弹。当发生碰撞时，装有橡皮垫的砧子被弹起一个很短距离后，被软垫阻挡。子弹被限制在一个管子中。通过压力控制，以及砧子、附加质量和软垫厚度的组合可以产生宽范围的冲击峰值和持续时间。

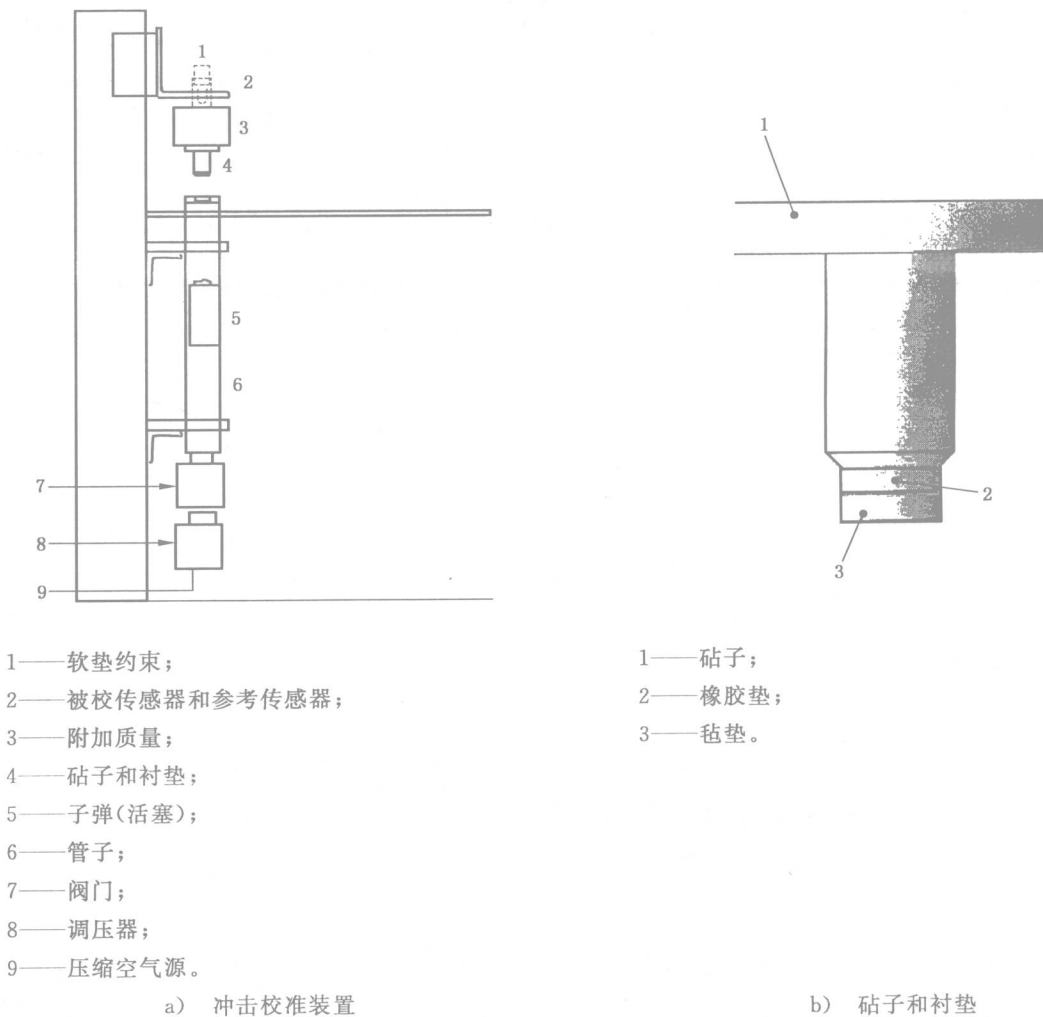


图 5 向上运动的气动活塞式冲击校准装置框图

衬垫有可能被高速子弹和大的附加质量撕裂。损坏了的衬垫产生不可重复的冲击脉冲，也许会出现过大的幅值。使用前一定要检查衬垫，尤其是损坏了的衬垫会使子弹和砧子间发生金属对金属的碰撞，从而产生潜在的、与驱动压力相关的破坏性加速度。

冲击脉冲的特性通常取决于

- a) 子弹的速度；
- b) 靶(砧子和传感器组合体)的质量；
- c) 最为关键的是两者之间的材料变形。

子弹的速度近似正比于驱动压力。砧子的速度(加速度曲线下的面积)受目标质量和子弹质量之比的影响。目标质量是砧子质量、附加质量、所有安装夹具质量、标准参考传感器质量和被校传感器质量之和。碰撞点的材料越柔软，冲击脉冲持续时间越长。对冲击产生的给定速度，加速度幅值和脉冲持续时间的乘积近似为一个常数。在同一个砧子上较薄的衬垫产生持续时间短而幅值高的冲击，而较厚的衬垫会产生一个持续时间较长而幅值较低的冲击。这两个冲击脉冲加速度曲线下的面积应近似相等。

5.3 霍普金森棒(Hopkinson bar)冲击校准器

5.3.1 通用要求

霍普金森棒冲击校准器具有的高加速度工作范围(峰值 $1\,000\text{ m/s}^2 \sim 2\,000\,000\text{ m/s}^2$)，用于评价加速度传感器的性能。本部分规定的加速度范围是 $100\text{ m/s}^2 \sim 100\,000\text{ m/s}^2$ ，可以用绝对法作参考。(详见 GB/T 20485.13—2007/ ISO 16063-13)。

霍普金森棒通常被定义为长度和直径之比大于 10 的细长棒。长度和直径之比约为 100 时，用本节

的方法可得到很好的结果。霍普金森棒冲击校准器可以配备应变测量仪器或激光多普勒测振仪(LDV)进行参考测量。在参考传感器测量值和被校传感器测量值之间可以进行速度或加速度的比较。对于分离式的霍普金森棒冲击校准器,被校传感器的参考加速度由测量的力值导出。所有霍普金森棒冲击校准器可以用于评价峰值加速度幅值高达 $2\,000\text{ km/s}^2$ 的加速度传感器的性能。霍普金森棒中的应力波传播理论在文献^[5,6]中有较好的描述。

为了提供向绝对冲击标准的可溯源性,用一个经绝对法校准的参考传感器来验证用霍普金森棒冲击校准器校准的参考传感器的不确定度。

5.3.2 采用速度或加速度比较法的霍普金森棒冲击校准器

通过对传感器的积分输出和应变测量仪或激光多普勒测振仪的输出进行比较,以速度量校准被校传感器^[7,8]。被校加速度传感器也可以通过对传感器的输出和应变计或激光多普勒测振仪输出的微分的比较来进行加速度校准^[9,10]。霍普金森棒冲击校准器示意框图如图 6 所示。有关带传递标准的霍普金森棒的校准详见参考文献^[9]。

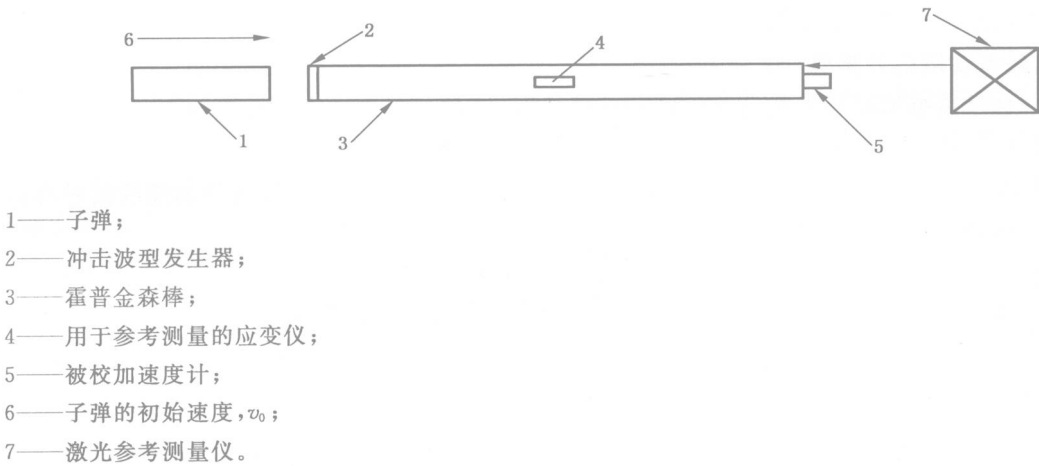


图 6 霍普金森棒冲击校准器示意框图

5.3.3 采用与力传感器比较的分离式霍普金森棒冲击校准器

分离式霍普金森棒冲击校准器是用未积分的传感器输出和应变测量输出的微分进行加速度比较。图 7 是第一个棒的长度和直径之比大于 10 的铝分离式霍普金森棒冲击校准器的示意图^[11,12]。使用 5.3.2 技术相同的设备^[7~10],不同的是分离式结构传感器直接安装在棒的端头。一个 0.254 mm 厚、19.0 mm 直径的 X 型剪切的石英量仪粘在第二个棒的一端,而在第二个棒的另一端安装被校传感器。

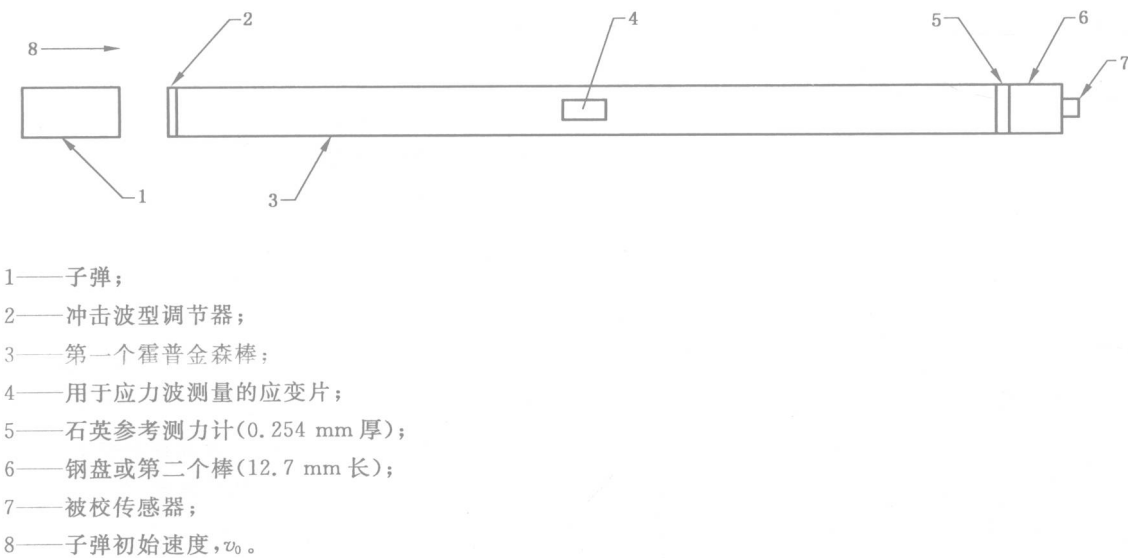


图 7 分离式霍普金森棒冲击校准器示例

只要子弹碰撞产生的相应应力脉冲上升时间足够长,并且钢盘(第二个棒)的长度足够短,第二个棒的响应可以近似看作钨钢盘的刚体运动^[11]。钨钢盘的刚体运动加速度 a ,用石英测力计测得的力 F 计算,根据牛顿第二定律, $F=ma$,式中, m 是包括被校传感器在内的(被力驱动的)活动质量,并与被校传感器测得的加速度进行比较。一个真空环用于保持钢盘紧密的接触到附带的棒上。分离式霍普金森棒结构的证书详见文献^[13]。

5.4 示波器

应提供一台两个或两个以上通道的示波器来检查加速度信号的波形,其最低的频率范围从 DC 到 1 MHz。

5.5 带计算机接口的波形记录仪

应提供一台带计算机接口能进行模数转换并储存两个加速度响应的波形记录仪,或者使用插在计算机里面的 A/D 转换卡。应具有足够的分辨率、采样率和内存,以满足附录 A 规定不确定度期望动态范围内进行的校准。对于传感器的输出应使用大于或等于 10 位、最好 12 位分辨率的模数转换。

5.6 带数据处理功能的计算机

应提供一台带数据处理程序的计算机或分析仪,满足本部分不同冲击校准器的需要。

5.7 滤波器

为避免混叠和/或抑制噪声的模拟滤波器应有适当的幅频和相频响应,以满足加速度信号测量的限定不确定度。数字处理程序中采用的数字滤波器也应满足这条要求。

5.8 其他要求

为了在校准中获得小的测量不确定度,应最好将传感器及其信号适调仪视为一个传感器,并一起校准。同样,也应将石英晶体和石英晶体放大器视为一个传感器,并一起校准。

传感器结构上应该是刚性的。当计算测量不确定度时,应该考虑基座应变灵敏度、横向灵敏度和传感器/放大器组合的稳定性。

如果校准背靠背的参考传感器,其灵敏度(幅值和/或相移)应使用模拟质量来测量,该模拟质量等于用背靠背参考传感器进行比较法校准的被校传感器的质量。

6 环境条件

校准应在下列环境条件下进行:

- a) 室温: $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$;
- b) 相对湿度: $\leq 75\%$ 。

7 优选的加速度和脉冲持续时间

加速度的标称值(峰值)和冲击脉冲持续时间最好从以下序列中选取:

- a) 加速度, m/s^2
100, 200, 500, 1 000, 2 000, 5 000, 10 000, 20 000, 50 000, 100 000
- b) 冲击脉冲持续时间³⁾, ms
0.05, 0.07, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 5, 8

注 1: 对霍普金森棒冲击校准器产生的加速度信号,可以给定两个不同的正和负半脉冲持续时间(+10%和-10%)。

注 2: 如果使用参考传感器,用 GB/T 20485.13—2007 中 4.3 规定的冲击装置进行校准,校准证书中规定冲击绝对校准的冲击脉冲持续时间与整个冲击过程(高斯速度形状)有关。这样,绝对法(基于速度)和比较法校准(基于加速度)对这一冲击过程有不同的冲击脉冲持续时间(大约 2 倍)。

3) 持续时间在峰值 10%处测量。

8 方法

8.1 试验程序

按第 5 章中所述的安装仪器设备。

施加冲击前,测量诸如交流声和噪声等干扰量,其值应足够小,以达到校准不确定度的要求。如果对参考传感器输出信号 $u_s(t)$ 和被校传感器输出信号 $u_x(t)$ 进行滤波,应选择低通和高通滤波器(如果有)的截止频率,以使其滤波对校准结果的影响可以接受^[14]。

8.2 数据采集

应选择低通和高通滤波器(如果有)的截止频率,以使其滤波对校准结果的影响可以接受^[15]。为了得到要求的不确定度,数据采集应有足够高的分辨率、采样率和大的内存。要满足 Nyquist 定理,采样率的设置应使最高频率低于采样率的一半。应在机械冲击开始前不久和结束后不久的测量周期内,对参考传感器的输出信号(u_s)和被校传感器的输出信号(u_x)进行等距采样。将用 $\{u_s(t_i)\}$ 和 $\{u_x(t_i)\}$ 表示的测量值的采样序列传输到计算机内存。

数据采集应从冲击过程发生前小于或等于 $1 \times T$ 的时刻开始,到冲击过程结束后大于或者等于 $1 \times T$ 时刻结束,其中 T 是第 7 章所定义的冲击脉冲持续时间。对霍普金斯棒冲击校准器,数据采集的区间应截止到反射脉冲发生前。

8.3 信号处理

8.3.1 通用要求

8.3.2 和 8.3.3 分别给出了砧子冲击校准器和霍普金森棒冲击校准器的数据处理方法示例,冲击灵敏度用传感器输出峰值与加速度峰值之比来计算。GB/T 20485.11—2006、GB/T 20485.12—2008 和 GB/T 20485.13—2007 对其做了说明。

8.3.2 砧子冲击校准器的冲击灵敏度计算

8.3.2.1 方法 1:选择最大值作为峰值

如果采集的两个输出信号序列的最大值 $\max\{u_s(t_i)\}$ 和 $\max\{u_x(t_i)\}$ 能足够准确地代表低通滤波后的峰值 $\{u_{s,peak}\}$ 和 $\{u_{x,peak}\}$,就可以应用本方法。

经过低通滤波的输出信号描绘出的应该是一条光滑曲线,由任何共振(振铃)等引起的振荡和噪声所产生的失真较小或没有。冲击机的任何共振,或者参考传感器和/或被校传感器的谐振激励都可能引起振铃。

传感器的冲击灵敏度应按以下数据处理步骤 a) 到 e) 进行计算。程序包括步骤 a) 和 c) 中描述的数字低通滤波。如果采集的信号足够光滑,这些步骤可以省略。

- a) 用低通数字滤波器的算法对采集的标准传感器输出数据 $\{u_{s,D}(t_i)\}$ 进行滤波,算法的参数应能抑制如振铃和高频噪声等干扰,并且不影响测试信息。结果是“光滑”的数据序列 $\{u_s(t_i)\}$ 。

注:有最大平坦幅值响应的滤波器适用于对非线性相位影响进行补偿的目的,如 4 阶递归 Butterworth 低通滤波器。

- b) 从滤波过的传感器输出值序列 $\{u_s(t_i)\}$ 中,选择最大值 $\max\{u_s(t_i)\}$ 作为传感器输出的峰值 $u_{s,peak}$ 。

如果信号有零位偏移,应该用直线相连冲击前的瞬时零点和冲击后的瞬时漂移的零点,这条线是确定输出的基础。相当于输出峰值 1% 的最大零偏是可以接受的。如果零偏大于 1%,必须考虑其对测量不确定度的影响,并应给出零偏的数值。

在某些冲击机械中,冲击后的信号会被共振响应(如振铃)混杂。在这种情况下,冲击前的瞬时零点可以被认为是确定输出的基础,并且必须在不确定度计算中考虑它可能对校准结果带来的影响。

- c) 对有“失真”的被校传感器输出值 $\{u_{s,D}(t_i)\}$ 继续步骤 a)。滤波的结果是得到“光滑”的数据序

列 $\{u_X(t_i)\}$ 。

- d) 对被校传感器继续步骤 b)。所选择的最大峰值表示为 $u_{X,peak}$ 。
- e) 根据由步骤 b)和 d)得到的 $u_{S,peak}$ 值和 $u_{X,peak}$ 值及参考传感器的灵敏度 S_S ,用以下公式计算冲击灵敏度 S_{sh} 。

$$S_{sh} = S_S \frac{u_{X,peak}}{u_{S,peak}} \dots\dots\dots (1)$$

注：为了简化,省略了被校传感器灵敏度符号中下标,即 $S_{sh} = S_{X,sh}$ 。

当报告校准结果时,应根据附录 A 计算并报告校准中测量的扩展不确定度。

如果在采集传感器输出信号前使用适当的两通道模拟滤波器,按照步骤 a)和步骤 c)的数字滤波可以省去。

8.3.2.2 方法 2：多项式拟合(时域)

如果采集的两个输出信号序列的最大值 $\max\{u_S(t_i)\}$ 和 $\max\{u_X(t_i)\}$ 能足够准确和直接代表峰值 $\{u_{S,peak}\}$ 和 $\{u_{X,peak}\}$,就可以应用本方法。

如果采集的参考和被校传感器输出信号 $\{u_S(t_i)\}$ 和 $\{u_X(t_i)\}$ 由任何一种共振(振铃)等产生的噪声或振荡造成失真,或者没有按照方法 1 进行较好的数字滤波,或者没有按照方法 3 进行较好的傅里叶变换时,建议采用本方法。

注：首选方法 2 的理由是,如果采用方法 1 时采样点数量不足以进行数字滤波,或采用方法 3 太耗时。

传感器的冲击灵敏度应可以按以下 a)到 g)的数据处理步骤进行计算。

- a) 在参考传感器输出的采样数据序列 $\{u_S(t_i)\}$ 估计的峰值附近,确定拟合的区间。
- 注：从采样数据序列 $\{u_S(t_i)\}$ 中选出所有超过 $\{u_S(t_i)\} = \alpha \cdot u_{S,peak}$ 的数值,最好选择 $\alpha = 0.9$ (第一选择)或 $\alpha = 0.95$ 。
- 用所选的数据形成逼近的 $\{u_S(t_i)\}_{app}$ 序列。

- b) 用 2 阶多项式拟合,逼近数据序列 $\{u_S(t_i)\}_{app}$ 。
- $$u_S(t) = b_{S,2}t^2 + b_{S,1}t + b_{S,0} \dots\dots\dots (2)$$

用高斯最小二乘法计算常数 $b_{S,0}, b_{S,1}, b_{S,2}$ 。

- c) 根据以下公式,由常数 $b_{S,0}, b_{S,1}, b_{S,2}$ 得到峰值 $u_{S,peak}$ ：

$$u_{S,peak}(t) = b_{S,0} - \frac{b_{S,1}^2}{4b_{S,2}} \dots\dots\dots (3)$$

参照 8.3.2.1 中步骤 b)。

- d) 对被校传感器执行步骤 a),得到输出值 $\{u_X(t_i)\}$ 。由所选的值形成序列 $\{u_X(t_i)\}_{app}$ 。

注：可以选择不同于参考传感器所选的 α 值。

- e) 对被校传感器执行步骤 b),得到近似多项式 $u_X(t)$ 中的常数 $b_{X,0}, b_{X,1}, b_{X,2}$ 。
- f) 对被校传感器执行步骤 c),得到近似多项式的峰值 $u_{X,peak}$ 。
- g) 用公式(1),由步骤 c)和 f)得到的值 $u_{S,peak}$ 和 $u_{X,peak}$ 计算冲击灵敏度 S_{sh} 。

报告校准结果时,应根据附录 A 计算和报告校准中测量的扩展不确定度。

8.3.2.3 方法 3：用 FFT 分析计算灵敏度

本方法可用于计算被校传感器在任一峰值冲击加速度激励下的复谱灵敏度 $S(j\omega)$ 或幅值和相移,或公式(1)定义的传感器冲击灵敏度 S_{peak} 。

如果已知傅里叶谱相关频率上的参考传感器的复灵敏度,可以使用本方法。参考传感器的复灵敏度可根据 GB/T 20485.13—2007 附录 C 的冲击绝对校准确定。如果参考传感器已被证明是线性的,可以根据 GB/T 20485.11—2006 或 GB/T 20485.12—2008,用振动绝对校准取代冲击绝对校准,或根据 GB/T 20485.21—2007 用振动比较法校准取代。

由于没有任何传感器是完全线性的,在计算不确定度时必须考虑由于线性度偏差导致的不确定度的影响。

由以下数据处理步骤 a)到 g)和 a)到 i),分别计算传感器的复灵敏度 $S(j\omega)$ 和冲击灵敏度 S_{peak} 。

- a) 进行 m 次重复测量(即 k 个采样序列) $\{u_s(t_i)\}_k, \{u_x(t_i)\}_k, k=1, 2, \dots, m$ 。
注: 采样周期决定了可得到的采样率。例如, 80 ms 采样周期得到采样率 12.5 Hz。
- b) 用合适的窗进行快速傅里叶变换(FFT)或离散傅里叶变换(DFT)。如果使用矩形窗, 参见 ISO 18431-2。
- c) 在频域对重复测量的数据进行平均, 分别得到参考输出信号和被测输出信号的平均谱 $u_s(j\omega)$ 和 $u_x(j\omega)$ 。
- d) 用以下公式计算被校传感器的复灵敏度 $S_x(j\omega)$:

$$S_x(j\omega) = S_s(j\omega) \frac{u_x(j\omega)}{u_s(j\omega)} \dots\dots\dots (4)$$

- e) 计算相干函数 γ , 并检查是否符合最小容许误差值。
注: γ 值应在 $\gamma \geq 0.99$ 范围内。只有已经考虑了它对测量不确定度的贡献时, 才允许有较低的值。
- f) 用参考传感器输出的平均谱及其复灵敏度计算复加速度谱:

$$a(j\omega) = \frac{u_s(j\omega)}{S_s(j\omega)} \dots\dots\dots (5)$$

- g) 用傅立叶逆变换(IFFT 或 IDFT)将平均谱 $u_x(j\omega)$ 和 $a(j\omega)$ 变换到时域, 得到被校传感器输出 $u_x(t_i)$ 和相应的加速度 $a(t_i)$ 的时域测量序列。
- h) 由步骤 g) 得到的序列 $\{u_x(t_i)\}$ 和 $\{a(t_i)\}$ 中, 选择最大值 $\max\{u_x(t_i)\}$ 和 $\max\{a(t_i)\}$ 作为峰值 $u_{x, peak}$ 和 a_{peak} 。
- i) 根据以下公式, 由步骤 h) 得到的 $u_{x, peak}$ 和 a_{peak} 计算冲击灵敏度 S_{sh} :

$$S_{sh} = \frac{u_{x, peak}}{a_{peak}} \dots\dots\dots (6)$$

8.3.3 用霍普金森棒冲击校准器时的冲击灵敏度计算

8.3.3.1 通用要求

当比较的双方量值是同一单位时, 使用 8.3.2 中的方法 1 和方法 2 计算用霍普金森棒冲击校准器时的冲击灵敏度。

8.3.3.2 用速度比较法计算用霍普金森棒冲击校准器时的冲击灵敏度

对本方法, 用应变片或激光多普勒测振仪(LDV)进行的参考测量应为速度量。被校传感器的加速度测量必须通过积分由加速度转换成速度。由于积分是平滑处理, 不需要其他的附加处理。可以使用方法 1(8.3.2.1)和方法 2(8.3.2.2), 用速度峰值代替加速度峰值, 计算冲击灵敏度。

8.3.3.3 用加速度比较法计算用霍普金森棒冲击校准器时的冲击灵敏度

对本方法, 用应变片或激光多普勒测振仪(LDV)进行的参考测量应为速度量, 并且必须通过微分转换成加速度。时域或频域微分都可以。通常, 建议在微分处理前后采用低通滤波消除外来的噪声。滤波的截止频率要选的足够高, 使所关注的频率带宽不受滤波处理的影响。可以使用方法 1(8.3.2.1)和方法 2(8.3.2.2), 用加速度峰值计算冲击灵敏度。

8.3.3.4 用力传感器比较法计算用霍普金森棒冲击校准器时的冲击灵敏度

对本方法, 参考测量是由石英测力计测量的力值除以石英晶体、钢盘和被校传感器的质量之和得到的加速度。可以使用方法 1(8.3.2.1)和方法 2(8.3.2.2), 用加速度峰值计算冲击灵敏度。

9 校准结果报告

在校准结果报告中, 除校准方法以外, 至少应对下列校准条件和特性参数给予说明:

- a) 环境条件
——环境空气温度。
- b) 安装方法
——安装表面的材料;

- 安装力矩(如果传感器用螺栓安装);
- 油或油脂(如果使用);
- 电缆的固定;
- 安装方位(垂直或水平)。
- c) 模拟质量块(如果使用)
 - 材料(如钢),尺寸(长度,直径)和质量;
 - 安装力矩。
- d) 校准结果
 - 冲击加速度峰值和冲击脉冲持续时间;
 - 冲击灵敏度值;
 - 测量的扩展不确定度。如果包含因子 k 不等于 2,给出使用的 k 值。

附 录 A
(规范性附录)

校准中测量不确定度的表示

A.1 计算给定加速度峰值、冲击脉冲持续时间、放大器增益设置和滤波器截止频率时的冲击灵敏度 S_{sh} 的扩展不确定度 $U_{rel}(S_{sh})$

应按照 GB/T 20485.1—2008 和下面的公式,计算给定加速度峰值、冲击脉冲持续时间、放大器增益设置和滤波器截止频率时的冲击灵敏度测量的相对扩展不确定度 $U_{rel}(S_{sh})$:

$$U_{rel}(S_{sh}) = k u_{c,rel}(S_{sh})$$
$$u_{c,rel}(S_{sh}) = \frac{u_c(S_{sh})}{S_{sh}} = \frac{1}{S_{sh}} \sqrt{\sum_i u_i^2(S_{sh})}$$

式中,包含因子 $k=2$ 。参见表 A.1。

可以用不同于表中使用的方法对不确定度的误差源进行细化和计算。表中给出了按照 GB/T 20485.1—2008附录 A 考虑的每个显著影响测量结果的因素。

表 A.1

i	标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	不确定度分量大小 $u_i(y)$
1	$u(S_{sh,s})$	在特定条件下参考的合成标准不确定度(传感器或传感器/放大器组合)	$u_1(S_{sh})$
2	$u(G)$	适调放大器增益比($G=G_S/G_X$)	$u_2(S_{sh})$
3	$u(R_V)$	电压峰值比测量(波形记录仪,如 ADC—分辨率)	$u_3(S_{sh})$
4	$u(R_I)$	参考传感器的长期不稳定性	$u_4(S_{sh})$
5	$u(R_F)$	电压滤波对电压峰值比测量的影响(频带限制)	$u_5(S_{sh})$
6	$u(R_{VP})$	电压干扰对电压峰值比测量的影响(如交流声,噪声)	$u_6(S_{sh})$
7	$u(R_T)$	横向、摆动和弯曲加速度对电压峰值比测量的影响(横向灵敏度)	$u_7(S_{sh})$
8	$u(R_P)$	安装参数(力矩、电缆固定、附加质量等)对峰值电压比测量的影响	$u_8(S_{sh})$
9	$u(R_{ED})$	温度和其他环境参数对峰值电压比测量的影响	$u_9(S_{sh})$
10	$u(R_{MD})$	运动干扰对峰值电压比测量的影响(如传感器敏感表面间的相对运动)	$u_{10}(S_{sh})$
11	$u(R_L)$	非线性对峰值电压比测量的影响和其他因素对峰值电压比测量的影响	$u_{11}(S_{sh})$
12	$u(S_{sh,RE})$	冲击灵敏度测量的其他影响(传感器或冲击机共振激励的影响,重复测量随机误差影响;算术平均值的标准偏差)	$u_{12}(S_{sh})$

A.2 在加速度峰值和冲击脉冲持续时间的整个范围内,计算冲击灵敏度 $S_{sh,t}$ 的扩展不确定度 $U_{rel}(S_{sh,t})$

按照 A.1 计算的冲击灵敏度测量的扩展不确定度 $U_{rel}(S_{sh})$,只对设定的加速度峰值、冲击脉冲持续时间、放大器增益和滤波器截止频率的设置有效。在连续校准过程中的任何时间间隔里,应按照