



中华人民共和国国家标准

GB/T 22159.4—2017/ISO 10846-4:2003

声学 with 振动 弹性元件振动-声传递特性 实验室测量方法

第 4 部分:弹性非支撑件平动动刚度

Acoustics and vibration—Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements—Part 4: Dynamic stiffness of elements other than resilient supports for translatory motion

(ISO 10846-4:2003, IDT)

2017-11-01 发布

2018-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 原理 4

5 测量方案 5

6 测试装置适用性准则 14

7 测试过程 19

8 测试结果评估 21

9 记录内容 23

10 测试报告 24

附录 A （资料性附录）转动部件的扭转动刚度 25

参考文献 26

前 言

GB/T 22159《声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法》包括以下 5 个部分：

- 第 1 部分：原理与指南；
- 第 2 部分：弹性支撑件平动刚度的直接测量方法；
- 第 3 部分：弹性支撑件平动刚度的间接测量方法；
- 第 4 部分：弹性非支撑件平动刚度；
- 第 5 部分：弹性支撑件低频平动刚度的驱动点测量方法。

本部分为 GB/T 22159 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 ISO 10846-4:2003《声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法 第 4 部分：弹性非支撑件平动刚度》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 2298—2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇(ISO 2041:2009, IDT)；
- GB/T 3240—1982 声学测量中的常用频率(neq ISO 266:1975)；
- GB/T 11349.1—2006 振动与冲击 机械导纳的试验确定 第 1 部分：基本定义与传感器(ISO 7626-1:1986, IDT)；
- GB/T 11349.2—2006 振动与冲击 机械导纳的试验确定 第 2 部分：用激振器作单点平动激励测量(ISO 7626-2:1990, 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 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 22159.1—2012 声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法 第 1 部分：原理与指南(ISO 10846-1:2008, IDT)。

本部分由中国科学院提出。

本部分由全国声学标准化技术委员会(SAC/TC 17)归口。

本部分主要起草单位：中国科学院声学研究所、常州腾龙汽车零部件股份有限公司、深圳中雅机电实业有限公司、同济大学、安徽微威胶件集团有限公司、安徽职业技术学院、北京市劳动保护科学研究所、浙江大学、西北工业大学、上海交通大学、合肥工业大学、长沙奥邦环保实业有限公司。

本部分主要起草人：程明昆、李晓东、吕亚东、方庆川、李猛、张建华、俞悟周、毛东兴、鲍俊瑶、壮晓峰、李俊、李斌商、张斌、李孝宽、翟国庆、陈克安、蒋伟康、李志远、莫建炎、尹铎、徐欣。

引 言

各种被动隔振器广泛用于降低振动的传递,例如汽车发动机的悬置、建筑物的弹性支撑、船用机器的弹性支承和弹性联轴器以及家用电器中的小型隔振元件等。

本部分规定了线弹性非支撑元件(弹性支撑件除外),如弹性波纹管、软管、联轴器、电缆和管道吊钩动态传递刚度函数的直接测量法和间接测量法。本部分为弹性元件振动-声特性实验室测量方法系列标准之一,该系列标准还包括弹性支撑件的测量原理和直接测量法、间接测量法以及驱动点测量法各部分,ISO 10846-1 提供了选择恰当标准的全面指南。

本部分描述的实验室条件包含如何合理使用静态预载荷。

本方法适用于分析弹性元件 20 Hz 以上的结构声传递损失。但是,该方法并不能完全描述用于衰减低频振动或冲击位移的隔振元件特性。

声学 弹性元件振动-声传递特性
实验室测量方法
第 4 部分：弹性非支撑件平动刚度

1 范围

GB/T 22159 的本部分详细介绍了弹性非支撑件(如：弹性波纹管、联轴器、电源电缆、软管和管道吊钩,见图 1)平动刚度的两种测量方法。在此不考虑充有诸如油或水之类液体的元件。

注 1：管道吊钩与压缩型的弹性支撑件不同,它是拉伸型的,因此本部分中所描述的测试条件与 GB/T 22159.2 和 GB/T 22159.3 不同。

采用本方法不要求弹性元件的法兰相互平行,只要元件的法兰或夹具连接界面平整即可。

本部分中所讨论的弹性元件用于减少：

- a) 音频范围振动(20 Hz~20 kHz 的结构声)向结构的传递,例如,它会使结构辐射出不需要的声音(空气声、水声或其他声音)；
- b) 低频振动(一般 1 Hz~80 Hz)的传递,例如,它过于强烈时,会使人体感到不适,结构受到损害。

实际上,任何一个试验设备对于试件的尺寸都有限制,过大或过小的都不适用。

本部分还包括与法兰和夹具连接界面垂直和平行的平动测量。附录 A 中,介绍了含有转动成分的传递刚度的测量指南。

直接法所适用的频率范围从 1 Hz 到某一上限频率,该频率取决于测试装置框架的最低共振频率(通常,边长为 1 m 的测试装置框架共振频率约为 300 Hz)。

注 2：实际上,下限频率取决于动态激励系统。

间接法所适用的频率范围取决于试验装置及被测隔振元件。通常下限频率为 20 Hz~50 Hz,上限频率为 2 kHz~5 kHz。

采用本部分方法所获得的测量数据,可用于：

- 由生产厂商和供应商提供的产品信息；
- 为产品研发提供信息；
- 质量控制；
- 弹性元件的振动传递率计算。

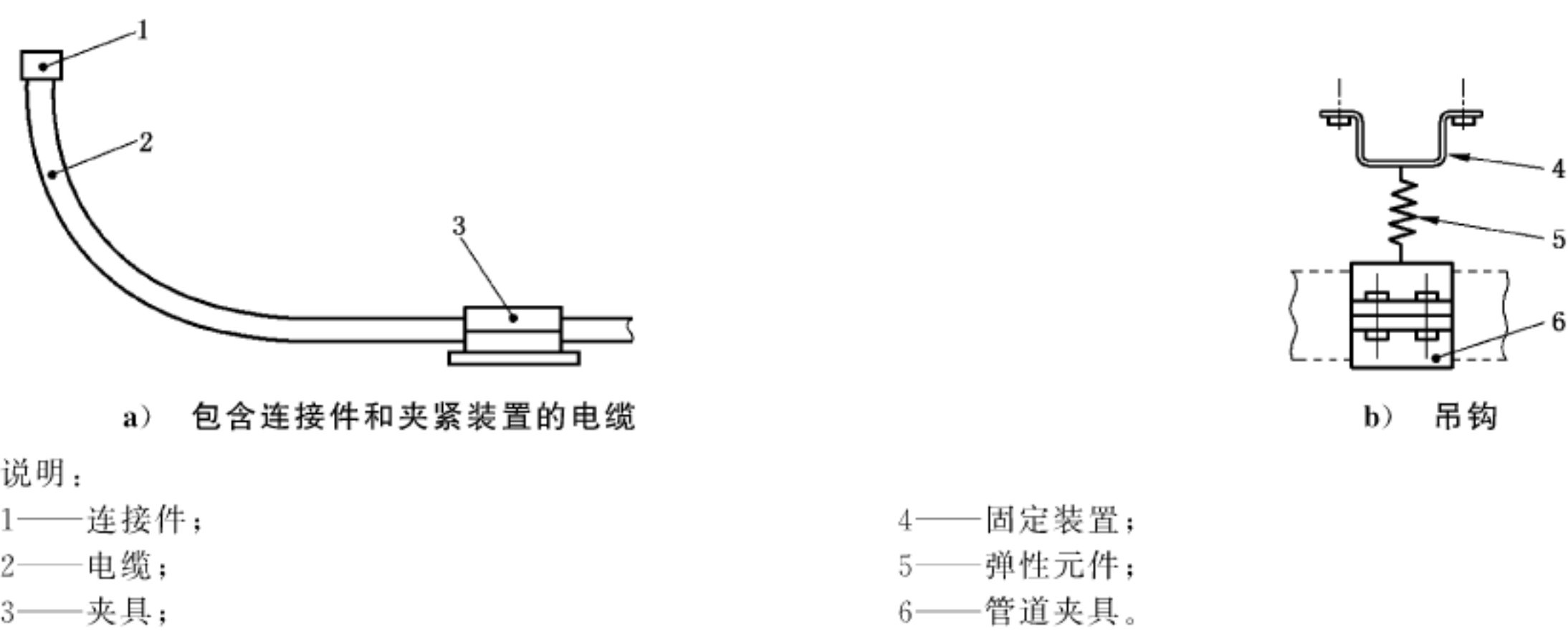


图 1 连接件或夹具的连接界面为平面的弹性元件示例

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- ISO 266 声学 优选频率(Acoustics—Preffered frequencies)
- ISO 2041 振动与冲击 词汇(Vibration and shock—Vocabulary)
- ISO 5348 机械振动与冲击 加速度计的机械安装(Mechanical vibration and shock—Mechanical mounting of accelerometers)
- ISO 7626-1 振动与冲击 机械导纳的试验确定 第1部分:基本定义与传感器(Vibration and shock—Experimental determination of mechanical mobility—Part 1:Basic definations and tranducers)
- ISO 7626-2 振动与冲击 机械导纳的试验确定 第2部分:用激振器作单点平动激励测量(Vibration and shock—Experimental determination of mechanical mobility—Part 2: Measuements using single-point translation excitation with an attached vibration exciter)
- ISO 10846-1 声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量 第1部分:原理与指南(Acoustics and vibration—Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements—Part 1:Principles and guidelines)
- ISO 16063-21 振动与冲击传感器校准方法 第21部分:与基准传感器进行比较的振动校准(Methods for calibration of vibration and shock transducers—Part 21: Vibration calibration by comparison with a reference transducer)
- GUM:1995 测量不确定度的表达指南(Guide to the expression of uncertainty in measurement, BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1
弹性元件 **resilient element**
用于减弱一定频率范围内的振动传递而专门设计的隔振元件。
- 3.2
弹性支撑件 **resilient support**
可支撑起机器、建筑物或其他类型结构部分的隔振器。
- 3.3
测试元件 **test element**
被测弹性元件,包含法兰和必要的辅助固定夹具。
- 3.4
阻滞力 **blocking force**
 F_b
外加于隔振器输出端的动态约束力,可使隔振器产生零位移输出。
- 3.5
动[态传递]刚度 **dynamic transfer stiffness**
 $k_{2,1}$
与频率有关的复数,为弹性元件简谐运动时输出端的力矢量 $\underline{F}_{2,b}$ 与其输入端的位移矢量 $\underline{u}_1$ 之比,

可用下式表示。

$$k_{2,1} = \underline{F}_{2,b} / \underline{u}_1$$

注： $k_{2,1}$ 的值会受到静态预载荷、温度及其他一些条件的影响。

3.6

弹性元件损耗因子 **loss factor of resilient element**

η

在弹性元件内惯性力可忽略不计的低频范围， η 为复数 $k_{2,1}$ 的虚部与实部之比（即 $k_{2,1}$ 相位角的正切值）。

3.7

频率平均动[态传递]刚度 **frequency-averaged dynamic transfer stiffness**

k_{av}

在 Δf 频带内的动刚度平均值，是频率的函数。

注：见 8.3。

3.8

点接触 **point contact**

振动接触面可看作刚性表面的接触方式。

3.9

法向平动 **normal translation**

垂直于弹性元件法兰的平移振动。

3.10

横向平动 **transverse translation**

垂直于法向平动方向的平移振动。

3.11

线性 **linearity**

满足叠加原理的弹性元件动态特性。

注 1：叠加原理可表述为：系统输入为 $x_1(t)$ 时，输出为 $y_1(t)$ ；输入为 $x_2(t)$ 时，输出为 $y_2(t)$ 。对于任何 a 、 b 、 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ ，若输入为 $ax_1(t) + bx_2(t)$ ，输出为 $ay_1(t) + by_2(t)$ ，则系统满足叠加原理。

注 2：实际上，采用上述方法进行线性特性检验并不可行。一种有限度的检验线性特性的方法是在一定输入级范围内测量动刚度。事实上，该方法检验的是系统响应与激励之间的比例关系（见 7.7）。

3.12

直接法 **direct method**

测量弹性元件输入端位移（速度或加速度）及输出端阻滞力的方法。

3.13

间接法 **indirect method**

当弹性元件输出端载有一质量已知的刚体时，测量弹性元件位移（速度或加速度的）振动传递率的方法。

3.14

传递率 **transmissibility**

T

弹性元件作简谐振动时，弹性元件输出端的复位移 $\underline{u}_2$ 与输入端复位移 $\underline{u}_1$ 之比。

$$T = \underline{u}_2 / \underline{u}_1$$

注：对于速度 v 或加速度 a ，可采用相似的方法定义传递率，其值相等。

GB/T 22159.4—2017/ISO 10846-4:2003

3.15

力级 force level

L_F

力级由下列公式计算,单位为分贝(dB)。

$$L_F = 10 \lg \frac{F^2}{F_0^2}$$

式中:

F^2 ——给定频率处作用力的均方值, F 的单位为牛顿(N);

F_0 ——基准力,单位为牛顿(N), $F_0 = 1 \times 10^{-6}$ N。

3.16

加速度级 acceleration level

L_a

加速度级由下列公式计算,单位为分贝(dB)。

$$L_a = 10 \lg \frac{a^2}{a_0^2}$$

式中:

a^2 ——给定频率的加速度均方值, a 的单位为米每二次方秒(m/s^2);

a_0 ——基准加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2), $a_0 = 1 \times 10^{-6}$ m/s^2 。

3.17

动刚度级 level of dynamic transfer stiffness

$L_{k_{2,1}}$

动刚度级由下列公式计算,单位为分贝(dB)。

$$L_{k_{2,1}} = 10 \lg \frac{|k_{2,1}|^2}{k_0^2}$$

式中:

$|k_{2,1}|^2$ ——给定频率的动刚度幅值的平方(见 3.5), $k_{2,1}$ 的单位为牛顿每米($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$);

k_0 ——基准刚度,单位为牛顿每米($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$), $k_0 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

3.18

频带平均动刚度级 level of frequency band averaged dynamic transfer stiffness

$L_{k_{av}}$

频带平均动刚度级由下列公式计算,用分贝(dB)表示。

$$L_{k_{av}} = 10 \lg \frac{k_{av}^2}{k_0^2}$$

式中:

k_{av} ——见 3.7 中定义;

k_0 ——基准刚度,单位为牛顿每米($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$), $k_0 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

3.19

侧向传递 flanking transmission

测试过程中,由弹性元件输入端激振器产生的振动,经由测试元件以外的其他路径传至输出端,使弹性元件输出端产生力和加速度。

4 原理

ISO 10846-1 中介绍了直接法和间接法的测量原理。

直接法原理是直接测量弹性元件输入端位移和输出端阻滞力。该方法的特点是在弹性支撑件的输出端与基座之间测量输出端阻滞力；基座应使被测元件输出端的振动远比输入端小。

间接法原理：通过测量质量为 m_2 的刚体的加速度获得阻滞力，该作用力可使测试元件输出端的振动足够小。同时，需要在阻滞质量块与测试装置的其他部件之间，进行动态去耦处理，以避免产生侧向振动传递。

对于采用复数表示的简谐振动，测试元件的动刚度（见 3.5）与测量所得振动传递率（见 3.14）之间的关系，可由式(1)给出：

$$k_{2,1} \approx - (2\pi f)^2 (m_2 + m_f) T$$

当 $|T| \ll 1$ (1)

式中， m_f 表示测试元件输出端法兰的质量；下标 1 和 2 分别代表弹性元件的输入端与输出端。
根据式(1)的右端项，间接测量阻滞力的有效方法要求阻滞质量块上测得的相应振动仅由该阻滞力决定。因此，原理上讲，被测的是阻滞质量块与测试元件输出端法兰共同组成的组合刚体重心上且沿期望力方向上的振动。

5 测量方案

5.1 概述

图 2～图 8 为弹性非支撑件测试装置的原理示意图。图中所示是对单个元件和对称元件进行测试的装置示例。

注：此处给出的并不是所有的测试示例，也不是对测试装置配备原则提出的限制，只是为了满足必需的测试要求而给出的一些解决方案（参见第 6 章）。

为了适合本部分的测量，所用的测试装置应包括 5.3 给出的各构成要素。测试装置的其他要求在 5.4 和 5.5 中讨论。

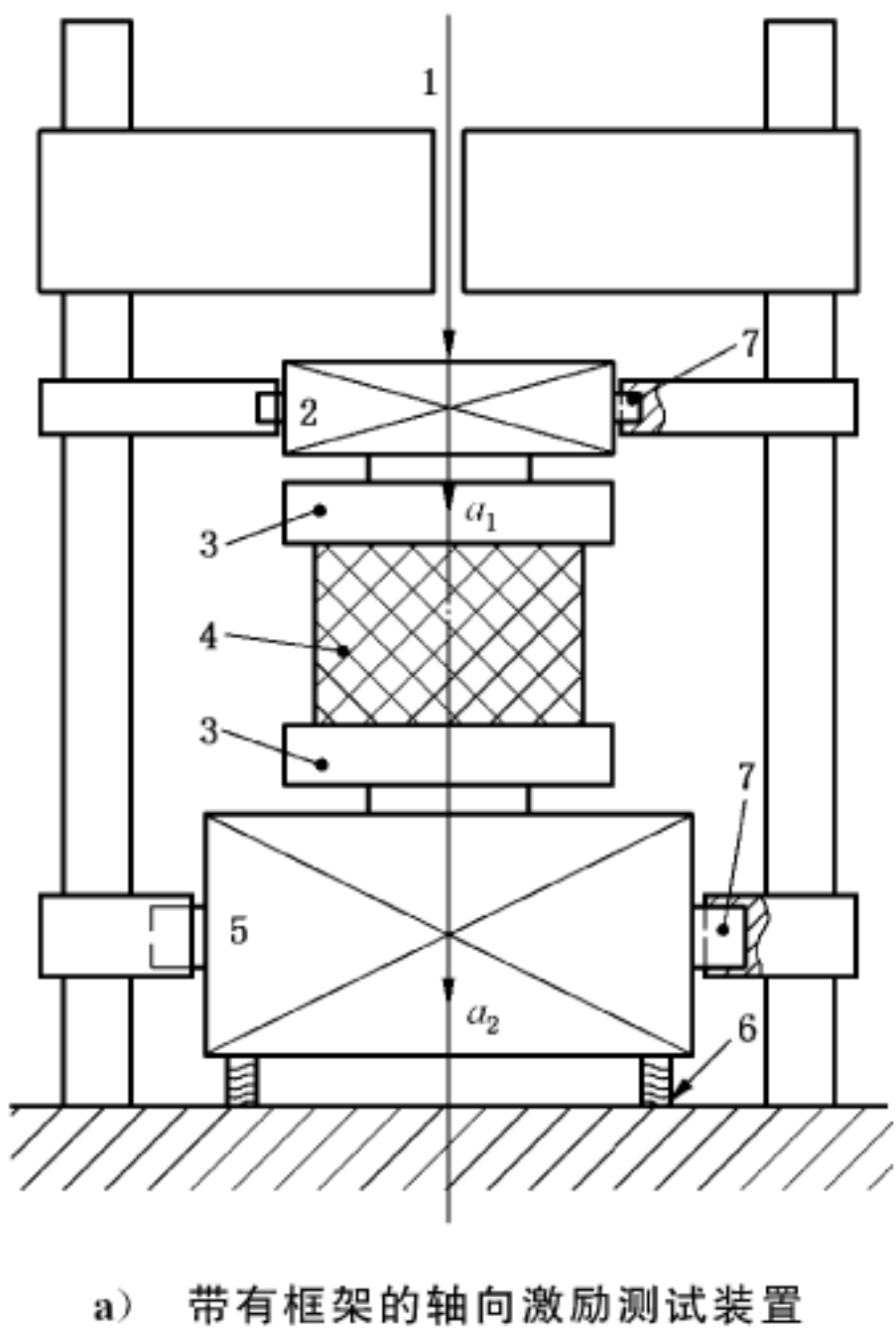
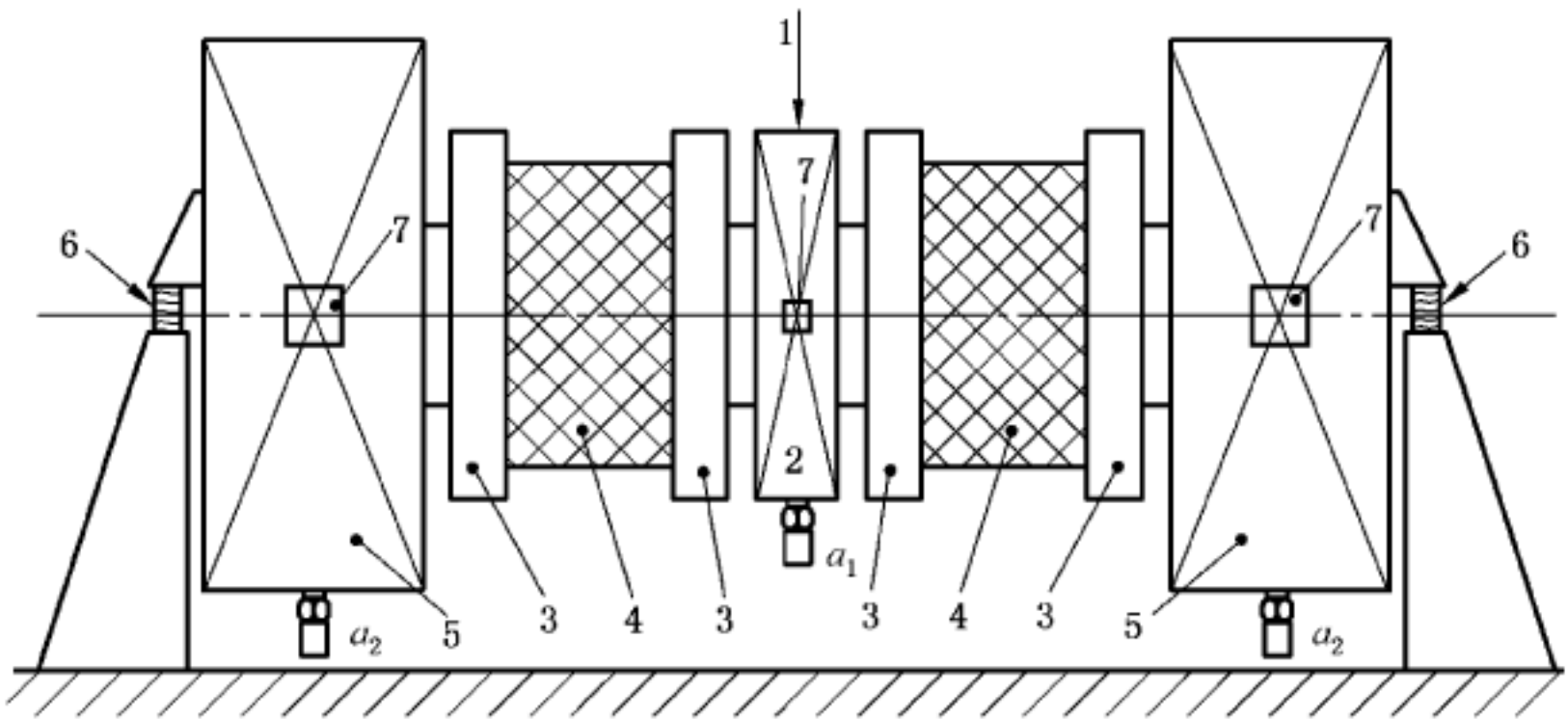


图 2 间接法测量具有静力矩预载荷的弹性联轴器动刚度实验室测试装置示例

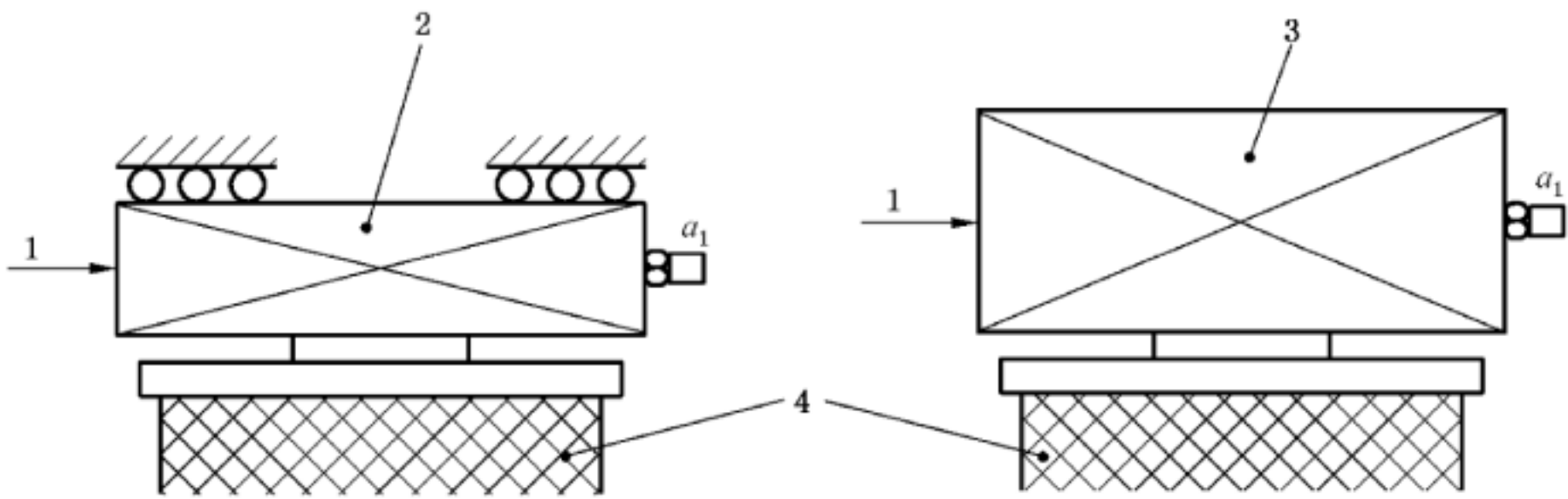
GB/T 22159.4—2017/ISO 10846-4:2003



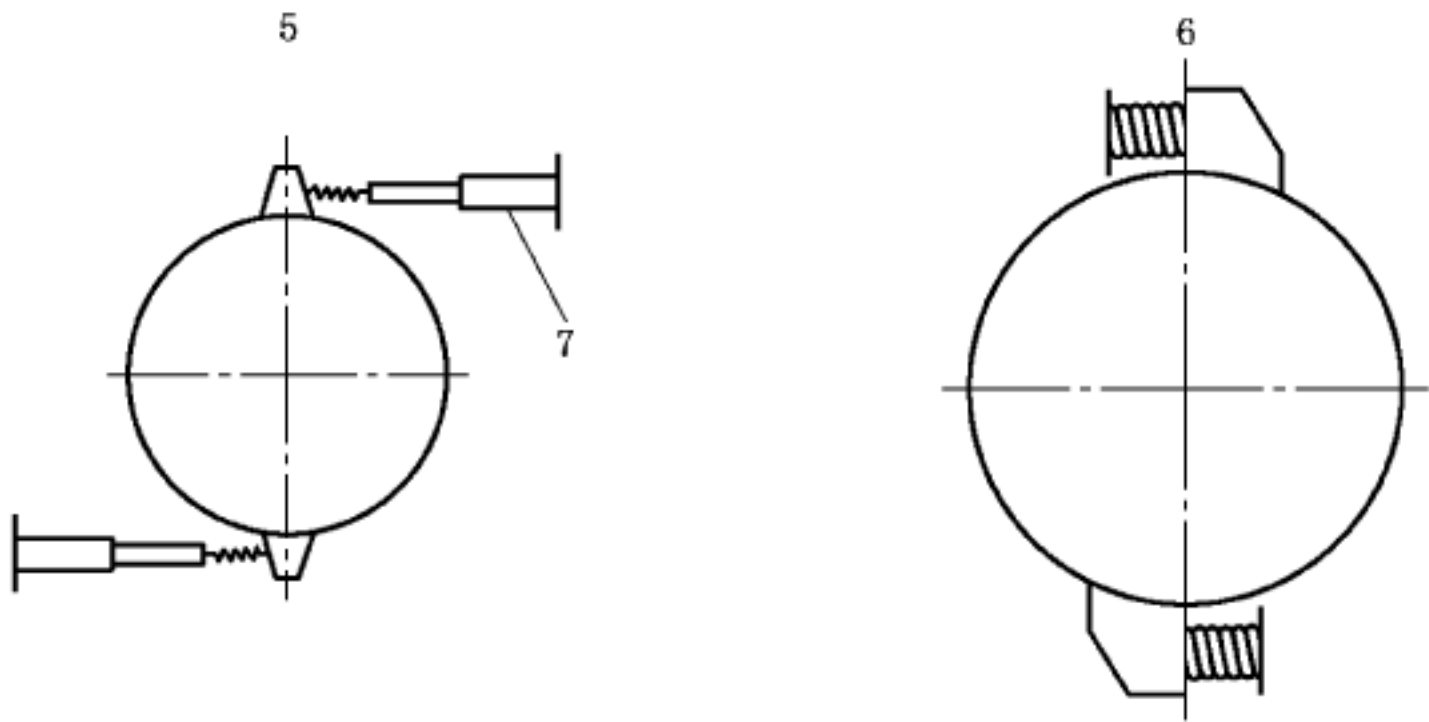
b) 两个标称相同的弹性联轴器横向激励的对称装置

- 说明：
- | | |
|-------------|-----------------------|
| 1——激振器； | 5——阻滞质量块； |
| 2——激振质量； | 6——动态去耦弹簧； |
| 3——联轴器法兰； | 7——施加力矩预载荷附件[见图 3b)]。 |
| 4——联轴器弹性部件； | |

图 2 (续)



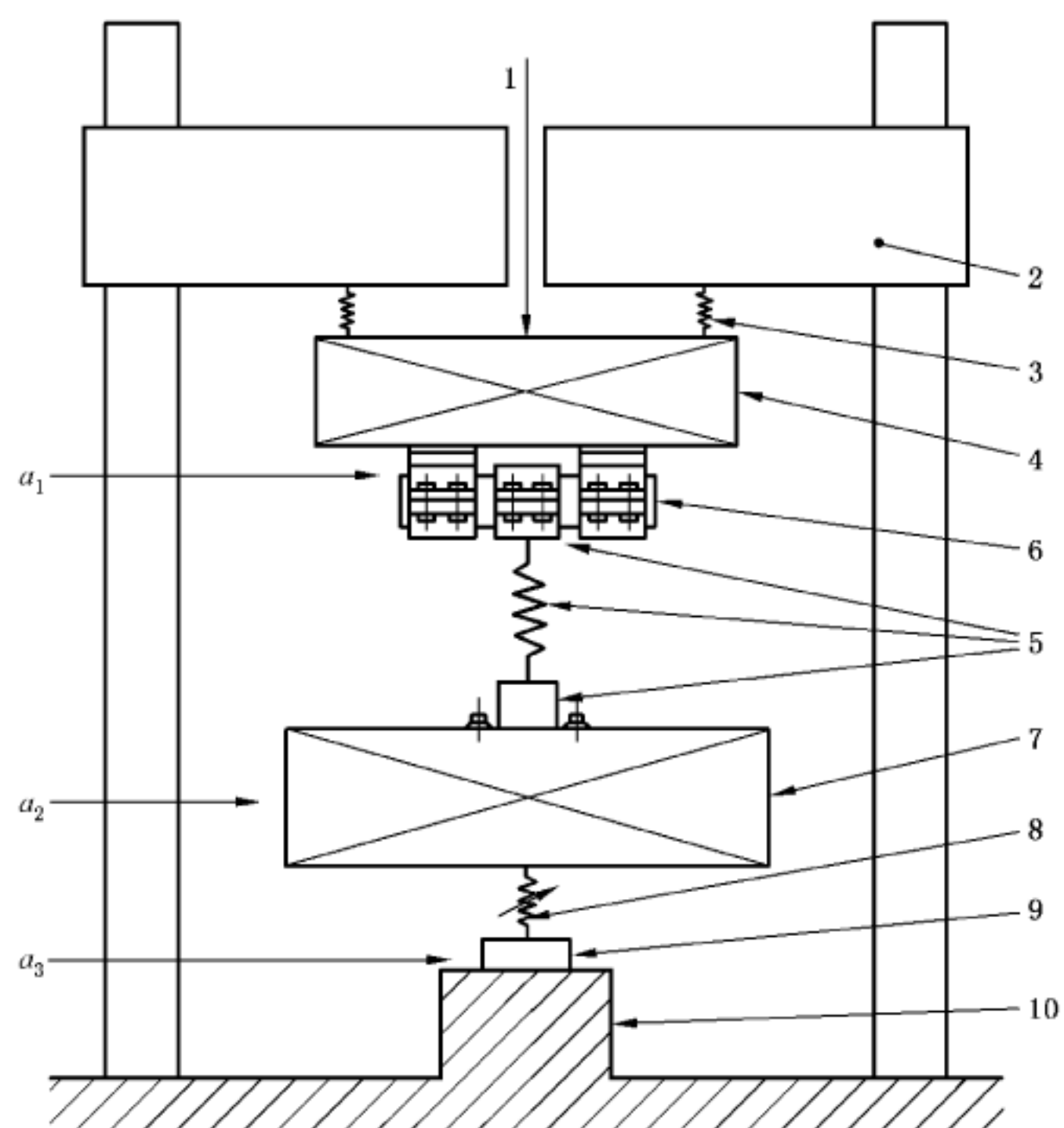
a) 框架装置的径向激励[见图 2a)]



b) 力矩预载荷

- 说明：
- | | |
|------------------|-------------|
| 1——激振器； | 4——联轴器弹性部件； |
| 2——具有导向系统的力均布薄板； | 5——输入端； |
| 3——能抑制旋转的大激振质量块； | 6——输出端； |
| | 7——气缸。 |

图 3 图 2 中试验装置的局部放大示例

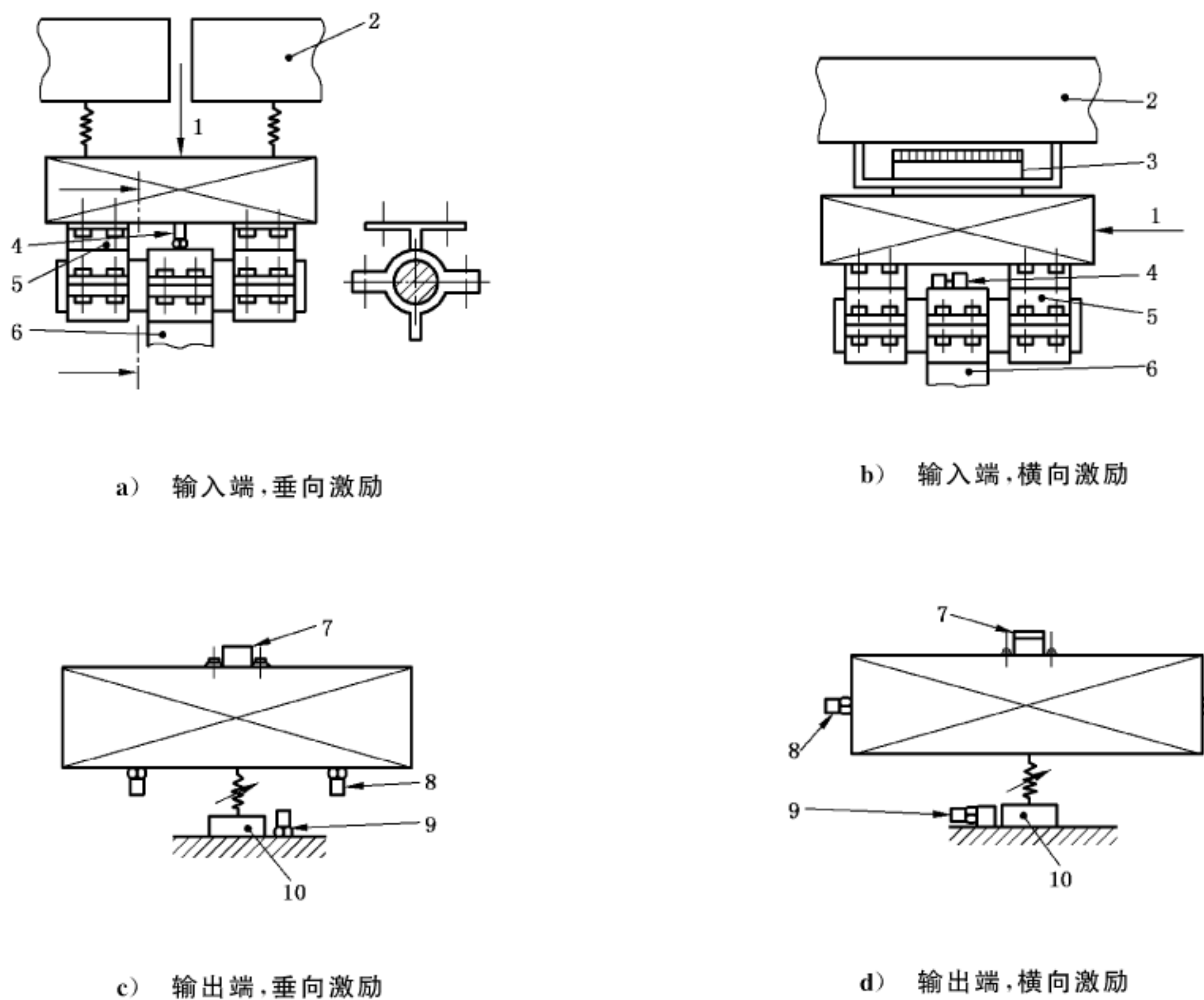


说明：

- 1 —— 激振器；
- 2 —— 横梁；
- 3 —— 动态去耦弹簧；
- 4 —— 激振质量块；
- 5 —— 具有固定装置和管道夹具的测试元件；
- 6 —— 有管道夹具的实心圆柱体；
- 7 —— 阻滞质量块；
- 8 —— 可调空气弹簧；
- 9 —— 承载元件；
- 10 —— 刚性基座。

图4 间接法测量具有重力载荷的弹性管道吊钩动刚度的实验室测试装置示例

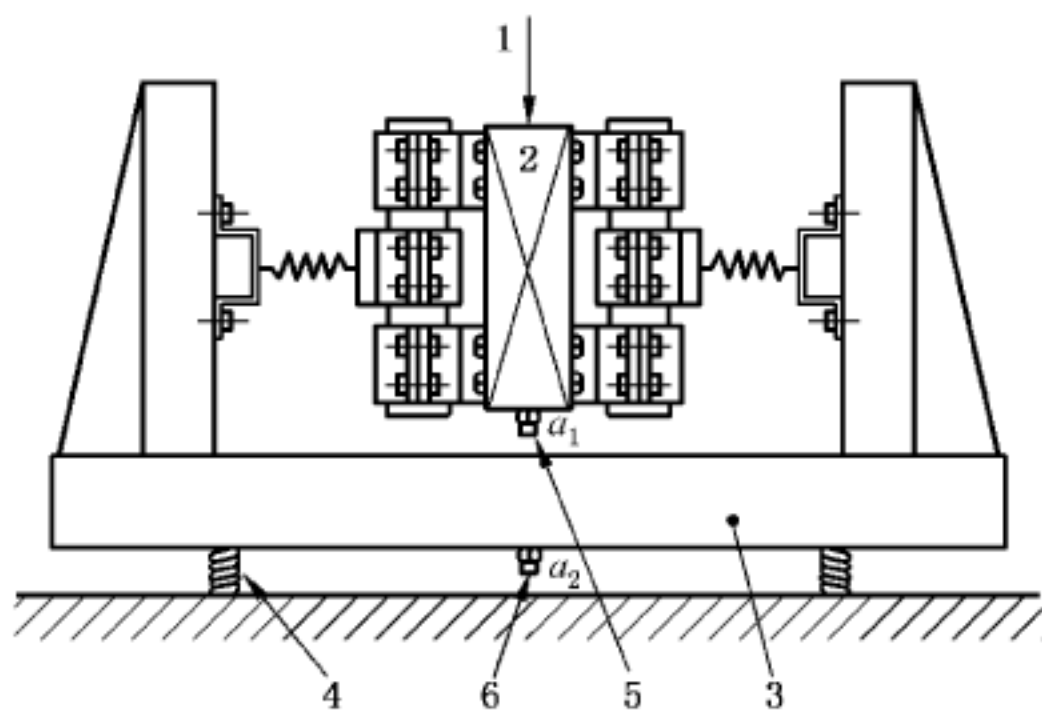
(对应于吊钩倒置安装,垂向激励的情况)



说明:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1——激振器; | 6——连接被测元件的管道夹具; |
| 2——横梁; | 7——吊钩固定架; |
| 3——可选的导向系统; | 8——加速度测量(a_2); |
| 4——加速度测量(a_1); | 9——加速度测量(a_3); |
| 5——连接激励质量块的管道夹具; | 10——承载元件。 |

图5 图4中试验装置局部放大示例

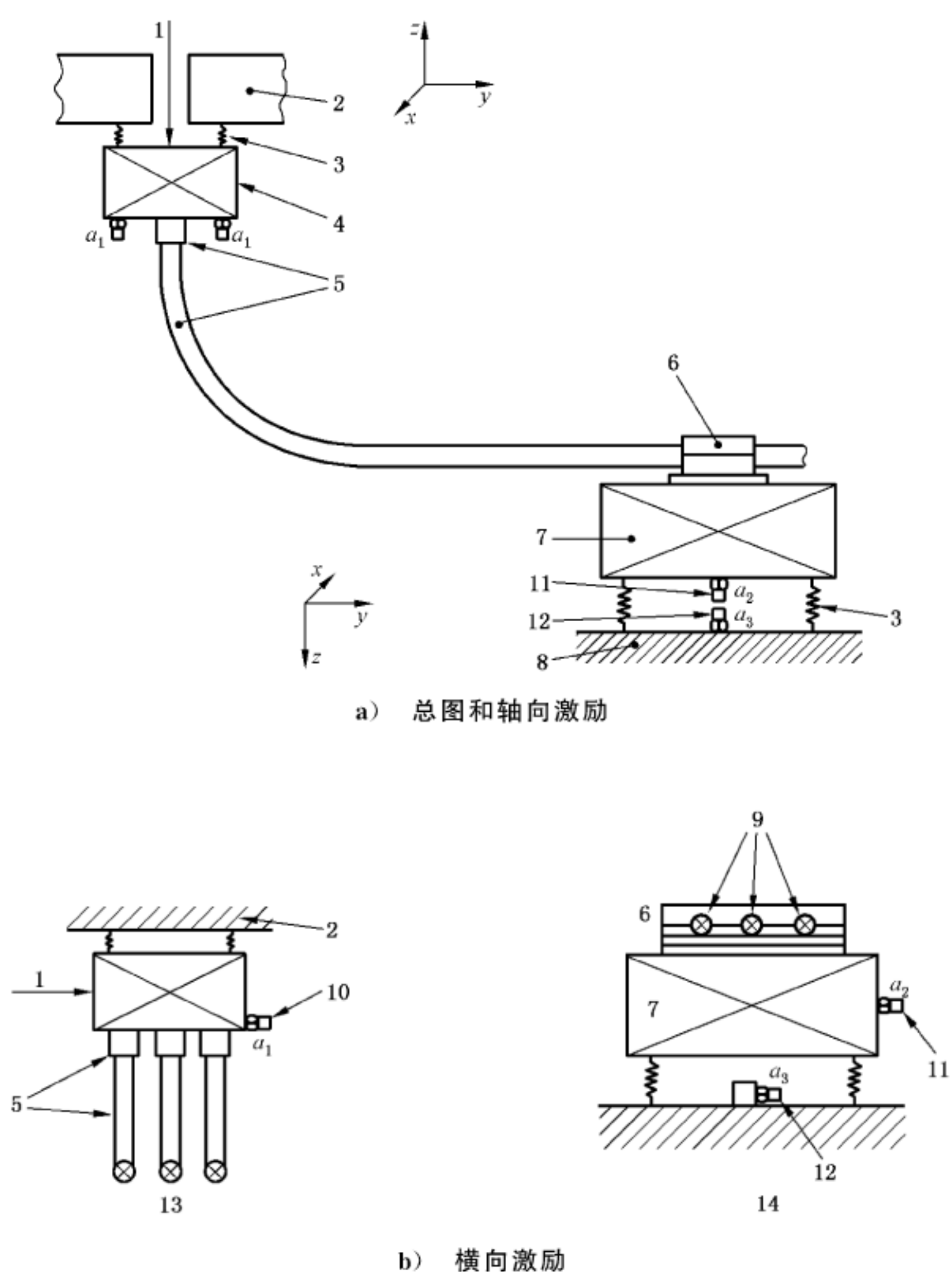


说明:

- | | |
|-----------|--------------------|
| 1——激振器; | 4——动态去耦弹簧; |
| 2——激振质量块; | 5——加速度测量(a_1); |
| 3——阻滞质量块; | 6——加速度测量(a_2)。 |

图6 间接法测量弹性吊钩动刚度的实验室测试装置示例

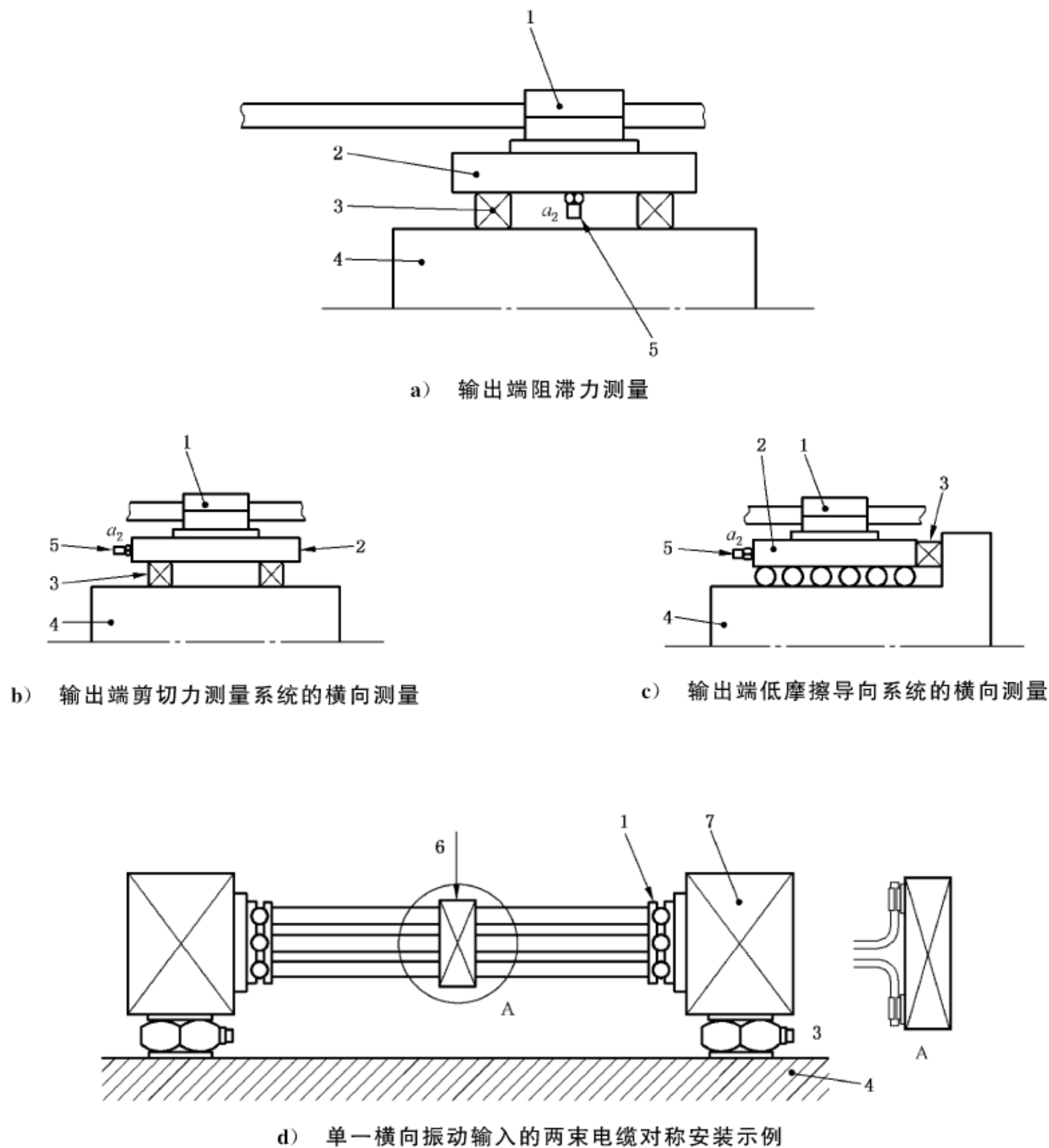
(两个标称相等的吊钩对称配置)



说明:

- | | |
|------------|---------------------|
| 1——激振器; | 8——刚性基础; |
| 2——框架; | 9——电缆; |
| 3——动态去耦弹簧; | 10——加速度测量(a_1); |
| 4——激振质量块; | 11——加速度测量(a_2); |
| 5——连接器和电缆; | 12——加速度测量(a_3); |
| 6——夹具; | 13——输入端; |
| 7——阻滞质量块; | 14——输出端。 |

图7 间接法测量电缆束(如:3根电缆的电缆束)动刚度实验室测试装置示例



说明:

1——夹具;

2——输出力均布板;

3——力测量系统(F_2);

4——刚性基础;

5——加速度测量(a_2);

6——激振器;

7——阻滞质量块。

图 8 直接法测量电缆束(如:3 根电缆的电缆束)动刚度实验室试验装置示例

5.2 局部坐标系

对于采用本部分进行测量的被测弹性元件,输入端法兰或夹具的法线方向可能和输出端的不同(见图 7 和图 8)。对于非平面被测元件,它们甚至不在同一平面。因此,对于每一个被测元件,其局部笛卡尔坐标系和局部坐标系上对应的力、力矩、线位移和角位移都应图 9 标注一致。 z 轴的正向与输入端和输出端法兰的法线方向一致,并且指向远离被测元件。对于“平面”的测试元件,所选的 x 轴应与输入端和输出端不共面。对于“非平面”的测试元件,横轴方向要根据使用要求来确定。 x 和 y 方向,由使用者确定。因此电缆和软管动刚度的确定取决于被测元件和测试设备。

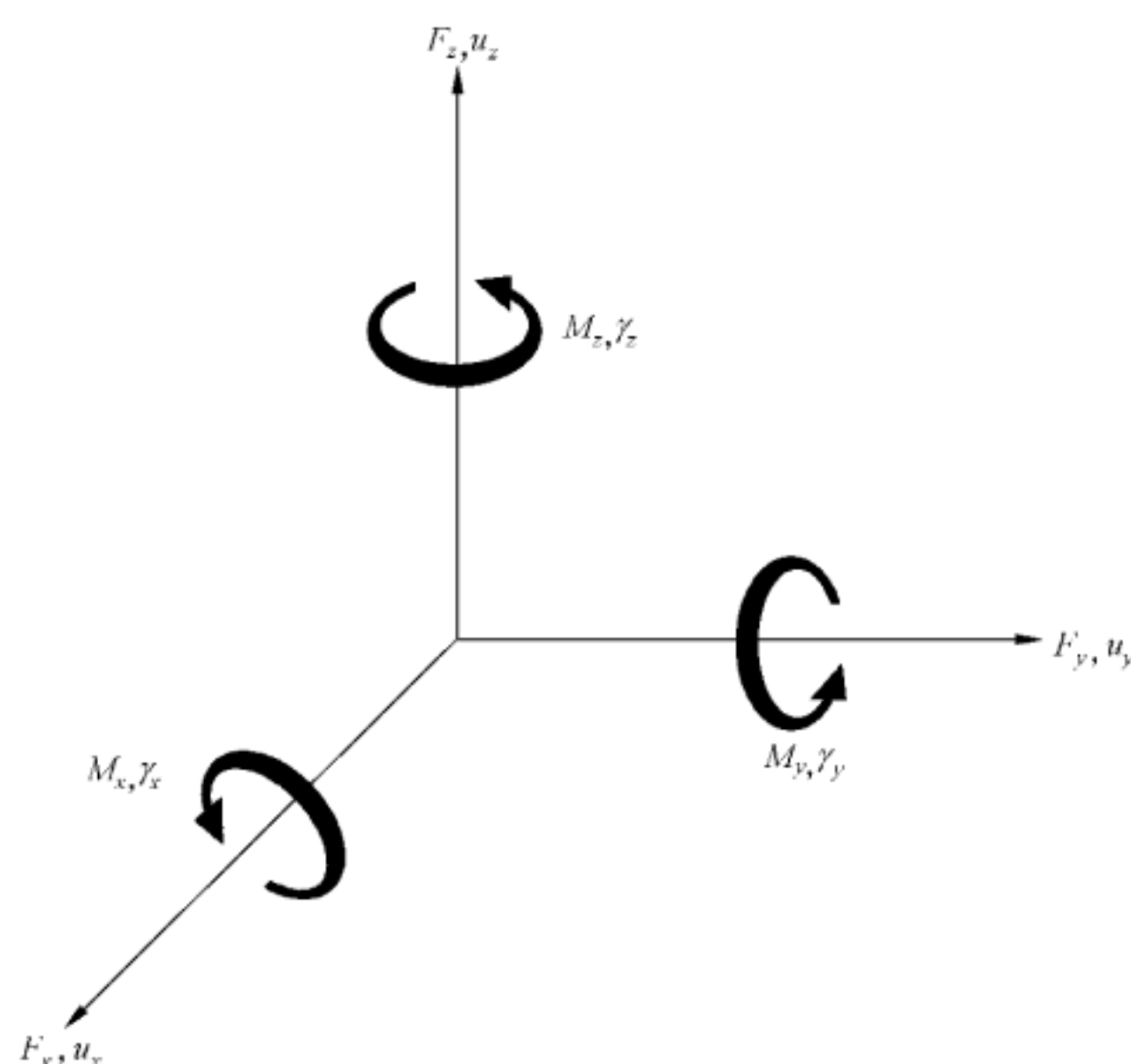


图9 直角坐标系中力、力矩、线位移和角位移正方向规定

动刚度符号如下：

$k_{2x,1x}$; $k_{2x,1y}$; $k_{2x,1z}$

$k_{2y,1x}$; $k_{2y,1y}$; $k_{2y,1z}$

$k_{2z,1x}$; $k_{2z,1y}$; $k_{2z,1z}$

下标 $2x$ 、 $2y$ 、 $2z$ 表示在局部坐标系下的输出阻滞力， $1x$ 、 $1y$ 、 $1z$ 表示在局部坐标系下的输入位移。

在不会产生混淆的情况下，可使用更为简便的标记。如图2中轴对称的测试元件，可只采用两个传递刚度： $k_{2,1}$ (轴向)； $k_{2,1}$ (径向)。

5.3 测试装置构成要素

5.3.1 被测弹性元件

包括输入、输出端的静态预载荷以及固定方式在内，测试元件应根据实际使用时的典型方式进行安装。辅助夹具应视为被测元件的一部分(见3.3)。

注：具有明显非线性静态载荷形变曲线的弹性元件与预载荷动态特性密切相关。但与GB/T 22159.3中的弹性支撑件相比，本部分中的静态预载荷并非都是来源于重力，如弹性联轴器的静态预载荷就可以是力矩载荷[如图3 b)]。

5.3.2 输出端的力测量系统

直接法中，弹性元件输出端的力测量系统是由一个或多个力传感器组成。必要时，可以在被测元件和力传感器之间使用力均布板(见图8)。

注：力均布板除了具有均布载荷的功能之外，还可以提高力传感器的接触刚度。另外，它还可以向输出端的法兰或夹具提供均匀的振动输出。

5.3.3 输出端的阻滞质量块

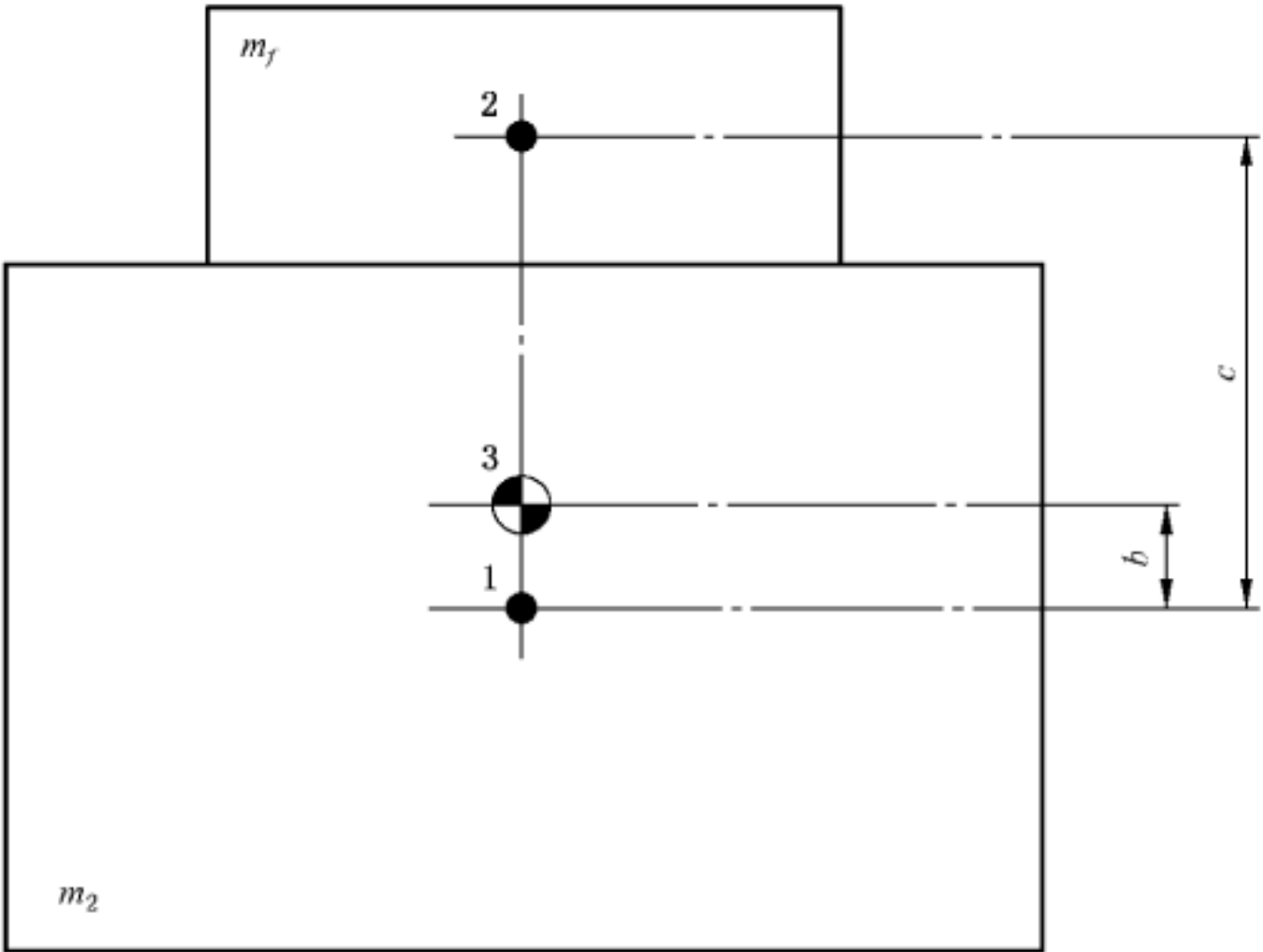
间接法中，阻滞质量块的作用之一是通过测量其加速度估算输出端阻滞力的大小；作用之二是在测试频率范围内，使被测元件输出端法兰上的振动一致。

5.3.4 加速度测量系统

加速度计应分别安放在测试元件的输入端、输出端及所用测试设备的基础上。当加速度测量不易在中心点位置进行时,需要通过适当的信号叠加处理,进行中心点加速度的间接测量。例如,对置于对称位置的两个加速度计采集的信号进行线性平均。

间接法中,测量阻滞质量块横向振动的加速度计,应沿着 x 轴和 y 轴方向,其坐标原点是测试元件输出端法兰和阻滞质量块组成的密实体的质心(见图 10)。

若频率范围合适,可采用位移或速度传感器代替加速度传感器进行测量。



说明:

- 1——阻滞质量块质心; 2——法兰质心;
3——组合体质心。

注 1: c 为质心 1 与质心 2 之间的距离。

注 2: b 为质心 1 与质心 3 之间的距离。

$$b = \frac{c}{1 + m_2/m_f}$$

图 10 确定测量元件阻滞质量块和输出端法兰组合体质心位置示例

5.3.5 动态激振系统

动态激振系统的工作频率应满足测量频率范围的要求。任一合适的激振器均可使用,如:

- a) 液压激振器;
- b) 一个或多个带有顶杆的电动激振器;
- c) 一个或多个压电式激振器。

隔振器可用作激振器的动态去耦,以降低侧向振动的传递。

5.3.6 输入端的激振质量块

被测元件输入端的激振质量块主要起到以下作用:

- a) 在动态力作用下,使输入端法兰的振动一致;
- b) 加强输入端法兰在一个方向的振动。

若测试元件具有能提供上述功能的硬质输入端法兰,可不用类似的专用激振质量块。

按本部分进行测试元件动刚度测量的基本要求是,元件的输入端应以单向平动为主(见 6.5)。影响输入端单向振动的主要因素有:

- a) 激振及激振质量块边界条件的对称性[见图 2 b)];
- b) 激振质量块的惯性[见图 3 a)]。

在某些情况下有必要采取一些外部约束措施,如使用滚柱轴承或其他导向系统,以阻止在非期望方向上的振动。

5.4 非期望振动的抑制

5.4.1 概述

本部分适用于在法向和横向上逐次、单一方向激振时传递刚度的测量。但是,由于激振装置、边界条件以及测试元件都存在着不对称性,输入端除了期望的振动成分外,其他非期望的振动成分在某些频率也会很强。抑制输入端非期望振动的方法将在 5.4.2 和 5.4.3 中进行定性讨论。可采用一种具有对称结构的专用测试装置,对两个标称相同的弹性元件同时进行测试,从而实现对非期望输入振动的抑制。6.5 中给出了定量的要求。

5.4.2 法向

对于法向激振,为了抑制输入端的横向和旋转振动,首选的方法是将激振器或一对激振器对称安置,并采用轴对称的激振质量块。

尽管如此,被测元件本身也能引起法向和其他方向的耦合振动。采用一个激振质量块,可有效抑制这种非期望响应;该激振质量块在与被测元件的界面处,其横向与旋转方向的驱动点阻抗比被测元件的横向与旋转方向的驱动点阻抗大。

抑制非期望输入振动的另一种方法是,采用具有两个标称相同的被测元件的对称装置,或采用激振质量块的侧面具有“导向”系统的测试装置(例如,使用滚柱轴承)。由于与图 2b)、图 3a)和图 5 中所示的横向激振情况非常相似,在此没有给出上述测试系统的图示。

5.4.3 横向

横向激振总会引起横向和旋转方向输入振动的耦合。

下面讨论一些能够增强输入端单向振动的实例。图 2b)、图 6 和图 8d)给出了具有标称相同的两个被测元件的对称测试装置示例。图 3a)和图 4 给出了如何采用导向系统去抑制输入旋转的示例,图 7b)给出了一个不采用导向系统的示例。后者是采用一种结构上对称的激振块,沿经过其重心的直线方向进行激振。在阻滞质量块横向及旋转方向的阻抗大于待测元件和去耦弹簧横向及旋转方向阻抗的频率范围内,阻滞质量块将出现十分强烈的单向振动。

传统方法之外的一种方法是采用主动振动控制。使用多个激励器和传感器的组合控制系统,可提高期望振动与非期望振动级之比。

5.5 特殊要求

5.5.1 测试准备

根据 5.1,被测元件的典型安装应与实际使用时的安装状况一致,这就需要为测试设备进行专门的试验准备。最常见的安装状况在 5.5.2~5.5.5 中规定。如果实际情况与本部分具体描述的情况存在差异的话,应该采取相类似的措施。这些不同的情况和相应的措施,应该在测试报告中详细描述,并明确测试条件是否能代表实际应用情况。

5.5.2 静力矩预载荷

驱动轴(如:船用驱动轴)的弹性联轴器的声振传递特性往往高度依赖于预载荷。因此,动刚度由预加在被测元件上适当的静力矩确定。图 3b)是一个如何施加力矩的示例,例如使用两个通过动态耦合弹簧与质量块相连接的气缸或油缸来实现激振质量块的静态(匀速)旋转的加载。阻滞质量块的旋转则受到所采用的动态去耦弹簧和“安装基座”阻止的限制。

图 2a)中,待测联轴器的旋转轴是垂直的。虽然这可能与实际不同,但只要避免非真实重力预加在柔性测试元件上,这样的测试是允许的。在已具备 GB/T 22159.3^[1]中所描述的测试装置的情况下,操作者会优先使用这种垂直设置。

5.5.3 夹具等

法兰表面不平的被测元件,应由辅助夹具来提供与激振质量块和阻滞质量块的合适连接。图 4~图 8 给出了管道吊钩和电缆束的示例。

管道吊钩在测试时要倒置安装。对于激振质量块的连接,管道夹具与实心圆柱杆一起要作为管道吊钩的一部分[见图 5a)]。借助于两个夹具实现实心杆与激振质量块的刚性连接。通常情况下,管道吊钩的夹具内应含有弹性层。管道吊钩应使用典型的夹具与阻滞质量块或输出端的力均布板相连[见图 5b)]。

电缆或电缆束与激振质量块的连接应使用典型的连接器,而与阻滞质量块或与输出端力均布板的连接应借助于典型的夹具装置(见图 7 和图 8)。

5.5.4 管道吊钩上的重力载荷

管道吊钩的研究应在典型拉力载荷作用下进行。如在间接方法中可以借助于阻滞质量块实现重力载荷的施加。但为了避免过载,有必要对重力载荷进行局部补偿,如在阻滞质量块的底部安装可以调节的空气弹簧(见图 4)。在图 6 示例中,为施加预载荷,必须使用其他类型的辅助设备。本部分的使用者有责任采用具有合适预载辅助装置的测试设备。

5.5.5 充气的被测元件

应在典型内部静态压力作用下测量充气的柔性软管或者波纹管,为此所需的辅助装置不能因机械连接而对测量产生影响。在实验报告中应对这类辅助装置进行描述,并清楚说明为避免测量上的任何不良影响,所采取的相应措施。

6 测试装置适用性准则

6.1 频率范围

每个测试装置都有一个进行有效测试的频率范围限制,其中一个限制来自于激振器的可用带宽。

采用直接法时的另一个限制来自于对输出力的要求,该输出力应近似等于阻滞力。

按本部分进行的测量仅在满足式(2)的相关频率有效:

$$\Delta L_{1,2} = L_{a_1} - L_{a_2} \geq 20 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

L_{a_1} ——输入端法兰的加速度级,单位为分贝(dB);

L_{a_2} ——输出端法兰和输出端力均布板的加速度级,单位为分贝(dB)。

注:级差 $\Delta L_{1,2}$ 的值过小可以用被测元件与基础台架的刚度不匹配或是由于侧向振动传递来解释。当采用测试框架时,有效测量的频率范围还常常受到频率上限 f_1 的限制, f_1 是框架产生的最低共振频率。对于尺寸为 1 m 左右的测试框架, f_1 一般为 300 Hz 左右。

采用间接法时的频率范围限制来源于式(1)中对传递率近似测量时要求的准确度,如在本部分中,这种近似的准确度应在 1 dB 的范围内,即变化范围在计算所得动刚度幅值的 12% 以内。这个要求仅在 $f_2 < f < f_3$ 的有限频率范围内满足,下限频率由测试装备的共振特性决定,通常 f_2 从 20 Hz ~ 50 Hz; 上限频率由阻滞质量的振动特性决定,通常频率 f_3 在 2 kHz ~ 5 kHz。

为了满足上述准确度要求,还需要在已确定的阻滞力方向上,配备阻抗不匹配程度较大的被测元件和阻滞质量块。依据本部分进行的测量仅在不等式(2)成立的那些频率有效,但这里, a_1 表示输入端加速度, a_2 为阻滞质量块加速度。

当频率低于 f_2 时,因为被测元件、激振质量块、阻滞质量块和辅助弹簧构成的系统的共振,将使不等式(2)失效。一般而言,随着阻滞质量块的质量 m_2 增加, f_2 降低。

注: 从设计目的出发,可借助于多刚体振动分析,估算测试装置中的较低固有频率。有效测量频率范围的下限频率 f_2 , 约为所有影响测量方向的振动模态(包括含有周向振动的模态)最高固有频率的 3 倍。尽管如此,在大于 f_2 的某些特定频率,不等式(2)也可能不成立。除了测试装置本身不理想,因内部共振引起被测元件的刚度增大,也是引起不等式(2)无法成立的原因。

采用式(1)获得精确结果的另一个要求是阻滞质量块作为一质量为 m_2 的刚体振动的假设成立。有效测量频率范围的上限频率 f_3 能够用阻滞质量块的大小、形状来控制。对此,将在 6.3 中予以讨论。

6.2 直接法阻滞力的测量

当采用直接法时,被测隔振器和输出端力传感器之间的质量块引起阻滞力测量的偏差。阻滞质量力 F_b 与被测力 F_2 的差值近似等于惯性力 $m_0 a_2$ 。

m_0 是被测元件输出端法兰、输出端力均布板及 1/2 力传感器质量的总和,并遵从不等式(3):

$$m_0 \leq 0.06 \times \frac{10^{L_{F_2}/20}}{10^{L_{a_2}/20}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

m_0 的单位为千克(kg)。

注 1: 不等式(3)与 $|L_{F_b} - L_{F_2}| \leq 0.5$ dB 的要求等效。

注 2: 如果不等式(3)不满足,需要降低 m_0 或者增加力传感器的刚度。后者可意味着使用更多的传感器或一个尺寸更大的传感器。

6.3 间接法上限频率 f_3 的确定

6.3.1 有效质量

采用间接法时,确定上限频率 f_3 的方法是高于某一频率后,用于阻滞力测量的阻滞质量块不再像刚体一样振动。此时,式(1)可修正为式(4):

$$k_{2,1} = \underline{F}_{2,b} / \underline{u}_1 \approx - (2\pi f)^2 (m_{2,\text{eff}} + m_f) T \quad (|T| \ll 1) \dots\dots\dots (4)$$

式中, $m_{2,\text{eff}}$ 表示阻滞质量块的有效质量。有效质量被定义为:通过弹性元件施加于阻滞质量块的激振力与阻滞质量块加速度 a_2 之比,该比值与频率有关[见图 12 a)]。原则上讲,该比值取决于激振方向、质量块的受激振部位及加速度计的布放位置。

为与本部分中的测量方法相一致,应根据 6.3.2 及 6.3.3 中测量方法,将 $f \leq f_3$ 的测试结果表示出来。

6.3.2 阻滞质量块的选用

图 11 所示为外形分别为立方体(边长为 r)和圆柱体(直径为 d , 高为 h , 且 $d = h$)的实心钢制物体尺寸的诺莫图。

如选用其中一种形状的物体,当 $f \leq f_3$ 时,可采用式(1)计算得到传递刚度数据。对于给定的物体

尺寸, f_3 可由图 11a) 查得。

注: 图 11b) 为外形是圆柱体和立方体的质量 m_2 与上限频率 f_3 之间的关系。可通过 m_2 的最小值, 确定相应的上限频率 f_2 。因此, 若为获取某特定频率 f_2 的值而选取质量为 m_2 的物块, 那么可根据图 11b), 确定相应的 f_3 值, 再由图 11a) 确定物块的直径 d 和边长 r 。

6.3.3 有效质量的实验确定

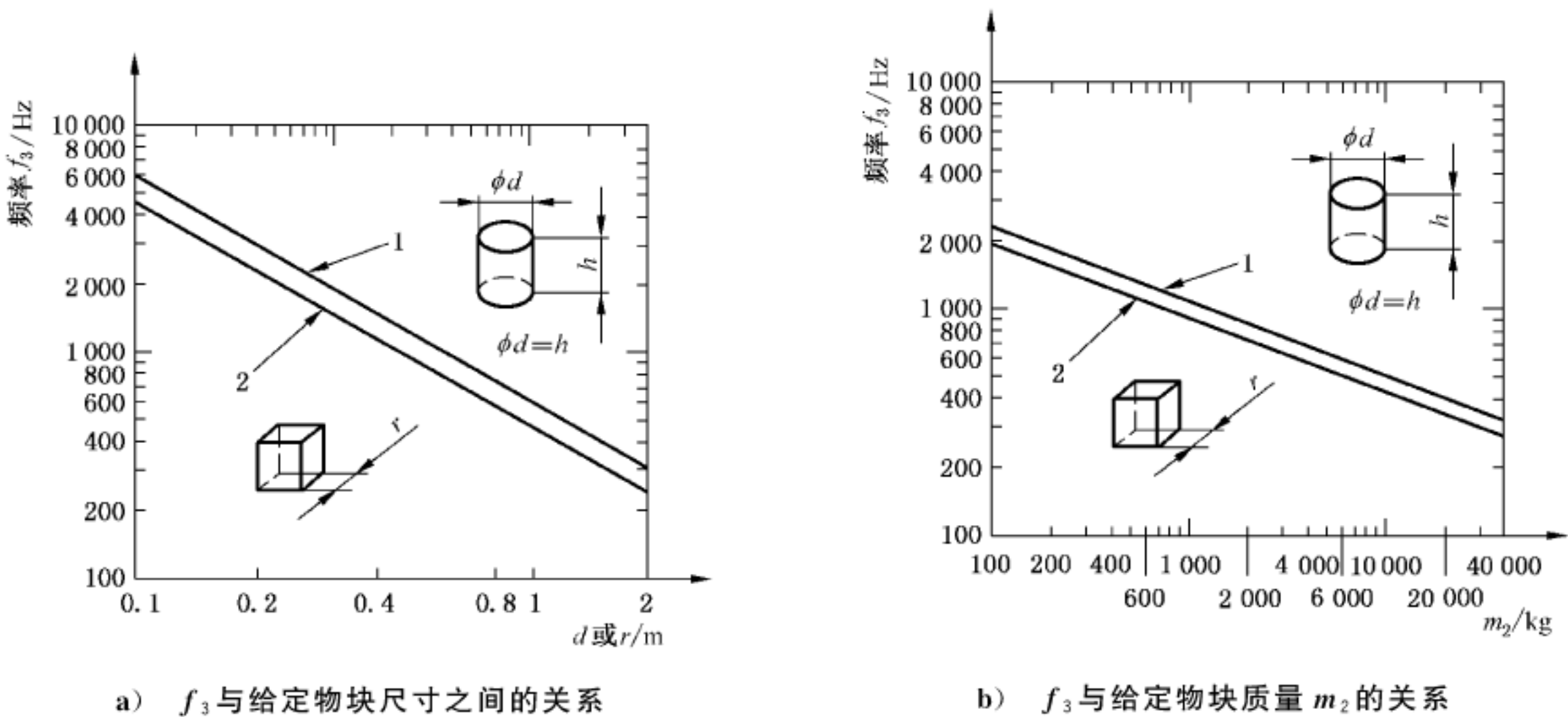
6.3.3.1 若图 11 中所包含的阻滞质量块, 其尺寸、形状或质量无法满足测量要求, 允许采用其他几何形状的物块。但是, 在此种情况下, f_3 应通过实验的方法予以确定。为了使平移方向和旋转方向的振动去耦, 阻滞质量块需在笛卡儿坐标系中存在对称性。在该坐标系中, 质量块的质心是坐标轴的原点, 垂直和横向振动方向作为各个坐标轴, 关系与主要惯性系坐标轴间的关系相一致。

为满足以上要求, 需要采用由均一材料制成的物块, 其形状可为实心圆柱体、环形圆柱体、矩形物块或将各种可以使用的物块进行组合。

按下述测量方法(见 6.3.3.2)通过确定有效质量 $m_{2,\text{eff}}$ 来确定 f_3 时, 应将其视为频率的函数。频率 f_3 为有效质量 $m_{2,\text{eff}}$ 与阻滞质量 m_2 的偏差大于 12%(即量级为 1 dB)的最低频率。

因此, 应采用式(1)计算被测元件的动刚度, 该刚度仅代表 $f \leq f_3$ 的结果。此时, 不等式(5)成立:

$$|\Delta L| = |20\lg(m_{2,\text{eff}}/m_2)| \leq 1 \text{ dB} \dots\dots\dots (5)$$



说明:
1——实心钢制圆柱体;
2——实心钢制立方体。

图 11 实心钢制圆柱体和立方体的诺莫图

6.3.3.2 图 12 详细说明了有效质量的测量方法。图 12a) 和 12b) 给出了一个被测元件与阻滞质量块相接的示例, 其接触面面积为 S 。弹性元件测试过程中, 沿着被测元件输入端的激振方向测量 $a_{2,\text{vert}}$ 或 $a_{2,\text{hor}}$ 。

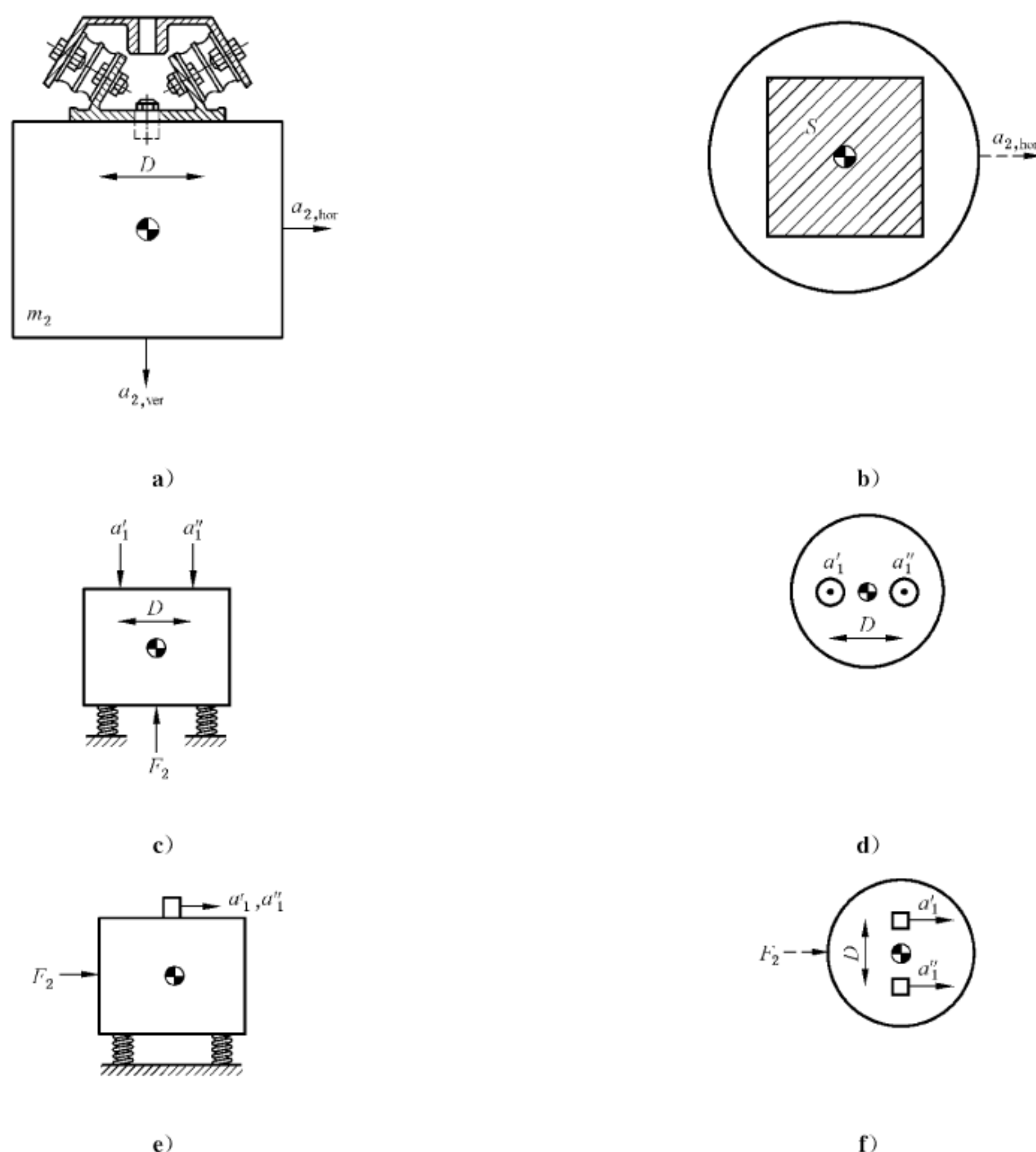
图 12c) 和 d) 举例说明了垂向激振时有效质量的确定方法。不含被测元件的阻滞质量块被一柔软弹性部件支撑。该质量-弹簧系统的固有频率应低于 10 Hz。

在弹性元件测试期间进行 $a_{2,\text{vert}}$ 测量的一端, 在弹性元件测试所需频率范围内、沿着通过质量中心的轴线施加激振力 F_2 。在接触面 S 内, 在通过质心的纵轴的两侧对称地放置两个间距为 $\sqrt{S}$ 的加速度

计。则有效质量定义为式(6)：

$$m_{2,\text{eff}} = \left| \frac{2 F_2}{a'_1 + a''_1} \right| \dots\dots\dots (6)$$

图 12 e) 和 f) 举例说明了水平激振时的有效质量确定方法。水平激励采用类似于纵向激振所描述的方法,但激励沿着通过质心的水平轴,并在接触面 S 内水平方向,沿该轴对称地放置两个间距为 $\sqrt{S}$ 的加速度计。有效质量仍可按式(6)确定。



注：间距 D 为 $\sqrt{S}$ ， S 为接触面面积。

图 12 实验确定有效质量图例

如果在低频段 ($f < 40$ Hz) $m_{2,\text{eff}}$ 与 m_2 在量级上的差别大于 1 dB,则在确定 f_3 时可忽略此差别。这是因为此偏差是由质量-弹簧系统的特性引起的,并非由物块的非刚体特性造成的。

水平方向上激振器的布放要非常仔细,以避免物块旋转。否则,即便在低频采用式(6)测量产生的误差也会使不等式(5)无法成立。

有关力和加速度的测量方法应与 ISO 7626-1 和 ISO 7626-2 中的方法一致。

宽频范围测量的实现,要求 f_2 取较低的值(即采用很重的质量块),同时取较高的 f_3 值(物块尽可能采用刚体)。最好采用高密度、波速快的材料,如钢。如有必要,应采用不同的阻滞质量块,以包含所需要的频率范围。

注：在设计中,可采用质量块的相似比模型来简单、经济地确定 f_3 。该质量块模型是使用与原物块相同的材料,但

按一定比例 n 缩小原物块的线性尺寸而制成的。研究表明： $f_{3(\text{模型})} = n \cdot f_{3(\text{原型})}$ 。

6.4 侧向传递

在很多测试组合装置中,侧向振动传递使得测试方法的适用范围和测量准确度都受到很大限制。侧向振动传递可能是由空气声或结构声导致。如果采用大量不同的组合测试装置,操作人员应注意利用未受侧向振动传递影响的刚度数据,并设计检验方法,来确定这些数据是否真实可靠。

在测试报告中,应记录这些检验方法及其检验结果。

6.5 非期望输入振动

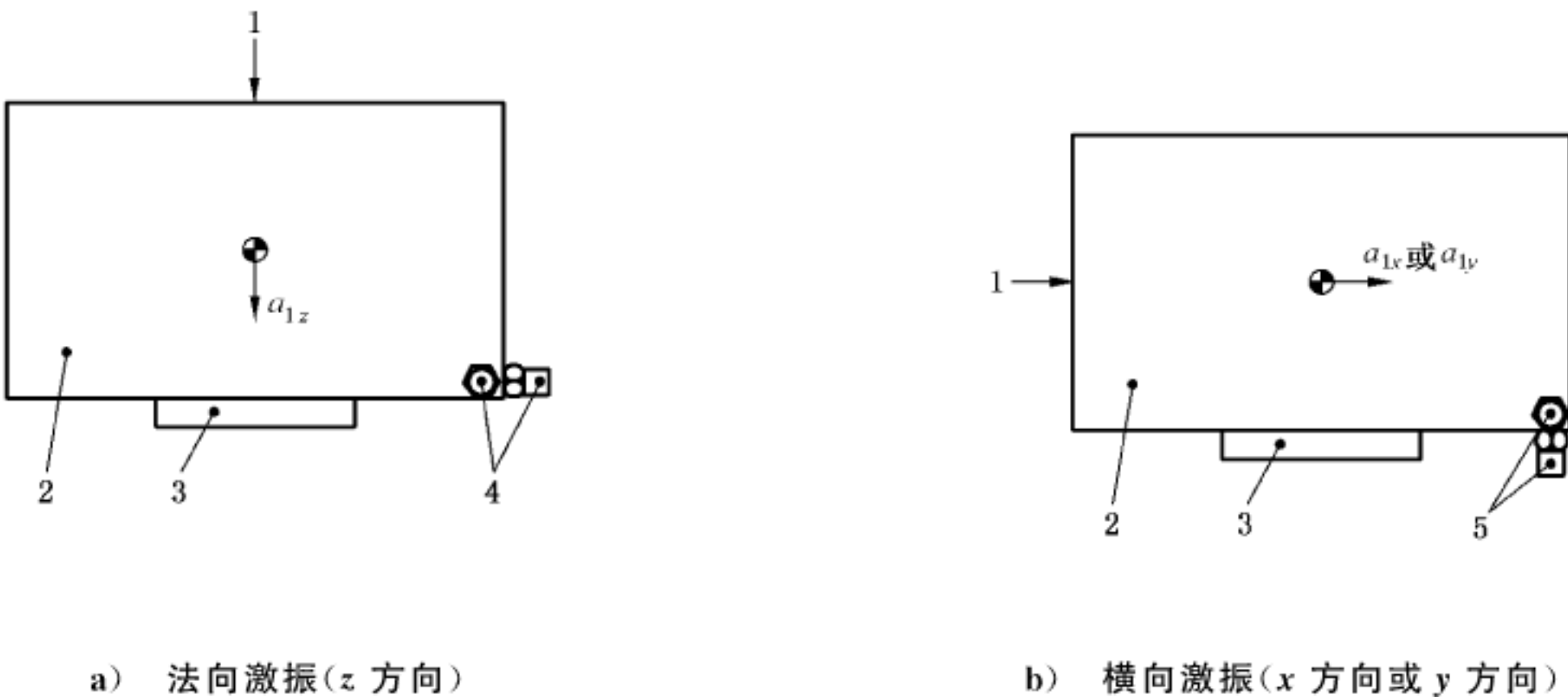
根据 5.4 内容,除了那些沿激振方向的振动,其他方向的输入加速度都应受到抑制。本部分所介绍的测量方法,仅当激振方向上的输入加速度级超过其他与之正交的方向上的加速度级至少 15 dB 时方为有效,即应满足式(7):

$$L_{a,(期望)} - L_{a',(非期望)} \geq 15 \dots\dots\dots (7)$$

图 13 给出可满足这一要求的测量位置。

对法向激振而言,激振方向上的输入振动 a_{1z} 是沿着激振质量块与输入端法兰接触面上的激振线方向。应在激振质量块或力均布板的边缘和激振质量块与输入端法兰接触面的平面上,测量横向的非期望输入 a'_{1x} 与 a'_{1y} [见图 13a)]。

对于横向激振(x 向或 y 向),是沿激振质量块的水平对称轴测量激振方向的输入振动(a_{1x} 或 a_{1y})。应在激振质量块的边缘及其与被测元件输入端法兰接触面的平面上测量非期望输入 a'_{1z} 和 a'_{1y} 或 a'_{1x} [见图 13b)]。



- 说明:
- | | |
|---------------|--|
| 1——激振器; | 4——测量 x 方向或 y 方向非期望振动的传感器; |
| 2——激振质量块; | 5——测量 z 方向和 x 方向或 y 方向非期望振动的传感器。 |
| 3——被测元件输入端法兰; | |

图 13 检验非期望输入振动抑制情况的测量位置

当被测元件的质量型输入端法兰取代激振质量块时(见 5.3.6),应根据式(7)定义一种与图 13 相似的结构,以检验是否充分抑制了非期望输入。

6.6 加速度计

应在测量频率范围内校准加速度计。测量选用的加速度计灵敏度偏差应在 0.5 dB 范围内,且与频率无关。按照 ISO 16063-21 中的校准方法对所使用的加速度计进行校准。

加速度计不应受到外界环境,如温度、湿度、磁场、电场、声场以及张力等变化的影响,且加速度传感器的横向灵敏度应小于轴向灵敏度的 5%。

若采用位移或速度传感器,其使用要求与加速度计的使用要求一致。

6.7 力传感器

应使用在测量频率范围内进行过校准的力传感器,其灵敏度偏差应在 0.5 dB 范围内且与频率无关。校准应按照 ISO 7626-1 中描述的质量加载法进行。

若采用适当的补偿步骤,如应用适当的数字化传递函数,则最终的灵敏度函数应满足 0.5 dB 的要求。

力传感器不应受到外界环境,如温度、湿度、磁场、电场、声场以及张力等变化的影响,且其传感器的横向灵敏度应小于轴向灵敏度的 5%。

6.8 信号叠加

若来自力传感器或加速度计的信号需要进行叠加处理,则信号叠加后的最大不确定度应为 5%。这就要求使用同样的传感器,其中各传感器之间的灵敏度差别应在 5% 的范围内。另一种方法是,通过借助多通道分析仪实现信号叠加。此时,为了补偿因传感器灵敏度差异以及因各通道增益系数不同带来的差异,需对叠加结果进行适当修正(见 6.9)。

6.9 分析仪

窄带分析仪应满足下列要求:

- a) 在测量频率范围内进行谱分析,频率分辨率应该使每 1/3 倍频带带宽内至少显示出 5 根谱线;
- b) 采用与测量弹性支撑件测量时相同的频率分辨率测量输入、输出端加速度时,不同通道(包括信号调节设备)之间的频率响应偏差应小于 0.5 dB。否则,需进行修正,以补偿各通道增益系数的差异。

一种通道增益的比较方法如下:在两个通道输入相同的宽带信号(如白噪声),其输出的窄带谱幅值比应小于 0.5 dB。否则,需将测得的幅值比作为所测动刚度的修正因子。

7 测试过程

7.1 被测元件的安装

被测元件同激振质量块和输出力均布板或阻滞质量块相接,要确保与整个法兰面接触良好。实际应用中,对那些不属于弹性部件组成部分的装置,应不使用,也可将其去除。

为改善弹性被测元件与其两侧质量块之间的接触效果,可在其中加入油脂或双面胶带。然而,采用后一种方法时,在高频部分会引发一些问题。对那些有大型法兰的被测元件,为了获得明确的测试结果,接触面应处理成平整的。

含橡胶类成份的被测元件,由于存在蠕变特性,其载荷和偏移会发生一定的改变。对此类部件,应施加 100% 容许载荷的静态预载。在正式测量进行之前,由蠕变效应引发的载荷或偏移的日变化,应小于 10%。

7.2 力测量系统和力均布板的选择

采用直接法时,采用一个或多个力传感器,这取决于被测隔振器的尺寸、对称性以及最大允许载荷。

力均布板要尽可能小而轻,但在测量频率范围内刚度足够大,以避免系统共振。最小侧面尺寸由被测元件的尺寸决定。

为检测力测试系统的刚度特性,在其中心施加一个点力源来激励这个系统。由该点力源所得到的传递函数(由已校准的力传感器和力测量系统的输出信号测量得到)在测量频率范围内应是平直的。

7.3 加速度计的安装与连接

测量 a_1 、 a_2 和 a_3 的加速度计应采用刚性连接方式安装在被测元件的输入端与输出端。实际安装应按照 ISO 5348 的要求进行。

7.4 激振器的安装与连接

在振源与激振质量块之间,有必要使用顶杆联接。设计顶杆时,应避免杆的共振而引发强烈的横向振动与声辐射。

7.5 信号源

可使用下列之一作为信号源:

- 离散步进正弦曲线信号;
- 扫频正弦信号;
- 周期性扫频正弦信号;
- 有限带宽噪声信号。

为使测试结果准确,应对测试结果进行平均处理。所用源信号的时间应足够长,使平均时间加倍后的结果差异小于 0.1 dB。当采用离散步进正弦曲线或周期性扫频正弦信号作为信号源时,源信号的频率间隔应同进行频率分析时的要求一样,每 1/3 倍频带带宽内应至少包含源信号的 5 根谱线。

7.6 测量

7.6.1 概述

测量应在一个或多个反映了实际负载范围的指定负载条件下进行。

测量需要在一个或多个反映实际环境温度范围的指定特定环境温度下进行。在测量过程中,还需要对环境温度进行监控。测试元件在接受测试之前,至少应在适当的环境温度下、在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 变化范围内暴露 24 h。

若已知或有理由认为被测元件材料特性(如阻尼)对温度、湿度变化非常敏感,则应规定容许温度和湿度的容差,在使该温度或湿度的容差范围内,仍保持 7.6.3 中所介绍的测量不确定度。

测量预备工作中,在振源工作及不工作的条件下确定加速度级 L_{a_2} 的大小。除非有其他的特别说明,应尽可能调整原始输出信号,使得整个测试频带范围内测得的加速度级与信号源关闭时的输出相比相差 15 dB 以上。

正式测量时,主要测量的是被测元件输入端加速度 a_1 、输出端加速度 a_2 以及整个测试装置基础的加速度 a_3 。对那些不满足 6.5 中所述条件的测量结果,在计算动刚度方程时应不予考虑。

7.6.2 测量的有效性

实现有效测量的条件如下:

- a) 隔振器应呈近似线性的振动特性(见 7.7);

b) 隔振器与毗邻振源及受振结构的接触面可被认为是点接触。

注：观察适当的输入信号与可用的输出信号之间的相干函数，因为该值可反映低信噪比、非线性、以及其他不利测量准确度的因素。

7.6.3 测量不确定度

根据本部分，弹性部件动刚度的标准偏差，在用刚度级表示时约为 2 dB，在用幅值表示时约为 26%。除非有更多的已知不确定度的相关振源的情况，应给出置信度为 95% 的扩展测量不确定度（如 GUM:1995 中所定义的），它是以上所述标准不确定度的两倍。

注：标准偏差与频率有关。以目前的技术状况，还需安排在多个实验室实验，以进一步检验测量精确度。

7.7 线性检验

在本系列标准中，与动刚度有关的概念及其测量方法，均建立在弹性部件的振动特性为线性的模型基础上。然而，实际中使用的隔振器，最多表现出一种近似的线性振动特性。因此，为了准确定义本部分要求的可接受近似线性条件，将结合输入振动级，考虑动刚度数据的有效性。

由于进行完全的线性度测试并不现实，因此根据本部分测得的数据，应当用输出力与输入加速度（或速度、或位移）之比表示的输出输入之间的正比度来检验；见 3.11 的注 1 和注 2。

根据本部分测得的动刚度数据仅对输入振幅等于或小于测试中所用振幅、以及已被证明输出和输入间近似成正比时有效。认为数据有效的输入级上限应在实验报告中明确说明。

应采用如下的比例测试方法进行线性检验：

- 设定 A 为一输入级的 1/3 倍频带频谱。
- 设定 B 为另一输入频谱，其 1/3 倍频带频谱至少比 A 低 10 dB。
- 若对激振谱 A 和 B 测得的传递刚度级之差不大于 1.5 dB，则在输入级（或对应的输入振幅）等于或小于 A 的范围内，可认为动态传递刚度数据有效。
- 若测试装置所采用的 A 最大输入级低于被测元件实际应用中的典型输入级，则为获得实际应用中的有效测量数据，应对原测试装置进行改良或采用新的装置进行测试。
- 如在 c) 条件下测试结果无法接受，则需以更低的输入级进行重复测试，直到输出与输入成正比从而得到有效的输入级范围。

有效输入级范围应被具体描述为：测试中，等于或低于那些可产生有效输出的较高输入级的输入加速度 1/3 倍频带级值（若测量的是位移，则采用输入位移级）。

注：在输入级上限基础上，可用某种简化方式表示。例如，采用均方根的最大值表示输入位移。

若某一被测元件不满足前文所说的输入输出比标准，则可认为该元件是非线性的。本部分未介绍相应的测量方法。然而，从实际应用角度出发，标准中的大部分内容仍可用于确定测量方法。如，对于特定振幅的简谐激振情况。

8 测试结果评估

8.1 直接法动刚度的计算

当采用直接法测得阻滞力 F_2 和加速度 a_2 时，动刚度的计算需要将加速度转换成位移。

对于简谐振动，动刚度由式(8)计算：

$$k_{2,1}(f) = \frac{F_2}{u_1} = - (2\pi f)^2 \frac{F_2}{a_1} \dots\dots\dots (8)$$

动刚度是一个模为 $|k_{2,1}(f)|$ ，相位角为 $\phi_{2,1}(f)$ 的复数。

在与振动传递刚度 $k_{2,1}(f)$ 的测量准确度有相同限制和附加条件的范围内,根据 3.6 中内容,被测元件损耗因子 $\eta(f)$ 可由式(9)求得:

$$\eta(f) = \tan \phi_{2,1}(f) = \text{Im}\{k_{2,1}(f)\} / \text{Re}\{k_{2,1}(f)\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

注 1: 损耗因子的评估是可选择的。高频时,弹性元件的特性不再表现为无质量弹簧。此时,就不能再使用式(9)描述弹性支撑件的阻尼特性(见 ISO 10846-1)。

注 2: 若损耗因子很小,采用式(9)计算时,计算结果会对误差十分敏感。例如:某损耗因子 $\eta=0.01$,与之相应的相位角 $\phi_{2,1}(f) = \arctg(\eta) = 0.57^\circ$ 。建议此时采用半功率带宽法来测试损耗因子。

8.2 间接法动刚度的计算

采用间接法时,动刚度按式(1)计算:

在与振动传递率 T 的测量准确度有相同的限制和附加条件的范围内,根据 3.6 中内容,被测元件损耗因子 $\eta(f)$ 可由式(10)求得:

$$\eta(f) = \text{Im}\{T(f)\} / \text{Re}\{T(f)\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

注 1: 损耗因子的评估是可选择的。高频时,弹性元件的特性不再表现为无质量弹簧。此时,就不能再使用式(10)描述弹性支撑件的阻尼特性(见 ISO 10846-1)。

注 2: 若损耗因子很小,建议采用半功率带宽法测试损耗因子。

8.3 动刚度 1/3 倍频带平均值

$k_{2,1}$ 的 1/3 倍频带平均值,可由式(11)计算:

$$k_{av} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |k_{2,1}(f_i)|^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$n \geq 5$ 。

注 1: 选择对幅值的平方求平均,用于强调所有刚度值中的最大值,该值通常最为重要。

注 2: 当输入位移 u_1 的谱密度函数为平直能量谱密度函数时,采用式(11)的计算结果与采用实时 1/3 倍频带分析仪直接测得的频率值结果一致。

注 3: 采用 1/3 倍频带形式表达刚度,可明显减少数据量,但会丢失相位信息。

根据 3.18 可采用频带平均动刚度级表示测量结果。

采用的 1/3 倍频带中心频率 f_m 应与 ISO 266 定义的一致。

8.4 1/3 倍频带结果表示

可采用表格和/或图形(见图 14)来表示 1/3 倍频带动刚度级。表格中应包含:各 1/3 倍频带中心频率、以分贝形式表示的动刚度级和规定的基准值(即 $1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)。

图形表示时的格式要求如下:

——纵坐标:每 20 mm 代表动刚度级 10 dB,相当于幅值系数 $10^{1/2}$;

——横坐标:每 5 mm 代表一个 1/3 倍频带带宽。

在实际作图时,在确保固定比例的条件下,可适当放大或缩小图形尺寸。为能更加清晰地表示,作图时可采用网格线。

注:图 14 为一种作图格式。除了分贝标度(左侧纵轴),右侧纵轴给出了以牛每米为单位的对数标度。

图示表示时,应使用 5.2 中的标记法清晰地描述传递刚度。

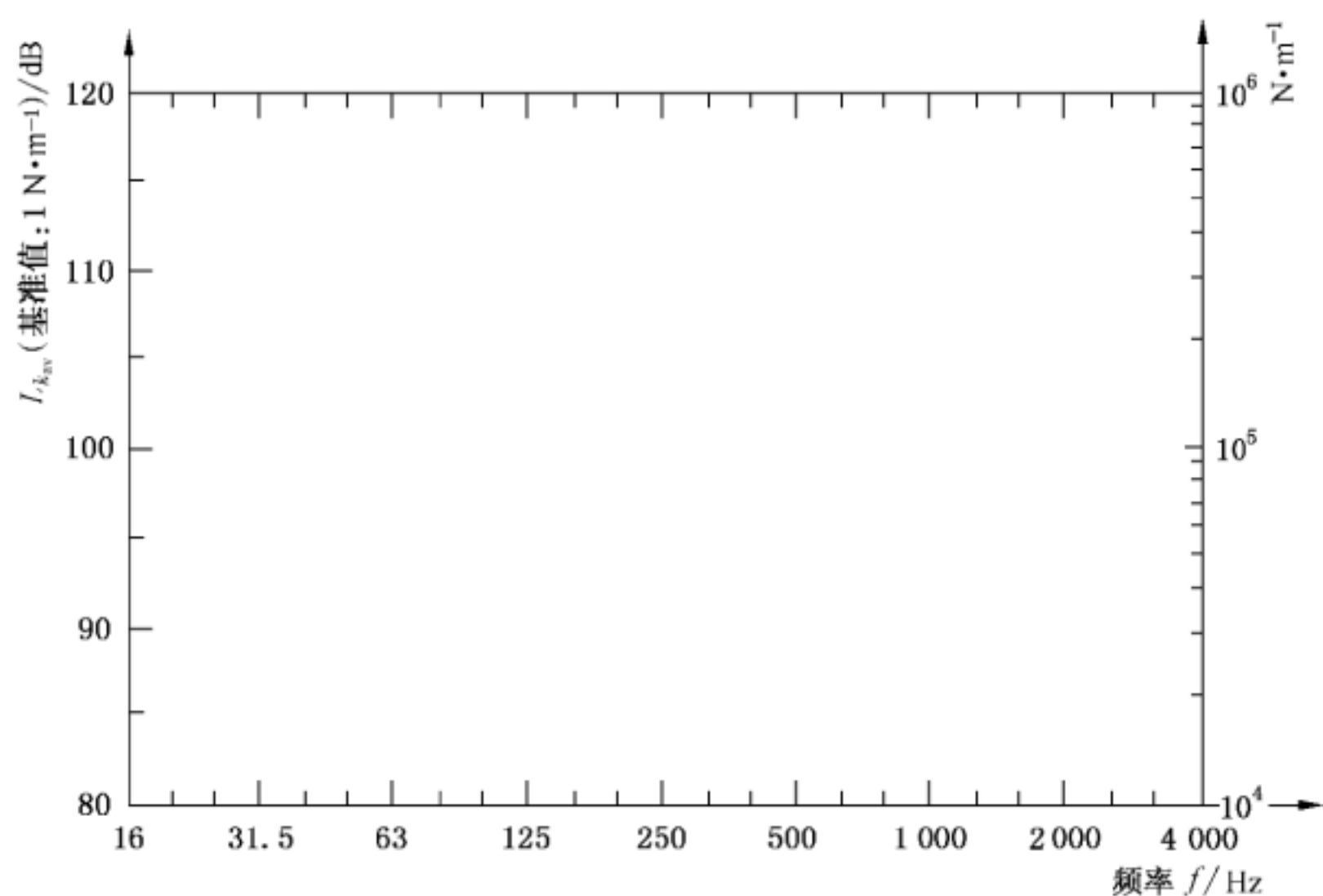


图 14 表示 1/3 倍频带平均动刚度级的图形格式及刻度值示例

8.5 窄带数据的表示

可有选择性地表示出动刚度的幅值谱、相位谱以及损耗因子谱。此时应使用窄带频谱分析的频率分辨率。

以图形表示动刚度数量级,应规定基准值(即 $1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)。建议采用下面格式作图:

- 纵坐标:每 20 mm 代表动刚度级 10 dB,相当于幅值系数 $10^{1/2}$;
- 横坐标:每 15 mm 代表一个倍频带。

注:详见 8.4 有关图示的注释。

相位数据应以图形表示。

建议采用下面格式作图:

- 纵坐标:40 mm 代表 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 角度范围;
- 横坐标:每 15 mm 代表一个倍频带。

注:详见 8.4 有关图示的注释。

损耗因子应以图形表示。建议采用下面格式作图:

- 纵坐标:每 20 mm 代表损耗因子 η 变化 10 倍;
- 横坐标:每 15 mm 代表一个倍频带。

注:详见 8.4 有关图示的注释。

图示表示时,应使用 5.2 中的标记法清晰地描述传递刚度。

9 记录内容

测量时,需记录以下相关信息:

- a) 实施测试的组织机构名称;
- b) 与被测元件有关的信息,包括:
 - 制造商,部件类型、序号;
 - 对被测元件的描述,应明确区分被测元件和各种非测试部件(各辅助元件不在测试对象范围之内);

- 由制造商提供的、用作振动衰减器时的相关数据资料；
- c) 拍摄弹性部件与测试装置的实物照片；对静态预载荷的辅助结构进行描述；
- d) 若采用了激振质量块，需对其进行描述；对阻滞质量块的描述（尺寸、材料、质量），对被测元件附属结构的描述（见 5.2）；
- e) 加速度级的差值谱，用以检验式(2)和式(7)（见 6.1 和 6.5）；
- f) 静态预载，单位为：N 或 Pa；
- g) 环境温度及测试过程中环境温度变化情况的记录，单位为：℃；
- h) 其他测试条件，如下：
 - 相对湿度，%；
 - 测试元件的预加条件；
 - 其他特定相关条件（如：超低频强迫振动的幅值、频率）；
- i) 测试信号的描述；
- j) 被测元件输入端加速度级谱 L_{a_1} （若测量的是位移，则采用位移级）；
- k) 所采用的测量和分析仪器，包括其型号，布放位置、序号、校准方法和制造商；
- l) 1/3 倍频带平均动刚度级的表示；
- m) 对线性测试过程的描述（见 7.7），包括对那些被认为是有效的测试数据，其加速度 a_1 或位移 u_1 的级值或数量变化范围；
- n) 背景噪声对测试产生的可能影响；
- o) 侧向振动传递对测试产生的可能影响；
- p) 测量 $20\lg(m_{z,\text{eff}}/m_2)$ 的数据，以确定 f_3 （见 6.3）；
- q) 被测元件温度允差，根据 7.6.3，在此范围内仍存在最大测量不确定性；
- r) 动刚度幅度窄带谱；
- s) 动刚度相位窄带谱；
- t) 损耗因子窄带谱，其中应说明（参见 ISO 10846-1） η 仅直接代表低频时的耗散损失，此时，测试部件内部的惯性力可忽略不计；
- u) 传递刚度的实部和虚部；
- v) 测试数据有效时，输入级上限简化信息（如，最大位移均方根值）。

10 测试报告

应根据本部分编写测试报告，报告中至少应包含第 9 章中的 a)、b)、f)、g)、k) 和 l) 等信息。

附 录 A
(资料性附录)
转动部件的扭转动刚度

在 GB/T 22159 的所有部分中,只对平动动刚度的测量进行了规范,不过对本部分的间接法进行延伸,也可以测量转动部件的传递动刚度。

采用本部分进行上述测量时可以参照 GB/T 22159.3—2008 的附录 A,该附录给出了更为详尽的指南。在 GB/T 22159.3—2008 的附录中,无论从理论、测量原理,还是从测试设备的适配性上,都对弹性支撑件的测量进行了描述。这些信息可以很容易移植到弹性非支撑元件的测试中。

参 考 文 献

- [1] GB/T 22159.3—2008 声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法 第3部分:弹性支撑件平动刚度的间接测量方法
- [2] ISO 10846-2 Acoustics and vibration—Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements—Part 2: Dynamic stiffness of elastic supports for translator motion—Direct method
- [3] ISO 10846-5 Acoustics and vibration—Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements—Part 5: Driving point method for determination of the low frequency dynamic stiffness of elastic supports for translatory motion
- [4] VERHEIJ J. W. Measuring sound transfer through resilient mountings for separate excitation with orthogonal translations and rotations. Proceedings internoise.1980, pp.723-726.
- [5] VERHEIJ J. W. Multi-path sound transfer from resiliently mounted shipboard machinery. Doctoral Thesis, TNO-Institute of Applied Physics, Delft, Netherlands, 1982.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
声学与振动 弹性元件振动-声传递特性
实验室测量方法
第 4 部分:弹性非支撑件平动动刚度
GB/T 22159.4—2017/ISO 10846-4:2003

*

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

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2017 年 11 月第一版

*

书号: 155066 • 1-58218

版权专有 侵权必究



GB/T 22159.4-2017