



中华人民共和国国家标准

GB/T 22159.3—2008/ISO 10846-3:2002

声学 with 振动 弹性元件振动-声传递 特性实验室测量方法 第3部分:弹性 支撑件平动动刚度的间接测量方法

Acoustics and vibration—Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements—Part 3: Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion

(ISO 10846-3:2002, IDT)



2008-07-02 发布

2009-02-01 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
声学与振动 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
GB/T 22159.3—2008/ISO 10846-3:2002

*

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 2.25 字数 58 千字
2008年11月第一版 2008年11月第一次印刷

*

书号:155066·1-33836 定价 26.00 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 22159.3-2008

前 言

本部分是 GB/T 22159《声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法》的系列标准之一。GB/T 22159 在《声学 弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法》总标题下包括以下 5 个部分：

- 第 1 部分：测量原理与指南；
- 第 2 部分：弹性支撑件平动动刚度的直接测量方法；
- 第 3 部分：弹性支撑件平动动刚度的间接测量方法；
- 第 4 部分：非弹性支撑的平动动刚度；
- 第 5 部分：测定弹性支撑件低频动刚度的点驱动法。

本部分等同采用 ISO 10846-3:2002《声学 弹性元件振动——弹性元件振动-声传递特性实验室测量方法——第 3 部分：弹性支撑件平动动刚度的间接测量方法》(英文版)。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C 为资料性附录。

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：西北工业大学、中国科学院声学研究所、同济大学、合肥工业大学。

本部分主要起草人：陈克安、程明昆、吕亚东、毛东兴、李志远、俞悟周。

本部分首次发布。

引 言

各种被动隔振器被用于降低振动的传递,例如汽车发动机悬置,建筑物的弹性支撑、船用机器的弹性支承和弹性(柔性)联轴器以及家用电器中的小型隔振器。

本部分规定了测量线弹性支撑动刚度函数的间接法,如果元件对给定的静态预荷载表现出近似的线性振动特性,则本部分还包括非线性静态预荷载-偏移特性的弹性支撑。

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,该系列标准还包括测量原理、直接法和点驱动法,ISO 10846-1 提供了选择合适标准的总体指南。

本部分所描述的实验室条件包含如何合理使用静态预载。间接法用于分析弹性元件 20 Hz 以上的结构声传递损失是很有用的。然而,该方法不能完全表征用于衰减低频振动或冲击位移的隔振器特性。

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 2

4 原理 4

5 对测量仪器的要求 4

5.1 法向平动 4

5.2 横向平动 8

5.3 非期望振动的抑制 8

6 测试装置适用性准则 12

6.1 频率范围 12

6.2 上限频率 f_s 的确定 12

6.3 侧向振动传递 15

6.4 非期望输入振动 15

6.5 加速度计 16

6.6 力传感器 16

6.7 信号叠加 16

6.8 分析仪 16

7 测试过程 17

7.1 待测部件的安装 17

7.2 加速度计的安装与连接 17

7.3 激振器的安装与连接 17

7.4 信号源 17

7.5 测量方法 17

7.6 线性检验 18

8 测试结果计算 18

8.1 动刚度的计算 18

8.2 动刚度 1/3 倍频带平均值 19

8.3 1/3 倍频带结果表示 19

8.4 窄带数据的表示 20

9 记录内容 20

10 测试报告 20

附录 A (资料性附录) 转动部件的扭转动刚度 22

附录 B (资料性附录) 对称性对动刚度矩阵的影响 28

附录 C (资料性附录) 静态荷载偏移曲线 29

参考文献 30

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
支撑件平动动刚度的间接测量方法

1 范围

本部分详细介绍了一种在给定预载条件下,弹性支撑件平动动刚度的测量方法。该方法主要涉及振动传递率的实验室测量,称为间接测量法。该方法适用于具有平行连接件的测试部件(见图1)。

注1:本部分主要适用于那些以降低音频振动(20 Hz ~ 20 kHz 的结构声)向结构体传播为主的隔振器。此种类型的振动可辐射出不需要的流体声(如空气声、水声或其他)。

注2:实际情况下,由于测试装置尺寸限制,该方法不用于非常小或非常大的弹性支撑件。

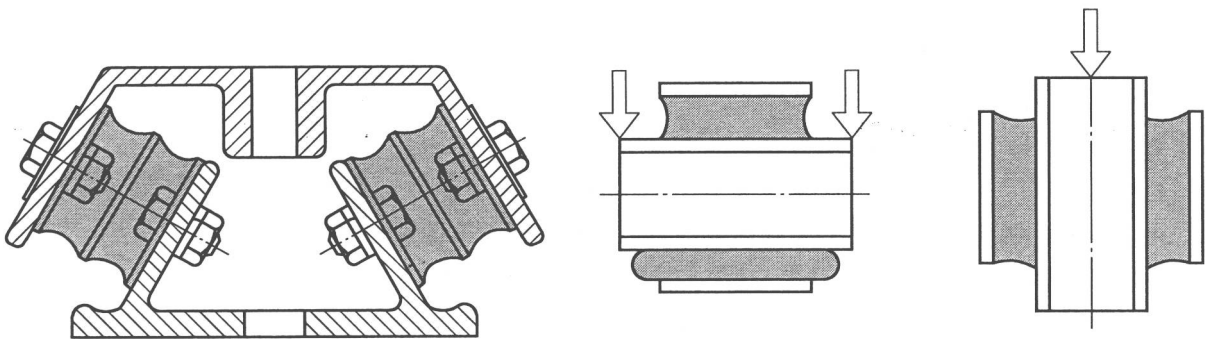
注3:该方法中也包含部分连续支撑垫的测量样品。这些样品能否充分表明复杂系统的特性,由本部分使用者负责。

本部分还介绍了与待测元件连接件平行及垂直方向上的位移测量方法。附录A中介绍了含有转动部件动刚度的指导性测量方法。

该测量方法所适用的频率范围是 $f_2 \sim f_3$ 。 f_2 与 f_3 的值取决于测试装置和待测隔振器,通常 $20 \text{ Hz} \leq f_2 \leq 50 \text{ Hz}$; $2 \text{ kHz} \leq f_3 \leq 5 \text{ kHz}$ 。

采用本部分方法所获得的测量数据可用于:

- 生产厂商和供销商提供的产品信息;
- 产品开发过程中所需要的信息;
- 质量控制;
- 计算通过隔振器的振动传递率。



注1:当弹性部件不具有平行连接件时,需采用辅助固定夹具并将之作为待测部件的一部分,以满足测量所需的平行连接件条件。

注2:图中箭头所示为负载方向。

图1 具有平行连接件的弹性支撑件

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 22159 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—1991 机械振动与冲击 术语(neq ISO 2041:1990)

GB/T 3240 声学测量中的常用频率(neq ISO 266)

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,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,IDT)

GB/T 13823.3—1992 振动与冲击传感器的校准方法 正弦激励比较法校准(二次校准)(neq ISO/DIS 5347-3)

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

3 术语和定义

GB/T 22159 的本部分采用下列术语和定义。

3.1

隔振器 vibration isolator

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质量的隔振器。

3.3

测试元件 test element

待测弹性支撑件,包括其连接件和辅助固定夹具(若使用)。

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,为弹性元件输出端的力与其输入端的简谐振动的位移比。

注1:下标中的1,2分别表示弹性元件的输入和输出端。

注2: $k_{2,1}$ 的取值受到静态初负载、温度及其他一些条件的影响。低频时, $k_{2,1}$ 仅取决于弹性力和阻尼力,且 $k_{2,1} = k_{1,1}$ ($k_{1,1}$ 表示隔振器输入端的作用力与位移之比)。

注3:高频时,由于 $k_{2,1}$ 还会受到弹性元件内部惯性力的影响, $k_{2,1} \neq k_{1,1}$ 。

3.6

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

η

低频条件下, 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),此时,弹性元件内在惯性力的影响可忽略不计。

3.7

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

k_{av}

动刚度在 Δf 频带内的平均值(见8.2)。

3.8

点接触 point contact

接触振动面可看作刚体表面的接触方式。

3.9

法向平动 normal translation

与弹性元件连接件方向相垂直的平移振动。

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：实际中，采用上述方法进行系统线性特性的检验并不可行。一种有限度地检验线性特性的方法是测量一定输入强度范围内的动刚度。事实上，该方法对检验系统激励与响应之间的线性关系是十分有效的（见 7.6）。

3.12

直接法 direct method

测量隔振器输入端位移（速度或加速度）及输出端阻滞力的方法。

3.13

间接法 indirect method

当隔振器输出端载有一质量已知的刚体时，测量弹性元件（针对位移、速度或加速度的）振动传递率的方法。

注：除了类似质量阻抗的情况，术语“间接法”可能包括任何已知其阻抗的负载。然而，ISO 10846 中并未涉及此类方法。

3.14

传递率 transmissibility

T

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

注1：对速度 v 或加速度 a ，可采用相似的方法定义传递率，其取值相等。

注2：这里下划线表示复数，本部分文中以后出现此表示方法时不再说明。

3.15

力级 force level

L_F

$$L_F = 10 \lg \frac{F^2}{F_0^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中： F^2 表示特定频带内作用力的均方值； $F_0 = 10^{-6}$ N，为基准力。 L_F 的单位为分贝（dB）。

3.16

加速度级 acceleration level

L_a

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

式中： a^2 表示特定频带内的加速度均方值； $a_0 = 10^{-6}$ m/s²，为基准加速度。 L_a 单位为分贝（dB）。

3.17

动[态传递]刚度级 level of dynamic transfer stiffness

$L_{k_{2,1}}$

$$L_{k_{2,1}} = 10 \lg \frac{|k_{2,1}|^2}{k_0^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $|k_{2,1}|^2$ 为特定频率处的动刚度幅值平方(见 3.5)， $k_0=1\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 为基准刚度。 $L_{k_{2,1}}$ 单位为分贝(dB)。

3.18

频带平均动[态传递]刚度级 level of frequency band averaged dynamic transfer stiffness

$L_{k_{av}}$

$$L_{k_{av}} = 10\lg \frac{k_{av}^2}{k_0^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中： k_{av} 见 3.7 中定义， $k_0=1\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 为基准刚度。

3.19

侧向振动传递 flanking transmission

测试过程中，由隔振器输入端激励器产生的振动，经由待测弹性元件以外的其他路径传至输出端，使隔振器输出端产生力和加速度。

4 原理

ISO 10846-1 介绍了间接法测量原理。

其基本原理为：通过测量质量为 m_2 的刚体的加速度获得阻滞力。该作用力可使待测弹性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，以避免侧向振动传递的产生。

对于简谐振动并采用复数表示方法，待测元件的动刚度(见 3.5)与测量所得振动传递率(见 3.14)之间的关系，可由式(5)给出：

$$k_{2,1} = \underline{F_{2,b}} / \underline{u_1} \approx -(2\pi f)^2 (m_2 + m_i) T \quad (|T| \ll 1) \dots\dots\dots (5)$$

注：下划线表示该量为复数。

式中： m_i 表示待测元件输出端连接件的质量；下标 1 和 2 分别代表弹性元件的输入端与输出端。

根据式(5)的右端项，可获得一种有效的阻滞力间接测量方法。该方法要求，仅由阻滞力决定在阻滞质量处测得的相应振动。因此原则上需要测量的振动应是由阻滞质量块与待测部件输出端连接体共同组成的组合刚体质心在期望力方向上的振动。

5 对测量仪器的要求

5.1 法向平动

5.1.1 概述

图 2~图 4 为弹性支撑件测试装置示意图。图示各装置均受到来自法向负载方向上平移振动的作用。测试时，应根据待测部件的实际应用情况安装。

注：此处所收集的测试实例并不详尽，而且，没有对测试装置的配备原则提出任何限制。

为能根据本部分得到合适的测量，测试装置中应包括如 5.1.2~5.1.6 中所述各部件。

5.1.2 阻滞质量

在待测部件的输出端放置的质量块。该质量块的作用之一就是阻滞输出。通过测量该质量块的加速度，可确定阻滞力的大小。另外，质量块起到的另一个作用是使其振动与测试部件输出端连接件的振动相一致。

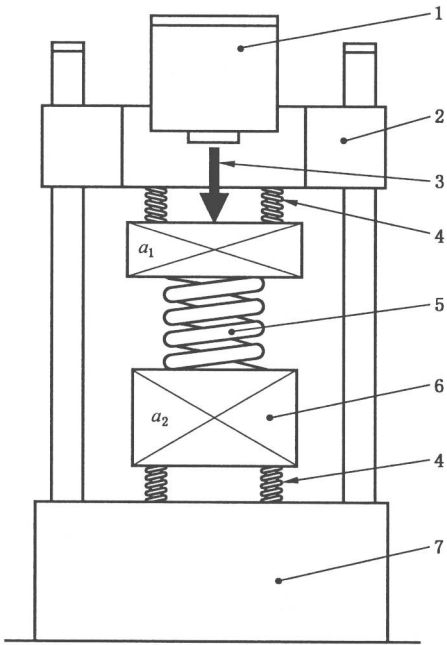
5.1.3 静态预载系统

测量应在测试部件具有典型性和特定静态预载的条件下进行。下述方法为使用静态预载的几个示例：

- a) 采用液压激励器作为激励源。这一激励装置与待测部件、测试部件输出端的阻滞质量块，一起被安放在同一负载结构上。阻滞质量块放置在辅助隔振器上，以减弱质量块与负载结构之间的耦合作用。所有这些辅助隔振器的低频动刚度之和，与待测元件的动刚度在幅值上具有相

同的数量级。

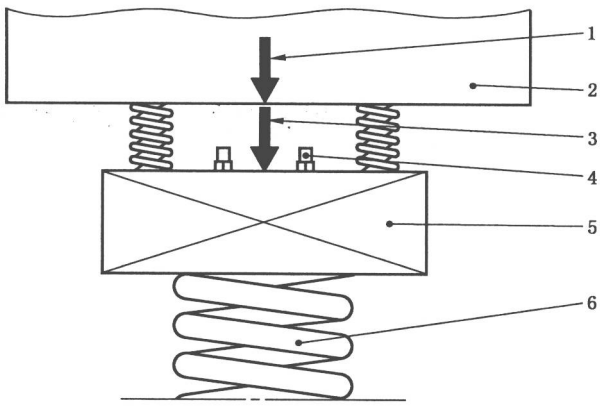
- b) 采用一种仅提供静态预载的结构,如图 2、图 3 所示。如若采用此种结构,同样需要在待测部件的输入端使用辅助隔振器,以减弱待测部件与负载结构之间的耦合作用。



- 1——激振器;
2——横梁;
3——连杆;
4——动态解耦弹簧,静态预载;

- 5——待测部件;
6——阻滞质量块;
7——刚性基础。

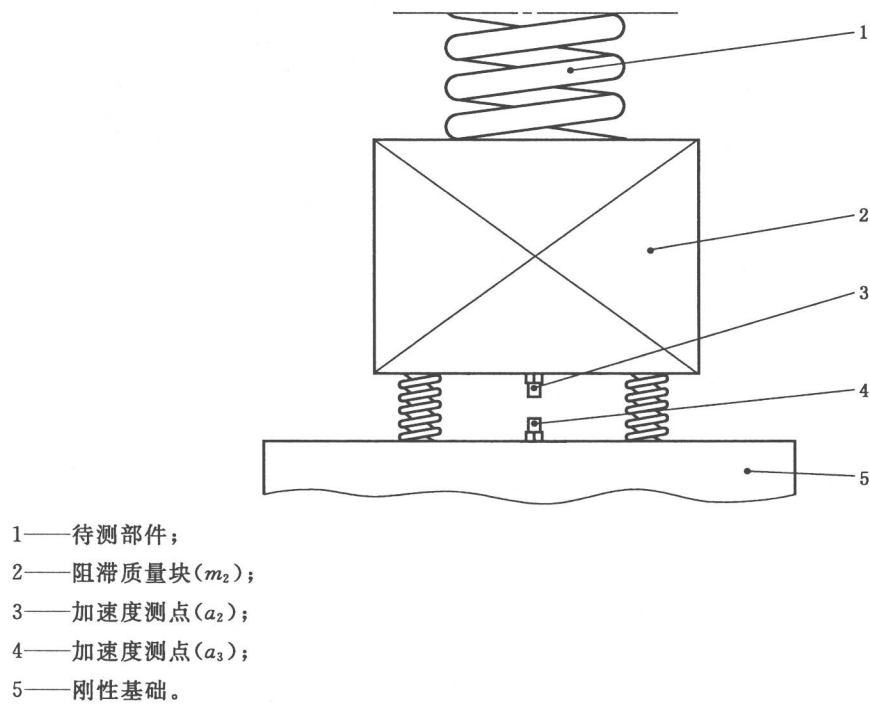
a) 整体效果图



- 1——静态预载;
2——横梁;
3——动态激振;
4——加速度测点(a_1);
5——激振质量块;
6——待测部件。

b) 输入端(局部放大图)

图 2 法向平动动刚度实验室测试装置例一(连续型)



c) 输出端(局部放大图)

图 2 (续)

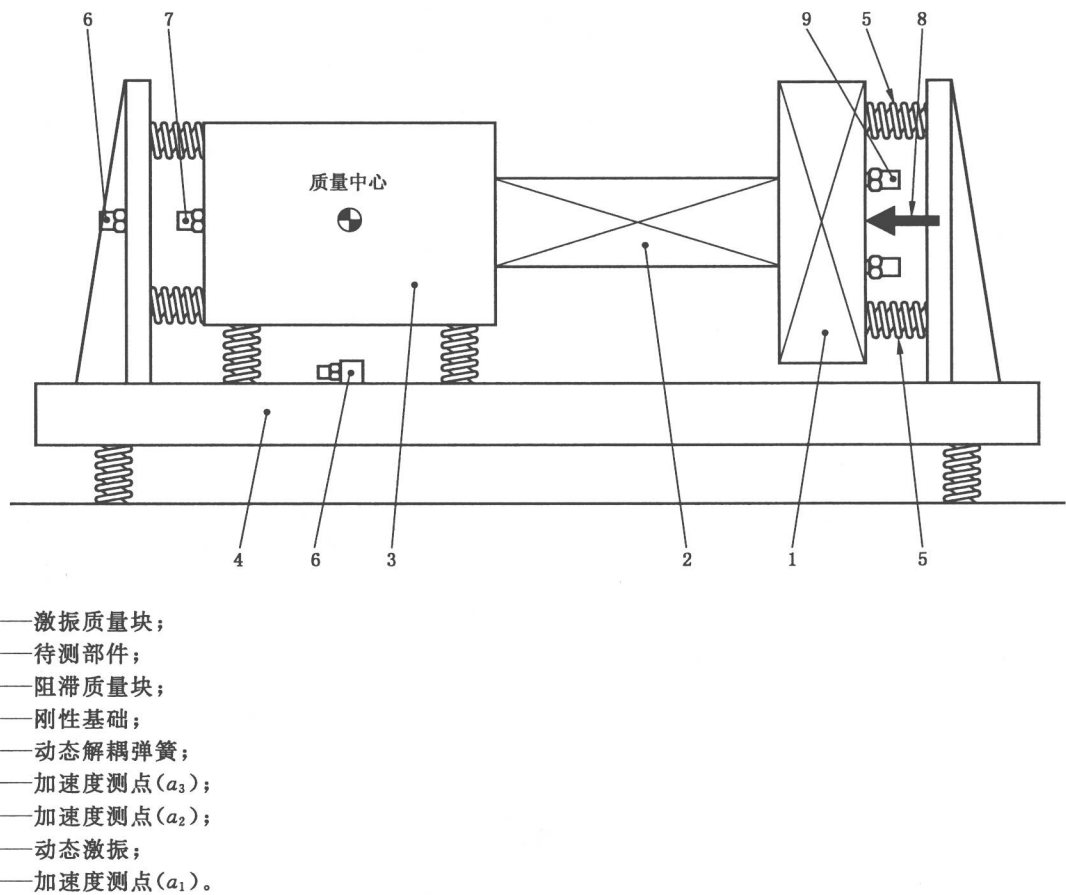


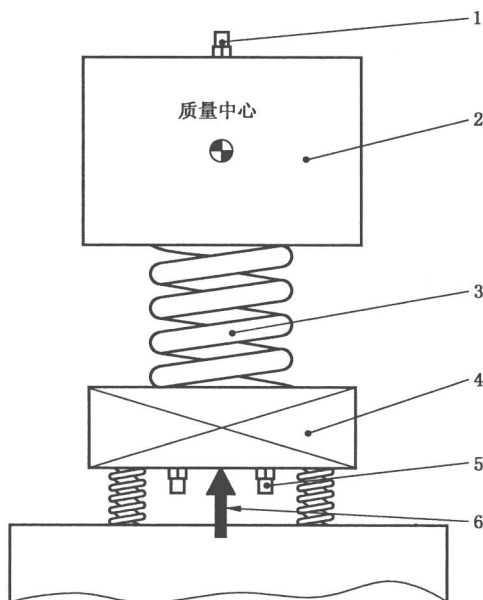
图 3 法向平动动刚度实验室测试装置例二

c) 在待测部件顶端采用(有或没有支撑结构的)阻滞质量块,以作为重力负载。

5.1.4 加速度测量系统

加速度计应被安放在待测部件的输入端、输出端及用于支撑阻滞质量块的基础上。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,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。

若频率范围适当的话,可采用位移或速度传感器代替加速度传感器进行测量[见图 2b)和图 4]。



- 1——加速度测点(a_2);
- 2——阻滞质量块;
- 3——待测部件;
- 4——激振质量块;
- 5——加速度测点(a_1);
- 6——动态激振。

注:阻滞质量块的重力作用在此可充当待测部件的静态预载。

图 4 法向平动刚度实验室测试装置例三

5.1.5 动态激振系统

动态激振系统的激励频率应涵盖待测频率。

允许使用任何一种恰当的激振器。如:

- a) 能够同时提供静态预载的液压激振器;
- b) 一个或多个有顶杆的电动激振器(激励器);
- c) 一个或多个压电式激振器。

隔振器可以用于激振器的动态去耦,以此降低因使用静态预载引起的侧向振动通过测试结构的传输。然而,在采用液压激振器的测试装置中,由于同时存在静态和动态两种预载,将对低频测量造成不利影响,因此针对此种测试结构的去耦通常不易实现。

5.1.6 输入端激振质量块

待测部件输入端的激振质量块主要起到以下之一或两种作用:

- a) 在动态力作用下,使输入端连接件的振动状态一致;
- b) 加强输入端连接件的单向振动强度。

若待测部件含有能提供上述功能的刚性质量型输入连接件,可不采用专门的激振质量块。

注:理论上讲,根据本部分内容所述,在测量法向平动刚度时,需要在待测部件输入端激发出单向位移。然而,对于大多数弹性支撑件,该要求的提出并非是从实际应用出发的。ISO 10846-1 附录 B 表明:由于弹性支撑件所具有的最普遍对称性,因输入端振动而引起的法向作用力与法向平动相比可以忽略不计。因此,要求待测部件中具有两个结构对称的正交平面,其交叉线即为弹性支撑件沿法向负载方向的对称轴。见附录 A 中式(A.5)和附录 B。对于结构上不对称的特殊形状的弹性支撑件,根据本部分,测量时要求激振位移以单向位移为主(详见 5.3 和 6.4)。若采用质量足够大的刚体充当作用力分配板,较容易产生此种单向激振方式。

5.2 横向平动

5.2.1 概述

图 5~图 7 为弹性支撑件的测试装置示意图。图示各装置均受到来自垂直于法向负载方向平移振动的作用(见 5.1.1 注释)。应根据待测部件的实际情况安装。为了能根据本部分进行合适测量,测试装置应包括如 5.2.2~5.2.6 中所述各部件。

若采用如图 7 所示的测试装置进行测量,由待测部件上的阻滞质量块引起的旋转振动的第一特征频率应低于测试频率范围内的最低频率。

5.2.2 阻滞质量块

见 5.1.2。

5.2.3 静态预载系统

测量应在测试部件具有典型性和特定静态预载的条件下进行。静态预载的应用与 5.1.3 中介绍的方法基本相似,如图 5~图 7 所示。

5.2.4 加速度测量系统

加速度计应安装在待测部件的输入端、输出端及用于支撑阻滞质量块的基础上。

输入端加速度计应置于待测部件连接件或激振器的水平对称轴上。阻滞质量块上的加速度计应置于通过由阻滞质量块与待测部件输出连接件所组成的刚体重心的水平轴上(如图 8 所示)。若这些位置无法放置加速度计,可通过适当的信号叠加,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。

若频率范围适当的话,可采用位移或速度传感器代替加速度传感器进行测量。

5.2.5 动态激振系统

动态激振系统的激励频率应涵盖待测频率。

激振器实例已在 5.1.5 中给出。

5.2.6 输入端激振质量块

待测部件输入端的激振质量块主要起到以下(之一或两种)作用:

- 在动态力作用下,使输入端连接件的振动状态一致;
- 加强输入端连接件的单向振动强度(见本条注解)。

若待测部件含有能提供上述功能的质量型输入连接件,可不采用专门的激振质量块。

注:根据本部分,在测量待测部件的动刚度时的基本要求是,部件输入端的振动应以单向平移振动为主(见 6.4)。

如输入为平移横向振动,所要求的位移的显著性将受到以下因素的影响:

- 激振器的对称性及激振质量块的边界条件,见图 6;
- 激振质量块的惯性。在某些情况下有必要采取一些外部约束,如使用滚柱轴承或导向系统,以阻止在非期望方向上产生的振动。

5.3 非期望振动的抑制

5.3.1 概述

本部分的测量方法涵盖了法向和横向上逐次、单向激振时动刚度的测量。然而,由于激振装置、边界条件及测试部件都存在不对称性,在某些特定频率处,期望方向之外的输入振动将会引发强烈的非期望响应。下面讨论输入端非期望振动抑制的定性方法。可采用一种专门的测试装置,该装置可以对两

个基本一样的待测部件在相同的设置条件下进行测试。此装置非常有利于对测试过程中产生的非期望输入振动进行抑制。6.4 对测试过程提出了明确的定量要求。

5.3.2 法向

对于法向激振,从实际角度考虑,单向激振仅适用于那些耦合了法向与其它方向振动的,外形特异的弹性支撑件,见 5.1.6 注释。对此类情况,可通过下列方法强有力地抑制输入端的非期望振动。

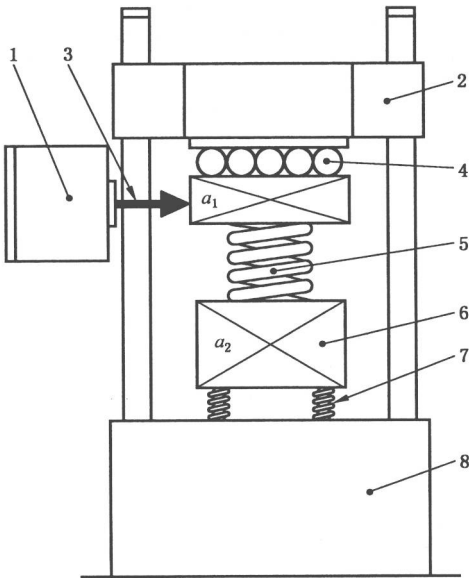
- 对称放置激振器或激振器对;
- 采用轴向对称的激振质量块;
- 采用与弹性支撑件有连接件的激振质量块,其横向与旋转方向上的输入阻抗大于待测部件的输入阻抗。

抑制非期望输入振动的另一类方法是,采用具有两个相同待测部件的对称装置,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)。因与图 5~图 7 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。

5.3.3 横向

横向激振往往会引起横向和旋转振动的耦合。

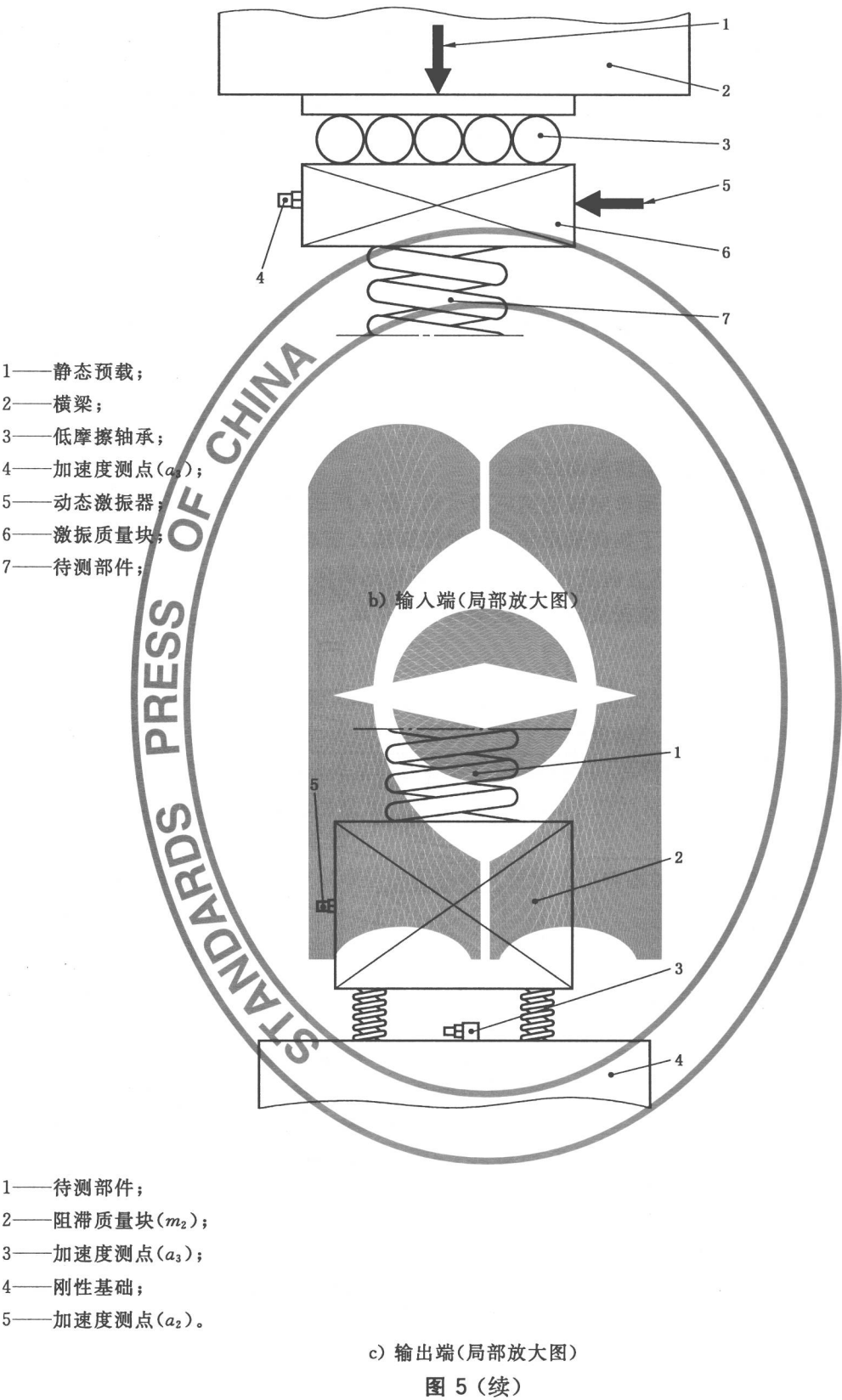
下面给出一些能够增强输入端单向振动措施的示例。图 6 所示为具有两个相同待测部件的对称测试装置。图 5 和图 7 的示例说明了如何采用导向装置抑制输入端旋转。另外,也可以采用具有对称结构的激振块,沿经过其重心的直线方向进行激振。当激振块的横向与旋转方向的阻抗大于待测部件和解耦弹簧阻抗时,此频率范围内,激振块的单向振动将十分明显。

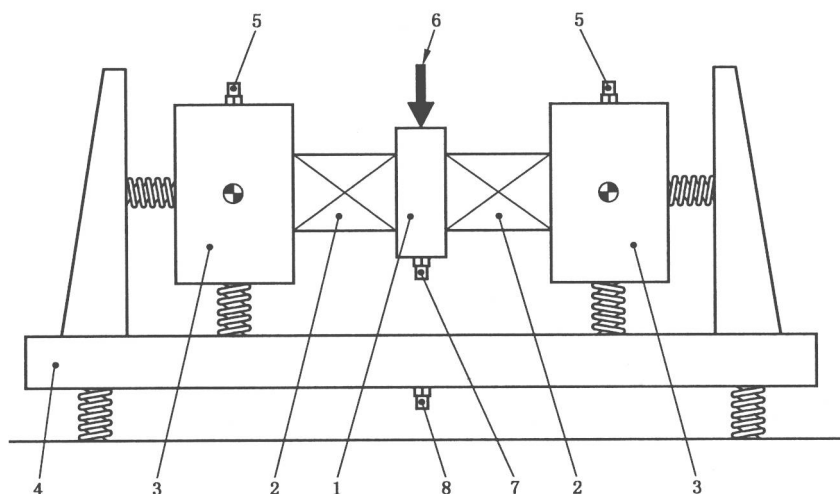


- 1——激振器;
- 2——横梁;
- 3——连杆;
- 4——低摩擦轴承;
- 5——待测部件;
- 6——阻滞质量块;
- 7——动态解耦弹簧,静态预载;
- 8——刚性基础。

a) 完整系统

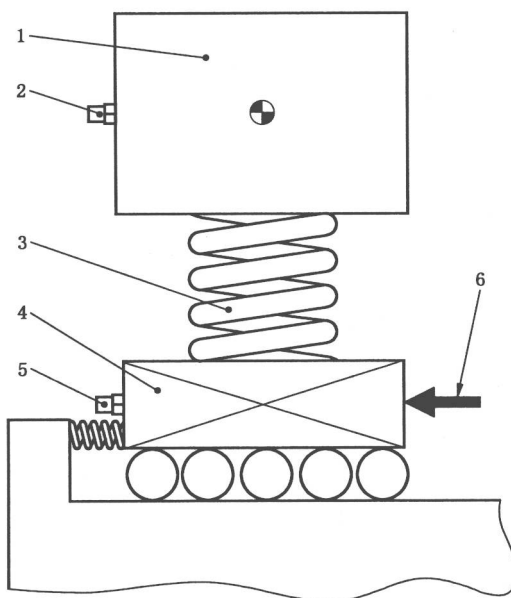
图 5 横向平动刚度实验室测试装置例一(连续型)





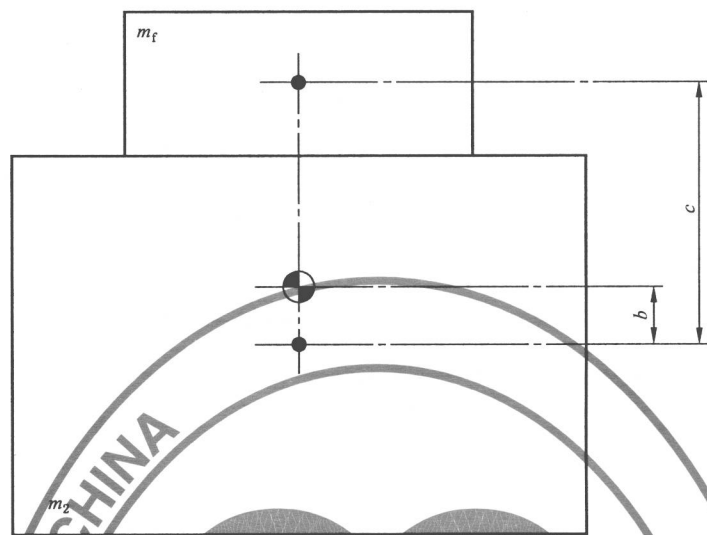
- 1——激振质量块；
- 2——待测部件；
- 3——阻滞质量块；
- 4——刚性基础；
- 5——加速度测点(a_2)；
- 6——动态激振；
- 7——加速度测点(a_1)；
- 8——加速度测点(a_3)。

图 6 横向平动动刚度实验室测试装置例二



- 1——阻滞质量块；
- 2——加速度测点(a_2)；
- 3——待测部件；
- 4——激振质量块；
- 5——加速度测点(a_1)；
- 6——激振器。

图 7 横向平动动刚度实验室测试装置例三



注：阻滞质量块质心与连接件质心的间距为 c 。阻滞质量块质心与其同连接件质量组合体的质心的间距为 b ：

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

图 8 确定由阻滞质量块和待测部件输出法兰连接件组成的刚体质心位置示例

6 测试装置适用性准则

6.1 频率范围

测试装置中的每一个设备都有其有限的工作频率范围，只有在这一范围之内才能进行有效测试。其中一个限制是激振器的工作频带宽度。

另一限制因素来源于在传递率测量中所采用的近似精确度，如式(5)。本部分中，这种近似的精确度应在 1 dB 的范围内，也就是，计算所得刚度幅值变化范围在 12% 以内。这种对精确度的要求仅在有限频率范围 $f_2 < f < f_3$ 内满足。

为了得到这种精度，在已确定的阻滞力方向上，还需要在待测部件和阻滞质量块间有大的阻抗失配。依据本部分进行的测量仅对不等式(6)成立的频率有效。

$$\Delta L_{1,2} = L_{a_1} - L_{a_2} \geq 20 \tag{6}$$

式中： a_1 表示输入加速度， a_2 为阻滞质量块加速度。 $\Delta L_{1,2}$ 的单位为分贝(dB)。

当频率低于 f_2 时，由于待测部件、负载分配板、阻滞质量块和辅助弹簧构成的系统发生共振，使得不等式(6)不成立。一般而言，增加阻滞质量块的质量 m_2 将降低频率 f_2 。

注：从设计目的出发，可借助于离散体振动分析软件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 ，约为所有振动模式(包含转动模式)最高固有频率的三倍，这会影响到测量的方向。然而，在大于 f_2 的某些特定频率，不等式(6)也可能不成立。除了测试装置本身不理想，因内部共振引起待测部件的刚度增大，也是引起不等式(6)无法成立的原因。

采用式(5)获得精确结果的另一个条件是，将阻滞质量块的振动假设为质量为 m_2 的刚体所做的振动。阻滞质量块的大小、形状能够决定有效测量频率范围的上限频率 f_3 的取值。对此，将在 6.2 部分予以讨论。

6.2 上限频率 f_3 的确定

6.2.1 有效质量

由于在一定的频率之上，用于测量阻滞力大小的阻滞质量块不能再被看作刚性振动物体，因此存在有效测量范围上限频率 f_3 。此时，可将式(5)修正为：

$$k_{2,1} = \underline{F}_{2,b} / \underline{u}_1 \approx - (2\pi f)^2 (m_{2,\text{eff}} + m_f) T \quad (|T| \ll 1) \tag{7}$$