



中华人民共和国国家标准

GB/T 13665—2007
代替 GB/T 13665—1992

金属阻尼材料阻尼本领试验方法 扭摆法和弯曲振动法

Test method for damping capacity of metallic damping materials—
Torsion pendulum method and bending vibration method

2007-02-09 发布

2007-08-01 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

前 言

本标准代替 GB/T 13665—1992《金属阻尼材料阻尼本领试验方法 扭摆法和弯曲共振法》。

本标准与 GB/T 13665—1992 相比主要变化如下：

- 标准名称修改为《金属阻尼材料阻尼本领试验方法 扭摆法和弯曲振动法》；
- 增加了“前言”；
- 增加了“规范性引用文件”(见第 2 章)；
- 增加了“符号”(见第 4 章)；
- 增加了圆棒试样,试样尺寸范围增大,对试样增加了形位公差的要求(1992 年版的 3.3 及 4.3; 本版的 5.2.3 及 6.2.3)；
- 增加了“强迫振动扭摆法”(见 5.3)；
- 增加了“弯曲自由衰减法”(见 6.3)；
- 将“试验结果的表述”修改为“试验报告”(1992 年版第 5 章;本版的第 7 章)；
- 将“试验误差”修改后并入“试验报告”(1992 年版第 8 章;本版的第 7 章)。

本标准由中国船舶重工集团公司提出。

本标准由全国海洋船标准化技术委员会船用材料应用工艺分技术委员会(TC 12/SC 4)归口。

本标准负责起草单位:中国船舶重工集团公司第七二五研究所、中国科学院固体物理研究所。

本标准主要起草人:侯世忠、水嘉鹏、张明奇、朱震刚、王蕾。

本标准所代替的历次版本发布情况为：

- GB/T 13665—1992。

金属阻尼材料阻尼本领试验方法

扭摆法和弯曲振动法

1 范围

本标准规定了用扭摆法和弯曲振动法测试金属阻尼材料阻尼本领的术语和定义、符号、试验原理、试验装置、试样、试验步骤、试验结果计算及试验报告。

本标准适用于室温下金属阻尼材料阻尼本领的测定。扭摆法用于低频范围(0.1 Hz~10 Hz)扭转振动;弯曲振动法用于声频范围弯曲振动。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的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 8170 数值修约规则

3 术语和定义

下列术语适用于本标准。

阻尼本领 damping capacity

内耗 internal friction

损耗因子 loss factor

金属材料与外界隔绝时,在机械振动中振动一周所损失的能量与材料本身在本振动周次开始时所储存能量之比值的 $1/(2\pi)$ 倍(π 为圆周率)。

4 符号

下列符号适用于本标准。

A_n ——第 n 次振动的振幅, $n=2,3,\dots,n$ 为振动次数。

A_{n+1} ——第 $n+1$ 次振动的振幅。

A_{n+k} ——第 $n+k$ 次振动的振幅。

γ_{\max} ——扭摆法试样最大应变振幅(切应变)。

D_b ——弯曲振动法测得的阻尼本领。

D_t ——扭摆法测得的阻尼本领。

δ ——强迫振动扭摆法中应变落后于应力的相位差,单位为弧度。

ϵ ——传感器接收振动的应变振幅。

ϵ_0 ——传感器接收振动的最大应变振幅。

f ——强迫振动扭摆法中激发应力及接收应变正弦信号的频率,单位为 Hz。

f_r ——弯曲振动时的共振频率值,单位为 Hz。

f_1 ——降低频率至振幅为共振振幅一半处的频率值,单位为 Hz。

f_2 ——提高频率至振幅为共振振幅一半处的频率值,单位为 Hz。

Δf ——共振振幅一半处频率差值 $f_2 - f_1$,单位为 Hz。

- k ——自由衰减法中第 $n+1$ 次到第 $n+k$ 次振动的次数。
- L ——扭摆法试样有效长度,单位为 mm。
- r ——圆棒试样的半径或矩形条状试样截面对角线的一半,单位为 mm。
- σ ——激发振动系统的应力,单位为 MPa。
- σ_0 ——激发振动系统的最大应力,单位为 MPa。
- T_r ——弯曲振动时的共振周期值,单位为 s。
- T_1 ——降低频率至振幅为共振振幅一半处的周期值,单位为 s。
- T_2 ——提高频率至振幅为共振振幅一半处的周期值,单位为 s。
- ΔT ——共振振幅一半处周期差值 $T_2 - T_1$,单位为 s。
- t ——应力及应变正弦信号的时间,单位为 s。
- ϕ ——扭摆法试样扭转角,单位为弧度。

5 扭摆法

5.1 总则

扭摆法分为自由衰减扭摆法和强迫振动扭摆法。自由衰减扭摆法适用于测量阻尼本领 D_t 值不大于 0.01 的材料,如果 D_t 值大于 0.01 时应采用强迫振动扭摆法进行测量。

5.2 自由衰减扭摆法

5.2.1 试验原理

当试样进行自由衰减振动过程中,其振动振幅将逐渐衰减(见图 1)。试样阻尼本领与相邻两振幅间有如下关系:

$$D_t = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}} \dots\dots\dots (1)$$

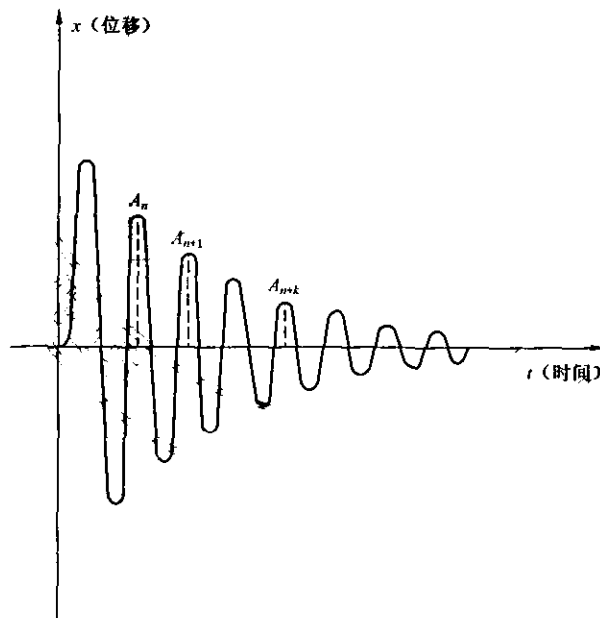
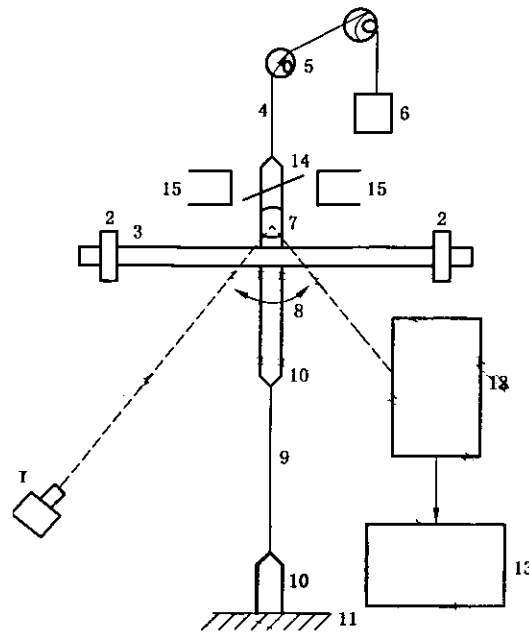


图 1 自由衰减扭摆法试验原理

5.2.2 试验装置

5.2.2.1 概述

试验装置见图 2。试样紧固于上夹头与下夹头之间。测量时,对惯性臂施加一个纯扭转力矩使之达到一定的扭转角。撤去扭转力矩后,样品随着摆杆扭转振动。摆杆的振动可通过小镜将光源射来的光线反射到传感器上,也可用其他传感器直接接受振动信号,由振幅、频率测量装置记录振动的振幅及频率值。



- 1—光源；
 2—摆锤；
 3—惯性臂；
 4—悬丝；
 5—滑轮；
 6—配重码；
 7—小镜；
 8—摆杆；
 9—试样；
 10—上、下夹头；
 11—基座；
 12—传感器；
 13—振幅、频率和相位测量装置；
 14—磁针(铁)；
 15—激发装置。

图2 扭摆法试验装置示意图

5.2.2.2 试验装置要求

5.2.2.2.1 为保证试样做纯扭转运动,扭摆试验装置应避免外加机械振动干扰。

5.2.2.2.2 两摆锤重量相等,惯性臂与摆杆的垂直偏差不大于 1° 。

5.2.2.2.3 下夹头垂直固定在试样台基座上。悬挂系统应竖直,使上夹头与下夹头的偏心度不大于1 mm。

5.2.2.2.4 传感器的线性度优于1%。振幅测量装置最小分辨刻度为满刻度的1%。频率测量有效位数不得低于3位。

5.2.2.2.5 配重码的质量应比整个摆杆部分的质量大10 g~20 g。

5.2.2.2.6 用柔细的悬丝,滑轮与轴间的摩擦力尽可能小。

5.2.3 试样

试样应材质均匀,无宏观缺陷,并应符合下列规定:

- a) 矩形条状试样,长度(50.0~100.0) mm,宽度(2.0~4.0) mm \pm 0.1 mm,厚度(0.5~1.5) mm \pm 0.1 mm,平行度0.02 mm,表面粗糙度 $R_a < 6.3 \mu\text{m}$;

b) 圆棒试样,长度(50.0~100.0) mm,直径(0.5~2.0) mm±0.1 mm,同轴度 0.02 mm,表面粗糙度 $Ra < 6.3 \mu\text{m}$ 。

5.2.4 试验步骤

5.2.4.1 将试样紧固于上夹头与下夹头之间,整个摆动部分与其他物品无接触。

5.2.4.2 对称调节摆锤距离(或重量),选择振动频率。

5.2.4.3 测量上下夹头间试样的有效长度。

5.2.4.4 通过激发装置,对惯性臂施加一个纯扭转力矩,使试样产生的最大应变振幅不大于 1×10^{-4} 。试样最大应变振幅(切应变) γ_{max} 与试样有效长度 L 、试样的 r 、扭转角 ϕ 有如下关系:

$$\gamma_{\text{max}} = \frac{r}{L} \times \phi \quad \dots\dots\dots (2)$$

5.2.4.5 释放外加力矩,使扭摆产生自由扭转振动,由振幅、频率测量装置测出振幅变化及振动频率。

5.2.4.6 至少取 3 个试样。对同一试样,至少应测量 3 次取平均值。

5.2.5 试验结果的计算

测量第 n 次振幅 A_n 和第 $n+k$ 次振幅 A_{n+k} (见图 1),按下式计算阻尼本领:

$$D_t = \frac{1}{\pi k} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:振幅比 A_n/A_{n+k} 取在不大于 3 的范围内。在使用式(3)时,应检查自由衰减过程中不同振动周次振幅比值的对数与阻尼本领关系的非线性问题,有明显非线性时,不能使用式(3)计算阻尼本领,应使用式(1)。

5.3 强迫振动扭摆法

5.3.1 试验原理

当用一个正弦信号(式(4))激发振动系统时,振动系统将产生相同频率或周期的正弦振动(式(5)),应变将落后于应力(见图 3)。试样的阻尼本领为应变落后于应力的相位差 δ 的正切值,见式(6)。

$$\sigma = \sigma_0 \sin 2\pi ft \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \sin(2\pi ft - \delta) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$D_t = \tan \delta \quad \dots\dots\dots (6)$$

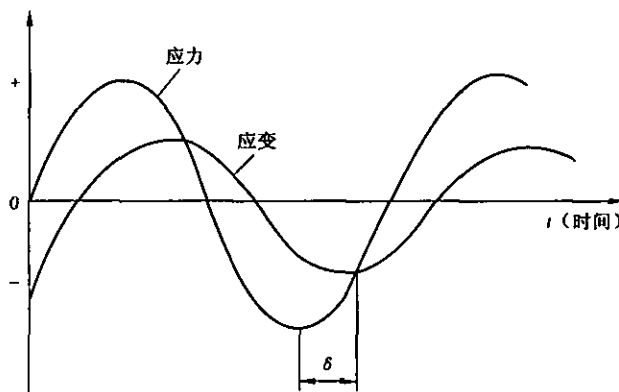


图 3 强迫振动扭摆法试验原理

5.3.2 试验装置

5.3.2.1 概述

试验装置见图 2。为了提高振动系统的共振频率,应去掉摆锤和惯性臂。试样紧固于上夹头与下夹头之间。测量时,试样随着摆杆作正弦振动,摆杆的振动可通过小镜将光源射来的光线反射到传感器上,比较激发信号和传感器接收信号正弦波的相位可以得到应变落后于应力的相位差 δ 。

5.3.2.2 试验装置要求

5.3.2.2.1 按 5.2.2.2.1 的要求。

- 5.3.2.2.2 按 5.2.2.2.3 的要求。
- 5.3.2.2.3 传感器的线性度优于 1%。
- 5.3.2.2.4 激发频率的稳定性优于 0.001 Hz, 测量有效位数不得低于 3 位。
- 5.3.2.2.5 按 5.2.2.2.5 的要求。
- 5.3.2.2.6 按 5.2.2.2.6 的要求。
- 5.3.2.2.7 最大应变振幅的波动不大于 2×10^{-6} 。

5.3.3 试样

按 5.2.3 的要求。

5.3.4 试验步骤

- 5.3.4.1 按 5.2.4.1 的要求。
- 5.3.4.2 按 5.2.4.3 的要求。
- 5.3.4.3 确定激发频率, 要求激发频率比系统的共振频率小一个数量级, 以避免振动系统的影响。
- 5.3.4.4 确定应变振幅, 使试样产生的最大应变振幅不大于 1×10^{-4} 。试样的最大应变振幅计算用式(2)。
- 5.3.4.5 用相位测量装置测出相位差 δ 。
- 5.3.4.6 按 5.2.4.6 的要求。

5.3.5 试验结果的计算

将测得的相位差 δ 代入式(6), 求得阻尼本领 D_t 。

6 弯曲振动法

6.1 总则

弯曲振动法分为弯曲共振法和弯曲自由衰减法。弯曲共振法适用于测量阻尼本领 D_b 值不小于 1×10^{-5} 的材料, 如果 D_b 值小于 1×10^{-5} 时应采用弯曲自由衰减法进行测量。

6.2 弯曲共振法

6.2.1 试验原理

当试样在两端自由的条件下做强迫弯曲振动时, 其阻尼本领与振幅为共振振幅一半处的频率差值 Δf 和共振频率 f_r 有如下关系(见图 4):

$$D_b = \frac{|\Delta f|}{\sqrt{3} f_r} \dots\dots\dots(7)$$

或:

$$D_b = T_r \frac{|\Delta T|}{\sqrt{3} T_2 T_1} \dots\dots\dots(8)$$

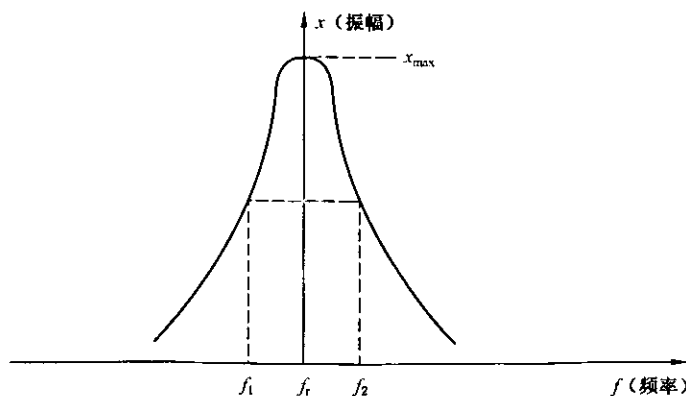


图 4 弯曲共振法试验原理

6.2.2 试验装置

6.2.2.1 概述

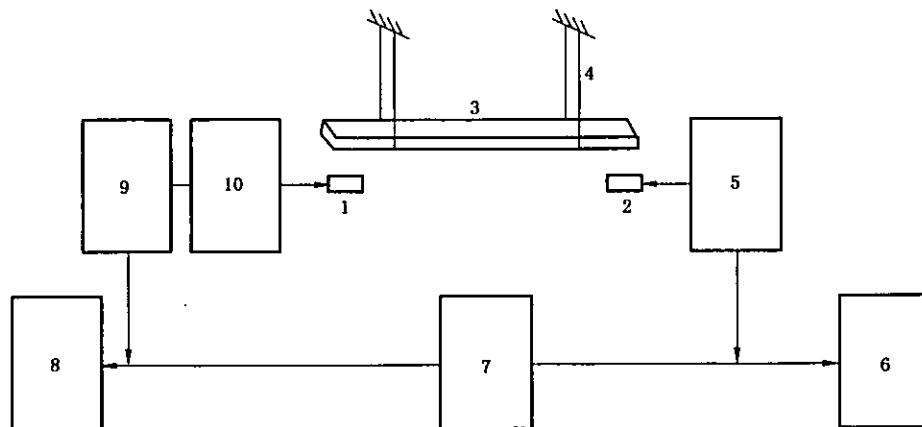
试验装置见图 5,采用悬挂弯曲振动法。

信号发生器产生一个音频正弦电信号,通过换能器 1 转换成交变的机械力激发试样振动。换能器 2 把试样的机械振动再还原成电信号,经放大器放大后,在指示仪表 6 上显示出来。

改变信号发生器输出信号的频率,当它与试样的共振频率一致时,在指示仪表 6 上观察到接收信号的极大值(共振振幅),用频率计测定此时的频率,即试样的共振频率 f_r 。

保持指示仪表 10 读数恒定,在共振频率附近提高和降低信号发生器的输出信号频率,当指示仪表 6 显示信号幅度为极大值的一半时,测定与之相应的频率,即共振振幅一半处的两个频率 f_1 和 f_2 。

可将信号发生器输出的激发信号和放大后的接收信号输入示波器,示波器显示李萨茹(Lissajou)图形,用以辅助观察和判断试样的共振状态。



- 1—换能器 1;
- 2—换能器 2;
- 3—试样;
- 4—悬丝;
- 5—放大器;
- 6—指示仪表;
- 7—示波器;
- 8—频率计;
- 9—信号发生器;
- 10—指示仪表。

图 5 弯曲共振法试验装置示意图

6.2.2.2 试验装置要求

6.2.2.2.1 试验装置应避免外加机械振动干扰。

6.2.2.2.2 信号发生器:用以产生音频正弦电信号,频率范围 20 Hz~20 kHz,频率稳定度不低于 $1 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$,振幅稳定度不低于 1%。

6.2.2.2.3 频率计:应具有测量信号周期功能,晶体振荡器的频率稳定度不低于 $5 \times 10^{-7} \text{ d}^{-1}$,显示位数不少于 7 位。

6.2.2.2.4 换能器:用以激发和接收试样的机械振动,做电能—机械能的转换。换能器的线性度优于 1%。

6.2.2.2.5 放大器:用以放大接收到的振动信号。放大器的线性度优于 1%。

6.2.2.2.6 指示仪表:指示仪表 10 用以指示驱动信号幅度;指示仪表 6 用以指示放大后的振动信号幅度,指示仪表精度应能达到 1 级或与之相当的数字化设备。

6.2.2.2.7 示波器:用以观察和判断试样的共振情况。

6.2.3 试样

试样应材质均匀,无宏观缺陷,并应符合下列规定:

- a) 矩形条状试样,长度(60.0~200.0) mm,宽度(4.0~5.0) mm±0.1 mm,厚度(0.5~3.0) mm±0.1 mm,平行度 0.02 mm,表面粗糙度 $Ra < 1.60 \mu\text{m}$;
- b) 圆棒试样,长度(60.0~200.0) mm,直径(3.0~6.0) mm±0.1 mm,同轴度 0.02 mm,圆度 0.02 mm,表面粗糙度 $Ra < 1.60 \mu\text{m}$ 。

6.2.4 试验步骤

6.2.4.1 用游标卡尺测出试样的长度。

6.2.4.2 将悬丝分别悬挂在距试样两端点的 0.224 长度处,偏差不大于 0.5 mm。

6.2.4.3 用柔细的悬丝,长度为 20 mm~30 mm,悬挂试样。试样除悬丝外不要和装置的其他部分接触,要求悬丝与试样的轴向垂直,试样保持横向水平。

6.2.4.4 为提高频率测量精度,采用测量信号周期的方法。按 6.2.2.1 的方法测量出共振频率 f_r 、共振振幅一半处的频率 f_1 和 f_2 及相应的周期值 T_r 、 T_1 、 T_2 。

6.2.4.5 至少取 3 个试样。对同一试样,至少应测量 3 次取平均值。

6.2.5 试验结果的计算

将测得试样的 T_r 、 T_1 和 T_2 值代入式(8),求得阻尼本领 D_b 。

6.3 弯曲自由衰减法

6.3.1 试验原理

见 5.2.1 试验原理及图 1,公式如下:

$$D_b = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

6.3.2 试验装置

6.3.2.1 概述

试验装置同图 5,采用悬挂弯曲振动法。

信号发生器产生一个音频正弦电信号,通过换能器 1 转换成交变的机械力激发试样振动。换能器 2 把试样的机械振动再还原成电信号,经放大器放大后,在指示仪表 6 上显示出来。

改变信号发生器输出信号的频率,当它与试样的共振频率一致时,在指示仪表 6 上观察到接收信号的极大值(共振振幅),在试样达到稳定的共振状态后,切断激发信号,测量出从振幅 A_n 衰减到 A_{n+k} 的振动次数 k 。

6.3.2.2 试验装置要求

6.3.2.2.1 试验装置应具备切断激发信号的功能。

6.3.2.2.2 试验装置应具备设定高、低电平的功能,分别作为振动振幅 A_n 和 A_{n+k} 以及记录振动次数的开、关信号。高、低电平的测量精度不小于 3 位有效数字。振幅比 A_n/A_{n+k} 取在不大于 3 的范围内。

6.3.2.2.3 记录振动次数的仪器显示位数不少于 5 位。

6.3.2.2.4 试验装置的其他要求见 6.2.2.2。

6.3.3 试样

按 6.2.3 的要求。

6.3.4 试验步骤

6.3.4.1 除 6.2.4.4 以外,其他内容与 6.2.4 相同。

6.3.4.2 按 6.3.2.1 的方法,测量出从振幅 A_n 衰减到 A_{n+k} 的振动次数 k 。

6.3.5 试验结果的计算

将测得的振动次数 k 及振幅比 A_n/A_{n+k} 代入式(10),求得阻尼本领 D_b 。

$$D_b = \frac{1}{\pi k} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}} \dots\dots\dots (10)$$

7 试验报告

试验报告应包括下列内容：委托单位、金属牌号、试样编号、试样尺寸、试样状态、试验温度、扭摆法的振动频率和最大振幅、弯曲振动法的共振频率、阻尼本领、本标准编号、试验人员、试验日期等。

试验结果至少应保留 3 位有效数字，数值修约的方法按照 GB/T 8170 执行。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属阻尼材料阻尼本领试验方法
扭摆法和弯曲振动法
GB/T 13665—2007

*

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

<http://www.spc.net.cn>

电话:(010)51299090、68522006

2007年6月第一版

*

书号:155066·1-29448

版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68522006