

实验十四：阻尼减振实验

1. 实验目的

- 1、学习阻尼的物理特性；
- 2、了解阻尼材料的特性。
- 3、学习用半功率法和自由衰减法测量阻尼；

2. 实验仪器及安装示意图

实验仪器：INV1601C 型振动教学实验仪、INV1601T 型振动教学实验台、加速度传感器、接触式激振器、油阻尼器。软件：INV1601 型 DASP 软件。

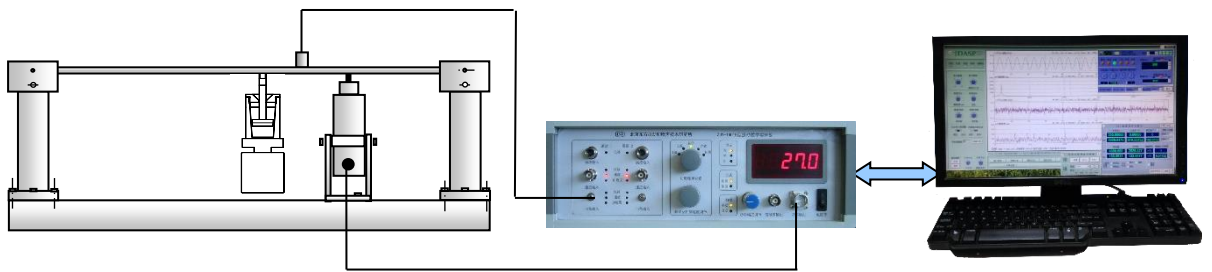


图 1 振动测试实验仪器的组成及连接示意图

3. 实验原理

1、概述

阻尼是一种物理效应，它广泛地存在于各种日常事物中，阻碍着物体作相对运动，并把运动能量转变为热能或其它形式的能量。消耗运动能量的原因是多方面的，或因界面上的摩擦力、流体的粘滞力、材料的内阻尼、磁带效应以及由此而引起的湍流、涡流、声辐射等。常见的摆运动，如果没有外界继续供给能量，由于摆轴间的摩擦力以及空气的阻力等，摆的振幅将逐渐减小以致停动。

结构的动力性能常决定于以下三大要素：质量、刚度与阻尼，一个振动着的结构，在任何瞬时包含着动能与应变能，动能与结构物的质量相联系，而应变能则与结构的刚度相联系。由于结构发生变形时，在材料的内部有相对位移，阻碍这种相对运动并把动能转变为热能的这种材料的属性，称为内阻尼。由于利用材料的内阻尼能有效地抑制构件的振动，降低噪声的辐射，因此具有高内阻尼的材料常称为阻尼材料，但要使材料能达到充分发挥消耗动能量的目的，就不仅要求有高阻尼，而且应有较大的弹性模量。此外阻尼材料还应有较高的强度与较小的密度，这样制成的阻尼结构才能形成整体振动并不致于增加过多的负载，同时还要求在较大的温度变化范围内能保持阻尼性能的稳定。阻尼材料常覆盖于外表面，因此特殊情况下，还要求耐气候变化、耐油与抗酸碱腐蚀等性能。

高阻尼材料的损失因数随温度、振幅与频率的不同而有明显的变化，而且各有它自身的特有规律性。例如油阻尼是利用油的粘滞力产生阻尼，使振动的机械能转换成热能，如果温升过高，油的粘滞特性发生改变就会影响到阻尼力的大小。所以要求在使用时必须十分注意，要针对不同的具体情况进行选择。

阻尼材料是由良好的胶粘剂并加入适量的增塑剂、填料、辅助剂等组成的。胶粘剂通常用沥青、橡胶、塑料类等。

阻尼结构是将阻尼材料与构件结合成一体以消耗振动能量的结构,通常有以下几种基本结合形式:

1) 自由阻尼层结构;

在振动结构的基层板上牢固地粘合一层高内阻材料,当基层板进行弯曲振动时,可以看到阻尼层将不断随弯曲振动而受到自由的拉伸与压缩。

2) 间隔阻尼层结构;

为了进一步增加自由阻尼层的拉伸与压缩的形变,在阻尼层与基层板之间再增加一层能承受较大剪切力的间隔层,这样在板进行弯曲振动,即使较薄的阻尼层也能起到消耗更多振动能量的作用。蜂窝结构的夹层作间隔层与基板牢固粘合,常驻能起到良好的间隔层作用。

3) 约束阻尼层结构;

若把阻尼层牢固地粘合在基层板上,而在阻尼层上部又牢固地粘合一层弹性模量很大的薄层材料(一般金属具有大的弹性模量),就构成约束阻尼层。

4) 间隔约束阻尼层结构。

在约束阻尼层与基础板之间加一间隔层,可以增加储存的应变能,从而增加了阻尼。

2、阻尼的相关参数

无阻尼自由振动的固有频率:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

有阻尼(小阻尼)自由振动的固有频率:

$$f_D = f_0 \sqrt{1-D^2}$$

临界阻尼系数:

$$C_{\text{临}} = 2\sqrt{km}$$

阻尼比:

$$D = \frac{C}{C_{\text{临}}}$$

强迫振动的频率比:

$$u = \frac{f}{f_0}$$

将动力放大系数: $\beta = \frac{1}{\sqrt{(1-u^2)^2 + 4u^2 D^2}}$ 对 f 求导并令其等于 0, 得到 β 的极值点为

$$f_r = f_0 \sqrt{1-2D^2} \quad (\text{有阻尼时的共振频率})$$

代入上式得到 β 的极大值为

$$|\beta_{\text{max}}| = \frac{1}{2D\sqrt{1-D^2}}$$

当 D 很小 ($D < 0.05$) 时, $f_r \approx f_0$, $|\beta_{\text{max}}| = \frac{1}{2D\sqrt{1-D^2}} \approx \frac{1}{2D} = Q$, Q 称为品质因数,

频率响应曲线共振峰的尖锐程度决定于 Q 值的大小, Q 越大则越尖锐。

简谐激振受迫阻尼振动的运动方程的解有两部分，一部分通解为阻尼自由振动，另一部分特解为受迫振动，前一部分逐渐衰减，在稳定状态时只有后一部分。当受迫振动的频率等于无阻尼固有频率时，振动速度达到最大。在阻尼不大（ $D \ll 1$ ），位移、速度和加速度的共振频率基本相同，否则三种共振就应指明是哪一种，位移的共振频率为 $\omega\sqrt{1-2D^2}$ ，加速度的共振频率为 $\frac{\omega}{\sqrt{1-2D^2}}$ 。

阻尼振动衰减率的计算：由阻尼自由振动的方程解可知阻尼振动的衰变因数 $e^{-2\pi D f_0 t}$ ，其有阻尼固有频率为 $f_D = f_0 \sqrt{1-D^2} \approx f_0$ 。振幅 N 个周期后衰减为 $Xe^{-2\pi D f_0 NT}$ ，其中 $T = \frac{1}{f_0}$ ， $e^{-2\pi D f_0 NT} = e^{-2\pi ND}$ ，经过一个周期的振幅比为 $e^{2\pi D}$ ， $2\pi D$ 称为阻尼振动的对数衰减率。用 δ 表示，即

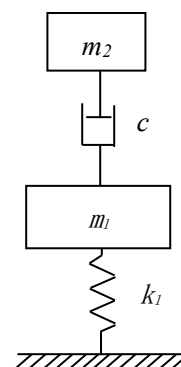
$$\delta = 2\pi D$$

对于阻尼振动系统，它的阻尼特性可以在激发振动后，测定它的共振频率曲线，用半功率法求得，另一种方法是振动系统在共振激发状态下，停止外激发力而任它自然衰减来测定。

3、阻尼减振器

在主振动系统中加入以空气、油等做为介质的减振系统，如图所示，主系统由 m_1 、 k_1 组成，而阻尼减振器由 m_2 和 c 组成。减振器的最佳参数为： $f = f_0 \sqrt{\frac{2}{2 + m_2 / m_1}}$

最佳阻尼比： $D = \frac{1}{\sqrt{2(1 + m_2 / m_1)(2 + m_2 / m_1)}}$



4. 实验步骤

- 1、仪器安装，参考仪器安装图安装油阻尼器，油阻尼的动杆部分拧在简支梁中部的螺孔中，通过螺纹调整油阻尼器的高度。传感器采用加速度（或速度）传感器。
- 2、先把油阻尼器的活塞调出油面，调整 INV1601C 型实验仪的频率和功率放大旋钮，使梁产生共振。
- 3、开机进入 INV1601 型 DASP 软件的主界面，选择“单通道”按钮。进入单通道示波状态进行波形和频谱同时示波。
- 4、在“采样参数”菜单中推荐设置：采样频率为 500Hz，程控 1 倍、采样点数 2K、工程单位 μm 。
- 5、从频率计中读取频率值及幅值。
- 6、调整油阻尼器的高度，读取活塞不同位置下简支梁振动的频率及幅值。

5. 实验结果和分析

实验次数	加阻尼前		加阻尼后(改变不同浸没高度)	
	频率 (Hz)	幅值 (μm)	频率 (Hz)	幅值 (μm)
1	43.2	186.2	43.2	157.2
			43.2	113.3
			43.2	103.3
			43.2	65.2

粘滞性（流体相对运动产生内摩擦力）

定义：

液体的粘度表示液体阻止运动的能力

粘度：就是液体的内摩擦。是润滑油受到外力作用而发生相对移动时，油分子之间产生的内摩擦力，其阻力大小称为粘度。

流体的流动是许多极薄的流体层之间的相对滑动。

最上一层液体流速最大，最下层粘着在容器底部的液体流速为零。液体流速从下到上逐步增大。

一、微观影响因素

流体分子间的引力，当流体微团发生相对位移时，必须克服相邻分子间的引力，从而表现出内摩擦力。

流体分子的热运动

流体的动力黏度主要与流体的种类及温度有关。在通常压强范围内，压强对流体黏性的影响很小，可以忽略不计。温度对流体的黏性影响很大，而且温度对液体和气体黏性的影响完全相反，液体黏性随温度升高而减小，气体黏性随温度升高而增大。这是因为液体的分子间距小，分子间的吸引力是构成液体黏性的主要因素，温度升高，分子间的吸引力减小，液体的黏性降低。构成气体黏性的主要因素是气体分子作不规则热运动时气体分子间的动量交换。温度升高，气体分子的热运动越剧烈，分子间的动量交换加剧，使气体黏性增强 [9] 。

二、宏观影响因素

压强

压强变化对分子动量交换影响甚微，所以气体的黏度随压强的变化很小：压强增加将使分子间距减小，所以压强对液体的黏性的影响相对较大。

在低于 100 大气压情况下，压强变化对液体黏度的影响很小，可忽略不计。在高压的作用下气体与液体的黏度均随压力的升高而增大。

温度

黏度是流体黏性的度量，受流体温度和压力的影响。但压力的影响很小，通常只需考虑温度的影响。温度对液体和气体黏性的影响规律截然不同。温度升高时，液体的黏性降低。这是因为液体的黏性主要是由液体分子之间的内聚力引起的，温度升高，内聚力减弱，故黏性降低。温度升高时，气体的黏性增加。因为造成气体黏性的主要原因在于气体分子的热运动，温度越高，热运动越强烈，所以黏性就越大。流体的黏度一般无法直接测量，往往是先测量与其有关的物理量，再通过相关方程进行计算得到。人们对黏度的测量早已开始，并且发展了许多相当成熟的方法，如传统的毛细管法、管流法、落球法、旋转法及振动法等。