

实验十：单式动力减振实验与复式动力减振实验

1. 实验目的

- 1、学习动力减振的原理；
- 2、学习减振效果的测试。

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、速度传感器、偏心电机、动力吸振器。软件：INV1601 型 DASP 软件。

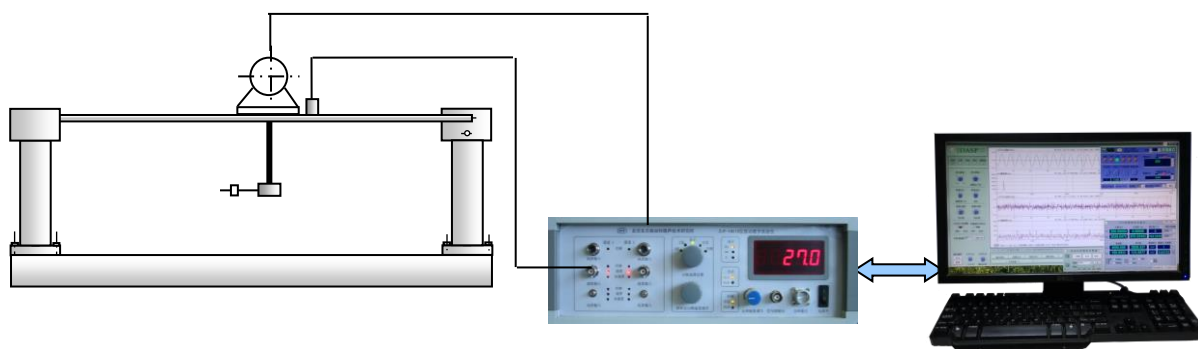


图 1 仪器连接示意图

3. 实验原理

减振就是在振动主系统上附加特殊的子系统，以转移或消耗主系统的振动能量，从而抑制主系统的振动。动力减振是将主系统的振动能量转移到附加的减振器系统上，而实现减少主系统振动的目的。

如图所示一单自由度系统，其中 m_1 为质量， k_1 为其刚度。激励力为 $F_1 \sin \omega t$ ，垂直方向的振动位移为 $x_1(t)$ 。此系统的固有频率为 $\omega_n = \sqrt{k_1 / m_1}$ 。当激励力的频率 ω 接近系统的固有频率 ω_n 时，产生强烈共振。为了减小振动，可采用消除振源的办法，或者改变系统的 m_1 与 k_1 ，从而调整其固有频率，避

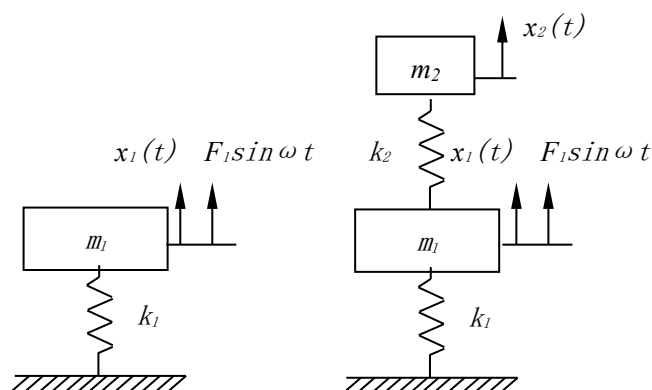


图 2 动力减振模型图

开激励力的频率 ω 。如果实际条件限制，可采用附加减振装置的方法。在原系统上另外加一个质量为 m_2 ，刚度为 k_2 的“弹簧-质量”系统，与原系统构成一个两自由度系统，通过

选择适当的参数 m_2 、 k_2 ，可使 m_1 的振幅降为零。该两自由度系统的运动方程为：

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + (k_1 + k_2)x_1(t) - k_2 x_2(t) = F_1 \sin \omega t$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) - k_2 x_1(t) + k_2 x_2(t) = 0$$

方程的稳态解为

$$x_1(t) = X_1 \sin \omega t$$

$$x_2(t) = X_2 \sin \omega t$$

式中

$$X_1 = \frac{(k_2 - \omega^2 m_2) F_1}{(k_1 + k_2 - \omega^2 m_1)(k_2 - \omega^2 m_2) - k_2^2}$$

$$X_2 = \frac{k_2 F_1}{(k_1 + k_2 - \omega^2 m_1)(k_2 - \omega^2 m_2) - k_2^2}$$

这里 F_1 、 X_1 、 X_2 均为实数。为简化分析引入下列符号：

$x_{st} = F_1 / k_1$ 为主系统的静变形； $\mu = m_2 / m_1$ 为减振器质量与主系统质量之比；

$\omega_n = \sqrt{k_1 / m_1}$ 为主系统的固有频率； $\omega_a = \sqrt{k_2 / m_2}$ 为减振器的固有频率；

则

$$X_1 = \frac{[1 - (\omega / \omega_a)^2] x_{st}}{[1 + \mu(\omega_a / \omega_n)^2 - (\omega / \omega_a)^2][1 - (\omega / \omega_a)^2] - \mu(\omega_a / \omega_n)^2}$$

$$X_2 = \frac{x_{st}}{[1 + \mu(\omega_a / \omega_n)^2 - (\omega / \omega_a)^2][1 - (\omega / \omega_a)^2] - \mu(\omega_a / \omega_n)^2}$$

由上式可见，当 $\omega_a = \sqrt{k_2 / m_2} = \omega$ 时，有

$$X_1 = 0, \quad X_2 - \left(\frac{\omega_n}{\omega_a} \right)^2 \frac{x_{st}}{\mu} = -\frac{F_1}{k_2}$$

相应地有

$$x_1(t) = 0, \quad x_2(t) = -\frac{F_1}{k_2} \sin \omega t。$$

此时主系统静止不动，而减振器以 $x_2(t) = -(F_1 / k_2) \sin \omega t$ 规律运动，事实上，此时

减振器对主系统的作力为 $k_2 x_2(t) = -F_1 \sin \omega t$ ，与主系统上作用的激振力正好大小相等，

方向相反，即主系统上所受的合力为零。由此可见，只要减振器的固有频率与激振力的频率 ω 相等，就可以使主系统的振动完全消除。这就是“反共振”现象。

4. 实验步骤

1、 仪器安装

用夹板把偏心激振电机安装在梁的中部,并连接到 INV1601C 后面板的功率输出 B 端。把动力吸振器上安装上调节螺母,安装在梁的中部螺孔中并拧紧;由于系统振动时,螺母会顺着螺纹向外滑动,所以在减振器的一个支脚上安装两个螺母,这样两个靠紧的螺母由于相互之间的摩擦力,则在振动时不易滑动。

- 2、 进入 INV1601 型 DASP 软件的主界面,按“单通道”进入单通道软件进行波形和频谱同时示波。
- 3、 在“采样参数”设置中推荐设置:采样频率为 200Hz,程控 1 倍、采样点数 2K、工程单位 μm ,同时用速度传感器测量时,应将档位拨到速度计的位移档,这样可以减少高频成分对信号波形的影响。
- 4、 打开“幅值计”按钮,调节 INV1601C 的功率输出和频率,使电机和梁系统产生共振,记录其幅值,调节减振器上的调节螺母,观察波形,使其幅值达到最小时,停止调节,记录其幅值。

注意:当使用电机激振时,由于共振频率较低,在二十几赫兹左右。一个螺母调节时,附加子系统的固有频率区间要超过共振频率,这时必须增加一个螺母,使用两个螺母进行调节。

5. 实验结果和分析

	调 节 前	调 节 后
频 率(Hz)	41.5	41.5
幅 值(μm)	174.74	4.27

6. 单式动力减振实验的一些建议

使用电机激振时,由于电机的转速是缓慢变化的,而减振效果在附加子系统的固有频率和激振频率相等时效果才最好,所以使用电机激振,通过调节螺母位置来调节子系统固有频率方法,需要耐心,可能时间会长一些。如果使用固定式激振器进行激振,动力减振器进行减振的方法,因为激振频率稳定,所以实验中的减振效果更容易出来,但电机激振作为一种重要的激振方式也保留了下来。

下面是减振实验中调节的一些参数,供实验时参考使用:

1) 电机激振:电机固定在梁的中间(第九点),动力减振器使用两个螺母进行单式减振。电机转速在 27Hz 左右,螺母距外端 2mm 左右时,减振效果明显,达到减振 90%。

2) 接触式激振器激振:将电机卸下,激振器激振,41.7Hz 左右产生共振,单式减振器上一个螺母配一个普通小螺母,相互配合来固定在减振器上,距外端 12mm 左右,振幅达到最小,减振效果达到 90%。

复式动力减振实验

1. 实验目的

- 1、学习复式动力减振的原理；
- 2、学习减振效果的测试；

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、偏心电机（或者使用接触式激振器进行激振）、动力吸振器。软件：INV1601 型 DASP 软件。

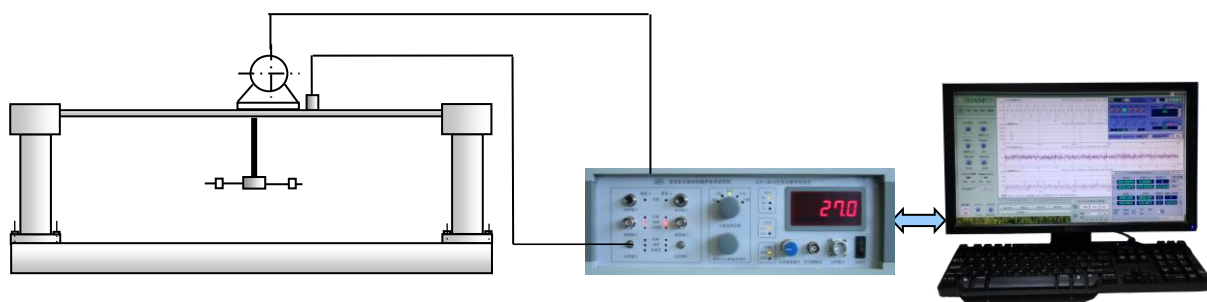


图 1 仪器连接示意图

3. 实验原理

单式动力减振采用一个附加的特殊弹簧质量系统使主系统变成两自由度的系统，附加的弹簧质量系统固有频率 ω_a 不等于主系统的固有频率 ω ，如果附加系统的固有频率 ω_a 等于外部激振频率时，就可起到良好的减振效果。如果外部激振频率高于附加系统的固有频率 ω_a 时，单式减振器就不能发挥作用，这时可以采用复式减振器。

复式减振器附加一个具有两自由度或多自由度的弹簧质量系统，当外部激振力引起主系统某阶共振时，减振器的一个弹簧质量系统的调节螺母经过调节，可以对应外部激振的激振频率，能量就转移到附加弹簧质量系统，起到减振效果。

4. 实验步骤

1、 仪器安装

参见仪器安装示意图，把动力减振器上安装两个调节螺母，安装在梁的中部螺孔中并拧紧。安装好接触式激振器。

2、 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。

- 3、 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 。
- 4、 调节 INV1601C 功率输出，使梁系统产生一阶共振（或者不使用电机，使用接触式激振器进行激振），记录其幅值，调节减振器上的调节螺母，观察波形，使其幅值达到最小时，停止调节，记录其幅值。
- 5、 调节 INV1601C 功率输出使梁在高于 一阶固有频率 10Hz 的频率上产生振动，重复步骤。

5. 实验结果和分析

固有频率阶数	调节前		调节后	
	频率	幅值	频率	幅值
1	37.4	174.64	37.4	118.40
2	47.4	65.63	47.4	38.3
3	57.4	25.43	57.4	24.5
4	67.4	14.00	67.4	13.6