《机械振动学》实验指导书

上海交通大学

机械与动力工程学院

基础实验与创新实践教学中心

2023.3

目 录

实验安全注意事项.....1

实验预备知识.....2

机械振动实验一、（1）不同阻尼单自由度系统自由衰减的测量.....6

（2）单自由度系统强迫振动特性的测量.....10

（3）拍振实验 15

机械振动实验二、（1）被动隔振（消极隔振）实验.....20

（2）动力吸振器吸振实验.....23

（3）转轴的临界转速测量.....27

机械振动实验三、（1）三自由度系统各阶固有频率及主振型的测量.....31

（2）锤击法简单边界梁模态测试.....34

机械振动实验四、（1）随机激励法简支梁模态测试（自主实验）.....38

（2）影响系数法进行单面转子动平衡（探索性实验）. . . 42

附录：实验报告封面

实验安全注意事项

本实验系统尽管在设计、加工和安装时已充分考虑了安全方面的问题，但强烈建议学生使用时注意如下事项：

一、通电前仔细检查各活动机械部分，如激振器、偏心电机等的连接紧固情况，确保所有螺栓、卡扣等紧固无误，避免激振或旋转。

二、查看传感器、信号源、激振器等连线正确无误，确保各仪器正常工作。

三、检查各仪器电源线是否插紧插好，各仪器是否可靠接地，以防触电。

四、调压器应放置于桌面宽敞处，尽可能远离其它仪器，并且在使用时只有经检查无误后才能通电，通电前须仔细检查电机偏心轮是否紧固、调压器与电机连线、接地是否可靠，使用完毕应立即断电。

五、激振器和偏心电机工作时，禁止手或是其它物品碰到激振器顶杆和电机偏心轮，以免受伤或物品飞落。

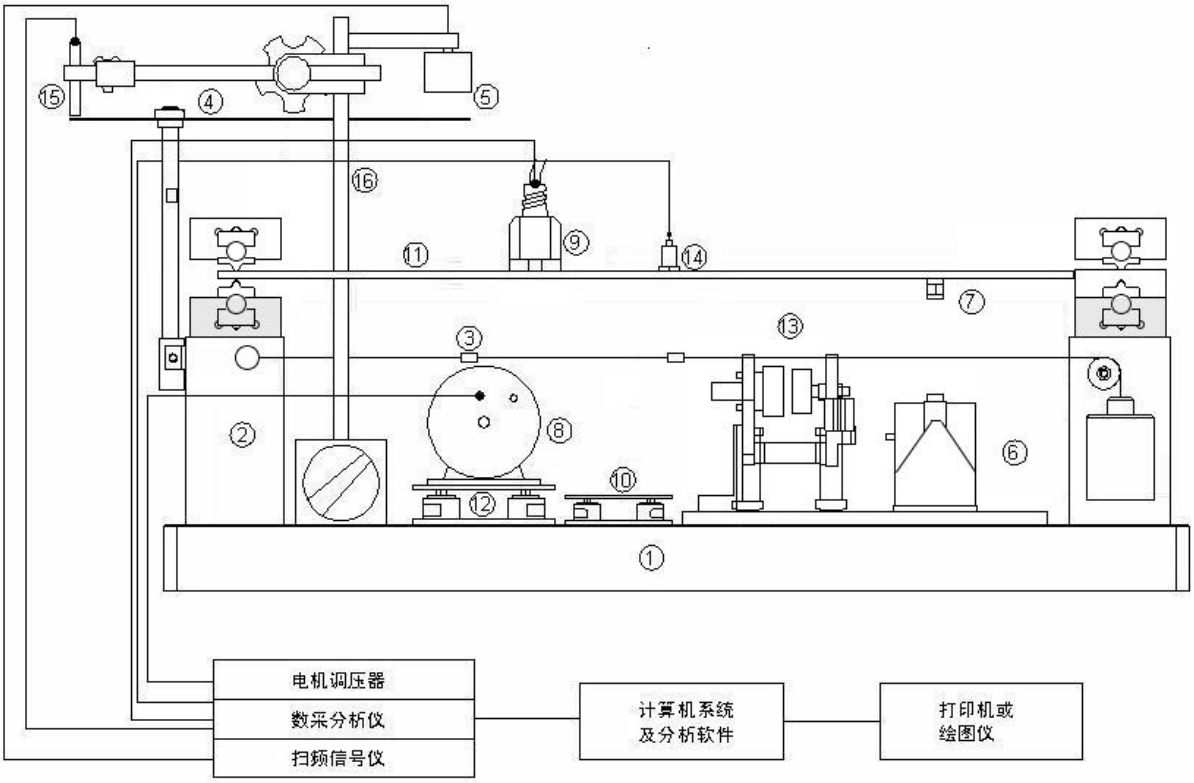
六、所有仪器设备工作过程中发现异常应立即断电，并请专业人员检查维修。

实验预备知识

DHVTC 振动测试与控制实验系统组成与使用方法

一、 DHVTC 振动测试与控制学生实验系统的组成

如图 1-1 所示，本系统由“振动测试与控制实验台”、“激振与测振系统”、“动态采集分析系统”组成。



(1)——底座　(5)——非接触式激振器　(9)——电式速度传感器　(13)——单/双自由度系统

(2)——支座　(6)——接触式激振器　(10)——被动隔振系统　(14)——压电式加速度传感器

(3)——三自由度系统　(7)——力传感器　(11)——简支梁/悬臂梁　(15)——电涡流位移传感器

(4)——薄壁圆板　(8)——偏心电机　(12)——主动隔振系统　(16)——磁性表座

图 1-1　DHVTC 振动测试与控制学生实验系统示意图

1.1　振动与控制实验台

振动测试与控制实验台由弹性体系统（包括简支梁、悬臂梁、薄壁圆板、单双自由度系统、三自由度系统模型）组成，配以主动隔振、被动隔振用的空气阻尼减震器、动力吸振器等，可完成振动与振动控制等 20 多个实验项目。

1.2　激振系统与测振系统

1.2.1　激振系统包括：

——DH1301 扫频信号发生器；

——DH40020 型接触式激振器；

——JZF-1 型非接触式激振器；

——偏心电机、调压器；

——力锤。

1.2.2　测振系统包括：

——DH620 磁电式速度传感器；

——DH187ICP 加速度传感器 ；

——DH902 电涡流位移传感器；

——力传感器。

1.3　动态采集分析系统

——信号适调器；

——数据采集分析仪；

——计算机系统（或笔记本电脑）；

——控制与基本分析软件；

——模态分析软件。

二、 DHVTC 仪器的使用方法

2.1 激振系统的使用方法

2.1.1 DH1301 扫频信号发生器

DH1301 扫频信号发生器是配有功率放大后的正弦激振信号源，可推动 DH40020 型接触式激振器或 JZF-1 型非接触式激振器。

2.1.1.1 技术指标：

—— 频率范围：0.1Hz～9999.9Hz；

——谐波失真：<1%；

——最大输出功率：60W；

——输出电流：0A～5.5A；

——功耗：20W。

2.1.1.2 使用方法

先将 DH1301 信号源接通电源，并处于关闭状态，用激振器信号输入线把激振器与 DH1301 后端的功率输出接线柱相连，打开电源开关，设置一个自定义的正弦定频信号，仪器进入正常工作状态。

2.1.2 DH40020 型电动型接触式激振器的使用方法

2.1.2.1 技术指标：

——激振频率范围：10Hz～5000Hz；

——最大激振力：2000g；

——最大行程：±4mm。

2.1.2.2 使用方法

激振器与被测物体可靠连接。按图 1-1 接好配置仪器，启动激振器信号源，设定相应的激振频率，即可实现对试件的激振。

2.1.3 JZF-1 型磁电型非接触式激振器的使用方法

2.1.3.1 技术指标：

——最大激振频率范围：10Hz～1000Hz；

——最大激振力：50g；

——安装间隙：1mm～10mm。

2.1.3.2　使用方法

将非接触式激振器安装在磁性表座上，根据被测激振件的刚度大小调节激振器与被测激振件的初始间隙。在做试验时，还应根据各阶固有频率的高低随时调节激振器与被测激振件的间隙，使互相不会发生碰撞。启动激振信号源，即可实现对试件的激振。

2.1.4　偏心电动机和调压器的使用方法

2.1.4.1　由偏心电动机和调压器组成的激振设备。

2.1.4.2　单相串激整流子电动机适用单相直流电源供电，其转速随负载或电源电压的变动而变化。我们用改变电源电压的办法来调节电动机的转速，使电动机转速可在 0～8000 转/分的范围内调节。转速的改变使电机偏心质量的离心惯性力的大小和频率发生改变，利用偏心质量的离心惯性力，即可实现对试件的激振。

2.2　动态数据采集分析仪的使用方法

仪器与传感器通过适调器或连接线连接，接上电源，启动仪器，安装 1394 驱动（若为以太网口，则跳过），打开软件进行信号采样等操作。

实验一 、（1）不同阻尼单自由度系统自由衰减的测量

一、实验目的

1、了解单自由度自由衰减振动的有关概念。

2、学会用分析仪记录单自由度系统自由衰减振动的波形。

3、学会根据自由衰减振动波形确定系统的固有频率 ω_n 和阻尼比。

4、比较不同阻尼单自由度系统衰减振动特性区别。

二、实验装置框图

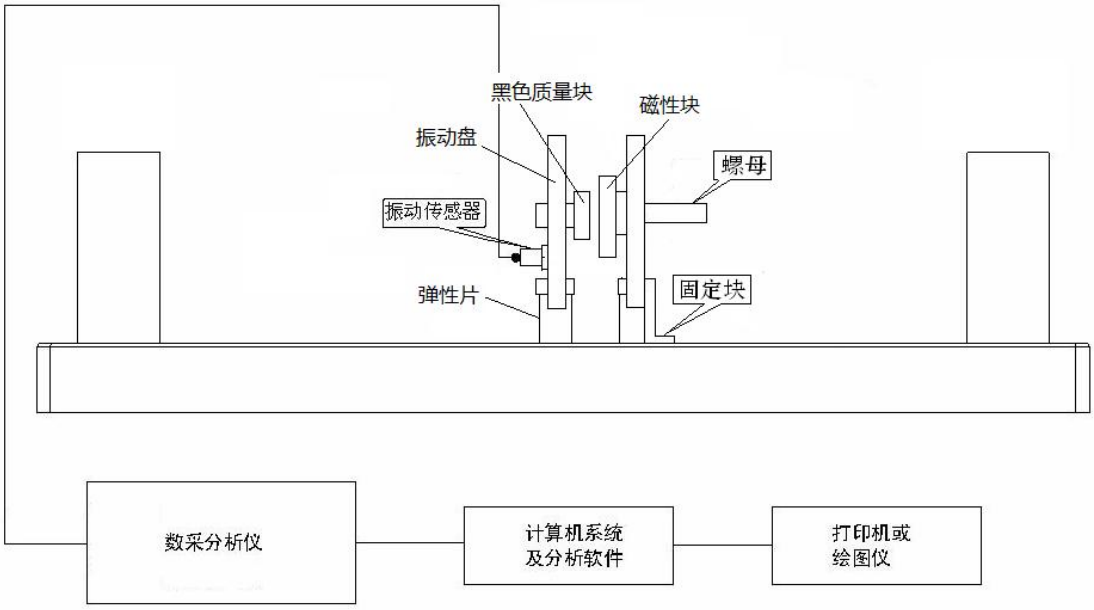


图 1-1　实验装置框图

三、实验原理

单自由度系统的力学模型如图 1-2 所示。给系统(质量 m)一初始扰动，系统作自由衰减振动，其运动微分方程式为：

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+kx=0$$
$$\ddot{x}+2\zeta\omega_n\dot{x}+\omega_n^2x=0 \qquad (1\text{-}1)$$

式中：ω_n——固有频率 $\omega_n=\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

ζ——阻尼比 $\zeta=\dfrac{c}{2\sqrt{km}}$

小阻尼($\zeta<1$)时，方程(1-1)的解为：

$$x = Xe^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t+\varphi) \tag{1-2}$$

式中：X——振动振幅

φ—初相位

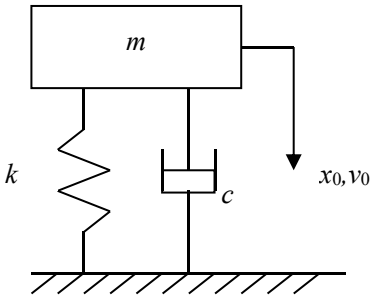
ω_d—有阻尼固有频率，$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$

设初始条件：$t=0$时，$x=x_0$，$\dot{x}(0)=\dot{x}_0$，则

$$X=\sqrt{x_0^2+\frac{(\dot{x}_0+\zeta\omega_n x_0)^2}{\omega_d^2}} \tag{1-3}$$

$$\varphi = a\tan\frac{\omega_d x_0}{\dot{x}_0+\zeta\omega_n x_0} \tag{1-4}$$

式(1-2)的图形如图 1-3 所示。



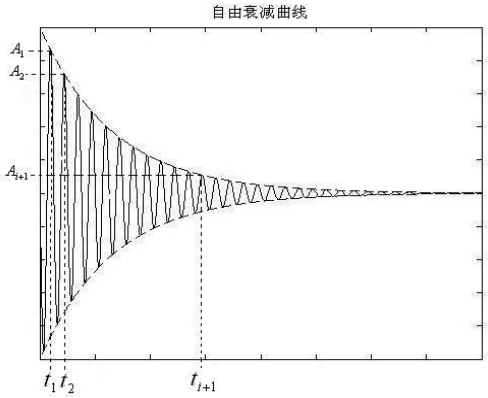


图 1-2 单自由度振动系统自由振动力学模型 图 1-3 自由衰减曲线

此波形有如下特点：

1）有阻尼自由振动周期T_d大于无阻尼自由振动周期T_n，即$T_d>T_n$。

$$T_d=\frac{2\pi}{\omega_d}=\frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}=\frac{T_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{1-5}$$

2）振幅按几何级数衰减

$$\frac{A_1}{A_2}=\frac{A_i}{A_{i+1}}=e^{\zeta\omega_n T_d} \tag{1-6}$$

$$\text{对数衰减率}\ \delta=\ln\frac{A_1}{A_2}=\ln\frac{A_i}{A_{i+1}}=\zeta\omega_n T_d \tag{1-7}$$

对数减幅系数也可以用相隔 i 个周期的两个振幅之比来计算：

$$\delta = \frac{1}{i}\ln\frac{A_1}{A_2}\frac{A_2}{A_3}\cdots\frac{A_i}{A_{i+1}} = \frac{1}{i}\ln\frac{A_1}{A_{i+1}} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{1-8}$$

小阻尼（$\zeta < 0.3$）情况下，可得阻尼比：

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2+\delta^2}} \approx \frac{\delta}{2\pi} \tag{1-9}$$

四、实验方法

4.1　将系统安装成单自由度小阻尼系统

使磁性定位块远离单自由度系统质量盘（解除磁性阻尼作用）；

将加速度传感器布置在测量平面上，加速度传感器信号接到采集仪的振动测试通道。

4.2　仪器设置

打开仪器电源，进入控制分析软件，新建一个项目（文件名自定），在“设置”/“模拟通道”设置采样频率、量程范围、工程单位和灵敏度等参数，激活“记录仪”窗口，选择相应通道 AI1-1，开始采集数据，数据同步采集显示在图形窗口内。

注：采样频率一般设置为采集信号的 10 倍～20 倍，保证采集的信号没有幅值失真。量程范围一般设置为采集信号的 1.5 倍，保证较高的信噪比。工程单位根据实际物理量设置，传感器灵敏度根据传感器铭牌正确设置。

4.3　测试和处理

用手指扣动单自由度系统质量盘，使其产生自由衰减振动。记录单自由度小阻尼系统自由衰减振动波形，然后设定 i，利用双光标读出 i 个波经历的时间 Δt，$T_n=\Delta t$；读出相距 i 个周期的两振幅的峰峰值 $2A_1$、$2A_{i+1}$ 之值，按公式 1-9 计算出阻尼比 ζ，再按公式 1-5 计算出固有频率 ω_n。

说明：峰峰值 $2A_1 = A_1 - A_{1.5}$（$A_{1.5}$ 为 A_1 与 A_2 之间的谷值）这样选取，可以减少零点误差。

4.4　将系统安装成单自由度大阻尼系统

将黑色磁性块靠近单自由度系统质量盘以增加系统阻尼，旋转定位块，将

螺母反过来拧紧，即可实现大、小阻尼两种状态切换，重复以上步骤。

五、实验结果与分析

5.1　绘出两次单自由度自由衰减振动波形图（一个小阻尼，一个大阻尼），并进行比较。

5.2　根据实验数据按公式计算出固有频率和阻尼比，计算结果填入表1-1。

表 1-1

选项 类型	i	时间t	周期T	$2A_1$	$2A_{i+1}$	阻尼比ζ	固有频率ω_n
小阻尼							
大阻尼							

5.3　上述方法为时域法计算阻尼，一般较简单的是在频域通过半功率带宽法测算阻尼，思考如何用半功率带宽法计算阻尼比？将结果与时域法比较。

5.4　实验操作心得以及对实验结果的评价。

（2）单自由度系统强迫振动特性的测量

本实验是测试单自由度系统在激振力作用下的强迫振动幅频响应特性。通过调节信号发生器，使激振器产生一定频率和能量的激振力。记录线性扫频过程中的幅频特性。

一、实验目的

1、掌握测量单自由度系统强迫振动幅频特性曲线的方法。

2、了解掌握实验设备的安装和使用操作方法。

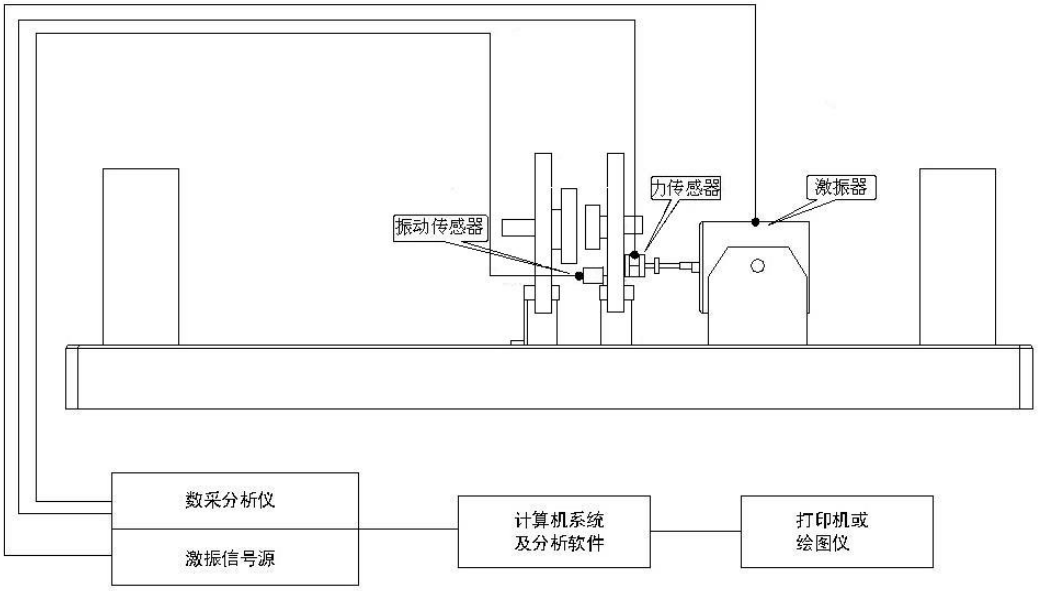


图 2-1　实验装置框图

二、实验装置框图

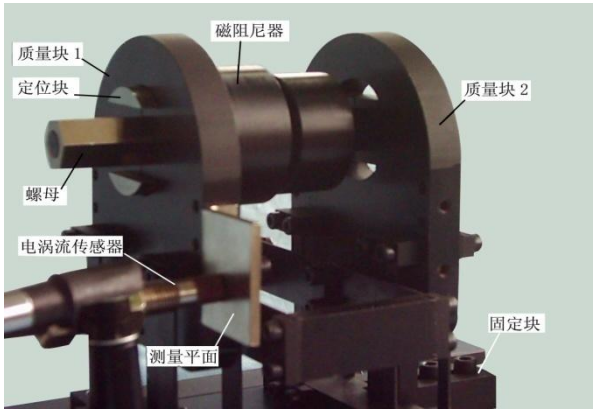


图 2-2 单双自由度系统分解

三、实验原理

单自由度系统的力学模型如图 2-3 所示。在正弦激振力的作用下系统作简谐强迫振动，设激振力 F 的幅值 F_0、激励频率ω rad/s（$f=\omega/2\pi$, Hz），系统的运动微分方程式为：

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+kx=F_0\sin\omega t$$

或

$$\ddot{x}+2\zeta\omega_n\dot{x}+\omega_n^2x=\frac{F_0}{m}\sin\omega t \tag{2-1}$$

式中：ω_n——固有频率 $\omega_n=\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

ζ——阻尼比 $\zeta=\dfrac{c}{2\sqrt{km}}$

方程(2-1)的特解，即强迫振动的稳态解为：

$$x=X\sin(\omega t-\varphi)=X\sin(2\pi ft-\varphi) \tag{2-2}$$

式中：X——稳态振动振幅

φ——相位滞后

$$X=\frac{F_0}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2+(c\omega)^2}}=\frac{F_0}{k\sqrt{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}}$$

$$H=\frac{X}{F_0}=\frac{1}{k\sqrt{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \tag{2-3}$$

式(2-3)称为系统的幅频特性。将式(2-3)所表示的振动幅值与激振频率的关系用图形表示，称为幅频特性曲线(如图 2-4 所示)：

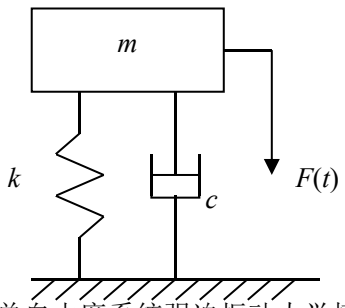
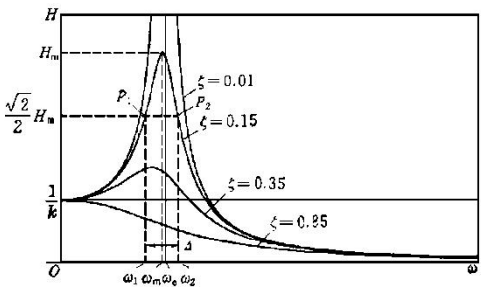


图 2-3 单自由度系统强迫振动力学模型图



2-4 单自由度系统稳态振动幅频特性曲线

图 2-4 中，ω_0为系统固有频率；ω_m为系统最大幅值对应的频率，H_m为系统最大振幅；ω_1、ω_2为半功率点频率，对应的幅值为 $0.717H_m$。

振幅为 H_m 时的频率叫共振频率 ω_m。在有阻尼的情况下，共振频率为：

$$\omega_m = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2} = \omega_0\sqrt{1-2\zeta^2} \tag{2-4}$$

当阻尼较小时，$\omega_m = \omega_n = \omega_0$，故以固有频率 ω_0 作为共振频率 ω_m。在小阻尼情况下可得：

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_0} \tag{2-5}$$

四、实验操作方法和步骤

1、设备连接

将激振器水平安装在实验台基座上固定安装的支架上，并保证激振器顶杆对单自由系统有一定的预压力，用专用连接线连接激振器和 DH1301 功率输出接口。加速度传感器固定在单自由度振动盘上，加速度信号通过数据线连接数据采集仪的 1 通道。

力传感器一端连接激振器，另一端连接单自由度振动盘。力传感器测得的激振力的大小和激振频率可通过信号连接线输入数据采集仪的 2 通道。

硬件连接完毕，打开数据采集仪的电源开关（在仪器背面）。

2、数据分析软件设置

1）设定工程名；

2）在页面对 1 通道（加速度传感器）进行设置；

- 测量量：“加速度”，单位： “m/s2”，
- 灵确认敏度：根据各实验台用的加速度传感器附带资料上的数值换算。提供的灵敏度数据换算结果大概 4.9 m/s2 左右。
- 量程： 选择 200 m/s2 左右。输入方式：选“IEPE”。
- 确定，退出输入。

3）窗口上方选择“信号处理”，弹出窗口输入如下：

- 鼠标点击选择“频响分析”，弹出窗口中，“平均方式”选择“峰值保持”；
- 在“输入”表中，鼠标左键点击“未分配”2 次，输入信号为 2 通道“激振力”。

- 在“输出”表中，鼠标左键点击“未分配”2 次，输出信号为 1 通道“加速度”。

4）点击窗口上方下一选项“测量”，弹出窗口输入如下：

- 选择“2D 布局”，点击右侧的“频响分析”，出现“频响组”。
- 点击“频响组”，选择弹出的第三项“频响”，所对应的是下面的一个窗口，显示频响。上面记录仪窗口显示的是时域值。
- 点击左边的“fs”，选择“采样频率”，1kHz。

  注：采样频率一般设置为采集信号的 10 倍～20 倍，保证采集的信号没有幅值失真。量程范围一般设置为采集信号的 1.5 倍，保证较高的信噪比。工程单位根据实际物理量设置，传感器灵敏度根据传感器铭牌正确设置。

- 进行“平衡清零”。
- 可修改窗口中曲线的颜色。点击窗口的右上方色块，选择合适的颜色。

3、扫频信号发生器调节及操作

按 DH1301 扫频信号发生器的“类型”键，选择“线性扫频”。红色指示灯跳到该位置。

- 按“设置”键，分别设置扫频的起始和终止频率，扫频的范围 5~70Hz。设定好初始频率值后，按“确认”键。然后再次按“设置”键，显示屏上的指示灯跳到“止频”位置，设定 70Hz,再次“确认”。

  第三次按设置键，指示灯跳到线性扫频间隔“扫速”，设置为 1Hz，按确定键完成设定。

- 按信号发生器“电压调节”的上升键 3 秒，电压值自动上升，当电压值上升至 800mV 时,即可按“电压调节”的下降键将电压固定。设置的激振能量达到 800～900mV 左右即可。
- 按“开始”键，开始线性扫频，扫频从 5 至 70Hz 循环进行，实验只要采集频响窗口的第一波峰。可以观察到当扫频频率达到单自由度系统的固有频率时，加速度传感器信号达到峰值。
- 鼠标点击左上角的“采集”，即可开始采集一个完整扫频循环的数据。

采集循环即将结束时，鼠标点击左上角的“停止”。

- 随后可对二个窗口的曲线进行保存操作。
- 按信号发生器上的“停止”键结束扫频。

4、数据采集与处理

鼠标点击数据采集软件窗口上部的“分析”选项。此时，如果要输出上面窗口的图，就用鼠标点击上图激活，然后点击上面的“输出”功能选项，保存图形文件和 MATLAB 数据，以便对实验数据进行分析。重新返回“分析”选项，可以，鼠标点击下图，激活频响窗口，即可用“输出”功能进行频响图的保存。

五、实验结果与分析

5.1 根据实验中测得的数据绘制系统强迫振动的幅频特性曲线。

5.2 确定系统固有频率ω_0。

5.3 确定阻尼比ζ。按图 2-4 所示计算 $0.707H_m$，然后在幅频特性曲线上确定ω_1、ω_2，利用式(2-5)计算出阻尼比。

5.4 实验操作过程中有哪些比较关键的注意事项？

5.5 实验心得与思考。

（3） 拍振实验

一、实验目的

1、观察拍振现象，建立拍振的概念。

2、了解如何消除或减弱拍振的现象。

3、掌握实验操作方法。

二、实验装置框图

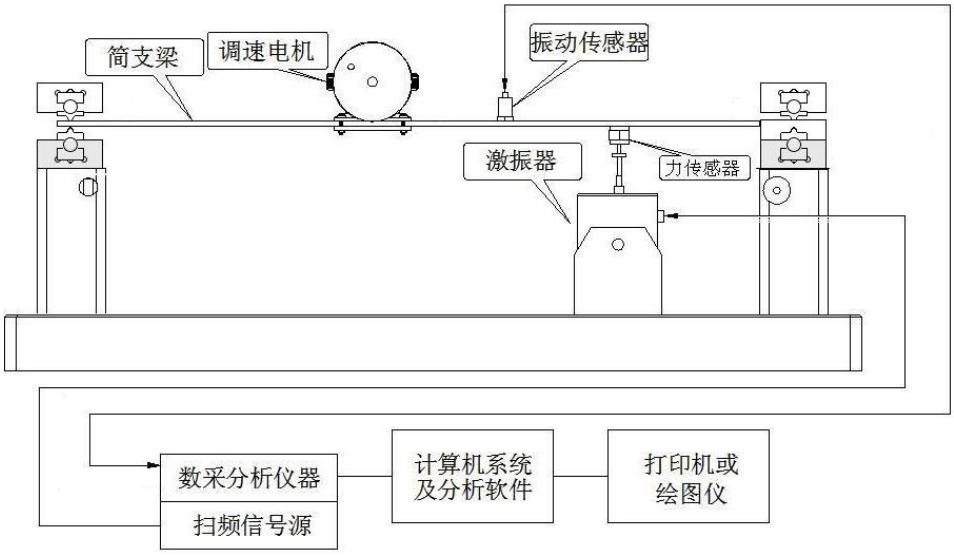


图 3-1 实验装置框图

三、实验原理

当结构振动时，有时会产生所谓拍的现象。什么叫拍?如对简支梁系统施加两个频率接近、振幅不等的激振力，使系统产生振动，用分析仪测得系统的振动波形如图 3-2 所示，其振幅是周期地变化，这种现象就叫做拍。总的来讲，两个频率接近、振幅不等的振动迭加就能形成拍。

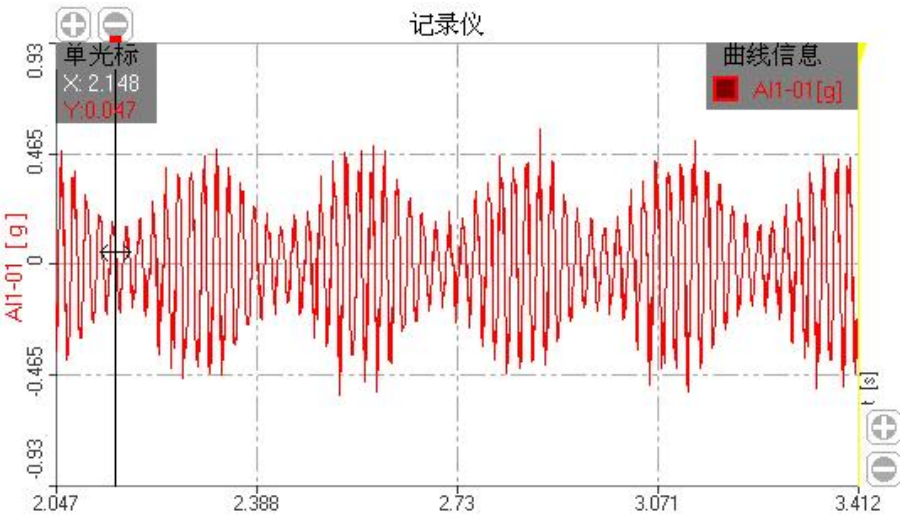


图 3-2 拍振（现象）时域图

设两个频率接近、振幅不等的振动为：

$$x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)\text{，}\quad x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \tag{3-1}$$

合成后的振动为：

$$x = x_1 + x_2 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \tag{3-2}$$

合成后振动的幅值为：

$$A = \sqrt{A_1^{\ 2} + A_2^{\ 2} + 2A_1A_2\cos[(\omega_2 - \omega_1)t + (\varphi_2 - \varphi_1)]} \tag{3-3}$$

合振动的振幅随时间在最大振幅 $A_{\max}$ 与最小振幅 $A_{\min}$ 间作周期变化，就形成了拍，如图 3-3 虚线所示，最大振幅 $A_{\max} = A_1 + A_2$ ，最小振幅 $A_{\min} = A_1 - A_2$。

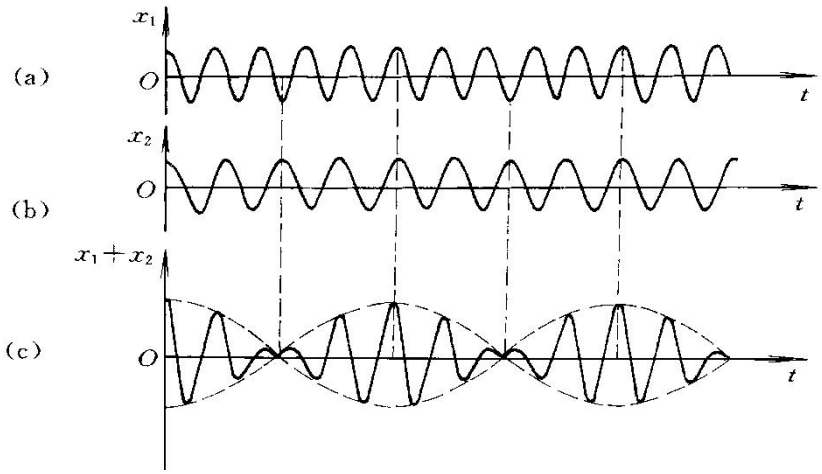


图 3-3 波形图

根据拍振理论，设两个频率接近、振幅相等、初相位相同的振动为：

$$x_1 = x_0 \sin \omega_1 t\text{，}\ x_2 = x_0 \sin \omega_2 t \tag{3-4}$$

合振动为：

$$x = x_1 + x_2 = 2x_0 \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \tag{3-5}$$

设$\omega_1-\omega_2=\Delta\omega$和$(\omega_1+\omega_2)/2\approx\omega$，式(5-5)可写成：

$$x = 2x_0 \cos \frac{\Delta\omega}{2} t \cos \omega t \tag{3-6}$$

合振动的频率及周期为：

$$\omega_{合} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\text{，}\ f_{合} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{4\pi} \approx \frac{\omega}{2\pi} \tag{5-7}$$

$$T_{合} = \frac{4\pi}{\omega_1 + \omega_2} \tag{5-8}$$

在拍振图形上，有最大振幅的一段叫拍的腹，有最小振幅的一段叫拍的腰，腰和腹总是间隔地出现的。在单位时间内腰或腹出现的次数叫拍的频率$\omega_{拍}$，振幅大小改变一次的时间叫拍的周期$T_{拍}$。

$$\omega_{拍} = \omega_2 - \omega_1\text{，}\ f_{拍} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\pi} \tag{3-9}$$

$$T_{拍} = \frac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1} \tag{3-10}$$

从(3-10)式可知，两个分振动的频率相差越小，拍振动的周期就越大。

四、实验方法

4.1 安装偏心电机

偏心电机的电源线接到调压器的输出端，调压器电源线接到调压器的输入端（双色为地线），一定要小心防止接错，要注意调压器的输入和输出端，防止接反。把调速电机安装在简支梁中部，对简支梁产生一个未知的激振力，电机转速（强迫振动频率）可用调压器来改变。

4.2 激振器安装

将激振器固定在实验台基座上，激振器螺杆与简支梁螺纹孔相连，并用螺母固紧，用专用连接线连接激振器和 DH1301 功率输出接口。

4.3 设置加速度传感器参数

将加速度传感器布置在偏心电机和激振器的中间位置，传感器测得的信号接到采集仪的 1-1 通道。加速度传感器通过磁力吸在简支梁的中部。加速度传感器数据线连接到数据采集仪的 1-1 通道，设置加速度传感器对应的通道参数。

数采分析软件设置步骤

（1）定义工程名，保存；

（2）设置加速度传感器参数；

（3）“平衡清零”；

4.4 确定电机转速

- 点击窗口上端的“信号处理”，在弹出窗口添加“频谱分析”，用来检测电机转速。
- 在窗口“频谱分析”图标上点鼠标右键，设置对应的数据采集通道。
- 进入“测量”页面，选择“2D 图谱”。

上面的图形是加速度传感器的时域值，下面的频谱图可得到电机的转速。频谱曲线左边垂线与纵坐标之间用鼠标点击，可以观察到频谱曲线，曲线波峰对应的频率就是电机的转速，电机转速调整到 40～50Hz。

点击鼠标左键，将光标条移至波峰位置，显示出电机转速值。根据电机转速值，可以作为随后设置激振器频率的依据。

4.5 调节电机的转速

缓慢顺时针旋转调速变压器旋钮到 75V 档位后，略回转少许，约在 70V 的位置，对应的电机转速约为 40～45 转/秒。

4.6 设置信号发生器

选择“**正弦定频**”：逐步手动调节信号发生器的输出频率，当激振频率接近电机转速时，出现拍振现象。

设置激振器频率步骤：

- 将信号发生器的信号类型设置为“正弦定频”。
- 按“设置”按钮，然后将频率设置成接近电机转速的某个值。按“确

认”按钮。

- 按“开始”按钮开始激振，同时将激振能量增加到 800～900mV。
- 手动微调激振频率，观察激振现象。

4.7 记录数据结果

- 拍振现象调整到比较明显状态后，点击“采集”，并记录电机转速和激振频率；
- 采集一定的拍振周期后结束，鼠标点击“停止”；
- 关闭电机转速调节器旋钮；
- 按信号发生器“停止”按钮，激振器停止；
- 进入“分析”，对采集的图形进行存储输出。

五、实验结果与分析

5.1　实验数据

表 3-1

	分振动 x_1	分振动 x_2
频率	f_1=(　　)Hz	f_2=(　　)Hz
幅值	A_1=(　　) g	A_2=(　　) g

5.2　绘出分析仪上观察到的拍振波形。

5.3　根据表 3-1 数据计算 $A_{\max}$、$A_{\min}$、$f_{合}$、$f_{拍}$、$T_{拍}$。

5.4　对结构来讲，拍是不利的现象，如果拍的最大振幅大于允许值，则必须消除或减弱拍的现象。你用什么方法来改变拍的现象呢？

5.5 当两个激振频率相差越来越小时会有什么情况发生？

5.6　实验操作过程中有哪些比较关键的注意事项？

实验二、（1） 被动隔振（消极隔振）实验

一、实验目的

1、 建立被动隔振的概念。

2、 掌握被动隔振的基本方法。

3、 学会测量、计算被动隔振系数和隔振效率。

二、实验装置框图

本实验用在电动式激振器激励下振动的简支梁模拟地基，用质量块 m 模拟被隔振的仪器设备，实验装置与测试仪器框图如图 4-1 所示。

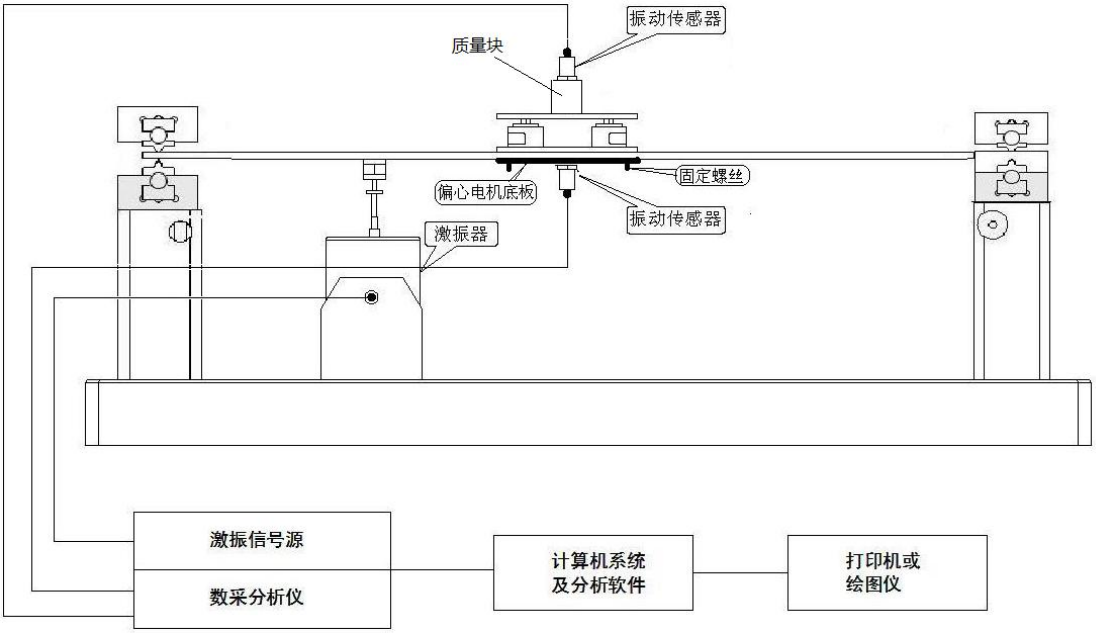


图 4-1 实验装置框图

三、实验原理

防止地基的振动通过支座传至需保护的精密仪器或仪器仪表，以减少运动的传递，称为被动隔振，也称为消极隔振。被动隔振振动传递率等于底座传递到物体的振动与底座的振动之比，可用位移、振动速度或振动加速度的比值表示。

隔振效率：$\varepsilon = (1-T)\times 100\%$ (4-1)

振动传递率 T：$T=\frac{X_1}{X_2}=\frac{A_1}{A_2}=\frac{\sqrt{k^2+(c\omega)^2}}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2+(c\omega)^2}}=\frac{\sqrt{1+(2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}}$ (4-2)

式中：ζ——阻尼比；

$r=\frac{\omega}{\omega_0}=\frac{\omega}{\omega_n}$——激振频率和固有频率的频率比；

X_1 和 X_2——质量块 m 和底座的振动位移；

A_1 和 A_2——质量块 m 和底座的振动加速度。

四、实验步骤

4.1 隔振器安装

把小的空气阻尼器和质量块组成的弹簧质量系统用偏心电机底板和螺丝固定在梁中部。在阻尼器上方的质量块上安装加速度传感器 1，在偏心电机底板表面上安装加速度传感器 2。

4.2 安装激振器

将激振器固定在实验台基座上，并在简支梁上安装力传感器，通过螺杆将激振器与力传感器相连，并用螺母固紧，用专用连接线连接激振器和 DH1301 扫频信号源功率输出接口。

4.3 连接仪器和传感器

把加速度传感器 1 输出信号接到数据采集分析仪的测试 1 通道；

把加速度传感器 2 输出信号接到数据采集分析仪的测试 2 通道。

4.4 仪器参数设置

打开采集仪器的电源开关，开机进入 DHDAS 数据采集分析软件的主界面，设置采样频率 500Hz、分析点数 128，量程范围，输入加速度传感器、速度传感器的灵敏度。

4.5 打开三个窗口，分别显示二个通道的时间波形信号、二通道频谱信号和频响函数。

4.6 采集并显示数据

调节扫频信号源的输出频率，使隔振器产生共振。在各窗口中分别读取当

前振动的最大值、频率值 f_0 、振幅以及第一通道的峰值 A_1 和第二通道的峰值 A_2 。

4.7　根据所测幅值计算传动比和隔振效果

隔振传递率：　$T=\dfrac{A_1}{A_2}$

隔振效率：$\varepsilon=(1-T)\times 100\%$

4.8　调节扫频信号源，设定起始频率 1，结束频率 200，扫频速度 1。设置 DHDAS 软件平均方式为峰值保持，启动扫频信号源，同时开始采集，直到扫频结束，可得到频响函数曲线如图 4-2 所示，将实验所得图形与图 4-2 相比较，并由图确定隔振器固有频率。

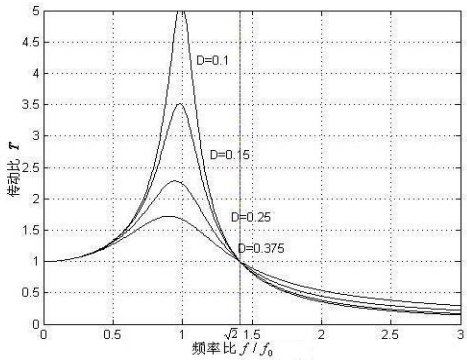


图 4-2 频响函数曲线

提示：

1、设置 1000mV 的线性扫频电压，扫频范围：0-200Hz；

2、记录二个加速度传感器的加速度变化及传递率曲线；

3、分析阻尼器起阻尼作用的区间；

4、改变激振能量到 1500mv，记录阻尼的影响；

五、实验结果与分析

5.1 空气阻尼器隔振器被动隔振测试结果与分析。

5.2 实验操作要点及思考。

5.3 请给出一个你生活中见到的被动隔振的实例。

（2） 动力吸振器吸振实验

一、实验目的

1、了解动力吸振器的结构，掌握其安装、调整方法。

2、调整动力吸振器的固有频率，比较吸振效果，验证动力吸振器的理论。

3、吸振器的特点及适用场合。

二、实验装置框图

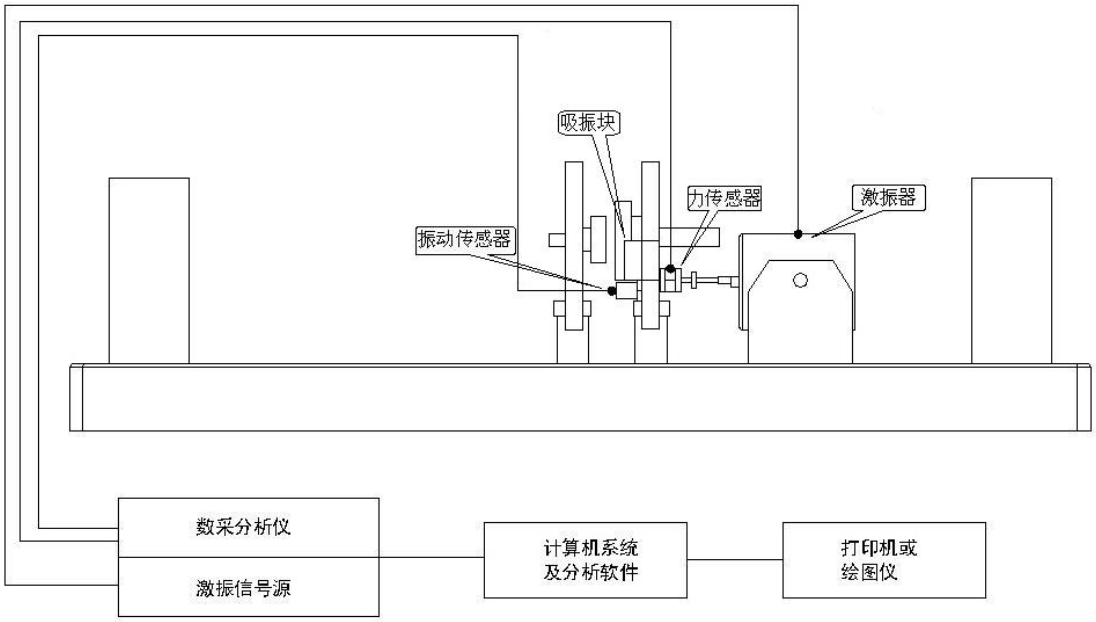


图 5-1实验装置框图

三、实验原理

动力减振是在振动主系统上附加特殊的子系统，将主系统的振动能量转移到附加的减振器系统上，转移或消耗主系统的振动能量，从而抑制主系统的振动，实现减少主系统振动的目的。当减振器的固有频率与激振力的频率相等时，就可以减弱甚至消除主系统的振动。这就是“反共振”现象。

如图 5-1 所示为一单自由度系统，其中主振动系统的质量为 m_1，k_1 为其刚度。其激励力频率为ω，水平方向的振动位移为 $x_1(t)$ 。此系统的固有频率为 $\omega_1=\sqrt{k_1/m_1}$ 。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。为了减少振动，可采用消除振源的办法，或改变系统的 m_1 和 k_1，从而调整其固

有频率，避开激励力的频率 ω。

本实验中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”子振动系统，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 和 k_2，可将主振动系统的振动转移到子振动系统，从而使主振动系统 m_1 的振幅减弱甚至降为零。附加系统的固有频率为 $\omega_a=\sqrt{k_2/m_2}$。该两自由度系统的运动方程为：

$$m_1\ddot{x}_1+k_1x_1+k_2(x_1-x_2)=F_0\sin\omega t \tag{5-1}$$

$$m_2\ddot{x}_2+k_2(x_2-x_1)=0 \tag{5-2}$$

方程的稳态解为

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} X_1\sin\omega t \\ X_2\sin\omega t \end{Bmatrix} \tag{5-3}$$

式中

$$X_1=\frac{(k_2-m_2\omega^2)F_0}{(k_1+k_2-m_1\omega^2)(k_2-m_2\omega^2)-k_2^2}$$

$$X_2=\frac{k_2F_0}{(k_1+k_2-m_1\omega^2)(k_2-m_2\omega^2)-k_2^2}$$

上述 X_1、X_2 均为实数。由上式可见，当 $\omega_a=\omega$ 时，有：

$$X_1=0\text{，}\quad X_2=-\frac{F_0}{k_2}$$

相应有：

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ -\dfrac{F_0}{k_2}\sin\omega t \end{Bmatrix} \tag{5-4}$$

此时主系统静止不动，而吸振器以 $x_2(t)=-\dfrac{F_0}{k_2}\sin\omega t$ 规律运动，事实上，此时减振器对主系统的作用力为 $k_2X_2=-F_0\sin\omega t$，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，只要该减振器

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。

四、实验操作步骤及方法

4.1 安装激振器

把激振器安装在支架上，将激振器和支架固定在实验台基座上，并保证激振器顶杆对单自由度系统有一定的预压力，用专用连接线连接激振器和DH1301扫频信号源功率输出接口。

4.2 连接仪器和传感器

把加速度传感器安装到单自由度系统中部的测量平面上，输出信号接到数据采集分析仪的振动测试通道；吸振块安装在弹片上，并固定。

4.3 仪器参数设置

打开采集仪器的电源开关，开机进入DHDAS数据采集分析软件的主界面，在“设置”/“模拟通道”设置采样率、量程范围，输入加速度传感器的灵敏度。“记录仪”窗口显示振动信号的时间波形，“FFT”窗口显示振动信号的频谱。

4.4 采集并显示数据

调节扫频信号源的输出频率，使单自由度系统产生较大的振动。在窗口中分别读取当前振动的幅值、频率值。

4.5 安装吸振块

将弹片固定在单自由度系统上，调节吸振器上的调节螺母，转动质量块，观察波形，使其幅值达到最小时，停止调节，记录其幅值及频率。

实验方法提示：

1）调节信号发生器激振频率，并将激振电压调整为200～220mV之间。 测量无减振块情况下，单自由度系统振幅达到最大时的激振频率和加速度幅值（**提示：**可用**正弦定频方式**调整激振频率，观察信号处理软件记录仪窗口，最大值约在28-35Hz之间）。

2）在不改变激振电压和激振频率的情况下，将减振块固定在支架上的某个位置，调节减振块位置，观察记录仪窗口波形，当加速度值最小时，记

录加速度幅值。

五、实验结果与分析

5.1 实验结果

表 5-1

	调节前	调节后
频率	f_1=(　　)Hz	f_2=(　　)Hz
幅值	A_1=(　　) g	A_2=(　　) g

5.2 动力吸振器有什么局限性，有什么解决方案吗？

5.3 请谈谈你对独立完成动力吸振实验的体会和实验操作心得。

（3） 转轴的临界转速测量

一、实验目的

1、理解转子在不平衡质量激励下瞬态过程中的动态特性。

2、深刻理解转子临界转速的概念，以及转子在临界转速的动力特征。

3、掌握波特图、极坐标图、三维谱图、阶次谱等分析手段在旋转机械故障诊断中的应用。

二、实验原理

转子不平衡激励下的动态响应公式：

$$|a| = \frac{me\omega^2}{m\sqrt{(\omega_n^2-\omega^2)^2+(2\zeta\omega\omega_n)^2}} = \frac{er^2}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \tag{6-1}$$

$$\varphi = \arctan\frac{2\zeta r}{1-r^2} \tag{6-2}$$

式中，$r=\dfrac{\omega}{\omega_n}$——激励频率与固有频率之比。

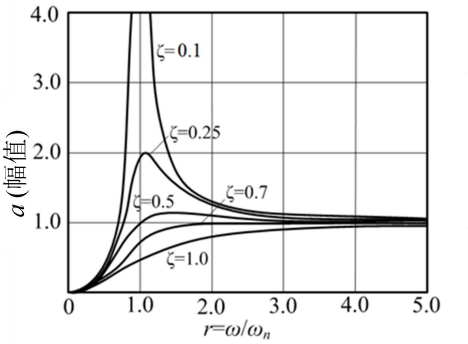


图 6-1 转子在不平衡激励下的幅频特性

图 6-1 显示在不同阻尼比下，转子在不平衡质量激励下的动态响应。由于阻尼的存在，转子的不平衡响应在$\omega=\omega_n$不是无穷大而是有限值，而且不是最大值，最大值发生在ω_n附近。对于实际的转子系统，往往用测量响应的办法来确定转子的临界转速。因为在转子升速或降速过程中测响应得最大值比较容易，常常把出现峰值的转速作为临界转速，测量得到的临界转速在升速时略大于前面定义的临界转速ω_n，而在降速时则略小于ω_n。

由于阻尼的存在，响应和激励的相位差不再是 0 或者π，说明圆盘中心（即

圆盘与转轴的结合点)、质心和固定点（转轴两端轴承中心连线与圆盘的交点）不在同一直线上，但是当转速远大于临界转速时，相位差接近π，质心趋近于固定点，圆盘中心偏离固定点的值趋近于偏心距，称为“自动对心”效应。

三、实验步骤

1、转子台及涡流传感器的安装

按照说明书第一章的说明，将传感器、转子台控制器、信号采集仪、计算机连接成完整的测试系统如图 6-2 所示。

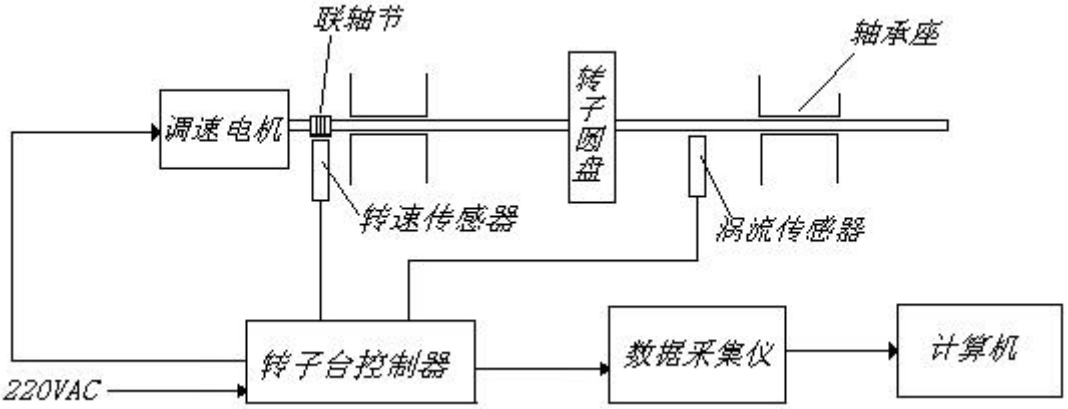


图 6-2　测试系统组成图

2、控制器设置

按照说明书第二章的说明，设置好转子台控制器，主要是设置转子台的最高转速，使设置的最高转速高于临界转速，转子台临界转速在 3000RPM 附近。

3、软件准备工作

接通信号采集仪器电源，并打开电源开关，连接仪器，参考实验一设置模拟通道参数和转速通道参数，对通道进行平衡、清零操作；

单击“测量”下“信号处理”界面内的“阶次分析”按钮，进入“阶次分析”设置界面，选择电涡流信号通道为输入通道，参数设置可参考图 6-3：

图 6-3 阶次分析参数设置参考

4、实验

4.1 点击“测量”窗口下“图形区设计”，选择“2D 图谱”，建立 2 个“2D 图谱”窗口，分别选择为相应电涡流通道的 Bode（幅频曲线）、Bode（相频曲线），在 Bode 图中，通过参数设置中“图谱类型”，可选择波特图的显示种类；选择“记录仪”，建立 1 个“记录仪”窗口，选择电涡流传感器采集到的信号的时域波形；

4.2 接通转子台调速器电源，打开调速器开关，调节调速旋钮，使转子台转动起来，并逐渐升速。观察原始振动信号、幅频曲线、相频曲线随转速上升的变化。

注意：在临界转速附近，一定要调节转子台控制器调速旋钮，使转子快速通过临界转速，禁止使转子台在临界转速附近长期停留，以免振动过大，损坏转子试验台。

4.3 升速过程完成后，停止采样，点击“光标类型”下“单光标”，找出幅频图中的共振峰值，该峰值对应的转速即为临界转速。如图 6-4 所示：

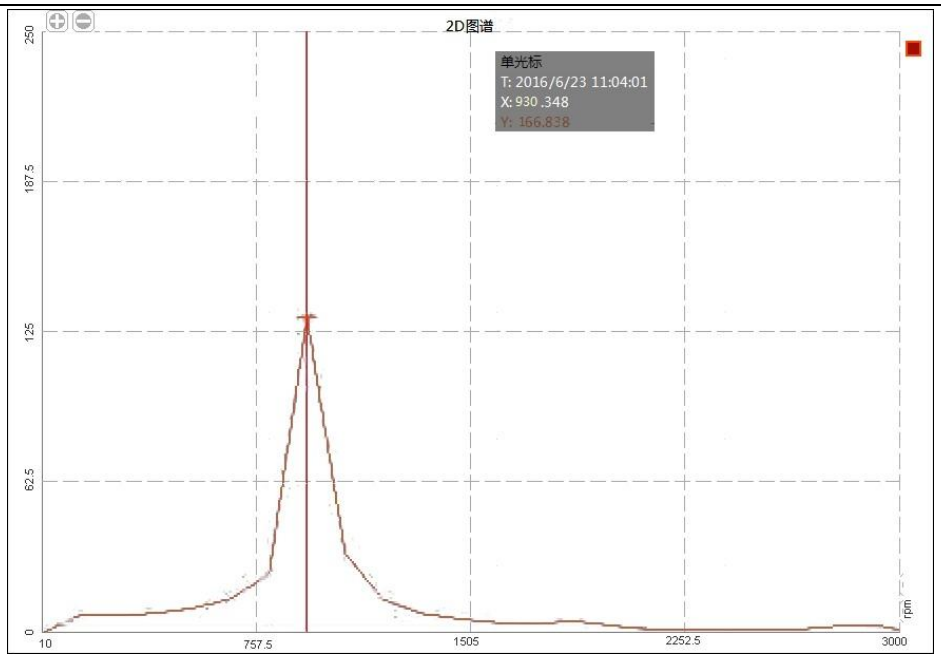


图 6-4 临界转速值

4.4 对保存的数据，进行三维谱图，极坐标图等分析，尝试用别的分析方法找出固有频率。

四、完成实验

实验完成后，先停止采样，关闭软件后，停止转子台工作状态，再关掉仪器电源等，将实验台收拾干净后离开。

实验三、（1） 三自由度系统各阶固有频率及主振型的测量

一、实验目的

1、学会用共振法确定三自由度系统的各阶固有频率。

2、观察三自由度系统的各阶振型。

3、将实验所测得的各阶固有频率、振型与理论计算值比较。

二、实验装置框图

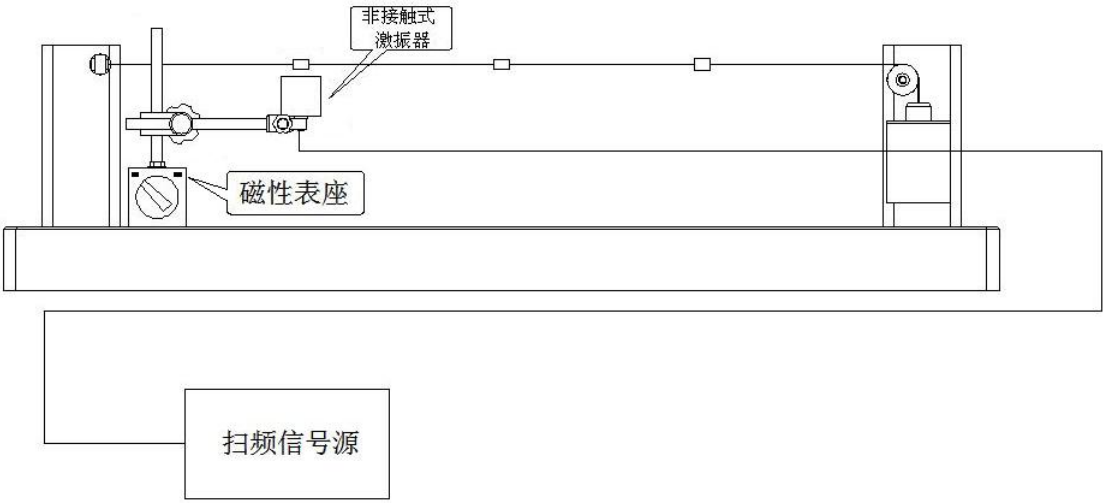


图 7-1 实验装置框图

三、实验原理

把三个钢质量块m_A、m_B、m_C（集中质量$m_A = m_B = m_c = m$）固定在钢丝绳上，钢丝绳张力T用不同重量的重锤来调节。在平面横振动的条件下，忽略钢丝绳的质量，将一无限自由度系统简化为三自由度系统。由多自由度系统振动理论可知，三个集中质量的运动可用下面的方程来描述：

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}\mathbf{X} = \mathbf{0} \quad (7\text{-}1)$$

式中，质量矩阵$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}$

刚度矩阵 $\mathbf{K}=\dfrac{T}{L}\begin{bmatrix}8 & -4 & 0\\ -4 & 8 & -4\\ 0 & -4 & 8\end{bmatrix}$

位移矩阵 $\mathbf{X}=\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$

系统的各阶固有频率为：

$$\text{一阶固有频率}\ \omega_1^2=2.343\frac{T}{mL}\ f_1=\frac{1.531}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}} \tag{7-2}$$

$$\text{二阶固有频率}\ \omega_2^2=8\frac{T}{mL}\ f_2=\frac{2.828}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}} \tag{7-3}$$

$$\text{三阶固有频率}\ \omega_3^2=13.656\frac{T}{mL}\ f_3=\frac{3.695}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}} \tag{7-4}$$

式中：弦上集中质量 m=0.0045 kg

弦丝张力 T，N (吊挂质量近似按 1kg 计，即 T=1kgf=9.8N)

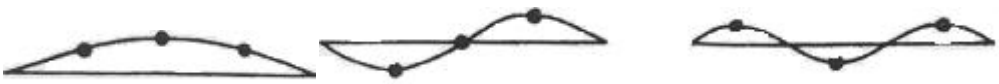
弦丝长度 L=0.625，m

固有频率 f，Hz

进一步可计算出各阶主振型 A_i （i=1,2,3）：

$$A_1=\begin{bmatrix}1\\ \sqrt{2}\\ 1\end{bmatrix},\quad A_2=\begin{bmatrix}1\\ 0\\ -1\end{bmatrix},\quad A_3=\begin{bmatrix}1\\ -\sqrt{2}\\ 1\end{bmatrix} \tag{7-5}$$

各阶主振型如图 7-2 所示。



一阶主振型二阶主振型三阶主振型

图 7-2 三自由度系统的主振型

对于三自由度系统，有三个固有频率，系统在任意初始条件下的响应是三个主振型的迭加。当激振频率等于某一阶固有频率时，系统的振动突出为主振动，系统的振型由该阶主振型决定，其它阶的主振型可忽略不计。主振型与固

有频率一样只取决于系统本身的物理性质，而与初始条件无关。测定系统的固有频率时，只要连续调整激振频率，使系统出现某阶振型且振幅达到最大，此时的激振频率即是该阶固有频率。

四、实验方法

4.1　激振器安装

把非接触激振器安装在磁性表座上，将激振器和磁性表座固定在实验台基座上，并保证非接触激振器与钢丝质量块距离在 10mm 左右（如图 7-1 所示），使振动时激振器不碰撞质量块。用专用连接线连接非接触激振器和 DH1301 输出接口。

4.2　开启 DH1301 的电源开关，调节 DH1301 扫频信号源的激振电压 900-1000mV, 输出频率调整到比理论计算值低 2-3Hz，激振频率由低到高逐渐增加，当观察到系统出现如图 7-2 所示的第一阶振型且振幅最大时，激振信号源显示的频率就是系统的一阶固有频率 f_1。依此下去，可得到如图 7-2 所示的第二、三阶振型和二、三阶固有频率 f_2、f_3。**由于第三阶振型难以观察到，因此本实验中，三阶固有频率就不测量了。**

五、实验结果与分析

5.1 不同张力下各阶固有频率的理论计算值与实测值。

表 7-1

弦 丝 张 力	T=1×9.8　　(N)		
固 有 频 率	f_1	f_2	f_3
理　论　值	(　　)Hz	(　　)Hz	(　　)Hz
实　测　值	(　　)Hz	(　　)Hz	/

5.2 将理论计算出的各阶固有频率、理论振型与实测固有频率、实测振型相比较，是否一致?产生误差的原因在哪里?

5.3 为什么三阶振型比较难测得？是什么原因造成的？如何改善实验效果？

（2） 锤击法简单边界梁模态测试

一、实验目的

1、熟悉模态分析原理和测试方法。

2、学习简单边界梁模态测试数据的分析处理方法。

二、实验仪器安装示意图

试验装置如图 8-1 所示。通过调整夹具，简单边界梁可以安装为悬臂梁或简支梁。其中悬臂梁如图 8-1 所示。

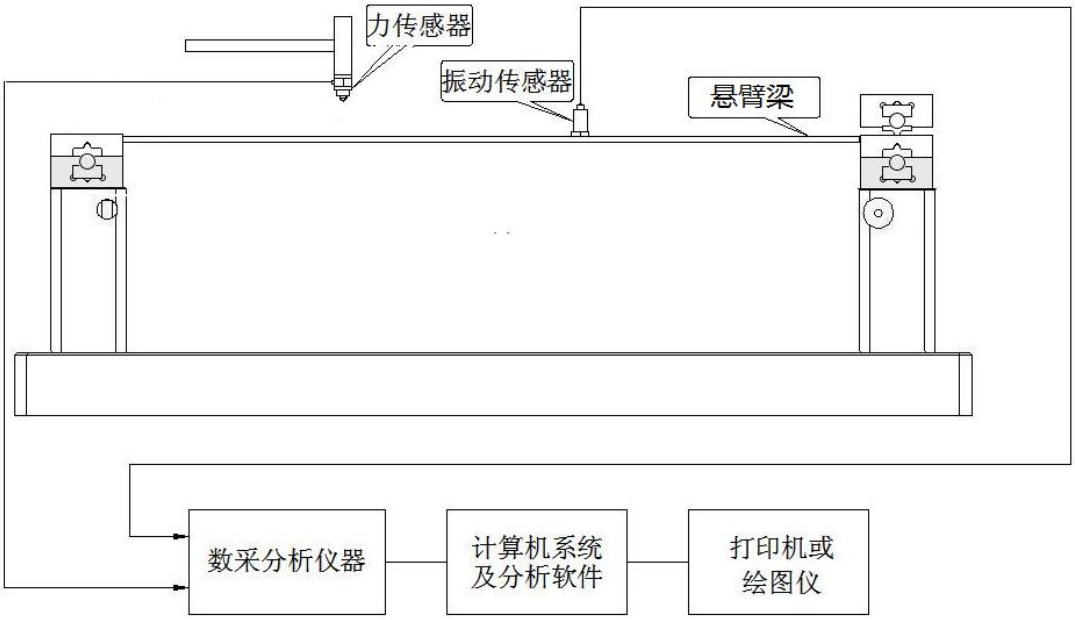


图 7-1 实验装置框图（以悬臂梁安装方式为例）

三、实验原理

本实验采用单点激励，多点拾振的方法进行测试分析。实验装置如图 8-1 所示。将简支梁均分为 4 等分，梁上的 3 个均分点作为测点。加速度传感器在这 3 个测点移动，锤击点始终在第 3 测点位置。

四、实验步骤

1）进入**参数设置**页面，设置 1 通道-加速度传感器参数，设置 2 通道-力传感器参数

2）进入**存储规则**页面，测试数据名：<u>第一批</u>

3）进入**信号处理**页面： 选择 **频响分析**

设置 **触发**采集，触发通道 2（力通道）， 触发量级 10%，

负延时 300 点数 （预采集一段空数据，然后采集锤击信号）

分辨率：0.488Hz， 平均次数： 4 次， 选择：手动确认滤除；

输入：

2 通道（锤击力）， 测点号：3 方向： +Z

输出：

1 通道（加速度）， 测点号：1，（2，3 依次对应每次锤击），方向：+Z

4）进入**测量**页面：添加 4 个 2D 图谱，平铺

将 4 个 2D 图谱依次对应右侧的**频响组**里的前 4 个选项。

第一个窗口：加速度

第二个窗口：力

第三个窗口：频响函数

第四个窗口：相干性

点击 Fs 设置采样频率：2k， 采集前进行平衡清零，

采集： 加速度传感器在 1 号测点位置，锤击 3 号测点，取 4 次有效数据，停止。

5）将加速度传感器移动到 2 号测点

修改存储规则，测试数据名： 第二批，

再进入**信号处理**，修改输出通道测点号 2，然后进入测量页面，重新“采集”4 次锤击信号。停止。

6）将加速度传感器移动到 3 号测点

按步骤 5)，修改数据名：第三批，

再进入**信号处理**，修改输出通道测点号 3，然后进入测量页面，重新“采集”4 次锤击信号。停止。

7）切换到**模态**界面

建立模型，选择矩形，长度 4 等分，宽度 1 等分，确定显示测点和节点号。

点击矩形模型，在右边**设置节点与测点的对应。保存。**

8）进入模态\数据界面

选择：√测力法和√单点激励；

添加：三批数据； 保存。

9）进入参数识别界面，选择二根垂线光标和一根水平光标，将三个峰值曲线框在其中。然后点击： 稳态图计算，鼠标点选带有 s 标记的峰值，取：振幅值归一化 选项， 点击保存。

10）进入“模态\振型”界面

动画显示 1 阶和 2 阶振型。选择模态动画显示的合适时机点击窗口停止按钮，将静态图保存。

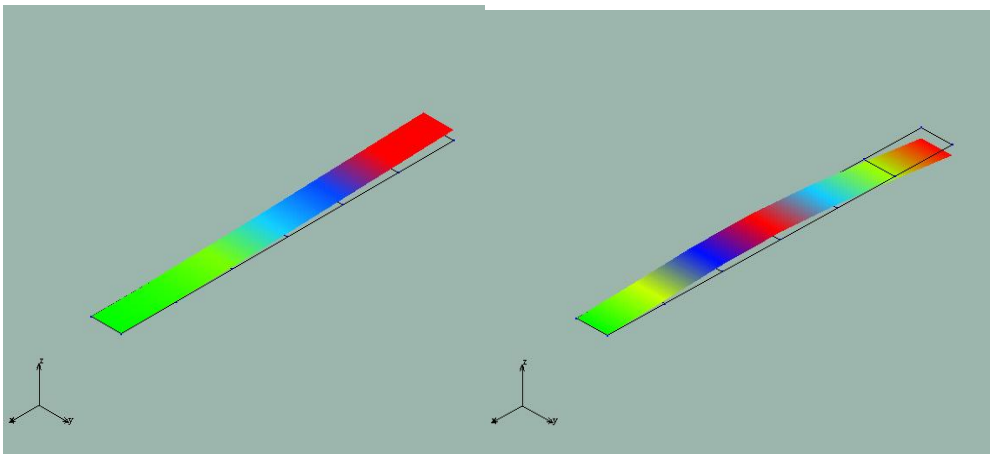
五、实验结果与分析

1、记录模态参数

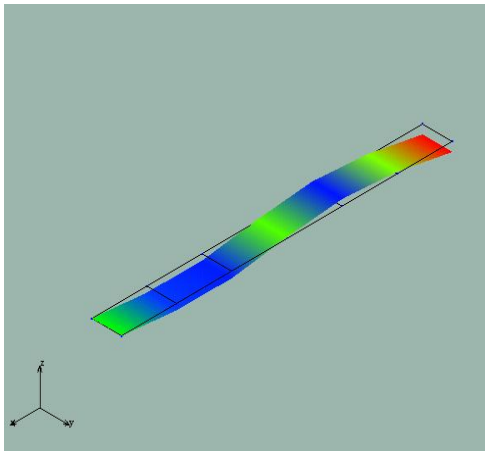
表 8-1

模态参数	第一阶	第二阶	第三阶
频率	(　　)Hz	(　　)Hz	(　　)Hz
阻尼			

2、打印出各阶模态振型图 （如图 8-2 所示）



a）　　b）



c）

图 8-2　前三阶振型图（以悬臂梁为例）

3、本实验中，第三阶模态较难获取，有什么方法能让我们在现有条件下获取更多模态信息？

4、请对比“三自由度系统各阶固有频率及主振型的测量”的结果，谈一下你的理解。

5、实验操作心得及实验结果分析与思考。

实验四、（1） 随机激励法简支梁模态测试（自主实验）

在完成了上述八组实验后，同学们已经了解测试系统组成、掌握实验步骤，并能够独立分析实验数据，获得准确可靠的实验结果。为了提高同学们的实验能力，在此基础之上开设本实验，供大家选修。同学们可以参考实验指导书，提前预习，自主完成本实验，实验课老师将现场提供辅助指导和答疑解惑。

一、实验目的

1、学习随机激励法实验模态分析原理。

1、学习随机激励法模态测试及分析方法。

二、实验仪器安装示意图

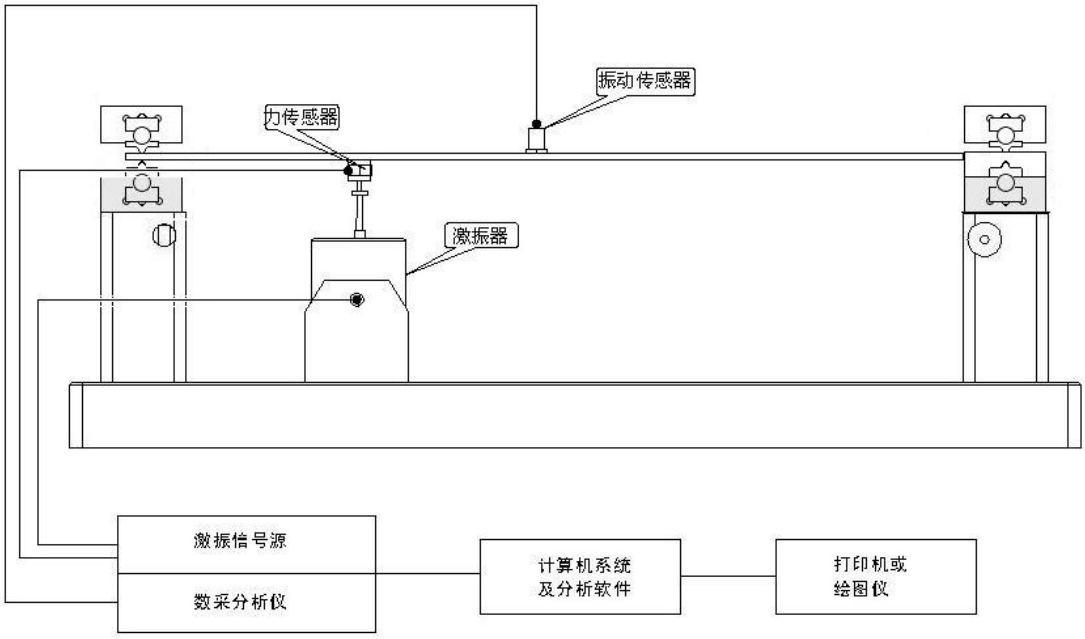


图 9-1 实验装置框图

三、实验原理

本实验对简支梁进行实验模态分析采用的模态分析方法为测力法模块，与锤击法简支梁模态测试基本一致，区别如下：

3.1 锤击法简支梁模态测试方法中，在测试输入、输出信号（激励、响应信号）的频响关系（频响函数）时，激励力由力锤提供（压电式力传感器接收信号）；而随机激励法简支梁模态实验中，激励信号为 DH1301 控制激振器产生

的随机激励信号（同为压电式力传感器接收信号）。

3.2　锤击法简支梁模态测试可以选用单点拾振法(只改变激励点),也可以选用单点激励法(只改变响应测点)；而随机激励法简支梁模态实验由于移动激励点比较困难，工作量大，所以一般情况下多采用单点激励法。

总的来说，随机激励法简支梁模态测试方法和锤击法简支梁模态测试方法在原理上是基本相同的，不同之处在于锤击法激励的频宽（频率范围）较小，激励出来的模态数量有限，取决于锤头所用材料，而随机激励的频宽由信号发生器产生的随机信号决定，可以很宽，理论上可以到无穷大（白噪声），但因为激励能量分散在整个频段上，在单个频率上的激励能量相对较小。

四、实验步骤

4.1　测点的确定

此梁在 y、z 方向尺寸和 x 方向（尺寸）相差较大，可以简化为杆件，所以只需在 x 方向顺序布置若干测点即可，测点的数目视要得到的模态的阶数而定，测点数目要多于所要测量振型的阶数，得出的高阶振型结果才真实可靠。同时注意要把激振位置作为简支梁模态测试中的一个测点（测得原点频响）。此例中在 x 方向把梁分成十六等份，布置十五个测点（梁的两个端点不作为测点）。

4.2　连接仪器

固定好 DH40020 型接触式激振器，并与 DH1301 连接好。力传感器信号接入数据采集分析仪的第一通道，压电式加速度传感器信号接入第二通道。

4.3　数据采集及参数设置

打开仪器电源，启动 DHDAS 控制分析软件，菜单选择频响布局功能。

在新建的六个窗口内，分别显示 1-1 通道的示波、1-2 通道的示波、1-1 通道的触发数据、1-2 通道的触发数据、频响函数数据和相干函数，平衡清零之后，等待采样。打开 DH1301 扫频信号发生器，调节类型为“随机”(具体的 DH1301 的面板操作方法请用户参考 DH1301 硬件使用说明书)，按“确定”，然后按下“开始”，即可开始输出随机信号。点击 DHDAS 软件中的存储按钮，开始采样。注意观察频响函数的变化。

系统参数设置：

——采样频率：1kHz

——储存方式：连续

——平均方式：线性平均

——平均次数：建议较高，一般要求 100 次以上。

——时域点数：视用户所选取的采样频率而灵活调整，一般情况下，保证频率分辨率的值小于 1.25 即可。如选取 1KHz 的采样频率，建议选取 1024 或 2048

通道参数设置：

——工程单位和灵敏度：参考实验八。

——量程范围：根据用户所设置的随机信号的输出电压而灵活调整。

——模态参数：编写测点号和方向。如果测量 1 号点的频响函数数据，在 1-1 通道（随机信号）的模态信息/节点栏内输入激振器的测点号(激振器的测点号固定)，测量方向输入+Z，响应通道（加速度传感器信号）的模态信息/节点栏内输入 1，方向为+Z；如果测量 2 号点的频响函数数据，在 1-1 通道（随机信号）的模态信息/节点栏内输入激振器的测点号，测量方向输入+Z；响应通道（加速度传感器信号）的模态信息/节点栏内输入 2，方向为+Z；如果测量其它点的频响函数数据，依此类推。

注意：

——移动加速度传感器测量响应信号时，当加速度传感器移动到其它测点进行测量时，就必须相应的修改加速度传感器通道的模态信息/节点栏内的测点编号。每次移动加速度传感器后都要新建文件。

——测试时观察有无波形，如果有一个或两个通道无波形或波形不正常，就要检查仪器是否连接正确、导线是否接通、传感器、仪器的工作是否正常等等，直至波形正确为止。根据 DH1301 输出电压的大小灵活调节量程范围，在正式测试之前可进行预采样大致观察一下信号的大小，直到力的波形和响应的波形既不过载也不过小。

4.4　数据预处理

——调节采样数据

采样完成后，对采样数据重新检查，更改错误设置，回放重新计算频响函数数据。

4.5　模态分析

——几何建模：自动创建矩形模型，输入模型的长宽参数以及分段数；打开节点坐标栏，编写测点号；

——导入频响函数数据：从上述实验得到数据文件内，将每个测点的频响函数数据读入模态软件，注意选择测量类型：单点激励法；

——参数识别：首先光标选择一个频段的数据，点击参数识别按钮，搜索峰值，计算频率阻尼及留数（振型）。

4.6　振型编辑

4.7　动画显示

五、实验结果和分析

5.1　记录模态参数

表 9-1

模态参数	第一阶	第二阶	第三阶	第四阶	第五阶
频率	(　　)Hz	(　　)Hz	(　　)Hz	(　　)Hz	(　　)Hz
阻尼					

5.2　打印出各阶模态振型图

（2）影响系数法进行单面转子动平衡（探索性实验）

各类重要机械装备的发展趋势是在高温、高压、高速等极端环境中工作，机械振动测试方法也会随着发展趋势而不断改进。为了激发同学们从实践中学习的兴趣，提高从事探索性研究的能力，开设本实验。

本实验为开放性实验，不限定实验参数和条件，同学们可以参考实验指导书，提前预习，考虑实验方案，自主完成本实验。希望同学能在实验中分析影响实验结果的参数和因素，从实验中总结出内在特性和特征。实验课老师将提供现场辅助指导和答疑解惑。

一、实验目的

1、理解影响系数法的含义。

2、了解单面转子动平衡的实现方法和操作步骤。

3、学会用影响系数法来进行单面转子动平衡的实验。

二、实验原理

影响系数法是转子动平衡的主要方法之一。其基本思想是：转子与转轴组成的振动系统是一个线性系统，因此轴承处的振动响应是各平衡面的不平衡量独自引起的振动响应的线性叠加。而各平衡面上单位不平衡量在各轴承处引起的振动响应称为影响系数。在现场动平衡的做法就是通过确定各个影响系数来求出应该在平衡面上加（减）的平衡校正量。

不论是单面动平衡还是双面动平衡的计算，首先都要选择试加重量，试加重量是否合适，不但关系到转子平衡工作的顺利与否，而且还关系到转子平衡效果。通常，当转子在机器本体上进行平衡时，每一个加重平衡面上的试加重量由下式求得：

$$P = A_0 \frac{Gg}{r\omega^{2S}} \tag{10-1}$$

式中：P——转子某一侧端面上的试加重量；

A_0——转子某一侧轴承的原始振幅；

r——加重半径；

ω——平衡时转子角速度；

G——转子质量；

g——重力加速度；

S——灵敏度系数。

用影响系数法进行单平面平衡适用于转子较短、转盘又较薄的平盘类转子，因此在一个平面加重或去重就基本可以消除不平衡力。

具体步骤为：

（1）转子不加重，第一次启动至额定的转速或选定的转速（如 1000RPM），测取平衡转子的轴承原始振幅和相位，以矢量 A_0 表示。

（2）以上面的公式求取试加重量，并加到转子上。

（3）第二次启动到与第一次相同的转速时，测取轴承振动的幅值和相位，以矢量 A_{01} 表示。

（4）转子上应加平衡重量由下式求得：

$$Q = \frac{A_0}{A_{01} - A_0} P \tag{10-2}$$

式中：A_{01}-A_0 表示转子上加了试加重量 P 所产生的振动矢量，一般称为加重效应。

令 $A_1=A_{01}-A_0$，则上面的公式可改写为

$$Q = \frac{PA_0}{A_1} \tag{10-3}$$

式中：P/A_1 的倒数称为影响系数，一般用 α 表示，它是矢量，表示在转子上加单位（kg）重量、加在零度方向、半径为 1m 处或固定半径处，在某一个振动测点上所呈现的振动矢量。它表示了某一台机组在指定的轴承上、在一定的转速下、使用一台固定的测振仪器，测量获得的轴承振幅、相位与转子上加重大小、方向之间的一个关系常数，利用这个关系常数，可以列出转子平衡方程式，即 $\alpha Q+A_0=0$，式中 α、A_0 均为已知，求解该方程式即可求得转子上应加平衡重量 Q，这种平衡方法称为影响系数法。

三、实验步骤

1、转子台及涡流传感器的安装

按照说明书第一章的说明，将传感器、转子台控制器、信号采集仪、计算机联接成完整的测试系统如图 10-1 所示。

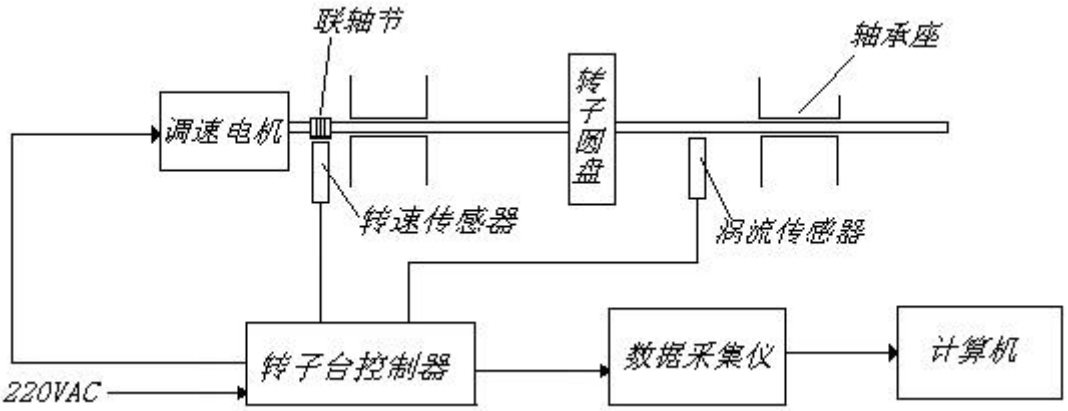


图 10-1　测试系统组成图

2、控制器设置

调节设置转子台控制器，设置转子台的最高转速，可将最高转速作为做动平衡的转速。

3、软件准备工作

接通信号采集仪器电源，并打开电源开关，连接仪器，参考实验六设置模拟通道参数和转速通道参数，对通道进行平衡、清零操作；

单击图形区设计下的“动平衡”按钮，新建动平衡视图，点击左上角“测量”按钮进入参数设置，根据现场实验情况设置实验面数、转子质量、安装半径、平衡精度等参数，选择参考转速通道和振动通道，参考图 10-2，设置完毕后点击“开始”按钮进行现场动平衡；

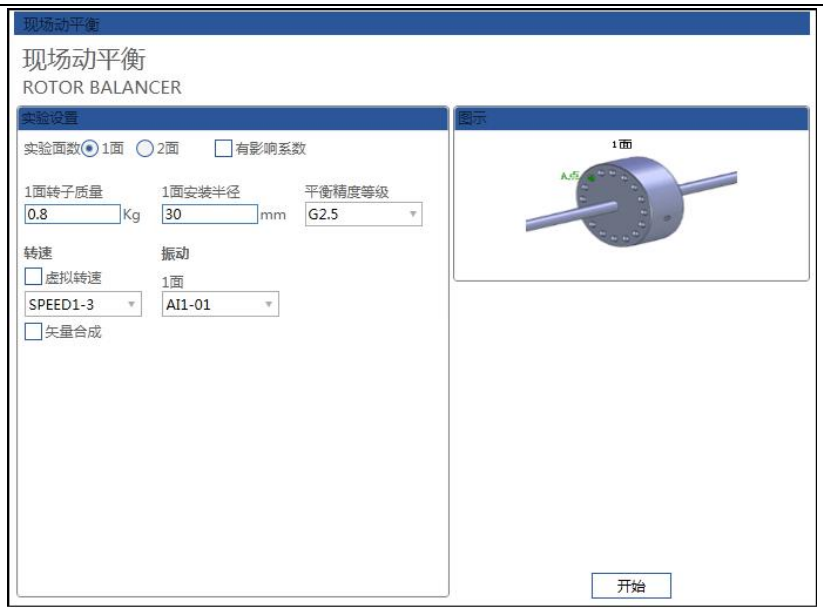


图 10-2 动平衡主界面

四、实验步骤

接通转子台调速器电源，打开调速器开关，调节调速旋钮，使转子台转动起来，并稳定在某一固定转速。

点击“开始”后首先进入“初始振动测量”的界面，点击右上方的“测量”按钮，下方将以数字的形式显示转子设备的转速值、初始振动幅值和相位，同时能够显示对应的冲采样波形和阶次图，采集完成后点击“停止”按钮，完成采集，如图 10-3；

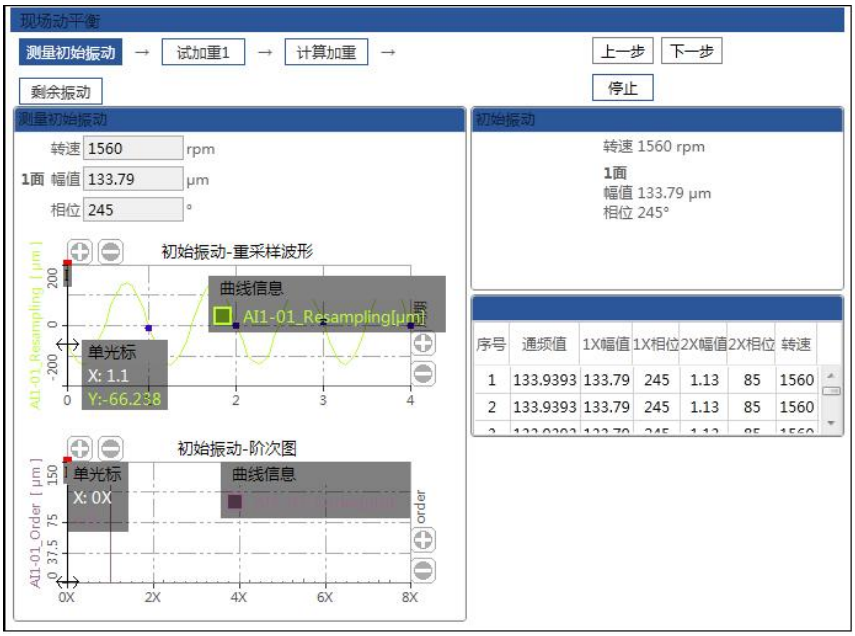


图 10-3 测量初始振动

在未知影响系数的情况下，点击“下一步”按钮将进入“试加重”界面，输入所加试重质量和位置，选择去除和保留试重，点击“测量”按钮，采集加上试重后的振动幅值和相位，采集完成后点击“停止”按钮，完成采集，点击“下一步”按钮进入“计算加重”的界面，影响系数将根据试加重自动计算，并显示在“计算加重”界面内（对于多面动平衡，需要进行多次试加重过程，其操作步骤不变），如图 10-4；

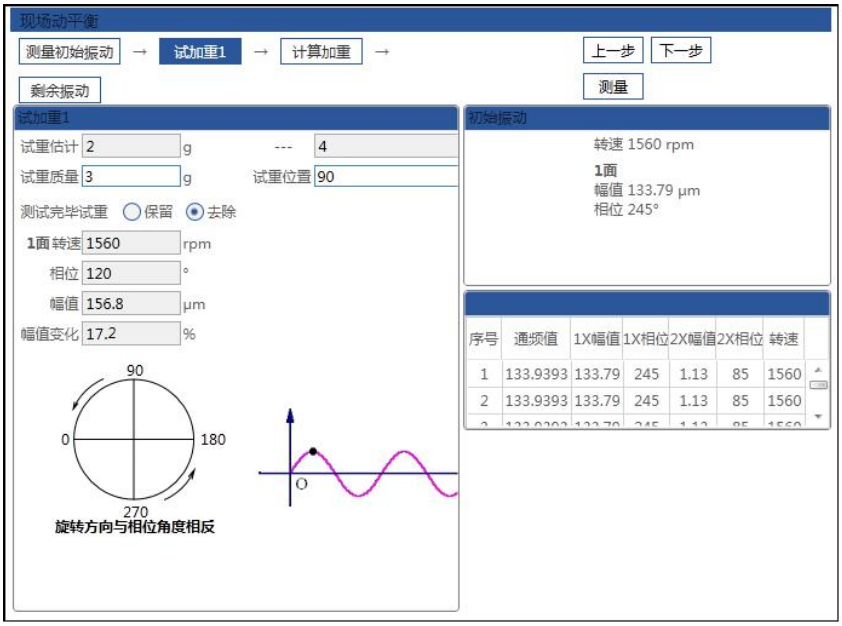


图 10-4 试加重

在已知影响系数的情况下，可跳过“试加重”的过程，直接从“测量初始振动”界面进入“计算加重”的界面，通过手动的方式输入影响系数值，点击“计算”按钮，软件将根据影响系数和初始振动计算出加重质量和位置，当在计算出的位置安装质量比较困难时，可通过下方的“矢量分解”功能对最终结果进行分解，方便安装，如图 10-5；

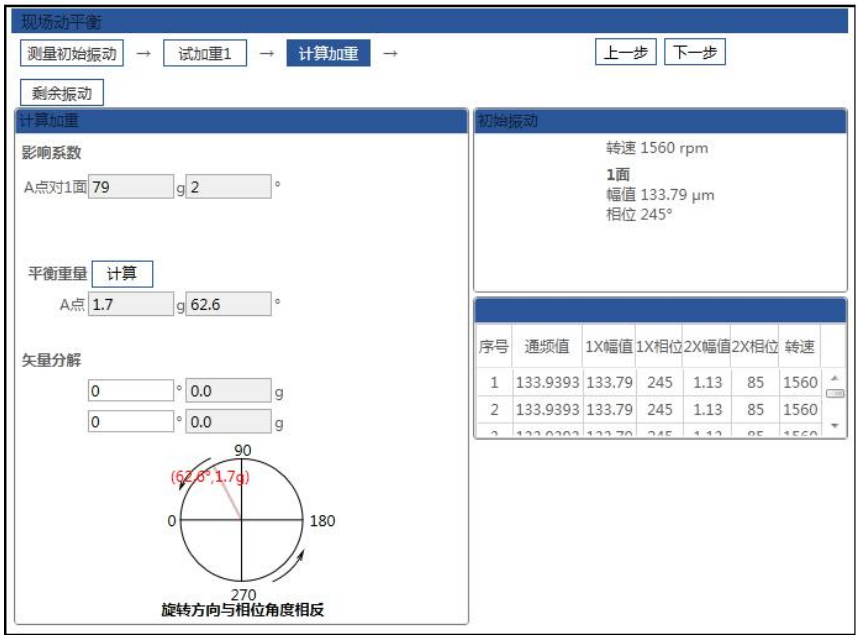


图 10-5 计算加重

安装完成后，点击“下一步”按钮，进入“平衡效验”界面，点击“测量”按钮，采集剩余振动幅值和相位，右侧可显示加重完毕后的幅值变化情况，如果振动下降率满足需求则完成实验。采集完成后，点击“停止”按钮；试验完成后，点击“完成”按钮可保存此次试验数据，如图 10-6；

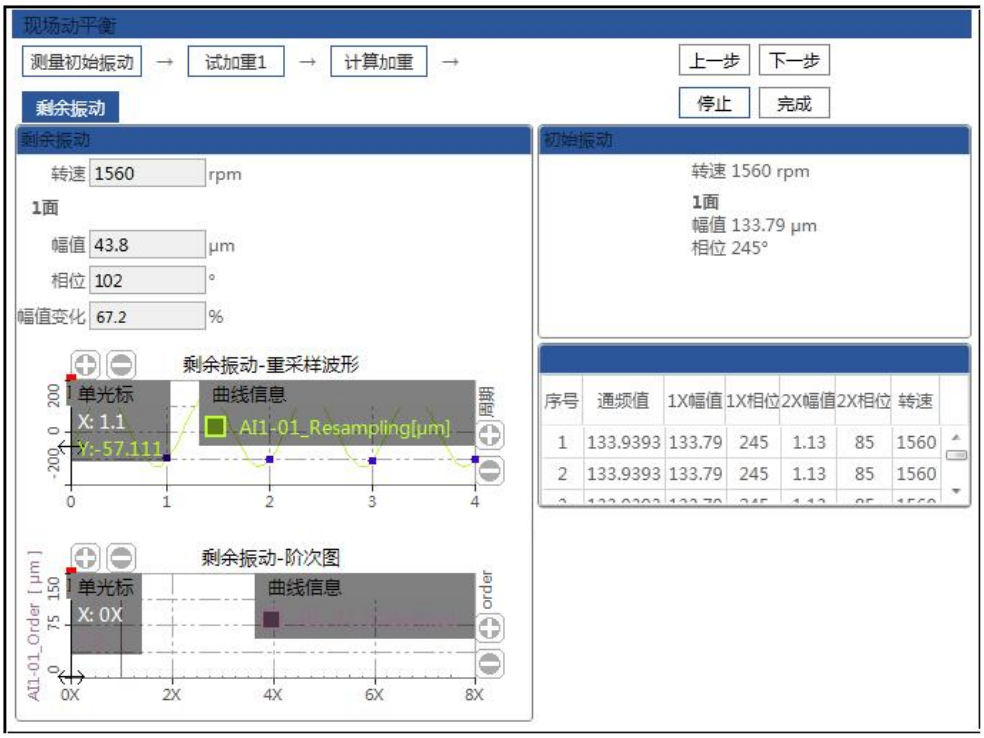


图 10-6 平衡效验

点击左侧参数栏中的“重新开始”按钮将清空本次实验数据重新开始实验，

点击“读取数据”按钮，可打开已保存的动平衡数据，点击“输出报告”按钮，将本次实验结果以报告的形式输出成 word 文档。

如通过一次平衡不能达到理想效果，可重复以上平衡过程，以达到平衡目标精度。

五、完成实验

实验完成后，先停止采样，关闭软件后，停止转子台工作状态，再关掉仪器电源等，将实验台收拾干净后离开。

附录：实验报告封面

机械振动学实验报告

第　次实验

姓名 _____

学号 _____

班级 _____

任课教师 _____

实验指导教师 _____

实验台编号 _____

实验日期 _____

附录：实验报告封面

机械振动学实验报告

第　　次 实 验

姓名_____

学号 _____

任课教师_____

实验指导教师_____

实验台编号_____

实验日期 _____