

《振动力学》及《虚拟仪器技术》 实验指导书

康献民

五邑大学机电系

2007年9月印刷

目录

本实验须知	2
实验一 信号的产生与处理	3
实验二 数据采集与处理	4
实验三 二自由度系统各阶固有频率及主振型的测定	5
实验四 多自由度系统各阶固有频率及主振型的测定	7
实验五 悬臂梁各阶固有频率及主振型的测定	10
实验六 中心固定圆盘各阶固有频率及主振型的观察	12
实验七 主动隔振实验	15
实验八 被动隔振实验	17
实验九 单式动力吸振实验	20

本实验须知

一、实验过程

- 1、同学应查阅后面所列出的实验项目，每个项目的实验要求及相关的知识要点，按项目要求查讯实验室现有的全部仪器设备及下载使用说明书等资料；
- 2、选择实验项目（每人必须选择二至三个）；
- 3、设计实验 提倡独立思考，也可在独立思考的基础上与同学讨论；
- 4、实验中注意保护好仪器设备，不得使用高于 24V 的电压信号以免损坏仪器。

三、实验报告基本要求

1. 实验目的与要求
 2. 实验方案
 3. 实验结果和数据处理
 4. 结论
 5. 问题与讨论
- 数据分析及测试结果；实验小结及体会

实验一、信号产生与处理

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、了解软件产生激励正弦及噪声信号的方法，以模拟函数发生器得的功能。
- 2、了解加窗、滤波及功率谱等时域及频域的信号处理方法。

二、实验内容

- 1、产生两个带高斯噪声（0.4）的各种信号（函数发生器）并一起显示；
- 2、经过窗（不加窗、汉宁窗、汉明窗）后一起显示；
- 3、加滤波；求自功率谱后一起显示。
- 4、观察：加不同的窗的时域信号并说明；加与不加滤波的区别并说明。

三、实验装置与仪器

装有软件平台 LabVIEW 的计算机。

四、实验报告要求

- 1、函数发生器的基本原理及接线方法。
- 2、程序中应用的主要节点的说明。

实验二、振动信号的采集及保存：

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、了解 USB6009 采集卡的原理，掌握数据采集函数的使用。
- 2、了解数据的初步分析方法。

二、实验内容

- 1、用 USB 数据采集卡进行振动信号的采集，采样点数 10000，采样频率 10000hz；应可选择保存与否。采集时显示 4 个通道的信号。
- 2、读取保存的信号；加汉宁窗及底通滤波；求自功率谱并提取幅值最大的频率值。

三、实验装置与仪器

装有软件平台LabVIEW的计算机，USB6009多功能数据采集卡，振动实验台，加速度传感器及信号放大器。

四、实验报告要求

- 1、数据采集卡的基本原理及接线方法。
- 2、程序中应用的主要节点的说明。

实验三 二自由度系统各阶固有频率及主振型的测定

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、学会用共振法确定二自由度系统的各阶固有频率。
- 2、观察二自由度系统的各阶振型。
- 3、将实验测得的各阶固有频率和振型与理论结果进行比较。

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。磁电式非接触激振器（JZF-1 型）。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。激振信号源（SJF-3 型）；重锤两个（1kg 与 2kg 各一个），磁力表座一个，两质量块钢丝绳一根，螺丝刀一把。

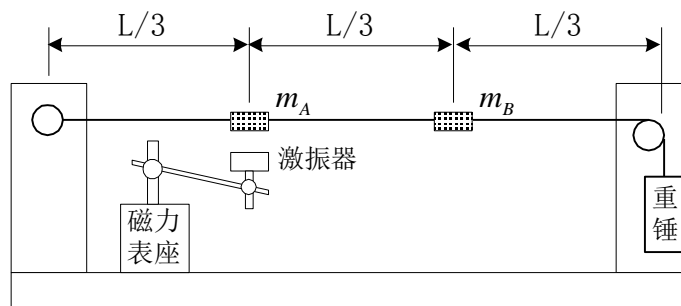


图 23-1 二自由度横向振动系统的装置示意图

三、实验原理

二自由度系统的装置示意如图 23-1 所示，两个质量块 m_A 、 m_B 的质量均为 m （集中质量），钢丝绳的张力可以改变重锤的重量来调节，从而构成一个弦上有集中质量的横向振动系统，不计钢丝绳的质量，便将无限自由度系统简化二自由度系统的模型，具有两个固有频率。在激振力作用下，系统发生振动，该振动是两个主振型的叠加。当激振频率等于某一阶固有频率时，系统的振动形态就是这一阶固有频率的主振型，而另一阶振型的影响可以忽略不计。

在测定系统的固有频率时，需要连续调节激振频率，使系统出现某阶振型且振幅值达到最大，这时的激振频率就是这一阶的固有频率。由振动理论，两个集中质量的运动系统可由以下方程描述：

$$M\ddot{X} + KX = 0$$

其中质量矩阵为：
$$M = \begin{vmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{vmatrix}$$

刚度矩阵为：
$$K = \begin{vmatrix} 6T/L & -3T/L \\ -3T/L & 6T/L \end{vmatrix} = \frac{3T}{L} \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix}$$

位移矩阵为：
$$X = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix}$$

系统的一阶固有频率为：
$$\omega_1 = \sqrt{\frac{3T}{mL}} \quad \text{或者} \quad f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3T}{mL}}$$

系统的二阶固有频率为：
$$\omega_2 = \sqrt{\frac{9T}{mL}} \quad \text{或者} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9T}{mL}}$$

在以上各式中，集中质量 $m = 0.0045\text{kg}$ ，弦丝张力 $T = (\quad)\text{N}$ ，弦丝长度 $L = 0.625\text{m}$ 。

各阶主振型 $A(i)$, ($i = 1, 2$) 分别为 $A(1) = \begin{vmatrix} +1 \\ +1 \end{vmatrix}$ 以及 $A(2) = \begin{vmatrix} +1 \\ -1 \end{vmatrix}$ ，参见图 26-2。

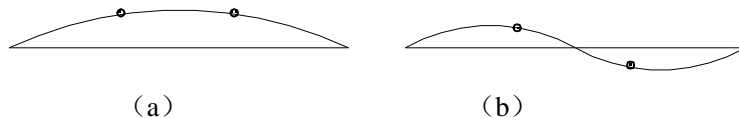


图 23-2 二自由度系统的一阶主振型 (a) 和二阶主振型 (b)

四、实验方法

1. 将磁电式非接触激振器接入激振信号源输出端，把激振器对准其中任一个质量块，保持一定的间隙（8—10mm），使得振动时激振器与质量块不发生碰撞。
2. 用 1kg 或 2kg 的重锤调整弦丝的张力 T ，改变张力就改变了系统的固有频率。
3. 打开激振信号源的电源，对系统施加正弦交变激振力，使系统产生振动，调节激振信号源的输出旋钮可以改变振幅的大小，注意不要过载。
4. 由低到高地调节激振频率，当观察到系统出现如图 23-2 (a) 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 。继续增大频率，即可得到如图 23-2 (b) 所示的第二阶振型和二阶固有频率 f_2 。

五、实验结果与分析

1. 自行设计表格，列出不同张力下各阶固有频率的理论值与测量值。
2. 绘出观察到的二自由度系统振型曲线，完成实验报告。
3. 比较各阶固有频率和振型的理论结果与测量结果，分析误差产生的原因。

实验四 多自由度系统各阶固有频率及主振型的测定

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

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、将实验测得的各阶固有频率和振型与理论结果进行比较。

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。磁电式非接触激振器（JZF-1 型）。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。激振信号源（SJF-3 型）；重锤两个（1kg 与 2kg 各一个），磁力表座一个，三质量块钢丝绳一根，螺丝刀一把。

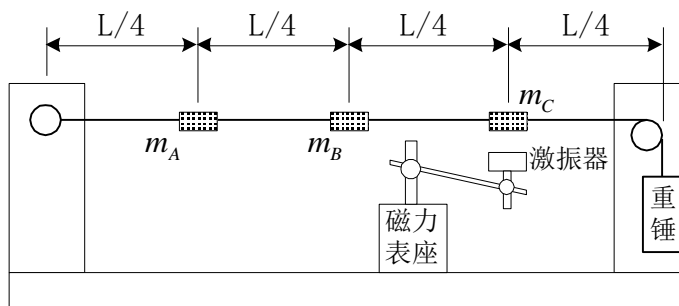


图 24-1 三自由度横向振动系统的装置示意图

三、实验原理

三自由度系统的装置示意如图 24-1 所示，三个质量块 m_A 、 m_B 、 m_C 的质量均为 m （集中质量），钢丝绳的张力可以改变重锤的重量来调节，从而构成一个弦上有三个集中质量的横向振动系统，不计钢丝绳的质量，便将无限自由度系统简化为三自由度系统的模型，具有三个固有频率。系统在任意初始条件下的响应是三个主振型的叠加。当激振频率等于某一阶固有频率时，系统的振动为主振动，系统的振型由这一阶固有频率的主振型决定，而其他阶振型的影响可以忽略不计。主振型与固有频率只取决于系统本身的物理性质，与初始条件无关。

在测定系统的固有频率时，只要连续调节激振频率，使系统出现某阶振型且振幅值达到最大，这时的激振频率就是这一阶的固有频率。由振动理论，三个集中质量的运动系统由以下方程描述：

$$M\ddot{X} + KX = 0$$

$$M = \begin{vmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{vmatrix}$$

其中质量矩阵为:

$$K = \frac{4T}{L} \begin{vmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{vmatrix}$$

刚度矩阵为:

$$X = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix}$$

位移矩阵为:

系统的一阶固有频率为: $\omega_1 = 1.531\sqrt{\frac{T}{mL}}$ 或者 $f_1 = \frac{1.531}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}}$

系统的二阶固有频率为: $\omega_2 = 2.828\sqrt{\frac{T}{mL}}$ 或者 $f_2 = \frac{2.828}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}}$

系统的三阶固有频率为: $\omega_3 = 3.695\sqrt{\frac{T}{mL}}$ 或者 $f_3 = \frac{3.695}{2\pi}\sqrt{\frac{T}{mL}}$

在以上各式中, 集中质量 $m = 0.0045\text{kg}$, 弦丝张力 $T = (\quad)\text{N}$, 弦丝长度 $L = 0.625\text{m}$ 。

各阶主振型 $A(i)$, ($i = 1, 2, 3$) 分别为 $A(1) = \begin{vmatrix} +1 \\ \sqrt{2} \\ +1 \end{vmatrix}$, $A(2) = \begin{vmatrix} +1 \\ 0 \\ -1 \end{vmatrix}$, 以及 $A(3) = \begin{vmatrix} +1 \\ -\sqrt{2} \\ +1 \end{vmatrix}$,

参见图 24-2。

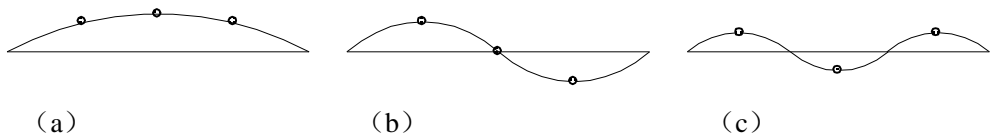


图 24-2 二自由度系统的一阶主振型 (a)、二阶主振型 (b) 和三阶主振型 (c)

四、实验方法

1. 将磁电式非接触激振器接入激振信号源输出端, 把激振器对准边上的某一个质量块 (图 24-1), 保持一定的间隙 (8—10mm), 使得振动时激振器与质量块不发生碰撞。
2. 用 1kg 或 2kg 的重锤调整弦丝的张力 T , 改变张力就改变了系统的固有频率。
3. 打开激振信号源的电源, 对系统施加正弦交变激振力, 使系统产生振动, 调节振信号源的输出旋钮可以改变振幅的大小, 注意不要过载。
4. 由低到高地调节激振频率, 当观察到系统出现如图 24-2 (a) 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 。继续增大频率，即可得到如图 24-2 (b)、(c) 所示的第二、三阶振型和二、三阶固有频率 f_2 、 f_3 。

五、实验结果与分析

- 1.自行设计表格，列出不同张力下各阶固有频率的理论值与测量值。
- 2.绘出观察到的三自由度系统振型曲线，完成实验报告。
- 3.比较各阶固有频率和振型的理论结果与测量结果，二者是否一致？分析误差产生的原因。

实验五 悬臂梁各阶固有频率及主振型的测定

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、学会用共振法确定连续弹性体悬臂梁横向振动的各阶固有频率。
- 2、观察分析悬臂梁横向振动的各阶主振型。
- 3、将实验测得的各阶固有频率和振型与理论结果进行比较。

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。磁电式非接触激振器（JZF-1 型）。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。激振信号源（SJF-3 型）；磁力表座一个，螺丝刀一把，游标卡尺一把，直尺一把。

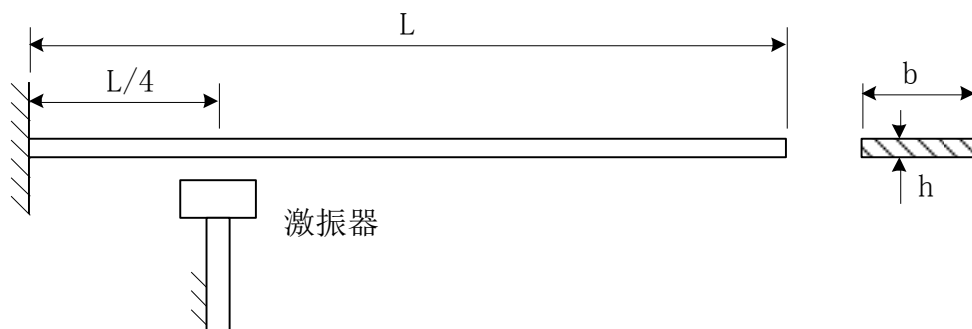


图 25-1 连续弹性体悬臂梁横向振动系统的装置简图

三、实验原理

矩形截面的悬臂梁横向振动系统的装置如图 25-1 所示。悬臂梁是一个连续弹性体，具有无限多个自由度，即有无限多个固有频率和主振型。在一般情况下，梁的振动是无限多个主振型的叠加。如果给梁施加一个大小合适的激振力，其频率正好等于梁的某阶固有频率，就会产生共振，对应于这一阶固有频率的确定的振动形态叫做这一阶的主振型，这时其他各阶振型的影响可以忽略不计。

用共振法测定梁的固有频率和主振型时，只要连续调节激振力的频率，使梁出现某阶纯振型且振动幅值达到最大（产生共振），就可以认为这时的激振频率是悬臂梁的该阶固有频率。实际上，人们关心的通常是最低的几阶固有频率和主振型，本实验采用共振法测定悬臂梁的一、二、三阶固有频率和振型。

由弹性振动理论，悬臂梁横向振动固有频率的理论解为：

$$f = \frac{17.5}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{A\rho}} \quad (\text{Hz})$$

式中：

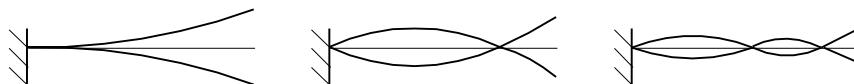
梁的长度 $L = 0.0045\text{kg}$ 。

弹性常数 $E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。

材料重度 $\rho = 0.0078\text{kg/cm}^3$ 。

轴惯性矩 $J = (\quad) \text{ cm}^4$ 。

悬臂梁横向振动的各阶固有频率之比为 $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 6.25 : 17.5$ ，横向振动的一、



二、三阶振型如图 25-2 所示。

(a)

(b)

(c)

图 25-2 悬臂梁横向振动的一阶主振型 (a)、二阶主振型 (b) 和三阶主振型 (c)

四、实验方法

1. 选取距离固定端 $L/4$ 处为激振点，将激振器端面对准激振点，保持初始间隙（6—8mm）。
2. 将磁电式非接触激振器接入激振信号源输出端，打开激振信号源的电源，对系统施加正弦交变激振力，使系统产生振动，调节振信号源的输出旋钮可以改变振幅的大小，注意不要过载。
3. 调整信号源，使激振频率由低到高逐渐增加，当观察到系统出现如图 25-2 (a) 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 。找到一阶固有频率后，可以只改变激振信号源输出功率的大小，观察振型随激振力大小的变化情况。
4. 用同样的方法确定悬臂梁横向振动的二、三阶固有频率和振型。

五、实验结果与分析

1. 自行设计表格，列出各阶固有频率的理论值与测量值。
2. 绘出观察到的悬臂梁横向振动的振型曲线，完成实验报告。
3. 比较各阶固有频率和振型的理论结果与测量结果，二者是否一致？分析误差产生的原因。

实验六 中心固定圆盘各阶固有频率及主振型的观察

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、学会用共振法确定中心固定圆盘横向振动时的各阶固有频率。
- 2、观察分析圆盘横向振动的各阶振动形态。
- 3、将实验测得的各阶固有频率和振型与理论结果进行比较。

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。磁电式非接触激振器（JZF-1 型）。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。激振信号源（SJF-3 型）；磁力表座一个，游标卡尺一把，细沙子若干。

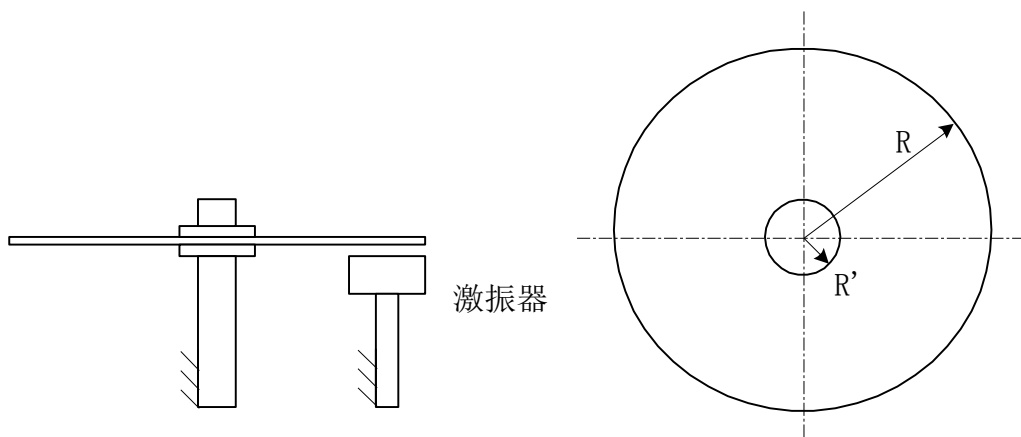


图 26-1 中心固定圆盘横向振动系统的装置简图

三、实验原理

中心固定、周边自由的薄臂圆盘横向振动系统的装置简图如图 26-1 所示。由振动理论可知，薄臂圆盘横向振动的振型有一个、二个、三个等的波节圆，在振动过程中，波节圆处的位移（挠度）为零。除此之外，还存在一根、二根、三根等分的波节直径，在振动过程中，波节直径处的位移（挠度）也为零。薄臂圆盘横向振动的几种振型如图 26-2 所示，图中各波节圆和波节直径都用虚线表示，波节圆个数为 m ，波节直径个数为 n 。

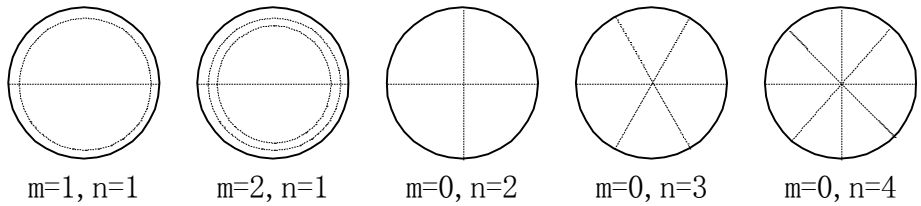


图 26-2 中心固定圆盘横向振动的振型

对于中心固定、周边自由的薄臂圆盘横向振动，由弹性体振动理论可知其固有频率为：

$$f = \frac{a^2}{2\pi R^2} \sqrt{\frac{D}{h\rho}}$$

式中：

圆盘半径 $R = 0.1\text{m}$ 。

材料重度 $\rho = 0.0078\text{kg/cm}^3$ 。

圆盘厚度 $h = (\quad) \text{m}$ 。

内圆半径 $R' = 0.01\text{m}$ 。

弯曲刚度 $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ (N/m)。

弹性常数 $E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。

泊松比 $\mu = 0.3$ 。

常数 a 按下表取值 ($R'/R=0.1$):

n	1	2	3	4	5
m=0	1.865	2.7313	3.5285	4.6729	5.7875

薄臂圆盘的横向振动有无限多个自由度，或无限多个固有频率和主振型。在一般情况下，圆盘的振动是无限多个主振型的叠加。如果给圆盘施加一个大小合适的激振力，其频率正好等于圆盘的某阶固有频率，这时圆盘就会产生共振并具有对应于这一阶固有频率的确定的振动形态，即这一阶的主振型，这时其他各阶振型的影响小的可以忽略不计。用共振法测定薄臂圆盘的横向振动固有频率和主振型时，需要连续调节激振力的频率，在圆盘上面铺一层细沙子，当细沙子明显聚集成波节圆和波节直径时，就可以认为这时的激振频率是圆盘的某阶固有频率。

四、实验方法

- 1.将激振器端面对准薄臂圆盘下面边缘处，保持初始间隙（1—2mm）。
- 2.将磁电式非接触激振器接入激振信号源输出端，打开激振信号源的电源，对系统施加正弦交变激振力，使系统产生振动，调节振信号源的输出旋钮可以改变振幅的

大小，注意不要过载。

3.调整信号源，使激振频率由低到高逐渐增加，可以观察到圆盘上面细沙子向位移振幅为零处聚集，从而形成条幅，就是振型。当观察到某阶振型时，激振信号源显示的频率就是系统的该阶固有频率。用这样的方法可以找到圆盘的各阶固有频率和振型。由于激振器的频率在 1000Hz 以下，所以本实验观察不到波节圆。

五、实验结果与分析

- 1.自行设计表格，列出各阶波节直径的固有频率的理论值与测量值。
- 2.绘出观察到的圆盘波节直径的振型，完成实验报告。
- 3.比较各阶固有频率和振型的理论结果与测量结果，二者是否一致？分析误差产生的原因。
- 4.分析波节直径的分布规律。
- 5.圆盘下有一圆形螺帽，在圆形螺帽压紧或松开两种情况下测量的固有频率是否一致？哪一个与理论值更接近

实验七 主动隔振实验

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、建立主动隔振的概念。
- 2、掌握主动隔振的基本方法。
- 3、学会测量、计算主动隔振系数和隔振效率。

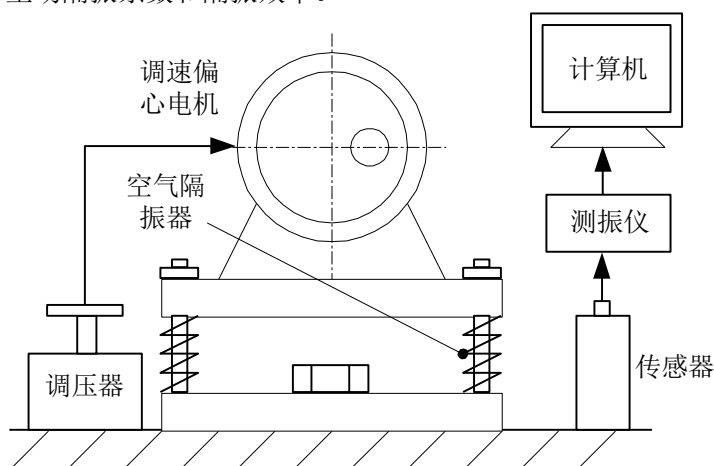


图 27-1 主动隔振系统的装置简图

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。偏心质量调速电机及调压器。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。磁电式振动速度传感器（ZG-1 型）。计算机及振动分析软件、扳手。

三、实验原理

主动隔振系统的装置如图 27-1 所示。偏心质量调速电机本身就是振源，振动通过机脚、支座传到基础。主动隔振就是隔离振源，使振源的振动经过减振后再传递出去，从而减小振源的振动对周围环境和设备的影响，因此主动隔振也成为积极隔振或者动力隔振。

隔振的效果通常用隔振系数 η 和隔振效率 E 来度量。隔振系数 η 的定义为

$$\eta = F_2 / F_1$$

式中 F_1 为隔振前传给基础的力幅， F_2 为隔振后传给基础的力幅。由上式可知，主动隔振的隔振系数涉及到动载荷的测量，测试复杂，精确测量有困难。在工程中，测量主动隔振的隔振系数常用间接的方法，具体方法有两种：

- (1) 通过主动隔振系统的固有频率 f_2 、阻尼比 ξ 和激振频率 f_1 计算隔振系数：

$$\eta = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}}$$

式中 $\xi = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$ 以及 $\lambda = f_1 / f_2$

(2) 通过基础隔振前后的振幅值 A_1 、 A_2 计算隔振系数:

$$\eta = \frac{A_1}{A_2} \quad \text{隔振效率 } E \text{ 的定义为: } E = (1 - \eta) \times 100\%$$

当频率比 $0 < \lambda < \sqrt{2}$ 时, $\eta > 1$, 即 $A_2 > A_1$, 隔振器不起隔振作用。当频率比趋于 1 时, 即 $f_1 = f_2$ 时, 出现共振。共振时, 被隔离体系不能正常工作, $\lambda = 0.8 - 1.2$ 为共振区, 无论系统阻尼大小, 只有当 $\lambda > \sqrt{2}$ 时, 隔振器才起到隔振作用, 隔振系数的值才小于 1。因此, 要达到主动隔振的目的, 弹性支撑固有频率 f_2 的选择必须满足 $f_1 / f_2 > \sqrt{2}$ 。

当 $f_1 / f_2 > \sqrt{2}$ 时, 隔振系数的值随着频率比的不断增加而减小, 隔振效果越来越好。但是如果 f_1 / f_2 太大时, 隔振系统的静挠度必须很大, 弹簧要作的柔软, 相应地增大了系统的体积, 容易使得安装稳定性变差 (摇晃)。另一方面, 若 $f_1 / f_2 > 5$, 隔振系数 η 的变化并不明显, 说明即使弹簧支撑设计的十分柔软, 隔振效果的改善并不显著。工程上通常采用 $f_1 / f_2 = 3 - 5$, 相应的隔振效率 E 可达 80-90% 以上。

四、实验方法

1. 松开隔振器上平台的四个螺帽, 用录波法或其他方法测出隔振系统的固有频率 f_2 , 然后开动调速电机, 调到一定转速后测量激振频率 f_1 和阻尼比 ξ 。
2. 锁紧隔振器上平台的四个螺帽, 使隔振器不起作用, 测量出隔振前基础的振幅值 A_1 。然后松开隔振器上平台螺帽, 使隔振器起作用, 测量出隔振后基础的振幅值 A_2 。
3. 根据实验数据计算隔振系数和隔振效率。

五、实验结果与分析

1. 自行设计表格, 列出相关的测量值。
2. 根据方法 (1), 计算计算隔振系数和隔振效率。
3. 根据方法 (2), 计算计算隔振系数和隔振效率。
4. 比较两种结果, 完成实验报告。

实验八 被动隔振实验

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

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、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。电动式激振器（JZ-1 型）。双通道测振仪（SCZ2-3 型）。磁电式振动速度传感器（ZG-1 型）。激振信号源（SJF-3 型）；计算机及振动分析软件、扳手。

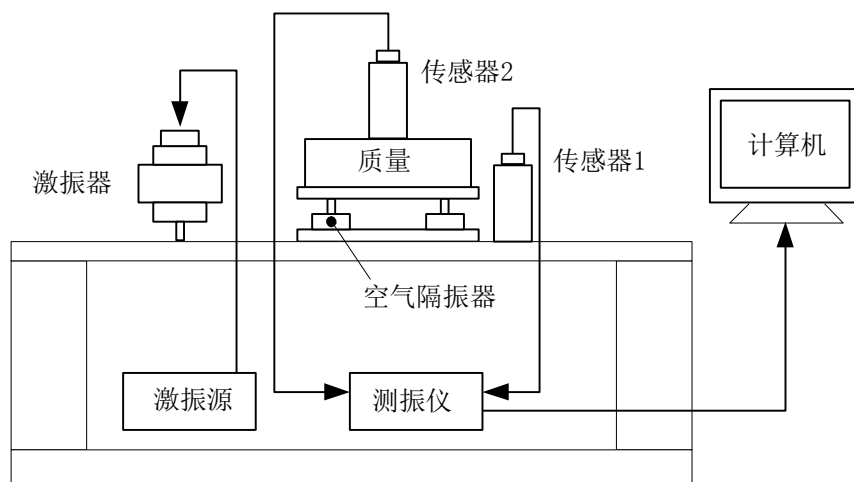


图 28-1 被动隔振系统的装置简图

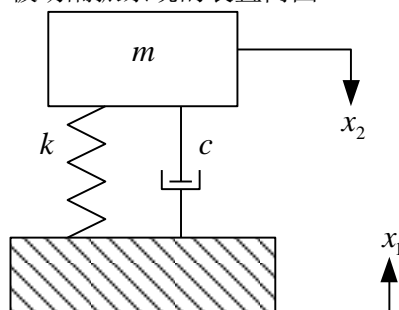


图 28-2 被动隔振系统的力学模型

三、实验原理

被动隔振系统的装置如图 28-1 所示。振动隔离是消除与减小振动危害的重要途径

径之一，在企业，振源通常是振动较大的机器，振源的振动通过地基传到周围环境和仪器设备。对于精密的仪器设备，为了使外界振动尽可能少地传到系统中来，就需要将其与地基隔离开来，称为被动隔振或消极隔振。

被动隔振是为了防止周围环境的振动通过机脚、支座传到精密仪器和设备，又称为防护隔振，其目的在于隔离或减小振动的传递，使精密仪器和设备不受振动的影响。被动隔振的力学模型如图 28-2 所示，被隔离的设备置于减振器上，设备的质量为 m ，减振器的刚度为 k ，阻尼系数为 c 。

被动隔振的振源是地基，被动隔振的效果通常用隔振系数 η 和隔振效率 E 来度量。隔振系数 η 的定义为

$$\eta = A_2 / A_1$$

式中 A_1 为振源的振幅， A_2 为设备隔振后的振幅。隔振效率 E 的定义为

$$E = (1 - \eta) \times 100\%$$

若振源为地基的垂直简谐振动 $x_1 = A_1 \sin(\omega t)$ ，由振动理论可知：

$$\eta = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}}$$

式中阻尼比 ξ 为

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

频率比 λ 为

$$\lambda = f_1 / f_2$$

其中 f_2 为主动隔振系统的固有频率， f_1 为激振频率。当频率比 $0 < \lambda < \sqrt{2}$ 时， $\eta > 1$ ，即 $A_2 > A_1$ ，隔振器不起隔振作用。当频率比趋于 1 时，即 $f_1 = f_2$ 时，出现共振。共振时，被隔离体系不能正常工作， $\lambda = 0.8 - 1.2$ 为共振区，无论系统阻尼大小，只有当 $\lambda > \sqrt{2}$ 时，隔振器才起到隔振作用，隔振系数的值才小于 1。因此，要达到隔振的目的，弹性支撑固有频率 f_2 的选择必须满足 $f_1 / f_2 > \sqrt{2}$ 。

当 $f_1 / f_2 > \sqrt{2}$ 时，隔振系数的值随着频率比的不断增加而减小，隔振效果越来越好。但是如果 f_1 / f_2 太大时，隔振系统的静挠度必须很大，弹簧要作的柔软，相应地增大了系统的体积，容易使得安装稳定性变差（摇晃）。另一方面，若 $f_1 / f_2 > 5$ ，隔振系数 η 的变化并不明显，说明即使弹簧支撑设计的十分柔软，隔振效果的改善并不显著。工程上通常采用 $f_1 / f_2 = 3 - 5$ ，相应的隔振效率 E 可达 80-90% 以上。

四、实验方法

- 1.将传感器 1、2 分别置于简支梁和质量块上，用来测量简支梁和质量块的振幅 A_1 与 A_2 。传感器 1 和传感器 2 的输出分别接入测振仪的 1、2 通道。
- 2.激振信号源输出正弦信号驱动电动式激振器，对简支梁激振。将激振频率 f_1 由低到高调节，分别测出简支梁和质量块的振幅 A_1 与 A_2 ，记录数据。当刚出现 $A_2 < A_1$ 时，说明刚满足 $f_1 / f_2 > \sqrt{2}$ ，这时的激振频率 f_1 就是隔振器起作用的最低频率。

五、实验结果与分析

- 1.自行设计表格，列出相关的测量值，完成实验报告。隔振系统的固有频率约为 14Hz。
- 2.绘出 $\eta - \lambda$ 曲线和 $E - \lambda$ 曲线。

实验九 单式动力吸振实验

实验项目性质：综合性

实验计划学时：2--4 学时

一、实验目的

- 1、了解单式动力吸振器的结构，掌握其安装调整方法。
- 2、调整单式动力吸振器的固有频率，比较减振效果。
- 3、掌握单式动力吸振器的特点及适用场合。

二、实验装置与仪器

机械振动与控制实验台。电动式激振器(JZ-1 型)。双通道测振仪(SCZ2-3 型)。磁电式振动速度传感器(ZG-1 型)。激振信号源(SJF-3 型)；计算机及振动分析软件、单式动力吸振器、扳手。

三、实验原理

单式动力吸振系统的装置如图 28-1 所示。所谓吸振就是将原有系统振动的能量转移到附加系统上，从而使原有系统的振动减小。动力吸振器利用联结在系统上的附加质量的动力来实现吸振，即将原有系统振动的能量转移到附加的弹簧质量系统上了。单式动力吸振器是一个单自由度振动系统，与单自由度振动主系统一同构成二自由度振动系统，力学模型如图 29-2 所示。主系统质量 m_1 ，刚度 k_1 ，位移 x_1 ；附加系统质量 m_2 ，刚度 k_2 ，位移 x_2 。激励力为 $F \sin \omega t$ 。系统的微分方程为：

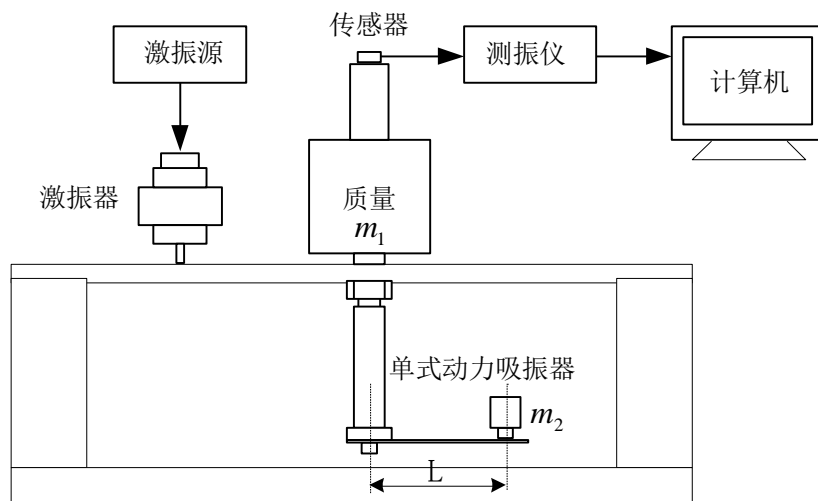


图 29-1 单式动力吸振系统的装置简图

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

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (y_2 - y_1) = 0$$

设微分方程的解为

$$x_1 = A_1 \sin \omega t, \quad x_2 = A_2 \sin \omega t$$

其中

$$A_1 = \frac{F(k_2 - m_2 \omega^2)}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2}$$

$$A_2 = \frac{F k_2}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2}$$

令主系统固有角频率 $p_1 = k_1 / m_1$ ，附加系统固有角频率 $p_2 = k_2 / m_2$ ，主系统静位移 $\delta_{st} = F / k_1$ ，质量比 $u = m_2 / m_1$ ，以上两式可改写为无量纲的形式：

$$\frac{A_1}{\delta_{st}} = \frac{1 - (\omega / p_2)^2}{\{1 + u(p_2 / p_1)^2 - (\omega / p_2)^2\} \{1 - (\omega / p_2)^2\} - u(p_2 / p_1)^2}$$

$$\frac{A_2}{\delta_{st}} = \frac{1}{\{1 + u(p_2 / p_1)^2 - (\omega / p_2)^2\} \{1 - (\omega / p_2)^2\} - u(p_2 / p_1)^2}$$

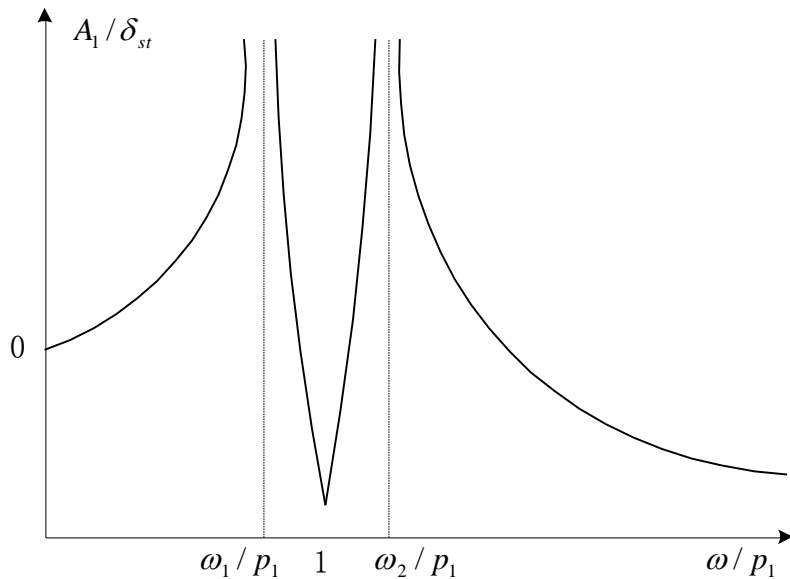


图 29-3 单式动力吸振器的传递曲线

由上面第一式，当 $u = 0.2$ 、 $p_1 = p_2$ 时，可以画出 A_1 / δ_{st} 与 ω / p_1 的关系曲线如图 29-3 所示。当 $\omega = p_2$ 时，由图 29-3 或上面的公式可以看到： $A_1 = 0$ 或者 $F = -k A_2$ 。这表明，当单式动力吸振器的固有角频率等于干扰力的固有角频率时，干扰力正好与弹性恢复力平衡，设备不振动，从而达到了减振的目的。因此，我们可以通过质

量或刚度的调节，使动力吸振器起到减振的作用。

由图 29-3 还可以看到，设备安装了动力吸振器以后，整个系统具有两个自由度，共振峰对应于整个系统的固有角频率 ω_1 和 ω_2 为：

$$\omega_1^2 / p_2 = 1 + \frac{u}{2} + \sqrt{u + \frac{u^2}{4}}$$

$$\omega_2^2 / p_2 = 1 + \frac{u}{2} - \sqrt{u + \frac{u^2}{4}}$$

动力吸振器主要用于外力角频率不变的场合，或者当外力角频率改变时，动力吸振器的固有角频率 P_2 可以控制，使其随外力角频率 ω 的变化而同步地正比变化。

四、实验方法

1. 先测定简支梁无吸振器时的幅频特性曲线。改变激振频率并测量振动幅值，记录测量数据，然后根据测量数据描绘无吸振器时的幅频特性曲线，并由曲线确定简支梁系统的固有频率 f 。

2. 调整单式动力吸振器的固有频率 f_2 。改变附加质量 m_2 的重量或调整弹簧片的长度 L （图 29-1），即可改变单式动力吸振器的固有频率 f_2 ，使其满足关系 $f_2 = f$ 。具体的做法为：将单式动力吸振器安放在简支梁的中央，调整激振频率 f 使简支梁产生共振，这时调整 m_2 的距离 L ，使简支梁的振动幅值最小，即 $f_2 = f$ 。

3. 测定简支梁有吸振器时的幅频特性曲线。改变激振频率并测量振动幅值，记录测量数据，根据测量数据描绘有吸振器时的幅频特性曲线。

五、实验结果与分析

1. 自行设计表格，列出相关的测量值，完成实验报告。

2. 绘出系统无吸振器时的幅频特性曲线。

3. 绘出系统有吸振器时的幅频特性曲线。

4. 如果激振频率不变，改变吸振器的固有频率会产生何现象？如果吸振器的固有频率不变，改变激振频率又会产生何现象？