

第八章 振动测试

- 8.1 测振传感器
- 8.2 经典测振传感器
- 8.3 振动测量与试验
- 8.4 振动试验装置简介

第八章 振动测试

8.1 测振传感器

机械振动测试措施：

- **机械措施：** 振动频率低、振幅大、精度不高。
- **光学措施：** 精密测量和振动传感器的标定
- **电测措施：** 应用范围最广

机械振动测试措施：

- **按测振参数分：** 位移、速度、加速度传感器；
- **按参照坐标分：** 相对式、绝对式(惯性式) 传感器；
- **按变换原理分：** 磁电式、压电式、电阻应变式、电感式、电容式、光学式；
- **按传感器与被测物关系分：** 接触式、非接触式传感器
拾取振动信息的装置一般称拾振器，传感器是其关键构成部分。

第八章 振动测试

相对式、绝对式传感器

- 相对式传感器是以空间某一固定点作为参照点，测量物体上的某点对参照点的相对位移或速度。
- 绝对式传感器是以大地为参照基准，即以惯性空间为基准测量振动物体相对于大地的绝对振动，又称惯性式传感器。

第八章 振动测试

相对式传感器

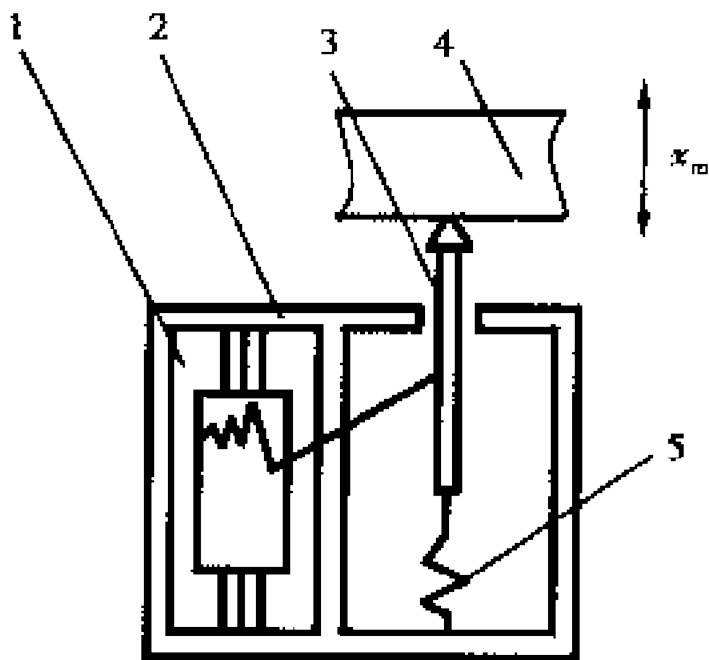


图 8.2 相对式测振传感器

1—变换器; 2—壳体; 3—活动部分;
4—被测部分; 5—弹簧

测杆跟随条件:

弹簧恢复力所产生的加速度不小于被测振动件的加速度

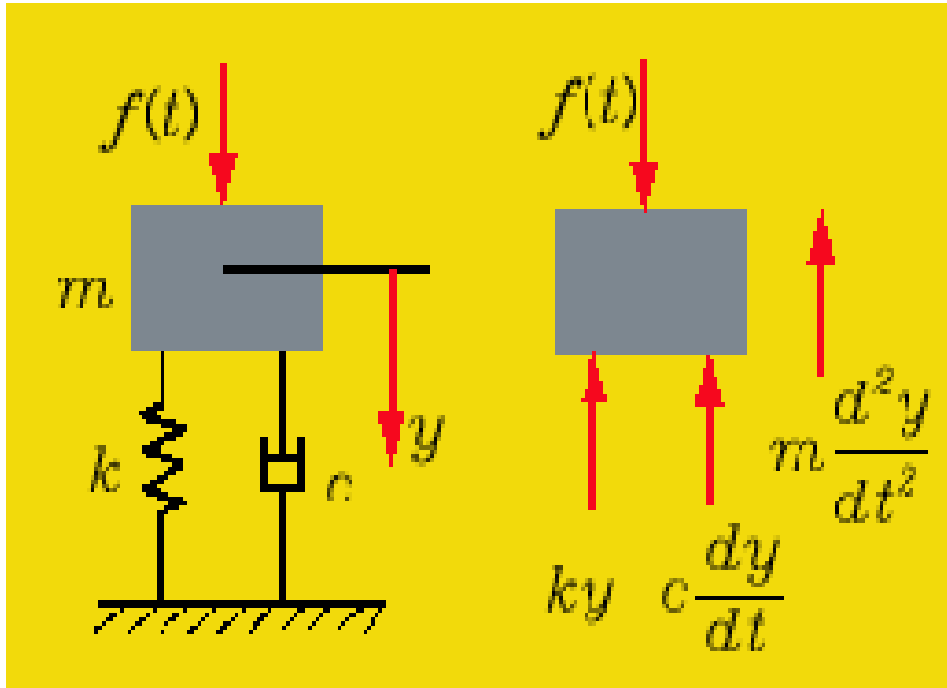
$$\frac{F}{m} = \frac{k \cdot \Delta x}{m} > a_{\max}$$

$$\text{对简谐振动 } a_{\max} = \omega^2 x_m$$

$$\Delta x > \frac{m}{k} \omega^2 x_m = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 x_m$$

假如在使用中弹簧的压缩量不够大, 或者被测物体的振动频率过高. 不能满足上述跟随条件, 顶杆与敲测物体就会发生撞击. 所以相对式传感器只能在一定的频率和振幅范围内工作。

第八章 振动测试



$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + c \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) = f(t)$$

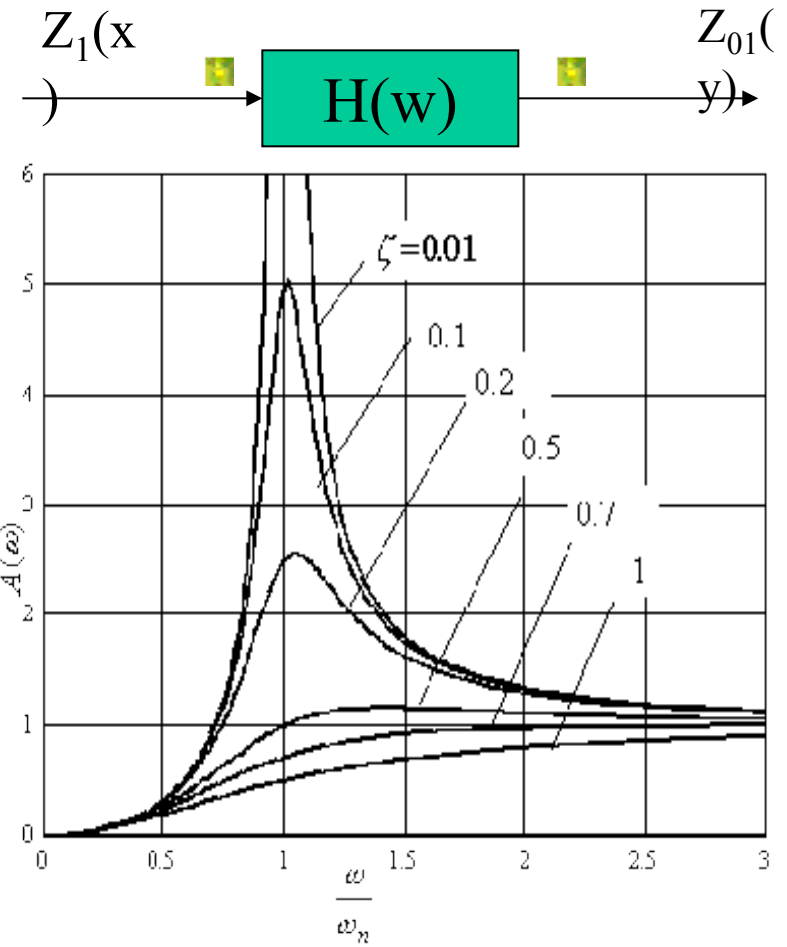
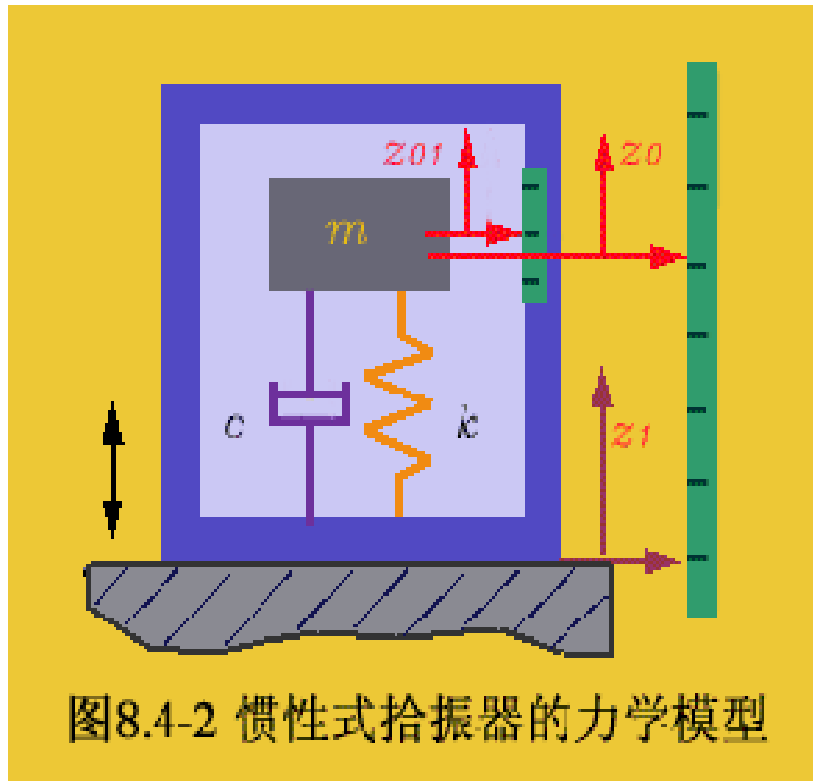
$$H(\omega) = \frac{1/k}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2\zeta j \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}$$

$$A(\omega) = \frac{1/k}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

$$\phi(\omega) = -\arctan \frac{2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$$

第八章 振动测试

绝对式(惯性式)测振传感器



第八章 振动测试

惯性式测振传感器原理

- 惯性传感器是二阶测试系统。其频率响应函数为：

$$H(\omega) = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2\zeta j \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}$$

- 幅频特征（即为输出信号与输入信号的幅值比）为：

$$A(\omega) = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{\left[1 - (\omega/\omega_n)^2\right]^2 + 4\xi^2 (\omega/\omega_n)^2}} \quad (A)$$

- 相频特征体现式为

$$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{2\zeta (\omega/\omega_n)}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

第八章 振动测试

惯性位移传感器的正确响应条件:

- 当测试系统输入为

$$x = x_0 \cdot \cos \omega t$$

其响应的稳态输出可写为:

$$x_0 \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + 4\xi^2 (\omega/\omega_n)^2}}$$

- 可见正确响应条件 $\omega/\omega_n \gg 3 \sim 5$

$$\xi = 0.6 - 0.7$$

理论上上限频率无限

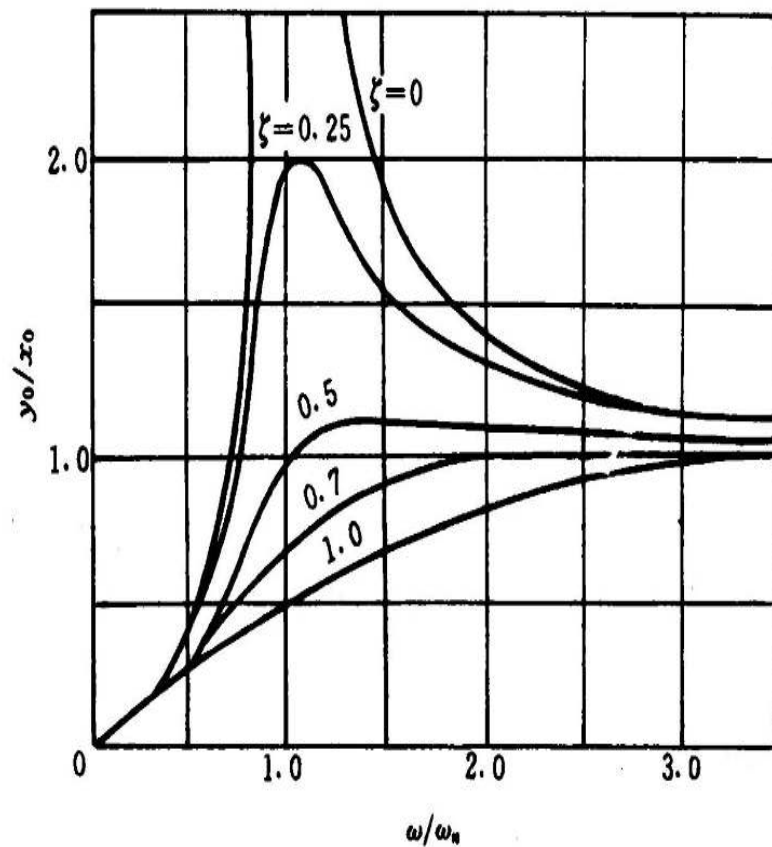


图 7-4 惯性式位移传感器的幅频特性

第八章 振动测试

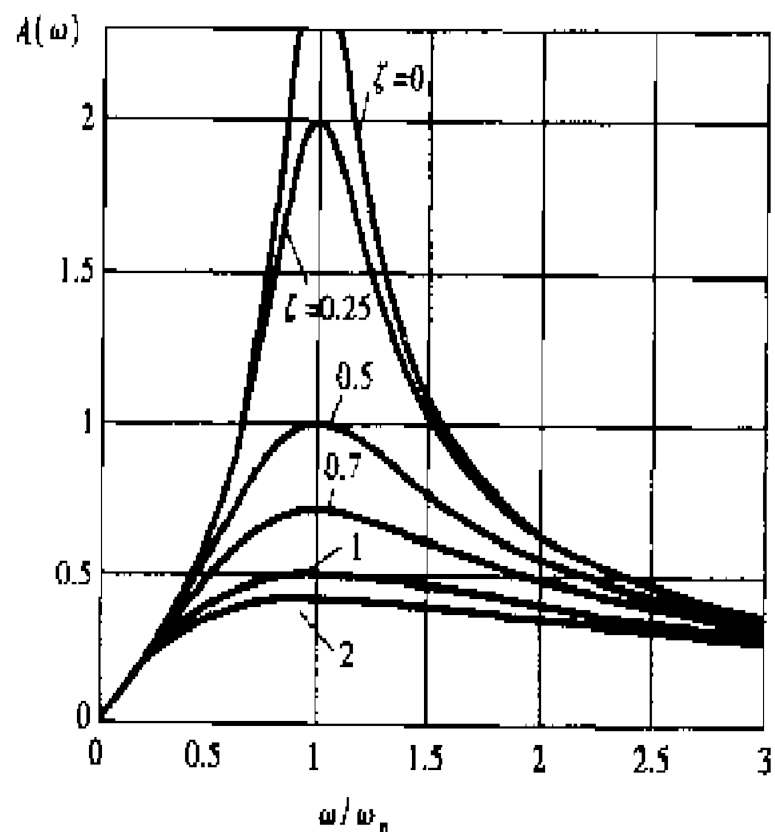


图 8.4 惯性式位移传感器幅频曲线

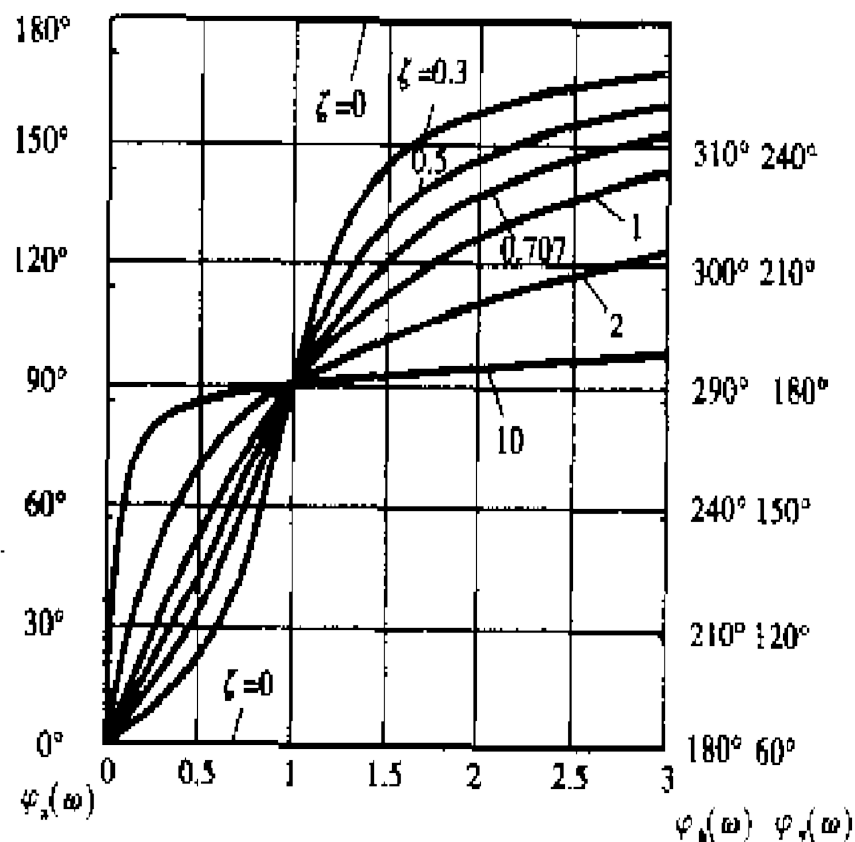


图 8.5 惯性式传感器相频曲线

第八章 振动测试

惯性式速度传感器的正确响应条件

- 当惯性传感器的输入为 x ，输出为 y 时，称为速度传感器。对于速度传感器，可将式(A)的分子和分母同乘被测振动频率，得

$$\frac{y_0 \cdot \omega}{x_0 \cdot \omega} = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + 4\xi^2(\omega/\omega_n)^2}}$$

- 惯性速度传感器与惯性位移传感器有着相同的幅频特征和相频特征。
- 正确响应条件： $\omega/\omega_n \gg 1$ $\zeta = 0.6 - 0.7$
理论上上限频率无限

第八章 振动测试

惯性加速度传感器的正确响应条件

- 加速度传感器的输入是 $x_0 \cdot \omega^2$ ，输出是 y_0 。由式(A)得：

$$\frac{y_0}{x_0 \cdot \omega^2} = \frac{1/\omega_n^2}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + 4\zeta^2(\omega/\omega_n)^2}}$$

- 若 $y_0/x_0 \cdot \omega^2$ 为一常数，则传感器质量元件相对壳体的位移与被测振动加速度成正比。为便于分析幅频特征，将式改写：

$$\frac{y_0 \cdot \omega_n^2}{x_0 \cdot \omega^2} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + 4\zeta^2(\omega/\omega_n)^2}}$$

- 正确响应条件

$$\omega/\omega_n \ll 1 \quad \text{一般取: } \omega/\omega_n \ll \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}\right)$$

$$\zeta = 0.6 - 0.7 \quad \text{理论上上下限频率为零}$$

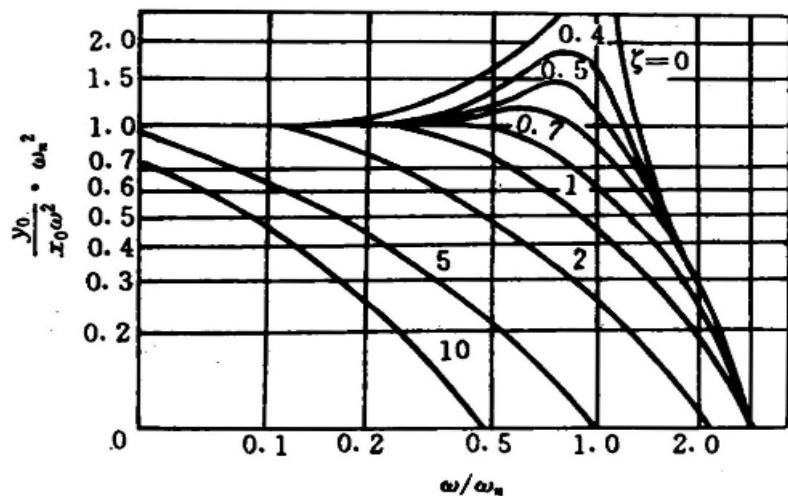


图 7-6 加速度计幅频特性

第八章 振动测试

惯性式测振传感器的质量

- 测振时拾振器将固定在被测物上，其质量将成为被测振动系统的附加质量。
- 拾振器的质量造成被测系统加速度和固有频率的变化可用下式来估计：

$$a' = \frac{m}{m + m_t} a \qquad \omega_n' = \sqrt{\frac{m}{m + m_t}} \cdot \omega_n$$

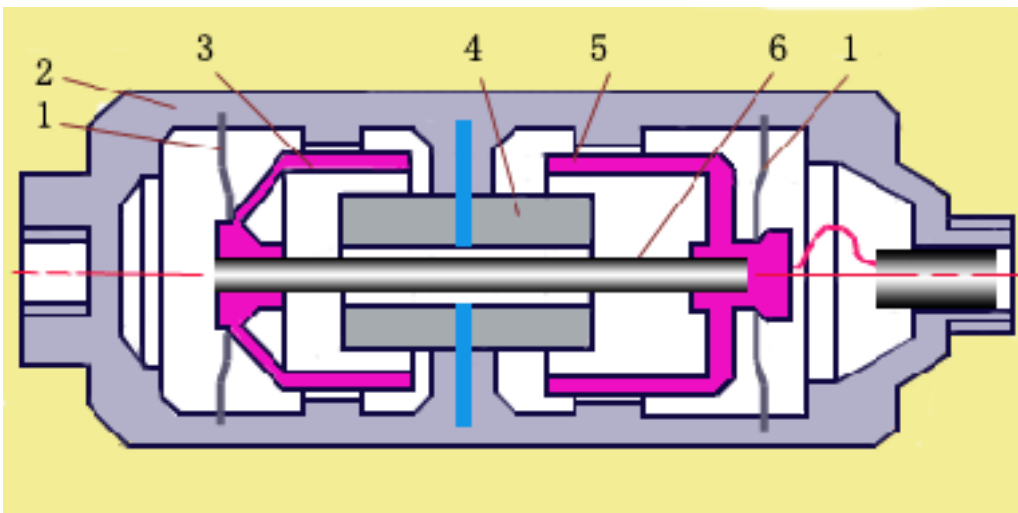
- 只有当 $m_t \ll m$ 时， m_t 的影响才可忽视。

第八章 振动测试

8.2 经典测振传感器

8.2.1. 磁电式速度传感器

- **磁电式绝对速度传感器**为惯性式速度传感器
- 工作原理：当有一线圈在穿过其磁通发生变化时，会产生感应电动势，电动势的输出与线圈的运动速度成正比。
- 构造如图：



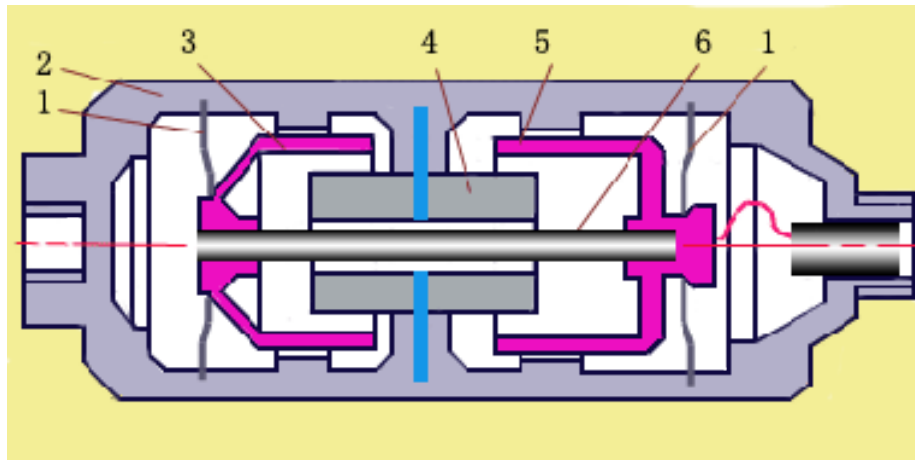
常用

2、4不动 1、5动

2、5不动 1、4动

第八章 振动测试

惯性式速度传感器工作原理

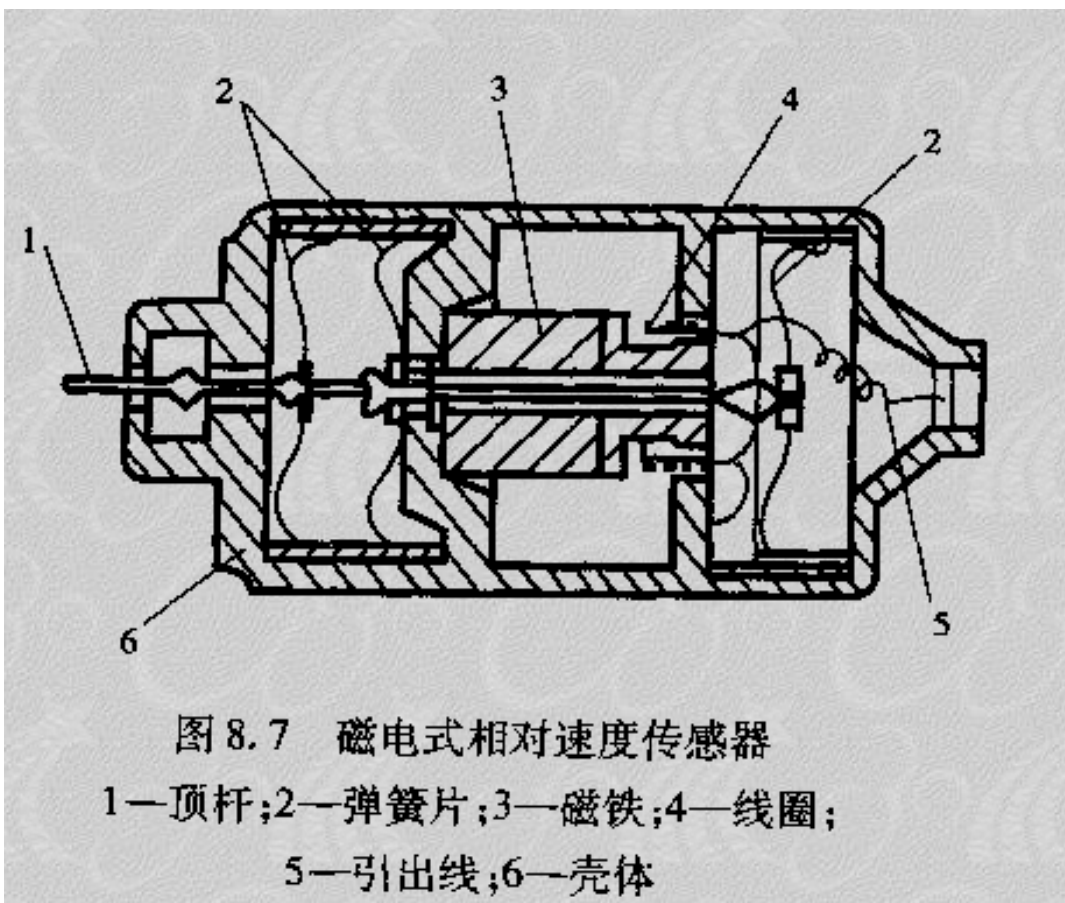


线圈作为质量块的构成部分，在磁场中运动时，其输出电压与线圈切割磁力线的速度成正比。由基础运动所引起的受迫振动，当 $\omega \gg \omega_n$ 时，质量块在绝对空间中近乎静止，从而被测物（它和壳体固接）与质量块的相对位移、相对速度就分别近似其绝对位移和绝对速度。

第八章 振动测试

磁电式相对速度传感器

用来测量振动系统中两部件之间的相对振动速度，壳体固定于一部件上，而顶杆与另一部件相连接，使传感器内部线圈与磁铁产生相对运动，发出相应的电动势来。



第八章 振动测试

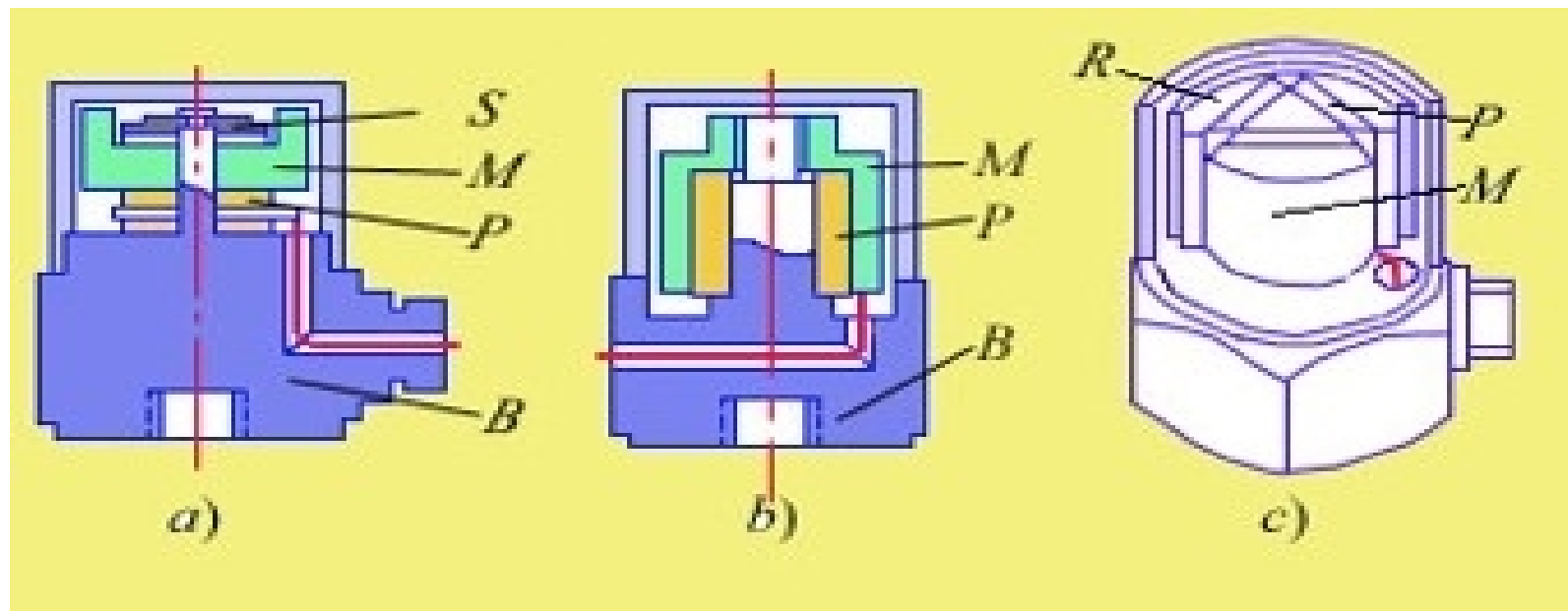
8.2.2 压电式加速度传感器

(1) 压电式加速度计的构造

- 压电式加速度传感器又称压电加速度计。属于惯性式传感器。它是利用某些物质如石英晶体的压电效应，在加速度计受振时，质量块加在压电元件上的力也随之变化。当被测振动频率远低于加速度计的固有频率时，则力的变化与被测加速度成正比。
- 因为压电式传感器的输出电信号是薄弱的电荷，而且传感器本身有很大内阻，故输出能量甚微，这给后接电路带来一定困难。一般把传感器信号先输到高输入阻抗的前置放大器。经过阻抗变换后来，可用于一般的放大、检测电路将信号输给指示仪表或统计器。
- 目前，制造厂家已经有把压电式加速度传感器与前置放大器集成在一起，以便了使用，降低了成本。

第八章 振动测试

压电式加速度计的构造



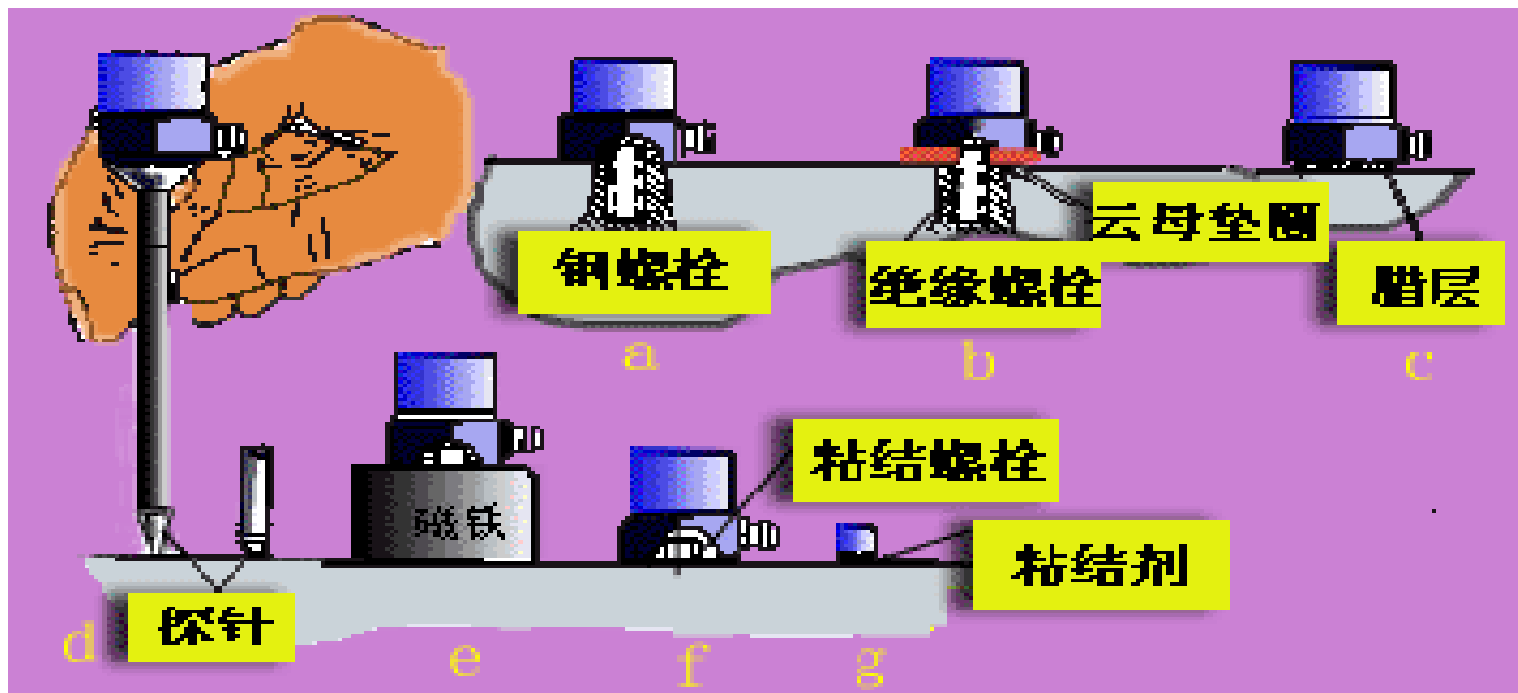
- a) 中央安装压缩型
- b) 环形剪切型
- c) 三角剪切形

第八章 振动测试

压电式加速度计的固定措施

加速度计的使用上限频率取决于共振频率。加速度计不同固定措施，其共振频率不同。

钢螺栓固定法31kHz，云母垫片28kHz，涂簿蜡层29kHz，手持法2kHz，永久磁铁固定法7kHz。



第八章 振动测试

压电式加速度计的敏捷度

- 压电加速度计属发电型传感器，可把它看成电压源或电荷源，故敏捷度有电压敏捷度和电荷敏捷度两种表达措施。
- 前者是加速度计输出电荷与所承受加速度之比；后者是加速度计输出电压（mV）与所承受加速度之比。

$$\begin{cases} s_a = q/a \\ s_u = e_a/a \end{cases}$$

式中： q ——加速度计产生的电荷(-微微库仑)；
 a ——加速度计所受加速度；
 e_a ——加速度计的开路电压(mV)；

- 几乎全部测振仪器都用 g 作为加速度单位。

压电式加速度计的影响原因

- 对给定的压电材料而言，敏捷度随质量块的增大或压电元件的增多而增大。一般来说，加速度计尺寸越大，其固有频率越低。所以选用加速度计时应该权衡敏捷度和构造尺寸、附加质量的影响和频率响应特征之间的利弊。
- 横向敏捷度：压电晶体加速度计的横向敏捷度表达它对横向（垂直于加速度计轴线）振动的敏感程度，横向敏捷度常以主敏捷度（即加速度计的电压敏捷度或电荷敏捷度）的百分比表达。一般在壳体上用小红点标出最小横向敏捷度方向，一种优良的加速度计的横向敏捷度应不大于主敏捷度的3%。所以，压电式加速度计在测试时具有明显的方向性。

8.3 振动测量与试验

振动参数：表达振动特征的量值。

振动位移（振幅）、速度、加速度、
频率、衰减系数（阻尼）、相位、
固有频率、振型、激振力、动应力等。

第八章 振动测试

$$\text{位移 } x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{振动方程}$$

$$\text{速度 } v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi) = A\omega \cos(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2})$$

$$\text{加速度 } a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) = A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi + \pi)$$

x

a

v

ωt

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/856043010015010235>