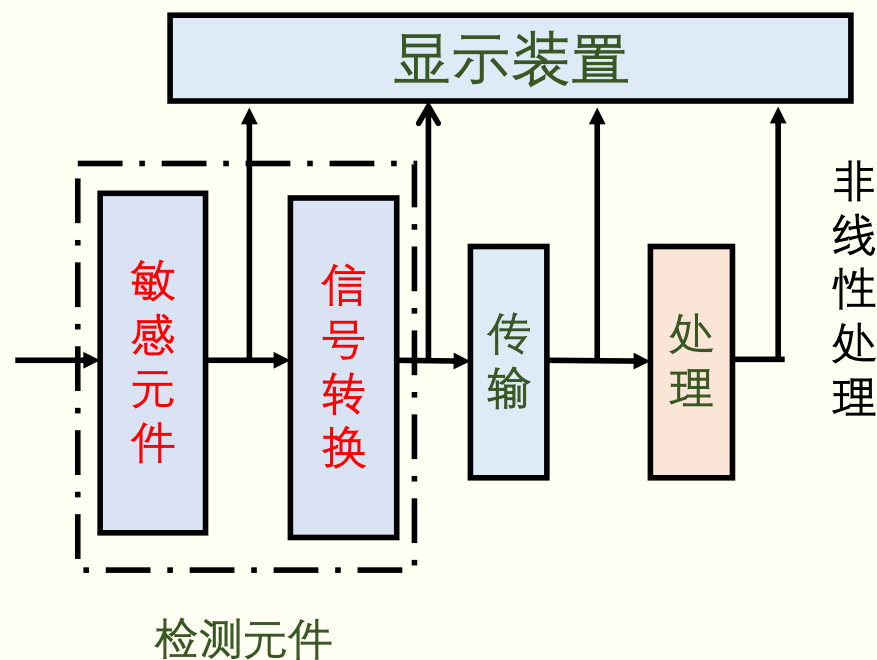




## **2、检测技术与检测元件**

# 典型的检测系统

敏感元件  
转换元件  
显示装置



## 2.1 检测技术器的一般原理

---

### 光学法

利用光的散射、透射、折射和反射，通常用光强表示被测量大小，用光电元件接收光信号。

### 力学法

也称机械法，用敏感元件把被测量转换成机械位移、变形等。

### 热学法

根据被测介质的热物理量的差异和热平衡原理。

# 检测技术器的一般原理

---

## 电学法

用敏感元件把被测量转换成电压、电阻、电容等电学量。

## 声学法

利用超声波的传播及在界面处的反射。

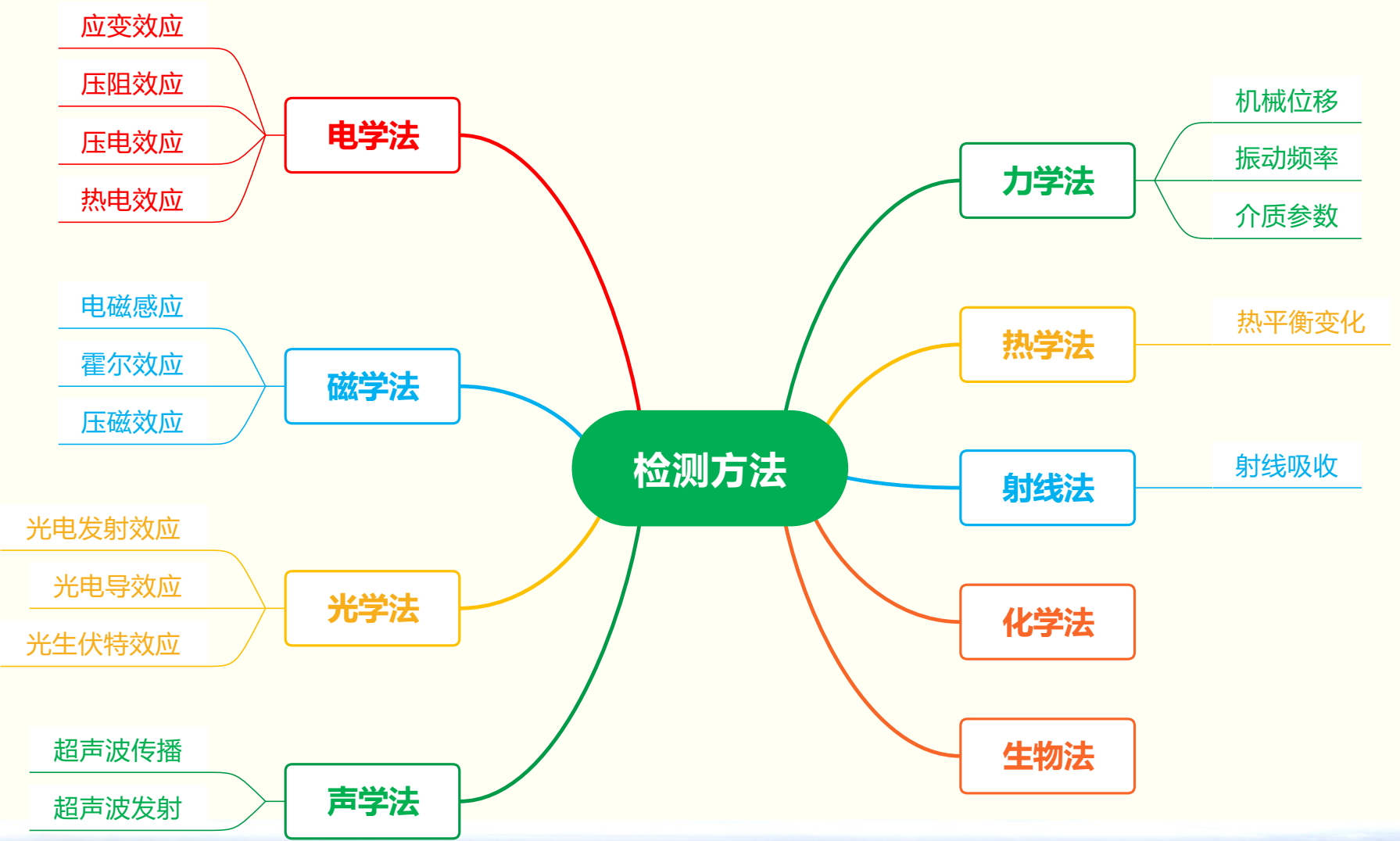
## 磁学法

利用被测介质磁性参数的差异及元件在磁场中表现出的特性。

## 射线法

放射线穿过介质时部分能量会被吸收，吸收程度与物质层厚度、物质密度有关。

# 检测技术器的一般原理



# 与检测有关的自然规律

---

## 守恒定律

质量守恒 能量守恒 动量守恒 电量守恒  
参数的转换

## 场的定律

动力场运动定律 电磁场感应定律 光的干涉  
在场的作用下的表现

## 物质定律

关于物质本身内在性质的定律、法则和规律

## 统计法则

用统计把微观与宏观联系起来的物理法则

# 敏感元件选择

---

适用范围

测量范围

输出特性

静/动态误差

同一方法可以测量  
不同的参数

同一参数可以用  
不同的方法测量

价格、安全性、易复制性、易安装

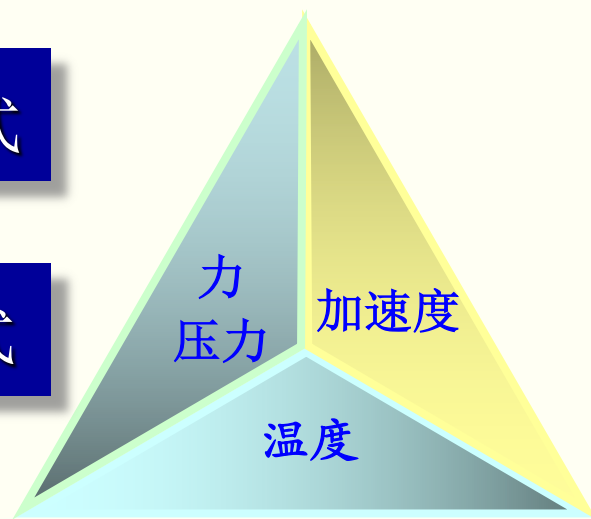
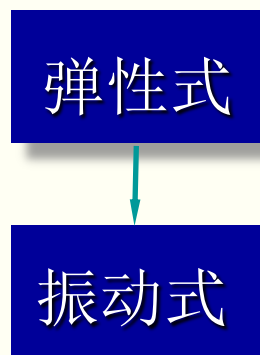
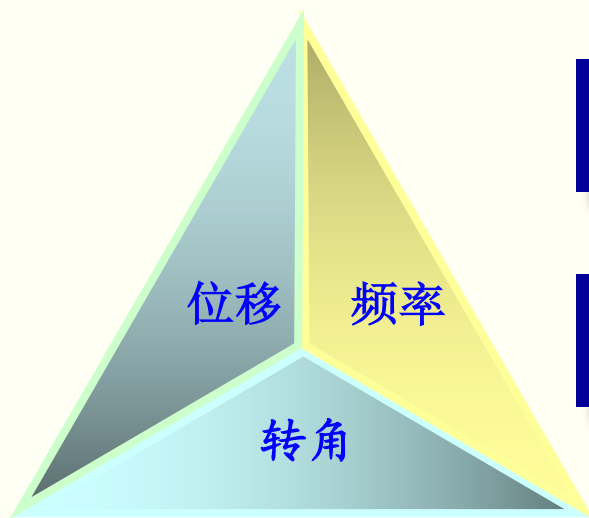
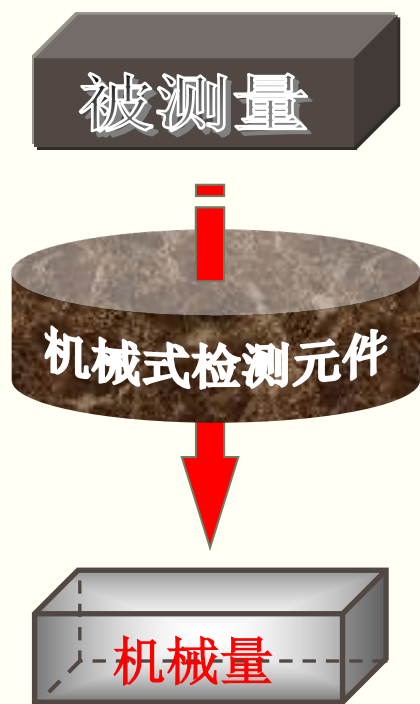


## **2.2 机械式检测元件**

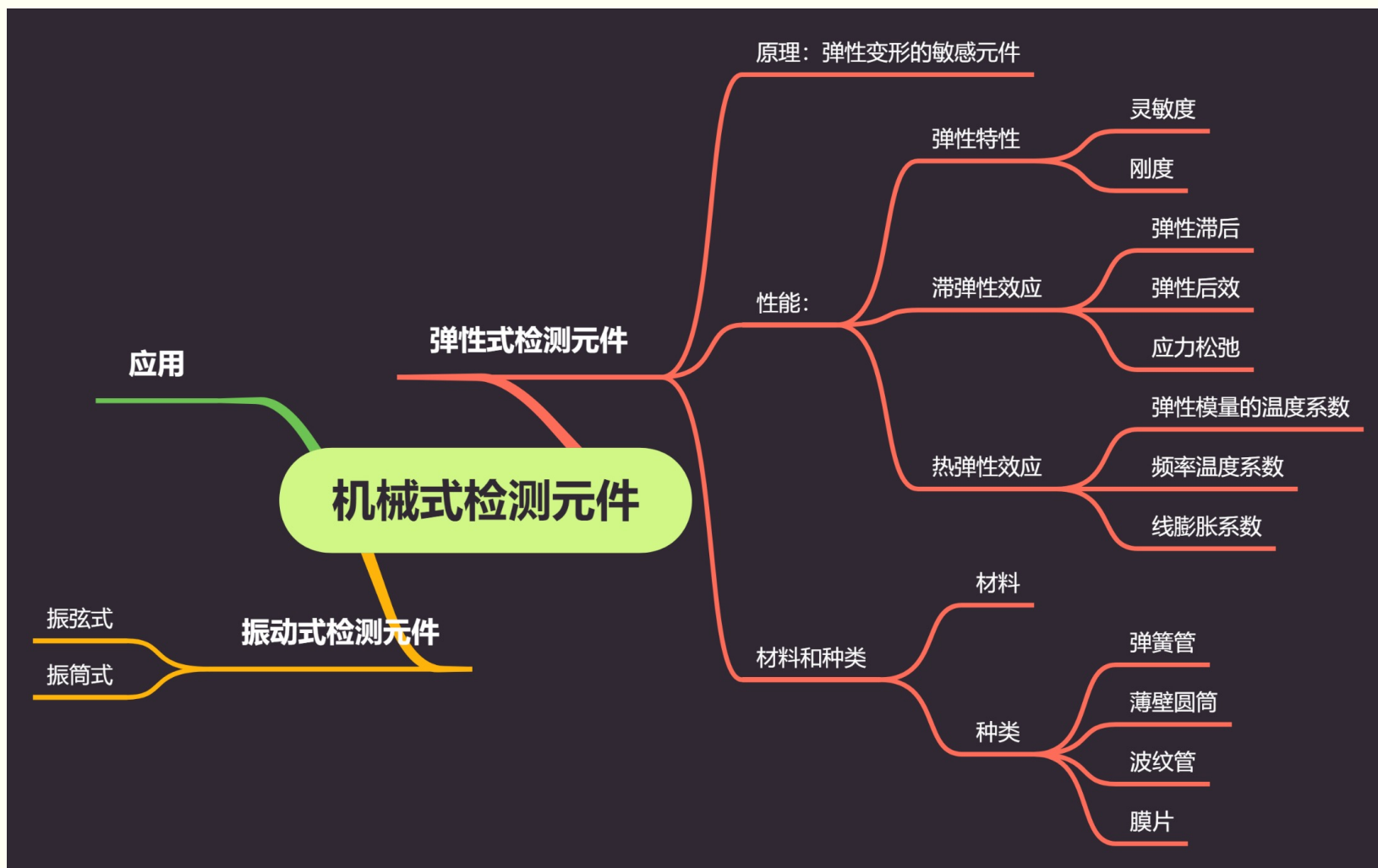


# 定义

将被测量转换为**机械量信号**输出  
具有结构简单、使用安全可靠、  
抗干扰能力强等特点。



# 知识要点



# 一、弹性式检测元件

---

在外力作用下，物体的形状和尺寸会发生变化，若去掉外力，物体能恢复原来的形状和尺寸，这种变形就称为弹性变形。



# 弹性特性

## □ 弹性元件输入量与输出量之间的关系

产生单位变形所需要的外加作用力。

刚度

$$k = \frac{dF}{dx}$$

灵敏度

单位输入量所引起的输出量。

$$S = \frac{dx}{dF}$$

希望 $k$ 和 $S$ 为  
常数

# 弹性效应



## 滞弹性效应

弹性滞后

微塑性变形使虎克定律不满足

加载、卸载中应力 $\sigma$ 和应变 $\varepsilon$ 曲线不重合

最大相对滞后百分数  $r = \frac{\Delta \varepsilon_{\max}}{\varepsilon_{\max}} \times 100\%$

弹性后效

$\sigma$ 不变时,  $\varepsilon$  随时间延续缓慢变化

弹性后效值  $N_{15} = \frac{\varepsilon_{15} - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$

应力保持  
15min后  
的应变

应力松弛

$\varepsilon$  不变时,  $\sigma$  随时间延续逐渐降低

应力松弛率  $r_{\sigma} = \frac{\sigma_0 - \sigma_t}{\sigma_0} \times 100\%$



## 热弹性效应

弹性模量温度系数

$$\beta_E = \frac{E - E_0}{E_0(t - t_0)}$$

谐振频率温度系数

$$\beta_f = \frac{f - f_0}{f_0(t - t_0)}$$

线膨胀系数

$$\beta_l = \frac{l - l_0}{l_0(t - t_0)}$$

## 固有频率

- 弹性元件本身具有质量，具有弹性和弹性后效，它们共同决定了弹性元件的固有频率。
- 弹性元件的动态特性，即输出对动态变化输入量的响应与它的固有频率是密切相关的。固有频率越高，则弹性元件响应越快。

# 弹性元件的材料

- 良好的机械性能及机械加工、热处理性能
- 良好的弹性特性
  - 稳定的输入输出关系、很小的滞弹性效应
- 良好的温度特性
  - 弹性模量的温度系数小且稳定
- 良好的化学性能
  - 较强的抗氧化性和抗腐蚀性

① 适用范围

① 参数测量范围

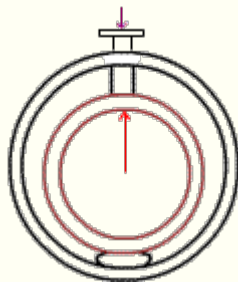
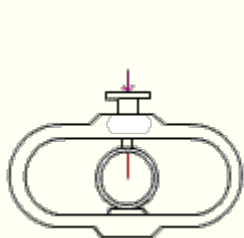
① 输出特性

① 价格、易复制性、安全性

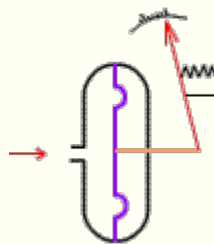
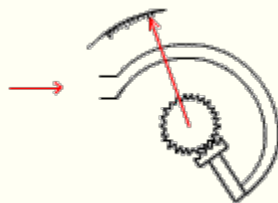
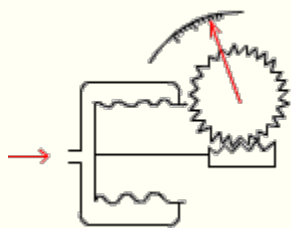
马氏体弥散硬化不锈钢、Ni基弥散化恒弹性合金、Nb恒弹性合金、铍青铜、石英晶体、半导体硅材料、陶瓷材料



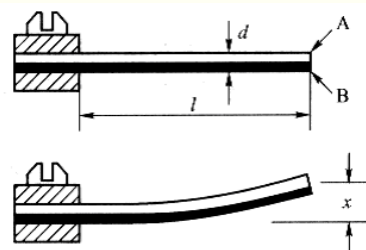
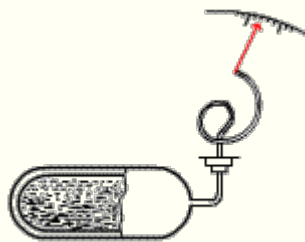
# 常见的弹性式检测元件



力



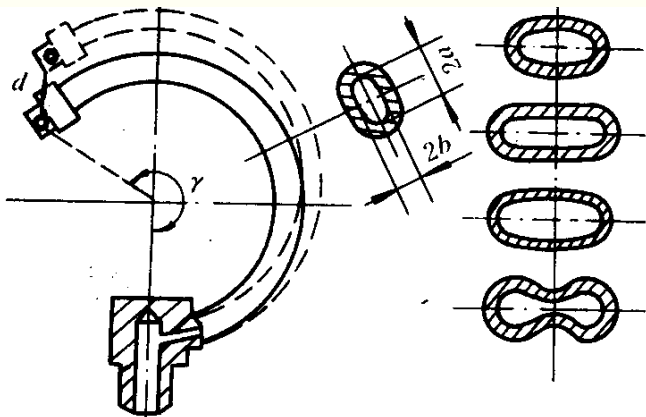
压力



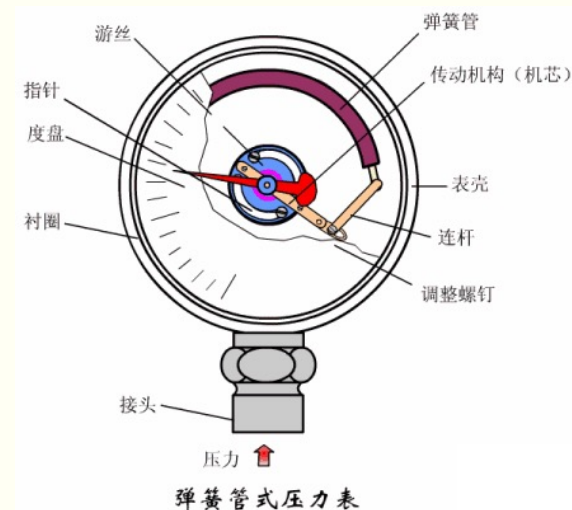
温度



# (1) 弹簧管

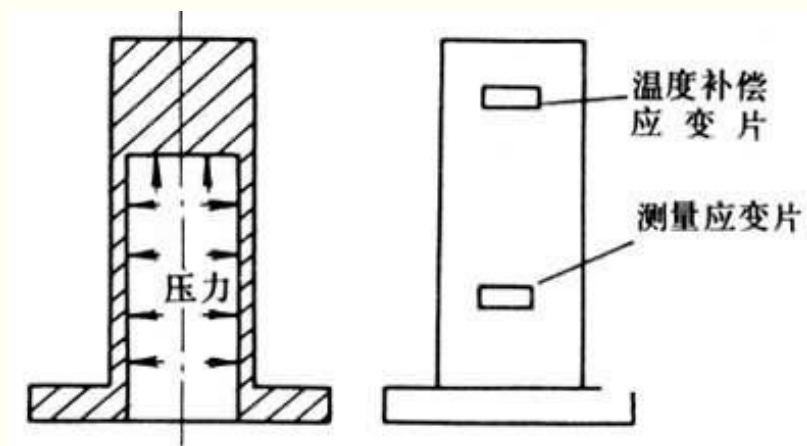
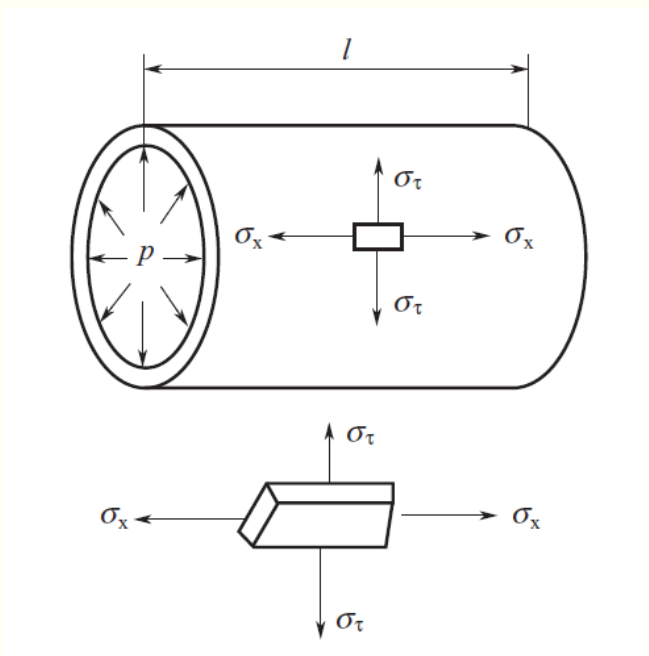


结构原理图



$$d = p \left( \frac{1 - \mu^2}{E} \right) \frac{R^3}{bh} \left( 1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{\alpha}{\beta + x^2} \sqrt{(\gamma - \sin \gamma)^2 + (1 - \cos \gamma)^2}$$

## (2) 薄壁圆筒



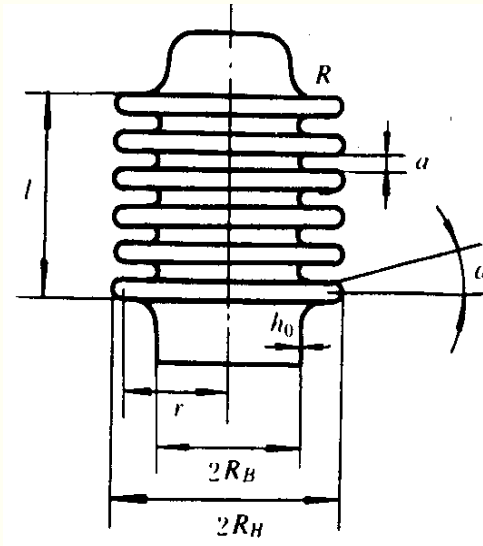
$$\sigma_x = \frac{r_0}{2h} p$$

$$\varepsilon_x = \frac{r_0}{2Eh} (1 - 2\mu) p$$

$$\sigma_\tau = \frac{r_0}{h} p$$

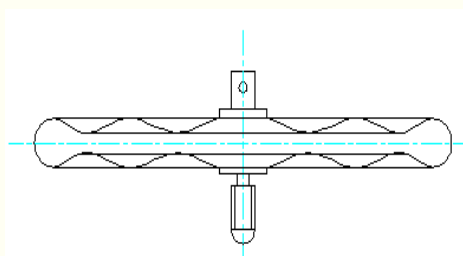
$$\varepsilon_\tau = \frac{r_0}{2Eh} (2 - \mu) p$$

# ( 3 ) 波纹管

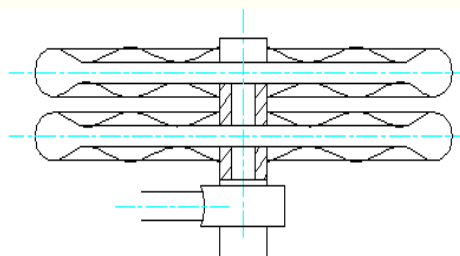


$$d = pA \left( \frac{1 - \mu^2}{Eh_0} \right) \frac{n}{A_0 - \alpha A_1 + \alpha^2 A_2 + B_0 \frac{h_0^2}{R_B^2}}$$

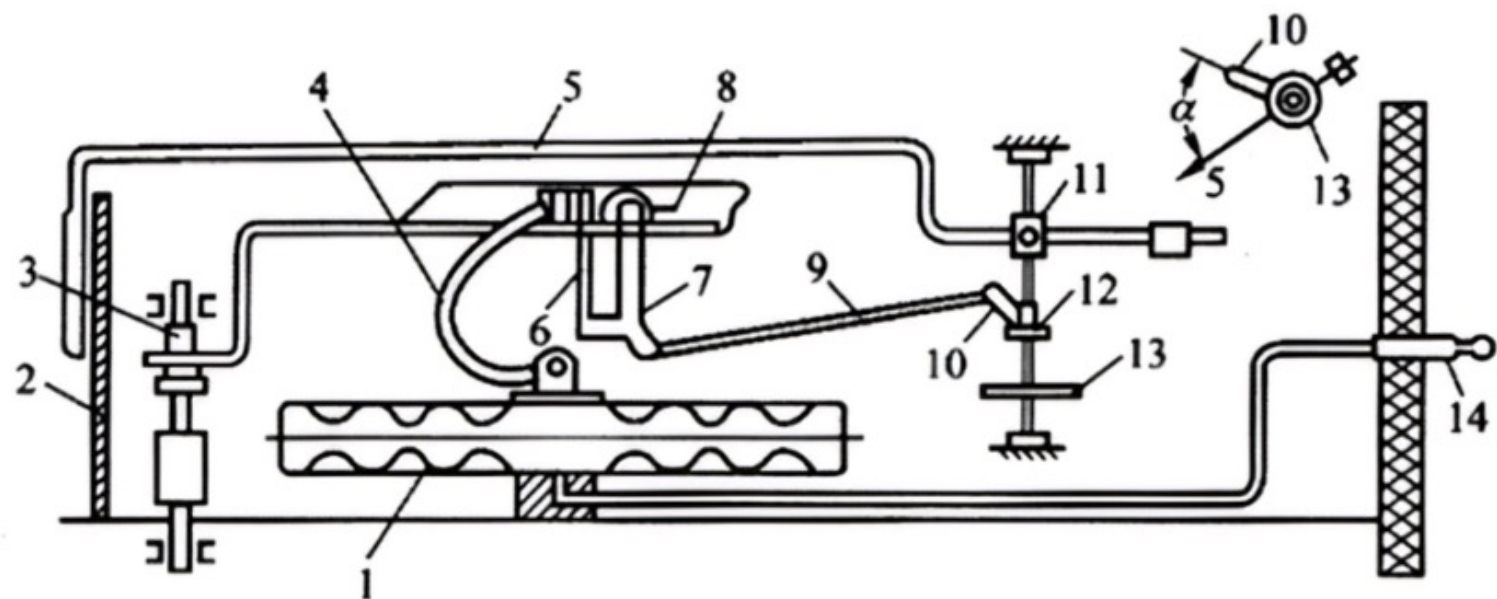
## (4) 膜片、膜盒



(a)



(b)



- 1 - 膜盒; 2 - 分度板; 3 - 调节螺母; 4 - 弧形连杆; 5 - 指针; 6 - 簧片; 7 - 曲柄;  
 8 - 调整螺钉; 9 - 拉杆; 10 - 拐臂; 11 - 固定指针套; 12 - 固定轴; 13 - 游丝;  
 14 - 压力接头

(a) 矩形水平安装膜盒压力表结构示意图

图 9 膜盒压力表结构示意图



## 二、振动式检测元件

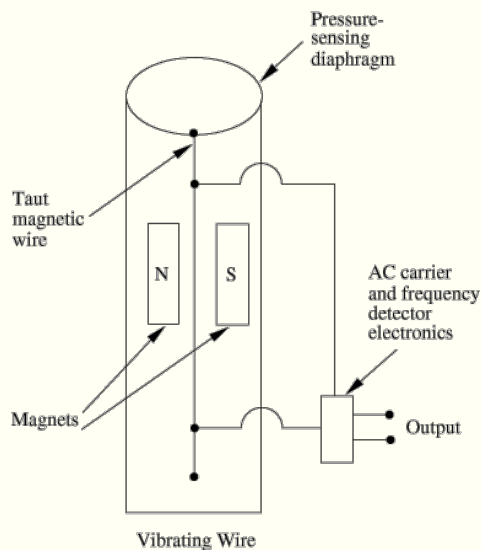
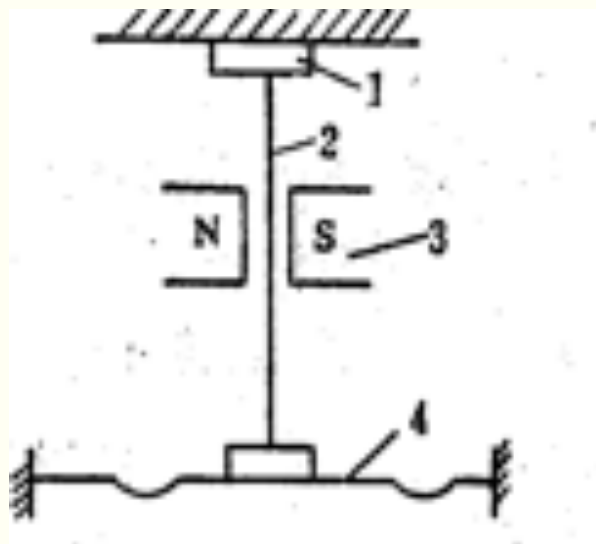
---

被测量（如力、压力、密度等）的变化转换为  
谐振元件的固有频率的变化

振弦式

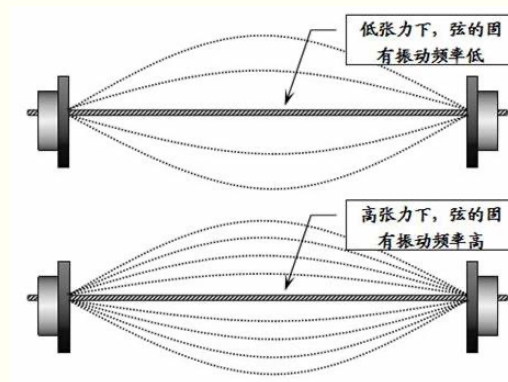
振筒式

# (1) 振弦式

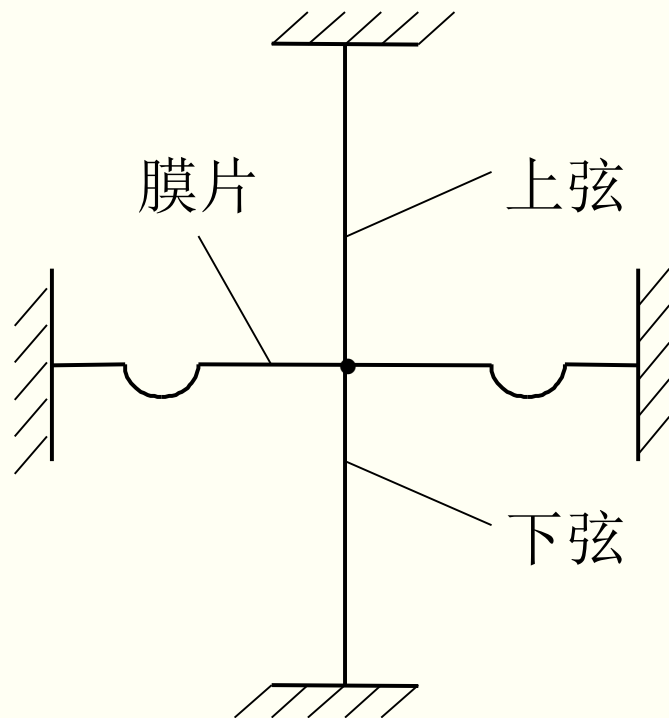


- 1—支承；
- 2—钢弦；
- 3—永久磁铁  
(用途?)；
- 4—膜片

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho'}}$$



# 差动式振弦传感器



差动式振弦传感器原理



振弦式压力传感器



# 振弦式传感器用于车辆动态称重

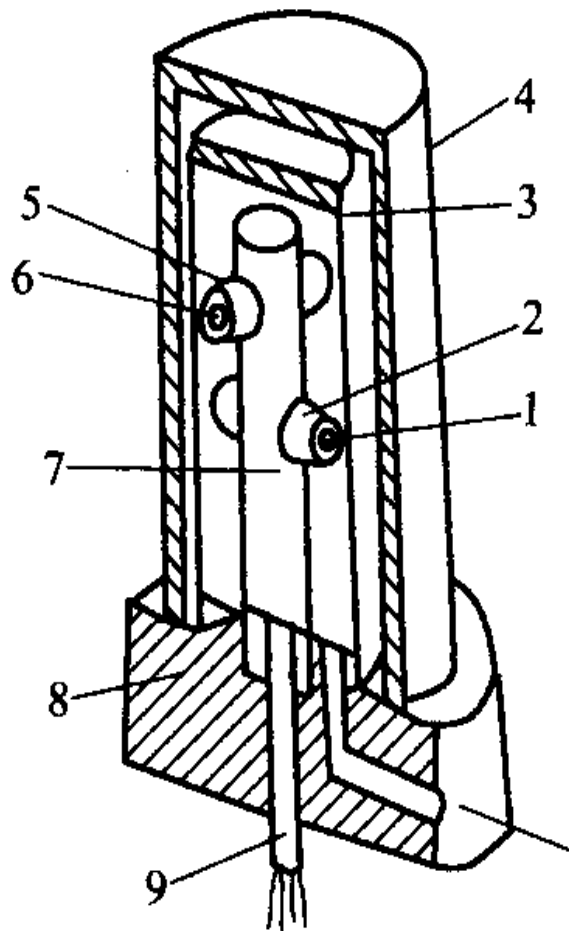


应用独特的振弦传感技术解决了汽车动态称重难题，实现了车辆可靠分离和轮轴组准确识别，为计重按超限率收费提供了圆满的解决方案。

力变换式振弦称重传感器，准确度达到 $0.1\%FS \sim 0.5\%FS$ ，可满足动态称重要求。优点：

①具有很强的抗震动、抗电磁干扰能力；②长期稳定性好；③良好的过载能力；④传感器内无电子元件，工作可靠，寿命长达10年以上；⑤不怕水，可浸在水中工作。

## (2) 振筒式



- 1—永磁棒；
- 2—拾振线圈；
- 3—振筒；
- 4—外壳；
- 5—激励线圈；
- 6—磁芯；
- 7—支柱；
- 8—基座；
- 9—引线

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R} \sqrt{\frac{E\Delta}{\rho(1-\mu^2)}}$$

$$f = f_0 \sqrt{1 + \alpha p}$$

# 机械式检测元件应用

---

□ 机械式检测元件能将难以直接测量的物理量 (如压力、流量、温度等 )转换成便于测量的长度、角度、频率等参量，应用非常广泛。

➤ 压力表

➤ 车辆动态称重