

# 第三章传感器中的弹性敏感元件

## 3.1 引言

弹性元件：具有弹性变形特性的物体。

弹性元件在传感器技术中占有相当重要地位。

作用：

力、力矩、压力  $\xrightarrow{\text{弹性敏感元件}}$  应变、位移  $\xrightarrow{\text{传感元件}}$  电量

种类 {  
    弹性敏感元件：起测量作用  
    弹性支承（感器活动部分的支承）

要求内摩擦力小，弹性变形大，以保证传感器的活动部分得到良好精度。

## 3.2 弹性敏感元件的基本特性

### 一、弹性特性

作用在弹性敏感元件上的外力与其引起的相应变形(应变、位移或转角)之间的关系称为弹性元件的弹性特性。弹性特性可由刚度或灵敏度来表示。

## 1. 刚度

刚度：弹性敏感元件在外力作用下抵抗变形的能力。一般用 **k** 表示，其数学表达式为

$$k = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta F}{\Delta x} \right) = \frac{dF}{dx}$$

**dF** 为作用于弹性元件上的外力，

**dx** 为弹性元件产生的变形。

刚度 **k** 给出了弹性元件单位变形下所需要的力。

## 2. 灵敏度

灵敏度是刚度的倒数，一般用 **S<sub>n</sub>** 表示，即为

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

可知：灵敏度就是单位力产生变形的大小。即单位力作用下弹性元件的变形。

**n**个弹性敏感元件串联时，系统的灵敏度为  $S_n = \sum_{i=1}^n S_{ni}$

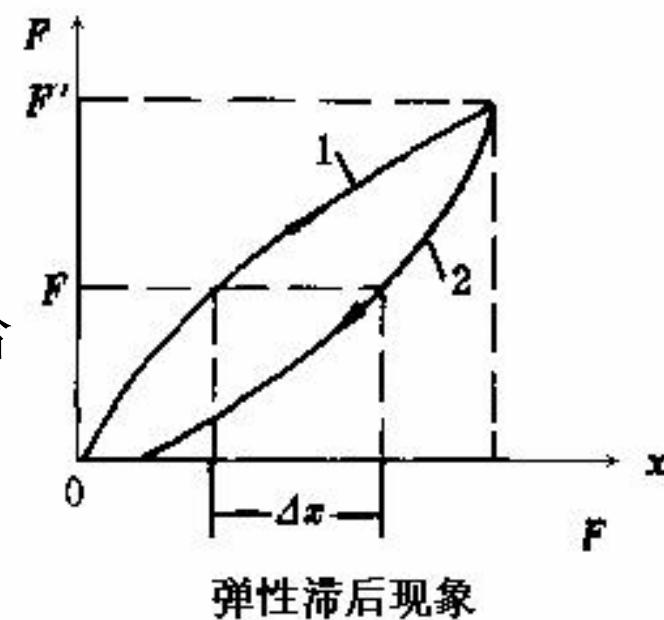
**n**个弹性敏感元件并联时，系统的刚度为  $K = \sum_{i=1}^n k_{ni}$

## 二、弹性滞后

弹性元件在弹性变形范围内，弹性特性的加载曲线与卸载曲线不重合的现象称为弹性滞后现象。

$\Delta x$ 称为弹性敏感元件的滞后误差。它给测量带来误差。

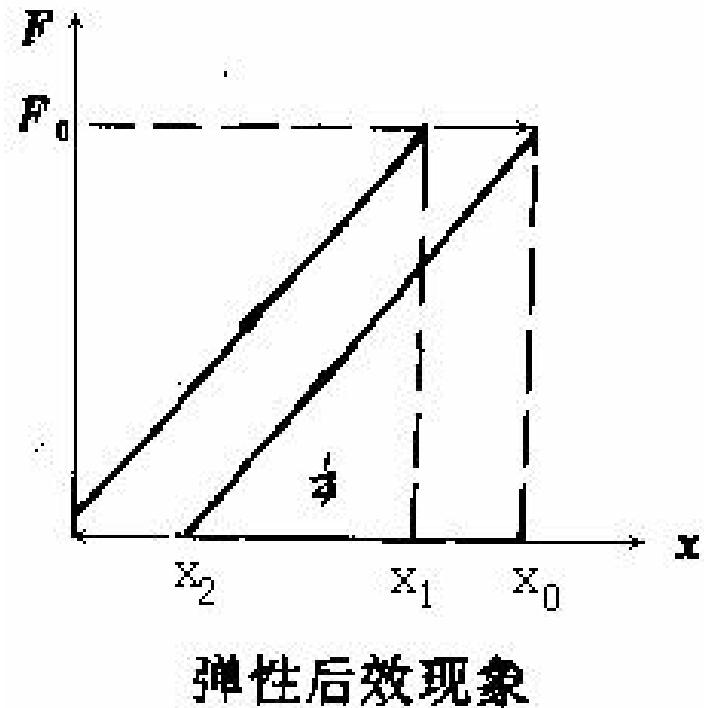
原因：主要是由于弹性敏感元件在工作时分子间存在内摩擦。



### 三、弹性后效

弹性敏感元件所加荷载改变后，不是立即完成相应的变形，而是在一定时间间隔中逐渐完成变形的现象称为弹性后效现象。

弹性后效的存在，使测量造成误差。在动态测量中，这种现象影响更加严重



## 四、固有振动频率

弹性敏感元件的动态特性和变换时的滞后现象，与其固有振动频率有关，通常希望它具有较高的固有频率。

固有频率计算复杂，常通过实验确定。也可用下式进行估算：

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_e}} \text{ (Hz)}$$

式中， **k**: 弹性敏感元件的刚度；

**me**: 弹性敏感元件的等效振动质量。

设计弹性敏感元件时，常遇到线性度、灵敏度和固有频率之间的相互矛盾：

提高灵敏度。会使线性变差，固有频率降低，这就不能满足测量动态量的要求。相反。固有频率提高了，灵敏度却降低了。故根据测试对象和具体要求，加以综合考虑。

## 3.2 弹性敏感元件的材料

### 1. 基本要求：

- (1) 弹性滞后和弹性后效要小；
- (2) 弹性模数的温度系数要小；
- (3) 线膨胀系数要小且稳定；
- (4) 弹性极限和强度极限要高；
- (5) 具有良好的稳定性和耐腐蚀性；
- (6) 具有良好的机械加工和热处理性能。

### 2. 常用弹性材料

通常使用的材料为合金钢、铜合金等。

### 3.3 弹性敏感元件的特性参数计算

特性参数：

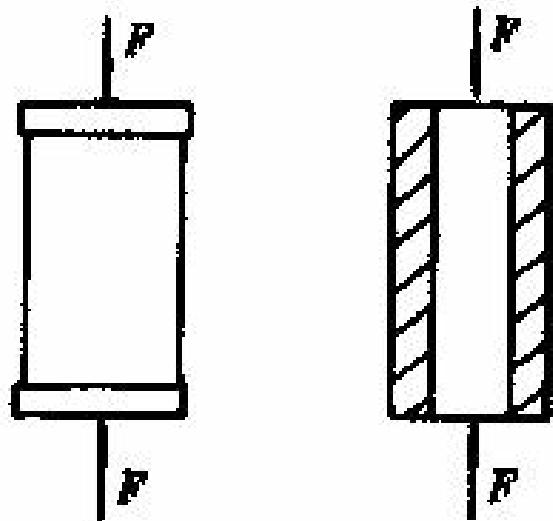
如应力、应变、灵敏度结构系数、固有频率、挠度、位移等。

**应力：**物体内部任一截面的两方单位面积上的相互作用力。分正应力和切应力(剪应力)。

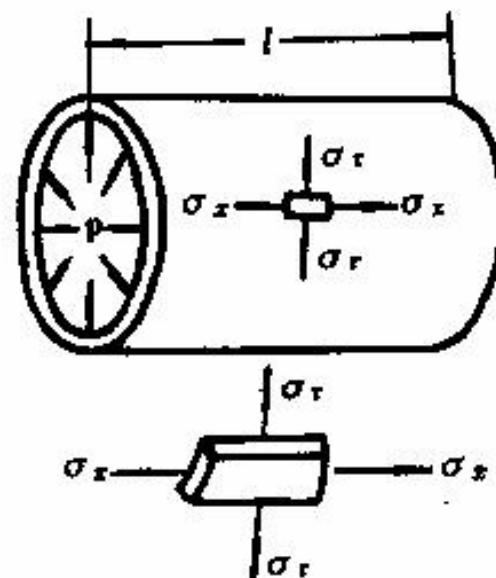
**应变：**物体受力作用后，它的大小和形状的相对改变，即单位长度或单位体积的形变。

**弹性模量：**

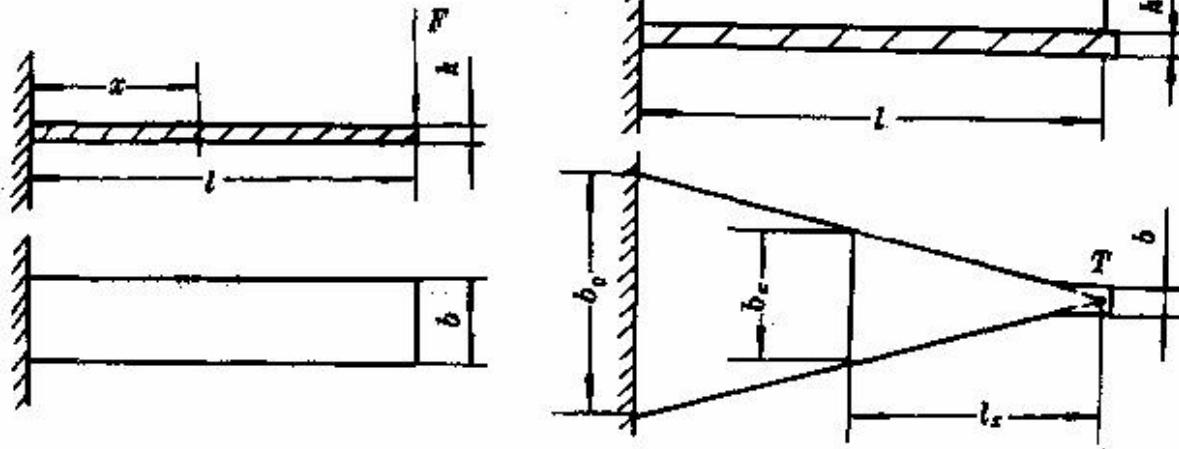
- {
  - 弹性模量：弹性极限内，应力与应变的比值。
  - 弹性系数：应变与应力的比值。
  - 倔强系数：所受外力与引起形变量的比值。



(a) 实心圆柱      (b) 空心圆柱  
弹性圆柱

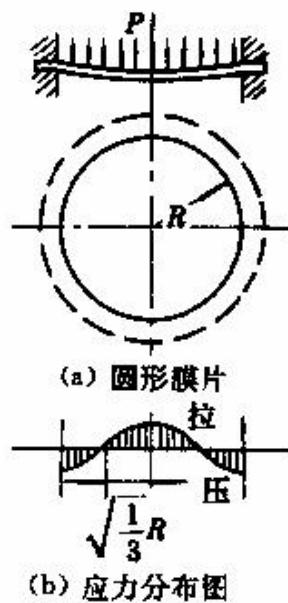
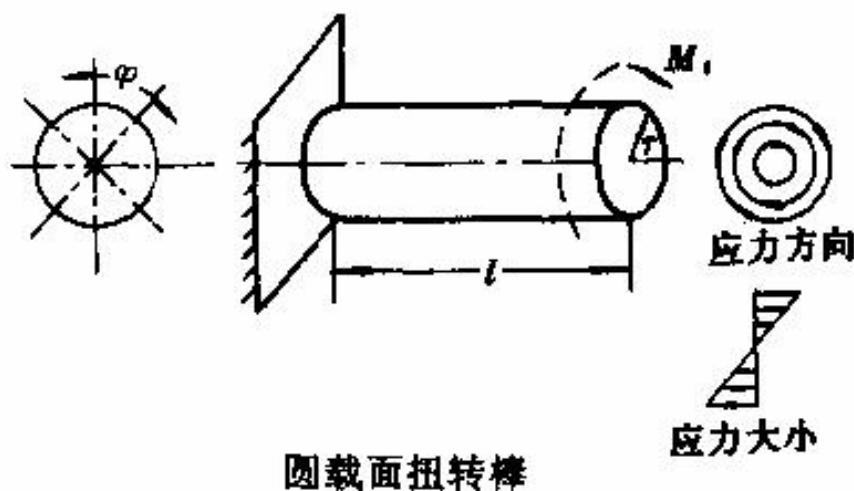


薄壁圆筒受力分析

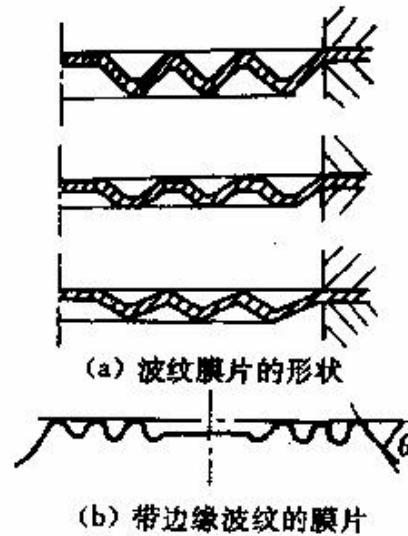


等截面悬臂梁

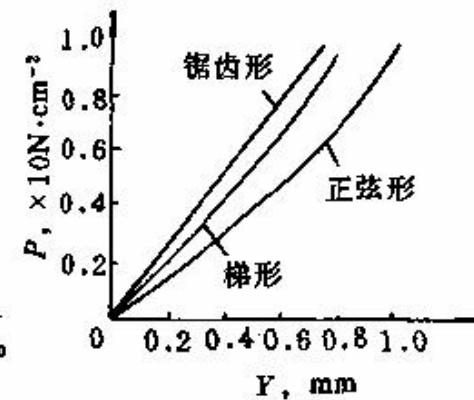
等强度梁



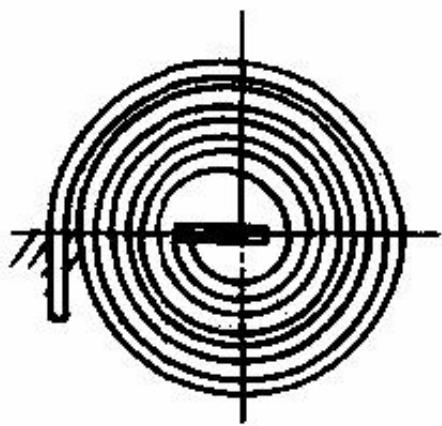
圆形膜片应力分布



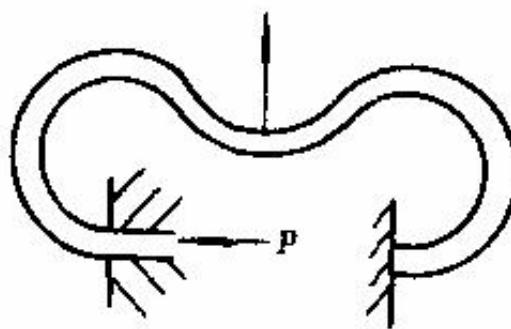
波纹膜片



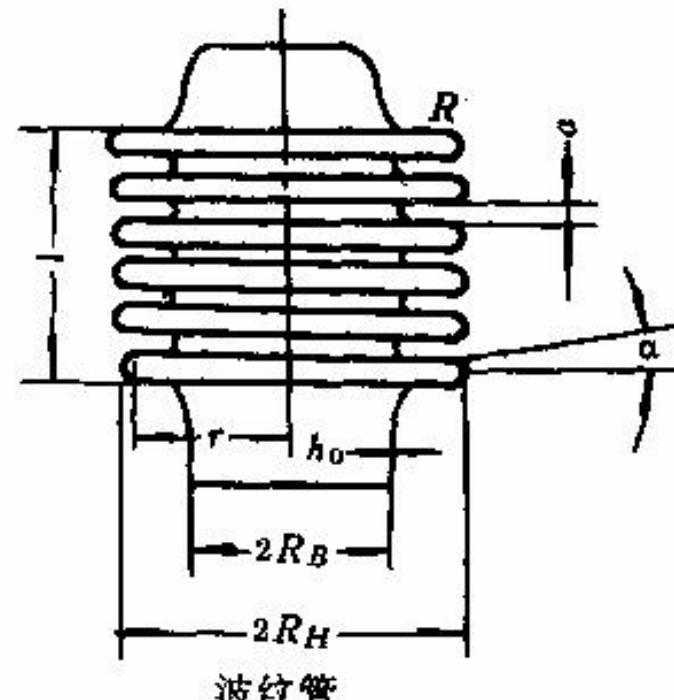
波纹形状对膜片特性的影响



螺旋形弹簧管



C型组合弹簧管



波纹管

变换力的弹性敏感元件：力->应变或位移

实心或空心圆柱体、等截面环、等截面或等强度悬臂梁、  
波纹膜片、波纹管。

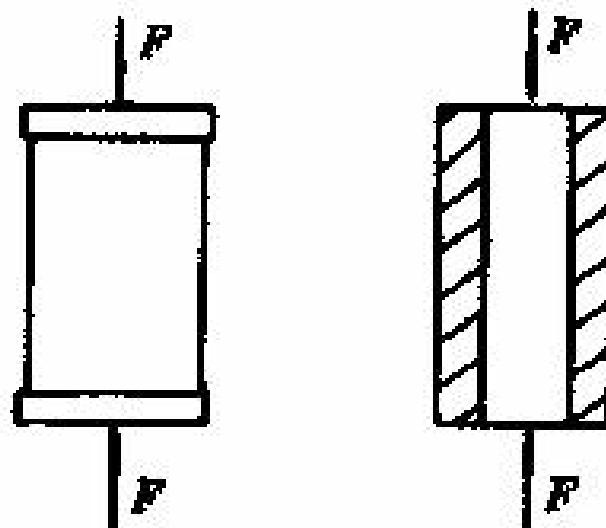
变换（流体）压力的弹性敏感元件：（流体）压力->应变或位移  
弹簧管、膜片、膜盒、薄壁圆筒、波纹膜片、波纹管。

变换力矩的敏感元件：力矩->位移、应变、转角  
扭转棒。

测量小于**1**千牛顿的较小的力用等强度悬臂梁，**1~10**千牛  
顿中等力时用空心圆柱或等截面圆环，超过**10**千牛顿的力用  
实心圆柱。

## 一、弹性圆柱 力应变

特点：结构简单，可承受很大的载荷，根据截面形状可分为实心截面、空心截面。



(a) 实心圆柱      (b) 空心圆柱  
弹性圆柱

习题：按下列要求分别设计弹性圆柱和弹性圆筒的截面直径。

(1) 弹性材料的允许应力为  $\sigma_b$ 。

(2) 设计灵敏度不小于  $S_m$ 。