

## 第五章压力检测及仪表

- 压力是工质热力状态的主要参数之一。火电厂中为设备的安全经济运行，需测量压力。
- 在火力发电厂中，待测压力的范围比较宽，约从 $10^3\text{Pa}$ 到 $24\text{MPa}$ ，且压差测量也广泛应用在液位和流量测量中作为中间变换
- 电厂中使用的压力计和差压计主要是弹性的，低压和试验时用液柱式；另外压力和差压的测量受管路限制，一般用压力或差压变送器将信号转换成电信号进行远传。

# 1、压力的定义

均匀而垂直作用在单位面积上的力称**压力**。  
在国际单位制（SI）和我国法定计量单位中，  
压力的单位是“**帕斯卡**”，简称“帕”，符号为“Pa”。

$$1\text{Pa} = 1\text{N} / \text{m}^2 = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{m}^2\text{s}^2} = 1\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$$

即1N的力垂直均匀作用在1m<sup>2</sup>的面积上所形成的压力值为1Pa。

## 2、压力的表示方法

➤ 绝对压力：指物体所受的实际压力， $p_a$

➤ 表压力：指处于大气压力下的压力 $p_0$   
检测仪表所测得的压力， $p$

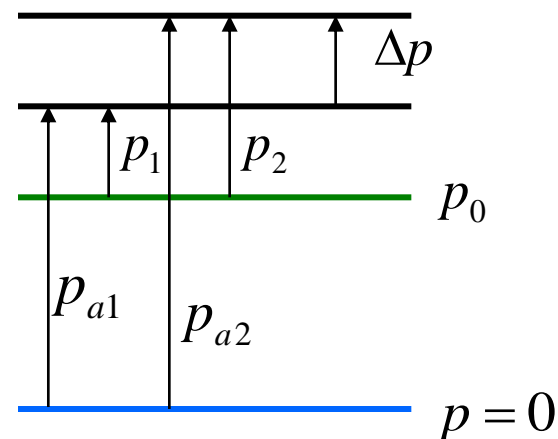
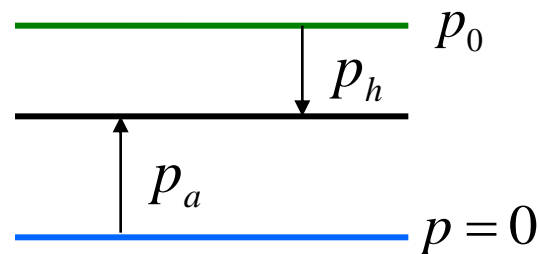
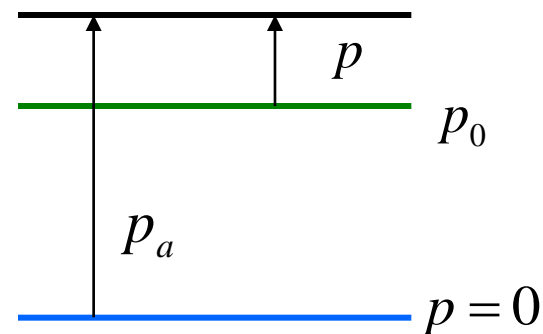
$$p = p_a - p_0$$

➤ 真空度：指大气压低于大气压的绝对压力之差，也称负压， $p_h$

$$p_h = p_0 - p_a$$

➤ 差压：指某两个压力之差， $\Delta p$

$$\Delta p = p_2 - p_1 = p_{a2} - p_{a1}$$



# 压力检测方法

- 1. 平衡法：通过仪表使液柱高度的重力或砝码的重量与被测压力相平衡的原理测量压力
- 2. 弹性法：利用各种形式的弹性元件，在被测介质的表压力或负压力作用下产生的弹性变形来反映被测压力的大小
- 3. 电气式：用压力敏感元件直接将压力转换成电阻、电荷量等电量的变化

# 压力测量仪表的分类

- ◆ 压力传感器从其原理及结构来看可分为：液柱式、机械式及电气式
- ◆ 测量压力的仪表，按信号原理不同，大致可分为四类：
  - 液柱式：根据流体静力学原理，把被测压力转换成液柱高度
  - 机械式：根据弹性元件受力变形的原理，将被测压力转换成位移

# 压力测量仪表的分类

- **电气式**：将被测压力转换成各种电量，如电感、电容、电阻、电位差等，依据电量的大小实现压力的间接测量
- **活塞式**：根据水压机液体传送压力的原理，将被测压力转换成活塞面积上所加平衡砝码的质量

# 第一节液柱式压力计

- 利用液柱对液柱底面产生的静压力与被测压力相平衡的原理，通过液柱高度来反映被测压力的大小
- 优点：结构简单，使用方便，有相当高的准确度，在本专业中应用很广泛
- 缺点：量程受液柱高度的限制，体积大，玻璃管容易损坏及读数不方便



# 一、U型管压力计

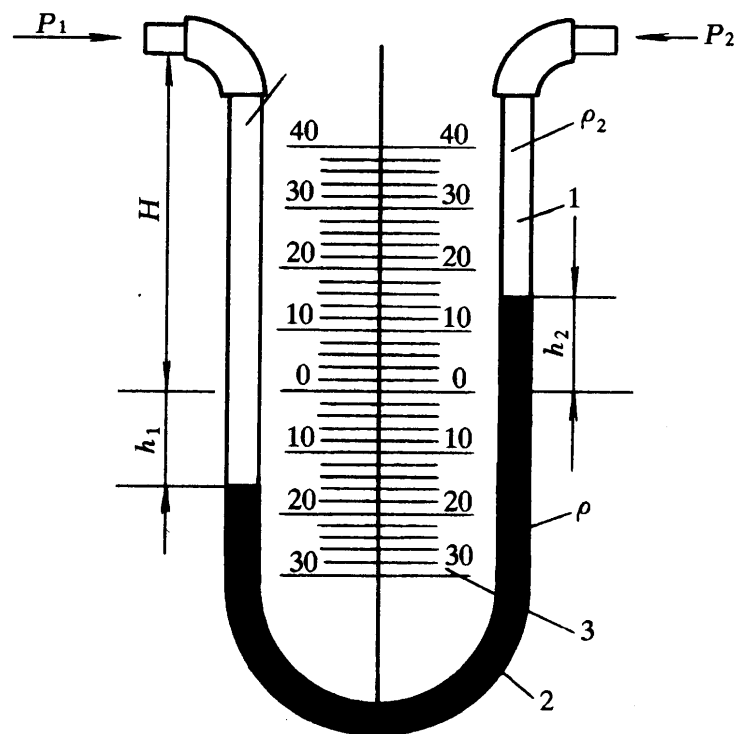


图 5-2 U 形管压力计原理图

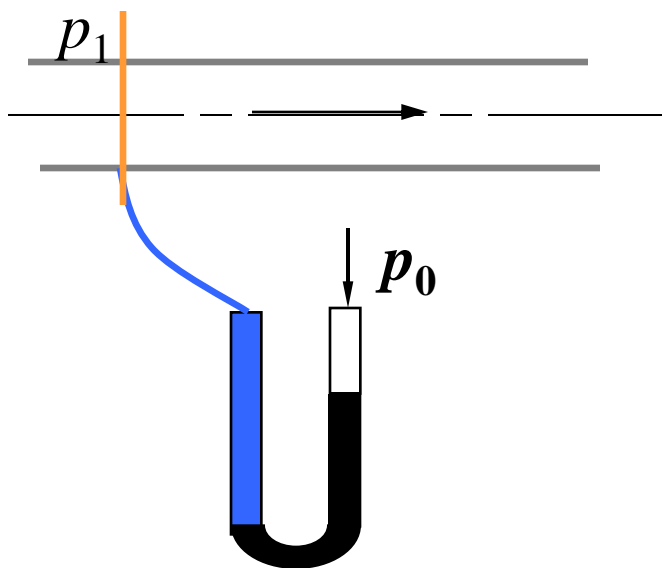
1—U 形玻璃管；2—工作液；3—刻度尺

- 采用水银或水为工作液，用U形管或单管进行测量，常用于低压、负压或压力差的检测
- 被广泛用于实验室压力测量或现场锅炉烟、风道各段压力、通风空调系统各段压力的测量

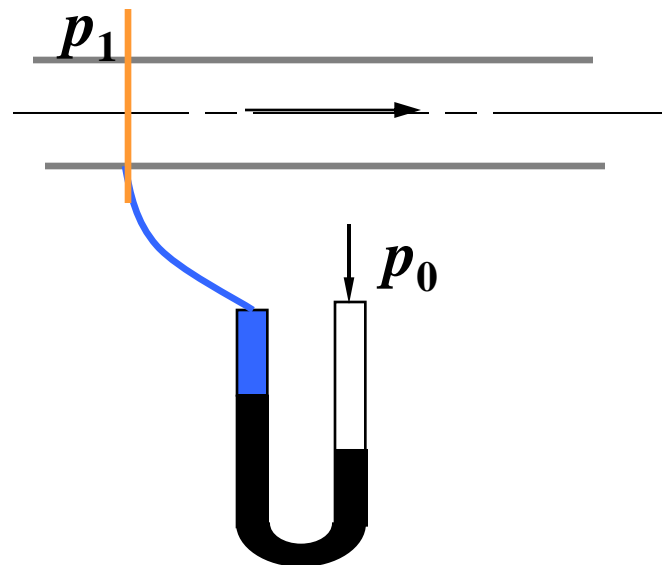


## 讨论:

U形压差计可测系统内两点的压力差，当将U形管一端与被测点连接、另一端与大气相通时，也可测得流体的表压或真空度；



表压



真空度

# 一、U型管压力计

## 注意事项

- 为减小毛细现象，U型管的内径一般为**5-20mm**，内径最好不小于**10mm**
- 使用时保持垂直
- 减小两次读数误差，读数时眼睛与液面平齐，以封液弯月面顶部切线为准读取液面高度。
- 应选择密度小的封液，以增大左右管液体的高度差，减小读数误差。（水，汞，四氯化碳）

## 二、单管式压力计

- 单管压力计的应用：

将数根肘管连至同一个大截面容器，则成为多管压力计，电厂用它测炉膛和烟道各处的负压。大容器内通大气，各肘管连至烟道各测点，此时各肘管中的液体高度即代表各处负压。

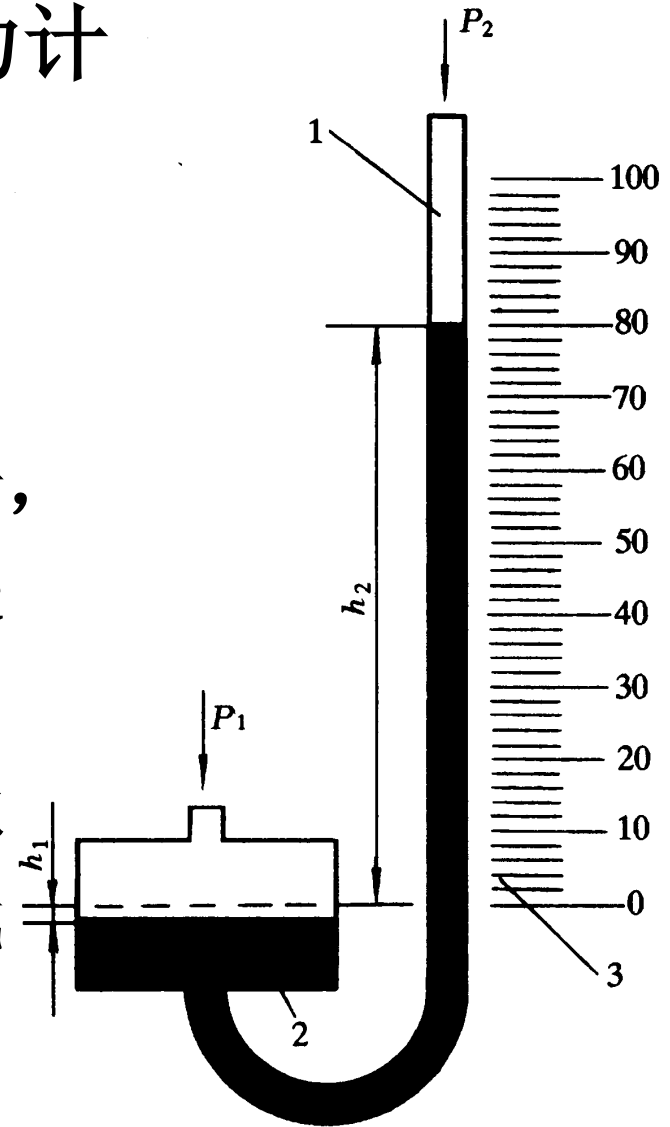
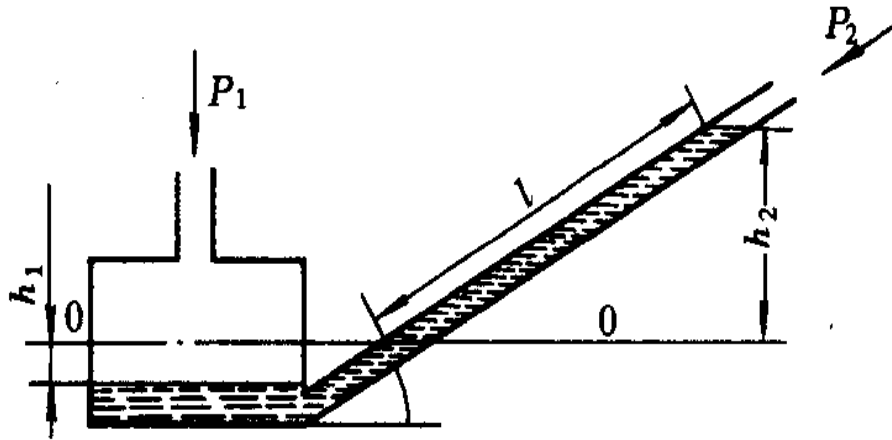


图 5-3 单管液柱式压力计

1—测量管；2—宽口容器；3—刻度尺

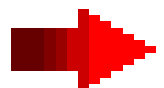
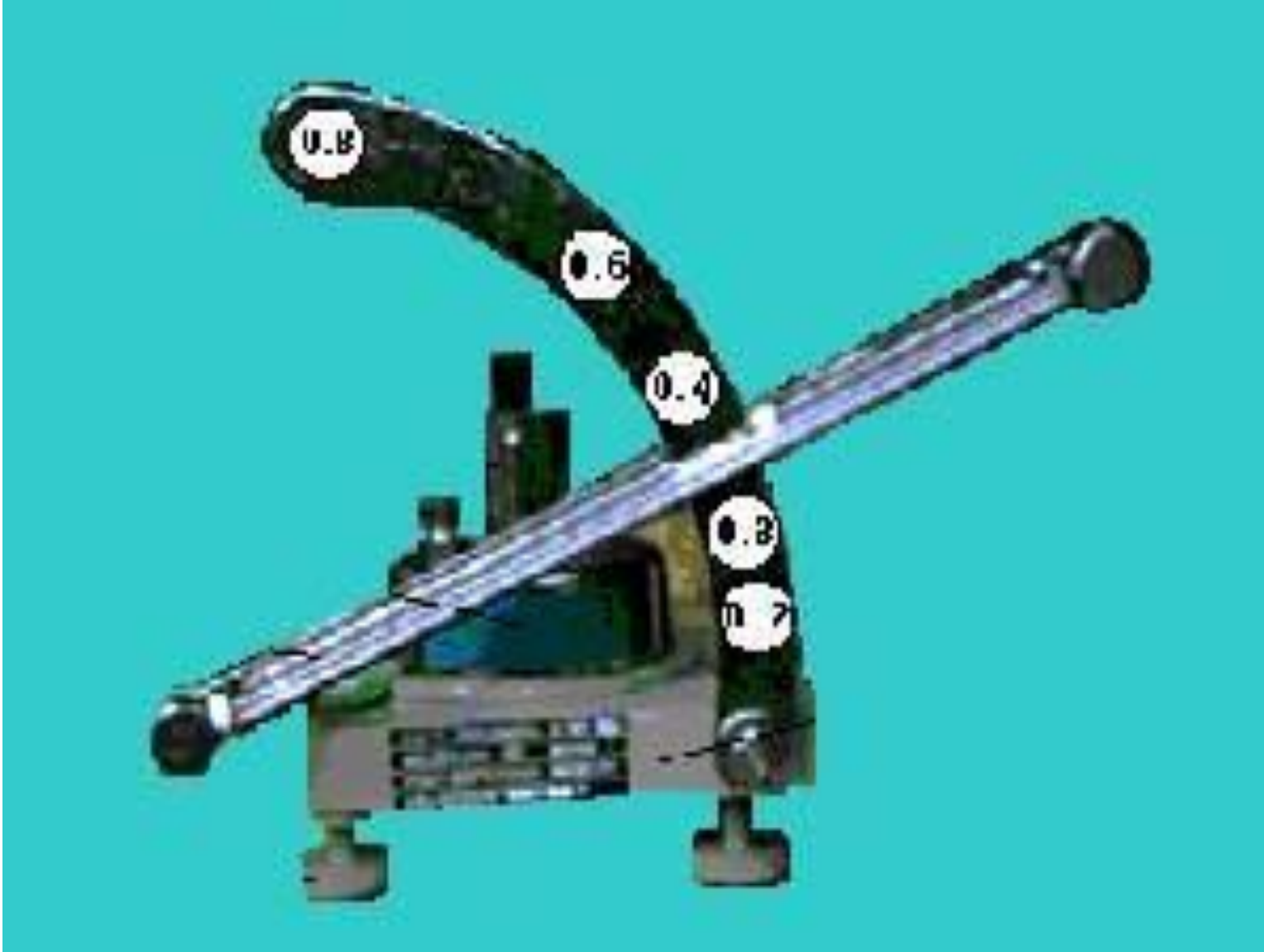
### 三、斜管式微压计



热力实验中用斜管式微压计测微小压力、负压、差压。

- $\Delta p = L(\sin\alpha + d^2/D^2) \rho_1 g = kL$
- 优点：
  - 因为 $L$ 比 $h_2$ 放大了 $1/\sin\alpha$ 倍，所以读数得相对误差小
  - 改变 $\alpha$ 可改变 $k$ 值，但不得小于 $15^\circ$

### 三、斜管式微压计



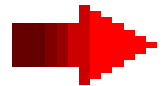
## 第二节 弹性式压力计

用弹性传感器（又称弹性元件）组成的压力测量仪表称为弹性式压力计。弹性元件受压后产生的形变输出（力或位移），可以通过传动机构直接带动指针指示压力（或压差），也可以通过某种电气元件组成变送器，实现压力（或压差）信号的远传。



## 第二节 弹性式压力计

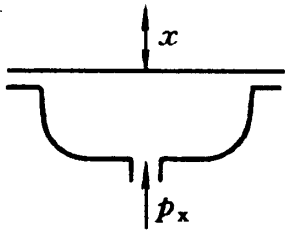
- 根据弹性元件受压后产生变形和压力大小有确定关系的原理制成。适用范围（**0- $10^3$ Mpa**),结构简单，广泛应用。
- 包括：金属膜片式（包括膜片式）、波纹管式和弹簧管式。



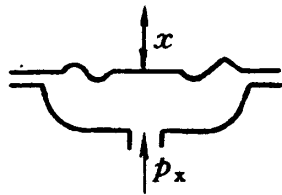
## 第二节 弹性式压力计

弹性元件在弹性限度内受压后会产生变形，变形大小与被测压力成正比关系。

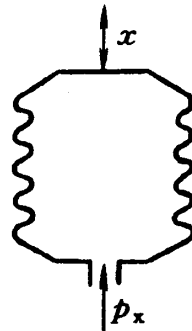
以变形或应变响应



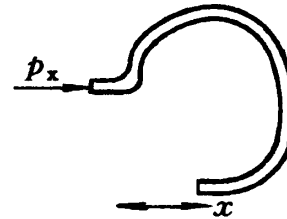
平薄膜



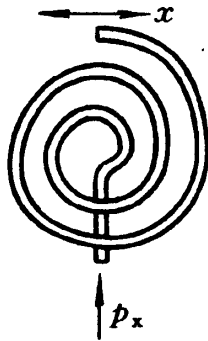
波纹膜



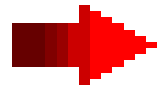
波纹管



单圈弹簧管

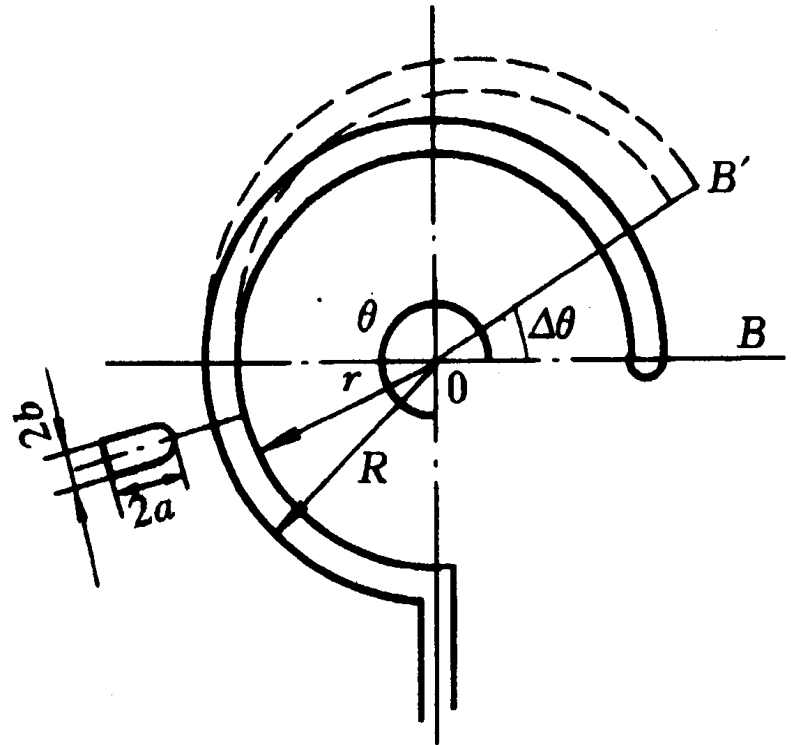


多圈弹簧管



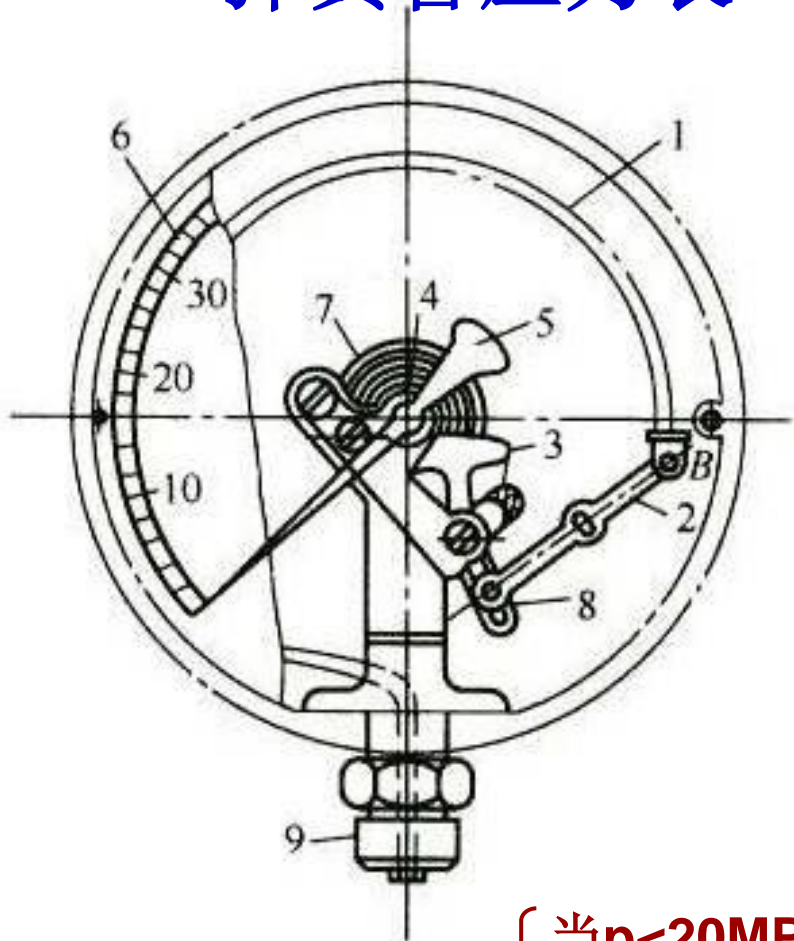


- 弹簧管
- 截面为非圆形（椭圆形或扁圆形），并弯成圆弧状的空心管子
- 一端为封闭（自由端），一端为开口（固定端）



$$\frac{\Delta\theta}{\theta_0} = P \frac{1-\mu^2}{E} \frac{R^2}{bh} \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right) \frac{\alpha}{\beta + k^2}$$

# 弹簧管压力表



最常用的指示式压力检测仪表

刻度标尺：线性

弹簧管压力表结构简单、使用方便、价格低廉、测量范围宽。应用广泛。

普通介质：

{ 当 $p < 20\text{MPa}$ 时，弹簧管采用磷铜；  
当 $p > 20\text{MPa}$ 时，弹簧管采用不锈钢或合金钢；

腐蚀性介质：

{ 可采用隔离膜和隔离液；  
弹簧管可采用耐腐蚀；

拆除表盖后的压力表







2004 9 12

# 弹簧管压力表的误差分析

## 1、压力表受温度的影响

➤ 在温度较高或较低的环境中，压力仪表的弹性元件会在温度的作用下发生变形，特别是长期工作在高温介质中的压力表，弹性元件可能会发生永久变形，也就会造成压力仪表的显示出现误差。

**防温度影响的措施：**避免压力仪表在异常温度环境下工作，如果无法避免则应当对压力表做防高温或防寒处理，例如为压力表安装冷凝装置或保温装置等。

## 2、压力表受振动的影响

➤ 压力表在振动的环境下也会出现指示不准的情况，剧烈的振动会直接引起压力表弹性元件的变形，影响压力表的灵敏度、准确度及使用者对压力表指示值的读取。

**防振动的措施：** 安装缓冲装置和减震装置。

### 3、压力表受超负荷的影响

➤ 压力表的超负荷运行并不是仅仅指压力表指示值达到刻度盘最大，实际上超过满刻度 $2/3$ 的位置时，压力表的弹性元件已经是处于近极限状态。压力表在超负荷的状态下长期工作，其内部的弹性元件如弹簧管、膜片就会因为长期处于极限或近极限的变形状态而弹性减弱乃至弹性丧失，最终发生永久的变形。

**防范措施：**合理选择仪表量程，避免超负荷。

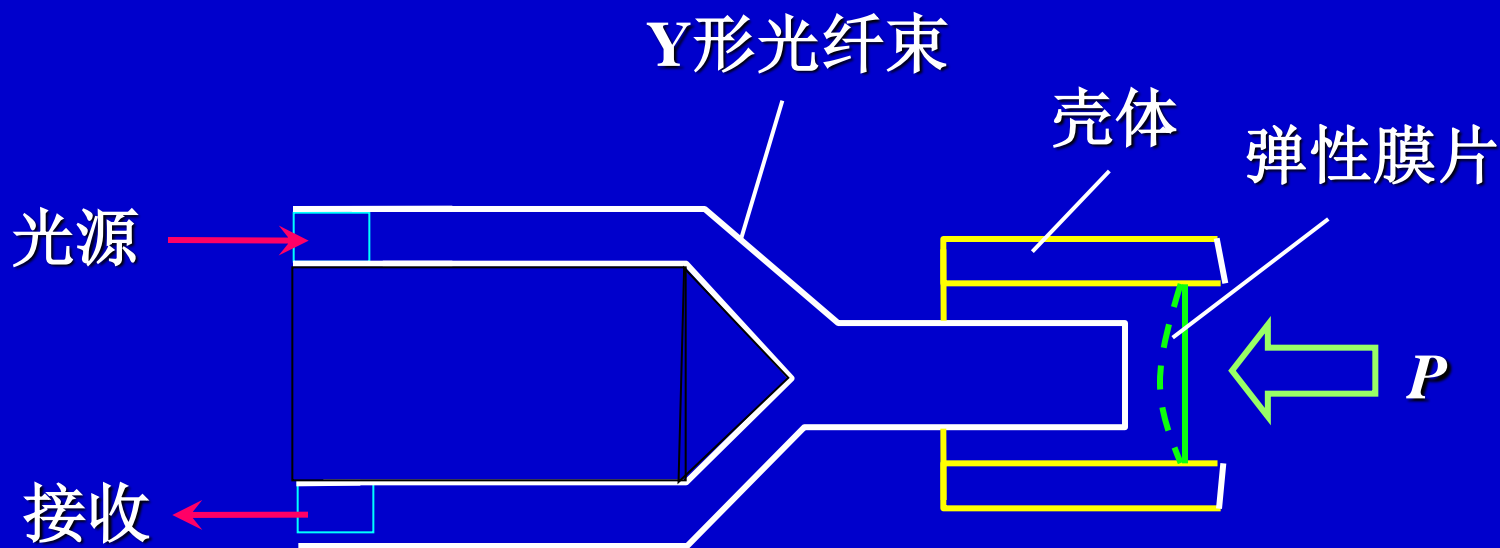
## 第四节 压力变送器

- 压力传感器：能够感受压力（压差）并能按一定规律将压力（压差）转换成同种或别种性质输出量的仪表。
- 其方法很多，如电阻式、电感式、电容式、应变式、力平衡式、霍尔式、振弦式、光纤式等。目前工业生产使用的电变送后的压力信号都是标准化的电流或电压信号，其变送器都是定型的产品。



# 膜片反射式光纤压力传感器

Y形光纤束的膜片反射型光纤压力传感器如图。在Y形光纤束前端放置一感压膜片，当膜片受压变形时，使光纤束与膜片间的距离发生变化，从而使输出光强受到调制。



# 电远传式弹簧压力仪表

◆霍尔压力传感器

◆电感式压力传感器

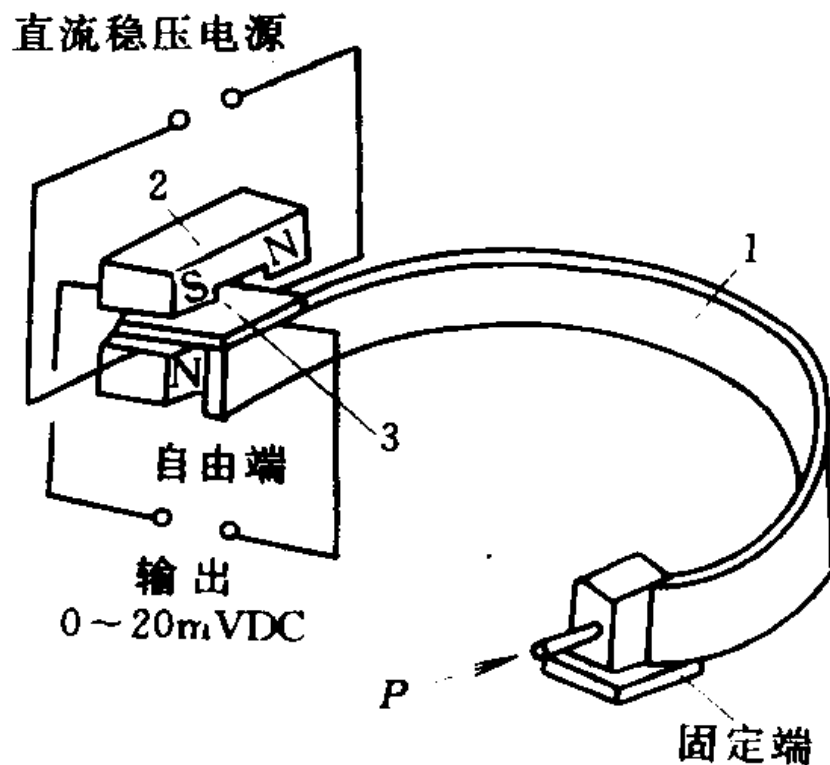
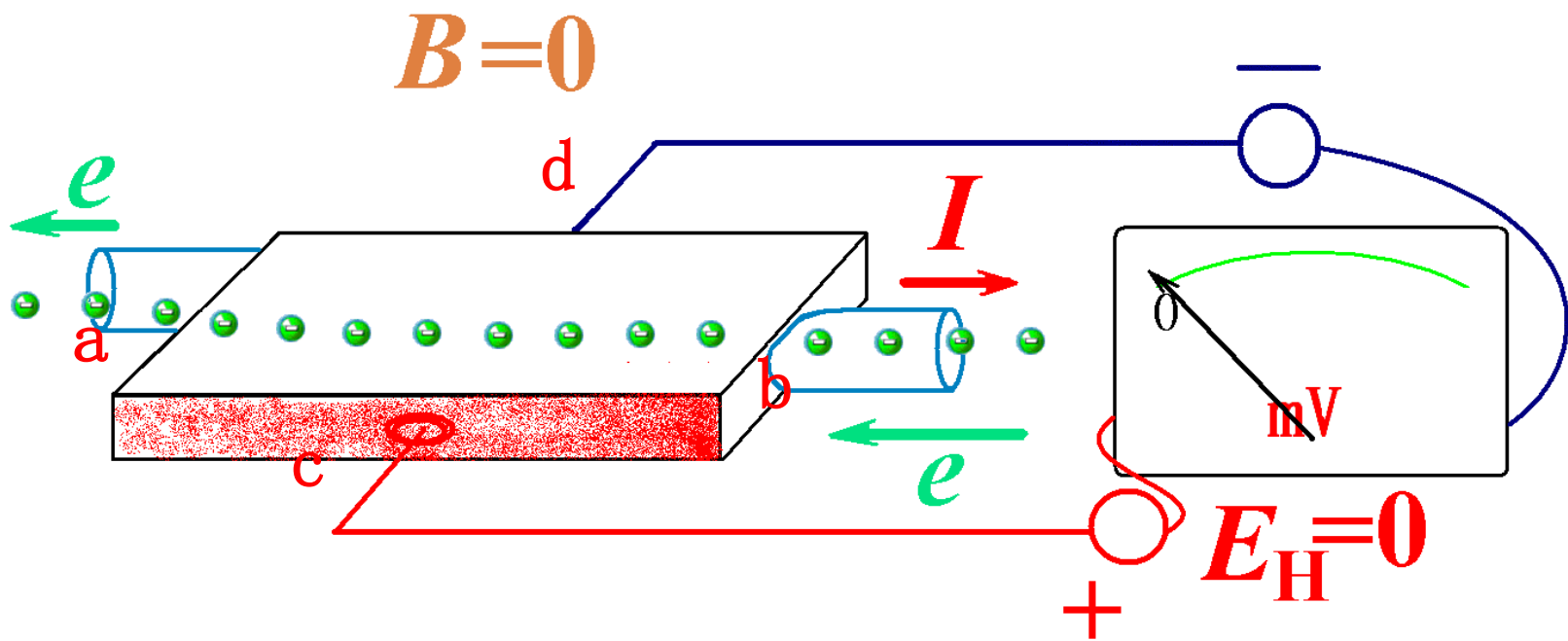


图 5-10 霍尔压力变送器

1—弹簧管；2—磁钢；3—霍尔片

# 霍尔元件的结构及工作原理

半导体薄片置于磁感应强度为 $B$ 的磁场中，磁场方向垂直于薄片，当有电流 $I$ 流过薄片时，在垂直于电流和磁场的方向上将产生电动势 $E_H$ ，这种现象称为霍尔效应。

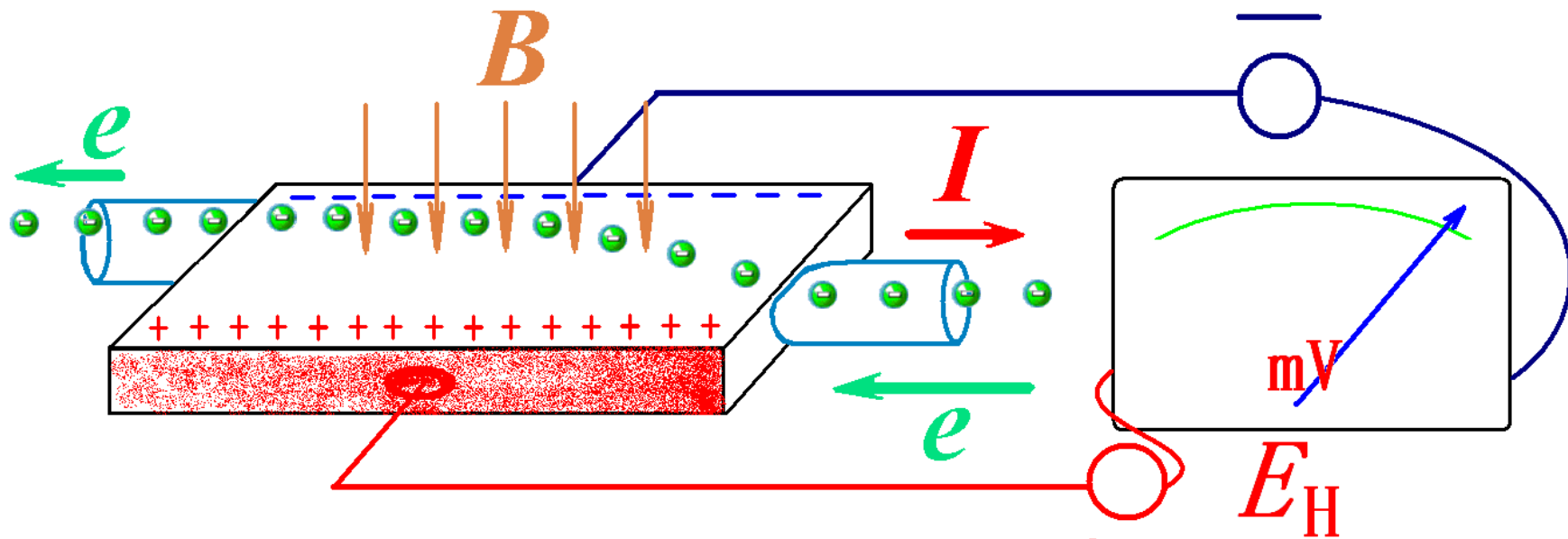


磁感应强度 $B$ 为零时的情况

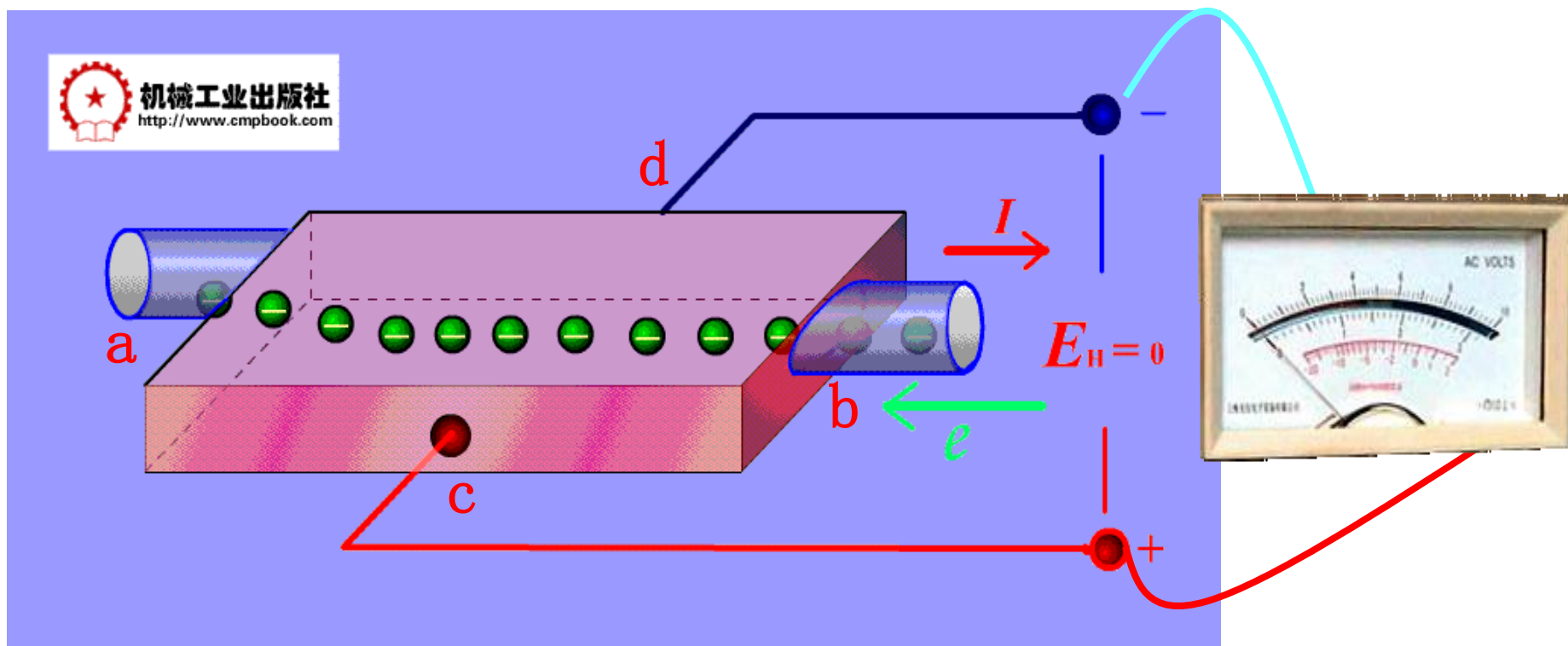
## 磁感应强度 $B$ 较大时的情况

作用在半导体薄片上的磁场强度 $B$ 越强，霍尔电势也就越高。霍尔电势 $E_H$ 可用下式表示：

$$E_H = K_H IB$$



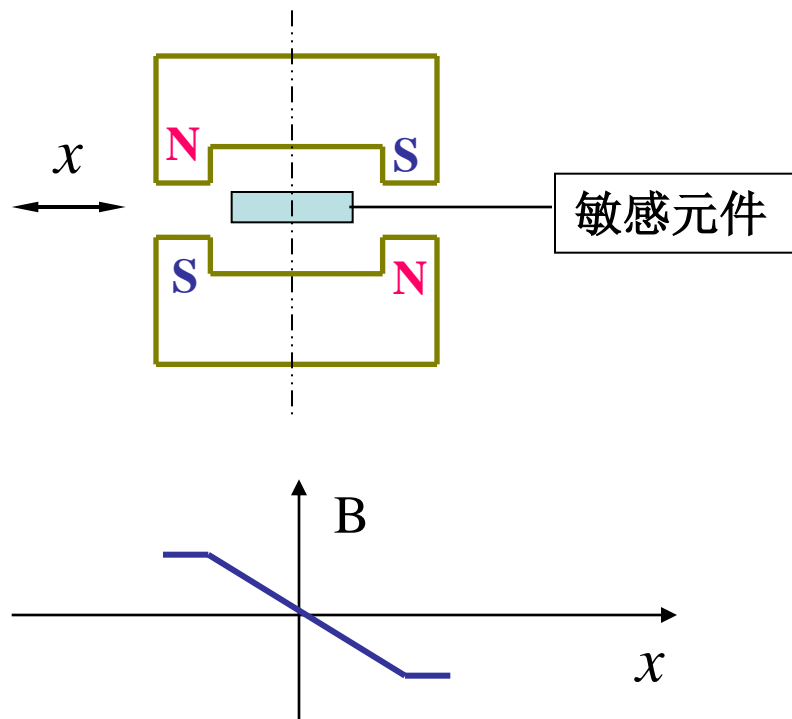
# 霍尔效应演示



当磁场垂直于薄片时，电子受到洛伦兹力的作用，向内侧偏移，在半导体薄片**c**、**d**方向的端面之间建立起霍尔电势。

# 1) 霍尔压力传感器

P131



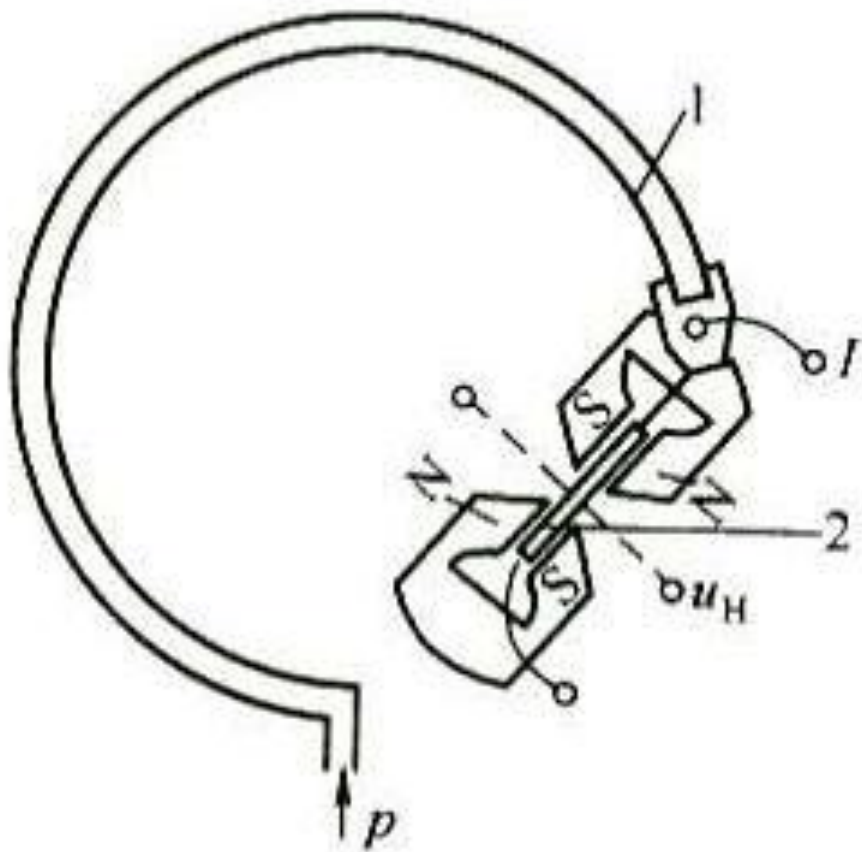
霍尔元件的位移 $x$ 改变了所受磁场强度 $B$ 的大小，导致了霍尔电势的变化

$$U_H = K_H IB$$

$$U_H \propto x$$

实现位移—电压的转换

## 霍尔压力传感器

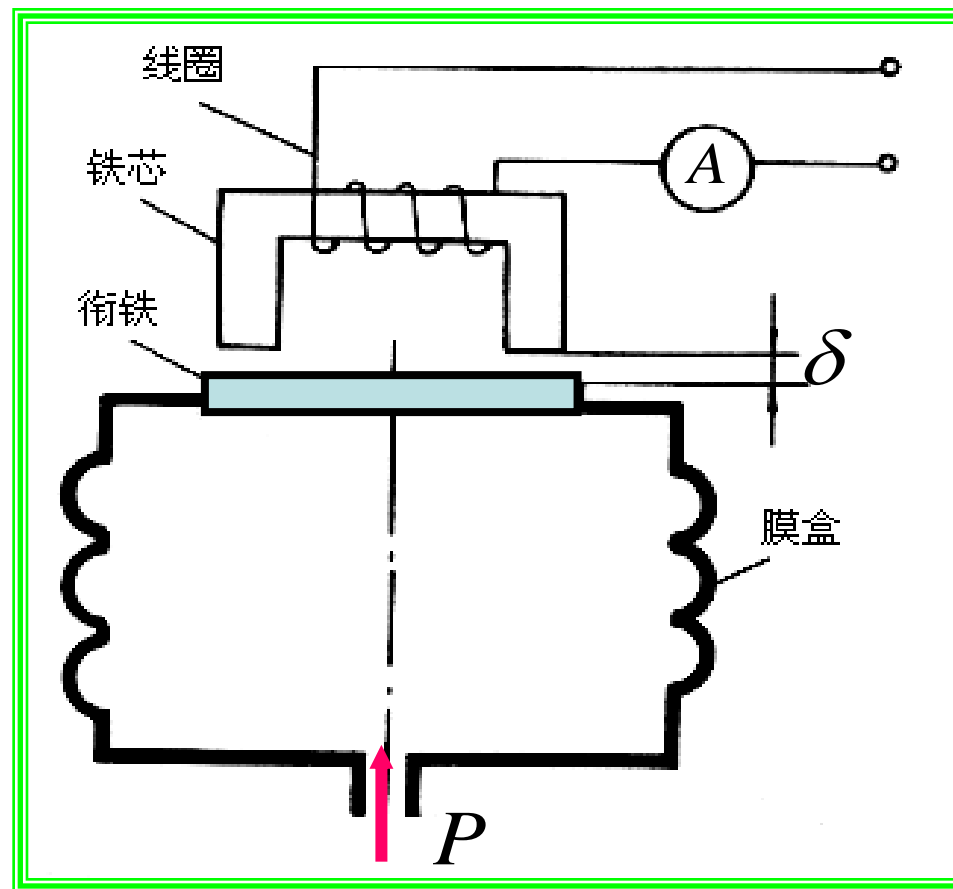
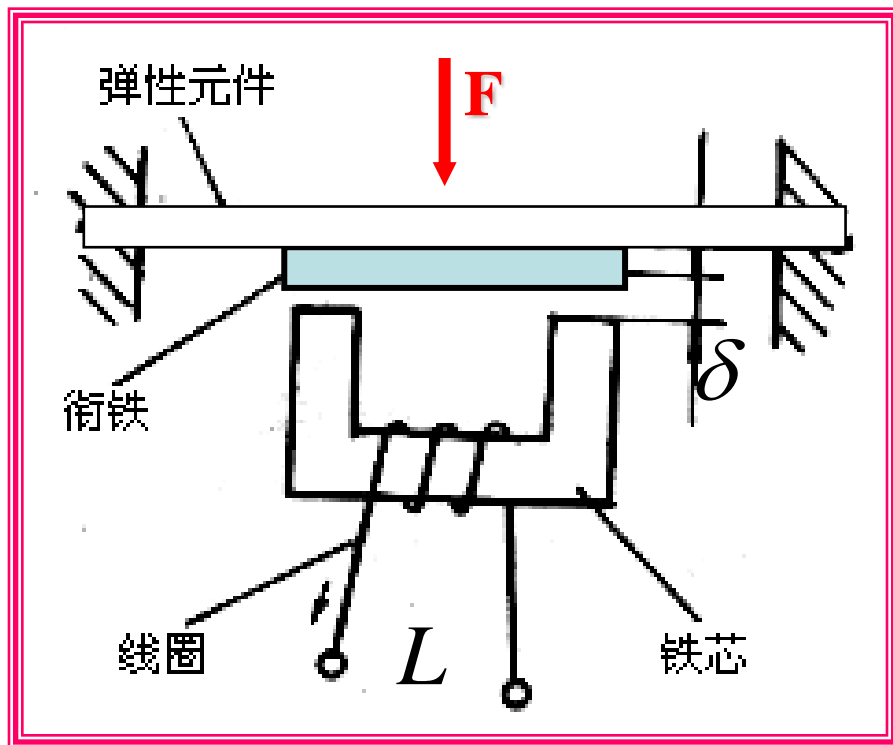


被测压力越大，霍尔元件的位移越大，输出的霍尔电势也越高。

霍尔元件输出的霍尔电势一般为毫伏信号，实际使用时需要进行电压放大。

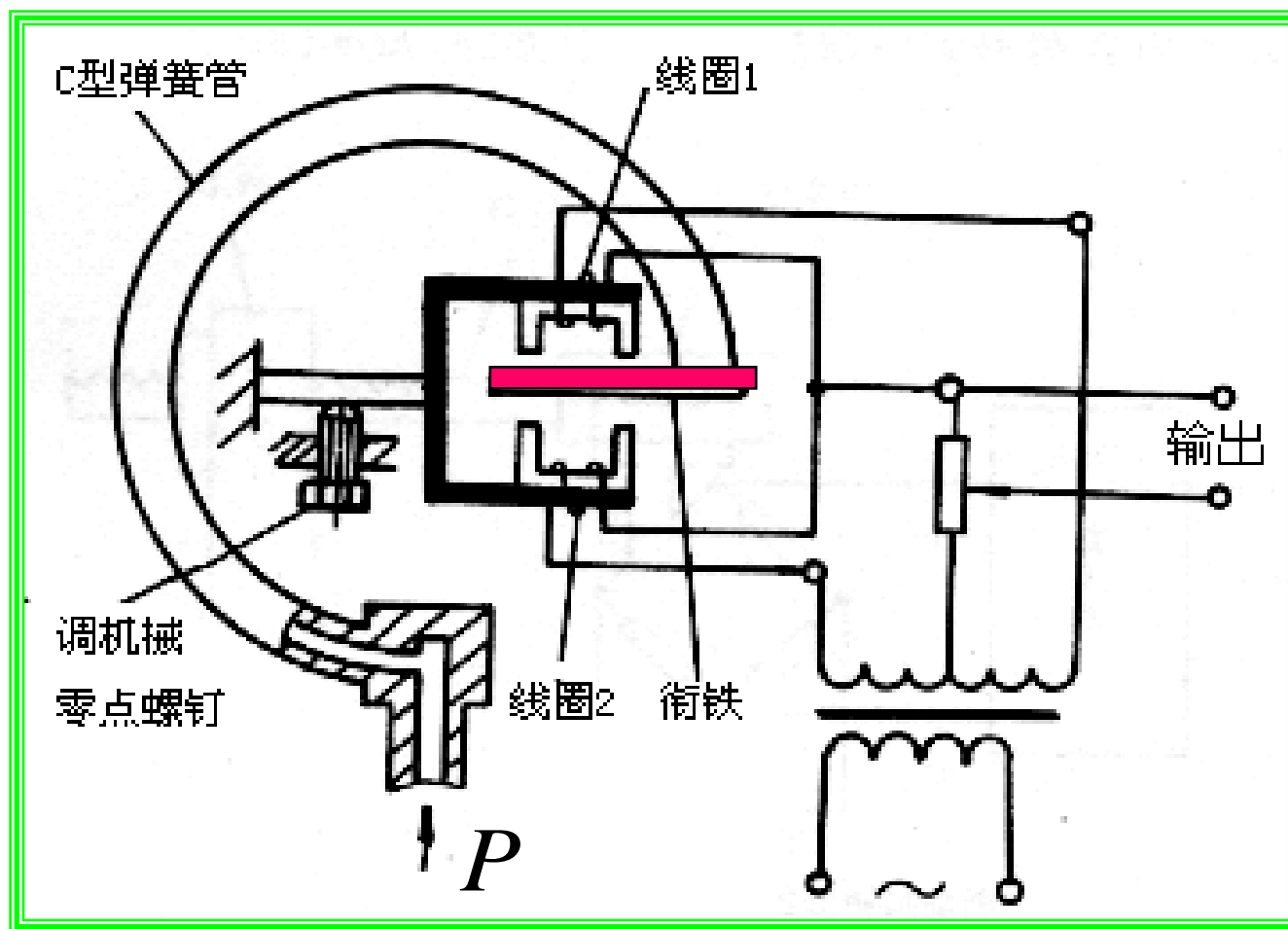
## 2) 电感式压力传感器——变气隙式结构

P134





# 变气隙式差动压力传感器



被测压力  $\xrightarrow{\text{弹性元件}}$  弹性元件位移  $\xrightarrow{\text{电学}}$  自感或互感系数的变化

## 第四节 压力变送器

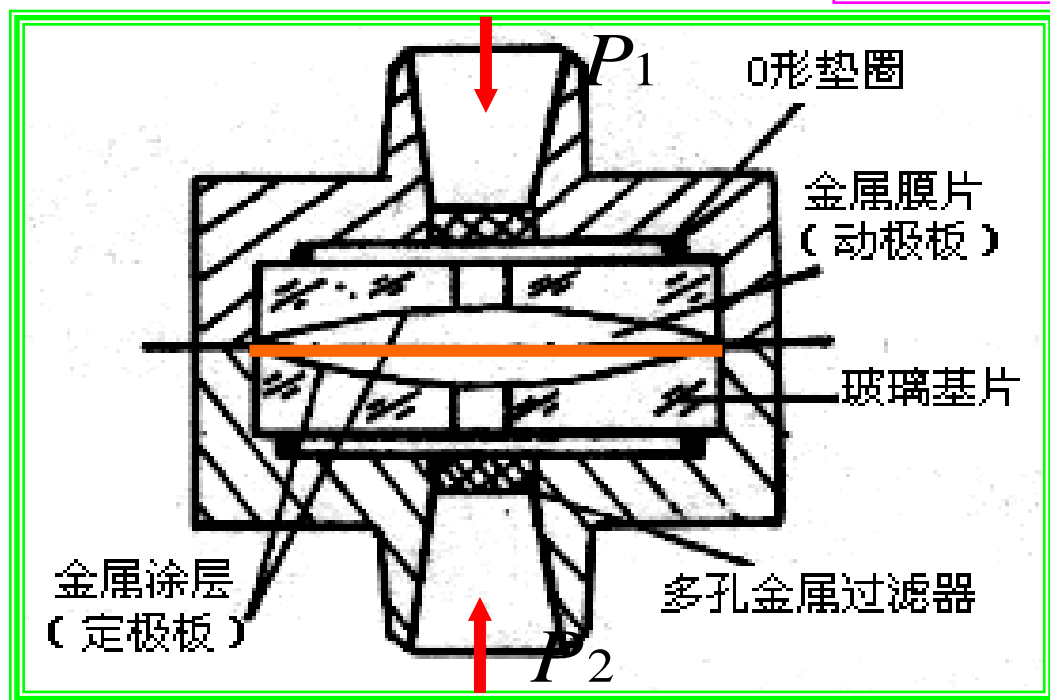
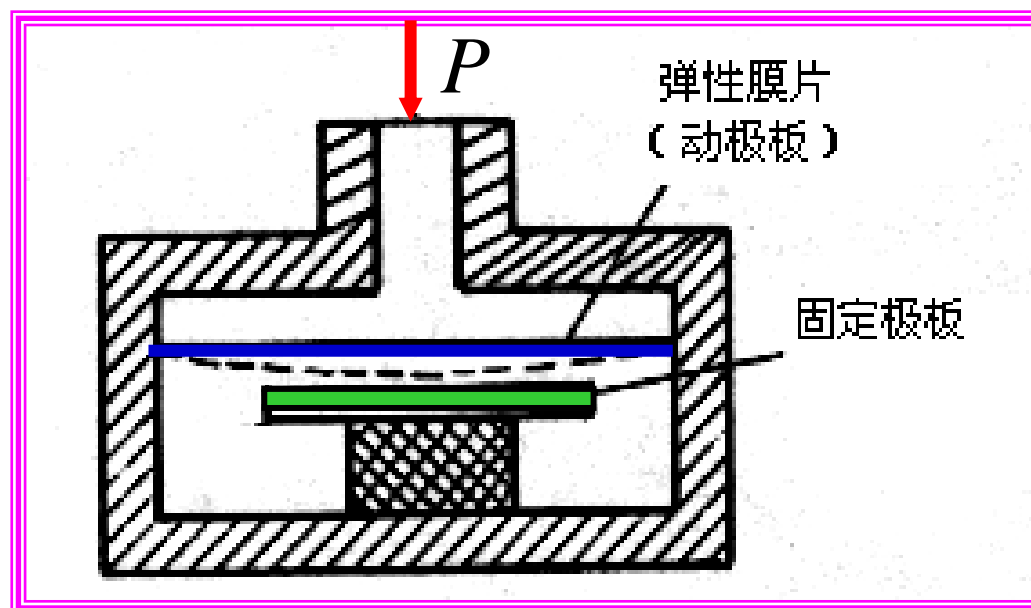
### 电容式压力传感

- **工作原理：**以已弹性元件膜片为电容器的可动极板，它与固定极板之间形成一可变电容。随被测压力的变化，膜片产生位移，使电容器的可动极板与固定极板之间的距离改变，从而改变了电容器的电容量，完成压力信号与电容量之间的变化。
- 电容器的电容量由它的两个极板的大小、形状、相对位置和电介质的介电常数决定

.

# 电容式压力传感器

## 单只变间隙型



## 差动式

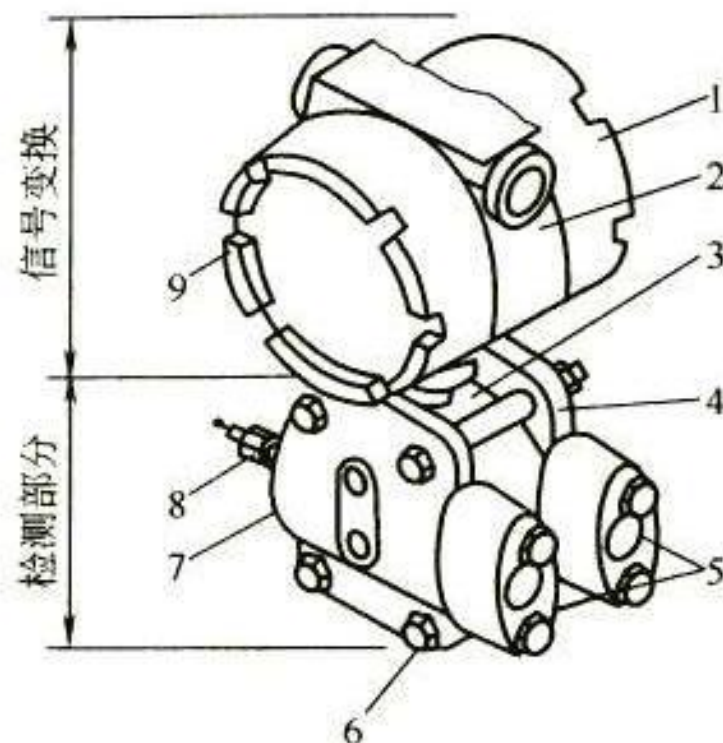
# 电容式差压变送器

检测部分和信号转换部分

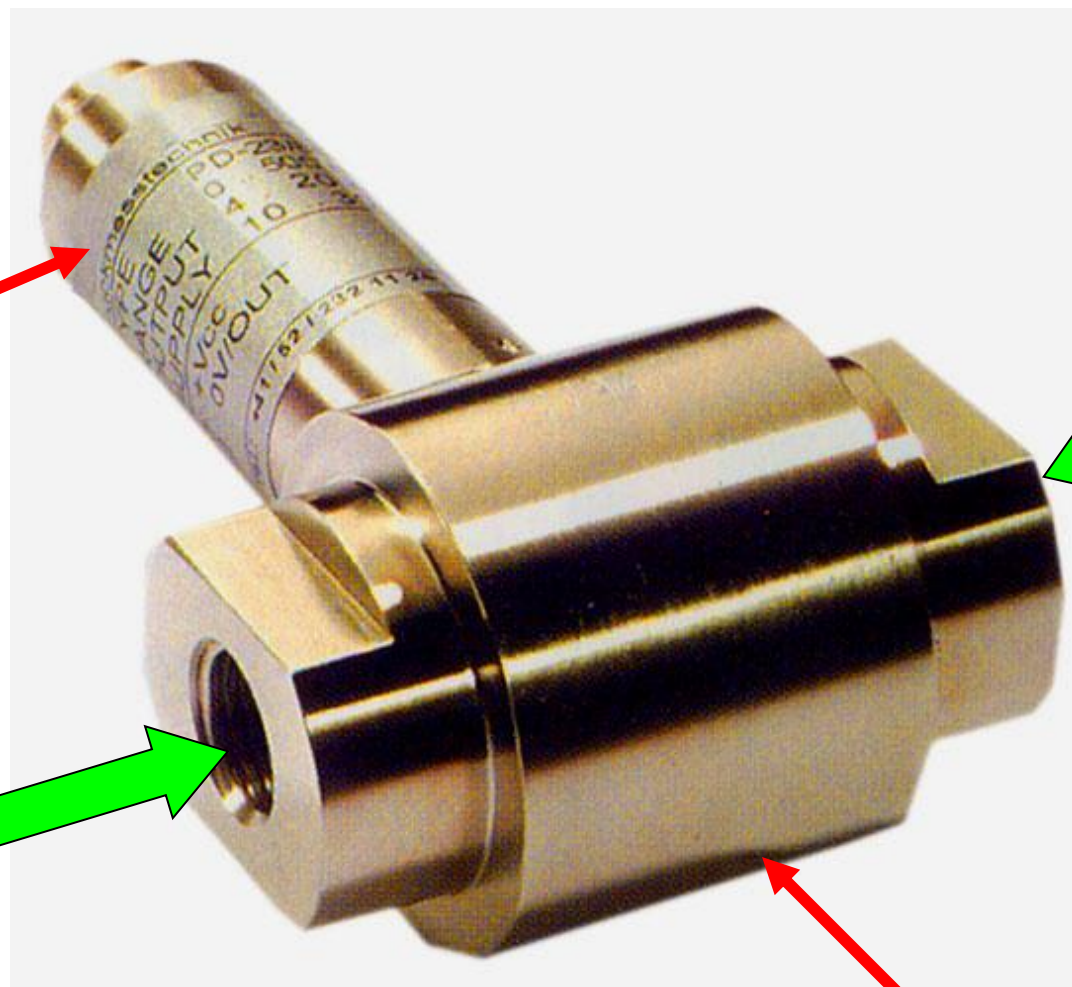
$\Delta p \rightarrow \Delta C$

$\Delta C \rightarrow \Delta I$

**DDZ-II型和DDZ-III型**  
输出都为**4~20mA**



## 二、电容式差压变送器



电子  
线路  
位置

低压侧  
进气口

高压侧  
进气口

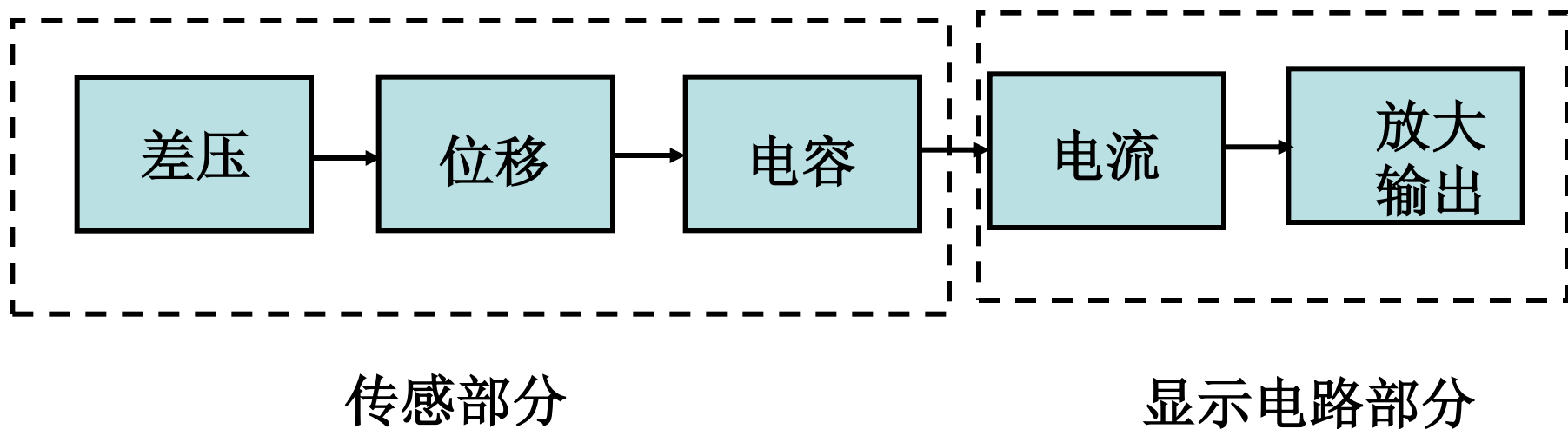
内部不锈钢膜片的位置

## 各种电容式差压变送器外形



## 工作原理

被测压力作用于隔离膜片，通过硅油使测量膜片产生与压力成正比的位移，从而改变了可动极板与固定极板间的距离，引起电容的变化，此电容变化通过引线传给测量显示电路。



### 3 差压转换成电容组成部分相关知识

#### 4) 几个需注意的问题

##### ① 为什么采用差动平板电容?

为提高灵敏度和改善非线性, 采用差动形式

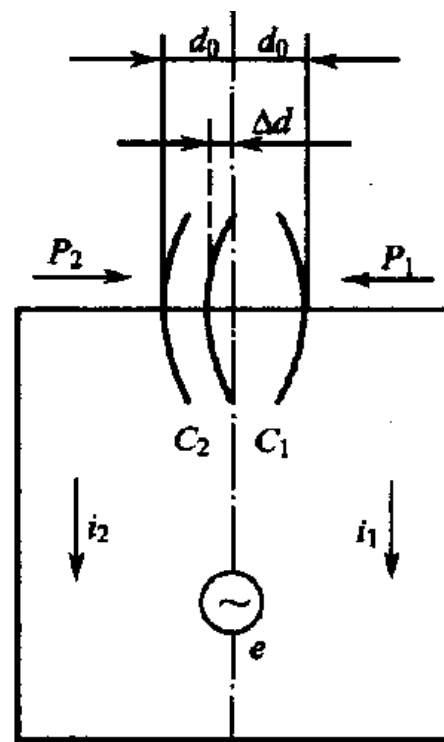
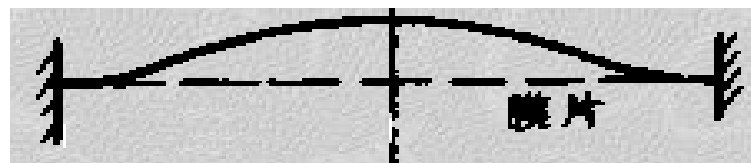
##### (1) 差压—位移转换

$$\Delta d_0 = K_1' p$$

##### (2) 位移—电容转换

$$C_0 = K \frac{\varepsilon A}{d_0}$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d_0}{d_0} \left( 1 + \frac{\Delta d_0}{d_0} \right)$$





#### 4) 几个需注意的问题

##### ① 为什么采用差动平板电容?

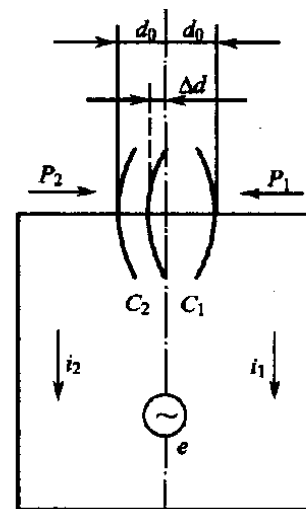
(3) 当采用差动时,  $C_L$  增加,  $C_H$  减少, 电容总变化量为:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = 2 \frac{\Delta d_0}{d_0} [1 + (\frac{\Delta d_0}{d_0})^2 + \dots]$$

与非差动相比, 灵敏性有所提高和非线性程度减小, 但非线性仍不满足高精度要求

② 实际中, 为什么采用电容之差与电容之和的比值:

$$\frac{C_L - C_H}{C_L + C_H} = \frac{\Delta d_0}{d_0} = K_2 \Delta d_0 = K_1 K_2 p$$



#### 4) 几个需注意的问题

②实际中，为什么采用电容之差与电容之和的比值：

好处

- 1 比值 $C_L - C_H / C_L + C_H$ 与压力成正比。
- 2 比值 $C_L - C_H / C_L + C_H$ 介电常数 $\epsilon$ 无关，如与 $\epsilon$ 有关就会产生很大误差,如 $\epsilon$  是温度的函数。
- 3 如果差动电容的结构完全对称，则可得到良好的稳定性。

## 1151系列电容式压力(差压)变送器

1151系列电容式压力(压差)变送器是我国引进美国罗斯蒙特公司技术并自己开发生产的一类新型压力(差压)变送器。

**特点：**它具有精确度高，性能稳定，单向过载保护性能好，调整方便，体积小，重量轻等一系列优点。

**应用：**使用在电力、石油、化工等各个领域生产过程中。在火力发电厂使用1151电容式压力(差压)变送器几乎有一种替代其他种类压力(差压)变送器的趋势。

**组成：**变送器由两部分组成：差动式压力(差压)—电容转换和测量电路。