



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

流体参量的测量

压力的测量
(1)

主讲：马怀祥

流体参量的测量

第一节 压力的测量

物理学中将单位面积上所受到的流体作用力定义为流体的压强，而工程上则习惯于称其为“压力”。

由于参照点的不同，在工程技术中流体的压力常分为：

绝对压力： 相对于绝对真空（绝对零压力）
所测得的压力；

差压（压差）： 两个压力之间的相对差值；

表压力（表压）： 高于大气压力的绝对压力
与大气压力之差；

负压（真空表
压力）： 当绝对压力小于大气压力时，
大气压力与该绝对压力之差。

工程上，按压力随时间的变化关系分为：

静态压力，指不随时间变化或随时间变化缓慢的压力；

动态压力，指随时间作快速变化的压力。

在国际单位制中，压力单位为Pa（帕），

$$1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$$

作用在确定面积上的流体压力能够很容易地转换成力，因此压力测量和力测量有许多共同之处。

常用的两种压力测量方法是

静重比较法和弹性变形法

前者多用于各种压力测量装置的静态定度，

而后者则是构成各种压力计和压力传感器的基础。

一、弹性式压力敏感元件

某种特定形式的弹性元件，在被测流体压力的作用下，将产生与被测压力成一定函数关系的机械变位（或应变）。

这种中间机械量可通过各种放大杠杆或齿轮副等转换成指针的偏转，从而直接指示被测压力的大小。

中间机械量也可通过各种位移传感器（以应变为中间机械量时，则可通过应变片）及相应的测量电路转换成电量输出。由此可见，**感受压力的弹性敏感元件是压力计和压力传感器的关键元件。**

一、弹性式压力敏感元件

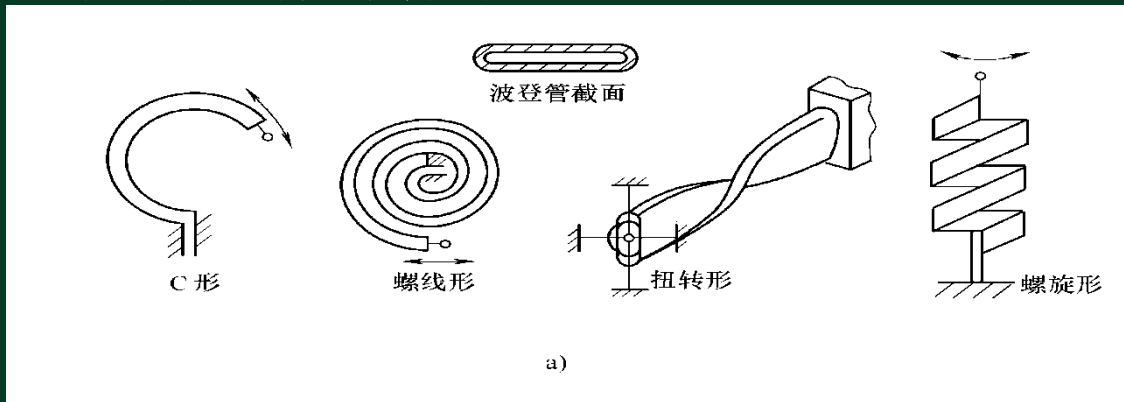
通常采用的弹性式压力敏感元件有：

波登管、膜片和波纹管

1. 波登管

波登管是大多数指针式压力计的弹性敏感元件，同时也被广泛用于压力变送器（用于稳态压力测量，其输出量为电量的压力测量装置）中。

波登管的横截面都是**椭圆形或平椭圆形的空心金属管子**。当这种弹性管一侧通入有一定压力的流体时，由于内外侧的压力差（外侧一般为大气压力），迫使管子截面的短轴伸长、长轴缩短，使其发生由椭圆形截面向圆形变化的变形。这种变形导致C型、螺线型和螺旋型波登管的自由端产生变位，而对于扭转型波登管来说，其输出运动则是自由端的角位移。



2. 膜片与膜盒

膜片是用金属或非金属制成的圆形薄片。

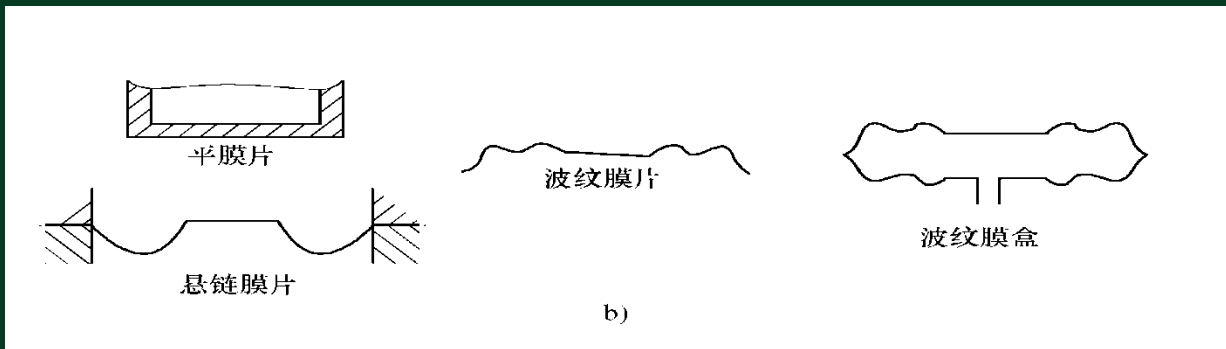
断面是平的，称为平膜片；

断面呈波纹状的，称为波纹膜片；

两个膜片边缘对焊起来，构成**膜盒**；

几个膜盒连接起来，组成**膜盒组**。

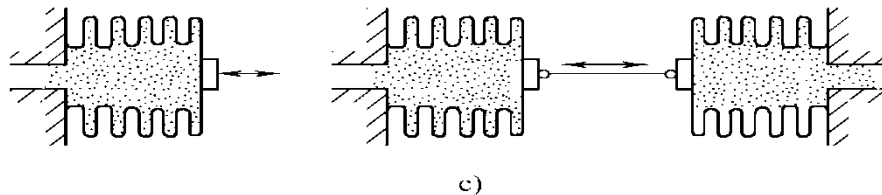
平膜片比波纹膜片具有较高的抗振、抗冲击能力，在压力测量中用得较多。



3. 波纹管

波纹管是外周沿轴向有深槽形波纹状皱褶、可沿轴向伸缩的薄壁管子，一端开口，另一端封闭，将开口端固定，封闭端处于自由状态。

在通入一定压力的流体后，**波纹管将伸长**，在一定压力范围内其伸长量即自由端位移与压力成正比。



二、常用压力传感器

(一) 应变式压力传感器

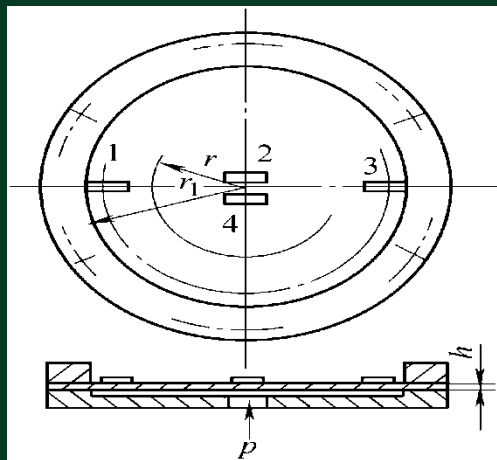
目前常用的应变式压力传感器有

平膜片式、
圆柱形应变筒式
组合式等。

其共同特点是利用粘贴在弹性敏感元件上的应变片，感测其受压后的局部应变而测得流体的压力。

1. 平膜片式压力传感器

利用粘贴在平膜片表面的应变片，感测膜片在流体压力作用下的局部应变，从而确定被测压力值的大小。对于周边固定，一侧受均匀压力作用的平膜片，若膜片应变值很小，则可近似地认为膜片的应力（或应变）与被测压力成线性关系。



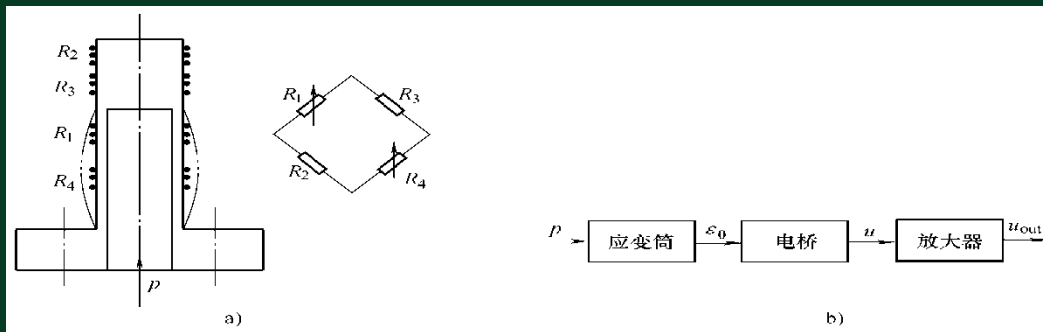
优点是：结构简单、体积小、质量小、性能价格比高；

缺点是：输出信号小、抗干扰能力差、精度受工艺影响大。

平膜片式压力传感器

2. 圆柱形应变筒式压力传感器

它一端密封并具有实心端头，另一端开口并有法兰，以便固定薄壁圆筒。当压力从开口端进入圆柱筒时，筒壁将产生应变。

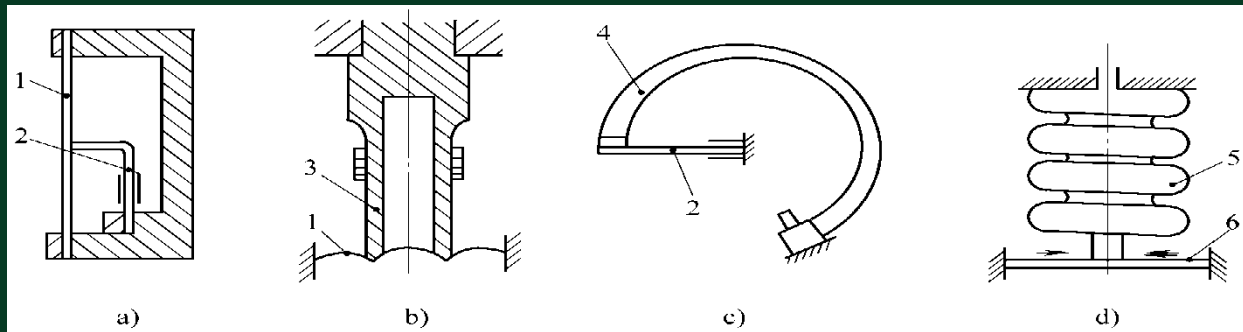


圆柱形应变筒的外表面粘贴有4个相同的应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ，组成四臂电桥。当筒内外压力相同时，四个桥臂电阻相等，输出电压为零；当筒内压力大于筒外压力时， R_1 、 R_4 发生变化，电桥输出相应的电压信号。圆柱形应变筒式压力传感器常在高压测量时应用。

3. 组合式压力传感器

此类传感器中的应变片不直接粘贴在压力感受元件上，而采用某种传递机构将感压元件的位移传递到贴有应变片的其他弹性元件上

图a利用膜片1和悬臂梁2组合成弹性系统。在压力的作用下，膜片产生位移，通过杆件使悬臂梁变形。图b利用悬链式膜片1将压力传给弹性圆筒3，使之发生变形。图c利用波登管4在压力的作用下，自由端产生拉力，使悬臂梁2变形。图d利用波纹管5产生的轴向力，使梁6变形。

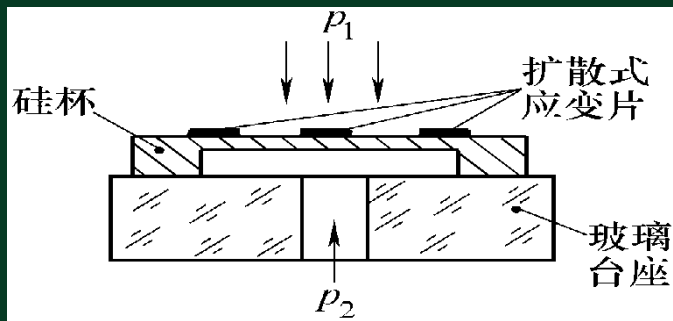


组合式压力传感器 [a](#) [b](#) [c](#) [d](#)

(二) 压阻式压力传感器

压阻式压力传感器敏感元件是在某一晶面的单晶硅平膜片上，沿一定的晶轴方向扩散着一些长条形电阻。硅膜片的加厚边缘烧结在有同样膨胀系数的玻璃基座上，以保证温度变化时硅膜片不受附加应力。

当膜片受到流体压力或压差作用时，膜片内部产生应力，从而使扩散在其上的电阻的阻值发生变化。它的灵敏度一般要比金属材料应变片高70倍左右。



压阻式压力传感器

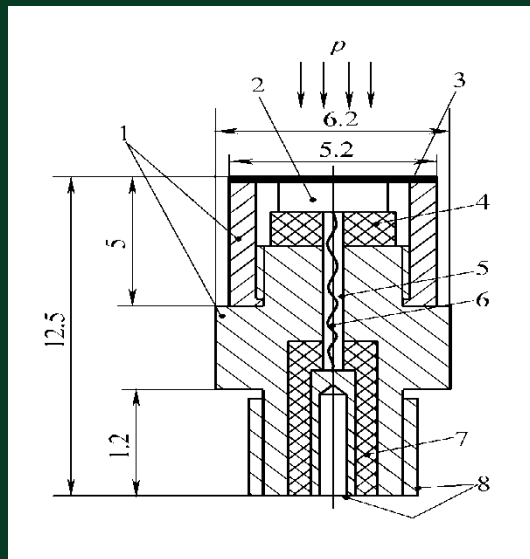
这类传感器由于采用了集成电路的扩散工艺，尺寸可以做得很小。例如有的直径只有1.5~3mm，用来测量局部区域的压力，并且大大改善了动态特性（工作频率可从0到几百千赫）。

由于电阻直接扩散到膜片上，没有粘贴层，因此零漂小、灵敏度高、重复性好。测量范围在0~0.0005MPa、0~0.002MPa至0~210MPa，其精确度为 $\pm 0.2\%$ ~ $\pm 0.02\%$ 。

(三) 压电式压力传感器

图示膜片式压电压力传感器是目前广泛采用的一种结构。3是承压膜片，只起到密封、预压和传递压力的作用。

由于膜片的质量很小，而压电晶体的刚度又很大，所以传感器有很高的固有频率（可高达100kHz以上）。因此它是专门用于动态压力测量的一种性能较好的压力传感器。

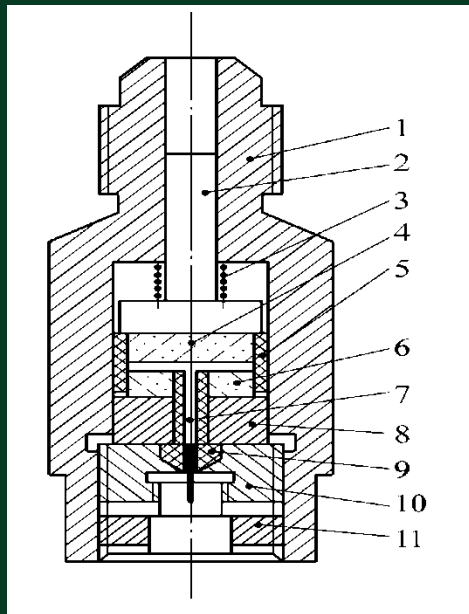


膜片式压电压力传感器

- 1—壳体 2—压电元件 3—膜片 4—绝缘圈
5—空管 6—引线 7—绝缘材料 8—电极

(三) 压电式压力传感器

图示是一种
活塞式压电压力传感器的结构图。它是利用活塞将压力转换为集中力后直接施加到压电晶体上，使之产生相应的电荷输出。



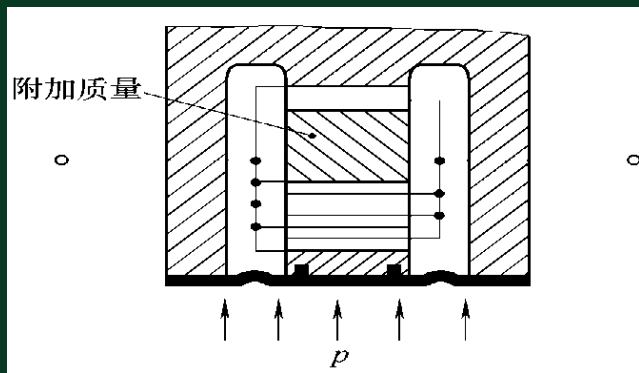
活塞式压电压力传感器

- 1—壳体 2—活塞 3—弹簧 4、6—晶片
5、9—绝缘套 7—电极 8—压块
10—压紧螺母 11—紧固螺母

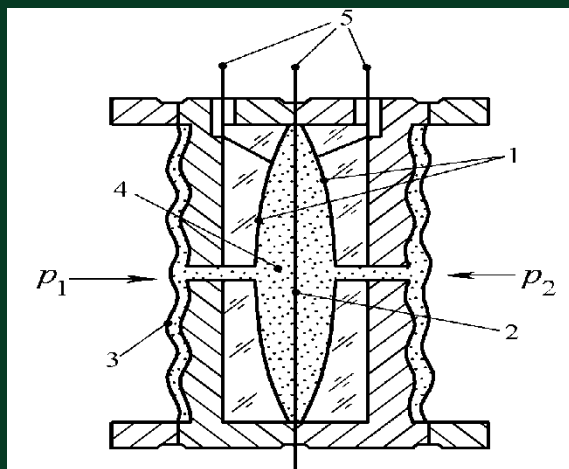
(三) 压电式压力传感器

由于压电晶体有一定的质量，故压电压力传感器在有振动的条件下工作时，就会产生与振动加速度相对应的输出信号，从而造成压力测量误差。特别是在测量较低压力或要求较高的测量精确度时，该影响不能忽视。

图示为带加速度补偿的压力传感器。在传感器内部设置一个附加质量和一组极性相反的补偿压电晶体，在振动条件下，附加质量使补偿压电晶片产生的电荷与测量压电晶片因振动产生的电荷相互抵消，从而达到补偿目的。



(四) 电容式压力传感器

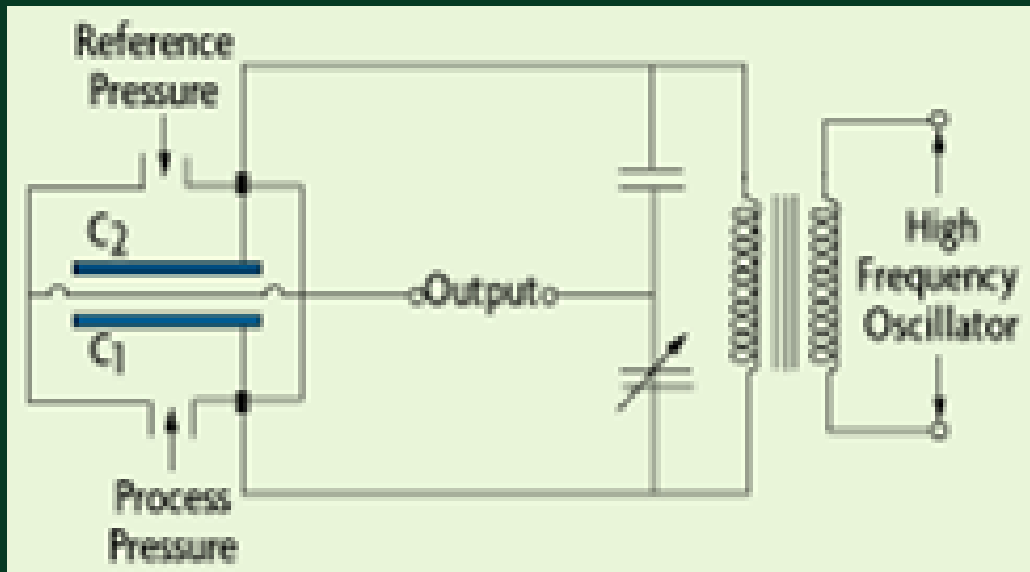


电容式差压传感器

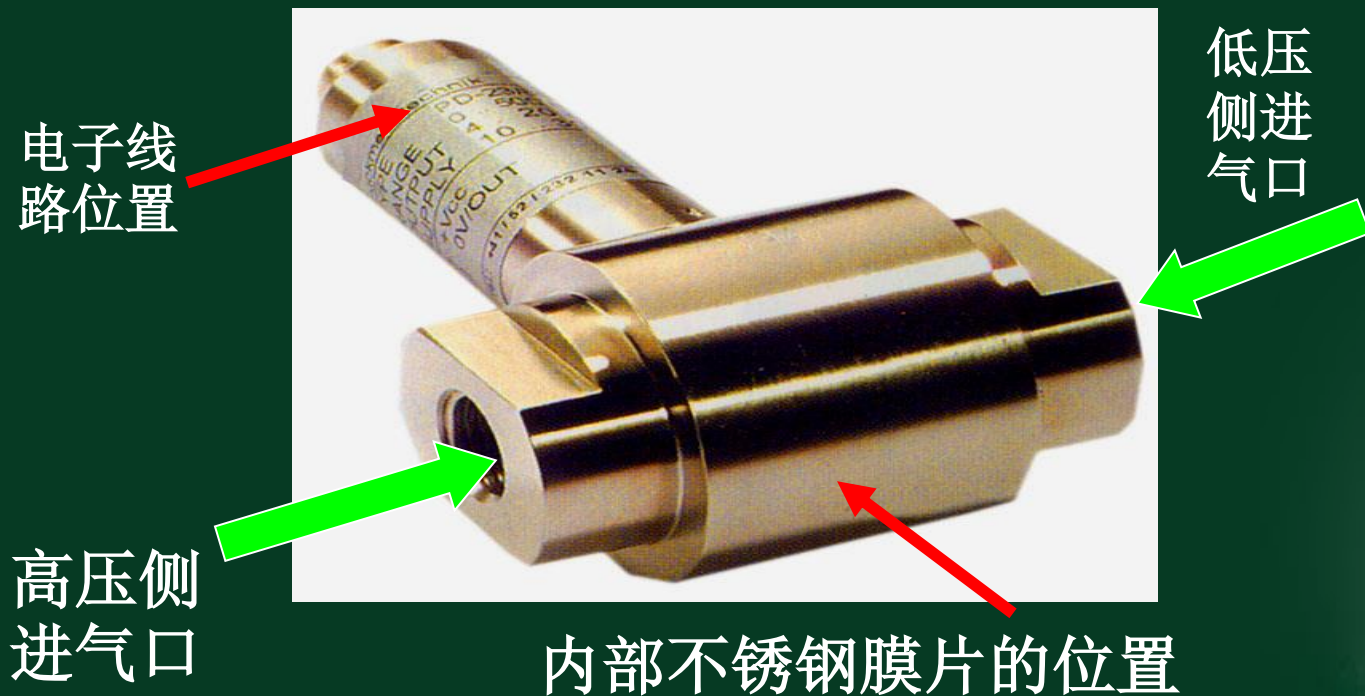
- 1—固定电极
- 2—测量膜片
- 3—隔离膜片
- 4—硅油
- 5—电容引出线

感压元件是一个全焊接的差动电容膜盒。玻璃绝缘层内侧的凹球面形金属镀膜作为固定电极，中间被夹紧的弹性测量膜片作为可动电极，从而组成一个差动电容。

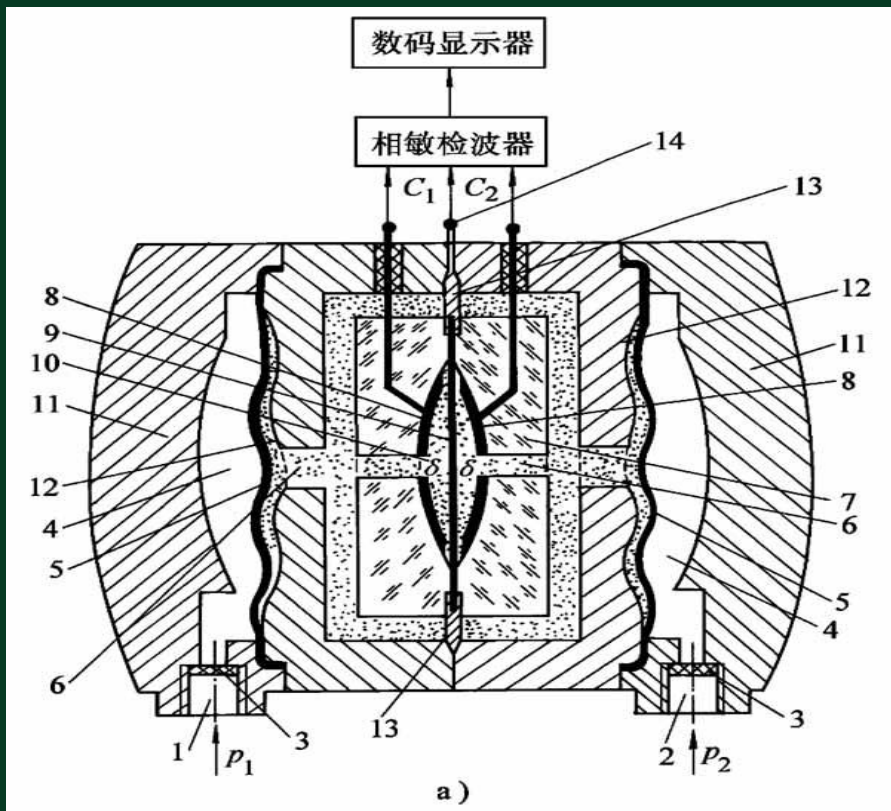
(四) 电容式压力传感器



电容式差压变送器



电容式差压变送器内部结构

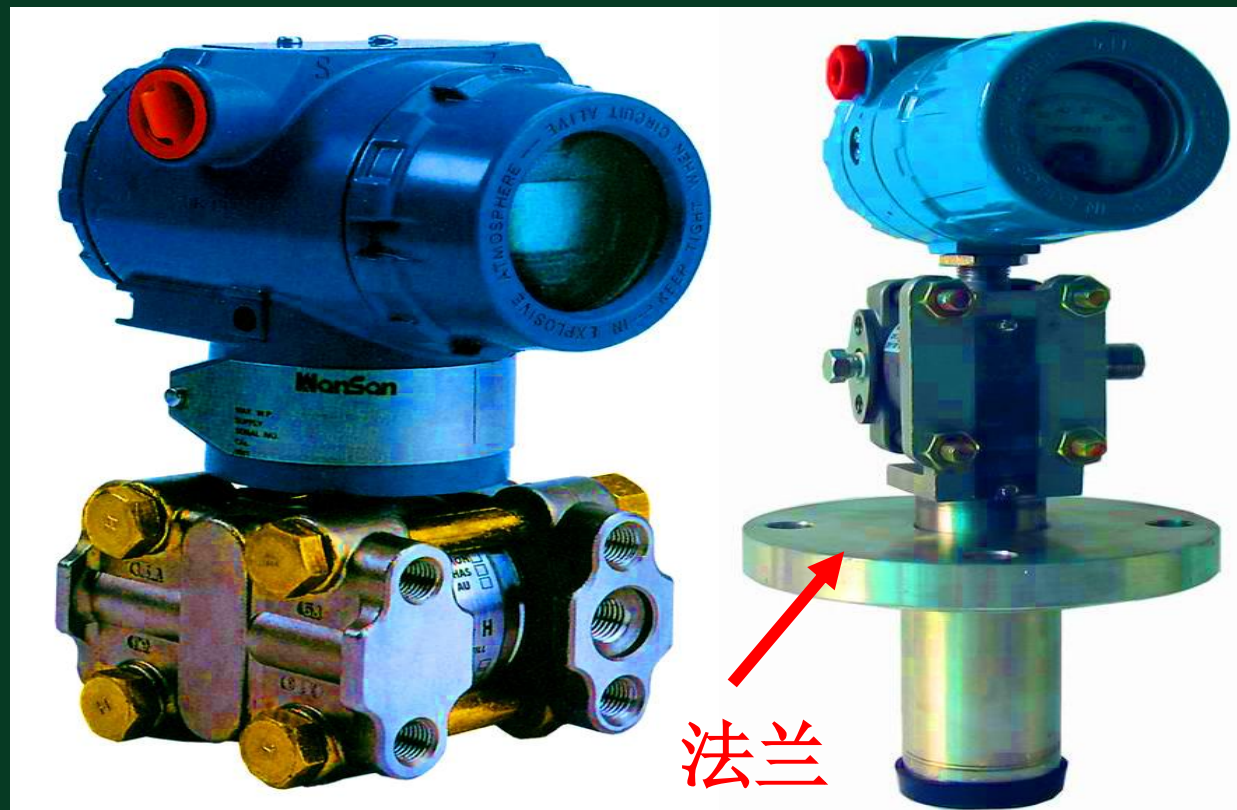


- 1—高压侧进气口
- 2—低压侧进气口
- 3—过滤片
- 4—空腔
- 5—柔性不锈钢波纹隔离膜片
- 6—导压硅油
- 7—凹形玻璃圆片
- 8—镀金凹形电极
- 9—弹性平膜片
- 10— δ 腔

各种电容式差压变送器外形



各种电容式压力变送器外形（续）



各种电容式压力变送器外形（续）



小结



在线开放课程

掌握常用的压力测量方法及其原理

