

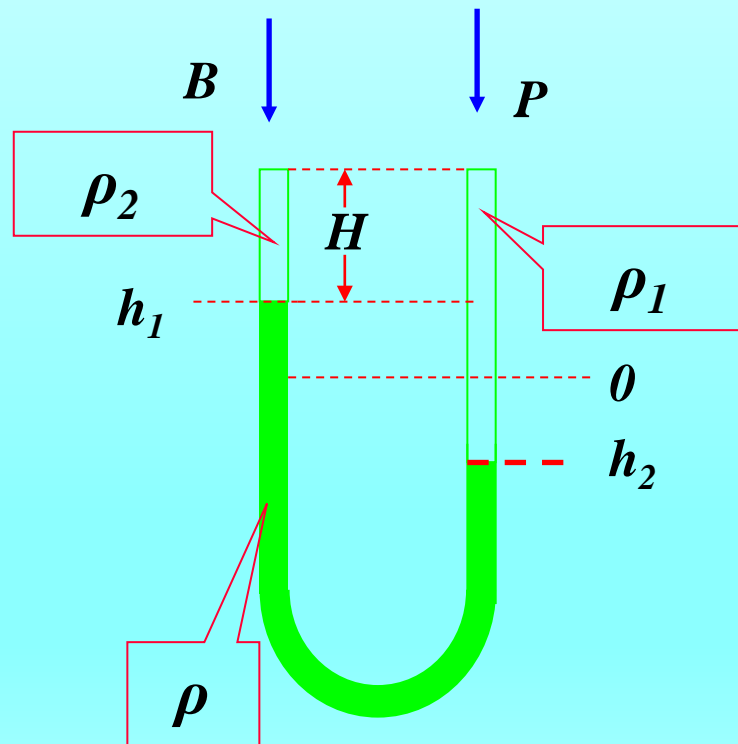
2022春 过程控制系统

过程控制系统

授课教师：苗子博

1、液柱式压力计

利用液体静力学原理测压，如U型管压力计，当被测压力 P 大于大气压力 B 时，液柱会产生高度差。



在U型管 h_2 处等压面上有：

$$P + \rho_1 g (H + h_1 + h_2) \\ = B + \rho_2 g H + \rho g (h_1 + h_2)$$

则：

$$p = P - B = (\rho_2 - \rho_1) g H \\ + (\rho - \rho_2) g (h_1 + h_2)$$

只要读出 $(h_1 + h_2)$ 便可知 p

U型管压力计在读 ($h_1 + h_2$) 时，产生两次读数误差。为了减少读数误差，可将其改进为单管压力计和斜管压力计，测量原理相似。

目前，液柱式压力计使用较少。

2、弹性式压力计



它是将被测压力转换成弹性元件的变形位移进行测量的。

3. 电气式压力计

是通过各种敏感元件将被测压力转换成电量（电压、电流、频率等）进行测量的。例如力平衡式压力变送器、电容式压力变送器等。

4. 活塞式压力计

是根据液体传送压力的原理，将被测压力与活塞上所加的砝码质量进行平衡来测量的。它的测量精度很高。



2.3.2 弹性式压力计

利用弹性元件受压产生变形可以测量压力。由于其产生的位移或力易转化为电量，且构造简单，价格便宜，测压范围宽，被广泛使用。

常用的弹性元件有5种：

(1) 单圈弹簧管

将截面为椭圆形的金属空心管弯成 270° 圆弧形，顶端封口，当通入压力 p 后，它的自由端就会产生位移。

□测压范围较宽，可高达1000MPa。



(2) 多圈弹簧管

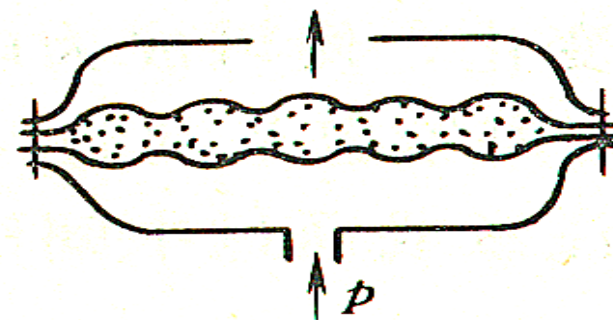
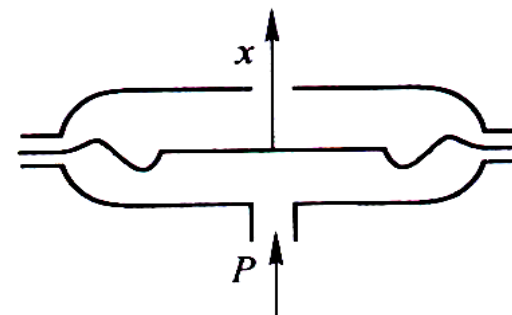
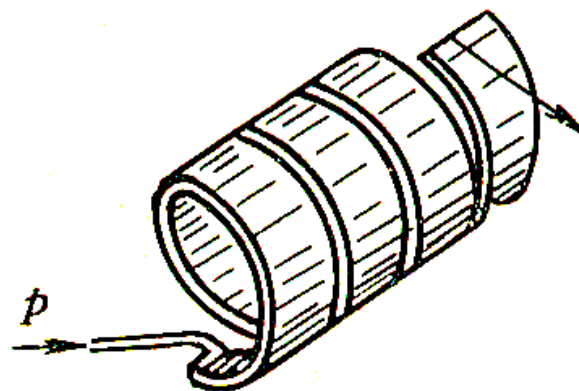
为了在测低压时增加位移，
可以将弹簧管制成多圈状。

(3) 膜片

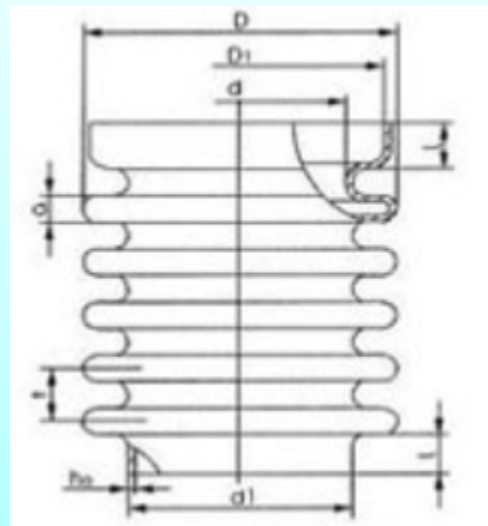
用金属或非金属材料做成的具有弹性的圆片（有平膜片和波纹膜片）。在压力作用下，其中心产生变形位移。可测低压。

(4) 膜盒

将两张金属膜片沿周口对焊，
内充硅油。使膜片增加强度。



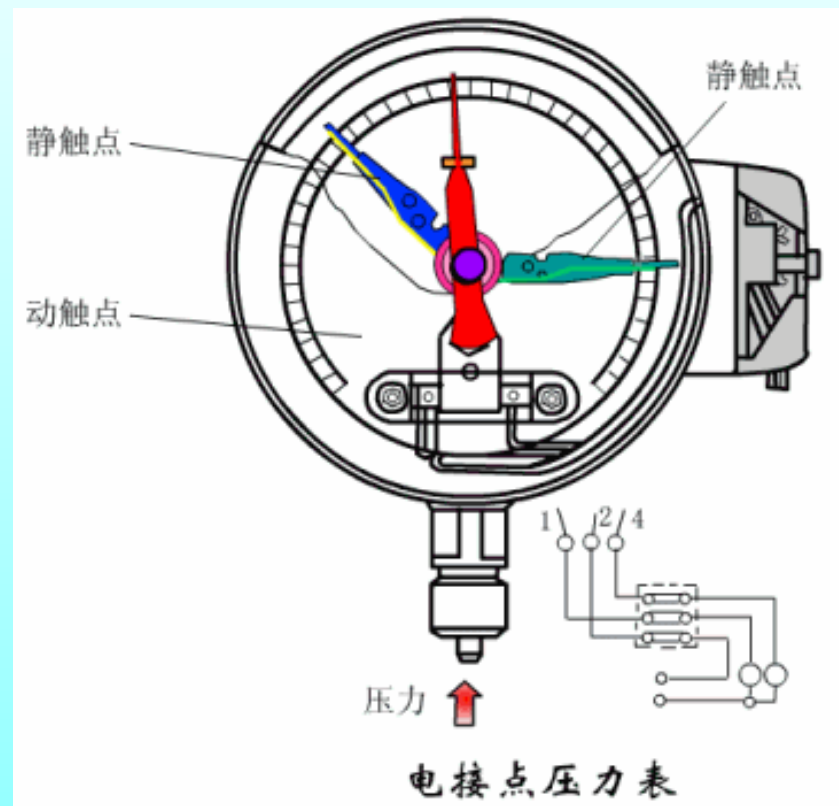
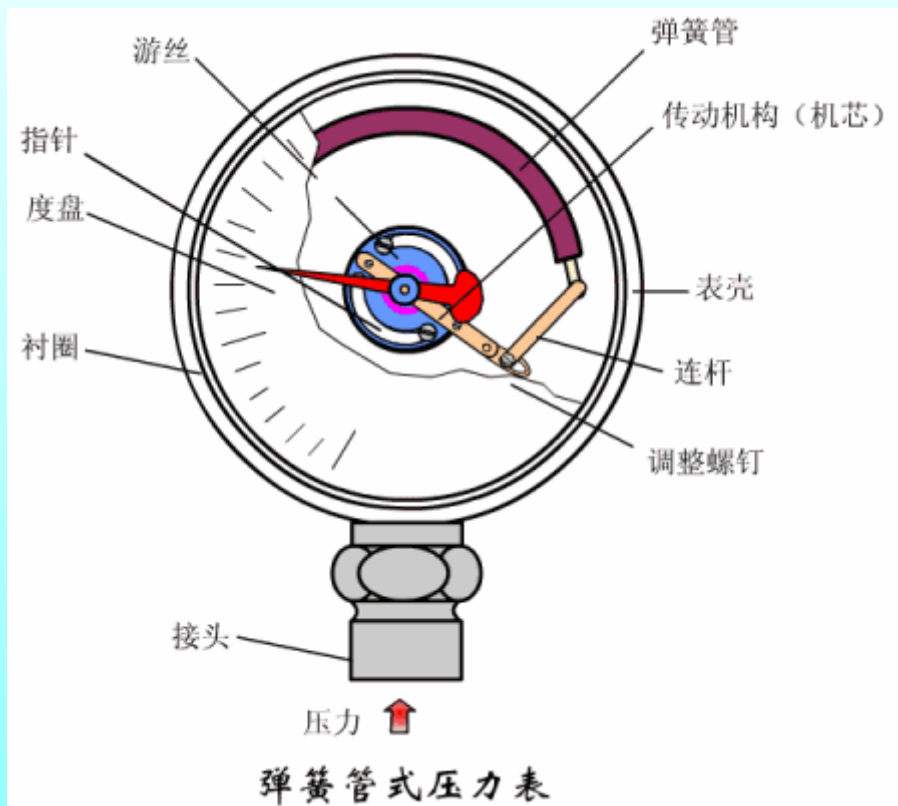
(5) 波纹管
位移最大，可测微
压 ($<1\text{MPa}$)。



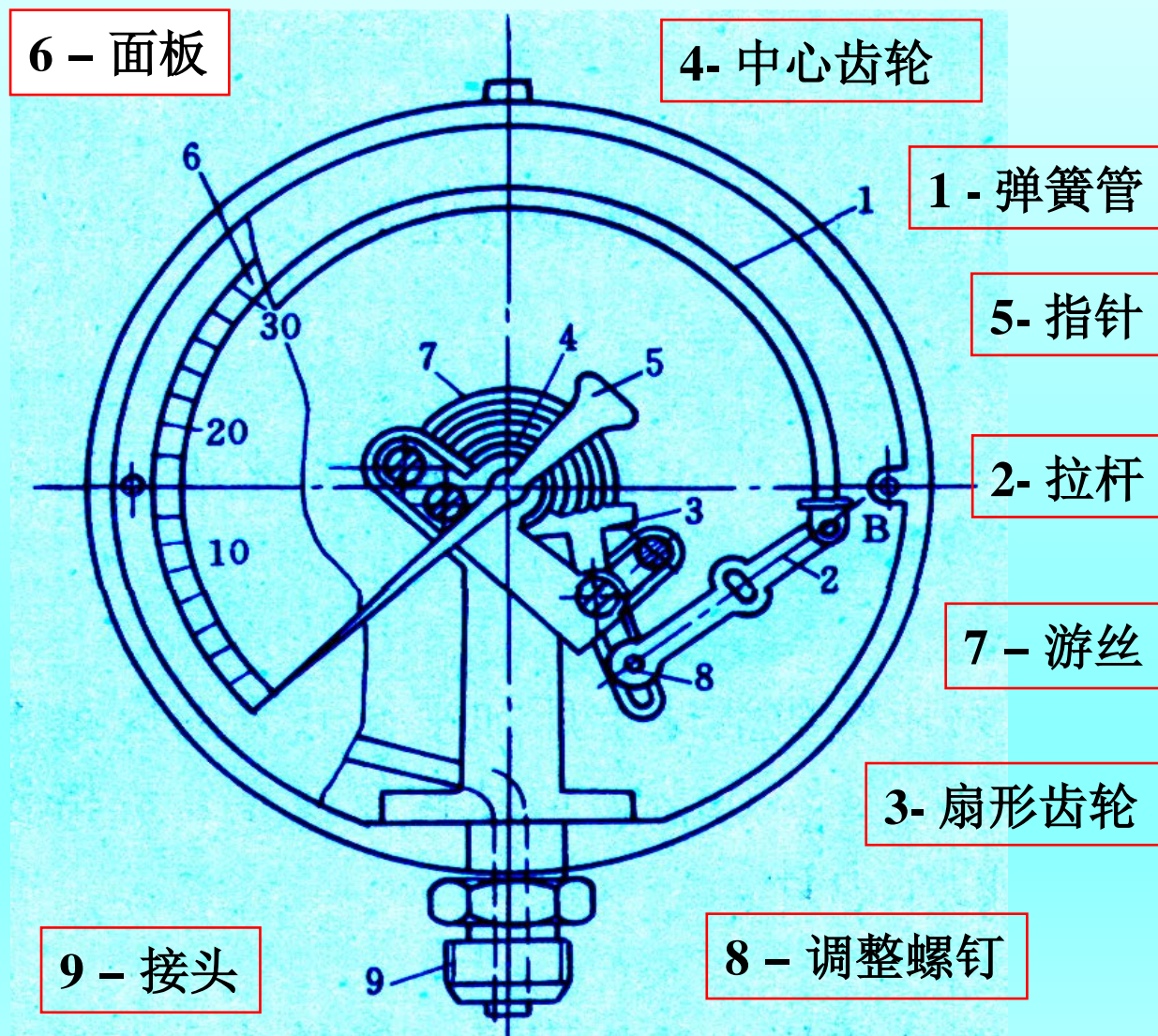
2.3.2.2 弹簧管压力表

弹簧管压力表的品种规格繁多。按其用途不同，有普通弹簧管压力表、耐腐蚀的氨用压力表、禁油的氧气压力表等。但它们的外形与结构基本相同，只是所用的弹簧管材料有所不同。





弹簧管压力表的原理

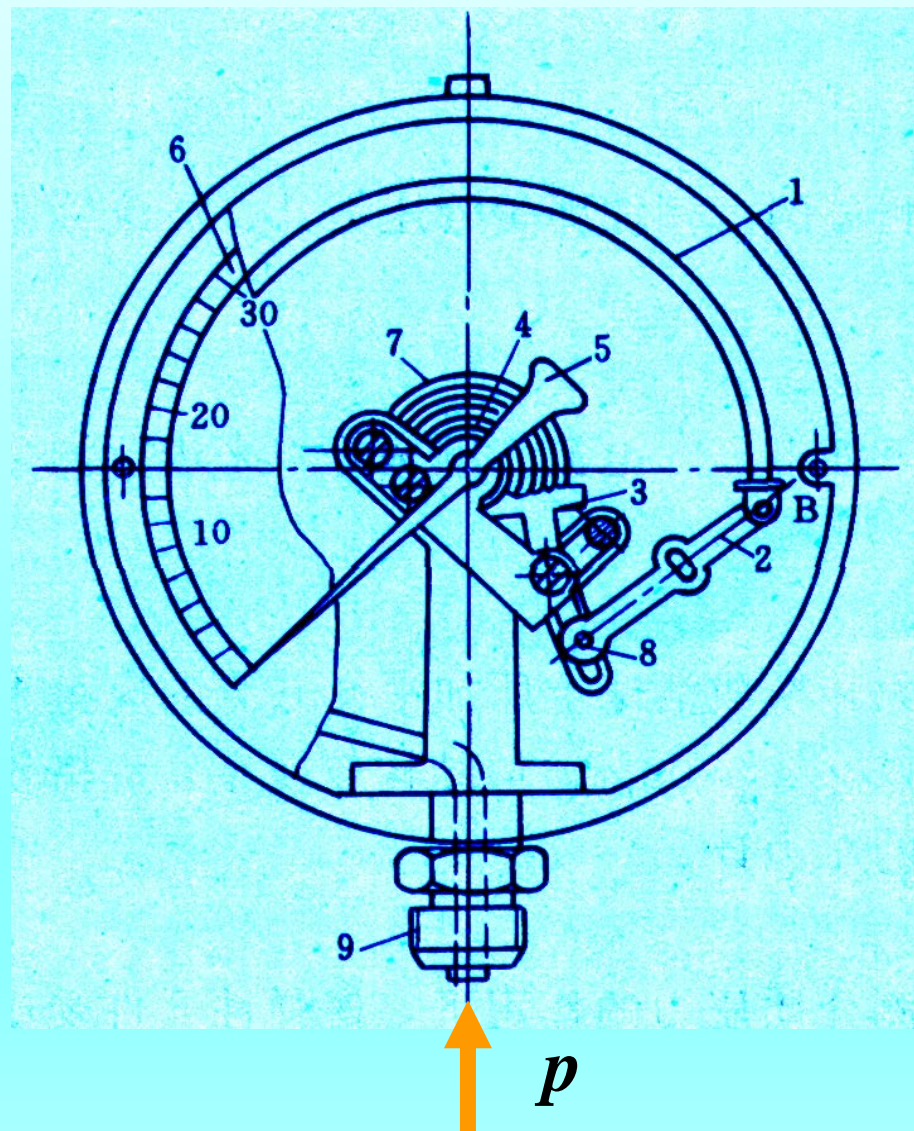


弹簧管是一根弯成 270° 圆弧的椭圆截面的空心金属管，管子的自由端B封闭，并连接拉杆及扇形齿轮，带动中心齿轮及指针。

基本测量原理

在被测压力 p 的作用下，弹簧管的椭圆形截面趋于圆形，圆弧状的弹簧管随之向外扩张变形。

自由端 B 的位移与输入压力 p 成正比。通过拉杆、齿轮的传递、放大，带动指针偏转。

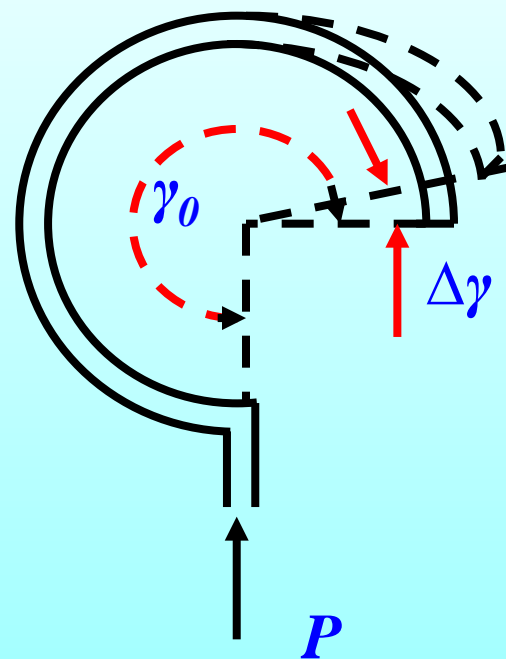


测压关系：

自由端的相对角位移
 $\Delta\gamma/\gamma_0$ 与被测压力 P 成正比。

$$\Delta\gamma/\gamma_0 = KP$$

K —常数



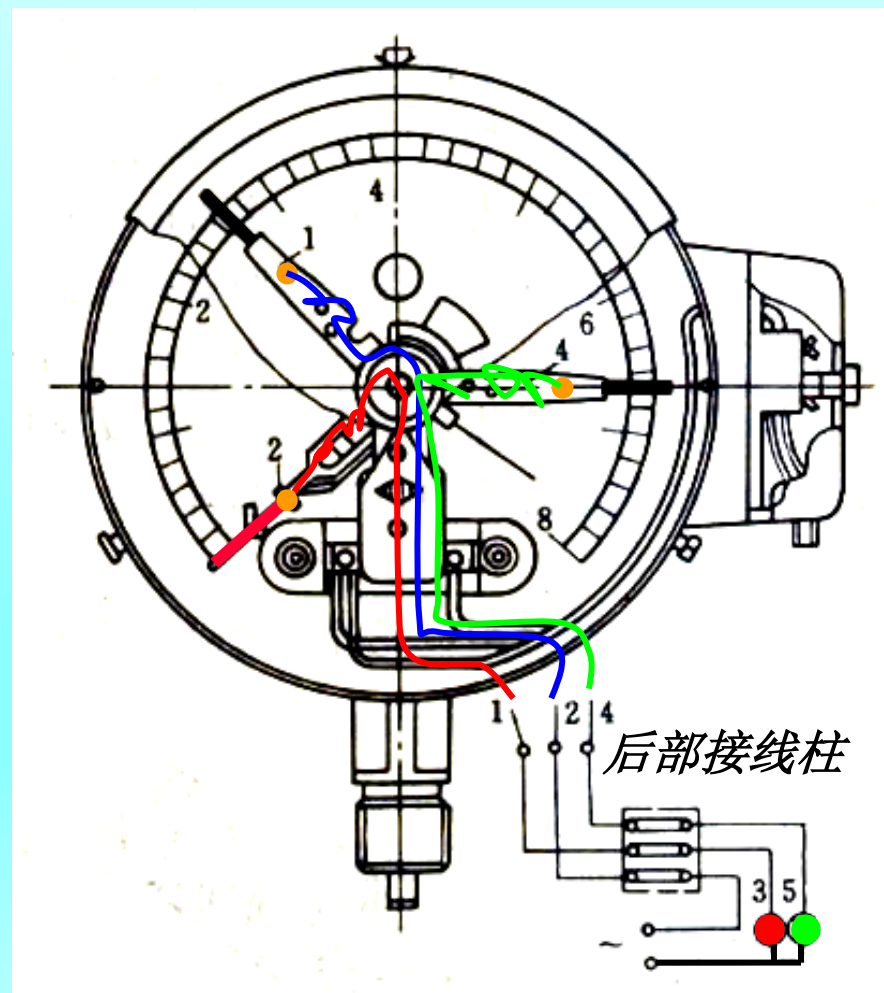
生产中，常需要把压力控制在某一范围内。要求当压力超出给定范围时，测量仪表能发出信号，以提醒操作人员，或启动继电器实现压力的自动控制。这就要求压力表带有报警或控制输出。

□ 电接点压力表

在普通弹簧管压力表的基础上稍添部件，便可成为电接点信号压力表。

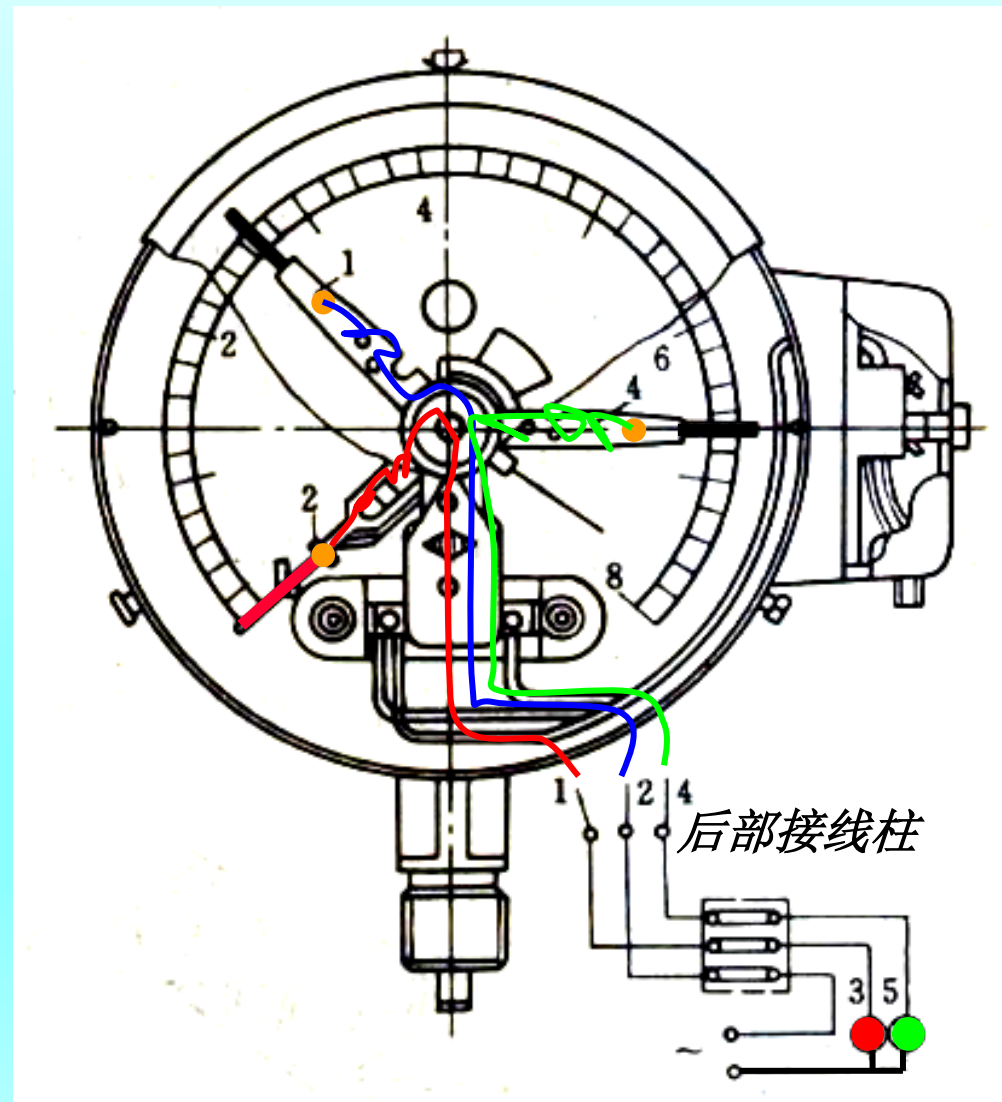
增加两个报警针，上面分别装静触点1和4，指示针上装动触点2。分别用软导线引至输出接线柱。

使用时可后接两个信号灯或继电器3、5。



报警原理：

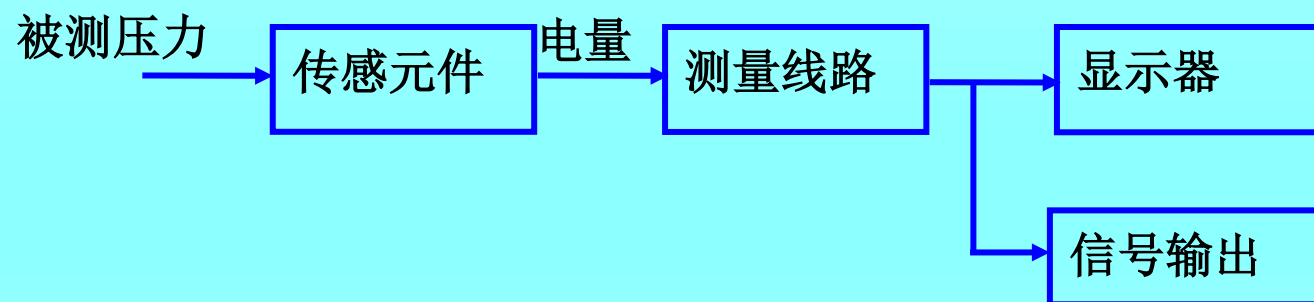
若压力降到下限值时，动触点2与静触点1接触，接通了信号灯3的电路。当压力超过上限值时，动触点2和静触点4接触，信号灯5的电路被接通。



2.3.3 电气式压力计

电气式压力计是指将压力转换成电信号进行显示的仪表。

电气式压力计一般由压力传感元件、测量电路和信号处理电路所组成。



2.3.3.1 电容式差压（压力）变送器

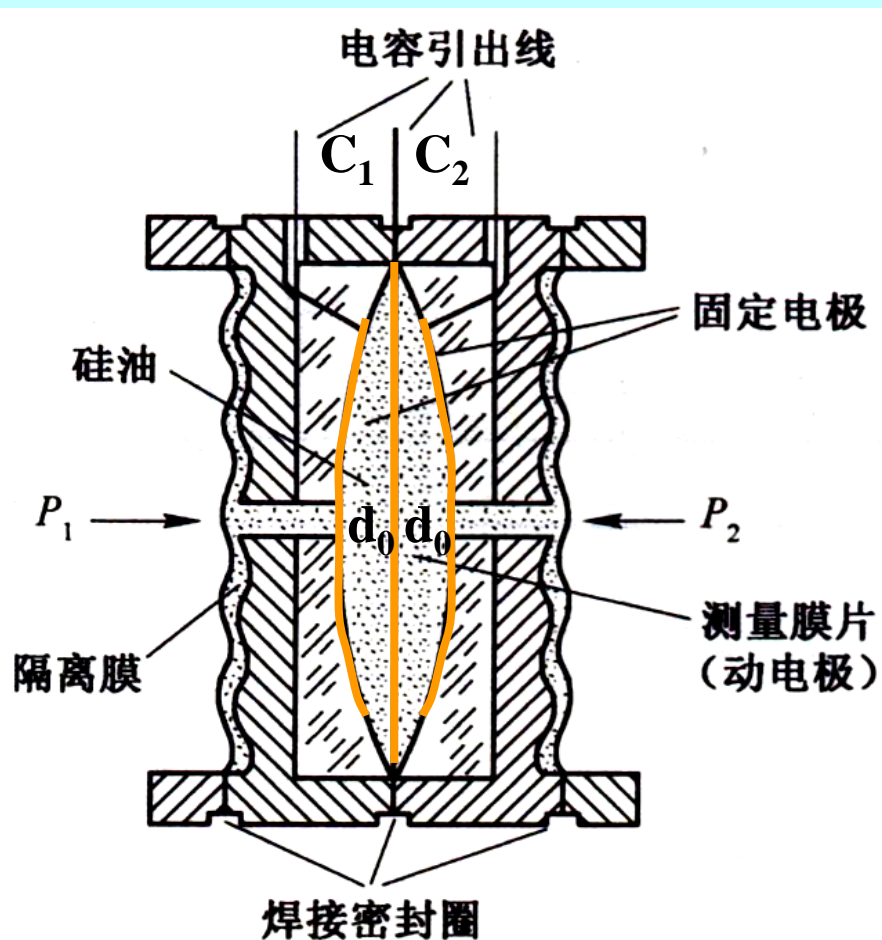
当电容式差压变送器的一个被测压力是大气压时，就成为压力变送器。

电容式压力变送器是20世纪70年代初由美国公司研发。结构简单、过载能力强、可靠性好、精度高、体积小。

电容式压力变送器先将压力的变化转换为电容量的变化，然后用电路测电容。其输出信号是标准的4~20mA（DC）电流信号。

差压传感部件

$P_1 - P_2 = \Delta P \Rightarrow$ 中心膜片变形位移 \Rightarrow 电容量变化



$P_1 = P_2$ 时:

$$C_1 = C_2 = K_2 / d_0$$

$$K_2 = \varepsilon S / 4 \pi k$$

$P_1 > P_2$ 时:

测量膜片中心位移:

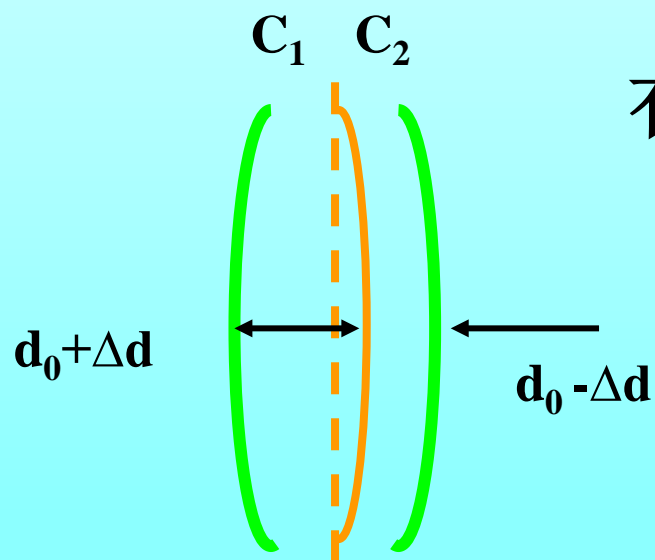
$$\Delta d = K_1 \Delta P$$

K_1 — 弹力系数

当 P_2 是大气压时，为压力传感部件。

两个电容的电容量变为：

$$C_1 = \frac{K_2}{d_0 + \Delta d} \quad C_2 = \frac{K_2}{d_0 - \Delta d}$$



有： $\frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{K_1}{d_0} \Delta P$

$$= K_3 \Delta P$$

$$K_3 = K_1 / d_0$$

由测量电路将电容变化量转换为电压。

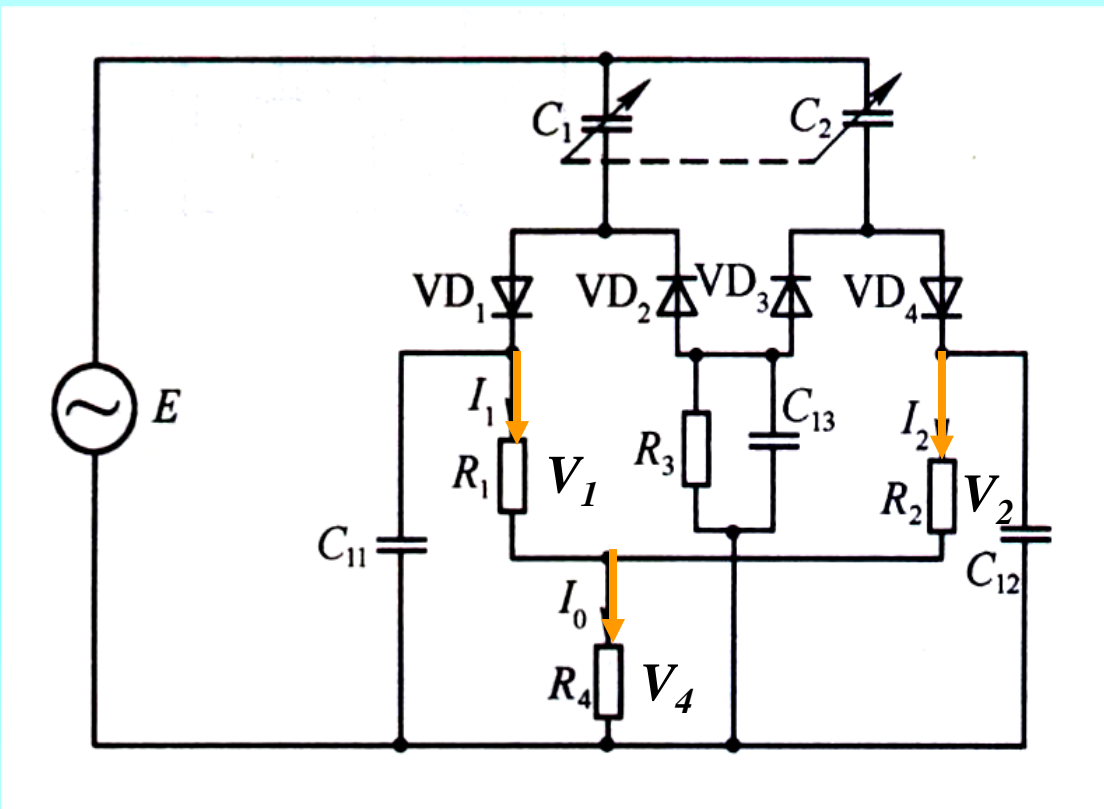
如图是一种测电容充放电电流的原理电路。

正弦波电压 E 加于差动电容 C_1 、 C_2 上， $R_1 \sim R_4$ 的阻抗都比 C_1 、 C_2 的阻抗小得多，则流过 C_1 、 C_2 的半周期电流近似为：

$$I_1 = \frac{1}{C_2 \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} I_0$$

$$= \frac{C_1}{C_1 + C_2} I_0$$

$$I_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} I_0$$



令 V_1 、 V_2 、 V_4 表示 R_1 、 R_2 、 R_4 的压降

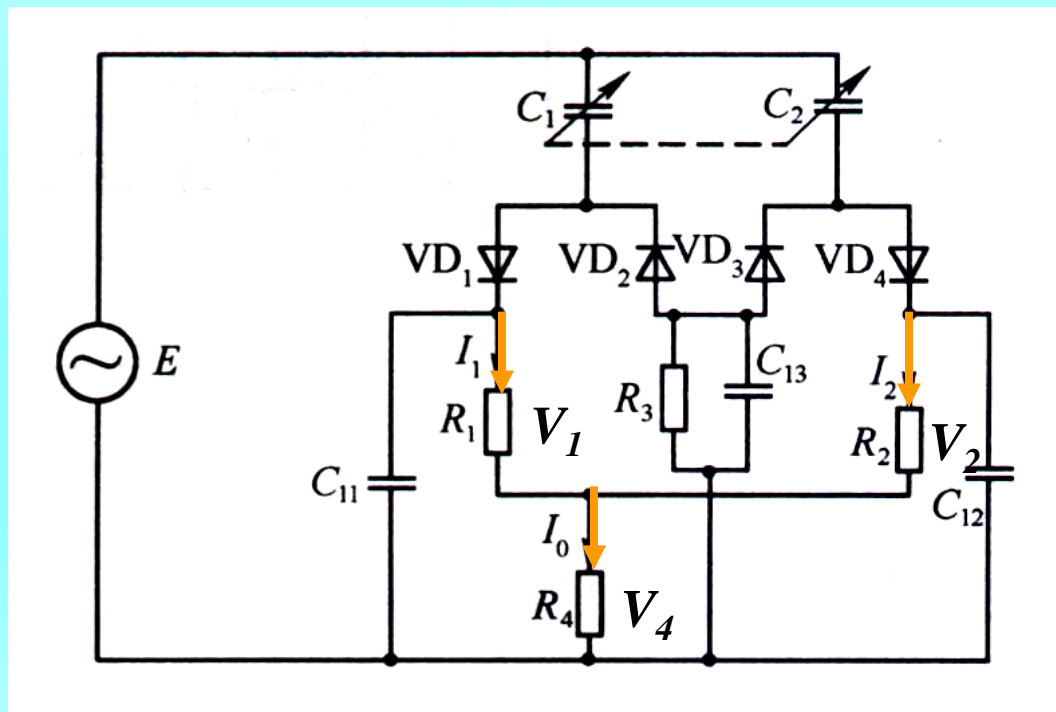
因为: $V_1 = I_1 R_1$ 、 $V_2 = I_2 R_2$ 、 $V_4 = I_0 R_4$,

则:

$$\frac{V_2 - V_1}{V_4} = \frac{C_2 R_2 - C_1 R_1}{(C_1 + C_2) R_4}$$

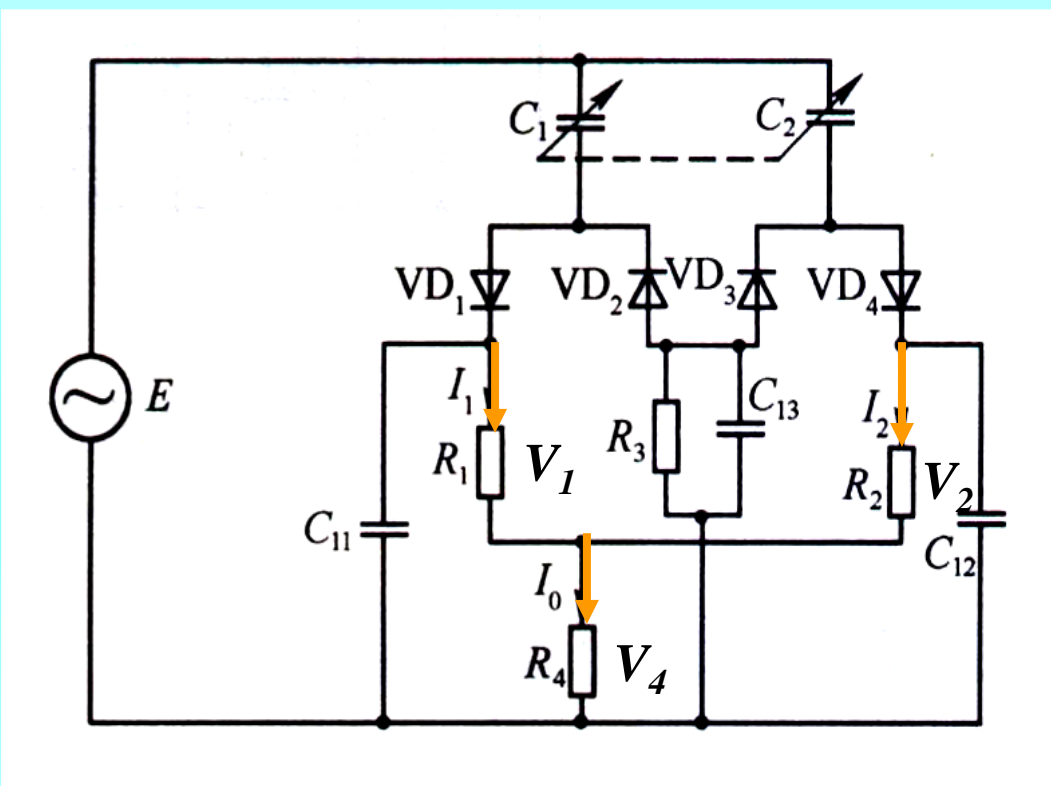
取 $R_1 = R_2 = R_4$, 得:

$$\frac{C_2 - C_1}{C_1 + C_2} = \frac{V_2 - V_1}{V_4} = K_3 \Delta P$$



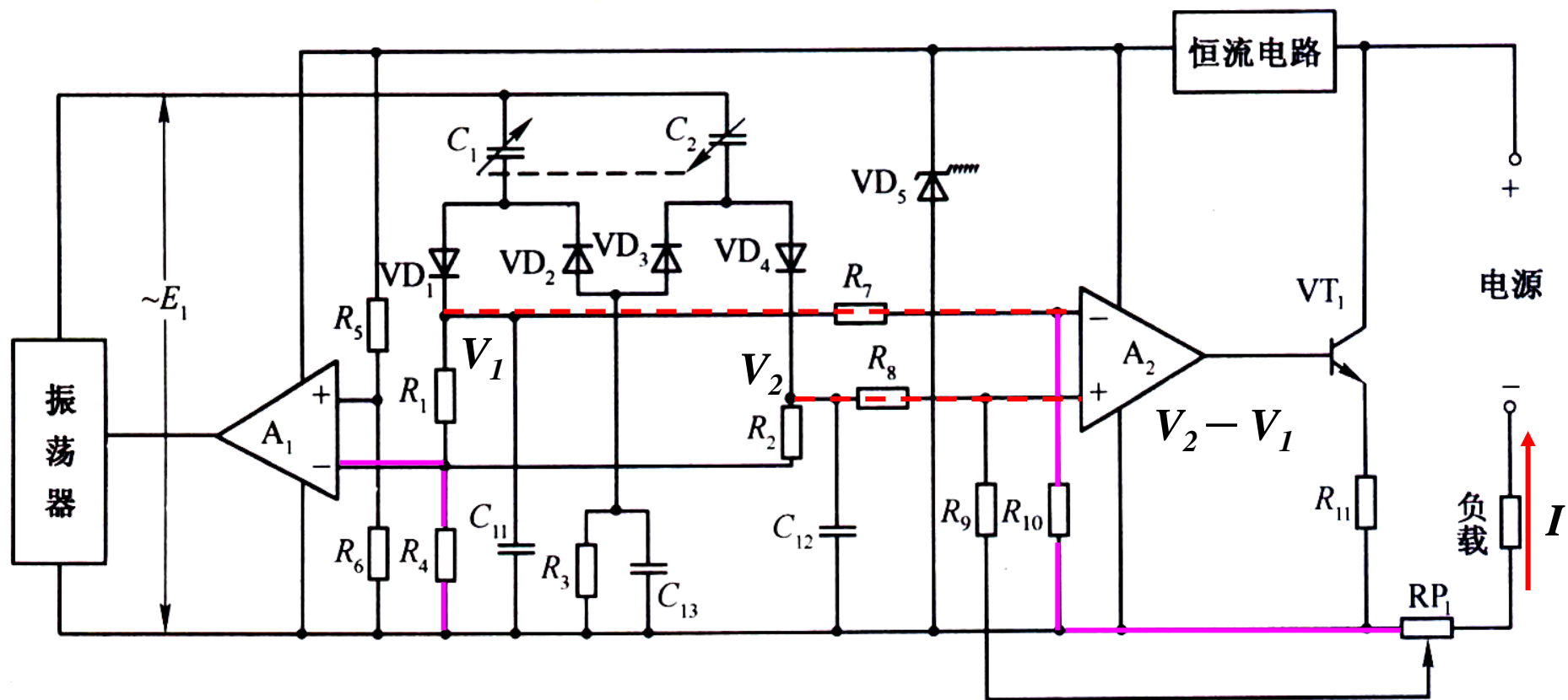
$$\frac{C_2 - C_1}{C_1 + C_2} = \frac{V_2 - V_1}{V_4} = K_3 \Delta P$$

由上式可知，当 $V_4 = I_o R_4$ 不变时，测出 $V_2 - V_1$ ，则可知 ΔP 。



在实际电路中，当差动电容 C_1 、 C_2 变化时，用负反馈自动调节供电电压 E 的幅度，使流过它们的电流之和 I_o 保持恒定。

如图为电容式压力变送器的原理线路。



A_1 供给振荡器电源

通过负反馈保证 R_4 两端的电压恒定

A_2 将 R_1, R_2 两端的电压相减

RP_1 调整电流负反馈, 实现量程迁移

特点：灵敏度高，量程宽，过载能力强。没有杠杆传动机构，因而结构紧凑，稳定性与抗振性好，测量精度高，可达0.2级。



电容差压变送器



法兰式电容差压变送器

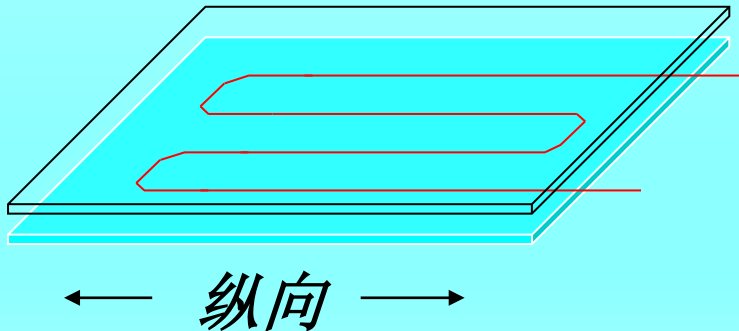
2.3.3.2 应变式压力传感器

应变式压力传感器是利用电阻应变原理构成的。电阻应变片有金属应变片（金属丝或金属箔）和半导体应变片两类。如金属丝应变片的结构：

□ 电阻应变原理：

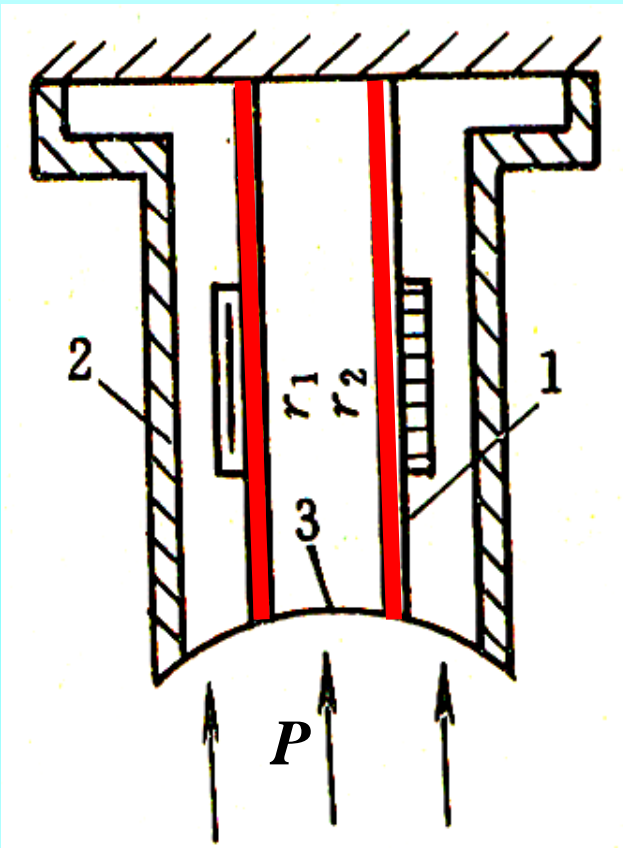
当应变片产生纵向拉伸变形时， L 变大、 S 变小，其阻值增加；当应变片产生纵向压缩变形时， S 变大、 L 变小，其阻值减小。

$$R=\rho L/S$$



金属应变片的应用

金属应变片要紧贴在应变物上使用。如测梁的受力。如果没有应变物，只测气体的压力，则要借助于应变筒。



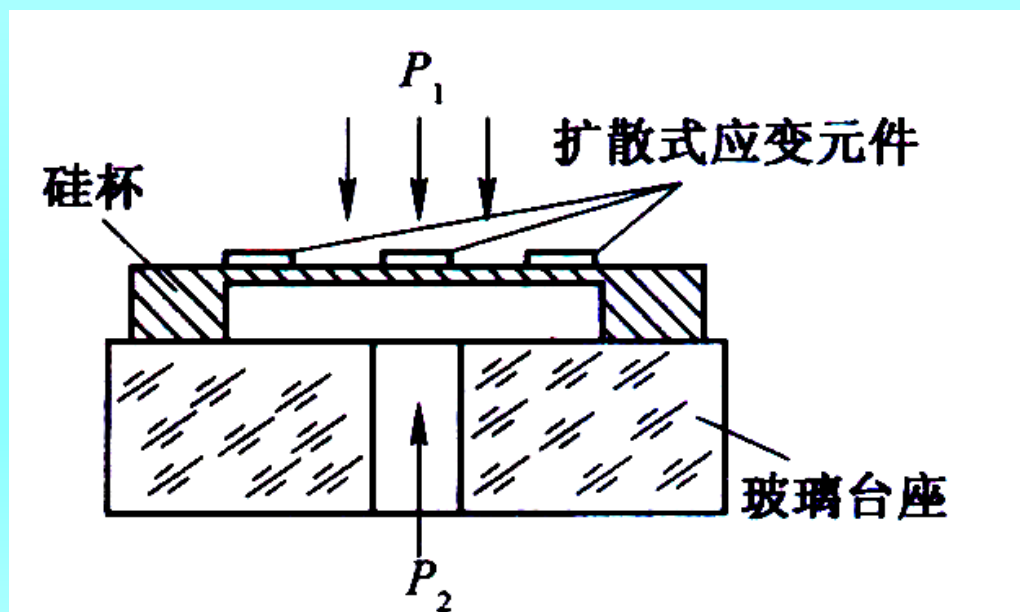
应变筒1的上端与外壳2固定在一起，下端与膜片3紧密接触。应变片 r_1 沿应变筒轴向贴放； r_2 沿径向贴放。当被测压力 p 作用于膜片、使应变筒作轴向受压变形时， r_1 纵向压缩应变、阻值变小； r_2 纵向拉伸应变、阻值变大。

2.3.3.3 压阻式压力传感器

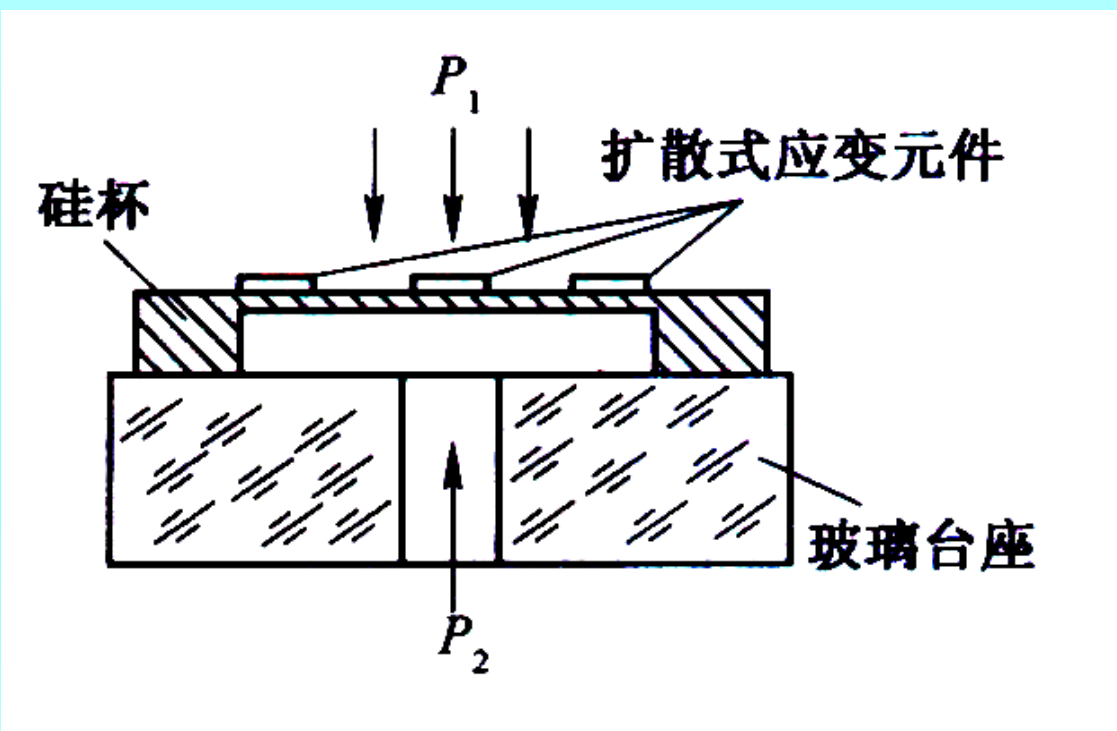
利用半导体材料的压阻效应将压力转换为电信号。

压阻效应——受压时电阻率发生变化。
如图是一种半导体测压传感部件。

在杯状单晶硅膜片的表面上，沿一定的晶轴方向和位置扩散着四个长条形电阻。

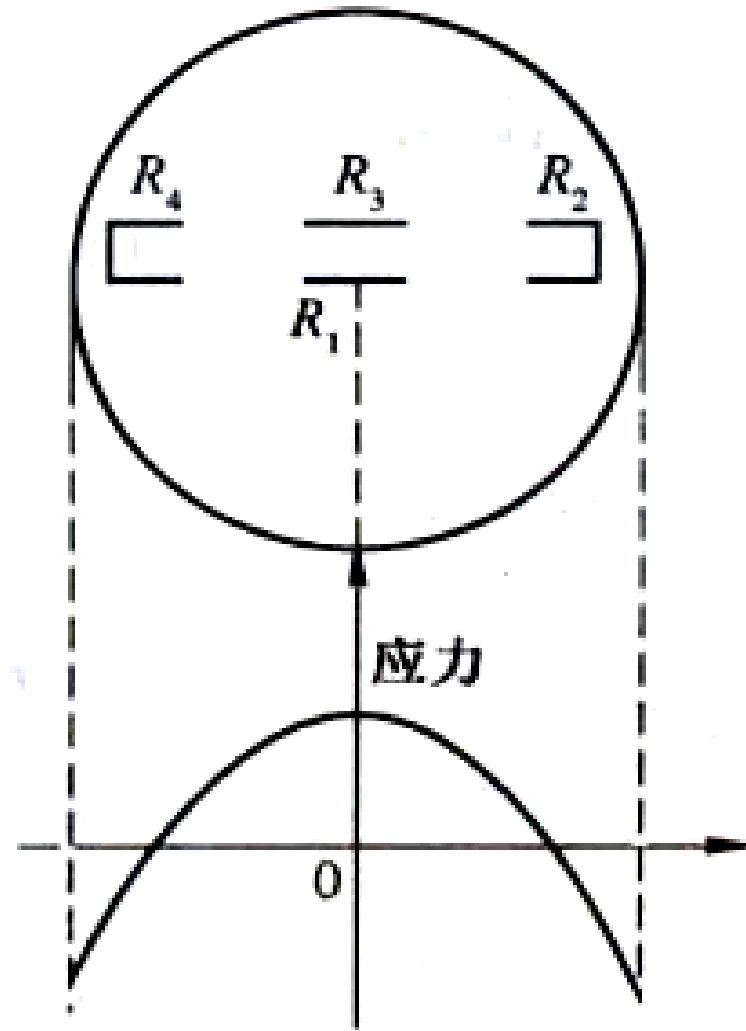


半导体扩散电阻在受应力作用时，材料内部晶格之间的距离发生变化，使禁带宽度以及载流子浓度和迁移率改变，导致半导体材料电阻率 ρ 发生强烈的变化，其灵敏度约比金属应变电阻高100倍左右。



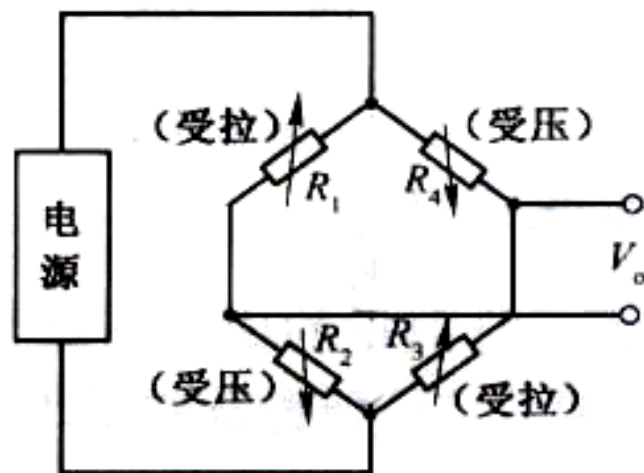
当硅膜片上下两侧出现压差时，膜片内部产生应力，使扩散电阻的阻值发生变化。

实验表明，圆形硅膜片在受压力变形时，其圆心区域和边缘区域受力性质不一样。以半径 63.2% 为界，圆心区域受拉应力，边缘区域受压应力。受拉时，扩散电阻阻值增大；受压时，扩散电阻阻值减小。四个电阻可以构成全桥电路。

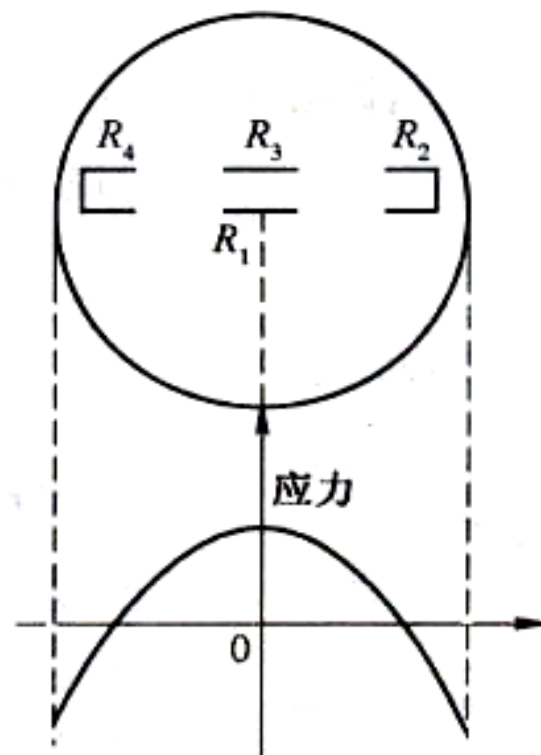


(b) 硅膜片表面应力分布

在硅膜片上扩散四个阻值相等的电阻，接成全桥式输出电路，不但可以提高电桥灵敏度，还可以获得温度补偿，抵消半导体电阻随温度变化引起的误差。

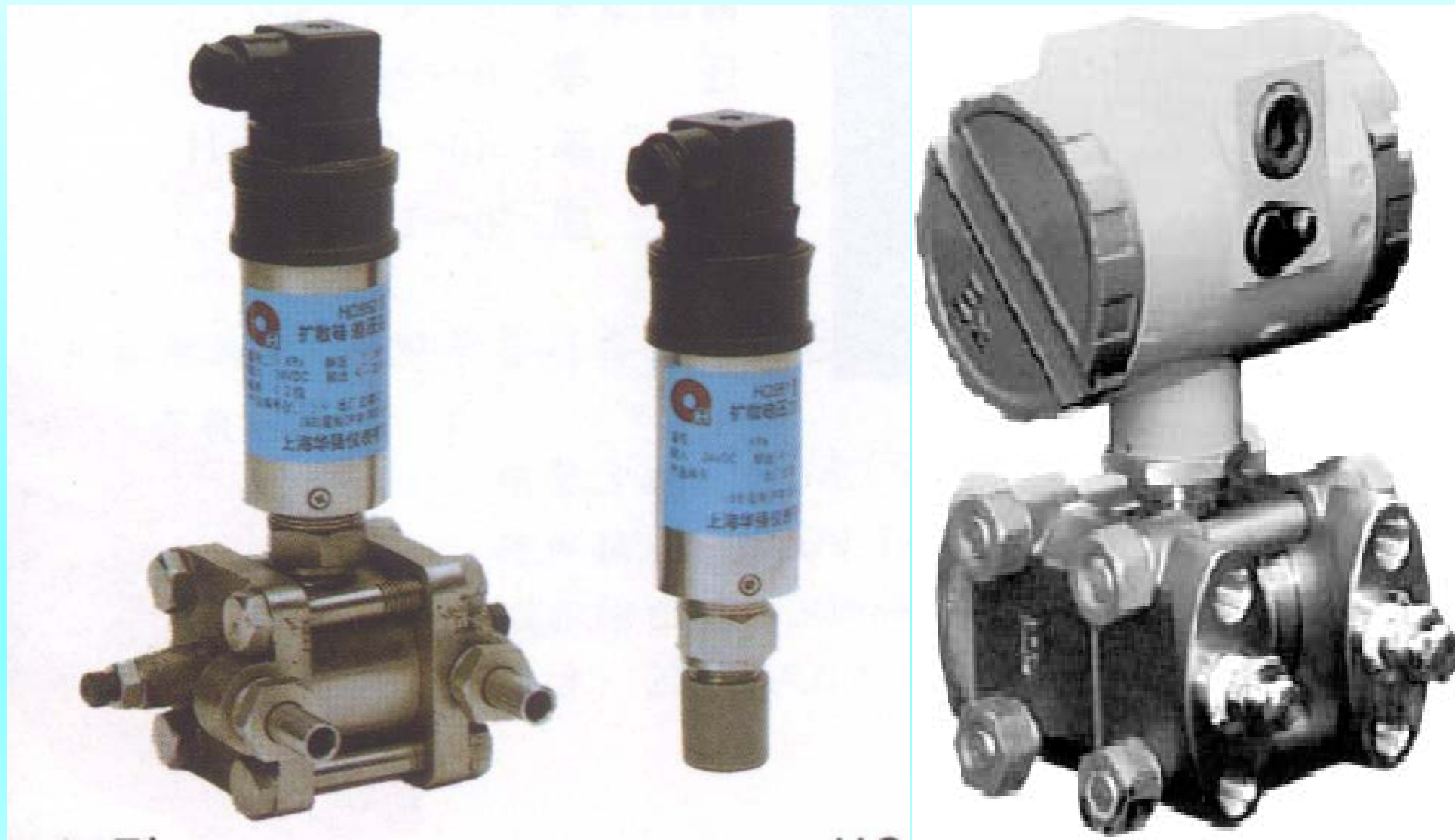


(a) 桥式输出电路



(b) 硅膜片表面应力分布

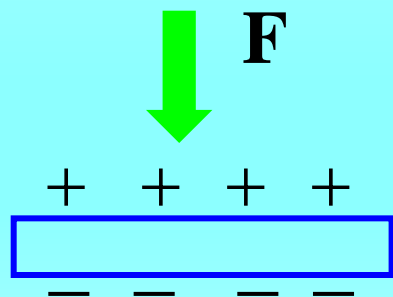
扩散硅压力变送器



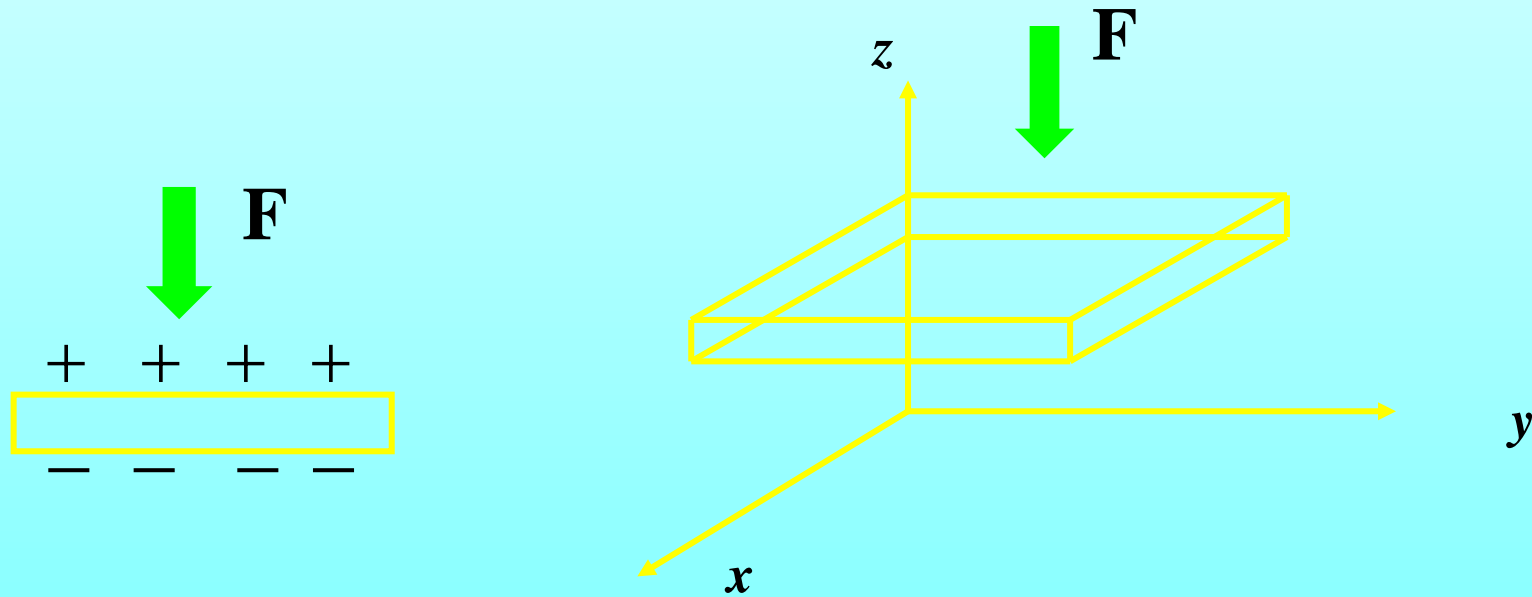
2.3.3.4 压电式压力传感器

利用某些材料的压电效应原理制成。具有这种效应的材料如压电陶瓷、压电晶体称为压电材料。

压电效应：压电材料在一定方向受外力作用产生形变时，内部将产生极化现象，在其表面上产生电荷。当去掉外力时，又重新返回不带电的状态。这种机械能转变成电能的现象，称之为压电效应。

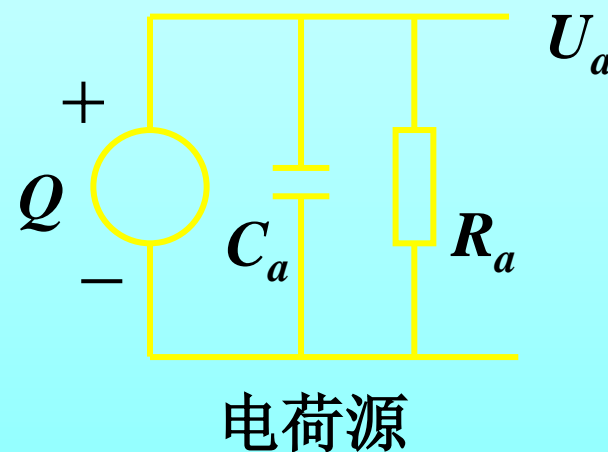
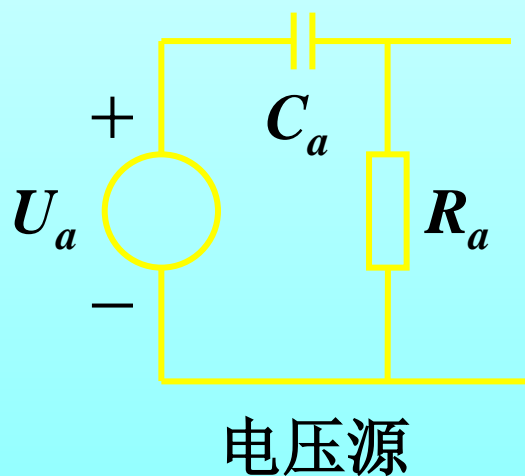


如图所示，压电陶瓷的极化方向为 z 轴方向。如果在 z 轴方向上受外力作用，则垂直于 z 轴的 x 、 y 轴平面上面和下面出现正负电荷。



压电材料上电荷量的大小与外力的大小成正比。

压电材料作为力敏感元件，从其输出特性可以看作是一个电荷源（静电发生器）；从其材料特性可以等效为一个电容。其等效电路为：



C_a —等效电容 R_a —等效漏电阻

后接电压放大器或电荷放大器即可。

2.3.4智能式差压变送器

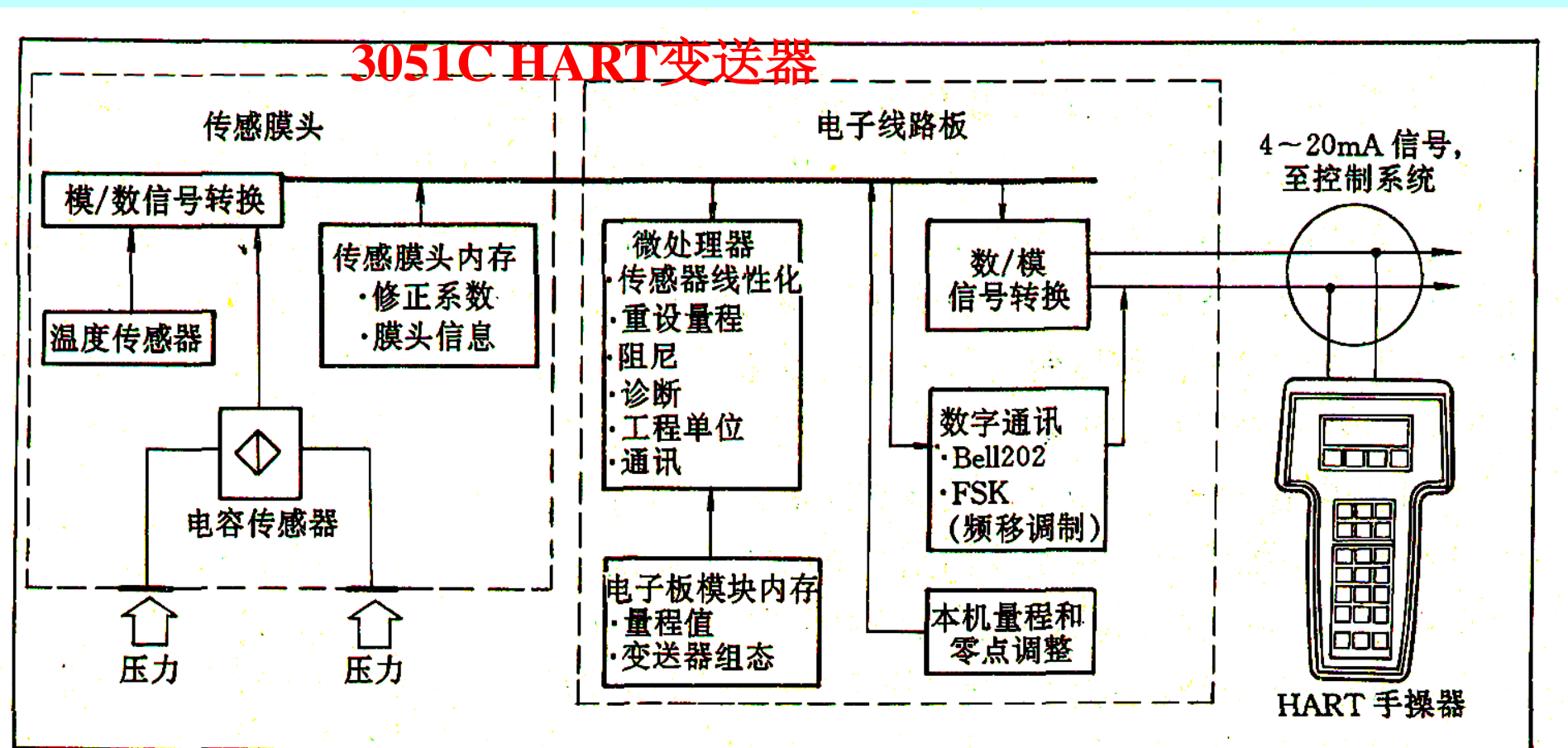
智能式差压变送器内部电路装有CPU芯片，有很强的数字处理能力。除检测功能外，还具有静压补偿、计算、显示、报警、控制、诊断等功能。与智能式执行器配合使用，可就地构成控制回路，并随时与上位机通讯。

2.3.4.1 3051C HART变送器

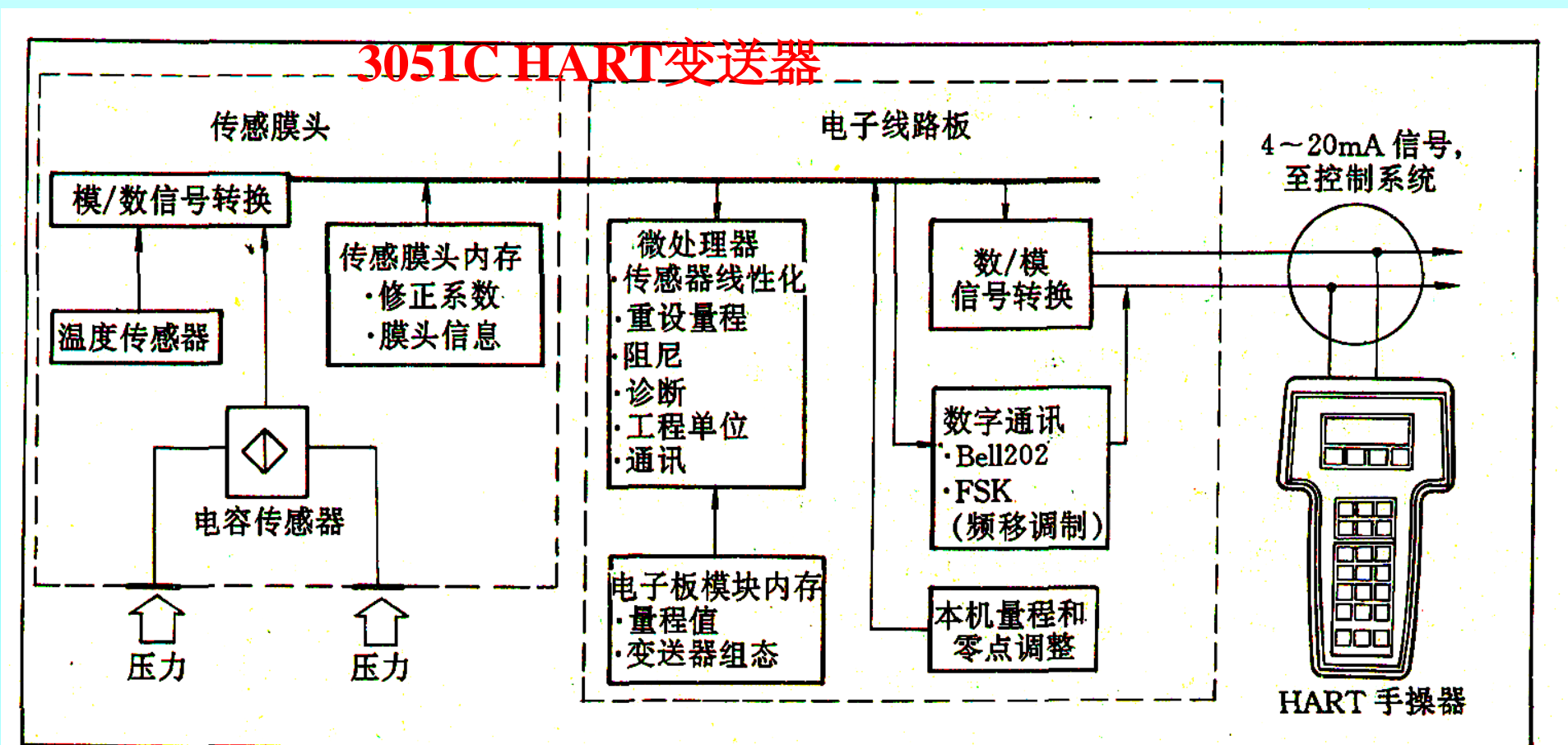
3051型差压变送器是美国罗斯蒙特公司的一种智能型两线制变送器，有电容式和压电式两种。

3051C 电容式变送器的原理框图如下图所示。

传感器部分与模拟仪表一样，测量信号经A / D转换后送微处理器处理。输出符合HART协议的数字信号叠加在由D / A输出的4~20mA信号线上。



可同时用于数字控制系统和模拟控制系统。将数据设定器跨接在信号线上，可以读取变送器的输出信号，并对变送器进行组态。





压力表的选择、安装与校验

(1) 仪表类型的选择

- 1、满足工艺的要求。例如是否需要远传、自动记录或报警；
- 2、被测介质的物理化学性能（诸如腐蚀性、温度高低、粘度大小、脏污程度、易燃易爆性能等）是否对测量仪表提出特殊要求；
- 3、现场环境条件（诸如高温、电磁场、振动及现场安装条件等）对仪表类型有否特殊要求等。

根据工艺要求正确选用仪表类型是保证仪表正常工作及安全生产的重要前提。

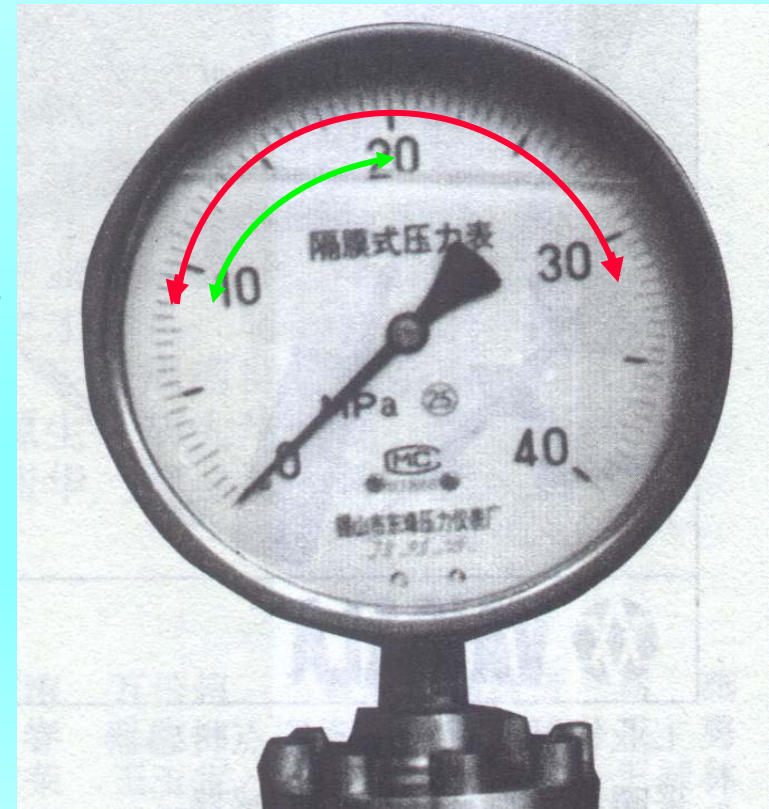
例如普通压力计的弹簧管大多采用铜合金，而氨用压力计弹簧管的材料却都采用碳钢，不允许采用铜合金。因为氨气对铜的腐蚀极强，普通压力计用于氨气压力测量时很快就要损坏。

又如氧气压力计与普通压力计在结构和材质上完全相同，但是氧用压力计禁油。因为油进入氧气系统易引起爆炸。所以，氧用压力计校验时，不用变压器油作为工作介质。

(2) 仪表测量范围的确定

为了合理、经济使用仪表，仪表的量程不能选得太大，但为了保证测量精度，一般被测压力的最小值不低于仪表满量程的 $1/3$ 为宜。

同时为了延长弹性元件的使用寿命，避免弹性元件因长期受力过大而永久变形，压力计的上限值应该高于被测量的最大值（量程的 $1/2 \sim 2/3$ ），留有余量。



(3) 仪表精度的选取

仪表精度是根据工艺生产上所允许的最大测量误差来确定的。不能认为选用的仪表精度越高越好，应在满足工艺要求的前提下，尽可能选用精度较低、价廉耐用的仪表。

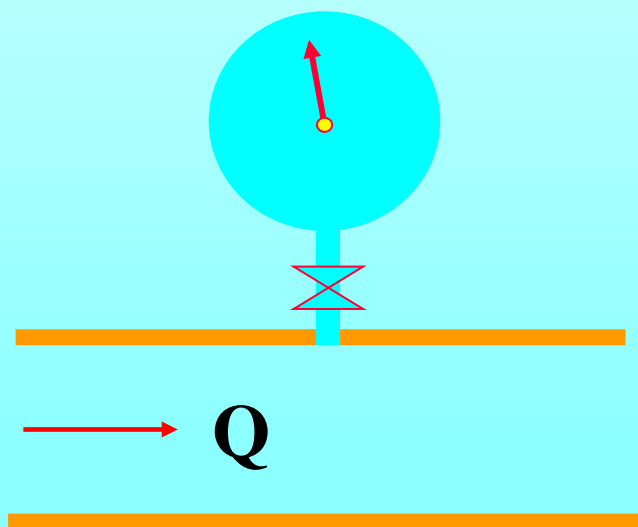
例 某台压缩机（脉动压力）的出口压力范围是25-30MPa，测得绝对误差不得大于1MPa。工艺上面要求就地观察，并能高低限报警。请正确的选用一台压力表，指出类型、精度和测量范围。

例 如果某反应器最大压力为1.0MPa，允许最大绝对误差为0.01MPa。现用一台测量范围为0—1.6MPa，精度为1级的压力表来进行测量，问能否符合工艺要求？若采用一台测量范围为0—1.0MPa，精度为1级的压力表，能符合要求吗？试说明其理由。

4、压力表的安装

压力计的安装正确与否，直接影响到测量结果的准确性和压力计的使用寿命。

1、测压点的选择

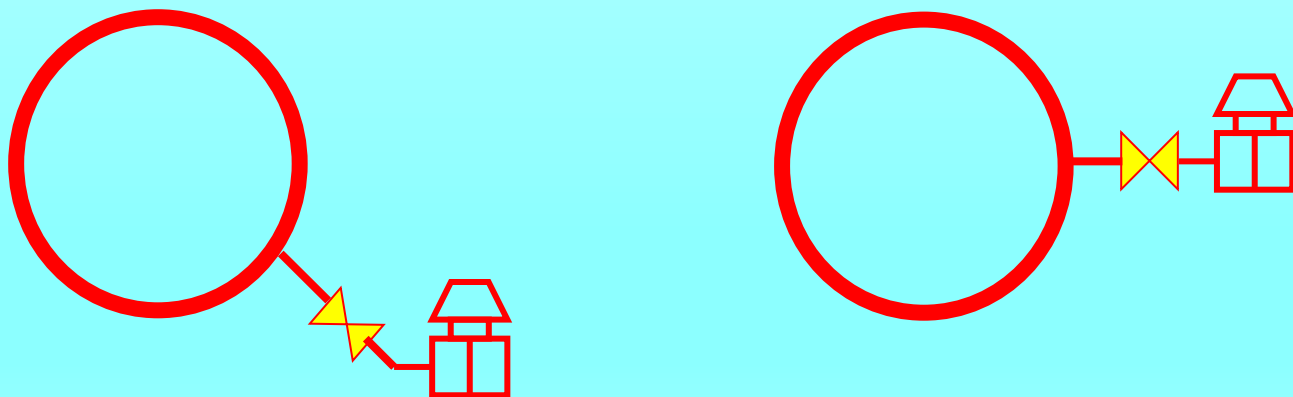


① 选在被测介质直线流动的管段部分，不要选在管路拐弯、分叉或死角处。

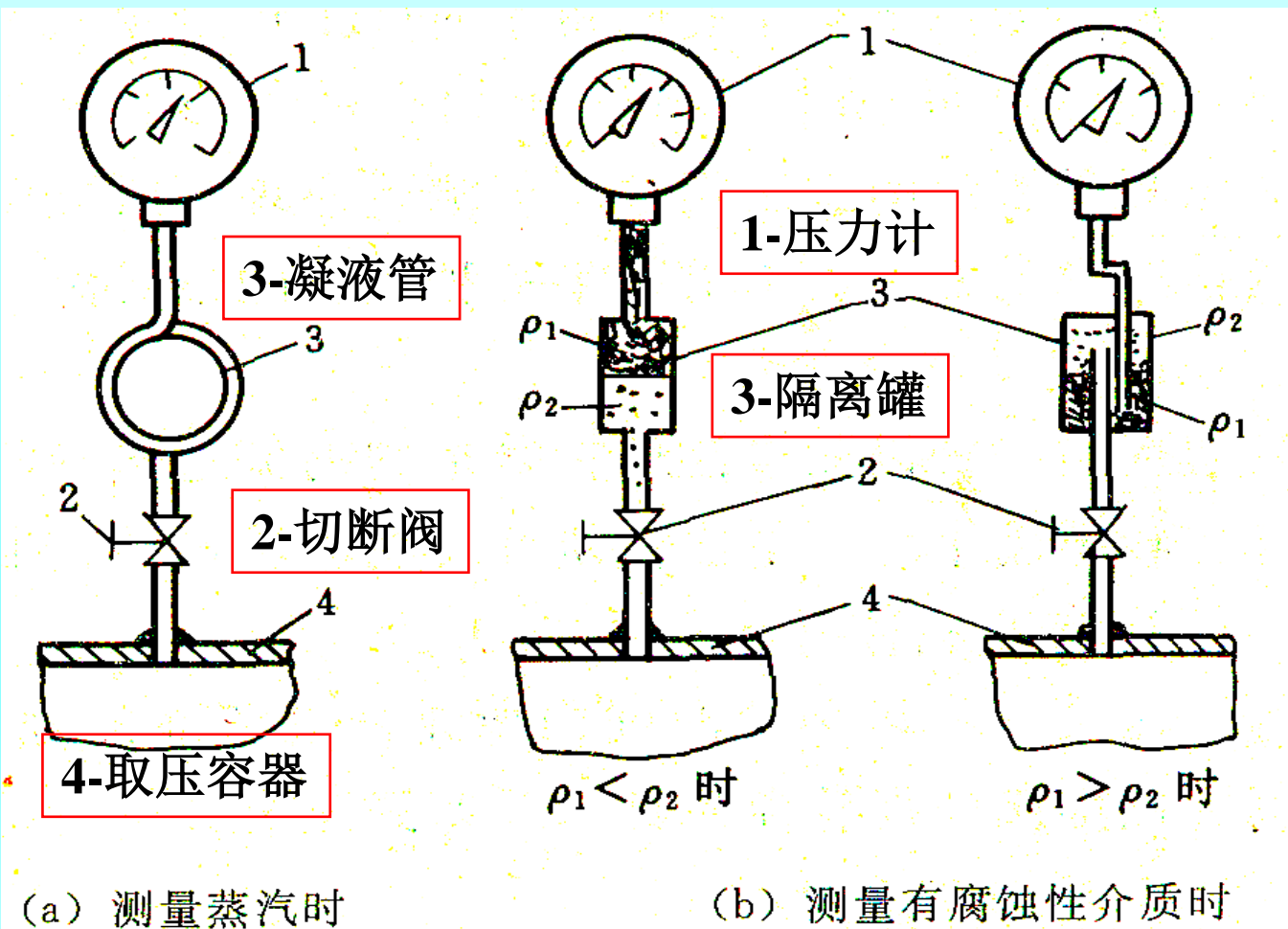
② 测量流体压力时，应使取压点与流动方向垂直，取压管内端面与设备内壁平齐，不应有凸出物或毛刺。

③ 测量液体压力时，取压点应在管道下部，使导压管内不积存气体；测量气体压力时，取压点应在管道上方，使导压管内不积存液体。

④ 取压口到压力计之间应装有切断阀，以备检修压力计时使用。切断阀应装在取压口附近。



测蒸汽压力时，应加装凝液管，如图(a)，以防止高温蒸汽直接与测压元件接触。对于有腐蚀性介质的压力测量，应加装有中性介质的隔离罐。



图(b)表示了被测介质密度 ρ_2 大于和小于隔离液密度 ρ_1 的两种情况。

5、压力表的校验

1、用活塞式压力计的砝码校验。

2、用标准压力表表校验。



小结:

压力测量



压力计的
选择安装

弹簧管压力表



电容式差压变送器



应变式压力传感器

压阻式压力传感器



压电式压力传感器

例 某台空压机的缓冲器，其工作压力范围为1.0—1.6MPa，工艺要求在远处观察罐内压力，并要求测量结果的误差不得大于罐内压力的 $\pm 5\%$ 。试选择一块合适的压力表（类型、测量范围、精度等级），并说明其理由。（可供选择的精度有1.5, 2.0, 2.5;可供选择的量程有0-2.0MPa, 0-2.5MPa, 0-3.0MPa）

2.4 流量检测及仪表

流量检测是控制生产以及经济核算的一个重要检测参数。

2.4.1 流量的基本概念

流量指单位时间内流过某一截面的流体数量。即**瞬时流量**。表示方法有：

- ❑ 质量流量 M (t/h、 kg/h 、 kg/s)
- ❑ 体积流量 Q (m³/h、 L/h、 L/min)

二者的关系：

$$M = \rho Q$$

ρ —流体的密度

总量指一定时间内流过某截面的流体流量的总和。即**累计流量**。

以 t 表示时间，则流量和总量之间的关系是：

$$Q_{\text{总}} = \int_0^t Q dt \quad M_{\text{总}} = \int_0^t M dt$$

流量计的种类繁多，若按测量原理分，流量计可分为：

节流式流量计

速度式流量计

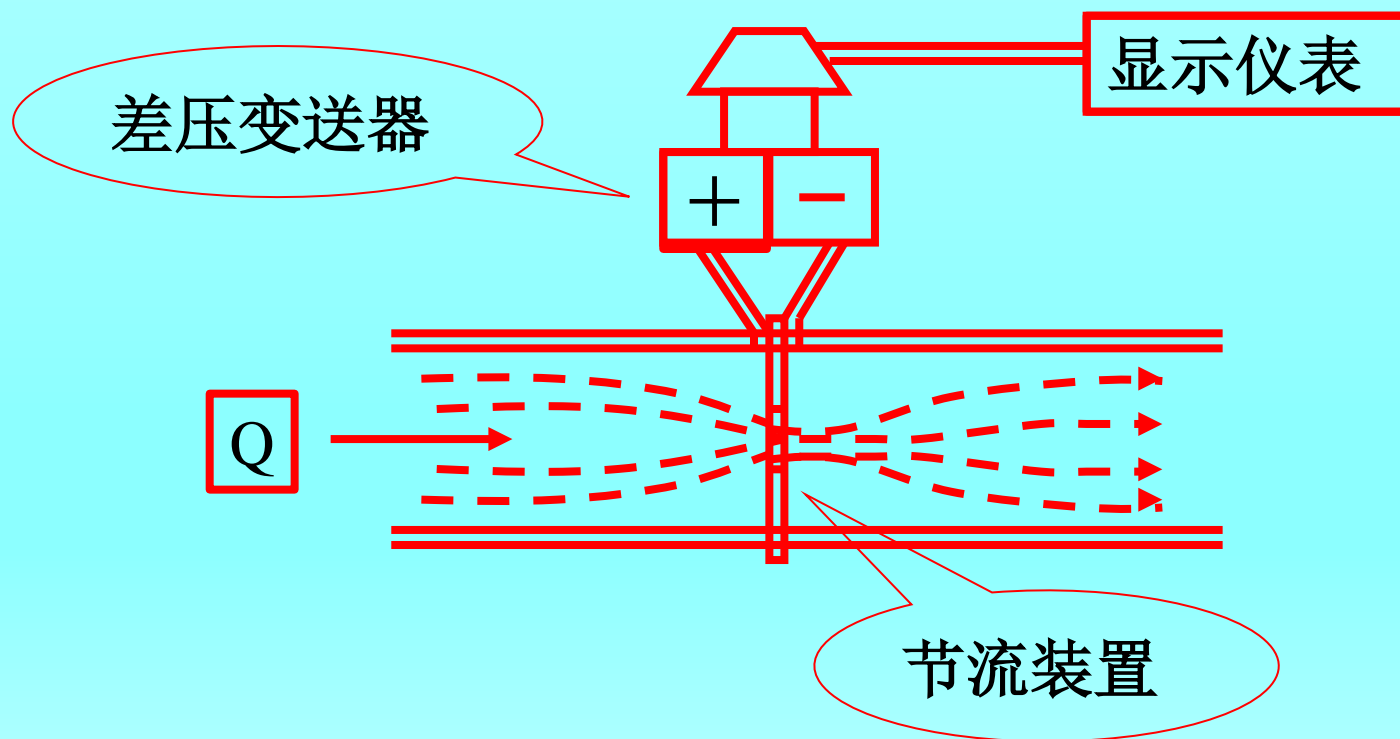
容积式流量计

电磁式流量计

.....

2.4.2 差压式流量计

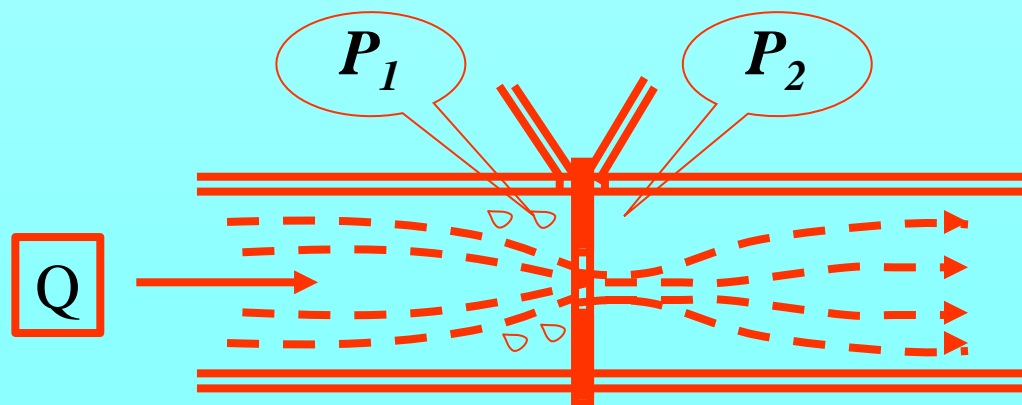
差压式（也称节流式）流量计是基于流体流动的节流原理，利用流体流经节流装置时产生的压力差而实现流量测量。



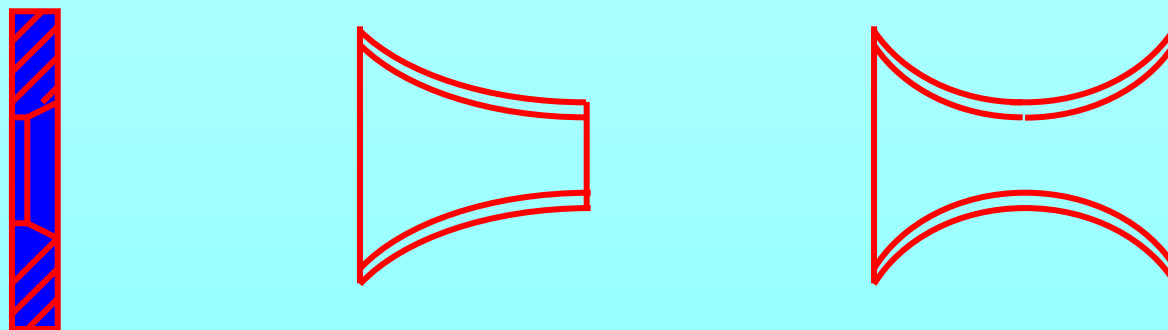
节流现象

流体在流过节流装置时，在节流装置前后的管壁处，流体的静压力产生差异的现象称为节流现象。

节流装置包括节流件和取压装置。



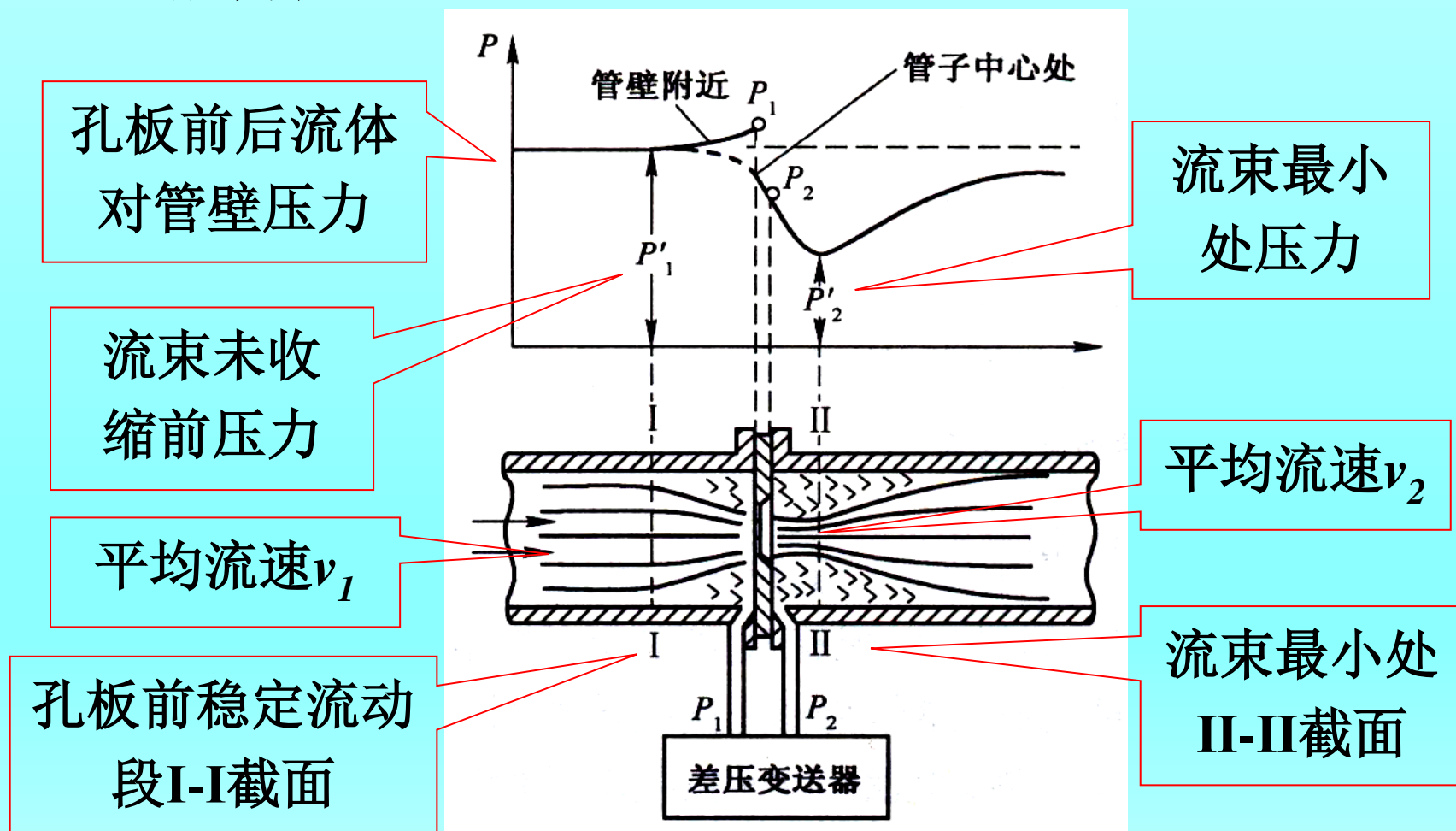
节流件是能使管道中的流体产生局部收缩的元件，应用最广泛的是孔板，其次是喷嘴、文丘里管等。



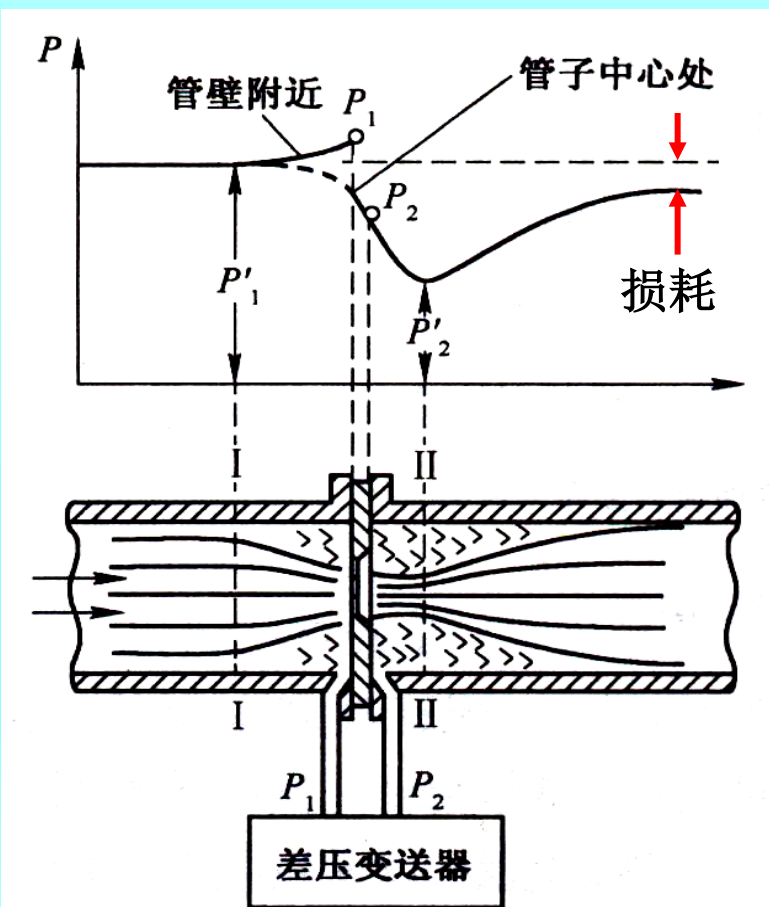
节流原理

具有一定能量的流体，才可能在管道中流动。
流动着的流体含有两种能量——静压能和动能。

静压能表现在流体对管壁的压力，动能表现在流体有流动速度。这两种能量在一定条件下可以互相转化。



但是，根据能量守恒定律，在没有再加能量的情况下，流体所具有的静压能和动能，加上克服流动阻力的能量损失，其总和是不变的。即：

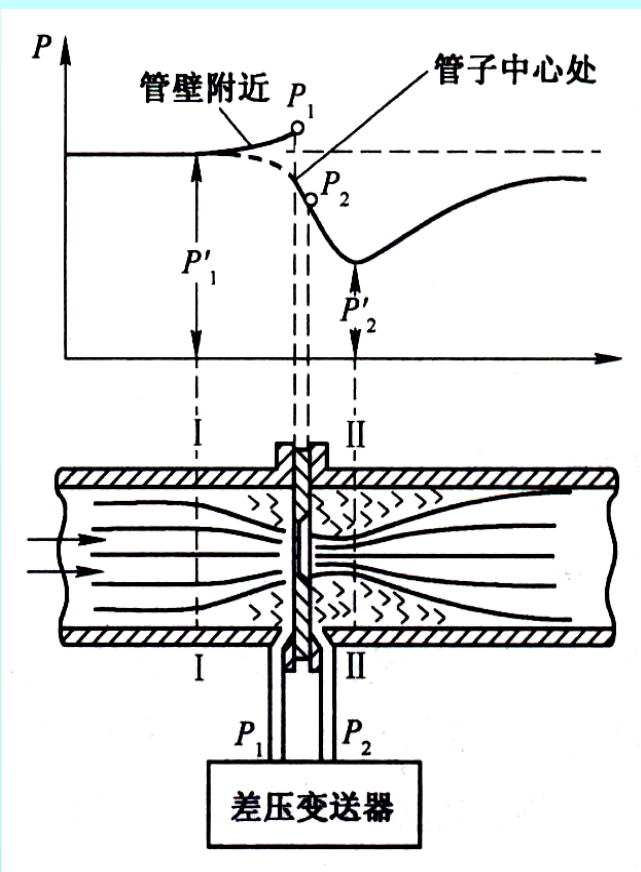


截面I处能量= 截面II处能量+损耗

根据伯努力方程可列出：

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g}$$

静压能 动能 静压能 动能 损耗



$$\frac{P_1'}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2'}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g}$$

式中:

ξ ——为流体在截面I-I与II-II之间的动能损失系数;

g ——为重力加速度;

ρ_1 、 ρ_2 ——为流体在截面I-I和II-II处的密度。

如果流体是不可压缩的, 那么 $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

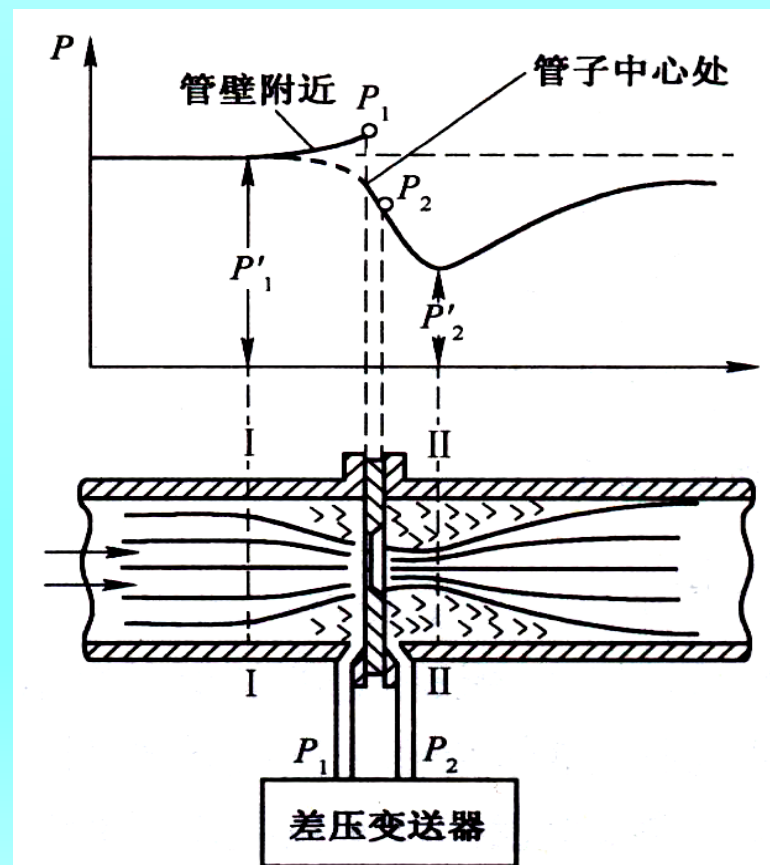
又因截面I、II处体积流量应相等，有

$$\begin{cases} v_1 S_1 = v_2 S_2 \\ \frac{P'_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P'_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g} \end{cases}$$

S_1 、 S_2 分别为I-I和II-II处的流束截面积。

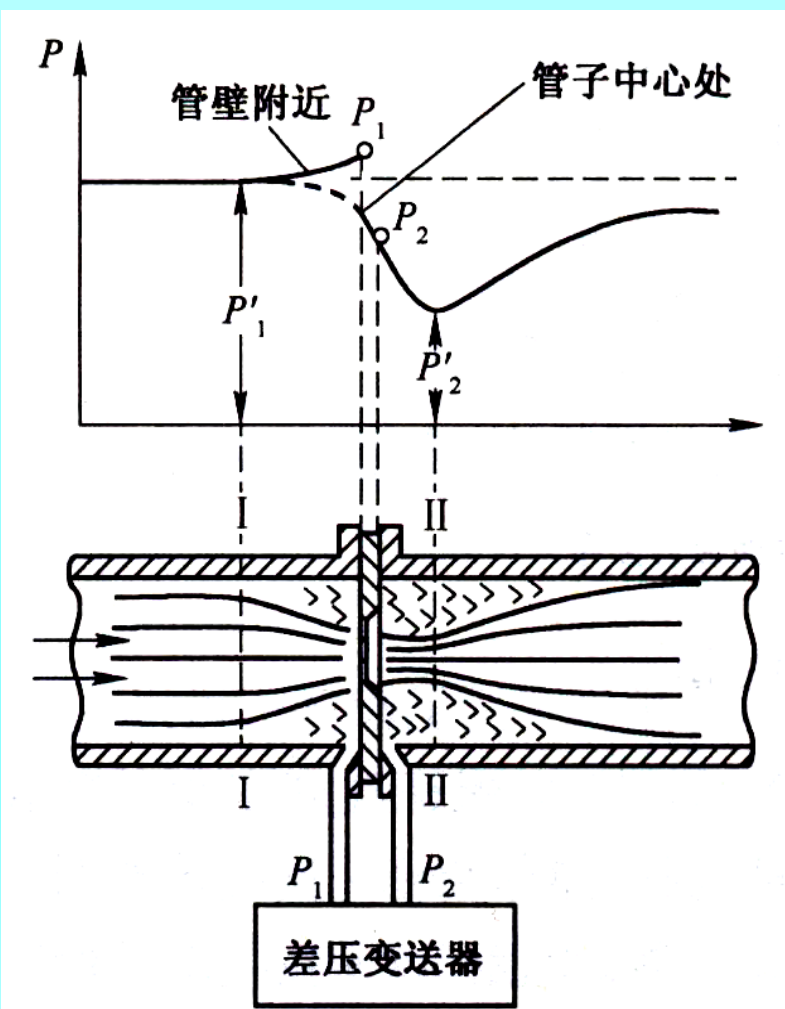
联立求解两式，可得出：

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + \xi}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P'_1 - P'_2)}$$



为简化计算，引入两个系数：

截面收缩系数 μ 孔板口对管道的面积比 m



$$\mu = \frac{S_2}{S_0} \quad m = \frac{S_0}{S_1}$$

S_0 ——孔板的开孔面积。

另外，取紧挨孔板前后的管壁压差（ $P_1 - P_2$ ）代替（ $P'_1 - P'_2$ ），为此引用系数 ψ 加以修正：

$$\psi = \frac{P'_1 - P'_2}{P_1 - P_2}$$

将 $\mu = \frac{S_2}{S_0} \quad m = \frac{S_0}{S_1} \quad \psi = \frac{P_1' - P_2'}{P_1 - P_2}$

代入 v_2 式, 得

$$v_2 = \sqrt{\frac{\psi}{1 - \mu^2 m^2 + \xi}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}$$

因体积流量: $Q = v_2 S_2$

$$Q = \frac{\mu \sqrt{\psi}}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2 + \xi}} \cdot S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}$$

令 $\alpha = \frac{\mu \sqrt{\psi}}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2 + \xi}} \quad \text{称流量系数}$

则得到（不可压缩的流体）流量基本方程式：

体积流量 $Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}$

质量流量 $Q_m = \rho Q = \alpha S_0 \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)}$

如果流体是可压缩的（如蒸汽），则要对公式进行修正。

结论：流量与节流件前后压差的平方根成正比。只要测得差压 $(P_1 - P_2)$ 便可测得流量。

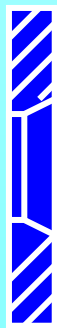
因为 $\alpha = \frac{\mu\sqrt{\psi}}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2 + \xi}}$ ξ ——动能
损失系数

$$\mu = \frac{S_2}{S_0} \quad m = \frac{S_0}{S_1} \quad \psi = \frac{P_1' - P_2'}{P_1 - P_2}$$

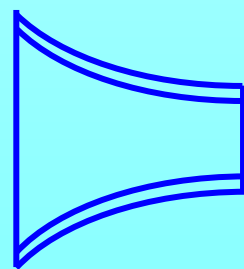
故流量系数 α 与节流装置的结构形式、取压方式、开孔面积与管道截面积之比 m 、管壁粗糙度、流体流动状态等因素有关；很难准确计算，一般通过实验确定。因此，节流装置都是标准化的，由厂家提供 α 数据。

标准节流装置

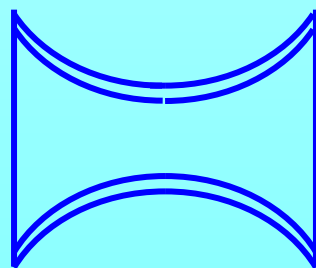
标准节流装置包括标准节流件和标准取压装置。
节流装置标准化的具体内容有：节流装置的结构、尺寸、公差、光洁度、取压孔位置和使用条件等。
标准节流件有：



孔板



喷嘴



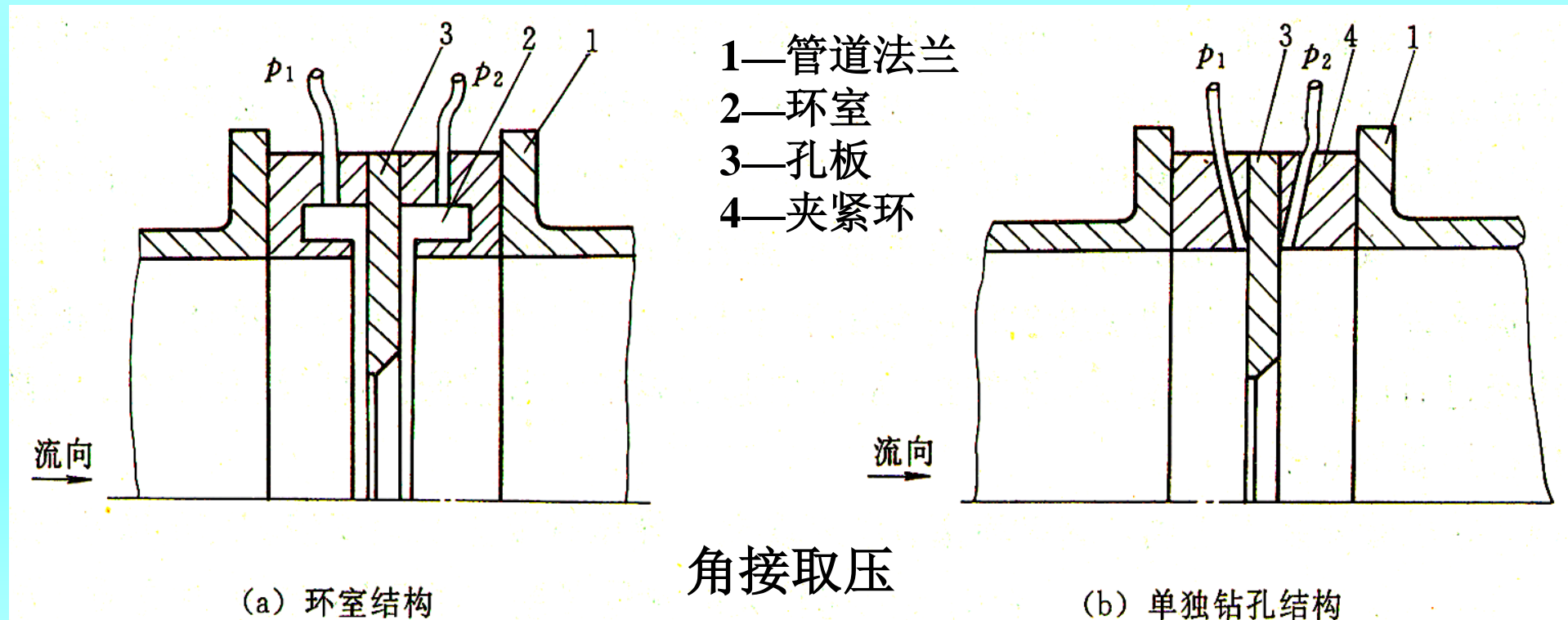
文丘里管



节流装置

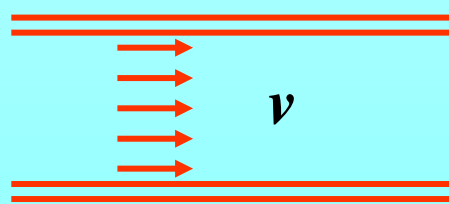
标准节流装置取压方法有角接取压法和法兰取压法两类。

如角接取压法是在孔板前后端面与管壁的夹角处取压。

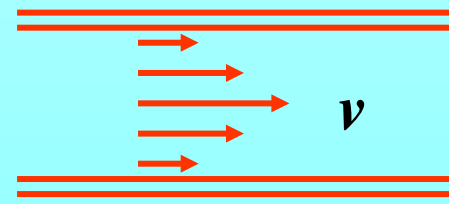


当标准节流装置安装好后，只有流体流动状态是影响流量系数的可变因素。

因为，基本流量公式是在管道内流体均匀流动的前提下导出的，因此有一定适用范围。



湍流



层流

可以用雷诺数 Re 反映流体的流动状态。雷诺数 Re 是无量纲系数。

标准节流装置使用条件

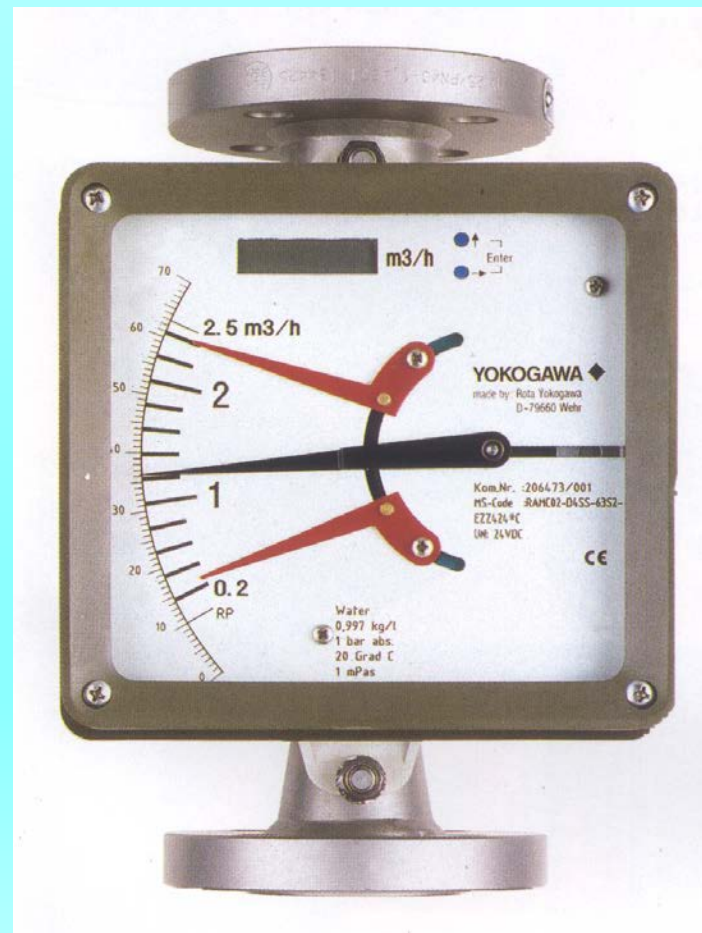
- 流体应当清洁，充满圆管并连续稳定地流动。
- 流体的雷诺数在 $10^4 \sim 10^5$ 以上，不发生相变。
- 管道必须是直的圆形截面，直径大于50mm。
- 为保证流体在节流装置前后为稳定的流动状态，在节流装置的上、下游必须配置一定长度的直管段。



2.4.3 转子流量计

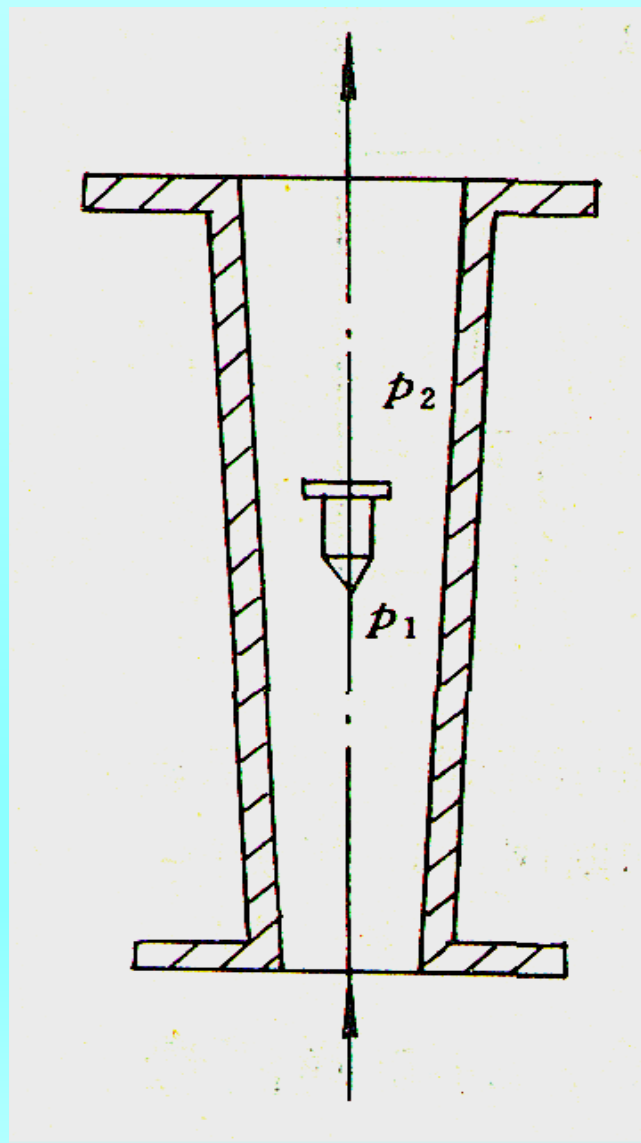
在工业生产中经常遇到小流量的测量，因流体的流速低，要求测量仪表有较高的灵敏度，才能保证一定的精度。

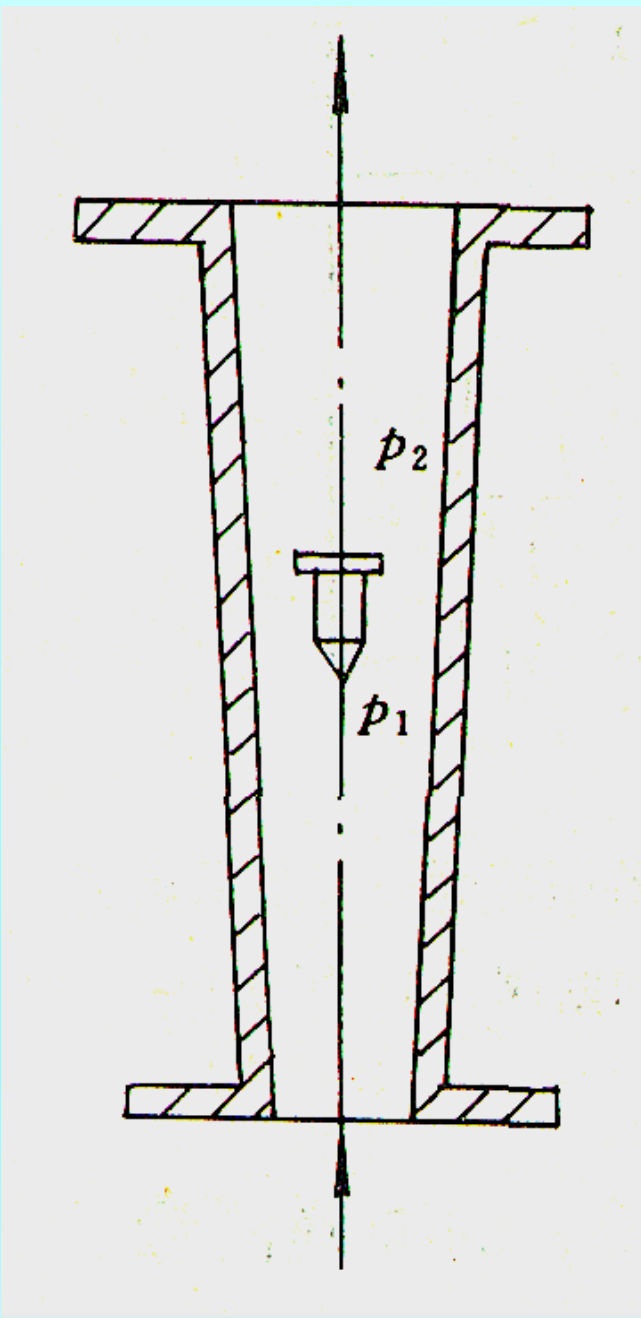
差压式流量计对管径小于50mm、低雷诺数的流体的测量精度是不高的。而转子流量计则特别适宜于测量管径50mm以下管道的流量，测量的流量可小到每小时几升。



工作原理

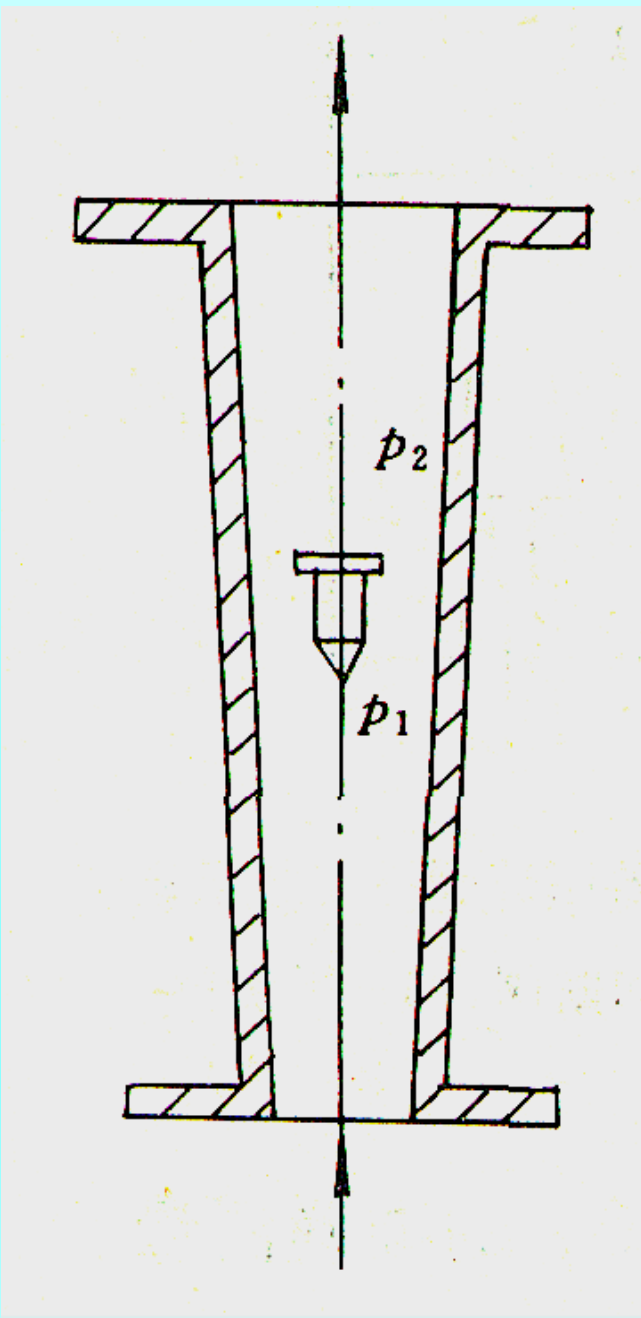
转子流量计与前面所讲的差压式流量计在工作原理上是不相同的。差压式流量计是在节流面积（如孔板流通面积）不变的条件下，以差压变化来反映流量的大小。而转子流量计，却是以压降不变，利用节流面积的变化来测量流量的大小，即转子流量计采用的是恒压降、变节流面积的流量测量方法。





当流体自下而上流过锥形管时，位于锥形管中的转子受到向上的浮力和推力，使转子浮起。当此力正好等于转子重力时，则作用在转子上的上下两个力达到平衡，此时转子就停浮在一定的高度上。

当被测流体的流量增大时，作用在转子上的向上的推力就加大，转子上移。而随着转子上移，流体的流通面积增大，流过此环隙的流体流速变慢，推力减小。



当流体作用在转子上的力再次等于转子在流体中的重力时，转子又稳定在一个新的高度上。这样，转子在锥形管中的平衡位置的高低与被测介质的流量大小相对应。如果在锥形管外沿其高度刻上对应的流量值，那么根据转子平衡位置的高低就可以直接读出流量的大小。这就是转子流量计测量流量的基本原理。

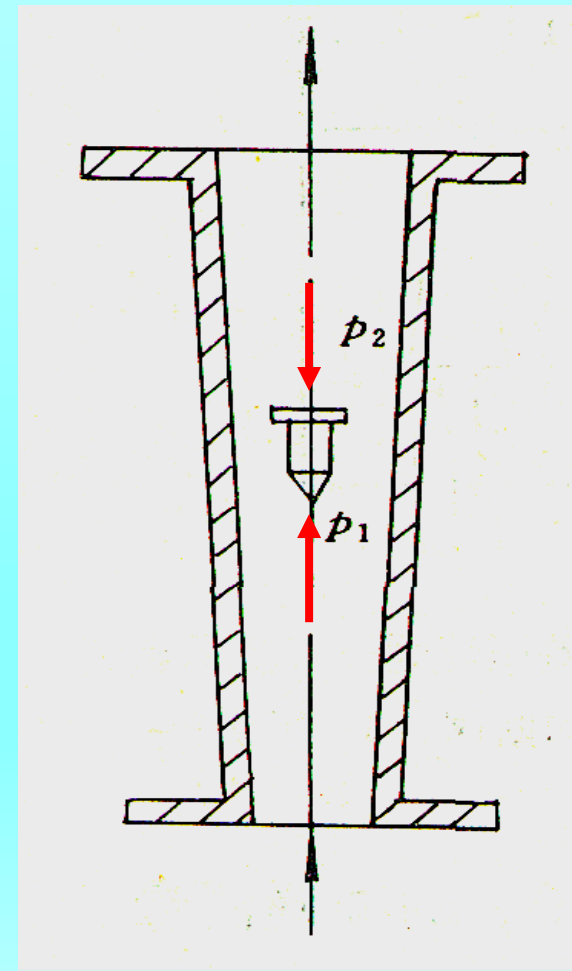
流量测量中转子的平衡条件是：压差力 = 重力

$$S\Delta P = (\rho_z - \rho_f) g V$$

式中：

S — 转子的最大横截面积； ΔP — 转子前后流体的压力差； V — 转子的体积；
 ρ_z — 转子材料的密度； ρ_f — 被测流体的密度； g — 重力加速度。

由于在测量过程中， V 、 S 、 ρ_z 、 ρ_f 、 g 均为常数，由上式可知， ΔP 也应为常数。

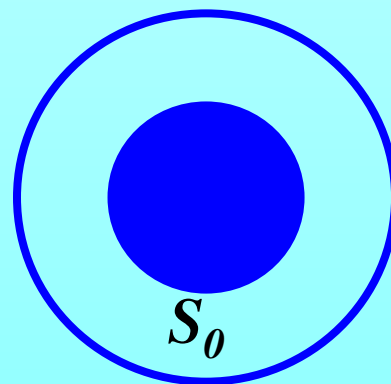


将平衡式变为:

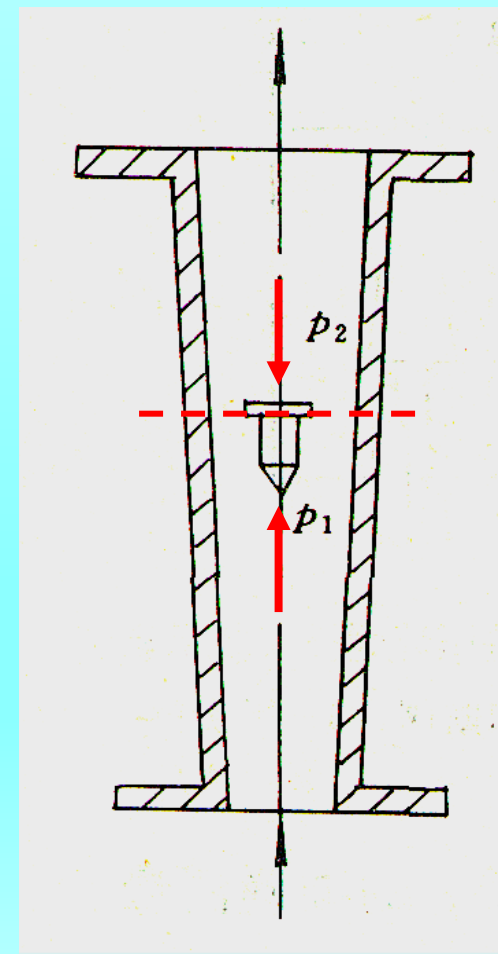
$$\Delta P = \frac{(\rho_z - \rho_f)gV}{S}$$

而流量基本公式为:

$$Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_f}}$$



即流过转子流量计的流量是转子与锥形管间环隙面积 S_0 的函数。



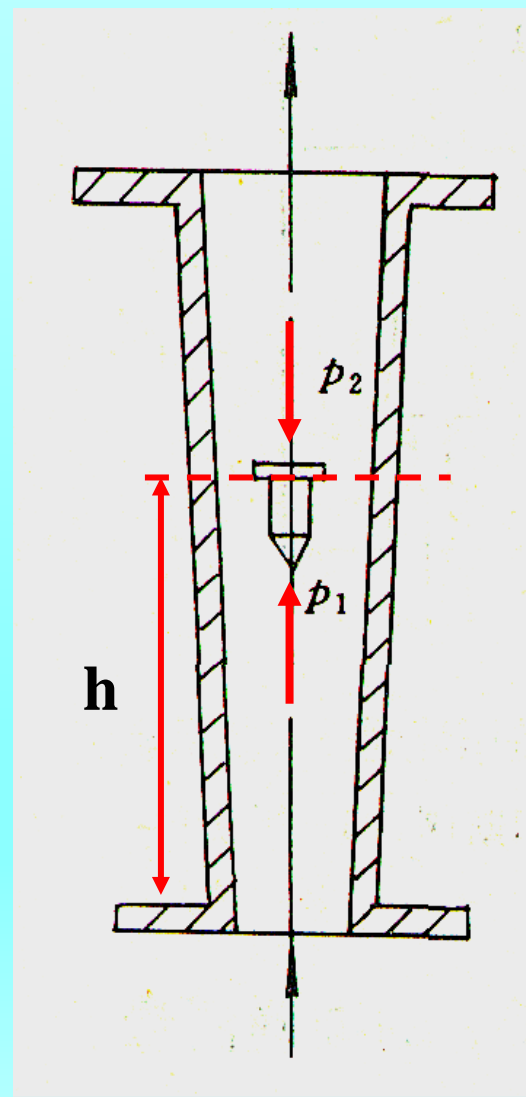
由于锥形管由下往上逐渐扩大，所以 S_0 是转子浮起的高度的函数。

根据转子浮起的高度 h 就可以得出被测介质的流量大小。

$$S_0 = k h$$

$$Q = \alpha k h \sqrt{\frac{2(\rho_z - \rho_f) g V}{\rho_f S}}$$

故：转子流量计是以定压降、变节流面积法测量流量的。



转子位置信号的引出:

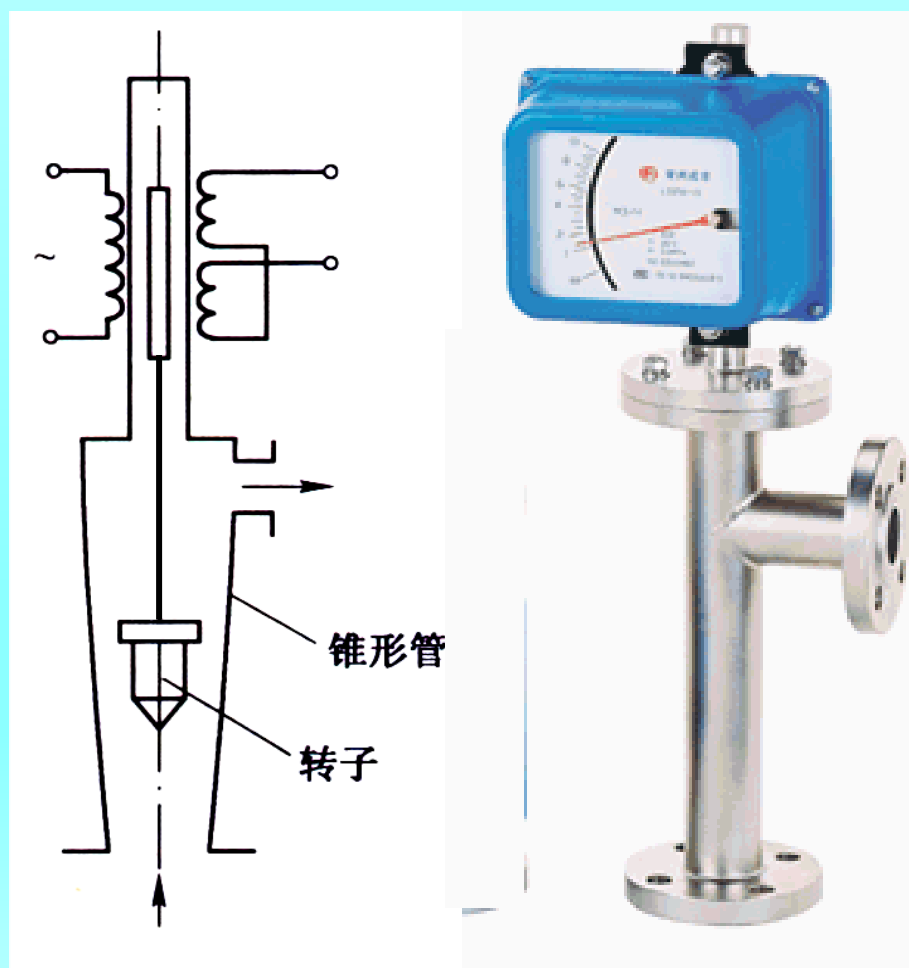
- 1、锥形管是玻璃的，直接目视转子的位置。
- 2、在转子内安装磁铁，锥形管外安装磁环随转子上下移动，触发显示。



3、在转子内安装磁铁，锥形管外安装双霍尔磁场传感器，测出磁场的水平分量和垂直分量，可确定转子位置。



4、在转子下方安装一导磁棒，使差动变压器输出随转子位置变化。



从流量公式可知，流量值与被测流体密度有关。为了便于成批生产，生产厂是在工业标准状态下（ 20°C ， 0.10133MPa ），用水或空气进行标度。

□ 对液体测量，仪表示值代表 20°C 时水的流量值。

□ 对气体测量，则是代表 20°C ， 0.10133MPa 压力下空气的流量值。

实际使用时，须对指示值进行修正。



例 一转子流量计，转子材料为钢，密度为 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ ，用 20°C 的水标定（标定时水的密度为 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ ），流量计测量上限为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。现用户用来测量某溶液A，其密度为 $\rho = 1527 \text{ kg/m}^3$ 。求

(1) 流量计显示 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，实际通过流量计的溶液A流量为多少？

(2) 若转子材料改为铅，铅密度为 $\rho = 11350 \text{ kg/m}^3$ ，则测量水的最大流量为多少？

(3) 转子材料改为铅后，流量计显示为量程一半读数时，溶液A的实际流量为多少？

$$Q = \alpha k h \sqrt{\frac{2(\rho_z - \rho_f) g V}{\rho_f S}}$$