



## 1.2 流体静力学

### 1.2.1 静压力特性

### 1.2.2 流体静力学基本方程

### 1.2.3 流体静力学基本方程的应用

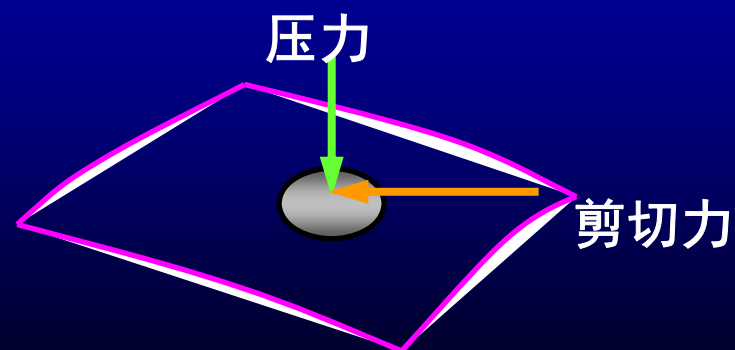
压力及压差的测量

液位测量

液封高度的计算

### 1.2.1 静压力特性

- 流体压力与作用面垂直，并指向该作用面；
- 静止流体中任意界面两侧所受压力，大小相等、方向相反；
- 静止流体中作用于任意点不同方向上的压力在数值上均相同。



## 1.2.2 流体静力学基本方程

设 $\rho = \text{const}$  重力场中在垂直方向上，对液柱进行受力分析：

(1) 上端面所受总压力

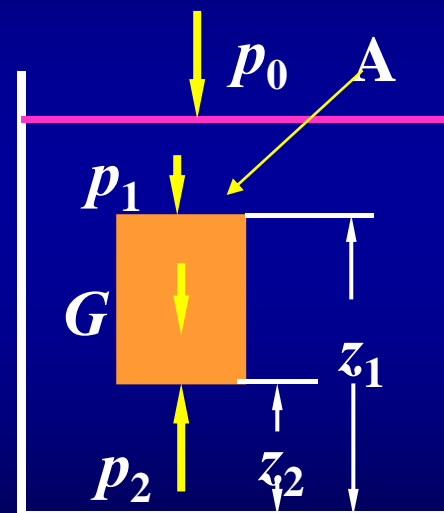
$$F_1 = p_1 A \quad \text{方向向下}$$

(2) 下端面所受总压力

$$F_2 = p_2 A \quad \text{方向向上}$$

(3) 液柱的重力

$$G = \rho g A (z_1 - z_2) \quad \text{方向向下}$$



液柱处于静止时，合力为零：

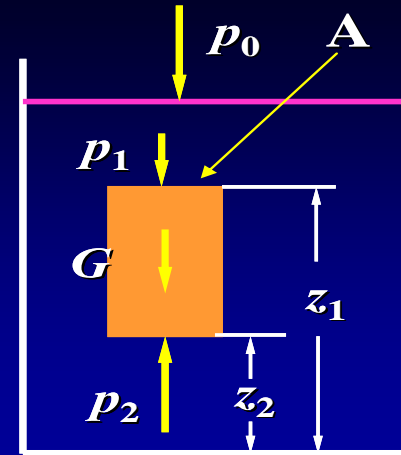
$$p_2 A - p_1 A - \rho g A(z_1 - z_2) = 0$$

$$p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2)$$

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g$$

$$p_2 = p_0 + \rho g h$$

静力学基本方程



适用条件：重力场中静止、连续的同种不可压缩性流体

## 讨论：

(1) 物理意义：

总势能  $\begin{cases} zg & \text{——单位质量流体所具有的位能, J/kg} \\ p/\rho & \text{——单位质量流体所具有的静压能, J/kg} \end{cases}$

$$\frac{p}{\rho} + z g = \text{const}$$

在同一静止流体中，处在不同位置流体的位能和静压能各不相同，但二者可以转换，其总和（势能）保持不变。

(2) 在重力场中，**静止、连续的同种不可压缩流体**内，处于同一水平面上各点的压力处处相等。

压力相等的面称为等压面

(3) 压力具有**传递性**：液面上方压力变化时，液体内部各点的压力也将发生相应的变化。

(4) 对于**间断、非单一**流体的内部不能用静力学方程，此时必须采用**逐段传递压强**的办法来处理。

应用静力学基本方程求解问题——关键在于准确选等压面

## 1.2.2 流体静力学基本方程的应用

### 一、压力及压差的测量

#### 1. 正U形压差计

A与A'面 为等压面  $p_A = p_{A'}$

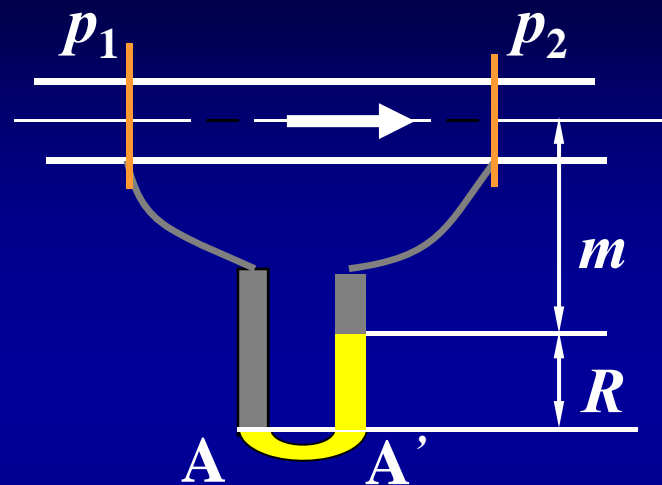
而  $p_A = p_1 + \rho g(m + R)$

$p_{A'} = p_2 + \rho g m + \rho_0 g R$

所以  $p_1 + \rho g(m + R) = p_2 + \rho g m + \rho_0 g R$

整理得  $\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_0 - \rho) g R$

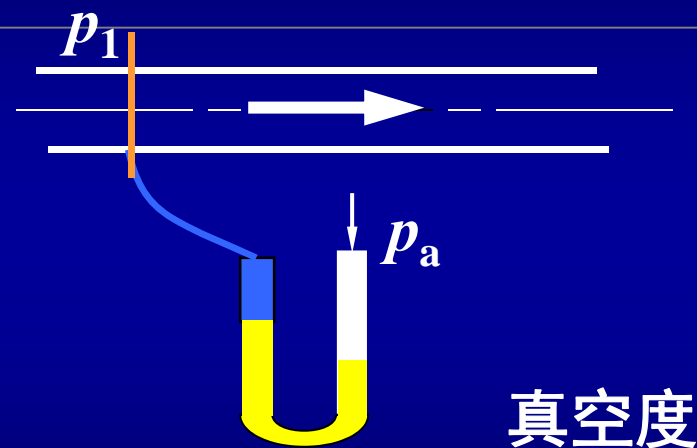
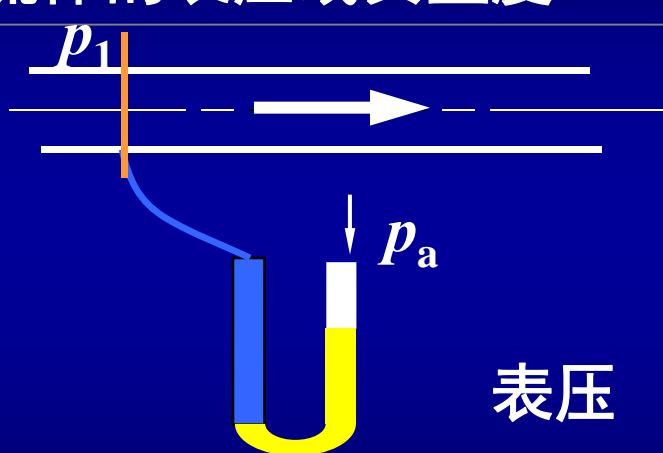
若被测流体是气体,  $\rho \ll \rho_0$ , 则  $\Delta p \approx \rho_0 g R$



- 指示液—— $\rho_0$
- 被测流体—— $\rho$

## 讨论:

(1) 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, R反映的是流体的表压或真空度。

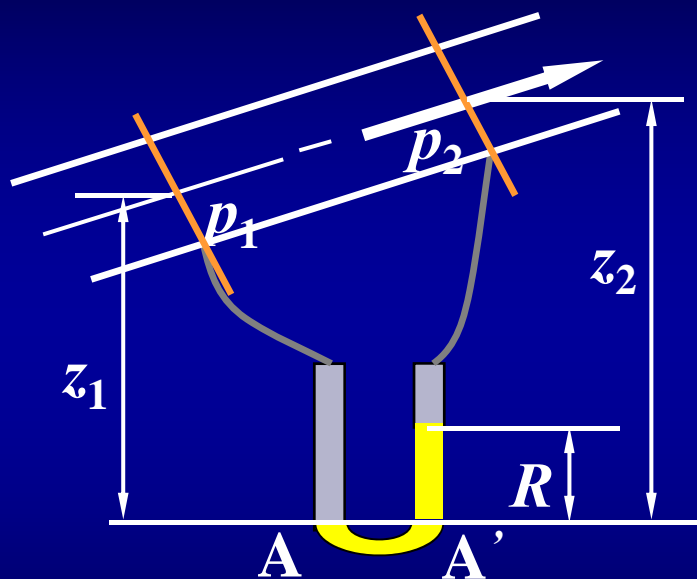


## (2) 指示液的选取

- 指示液与被测流体不互溶; 不发生化学反应
- 其密度  $\rho_0 > \rho$  应根据被测流体的种类及压差的大小选择指示液



思考：若U形压差计安装在倾斜管路中，此时 $R$ 反映了什么？



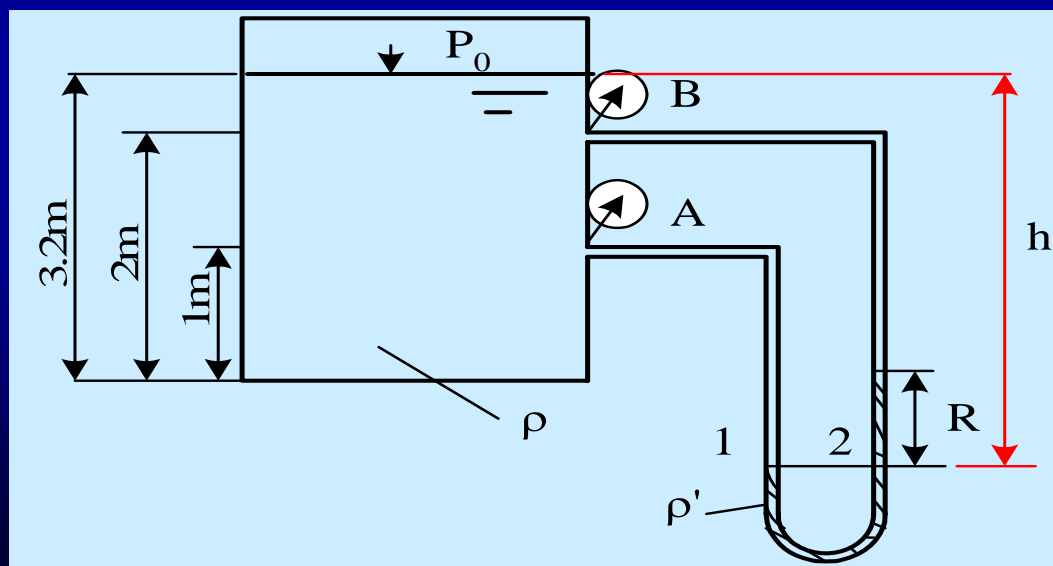
$$(p_1 + \rho g z_1) - (p_2 + \rho g z_2) = (\rho_0 - \rho) g R$$

$R$ 反映的并不是两点的压力差，而是两点静压能与位压能之和（总势能）的差。



**例题** 有一容器如图所示， $p_0=29.4\text{kPa}$ （表）， $\rho=1250\text{kg/m}^3$ ， $\rho'=1400\text{kg/m}^3$ ，试问：

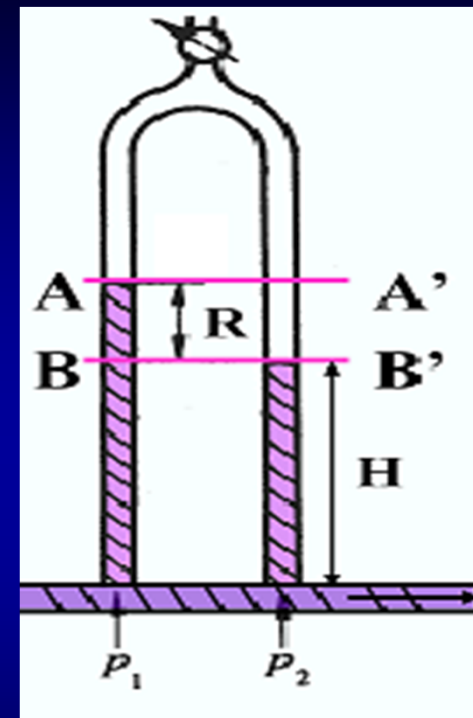
- (1) A和B两弹簧压力表的读数；
- (2) 压差计读数 $R$ 。



## 2. 倒U形压差计

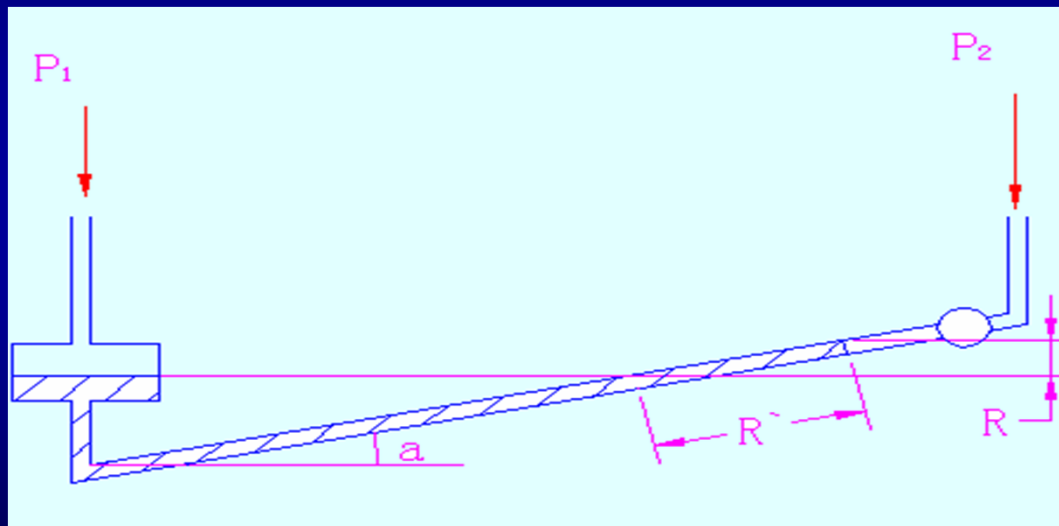
指示剂 $\rho_0 <$  被测流体 $\rho$   
常用空气作为指示剂

$$p_1 - p_2 = Rg(\rho - \rho_0) \approx Rg\rho$$



### 3. 倾斜式压差计

适用于压差较小的情况



$$R' = R / \sin \alpha$$

$$\alpha \downarrow \sin \alpha \downarrow \Rightarrow R' \uparrow$$

## 4. 双液体U管压差计

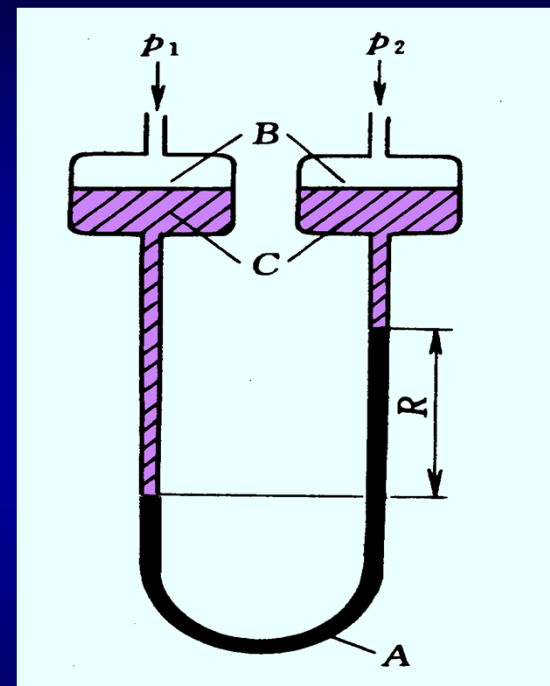
适用于压差较小的场合

- $\rho$ 接近但不互溶的两种指示液A和C

$$\rho_A > \rho_C$$

- $D/d > 10$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = Rg(\rho_A - \rho_C)$$



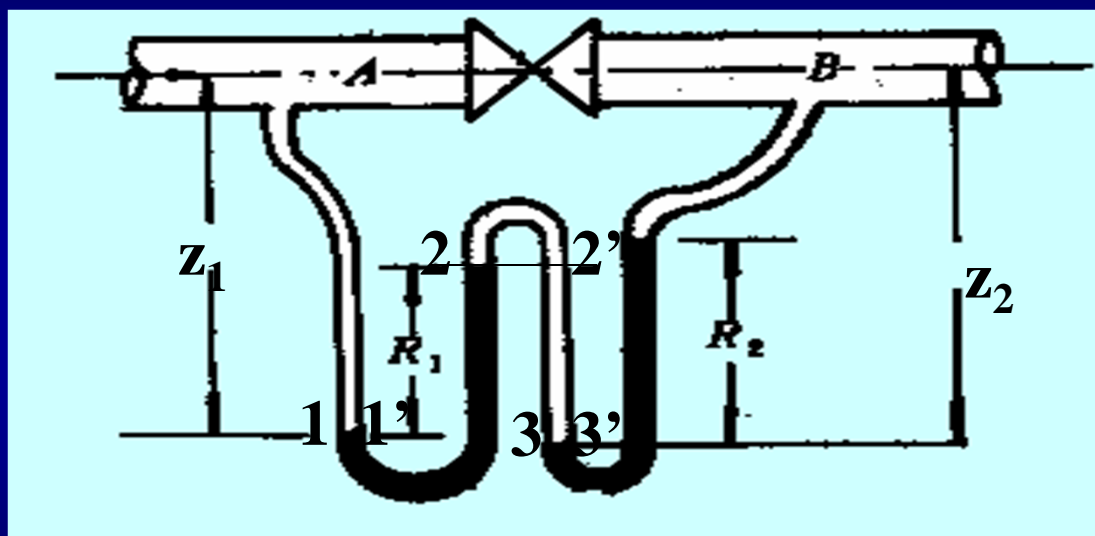
## 5. 复式压差计

适用于压差较大的情况

书P13



书例1-4



$$p_A - p_B = (\rho_0 - \rho)g(R_1 + R_2)$$

思考：2、3截面间为空气，情况又如何？





## 小结1.2

静力学基本方程式:  $\frac{p_1}{\rho} + z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g$       应用条件

静力学基本方程应用:

- 压力及压差的测量  $\begin{cases} \text{正U形压差计} & \Delta p = (\rho_0 - \rho)gR \\ \text{倒U形压差计} & \Delta p = \rho gR \end{cases}$

放大读数: 斜管式压差计、双液体压差计

缩小读数: 复式压差计

- 液位测量
- 液封高度的计算

难点—倾斜管路

$$\Delta(p + \rho g z) = (\rho_0 - \rho)gR$$