

习题: 37, 38, 39

## 1.7 流速和流量的测定

**介绍:** 机械能守恒原理为基础的装置

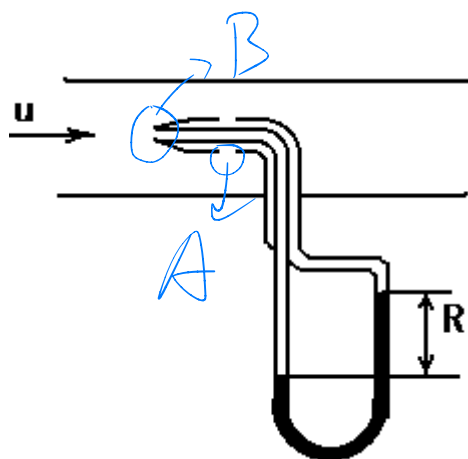
**地位:** 四大控制指标之一

流量, 液位, 温度, 压强

### 1.7.1 毕托管

**原理:** 驻点压强, 动能  $\longrightarrow$  静压能

**构造:**



两同心管, 内管敞口, 管口截面垂直于流动方向, 测取  $\mathcal{P}_B$ , 外管管口封闭, 侧面开有一些小孔, 用以测  $\mathcal{P}_A$

$$\frac{\mathcal{P}_B}{\rho} = \frac{\mathcal{P}_A}{\rho} + \frac{u_A^2}{2}$$

$$\therefore u_A = \sqrt{\frac{2(\mathcal{P}_A - \mathcal{P}_B)}{\rho}} \quad *$$

接一 U 形压差计  $u_A = \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}}$

**注意:** (1) 测点速度

(2) 阻力小, 操作方便

(3) 使用时有严格要求，适用于洁净流体

### 毕托管的安装：

(1) 必须保证测量点位于均匀流段。

为此测量点的上下游最好各有  $50d$  以上长度（ $d$  为管径）的直管距离，至少也应有  $(8\sim12)d$  以上。

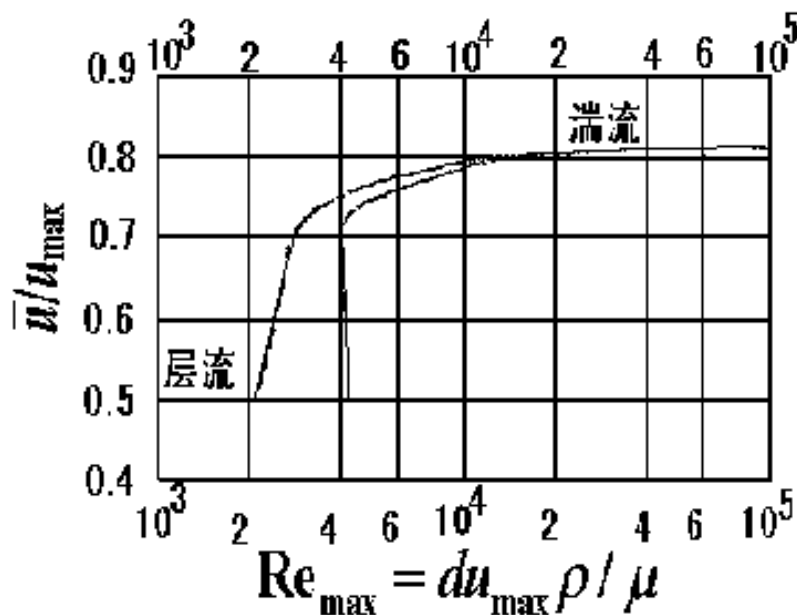
(2) 必须保证管口截面严格垂直于流动方向。

否则任何偏差都将造成负偏差。

(3) 毕托管管径  $d_0$  与管径  $d$  的关系为  $d_0 < \frac{d}{50}$

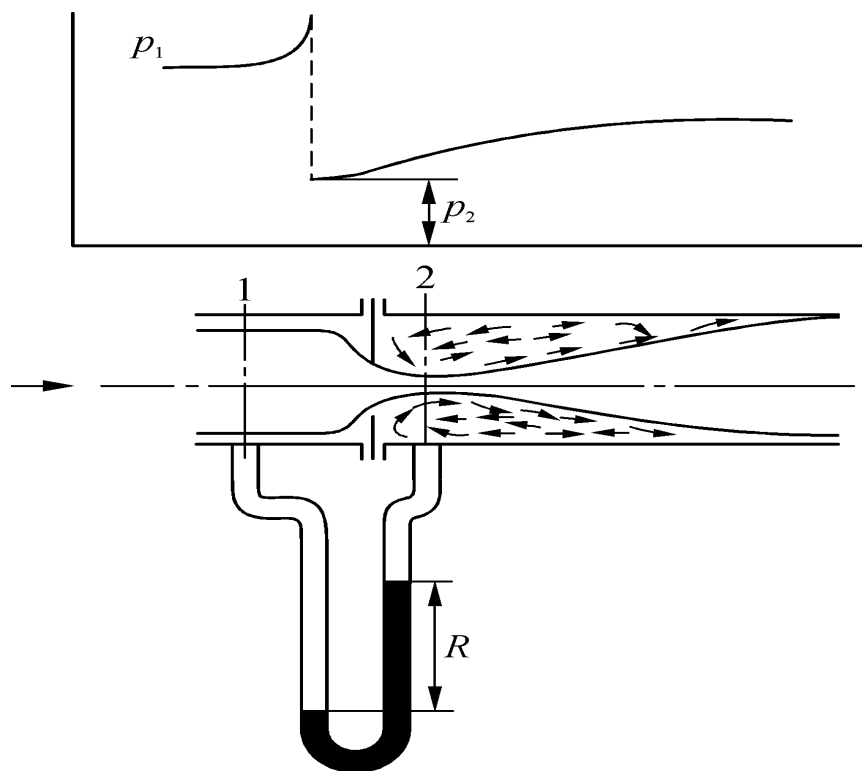
### 如何求得流量：

常用的方法是测量管中心的最大流速  $u_{\max}$ ，然后根据最大流速与平均流速  $\bar{u}$  的关系（p44,图 1 -48）求出截面的平均流速，进而求出流量。



### 1.7.2 孔板流量计

孔板流量计是在管道中安装一片中央带有圆孔的孔板构成。



流体在 1 截面处（截面积为  $A_1$ ）速度为  $u_1$ ，当流体流过孔板的小孔（截面积为  $A_0$ ）时，由于截面积减少，流速增大为  $u_0$ 。流体从孔板小孔流出后，由于惯性作用，截面积继续缩小，到截面 2 面积最小，流速达到最大。

截面 1、2 符合均匀流段条件，暂时不计阻力损失

$$\frac{\mathcal{P}_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{\mathcal{P}_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2}$$

$$\therefore \sqrt{u_2^2 - u_1^2} = \sqrt{\frac{2(\mathcal{P}_1 - \mathcal{P}_2)}{\rho}}$$

实际情况要校正：

- ①  $\mu > 0$ ，有阻力
- ② 测压口在孔板前后
- ③ 以  $u_0$  代替  $u_2$

即:  $\sqrt{u_0^2 - u_1^2} = C \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}}$

以  $u_1 = u_0 \frac{A_0}{A_1} = mu_0$  代入

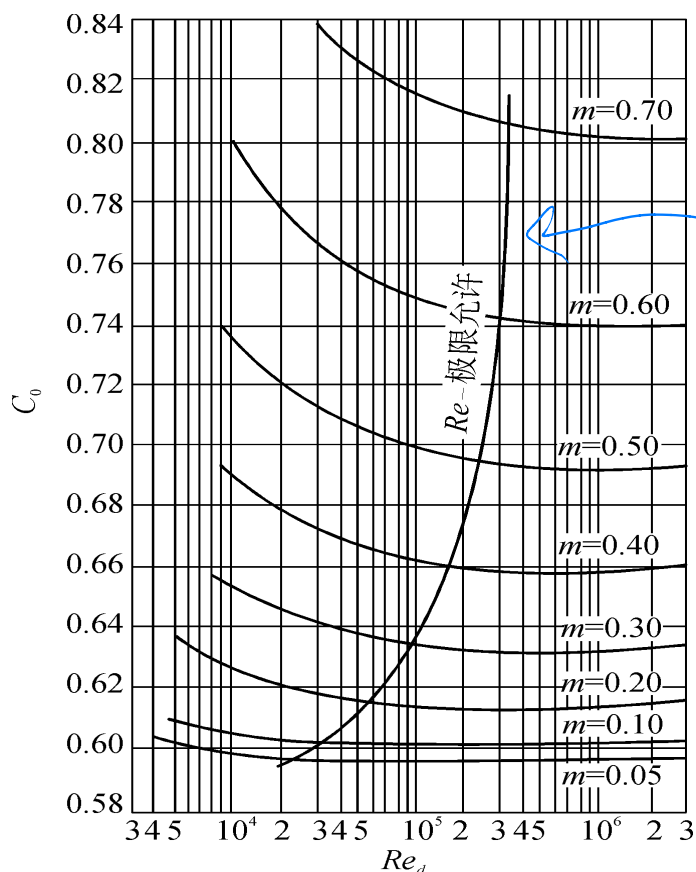
$\therefore u_0 = \frac{C}{\sqrt{1-m^2}} \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}}$

$u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}}$

工程处理:

- 1、先理想，后实际
- 2、理想不存在，进行校正

应用讨论:



1、孔流量系数

$C_0 = f(\text{Re}_d, m)$

$\text{Re}_d = \frac{du_1 \rho}{\mu}$

允许  $\text{Re}_d$  最小值

希望  $C_0 = f(m)$

2、阻力损失与孔径选择

$$h_f = \zeta \frac{u_0^2}{2} = \zeta C_0^2 \frac{Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}$$

$$\zeta \approx 0.8$$

$$m \downarrow u_0 \uparrow h_f \uparrow \longrightarrow R \uparrow$$

阻力损失过小, 读不了表  
过大, 会引起阻力损失

选择孔径, 兼顾  $R$  和  $h_f$

### 3、测量范围

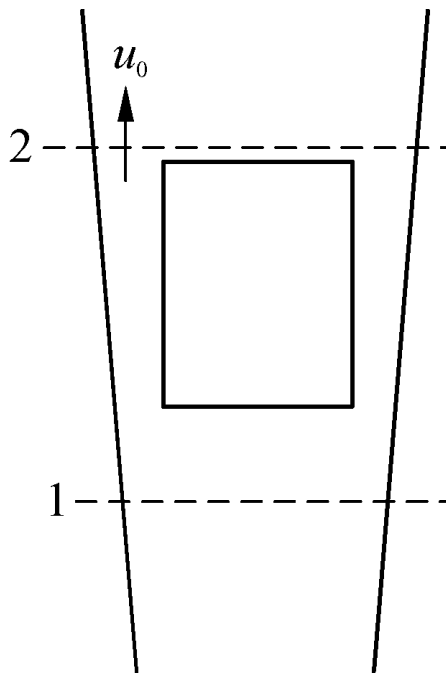
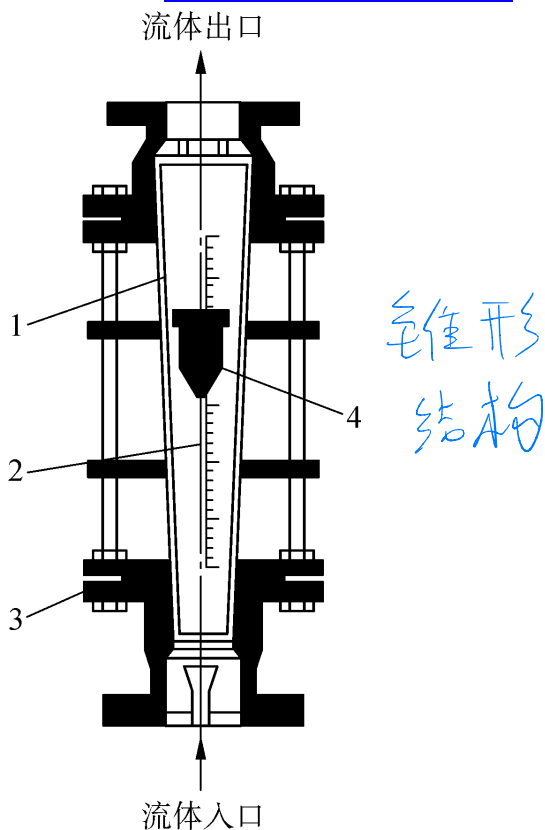
$$q_V = A_1 u_1 = A_0 u_0$$

$$\therefore R \propto q_V^2 \text{ 十分灵敏}$$

$$\therefore \frac{q_{V \max}}{q_{V \min}} = \sqrt{\frac{R_{\max}}{R_{\min}}}$$

文丘里流量计

## 1.7.3 转子流量计



转子处于动态平衡状态:

升力=重力

升力=曳力（压差力+剪应力）+浮力

曳力  $F_D = \zeta A_f \rho \frac{u_0^2}{2}$

浮力  $V_f \rho g$

重力:  $V_f \rho_f g$

从力的平衡导出表达式  
关键是理解导出的流速  
的表达

$$\therefore V_f \rho_f g = V_f \rho g + \zeta A_f \rho \frac{u_0^2}{2}$$

$$\therefore u_0 = \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \sqrt{\frac{2V_f(\rho_f - \rho)g}{A_f \rho}}$$

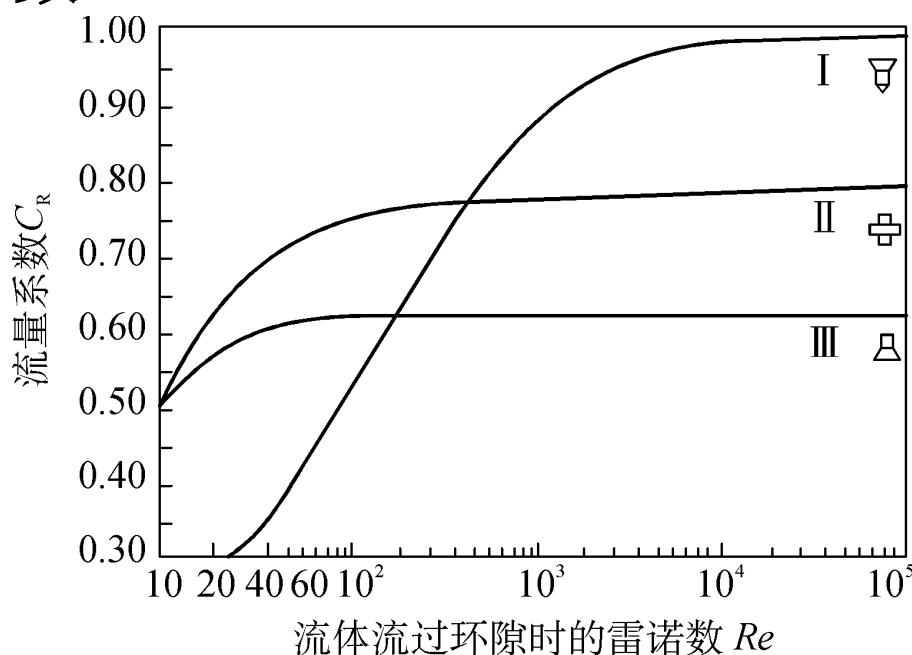
$A_f$ : 投影面积

引入适当的校正系数  $C_R$  以考虑转子形状和阻力损失的影响

$$* u_0 = C_R \sqrt{\frac{2V_f(\rho_f - \rho)g}{A_f \rho}}$$

讨论:

①  $C_R = f(Re)$        $Re$  较高,  $C_R$  为常数,  $u_0$  为与  $q_v$  无关的常数



$$q_v = A_0 u_0$$

② 刻度换算

标准刻度是以水及空气作介质在标准工况 20℃, 101.3kPa 下标定的。如介质与标准状态不同应换算。

$$* \frac{q_{VB}}{q_{VA}} = \sqrt{\frac{\rho_A(\rho_f - \rho_B)}{\rho_B(\rho_f - \rho_A)}}$$

③ 测量范围  $\frac{q_{Vmax}}{q_{Vmin}} = \frac{A_{0max}}{A_{0min}}$  (即转子的移动范围)

④ 转子流量计的安装

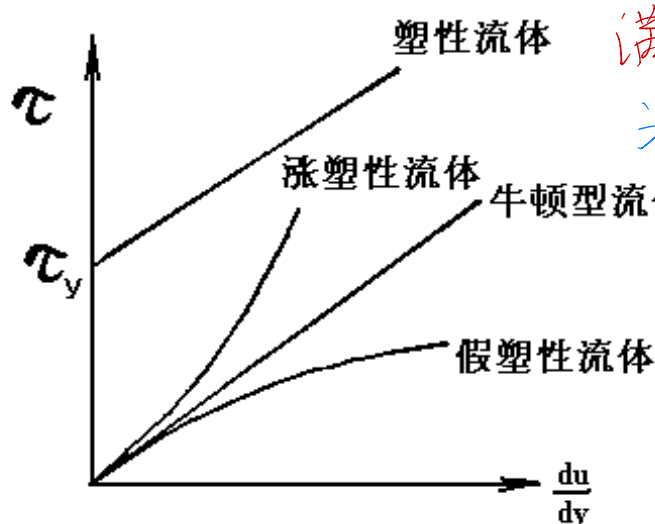
必须与地面垂直，便于检修要铺设支管及阀门。

⑤ 转子流量计适用于清洁流体的流量计量。

## 1.8 非牛顿流体的流动

### 1.8.1 非牛顿流体的基本特性

非牛顿流体：在定态剪切流动时，流体的剪切力与法向速度梯度之间的关系不满足牛顿黏性定律。



牛顿流体：  
满足牛顿黏性定律的流体  
为流体的本质性质，  
与流动形式无关。

剪切稀化现象 (录像) —  $\frac{du}{dy}$  增加， $\mu$  降低

幂律流体 
$$\tau = K \left( \frac{du}{dy} \right)^n$$

塑性流体 (录像) —— 具有屈服应力  $\tau_y$



# 黏弹性流体

现象：爬杆效应([录像](#))，

挤出胀大([录像](#))，

无管虹吸([录像](#))

依时性——时间增加， $\mu$  变化 ([录像](#))

## 习题解答

1-16 已知:  $30^{\circ}\text{C}$  (水),  $d_1=20\text{mm}$ ,  $d_2=36\text{mm}$ 。不计  $h_f$ , 求:  $p_{\min}$  位置, 是否汽化?

解: 查  $30^{\circ}\text{C}$  水,  $p_v=4241\text{N/m}^2$

从 1 截面到 2 截面列柏努利方程

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

$p_1=p_2=p_a$ ,  $u_1=0$ , 取  $z_2=0$

$$\therefore u_2 = \sqrt{2gz_1} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 1} = 4.43(\text{m/s})$$

再从 1 截面到任一截面 (在 1-2 之间) 列柏努利方程, 则:

$$\frac{p_a}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_x}{\rho} + gz_x + \frac{u_x^2}{2}$$

$u_1=0$

$$\therefore p_x = [(gz_1 + \frac{p_a}{\rho}) - (z_x g + \frac{u_x^2}{2})] \rho$$

$$\because (gz_1 + \frac{p_a}{\rho}) \text{ 为定值, 当 } z_x g + \frac{u_x^2}{2} \text{ 为最大时, } p_x = p_{\min}$$

显然细管中  $u$  最大, 在细管最上端,

$(z_x g + \frac{u_x^2}{2})$  可望达到最大。

$$\therefore z_x=0.5\text{m}, \quad u_x = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 u_2 = \left(\frac{36}{20}\right)^2 \times 4.43 = 14.35(\text{m/s})$$

$$\therefore p_x = p_a + (z_1 - z_x)\rho g - \frac{\rho}{2}u_x^2$$

$$= 1.013 \times 10^5 + (1 - 0.5) \times 1000 \times 9.81 - \frac{1000}{2} \times 14.35^2$$

$$= 3244(N/m^2)$$

$$p_x < p_v(4241N/m^2)$$

$\therefore$ 在该处将发生汽化现象。