

1. 某烟道气的组成为 CO_2 13%， N_2 76%， H_2O 11%（体积%），试求此混合气体在温度 500°C 、压力 101.3kPa 时的密度。

解：混合气体平均摩尔质量

$$M_m = \sum y_i M_i = (0.13 \times 44 + 0.76 \times 28 + 0.11 \times 18) \times 10^{-3} = 28.98 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

\therefore 混合密度

$$\rho_m = \frac{p M_m}{RT} = \frac{101.3 \times 10^3 \times 28.98 \times 10^{-3}}{8.31 \times (273 + 500)} = 0.457 \text{ kg/m}^3$$

2. 已知 20°C 时苯和甲苯的密度分别为 879 kg/m^3 和 867 kg/m^3 , 试计算含苯 40%及甲苯 60%（质量%）的混合液密度。

$$\text{解: } \frac{1}{\rho_m} = \frac{a_1}{\rho_1} + \frac{a_2}{\rho_2} = \frac{0.4}{879} + \frac{0.6}{867}$$

$$\text{混合液密度 } \rho_m = 871.8 \text{ kg/m}^3$$

3. 某地区大气压力为 101.3kPa ，一操作中的吸收塔塔内表压为 130kPa 。若在大气压力为 75 kPa 的高原地区操作该吸收塔，且保持塔内绝压相同，则此时表压应为多少？

$$\text{解: } p_{\text{绝}} = p_a + p_{\text{表}} = p_a' + p_{\text{表}}'$$

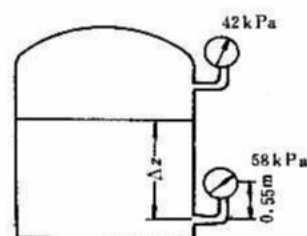
$$\therefore p_{\text{表}}' = (p_a + p_{\text{真}}) - p_a' = (101.3 + 130) - 75 = 156.3 \text{ kPa}$$

4. 如附图所示，密闭容器中存在密度为 900 kg/m^3 的液体。容器上方的压力表读数为 42kPa ，又在液面下装一压力表，表中心线在测压口以上 0.55m ，其读数为 58 kPa 。试计算液面到下方测压口的距离。

解：液面下测压口处压力

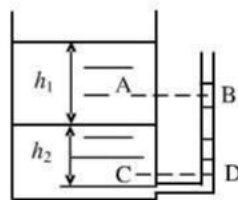
$$p = p_0 + \rho g \Delta z = p_1 + \rho g h$$

$$\therefore \Delta z = \frac{p_1 + \rho g h - p_0}{\rho g} = \frac{p_1 - p_0}{\rho g} + h = \frac{(58 - 42) \times 10^3}{900 \times 9.81} + 0.55 = 2.36 \text{ m}$$



题4 附图

5. 如附图所示, 敞口容器内盛有不互溶的油和水, 油层和水层的厚度分别为 700mm 和 600mm。在容器底部开孔与玻璃管相连。已知油与水的密度分别为 800 kg/m^3 和 1000 kg/m^3 。



题 5 附图

(1) 计算玻璃管内水柱的高度;

(2) 判断 A 与 B、C 与 D 点的压力是否相等。

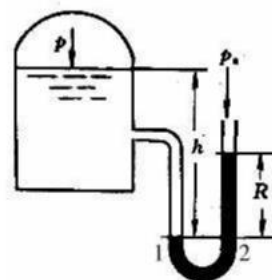
解: (1) 容器底部压力

$$p = p_a + \rho_{\text{油}}gh_1 + \rho_{\text{水}}gh_2 = p_a + \rho_{\text{水}}gh$$

$$\therefore h = \frac{\rho_{\text{油}}h_1 + \rho_{\text{水}}h_2}{\rho_{\text{水}}} = \frac{\rho_{\text{油}}}{\rho_{\text{水}}}h_1 + h_2 = \frac{800}{1000} \times 0.7 + 0.6 = 1.16 \text{ m}$$

(2) $p_A \neq p_B$ $p_C = p_D$

6. 为测得某容器内的压力, 采用如图所示的 U 形压力计, 指示液为水银。已知该液体密度为 900 kg/m^3 , $h=0.8 \text{ m}$, $R=0.45 \text{ m}$ 。试计算容器中液面上方的表压。



题 6 附图

解: 如图, 1-2 为等压面。

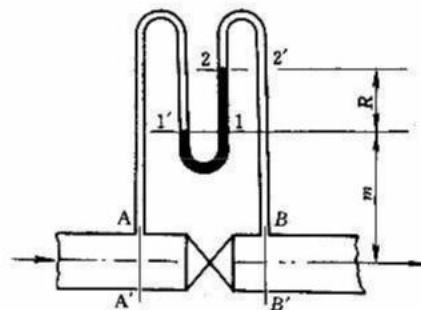
$$p_1 = p + \rho gh \quad p_2 = p_a + \rho_0 gR$$

$$p + \rho gh = p_a + \rho_0 gR$$

则容器内表压:

$$p - p_a = \rho_0 gR - \rho gh = 13600 \times 0.45 \times 9.81 - 900 \times 0.8 \times 9.81 = 53.0 \text{ kPa}$$

7. 如附图所示, 水在管道中流动。为测得 A-A'、B-B' 截面的压力差, 在管路上方安装一 U 形压差计, 指示液为水银。已知压差计的读数 $R=180 \text{ mm}$, 试计算 A-A'、B-B' 截面的压力差。已知水与水银的密度分别为 1000 kg/m^3 和 13600 kg/m^3 。



题 7 附图

解: 图中, 1-1' 面与 2-2' 面间为静止、连续的同种流体, 且处于同一水平面, 因此为等压面, 即

$$p_1 = p_1', \quad p_2 = p_2'$$

又 $p_1 = p_A - \rho g m$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 + \rho_0 g R = p_2 + \rho_0 g R \\ &= p_B - \rho g(m + R) + \rho_0 g R \end{aligned}$$

所以 $p_A - \rho g m = p_B - \rho g(m + R) + \rho_0 g R$

整理得 $p_A - p_B = (\rho_0 - \rho) g R$

由此可见，U形压差计所测压差的大小只与被测流体及指示液的密度、读数 R 有关，而与U形压差计放置的位置无关。

代入数据 $p_A - p_B = (13600 - 1000) \times 9.81 \times 0.18 = 22249 \text{ Pa}$

8. 用U形压差计测量某气体流经水平管道两截面的压力差，指示液为水，密度为 1000 kg/m^3 ，读数 R 为 12 mm 。为了提高测量精度，改为双液体U管压差计，指示液A为含 40% 乙醇的水溶液，密度为 920 kg/m^3 ，指示液C为煤油，密度为 850 kg/m^3 。问读数可以放大多少倍？此时读数为多少？

解：用U形压差计测量时，因被测流体为气体，则有

$$p_1 - p_2 \approx R g \rho_0$$

用双液体U管压差计测量时，有

$$p_1 - p_2 = R' g (\rho_A - \rho_C)$$

因为所测压力差相同，联立以上二式，可得放大倍数

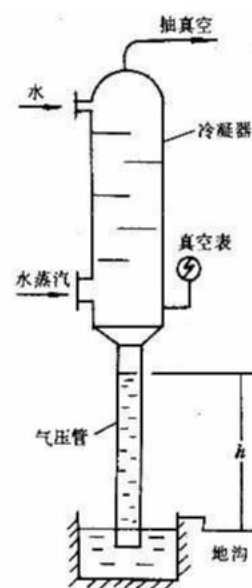
$$\frac{R'}{R} = \frac{\rho_0}{\rho_A - \rho_C} = \frac{1000}{920 - 850} = 14.3$$

此时双液体U管的读数为

$$R' = 14.3 R = 14.3 \times 12 = 171.6 \text{ mm}$$

9. 图示为汽液直接混合式冷凝器，水蒸气与冷水相遇被冷凝为水，并沿气压管流至地沟排出。现已知真空表的读数为 78 kPa ，求气压管中水上升的高度 h 。

解： $p + \rho g h = p_a$



题9 附图

$$\text{水柱高度} \quad h = \frac{P_a - P}{\rho g} = \frac{78 \times 10^3}{10^3 \times 9.81} = 7.95 \text{m}$$

10. 硫酸流经由大小管组成的串联管路，其尺寸分别为 $\phi 76 \times 4 \text{mm}$ 和 $\phi 57 \times 3.5 \text{mm}$ 。已知硫酸的密度为 1830 kg/m^3 ，体积流量为 $9 \text{ m}^3/\text{h}$ ，试分别计算硫酸在大管和小管中的（1）质量流量；（2）平均流速；（3）质量流速。

解：（1）大管： $\phi 76 \times 4 \text{mm}$

$$m_s = V_s \cdot \rho = 9 \times 1830 = 16470 \text{kg/h}$$

$$u_1 = \frac{V_s}{0.785 d^2} = \frac{9/3600}{0.785 \times 0.068^2} = 0.69 \text{m/s}$$

$$G_1 = u_1 \rho = 0.69 \times 1830 = 1262.7 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

（2）小管： $\phi 57 \times 3.5 \text{mm}$

$$\text{质量流量不变} \quad m_{s2} = 16470 \text{kg/h}$$

$$u_2 = \frac{V_s}{0.785 d_2^2} = \frac{9/3600}{0.785 \times 0.05^2} = 1.27 \text{m/s}$$

$$\text{或：} \quad u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 0.69 \left(\frac{68}{50} \right)^2 = 1.27 \text{m/s}$$

$$G_2 = u_2 \cdot \rho = 1.27 \times 1830 = 2324.1 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

11. 如附图所示，用虹吸管从高位槽向反应器加料，高位槽与反应器均与大气相通，且高位槽中液面恒定。现要求料液以 1m/s 的流速在管内流动，设料液在管内流动时的能量损失为 20J/kg （不包括出口），试确定高位槽中的液面应比虹吸管的出口高出的距离。

解：以高位槽液面为 1-1' 面，管出口内侧为 2-2' 面，在 1-1' ~ 2-2' 间列柏努力方程：

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

$$\text{简化：} \quad H = \left(\frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f \right) / g$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 1 + 20 \right) \div 9.81 = 2.09 \text{m}$$

12. 一水平管由内径分别为 33mm 及 47mm 的两段直管组成，水在小管内以 2.5m/s 的速度流向大管，在接头两侧相距 1m 的 1、2 两截面处各接一测压管，已知两截面间的压头损失为 70mmH₂O，问两测压管中的水位哪一个高，相差多少？并作分析。

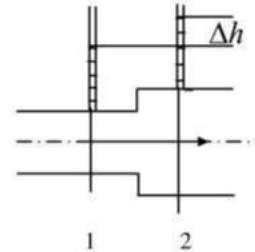
解：1、2 两截面间列柏努利方程：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_1^2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_2^2 + \sum h_f$$

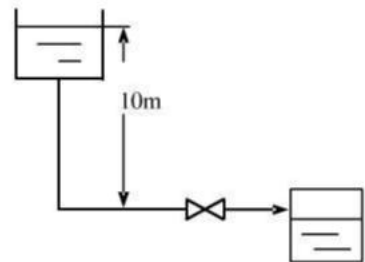
其中： $z_1 = z_2$ $u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 2.5 \left(\frac{33}{47} \right)^2 = 1.23 \text{ m/s}$

$$\Delta h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{1}{2g} (u_2^2 - u_1^2) + \sum h_f = \frac{1}{2 \times 9.81} (1.23^2 - 2.5^2) + 0.07 = -0.17 \text{ m}$$

说明 2 截面处测压管中水位高。这是因为该处动能小，因而静压能高。



13. 如附图所示，用高位槽向一密闭容器送水，容器中的表压为 80kPa。已知输送管路为 $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢管，管路系统的能量损失与流速的关系为 $\sum W_f = 6.8u^2$ （不包括出口能量损失），试求：



题 13 附图

(1) 水的流量；

(2) 若需将流量增加 20%，高位槽应提高多少 m？

解：(1) 如图在高位槽液面 1-1 与管出口内侧 2-2 间列柏努利方程

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

简化： $z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$ (1)

即 $10 \times 9.81 = \frac{80 \times 10^3}{1000} + \frac{1}{2} u_2^2 + 6.8 u_2^2$

解得 $u_2 = 1.57 \text{ m/s}$

流量 $V_s = \frac{\pi}{4} d^2 u_2 = 0.785 \times 0.041^2 \times 1.57 = 2.07 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} = 7.45 \text{ m}^3 / \text{h}$

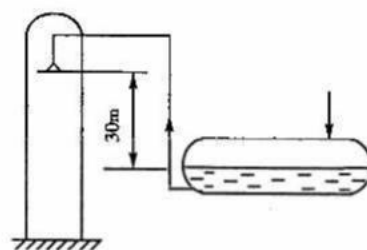
(2) 流量增加 20%，则 $u_2' = 1.2 \times 1.57 = 1.88 \text{ m/s}$

此时有
$$z_1' g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2'^2 + \sum W_f'$$

$$z_1' = \left(\frac{80 \times 10^3}{1000} + \frac{1}{2} \times 1.88^2 + 6.8 \times 1.88^2 \right) / 9.81 = 10.78 \text{ m}$$

即高位槽需提升 0.78m。

14. 附图所示的是丙烯精馏塔的回流系统，丙烯由贮槽回流至塔顶。丙烯贮槽液面恒定，其液面上方的压力为 2.0MPa（表压），精馏塔内操作压力为 1.3MPa（表压）。塔内丙烯管出口处高出贮槽内液面 30m，管内径为 140mm，丙烯密度为 600 kg/m^3 。现要求输送量为 $40 \times 10^3 \text{ kg/h}$ ，管路的全部能量损失为 150 J/kg （不包括出口能量损失），试核算该过程是否需要泵。



题 14 附图

解：在贮槽液面 1-1' 与回流管出口外侧 2-2' 间列柏努利方程：

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 + W_e = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

简化:
$$\frac{p_1}{\rho} + W_e = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

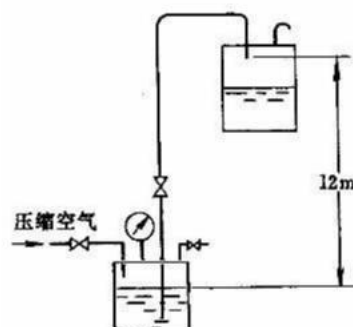
$$W_e = \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + z_2 g + \sum W_f$$

$$u_2 = \frac{\frac{m_s}{\rho}}{0.785 d^2} = \frac{40 \times 10^3 / 3600 \times 600}{0.785 \times 0.14^2} = 1.2 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \therefore W_e &= \frac{(1.3 - 2.0) \times 10^6}{600} + \frac{1}{2} \times 1.2^2 + 30 \times 9.81 + 150 \\ &= -721.6 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

\therefore 不需要泵,液体在压力差的作用下可自动回流至塔中

15. 用压缩空气将密闭容器中的硫酸压送至敞口高位槽，如附图所示。输送量为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ，输送管路为 $\phi 37 \times 3.5 \text{ mm}$



题 15 附图

的无缝钢管。两槽中液位恒定。设管路的总压头损失为 1m（不包括出口），硫酸的密度为 1830 kg/m^3 。试计算压缩空气的压力。

解：以容器中液面为 1-1' 面，管出口内侧为 2-2' 面，且以 1-1' 面为基准，在

1-1' ~ 2-2' 间列柏努力方程：

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_1^2 + z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2g} u_2^2 + z_2 + \sum h_f$$

简化：

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{1}{2g} u_2^2 + z_2 + \sum h_f$$

$$\text{其中： } u_2 = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{2/3600}{0.785 \times 0.03^2} = 0.786 \text{ m/s}$$

$$\text{代入： } p_1 = \rho g \left(\frac{1}{2g} u_2^2 + z_2 + \sum h_f \right)$$

$$= 1830 \times 9.81 \times \left(\frac{1}{2 \times 9.81} \times 0.786^2 + 12 + 1 \right)$$

$$= 234 \text{ kPa (表压)}$$

16. 某一高位槽供水系统如附图所示，管子规格为 $\phi 45 \times 2.5 \text{ mm}$ 。当阀门全关时，压力表的读数为 78 kPa。当阀门全开时，压力表的读数为 75 kPa，且此时水槽液面至压力表处的能量损失可以表示为 $\sum W_f = u^2 \text{ J/kg}$ （ u 为水在管内的流速）。

试求：

- (1) 高位槽的液面高度；
- (2) 阀门全开时水在管内的流量 (m^3/h)。

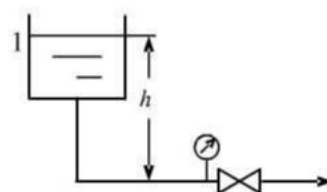
解：(1) 阀门全关，水静止

$$p = \rho g h$$

$$\therefore h = \frac{p}{\rho g} = \frac{78 \times 10^3}{10^3 \times 9.81} = 7.95 \text{ m}$$

(2) 阀门全开：

在水槽 1-1' 面与压力表 2-2' 面间列柏努力方程：



题 16 附图

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

$$\text{简化: } z_1 g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

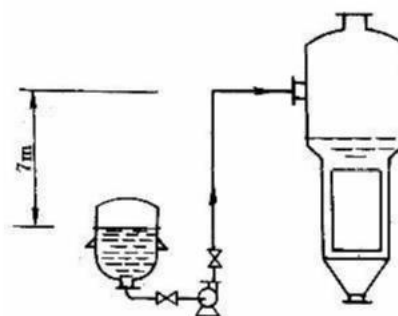
$$7.95 \times 9.81 = \frac{75 \times 10^3}{1000} + \frac{1}{2} u_2^2 + u_2^2$$

$$\text{解之: } u_2 = 1.412 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{流量: } V_s &= \frac{\pi}{4} d^2 u_2 = 0.785 \times 0.04^2 \times 1.412 = 1.773 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 6.38 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

17. 用泵将常压贮槽中的稀碱液送至蒸发器中浓缩, 如附图所示。泵进口管为 $\phi 89 \times 3.5 \text{ mm}$, 碱液在其中的流速为 1.5 m/s ; 泵出口管为 $\phi 76 \times 3 \text{ mm}$ 。

贮槽中碱液的液面距蒸发器入口处的垂直距离为 7 m 。碱液在管路中的能量损失为 40 J/kg (不包括出口) 蒸发器内碱液蒸发压力保持在 20 kPa (表压), 碱液的密度为 1100 kg/m^3 。设泵的效率为 58% , 试求该泵的轴功率。



题 17 附图

解: 取贮槽液面为 1-1 截面, 蒸发器进料口管内侧为 2-2 截面, 且以 1-1 截面为基准面。

在 1-1 与 2-2 间列柏努利方程:

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 + W_e = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f \quad (\text{a})$$

$$\text{或} \quad W_e = (z_2 - z_1)g + \frac{1}{2}(u_2^2 - u_1^2) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \sum W_f \quad (\text{b})$$

其中: $z_1 = 0$; $p_1 = 0$ (表压); $u_1 \approx 0$

$z_2 = 7 \text{ m}$; $p_2 = 20 \times 10^3 \text{ Pa}$ (表压)

已知泵入口管的尺寸及碱液流速, 可根据连续性方程计算泵出口管中碱液的流速:

$$u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 1.5 \left(\frac{82}{70} \right)^2 = 2.06 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1100 \text{ kg/m}^3, \quad \sum W_f = 40 \text{ J/kg}$$

将以上各值代入 (b) 式, 可求得输送碱液所需的外加能量

$$W_e = 7 \times 9.81 + \frac{1}{2} \times 2.06^2 + \frac{20 \times 10^3}{1100} + 40 = 129 \quad \text{J/kg}$$

碱液的质量流量

$$m_s = \frac{\pi}{4} d_2^2 u_2 \rho = 0.785 \times 0.07^2 \times 2.06 \times 1100 = 8.72 \quad \text{kg/s}$$

泵的有效功率

$$N_e = W_e m_s = 129 \times 8.72 = 1125 \text{ W} = 1.125 \text{ kW}$$

泵的效率为 58%, 则泵的轴功率

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{1.125}{0.58} = 1.94 \quad \text{kW}$$

18. 如附图所示, 水以 $15 \text{ m}^3/\text{h}$ 的流量在倾斜管中流过, 管内径由 100 mm 缩小到 50 mm 。
A、B 两点的垂直距离为 0.1 m 。在两点间连接一 U 形压差计, 指示剂为四氯化碳, 其密度为 1590 kg/m^3 。若忽略流动阻力, 试求:

- (1) U 形管中两侧的指示剂液面哪侧高, 相差多少 mm?
- (2) 若保持流量及其他条件不变, 而将管路改为水平放置, 则压差计的读数有何变化?

解: 在 1-1 与 2-2 截面间列柏努利方程

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \Sigma W_f$$

$$\text{其中: } u_1 = \frac{V_s}{0.785 d_1^2} = \frac{15/3600}{0.785 \times 0.1^2} = 0.531 \text{ m/s}$$

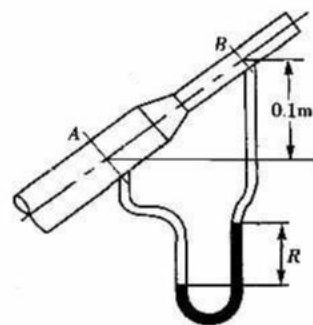
$$u_2 = \frac{V_s}{0.785 d_2^2} = \frac{15/3600}{0.785 \times 0.05^2} = 2.123 \text{ m/s}$$

$$z_2 - z_1 = 0.1 \text{ m} \quad \Sigma W_f = 0$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = (z_2 - z_1) g + \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2) \quad (1)$$

$$= 0.1 \times 9.81 + 0.5 \times (2.123^2 - 0.531^2) = 3.093$$

由静力学基本方程:



题 18 附图

$$(p_1 + \rho g z_1) - (p_2 + \rho g z_2) = (\rho_0 - \rho) g R \quad (2)$$

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

$$= \frac{3.093 \times 1000 - 1000 \times 9.81 \times 0.1}{(1590 - 1000) \times 9.81} = 0.365 \text{ m}$$

故 U 形压差计两侧为左低右高。

(2) 当管路水平放置时:

$$\text{由柏努利方程} \quad \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2)$$

$$\text{由静力学方程} \quad \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{R g (\rho_0 - \rho)}{\rho}$$

$$\text{两式联立:} \quad \frac{R g (\rho_0 - \rho)}{\rho} = \frac{1}{2} (u_2^2 - u_1^2)$$

可见, 流量不变时, u_1, u_2 不变, 即 U 形压差计读数不变。

19. 附图所示的是冷冻盐水循环系统。盐水的密度为 1100 kg/m^3 , 循环量为 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ 。管路的内径相同, 盐水从 A 流经两个换热器至 B 的压头损失为 9m , 由 B 流至 A 的压头损失为 12m , 问:

(1) 若泵的效率为 70% , 则泵的轴功率为多少?

(2) 若 A 处压力表的读数为 153kPa , 则 B 处压力表的读数为多少?

解: (1) 对于循环系统:

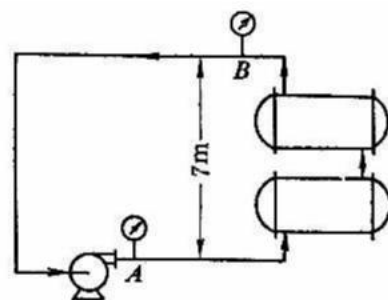
$$H_e = \sum h_f = 9 + 12 = 21 \text{ m}$$

$$N_e = H_e \cdot V_s \rho g = 21 \times \frac{45}{3600} \times 1100 \times 9.81 = 2.83 \text{ kW}$$

$$\therefore \text{轴功率: } N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2.83}{0.7} = 4.04 \text{ kW}$$

(2) A → B 列柏努力方程:

$$\frac{p_A}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_A^2 + z_A = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_B^2 + z_B + \sum h_{fAB}$$



题 19 附图

$$\text{简化: } \frac{p_A}{\rho g} = \frac{p_B}{\rho g} + z_B + \sum h_{fAB}$$

$$153 \times 10^3 = p_B + 1100 \times 9.81 \times (7 + 9)$$

$$\therefore p_B = -19656 p_a (\text{表})$$

$\therefore B$ 处真空度为 19656 Pa。

20. 用离心泵将 20°C 水从贮槽送至水洗塔顶部, 槽内水位维持恒定。泵吸入与压出管路直径相同, 均为 $\phi 76 \times 2.5\text{mm}$ 。水流经吸入与压出管路 (不包括喷头) 的能量损失分别为 $\sum W_{f1} = 2u^2$ 及 $\sum W_{f2} = 10u^2$ (J/kg), 式中, u 为水在管内的流速。在操作条件下, 泵入口真空表的读数为 26.6kPa, 喷头处的压力为 98.1kPa (表压)。

试求泵的有效功率。

解: 以水槽液面为 1-1 截面, 泵入口处为 2-2 截面, 且以 1-1 面为基准面。在两截面间列柏努利方程

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_{f1}$$

$$\text{简化为 } z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_{f1} = 0$$

$$\text{即 } 1.5 \times 9.81 - \frac{26.6 \times 10^3}{1000} + \frac{1}{2} u_2^2 + 2u_2^2 = 0$$

$$\text{解得 } u_2 = 2.18\text{m/s}$$

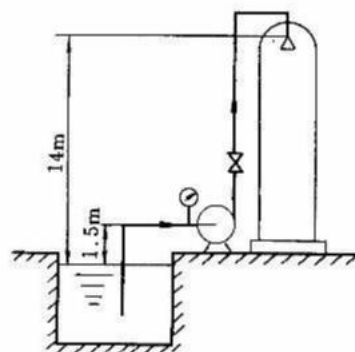
在水槽 1-1 截面与喷头处 3-3 截面间列柏努利方程

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 + W_e = z_3 g + \frac{p_3}{\rho} + \frac{1}{2} u_3^2 + \sum W_{f2}$$

$$\text{简化为 } W_e = z_3 g + \frac{p_3}{\rho} + \frac{1}{2} u_3^2 + \sum W_{f2}$$

$$\text{即 } W_e = z_3 g + \frac{p_3}{\rho} + \frac{1}{2} u_3^2 + 2u^2 + 10u^2 = z_3 g + \frac{p_3}{\rho} + 12.5u_3^2$$

其中 $u = u_3 = u_2 = 2.18\text{m/s}$



题 20 附图

则
$$W_e = 14 \times 9.81 + \frac{98.1 \times 10^3}{1000} + 12.5 \times 2.18^2 = 294.8 \text{ J/kg}$$

水的流量:
$$m_s = V_s \rho = \frac{\pi}{4} d^2 u \rho = 0.785 \times 0.071^2 \times 2.18 \times 1000 = 8.63 \text{ kg/s}$$

泵有效功率
$$N_e = m_s W_e = 8.63 \times 294.8 = 2544 \text{ W} = 2.544 \text{ kW}$$

21. 25℃水以 35m³/h的流量在 $\phi 76 \times 3 \text{ mm}$ 的管道中流动, 试判断水在管内的流动类型。

解: 查附录 25℃水物性:

$$\rho = 996.95 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = 0.903 \text{ cP}$$

$$u = \frac{V_s}{0.785 d^2} = \frac{35/3600}{0.785 \times 0.07^2} = 2.53 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.07 \times 996.95 \times 2.53}{0.903 \times 10^{-3}} = 1.955 \times 10^5 > 4000$$

∴ 为湍流

22. 运动黏度为 $3.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 的有机液体在 $\phi 76 \times 3.5 \text{ mm}$ 的管内流动, 试确定保持管内层流流动的最大流量。

解:
$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{du}{\nu} = 2000$$

$$\therefore u_{\max} = \frac{2000\nu}{d} = \frac{2000 \times 3.2 \times 10^{-5}}{0.069} = 0.927 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{\max} &= \frac{\pi}{4} d^2 u_{\max} = 0.785 \times 0.069^2 \times 0.927 = 3.46 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 12.46 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

23. 计算 10℃水以 $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量流过 $\phi 57 \times 3.5 \text{ mm}$ 、长 20m水平钢管的能量损失、压头损失及压力损失。(设管壁的粗糙度为 0.5mm)

解:
$$u = \frac{V_s}{0.785 d^2} = \frac{2.7 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.05^2} = 1.376 \text{ m/s}$$

10℃水物性:

$$\rho = 999.7 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = 1.305 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.05 \times 999.7 \times 1.376}{1.305 \times 10^{-3}} = 5.27 \times 10^4$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.5}{50} = 0.01$$

$$\text{查得 } \lambda = 0.041$$

$$\therefore \Sigma W_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} = 0.041 \times \frac{20}{0.05} \times \frac{1.376^2}{2} = 15.53 \text{ J/kg}$$

$$\Sigma h_f = \Sigma W_f / g = 1.583 \text{ m}$$

$$\Delta P_f = \Sigma W_f \cdot \rho = 15525 P_a$$

24. 如附图所示, 水从高位槽流向低位贮槽, 管路系统中有两个 90° 标准弯头及一个截止阀, 管内径为 100mm, 管长为 20m。设摩擦系数 $\lambda = 0.03$, 试求:

(1) 截止阀全开时水的流量;

(2) 将阀门关小至半开, 水流量减少的百分数。

解: 如图取高位槽中液面为 1-1' 面, 低位贮槽液面为 2-2' 截面, 且以 2-2' 面为基准面。在 1-1' 与 2-2' 截面间列柏努利方程:

$$z_1 g + \frac{1}{2} u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} = z_2 g + \frac{1}{2} u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} + \Sigma W_f$$

其中: $z_1 = 4$; $u_1 \approx 0$; $p_1 = 0$ (表压);

$z_2 = 0$; $u_2 \approx 0$; $p_2 = 0$ (表压)

简化得 $z_1 g = \Sigma W_f$

各管件的局部阻力系数:

进口突然缩小 $\zeta = 0.5$

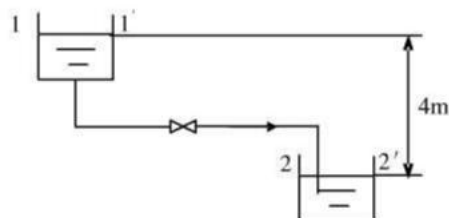
90° 标准弯头 2 个 $\zeta = 0.75 \times 2 = 1.5$

截止阀 (全开) $\zeta = 6.0$

出口突然扩大 $\zeta = 1.0$

$\Sigma \zeta = 0.5 + 1.5 + 6.0 + 1.0 = 9.0$

$$\Sigma W_f = \left(\Sigma \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{u^2}{2} = \left(9.0 + 0.03 \times \frac{20}{0.1} \right) \frac{u^2}{2} = 7.5 u^2$$



题 24 附图

$$4 \times 9.81 = 7.5u^2$$

$$u = 2.29 \text{ m/s}$$

水流量 $V_s = \frac{\pi}{4} d^2 u = 0.785 \times 0.1^2 \times 2.29 = 0.018 \text{ m}^3/\text{s} = 64.8 \text{ m}^3/\text{h}$

(2) 截止阀关小至半开时:

截止阀半开的局部阻力系数 $\zeta = 9.5$

此时总阻力

$$\Sigma W_f' = \left(\Sigma \zeta' + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{u'^2}{2} = \left(12.5 + 0.03 \times \frac{20}{0.1} \right) \frac{u'^2}{2} = 9.25u'^2$$

阀门关小后, 局部阻力发生变化, 但由于高位槽高度 z_1 不变, 所以管路总阻力不变,

即 $\Sigma W_f = \Sigma W_f'$

$$7.5u^2 = 9.25u'^2$$

$$\frac{V_s'}{V_s} = \frac{u'}{u} = \sqrt{\frac{7.5}{9.25}} = 0.9$$

即流量减少 10%。

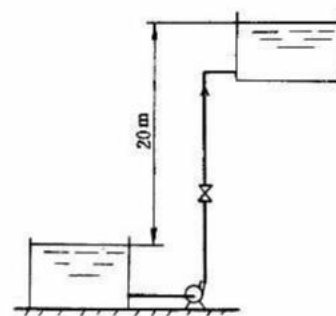
25. 如附图所示, 用泵将贮槽中 20°C 的水以 $40\text{m}^3/\text{h}$ 的流量输送至高位槽。两槽的液位恒定, 且相差 20m , 输送管内径为 100mm , 管子总长为 80m (包括所有局部阻力的当量长度)。试计算泵所需的有效功率。(设管壁的粗糙度为 0.2mm)

解: $u = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{40/3600}{0.785 \times 0.1^2} = 1.415 \text{ m/s}$

20°C 水物性: $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.005 \text{ cP}$

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.1 \times 998.2 \times 1.415}{1.005 \times 10^{-3}} = 1.405 \times 10^5$$

根据 $\varepsilon/d = 0.2/100 = 0.002$, 查得 $\lambda = 0.025$



题 25 附图

在贮槽 1 截面到高位槽 2 截面间列柏努力方程:

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 + W_e = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \Sigma W_f$$

简化: $W_e = z_2 g + \sum W_f$

而: $\sum W_f = \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2} = 0.025 \times \frac{80}{0.1} \times \frac{1.415^2}{2} = 20.0 \text{ J/kg}$

$\therefore W_e = 20 \times 9.81 + 20.0 = 216.2 \text{ J/kg}$

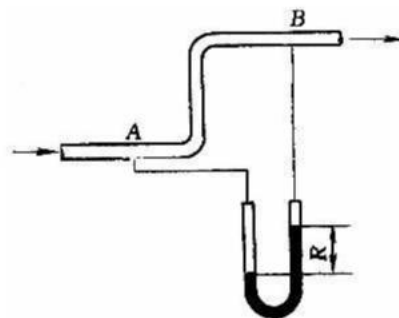
$m_s = V_s \cdot \rho = \frac{40}{3600} \times 998.2 = 11.09 \text{ kg/s}$

$Ne = W_e \cdot m_s = 216.2 \times 11.09 = 2398 \text{ W} \approx 2.40 \text{ kW}$

26. 有一等径管路如图所示, 从 A 至 B 的总能量损失为 $\sum W_f$ 。

若压差计的读数为 R, 指示液的密度为 ρ_0 , 管路中流体的密度为 ρ , 试推导 $\sum W_f$ 的计算式。

解: 在 A-B 截面间列柏努利方程, 有



题 26 附图

$$z_A g + \frac{p_A}{\rho} + \frac{1}{2} u_A^2 = z_B g + \frac{p_B}{\rho} + \frac{1}{2} u_B^2 + \sum W_f$$

等径直管, 故上式简化为

$$z_A g + \frac{p_A}{\rho} = z_B g + \frac{p_B}{\rho} + \sum W_f$$

$$\sum W_f = (z_A - z_B)g + \frac{p_A - p_B}{\rho} \quad (1)$$

对于 U 形压差计, 由静力学方程得

$$p_A + z_A \rho g = p_B + (z_B - R) \rho g + R \rho_0 g$$

$$(p_A - p_B) + (z_A - z_B) \rho g = R(\rho_0 - \rho)g \quad (2)$$

(1)、(2) 联立, 得

$$\sum W_f = \frac{R(\rho_0 - \rho)g}{\rho}$$

27. 求常压下 35℃ 的空气以 12m/s 的速度流经 120m 长的水平通风管的能量损失和压力损失。管道截面为长方形, 长为 300mm, 宽为 200mm。(设 $\varepsilon/d = 0.0005$)

解: 当量直径:

$$d_e = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \times 0.3 \times 0.2}{0.3+0.2} = 0.24\text{m}$$

35℃空气物性: $\rho = 1.1465\text{kg/m}^3$, $\mu = 18.85 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}$

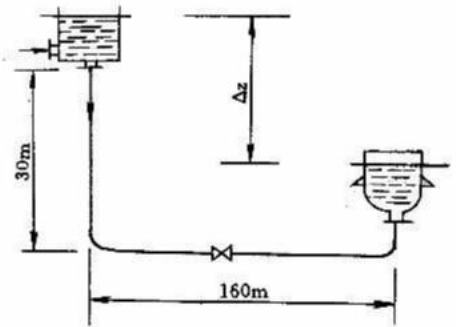
$$\text{Re} = \frac{d_e u \rho}{\mu} = \frac{0.24 \times 1.1465 \times 12}{18.85 \times 10^{-6}} = 1.752 \times 10^5$$

由 $\frac{\varepsilon}{d} = 0.0005$, 查得 $\lambda = 0.019$

$$\therefore \sum W_f = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{u^2}{2} = 0.019 \times \frac{120}{0.24} \times \frac{12^2}{2} = 684\text{J/kg}$$

$$\Delta P_f = \sum W_f \cdot \rho = 684 \times 1.1465 = 784.2\text{Pa}$$

28. 如附图所示, 密度为 800kg/m^3 、黏度为 $1.5 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 的液体, 由敞口高位槽经 $\phi 114 \times 4\text{mm}$ 的钢管流入一密闭容器中, 其压力为 0.16MPa (表压), 两槽的液位恒定。液体在管内的流速为 1.5m/s , 管路中间阀为半开, 管壁的相对粗糙度 $\varepsilon/d = 0.002$, 试计算两槽液面的垂直距离 Δz 。



题 28 附图

解: 在高位槽 1 截面到容器 2 截面间列柏努力方程:

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

$$\text{简化: } \Delta z g = \frac{p_2}{\rho} + \sum W_f$$

$$\text{Re} = \frac{d u \rho}{\mu} = \frac{0.106 \times 800 \times 1.5}{1.5 \times 10^{-3}} = 8.48 \times 10^4$$

由 $\frac{\varepsilon}{d} = 0.002$, 查得 $\lambda = 0.026$

管路中: 进口 $\xi = 0.5$

90℃弯头 $\xi = 0.75$ 2 个

半开闸阀 $\xi = 4.5$

出口 $\xi = 1$

$$\begin{aligned}\therefore \sum W_f &= \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{u^2}{2} = \left(0.026 \times \frac{30+160}{0.106} + 0.5 + 2 \times 0.75 + 4.5 + 1 \right) \times \frac{1.5^2}{2} \\ &= 60.87 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$\therefore \Delta z = \left(\frac{p_2}{\rho} + \sum W_f \right) / g = \left(\frac{0.16 \times 10^6}{800} + 60.87 \right) / 9.81 = 26.6 \text{ m}$$

29. 从设备排出的废气在放空前通过一个洗涤塔, 以除去其中的有害物质, 流程如附图所示。气体流量为 $3600 \text{ m}^3/\text{h}$, 废气的物理性质与 50°C 的空气相近, 在鼓风机吸入管路上装有U形压差计, 指示液为水, 其读数为 60 mm 。输气管与放空管的内径均为 250 mm , 管长与管件、阀门的当量长度之和为 55 m (不包括进、出塔及管出口阻力), 放空口与鼓风机进口管水平面的垂直距离为 15 m , 已估计气体通过洗涤塔填料层的压力降为 2.45 kPa 。管壁的绝对粗糙度取为 0.15 mm , 大气压力为 101.3 kPa 。试求鼓风机的有效功率。

解: 以吸入管测压处为 $1-1'$ 面, 洗涤塔管出口内侧为 $2-2'$ 面, 列柏努力方程:

$$z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 + W_e = z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

$$\text{简化: } \frac{p_1}{\rho} + W_e = Z_2 g + \sum W_f$$

$$\text{其中: } p_1 = \rho_{H_2O} g R = 1000 \times 9.81 \times 0.06 = 588.6 \text{ Pa}$$

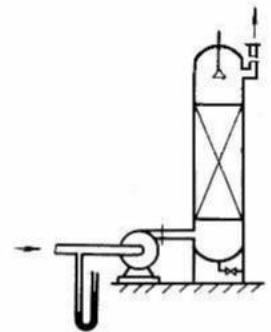
$$u = \frac{V_s}{0.785 \times d^2} = \frac{3600/3600}{0.785 \times 0.25^2} = 20.38 \text{ m/s}$$

$$50^\circ\text{C} \text{ 空气物性: } \rho = 1.093 \text{ kg/m}^3, \mu = 19.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.25 \times 1.093 \times 20.38}{19.6 \times 10^{-6}} = 2.84 \times 10^5$$

$$\text{又 } \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.15}{250} = 0.0006$$

$$\text{查得 } \lambda = 0.018$$



题 29 附图

$$\begin{aligned}
\therefore \sum W_f &= \left(\lambda \frac{l + \sum l_e}{d} + \xi_{\text{进}} + \xi_{\text{出}} \right) \frac{u^2}{2} + W_{f\text{路}} \\
&= \left(\lambda \frac{l + \sum l_e}{d} + \xi_{\text{进}} + \xi_{\text{出}} \right) \frac{u^2}{2} + \frac{\Delta p'}{\rho} \\
&= \left(0.018 \times \frac{55}{0.25} + 1.5 \right) \times \frac{20.38^2}{2} + \frac{2.45 \times 10^3}{1.093} \\
&= 3375 \text{ J/kg} \\
\therefore We &= z_2 g + \sum W_f - p_1 / \rho \\
&= 15 \times 9.81 + 3375 - 588.6 / 1.093 = 2983.6 \text{ J/kg} \\
\therefore Ne &= m_s \cdot We = V_s \cdot \rho \cdot We = \frac{3600}{3600} \times 1.093 \times 2983.6 = 3.26 \text{ kW}
\end{aligned}$$

30. 密度为 850 kg/m^3 的溶液，在内径为 0.1 m 的管路中流动。当流量为 $4.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 时，溶液在 6 m 长的水平管段上产生 450 Pa 的压力损失，试求该溶液的黏度。

解：流速

$$u = \frac{V_s}{0.785d^2} = \frac{4.2 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.1^2} = 0.535 \text{ m/s}$$

设液体在管内为层流流动，则

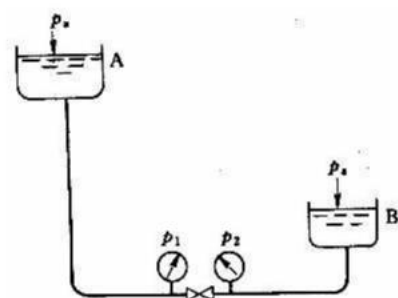
$$\Delta p_f = \frac{32\mu l u}{d^2}$$

$$\text{黏度 } \mu = \frac{\Delta p_f d^2}{32lu} = \frac{450 \times 0.1^2}{32 \times 6 \times 0.535} = 0.0438 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\text{校核 } Re: Re = \frac{d\rho u}{\mu} = \frac{0.1 \times 850 \times 0.535}{0.0438} = 1038 < 2000$$

流动为层流，以上计算正确。该液体的黏度为 $0.0438 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

31. 黏度为 30 cP 、密度为 900 kg/m^3 的某油品自容器A流过内径 40 mm 的管路进入容器B。两容器均为敞口，液面视为不变。管路中有一阀门，阀前管长 50 m ，阀后管长 20 m （均包括所有局部阻力的当量长度）。当阀门全关时，阀前后的压力表读数分别为 88.3 kPa 和 44.2 kPa 。现将阀门打开至 $1/4$



题 31 附图

开度，阀门阻力的当量长度为 30m。试求：

(1) 管路中油品的流量；

(2) 定性分析阀前、阀后压力表读数的变化。

解：(1) 阀关闭时流体静止，由静力学基本方程可得：

$$z_A = \frac{p_1 - p_a}{\rho g} = \frac{88.3 \times 10^3}{900 \times 9.81} = 10 \text{ m}$$

$$z_B = \frac{p_2 - p_a}{\rho g} = \frac{44.2 \times 10^3}{900 \times 9.81} = 5 \text{ m}$$

当阀打开 1/4 开度时，在 A 与 B 截面间列柏努利方程：

$$z_A g + \frac{1}{2} u_A^2 + \frac{p_A}{\rho} = z_B g + \frac{1}{2} u_B^2 + \frac{p_B}{\rho} + \Sigma W_f$$

其中： $p_A = p_B = 0$ (表压)， $u_A = u_B = 0$

则 有 $(z_A - z_B)g = \Sigma W_f = \lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d} \frac{u^2}{2}$

(a)

由于该油品的黏度较大，可设其流动为层流，则

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64\mu}{d\rho u}$$

代入式 (a)，有 $(z_A - z_B)g = \frac{64\mu}{d\rho u} \frac{l + \Sigma l_e}{d} \frac{u^2}{2} = \frac{32\mu(l + \Sigma l_e)u}{d^2 \rho}$

$$\therefore u = \frac{d^2 \rho (z_A - z_B)g}{32\mu(l + \Sigma l_e)} = \frac{0.04^2 \times 900 \times (10 - 5) \times 9.81}{32 \times 30 \times 10^{-3} \times (50 + 30 + 20)} = 0.736 \text{ m/s}$$

校核： $\text{Re} = \frac{d\rho u}{\mu} = \frac{0.04 \times 900 \times 0.736}{30 \times 10^{-3}} = 883.2 < 2000$

假设成立。

油品的流量：

$$V_s = \frac{\pi}{4} d^2 u = 0.785 \times 0.04^2 \times 0.736 = 9.244 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 3.328 \text{ m}^3/\text{h}$$

(2) 阀打开后：

在 A 与 1 截面间列柏努利方程:

$$z_A g + \frac{1}{2} u_A^2 + \frac{p_A}{\rho} = z_1 g + \frac{1}{2} u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + \Sigma W_{fA-1}$$

简化得
$$z_A g = \frac{1}{2} u_1^2 + \frac{p_1}{\rho} + \Sigma W_{fA-1}$$

或
$$z_A g = \frac{p_1}{\rho} + (\lambda \frac{l_1}{d} + 1) \frac{u_1^2}{2}$$

$$\frac{p_1}{\rho} = z_A g - (\lambda \frac{l_1}{d} + 1) \frac{u_1^2}{2}$$

显然, 阀打开后 $u_1 \uparrow$, $p_1 \downarrow$, 即阀前压力表读数减小。

在 2 与 B 截面间列柏努利方程:

$$z_2 g + \frac{1}{2} u_2^2 + \frac{p_2}{\rho} = z_B g + \frac{1}{2} u_B^2 + \frac{p_B}{\rho} + \Sigma W_{f2-B}$$

简化得
$$\frac{p_2}{\rho} = z_B g + (\lambda \frac{l_2}{d} - 1) \frac{u_2^2}{2}$$

因为阀后的当量长度 l_2 中已包括突然扩大损失, 也即 $\lambda \frac{l_2}{d} - 1 > 0$,

故阀打开后 $u_2 \uparrow$, $p_2 \uparrow$, 即阀后压力表读数增加。

32. 20℃苯由高位槽流入贮槽中, 两槽均为敞口, 两槽液面恒定且相差 5m。输送管为 $\phi 38 \times 3\text{mm}$ 的钢管 ($\varepsilon = 0.05\text{mm}$) 总长为 100m (包括所有局部阻力的当量长度), 求苯的流量。

解: 在两槽间列柏努利方程, 并简化:

$$\Delta z g = \Sigma W_f$$

即:
$$\Delta z g = \lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d} \frac{u^2}{2}$$

代入数据:
$$5 \times 9.81 = \lambda \times \frac{100}{0.032} \frac{u^2}{2}$$

化简得:
$$\lambda u^2 = 0.03139$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.05}{32} = 0.00156$$

查完全湍流区 $\lambda = 0.022$

设 $\lambda = 0.021$, 由(1)式得 $u = 1.22\text{m/s}$

由附录查得 20°C 苯物性:

$$\rho = 879\text{kg/m}^3 \quad \mu = 0.737\text{mPa}\cdot\text{s}$$

$$R_e = \frac{d\rho u}{\mu} = \frac{0.032 \times 879 \times 1.22}{0.737 \times 10^{-3}} = 4.66 \times 10^4$$

查图, $\lambda = 0.026$

再设 $\lambda = 0.026$, 由(1)得 $u = 1.10\text{m/s}$

$$R_e = \frac{0.032 \times 879 \times 1.10}{0.737 \times 10^{-3}} = 4.20 \times 10^4$$

查得 $\lambda = 0.26$ 假设正确

$$\therefore u = 1.10\text{m/s}$$

$$\text{流量: } V_s = \frac{\pi}{4} d^2 u = 0.785 \times 0.032^2 \times 1.1 = 8.84 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 3.183 \text{ m}^3/\text{h}$$

33. 某输水并联管路, 由两个支路组成, 其管长与内径分别为: $l_1 = 1200\text{m}$, $d_1 = 0.6\text{m}$; $l_2 = 800\text{m}$, $d_2 = 0.8\text{m}$ 。已知总管中水的流量为 $2.2\text{m}^3/\text{s}$, 水温为 20°C , 试求各支路中水的流量。(设管子的粗糙度为 0.3mm)

解: 设两支路中的流动均进入阻力平方区, 由 $\varepsilon/d_1 = 0.3/600 = 0.0005$ 及 $\varepsilon/d_2 = 0.3/800 = 0.000375$, 查得 $\lambda_1 = 0.017$, $\lambda_2 = 0.0156$

$$\begin{aligned} V_{s1} : V_{s2} &= \sqrt{\frac{d_1^5}{\lambda_1(l + \Sigma l_e)_1}} : \sqrt{\frac{d_2^5}{\lambda_2(l + \Sigma l_e)_2}} \\ &= \sqrt{\frac{0.6^5}{0.017 \times 1200}} : \sqrt{\frac{0.8^5}{0.0156 \times 800}} = 0.0617 : 0.162 \end{aligned}$$

$$V_{s2} = \frac{0.162}{0.0617} V_{s1} = 2.6256 V_{s1}$$

$$\text{又 } V_s = V_{s1} + V_{s2} = 3.6256 V_{s1}$$

$$\therefore V_{S1} = \frac{V_S}{3.6256} = \frac{2.2}{3.6256} = 0.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{S2} = 2.6256 V_{S1} = 2.6256 \times 0.61 = 1.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

校核 Re:

$$\text{支管 1: } u_1 = \frac{V_{S1}}{0.785 d_1^2} = \frac{0.61}{0.785 \times 0.6^2} = 2.16 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = \frac{d_1 \rho u_1}{\mu} = \frac{0.6 \times 1000 \times 2.16}{1 \times 10^{-3}} = 1.296 \times 10^6$$

流动接近阻力平方区, $\lambda_1 = 0.017$ 。

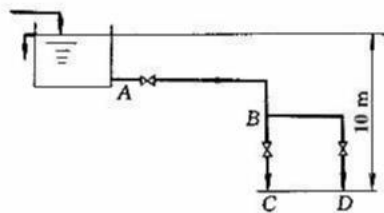
$$\text{支管 2: } u_2 = \frac{V_{S2}}{0.785 d_2^2} = \frac{1.60}{0.785 \times 0.8^2} = 3.18 \text{ m/s}$$

$$Re_2 = \frac{d_2 \rho u_2}{\mu} = \frac{0.8 \times 1000 \times 3.18}{1 \times 10^{-3}} = 2.54 \times 10^6$$

流动接近阻力平方区, $\lambda_1 = 0.0156$ 。

故以上计算有效。两支管的流量分别为 $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1.60 \text{ m}^3/\text{s}$

34. 如附图所示, 高位槽中水分别从 BC 与 BD 两支路排出, 其中水面维持恒定。高位槽液面与两支管出口间的距离为 10m 。 AB 管段的内径为 38mm 、长为 28m ; BC 与 BD 支管的内径相同, 均为 32mm , 长度分别为 12m 、 15m (以上各长度均包括管件及阀门全开时的当量长度)。各段摩擦系数均可取为 0.03 。试求:



题 34 附图

- (1) BC 支路阀门全关而 BD 支路阀门全开时的流量;
- (2) BC 支路与 BD 支路阀门均全开时各支路的流量及总流量。

解: (1) 在高位槽液面与 BD 管出口外侧列柏努利方程:

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 g + \frac{1}{2} u_1^2 = \frac{p_2}{\rho} + z_2 g + \frac{1}{2} u_2^2 + \sum W_f$$

$$\text{简化: } \Delta z g = \sum W_{fABD}$$

$$\text{而 } \sum W_{fABD} = \sum W_{fAB} + \sum W_{fBD} = \lambda \frac{l_{AB}}{d_1} \frac{u_1^2}{2} + \lambda \frac{l_{BD}}{d_2} \frac{u_2^2}{2}$$

$$\therefore \text{有: } 10 \times 9.81 = 0.03 \frac{28}{0.038} \frac{u_1^2}{2} + 0.03 \frac{15}{0.032} \frac{u_2^2}{2}$$

$$\text{化简 } 11.05u_1^2 + 7.03u_2^2 = 98.1$$

又由连续性方程:

$$u_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 u_1 = \left(\frac{38}{32}\right)^2 u_1 = 1.41u_1$$

代入上式:

$$11.05u_1^2 + 7.03 \times 1.41^2 u_1^2 = 98.1$$

$$\text{解得: } u_1 = 1.98 \text{ m/s}$$

$$\text{流量: } V_s = \frac{\pi}{4} d_1^2 u_1 = 0.785 \times 0.038^2 \times 1.98 = 2.244 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 8.08 \text{ m}^3/\text{h}$$

(2) 当 BD , BC 支路阀均全开时:

$\because C, D$ 出口状态完全相同, 分支管路形如并联管路,

$$\therefore \sum W_{fBC} = \sum W_{fBD}$$

$$\lambda \frac{l_{BC}}{d_3} \frac{u_3^2}{2} = \lambda \frac{l_{BD}}{d_2} \frac{u_2^2}{2}$$

$$\therefore 12u_3^2 = 15u_2^2$$

$$\therefore u_3 = 1.118u_2 \quad (1)$$

$$\text{又 } V_{s_1} = V_{s_2} + V_{s_3}$$

$$\frac{\pi}{4} d_1^2 u_1 = \frac{\pi}{4} d_2^2 u_2 + \frac{\pi}{4} d_3^2 u_3$$

$$38^2 u_1 = 32^2 u_2 + 32^2 u_3 = 32^2 \times 2.118u_2$$

$$\therefore u_1 = 1.502u_2 \quad (2)$$

在高位槽液面与 BD 出口列柏努利方程:

$$\Delta Z \cdot g = \sum W_f = \sum W_{fAB} + \sum W_{fBD}$$

$$10 \times 9.81 = 0.03 \frac{28}{0.038} \frac{u_1^2}{2} + 0.03 \frac{15}{0.032} \frac{u_2^2}{2}$$

$$11.05u_1^2 + 7.03u_2^2 = 98.1 \quad (3)$$

将 (2) 代入 (3) 式中:

$$11.05 \times 1.502^2 u_2^2 + 7.03u_2^2 = 98.1$$

$$\text{解得: } u_2 = 1.752 \text{ m/s} \quad u_1 = 2.63 \text{ m/s} \quad u_3 = 1.96 \text{ m/s}$$

$$\text{流量: } V_{s1} = \frac{\pi}{4} d_1^2 u_1 = 0.785 \times 0.038^2 \times 2.63 = 2.98 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 10.73 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{s2} = \frac{\pi}{4} d_2^2 u_2 = 0.785 \times 0.032^2 \times 1.752 = 1.408 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 5.07 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{s3} = \frac{\pi}{4} d_3^2 u_3 = 0.785 \times 0.032^2 \times 1.96 = 1.576 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 5.67 \text{ m}^3/\text{h}$$

35. 在内径为 80mm 的管道上安装一标准孔板流量计, 孔径为 40mm, U 形压差计的读数为 350mmHg。管内液体的密度为 1050 kg/m^3 , 黏度为 0.5 cP , 试计算液体的体积流量。

$$\text{解: } \frac{A_0}{A_1} = \left(\frac{40}{80}\right)^2 = 0.25$$

$$\text{设 } R_e > R_{ec}, \text{ 查得 } C_0 = 0.625$$

$$V_s = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_1 - \rho)}{\rho}} = 0.625 \times 0.785 \times 0.04^2 \sqrt{\frac{2 \times 0.35 \times (13600 - 1050) \times 981}{1050}} = 7.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

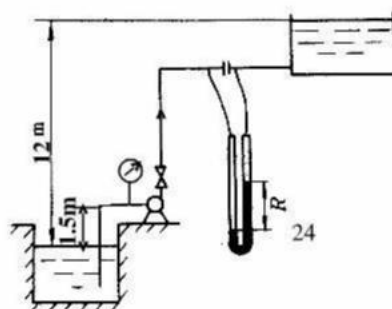
$$u = \frac{V_s}{0.785 d_1^2} = \frac{7.11 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.08^2} = 1.415 \text{ m/s}$$

$$R_e = \frac{d_1 u \rho}{\mu} = \frac{0.08 \times 1.415 \times 1050}{0.5 \times 10^{-3}} = 2.38 \times 10^5$$

$$\text{而 } R_{ec} = 7 \times 10^4 \quad R_e > R_{ec}$$

\therefore 假设正确, 以上计算有效。

36. 用离心泵将 20°C 水从水池送至敞口高位槽中, 流程如附图所示, 两槽液面差为 12m。输送管为 $\phi 57 \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢管,



题 36 附图

吸入管路总长为 20m，压出管路总长为 155m（均包括所有局部阻力的当量长度）。用孔板流量计测量水流量，孔径为 20mm，流量系数为 0.61，U 形压差计的读数为 600mmHg。摩擦系数可取为 0.02。试求：

- (1) 水流量， m^3/h ；
- (2) 每 kg 水经过泵所获得的机械能；
- (3) 泵入口处真空表的读数。

$$\begin{aligned}\text{解：(1) } V_s &= C_0 A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}} \\ &= 0.61 \times 0.785 \times 0.02^2 \sqrt{\frac{2 \times 0.6 \times 9.81 \times (13600 - 1000)}{1000}} \\ &= 2.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 8.39 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

- (2) 以水池液面为 1-1' 面，高位槽液面为 2-2' 面，在 1-1' ~ 2-2' 面间列柏努利方程：

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}u_1^2 + z_1g + W_e = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}u_2^2 + z_2g + \sum W_f$$

$$\text{简化： } W_e = \Delta zg + \sum W_f$$

$$\text{而 } \sum W_f = \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2}$$

$$\text{其中： } u = \frac{V_s}{0.785d^2} = \frac{2.33 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.05^2} = 1.19 \text{ m/s}$$

$$\therefore \sum W_f = 0.02 \times \frac{175}{0.05} \times \frac{1.19^2}{2} = 49.56 \text{ J/kg}$$

$$\therefore W_e = 12 \times 9.81 + 49.56 = 167.28 \text{ J/kg}$$

- (3) 在水池液面 1-1' 面与泵入口真空表处 3-3' 面间列柏努利方程：

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}u_1^2 + z_1g = \frac{p_3}{\rho} + \frac{1}{2}u_3^2 + z_3g + \sum W_{f1-3}$$

$$\text{简化为 } 0 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{1}{2}u_3^2 + z_3g + \sum W_{f1-3}$$

其中
$$\sum W_{f1-3} = \lambda \frac{(l + \sum l_e) \text{吸入}}{d} \frac{u_3^2}{2} = 0.02 \times \frac{20}{0.05} \times \frac{1.19^2}{2} = 5.66 \text{ J/kg}$$

$$\frac{p_3}{\rho} = -\left(\frac{1}{2}u_3^2 + Z_3g + \sum W_{f1-3}\right) = -\left(\frac{1.19^2}{2} + 1.5 \times 9.81 + 5.66\right) = -21.1$$

$$p_3 = -21.1\rho = -21.1 \times 10^3 \text{ Pa} = -21.1 \text{ kPa}$$

即泵入口处真空表的读数为 21.1kPa。

37. 水在某管路中流动。管线上装有一只孔板流量计，其流量系数为 0.61，U 形压差计读数为 200mm。若用一只喉径相同的文丘里流量计替代孔板流量计，其流量系数为 0.98，且 U 形压差计中的指示液相同。问此时文丘里流量计的 U 形压差计读数为若干？

解：由流量公式：

$$V_s = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2R_1 g(\rho_0 - \rho)}{\rho}} \quad V_s = C_v A_0 \sqrt{\frac{2R_2 g(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

流量相同时，

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{C_0}{C_v}\right)^2 = \left(\frac{0.61}{0.98}\right)^2 = 0.387$$

故文丘里流量计的读数

$$R_2 = 0.387 R_1 = 0.387 \times 200 = 77.4 \text{ mm}$$

38. 某气体转子流量计的量程范围为 4~60m³/h。现用来测量压力为 60kPa（表压）、温度为 50℃的氨气，转子流量计的读数应如何校正？此时流量量程的范围又为多少？（设流量系数 C_R 为常数，当地大气压为 101.3 kPa）

解：操作条件下氨气的密度：

$$\rho_2 = \frac{pM}{RT} = \frac{(101.3 + 60) \times 10^3 \times 0.017}{8.31 \times (273 + 50)} = 1.022 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \approx \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} = \sqrt{\frac{1.2}{1.022}} = 1.084$$

即同一刻度下，氨气的流量应是空气流量的 1.084 倍。

此时转子流量计的流量范围为 $4 \times 1.084 \sim 60 \times 1.084 \text{ m}^3/\text{h}$ ，即 4.34~65.0 m³/h。

39. 在一定转速下测定某离心泵的性能,吸入管与压出管的内径分别为 70mm和 50mm。当流量为 30 m³/h时,泵入口处真空表与出口处压力表的读数分别为 40kPa和 215kPa,两测压口间的垂直距离为 0.4m,轴功率为 3.45kW。试计算泵的压头与效率。

$$\text{解: } u_1 = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4}d_1^2} = \frac{30/3600}{0.785 \times 0.07^2} = 2.166 \text{ m/s}$$

$$u_2 = \frac{30/3600}{0.785 \times 0.05^2} = 4.246 \text{ m/s}$$

在泵进出口处列柏努力方程,忽略能量损失:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g}u_1^2 + Z_1 + H_e = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g}u_2^2 + Z_2$$

$$H_e = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g}(u_2^2 - u_1^2) + \Delta Z$$

$$= \frac{(215 + 40) \times 10^3}{10^3 \times 9.81} + \frac{1}{2 \times 9.81}(4.246^2 - 2.116^2) + 0.4$$

$$= 27.07 \text{ m}$$

$$N_e = QH\rho g = \frac{30}{3600} \times 10^3 \times 9.81 \times 27.07 = 2.213 \text{ kW}$$

$$\therefore \eta = \frac{N_e}{N} \times 100\% = \frac{2.213}{3.45} \times 100\% = 64.1\%$$

40. 在一化工生产车间,要求用离心泵将冷却水从贮水池经换热器送到一敞口高位槽中。已知高位槽中液面比贮水池中液面高出 10m,管路总长为 400m(包括所有局部阻力的当量长度)。管内径为 75mm,换热器的压头损失为 $32 \frac{u^2}{2g}$,摩擦系数可取为 0.03。此离心

泵在转速为 2900rpm 时的性能如下表所示:

$Q/(\text{m}^3/\text{s})$	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008
H/m	26	25.5	24.5	23	21	18.5	15.5	12	8.5

试求: (1) 管路特性方程;

(2) 泵工作点的流量与压头。

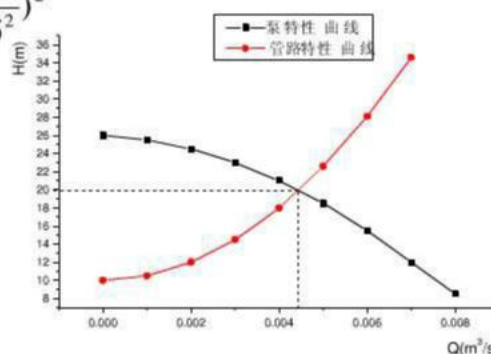
解：（1）管路特性曲线方程：

$$\begin{aligned} H_e &= \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta Z + \frac{1}{2g} \Delta u^2 + \sum h_f = \Delta Z + \sum h_f \\ &= \Delta Z + \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2g} + \sum h_f = \Delta Z + (\lambda \frac{l + \sum l_e}{d} + 32) \frac{u^2}{2g} \end{aligned}$$

$$H_e = 10 + (0.03 \times \frac{400}{0.075} + 32) \frac{1}{2 \times 9.81} \times (\frac{Q}{0.785 \times 0.075^2})^2$$

$$= 10 + 5.019 \times 10^5 Q^2$$

（2）在坐标纸中绘出泵的特性曲线及管路特性曲线的工作点：



$$Q = 0.0045 \text{ m}^3/\text{s} \quad H = 20.17 \text{ m}$$

41. 用离心泵将水从贮槽输送至高位槽中，两槽均为敞口，且液面恒定。现改为输送密度为 1200 kg/m^3 的某水溶液，其他物性与水相近。若管路状况不变，试说明：

- （1）输送量有无变化？
- （2）压头有无变化？
- （3）泵的轴功率有无变化？
- （4）泵出口处压力有无变化？

解： ρ 变化时，泵特性曲线不变。

$$\text{管路特性曲线 } H_e = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} + BQ^2 = \Delta z + BQ^2 \quad \text{不变}$$

- （1）输送量不变；
- （2）压头不变；
- （3）轴功率：

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{QH\rho g}{\eta} \quad \text{增加}$$

(4) 在贮槽液面 1-1' 和泵出口 2-2' 间列柏努力方程:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_1^2 + Z_1 + H_e = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_2^2 + Z_2 + \sum h_f$$

$$\text{简化: } P_2 = \rho g \left[H_e - \frac{1}{2g} u_2^2 - Z_2 - \sum h_f \right]$$

\therefore 工作点 Q, H_e 不变, $\therefore u \sum h_f$ 不变

即 P_2 随 ρ 的增加而增加。

42. 用离心泵将水从敞口贮槽送至密闭高位槽。高位槽中的气相表压为 98.1kPa, 两槽液位相差 10m, 且维持恒定。已知该泵的特性方程为 $H = 40 - 7.2 \times 10^4 Q^2$ (单位: H—m, Q—m³/s), 当管路中阀门全开时, 输水量为 0.01 m³/s, 且流动已进入阻力平方区。试求:

(1) 管路特性方程;

(2) 若阀门开度及管路其他条件等均不变, 而改为输送密度为 1200 kg/m³ 的碱液, 求碱液的输流量。

解: (1) 设输送水时管路特性方程为

$$H_e = A + BQ^2$$

$$\text{其中, } A = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} = 10 + \frac{98.1 \times 10^3}{1000 \times 9.81} = 20$$

当输水量为 0.01 m³/s 时, 由泵特性方程与管路特性方程联立:

$$40 - 7.2 \times 10^4 \times 0.01^2 = 20 + B \times 0.01^2$$

$$\text{得 } B = 1.28 \times 10^5$$

$$\text{即此时管路特性方程为 } H_e = 20 + 1.28 \times 10^5 Q^2$$

(2) 当改送密度为 1200 kg/m³ 的碱液时, 泵特性方程不变, 此时管路特性方程

$$A' = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} = 10 + \frac{98.1 \times 10^3}{1200 \times 9.81} = 18.3$$

流动进入阻力平方区, 且阀门开度不变, 则 B 不变。因此管路特性方程变为

$$H_e = 18.3 + 1.28 \times 10^5 Q^2$$

将该方程与泵特性方程联立，

$$40 - 7.2 \times 10^4 Q^2 = 18.3 + 1.28 \times 10^5 Q^2$$

可得碱液输送量 $Q' = 0.0104 \text{ m}^3/\text{s}$

43. 用离心泵向设备送水。已知泵特性方程为 $H = 40 - 0.01Q^2$ ，管路特性方程为 $H_e = 25 + 0.03Q^2$ ，两式中 Q 的单位均为 m^3/h ， H 的单位为 m 。试求：

(1) 泵的输送量；

(2) 若有两台相同的泵串联操作，则泵的输送量为多少？若并联操作，输送量又为多少？

解：(1)
$$\begin{cases} H = 40 - 0.01Q^2 \\ H_e = 25 + 0.03Q^2 \end{cases}$$

联立： $40 - 0.01Q^2 = 25 + 0.03Q^2$

解得： $Q = 19.36 \text{ m}^3/\text{h}$

(2) 两泵串联后：

泵的特性： $H = 2(40 - 0.01Q^2)$

与管路特性联立：

$$25 + 0.03Q^2 = 2 \times (40 - 0.01Q^2)$$

解得： $Q = 33.17 \text{ m}^3/\text{h}$

(3) 两泵并联后：

泵的特性： $H = 40 - 0.01\left(\frac{Q}{2}\right)^2$

与管路特性联立：

$$25 + 0.03Q^2 = 40 - 0.01\left(\frac{Q}{2}\right)^2$$

解得： $Q = 21.48 \text{ m}^3/\text{h}$

44. 用型号为 IS65-50-125 的离心泵将敞口贮槽中 80℃ 的水送出, 吸入管路的压头损失为 4m, 当地大气压为 98kPa。试确定此泵的安装高度。

解: 查附录: 80℃ 水, $P_v = 0.4736 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\rho = 971.8 \text{ kg/m}^3$

在附录中查得 IS65-50-125 泵的必需气蚀余量 $(NPSH)_r = 2.0 \text{ m}$

泵允许安装高度:

$$\begin{aligned} H_{g允} &= \frac{P_0 - P_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f吸入} \\ &= \frac{98 \times 10^3 - 0.4736 \times 10^5}{971.8 \times 9.81} - 2.0 - 4 \\ &= -0.69 \text{ m} \end{aligned}$$

为安全起见, 再降低 0.5m, 即 $H_g = -0.69 - 0.5 = -1.2 \text{ m}$

即泵需要安装在水槽液面以下 1.2m 或更低位置。

45. 用离心泵从真空度为 360mmHg 的容器中输送液体, 所用泵的必需汽蚀余量为 3m。该液体在输送温度下的饱和蒸汽压为 200mmHg, 密度为 900kg/m³, 吸入管路的压头损失为 0.5m, 试确定泵的安装位置。若将容器改为敞口, 该泵又应如何安装? (当地大气压为 100kPa)

解: (1) 当容器内真空度为 360mmHg 时,

$$\begin{aligned} H_{g允} &= \frac{P_0 - P_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f吸入} \\ &= \frac{(100 \times 10^3 - \frac{360}{760} \times 101325) - \frac{200}{760} \times 101325}{900 \times 9.81} - 3 - 0.5 = -0.63 \text{ m} \end{aligned}$$

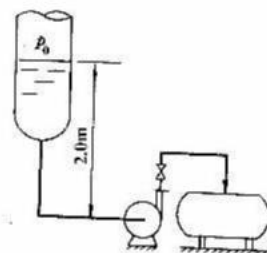
故泵宜安装在液面以下 $(0.63 + 0.5) = 1.13 \text{ m}$ 更低的位置。

(2) 当容器敞口时,

$$\begin{aligned} H_{g允} &= \frac{P_0 - P_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f吸入} \\ &= \frac{100 \times 10^3 - \frac{200}{760} \times 101325}{900 \times 9.81} - 3 - 0.5 = 4.8 \text{ m} \end{aligned}$$

故泵宜安装在液面以上低于 $(4.8 - 0.5) = 4.3 \text{ m}$ 的位置。

46. 如附图所示, 用离心泵将某减压精馏塔塔底的釜液送至贮槽, 泵位于贮槽液面以下 2m 处。已知塔内液面上方的真空度为 500mmHg, 且液体处于沸腾状态。吸入管路全部压头损失为 0.8m, 釜液的密度为 890kg/m^3 , 所用泵的必需汽蚀余量为 2.0m, 问此泵能否正常操作?



题 46 附图

解: 因塔内液体处于沸腾状态, 则液面上方的压力即为溶液的饱和蒸汽压, 即 $p_0 = p_v$

该泵的允许安装高度:

$$\begin{aligned} Hg_{\text{允}} &= \frac{p_0 - p_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f\text{吸入}} \\ &= -2.0 - 0.8 = -2.8\text{m} \end{aligned}$$

而实际安装高度 $Hg_{\text{实}} = -2.0\text{m} > Hg_{\text{允}}$, 说明此泵安装不当, 泵不能正常操作, 会发生气蚀现象。

47. 用内径为 120mm 的钢管将河水送至一蓄水池中, 要求输送量为 $60 \sim 100\text{m}^3/\text{h}$ 。水由池底部进入, 池中水面高出河面 25m。管路的总长度为 80m, 其中吸入管路为 24m (均包括所有局部阻力的当量长度), 设摩擦系数 λ 为 0.028, 试选用一台合适的泵, 并计算安装高度。设水温为 20°C , 大气压力为 101.3kPa。

解: 以大流量 $Q = 100\text{m}^3/\text{h}$ 计。

在河水与蓄水池面间列柏努力方程, 并简化:

$$H_e = \Delta Z + \sum h_f = \Delta Z + \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2g}$$

$$u = \frac{Q}{0.785d^2} = \frac{100/3600}{0.785 \times 0.12^2} = 2.46\text{m/s}$$

$$\therefore H_e = 25 + 0.028 \times \frac{80}{0.12} \times \frac{2.46^2}{2 \times 9.81} = 30.76\text{m}$$

由 $Q = 100\text{m}^3/\text{h}$, $H_e = 30.76\text{m}$ 选泵 IS100-80-160, 其性能为:

$$Q = 100\text{m}^3/\text{h}, H = 32\text{m}, \eta = 78\%, N = 11.2\text{kW}, (NPSH)_r = 4.0\text{m}$$

确定安装高度:

$$20^{\circ}\text{C 水}, \rho = 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad P_v = 2.335 \text{kPa}$$

$$H_{g\text{允}} = \frac{P_0 - P_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f\text{吸入}}$$

$$\sum h_{f\text{吸入}} = \lambda \frac{(l + \sum l_e)_{\text{吸入}}}{d} \frac{u^2}{2g} = 0.028 \times \frac{24}{0.12} \times \frac{2.46^2}{2 \times 9.81} = 1.73 \text{m}$$

$$\therefore H_{g\text{允}} = \frac{(101.3 - 2.335) \times 10^3}{998.2 \times 9.81} - 4.0 - 1.73 = 4.4 \text{m}$$

减去安全余量 0.5m，实为 3.9m 以下。

即泵可安装在河水面上不超过 3.9m 的地方。

48. 常压贮槽内装有某石油产品，在贮存条件下其密度为 760 kg/m^3 。现将该油品送入反应釜中，输送管路为 $\phi 57 \times 2 \text{mm}$ ，由液面到设备入口的升扬高度为 5m，流量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。釜内压力为 148kPa（表压），管路的压头损失为 5m（不包括出口阻力）。试选择一台合适的油泵。

$$\text{解: } u = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{15/3600}{0.785 \times 0.053^2} = 1.89 \text{m/s}$$

在水槽液面 1-1' 与输送管内侧 2-2' 面间列柏努力方程，简化有：

$$H_e = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{1}{2g} u_2^2 + \sum h_f$$

$$H_e = 5 + \frac{148 \times 10^3}{760 \times 9.81} + \frac{1}{2 \times 9.81} \times 1.89^2 + 5 = 30.03 \text{m}$$

由 $Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ $H_e = 30.03 \text{m}$ ，查油泵样本，选泵 60Y-60B 其性能为：

流量 $19.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 压头 38m 轴功率 3.75kW

效率 55% 气蚀余量 2.6m

49. 现从一气柜向某设备输送密度为 1.36 kg/m^3 的气体，气柜内的压力为 650Pa（表压），设备内的压力为 102.1kPa（绝压）。通风机输出管路的流速为 12.5m/s，管路中的压力损失为 500Pa。试计算管路中所需的全风压。（设大气压力为 101.3kPa）

$$\text{解: } p_T = (p_2 - p_1) + \frac{\rho}{2} u_2^2 + \Delta p_f$$

$$\begin{aligned}
&= [(102.1 - (101.3 + 0.65))] \times 10^3 + \frac{1.36}{2} \times 12.5^2 + 500 \\
&= 756.25 \text{Pa}
\end{aligned}$$