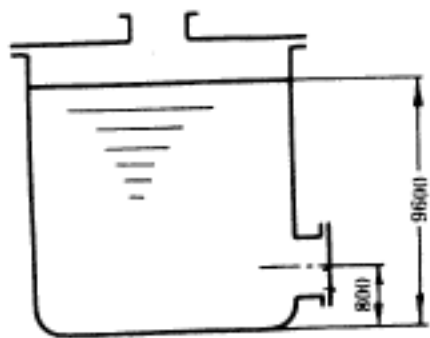


第一章 流体流动

2. 在本题附图所示的储油罐中盛有密度为 960 kg/m^3 的油品，油面高于罐底 6.9 m ，油面上方为常压。在罐侧壁的下部有一直径为 760 mm 的圆孔，其中心距罐底 800 mm ，孔盖用 14 mm 的钢制螺钉紧固。若螺钉材料的工作应力取为 $39.23 \times 10^6\text{ Pa}$ ，



习题 2 附图

问至少需要几个螺钉？

分析：罐底产生的压力不能超过螺钉的工作应

力 即

$$P_{\text{油}} \leq \sigma_{\text{螺}}$$

解 $P_{\text{螺}} = \rho gh \times A = 960 \times 9.81 \times (9.6 - 0.8) \times$

$$3.14 \times 0.76^2$$

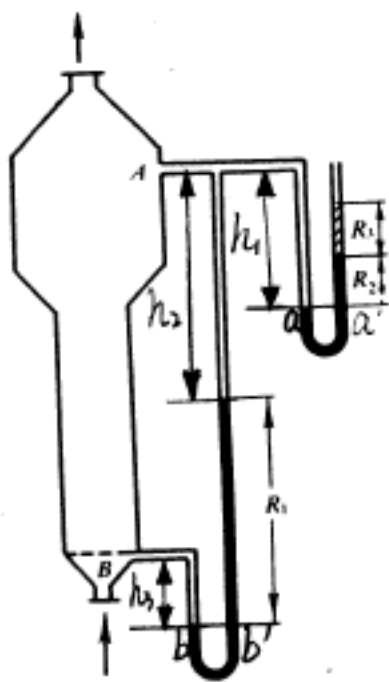
$$150.307 \times 10^3\text{ N}$$

$$\sigma_{\text{螺}} = 39.03 \times 10^3 \times 3.14 \times 0.014^2 \times n$$

$$P_{\text{油}} \leq \sigma_{\text{螺}} \text{ 得 } n \geq 6.23$$

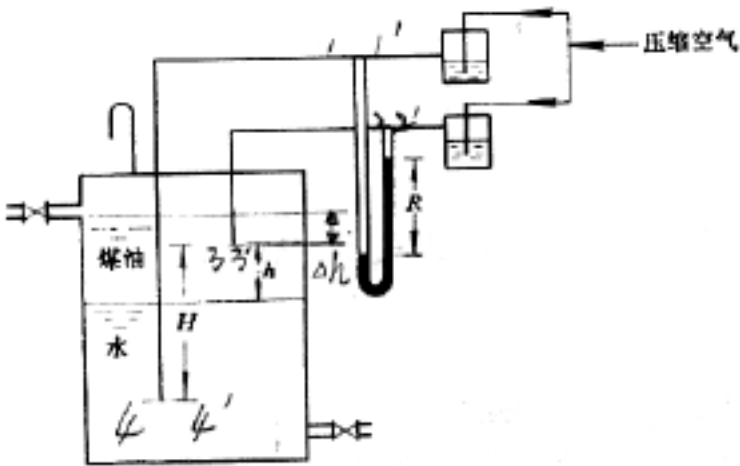
$$\text{取 } n_{\text{min}} = 7$$

至少需要 7 个螺钉



习题 3 附图

3. 某流化床反应器上装有两个 U 型管压差计，如本题附



习题 4 附图

4.

本题附图为
远距离测量
控制装置，
用以测定分
相槽内煤油

和水的两相界面位置。已知两吹气管出口的距离 $H = 1\text{ m}$ ，U 管压差计的指示液为水银，煤油的密度为 820 Kg/m^3 。试求当压差计读数 $R = 68\text{ mm}$ 时，相界面与油层

的吹气管出口距离 h 。

分析：解此题应选取的合适的截面如图所示：忽略空气产生的压强，本题中 $1-1'$ 和 $4-4'$ 为等压面， $2-2'$ 和 $3-3'$ 为等压面，且 $1-1'$ 和 $2-2'$ 的压强相等。根据静力学基本方程列出一个方程组求解

解：设插入油层气管的管口距油面高 Δh

在 $1-1'$ 与 $2-2'$ 截面之间

$$P_1 = P_2 + \rho_{\text{水银}} gR$$

$$\because P_1 = P_4, P_2 = P_3$$

$$\text{且 } P_3 = \rho_{\text{煤油}} g \Delta h, P_4 = \rho_{\text{水}} g (H-h) + \rho_{\text{煤油}} g (\Delta h + h)$$

联立这几个方程得到

$$\rho_{\text{水银}} gR = \rho_{\text{水}} g (H-h) + \rho_{\text{煤油}} g (\Delta h + h) - \rho_{\text{煤油}} g \Delta h \text{ 即}$$

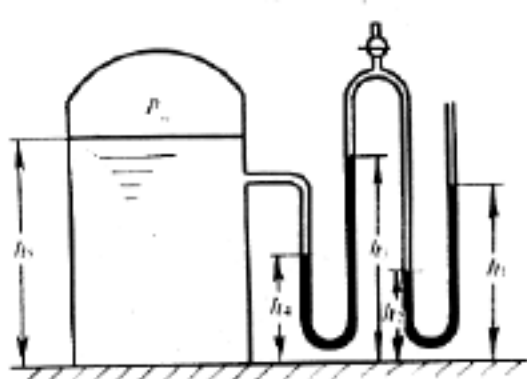
$$\rho_{\text{水银}} gR = \rho_{\text{水}} gH + \rho_{\text{煤油}} gh - \rho_{\text{水}} gh \text{ 代入数据}$$

$$1.0^3 \times 10^3 \times 1 - 13.6 \times 10^3 \times 0.068 = h(1.0 \times 10^3 - 0.82 \times 10^3)$$

$$h = 0.418 \text{ m}$$

5. 用本题附图中串联 U 管压差计测量蒸汽锅炉水面上方的蒸气压，U 管压差计的指示液为水银，两 U 管间的连接管内充满水。以知水银面与基准面的垂直距离分别为： $h_1 = 2.3 \text{ m}$, $h_2 = 1.2 \text{ m}$, $h_3 = 2.5 \text{ m}$, $h_4 = 1.4 \text{ m}$ 。锅中水面与基准面之间的垂直距离 $h_5 = 3 \text{ m}$ 。大气压强 $p_a = 99.3 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

试求锅炉上方水蒸气的压强 P 。



习题 5 附图

分析：首先选取合适的截面用以连接两个 U 管，本题应选取如图所示的 $1-1$ 截面，再选取等压面，最后根据静力学基本原理列出方程，求解

解：设 $1-1$ 截面处的压强为 P_1

对左边的 U 管取 $a-a$ 等压面，由静力学

基本方程

$$P_0 + \rho_{\text{水}} g(h_5 - h_4) = P_1 + \rho_{\text{水银}} g(h_3 - h_4) \text{ 代入数据}$$

$$P_0 + 1.0 \times 10^3 \times 9.81 \times (3 - 1.4) \\ = P_1 + 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times (2.5 - 1.4)$$

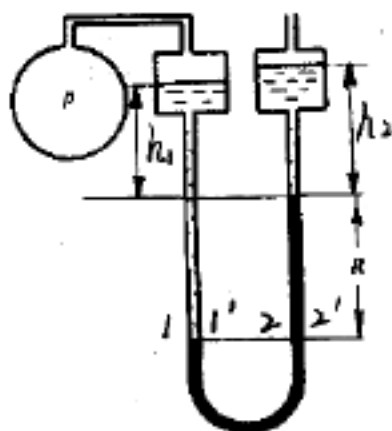
对右边的U管取 b-b 等压面，由静力学基本方程 $P_1 + \rho_{\text{水}} g(h_3 - h_2) = \rho_{\text{水}} g(h_1 - h_2) + p_a$ 代入数据

$$P_1 + 1.0 \times 10^3 \times 9.81 \times (2.5 - 1.2) = 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times (2.3 - 1.2) + 99.3 \times 10^3$$

解着两个方程 得

$$P_0 = 3.64 \times 10^5 \text{ Pa}$$

6. 根据本题附图所示的微差压差计的读数，计算管路中气体的表压强 p 。压差计中以油和水为指示液，其密度分别为 920 kg/m^3 ， 998 kg/m^3 ，U管中油、水交接面高度差 $R = 300 \text{ mm}$ ，两扩大室的内径 D 均为 60 mm ，U管内径 d 为 6 mm 。当管路内气体压强等于大气压时，两扩大室液面平齐。



习题 6 附图

分析：此题的关键是找准等压面，根据扩大室一端与大气相通，另一端与管路相通，可以列出两个方程，联立求解

解：由静力学基本原则，选取 1-1' 为等压面，

对于U管左边 $p_{\text{表}} + \rho_{\text{油}} g(h_1 + R) = P_1$

对于U管右边 $P_2 = \rho_{\text{水}} gR + \rho_{\text{油}} gh_2$

$$p_{\text{表}} = \rho_{\text{水}} gR + \rho_{\text{油}} gh_2 - \rho_{\text{油}} g(h_1 + R) \\ = \rho_{\text{水}} gR - \rho_{\text{油}} gR + \rho_{\text{油}} g(h_2 - h_1)$$

当 $p_{\text{表}} = 0$ 时，扩大室液面平齐 即 $\pi (D/2)^2 (h_2 - h_1) = \pi (d/2)^2 R$

2R

$$h_2 - h_1 = 3 \text{ mm}$$

$$p_{\text{表}} = 2.57 \times 10^2 \text{ Pa}$$

7. 列管换热气的管束由 121 根 $\phi \times 2.5 \text{ mm}$ 的钢管组成。空气以 9 m/s 速度在列管内流动。空气在管内的平均温度为 50°C 、压强为 $196 \times 10^3 \text{ Pa}$ (表压)，当

地大气压为 $98.7 \times 10^3 \text{Pa}$

试求：(1) 空气的质量流量；(2) 操作条件下，空气的体积流量；(3) 将(2)的计算结果换算成标准状况下空气的体积流量。

解：空气的体积流量 $V_s = uA = 9 \times \pi/4 \times 0.02^2 \times 121 = 0.342 \text{ m}^3/\text{s}$

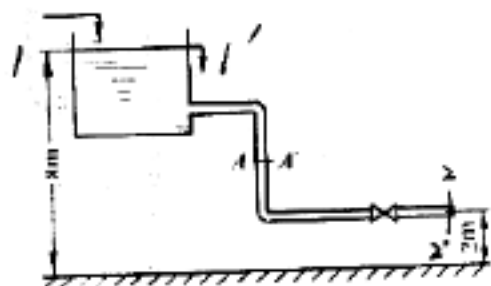
质量流量 $w_s = V_s \rho = V_s \times (MP)/(RT)$

$$= 0.342 \times [29 \times (98.7 + 196)] / [8.315 \times 323] = 1.09 \text{ kg/s}$$

换算成标准状况 $V_1 P_1 / V_2 P_2 = T_1 / T_2$

$$V_{s2} = P_1 T_2 / P_2 T_1 \times V_{s1} = (294.7 \times 273) / (101 \times 323) \times 0.342$$

$$= 0.843 \text{ m}^3/\text{s}$$



习题8附图

8. 高位槽内的水面高于地面 8m，水从 $\phi 108 \times 4 \text{mm}$ 的管道中流出，管路出口高于地面 2m。在本题特定条件下，水流经系统的能量损失可按 $\Sigma h_f = 6.5 u^2$ 计算，其中 u 为水在管道的流速。试计算：

(1) A—A 截面处水的流速；

(2) 水的流量，以 m^3/h 计。

分析：此题涉及的是流体动力学，有关流体动力学主要是能量恒算问题，一般运用的是柏努力方程式。运用柏努力方程式解题的关键是找准截面和基准面，对于本题来说，合适的截面是高位槽 1—1 和出管口 2—2，如图所示，选取地面为基准面。

解：设水在水管中的流速为 u ，在如图所示的 1—1，2—2 处列柏努力方程

$$Z_1 g + 0 + P_1 / \rho = Z_2 g + u^2 / 2 + P_2 / \rho + \Sigma h_f$$

$$(Z_1 - Z_2) g = u^2 / 2 + 6.5 u^2 \quad \text{代入数据}$$

$$(8 - 2) \times 9.81 = 7 u^2, \quad u = 2.9 \text{ m/s}$$

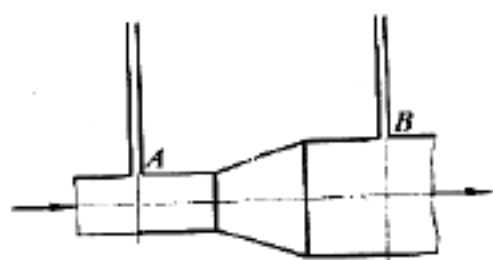
换算成体积流量

$$V_s = uA = 2.9 \times \pi/4 \times 0.1^2 \times 3600$$

$$= 82 \text{ m}^3/\text{h}$$

9. 20°C 水以 2.5m/s 的流速流经 $\phi 38 \times 2.5\text{mm}$ 的水平管，此管以锥形管和另一 $\phi 53 \times 3\text{mm}$ 的水平管相连。如本题附图所示，在锥形管两侧 A、B 处各插入一垂直玻璃管以观察两截面的压强。若水流经 A、B 两截面的能量损失为 1.5J/kg ，求两玻璃管的水面差（以 mm 计），并在本题附图中画出两玻璃管中水面的相对位置。

分析：根据水流过 A、B 两截面的体积流量相同和此两截面处的伯努利方程列等式求解



习题 9 附图

解：设水流经 A、B 两截面处的流速分别为

$$u_A, u_B$$

$$u_A A_A = u_B A_B$$

$$\therefore u_B = (A_A / A_B) u_A = (33/47) \times 2.5 =$$

$$1.23\text{m/s}$$

在 A、B 两截面处列柏努力方程

$$Z_1 g + u_1^2 / 2 + P_1 / \rho = Z_2 g + u_2^2 / 2 + P_2 / \rho + \sum h_f$$

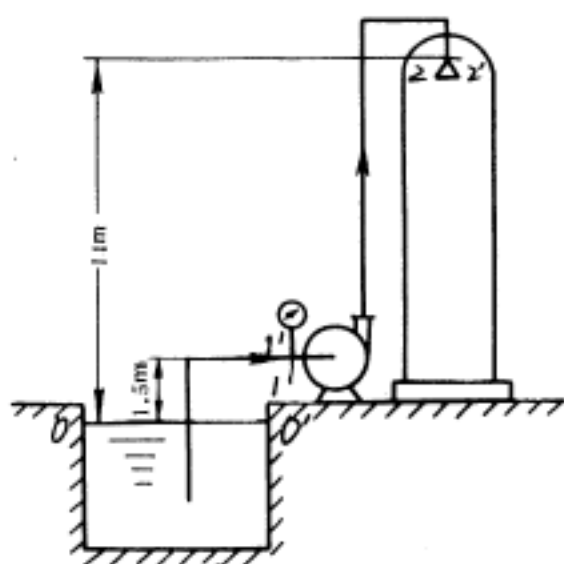
$$2. \therefore (P_1 - P_2) / \rho = \sum h_f + (u_1^2 - u_2^2) / 2$$

$$g(h_1 - h_2) = 1.5 + (1.23^2 - 2.5^2) / 2$$

$$h_1 - h_2 = 0.0882 \text{ m} = 88.2 \text{ mm}$$

即 两玻璃管的水面差为 88.2mm

10. 用离心泵把 20°C 的水从贮槽送至水洗塔顶部，槽内水位维持恒定，各部分相对位置如本题附图所示。管路的直径均为 $\phi 76 \times 2.5\text{mm}$ ，在操作条件下，



习题 10 附图

泵入口处真空表的读数为 24.66×10

^3Pa ，水流经吸入管与排出管（不包括

喷头）的能量损失可分别按 $\sum h_{f,1} = 2u$

2 ， $\sum h_{f,2} = 10u^2$ 计算，由于管径不变，

故式中 u 为吸入或排出管的流速 m

$/\text{s}$ 。排水管与喷头连接处的压强为

98.07×10³Pa（表压）。试求泵的有效功率。

分析：此题考察的是运用柏努力方程求管路系统所要求的有效功率把整个系统分成两部分来处理，从槽面到真空表段的吸入管和从真空表到排出口段的排出管，在两段分别列柏努力方程。

解：总能量损失 $\sum h_f = \sum h_{f,1} + \sum h_{f,2}$

$$u_1 = u_2 = u = 2u_2 + 10u_2^2 = 12u_2^2$$

在截面与真空表处取截面作方程：
$$\frac{z_0}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_0^2}{2} + \frac{P_0}{\rho} = \frac{z_1}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + \sum h_{f,1}$$

$h_{f,1}$

$$\left(\frac{P_0}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} \right) = \frac{z_1}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_1^2}{2} + \sum h_{f,1} \quad \therefore u = 2 \text{ m/s}$$

$$\therefore W = uA\rho = 7.9 \text{ kg/s}$$

在真空表与排水管-喷头连接处取截面
$$\frac{z_1}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + W_e = \frac{z_2}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + \sum h_{f,2}$$

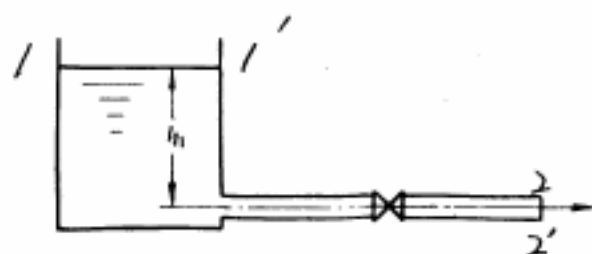
$\rho + \sum h_{f,2}$

$$\therefore W_e = \frac{z_2}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + \sum h_{f,2} - \left(\frac{z_1}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} \right)$$

$$= 12.5 \times 9.81 + (98.07 + 24.66) / 998.2 \times 10^3 + 10 \times 2^2$$

$$= 285.97 \text{ J/kg}$$

$$N = W_e W = 285.97 \times 7.9 = 2.26 \text{ kw}$$



习题 11 附图

11. 本题附图所示的贮槽内径D为2m，

槽底与内径d₀为33mm的钢管相连，槽内无液体补充，其液面高度h₀为2m（以管子中心线为基准）。液体在本题管内流动时的全部能量损失可按 $\sum h_f = 20u^2$ 公式来计算，式中u为液

体在管内的流速 m/s。试求当槽内液面下降1m所需的时间。

分析：此题看似一个普通的解柏努力方程的题，分析题中槽内无液体补充，则管内流速并不是一个定值而是一个关于液面高度的函数，抓住槽内和管内的体积流量相等列出一个微分方程，积分求解。

解：在槽面处和出口管处取截面 1-1，2-2 列柏努力方程

$$\frac{h_1}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{h_2}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + \sum h_f = \frac{h_2}{\rho} + \frac{g}{2} + \frac{u_2^2}{2} + 20u_2^2$$

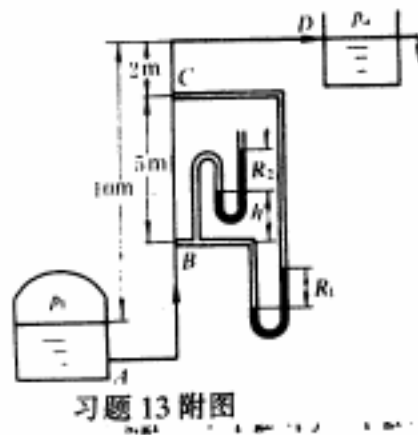
$$\therefore u = (0.48h)^{1/2} = 0.7h^{1/2}$$

槽面下降 dh ，管内流出 $uA dt$ 的液体

$$\therefore A dh = uA dt = 0.7 h^{1/2} A dt$$

$$\therefore dt = A dh / (A 0.7 h^{1/2})$$

对上式积分： $t = 1.8h$



习题 13 附图

13. 用压缩空气将密度为 1100 kg/m^3 的腐蚀性液体自低位槽送到高位槽，两槽的液位恒定。

管路直径均为 $\phi 60 \times 3.5 \text{ mm}$ ，其他尺寸见本题附图。

各管段的能量损失为 $\sum h_{f, AB} = \sum h_{f, CD} = u^2$ ， $\sum h_{f, BC} = 1.18u^2$ 。两压差计中的指示液均为水银。试

求当 $R = 45 \text{ mm}$ ， $h = 200 \text{ mm}$ 时：（1）压缩空气的压强 P 为若干？（2）U 管差压计读数 R 为多少？

解：对上下两槽取截面列柏努力方程

$$0 + 0 + P_1 / \rho = Zg + 0 + P_2 / \rho + \sum h_f$$

$$\therefore P_1 = Zg \rho + 0 + P_2 + \rho \sum h_f$$

$$= 10 \times 9.81 \times 1100 + 1100 (2u^2 + 1.18u^2)$$

$$= 107.91 \times 10^3 + 3498u^2$$

在压强管的 B，C 处去取截面，由流体静力学方程得

$$P_B + \rho g (x + R) = P_C + \rho g (h + x) + \rho R g$$

$$P_B + 1100 \times 9.81 \times (0.045 + x) = P_C + 1100 \times 9.81 \times (5 + x) + 13.6 \times 10^3 \times 9.81$$

$$\times 0.045$$

$$P_B - P_C = 5.95 \times 10^4 \text{ Pa}$$

在 B，C 处取截面列柏努力方程

$$0 + u^2/2 + P_B / \rho = Zg + u^2/2 + P_C / \rho + \sum h_{f, BC}$$

$$\therefore \text{管径不变，} \therefore u_B = u_C$$

$$P_B - P_C = \rho (Zg + \sum h_{f, BC}) = 1100 \times (1.18u^2 + 5 \times 9.81) = 5.95 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$u = 4.27 \text{ m/s}$$

压缩槽内表压 $P = 1.23 \times 10^5 \text{Pa}$

(2) 在 B, D 处取截面作柏努力方程

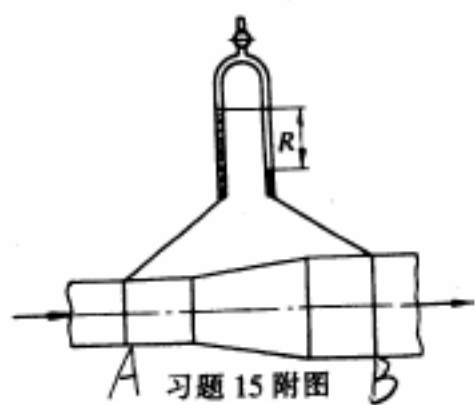
$$0 + u_B^2/2 + P_B/\rho = Z_B g + 0 + 0 + \sum_{f, BC} h + \sum_{f, CD} h$$

$$P_B = (7 \times 9.81 + 1.18 u_B^2 + u_B^2 - 0.5 u_B^2) \times 1100 = 8.35 \times 10^4 \text{Pa}$$

$$P_B - \rho g h = \rho \frac{R g}{2}$$

$$8.35 \times 10^4 - 1100 \times 9.81 \times 0.2 = 13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times R$$

$$R = 609.7 \text{mm}$$



习题 15 附图

15. 在本题附图所示的实验装置中, 于异径水平管段两截面间连一倒置 U 管压差计, 以测量两截面的压强差。当水的流量为 10800kg/h 时, U 管压差计读数 R 为 100mm , 粗细管的直径分别为 $\Phi 60 \times 3.5 \text{mm}$ 与 $\Phi 45 \times 3.5 \text{mm}$ 。计算: (1) 1kg 水流经两截面间的能量损失。(2)

与该能量损失相当的压强降为若干 Pa ?

解 (1) 先计算 A, B 两处的流速:

$$u_A = w / \rho s_A = 2.95 \text{m/s}, u_B = w / \rho s_B$$

在 A, B 截面处作柏努力方程:

$$z_A g + u_A^2/2 + P_A/\rho = z_B g + u_B^2/2 + P_B/\rho + \sum h_f$$

$\therefore 1 \text{kg}$ 水流经 A, B 的能量损失:

$$\sum h_f = (u_A^2 - u_B^2)/2 + (P_A - P_B)/\rho = (u_A^2 - u_B^2)/2 + \rho g R/\rho = 4.41 \text{J/kg}$$

(2) . 压强降与能量损失之间满足:

$$\sum h_f = \Delta P/\rho \quad \therefore \Delta P = \rho \sum h_f = 4.41 \times 10^3$$

16. 密度为 850kg/m^3 , 粘度为 $8 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 的液体在内径为 14mm 的钢管内流动, 溶液的流速为 1m/s 。试计算: (1) 雷诺准数, 并指出属于何种流型? (2) 局部速度等于平均速度处与管轴的距离; (3) 该管路为水平管, 若上游压强为 $147 \times 10^3 \text{Pa}$, 液体流经多长的管子其压强才下降到 $127.5 \times 10^3 \text{Pa}$?

解 (1) $Re = du \rho / \mu$

$$= (14 \times 10^{-3} \times 1 \times 850) / (8 \times 10^{-3})$$

$$= 1.49 \times 10^3 > 2000$$

∴ 此流体属于滞流型

(2) 由于滞流行流体流速沿管径按抛物线分布，令管径和流速满足

$$y^2 = -2p(u - u_m)$$

$$\text{当 } u=0 \text{ 时, } y^2 = r^2 = 2pu_m \quad \therefore p = r^2/2 = d^2/8$$

$$\text{当 } u = u_{\text{平均}} = 0.5 u_{\text{max}} = 0.5 \text{ m/s 时,}$$

$$y^2 = -2p(0.5 - 1) = d^2/8$$

$$= 0.125 d^2$$

$$\therefore \text{即与管轴的距离 } r = 4.95 \times 10^{-3} \text{ m}$$

(3) 在 147×10^3 和 127.5×10^3 两压强面处列伯努利方程

$$u_1^2/2 + P_A/\rho + Z_1 g = u_2^2/2 + P_B/\rho + Z_2 g + \sum h_f$$

$$\therefore u_1 = u_2, Z_1 = Z_2$$

$$\therefore P_A/\rho = P_B/\rho + \sum h_f$$

$$\text{损失能量 } h_f = (P_A - P_B) / \rho = (147 \times 10^3 - 127.5 \times 10^3) / 850 \\ = 22.94$$

∴ 流体属于滞流型

∴ 摩擦系数与雷诺数之间满足 $\lambda = 64 / \text{Re}$

$$\text{又 } h_f = \lambda \times (l/d) \times 0.5 u^2$$

$$\therefore l = 14.95 \text{ m}$$

∴ 输送管为水平管，∴ 管长即为管子的当量长度

即：管长为 14.95m

19. 内截面为 $1000 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ 的矩形烟囱的高度为 30 m 。平均分子量为 30 kg/kmol ，平均温度为 400°C 的烟道气自下而上流动。烟囱下端维持 49 Pa 的真空度。在烟囱高度范围内大气的密度可视为定值，大气温度为 20°C ，地面处的大气压强为 $101.33 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。流体经烟囱时的摩擦系数可取为 0.05 ，试求烟

道气的流量为若干 kg/h?

解：烟囱的水力半径 $r_H = A/\pi = (1 \times 1.2)/2(1+1.2) = 0.273\text{m}$

当量直径 $d = 4r_H = 1.109\text{m}$

流体流经烟囱损失的能量

$$\sum h_f = \lambda \cdot (l/d) \cdot u^2/2$$

$$= 0.05 \times (30/1.109) \times u^2/2$$

$$= 0.687 u^2$$

空气的密度 $\rho_{\text{空气}} = PM/RT = 1.21\text{Kg/m}^3$

烟囱的上表面压强（表压） $P_{\text{上}} = -\rho_{\text{空气}} gh = 1.21 \times 9.81 \times 30$

$$= -355.02 \text{ Pa}$$

烟囱的下表面压强（表压） $P_{\text{下}} = -49 \text{ Pa}$

烟囱内的平均压强 $P = (P_{\text{上}} + P_{\text{下}})/2 + P_0 = 101128 \text{ Pa}$

由 $\rho = PM/RT$ 可以得到烟囱气体的密度

$$\rho = (30 \times 10^{-3} \times 101128) / (8.314 \times 673)$$

$$= 0.5422 \text{ Kg/m}^3$$

在烟囱上下表面列伯努利方程

$$P_{\text{上}}/\rho = P_{\text{下}}/\rho + Zg + \sum h_f$$

$$\therefore \sum h_f = (P_{\text{上}} - P_{\text{下}})/\rho - Zg$$

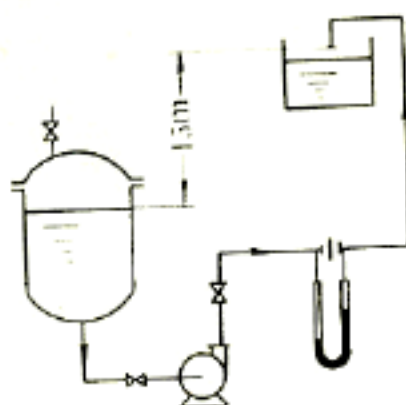
$$= (-49 + 355.02)/0.5422 - 30 \times 9.81$$

$$= 268.25 = 0.687 u^2$$

流体流速 $u = 19.76 \text{ m/s}$

质量流量 $\omega_s = uA\rho = 19.76 \times 1 \times 1.2 \times 0.5422$

$$= 4.63 \times 10^4 \text{ Kg/h}$$



习题 20 附图

20. 每小时将 $2 \times 10^3 \text{kg}$ 的溶液用泵从反应器输送到高位槽。反应器液面上方保持 $26.7 \times 10^3 \text{Pa}$ 的真空读，高位槽液面上方为大气压强。管道为的钢管，总长为 50m，管线上有两个全开的闸阀，一个孔板流量计（局

部阻力系数为 4)，5 个标准弯头。反应器内液面与管路出口的距离为 15m。若泵效率为 0.7，求泵的轴功率。

解：流体的质量流速 $\omega_s = 2 \times 10^4 / 3600 = 5.56 \text{ kg/s}$

流速 $u = \omega_s / (A \rho) = 1.43 \text{ m/s}$

雷诺准数 $Re = du \rho / \mu = 165199 > 4000$

查本书附图 1-29 得 5 个标准弯头的当量长度： $5 \times 2.1 = 10.5 \text{ m}$

2 个全开阀的当量长度： $2 \times 0.45 = 0.9 \text{ m}$

$\therefore$ 局部阻力当量长度 $\sum l_e = 10.5 + 0.9 = 11.4 \text{ m}$

假定 $1/\lambda^{1/2} = 2 \lg(d/\epsilon) + 1.14 = 2 \lg(68/0.3) + 1.14$

$\therefore \lambda = 0.029$

检验 $d/(\epsilon \times Re \times \lambda^{1/2}) = 0.008 > 0.005$

$\therefore$ 符合假定即 $\lambda = 0.029$

$\therefore$ 全流程阻力损失 $\sum h = \lambda \times (l + \sum l_e) / d \times u^2 / 2 + \zeta \times$

$u^2 / 2$

$= [0.029 \times (50 + 11.4) / (68 \times 10^{-3}) + 4]$

$\times 1.43^2 / 2$

$= 30.863 \text{ J/Kg}$

在反应槽和高位槽液面列伯努利方程得

$$P_1 / \rho + W_e = Zg + P_2 / \rho + \sum h$$

$$W_e = Zg + (P_2 - P_1) / \rho + \sum h$$

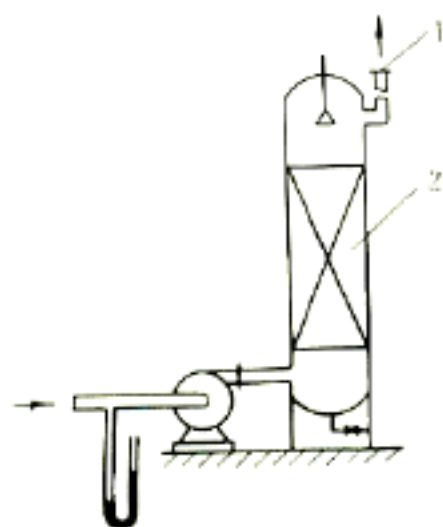
$$= 15 \times 9.81 + 26.7 \times 10^3 / 1073 + 30.863$$

$$= 202.9 \text{ J/Kg}$$

有效功率 $Ne = W_e \times \omega_s = 202.9 \times 5.56 = 1.128 \times 10^3$

轴功率 $N = Ne / \eta = 1.128 \times 10^3 / 0.7 = 1.61 \times 10^3 \text{ W}$

$= 1.61 \text{ KW}$



习题 21 附图

1—放空口 2—填料层

19. 从设备送出的废气中有少量可溶物质，在放空之前令其通过一个洗涤器，以回收这些物质进行综合利用，并避免环境

污染。气体流量为 $3600\text{m}^3/\text{h}$ ，其物理性质与 50°C 的空气基本相同。如本题附图所示，气体进入鼓风机前的管路上安装有指示液为水的 U 管压差计，起读数为 30mm 。输气管与放空管的内径均为 250mm ，管长与管件，阀门的当量长度之和为 50m ，放空机与鼓风机进口的垂直距离为 20m ，已估计气体通过塔内填料层的压强降为 $1.96 \times 10^3\text{Pa}$ 。管壁的绝对粗糙度可取 0.15mm ，大气压强为 101.33×10^3 。求鼓风机的有效功率。

解：查表得该气体的有关物性常数 $\rho = 1.093$ ， $\mu = 1.96 \times 10^{-5}\text{Pa} \cdot \text{s}$

气体流速 $u = 3600 / (3600 \times 4 / \pi \times 0.25^2) = 20.38 \text{ m/s}$

质量流量 $\omega_s = uAs = 20.38 \times 4 / \pi \times 0.25^2 \times 1.093$
 $= 1.093 \text{ Kg/s}$

流体流动的雷诺准数 $Re = du\rho / \mu = 2.84 \times 10^5$ 为湍流型

所有当量长度之和 $l_{\text{总}} = l + \sum l_e$
 $= 50\text{m}$

ε 取 0.15 时 $\varepsilon / d = 0.15 / 250 = 0.0006$ 查表得 $\lambda = 0.0189$

所有能量损失包括出口, 入口和管道能量损失

即: $\sum h = 0.5 \times u^2 / 2 + 1 \times u^2 / 2 + (0.0189 \times 50 / 0.25) \cdot u^2 / 2$
 $= 1100.66$

在 1-1、2-2 两截面处列伯努利方程

$$u_2^2 / 2 + P_1 / \rho + We = Zg + u_2^2 / 2 + P_2 / \rho + \sum h$$
$$We = Zg + (P_2 - P_1) / \rho + \sum h$$

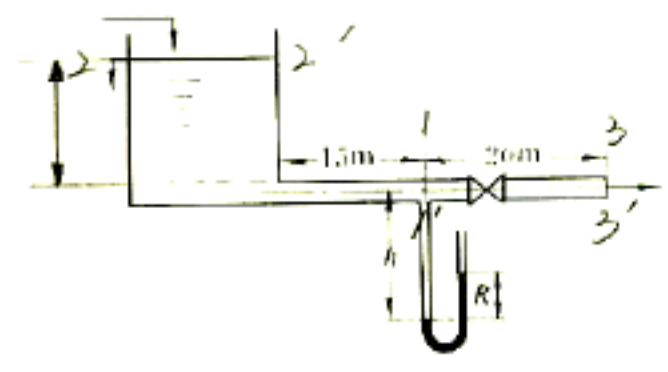
而 1-1、2-2 两截面处的压强差 $P_2 - P_1 = P_2 - \rho_{\text{水}} gh = 1.96 \times 10^3 - 10^3 \times 9.81 \times 31 \times 10^3$

$$= 1665.7 \text{ Pa}$$

$$\therefore We = 2820.83 \text{ W/Kg}$$

泵的有效功率 $Ne = We \times \omega_s =$

$$3083.2\text{W} = 3.08 \text{ KW}$$



习题 22 附图

19. 如本题附图所示，，贮水槽水位维持不变。槽底与内径为 100mm 的钢质放水管

相连，管路上装有一个闸阀，距管路入口端 15m 处安有以水银为指示液的 U 管差压计，其一臂与管道相连，另一臂通大气。压差计连接管内充满了水，测压点与管路出口端之间的长度为 20m。

(1) . 当闸阀关闭时，测得 $R=600\text{mm}$ ， $h=1500\text{mm}$ ；当闸阀部分开启时，测的 $R=400\text{mm}$ ， $h=1400\text{mm}$ 。摩擦系数可取 0.025，管路入口处的局部阻力系数为 0.5。问每小时从管中水流出若干立方米。

(2) . 当闸阀全开时，U 管压差计测压处的静压强为若干 (Pa，表压)。闸阀全开时 $l_e/d \approx 15$ ，摩擦系数仍取 0.025。

解：(1)根据流体静力学基本方程，设槽面到管道的高度为 x

$$\begin{aligned}\rho_{\text{水}} g(h+x) &= \rho_{\text{水银}} gR \\ 10^3 \times (1.5+x) &= 13.6 \times 10^3 \times 0.6 \\ x &= 6.6\text{m}\end{aligned}$$

$$\text{部分开启时截面处的压强 } P_1 = \rho_{\text{水银}} gR - \rho_{\text{水}} gh = 39.63 \times 10^3 \text{Pa}$$

在槽面处和 1-1 截面处列伯努利方程

$$\begin{aligned}Zg + 0 + 0 &= 0 + u_2^2/2 + P_1/\rho + \sum h \\ \text{而 } \sum h &= [\lambda (l + \sum l_e)/d + \zeta] \cdot u_2^2/2 \\ &= 2.125 u_2^2\end{aligned}$$

$$\therefore 6.6 \times 9.81 = u_2^2/2 + 39.63 + 2.125 u_2^2$$

$$u = 3.09/\text{s}$$

$$\text{体积流量 } \omega_s = uA\rho = 3.09 \times \pi/4 \times (0.1)^2 \times 3600 = 87.41\text{m}^3/\text{h}$$

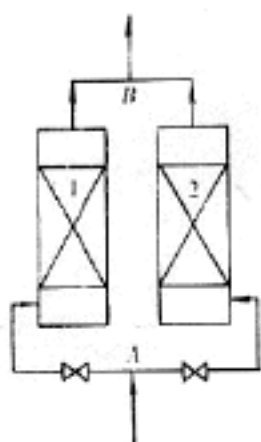
(2) 闸阀全开时 取 2-2, 3-3 截面列伯努利方程

$$Zg = u_2^2/2 + 0.5u_2^2/2 + 0.025 \times (15 + l_e/d) u_2^2/2$$

$$u = 3.47\text{m/s}$$

取 1-1、3-3 截面列伯努利方程

$$\begin{aligned}P_1/\rho &= u_2^2/2 + 0.025 \times (15 + l_e/d) u_2^2/2 \\ \therefore P_1 &= 3.7 \times 10^4 \text{Pa}\end{aligned}$$



习题 25 附图

25. 在两座尺寸相同的吸收塔内，各填充不同的填料，并以相同的管路并联组合。每条支管上均装有闸阀，两支路的管长均为 5m（均包括除了闸阀以外的管件局部阻力的当量长度），管内径为 200mm。通过填料层的能量损失可分别折算为 $5u_1^2$ 与 $4u_2^2$ ，式中 u 为 气体在管内的流速 m/s ，气体在支管内流动的摩擦系数为 0.02。管路的气体总流量为 $0.3m^3/s$ 试求：（1）两阀全开时，两塔的通气量；（2）附图中 AB 的能量损失。

分析：并联两管路的能量损失相等，且各等于管路 总的能量损失，各个管路的能量损失由两部分组成，一是气体在支管内流动产生的，而另一部分是气体通过填料层所产生的，即 $\sum h_f = \lambda \cdot (l + \sum l_e / d) \cdot u^2 / 2 + h_{f\text{填}}$ 而且并联管路气体总流量为个支路之和，即 $V = V_{s1} + V_{s2}$

解：(1)两阀全开时，两塔的通气量

由本书附图 1—29 查得 $d=200mm$ 时阀线的当量长度 $l_e = 150m$

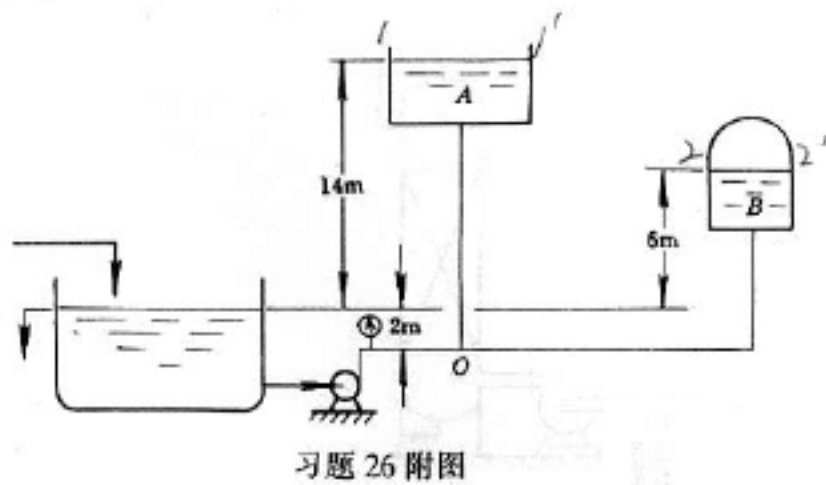
$$\begin{aligned}\sum h_{f1} &= \lambda \cdot (l_1 + \sum l_{e1} / d) \cdot u_1^2 / 2 + 5 u_1^2 \\ &= 0.02 \times (50 + 150) / 0.2 \cdot u_1^2 / 2 + 5 u_1^2 \\ \sum h_{f2} &= \lambda \cdot (l_2 + \sum l_{e2} / d) \cdot u_2^2 / 2 + 4 u_2^2 \\ &= 0.02 \times (50 + 150) / 0.2 \cdot u_2^2 / 2 + 4 u_2^2 \\ \because \sum h_{f1} &= \sum h_{f2} \\ \therefore u_1^2 / u_2^2 &= 11.75 / 12.75 \quad \text{即} \quad u_1 = 0.96 u_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{又} \because V &= V_{s1} + V_{s2} \\ &= u_1 A_1 + u_2 A_2, \quad A_1 = A_2 = (0.2)^2 \pi / 4 = 0.01 \pi \\ &= (0.96 u_2 + u_2) \cdot 0.01 \pi \\ &= 0.3\end{aligned}$$

$$\therefore u_2 = 4.875 m/s \quad u_1 A_1 = 4.68 m^3/s$$

即 两塔的通气量分别为 $V_{s1} = 0.147 m^3/s$, $V_{s2} = 0.153 m^3/s$

$$\begin{aligned}(2) \text{ 总的能量损失 } \sum h_f &= \sum h_{f1} = \sum h_{f2} \\ &= 0.02 \times 155 / 0.2 \cdot u_1^2 / 2 + 5 u_1^2 \\ &= 12.5 u_1^2 = 279.25 J/Kg\end{aligned}$$



25. 用离心泵将 20°C 水经总管分别送至 A, B 容器内, 总管流量为 $89\text{m}^3/\text{h}$, 总管直径为

$\phi 127 \times 5\text{mm}$ 。原出口压强为 $1.93 \times 10^5\text{Pa}$, 容器 B 内水面上方表压为 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$, 总管的流动阻力可

忽略, 各设备间的相对位置如本题附图所示。试求: (1) 离心泵的有效压头 H_e ; (2) 两支管的压头损失 $H_{f, o-A}$, $H_{f, o-B}$ 。

解 (1) 离心泵的有效压头

总管流速 $u = V/A$

$$\text{而 } A = 3600 \times \pi / 4 \times (117)^2 \times 10^{-6}$$

$$u = 2.3\text{m/s}$$

在原水槽处与压强计管口处去截面列伯努利方程

$$Z_0 g + W_e = u^2/2 + P_0/\rho + \sum h_f \quad \because \text{总管流动阻力不计 } \sum h_f = 0$$

$$W_e = u^2/2 + P_0/\rho - Z_0 g$$

$$= 2.3^2/2 + 1.93 \times 10^5/998.2 - 2 \times 9.81$$

$$= 176.38\text{J/Kg}$$

$$\therefore \text{有效压头 } H_e = W_e/g = 17.98\text{m}$$

(2) 两支管的压头损失

在贮水槽和 A、B 表面分别列伯努利方程

$$Z_0 g + W_e = Z_1 g + P_1/\rho + \sum h_{f1}$$

$$Z_0 g + W_e = Z_2 g + P_2/\rho + \sum h_{f2}$$

得到两支管的能量损失分别为

$$\sum h_{f1} = Z_0 g + W_e - (Z_1 g + P_1/\rho)$$

$$= 2 \times 9.81 + 176.38 - (16 \times 9.81 + 0)$$

$$= 39.04\text{J/Kg}$$

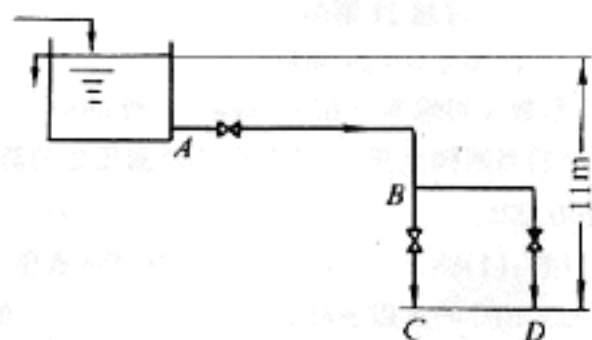
$$\sum h_{f2} = Z_0 g + W_e - (Z_2 g + P_2/\rho)$$

$$= 2 \times 9.81 + 176.38 - (8 \times 9.81 + 101.33 \times 10^3/998.2)$$

$$= 16.0\text{J/Kg}$$

$$\therefore \text{压头损失} \quad H = \sum_{f1} h_{f1} / g = 3.98 \text{ m}$$

$$H = \sum_{f2} h_{f2} / g = 1.63 \text{ m}$$



习题 28 附图

28. 本题附图所示为一输水系统，高位槽的水面维持恒定，水分别从 BC 与 BD 两支管排出，高位槽液面与两支管出口间的距离为 11m，AB 段内径为 38mm，长为 58m；BC 支管内径为 32mm，长为 12.5m；BD 支管的内径为 26mm，长为 14m，各段管长均包括管件及阀门全开时的

的当量长度。AB 与 BC 管的摩擦系数为 0.03。试计算：

(1) 当 BD 支管的阀门关闭时，BC 支管的最大排水量为若干 m^3/h ？

(2) 当所有的阀门全开时，两支管的排水量各为若干 m^3/h ？BD 支管的管壁

绝对粗糙度为 0.15mm，水的密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，粘度为 $0.001\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

分析：当 BD 支管的阀门关闭时，BC 管的流量就是 AB 总管的流量；当所有的阀门全开时，AB 总管的流量应为 BC，BD 两管流量之和。而在高位槽内，水流速度可以认为忽略不计。

解：(1) BD 支管的阀门关闭

$$V_{S, AB} = V_{S, BC} \quad \text{即}$$

$$u_0 A_0 = u_1 A_1 \quad u_0 \pi 38^2/4 = u_1 \pi 32^2/4$$

$$\therefore u_0 = 0.71 u_1$$

分别在槽面与 C-C, B-B 截面处列出伯努利方程

$$0 + 0 + Z_0 g = u_1^2/2 + 0 + 0 + \sum_{f, AC} h$$

$$0 + 0 + Z_1 g = u_0^2/2 + 0 + 0 + \sum_{f, AB} h$$

$$\text{而} \sum_{f, AC} h = \lambda \cdot (l_{AB}/d) \cdot u_0^2/2 + \lambda \cdot (l_{BC}/d) \cdot u_1^2/2$$

$$= 0.03 \times (58000/38) \times u_0^2/2 + 0.03 \cdot (12500/32) \times u_1^2/2$$

$$= 22.89 u_0^2 + 5.86 u_1^2$$

$$\sum_{f, AB} h = \lambda \cdot (l_{AB}/d) \cdot u_0^2/2$$

$$= 0.03 \times (58000/38) \times u_0^2/2$$

$$= 22.89 u_0^2$$

$$\therefore u_1 = 2.46 \text{ m/s}$$

$$\text{BC 支管的排水量 } V_{S, BC} = u_1 A_1 = 7.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

(2) 所有的阀门全开

$$V_{S, AB} = V_{S, BC} + V_{S, BD}$$

$$u_0 A_0 = u_1 A_1 + u_2 A_2 \quad u_0 \pi 38^2/4 = u_1 \pi 32^2/4 + u_2 \pi 26^2/4$$

$$u_0 38^2 = u_1 32^2 + u_2 26^2 \quad \text{①}$$

假设在 BD 段满足 $1/\lambda^{1/2} = 2 \lg(d/\varepsilon) + 1.14$

$$\therefore \lambda_D = 0.0317$$

同理在槽面与 C-C, D-D 截面处列出伯努利方程

$$Z_0 g = u_1^2/2 + \sum_{f, AC} h$$

$$= u_1^2/2 + \lambda \cdot (l_{AB}/d) \cdot u_0^2/2 + \lambda \cdot (l_{BC}/d) \cdot u_1^2/2 \quad \text{②}$$

$$Z_0 g = u_2^2/2 + \sum_{f, AD} h$$

$$= u_2^2/2 + \lambda \cdot (l_{AB}/d) \cdot u_0^2/2 + \lambda \cdot (l_{BD}/d) \cdot u_2^2/2 \quad \text{③}$$

$$\text{联立①②③求解得到 } u_1 = 1.776 \text{ m/s}, \quad u_2 = 1.49 \text{ m/s}$$

$$\text{核算 } Re = du\rho/\mu = 26 \times 10^{-3} \times 1.49 \times 10^3 / 0.001 = 38.74 \times 10^3$$

$$(d/\varepsilon)/Re \lambda^{1/2} = 0.025 > 0.005$$

$\therefore$ 假设成立

$$\text{即 D, C 两点的流速 } u_1 = 1.776 \text{ m/s}, \quad u_2 = 1.49 \text{ m/s}$$

$$\therefore \text{BC 段和 BD 的流量分别为 } V_{S, BC} = 32 \times 10 \times (\pi/4) \times 3600 \times 1.776 \\ = 5.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{S, BD} = 26 \times 10 \times (\pi/4) \times 3600 \times 1.49 \\ = 2.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

28. 在 $\Phi 38 \times 2.5 \text{ mm}$ 的管路上装有标准孔板流量计，孔板的孔径为 16.4 mm ，管中流动的是 20°C 的苯，采用角接取压法用 U 管压差计测量孔板两测的压强差，以水银为指示液，策压连接管中充满甲苯。测得 U 管压差计的读数为 600 mm ，试计算管中甲苯的流量为若干 kg/h ？

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/166234022013010204>