

一元流体动力学基础

1. 直径为 150mm 的给水管道, 输水量为 980.7 kN/h , 试求断面平均流速。

解: 由流量公式 $Q = \rho v A$ 注意: ($\text{kN/h} \rightarrow \text{kg/s} \Rightarrow Q = \rho v A$)

$$v = \frac{Q}{\rho A} \quad \text{得: } v = 1.57 \text{ m/s}$$

2. 断面为 $300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 的矩形风道, 风量为 $2700 \text{ m}^3/\text{h}$, 求平均流速. 如风道出口处断面收缩为 $150 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 求该断面的平均流速

解: 由流量公式 $Q = vA$ 得: $v = \frac{Q}{A}$

由连续性方程知 $v_1 A_1 = v_2 A_2$ 得: $v_2 = 12.5 \text{ m/s}$

3. 水从水箱流经直径 $d_1=10 \text{ cm}$, $d_2=5 \text{ cm}$, $d_3=2.5 \text{ cm}$ 的管道流入大气中. 当出口流速 10 m/s 时, 求

(1) 容积流量及质量流量; (2) d_1 及 d_2 管段的流速

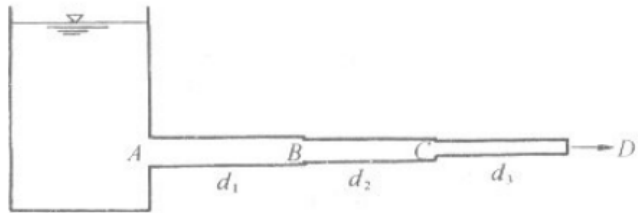
解: (1) 由 $Q = v_3 A_3 = 0.0049 \text{ m}^3/\text{s}$

质量流量 $\rho Q = 4.9 \text{ kg/s}$

(2) 由连续性方程:

$$v_1 A_1 = v_3 A_3, v_2 A_2 = v_3 A_3$$

得: $v_1 = 0.625 \text{ m/s}, v_2 = 2.5 \text{ m/s}$



4. 设计输水量为 294210 kg/h 的给水管道, 流速限制在 $0.9 \sim 1.4 \text{ m/s}$ 之间. 试确定管道直

径, 根据所选直径求流速. 直径应是 50 mm 的倍数。

解: $Q = \rho v A$ 将 $v = 0.9 \sim 1.4 \text{ m/s}$ 代入得 $d = 0.343 \sim 0.275 \text{ m}$

\therefore 直径是 50 mm 的倍数, 所以取 $d = 0.3 \text{ m}$

代入 $Q = \rho v A$ 得 $v = 1.18 \text{ m/s}$

5. 圆形风道, 流量是 $10000 \text{ m}^3/\text{h}$, 流速不超过 20 m/s . 试设计直径, 根据所定直径求流速. 直径规定为 50 mm 的倍数。

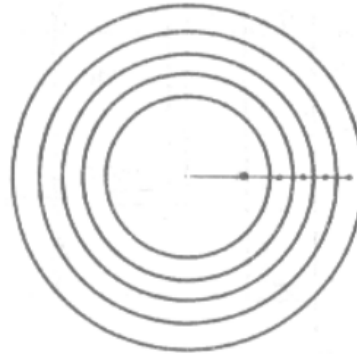
解: $Q = vA$ 将 $v \leq 20 \text{ m/s}$ 代入得: $d \geq 420.5 \text{ mm}$ 取 $d = 450 \text{ mm}$

代入 $Q = vA$ 得: $v = 17.5 \text{ m/s}$

6. 在直径为 d 圆形风道断面上, 用下法选定五个点, 以测局部风速。设想用和管轴同心但不同半径的圆周, 将全部断面分为中间是圆, 其他是圆环的五个面积相等的部分。测点即位于等分此部分面积的圆周上, 这样测得的流速代表相应断面的平均流速。(1) 试计算各测点到管心的距离, 表为直径的倍数。(2) 若各点流速为 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 , 空气密度为 ρ , 求质量流量 G 。

解: (1) 由题设得测点到管心的距离依次为 r_1, \dots, r_5

$$\begin{aligned} \pi r_1^2 &= \frac{S}{10} & r_1 &= \frac{d}{2\sqrt{10}} \\ \therefore \pi r_2^2 &= \frac{3S}{10} & S &= \frac{\pi d^2}{4} & \therefore r_2 &= \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{10}} d \\ & & & & & f \\ \text{同理} & & r_3 &= \frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{10}} d & r_4 &= \frac{\sqrt{7}}{2\sqrt{10}} d & r_5 &= \frac{\sqrt{9}}{2\sqrt{10}} d \end{aligned}$$



$$(2) \quad G = \rho S \bar{v} = \rho \frac{\pi}{4} d^2 \frac{1}{5} (u_1 + \dots + u_5)$$

7. 某蒸汽管干管的始端蒸汽流速为 25 m/s , 密度为 2.62 kg/m^3 . 干管前段直径为 50 mm , 接出直径 40 mm 支管后, 干管后段直径改为 45 mm . 如果支管末端密度降为 2.30 kg/m^3 , 干管后段末端密度降为 2.24 kg/m^3 , 但两管质量流量相同, 求两管终端流速。

$$\begin{aligned} Q_{\text{干}} &= Q_{\text{支}} \\ \text{解: 由题意可得} & \frac{1}{2} (\rho v A)_{\text{干始}} = (\rho v A)_{\text{干终}} = (\rho v A)_{\text{支}} \end{aligned}$$

$$\text{得: } \begin{cases} v_{\text{干终}} = 18 \text{ m/s} \\ v_{\text{支}} = 22.2 \text{ m/s} \end{cases}$$

8. 空气流速由超音速过渡到亚超音速时, 要经过冲击波。如果在冲击波前, 风道中流速为 $v = 660 \text{ m/s}$, 密度为 $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$. 冲击波后速度降至 $v = 250 \text{ m/s}$. 求冲击波后的密度。

$$\text{解: } \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad \text{又面积相等}$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 v_1}{v_2} = 2.64 \text{ kg/m}^3$$

9. 管道由不同直径的两管前后相连接组成, 小管直径 $d_A = 0.2 \text{ m}$, 大管直径 $d_B = 0.4 \text{ m}$. 水在管中流动时, A 点压强 $p_A = 70 \text{ kPa}$, B 点压强 $p_B = 40 \text{ kPa}$. B 点流速 $v_B = 1 \text{ m/s}$. 试判断水在

管中流动方向。并计算水流经过两断面间的水头损失。

解：设水流方向 $A \rightarrow B$

由连续性方程知： $v_A A_A = v_B A_B$

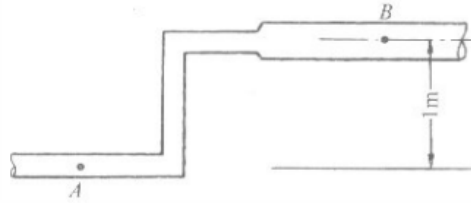
得： $v_A = 4\text{m/s}$

由能量方程知：

$$0 + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + Z_2 + h_{12}$$

得： $h_{12} = 2.824\text{m} > 0$

∴ 水流方向 $A \rightarrow B$



10. 油沿管线流动, A 断面流速为 2 m/s, 不计损失, 求开口 C 管中的液面高度。

解：由连续性方程知： $v_1 A_1 = v_2 A_2$

得： $v_2 = 4.5\text{m/s}$

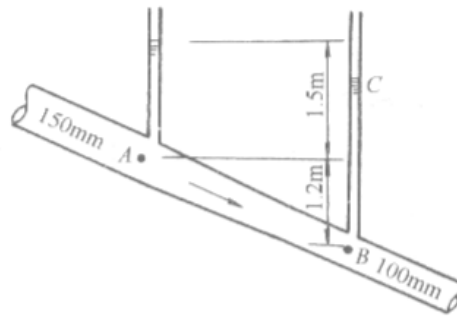
由能量方程得：

$$\frac{p_1}{\rho g} + 1.2 + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

其中： $\frac{p_1}{\rho g} = 1.5\text{m}$

$$\frac{p_2}{\rho g} = 1.86\text{m}$$

代入数据解得：

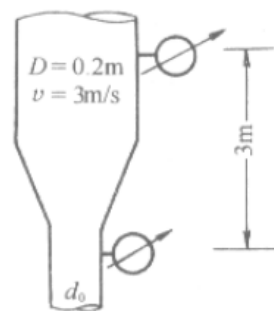


11. 水沿管线下流, 若压力计的读数相同, 求需要的小管直径 d_0 , 不计损失。

解：由连续性方程： $v_1 A_1 = v_0 A_0$

由能量方程得 $\frac{v_1^2}{2g} + 3 = \frac{v_0^2}{2g}$

得面积 $A_0 \Rightarrow d_0 = 0.12\text{m}$



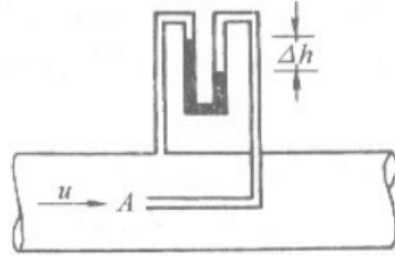
12. 用水银比压计测量管中水流, 过流断面中点流速 u 。如图, 测得A点的比压计读数 $\Delta h = 60\text{mm}$ 汞柱。(1) 求该点的流速 u , (2) 若管中流体密度为 0.8g/cm^3 的油, Δh 不变, 该点

流速为若干, 不计损失。

解: 设水银容重为 $\rho'g$

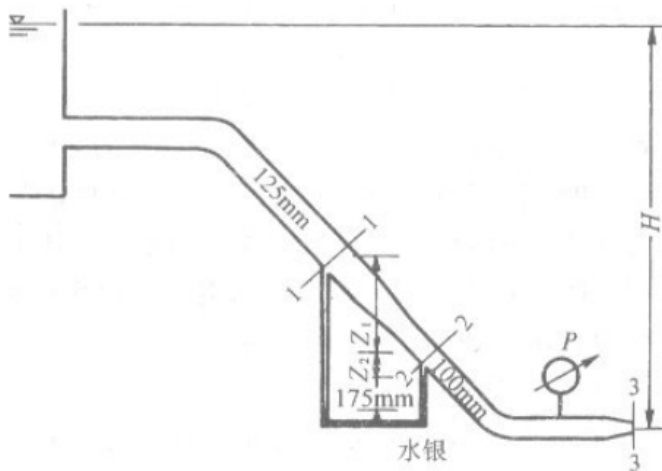
$$(1) u_1 = \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)\Delta h}{\rho}g} = 3.85\text{m/s}$$

$$(2) u_2 = \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho_2)\Delta h}{\rho_2}g} = 4.31\text{m/s}$$



13. 水由图中喷嘴流出, 管嘴出口 $d = 75\text{mm}$, 不考

虑损失, 计算 H 值以 m 计, p 值 kN/m^2 计。



解: $v_3 = \sqrt{2gH}$

由连续性方程得: $v_1A_1 = v_2A_2 = v_3A_3$

由 1—2 断面列能量方程: $Z + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$

由断面压强公式: $P_1 + \rho_{\text{水}}g(Z_1 + Z_2 + 0.175) = P_2 + \rho_{\text{汞}}g \times 0.175 + \rho_{\text{水}}gZ_2$

列水箱水面至喷嘴处方程: $H = \frac{v_3^2}{2g}$ 得: $H = 11.8\text{m}$

列压力表至喷嘴处方程: $\frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_3^2}{2g}$ 得 $P = 79\text{kPa}$

14. 计算管线流量, 管出口 $d=50\text{mm}$, 求出 A, B, C, D 各点的压强, 不计水头损失

解: 对出口 D, $v_d^2 = 2g\Delta h = 2g \times 4$

由连续性方程知 $v_a = v_b = v_c$

又 $v_a A_a = v_d A_d$ 得: $v_d = 9v_a$

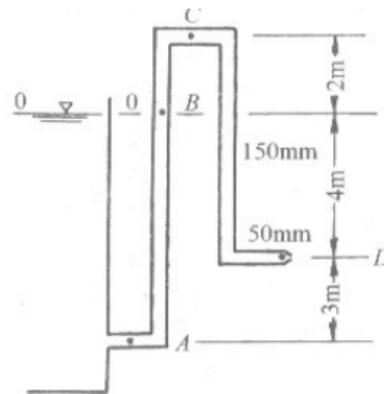
由 A → D 列能量方程

$$0 + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} = 3 + 0 + \frac{v_d^2}{2g}$$

得: $p_a = 68\text{kPa}$

同理可得:

$$p_b = -0.48\text{kPa} \quad p_c = -20.1\text{kPa} \quad p_d = 0$$



15. 水由管中铅直流出, 求流量及测压计读数. 水流无损失

解: 设水容重为 ρg , 水银容重为 $\rho_1 g$

由连续性方程 $v_a A_a = v_b A_b$

$$A_a = \frac{\pi}{4}(0.05)^2$$

$$A_b = \pi d \delta = \pi \times 0.6 \times 0.001$$

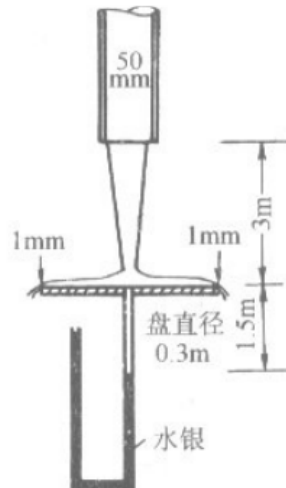
由能量方程知 $3 + \frac{v_a^2}{2g} = 0 + 0 + \frac{v_b^2}{2g}$

解得: $Q = v_a A_a = 0.00815\text{m}^3/\text{s}$

列管口到水银测压计出口的方程:

$$\rho g (3 + 1.5) + \rho g \frac{v_a^2}{2g} = \rho_1 g h$$

得: $h = 395\text{mm}$ 汞柱



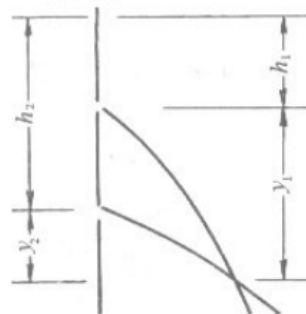
16. 同一水箱上下两孔口出流, 求证: 在射流交点处, $h_1 y_1 = h_2 y_2$

解: $h_1 = \frac{v_1^2}{2g}$, $h_2 = \frac{v_2^2}{2g}$

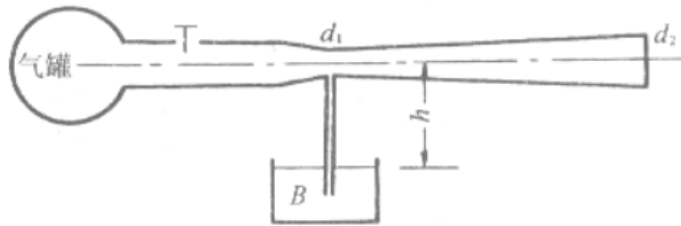
$$y_1 = \frac{1}{2} g t_1^2, \quad y_2 = \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$\therefore v_1 t_1 = v_2 t_2$$

$$\therefore h_1 y_1 = h_2 y_2$$



17. 一压缩空气罐与文丘里式的引射管连接 d_1, d_2, h 均为已知, 问气罐压强 p_0 多大方才能将 B 池水抽空出。



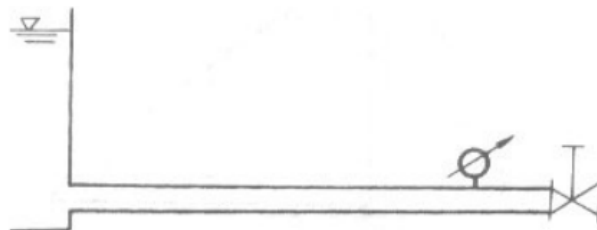
解: 设水的密度为 ρ , $p_0 = \rho \frac{v_2^2}{2}$ $\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$

$$p_1 = -\rho gh \quad v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$p_0 \geq \frac{\rho gh}{\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 - 1}$$

得:

18. 如图, 闸门关闭时的压力表读数为 49 kPa, 闸门打开后, 压力表读数为 0.98 kPa, 由管进口到闸门的水头损失为 1 m, 求管中的平均流速。



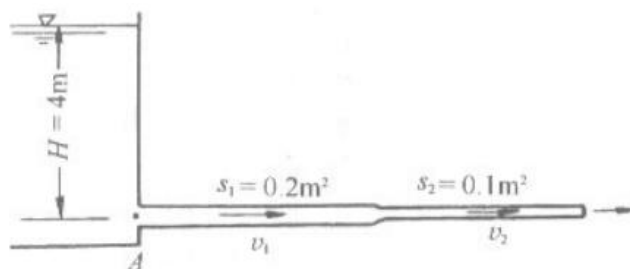
解: 由能量方程得 $\frac{p}{\rho g} = \frac{v^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + h_{1-2}$

又 $h_{1-2} = 1m$ 得: $v = 8.74m/s$

19. 由断面为 $0.2m^2$ 和 $0.1m^2$ 的两根管子所组成的水平输水管系从水箱流入大气中: (1) 若不计损失 (A) 求断面流速 v_1 和 v_2 , (B) 绘总水头线及测压管水头线; (C) 求进口 A 点的压强。

(2) 计算损失: 第一段为 $4 \frac{v_1^2}{2g}$, 第二段为 $3 \frac{v_2^2}{2g}$. (A) 求断面流速 v_1 和 v_2 , (B) 绘总水头线

及测压管水头线; (C) 根据水头线求各段中间的压强, 不计局部损失。



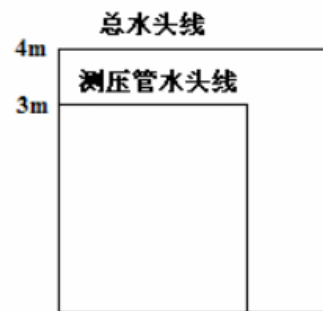
解: (1) $v_2 = \sqrt{2gH} = 8.85m/s$, 又 $A_2v_2 = A_1v_1$

得: $v_1 = 4.43m/s$

$$\frac{v_1^2}{2g} = 1m, \frac{v_2^2}{2g} = 4m$$

由能量方程 $0 + 4 + 0 = \frac{p_A}{\rho g} + 0 + \frac{v_1^2}{2g}$

得: $p_A = 29.4KPa$



(2) 由能量方程 $4 = \frac{v_2^2}{2g} + 4\frac{v_1^2}{2g} + 3\frac{v_2^2}{2g}$, $2v_1 = v_2$

得: $v_2 = 3.96m/s$, $v_1 = 1.98m/s$

$$\frac{v_1^2}{2g} = 0.2m, 4\frac{v_1^2}{2g} = 0.8m$$

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0.8m, 3\frac{v_2^2}{2g} = 2.4m$$

由图, p_1 是梯形中位线

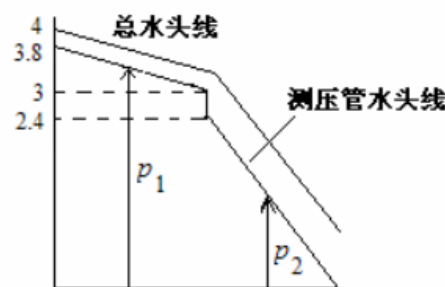
$$p_1 = \frac{1}{2}(3.8 + 3) = 3.4m$$

$$\Rightarrow p_1 = 33.2kPa$$

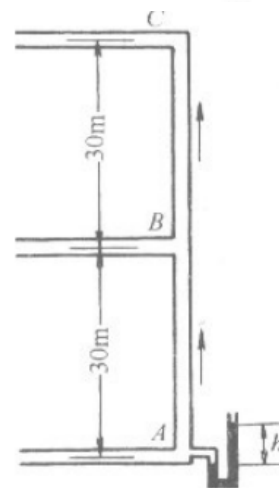
p_2 是三角形中位线

$$p_2 = \frac{1}{2} \times 2.4 = 1.2m$$

$$\Rightarrow p_2 = 11.76KPa$$



20. 高层楼房煤气立管B, C两个供气点各供应 $Q=0.02m^3/s$ 的煤气量。



假设煤气的密度为 $0.6kg/m^3$, 管径为 $50mm$, 压强损失AB段为 $3\rho \frac{v_1^2}{2}$ 计算, BC段为 $4 \frac{\rho v_2^2}{2}$

计算, 假定C点保持余压为 $300Pa$, 求A点酒精 ($\rho_{酒} = 806kg/m^3$) 液面应有的高度 (空气密度为 $1.2 kg/m^3$)

解：列 A → C 断面方程

$$p_A + \rho \frac{v_1^2}{2} + (\rho_{\text{空气}} - \rho) g (Z_2 - Z_1) = p_c + \rho \frac{v_c^2}{2} + 3\rho \frac{v_1^2}{2} + 4\rho \frac{v_2^2}{2} \quad \text{即：}$$

$$h\rho_{\text{水}}g + 0.6 \frac{v_1^2}{2} + (1.2 - 0.6) g (60 - 0) = 300 + 0.6 \frac{v_2^2}{2} + 0.6 \times 3 \frac{v_1^2}{2} + 0.6 \times 4 \frac{v_2^2}{2}$$

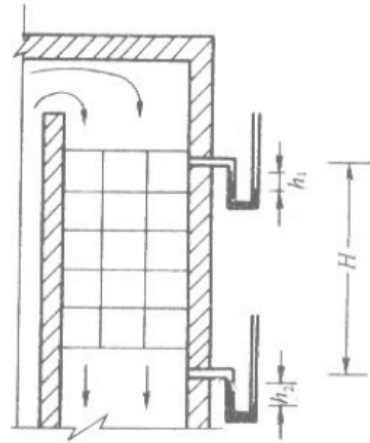
$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 v_2 \quad 2Q = \frac{\pi}{4} d^2 v_1 \quad \text{得：} h = 44.7 \text{mm}$$

21. 锅炉省煤器的进口处测得烟气负压 $h_1 = 10.5 \text{mm H}_2\text{O}$ ，出口负压 $h_2 = 20 \text{mm H}_2\text{O}$ 。如炉外空气密度 $\rho = 1.2 \text{kg/m}^3$ ，烟气得平均密度 $\rho' = 0.6 \text{kg/m}^3$ ，两测压断面高差 $H = 5 \text{m}$ ，试求烟气通过省煤器的压强损失。

解：
$$p_1 + \rho \frac{v^2}{2} + (\rho_a - \rho) g (Z_2 - Z_1) = p_2 + \rho \frac{v^2}{2} + p_{\text{损}}$$

即：
$$-\rho_{\text{水}}gh_1 + (\rho - \rho') g (0 - 5) = -\rho_{\text{水}}gh_2 + p_{\text{损}}$$

$$p_{\text{损}} = 63.68 p_a$$



22. 烟囱直径 $d = 1 \text{m}$ 。通过烟气流 $Q_v = 26 \text{m}^3/\text{h}$ ，烟气密度 $\rho = 0.7 \text{kg/m}^3$ ，周围气体的密度

$\rho_a = 1.2 \text{kg/m}^3$ ，烟囱压强损失用 $p_1 = 0.035 \frac{H\rho v^2}{2d}$ 计算，要保证底部（1 断面）负压不小于 98Pa ，烟囱高度至少为多少？求 $H/2$ 高度上的压强，绘烟囱全高程 1-M-2 的压强分布。

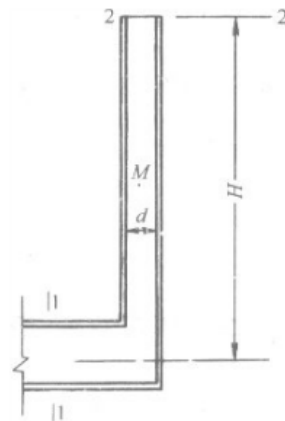
计算时 1-1 断面流速很低，忽略不计。

解： $Q_v = Av$ 得： $v = 9.2 \times 10^{-3} \text{m/s}$

由能量方程得：

$$p_1 + 0 + (\rho_a - \rho)gH = 0 + \frac{\rho v^2}{2} + 0.035 \frac{Hv^2}{2d} \rho$$

即
$$-98 + (1.2 - 0.7)g(H - 0) = 0.7 \frac{v^2}{2} + 0.7 \frac{Hv^2}{2d} \times 0.035$$



得: $H \geq 20m$

又断面 1—1 至 M 断面的能量方程得:

$$p_1 + 0 + \frac{1}{2}(\rho_A - \rho)gH = p_m + \frac{\rho v^2}{2} + \frac{0.035}{2} \frac{Hv^2}{2d} \rho$$

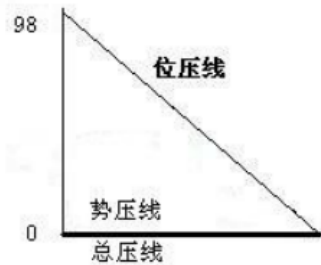
即: $-98 + (1.2 - 0.7)g\left(\frac{H}{2} - 0\right) = p_m + 0.7\frac{v^2}{2} + \frac{1}{2}\left(0.7\frac{Hv^2}{2d} \times 0.035\right)$

得: $p_m = -49p_a$

$$(1.2 - 0.7)gH = 98p_a$$

总能量 = $98 - 98 = 0p_a$

动压 = 0_f



图如此

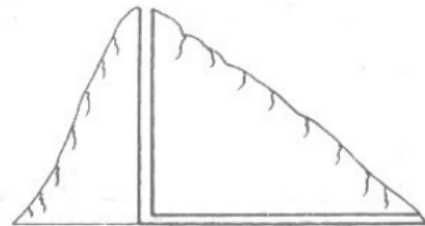
$$p_m = \text{三角形中位线 (负值)} = -\frac{1}{2}(-98 - 0 + 0) = -49p_a$$

23. 图为矿井竖井和横向坑道相连, 竖井高为 200m, 坑道长为 300m, 坑道和竖洞内保持恒

温 $t = 15^\circ\text{C}$, 密度 $\rho = 1.18 \text{ kg/m}^3$, 坑外气温在清晨为 5°C , 密度 $\rho_0 = 1.29 \text{ kg/m}^3$, 中午为 20

$^\circ\text{C}$, 密度 $\rho = 1.16 \text{ kg/m}^3$, 问早午空气的气流流向及气流流速 v 的大小。假定总损失 $9 \frac{v^2}{2g}$ 。

解: 在清晨时 $\rho < \rho_0$, 气体从矿井流出



由能量方程 $(\rho_0 - \rho) g \Delta h = \rho \frac{v^2}{2} + 9 \frac{v^2}{2} \rho$

$$\Delta h = 200$$

$$\rho_0 - \rho = 1.29 - 1.18$$

得: $v = 6.03 \text{ m/s}$

中午时 $\rho > \rho_0$, 气体由外向内注入

$$(\rho_0 - \rho) g \Delta h = \rho \frac{v^2}{2} + 9\rho \frac{v^2}{2}$$

$$\Delta h = -200$$

$$\rho_0 - \rho = 1.16 - 1.18$$

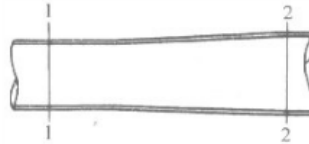
得: $v = 2.58 \text{ m/s}$

24. 图为一水平风管, 空气自断面 1-1 流向断面 2-2, 已知断面 1-1 的压强 $p_1 = 1.47 \text{ kPa}$,

$v_1 = 15 \text{ m/s}$, 断面 2-2 的压强 $p_2 = 1.37 \text{ kPa}$, $v_2 = 10 \text{ m/s}$, 空气密度 $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$, 求两断面的压强损失。

解:
$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + p_{\text{损}}$$

解得: $p_{\text{损}} = 178.5 \text{ Pa}$



25. 图为开式试验段风洞, 射流喷口直径 $d = 1 \text{ m}$, 若在直径 $D = 4 \text{ m}$ 的进风口壁侧装测压管, 其水柱差为 $h = 64 \text{ mm}$, 空气密度 $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$, 不计损失, 求喷口风速。

度 $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$, 不计损失, 求喷口风速。

解: 设进口出口风速分别为 v_1, v_2

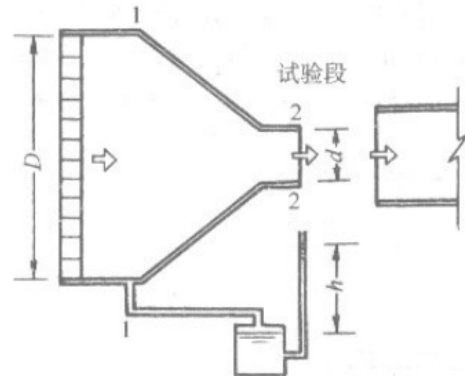
连续性方程 $v_1 A_1 = v_2 A_2$

得: $v_1 = \frac{1}{16} v_2$

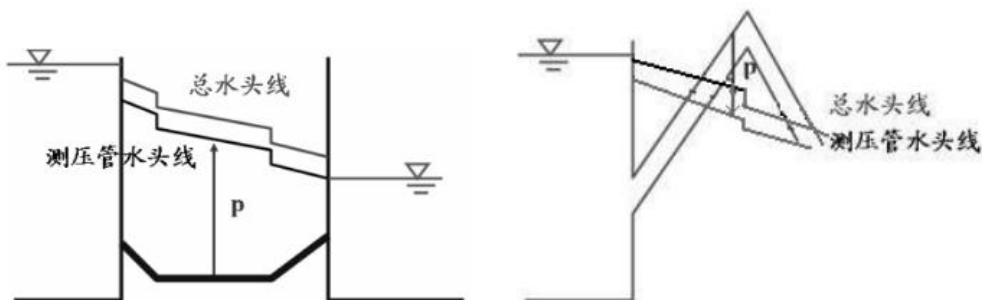
由能量方程:
$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = \rho \frac{v_2^2}{2}$$

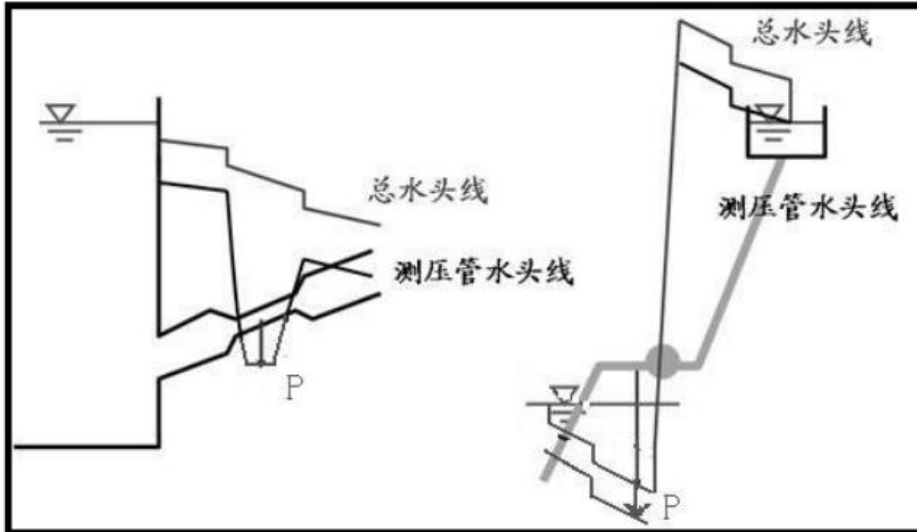
又 $p_1 = \rho g h$

得: $v_2 = 31 \text{ m/s}$

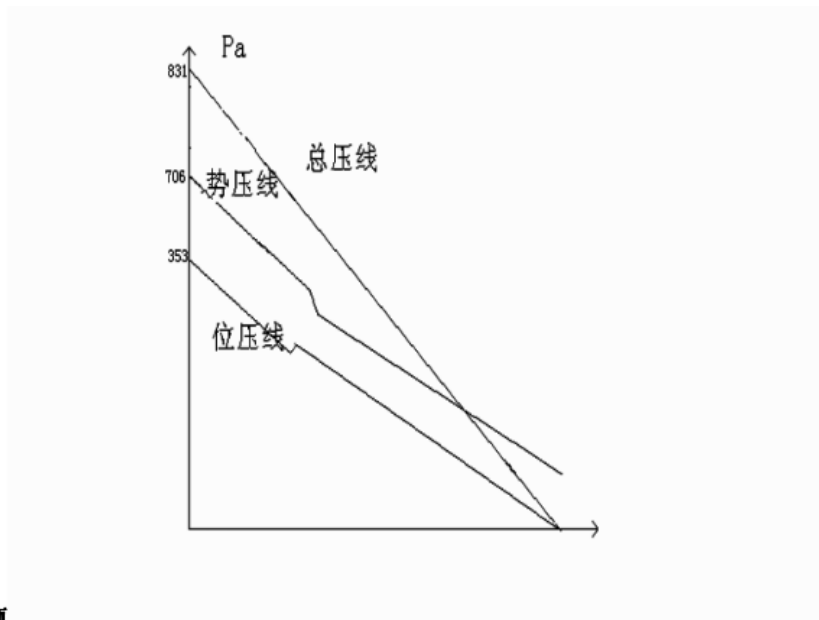


26. 定性绘制图中管路系统的总水头线和测压管水头线。





27. 利用 20 题的数据绘制煤气立管 ABC 的各种压强线。



解：由题

$$\text{总压: } p_A + \rho \frac{v_1^2}{2} + (\rho_a - \rho) g (Z_2 - Z_1) = 7.9 \times 44.7 + 0.6 \frac{20.4^2}{2} + (1.2 - 0.6) g \times 60 = 831$$

$$\text{位压: } (\rho_a - \rho) g (Z_2 - Z_1) = 353$$

$$\text{全压: } p_A + \rho \frac{v_1^2}{2} = 478$$

$$\text{初动压: } \rho \frac{v_1^2}{2} = 124.85$$

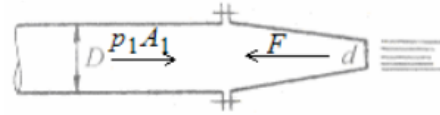
$$\text{末动压: } \rho \frac{v_2^2}{2} = 31.2$$

28. 高压管末端的喷嘴如图，出口直径 $d=10\text{cm}$ ，管端直径 $D=40\text{cm}$ ，流量 $Q=0.4\text{m}^3/\text{s}$ ，喷嘴和管以法兰盘连接，共用 12 个螺栓，不计水和管嘴的重量，求每个螺栓受力多少？

解：由连续性方程： $Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$

得： $v_1 = 3.17\text{m/s}$ ， $v_2 = 50.96\text{m/s}$

由能量方程得： $p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2}$



得： $p_1 = 1.29\text{MPa}$

由动量定理得： $p_1 A_1 - F = \rho Q (v_2 - v_1)$

得： $F = 143.34\text{kN}$

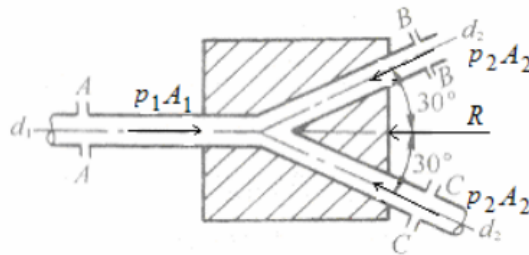
根据牛顿第三定律，螺栓受力为 $-F$

所以每个螺栓受力为 $\frac{F}{12} = 11.95\text{kN}$

29. 直径为 $d_1=700\text{mm}$ 的管道在支承水平面上分支为 $d_2=500\text{mm}$ 的两支管，A-A断面压强为 70kPa ，管道流量 $Q=0.6\text{m}^3/\text{s}$ ，两支管流量相等：(1) 不计水头损失，求支墩受水平推力。(2) 水头损失为支管流速水头的 5 倍，求支墩受水平推力。不考虑螺栓连接的作用。

解：设受水平推力为 R ，管道流速和支管流速分别为 v_1 ， v_2 ，压强为 p_1 ， p_2

$$(1) p_1 A_1 + \rho Q_1 v_1 = 2(p_2 A_2 + \rho Q_2 v_2) \cos 30^\circ + R \quad \textcircled{1}$$



$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0.385\text{m}^2, \quad A_2 = 0.196\text{m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = 1.56\text{m/s}, \quad v_2 = 1.53\text{m/s}$$

$$\text{能量方程} \quad p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2}$$

$$\text{得: } p_2 = 70.05\text{kPa} \quad \textcircled{2}$$

$$\textcircled{2} \text{代入} \textcircled{1} \text{得: } R = 3.294\text{kN}$$

由牛顿第三定律知

$$R' = 3.294kN$$

$$(2) p_1 A_1 + \rho Q_1 v_1 = 2(p_2' A_2 + \rho Q_2 v_2) \cos 30^\circ + R \quad \textcircled{3}$$

$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2' + \rho \frac{v_2^2}{2} + 5\rho \frac{v_2^2}{2}$$

$$\text{得: } p_2' = 64.19KPa \quad \textcircled{4}$$

$$\textcircled{4} \text{代入} \textcircled{3} \text{得: } R = 5.301kN$$

由牛顿第三定律知

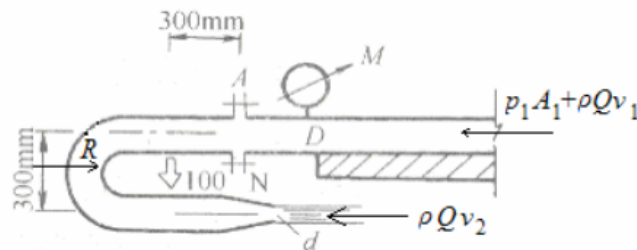
$$R' = 5.301kN$$

30. 水流经 180° 弯管自喷嘴流出, 如管径 $D=75\text{mm}$, 喷嘴直径 $d=25\text{mm}$, 管道前端测压表读数为 60kPa , 求法兰盘接头 A 处, 上、下螺栓的受力情况。假定螺栓上下前后共安装四个, 上下螺栓中心距离为 150mm , 弯管喷嘴和水的总质量为 10.2kg , 作用位置如图。

解: 控制体是水, 螺栓力不可列到控制体上

$$\text{由图: } p_1 A_1 + \rho Q v_1 + \rho Q v_2 = R$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + 0.3 = \frac{v_2^2}{2g}$$



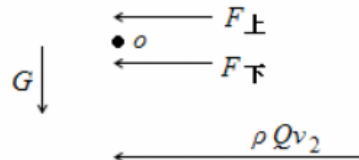
$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$\text{解 } R = 334.5N$$

$$F_{\perp} + F_{\text{下}} = \frac{R}{2} = 167.25N \quad \textcircled{1}$$

方向与 R 相反

$$\text{取管和水为研究对象, } \sum M = 0$$

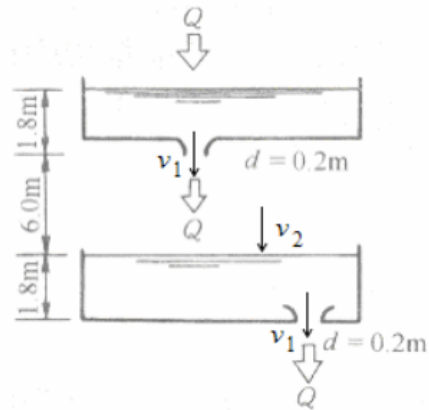


$$G_{300} + F_{\perp} 75 = F_{\overline{r}} 75 + \rho v_2 Q_{300}$$

$$\therefore F_{\perp} - F_{\overline{r}} = -149.8N \quad \textcircled{2}$$

由①②解: $F_{\perp} = 8.7N, F_{\overline{r}} = 158.5N$

31. 下部水箱的质量为 22.9kg, 其中盛水的质量为



91. 5kg, 如果此箱放在秤台上, 受如图的恒定流作用。问秤的读数是多少?

解: 从上部出口及下部出口知:

$$v_1 = \sqrt{2g \cdot 1.8}$$

到达下部水面:

$$v_2 = \sqrt{2g(1.8+6)}$$

$$\Rightarrow Q = v_1 A_1 = \sqrt{2g \cdot 1.8} \times \frac{\pi}{4} d^2 = 0.187 m^3/s$$

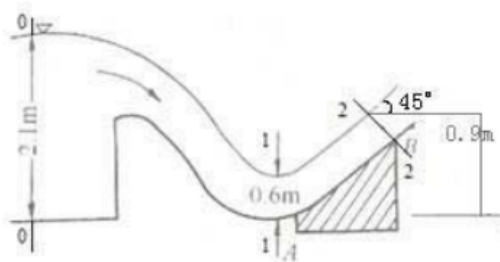
$$\text{下落冲力 } F_1 = \rho Q v_2$$

$$\text{从下部出口冲力 } F_2 = \rho Q v_1$$

$$\Rightarrow F = F_1 - F_2 = \rho Q (v_2 - v_1) = 1198N$$

$$\Rightarrow \text{读数} = 224 + 897 + 1198 = 2319N$$

32. 求水流对 1m 宽的挑流坎 AB 作用的水平分力和铅直分力。假定 A、B 两断面间水的质量为 274kg, 而且断面 B 流出的流动可以认为是自由射流。



解: 由连续性方程知:

$$v_0 h_0 = v_1 h_1 \quad (\text{其中 } h_0 = 2.1m)$$

$$0-1: \quad h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{其中 } h_1 = 0.6m)$$

$$\Rightarrow v_1 = 5.66 m/s$$

$$\Rightarrow Q = v_1 h_1 = 3.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

同理 1-2: $h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$ (其中 $h_2 = 0.9 \text{ m}$)

解得: $v_2 = 5.11 \text{ m/s}$

动量方程:

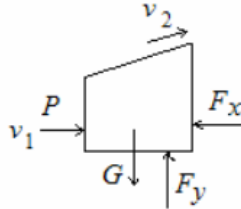
$$x: P_1 - F_x = \rho Q(v_{2x} - v_1)$$

$$y: F_y - G = \rho Q(v_{2y} - 0)$$

其中: $P_1 = \rho g h_c A = \rho g \frac{0.6}{2} \times 0.6$

$$v_{2x} = v_2 \cos 45^\circ, \quad v_{2y} = v_2 \sin 45^\circ$$

$$\Rightarrow F_x = 8.7 \text{ kN}, \quad F_y = 14.98 \text{ kN}$$



33. 水流垂直于底面的宽度为 1.2m, 求它对建筑物的水平作用力。

解: $h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$

其中: $h_1 = 1.5 \text{ m}, \quad h_2 = 0.9 \text{ m}$

由连续性方程 $v_1 h_1 = v_2 h_2$ 得:

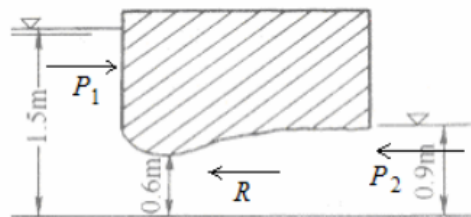
$$v_1 = 2.572 \text{ m/s}, \quad v_2 = 4.287 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow Q = v_2 A_2 = v_2 h_2 \times 1.2$$

由压力体压强知 $P_1 = \rho g \frac{h_1}{2} \times h_1 \times 1.2, \quad P_2 = \rho g \frac{h_2}{2} \times h_2 \times 1.2$

由动量方程: $P_1 - P_2 - R = \rho Q(v_2 - v_1)$

解得 $R = 5.23 \text{ N}$



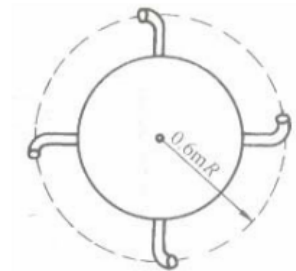
34. 喷嘴直径 25mm, 每个喷嘴流量为 7 L/s , 若涡轮以 100 r/min 旋转, 计算它的功率。

解: 由 $Q = v_2 A_2$ 得: $v_2 = 14.268 \text{ m/s}$

$$\Rightarrow v_2' = v_2 - r\omega = v_2 - 0.6 \times \frac{100}{60} \times 2\pi = 8 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow M = 4\rho Q v_2' r = 134.4 \text{ Nm}$$

$$\Rightarrow N = M\omega = 1344 \times \frac{100}{60} \times 2\pi = 1405 \text{ W}$$



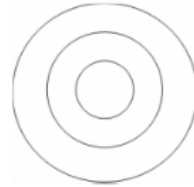
35. 已知平面流动的速度分量为： $u_x = -\frac{\Gamma y}{2\pi(x^2 + y^2)}$ ， $u_y = \frac{\Gamma x}{2\pi(x^2 + y^2)}$ ，式中 Γ 为常数，

求流线方程并画出若干条流线。

解：由题意得 $\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y}$
 $xdx + ydy = 0$

积分： $x^2 + y^2 = c$

流线为同心圆



36. 已知平面流动的速度分量为： $u_x = x + t^2$ ， $u_y = -y + t^2$ ，试求： $t=0$ 和 $t=1$ 时，过 $M(1, 1)$ 点的流线方程。

解：由题意得 $\frac{dx}{u_x} = \frac{dy}{u_y}$

即： $\frac{dx}{x+t^2} = \frac{dy}{-y+t^2}$

积分得： $\ln(x+t^2) = -\ln(-y+t^2) + c'$

$\ln(x+t^2)(-y+t^2) = c'$

$\Rightarrow (x+t^2)(-y+t^2) = c$

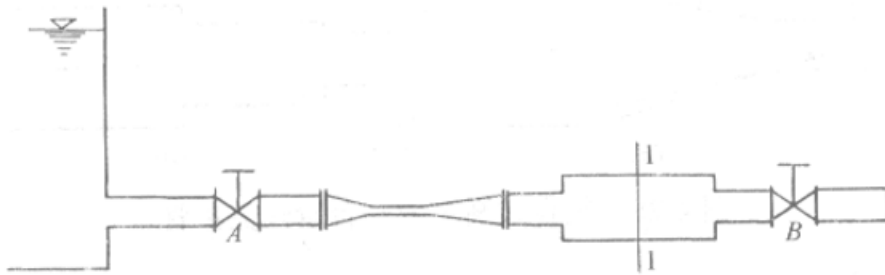
当 $t=0$ ， $x=1$ ， $y=1$ ， $c=-1$ $\therefore xy=1$

当 $t=1$ ， $x=1$ ， $y=1$ ， $c=0$ $\therefore (x+1)(-y+1)=0$

即： $(x+1)(y-1)=0$

流动阻力和能量损失

1.如图所示：（1）绘制水头线；（2）若关小上游阀门 A，各



段水头线如何变化？若关小下游阀门 B，各段水头线又如何变化？（3）若分别关小或开大阀门 A 和 B，对固定断面 1-1 的压强产生什么影响？

解：（1）略

（2）A 点阻力加大，从 A 点起，总水头线平行下移。由于流量减少，动能减少，使总水头线与测压管水头线之间的距离减小，即 A 点以上，测压管水头线上移。A 点以下，测压管水头线不变，同理讨论关小 B 的闸门情况。

（3）由于 1—1 断面在 A 点的下游，又由于 A 点以下测压管水头线不变，所以开大或者关小阀门对 1—1 断面的压强不受影响。对 B 点，关小闸门，B 点以上测压管水头线上移，使 1—1 断面压强变大，反之亦然。

2.用直径 $d=100\text{mm}$ 的管道，输送流量为 10kg/s 的水，如水温为 5°C ，试确定管内水的流态。如用这样管道输送同样质量流

量的石油，已知石油密度 $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ，运动粘滞系数 $\nu = 1.14 \text{ cm}^2/\text{s}$ ，试确定石油的流态。

解：（1） 5°C 时，水的运动粘滞系数 $\nu = 1.519 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Q = \rho Q = \rho A v, \quad v = \frac{10}{1 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2}$$

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu} = \frac{10 \times 0.1}{1 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2 \times 1.519 \times 10^{-6}} = 83863 > 2000$$

故为紊流

$$(2) \quad \text{Re} = \frac{10 \times 0.1}{850 \times \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2 \times 1.14 \times 10^{-4}} = 1314 < 2000$$

故为层流

3.有一圆形风道，管径为 300mm，输送的空气温度 20°C ，求气流保持层流时的最大流量。若输送的空气量为 200 kg/h ，气流是层流还是紊流？

解： 20°C 时，空气的运动粘滞系数 $\nu = 15.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Re} = \frac{vd}{\nu} = 2000$$

$$v = \frac{2000 \times 15.7 \times 10^{-6}}{0.3} = 0.105 \text{ m/s}$$

$$Q_m = \rho v A = 1.205 \times 0.105 \times \frac{\pi}{4} \times 0.3^2 = 8.9 \times 10^{-3} \text{ kg/s} = 32 \text{ kg/h}$$

故 200 kg/h ，为紊流

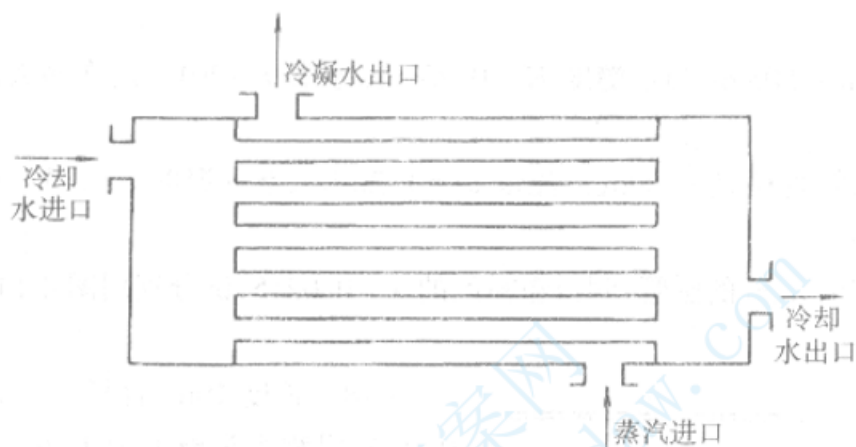
4.水流经过一渐扩管，如小断面的直径为 d_1 ，大断面的直径为 d_2 ，而 $d_1/d_2 = 2$ ，试问哪个断面雷诺数大？这两个断面的雷诺数的比值 Re_1/Re_2 是多少？

$$\frac{\text{Re}_1}{\text{Re}_2} = \frac{v_1 d_1}{v_2 d_2} = 4 \times \frac{1}{2} = 2$$

故直径为 d_1 的雷诺数大

5.有一蒸汽冷凝器，内有 250 根平行的黄铜管，通过的冷却

5. 有一蒸汽冷凝器，内有 250 根平行的黄铜管，通过的冷却



水总流量为 8L/s，水温为 10℃，为了使黄铜管内冷却水保持为紊流（紊流时黄铜管的热交换性能比层流好），问黄铜管的直径不得超过多少？

解：0℃时，水的运动粘滞系数 $\nu = 1.31 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

$$\nu = \frac{Q}{\frac{250}{4} \cdot \pi \cdot d^2}$$

要使冷却水保持紊流，则 $\text{Re} \geq 4000$

$$\frac{\nu d}{\nu} \geq 4000, \quad d \leq \frac{4000 \times 1.31 \times 10^{-6}}{\nu} \text{mm}$$

即： $d \leq 7.67 \text{mm}$

若最小 Re 取 2000 时， $d \leq 15.3 \text{mm}$

6. 设圆管直径 $d = 200 \text{mm}$ ，管长 $L = 1000 \text{m}$ ，输送石油的流量

$Q = 40 \text{L/s}$ 运动粘滞

系数 $\nu = 1.6 \text{cm}^2$ ，求沿程水头损失。

$$\text{解： } \nu = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} = \frac{40 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} \times (0.2)^2} = 1.27 \text{m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\nu d}{\nu} = \frac{1.27 \times 0.2}{1.6 \times 10^{-4}} = 1588, \text{ 故为层流}$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1588} = 0.04$$

$$\therefore h_f = \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2}{d \cdot 2g} = \frac{0.04 \times 1000 \times 1.27^2}{0.2 \times 2 \times 9.807} = 16.45 \text{m}$$

7. 有一圆管，在管内通过 $v = 0.013 \text{cm}^2/\text{s}$ 的水，测得通过的流量为 $35 \text{cm}^3/\text{s}$ ，在管长 15m 长的管段上测得水头损失为 2cm ，求该圆管内径 d 。

解：假设为层流

$$Q = A v, \quad \lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \quad \text{Re} = \frac{v d}{\nu}$$

$$h_f = \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2}{d \cdot 2g} = 2 \text{cm}$$

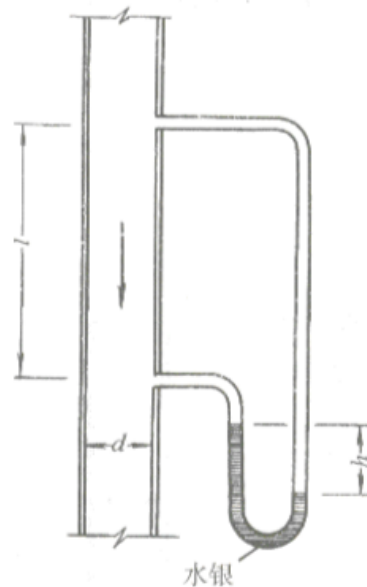
20°C 时， $\nu = 1.007 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

代入数据得： $d = 19.4 \text{mm}$

校核： $\text{Re} = \frac{v d}{\nu}$ ，将 $d = 19.4 \text{mm}$ 代入， $\text{Re} < 2000$

计算成立

8. 油在管中以 $v = 1 \text{m/s}$ 的速度流动，油的密度 $\rho = 920 \text{kg/m}^3$ ， $L = 3 \text{m}$ ， $d = 25 \text{mm}$ 水银压差计测得 $h = 9 \text{cm}$ ，试求（1）油在管中的流态？（2）油的运动粘滞系数 ν ？（3）若保持相同的平均速度反向流动，压差计的读数有何变化？



$$\begin{aligned} \text{解: (1)} \quad \frac{\rho' - \rho}{\rho} h &= \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2}{d \cdot 2g} \\ &= \frac{13600 - 920}{920} \times 9 \times 10^{-2} \\ &= \frac{\lambda \cdot 3 \times 1^2}{2 \times 9.807 \times 25 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

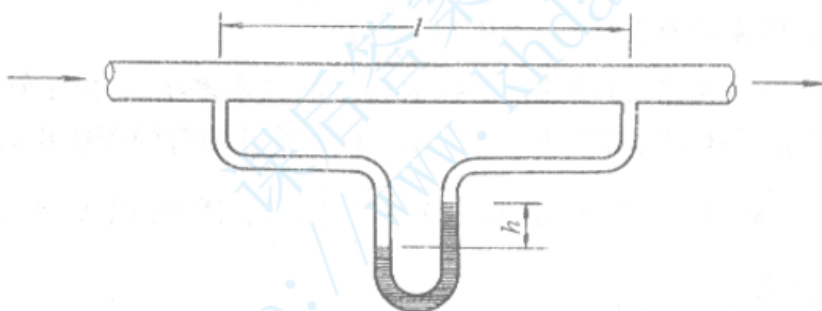
$\therefore \lambda = 0.20$ 。设为层流，则 $Re = \frac{64}{0.20} = 320 < 2000$ ，故为层流

假设成立

$$(2) Re = \frac{vd}{\nu}, \quad \nu = \frac{1 \times 25 \times 10^{-3}}{320} = 7.8 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$$

(3) 没有变化

9. 油的流量 $Q = 77 \text{cm}^3/\text{s}$ ，流过直径 $d = 6 \text{mm}$ 的细管，在 $L = 2 \text{m}$



长的管段两端水银压差计读数 $h = 30 \text{cm}$ ，油的密度 $\rho = 900 \text{kg/m}^3$ ，求油的 μ 和 ν 值。

$$\text{解: (1)} \quad h_f = \frac{(\rho' - \rho)h}{\rho} = \frac{\lambda \cdot L \cdot u^2}{d \cdot 2g}$$

$\lambda = 0.0335$ ，设为层流

$\lambda = \frac{64}{Re}$ ，可以求得 $Re = 1909 < 2000$ 为层流

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad \text{代入数据得 } \nu = 8.52 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

$$\mu = \nu \rho = 7.75 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$$

10. 利用圆管层流 $\lambda = \frac{64}{Re}$ ，水力光滑区 $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$ 和粗糙区

$\lambda = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25}$ 这三个公式，论证在层流中 $h_f \propto \nu$ ，光滑区 $h_f \propto \nu^{1.75}$ ，

粗糙区 $h_f \propto \nu^2$

解：层流中 $\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64\nu}{vd}$

$$h_f = \frac{\lambda Lv^2}{d \cdot 2g} = \frac{64\nu \cdot L \cdot v^2}{vd \cdot d \cdot 2g} = \frac{64\nu Lv}{d^2 \cdot 2g}$$

$\therefore h_f \propto \nu$

光滑区 $\lambda = \frac{64}{\text{Re}^{0.25}} = \frac{64\nu^{0.25}}{\nu^{0.25} d^{0.25}}$

$$h_f = \frac{\lambda Lv^2}{d \cdot 2g} = \frac{64\nu^{0.25} \cdot L \cdot v^{1.75}}{d^{1.25}}$$

$\therefore h_f \propto \nu^{1.75}$

粗糙区，由于与 Re 无关，故 $h_f = \frac{\lambda Lv^2}{d \cdot 2g} = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25} \cdot \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g}$

$\therefore h_f \propto \nu^2$

11. 某风管直径 $d=500\text{mm}$ ，流速 $\nu=20\text{m/s}$ ，沿程阻力系数 $\lambda=0.017$ ，空气温度 $t=20^\circ\text{C}$

求风管的 K 值。

解： $\text{Re} = \frac{vd}{\nu} = \frac{20 \times 500 \times 10^{-3}}{15.7 \times 10^{-6}} = 6.4 \times 10^5$ ，故为紊流

查莫迪图：由 $\lambda=0.017$ 及 Re 得： $\frac{k}{d} = 0.0004$

$\therefore k = 0.2 \text{ mm}$

或用阿里特苏里公式 $\lambda = 0.11 \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25}$ 也可得此结果

12. 有一 $d=250\text{mm}$ 圆管，内壁涂有 $K=0.5\text{mm}$ 的砂粒，如水温为 10°C ，问流动要保持为粗糙区的最小流量为多少？

解： $\nu = 1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ $\frac{k}{d} = 0.002$

由 $\frac{k}{d}$ 查尼古拉兹图，得： $\text{Re} = 6 \times 10^5$ $\nu = \frac{\text{Re}}{d} \nu$

$$\therefore Q = \frac{\pi}{4} d^2 v = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\text{Re}}{d} v = 0.154 m^3/s$$

13. 上题中管中通过流量分别为 $5 L/s, 20 L/s, 200 L/s$ 时, 各属于什么阻力区? 其沿程阻力系数各为若干? 若管长 $l = 100m$, 求沿程水头损失各为多少?

解: 由尼古拉兹图可知: 对 $\frac{k}{d} = 0.002$, 紊流过渡区在

$$4 \times 10^4 < \text{Re} < 6 \times 10^5$$

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 v = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\text{Re} v}{d} = \frac{\pi}{4} d \text{Re} v$$

当	$Q = 0.005 m^3/s$	$\text{Re} = 19500$	在光滑区
	$Q = 0.02 m^3/s$	$\text{Re} = 78000$	在过渡区
	$Q = 0.2 m^3/s$	$\text{Re} = 780000$	在粗糙区

$$\text{由 } h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \text{ 光滑区 } \lambda_1 = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

$$\text{过渡区 } \lambda_2 = 0.11 \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25} \quad \text{粗糙区 } \lambda_3 = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25}$$

得:	$\lambda_1 = 0.027$	$h_1 = 0.0057m$
	$\lambda_2 = 0.026$	$h_2 = 0.088m$
	$\lambda_3 = 0.024$	$h_3 = 8.15m$

14. 在管径 $d = 50mm$ 的光滑铜管中, 水的流量为 $3 L/s$, 水温 $t = 20^\circ C$ 。求在管长 $l = 500m$ 的管道中的沿程水头损失。

解: $20^\circ C$ 时, $\nu = 1.007 \times 10^{-6} m^2/s$ $v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2}$

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu} = \frac{Q/\frac{\pi}{4} d^2}{\nu} d = \frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{\pi \times 0.05 \times 1.007 \times 10^{-6}} = 7.6 \times 10^4 > 2000 \quad \text{为紊流}$$

$$\frac{k}{d} = \frac{0.01}{500} = 0.00002$$

查莫迪图得 $\lambda = 0.019$

$$\therefore h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} = 22.64m$$

15.某铸管直径 $d=50\text{mm}$ ，当量糙度 $K=0.25\text{mm}$ ，水温 $t=20^\circ\text{C}$ ，问在多大流量范围内属于过渡取流动。

解： $t=20^\circ\text{C}$ 时， $\nu=1.01\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

$\frac{k}{d}=\frac{0.25}{50}=0.005$ ，由莫迪图得：过渡区 $\text{Re}\in(4000\sim 2.6\times 10^5)$

$$\therefore \text{Re}=\frac{4Qd}{\pi d^2\nu}$$

$$\therefore Q=\text{Re}\frac{\pi}{4}d\nu$$

$$Q\in(0.157\sim 9.1\text{L/s})$$

16.镀锌铁皮风道，直径 $d=500\text{mm}$ ，流量 $Q=1.2\text{m}^3/\text{s}$ ，空气温度 $t=20^\circ\text{C}$ ，试判别流动处于什么阻力区。并求 λ 值。

解：查表得 $K=0.15\text{mm}$ ， $\nu=15.7\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

$$\nu=\frac{Q}{\frac{\pi}{4}\cdot d\cdot v}, \quad \text{Re}=\frac{vd}{\nu}=\frac{Q}{\frac{\pi}{4}\cdot d\cdot\nu}=\frac{1.2}{\frac{\pi}{4}\times 0.5\times 15.7\times 10^{-6}}=1.97\times 10^5$$

$$\therefore \frac{k}{d}=\frac{0.15}{500}=0.0003$$

查莫迪图得 $\lambda=0.018$ ，在过渡区

17.某管径 $d=78.5\text{mm}$ 的圆管，测得粗糙区的 $\lambda=0.0215$ ，试分别用图 4-14 和式 (4-6-4)，求该管道的当量糙度 K 。

解：由式 (4-6-4)， $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$

$$=2\lg\frac{3.7d}{K}\Rightarrow\frac{1}{\sqrt{0.0215}}=2\lg\frac{3.7\times 78.5}{K}\Rightarrow k=0.113\text{mm}$$

由 λ 及粗糙区，在图上查得： $\frac{k}{d}=0.0015\Rightarrow k=78.5\times 0.0015=0.118\text{mm}$

18.长度 10cm ，直径 $d=50\text{cm}$ 的水管，测得流量为 4L/s ，沿程损失为 1.2m ，水温为 2°C ，求该种管材的 k 值。

解： $\nu=1.007\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

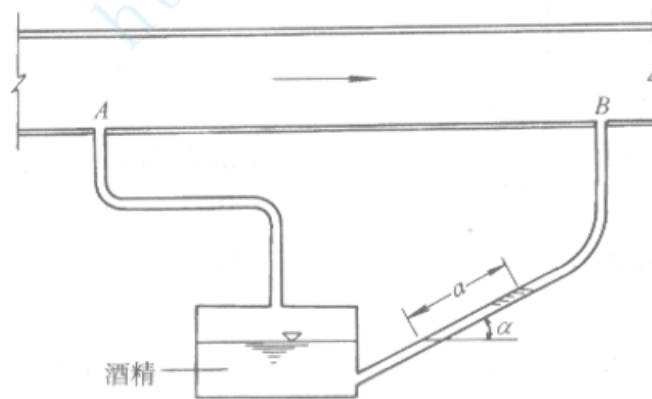
$$Q=\frac{\pi}{4}\cdot d^2\cdot v, \quad \nu=\frac{Q}{\frac{\pi}{4}\cdot d^2}$$

$$h_f = \pi \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{Q^2}{\frac{\pi^2}{16} \cdot d^5 \cdot 2g}$$

$$\lambda = \frac{\pi^2}{8} \cdot g \cdot d^5 \cdot \frac{h_f Q^2}{L}, \quad \text{又} \lambda = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25}$$

$$\therefore K = 0.18 \text{mm}$$

19. 矩形风道的断面尺寸为 $1200 \times 600 \text{mm}$ ，风道内空气的温度为 45°C ，流量为 $42000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，风道壁面材料的当粗糙度 $K=0.1 \text{mm}$ ，今用酒精微压计量测风道水平段 AB 两点的压差，



微压计读值 $a=7.5 \text{mm}$ 已知 $\alpha=30^\circ$ ， $l_{AB}=12 \text{m}$ ，酒精的密度

$\rho=860 \text{ kg/m}^3$ ，试求风道的沿程阻力系数 λ 。

$$\text{解：当量直径 } de = 4R = \frac{4A}{\chi} = \frac{4 \times 1200 \times 600}{2(1200 + 600)} = 800 \text{mm}$$

45°C 时， $\nu = 18.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ， $\rho_{\text{空}} = 1.1165 \text{ kg/m}^3$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{42000}{3600 \times 1.2 \times 0.6} = 16.2 \text{m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{vde}{\nu} = \frac{16.2 \times 0.8}{18.1 \times 10^{-6}} = 7.16 \times 10^5 > 2000, \quad \text{为紊流}$$

$$h_f = \lambda \cdot \frac{l}{de} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{\rho' h}{\rho} = \frac{\rho'}{\rho} a \sin \alpha$$

$$\lambda = \frac{2 \text{ deg } a \rho' \sin \alpha}{Lv^2 \rho} = \frac{2 \times 0.8 \times 9.8 \times 7.5 \times 10^{-3} \times 860 \sin 30^\circ}{12 \times 16.2^2 \times 1.1165} = 0.014$$

此题也可查图得到结果。

20.水在环行断面的水平管道中流动，水温为 10°C ，流量 $Q=400\text{L}/\text{min}$ ，管道的当量粗糙粒高度 $K=0.15\text{mm}$ ，内管的外径 $d=75\text{mm}$ ，外管内径 $D=100\text{mm}$ 。试求在管长 $L=300\text{m}$ 的管段上的沿程水头损失。

$$\text{解: } de = \frac{\pi}{4} \cdot 4 \cdot \frac{D^2 - d^2}{\pi \cdot (D + d)} = (D - d) = 25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$v = 1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q = Av = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) v$$

$$\text{得 } v = 1.94 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{vde}{\nu} = 3.7 \times 10^4$$

$$\frac{k}{de} = 6 \times 10^{-3}$$

查莫迪图得 $\lambda = 0.034$

$$h_f = \lambda \frac{L}{de} \frac{v^2}{2g} = 78 \text{ m}$$

此题也可用阿里特苏里公式 $\rightarrow \lambda \rightarrow h_f = 75 \text{ m}$

21.如管道的长度不变，通过的流量不变，如使沿程水头损失减少一半，直径需增大百分之几？试分别讨论下列三种情况：

$$(1) \text{ 管内流动为层流 } \lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

$$(2) \text{ 管内流动为光滑区 } \lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

$$(3) \text{ 管内流动为粗糙区 } \lambda = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25}$$

解：(1) 流体为层流

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \propto \frac{1}{d^4}$$

$$\therefore \frac{h_{f1}}{h_{f2}} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 = 2, \quad \frac{d_2}{d_1} = 1.19 \quad \text{即增大 } 19\%$$

(2) 流体为紊流光滑区

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0.3164}{\left(\frac{vd}{\nu}\right)^{0.25}} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \propto \frac{1}{d^{4.75}}$$

$$\therefore \frac{h_{f1}}{h_{f2}} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{4.75} = 2, \quad \frac{d_2}{d_1} = 1.16 \quad \text{即增大 } 16\%$$

(3) 管内流体为紊流粗糙区

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.11 \left(\frac{k}{d}\right)^{0.25} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \propto \frac{1}{d^{5.25}}$$

$$\therefore \frac{h_{f1}}{h_{f2}} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{5.25} = 2, \quad \frac{d_2}{d_1} = 1.14 \quad \text{即增大 } 14\%$$

22. 有一管路，流动的雷诺数 $Re=10^6$ ，通水多年后，由于管

路锈蚀，发现在水头损失相同的条件下，流量减少了一半。

试估算旧管的管壁相对粗糙度 K/d 。假设新管时流动处于光

滑区 ($\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$)，锈蚀以后流动处于粗糙区 $\lambda = 0.11$

$(k/d)^{0.25}$ 。

解：由题意得

$$h_{f1} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \frac{L}{d} \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h_{f2} = 0.11 \left(\frac{k}{d}\right)^{0.25} \frac{L}{d} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$Q_2 = \frac{1}{2} Q, \quad v_2 = \frac{1}{2} v$$

$$\therefore h_{f1} = h_{f2}$$

$$\therefore \frac{k}{d} = 0.0174$$

23. 烟囱的直径 $d=1\text{m}$ ，通过的烟气流量 $Q=18000\text{kg/h}$ ，烟气的密度 $\rho=0.7\text{kg/m}^3$ ，外面大气的密度按 1.29kg/m^3 考虑，如烟道的 $\lambda=0.035$ ，要保证烟囱底部 1-1 断面的负压不小于 100N/m^2 烟囱的高度至少应为多少。



解：取顶端为 2-2 断面，根据能量方程得

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho)(Z_2 - Z_1) = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + p_L$$

①

$$p_1 = -100\text{Pa}, \quad v_1 = 0, \quad \rho_a = 1.29\text{kg/m}^3, \quad Z_1 - Z_2 = H, \quad \rho = 0.7\text{kg/m}^3$$

$$p_2 = 0, \quad p_L = \lambda \rho \frac{H v^2}{d}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{18000 \times 4}{3600 \times 3.14 \times 1} = 6.369\text{m/s}$$

$$p_L = \frac{0.035 H \times 6.369^2 \times 0.7}{2} = 0.497 H$$

②

由①②得， $H=21.6\text{m}$

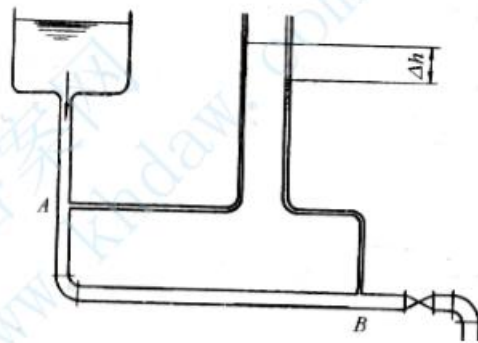
24. 为测定 90° 弯头的局部阻力系数 ζ ，可采用如图所示的装置。已知 AB 段管长 $L=10\text{m}$ ，管径 $d=50\text{mm}$ ， $\lambda=0.03$ 。实测数据为 (1) AB 两断面测压管水头差 $\Delta h=0.629\text{m}$ ；(2) 经两分钟流入量水箱的水量为 0.329m^3 。求弯头的局部阻力系数 ζ 。

解：水流的损失为

$$h = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g}$$

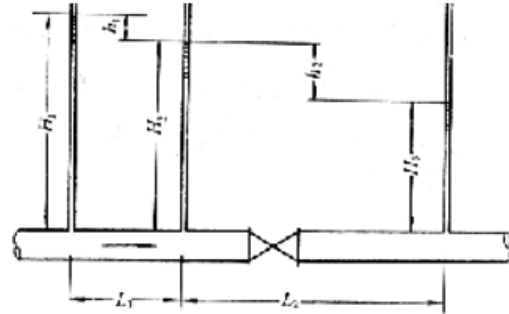
$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = 1.4\text{m/s}$$

$$\therefore 0.629 = \frac{0.03 \times 10}{0.05} \times \frac{1.4^2}{2g} + \zeta \frac{1.4^2}{2g}$$



$$\zeta = 0.32$$

25. 测定一阀门的局部阻力系数，在阀门的上下游装设了3个测压管，其间距 $L_1 = 1\text{m}$ ， $L_2 = 2\text{m}$ ，若直径 $d = 50\text{mm}$ ，实测 $H_1 = 150\text{cm}$ ， $H_2 = 125\text{cm}$ ， $H_3 = 40\text{cm}$ ，流速 $v = 3\text{m/s}$ ，求阀门的 ζ 值。



解

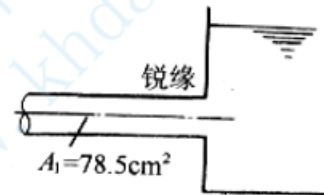
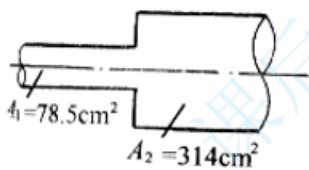
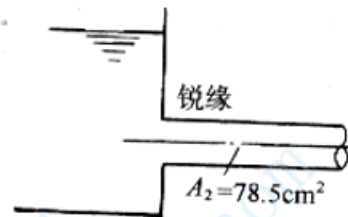
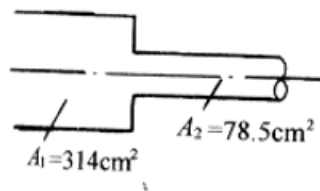
$$h_{f1} = H_1 - H_2 = 150 - 125 = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$$

$$h = H_2 - H_3 = 125 - 40 = 85 \text{ cm} = 0.85 \text{ m}$$

$$h_f = 2h_{f1} = 0.5 \text{ m}$$

$$h_m = 0.85 - 0.5 = 0.35 = \xi \frac{v^2}{2g}$$

$$\zeta = \frac{0.35 \times 2g}{v^2} = \frac{0.35 \times 2 \times 9.807}{9} = 0.763$$



26. 试计算如图所示的四种情况的局部水头损失。在断面积 $A = 78.5\text{cm}^2$ 的管道中，流速 $v = 2\text{m/s}$ 。

解：(1) 突缩： $h = \zeta \frac{v^2}{2g}$ 其中 $\zeta = 0.5(1 - \frac{A_1}{A_2})$ $v = 2\text{m/s}$

解得： $h = 76.5\text{mm}$

(2) 突缩：其中 $\zeta = 0.5$

解得： $h = 102\text{mm}$

(3) 突扩：其中 $\zeta = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2$

解得： $h = 115\text{mm}$

(4) 突扩： 其中 $\zeta = 1$

解得： $h = 203\text{mm}$

27. 流速从 v_1 变到 v_2 的突然扩大管，如分为两次扩大，中间流速 v 取何值时局部损失最小？此时水头损失为多少？并与一次扩大时比较。

解：由突扩压管局部损失公式知

$$h_{m1} = \frac{(v_1 - v)^2}{2g}$$

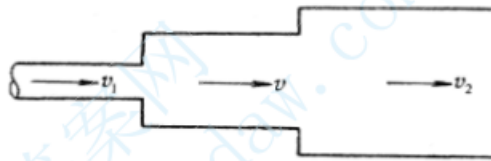
$$h_{m2} = \zeta_2 \frac{u_2^2}{2g} = \frac{(v - v_2)^2}{2g}$$

$$h_m = h_{m1} + h_{m2}$$

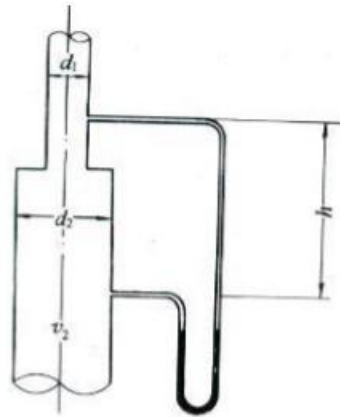
$$h_m = \frac{(v_1 - v)^2 + (v - v_2)^2}{2g}, \text{ 对方程两边求导并令其为零}$$

$$\frac{dh}{dv} = 0, \text{ 得： } v = \frac{v_1 + v_2}{2}, \text{ 即中间流速为两端流速的平均数}$$

$$\text{将 } v = \frac{v_1 + v_2}{2} \text{ 代入 } h_m, \text{ 得： } h_m = \frac{1}{2} \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \text{ (是一次扩大损失的 } \frac{1}{2} \text{)}$$



28. 一直立的突然扩大水管，已知 $d_1=150\text{mm}$ ， $d_2=300\text{mm}$ ， $l=1.5\text{m}$ ， $v_2=3\text{m/s}$ ，试确定水银比压计中的水银液面哪一侧较高？差值为多少？



解：设右侧高

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad \text{得：} \quad v_1^2 = 16v_2^2$$

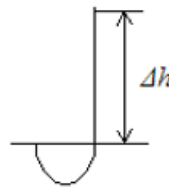
$$\zeta = \left(\frac{A_1}{A_2} - 1\right)^2 = 9 \quad p_f = \zeta \rho \frac{v_2^2}{2}$$

$$\text{能量方程：} \quad p_1 + \rho gh + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \zeta \rho \frac{v_2^2}{2}$$

$$\text{断面压强：} \quad p_1 + \rho gh + \rho' g \Delta h = p_2 + \rho g \Delta h$$

得： $p_2 - p_1 = \rho gh + \Delta h(\rho' - \rho)g$ ，代入能量方程

$$\text{得：} \quad \frac{\Delta h(\rho' - \rho)}{\rho} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - \zeta \frac{v_2^2}{2g} = 6 \frac{v_2^2}{2g}$$



$$\Delta h = 0.219 \text{mHg}$$

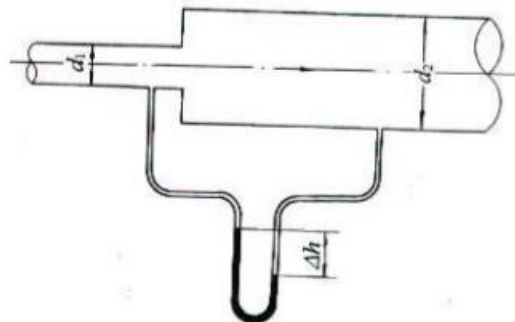
29. 一水平放置的突然扩大管路，直径由 $d_1=50\text{mm}$ 扩大到 $d_2=100\text{mm}$ ，在扩大前后断面接出的双液比压计中，上部为水，下部为容重 $\gamma=15.7\text{kN/m}^3$ 的四氯化碳，当流量 $Q=16\text{m}^3/\text{h}$ 时的比压计读数 $\Delta h=173\text{mm}$ ，求突然扩大的局部阻力系数，并与理论计算值进行比较。

解：利用 4-28 结论；且 ζ 对

应 v_2 ，即 $\zeta \frac{v_2^2}{2g}$

$$\Delta h \frac{(\gamma' - \gamma)}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

其中 $Q = v_2 A_2$ ， $v_1 A_1 = v_2 A_2$



解得： $\zeta = 8.63$

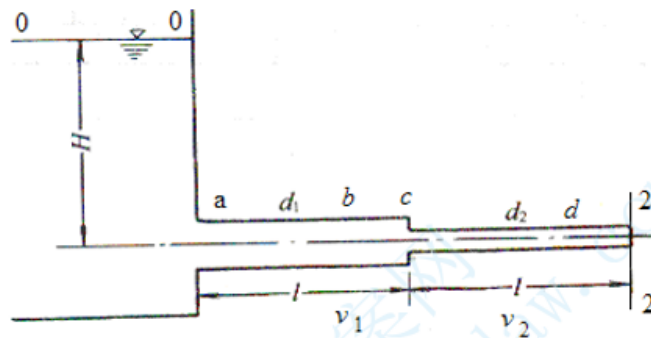
理论值： $\left(\frac{A_1}{A_2} - 1\right)^2 = 9$

如果 ζ 对应 v_1 ，即： $\zeta \frac{v_1^2}{2g}$

解得： $\zeta = 0.54$

理论值： $\left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \frac{9}{16} = 0.56$

30. 水箱侧壁接出一根由两段不同管径所组成的管道。已知 $d_1 = 150\text{mm}$ ， $d_2 = 75\text{mm}$ ， $l = 50\text{m}$ 管道的当量糙度 $K = 0.6\text{mm}$ ，水温为



20°C。若管道的出口流速 $v_2 = 2\text{m/s}$ ，求（1）水位 H。（2）绘出总水头线和测压管水头线。

解： $h_a = 0.5 \frac{v_1^2}{2g}$ ， $h_b = \lambda \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g}$

$\left(\frac{k}{d_1} = 0.004, \text{Re} = \frac{v_1 d_1}{\nu} = 7.5 \times 10^4, \text{查莫迪图 } \lambda = 0.03\right)$

$h_c = 0.5 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \frac{v_2^2}{2g}$ ， $h_d = \lambda \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g}$

$\left(\frac{k}{d_2} = 0.008, \text{Re} = \frac{v_2 d_2}{\nu} = 1.48 \times 10^5, \text{查莫迪图 } \lambda = 0.036\right)$

$v_1 A_1 = v_2 A_2$ 得： $v_1^2 = 16v_2^2$

取 0—0 和 2—2 断面

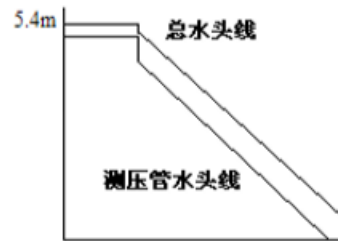
$$H = \frac{v_1^2}{2g} + h_a + h_b + h_c + h_d = (0.03125 + 0.625 + 0.375 + 24) \frac{v_2^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} = 5.4m$$

作水头线：

$$\frac{v_1^2}{2g} = 0.013m, \quad \frac{v_2^2}{2g} = 0.2m$$

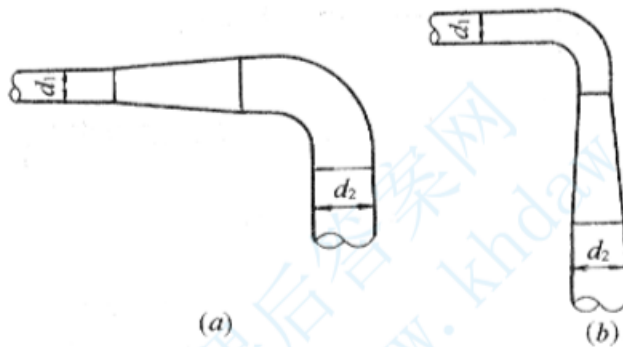
$$h_a = 0.006m, \quad h_b = 0.12m$$

$$h_c = 0.06m, \quad h_d = 4.8m$$



(此图比例不准)

31. 两条长度相同，断面积相等的风管，它们的断面形状不同，



一为圆形，一为正方形，如它们的沿程水头损失相等，而且流动都处与阻力平方区，试问哪条管道过流能力大？大多少？

解：设圆的直径为 d ，正方形边长为 a

$$\text{圆：} d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}, \quad \text{正方形当量直径 } d_e = 4R = 4 \frac{A}{x} = 4 \frac{a^2}{4a}, \quad a = \sqrt{A}$$

在阻力平方区时，由公式 $\lambda = 0.11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0.25}$

$$h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \propto \frac{1}{d^{0.25}} \frac{1}{d} v^2$$

$$\therefore \text{水头损失相等：} \frac{1}{d^{1.25}} v_{\text{圆}}^2 = \frac{1}{d_e^{1.25}} v_{\text{正方形}}^2$$

$$\therefore \frac{Q_{\text{圆}}}{Q_{\text{正方形}}} = \frac{Av_{\text{圆}}}{Av_{\text{正方形}}} = \frac{v_{\text{圆}}}{v_{\text{正方形}}} = \sqrt{\left(\frac{d_{\text{圆}}}{d_{\text{正方形}}}\right)^{1.25}} = 1.08$$

故圆管的过流量能力大

32.在断面既要由 d_1 扩大到 d_2 ，方向又转 90° 的流动中，图

(a) 为先扩后弯，图 (b) 为先弯后扩。已知：

$d_1=50\text{mm}$, $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = 2.28$, $v_1 = 4\text{m/s}$ 。渐扩管对应于流速 v_1 的阻

力系数 $\zeta_d=0.1$ ；弯管阻力系数（两者相同） $\zeta_b=0.25$ ；先弯后

扩的干扰修正系数 $C_{b,d}=2.30$ ；先扩后弯的干扰修正系数

$C_{d,b}=1.42$ 。求两种情况的总局部水头损失。

解：(1) 先扩后弯

$$h_{m1} = C_{d,b} \left(\zeta_d \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_b \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad \text{解 } v_2^2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 v_1^2$$

解得： $h_{m1} = 0.171\text{m}$

(2) 先弯后扩

$$h_{m2} = C_{b,d} \left(\zeta_b \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_d \frac{v_1^2}{2g} \right) = 0.657\text{m}$$

$$\frac{h_{m2}}{h_{m1}} = \frac{0.657}{0.171} = 3.85 \quad (\text{由此可看出先扩后弯方案较好})$$