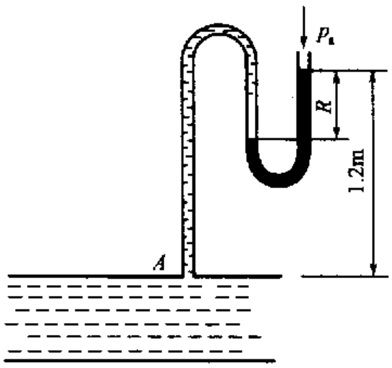
解题思路：

1. 已知：p_a=101.3kPa，ρ=1000kg/m^3，ρ$_i$=13600kg/m^3, R=120mm, H=1.2m。
求：P_A（绝）（Pa），P_A（表）（Pa）



解题思路：以 1-2-3 为等压面，列静力学方程：

$P_A=P_1+\rho g(H-R)$

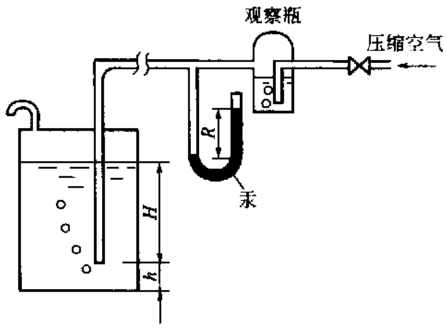
$P_1=P_2=P_3$

$P_3=Pa+\rho_i Rg$

∴ $P_A=Pa+\rho_i Rg+\rho(H-R)g$

P_A（表）= P_A（绝）- p_a

2. 已知：R=130mm, h=20cm, D=2m, ρ=980kg/m^3，ρ$_i$=13600kg/m^3。管道中空气缓慢流动。
求：贮槽内液体的储存量 W。



解题思路：(1) 管道内空气缓慢鼓泡 u=0，可用静力学原理求解。
(2) 空气的ρ很小，忽略空气柱的影响。

$H\rho g=R\rho_i g$

$W=\frac{1}{4}\pi D^2\cdot(H+h)\rho$

3. 已知：T=20℃（苯），ρ=880kg/m^3, H=9m, d=500mm,h=600mm。
求：(1) 人孔盖受力 F（N）
(2) 槽底压强 P（Pa）

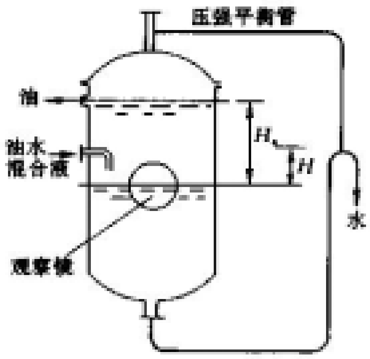
解题思路：(1) 由于人孔盖对中心水平线有对称性，且静压强随深度作线性变化，
所以可以孔盖中心处的压强对全面积求积得 F。

$$F=P\cdot A=\rho g(H-h)\cdot\frac{1}{4}\pi d^2$$

(2) $P=\rho g H$

4. 已知：H_S=500mm，$\rho_{油}$=780 kg/m^3，$\rho_{水}$=1000 kg/m^3

求：H（m）。

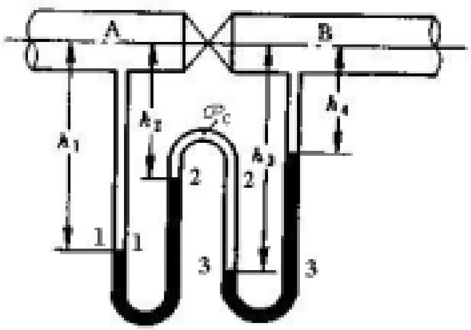


解题思路：假定：由于液体流动速度缓慢，可作静力学处理，$H_S\rho_{油}g=H\rho g$

$$\therefore H=H_S\cdot\frac{\rho_{油}}{\rho}$$

5. 已知：ρ_i=13600kg/m^3，ρ=1000 kg/m^3, h_1=1.2m，h_2=0.3m，h_3=1.3m，h_4=0.25m。

求：ΔP_{AB}(Pa)



解题思路：$P_A-P_C=(h_1-h_2)(\rho_i-\rho)g$

$P_C-P_B=(h_3-h_4)(\rho_i-\rho)g$

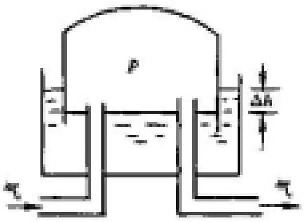
$\therefore P_A-P_B=(h_1-h_2+h_3-h_4)(\rho_i-\rho)g$

又 $Z_A=Z_B$

$\therefore \Delta P_{AB}=\Delta P_{AB}$

6. 已知：D=9m，m=10t

求：P, Δh。



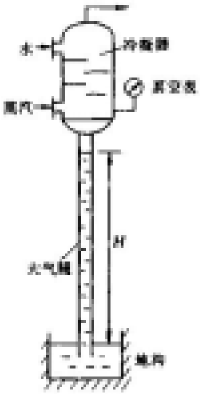
解题思路：设大气压为 P_0，由题设条件知可用静力学求解。

$$\frac{\pi}{4}D^2(P-P_0)=mg$$

$$P=\frac{mg}{\frac{\pi}{4}D^2}+P_0$$

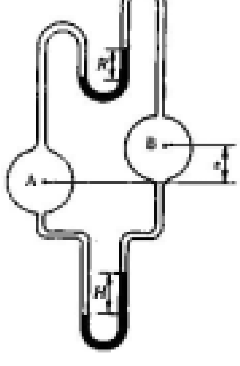
$$P=P_0+\Delta h\cdot\rho g$$

7. 已知：P(真)=82kPa，Pa=100kPa
   求： P(绝)，H



解题思路：P(绝)=Pa-P(真)
   P(绝)+ρgH=Pa

8. 已知：$\rho_A=\rho_B=\rho$，指示剂密度为 ρ_i
   求：(1) R 与 H 之关系
   (2)P_A 与 P_B 之关系



解题思路：(1)由静力学可知：

$P_A - P_B = R(\rho_i - \rho)g$

$= H(\rho_i - \rho)g$

(2)∵ $\rho_i > \rho$

∴ $P_A - P_B = H(\rho_i - \rho)g > 0$

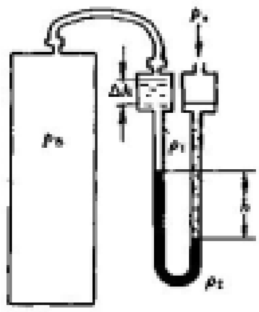
即 $P_A > P_B$

$P_A + Z_A \rho g > P_B + Z_B \rho g$

$P_A > P_B + (Z_B - Z_A)\rho g > P_B$

9. 已知：如图所示：

求证：$P_B = P_a - hg(\rho_2 - \rho_1) - hg\rho_1 \dfrac{d^2}{D^2}$



解题思路：作 1-1 等压面，由静力学方程得

$$P_a + h\rho_1 g = P_B + \Delta h\rho_1 g + h\rho_2 g \quad (1)$$

$$\because \Delta h \cdot \frac{\pi}{4} D^2 = h \cdot \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\therefore \Delta h = h \cdot \frac{d^2}{D^2}$$ 代入（1）式

得 $P_a + h\rho_1 g = P_B + h \cdot \dfrac{d^2}{D^2}\rho_1 g + h\rho_2 g$

10．已知：$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$, $P_{h=0} = Pa$, T=const，大气为理想气体。

求：大气压与海拔高度 h 之间的关系。

解：大气层仅考虑重力，所以

X=0，Y=0，Z=-g，dz=dh

∴ $dp = -\rho g dh$

又理想气体 $\rho = \dfrac{pM}{RT}$

其中 M 为气体平均分子量，R 为气体通用常数。

11．已知：钢管φ114×4.5mm　P=2MPa (绝)，T=20℃，空气流量 q_{V0}=6300m^3/h (标准状态)，

求：u、q_m、G

解题思路：(1) $Pq_v=nRT$

$$\therefore q_{V1}=q_{V0}\times\frac{T_1}{T_0}\times\frac{P_0}{P_1}$$

$$\therefore u=\frac{q_{V1}}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

(2) $\rho=\frac{pM}{RT}$

$\therefore G=u\cdot\rho$

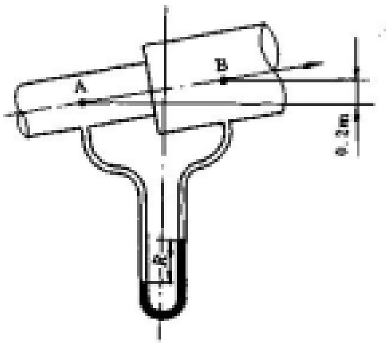
(3) $\rho_0=\frac{29}{22.4}$

$$q_m=\rho_0\cdot q_{V0}$$

12．已知：q_V=60m^3/h，d_A=100mm, d_B=200mm, h_{AB}=0.2m, ρ_i=1630 kg/m^3, ρ=1000 kg/m^3,

求：(1)指示剂哪侧高，R=？

(2)扩大管道改为水平放置，压差计的读数有何变化？



解题思路：(1)　取 A、B 两个管截面列柏努利方程

$$得\frac{P_A}{\rho}+\frac{u_A^2}{2}=\frac{P_B}{\rho}+\frac{u_B^2}{2}$$

$$\therefore P_{AB}=P_A-P_B=\frac{\rho}{2}(u_B^2-u_A^2)$$

$\Delta P_{BA}=Rg(\rho_i-\rho)$

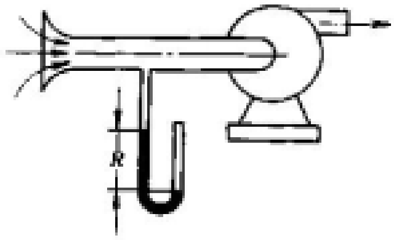
(2)若改为水平放置后，由于 u_A、u_B 不变，则

ΔP_{BA} 也不变，由 $\Delta P_{BA}=Rg(\rho_i-\rho)$

R 值也不变，即压差计指示的是总势能差。

13．已知：d=200mm, R=25mm, ρ_i=1000kg/m^3，ρ=1.2 kg/m^3。

求：$q_V(m^3/h)$



解题思路：列 1-2 两截面伯努利方程

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}$$

$P_1=P_a$，$z_1=z_2$，$u_1=0$

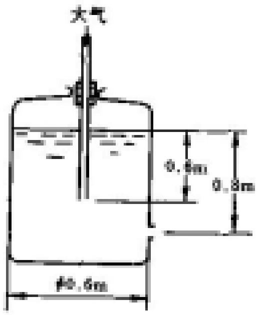
$$\therefore P_a-P_2=\frac{\rho}{2}u_2^2$$

由 U 形压差计，$P_a-P_2=Rg(\rho_i-\rho)$　(忽略空气柱)

$$\therefore q_V=u_2\cdot\frac{1}{4}\pi d_2^2$$

14．已知：H=0.8m，h=0.6m，D=0.6m，d=10mm，$C_O=0.62$，

求：液面下降 0.5m 所需的时间。



解题思路：列 1-2 截面伯努利方程，小孔中心处为基准面

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}$$

$P_1=P_2=P_a$，$z_2=0$, $z_1=H-h=0.8-0.6=0.2m$, $u_1=0$

$$\therefore u_2=\sqrt{2g(H-h)}$$

小孔实际流速

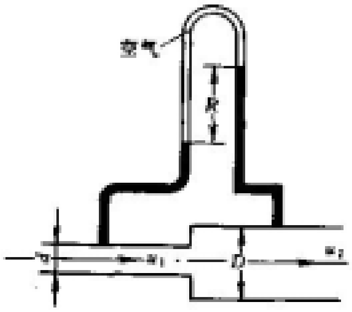
$u_0=C_0u_2$

∵液面下降 0.5m<h=0.6m

∴液体下降过程中小孔流速不变

$$\therefore \tau = \frac{\frac{\pi}{4}D^2 \times 0.5}{\frac{\pi}{4}d^2 \times u_0}$$

15．已知：$q_v=3.77\times10^{-3}m^3/s$, d=40mm, D=80mm, R=170mm, $\rho=1000kg/m^3$
求：H_f(J/N)



解题思路：列 1-2 截面的柏努利方程

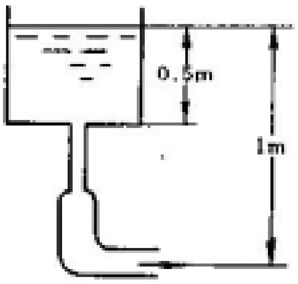
$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+\frac{u_2^2}{2}+h_{f12}$$

$P_2-P_1=Rg(\rho-\rho_i)$

$$\therefore h_{f12}=\frac{P_1-P_2}{\rho}+\frac{1}{2}(u_1^2-u_2^2)$$

$$H_f=\frac{h_f}{g}$$

16．已知：30℃（水），d_1=20mm, d_2=36mm。不计 h_f，
求：P_{min}位置，是否汽化？



解题思路：查 30℃水，P_V
从 1 截面到 2 截面列柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}$$

$P_1=P_2=P_a$，$u_1=0$，取 $z_2=0$

$\therefore \boldsymbol{u_2} = \sqrt{\boldsymbol{2gz_1}}$

再从 1 截面到任一截面（在 1-2 之间）列柏努利方程, 则：

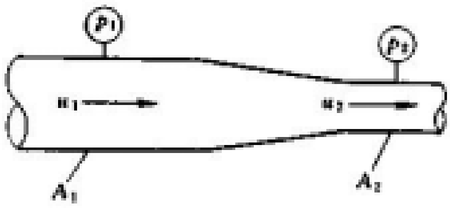
$$\frac{P_a}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_x}{\rho} + gz_x + \frac{u_x^2}{2}$$

$u_1=0$

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

$\because (gz_1 + \frac{P_a}{\rho})$为定值，当$z_x g + \frac{u_x^2}{2}$为最大时，$P_x = P_{min}$

17．已知：ρ，(P_1-P_2)，A_1，A_2,，h_f不计
求：u_1，u_2表达式



解题思路：由 1 至 2 截面列柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_1^2}{2}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

$$\therefore \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{u_1^2}{2}\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]$$

得 $u_1 = A_2\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$

$$\boldsymbol{u_2} = \frac{\boldsymbol{A_1}}{\boldsymbol{A_2}}\boldsymbol{u_1}$$

18．已知：$P_2=P_a$，$q_v=0.025m^3/s$，$d_1=80mm$, $d_2=40mm$, P_1（表）=0.8MPa,
ρ=1000kg/m³
求：水流对喷嘴的作用力(N)

解题思路：设 F 为喷嘴对控制体的作用力，则由动量守恒得

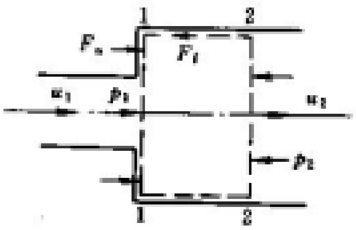
P_1A_1-F-P_2A_2= q_vρ(u_2-u_1)

$$P_1 = 0.8\times10^6 + 1.013\times10^5 = 9.013\times10^5 (N/m^2)$$

$$P_2 = 1.013\times10^5 (N/m^2)$$

∴F=P_1A_1-P_2A_2-q_vρ(u_2-u_1)

19．已知：流体突然扩大，有阻力损失



求证：$h_f = \left(1-\dfrac{A_1}{A_2}\right)^2 \cdot \dfrac{u_1^2}{2}$

解题思路：假定 F_n=P_1(A_2-A_1)，忽略管壁摩擦阻力

定态流动下有动量守恒方程：

$$P_1A_1 - P_2A_2 + F_n = \rho A_2u_2^2 - \rho A_1u_1^2$$

代入 F_n=P_1(A_2-A_1) 及质量守恒方程 ρu_1A_1= ρu_2A_2

整理得 P_2-P_1= ρu_2(u_1-u_2)

取 1-1 截面至 2-2 截面列柏努利方程：

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

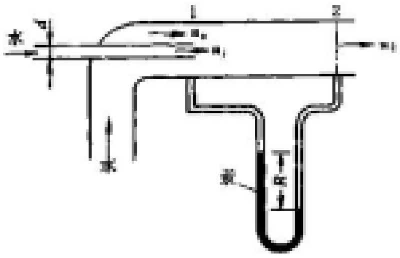
∵ z_1=z_2，代入得：

$$h_f = \frac{P_1-P_2}{\rho} + \frac{u_1^2-u_2^2}{2} = u_2(u_2-u_1) + \frac{u_1^2-u_2^2}{2} = \frac{(u_1-u_2)^2}{2}$$

20．已知：d_j=0.04m, u_j=20m/s, u_s=0.5m/s, D=0.1m, 截面 1 各点 P_1 相同，截面 2 处速度分布均匀，忽略 1，2 间管壁对流体的摩擦力

求：(1) u_2

(2) U 形压差计读数 R



解题思路：(1) $q_{v2}=q_{vs}+q_{vj}$ （质量守恒）

$$q_{vs}=u_s\cdot\frac{\pi}{4}(D^2-d_j^2)$$

$$q_{vj}=u_j\cdot\frac{\pi}{4}d_j^2$$

$$\therefore u_2=\frac{q_{V2}}{A_2}$$

(2) 由 1 截面至 2 截面列动量守恒方程, 则

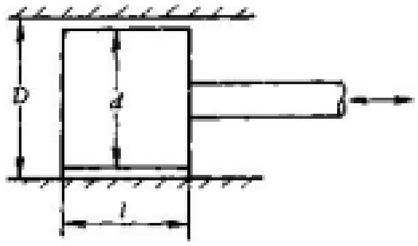
$$(P_1-P_2)A=q_{v2}\rho u_2-q_{vj}\rho u_j-q_{vs}\rho u_s$$

$$P_2-P_1=R(\rho_i-\rho)g$$

$$\therefore R=\frac{P_2-P_1}{(\rho_i-\rho)g}$$

21．已知：u=0.8m/s，D=100mm，d=99.96mm，L=120mm，μ=100mPa·S（润滑油），流动为层流

求：粘性力 F



解题思路：层流 $\therefore \tau=\mu\frac{du}{dy}$

隙缝 δ=（D-d）/2=(100-99.96)/2=0.02mm

∵δ<<d，即剪切力变化极小，τ=const

$\because \frac{du}{dy}=\frac{\tau}{\mu}=\text{const},$ 即速度分布可视作线性。

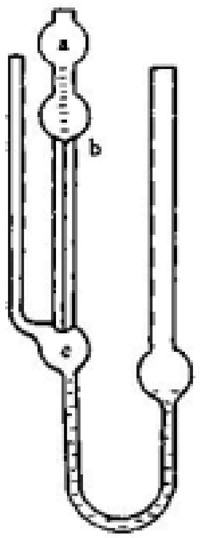
得 $\dfrac{du}{dy}=\dfrac{\Delta u}{\Delta y}=\dfrac{0-u}{0-\delta}$

$$F=\tau\cdot A=\mu\frac{du}{dy}\cdot\pi dL$$

22．已知：q_{vab}=3.5ml，d_0=1mm， τ_{ab}=80s，

求：运动粘度 ν

提示：毛细管两端 b 和 c 的静压强都是 1atm，a 与 b 间的液柱静压及毛细管表面张力的影响忽略不计。



解题思路：设毛细管中为层流，则

$$u=\frac{q_{Vab}}{\tau A}$$

从 b 截面到 c 截面列柏努利方程：

∵ $P_b=P_c=P_a$ 忽略液柱

∴ $Z_bg=Z_cg+h_f$

$$Z_{bc}g=\frac{32\mu uZ_{bc}}{d^2\rho}=\frac{32u\nu Z_{bc}}{d^2}$$

$$\therefore \nu=\frac{gd^2}{32u}$$

验 $\mathrm{Re}=\dfrac{ud}{\nu}$

23．已知：湍流时 $u/u_{max}=\left(1-\dfrac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$

求：⑴ $\bar{u}/u_{max}$的值；

(2) 动能校正系数；

解题思路：$\bar{u}=\dfrac{\int_A udA}{A}=\dfrac{\int_0^R u\cdot 2\pi rdr}{A}$

积分变换 x=R-r，dr=-dx

$$\therefore \bar{u}=\frac{\int_0^R u\cdot 2\pi rdr}{A}=\frac{1}{\pi R^2}\int_0^R u_{max}(1-\frac{r}{R})^{1/7}\cdot 2\pi rdr$$

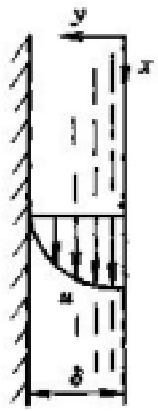
$$=\frac{2u_{max}}{R^2}\int_R^0(\frac{x}{R})^{1/7}\cdot(R-x)(-dx)$$

$$=2u_{max}\int_0^1(\frac{x}{R})^{1/7}(1-\frac{x}{R})d(\frac{x}{R})$$

$$=2u_{max}/(\frac{1}{7}+1)(\frac{1}{7}+2)$$

$$\alpha=\frac{1}{u^3A}\int_A u^3dA=(\frac{u_{max}}{u})^3\cdot\frac{1}{\pi R^2}\int_R^0(\frac{x}{R})^{3/7}\cdot 2\pi(R-x)(-dx)$$

24．已知：粘度μ，密度ρ，液膜厚δ，平壁宽度 B，高度为 H，均速层流流动



求证：$\dfrac{q_v}{B}=\dfrac{\rho g\delta^3}{3\mu}$

证明：取一高为 H，宽为 B，厚为 y 的控制体

在垂直方向上均速运动

∴(yBH) ρ g- τ BH=0

τ =y ρ g

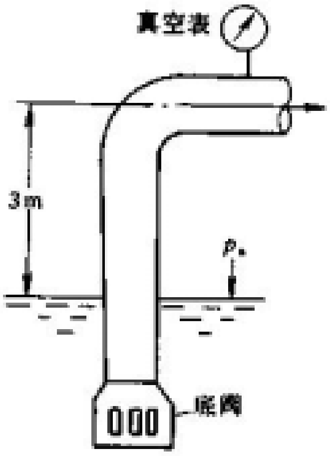
层流流动，$\tau=-\mu\dfrac{du}{dy}$

$$\therefore y\rho g=-\mu\frac{du}{dy}$$

$$\int_{\delta}^{y} y\mathrm{d}y = -\frac{\mu}{\rho g}\int_{0}^{u} \mathrm{d}u$$

$$\boldsymbol{q_v = \int_A udA = \int_0^{\delta} uBdy}$$

25．已知：H=3m, d=50mm, ε =0.2mm,l=8m, 90 ° 弯头一只，底阀一只，
q_v=20m^3/h，T=20℃



求：(1) P（真）
(2) q_v 增加, P（真）如何变化？
解题思路：(1) 列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

P_1=Pa, z_1=0, z_2=H=3m, u_1=0

$$\boldsymbol{P(\text{真}) = P_a - P_2 = (Hg + \frac{u_2^2}{2} + h_f)\rho}$$

$$\boldsymbol{u_2 = \frac{q_V}{\frac{\pi d^2}{4}}}$$

$$h_f = (\lambda\frac{l}{d} + \sum\zeta)\frac{u_2^2}{2}$$

$$\mathbf{Re} = \frac{\boldsymbol{du}\rho}{\mu}$$

$$\varepsilon / \boldsymbol{d} = \frac{\mathbf{0.2}}{\mathbf{50}}$$

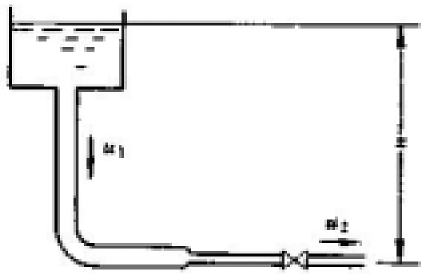
查莫迪图得 λ

并查得　底阀 ζ=10，90°弯头　ζ=0.75，Σζ=10.75

(2)　$由P(真) = (gH + \frac{u_2^2}{2} + h_f)\rho$

当 q_v↑　u↑　h_f↑　　∴P（真）↑

26．已知：d_1=50mm, l_1=80m, 90°弯头 5 个，d_2=40mm, l_2=20m,1/2 开启闸阀，
T=20℃(水)，$q_v=3\times10^{-3}m^3/s$
求：Z



解题思路：列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$P_1=P_2=Pa$,　$z_2=0$,　$z_1=Z$,　u=0

$$\therefore Zg = \frac{u_2^2}{2} + h_{f12}$$

$$u_1 = \frac{q_V}{\frac{1}{4}\pi d_1^2}$$

$$u_2 = u_1(\frac{d_1}{d_2})^2$$

20℃水，μ=1mPa·S　　选 ε=0.2mm

$$\mathrm{Re}_1 = \frac{d_1 u_1 \rho}{\mu}$$

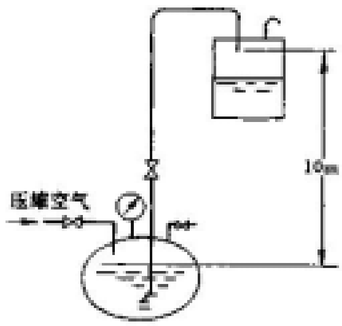
$$\mathrm{Re}_2 = \frac{d_2 u_2 \rho}{\mu}$$

$\varepsilon / d_2 = \frac{0.2}{40}$，$\varepsilon / d_1 = \frac{0.2}{50}$　查莫迪图得　λ_1，λ_2

查得：90°弯头，ζ=0.75,闸阀 1/2 开，ζ=4.5 突然缩小 ζ_1=0.5　ζ_2=0.18

$$\therefore Z = \frac{u_2^2}{2g} + (\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum\zeta_1)\frac{u_1^2}{2g} + (\lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum\zeta_2)\frac{u_2^2}{2g}$$

27．已知：q_v=0.10m^3/min，无缝钢管Φ38×3mm，H=10m, l=20m, 一个闸阀(全开)，8 个标准 90°弯头，ρ=1830kg/m^3, μ=12mPa·S



求：压缩空气 P（表）（MPa）

解题思路：列 1-2 截面柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}+h_{f12}$$

P_1（表）=P_1-p_a= P_1-P_2， z_1=0, z_2=H, u_1=0

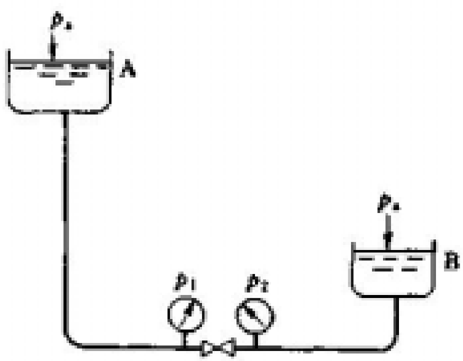
$$h_{f1-2}=(\lambda\frac{l}{d}+\zeta)\frac{u_2^2}{2}$$

$$\therefore P（表）=\rho gH+\frac{u_2^2}{2}\rho(\lambda\frac{l}{d}+\zeta+1)$$

28．已知：μ=30mPa·S, ρ=900kg/m^3, d=40mm, l_1=50m, l_2=20m, 阀全关
P_1(表)=0.09MPa, P_2（表）=0.045MPa,阀打开至 1/4 开度,le=30m

求：(1) q_v

(2) 阀打开时 P_1，P_2 如何变化？



解题思路：(1) 取阀的高度 Z=0

阀关闭时流体静止，由静力学方程可知

P_A=P_a+P_1（表）

P_B=P_a+P_2（表）

阀 1/4 开度时，列 A-B 截面柏努利方程

$$\frac{P_A}{\rho}+\frac{u_A^2}{2}=\frac{P_B}{\rho}+\frac{u_B^2}{2}+\Sigma h_f$$

$$u_A=u_B=0 \quad \Sigma h_f=\lambda\frac{\Sigma l}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

设管内为层流，则，$\lambda=\dfrac{64\mu}{\rho ud}$

得$\dfrac{P_A}{\rho}=\dfrac{P_B}{\rho}+\dfrac{32\mu\Sigma l\cdot u}{d^2\rho}$

$$\therefore \boldsymbol{u}=\frac{\mathbf{P_A-P_B}}{\mathbf{32\mu\Sigma} l}\boldsymbol{d}^2$$

验$\mathbf{Re}=\dfrac{\rho \boldsymbol{ud}}{\mu}$

(2) 阀打开 u↑

由$\dfrac{P_A}{\rho}=\dfrac{P_1}{\rho}+(\lambda\dfrac{l_1}{d}+\zeta)\dfrac{u^2}{2}$

P_A不变， ∴P_1变小

由$\dfrac{u^2}{2}+\dfrac{P_2}{\rho}=\dfrac{P_B}{\rho}+\lambda\dfrac{l_2}{d}\cdot\dfrac{u^2}{2}$

∵l_2且包括突然扩大损失$\lambda\dfrac{l_2}{d}>1$

29．已知：T=20℃（苯），H=5m, $P_1=P_2$=Pa，Φ32×3mm，ε=0.05mm, l=100m

求：q_V

解题思路：列两槽液面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}+\lambda\frac{l}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

$P_1=P_2=P_a$，$u_1=u_2=0$， $z_1=H$, $z_2=0$

$$\therefore gH=\lambda\frac{l}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

$$\varepsilon/d=\frac{0.05}{26}=0.002$$

假设流动已进入阻力平方区，查莫迪图λ=0.023

$$\therefore \boldsymbol{u} = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}}$$

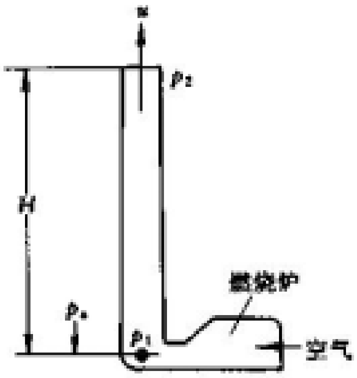
T=20℃，苯ρ=880kg/m³, μ=0.67mPa·S

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho ud}{\mu}$$

查莫迪图λ

与假设λ有差距，重新计算 $\boldsymbol{u} = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}}$

30．已知：d=2m, ε/d=0.0004, $\rho_{烟气}$=0.67kg/m³，μ=0.026mPa·S, q_v=80000m³/h,
ρ_{air}=1.15kg/m³，P_1（真）=0.2kPa
求：H



解题思路：列烟囱底部（1 截面）与顶部（2 截面）柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho_{烟}} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_{烟}} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_{f1-2}$$

烟囱 $d_1=d_2$, ∴$u_1=u_2$
$z_1=0$, $z_2=H$
$P_1=P_a-P_1$（真）
$P_2=P_a-\rho_{air}gH$

$$\Sigma h_{f1-2} = \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$\boldsymbol{u} = \frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho ud}{\mu}$$

ε/d=0.0004，查表得λ

∴1-2 截面间柏努利方程为

$$\frac{-P_1(真)}{\rho_{烟}}=\frac{-\rho_{air}gH}{\rho_{烟}}+gH+\lambda\frac{H}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

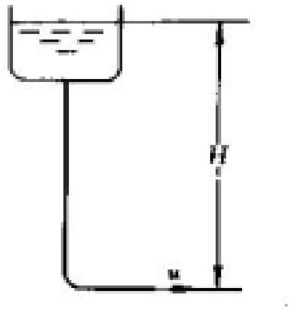
烟囱得以排气的必要条件是 $\rho_{烟}<\rho_{外}$，

若 $\rho_{烟}\nless\rho_{外}$时，$P_1\nless 0$，即无法起到抽吸作用。

H 增加，P_1降低（即真空度增加），抽吸量增加。

31．已知：$A=3m^2$, h=2m, H_0=4m, l=10m, λ=0.022, φ32×3mm

求：$\tau|_{\Delta H=1m}$=?



解题思路：列 1-1 和 2-2 截面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{P_2}{\rho}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}+\Sigma h_{f1-2}$$

$P_1=P_2$,　$z_1=0$,　$z_2=-H$，$u_1=0$

$$\Sigma h_f=\lambda\frac{l}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

$$H=(1+\lambda\frac{l}{d})\frac{u^2}{2g}$$

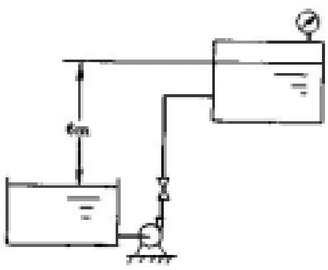
对水槽作质量衡算：

$$-dH\cdot A=u\cdot\frac{1}{4}\pi d^2\cdot d\tau$$

32．已知：$q_v=2.5\times10^{-3}m^3/s$, P(表)=0.2MPa，H=6m, $\rho=1100kg/m^3$,

Φ40×3mm,L=50m, λ=0.024

求：He (J/N)



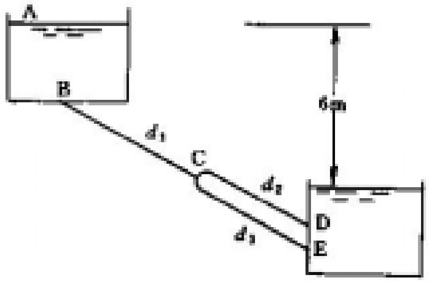
解题思路：列两槽面间柏努利方程

$$\frac{P_1}{\rho g}+z_1+\frac{u_1^2}{2g}+He=\frac{P_2}{\rho g}+z_2+\frac{u_2^2}{2g}+\lambda\frac{l}{d}\cdot\frac{u^2}{2g}$$

P_1=Pa， P_2-Pa =0.2MPa， Z_2-Z_1 =6m， u_1=u_2 =0

33．已知：$Z_{AA'}$=6m，d_{BC}=600mm, l_{BC}=3000m, d_{CD}=d_{CE}=250mm, l_{CD}=l_{CE}=2500mm,
λ=0.04，忽略局部阻力

求：q_V



解题思路：由连续性方程

$q_V=q_{VBC}=q_{VCD}+q_{VCE}$

$u_1d_1^2=u_2d_2^2+u_3d_3^2$

$\because h_{f2}=h_{f3}$

$$\therefore\lambda\frac{l_2}{d_2}\cdot\frac{u_2^2}{2}=\lambda\frac{l_3}{d_3}\cdot\frac{u_3^2}{2}$$

$$l_2=l_3,\quad d_2=d_3$$

$$u_2=u_3$$

因而 $u_2=\frac{u_1}{2}(\frac{d_1}{d_2})^2$

由 A、A'两截面列柏努利方程

$$Z_{AA'}=\lambda\frac{l_1}{d_1}\cdot\frac{u_1^2}{2g}+\lambda\frac{l_2}{d_2}\cdot\frac{u_2^2}{2g}$$

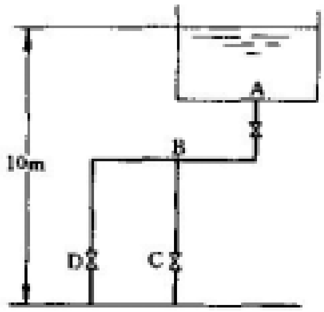
$$=\frac{\lambda}{2g}[\frac{l_1}{d_1}u_1^2+\frac{1}{4}(\frac{d_1}{d_2})^4\frac{l_2}{d_2}u_1^2]$$

$$q_v=\frac{1}{4}\pi d_1^2\cdot u_1$$

34．已知：l_{AB}=6m, d_1=41mm, l_{BC}=15m, l_{BD}=24m, d_2=d_3=25m, λ=0.03

求：(1) q_{V1}、q_{V2}、q_{V3}

(2) D 阀关闭，q_{V3}'



解题思路：(1) 从 B 点至两管口列柏努利方程

$$h_{f2}+\frac{u_2^2}{2}=h_{f3}+\frac{u_3^2}{2}$$

即：$(\lambda\frac{l_2}{d_2}+1)\frac{u_2^2}{2}=(\lambda\frac{l_3}{d_3}+1)\frac{u_3^2}{2}$

由连续性方程：$q_{V1}=q_{V2}+q_{V3}$

$u_1d_1^2= u_2d_2^2+ u_3d_3^2$

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

$$Hg=\lambda\frac{l_1}{d_1}\cdot\frac{u_1^2}{2}+\lambda\frac{l_3}{d_3}\cdot\frac{u_3^2}{2}+\frac{u_3^2}{2}$$

（2）D 阀关闭时：

连续性方程：$q_{V1}'=q_{V3}'$

$u_1'\cdot d_1^2=u_3'\cdot d_3^2$ ，

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

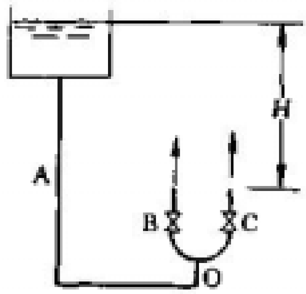
$$Hg=\lambda\frac{l_1}{d_1}\cdot\frac{u_1^2}{2}+\lambda\frac{l_3}{d_3}\cdot\frac{u_3^2}{2}+\frac{u_3^2}{2}$$

35．已知：$d_B=d_C=20mm$, $l_B=2m$, $l_C=4m$, $\lambda=0.028$

求：(1) $\zeta_B=\zeta_C=0.17$ 时，q_{VB}/q_{VC}

(2) H 增加，$\zeta_B=\zeta_C=24$ 时，q'_{VB}/q'_{VC}

(3) 均布条件



解题思路：(1) 由汇点 0 至两管口截面列柏努利方程：

$$h_{fB}+\frac{u_B^2}{2}=h_{fC}+\frac{u_C^2}{2}$$

$$\therefore(\lambda\frac{l_B}{d_B}+\zeta_B+1)\frac{u_B^2}{2}=(\lambda\frac{l_C}{d_C}+\zeta_C+1)\frac{u_C^2}{2}$$

$$\therefore\frac{u_B}{u_C}=\sqrt{\frac{\lambda\frac{l_C}{d_C}+\zeta_C+1}{\lambda\frac{l_B}{d_B}+\zeta_B+1}}$$

$$d_B=d_C$$

$$\therefore\frac{q_{VB}}{q_{VC}}=\frac{u_B}{u_C}=\sqrt{\frac{\lambda\frac{l_C}{d_C}+\zeta_C+1}{\lambda\frac{l_B}{d_B}+\zeta_B+1}}$$

（2） ζ=24 时

$$\therefore\frac{q_{VB}}{q_{VC}}$$

q_{VB} 与 q_{VC} 的比值与 H 的变化无关。

（3）计算说明流体均布是以能量损失为条件的。

36．已知：q_m=5000kg/h，L=100km, d=300mm, P_2=0.15MPa (绝压)，T=20℃，λ=0.016, ρ=0.85kg/m^3(标准状态)。

求：P_1

解题思路：对等温流动

$$G^2\ln\frac{P_1}{P_2}+\frac{P_2^2-P_1^2}{2P_1\nu_1}+\lambda\frac{l}{2d}G^2=0$$

$$\nu_1=\frac{1}{\rho_1}=\frac{1}{\rho_0}\cdot\frac{T}{T_0}\cdot\frac{P_0}{P_1}=\frac{1}{0.85}\times\frac{293}{273}\times\frac{1.013\times10^5}{P_1}$$

$$=\frac{1.28\times10^5}{P_1}$$

$$G=\frac{q_m}{A}$$

.试差求得 P_1(绝)

37．已知：d=300mm, M=60, T=40℃, P=101.3kN/m^2, μ=0.02mPa·S, 用毕托管测流速，R_{max}=30mmH$_2$O，

求：$\bar{u}$

解题思路：$\rho = \frac{\overline{M}}{22.4} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$

由毕托管流速计算式

$$u = \sqrt{\frac{2gR(\rho_i - \rho)}{\rho}}$$

$$\therefore u_{max} = \sqrt{\frac{2gR_{max}(\rho_i - \rho)}{\rho}}$$

$$Re_{max} = \frac{\rho u_{max} d}{\mu}$$

查$\frac{\bar{u}}{u_{max}} \sim R_{emax}$图，得$\frac{\bar{u}}{u_{max}}$

38．已知：孔板流量计测流量 d=5cm, d_0=25mm, R=220mmHg, ρ=1050kg/m^3, μ=0.6mpa·s

求：q_V

解题思路：面积比$m = (\frac{d_0}{d})^2 = (\frac{25}{50})^2 = 0.25$

设 $Re_d > Re_{d\,极限} = 8 \times 10^4$

由图 1-54，查得 C_0=0.625

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

$$u = m u_0$$

验证：$Re_d = \frac{\rho u d}{\mu}$

39．已知：转子流量计 q_{vair}=400~4000l/h，ρ_f=2670kg/m^3，

求：q_{vco_2} 上限

解：由转子流量计

$$\frac{q_{vco_2}}{q_{vair}} = \sqrt{\frac{\rho_{air}(\rho_f - \rho_{co_2})}{\rho_{co_2}(\rho_f - \rho_{air})}}$$

$\because \rho_{气} << \rho_f$

$\therefore \rho_f - \rho_{co_2} = \rho_f$，$\rho_f - \rho_{air} = \rho_f$

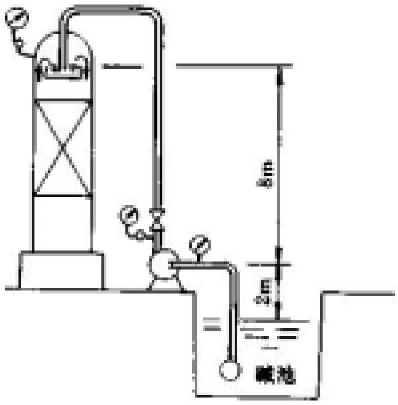
$$\therefore \frac{q_{vco_2}}{q_{vair}} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_{co_2}}} = \sqrt{\frac{M_{air}}{M_{CO_2}}}$$

解题思路：

1. 已知：ΔZ=10m, P_2(表)=0.06MPa，无缝钢管Φ57×3.5mm,L=50m,
ρ=1200kg/m^3, μ=2mpa・S, ε=0.3mm

求：(1) 管路方程

(2) q_v=30m^3/h 时的 H_e，P_e



解题思路：(1) ∵在阻力平方区 ∴ λ=f(ε/d)

ε/d, 查图得λ

管路特性方程

$$H_e = \Delta z + \frac{P_2(表)}{\rho g} + \frac{8\lambda l}{g\pi^2 d^5} q_v^2$$

(2) q_v=30m^3/h 时，

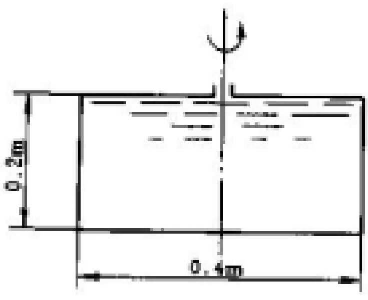
$$H_e = \Delta z + \frac{P_2(表)}{\rho g} + \frac{8\lambda l}{g\pi^2 d^5} q_v^2$$

$$P_e = H_e \cdot q_v \cdot \rho g$$

2. 已知：D=0.4m, H=0.2m, n=1000r/min, ρ=1000kg/m^3,

求：(1) 顶盖 P=f(r)

(2) $\left.\frac{P}{\rho g}\right|_{r=0}^{r=R}$ $\left.\frac{u^2}{2g}\right|_{r=0}^{r=R}$



解题思路：离心力场中静力学方程为

$$P+\rho gz-\frac{\rho\omega^2 r^2}{2}=常数=C$$

$$\therefore C=P_0+\rho gz_0-\frac{\rho\omega^2 r_0^{\ 2}}{2}$$

由小孔处条件知 P_0(表)＝0， z_0=0, r_0=0

∴C=0

$$\therefore P=\frac{1}{2}\rho\omega^2 r^2-\rho gz$$

z= z_0 =0,

(2) $\because P+\rho gz-\frac{\rho\omega^2 r^2}{2}=常数=0$

$$\therefore P=(P+\rho gz)=\frac{\rho\omega^2 r^2}{2}$$

$$\therefore \frac{P}{\rho g}=\frac{\omega^2 r^2}{2g}=\frac{u^2}{2g}$$

$$\therefore \left.\frac{P}{\rho g}\right|_{r=0}^{r=R}=\left.\frac{u^2}{2g}\right|_{r=0}^{r=R}$$

3. 已知：q_v=71m^3/h, P_1(真)=0.029MPa，P_2(表)=0.31MPa，d_1=d_2, Δz_{12}=0,
ρ=1000kg/m^3,$P_{轴}$=10.4kW

求：H_e, η

解题思路：(1)由泵吸入端（截面）至泵出口端（2 截面）列机械能衡算式

得 $\frac{P_1}{\rho g}+z_1+\frac{u_1^2}{2g}+He=\frac{P_2}{\rho g}+z_2+\frac{u_2^2}{2g}$

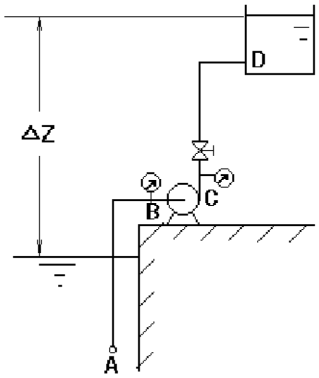
∵高度差不计，且 d_1=d_2, u_1=u_2,

$$\therefore \boldsymbol{He}=\frac{\boldsymbol{P_2}-\boldsymbol{P_1}}{\rho \boldsymbol{g}}=\frac{\boldsymbol{P_2}(表)+\boldsymbol{P_1}(真)}{\rho \boldsymbol{g}}$$

(2) $\eta=\frac{\boldsymbol{P_e}}{\boldsymbol{P}_{轴}}=\frac{\boldsymbol{H_e q_v}\rho \boldsymbol{g}}{\boldsymbol{P}_{轴}}$

4. 已知：吸入管Φ70×3mm, L_{AB}=15m, 压出管Φ60×3mm, L_{CD}=80m, λ=0.03,
Δz=12m, He=30-6×10^5q_v^2,

求：q_V, q'_v



解题思路：(1)从江面至高位槽液面排机械能衡算式得管路特性方程

$$H=\Delta z+\Sigma H_f=\Delta z+\lambda\left(\frac{8L_{AB}}{\pi^2 d_1^5 g}+\frac{8L_{CD}}{\pi^2 d_2^5 g}\right)q_v^2$$

将管路方程与泵的特性方程联立，可得 q_V

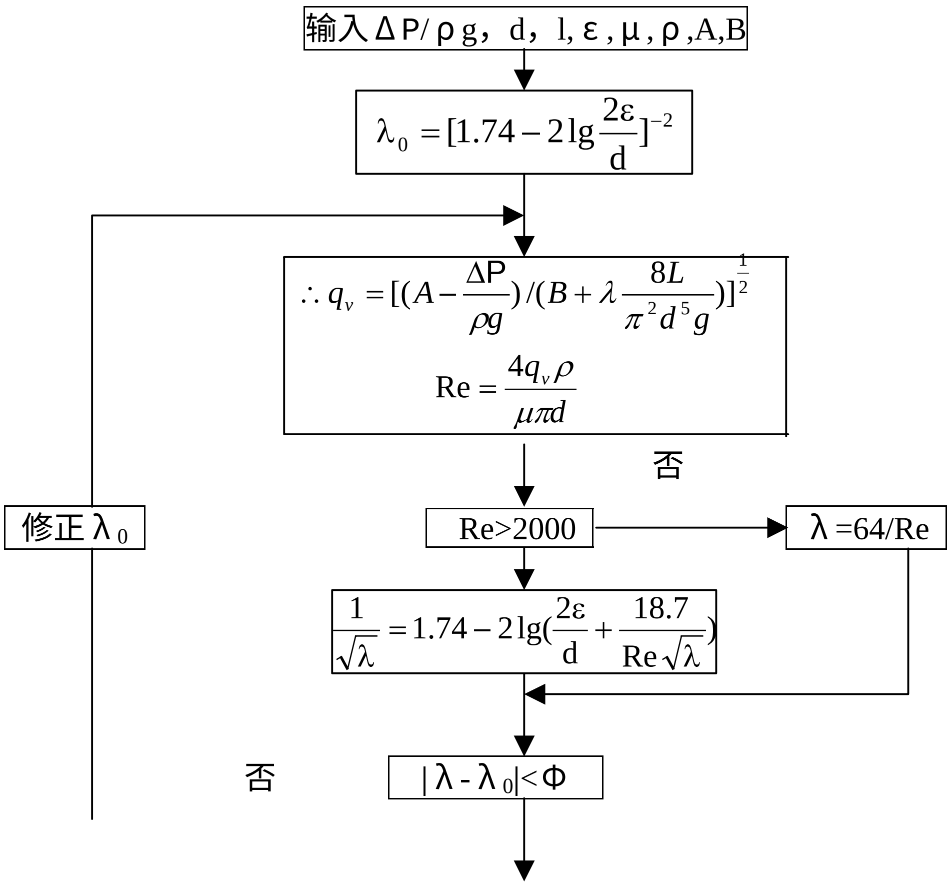
(2)江面下降 3m，$\Delta z=15$，两方程重新联立

5. 已知：$\Delta P/\rho g$，d，l, ε , μ , ρ ,$He=A-Bq_v^2$

求：计算 q_v 的框图

解题思路：$\because \begin{cases} H=\dfrac{\Delta P}{\rho g}+\lambda\dfrac{L}{d^5}\cdot\dfrac{8q_v^2}{\pi^2 g} \\ He=A-Bq_v^2 \end{cases}$ $\quad\therefore q_v=\left[\left(A-\dfrac{\Delta P}{\rho g}\right)/\left(B+\lambda\dfrac{8L}{\pi^2 d^5 g}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$

框图如下：



是

输 出 q_v

6. 已知：离心水泵的特性曲线数据如下：

q_v *l*/min	0	1200	2400	3600	4800	6000
H_e m	34.5	34	33	31.5	28	26

管路Δz=5m,L=360m,d=120mm, λ=0.02,两槽敞口

求：q_v，P_e

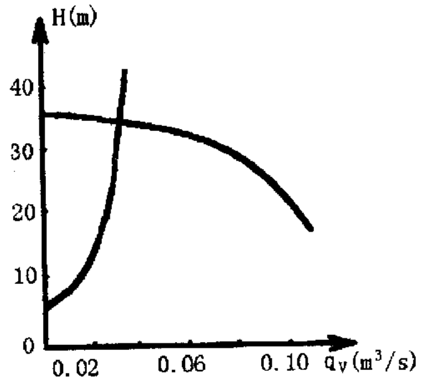
解题思路：对于管路：有 $H=\frac{\Delta P}{\rho g}+\Delta z+\frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5 g}q_v^2$

两槽敞口 ∴ΔP=0

将数据列表：

流量 q_v m^3/s	0	0.02	0.04
泵 H_e m	34.5	34	33
管路 H m	5	14.6	43.21

作图求得交点：q_v，H_e



∴$Pe=q_vH_e\rho g$

7. 已知：泵特性方程 $H_e=20-2q_v^2$（H_e—m，q_v—m^3/min），单泵 $q_v=1m^3/min$，两敞口容器 $z_{12}=10m$

求：$q_v=1.5m^3/min$ 时，两泵串联还是并联。

解题思路：假定管路λ=const

则单泵时，管路 $H=\frac{\Delta P}{\rho g}+Kq_v^2=\frac{\Delta P}{\rho g}+\Delta z_{12}+Kq_v^2$

两敞口容器：ΔP=0，$\Delta z_{12}=10m$

∴$H_e=10+Kq_v^2$

由 $q_v=1m^3/min$ 求 H_e

由 H_e 求 K

现 $q_v=1.5m^3/min$ 求管路所需压头

算两泵并联， 串联时流量

8. 已 知 ： n=1480r/min 时 ， 泵 $H_e=38.4-40.3q_v^2$ (H_e — m ， q_v — m^3/min) ，

$\Delta P/\rho g=16.8m$, Φ76×4mm, L=1360m, λ=0.03

求：(1）输液量 q_v；

（2）当 n’=1700rpm 时为 q_v’

解题思路：(1) 对于管路有（q_v取 m^3/min)

$$H=\frac{\Delta P}{\rho g}+H_f=16.8+\lambda\frac{L}{d}\cdot\frac{1}{2g}\left(\frac{1}{\frac{1}{4}\pi d^2}\right)^2\left(\frac{q_v}{60}\right)^2$$

$$H=H_e$$

$$得q_v=0.178m^3/\min$$

（2）n’=1700rpm

根据比例定律

$$\frac{H_e'}{H_e}=\left(\frac{n'}{n}\right)^2\ ,\quad \frac{q_v'}{q_v}=\left(\frac{n'}{n}\right)$$

$$\therefore\frac{H_e'}{H_e}=\left(\frac{q_v'}{q_v}\right)^2$$

$$\therefore H_e'=(38.4-40.3q_v^2)\left(\frac{q_v'}{q_v}\right)^2$$

$$=38.4\times\left(\frac{n'}{n}\right)^2-40.3q_v'^2$$

$$=38.4\times\left(\frac{1700}{1480}\right)^2-40.3q_v'^2$$

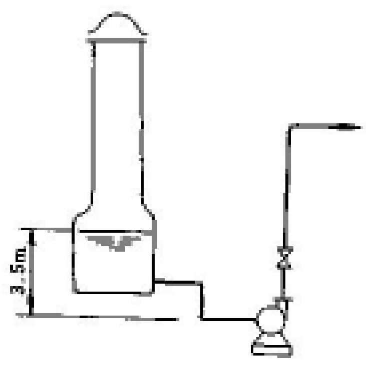
$$=50.7-40.3q_v'^2$$

与管路 $H'=16.8+645q_v'^2$ 联立

得 q_v’

9．已知：$[NPSH]_r$=3.5m, ($H_{f吸}+u_1^2/2g$)=3J/N, H_g=3m, P_0=90kPa, t_{H_2O} =20℃

求：是否汽蚀？



解题思路：查得 20℃下水的饱和蒸汽压为 2338.43Pa

$$[Hg]=\frac{p_0}{\rho g}-\frac{p_v}{\rho g}-\sum H_{f吸}-[(NPSH)_r+0.5]$$

10．已知：P_0（真)=67kPa，$P_v=P_0$（绝)，H_g=-3.5m，ρ=986kg/m^3，$H_{f\ 0\text{-}1}$=0.87m，$[NPSH]_r$=3.7m

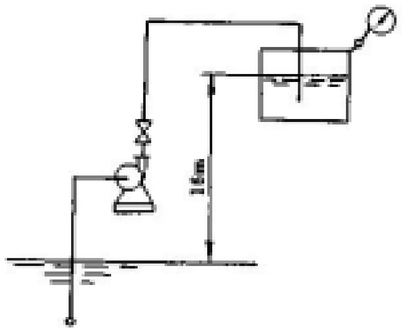
求：是否适宜，不适宜如何安装？

解题思路：由 0-1 列柏努利方程

$$\therefore [H_g] = \frac{P_o - P_v}{\rho g} - [(NPSH)_r + 0.5] - \Sigma H_{f\,0-1}$$

11．已知：z_{12}=16m, P_2（表)=0.03MPa，q_m=40 吨/时，ΣH_f=4.1J/N

求：选水泵的型号



解题思路：以两液面 1 至 2 列柏努利方程

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g} + \sum H_f = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \sum H_f$$

$q_v = \dfrac{q_m}{\rho}$，查教材图 2-23，选型

12．已知：n=60 次/min，D=200mm，d=30mm，S=300mm，q_v=0.018m^3/s

求：η_v

解题思路：$q_{vT} = \dfrac{ZV_s \cdot n}{60} = \dfrac{Z(2F-f)\cdot s\cdot n}{60}$

z=1，F=πD^2/4=0.785×0.2^2=0.0314m^2，f=πd^2/4=0.785×0.03^2=7.065×10^{-4}m^2

S=0.3, n=60

$$\therefore \eta_v = \frac{q_v}{q_{v_T}}$$

13．已知：ρ=0.75kg/m^3，q_v =12700m^3/h，p_T=1.18kPa，风机 q_{v0}=12700m^3/h，p_{T0}=1.57kPa

求：此风机可用否？

解题思路：$p_T \propto \rho$，且出厂规定 ρ_0=1.2kg/m^3,

$$\therefore [p_T] = \frac{\rho}{\rho_0} p_{T_0}$$

解题思路：

1. 已知：圆柱体 d_p，h

h=d_p=4mm, D=1m, L=1.5m, ε=0.43,T=20℃, P=101.3kPa 空气，

q_v=360m^3/h

求：$d_{e,v}$，ψ表达式，ΔP

解题思路：体积相等，V=πd_p^2h/4=π/6$d_{e,v}^3$

$$\therefore d_{e,v}=\sqrt[3]{\frac{3}{2}d_p^2 h}$$

$$\psi=\frac{S_{球}}{S}=\frac{\pi d_{ev}^2}{\pi d_p h+2\times\frac{\pi}{4}d_p^2}=\frac{(\frac{3}{2}d_p^2 h)^{\frac{2}{3}}}{d_p h+\frac{1}{2}d_p^2}=\frac{(18d_p h)^{\frac{1}{3}}}{2h+d_p}$$

$$a=\frac{6}{\psi d_{e,v}}$$

$$u=\frac{q_v}{\frac{\pi}{4}D^2}$$

查 20℃，101.3kPa 下空气 ρ=1.2kg/m^3, μ=1.81×10^{-5}Pa·S

$$Re'=\frac{\rho u}{a(1-\varepsilon)\mu}$$

用欧根公式

$$\Delta P=L[4.17\frac{(1-\varepsilon)^2 a^2}{\varepsilon^3}\mu u+0.29\frac{(1-\varepsilon)a}{\varepsilon^3}\rho u^2]$$

2. 已知：20℃, 101.3kPa 空气，u=0.3m/s, ΔP/L=220Pa/m

u=0.8m/s, ΔP/L=1270Pa/m

30℃,0.7MPa 甲烷　　u=0.4m/s

μ=0.012mpa·S, ρ=4.5kg/m^3

求：甲烷ΔP/L

解题思路：将欧根公式简化：

$$\frac{\Delta P}{L}=4.17\frac{(1-\varepsilon)^2 a^2}{\varepsilon^3}\mu u+0.29\frac{(1-\varepsilon)a}{\varepsilon^3}\rho u^2$$
$$=A\mu u+B\rho u^2$$

查 20℃，101.3kPa 空气 $\rho=1.2kg/m^3$, $\mu=0.0181mPa\cdot S$
将两组数据代入上式，得　A，B，

$$\therefore 甲烷\frac{\Delta P}{L}=A\mu' u'+B\rho' u'^2$$

3. 已知：板框 20 只，尺寸 0.45×0.45×0.025m, $\phi=0.016m^3$ 固/m^3 悬浮液，滤饼中含水 50%（质量），$\rho_p=1500kg/m^3$, $\rho=1000kg/m^3$,
求：滤饼充满滤框所得滤液 V
解题思路：$V_{饼}=20\times0.45\times0.45\times0.025m=0.101(m^3)$

$$\varepsilon=\frac{50/\rho}{50/\rho_p+50/\rho}$$

$$(1-\phi)(V+V_{饼})=V+\varepsilon\cdot V_{饼}$$

$$\therefore V=\frac{(1-\phi-\varepsilon)\ V_{饼}}{\phi}$$

4. 已知：恒压过滤 $A=1m^2$, 测得

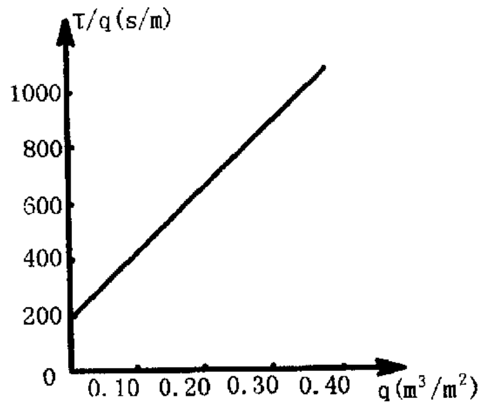
滤液量 V（m^3）	0.10	0.20	0.30	0.40
过滤时间 τ (s)	38	115	228	380

求：K，q_e
解题思路：∵恒压
$q^2+2qq_e=K\tau$

$$\therefore \frac{\tau}{q}=\frac{1}{K}q+\frac{2q_e}{K}$$

由已知计算出

τ/q（s/m)	380	575	760	950
q (m^3/m^2)	0.10	0.20	0.30	0.40



由图可得截距$=\frac{2q_e}{K}$，　斜率　$=\frac{1}{K}$

解得 K, q_e

5. 已知：$V=3800m^3/year$，工作 5000hr/year，恒压 $\tau+\tau_D=2.5hr$，$\tau=1.5hr$，$K=4\times10^{-6}m^3/s$，$q_e=2.5\times10^{-2}m^3/m^2$，滤饼不洗涤

求：(1) A

(2) $A_{单}=8m^2$ 时，需几台？

解题思路：(1) 每一周期滤液量 $V=\dfrac{3800}{5000/2.5}=1.9m^3$

恒压过程

$q^2+2qq_e=K\tau$

$$q=\sqrt{K\tau+q_e^2}-q_e$$

$$V=qA$$

$$A=\frac{V}{q}$$

(2) $A_{单}=8m^2$，$\dfrac{A}{A_{单}}$ 取整，得台数

6. 已知：恒压下，过滤时间 τ，辅助时间 τ_D，洗涤时间 $\tau_W=0$

求证：$\tau=\tau_D+2q_e\sqrt{\dfrac{\tau_D}{K}}$ 时，生产能力最大

解题思路：恒压下，$q^2+2qq_e=K\tau$，$\tau=(q^2+2qq_e)/K$

生产能力 $Q=\dfrac{V}{\tau+\tau_D}=\dfrac{qA}{\frac{1}{K}(q^2+2qq_e)+\tau_D}=AK\dfrac{q}{q^2+2qq_1+\tau_D K}=f(q)$

当 $dQ/dq=0$ 时，q_{opt} 代入 f (q)即是最大生产能力

$$\therefore\frac{dQ}{dq}=AK\frac{q^2+2qq_e+K\tau_D-2(q+q_e)q}{(q^2+2qq_e+K\tau_D)^2}=0$$

7. 已知：恒压过程：$\tau=10min$ 时，$V=4L$，$\Delta\tau_1=10min$，$\Delta V_1=2L$，$\Delta\tau_2=10min$

求：ΔV_2

解题思路：恒压时 $V^2+2VV_e=KA^2\tau$

由已知条件建两个式子，解出

$$\therefore V_e,\quad KA^2$$

$$\tau_2=\tau+\Delta\tau_1+\Delta\tau_2=10+10+10=30\,min$$

$$\therefore V_2^2+2V_2V_e=KA^2\tau_2$$

解得 V_2

$$\therefore\Delta V_2=V_2-V-\Delta V_1$$

8. 已知：恒速过滤阶段 $\tau_1=10min$，$v_1=5L$，恒速过滤阶段 $\Delta\tau=60min$，$q_e=0$

求：ΔV

解题思路：恒速过滤 $V^2+VV_e=\frac{1}{2}KA^2\tau$

$q_e=0 \qquad V_1^2=\frac{1}{2}KA^2\tau$

$\therefore KA^2=\frac{2V_1^2}{\tau}$

恒压阶段的 K 即是恒速终了时的 K

$\therefore$恒压过滤 $(V^2-V_1^2)+2V_e(V-V_1)=KA^2(\tau-\tau_1)$

$V_e=0$

$V^2-V_1^2=KA^2(\tau-\tau_1)$

$\therefore \Delta V=V-V_1$

9. 已知：叶滤机，恒压下测得 $q^2+20q=250\tau$ (q-L/m^2 τ-min)实际操作，恒速过程 τ=5min，压强升至试验压，再恒压操作，全部过滤时间 τ=20min

求：(1) τ=20min， q_1

(2) $q_w=q/5$，求 τ_w

解题思路：(1) 恒压过滤 $q^2+2qq_e=K\tau$

∵恒速过滤：

$q_1^2+q_1q_e=\frac{1}{2}K\tau_1$

解得 q_1

恒压过滤：

$q^2-q_1^2+2(q-q_1)q_e=K(\tau-\tau_1)$

解得q

(2) $q_w=\frac{1}{5}q$

叶滤机 $(\frac{dq}{d\tau})_w=\frac{K}{2(q+q_e)}$

$\therefore \tau_w=\frac{q_w}{(\frac{dp}{d\tau})_w}$

10. 已知：板框压滤机，10 只板框，尺寸 635×635×25mm, 水悬浮液含 $CaCO_3$13.9%(质量)，滤饼含水 50%(质量)，ρ_p=2710kg/m^3,20℃，恒压操作下，K=1.57×10^{-5}m^2/s, q_e=0.00378m^3/m^2，

求：(1) 充满滤框的时间 τ

(2) 在相同条件下洗涤，$V_w=\frac{1}{10}V$，τ_w

解题思路：(1) A=10×2×0.635^2=8.06m^2

$V_e=q_eA$

恒压过滤：$V^2+2VV_e=KA^2\tau$

根据物料衡算：

$V_{饼}=0.635^2\times0.025\times10=0.1008m^3$

$$\varepsilon=\frac{50/\rho}{50/\rho_p+50/\rho}$$

$$\phi=\frac{13.9/\rho_p}{13.9/\rho_p+(100-13.9)/\rho}$$

$$(V+V_{饼})\ \phi=V_{饼}(1-\varepsilon)$$

$$\therefore V=\frac{(1-\phi-\varepsilon)\ V_{饼}}{\phi}$$

代入恒压过滤方程，得τ

(2)板框压滤机

$$\tau_w=\frac{8(V+V_e)V_w}{KA^2}$$

11．已知：叶滤机 A=1.6m^2, s=0

在过滤初期 50s 内，压差升至 1×10^5Pa，以后在此压力下恒压操作。

测得：

V (m^3)	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24
τ (s)	50	164	317	512	750	1029

求：(1) 此压强下，K，q_e

(2) 若ΔP=1.5×10^5Pa 下恒压操作，τ=750s，求 V

解题思路：(1) 对于τ_1=50s，$V_1=0.04m^3$后的恒压段有

$$q^2-q_1^2+2q_e(q-q_1)=K(\tau-\tau_1)$$

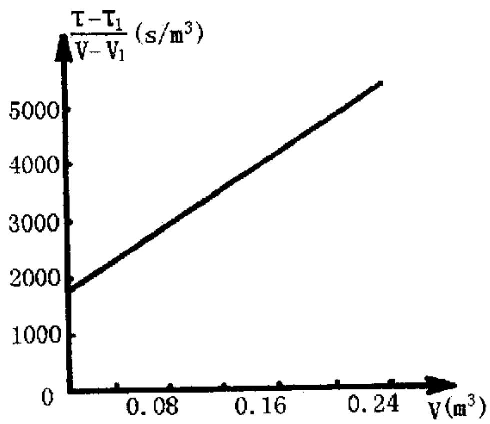
$$\therefore\frac{\tau-\tau_1}{q-q_1}=\frac{1}{K}q+\frac{1}{K}(q_1+2q_e)$$

$$或\frac{\tau-\tau_1}{V-V_1}=\frac{1}{KA^2}V+\frac{1}{KA^2}(V_1+2V_e)$$

计算得：

$(\tau-\tau_1)/(V-V_1)$ (s/m^3)	2850	3338	3850	4375	4895
V (m^3)	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24

由图可得：



$\therefore$ 截距 $\frac{1}{KA^2}(V_1+2V_e)$

斜率 $\frac{1}{KA^2}$

$A=1.6m^2, K$ ， V_e

$q_e=\frac{V_e}{A}$

(2) $\Delta P' = 1.5\times10^5 N/m^2$

$\therefore K'=\frac{\Delta P'}{\Delta P}K$

恒压过滤：$V^2+2VV_e=KA^2\tau$

解得 V

12．已知：n=2r/min, $Q=4m^3/hr$, $q_e=0$, 恒压操作

求：$Q'=6m^3/hr$, n', L'/L

解题思路：回转真空过滤：

恒压时：$q=\sqrt{K\tau+q_e^2}-q_e$ $\quad$ $q_e=0,\ \ q=\sqrt{K\tau}=\sqrt{K\frac{\varphi}{n}}$

$$Q=nqA=nA(\sqrt{K\tau+q_e^2}-q_e)=nA(\sqrt{K\frac{\varphi}{n}+q_e^2}-q_e)$$

$q_e=0, \therefore Q=A\sqrt{Kn\varphi}$

$\therefore \frac{n'}{n} = (\frac{Q'}{Q})^2 \qquad n' = (\frac{Q'}{Q})^2 \times n$

$L \propto q$

$q = \sqrt{K \frac{\varphi}{n}}$

$\therefore L \propto \sqrt{\frac{1}{n}}$

即 $\frac{L'}{L} = \sqrt{\frac{n}{n'}}$

解题思路：

1. 已知：d_p=30μm, ρ_p=2600kg/m^3, T=20℃,
求：水中 u_t，空气中 u_t'
解题思路：查 20℃水，ρ=998kg/m^3，μ=1 mPa·s
空气 ρ=1.2kg/m^3，μ=0.0181mPa·s
设沉降在斯托克斯区
∴在水中

$$u_t = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

验 $\mathbf{Re} = \dfrac{\rho u_t d_p}{\mu}$

在空气中

$$u_t' = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

验 $\mathbf{Re} = \dfrac{\rho u_t d_p}{\mu}$

2. 已知：ρ_p=2000kg/m^3, 60℃空气
求：服从斯托克斯定律的 $d_{p\max}$。

解题思路：服从斯托克斯定律的最大颗粒满足 $\mathrm{Re}_p = \dfrac{d_{p\max}\cdot u_t \cdot \rho}{\mu} = 2$

而 $u_t = \dfrac{g d_{p\max}^2(\rho_p - \rho)}{18\mu}$，由两式消去 u_t，

得 $d_{p\max} = \left(\dfrac{36\mu^2}{g(\rho_p - \rho)\cdot\rho}\right)^{1/3}$

查 60℃空气，μ=2.01×10^{-5}Pa·s，ρ=1.06kg/m^3。得 $d_{p\max}$

3. 已知：d_p=0.12mm，ρ_p=2300kg/m^3，20℃水，
求：由 0→99% u_t 所需 τ，距离 S。
解题思路：根据牛顿第二定律有

$$F - F_b - F_D = m\frac{du}{d\tau}$$

F=mg， $F_b = \dfrac{m}{\rho_p}\rho g$， $F_D = 3\pi d_p \mu u$ (设处于斯托克斯区)

$$\therefore \frac{du}{d\tau}=\frac{\rho_p-\rho}{\rho_p}g-\frac{18\mu}{d_p^2\rho_p}u$$

积分得 $\tau=-\frac{d_p^2\rho_p}{18\mu}\ln\left[1-\frac{18\mu}{d_p^2(\rho_p-\rho)g}\cdot u\right]$

$$=-\frac{d_p^2\rho_p}{18\mu}\ln(1-\frac{u}{u_t})$$

查 20℃水 ρ=998.2kg/m^3， μ=1.005×10^{-3}Pa·S。

设处于斯托克斯区，

则 $\boldsymbol{u_t}=\frac{\boldsymbol{d_p^2(\rho_p-\rho)g}}{\boldsymbol{18\mu}}$

验证 $\mathbf{Re}_p=\frac{\boldsymbol{d_p u_t\rho}}{\boldsymbol{\mu}}$

得τ

由积分式得 $u=u_t\left(1-e^{-\frac{18\mu}{d_p^2\rho_p}\cdot\tau}\right)$

$$u=\frac{ds}{d\tau}$$

$$\therefore S=\int_0^\tau ud\tau=u_t\int_0^\tau(1-e^{-\frac{18\mu}{d_p^2\rho_p}\cdot\tau})d\tau$$

$$=u_t\left[\tau+\frac{d_p^2\rho_p}{18\mu}(e^{-\frac{18\mu}{d_p^2\rho_p}\cdot\tau}-1)\right]$$

4. 已知：20℃水溶液， τ=1hr，H=5cm, ρ$_p$=300kg/m^3

求：d_{pmax}。

解题思路：查 20℃水， ρ=998kg/m^3， μ=1mPa·s

设沉降在斯托克斯区

$$\boldsymbol{u_t}=\frac{\boldsymbol{H}}{\boldsymbol{\tau}}$$

$$u_t=\frac{d_p^2(\rho_p-\rho)g}{18\mu}$$

$$\therefore \boldsymbol{d_{p\max}}=\sqrt{\frac{\boldsymbol{18\mu u_t}}{\boldsymbol{(\rho_p-\rho)g}}}$$

验 $\mathbf{Re}=\frac{\boldsymbol{\rho u_t d_p}}{\boldsymbol{\mu}}$

5. 已知：重力沉降室 L=2m，B=1.5m，101.3kPa，100℃物性同空气，

q_V=2700m^3/h， ρ_p=2400kg/m^3。

求：(1) 100%除去的 d_{pmin}

(2) d_p’=0.05mm, 除去的百分率 η_p

解题思路：查 101.3kPa，100℃， ρ=0.946kg/m^3, μ=2.19×10^{-5}Pa · S

(1) 设 100%除去 d_{pmin} 颗粒沉降在斯托克斯区

$$q_v = Au_t \qquad u_t = \frac{q_v}{A} = \frac{q_v}{B \cdot L}$$

$$\therefore d_{p\min} = \sqrt{\frac{18\mu u_t}{(\rho_p - \rho)g}}$$

验 $$\mathrm{Re} = \frac{\rho u_t d_{p\min}}{\mu}$$

(2) 设尘粒在入口处均匀分布，则当 d_p’<d_{pmin} 时，

$$\eta_p = \frac{u_{tp}}{u_p} \qquad u_{tp} = \frac{d_p'^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

即 $$\eta_p = \frac{u_{tp}}{u_t} = \left(\frac{d_p'}{d_{p\min}}\right)^2$$

6. 已知：d_A=0.1~0.3mm, ρ_{pA}=1900kg/m^3, d_B=0.1~0.15mm, ρ_{pB}=1350kg/m^3,

ρ=1000kg/m^3。

求：A、B 两种颗粒能否分开？

解题思路：∵ 沉降在斯托克斯区

$$\therefore u_t = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho)g}{18\mu}$$

即 $u_t \propto (\rho_p - \rho)d_p^2$

同一 d_p ∵ ρ_{pA}> ρ_{pB} 必有 u_{tA}>u_{tB}

能否将 A、B 分开，取决于 A 最小颗粒的沉降速度，是否大于 B 最大颗粒的沉降速度。

$$\frac{u_{tA\min}}{u_{tB\max}} = \frac{(\rho_{pA} - \rho)}{(\rho_{pB} - \rho)} \cdot \left(\frac{d_{pA\min}}{d_{pB\max}}\right)^2$$

若 u_{tAmin}>u_{tBmax}, 则 A、B 可完全分开。

7. 求证：$\zeta \cdot Re^2$ 与 u_t 无关的无因次数群。

求：$\zeta \cdot Re^2$ 小于何值时，沉降是斯托克斯区

解题思路：当颗粒力平衡时

$$\sum F = F_g - F_b - F_D = 0$$

即 $\frac{\pi}{6}d_p^3(\rho_p-\rho)g=\zeta\cdot\frac{\pi}{4}d_p^2\cdot\frac{1}{2}\rho u_t^2$

$$\therefore\zeta=\frac{4d_p}{3u_t^2}\frac{(\rho_p-\rho)}{\rho}g$$

而 $Re=\frac{\rho u_t d_p}{\mu}$

$$\therefore\zeta Re^2=\frac{4d_p}{3u_t^2}\cdot\frac{(\rho_p-\rho)}{\rho}g\cdot\frac{\rho^2u_t^2d_p^2}{\mu^2}$$

$$=\frac{4d_p^3(\rho_p-\rho)g}{3\mu^2}$$ 与 u_t 无关。

当沉降在斯托克斯区 $\zeta=24/Re$， $Re_{max}=2$，可得 $(\zeta\mathbf{Re}^2)_{max}$

8. 已知：

粒径μm	5~10	10~20	20~40	40~100
质量分率 $x_{入i}$	0.20	0.20	0.30	0.30
粒级效率 η_i	0.80	0.90	0.95	1.00

$W_{入}=18g/m^3$　　$q_v=1850m^3/h$

求：η_0，出口粒度分布，$W_{出}$（kg/day）

解题思路：$\eta_0=\Sigma x_i\eta_i$

$$\eta_0=\frac{W_{入}-W_{出}}{W_{入}}\qquad W_{出}=(1-\eta_0)\ W_{入}$$

$$\eta_i=\frac{W_{入i}-W_{出i}}{W_{入i}}\qquad W_{出i}=(1-\eta_i)\ W_{入i}=\frac{W_{入i}}{W_{入}}(1-\eta_i)\ W_{入}$$

$$=x_{入i}(1-\eta_i)W_{入}$$

$$x_{出i}=\frac{W_{出i}}{W_{出}}=\frac{(1-\eta_i)x_{入i}}{1-\eta_0}$$

$\boldsymbol{d_p=5\sim10\mu m}$　　$\boldsymbol{x_{出1}}$

$\boldsymbol{d_p=10\sim20\mu m}$　　$\boldsymbol{x_{出2}}$

$\boldsymbol{d_p=20\sim40\mu m}$　　$\boldsymbol{x_{出3}}$

$\boldsymbol{d_p=40\sim100\mu m}$　　$\boldsymbol{x_{出4}}$

$\boldsymbol{W_{出}=(1-\eta_0)\ W_{入}}$

9. 已知：D=1.2m, m=3.62 吨，ρ_p=1100kg/m^3, $L_{固}$=5m, $L_{流}$=10m。

求：(1) $\varepsilon_{固}$ (2) $\varepsilon_{流}$ (3) ΔP

解题思路：(1) 颗粒所占体积$\boldsymbol{V_p = \frac{m}{\rho_p}}$

床层$\boldsymbol{V = \frac{\pi}{4}D^2 L_{固}}$

$\therefore \varepsilon_{固} = \boldsymbol{1 - \frac{V_p}{V}}$

(2) 流化床$\boldsymbol{V = \frac{\pi}{4}D^2 L_{流}}$

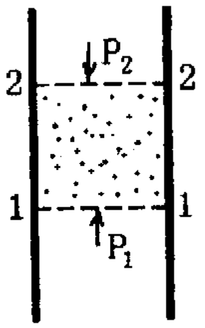
$\therefore \varepsilon_{流} = \boldsymbol{1 - \frac{V_p}{V}}$

(3) $\Delta P = \frac{m}{A\rho_p}(\rho_p - \rho)g$

$\rho_p >> \rho \qquad \therefore \rho_p - \rho = \rho_p$

$\therefore \Delta P = \boldsymbol{\frac{m}{A} \cdot g}$

10．已知：颗粒质量 m，颗粒密度ρ_p，流体密度ρ，



求证：流化床压降$\Delta P = \frac{m}{A\rho_p}(\rho_p - \rho)g$ (用动量守恒定律)

解题思路：颗粒重力 F_2=-mg

流体受重力$G = -\left[A(Z_2 - Z_1) - \frac{m}{\rho_p}\right]\rho g$

两截面压差 F_1=A（P_1－P_2）

∴ 动量守恒 ΣF=m (u_2－u_1)=0

$$\therefore A(P_1-P_2)-\left[A(z_2-z_1)-\frac{m}{\rho_p}\right]\rho g-mg=0$$

11．已知：d_p=55μm, ρ$_p$=1300kg/m^3, ρ=1.54kg/m^3, μ=0.0137mPa・s, D=2m, u=0.3m/s,

求：D$_{扩}$。

解题思路：设 d_p=55μm 颗粒沉降在斯托克斯区

$$\therefore \boldsymbol{u_t}=\frac{\boldsymbol{d_p^2(\rho_p-\rho)g}}{\boldsymbol{18\mu}}$$

验证 $\mathbf{Re}=\dfrac{\boldsymbol{d_p u_t \rho}}{\boldsymbol{\mu}}$

当 u$_{扩}$≤u$_t$时，55μm 以上颗粒才不带走。

取 u$_{扩}$=u$_t$为限

$$u_{扩}\cdot D_{扩}^2=uD^2$$

$$\therefore \boldsymbol{D_{扩}}=\boldsymbol{D}\sqrt{\frac{\boldsymbol{u}}{\boldsymbol{u_t}}}$$

12．已知：欧根方程，小颗粒惯性项可忽略，且$\dfrac{1-\varepsilon_{mf}}{\psi^2\varepsilon_{mf}^3}=11$

大颗粒粒性项可忽略，且$\dfrac{1}{\psi\varepsilon_{mf}^3}=14$

求证：$\dfrac{u_t}{u_{mf}}$小颗粒为91.6, 大颗粒为8.61。

解题思路：小颗粒，粘性项为主。

由欧根公式$\dfrac{\Delta P}{L}=150\dfrac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}\cdot\dfrac{\mu u}{(\psi d_p)^2}+1.75\dfrac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3}\cdot\dfrac{\rho u^2}{\psi d_p}$

得$\dfrac{\Delta P}{L_{mf}}=150\dfrac{(1-\varepsilon_m)^2}{\varepsilon_m^3\psi^2}\cdot\dfrac{\mu u_{mf}}{d_p{}^2}=1650(1-\varepsilon_m)\dfrac{\mu u_{mf}}{d_p{}^2}$

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}}=\frac{m}{AL_{mf}\rho_p}(\rho_p-\rho)g=(1-\varepsilon_m)(\rho_p-\rho)g$$

得$u_{mf}=\dfrac{d_p^2(\rho_p-\rho)g}{1650\mu}$

大颗粒，惯性项为主， 得

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = 1.75\frac{1-\varepsilon_m}{\varepsilon_m^3\psi}\cdot\frac{\rho u_{mf}^2}{d_p} = 24.5(1-\varepsilon_m)\frac{\rho u_{mf}^2}{d_p}$$

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1-\varepsilon_m)(\rho_p - \rho)g$$

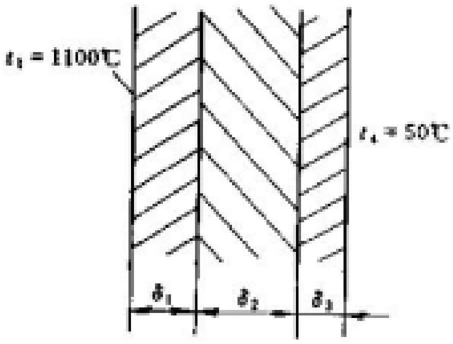
$$\therefore u_{mf} = \sqrt{\frac{d_p(\rho_p-\rho)g}{24.5\rho}}$$

$$\zeta = 0.44 \quad \therefore u_t = \sqrt{\frac{4g(\rho_p-\rho)d_p}{3\rho\zeta}} = \sqrt{\frac{4g(\rho_p-\rho)d_p}{3\times 0.44\times\rho}}$$

解题思路：

1. 已知：λ_1=1.3W/m.K, λ_2=0.18W/m.K, λ_3=0.93W/m.K, T_1=1100℃, t_2=900℃, t_4=50℃, δ_3=12cm, q=1200W/m^2, 接触热阻可忽略。

求：δ_1，δ_2



解题思路：$q=\lambda\frac{\Delta t}{\delta}$

$\therefore \delta_1=\lambda_1\frac{\Delta t_1}{q}=\lambda_1\frac{t_1-t_2}{q}$

又 $q=\lambda_2\frac{\Delta t_2}{\delta_2}=\lambda_3\frac{\Delta t_3}{\delta_3}$

即$q=\frac{t_2-t_3}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}}=\frac{t_3-t_4}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}}$

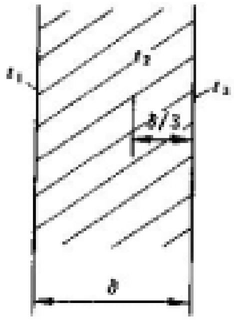
$$q=\frac{t_2-t_4}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

即$\frac{\delta_2}{\lambda_2}=\frac{t_2-t_4}{q}-\frac{\delta_3}{\lambda_3}$

得δ_2

2. 已知：δ_2=(1/3)δ, t_2=300℃, t_3=50℃

求：t_1



解题思路：$q=\lambda\frac{t_1-t_3}{\delta}=\lambda\frac{t_2-t_3}{\delta_2}$

$$\therefore t_1=(t_2-t_3)\frac{\delta}{\delta_2}+t_3$$

3．已知：G=0.048kg/m^2·S，t_2=110℃，r =2000kJ/kg，垢层δ=2mm，
λ=0.65W/m^2·K。
求：t_1
解题思路：q=G·r

$$q=\lambda\frac{\Delta t}{\delta}=\lambda\frac{t_1-t_2}{\delta}$$

$$\therefore t_1=q\frac{\delta}{\lambda}+t_2$$

4．已知：外径Φ150mm，λ=0.103+0.000198t(t:℃)，蒸汽管外壁温度 t_0=180℃，保温层外壁温度 t_1=50℃，冷凝量 G=1×10^{-4}kg/m·s。
求：保温层厚度δ
解题思路：Q=G·r
查 180℃水，r =2019kJ/kg
∴Q/L
对于圆筒壁

$$Q=\frac{2\pi L\lambda(t_1-t_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

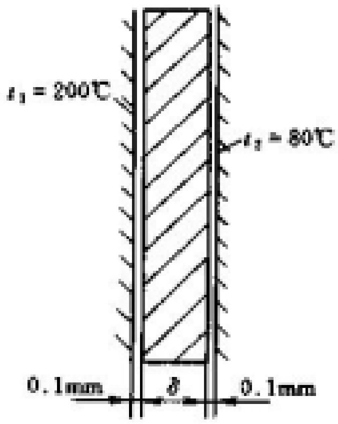
r_1=d/2=75mm
r_2=r_1+δ=(75+δ)mm
保温层平均温度 $t_m=(t_0+t_1)/2$=(180+50)/2=115℃
∴λ=0.103+0.000198t_m
=0.103+0.000198×115=0.126W/m·K

$$\therefore \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)=\frac{2\pi\lambda(t_1-t_2)}{Q/L}$$

∴ 得 δ
5．已知：D=120mm，气体δ_g=0.1mm，λ_g=0.030W/m·K，t_1=200℃，t_2=80℃，

Q=40W。

求：$\frac{\lambda'-\lambda}{\lambda}$



解题思路：$\boldsymbol{q=\frac{Q}{A}}$

$$q=\frac{t_1-t_2}{\delta/\lambda'}=\frac{t_1-t_2}{\frac{\delta}{\lambda}+2\cdot\frac{\delta_g}{\lambda_g}}$$

$$\therefore \frac{\delta}{\lambda'}=\frac{\delta}{\lambda}+2\frac{\delta_g}{\lambda_g}$$

$$\frac{\lambda'-\lambda}{\lambda}=\frac{\lambda'}{\lambda}-1=\frac{\delta/\lambda}{\delta/\lambda'}-1=\frac{\delta/\lambda-\delta/\lambda'}{\delta/\lambda'}=\frac{-2\frac{\delta_g}{\lambda_g}}{\delta/\lambda'}$$

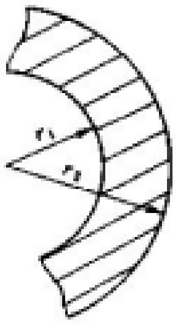
$$\delta/\lambda'=\frac{t_1-t_2}{q}$$

$$\therefore \frac{\lambda'-\lambda}{\lambda}$$

6．已知：通过中空球壁导热的热流量 Q。

$$Q=\frac{\Delta t}{\delta/\lambda A_m}$$

求证：$A_m=\sqrt{A_1A_2}$ （A_1,A_2为球壁的内、外表面积）



$A_1=4\pi r_1^2$
$A_2=4\pi r_2^2$

解题思路：定态 Q=const

一维：$\dfrac{Q}{4\pi r^2}=q=\lambda\dfrac{dt}{dr}$

$$\therefore \frac{Q}{4\pi}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r^2}=\lambda\int_{t_1}^{t_2}dt$$

得 $\dfrac{Q}{4\pi}\left(\dfrac{1}{r_1}-\dfrac{1}{r_2}\right)=\lambda(t_2-t_1)=\lambda\Delta t$

$$Q=\frac{4\pi\lambda\Delta t(r_2\times r_1)}{r_2-r_1}=\frac{\Delta t\cdot\sqrt{4\pi r_1^2\cdot 4\pi r_2^2}}{\delta/\lambda}=\frac{\Delta t\sqrt{A_1A_2}}{\delta/\lambda}$$

7．已知：d_0=25mm，$\delta_1=\delta_2$=25mm，λ_2/λ_1=5，热损 Q，λ_1与λ_2互换，Δt 不变，热损 Q'。

求：Q'/Q

解题思路：圆筒壁 $Q=\dfrac{2\pi\lambda L\Delta t}{\ln\left(\dfrac{d_2}{d_1}\right)}$

$$\therefore Q=\frac{2\pi L\Delta t}{\dfrac{1}{\lambda_1}\ln\dfrac{d_1}{d_0}+\dfrac{1}{\lambda_2}\ln\dfrac{d_2}{d_1}}$$

$$Q'=\frac{2\pi L\Delta t}{\dfrac{1}{\lambda_2}\ln\dfrac{d_1}{d_0}+\dfrac{1}{\lambda_1}\ln\dfrac{d_2}{d_1}}$$

$$\therefore \frac{Q'}{Q}=\frac{\dfrac{1}{\lambda_1}\ln\dfrac{d_1}{d_0}+\dfrac{1}{\lambda_2}\ln\dfrac{d_2}{d_1}}{\dfrac{1}{\lambda_2}\ln\dfrac{d_1}{d_0}+\dfrac{1}{\lambda_1}\ln\dfrac{d_2}{d_1}}$$

显然λ较小的材料放内层热损较小。

8．已知：L=3m，d=53mm，G=172kg/s·m^2，苯被加热，μ=0.49mPa·S,
λ=0.14W/m·K, Cp=1.8kJ/kg·℃。
求：α

解题思路：$\mathbf{Re} = \frac{\rho \boldsymbol{ud}}{\mu} = \frac{\boldsymbol{Gd}}{\mu}$，$\mathbf{Pr} = \frac{C_p \mu}{\lambda}$，$\frac{L}{d}$

∵苯被加热
∴可用 $N_u=0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$ 公式

$$\alpha = \mathbf{0.023}\frac{\lambda}{d}\mathbf{Re^{0.8}\ Pr^{0.4}}$$

9．已知：常压下空气 T_1=200℃，T_2=120℃，q_m=3kg/s，空气外壳体中平行于管束流动，D=260mm, n=38，小管Φ25×2.5mm，
求：α

解题思路：空气平均温度 $t_m=(t_1+t_2)/2=(200+120)/2=160$℃
查常压 160℃空气 ρ=0.815kg/m^3，μ=2.45×10^{-5}Pa·S，Pr=0.682≈0.7,
λ=0.0364W/m·K.

$$d_e = \frac{4A}{s} = \frac{4\times(\frac{\pi}{4}D^2 - n\frac{\pi}{4}d^2)}{\pi D + n\pi d} = \frac{D^2 - nd^2}{D + nd}$$

$$G = \frac{q_m}{A}$$

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{d_e G}{\mu}$$

∵ 空气被冷却

$$\therefore \alpha = \mathbf{0.023}\frac{\lambda}{d_e}\mathbf{Re^{0.8}\ Pr^{0.3}}$$

10．已知：水平蒸汽管加热外部重油，d=60mm，t_m=20℃，t_w=120℃，70℃重油：ρ=900kg/m^3，Cp=1.88kJ/(kg.℃)，λ=0.174W/(m.℃)，
ν=2×$10^{-3}$$m^2$/s，β=3×$10^{-4}$l/℃
求：q W/m^2

解题思路：属大容积自然对流

$$\mathrm{Gr} = \frac{\beta g \Delta t \rho^2 l^3}{\mu^2}$$

∵水平放置，特性尺寸 l=d

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\therefore Gr = \frac{\beta g \Delta t d^3}{\nu^2}$$

$$\mathbf{Pr} = C_p \mu / \lambda = \frac{C_p \nu \rho}{\lambda}$$

$Gr \cdot \mathbf{Pr}$

查教材表 6-3，A，b

$$\alpha = A \frac{\lambda}{d} (Gr \cdot \mathbf{Pr})^b$$

$$q = \alpha(t_w - t_m)$$

11．已知：两水平放置圆管，$d_1=10d_2$，$(Gr \cdot Pr)_2=10^9$

求：q_1/q_2

解题思路：属自然对流，$\alpha = A\lambda/d\,(Gr \cdot Pr)^b$

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t \rho^2 l^3}{\mu^2} \qquad Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}$$

大小两种管子，不同的只是特性尺寸 l，因水平放置 l=d

$\therefore Gr \cdot Pr \propto d^3$

$$\therefore (Gr \cdot \mathbf{Pr})_1 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 (Gr \cdot \mathbf{Pr})_2$$

查表 6-3， 两者均在 3 区域，A=0.135, b=1/3

$$q \propto \alpha \propto \frac{1}{d} (Gr\,Pr)^b$$

$$\therefore \frac{q_1}{q_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{d_2}{d_1} \left[\frac{(Gr \cdot \mathbf{Pr})_1}{(Gr \cdot \mathbf{Pr})_2}\right]^{\frac{1}{3}}$$

12．已知：$t_s=100$℃，$t_w=96$℃，L=3m，d=0.03m

求：(1) 圆管竖放，w(kg/h)

(2) 圆管水平放，w’(kg/h)

解题思路：查 100℃,水, r=2258kJ/kg，$t_m=(t_s+t_w)/2=(100+96)/2=98$℃

查 98℃,水，$\rho=960kg/m^3$，$\mu=0.290mPa \cdot S$，$\lambda=0.682W/m \cdot K$

(1) 设凝液为层流，则竖放时

$$\alpha = 1.13 \left(\frac{\rho^2 gr \cdot \lambda^3}{\mu L \Delta t}\right)^{\frac{1}{4}}$$

验 $\mathbf{Re} = \dfrac{4\alpha L \Delta t}{\mu r}$

$$w = \frac{Q}{r} = \frac{\alpha \pi d L \Delta t}{r}$$

(2) 水平放，仍设层流

$$\frac{\alpha'}{\alpha}=0.64\left(\frac{L}{d}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$w \propto \alpha$

$$\therefore w'=\frac{\alpha'}{\alpha}w$$

验 $\mathrm{Re}=\dfrac{4w'}{L\cdot\mu}$

13．已知：热电偶测得 T_1=300℃, ε_1=0.3, α=60W/m^2·K, T_w=230℃,

求：气体的真实温度 T_g

解题思路：与壁面相比，热电偶面积很小。

$$q=\frac{Q}{A}=\varepsilon_1 C_0\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_w}{100}\right)^4\right]=\alpha(T_g-T_1)$$

得 T_g

可见，提高α，降低ε，抽气提高 tw，均可减少误差。例如用遮热罩抽气式热电偶。

14．已知：Q=1kW，A=0.05m^2，ε=0.9, α=10W/m^2·K, T=20℃,

求：炉外壁温度 T_W

解题思路：定态时，发热量应等于辐射，对流传热之和

$$\frac{Q}{A}=\varepsilon_1 C_0\left[\left(\frac{T_W}{100}\right)^4-\left(\frac{T}{100}\right)^4\right]+\alpha(T_w-T)$$

上式试差得 T_w

15．已知：m=2.3kg，$\varepsilon_1=\varepsilon_2$=0.02，A=0.12m^2，$t_2$=20℃，$t_1$=99℃,塞子处热损不计。

求：水降 1℃，τ

解题思路：A_1/A_2=1，ψ_{12}=1，拟定态处理。

辐射热

$$Q=\frac{AC_0\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}$$

查 99℃水，C_p

$$Q\cdot\tau=mC_p\Delta t$$

$$\therefore \tau=\frac{mC_p\Delta t}{Q}$$

16．已知：T_1=400℃, T_2=150℃, ε_1=0.65, ε_2=0.90，两板间插入一平板，此平板 A、B 面黑度不同，当 1→A B→2 时，T_3=327℃

当 1→B A→2 时，T_3'=277℃