武汉科技大学

2007 年硕士研究生入学考试试题 （答案）

考试科目代码及名称： 453 流体力学

说　明：1. 适用招生专业 ：

2. 可使用的常用工具： 可带科学计算器。

3. 答题内容写在答题纸上，写在试卷或草稿纸上一律无效。

4. 考试时间 3 小时，总分值 150 分。

1. 简要回答下列名词术语：

(1) 水力光滑管与水力粗糙管。

(2) 均匀流与缓变流。

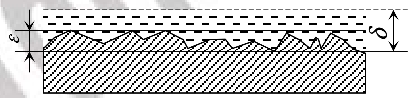
(3) 紊流中剪切应力。

(4) 流管与流线。

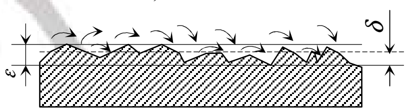
(本题 20 分，每小题 5 分)

答：

(1) 流动状态为紊流时，其边界层存在层流底层，该层的厚度δ极小，只有毫米级的尺度。实际管道内壁面的峰与谷间的平均距离称为管壁绝对粗糙度(即实际粗糙度)ε。



a) 水力光滑



b) 水力粗糙

附图 1（1） 绝对粗糙度与层流底层厚

若$\delta>\varepsilon$，管壁绝对粗糙度ε完全淹没在层流底层δ中，因此，ε对紊流核心的影响很小，即ε对能量损失的影响很小。管道中的这种流动称为水力光滑。

若$\delta<\varepsilon$，管壁绝对粗糙度 ε 完全暴露在层流底层δ之外。具有一定速度的流体质点对壁面凸出部位产撞击，该部分的流体因此产生激烈的速度改变，导致局部涡旋，其影响同时传递到紊流核心区。因此，ε 对能量损失的影响极大。管道中的这种流动称为水力粗糙。

(2) 均匀流指流场中在任意给定的瞬时任意点的速度矢量完全一致；缓变流指流线间夹角很小的流动。

(3) 在紊流核心区及过渡层，流体的脉动使流体质点间存在交换或掺混；质点的交换或掺混实质上是动量的改变，这个改变附加了流体运动的剪切应力。这个剪切应力是紊流流动的附加阻力。

普朗特(L. Prandtl)认为这个附加阻力为

$$\tau_t = \rho l^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dy}\right)^2$$

式中，τ_t 为紊动剪切应力；ρ为流体密度；$d\bar{u}/dy$ 为两掺混流体层间的速度梯度；l 为普朗特混和长。

(4) 流线仅一条线，流管由经过空间一条封闭曲线各点的众多流线构成一个假想的管道。

2. 一供水压力水管，管壁有一直径 d=1mm 的泄漏孔。当管内压力 p=1.2MPa，液体密度ρ=1000kg/m^3，孔口流量系数 C_d=0.625 时。试求泄漏流量 Q(m^3/s)。(本题 10 分)

答：

$$Q = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\cdot(p-0)}{\rho}} = 0.625 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1\times10^{-3})^2 \sqrt{\frac{2\cdot 1.2\times10^6}{1000}} = 24.048\times10^{-6}\,\mathrm{m^3/s}$$

3. 如图 1 所示圆管段突然扩大，其直径从 d_1 突然扩大到 d_2，液流从小断面 d_1 流入大断面 d_2 时，流股向断面 2-2 扩散，流速由 v_1 降为 v_2。假设流动为定常紊流，管段水平放置；忽略断面高度的重力影响。试用动量方程等证明其流动损失为：

$$\Delta p_m = \rho \frac{(v_1 - v_2)^2}{2}$$

(本题 30 分)。

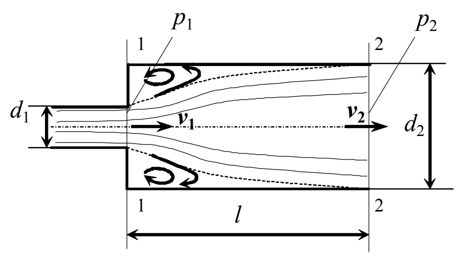


图1 圆管段断面突然扩大

答：

如图 1 所示，当液流从小断面 d_1 流入大断面 d_2 时，流股向断面 2-2 扩散，流速降为 v_2；直径为 d_1 的流股进入断面 1-1 后，原贴近 d_1 壁面的流体质点与 d_1 的边界分离，由于流线不能转折且流股在扩散，致使断面 1-1 在 d_2-d_1 的环形面积区域存在旋涡。流股与旋涡两种流动存在一界面(图中虚线)，界面上存在频繁的质能交换，质能交换的结果是能量的丧失。假设流动为恒定紊流，管段水平放置，列入下伯努力方程：

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_m$$

式中，h_m 为断面 1-1 到 2-2 间的突然扩大能量损失。上式可写成

$$\Delta p_m = p_1 - p_2 + \rho \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2} \tag{2.1}$$

断面 1-1 上环形面积的压强可近似认为是时均不变的，压强按静压强规律分布，断面的尺寸高差不大。于是，整个断面 1-1 上的压强为同一压强 p_1，由总流动量定理可列方程：

$$(p_1 - p_2)A_2 = \rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$$

又由连续性方程知：

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$(p_1 - p_2) = \rho v_2(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \tag{2.2}$$

由假设，令 $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1, \beta_1 = \beta_2 \approx 1$，将式(2.2)代入式(2.1)，整理得

$$\Delta p_m = \rho \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} \tag{2.3}$$

这就是管段突然扩大的局部损失计算的理论式，在水利学中称波尔达-卡诺特(Borda-Carnot)公式。

4. 一润滑泵从地下室向地面设备供油的管路如图 2 所示。已知泵出口至润滑点的高差为 20m；管路总长为 100m，管内径 d=50mm；润滑油粘度的最大值为 50mm^2/s，密度为 890kg/m^3；管路元件的总局部阻力系数 $\Sigma\zeta$=32；图中坐标 z 为负铅锤方向，供油流量 Q=3×10^{-3}m^3/s，泵的总效率为 η=0.76。试：

(1) 求泵出口压强 p_1；

(2) 求泵的输入功率 N。

(本题 30 分)

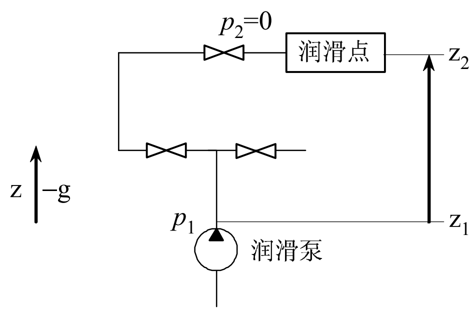


图2 润滑泵供油管路

答：

管内流速 v

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{3\times10^{-3}}{\frac{\pi}{4}0.05^2} = 1.53(\text{m/s})$$

检验雷诺数

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{1.53\times0.05}{50\times10^{-6}} = 1530 < Re_c = 2000 \qquad (5\text{ 分})$$

流动为层流。

沿程阻力系数为

$$\lambda=\frac{64}{Re}=\frac{64}{1530}=0.042 \qquad (5\text{ 分})$$

沿程阻力损失为：

$$h_f=\sum\lambda\frac{l}{d}\frac{v^2}{2g}+\sum\zeta\frac{v^2}{2g}=\left(0.042\times\frac{100}{0.05}+32\right)\frac{1.53^2}{2\times9.81}=13.84(\text{m})$$

泵出口压强

$$p_1=p_2+\rho g(z_2-z_1)+\rho g\left(\frac{\alpha_1v_1^2}{2g}-\frac{\alpha_2v_2^2}{2g}\right)+\rho gh_f$$

$$=0+890\times9.81\times25+0+890\times9.81\times8.38$$

$$=339108(\text{Pa})$$

泵的输入功率 N 为

$$N=pQ/\eta=339108\times3\times10^{-3}/0.76=1338(\text{N}\cdot\text{m/s})\approx1.4\text{kW}$$

5. 一内径 D=200mm，其内液体流速 v_0=2m/s，初始压强 p_0=2MPa。已知液体密度ρ=880kg/m^3，液体体积模数 E=2×10^{3}MPa；当阀门突然关闭时，求管内液体冲击引起的压强。(10 分)

答：

液体冲击引起的压强为

$$\Delta p=v_0\sqrt{\rho E}$$

$$\Delta p=2\times\sqrt{2\times10^9\times880}=2.653\times10^6(\text{Pa})$$

故液体冲击压强为

$$p=p_0+\Delta p=2+2.653=4.653(\text{MPa})$$

6. 一水平放置的直角渐缩弯管，如图 3 所示，已知弯管入口 1 处直径 d_1 =150mm，出口 2 处直径 d_2=70mm，管中液体相对压力 p_1=206kPa，流量 Q=20×10^{-3}m^3/s，液体密度ρ=1000kg/m^3，弯管的流动损失为 0.15V_2^2/2g m (g 为重力加速度，V_2 为出口断面平均速度)；动量修正系数 $\beta_1=\beta_2=1$。试求：

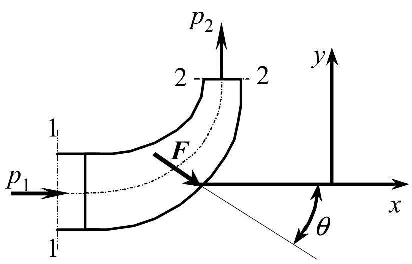


图3 弯管段

(1) 液流对弯管壁的作用力 F；

(2) 方向角θ。

(本题 30 分)

答：

取渐缩弯管的内壁面、断面 1–1 和断面 2–2 为控制体。外界对流体的作用力为**–*F***。

$$V_1=\frac{Q}{A_1}=\frac{20\times10^{-3}}{\pi(0.15^2)/4}=1.132\,\text{m/s}，\quad V_2=\frac{Q}{A_2}=\frac{20\times10^{-3}}{\pi(0.07^2)/4}=5.197\,\text{m/s}$$

液柱高度极小，略去；且 $\alpha_1=\alpha_2\approx1$；可列得断面 I—O 的伯努力方程为

$$\frac{p_1}{\rho g}+\frac{V_2{}^2}{2g}=\frac{p_2}{\rho g}+\frac{V_2{}^2}{2g}+0.15\frac{V_2^2}{2g}$$

$$p_2=p_1+\frac{\rho}{2}(V_1^2-1.15V_2^2)=206\times10^3+\frac{10^3}{2}(1.132^2-1.15\times5.197^2)=191.11\times10^3\,(\text{Pa})$$

$\beta_1=\beta_2\approx1$ 由动量方程有：

$$p_1A_1-(-F_x)=\rho Q(V_2\cos90-V_1)，\quad -F_y-p_2A_2=\rho Q(V_2-0)$$

$$-F_x=p_1A_1-\rho Q(0-V_1)=206\times10^3\times\pi\times0.15^2/4+10^3\times20\times10^{-3}\times1.132=3663\,\text{N}$$

$$-F_y=\rho QV_2+p_2A_2=10^3\times20\times10^{-3}\times5.197+191.11\times10^3\times\pi(0.07)^2/4=839.4\,\text{N}$$

合　　力　　$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=3758\,\text{N}$

合力方向角　　$\theta=\arcsin\frac{-F_y}{-F_x}=13°14'51''$

7. 如图 4 所示一直径为 50mm 的柱塞在力 F 的作用下维持不动，已知腔内绝对压力 p=251325Pa，液体动力粘度 μ=0.1Pa·s，柱塞与孔的配合间隙 a=0.05mm，配合长度 l=150mm。已知配合间隙不存在偏心，间隙内的液流速度分布表达式为 $u=-\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dl}(ay-y^2)$，当地大气压 p_a=101325Pa。试求：

(1)力 F 的大小；

(2)泄漏流量。

(本题 20 分)

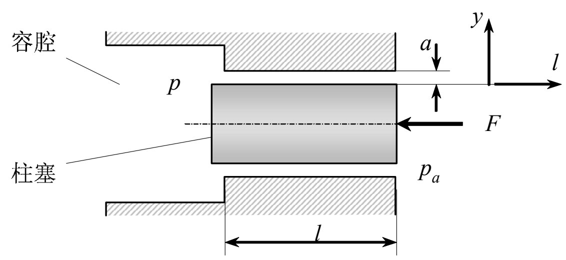


图4 柱塞与孔配合

答：

容腔的相对压力为 p=251325-101325=150000Pa

(1) 维持柱塞不动的力 F

$$u=-\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dl}(ay-y^2),$$

$$\tau=\mu\frac{du}{dy}=-\frac{1}{2}\frac{dp}{dl}(a-2y)$$

$$\tau_0=\tau|_{y=a}=\frac{1}{2}\frac{dp}{dl}a=\frac{1}{2}\times1\times10^6\times0.05\times10^{-3}=25(\text{Pa})$$

$$F=\frac{\pi}{4}d^2p-\tau_0A=\frac{\pi}{4}(50\times10^{-3})^2\times0.15\times10^6-25\times\pi\times0.050\times0.150$$
$$=294.524-1.18\times10^{-6}=293.93(\text{N})$$

(2) 泄漏流量

$$Q=\frac{\pi da^3}{12\mu}\frac{dp}{dl}=\frac{\pi\times0.05\times(0.05\times10^{-3})^3}{12\times0.1}\cdot1\times10^6=163.6\times10^{-6}(\text{m}^3/\text{s})$$