第三章　流体动力学

习　题

一、单选题

1、理想流体做稳定流动时，同一流线上任意三个点处流体质点的　　（　　）

A．速度一定是不同的　　B. 速度一定是相同的

C. 速率一定是不同的　　D．速度一定都不随时间变化

2、水平管道中的理想流体做稳定流动时，横截面积 S_1 大的 1 处压强 p_1 与横截面积 S_2 小的 2 处压强 p_2 之间满足　　（　　）

A．$p_1 < p_2$　　B．$p_1 > p_2$

C．$p_1 = p_2$　　D．p_1 与 p_2 之间无任何关系

3、理想流体在水平管中做稳定流动，在管半径为 3.0 cm 处的流速为 1.0 m/s，则在管半径为 1.5 cm 处的流速是　　（　　）

A．4.0 m/s　　B. 0.5 m/s

C. 2.0 m/s　　D. 0.25 m/s

4、水平流管中的理想流体做稳定流动时，横截面积 S、流速 v、压强 p 之间满足　　（　　）

A. S 大处，p 小，v 小　　B. S 大处，p 大，v 大

C. S 小处，p 小，v 小　　D. 以上说法均不对

5、理想流体做稳定流动时，同一流线上两个点处的流速　　(　　)

A. 一定相同　　B. 一定不同

C. 之间的关系由两点处的压强和高度决定　　D. 一定都随时间变化

6、水在同一流管中做稳定流动，在截面积为 0.5 cm^2 处的流速为 12 cm/s，则在流速为 4.0 cm/s 处的截面积为　　(　　)

A. 1.0 cm^2　　B. 1.5 cm^2

C. 2.0 cm^2　　D. 2.25 cm^2

7、国际单位制中动力粘度的单位为　　（　　）

A. Pa ·s　　B. Pa/s

C. N ·s　　D. N/s

8、按泊肃叶定律，管道的半径与长度均增加一倍时，体积流量变为原来的 (　　)

A. 16 倍　　B. 32 倍

C. 8 倍　　D. 4 倍

9、液体中上浮的气泡，当其达到收尾速度时，气泡所受 (　　)

A. 浮力等于粘滞力与重力之和　　B. 粘滞力等于浮力与重力之和

C. 重力等于浮力与粘滞力之和　　D. 浮力超过粘滞力与重力之和

二、判断题

1、理想流体做稳定流动时，空间各点的流速应处处相等。 (　　)

2、粗细不均匀的流管中做稳定流动的理想流体，比起横截面积 S_1 较小的 1 点，在截面积 S_2 较大的 2 点处, 流速 v_2 较小，对应的压强 p_2 一定较大。 (　　)

3 、流体做稳定流动时，流管内外的流体不能穿过流管侧壁进行交换。(　　)

4、理想流体做稳定流动时，一段细流管中单位体积流体的动能、势能和压强能可以相互转换。 (　　)

三、填空题

1、流体的四大特性指的是：____________、____________、____________和____________。

2、理想流体指的是________________而且________________的流体。

3、如果在流体流过的区域内，各点上的流速________________，则这种流动称为稳定流动。

4 、国际单位制中体积流量 Q_V 、质量流量 Q_m 和重量流量 Q_g 的单位分别是________ 、________和________ 。

5 、在做稳定流动的流体空间中任意一点处，两条流线________________。

6、伯努利方程 $\frac{1}{2}\rho\upsilon^2+\rho gh+p=$恒量，表示__________流体做________流动时，在__________________中，单位体积的动能、势能和____________之和是一个恒量。

7、按斯托克斯定律，小球在液体中下沉的首尾速度与小球的____________和______________有关，同时还与液体的______________和______________有关。

四、计算

1、一大水槽中的水面高度为 H，在水面下深度为 h 处的槽壁上开一小孔，让水射出，试问：水流在地面上的射程 S 为多大？

2、在水管的某处，水的流速为 2.0 m/s 、压强比大气压强多 1.0×10^4 Pa 。在水管的另一处，高度上升了 1.0 m ，水管截面积是前一处截面积的二倍。求此处水的压强比大气压强大多少？

3、一个顶端是开口的圆桶形容器，直径为 10 cm ，在圆桶底部中心，开一面积为 1.0 cm^2 的小圆孔。水从圆桶顶部以 140 cm^3/s 的流量注入圆桶，问桶中水面最大可以升到多高？

4、注射器活塞面积为 1.5 cm^2 ，针头横截面积为 1.0 mm^2，当注射器水平放置时，用 4.9 N 的力推动活塞，使活塞匀速地移动了 4.0 cm ，让水射出。求：此过程所需时间。

5、 密度 $\rho=1.5\times10^3$ kg/m^3 的冷冻盐水在水平管道中流动，先流经内径为 D_1 = 100 mm 的 1 点，又流经内径为 D_2 = 50 mm 的 2 点。1、2 两点各插入一根竖直的测压管。测得 1、2 两点处的测压管中盐水柱高度差为 0.59 m 。求盐水在管道中的质量流量。

7、液体中有一空气泡，泡的直径为 1.0 mm 。已知液体的动力粘度为 0.30 Pa·s ，密度为 9.00×10^2 kg/m³。问气泡在液体中上升的收尾速度为多少？（比起该液体空气密度可以忽略）。

参考答案

一、单选题

1、D

分析：按稳定流动的定义，空间各点的流速一般各不相同，但一定都不随时间变化。

2、B

分析：参见单选题 4 的分析。

2、 A

分析：由连续性方程 $S_1 v_1 = S_2 v_2$ 得 $\upsilon_2 = \upsilon_1 \dfrac{S_1}{S_2} = \upsilon_1 \dfrac{d_1^2}{d_2^2}$ 。

4、D

分析：由连续性方程可知，S 大处 v 小，又由水平流线上的伯努利方程

$\dfrac{1}{2}\rho\upsilon_1^2 + p_1 = \dfrac{1}{2}\rho\upsilon_2^2 + p_2$ 可知， v 小处 p 大。

4、 C

分析：由伯努利方程可知，两点流速间的关系由两点处的压强和高度决定。

5、 B

分析：由连续性方程 $S_1 v_1 = S_2 v_2$ 得 $S_2 = S_1 \dfrac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = 0.5 \times \dfrac{12}{4} = 1.5\ \text{cm}$ 。

7、A

分析：由牛顿粘性定律 $f = \eta \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y} S$ 可很容易地得出 η 的单位。

8、C

分析：由泊肃叶公式 $Q_V = \dfrac{\pi\ R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta l}$ 可知，R 变为 $2R$ ，l 变为 $2l$ 时，Q_V 变为 8 Q_V 。

9、A

分析：达到收尾速度时，向上的浮力、向下的重力与粘滞力平衡。注意，此种情况与小球沉降时粘滞力的方向不同。

二、判断题

1、×

分析：参见单选题 1 的分析。

2、×

分析：由连续性方程可知，本题前半部分阐述正确，但由伯努利方程可知，压强 p_2 不仅由速度 v_2 决定，而且还与未知量高度 h_2 有关。

3、√

分析：若流管内外的流体单元可以穿过流管的侧壁流进流出，则它们对应的轨迹（流线）就会与构成管壁的流线相交，从而导致交点处流速不唯一、不固定，不能画出流线的错误结论。

4、√

分析：这时伯努利方程成立，即在流体情况下，单位体积中的机械能守恒定律成立。

三、填空题

1、流动性　　连续性　　粘滞性　　可压缩性。

2、完全没有粘滞性　　绝对不可压缩。

3、大小、方向均不随时间变化。

4、m^3 / s　　kg / s　　N / s　。

5、不能相交。

分析：若两条流线相交，交点处的流速不确定，不能按定义画出流线。

6、理想　　稳定　　一段流管　　压强能。

7、半径　　密度　　密度　　粘滞系数。

分析：此时的收尾速度　$\upsilon = \frac{2}{9\eta} R^2 (\rho - \sigma) g$

四、计算

1、**解**：做流线从水面处的 1 点到小孔出口处的 2 点，对 1、

2 两点列伯努利方程

$\frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho\upsilon_2^2 + \rho g h_2 + p_2$　因是大水槽，$v_1 \approx$

0，又因 1、2 两点均与空气接触，$p_1 = p_2 = p_0$,可以解得小孔处流速为:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

射程 S 可由平抛运动公式求得

$$S = v_2 \cdot t = \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} = 2\sqrt{h(H-h)}$$

2、解：因为 2 处的横截面积是 1 处的 2 倍，所以 $\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{2} = v_2 = v_1/2 = 1.0$ m/s ，做流线过 1、2 两点，对 1、2 两点列伯努利方程

$$\frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho\upsilon_2^2 + \rho g h_2 + p_2 \quad ,$$

即

$$p_2 - p_0 = p_1 - p_0 + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) - \rho g(h_2 - h_1)$$

$$= 10^4 + \frac{1}{2} \times 1000 \times (2.0^2 - 1.0^2) - 1000 \times 9.8 \times 1.0 = 1.7 \times 10^3 \text{ Pa}$$

3、**解**：达到平衡时进、出流量一样，桶内水面高度为定值 H ，流速为 0 ；出口处的高度为 0 ，流速为 $\upsilon_2 = \frac{Q_V}{S_2}$ 。

由伯努利方程解得

$$v_2 = \sqrt{2gH}$$

$$\therefore H = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{Q_V^2}{2gS_2^2} = \frac{(140 \times 10^{-6})^2}{2 \times 9.8 \times (1.0 \times 10^{-4})^2} = 0.10 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

4、**解**：求解此题的关键在于注意题中给出的“活塞匀速地移动”这个条件。这说明注射器中与针头接近处的 1 点流速 v_1 恒定，针头出口处的 2 点流速 v_2 恒定。做流线过 1、2 两点，对 1、2 两点列伯努利方程

$$\frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho\upsilon_2^2 + p_2 \quad ,$$

又由连续性方程，可得

$$v_2^2 = v_1^2 \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

这样

$$p_1 - p_2 = p_0 + \frac{F}{S_1} - p_0 = \frac{F}{S_1} = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}\rho v_1^2 (\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_2^2}) \approx \frac{1}{2}\rho v_1^2 \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

解得

$$v_1 = \frac{S_2}{S_1}\sqrt{\frac{2F}{\rho S_1}}$$

此过程所需时间为

$$t = \frac{l}{v_1} = \frac{lS_1}{S_2}\cdot\sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}} = \frac{0.04\times1.5\times10^{-4}}{1.0\times10^{-6}}\cdot\sqrt{\frac{1.0\times10^3\times1.5\times10^{-4}}{2\times4.9}} = 0.74\ \mathrm{s}$$

5、**解**：将盐水看成理想流体，设 1、2 两点的流速为 v_1 ，v_2； 压强为 p_1， p_2。 做水平流线过 1、2 两点，对 1、2 两点列伯努利方程

$$\frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho\upsilon_2^2 + p_2 \quad ,$$

得

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2}\rho v_2^2 (1 - \frac{v_1^2}{v_2^2})$$

将 $p_1 - p_2 = \rho g \Delta h$ 和 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$ 代入上式有

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\rho g\Delta h}{\rho(1-\frac{D_2^4}{D_1^4})}} = \sqrt{\frac{2g\Delta h D_1^4}{D_1^4 - D_2^4}}$$

$$Q_m = \rho v_2 S_2 = \rho v_2 \pi(\frac{D_2}{2})^2 = \rho\pi\frac{D_1^2 D_2^2}{4}\sqrt{\frac{2g\Delta h}{D_1^4 - D_2^4}}$$

$$= \frac{1}{4}\times 1.5\times 10^3\times 3.14\times 0.1^2\times 0.05^2\times\sqrt{\frac{2\times 9.8\times 0.59}{0.1^4 - 0.05^4}} = 10.34 \ \ \text{kg/s}$$

6、**解**：在忽略空气密度的情况下，气泡所受的重力为 0 。在其达到收尾速度时，浮力与粘滞阻力平衡，即

$$6\pi\eta R v = \frac{4}{3}\pi R^3\rho g$$

此时

$$v = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3\rho g}{6\pi\eta R} = \frac{2R^2\rho g}{9\eta} = \frac{2\times(0.0005)^2\times 9.0\times 10^2\times 9.8}{9\times 0.3} = 1.63\times 10^{-3} \ \ \text{m/s}$$