上 海 交 通 大 学 试 卷

（ 2007 至 2008 学年 第 2 学期 ）

班级号____________________ 学号_________________________ 姓名 ________________

课程名称 船舶流体力学 成绩 __________________

我承诺，我将严格遵守考试纪律。

承诺人：__________

题号										
得分										
批阅人(流水阅卷教师签名处)										

一、简答题： (每题 3 分，共 30 分)

(1) 写出运动粘度和压力的单位和量纲。

运动粘度： $\nu=\dfrac{\mu}{\rho}$ $\nu=米^2/秒=m^2/s$ $[\nu]=\left[L^2T^{-1}\right]$

压力： $p=\dfrac{P}{S}$ $p=牛顿/米^2=N/m^2$ $[p]=\left[ML^{-1}T^{-2}\right]$

(2) 什么是层流流动？什么是湍流流动？根据什么无因次量来确定流动是层流还是湍流？

层流：流体运动很有规则，各部分分层流动互不掺混，流体质点的运动轨迹是光滑曲线，而且流场稳定。

湍流：流体运动极不规则，各部分激烈掺混，流体质点的运动轨迹杂乱无章，而且流场极不稳定。

诺数 Re 是决定流动是层流还是湍流的唯一无因次参数。

(3) 气体和液体的粘性产生原因分别是什么？

气体粘性主要取决于分子的热运动，即表观切应力。

液体粘性主要取决于分子间的引力，即分子内聚力。

(4) 什么是流体质点？什么是空间点？它们之间有什么关系？

流体质点：是个物理点，它是在连续介质中取出的，在几何尺寸上无限小，可以看作一点，但包含许多分子，具有一定物理量。

空间点：几何点，表示空间位置。

两者相互关系：流场中空间某一点，先后由不同的流体质点所占据；流体质点物理量会发生变化，而空间点是不动的。

(5) 流函数存在的条件是什么？流函数与速度的关系是什么？

对于理想或真实流体，只要是不可压流的二元流，均存在流函数；

对于可压流体平面流动，只要流动是定常的，也同样存在流函数。

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -v,\ \frac{\partial \psi}{\partial y} = u$$

(6) 什么是达朗伯佯谬？

对于均匀来流绕任何物体势流流动，只要流场是对称的和定常的，物体都不会受到流体任何作用力(阻力和升力)，这个现象称为达朗伯佯谬(d’Alembert’s paradox)。这与常识不符合，产生这一结果的原因是没有考虑流体的粘性。

在下面两种情况下：(1) 物体在静止流体中作匀速运动；或(2) 均匀流场中固定物体的势流绕流，物体不受流体作用力。

(7) 深水波的色散关系为 $\omega^2 = gk$，写出深水波波速与波长的关系，以及波周期与波长的关系。

$$c_d^2 = \frac{g}{k} = \frac{g\lambda}{2\pi} \qquad T^2 = \frac{2\pi\lambda}{g}$$

(8) 什么是无滑移条件？什么是滑移条件？

无滑移条件：在物面上，流体速度的法向和切向分量分别等于物体表面速度的法向和切向分量。与物面接触的流体质点速度等于物体物面的运动速度。

滑移条件：在物面上，流体速度的法向分量等于物体表面速度的法向分量。

(9) 写成 Froude 数的表达式，指出它的物理意义。

$$\frac{U^2}{gL} = \text{Froude 数 (Fr)} = \frac{\text{惯性力}}{\text{重力}}$$

(10) 什么是流动相似？是否可以做到流动完全相似？为什么？

如果要两个流动达到全面相似，就必须使模型和原型两种流动完全满足几何相似、运动相似和动力相似，且具有相似的初始条件和边界条件，即：使所有相似准则（ Re, Eu, Fr, St ）分别相等，且初始条件和边界条件相似，这实际上是困难的，有时甚至是办不到的。

二、判断题：(在括号中写“对”与“错”)　　(每题 1 分，共 30 分)

(1)　作用在流体上的压力是流体受到的表面力。　(　对　)

(2)　当气体温度升高，气体的粘度减小。　(　错　)

(3)　静止流体内部任何一点处的流体静压力，在各个方向都相等。　(　对　)

(4)　理想流体可以承受压力，也可以承受切应力。　(　错　)

(5)　流线上每一点的法线方向与流经该点的流体质点的速度方向相互正交。(　对　)

(6)　无旋流动就是势流流动。(　对　)

(7)　在水平管中流动的流体，流速小的地方压强较大，流速大的地方压强较小。(　对　)

(8)　在涡量场中，沿任意封闭周线的速度环量等于通过该周线所包围曲面面积的旋涡强度。　(　对　)

(9)　在理想、不可压流体、体积力有势的有旋流场中，同一涡管各截面上的旋涡强度相同。(　对　)

(10)　在流场中，一个散度场 H 对空间点的诱导速度可以用下式形式计算：

$$\mathbf{V}=\frac{1}{4\pi}\iiint H(\xi,\eta,\varsigma,t)\frac{\mathbf{r}}{r^3}d\xi d\eta d\varsigma$$

(　对　)

(11) Biot-Savart 公式可以计算旋涡所诱导的周围空间上的速度场。(对)

(12) 如果流场中只存在一个点源，则流场中只有径向速度。 (对)

(13) 均匀流与点源的叠加可以得到半无限长物体的势流绕流流动。(对)

(14) 理想流体绕圆柱体有环流的流动中，在垂直于来流方向上，流体作用在单位长度的圆柱体上的升力等于流体的密度、来流速度和环量的乘积。(对)

(15) 在势流流动中，如果物体作匀速运动，则物体不受流体作用力；如果物体作加速运动，则物体受流体作用力。 (对)

(16) 附加质量矩阵是一个对称矩阵，有独立元素 15 个。 (错)

(17) 水波自由面上的动力学条件是：

$$\frac{\partial \phi}{\partial y}=\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial \phi}{\partial x}\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{\partial \phi}{\partial z}\frac{\partial \eta}{\partial z}$$

(错)

(18) Airy 波的自由面条件为：

$$g\frac{\partial \phi}{\partial y}+\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}=0$$

(对)

(19) 深水波水质点的运动轨迹为一个圆，随着水深增加，圆半径减少。在自由面上的水质点的运动轨迹圆的半径正好是波幅。 (对)

(20)　对浅水波，波群的传播速度等于波的传播速度。 (　对　)

(21)　由两个各参数完全相同但传播方向相反的 Airy 波线性叠加，可以得到驻波。 (　对　)

(22)　波能是以波群速进行传播的。 (　对　)

(23)　在一定条件下，层流和湍流两种流动状态可以相互转换。 (　对　)

(24)　边界层厚度沿着流体流动方向逐渐增厚。(　对　)

(25)　判别边界层内的层流和湍流状态的准则数为距离雷诺数。 (　对　)

(26)　与物体的特征长度相比，边界层的厚度不是小量。(　错　)

(27)　流体流过平板时，当距离雷诺数达到一定值，会发生分离现象。 (　错　)

(28)　在边界层外边界的主流速度递减足够大的情况下，会发生边界层的分离。 (　对　)

(29)　物理方程中的任何一项去通除整个方程，便可将该方程化为无量纲方程。 (　对　)

(30)　流线在流场中可以相交或分叉。 (　错　)

三、已知二维速度场 $u=-\omega y,\ v=\omega x$ ，问流场是有旋运动还是无旋运动，运动流体微团会否发生变形？ (10 分)

解：

$$\mathbf{\Omega}=\nabla\times\mathbf{V}=\underbrace{\left(\frac{\partial w}{\partial y}-\frac{\partial v}{\partial z}\right)}_{2\omega_x}\vec{i}+\underbrace{\left(\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial x}\right)}_{2\omega_y}\vec{j}+\underbrace{\left(\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}\right)}_{2\omega_z}\vec{k}$$

$$\Omega_z=\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}=2\omega,\quad \Omega_x=0,\quad \Omega_y=0$$

所以是有旋运动。

$$\varepsilon_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

$$\varepsilon_{xx}=\varepsilon_{yy}=\varepsilon_{zz}=0$$

$$\varepsilon_{xy}=\varepsilon_{xz}=\varepsilon_{yz}=0$$

由上分析，该运动是有旋，但无变形。

四、一个三维不可压流场速度分布为 $u = x^2 y, \quad v = 4y^3 z, \quad w = 2z$

问这个流动是否是一个真实流动?　　(10 分)

解： 不可压流体的真实流动必须满足连续条件，即：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

对于给出的速度场，有：

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 2xy, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = 12y^2 z, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 2$$

可以看出：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 2xy + 12y^2 z + 2 \neq 0$$

因此这个速度场不是一个真实的流动。

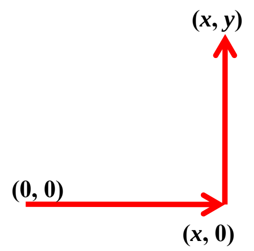
五、已知一个流场速度势 $\phi = 4xy$ ，求其对应的流函数。 (10 分)

解： 由速度势，可以得到速度分布：

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = 4y, \qquad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = 4x$$

从上式，得到： $\dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{\partial v}{\partial y} = 0$ ， 因此存在流函数。

由流函数定义，有：



$$\psi = \int -vdx + udy = \int -4xdx + 4ydy$$

$$= \int_{(0,0)}^{(x,0)} + \int_{(x,0)}^{(x,y)} = -2x^2 + 2y^2 + C$$

这里C是常数。

六、若平板层流边界层的速度剖面为 $u = A\sin(By)+C$，试决定系数 A、B、C 的值，并求边界层排挤厚度和边界层动量厚度。 (10 分)

解：速度剖面中含有三个常数 A、B、C，故应选择三个边界条件：

（1）$y=0$ 时，$u=0$，得：$C=0$

（2）$y=\delta$ 时，$u=U$，得：$U=A\sin(B\delta)$

（3）$y=\delta$ 时，$\frac{\partial u}{\partial y}=0$，得：$AB\cos(B\delta)=0$，即 $\cos(B\delta)=0$，$B\delta=\frac{\pi}{2}$，$B=\frac{\pi}{2\delta}$

将 B 代入 $U=A\sin(B\delta)$ 得：$U=A$

故速度剖面为：

$$u = U\sin(\frac{\pi}{2}\frac{y}{\delta})$$

边界层排挤厚度：$$\delta^* = \int_0^\delta (1-\frac{u}{U})dy = \int_0^\delta \left(1-\sin\left(\frac{\pi}{2}\frac{y}{\delta}\right)\right)dy = \left(1-\frac{2}{\pi}\right)\delta$$

边界层动量厚度：

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U}(1-\frac{u}{U})dy = \int_0^\delta \sin\left(\frac{\pi}{2}\frac{y}{\delta}\right)\left(1-\sin\left(\frac{\pi}{2}\frac{y}{\delta}\right)\right)dy$$

$$=\left(\frac{2}{\pi}-\frac{1}{2}\right)\delta$$