南京航空航天大学

二〇二〇 ～ 二〇二一 学年 第二学期《流体力学》考试试题

考试日期：2021 年 5 月 30 日　　试卷类型：A　　试卷代号：

班号　　　　学号　　　　姓名

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总
得分											

本题分数	15
得　分	

1. 名词解释.

a) 等熵过程

绝热变化过程的孤立系统中，若过程可逆，则熵值不变，称为等熵过程

b) 雷诺数

$Re=\frac{\rho VD}{\mu}$ 一无量纲数，代表惯性力和粘性力比值的准则数

c) 边界层

靠近边界处粘性力影响显著的薄层

d) 超临界流动分离

圆柱迎风面形成层流边界层，先过渡为湍流边界层，然后与圆柱表面分离

卡门涡街：流动基本是层流状态，但在圆柱两侧，涡旋交替周期性地从圆柱表面脱落，在尾流中形成交错排列的两列涡旋。

亚临界流动分离：从前驻点开始，圆柱迎风面形成边界层，边界层内流动为定常层流流动，边界层在圆柱两侧与圆柱表面分离，形成较宽大的尾迹，尾迹中层流逐渐转变为湍流

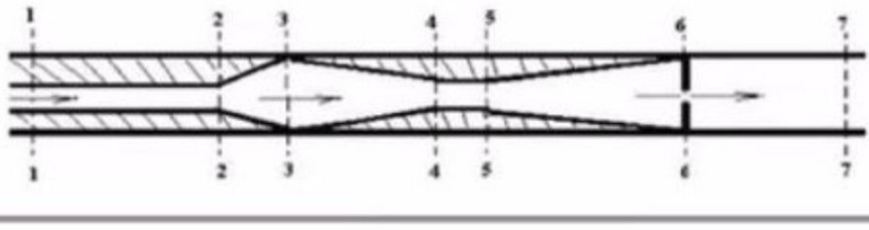
e) 压力中心

弦线上使分布气动载荷总力矩为0的点。

本题分数	15
得　分	

2. 填空

a) 水在下图所示的管道内流动，图中的虚线及相应的编号指代截面，截面之间的区域称为流段。完成下列空格处的填充：



管中非均匀截面的流段可能出现回流的有 2-3 、 5-6 流段；不会出现回流的有 1-2 ； 6-7 段总压最低；2-3 段与 5-6 段相比 2-3 段更可能为湍流态。 扩张段湍流态

b) 超音速气流经过斜激波后各物理量的变化趋势为（增大/减小/不变）：压强 ↑ 、速度 ↓ 、静焓 ↑ 、总温 — 、熵 ↑ 。

c) 流体流动中沿速度切线方向构成的线为 流线 ;沿流体微团运动路径画出的线为 迹线 。

d) 已知单位质量完全气体的内能为e，压强为p，密度为ρ，气体常数为 R，比热比为γ，该气体的焓 h 可表达为 $e+\frac{p}{\rho}$ ，温度 T 可表达为 $\frac{p}{\rho R}$ 。该气体在马赫数 M 等熵流动条件下的驻点温度为 $T\left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)$

本题分数	18
得　　分	

3. 判断以下说法是否正确，并简要说明理由：

a) 质量守恒律在定常流动或不可压缩流动条件下均可表示为速度散度为零的形式。

$\nabla(\rho\vec{V})=0$

$$\frac{D(\rho\delta v)}{Dt}=\delta v\frac{D\rho}{Dt}+\rho\frac{D(\delta v)}{Dt}$$
$$=\delta v\frac{D\rho}{Dt}+\rho\delta v\nabla\vec{v}=0$$
$$\frac{D\rho}{Dt}+\rho\nabla\vec{v}=0$$
$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\vec{v}\nabla\rho+\rho\nabla\vec{v}=\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla(\rho\vec{v})=0$$

b)高尔夫球表面附近由于不存在大面积流动分离区，因此带来的气动总阻力较小。

高尔夫表面大量凹坑，在表面形成小涡流，吸引流体附着，使流动分离点后移，使压差阻力减小。

c) 在拉瓦尔喷管中实现的稳定的超音速气流，在喉道下游是膨胀过程

d) 超音速气流经过 5 度偏折后形成一簇膨胀波，此过程速度增加、密度、静温降低，总温总压不变。

同条流线间为常数

$$\frac{dv}{v}=\frac{d\theta}{\sqrt{M^2-1}}\qquad\frac{dp}{p}=-\frac{\gamma M^2}{\sqrt{M^2-1}}d\theta\qquad\frac{d\rho}{\rho}=-\frac{M^2}{\sqrt{M^2-1}}d\theta$$
$$\frac{dT}{T}=-M^2(\gamma-1)\frac{d\theta}{\sqrt{M^2-1}}$$

e) 尖锥形物体在来流马赫数足够大的情况下其头部激波容易发生脱体现象。

尖头体：附体激波
钝头体：脱体激波

f) 边界层流动是有旋流动，但仍然可以在一定程度适用伯努利方程。如认为此说法正确，请举一例 测速仪

无粘才可用

本题分数	15
得　分	

4. 已知绕半径 R=1 圆柱的位流中，单位长度圆柱的升力系数

$$C_L=\frac{L}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2(2R\cdot 1)}=5$$

。 试完成下列问题：

升力 → L

Γ方向(顺时针)

V_∞

（1）计算圆柱面上的负峰值（最小）压强系数 ；

（2）计算驻点位置 ：

（3）计算圆柱面上速度等于来流速度的点之坐标

(1) $\frac{\rho V_\infty \Gamma}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 \cdot 2R}=5$

$\frac{\Gamma}{V_\infty}=5$

$C_p=1-\frac{V^2}{V_\infty^2}$

此题为基本叠加考查，圆柱面上，则 $r_0=r$

$\begin{cases}\phi=V_\infty(r+\frac{r_0^2}{r})\cos\theta \\ \psi=V_\infty(r-\frac{r_0^2}{r})\sin\theta\end{cases}$ → 直匀流+偶极子

$\begin{cases}\phi=\frac{\Gamma}{2\pi}\theta \\ \psi=-\frac{\Gamma}{2\pi}\ln r\end{cases}$ → 点涡

$r_0=r$：
$\begin{cases}V_r=V_\infty(1-\frac{r_0^2}{r^2})\cos\theta=0 \\ V_\theta=-V_\infty(1+\frac{r_0^2}{r^2})\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi r}=-2V_\infty\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi R} \\ \qquad =-2V_\infty\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi}\end{cases}$

$C_p=1-\frac{V^2}{V_\infty^2}=1-\frac{(-2V_\infty\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi})^2}{V_\infty^2}$

$\overset{\text{最小}}{=}1-(\frac{-2V_\infty-\frac{5}{2\pi}V_\infty}{V_\infty})^2$

$=1-(2+\frac{5}{2\pi})^2$

(2) $V_\theta=0 \Rightarrow \sin\theta=\frac{-5}{4\pi}$

$\theta=23.45^\circ$

$\begin{cases}x_s=\pm\sqrt{R^2-(\frac{-5}{4\pi})^2} \\ y_s=\frac{-5}{4\pi}\end{cases}$

(3)
$V_\theta=-2V_\infty\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi}=V_\infty$

$-2\sin\theta-\frac{5}{2\pi}=1$

$\theta=\arcsin(\frac{5}{4\pi}-\frac{1}{2})$

$\begin{cases}x_0=\pm\sqrt{R^2-(\frac{5}{4\pi}-\frac{1}{2})^2} \\ y_0=\frac{5}{4\pi}-\frac{1}{2}\end{cases}$

5、$A_1=\frac{\pi}{4}D_1^2 \quad A_2=\frac{\pi}{4}D_2^2$

$\Delta P=P_1-P_2=\rho g\cdot\Delta h$

$P_1+\frac{1}{2}\rho_1 V_1^2=P_2+\frac{1}{2}\rho_2 V_2^2$

$A_1V_1=A_2V_2$ 代入：$P_1+\frac{1}{2}\rho(\frac{A_2}{A_1})^2V_2^2=P_2+\frac{1}{2}\rho_2V_2^2$

$2(P_1-P_2)=\rho V_2^2[1-(\frac{A_2}{A_1})^2]$

$\therefore Q=A_2V_2=A_2\sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho[1-(\frac{A_2}{A_1})^2]}} \quad V_2=\sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho[1-(\frac{A_2}{A_1})^2]}}$

本题分数	10
得　分	

5. 文丘利管的喉道与出口直径分别为 20mm 和 40mm，喉道处经一根细管接入一开口盛水容器，水面至喉道高度差 0.3m,求体积流量多大可将水吸入气流？（空气密度 1.225kg/m^3）

D_1 D_2 Δh ρ

本题分数	15
得　分	

6. 如图示，$M_{\infty}=2$ 的气流以 0 度迎角流过半顶角为 $\delta=3^{o}$ 的菱形二维物体。

（1）用一级近似理论求 A 点的压强系数；

（2）在图中定性画出其绕流的流动特征；

（3）在菱形物体背风面上加上一物体，见图中粗虚线，用一级近似理论求 A 点和 B 点压强系数。

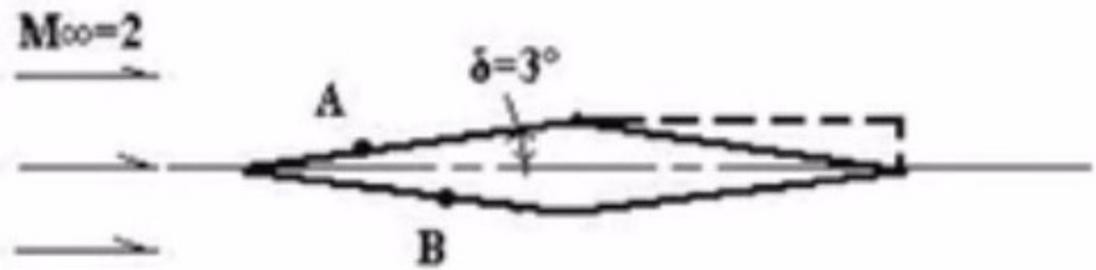


图 4

本题分数	10
得　分	

八、已知定常流动沿流线的欧拉方程为$-dp = \rho v dv$，试从该方程出发推导出

（1） 沿流线定常等熵绝热气流的能量方程：

$$\frac{v^2}{2}+\frac{\gamma}{\gamma-1}\frac{p}{\rho}=const$$ 沿流线

(1) $\frac{p}{\rho^{\gamma}}=C$ $\because vdv=-\frac{dp}{\rho}$

$= -c\cdot\rho^{\gamma-2}d\rho$

（2）定常不可压流沿流线的伯努利方程： $$\frac{v^2}{2}+\frac{p}{\rho}=const$$ 沿流线

$\frac{v^2}{2}+\frac{c}{\gamma-1}\rho^{\gamma-1}=const$

（3）一维定常流动的动量方程为： $$\rho v^2+p=const$$

$\therefore \frac{v^2}{2}+\frac{1}{\gamma-1}\cdot\frac{p}{\rho}=const$