

## 第五章习题与参考答案

- 5-1 试判别下列平板绕流尾缘的边界层的流态，并计算  $\delta_L$ （若为湍流，则按全部为湍流边界层计）
- (1) 20℃水以速度  $v = 3\text{m/s}$  绕过 4m 长板；
  - (2) 20℃空气以速度  $v = 3\text{m/s}$  绕过 0.9m 长板。
- 5-2 试确定平板绕流边界层转捩位置，已知  $V_\infty = 10\text{m/s}$ ，水温为 28℃，设转捩临界雷诺数为  $5 \times 10^5$ 。
- 5-3 甘油在 20℃ 条件下的比重为 1.26，其粘度为  $1.5 \times 10^{-2}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。试求甘油中的平板绕流边界层的转捩位置。已知平板来流速度为  $V_\infty = 1\text{m/s}$ 。
- 5-4 平板在水中水平（零攻角）绕流。已知边界层外速度为  $V_\infty = 10\text{cm/s}$ ，水温为 5℃，试确定离前缘 50cm 处的板面上的切应力及摩擦系数。
- 5-5 飞机在 10km 的高空飞行。为求机翼的摩擦阻力，可将机翼视为平板，已知  $V_\infty = 50\text{m/s}$ ,  $l = 1.5\text{m}$ ,  $\text{Re}_{cr} = 5 \times 10^5$ 。
- 5-6 空气以 30m/s 的速度沿平板前进，温度为 25℃，求离平板前缘 200mm 处的边界层厚度  $\delta$ 。  
(答：1.91mm)
- 5-7 已知平板上层流边界层的流速分布为  $u = u_0 \sin\left(\frac{\pi y}{2\delta}\right)$ ， $y$  为离开平板表面的距离， $u_0$  为边界层外的流速。试推导边界层厚度  $\delta$  的表达式。  
[提示：应利用平板边界层的动量关系式：

$$\frac{d}{dx} \int_0^\delta \rho u^2 dy - u_0 \frac{d}{dx} \int_0^\delta \rho u dy = -\delta \frac{d\rho}{dx} - \tau_0$$

式中  $x$  为离开平板前缘的距离, 切应力  $\tau_0$  用公式

$$\tau_0 = \frac{2\mu u_0}{\delta} = 0.356 \sqrt{\frac{\mu \rho u_0^3}{x}} \text{ 计算, } \left[ \frac{d\rho}{dx} = 0 \right]$$

5-8 空气温度为  $40^\circ\text{C}$ , 沿着长 6m, 宽 2m 的光滑平板, 以 60m/s 的速度流动, 设平板边界层由层流转变为紊流的条件为

$$\text{Re}_k = \frac{u_0 x_k}{\nu} = 10^6, \text{ 求平板两侧所受的总摩擦阻力。}$$

(答: 119.6N)

5-9 一平行放置于流速为 60m/s 的空气流中的薄平板, 长 1.5m, 宽 3m, 空气绝对压强为  $10^5 \text{ N/m}^2$ , 温度为  $25^\circ\text{C}$ , 求平板末端的边界层厚度及平板两侧所受的总阻力:

- (1) 设为层流边界层。
- (2) 设为紊流边界层。

答: (1) 0.335cm, 5.9N  
(2) 2.52cm, 31.6N

5-10 薄平板宽 2.5m, 长 30m, 水平地在静水中拖拽, 速度为 5m/s, 求所需拖拽力。

答: 3680N

5-11 薄平板长 3m, 宽 0.3m, 其上流过 21.0m/s 风速的空气, 运动粘性系数  $\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , 附面层由层流转变为紊流的条件为  $\text{Re}_k = 5 \times 10^5$ , 求沿长度方向和宽度方向流动的阻力比值。

答: 1.378

5-12 一流线型火车, 高和宽均为 3m, 长 120m, 以 145km/h 的速度行驶, 顶面和两侧面可看作是光滑平面, 求这三个面上所受的总摩擦阻力和克服此阻力所需的功率。空气温度以  $20^\circ\text{C}$  计。

答:  $F = 1.89kN, N = 76.2kW$

5-13 在  $Re$  数相等的条件下,  $20^{\circ}C$  的水和  $30^{\circ}C$  的空气流过同一绕流体时, 其绕流阻力之比为多少?

答: 3.17

5-14 一直径为  $150mm$  的气球, 用绳索拉住, 以抵抗水平方向的风力, 若绳索所受水平拉力为  $1.1N$ , 求风速值。

答:  $13.6m/s$

5-15 一矩形风筝, 宽  $900mm$ , 长  $1.8m$ , 用绳索拉住, 在水平风速为  $13.5m/s$  时, 绳索拉力为  $102N$ , 绳索与垂直方向的夹角  $\alpha = 7^{\circ}$ , 不计绳索和风筝的自重, 并设空气密度为  $1.23kg/m^3$ , 求风筝此刻的升力系数和阻力系数。

5-16 光滑平板宽  $1.2m$ , 长  $3m$ , 潜没在静水中以速度  $u = 1.2m/s$  沿水平方向拖拽, 水温为  $10^{\circ}C$ ,

求: (1) 层流边界层的长度; ( $Re_k = 5 \times 10^5$ )

(2) 平板末端的边界层厚度;

(3) 所需水平拖拽力。

答: (1)  $0.55m$

$$(2) \delta = \frac{0.37L}{Re_L^{1/5}} \quad (57.2mm)$$

$$(3) C_f = \frac{0.074}{Re_L^{1/5}} - \frac{1700}{Re_L}$$

$$D_f = 2C_f bL \frac{\rho}{2} u^2 \quad (16.57N)$$

5-17 鱼雷直径为  $0.533m$ , 长  $7.2m$ , 外形是良好流线型, 在  $20^{\circ}C$  的静水中以  $80km/h$  的速度前进, 试计算其所需功率。

答: 查出  $C_w = 0.08$

$$N = D_w u = C_w \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\rho}{2} u^3 = 97.9kW$$

5-18 一竖井式磨煤机，空气的上升流速  $u_0 = 2\text{m/s}$ ，空气的运动粘性系数  $\nu = 20 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ，密度  $\rho = 1\text{kg}/\text{m}^3$ ，煤的密度  $\rho_m = 1500\text{kg}/\text{m}^3$ ，试求可被上升气流带走的煤粉颗粒最大直径（设圆球度  $\psi = 1$ ）

5-19 一圆柱形烟囱，高  $H=20\text{m}$ ，直径  $D=0.6\text{m}$ ，水平风速  $u=18\text{m/s}$ ，空气密度  $\rho = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$ ，运动粘性系数  $\nu = 13 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ，求烟囱所受的水平推力。  
答：612N

5-20 在试验风洞中，风速为  $10\text{m/s}$ ，吹向一直径为  $500\text{mm}$  的圆盘（圆盘平面与风速方向正交），空气温度为  $20^\circ\text{C}$ ，求圆盘所受推力。  
答：142N

5-21 汽车以  $60\text{km/h}$  的速度行驶，汽车在运动方向的投影面积为  $2\text{m}^2$ ，绕流阻力系数  $C_w = 0.3$ ，空气温度为  $0^\circ\text{C}$ ，求克服空气阻力所消耗的汽车功率。  
答：1.80kw

5-22 光滑圆球直径为  $0.5\text{m}$ ，利用三元对称绕流体阻力系数图，求流速增大到多大时，阻力与  $6\text{m/s}$  流速时的值相等？（设空气运动粘性系数  $\nu = 15 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ）  
答：1.70N，8.49m/s

5-23 球形尘粒比重为 2.5，在  $20^\circ\text{C}$  的大气中等速沉降，可使用斯托克司公式计算沉速的最大粒径为多少？相应的沉速多大？  
答：  $d = 54\mu\text{m}$ ，  $u = 0.248\text{m}/\text{s}$

5-24 有  $45\text{kN}$  的重物从飞机上投下，要求落地速度不超过  $10\text{m/s}$ ，

将重物挂在一绕流阻力系数为 2.0 的降落伞下面，不计伞重，空气为标准状态，求降落伞应有的直径。

答：  $D \geq 21.9m$

5-25 钢水密度  $\rho = 7000kg/m^3$ ，内含直径  $d = 0.4mm$ ，

$\rho' = 4500kg/m^3$  的杂质，若杂质在钢水中等速上浮，求在钢水中上升 200mm 所需的时间。

答： 2.56s

5-26 一氢气球氢气容重  $\gamma = 0.881N/m^3$ ，在  $20^\circ C$  和绝对压强为  $98.1kN/m^2$  的静止空气中上升，气球材料重  $1.40kN$  绕流阻力系数  $C_w = 0.21$ ，要求上升速度为  $3m/s$ ，求气球应有的直径。

答： 6.31m

5-27 铅球的比重为 11.42，直径为 25mm，在比重为 0.93 的油中以  $0.357m/s$  的速度等速沉降，求油的动力粘性系数  $\mu$ 。

答：  $10.0Pa \cdot s$

5-28 一喷气飞机排放直径为  $10 \mu m$ ，比重为 2.5 的固体微粒于 11000m 高空，求微粒在静止大气中下降至地面所需的时间。空气的动力粘性系数是随高程  $z$  变化的，可按下式计算：

$$\mu = 1.78 \times 10^{-5} - 3.06 \times 10^{-10} z \quad (Pa \cdot s)$$

式中 高程  $z$  以 m 计。

答： 15.07 天

5-29 一直径  $d = 12mm$  的固体小球，在油中以  $\mu = 35mm/s$  的速度上浮，油的  $\rho = 918kg/m^3$ ， $\mu = 0.034Pa \cdot s$ ，求球的比重。

答： 0.841

5-30 已知煤粉炉炉膛上升烟气流的最小流速为  $0.5m/s$ ，烟气密度为  $0.2kg/m^3$ ，运动粘性系数为  $230 \times 10^{-6} m^2/s$ ，煤粉密度为  $1.3 \times$

$10^3$ ，问直径为 0.1mm 的煤粉沉降下来还是会被上升气流带走？

答：将被带走

5-31 某气力输送管道，为了输送一定数量的悬浮固体颗粒，要求流速为颗粒沉速的 5 倍。已知悬浮颗粒直径  $d = 0.3\text{mm}$ ，密度  $\rho' = 2650\text{kg}/\text{m}^3$ ，空气温度为  $20^\circ\text{C}$ ，求管内流速。

答：10.5m/s

5-32 飞机在 10km 高空飞行，为求机翼的摩擦阻力，可将机翼视为平板。已知  $V_\infty = 50\text{m}/\text{s}$ ,  $l = 1.5\text{m}$ ,  $\text{Re}_{cr} = 5 \times 10^5$ 。

5-33 对于层流边界层，若设边界层速度剖面为：

$$\frac{u}{V_\infty} = C_0 + C_1 \frac{y}{\delta} + C_2 \frac{y^2}{\delta^2} + C_3 \frac{y^3}{\delta^3}$$

试利用边界条件，确定其中常数  $C_0, C_1, C_2, C_3$ ，然后代入到卡门积分关系式中去，以确定  $\delta_1(x)$  及  $C_{fx}(x)$ ，并与布拉修斯解进行比较。

若令速度剖面为：

$$\frac{u}{V_\infty} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{y}{\delta}\right)$$

试重复上述计算。

5-34 一架飞机以相同的速度分别在海平面上和高空飞行，试问场面上边界层的厚度孰大？

5-35 某飞机的机翼的翼展为 20m，翼弦为 4m，试计算机翼阻力。飞行速度为 60m/s，环境条件为 90kPa,  $10^\circ\text{C}$ 。为计算方便起见，将机翼视为领攻角板（翼弦与来流方向之间的夹角称攻角），并计算为克服这个阻力所应付出的功率。

5-36 某船舶以速度 10m/s 在水中航行，可将与水接的船表面视为

平板，试计算为克服摩擦阻力所需功率。平板宽为 10m，长为 25m，水温为 20°C。

5-37 在  $Re > 10^7$  条件下，若以  $\bar{u}/v^* = (y/\delta)^{1/8}$  表示湍流边界层的速度剖面。试利用动量积分关系式求  $\delta_1(x)$  及  $C_{fx}(x)$ 。

[提示:  $\frac{\bar{u}}{v^*} \sim \left(\frac{y}{y^*}\right)^{1/8}$  ]

5-38 某流线型化了的列车总长 150m，若以平板边界层计，试确定列车尾侧部边界层的厚度。空气温度为 30°C，车速为 60m/s，并问在  $x = 75m$  处的物面上的切应力。