

## 第七章习题与参考答案

7-1 直径为 600mm 的光滑风管，平均流速为 10m/s，现用直径为 50mm 的光滑水管进行模型试验，为了动力相似，水管中的流速应为多大？若在水管中测得压差为 500mm 水柱，则在原型风管中将产生多大的压差？设水和空气的温度均为 20℃。

(答:  $V_m = 7.9m/s, \Delta P_n = 9.5N/m^2$ )

7-2 某建筑物的模型，在风速为 8m/s 时，迎风面压强为 +40N/m<sup>2</sup>，背风面压强为 -24N/m<sup>2</sup>。若温度不变，风速增至 10m/s，则迎风面和背风面的压强将为多少？

(答: +62.5N/m<sup>2</sup>, -37.5N/m<sup>2</sup>)

7-3 测定水管阀门的局部阻力系数，拟用同一管道通过空气的办法进行。水和空气的温度均为 20℃，管路直径  $d = 50mm$ ，水速为  $V_n = 2.5m/s$ ，风速  $V_m$  应为多大？通过空气时测得的压差应扩大多少倍方为通过水时的压差？

(答:  $V_m = 39m/s, C_{\Delta p} = 3.40$ )

7-4 汽车高  $h_n = 1.5m$ ，最大行速  $V_n = 108km/h$ ，拟在风洞中测定其阻力系数：

(1) 已知风洞的最大风速  $V_m = 45m/s$ ，求模型的最小高度；

(2) 模型中测得阻力  $P_m = 1.50kN$ ，求原型汽车所受的阻力。

(答:  $h_m = 1.0m, P_n = 0.67kN$ )

7-5 油的运动粘性系数为  $4.645 \times 10^{-5} m^2/s$ ，用于粘滞阻力和重力都起主要作用的现象中，若模型几何比尺  $C_L = 5$ ，求模型液体所应有的运动粘性系数值。

(答:  $v_m = 4.15 \times 10^{-6} m^2 / s$ )

7-6 一模型水管的出口喷咀, 直径  $d_m = 50mm$ , 喷射流量  $Q_m = 15l/s$ , 喷咀受力  $F_m = 100N$ , 对于直径扩大 10 倍的原型风管喷咀, 在流量  $Q_n = 10000m^3/h$  时, 求喷咀受力  $F_n$  值。设水和空气温度均为  $20^\circ C$ 。

(答: 41.2N)

7-7 直径为 0.3m 的水管中, 流速为 1m/s, 水温为  $20^\circ C$ , 某段压降为  $70kN/m^2$ , 现用几何比尺为 3 的小型风管作模型试验, 空气温度也为  $20^\circ C$ , 两管流动均为水力光滑, 求

- (1) 模型中的风速;
- (2) 模型相应管段的压降。

(答: 46.8m/s,  $185kN/m^2$ )

7-8 某蓄水库几何比尺  $C_l = 225$  的小模型, 在开闸后 4 分钟可放空库水, 问原型中放空库水需多长时间?

(答: 60 分钟)

7-9 轻气球在大气中上升的速度用几何比尺  $C_l = 50$  的小轻气球在水中上浮的现象来模拟, 已知轻气球连同球壁的平均容重为  $6N/m^3$ , 水和空气均为  $20^\circ C$ , 求模型速度和原型速度的换算关系。

(答:  $V_n = 0.0315V_m$ )

7-10 飞机在 9km 高空以 400m/s 的速度航行, 该处的温度为  $-45^\circ C$ , 绝对压强为 30.2kPa, 今置于密封的风洞中进行试验, 空气温度为  $15^\circ C$ , 为达到动力相似, 风洞中的压强和速度应为多大?

(设动力粘性系数  $\mu = C \frac{T^{1.5}}{T + 117}$ , T 为绝对温度, C 为常数)。

(答: 821kPa, 450m/s)

7-11 机翼弦长为 1m, 在空气中以 41.0m/s 的速度飞行, 模型翼弦长 83mm, 放在速度为 48.2m/s 的风洞中作试验, 二者的空气温度相同, 为保证动力相似, 风洞中的压强应为多大? 如测得模型机翼的绕流阻力为 10N, 则原型中的阻力将为多大?

(答: 10.2 个大气压, 102N)

7-12 弦长为 3m 的飞机机翼, 以 300km/h 的速度在温度为 20°C, 压强为 1 个标准大气压的静止空气中航行, 今用 1: 20 的模型在风洞中进行试验,

(1) 如果风洞中空气的温度和压强与原型相同, 风洞风速应为多大?

(2) 如果风洞中的温度与原型相同, 压强为 30 个标准大气压, 则风洞风速应为多大?

(3) 如果在水洞中进行试验, 水温 20°C, 则水速应为多大?

(答: (1) 6000km/h, (2) 200km/h, (3) 384km/h)

7-13 在 1: 5 的模型中进行温差空气射流的试验, 已知原型中的风口风速为 20m/s, 温差为 10°C, 模型中的风口风速为 40m/s, 温差应控制为多少才能保证射流运动轨迹的相似? 设周围空气的温度均为 20°C。

(答: 12.5°C)

7-14 炮弹运动的模拟应保证 Re 数和 M 数都相等。已知原型炮弹速度为 1000m/s, 空气温度为 40°C, 模型几何比为 1: 10, 空气温度为 10°C, 试确定模型中应有的风速和压强。

(答:  $V_m = 951m/s, P_m = 8.81$ 大气压)

7-15 在温度为 20°C 的水中有一潜体模型, 长 1.5m, 以 3m/s 的速度拖拽时阻力为 14kN, 若在 15°C 的大气中运动, 速度为 18m/s, 则潜体长度应为多大才能达到动力相似? 并估算其阻力。

(答: 3.75m, 3.88kN)

7-16 小型船只所受的主要作用力为重力、摩擦阻力和表面张力, 为了同时满足这三种物理力的相似, 流体的物性参数  $\rho$ ,  $\sigma$  和  $\nu$  之间应满足怎样的比尺关系式?

(答:  $C_\nu^{8/3} = \frac{C_\sigma}{C_\rho}$ )

7-17 船舶模型的几何比  $C_l = 50$ , 速度  $V_m = 1.33\text{m/s}$  时的拖力

$F_m = 9\text{N}$ , 求原型船舶的速度及其相应的阻力, 设若主要作用力为: (1) 重力; (2) 摩擦阻力; (3) 表面张力。

答: (1) 33.9km/h, 1125Kn

(2) 0.1km/h, 9N

(3) 0.672km/h, 450Kn


7-18 海港模型的几何比  $C_l = 20$ , 原型中潮汐周期为 12.4 小时,

模型中的潮汐周期为多久?

(答: 2.77 小时)

7-19 溢水堰模型的几何比为 20, 原型中测得流量为  $300\text{l/s}$ , 堰所受推力为 300N, 推算原型堰的流量和所受推力。

(答:  $537\text{m}^3/\text{s}$ , 2400kN)

7-20  油池通过直径  $d = 250\text{mm}$  的管路输送  $Q = 140\text{l/s}$  的石

油, 油的运动粘性系数  $\nu = 0.75\text{cm}^2/\text{s}$ , 现在几何比  $C_l = 5$  的

模型中研究避免油面发生旋涡, 卷入空气的最小油深  $h_{\min}$ ,

这种试验应保证 Re 数和 Fr 数都相等。问:

(1) 模型中液体的  $\nu_m$  和  $Q_m$  应为多少?

(2) 模型中观察到  $h_{\min}$  为 60mm 时, 原型中的  $h_{\min}$  应为多

少?

答:  $v_m = 0.067 \text{ cm}^2 / \text{s}, Q_m = 2.5 \text{ l} / \text{s}, h_{\min} = 300 \text{ mm}$

7-21 在 1:5 的模型中模拟砂粒的推移运动,天然砂的直径为 2mm,比重为 2.5,模型中采用轻质砂,比重为 1.15,若原型中水速为 1m/s 时,砂粒起动,要求模型中水速为 0.4m/s 时,砂粒起动,问轻质砂的直径应为多大?

答: 3.2mm

7-22 气力输送管道中的气流速度为 10m/s,悬砂直径为 0.03mm,密度为 2500kg/m<sup>3</sup>,今在 1:3 的模型中进行空气动力性能试验,要求 Re 数相等和悬浮状况相似,求模型气流速度和模型砂的粒径。设空气温度均为 20°C,

答:  $V_m = 30 \text{ m} / \text{s}, d_m = 0.052 \text{ mm}$

7-23 将下列一组参数组成无因次综合数:

(1)  $\Delta P, V, \gamma, g$ ;                      (2)  $F, \rho, L, \nu$ ;

(3)  $V, L, \rho, \sigma$

7-24 检查以下各综合数是否为无因次数:

(1)  $\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \cdot \frac{Q}{l}$ ;                      (2)  $\frac{\rho Q}{\Delta P l^2}$ ;                      (3)  $\frac{\rho l}{\Delta P Q^2}$ ;

(4)  $\frac{\Delta P \cdot l Q}{\rho}$ ;                      (5)  $\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \cdot \frac{Q}{l^2}$ 。

7-25 推导在静压头  $\Delta P$  作用下,孔口出流流速  $V$  的计算式,设  $V$  与孔口直径  $d$ , 流体密度  $\rho$ , 动力粘性系数  $\mu$  以及  $\Delta P$  有关。

答:  $V = f\left(\frac{Vd\rho}{\mu}\right) \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$

7-26 推导管中液流的切应力  $\tau$  的计算式,已知  $\tau$  和管径  $d$ , 液体

密度  $\rho$ ，动力粘性系数  $\mu$  和流速  $V$  有关。

答：  $\tau = f(\text{Re})\rho V^2$

7-27 推导不可压缩流体中流线型潜没物体所受阻力的表示式，已知阻力  $P$  与物体速度  $u$ ，尺寸  $L$ ，流体密度  $\rho$ ，动力粘性系数  $\mu$  有关。

答：  $P = f\left(\frac{\rho ul}{\mu}\right)\rho u^2 L^2$

7-28 试证立轴轴承的摩擦力矩可用下式表示：

$$T = K \frac{\mu D^3 n L}{\delta}$$

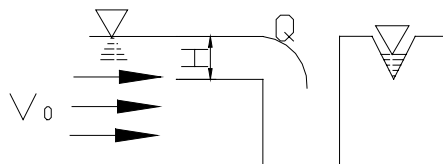
式中：  $L$ ——为轴承长度；  
 $\delta$ ——为轴与轴承的间隙；  
 $D$ ——为轴的直径；  
 $n$ ——为转速；  
 $\mu$ ——为润滑油动力粘性系数；  
 $K$ ——为常数。

7-29 试证水轮机功率可表示为：

$$N = \rho n^3 D^5 \phi \left( \frac{n^2 D^2}{gH} \right)$$

式中：  $H$ ——为水头；  
 $n$ ——为转速；  
 $D$ ——为水轮机直径；

7-30 三角堰的溢流量  $Q$  与堰上水头  $H$ ，重力加速度  $g$  有关，也受到堰前趋近流速  $V_0$  的影响，如图，试推导其流量公式。



7-31 证明直径为  $d$  的小球在密度为  $\rho$ ，动力粘性系数为  $\mu$  的流体相对运动速度为  $V$  时所受的粘性阻力为：

$$F = \frac{\mu}{\rho} \phi \left( \frac{\rho V d}{\mu} \right)$$

7-32 一厚度很小，直径为  $d$  的圆盘，在一扁的圆柱形外壳中旋转，外壳的直径为  $D$ ，外壳的上下壁与圆盘相距  $y$ ，圆盘旋转角速度为  $\omega$ ，外壳中充满密度为  $\rho$ ，动力粘性系数为  $\mu$  的流体，求旋转所需力矩的准数方程式。

$$\text{答：} \frac{M}{\rho \omega^2 d^5} = f \left( \frac{D}{d}, \frac{y}{D}, \frac{\mu}{\rho \omega d^2} \right)$$

7-33 两个共轴的圆柱形筒，外筒固定，内筒旋转，筒间充满油液，求内筒旋转所需力矩  $M$  的准数方程式，已知有关因素为旋转角速度  $\omega$ ，筒高  $H$ ，筒的间隙  $\delta$ ，筒的直径  $d$ ，流体密度  $\rho$  和流体动力粘性系数  $\mu$ 。

$$\text{答：} \frac{M}{\rho \omega^2 d^5} = f \left( \frac{H}{d}, \frac{\delta}{d}, \frac{\mu}{\rho \omega d^2} \right)$$

7-34 固体颗粒在流体中等速沉降的速度  $u$  与固体颗粒的直径  $d$ ，密度  $\rho_m$  及流体的密度  $\rho$ ，动力粘性系数  $\mu$ ，重力加速度  $g$  有关。用  $\pi$  定理建立沉速公式的基本式。

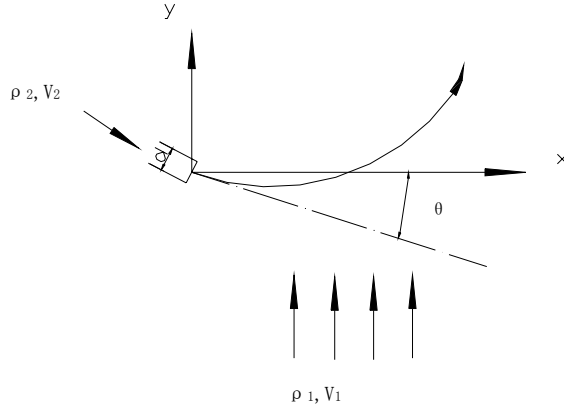
$$\text{答：} \frac{u}{\sqrt{gd}} = f \left( \frac{\rho_m}{\rho}, \frac{\rho g d}{\mu} \right)$$

7-35 已知气体射流的轴线轨迹为：

$$y = f(x, d, \theta, \rho_1, \rho_2, V_1, V_2)$$

式中： $y$ ——为纵坐标；  
 $x$ ——为横坐标；  
 $\theta$ ——为射流喷出角度；  
 $\rho_1$ ——为射流的密度；  
 $V_1$ ——为射流的速度；  
 $\rho_2$ ——为周围主气流的密度；

$V_2$ ——为周围主气流的速度；  
 $d$ ——为射流喷口直径。  
 如图，试改写上式为准数方程式。



答： 
$$\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}, \theta, \frac{\rho_2}{\rho_1}, \frac{V_2}{V_1}\right)$$

7-36 设流动的压强降落  $\Delta P$  与流速  $V$ ，密度  $\rho$ ，线性尺度  $l, l_1, l_2$ ，重力加速度  $g$ ，动力粘性系数  $\mu$ ，表面张力系数  $\sigma$  和体积弹性系数  $E$  有关，

即 
$$\Delta P = f(V, \rho, l, l_1, l_2, g, \mu, \sigma, E)$$

试以  $V$ 、 $\rho$ 、 $l$  为基本量，写出其准数方程式。

答： 
$$\frac{\Delta P}{\rho V^2} = f\left(\frac{l_1}{l}, \frac{l_2}{l}, \frac{V^2}{gl}, \frac{\mu}{\rho V l}, \frac{\sigma}{\rho V^2 l}, \frac{E}{\rho V^2}\right)$$