

专题 01 流体与连续体模型

模型讲解

模型一 流体类问题

| | | |
|--------|---|---|
| 流体及其特点 | | 通常液体流、气体流等被广义地视为“流体”，特点是质量具有连续性，题目中通常给出密度 ρ 作为已知条件 |
| 分析步骤 | 1 | 建立“柱体”模型，沿流速 v 的方向选取一段柱形流体，其横截面积为 S |
| | 2 | 用微元法研究，作用时间 Δt 内的一段柱形流体的长度 $\Delta l = v\Delta t$ ，对应的质量为 $\Delta m = \rho V = \rho S\Delta l = \rho S v\Delta t$ |
| | 3 | 建立方程，应用动量定理研究这段柱形流体 |

模型二 微粒类（连续体）问题

| | | |
|--------|---|--|
| 微粒及其特点 | | 通常电子流、光子流、尘埃等被广义地视为“微粒”，质量具有独立性，通常给出单位体积内粒子数 n |
| 分析步骤 | 1 | 建立“柱体”模型，沿运动的方向选取一段微元，柱体的横截面积为 S |
| | 2 | 用微元法研究，作用时间 Δt 内一段柱形流体的长度为 Δl ，对应的体积为 $\Delta V = S v_0 \Delta t$ ，则微元内的粒子数 $N = n v_0 S \Delta t$ |
| | 3 | 先应用动量定理研究单个粒子，建立方程，再乘 N 计算 |

案例剖析

【模型演练 1】构建物理模型是一种研究物理问题的科学思维方法。

(1) 如图所示，一个质量 $m=100\text{g}$ 的小球以水平初速度 $v_0=1\text{m/s}$ 砸向竖直墙壁，撞击时间 $\Delta t=1\times 10^{-3}\text{s}$ ，不计空气阻力。

①若小球碰后水平速度减为 0，求墙壁对小球的冲量 I_1 和小球受到的平均作用力 F_1 ；

②若小球碰后以速度 $v=0.8\text{m/s}$ 水平反弹，求墙壁对小球的冲量 I_2 和小球受到的平均作用力 F_2 。

(2) 用高压水枪冲洗物体时，在物体表面将产生一定的压力。若水从枪口喷出时的速度大小 v ，近距离垂

直喷射到物体表面，水枪出水口直径 d ，忽略水从枪口喷出后的发散效应，水喷射到物体表面时速度在短时间内变为零。由于水柱前端的水与物体表面相互作用时间很短，因此在分析水对物体表面的作用力时可忽略这部分水所受的重力。已知水的密度为 ρ ，重力加速度为 g ，请利用以上已知条件求：

- ①单位时间水枪喷出水的质量 m ；
 ②墙壁受到的平均冲击力 F 。



【答案】 (1) ① $0.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ，水平向左； 100 N ，水平向左；
 ② $0.18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ，水平向左； 180 N ，水平向左；
 (2) ① $m = \frac{1}{4} \rho \pi d^2 v$ ；② $F = \frac{1}{4} \rho \pi d^2 v^2$

【详解】 (1) ①以向左为正方向，墙壁对小球的冲量为

$$I_1 = 0 - (-mv_0) = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

方向为水平向左。

根据

$$I_1 = F_1 \Delta t$$

解得

$$F_1 = 100 \text{ N}$$

方向为水平向左。

②同理，以向左为正方向，对小球应用动量定理

$$I_2 = mv - (-mv_0)$$

解得

$$I_2 = 0.18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

方向为水平向左。根据

$$I_2 = F_2 \Delta t$$

解得

$$F_2 = 180 \text{ N}$$

方向为水平向左。

(2) ①单位时间水枪喷出水的质量

$$m = \rho V$$

其中

$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 v$$

解得单位时间水枪喷出水的质量

$$m = \frac{1}{4} \rho \pi d^2 v$$

②水打在墙壁上根据动量定理

$$F \Delta t = m \Delta t \cdot v$$

解得

$$F = \frac{1}{4} \rho \pi d^2 v^2$$

【模型演练 2】对于同一物理问题，常常可以从宏观与微观两个不同角度进行研究，找出其内在联系，从而更加深刻地理解其物理本质。

(1) 一段横截面积为 S 、长为 L 的直导线，单位体积内有 n 个自由电子，电子电荷量为 e 。该导线通有电流时，假设自由电子定向移动的速率均为 v ，求导线中的电流 I （请建立模型进行推导）；

(2) 正方体密闭容器中有大量运动粒子，每个粒子质量为 m ，单位体积内粒子数量 n 为恒量。为简化问题，我们假定：粒子大小可以忽略；其速率均为 v ，且与器壁各面碰撞的机会均等；与器壁碰撞前后瞬间，粒子速度方向都与器壁垂直，且速率不变。利用所学力学知识，导出器壁单位面积所受粒子压力 F 与 m 、 n 和 v 的关系（提示：建议，建立模型，思考压强的产生原理）。

【答案】(1) $nvSe$ ；(2) $\frac{1}{3}nmv^2$

【分析】取一时间段 t ，求得相应移动长度 $l=vt$ ，体积为 Svt 。总电量为 $nesvt$ ，再除以时间，求得表达式；粒子与器壁有均等的碰撞机会，即相等时间内与某一截面碰撞的粒子为该段时间内粒子数的 $\frac{1}{6}$ ，据此根据动量定理求与某一个截面碰撞时的作用力 f 。

【详解】(1) 导体中电流大小

$$I = \frac{q}{t}$$

t 时间内电子运动的长度为 vt ，则其体积为 Svt ，通过导体某一截面的自由电子数为 $nSvt$
该时间内通过导体该截面的电量

$$q = nSvte$$

得

$$I = nesv$$

(2) 考虑单位面积, t 时间内能达到容器壁的粒子所占据的体积为

$$V = Svt = 1 \times vt$$

其中粒子有均等的概率与容器各面相碰, 即可能达到目标区域的粒子数为

$$\frac{1}{6}nV = \frac{1}{6}nvt$$

设碰前速度方向垂直柱体地面且碰撞是弹性的, 则分子碰撞器壁前后, 总动量的变化量为

$$\Delta p = 2mv \cdot \frac{1}{6}nvt$$

由动量定理可得

$$f = \frac{\Delta p}{t} = \frac{\frac{1}{6}nvt(2 \times mv)}{t} = \frac{1}{3}nmv^2$$



一、单选题

1. 中国东海是超级台风(超过 16 级)的高发地, 这种台风的中心风速可达到 50m/s 。某栋大楼高约 100m 、宽约 20m , 空气密度约为 1.3kg/m^3 。若台风以 50m/s 的速度垂直吹到这栋大楼后, 速度减为 0 , 则大楼受到的风力大小约为 ()

- A. $3.3 \times 10^9 \text{N}$ B. $3.25 \times 10^6 \text{N}$ C. $6.5 \times 10^6 \text{N}$ D. $1.3 \times 10^7 \text{N}$

【答案】C

【详解】单位时间吹到这栋大楼的气体质量为

$$m = \rho V = \rho Svt$$

根据动量定理

$$-Ft = 0 - mv$$

联立解得大楼受到的风力大小约为

$$F = \rho Sv^2 = 1.3 \times 100 \times 20 \times 50^2 \text{N} = 6.5 \times 10^6 \text{N}$$

故选 C。

2. 如图所示为清洗汽车用的高压水枪。设水枪喷口直径为 D , 水流速度为 v , 水柱垂直汽车表面, 水柱冲击汽车后水沿汽车表面散开。已知水的密度为 ρ 。下列说法正确的是 ()



- A. 高压水枪单位时间喷出的水的体积为 $\pi D^2 v$
- B. 高压水枪单位时间喷出的水的质量为 $\frac{1}{4} \rho D^2 v$
- C. 水柱对汽车的平均冲力为 $\frac{1}{4} \rho D^2 v^2$
- D. 当高压水枪喷口的出水速度变为原来的 2 倍时，喷出的水对汽车的压力变为原来的 4 倍

【答案】D

【详解】AB. 高压水枪单位时间喷出水的质量等于单位时间内喷出的水柱的质量，即

$$m_0 = \rho V = \rho \pi \cdot \frac{D^2}{4} v = \frac{1}{4} \pi \rho v D^2$$

单位时间喷出的水的体积为

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} v$$

故 AB 错误；

C. 水柱对汽车的平均冲力为 F ，由动量定理得

$$Ft = mv$$

即

$$Ft = \frac{1}{4} \pi \rho v D^2 \cdot t \cdot v$$

解得

$$F = \frac{1}{4} \pi \rho v^2 D^2$$

故 C 错误；

D. 当高压水枪喷口的出水速度变为原来的 2 倍时，结合 C 选项分析可知，喷出的水对汽车的压力变为原来的 4 倍，故 D 正确。

故选 D。

3. 雨打芭蕉是中国古代文学中常见的抒情意象，为估算雨滴撞击芭蕉叶产生的平均压强 p ，小明将一圆柱形量筒置于雨中，测得时间 t 内筒中水面上升的高度为 h ，设雨滴下落的速度为 v_0 ，雨滴竖直下落到水平芭蕉叶上后以速率 v 竖直反弹，雨水的密度为 ρ ，不计雨滴重力。压强 p 为 ()

A. $\frac{\rho h}{t}(v_0 - v)$

B. $\frac{\rho h}{t}(v_0 + v)$

C. $\rho(v_0^2 - v^2)$

D. $\rho(v_0^2 + v^2)$

【答案】B

【详解】以极短时间 Δt 内落至芭蕉叶上的雨滴的质量为 Δm ，雨滴与芭蕉叶作用的有效面积为 S ，根据动量定理有

$$F_1 \Delta t = \Delta m v - (-\Delta m v_0)$$

由于圆柱形量筒置于雨中，测得时间 t 内筒中水面上升的高度为 h ，则单位面积单位时间内下落的雨水质量为

$$m_0 = \frac{\rho S_{\text{圆}} h}{t S_{\text{圆}}} = \frac{\rho h}{t}$$

则以极短时间 Δt 内落至芭蕉叶上的雨滴的质量

$$\Delta m = m_0 S \Delta t = \frac{\rho h S \Delta t}{t}$$

根据牛顿第三定律有

$$F_2 = F_1$$

雨滴撞击芭蕉叶产生的平均压强

$$p = \frac{F_2}{S}$$

解得

$$p = \frac{\rho h}{t}(v_0 + v)$$

故选 B。

4. 人们常利用高压水枪洗车（如图），假设水枪喷水口的横截面积为 S ，喷出水流的流量为 Q （单位时间流出的水的体积），水流垂直射向汽车后速度变为 0。已知水的密度为 ρ ，则水流对汽车的平均冲击力为（ ）



A. $\rho Q S$

B. $\rho Q^2 S$

C. $\frac{\rho Q}{S}$

D. $\frac{\rho Q^2}{S}$

【答案】D

【详解】选择短时间 Δt 内与汽车发生相互作用的水为研究对象，该部分水的质量为

$$\Delta m = \rho S v \Delta t$$

由于喷出水流的流量为 Q 指单位时间流出的水的体积，则有

$$Q = \frac{S v \Delta t}{\Delta t}$$

根据动量定理有

$$-F_1 \Delta t = 0 - \Delta m v$$

根据牛顿第三定律有

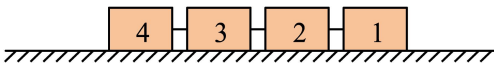
$$F_2 = F_1$$

解得，水流对汽车的平均冲击力为

$$F_2 = \frac{\rho Q^2}{S}$$

故选 D。

5. 如图所示，是高速磁悬浮列车在水平长直轨道上的模拟运行图，列车由质量均为 m 的 4 节车厢组成，其中 1 号车厢为动力车厢。列车由静止开始以额定功率 P 运行，经过一段时间达到最大速度。列车向右运动过程中，1 号车厢会受到前方空气的阻力，假设车厢碰到空气前空气的速度为 0，碰到空气后空气的速度立刻与列车速度相同，已知空气密度为 ρ 。1 号车厢的迎风面积（垂直运动方向上的投影面积）为 S ，不计其他阻力，忽略 2 号、3 号、4 号车厢受到的空气阻力。当列车由静止开始以额定功率运行到速度为最大速度的 $\frac{1}{3}$ 时，1 号车厢对 2 号车厢的作用力大小为（ ）



- A. $\frac{26}{9} \sqrt[3]{P^2 \rho S}$ B. $\frac{13}{6} \sqrt[3]{P^2 \rho S}$ C. $\frac{26}{9} \sqrt[3]{P \rho S}$ D. $\frac{13}{6} \sqrt[3]{P \rho S}$

【答案】B

【详解】根据题意，设列车的最大速度为 v_m ，列车对空气的阻力为 f ，由动量定理有

$$f \Delta t = \rho S v \Delta t v - 0$$

解得

$$f = \rho S v_m^2$$

当牵引力等于阻力时，列车速度最大，则有

$$P = f v_m$$

联立解得

$$v_m = \sqrt[3]{\frac{P}{\rho S}}$$

当列车由静止开始以额定功率运行到速度为最大速度的 $\frac{1}{3}$ 时，阻力为

$$f_1 = \rho S \left(\frac{1}{3} v_m \right)^2 = \frac{1}{9} \rho S v_m^2$$

此时，牵引力为

$$F = \frac{P}{\frac{1}{3} v_m} = 3f$$

1号车厢对2号车厢的作用力大小为 F' ，对2号、3号、4号车厢整体，由牛顿第二定律有

$$F' = 3ma$$

对4节车厢整体，由牛顿第二定律有

$$3f - f_1 = 4ma$$

联立解得

$$F' = \frac{13}{6} \rho S v_m^2 = \frac{13}{6} \sqrt[3]{P^2 \rho S}$$

故选 B。

6. 赣州市牢固树立绿色发展理念，大力开发利用风能、太阳能、生物能等新能源。截至目前，赣州装机和发电量均居全省第一，风力发电机如图所示，风力带动三个叶片转动，叶片再带动发电机中的转子（磁极）转动，使定子（线圈不计电阻）中产生电流，实现风能向电能的转化。已知叶片长为 l ，风速为 v ，空气的密度为 ρ ，空气遇到叶片旋转形成的圆面后， $\frac{1}{3}$ 减速为零， $\frac{2}{3}$ 原速穿过，则每一片叶片受到空气的作用力为（ ）



A. $\frac{1}{9} \pi \rho l^2 v^2$

B. $\frac{1}{6} \pi \rho l^2 v^2$

C. $\frac{1}{3} \pi \rho l^2 v^2$

D. $\pi \rho l^2 v^2$

【答案】A

【详解】根据题意，设每一片叶片对 Δt 时间内空气的作用力为 F ，由动量定理有

$$-3F \cdot \Delta t = 0 - \frac{1}{3} \rho \pi l^2 v \cdot \Delta t v$$

解得

$$F = \frac{1}{9} \rho \pi l^2 v^2$$

由牛顿第三定律可知，每一片叶片受到空气的作用力为

$$F' = F = \frac{1}{9} \rho \pi l^2 v^2$$

故选 A。

7. 如图所示，某航拍小型飞机有四个相同的风扇，每个风扇的半径均为 R ，当它在无风的天气悬停时，每个风扇都呈水平状态，风扇吹出的空气速度大小都等于 v ，吹出的空气流动方向相同。已知空气的平均密度为 ρ ，则风扇悬停时，不考虑其他位置空气流动的影响。下列说法错误的是（ ）



- A. 风扇吹出的空气流动方向竖直向下
- B. 单位时间内每个风扇吹出的空气的质量为 $\rho \pi R^2 v$
- C. 无人机的总重力等于 $4 \rho \pi R^2 v^2$
- D. 每个风扇对空气做功的功率为 $\frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^2$

【答案】D

【详解】A. 由于无人机悬停时受到的升力与其重力平衡，螺旋桨吹风方向均为竖直向下，故 A 正确；

B. 单位时间内被每个螺旋桨推动的空气质量为

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t} = \rho \pi R^2 v$$

故 B 正确；

C. 根据动量定理

$$F \Delta t = \Delta m \cdot v$$

解得每个螺旋桨对空气的作用力为

$$F = \rho \pi R^2 v^2$$

无人机的总重力等于

$$G = 4F = 4\rho\pi R^2 v^2$$

故 C 正确；

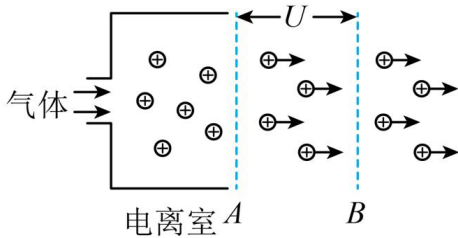
D. 每个风扇对空气做功的功率为

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\Delta mv^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho\pi R^2 v \cdot \Delta t v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho\pi R^2 v^3$$

故 D 错误。

本题选错误的，故选 D。

8. 离子电推引擎，是利用电场将处在等离子状态的“工作物质”加速后向后喷出而获得前进动力的一种发动机。这种引擎不需要燃料，也气体全无污染排放，是环保型机器。引擎获得推力的原理如图所示，进入电离室的气体被电离成正离子和电子，而后正离子飘入电极 A、B 之间的加速电场（正离子初速度忽略不计），使正离子加速形成离子束，在加速过程中引擎获得恒定的推力。已知 A、B 间的电压为 U ，单位时间内飘入加速电场的正离子数目为 N ，每个离子的质量为 m 、电荷量为 ne （其中 n 是正整数， e 是元电荷），则引擎获得的推力大小为（ ）



- A. $N\sqrt{2nemU}$ B. $2N\sqrt{nemU}$ C. $\frac{N\sqrt{2nemU}}{2}$ D. $N\sqrt{nemU}$

【答案】A

【详解】时间 t 内飘入加速电场的正离子质量

$$m_0 = Nmt$$

电荷量

$$q = Nnet$$

电场对离子加速，由动能定理有

$$qU = \frac{1}{2}m_0v_0^2$$

设在加速过程中引擎对离子的作用力大小为 F ，根据动量定理有

$$m_0v_0 = F't$$

解得

$$F' = N\sqrt{2nemU}$$

由牛顿第三定律可知，引擎获得的推力大小

$$F = N\sqrt{2nemU}$$

故选 A。

9. 我国自主研发的“天帆一号”太阳帆在轨成功验证了多项太阳帆关键技术。太阳帆可以利用太阳光的“光子流”为飞船提供动力实现星际旅行。光子具有能量，也具有动量。光照射到物体表面时，会对物体产生压强，这就是“光压”。设想一艘太阳帆飞船，在太阳光压的作用下能够加速运动，不考虑太阳以外的其他星体对飞船的作用力，下列说法不正确的是（ ）

- A. 若光照强度和太阳光照射到太阳帆的入射角一定，太阳帆接受光的面积越大，该飞船获得的动力越大
- B. 若光照强度和太阳帆接受光的面积一定，太阳光照射到太阳帆发生反射，入射角越小，该飞船获得的动力越大
- C. 太阳光照射到太阳帆时，一部分被反射，另一部分被吸收，只有被反射的部分会对太阳帆产生光压
- D. 若将太阳帆正对太阳，飞船无需其他动力，即可以远离太阳做加速度减小的加速运动

【答案】C

【详解】根据题意，设太阳单位时间内向外辐射的光子数为 N ，太阳到太阳帆的距离为 R ，太阳帆的面积为 S ，则单位时间内照射到太阳帆上的光子数为

$$n = \frac{NS}{4\pi R^2}$$

设太阳光照射到太阳帆的入射角为 θ ，若所有光子被反射，时间 t 内对太阳帆产生的压力为 F ，每个光子的动量为 p ，由动量定理有

$$Ft = 2ntp \cos \theta$$

解得

$$F = \frac{NSp \cos \theta}{2\pi R^2}$$

- A. 若光照强度和太阳光照射到太阳帆的入射角一定，即 N 和 θ 不变，太阳帆接受光的面积 S 越大，则该飞船获得的动力 F 越大，故 A 正确；
- B. 若光照强度和太阳帆接受光的面积一定，即 N 和 S 不变，太阳光照射到太阳帆发生反射，入射角 θ 越小，则该飞船获得的动力越大，故 B 正确；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/185341243323012030>