

## 专题 03 人船模型与爆炸模型

### 模型讲解

#### 一. “人船模型”问题

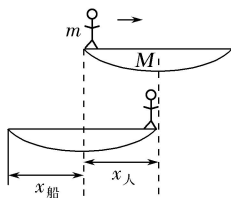
##### 1. 适用条件

系统原来处于静止状态, 在系统中物体发生相对运动的过程中, 动量守恒或某一个方向动量守恒。

其实质就是初速度为 0 的系统中物体所做的反冲运动, 系统满足某方向上的平均动量守恒。

##### 2. 模型特点

(1) 如图所示。



(2) 两物体的位移满足  $x_{人} + x_{船} = L$

遵从动量守恒定律, 有  $m \frac{x_{人}}{t} - M \frac{x_{船}}{t} = 0$ ,

$$\text{即 } x_{人} = \frac{M}{M+m}L, \quad x_{船} = \frac{m}{M+m}L$$

位移大小之比满足  $x_{人} : x_{船} = M : m$ , 即两物体的位移大小之比等于两物体质量的反比。

##### 3. 重要推论

(1) “人”走“船”走, “人”停“船”停。

(2)  $x_{人} = \frac{M}{M+m}L$ ,  $x_{船} = \frac{m}{M+m}L$ , 即  $x_{人}$ 、 $x_{船}$  大小与人运动时间和运动状态无关。

(3)  $\frac{x_{人}}{x_{船}} = \frac{M}{m}$ , 人、船的位移(在系统满足动量守恒的方向上的位移)与质量成反比。

#### 二. 爆炸模型

##### 1. 爆炸现象的特点

爆炸过程中内力远大于外力, 爆炸的各部分组成的系统总动量守恒。

##### 2. 爆炸现象的三个规律

动量守恒	爆炸物体间的相互作用力远远大于受到的外力, 所以在爆炸过程中, 系统的总动量守恒
动能	在爆炸过程中, 有其他形式的能量(如化学能)转化为动能

增加	
位置 不变	爆炸的时间极短，因而作用过程中，物体产生的位移很小，可以认为爆炸后各部分仍然从爆炸前的位置以新的动量开始运动

## 案例剖析

**【模型演练 1】**有一条捕鱼小船停靠在湖边码头，小船又窄又长，一位同学想用一卷尺粗略测定它的质量，他进行了如下操作：首先将船平行码头自由停泊，然后他轻轻从船尾上船，走到船头后停下，而后轻轻下船，用卷尺测出船后退的距离  $d$ ，然后用卷尺测出船长  $L$ (如图所示)。已知他自身的质量为  $m$ ，则渔船的质量为( )



A.  $\frac{m(L+d)}{d}$

B.  $\frac{m(L-d)}{d}$

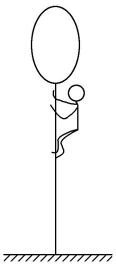
C.  $\frac{mL}{d}$

D.  $\frac{m(L+d)}{L}$

**【答案】 B**

**【解析】** 设人走动时船的速度大小为  $v$ ，人的速度大小为  $v'$ ，人从船尾走到船头所用时间为  $t$ ，取船的运动方向为正方向，则  $v = \frac{d}{t}$ ， $v' = \frac{L-d}{t}$ ，根据动量守恒定律得  $Mv - mv' = 0$ ，解得船的质量  $M = \frac{m(L-d)}{d}$ ，故选项 B 正确。

**【模型演练 2】** 如图所示，在一只大气球下方的长绳上，有一个质量为  $m_1 = 50 \text{ kg}$  的人。气球和长绳的总质量为  $m_2 = 20 \text{ kg}$ ，长绳的下端刚好和水平面接触。当静止时人离地面的高度为  $h = 5 \text{ m}$ 。如果这个人开始沿绳向下滑，当他滑到绳下端时，他离地面的高度约(可以把人看成质点)( )



A. 5 m

B. 3.6 m

C. 2.6 m

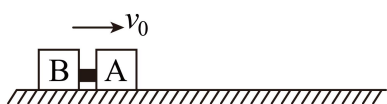
D. 8 m

**【答案】 B**

**【解析】** 设人的速度大小为  $v_1$ ，气球的速度大小为  $v_2$ ，根据人和气球组成的系统动量守恒得  $m_1v_1 = m_2v_2$ ，所以  $v_1 = \frac{2}{5}v_2$ ，气球和人运动的路程之和为  $h = 5 \text{ m}$ ，则  $s_1 = \frac{10}{7} \text{ m}$ ， $s_2 = \frac{25}{7} \text{ m}$ ，即人下滑  $\frac{10}{7} \text{ m}$ ，气球上升  $\frac{25}{7} \text{ m}$ ，所以人离地高度为  $\frac{25}{7} \text{ m}$ ，约等于  $3.6 \text{ m}$ 。故选项 B 正确。

**【模型演练 3】** 两质量均为  $m$  的相同物块紧密相连，中间放有少量火药，在足够长水平地面上以初速度  $v_0$  开始运动，物块与水平地面的动摩擦因数均为  $\mu$ ，重力加速度大小为  $g$ ，不计空气阻力和火药的质量。当物块一起运动时间为  $t_0 = \frac{v_0}{2\mu g}$  时，火药爆炸将两物块炸开，有  $\Delta E = \frac{9}{4}mv_0^2$  的化学能转化为两物块的动能，且爆炸后两物块均沿水平方向运动。爆炸时间极短。求：

- (1) 火药爆炸前瞬间两物块的速度大小；
- (2) 两物块炸开后均停止运动时两物块间的距离。



**【答案】** (1)  $\frac{v_0}{2}$ ；(2)  $\frac{5v_0^2}{2\mu g}$

**【详解】** (1) 对于两物块根据牛顿第二定律得

$$a = \frac{2\mu mg}{2m} = \mu g$$

根据匀变速运动的规律有

$$v_1 = v_0 - at_0 = \frac{v_0}{2}$$

(2) 火药爆炸后，两物块均沿水平方向运动，设炸后瞬间 B、A 物块速度分别为  $v_2$  和  $v_3$ ，根据动量守恒定律有

$$2mv_1 = mv_2 + mv_3$$

根据能量守恒定律有

$$\Delta E = \frac{9}{4}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}mv_3^2 - m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2$$

解得

$$v_2 = -v_0$$

向左运动

$$v_3 = 2v_0$$

向右运动（另一组解与题意不符，舍去）

火药爆炸后物块 A 向右运动的距离

$$x_A = \frac{v_3^2}{2a} = \frac{2v_0^2}{\mu g}$$

火药爆炸后物块 B 向左运动的距离

$$x_B = \frac{v_2^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

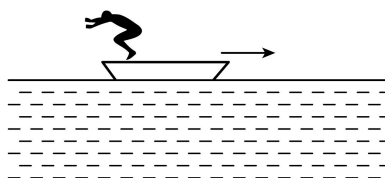
两物块炸开后均停止运动时两物块间的距离

$$d = x_A + x_B = \frac{5v_0^2}{2\mu g}$$



### 一、单选题

1. 如图，质量为 200kg 的小船在静止水面上以 3m/s 的速率向右匀速行驶，一质量为 50kg 的救生员站在船尾，相对小船静止。若救生员以相对船 6m/s 的速率水平向左跃入水中，则救生员跃出后小船的速率为 ( )



- A. 4.5m/s      B. 4.2m/s      C. 2.5m/s      D. 2.25m/s

**【答案】B**

**【详解】**设船的质量为  $M$ ，人的质量为  $m$ ，人在跃出的过程中船人组成的系统水平方向外力之和为零，满足系统动量守恒；若救生员以相对船 6m/s 的速率水平向左跃入水中，设救生员跃出后小船的速率为  $v$ ，规定向右为正方向，则有

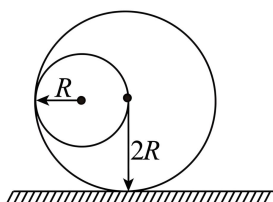
$$(M + m)v_0 = Mv - m(6 - v)$$

代入数据解得

$$v = 4.2\text{m/s}$$

故选 B。

2. 如图所示，质量为  $m$ 、半径为  $R$  的小球，放在半径为  $2R$ 、质量为  $3m$  的大空心球内，大球开始静止在光滑水平面上。当小球从如图所示的位置无初速度沿内壁滚到最低点时，大球移动的距离是 ( )



- A.  $\frac{R}{2}$       B.  $\frac{R}{3}$       C.  $\frac{R}{4}$       D.  $\frac{R}{6}$

【答案】C

【详解】由于水平面光滑，系统水平方向上动量守恒，则任意时刻小球的水平速度大小为  $v_1$ ，大球的水平速度大小为  $v_2$ ，由水平方向系统动量守恒有

$$mv_1 = 3mv_2$$

若小球达到最低点时，小球的水平位移为  $x_1$ ，大球的水平位移为  $x_2$ ，则有

$$mx_1 = 3mx_2$$

又

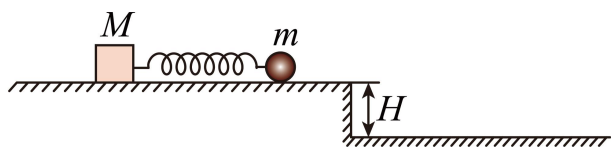
$$x_1 + x_2 = 2R - R = R$$

联立解得大球移动的距离为

$$x_2 = \frac{R}{4}$$

故选 C。

3. 如图所示，水平面左侧有一足够长的、相对水平面高为  $H$  的光滑平台，质量为  $M$  的滑块与质量为  $m$  的小球之间有一个处于压缩且锁定状态的轻弹簧（弹簧不与滑块和小球连接），系统处于静止状态。某时刻弹簧解除锁定，小球离开平台后做平抛运动，落到水平面上时落点到平台的距离为  $s$ ，重力加速度为  $g$ ，则滑块的速度大小为（ ）



- A.  $\frac{m}{M} \sqrt{\frac{g}{2H}}$       B.  $\frac{ms}{M} \sqrt{\frac{2H}{g}}$       C.  $\frac{ms}{M} \sqrt{\frac{g}{2H}}$       D.  $\frac{Ms}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}}$

【答案】C

【详解】小球射出时，设其速度为  $v_0$ ，系统在水平方向上动量守恒，取向右为正方向，对系统在水平方向上，由动量守恒有

$$mv_0 - Mv = 0$$

小球做平抛运动，有

$$v_0 = \frac{s}{t}$$

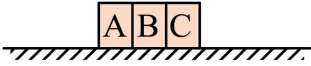
$$H = \frac{1}{2}gt^2$$

联立解得

$$v = \frac{ms}{M} \sqrt{\frac{g}{2H}}$$

故选 C。

4. 如图所示，光滑水平面上 A、B、C 三个质量均为 2kg 的物体紧贴着静止放在一起，A、B 之间有微量炸药。炸药爆炸后三个物体均沿水平方向运动且 B 对 C 做的功为 16J，若炸药爆炸过程释放的能量全部转化为三个物体的动能，则炸药爆炸过程中释放出的能量为（ ）



A. 48J

B. 64J

C. 96J

D. 108J

【答案】C

【详解】对 C 由动能定理得

$$v_C = 4\text{m/s}$$

爆炸后 B 和 C 共速，对 A、B、C 整体动量守恒得

$$mv_A = 2mv_{BC}$$

$$v_A = 8\text{m/s}$$

爆炸释放的能量为三者动能之和，故

$$E = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \cdot 2mv_{BC}^2 = 96\text{J}$$

故选 C。

5. 2023 年 10 月 10 日，据黎巴嫩媒体报道，以色列军队在黎巴嫩南部领土使用国际法禁止的白磷弹。假设一质量为  $m$  的白磷弹竖直向上运动到最高点时，爆炸成两部分，爆炸后瞬时质量为  $m_1$  部分的动能为  $E_{k1}$ ，爆炸时间极短可不计，不计爆炸过程中的质量损失，则该白磷弹爆炸后瞬时的总动能为（ ）

A.  $\frac{m_1 E_{k1}}{m - m_1}$

B.  $\frac{2m E_{k1}}{m - m_1}$

C.  $\frac{m E_{k1}}{m - m_1}$

D.  $\frac{m E_{k1}}{2(m - m_1)}$

【答案】C

【详解】爆炸后瞬时质量为  $m_1$  部分的速度大小为  $v_1$ ，另一部分的质量为  $(m - m_1)$ ，速度大小为  $v_2$ ，根据动量守恒可得

$$m_1 v_1 = (m - m_1) v_2$$

又

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2, \quad E_{k2} = \frac{1}{2}(m-m_1)v_2^2$$

该白磷弹爆炸后瞬时的总动能为

$$E_{k\text{总}} = E_{k1} + E_{k2}$$

联立解得

$$E_{k\text{总}} = \frac{mE_{k1}}{m-m_1}$$

故选 C。

6. 皮划艇射击是一种比赛运动，比赛时，运动员站在静止的皮划艇上，持枪向岸上的枪靶水平射击。已知运动员（包括除子弹外的装备）及皮划艇的总质量为  $M$ ，子弹的质量为  $m$ ，假设子弹射击过程中火药释放的总能量为  $E$ ，且全部转化为动能，在陆地射击和在皮划艇上射击时子弹出射速度会有少许差异。陆地射击时子弹的射出速度为  $v_1$ ，子弹动能为  $E_{k1}$ ；在皮划艇上射击时子弹的出射速度为  $v_2$ ，动能为  $E_{k2}$ ，运动员及皮划艇的速度为  $v_3$ ，射击过程中可认为子弹、运动员及皮划艇组成的系统在水平方向动量守恒。下列关系式正确的是（ ）

A.  $v_1 = \sqrt{\frac{E}{m}}$       B.  $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{M-m}{M}$       C.  $v_2 = \sqrt{\frac{2(M-m)}{Mm}E}$       D.  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M+m}{M}}$

【答案】D

【详解】A. 在陆地射击时，火药释放的能量全部转化为子弹的动能，因此有

$$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = E$$

解得

$$v_1 = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

A 错误；

CD. 在皮划艇上射击时，根据水平方向动量守恒，有

$$0 = Mv_3 + mv_2$$

$$E = \frac{1}{2}Mv_3^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

联立解得

$$v_2 = \sqrt{\frac{2M}{(M+m)m}E}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M+m}{M}}$$

故 C 错误，D 正确；

B. 在皮划艇上射击时，子弹的动能

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{M}{M+m}E$$

则

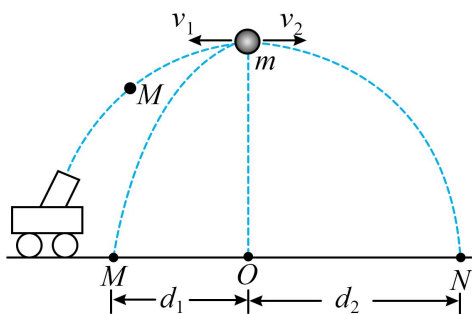
$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{M+m}{M}$$

故 B 错误。

故选 D。

## 二、多选题

7. 中国国防部新闻发言人任国强宣布从当日起，中国人民解放军东部战区在台海附近组织实战化演练。一质量为  $M$  的炮弹从地面发射（炮架高度不计），经过时间  $t$  在最高处击中相对地面静止的质量为  $m$  的（模拟）台军目标，此时炮弹正好发生爆炸，并分成两块质量不同的残骸，可视为两个残骸分别相向做平抛运动，落到地面的时间为  $t$ ，较小的残骸质量为  $m$  并向我方炮架方向飞去。击中过程可看作完全非弹性碰撞，爆炸过程可视为反冲运动，不计空气阻力，下列说法正确的是（ ）



- A. 击中过程动量守恒，机械能也守恒
- B. 炮弹在最高处速度大小为  $\frac{Md_2 - md_1}{Mt}$
- C. 若  $d_1 = \frac{Md_2 - md_1}{M}$ ，残骸会误伤我方人员
- D. 爆炸过程中机械能守恒，但动量不守恒

**【答案】** BC

**【详解】** A. 击中过程可看作完全非弹性碰撞，可知击中过程动量守恒，机械能不守恒，故 A 错误；

B. 设炮弹在最高处速度大小为  $v$ ，爆炸过程根据动量守恒可得



$$Mv = -mv_1 + (M - m)v'_2$$

击中过程根据动量守恒可得

$$(M - m)v'_2 = (M - m + m)v_2$$

又

$$d_1 = v_1 t, \quad d_2 = v_2 t$$

联立解得炮弹在最高处速度大小为

$$v = \frac{Md_2 - md_1}{Mt}$$

故 B 正确；

C. 若残骸误伤我方人员，则有

$$x = v_1 t = vt$$

即

$$d_1 = \frac{Md_2 - md_1}{M}$$

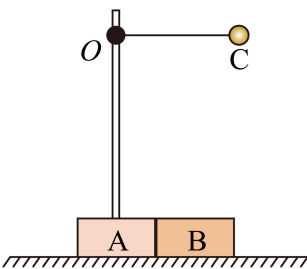
故 C 正确；

D. 爆炸过程中机械能不守恒，动量守恒，故 D 错误。

故选 BC。

8. 如图所示，质量为  $m$  的木块 A、B，并排放置在光滑水平面上，木块 A 上固定一竖直轻杆，轻杆上端的 O 点系一长为  $l$  的细线，细线另一端系一质量为  $2m$  的球 C。现将 C 球拉起使细线水平伸直，并由静止释放 C 球。

(重力加速度为  $g$ ) 则下列说法正确的是 ( )



A. C 球从水平位置到最低点过程中，木块 A 移动的距离为  $\frac{l}{2}$

B. A、B 两木块分离时，A 的速度大小为  $\sqrt{gl}$

C. 小球第一次到达左侧所上升最大高度为  $\frac{2l}{3}$

D. 小球第一次到达左侧所上升最大高度为  $\frac{l}{3}$

【答案】ABC

【详解】A. C 球从水平位置到最低点过程中，A、B、C 组成的系统水平方向动量守恒，且 A、B 此时速度相同，则有

$$2mv_c = 2mv_1$$

则有

$$2mx_c = 2mx_A$$

又

$$x_A + x_C = l$$

联立可得木块 A 移动的距离为

$$x_A = \frac{l}{2}$$

故 A 正确；

B. 当 C 球第一次摆到最低点时，A、B 两木块分离，此刻 A、B 速度相等，设 A、B 速度大小为  $v_1$ 、C 球速度大小为  $v_0$ ，由 A、B、C 系统水平方向动量守恒可得

$$2mv_0 = 2mv_1$$

由 A、B、C 系统机械能守恒可得

$$2mgl = \frac{1}{2} \times 2mv_0^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_1^2$$

联立可得

$$v_0 = v_1 = \sqrt{gl}$$

即 A、B 两木块分离时，A、B、C 三者的速度大小均为  $\sqrt{gl}$ ，故 B 正确；

CD. C 球摆到竖直轻杆左侧最大高度时，A、C 共速设为  $v_2$ ，最大高度为  $h$ ，由 A、C 系统水平方向上动量守恒可得

$$2mv_0 + m(-v_1) = (2m + m)v_2$$

由 A、C 系统机械能守恒可得

$$\frac{1}{2} \times 2mv_0^2 + \frac{1}{2} mv_1^2 = 2mgh + \frac{1}{2} (2m + m)v_2^2$$

联立解得

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/028137140130007017>