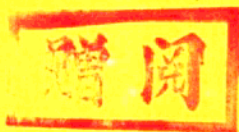




中学物理课外读物

丹东市教师进修学院

(资料编写组)



1978.3

限 表

力 学 部 分

一、力和力的分析：

1、力：力是物体间的相互作用。

注意：（1）每个物体既施力，又受力。

（2）说“力是产生形变的原因”或“力是产生加速度的原因”或“力是一个物体对另一个物体的作用”都是不确切的，因前两者只从力产生的效果去认识力，而后者只谈到作用一方，因此都具有片面性。

（3）研究某物体运动状态时，只须分析该物体受力情况，而不必涉及其他物体的受力。

2、力的种类：

a、重力：重力是引力的一种，是地球对物体的吸引作用产生的。

大小：与质量成正比、 $P = mg$

方向：铅直向下，垂直地平面；

作用点：即物体的重心。

b、弹力：当物体受力发生形变时，就产生恢复原来形状的弹力。拉力（或绳的张力）、压力等都属于弹力。弹力作用在使物体发生形变的另一个物体上，其大小跟物体形变大小成正比（当物体伸长或缩短量为 x 时，相对应的弹力为 F ，则 $F = KX$ ）。

c、摩擦力：当两个相互接触的物体间发生相对运动或有相对运动趋势时，就产生阻碍运动的摩擦力，其方向跟物体运动或运动趋势的方向相反。

滑动摩擦力： $f = KN$ （ K 是滑动摩擦系数， N 是正压力。）

静摩擦力：它的大小和方向可根据它和推力（或拉力）的平衡来确定。

注意：正压力是指垂直于接触面的力，不一定等于重力。

下面图一——图六表示在不同的情况下，正压力和重量的关系：

$$N = P$$

（图一）

$$N = P + Q$$

（图二）

$$N = P + Q \sin \theta$$

（图三）

$$N = P - Q \sin \theta$$

(图四)

$$N = P \cdot \cos \theta$$

(图五)

N与P无关

(图六)

4、万有引力：任何两物体之间，都存在着引力，叫做万有引力。

$$\text{公式： } F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

3、牛顿第三定律：物体间的作用力与反作用力，大小相等，方向相反，在质心的连线上，分别作用在两个物体上。

注意：(1) 作用与反作用力性质相同，如作用力是弹力，反作用力也是弹力。

(2) 作用力和反作用力总是成对出现，同时产生，同时消失。

(3) 作用力与反作用力在任何情况下，总是大小相等，方向相反，但不是作用在一个物体上，不是平衡力。

例如：平台上放一物体(图七)，物体受地球的吸引力(重力)P与平台对它的支持力F，互为平衡力。而物体对平台的压力F'与F则为作用力与反作用力。

又如：人推车(图八)由静止开始运动，人推车的作用力F与车作用于人的作用力F'大小相等，而车前进是由于F大于地面对车摩擦力f，人不后退则是因为F'不足以克服地面对人的作用力(包括摩擦力)。

(图七)

4、物体受力分析：

分析步骤：(1) 明确所分析的是哪个物体，画出该物体的受力图。

(2) 找出物体所受的作用力，不考虑对其他物体的反作用力。

(图八)

(3) 凡跟这物体相接触的别的物体，对这个物体就可能产生弹力和摩擦力。弹力的方向或者沿绳的方向，或者与接触面垂直；摩擦力的方向则与接触面平行，阻碍相对运动的发生。

(4) 弄清平衡力与反作用力。

〔例一〕如图九所示，在桌子上放物体A、B，分别为1公斤和5公斤重，试指出A与B的受力中，哪些是平衡力，哪些是作用力与反作用力？

〔解〕如图十，分别以P表示重力，F表示支持力，F'表示压力，则A物受力： $F_A = P_A = 1 \text{ 公斤}$

(图九)

B物受力: $F_B = P_B + F'_A = 5 + 1 = 6$ (公斤)

其中 P_A 与 F_A , P_B 和 F'_A 与 F_B 互为平衡力, F_A 与 F'_B 为作用与反作用力, $F_A = -F'_A$

〔练习〕如图十一所示, $P_A = 20$ 公斤, $P_B = 50$ 公斤. 试分析 A、B 各受几个力作用?

这些力的大小、方向怎样? 那几对互为平衡力?

〔例二〕如图十二所示. 当 $F_1 > F_2$, 物体 A、B 沿 F_1 方向运动且有摩擦时, A、B 物分别受那些力的作用? 那几对力为作用力与反作用力?

(图十)

(图十一)

(图十二)

〔解〕如图十三, A 物受力, 其中 F 为 B 物给 A 的阻力, f_A 为摩擦力.

如图十四, B 物受力, 其中 F' 为 A 物给 B 的推力, f_B 为摩擦力.

上述诸力中, F 与 F' 为一对作用力与反作用力.

〔练习〕将例二略为改变如图十五所示, 将怎样分析呢?

(图十三)

(图十四)

(图十五)

〔例三〕如图十六所示. 物 A 与物 B 保持相对静止, 而 B 在绳的拉力 F 作用下运动, 试分析 A、B 间的摩擦力的方向?

〔解〕如图十七, A、B 间为静摩擦 (B 与桌面间为滑动摩擦). A 物对 B 的摩擦, 阻碍 B 物发生相对运动, 则 B 物所受摩擦力 f_B 方向跟运动方向相反. 根据牛顿第三定律可知, f_B 的反作用力为物 A 所受的摩擦力 f_A , 其方向和 f_B 相反, 跟运动方向相同.

〔练习〕1、分析图十八 (a), 皮带运输机中, 皮带与物体间的摩擦力方向?

(图十六)

(图十七)

(图十八)

2、分析图十八(b)中斜面迭放的甲、乙两物间的摩擦力的方向(设两物处于相对静止,而甲物受力 F 沿斜面向上运动)。

〔例四〕试分析不考虑空气阻力时,被踢到空中的足球的受力情况。

〔解〕足球被踢到空中,不考虑空气阻力,则它只受重力作用。至于球在空中的运动状态,是由球被踢出的初速度和重力来决定的。

〔例五〕如图十九所示, CB 是一根一端安在轴 C 上一端用钢索 AB 拉着的横梁(重量不计), 在 B 点悬挂一重物, 试分析 B 点受力情况, 并找出这些力的反作用力。

〔解〕如图二十所示, B 点受三个力: 重物拉力 P' 、钢索拉力 F_1 , 横梁支持力 F_2 , F_1 的反作用力作用在钢索上, F_2 的反作用力作用在横梁上, P' 的反作用力作用在重物上。

(图十九)

(图二十)

5、浮力: 液体对浸入其中的物体, 有一个向上的作用力, 叫做浮力。其大小等于物体排开同体积液体的重量。此规律称为浮力定律, 又称阿基米德原理。

利用此定律可测出液体或固体比重:

a、测固体比重: 设物体在空气中重量为 P , 浸入液体时称得重量为 P_1 , 即浮力为 $P - P_1$, 设液体比重为 d_0 , 物体体积则为 $V = \frac{P - P_1}{d_0}$, 所以被测固体比重,

$$d = \frac{P}{V} = \frac{P}{P - P_1} \cdot d_0.$$

b、测液体比重: 设物体在空气中重量为 P , 在比重为 d_1 和 d_2 的液体中重量分别为 P_1 、 P_2 。

$$\therefore \text{物体体积 } V = \frac{P - P_1}{d_1} \text{ 或 } V = \frac{P - P_2}{d_2}$$

$$\therefore \frac{P - P_1}{d_1} = \frac{P - P_2}{d_2} \quad \therefore \frac{P - P_1}{P - P_2} = \frac{d_1}{d_2}, \quad d_1、d_2 \text{ 若已知一个, 则另一个就可求出。}$$

二、物体的平衡:

1、几个概念:

a、合力与分力: 用一个力代替同时作用在一个物体上的几个力, 而其作用效果相同, 则这个力就叫做被代替的那几个力的合力。求合力叫做力的合成。

反之, 用几个力代替一个力的作用, 那末, 这几个力就叫做被代替的那个力的分

力.求分力叫做力的分解.

b、平衡力:如果物体同时受几个力的作用,仍然保持静止或匀速直线运动状态,就这个物体来说是处于平衡状态,而物体所受的力中任何一个力,均为其余力的平衡力.

注意: (1) 几个力只有同时作用在一个物体上才能合成.

(2) 要深刻理解“代替”二字,用合力代替了分力或用分力代替了合力,应认为原来的分力或合力不再起作用.

(3) 平衡力是指同一个物体(处于平衡状态)所受的几个力,至于这一物体给另一物体的反作用力,则不作用在这一物体上,绝不应看作是平衡力.

(4) 进行力的分析时,则应根据具体情况进行分解或合成.

图二十一表示各种情况力的分解,想一想为什么这样分?

(图二十一)

c、重心:物体各部份所受的重力,可看成许多同向平行力,它们的合力就是重力,合力的作用点就是物体的重心.

知道重心的位置就可以不管物体形状如何,把整个物体的重量当做集中在重心这一点来处理.

d、力臂:从转动轴到力的作用线的垂直距离.用 L 表示.

e、力矩:若力作用于物体上可产生使物绕一轴转动的效果,则转动的大小决定于力矩. ($M = F \cdot L$) 使物顺时针转动的力矩为正力矩,反之为负力矩.

2、共点力的平衡条件:物体所受各力的合力为零.

a、两力平衡条件:两力大小相等,方向相反,在同一条直线上,作用在一点上.(注意:和牛顿第三定律加以区别)

b、三力平衡条件:任何两个力的合力,其大小和第三个力相等,方向和第三个力相反.即任何两力的合力都应和第三力相平衡.

例如:图二十二,用力 F_1 推物并使物处于静止状态,则物受推力 F_1 ,重力 P ,绳拉力 F_2 ,此时 F_1 、 F_2 的合力必和 P 相平衡, F_1 、 P 的合力和 F_2 相平衡, F_2 、 P 的合力必和 F_1 相平衡.

3、有固定转动轴物体的平衡条件:

所有正力矩之和等于所有负力矩之和,即合力矩为零.

〔例〕如图二十三所示,物体与斜面间摩擦系数为0.2,问当斜面倾角 θ 多大时,物体才能沿斜面匀速下滑?

(图二十二)

〔解〕设倾角为 θ 时,物体匀速下滑,则物体处于平衡状态,所以物体受各力之合力为零。物体受斜面支持力 N , 重力 P , 摩擦力 f 。而 P 分解为 $F_1 = P \cdot \sin \theta$, $F_2 = P \cdot \cos \theta$,

$$\therefore N = F_2 = P \cos \theta, f = F_1 = P \sin \theta.$$

又 $\because$ 斜面所受正压力 N' 和 N 大小相等,

$$\therefore N' = P \cos \theta \quad \therefore f = K \cdot P \cos \theta$$

$$P \sin \theta = P \cdot K \cdot \cos \theta \quad \therefore \tan \theta = K = 0.2 \quad \text{查表可求 } \theta = 11^\circ 20'$$

〔例七〕如图二十四所示,大桥 AB 重 600 吨,在其上 C 处停着一列 300 吨重的火车,

若 $AC = \frac{3}{4} AB$, 求 A 、 B 两桥墩所承担的力各是多少?

(图二十三)

(图二十四)

〔解〕分析桥梁受力情况可知,桥梁 AB 共受四个力而处于平衡状态。 $P_1 = 600$ 吨、 $P_2 = 300$ 吨,桥墩 A 、 B 给桥梁的支持力 F_1 和 F_2 , 其作用点及方向如图所示。

取 A 点为轴 (可取任意点为轴, 但该题取 A 为轴计算简便) 根据平衡条件:

$$M_{\text{正}} = M_{\text{负}} \quad \therefore 600 \times \frac{1}{2} AB + 300 \times \frac{3}{4} AB = F_2 \cdot AB$$

$$\therefore F_2 = 525 \text{ (吨)}$$

$$\text{又} \because F_1 + F_2 = P_1 + P_2 \quad \therefore F_1 = 600 + 300 - 525 = 375 \text{ (吨)}$$

根据牛顿第三定律可知,桥墩 A 承担的力是 F_1 的反作用力,桥墩 B 承担的力是 F_2 的反作用力,因此,桥墩 A 、 B 承担的力分别是 375 吨和 525 吨。

三、牛顿第二定律和各种运动规律:

1、描述运动性质的几个物理量:

a、时间和时刻: 物体运动时,跟它经过某一段路程相对应的是某一段时间,跟它占据的某一位置相对应的是某一时刻。

b、路程和位移: 路程是标量,是运动物体通过实际轨道的长度。位移是矢量,它的大小是起点到终点的距离,方向是由起点指向终点。

c、速度: 是描述物体运动快慢和方向的物理量,匀速运动的速度:

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

变速运动的速度:

(1) 即时速度 (V_t) 是指运动物体在某一时刻 (或通过某位置) 时的速度。物体在某一时刻的即时速度等于假如从这一时刻开始做匀速直线运动的速度。

(2) 平均速度 (V) 是指作变速运动的物体, 通过的路程跟通过这段路程所用时间的比, 即 $V = \frac{s}{t}$.

注意: 在变速运动中, 所取时间不同, 平均速度的大小也不同.

〔例八〕汽车在平直的公路上行驶, C为两站AB间的中点, 汽车在AC段的运行速度是20公里/小时, 在CB段运行速度是30公里/小时, 求汽车在A、B两站间运行的平均速度?

〔解〕先画如上示意图, 设 $AC = CB = S$

$$t_{AC} = \frac{S}{V_{AC}} \quad t_{CB} = \frac{S}{V_{CB}} \quad \therefore V_{AB} = \frac{AB}{t}$$

且 $AB = 2S \quad t = t_{AC} + t_{CB}$

$$\therefore V_{AB} = \frac{2S}{\frac{S}{20} + \frac{S}{30}} = \frac{2S}{\frac{5S}{60}} = 24 \text{ (公里/小时)}$$

d、加速度 (a): 是描写作变速运动的物体运动速度变化快慢的物理量, 是矢量,
 $a = \frac{V_t - V_0}{t}$.

注意: (1) 初速度、某秒末的速度、线速度等都是即时速度.

(2) 变速运动每一时刻的即时速度都不同, 因此讲即时速度必须指明是那一个时刻 (或那一位置) 的即时速度.

(3) 加速度的方向即是物体所受外力的合力方向, 而速度方向即是物体运动方向.

例如: 汽车刹车后的加速度方向和速度方向怎样? 物体上抛和下落的加速度方向和速度方向怎样? 作匀速圆周运动的物体的加速度方向和速度方向怎样? 向心力方向怎样? 物体所受外力跟运动一致外力逐渐减小时, 速度怎样变化?

(4) 物体运动速度发生变化, 必有加速度存在, 但二者有本质上的区别, 不能混同. 下面几种说法只有在特定的条件下, 才能成立, 推广到一般情况则是错误的.

如: “速度大, 加速度大”, “速度为零, 加速度也为零”, “有速度, 必有加速度”.

2、牛顿第二定律: $F = ma$; 公式表明物体在相互作用过程中, 其中一物体运动状态的变化 (获得加速度 a) 与该物体所受力 F , 以及物体本身的固有属性——惯性 (用质量 m 量度) 之间的关系.

注意: (1) F 和 a 都是矢量, 二者方向总是一致. 实际上 F 一般是几个力的合力, 因此牛顿第二定律可写成 $F_{\text{合}} = ma$.

(2) $F = ma$ 中, ma 是力的效应, 不是力, ma 是用来量度力的.

(3) 匀速圆周运动的向心力 $F = m \cdot \frac{v^2}{R}$, 可视为 $F = m \cdot a$ 的特殊情况. 向心力是作用在作匀速圆周运动的物体上的所有力的合力, 不应认为除实际受力外还有向心力.

力,离心力是向心力的反作用力,作用在形成向心力的物体上。

(4) 牛顿第一定律(又叫惯性定律)是第二定律的特殊情况,即 $F=0$ 时, $a=0$,速度不变,原来静止的仍然静止,原来以一定速度做匀速直线运动,仍然保持原有速度作匀速直线运动。

3、各种运动规律:

a、匀速运动: $s = vt$ $v = \frac{s}{t}$

b、匀变速直线运动: $V_t = V_0 + at$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$V_t^2 - V_0^2 = 2aS$$

注意: (1) 当 a 和 V_0 方向相同时, a 、 V_0 取同号,反之则取相反符号运算。

(2) 自由落体运动 $V_0 = 0$ $a = g$. 竖直上抛运动 $a = -g$

(3) 将末速度为零的匀减速运动的终点,视为初速度为零的匀加速运动的起点,在运用公式时, a 可不代负号。

4、物体运动状态的改变与所受外力的关系。

物体受力情况	原来运动状态	合力与运动方向	结 论
$F_{\text{合}} = 0$	静止		物体仍保持静止
"	运动 $V_0 \neq 0$		物体以 V_0 做匀速直线运动
$F_{\text{合}} \neq 0$ 大小方向不变	静止	一致	初速度为零的匀加速运动 (在重力作用下是自由落体运动)
"	运动 $V_0 \neq 0$	$F_{\text{合}}$ 和 V_0 方向相同	初速度不为零的匀加速运动 (竖直下抛运动)
"	"	$F_{\text{合}}$ 和 V_0 方向相反	匀减速直线运动 (竖直上抛)
"	"	$F_{\text{合}}$ 和 V_0 成一角度	抛体运动
$F_{\text{合}}$ 大小不变 方向总在变	"	$F_{\text{合}}$ 和 V_0 方向 总是垂直	匀速圆周运动

5、力的单位(见力学后部份附表)

6、运用牛顿第二定律解题应注意的问题:

a、首先认清所研究的对象。

b、分析研究对象的受力情况,找出合力 $F_{\text{合}}$ 然后列式求出加速度 a 。

c、统一单位制：如 $F_{\text{合}}(\text{牛顿}) = m(\text{公斤}) \times a(\text{米/秒}^2)$

$F_{\text{合}}(\text{达因}) = m(\text{克}) \times a(\text{厘米/秒}^2)$

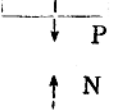
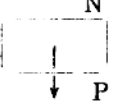
一般算题中，重量（或重力）常用公斤、克做单位，在代入 $F_{\text{合}} = ma$ 之前必须先化为“牛顿”或达因。

d、迁到应用运动定律和运动学公式的综合性习题，应了解物体受力与物体运动状态之间是靠加速度 a 联系起来的。若已知受力，求运动状况（如 V 、 S 或 t ）可先从 $F_{\text{合}} = m \cdot a$ 中求出 a ，然后代入运动学公式求解。若已知运动状况求受力（如阻力、牵引力等）则可先运用运动公式求 a ，代入 $F_{\text{合}} = ma$ 求解。

e、作用力与反作用力大小相等，方向相反的关系适用于物体的一切运动状况，与运动状态无关。例如机车牵引列车前进时，不管是匀速运动，加速运动或减速运动，在任何时刻机车的牵引力都等于列车的反作用力。

〔例一〕把一质量为 m 的物体托在手上，问下列几种情况物体对手的压力如何？
①手静止不动。②手向上做匀速运动。③手向上做加速度为 a 的匀加速运动。④手向上做加速度为 a 的匀减速运动。⑤手向下做加速度为 a 的匀加速运动。⑥要使物体对手的压力等于零，手下落的加速度应是多少？

〔解〕物体在手上共受两个力，即重力和手对它的支持力，二力之合力决定物体的加速度 a ，且手受的压力和物受手给予的支持力为一对作用力与反作用力。

- ①  ①手不动则 $P = N \quad \therefore N' = P$
- ②  ②手匀速上升 $a = 0 \quad \therefore P - N = 0 \quad \therefore N = P \quad \text{即 } N' = P$
- ③  ③手加速向上 $\therefore N - P = ma \quad \therefore N = P + ma \quad \text{即 } N' = P + ma$
- ④  ④手减速向上 $\therefore N - P = -ma \quad \therefore N = P - ma$
即 $N' = P - ma$
- ⑤  ⑤手匀加速向下， $P - N = ma \quad \therefore N = P - ma$
 $\therefore N' = P - ma$
- ⑥  ⑥手匀加速下降，且使 $N' = 0 \quad \therefore N = 0$
 $\therefore P = ma \quad \text{又 } \because P = mg \quad \therefore a = g$

〔例二〕如图二十五，桌面上放A、B两物，在 $F = 10$ 牛顿的力作用下做匀加速运动。

两物质量分别为 $m_A = 3$ 公斤, $m_B = 2$ 公斤, 它们与桌面的摩擦系数为0.2, 求两物之间的作用力。

〔解〕分别画出两物受力图(因重力和桌面给的支持力相平衡, 可不必画出)

(图二十五)

(图二十六)

A受F和B物给的阻力 F_1 , 摩擦力 f_A , B受A物给的推力 F_1' 及摩擦力 f_B , 然后根据牛顿第二定律列出方程: $F - F_1 - f_A = m_A a$ 且 $F_1 = -F_1'$ $F_1' - f_B = m_B a$
 $f_A = m_A g \cdot K$ $f_B = m_B g \cdot k$

解出 $a = 0.4$ 米/秒² $F_1 = 4$ 牛顿 F_1 和 F_1' 为二物相互作用力。

另法: 该题可先把二物看成一个整体, 受F和摩擦力 $f = (m_A + m_B) g \cdot K$

$$\therefore F - (m_A + m_B) g k = (m_A + m_B) a$$

得出 $a = 0.4$ 米/秒²

再代入 $F - F_1 - f_A = m_A a$ 中求出 $F_1 = 4$ 牛顿。

注意: 上题是常遇到的几个物体连接在一起, 在一定外力作用下运动的情况。通常用隔离法解题, 即根据问题的要求, 把所需部份从整体中隔离出来, 单独考虑它的受力和运动加速度。大致可分三步: ①选择隔离体。②画出隔离体的受力图③对隔离体应用牛顿第二定律, 列出方程求解, 有几个未知数就须列出几个方程。

〔例三〕以21.6公里/小时的速度行驶的汽车, 在到车站之前关闭发动机, 依靠惯性继续前进, 最后到站停下。如果汽车行驶过程中所受到的阻力是车重的0.03倍, 汽车应在多远的地方关闭发动机才能保证汽车恰好到站停下?

〔解〕汽车在行驶过程中只受重力P、地面给予的支持力Q和阻力 $f_{阻}$, 且 $P = Q$ 。

所以 $F_{合} = f_{阻}$, 汽车在阻力作用下, 得到一个和运动方向相反的加速度而做末速为零的匀减速运动。

$$f_{阻} = m \cdot a \quad a = \frac{f_{阻}}{m} = \frac{0.03 \times m \times 9.8}{m} = 0.3 \text{ 米/秒}^2$$

$$S = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{6^2}{2 \times 0.3} = 60 \text{ (米)}$$

〔例四〕如图二十七所示。在倾角 $= 30^\circ$ 的光滑平面上放置一物体A, 用绳通过斜面顶端的滑轮与B物体相连, 已知A物重300克, B物重200克(g 可取10米/秒²)求 1、A、B两物的运动加速度? 2、绳的拉力(摩擦和绳重不计)

(图二十七)

(解): 把A、B视为一整体, 二者运动的加速度相同, 为a.

物A: 下滑力 $F_1 = P_A \sin 30^\circ = 300 \times \frac{1}{2} = 150$ (克)

$$\therefore T - F_1 = m_A \cdot a \dots\dots\dots ①$$

物B受重力 P_B 和绳的拉力 T'

$$\therefore P_B - T' = m_B \cdot a \dots\dots\dots ②$$

又 $\because T = T'$

$$\text{解方程组得 } a = \frac{P_B - F_1}{m_A + m_B} = \frac{(200 - 150) \times 1000}{500} = 100 \text{ 厘米/秒}^2 = 1 \text{ 米/秒}^2$$

$$T = F_1 + m_A \cdot a = 0.15 \times 10 + 0.3 \times 1 = 1.8 \text{ (牛顿)}$$

如果该题中物A与斜面摩擦系数为0.2, 此题如何求解? 若A为400克, B为200克又怎样解?

〔例五〕如图二十八所示, 用绳把重量为100公斤的重物挂在水平横梁的滑环上, 悬点到重物重心距离为2米, 用另一根绳拉动滑环, 使重物在水平方向上以2米/秒的速度匀速运动.

求: ①运动过程中悬挂重物的绳受力多大?

②如果滑环滑到A点突然行止, 那末悬挂重物的绳受力又是多大?

(解) 要抓住两点进行分析. 一是分析物体受力状况, 二是分析物体运动状态的变化.

当物体做匀速直线运动时, 所受的重力P和绳的拉力Q相等

$$\therefore Q = P = 100 \text{ 公斤, 绳受力 } Q = 100 \text{ 公斤} \quad (\text{图二十八})$$

当滑环滑到A时突然行止, 重物仍以2米/秒的速度运动, 但不再是直线运动了, 而是一个以A点为圆心以2米长为半径的圆周运动, 此瞬间物受重力与绳的拉力之合力为其做圆周运动的向心力.

$$Q - P = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad \therefore Q = mg + m \frac{v^2}{R}$$

$$Q = 100 \left(10 + \frac{4}{2} \right) = 1200 \text{ (牛顿)}$$

四、动量、动量守恒:

物体的质量和它运动速度的乘积(mV)叫动量.

两个或两个以上的物体在相互作用时, 它们的动量之和保持不变, 叫做动量守恒定律. 设相互作用的两个物体, 质量分别为 m_1 和 m_2 , 作用前的速度分别为 v_1 、 v_2 , 作用后的速度分别为 v_1' 、 v_2' , 根据动量守恒定律则有:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

注意：①这个定律的适用范围：除物体相互作用外，不受其他作用力。

② mV 是矢量，选某一速度方向为正，相反方向则为负。

③相互作用物体的总动量守恒，其中一物体动量的减少，必等于另一物体动量的增加，每一物体的动量并不守恒，因此，对一个物体只能说动量的传递，谈不上守恒。

〔例题〕质量为1公斤的木块放在光滑水平桌面上（不计摩擦）对它开一枪，质量为20克的子弹打入木块前速度是200米/秒，打穿木块后速度是100米/秒，求木块获得的动能？

〔解〕设子弹质量为 m_1 ，木块质量为 m_2 ，相互作用前子弹速度为 $v_1 = 200$ 米/秒，木块速度为 $V_0 = 0$ ，相互作用后子弹速度为 $V_2 = 100$ 米/秒，木块速度为 V_t ，则根据动量守恒定律

$$m_1 V_1 + m_2 V_0 = m_1 V_2 + m_2 V_t$$

$$\therefore V_t = \frac{m_1 V_1 - m_1 V_2}{m_2} = \frac{0.02 \times 100}{1} = 2 \text{米/秒}$$

$$\therefore \text{木块动能 } E_{\text{动}} = \frac{1}{2} m_2 \cdot V_t^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 2^2 = 2 \text{(焦耳)}$$

注意：①如果此题中考虑木块和桌面的摩擦，那末除子弹和木块相互作用外，还有桌面给木块的摩擦力，因此不能用动量守恒定律求解。

②本题不能用机械能守恒定律求解，因为子弹失去的动能（ $\frac{1}{2} m_1 V_1^2 - \frac{1}{2} m_1 V_2^2$ ）为300焦耳，仅有2焦耳为木块所获得，而298焦耳的动能都损失在子弹克服阻力做功上，转化为它们的内能了。因此看出，当物体相互作用时，由于机械能损失一部分转变成其他形成的能，机械能不再守恒，而动量守恒关系却仍然成立，所以此题只能用动量守恒定律求解。

五、功能关系：

能是一个表明物体做功本领的物理量，物体在一定状态时具有一定的能量，在外力作用下，随着位置的改变或运动状态的改变，必然会引起物体能量的改变，物体能量改变的过程叫“做功”，能量改变的多少用做功多少来量度。这样，物体在外力作用下，发生位置的改变或者机械运动状态的改变，还可以从功和能的角度加以研究。功和能的关系就是反映这一客观规律的。

1、功和功率：

（一）功：

①做功的必要条件：一是物体受外力作用；二是物体沿力的方向有位移，缺一不可。

②谁在做功：物体在外力作用下，如果位移方向跟力的方向相同，就叫外力对物体

做功（正功），如果有外力作用时，物体位移方向跟力的方向相反，就叫外力对物体做负功，或者说运动物体克服阻力做功。

③功的度量：一般公式 $A = F \cdot S \cdot \cos \theta$

特殊情况：当 $\alpha = 0$ 时则 $A = F \cdot S$

$\alpha = 90^\circ$ 时 $A = 0$

$\alpha = 180^\circ$ 时 $A = -F \cdot S$

（二）功率：做功多少跟做功所需时间的比

$$N = \frac{A}{t} \text{ 或 } N = F \cdot v \text{ (即功率大小等于力和速度的乘积)} \quad (\text{图二十九})$$

（三）机械效率：动力推动机械做功的过程中，除克服有用阻力做有用功外，还克服无用阻力（摩擦力）做无用功，有用功占比例越大，机械效率越高。

$$\eta = \frac{A_{\text{有用}}}{A_{\text{总}}} \times 100\% \quad \eta = \frac{N_{\text{有用}}}{N_{\text{总}}} \times 100\%$$

2、机械能：

动能和势能统称为机械能。

$$E = E_{\text{动}} + E_{\text{势}}$$

①动能：物体由于本身运动而具有的能量。

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2} m v^2 \text{ (焦耳) 或 (尔格)}$$

②重力势能：由物体和地球的相对位置所决定的能量。

$$E_{\text{势}} = P \cdot h \quad (\text{公斤米})$$

$$E_{\text{势}} = mgh \quad (\text{焦耳) 或 (尔格)}$$

注意：物体的重力势能是相对的，它的大小决定零势能位置的选择。通常选择地面为零势能的位置，或选物体处在最低点为零势能位置。

3、功能关系：

能量转换和守恒定律指出：在自然界中，一切形式的能都可以相互转换，在转换过程中，能量既不能创生，也不能消失，它只能由一种形式转换成另一种形式，或从一个物体传递给另一个物体。在力学中机械能与别种形式的能（如物体的内能、电能等）发生转换或从一物体传递给另一物体，都是通过“做功”来实现的。机械能增加或减少的数量，也是用做功多少来量度的。（但是功和能是两个不同的物理概念，离开物体的运动就谈不上能，离开能的变化就谈不上功）。

①功能关系式：

根据能量转换和守恒定律可知：

外界传给物体的机械能 = 物体克服阻力消耗的机械能 + 物体机械能的变化。

因为机械能的变化是以做功多少来量度的。外界传递给物体的机械能是以动力（牵引力）对物体“做功”多少来量度；物体克服阻力消耗的机械能，是以物体克服阻力“做功”多少来量度，因此上式写成：

动力做功 = 物体克服阻力做功 + 物体机械能变化。

即: $A_{\text{动}} = A_{\text{阻}} + (E_2 - E_1)$

公式中 E_2 (包括 $E_{\text{势}2} + E_{\text{动}2}$), E_1 (包括 $E_{\text{势}1} + E_{\text{动}1}$) 分别表示物体位置或运动变化后的总机械能和变化前的总机械能。

②上述功能关系公式, 是当物体在受动力、阻力同时作用时普遍公式, 在不同条件下可写成:

(a) 只有动力对物体做功, 不计阻力时: 动力对物体做的功 = 物体机械能的增加。

即: $A_{\text{动}} = E_2 - E_1$

(b) 在物体只受阻力作用, 不受动力作用时: 物体克服阻力做功 = 物体机械能的减少。

即: $A_{\text{阻}} = E_1 - E_2$

(c) 在物体不受动力和阻力作用时, 或动力和阻力相等时, 物体的机械能守恒。

即: $A_{\text{动}} = A_{\text{阻}} \quad \therefore E_1 = E_2$

应用功能关系解答力学问题, 往往比应用牛顿定律简便得多, 特别是对曲线运动问题的求解。但在应用时应特别注意:

①分析研究对象的受力情况, 以便确定 $A_{\text{动}}$ 和 $A_{\text{阻}}$ 。应明确 $F_{\text{动}}$ 和 $f_{\text{阻}}$ 都是外力, 而重力 (或重力的分力) 在这里不算外力, 因此 $A_{\text{动}}$ 和 $A_{\text{阻}}$ 中不包括重力的功。 (重力功包含在势能一项里)

②分析运动物体始末两种状态, 以便确定 $E_{\text{势}1}$ 、 $E_{\text{动}1}$ 、 $E_{\text{势}2}$ 、 $E_{\text{动}2}$ 。

③写出公式, 统一公式中各物理量单位, 再进行计算。

〔例一〕一人从20米高的楼上, 以10米/秒的速度抛出一个500克的球, 此球落地时的速度为20米/秒, 求①人对球做了多少功? ②球在下落过程中克服空气阻力做了多少功? 平均阻力多大? (g 取10米/秒²)

(解) ①人抛球的过程, 就是人对球做功的过程, 人对球做功等于球被抛出时具有的动能, $A - E_{\text{动}} = \frac{1}{2} m V_1^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 10^2 = 25$ (焦耳)

②球被抛出后, 球离开人手, 所以人就不再对球做功。球在下落过程中只受阻力作用 (不包括重力) 所以球的机械能必然要减少。根据功能关系, 球下落过程中克服空气阻力所做的功等于球机械能的减少量。

$\therefore A_{\text{阻}} = E_1 - E_2$

$$= \frac{1}{2} m V_1^2 + mgh - \frac{1}{2} m V_2^2 \quad \text{且: } f \cdot h = A_{\text{阻}}$$

$$= 25 \text{ (焦耳)} \quad \therefore f = \frac{25}{20} = 1.25 \text{ 牛顿} = 0.125 \text{ 公斤}$$

〔例二〕如图(三十) $AB = BC = 10$ 米, 物体自斜面顶端

A 开始下滑, 到达 C 点刚好停止。如果它在斜面滑下时所受阻力 (图三十)

是其重量的 0.1 倍, 在水平面上所受阻力是其重量的 0.2 倍, 求它是从多高的地方滑下的。

(解) 设物体质量为 m , 物体在A处具有势能, 下滑过程中只受阻力作用。因此, 其势能完全消耗在由A滑到C的过程中克服阻力做功上。根据功能原理:

$$0.1mg \cdot L + 0.2mgS = mgh$$

$$\therefore h = 0.1 \times 10 + 0.2 \times 10 = 3(\text{米})$$

〔例三〕用40米/秒的速度从地面上抛一物体。那么抛出多久其动能和势能相等? 此时物体在什么高度? (g 取10米/秒²)

(解) 根据机械能守恒定律: 物体在上升过程中动能将不断地转化成势能, 而且动能的减少量等于势能的增加量, 所以当动能减少 $\frac{1}{2}$ 时, 势能增加量也是动能的 $\frac{1}{2}$ 。

$$\therefore \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} m v_0^2 = mgh - 0$$

$$\therefore h = \frac{1}{4} \cdot \frac{v_0^2}{g} = \frac{40^2}{40} = 40 \text{米}$$

$$\text{又} \because h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\therefore \frac{1}{2} g t^2 - v_0 t + h = 0$$

$$\frac{1}{2} \times 10 t^2 - 40 t + 40 = 0$$

$$t^2 - 8t + 8 = 0$$

$$\therefore t = \frac{8 \pm \sqrt{64 - 32}}{2} = \frac{8 \pm 4\sqrt{2}}{2} = 2(2 \pm \sqrt{2})$$

$$\therefore t_1 = 1.17(\text{秒}) \quad t_2 = 6.83(\text{秒})$$

〔例四〕一绳固定上端、下端系一重物, 把重物拉在水平位置后, 由静止开始运动, 问当物体经过最低点时, 绳对物体的拉力是物体的重量的多少倍(不计阻力)。

(解) 设物体质量为 m , 绳长为 R , 根据机械能守恒定律, 则

$$mgR = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots \textcircled{1} \quad (v \text{ 是物在最低点速度}) \text{ 而物体做半径为 } R \text{ 的圆周运动,}$$

$$\text{在最低点时, 其向心力为 } Q - P = m \cdot \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$\text{由} \textcircled{1} \text{ 得 } v^2 = 2gR \quad \text{代入} \textcircled{2}$$

$$\therefore Q = P + m \cdot \frac{v^2}{R} = mg + m \cdot \frac{2gR}{R} = 3mg$$

$$\therefore \text{绳给物的拉力 } Q \text{ 和物给绳的拉力 } Q' \text{ 相等} \quad \therefore \text{绳受力也是 } 3mg$$

〔例五〕有一辆重200公斤的摩托车以20米/秒的速度开始上坡, 开行100米到达高为10米的坡顶, 此时速度为10米/秒。如果在上坡中所受阻力是车重的0.2倍, 求①摩托车的牵引力, ②摩托车的平均功率。

(解): 摩托车上坡过程中受牵引力和阻力作用, 根据功能关系式则:

$$A = F \cdot S = f \cdot S + \left(\frac{1}{2} m v_2^2 + mgh - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) = 3 \times 10^4 (\text{焦耳})$$

$$\therefore F = \frac{A_{\text{动}}}{S} = \frac{3 \times 10^4}{100} \text{ (牛顿)} = 30 \text{ (公斤)}$$

$$\therefore N = F \cdot v \quad \text{且 } v = \frac{v_1 + v_2}{2} = 15 \text{ 米/秒}$$

$$\therefore N = 30 \times 15 = 450 \text{ 公斤米/秒} = 6 \text{ (马力)}$$

类别	物理量	符号	导出公式	厘米克秒制	米公斤秒制	换 算
基本单位	路 程	S		厘米	米	1米 = 10^2 厘米
	质 量	m		克	公斤	1公斤 = 10^3 克
	时 间	t		秒	秒	
导出单位	速 度	V	$V = \frac{S}{t}$	厘米/秒	米/秒	1米/秒 = 10^2 厘米/秒
	加速度	a	$a = \frac{V_t - V_0}{t}$	厘米/秒 ²	米/秒 ²	1米/秒 ² = 10^2 厘米/秒 ²
	力	F	$F = ma$	达因 (克·厘米/秒 ²)	牛顿 (公斤·米/秒 ²)	1牛顿 = 10^5 达因
	功	A	$A = FScos\alpha$	尔格 克·厘米 ² /秒 ²	焦耳 公斤·米 ² /秒 ²	1焦耳 = 10^7 尔格
	功 率	N	$N = \frac{A}{t}$	尔格/秒	瓦特 (焦耳/秒)	1瓦特 = 10^7 尔格/秒

说明：力尚有公斤重单位，1公斤重 = 9.8牛顿，功率单位还有马力，1马力 = 735瓦特，1马力 = 75公斤米/秒（注：此单位中公斤是表示力）。

功 能 习 题

1、辽宁教材1977年7月版P₉₅—2（后段路程是前段路程的3倍，后段发动机做功是前段的3倍）

$$2、P_{95}-3 \text{ 提示 } \textcircled{1} a = \frac{F-f}{m}, \quad V_t = at, \quad E_{\text{动}} = \frac{1}{2} m V_t^2, \quad \textcircled{2} S = \frac{1}{2} a t^2,$$

$$A_{\text{阻}} = fs = KmgS, \quad \textcircled{3} A_{\text{总}} = A_{\text{阻}} + E_{\text{动}} = KmgS + \frac{1}{2} m V_t^2$$

$$3、P_{95}-4 \text{ 提示}, \quad f = kP = kmg, \quad S = \frac{1}{2} a t^2,$$

$$A_{\text{动}} = A_{\text{阻}} + (E_2 - E_1) = fS + \left(mgs + \frac{1}{2} m V_t^2 \right)$$

$$4、P_{95}-5 \text{ 提示}, \quad fS = \frac{1}{2} m V_0^2 + mgh - \frac{1}{2} m V_t^2$$