

第二单元

功和能



物理学中,常常会涉及“能”的概念。物体具有的做功本领称为它的能量,简称能。能量的种类多种多样,例如机械能、光能、电能、化学能、热能等。经过研究,科学家们发现不同形式的能量之间可以通过“功”相互转化,并且在转化过程中遵守能量守恒定律。

上一单元利用力与加速度、速度的关系,来确定物体的运动情况。本单元将从“功”与“能”的角度来解决问题,学习功、功率、动能、势能等新的物理量,并探讨动能定理、机械能守恒定律在解决物理问题方面的应用,加深对物理运动实质的认识。





第一章 功与功率



火车沿着水平轨道做匀速直线运动(见图 2-1),受到多个力的作用,例如重力、摩擦力、牵引力、地面给它的支持力等。请问哪些力对它做了功?



图 2-1 水平轨道上运动的火车

一 功

一个物体受到力的作用,在力的方向上发生了一段位移,则称这个力对物体做了功。比如,用手将书包从地面提起,手的拉力对书包做了功;苹果成熟了,在重力的作用下,从树上落下,重力对苹果做了功。

功由两个因素决定,力和在力的方向上的位移,两者缺一不可。

功的计算 物理学中,把力 F 和受力物体在力的方向上的位移 s 的乘积,称为力对物体所做的功。功用字母 W 表示。功是标量,没有方向。在国际单位制(SI)中,它的单位是 J,读作焦耳,简称焦,可以发现, $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$ 。

如图 2-2 所示,如果作用在物体上的力的方向与物体的位移方向相同,那么力对物体所做的功大小为

$$W = Fs \quad (2-1)$$

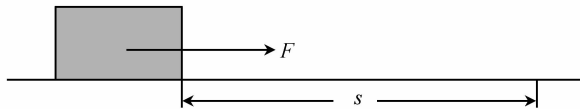


图 2-2 力的方向与位移方向相同

如图 2-3 所示,力 F 与物体的前进方向有一个夹角 α 。这时,可以将力进行正交分解成与位移方向相同的力 F_1 和垂直于位移方向的力 F_2 。显然,力 F_2 对物体不做功,力 F 所做功即 F_1 所做的功:

$$W = W_{F_1} = F_1 s = F s \cos \alpha \quad (2-2)$$

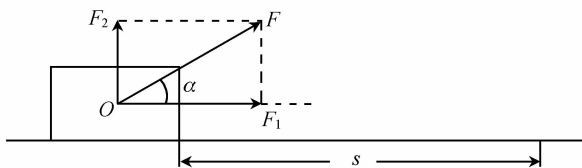


图 2-3 力的方向与位移方向不同

可以看出,力做的功等于力的大小、位移的大小和力与位移夹角的余弦值的乘积。分析该公式可得以下结论。

- (1) 显然 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ 。
- (2) 如果 $\alpha = 0^\circ$, 那么 $\cos \alpha = 1$, $W = Fs$, 力和位移的方向相同, 力为动力;
- (3) 如果 $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, 那么 $\cos \alpha > 0$, $W > 0$, 力对物体做正功, 力为动力;
- (4) 如果 $\alpha = 90^\circ$, 那么 $\cos \alpha = 0$, $W = 0$, 力对物体不做功;
- (5) 如果 $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$, 那么 $\cos \alpha < 0$, $W < 0$, 力对物体做负功, 力为阻力。

多个力做功 如果一个物体受到多个力的作用,要计算合力对物体做的总功,可以有两种方法。

- (1) 先计算出这几个力的合力,然后求这个合力所做的功;
- (2) 考虑到功是标量,可以直接进行加减运算。先分别计算出每个力所做的功,再将这几个力所做的功进行求和。

【例 2-1】 举重运动员将 150kg 的杠铃竖直举起 2.2m, 随后再放下。请问, 举起过程中, 重力做的功是多少? 放下过程中, 重力做的功又是多少?

解 举起过程中, 重力的方向与杠铃的运动方向相反, 则重力做功为

$$W = F s \cos \alpha = -F s = (-150 \times 9.8 \times 2.2) \text{J} = -3\,234 \text{J}$$

杠铃放下时, 重力的方向与杠铃的运动方向相同, 则重力做功为

$$W = F s \cos \alpha = F s = (150 \times 9.8 \times 2.2) \text{J} = 3\,234 \text{J}$$

【例 2-2】 某同学用 50N 的水平拉力拉着一个木箱在地面运动, 木箱沿着拉力方向前进 20m, 木箱重 200N。请问拉力对木箱做的功是多少? 重力做的功又是多少?

解 拉力做的功为

$$W = F s \cos \alpha = F s = (50 \times 20) \text{J} = 1\,000 \text{J}$$

木箱没有在重力方向发生位移, 做功为零, 即

$$W = F s \cos \alpha = 0 \text{J}$$



二 功率

功率 功和做这些功所用时间的比值,称为功率。功率用 P 表示,其定义式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (2-3)$$

功率是标量,有大小无方向。在国际单位制(SI)中,它的单位是 W,读作瓦特,简称瓦。

当物体的位移方向与力的方向相同时,可以得出功率与力及速度的关系。

想一想

功率是用来描述力做功快慢的物理量,功率越大,做功越快。试想一下下列说法是否正确。

(1) 一个力做的功越大,它的功率越大;

(2) 一个力的功率越大,相同时间内做的功越多。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv$$

由上式可知,力的功率等于力与沿着力方向上速度的乘积。需要注意的是,在上式中,如果 v 为瞬时速度,则 P 为瞬时功率;如果 v 为平均速度,则 P 为平均功率。

【例 2-3】 如图 2-4 所示,起重机吊起一个重 1 000N 的物体,物体以 0.2m/s 的速度匀速上升。不考虑其他摩擦及损耗,起重机此时的输出功率是多少? 起重机对物体 1min 内做功多少?

解 由于物体匀速上升,因此起重机对物体的拉力等于其重力。

$$P = Fv = Gv = (1\,000 \times 0.2)\text{W} = 200\text{W}$$

$$W = Pt = (200 \times 60)\text{J} = 12\,000\text{J}$$

起重机的输出功率为 200W,1min 内做功 12 000J。

【例 2-4】 一辆汽车以 5m/s 的速度匀速行驶,某一时刻汽车的输出功率为 500kW,请问此时汽车的牵引力是多少?

解 直接代入公式,可以计算出此时汽车的牵引力为

$$F = \frac{P}{v} = \frac{500 \times 10^3}{5}\text{N} = 10^5\text{N}$$



功和功率



图 2-4 起重机



小贴示

输出功率 输出功率指的是机器对外做功的功率。

额定功率 机器正常工作时,输出的最大功率称为额定功率。说明书和机器铭牌上标出的功率即额定功率。要注意不可使机器的功率长时间超过额定功率,否则会损坏机器。

习题

- 判断下列说法是否正确。
 - (1)力是矢量,位移是矢量,所以功也是矢量;
 - (2)单位时间内做功越多,功率越大;
 - (3)一个物体保持静止,则作用在物体上的各个力所做的功都为零。
- 小芳在 3s 内将重为 60N 的哑铃举高 2m 后,在空中停留了 4s,则小芳前 3s 内的功率为 _____ W;后 4s 内的功率为 _____ W。
- 质量为 50kg 的雪橇上装载了 350kg 的货物,一匹马拉着它将货物送到了 3 000m 外的货场。若雪橇行进中受到的摩擦力为 800N,则运送过程中摩擦力做的功是多少?
- 一辆汽车的额定功率为 5×10^4 W,汽车行驶时受到的阻力为 2 500N。如果汽车以 8m/s 的速度匀速行驶,则汽车的实际输出功率是多少?汽车的最大速度是多少?
- 一位同学将重物从 1 楼搬到 3 楼,假设每层楼高 3m。第一次,他搬了 10kg 的重物,用时 30s,第二次搬了 15kg 的重物,用时 1min。请问两次搬运,哪一次功率较大?



第二章 动能与动能定理



百米赛跑是扣人心弦的体育比赛。运动员奋力奔跑,在到达终点后,往往会向前跑一段距离。假设两名运动员质量相同,受到的摩擦力相同,他们以不同的速度冲过终点,在摩擦力作用下开始减速,请问哪位运动员继续奔跑的距离长?

一 动能

动能 物体由于运动而具有的能量称为动能。

从动能的定义可以看出,只要物体运动,就具有动能。飞行的子弹具有动能;奔跑的运动员具有动能(见图 2-5);流淌的河水具有动能;飞翔的鸟儿具有动能(见图 2-6)。虽然上述物体都具有动能,但它们的动能大小相同吗?物体的动能又与什么因素有关?

根据经验可以知道,子弹速度越快,造成的破坏也越大,而相同速度的炮弹造成的破坏比子弹要大得多,说明速度越大、质量越大,物体具有的动能越大。

理论证明:物体的动能等于它的质量和速度二次方乘积的一半。动能用 E_k 表示,其定义式为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2-4)$$



动能是标量,有大小无方向。在国际单位制(SI)中,它的单位是J。

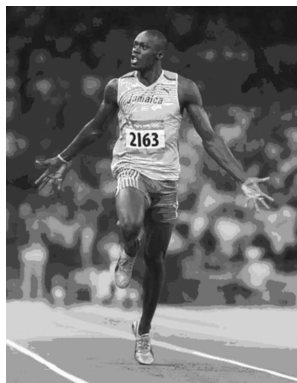


图 2-5 奔跑的运动员



图 2-6 飞翔的鸟儿

【例 2-5】 一位运动员以 8m/s 的速度在跑道上奔跑,已知其质量为 70kg,则该运动员的动能为多少?

解 将数据代入公式(2-4),可得

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = (\frac{1}{2} \times 70 \times 8^2) \text{J} = 2\ 240 \text{J}$$

即该运动员具有的动能为 2 240J。

下面研究物体动能与合外力做功的关系。

一个物体受到合外力 F 的作用,则其产生的加速度为

$$a = \frac{F}{m}$$

物体在合外力作用下,运动距离为 s ,速度由 v_0 变为 v_t ,则

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as$$

综合上述两式,可得

$$\frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Fs \tag{2-5}$$

可以看出,式子的左边为动能的变化情况,式子的右边则是合外力所做的功。这就是动能定理的内容。

动能定理 合外力对物体所做的功,等于物体动能的改变量。其表达式为

$$W_{\text{合}} = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \tag{2-6}$$

【例 2-6】 质量为 5kg 的物体从高处掉落,初速度为零,忽略它所受的阻力,物体降落 10m 后速度是多少?

解 利用动能定理,可得

$$W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = 14\text{m/s}$$

【例 2-7】 水平面上一块木块保持静止,现在用大小为 5N 的力 F 作用在木块上,木块沿着力的方向向前运动 5m。已知木块质量为 11kg,运动时受到的滑动摩擦力为 2N,求:

- (1) 滑动摩擦力对木块做了多少功?
- (2) 运动 5m 后,木块的速度变为多少?
- (3) 运动 5m 后,如果撤去 F ,在滑动摩擦力作用下,木块还能运动多远的距离?

解 (1) 滑动摩擦力方向与木块运动的方向相反,则

$$W_f = -fs = (-2 \times 5)\text{J} = -10\text{J}$$

(2) 根据动能定理,物体受到力 F 与滑动摩擦力的作用,则

$$W_F = Fs = (5 \times 5)\text{J} = 25\text{J}$$

$$W_{\text{合}} = W_f + W_F = (-10 + 25)\text{J} = 15\text{J}$$

根据动能定理,可得

$$W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_t^2 - 0$$

$$v_t = 1.65\text{m/s}$$

(3) 再次利用动能定理,可得

$$-fs' = 0 - \frac{1}{2}mv_t^2$$

$$s' = 7.5\text{m}$$

习 题

1. 从高 h 处以相同的速度先后抛出 3 个质量相同的球,一个上抛,一个下抛,另一个平抛,不计空气阻力,则从抛出到落地()
 - A. 重力对它们做的功相同
 - B. 落地时它们的动能不同
 - C. 落地时它们的速度相同
 - D. 以上说法都不对
2. 质量为 m 的滑块沿着高为 h ,长为 l 的粗糙斜面恰能匀速下滑,在滑块从斜面顶端下滑到底端的过程中()
 - A. 重力对滑块所做的功为 mgh
 - B. 滑块克服阻力所做的功不等于 mgh
 - C. 合力对滑块所做的功为 mgh
 - D. 合力对滑块所做的功不能确定
3. 把完全相同的 3 块钢板叠放在一起,子弹以 v 的速度垂直射向钢板,刚好能打穿这 3 块钢板,如果要求子弹只穿过第一块钢板,则子弹的速度至少应为多少?



4. 两个物体的质量之比为 1 : 4, 速度之比为 4 : 1, 则两物体的动能之比为多少?
5. 一辆汽车以 35m/s 的速度行驶, 从某一时刻开始, 汽车关闭发动机, 开始做减速运动。假设摩擦力恒定, 汽车前进了 300m 后彻底停止, 汽车与地面的滑动摩擦因数是多少?



第三章 势能 机械能守恒



水电站(见图 2-7)利用水从高处落下带动水轮机转动发电; 石头从天空落下, 会将地面砸出一个坑; 用手挤压弹簧, 弹簧被压缩, 松开手, 弹簧恢复原状。显然它们都具有能, 思考这些能是怎样产生的? 它们的种类又是怎样的?



图 2-7 水电站

一 势能

重力势能 物体由于被举高而具有的能量称为重力势能。重力势能用 E_p 表示。物体在离地面 h 处具有的重力势能等于物体所受的重力与其高度的乘积, 即

$$E_p = mgh \quad (2-7)$$

重力势能与动能一样, 是标量。在国际单位制(SI)中, 它的单位是 J。

高度具有相对性, 同一个物体由于衡量的标准不同, 所处的高度也不尽相同。因此, 在计算重力势能的大小之前, 需要先确定一个零势能面, 才能确定物体相对于零势能面的高度。高于零势能面的物体, 即 $h > 0$, 重力势能为正; 低于零势能面的物体, 即 $h < 0$, 重力势能为负。在解决实际问题时, 灵活选择零势能面, 可以简化问题。

通常选择地面作为零势能面。

想一想

物体从高空落下, 重力做正功, 其重力势能如何变化? 物体从地面向上, 重力做负功, 其重力势能又是怎样变化的?



【例 2-8】 如图 2-8 所示,质量为 10kg 的小球放在桌面上,在下列情况下,所具有的重力势能分别为多少?

- (1)以地面为零势能面;
- (2)以桌面为零势能面;
- (3)以天花板为零势能面。

解 (1)以地面为零势能面时, $E_{p1} = mgh_2$

(2)以桌面为零势能面时, $E_{p2} = 0$

(3)以天花板为零势能面, $E_{p3} = -mgh_1$

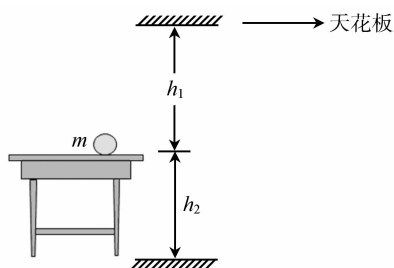


图 2-8 例 2-8 图

想一想

例 2-8 中,小球如果从桌面掉到地面上,在零势能面不同的情况下,小球的重力势能如何变化?重力做的功又如何?

【例 2-9】 将一个重 50N 的物体从地面提起,物体升高 10m,则该过程中重力对物体做功多少?物体的重力势能的变化又是怎样?

解 重力对物体做负功

$$W_G = -mgh = (-50 \times 10)\text{J} = -500\text{J}$$

重力做负功,物体的重力势能增加,增加的重力势能等于物体克服重力所做的功,即

$$\Delta E_p = -W_G = 500\text{J}$$

【例 2-10】 如图 2-9 所示,小球做斜抛运动。

- (1)当小球由抛出位置运动到最高位置 2 时,重力做功多少?重力势能改变多少?
- (2)由位置 2 运动到与位置 1 在同一水平面的位置 3 时,重力做功和重力势能的变化是多少?
- (3)由位置 1 运动到位置 3 呢?

解 (1) $W_{G1} = -mgh$

$$\Delta E_p = mgh$$

(2) $W_{G2} = mgh$

$$\Delta E_p = -mgh$$

(3) $W_{G3} = 0$

$$\Delta E_p = 0$$

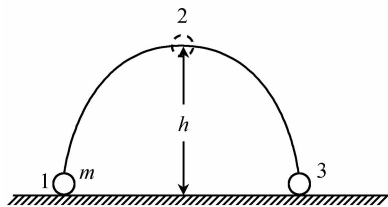


图 2-9 例 2-10 图

重力势能的变化、重力做的功与零势能面的选取无关。物体下降,重力做正功,重力势能减小;物体上升,重力做负功,重力势能增加,增加量等于物体克服重力所做的功。

弹性势能 物体因为发生弹性形变而具有的能量称为弹性势能。例如,射箭时被拉弯的弓(见图 2-10),被挤压的弹簧,下陷的蹦蹦床,它们有着共同的特点:发生了弹性形变。这



些物体在恢复原状的时候会对外界做功,所以它们也具有能量。

以弹簧为例,弹簧被拉伸或压缩得越厉害,它所具有的弹性势能越大。所以,物体的弹性势能与其弹性形变的程度有关。

经过实验研究,可以定量计算弹簧弹性势能的大小。用 E_k 表示弹性势能,则

$$E_k = \frac{1}{2} k x^2 \quad (2-8)$$

式中 k ——弹簧的劲度系数;

x ——弹簧的形变量(伸长量或缩短量)。

【例 2-11】 一个弹簧的劲度系数为 20N/m , 原长 1m , 在外力作用下弹簧被压缩为 0.8m , 求弹簧的弹性势能。

解 弹簧的压缩量为 $x = (1 - 0.8)\text{m} = 0.2\text{m}$, 则弹簧的弹性势能为

$$E_k = \frac{1}{2} k x^2 = \left[\frac{1}{2} \times 20 \times (0.2)^2 \right] \text{J} = 0.4\text{J}$$

势能 重力势能和弹性势能都是由于物体间的相互作用力而引起的,大小由物体间的相对位置决定。在以后的学习中我们还将接触到分子势能和电势能。在物理学中,由物体相互作用和相对位置决定的能称为势能。



图 2-10 弯曲的弓

二 机械能守恒定律



★ 视频

机械能守恒定律

机械能和机械能守恒定律 动能和势能统称为机械能。动能与势能之间可以发生相互转化。下面通过一个实验来研究两者相互转化的规律。如图 2-11 所示,一个质量为 m 的小球从高处垂直落下,忽略空气阻力的作用。

下落过程中,当离地高度为 h_1 时,速度为 v_1 ;当离地高度为 h_2 时,速度为 v_2 。根据动能定理,可得

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = W_G$$

而 $W_G = mgh_1 - mgh_2$

综合上述两式,可得

$$mgh_1 + \frac{1}{2} m v_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2} m v_2^2 \quad (2-9)$$

该式表明,在只有重力做功的条件下,物体的动能与势能可以相互转化,并且机械能总量保持不变,这就是机械能守恒定律。

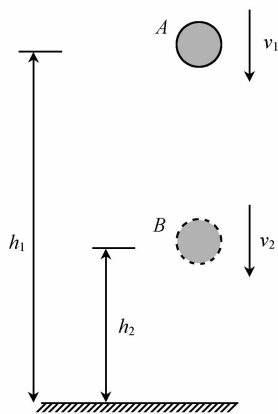


图 2-11 小球从高处落下

同样地,与上述结论类似,如果只有弹力做功,弹性势能与动能也可以相互转化,且两者之和恒定。

想一想

下列几种情况,哪些满足机械能守恒定律?

- (1) 跳伞员(见图 2-12)从空中匀速下落;
- (2) 苹果从树上落下;
- (3) 光滑水平面上,小球压缩弹簧,后又被弹开。



图 2-12 跳伞员匀速下落



【例 2-12】 铅球运动员抛掷铅球,将球从离地面 1.8m 的高度抛出,铅球的初速度为 6m/s,请问铅球落地时速度为多少?

解 以地面为零势能面,利用机械能守恒定律,

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{2gh_1 + v_1^2} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.8 + 6^2} \text{ m/s} \approx 8.44 \text{ m/s}$$

即铅球落地时速度为 8.44m/s。

【例 2-13】 如图 2-13 所示,将一个小球用细线挂起,组成一个单摆。线长为 L ,最大偏角为 θ 。请问小球运动到最低位置时的速度为多少?

解 以最低点为零势能点。利用机械能守恒定律,最高点小球速度为零,只有重力势能;最低点小球重力势能为零,只有动能,则

$$mgL(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$$

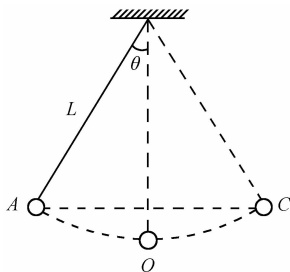


图 2-13 单摆示意图

习题

1. 判断下列各运动中机械能是否守恒(忽略空气阻力和摩擦力)。

- (1) 斜抛出的小球;
- (2) 手拉着一物体沿斜面匀速上滑;



- (3) 起重机吊起一物体；
 (4) 弹簧下悬挂一个小球，小球上下晃动。
2. 关于机械能守恒定律，下列说法中正确的是()
- A. 做匀速直线运动的物体机械能一定守恒
 B. 合外力对物体不做功，物体的机械能一定守恒
 C. 物体只发生动能和势能的相互转化时，机械能守恒
 D. 做匀变速运动的物体的机械能不可能守恒
3. 一个物体从静止开始自由下落，在最初的 3 个连续相等的时间内，重力势能减少量之比是多少？
4. 如图 2-14 所示，竖直平面内有一段 1/4 圆弧轨道，半径 $OA=R$ ，一个质量为 m 的小球从顶端 A 由静止下滑，不考虑摩擦力，求小球到达轨道底端 B 点时，小球对轨道压力是多少？
5. 将一个物体从一定高度水平抛出，初速度为 3m/s ，物体在竖直方向运动 10m 后落到地面，请问落地瞬间小球速度为多少？

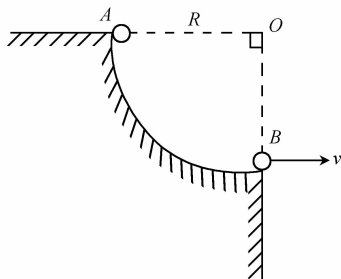


图 2-14 题 4 图



单元小结

DANYUAN
XIAOJIE

1. 功与功率

(1) 力 F 和受力物体在力的方向上的位移 s 的乘积，叫做力对物体所做的功。如果作用在物体上的力与物体位移方向相同，那么力对物体所做的功大小为

$$W = Fs$$

如果力 F 与物体的位移方向有一个夹角 α ，那么力 F 所做的功的大小为

$$W = Fscos\alpha$$

(2) 功和做这些功所用的时间的比值，称为功率。功率用 P 表示，其定义式为

$$P = \frac{W}{t}$$

2. 动能与动能定理

(1) 物体由于运动而具有的能量称为动能。物体的动能等于它的质量和速度二次方乘积的一半。用 E_k 表示动能，则

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

(2) 动能定理 合外力对物体所做的功，等于物体动能的改变量。即

$$W_{\text{合}} = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

这就是动能定理的内容。

3. 势能 机械能守恒

(1)物体由于被举高而具有的能量称为重力势能,重力势能用 E_p 表示。物体在离地面 h 处具有的重力势能等于物体所受的重力与其高度的乘积,即

$$E_p = mgh$$

(2)物体因为发生弹性形变而具有的能量称为弹性势能。弹簧弹性势能的大小用字母 E_k 表示,则

$$E_k = \frac{1}{2}kx^2$$

