

物理

全日制十年制学校高中课本·第二册

Liu

Qinguan

2

物理

2019年11月

由 2019 年 11 月 1 日起 第二版



全日制十年制学校高中课本
(试用本)

物 理

二 册

中小学通用教材物理编写组编

*

人民教育出版社出版
湖南人民出版社重印
湖南省新华书店发行
湖南省新华印刷二厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 5.375 字数 111

1979年7月第1版 1979年11月第1次印刷

印数 1—305,500册(80春)

书号 K7012·0155 定价 0.33 元

目

第六章 机械能

- 一、功
- 二、功率
- 三、动能 动能定理
- 四、动能定理的应用
- 五、重力势能
- 六、弹性势能
- 七、机械能守恒定律
- 八、机械能守恒定律的应用
- 九、功和能

第七章 动量

- 一、冲量和动量
- 二、动量的变化
- 三、动量守恒定律
- 四、动量和牛顿运动定律
- 五、弹性碰撞
- 六、中子的发现*
- 七、反冲运动 火箭*

第八章 机械振动和机械波

- 一、机械振动
- 二、简谐振动
- 三、简谐振动方程和周期公式
- 四、单摆
- 五、简谐振动的图象 相和相差
- 六、同一直线上的简谐振动的合成

.....	91
——机械波	95
.....	100
.....	103
.....	108
.....	111
.....	113
运动论	116
.....	116
——马略特定律	118
——萨克定律	123
.....	125
定律	128
.....	130
用	135
.....	137
解释	142
——守恒定律	148
.....	148
.....	150
定律	153
定律的重要意义	157
.....	159
律	159
.....	161
度	165
.....	168
律	169
.....	170

第六章 机械能

一、功

我们在初中已经学过功的初步知识。一个物体受到力的作用,如果在力的方向上发生一段位移,我们就说这个力对物体做了功。起重机提起货物的时候,货物在起重机钢绳的拉力下发生一段位移,拉力对货物做了功。人推车前进的时候,车在人的推力下发生一段位移,推力对车做了功。用手压缩弹簧的时候,弹簧的一端在手的压力下发生一段位移,压力对弹簧做了功。

如果有力作用在物体上,而物体没有在这个力的方向上发生位移,这个力对物体就没有做功。一个人推着一个物体不动,他虽然对这个物体作用一个向上的支持力,这个支持力对物体并没有做功。人用力推一个笨重的物体,没有推动,他虽然对这个物体作用一个向前的推力,这个推力也没有对物体做功。人在水平面上推车前进时,重力并没有对车做功,因为重力的方向是竖直向下的,车虽然发生了位移,但在重力的方向上却没有位移。在物理学中,功这个概念和一般所说的“做工”或“工作”含意不同。在物理学中,力和在力的方向上发生的位移,是做功的两个不可缺少的因素。

功的公式 功的大小是由力的大小和在力的方向上发生的位移的大小确定的。力越大,位移越大,功就越大。我们在

初中学过,如果力的方向跟物体运动的方向一致(图 6-1),功就等于力的大小和位移的大小的乘积.用 F 表示力的大小,用 s 表示位移的大小,用 W 表示力所做的功,那么,

$$W = Fs.$$

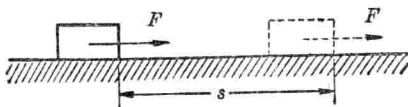


图 6-1

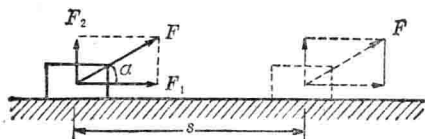


图 6-2

但是,物体运动的方向不一定总跟力的方向一致,当力的方向跟运动方向成某一角度 α 时(图 6-2),怎样来计算这个力所做的功呢?我们可以把力 F 分解成两个分力:跟位移方向一致的分力 F_1 ,跟位移方向垂直的分力 F_2 .设物体在力 F 作用下发生的位移是 s ,力 F_1 所做的功等于 F_1s .力 F_2 的方向跟位移的方向垂直,在 F_2 的方向上没有发生位移,力 F_2 所做的功等于零.因此,力 F 对物体所做的功就等于 F_1s ,而 $F_1 = F \cos \alpha$, 所以

$$W = Fs \cos \alpha.$$

这就是说,力对物体所做的功,等于力的大小、位移的大小、力和位移的夹角的余弦三者的乘积.

这个公式是计算功的一般的公式.当 $\alpha = 0$ 时, $\cos \alpha = 1$,

$W = Fs$, 这就是初中学过的公式. 当 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos \alpha = 0$, $W = 0$, 表示力的方向与位移方向垂直时, 力不做功.

功是由力的大小和位移的大小确定的, 它没有方向, 是一个标量. 在国际单位制中, 功的单位是焦耳. 1焦耳就是1牛顿的力使物体在力的方向上发生1米位移所做的功.

1焦耳 = 1牛顿 × 1米 = 1牛顿·米.

正功和负功 现在我们讨论一下公式 $W = Fs \cos \alpha$. 当 $\alpha < \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos \alpha > 0$, $W > 0$, 在这种情形里力对物体做正功. 人推车前进, 人的推力对车做正功. 在重力作用下物体下落, 重力对物体也做正功. 当 $\alpha > \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos \alpha < 0$, $W < 0$, 在这种情形里力对物体做负功. 上抛物体在向上运动时, 重力的方向与位移的方向相反, $\alpha = \pi$, $\cos \alpha = -1$, 重力对物体做负功. 物体在运动中受到滑动摩擦力或其他阻力作用的时候, 阻力的方向与位移的方向相反, 阻力对物体做负功.

一个力对物体做了负功, 也往往说成物体克服这个力做了功(正值). 上抛物体向上运动时重力做负功, 也可以说物体克服重力做了功. 汽车在关闭发动机以后, 在阻力的作用下停下来, 阻力做负功, 也可以说汽车克服阻力做了功.

二、功 率

不同物体做相同的功, 所用的时间往往并不一样, 也就是说, 做功的快慢并不相同. 一台起重机在 10 分钟内可以把 1 吨重的货物举高到预定的高度, 而另一台只用 30 秒就可以做

相同的功,第二台就比第一台做功快 20 倍。

在物理学上用功率表示做功的快慢。功跟完成这些功所用时间的比,叫做功率。如果用 P 表示功率, W 表示功, t 表示时间,那么,

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

在国际单位制中,功率的单位是瓦特。1 瓦特 = 1 焦耳/秒。瓦特这个单位比较小,技术上常用千瓦和马力做功率的单位。

$$1 \text{ 千瓦} = 1000 \text{ 瓦},$$

$$1 \text{ 马力} \approx 0.735 \text{ 千瓦}.$$

功率也可以用力 and 速度来表示。我们知道, $W = Fs$, 其中 F 是指沿位移方向的分力。代入功率的公式中得到 $P = \frac{Fs}{t}$,

由于 $\frac{s}{t} = \bar{v}$, 所以

$$P = F\bar{v}.$$

可见,功率等于力和速度的乘积。上式中的速度是时间 t 内的平均速度,所以这里的功率是指时间 t 内的平均功率。当时间趋近于零,平均速度 \bar{v} 趋近于即时速度 v 时,我们就得到某时刻的即时功率 $P = Fv$ 。物体做变速运动时,外力做功的即时功率是时刻改变的,平均功率也因所取的做功时间的不同而不同,正如平均速度因所取时间不同而不同一样。物体做匀速运动时,即时功率和平均功率相同,二者就不需要加以区分了。

从功率的公式可以看出,当发动机的功率一定时,物体的

速度越大, 牵引力越小, 即牵引力与速度成反比. 汽车上坡的时候, 需要较大的牵引力, 汽车司机必须用换挡的办法减小速度, 来得到较大的牵引力.

〔例题〕 卡车的发动机的额定功率是 90 马力. 设在水平公路上行驶时受到的阻力是 300 千克, 求卡车匀速行驶的最大速度.

解: 卡车受到两个力: 牵引力 F 和阻力 f . 当牵引力和阻力平衡时, 卡车匀速行驶. 设匀速行驶的速度为 v , 这时发动机的输出功率是 $P = Fv$. 而 $F = f$, 所以 $P = fv$. 题中所给发动机的额定功率, 也就是发动机正常工作时的最大输出功率. 因此最大行驶速度为

$$v = \frac{P}{f}.$$

代入数值得到
$$v = \frac{90 \times 0.735 \times 10^3}{300 \times 9.8} \text{米/秒}$$
$$= 22.5 \text{米/秒}$$
$$= 81 \text{千米/小时}.$$

答: 最大行驶速度为 81 千米/小时.

当卡车以小于最大行驶速度的某一速度匀速行驶时, 发动机的输出功率并没有达到额定功率. 例如阻力仍为 300 千克, 行驶速度为 54 千米/小时, 从 $P = fv$ 可以算出发动机的输出功率只有 60 马力. 从这个例题我们可以知道, 飞机、轮船、汽车等交通工具匀速行驶的最大速度是受发动机的额定功率限制的. 要提高这个最大速度, 必须提高发动机的额定功率. 这就是高速火车和汽车需要大功率发动机的原因.

练习一

(1) 在起重机的钢绳上挂着重物。当重物静止时，钢绳的拉力有没有做功？重力有没有做功？

在水平桌面上滚动的小球，桌面对球的支持力有没有做功？重力有没有做功？

(2) 在厘米·克·秒制中，功的单位叫做尔格。1尔格是1达因的力使物体在力的方向上发生1厘米的位移所做的功。试证明：

$$1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 尔格.}$$

(3) 在水平道路上匀速前进的汽车受到哪些力的作用？其中哪些力做功，哪些力没有做功？哪个力做正功，哪个力做负功？

(4) 在机场里用汽车牵引飞机前进(图6-3)。设牵引力 F 是3000牛顿，牵引杆跟水平面成 15° 角，牵引的距离是0.20千米，求牵引力所做的功。



图 6-3

√(5) 一只装货的木箱，质量是35千克，木箱和地面之间的摩擦系数是0.20，用力推木箱，使它在水平地面上匀速移动8.0米。推力所做的功是多少？木箱克服摩擦力所做的功是多少？

✓(6) 一台抽水机每秒钟能把 30 千克的水抽到 10 米高的水塔上去。抽水机的输出功率是多大？半小时能做多少功？

✓(7) 汽车牵引着高射炮以 36 千米/小时的速度匀速前进。汽车发动机的输出功率是 80 马力，求汽车和高射炮在前进中所受的阻力。

✓(8) 一台柴油机装在汽车上，汽车匀速行驶的速度可达 90 千米/小时；装在汽船上，汽船匀速行驶的速度可达 20 千米/小时。汽车和汽船哪个受的阻力大？二者的阻力之比是多少？

✓(9) 一台电动机的额定功率是 10 千瓦，用这台电动机匀速提升 2.75×10^4 千克的货物，最大速度是多大？不计空气阻力。

三、动能 动能定理

动能 我们在初中已经学过机械能的初步概念，知道物体由于运动而具有的能叫做动能。一切运动着的物体都具有动能。例如运动着的子弹、下落的重锤、流动的河水等等，都具有动能。我们还知道，运动物体的速度越大，质量越大，它的动能就越大。那么，怎样定量地表示物体的动能呢？

功和能是两个密切联系的物理量。要定量地讨论物体的动能，必须把物体运动状态的改变和做功联系起来。物体运动状态发生改变的时候，总是伴随着外力对物体做功。用火箭发射人造卫星，火箭的推力做功，使得人造卫星的速度越来越大，最后进入轨道绕地球运行。子弹射进障碍物中，障碍物

的阻力对子弹做负功,或者说子弹克服阻力做功,使得子弹的速度越来越小,最后会停在障碍物中。下面我们从外力对物体所做的功出发,来定量地研究物体的动能。

设质量为 m 的物体原来静止,在恒力 F 的作用下发生一段位移 s ,得到一个速度 v (图 6-4)。力 F 对物体所做的功 $W = Fs$ 。根据牛顿第二定律, $F = ma$, 另外,从运动学的公式 $v^2 = 2as$ 得到 $s = \frac{v^2}{2a}$ 。所以,

$$W = Fs = ma \times \frac{v^2}{2a} = \frac{1}{2}mv^2.$$

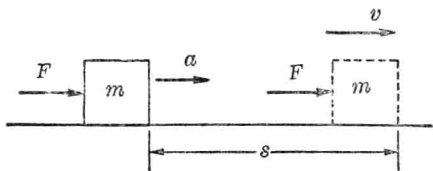


图 6-4

从上式可以看出,对于同一物体,如果受到的力 F 增大,它的加速度也增大了,但是,只要同时减小位移 s ,保持外力所做的功不变,它的 $\frac{1}{2}mv^2$ 就保持不变。如果同时改变 F 和 s ,使外力所做的功增加到 n 倍,物体的速度将只增加到 \sqrt{n} 倍,而物体的 $\frac{1}{2}mv^2$ 却将增加到 n 倍。对于原来静止的质量不同的物体,如果外力对它们所做的功相同,它们得到的速度将不一样,质量较大的物体得到的速度较小,但是它们的 $\frac{1}{2}mv^2$ 却是一样的。

可见,跟外力所做的功密切联系的物理量,不是物体的速度 v ,而是物体的 $\frac{1}{2}mv^2$.物理学里把 $\frac{1}{2}mv^2$ 叫做物体的动能.

如果用 E_k 表示动能,那么,

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

这就是说,物体的动能等于它的质量跟它的速度平方的乘积的一半.

动能跟功一样,都是标量.动能的单位跟功的单位相同,在国际单位制里都是焦耳.这是因为,

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千克} \cdot \text{米}^2 / \text{秒}^2 &= 1 [\text{千克} \cdot \text{米} / \text{秒}^2] [\text{米}] \\ &= 1 \text{ 牛顿} \cdot \text{米} = 1 \text{ 焦耳}. \end{aligned}$$

一个质量为10千克的物体,运动的速度为10米/秒时,它的动能

$$E_k = \frac{1}{2} \times 10 \times (10)^2 \text{ 焦耳} = 500 \text{ 焦耳}.$$

动能定理 现在我们来研究外力对物体做的功跟物体动能的改变的关系.

设一个质量为 m 的物体,原来的速度是 v_1 ,在外力 F 的推动下,经过一段位移 s 后速度增加到 v_2 .设外力 F 的方向跟运动方向相同,外力 F 对物体所做的功 $W = Fs$.根据牛顿第二定律, $F = ma$,另外从运动学公式 $v_2^2 - v_1^2 = 2as$ 得到 $s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$.所以,

$$Fs = ma \times \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

或 $W = E_{k2} - E_{k1}$.

可见，外力对物体所做的正功等于物体动能的增加。

如果物体不是在推动力 \mathbf{F} 而是在阻力 \mathbf{f} 作用下经过一段位移 s ，它的速度将由 \mathbf{v}_1 减小到 \mathbf{v}_2 。同样可以证明：

$$-fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

或 $W = E_{k2} - E_{k1}$ 。

只是这时 f 是阻力，做的是负功， $W < 0$ ，同时 $v_2 < v_1$ ， $E_{k2} < E_{k1}$ ，物体的动能减少了。

可见，外力对物体所做的负功等于物体动能的减少。

如果物体同时受到几个力 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \dots$ 的作用，其中既有推动力，也有阻力，经过一段位移 s 后，它的速度由 \mathbf{v}_1 变成 \mathbf{v}_2 。设这些力的合力为 \mathbf{F} ，即 $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots$ ，那么，同样可以证明：

$$Fs \cos \theta = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

式中 θ 是合力 F 与位移 s 是夹角。由于

$$\begin{aligned}Fs \cos \theta &= F_1 s \cos \theta_1 + F_2 s \cos \theta_2 + F_3 s \cos \theta_3 + \dots \\ &= W_1 + W_2 + W_3 + \dots \\ &= W.\end{aligned}$$

所以，外力的合力 \mathbf{F} 做的功等于各个外力所做的功的代数和。

在物理学中常用动能的增量 ΔE_k 来表示 $E_{k2} - E_{k1}$ ，即

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2.$$

这样，上式就可以改写为

$$W = \Delta E_k.$$

这就是说，外力对物体所做的功的代数和等于物体动能的增量。这个结论叫做动能定理。

在应用动能定理时应该注意，计算总功 W 时，跟运动方向的交角小于 90° 的推动力所做的功是正值，跟运动方向的交角大于 90° 而小于或等于 180° 的阻力所做的功是负值； $\Delta E_k > 0$ 表示动能增加， $\Delta E_k < 0$ 表示动能减少。

练习二

(1) 1976年3月18日在吉林市降落一场陨石雨，其中最大的一号陨石的质量是1770千克，假设它以45米/秒的速度撞击地球，计算它触地时的动能。
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1770^2 = 1572225 \text{ (焦耳)}$

(2) 我国第一颗人造地球卫星的质量是173千克，平均速度达到7.2千米/秒，计算它的平均动能的大小。
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 173 \times 7200^2 = 4.5 \times 10^8 \text{ (焦耳)}$

(3) 有一颗流星尘粒，质量是1克，以70千米/秒的速度进入地球大气层，计算它的动能。
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.001 \times 70000^2 = 2450000 \text{ (焦耳)}$

(4) 质量约是 9.0×10^{-28} 克的电子以 2.0×10^{10} 厘米/秒的速度射向电视机的荧光屏，它的动能是多少尔格？要多少个这样的电子，它们的总动能才有1焦耳。
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 9.0 \times 10^{-31} \times (2.0 \times 10^{10})^2 = 9.0 \times 10^{-11} \text{ (焦耳)}$
 $1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 尔格}$
 $\frac{10^7}{9.0 \times 10^{-11}} = 1.1 \times 10^{17} \text{ (个)}$

(5) 一颗质量是10克的子弹，以800米/秒的速度飞行。优秀短跑运动员的最快速度可以达到10米/秒，他的质量是60千克。比较一下，哪个动能大些？
 $E_1 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.01 \times 800^2 = 3200 \text{ (焦耳)}$
 $E_2 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 60 \times 10^2 = 3000 \text{ (焦耳)}$

(6) 一个电子以 8.00×10^6 米/秒的速度运动。质子必须运动得多快，才能使它具有跟电子一样的动能？已知质子的质量是电子的1800倍。
 $E_e = \frac{1}{2}m_e v_e^2 = \frac{1}{2} \times m_p \times v_p^2 = \frac{1}{2} \times 1800 m_e \times v_p^2$
 $v_p = \sqrt{\frac{v_e^2}{1800}} = \sqrt{\frac{8.00^2 \times 10^{12}}{1800}} = \frac{2}{3} \times 10^6 \text{ (米/秒)}$

(7) 有甲、乙两个物体，除了下列每一种不同点而外，这

两个物体的其他情况都相同。试比较下列每一种情况下它们的动能：

- ① 物体甲的速度是物体乙的两倍。
- ② 物体甲向北运动，物体乙向南运动。
- ③ 物体甲做直线运动，物体乙做曲线运动。
- ④ 物体甲的质量是物体乙的一半。

四、动能定理的应用

动能定理是力学中一条重要规律，经常用来解决有关的力学问题。下面举几个例题来说明它的应用。

〔例题 1〕 质量是 0.15 千克的机枪子弹，以 300 米/秒的速度射入厚度是 10 毫米的钢板，射穿后的速度是 100 米/秒(图 6-5)。求钢板对子弹的平均阻力。

解：子弹穿过钢板时所受的外力就是钢板的阻力 f ，外力所做的功 $W = -fs$ ，其中 s 为钢板的厚度。根据动能定理得到

$$-fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

所以

$$f = -\frac{1}{s} \left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \right)$$

$$= -\frac{m}{2s}(v_2^2 - v_1^2)$$

$$= -\frac{0.15}{2 \times 0.010}(100^2 - 300^2) \text{ 牛顿}$$

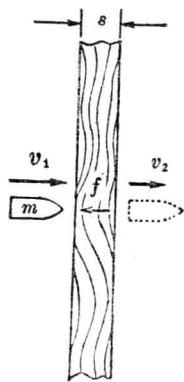


图 6-5