McGraw Hill Education

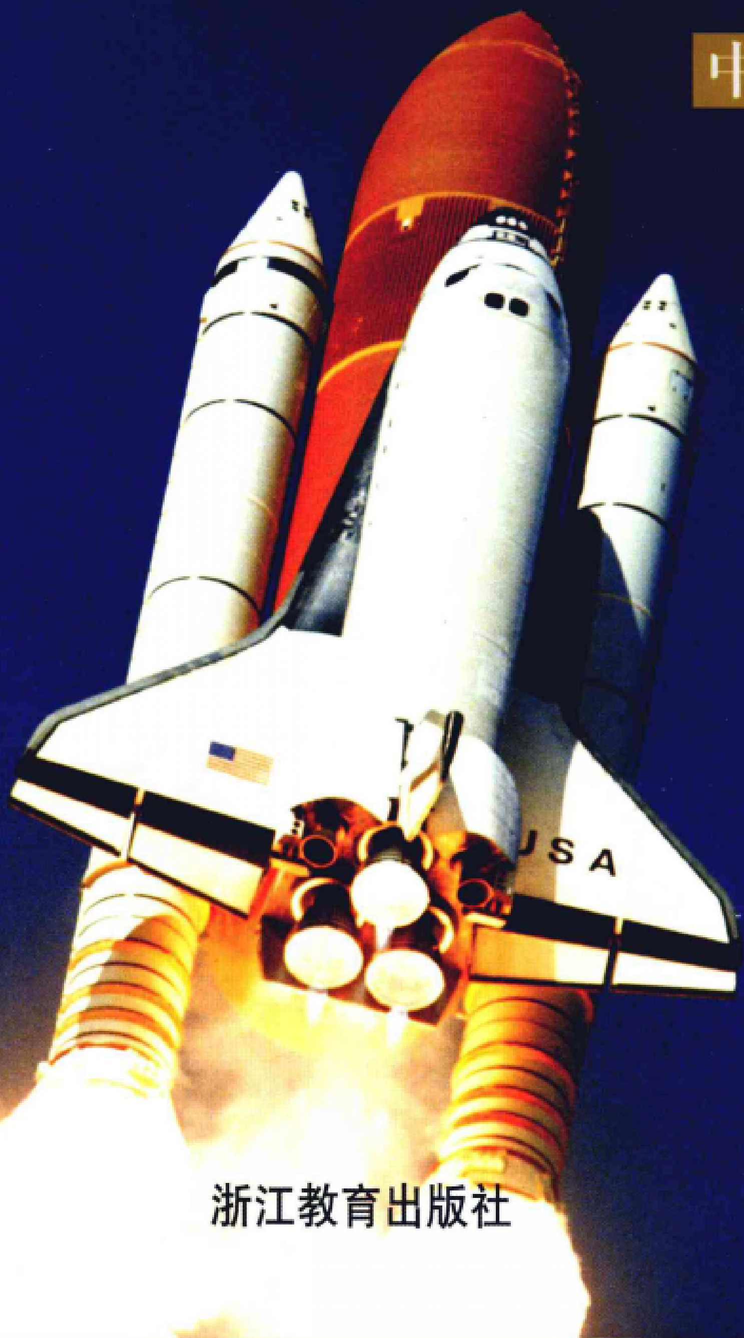
美国高中主流理科教材

科学发现者

物理 原理与问题

Physics Principles and Problems

中册



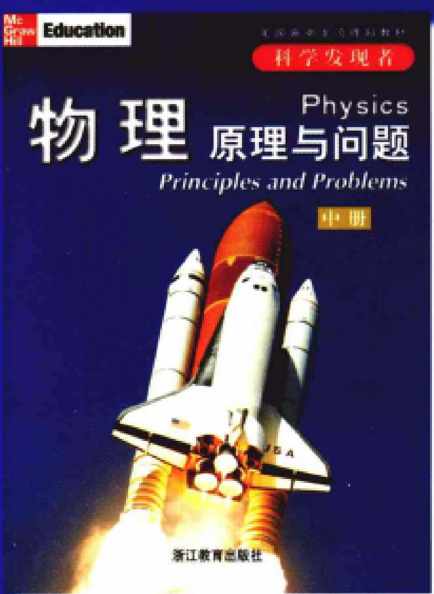
浙江教育出版社

科学发现者

美国高中主流理科教材

新课标、新观念、新学法的资源宝库

- *像科学家那样思考*
- *像科学家那样探索*
- *知识能力方法并重*
- *动手动脑趣味无穷*



有了这样的教材，阅读变成了一种享受，学习科学也变得趣味盎然。

在轻松、愉悦而又像侦探破案那样的阅读与探索中，不用多久，你就能像科学家那样思考，像科学家那样探索与发现。

《科学发现者》，将使你成为探索自然奥秘、做出科学创造的科学发现者。

美国高中主流理科教材

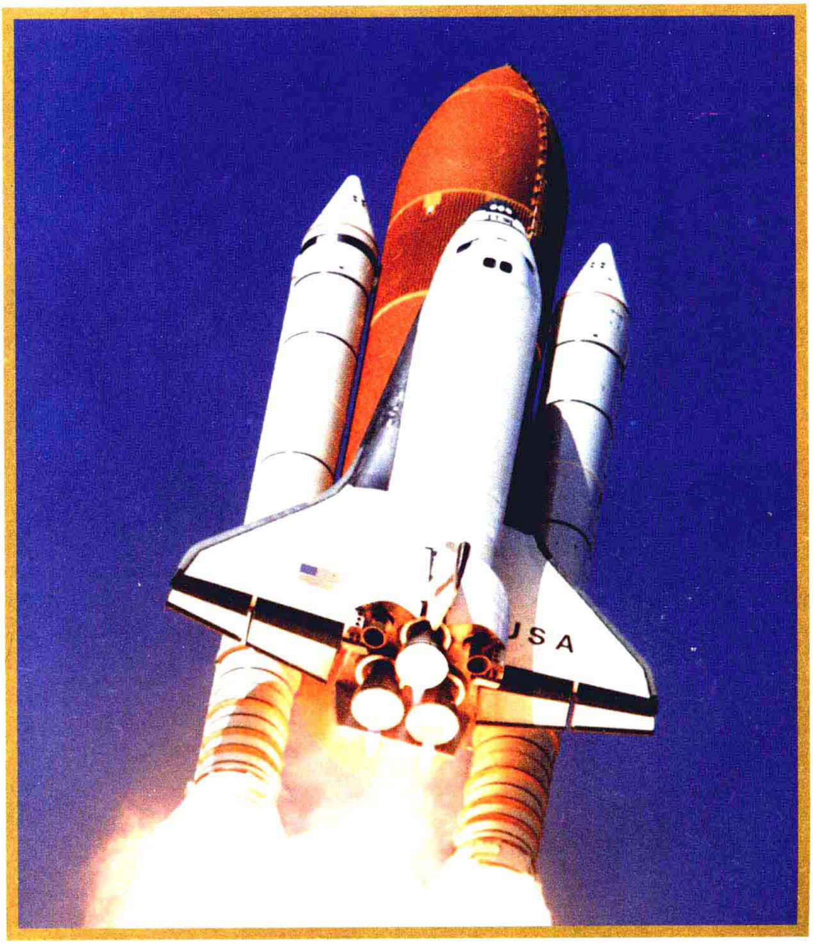
科学发现者

物理 Physics

原理与问题

Principles and Problems

中册



浙江教育出版社

图书在版编目（CIP）数据

科学发现者．物理 原理与问题 中册 /（美）齐泽维茨（Zitzewitz, P. W.）等著；钱振华等译．—杭州：浙江教育出版社，2008.8

ISBN 978-7-5338-7248-9

Ⅰ.科… Ⅱ.①齐… ②钱… Ⅲ.物理课—高中—教学参考资料 Ⅳ.G634

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第118045号

第10章 能量、功和简单机械

内容提要

- 功和功率描述了外部世界是如何改变一个系统的能量的。
- 了解力和功的关系，说明机械是如何省力的。

学习本章的意义

简单机械以及由它们所构成的复杂机械，使许多日常工作变得容易完成。

山地自行车 一辆装有减震器的变速山地车，可以让你充分利用自身的体能来施力、做功、输送功率，以攀登陡峭的丘陵，快速穿越平地及安全地滑下高坡。

想一想 ▶

变速山地车是如何使骑车人以最有效的方式骑越各种地形的?

物理在线

physicspp.com

起步实验 探究影响自由落体能量的因素

问题

哪些因素会影响自由落体的能量以及它们做功的能力?

步骤

1. 在馅饼盘或烘烤盘的底部放入约2 cm高的细沙。
2. 取各种金属球或不同大小的玻璃弹子。
3. 一只手竖直地拿起米尺，使米尺的一端正好与沙面接触；另一只手在某一高度将一个球释放，并记录下这个高度。
4. 小心地从沙中移走这个球，注意不要破坏球所撞出的弹坑。测量这个坑的深度以及沙子从坑里被抛出的距离。
5. 记下这个球的质量。
6. 抹平盘中的沙子，重复步骤3～5，从不同高度释放大小不同的球。合适的做法应当是，不同大小的球从同一高度落下，而同样的球则从不同的高度落下。

分析

比较你所得到的不同坑的数据。这些数据是否存在一定的规律？具体说明。

理性思维 当球落进沙里时，球对沙做了功。能量可以定义为一个物体对它本身或对周围物体做功的本领。将你在这一实验中得到的规律与球的能量联系起来。想一想，怎样才能增加一个球的能量?

10.1 能量与功

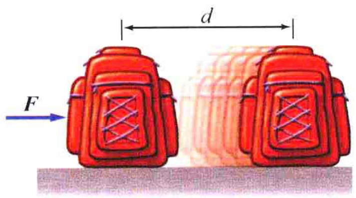
在第9章学了动量守恒后，即使并不清楚冲量作用的具体细节，你也能了解系统在冲量作用前后的状态。特别是在分析那些作用期间力突然发生变化的碰撞时，动量守恒定律尤为有用。回顾第9章中有关两名溜冰者相互推离的讨论。在碰撞前，她们都是静止的；由于动量守恒，这两名溜冰者在彼此推开后将继续运动。再考虑两辆汽车相撞的情况。当两车相撞时，动量也是守恒的。然而与溜冰者不同，在碰撞之前汽车是运动的，而在碰撞之后却变为静止了。碰撞可能还会导致汽车的钢板扭曲、玻璃破碎。在这些情形中，力对每个系统发生作用的结果必定导致某些其他量的改变。

学习目标

- **描述**功与能的关系。
- **计算**功的大小。
- **计算**有用功率。

关键术语

功
能　量
动　能
动能定理
焦　耳
功　率
瓦　特



■ 图10-1 如果背包在恒力F的作用下移动了一段距离d，那么就认为F对背包做了功。

功和能

回想一下，冲量是施加于物体的平均力和作用时间的乘积，它会导致物体的动量发生变化。现在考虑对某一物体施加一个力，并使这个物体移动一段距离的情况。因为存在净力的作用，所以这个物体会加速运动，加速度$a=\frac{F}{m}$，因此它的速度将会增大。请见第3章表3-3，表中列出了做匀加速运动的物体的位置、速度和时间之间的关系。考虑包含加速度、速度和距离的方程：$2ad=v_f^2-v_i^2$。如果根据牛顿第二定律，你用$\frac{F}{m}$取代a，并将方程两边同时乘以$\frac{m}{2}$，那么你就可得到如下方程：$Fd=\frac{1}{2}mv_f^2-\frac{1}{2}mv_i^2$。

功 这个方程式的左边描述的是由外部世界（环境）对系统做的功。如**图10-1**所示，有一个力F作用于物体，使物体移动了一段距离d。如果F是一个恒力，施力的方向即为物体的移动方向，那么**功（work）**就是这个力和物体位移的乘积。

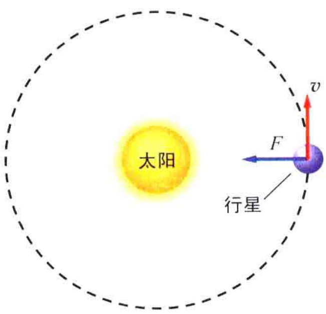
功 $W=Fd$

功等于施加于物体运动方向上的恒力乘以物体的位移。

你或许曾经通过很多方式使用过work（工作）这个词。例如，计算机可以更好地工作，学习物理可能是困难的工作，以及你可能在放学后去打零工等。然而对于物理学家来说，work（功）一词具有十分严谨的科学含义。

再看$Fd=\frac{1}{2}mv_f^2-\frac{1}{2}mv_i^2$。根据$W=Fd$，可以得到$W=\frac{1}{2}mv_f^2-\frac{1}{2}mv_i^2$。方程的右边涉及物体的质量以及施力前后的速度；而$\frac{1}{2}mv_i^2$这个量则描述了系统的一个特性。

动能 $\frac{1}{2}mv_i^2$描述了系统的什么特性呢？一个笨重的、快速行驶的车辆可能会损坏它周围的物体，而一个高速击出的棒球可以在空中升得很高。也就是说，物体的这种特性可以使它本身或它周围的世界发生一个变化。物体具有的这种使本身或其周围世界发生变化的本领叫做**能量（energy）**。快速行驶的车辆和棒球所具有的能量是与它们的运动联系在一起的。这种由运动导致的能量称为**动能（kinetic energy）**，用符号E_k表示。



■ 图10-2 如果一颗行星沿圆轨道运行，那么万有引力始终垂直于运动方向，所以它不做功。

动能 $E_k=\frac{1}{2}mv_i^2$

一个物体的动能等于该物体的质量与它的速度平方乘积的$\frac{1}{2}$。

将E_k代入方程$W=\frac{1}{2}mv_f^2-\frac{1}{2}mv_i^2$，得到$W=E_{kf}-E_{ki}$。这个方程的右边是动能的差或动能的改变量。因此**动能定理（work-energy theorem）**可表述为：对物体做功，将导致物体的动能发生改变。动能定理可用下式表示：

动能定理　$W = \Delta E_{\mathrm{k}}$

功等于动能的改变量。

所做的功和能量的改变这两者之间的关系式是由19世纪物理学家焦耳（J.Joule）建立的。为了纪念他，人们将能量的单位叫做**焦耳（joule）**，用符号J表示。例如，若质量为2 kg的物体以1 m/s的速度移动，则它具有1 kg·m²/s²或1 J的动能。

你已经知道，系统就是你所关注的这个物体，而除此之外的任一件东西都是外界。例如，存放在仓库里的一个盒子可以是一个系统，而这个系统的外界可以由你本身、地球等除盒子以外的任何东西组成。通过做功，能量可以在系统和外界之间发生转移。

请注意，能量转移的方向可能沿两条路线。如果是外界对系统做功，那么功W是正的，系统的能量便增加；如果系统对外界做功，那么功W是负的，系统的能量便减少。总之，功的力学意义就是能量的转移。

功的计算

用来计算功的第一个公式是$W = Fd$。这个公式仅仅适用于在运动方向上施加恒力的情况。如果施加的力的方向垂直于运动方向，结果又是怎样呢？一个常见的例子即如**图10-2**所示的行星环绕太阳的运动。如果轨道是圆，那么力就始终垂直于运动方向。由第6章知道，一个与速度方向垂直的力不会改变物体速度的大小，而仅仅改变速度的方向，因而行星的速率不发生变化。所以，它的动能也是一个常数。当动能是常数时，$\Delta E_{\mathrm{k}} = 0$；根据公式$W = \Delta E_{\mathrm{k}}$，$W = 0$。这就意味着，如果$F$和$d$互成直角，则$W = 0$。

由于对物体做的功等于物体能量的改变量，因此功也用焦耳量度。对物体施加1 N的力，使物体移动了1 m的距离时，就说这个力做了1 J的功。一只苹果重约1 N，在你将它向上举高1 m的过程中，你对它做了1 J的功。

从某一角度施加一个恒力　你已经学过，运用公式$W = Fd$，可以计算出作用在运动方向上的一个力所做的总功。而垂直于运动方向的力不做功。那么，如果以某一角度施加力，这个力所做的功为多大呢？例如，如**图10-3a**所示的人在推汽车时做了多少功？你知道，任何力都可用它的几个分力来取代。如果运用如**图10-3b**所示的坐标系进行分析，则作用在人的手臂方向上的大小为125 N的力$\boldsymbol{F}$有两个分力。其中，水平分力的大小F_x跟力F的大小成余弦函数关系：$\cos 25.0° = \frac{F_x}{F}$，由此可求得$F_x = F\cos 25.0° = 125\ \mathrm{N} \times \cos 25.0° = 113\ \mathrm{N}$。运用相同的方法，可得力$F$的竖直分量$F_y = -F\sin 25.0° = -125\ \mathrm{N} \times \sin 25.0° = -52.8\ \mathrm{N}$。这里的负号表示力的方向是向下的。因为位移在$x$方向上，所以只有$x$分量做功，$y$分量不做功。

a

b

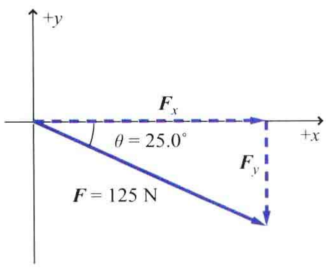


图10-3　如果一个力以某一角度作用在汽车上，那么实际做功的力即是它作用在位移方向上的分力。

当你用一个与物体的运动方向成一定角度的力作用在物体上时，你所做的功等于你所施加的力在位移方向上的分力乘以物体运动的距离。从矢量图中可以看出，作用在位移方向上的分力的大小等于力的大小乘以力跟位移之间的夹角的余弦：$F_x = F\cos\theta$，因而力所做的功可用下述公式表示：

功（力与位移间有夹角） $W = Fd\cos\theta$

功等于力、位移及力与位移方向间夹角的余弦值这三者的乘积。

此外，还有一些物体对运动中的汽车施加了作用力。那么，在这些物体中，哪些也对汽车做功了呢？通过受力分析可知，地球引力作用的方向竖直向下，地面施加给汽车一个垂直向上的力，由于汽车的移动还产生了一个与运动方向相反的水平摩擦力。这些力中，方向向上和向下的力与汽车的运动方向垂直，因此不做功。即对于这两个力而言，$\theta = 90°$，故$\cos\theta = 0$，因而$W = 0$。

摩擦力的方向与运动方向相反，即与位移方向成180°角，因此它对汽车做了功。因为$\cos 180° = -1$，所以摩擦力做的功是负的。当系统之外的某些物体对系统所施加的力做负功时，系统的动能将会减小。如果图10-3a中的人停止推动汽车，那么由于摩擦力做了负功，汽车的动能减小，汽车将很快停止运动。一个力做正功时，系统的能量增大；做负功时，系统的能量减小。当你在求解有关功的问题时，可以运用以下解题策略。

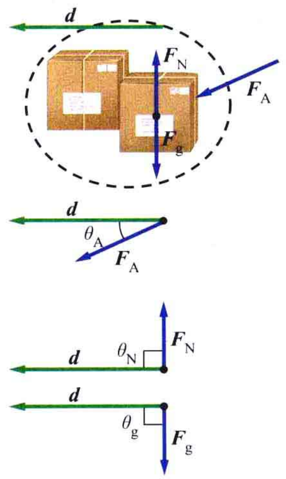
解题策略

功

当你在求解有关功的问题时，可以运用以下策略。

1. 作出系统示意图，并标出正在做功的力。
2. 画出力和系统的位移矢量。
3. 找出每个力和位移之间的夹角θ。
4. 运用$W = Fd\cos\theta$计算每个力所做的功。
5. 计算总功。根据能量转移的方向检查功的符号是否正确。如果系统的能量增加了，那么该力做的功就是正的。如果系统能量减小了，那么该力做的就是负功。

做功图解

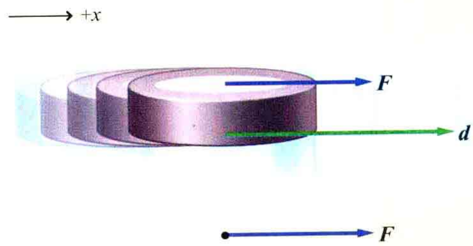


▶例题 1

功和能 一个质量为105 g的冰球滑过冰面，运动员对球在0.150 m距离内施以4.50 N的恒力。这名运动员对冰球做了多少功？冰球能量的改变了多少？

1 分析概括问题

- 画出显示初始条件的情景图。
- 建立+x向右的坐标系。
- 画矢量图。



已知：

$m = 105\ \text{g}$

$F = 4.50\ \text{N}$

$d = 0.150\ \text{m}$

未知：

$W = ?$

$\Delta E_k = ?$

2 求解未知量

利用与位移相同方向的恒力做功的公式。

$W = Fd$

$= 4.50\ \text{N} \times 0.150\ \text{m}$ 　将 $F = 4.50\ \text{N}$，$d = 0.150\ \text{m}$ 代入。

$= 0.675\ \text{N·m}$

$= 0.675\ \text{J}$ 　$1\ \text{J} = 1\ \text{N·m}$。

利用动能定理确定该系统能量的改变量。

$W = \Delta E_k$

$\Delta E_k = 0.675\ \text{J}$ 　将 $W = 0.675\ \text{J}$ 代入。

3 验证答案

- **单位是否正确？** 功是以J为单位的。
- **符号是否有意义？** 运动员（外界）对冰球（系统）做功，所以功的符号应该是正的。

▶练一练

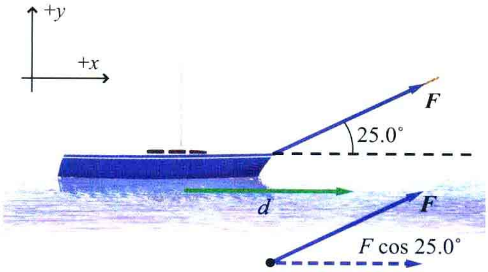
1. 参看例题1，求解下列问题。
   a. 如果冰球运动员施加在冰球上的力加倍（9.00 N），那么冰球的动能将如何改变？
   b. 如果这名运动员所施加的力为9.00 N，冰球与球棒接触时滑行的距离为0.075 m，那么冰球的动能将改变多少？
2. 两名学生协作，用大小为825 N的力推汽车，使汽车前进了35 m。
   a. 他们对汽车做的功是多少？
   b. 如果所用的力增加1倍，而汽车前进的距离相同，那么他们做的功又是多少？
3. 一位攀岩者背着质量为7.5 kg的背包，花了30.0 min登上一峭壁，此时攀岩者与起始点相距8.2 m。
   a. 攀岩者对背包做了多少功？
   b. 如果攀岩者重645 N，那么她对自己和背包总共做了多少功？
   c. 攀岩者的平均功率是多大？

例题 2

力与位移成一角度 一船员在岸边拉着绳索，使小船沿着码头前进了30.0 m的距离，已知拉绳与水平面成25.0°角。如果船员施加于拉绳上的力为255 N，那么他对小船做了多少功？

1 分析概括问题

- 建立坐标轴。
- 作出表示小船初始条件的示意图。
- 画出矢量图，表明力以及力在位移方向上的分量。



已知：

$F = 255\ \text{N}$

$d = 30.0\ \text{m}$

$\theta = 25.0°$

未知：

$W = ?$

2 求解未知量

利用与位移成一角度的力的做功公式。

$$W = Fd\cos\theta$$

$$= 255\ \text{N} \times 30.0\ \text{m} \times \cos 25.0°$$ 将 $F = 255\ \text{N}$，$d = 30.0\ \text{m}$，$\theta = 25.0°$ 代入。

$$= 6.93 \times 10^3\ \text{J}$$

3 验证答案

- **单位是否正确？** 功是以J来量度的。
- **符号是否有意义？** 船员对小船做了功，所以以正的数值表示功是正确的。

练一练

4. 如果在例题2中，船员所用的拉力不变，且通过的距离相同，但拉力与水平方向的夹角为50.0°，他所做的功为多大？

5. 两个人用绳子将某一重物提升了15 m。已知他们所用的绳子与垂直方向的夹角均为15°，且施加的力均为225 N，他们做了多少功？

6. 一位乘客携带了一个215 N的手提箱登上阶梯。已知阶梯的竖直高度为4.2 m，水平距离为4.6 m。

   a. 乘客要做多少功？

   b. 若这位乘客携带同一手提箱，从同一阶梯上走下来，这位乘客又做了多少功？

7. 用绳子拉着一个金属盒子在地板上移过了15.0 m。已知绳子与地板成46.0°角，且作用在绳上的力为628 N。绳子上的拉力做了多少功？

8. 某人推着一辆质量为13 kg的自行车走上陡坡。如**图10-4**所示，已知陡坡的倾斜度为25°、长度为275 m，此人所用的推力为25 N、方向平行于路面。

   a. 此人对自行车做的功是多少？

   b. 重力对自行车做的功是多少？

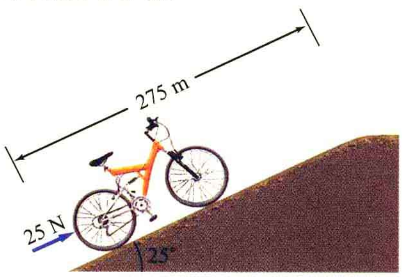
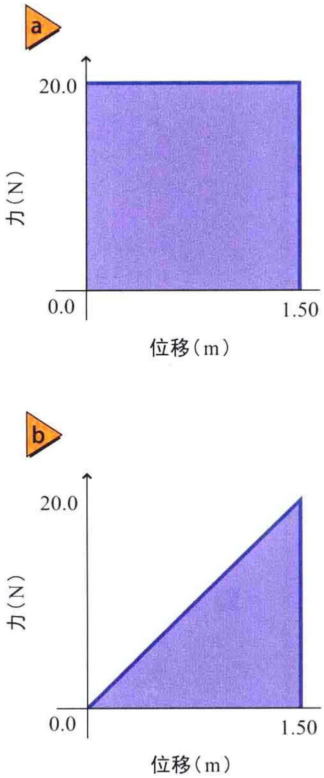


图10-4（不按比例）

变力做的功 利用力与位移的关系图，你也可以计算力所做的功。这一图解方法可以用来求解有关变力的问题。如**图10-5a**所示的是一个20.0 N的恒力使物体运动1.50 m时的情况。这个过程所做的功可以通过下式得出：$W = Fd = 20.0\ \text{N} \times 1.50\ \text{m} = 30.0\ \text{J}$。图中图线下方的阴影面积等于20.0 N × 1.50 m，即30.0 J。力在某段位移上对物体所做的功，等于对应的力—位移图线下方的面积，即使力的大小发生变化。如**图10-5b**所示为弹簧所施加的力。该力从0.0匀速地增加到了20.0 N，这期间弹簧被压缩了1.50 m。由压缩弹簧所施加的力做的功的大小就等于图线下方的三角形面积 $= \frac{1}{2} \times$ 底 × 高，即$W = \frac{1}{2} \times 20.0\ \text{N} \times 1.50\ \text{m} = 15.0\ \text{J}$。

多个力做的功 牛顿第二运动定律把作用在物体上的净力与物体的加速度联系了起来；同样，动能定理把对系统做的总功与系统能量的改变量联系了起来。如果有几个力作用在系统上，则可以先计算每一个力做的功，然后把这些结果加起来，求出总功。

■ 图10-5 功的大小可以通过求出力—位移图线下方的面积得到。



功率

直到现在，对功的讨论还没有涉及移动物体所花费的时间。一个人举起一箱书，不管是在2 s内将整箱书一下举起来放到书架上，还是将书一本一本地举起来，花了20 min全部放到书架中，他所做的功都是相同的。虽然做的功一样，但是做功的快慢却不同。**功率（power）**等于做的功除以做功所消耗的时间。换言之，功率就是外力改变系统能量的速度。它可用下式表示：

功率 $P = \frac{W}{t}$

功率等于功除以做功所消耗的时间。

思考一下如**图10-6**所示的三名学生。快速登上楼梯的女孩比缓步走上楼梯的男孩的效率更高。虽然男孩做了相同的功，但女孩所用的时间更短，因而她的功率更大。对于后两名学生走上楼梯的过程而言，他们则是在相同的时间内做了相同的功。

功率的单位是瓦特（W）。1**瓦特（watt）**是指在1 s内转移1 J的能量。瓦特是很小的单位。例如，一杯水大约重2 N，如果你把它举高0.5 m到你的嘴边，你就做了1 J的功；如果你所用的时间为1 s，那么你的功率就是1 W。因为瓦特如此之小，所以通常功率以千瓦（kW）为单位，1 kW = 1 000 W。

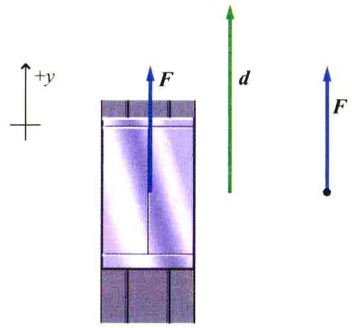
■ 图10-6 这三名学生登楼梯时以不同的速度做功。

▶例题 3

功率 一台电动机以大小为1.20×10^4 N的向上的力，在15.0 s内将一部电梯升高了9.00 m。电动机的功率是多少千瓦?

1 分析概括问题

- 作出表示电梯初始条件的示意图。
- 建立向上为正方向的坐标系。
- 作出力和位移的矢量图。



已知：

$d = 9.00$ m

$t = 15.0$ s

$F = 1.20 \times 10^4$ N

未知：

$P = ?$

2 求解未知量

求解功率。

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

$$= \frac{Fd}{t}$$ 将 $W = Fd$ 代入。

$$= \frac{1.20 \times 10^4\ \text{N} \times 9.00\ \text{m}}{15.0\ \text{s}}$$ 将 $F = 1.20 \times 10^4$ N，$d = 9.00$ m，$t = 15.0$ s 代入。

$$= 7.20\ \text{kW}$$

3 验证答案

- **单位是否正确?** 功率是以J/s量度的。
- **符号是否有意义?** 正号与力向上的方向一致。

▶练一练

9. 一只系在电动机缆绳上的重575 N的箱子，竖直向上升高了20.0 m的距离。若已知此工作是在10.0 s内完成的，电动机的输出功率是多少?

10. 你推着手推车，以恒定的速度在25.0 s内走过60.0 m的距离。已知你所用的水平力的大小为145 N。

a. 你的功率是多少?

b. 如果你以2倍的速度推车，那么功率又是多大?

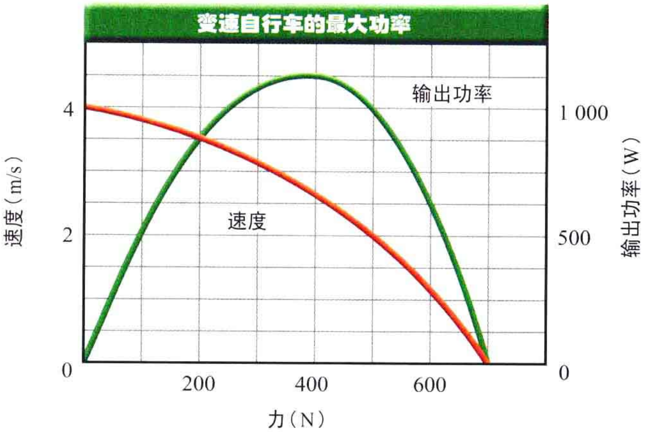
11. 一台水泵每分钟从110 m的深度提取35 L的水，它的功率是多大?（1 L水的质量是1.00 kg）

12. 功率为65 kW的电动机在35 s内把载重电梯升高了17.5 m。电动机施加的力为多大?

13. 如**图10-7**所示，一辆安装在卡车上的绞车，铭牌上注明它的牵引力为6.8×10^3 N，功率为0.30 kW。这辆载重卡车和绞车要将一个物体拖拉15 m，需要花多长的时间?

图10-7

14. 半路上，你的汽车熄火了，因此你要去推它。你注意到，当汽车开始移动后，你只需要花很小的力就能维持它前进了。假设在最初的15 m里，你以恒定的速率将力从210.0 N减小到40.0 N，那么你对汽车做了多少功? 作出力—位移图象，在图中标出你在此期间所做的功。



■ 图10-8 在骑变速自行车时，如果你的肌肉施加的力大小为400 N，速率为2.6 m/s，则你的输出功率超过1 000 W。

你可能已经注意到，在例题3中，当力和位移是同方向时，$P=\frac{Fd}{t}$。由于$\frac{d}{t}$即为速度，因此功率也能用$P=Fv$来进行计算。

当你在骑变速自行车时，如果想让你的身体释放出最大的功率，应该如何选择正确的齿轮组呢？根据公式$P=Fv$可知，当力等于零或速度等于零时，都没有功率输出。而肌肉施加的力不可能无限大，运动的速度也不可能过快，故而适度的力和适度的速率的组合将产生最大的功率。如**图10-8**所示，当力约为400 N、速度约为2.6 m/s时，输出的最大功率超过1 000 W。所有发动机——不仅是人类——都有一个极限。通常在设计简单机械时，都会让它的发动机所能提供的力和速度与工作的需求相匹配，以满足工作需要。在下一节中，你将学到更多有关简单机械的知识。

物理学的**应用**

▶ **法国之旅** 一位自行车爱好者骑着自行车去法国旅行。在旅途中，他每天在超过6 h的时间里，以8.94 m/s的速度骑行。已知骑车人的输出功率约为1 kW，其中的$\frac{1}{4}$消耗在骑自行车上，用以抵消空气、齿轮和轮胎的阻力作用，而其余的$\frac{3}{4}$则以热能的形式散发到了空气中。◀

本节复习题

15. 功 麦列米用一个80 N的水平力把质量为20 kg的物体沿地板推了10 m，计算麦列米做的功。

16. 功 一名搬运工人要把一只质量为185 kg的电冰箱通过斜面推进货运车。已知斜面长10.0 m，倾角为11.0°。若不计摩擦，搬运工人为此做了多少功？

17. 功和功率 要将一本书举到书架上，你所做的功以及做功的功率均取决于你举得有多快，这种说法对吗？说明理由。

18. 功率 一台电梯在12.5 s内把质量为1.1×10^{3} kg的物体提升了40.0 m。电梯发动机的功率为多大？

19. 功 质量为0.180 kg的球下落了2.5 m。在此过程中，重力对球做了多少功？

20. 质量 铲车把一只箱子提高了1.2 m。已知在此过程中，它对箱子做了7.0 kJ的功，求箱子的质量。

21. 功 你与你的朋友都抬着相同的箱子，要从大楼的第一层走到位于第二层走廊尽头的房间。你抬着箱子，首先从楼梯上到二楼，然后通过走廊到达房间；你的朋友先抬着箱子走到走廊的尽头，然后通过另一条楼梯上到第二层。谁做的功较多？

22. 功和动能 如果做功使物体的动能增大1倍，那么它的速度也增大1倍吗？如果不是，那么速度改变了多少倍？

23. 理性思维 如果有三个人同时对系统施力，说明如何求出系统能量的改变量。

10.2 机 械

▶ **学习目标**

- **指出**简单机械的实用性。
- 根据效率，**区分**理想机械和实际机械。
- **分析**由简单机械组成的复杂机械。
- **计算**简单机械和复杂机械的效率。

▶ **关键术语**

机　械
动　力
阻　力
机械效益
理想机械效益
机械效率
复杂机械

人们每天都在使用机械。其中有些是简单的工具，像开瓶器、螺丝起子等；而另一些比较复杂，如自行车、汽车等。无论是由发动机带动的还是由人力开动的机械，都使得各项工作变得容易完成。**机械（machine）**可以通过改变力的大小或方向而减轻负荷，从而使它能够与人或机械所能施加的力相匹配。

机械的优点

考虑如**图10-9**所示的开瓶器。当你使用开瓶器时，你需要抬高手柄，因此对开瓶器做了功。而开瓶器撬起瓶盖，就对盖子做了功。你所做的功叫做输入功W_i，开瓶器所做的功叫做输出功W_o。

回忆一下：功的力学意义是能量的转移。你对机械（如开瓶器）输入了功，也就是你把能量转移给了开瓶器；继而开瓶器对瓶盖做功，也就是把能量转移到瓶盖。开瓶器并不是能量的来源，因此瓶盖不可能接受到比你转移给开瓶器更多的能量。所以，输出功永远不可能大于输入功。机械仅仅是帮助你将能量转移到了瓶盖。

机械效益　人施加于机械的力叫做**动力（effort force）**，机械施加的力叫做**阻力（resistance force）**。如图10-9a所示，动力F_e是人施加在开瓶器上的向上的力，而阻力F_r是开瓶器对瓶盖施加的向上的力。阻力与动力的比值$\frac{F_r}{F_e}$叫做该机械的**机械效益（mechanical advantage）**，用MA表示。

机械效益　$MA = \frac{F_r}{F_e}$

机械效益等于阻力除以动力。

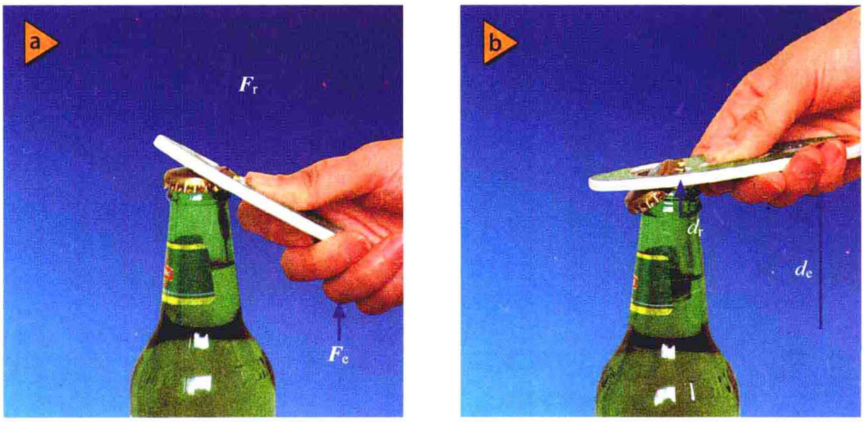


图10-9　开瓶器是一个简单机械。它使开瓶变得容易，但并没有减小开瓶所需做的功。

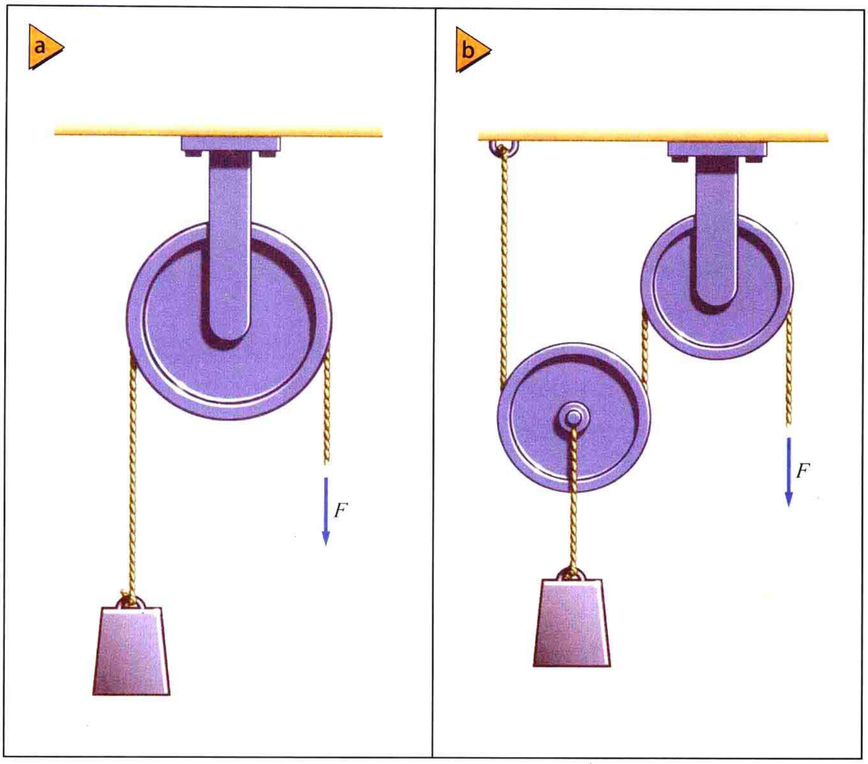


图10-10　一个定滑轮的机械效益等于1(a)，带一个动滑轮的滑轮系统的机械效益大于1(b)。

如**图10-10a**所示的定滑轮，其动力F_e和阻力F_r是相等的，所以机械效益MA必然等于1。那么这种机械的优点是什么呢？利用定滑轮虽然不能减小动力，但它能改变动力的方向。另外还有一些机械，例如如图10-9所示的开瓶器和如**图10-10b**所示的滑轮系统，其机械效益均大于1。使用这类机械时，机械会放大人们所施加的力。

运用功的定义，你可以把机械效益写成另一种形式。输入功是人所施的动力F_e和他的手移动的距离d_e的乘积。同理，输出功是阻力F_r和负载的位移d_r的乘积。机械能够增大力，但它不能增大能量。因此，理想的机械能转移全部的能量，即输出功等于输入功，$W_o = W_i$或$F_r d_r = F_e d_e$。

这个等式可以改写为$\frac{F_r}{F_e} = \frac{d_e}{d_r}$。考虑到机械效率由$MA = \frac{F_r}{F_e}$表示，因此，对于理想机械而言，**理想机械效益（ideal mechanical advantage）** IMA等于动力的位移除以负载的位移。它可用下式表示：

理想机械效益　$IMA = \frac{d_e}{d_r}$

理想机械效益等于动力的位移除以负载的位移。

要注意，在计算理想机械效益时，你需要测量的是移动的距离；而在计算实际机械效益时，你需要测量的则是所施加的力。

效率 实际机械，并不能把全部输入功都作为输出功加以利用。从一个系统转移能量，意味着机械输出功必有损失，因此机械在执行任务时的效率必然有所降低。**机械效率（efficiency）**即为输出功与输入功之间的比值。

机械效率 $\eta = \frac{W_0}{W_i} \times 100\%$

机械效率[用%表示]等于将输出功除以输入功的值，再乘以100%。

理想机械的输出功和输入功相等，即$\frac{W_0}{W_i} = 1$，故它的机械效率是100%。所有实际机械的效率均小于100%。

机械效率也可以用实际机械的效益和理想机械的效益之间的关系来表示。机械效率$\eta = \frac{W_0}{W_i}$可改写成下式：

$$\frac{W_0}{W_i} = \frac{F_r d_r}{F_e d_e}$$

由于$MA = \frac{F_r}{F_e}$，而$IMA = \frac{d_e}{d_r}$，所以机械效率还可以用下式表示：

机械效率 $\eta = \frac{MA}{IMA} \times 100\%$

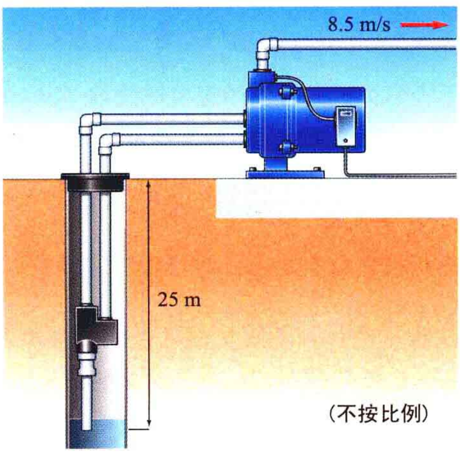
机械效率[用%表示]等于将机械效益除以理想机械效益的值，再乘以100%。

机械的设计取决于它的理想机械效益。效益高的机械的机械效益几乎等于理想机械效益，而效率低的机械的机械效益相对于理想机械效益而言非常小。要克服同样的阻力，低效率的机械比高效率的机械施加的力更大。

挑战性问题

一台电动水泵从25 m深的井里以0.25 m^3/s的速率抽水。已知水离开水泵时的速率为8.5 m/s。

1. 把水提升到地面所需要的功率至少为多少？
2. 有多少功率是用于增加水泵所抽水的动能的？
3. 如果水泵的机械效率是80%，则输送给水泵的功率为多大？



（不按比例）