

中学物理小丛书

ZHONGXUE

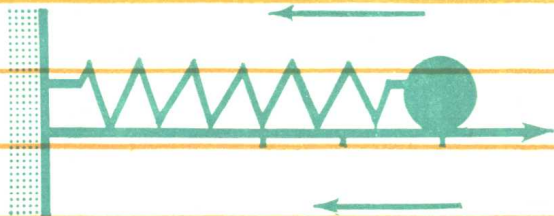
WULI

XIAOCONGSHU

功 和 能

钟振炯 编

中
国
青
年
出
版
社



功 和 能

钟 振 炯 编

中国青年出版社

内 容 提 要

本书是《中学物理小丛书》的第五册。内容包括：关于功和能的研究、功和功率、动能和动能定理、势能、功能原理和机械能守恒定律。根据大纲要求，围绕课堂内容，以典型示例讲述有关功和能的基本概念和原理。最后还对有关功和能的问题解法，作了叙述。全书文字通俗易懂，能帮助读者巩固已学知识，加深对功和能基础知识的理解，适当开阔眼界，扩展深度和广度。适合中学生和自学青年阅读，也是中学物理教师的教学参考资料。

封面设计：王 跃 忠

功 和 能

钟 振 炯 编

*

中国青年出版社出版

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 1/32 2 印张 32 千字

1984年9月北京第1版 1984年9月北京第1次印刷

印数1—40,000册 定价0.22元

中学物理小丛书总目

- | | |
|------|--------------|
| 第一册 | 静力学 |
| 第二册 | 运动学 |
| 第三册 | 动力学 |
| 第四册 | 圆周运动和万有引力 |
| 第五册 | 功和能 |
| 第六册 | 动量 |
| 第七册 | 振动和波 |
| 第八册 | 气态方程和热力学第一定律 |
| 第九册 | 静电学 |
| 第十册 | 直流电 |
| 第十一册 | 磁场 |
| 第十二册 | 电磁感应和交流电 |
| 第十三册 | 电磁振荡和电磁波 |
| 第十四册 | 光学基础 |
| 第十五册 | 原子物理基础 |

前 言

物理学是中学一门重要的课程。为了帮助中学同学和同等程度的自学青年学好这门功课,我们计划编写一套《中学物理小丛书》。目的是想帮助读者在课堂学习的基础上继续自学,比较系统地复习、巩固物理学知识,加深对物理学基础知识的正确理解,并且适当地开阔眼界,扩展深度和广度。

中国青年出版社支持我们的计划,并和我们反复讨论了具体的编写方案。

为了编好这套丛书,由王惠和同志负责联系和召集,我们成立了《中学物理小丛书》编写组。编写组的成员是:朱福源、李安椿、王惠和、钟振炯、柳云蛟、瞿东、陈岳、马国昌、陈晋,共九人。

小丛书根据教学大纲共分十五册。朱福源、柳云蛟、王惠和三位同志任主编,负责草拟编写提纲和全面审阅各册手稿。各册虽是分工执笔,但是在整个编写过程中,全组同志相互反复磋商、提供有益意见或协助校阅、誊抄等工作,各册字里行间都倾注了同志们的汗水、辛劳。

编写组的同志都是从事中学物理教学多年的教师,懂得课外读物对学生的重要作用,力求把小丛书编好,写得更加通俗一些、生动活泼一些、启发性更强一些,符合读者的实际需

要。但是,在着手编写的过程中,我们深感水平有限,书中不足之处在所难免。编写组全体同志恳切希望广大读者提出批评和指正。

目 次

一	关于功和能的研究.....	1
	功和能是两个重要的概念(1) 本书只限于研究机械运动中的功和能(1)	
二	功和功率.....	3
	功和功的计算(3) 力跟位移夹角大小决定正功和负功(8) 平均功率和瞬时功率(11)	
三	动能和动能定理.....	15
	动能(15) 动能定理(17) 变力做功,动能定理仍然成立(18) 动能定理应用的关键问题还是受力分析(20)	
四	势能.....	24
	重力做功的特点(24) 重力势能(25) 弹力做功的特点(27) 弹性势能属于弹性系统(31)	
五	功能原理和机械能守恒定律.....	35
	物体系的动能定理(35) 功能原理(38) 机械能守恒定律(42)	
六	谈解题方法.....	50
	解题步骤(50) 审题(50) 解答和检验(53)	

一 关于功和能的研究

功和能是两个重要的概念

在物理学中,我们常常遇到功和能这两个概念。功和能相互联系,关系密切。简单地说,一切运动着的物体都具有能量,能量是物质运动的一般量度;功是量度能量转化的一个物理量。

我们知道,物质运动的形态是多种多样的,比如,有物理的、化学的、生物的运动等等。物质运动形态的多样性,使得它所产生的能量也具有多样性。现在不但是在物理学方面,而且在自然科学其他领域和工程技术方面,也都需要功和能这两个重要的概念。

十七世纪末,英国科学家牛顿(1642-1727)在前人工作的基础上,创立了牛顿运动定律,这些定律后来成了经典力学的基础。有了牛顿运动定律,人们后来就建立了功和能的概念,并且发现了机械能守恒定律。这些对于十九世纪三大发现之一的能量转化和守恒定律的建立,都起了十分重要的作用。

本书只限于研究机械运动中的功和能

能量具有多样性。相应于不同形式的运动,能量分做机

机械能、内能、电能、化学能、原子能等。

在这本书里,我们将只限于讲机械能,就是和机械运动相联系的能量。讲的功也是从机械运动中引入的概念。我们将说明功和机械能的含义和计算方法,讨论动能定理和机械能守恒定律,比较详细地讨论功和能的关系和功能原理。

举例有示范作用,这本书也是通过一些例题,说明应该怎样来应用这些基本概念和基本规律。

二 功和功率

功和功的计算

“功”是由“工作”一词发展起来的一个物理量。在日常用语中“工作”的意思范围很广，也很笼统。但是在物理学中，功却有特定的含意。

那么，怎样引入这一概念呢？我们可以根据牛顿第二运动定律讨论一个简单的问题入手。如图 1 所示，一个质量是 m 的质点受恒力 $\vec{F}$ 的作用。所谓恒力是在观察者看来数值和方向都保持不变的作用力。设质点的初速度是 $\vec{v}_1$ ，它的方向和恒力 $\vec{F}$ 一致。于是质点作匀加速直线运动，如果质点发生位移 s 时候的速度变成 $\vec{v}_2$ ，由匀加速直线运动的公式可知，质点的加速度是

$$a = (v_2^2 - v_1^2) / 2s,$$

如果把这个式子代入牛顿第二运动定律的表示式中，就可以得到

$$F = ma = m(v_2^2 - v_1^2) / 2s,$$

两边乘以位移的数值 s ，就得到

$$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2. \quad (1)$$

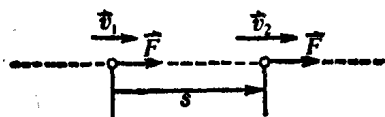


图1. 质点在力的方向上发生位移。

这个等式说明，当恒力 $\vec{F}$ 和质点的位移 s 的方向一致的时候，量值 $F s$

可以量度质点的 $\frac{1}{2} m v^2$

的改变。这个量值 $F s$ 就是恒力 $\vec{F}$ 对物体所做的功。以后还要说明 $\frac{1}{2} m v^2$ 的意义。

我们再讨论作用力的方向和位移方向不一致的情况，如如果作用力和位移成一定的夹角 α ，而物体仍作直线运动如图2所示，那么质量是 m 的物体放在光滑的水平桌面上，除了恒力 $\vec{F}$ 外，还受重力 $\vec{w}$ 和桌面对它的支持力 $\vec{N}$ 的作用。把力 $\vec{F}$ 分解成竖直方向和水平

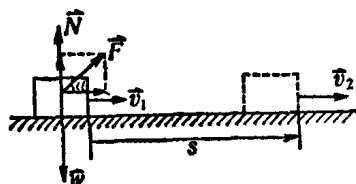


图2. 物体斜方向受力，力对物体做功分析。

方向的两个分力。假定物体在竖直方向受力平衡而不发生运动。这样，物体在水平方向仍作匀加速直线运动，合外力就等于 $\vec{F}$

的水平分力，它的大小是 $F \cos \alpha$ 。跟第一个例子的推导一样，有等式

$$F s \cos \alpha = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2. \quad (2)$$

所以，当恒力跟位移的夹角是 α 的时候 (α 不随时间改变)，可以把 $F s \cos \alpha$ 定义成恒力 $\vec{F}$ 对物体 (发生位移 s 的时候) 所做的功。

以上两种情况都是直线运动。我们知道物体受恒力作用的时候，不一定作直线运动，可能作曲线运动。例如，地面上物体的斜抛运动是曲线运动。如果忽略空气阻力，物体所受的重力 $\vec{w}$ 在高度变化不大的范围里是恒力。如图 3 所示，质量是 m 的

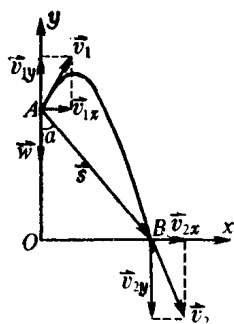


图3. 物体作斜抛运动示意图。

物体由 A 点以初速度 $\vec{v}_1$ 作斜抛运动，到达 B 点的时候，速度是 $\vec{v}_2$ ，物体的位移是 $\vec{s} = \vec{AB}$ 。这里物体获得初速度 $\vec{v}_1$ 固然是受一外力作用的结果，但这一外力在物体从 A 到 B 的运动中并不继续在作用，所以和做功没有关系。在这一运动中做功的力只是重力 $\vec{w}$ 。重力 $\vec{w}$ 跟位移 $\vec{s}$ 的夹角是 α 。现在把运动分解成 x 轴水平方向的匀速运动和 y 轴竖直方向的匀加速运动。初速度 $\vec{v}_1$ 分解成分矢量 $\vec{v}_{1x}$ 和 $\vec{v}_{1y}$ ，末速度 $\vec{v}_2$ 也分解成分矢量 $\vec{v}_{2x}$ 和 $\vec{v}_{2y}$ 。

跟前面的推导一样，在 y 方向有等式

$$ws \cos \alpha = \frac{1}{2}mv_{2y}^2 - \frac{1}{2}mv_{1y}^2.$$

在 x 方向是匀速运动，有

$$v_{1x} = v_{2x}.$$

在上式右边加 $\frac{1}{2}mv_{2x}^2$ ，减 $\frac{1}{2}mv_{1x}^2$ ，等式仍然成立，就是

$$W \cos \alpha = \frac{1}{2} m v_{2y}^2 + \frac{1}{2} m v_{2x}^2 - \frac{1}{2} m v_{1y}^2 - \frac{1}{2} m v_{1x}^2,$$

因为

$$v_2^2 = v_{2x}^2 + v_{2y}^2,$$

$$v_1^2 = v_{1x}^2 + v_{1y}^2,$$

所以得

$$W \cos \alpha = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2. \quad (3)$$

以上三种情况的讨论结果，得到了三个含义相同的等式(1)、(2)和(3)。这说明了 $F \cos \alpha$ 这个物理量可以量度物体的 $\frac{1}{2} m v^2$ (也是一个物理量) 的变化。第一种情况是 $\alpha = 0$ 的情况。无论物体(看作质点的时候)作直线运动或是曲线运动，只要作用力是恒力，我们可以定义恒力对物体所做的功是：力的大小、位移的大小、力和位移夹角的余弦三者的乘积。以 W 表示功，计算功的公式是

$$W = F s \cos \alpha. \quad (4)$$

上式可以看做是力 F 在位移方向上的分力 $F \cos \alpha$ 和位移 s 的乘积，也可以看做是力 F 和位移 s 在力的方向上的分位移 $s \cos \alpha$ 的乘积。力和位移虽然都是矢量，但是功却是一个标量，不是矢量，因为它要求乘积中的两个矢量因数必须在同一方向上，所以这个乘积就可以不管方向了。在国际单位制中，功的单位是焦耳。1焦耳的功就是1牛顿的力使物体在力的方向上发生1米位移所做的功。

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 牛顿} \times 1 \text{ 米} = 1 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}.$$

在工程技术上，力用千克作单位，位移的单位也是米，功

的单位是千克·米。因为

$$1 \text{ 千克力} = 9.8 \text{ 牛顿},$$

所以

$$1 \text{ 千克} \cdot \text{米} = 9.8 \text{ 牛顿} \cdot \text{米} = 9.8 \text{ 焦耳},$$

$$1 \text{ 焦耳} = \frac{1}{9.8} \text{ 千克} \cdot \text{米} = 0.102 \text{ 千克} \cdot \text{米}.$$

在计算功的时候,要注意 $W = Fscos\alpha$ 是恒力做功的定义式,不能用来直接计算变力的功。例如一个人推一辆小车兜一圈回到原来位置,显然位移是零,如果按照上式计算,功是零,这是不对的。因为人推车的力的大小可以不变,但是力的方向不断在改变,否则车就不能回到原地。所以人对车的推力不是恒力,是变力。关于变力做功的问题在后面另作讨论。

其次,受恒力作用的物体,因为它的初速度不同,既可作直线运动,也可作曲线运动。恒力做功都可按公式

$$W = Fscos\alpha$$

进行计算,只要注意到恒力的方向和曲线运动中位移的方向之间是否始终保持夹角 α 就行了。

通常对做功有如下几种讲法:力对物体做功;力做功;一个物体对另一物体做功;物体克服阻力做功,等等。因为力本来的意义就是物体间的相互作用,提到作用力,必然联系到两个物体,所以以上几种有关做功的讲法是一致的。

位移是相对于选定的参照系来说的,因而计算功的大小也是对选定的参照系来说的。

力跟位移夹角大小决定正功和负功

在功的计算式中, F 和 s 总是取正值, 不取负值, 但 $\cos \alpha$ 的值可正可负。我们规定 α 值在 0 到 π 之间。当 $\alpha < \pi/2$ 的时候, $\cos \alpha > 0$, $w > 0$, 就是力对物体做正功。当 $\alpha > \pi/2$ 的时候, $\cos \alpha < 0$, $w < 0$, 这时候力对物体做负功。由于这个力的反作用力做正功, 所以也可说成物体克服这个力做功(正的), 或者说物体反抗外力做功。所以功虽然是一个标量, 却有正负的分别。

例如, 物体在运动中受到的阻力总是和位移方向相反的, 也就是 $\alpha = \pi$, $\cos \alpha = -1$, 所以阻力总是对物体做负功。但是摩擦力可以做负功, 也可以做正功。前进中的车辆受地面的滚动摩擦力的作用, 这个摩擦力对车辆做负功。而皮带运输机是利用静摩擦力工作的, 皮带对货物的静摩擦力使它在皮带上被传送, 这个摩擦力是对货物做正功的。

当 $\alpha = \pi/2$ 的时候, $\cos \alpha = 0$, $w = 0$, 这表示力的方向跟位移方向垂直的时候, 力不做功。例如在圆周运动中向心力是不做功的。

以上是从力跟位移的夹角 α 的大小来说明正功和负功的。功的正和负的进一步的物理意义, 是说明能量在物体之间的传递方向, 这一点在讨论了能量转化和守恒定律后是可以弄清楚的。

发生位移的物体有时是由几个力同时作用的。而各个分力做的功的正负可能不一致。可以证明, 合力的功等于各分

力做功的代数和。

设物体上有 n 个恒力同时作用着，合力 $\vec{F} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \vec{f}_3 + \cdots + \vec{f}_n$ ，合力在位移方向上的投影等于各分力的投影①的代数和，就是

$$F \cos \alpha = f_1 \cos \alpha_1 + f_2 \cos \alpha_2 + \cdots + f_n \cos \alpha_n,$$

式中 $\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n$ 分别表示合力 $\vec{F}$ 、分力 $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \cdots, \vec{f}_n$ 和位移 s 之间的夹角。上式两边乘以位移 s ，得到

$$F s \cos \alpha = f_1 s \cos \alpha_1 + f_2 s \cos \alpha_2 + \cdots + f_n s \cos \alpha_n.$$

这个等式说明了合力的功等于各分力的功的代数和。

例 1 如图 4 所示， A 和 B 是两块三角形木块， B 固定在水平地面上。 A 受水平力 $\vec{F}$ 的作用后沿 B 的斜面向上滑动 0.10 米。斜面的倾角是 30° 。设 $F = 20$ 牛顿， A 的质量是 1.0 千克， A 和 B 之间的摩擦系数是 0.30。分别计算各个分力和它们的合力对物体 A 所做的功。

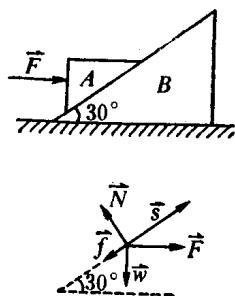


图 4. 三角形木块 A, B 斜面相靠， A 受力上滑时候的受力分析。

解 为了求出各分力的功，要先对木块 A 作受力分析，画出受力分析图（见图 4）。 A 受到的作用力有：水平力 $\vec{F}$ ，重力 $\vec{w}$ ，木块 B 对它的支持力 $\vec{N}$ 和摩擦力 $\vec{f}$ 。图中 $\vec{s}$ 是木块 A 的位移矢量，按题意 $s = 0.10$ 米。

根据恒力做功的计算式，重力做功

① 这里所谓投影，实际上就是指这些力在位移方向上的分力。

$$\begin{aligned} W_1 &= w s \cos(90^\circ + 30^\circ) = -w s \sin 30^\circ \\ &= -1.0 \times 9.8 \times 0.10 \times \frac{1}{2} \text{焦耳} = -0.49 \text{焦耳}. \end{aligned}$$

支持力 N 的方向和位移方向垂直，它做的功

$$W_2 = 0.$$

物体 A 在垂直于斜面的方向上加速度是零，根据牛顿第二运动定律可求得支持力

$$N = w \cos 30^\circ + F \sin 30^\circ.$$

摩擦力 $f = \mu N = \mu(w \cos 30^\circ + F \sin 30^\circ),$

它跟位移方向相反, $\alpha = 180^\circ$, 所以摩擦力做功

$$\begin{aligned} W_3 &= f s \cos 180^\circ = -\mu(w \cos 30^\circ + F \sin 30^\circ) s \\ &= -0.30 (1.0 \times 9.8 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + 20 \times \frac{1}{2}) \times 0.10 \text{焦耳} \\ &= -0.55 \text{焦耳}. \end{aligned}$$

水平力 F 的功是

$$W_4 = F s \cos 30^\circ = 20 \times 0.10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{焦耳} = 1.73 \text{焦耳}.$$

合力做功 W 等于各分力做功的代数和, 就是

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\ &= -0.49 \text{焦耳} + 0 \text{焦耳} - 0.55 \text{焦耳} + 1.73 \text{焦耳} \\ &= 0.69 \text{焦耳}. \end{aligned}$$

我们也可以先求出合力 R , 再计算它的功。但只须求出合力沿位移方向的分量 R_x 就可以了。 R_x 等于各分力在位移方向的分量的和, 就是

$$R_x = F \cos 30^\circ - f - w \sin 30^\circ$$