

# Discussion on the Characteristics of Friction Work

Hanxin Ren

Xiangsha County Wenjin Education Group Wenjun Yangshahu Middle School, Yueyang, Hunan, 414602, China

## Abstract

This paper mainly analyzes the common problems of friction work, combined with the friction work problems encountered in the author's own teaching and based on the latest national new curriculum standards, the characteristics of the work done by a single friction force and the work done by a pair of friction forces, whether the work done by the static friction force while moving, and whether the total work of the interaction static friction force is zero are studied and explored, the aim is to promote the development and perfection of physics friction teaching.

## Keywords

high school teaching; physics; energy transformation

## 浅谈摩擦力做功的特点

任汉鑫

湘阴县文津教育集团文郡洋沙湖中学, 中国·湖南岳阳 414602

## 摘要

论文主要针对摩擦力做功常见问题进行分析,结合笔者自己教学中遇到的摩擦力做功问题及以最新国家《新课程标准》为根据,从单个摩擦力做功的特点及一对摩擦力做功、人在移动时静摩擦力是否做功、相互作用静摩擦力总功是否为零等方面进行深入研究探索,目的在于更好的推动物理摩擦力教学的发展与完善。

## 关键词

高中教学; 物理; 能量转化

## 1 引言

摩擦力做功问题,这一直是高中物理教学的重点,更是教学难点。在具体问题中涉及到摩擦力是否做功、做功的正负,以及作为作用力和反作用力的一对摩擦力(以下简称“一对摩擦力”)所做功的代数和的正负等问题,学生往往纠缠不清,理清思路,甚至发生谬误。摩擦力大小和方向的不确定性,使得摩擦力做功有其自身的特殊性,论文简单归纳摩擦力做功的一些特点,仅供大家参考。

## 2 滑动摩擦力对物体可以做正功,可以做负功,也可以不做功

### 2.1 滑动摩擦力可以对物体做负功

这种情况最为常见,当滑动摩擦力阻碍物体运动或物体克服滑动摩擦力运动时,其对物体做负功。

例1:如图1所示,一物块放在静止的粗糙水平桌面上,

外力  $F$  把它拉着向右运动,在产生位移  $s$  的过程中,摩擦力对物块做功情况如何?已知物块的质量为  $m$ ,与桌面之间的摩擦因数为  $\mu$ 。

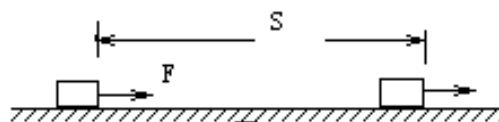


图1 摩擦力示意图

分析与解:物块在水平桌面上运动时,受到的滑动摩擦力大小为  $f=\mu mg$ ,其方向向左,而位移  $s$  的方向向右,代入公式  $W=fscos\alpha$ ,得  $W=\mu mgscos\pi=-\mu mgs$ .即摩擦力对物体做了负功。

### 2.2 滑动摩擦力可以对物体不做功

在例1中水平桌面虽然受到物体对它的滑动摩擦力作用,但桌面并没有运动,即在滑动摩擦力作用下,桌面相对于地面的位移  $s=0$ ,则  $W=0$ ,因而滑动摩擦力对桌面不做功<sup>[1]</sup>。

### 2.3 滑动摩擦力可以对物体做正功

当滑动摩擦力的作用效果是加快物体运动时，其对物体做正功。

例2：如图2所示，水平地面上有辆平板车，其粗糙的表面上放有一质量为m的木块，当平板车向右加速运动的位移为s时，发现木块在它上面发生向左方向的相对运动位移s'，则滑动摩擦力对木块的做功情况如何？

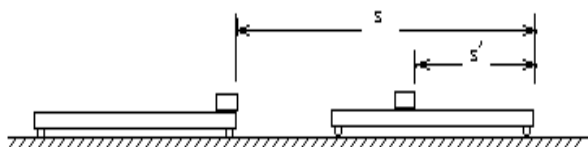


图2 摩擦力作用效果图

分析与解：小车向右加速运动时，木块相对于小车向左滑动，所以木块受到的滑动摩擦力方向向右，在小车运动过程中，车上的木块相对于地面的位移为s-s'，方向向右（如图2所示）。所以，此过程中滑动摩擦力对木块做正功，其大小为 $W=F_s \cos\alpha = \mu mg(s-s')$ 。同时滑动摩擦力对小车做负功 $W' = \mu mg s \cos\pi = -\mu mg s$ ，则一对滑动摩擦力分别对两物体所做功之和为：

$$W_{合} = W + W' = -\mu mg s'$$

即两物体之间的一对滑动摩擦力总做负功。这也正是相对滑动时为什么会有机械能转化为内能的原因。

例3：如图3所示，滑雪者从山坡上A点由静止出发自由下滑，设动摩擦因数 $\mu$ 为常数，他滑到B点时恰好停止，此时水平位移为s，求A、B两点间的高度差h。

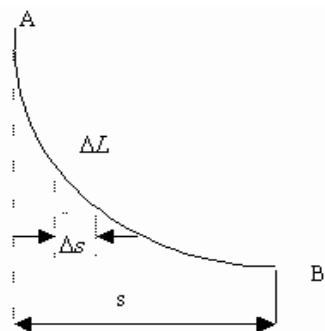


图3 滑雪摩擦力示意图

分析与解：设滑雪者质量为m，取一足够小的水平位移 $\Delta s$ ，对应的滑行路线可视为小直线段 $\Delta L$ ，该处滑雪者所受的摩擦力为：

$$F^1 = \mu mg \cos\theta = \mu mg \frac{\Delta s}{\Delta L}$$

因此，在 $\Delta L$ 段摩擦力所做的功为：

$$\Delta W_f = -F_f \Delta L = -\mu mg \Delta s$$

对滑行路线求和可得摩擦力的总功为：

$$W_f = \sum \Delta W_f = -\mu mg s$$

从A到B的过程中，重力做功 $W_G = mgh$ ，而动能的变化为 $\Delta E_k = 0$ ，所以由动能定理得 $W_G + W_f = 0$ ，即 $mgh - \mu mg s = 0$ ，可解得A、B两点间的高度差为 $h = \mu s$ 。

一对滑动摩擦力做功的代数和必不为零，且等于滑动摩擦力的大小与两物体间相对位移的乘积，即：

$$W_f + W_{f'} = -F_f s_{相对}$$

例4：如图4，一质量为M的木板，静止在光滑水平面上，一质量为m的木块以水平速度 $v_0$ 滑上木板。由于木块和木板间有摩擦力，使得木块在木板上滑动一段距离后就跟木板一起以相同速度运动，试求此过程中摩擦力对两物体做功的代数和<sup>[2]</sup>。

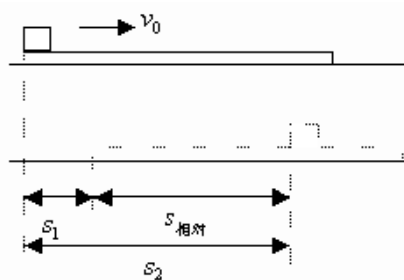


图4 摩擦力示意图

分析与解：设木块与木板的共同速度为V，以木块和木板整体为研究对象，则由动量守恒定律可得：

$$V = \frac{mv_0}{m+M} \tag{1}$$

摩擦力对木板做正功，对木块做负功。由动能定理得：

$$W_1 = F_f s_1 = \frac{1}{2} M v^2 \tag{2}$$

$$W_2 = -F_f s_1 = \frac{1}{2} M v^2 - \frac{1}{2} M v_0^2 \tag{3}$$

由①②③可知，摩擦力对两物体做功的代数和为：

$$W_1 + W_2 = -F_f (s_2 - s_1) = -F_f s_{相对} = -\frac{M}{m+M} \frac{1}{2} M v_0^2 \tag{4}$$

上式即表明：一对滑动摩擦力做功的代数和必不为零，且等于滑动摩擦力的大小与两物体间的相对位移的乘积，即摩擦生的热。

对于与外界无能量交换的孤立系统而言，滑动摩擦产生的热等于滑动摩擦力的大小与两物体间相对位移的乘积，即：

$$Q = F_f s_{相对}$$

## 2.4 总结

(1) 滑动摩擦力可以对物体做正功,也可以对物体做负功,还可以不做功。

(2) 在一对滑动摩擦力做功的过程中,能量的转化有两种情况:一是相互摩擦的物体之间机械能的转移;二是机械能转化为内能,转化的量值等于滑动摩擦力与相对位移的乘积,即:

$$\Delta E_k = Q = F_f d_{\text{相对}}$$

(3) 在相互摩擦的系统内,一对滑动摩擦力做功的总和总是负值,其绝对值等于滑动摩擦力与相对位移的乘积,即恰好等于系统损失的机械能<sup>[3]</sup>。

## 3 静摩擦力对物体可以做正功,可以做负功,也可以不做功

### 3.1 静摩擦力对物体可以不做功

例5:如图5所示,物体在水平拉力F下静止在粗糙水平面上,该物体所受静摩擦力不做功。

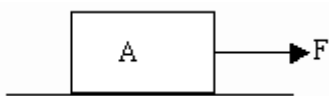


图5 静摩擦力示意图

### 3.2 静摩擦力对物体可以做正功

如图6所示,光滑水平面上物体A、B在外力F作用下能保持相对静止地匀加速运动,则在此过程中,A对B的静摩擦力对B做正功。

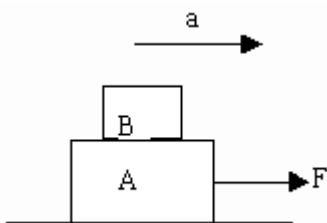


图6 静摩擦力示意图

### 3.3 静摩擦力对物体可以做负功

如图7所示,物体A、B以初速度 $v_0$ 滑上粗糙的水平面,能保持相对静止地减速运动,则在此过程中A对B的静摩擦力对B做负功。



图7 静摩擦力示意图

一对相互作用的静摩擦力做功的代数和必为零,即:

$$W_f + W_{f'} = 0$$

对相互有静摩擦力作用的两物体A和B来说,A对B的摩擦力和B对A的摩擦力是一对作用力和反作用力:大小相等,方向相反。由于两物体相对静止,其对地位移必相同,所以这一对静摩擦力一个做正功,一个做负功,且大小相等,其代数和必为零,即:

$$W_f + W_{f'} = 0$$

具体来说,一对静摩擦力做功代数和为零包含两种情况:一是每个静摩擦力都不做功(例推箱子而未动,静摩擦力对箱子、对地面均不做功,或者物体随转盘一起做匀速圆周运动,静摩擦力提供向心力的情况),二是两个静摩擦力一个做正功一个做负功,但数值相等,其代数和为零。这就是在静摩擦力作用下的两个物体,即使发生运动也不会产生内能的原因,在静摩擦力做功的过程中,只有机械能的相互转移(静摩擦力起着传递机械能的作用),而没有机械能转化为其它形式的能。

不论是静摩擦力,还是滑动摩擦力既可以对物体做正功,也可以对物体做负功,还可能不对物体做功。力做功是要看哪个力对哪个物体在哪个过程中做的功,而不是由力的性质来决定的。力做正功还是做负功要看这个力是动力还是阻力。摩擦力可以是动力也可以是阻力,也可能与位移方向垂直<sup>[4]</sup>。

人走路时,若鞋与地面间不打滑,人与地面间的静摩擦力做功吗?这一个常识性的问题,看起来不值得讨论,但不仔细去分析,则很容易出错。有人认为,人走路时,受到向前的静摩擦力,而人的速度也是向前,有向前的位移,摩擦力是做正功的。但仔细想一想就不难发现,在鞋与路面接触时,地面与鞋间有静摩擦力的作用,但在这段时间内,鞋底所受摩擦力的作用点相对于地面是不动的,而脚抬起向前迈出时,鞋在空中便不受静摩擦力的作用,随着人的前进,人与地面间的静摩擦力不断改变受力点,但受力点在静摩擦力作用下

并无位移,故地面与脚之间的一对静摩擦力对人和对地面都不做功。

这一点从能量转化的观点来分析,则更容易理解,在人走路的过程中,地面(我们把地面视为刚体)没有发生任何形式的能量转化,因此地面不可能做功。既然静摩擦力不做功,那么人在走路时的动能是从何而来的呢?人脚向后蹬地时,下肢对躯干施以斜向前上方的力 $F$ ,躯干向前发生位移 $s$ , $F$ 与 $s$ 夹角为 $\alpha$ ,而且 $\alpha < \pi/2$ ,力 $F$ 对躯干做正功,使躯干获得动能,然后躯干再对腾空腿做功,带动它向前运动,此时另一只脚蹬地。这个过程反复进行,人就能沿粗糙的地面前行。从能量转化的观点来看,人走路的过程就是人体内的生物化学能通过做功转化为动能的过程,当然也有一部分转化为内能。有人会问:如果没有地面摩擦力,人便不能行走,这又如何解释呢?这是因为地面的摩擦力对人施加了向前的冲量( $f\Delta t$ ),为人体肌肉施力做功提供了条件,使人体内力做功并转化为人体的动能得到实现。所以人走路必须有地面摩擦力作为条件<sup>[5]</sup>。

#### 4 结语

高中物理与初中物理有着很大区别,初中物理主要是讲

现象和产生现象的原因,对本质问题研究较少,这一阶段学生学习难度不大,但到了高中物理课堂中,不仅要对现象和产生的原因进行分析,还要对其本质问题进行探究,这就加大了学生学习的难度。如果不在高一阶段让学生培养学习兴趣和良好的学习方法,那么以后在教学中将事半功倍。

#### 参考文献

- [1] 张鹏飞. 浅谈摩擦力做功问题[J]. 中学生数理化(学研版),2012(09):253+204.
- [2] 徐华兵. 摩擦力做功问题的多角度分析与拓展[J]. 物理教师,2012(05):42-43.
- [3] 诸惠民. 浅谈学生对摩擦力做功问题的误解及纠正[J]. 教育教学论坛,2011(36):147-148.
- [4] 王雯雯. 高中物理摩擦力前概念及其转变的研究[D]. 大连:辽宁师范大学,2012.
- [5] 万东升. 学生理解摩擦现象和摩擦力概念的一项初步研究[D]. 桂林:广西师范大学,2006.