

(7) 121-122

摩擦中做功与能量转化的一种模型[†]

吴志斌

0313.5

(陕西教育学院物理学系, 710061, 西安; 57岁, 副教授)

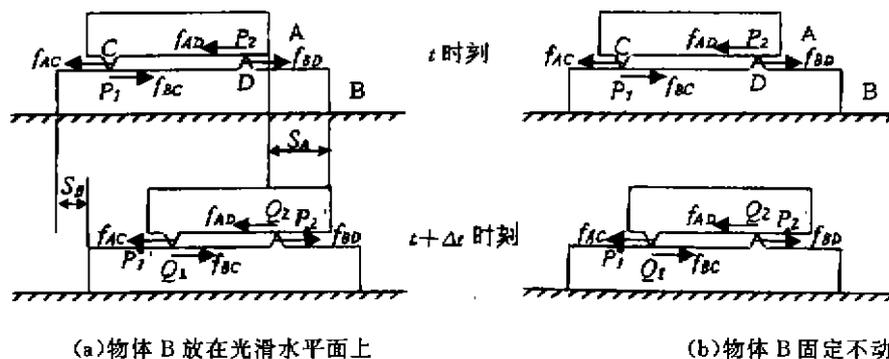
摘要 提出一种模型,把物体间的切向力的作用区分为推动作用和摩擦作用,其中摩擦作用做正功,正是这个正功才使物体的内能增加,从而完整地解释了“摩擦生热”现象。

关键词 推动作用; 摩擦作用; 复合作用; 能量; 功

分类号 Q313.5

“摩擦生热”是一种极为常见的物理现象,对“摩擦生热”的解释是一个古老的问题,这个问题中有着丰富的物理内涵。摩擦力做功究竟如何使内能增加,即热是由什么功生出来的?本文试图对这个问题做出回答。

本文不涉及摩擦的微观机制,而是采用黑箱功能模拟方法,利用简化模型进行研究。设物体A在物体B表面上滑动,且带动物体B在光滑水平面上运动。为了便于讨论,将A、B接触面间犬牙交错的复杂状况简化为各突出一个尖端互相接触,该模型如图1所示。



(a)物体 B 放在光滑水平面上

(b)物体 B 固定不动

图 1 物体间切向力作用模型

Fig. 1 The Model of Showing the Action of the Tangential Force between the Objects

图 1 上方是 t 时刻 A、B 的位置,下方是 $t + \Delta t$ 时刻它们的位置, Δt 是相互作用力可以视为恒定的一小段时间。

A 作用在 B 上的切向力有 f_{BC} 和 f_{BD} 。 f_{BC} 作用点的位移是 P_1Q_1 ,它可以看成牵连位移 P_1P_1' 与相对位移 $P_1'Q_1$ 的矢量和。 f_{BD} 的作用点无相对位移,绝对位移就等于牵连位移。作用点随物体一起牵连位移,则力对物体所起的是推动作用而不是摩擦作用,而作用点的相对位移才生产摩擦作用。实际上这两种作用不可能截然分开,但该模型可使人们明确认识到 A 对 B 的作用不是单纯的摩擦作用,而是连推带摩的复合作用。此二力所做的功为

$$\begin{aligned} W_B &= f_{BC} \cdot P_1Q_1 + f_{BD} \cdot P_2Q_2 = f_{BC} \cdot P_1P_1' + f_{BC} \cdot P_1'Q_1 + f_{BD} \cdot P_2Q_2 \\ &= (f_{BC} + f_{BD}) \cdot S_B + f_{BC} \cdot P_1'Q_1 \end{aligned} \quad (1)$$

其中 S_B 是物体 B 的位移,且 $S_B = P_1P_1' = P_2Q_2$ 。上式右端第一项是 A 对 B 的推动作用所做的正功,它

使 B 的动能增加。第二项是摩擦作用所做的正功,由热力学第一定律可知,使 B 的内能增加的正是这部分功。

B 作用在 A 上的切向力有 f_{AC} 和 f_{AD} 。 f_{AC} 作用点的位移为 P_1Q_1 ,该力作用点无相对位移,绝对位移就等于牵连位移。 f_{AD} 的作用点的位移是 P_2Q_2 ,它可以看成牵连位移 P_2P_2' 与相对位移 $P_2'Q_2$ 的矢量和。与前述类似,B 对 A 的作用是既反推又摩擦。B 对 A 所做的功为

$$\begin{aligned} W_A &= f_{AC} \cdot P_1Q_1 + f_{AD} \cdot P_2Q_2 = f_{AC} \cdot P_1Q_1 + f_{AD} \cdot P_2P_2' + f_{AD} \cdot P_2'Q_2 \\ &= (f_{AC} + f_{AD}) \cdot S_A + f_{AD} \cdot P_2'Q_2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中 S_A 为物体 A 的位移,且 $S_A = P_1Q_1 = P_2P_2'$ 。上式右端第一项是 B 对 A 的反推作用所做的负功,它使 A 的动能减少,第二项是摩擦作用所做的正功,它使 A 的内能增加。

把 A、B 看成一个系统,对上述过程可做如下表述:A、B 两物体相对滑动时,A 对 B 的推动作用做正功,使 B 的动能增加,B 对 A 的反推作用做负功使 A 的动能减小,两者相互摩擦的作用都做正功,使系统内能增加。可见以上过程中每一项能量的变化都不是凭空发生的,而是有一定的功与之相伴随的。

实际接触面可以看成由许许多多如图 1 所示的模型组合而成,由以上分析可见,互相接触的两物体间有相对运动时,产生的不仅是纯摩擦作用,而且还有推动和反推的作用。实际上物体处于一种且推(包括反推)且摩的状态。推动作用和反推动作用分别做正功和负功使物体的动能增加或减小,而摩擦作用一定做正功,使物体的内能增加。

通常谈论“摩擦生热”时物体 B 是固定不动的,模型如图 2 所示。论证的思想和方法不变,过程则较为简单。B 对 A 的力所做的功为

$$\begin{aligned} W_A &= f_{AC} \cdot P_1Q_1 + f_{AD} \cdot P_2Q_2 = f_{AC} \cdot P_1Q_1 + f_{AD} \cdot (P_2P_2' + P_2'Q_2) \\ &= f_{AC} \cdot P_1Q_1 + f_{AD} \cdot P_2P_2' + f_{AD} \cdot P_2'Q_2 \end{aligned}$$

上式前两项为反推作用所做的负功,使物体 A 的动能减小,第三项为摩擦作用所做的正功,使 A 的内能增加。A 对 B 的功为 $W_B = f_{BC} \cdot P_1Q_1 + f_{BD} \cdot 0$, f_{BC} 的作用点无牵连位移,绝对位移等于相对位移,该力只起摩擦作用,其功大于零,使 B 的内能增加, f_{BD} 的作用点的位移为零不做功。

把 A、B 看成一个系统,就可以表述为:当 A 在 B 上滑动时,相互作用力的反推作用做负功使 A 的动能减小,相互作用力的摩擦作用做正功,使两者的内能增加。实际的接触面可以看成许许多多如图 2 所示模型的组合,所得结论不变。这就是对“摩擦生热”现象中的做功与能量转换的完整解释。

参 考 文 献

- 1 朱照宣,周起钊,殷金生. 理论力学,下册. 北京:北京大学出版社,1982. 84~86
- 2 肖士珣. 理论力学简明教程. 北京:高等教育出版社,1983. 79~81
- 3 漆安慎,杜婵英. 力学基础. 北京:高等教育出版社,1982. 184~186

责任编辑 曹大刚

A Model of Showing the Relationship between Doing Work and the Conversion of Energy during Friction

Wu Zhibin

(Department of Physics, Shaanxi Educational College, 710061, Xi'an)

Abstract A physical model is introduced, in which the action of force caused by relative motion between contact objects is divided into the action of push and the action of friction. Only the action of friction does positive work and contributes to internal energy. Thus the thermal effect resulting from friction does is explained completely.

Key words the action of push; the action of friction; the comprehensive action; energy; work