

## 6.4 探究滑动摩擦力

### 与教材不同之处

更详细描述了摩擦的分类；更详细分析摩擦力的作用点；更深入探究滑动摩擦力的影响因素；更详细描述了实验的改进；更强调摩擦力也可能是动力；更详细描述了增大有益摩擦和减小有害摩擦的方法。

### 什么是摩擦



图 6-4-1

什么是摩擦？

如图 6-4-1 中的左图所示，我们在地面推一个箱子时，会感到费力，这是为什么呢？

这说明地面对滑动的箱子有阻碍，这种阻碍滑动的现象我们称为滑动摩擦，这种阻碍滑动的作用称为滑动摩擦力。

又如图 6-4-2 中的右图所示，草地上滚动的足球越滚越慢，足球为什么会停下来呢？

这说明草地对滚动的足球有阻碍，这种阻碍滚动的现象我们称为滚动摩擦，这种阻碍滚动的作用称为滚动摩擦力。

如图 6-4-2 所示，在传送带上箱子会随着传送带一起上升，而不会顺着传送带滑下，这



图 6-4-2

又是为什么呢？

这说明传送带对有下滑趋势的箱子有阻碍，这种阻碍运动趋势的现象我们称为静摩擦，这种阻碍运动趋势的作用称为静摩擦力。

看来，所谓摩擦指的就是一种阻碍。

摩擦现象包含滑动摩擦、滚动摩擦和静摩擦。

### 三种摩擦的共同点

滑动摩擦、滚动摩擦和静摩擦这三种摩擦有什么共同之处呢？

(1) 这三种摩擦都是一种阻碍。

(2) 被阻碍物体相对接触面要么有运动，要么有运动趋势。图 6-4-1 中，箱子相对地面在运动，足球相对草地在运动，图 6-4-2 中箱子对传送带有下滑的运动趋势。

我们将被阻碍物相对接触面的运动叫做相对运动，被阻碍物相对接触面的运动趋势叫做相对运动趋势。

(3) 摩擦力方向总是与相对运动方向（或相对运动趋势方向）相反。

图 6-4-1 中，箱子相对地面是水平向右运动的，则箱子受到的滑动摩擦力的方向应当是

水平向左。图 6-4-2 中，箱子相对斜面是有沿斜面向下的运动趋势的，所以，箱子受到的摩擦力方向应当是沿斜面向上。

## 摩擦与摩擦力

需要注意的是，摩擦与摩擦力概念不是同一概念。

摩擦是指物体受到阻碍的**现象**，而摩擦力是反映阻碍作用的强弱，是一种**力**，用  $F_{\text{摩}}$  或  $f$  表示。

## 摩擦力的作用点在哪

现在，我们来探究一下滑动摩擦力的三要素问题。

首先，滑动摩擦力的作用点在哪？

根据力的作用点总是在受力物体上的观点，作用点在**被阻碍的物体上**。

比如，质量均匀的木块在木板上滑动时，如果接触面的粗糙程度是均匀的，所受的摩擦力的作用点就在木块底部表面上的中心处。

有一点，你可能要明白，**滑动摩擦力的作用点也可以认为在物体的重心上**。这是因为，摩擦力虽然是在接触面处产生，但不只是物体底部表面受到摩擦力的影响，而是整个物体的运动状态都受到了摩擦力的影响，如果物体各部分受到的影响是一样的（运动状态的改变是一样的），则我们就可以认为物体受到摩擦力的作用点在物体的重心上。

## 滑动摩擦力的大小的测量

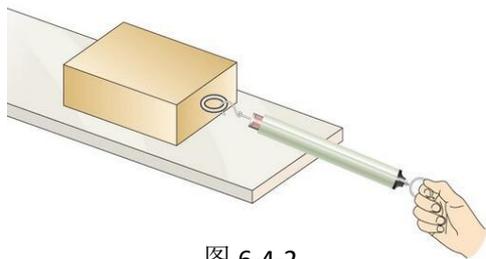


图 6-4-2

摩擦力的大小可不可以测量出来？

在实验室里，我们可以借助弹簧测力计来测量摩擦力的大小。

如图 6-4-2 所示，当拉着木块在水平木板上做匀速直线运动时，根据二力平衡原理（以后会学），木块受到的滑动摩擦力的大小与拉力大小相等，即此时弹簧测力计的示数就是木块受到的滑动摩擦力的大小。

这种间接测量滑动摩擦力的方法叫做转换法。

## 为什么是转换法而不是等效替代法？

测量滑动摩擦力大小的方法为什么是转换法，而不是等效替代法？

当物体匀速直线运动时，滑动摩擦力大小与拉力大小相等，然而拉力方向与物体受到的滑动摩擦力方向是相反的，所以，两个力之间不可能等效的，即不可能是等效替代法。

## 关于滑动摩擦力的影响因素的猜想

在教室里，我们经常要换动位置，我们发现，“边拉边拖”比“直接推”更省力。这说

明边拉边拖受到的摩擦力会更小，这是为什么呢？

边拉边拖虽然没有减小桌子的重量，但减小了桌子对地面的压力，所以，我们猜想滑动摩擦力的大小可能与压力大小有关。

在菜市场里，当我们选购黄鳝中，如果用手直接去抓，即使用很大的力，黄鳝还是很容易从手中滑走，没法抓住，但如果手上穿上粗糙的橡胶手套后再去抓黄鳝时，事情就变得更简单了。这个生活经验告诉我们，滑动摩擦力的大小还可能与接触面的粗糙程度有关。

我们还可猜想滑动摩擦力的大小可能与接触面的面积大小，物体的运动速度有关……等因素有关。

由于影响的因素有很多，我们需要采用控制变量法来逐一地探究每个因素对滑动摩擦力大小的影响。

## 探究滑动摩擦力与压力的关系

如图 6-4-5 所示，左图中用弹簧测力计测出了物体的重力，很显然，此时物体与墙壁有

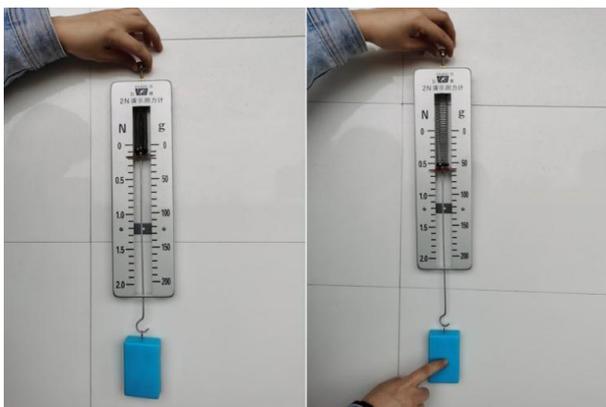


图 6-4-5

接触，但物体对墙壁之间没有压力，此时拉动弹簧测力计匀速上升，弹簧测力计示数不变，说明此时物体没有受到滑动摩擦力。

接着，我们手指压着物体，物体对墙壁有了一定的压力，此时再以相同的速度匀速拉动

弹簧测力计，弹簧测力计的示数会明显变大，说明此时的物体受到了墙壁施加的滑动摩擦力。

于是，我们可以得到的结论是：当接触面的粗糙程度相同时，压力越大，物体受到的滑动摩擦力越大。

## 滑动摩擦力大小与重力大小是无关的

通过图 6-4-5 所示的实验，我还可以得到另一个结论：滑动摩擦力的大小与重力大小无关。在上述进行的实验中，物体的重力始终没有发生改变，但滑动摩擦力却发生了改变，因此滑动摩擦力的大小与重力大小是无关的。

可能会有人质疑，当物体在水平桌面上被拉动时，滑动摩擦力可能与重力有关。

其实物体在水平桌面上被拉动时，物体的重力越大，滑动摩擦力不一定会大。

我们让物体在水平桌面上被匀速拉动时，我们记下此时拉力的大小（即滑动摩擦力的大小）。然后，我们在物体的上方系上 2 个氢气球，我们发现，此时的物体的重力并没有变大，但此时拉动物体时的拉力变小了，即滑动摩擦力变小。

此实验事实证明，物体无论是竖直运动，还是水平运动，滑动摩擦力大小与重力大小都是无关的。

我们之所以认为重力越大，滑动摩擦力也越大，那是因为很多时候，物体的重力变大时，压力也会成变大。但我们始终要警惕，重力与压力并不是同一种性质的力，它们之间并不是总是相等的。

## 探究滑动摩擦力与接触面的粗糙程度的关系

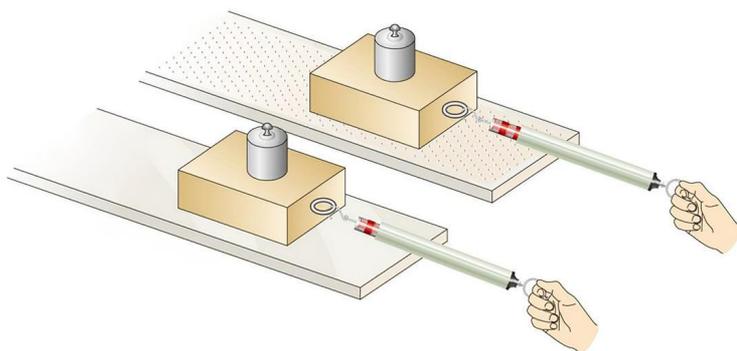


图 6-4-6

利用如图 6-4-6 的器材，我们可以探究滑动摩擦力与接触面的粗糙程度的关系。我们选用两块粗糙程度不同的木板，放上相同的物体，这样，我们可以保持压力不变。

需要注意的是，使用相同的物体是为保持压力不变，而不是为了保持重力相同。在此实验中，只不过是重力相同来得到压力相同。

接着，我们匀速拉动木块在较光滑的木板上运动，**边拉动边读**出弹簧测力计的示数（即滑动摩擦力的大小）并将数据记录在表格中。

然后，用相同的速度并匀速直线地拉动木块分别在较粗糙的木板上运动，也是边拉边读出弹簧测力计的示数并将数据记录在表格中。

实验次数	接触面的粗糙程度	弹簧测力计的示数/N	滑动摩擦力的大小 $f$ /N
1			
2			
3			

通过数据分析，我们得到结论是：当压力一定时，接触面越粗糙，物体受到的滑动摩擦力就越大。

## 实验的评估及改进

其实，上述实验在实际操作中我们将遇到两个难题：

- (1) 用手拉动物体，如何让物体始终做匀速直线运动？
- (2) 一边通过弹簧测力计拉动物体，一边如何准确读取弹簧测力计上的示数？

为了解决问题一，通常的做法是：缓慢拉动物体，可近似认为物体在做匀速运动。最好的办法是通过小电动机来匀速拉动物体。

其实我们有一个很巧妙的方法解决我们遇到的第二个问题，如图 6-4-7 装置。

通常，我们会采用甲图装置，一边匀速拉动木块 A，一边眼睛跟着弹簧测力计一起运动，保持同步并迅速读数。但若是采用乙图装置，有意思的现象出现了：操作变得简单（只需拉动木板 B 却不需要匀速），读数准确（此时弹簧测力计是静止的）。

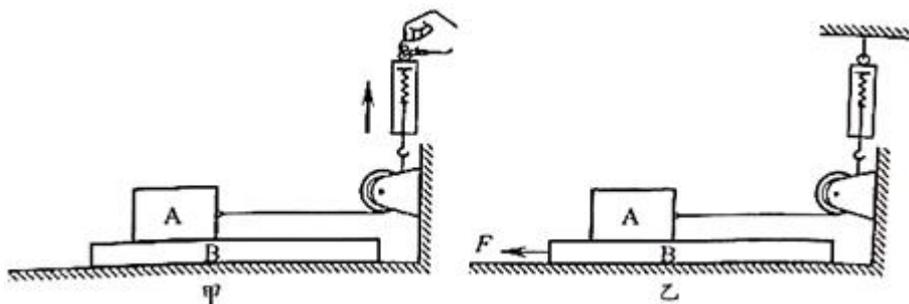


图 6-4-7

不过有人可能有疑问，为什么拉动木板 B，却可以测量木块 A 所受到的滑动摩擦力？相信大家记得，滑动摩擦力是阻碍相对运动的。虽然只是拉动木板 B，木块 A 相对地面是静止的，但是以木板 B 为参照物，木块 A 仍发生了相对运动。既然木块 A 与木板 B 之间有相对运动，木块 A 受到的摩擦力就是滑动摩擦力。

如果两个物体之间有相对运动，则它们的相对运动方向一定是相反的。B 相对 A 的相对运动方向是向左，则 A 相对 B 的相对运动方向向右。根据摩擦力的方向总是与相对运动方向相反，所以，木块 A 受到的滑动摩擦力的方向是向左。

## 实验探究滑动摩擦力与接触面积大小的关系

利用图 6-6-7 乙装置，我们还可以探究滑动摩擦力的大小与接触面面积大小的关系。

我们将长方体木块 A 分别平放，侧放（当然木块 A 的侧面和底面的粗糙程度必须相同），重复拉动木板 B，观察弹簧测力计的示数。

我们会发现弹簧测力计的示数并没有发生改变。

为了使实验结论更具有普遍性，我们要改变不同的材质的接触面来重复实验。当然，选择不同材质时，硬度要保持相同。否则，我们将得不到正确的结论。

最终，我们会发现：滑动摩擦力的大小与接触面积的大小无关。

## 实验探究滑动摩擦力大小与速度大小的关系

如图 6-4-8 装置，我们利用电机来代替人手来拉动木块，这样做的好处是：既可方便地改变拉动木块的速度还可以始终保持匀速。

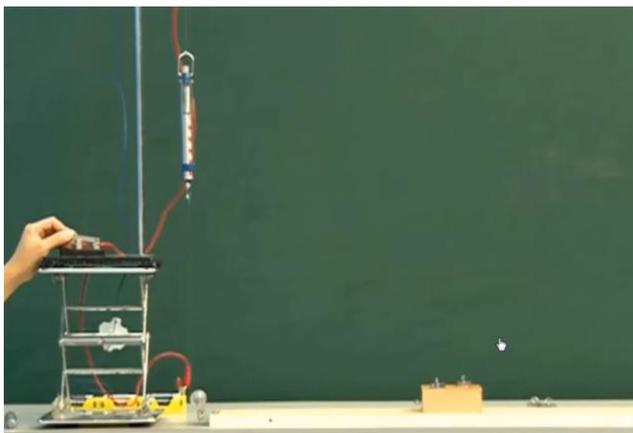


图 6-4-8

通过比较不同速度匀速拉动物体时的弹簧测力计的示数，我们发现：滑动摩擦力的大小与速度大小无关。

## 摩擦力也可能是动力

摩擦力并不总是阻力，有时也是动力。

如图 6-4-9 所示，在爬杆比赛中，同学们手握住杆子争先恐后地往上爬。



图 6-4-9

同学们是依靠什么力爬上去的呢？

显然，同学们是依靠静摩擦力攀爬上去的。

为什么是静摩擦力，而不是滑动摩擦力呢？

我们仔细观察，在沿杆攀爬过程中，手和杆子间并没有相对滑动，手一旦握住杆后，手和杆之间处于一种相对静止状态。人之所以会上升，是因为手交替地紧握住杆子。

既然人受到摩擦力属于静摩擦力，此时静摩擦力的方向是如何的？

要知道，人相对杆子的运动趋势是向下的，根据静摩擦力的方向总是与相对运动趋势方向相反，所以，我们可以判断出此时人受到的静摩擦力的方向是向上的，也就是说，静摩擦力方向与人向上运动的方向是一致的。因此，人爬杆时受到静摩擦力不是阻力，而是动力，是有益摩擦，人也正是依靠受到的静摩擦力达到杆顶。

思考：人走路时，脚底受到的摩擦是什么摩擦？脚底受到的摩擦力的方向与人走路的方向

向是否一致？

## 如何增大有益摩擦

上面的事例已经说明，摩擦有时是有益的。

又如，行驶的汽车遇到紧急情况时的急刹车时，轮胎的运动方式由滚动变为滑动，则轮胎与地之间的摩擦会增大，有利于汽车快速地停下来，此时的摩擦虽是阻力，但却是我想要的摩擦，所以也是有益的摩擦。

那么，如何增大有益摩擦呢？

增大摩擦的方法有很多，我们一起来分析。

1、增大压力。



图 6-4-10

如图 6-4-10，自行车刹车时，要用力捏刹车橡皮，通过增大压力来增大刹车橡皮与车轮钢圈之间的摩擦力。

鞋带经常会松，是因为鞋带与鞋带之间摩擦力变小，因此，要想鞋带绑得紧，一方面鞋带的材质要粗糙，另一个系的时候，我们要更用力，增大鞋带之间的压力，从而使鞋带之间的摩擦力变大，这样，鞋带就不容易松脱了。

2、增大接触面的粗糙程度。

拔河时，一般要穿鞋底花纹深的新鞋。冰雪天行驶的汽车，轮胎装上防滑金属链。单杠运动员在比赛前涂抹防滑粉。自行车的轮胎表面常有凸凹的花纹，如图 6-4-11 所示。



图 6-4-11

分析：运动员的手掌本来就粗糙，在进行单杠比赛时为什么还要涂抹防滑粉？防滑粉的作用是增大摩擦还是减小摩擦？

手掌虽然粗糙，但由于比赛紧张，手掌会出汗，汗水此时会起到润滑的作用，大大减小摩擦力，很容易造成运动员在单杠转圈时脱手掉杆。防滑粉一方面吸汗，另一方面大大增大了手与单杠之间的粗糙程度，从而增大摩擦。这也正是足球守门员为什么总是带着手套的原因。

## 如何减小有害摩擦

有些机器零件之间是相互咬合工作，它们之间的摩擦不但会造成零件的磨损，也会使机器发热，在这种情况下，摩擦是有害的，要设法减小。

- 1、减小压力。
- 2、减小接触面的粗糙程度。
- 3、使接触面分离。

我们常常给机器零件加润滑油，正是利用“使接触面分离”的方法来实现的。

如图 6-4-12 所示，滑冰运动员在冰面上滑行时，穿的是冰刀而不是带轮子的滑轮鞋，这样做的目的就是为了减小摩擦。但为什么穿了冰刀后，摩擦会比穿滑轮鞋更小呢？

原来，运动员穿上冰刀后，冰刀会对冰面产生很大的压强（压强以后会讲），冰在巨大压强下会融化成水，这样，在冰刀和冰面之间会形成一层水膜，水膜使冰刀与冰面之间的接

触面分离了，于是冰刀与冰面之间的摩擦力大大减小了。



图 6-4-12

磁悬浮列车在行驶过程中的阻力很小，是因为列车底部与轨道之间被空气隔开，所以摩擦大大减小。

#### 4、用滚动代替滑动。

一般情况下，物体之间的滚动摩擦力远小于滑动摩擦力。因此，用滚动代替滑动，大大减小摩擦力。用滚动代替滑动的最常见例子是在机器上安装滚球轴承，而不是滑动轴承，如图 6-4-13 所示。



图 6-4-13

轴承：是指由内圈和外圈组成的设备零件，内圈叫轴，外圈叫轮，外圈绕着内圈转动。若轴承的内圈和外圈直接接触，两圈之间的运动形式是滑动，这种轴承叫做滑动轴承。轴承的内圈和外圈之间夹有珠子，珠子在内外圈之间滚动，这种轴承叫做滚动轴承。由于用滚动代替了滑动，所以滚动轴承的摩擦比滑动轴承的摩擦小很多。



## 本节我们学习的物理规律

### 1、产生摩擦力的条件

物体与另一个物体有接触并有挤压；物体与另一物体之间有相对运动或相对运动趋势；物体与另一个物体接触的表面都是粗糙的。

### 2、摩擦力的方向

滑动摩擦力和滚动摩擦力的方向总是与相对运动方向相反。

静摩擦力的方向总是与相对运动趋势的方向相反。

### 3、滑动摩擦力的影响因素

压力越大，接触面越粗糙，滑动摩擦力的大小越大。滑动摩擦力大小与物体的重力大小无关、与物体的运动速度大小无关、与接触面积的大小无关。

### 4、增大有益摩擦的方法

增大压力、增大接触面的粗糙程度、用滑动代替滚动。

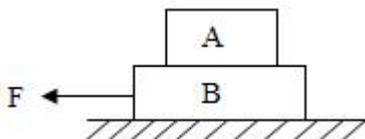
### 5、减小有害摩擦的方法

减小压力、减小接触面的粗糙程度、使接触面分离、用滚动代替滑动。



## 自我检测与巩固

1、如图所示，水平面上叠放着 A、B 两个物体，在水平方向力 F 的作用下，相对静止，一起向左作匀速直线运动。A、B 的接触面之间\_\_\_\_\_（选填“存在”或“不存在”）摩擦力。



2、人在一般情况下步行前进时，若鞋底与地面不打滑，地面对鞋底的摩擦力方向是向\_\_\_\_\_（选填“前”或“后”），这个摩擦力是\_\_\_\_\_（选填“静”“滑动”或“滚动”）摩擦力。