# 10．什么是滚动摩擦？中学物理教科书为什么删去滚动摩擦这一名词？

滚动摩擦不是力，而是力矩，它是由于支持面发生不对称形变而产生的。但中学不讲力矩，因此不要求学生知道什么是滚动摩擦，只要知道在实际生活中，用滚动代替滑动，是减小摩擦的一种重要方法就可以了。

在较早的高中物理教科书中有如下一段关于滚动摩擦的叙述：除了滑动摩擦，还有滚动摩擦。滚动摩擦是一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦。滚动摩擦比滑动摩擦小得多，滚动轴承就是利用滚动摩擦小的事实制成的。

现行教科书已经把这段话删去了。那么，什么是滚动摩擦，为什么要删去关于滚动摩擦的这段话呢？

## 一、滚动摩擦不是力而是力矩

按照前面的表述，滚动摩擦是一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦。如图 1 所示，一个圆柱体在水平地面上滚动，为了保持匀速，需要施加一个外力 *F*，如果存在滚动摩擦力，则外力 *F* 应该与滚动摩擦力大小相等、方向相反。但维持圆柱体匀速滚动状态不变，不一定必须要施加外力 *F*，例如可改为施加图中虚线所示的力 *F*ʹ，显然力 *F*ʹ 的数值小于 *F*，只要二者对与地面接触点 A 的力矩相等就可以达到相同的效果。如此说来，滚动摩擦不是力，而是力矩，它的大小等于圆柱体 A 点受到的静摩擦力 *f* 与它对质心的力臂 *r* 的乘积。

图 1 滚动摩擦是力矩

*F*

*F*ʹ

*G*

## 二、滚动摩擦必须考虑不对称形变

图 1 所示的情况是按照刚体模型画出来的，完全不考虑形变。如果是真正的刚体，那么图 1 中的截面图中圆柱体与地面的接触是一条线（垂直于纸面），在截面图中表示为一个点，即图中的 A 点，它位于圆柱体的重心的正下方，而它与地面的摩擦是静摩擦，静摩擦力是不做功的，那么圆柱体在地面上的纯滚动就不消耗能量，圆柱体就不会越滚越慢而最终停下来，也就不需要施加外力 *F*（或 *F*ʹ）。从另一个角度说，以 A 为转动轴，除外力 *F* （或 *F*ʹ）外，各力的力矩都为零，那么无论外力 *F* 多么小，它产生的力矩都会使柱体产生转动状态的改变，也就不会出现“具有滚动趋势而未开始滚动”这种情况了，这显然也是不符合实际的。

要讨论滚动摩擦，则必须考虑形变。我们仅讨论一个常见的简单例子——自行车的充气轮胎在水平地面上的滚动。当轮胎在地面上静止并且没有滚动趋势时，轮胎接触地面处会被压扁，地面也会发生凹陷，如图 2（a）所示，这类形变称为对称形变。轮胎压扁及地面下凹的中心 A 点位于轮胎重力作用线上，两边对称，地面对轮胎的弹力（支持力）竖直向上，与竖直向下的重力平衡，没有静摩擦力。

图 2（a） 静止的轮胎产生对称形变

*G*

C

A

当轮胎沿逆时针方向滚动（或有滚动趋势）时，将产生非对称形变，轮胎与地面接触部分的前方压扁较多而后方压扁较少，即轮胎与地面的按触面将不以 A 点为中心，地面对轮胎的支持力的作用点将会移至左边的 Aʹ 点，如图 2（b）所示。重力 *G* 与支持力 *N* 二者大小相等、方向相反，但不作用在一条直线上，它们相隔一小段距离 *d*，从而形成一对力偶，力偶矩的大小 *M* = *N*·*d*（*N* = *G*），沿顺时针方向（力偶矩矢量方向垂直纸面向里），它阻碍轮胎的滚动。这时如果施加一个作用线通过质心 *C* 的外力 *F*，若它对 Aʹ 点的力矩大小*M*ʹ = *F*·*r*（*r* 为轮胎的半径），沿逆时针方向（*M*ʹ 矢量方向垂直纸面向外）。当 *M*ʹ = *M* 时，达到平衡，轮胎可以静止或匀速滚动；若 *M*ʹ > *M*，将产生角加速度，轮胎将加速滚动。

*G*

C

A

Aʹ

*d*

*N*

*F*

图 2（b） 滚动的轮胎产生非对称形变

## 三、滚动摩擦比滑动摩擦小得多是什么意思？

*M*ʹ = *M*，即 *F*·*r* = *N*·*d*，在 *N* 和 *r* 一定的条件下，*F* 与 *d* 成正比，即 *d* 越小，所用的力 *F* 越小，即越省力。可以说 *d* 是描述滚动摩擦大小的物理量。

我们把滚动摩擦与滑动摩擦做对比：在滑动摩擦中，= *μ*，式中 *μ* 称为滑动摩擦因数；在滚动摩擦中，= ，可以把 看作滚动摩擦因数。所谓“滚动摩擦比滑动摩擦小得多”，即在压力 *N* 和半径 *r* 相同的条件下，使柱体匀速滚动比使它匀速滑动要省力得多，指的就是 ≪ *μ*。

*d* 的大小与接触面的坚硬程度有关，越坚硬的接触面，产生的形变越小，d 也就越小，使柱体匀速滚动需要施加的作用力就越小。骑自行车时，轮胎充气越足，骑行起来越省力，便是利用了以上原理。

## 四、为什么中学教科书要删去有关滚动摩擦的表述？

中学物理教学不要求讲有关力矩平衡的内容，因此讲不清楚有关滚动摩擦的问题，如果浅尝辄止，反而会衍生出一些不确切的说法，造成概念混淆。例如，有人总结说摩擦共有三种，即静摩擦、滑动摩擦和滚动摩擦。这并不准确，摩擦力有静摩擦与动摩擦之分，其实滚动摩擦也有静摩擦和动摩擦之分。而更主要的是，滚动摩擦是力矩而不是力，把滑动摩擦与滚动摩擦完全并列，是不够准确的。因此，“滚动摩擦”这一概念就从中学教材中删去了。

在实际生活及生产中，的确常常用滚动代替滑动未达到减小阻力、节约能源的目的，因此，有必要让学生了解滚动摩擦，只是不要出现“滚动摩擦”这个概念。应该让学生明白，减小摩擦阻力的方法主要有如下三种：①改善接触面的状况，包括使用润滑剂等，常用的润滑剂是液体润滑剂，如润滑油（不要出现干摩擦与湿摩擦的概念），现在固体润滑剂的应用也日益增多；②改滑动为滚动，滚动轴承已经得到广泛使用，并且滚动轴承中也可以加润滑剂，以更好地达到减小摩擦阻力的效果；③利用空气悬浮、磁悬浮等技术，使物体相对运动的接触面分开一定距离，不再直接产生摩擦，只剩下空气的粘滞阻力，这样便能够大大减小阻力对动能的损耗。建议教师在教学中，对以上三种方法，只做定性的介绍，不做深入讨论。