# 8．为什么大小、方向、作用点被称为力的三要素？

之所以力的大小、方向、作用点被称为力的三要素，是因为这三项影响力的作用效果。对于质点来说，力的大小和方向影响加速度的大小和方向。对于刚体来说，力的大小和方向影响随质心平动的加速度的大小和方向，而作用点则影响它的转动状态。对于弹性物体来说，在力的作用下还要考虑它的形变，中学阶段一般只讨论弹簧在受力平衡状态下的形变问题。

初中阶段要讲力的三要素，学生往往能说出力的三要素是力的大小、方向、作用点，可能也知道这三要素对力的作用效果影响很大，至于作用效果是指什么，就不一定清楚了。下面从受力的不同对象讲起。

## 一、受力对象是质点

质点是理想模型，它只有质量而没有大小和形状。质点受到力的作用，运动状态将发生改变，体现在产生加速度上，由牛顿第二定律 ***F*** = *m****a*** 可知，加速度 ***a*** 的方向与力 ***F*** 相同。

实际物体受力后，在形变很小可以忽略、且做平动的情况下，可以看作质点。对不可以看作质点的一般物体来说，它的加速度指的是该物体质心的加速度，称为平动加速度。作用在该物体上的力的作用点可以不在质心上，但其作用线必须通过质心。既然受力对象可以看作质点，就不必考虑转动的问题，其加速度就是平动加速度，影响作用效果的只有力的大小和方向这两个要素。

## 二、受力对象是刚体

刚体也是理想模型，它有质量，也有大小和形状，但不发生形变。刚体受到力的作用，运动状态将发生改变，可以分解为质心运动状态的改变和绕质心转动状态的改变。前者简称为平动状态的改变，后者简称为转动状态的改变。

影响平动状态改变的仍是力的大小和方向，根据质心运动定理 ***F***外 = *m****a***C（***F***外 是外力，如果刚体受到多个外力，则 ***F***外 指的是外力的合力，***a***C 是质心的加速度）可知，影响刚体平动状态改变的只是外力的大小和方向，而与作用点无关。但外力的作用点影响转动状态的改变：如果外力的作用线通过质心，则该刚体转动状态不发生改变；如果外力的作用线不通过质心，则该力对质心将产生一个力矩 ***M***，从而使得该刚体发生绕质心的转动，用角加速度 ***β*** 描述，其关系式为 ***M*** = *I****β***（其中 *I* 为转动惯量，与物体的质量以及质量的分布情况有关）。

图 1 所示为一根均匀的木棒，可视为刚体，其质心位于中心 C 点，图中的 *F1*、*F*2、*F*3 的作用线都通过质心 C。如果它单独受到 *F*1 的作用，将产生方向向右的加速度 *a*1 = *F*1/*m*。如果它单独受到 *F*2 或 *F*3 的作用，也将产生方向沿 *F*2 或 *F*3 方向的加速度，加速度的大小分别为 *a*2 = *F*2/*m* 及 *a*3 = *F*3/*m*。在这三种情况下，木棒只产生平动而没有转动。

*F*1

C

图 1 刚体在过质心的力的作用下产生平动加速度

*F*3

*F*2

若它受到的力是图 2 所示的 *F*4，情况则有所不同，由于 *F*4 的作用线不过质心，图中的 CD 是它对质心的力臂，这就产生一个力矩 ***M***，从而产生绕质心沿顺时针方向转动的角加速度 ***β***（***β*** 作为矢量，其方向由右手螺旋法则判定，为垂直纸面向里）。这样，作为刚体的木棒就同时产生平动加速度和转动加速度。当然，这只是木棒刚开始运动时的瞬时加速度，如果 *F*4 是持续作用的恒力，木棒开始运动后 *F*4 对质心的力臂会发生变化，角加速度也会随之变化。

*F*4

D

C

图 2 刚体在不过质心的力的作用下产生平动加速度和转动加速度

总体来说，外力的大小和方向影响平动加速度的大小和方向，而作用点的位置影响转动加速度。

中学阶段不涉及转动惯量和角加速度，但力的作用点的位置与转动状态改变间的定性关系，还是应该让学生知道的。

## 三、受力对象是弹性物体

若受力对象是弹性物体，相比上述两种受力对象而言，情况将复杂得多。力的作用效果除了改变物体的运动状态以外，还会使物体产生形变。最简单的情况是弹簧（指在弹性限度内，且处于水平方向的弹簧，下同）在受力平衡情况下的形变，其中一个力的大小 *F* 与其长度的改变量 Δ*l* 间的关系为 *F* = *k*·Δ*l*。

如图 3（a）所示，一根弹簧静止于桌面（水平方向无摩擦）上，两端各受方向相反的拉力，二力大小相等，此时弹簧静止并且伸长一定的长度。现保持二力的大小不变而使方向反向，如图 3（b）所示，此时弹簧仍保持静止，但长度缩短。

*F*

(a)

(b)

*F*

*F*

*F*

图 3 弹簧处于平衡时的形变

除弹簧以外的其他弹性物体，在平衡状态下的形变量，由于涉及弹性模量、应力、协变等概念，中学物理课程都不涉及，因此中学阶段一般都不讨论。

如果要讨论弹性物体在受力不平衡时的形变问题，则相当复杂。此种情况下，弹性物体整体在做变速运动的同时要发生形变，而形变会产生振动，在振动传播过程中会产生波动……中学物理课程属于基础课程，不涉及这类问题。

在实际情况中，物体在变速运动过程中产生的形变及振动等问题相当重要。20 世纪 60 年代初期，在我国自主研制导弹的开始阶段，就曾发生过导弹在起飞加速阶段就坠毁的事故，经过长时间的研究终于找到了造成这一事故的两个主要原因，其中一个就是设计时将导弹完全按照刚体对待，没有考虑形变与振动的问题。此后，经过两年多时间的重新设计与改进，方才试射成功。