# 36．外力的冲量和内力的冲量有哪些不同？

所谓内力的冲量，是指一对相互作用力的冲量的矢量和。由于内力总是成对出现，并且它们之间总是大小相等、方向相反、作用在同一直线上且作用时间相同，因此内力在任意时间段的冲量的矢量和总等于零，从而内力的冲量不会改变系统的总动量。

中学学习的动量定理，是质点的动量定理，对于看作质点的物体，其他物体对它的作用力都是外力，合外力的冲量等于物体动量的增量，即 *F*合外力·Δ*t* = Δ*mv*。

## 一、外力的冲量和内力的冲量

如果研究对象是由多个物体组成的系统，则系统内物体间的相互作用力是内力，系统外的物体对系统内物体的作用力是外力。

内力总是成对出现的，并且它们的大小相等、方向相反、作用在同一直线上且作用时间相同，任何一对内力的冲量也总是大小相等、方向相反，它们的总冲量，即冲量的矢量和一定等于零，因此内力的冲量对系统的总动量没有影响，或者说内力不会改变系统的总动量。

外力则不同，虽然外力也有反作用力存在，但它的反作用力作用在研究对象之外的物体上，我们不予考虑，因此外力的冲量对系统的总动量是有影响的。

中学所学习的质点的动量定理，只计外力而不考虑内力，并不是因为质点不存在内力，质点是理想模型，看作质点的物体并不是真的没有大小和形状，只是对讨论的问题而言，它的形状和大小可以忽略。其实看作质点的物体也是由分子、原子等物质微粒组成的，这些微粒间的相互作用力就是内力，但内力对物体整体的动量的变化没有影响，而且能看作质点的物体内部各部分的运动情况都相同，它们整体的动量就是该质点的动量。

因此，公式 *F*合外力·Δ*t* = Δ*mv* 对于不能看作质点的物体也同样适用，只是这里的 Δ*mv* 要看作整个物体各部分的动量变化的矢量和。

## 二、质心和质心运动定理

一个由多个物体组成的系统，如果其中每个物体都可以看作质点，则这样的系统简称为质点组。对于形变不能忽略的物体，或者物体内部各质点的运动状态各不相同的情况，例如既有平动又有转动的情况，我们都可以把物体当作由内部众多的质点组成的质点组来对待。

通俗地说，质心就是质点组质量的中心，对于由同种物质组成，且质量均匀分布的物体来说，例如均匀的球体、均匀的直棒等，质心就位于它的几何中心。一般来说，对于物质连续分布且不对称的物体，其质心的位置需要通过积分运算才能求出。最简单的情况，由两个质点组成的系统，其质心的位置在它们的连线上，质心与两个质点的距离跟它们的质量成反比。如图1所示，两个质点的质量分别为 *m*1 和 *m*2，其质心 C 在它们的连线上，与两个质点的距离分别为 *l*1 和 *l*2，满足 = 。

*m*1

图 1 两质点质心位置

*l*1

*m*2

*l*2

C

质点组的质心又称为动量中心，即可以把质点组的总动量等效为所有质量都集中到质心处的一个质点的动量。这样质点组整体的复杂运动，就可以分解为随质心的平动及各部分相对于质心的运动，其中随质心的平动的动量，即为质点组的总动量。

决定质心加速度的只有外力，与内力无关，即 ∑*F*外 = *ma*C，其中 *m* 为质点组的总质量，*a*C 为质心的加速度，这被称为质心运动定理。把上式两边都乘时间 *t*，得到 ∑*F*外·*t* = *ma*C·*t* = *m*·Δ*v*，即质点组的动量定理。

## 三、应用质心运动定理解决某些问题

质心运动定理不是中学物理教学所要求的基本内容，但在中学物理教学中，经常会出现一些不能看作质点的问题。这类问题有些教师仍然试图用质点模型来解决，而这却容易造成混乱。现举例如下。

**例 1 水力采煤问题** 现代化的采矿业有一种技术——水力采煤，即用高压水流冲击煤层，使煤层剥离。设水流的速度为 *v*，水流的横截面积为 *S*，求水流对煤层的作用力。

图 2 是水力采煤示意图，选取一段长为 *l* 的水柱为研究对象，它的前端刚好与煤层接触，在 Δ*t* = *l*/*v* 的时间内，这段水柱沿着煤层流下。显然，这段水柱是不能当作质点对待的，只能看作一个系统，或称质点组。我们可以运用质心运动定理求解。

图 2 水力采煤示意图

*l*

*v*

C

煤

层

该水柱与煤层相互作用前，其质心位于它的中心，即图中的 C 点，质心的速度也是 *v*，而与煤层作用后，其质心 C 移到紧靠煤层处，其速度变为 0。（忽略其反弹速度且不考虑沿竖直方向的移动）

使水柱质心动量由水平向左变为零的外力只有煤层给予的作用力 *F*，有

*F*·Δ*t* = Δ*mv* = *ρ*水*Slv*

则 *F* = ，由于 = *v*，因此解得 *F* = *ρ*水*Sv*2。

**例 2 柔绳落地** 一根质量为 *m*、长度为 *l* 的完全柔软的绳子竖直地悬挂着，下端恰与地面接触，如图 3（a）所示。已知它的质量分布均匀，释放后从静止开始下落，落地后的部分随即静止在地面上，而在空中的部分仍以原来的加速度 *g* 下落。当下落到所剩部分的长度为 *x* 时，如图 3（b）所示，求地面对绳子的支持力。

*l*

*x*

*x*

d*x*

*l−x*

*l−x*

（a）

（b）

（c）

图 3 柔绳落地

这里的柔绳落地与上面的水力采煤有所不同，柔绳未落地的部分做匀加速运动，而水力采煤中的水流未接触煤层的部分保持匀速运动状态，因此水流与煤层间的相互作用力是恒力，而柔绳与地面间的相互作用力是变力。

正因为水流与煤层间的作用力是恒力，我们可以取一段较长的水柱为研究对象，相应地相互作用时间取得也较长，根据这段较长时间的质心动量的变化，可以求出这段时间内的作用力的平均值，对于恒力来说，其任何时刻的瞬时值与任意时间段的平均值相等。而柔绳与地面的作用不同，我们必须取一段非常短的绳子，相应地，经历的时间也非常短，这样才可以把这段时间内的作用力看作恒力，这段运动过程也就可以看作匀速运动。如图 3（c）所示，我们把即将接触地面的非常短的一段绳子标出，记为 d*x*（画图时为了明显，有意把它画得稍长），我们就分析这一小段绳子的落地过程。

由于 d*x* 非常短，这段运动过程可以看作匀速运动，设速度大小为 *v*，所需的时间 d*t* = ，它的质量 d*m* = *m*。

d*x* 这段绳子接触地面前的速度大小 *v* = ，经过 d*t* 时间，它的速度变为 0，在这段相互作用过程中，它受到的外力有两个：向下的重力 d*mg* 和向上的地面支持力 *N*d*x*。其中 d*mg* 相比 *N*d*x* 非常小，可以忽略，则根据质点组的动量定理，有 *N*d*x*·d*t* = d*m*·*v*，则 *N*d*x* = *v* = *v*2 = 2*mg* 。

再加上已经落地部分所受的重力，地面对绳子的支持力 *Nx* = *mg* + *N*d*x* = 3*mg*（1 − ）。