② 动量定理

问题

有些船和码头常悬挂一些老旧轮胎，主要的用途是减轻船舶靠岸时码头与船体的撞击。其中有怎样的道理呢？



两个物体碰撞时，彼此间会受到力的作用，那么一个物体动量的变化和它所受的力有怎样的关系呢？

动量定理

为了分析问题的方便，我们先讨论物体受恒力的情况。如图1.2-1，假定一个质量为 m 的物体在光滑的水平面上受到恒力 F 的作用，做匀变速直线运动。在初始时刻，物体的速度为 v，经过一段时间 Δt，它的速度为 v'，那么，这个物体在这段时间的加速度就是

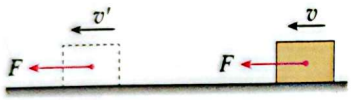


图 1.2-1 力改变物体的动量

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v'-v}{\Delta t}$$

根据牛顿第二定律 $F=ma$，则有

$$F=m\frac{v'-v}{\Delta t}=\frac{mv'-mv}{\Delta t}=\frac{p'-p}{\Delta t}$$

即

$$F\Delta t=p'-p \qquad (1)$$

▶ 由于 $\Delta p=p'-p$，所以（1）式也可以写成 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$，它表示：物体动量的变化率等于它所受的力。

（1）式的右边是物体在 Δt 这段时间内动量的变化量，左边既与力的大小、方向有关，又与力的作用时间有关。$F\Delta t$ 这个物理量反映了力的作用对时间的累积效应。物理学中把**力与力的作用时间的乘积叫作力的冲量**（impulse），用字母 I 表示冲量，则

$$I=F\Delta t$$

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

冲量的单位是**牛秒**，符号是N·s。有了冲量的概念，(1)式就可以写成

$$I = p' - p \qquad (2)$$

(1)式也可以写作

$$F(t' - t) = mv' - mv \qquad (3)$$

(2)式或(3)式表明：**物体在一个过程中所受力的冲量等于它在这个过程始末的动量变化量**。这个关系叫作**动量定理**（theorem of momentum）。

▶ 这里说的“力的冲量”指的是合力的冲量，或者是各个力的冲量的矢量和。

实际上，物体在碰撞过程中受到的作用力往往不是恒力，物体不做匀变速运动。在类似的情况下，动量定理还成立吗？

我们可以把实际过程细分为很多短暂过程（图1.2-2），每个短暂过程中物体所受的力没有很大的变化，这样对于每个短暂过程就能够应用(1)式了。把应用于每个短暂过程的关系式相加，就得到整个过程的动量定理。在应用(1)式处理变力问题时，式中的 F 应该理解为变力在作用时间内的平均值。

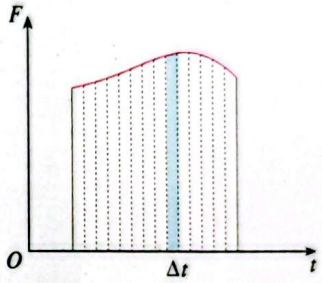
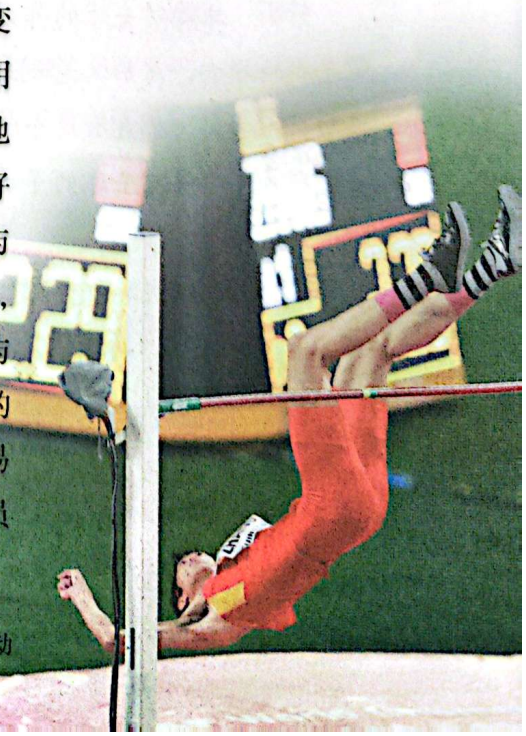


图 1.2-2　变力的冲量

动量定理的应用

根据动量定理，我们知道：如果物体的动量发生的变化是一定的，那么作用的时间短，物体受的力就大；作用的时间长，物体受的力就小。例如，玻璃杯落在坚硬的地面上会破碎，落在地毯上不会破碎，用动量定理可以很好地解释此现象。从同样的高度落到地面或地毯上时，在与地面或地毯的相互作用中，两种情况下动量的变化量相等，地面或地毯对杯子的力的冲量也相等。但是坚硬的地面与杯子的作用时间短，作用力会大些，杯子易破碎；柔软的地毯与杯子的作用时间较长，作用力会小些，玻璃杯不易破碎。易碎物品运输时要用柔软材料包装，跳高时运动员要落在软垫上（图1.2-3），就是这个道理。


图 1.2-3　跳高运动

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

在本节“问题”栏目中，船靠岸时如果撞到坚硬的物体，相互作用时间很短，作用力就会很大，很危险。如果在船舷和码头悬挂一些具有弹性的物体（如旧轮胎），就可以延长作用时间，以减小船和码头间的作用力。

【例题】

一个质量为0.18 kg 的垒球，以25 m/s的水平速度飞向球棒，被球棒击打后，反向水平飞回，速度的大小为45 m/s（图1.2-4）。若球棒与垒球的作用时间为0.002 s，球棒对垒球的平均作用力是多大？



图 1.2-4

分析 球棒对垒球的作用力是变力，力的作用时间很短。在这个短时间内，力先是急剧地增大，然后又急剧地减小为0。在冲击、碰撞这类问题中，相互作用的时间很短，力的变化都具有这个特点。动量定理适用于变力作用的过程，因此，可以用动量定理计算球棒对垒球的平均作用力。

解 沿垒球飞向球棒时的方向建立坐标轴，垒球的初动量为

$$p = mv = 0.18 \times 25\ \text{kg} \cdot \text{m/s} = 4.5\ \text{kg} \cdot \text{m/s}$$

垒球的末动量为

$$p' = mv' = -0.18 \times 45\ \text{kg} \cdot \text{m/s} = -8.1\ \text{kg} \cdot \text{m/s}$$

由动量定理知垒球所受的平均作用力为

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

$$F=\frac{p'-p}{\Delta t}=\frac{-8.1-4.5}{0.002}\ \mathrm{N}=-6\,300\ \mathrm{N}$$

垒球所受的平均作用力的大小为6 300 N，负号表示力的方向与坐标轴的方向相反，即力的方向与垒球飞来的方向相反。

科学漫步

历史上关于运动量度的争论

历史上，一种观点认为应该用物理量mv来量度运动的“强弱”；另一种观点认为应该用物理量mv^2来量度运动的“强弱”。主张以mv量度运动的代表人物是笛卡儿。他认为：“在物质中存在一定量的运动，它的总和在世界上永远不会增加也不会消失。”这实际上是后来所说的动量守恒定律的雏形。主张以mv^2量度运动的代表人物是莱布尼兹。他认为守恒的应该是mv^2而不是mv。经过半个多世纪的争论，法国科学家达兰贝尔用他的研究指出，双方实际是从不同的角度量度运动。

用现在的科学术语说，就是：“力”既可以通过动量来表示

$$F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$$

又可以通过动能来表示

$$F=\frac{\Delta E_k}{\Delta x}$$

动量决定了物体在力F的阻碍下能够运动多长时间，动能则决定了物体在力F的阻碍下能够运动多长距离。也就是说，动量定理反映了力对时间的累积效应，动能定理反映了力对空间的累积效应。

这场争论一方面促进了机械能概念及整个能量概念的形成，并使人们对多种运动形式及其相互转变的认识更加深入；另一方面，动量与动量守恒定律也在争论中显示出了它们的重要性。

STSE

汽车碰撞试验

汽车安全性能是当今衡量汽车品质的重要指标。实车碰撞试验是综合评价汽车安全性能最有效的方法，也是各国政府检验汽车安全性能的强制手段之一。

CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App