# 第1章 动量及其守恒定律 第4节 弹性碰撞与非弹性碰撞

碰撞是自然界中常见的现象。物体碰撞后可能的运动状态多种多样，这些不同类型的碰撞中除了系统动量守恒之外，能量变化又有什么特点？本节我们将学习不同类型的碰撞。

## 1．不同类型的碰撞

碰撞时，因相互作用时间很短，碰撞物体间的作用力远大于外力，系统的动量可认为是守恒的。但从能量转化角度看，机械能可能有损失。人们根据碰撞中机械能是否有损失，把碰撞分为弹性碰撞和非弹性碰撞。若碰撞过程中系统的机械能守恒，即碰撞前后系统的总动能相等，这种碰撞称为弹性碰撞，又称完全弹性碰撞。通常，分子、原子以及更小的粒子间的碰撞可视为弹性碰撞。生活中，有些碰撞可视为弹性碰撞，如台球发生碰撞时，动能的损失很小，可忽略不计，通常也将其视为弹性碰撞（图 1-29）。

图 1-29 台球碰撞可视为弹性碰撞



一般情况下，在碰撞过程中系统的机械能并不守恒，总有一部分机械能损失掉，转化为其他形式的能。物理学中，把这种机械能有损失的碰撞称为非弹性碰撞。非弹性碰撞中，如果碰撞后物体结合在一起，系统的动能损失最大，这种碰撞称为完全非弹性碰撞。

## 2．弹性碰撞

在上节中，对两小球的碰撞进行了初步探究，下面通过对两钢球碰撞的研究，深入探讨弹性碰撞的特点。

### 实验与探究

**弹性碰撞的实验研究**

实验 1 ：质量相等的两个钢球的碰撞

把两个质量相等的钢球并排挂在一起（图 1-30），球 B 静止，把球 A 拉到某一高度释放，球 A 摆到最低点时与球 B 正碰。碰撞后球 A 和球 B 会怎样运动？

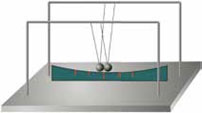


图 1-30 实验装置示意图

A

B

实验中，记下球 A 释放的位置和碰撞后球 A 和球 B 摆至最大高度时的位置。改变球 A 拉起的高度，重复实验。

两球质量相等时，碰撞有什么特点？

实验 2 ：质量不相等的两个钢球的碰撞

（1）把球 A 换成质量更大的钢球，球 B 静止，把球 A 拉至某一高度释放并与球 B 正碰，观察碰撞情况。改变球 A 拉起的高度，重复实验。被碰球质量较小时，碰撞有什么特点？

（2）球 A 静止，把球 B 拉至某一高度释放并与球 A 碰撞，观察碰撞情况。改变球 B 拉起的高度，重复实验。被碰球质量较大时，碰撞有什么特点？

在实验 1 中，质量相等的两个钢球相碰撞，碰撞后球 A 立即停下，而球 B 几乎摆到球 A 原来的高度。在实验 2 中，当被碰球质量较小时，碰撞后 A、B 两球都向前运动；当被碰球质量较大时，碰撞后球 B 会反弹而球 A 向前运动。为什么会出现这种情况呢？

设球 A 和球 B 的质量分别为 *m*1、*m*2，碰撞前球 A 的速度为 *v*1，球 B 静止（图 1-31），碰撞后球 A 和球 B 的速度分别为 *v*1′、*v*2′。两球的碰撞可视为弹性碰撞，碰撞过程中动量守恒，碰撞前后动能相等。因此

图 1-31 球 A 碰撞球 B 示意图

*v*1

A

B

*m*1*v*1 = *m*1*v*1′+ *m*2*v*2′ ①

*m*1*v*12 = *m*1*v*1′2 + *m*2*v*2′2 ②

由①式得 *m*1（*v*1 − *v*1′）= *m*2*v*2′

由②式得 *m*1（*v*12 − *v*1′2）= *m*2*v*2′2

联立以上两式得

*v*1′+ *v*1 = *v*2′

由上面关系式可解得

*v*1′ = ，*v*2′ =

由以上结果可解释探究实验中的结论：

当两球质量相等，即 *m*1 = *m*2 时，*v*1′ = 0，*v*2′ = *v*1，碰撞后球 A 速度为 0，而球 B 的速度与碰撞前球 A 的速度相等。

当质量大的球碰质量小的球，即 *m*1 ＞ *m*2 时，*v*1′ ＞ 0，*v*2′ ＞ 0，表示碰撞后两球都向前运动。

当质量小的球碰质量大的球，即 *m*1 ＜ *m*2 时，*v*1′ ＜ 0，*v*2′ ＞ 0，表示碰撞后质量小的球被反弹回来。

弹性碰撞规律在研究微观粒子的碰撞中有着重要的应用。英国物理学家查德威克（J. Chadwick，1891—1974）在发现中子的过程中，就是应用了弹性碰撞模型，根据实验数据计算出了中子的质量。

### 拓展一步

**两个运动的小球发生弹性碰撞后的速度**

如图 1-32 所示，在光滑水平地面上有质量为 *m*1、*m*2 的两球，分别以速度 *v*1、*v*2（*v*1 > *v*2）运动。两球发生对心弹性碰撞后速度分别为 *v*1′、*v*2′。根据两球在碰撞过程中动量守恒和碰撞前后动能相等，可得

*m*1

*m*2

*v*1

*v*2

图 1-32 两运动小球示意图

*m*1*v*1 + *m*2*v*2 = *m*1*v*1′+ *m*2*v*2′

*m*1*v*12 + *m*2*v*22 = *m*1*v*1′2 + *m*2*v*2′2

由以上两式可解得

*v*1′ =

*v*2′ =

请讨论：（1）当两球质量相等时，两球碰撞后的速度变化情况；（2）当两球质量差异较大且 *v*2 = 0 时，两球碰撞后的速度变化情况。

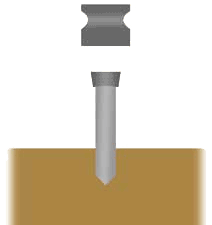
## 3．非弹性碰撞

非弹性碰撞存在机械能损失。如奔跑中的足球运动员之间发生的碰撞、彗星与木星的碰撞等，都会有机械能的损失，为非弹性碰撞。若碰撞后物体都以共同速度运动，碰撞中机械能损失最大，为完全非弹性碰撞。

### 例题

如图 1-33 所示，打桩机重锤的质量为 *m*1，从桩帽上方某高处由静止开始沿竖直方向自由落下，打在质量为 *m*2 的钢筋混凝土桩子上（包括桩帽）。锤与桩发生碰撞的时间极短，碰撞后二者以相同速度一起向下运动将桩打入地下。若碰撞前锤的速度为 *v*0，求锤与桩所组成的系统碰撞后的动能及碰撞过程中损失的动能。

*m*1



*m*2

图 1-33 打桩示意图

分析

锤与桩碰撞过程中，虽然锤与桩组成的系统受到重力和地对桩的阻力，合外力不为 0，但因碰撞时间极短，二者相互作用的内力远大于外力，系统的动量可视为守恒。碰撞后二者速度相同，属于完全非弹性碰撞。可用动量守恒定律结合能量关系求解。

解

设锤与桩碰撞后的速度为 *v*，选定竖直向下为正方向。由动量守恒定律得

*m*1*v*0 = （*m*1 + *m*2）*v*

所以

*v* = *v*0

碰撞后该系统的动能

*E*k = （*m*1 + *m*2）*v*2 =

系统损失的动能

*E*损 = *m*1*v*02 − （*m*1 + *m*2）*v*2 =

讨论

由以上表达式可见，在 *v*0 和 *m*2 一定时， *m*1 越大，碰撞后锤和桩的动能越接近碰撞前锤的动能。因此，在桩不被打坏的前提下，锤的质量越大，打桩的效果越好。在该问题中，若知道桩被打进的深度，你能求出泥土对桩的平均阻力吗？

### 策略提炼

解决此类问题时，需将实际情境中的碰撞抽象为相应的碰撞模型，再从动量、能量的角度，用相关公式求解。在碰撞问题中，由于相互作用时间极短，且外力远小于内力，可认为系统的动量守恒，碰撞过程中物体所发生的位移也可忽略不计，即认为碰撞在原地发生、原地结束。

### 迁移

如图 1-34 所示，质量均为 *m* 的物体 B、C 静止在光滑水平面的同一直线上，一质量为 *m*0 的子弹 A 以速度 *v* 射入物体 B 并嵌入其中。随后它们与 C 发生弹性碰撞，求碰撞后 B、C 的速度。

A

B

C

*v*

图 1-34 子弹射向物体 B 示意图

**解答**：*v*B = ，*v*C =

### 素养提升

能在熟悉的问题情境中根据实际情况选择弹性碰撞或非弹性碰撞模型解决物理问题；会用系统和守恒的思想分析物理问题，能对综合性物理问题进行分析和推理，获得结论并作出解释；能用证据分析解释弹性碰撞与非弹性碰撞等问题；能从运动定律、动量守恒、能量守恒等不同角度思考物理问题。

——科学思维

### 迷你实验室

**牛顿摇篮**

图 1-35 所示的装置常称为“牛顿摇篮”，让这些球碰撞，可出现有趣的现象。若拉起最左端一球，由静止释放，则会把最右端一球撞出，其他球静止不动；若拉起左端两球同时释放，则会把右端两球撞出，其他球静止不动。请试着拉起更多的球同时释放，看看撞击后会有怎样的结果。

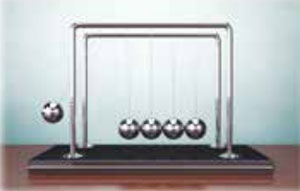


图 1-35 牛顿摇篮

若没有“牛顿摇篮”，你还可用质量、体积都相同的多粒玻璃珠按照如图 1-36 所示的方法试一试。当将一粒玻璃珠弹向一排整齐紧挨的玻璃珠时，最外边的那颗玻璃珠会被弹出。

你能解释出现这些现象的原因吗？



图 1-36 弹玻璃珠

（a）

（b）

## 节练习

1．质量相等的两小球以相同的速率相向运动，发生正碰后都以原速率向相反方向运动。这属于什么碰撞？为什么？

**参考解答**：这属于弹性碰撞。根据题意，碰撞前后两小球组成的系统总动量都为 0，即系统碰撞前后动量守恒；又两小球碰后速率不变，即系统总动能不变；因此该碰撞为弹性碰撞。

2．我国女子短道速滑队多次在国际大赛上摘金夺银，为祖国赢得荣誉。在某次 3 000 m 接力赛中，“接棒”的运动员甲提前站在“交棒”的运动员乙前面，并且开始向前滑行，待乙追上甲时，猛推甲一把，使甲获得更大的速度向前冲出，如图所示。在乙推甲的过程中，忽略运动员与冰面间在水平方向上的相互作用，则



甲

乙

A．甲对乙的冲量一定等于乙对甲的冲量

B．甲、乙的动量变化一定大小相等、方向相反

C．甲的动能增加量一定等于乙的动能减少量

D．甲和乙组成的系统机械能守恒

**参考解答**：B

3．质量为 1 kg 的物体 A 在光滑水平面上以 6 m/s 的速度与质量为 2 kg、速度为 2 m/s 的物体 B 发生正碰。碰撞后 A、B 两物体的速度可能值为

A．*v*A = 5 m/s，*v*B = 2.5 m/s B．*v*A = 2 m/s，*v*B = 4 m/s

C．*v*A = − 4 m/s，*v*B = 7 m/s D．*v*A = 7 m/s，*v*B = 1.5 m/s

**参考解答**：B

4．在某次冰壶比赛中，运动员将一冰壶推出，一段时间后以 0.4 m/s 的速度与对方静止的冰壶发生正碰，碰撞后以 0.1 m/s 的速度继续向前滑行。若两冰壶质量相等，对方冰壶获得的速度为多大？

**参考解答**：*v*2′ = 0.3 m/s

5．有一质量为 6.64×10−27 kg、速度为 *v* 的 α 粒子与一质量为 3.32×10−26 kg 的静止氖核发生正碰。若碰撞是弹性碰撞，试证明碰撞后氖核具有的速度约为 。

**参考解答**：依题意可知，α 粒子的质量 *m*1 与氖核的质量 *m*2 之间满足关系式 5*m*1 = *m*2，设碰撞后 α 粒子、氖核的速度分别为 *v*1、*v*2，以 α 粒子的初速度 *v* 的方向为正方向。根据动量守恒得

*m*1*v* = *m*1*v*1 + *m*2*v*2

碰撞为弹性碰撞，故有

*m*1*v*2 = *m*1*v*12 + *m*2*v*22

联立以上两式解得 *v*2 = ，结论得证。

6．沙摆是一种用来测量子弹速度的简单装置。如图所示，将质量为 *M* 的沙箱用长为 *l* 的细绳悬挂起来，一颗质量为 *m* 的子弹水平射入沙箱（未穿出），使沙箱发生摆动。测得沙箱最大摆角为 *α*，求子弹射击沙箱时的速度。请陈述这样测试的原理。

**参考解答**：设子弹射击沙箱时的速度为 *v*，子弹射入后与箱子共同的速度为 *v*′。以子弹的初速度 *v* 的方向为正方向，子弹击中沙箱的过程中，子弹和沙箱组成的系统水平方向动量守恒，由动量守恒定律得

*mv* = (*M* + *m*)*v*′

子弹与沙箱摆动过程，系统机械能守恒，由机械能守恒定律得

(*M* + *m*)*v*′2 = (*M* + *m*)*gl*(1 − cos*α*)

联立以上两式解得 *v* =

7．如图所示，光滑水平直轨道上两滑块 A、B 用橡皮筋连接，A 的质量为 *m*。开始时橡皮筋松弛，B 静止，给 A 向左的初速度 *v*0。一段时间后，B 与 A 同向运动发生碰撞并粘在一起。碰撞后的共同速度是碰撞前瞬间 A 的速度的 2 倍，也是碰撞前瞬间 B 的速度的 。求：

*v*0

*m*

B

A

（1）B 的质量；

（2）碰撞过程中 A、B 系统机械能的损失。

**参考解答**：（1）*m*B =

（2）Δ*E* = *mv*02

### 请提问