

可以减小球对手的冲力作用。另外，体操中用的海绵垫和跳高用的海绵包，以及拳击用的手套与跳远用沙坑等，则都是利用运动器材的弹性缓冲作用来延长力的作用时间，以减小对人体的冲击力。

(三) 人体或器械转动运动状态的改变及其规律

1. 体育运动中人体或物体转动的形式

人体或物体转动时，转动轴既可以是人体环节间的关节轴，也可以是身体基本轴（额状轴、矢状轴和垂直轴）或器械构成的转轴。通常将人体或运动器械外的转轴视为实体轴，如体操运动员在单杠、双杠、高低杠上的各种转动，则围绕器械的实体轴转动，甚至运动员跳马时在马上支撑阶段的转动，人体奔跑、跳时在地面上支撑阶段的转动，都可找出人体绕其转动的支点；而将人体运动器械内的转轴视为非实体轴，如上肢的摆动，是上肢围绕肩关节轴的转动，又如前空翻是人体整体围绕过重心的额状轴的转动，运动中的旋转球则是球体围绕其重心的不固定轴的转动。

一般可根据人体或器械转动时的转轴形式和有无支点将体育运动中的转动分为3种类型：(1) 有支点有实体轴的转动，如体操单杠上人体绕单杠轴的摆动、回环类动作；(2) 有支点无实体轴的转动，如花样滑冰运动员冰上旋转，掷铁饼和链球时人体的旋转动作，以及篮球、足球等运动中的各种转体动作；(3) 无支点无实体轴的转动，如人体或器械在空中的各种转动，这种转动又可以分为单轴转动（如人体绕身体冠状轴的空翻动作）和多轴复合转动（如体操、技巧、跳水、武术等项目中的各种复杂空中翻转动作）。

2. 人体或器械转动的动量矩

与平动物体一样，转动惯量为 I 的物体以一定角速度(ω)转动时，也具有一定的“运动量”，称为动量矩或角动量，其大小为 $I\omega$ 。同样，当刚体所受的合外力矩为零时，其动量矩保持不变，称为动量矩守恒定律。即 $\Sigma M = 0$, $I\omega = \text{恒矢量}$ 。

当人体处于腾空无支撑状态时，重力作用于质心不对基本轴产生力矩，若不计空气阻力，则可将腾空的人体看做封闭的力学系统，满足动量矩守恒的条件。因此，腾空时人体的动量矩保持不变，即 $I\omega = \text{恒矢量}$ 。无论人体空中动作多么复杂，其总动量矩完全由腾空瞬间的初始条件所决定。人体可以借助空中





4. 运动中的冲量与动量的关系及其在运动实践中的应用

假设质量为 m 的物体，受到恒力 F 的作用，其加速度 a 也是恒定的， t_1 时刻的速度为 v_1 ， t_2 时刻的速度为 v_2 ，则有： $F = ma = m \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ ， $F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1$ ；

速度为 v_1 ， t_2 时刻的速度为 v_2 ，则有： $F = ma = m \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ ， $F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1$ ；

若 F 为变力 $F(t)$ ，则有： $\int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = mv_2 - mv_1$ 。等式左边均为物体受到的冲量，右边为物体动量的增量。可见，物体在受到外力作用时，物体动量的增量等于其所受的冲量，这就是动量定理。由于在体育运动中，任何力的作用都有一定的时间，因此，动量定理是描述人体或器械机械运动状态变化规律的基本定理。

(1) 运动中增加冲量可增加人体或物体的运动速度

由冲量和动量的关系可知，为了使人体或器械获得较大的速度，通常需增大作用力并延长力的作用时间（一般是以加大施力工作距离来实现的），即增加对人体或物体的冲量来实现。如在跳跃项目中，要求在起跳发力前身体先下蹲；在投掷项目中，要求在最后用力前使身体尽可能超越器械。其力学机制是：一方面使原动肌充分拉长，以提高肌肉的爆发式收缩力，另一方面可延长最后用力的工作距离，从而延长力对人体或器械的作用时间，以达到增大冲量、提高人体起跳速度和器械出手速度的目的。类似的动作如跑的后蹬，游泳的“S”形划水等，其目的都是利用延长力的工作距离，在完成动作技术过程中，当施力工作距离加到最大值时，则应以最短的时间完成此施力过程，以提高动作速度。

需要注意的是，在运动过程中增大作用力和延长力的作用时间常常是矛盾的，其原因是在于肌肉收缩的力量和速度呈非线性的反比关系，即力量的增大以速度的减小为代价。因此，在技术上通常采取的方法是，在保证发挥肌肉最大力量的同时，应尽量延长力的工作距离，当工作距离达到最大值时，应以最短的时间完成此工作距离，以获取最大的速度。

(2) 运动中增加冲量可以减小人体或物体的运动速度

在体育运动中如果需要使运动的人体或物体停下来，即减小人体或物体的动量，通常采用的办法是延长力的作用时间增加冲量。如运动中的各种落地缓冲动作，通过前脚掌着地，并迅速过渡到全脚掌，同时伴有屈膝、屈髋和伸踝动作，以延长脚与地面相互作用的时间，减小人体运动的速度，进而减小冲力对人体可能造成的伤害。又如用手接高速飞行的球时，通过手接球的屈肘回收，顺势接球，可延长手与球的接触时间，减小球速，一方面可以较好地控制球，另一方面





在碰撞过程中，两个小球相互作用的碰撞力分别为 F_1 和 F_2 ，假如碰撞时间 Δt 极短，可以认为两小球的碰撞力远大于其所受的摩擦力，系统的总动量在水平方向守恒。

由于 $F_1 = -F_2$ ，故有 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$ 。碰撞前后系统的总动量保持不变，小球 m_2 的动量增加量等于小球 m_1 的动量减小量，即在系统内碰撞小球之间的动量进行了传递。由此可知，要增加 m_2 的动量，可以通过增加 m_1 的动量，即增加 m_1 的质量或者速度。因此，在排球扣球时要使扣出去的球速度快，应该在扣球的瞬间从腰腹以上的身体用力增加扣球肢体的质量，同时通过扣球动作过程增加扣球手臂的速度。

3. 作用于人体或器械力的累积效应

牛顿第二定律只反映了物体受力和运动状态变化的瞬时关系，尚不能说明在受到外力连续作用的过程中物体运动状态的改变。事实上，无论是物体的运动，还是人体的运动，都是外力连续作用的结果。在力学上，将作用于物体的合外力与其作用时间的乘积 ($I=F \cdot \Delta t$)，称为力的冲量。若合外力 F 恒定，则从 t_1 时刻至 t_2 时刻，物体受到的冲量为： $I = F(t_2-t_1)$ 。然而在一般情况下，尤其是人体运动，外力通常是变力，亦即 F 是时间 t 的函数，即 $F=F(t)$ 。我们可以把力的作用时间 (t_2-t_1) 分成许多极小的时间间隔 Δt ，使在这极小的时间间隔内的受力 $F(t)$ 视为不变，这样力 $F(t)$ 在时间 Δt 内的冲量为： $\Delta I = F(t) \Delta t$ ，而 (t_2-t_1) 时间间隔内的冲量为： $I = \sum \Delta I = \sum F(t) \Delta t$ ，若取 Δt 为极限小，则可采用积分式

得： $I = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$ 。图3-35中曲线 $F(t)$ 与 t 轴所围的面积就是变力的冲量。

维测力台测定力的冲量，其计算的基本原理即为此。

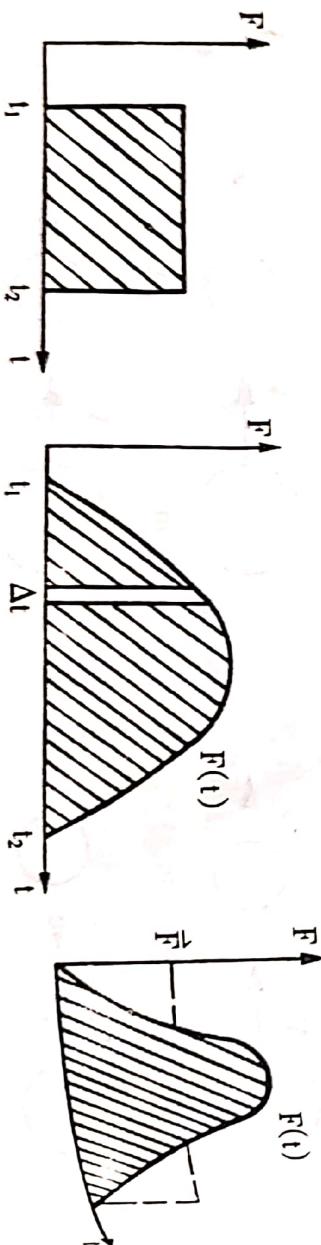


图 3-35 恒力和变力的冲量及其计算示意图





體創
田能全插且

体的动量各自改变着，是不守恒的。系统内每个物体的动量的变化，一定是甲物体动量的增加，必然引起乙物体动量的减小。如若要改变系统总动量，“系统”必然要受到外力的作用。实际上不受外力作用的系统是不存在的，只要在假定的时间内“系统”所受的外力远小于系统内力，则仍可近似地应用动量守恒定律。

体育运动中的一些问题，即是按照上述原理处理的。在体育运动中可以将人

体作为一个系统，动量可以在体内由一个环节向另一个环节传递。如运动中上下肢的鞭打动作，环节末端速度的增加是近端环节的制动将其动量依次传递给远端环节的结果；或将人体和器械作为一个系统，动量可以由人体传递给器械。如推铅球最后用力阶段，人体不仅给铅球施以连续的作用力，同时还将人体整体及上肢的动量部分向铅球传递。

由于体育运动中系统不受力的情况几乎不存在，在任何情况下系统总受到重力的作用，且这种作用往往不可忽略。由于重力的作用仅在垂直方向上，因此，

体育运动中水平方向系统动量守恒的情况还是很普遍的。如排球扣球时，人和球

组成的系统在水平方向上动量守恒；又如网球击球时，人（球拍）和球构成的系

统在水平方向上动量也守恒。

那么，如何应用动量守恒定律来帮助我们理解体育运动中的技术要领呢？我们不妨用两个小球组成的系统来说明这个问题。设质量分别为 m_1 和 m_2 的两个小球，在光滑平面以下面3种情况进行碰撞。（1）运动速度为 v_1 的 m_1 碰撞运动速度为零 ($v_2 = 0$) 的 m_2 ；（2）运动速度为 v_1 的 m_1 碰撞同向运动速度为 v_2 的 m_2 ；（3）运动速度为 v_1 的 m_1 碰撞反向运动速度为 v_2 的 m_2 。两个小球发生碰撞的时间为 Δt （图3-34）。

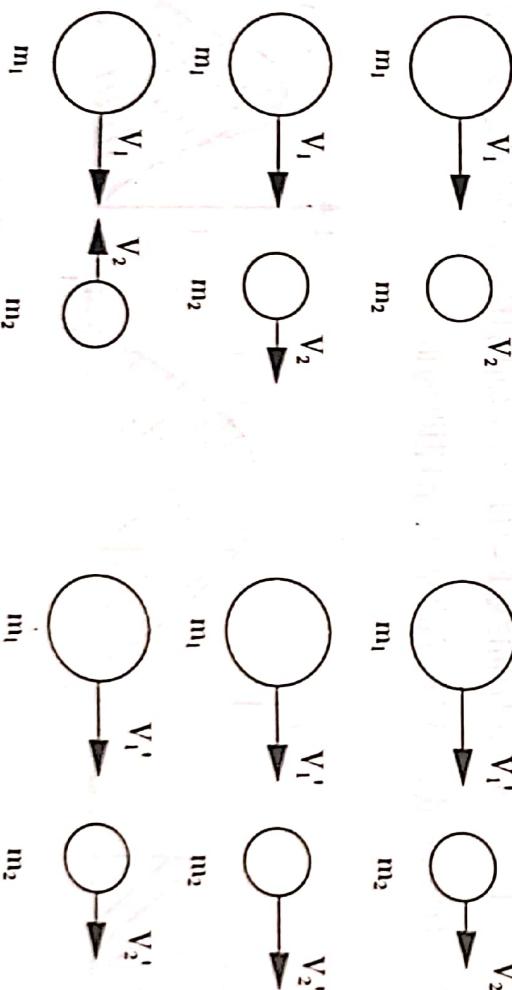


图3-34 不同质量 m_1 、 m_2 小球的正心碰撞



(二) 人体或器械平动运动状态的改变及其规律

1. 人体或器械的动量

动量是用以描述一定质量的物体在一定运动状态下“运动量”的物理量，与物体的质量和物体运动速度有关。质量再大的物体，如果其运动速度为零，则其动量为零，如静止在地面上的铅球；相反，质量很小的小石子，若从200m高空下落动量就极大。由此可知，相同质量的物体，运动速度越大，动量越大。足球守门员要接住速度慢的足球比接住速度快的足球要容易得多。

动量

力学上定义物体的质量和速度的乘积为动量——物体运动量的量度。

$$K = mv$$

动量是矢量，其方向为速度的方向。其国际单位为： $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ （千克·米/秒）。

在牛顿力学适用范围内（速度远小于光速时），质量 m 为常数，因而牛顿第二定律的数学表达式可写为：

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$$

$$F = \frac{dK}{dt} = \dot{K}$$

此公式也称质点的动量定理的微分形式。

2. 运动中人体或器械动量的转换

在讨论运动中人体或器械某些问题时，往往需要把相互作用的两个或两个以上物体作为一个整体来考虑，这就是所谓的“系统”。系统内各物体所受到的互相作用力称“系统内力”，系统外物体对系统内物体的作用力称“系统外力”。由于内力不会改变系统的运动状态，因而系统的“运动量”不会改变，这样就使得问题的讨论得到了简化。如果系统不受外力或受外力的矢量和为零，系统的总动量（包括大小和方向）保持不变，这一结论称为动量守恒定律。

系统的总动量不变（守恒），而系统内物体相互作用过程中，系统内每个物





线运动状态) 不变的性质称为惯性。惯性是物体固有的属性。如短跑运动员到达终点后不能马上停下来，人体在单杠上的摆动也不会迅速停下来，等等，这都是人体的惯性之故。

质量是量度平动物体惯性的物理量，质量越大，惯性越大，物体保持原来运动状态越不容易改变；反之质量越小，惯性越小，物体原来运动状态容易改变。如投掷一个垒球比推一个铅球容易得多，如果垒球与铅球以同样的速度滚过来，停住垒球比停住铅球容易，这说明改变垒球的运动状态比改变铅球的运动状态容易，原因是垒球的惯性比铅球的惯性小，因为垒球的质量比铅球的质量小。

转动惯量则是量度转动物体惯性的物理量，转动惯量的大小除了与物体的质量大小成正比外，还与物体质点系到转轴距离的平方成正比。物体转动惯量越大，保持原有状态（静止或转动）的能力也越大，反之亦然。由于人体不是形状不变的刚体，在运动中人体可以运用身体在转动轴周围的质量分布来改变人体的转动惯量，从而加快或减慢人体的转动。如花样滑冰运动中，运动员通过展开肢体来增大转动惯量，减小人体转动速度；通过收拢肢体来减小转动惯量而加快人体转动速度。

由此可见，物体的质量越大，惯性越大，转动物体的惯性还与物体绕转动轴的质量分布有关，质量分布越靠近转轴，惯性越小，质量分布越远离转轴，惯性越大。

2. 运动中惯性的利用与克服

人体运动时合理利用惯性，对于提高人体运动效率，减小体能消耗提高运动能力有重要意义。举重运动员在提铃时应注意爆发式用力，将杠铃速度等于零的状态改变成速度不等于零的运动状态，一旦杠铃启动，要求运动员保持动作的连贯性，充分利用杠铃的惯性运动，如若中途迟缓或停顿，不仅可能导致失败，还可能发生运动损伤。又如游泳运动员蹬池壁后利用人体运动惯性向前滑行，滑冰运动员蹬冰后的滑行都是利用人体惯性。长距离跑和游泳中，不少优秀运动员采用较适宜的匀速技术，也是利用惯性节省体能的合理技术。

在运动中“克服惯性”是指使运动物体的速度减小或使静止的物体产生运动。由于力是物体运动状态改变的原因，因此，在平动运动中克服惯性必须使人体或器械受到外力的作用，如短跑运动员到终点后通过身体后倾产生一个向后的作用力使人体停下来。又如，推铅球时必须对球施加推力，并作用一定的时间，才能使静止状态的铅球获得较大的出手速度。



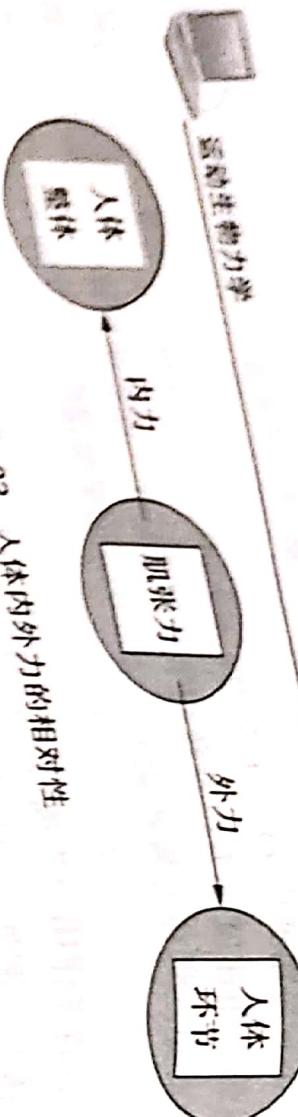


图 3-33 人体内外力的相对性

2. 支撑情况下人体内力可以改变为外力

人体内力不能直接引起人体整体的运动，但可以通过人体内环节的运动产生人体内力不能直接引起人体整体的运动，但可以通过人体内环节的运动产生作用于外界物体的力，外界物体则以相等的力反作用于人体，从而使人体发生整体运动。如跑步蹬地动作，人体依靠蹬地腿肌肉收缩力（人体内力）使下肢诸关节伸，以及通过摆动腿和手臂的摆动（人体内力），人体整体给地面以作用力，同时地面以支撑反作用力（人体外力）作用于人体，克服人体所受的重力等阻力，从而使人体向前加速运动。因此，人体内力和人体外力是相互联系的，人体内力是人体整体运动的必要条件，但内力只有在支撑情况下才能形成作用于人体的外力，使人体产生整体运动。另外，人体在支撑情况下可以通过人体内力的产生减小人体外力的作用，如体操中的落地缓冲动作。

3. 外力是发展人体内力的主要手段

肌张力（人体内力）是肌肉紧张或收缩时的张力，其大小除与肌肉的解剖生理特点有关外，还与中枢神经系统对肌肉的协调控制等有关。因此，发展肌肉张力时必须不断给予肌肉各种负荷刺激。在运动训练中常见的方法是利用外界物体产生的各种阻力负荷来实现的。如各种力量联合训练器，杠铃的重量阻力；再如，弹簧拉力器是利用弹簧产生的弹力作用于上肢肌肉；负重跑则是利用沙袋或沙背心产生的重力作用于下肢肌肉；而引体向上则是利用人体自身的重力来发展上肢的力量，等等。由此可见，外力是用来发展人体内力的主要手段。随着肌肉力量训练方法的发展，振动刺激法和电刺激法也成为增加肌肉张力的训练方法。

二、人体或器械运动状态的改变及其规律

(一) 人体和器械的惯性

1. 惯性及其在运动中的体现

任何物体在不受外力作用时，保持其原有运动状态（包括静止状态或匀速直



体育院校通用教材

运动生物力学



全国体育院校教材委员会 审定

陆爱云 主编

**YUNDONG
SHENGWU
LIXUE**

人民体育出版社



扫描全能王 创建