物理学讲义

（医疗、口腔、卫生专业用）

一九七八年二月

目　　录

第一章　力学的基本知识

在物质的一切运动形态中，最简单的一种就是物体之间或者一个物体各个部分之间相对的位置变动，我们称它为**机械运动**。例如车辆、船只、飞机的运动；飞轮的转动；弹簧的振动；水和空气的流动等等。力学所研究的对象、就是机械运动的客观规律。

机械运动的实际情况是多种多样的。为了便于研究物体运动，我们引入质点这一概念。如果一个物体的大小和形状在所研究的问题中可以不计，这个物体就称为**质点**。例如我们只讨论地球绕太阳的公转时，地球的形状、大小不起什么作用，就可以把地球当作一个质点。但是如果我们还需要讨论地球的自转，那就必须考虑地球的形状、大小等。这时地球就不能当作一个质点。对于其他物体也是一样。

第一节　位移　速度　加速度

机械运动所讨论的就是物体在空间中位置的变动。由于宇宙间的一切物体都是在运动着的，因此确定一个物体的位置就必须把这个物体的位置和另外一个当作不动的物体的位置加以比较，可见位置的变动只能相对于其他物体而发生。在描写地球上物体的运动时，常以地球或对地静止的物体（例如实验室的墙）为标准。

图　1—1

质点位置的变动可以用**位移**这个物理量来说明它。如图(1—1)，假设质点原来的位置在 A，过了若干时间以后它的位置是A_1，把AA_1二点用直线连接起来，这段直线的长度就是质点在这一时刻位移的大小。这段直线的方向（从A到 A_1 的方向）就是质点位移的方向。因此位移是一个矢量①，它的大小只和质点的最初位置和最终位置有关，而和质点沿着什么途径运动无关。例如图(1—1)，只要质点的原始位置是A，t秒后的位置是A_1，那么不论它是经过AaA_1的途径还是经过Ab_1A_1的途径，t秒的时间内质点的位移总是$\overrightarrow{AA_1}$。在厘米、克、秒单位制中，位移的单位用厘米。

从上面的讨论可以看出，位移和质点所经过的路程并不相同。位移是矢量而路程是标量。从数值上说，位移是连接二点间直线的长度，而路程则是二点间沿着质点所经过途径的长度。在一般曲线运动中，这二者是不同的，只有在直线运动中，位移和路程的数值才相同。

---

①　既有大小也有方向的物理量称为**矢量**，例如位移、速度、加速度、力等等；只有大小而没有方向意义的物理量称为**标量**，例如时间、质量、体积、能量等等。

为了说明质点运动快慢的状况，我们引入**速度**这个概念。速度是位移的时间变化率。如图(1—2)，设质点在Δt秒内从A沿着曲线运动到A_1。令位移$\overrightarrow{AA_1}=\overrightarrow{\Delta S}$那么，质点在$AA_1$间的**平均速度**就是：

图 1—2

$$\vec{v}_{平均}=\frac{\overrightarrow{\Delta S}}{\Delta t} \qquad (1—1)$$

它的方向就是位移$\overrightarrow{\Delta S}$的方向。

如果质点在AA_1之间的运动不是均匀的，那么$\vec{v}_{平均}$就只能近似地描写质点在AA_1之间的运动。显然，如果A_1点离A点越近，则求得的$\vec{v}_{平均}$越接近于质点在A点时的运动状况。

在极限的情识下，也就是Δt无限减小时，$\frac{\overrightarrow{\Delta S}}{\Delta t}$趋近于一个极限值，这个极限值就称为质点在A处的**瞬时速度**，记作：

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{\Delta S}}{\Delta t} \qquad (1—2)$$

当A_1点逐渐接近A点时，$\overrightarrow{\Delta S}$的方向逐渐接近于A点的切线方向。因此物体在某一点上的瞬时速度的方向就是曲线上该点的切线方向。

在匀速直线运动中，v的方向沿着直线，它的数值不变，因此：

图 1—3

$$v=\frac{S}{t}$$

如果我们只讨论质点运动的快慢，而不讨论方向，则路程ΔS(从A到A_1的曲线之长)与Δt之比称为质点在AA_1之间的**平均速率**。一般说来，平均速率与平均速度是不相同的，但是它们的极限值相同，因为当A_1点接近A点时，AA_1弧与AA_1弦的长度趋近于相等。

速度的时间变化率称为**加速度**。如图(1—3)，设质点沿着曲线运动，在A处的速度为

$\vec{\upsilon}$，在A_1处为$\vec{\upsilon_1}$，由于速度是矢量，因此必须根据矢量加法原理①，求出质点从A到A_1速度的改变$\Delta\vec{\upsilon}$。为此，经过A点作矢量$\vec{\upsilon_1}$，以$\vec{\upsilon_1}$为平行四边形的对角线，$\vec{\upsilon}$为一边补成一个平行四边形。则从图可以看出：

$$\Delta\vec{\upsilon}+\vec{\upsilon}=\vec{\upsilon_1}$$

因此，质点在AA_1之间的**平均加速度为**：

$$\vec{a}_{平均}=\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t} \quad (1—3)$$

当A_1点无限接近A点时，$\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$的极限值就是质点在A处的**瞬时加速度**：

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t} \quad (1—4)$$

在匀加速直线运动中，a的方向沿着直线，它的数值不变。因此：

$$a=\frac{\upsilon-\upsilon_0}{t}$$

式中υ_0和υ分别代表质点在t秒初与t秒末的速度值。

---

① 设$\vec{A}$、$\vec{B}$为二个矢量，则它们的和是以这二个矢量为二边所做成的平行四边形的对角线，如附图1中的$\vec{C}$。即：

$$\vec{A}+\vec{B}=\vec{C}$$

反之一个矢量也可以分解为沿着一定方向的二个分量。例如上图中的$\vec{C}$可以分解为$\vec{A}$与$\vec{B}$。由于矢量的分解可以沿着任意二个方向，因此分解的方法是无限多的。通常分解成互相垂直的二个分量。如附图2，$\vec{A}$与$\vec{B}$互相垂直，则

$$A=C\cos\varphi，\quad B=C\sin\varphi$$

附图 1

附图 2

第二节　等速率圆周运动

作为上节所讨论的几个物理量的例子，我们来研究一种特殊的运动方式，即质点沿着园周运动，它的速率保持不变，这种运动称为**等速率圆周运动**。所谓速率不变，就是指在同样的时间内，质点经过圆周上的路程长度是一个定值。例如质点在 T 秒内沿着半径为 r 的圆周运动一次，则速率 υ 为：

$$\upsilon=\frac{2\pi r}{T} \tag{1—5}$$

但是速度的方向应该是圆上各点的切线方向，它是随时在改变着的。因此，等速率圆周运动是一种变速度运动。我们来求出它的加速度。

如图(1—4)，设物体在很短的时间内从A运动到B，和上节一样作速度矢量AD和BC(按定义AD = BC = υ)，并把BC移到AC′则DC′或AE 代表在这段时间内的速度增量。我们所要求的加速度矢量是：

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\overrightarrow{AE}}{\Delta t}$$

图1—4

在等腰三角形ABO和 DC′A中，AD⊥OA，AC′⊥BO，因此∠AOB = ∠C′AD，这二个三角形相似，它们的对应边应成比例：

$$\frac{DC'}{AD}=\frac{AB}{AO}\text{即}\quad\frac{DC'}{\upsilon}=\frac{AB}{r}$$

r 为圆的半径。又DC′ = AE，所以DC′ = AE = $\frac{\upsilon}{r}\cdot$ AB，得加速度

$$a=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{AE}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\upsilon}{r}\frac{AB}{\Delta t}=\frac{\upsilon}{r}\lim_{\Delta t\to 0}\frac{AB}{\Delta t}$$

当Δt 很小时，弦 AB 可以用弧$\overset{\frown}{AB}$ 代替，而$\overset{\frown}{AB}/\Delta t=\upsilon$，所以

$$a=\frac{\upsilon^2}{r} \tag{1—6}$$

至于加速度的方向可以这样来讨论。当 B 点接近 A 点时，AD和AC′之间所夹的角度逐渐减小，也就是∠ADC′逐渐增大，当∠DAC′趋近于零时，∠ADC′趋近于90°，也就是DC′的方向（即$\Delta\upsilon$的方向）和A 点的速度垂直。因此质点在A处的瞬时加速度方向是向着圆中心的。所以，作等速率圆周运动的物体的加速度，其值不变（等于速率的平方被半径除），而方向永远向着中心。这个加速度称为**向心加速度**。

当质点作等速率圆周运动时，质点与圆心的连线绕着通过圆心垂直于圆面的**轴旋转**。如果质点绕行一周需时T 秒，则此连线在 T秒内转过的角度为2 π弧度。因此这条直线的转动速率或**角速度**为：

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{1—7}$$

如果转动是均匀的，则ω保持不变。否则ω也是随时改变的。

由(1—5)、(1—7)二式可 得：

$$\upsilon = \frac{2\pi r}{T} = r\omega \tag{1—8}$$

因此向心加速度也可以写成：

$$a = \frac{\upsilon^2}{r} = \frac{(r\omega)^2}{r} = r\omega^2 \tag{1—9}$$

第三节　力 与 质 量

力这一概念是从我们日常生活的经验中产生的。例如，要使静止的物体移动，我们必须用力；投掷石子，或者阻止从斜面上滑下的物体，都需要用力。

从日常生活经验中我们可以得到这样二个结论：

第一，力的作用表现在物体的平衡或者运动状态的改变之中。比如手提着重物使其不致下落，或是前面说的抛掷石子使其从静止到运动。墨经中说："力，形之所由奋也"。这正说明了力能够改变物体(形)的运动状态这一性质。

第二，作用在物体上的力，必定是由于别的物体所产生的。比如磁铁对于铁块的吸引力由磁铁产生；使石子运动的力来自人的手等等。

为了决定力的大小，必须确定量度力的方法。最常用的方法是利用力使弹簧产生形变这一性质。因为在弹性限度内，弹簧的伸长（或缩短）和它所受的力成正比。只要规定了力的标准，就可以做成弹簧秤来衡量力的大小。

力除了大小之外还有方向，因此力是一个矢量。

质量这个概念首先是根据物体的可称性(即可以被称量)而得出的。我们都知道，地球上的任何物体都要受到地球的吸引，这就是物体的重量的来源。物体的重量是随着地区的纬度和离海平面的高度而变的。在同一地点，质量和重量成正比。但是质量却不随地区的纬度和高度而变。量度质量用天平。如果二个物体放在天平的二边而使天平平衡，我们说这二个物体的质量相等。质量的单位常用仟克或克。

这是从引力方面（即从物体的可称性）来了解质量。在第四节中我们还要进一步探讨对于质量的认识。

第四节　牛顿运动定律

牛顿第一定律可以简述如下：物体如果不受外力的作用，它将永远保持其静止的状态或者匀速直线运动的状态。

从这个定律可以看出，任何物体都有保持其静止的状态或者匀速直线运动状态的性质，这种性质称为物体的**惯性**。

只有当别的物体对某一物体发生作用时，才能使得这个物体的运动状态改变。换句话说，如果一个物体不受任何外力的作用，由于惯性的缘故，它将保持静止（如果原来是静止的）或者以匀速在直线上运动（如果原来是运动的）。因此第一定律也称为**惯性定律**。

应该了解，所谓不受外力，一般地说应理解为作用在物体上的一切外力的合力为零。例如，当火车头的牵引力和整个火车与轨道间的摩擦力相等时，火车所受的合力等于零，它就要以匀速在直线上运动。

直接用实验来验证牛顿第一定律是不可能的。因为在我们周围实际环境中，要使一个物体完全不受到其他物体的作用是困难的，然而将许多事实概括起来，就使得我们相信牛顿第一定律是正确的。例如一块在地面上滑动的石块将会逐渐慢下来，以至最后停住。这是由于它受到地面的摩擦力和空气阻力的缘故。如果设法减小这些阻力，那么运动就会更持久而且更加接近于均匀，例如石块在冰上滑行的情形即如此。可以设想，如果能够完全消除物体所受的作用力，就会实现理想的匀速直线运动。另一方面，由牛顿第一定律导出的一切推论都和实验事实符合，也间接地使我们相信它是正确的。

由第一定律可以知道，物体受力以后，它的运动状态就有了改变，也就是获得了加速度。**牛顿第二定律**确定了力和它所产生的加速度之间的关系，可以陈述如下：作用在物体上的力所产生的加速度与力的数值成正比，并与物体的质量成反比，加速度的方向与力的方向一致。

如果我们取一个质量一定的物体，用不同的力对它作用，那么产生的加速度也不相同。实验证明，作用力越大则物体所得到的加速度也越大。以 a 表示物体所得到的加速度，f 表示对物体的作用力，得：

$$a \propto f \tag{a}$$

如果我们用相等的力作用在质量不等的物体上，那么各物体所得到的加速度也不一样。实验证明，在相等的力作用下，物体所得到的加速度与这个物体的质量成反比。用m 表示这个物体的质量，可以写成：

$$a \propto \frac{1}{m} \tag{b}$$

根据(a)、(b)二式可知，物体所得到的加速度和它所受的力成正比，而和物体本身的质量成反比。可以写成：

$$a \propto \frac{f}{m} \quad 或 \quad a = k\frac{f}{m}$$

式中的k是比例常数。在CGS单位制中，规定使质量为1克的物体得到1厘米/秒^{2}的加速度所需之力作为力的单位，称为**达因**。这样k就等于1，得：

$$f = ma \qquad (1—10)$$

从牛顿第二定律可以看出质量的另一方面的意义。同样的力作用在质量不同的物体上，所得到的加速度是不同的；质量大的物体所得到的加速度较小。但是在第一定律中又知道物体都有惯性，即保持其静止或匀速直线运动的性质。用同样的力作用在惯性不同的物体上，则惯性大的物体其速度的改变较小。因此，我们可以说：质量是物体惯性的量度。

可以利用式(1—10)来求出地球对于地面上质量为1克的物体的作用力。因为地球对这物体的作用力使它得到980厘米/秒^{2}的加速度，所以：

$$f = ma = 1 \times 980 = 980 达因$$

而在力的重力单位制中，质量为1克的物体的重力就称为1克重，因此力的重力单位与绝对单位间的关系是：

$$1 克重 = 980 达因。$$

必须注意，在实际问题中，如果用克重作为力的单位，则在应用式(1—10)时，应该先把力换算成达因，然后再行计算。

第一定律定性地说明了力的概念；第二定律确立了力与它所产生的加速度之间的量的关系；**牛顿第三定律**则着重说明力含有相互作用的性质，可以陈述如下：如果一个物体以力作用于另一物体，则另一物体必同时以一相等而方向相反的力作用在第一物体上。常常把一个物体对另一物体的力称为**作用**，而把另一物体对第一物体的力称为**反作用**，并把第三定律简述成：每一个作用都有与它相等而反向的反作用。用f_1表示作用力，f_2表示反作用，则第三定律可写作：

$$\vec{f_1} = -\vec{f_2} \qquad (1—11)$$

从第三定律可以清楚地看出，力是物体间的相互作用，因此力不能脱离物质而存在。

应该特别注意，牛顿第三定律所说的作用和反作用是施于不同的物体上的。我们举几个

图 1—5　　　　图 1—6

例子：（A）太阳与地球互相吸引，太阳对地球的作用施于地球，则地球对太阳的反作用施于太阳。（B）二个小车以弹簧相连，使它们相互间有力的作用，则A车对B车的作用力f_B施于B车〔图(1—5)〕，B车对A车的反作用力f_A施于A车。（C）人推着车前进〔图(1—6)〕，人推车的力f_1施于车上，则车给人手的反作用f_2施于人的手。

第五节　向心力与离心力

现在我们把牛顿三个定律具体应用到以前所讨论过的等速率圆周运动上，看一看由此所得出的结论。

首先，由于质点沿着圆周运动，它的速度是经常改变的，因此根据牛顿第一定律可以了解，作等速率圆周运动的质点是必须受到力的作用。

其次，按照牛顿第二定律，这个力的数值应该是质点的质量与加速度的乘积。在第二节中已经讨论过，等速率圆周运动的质点具有向心加速度，其值为$a=v^2/r$，因此质点必须受到的力的数值为：

$$f=ma=m\frac{v^2}{r}=mr\omega^2 \qquad (1—12)$$

这个力的大小不变而方向是向着中心的。因此，作等速率圆周运动的质点必须受到一个力的作用，此力的大小不变，而方向则随时都指向圆心，此力称为**向心力**。例如用绳子栓住一块石头，另一端拿在手中使其作圆周运动，石块所需要的向心力是由手通过绳子给予石块的。地球绕太阳运动时，所需要的向心力则由太阳对地球的吸引力供给。

如果物体原来作等速率圆周运动，而从某一时刻起向心力不再作用于物体，那么，从这时起，物体由于惯性的作用就会沿着圆周的切线方向作匀速直线运动（牛顿第一定律）。如图（1—7），当石块在某一位置时，绳突然断开，石块就沿着切线方向飞走。车辆上的泥和雨伞上的水滴在车辆和伞很快旋转时也是沿着切线方向飞出的。

图　1—7

实验室中常用的仪器——离心机就是利用这个原理做成的〔图(1—8)〕。二个套筒a和a_1被装在轴上的两个夹子夹住，靠着A盒内的齿轮可使轴转动。被试验的液体放在试管内，试管置套筒中。我们用手摇转柄时，二个试管就在水平面上作圆周运动，如图(1—9)。假设在溶液中有比较重的粒子，例如M，如果它也跟着作圆周运动，则经过一段时间当套筒由A转

到A′位置时，M的位置应该到M′，但是因为没有足够的向心力作用在M上使它保持圆周运动，它就会沿着MM′′那样的轨道运动。结果当套筒转到A′时，它的位置是在M′′。从套筒看起来，是更加远离转动中心O了。如果转动速度很大，则所有较重的粒子都会沉到试管底部。利用这种方法可以使溶液中的不同物质分开。例如在临床检验中常用离心机使血球与血浆，尿和它的硬滓分开等等。

图 1—8　　　　图 1—9

最后，根据牛顿第三定律，和向心力同时存在着的有一个大小相等而方向相反的力，称为**离心力**。向心力作用在做圆周运动的物体上，方向向着中心，离心力则作用在供给向心力的物体上，方向是离开中心。例如系在绳子上的石头转动时，离心力作用在人的手上。地球绕太阳公转时，离心力是地球对太阳的吸引力，它是加在太阳上的。

第六节　冲量与动量

设有一个大小、方向都不变的力作用在质量为m的物体上，作用时间共t秒。由于获得了加速度，物体的速度就从v_0（t秒前）变为v（t秒末）。按照牛顿第二定律及加速度的定义得：

$$f = ma = m\frac{v - v_0}{t} = \frac{mv - mv_0}{t} \qquad (1—13)$$

上式又可改写为：

$$ft = mv - mv_0 \qquad (1—14)$$

力f与时间t的乘积称为力的**冲量**，它衡量着力的时间效果。冲量是一个矢量，它的方向就是力的方向。质量m与速度v的乘积称为**动量**，它是一个说明物体运动状态的物理量。动量也是一个矢量，它的方向就是速度的方向。上式说明物体受力的冲量作用后，它的动量将

发生变化，动量的改变等于物体所受的力的冲量，这一结论称为**动量原理**。

如果 f 是变化着的，那就应该把上面的讨论用在很短的一段时间 Δt 内，在这段时间内 t 可以当作不变，把相应的微小的动量变化记作 $\Delta(mv)$，得：

$$f\Delta t=\Delta(mv) \tag{1—16}$$

动量原理在碰撞、打击等情形中特别有用，因为在碰撞和打击时，力的作用时间很短，而力则很大，这种力常称为冲力。量度冲力是很困难的，但是如果能够知道碰撞前后物体动量的变化就可以算出冲量。更进一步，如果能测出冲力作用的时间，则冲力的大小也能确定。作为一个例子，我们来看一个质量为 m 的弹性小球与墙垂直正碰的情形〔图(1—10)〕。在碰以前，小球的动量为 mv，方向向右。球与墙相碰时，最初球和墙都压凹了一些，球受阻力停止了，然后由于弹性的缘故，球和墙都恢复原状，球又离墙弹回。如果碰撞是完全弹性的，则球离墙的速率等于碰撞前的速率，方向向左。因此碰撞后球的动量数值仍为 mv，而方向向左。如果我们以向右的方向为正，则球在碰撞前的动量为 $+mv$，碰撞后为 $-mv$，所以球在碰撞前后动量的改变为：

图 1—10

$$(-mv)-(+mv)=-2mv \tag{1—15}$$

可见球在碰撞时所受的冲量为 $2mv$，方向向左。根据牛顿第三定律，墙所受的冲量也是 $2mv$，方向向右。这个结论在以后讨论分子运动论时是要应用的。

冲量的单位在厘米、克、秒制中是达因·秒，动量的单位是克厘米/秒。这二个单位实际上相同，因为达因＝克厘米/秒²，所以达因·秒＝克厘米/秒²×秒＝克厘米/秒。

从式(1—15)还可以看出：

$$f=\frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

此式表示，力等于动量的变化率，也就是单位时间内动量的变化。这是牛顿第二定律的又一种表现形式，牛顿最初正是以这种形式表达出第二定律的。

第七节　动量守恒定律

现在我们考虑由几个物体所组成的一个系统，这些物体彼此之间有力的作用，但不受系统外任何物体的作用。例如图(1—11)，表示由A、B二个球所组成的这样一个系统。除了在碰撞的一段时间内两球彼此间的作用外，它们不再受到其他物体的作用，我们来计算作用前后整个系统动量的情况。

图 1—11

假设二球在碰撞前沿着同一直线运动，它们的速度分别为 v_1、v_2，并且 $v_1>v_2$。在碰撞时给予对方的冲力分别为 f_2 与 f_1，碰撞后的速度分别为 v'_1 及 v_2'。由牛顿第三定律可知 f_1 与 f_2 数值相

等而方向相反：

$$f_1=-f_2$$

而作用时间相等，因此：

$$f_1t=-f_2t \qquad (1-17)$$

根据动量原理，每个球所受的冲量等于它的动量的改变：

$$f_1t=m_1v_1'-m_1v_1$$

$$f_2t=m_2v_2'-m_2v_2$$

代入式(1—17)，得：

$$m_1v_1'-m_1v_1=-(m_2v_2'-m_2v_2)$$

将上式移项后得：

$$m_1v_1'+m_2v_2'=m_1v_1+m_2v_2 \qquad (1-18)$$

上式左边表示在 t 秒末整个系统的动量，右边表示 t 秒前整个系统的动量。因此我们知道，在这样一个系统中，作用前和作用后整个系统的总动量没有改变。如果在变化前后物体的速度并非沿着同一条直线，数学证明上述结论仍然是正确的，只是所有的动量都应以矢量的形式表示：

$$m_1\vec{v_1}'+m_2\vec{v_2}'=m_1\vec{v_1}+m_2\vec{v_2}$$

这个结论还可以扩展到由任意个物体所组成的系统中去，得出下列**动量守恒定律**：在一个不受外力作用的系统中（或者说外力的总和等于零），各物体由于彼此间的作用，它们的动量是可以改变的，但整个系统的总动量保持不变。

如果这样一个系统原来的总动量为零，则整个系统的质量中心就不可能沿某一方向运动。因为在内力作用下，如果此系统内一个物体得到向东方向的动量，则必定有另一物体得到同样大小但方向向西的动量。例如图(1—12)，站在车上的人和车原来都不动，如果人突然向左方跑下，则车一定向右运动。这是因为在没有运动前，车和人这个系统的总动量为零。人既然得到向左方的动量，则车一定会得到向右方向同样大小的动量。

图 1—12

这样的例子还很多。例如炮弹射出时，炮身要后退。这是因为炮弹在发射时得到向前的动量。因而炮身就得到向后的动量。我国在宋代时已经发明了一种向高空上升的爆竹，当爆竹内火药爆发后，气体向下冲出，得到动量，爆竹本身就得到了向上的动量。喷气式飞机也是根据这一原理做成的。

第八节　功　与　功　率

功的概念也和力一样，是从我们日常经验和实践中得来的。但是日常生活中“功”的概念包括的意义却比物理学中功的意义广泛得多。

由于自然界中一切物体彼此都以力相互作用着，而物体位置的变动也就是在力的作用之下产生的。为了要描述在物体发生位移过程中力所产生的效果——也就是力的空间效果，我们引进”功”这一物理量。我们规定：功的量值系由沿着物体位移方向的作用力与力的作用点的位移之乘积来量度。

如果力的方向与位移的方向一致，例如人手推着小车在平地上走，手推小车的力为 f，车走了一段距离 s，则此力所做功是：

$$W = fs \qquad (1—19)$$

如果力的方向与位移的方向成一角度〔图(1—13)〕，我们可以把力分解为二个分力：沿着位移方向的是 $f\cos\theta$，垂直于位移方向的是 $f\sin\theta$。物体沿着后一方向没有发生位移，因此垂直于位移方向的分力不做功。而物体沿着前一方向是有位移的，因此力 f 所做的功是：

$$W = f\cos\theta \cdot s \qquad (1—20)$$

图 1—13

现在我们来看一下，功的数值与力和位移之间的角度有什么关系。当图(1—13)中的 θ 是锐角时的 $\cos\theta$ 大于零，是正的，功也是正的，我们说力对物体做了正功，可以看出力是在推动物体。如果 θ 是钝角，$\cos\theta$ 小于零，是负的，功也是负的，我们说力对物体做了负功，也就是力在阻碍着物体的运动，也可以说是物体克服着外界的阻力而做功。例如用绳子系住一块大石头，人拉着它在粗糙的地面上走。人的拉力对物体做正功，而石头与地面之间的摩擦力则对石头做负功。又如将一重物向上抛时，重力向下，因此重力对物体做负功；但是当重物从空中落下来的时候，重力就对物体做正功了。如果 $\theta = 90°$，即力的方向与位移方向垂直，则 $W = 0$，即此力对物体不做功，例如用绳系石作等速率圆周运动时，向心力对石头不做功。

在功这一概念中，并没有谈到做功所需要的时间。但是很显然，如果二个机器所做的功一般多，那么在较短的时间内完成这功的机器，它的价值较高，因此我们引入**功率**这个物理量。单位时间内物体所做的功称为它的功率。从这个定义可知功率N为：

$$N = \frac{W}{t} \qquad (1—21)$$

功是一个标量，它的单位由力的单位和距离的单位来决定。在CGS单位制中令 $f = 1$ 达因，$s = 1$ 厘米，则功为1单位，称为**尔格**。尔格这个单位很小，常用 10^7 尔格作为实用单位，