

物 理 学

上 册

物 理 教 研 组 编

广 东 工 学 院

一 九 七 七 年 六 月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

目 录

(上册)

力 学

第一章 力和简单机械	(1)
§ 1 力的概念	(1)
§ 2 力矩	(10)
§ 3 杠杆类简单机械	(12)
§ 4 功和功的原理	(21)
§ 5 斜面类简单机械	(23)
§ 6 机械效率	(26)
第二章 运动学基础	(29)
§ 1 机械运动 参照系 质点	(29)
§ 2 匀速直线运动 速度	(31)
§ 3 变速直线运动	(33)
§ 4 匀变速直线运动	(38)
第三章 运动定律	(48)
§ 1 力的合成与分解	(48)
§ 2 运动第一定律	(56)
§ 3 运动第二定律	(58)
§ 4 运动第三定律	(67)
§ 5 运动定律应用举例	(71)
§ 6 动量原理 动量守恒定律	(75)
第四章 曲线运动	(86)
§ 1 运动迭加原理 平抛运动	(86)
§ 2 匀速圆周运动	(90)
§ 3 离心机械	(99)
§ 4 万有引力定律	(101)
第五章 功和能	(106)
§ 1 功、功率	(106)
§ 2 能	(113)
§ 3 能量转换与守恒定律	(124)

热现象与物性

第一章 热的基本知识	(134)
§ 1 温度	(135)
§ 2 热量	(136)
§ 3 比热	(138)
§ 4 热的传播	(142)
第二章 物质三态	(150)
§ 1 晶体与非晶体	(151)
§ 2 固体的热膨胀	(153)
§ 3 气体的压强	(158)
§ 4 气体的实验定律	(162)
§ 5 气体状态方程	(167)
§ 6 液体的压强	(172)
§ 7 液体的浮力	(179)
§ 8 液体的表面现象	(183)
第三章 物态变化	(191)
§ 1 溶解与凝固	(191)
§ 2 蒸发、饱和汽	(196)
§ 3 沸腾、液化	(199)
第四章 分子热运动与热、功、能	(206)
§ 1 分子热运动的统计规律性	(206)
§ 2 内能、热量和功	(214)

几何光学

§ 1 光的直线传播	(220)
§ 2 光的反射	(224)
§ 3 光的折射	(227)
§ 4 透镜	(234)
§ 5 几种常用的光学仪器	(245)

力 学

第一章 力和简单机械

这一章从感性认识出发，初步了解力、力矩和功的基本概念，然后介绍常见的几种简单机械。

§ 1 力的概念

一、力

“认识开始于经验。”人们对“力”的认识，是从实践经验中来的。例如，用手推车子，举锤打铁板，拉长弹簧等，我们必须使出一定的“劲”来。这时，我们说：我们对车子、锤子或弹簧施了力。所以人们对于力的认识，最初是从肌肉感觉中获得的，是劳动人民在生产实践中逐步形成的。

推车、打铁、拉弹簧，人们都用了力，这时物体都受到力的作用。如果我们进一步对生产和生活中大量的事物进行观察，我们就会发现，不仅人对物体能发生力的作用，物体对物体也能发生力的作用。例如起重机吊起重物，起重机对重物有力的作用；机车拉着列车前进，机车对列车有拉力的作用；工厂里的锻锤打击烧红的工件，锻锤对工件有打击力的作用等等。从大量事实使我们看出，力虽然以各种不同的方式出现，但都是通过物体对物体的作用而发生的。因此我们初步认识到力是一个物体对另一个物体的作用，也就是说，一个物体受到力的作用时，一定存在着另一个对它施力的物体。那么，我们要问：受力的物体是否对施力的物体也有力的作用呢？我们知道，用手拉长弹簧的时候，我们给弹簧一个拉力，同时我们也感到手受到弹簧的拉力；车刀切削工件时，车刀给工件一个切削力，使工件削去一层，而工件使车刀逐渐磨损，这说明工件对车刀也有力的作用。因此，我们可以说：甲物体对乙物体有力作用的同时，乙物体也有力作用于甲物体，因此我们进一步认识到：力是物体间的相互作用。

物体在力的作用下，有那些效果表现呢？用力拉弹簧，弹簧被拉长了，发生了形状和大小的改变；锻工打铁时，在铁锤力的作用下，锻件改变了形状。所以力的作用第一种效果是可以使物体产生形变。另一方面，在力的作用下，起重机能将静止放在地上的

重物吊起；在公路上行驶的汽车，如果把发动机关闭了，它因受到摩擦力和空气阻力的作用而慢慢地停下来，所以力的作用第二种效果是可以改变物体的运动状态。

由此我们得出结论：力是物体与物体之间的相互作用，它可以使物体产生形变，也可以改变物体的运动状态。

二、力的三要素和力的图示

物体在力的作用下所产生的效果与那些因素有关呢？

第一，力有大小的不同。例如，火车的拉力比汽车大，拖拉机的牵引力比牛的拉力大，三吨重吊车比一吨重吊车所吊起的重量大，可见力是有大小的。

为了量度力的大小，必须规定力的单位，力的单位有“吨重”、“公斤重”、“克重”（有时也叫做“吨力”、“公斤力”、“克力”）等。它们的关系是：

$$1 \text{ 吨重} = 1000 \text{ 公斤重。}$$

$$1 \text{ 公斤重} = 1000 \text{ 克重。}$$

第二，力不但有大小，而且有方向。例如，起重机对重物的拉力向上；拖拉机对犁的拉力向前；水对航船的阻力向后。

第三，力的作用效果还跟力作用在物体的不同地方（叫做作用点）有关。例如，关门的时候，力作用在 A 点就比作用在 B 点省力；用扳手扳动螺帽时，着力在 A 点就比着力在 B 点省力（图 1—1）。

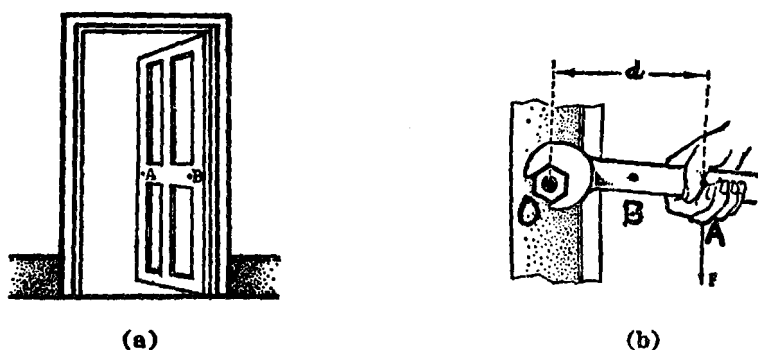


图 1—1 力的作用跟力在物体上的作用点有关系

力的大小、方向、作用点，叫做力的三要素。也就是说，凡要表示力，都应当明确力的大小、力的方向和力作用在物体上的那一点，才能进一步研究这个力的作用效果。

我们可以用带箭头的线段来表示力，把力的三要素直观地表示出来。从力的作用点起，按照力的方向画一线段，使它的长度和力的大小成正比，再在线段的末端画一个箭头，表示力的方向，这种方法叫力的图示法。例如，一个人用 6 公斤重的力向右拉车，作这个力的图示时，我们选一线段（例如 1 厘米长）表示 2 公斤重的力，这个力作用在车的 A 点，从 A 点沿力的方向（向右）画一长为 3 厘米的线段，再在线段的末端画一

个箭头（图 1—2）。又如起重机的挂钩用 300 公斤重的力向上提起重物。作这个力的图示时，我们选一线段（1 厘米长）表示 100 公斤重的力，然后确定挂钩与重物的接触点 A 为力的作用点，从 A 点沿力的方向（向上）画一长为 3 厘米的线段，再在线段的末端画一个箭头（图 1—3）。

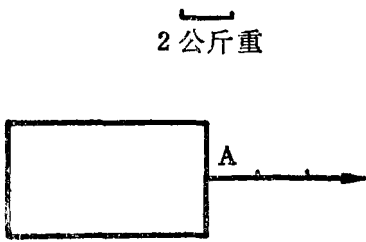


图 1—2

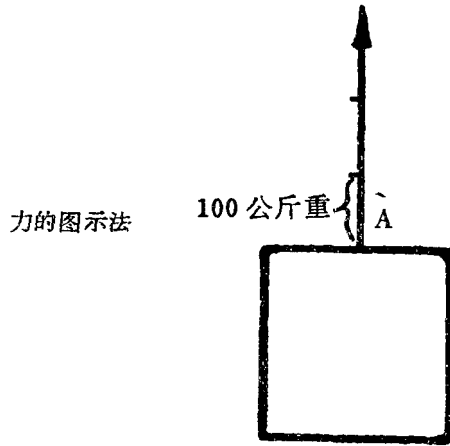


图 1—3

有大小，又有方向的量叫做矢量（又叫做向量）。如果用符号 F 表示力，为了表明它是矢量，在 F 上加一个箭头，表示为 \vec{F} 。以后我们还会遇到许多其他的矢量，如速度、加速度等，都可用同样的方法表示和处理。

在物理学中，还有许多只有大小没有方向的量，这种量叫做标量。时间、温度等都是标量，它们只由数值大小来决定。

练习与思考题

1. 用实例说明力的三要素中任何一个发生变化时，就会影响到力对物体的作用效果。
2. 一辆小车受到与地面成 30° 角的拉力的作用，力的大小为 20 公斤重，用力的图示法把这个力表示出来。
3. 拖拉机耕地时，沿水平方向拉犁的力是 400 公斤重，用力的图示法把这个力表示出来。
4. 一个物体受到四个力的作用。竖直向上的力是 1.5 公斤重，向右的力是 2 公斤重，竖直向下的力是 1.25 公斤重，向左的力是 1.75 公斤重，用力的图示法表示出这四个力。（想一想，每一单位长线段表示多大的力比较方便）。

三、常见的几种力

由于物体对物体的作用方式不同，力可以分为几种类型。在力学中，力的基本类型

有重力、弹性力、摩擦力，这些也是工程技术中常见到的力。下面分别对这几种类型的力作简单的介绍：

1. 重力

重力就是物体的重量。大家知道，地球上任何物体都是有重量的。物体的重量是怎样产生的呢？地球上的一切物体，如果没有东西支撑着它，它都要落到地面上来，例如，手里拿着石块，一放手，石块就要落下来，这现象说明：地面上一切物体都受到地球的吸引作用。物体的重量就是由于地球对物体的吸引力而产生的，所以，重量实际上就是一种力。我们把地球对物体的吸引力叫做重力。

重力不仅有大小，而且有方向。悬挂物体的绳子，在静止的时候，总是竖直向下的，这表明重力的方向竖直向下，利用这个性质，工人师傅在生产中有许多应用：如建筑工人利用重力这个性质，在一根线的下端挂一重物，做成重垂线来检查墙壁是否竖直（图1—4）。压路机和打夯机等重力机械也是利用其重量才能把路面或地基压实。

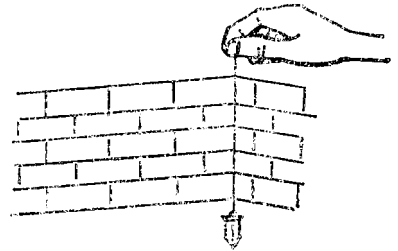


图 1—4

2. 弹性力

在前面曾经指出，一个物体受到力的作用时会发生形状的变化，我们用手拉弹簧，弹簧就伸长；用手压着弹簧，弹簧就缩短；用手去弯锯条时，锯条就弯曲，松手时，弹簧、锯条都能恢复原状。物体受外力时，它的形状相应地发生改变，这种形状的改变叫做形变。当外力撤去以后，物体能够恢复其原有形状的性质，叫做物体的弹性。用更大的力拉弹簧，如果这个力超过一定的限度，即使把力撤去后，弹簧也不能恢复原状，这个限度叫做弹性限度。

物体发生形变的同时，物体内部产生一种恢复原来形状的力，这个力叫做弹性力。下面通过实验来研究弹性力的性质。

在附有直尺的架子上挂一弹簧，弹簧下端附一指针（图1—5），如果把砝码一个一个地挂在弹簧的下面，就可以看到弹簧逐渐伸长。如果把砝码一个一个地撤去，弹簧就逐渐缩短，最后恢复到原来的长度。下表是三次实验的数据。

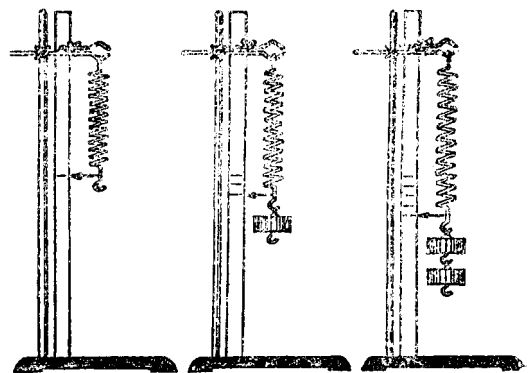


图 1—5

次数	砝码的重量 P(克重)	弹簧的伸长量 x(厘米)
1	100	2
2	200	4
3	300	6

从实验结果可见：在弹性限度内，弹簧伸长的长度（ x ）跟所受的外力（这里是砝码的重量 P ）成正比，这条规律叫弹性定律，或叫虎克定律。

在这实验中可以见到，砝码一方面受到弹簧弹性力 F 的作用，这个弹性力的方向向上（图1—6），另一方面又受到地球的吸引力即重力 P 的作用，方向向下，这时砝码处在静止不动的状态，弹性力 F 和重力 P 大小相等，方向相反，我们把这种情况叫做二力平衡；类似的情况在实际问题中经常会遇到。即当一个物体在两个大小相等，方向相反的力的作用下，保持静止状态不变，我们说这两个力平衡。

从上面讨论可见，弹性力与重力在这问题中是大小相等方向相反的一对平衡力，因而弹性定律一般可表达为：

在弹性限度内，弹性力 F 和弹簧的伸长量 x 成正比，即

$$F \propto x$$

写成等式关系便有：*〔注〕

$$F = kx. \quad (1-1)$$

式中 k 为比例系数，叫做弹簧的弹性系数（也叫倔强系数）。 k 的数值取决于弹簧的材料及几何形状等因素。弹簧压缩与弹性力的形变关系也遵循上述规律。

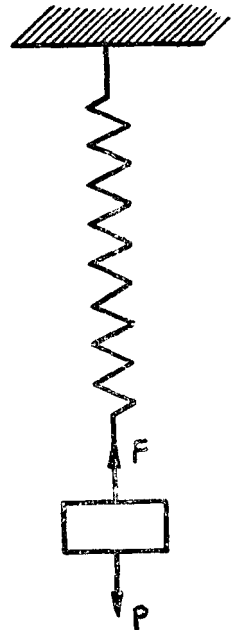


图 1—6

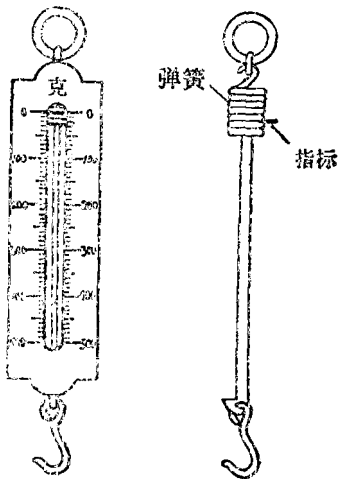


图 1—7 弹簧秤

弹簧秤就是根据弹性定律这个道理制成的，它是一种量度力的大小的工具。我们可以悬挂大小不同的砝码，如 100 克、200 克、…… 500 克，并在标尺上刻上相应的重量的标线，这样就制成了弹簧秤（图 1—7）。用弹簧秤测力或称物体的重量时，可将被称的物体挂在钩上，这时弹簧就伸长了，固定在弹簧下端的指标跟着下降，从指标的位置可以读出物体的重量。

物体的弹性和弹性力在工农业生产上有广泛的应用。例如汽车的弹簧是用钢板叠合组成的，它连接在车轴和车身间，利用钢板的弹性，来承受车身及减弱汽车行驶时的震动。柴油机中的汽门，是利用汽门弹簧的弹力来闭紧的。火车底板与轮轴间也装有减震弹簧，以减少震动。

〔注〕为了表示弹性力的方向与弹簧伸长或压缩的方向相反，在上式的右边加上一负号，写成 $F = -kx$ 。

例 1 有两根粗细不同的弹簧，当加上 2 公斤重的砝码时，粗弹簧伸长为 5 毫米，细弹簧伸长为 10 毫米。试分别计算粗弹簧及细弹簧的弹性系数。

〔已知〕 弹性力 $F = 2$ 公斤重

粗弹簧伸长量 $x_{粗} = 5$ 毫米

细弹簧伸长量 $x_{细} = 10$ 毫米

〔求〕 粗、细弹簧的弹性系数

〔解〕 由弹性定律 $F = kx$

$$\text{对粗弹簧, 有 } k_{粗} = \frac{F}{x_{粗}} = \frac{2 \text{ 公斤重}}{5 \text{ 毫米}} = \frac{2 \text{ 公斤重}}{0.5 \text{ 厘米}} = 4 \text{ 公斤重/厘米}$$

$$\text{对细弹簧, 有 } k_{细} = \frac{F}{x_{细}} = \frac{2 \text{ 公斤重}}{10 \text{ 毫米}} = \frac{2 \text{ 公斤重}}{1.0 \text{ 厘米}} = 2 \text{ 公斤重/厘米}.$$

可见，材料相同，而形状大小不同的弹簧， k 的数值不同。粗弹簧的 k 值较大，它的弹性也较大，较难伸长。

例 2 一弹簧悬挂 2 公斤重物时，伸长量是 6 厘米。问悬挂 3 公斤重物时，这个弹簧伸长量是多少？

〔已知〕 $F_1 = 2$ 公斤重

$x_1 = 6$ 厘米

$F_2 = 3$ 公斤重

〔求〕 $x_2 = ?$

〔解〕 根据弹性定律 $F = kx$ ，有

$$F_1 = kx_1$$

$$F_2 = kx_2$$

上两式相除得

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{x_1}{x_2}$$

$$\therefore x_2 = \frac{x_1 \cdot F_2}{F_1}$$

$$\text{代入数值得 } x_2 = \frac{6 \text{ 厘米} \cdot 3 \text{ 公斤重}}{2 \text{ 公斤重}} = 9 \text{ 厘米}$$

练习与思考题

1. 弹簧秤上的刻度从“0”到“5”和从“5”到“10”是否距离一样？为什么？
2. 为什么能用弹簧秤来秤重物？一个弹簧秤的下端挂 300 克重的砝码时伸长是 5 毫米，如果挂上另一个物体，它伸长 9 毫米，这个物体的重量是多少？
3. 弹簧原长 15 厘米，挂上 2 公斤重的砝码后，伸长变为 18 厘米，如果挂上 5 公

斤重的砝码，它的长度是多少？

3. 摩擦力

摩擦现象在日常生活和生产实践中普遍存在着，例如在普通水平桌面上滑动的物体，最后总要停止下来；汽车或机床在发动机制动后就会停止下来；工厂中能用传送带将物料送到加工的地方去。这些现象都说明了：两个互相接触的物体作相对运动，或有相对运动的趋势时，彼此之间作用着一种阻碍相对运动的力，这个阻碍相对运动的力叫做摩擦力。摩擦力的方向永远沿着接触面的切线方向，并且阻碍相对运动的发生。例如在图1—8中A物体在桌面上受到外力F的作用相对于桌面B向右运动时，桌面给A物体的摩擦力 f_r 方向向左，以阻碍A物体的运动。

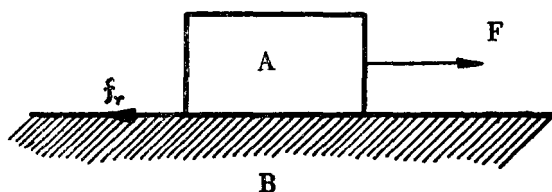


图 1—8

又如在图1—9中，货物A装放在货车上，当货车向右开始运动时，如果货物与货车之间没有摩擦力的作用，那么，当货车向前运动时，货物相对于货车，便显得要倒退，但是，由于货车给货物的摩擦力 f_r 作用在货物的下表面，阻碍货物倒退的产生，因此货车能载着货物向右运动。

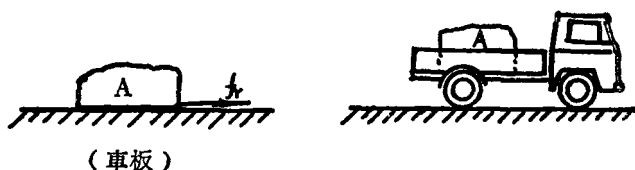


图 1—9

为了研究摩擦力的规律，可以做下面的实验：设有一物体静止地放在水平桌面上，将一弹簧秤系于这物体一边，以测量使物体运动所需的力，如图1—10所示，在实验过程中，我们得出下面的规律：

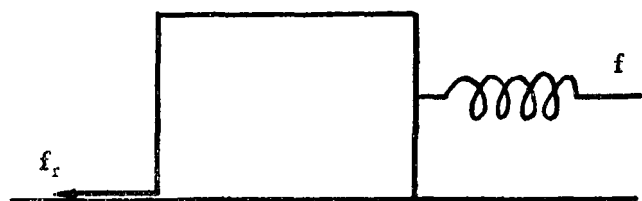


图 1—10

说明了物体除受外力 f 外，必同时受到和外力 f 大小相等，方向相反的静摩擦力。外力增大或减小时，静摩擦力也跟着增大或减小。但当外力 f 增大到某一数值时，物体开始滑动，可见静摩擦力的增大有一限量。这个极限值叫做最大静摩擦力，以 $f_{\text{最大}}$ 表示，它的大小就等于物体开始滑动时，外加拉力 f 的大小。实验还发现，如果在物体上面加上砝码，亦即增加了物体给桌面的正压力 N （即垂直于接触面的压力），这时，静摩擦力也就随着正压力成正比地增大，也就是说这时要加更大的拉力才能使物体开始滑动，

这一事实，可从摩擦力产生的原因得到解释，摩擦力产生的原因比较复杂，主要原因之一是摩擦表面的粗糙不平，因此当一物体在另一物体表面滑动时，它们表面之间的凹凸不平部分就会相互碰撞，如图 1-11 所示，当物体间接触面的压力越大，它们间的啮合也越紧，发生相对滑动自然也就越困难。设以 N 表示物体给桌面的正压力，则最大静摩擦力可表示为：

$$f_{\text{最大}} = \mu_0 N . \quad (1-2)$$

式中 μ_0 叫做静摩擦系数，它是一个无单位的纯数。它的数值由相互接触物体的质料和表面情况（如粗糙程度，干湿程度等）决定。

(2) 滑动摩擦力 继续进行上面的实验，可见物体开始运动后，只要加上比克服最大静摩擦力时稍小的外力，就可使物体保持均匀快慢地滑动（匀速运动）。由此可见，要使物体在桌面上作匀速滑动，必须经常用一定的外力去拖它，这时物体也受到一定数值的摩擦力，这种摩擦力叫做滑动摩擦力，它的方向和物体运动的方向相反。实验指出，滑动摩擦力 f_r 也和正压力 N 成正比，即

$$f_r = \mu N . \quad (1-3)$$

式中 μ 叫做滑动摩擦系数，是一个无单位的纯数，它与接触面的质料和表面情况有关。通常对于给定的一对表面来说， $\mu_0 > \mu$ 。实验还指出，当两个物体的接触面不是太大或太小时，摩擦系数和接触面积的大小几乎没有关系。下表列举一些材料间的滑动摩擦系数。

摩擦材料	钢与钢	钢与铸铁	铁与铁	铁与黄铜	木与木	皮带与木	皮带与铸铁
μ	0.17	0.177	0.3	0.2	0.2~0.4	0.4	0.28

(3) 滚动摩擦 一个物体在另外一个物体上滚动时所遇到的摩擦，叫做滚动摩擦。例如车轮在地面上转动时所遇到的摩擦，就是滚动摩擦。滚动摩擦力与滑动摩擦力类似，但滚动摩擦系数比滑动摩擦系数复杂和小得多。

在机械使用和日常生活中，摩擦有时是有害的，必须尽量设法减小，例如轮胎、机器零件的磨损，金属表面切削时的发热，行车的阻力等等。为了减少摩擦，我们常在机器的摩擦部位加上润滑油后，滑动摩擦系数就减少到 0.06~0.11。

减少摩擦的另一个有效办法是把滑动摩擦改为滚动摩擦，这样可使摩擦力减少到只为滑动的情况的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{50}$ 。例如在搬运重物时可在它下面垫上滚木，高速转动的部件，一般安装上滚珠轴承，以滚动摩擦代替滑动摩擦。

摩擦力也并不都是有害的，在某些情况下又显得很必要。如果没有摩擦，人无法走路，汽车无法行驶，机器的皮带轮也会打滑……。毛主席教导我们：“我们必须学会全

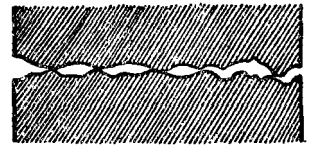


图 1-11

面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到事物的反面”。只要认识了摩擦的规律，我们就不但可以避免或减小它有害的一面，而且还可以充分利用其有利的一方面。所以在下雪天，火车铁轨上要撒上沙，以增加摩擦。汽车和自行车轮胎上花纹的设计，也是为了增加轮胎和路面间的摩擦。皮带的传动，靠的是摩擦。如果皮带打滑，就撒上松香粉以增加摩擦。机器中的摩擦传动，也是人类成功地利用摩擦的一个例子。

例1 为了使500公斤重的机架在水平地面上滑动，最初用100公斤重的水平力拉它。接着又增加到150公斤重、200公斤重的水平力拉它，但都不能使机架滑动，拉力一直增加到300公斤重后，机架才开始滑动。求上述各种情况下的静摩擦力和静摩擦系数。

〔已知〕 $N = 500$ 公斤重 $f_1 = 100$ 公斤重 $f_2 = 150$ 公斤重
 $f_3 = 200$ 公斤重 $f_{\text{最大}} = 300$ 公斤重

〔求〕 f_r, μ_0

〔解〕 (1) 机架受到外力作用而不动，其所受到的摩擦力的大小等于外力，方向和外力相反。因此

当拉力 $f_1 = 100$ 公斤重时，摩擦力 $f_{r1} = 100$ 公斤重；

当拉力 $f_2 = 150$ 公斤重时，摩擦力 $f_{r2} = 150$ 公斤重；

当拉力 $f_3 = 200$ 公斤重时，摩擦力 $f_{r3} = 200$ 公斤重。

(2) 机架受到300公斤重的外力时，开始滑动，这说明最大静摩擦力 $f_{\text{最大}} = 300$ 公斤重，所以静摩擦系数

$$\mu_0 = \frac{f_{\text{最大}}}{N} = \frac{300}{500} = 0.6 .$$

例2 为了使上题中的机架继续在水平地面上匀速滑动，我们必须经常用200公斤重的力拉它。求滑动摩擦系数。

〔已知〕 $N = 500$ 公斤重 $f_r = 200$ 公斤重

〔求〕 $\mu = ?$

〔解〕 要使机架在水平地面上匀速滑动，我们用200公斤重的力来拉它，是拿来克服它所受到的摩擦力的，因此摩擦力也是200公斤重，所以滑动摩擦系数

$$\mu = \frac{f_r}{N} = \frac{200}{500} = 0.4 .$$

由上述例题可见，当机架被拉动后，维持机架匀速滑动所需的力是小于使机架开始滑动所需的力的，如果在机架下面加上圆柱形铁棍，把滑动摩擦变成滚动摩擦，减少摩擦阻力，拉起来就更加省力了。

练习与思考题

1. 用手握住物体的时候，如果物体表面越光滑，手就要越握得紧些，物体才不致掉下，这是什么缘故？

2. 观察自行车上哪些地方是利用了摩擦？哪些地方是为了减少摩擦？
3. 试举日常生活中和工农业生产、交通运输中减少摩擦力和应用摩擦力的例子。
4. 解放牌载重汽车自重 3900 公斤重，当它载货 4000 公斤重在水平路面行驶时，求制动器将车轮刹住不再转动，而停止转动的车轮擦着地面向前滑动时的滑动摩擦力（汽车车轮与地面的摩擦系数为 0.4）。

§ 2 力 矩

为了下面学习简单机械，在这里我们先介绍力矩的概念。

前面讨论力的三要素时，已经指出力的作用效果与作用点有关。例如在关门的时候，力的作用点在 A 点比 B 点省力（图 1—1）。如果着力点在门的铰链处，无论用多大的力，也不能使门转动。同样，在扳动螺帽时，着力点在 A 点比着力点在 B 点省力（图 1—1），即手柄越长越感到容易扳动。

这些例子说明，要使物体转动，不但与力的大小有关，而且与力的作用线到转轴的垂直距离有关。对一个绕固定轴转动的物体来讲，力越大，力的作用线到转轴之间的垂直距离越大，使物体转动的作用就越大。

从转动轴到力的作用线的垂直距离，叫做力臂。例如图 1—1 中使用扳手时，力臂为 d 。

力和力臂的乘积叫做力矩。使物体绕固定轴转动的作用决定于力矩。

如果用 F 表示力，用 d 表示力臂，用 M 表示力矩，则

$$M = Fd \quad (1-4)$$

力矩的单位决定于力和力臂的单位。如果力的单位用公斤重，力臂的单位用米，力矩的单位是米·公斤重。

要完全确定力矩对物体的转动作用，我们不但要考虑力矩的大小，而且必须知道它使物体转动的方向。例如图 1—1 中用扳手扳动螺帽，如果依顺时针方向转动，就能把螺帽拧紧；依反时针方向转动，就能把螺帽拧松。为了表示力矩对转动方向的效果，习惯上把顺时针方向转动的力矩取为负，逆时针方向转动的力矩为正。按此规定，拧紧螺帽的力矩是负的，拧松螺帽的力矩是正的。

物体转动时，可能同时受有几个力的力矩作用。这时，总力矩就应当按照力矩的正负求出它们的代数和。如果所有正方向的力矩的和等于所有负方向的力矩的和，那么物体处于平衡状态。

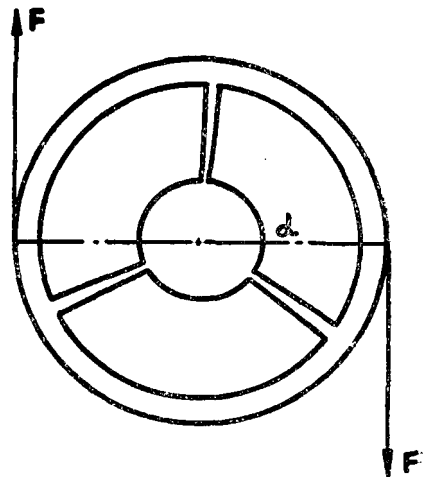


图 1—12

汽车司机用双手转动方向盘，或用手指拧水龙头等，都是用一对大小相等、方向相反而作用线不在同一直线上的两个相互平行的力进行工作的，这时产生的总力矩为（图1—12）：

$$Fd + Fd = 2Fd .$$

这叫做力偶矩。在电动机中使它发生转动的力矩也是这种力偶矩。

练习与思考题

1. 下图中O代表一根垂直于图面的铁钉，细棒可绕它自由转动，图中A是力P的作用点。指出下面三种情况下，它们的力臂和力矩。

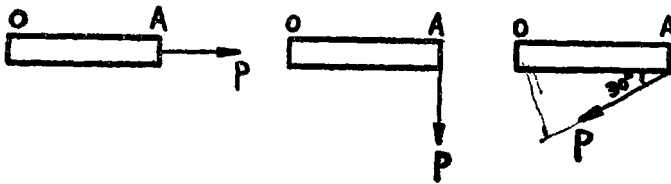


图 1—13

2. 使均匀的重长棒保持水平位置，为什么握住它的中心比握住其它地方省力？

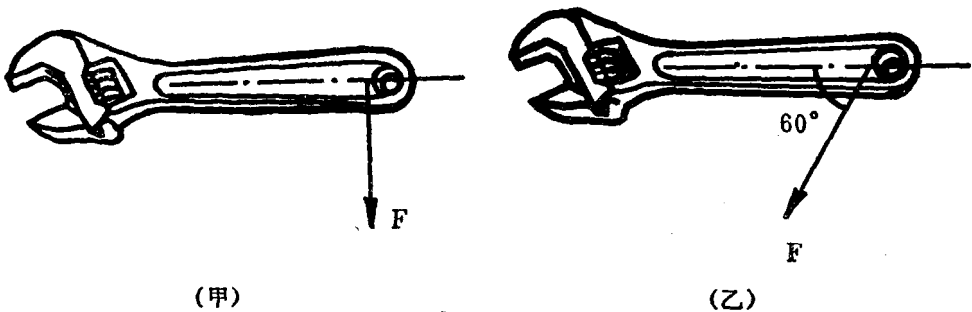


图 1—14

3. 如图1—14（甲），用力F垂直于扳手拧紧螺帽，或如图1—14（乙），用力F与扳手成60°角拧紧螺帽。这两种情况作用的效果是否一样？

4. 火车刹车时（图1—15）制动片A（闸瓦）和车轮间的摩擦力F是50公斤重，车轮半径R为0.45米，求制动力矩。

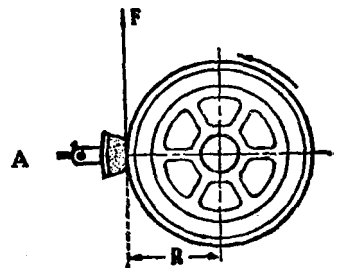


图 1—15

§ 3 杠杆类简单机械

劳动人民为了改造自然，征服自然，在长期的生产实践中，发明和创造了许多机械。这些机械的应用，大大减轻了劳动强度，提高了劳动效率。

简单机械具有省力、轻便和制造容易的特点，同时，任何复杂机械如缝纫机、起重机、火车头、拖拉机、钻床、刨床等，都是由有限几种最简单而又最基本的机械组合起来的。简单机械看起来是多式多样，但从构造原理上分析起来，基本上只有两大类：一类是杠杆类简单机械（如杠杆、轮轴、滑轮等）；另一类是斜面类简单机械（如斜面、螺旋等）。这一节先介绍杠杆类简单机械。

一、杠 杆

在工农业生产中，人们常用木棒或铁棒来撬动比较重的东西。例如，要撬起大石头，常用一根硬棒，一头插在石头底下，下面垫上石块（图1—16），另一端用力往下压，硬棒就绕石块转动。硬棒的前端就克服石头的重量，把石头撬起来了，这就是杠杆。在力的作用下能绕固定轴转动的硬棒，叫做杠杆。

图1—16是杠杆的示意图。使杠杆转动的力 F_1 叫做动力；阻碍杠杆转动的力 F_2 叫做阻力；固定点O叫做支点。从支点O到动力 F_1 的作用线的垂直距离OA为动力臂。

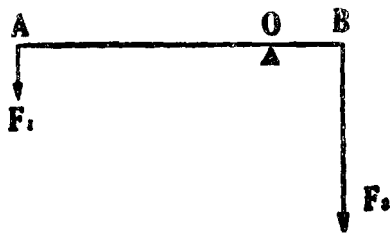
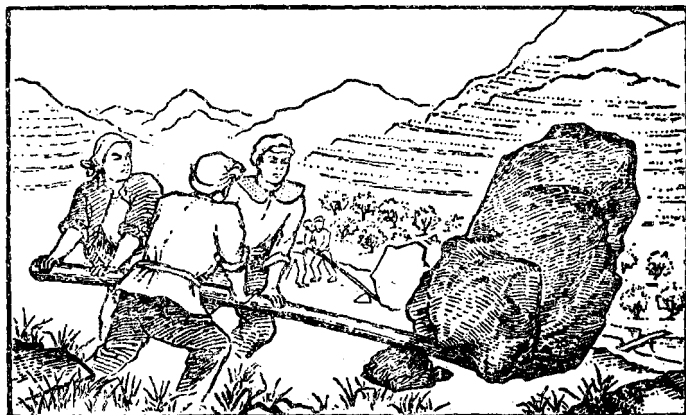


图 1—16

从支点O到阻力 F_2 的作用线的垂直距离OB为阻力臂。

使用杠杆时，为了达到省力的目的，总是使杠杆的动力臂大于阻力臂，这是什么道理呢？下面我们通过实验来讨论这个问题。

图1—17 是一根安放在支架上的直尺，就是一个实验用的杠杆。O点是支点。两边没有挂砝码时，设杠杆是平衡的。然后把砝码挂在杠杆上，选择挂砝码的位置，使杠杆平衡，并记下支点左边的力 F_1 及其力臂长OA，和支点右边的力 F_2 及其力臂长OB。改变砝码的重量和力臂的长度再做几次平衡的实验，实验结果如下表：

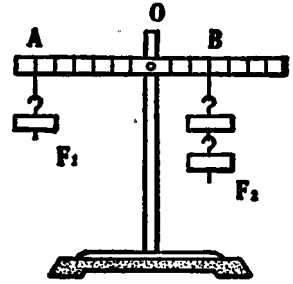


图 1—17 杠杆的平衡

实验次数	支 点 的 左 方		支 点 的 右 方	
	F_1 (克)	OA (厘米)	F_2 (克)	OB (厘米)
1	100	20	200	10
2	200	15	100	30
3	200	20	400	10
4	100	30	300	10

从实验结果得出：当作用在杠杆左边的力与其力臂的乘积，等于作用在杠杆右边的力与其力臂的乘积时，即是使杠杆绕反时针方向转动的动力矩等于使杠杆绕顺时针方向转动的阻力矩时，杠杆就平衡。动力矩的量值只要比阻力矩稍微加大一些，杠杆就启动，如果要维持平衡或作匀速转动，则动力矩只需要等于阻力矩，即

$$\text{动力} \times \text{动力臂} = \text{阻力} \times \text{阻力臂}$$

$$\text{即} \quad F_1 \cdot \overline{OA} = F_2 \cdot \overline{OB} \quad (1-5)$$

$$\text{或} \quad \frac{\text{动力}}{\text{阻力}} = \frac{\text{阻力臂}}{\text{动力臂}}$$

式(1—5)就是杠杆的平衡条件，从这个关系式可以看出，当动力臂是阻力臂的几倍时，则动力是阻力的几分之一。所以使用杠杆时，动力臂大于阻力臂时，动力就小于阻力，即省力；动力臂小于阻力臂时，动力就大于阻力，即费力。

为了适应工作的需要，杠杆不一定是直的，支点也不一定在动力作用点和阻力作用点之间。但是无论杠杆形式如何，杠杆平衡条件都遵守上述公式。

杠杆的应用非常广泛，在工农业生产和日常生活中常根据不同需要，选用不同类型的杠杆。有的用来省力（如钳子、剪金属片用的剪刀、铡刀等），有的用来改变力的方向（如起钉锤），有的杠杆虽然费力，但做轻巧工作时使用起来方便，工作效果较快（镊子、理发剪等）。