

## 6.5 探究杠杆平衡条件

### 与教材不同之处

更详细描述了杠杆定义；更详细描述了杠杆的平衡状态；更详细描述了杠杆的五要素；更详细分析了杠杆处于水平平衡的好处；更详细总结了对力臂的作图方法；更详细分析杠杆的省力技巧；更详细分析了杠杆受三力时的省力情况；更详细描述杠杆的分类；更详细描述生活中杠杆的组合器材；更详细描述了跟人体相关的省力或费力杠杆。

### 什么是简单机械

生活和生产中，我们常常会接触一些机械，比如撬棒、起重机。

机械是指一类能帮助我们省力或省距离的器械。再复杂的机械都是由简单机械组成的，简单机械一般分为杠杆类简单机械和斜面类简单机械。

这一节，我们来一起学习与杠杆有关的知识。

### 什么是杠杆

“杠”字含义是指较粗的棍子，“杆”字含义是指较长的棍子。两字合在一起，“杠杆”

字面上的意义是指硬的棍子。

在物理学上，将一个能绕某点转动的硬棒叫做杠杆。

跷跷板就是一种杠杆。

要注意的是，做杠杆的材料可以是直的，也可以是弯的，或者其他复杂的任意形状，没有要求杠杆一定是直长型的。

为什么撬棒是一种杠杆？

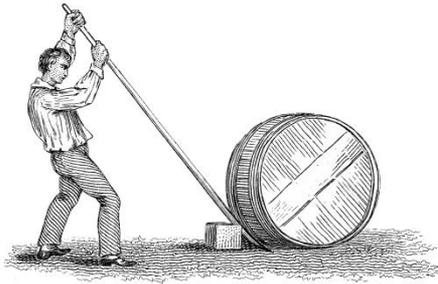


图 6-5-1

我们判断一件物品是不是属于杠杆，关键要看该物品在使用的时候是不是会绕某个点在转动，如果物品的各部分都是在绕某个点在转动，它就是杠杆，如图 6-5-1。

杠杆在转动中所围绕的点，叫支点。

## 什么是杠杆平衡状态

当杠杆绕着支点匀速转动时或杠杆静止不动时，我们称之为杠杆平衡。



图 6-5-2

图 6-5-2 中，跷跷板倾斜的，由于此时它是静止的，所以这种情况也属于杠杆平衡，只不过不是在水平位置的平衡。

## 什么是动力、阻力

图 6-5-2 中，撬棒工作中，撬棒至少受到了两个力。一个是人施加的，这个力使撬棒有逆时针转动的可能，从而帮助我们将钉子取出，这个力称为动力，用  $F_1$  表示。另一个力来自钉子，它始终阻碍撬棒绕逆时针转动，避免钉子被取出，这个力我们称为阻力，用  $F_2$  表示。

所以，动力是指能使杠杆转动的力，阻力是指阻碍杠杆转动的力。

很显然，杠杆要达到平衡状态，至少要受到两个力的作用。

如图 6-5-3，这是古人利用桔槔（即杠杆）汲水的过程。杠杆后端的巨石对桔槔有向下的压力，这个压力阻止我们将空桶沉入水中，这个压力很显然是一个阻力；然而当桶装满水时，巨石给杠杆的压力可以帮助我们将水桶提出来，这时巨石的压力却是动力。

这说明，同一杠杆上的同一个力，使用目的不同时，原先的阻力可以变为后来的动力，即，动力与阻力的概念是相对的。

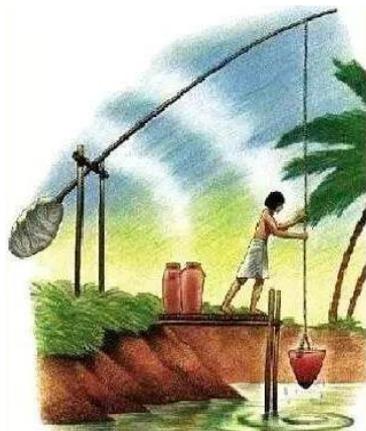


图 6-5-3

思考：图 6-5-3 中，桶对桔槔的拉力什么时候是动力，什么时候是阻力？

## 实验探究杠杆平衡条件前的准备

在杠杆使用过程中，杠杆平衡状态是非常重要的状态。

当杠杆同时受到动力和阻力时，这两个力满足什么条件时才会让杠杆达到平衡状态呢？

在实验室里，我们有专门探究杠杆平衡条件的器材，如图 6-5-4。这个杠杆的左右两端都有平衡螺母，通过调节平衡螺母，我们很方便地将杠杆调至我们想要的平衡位置。

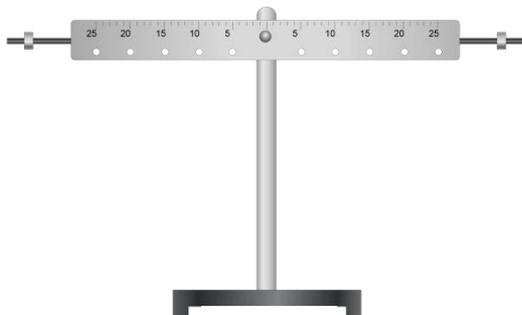


图 6-5-4

一般地，我们要将杠杆调至水平位置平衡状态，这是因为当杠杆在水平位置平衡时，我们就可以消除杠杆自重对实验的影响。

## 实验前，杠杆位于水平平衡状态的好处

如果杠杆是理想杠杆（没有厚度，支点恰好在重心上，质量绝对均匀），那么杠杆能在水平位置静止，它一定也可在任何倾斜位置静止。

所以，在理想情况下，我对杠杆施加动力和阻力后（我们可以把钩码挂在杠杆下，相当于我们施加了动力和阻力），只要杠杆静止，不论水平还是倾斜位置，我们都可以认为此时杠杆只受到两个力，且处于平衡状态。

但实际情况是，杠杆能水平位置静止时，它就不可能在倾斜位置静止。

这是因为实际杠杆的支点与杠杆的重心很难做到完全重合，甚至会将支点位置比重心的位置高一点。这种情况下，只有当杠杆恰好在水平位置保持静止时，杠杆的重心与杠杆的支点在同一个重垂线上。如果让杠杆倾斜一下，杠杆的重心就会产生偏移，那么杠杆自重有可能成为动力或阻力的一部分也在起一定的作用，对实验的探究会产生影响。

所以，实验前将杠杆调整至水平位置平衡，主要是为消除杠杆自重对实验的影响。

## 实验时，杠杆调整至水平位置平衡的好处

现在，我们开始实验。

先给杠杆的左侧挂上 1 个钩码（选用重量相同的钩码且均为 0.5N），此钩码对杠杆的拉力命名为阻力  $F_2$ ，杠杆的右侧挂上 2 个钩码，此钩码对杠杆的拉力命名为动力  $F_1$ ，实验过程如图 6-5-5 所示。

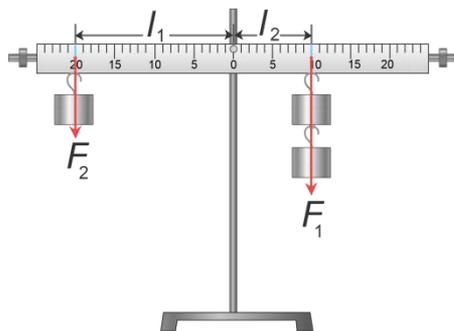


图 6-5-5

当我们把左侧的钩码的悬挂点放至 20cm 位置处（钩码的悬挂点其实也是钩码对杠杆施加拉力的作用点，所以，左侧钩码的悬挂点也叫做阻力作用点），右侧的钩码的悬挂点（即动力作用点）一定在 10cm 位置处，杠杆便可恢复至水平位置平衡。

为了使实验更具普遍性，我们需要多次改变支点两侧钩码的个数，每次改变钩码个数时都需要重新找到能使杠杆在水平位置平衡的钩码悬挂点，并把这些悬挂点到支点的距离记录

到表格中。

次数	动力/N	支点到动力作用点的距离/m	阻力/N	支点到阻力作用点的距离/m
1				
2				
3				

分析表中的数据，我们发现：

杠杆平衡时， $F_2$  和  $F_1$  大小不一定相等。

而且还发现，有这么一条规律：

$$\text{动力} \times \text{支点到动力作用点的距离} = \text{阻力} \times \text{支点到阻力作用点的距离}$$

到此，我们的实验好像可以结束了，这个实验也经受了多次实验的考验。但我们发现，动力与阻力的方向总是平行的，为了实验结论更具有普遍性，我们有必要改变一下其中一个力的方向使两力的方向不再平行，如图 6-5-6 所示。

我们将发现，弹簧测力计的示数会变大，也就是说，“动力×支点到动力作用点的距离=阻力×支点到阻力作用点的距离”这条规律不再成立。

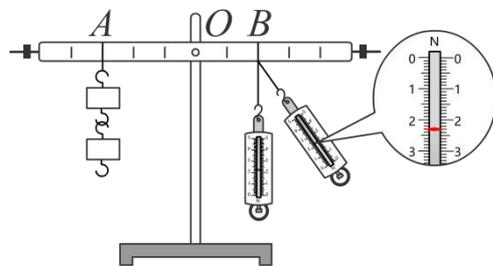


图 6-5-6

多次改变拉力的方向，拉力大小也会跟着发生变化，上述规律始终不再成立。

我们回头看一下前面的实验，不难发现，实验中的动力与支点到动力作用点的距离其实是垂直的关系。因此，当我们斜着对杠杆施加拉力（动力）时，通过如图 6-5-7 中借助可旋转的长尺的方法测出支点到拉力（动力）方向的垂直距离，然后再将动力大小与支点到动力方向的垂直距离相乘，所得的乘积与

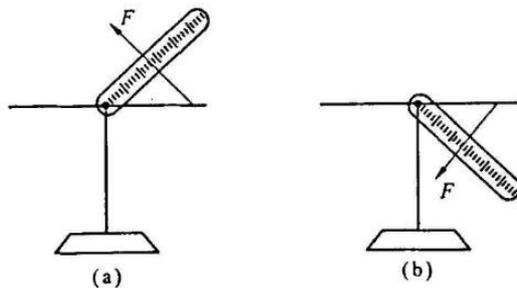


图 6-5-7 用旋转式镜尺件测力臂

另一个乘积（阻力与支点到阻力方向的垂直距离的乘积）相比较，我们发现，两个乘积的关系是相等的。

于是，我们得到一个更具有普遍性的有关杠杆平衡的规律：

动力×支点到动力作用线的垂直距离=阻力×支点到阻力作用线的垂直距离

支点到力的作用线的垂直距离，我们称为力臂，用  $L$  表示。很显然，力臂可分为动力臂  $L_1$  和阻力臂  $L_2$ ，则上述规律用我们可写成：

**动力×动力臂=阻力×阻力臂**

公式表示为：

$$F_1L_1 = F_2L_2$$

这个规律就叫做杠杆平衡条件或杠杆原理，最早是由阿基米德发现的。

从上面的实验数据我们还有一个有意思的发现，如图 6-5-6 所示，当  $OB$  为力臂时，弹簧测力计的示数是最小的。于是，我们不难得出这么一条规律：

当其他因素不变时，若想获得最小的拉力（或最省力），我们应该选用支点到力的作用点的距离为力臂。

## 力臂的示意图作法

在应用杠杆平衡条件解决一些问题前，力臂的作图是应掌握的事情。

**例题 1：**如图 6-5-8 所示的有一根挂在天花板上的杠杆，可以绕点  $O$  转动，做出动力  $F$  的力臂？

- ①首先根据杠杆的示意图，确定杠杆的支点，如图 a；
- ②确定力的作用点和力的方向，画出力的作用线（用虚线，有时要适当延长），如图 b；
- ③从支点向力的作用线作垂线（在垂足处画出直角），支点到垂足的距离就是力臂，在旁边标上字母， $L_1$  和  $L_2$  分别表示动力臂和阻力臂，如图 c。

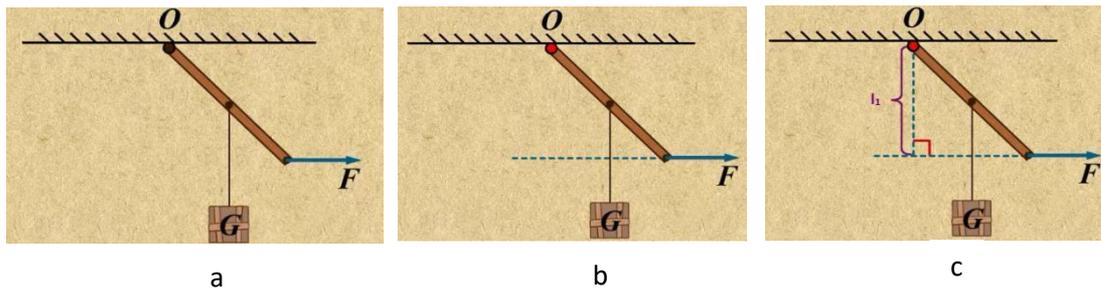


图 6-5-8

思考：如图 6-5-9，这是生活中起钉子的羊角锤，画出动力  $F$  的力臂  $L_1$ 。

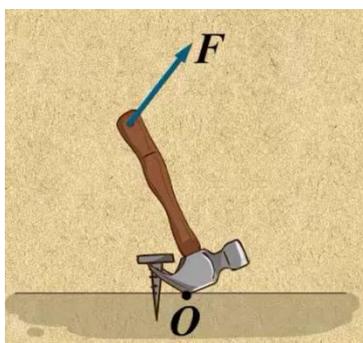


图 6-5-9

## 应用杠杆平衡条件进行计算

例题：如图 6-5-10 所示，用固定在墙上的三角支架 ABC 放置空调室外机，如果 A 处螺钉松脱，则支架会绕 C 点倾翻。其中，AB 长 40cm，AC 长 30cm。室外机的重力为 300N，过重心的重垂线正好经过 AB 中点，求 A 处螺钉的水平拉力为多少牛？（支架重力不计）



图 6-5-10

已知：阻力臂  $L_2 = 1/2 \times AB = 20\text{cm} = 0.2\text{m}$ ，动力臂  $L_1 = AC = 30\text{cm} = 0.3\text{m}$ ，阻力  $F_2 = G = 300\text{N}$

求：A 处螺钉的水平拉力  $F_1$

解：根据杠杆平衡条件  $F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2$  得：

$$F_1 = \frac{F_2 \times L_2}{L_1} = \frac{300\text{N} \times 0.2\text{m}}{0.3\text{m}} = 200\text{N}$$

答：A 处螺钉的水平拉力为 200 牛

## 杠杆如何做到省力

我们经常会讨论利用杠杆有什么用途？

使用杠杆的最大用途之一：省力。

什么叫省力？

所谓省力，是指动力比阻力小的情形。

所谓更省力，是指动力变小的情形。

根据杠杆平衡条件公式

$$F_1 L_1 = F_2 L_2$$

的移项变形，我们可以得到如下这么一个公式：

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

这个公式告诉我们，动力  $F_1$  与阻力  $F_2$  之比，等于动力臂  $L_1$  与阻力臂  $L_2$  的反比。也就是说，当动力  $F_1$  是阻力  $F_2$  的几分之几，则动力臂  $L_1$  是阻力臂  $L_2$  的几倍。

所以，一个杠杆要省力，这个杠杆的动力臂必须要比阻力臂大。

## 杠杆如何做到更省力

通过上面的例题，我们可以得到一个变形公式——求解动力  $F_1$  大小的公式：

$$F_1 = \frac{F_2 \times L_2}{L_1}$$

这个公式告诉我们，动力的大小是由阻力  $F_2$ 、阻力臂  $L_2$ 、动力臂  $L_1$  共同决定的。

如果要减小动力，实现更省力的的话，就意味着改变阻力  $F_2$ 、阻力臂  $L_2$ 、动力臂  $L_1$  三者中一个或多个。

根据杠杆平衡条件的变形公式

$$F_1 = \frac{F_2 \times L_2}{L_1}$$

我们不难分析出，如果我们要减小动力，以达到省力的目标的话，我们可采用的方式有：

- （1）减小阻力；（2）减小阻力臂；（3）增大动力臂。

## 杠杆受三个力时省力情况分析技巧

现在我们来分析杠杆受到三个力的作用时会出现的一些有趣现象。



图 6-5-11

图 6-5-11 漫画中两个和尚正在抬水，我们能不能利用杠杆平衡条件来分析出哪个和尚使得力更大？

很明显，抬水的木棍受到三个力，两个和尚向上的支持力和水桶对木棍向下的拉力。

如果木棍是杠杆，它的支点在哪里？通过的做法是，或以大和尚的肩膀为支点，或以小和尚的肩膀为支点。其实，以谁的肩膀为支点都没有错，以大和尚的肩膀为支点，则根据杠杆平衡条件可以算出小和尚向上的支持力的大小；同理，以小和尚的肩膀为支点，我们也能算出大和尚的支持力的大小。然后比较这两个支持力的大小，就可以判断出谁使得力更大了。

其实，我们还有一个更巧的办法，我们可以把水桶的悬挂点当成支点。那么，很显然，大和尚的支持力的力臂大于小和尚的支持力的力臂，根据杠杆平衡条件可知，大和尚的支持力小，小和尚的支持力大。

甚至根据力臂的比值，我们还可以求出两个和尚支持力大小的比值是多少？公式如下：

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

## 重物的悬挂点的位置当成支点的理论依据

为什么可以将重物的悬挂点的位置当成支点？

如图 6-5-12 所示，A 点大和尚的肩膀的位置，B 点为小和尚的肩膀的位置，O 点重物的悬挂点的位置，设 AO 为  $L_A$ ，BO 为  $L_B$ 。

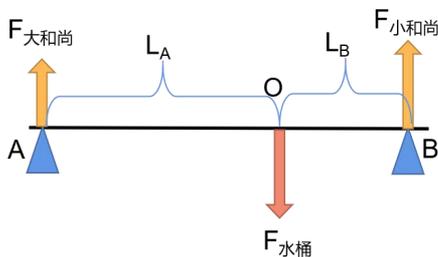


图 6-5-12

当选取 A 为支点，根据图 6-5-12 所示的力、力臂的示意图以及杠杆平衡条件，我们可求出小和尚的支持力  $F_{\text{小和尚}}$ ，表达式为：

$$F_{\text{小和尚}} = \frac{F_{\text{水桶}} \times L_A}{L_{AB}}$$

当我选取 B 为支点时，根据图 6-5-12 所示的力、力臂的示意图以及杠杆平衡条件，我们可求出小和尚的支持力  $F_{\text{大和尚}}$ ，表达式为：

$$F_{\text{大和尚}} = \frac{F_{\text{水桶}} \times L_B}{L_{AB}}$$

将两式合并，去掉相同项，得到：

$$F_{\text{大和尚}} L_A = F_{\text{小和尚}} L_B$$

上面的这个等式表示，大和尚和小和尚各自施加的力的关系其实是满足杠杆平衡条件的，而且，这是以 O 点为支点的杠杆平衡条件。

非常神奇，在探究大和尚与小和尚的支持力的大小关系时，竟可以将重物悬挂点 O 点作为支点。

所以，当杠杆平衡时，我们是可以选择杠杆上某个点作为支点时（忽略木棍自重），即使动力臂和阻力臂因此而发生变化，但相应的力的大小与力臂的大小的乘积始终相等。



图 6-5-13

思考：图 6-5-13 中的货车的前后轮胎承受的货物压力相同吗？你是怎么思考的？

## 生活中的省力杠杆知多少

杠杆在生活和生产中其实很常见。之所以生活和生产中要利用杠杆，是因为杠杆主要有两在用途：一是省力，二是省距离。

所以，根据省力情况，杠杆分为三大类型：省力杠杆、费力杠杆以及等臂杠杆。

我们先来分析省力杠杆。

前面我们已经根据杠杆平衡条件

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

可知，当动力臂  $L_1$  大于阻力臂  $L_2$  时，动力  $F_1$  一定小于阻力  $F_2$ 。动力小于阻力，我们称为省力，反之，我们称为费力。

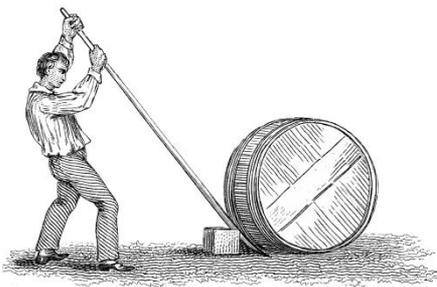


图 6-5-1

例如，图 6-5-1，我们发现撬棒工作时动力臂比阻力臂大，所以，我们通过撬棒能用较小的动力能抬起较重的巨石。像这种能省力的杠杆称为省力杠杆。

撬棒虽然省力，但我们同时发现到，动力作用点移动的距离比阻力作用点移动的距离要大，说白了，就是手要移动一段较长的距离，巨石才被撬起一点点，也就是说，阻力通过的距离小，动力通过的距离大，这就是费距离。

这说明，利用杠杆我们的确获得了省力的效果，但也付出了费距离的代价。

生活中还有很多的省力杠杆，如图 6-5-14，瓶盖起、羊角锤、手推车、道钉撬等。



图 6-5-14

请同学们试着在图上画出这些杠杆的动力臂、阻力臂的示意图并分析杠杆省费力情况。

## 生活中的费力杠杆知多少

生活中也有些杠杆的动力臂比阻力臂小，使用这样的杠杆是费力的，但使用这样的

杠杆也有好处，就是省距离，即动点作用点移动距离比阻力作用点移动距离小很多。



图 6-5-15

例如，如图 6-5-15 中的钓鱼杆，当我们钓起一条鱼时，手中的感觉却非常沉重，这是费力的表现。但是，我们的左手只要往后移动一点点距离，鱼就会从远处移动到我们的身边，这就是省距离的表现。

所以，费力杠杆不是一无是处，我们利用费力杠杆时，虽然费力了，但省了距离。

生活中费力杠杆还有：缝纫机的脚踏板、扫帚、船桨、吊车，如图 6-5-16 所示。



图 6-5-16

## 生活中的一些杠杆的组合

值得注意的是，生活和生产中的工具常常是由两个杠杆或多个杠杆组合而成的。图 6-5-17 中的镊子，铁皮剪刀都是两个杠杆组合而成的工具，指甲剪是由三个杠杆组合而成的（其中两个是费力的，一个是省力的）。



图 6-5-17

现在我们来分析这些看似复杂的杠杆组合。

图 6-5-18 中的镊子，它的每一边都是一个单独的杠杆。

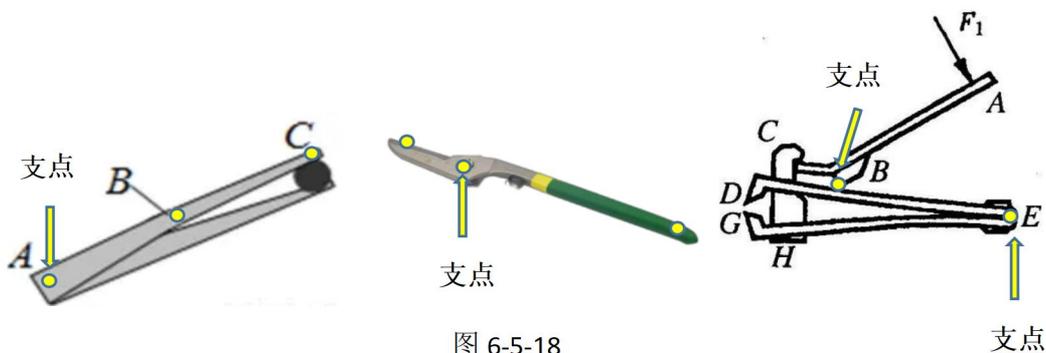


图 6-5-18

我们先取一边 ABC 来研究，支点在 A 点，B 点是动力作用点，C 点是阻力作用点，很明显，动力臂 AB 比阻力臂 AC 小，则动力大于阻力，即费力，镊子是一个费用杠杆。

我们再选择铁皮剪刀的某一条边来研究，发现这条单独的边其实是一个独立的杠杆，从图 6-5-17 中，我们发现铁皮剪刀的动力臂比阻力臂大很多，所以，使用铁皮剪刀时，施加的动力会比铁皮给剪刀给予的阻力小很多，是一个很省力的杠杆。

指甲剪有点复杂，杠杆 DBE、GHE 都是以 E 为支点的杠杆，相当一个镊子，由于此时动力作用点在 B 点，阻力作用点在 D、G 点，动力臂小于阻力臂，则动力大于阻力，

所以，杠杆 DBE、GHE 都是费力的。另外，杠杆 CBA 是一个以 B 点为支点的杠杆，由于动力点在 A 点，阻力点在 C 点，动力臂大于阻力臂，则动力小于阻力，是一个省力杠杆。总体来看，指甲剪的动力臂比阻力臂大很多，所以指甲剪还是能省力的。

生活中由多个杠杆组合而成的机械还有很多：火钳（费力）、老虎钳（省力）、起重机（费力）、筷子（费力）等。

## 人体结构中的一些杠杆的组合

人的身体结构其实也可以看成是由多个杠杆组合的。

图 6-5-19 中左图，抬起前臂正在举起手中物品。

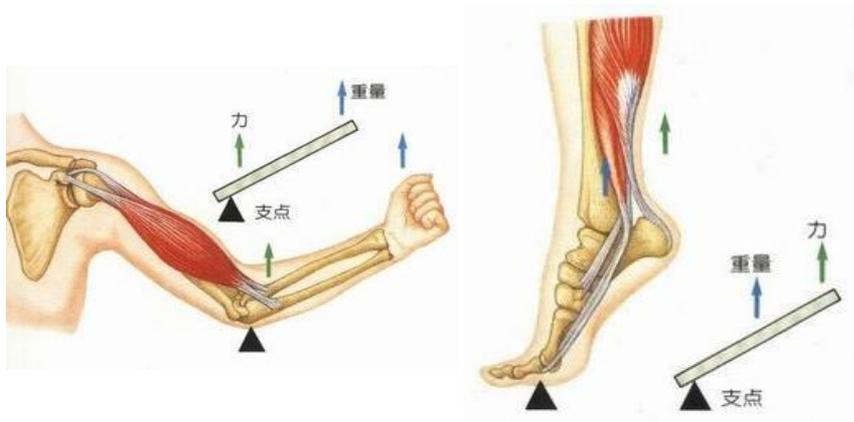


图 6-5-19

我们可以将前臂骨骼看成是一个杠杆，它的支点在肘关节处，肱二头肌收缩时对前臂骨骼向上的拉力是动力；手中物品对前臂骨骼向下的压力是阻力，我们发现，动力作用点比阻力作用点更靠近支点，动力必然大于阻力，所以前臂工作时费力的。

图 6-5-18 中右图，是一个踮起脚的动作。我们可以将脚的大部分骨骼看成是一个杠杆，它的支点在跖趾关节处，小腿肌肉收缩对脚部骨骼向上的拉力是动力，体重对脚部骨骼的压力是阻力，动力的作用点比阻力作用点更远离支点，则动力必然小于阻力，所以我们做踮脚动作时，脚部骨骼其实是省力杠杆。

## 等臂杠杆

当杠杆的动力臂和阻力臂的大小相等时，这种杠杆我们称为等臂杠杆。

根据杠杆平衡条件，等臂杠杆的动力与阻力大小是相等的，也就是说等臂杠杆是一类既不省力，也不费力的杠杆。

那么，这类杠杆在生活和生产中是否有使用的价值？

答案是肯定的，这类杠杆也有它的妙用之处。

比如托盘天平，可以用来比较两头重物的质量大小，如图 6-5-20 所示。



图 6-5-20

又如定滑轮（以后会学），它本质也是一个等臂杠杆，它的作用是用来改变力的方向。



## 本节我们学习的物理规律

### 1、什么是杠杆的平衡状态

当杠杆绕着支点匀速转动时或杠杆静止不动时，我们称之为杠杆平衡。

### 2、动力与阻力的概念是相对的

同一杠杆上的同一个力，使用目的不同时，原先的阻力可能变为后来的动力。

### 3、杠杆的平衡条件

动力×动力臂=阻力×阻力臂，公式为  $F_1 \times L_1 = F_2 \times L_2$

### 4、使用杠杆时，减小动力的办法

(1) 减小阻力； (2) 减小阻力臂； (3) 增大动力臂。

### 5、杠杆的分类

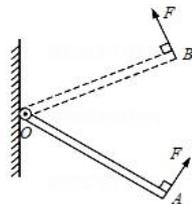
动力臂大于阻力臂的杠杆为省力杠杆，特点是：省力但费距离；动力臂小于阻力臂的杠杆为费力杠杆，特点是：费力但省距离（有的说法是提高了速度，也叫速度杠杆）。



## 自我检测与巩固

1、如图所示，一根质地均匀的木杆可绕O点自由转动，在木杆的右端施加一个始终垂直于木杆的作用力F，使木杆从OA位置匀速转到OB位置的过程中，力F的大小将（ ）

- A 先变大，后变小
- B 先变小，后变大
- C 一直是变大的
- D 一直是变小的



1、如图所示的自行车的车把属于\_\_\_\_\_（选填“省力”“费力”或“等臂”）杠杆；食品夹属于\_\_\_\_\_（选填“省力”“费力”或“等臂”）杠杆；核桃夹属于\_\_\_\_\_（选填“省力”“费力”或“等臂”）杠杆。

