

七、滑轮和滑轮组

模块一 机械效率

一、功的原理

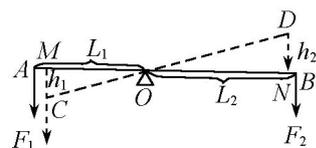
(1) 实验证明：使用机械时，人们所做的功，都不会少于直接用手所做的功。人们使用机械的目的，一是为了省力，二是为了省距离，三是为了操作方便——改变力的方向，但使用任何机械都不省功。这个结论叫做功的原理。

(2) 功的原理是能量守恒定律的一种表现形式，是一个普遍的结论，对任何机械都适用，但必须满足物体是匀速运动的。这个原理平时可通俗地解释为：利用机械使物体匀速运动时，动力做的功等于克服阻力做的功。

(3) 利用功的原理推导杠杆平衡条件。如图，设动力为 F_1 ，动力臂为 L_1 ；阻力为 F_2 ，阻力臂为 L_2 。在力作用下，杠杆由 AB 位置匀速转到 CD 位置，则杠杆的 A 端在 F_1 作用下下降了 h_1 ，动力做功 $W_1 = F_1 \cdot h_1$ ； B 端克服阻力 F_2 的作用升高了 h_2 ，

克服阻力做功 $W_2 = F_2 \cdot h_2$ ，由于功的原理 $W_1 = W_2$ 即 $F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2$

注意到 $\triangle OCM \sim \triangle ODN$ ，有 $\frac{h_1}{h_2} = \frac{L_1}{L_2}$ 。由此可得 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{L_2}{L_1}$



二、机械效率

1. 有用功、额外功和总功

利用机械做功时，对人们有用的功叫有用功 ($W_{\text{有}}$)；对人们没有用，但又不得不做的功叫额外功 ($W_{\text{额}}$)；有用功加额外功是总共做的功，叫总功 ($W_{\text{总}}$)，

$$W_{\text{总}} = W_{\text{有}} + W_{\text{额}} .$$

对于同一个机械，由于人们的目的不同，有用功和额外功是不同的，它们不是一成不变的，分析时应注意。例如：用水桶从井中提水时，我们的目的是提水，则对水做的功是有用功，对桶做的功是额外功；从井里捞桶的时候，我们的目的是从井中捞桶，则对桶做的功是有用功，对水做的功是额外功。

2. 机械效率的定义：有用功跟总功的比值

3. 机械效率的公式： $\eta = \frac{W_{\text{有}}}{W_{\text{总}}} \times 100\%$ ，有用功总小于总功，所以机械效率 η 总小于1.

(1) 当总功一定时，机械所做的有用功越多，即额外功越少，机械效率就越高；

(2) 当有用功一定时，机械所做的总功越少，即额外功越少，机械效率就越高；

(3) 当额外功一定时，机械所做的总功越多，或有用功越多，有用功在总功中所占的比例就越大，机械效率越高.

理解了机械效率的概念，就能判断有关的一些说法是否正确. 如做“有用功越多的机械，机械效率就越高”，“机械做功时，额外功越少的机械，机械效率就越高”等等，在分析、比较这类问题时要注意机械效率的高低是由有用功和总功两个因素决定的，只分析一个因素，不能判断机械效率的高低.

注意：

(1) 对于实际机械来说，因为利用任何机械做功时，总免不了要做额外功. 对于额外功，我们只能尽量减小，而不会为零.

(2) 对于不考虑机械自重和摩擦的理想机械来说， $W_{\text{总}} = W_{\text{有用}}$ ，其 $\eta = W_{\text{有用}} / W_{\text{总}}$ 的比值就等于1，因此机械效率等于1.

4. 功率和机械效率的区别

功率和机械效率是两个不同的概念. 功率表示做功的快慢，即单位时间内完成的功. 机械效率表示机械做功的效率，即所做的总功中有多大比例的功是有用的.

功率和机械效率是两个物理意义不同也没有直接联系的物理量. 功率大的机械，机械效率不一定高；机械效率高的机械，功率也不一定大. 这正是同学们学习中最容易产生错觉的地方，请仔细领会、分辨，千万不可将两个概念混为一谈.

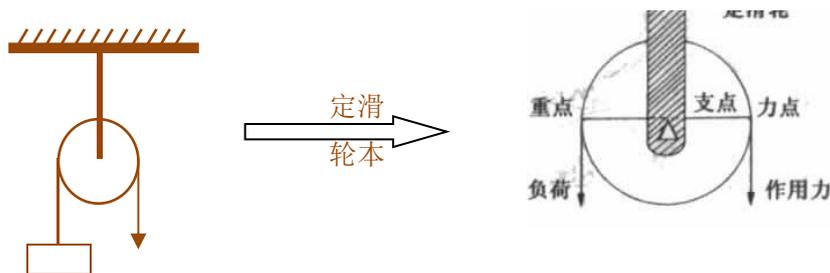
模块二 滑轮

(1) 定义：滑轮是一个周边有槽、能绕轴转动的小轮. 在工作过程中轴固定不动的滑轮叫做定滑轮.

(2) 作用：既不省力，也不能省距离，但可以改变力的方向.

(3) 实质：定滑轮实质上是一个等臂杠杆.

(4) 用定滑轮提升重物时，动力作用点移动的距离等于物体被提升的高度。



模块三 动滑轮

(1) 定义：在工作过程中，轴随着物体一起运动的滑轮为动滑轮。

(2) 作用：使用动滑轮可以省一半力，但要费一倍距离，不能改变力的方向。

(3) 实质：动滑轮实质上是一个动力臂为阻力臂 2 倍的杠杆。

(4) 用动滑轮提升重物时，动力是物重的 $\frac{1}{2}$ ，但动力作用点移动的距离即绳子自由端移动的距离是物体被提升高度的 2 倍。

(5) 用动滑轮提升重物时，若考虑动滑轮的重力，且不计绳重和摩擦，则动力克服的阻力应是物重和动滑轮的重力之和的 $\frac{1}{2}$ ，即 $F = \frac{1}{2}(G_{物} + G_{动})$



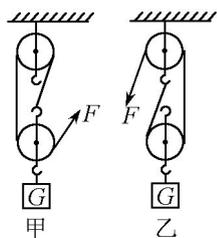
模块四 滑轮组

(1) 定义：滑轮组是由动滑轮和定滑轮共同组成的。

(2) 作用：可以达到既省力，又能改变力的方向的目的，但要多费距离。

(3) 使用滑轮组时，滑轮组用几股绳子吊着物体，提起物体所用的力就是物重的几分之一，即 $F = \frac{1}{n}G_{物}$ 。

(4) 滑轮组组装的原则：“奇动偶定”的原则。若承担重物的绳子股数为奇数，则绳子的起点从动滑轮开始绕线，如图甲所示，由三股绳子承担重物；若承担重物的绳子股数为偶数，则绳子的起点从定滑轮开始绕线，如图乙所示，由两股绳子承担重物。

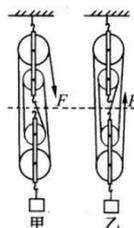


(5) 动滑轮个数的判断方法：当需要 n 股绳承担重物时，需要动滑轮个数为：

$$m = \begin{cases} \frac{n-1}{2} & (\text{当 } n \text{ 为奇数时}) \\ \frac{n}{2} & (\text{当 } n \text{ 为偶数时}) \end{cases}$$

滑轮组省力、费距离情况的判断及绕线的方法

1. 承担重力的绳子段数 n 的判定：要确定绳子的段数，可采用“隔离法”，即将定滑轮部分与动滑轮部分隔离开，设想将已给的滑轮组的定滑轮遮住，再数有多少段绳子与动滑轮相连则 n 就为多少，这包括拴在动滑轮框架上的和最后从动滑轮引出的拉绳、例



如，在右图中，沿虚线将滑轮组隔离为两部分，甲图中与动滑轮相连有 4 段绳子，所以 $F = \frac{G}{4}$ ；乙图中与动滑轮相连有 5 段绳子，所以 $F = \frac{G}{5}$ 。

(1) 省力情况： $F = \frac{1}{n}G$ （滑轮组竖直悬挂重物）、在不计绳重和摩擦阻力下，

滑轮组用几段绳子吊着动滑轮和重物，拉力就是它们重力的几分之一。

另外，当滑轮组平放时，这时滑轮组不是承担物重，而是拉动物体，承担的是拉动物体需要的力，当物体做匀速直线运动时，它等于物体受到的摩擦力。

(2) 费距离情况： $s = nh$ 。省力到几分之一，就要费几倍的距离，即省力是以多移动距离为代价的。

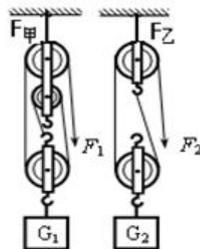
2. 根据一定的要求设计滑轮组绕线的方法：

(1) 计算：先根据题目中的条件，如绳子能承受的拉力和需要承担的物重计算出需要的绳子段数 n （如果计算结果不是整数，一律进上去、例如，计算结果为 3.2，则 n 取 4；

(2) 安装： n 为偶数时，绳固定端固定在定滑轮上；反之 n 为奇数时，绳固定端要固定在动滑轮上。具体绕线时，一般先从固定端开始，按顺序由内向外绕，每个滑轮只能绕一次，绳不能交叉。

精品题目回顾

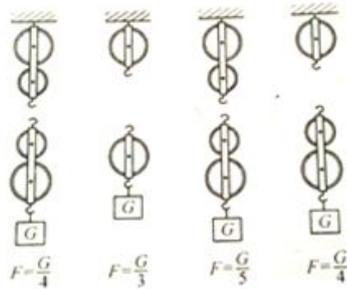
【练习 1】（2012·包头模拟）如图所示，甲、乙两个滑轮组通



过细绳悬挂在天花板上，用滑轮组匀速提升重为 600N 的物体时，悬挂甲、乙两滑轮组的细绳所受的拉力分别为 $F_{甲}$ 、 $F_{乙}$ ，已知每个滑轮重 30N，不计绳重及滑轮轴间的摩擦，则拉力 $F_{甲}$ 、 $F_{乙}$ 的大小分别为（ ）

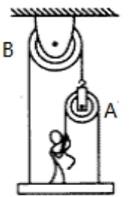
- A. $F_{甲}=630N$, $F_{乙}=630N$ B. $F_{甲}=900N$, $F_{乙}=975N$
 C. $F_{甲}=870N$, $F_{乙}=975N$ D. $F_{甲}=975N$, $F_{乙}=450N$

【练习 2】如图所示，滑轮自身重力和摩擦不计，按题中所给的 F 与 G 的关系要求，在图中用笔画线代替绳子将滑轮组绕好。



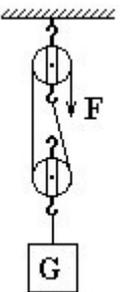
【练习 3】如图所示绳，使装置处于静止，在图中用笔画线代替绳子将滑轮组绕好。求：

的装置中，重 G_1 的人用力拉止。装置中的滑轮 A 重 G_0 ，滑轮 B 重 G_2 。不计轴摩擦及绳重，



- (1) 为使人 和升降机一同匀速上升，人需要用多大的力拉绳？
- (2) 如果以人升高为目的，则这个系统的机械效率为多少？

【练习 4】滑轮组在建筑中应用广泛，如图所示为建筑工人自制的滑轮组。某工人用此滑轮组将质量为 90kg 的重物提高 5m，所用的拉力为 600N。（不计绳重和摩擦）求：



- (1) 该重物所受到的重力；
- (2) 滑轮的重力；
- (3) 工人通过滑轮组所做的有用功；
- (4) 工人做的总功；
- (5) 滑轮组的机械效率；
- (6) 当用这个滑轮组提升 1100N 的物体时，机械效率是多少？

【详解】

1.

【解答】解：

(1) 如左图，承担物重的绳子股数 $n=3$ ，

\therefore 不计绳重及滑轮轴间的摩擦，

$$\therefore F_1 = \frac{1}{3} (G_{\text{物}} + G_{\text{轮}}) = \frac{1}{3} (600\text{N} + 30\text{N}) = 210\text{N},$$

悬挂滑轮组的细绳所受的拉力：

$$F_{\text{甲}} = 2G_{\text{轮}} + 4F_1 = 2 \times 30\text{N} + 4 \times 210\text{N} = 900\text{N};$$

$$F_{\text{乙}} = 3F_2 + G_{\text{轮}}.$$

(2) 如右图， $n=2$ ，

\therefore 不计绳重及滑轮轴间的摩擦，

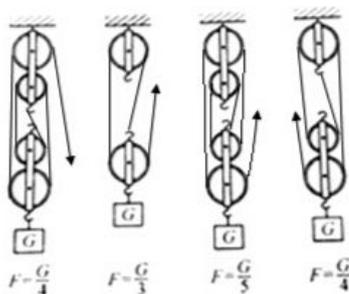
$$\therefore F_2 = \frac{1}{2} (G_{\text{物}} + G_{\text{轮}}) = \frac{1}{2} (600\text{N} + 30\text{N}) = 315\text{N}.$$

悬挂滑轮组的细绳所受的拉力：

$$F_{\text{乙}} = 3F_2 + G_{\text{轮}} = 3 \times 315\text{N} + 30\text{N} = 975\text{N}.$$

故选B.

2.



3.

(1) 在装置使用过程中，上升的物体总重为 $G = G_1 + G_0' + G_2$ ；读图可知， G 都由最上面的滑轮承担，而且左右拉力相等。因此，上面滑轮B右侧的拉力为 $\frac{1}{2}G$ ，减去下面滑轮的自重 G_0' ，为 $\frac{G_1 + G_2 - G_0'}{2}$ 。

而 $\frac{G_1 + G_2 - G_0'}{2}$ 又由两段绳子平均分担，因此，人手处的拉力为 $F = \frac{G_1 + G_2 - G_0'}{4}$ ；

(2) 系统的机械效率为 $\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{有用}} + W_{\text{额}}} = \frac{Gh}{Gh + G_0'h} = \frac{G}{G + G_0'} = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + G_0'}$ 。

4.

已知：物体质量 $m=90\text{kg}$ ，高度 $h=5\text{m}$ ， $n=2$ ，拉力 $F=600\text{N}$ ，重力 $G'=1100\text{N}$

求：（1）该重物所受到的重力 $G=?$ ；（2）滑轮的重力 $G_{\text{动}}=?$ ；（3）有用功 $=?$ ；（4）总功 $=?$

（5）机械效率 $\eta=?$ ；（6）机械效率 $\eta'=?$

解：（1）物体重力 $G=mg=90\text{kg}\times 9.8\text{N/kg}=882\text{N}$ ；

$$(2) \because F = \frac{1}{2} (G + G_{\text{动}})$$

\therefore 动滑轮重力 $G_{\text{动}}=2F-G=2\times 600\text{N}-882\text{N}=318\text{N}$ ；

（3）工人通过滑轮组所做的有用功 $W_{\text{有用}}=Gh=882\text{N}\times 5\text{m}=4410\text{J}$ ；

（4）拉力移动距离 $s=2h=2\times 5\text{m}=10\text{m}$ ，

工人做的总功 $W_{\text{总}}=Fs=600\text{N}\times 10\text{m}=6000\text{J}$ ；

（5）滑轮组的机械效率：

$$\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{4410\text{J}}{6000\text{J}} \times 100\% = 73.5\%$$

（6）用这个滑轮组提升 1100N 的物体时，机械效率：

$$\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{G'h}{G'h + G_{\text{动}}h} \times 100\% = \frac{G'}{G' + G_{\text{动}}} \times 100\% = \frac{1100\text{N}}{1100\text{N} + 318\text{N}} \times 100\% \approx 77.6\%$$

答：（1）该重物所受到的重力为 882N ；

（2）动滑轮重力为 318N ；

（3）工人通过滑轮组所做的有用功为 4410J ；

（4）总功为 6000J ；

（5）滑轮组的机械效率为 73.5% ；

（6）用这个滑轮组提升 1100N 的物体时，机械效率为 77.6% 。