

物 理

(初 稿)

第 一 册

第三分册

天津市广播函授大学预科物理教研组编

高 等 教 育 出 版 社

本書是天津市廣播函授大學預科物理教研組編寫的試用教材，主要是給參加廣播函授學校學習的在職工人和老干部學習的，高中學生亦可參考。

全書共分三冊。第一冊包括緒論、力學、聲學，第二冊為熱學，第三冊是電學、光學和原子結構。為及時供應需要起見，每冊暫分幾個分冊出版。

物 理

(初 稿)

第一冊 第三分冊

天津市廣播函授大學預科物理教研組編

高等教育出版社出版北京東武門內承恩寺7號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

人民教育印刷廠印刷 新華書店發行

統一書號 13030·003 (開本850×116 $\frac{1}{8}$ 印張15 $\frac{1}{8}$)

字數 28000 印數 57501—135500 定價(6) 0.71

1982年4月第1版 1982年8月第2次印刷

第一册第三分册目录

第四章 功和能 簡單机械.....	65
§ 38. 机械功	65
§ 39. 功的量度和單位	67
§ 40. 功率和功率的單位	70
§ 41. 能够作功的机械 • 两种最基本的簡單机械	75
§ 42. 机械的功的原理	76
§ 43. 机械效率和机械利益	78
§ 44. 杠杆类簡單机械	79
§ 45. 斜面类簡單机械	90
§ 46. 机械能	96
§ 47. 势能	97
§ 48. 动能	98
§ 49. 机械能的转变和守恒定律	100

如物体在不受外力作用时,由于惯性而作匀速直线运动,虽然物体移动了一段路程,但因为没有任何力作用在这物体上,所以也没有作功。

但具备了力和路程两个条件,是不是就肯定作功了呢?也不一定。在功的概念里,力和路程是怎样的关系呢?下面我们就来谈谈这个问题。如果顶重物的人不是笔直地站着,而是蹲下再站起来,我们说他对重物作了功,那是因为重物移动的方向和人作用在重物上的力的方向是一致的。又如机车牵引列车在轨道上行驶时,因为作用在列车上的牵引力和列车运动的方向是一致的,所以机车牵引力对列车作了功。再如图 46, 在水平方向给物体一个作用力 F , 则物体沿力的方向移动了一段路程, 我们说力 F 对物体作了功。从以上讨论来看, 在作功时, 移动和力的方向是统一的。相反地, 如果物体受力, 也移动, 但两者方向不一致, 这就是说物体不是在这个力作用下移动的, 所以这个力没有对物体作功。当物体在力的作用下, 沿力的方向移动了一段路程时, 我们就说那个力对这个物体作了功。

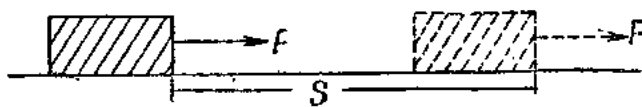


图 46.

了解了功的概念, 就会使我们了解一般所说的“劳动”, “工作”和物理学上“功”的区别。我们通过体力劳动或脑力劳动完成一种工作时, 只能说我们作了工作; 但却不能肯定说我们作了“功”, 因为如果没有“力”和物体的“移动距离”或者两者存在, 但方向不一致, 都不能说我们作了功。

在掌握功的概念的时候, 还应该注意是谁在作功和对谁作功。在举高物体时是外力对物体作了功, 即外力在作功。在物体竖直

下落的运动中,是重力对物体做功,即重力在做功。当我们用力拉动桌面上的物体时,是我们用力对物体做功,这功是克服摩擦力做功。弹簧被拉开后自动收缩时,是弹力在做功,它对弹簧的一部分做功。

§ 39. 功的量度和单位

做功是力作用于物体并使物体沿力的方向移动一段路程。这里的力有大小,路程有长短,所以在力的大小不同,或者使物体移动的路程不同时,作用力对物体所作的功的大小也是不同的。例如机车(火车头)在牵引列车时走的路越长,机车牵引力对列车所作的功就越大。在实行一列拖带法时,拖船对驳船所用的力越大,则它所作的功越大。把钉子钉到木头里去时,用力越大,钉入越深,则作用力对钉子所作的功越大。

在物理学中,功的大小等于力和受力作用的物体在力的方向上所通过路程的乘积。如果用 F 代表力,用 S 代表物体在力的方向上通过的路程,用 W 代表功,则

$$W = F \cdot S.$$

公式的讨论:

1) 当 $F = 0$ 时, $W = 0 \cdot S = 0$,

功为零,亦即没有做功。

这是指物体在没有任何阻力的作用下因惯性而运动的情况。这种情形在实际问题里是没有的。

2) 当 $S = 0$ 时, $W = F \cdot 0 = 0$ 。

力 F 不做功。

这是指物体虽受力作用,但处于静止的情况。前面所说的一个人头顶重物笔直站立静止不动的情况即为一例,物体虽受头向上顶着的力但没有移动。当人水平移动物体也水平移动时,物体没有在上顶着的力的作用下向上移动,所以头向上顶物体的力

沒有对物体作功。

上面所講的功的公式只有当 F 是恒力时才能应用。

最常見的情形是力的方向和物体移动的方向成某一角度的情形(如馬拉車,人推車,人拉船等等)在这种情形里我們怎样計算功的大小呢?現在我們用圖 47 来研究。圖中所表示的是作用力 F 与物体运动方向成一角 α 的情形。在第二章里,我們学过力的分解,我們知道,力 F 可以分解成为跟运动方向垂直的分力 F_1 和沿着运动方向的分力 F_2 。根据前面所講的道理, F 力对物体所作的功的实际大小应该等于 $F_2 S$, 因为 F_2 和物体移动的方向一致。可是 $F_2 = F \cos \alpha$, 所以, F 力作功的大小应该是

$$W = FS \cos \alpha.$$

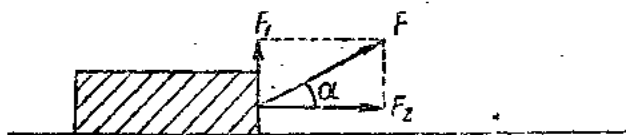


圖 47.

这就是說:在一般情形中,功的大小等于力和受力作用的物体所經過的路程以及力和路程之間的夹角余弦三者的乘积。

可以看出,公式 $W = FS$ 只不过是 $W = FS \cos \alpha$ 的一种特殊情形,这就是力 F 与物体移动的方向一致的情形。当 $\alpha = 0^\circ$ 时, $\cos \alpha = 1$, 所以 $W = FS$ 。

我們也可以进一步了解为什么說当力的方向和物体移动的方向垂直时,这力沒有对物体作功(如頂重物的人行走时,他对重物施加的向上的力就沒有作功)。当力的方向和物体移动方向垂直时, $\alpha = 90^\circ$, $\cos \alpha = 0$, 所以 $W = 0$ 。

功和其他物理量一样,在不同的單位制中其單位不同。但不管在那一种單位制中,确定功單位的方法都是一样的,即如果一个單位的力使物体在力的方向上通过一个單位的路程。那么,力所

做的功就是一个功的單位。

1) 在厘米·克·秒制中,功的單位是尔格。1 尔格就是 1 达因的力使物体在力的方向上通过 1 厘米的路程所作的功。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 尔格} &= 1 \text{ 达因} \times 1 \text{ 厘米} = 1 \text{ 达因} \cdot \text{厘米} = \\ &= 1 \frac{\text{克} \cdot \text{厘米}^2}{\text{秒}^2} \end{aligned}$$

2) 在米·千克·秒制中,功的單位是焦耳。1 焦耳就是 1 牛顿的力使物体在力的方向上通过 1 米的路程所作的功。

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 牛顿} \times 1 \text{ 米} = 1 \text{ 牛顿米}.$$

3) 在实用工程單位制中,功的單位是千克重米。1 千克重米就是 1 千克重的力使物体在力的方向上通过 1 米的路程所作的功。

$$1 \text{ 千克重米} = 1 \text{ 千克重} \times 1 \text{ 米}.$$

各單位制里的功的單位之間,換算关系如下。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千克重米} &= 1 \text{ 千克重} \times 1 \text{ 米} = 9.8 \text{ 牛顿} \times 1 \text{ 米} = \\ &= 9.8 \text{ 牛顿米} = 9.8 \text{ 焦耳}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 焦耳} &= 1 \text{ 牛顿米} = 10^5 \text{ 达因} \times 100 \text{ 厘米} = \\ &= 10^7 \text{ 达因厘米} = 10^7 \text{ 尔格}. \end{aligned}$$

所以

$$1 \text{ 千克重米} = 9.8 \text{ 焦耳}.$$

$$1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 尔格}.$$

例题 1. 起重机把重物从地面举到某一高度,然后使它沿水平方向移动,以后再把重物放到地面上。在这一系列动作里,那些力作了功?作了什么功?

分析: 起重机把重物举高时,起重机的上举力对重物作了功,这是克服重力做功。在重物被放到地面上来的过程中,重力对物体作了功。在水平移动的一段过程中,重力和起重机的上举力对重物都没有做功,这是因为重物在水平移动时所通过的路程不是在上举力或重力的方向上移动的路程。

例題 2. 一只箱子 30 千克重,放在地面上。使它移动时,要受到 12 千克重的摩擦力,把箱子举高 10 米和拉它在平面上移动 10 米,各作了多少功?

解: 举高箱子时是克服 30 千克重的重力做功。

$$W = F \cdot S = 30 \text{ 千克重} \times 10 \text{ 米} = 300 \text{ 千克重米.}$$

在地面上移动箱子时是克服 12 千克重的摩擦力做功。

$$W = F \cdot S = 12 \text{ 千克重} \times 10 \text{ 米} = 120 \text{ 千克重米.}$$

習 題

1. 什么叫机械功?
2. 功的决定因素是什么?它和一般工作的概念有何区别?
3. 想一想,我們在上楼梯的时候,那一段作了功,那一段沒有作功?对什么力作了功?
4. 列車重 1200 吨,如果它在开行时受到的阻力合每吨 5 千克重,火車头至少要作多少功才能使它在平道上行进一公里,(答: 6×10^6 千克重米)。
5. 水桶連同所盛水的質量共 15 千克,把它从 10 米深的井里勻速地提上来。計算提桶人所作的功是多少千克重米、多少尔格、多少焦尔。(提示:这是克服重力做功。 $W = 150 \text{ 千克重米} = 1470 \text{ 焦尔} = 1.47 \times 10^3 \text{ 尔格}$)。
6. 豎直上抛的物体,在抛出 3 秒鐘后达到最高点。物体的質量是 500 克,試計算物体上升过程中克服重力所作的功。計算时取 $g = 10 \text{ 米/秒}^2$ 不考虑空气阻力。(答: $W = 5.5 \text{ 千克重米}$)。
7. 質量为 1 千克的物体,从 20 米高的樓頂豎直下落,求向地面降落的过程中,重力所作的功。計算时取 $g = 10 \text{ 米/秒}^2$ 不考虑空气的阻力(答: $W = 200 \text{ 焦尔}$)。
8. 有一面积为 50 米² 的地下室积了水,地下室中的水深为 1.5 米,水面到地面的距离是 5 米。要想用唧筒把水全部抽到街上来,需作多少功?(答: $W = 4.3 \times 10^6 \text{ 千克重米}$)。

§ 40. 功率和功率的單位

我們已經知道了功的概念。使用机械的目的就是为了要它們作功。火車头牵引列車前进而作功,起重机吊重物上升而作功,鋸

床、鉋床等在切削工件時抵抗摩擦力和阻力而作功。但是我們要比較機械性能或物體作功的本領，不能拿它們作了多少功來比較，而必須用作功快慢來比較。例如在建築工地上要把大量的磚和其他建築材料送到高處的時候，用起重機來搬運完或用人工來搬運完所作的功是相等的。但顯然用起重機比用人工快得多。一種機械（或物體）作功的本領是跟它作功的快慢有關係的。為了表明物體作功的快慢，我們引入一個新的物理量——功率。所謂功率就是：功跟完成這個功所用的時間的比。

若用 N 代表功率， W 代表功， t 代表完成功的時間，則

$$N = \frac{W}{t}$$

應該說明一下，這裡的 W 是物體在勻速運動下所作的功，因此功率的值才是恒定的。

如果知道物體的功率 N 和它作功的時間 t ，它在這個時間內作的功就可以從下式求出：

$$W = Nt$$

為了研究機械的功率，我們可以把公式變成為下列形式

$$N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = FV,$$

這就是說：功率等於力和速度的乘積。就發動機而言，若發動機在工作時發出的功率保持不變，它的牽引力和速度成反比。速度增大，牽引力就要減小；速度減小，牽引力就可增大。例如汽車或拖拉機在平路上開行時用力小，速度就可以高些；在上坡時用力大，速度就只能小些。

功率的單位用什麼來表示呢？作功的物體如果在每單位時間內作一個單位的功，那麼，它的功率就是功率的單位。

1) 在厘米·克·秒制中，功率的單位是 1 每秒爾格。1 每秒爾格就是物體在 1 秒內能作 1 爾格的功。

$$1 \text{ 尔格/秒} = 1 \text{ 尔格/1 秒.}$$

2) 在米·千克·秒制里, 功率單位是瓦特。所謂一瓦特, 就是物体在 1 秒鐘里作了 1 焦尔的功。

$$1 \text{ 瓦特} = 1 \text{ 焦尔/1 秒.}$$

3) 在实用工程單位制中, 功率單位是 1 每秒千克重米。所謂 1 每秒千克重米, 就是物体在 1 秒鐘里作了 1 千克重米的功。

$$1 \text{ 千克重·米/秒} = 1 \text{ 千克重·米/1 秒.}$$

在实际应用中, 常常以 1 千瓦和 1 馬力来作功率的單位。

各种單位制間單位的換算:

$$1 \text{ 瓦特} = 10^7 \text{ 尔格/秒.}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 1000 \text{ 瓦特.}$$

$$1 \text{ 千克重米/秒} = 9.8 \text{ 瓦特.}$$

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 千克重米/秒} = 735 \text{ 瓦特} \approx 3/4 \text{ 千瓦.}$$

應該注意的是我們用馬力作功率的單位, 在字面上看好象指一匹馬的功率, 但实际上是一馬力的机器的功率。在同一時間內, 一馬力的机器比一匹馬所作的功要多(見下表)。

功 率 表

人	0.05—0.1 馬力
馬	0.4—0.5 馬力
胜利牌汽車發动机	50 馬力
斯大林—80 拖拉机的發动机	80 馬力
巨型飞机的發动机	1000—3000 馬力
改建后的丰满水电站(設計数)	567,000 千瓦
黄河三門峽水电站(設計数)	1,000,000 千瓦
苏联古比雪夫水电站(設計数)	2,100,000 千瓦
黄河干流水电总功率(設計数)	23,000,000 千瓦
太阳輸送給地球的总功率	9×10^{18} 千瓦

从公式可以看出, 同样時間內, 功率越大的机器所作的功越多。在同样時間內馬相当人所作功的 5—10 倍, 胜利牌汽車發动

机又相当馬所作功的 100 倍，而一架巨型飞机發动机則又相当胜利牌汽車發动机所作功的 60 倍。我国上海汽輪机厂制造的 12000 千瓦的汽輪發电机的功率，約相当于 15 万人的功率。

还应该注意的是在实际情况下，做功的物体或机械的功率往往是不均匀的，在同样長短的两段時間里所作的功往往是不相等的。例如火車头用同一个大小的牽引力牽引列車，先在平道上走一分鐘，后在上坡道上走一分鐘，最后又在下坡道上走一分鐘，火車經過各段軌道所用的時間尽管相同，但所行走的路程長短却不一样。下坡比在平地上走的路程長，上坡又比在平道上走的路程短。所以在这三个一分鐘的時間內所作的功是互不相同的，这就說明功率在变化。如果我們拿三分鐘的总功被 180 秒除，所得的商并不代表火車的實際功率，而仅仅代表在这三分鐘里的平均功率。人在跳躍的时候也可以得到比平均功率 0.05—0.1 馬力大得多的功率。所以当功率在变化的时候，基本公式应当理解为：在任何一段時間內的平均功率，等于在那時間里所作功与那段時間的比值。

例題 1. 当發动机輸出的功率一定时，汽車在平滑的柏油路面行駛时，为什么比在石子路上跑得快？

解： $N = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t}$ 。汽車在平滑柏油馬路上行駛时受的阻力小，在石子路上受的阻力大。因为 N 是定值，若考虑相同的一段時間 t ，则

$$\begin{aligned} F_1 S_1 (\text{汽車在柏油路上作功}) &= \\ &= F_2 S_2 (\text{汽車在石子路上作功}). \end{aligned}$$

由于 $F_1 < F_2$ ，因而 $S_1 > S_2$ ，即在相同的時間內，汽車在柏油路上跑的距离 S_1 大于在石子路上跑的距离 S_2 。所以汽車在柏油路上跑得快些。

例題 2. 若輪船裝貨时和不裝貨时都开足同样的馬力，則裝貨时航行得慢，为什么？

解：裝貨時輪船吃水加深，水的阻力增大，所以航行得慢（道理同前）。

例題 3. 甲乙兩小孩體重一樣，甲在 1 分鐘內走上樓，乙在 30 秒鐘內走上樓。甲乙兩孩所作的功是不是相等？功率是不是相等？

分析：小孩在克服本身重量作功。

已知：兩小孩體重相等，即 $P_{\text{甲}} = P_{\text{乙}}$ ，

$$t_{\text{甲}} = 60 \text{ 秒}, t_{\text{乙}} = 30 \text{ 秒}.$$

求： $W_{\text{甲}}$ 和 $W_{\text{乙}}$ ； $N_{\text{甲}}$ 和 $N_{\text{乙}}$ 。

$$\text{解：} \quad W_{\text{甲}} = P_{\text{甲}} \cdot S.$$

$$W_{\text{乙}} = P_{\text{乙}} \cdot S.$$

因為 $P_{\text{甲}} = P_{\text{乙}}$ ， S 又一樣，所以 $W_{\text{甲}} = W_{\text{乙}}$ 。

甲乙兩孩上樓所作功一樣。

根據功率公式我們有、

$$N_{\text{甲}} = \frac{W_{\text{甲}}}{t_{\text{甲}}} = \frac{W_{\text{甲}}}{60}, \quad N_{\text{乙}} = \frac{W_{\text{乙}}}{t_{\text{乙}}} = \frac{W_{\text{乙}}}{30}.$$

因為 $W_{\text{甲}} = W_{\text{乙}}$ ，所以 $N_{\text{甲}} = \frac{1}{2} N_{\text{乙}}$ 。這就是說，乙孩的功率為甲孩的 2 倍。

例題 4. 在全民大搞運輸時，某人拉一小手車在 1 小時內走了三公里。在水平方向用力是 10 千克重，求此人的平均功率。

已知： $t = 1 \text{ 小時} = 3600 \text{ 秒}$ ，

$S = 3 \text{ 公里} = 3000 \text{ 米}$ ，

$F = 10 \text{ 千克重}$ 。

求： $N_{\text{平均}}$

$$\text{解：因為 } N_{\text{平均}} = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t}$$

$$\text{所以 } N_{\text{平均}} = \frac{10 \times 3000}{3600} = 8.3 \text{ 千克重米/秒 (約合 0.11 馬力)}.$$

習 題

1. 功率是什么?
2. 我們能不能用作功的多少表示机械作功的本領? 为什么?
3. 起重机鉄斗和所裝的煤共有 0.3 吨重, 在 5 秒鐘內升高 15 米。求起重机的发动机的功率是多少瓦特, 多少馬力。(答: $N=882$ 瓦特 $=12$ 馬力)。
4. 4 千克重的自由落体, 在开始下落的头 2 秒鐘里, 重力对它所作的功是多少焦耳? 头 2 秒鐘里重力作功的平均功率是多少瓦特? (答: $W=768$ 焦耳 $N_{平均}=384$ 瓦特)。
5. 功率为 72 馬力的拖拉机, 最快能以 5.44 米/小时的速度牵引犁地机前进, 求犁地机所受到的阻力。(提示: 利用公式 $N=\frac{W}{t}=\frac{F \cdot S}{t}=FV$ 。 $F=3600$ 千克重)。
6. 一台車床进行高速切削的速度是 450 米/分时, 消耗的功率是 5.8 馬力, 这时車刀受到的阻力是多少? 如果增大切削速度, 消耗的功率将怎样变化?
7. 耕地拖拉机在 2 分鐘內移动 300 米, 已知它的功率为 30 馬力, 求它所克服的阻力(225 千克重)。
8. 有一处大瀑布, 每分鐘內有 450,000 米³ 的水从高度 50 米的地方落下, 这瀑布的功率有多少馬力? (答: $N=5 \times 10^6$ 馬力)。

§ 41. 能够作功的机械·两种最基本的簡單机械

人可以直接对物体作功, 但是为了減輕人的劳动, 我們常常利用各种机械; 通过它們作功。比如滑輪、杠杆、輪軸、斜面、劈和螺旋等都是机械, 我們利用它們来作功时只要給它們力, 先对它們作功, 它們就可以再对物体作功。利用机械作功可以改变力的大小和方向。所以所謂机械就是: 一切可以用来改变力的大小和方向的最簡單的工具。

这些机械为什么可以作功? 又怎样作功呢?

我們在使用滑輪举重物时必需用力拉繩子的一端, 我們用螺

旋起重机(千斤頂)把汽車輪举起时也必须用力轉动螺旋柄。因此我們要使机械动作起作功,必須首先加給机械一个力,这个力叫动力。动力在推动机械时对机械作了功,机械才能在动作过程中克服阻力对其他物体(如重物,汽車輪)作功。

机械的种类虽多,但都由簡單机械組成。簡單机械虽然看起来是多种多样的,但从构造原理上分析,基本上只有两类。

一类是杠杆类簡單机械,这类簡單机械有杠杆、滑輪、輪軸、齒輪等。

另一类是斜面类簡單机械,这类簡單机械有斜面、劈和螺旋等。

§ 42. 机械的功的原理

我們利用上面所說的机械,其目的是为了改变力的方向和大小。利用机械可以減輕人的劳动,使工作进行得迅速准确。

任何复杂的机器都是由上述簡單机械組成的。为了使任何机械动作起来,我們必須对它加作用力。促使机械动作的力我們叫它动力,这动力当然可以是人力、畜力、風力、水力、蒸汽压力等等。动力在推动机械动作的过程中作了功,机械在动作过程中,又克服阻力作了功。动力所作的功叫动力功,对机械來說就叫輸入功。机械抵抗有用阻力所作的功叫輸出功(如克服重力作功),抵抗无用阻力(如摩擦力、空气阻力)作的功叫損耗功,总称阻力功。

現在我們来研究动力在推动机械中作的輸入功,和机械克服阻力所作的輸出功間的关系。我們拿杠杆类机械中的杠杆来研究。取一很輕的均匀棒,将其 O 点放在支架上支起(圖 48),在左端挂一 10 千克重的重物,右端也挂一重物使成平衡,設右端重物重量恰好是 5 千克重。然后小心地使右端下降,于是左端重物被举高。也就是右端重物对杠杆作了动力功,对杠杆輸入了功,因为杠杆接受了輸入功,它就能够克服左端重物的重量(阻力)作功,这

功就是机械输出的功。如果杠杆的重量可以忽略不计，杠杆克服无用阻力的功比起总功来说是很小的，也可以忽略不计，用 $W_{入}$ 代表输入功， $W_{出}$ 代表输出功，则

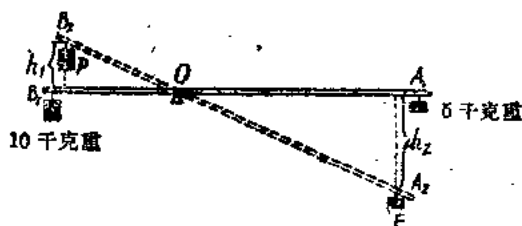


图 48.

$$W_{入} = F \cdot h_2.$$

$$W_{出} = P \cdot h_1.$$

式中的 h_1 和 h_2 可以由实际测量得到。如果 OA_1 和 OB_1 的比是 2 比 1，那么测得的 h_1 和 h_2 比必是 1 比 2。所以式 $h_2 = 2h_1$ 则

$$W_{入} = 5 \text{ 千克重} \times 2h_1.$$

$$W_{出} = 10 \text{ 千克重} \times h_1.$$

由此看出两式相等，即 $W_{入} = W_{出}$ ，也就是

输入机械的功 = 机械输出的功。

但在实际中，无损耗功的机械是没有的，所以如果把损耗功也考虑进去则公式变为：

输入机械的功 = 机械输出的功 + 损耗功。

现在我们再来研究利用杠杆是不是省功呢？

要把 10 千克重的物体举高 0.1 米，如果不用杠杆，用人力举高，我们所需要作的功是

$$W_1 = 10 \text{ 千克重} \times 0.1 \text{ 米} = 1 \text{ 千克重米}.$$

现在我们用杠杆把重物举高 0.1 米需要作多少功呢？左端重物上升 0.1 米需作功 1 千克重米，而杠杆输出这 1 千克重米的功，就必须对杠杆输入 1 千克重米的功，也就是我们用 5 千克重的力

在杠杆右端使杠杆下降 h_2 距离所作的功。根据 h_1 和 h_2 的比为 1 比 2, 所以我们用 5 千克重的力使杠杆右端下降 0.2 米, 所以输入杠杆的功

$$W_2 = 0.5 \text{ 千克重} \times 0.2 \text{ 米} = 0.1 \text{ 千克重米.}$$

我们看到 $W_1 = W_2$, 这证明了使用杠杆比不使用杠杆并不能省功。利用杠杆或是省力, 或是省距离, 但力和距离不能同时都省。如果把力加在长臂上, 就能省力, 但要多走距离。如果把力加在短臂上, 就省距离, 但要多费力。但是应该注意到节省距离就能节省作功的时间, 这对我们也是很重要的。

由此可以得出结论: 输入机械的功等于机械输出的功与损耗功的和。利用任何机械都不能省功, 只能改变力的方向或大小。

这条原理适用于任何机械。

§ 43. 机械效率和机械利益

在上节讨论中我们谈到, 机械总不能把输入功都输出, 亦即总是有一部分耗损功(消耗在克服摩擦方面), 因而有用的功总是小于输入机械的功。拿定滑轮来说, 它无论制造得多么精细, 只要它在运动, 滑轮与滑轮轴之间总存在着阻碍运动的摩擦力, 因此动力除了克服有用阻力(如重力)之外还要克服无用阻力(如摩擦力)。为了表述机械在这方面的性质, 我们引入一个新的物理概念——机械效率。机械效率就是: 机械输出的有用功跟动力对机械输入功的百分比。

如果用 η 代表机械的效率, $W_{\text{有用}}$ 代表有用功, $W_{\text{入}}$ 代表输入功, 则

$$\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{入}}} \times 100\%.$$

实用机械的效率高低不一致, 有些高到 90%—99%, 有些低到百分之二十几甚至十几。

在許多情況下，使用機械的目的是要省力，因而就需要一個物理量來表明省力的程度。現在我們就引入機械利益這個物理量來表明省力的程度。

$$\text{機械利益} = \frac{\text{有用阻力}}{\text{動力}},$$

或

$$\eta = \frac{P}{F},$$

式中 η 為機械利益， P 為有用阻力， F 為動力。

如圖 7 所示的槓桿的機械利益為 $\frac{10 \text{ 千克重}}{5 \text{ 千克重}} = 2$ 。機械利益越大，使用機械越省力。

一般在計算機械利益時是忽略摩擦的。

§ 44. 槓桿類簡單機械

這類簡單機械中有槓桿、滑輪、輪軸、齒輪等。從外表形式上看起來，它們不一定和普通槓桿一樣，但由於它們在工作時，動力和阻力的關係是符合於槓桿原理，所以我們就把它們列入槓桿這一類。

現在我們就研究一下槓桿類簡單機械的特點。圖 49 是幾種具有槓桿原理的機械，它們雖然形式不同，但道理卻一樣。

由圖中可以看出，不管是剪子、鋤刀或鑷子，它們都有一共同的特點，就是總有一個支點，總有支持重物或抵抗阻力的一點——重點，以及動力作用的一點——力點。所以，凡支在一定點(支點)上自由轉動的棒，稱為槓桿。

槓桿按支點，重點，力點的分布情況，只可分為三種。

第一種是支點(O 點)在中央，重點(B 點)和力點(A 點)分居兩旁(圖 49(1))。

第二種是支點在一端，重點在中央，力點在另一端(圖 49(2))。