

# 普通物理學講義

## 第二回

107100-2



考友社 出版發行

# 普通物理學講義 第二回



## 第二回 (1/4)

第四講 功與能	1
命題重點	1
重點整理	2
一、功的概念	2
二、變力所作的功	3
三、功率	4
四、能	5
五、功能	5
六、位能	7
七、能量守恆原理及其應用	10
精選試題	14

## 第二回 (2/4)

第五講 質點系統之力學	1
命題重點	1
重點整理	2
一、質量中心	2
二、質量中心的運動	3
三、動量	4
四、動量守恆定律及其應用	6
五、衝量	7
六、一維非彈性碰撞	8
七、一維彈性碰撞	8
八、二維彈性碰撞	11
精選試題	13

## 第二回 (3/4)

第六講 轉動	1
命題重點	1
重點整理	2
一、角速度與角加速度	2
二、等角加速度運動	5
三、圓周運動線量與角量的關係	6
四、轉動動能與轉動慣量	8
五、力矩	11

六、剛體的轉動動力學	13
七、轉動的功與功率	14
八、角動量	15
九、角動量守恆定律	17
精選試題	19
<b>第二回 (4/4)</b>	
<b>第七講 剛體的平衡</b>	1
命題重點	1
重點整理	2
一、平衡的條件	2
二、同平面上共點力的平衡	3
三、平行力的合力	3
四、重心	4
五、同平面上非共點力的平衡	5
六、平衡的分類與穩定度	6
精選試題	8
<b>第八講 彈性與振盪</b>	17
命題重點	17
重點整理	18
一、應力	18
二、應變	20
三、彈性與塑性	22
四、彈性係數	23
五、簡諧運動	25
六、參考圖與簡諧運動的關係	27
七、簡諧運動之週期	31
八、簡諧運動的能量	32
九、單擺	32
十、扭擺	34
十一、複擺	34
十二、共振	36
精選試題	38

## 第四講 功與能

### 命題重點

- 一、功的概念
- 二、變力所作的功
- 三、功率
- 四、能
- 五、功能
- 六、位能
  - (一)重力位能
  - (二)彈性位能
  - (三)位能與保守力
- 七、能量守恆原理及其應用
  - (一)力學能守恆
  - (二)力學能和非保守力
  - (三)能量守恆原理

## 重點整理

### 一、功的概念

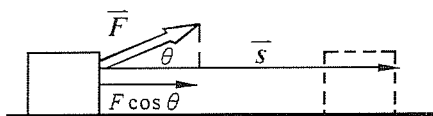
如圖(一)所示，功的定義如下：當物體受外力作用的期間，產生了位移，將此施力  $\vec{F}$  沿位移方向上的分量和位移  $\vec{s}$  的乘積，稱為功，以符號  $W$  表示，則：

$$\text{功} = (\text{施力在位移方向上的分量}) \times (\text{位移的大小})$$

$$\text{或} \quad W = (F \cos \theta) s = F s \cos \theta \quad (1)$$

上式中  $\theta$  表示力與位移之方向的夾角。力與位移均為向量，除了有大小外，也有方向，而功為純量，只有大小，沒有方向性。以向量的形式，可將(1)式寫為較簡潔的純量積，即：

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad (2)$$



圖(一) 功的定義

由功的定義可知，力對物體有沒有作功，須視力、位移、及其夾角的大小而定。

力對物體作功，可為正功，亦可為負功。當力與位移的夾角  $\theta$  的範圍為  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$  時，亦即施力在位移方向上的分力與位移方向相同時，力對物體作正功。當夾角  $\theta$  的範圍為  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  時，亦即施力在位移方向上的分力與位移方向相反時，力對物體作負功。如果一物體同時受到數力的作用，則此數力對物體所作的淨功，為此數力個別對物體所作之功的代數和。

功的單位可由力的單位和位移的單位導出，在 SI 制中，我們定義以 1 牛頓的力作用於物體，使其沿力的方向移動 1 公尺所作的功，稱為 1 牛頓·公尺或 1 焦耳(J)。在 CGS 制中，我們定義以 1 達因的力作用於物體，使其沿力的方向移動 1 公分所作的功，稱為 1 耳格(erg)，即：

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 牛頓} \cdot \text{公尺}$$

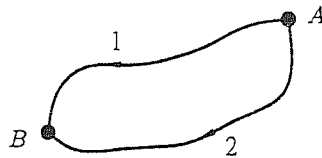
$$1 \text{ 耳格} = 1 \text{ 達因} \cdot \text{公分}$$

$$1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 耳格} \quad (3)$$

在原子尺度中，功有一個較小的單位是電子伏特(eV)，其與焦耳的大小關係為：

$$1 \text{ 電子伏特} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} \quad (4)$$

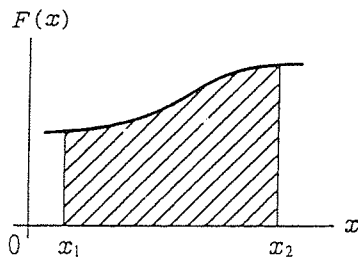
如圖(二)所示，物體由  $A$  至  $B$  可循著不同的路徑移動，但重力對物體所作的功均相同。一力作用在物體上，使其在兩點間移動時，若此力對物體所作的功與物體所經的路徑無關，則此力稱為保守力。除重力外，彈力、電力、磁力亦均為保守力。而空氣阻力、摩擦力所作的功與物體所經的路徑有關，則稱為非保守力。



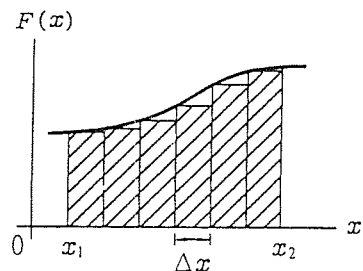
圖(二) 保守力所作的功與所經的路徑無關

## 二、變力所作的功

當物體所受的外力不是定值時，不能再以(4)式來計算此變力所作的功，必須引入積分的觀念。設物體受到沿  $x$  方向的變力  $F(x)$  作用，而在  $x$  方向作直線運動，圖(三)(a) 為變力對位置的關係圖，現在來計算此變力將物體由  $x_1$  移到  $x_2$  時所作的功。



(a) 變力對位置的關係圖



(b) 分割位移為小區間

圖(三)

首先將總位移分為  $n$  個很小的區間  $\Delta x_i$ ，如圖(三)(b) 所示，當  $\Delta x_i$  取的足夠小時，在這區間內的作用力  $F_i$  幾乎為定值，此力在  $\Delta x_i$  位移內所作微量的功為：

$$\Delta W_i = F_i \Delta x_i \quad (5)$$

再將變力在所有小位移內所作微量的功加起來，可得總功為：

$$W = F_1 \Delta x_1 + F_2 \Delta x_2 + \cdots + F_n \Delta x_n = \sum F_i \Delta x_i \quad (6)$$

## 精選試題

一、一輛 1000 kg 的汽車於水平路上以 60 km/h 之速率行駛。施用剎車對車作了  $7 \times 10^4 \text{ J}$  的功，求：

(一) 車之末速。

(二) 要使車停住，還需剎車作多少功？

答：(一) 車子原有的動能  $K_0$

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} (1000 \text{ kg}) \left( 60 \times 10^3 \times \frac{1}{3600} \text{ m/s} \right)^2 \\ &= 1.4 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

因剎車所作的功為負功，其大小為

$$W = -7 \times 10^4 \text{ J}$$

假設車子最後的動能為  $K$ ，由功能定理

$$W = \Delta K = K - K_0$$

或 
$$-7 \times 10^4 \text{ J} = K - 1.4 \times 10^5 \text{ J}$$

得 
$$K = 7 \times 10^4 \text{ J} = \frac{1}{2} m v^2$$

其中  $v$  為車子之末速，因此

$$v = 12 \text{ m/s} = 42 \text{ km/h}$$

(二) 要使車子停住，其末動能為零，因此還需作功

$$W = -7 \times 10^4 \text{ J}$$

二、一 5 N 之力作用於靜止之物體上，其質量為 15 kg，求：

(一) 在第一、第二、第三秒內此力所作之功。

(二) 第三秒末此力所施之瞬時功率。

答：(一) 由牛頓第二運動定律  $F = ma$ ，可以得到物體所受的加速度

$$a = \frac{F}{m} = \frac{5 \text{ N}}{15 \text{ kg}} = \frac{1}{3} \text{ m/s}^2$$

當  $t_1 = 1 \text{ s}$  時，物體的速率是  $v_1$

$$v_1 = v_0 + at_1 = 0 + \frac{1}{3} \times 1 = \frac{1}{3} \text{ m/s}$$

因此，在第一秒內，此力所作的功為

$$W = \Delta K = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_0^2) = \frac{1}{2} (15 \text{ kg}) \left[ \left( \frac{1}{3} \text{ m/s} \right)^2 - 0 \right] = \frac{5}{6} \text{ J}$$

當  $t = 2 \text{ s}$  時，物體之速度為  $v_2$ 。

$$\text{且} \quad v_2 = v_0 + at = 0 + \left( \frac{1}{3} \text{ m/s}^2 \right) (2 \text{ s}) = \frac{2}{3} \text{ m/s}^2$$

因此物體在第二秒內的動能變化為

$$\Delta K = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} (15 \text{ kg}) \left[ \left( \frac{2}{3} \text{ m/s} \right)^2 - \left( \frac{1}{3} \text{ m/s} \right)^2 \right] = \frac{5}{2} \text{ J}$$

由功能定，在第 2 秒內所作的功

$$W = \Delta K = \frac{5}{2} \text{ J}$$

當  $t = 3 \text{ 秒}$  時，物體的速度為  $v_3$  且

$$v_3 = v_0 + at = 0 + \left( \frac{1}{3} \text{ m/s}^2 \right) (3 \text{ s}) = 1 \text{ m/s}$$

物體在第 3 秒內的動能變化為

$$\Delta K = \frac{1}{2} m(v_3^2 - v_2^2) = \frac{1}{2} (15 \text{ kg}) \left[ (1 \text{ m/s})^2 - \left( \frac{2}{3} \text{ m/s} \right)^2 \right] = \frac{25}{6} \text{ J}$$

由功能定理，在第 3 秒內所作的功為

$$W = \Delta K = \frac{25}{6} \text{ J}$$

(二)由(一)知第三秒末之速度為

$$v_3 = 1 \text{ m/s}$$

因此在第 3 秒末的瞬時功率為

$$P = Fv_3 = (5 \text{ N})(1 \text{ m/s}) = 5 \text{ W}$$

三、如右圖所示，一質量為  $m$  的木塊，在未受彈力作用時以  $v_0$  向左前進，當其移動  $l$  距離之後停下來， $k$  為彈簧的力常數， $\mu_k$  為桌面與木塊之間的動摩擦係數。當木塊移動  $l$  距

