

普通物理學講義

第二回

107100-2



社團
法人
考

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
第二回 (4/4)	
第七講 剛體的平衡	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
第八講 彈性與振盪	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

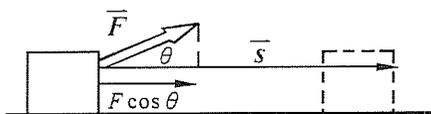
如圖(一)所示，功的定義如下：當物體受外力作用的期間，產生了位移，將此施力 \vec{F} 沿位移方向上的分量和位移 \vec{s} 的乘積，稱為功，以符號 W 表示，則：

功 = (施力在位移方向上的分量) × (位移的大小)

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

上式中 θ 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 θ 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 θ 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：

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

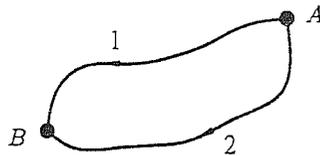
$$1 \text{ 耳格} = 1 \text{ 達因} \cdot \text{公分}$$

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

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：

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

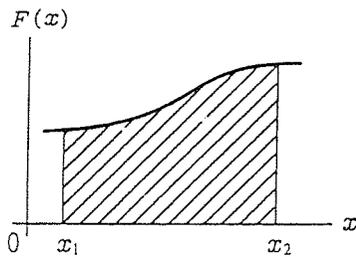
如圖(二)所示，物體由 A 至 B 可循著不同的路徑移動，但重力對物體所作的功均相同。一力作用在物體上，使其在兩點間移動時，若此力對物體所作的功與物體所經的路徑無關，則此力稱為保守力。除重力外，彈力、電力、磁力亦均為保守力。而空氣阻力、摩擦力所作的功與物體所經的路徑有關，則稱為非保守力。



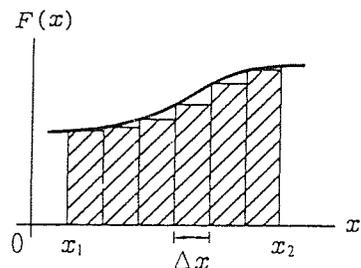
圖(二) 保守力所作的功與所經的路徑無關

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 Δx_i ，如圖(三)(b) 所示，當 Δx_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 Δx_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 $t = 3 \text{ s}$ 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， μ_k 為桌面與木塊之間的動摩擦係數。當木塊移動 l 距

