



電學基本概念

學習大綱

- 1-1 電的特性及應用
- 1-2 電荷
- 1-3 電流
- 1-4 電壓
- 1-5 電能
- 1-6 電功率
- 1-7 電的單位
- 1-8 本章內容摘要
- 1-9 課後習題

學習目標

- 1. 瞭解電的起源。
- 2. 瞭解電荷的作用。
- 3. 瞭解電流的定義。
- 4. 瞭解電壓與電動勢的作用。
- 5. 瞭解功與電能的作用。
- 6. 瞭解電功率的作用。
- 7. 認識電學常用單位。

1-1 電的特性及應用

目前我們從台電或超商購買電池都可以獲得電，有電就可以驅動電燈、電視、音響、馬達、電鍋、烤箱、電磁爐、電腦、電動車、醫學影像等等設備，享受電力帶來的便利性。

電子(electron)

國中理化課程有談到摩擦起電，說明「電子」的存在，大致是說，古代的魔術師，取兩支塑膠尺使用毛皮摩擦，然後靠近，此兩支塑膠尺會互相排斥；取兩支玻璃棒用絲絹摩擦後，此兩支玻璃棒靠近也是互相排斥；取摩擦過的塑膠尺與摩擦過玻璃棒，互相靠近卻互相吸引。以上現象，18世紀的富蘭克林(Benjamin Franklin, 1706~1790, 美國人)就提出正負電荷的觀念來解釋此現象，他說：1. 萬物一開始都是正負電荷數量一樣多，所以是電中性不會互相吸引，也不會互相排斥。2. 某一物質，當失去負電荷，就帶正電。3. 某一物質，若接收負電荷者，則帶負電。4. 用毛皮摩擦塑膠尺，**電子**會由毛皮轉移到塑膠尺上，故毛皮帶正電，塑膠尺帶負電。5. 用絲絹摩擦**玻璃棒**，**電子**會由**玻璃棒**轉移到絲絹上，故**玻璃棒**帶正電，絲絹帶負電。6. 帶同性電的東西靠近會互相排斥，帶異性電的東西靠近會互相吸引。7. 因為兩支摩擦過塑膠尺帶同樣負電，所以靠近會互相排斥，兩支摩擦過玻璃尺摩擦過都帶正電，所以也互相排斥。8. 摩擦過塑膠尺帶負電，摩擦過玻璃棒帶正電，所以塑膠尺和玻璃棒靠近會互相吸引。另外，富蘭克林也成功在雷雨中使用風箏引來這些「東西」，且以萊頓瓶收集（類似現在的電容器），此「東西」能吸引絲線，且證明此「東西」與摩擦所產生的「電」相同，且將此東西命名為「電子」，也發明避雷針，只要將鐵棒架在屋頂上，若有閃電，就會順利引導排到大地。看到動植物被雷電打到會焦黑，為什麼動植物會起火且變為焦黑呢，科學家就說：因為雷電中的大量「電子」快速通過這些動植物，大量的「電子」在動植物內部劇烈竄動摩擦就可以產生火花，而燒焦動植物，且這些電子與摩擦而轉移的「電子」是相同的東西。

原子模型(atomic model)

丹麥人波耳 (Niels Bohr) 在 18 世紀提出了原子模型，大意如下：將物質以物理方法分割，在未變更其原有物質特性的最小微粒稱為分子 (molecule)。若將其繼續以化學方法分解，使其失去原來物質之最小微粒特性者稱為原子 (atom)。原子結構如圖 1-1a 所示，中間是原子核（原子核包含質子與中子），外圍則由一群電子圍繞，且這些電子以不同的距離分群排列，該排列稱為電子組態。質子帶正電荷，電子帶負電荷，中子則不帶電，每個原子內的質子與電子個數都相同，所以原子為電中性不帶電。以上質子、中子與電子的帶電量與質量如表 1-1a，電子的質量約為質子的 $1 / 1840$ 。

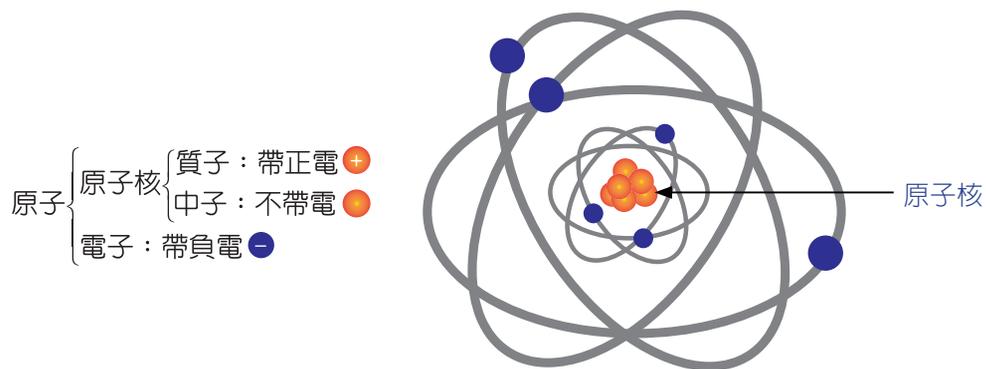


圖 1-1a 原子結構圖示意圖

► 表 1-1a

粒子名稱	帶電量(庫侖, C)	質量(kg)
質子	$+1.6 \times 10^{-19}$	1.6729×10^{-27}
中子	0	1.6751×10^{-27}
電子	-1.6×10^{-19}	9.1×10^{-31}

波耳也依照物質的比重、導電性等物理化學特性，排列出每個元素的質子數、中子數、電子數、電子組態，例如，銅的導電性很好，週期表原子序為 29，質子數與電子數都是 29，電子組態是 2，8，18，1，也就是電子分布為 4 個軌道，如圖 1-1b，最外層只有 1 個電子，很容易脫離，形成自由電子，所以導電性很好。

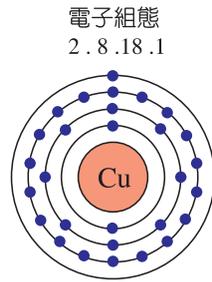


圖 1-1b 銅原子結構圖

電子組態(electronic configuration)

依照波耳原子結構模型，電子會以 $K(n=1)$ 、 $L(n=2)$ 、 $M(n=3)$ 、 $N(n=4)$ 、 $O(n=5)$ 、 $P(n=6)$ 、 $Q(n=7)$ 等軌道運行，且前 4 層，每層軌道最多電子數為 $2n^2$ ，此稱為電子組態，例如，前面談到銅的電子數是 29，所以電子組態是 2，8，18，1，每一層的最多電子數都滿足 $2n^2$ 。

自我練習

1. 請寫出質子的帶電量_____，質量_____，中子的帶電量_____，質量_____，電子的帶電量_____，質量_____。
2. 依照波耳原子組態模型，請寫出前四軌道的軌道名稱與每軌道的最多電子數。
3. 鎳的原子序是 32，請寫出質子數_____，中子數_____，電子數_____，電子組態_____。

1-2 電荷

電荷 (electric charge)，是構成物質的基本粒子的一種物理性質，帶正電的粒子叫正電荷（表示符號為“+”），帶負電的粒子叫負電荷（表示符號為“-”）。上一節提到，原子是由原子核（含質子與中子）與電子所構成，此二者電量大小相同，電性相反，稱為基本電荷量，以符號 e 表示，約為 1.6×10^{-19} 庫侖 (C)。由於帶電物體的電性是由帶正電之質子以及帶負電之電子所組成，因此其帶電量 (Q) 為基本電荷量 e 的整數倍

$$Q = N \times e \text{ (庫侖, C)}$$

(公式 1-1)

N 是正電之質子數目減去負電之電子數目得基本電荷淨數目（可為正或負整數）， e 是基本電荷所帶的電量約為 1.6×10^{-19} 庫侖 (C)，帶電量 Q 單位為庫侖 (C)。若無外力，其質子數與電子數數量相等，所以不帶電。但若是電子脫離軌道則形成正離子，物質帶正電；若物質接收電子，形成負離子，物質帶負電；請留意原子核的質子、中子都不會移動，能移動的是電子。

電子的移動

經過科學家不斷觀察、假設、實驗，發現能讓電子移動產生電位差的方式有摩擦、靜電感應、感應起電、化學電池、發電機、光電發電等等，分別說明如下：

摩擦

當兩物體互相摩擦時，一物體的部分電子由於受到力的作用，會轉移到另一物體上，故失去電子的物體帶正電，獲得電子的物體帶負電，稱為摩擦起電。摩擦起電不能創造額外的電荷，電荷只是發生轉移。相互摩擦的兩物體所帶的電，其電性相反、電量相等、靜電荷為零，較適用於絕緣體。用毛皮摩擦塑膠尺，摩擦前如圖 1-2a；摩擦後，電子會由毛皮轉移到塑膠尺上，故毛皮帶正電，塑膠尺帶負電，如圖 1-2b。



圖 1-2a 摩擦前



圖 1-2b 摩擦後電子跑到塑膠尺

靜電感應與靜電起電

當一帶電體靠近電中性的物體時，該物體的近端（靠近帶電體的區域）感應出異性電，遠端感應出同性電，此種暫時性的電荷分離現象，稱為**靜電感應 (electrostatic induction)**。如圖 1-2c，是一個玻璃罩驗電器，首先把帶電物體靠近驗電器的頂端，這將會使驗電器內的電荷重新分布，使頂端帶有與物體相反的電荷，而下面的箔片則帶有與物體相同的電荷。由於兩個箔片所帶的電荷是相同的，它們將會互相排斥而分開。這時驗電器仍然不帶電，只是電荷重新分布了。但是，如果用手指接觸驗電器的頂端，則負電荷將會流入大地。如果這時候把手指移開，則流入驗電器內的正電荷將不能逃脫，這樣驗電器便帶有電荷。因此，即使現在把帶電物體移開，兩個箔片也不會重新合攏，此稱為**靜電起電 (static electrification)**。

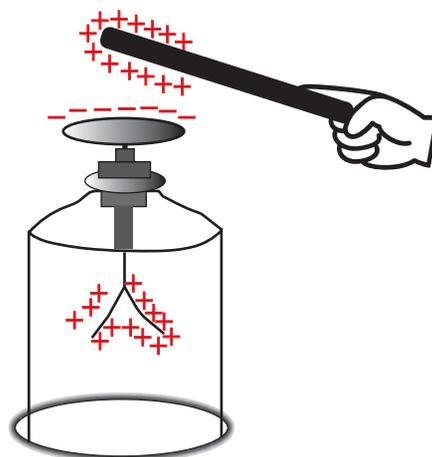


圖 1-2c 用驗電器來演示靜電感應

化學電池(chemical cell)

化學電池的簡易原理如圖 1-2d，左邊的 Zn 會釋放電子，右邊的 Cu 會吸附電子，將導線連接 ZnSO₄、CuSO₄ 兩種電解液，電子就源源不絕的從左邊移動到右邊。現在電池的續電能力與充電時間都在持續進步中，只是電解棒與電解液不同，這些都是科學家不斷大膽假設與實驗而來。

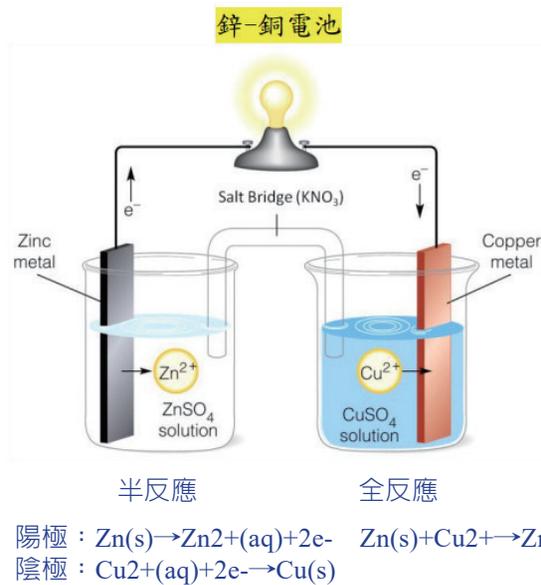


圖 1-2d 化學電池簡易原理（摘自于淑君，國立中正大學化學暨生物化學系「電化學電池」）

發電機(generator)

只要讓封閉線圈在磁場中轉動，電子就能移動，而推動負載，如圖 1-2e，是交流發電機示意圖。

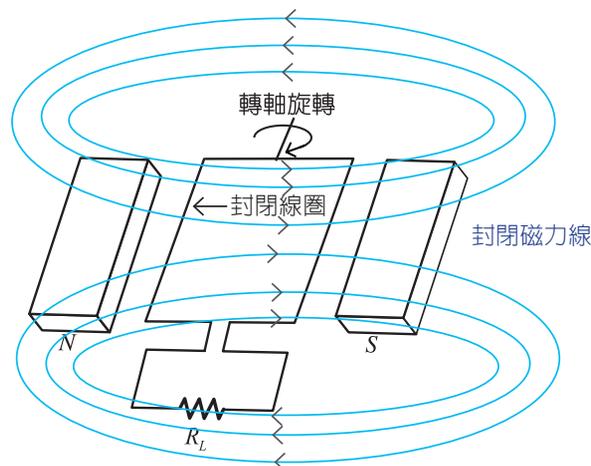


圖 1-2e 交流發電機示意圖

☞ 太陽光電板(photovoltaic panel)

由於為半導體技術不斷的進步，近代科學家不斷大膽假設與實驗，將 n 型半導體與 p 型半導體放在一起，並以太陽光照射，發現電子也能移動，如圖 1-2f，此即為太陽能光伏發電示意圖。

太陽能光伏電池有時候被簡稱為光伏電池或者太陽能電池。當太陽光照射到太陽能電池上時，電池中的電子會產生定向移動，從而產生電流。太陽光轉變為電力的過程無聲而且迅速，而光伏電池與交流發電機比較，因為沒有機構的移動部份，因此可以減少損耗，且可以長期運行。

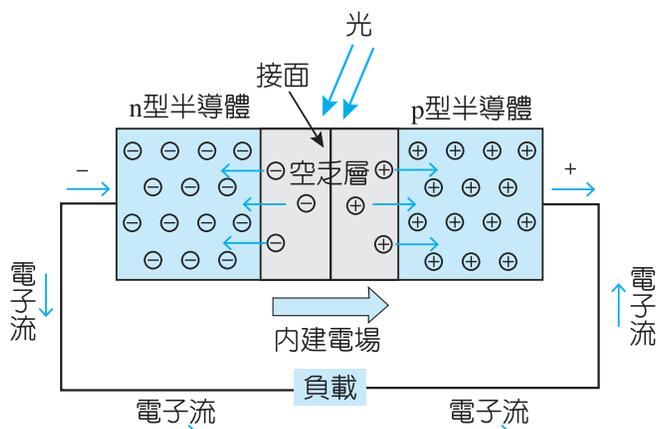


圖 1-2f 太陽能光伏發電示意圖

近兩百年，此「電子」，經由科學家大膽假設與不斷實驗，證明此電子是一顆顆的質點，其質量為 $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ，帶電量是 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ (庫倫)，且沿用至今，且以上的假設與推論，都可以解釋目前的所有電學現象。

自我練習

1. 某一物質，若有 10 個電子加入，則其帶電量是多少？_____。
2. 某一物質，若有 1020 個電子脫離軌道束縛，則其帶電量是多少？_____。
3. 某一物質帶電量是 1C，請問共含幾個電荷？_____。
4. 上網查詢與寫出電池的種類與原理。

1-3 電流 (current)

導體、絕緣體、半導體

當水管充滿水時，我們打開水龍頭，水瞬間就來，如果水管完全沒水，當打開水龍頭時，還要一段時間，水才能從水龍頭流出來，因為打開水龍頭的瞬間，我們得到的並不是水塔的水，而是靠近水龍頭的水，它們是靠推擠作用，讓靠近水龍頭的水瞬間流出來。我們打開電燈的瞬間，電燈瞬間就發亮，所以我們就說導體內原本就充滿自由電子，所以才能與水相同，因為推擠而瞬間供電。科學家為了解釋導體有很多自由電子，就有電子組態的假設，如圖 1-3a，導體的電子組態都是最外圍有 1~3 個電子，銅（原子序是 29，電子組態是 2, 8, 18, 1）、銀（原子序是 47，電子組態是 2, 8, 18, 18, 1）、金（原子序是 79，電子組態是 2, 8, 18, 18, 1）、金（原子序是 79，電子組態是 2, 8, 18, 32, 18, 1），這些都是良好導體，最外圍軌道都是 1 個，所以常溫就能有很多自由電子脫逃，形成一個良好**導體 (conductor)**。雲母、塑膠、玻璃等，這些化合物其組成元素的最外圍都是 8 個電子，8 個電子形成八偶體，電子就很難脫逃，所以雲母、塑膠、玻璃就是**絕緣體 (insulator)**。矽（原子序 14，電子組態是 2, 8, 4）與鍺（原子序是 32，電子組態是 2, 8, 18, 4），因其最外圍都是 4 個，此乃介於導體與絕緣體之間，所以稱為**半導體 (semiconductor)**，這些半導體經由實驗就完成現今的電子學與光電產品（此為二年級電子學課程內容）。

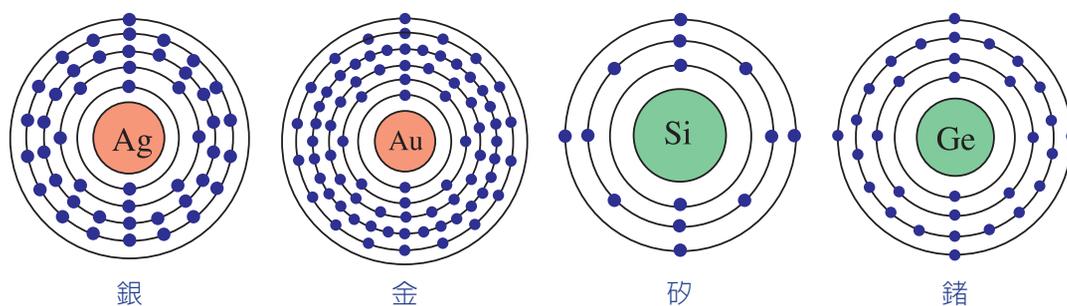


圖 1-3a 銀、金、矽、鍺電子組態圖

電子流與電流

前面已經介紹電子的流動，形成**電子流** (electron current)，且每個電子的帶電量是 $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ，現在定義單位時間通過某一截面的電量為電流，電流的符號是 I ，電流的單位是安培以符號 A 表示。數學表示式如下：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{安培, A}) \quad (\text{公式1-2})$$

例如，1 秒內有 10^{19} 個電子通過，則其電子流是 $10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} / 1 = 1.6 \text{A}$ 。又例如，某一個電子，每 2 秒繞原子核 10^{20} 次，則形成一股電流 $10^{20} \times 1.6 \times 10^{-19} / 2 = 8 \text{A}$ 。早期，科學家認為「電」是正電荷的流動，方向是由電池或發電機的正端流出，經過負載，再流回電池或發電機負端，但後來證實「電」是電子（帶負電）的流動，而不是正電荷的流動，且其方向是從電池或發電機的負端流向負載，而回到電池或發電機的正端。因為大家已經習慣「電流」的用法，且也不影響「電」的使用，所以也就一直沿用至今，只是學科學、學電學的需要知道，電是「電子」的流動，方向是從電池或發電機「負端」流向負載，再流回電池或發電機的「正端」。例如，若電池接線如圖 1-3b，則「電流」(I) 是順時針，「電子流」則是逆時針方向。

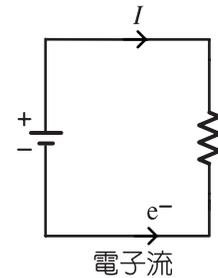


圖 1-3b 電流與電子流的方向

電子移動平均速度(drift velocity)與電流的關係

圖 1-3c 是導線取一個截面的示意圖，截面積 $A(\text{m}^2)$ ，長度 $l(\text{m})$ ，單位體積內的電荷數目（電荷密度）是 n ，每個電子的帶電量 (e) 是 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ，所以此段導線的總電子數是 nAl ，總帶電量是：

$$Q = nAle \cdots \cdots (1)$$

電流根據定義是：

$$I = \frac{Q}{t} \cdots \cdots (2)$$

現在此電子在長度 ℓ 的移動時間為

$$t = \frac{\ell}{v} \quad \dots\dots(3)$$

v 是電子移動平均速度，單位是 m/s。將 (3) 代入 (2)，得到：

$$I = nAve \quad (\text{安培, A})$$

(公式 1-3)

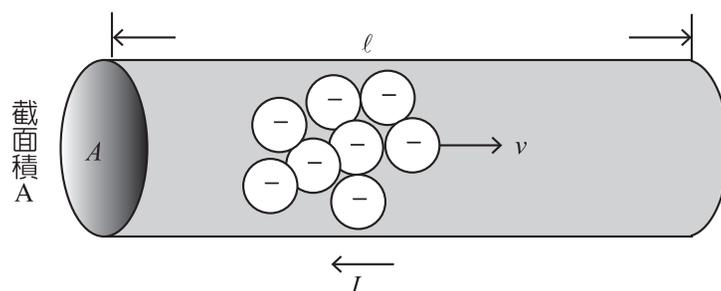


圖 1-3c 電子移動平均速度

範例 1-3a

有一銅導線的截面積為 0.1 平方公分，導線內的電流值為 16 毫安培，已知銅的電子密度為 10^{29} 個自由電子 / 立方公尺，則電子在導線中的平均速度為何？

110 統測

(A) 10^{-3} 公尺 / 秒 (B) 10^{-5} 公尺 / 秒 (C) 10^{-7} 公尺 / 秒 (D) 10^{-9} 公尺 / 秒

解

由公式 1-3, $I = nAve$

$$16\text{m} = 10^{29} \times 0.00001 \times v \times 1.6 \times 10^{-19} \quad \text{得到 } v = 10^{-7} \text{ m/s}$$

由結果可知，電子移動平均速度雖然很慢，但開關的瞬間，電燈就亮，這就與水龍頭水滴的擠壓原理相同。

1-4 電壓

電壓(voltage)與電動勢(electromotive force)

在力學裡，水會流動，我們說因為有水壓，水才會流動，水壓的大小也影響水的流速，水壓的來源有高度差或加壓馬達。在電學裡，化學電池、發電機、光電板都能讓電子持續流動，電子能夠流動，我們也稱此設備具電動勢。電動勢的符號是「E」，單位是伏特，以符號「V」表示，如圖 1-4a。所有發電設備也都有內阻 r ，電流流過這些內阻就有壓降 V_r ，扣掉 V_r 的電壓，才是真正的電池電壓 V ，電壓的符號是「V」，單位「伏特」，單位符號是「V」，若 $V=12V$ ，代表電壓是 12 伏特。如圖 1-4a，電池電動勢為 E ，扣掉電池內阻電壓 V_r ， $V_{ab}=E-V_r$ ，若不考慮電源內阻，則使用 E 或 V 都是代表電源的電動勢，代表此電源提供的電壓。

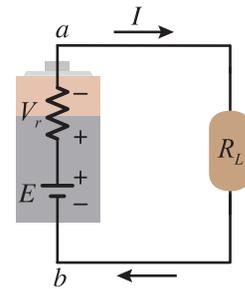


圖 1-4a E 與 V 的關係

電位(electric potential)與電位差(potential difference)

在電學裡，由電源流出的電流通常會經過很多負載，有了負載電壓就會下降，所以就有「電位」這一名詞，用以代表該點的電壓。如圖 1-4b，電源共流進 3 個電阻 R_1 、 R_2 、 R_3 ，在電阻兩端通常我們有標點 a, b, c, d ，方便我們求各點的電壓，此電壓稱為該點的電位 V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_d 。同理，每一個位置有電位，兩點的電位的差異，就稱為電位差。例如， V_{ab} 表示 a, b 兩點的電位差， $V_{ab}=V_a-V_b$ ；同理 V_{bc} 表示 b, c 兩點的電位差， $V_{bc}=V_b-V_c$ 。

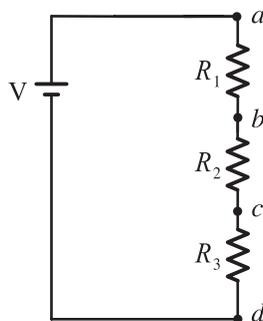


圖 1-4b 電位與電位差

接地(earth connection)

接地符號是 \perp ，表示其電壓為零。若一電路同時使用兩個電源，則一定要將兩個電源的地線互相連接，這樣兩個電源才有相同的基準。

範例1-4a

如圖 (1) 所示，下列敘述何者正確？

統測 110

- (A) 當 c 點接地時， $V_{ae} = 4V$
- (B) 當 c 點接地時， $V_{ac} = -4V$
- (C) 當 b 點接地時， $V_{ae} = 4V$
- (D) 當 d 點接地時， $V_{ae} = -4V$

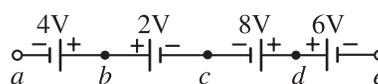


圖 (1)

解

c 點接地， $V_c = 0V, V_d = 8V$ （電池由正極出去，電壓增加）， $V_e = 2V$ （電池由負極出去，電壓減少，以上結果，請自己拿電池與三用電表做實驗）， $V_b = 2V, V_a = -2V, V_{ae} = V_a - V_e = -2 - 2 = -4V$ ，其餘請自行練習。

自我練習

1. 如圖 (1) 所示， $R_1 = 1k\Omega, R_2 = 3k\Omega, R_3 = 6k\Omega$ ，

d 點接地，下列何者正確？

統測 111

- (A) $V_{ab} > V_{bc}$ (B) $V_{ab} > V_{ac}$
- (C) $V_{bc} > V_{ac}$ (D) $V_{ca} > V_{ba}$

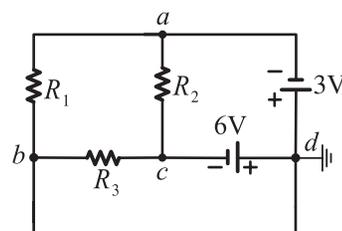


圖 (1)

2. 如圖 (2) 所示電路，下列有關各節點間電位差

之敘述，何者正確？

統測 112

- (A) $V_{ac} > V_{ad}$
- (B) $V_{dn} > V_{cn}$
- (C) $V_{dn} > V_{ac}$
- (D) $V_{ad} > V_{ac}$

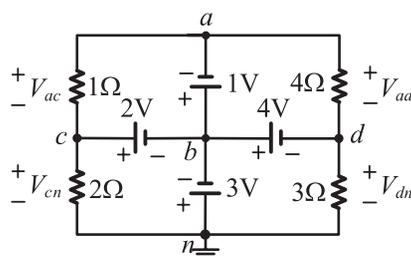


圖 (2)

§1-5 電能(electric energy)

物理上將能做功的東西，都稱為能量，例如具有高度的東西，我們說它有重力位能(=mgh)，將彈簧拉長或壓縮，我們稱此彈簧具有彈力位能(=kx²/2)，熱能煮熟食物，我們稱熱有熱能，在電學裡，電的功能也是五花八門，可以加熱、可以推動電梯、可以驅動螢幕的明與暗，我們也稱電有能量，稱為電能。在力學裡，施力(F)與位移(S)的乘積，定義為功，此功可以轉為動能或重力位能。在電學裡，電能的定義是將一電荷於一個電位差移動，所需做的功，單位是焦耳(J)，數學式如下：

$$W=Q \times V \text{ (焦耳, J)}$$

(公式1-4)

Q 是電荷的符號，單位是 C， V 是電壓符號，單位是 V， W 是電能符號，單位是焦耳，符號是 J。例如，某一電荷 3C，通過電位差 4V 的負載，則需作功為 $3 \times 4 = 12\text{J}$ 。又例如，某一電荷通過電位差 5V 的負載，消耗 10J 的電能，則此電荷帶電量是 $10/5 = 2\text{C}$ 。

電子伏特(electron-volt)

電能的另一單位是電子伏特(eV)，也就是一個電荷移動一個電位差的能量。

電位(electric potential)與電能

力學的水位以海平面為零水位，電學的電位則以大地（或無窮遠處）為參考點，稱為零電位或接地。A 點電位(V_A)的定義是「將單位正電荷從無窮遠(∞)處移動至 A 點所作的功」，數學式如下：

$$V_A - V_\infty = \frac{W_A - W_\infty}{Q}, \text{ 因為無窮遠的電位與能量均為零，所以}$$

$$V_A = \frac{W_A}{Q} \text{ (單位是伏特, 單位符號是V)}$$

(公式1-5)

也就是 A 點電位(V_A)是電荷(Q)在 A 點所具有的電位能(W_A)。

電位差(electric potential difference)與電能

電位差的定義：將正電荷由一點移到另一點所需的功，即為兩點間的電位差。假設將電荷 Q 從 B 點移至 A 點，其位能由 W_B 變為 W_A ，則 A 、 B 兩點的電位差 V_{AB} 為：

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (\text{伏特, V})$$

(公式1-6)

範例1-5a

在一均勻電場中，將一單位正電荷由無窮處移到 B 點，所需能量為 3.2 電子伏特 (eV)，再將此電荷由 B 點移到 A 點需作功 3.2×10^{-19} 焦耳，則下列何者正確？ 摘自 109 統測

- (A) B 、 A 兩點的電位差 $V_{BA} = -2V$ (B) B 、 A 兩點的電位差 $V_{AB} = 4V$
 (C) A 點的電位差 $V_A = 2V$ (D) B 點的電位差 $V_B = -2V$

解

$$V_B = W_B/Q = 3.2/1 = 3.2V。$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = W_{AB}/Q = 3.2 \times 10^{-19} / 1.6 \times 10^{-19} = 2V，\text{因爲 } V_{AB} = 2, V_B = 3.2, \text{ 所以 } V_A = 5.2V$$

自我練習

- 將 2×10^{-3} 庫倫的正電荷由 b 點移向 a 點需作功 0.1 焦耳，若 a 點的電位為 60V，則 b 點的電位為何？ 112 統測
 (A) 20V (B) 10V (C) -10V (D) -20V
- 在一均勻電場，將一基本電荷由 a 點移至 b 點需作功為 2 電子伏特 (eV)，若 a 點電位為 2.5V，則 b 點電位為何？ 108 統測
 (A) 1.5V (B) 3V (C) 4.5V (D) 6V
- 下列有關電子伏特 (eV) 之敘述，何者正確？ 108 統測
 (A) 為能量單位 (B) 為功率單位 (C) 為電壓單位 (D) 為電阻單位

1-6 電功率(electrical power)

前面已經介紹電能 W 是電荷作功的結果，電功率（以符號 P 表示）則是作功的效率，也就是單位時間所做的功，以數學式表示如下：

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{瓦特, W})$$

(公式1-7)

W 是電能符號，單位是焦耳 (J)，時間 t 單位是秒 (s)， P 是電功率符號，單位是瓦特 (W)，例如，某一電路於 3 秒內作功 9J，則其電功率是 $9/3=3$ 瓦特 (W)。又例如，30W 的燈泡，點亮 10 分鐘，所需電能 $W=30 \times 10 \times 60=18000\text{J}$ 。

馬力(horsepower, 縮寫hp)

馬力是電功率的英制單位，1hp（馬力）= 746W，現在僅剩馬達與內燃機沿用此單位。

電度

電度是電能計量單位，定義為「千瓦·小時」，也就是 1 千瓦的電器，連續使用 1 小時稱為 1 度電。例如，有一燈泡 100W，連續使用 10 小時，則使用電度 = $100 \times 10 / 1000 = 1$ 度電。又例如，2 馬力的馬達，連續使用 10 小時，則使用電度 = $746 \times 2 / 1000 = 1.5$ 度電。

自我練習

1. 以一個平均功率為 2000 瓦特的電鍋煮飯 120 分鐘，若每度電價為 2.5 元，則電費為多少元？
初等考試 112
(A)10 (B)18 (C)20 (D)25

mAh

mAh 又寫做 mA·h，中文念法是毫安培小時，亦簡稱毫安時，等於 1 毫安培的電流通電 1 小時的電量。另外，毫安培小時並不是能量單位，而是「電量」單位，現在的手機電池也是採用這項標示。例如，以 4,500mAh

的手機電池為例，假設在待機狀態下的耗電量為 50mA，則表示此電池續航的時間大約可達 90 小時。

自我練習

1. 某手機的電池容量為 3200mAh，只考慮手機使用在待機及通話情況下，待機時消耗電力的電流為 10mA，通話時消耗電力的電流為 200mA。若電池充飽後至電力消耗完畢期間，手機的總通話時間為 10 小時，則理想上總待機時間應為多少小時？ 統測 107
(A)96 (B)120 (C)144 (D)168

損失與效率

在力學裡有摩擦力，在電學裡有電阻，所有能量的轉換，輸入能量 (W_i) 不會完全等於輸出能量 (W_o)，能量短少的部分稱為損失 (loss)，如圖 1-6a。

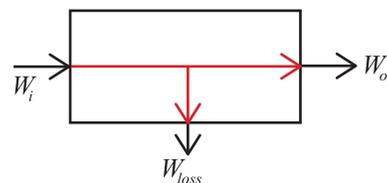


圖 1-6a

$$W_i = W_o + W_{loss}$$

(公式1-8)

效率(efficiency)

輸出能量與輸入能量的比值稱為效率以希臘字母 η 表示，讀音 ETA (伊塔)，數學式如下：

$$\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\%$$

(公式1-9)

以上是能量的損失與效率，功率是單位時間的能量轉換效率，所以以上也適用功率的轉換。

$$P_i = P_o + P_{loss}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

(公式1-10)

當系統由數個子系統串接而成時，如圖 1-6b 所示，則整個系統的總效率為各子系統個別效率的乘積，以數學式表示如下：

$$\text{總效率 } \eta_T = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdots \eta_n$$

(公式 1-11)

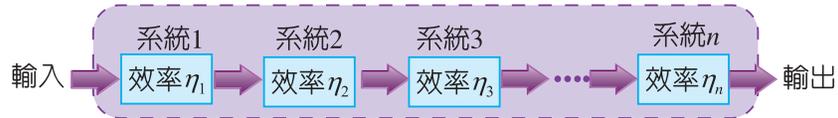


圖 1-6b 系統效率圖

範例 1-6a

有一抽水馬達輸入功率為 1000W，若其效率為 0.746，求

(1) 馬達輸出為多少 W？(2) 馬達輸出為多少 hp 數？(3) 損失為多少 W？

解

- (1) 馬達輸出 $1000 \times 0.746 = 746\text{W}$ 。
- (2) 因為 $1\text{hp} = 746\text{W}$ ，所以 $746\text{W} = 1\text{hp}$ 。
- (3) 損失 $1000 - 746 = 254\text{W}$ 。

範例 1-6b

有一電力系統由兩個子系統組成，第一個子系統的效率為 0.9，第二個子系統的效率為 0.7，求：(1) 總效率為何？(2) 若輸入 1000 焦耳的電能，則輸出為何？

解

- (1) 總效率為所有子效率的乘積： $0.9 \times 0.7 = 0.63$ 。
- (2) 若輸入 1000 焦耳的電能，則輸出 $1000 \times 0.63 = 630$ 焦耳。

§1-7 電的單位

物理學基本的單位有七個，分別是長度 (m)、質量 (kg)、時間 (s)、電流 (A)、熱力學溫度 (K)、物質的量 (mol 或個數)、光強度 (cd) 等 7 項的單位，稱為基本單位 (base units)，以上基本單位為 1960 年第十一屆國際度量衡會議訂定**國際單位制** (Le Système International d'Unités)，簡稱 SI 制。除了以上七個基本單位，其它都是導出單位，例如，速度是 (m/s)，面積是 (m^2)。

關於電的單位，前面已經介紹電量的單位是庫倫，符號是 C，電流的單位是安培，符號是 A，電壓的單位是伏特，符號是 V，電能的單位是焦耳 (J) 與電子伏特 (eV)、電功率的單位是瓦特 (W)。後續還會介紹電阻的單位是歐姆 (Ω)、電容的單位是法拉 (F)、電感的單位是亨利 (H)，如表 1-7a。

► 表 1-7a 電的單位

名稱	名稱符號	單位	單位符號	名稱	名稱符號	單位	單位符號
電量	Q	庫倫	C	電功率	P	瓦特	W
電流	I	安培	A	電阻	R	歐姆	Ω
電壓	V, E	伏特	V	電容	C	法拉	F
電能	W	焦耳	J	電感	L	亨利	H

乘冪表示法

基本電學的數值資料有時會太大或太小，例如 47000V 或 0.001A，為了好讀好寫與好溝通，通常會加上一些乘冪符號輔助，例如，k 表示乘以 1000，m 表示乘以 0.001，所以 47000V 會以 47kV 表示，0.001A 會以 1mA 表示，表 1-7b 是常見的乘冪符號。

► 表 1-7b 常見的乘冪符號

乘冪符號	代表大小	中文名稱	英文名稱
T	$10^{12} = 1,000,000,000,000$	兆	tera
G	$10^9 = 1,000,000,000$	十億	giga
M	$10^6 = 1,000,000$	百萬	mega

乘冪符號	代表大小	中文名稱	英文名稱
k	$10^3 = 1,000$	仟	kilo
m	$10^{-3} = 0.001$	毫	milli
μ	$10^{-6} = 0.000001$	微	micro
n	$10^{-9} = 0.000000001$	毫微，奈	nano
p	$10^{-12} = 0.000000000001$	微微，皮	pico

自我練習

1. 9 奈米代表長度是多少？
2. 5TB 的硬碟代表可儲存多少 Bytes ？
3. 5GHz 代表每秒傳輸多少 bit ？
4. 請將以下數字以乘冪符號表示

題號	題目	答案	題號	題目	答案
1	10000		6	$10\text{m} \times 1\text{k}$	
2	3000000		7	$10\text{M} \times 3\mu$	
3	4000000000000000		8	$20\text{T} \times 4\text{n}$	
4	0.022		9	$10\text{m} / 4\text{p}$	
5	0.0000033		10	$15\text{n} / 3\text{k}$	

1-8 本章內容摘要

1. 原子由質子、中子及電子組成，電子是一顆顆的質點，每個電子質量是 $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ，每一個電子帶 -1.602×10^{-19} 庫倫的電量。
2. 原子最外層軌道上的電子稱為價電子，價電子少於 4 個者為導體。失去電子的原子稱為正離子帶正電，獲得電子的原子稱為負離子帶負電。
3. 電流是單位時間所通過的電量：

$$I = \frac{Q}{t} = nAve \quad (\text{安培, A; } n \text{ 是電荷濃度, } A \text{ 是導線截面積, } v \text{ 是電子平均移動速度, } e \text{ 是每個電子帶電量})$$

4. 電能的定義是將一電荷於一個電位差移動，所需做的功，單位是焦耳 (J)，數學式如下：

$$W = Q \times V$$

電荷 Q : 單位符號是 C，電壓 V ，單位符號是 V，電能 W 單位符號是 J。

5. A 點電位 (V_A): 將單位正電荷從無窮遠 (∞) 處移動至 A 點所作的功。

$$V_A - V_\infty = \frac{W_A - W_\infty}{Q}, \text{ 即 } V_A = \frac{W_A}{Q} \quad (\text{伏特, V})$$

(無窮遠的電位與能量均為零)

6. 電位差的定義：將正電荷由一點移到另一點所需的功，即為兩點間的電位差。假設將電荷 Q 從 B 點移至 A 點，其位能由 W_B 變為 W_A ，則 A、B 兩點的電位差 V_{AB} 為：

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (\text{伏特, V})$$

7. 電功率 P 則是作功的效率：

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{瓦特, W})$$

電能 W 單位是焦耳 (J)，時間 t 單位是秒 (s)， P 單位是瓦特 (W)

8. 輸出能量與輸入能量的比值稱為效率，數學式如下：

$$\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\%$$

9. 常見電的單位

名稱	名稱符號	單位	單位符號	名稱	名稱符號	單位	單位符號
電量	Q	庫倫	C	電功率	P	瓦特	W
電流	I	安培	A	電阻	R	歐姆	Ω
電壓	V, E	伏特	V	電容	C	法拉	F
電能	W	焦耳	J	電感	L	亨利	H

10. 十的乘幂表如下：

p	n	μ	m	k	M	G	T
10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

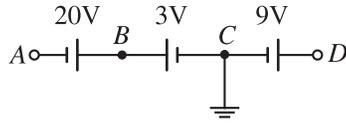
1-9 課後習題

選擇題

- 電荷 $Q = -20$ 庫侖，由 A 點移動到 B 點須做功 100 焦耳，則 $V_{AB} = ?$ 台水 104
(A) $-5V$ (B) $+5V$ (C) $-0.2V$ (D) $+0.2V$
- 關於電的基本概念，下列敘述何者錯誤？ 台水 105
(A) 馬力的單位為瓦特 (B) 電子伏特的單位為伏特
(C) 電容量的單位為法拉 (D) 1 焦耳/秒等於 1 瓦特
- 某一 10W 之 LED 燈泡，假設沒有任何損失狀態之下，1 度電可使用多少小時？ 台水 105
(A) 10 小時 (B) 100 小時 (C) 1000 小時 (D) 10000 小時
- 某 110V，2kW 之直流電動機，滿載效率為 80%，請問滿載運轉時其損失大約為多少瓦特？ 台水 105
(A) 200W (B) 300W (C) 400W (D) 500W
- 電荷的單位為何？台水 105
(A) 安培 (A) (B) 庫侖 (C) (C) 牛頓 (N) (D) 韋伯 (Wb)
- 若系統的輸出功率為 10kW，效率為 0.8，則輸入功率為何？ 台水 105
(A) 8kW (B) 10kW (C) 12.5kW (D) 14kW
- 一具 3kW 之儲熱式電熱水器，每日熱水器所需平均加熱時間為 40 分鐘。若電力公司電費為每度 2 元，則每月 (30 日) 之熱水器電費為何？ 台水 107
(A) 120 元 (B) 72 元 (C) 180 元 (D) 90 元
- 有一部額定 200V，1000W 之電暖器，若外接在 100V 電源上，則其消耗功率為多少瓦特？ 台水 107
(A) 200W (B) 250W (C) 400W (D) 500W
- 下列何者為馬達之能量轉換方式？ 台水 110
(A) 機械能→電能 (B) 電能→機械能 (C) 光能→電能 (D) 電能→光能
- 某直流電動機由 100V 電源輸入 10A 電流，若電動機的效率為 90%，請問此台電動機的損失功率為多少瓦特？ 台水 110
(A) 100W (B) 200W (C) 250W (D) 400W

11. 如(下圖)所示電路，請問下列何者正確？(複選題)

台水 110



- (A) $V_{AB} = 20V$ (B) $V_A = -17V$ (C) $V_{DB} = 12V$ (D) $V_{DA} = 26V$

12. 下列敘述何者正確？(複選題)

台水 106

- (A) 電壓的單位為伏特
 (B) 電容量的單位為亨利
 (C) 電子伏特的單位為伏特
 (D) 電阻的單位為歐姆

13. 有一馬達以 120 伏特電壓來啟動，運轉 20 秒總做功 4800 焦耳，此馬達所消耗的平均功率為何？

111 初等特考 D

- (A) 40 瓦特 (B) 80 瓦特 (C) 160 瓦特 (D) 240 瓦特

14. 有一物質其原子序為 32，則下列敘述何者正確？

統測 109

- (A) 其價電子 (valence electron) 數為 3 個
 (B) 其 L 層電子軌道總帶電量約為 -1.28×10^{-18} 庫侖
 (C) 當環境溫度升高時，此物質的電性可能變為絕緣體
 (D) 其原子核的總帶電量約為 5.1×10^{-19} 庫侖

15. 有一部 2kW 電爐每天使用 5 小時，一個月使用 10 天，每度電費 3.5 元，則該電爐一個月的電費為：

自來水 111

- (A) 450 元 (B) 400 元 (C) 350 元 (D) 300 元

16. 下列何者不是電能是單位？

台中捷運 111

- (A) 仟瓦·小時 (B) 焦耳 (C) 達因 (D) 電子伏特

17. 某一蓄電池進行充電，已知提供 2A 電源並連續充電兩小時，且充電過程中無任何能量散失，則此電源提供充電的總電荷量為多少？

台中捷運 111

- (A) 14000C (B) 14400C (C) 15000C (D) 15500C

18. 有一發電系統設備，其輸入功率為 3.2hp，損失功率為 596.8W，則此台設備的效率為多少？

台中捷運 111

- (A) 90% (B) 85% (C) 80% (D) 75%

19. 某一帶電量為 9 庫侖正電荷，從電位 20V 處移到 50V 處，試求此電荷作功多少耳？
台中捷運 111
(A)250 (B)270 (C)300 (D)330
20. 有關價電子及自由電子的敘述，下列何者正確？
自來水 111
(A) 價電子為原子最外層軌道上的質子
(B) 價電子易受外界能量影響而成為自由電子
(C) 價電子脫離最外層軌道成為自由電子
(D) 矽的價電子有 5 個

素養觀念題

1. 雷電後，小明發現樹木被燒黑，請問如何使用本章原理解釋。
2. 小明的手機電池規格標注 3200mAh，若待機僅需 20mA，請問若都讓手機處於待機狀態，可以撐幾個小時不用充電？
3. 小明有一燈具，燈具有 5 顆 20W 燈泡，每天使用 10 小時，電每度 3 元，請問一個月需要多少電費？
4. 請說明在空曠地的建築物有無避雷針的差別？
5. 新聞常報導「台積電先進 5 奈米、7 奈米晶圓」，請問奈米的意思呢？

MEMO