

當電荷在導體中運動時，就產生了電流。1799年義大利科學家伏打（Count Alessandro Volta, 1745 - 1827）發明了電池以及稱為伏打堆的串聯電池（圖 7-1），能產生連續而穩定的電流，使得電磁學的研究得到了迅速的發展。

電流是我們日常生活中許多用品的驅動來源。舉例來說，當手電筒的開關打開時，手電筒的電池會驅動電流，使燈泡獲得電能而發光。在大自然中也不乏電流的現象，例如夏日午後常見的閃電，顯示了空中大量電荷流動的軌跡。甚至在生物體內的神經信號傳遞時，也產生有微小的電流。

在本章中我們將探討如何使電荷流動？電流流經導體時，會產生哪些效應？能量的形式如何轉換？在一封閉的迴路中如何分析電路？

5

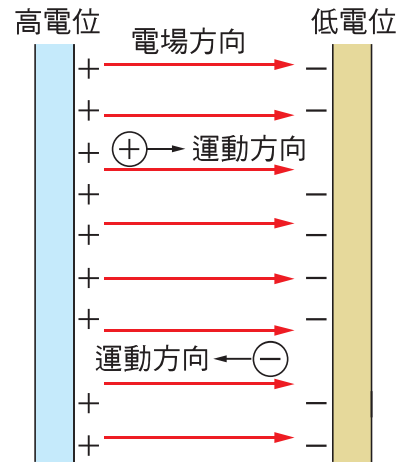
10



▲ 圖 7-1 將含食鹽水的溼布夾在銀和鋅的圓板中間，按銀、布、鋅、銀、布、鋅……的次序堆疊，用導線連接最頂端的銀板和最底層的鋅板，如此便可製造稱為伏打堆的電池。

7-1 電動勢與電流

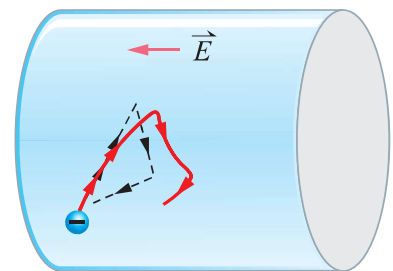
在靜電學中，若兩平行金屬板帶等量異性電，正電板與負電板間有電位差，則電板層間將產生均勻電場，電場方向由正電板（高電位）指向負電板（低電位）。靜止的電荷在電板層間將受到靜電力而作加速運動，如圖 7-2 所示，若為正電荷，則由高電位處運動至低電位處，即運動方向與電場方向相同；若為負電荷，則由低電位處運動至高電位處，即運動方向與電場方向相反。



▲ 圖 7-2 均勻電場內正電荷的運動方向與電場相同，負電荷的運動方向與電場相反。

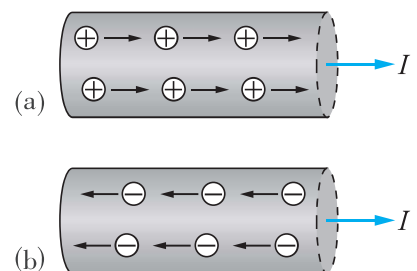
1. 電流

在靜電平衡的金屬導線中，導線內的自由電子會像氣體分子一樣，持續在各個方向上作無規運動，且不停地與固定的原子發生碰撞，故所有自由電子的平均速度為零。若在導線兩端施加固定的電位差，則導線內將產生一沿著導線方向從高電位指向低電位的電場。在電場驅使下，帶負電的自由電子有逆著電場方向的平均速度，如圖 7-3 所示。以上現象若從巨觀來看，自由電子便集體從低電位移向高電位，因而形成電流（electric current 或 current）。



▲ 圖 7-3 金屬內某一自由電子在一小段時間內的運動示意圖：紅色實線是有朝左的電場 \vec{E} 時之運動軌跡，黑色虛線是電場為零的運動軌跡。

傳統上規定正電荷流動的方向為電流的方向（圖 7-4 (a)），但是在金屬導線中，其電流 I 實際上來自於帶負電荷的自由電子之流動，所以導線中所形成電流的方向和自由電子流動的方向相反（圖 7-4 (b)）。



▲ 圖 7-4 等電量的(a)正電荷或(b)負電荷若在相同時間間隔內以相反方向分別穿過相同的截面時，兩者所形成電流 I 的大小與方向相同。

在 Δt 的時間間隔內，通過導體內某一截面的總電量為 ΔQ ，則在此段時間內通過此截面的平均電流 I_{av} 定義為

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

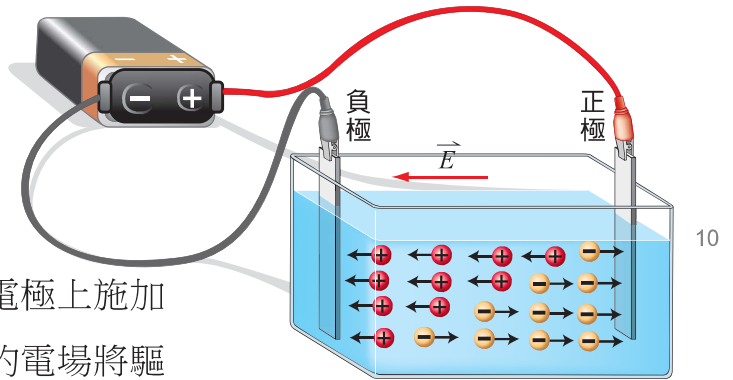
7-1 式

若所取的時間間隔極短，則在某時刻的瞬時電流 I 定義為

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

7-2 式

電流的 SI 單位為庫侖/秒（即 C/s），稱為**安培**（ampere，以 A 表示）。由上式可知 1 安培電流是指在導體的某一截面上，每 1 秒內有 1 庫侖的電量流過。



如果在電解池的兩個電極上施加電位差，則電解池內生成的電場將驅使正離子與負離子運動形成電流。如圖 7-5 所示，在電場作用下，電解池中的正離子，從高電位流向低電位，即其正離子所形成之電流方向向左；而負離子則從低電位流向高電位，負離子所形成之電流方向亦向左，所以在計算電解池內某一截面的總電流時應合併計算正離子和負離子所形成之電流。

▲ 圖 7-5 電解池示意圖。池內正離子運動方向與電場 \vec{E} 方向相同，而負離子則相反，但是兩者所形成之電流方向皆由正極至負極。



做一做

找出家裡的配電箱（通常在客廳牆壁），並打開箱蓋，會發現每個開關都標示一電流值。請和班上同學討論該電流值所代表的意義。



在導線中建立電場的速率

我們一開燈，電燈立刻就亮了，並不是自由電子在導線內的運動速率非常快，而是接通電源的導線兩端因為有電位差，便以極快的速率（接近真空中的光速）在導體上各處建立電場。導線上的電場驅動導線上各處的自由電子運動，其中最靠近電燈處的自由電子便流經電燈使其發亮。

◎ 範例 7-1

如圖 7-5 在電解池中的某截面，20 秒內有 1.0×10^{19} 個負離子向右穿過該截面，同時有 2.5×10^{19} 個正離子向左穿過該截面，若每個負離子的電量等於電子電量，且每個正離子的電量為負離子兩倍，則連接電解池導線內的電流為何？

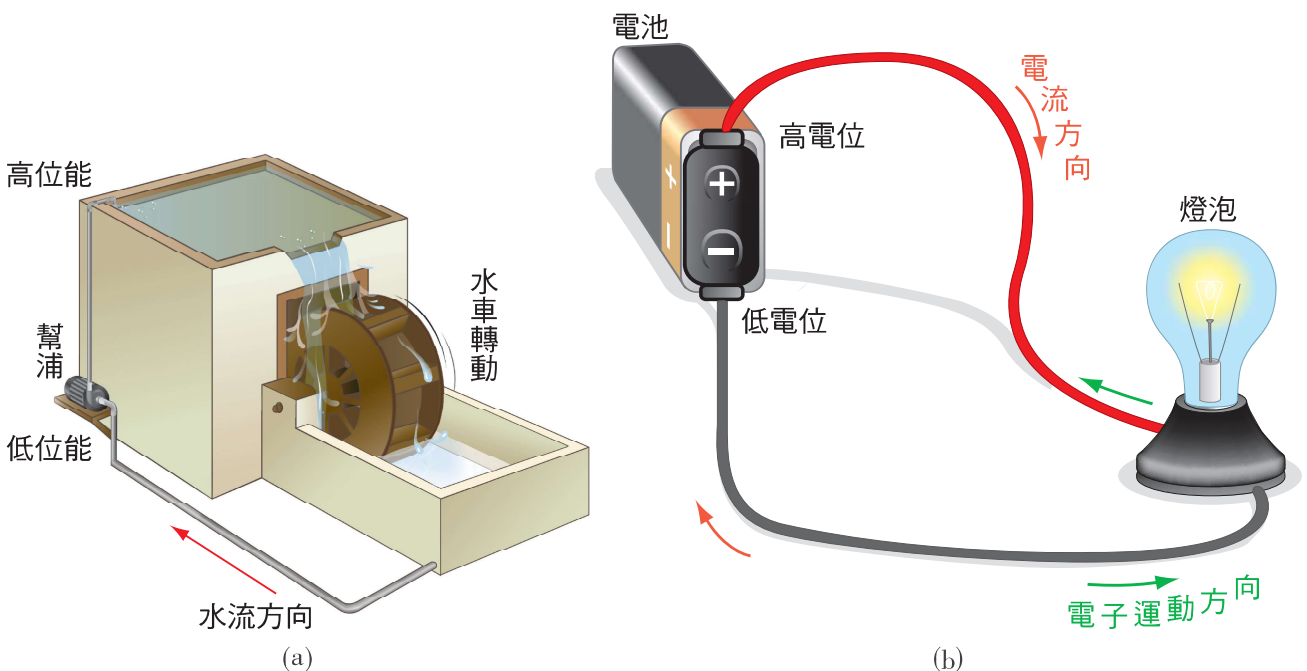
5 [解答] 20 秒內流經該截面的總電量 ΔQ

$$\Delta Q = (1.0 \times 10^{19} + 2 \times 2.5 \times 10^{19}) (1.6 \times 10^{-19}) = 9.6 \text{ C}$$

$$\text{由 (7-1) 式得流經電池的平均電流為 } I = \frac{9.6 \text{ C}}{20 \text{ s}} = 0.48 \text{ A}$$

2. 電動勢

- 10 若導線兩端的電位有高低差異，可使電荷流動形成電流，就好像水管兩端有高低差異，可推動水流動一般。如圖 7-6 (a) 所示，如果想讓有限的水持續流動，則需利用幫浦將流至低處的水移至高處，水管內才能持續有水流。同樣地，如果要讓導線內有限的自由電子持續流動，
- 15 那麼導線兩端就要接上可以將流至低電位能處的自由電子移至高電位能處的裝置，此裝置稱為電源（圖 7-6 (b)）。



▲ 圖 7-6 (a) 幫浦將水從低處移至高處；(b) 電池將正電荷從低電位處移至高電位處或將電子從高電位處移到低電位處。

因為在導線內之電流方向是由高電位移向低電位，所以電源內部具有持續使電流由低電位移動至高電位的能力，稱為電源的**電動勢**（electromotive force，簡稱 emf，記為 \mathcal{E} ）。電池便是一種利用化學反應產生固定電動勢的直流電源。

電流由電池的負極移至正極時，電池提供能量 W 給電量 q 的電荷，則電池的電動勢 \mathcal{E} 定義為

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q} \quad \text{7-3 式}$$

電動勢的 SI 單位為焦耳/庫侖（即 J/C），也就是伏特（V），和電位與電位差的單位相同。由（7-3）式可知，1 庫侖的正電荷從電池的負極移至正極，若電池因為化學反應而提供 3 焦耳的能量，則電動勢為 3 伏特。

電路上 a、b 任意兩點的電位差 V_{ab} ，也稱為電壓，而電池正極、負極的電位差則稱為端電壓，通常以 V 表示。端電壓 V 是電池供電時，對外接線路所能提供的電壓。當電動勢為 \mathcal{E} 的電池對外接線路供電，若電池提供電量 q 之電荷的能量 $q\mathcal{E}$ 全部轉換成外接線路可用的電能 qV ，則電池的電動勢 \mathcal{E} 等於端電壓 V ，稱為理想電池。然而一般的電池，電荷在其內部流動時，因為電池提供的能量 $q\mathcal{E}$ 有一部分會被電池內部損耗成熱，所以外接線路可用的電能 qV 小於 $q\mathcal{E}$ ，故電池的端電壓 V 小於電動勢 \mathcal{E} 。

◎ 範例 7-2

20

一電池連接一燈泡，流經電池的電流為 0.050 A，若電池的電動勢為 1.5 V，則在 10 分鐘內，電池消耗多少化學能？

[解答] 由（7-1）式可知 10 分鐘內流經電池的總電量

$$\Delta Q = (0.050 \text{ C/s}) (10 \times 60 \text{ s}) = 30 \text{ C}$$

故由（7-3）式可得電池所消耗的化學能為

$$\mathcal{E} \Delta Q = (1.5 \text{ V}) (30 \text{ C}) = 45 \text{ J}$$

25