

## 7-3 電流的熱效應與電功率

在生活周遭常見許多電器用品，例如電風扇通電後，風扇轉動吹來涼風；開啟音響設備，美妙的音樂由喇叭播放出來；吹風機通電後，送出的熱氣可以快速吹乾溼漉漉的頭髮。在享受電器用品所帶來便利的同時，我們也要付出消耗電能的代價。

### 1. 電源與電器的電能和電功率

當電流從電源內部的負極流至正極，電源會提供能量給流過的電荷。考慮一理想電池，若通過電池內部的電流為  $I$ ，則相當於在  $\Delta t$  時間內，流經電池正負兩極的電荷電量  $\Delta Q$  為

$$\Delta Q = I\Delta t$$

設電池的電動勢為  $\mathcal{E}$ ，由上式可知電池提供的電能  $\Delta U_e$  為

$$\Delta U_e = \mathcal{E}\Delta Q = \mathcal{E}I\Delta t$$

若電池每單位時間（例如每秒）提供的電能稱為電池的供電功率  $P$ ，由上式可知電池的供電功率  $P$  為

$$P = \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}\Delta Q}{\Delta t} = \mathcal{E}I$$

7-13 式

電功率常用的單位為瓦特（watt，或稱為瓦，符號為 W）或是千瓦（即 1000 W，簡記為 kW）。若理想電池的電動勢  $\mathcal{E}$  為 3 伏特，當通過電流  $I$  為 1 安培，則電池的供電功率  $P$  為 3 瓦，即每秒供電能 3 焦耳。

相反地，電器是一種消耗電能而轉變成其他能量形式的裝置，例如電風扇內部馬達將電能轉換成扇葉轉動的力學能、喇叭將電能轉換成聲音能量、吹風機將電能轉換成熱能及熱風的動能。設電器兩端的電壓為  $V$ ，若通過電器的電流為  $I$ ，在  $\Delta t$  的時間內流經電器的電量  $\Delta Q$  為  $I\Delta t$ ，則這些電荷所消耗的電能  $\Delta W$  為

$$\Delta W = V\Delta Q = VI\Delta t$$

因此電器的耗電功率  $P$  為

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{V\Delta Q}{\Delta t} = VI$$

7-14 式

家用電器上黏貼的標籤會標示該電器在額定電壓下所消耗的電功率，若某款數位相機上黏貼標籤如圖 7-22 所示，表示使用額定電壓 3.6 伏特的直流電源，相機消耗功率為 1.0 瓦，由 (7-14) 式可知道流經相機的電流約為 0.28 安培。

產品名稱：數位相機  
型號：XXX-YY  
額定電壓：DC 3.6 V  
消耗功率：1.0 W  
製造年份：2014  
產地：Made In Taiwan

5

▲ 圖 7-22 數位相機標籤



### 知識 電池容量

電池能夠提供的電能稱為電池容量，若將標示「3.7 V 3.55 Wh」的電池（圖 7-23）接上耗電功率 3.55 W 的電器，在理想狀況下，則該電器可以連續使用 1 h（小時）；若接上耗電功率一半（即 1.775 W）的電器，則使用時間增為原來兩倍（即 2 h）。



▲ 圖 7-23 電池容量標示

電功率  $P$  愈大的電器，表示單位時間內消耗的電能愈多，若電器使用的時間為  $\Delta t$ ，則消耗電能  $\Delta W = P \Delta t$ 。家庭中裝設的電度表，是用以記錄家庭所耗電能的裝置。電度表每增加 1 度電能，等於以 1 千瓦的電功率累計用電 1 小時所消耗的電能（簡記為 1 千瓦小時），即  $1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小時} = (1000 \text{ J/s})(3600 \text{ s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。



### 做一做

下課時間若能將教室裡的日光燈關掉，同學至戶外走走，不僅能紓解上課時緊繃的身心，也能節約能源。設下課時間為 10 分鐘，每天共有 6 次下課時間，若下課時間將日光燈全部打開，請查閱教室所有日光燈的功率，並計算 22 天（約一個月的上課天數）因此而消耗的電能度數為多少？

## 2. 電流的熱效應

家庭中有些電器是將電能大部分轉換成熱能，以達到工作目的，例如電熨斗、電鍋（圖 7-24）、電暖爐，其核心材料大抵是以鎳鉻合金為主的導體電阻。電流流

5 經電阻時，電荷所減少的電能轉換成電阻的熱能，使電阻的溫度升高，此現象稱為**電流的熱效應**。從微觀來看，這是由於電荷在電阻內移動過程中會與導體中的原子碰撞，電荷將由電源獲得的能量移轉給原子，使原子的動能增加。傳統電燈泡也是電流熱效應的應用，其燈絲常用鎢絲製

10 成，當通以電流時因為溫度增至極高而發光，但是因電能轉換成光能的效率不佳，近來已逐漸淘汰。



▲ 圖 7-24 當電流通過電鍋內的電阻時，由電能轉換的熱能可以加熱食物。

對電阻值為  $R$  的電阻而言，若是其消耗的電能可以完全轉換成熱能，當電阻兩端的電壓為  $V$ ，且流經電阻的電流為  $I$ ，由（7-14）式與電阻的定義（即（7-4）式），則其發熱功率  $P$  可表示為

$$15 \quad P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad \text{7-15 式}$$

上述關係式又稱為**焦耳定律**（Joule's law）。由上式可知，若電阻遵守歐姆定律，即電阻值  $R$  不隨電壓與電流改變，流經導線上的電流愈大時，其發熱功率也愈大。鎳鉻絲的電阻率比起銅導線來得大，相同的電流經過鎳鉻絲時，較容易發高熱。某些電器用品如電風扇的轉動馬達，

20 在通電後的運轉過程中，也會產生熱能，一般將其消耗電能而產生熱能的等效電阻稱為馬達的內電阻。



### 想一想

發電廠供電時，常以高電壓輸出以減低其電流，請利用（7-15）式解釋為何減低傳輸電流可減少在漫長傳輸線上所耗損的電能？另外，若某同學想利用（7-15）式中的電壓  $V$  來說明傳輸線上所耗損的電能，則其使用的  $V$  為何處之電壓呢？

在使用電器用品時，連接電器與電源的導線也會發熱，為了避免導線過熱，每條導線都有其最大的安全電流容量。有時我們需要使用延長線（圖 7-25）來增加電源的插座，若延長線的最大安全電流為 15 安培，則要注意的是，並不是每個插座可以用到 15 安培，而是指在同一時間所有插座使用電流的總和不得超過 15 安培。當圖 7-25 中的多孔插座同時連接電鍋和烤箱，因這兩個電器並聯，故電壓皆相同。兩電器並聯時，流經延長線與電源間的電流  $I$  等於流經兩電器的電流  $I_1$  與  $I_2$  的和。



▲ 圖 7-25 多孔插座雖可供數個電器同時使用，但總電流  $I$  不能超過該插座所容許的最大安全電流。 $I_1$  與  $I_2$  分別為電器的電流， $I = I_1 + I_2$ 。

5

10

### ◎ 範例 7-7

如圖 7-26 所示的電路，若電池的電動勢為 1.5 V，內電阻為  $2.0\Omega$ ，外接的電阻  $R$  為  $13\Omega$ ，則

- (1) 整個電路中的電流為何？
- (2) 電池的供電功率為何？
- (3) 20 分鐘內，電阻  $R$  消耗的電能為何？



▲ 圖 7-26

15

[解答] (1) 設電流為  $I$ ，由  $V = IR$  知內電阻的電位差為  $I \times 2.0\Omega$  與外接電阻的電位差為  $I \times 13\Omega$

電池的電動勢等於內電阻的電位差與外接電阻的電位差之和，則

$$1.5 \text{ V} = I(2.0\Omega) + I(13\Omega)$$

解得整個電路的電流  $I = 0.1 \text{ A}$

- (2) 電池的供電功率  $P$  為電阻  $R$  的耗電功率，由 (7-15) 式，則

$$P = I^2 R = (0.1 \text{ A})^2 (13\Omega) = 0.13 \text{ W}$$

- (3) 在  $\Delta t$  為 20 分鐘的時間內，電阻  $R$  所消耗的電能為  $\Delta W$ ，由 (7-14) 式，則

$$\Delta W = P\Delta t = (0.13 \text{ J/s})(20 \times 60 \text{ s}) = 156 \text{ J}$$

20

25

若電流  $I$  超過延長線標示的最大安全電流容量，此即所謂的過電流，又稱超載，將會造成過熱而發生危險。為避免意外，電路上均裝有保險絲或是無熔絲開關，當發生過電流（超載）時，保險絲會熔斷，無熔絲開關則會自動彈開，使電路形成斷路。此時應該檢查是否牆壁上的插座同時使用了幾個功率較大的電器產品，或是在一條延長線的插座上同時使用多個電器產品，確保不會再有電流超載之虞，再接通保險絲開關繼續用電。

### ◎ 範例 7-8

在日照充足的地方，有些房子的屋頂裝置有太陽能熱水器，可以吸收太陽輻射熱能，加熱儲熱桶內的水。太陽能熱水器通常也會安裝電熱元件，因應日照不足的季節或是陰暗的天氣，可以靠通電來加熱水。在裝有 300.0 公斤的水之絕熱容器中有電阻值為 10.00 歐姆的電熱元件，當電熱元件連結 110.0 V 的電壓，若消耗的電能有 83.72% 轉換成被水吸收的熱，則 1 小時後，水溫升高多少  $^{\circ}\text{C}$ ？（水的比熱為  $1.000 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ， $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$ ）

15 [解答] 由 (7-15) 式，當  $10.00 \Omega$  的電阻  $R$  連接 110.0 V 的電壓  $V$ ，則電阻的電功率  $P$  為

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110.0 \text{ V})^2}{10.00 \Omega} = 1210 \text{ W}$$

在  $\Delta t$  為 1 小時的時間內，電阻  $R$  所消耗的電能為  $\Delta W$ ，由 (7-14) 式，則

$$\begin{aligned} \Delta W &= P \Delta t \\ &= (1210 \text{ J/s}) (1 \times 60 \times 60 \text{ s}) = 4.356 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

由上式可知，在 1 小時的時間內，計有  $4.356 \times 10^6 \text{ J} \times 83.72\%$  轉換成被水吸收的熱  $\Delta Q$ 。當質量  $m$  的水吸收熱  $\Delta Q$ ，溫度升高  $\Delta T$ ，若水的比熱為  $s$ ，由  $\Delta Q = m \times s \times \Delta T$ ，則

$$\begin{aligned} &4.356 \times 10^6 \text{ J} \times 83.72\% \\ &= (300.0 \times 10^3 \text{ g}) (1.000 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}) \Delta T (4.186 \text{ J/cal}) \end{aligned}$$

所以  $\Delta T = 2.904 \text{ }^{\circ}\text{C}$