

# 電的基本概念

是現代科技的基礎,它可帶給我們許多生活上的便利,例如家庭中的各種家電產品、工廠內的自動化設備、交通上的運輸系統等,到處都可以看到電的使用。因此,對於電的瞭解是有其必要,在本章中,我們先從原子的結構來説明物質是如何產生電的現象,以瞭解電的特性,然後再介紹各種與電學相關的基本概念,做為日後學習基本電學的基礎。

# 學習目標

- 瞭解原子結構與電荷的特性
- > 熟悉電壓、電流的定義與特性
- > 認識電功率與電能的定義
- > 熟悉基本電學使用的單位
- ▶ 認識基本元件的符號



# 本章目錄

1-1	特性	2	1-5	電壓	19
1-2	單位	7	1-6	電流	24
1-3	能量	10	1-7	功率	29
1-4	電 荷	14	1-8	基本元件及符號認識	35



# 1-1 特性

電(electricity)是自然界的一種基本現象,在生活中我們很容易可以 發現它的存在。例如:天空中的閃電、打雷;在乾燥的冬天,當我們脫下毛 衣、或用塑膠梳子梳頭髮時,可聽見嗶剝的聲音一這都是電的現象。

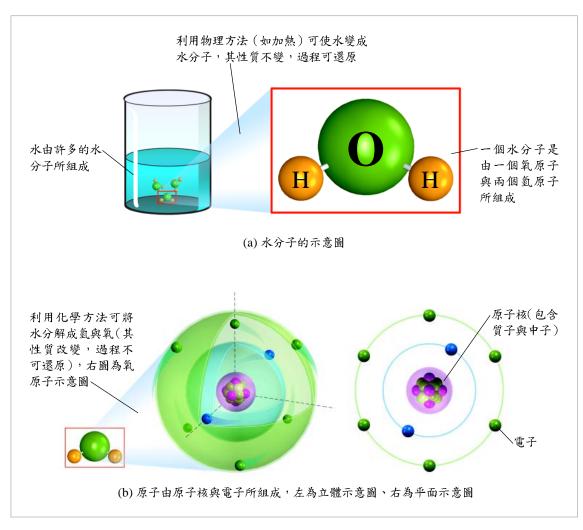
自19世紀以來,電學的知識蓬勃發展,科學家們也將其應用在與我們息息相關的日常生活上,如電燈、電話、電視…等生活必需的家電用品。請大家想像一下,在沒有電力供應的日子裡,生活會有多麼不方便!如:手機沒電無法即時傳遞重要訊息、或是交通號誌沒電而導致交通大亂等。我們日常生活上的食衣住行育樂無不與電關係密切,因此,電的知識可以說是既有趣又實用。在本章中,我們將介紹電學的基本概念,讓讀者瞭解到物質是如何產生電的作用。

# 1-1.1 物質及原子結構

#### 物質的組成

物質是由各種元素(element)所組成,目前已知,在地球上所發現的元素約有一百一十幾種,而我們將元素的最小單位稱爲原子(atom)。大部分的物質多半由多種元素所構成,稱爲化合物(compound),其最小單位爲分子(molecule),而分子再細分即成爲原子,如圖 1-1(a)、(b)所示。將物質(化合物)分割成分子形態,並不會改變物質原來的特性(如水變成水分子,本質上還是水);若是再將分子分割成原子,則會改變物質特性而回復成組成此分子之元素的性質(如水分子  $H_2O$ 就可分解成氫原子 H 與氧原子 O)。



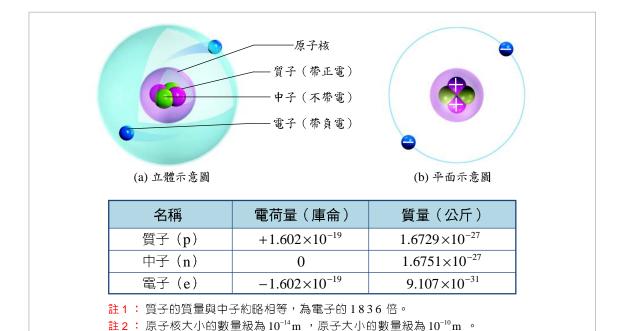


▲ 圖 1-1 物質的組成 一般的物質(化合物)是由分子所組成,將分子再分割可得到更小的原子。

#### 原子的結構

原子是由原子核(atomic nucleus)與環繞在核外的電子(electron)所構成,其中原子核可再細分為帶正電的質子(proton)與不帶電的中子(neutron),如圖 1-2 所示。質子與電子所帶電量相等,但電性正負相反。一個原子在正常的情況下,其質子數目等於電子數目,故原子本身呈電中性。

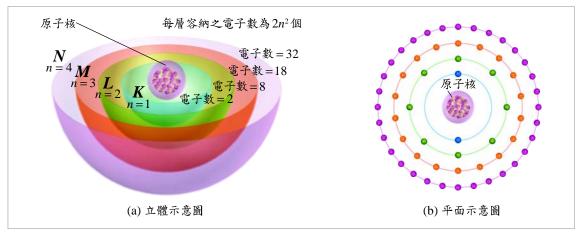




▲ 圖 1-2 原子的結構 原子由原子核與電子所組成,其中原子核包含質子與中子。

註3: 原子序 = 質子數 = 電子數。

電子環繞原子核運行時,電子只允許存在於特定的軌域(orbital)上,這些軌域稱為**能量層**(energy shell),由內而外標示為 $K \times L \times M \times N \times O \times P \times Q$ 。這些能量層上所能存在的電子數目也有所限制,其每層的電子數目最多只能容納  $2n^2$ 個(其中 n 爲能量層數),例如:在 K 層上, n=1,則最多所能容納的電子數爲  $2 \cdot (1)^2 = 2$  個,如圖 1-3 及表 1-1 所示。



▲ 圖 1-3 原子能量層上容納的電子數目 電子只能存在於特定的能量層中,其各層限制的電子數目滿足 2n²的公式。



▼ 表 1-1	能量層上容納的電子數目
---------	-------------

主層	<b>K</b> n=1	<b>L</b> n = 2	<b>M</b> n=3	<i>N n</i> = 4	<b>O</b> n = 5	<b>P</b> n = 6	<b>Q</b> n = 7
電子數目 $2n^2$	2	8	18	32	18或32	18	8

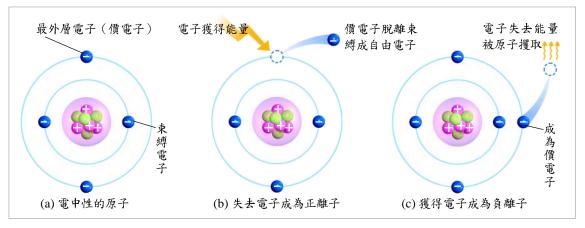
註:  $2n^2$  公式只適用至 n=4 。

# 1-1.2 電性

#### 正負離子的產生

電子環繞原子核運行時受到原子核的吸引力作用,愈靠近原子核(內層)的電子受到的吸引力愈強;這些電子不容易脫離原子核的束縛,稱爲束縛電子(bound electron)。離原子核愈遠(外層)的電子,受到的吸引力則愈弱,我們將最外層的電子稱爲價電子(valence electron)。當價電子受到外力的作用時,可能會脫離原子核的束縛,這時稱此電子爲自由電子(free electron)。

原本呈電中性的原子若是失去了電子(帶負電),就會變成帶有正電的離子(ion),稱爲正離子(positive ion)或陽離子(cation)。相反地,電中性的原子若是獲得額外的電子,就會變成帶有負電的離子,稱爲負離子(negative ion)或陰離子(anion)。這種將電中性的原子變成離子的過程,稱爲電離或游離(ionization),如圖 1-4 所示。



▲ **圖 1-4 正離子與負離子的形成** 中性原子若失去電子則形成正(陽)離子;若獲得電子則形成負(陰)離子。



#### 物質的電性分類

物質的價電子數目可決定此物質的導電能力,物質依其導電能力可分成: 導體(conductor)、絕緣體(insulator)及半導體(semiconductor)。 說明如下:

- 1. **導體**: 價電子數在 4 個以下,此種物質的價電子容易游離成自由電子,使物質具有導電能力。
- 2. 絕緣體:價電子數在4個以上,根據八隅體學說,此種物質中的原子 會與其它原子共用價電子,而形成最外層有8個價電子的穩定狀態, 因此沒有自由電子可以導電。
- 3. 半導體: 價電子數為 4個, 此種物質的性質介於導體於絕緣體之間, 會根據環境的不同(如改變溫度或摻入雜質)而有不同的電性呈 現。

表 1-2 所示為三種不同電性物質的例子。

▼表1-2 不同電性的物質

導體	絕緣體	半導體
金屬類(銀、鐵、銅、 鋁、鉛、鎳…)	空氣、玻璃、木材、紙、 布、塑膠、雲母…	矽、鍺、砷化鎵、磷化鎵…



#### 知識充電

1916 年**路易士**(**G.** N. Lewis)提出八**隅體規則**(octet rule),認為:鈍氣的化學性質穩定,不易失去或獲得電子,是因為外層有 8 個填滿的價電子( $ns^2np^6$ )。所以當原子與原子結合時,會利用得到、失去或共用電子的方式,傾向形成鈍氣的電子組態。

註:  $ns^2np^6$  為鈍氣的外層電子組態,n 代表能量層的主層,s 、p 代表副層,上標數字則代表填入的電子數。例如:氖氣(Ne)的外層電子組態為  $2s^22p^6$  ,表示在其外層的能量層中(n=2),其電子數包含有 s 副層的 2 個電子及 p 副層的 6 個電子(共 2+6=8 個電子)。



	₩ 單元評量 ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩ ₩
1.	原子由、、、 三種組成。
2.	電子帶電量為庫侖;質子帶電量為庫侖。
3.	原子失去電子成為,而獲得電子成為。
4.	原子的能量層上最多含有 個電子。
5.	今有一矽原子,其電子數為 14 個,則能量層上各有幾個電子?
	$K = $ , $L = $ , $M = $ , $N = $ $\circ$

# 1-2 單位

單位(unit)是度量衡的標準,例如:我們說一個人的身高 175 公分、體重 65 公斤,其中數字 175、65 代表數量大小,而公分、公斤即是單位。要注意的是:不同的單位表達出物質的不同特性,因此要它們相互比較大小是毫無意義的。最基本的單位為測量長度、質量與時間所使用的單位,由這三種基本單位可以衍生出許多其他的導出單位,如體積(長度³)、速度(長度/時間)…等。

# 1-2.1 基本單位系統

我們在描述某人身高時,可以說為 175 公分、或 5 呎 9 吋,這是因為採用不同單位系統的結果。使用不同的單位系統,其通常的考量是基於方便性與習慣性,不過實際所描述的還是相同的物件,因此不同的單位系統間是可以相互轉換。常用的基本單位系統有 MKS、 CGS、與 FPS 制,它們各自有長度、質量、時間等三個主要的基本單位,如表 1-3 所示。

系統	長度	質量	時間
MKS 制(公制)	公尺 m( <b>m</b> eter)	公斤kg( <b>k</b> ilo <b>g</b> ram)	
CGS 制(公制)	公分 cm(centimeter)	公克g ( <b>g</b> ram)	秒 s(second)
FPS 制(英制)	英呎ft ( <b>f</b> oo <b>t</b> )	磅lb ( <b>p</b> ound)	

▼表1-3 常用的基本單位系統



自 1960年起,國際度量衡大會以 MKS 制單位系統為基礎,再加上溫度、電流、物量、光強度等單位,制定出一套單位系統,稱為 國際單位制 (International System of Units),如表 1-4 所示,為目前世界各國所普遍採用。

物理量	長度	質量	時間	温度	電流	物量	光強度
基本單位	公尺 <b>m</b> eter	公斤 <b>k</b> ilo <b>g</b> ram	秒 <b>s</b> econd	克耳文 <b>K</b> elvin	安培 <b>A</b> mpere	莫耳 <b>mol</b> e	燭光 <b>c</b> an <b>d</b> ela
符號	m	kø	S	K	Α	mol	cd

※ ▼ 表 1-4 SI 制的基本單位系統

註:國際單位制的法文為 Le Systeme International d'Unites ,簡稱 SI 制。

# 1-2.2 電學單位

常用的電學單位有許多,一般都以發現該物理現象的科學家來命名,表 1-5 爲幾種常用的電學單位與慣用符號,這些電學名稱將在本書中逐一介紹。 此外, CGS 制的單位系統又可分成 CGS 靜電制與 CGS 電磁制,一併列表如 下。

名稱	慣用符號	SI 制單位	※CGS 靜電制單位	※ CGS 電磁制單位
電量	Q 或 $q$	庫侖(C)	1C = 3×10 <sup>9</sup> 靜電庫侖	1C = 10 <sup>-1</sup> 電磁庫侖
電流	I或i	安培(A)	1A = 3×10 <sup>9</sup> 靜電安培	1A = 10 <sup>-1</sup> 電磁安培
電壓	V或v	伏特(V)	$1V = \frac{1}{3} \times 10^{-2}$ 靜電伏特	1V = 10 <sup>8</sup> 電磁伏特
電阻	R	歐姆(Ω)	$1\Omega = \frac{1}{9} \times 10^{-11}$ 靜電歐姆	$1\Omega=10^9$ 電磁歐姆
電感	L	亨利(H)	$1H = \frac{1}{9} \times 10^{-11}$ 靜電亨利	1H = 10 <sup>9</sup> 電磁亨利
電容	С	法拉(F)	1F = 9×10 <sup>11</sup> 靜電法拉	1F = 10 <sup>-9</sup> 電磁法拉
電能	W	焦耳 (J)	1J = 10 <sup>7</sup> 爾格	1J = 10 <sup>7</sup> 爾格
雷功率	P	万特 (W)	1W = 10 <sup>7</sup>	1W - 10 <sup>7</sup> 電磁瓦特

▼表1-5 常用的電學單位



# 1-2.3 倍數符號

在科學與工程上,常會測量很大或很小的數值,爲了使用上的方便,我們常在單位前加上一個英文字母,以代替 10 的次方。例如:常聽說 "電腦的記憶體容量 512MB ( $M 是 10^6$ , B 是單位 — Byte 位元組 ) "、"硬碟容量 <math>160GB ( $G 是 10^9$ ) "及 "奈米 (nm,  $n 是 10^9$ , m 是單位 — meter 公尺 )科技 "等。一般常用的符號,如表 1-6 所示。

10的次方	符號	英文	中文
10 <sup>12</sup>	T	Tera	兆
10 <sup>9</sup>	G	Giga	十億
$10^{6}$	M	Mega	百萬
$10^{3}$	k	kilo	仟
$10^{-3}$	m	milli	毫
$10^{-6}$	μ	micro	微
$10^{-9}$	n	nano	奈、毫微
$10^{-12}$	р	pico	皮、微微

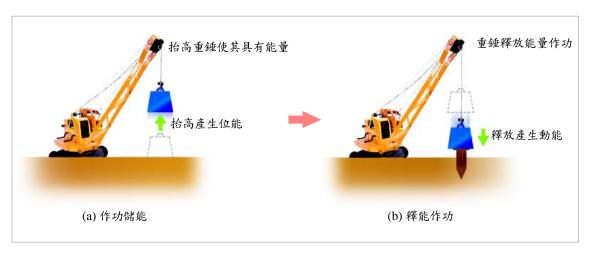
▼表1-6 常用10次方的倍數符號

# # 元評量 1. 長度(m)、質量(kg)、時間(s)的單位稱為 \_\_\_\_\_\_單位; 體積(m³)、速度(m/s)、密度(g/m³)的單位稱為 \_\_\_\_\_單位。 2. 電阻的實用單位為 \_\_\_\_\_\_,簡記符號為 \_\_\_\_。 3. 電容的實用單位為 \_\_\_\_\_,簡記符號為 \_\_\_\_。 4. 代表+億分之一或10<sup>-9</sup>的符號為 \_\_\_\_。 5. 英文字母 m 代表的數值是 \_\_\_\_\_,英文字母 M 代表的數值是 \_\_\_\_。 6. 在半導體產業中常聽見的微米製程與奈米技術,其中"微"是指 \_\_\_\_。 "奈"是指 \_\_\_\_。



# 1-3 能量

能量(energy)是指物體作功的能力(如:我們對一個重錘作功可將 其抬高,而在高處的重錘則具有能量可以對其它物體作功)如圖 1-5 所示。



▲ **圖** 1-5 功能轉換的示意圖 (a)圖中,重錘抬高,具有位能,有作功的能力;(b)圖中,重錘釋放,位能轉換為動能,對木樁作功。

物理學上有一個**能量守恆**(conservation of energy)定律,指出宇宙間的能量總和爲不變,即能量不會無中生有,也不會無故消失。能量只是在不同的形式間(如機械能、熱能、光能、電能、磁能、化學能等)相互轉換,表 1-7 列出幾種例子。

設備元件		能量轉換				
言文が開ノい十	來源	轉換後				
電風扇	電能	⇒ 機械能(馬達轉動)				
電燈泡	電能	⇒ 光能				
發電機	機械能	⇒電能				
蒸汽機 (引擎)	熱能	⇒ 機械能				
電池放電	化學能	⇒電能				
太陽能電池	光能	⇒電能				
喇叭	電能	⇒聲能				

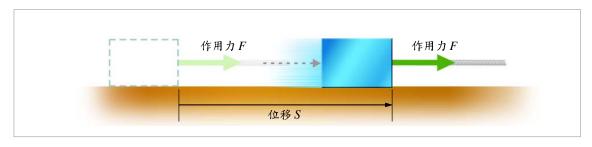
▼表1-7 能量轉換



# 1-3.1 功

對物體施以一作用力 F ,使物體沿作用力方向產生位移 S ,如圖 1-6 所示,則對物體所作的功 W 爲:

$$\Sigma$$
重要公式  $W = F \cdot S$  〔 J,焦耳〕 (1-3-1)



▲ 圖 1-6 功的定義 功=作用力×沿作用力方向的位移。

功的單位在 MKS 制(SI 制)中爲焦耳(Joule ,簡記爲 J),在 CGS 制中爲**爾格**(erg),二者關係如表 1-8 所示。

 MKS (SI)制
 CGS制

 1焦耳 (J) = 1牛頓 (N)×1公尺 (m)
 1爾格 (erg) = 1達因 (dyne)×1公分 (cm)

 = 1牛頓·公尺 (N·m)
 = 1達因·公分 (dyne·cm)

 ∵1N=10⁵ dyne
 ∴1J = 10⁵ dyne×10² cm = 10⁻ erg ,即1焦耳=10⁻ 爾格

▼表1-8 能量的單位

註:本書單位將以MKS制(SI制)為主,並在適當需要時補充其它單位的介紹。

## 1-3.2 電能

電能是帶電粒子作功所產生的能量,例如:電池可以推動導體中的電子 移動使其作功;所作的功可以轉換成其它形式的能量,例如讓電燈發亮(變 爲光能)、或是讓馬達轉動(變爲機械能),如圖 1-7 所示。所以電能的 單位也是焦耳(J),與功的單位一樣。

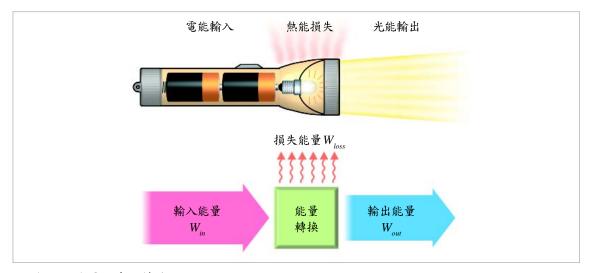




▲ 圖 1-7 電能轉換 電池提供電能,燈泡將電能轉換為光能。

# 1-3.3 能量的損耗與效率

能量在形式轉換的過程中,會有能量的損耗,造成的原因有可能是空氣阻力、機械阻力、或是熱能損耗,如圖 1-8 所示。



▲ **圖 1-8 能量形式的轉換** 在能量的轉換過程中,多少都有部分能量的損耗。

爲了瞭解能量損耗的情況,我們可以定義**效率**(efficiency,簡記爲 $\eta$ ) 爲輸出能量 $W_{out}$ 與輸入能量 $W_{in}$ 的百分比:

#### Σ 重要公式

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% \tag{1-3-2}$$



如果W<sub>or</sub>表示轉換過程中的損失能量,則根據能量守恆定律:

#### Σ 重要公式

$$W_{in} = W_{out} + W_{loss} \tag{1-3-3}$$

將(1-3-3)式代入(1-3-2)式,效率 $\eta$ 也可以表示成:

#### Σ 重要公式

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% = \frac{W_{out}}{W_{out} + W_{loss}} \times 100\% = (\frac{W_{in} - W_{loss}}{W_{in}}) \times 100\% \quad (1-3-4)$$

由上式可知效率η≤100%。

若是整個系統是由許多的副系統所串接而成,則總效率 $\eta_T$ 爲:

$$\eta_T = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots \times \eta_n \tag{1-3-5}$$

#### 範例 1-1

某系統之輸入能量為50焦耳,輸出能量為30焦耳,試求該系統之效率?

【解】
$$W_{in} = 50 \,\mathrm{J} \,,\, W_{out} = 30 \,\mathrm{J}$$

效率
$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% = \frac{30J}{50J} \times 100\% = 60\%$$

**馬上練習** 某系統之輸入能量為 100 焦耳,損失能量為 20 焦耳,試求該系統之效率?

【答】
$$\eta = 80\%$$
。

# ₩ 單元評量

- 1. 電能的實用單位為 \_\_\_\_\_\_,簡記符號為 \_\_\_\_\_。
- 2. 電燈是將 \_\_\_\_\_ 能轉換為 \_\_\_\_\_ 能; 喇叭是將 \_\_\_\_\_ 能轉換為 \_\_\_\_\_ 能。
- 3. 某系統之輸出能量為80焦耳,損失能量為20焦耳,試求該系統之效率為 \_\_\_\_。

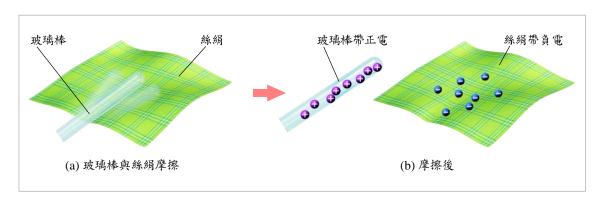


# 1-4 電荷

遠在西元前6世紀,古希臘人便已發現琥珀用毛皮摩擦後能吸引一些小東西;而在中國漢代的時候,也有記載著「頓牟掇芥」的現象,此處頓牟指的是玳瑁(爲海龜的一種),意思是說其甲殼在摩擦後可以吸附微小的芥籽。目前,我們已經知道,上述的現象即是一種**靜電效應**(electrostatic effect)。

# 1-4.1 靜電荷

將兩個物體相互摩擦,則在物體的表面會產生不同電性的帶電粒子,這些帶電粒子並不會在物體上任意移動,因此稱爲靜電荷(static charge)。 美國科學家**富蘭克林**(Benjamin Franklin, 1706~1790)將摩擦後產生的靜電區分爲正電與負電,例如在絲絹摩擦玻璃棒後,玻璃棒上所帶的電性爲正電,絲絹上所帶的電性爲負電,如圖 1-9 所示。



▲ **圖 1-9 摩擦產生靜電荷** 玻璃棒與絲絹在摩擦後,玻璃棒帶正電、絲絹帶負電。

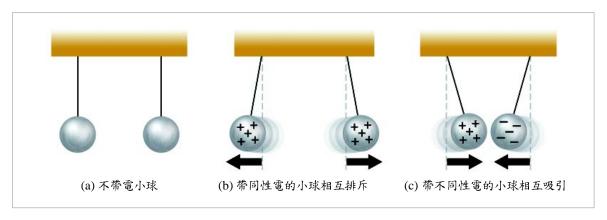
#### 電荷的特性

我們將靜電荷的基本特性分述如下:

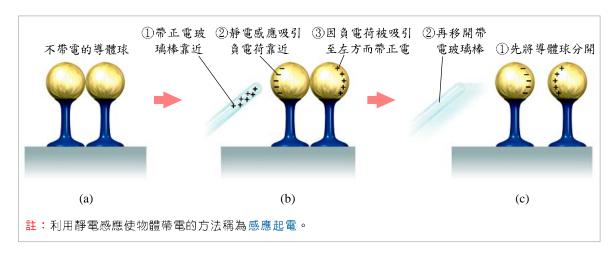
#### 第1章 電的基本概念



1. **靜電荷間的關係**:電荷的電性質區分爲正電與負電兩種,電性相同的電荷間會產生相互排斥現象,電性不同的電荷間則有相互吸引的現象,如圖 1-10 所示。



- ▲ **圖 1-10 静電荷間的關係** 電性相同的電荷會相互排斥(同性相斥);電性不同的電荷會相互吸引(異性相吸)。
  - 2. **靜電感應**:將一個帶有靜電荷的物體靠近一個未帶電的導體,則導體的表面會感應出電性相反的靜電荷,這種現象便稱爲**靜電感應** (electrostatic induction),如圖 1-11 所示。



▲ 圖 1-11 静電感應 將帶有靜電荷的物體靠近導體,則導體表面會感應出電性相反的靜電荷。



3. **電荷守恆定律**:各種產生靜電的方式,如摩擦生電或靜電感應,都只 是將物體內的正負電荷分離,而在表面形成靜電,實際上的電荷總數 目並沒有改變。

#### 電荷的電量

從 1-1 節中說明的原子結構可知,電子(或質子,二者電量相同、電性相反)是最小單位的帶電粒子,稱爲基本電荷。對於帶電物體的電量而言,指的就是物體內所含之基本電荷的數量,符號通常以Q或q來表示,其單位在 SI 制中爲庫侖(Coulomb,簡記爲C)。一個基本電荷(電子)所帶的電量 約為 $1.6\times10^{-19}$ 庫侖,即 1 庫侖爲:

$$\frac{1 \text{ 庫侖}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ 庫侖/個}} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 個(電子所帶的電量)}$$

# 1-4.2 庫侖定律

帶電物體有同性相斥、異性相吸的現象,這種排斥或吸引的作用力稱爲 靜電力(electrostatic force),如圖 1-12 所示。兩個靜止電荷  $Q_1$ 、  $Q_2$  間的 作用力可以用庫侖定律(Coulomb's law)來表示:

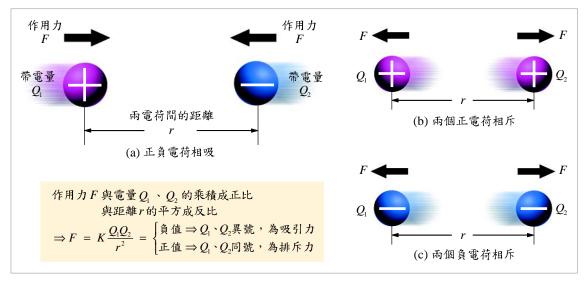
#### Σ重要公式

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$
 (N, 牛頓) (1-4-1)

其中 K是一個常數,與電荷所在的介質有關,如表 1-9 所列。在 SI 制 ( MKS 制 ) 中,電荷如果是位於真空或空氣中,則  $K = 9 \times 10^9$  牛頓·公尺  $^2$  / 庫侖  $^2$  (  $N \cdot m^2/C^2$  )。電荷間的靜電力是用庫侖定律來描述,所以也稱為 庫侖力,這是十八世紀法國科學家庫侖 ( C. A. de Coulomb, 1736~1806 ) 在西元 1785 年所發表的研究成果。

#### 第1章 電的基本概念





▲ 圖 1-12 **兩靜電荷間的庫侖力** 靜電力的大小與兩電荷的乘積成正比,與距離平方成反比。

#### ▼表1-9 庫侖定律與介電係數 E

名稱 單位制	F	$Q_1 \cdot Q_2$	r	公式	ε:介電係數
MKS 制	牛頓 (N)	庫侖 (C)	公尺 (m)	$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{1}{\varepsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ $= 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}  (在真空中)$	$egin{aligned} arepsilon &= arepsilon_0 arepsilon_{ m p} & & & & & & & & & & & & & & & & & & $
CGS 制	達因 (dyne)	靜電庫侖 (stat-C)	公分 (cm)	$F = \frac{1}{\varepsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{\varepsilon_r} \frac{Q Q_2}{r^2}$ $= \frac{Q_1 Q_2}{r^2}  (在真空中)$	$oldsymbol{arepsilon}_{oldsymbol{arepsilon}_r}:$ 相對介電係數 $($ 介電常數 $)$

註1:1牛頓 = 105達因。

 ${f il}$  2: 介電係數  ${f \epsilon}$  與空間中的介質有關,相關內容將在第  ${f 7}$  章時有更詳盡的介紹。

#### 範例 1-2

有一電荷含有 2.5×1018 個電子,則該電荷帶有多少電量?

【解】:1庫侖的負電帶有6.25×1018個電子

$$\therefore Q = \frac{2.5 \times 10^{18} \text{ lb}}{6.25 \times 10^{18} \text{ lb} / \text{ lb}} = 0.4 \text{ lb}$$
 (負電)

【另解】::1個電子帶有-1.6×10<sup>-19</sup>庫侖的電量

$$\therefore Q = (2.5 \times 10^{18}$$
個 $) \times (-1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖/個 $) = -0.4$  庫侖



**馬上練習** 有一電荷帶有6庫侖的負電,則該電荷含有多少個電子?

【答】 $n = 3.75 \times 10^{19}$  個。



#### 範例 1-3

在真空中,有一個帶電量為 $9\times10^{-5}$ 庫侖的正電荷與一個電量為 $3\times10^{-5}$ 庫侖的負電荷,相距9公尺,試求兩電荷間的庫侖力為多少?

【解】由題意知:在真空中,利用表 1-9 的公式可得:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(9 \times 10^{-5} \text{C})(-3 \times 10^{-5} \text{C})}{(9 \text{m})^2} = -0.3 \text{ N} ( \pm \text{M})$$

其中負號代表兩電荷正負不同,所以電荷間的庫侖力為吸引力。

**馬上練習** 在空氣中,兩電荷分別是 $Q_1 = +25$  靜電庫侖及 $Q_2 = +4$  靜電庫侖,相距 5 公分,試求作用力為多少達因?

【答】4達因。

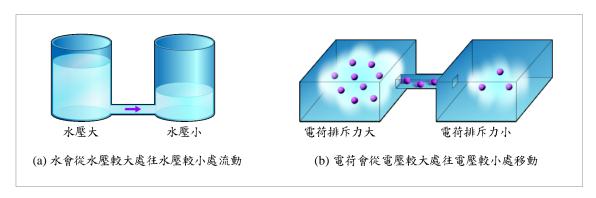
1	單元評量	N	
---	------	---	--

	+76H <b>=</b>
1.	一庫侖電量有 個電子。
2.	一個電子所含有的電量為 庫侖。
3.	塑膠棒與毛皮摩擦後,毛皮因部分電子獲得足夠熱能而脫離軌道,因而失去電子,所以塑膠棒帶 電,毛皮帶 電。
4.	一物體在摩擦後帶有 8×10 <sup>-6</sup> 庫侖的電荷,它可以吸引與絲絹摩擦後的玻璃棒, 則此物體為 (失去或得到)電子 個。
5.	庫侖定律:兩電荷間作用力的大小與電量成 比,而與兩電荷間的距離平方成 比。
6.	兩帶電體各為 $10^{-5}$ 庫侖及 $5\times10^{-4}$ 庫侖,相距 $1$ 公尺,試求在真空中相互作用力為 牛頓;若將此兩帶電體改置於雲母中,則其間之作用力為 牛頓。(雲母之 $\epsilon=5$ )



# 1-5 電壓

電壓(voltage)是用來表示電荷受靜電力作用的程度。當電荷感受到兩端電壓大小不同時,表示電荷會受到靜電力的作用而傾向移動;這好比水管中的水,若兩端的壓力不一樣,就會造成水的流動,如圖 1-13 所示。在電學的系統中,電壓通常泛指系統中的電位差、電動勢、端電壓、電壓降等,本節中將陸續說明。



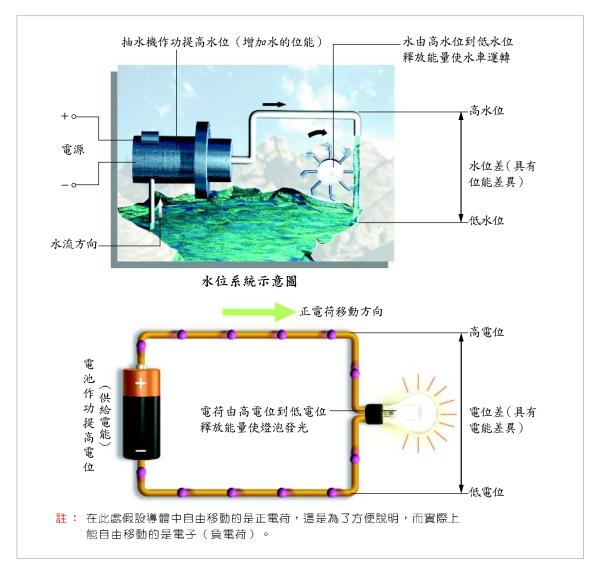
▲ **圖 1-13 水壓與電壓** 水壓不同時會造成水的流動;電壓不同時也會造成電荷的移動。

# 1-5.1 電位與電位差

#### 雷位

電位(electric potential)的概念可以利用水位的系統來解說,如圖 1-14 所示。就如同水的位置有高水位與低水位的情況,電荷在空間的分佈也有高電位與低電位的區別,電荷可以藉由高電位向低電位移動的過程將電能釋放,並運用在各種能量形式的轉換。





#### ▲ 圖 1-14 電位的概念 正電荷由高電位到低電位的過程中,會釋放能量。

電荷因受靜電力作用而具有電位(能),在電學系統中,某一點的電位是指單位正電荷在該點所具有的電位能(potential energy),亦即爲將單位正電荷由無限遠處(定義該處電位能爲零)移至該點所作的功,SI制的單位爲伏特(Volt,簡記爲V)。以數學式表示爲:

$$V_{x} = \frac{W_{x}}{Q} \quad [V, 伏特]$$
 (1-5-1)



其中, $W_x$ 爲電荷Q(庫侖)在x處的電位能(焦耳),而該點的電位爲 $V_x$ (伏特)。一般我們會定義在無窮遠處爲零電位(zero potential);而在實用的電路中,則習慣用接地代表零電位。

#### 電位差

在靜電力的作用之下,兩點間的電位差(electric potential difference)定義爲:將一單位正電荷在動能保持恆定的情況下,由某點移至另一點所作的功(亦即兩點間的電位能變化)。即若將Q電荷由b點移至a點所作的功爲 $W_{ab}$ ,則a、b兩點間的電位差爲:

#### Σ 重要公式

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{W_a - W_b}{Q} = V_a - V_b \quad [V, \%]$$
 (1-5-2)

其中, $W_a$ 、 $W_b$ 分別爲a、b兩點的電位能。

# 1-5.2 電動勢、端電壓與電壓降

#### 電動勢

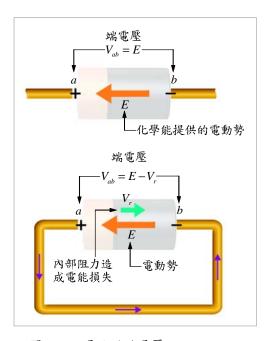
靜電力可以對電荷作功使其移動,這種驅使電荷移動的原動力便稱爲**電動勢**(**electromotive force**,簡記爲 **emf**),簡稱電勢。所以電動勢是電路中存在電壓的來源,符號爲 E,使用單位爲伏特(V)。電路中電動勢的來源,一般有電池(化學能轉換電能)、發電機(機械能轉換電能)等。

#### 端電壓

在電學的系統中,我們習慣將電子裝置(元件)兩端的電位差值稱爲 **端電壓**(terminal voltage)。以電池爲例,對於一個單獨沒有連接電路的電 池而言,其端電壓等於本身的電動勢;若是連接成完整電路致使電荷流動, 則其端電壓會略小於本身電動勢,如圖 1-15 所示。

註:電路是指在電學系統中,各個電子裝置以導線連接起來形成一封閉的迴路。





▲ 圖 1-15 電池的端電壓



▲圖1-16 電動勢、端電壓與電壓降的關係

#### 電壓降

當電荷受電動勢驅動而通過電路元件時,元件可將能量轉換成其它形式(如光能、熱能、機械能···),而電荷所帶的電能則減少(電位下降),這種元件兩端電位下降的現象便稱為電壓降(voltage drop),如圖 1-16 所示。電動勢、端電壓與電壓降的單位皆為伏特,在往後本書中我們將以符號 E表示電動勢(電源電壓),而以 V表示端電壓或電壓降。



#### 範例 1-4

A點對地之電位差為  $100\mathrm{V}$  , B點對地之電位差為  $80\mathrm{V}$  ,試求:

$$(1)V_A = ? (2)V_B = ? (3)V_{AB} = ? (4)V_{BA} = ?$$

【解】: 大地為零電位

∴ (1) 
$$V_A = (V_A - V_{th}) + V_{th} = V_{Ath} + 0 = 100 \text{ V}$$
 (伏特)

(2) 
$$V_B = (V_B - V_{\text{th}}) + V_{\text{th}} = V_{B \text{th}} + 0 = 80 \text{ V} ( 伏特 )$$

(3) 
$$V_{AB} = V_A - V_B = 100 \text{V} - 80 \text{V} = 20 \text{ V} (伏特)$$

(4) 
$$V_{BA} = V_B - V_A = 80\text{V} - 100\text{V} = -20\text{ V}$$
 (伏特)



**馬上練習** A點對地之電位差為 50V,A、B之間的電位差 $V_{AB}$  為 80V,則 B點對地之電位差為多少?

【答】
$$V_R = -30 \text{ V}$$
。

#### 範例 1-5

有一帶電量為 5 庫侖的正電荷,由無窮遠處移動至 a 點須作功 100 焦耳,而由無窮遠處移動至 b 點須作功 50 焦耳,試求 a 、 b 兩點間的電位差  $V_{ab}$  為多少?

【解】
$$W_{ab} = W_a - W_b = 100 \text{J} - 50 \text{J} = 50 \text{J}$$
 (焦耳)  

$$\therefore V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{50 \text{J}}{5 \text{C}} = 10 \text{ V}$$
 (伏特)

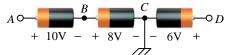
**馬上練習**  $a \times b$  兩點間的電位差 $V_{ab}$  為 20V,若有一帶電量為 3 庫侖的正電荷,由無窮遠處移動至 a 點須作功 100 焦耳,試求由無窮遠處移動至 b 點須作功多少?

【答】
$$W_R = 40 \,\mathrm{J}$$
。



#### 範例 1-6

如右圖所示,試求:



$$(1) V_A \setminus V_B = ?$$

(2) 
$$V_{AD} = ?$$

註: 从表示接地(零電位)。

【解】由圖示可以看出C為參考之零電位,所以需對此參考點來比較

(1) D點比 C點高 6V ,  $V_D=6$  V B點比 C點高 8V ,  $V_B=8$  V A點又比 B點高 10V ,故  $V_A=10$ V +8V =18 V

(2) 
$$V_{AD} = V_A - V_D = 18V - 6V = 12 V$$

馬上練習 承上題,試求 $V_{DB}=?$ 

【答】
$$V_{DR} = -2 \text{ V}$$
 °

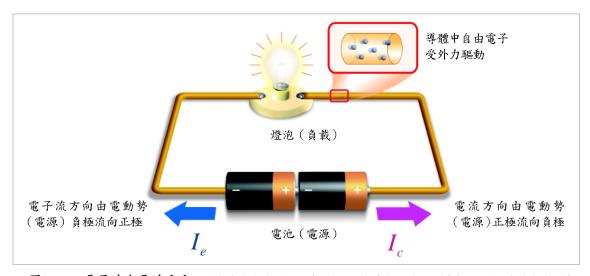


	<b>₹</b>	單元評量	N Comments
1.	電壓的實用單位為	,簡記符號為	
2.	在電路中, $a$ 點的電壓為 $5V$ ,位差 $V_{ab}$ 為 $_{_{_{_{ab}}}}$ 次特。	b點的電壓 –	$25\mathrm{V}$ ,則電路中 $a \times b$ 兩點間的電
3.	有一帶電量為 $10$ 庫倫的電荷,電路中 $a \times b$ 兩點間的電壓 $V_{ab}$		$a$ 點移動至 $b$ 點需作功 $100$ 焦耳, $_{\perp}$ 伏特。
4.	英文 emf 代表。		
5.	$a \times b$ 兩點電位差為 4 伏特,移	<b>新某電荷時</b> ,	所作之功為20焦耳,則該電荷為

# 1-6 電流

庫侖。

在某個區域中,若有淨電荷流動通過,則稱該處具有電流(current)。例如:在導體(如銀、銅…)中,自由電子若有外力(電動勢,如電池…)的驅動,則導體內的自由電子會受到負極的排斥與正極的吸引而產生電子流,如圖 1-17 所示。要注意的是:雖然導體中的電流是電子集體移動的結果,但最早定義的電流方向卻是與電子流方向相反。也就是說電流方向由電源正極出發,經負載回到負極,而電子流則由電源負極出發,經負載回到正極。



▲ **圖 1-17 電子流與電流方向** 電流的方向由電源正極出發,經外部電路回到負極;電子流的方向則相 反。



# 1-6.1 電流的定義

電流的定義是:在單位時間內電荷通過該處截面積之電量,如圖 1-18 所示。若在時間 t 秒內有 Q 庫侖的電荷通過某一截面,則該處的電流 I 表示為:

#### Σ重要公式

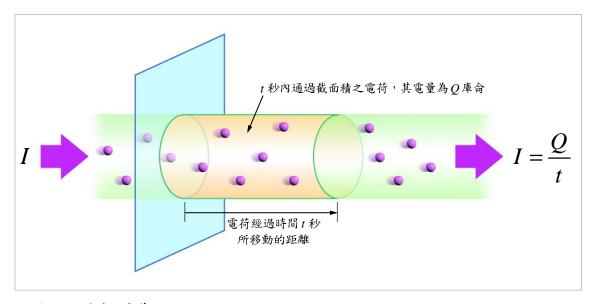
$$I = \frac{Q}{t} \quad [A, 安培] \tag{1-6-1}$$

電流 I的單位爲安培(Ampere ,簡記爲 A),是爲紀念法國科學家安培(A. M. Ampere, 1775~1836)對電磁學的研究貢獻而命名的單位。若是在導體中,由於移動的是電子,則(1-6-1)式可改寫爲:

#### Σ 重要公式

$$I = \frac{Ne}{t} = \frac{N \times (1.6 \times 10^{-19})}{t}$$
 (A, 安培) (1-6-2)

其中,N爲 t 秒內通過截面積之電子數,e 爲電子的帶電量。所以,1 安培電流可定義成:導體內的某一截面在同一方向上,經過1 秒的時間,有1 庫 命的電量( $6.25 \times 10^{18}$  個電子)流過。



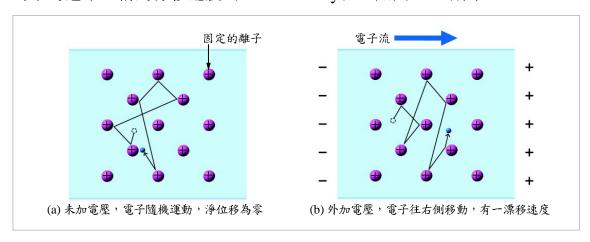
▲ 圖 1-18 電流的定義 單位時間內電荷通過該處截面積之電量。



# 1-6-2 電流的速率

#### 電子的漂移速度

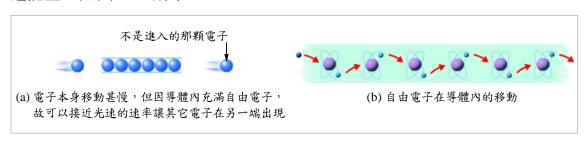
導體中的自由電子,在沒有外力的作用下會隨機運動,但其平均位移爲零。若是外加一電動勢後,電子會受到驅動而開始加速,但加速不會無限制發展,電子在經過短暫加速後,便會與導體中的固定質點(離子)碰撞而失去動能,然後又重新加速,在此過程中電子可以得到一個往驅動方向移動的平均速率,稱爲漂移速度(drift velocity),如圖 1-19 所示。



▲ 圖 1-19 導體中的電子流 電子受到電動勢的作用後,將產生一漂移速度而形成電子流。

#### 能量的傳遞速率

雖然電子在導體中運動漂移的速度很慢(數量級約在10<sup>-3</sup>公尺/秒或更小),但電(子)流卻可以用接近光速(3×10<sup>8</sup>公尺/秒)的速率來傳遞能量,如圖1-20所示。



▲ 圖 1-20 導體內電子的能量傳遞 導體內的電子可以接近光速的速率來傳遞能量。

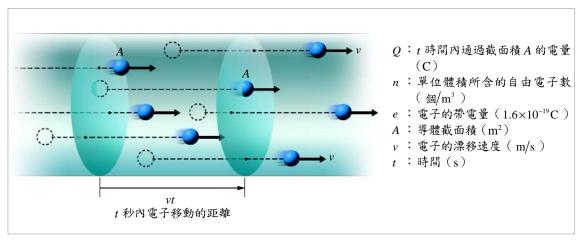


#### 微觀的電流

假設在一導體中,如圖 1-21 所示,電子的平均速率(漂移速度)爲 v,每個電子的帶電量爲 e,如果導體的體積電荷密度爲 n,則經過時間 t後,通過導體任一截面積 A 的電流 I 可以表示成:

#### Σ 重要公式

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{neA(vt)}{t} = neAv \quad [A, \ \text{$\Xi$} \ \ ] \tag{1-6-3}$$



▲ **圖 1-21 導體的微觀電流** 電流大小與單位體積所含的電子數、電子帶電量、電子漂移速度、導體截面 積成正比。



#### 範例 1-7

有一導體在 5 分鐘內共有 3000 庫侖的電量由一端進入,並有 3000 庫侖的電量由另一端移出,試求導體內的平均電流大小為多少?

【解】由題意得知該導體有通過 3000 庫侖,故

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3000\text{C}}{5 \times 60\text{s}} = 10 \,\text{A}(\, \mbox{\mathcal{C}} \mbox{\text{$\sigma}})$$

馬上練習 有一導體內的平均電流為 8A ,則 10 分鐘內共有多少庫侖的電量流過此 導體?

【答】
$$Q = 4800 \,\mathrm{C}$$
。





#### 範例 1-8

某導體在10分鐘內,持續有電流5安培流過,試求:

(1)多少電荷量通過該導體 (2)相當於多少電子數目通過?

【解】(1) 
$$Q = It = (5A)(10 \times 60s) = 3 \times 10^3 \text{ C}$$
 (庫侖)

(2) 由(1-6-2)式可得:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{3 \times 10^{3} \text{C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{C/個}} = 1.875 \times 10^{22}$$
個電子

**馬上練習** 某導體在 10 分鐘內,持續有 3×10<sup>21</sup> 個電子通過,則導體的平均電流大小 為多少?

【答】
$$I = 0.8 \,\mathrm{A}$$
。



#### 範例 1-9

有一銅導線的截面積為 0.02 平方公分,導線內的電流強度為 50 安培,且已知銅的電子密度為  $10^{29}$  個  $/m^3$ ,試求電子在導線中的平均速率為多少?

【解】:: 
$$A = 0.02 \,\text{cm}^2 = 2 \times 10^{-6} \,\text{m}^2$$

由(1-6-3)式可得:

$$v = \frac{I}{neA} = \frac{50A}{(10^{29} \, \text{lb/m}^3)(1.6 \times 10^{-19} \, \text{C/lb})(2 \times 10^{-6} \, \text{m}^2)}$$
  
=  $\frac{50 \, \text{C/s}}{3.2 \times 10^4 \, \text{C/m}} = 1.56 \times 10^{-3} \, \text{m/s}$ 

**馬上練習** 有一銅導線的截面積為 0.02 平方公分,且已知銅的電子密度為  $10^{29}$  個 / m $^3$  ,電子在導線中的平均速率為  $5\times10^{-4}$  m/s ,試求導線內的電流為多少?



	<b>『八一一』</b> ■ 電元評量 ○ <b>『</b>
1.	電流的實用單位為,簡記符號為。
2.	習慣電流方向是由 流向,而電子流則是由 流向。
3.	某導線之任一截面每 $2$ 秒通過 $10$ 庫侖的電荷,則通過該導線的電流為 $_{}$ 安培。
4.	某導體在 $5$ 秒內有 $5  imes 10^{20}$ 個電子通過,則通過該導體的電流為 $_{}$ 安培。
5.	有一銅導線的截面積為 $0.03$ 平方公分,導線內的電流強度為 $12$ 安培,且已知銅的電子密度為 $10^{29}$ 個 $\left/\text{m}^3\right.$ ,試求電子在導線中的平均速率為 m/s 。

# 1-7 功率

功率(power)是指物體作功的速率。例如:搬家工人甲將一台電冰箱搬到三樓需花費 5 分鐘的時間,而工人乙則只需花費 3 分鐘,雖然兩人所作的功相同,但顯然工人乙作功的效益較好。因此功率是與時間因子有關的物理量,我們定義功率爲:物體在單位時間內所作的功。如果物體在時間 t (秒)內作功 W (焦耳),則其平均功率以數學式表示爲:

#### Σ 重要公式

$$P = \frac{W}{t} \quad [W, \ \overline{\boxtimes} \ \overline{\boxminus}]$$
 (1-7-1)

功率的單位爲瓦特(Watt,簡記爲W)。

# 1-7.1 功與功率

在一電路中,電荷因電動勢(電源)作功提供能量而形成電流,而電流則可再對其它物體(元件)作功,將能量轉移出去。例如:對一個燈泡通電,則電流將通過燈泡中的燈絲,此時移動的電子會與燈絲材料的原子碰



撞,因此將能量傳遞給燈絲而產生高熱、發出光能。由 1-5 節中的說明可知電能定義爲:移動Q庫侖的電荷由空間中的某一點至另一點所獲得或釋放的能量(W)。用數學式表示爲:

#### Σ重要公式

$$W = QV$$
 〔J, 焦耳〕 (1-7-2)

其中 V爲對電荷 Q所提供的電位差。電能的單位爲焦耳(J),與功的單位一樣。所以因電能轉換而產生的電功率,可根據(1-7-1)式及(1-7-2)式改寫成:

#### Σ 重要公式

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t} = VI \quad [W, 瓦特]$$
 (1-7-3)

在英制單位中,功率的單位爲馬力(horsepower,簡記爲hp),如電動機、汽車引擎都習慣以馬力爲單位。茲將功與功率的常用單位列表如下。

單位制	單位制 功		時間	備註
MKS 制	焦耳 (J)	瓦特 ( <b>W</b> )	秒 (s)	$1 hp = 550 ft \cdot lb/s$
FPS 制	呎·磅(ft·lb)	馬力(hp)	秒 (s)	= 746 W

▼表1-10 功與功率的常用單位

# 1-7-2 電能與電度

由(1-7-2)式可知:若a、b兩點間的電位差爲 $V_{ab}$ 伏特,則將Q庫侖的電荷由b點移至a點所作的功(所需的電能)可表示成:

$$W_{ab} = V_{ab}Q = V_{ab}It \quad [J, 蕉耳]$$
 (1-7-4)

若將電能以電功率的形式來表示,則可根據(1-7-1)式改寫成:



$$W = Pt$$
 〔J, 焦耳〕 (1-7-5)

我們可以根據上式的關係,定義另一種以功率乘以時間的能量單位,稱 爲仟瓦·小時(kWh),這也是電力公司常用的能量單位。電力公司 的1度電就是代表1仟瓦·小時,是指1小時內耗費或產生1仟瓦電力的能量。 茲將幾種常用的電能單位列表如下。

▼表1-11 能量的常用單位

單位種類	單位符號	相關公式	備註
焦耳	J ( N·m )	W = FS	1度電 = $1 \text{kWh} = 10^3 \text{W} \times 3600 \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$
電度	kWh	W = Pt	$1 \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{C} \times 1\text{V} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$
電子伏特	eV	W = QV	



#### 知識充電

另一種常用的電能單位為**電子伏特**( $electron\ Volt$ ,簡記 eV),它是以一個基本電荷(電子)所帶的電能為單位。其定義為:一個電子在電位改變 1 伏特的情況下,其所獲得或釋放的能量。即:

$$1eV = (1.6 \times 10^{-19} C) \times (1V) = 1.6 \times 10^{-19} J$$

# 1-7-3 功率的損耗

根據能量守恆定律: $W_{in} = W_{out} + W_{loss}$ ,將等號兩邊各除以時間 t,則可得到功率損失的關係式:

#### Σ 重要公式

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \tag{1-7-6}$$

其中 $P_{in}$ 爲輸入功率, $P_{out}$ 爲輸出功率, $P_{loss}$ 爲損失功率。如此,效率的定義也可用功率來表示成:



Σ 重要公式

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{1-7-7}$$

將(1-7-6)式代入(1-7-7)式,效率 $\eta$ 以功率表示成:

#### Σ 重要公式

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% = (\frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}}) \times 100\%$$
(1-7-8)



#### 範例 1-10

將  $6.25 \times 10^{18}$  個電子移動在 10V 的電位差中,則作功多少焦耳?

【解】:1個電子帶電量約為1.6×10<sup>-19</sup>庫侖

$$Q = (6.25 \times 10^{18})(1.6 \times 10^{-19}) = 10 ( \text{ mm})$$

$$::W = OV = (1C)(10V) = 10 J ( 焦耳 )$$

**馬上練習** 承範例 1-10,作功多少 eV?

【答】
$$W = 6.25 \times 10^{19} \text{ eV}$$
。



#### 範例 1-11

有一電器,使用 100 伏特的電源,在 5 秒內消耗 1000 焦耳的電能,試求此電器所消耗的功率及使用電流各為多少?

【解】(1) W = 1000焦耳,t = 5秒  $\therefore P = \frac{W}{t} = \frac{1000 \text{J}}{5 \text{s}} = 200 \text{ W}$ (瓦特)

(2) 電源電壓 
$$E = 100$$
 伏特  $\therefore I = \frac{P}{E} = \frac{200\text{W}}{100\text{V}} = 2\text{A}($ 安培)

**馬上練習** 有一電器,在 1 分鐘內有 3.75×10<sup>20</sup> 個電子通過,若在此時間內消耗 200 瓦特的電功率,試求此電器所使用的電源電壓為多少?

【答】
$$E = 200 \text{ V}$$
。



#### 範例 1-12

10 馬力之電動機連續運轉 10 分鐘,則消耗多少電能?多少度電?

【解】(1) 10馬力 =  $10 \times 746$ W = 7460 W(瓦) t = 10分鐘 =  $10 \times 60$ s = 600 秒  $\therefore W = Pt = (7460\text{W})(600\text{s}) = 4.476 \times 10^6 \text{ J}(焦耳)$ 

(2)  $4.476 \times 10^6$  焦耳 =  $(4.476 \times 10^6$  焦耳)  $\frac{1 \, \text{度電}}{3.6 \times 10^6 \, \text{焦耳}} \cong 1.24 \, \text{度電}$ 

**馬上練習** 一電動機連續運轉 5 分鐘會消耗  $3.73\times10^5$  焦耳的能量,則此電動機為多少馬力?

【答】 $P \cong 1.67 \text{ hp}$ 。



#### 範例 1-13

某家庭每日用電平均如下:

(1)100 瓦電視用 5 小時 (2)350 瓦洗衣機用 2 小時 (3)600 瓦冷氣機用 5 小時 (4)100 瓦燈泡 5 個用 6 小時;假設電費每度 2 元,求此家庭每月(30 日)需付電費多少?

[M]W = Pt

 $= (100W \times 5h) + (350W \times 2h) + (600W \times 5h) + (100W \times 5 \times 6h)$ 

= (500+700+3000+3000)瓦·小時

= 7200 瓦·小時

= 7.2 仟瓦·小時

= 7.2 度 (每日)

∴電費 = (7.2度/日)(30日)(2元/度) = 432元

**馬上練習** 有一電器每天使用 10 小時,若一個月的電費為 120 元(假設電費每度 2 元),試求此電器的功率為何?

【答】 $P = 200 \,\mathrm{W} \,\circ$ 





#### 範例 1-14

有一電動機的輸入電流為 15 安培,電壓為 200 伏特,若效率為 80% ,試求電動機輸出的馬力數為多少?

【解】
$$P_{in} = VI = (200\text{V})(15\text{A}) = 3000\text{ W}(瓦)$$
  
 $\because \eta = 80\%$   
 $\therefore P_{out} = P_{in} \times \eta = (3000\text{W}) \times 80\% = 2400\text{ W}(瓦)$   
故 $P_{out} = \frac{2400\text{W}}{746\text{W/hp}} \cong 3.22\text{ hp}(馬力)$ 

**馬上練習** 有一輸出為 2 馬力之電動機,若其輸入電流為 10 安培,電壓為 200 伏特,試求電動機的效率為多少? (假設1馬力=750瓦)

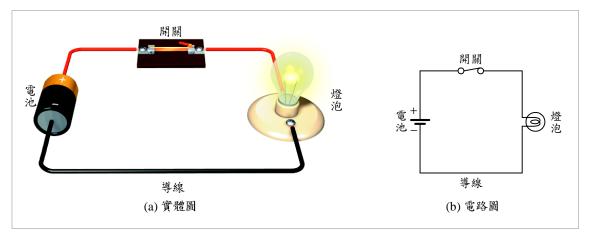
【答】 $\eta = 75\%$ 。

単儿計里		
	++ + 145 245 CD BB / 3-	



# 1-8 基本元件及符號認識

在前幾節中我們介紹了電學的基本特性,從上述的說明可知:電即是能量的一種形式,電的作用其實就是透過電荷(子)運動,致使能量在不同的裝置間進行轉換。例如:圖1-22所示即爲一簡單的電學應用實例,其中電池進行化學反應將化學能轉換成電能,用來提供整個系統一電動勢以驅動電子移動(形成電流);當電子移動通過燈泡時,燈泡再將電能轉換爲光能與熱能,以進行不同的能量運用。



▲ 圖 1-22 簡單的電學應用實例 電池進行化學反應將化學能轉換成電能;燈泡再將電能轉換為光能與 熱能。

在一個電學的系統中,電子透過導線的連接而在不同的電子裝置間形成循環的電流通路,並且讓整個系統進行能量轉換,我們稱此爲**電路**(electric circuit)。在往後的章節中,我們便是要來學習電學中之各種基本裝置(或稱元件,如電阻器、電容器、電感器等)的工作原理,以及分析其在不同電路型態時的電學特性(如電壓、電流、功率等)。

我們在解析一些電路的特性時,一般會需要搭配電路的圖形以方便瞭解各元件的連接情形。雖然實體的電路圖形可以很容易地讓人在視覺上一目了然,如圖 1-22(a)所示;但是過於複雜的電路在繪製上相當不便,因此爲了簡化電路分析的過程,習慣上會以簡潔的線條符號來代表這些電子元件,其繪製出來的圖形便稱爲電路圖(circuit diagram),如圖 1-22(b)所示。



以下,我們列出電學中常見的幾種基本元件及其電路符號,這些元件在 未來的各章節中將會陸續出現,請同學們務必熟記。

▼表1-12 常見的基本元件及其電路符號

元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
電池		— <b>  -</b>	電池 (較高電壓)		<del> </del>
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
開關			保險絲		
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
燈泡			電阻器	1000-111 1000-1111	<b></b>
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
可變 電阻器		— <b>¼</b> ——	半可變 電阻器		<b>y</b> ``
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
電容器		—  — — (—	電解質 電容器 (有極性)	REP.	<u>+ H - </u>

Next ►

#### 第1章 電的基本概念



元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
電感器 (線圈)	1505 1505 1505 1505 1505 1505 1505 1505	— <b>‱</b> —	變壓器		+ 0000 -
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
電壓表 (伏特計)			電流表 (安培計)	9	—(A)—
元件	實體圖	電路符號	元件	實體圖	電路符號
導線			連接的導線		

註:基本電學中最常用的元件為電阻器(resistor)、電容器(capacitor)與電感器(inductor),相關之詳細介紹將分別於第二、五及六章中說明。

		1	單元	評量	G	N	
1.	試寫	出基本電學中最常用的三	三種元件:		`	``\	•
2.	試繪	出下列元件之電路符號	0				
	(1)	電阻器:	0				
	(2)	可變電阻器:	· ·				
	(3)	電容器:	0				
	(4)	電解質電容器:	•				
	(5)	電感器:	0				





### 重點摘要

1. 原子結構:

(1) 原子核:

a. 質子:

電量:帶正電,與電子的電量相等,為1.6×10<sup>-19</sup>庫侖。

質量:與中子大約相同,為電子的1836倍。

b. 中子:

電量:不帶電。

質量:與質子大約相同,為電子的 1836 倍。

(2) 電子:電子帶負電,電量為1.6×10<sup>-19</sup>庫侖。

(3) 電子軌道每一能階所容納的最大電子數 =  $2n^2(n)$  為層數)。

2. 電的基本性質:

(1) 電性:分為正電荷與負電荷,同性相斥,異性相吸。

(2) 自由電子:脫離軌道可自由活動的電子。

(3) 離子:電中性之原子失去一電子後,稱正離子。反之,若增加一電子後,稱為負離子。

3. 電能:

(1) 定義:在電路中,如果兩點間的電壓為V伏特,移動Q庫侖的電荷由某一點至另一點,電路所消耗或釋放的能量,單位為焦耳

$$W = QV$$
 〔J,焦耳〕

(2) 電子伏特:  $1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$ 

4. 電荷:

(1) 庫侖的定義: 1 庫侖 =  $6.25 \times 10^{18}$  個電子所帶的電量

(2) 一個電子的電量 =  $-1.6 \times 10^{-19}$  庫侖

一個質子的電量 =  $+1.6 \times 10^{-19}$  庫侖

一個中子的電量 = 0庫侖



5. 庫侖定律:二個靜止電荷間的吸引力或排斥力F,與二個電荷的帶電量 $Q_1$  和 $Q_2$ 的乘積成正比,而與二電荷間距離r的平方成反比

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (N, \pm \overline{q})$$

- 6. 電壓:
  - (1) 定義:1庫侖的電荷由電路的一點移動至另一點時,如果獲得或失去的 能量為1焦耳,則電路兩點間的電位差為1伏特。
  - (2) 電位差:電路中a點的電位為 $V_a$ ,b點的電位為 $V_b$ ,電位差為

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{O} = \frac{W_a - W_b}{O} = V_a - V_b$$
 〔V,伏特〕

- 7. 電流:
  - (1) 定義: $I = \frac{Q}{t}$  〔A,安培〕
  - (2) 微觀的電流表示式: $I = \frac{Q}{t} = neAv$  〔A, 安培〕
- 8. 功率:
  - (1) 定義: $P = \frac{W}{t}$  〔W, 瓦特〕
  - (2) 電能以功率表示: W = Pt 〔J, 焦耳〕
  - (3) 馬力的定義: 1hp = 550ft·lb/s = 746 W
  - (4) 功率與電壓、電流的關係:  $P = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t} = VI$
  - (5) 功率的單位:  $1W = 1J/s = 1V \cdot A$
  - (6) 電度的單位:1度 = 1 kWh =  $10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s}$  =  $3.6 \times 10^6 \text{ J}$
  - (7) 效率的定義:  $\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$
  - (8) 能量守恆:  $W_{in} = W_{out} + W_{loss}$   $P_{in} = P_{out} + P_{loss}$

(9) 效率: 
$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% = \frac{W_{out}}{W_{out} + W_{loss}} \times 100\% = (\frac{W_{in} - W_{loss}}{W_{in}}) \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% = (\frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}}) \times 100\%$$





#### 學後評量

#### 一、選擇題

- ( )1. 通常定義 1 伏特,是指移動 1 庫侖電荷需作多少焦耳的功? (A)0.1 焦耳 (B)1 焦耳 (C)10 焦耳 (D)100 焦耳
- ( )2. 通常定義 1 安培,是指每秒通過幾庫侖電荷? (A)0.01 庫侖 (B)0.1 庫侖(C)1 庫侖 (D)10 庫侖
- ( )3. 1kW 等於多少馬力? (A)1.3 馬力 (B)13 馬力 (C)130 馬力 (D)1300 馬力
- ( )4. 瓦特 W 為下列何者使用的單位? (A)電阻 (B)電流 (C)電壓 (D)功率
- ( )5. 有 4 個點電荷  $P \times Q \times R \times S$ ,若其中 P與 Q相斥, Q與 R相吸, R與 S相吸,則 (A) P與 R相吸 (B) P與 S相吸 (C)  $P \times R \times S$ 均帶正電 (D) Q與 S相吸
- ( )6. 1 奈秒 (ns ) 等於 (A)100ps (B)1000ms (C)10<sup>-6</sup> s (D)10<sup>-3</sup> μs
- ( )7. 下列何者為電流的實用單位? (A)伏特 V (B)歐姆  $\Omega$  (C)安培 A (D)瓦特 W
- ( )8. 燈泡二端加1伏特的直流電壓,若流過燈泡的電流為1安培,則燈泡每分鐘消耗的電能為(A)1瓦特(B)1焦耳(C)60瓦特(D)60焦耳
- ( )9. 1 焦耳能量是 (A)1 仟瓦 小時 (B)1 瓦特 秒 (C)1 瓦特 小時 (D) 1 仟瓦 - 秒
- ( )10. 將 50 庫侖電荷升高電位 10 伏特,需作功 (A)0.2 焦耳 (B)5 焦耳 (C)500 焦耳 (D)5000 焦耳
- ( )11. 燈泡兩端加 1V 的直流電壓,若燈泡消耗的功率為 1W ,則燈泡每分鐘流 過的電量為 (A)1A (B)1C (C)60A (D)60C
- ( )12. 將 25 庫侖電荷升高電位 20 伏特時,需作功 (A)0.2 焦耳 (B)5 焦耳 (C) 500 焦耳 (D)5000 焦耳
- ( )13. 有一發電機的輸入電壓為 120V、輸入電流為 8A、效率為 80% , 則輸出 的馬力為 (A)2.52 馬力 (B)4.25 馬力 (C)1.31 馬力 (D)1.03 馬力
- ( )14. 有一4庫侖的電荷,自a點移至b點所作的功為 16 焦耳,則 $a \times b$ 兩點 間的電位差 $V_{ba}$ 為 (A)64V (B)0.25V (C)4V (D)20V
- ( )15. 如果有 14C 的電荷通過空間中某一點,經過 7 秒後,通過此點的電流為(A)2A(B)98A(C)21A(D)7A

#### 第1章 電的基本概念



- ( )16. 16 庫侖的電量相當於多少個電子的電量? (A)10<sup>20</sup> 個 (B)14 個 (C)16 個 (D)10.73×10<sup>19</sup> 個
- ( )17. 假設導體截面每秒通過 4 庫侖的電子,則導線的電流為 (A)8A (B)4A (C)2A (D)1A
- ( )18. 1 安培相當於每秒流經導體上一截面的電子數為 (A)  $6.25 \times 10^{18}$  個 (B)  $1.672 \times 10^{27}$  個 (C)  $9.11 \times 10^{31}$  個 (D)  $1.60 \times 10^{19}$  個
- ( )19.50W的燈泡, 欲消耗1度電須使用 (A)15 小時 (B)20 小時 (C)25 小時 (D)30 小時
- ( )20. 有一直流馬達工作於 100V 、1A ,已知馬達效率為 80% ,則輸出功率為 (A)60W (B)80W (C)100W (D)120W

#### 二、計算題

- 1. 30kW 直流發電機,在滿載下效率為 90%,其滿載時的總損失約為多少?
- 2. 有一個 3 馬力, 220V 的電動機,若滿載輸入功率為 2869W ,則其效率為多少?
- 3. 有一帶電量為 3 庫侖的電荷,在電路中,由 a點移動至 b點需作功 300 焦耳,電路中  $a \times b$  兩點間的電壓  $V_{ba}$  為多少?
- 4. 有一帶電量為 20 庫侖的正電荷,由無窮遠處移動至 a 點需作功 100 焦耳,而由無窮遠處移動至 b 點需作功 40 焦耳,則  $a \times b$  兩點間的電位差  $V_{\perp}$  為多少?
- 5. 在電路中,a點的電壓為 5V,b點的電壓 -25V,則電路中  $a \cdot b$ 兩點間的電位差  $V_a$  為多少?
- 6. 設電費每度為 2元,一台 800W 的電鍋每天使用 3 小時,求一年 365 天所需的電費為多少元?
- 7. 抽水馬達輸入的電壓和電流為 110V 和 7.98A ,若其效率為 0.85 ,求馬達輸出多少馬力?
- 8. 有一60瓦特的燈泡,在連續使用50小時後,其耗費的電量為多少度?
- 9. 有一輸出為 9kW 的抽水馬達,效率為 75% ,每天運轉 8 小時,一個月使用 22 天,如果每度電費為 1.5 元,試求一個月浪費的電費為多少?
- 10. 有一用戶家中有 100W 電燈 4 盞、60W 電燈 6 盞、40W 電燈 10 盞,如果每 盞電燈每天平均使用 4 小時,每度電費為 4 元,每月以 30 天計算,試求每月 電費為多少?





NOTE		