



台科大圖書

since 1997

AC10122

技術型高級中等學校 | 電機與電子群

基本電學

上

Basic Electricity



Basic Electricity

CHAPTER 1 電學基本概念

1-1 電的特性及應用

1-2 電的單位

1-3 電能

1-4 電荷

1-5 電壓

1-6 電流

1-7 電功率

1-1 電的特性及應用

- **1-1.1 「電」的認識及其應用**
- 「電（**electricity**）」一字源自古希臘文字「琥珀（**electron**）」，它是經過科學家長期觀察、實驗及研究後所發現的。電是自然界存在的現象，例如：脫下毛衣時會產生火花及刺痛、玻璃棒摩擦絲綢後會吸引物體、天空中雲層碰撞會產生閃電，以及線圈在磁場中運動會有電的產生等。由此可知，電是一門值得探討的科學，本課程將從其特性、專有名詞以及各種電路運算去了解其原理，期使將來能運用在各種電器理論上，進而創造更多電在人類生活中的價值，這就是學習電學的目的。
- 電是一種無形無色、無聲無味的能量；電可以使電器發光（電燈）、發熱（電熱器）、發聲（喇叭）、旋轉（電風扇）、通訊（電腦上網及手機通話）、產生影像（電視機）等；電改善人類的生活品質，是現代文明中相當重要的基石。

1-1 電的特性及應用

- **1-1.2 物質、分子與原子**
- 近代科學家研究發現：任何物質（**substance**）都是由分子（**molecule**）所組成，而分子則是由原子（**atom**）所組成，三者的關係說明如下：
- **1.物質**：凡具有質量、佔有空間的物體稱為物質。
- **2.分子**：物質以物理方法（如壓力、溫度）加以細分後，仍能保持該物質基本特性的最小微粒，稱為分子。
- **3.原子**：分子以化學方法（如電解、取代）再加以分解，使其失去原有特性的最小微粒，稱為原子。
- 換言之，萬物都是由包含不同原子之分子所構成，例如：水分子（ H_2O ）是由兩個氫原子（ H_2 ）和一個氧原子（ O ）所組成，如圖1-1所示。

1-1 電的特性及應用



延伸知識

夸克 (quark)

1964 年美國物理學家默里·蓋爾曼 (Murray Gell-Mann) 提出夸克模型，認為構成物質的基本粒子稱為夸克，有關此一論述可以從搜尋網站查詢之。

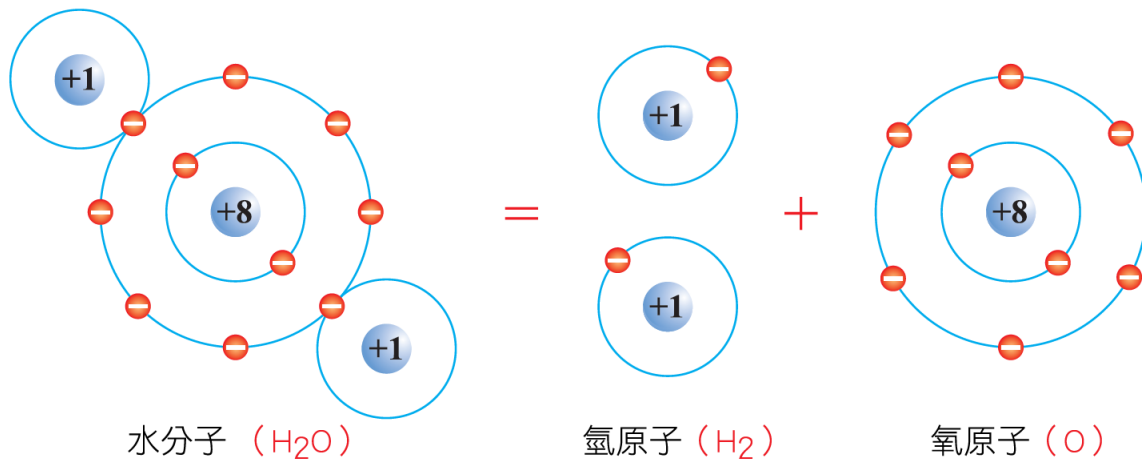


圖 1-1 分子與原子的關係

1-1 電的特性及應用

- **1-1.3 原子結構**
- 原子的結構看起來像是行星環繞著太陽一般，位於中心的是原子核，由中子（**neutron**）及質子（**proton**）組成，位於外圍軌道的是電子（**electron**）；原子的特性分成三方面，說明如下：
 - **1.帶電性**：中子不帶電、質子帶正電荷、電子帶負電荷。
 - **2.電子軌道分布**：依能量不同，由內到外分別以***K***、***L***、***M***、***N***、***O***、***P***、***Q*** 為軌道主層名稱，各主層內含的電子數量最多以 $2n^2$ 為限，其中 n 表示第幾層，如表1-1 所示；但是公式 $2n^2$ 中， n 只適用至4為止。

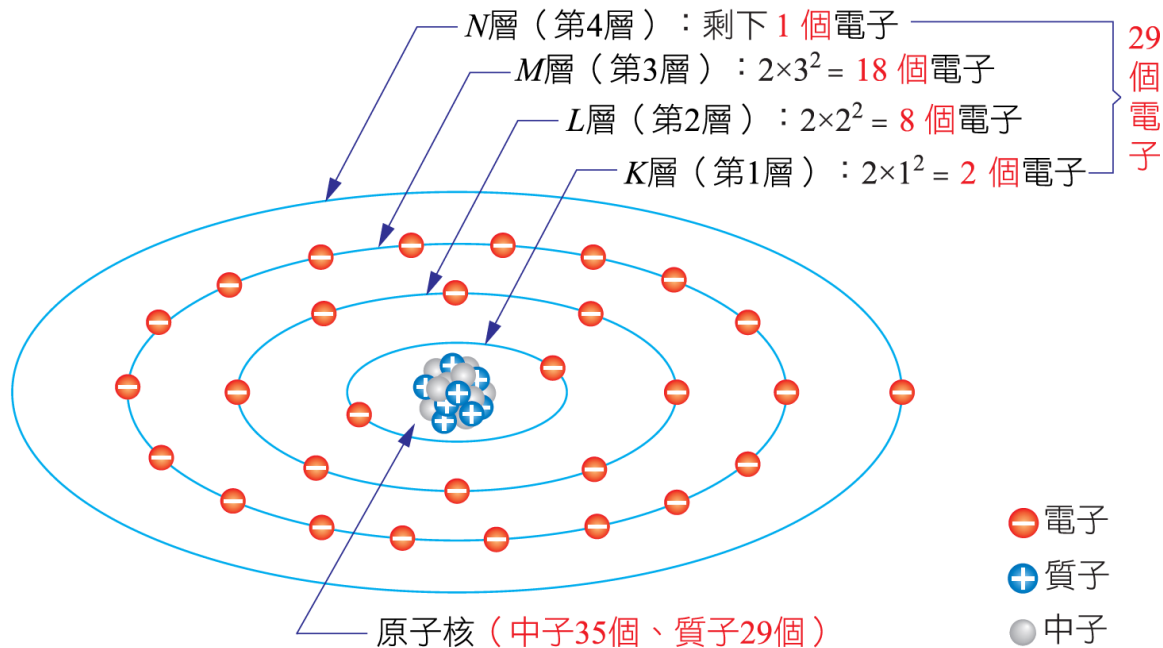
1-1 電的特性及應用

表 1-1 各主層的最大電子數目

主層名稱	K	L	M	N	O	P	Q
n 值 (第 n 層)	1	2	3	4	5	6	7
內含最多的 電子數量 ($2n^2$)	2	8	18	32	8 或 18	8 或 18	8
	(2×1^2)	(2×2^2)	(2×3^2)	(2×4^2)	(不適用公式算法)		

- 以銅原子為例，銅的原子序為**29**，表示銅原子有**29** 個質子、**29** 個電子，其電子的分布情形依序為： **$K=2$** 、 **$L=8$** 、 **$M=18$** 、 **$N=1$** ，如圖**1-2** 所示為銅原子結構。

1-1 電的特性及應用



註：原子序 = 電子數 = 質子數 = 29。

原子量 = 中子數 + 質子數 = 64。

圖 1-2 銅原子的電子分布情形

1-1 電的特性及應用

- **3.帶電量、質量：**如表1-2 所示，每一原子內，質子和電子的帶電量大小相等、正負相反，中子的帶電量為**0**，因此整個原子的淨電量為**0**，亦即原子本身不帶電（又稱為電中性）；而質子質量約為電子質量的**1836** 倍。

表 1-2 中子、質子、電子的帶電量及質量

名稱	帶電量（庫侖）	質量（公斤）
中子（ n ）	0	1.675×10^{-27}
質子（ p ）	1.602×10^{-19}	1.673×10^{-27}
電子（ e ）	-1.602×10^{-19}	9.107×10^{-31}

註 由本表得知： $1e$ （電子） $= -1.602 \times 10^{-19}$ 庫侖（Coulomb, C）；

反之， 1 庫侖 $= \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18}$ 個電子的帶電量。

1-1 電的特性及應用

- **1-1.4 電子與電子流**
- 電子（帶負電）受到原子核內質子（帶正電）的吸引力，固定在所屬軌道上運行，距離原子核愈近的電子所受到的引力愈大，這些受吸引力而固定運行在軌道上的電子稱為束縛電子（**bound electron**）。
- 原子最外層軌道上的電子稱為價電子（**valence electron**）；價電子距離原子核比較遠，容易受到外界能量（如光能、熱能、磁能）的激勵而脫離該原子的軌道，如果該電子已經脫離軌道開始自由活動，則稱該電子為自由電子（**free electron**）；自由電子受到外加能量的作用，會從一個原子進入另一個原子，形成電子的流動稱為電子流。

1-1 電的特性及應用

- 原子受到外加能量的作用，將使原子中的電子產生游離（**ionization**）現象。如果游離的結果造成該原子失去電子，稱該原子為帶有正電的正離子（**positive ion**）；反之，如果該原子獲得電子，則稱該原子為帶有負電的負離子（**negative ion**），如圖1-3 所示。

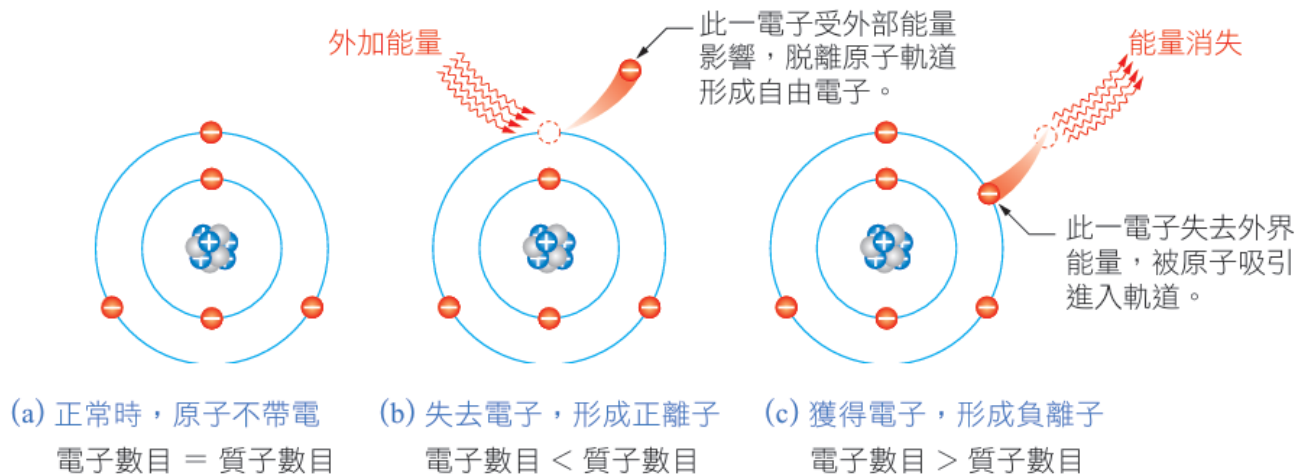


圖 1-3 正、負離子的形成

1-1 電的特性及應用

- **1-1.5 導體、絕緣體、半導體**
- 任何物質依照其導電能力的不同，可以區分為導體（**conductor**）、絕緣體（**insulator**）和半導體（**semiconductor**），其特性說明如下：
- **1.導體**：價電子通常少於**4** 個，容易受外力變成自由電子、形成電子流；例如：銀、銅、鋁、鐵及石墨等。
- **2.絕緣體**：價電子通常多於**4** 個，不易受外力變成自由電子、無法導電；例如：雲母、玻璃及石英等。
- **3.半導體**：價電子通常等於**4** 個，其導電性介於導體與絕緣體之間。半導體在低溫時，導電性不佳；在高溫時，導電性良好；例如：矽（**Si**）、鍺（**Ge**）等半導體材料，常用於積體電路（**IC**）晶片。

1-1 電的特性及應用

- 將半導體摻入適當雜質，形成PN 接面（junction）後，具有單向導電的特性。



延伸知識

八隅體

當原子的價電子多於 4 個時，會和相鄰原子共用價電子，形成束縛力最強、穩定度最高的 8 個價電子絕緣體，此種現象稱為八隅體學說。

石墨稀 (graphene)

是一種從石墨分離出來的透光奈米材料，具有既薄且硬、電阻率比銀還低的良好導電特性；應用在觸控螢幕、液晶顯示、積體電路、太陽能光電電池、醫學抗癌治療、纖維布料紡織品等等，Google「石墨烯的應用」可以得知。

1-2 電的單位

- **1-2.1 基本單位、導出單位**
- 在「我的身高**180** 公分」這句話中，其中**180** 表示數量大小（**size**），公分則是一個計量單位（**unit**）；同一數量，如果單位不同，所代表的涵義也就不同，因此單位必須被明確的標示，該數字才有意義。
- **1 基本單位**：長度、質量及時間所使用的單位，如表**1-3** 所示。

表 1-3 基本量的單位系統

單位系統	長度	質量	時間
MKS 制	m（公尺，meter）	kg（公斤，kilogram）	s（秒，second）
CGS 制	cm（公分，centimeter）	g（公克，gram）	s（秒，second）
FPS 制	ft（英呎，foot）	lb（磅，pound）	s（秒，second）

1-2 電的單位

- **2.導出單位**：以基本單位計算所衍生出來的單位，例如：面積、密度等。
- **3.單位系統**：有**MKS** 制、**CGS** 制、**FPS** 制。其中**MKS** 制被訂定為世界公用、標準的「國際單位系統（International System of Units，簡稱**SI** 制）」。
- **1-2.2 電學常用單位**
- 舉凡電阻、電壓及電流等電學相關名詞單位，通常是以發現該名詞或紀念某一科學家，而以其名字為單位名詞；表1-4 為**SI** 制的電學常用單位。

1-2 電的單位

表 1-4 SI 制的電學常用單位

名詞	名詞符號	單位名稱	單位符號
電荷 (電量)	$Q、q$	庫侖	C (Coulomb)
電流	$I、i$	安培	A (Ampere)
電壓	$E、V$	伏特	V (Volt)
電阻	R	歐姆	Ω (Ohm)
電感	L	亨利	H (Henry)
電容	C	法拉	F (Farad)
電功率	P	瓦特	W (Watt)
電能	W	焦耳	J (Joule)

1-2 電的單位

- **1-2.3 乘幂表示法**
- 電學單位在實用上，有時候會太大或太小，為了好讀好寫不易出錯，通常會在單位前面加上一個乘幂符號，表示乘以10的幾次方，例如：電阻47 k Ω 表示 $47 \times 10^3 \Omega = 47000 \Omega$ 。單位字首的乘幂，如表1-5 所示。

1-2 電的單位

表 1-5 單位字首及其乘幂對照

乘幂符號	代表大小	中文	英文
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
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，披	pico

1-2 電的單位

- 例題 **1-1** 單位乘冪的使用

(1) 4.7 百萬歐姆 = $4.7 \times 10^6 \Omega = 4.7 \text{ M}\Omega$

(2) 12 微法拉 = $12 \times 10^{-6} \text{ F} = 12 \mu\text{F}$

(3) 5 毫亨利 = $5 \times 10^{-3} \text{ H} = 5 \text{ mH}$

(4) 3 仟瓦特 = $3 \times 10^3 \text{ W} = 3 \text{ kW}$

1-2 電的單位

練習

- 1. 0.01 奈米等於多少公尺？ (A) 10 n (B) 10 p (C) 100 p (D) 100 μ 。
- 2. 100 pF 和下列何者相等？
(A) 0.1 nF (B) 0.1 mF (C) 10 nF (D) 10 mF。
- 3. $2 \times 10^{-5} \text{A}$ 可寫成 (A) 0.2 μA (B) 0.2 mA (C) 20 μA (D) 200 μA 。

1-2 電的單位



延伸知識

日常生活的單位轉換

1. 長度單位換算：（英里（mile）又稱為哩，海里（nautical mile）又稱為浬）

1 公尺 = 3.3 台尺

1 英里 = 1.6 公里

1 海里 = 1.15 英里 = 1.852 公里

1 英里 = 1760 碼

1 碼 = 3 呎 = 36 吋

1 吋 = 2.54 公分

2. 面積單位換算：

1 平方公里 = 100 公頃 = 10000 公畝 = 1000000 平方公尺

1 甲（臺灣）= 2934 坪

1 坪 = 3.3 平方公尺

1 英畝 = 1224 坪

1-2 電的單位

3. 重量單位換算：

1 台斤 = 16 台兩 = 0.6 公斤

1 公斤 = 2.2 磅 = 1.67 台斤

1 磅 = 16 盎司 (oz) = 0.45 公斤

1 盎司 (oz) = 28.35 公克 = 0.567 台兩

1 斤 (中國) = 0.5 公斤

4. 容量單位換算：

1 公升 (l) = 1000 毫升 (ml) = 1000cc

1 美加侖 (gal) = 3.79 公升

1-3 電能

- 「能量（**energy**）是物質作功的能力」，能量和功關係非常密切。例如：我們以體能高舉一個鐵塊，這表示對鐵塊作功，使其具有能量（位能）；當鬆手放開後，鐵塊掉下砸碎地板上的玻璃，這表示鐵塊以具有的位能轉換成動能，對玻璃作功。由此可知，能量和功是一體的兩面，符號都是 **W** ，其單位也都是焦耳（**Joule**，**J**）。
- 能量的形式有很多，包括位能、動能、電能、光能、熱能、核能及化學能等。物理學中有一能量守恆（不變）定理：「宇宙間的能量不會無中生有，也不會平白消失，只會做形式上的轉換，而且其總和不變」。圖1-4 和表1-6 為各種能量轉換的相關設備，各種家用電器在通以電能之後，開始進行能量的轉換，產生各種生活所需的用途。另外，有關電能更深入的說明，將在1-7 節「電功率」單元中一併探討。

1-3 電能

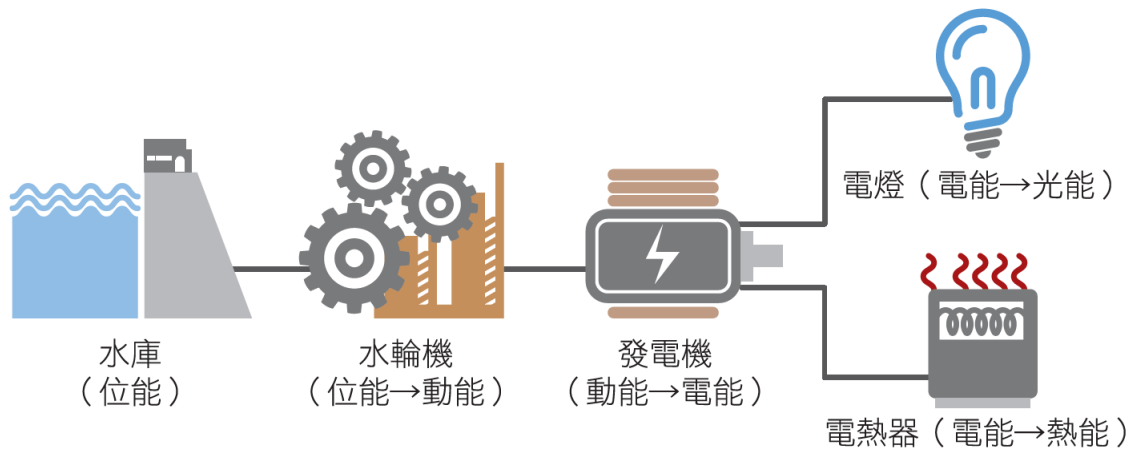


圖 1-4 能量轉換

1-3 電能

表 1-6 各種能量轉換的設備元件

設備元件	能量轉換	設備元件	能量轉換
電燈	電能 $\rightarrow$ 光 能	太陽電池	光及熱能 $\rightarrow$ 電能
喇叭	電能 $\rightarrow$ 聲 能	麥克風	聲 能 $\rightarrow$ 電能
電動機	電能 $\rightarrow$ 動 能	發電機	動 能 $\rightarrow$ 電能
電池充電	電能 $\rightarrow$ 化學能	電池放電	化 學 能 $\rightarrow$ 電能
電磁鐵	電能 $\rightarrow$ 磁 能	磁場陣列器	磁 能 $\rightarrow$ 電能
電熱器	電能 $\rightarrow$ 熱 能	熱電晶片	熱 能 $\rightarrow$ 電能



延伸知識

功的計算

對物體施以作用力 F ，使物體位移 S ，則表示對物體作功 W ，其關係式為：

「 $W=FS$ 」，其中單位為 W ：焦耳、 F ：牛頓、 S ：公尺，即 1 焦耳 = 1 牛頓公尺。

1-4 電荷

- **1-4.1 基本電荷**
- 在1-1 節「電的特性及應用」中得知：原子核內有帶正電的質子，外有帶負電的電子，此處每一電子或質子是帶電物體的最小單位，稱為基本電荷。而帶電物體內所含電荷的數量，稱為電量，以符號 Q 表示，單位為庫侖（Coulomb，C）。
- 從表1-2 可得知，1 個基本電荷（電子）的帶電量約等於 1.6×10^{-19} 庫侖。
- 反過來說，1 庫侖 = $\frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18}$ 個基本電荷（電子）的帶電量。

1-4 電荷



延伸知識

正電荷、負電荷

當原子失去電子，稱該原子為帶有正電荷；當原子獲得電子，稱該原子為帶有負電荷。

1-4 電荷

- **1-4.2 靜電荷**
- 美國科學家富蘭克林（**Benjamin Franklin**，1706-1790）實驗發現：將玻璃棒與絲綢兩種物體相互摩擦後，所產生的熱能，會使玻璃棒之原子最外層部分的電子（價電子）脫離軌道，移動到絲綢上的原子內，造成玻璃棒帶正電，絲綢帶負電，如圖1-5所示。但是這種電荷在物體內並不會移動，無法形成電子流，因此稱之為靜電荷。



延伸知識

摩擦生電

摩擦產生靜電的現象適用於絕緣體上，除了前述玻璃棒和絲綢的摩擦生電之外，常見的還有將塑膠棒與毛皮相互摩擦，會使毛皮原子失去電子而帶正電，塑膠棒原子獲得電子而帶負電。

1-4 電荷

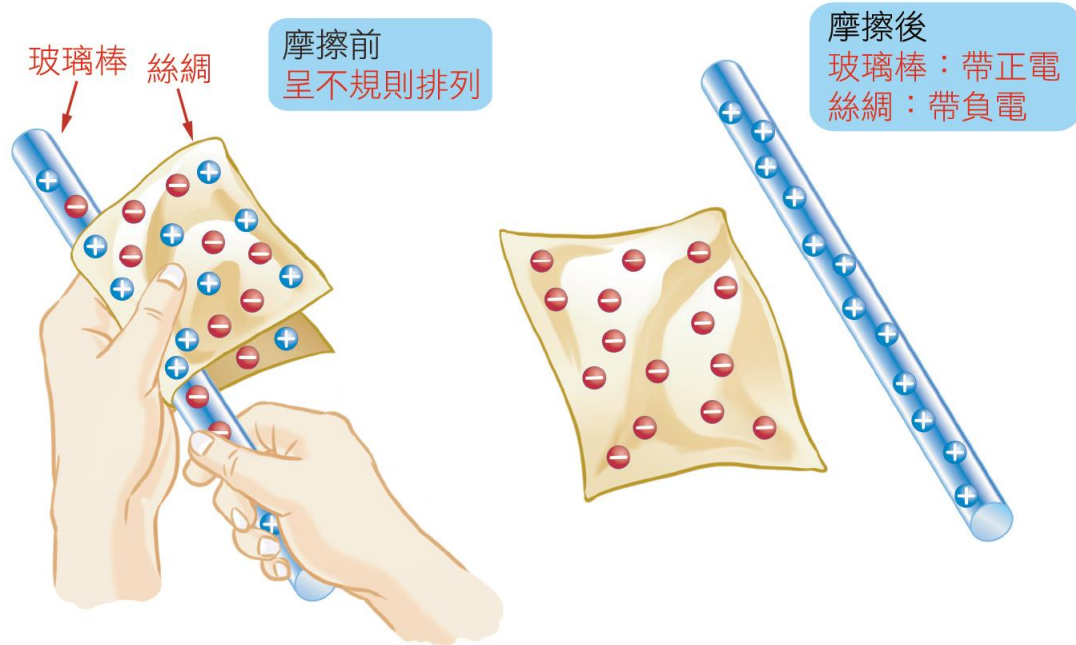


圖 1-5 摩擦生電

1-4 電荷

- 靜電荷具有下列特性：
- 1. 同性電荷互相排斥、異性電荷互相吸引，如圖1-6 所示。

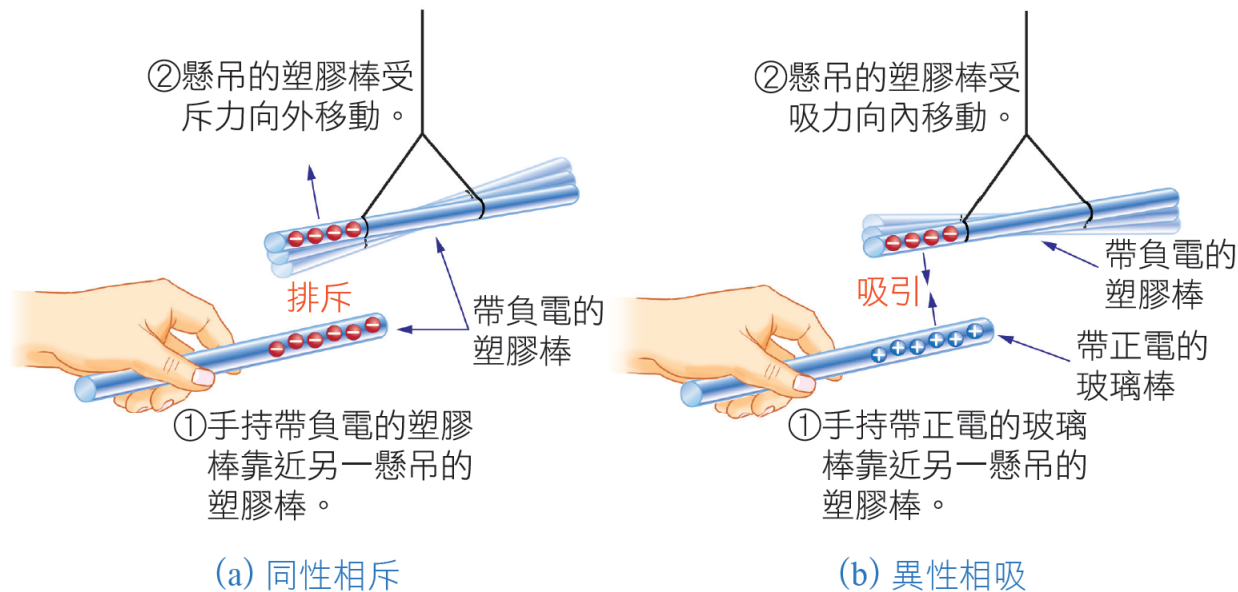


圖 1-6 同性相斥、異性相吸

1-4 電荷

- **2.**將一帶有電荷的物體，靠近一電中性的物體，則該物體近端會被感應而產生異性電荷，遠端則感應產生同性電荷，此種現象稱為靜電感應作用，如圖1-7所示。

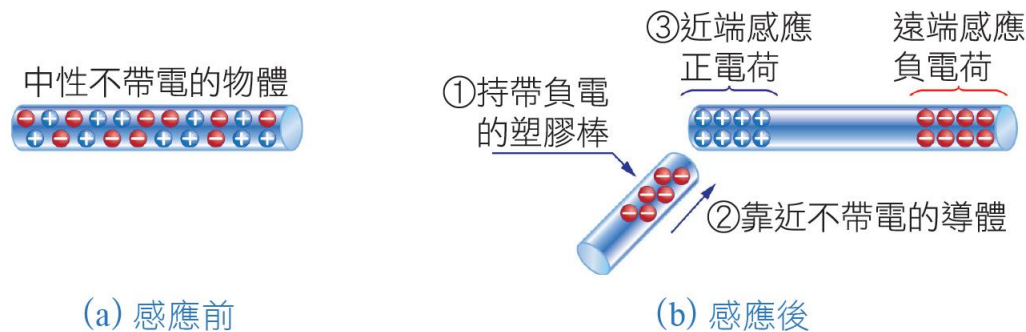


圖 1-7 靜電感應作用

1-4 電荷

- 例題 **1-2** 原子內的帶電量計算
- 若某一原子游離後，帶有**6** 個電子、**3** 個質子，則該原子帶有多少電量？
- 解 $(6-3) \times (-1.602 \times 10^{-19}) \text{ C} = -4.806 \times 10^{-19} \text{ C}$ （庫侖）
- 練習
- **4.** 若某一原子游離後，帶有**3** 個電子、**5** 個質子，則該原子帶有多少庫侖電量？
(A) 1.6×10^{-19} (B) 3.2×10^{-19} (C) 8×10^{-19} (D) 12.8×10^{-19} 。

1-4 電荷

- 例題 **1-3** 庫侖和電子數的關係
- 有一電荷載有 5×10^{19} 個電子，則該電荷帶有多少庫侖的電量？
- $\because 1 \text{ 庫侖} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 個電子}$
- $\therefore$ 該電荷所帶電量為： (庫侖)

練習

1-4 電荷



富蘭克林與電的發現

美國聖人富蘭克林 (Benjamin Franklin) 在 1746 年開始對雷電和摩擦起電進行長期的觀察，發現有許多相同之處，包括：發光顏色、曲折形狀、可由金屬導電、發出爆裂聲響等。

1752 年，富蘭克林與兒子威廉，在一間四面開敞的木棚裡，進行引接雷電的實驗：首先他以絲綢做成風箏，頂端繫上一根尖細的金屬絲，再用一條長長的繩子繫著風箏；繩子末梢繫著絕緣的綢帶，人躲在木棚裡，綢帶一直保持乾燥，綢帶的另一端握在手中。綢帶與風箏交接處，掛上一串鑰匙作為斷路器以避免觸電。當閃電擊中風箏後，他們父子看到繩上纖維豎起，富蘭克林禁不住伸手去摸了一下，突然指尖與鑰匙間發生火花，很幸運的只是左半身麻了一下，富蘭克林興奮的告訴兒子說：「這就是電！」



1-4 電荷

庫侖 (Charles Coulomb, 1736-1806)

庫侖出生於法國巴黎，從小受到良好的教育，因為參加科學會認識了不少參與科學工作的人，1761 年學校畢業後，在軍團中擔任結構設計及防禦工事等工作。1781 年，他以在摩擦力上的研究贏得科學大獎。之後陸續發表了七篇有關電與磁的重要論文，包括庫侖靜電力定律及庫侖磁力定律（將於本書第五、六章介紹之），其一生對電磁學有重大貢獻，因此電量的單位稱為「庫侖」。



1-4 電荷



延伸知識

靜電的應用實例

靜電技術的應用，例如：靜電噴漆、避雷針、靜電除塵、靜電集塵、靜電複印、電容器、電擊棒及觸控面板等，擇要說明如下表所示。

表 (1) 靜電的應用項目及說明

項目	說明
靜電噴漆	油漆從帶負電的噴嘴中呈霧狀噴出，附著到帶正電的工件上面，如圖 (1) 所示。
避雷針	利用導體尖端產生的高密度正電荷，引導閃電雲層的負電荷沿著避雷針往地面放電，避雷針結構如圖 (2) 所示。
靜電除塵紙	圖 (3) 為市售除塵紙，它是以化學纖維做成的不織布，利用纖維間產生的靜電力來吸附灰塵。
靜電集塵	利用電壓將灰塵的電場游離化，進而使灰塵帶電，再利用電荷異性相吸的原理來集塵。
靜電複印	以氧化鋅靜電感光複印紙，利用光電導和靜電現象相結合的靜電列印技術。

1-4 電荷

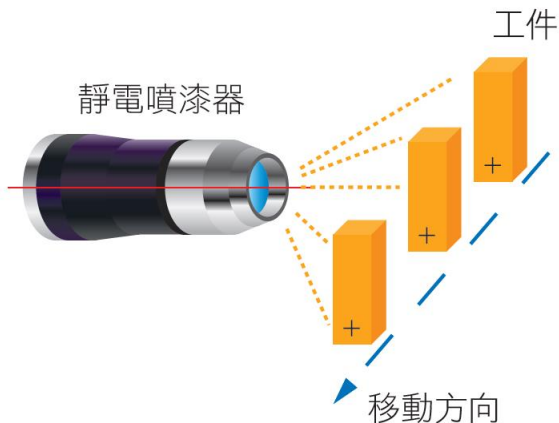


圖 (1) 靜電噴漆



圖 (2) 避雷針



圖 (3) 靜電除塵紙

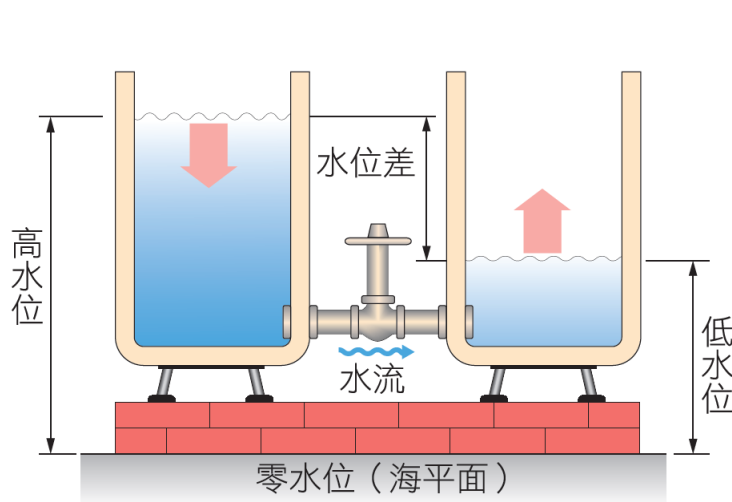
不過靜電也有一些缺點，例如：灰塵帶有靜電、手指也可能帶有靜電，這些靜電會導致電路短路，因此半導體元件的製程或使用都必須防止靜電的破壞，包括穿防塵衣、帶防塵手套等。

1-5 電壓

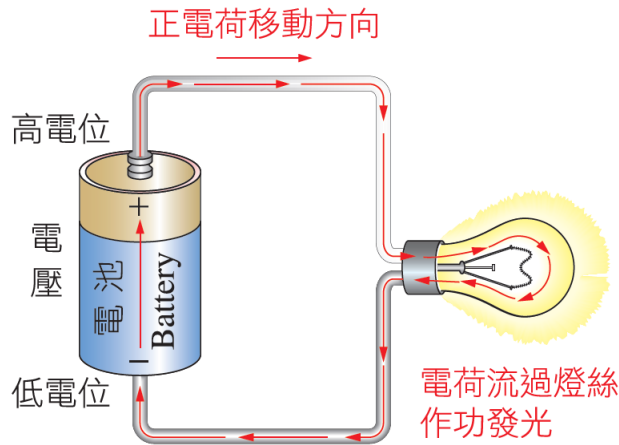
- **1-5.1 電壓的定義**

- 要讓水在水管內流動，必須利用高、低位能的落差，或是以加壓方式加以驅動。同樣地，要使導體內的電荷開始流動形成電流，必須在導體兩端供給一個驅動的力量，這個驅使電荷移動的力量稱為電壓（**voltage**）；簡單的說，電壓就是把電荷從一端壓到另一端。就像水從高水位流向低水位一般，電荷的流動（簡稱電流）也是從高電位流向低電位，如圖1-8 所示，電池提供電能，驅使電荷移動，使燈絲作功發出光亮。

1-5 電壓



(a) 水位



(b) 電位

圖 1-8 水位與電位

- 電壓是一個通稱名詞，為了區別不同的物理意義，還有電位、電位差、電動勢、端電壓及電壓降等稱呼，所用的單位都是伏特（Volt，V）。

1-5 電壓



伏特 (Alessandro Volta, 1745 ~ 1827)

西元 1800 年，義大利科學家伏特發明世界上第一個電池，稱為「伏打電池」，它是由圓形鋅片和銀片兩種金屬相互交疊而成，在每一對銀片和鋅片之間，用一種在鹽水或其他導電溶液中浸泡過的紙板隔開；這是人類第一次可以控制電流的持續，對電磁學和化學的研究十分重要，科學界為了表彰伏特的貢獻，因此以「伏特」為電壓的單位。



1-5 電壓

- **1-5.2 電位及電位差**
- 水有水位，電有電位（**electric potential**），水位以海平面為零水位，電位以大地（或無窮遠處）為參考點，稱為零電位或接地，以「 $\perp$ 」表示接地（**earthing**）符號。電位的定義有下列兩種：

1 A 點電位（ V_A ）：電荷（ Q ）在 A 點所具有的電位能（ W_A ）。

$$V_A \text{ (電位：伏特，V)} = \frac{W_A \text{ (電位能：焦耳，J)}}{Q \text{ (電量：庫倫，C)}}$$

公式
1-1

1-5 電壓

2 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。

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

公式
1-2

註 無窮遠處的電位 (V_∞) 及電位能 (W_∞) 均為零。

1-5 電壓

- 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

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

公式
1-3

1-5 電壓

- 反之，將電荷從**A**點移至**B**點，則其電位差表示為 V_{BA} ， $V_{BA}=V_B-V_A$ 。故， $V_{AB}=-V_{BA}$ 。以圖1-9所示，進一步說明如下：
- 圖(a)： $V_{AB} > 0$ 時，表示**A**點電位高於**B**點電位，電流由**A**點流向**B**點。
- 圖(b)： $V_{AB} < 0$ 時，表示**A**點電位低於**B**點電位，電流由**B**點流向**A**點。

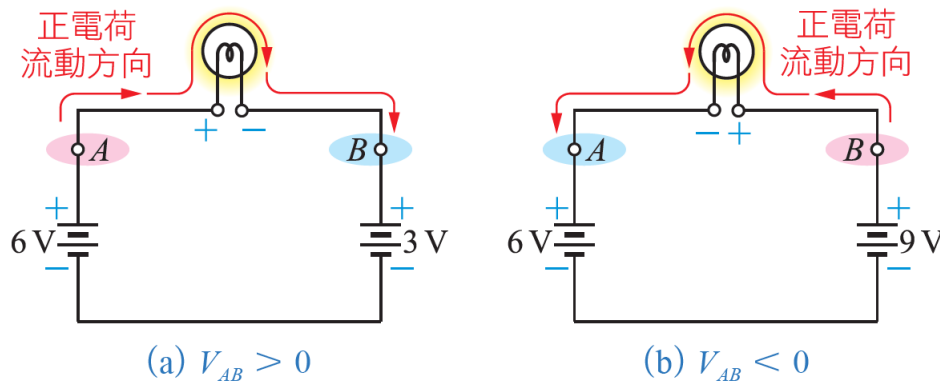


圖 1-9 電位高低及電流的流向

1-5 電壓

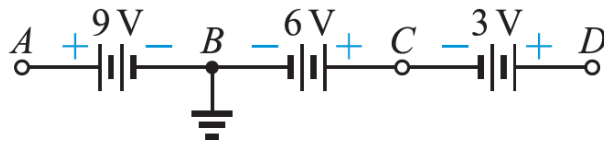
- 例題 **1-4**有關電位差定義的計算
- 將**3** 庫侖之電荷由***B*** 點移至***A*** 點，需作功**18** 焦耳，則***A***、***B*** 兩點間之電位差為多少伏特？

- 解
$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = \frac{18}{3} = 6\text{V}$$

- 練習
- 6. 將**2** 庫侖的電荷，從電位**30 V** 處移至**60 V** 處，則需作功多少焦耳？
(A) 6 (B) 60 (C) 120 (D) 150 。

1-5 電壓

- 例題 1-5 電位差的計算



- 如圖所示，試求：

(1) V_A (2) V_B (3) V_C (4) V_D (5) V_{AC} (6) V_{AD} 分別為何？

- 解

$$(1) V_A = V_{AB} = 9 \text{ V}$$

$$(2) V_B = 0 \text{ V}$$

$$(3) V_C = V_{CB} = 6 \text{ V}$$

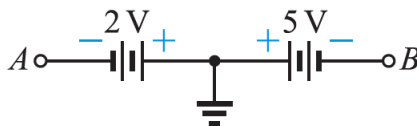
$$(4) V_D = V_{DB} = V_{DC} + V_{CB} = 3 + 6 = 9 \text{ V}$$

$$(5) V_{AC} = V_A - V_C = 9 - 6 = 3 \text{ V}$$

$$(6) V_{AD} = V_A - V_D = 9 - 9 = 0 \text{ V}$$

1-5 電壓

- 練習
- 7. 如下圖，試求 V_{AB} 等於多少伏特？ (A)-3 (B)-2 (C) 3 (D) 7。



- 8. 假設 A 點對地之電位差為 30 V， B 點對地之電位差為 50 V，則 V_{AB} 為何？
(A)-20 V (B) 20 V (C) 30 V (D) 80 V。

1-5 電壓

- **1-5.3 電動勢、電壓降及端電壓**
- **1. 電動勢**（**electromotive force**，**emf** 或 E ）
- 電池或發電機所提供的電壓稱為電動勢；電動勢可以對電荷提供能量，驅使電荷移動形成電流，完成作功程序。
- **2. 電壓降**（**voltage drop**， V_d ）
- 在電荷移動過程中，當通過電路元件時會使元件作功，將電能轉換成其他形式（如發光、發熱或轉動等）的能量，因而使電荷所帶電能減少，元件兩端產生電位差，這個電位差稱為電壓降。

1-5 電壓

- **3.端電壓**（terminal voltage， V_t ）
- 外部電路元件（負載）兩端點間的電位差稱為端電壓。
- 以電池為例，純電壓源為電動勢 E ，扣除電池內部元件產生的電壓降 V_d ，得到真正供應外部負載的端電壓（ V_t ）；當未連接外部負載元件時，電路處於斷路狀態，沒有電荷流動，也不會產生電壓降，故端電壓等於電動勢，如圖1-10 所示。以公式表示，即：

$$\text{端電壓 } (V_t) = \text{電動勢 } (E) - \text{電壓降 } (V_d)$$

公式
1-4

1-5 電壓

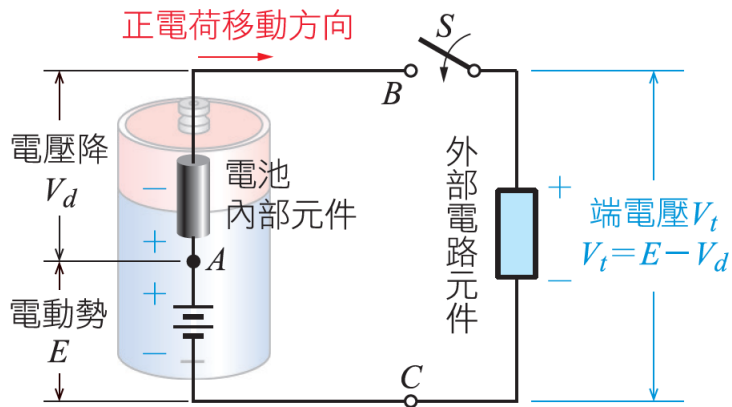


圖 1-10 電動勢、電壓降與端電壓之關係

註 此處電壓降可視為電池作用時，化學能轉換為電能所生耗損的模擬表示。

1-5 電壓

- 例題 **1-6** 電動勢、電壓降及端電壓綜合運算
- 如圖1-10 所示，開關S 打開時， $V_{BC}=12\text{ V}$ ，開關S 閉合時， $V_{BC}=10.8\text{ V}$ ，則電動勢、端電壓與電壓降分別為何？

- 解

- (1) 開關S 打開時，沒有電荷流通；此時端電壓等於電動勢，故電動勢等於 12 V 。
- (2) 開關S 閉合時，有電荷流通； V_{BC} 即為外部電路元件的端電壓，故端電壓為 10.8 V 。
- (3) 電壓降為兩者之差： $12-10.8=1.2\text{ V}$ 。

1-5 電壓

- 練習
- 9. 驅使電荷移動而作功之原動力為何？
 - (A) 電動勢 (B) 端電壓 (C) 電位差 (D) 電壓降。
- 10. 下列何者的單位不是伏特？
 - (A) 電壓 (B) 電動勢 (C) 電荷 (D) 電

1-5 電壓



延伸知識

認識各種電池

電池依「是否可以重複使用」分成可充電式、不可充電式兩種，有關其種類及比較項目歸納如表 (1) 及表 (2) 所示。

◆ 表 (1) 可充電式電池（二次電池）的種類

種類 比較項目	鉛酸電池	鎳氫電池	鎳鎘電池	鋰離子電池
正 極	二氧化鉛	氫氧化鎳	氫氧化鎳	磷酸鐵鋰
負 極	鉛	儲氫合金	鎘	石墨
電解質	稀硫酸溶液	碱液	氫氧化鉀	氧化氯鋰
外 型 (參考圖)				
容量 (例)	10000 mAh	3800 mAh	1600 mAh	7800 mAh
用 途	汽機車專用電 瓶、緊急照明燈	遙控車	避難方向燈、 遙控車	NB、手機、 電動車電池

1-5 電壓

表(2) 不可充電式電池（一次性電池）的種類

種類 比較項目	碳鋅電池	鹼性電池	水銀電池	氧化銀電池
正 極	碳棒（二氧化錳）	碳棒	氧化汞	氧化銀、二氧化錳
負 極	鋅罐	鋅罐	鋅	鋅
電解質	氯化銨、氯化鋅	氫氧化鈉、氫氧化鉀	氫氧化鉀	氫氧化鉀
外 型 (參考圖)				
用 途	遙控器、電蚊拍 等家用產品	遙控器、電蚊拍 等家用產品	計算機、翻譯機	計算機、翻譯機

說明：電池容量的單位為 mAh（毫安培小時）；當放電電流為 0.5 A（500 mA），則：

電池使用時間（h）＝ 電池容量（mAh）／ 放電電流（mA）

例如：10000 mAh 的電池可使用時間＝10000 mAh / 500 mA＝20 h

1-6 電流

- **1-6.1 電流的大小**
- 如同水在水管中流動稱為水流一般，電荷在導體中的移動稱為電流（**current**）。水流的大小是以單位時間流過水管的水量來表示，同樣地，電流的大小也是以單位時間流過導體某一截面的電量多少來表示，如圖1-11 所示，假設 t 秒內有 Q 庫侖的電量流過導體的某一截面，則其平均電流為：

$$I (\text{電流}) = \frac{Q (\text{電量})}{t (\text{時間})} \quad (\text{安培, A})$$

公式
1-5

1-6 電流

- 根據上式，電流的單位為庫侖／秒，在**SI**制稱為安培（**Ampere**，**A**）；1 安培的電流表示：每1 秒鐘有1 庫侖（相當於 6.25×10^{18} 個自由電子）的電量流過導體的截面。因為在導體中流動的是電子，假設 t 秒鐘內有 N 個電子（ e ）流過導體截面，則（1-5）公式可以改寫成：

$$\begin{aligned} I (\text{電流}) &= \frac{N (\text{電子數量}) \times e (\text{每一個電子帶電量})}{t (\text{時間})} \\ &= \frac{N \times (1.6 \times 10^{-19})}{t} \quad (\text{安培, A}) \end{aligned}$$

公式
1-6

註 1 個電子（ $1e$ ） $\doteq 1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖。

1-6 電流

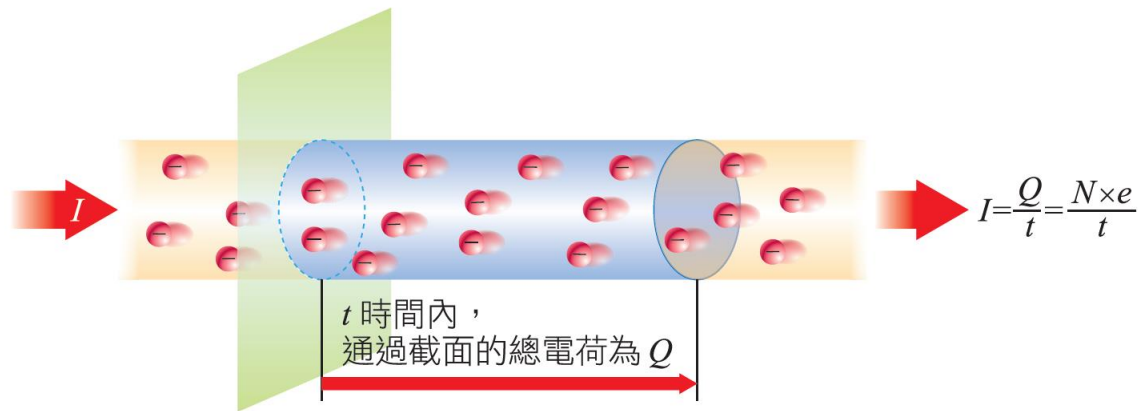


圖 1-11 電流定義說明

1-6 電流

- 例題 **1-7** 電流算式練習(一)
- 假設在**5** 分鐘內有**3000** 庫侖的電量從導體的一端進入，同時有**3000** 庫侖的電量從另一端移出，則流經該導體的平均電流為何？

- 解

根據（**1-5**）公式，
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3000}{5 \times 60} = 10 \text{ A}$$

1-6 電流

- 練習
- 11. 某蓄電池內部電量原蓄有200 庫侖，以5 分鐘的時間將其充電至800 庫侖，則其平均充電電流大小為多少A ？
(A) 2 (B) 4 (C) 6 (D) 8 。
- 12. 一導線截面積為 5.5 mm^2 ，流過電流10 A，則電流持續流動1 分鐘之總電荷量為多少庫侖？
(A) 600 (B) 55 (C) 10 (D) 5.5 。

1-6 電流

- 例題 **1-8** 電流算式練習(二)
- 有一導體，兩秒鐘內有 6.25×10^{19} 個電子流過其截面，求其流過的電量及電流分別為何？

- 解
電量 $Q = Ne = (6.25 \times 10^{19}) \times (1.6 \times 10^{-19}) = 10 \text{ C}$ (庫侖)
電流 $I = \frac{Q}{t} = \frac{10}{2} = 5 \text{ A}$

1-6 電流

- 練習
- 13. 有2 安培電流流過導體，則在5 秒時通過導體截面的電子為多少個？
(A) 8 (B) 10 (C) 5×10^{19} (D) 6.25×10^{19} 。
- 14. 有關電池電量單位安培小時（Ah）和庫侖（C）的關係，何者正確？
(A) $1 \text{ Ah} = 60 \text{ C}$ (B) $1 \text{ Ah} = 360 \text{ C}$
(C) $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$ (D) 無法換算。

1-6 電流

- **1-6.2 電流的方向**
- 由於早期科學家以為在導體中流動的是正電荷，因此傳統電流的方向為正電荷流動的方向；事實上，現代電子學說證明：在金屬導體內傳遞電流的是帶負電的自由電子。因此電流的方向恰好與電子移動的方向相反，如圖1-12 所示。
- 電流方向由正端出發，經負載回到負端；電子流則由負端出發，經負載回到正端。

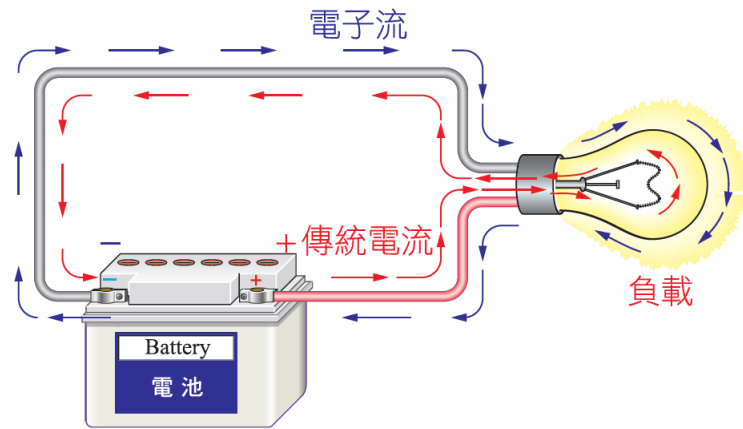


圖 1-12 導體內電流與電子流的不同

1-6 電流

- **1-6.3 電流的速度**
- 當電子受電動勢驅動，在導體中開始流通時，所有電子會同時在導線中迅速移動，就好像一長列火車的車廂同時啟動一般，從第1個電子開始，在短短的1秒鐘內，可以在 3×10^8 公尺外，傳遞出1個電子，表示電流是以光速（ 3×10^8 公尺／秒）
- 來傳遞電能的；但是，就同一個電子而言，其在導體內部的移動速度卻是很慢的（約每秒數吋而已，如例題1-9所示），如圖1-13所示。

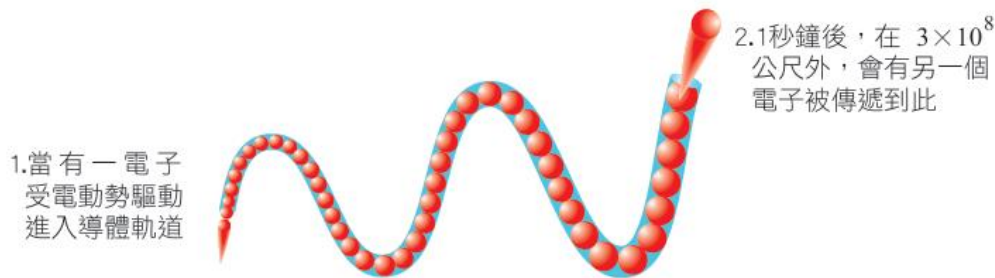


圖 1-13 電子傳遞的情形

1-6 電流

- **1-6.4 電流的另一種算法**
- 有一導體內電子流動情形如圖1-14 所示，假設：

A ：導體的截面積（平方公尺， m^2 ）

ℓ ：導體的長度（公尺， m ）

n ：每單位體積所含的電子數
（自由電子數／ m^3 ）

e ：每1 電子所帶電量（約等於 1.6×10^{-19} 庫侖）

t ：時間（秒， s ）

v ：電子傳遞的速度（公尺／秒， m/sec ）， $v = \frac{\ell \text{ (距離)}}{t \text{ (時間)}}$

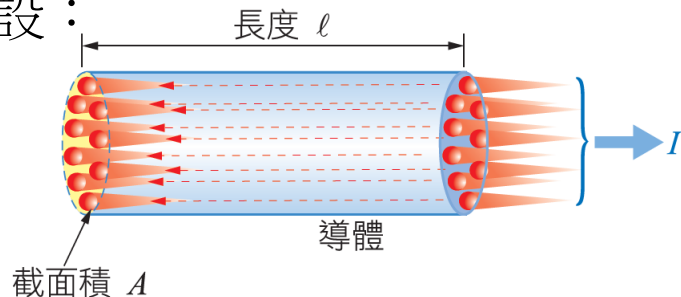


圖 1-14 電流運算示意

1-6 電流

- 則總電量

$$Q = \text{體積} \times \frac{\text{電子數}}{\text{體積}} \times \frac{\text{電量}}{\text{每一電子}}$$

$$= (A \times \ell) \times n \times e = A\ell ne \quad (\text{庫侖, C})$$

- 依據定義：電流是單位時間流過導體某一截面的電量，故：

$$\text{電流 } I = \frac{Q}{t} = \frac{A\ell ne}{t} = Avne \quad (\text{安培, A})$$

公式
1-7

- (1-7) 公式表示導體電流的大小和導體的截面積、電子傳遞的速度成正比。

1-6 電流

- 例題 1-9 電子流動速度計算
- 有一銅線，其截面積為0.05 平方公分，電子密度為 10^{29} 個自由電子數／ m^3 （立方公尺），線路電流為8 安培，試求電子在銅線內的平均速率為何？

- 解

根據（1-7）公式 $I = A \times v \times n \times e$ ，則

$$v = \frac{I}{neA} = \frac{8}{10^{29} \times (1.6 \times 10^{-19}) \times (0.05 \times 10^{-4})} = 1 \times 10^{-4} \text{ m/sec (公尺／秒)}$$

發現：電子在銅線內的速率很慢，每秒只有 10^{-4} 公尺，而且電子流動的速度和導體的截面積成反比。

1-6 電流

- 練習
- 15. 在所有條件不變的情況下，線路電流從8 A降為4 A，則電子在銅線內的平均速率將會是原來的幾倍？ (A) 2 (B) 1 (C) 0.5 (D) 0.25。

1-6 電流



安培 (Andre-Marie Ampere, 1775-1836)

安培生於法國里昂的富商家庭，青少年時期喜歡研究數學及科學，1802 年擔任布爾格中央理工大學的物理和化學教授，安培設計了一個檢流計，可通過指針的偏轉檢測電流的方向並測量電流的大小，再於 1822 年發表「長直導線間的電磁力」論文，因而獲得「電磁力學之父」的美譽。1824 年獲選在法蘭西公學院教授著名的實驗物理學；1826 年安培提出載流導線中的電流與其產生磁場之間的關係，即為著名的「安培右手定則」；電流的單位就以「安培」為單位。



1-7 電功率

- **1-7.1 功率的定義**
- 簡單的說，功率（**power**）就是作功的速率；或者是說「單位時間所作的功」；電功率則為「單位時間 t 所消耗的電能 W 」，電功率以 P 為符號，即：

$$P \text{ (電功率)} = \frac{W \text{ (電能)}}{t \text{ (時間)}} \quad (\text{瓦特, W})$$

公式
1-8

1-7 電功率

用在電學上，電能 W 是指「移動 Q 庫侖電量，產生 V 伏特電壓所需之電能」，根據（1-1）公式 $V = \frac{W}{Q}$ ，即 $W = VQ$ ，又根據（1-5）公式 $I = \frac{Q}{t}$ ，即 $Q = I \times t$ ，代入（1-8）公式得：

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

公式
1-9

1-7 電功率

- 電功率的單位為瓦特（Watt，W），有時候用仟瓦特（kW）來表示較大單位，1 kW=1000 W；在實用上常以英制的馬力（horsepower，簡稱hp）為單位，例如：電動機、汽車引擎大多是以馬力為單位，如表1-7 所示；馬力和瓦特的關係為：

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦特} \div 0.75 \text{ 仟瓦特} \div \frac{3}{4} \text{ 仟瓦特}$$

$$1 \text{ 馬力} = 550 \text{ 呎} \cdot \text{磅} / \text{秒}$$

表 1-7 P 、 W 、 t 單位對照

項目 制別	電功率 (P)	功或能 (W)	時間 (t)
MKS 制	瓦特 (W)	焦耳 (J)	秒 (s)
FPS 制	馬力 (hp)	呎·磅 (ft-lb)	秒 (s)

1-7 電功率

- 例題 **1-10** 有關電功率定義的計算
- 有一電熱器，加上 **100 V** 的電壓時，於 **1 分鐘** 內消耗 **60000 焦耳** 的能量，試求：(1) 該電熱器的瓦特數 (2) 電流各為何？

• 解

(1) 根據 (1-8) 公式，該電熱器的瓦特數

$$P = \frac{W}{t} = \frac{60000}{60} = 1000 \text{ W}$$

(2) 根據 (1-9) 公式，電流 $I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ A}$

1-7 電功率

- 練習
- 16. 有一2 hp 的洗衣機，接上110 伏特的電壓，使其運轉10 分鐘，則其消耗的電能為多少焦耳？
(A) 1492 (B) 14920 (C) 895200
(D) 1641200 。
- 17. 接續上題，線路電流約為多少安培？
(A) 6.78 (B) 13.56 (C) 14.92 (D) 16.41 。

1-7 電功率

- **1-7.2 電能及電度**
- 根據（1-8）公式，電能（**electric energy**）的計算式為：

$$W \text{ (電能)} = P \text{ (電功率)} \times t \text{ (時間)} \quad (\text{焦耳, J})$$

公式

1-10

- 電能的涵義：電功率為 **P** 瓦特的電器，使用 **t** 秒時間所消耗的能量；其單位為焦耳（**Joule, J**），也可以是「瓦特·秒」；大一點的單位為「仟瓦特·小時（**kWh**）」，這個「1 仟瓦特·小時」又稱為**1 度電**，是電力公司計算電費的依據，其值可以由裝於電源總開關之前的瓦時錶（習慣上稱為電錶）量得，如圖**1-15** 所示。另外，表**1-8** 為台電公司電費計算的電價表範例。

1-7 電功率

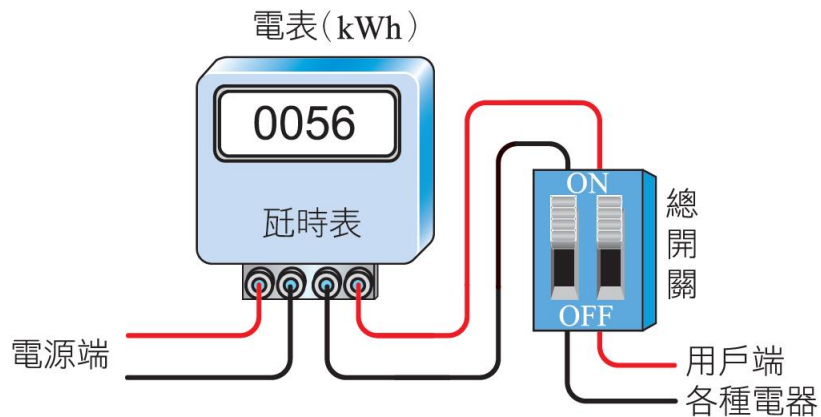


圖 1-15 瓦時錶量測電能



圖 1-16 瓦時計實體圖

1-7 電功率

表 1-8 非營業用（住家）用電每度電價表（2024 年 7 月公告）

區間	夏月 (6 月 1 日至 9 月 30 日)	非夏月 (夏月以外時間)
120 度以下部分	1.68 元	1.68 元
121 ~ 330 度部分	2.45 元	2.16 元
331 ~ 500 度部分	3.70 元	3.03 元
501 ~ 700 度部分	5.04 元	4.14 元
701 ~ 1000 度部分	6.24 元	5.07 元
1001 度以上部分	8.46 元	6.63 元

註 本表時有變動，僅供參考，詳見台電網站。

1-7 電功率

- 根據 $W=Q \times V$ ，電能較小的單位為「庫侖·伏特」，1 個電子約等於 1.6×10^{-19} 庫侖，故電能的單位也可以稱為電子伏特（**eV**）。歸納有關電能的單位式為：
- 1 度電 = 1 kWh = 1000 × 3600 瓦特·秒 = 3.6×10^6 焦耳
- 1 電子伏特（**eV**） $\doteq 1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖·伏特 $\doteq 1.6 \times 10^{-19}$ 焦耳
- 1 焦耳 = 1 庫侖·伏特 = 1 瓦特·秒

1-7 電功率



延伸知識

數位電表與時間電價

1. 傳統（轉盤）電表：以電流通過轉盤所產生的旋轉數來計算電費，具有構造簡單可靠性高的優點，缺點是必須派抄表員到戶抄度數，無法遠端即時查看或分析用電狀態。
2. 智慧（數位）電表：具有遠端查看用戶用電狀況的電表，包括用電時間、用電習慣及用電量；缺點是智慧電表的佈建及維護費用比較高。
3. 時間電價：是一種根據用電時段的不同，每度電收取不同電費的機制。尖峰時段的電費較高，離峰時段的電費較低。時間電費必須配合智慧電表才能實施。

1-7 電功率

- 例題 **1-11** 電能基本計算
- 有一2000 W 的電熱水器，使用1 小時，共消耗多少焦耳的電能？換算為電度數為多少度？

- 解

$$W = P \times t = 2000 \times 60 \times 60 = 7.2 \times 10^6 \text{ J (焦耳)}$$

$$\text{電度數} = \frac{7.2 \times 10^6}{3.6 \times 10^6} = 2 \text{ 度} \quad \text{或} \quad \text{電度數} = 2 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 2 \text{ kWh} = 2 \text{ 度}$$

1-7 電功率

- 練習
- 18. 5 馬力的抽水馬達運轉20 分鐘，試求消耗幾度電？
(A) 1.24 (B) 3.73 (C) 5 (D) 10 。
- 19. 1 馬力的電動機，約使用幾小時會消耗1 度電？
(A) $\frac{4}{3}$ (B) $\frac{3}{4}$ (C) $\frac{2}{3}$ (D) $\frac{1}{2}$ 。

1-7 電功率

- 例題
- 某一用戶有一1200 W 烤麵包機使用45 分鐘，20 個100 W 電燈泡使用4 小時，500 W 洗衣機使用1 小時，1200 W 烘衣機使用20 分鐘，假設每度電費4 元，則應繳電費多少元？

• 解 烤麵包機消耗電能： $1.2 \text{ kW} \times \frac{3}{4} \text{ h} = 0.9 \text{ kWh} = 0.9 \text{ 度}$

電燈泡消耗電能： $0.1 \text{ kW} \times 20 \times 4 \text{ h} = 8 \text{ kWh} = 8 \text{ 度}$

洗衣機消耗電能： $0.5 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 0.5 \text{ kWh} = 0.5 \text{ 度}$

烘衣機消耗電能： $1.2 \text{ kW} \times \frac{1}{3} \text{ h} = 0.4 \text{ kWh} = 0.4 \text{ 度}$

應繳電費 $\Rightarrow 4 \text{ 元} \times (0.9 + 8 + 0.5 + 0.4) = 39.2 \text{ 元}$

1-7 電功率

- 練習
- 20. 下列何者為電能的單位？ (A) 毫安小時 (mAh) (B) 焦耳 (J) (C) 瓦特 (W) (D) 馬力 (hp)。
- 21. 假設電費每度2.5 元，一台300 瓦特的電視機平均每天使用6 小時，若一個月以30 天計，則每月電視機所耗的電費為多少元？
(A) 75 (B) 90 (C) 125 (D) 135。

1-7 電功率

- 例題 **1-13** 電池使用時間計算
- 有一12 V、60 Ah 充滿電的理想汽車電瓶，汽車駕駛室內的燈泡規格為12V/12W；若駕駛忘了關燈，請問多少時間後會耗盡電瓶的電量？

- 解

電瓶供電能量 $W_{in} = Pt = VIt = 12 \times 60 \times 1 \text{ h}$

燈泡消耗能量 $W_{out} = Pt = 12 \times t$

耗盡電瓶的電量，表示 $W_{in} = W_{out}$ ，即： $12 \times 60 \times 1 \text{ h} = 12 \times t$

求得 $t = 60 \text{ h}$ ，表示60 小時後會耗盡電量。

1-7 電功率

- 練習
- 22. 某裝置的電源電池為1.5 V，可使用能量為5400 J。該裝置之工作與待機模式所需電流分別為19 mA 與200 μA ，若設定每小時工作10 分鐘，待機50 分鐘，則該裝置約可使用多少小時？
(A) 150 (B) 200 (C) 300 (D) 315。
- 23. 一個額定12 V、50 Ah 的汽車蓄電池，理想情況下，充滿電後蓄電池儲存之能量為多少焦耳？
(A) 2.16×10^{-6} (B) 2.16×10^6 (C) 0.6×10^{-3} (D) 0.6×10^3 。

1-7 電功率

- **1-7.3 損失及效率**
- 在1-3 節「電能」中得知：能量可以相互轉換，但是會有消耗，例如：電動機將電能轉換為機械能，使轉軸轉動，其過程中會有摩擦損失、風壓損失及發熱損失等，如圖1-17 所示，使得輸入的電能無法完全轉換成輸出的機械能，這其中的差稱為損失（**loss**），以數學式表示如下：

就能量而言 $W_{\text{in}} - W_{\text{out}} = W_{\text{loss}}$ （焦耳，J）

就功率而言 $P_{\text{in}} - P_{\text{out}} = P_{\text{loss}}$ （瓦特，W）

公式
1-11

1-7 電功率

- 其中 W_{in} 為輸入能量， W_{out} 為輸出能量， W_{loss} 為損失能量。
 P_{in} 為輸入功率， P_{out} 為輸出功率， P_{loss} 為損失功率。

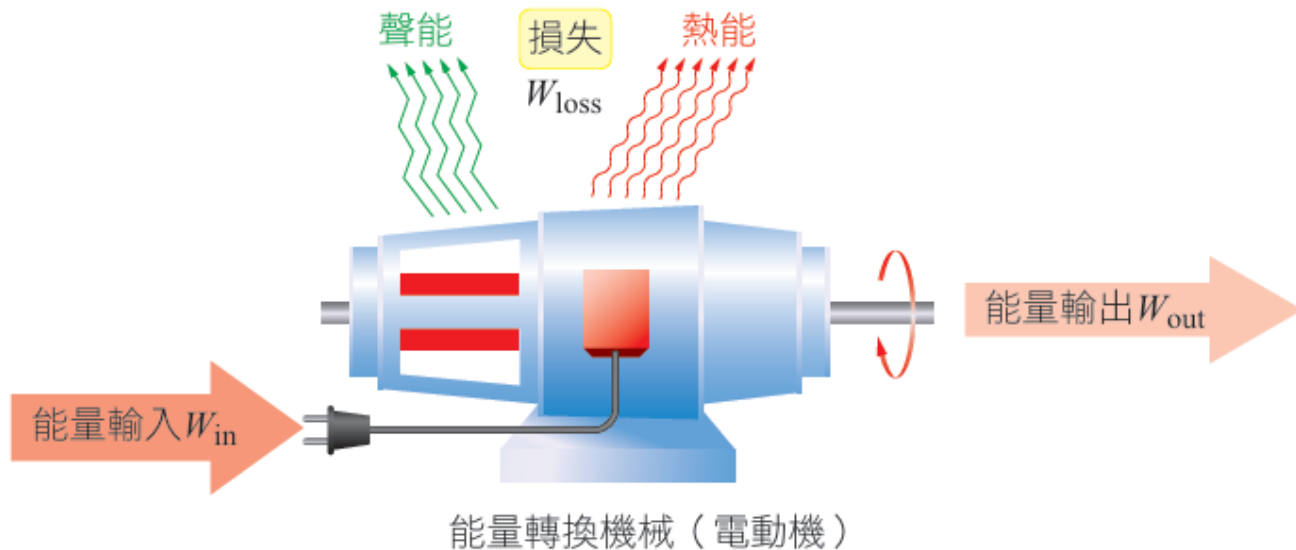


圖 1-17 能量轉換與能量損失

1-7 電功率

- 其次談到效率，通常以希臘字母 η （讀作**eta**）表示，效率（**efficiency**）是指輸出能量（或功率）對輸入能量（或功率）的比值，即

$$\text{效率 } \eta = \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}} \times 100\% \quad \text{或} \quad \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

公式
1-12

- 將（1-11）公式的觀念代入上式，則效率可寫成：

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \times 100\% \quad \text{或} \quad \eta = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

公式
1-13

1-7 電功率

- 因為有損失的存在，造成輸出能量恆小於輸入能量，使效率恆小於1。當系統由數個子系統串接而成時，如圖1-18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：

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

公式
1-14

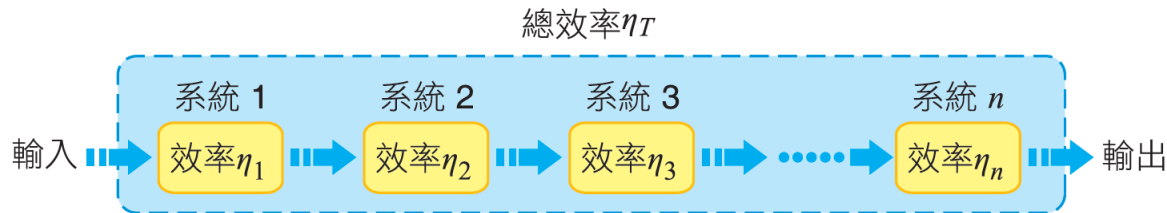


圖 1-18 數個子系統組成的總系統效率

1-7 電功率

- 例題 **1-14** 效率與損失的計算
- 有一抽水馬達輸入功率為**880 W**，若其效率為**0.85**，求
(1) 馬達輸出為多少**hp** 數？ (2) 損失為多少**W** ？

- 解 (1) 根據 (1-12) 公式 $\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$

$$0.85 = \frac{P_{\text{out}}}{880}, \text{ 故 } P_{\text{out}} = 0.85 \times 880 = 748 \text{ W}$$

$$\frac{748}{746} = 1.0026, \text{ 得馬達輸出約為 } 1 \text{ 馬力 (hp) 。}$$

$$(2) \text{ 損失 } P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} = 880 - 748 = 132 \text{ W}$$

1-7 電功率

- 練習
- 24. 有一電動機車之直流電動機，當接上 48 V 電瓶時，其輸入電流為 50 A，輸出馬力為 2.5 hp，則此電動機的效率為何？
(A) 66.6% (B) 77.7% (C) 88.8%
(D) 93.3%。

1-7 電功率

- 例題 **1-15** 總效率的計算
- 有一電力系統由兩個子系統組成，第一個子系統的效率為**0.8**，第二個子系統的效率為**0.9**，求：
(1) 總效率為何？ (2) 若輸入**500** 焦耳的電能，則輸出為何？

1-7 電功率

- 練習
- 25. 當整個大系統由很多子系統組成時，小系統的個數越多，其效率值將會如何？
(A) 更大 (B) 更小 (C) 相同 (D) 等於0。

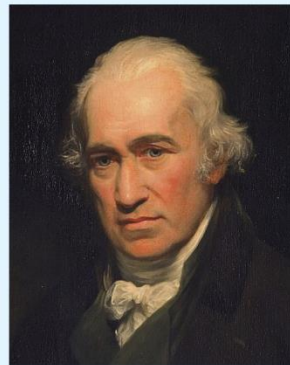
1-7 電功率



蒸氣大師：瓦特 (James Watt, 1736-1819)

瓦特出生於英國蘇格蘭，從小體弱多病，不太喜歡上學卻很喜歡讀書，尤其對數學更加喜好，而且他從小就有機械的天分，經常在父親的店裡，玩弄各種儀器，使用父親的工具製造出不少模型，還曾在大學修理天文學機械，並自己開店幫人維修機械。

1763 年底，瓦特接受格拉斯哥大學的委託，修理一台紐科門式蒸氣機的模型，從此開啟瓦特改良蒸氣機的研究之路，經過無數次的失敗，不斷的試驗及改良，終於在 1776 年 3 月 8 日，成功地讓特大號的蒸氣機在眾所矚目之下發揮了無比的威力，從此瓦特的名聲傳遍世界。1785 年，由於蒸氣機和其他發明的重大成就，瓦特被選為倫敦皇家學院的會員。瓦特的發明和改良，讓蒸氣機通用於各種工業用途，產生穩定、大量而有效率的動力來源，進而帶動整個歐洲的工業革命，改變人類的歷史。





延伸知識

1-7 電功率

常用燈具效能比較

常用的燈具包括傳統燈泡、日光燈、T5、省電燈泡及 LED 燈等，最新的 LED 燈具有省電低溫及環保特性，有關各種燈具的比較說明，如表所示。

表 (1) 各種常用燈具的比較說明

燈具 項目	傳統燈泡 (白熾燈)	傳統 日光燈	T5 日光燈	省電燈泡	LED 燈泡
發光效率	10 ~ 20 lm/W	60 ~ 80 lm/W	75 ~ 120 lm/W	50 ~ 80 lm/W	100 ~ 120 lm/W
發光體	燈 絲	鹵螢光粉	三波長螢光粉	三波長螢光粉	半導體
說 明	1. 發光效率以每瓦特流明數 (lm/W) 為單位，值愈大效率愈好。 2. 三波長 (EX)：以丙乙烯的紅綠藍三原色螢光粉為發光成分。 3. T5：其中 T 是指 tube (管狀)，每個 T 代表 1/8 英吋，T5 就是直徑為 5/8 英吋的管狀燈具，長度與輸出瓦特數成正比；另有 T8 和 T9 燈管，其含汞量及直徑均比 T5 多。 4. LED 是利用半導體的電子與電洞反應所產生的能量轉換來發光。 5. LED 的體積小、不產生熱量、較不會吸引昆蟲，將成為照明主流。 6. 使用 LED 照明時，LED 模組內需搭配 LED driver (驅動器)。 7. 日光燈管必須配合安定器才能發光，為了省電及效能，現在大多採用電子式安定器，傳統的電感式安定器已很少使用。				

1-7 電功率



圖 (1) 傳統日光燈和 T5 日光燈



圖 (2) 省電燈泡



圖 (3) LED 燈泡