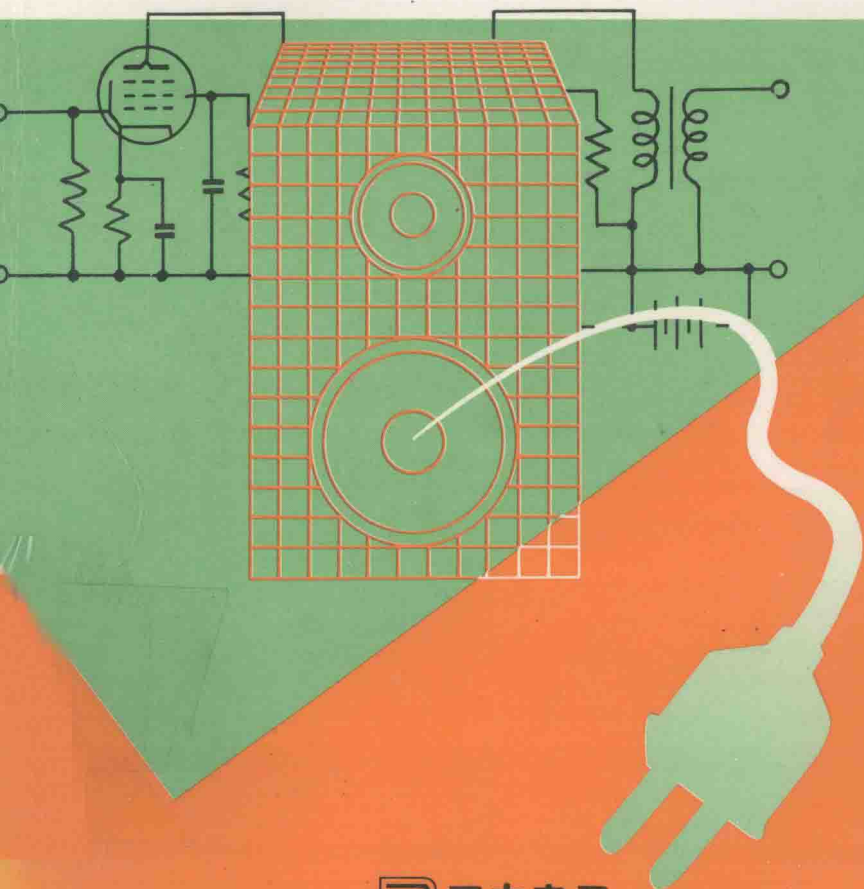


教育部審定  
遵照教育部七十五年最新課程標準  
工業職業學校

# 基本電學

上 冊

柯坤煌 · 黃振盛 編著



教育部審定  
遵照教育部七十五年最新課程標準  
工業職業學校

# 基本電學

上 冊

柯坤煌・黃振盛 編著

 正文書局

版權所有



翻印必究

# 基本電學(上)

編著者：柯坤煌・黃振盛

發行所：正文書局有限公司

台北市重慶南路一段105號

電話：(02)311-0751(代表)

郵局劃撥帳號：0005961-3

發行人：黃 開 禮

印刷所：正文書局有限公司

經銷處：正元圖書有限公司

基 價：

七十六年九月一日出版

本書局登記證字號：行政院新聞局局版台業字第0618號

✳正文書局暨黃開禮・法律顧問李在琦大律師✳

本書圖、文呈內政部註冊不得翻印複印

仿製或以其他方法侵害著作權追究到底

# 目 錄

<b>第1章 電之基本概念</b> .....	1
1-1 本    性 .....	1
1-2 單    位 .....	5
1-3 能    量 .....	6
1-4 電    荷 .....	9
1-5 電    壓 .....	10
1-6 電    流 .....	12
1-7 功    率 .....	14
習題一 .....	17
<b>第2章 電    阻</b> .....	19
2-1 電阻與電導 .....	19
2-2 歐姆定律 .....	25
2-3 色碼電阻 .....	29
2-4 各種電阻器 .....	31
2-5 電阻溫度係數 .....	32
2-6 焦耳定理 .....	35
習題二 .....	38
<b>第3章 電容與靜電</b> .....	39
3-1 電場與電位 .....	39
3-2 電容量 .....	51

## 目 錄 2

3-3	充電與放電 .....	53
3-4	儲能特性 .....	54
3-5	電容器 .....	56
3-6	各種電容器 .....	63
	習題三 .....	66
<b>第4章</b>	<b>電感與電磁效應 .....</b>	<b>69</b>
4-1	電磁效應 .....	69
4-2	電磁感應 .....	86
4-3	電感量 .....	92
4-4	充電與放電 .....	97
4-5	自感與互感 .....	100
4-6	電感器 .....	104
4-7	各種電感器 .....	108
	習題四 .....	110
<b>第5章</b>	<b>串聯電路 .....</b>	<b>113</b>
5-1	定義與特性 .....	113
5-2	計算方法與克希荷夫電壓定律 .....	116
5-3	應用實例 .....	124
	習題五 .....	128
<b>第6章</b>	<b>並聯電路 .....</b>	<b>131</b>
6-1	定義與特性 .....	131
6-2	計算方法與克希荷夫電流定律 .....	133
6-3	應用實例 .....	143

習題六 .....	151
<b>第 7 章 網路分析</b> .....	<b>155</b>
7-1 節點電壓法 .....	160
7-2 迴路分析法 .....	169
7-3 重疊定理 .....	177
7-4 Y- $\Delta$ 互換法則 .....	184
7-5 戴維寧定理 .....	192
7-6 最大功率轉移 .....	200
7-7 諾頓定理 .....	203
7-8 戴維寧與諾頓電路之關係 .....	210
習題七 .....	213

# 第 1 章

## 電之基本概念

### 1-1 本 性

宇宙中之任何物質皆由分子 (Molecule) 所組成，而分子則為原子 (Atom) 之結合，以原子代表元素，原子是由中央的原子核 (Nucleus) 及四周軌道中運行之電子 (Electron) 所組成如圖 1-1；原子核中尚包括兩種質點：質子 (Proton) 和中子 (Neutron)，質子帶正電荷電量與電子上的負電荷相等，而中子則不帶電荷。

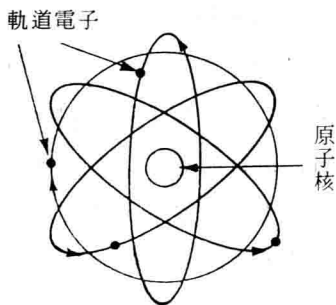


圖 1-1 原子核與軌道電子

一個原子的原子核內所含質子數目通常等於軌道電子的數目，兩者電荷量相等而極性相反，故電性互相中和，因此，所有原子通常均為電中性，未表現電之效應。表 1-1 列出原子內基本粒子的電量與質量，電子的質量只有質子的  $1/1836$ ，因此原子的質量幾乎都集中

表 1-1 原子之組成

名稱	荷電量 (庫侖)	質量 (克)
質子	$+1.602 \times 10^{-19}$	$1.6729 \times 10^{-24}$
中子	0	$1.6751 \times 10^{-24}$
電子	$-1.602 \times 10^{-19}$	$9.107 \times 10^{-28}$

於原子核，故中子的數目可由原子質量與質子質量之差值決定之。中子的質量較質子略重，惟所差甚微，故常視其與質子之質量相等。

每一元素的原子序就是該元素每一原子內的質子數或電子數，原子結構最簡單的是氫（原子序為 1）其原子核內只有一個帶正電的質子，外面圍繞有一個電子，如圖 1-2 所示，以記號表示為  $H_1^1$ ，右上角代表質量數（原子核內中子和質子總數），右下角代表原子序（即質子的數目），其次較複雜者為氦原子  $He_2^4$ ，其結構如圖 1-3，原子核中有中子及質子各兩個，因之帶正電荷數為 2，故須有二個電子繞原子核旋轉與之平衡。

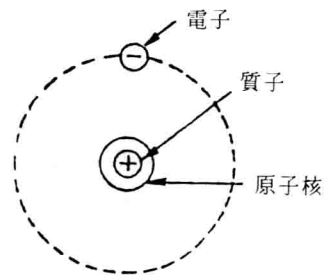


圖 1-2 氫原子結構

不同的原子，其軌道中電子的數量就不相同，第一層軌道距原子核最近，僅能包含兩個電子，若一原子應有三個電子，第三個電子則在第二層。第二層可以容納 8 個電子，第三層為 18，第四層為 32。各層電子數以公式  $2n^2$  決定， $n$  為層次。各層次可用數字表示 ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )，或

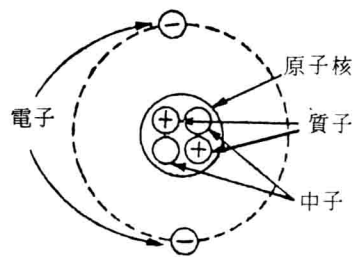


圖 1-3 氦原子結構



用字母表示 ( $n = k, l, m, \dots$ )。圖 1-4 表示前四層軌道所能容納的最多電子數。

每層的軌道又可細分為次層，由內而外，分別以英文小寫字母  $s, p, d, f$  標示，第一次層即為  $s$ ，最多容納 2 個電子，第二次層  $p$  為 6，第

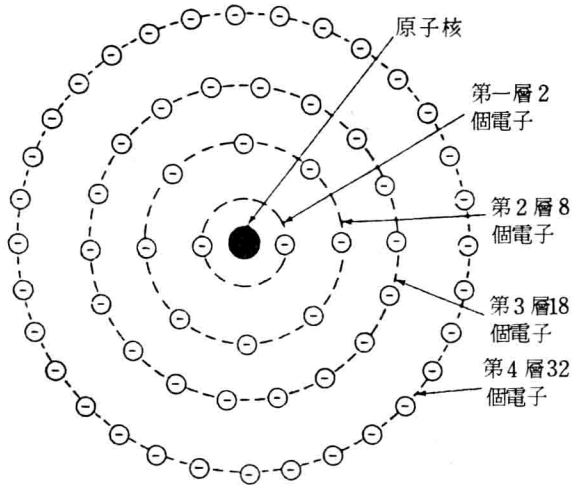


圖 1-4 原子中前面層軌道的電子配置圖

三次層  $d$  為 10，第四次層  $f$  有 14 個電子，如圖 1-5 所示。因為電子係繞著原子核心而旋轉，所以當原子核與電子距離增加時，吸引力較小，最外層軌道上的電子與原子核間的吸引力也就最小，所以外層電子離開原子需要的能量，較內層電子離開原子須要的能量為小，故

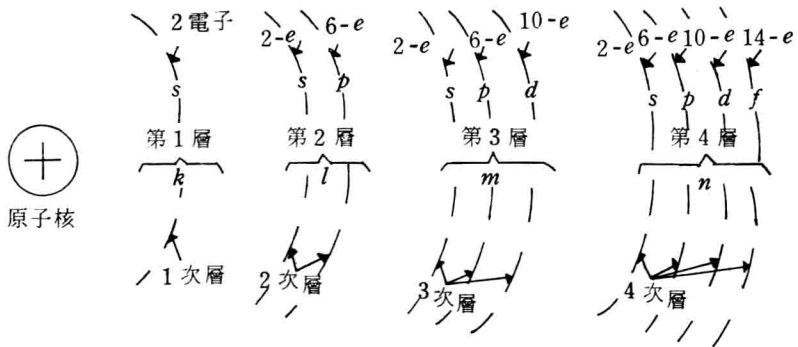


圖 1-5 原子軌道中各次層之電子配置圖

#### 4 基本電學

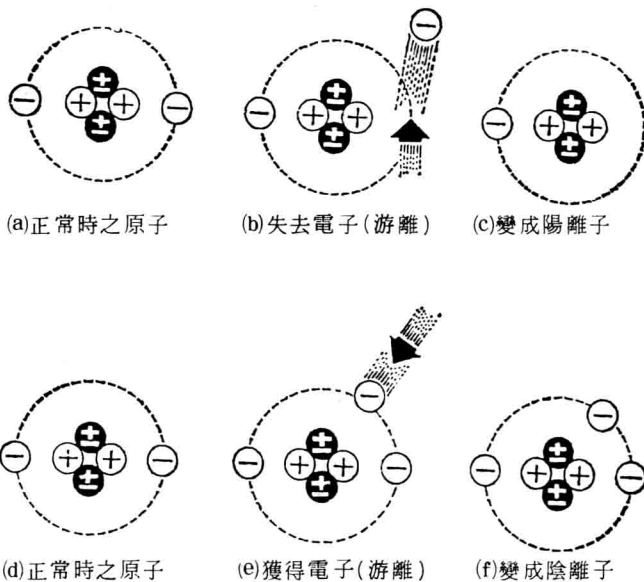


圖 1-6 陽離子和陰離子之形成程序

離開原子的電子皆來自外軌道的較外次層，因此電子若獲得足夠的動能，則外層軌道之電子易受外界影響而移動，若原子中之一電子逸出其軌道，則此原子失去電子遂成為帶正電稱陽離子；若原子獲得電子，則原子便呈現帶負電稱陰離子。如圖 1-6 所示，此程序稱游離或電離。

於正常狀態時，原子並不表現電子效應，稱為未帶電，若受外力影響而變成離子，復由離子恢復中性狀態，而使電子在原子間移動，此即形成電之作用現象。

**例 1 - 1** 已知銅 (Cu) 原子量為 64，原子序 29，試求：(a) 銅之質子數、中子數、電子數各多少？(b) 繪圖說明各層及次層電子分佈數量，並簡述銅為何是良導體？

**解：**(a) ∵ 原子序 = 質子數 = 電子數

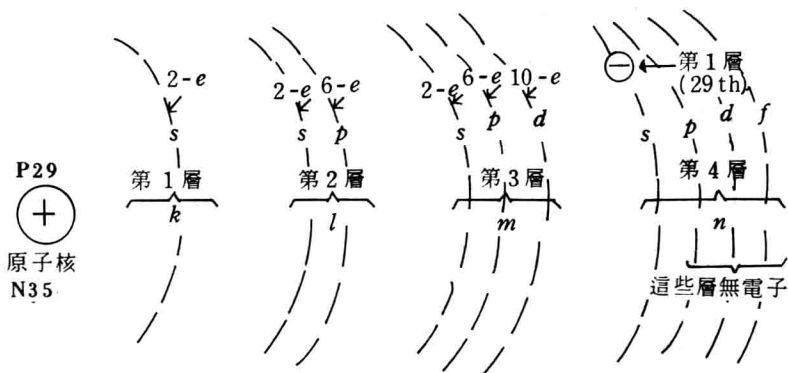


圖 1-7 銅原子結構

且 中子數 = 原子量 - 質子數

∴ 質子數 = 29

中子數 =  $64 - 29 = 35$

電子數 = 29

(b) 銅有 29 個電子，在軌道上之分佈情形為

$1s^2, 2s^2 2p^6, 3s^2 3p^6 3d^{10}, 4s^1$  如圖 1-7 所示

因為銅之最外次層僅有一個電子（即為自由電子），若獲得足夠能量，它便脫離原子核的束縛，故其為良導體。

## 1-2 單位

科學與工程上有甚多的單位系統：絕對單位制用於純粹理論科學，所有單位導源於長度公分（cm），質量為克（Gram），時間為秒（Second）之 C.G.S. 制，於電學方面又區分為 C.G.S. 靜電制及 C.G.S. 靜磁制，此等單位作實際應用時，非為過大即為過小，很不方便，因此又制定實用單位，現今為世界各國所統一使用：採長度為公尺（Meter），質量為公斤（Kilogram），時間為秒（Second）

## 6 基本電學

，電流為安培 (Ampere)，光度為燭光 (Candle)，溫度為愷氏溫度 (Kelvin)，物質為摩爾 (Mol)，共七種基本單位，稱之為國際實用單位制 (S. I. units)。

目前吾等使用之電學實用單位，即國際標準 S. I. 單位，例如：電量庫倫 (Coulomb)，電壓伏特 (Volt)，電阻歐姆 (Ohm)，功率瓦特 (Watt)，電容法拉 (Farad)，電感亨利 (Henry) 等等。

使用任何單位都會遇到極大或極小的數字，頗感不便，為適應須要，常於各單位名稱之前，附加中文或其英文字母，以表示各大小不同量的倍數。常用者如表 1-2

表 1-2 10 乘方的代號

10 的乘方	名 稱	符 號
$10^{12}$	(tera)兆	T
$10^9$	(giga)十億	G
$10^6$	(mega)百萬	M
$10^3$	(kilo)仟	K
$10^{-3}$	(milli)毫	m
$10^{-6}$	(micro)微	$\mu$

例 1-2 變換下列各值

(1)  $4.2\text{kg} = \underline{\hspace{2cm}} \text{g}$  (2)  $0.16 \text{ 亨利} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 毫亨}$

(3)  $3620000 \Omega = \underline{\hspace{2cm}} \text{M}\Omega$  (4)  $42 \text{ 仟克} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 毫克}$

(5)  $0.000001 \text{ 法拉} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 微法拉}$

解：(1) 4200 (2) 160 (3) 3.62 (4)  $42 \times 10^6$  (5) 1

## 1-3 能 量

在我們生存的空間裏，存在著各種不同的能源，就如同地心引力給我們接觸的物體都存在著動能和位能，只要善加運用則取之不盡用

之不竭。雖然石油是世界上最佳的能源運用物質，但這只因效率大而已，其他能源還包括機械能、電能、化學能、熱能、光能……；能量不能創造却可由一形式轉變為另一種形式，這是依據能量不減定律而來的。例如我們把產生的電流用於電動機（Electric Motor）便可以作各種機械能，而電流的取得，若以水力發電為例，乃是利用天然資源，以水之位能，由高水位往低水位流變成動能，推動水輪機，再以水輪機牽動發電機方產生電能（有關發電機原理，第四章介紹），電流經過線路電阻變成熟能，若接電燈則使電燈發光成為光能，種種因素構成不同能源。所以，如果我們要討論的是輸入能量（Input Energy）便是產生電流的能量，那麼輸出能量（Output Energy）便是機械能、光能、熱能，而假定此輸出能量僅限於機械能（Mechanical Energy），其他能量便是損失的能量，有時損失是無可避免的，但可以設法減少到最低程度。S. I. 制能量的單位為焦耳（joule），相當於一牛頓的力作用於一物體，而使物體沿力的方向移動一米時所作之功，故功和能（Energy）在數值上是相等的，表示符號W和量度之單位亦均相同。

前面曾提及，能量之損失是無可避免的，而任何能量變換裝置，將其輸入能量轉變為有用之功的能力，稱之為效率（Efficiency），或謂效率 $\eta$ 是有效輸出能量 $w_o$ 與總輸入能量 $w_i$ 之比，則

$$\eta = \frac{w_o}{w_i} = \frac{w_i - \text{損失}}{w_i} \dots\dots\dots (1-1)$$

效率常以百分比示之，例如發電機有50%效率，電動機有95%效率，化學能有30%，光能有20%……等效率。

**例 1 - 3** 若一裝置的輸入能量為50焦耳，輸出能量為42.5焦耳，求其效率百分數。

## 8 基本電學

$$\text{解： } \eta = \frac{w_o}{w_i} = \frac{42.5}{50} \times 100\% = 85\%$$

若某裝置的輸出送入另一裝置作為輸入的串接系統，其總效率為

$$\rightarrow \boxed{\eta_1} \rightarrow \boxed{\eta_2} \cdots \rightarrow \boxed{\eta_n}$$

$$\eta_T = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_n \cdots (1-2)$$

**例 1 - 4** 若兩級串接裝置，效率皆為 80%，當輸入電能 100 焦耳時，求輸出電能。

$$\text{解： } \eta_T = \eta_1 \eta_2 = 0.8 \times 0.8 = 0.64$$

$$w_o = \eta_T \times w_i = 0.64 \times 100 = 64 \text{ 焦耳。}$$

**例 1 - 5** 二裝置串接的總效率為 72%，其中一裝置的效率為 0.9，求另一裝置的效率百分數。

$$\text{解： } \eta_T = \eta_1 \eta_2$$

$$0.72 = 0.9 \eta_2$$

$$\eta_2 = 0.8 = 80\%$$

**例 1 - 6** (a)三種電器串接，效率各為 0.94，0.87，及 0.21 求總效率。

(b)若將電器為 0.21 的效率改為 0.9，求總效率增加的百分數。

$$\text{解： (a) } \eta_T = \eta_1 \eta_2 \eta_3 = 0.94 \times 0.87 \times 0.21 = 0.172$$

$$(b) \eta_T^1 = \eta_1 \eta_2 \eta_3^1 = 0.94 \times 0.87 \times 0.9 = 0.736$$

$$\begin{aligned} \frac{\eta_T^1 - \eta_T}{\eta_T} \times 100\% &= \frac{0.736 - 0.172}{0.172} \times 100\% \\ &= 327.9\% \end{aligned}$$

# 1-4 電 荷

表 1-3 摩擦後能帶電物質次序表

序 號	物 質	序 號	物 質
1	貓 皮	7	金 屬
2	羊 毛	8	膠 木
3	石 英	9	硬 橡 皮
4	玻 璃	10	封 蠟
5	絲 綢	11	琥 珀
6	木 條	12	硫 磺

遠在西元前 600 年，希臘七賢之一的達理士 (Thales of Miletus)，即知摩擦琥珀後，能吸引輕微的物體；十六世紀文藝復興時，吉伯特 (Sir William Gilbert) 對各種物質作摩擦實驗，將摩擦生電的物質分為(1)由摩擦能吸附輕微物體之物質，稱為 Electrics，(2)由摩擦不能吸附物體之物質，稱為 Non-electrics，再經西元 1737 年豪克斯密 (Hawks Bee) 與杜費 (Du-Bay) 證實，摩擦玻璃者和樹脂者物體所產生的電性，各不相同，西元 1747 年富蘭克林 (Benjamin Franklin)，對這兩種不同的電性各給一名稱，玻璃棒上之電荷命為正電，樹脂棒上之電荷命為負電，此兩種名稱一直沿用至今。

在本章第 1 節中，我們曾提及，在正常狀態下，任何物質均不呈帶電現象，特稱為中性原子。但一旦受外部摩擦或加溫後，顯然該物質內的電子將改變其環繞的軌道，進入另一物質中，因此把電中性的原子狀態變成失去電子的物質，稱為不足電子的原子，使該物質形成帶正電荷之帶電體，獲得電子的物質，便形成帶負電荷之帶電體。

從此我們下個定義，任何物體擁有電的成份而為帶電體時便稱為電荷，若帶電體很小時，稱為點電荷。根據密立根的油滴實驗，電子

為基本電荷量，大約為  $1.602 \times 10^{-19}$  庫倫 (Coulomb)；換言之，1 庫倫中含有  $6.24 \times 10^{18}$  個電子。通常產生電荷的方法很多，也就是只要兩物體作摩擦，其發生吸附紙屑的現象，表示帶電體的存在，帶電體的正負電荷的

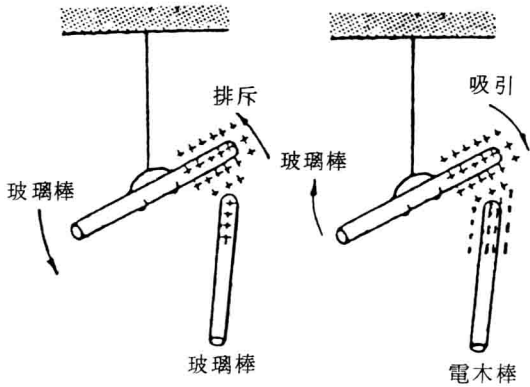


圖 1-8 同性帶電體互斥

圖 1-9 異性帶電體相吸

區別，如表 1-3 所示。表中序號大者與小者作摩擦後，必然使序號大者帶負電荷，例如玻璃棒與絲綢互相摩擦，將使玻璃棒帶正電荷即是此理，所以古希臘人的琥珀與羊毛摩擦，當作一種魔術，於今科學文明時代，便成為有利的追求目標加以證實無誤了。

如我們再利用摩擦後的帶電體，依表 1-3 所示者，令其某帶正電荷者懸掛之，另外用某同性質的正電荷帶電體靠近其旁，發現兩者有相斥 (Repel) 的力量，如圖 1-8 所示；但若改用負電荷帶電體靠近懸掛物體之旁，却發現兩者有相吸引 (Attraction) 的力量，如圖 1-9 所示。由此可知同性之電荷帶電體，彼此相斥，異性之電荷帶電體，彼此相吸。

## 1-5 電 壓

水要流動必須有水位差，電要流動則必須有電位差，電壓即是電位差數值之大小的意思，有了電位差乃能促使電子之流動。在水力系統中，當水位相同時，水不再流動，電學上也是一樣，當電位差等於



零時，電子不再移動；那麼，如何使電路中的電流循環不斷呢？我們試以圖 1-10 說明，若欲使水由水槽 A 向 B 繼續不斷流動，必須運轉幫浦由 B 抽水進入 A，保持 A 與 B 的落差  $H_{AB}$ ，在電路系統也是一樣

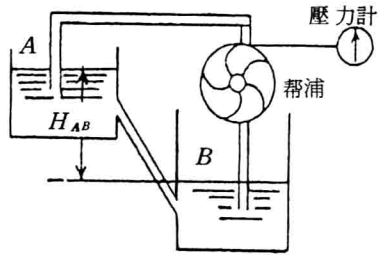


圖 1-10 運轉幫浦維持水位差

，要推動電子就必須不斷維持電壓，擔任推動電子的設備就稱為電源，此種推動電子沿外線路運動的「壓力」即稱電壓。電壓好比水壓機是把電源加大壓力以克服電路上電阻之阻力，使電流暢通的一種比喻。

習慣上電壓 ( Voltage ) 能代表電動勢、電位差、端電壓，例如某電動機額定電壓 ( Rating Voltage ) 為 110 伏特；但電動勢為能量 ( Energy ) 的象徵，俗稱電源，例如發電機為電源，原電池為電源等；電動勢兩端未接外線時，仍具有的電壓，稱此為端電壓；而此時電位差用儀表測定，以某點為基準電位，另一點便具高電位或低電位。高電位者不一定高電壓，高電壓通常由電力公司另有指定。電動勢、電壓、電位差等都具有共同單位，以伏特 ( Volt ) 為基準，( 即移動 1 庫侖電荷從一點至另一點時，若須 1 焦耳之能量，則此二點間有 1 伏特的電位差 )，更大的單位有 1000 伏特稱仟伏 ( Kilovolts, KV 等於  $10^3$  伏特，百萬伏特 ( Megavolts, MV ) 等於  $10^6$  伏特。更小的單位為千分之一伏特稱為毫伏 ( millivolts, mV ) 等於  $10^{-3}$  伏特，百萬分之一伏特種為微伏 ( microvolts,  $\mu V$  ) 等於  $10^{-6}$  伏特。