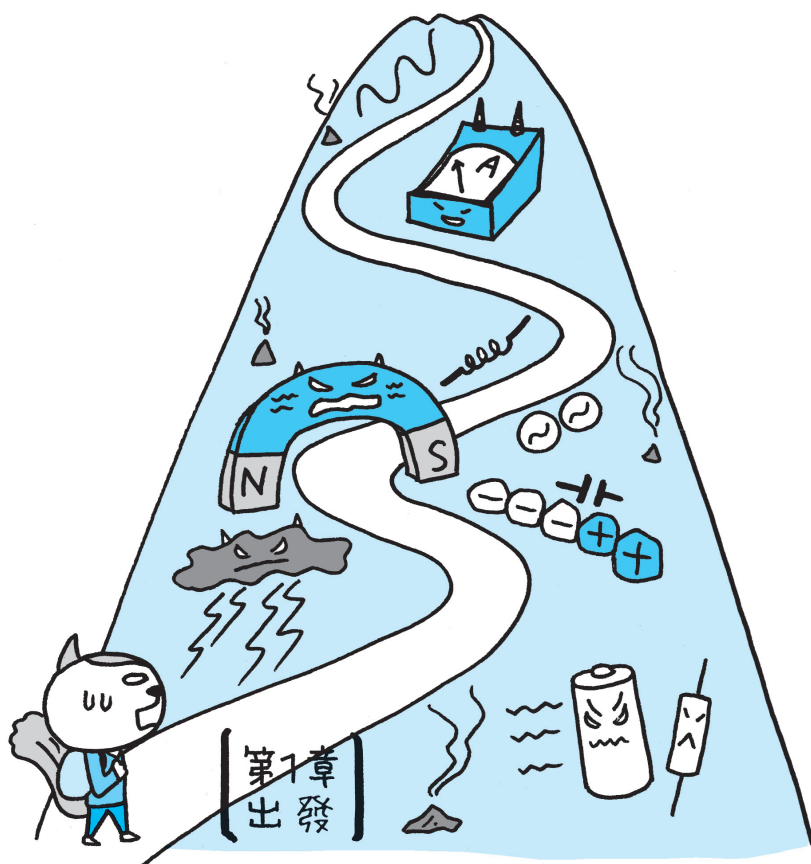


# 第 1 章

## 電路的基本知識



首先，開始行前準備。

# 1-1 ▶ 電是什麼？



## ▶【電】

電是一顆一顆的，分成正電與負電。

冷不防就出現這種摸不著頭緒的說明。最難懂的是，電竟然可以用一顆一顆來描述。這種一顆一顆的粒子，究竟是怎麼來的？為什麼在都沒有的地方，會出現正負。一般而言，正負抵消之後，應該變成中性，但是用墊板摩擦頭髮時，會從空無一物的地方，分離出正電與負電。

由於正電與負電不會頻繁移動，所以墊板摩擦頭髮產生的電，稱作**靜電**。另外，利用電池或電源讓一顆一顆電子移動的電，稱作**動電**，或直接稱為**電**。

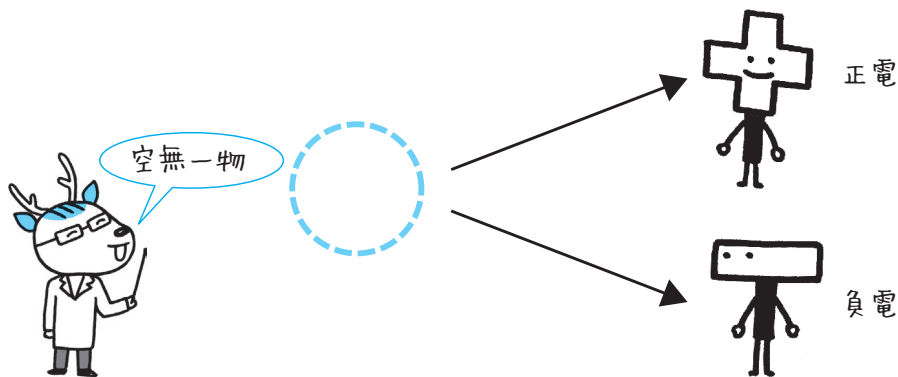


圖 1.1：空無一物的地方，其實潛藏著正電與負電。

以下簡單說明正電與負電的特性。正、負電是同性相斥、異性相吸。正確來說，正電與正電或負電與負電之間會產生**相斥力**，而正電與負電則會出現**相吸力**。

# 1-3 ▶ 電流是什麼？

「『電』的『流動』」稱作**電流**。電流是代表 1 秒通過多少電荷，單位是 **A**（安培）。



## ▶【電流的定義】

電流就是 1 秒通過幾 C 的電荷，單位是 A。

安培



請見圖 1.3 藍色的部分。左邊有 3 個 + 1 C 的電荷，因此共計有 3C 的電荷往右移動。1 秒之後，這些電荷會通過藍色的部分，因此可以說，由左往右的電流有 3A。

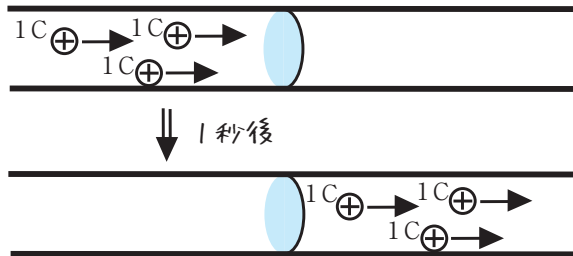


圖 1.3：通過這裡的電流是 3A

假設  $t$  秒鐘有  $Q$  [C] 的電荷通過，請用算式來表示通過的電流  $I$  [A]。從電流的定義來看，電流與移動的電荷成**正比**，和所需的時間成**反比**。



## ▶【電流：寫成算式】

$$I = \frac{Q}{t}$$

● 例 2 秒鐘移動 10C 的電荷，請問通過的電流有多少？

答  $I = \frac{Q}{t} = \frac{10}{2} \text{ A} = 5 \text{ A}$

問 1-4 假設 0.5 秒移動 3C 的電荷，請問通過的電流有多少？

問 1-5 假設 20 秒通過 0.1A 的電流，請問移動幾 C 的電荷？

解答請見 P.188

接下來，要討論電子與電流移動的方向。電子帶有負電荷，換句話說，電子移動的流向與電流相反。

聽起來很抽象，這裡稍微詳細說明一下。上述說法感覺很哲學，但是若要讓電子往右移動，代表電子要進入空無一物的右側空位。如圖 1.4 所示，電子往右移動時，左邊的空位會空下來。電流的方向等於正電荷移動的方向，相對而言，空位往左移動時，與正電荷往左等價。

因此，空位的移動方向與電流方向一致。

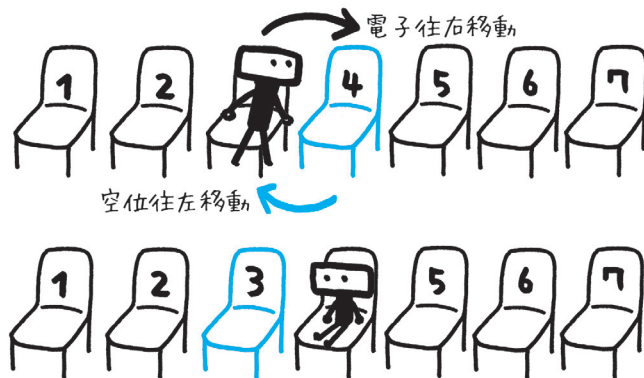


圖 1.4：電子往右移，空位往左移



### 【電子與電流的方向】

電子的流向與電流的方向相反

## 1-4 ▶ 何謂電位、電壓？

請見圖 1.5。在 U 型導管注入清水，讓左邊水位高於右邊，可以想見水是由左往右流動。

此時，高水位與低水位的差異，亦即水位差變大時，水量會出現什麼變化？沒錯，流動的水量會增加。

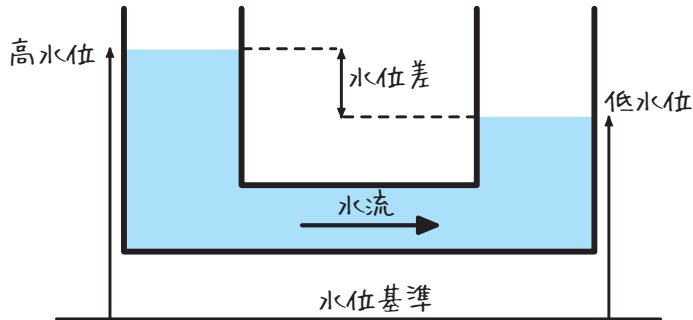


圖 1.5：水位與水位差

此時，可以將水比喻為電荷，水流代表電流，還能將水位當作電位，水位差是電位差或電壓。另外，電位、電位差、電壓的單位是伏特，以英文字母 V 代表。

表 1.2：水與電的對應表

水	電荷
水流	電流
水位	電位
水位差	電位差（電壓）

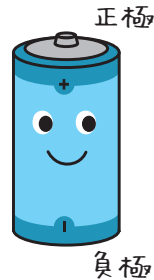
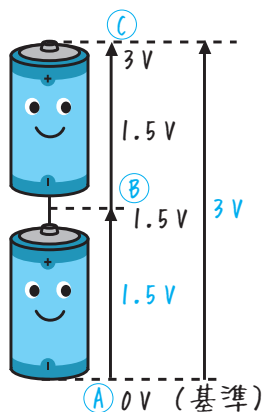


圖 1.6：電池的正極與負極

當電位出現差異，亦即產生電位差或電壓時，就會移動電荷。電壓也有正負之分，電位高的部分稱作**正極**，低的是**負極**。以圖 1.6 的電池為例，突起端是正極，平坦端是負極。我們常見的 3 號電池可以產生 1.5V 的電壓。

讓我們再深入瞭解電位、電位差、電壓。如圖 1.7 所示，串聯 2 個 1.5V 的 3 號電池。此時，**(A)** 的電位為基準 0V，**(B)** 的電位是 1.5V，**(C)** 的電位是 3V。

**(A)** 與 **(B)** 之間的電位差（電壓）是 1.5V，**(B)** 與 **(C)** 之間的電位差（電壓）是 1.5V，**(A)** 與 **(C)** 之間的電位差（電壓）是 3V。



電位		電位差（電壓）	
(A)	0V	(A)(B)之間	1.5V
(B)	1.5V	(B)(C)之間	1.5V
(C)	3V	(A)(C)之間	3V

圖 1.7：電位與電位差（電壓）

水與電荷的差異在於，電荷擁有正負。究竟電位差（電壓）是如何讓電荷移動的呢？請見圖 1.8。電荷同性相斥，異性相吸，因此正電荷會受到負極吸引，負電荷會被正極吸引。

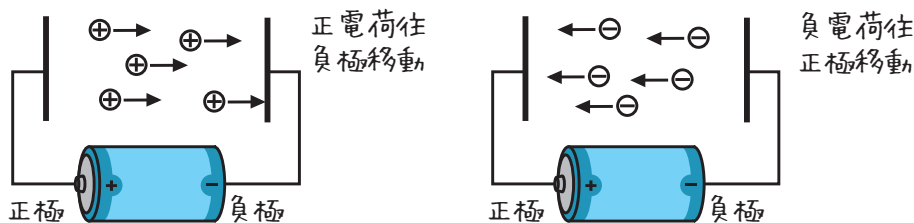


圖 1.8：電位差（電壓）會讓電荷移動



### ▶ 【電位差或電壓的作用】

電位差（或電壓）具有移動電荷的力量。

# 1-6 ▶ 電路圖的畫法



## ▶【電路圖】

可以輕鬆畫出電路。

到目前為止，都是畫出實物般的實體配線圖來說明電路。可是，今後在學習電學的過程中，經常要繪製許多電路圖，假如全都畫成實體配線圖，會非常麻煩。因此，可以用簡單明瞭的標示，在紙張上描述電路的方法，就是**電路圖**。

首先，電池的標示如圖 1.11 所示。長橫線是正極，短橫線是負極。圖 1.12 是電阻的符號。以前是用右邊的折線來代表電阻，但是現在已經改用左邊的長方形符號，本書使用的是新電阻符號，不過市面上仍有沿用折線來說明的書籍。



圖 1.11：代表電池的符號

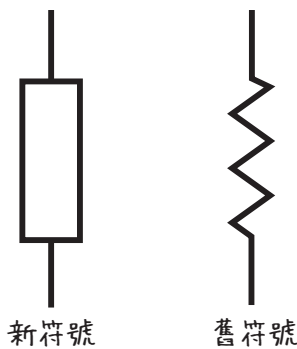
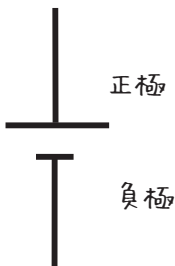


圖 1.12：代表電阻的符號

接下來，試著將最簡單的電路畫成電路圖吧！圖 1.13 的左邊是實體配線圖，將這張圖變成電路圖之後，會是右邊這個模樣。利用箭頭標示出電流的流向。請先分別畫出這兩種圖，哪一種比較輕鬆呢？

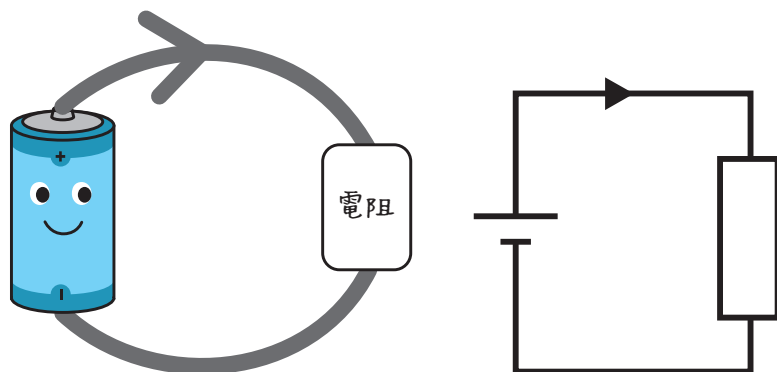


圖 1.13：最簡單的電路圖

接下來，要說明連接這些元件的電線畫法。當電路圖變得複雜，就可能出現電線彼此交錯的情況。此時，可以用圖 1.14 的方式來表示電線究竟有沒有連在一起。沒有黑色圓圈●，代表交叉不相連；若有黑色圓圈●，表示交叉相連。

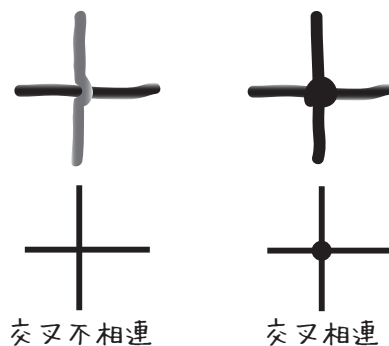
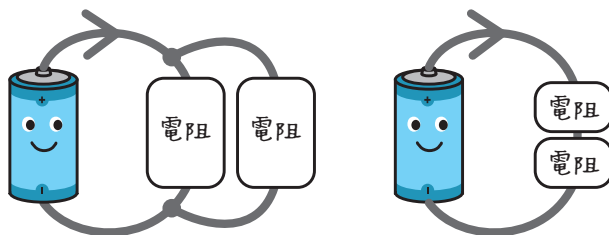


圖 1.14：電線的交叉狀態

**問 1-6** 請將以下兩張實體配線圖畫成電路圖。

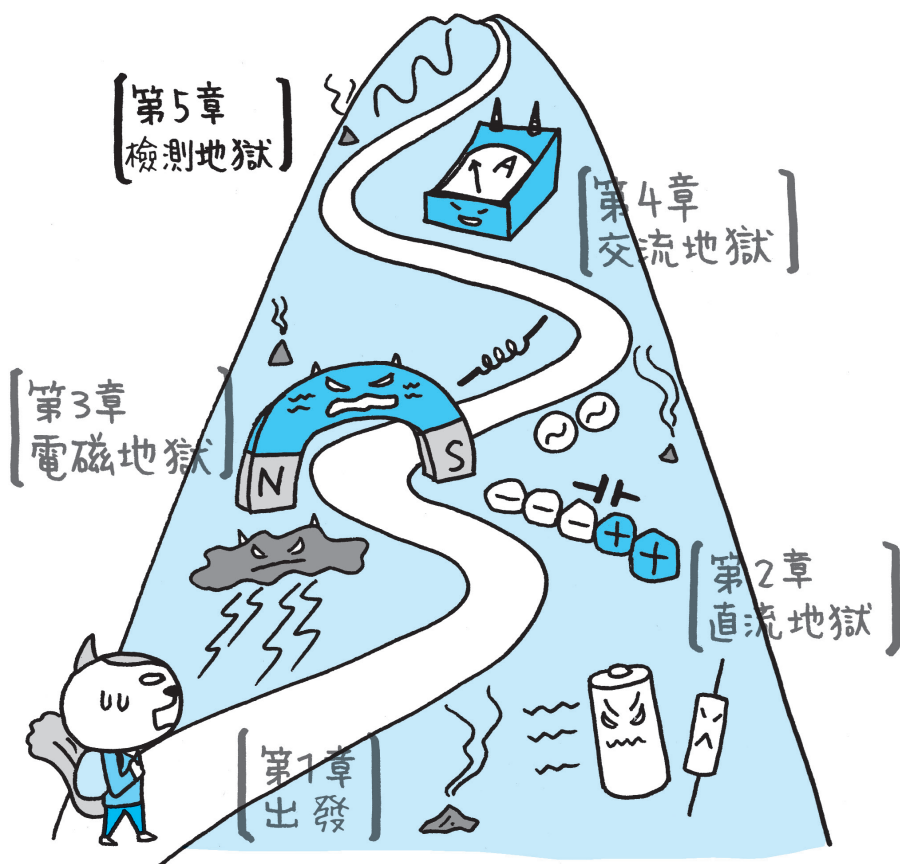


解答請見 P.188



# 第5章

## 測電



眼睛看不見人心，無法憑外表作出正確判斷。肉眼也看不到電，因此也沒辦法下判斷。不過，利用各種檢測儀器，就能看到電的存在。

# 5-1 ▶ 各種測量儀器



## ▶【眼睛看不到電卻可以】

透過指針擺動來判斷。

因為肉眼看不見電，所以測量電壓或電流時，必須想辦法讓眼睛看到。所以這個單元要學習如何測電。

以下要說明，將電流轉換成力，使指針擺動的**指針型電錶**。這裡利用了彈簧的性質來做說明。圖 5.1 是在彈簧吊掛各種重量，往下延伸的樣子。當重量愈重，亦即拉扯的力量愈強時，彈簧延伸的長度愈長<sup>\*1</sup>。

拉扯彈簧的力量愈強，  
延伸的長度愈長

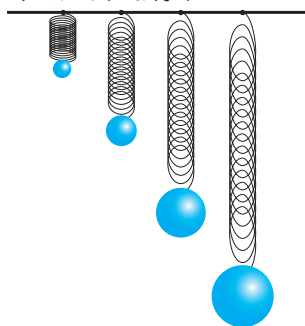


圖 5.1：彈簧的特性

通過的電流愈大，電磁石的電磁力愈強

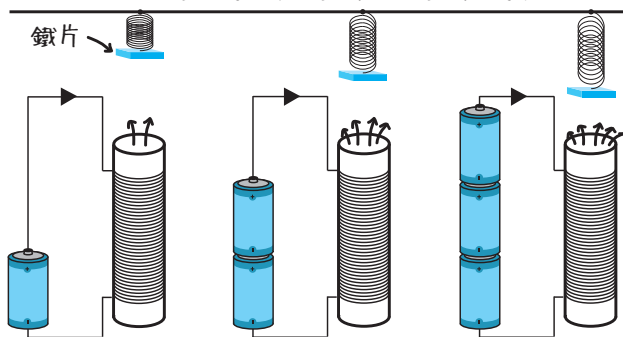


圖 5.2：電磁力與電流的大小成正比

利用這種特性，如圖 5.2 所示，在彈簧下方放置鐵片，以電磁石吸引鐵片。電流愈大，電磁石的作用愈強，所以彈簧會隨著電流大小而伸縮。看見彈簧伸縮的樣子，即可判斷電流的強弱。另外，在鐵片裝上指針，並且加上刻度，可以從彈簧延伸的長度算出彈簧上的作用力，再換算成電流即可。

\*1 更精準的說法是虎克定律 (Hooke's Law)。

接下來，要介紹兩種測量儀器，並且說明這些測量儀器如何測量電力。首先，請見圖 5.3，這是**永久磁石可動線圈型電錶**。顧名思義，這種電錶的結構是，兩側有永久磁石，線圈會在中間轉動。當要測量的電流通過線圈時，兩側磁石之間會產生電磁力，使指針擺動，對下面的漩渦狀彈簧施力，指針會停在彈簧的相斥力與電磁力達到平衡的位置。

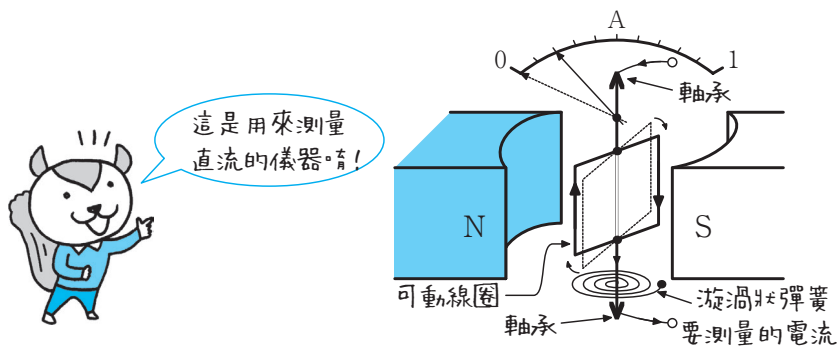


圖 5.3：永久磁石可動線圈型電錶

圖 5.4 是**可動鐵片型電錶**。按照圖 5.2 的說明，利用鐵片與電磁石之間產生的「相吸力」來移動鐵片。真正的可動鐵片型電錶是利用兩個鐵片的相斥力來測電。在兩個鐵片周圍放置電磁石，產生磁化現象，利用兩個鐵片的相斥力讓指針擺動。

永久磁石可動線圈型電錶是用來測量直流電，可動鐵片型電錶是測量交流電。

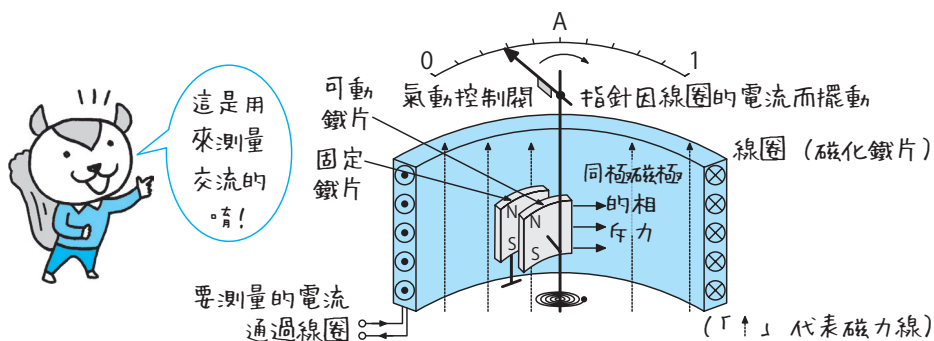


圖 5.4：可動鐵片型電錶

## 5-2 ▶ 各種測量法



### ▶【直接測量是否適合】

讀取刻度：直接測量法

經過計算得到結果：間接測量法

檢流計的符號用的是電流的單位 A (安培)，寫成  $\text{Ⓐ}$ ，而電壓計的符號是使用電壓的單位 V (伏特)，寫成  $\text{Ⓥ}$ 。檢流計是利用刻度來測量電流，電壓計是利用刻度來測量電壓。

這種直接用儀器取得測量數據的方法，稱作**直接測量法**。

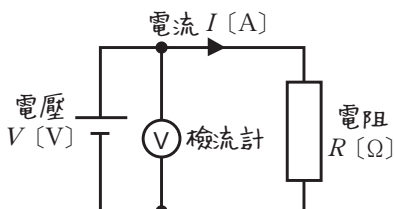


圖 5.5：測量電壓 (直接測量法)

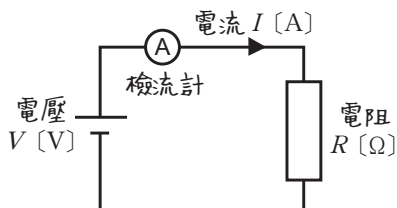


圖 5.6：測量電流 (直接測量法)

然而，利用儀器取得的數據，計算出不同量的方法，稱作**間接測量法**。如圖 5.7 所示，以檢流計及電壓計檢測電流  $I$  [A] 與電壓  $V$  [V]，根據歐姆定律

$$R = \frac{V}{I}$$

可以計算出電阻  $R$  [Ω] 的值。

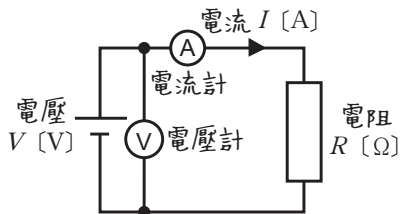


圖 5.7：測量電阻 (間接測量法)



## ▶【要看哪裡的刻度】

指針擺動再檢視刻度：位移測量法

指針歸零再測量：零位測量法

圖 5.8 是使用體重計測量體重的情形，體重計是直接用刻度顯示出體重（重量）。體重計在沒有放上任何東西時，基準為 0kg。這種以零為基準，以刻度看出指針擺動變化的測量方法，稱作**位移測量法**。

另一方面，圖 5.9 是使用上皿天秤測量重量的情形。上皿天秤的測量方法是，讓受測物體的重量與加上的重量相等，使指針顯示為零。此時，加上的重量就成為測定值。這種以物體為參考基準，讓指針顯示為零的測量方法，稱作**零位測量法**。



圖 5.8：體重計（位移測量法）

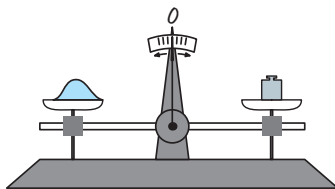


圖 5.9：上皿天秤（零位測量法）

位移測量法幾乎都用在測量電的儀器上。檢流計與電壓計都是利用位移測量法來做測量。使用零位測量法來測量電力的方式中，最有名的是，惠斯登電橋（Wheatstone bridge）<sup>\*2</sup>。圖 5.11 中，改變可變電阻  $R_Y$  [ $\Omega$ ]，當檢流計的指針歸零時，可以利用以下算式計算出未知電阻  $R_Y$  [ $\Omega$ ]。

$$R_X = \frac{R_Z}{R_W} R_Y$$

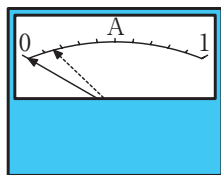


圖 5.10：檢流計（位移測量法）

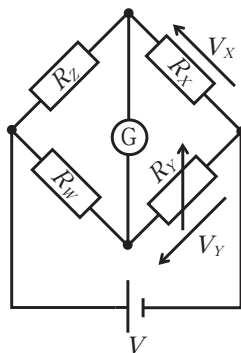


圖 5.11：惠斯登電橋（零位測量法）

\*2 請參考「2-11 惠斯登電橋」