

電學實驗室裡的示波器 與 V.T.V.M.

湯儒碩 77級

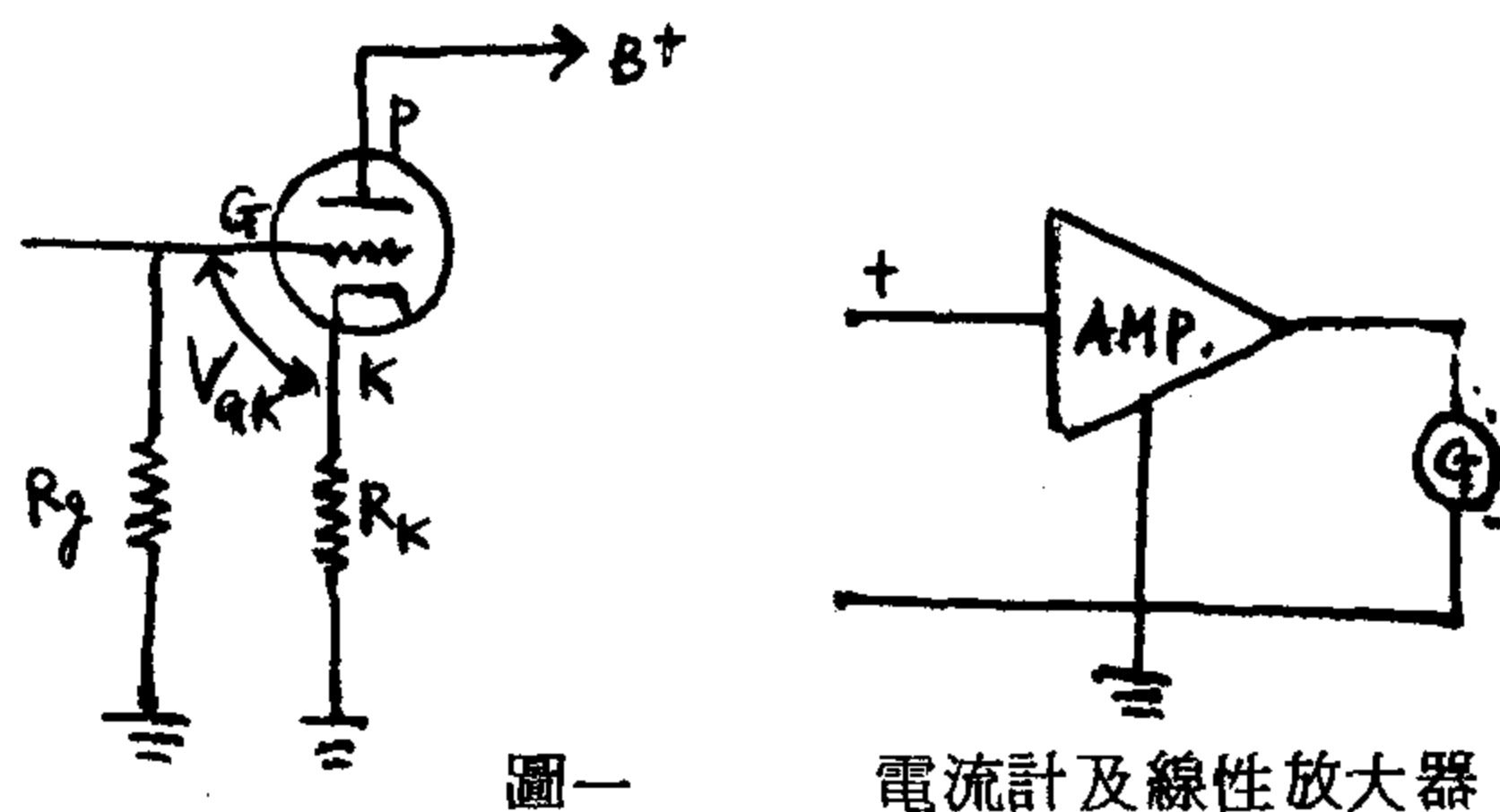
做了一學期的基物實驗Ⅲ，電學實驗，頗有一些感觸平常在我們日常生活中與各種電器接觸的機會非常多，可是大家從初中理化到高中物理，雖讀了些電學，却少有機會能動過電學中的測試儀器，就是最簡單的伏特計，安培計，我想在以前能很熟練使用的同學也為數不多，所以一做起電學實驗來真是「千頭萬緒」到處是線；常有一個老師認為一節課就可做完的實驗大家忙了三節還未見結果；因此我想就一學期來摸索的經驗歸納出一點心得，希望能對以後再做電學實驗的學弟能稍有益助。

首先介紹一下，我們電學實驗室裡所用的儀器，有五吋的示波器 V.T.V.M: Signal Generator; R.generator 及 D-C powersupply 使用最多，而且是賴以度量的是 V.T.V.M. 及示波器。

V.T.V.M. 是 Vacuum tube volt meter 的縮寫：在一般電學實驗室，使用的只是普通的三用電錶（常簡稱 V.O.M.），它是集伏特計，安培計及歐姆計於一身再加上一些開關的裝置；它使用起來容易構造也很簡單，可分析如下，伏特計是一電流計與高電阻 R_M 串聯的組合，在使用時與待測電路並聯，正端接於高電位，負端接於低電位，所指示的是兩端的電位差。安培計是電流計與低電阻 R_s 並聯的組合，在使用時與電路串聯，讓電流流過 R_s 及 G ；由圖上可知無論伏特計，或安培計都會因流過 G 的電流，造成測量誤差，更能影響待測電路偏移原來狀況，例如，安培計的加入等於多串一個電阻伏特計的加入等於再並一個電阻，當頻率高時還要考慮成更複雜的組合，與原電路串，並聯。為了減少這些誤差，也就是減少因測量儀器加入時所造成的改變；並聯的電阻要儘量大，串聯時電阻要儘量小。這樣要有靈敏度相當高的電流計才能如願；可是在常用的電流計能有 $100\text{ K}\Omega/\text{V}$ 的靈敏度（即 $10\ \mu\text{A}$ 滿刻度）就已經非常難得了，若是測量範圍也

是在這一數量級，它就無法再勝任了。

例如柵流為數 μA 的真空管，我們用 V.O.M 跨在 G.K 兩端（如圖 1）測它的負柵壓， $V_{G.K.}$ 由於 V.O.M 的內阻只有幾十 $\text{K}\Omega$ ，G.K 兩端就相當被短路掉，是得不出 V_{GK} 的，要是使用 V.T.V.M. 因它有 $10\text{ M}\Omega$ 左右的高阻抗在 G.K 兩端可得到相當的讀數。V.T.V.M 所以被使用還有能更精確值的原因即在此 V.T.V.M. 大體上的構造可如所示與 V.O.M 不同處就是把待測的訊號先經一線性放大器放大，再由

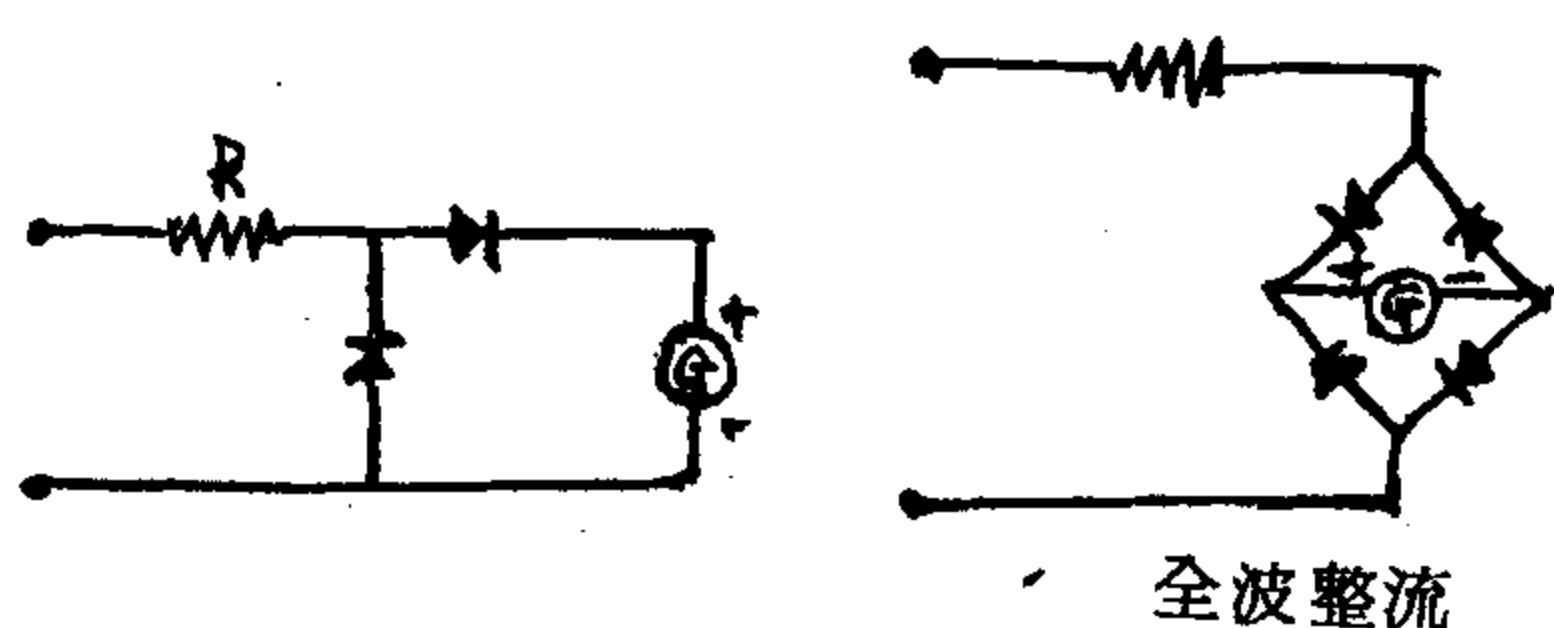


圖一

電流計及線性放大器

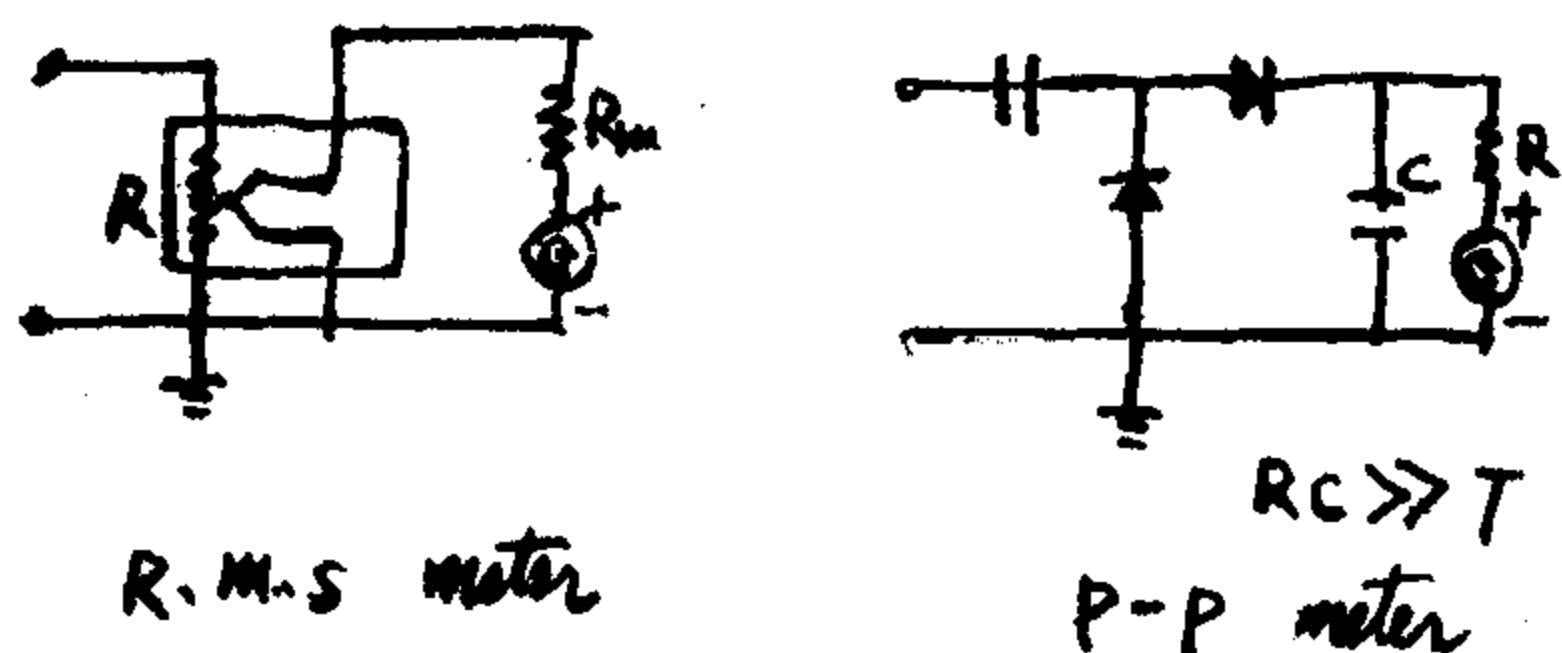
電流計指示出，這種組合以實驗室中普通 $500\ \mu\text{A}$ 的電流計，就可輕鬆的有 $10\text{ M}\Omega$ 的阻抗。

以上的問題都集中在直流線路部分，電流、電壓的測量很單純，若是對一隨時間而變的週期波，我們的測量問題還包括怎樣得到峰對峰值 (p-p value) 均方根值 (r.m.s value) 或稱有效值，及平均值 (mean value)，這些名詞我們以正弦波為例，來看其表示的意義；電錶指針的擺動有著很大的慣性，所指示的只不過是一種平均效應而已，也就是平均值，所以測量週期波時先要經過整流（如圖 2），對 p-p 值與 r.m.s 值，常要靠某些輔助裝置才能測得（如圖 3）r.m.s 錶是依 $P = I^2 R$ 或 $\frac{V^2}{R}$ 的形式先將電



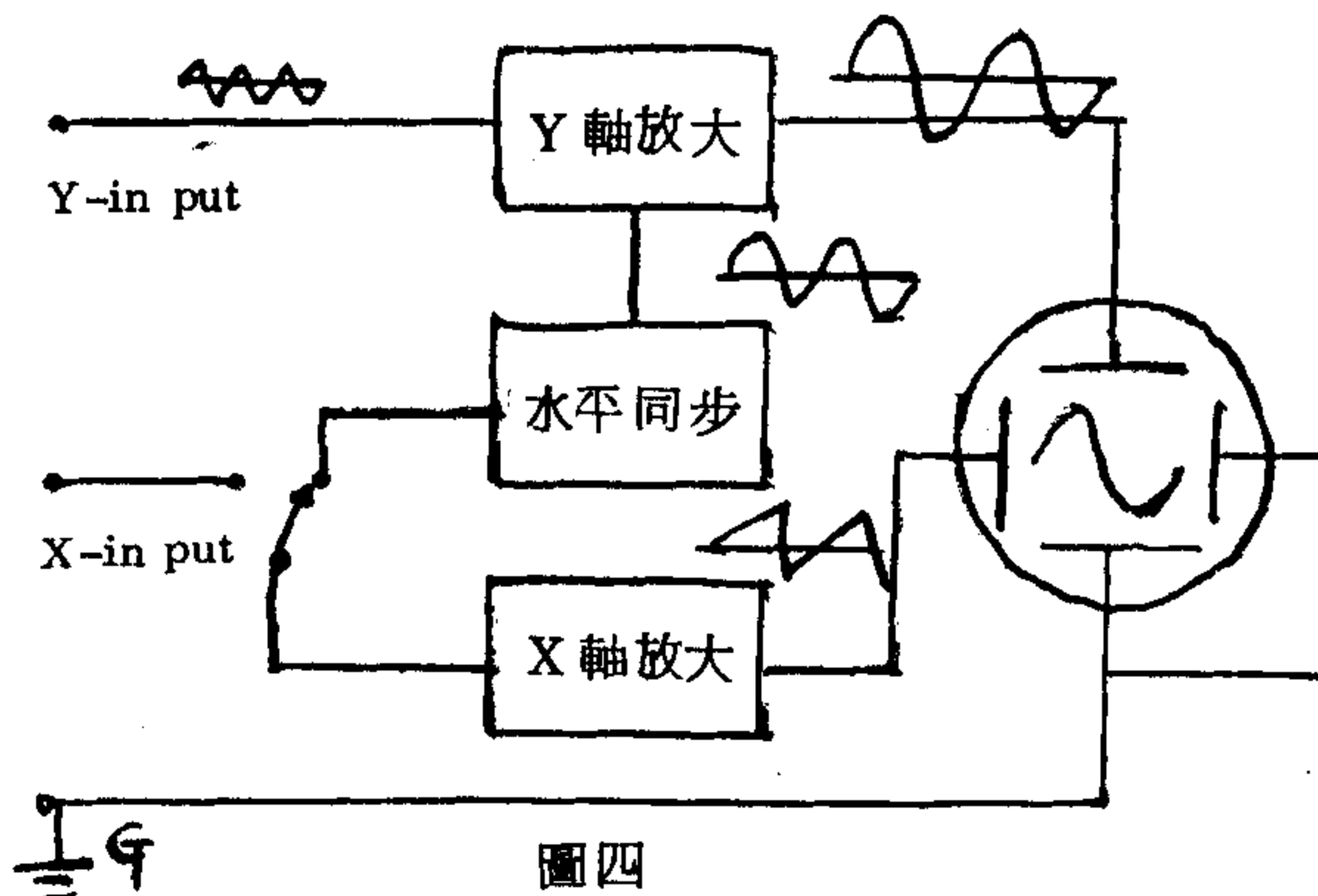
圖二 電錶中用的半波整流電路

能換成熟，再由電阻 R 及熱電偶與外界平衡造成的電位差來讀得 r.m.s 值前，圖中說到平均值與 r.m.s 值有一固定的比值，這只是對正弦波而言，由於無論是 V.O.M 或 V.T.V.M 要是不加特殊裝置，對非正弦波是無法得到正確的讀數的，對一未知訊號，其波形常亦是未知，現以一方波和一包含有直流成份的正弦波，他們在電錶上可有相同的讀數，但有截然不同的特性及計算，所以對這些示知的波形，我還常靠示波器的顯示，才能最方便且較完全的得到一些資料。



圖三

在交流的測量儀器中除了與直流一樣有對 source 強弱的靈敏度外，還包括一項隨時間應變的能力，常被稱為頻率響應 (frequency responses)，這個意思是說儀器與 source 間總是會有「相差」與「滯阻」的現象，相差頂多只是使儀器顯示的時間延遲而已，但滯阻就像個拖泥帶水的動作，對一些變化快的地方含糊的一筆帶過，表現出「誠實」的結果來，最明顯的例子就是方波的響應 (response) 在我們的示波器中，頻率太低或太高的方波看起來常是被「扭曲」或「平滑化」這原因是儀器，對太高的頻率根本無法反應，而方波由傅立葉函數的分析可看成是由許多正弦波的重合，儀器只能對不太高的頻率顯示出來，所以顯示的波形只是分波的近似而已，因此變化太快的部分被平滑掉了。



圖四

示波器所以能將週期波穩定的表現在畫面上是將週期波依 $T/2T$ 或 $3T$ ……截成等長度的週期波上圖 4 是以 T 截開)，重複「凍結」的展示在銀幕上，由圖中可知示波器是 X，Y 兩軸電場對電子束合力的表現，X 軸有時稱為時軸，在知道 X 軸鋸齒波的掃描時間 T 後，就可以此做時間基底，量出波形上的 Δt ；示波器特性中對訊號的靈敏度常用 V/cm 來表示，還有一項對瞬時應變的能力叫昇起時間 (Rise time) 即是由 10% 振幅上升到 90% 振幅所須的時間；造成 Rise time 的原因前面已述過；它與 Intensity 不同，無法在放大後得到改善，因為放大器本身的 response 常是非線性的，所以放大後的訊號 Rise time 一定變長，這使我們對 Intensity 與 response 間常造成一選擇，Intensity 好時常會使 response 惡化，在電路上只有靠 feedback 來改善它們。在我們實際操作時還會有儀器本身引線的電容效應及電感效應，這些作用雖不算大但常是造成理論與實驗不合的原因，看下面一等效圖 (見圖 5)，當 ω 很大時，由 source 經電感 L 與電容 C 的分路與衰減，實際到達放大器的功率只有輸入的一小部分而已；例如在做 Diode 的 Modulation 及加逆向偏壓當做 variable capacitor 的實驗，這些效應的影響就非常大了，也許在沒有適當處理時，不但得不到想看到東西，有時還會引入不必要的干擾造成錯誤的結果。

以上我所介紹的只是這兩部儀器，使用時所應知道的最基本知識而已，在實際使用上技巧繁多，但不泛都必須受到這些基本的約束。