

利用酸或鹼性物質調整 pH 值

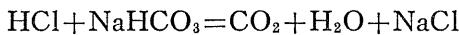
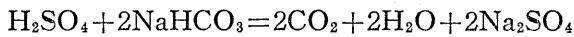
陳秋楊*

由於水化學家所用術語與一般化學家所用術語有些不同，因此為了決定所需的酸量或鹼量，以改變水質至期望的 pH 值，在實用上常造成困擾，本文即為提出一套簡易決定添加酸或鹼性物質所需量的方法，以達最終的 pH 值。

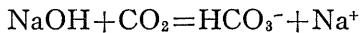
就鹼度 (Alkalinity) 而言，水化學家所指的鹼度乃包括水中所含的氫碳酸根 (HCO_3^-) 碳酸根 (CO_3^{2-}) 與氫氧根 (OH^-) 等離子濃度，並通常以碳酸鈣的當量表示，寫為 mg/L as CaCO_3 。測定水樣中總鹼度的方法主要採用甲基橙滴定法，即以甲基橙為指示劑，以酸性標準液滴定水樣至終點變色，此時水之 pH 值約為 4.5。因此，總鹼度又稱為甲基橙鹼度。一般經驗，若水樣之 pH 值在 9.5 以下時，滴定法求得之總鹼度僅包含氫碳酸根與碳酸根之離子濃度，而無氫氧根之鹼度存在。

就酸度 (Acidity) 而言，水化學家所指的酸度乃是水中所含溶解的游離二氧化碳，一般以 mg/L CO_2 表示酸度的大小，滴定法以酚酞試劑為指示劑，利用鹼性標準液滴定水樣至終點變色，此時水之 pH 值約為 8.3。

當酸性物質加入水溶液中，一方面水中的二氧化碳濃度增加，另一方面水中的 HCO_3^- 與 CO_3^{2-} 濃度減少，其反應方程式如下：



若將鹼性物質加入水溶液中，則發生二氧化碳濃度減少而 HCO_3^- 與 CO_3^{2-} 濃度增加的現象，其反應方程式如下：



假設水中加入單位量酸或鹼性物質（以 mg/L 表示）後，其鹼度之改變量為 "a" mg/L as CaCO_3 ，此時 a 值可由當量換算而得：若添加 100% 硫酸 (H_2SO_4) 時，

$$a = \frac{100.09/2}{98.08/2} = 1.0205$$

若添加 100% 鹽酸 (HCl) 時，

$$a = \frac{100.09/2}{36.461/1} = 1.3726$$

若添加 100% 氢氧化鈉 (NaOH) 時，

* 國立中興大學環境工程學系教授
本小組委員

$$a = \frac{100.09/2}{40.0/1} = 1.251$$

同理，當水中加入單位量酸或鹼性物質（以 mg/L 表示）後，所含二氧化碳濃度的變化量為 “C”mg/L CO₂，則 C 值可由當量換算而得：

若添加100%硫酸時，

$$C = \frac{2 \times 44.01}{98.08} = 0.8974$$

若添加100%鹽酸時，

$$C = \frac{44.01}{36.461} = 1.207$$

若添加100%氫氧化鈉時，

$$C = \frac{44.01}{40.0} = 1.10$$

今以 R 表示甲基橙鹼度對游離二氧化碳濃度之比值，其單位為 mg/L as CaCO₃ 比 mg/L CO₂，若水溶液的 pH 值介於 5 至 8 之間，則 R 與 pH 值有如下近似關係：

$$pH = \log R + 6.3 \quad (1)$$

$$R = 5.0 \times 10^{(pH-7)} \quad (2)$$

若再定義下列符號：

A = 所添加酸量，mg/L

T = 所添加鹼量，mg/L

註腳“o”表示初始濃度值，“d”表示期望（最終）濃度值。

則

$$R_a = \frac{(甲基橙鹼度)_o - aA}{(二氧化碳)_o + cA} \quad (3)$$

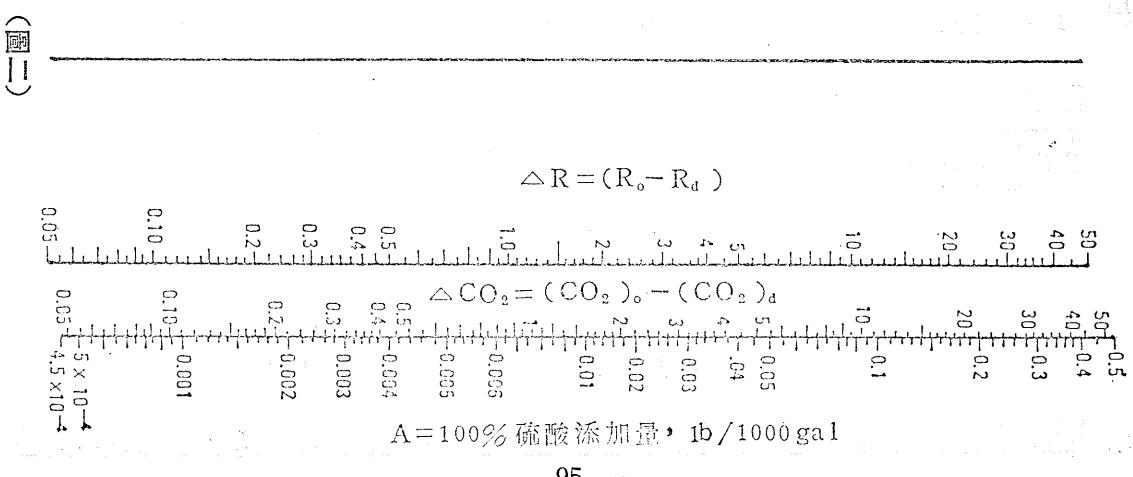
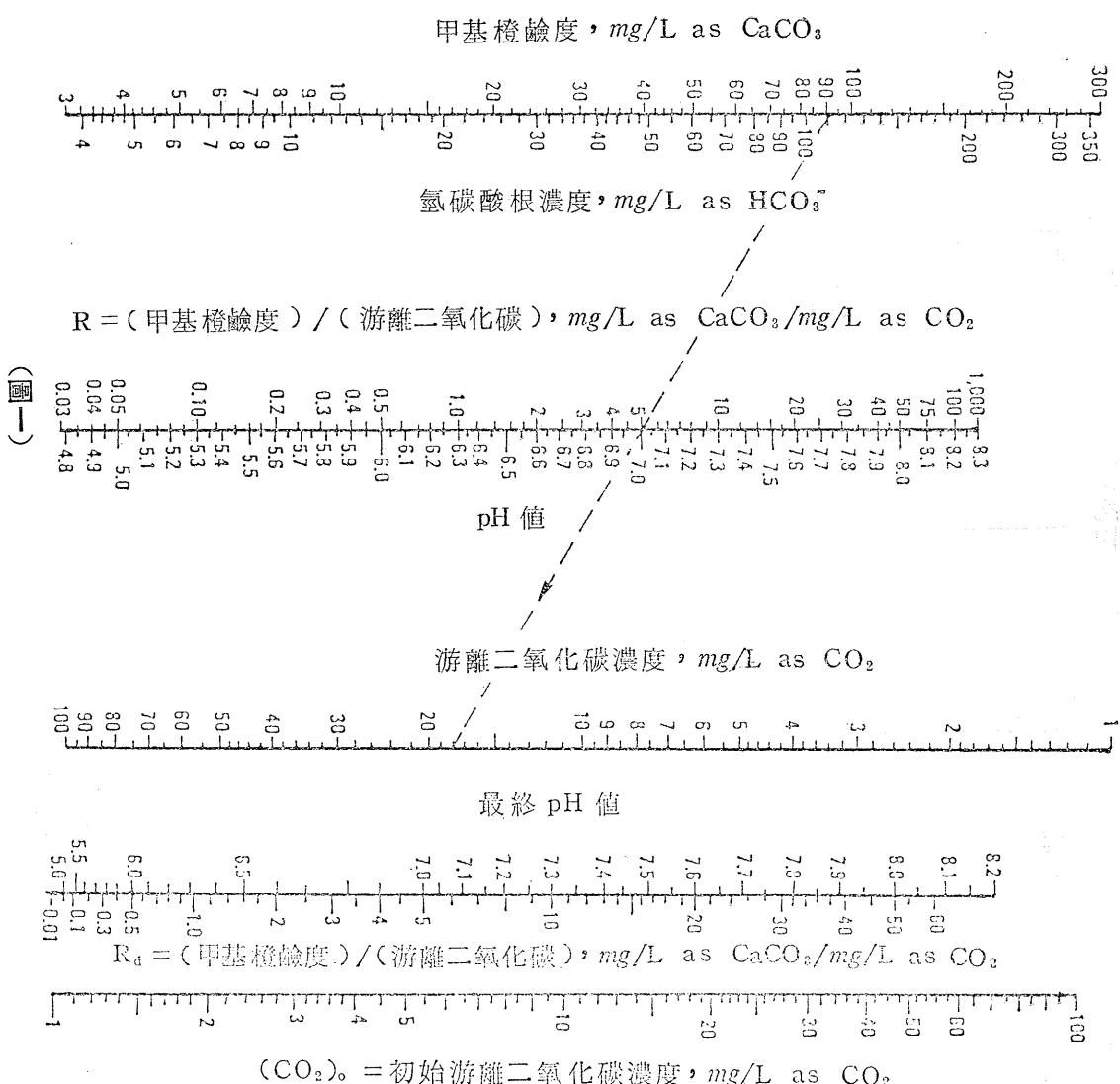
$$R_d = \frac{(甲基橙鹼度)_d + aT}{(二氧化碳)_d - cT} \quad (4)$$

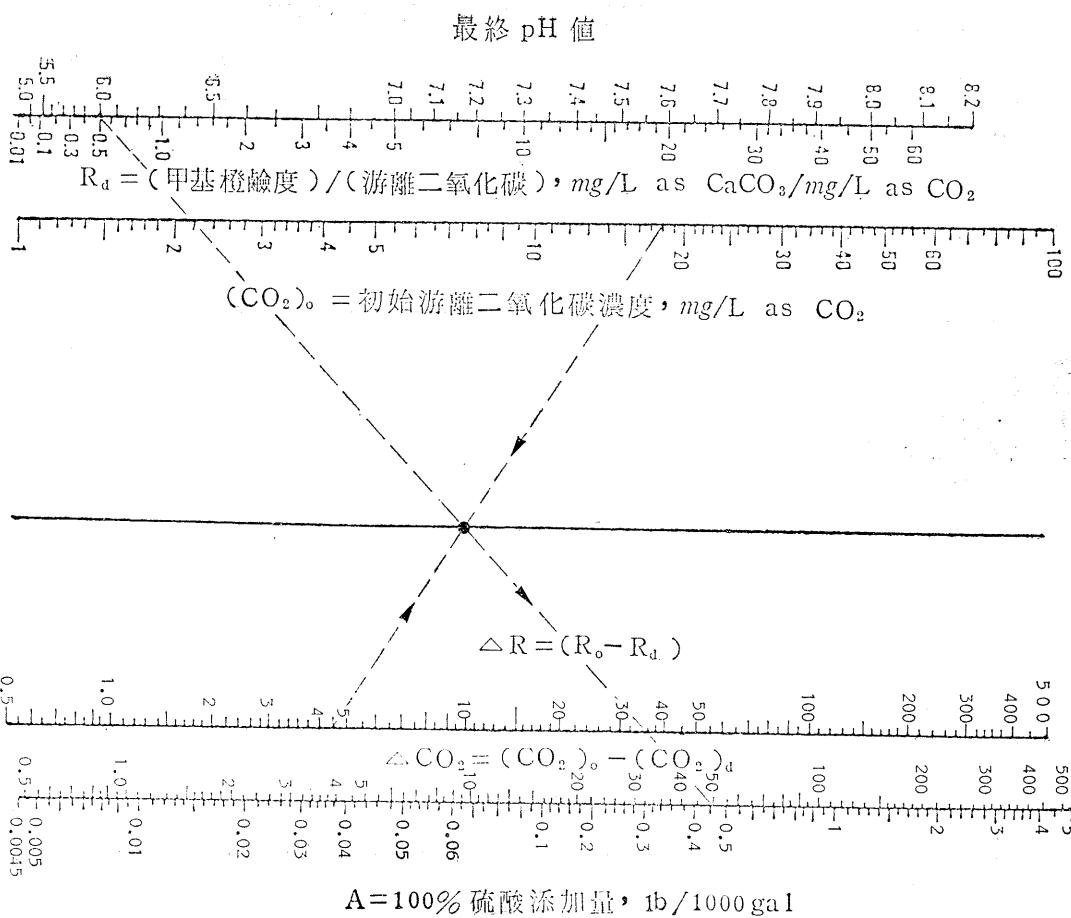
$$A = \frac{(二氧化碳)_o (R_o - R_a)}{a + cR_a} \quad (5)$$

$$T = \frac{(二氧化碳)_d (R_d - R_o)}{a + cR_d} \quad (6)$$

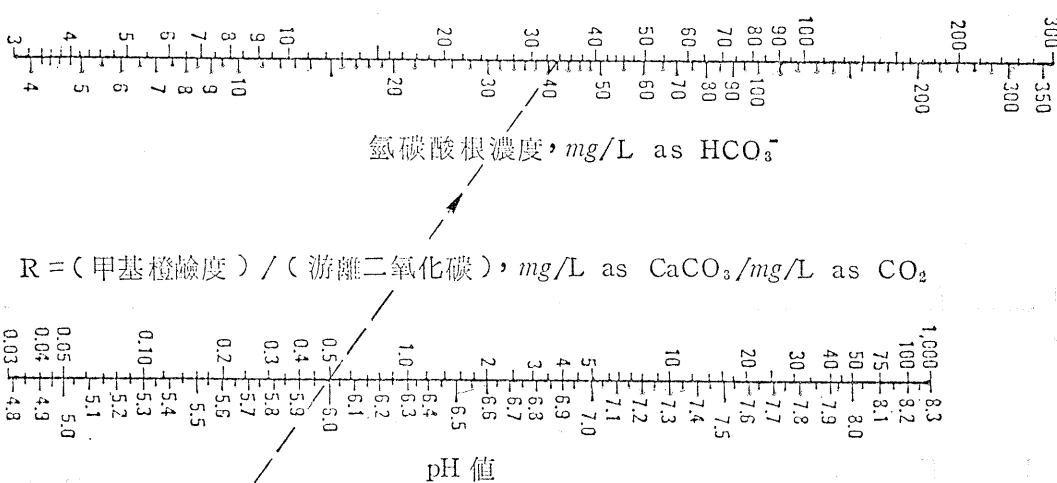
若擬以英制單位表示，將 mg/L 之值除以 120，即得單位為 lb/1000gal 之數值。

今將前述關係式改為圖解關係如圖一與圖二所示，圖中 A 值採用硫酸（100%純度）為例，若改用鹽酸時，須將圖中 A 值乘以 0.7435，若為氫氧化鈉則乘以 0.8157，若為氫氧化鈣 Ca(OH)₂ 則乘以 0.7555。若將圖二中的 (CO₂)_o 或 ΔR 乘以某一倍率，則 ΔCO₂ 與 A 之數值亦須對應乘以同一倍率（參見例題）。

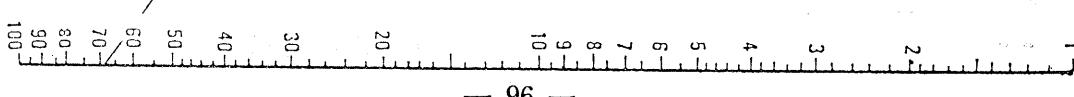




甲基橙鹼度, mg/L as CaCO_3



游離二氧化碳濃度, mg/L as CO_2



(圖三)

(圖四)

[例題] 已知水中含氫碳酸根 110mg/L , pH 值為 7.0, 欲添加鹽酸 (18°Baume , 比重 1.1417, 密度 9.514lb/gal , 純度 27.92%) 使 pH 值降為 6.0, 若流量為 166.7 gpm , 則鹽酸之添加量為若干? 此時, 水中之氫碳酸根濃度與游離二氧化碳含量各為若干?

[解]

於圖一中, 自 HCO_3^- 濃度為 110mg/L 與 pH 值為 7.0 聯一直線, 求出游離 CO_2 濃度為 18mg/L , 甲基橙鹼度為 90mg/L as Ca CO_3 , R 值 (即 R_a) 為 5.0。當 pH 值為 6 時, 利用式(2)求得 R 值,

即

$$R_a = 5.0 \times 10^{(6-7)} = 0.5$$

或由圖一中間座標軸亦可讀得 pH 值與 R 之關係。因此

$$\Delta R = R_o - R_a = 5.0 - 0.5 = 4.5$$

再利用圖二將 ΔR 、 ΔCO_2 與 A 座標各乘以 10 倍如圖三, 自 $\Delta R = 4.5$ 與 $(\text{CO}_2)_o = 18$ 聯線交參考線一點, 由此點聯接 $R_a = 0.5$, 讀出 100% 硫酸添加量為 $A = 0.46\text{lb}/1000\text{gal}$, 且 $\Delta \text{CO}_2 = 50\text{mg/L}$, 因此最終游離二氧化碳濃度為

$$(\text{CO}_2)_a = (\text{CO}_2)_o + \Delta \text{CO}_2 = 18 + 50 = 68\text{mg/L}$$

另由圖一 (示如圖四) 聯接 $R_a = 0.5$ 與

$(\text{CO}_2)_a = 68$, 求得 $(\text{HCO}_3^-) = 41\text{mg/L}$, 且甲基橙鹼度為 34mg/L as CaCO_3 , 故所需添加 27.92% 鹽酸之量為

$$\frac{0.46 \times 0.7435}{0.2792} = 1.225\text{lb}/1000\text{gal}$$

或 $1.225 \times \frac{166.7}{1000} = 0.2042\text{lb/min}$ or 12.25 lb/hr

附註：本文取材自“Chemical Engineering” July 4, 1977, P.143-144