

實驗七 中和熱

一、目的

利用咖啡杯卡計進行強酸、強鹼及弱酸、強鹼的中和反應，測得中和熱。



圖 7-1 秤取 NaOH



圖 7-2 酸的配製



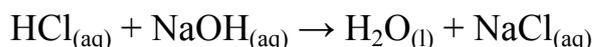
圖 7-3 使用卡計和電子溫度計

二、原理

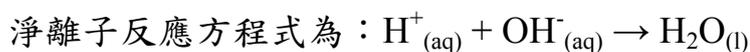
化學反應伴隨著能量(energy)的改變，熱(heat)是能量的一種形式。定容(constant volume)下反應，內能的變化值 ΔE (internal energy) = q (heat) + w (work)， $w = -pdv$ ，所以 $\Delta E = q_v$ ；定壓(constant pressure)下反應，定義 H (enthalpy) = $E + pv$ ，則 $\Delta H = \Delta E + pdv = q_p$ 。即定壓條件下(幾乎大部分的反應皆在定壓下進行)，測得反應的能量值(q_p)即得此反應焓的變化值(ΔH)。 $\Delta H > 0$ 為吸熱反應(endothermic reaction)， $\Delta H < 0$ 為放熱反應(exothermic reaction)。

不同類型的化學反應，有不同類型的反應熱。例如：一莫耳物質完全燃燒，所放出的熱量為燃燒熱($\Delta H_{\text{combustion}}$)；由穩定元素形成一莫耳化合物為生成熱($\Delta H_{\text{formation}}$)；一莫耳元素分子解離成原子為解離熱($\Delta H_{\text{dissociation}}$)；一莫耳物質溶於大量溶劑所放出或吸收的熱量為溶解熱($\Delta H_{\text{dissolution}}$)；本實驗進行酸鹼反應生成一莫耳水時所放出的熱量稱為中和熱($\Delta H_{\text{neutralization}}$)。

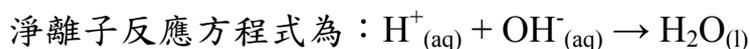
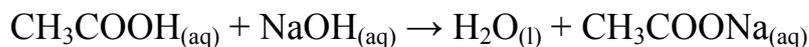
當鹽酸水溶液和氫氧化鈉水溶液反應時，酸的氫離子，(hydrogen ion, H^+)與鹼的氫氧根離子(hydroxide ion, OH^-)結合成水，鈉離子與氯離子形成水溶性且為中性的氯化鈉鹽類，反應方程式如下：



$$\Delta H = -13.6 \text{ Kcal/mol} = -56.9 \text{ KJ/mol}$$

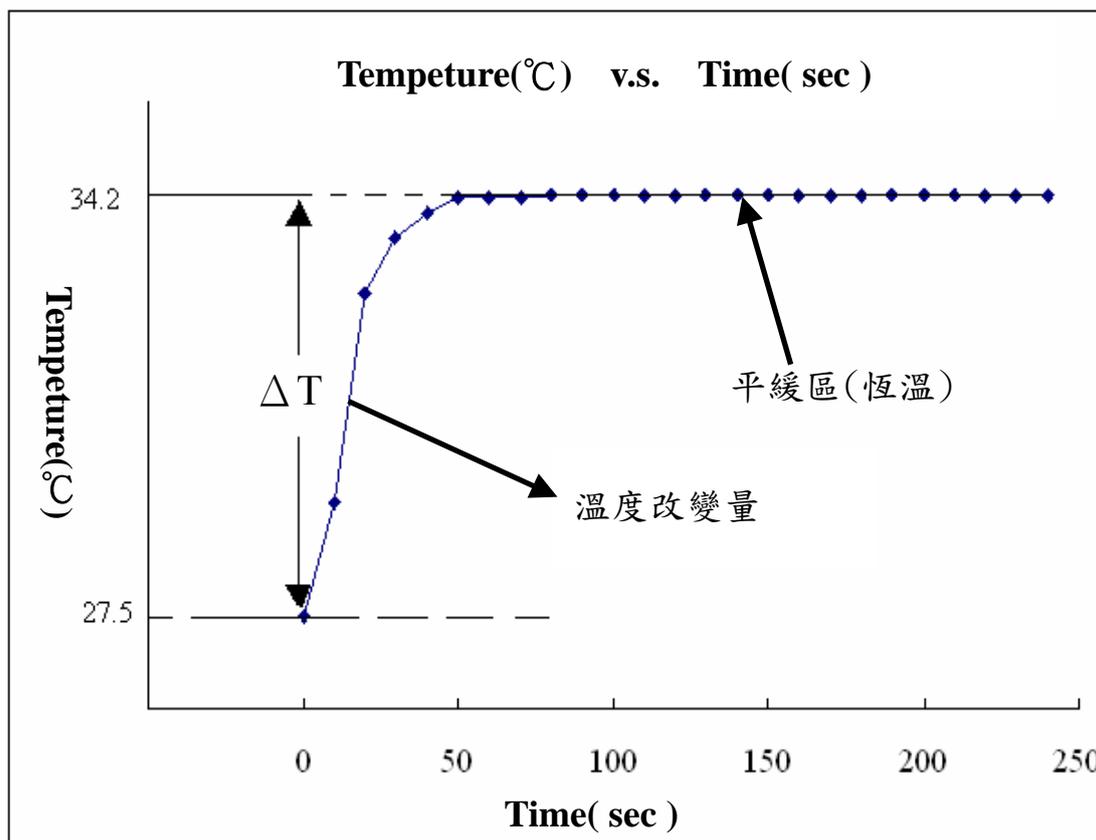


當弱酸水溶液和強鹼水溶液反應時，本實驗進行醋酸水溶液和氫氧化鈉水溶液的中和反應，醋酸的氫離子和氫氧化鈉的氫氧根離子結合成水，醋酸根離子與鈉離子形成水溶性微鹼的醋酸鈉，反應式如下：



本實驗利用兩個保麗龍杯(Styrofoam cup)套疊在一起，蓋上圓形保麗龍蓋，蓋子上戳一小孔，置入電子式溫度計的探棒，此裝置視同隔絕系統(isolation system)，系統本身與外界沒有物質(mass)和能量(energy)的交流。此裝置即為咖啡杯卡計，此卡計的熱容(heat capacity)是使卡計上升 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所需要的能量，以 C_p 表示，單位是 $\text{Joule}/^{\circ}\text{C}$ 。

比熱 S (specific heat capacity)是使 1 g 物質上升 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所需吸收的能量(Joule，焦耳)。水的比熱為 $4.184\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ 。 m 克水，溫度改變 Δt ，則熱量值為 $m \times s \times \Delta t$ ，當溫度上升， $\Delta t > 0$ ，則 $q > 0$ ，系統吸熱；當水溫下降， $\Delta t < 0$ ，則 $q < 0$ ，系統放熱。



本實驗分成三部分進行：

- A. 將冷熱水混合成溫水，熱水放出熱量，冷水及咖啡杯卡計吸收熱量。求出卡計的熱容(C_p)。

$$Q = m(\text{g}) \times S(\text{J/g}^\circ\text{C}) \times \Delta t(^\circ\text{C}) \rightarrow \Delta t \text{ 如上頁圖}$$

$$50 \text{ g}_{\text{熱水}} \times 4.184(\text{J/g}^\circ\text{C}) \times (t_{\text{熱水}} - t_{\text{mix}})$$

$$= 50 \text{ g}_{\text{冷水}} \times 4.184(\text{J/g}^\circ\text{C}) \times (t_{\text{mix}} - t_{\text{冷水}}) + C_{p(\text{卡計熱容})} \times (t_{\text{mix}} - t_{\text{冷水}}) \text{---式(1)}$$

- B. 混和強酸與強鹼求得中和熱，鹽酸水溶液與氫氧化鈉水溶液的初始溫度為 T_{initial} ，中和後中和反應為放熱反應，致使中和液溫度上升以 T_{mix} 表示，則強酸強鹼中和所放出的熱量被 100 mL 的中和液(視同 100 g 的水)及卡計所吸收。將此放熱值除以酸或鹼的莫耳數，即得每莫耳酸鹼中和熱，以 $\Delta H_{\text{neutralization}}(\text{KJ/mol})$ 表示。

$$\Delta H(\text{kJ/mol}) = \frac{100 \text{ g} \times 4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C} \times (T_{\text{mix}} - T_{\text{initial}}) + C_p(T_{\text{mix}} - T_{\text{initial}})}{0.050(\text{mol酸或鹼})} \times 10^{-3} \text{---式(2)}$$

- C. 混合弱酸與強鹼求得中和熱，醋酸水溶液與氫氧化鈉水溶液進行酸鹼中和，原理與 Part B 相同，求得每莫耳酸鹼中和熱，以 $\Delta H_{\text{neutralization}}(\text{KJ/mol})$ 表示。

實驗室中酸、鹼濃溶液濃度計算：

$$\text{密度}(\text{Kg/L}) \times 10^3 (\text{g/Kg}) \times w/w(\%) / \text{F.W.}(\text{g/mol}) = M_{\text{濃溶液體積莫耳濃度}}$$

三、藥品

1. 冷水：50 mL，使用自來水即可。
2. 熱水：50 mL，助教提供，不必自行加熱。
3. 氫氧化鈉(Sodium hydroxide, $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$): 每組配 1.0 M 100 mL，秤取 4.00 g $\text{NaOH}_{(\text{s})}$ ，加去離子水溶解後稀釋到 100 mL 體積量瓶的標線。
4. 鹽酸(Hydrochloric acid, $\text{HCl}_{(\text{aq})}$): 每組配 1.0 M 50 mL，吸取 4.2 mL 濃鹽酸加入水中稀釋至 100 mL 體積量瓶標線。
5. 醋酸(Acetic acid, $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$): 每組配 1.0 M 50 mL，吸取 2.9 mL 冰醋酸加入水中稀釋至 100 mL 體積量瓶標線。

四、器材

A. 抽屜拿出：

1. 燒杯：50 mL
2. 漏斗
3. 玻棒
4. 體積量瓶：50 mL

B. 助教發配，實驗後歸還：

1. 電子溫度計
2. 電子計時器
3. 保麗龍杯 × 2
4. 保麗龍杯蓋 × 2
5. 塑膠體積量瓶：100 mL

五、步驟

A. 冷水、熱水混合

1. 將兩個保麗龍杯套疊在一起，備好已戳一小孔的圓形保麗龍杯蓋，成為卡計杯(calorimeter cup)。
2. 以 100 mL 量筒量取 50 mL 自來水，倒入卡計杯中，蓋上杯蓋，放進電子溫度計的感溫棒，靜置 3 分鐘，記錄溫度到 0.1 °C(量測溫度時，勿使感溫棒接觸到杯底)。
3. 量取 50 mL 自來水放入 100 mL 燒杯中，以加熱板緩和加熱至水溫比室溫高約 15 ~20 °C(由助教統一提供熱水)，量測並記錄此熱水溫度。
4. 掀開卡計杯蓋迅速倒入熱水，蓋上杯蓋，插入感溫棒並開始計時，每 10 秒記錄溫度，以感溫棒稍加攪拌，感溫棒勿碰觸杯壁及杯底。共記錄 3 分鐘。
5. 以冷水溫度為 y 軸起點，溫度對時間(秒)作(Excel)圖。
6. 取 30 秒後的數據，溫度對時間作 Excel 圖，得 $y = mx + b$ 的線性方程式，當 $x = 0$ 時，y 值即為混合時的溫度 t_{mix} 。
7. 將數據代入式(1)得卡計熱容 C_p (J/°C)。

B. 強酸、強鹼混合

1. 倒掉卡計中的溫水擦拭卡計及溫度計。
2. 配製 1.0 M NaOH_(aq) 100 mL。
 - (1) 用 100 mL 燒杯盛裝，秤 NaOH_(s) 4.0 克。
 - (2) 加入約 60 mL 去離子水，以玻棒攪拌加速 NaOH_(s) 溶解。
 - (3) NaOH_(s) 全部溶解後，以漏斗盛接，將溶液沿玻棒倒入 100 mL 塑膠體積量瓶，以少許去離子水潤洗燒杯及漏斗，且將此洗液集中至體積量瓶內。
 - (4) 用滴管加入去離子水至體積量瓶的標線，蓋上瓶蓋，搖晃均勻。
3. 量取 1.0 M NaOH_(aq) 50 mL，倒入卡計杯中，蓋上杯蓋，放入感溫棒，使系統平衡 3 分鐘，量測並記錄溫度。
4. 配製 1.0 M HCl_(aq) 50 mL：
 - (1) 50 mL 體積量瓶中先裝好約 40 mL 去離子水。
 - (2) 在抽風櫥中用 5 mL 吸量管(公用)吸取 4.2 mL 的濃鹽酸。
 - (3) 將溶液排入 50 mL 體積量瓶中，蓋上瓶蓋，回到實驗座位。
 - (4) 用滴管加入去離子水至體積量瓶的標線，蓋上瓶蓋，搖晃均勻。
5. 將 1.0 M HCl_(aq) 50 mL 倒入 100 mL 燒杯中，放入感溫棒，使系統平衡 3 分鐘後，量測溫度，需與 NaOH_(aq) 的溫差在 0.5°C 以內，可稍升(降)溫微調此鹽酸溶液的溫度。
6. 掀開卡計杯蓋，將 HCl_(aq) 迅速倒入，蓋上杯蓋，插入感溫棒並開始計時，每 10 秒記錄溫度，以感溫棒稍加攪拌。共記錄 3 分鐘。
7. 以 NaOH_(aq) 溫度為 y 軸起點，溫度對時間(秒)作(Excel)圖。
8. 取 30 秒後的數據，溫度對時間作 Excel 圖，得 $y = mx + b$ 的線性方程式，當 $x = 0$ 時，y 值即為 t_{mix} 。

9. 將數據代入式(2)得酸鹼中和熱 $\Delta H_{\text{neutralization}}$ (KJ/mol)。

C. 弱酸、強鹼中和

1. 配製 1.0 M $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 50 mL。

(1) 50 mL 體積量瓶中先裝好約 40 mL 去離子水。

(2) 在抽風櫥中用 5 mL 吸量管(公用)吸取 2.9 mL 的濃醋酸。

(3) 將溶液排入 50 mL 體積量瓶中，蓋上瓶蓋，回到實驗座位。

(4) 用滴管加入去離子水至體積量瓶的標線，蓋上瓶蓋，搖晃均勻。

2. 將 B 部份的 1.0 M $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 改成 1.0 M $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ ，其餘步驟皆相同。

六、數據與結果：

Part A：冷水、熱水混合

1. 冷水溫度：_____ °C 熱水溫度：_____ °C

2.

時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)
0		50		100		150	
10		60		110		160	
20		70		120		170	
30		80		130		180	
40		90		140			

3. 以冷水溫度為 y 軸起點，溫度(y 軸)對時間(x 軸)利用 Excel 作圖(一)。

4. 取 30 秒後的數據，溫度對時間利用 Excel 作圖(二)

<p>圖(一)</p> <p style="text-align: center;">貼圖區</p>	<p>圖(二)</p> <p style="text-align: center;">貼圖區</p>
---	---

5. 圖(二)之線性方程式： $y = \underline{\hspace{2cm}} x + \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R^2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $x = 0, y = t_{\text{mix}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C}$

6. 將數據代入原理中的式(1)，列式如下：

(算式)_____

得卡計熱容 $C_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J/}^\circ\text{C}$

Part B、強酸、強鹼混合

1. $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溫度： _____ $^{\circ}\text{C}$ $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 溫度： _____ $^{\circ}\text{C}$

2.

時間 (sec)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)						
0		50		100		150	
10		60		110		160	
20		70		120		170	
30		80		130		180	
40		90		140			

3. 以 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溫度為 y 軸起點，溫度(y 軸)對時間(x 軸)利用 Excel 作圖(一)。

4. 取 30 秒後的數據，溫度對時間利用 Excel 作圖(二)

<p>圖(一)</p> <p style="text-align: center; margin-top: 100px;">貼圖區</p>	<p>圖(二)</p> <p style="text-align: center; margin-top: 100px;">貼圖區</p>
---	---

5. 圖(二)之線性方程式： $y =$ _____ $x +$ _____， $R^2 =$ _____

$$x = 0, y = t_{\text{mix}} = \text{_____ } ^{\circ}\text{C}$$

6. 將數據代入原理中的式(2)，列式如下：

(算式)_____

得強酸、強鹼中和熱 $\Delta H_{\text{neutralization}}(\text{KJ/mol}) =$ _____ KJ/mol

Part C、弱酸、強鹼混合

1. $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溫度：_____ °C $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 溫度：_____ °C

2.

時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)	時間 (sec)	溫度 (°C)
0		50		100		150	
10		60		110		160	
20		70		120		170	
30		80		130		180	
40		90		140			

3、以 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溫度為 y 軸起點，溫度(y 軸)對時間(x 軸)利用 Excel 作圖(一)。

4、取 30 秒後的數據，溫度對時間利用 Excel 作圖(二)

<p>圖(一)</p> <p style="text-align: center; margin-top: 100px;">貼圖區</p>	<p>圖(二)</p> <p style="text-align: center; margin-top: 100px;">貼圖區</p>
---	---

5. 圖(二)之線性方程式： $y = \underline{\hspace{2cm}} x + \underline{\hspace{2cm}}$ ， $R^2 = \underline{\hspace{2cm}}$

$x = 0, y = t_{\text{mix}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ °C}$

6、將數據代入原理中的式(2)，列式如下：

(算式)_____

得弱酸、強鹼中和熱 $\Delta H_{\text{neutralization}}(\text{KJ/mol}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ KJ/mol}$

七、問題與討論：

1.

(a) 計算實驗室中常用濃酸鹼的體積莫耳濃度。

Reagent	Concentration %(W/W)	Specific Gravity	Formula Weight	M(mol/L)
Acetic acid	100	1.05		(算式一列於下)
Ammonia	29.0	0.90		(算式一列於下)
Hydrochloric acid	37.2	1.18		(算式一列於下)
Nitric acid	70.5	1.42		(算式一列於下)
Sulfuric acid	96.5	1.83		(算式一列於下)

算式一： _____ = _____ M

算式二： _____ = _____ M

算式三： _____ = _____ M

算式四： _____ = _____ M

算式五： _____ = _____ M

(b) 稀釋實驗室之濃硫酸，96.5%(w/w)，Specific Gravity = 1.83，
配製 1.5 M $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 100 mL。(含使用器材及詳細操作過程)

2.

(a) 強酸、強鹼的中和熱理論上與弱酸、強鹼的中和熱會相同嗎？

(b) 實驗結果呢？

(c) 解釋實驗結果的可能原因？

3.

(a) 兩種溶液一混合時的溫度如何決定？

(b) 為何無法由實驗直接量測？

4. 醋酸是種弱酸，在水中部分解離，與 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 中和時，酸鹼中和反應完全嗎？說明之。

八、實驗心得與討論：

誤差討論：

心得：