

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

最佳(鄉土)教材獎

040217

水中疑慮—探討自來水中餘氯含量

學校名稱：國立金門高級中學

作者：  高二 楊弘安  高二 黃耀徵  高二 蔡貞慧  高二 張大智	指導老師：  王振職  戴如妮
---	-----------------------------

關鍵詞：有效餘氯、空白實驗、碘滴定

# 水中疑慮-- 探討自來水中餘氯含量

## 壹、摘要

運用二年級上學期所學過的「沉澱法」及二年級下學期的「滴定實驗」方法，對自來水中餘氯含量加以探討、測定，並加以整理，嘗試將理論知識化為實際應用，並透過不同的變因，對水中的氯進行更精準的了解，並於實驗後，以分析探討的方式加以彙集整理。

## 貳、研究動機：

根據資料顯示：95%台灣之飲用水是加氯氣消毒，但金門自來水消毒卻是使用次氯酸鈉，在詢問探查之下發現原來是為了操作安全與方便，再者因為飲用水源皆是儲存於水庫、湖泊，而湖庫旁多富含有機物，若加氯消毒容易產生三氯甲烷。三氯甲烷專家研究一可能導致胎兒先天性心臟病，顎裂，成人膀胱癌，女性生育率降低，甚至不孕等疾病。不過用次氯酸鈉的用量亦不是無限制。據衛生署自來水水質標準管制自由有效餘氯：0.2 至 1.5 毫克/公升。因此所加的次氯酸鈉的用量必須控制在一定範圍，以盡量確保使用者之健康。正因如此興起我們探討自來水中餘氯的意念，並剛好運用二年級上學期所學過的「沉澱法」及二年級下學期的「滴定實驗」加以運用。

## 參、研究目的：

- 一、認識關於氯的基本化學性質。
- 二、探索水中的餘氯對於我們的影響。
- 三、透過實驗測出水中氯離子的含量。
- 四、透過實驗測出水中次氯酸根離子的含量。



## 肆、實驗原理

### 一、.氧化滴定

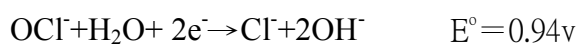
利用酸鹼滴定是酸的當量數等於鹼的當量數，亦即氧化劑得到的電子數＝還原劑失去的電子數。利用電荷不減，換句話說有人失去電子就有人要得到電子。而總共失去的電子數目必定等於總共得到的電子數目。

- 二、.  $I_2$  具有氧化力( $I_2$  還原電位 = 0.53v)，而  $I^-$  具有還原力( $I^-$  氧化電位 = -0.53v)，故在定量中常用  $I_2$  為氧化劑， $I^-$  為還原劑，利用澱粉作指示劑， $I_2$  濃度低至  $10^{-5}M$  亦可檢驗出，使溶液呈現藍色，十分靈敏



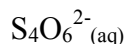
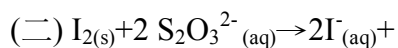
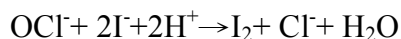
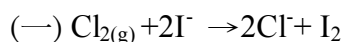
- 三、  $OCl^- + 2e^- + 2H^+ \rightarrow Cl^- + H_2O \quad E^\circ = 1.49v$

而在鹼液中



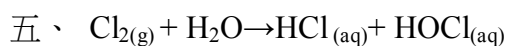
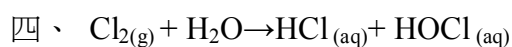
OCI 氧化劑 + KI 過量  $\rightarrow$  I<sub>2</sub> + 澱粉呈藍色  $\rightarrow$  以 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (aq)

滴定至藍色消失，即知 I<sub>2(s)</sub> 全部還原成 I<sup>-</sup>(aq)



Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的當量數 = Cl<sub>2</sub> + OCI 的當量數和

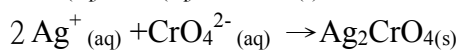
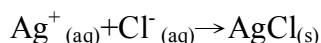
此時由 S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> 量知道 I<sub>2</sub>，最後可知 Cl<sub>2(g)</sub> 之量



測的水中 Cl<sup>-</sup> 的濃度

由  $\text{HCl} + \text{AgNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) \downarrow + \text{HNO}_3(\text{aq})$  測出 Cl<sup>-</sup> 的量即之 HOCl 之量由 HOCl 之量知自來水中原來有無氯鹽

六、 鹵素摩爾法(MOHR)法滴定



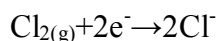
AgCl<sub>(s)</sub> 溶解度較小，先沉澱，待 Cl<sup>-</sup>(aq) 反應完，Ag<sup>+</sup>(aq) 即與 CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq) 反應，生成 Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4(s)</sub> 磚紅色沉澱，當 Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4(s)</sub> 之磚紅色出現，即表示達到滴定終點。

七、 氯在水中自身氧化還原

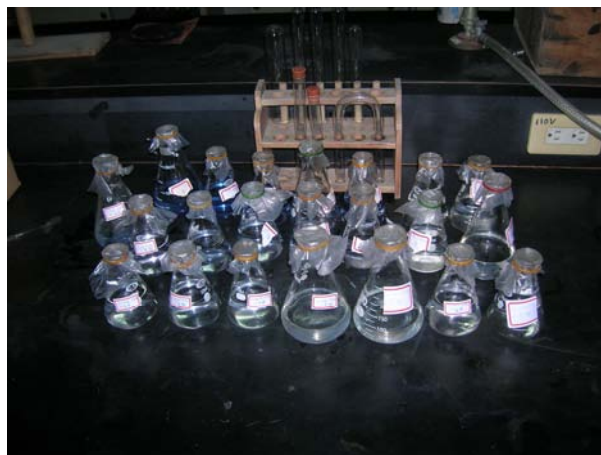


HOCl 之  $k_a = 1.1 \times 10^{-8}$  次氯酸為弱酸，但是為極強氧化劑

八、 Cl<sub>2(g)</sub> 本身亦具有氧化力



$E^\circ = 1.36\text{V}$



伍、 實驗器材：

電子秤 1 個

自來水、蒸餾水適量

刮勺 1 個

錐形瓶 10 個

量筒(1000ml、250ml、50ml、25ml、10ml)

乳頭滴管 1 個

滴定管 1 個

燒杯(100ml、500ml、1000ml)各 3 個

本生燈 1 個



溫度計 1 個

玻璃棒 1 個

陶瓷纖維網 1 個

藥品(澱粉、 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 、 $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ 、 $\text{KI}(\text{s})$ 、 $\text{NaOH}(\text{s})$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4(\text{s})$ 、 $\text{AgNO}_3(\text{s})$ 、 $\text{NaCl}(\text{s})$ )適量

陸、文獻探討：

### 一、關於餘氯的定義

結合餘氯 = 總餘氯 - 自由有效餘氯

結合有效餘氯：指以氯胺、二氯胺存在之有效餘氯

自由有效餘氯：指以次氯酸次氯酸根離子存在之有效餘氯

### 二、飲用水水質標準管制自由有效餘氯：0.2 至 1.0 毫克/公升

自來水水質標準管制自由有效餘氯：0.2 至 1.5 毫克/公升

三、1974 年，科學家首次發現使用氯消毒的自來水中含有有害的「消毒副產物」。在消毒過程中，氯與水中殘餘的有機物產生化學作用，一系列的化合物如三氯甲烷（即氯仿）、溴仿、溴二氯甲烷、氯二溴甲烷等便產生了，而這些物質經證實會對人體造成一定程度的致癌。由於在輸水過程中水中仍有餘氯的關係，所以這些化學作用不單是在水廠消毒的過程中會發生，當水在輸水管線內流動時也會不斷進行，尤其是在夏天炎熱的氣溫下水溫跟著升高，化學反應也隨著溫度的上升增加。

四、氯在人體內是一相當重要的電解質，可以幫助消化與維持身體的柔軟，主要的功能是維持體內的酸鹼平衡，協助肝臟機能掃除體內的廢物。促進蛋白質吸收、維生素 B12 及鐵的吸收，與形成胃內的鹽酸有關；和協助血液將二氧化碳運到肺。

五、煮沸 15 分鐘以上，或是將水靜置 4 小時再飲用上層的水，才能確保飲水安全。

六、氯可分別與溴化物、碘化物反應產生  $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$ 。

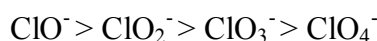
七、在  $\text{CCl}_4$  中的顏色： $\text{Cl}_2$  呈淡黃色

### 八、氧化數

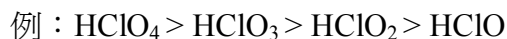
(一).

鹵氧酸	Cl	
氧化數	分子式	名稱
+7	$\text{HClO}_4$	過氯酸
+5	$\text{HClO}_3$	氯酸
+3	$\text{HClO}_2$	亞氯酸
+1	$\text{HClO}$	次氯酸

鹵氧酸在鹼性液中之還原電位大小(即氧化力或氧化劑強度)



(二)含氧酸中心原子氧化數愈大，酸性愈強



1、在酸性液中鹵氧酸還原為  $\text{X}^-$  之標準還原電位

鹵氧酸在酸性液中之還原反應	Cl
---------------	----

$\text{XO}^- + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{X} + \text{H}_2\text{O}$	1.49
$\text{XO}_2^- + 3\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{X} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.57
$\text{XO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{X} + 3\text{H}_2\text{O}$	1.45
$\text{XO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow \text{X} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.34

2、在鹼性液中鹵氧酸還原為 X<sup>-</sup>之標準還原電位

鹵氧酸在酸性液中之還原反應	Cl
$\text{XO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{X}^- + 2\text{OH}^-$	0.94
$\text{XO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{X}^- + 4\text{OH}^-$	0.76
$\text{XO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e}^- \rightarrow \text{X}^- + 6\text{OH}^-$	0.63
$\text{XO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 8\text{e}^- \rightarrow \text{X}^- + 8\text{OH}^-$	0.51

九、 $\text{Cl}_2(\text{l}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl}(\text{aq}) + \text{HOCl}(\text{aq})$

十、電解濃食鹽水 --分別在陰陽極產生的氫與氯氣可以化合成氯化氫

十一、自來水中若氯過多可用硫代硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，俗稱海波)吸收之

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 4\text{Cl}_2 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHSO}_4 + 8\text{HCl}$  而 HCl 可以過量的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  再吸收之

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{S} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

十二、 $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) \downarrow$  <白色>

十三、 $\text{Cl}_2(\text{g})$  在常溫下為黃綠色氣體

十四、 $\text{Cl}^- + \text{OCl}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

在酸液中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OCl}^-$  會變成  $\text{Cl}_2$

十五、金門水廠的消毒法

(一)現在用  $\text{NaOCl}$  作消毒劑

$\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

$\text{Cl}_2$  在鹼性溶液中，容易產生自身氧化還原

$\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{OCl}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$

(二)以前用  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$

十六、漂白粉

$\text{CaO}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OCl})\text{Cl}$

或  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OCl})\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$

$\text{Ca}(\text{OCl})\text{Cl}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{OCl}^- + \text{Cl}^-$

十七、世界衛生組織飲用水標準

	最高理想含量	最大可容許含量
pH	7.0-8.5	6.5-9.2
$\text{Cl}^-$	200mg/L	600mg/L

柒、實驗步驟：

一、實驗一：確認蒸餾水中無  $\text{Cl}^-$

(一) 將 100ml 蒸餾水加入錐形瓶裝中，加入 10 滴 0.001M 的  $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$  當指示劑

(二) 以 0.001M 的  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  來滴定，試驗是否有磚紅色的出現，並將數據計入實驗紀錄

同樣實驗重複做 3 次，並加以整理

## 二、實驗二：空白實驗

- (一)先照實驗三之實驗步驟測出一組  $\text{Cl}^-$  之莫耳數..... (1)
- (二)用食鹽配出與  $\text{Cl}^-$  一樣之莫耳數.....(2)
- (三)在依照實驗三之實驗步驟測出  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  滴定之量並減去(1)  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  滴定之量，而差值即為誤差.....(3)
- (四)重新進行實驗三並將  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  滴定之量減去誤差，求出  $\text{Cl}^-$  之莫耳數...(4)
- (五)重複共做 3 次(2)~(4)的實驗步驟，並將數據加以整理

## 三、實驗三： $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ 沉澱反應

- (一)將 100ml 自來水加入錐形瓶裝中，加入 10 滴 0.001M 的  $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$  當指示劑
- (二)以 0.001M 的  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  來滴定，直到出現磚紅色為止，並將數據計入實驗紀錄
- (三)同樣實驗重複做 5 次，並將數據加以整理



## 四、實驗四： $\text{H}_2\text{SO}_4$ 有無氧化力之實驗

- (一)將錐形瓶裝入 87ml 蒸餾水
- (二)將過量  $\text{KI}(\text{s})$  (1M 5ml) 加入水中並以澱粉(C%=0.1)5ml 作為指示劑，加入 2 M、1M、0.5M、0.25M、0.125 M、0.1 M、0.05 M、0.025 M、0.0125 M 之  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  作為反應所需的背景
- (三)若在 x M 下  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  能使自來水反應溶液中的  $\text{I}^-$  還原成  $\text{I}_2$ ，且不會使蒸餾水反應溶液中的  $\text{I}^-$  還原成  $\text{I}_2$ ，即可得知變色原因不是  $\text{H}_2\text{SO}_4$  所造成的，而是  $\text{OCl}^-$ 。

## 五、實驗五：碘的滴定實驗在鹼性溶液中的反應

- (一)將錐形瓶裝入 87ml 自來水
- (二)將過量  $\text{KI}(\text{s})$  (1M 5ml) 加入水中並以澱粉(C%=0.1)5ml 作為指示劑，加入 2 M、1M、0.5M、0.1M、0.01 M 之  $\text{NaOH}(\text{aq})$  作為反應所需的背景
- (三)將溶液靜置 3~4 小時，觀察是否有反應
- (四)同樣實驗重複做 5 次，並將數據加以整理

## 六、實驗六：碘的滴定實驗

- (一)將錐形瓶裝入 87ml 自來水
- (二)將過量  $\text{KI}(\text{s})$  (1M 5ml) 加入水中並以澱粉(C%=0.1)5ml 作為指示劑，加入 0.0125 M  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  之作為催化劑，靜置 3~5 小時，此時水溶液呈現藍色
- (三)將此溶液用 0.0001M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  加以滴定直到溶液變為無色，並將數據計入實驗紀錄
- (四)同樣實驗重複做 5 次，並將數據加以整理



捌、實驗結果.

實驗一：確認蒸餾水中無  $\text{Cl}^-$

編號	溶液種類(被滴定)	溶液種類(滴定)	催化劑種類	被滴定溶液體積 $V_1(\text{ml})$	是否出現磚紅色	催化劑濃度所用體積(滴)	滴定溶液體積濃度 $M_1$	催化劑濃度 $M_2$	大氣壓力 $P_2(\text{hpa})$	室溫 $T_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	蒸餾水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	否	10	0.005	0.1	1012.3	27.5
2	蒸餾水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	否	10	0.005	0.1	1012.3	27.5
3	蒸餾水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	否	10	0.005	0.1	1012.3	27.5

(表一)

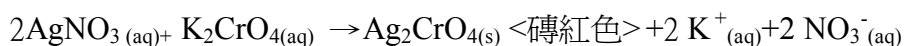
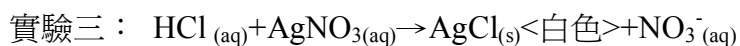
編號	溶液種類(被滴定)	溶液種類(滴定)	催化劑種類	被滴定溶液體積 $V_1(\text{ml})$	滴定所用溶液體積 $V_2(\text{ml})$	催化劑濃度所用體積(滴)	滴定溶液體積濃度 $M_1$	催化劑濃度 $M_2$	大氣壓力 $P_2(\text{hpa})$	室溫 $T_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.78	10	0.005	0.1	1012.3	27.5
2	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.36	10	0.005	0.1	1012.3	27.5
3	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.21	10	0.005	0.1	1012.3	27.5

(表二)

實驗二：空白實驗

編號	實驗三 $\text{AgNO}_3$ 所用體積 $V_1(\text{ml})$	$\text{AgNO}_3$ 濃度 $M_1$	原本 $\text{Cl}^-$ 離子莫耳數 $N_1(\text{mole})$	本實驗 $\text{AgNO}_3$ 滴定所用體積 $V_2(\text{ml})$	空白實驗所做出來之誤差 $V_3$ (ml)	誤差平均 $V_4$ (ml)
1	28.78	0.005	$1.44 \times 10^{-4}$	28.91	0.13	0.18
2	28.36	0.005	$1.42 \times 10^{-4}$	28.44	0.08	
3	28.21	0.005	$1.41 \times 10^{-4}$	28.53	0.32	

(表三)



編號	溶液種類(被滴定)	溶液種類(滴定)	催化劑種類	被滴定溶液體積 $V_1(\text{ml})$	達到滴定終點所用滴定溶液體積 $V_2(\text{ml})$	開始沉澱所用滴定溶液的體積 $V_3(\text{ml})$	催化劑濃度所用體積 $(\text{ml})$	滴定溶液體積濃度 $M_1$	催化劑濃度 $M_2$	大氣壓力 $P_2(\text{hpa})$	室溫 $T_2(^{\circ}\text{C})$
1	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.85	7.12	0.37	0.005	0.1	1012.3	27.5
2	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.91	7.23	0.37	0.005	0.1	1012.3	27.5
3	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.72	7.11	0.37	0.005	0.1	1012.3	27.5
4	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.90	7.41	0.37	0.005	0.1	1012.3	27.5
5	自來水	$\text{AgNO}_3$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$	100	28.83	7.05	0.37	0.005	0.1	1012.3	27.5

(表四)

達到滴定終點所用滴定溶液體積 $V_1(\text{ml})$	自來水被滴定溶液體積 $V_2(\text{ml})$	$\text{AgNO}_3$ 濃度 $M_1(\text{mole/L})$	空白實驗 (使 $\text{K}_2\text{CrO}_4$ 呈色多加之 $\text{AgNO}_3$ 的體積) $V_3(\text{ml})$	開始沉澱所用 $\text{AgNO}_3$ 溶液的體積 $V_4(\text{ml})$	扣除誤差之 $\text{AgNO}_3$ 滴定體積 $V_5(\text{ml})$	$\text{Cl}^-$ 離子體積莫爾濃度 $M_2(\text{mole/L})$	$\text{Cl}^-$ 之 $C_{\text{ppm}}(\text{mg/L})$	平均 $\text{Cl}^-$ 離子莫爾濃度 $M_3(\text{mole/L})$	平均 $\text{Cl}^-$ 之 $C_{\text{ppm}}(\text{mg/L})$
28.85	100.0	0.005	0.18	7.12	21.55	$1.08 \times 10^{-4}$	38.34.	$1.07 \times 10^{-4}$	38.13
28.91	100.0	0.005	0.18	7.23	21.50	$1.07 \times 10^{-4}$	37.99		
28.72	100.0	0.005	0.18	7.11	21.43	$1.07 \times 10^{-4}$	37.99		
28.90	100.0	0.005	0.18	7.41	21.31	$1.07 \times 10^{-4}$	37.99		
28.83	100.0	0.005	0.18	7.05	21.65	$1.08 \times 10^{-4}$	38.34.		

(表五)



實驗四：H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 有無氧化力之實驗

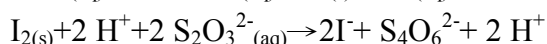
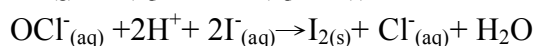
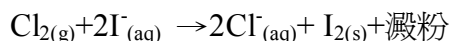
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 濃度 (M)	2	1.5	0.5	0.25	0.125	0.1	0.05	0.025	0.0125
反應溶液									
自來水 83ml+ 澱粉水溶液 5ml+KI 5ml + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3ml	V	V	V	V	V	V	V	V	V
蒸餾水 83ml+ 澱粉水溶液 5ml+KI 5ml + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3ml	V	V	V	V	V	V	V	V	X
備註: 1.其反應溶液中的澱粉溶液重量百分濃度為 0.1%，KI 濃度為 1M 2.若此反應有變色，有反應則在空格打勾，否則打叉，直到尋找到 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 對 KI 氧化的臨界點									

(五) 實驗五：碘的滴定實驗在鹼性溶液中的反應

其反應式為  $OCl^- + 2e^- + H_2O \rightarrow Cl^- + OH^-$

NaOH 濃度 (M)	2	1	0.5	0.1	0.01
反應溶液					
自來水 83ml+澱粉 水溶液 5ml+KI 5ml + NaOH 3ml	X	X	X	X	X
蒸餾水 83ml+澱粉 水溶液 5ml+KI 5ml + NaOH 3ml	X	V	X	X	X
備註: 1 其反應溶液中的澱粉溶液重量百分濃度為 0.1%，KI 濃度為 1M 2 因為此碘滴定的反應亦可能在鹼性溶液中反應則在空格打勾，否則打叉					

實驗六：



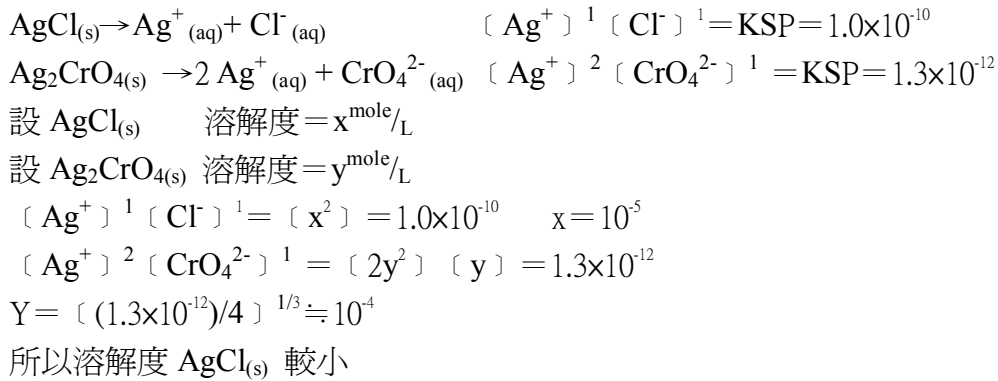
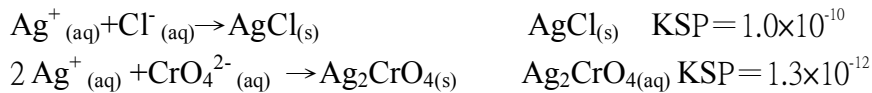
87ml 自來水+5ml KI<sub>(aq)</sub> (1M)+ (C%=50)5ml 澱粉+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>( M)

編號	反應液種類	所加藥品種類	指示劑種類	被滴定溶液總體積 V <sub>1</sub> (ml)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)莫耳體積濃度 (M)	KI <sub>(aq)</sub> 的莫耳體積濃度 (M)	滴定所用溶液體積 V <sub>2</sub> (ml)	催化劑濃度所用體積 (ml)	滴定溶液莫耳體積濃度 M <sub>1</sub>	指示劑重量百分濃度 (%)	大氣壓力 P <sub>2</sub> (hpa)	室溫 T <sub>2</sub> (°C)
1	自來水	KI H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	澱粉水 溶液	100	0.0125	1	31.0			0.1	1012.3	27.5
2	自來水	KI H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	澱粉水 溶液	100	0.0125	1	31.6			0.1	1012.3	27.5
3	自來水	KI H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	澱粉水 溶液	100	0.0125	1	31.5			0.1	1012.3	27.5
4	自來水	KI H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	澱粉水 溶液	100	0.0125	1	31.1			0.1	1012.3	27.5
5	自來水	KI H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	澱粉水 溶液	100	0.0125	1	31.3			0.1	1012.3	27.5

玖、討論

- 一、在進行 Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>(s) <磚紅色>的滴定實驗時，當達到滴定終點附近時，加入滴定劑造成局部的 Ag<sup>+</sup>過量而形成一瞬時的紅色。正確的滴定終點應該是黃色的 CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>持久的轉暗時。滴定終點並不如預期中的敏銳，由於厚的白色沉澱，及黃色 CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的遮蔽，因此需要加入過量的 AgNO<sub>3</sub>(aq)才能使 Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>(s)看得見，因此必須先做一些指示劑空白試驗，並將空白實驗所消耗體積從滴定式樣使用的 AgNO<sub>3</sub>(aq)體積中減去。
- 二、當在進行海波滴定碘的實驗中，根據反應式 OCl<sup>-</sup> + 2e<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>O → Cl<sup>-</sup> + OH<sup>-</sup>得知此項實驗亦有可能在鹼性溶液下完成，且 OH<sup>-</sup>不會有氧化力，因此就能不必考慮是其他因素把 I<sup>-</sup>氧化成 I<sub>2</sub>。
- 三、當在進行海波滴定碘的實驗中，第一個步驟加入 5mlH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0.0125M)<sub>(aq)</sub> 提供反應所需的酸的環境，增加實驗的反應速率，但是，當加入過量時，可能會造成 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)把反應物氧化的現象，因此造成所得到的數據不準，所以，必須先用蒸餾水去測試，當用蒸餾水加 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)所做出的結果，I<sup>-</sup>沒有被氧化成 I<sub>2</sub>，即表示此 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)之濃度是適合做為催化劑的濃度，如此實驗才會準確。

四、在實驗三中溶解度  $\text{AgCl}_{(s)}$  較小



五、加氯氣消毒與加次氯酸鈉消毒之比較

$\text{Cl}_2$	$\text{NaOCl}$
操作上較為不安全、不方便	操作上較為安全、方便
少有 $\text{Na}^+$ 之出現，若作為飲用水不會對人體造成傷害	會產生過多的 $\text{Na}^+$ ，作為飲用水會對人體造成負擔
$\text{OCl}$ 解離不完全，消毒的作用上有瑕疵	$\text{OCl}$ 較能完全解離，有穩度 $\text{OCl}$ 在消毒上方法較佳

拾、結論:

- 透過實驗一的兩個步驟:先在水中加入  $\text{K}_2\text{CrO}_4_{(aq)}$  當指示劑，並讓水中的  $\text{Cl}^-_{(aq)}$  進行  $\text{Cl}^-_{(aq)} + \text{AgNO}_3_{(aq)} \rightarrow \text{AgCl}_{(s)} <\text{白色}> + \text{NO}_3^-_{(aq)}$ ，接著並以  $\text{AgNO}_3_{(aq)}$  進行滴定，直到磚紅色的  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(s)}$  出現，此時則到達當量終點，從  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(s)}$  中可知道  $\text{Ag}^+$  加入的溶液莫耳數，再帶入第一個反應式，藉此求出  $\text{Cl}^-_{(aq)}$  在水中的含量。 $\text{Cl}^-$  離子體積莫爾濃度  $M_2(\text{mole/L})$  即為表五中的  $[V_4(\text{ml}) \times M_1(\text{mole/L})] \div 1000 (\text{ml/L}) \div (100/1000)(\text{L}) = 1.07 \times 10^{-4}$   
 $\text{Cl}^-$  之  $C_{\text{ppm}}(\text{mg/L}) = M_2(\text{mole/L}) \times \text{Cl}^-$  之分子量  $(\text{g/mole}) \times 1000(\text{mg/g}) = 38.13 \text{ ppm}$
- 當在進行海波滴定碘的實驗中，根據反應式  $\text{OCl}^- + 2e^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{OH}^-$  得知此項實驗亦有可能在鹼性溶液下完成，且  $\text{OH}^-$  不會有氧化力，因此就能不必考慮是其他因素把  $\text{I}^-$  氧化成  $\text{I}_2$ ，但是根據實驗結果，可以發現此反映在鹼性溶液中其實是不太容易反應。
- 在水中加入過量  $\text{KI}_{(s)}$  及澱粉(指示劑)得到  $\text{OCl}^-_{(aq)} + 2\text{I}^-_{(aq)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{I}_2_{(s)} + \text{Cl}^-_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}$ ，此時會出現藍色  $\text{I}_2$ ，然後再用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(aq)}$  滴定得到下列式子  $\text{I}_2_{(s)} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(aq)} \rightarrow 2\text{I}^-_{(aq)} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}_{(aq)}$ ，直到藍色的  $\text{I}_2$  消失，及到當量終點，因此可得知  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(aq)}$  的莫耳數，接著由  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  的莫耳數便可知道  $\text{I}_2$  莫耳數，然後由  $\text{I}_2$  莫耳數便可求出  $\text{OCl}^-_{(aq)}$  含有幾莫耳，最後由反應結果得知  $0.0001\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(aq)}$  平均用了  $31.3\text{ml}$ ，所以根據反應式計算  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  的莫耳濃度為  $\text{OCl}^-$  的兩倍。已知所用為  $31.3\text{ml } 0.0001\text{M}$  的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(aq)}$ ，所以可知  $\text{OCl}^-$  的含量為  $(0.0001 \times 0.0313 \times 51.5 \times 1000) \text{毫客} / 0.087 \text{升} = 0.9264 \text{ ppm}$

- 四、莫爾滴定及碘滴定的結果去比較，分析  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  和  $\text{OCl}^-$  的含量，由此可以發現其兩者之間的 ppm 比為 38.13 比上 0.9264，大約為 38 比 1，則由此可以發現，水中  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ 、 $\text{OCl}^-_{(\text{aq})}$  的兩者關係，而金門的自來水廠目前是用  $\text{NaOCl}$ ，而其來源為  $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ，因此正常來說  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  和  $\text{OCl}^-_{(\text{aq})}$  的比應該為 1 比 1，但因為未處理的水源本身含有氯鹽，又  $\text{OCl}^-_{(\text{aq})}$  在水中會氧化其他物質以進行消毒，因此產生  $\text{Cl}^-$ ，所以，所得的數據才會有如此的呈現。
- 五、根據所實驗數據去比照水中含  $\text{OCl}^-$  的標準值，根據實驗所測得的  $\text{OCl}^-$  的含量為 0.9264 ppm，而水中含  $\text{Cl}_2(\text{g})$  的正常值為 0.2 ppm ~ 1.0 ppm，因此由實驗得知，水中的自由餘氯並無超過正常值。
- 六、雖然水中的餘氯一旦吸收過多，會造成蛋白質酸化對皮膚造成傷害。而且未消失的  $\text{Cl}^-$  會和水中有機物形成三氯甲烷，而此化合物是致癌性消毒副產物，對人體有害。但根據實驗所測得的  $\text{OCl}^-$  含量為 0.9264 ppm，而水中含氯的正常值為 0.2 ppm ~ 0.8 ppm，因此由實驗得知，水中的餘氯並無超過正常值，所以，對身體的影響程度應該不會比想像中的還大。

#### 拾壹、參考資料

##### (一)書面資料

1. 化學(下)，龍騰文化，張哲政主編，第七、八章酸鹼滴定與氧化還原滴定
2. 化學(上)，龍騰文化，張哲政主編，沉澱表
3. 定量分析化學(上冊)，復漢出版社，原著 Fritz Schenk

##### (二)網路資料

1. <http://water.kinmen.gov.tw/html/service/qanda5.html>
2. <http://www.vivistudio.com/prices/Big5/sale/%B2b%A4%F4%BE%B9/%B4%E2-%A5%B2%ADn%AA%BA%B8o%B4c.htm>
3. [http://www.niea.gov.tw/analysis/Niea\\_td/GetMsg.asp?ID=15966](http://www.niea.gov.tw/analysis/Niea_td/GetMsg.asp?ID=15966)
4. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1305090910224>
5. [http://www.chcg.gov.tw/index/bulletion/01main\\_detail.asp?bull\\_id=43306](http://www.chcg.gov.tw/index/bulletion/01main_detail.asp?bull_id=43306)
6. <http://www.g-hwa.com/clout/>
7. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005030803914>
8. <http://www.ecoswaytet.net/hexagon/test.htm>
9. [http://www.watertec.com/epa/a-q.htm#faq12\(97.6.14\)](http://www.watertec.com/epa/a-q.htm#faq12(97.6.14))

**【評語】** 040217

作品結合教材內容與鄉土情懷，與日常生活相關頗值嘉許；  
惟自行討論之研究方法內容有所疏漏，應多所加強。