

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：

彩色的水溶液

—推測以電解氯化鈉水溶液為例的可能半反應—

關 鍵 詞：電解水、電解質、廣用試劑（最多三個）

編號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：由承辦學校統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

摘要

本研究以廣用試劑做為酸鹼指示劑，滴入 5% 氯化鈉水溶液進行電解觀察。分別以 U 型管法、濾紙法、水溶液法三種不同方法進行觀察。其實驗結果發現電解結果正極產生酸性物質 (pH 值 1.4)，負極產生鹼性物質 (pH 值 10.6)，電解後混合，溶液的 pH 值突然升高 (pH 值 10.8)，推測是產生高濃度的 NaOH 所致。我們根據實驗所觀察到的質性結果與量化結果，推測出電解氯化鈉水溶液，正負極所產生的可能半反應動態循環。

壹、研究動機

自從閱讀到國中理化課本第二冊上第 59 頁的電解實驗，我們就開始對電解的過程、電解的實驗、電解時發生的化學變化以及電解時的化學變化循環產生了興趣，並且想深入探討電解時 pH 值的變化過程與電解時酸鹼度大小的變化，及電解時滴入廣用指示劑的顏色變化，因此，我們設計了一系列的電解實驗來實測結果。

貳、文獻探討與分析

一、電解質

通電時，電解質會導電，使正、負極產生化學反應。負極吸引電子，而正極吸引負離子。正極周圍形成正電荷，電解質中的離子會中和電荷，使電子反覆進行循環。電解質固體時無法導電，電解質能導電是因為正、負離子間距離變大，吸引力變弱，於是負離子向正極移動，正離子向負極移動，就可導電。

二、水的電解

水本身是中性，本身會解離極少量的氫氧根離子、氫離子。因此水不容易導電，所以加入少量電解質使其易導電。以氯化鈉為電解質的水溶液，電解後會含有氫氧化鈉、次氯酸、次氯酸鈉、氫氣、氧氣。

三、加入鹽酸當作電解質，電解產生次氯酸水

次氯酸水，製作上需特別濃度的鹽酸，提供穩定的控制以確保一定濃度的次氯酸水產生，工業級的設備才能製作，而次氯酸鈉主要用於殺菌，次氯酸水用於消毒或殺菌，且過度稀釋會減弱其殺菌力，但高濃度也不會增加其殺菌力，一段時間就會經過光分解。

四、加入氯化鈉(食鹽)當作電解質，電解產生次氯酸鈉

次氯酸鈉水溶液為俗稱的漂白水，經由電解食鹽水溶液製成，與次氯酸水不同，次氯酸鈉與二氧化碳反應產生的次氯酸是漂白劑的成分，用於漂白劑、氧化劑及淨水劑，有殺菌、消毒的功效。次氯酸鈉溶於水會產生鹼性水溶液，與鹽酸反應會放出有

毒的氯氣，與過氧化氫反應產生氧氣。次氯酸鈉在較熱的情況下氧化還原為氯化鈉和氯酸鈉，氯化酸鈉會在光照下方解，所以應避光保存。

五、以氯化鈉為電解質的正、負極酸鹼性探討

- (一) 電解水時，帶負電的氫氧根離子、氯離子移向正極，帶正電的鈉離子與氫離子移向負極。在正極氯離子活性比氫氧根離子小，更丟去電子被氧化成為氯原子，氯原子結合成氯分子釋出氯氣。
- (二) 在負極，氫離子比鈉離子更易獲得電子，所以氫離子不斷從負極獲得電子還原成氫原子，結合成氫分子自負極釋出氫氣。
- (三) 由於負極的氫離子在負極不斷吸引電子，破壞了水的電離平衡，而水分子繼續電離成氫離子與氫氧根離子，氫離子又不斷吸引電子，結果溶液裡的氫氧根離子數目相對增加，**負極形成了鹼性水溶液，正極產生酸性水溶液。**

六、研究探討對於本研究的啟示：

- (一) 單純電解水不容易發生，需加入電解質之後，造成溶液內的電荷分布不均勻，而導致水分子的解離，在正極產生氧氣，在負極生氫氣。
- (二) 若以氯化鈉作為電解質，碳棒為電極，會造成負極產生鹼性，而正極產生酸性。
- (三) 以上研究文獻分析雖然得知(一)、(二)發現，可是鈉離子接受電子後還原成為鈉原子，而鈉原子遇到水馬上產生氫氣，並產生 OH⁻離子團的可能半反應式在文獻中卻未提及；另氯離子(Cl⁻)接受電子還原成為氯氣(Cl₂)之可能半反應式也在課本中沒有提及。以上讓我們覺得有趣，雖然最後結果正極產生氧氣，負極產生氫氣，可是整個電解的過程中應該有許多動態的半反應式同時進行著，於是我們進行下列的相關探討。

參、研究目的與問題

1. 觀察氯化鈉水溶液電解反應前、中、後的 pH 值變化
2. 觀察氯化鈉水溶液滴入電解反應前、中、後廣用指試劑的顏色變化
3. 探討氯化鈉水溶液發生電解時可能發生的半反應動態循環過程
4. 探討使用不同器材電解食鹽水的顏色變化

肆、研究設備與器材

(表一)

水	培養皿	燒杯	滴管	吸管
				
厚紙板	鱷魚夾	勺子	電子天平	試管架
				
廣用指試劑	濾紙	燒瓶	U 形管	pH 儀
				
氯化鈉	碳棒	電源供應器	漏斗	
				

伍、研究步驟與方法

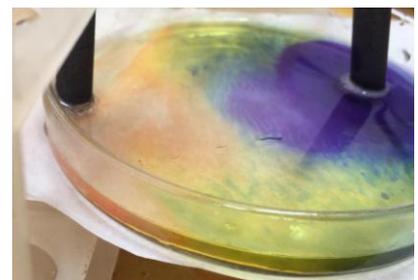
- 一、 配置重量百分濃度為 5% 的氯化鈉水溶液。
- 二、 準備碳棒為電極，備好電源供應器、鱷魚夾等用具。
- 三、 實驗 1
 1. 將 5% 50ml 食鹽水，滴入 50 滴的廣用試劑。
 2. 將上述溶液加入 U 形管內。
 3. 兩端放入碳棒，電源供應器供電 20V (接鱷魚夾)。
 4. 觀察 U 型管內其顏色變化。



- 四、 實驗 2
 1. 調配 5% 500ml 的食鹽水。
 2. 取 50ml 食鹽水滴入 50 滴廣用指試劑。
 3. 在培養皿上覆蓋濾紙，將有廣用指試劑的食鹽水倒入培養皿內。
 4. 放入 2 根碳棒以電源供應器供電 20V (接鱷魚夾)。
 5. 觀察濾紙上的顏色變化。



- 五、 實驗 3
 1. 將 5% 50ml 食鹽水加入培養皿中。
 2. 滴入 50 滴廣用指試劑。
 3. 將碳棒放入，電源供應器供電 (接鱷魚夾)。
 4. 觀察其顏色變化。
 5. 分別在三個點上用 pH 儀檢驗其 pH 值 (正極、中間點、負極)。
 6. 混合燒杯內反應後的食鹽水溶液。
 7. 分別在三個點上用 pH 儀檢驗其 pH 值。
 8. 觀察其顏色變化。

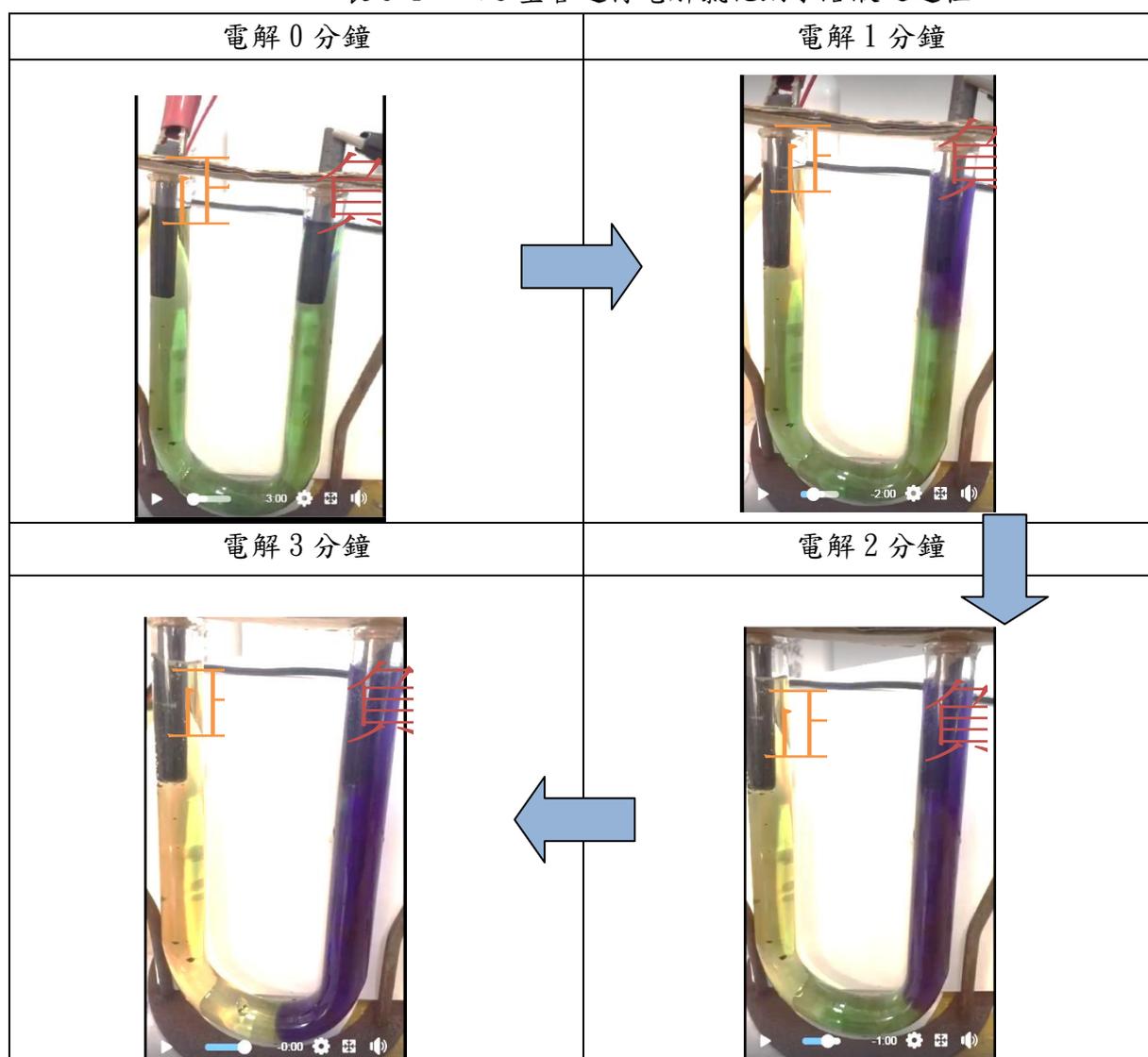


陸、研究結果與分析

一、 實驗一：使用 U 型管進行電解氯化鈉水溶液觀察

此段研究中，我們使用添加有廣用試劑的 5% 氯化鈉水溶液加入 U 型管中，兩端以碳棒做為電極進行電解實驗，其結果如下表 6-1 所示。

表 6-1 以 U 型管進行電解氯化鈉水溶液之過程



在未電解前，廣用指試劑是綠色，電解一分鐘後，負極的廣用指試劑逐漸變成紫色，正極的廣用指試劑逐漸變成黃色，中間綠色變少。電解兩分鐘，正極的黃色逐漸往下，負極的紫色也逐漸往下，中間廣用指試劑的綠色變得極少。電解三分鐘，正極的黃色已經和紫色(鹼性)接觸，負極的紫色已經取代綠色和黃色(酸

性)接觸，中間的綠色已經逐漸變淡。此段發現符合文獻中正極電解後產生酸性現象，負極產生鹼性現象相符合。

不過U型管由於管徑過小，我們無法直接使用 pH 計進行不同時間點的 pH 值變化測量，因此我們改用吸滿具有混和廣用試劑的 5%氯化鈉水溶液之濾紙，進行下段觀察。

二、 實驗二：使用濾紙進行電解氯化鈉水溶液觀察

此段實驗使用吸滿具有混和廣用試劑的 5%氯化鈉水溶液之濾紙，以碳棒為電極進行電解，可以發現很清楚的顏色改變，其結果如下表 6-2 所示：

表 6-2 濾紙法觀察電解氯化鈉水溶液之過程變化

電解 1 分鐘	電解 2 分鐘
	
電解 5 分鐘	電解 3 分鐘
	

研究發現：

- (一) 電解 1 分鐘，正極的橘黃色逐漸往右，中間的綠色只剩一點點，負極的紫色逐漸往左。
- (二) 電解 2 分鐘，正極的黃橘色將綠色吞蝕掉，逐漸侵略負極的藍色，中間的綠色已經不見。
- (三) 電解 3 分鐘，正極的黃色逐漸被負極的藍色以點點狀侵蝕。
- (四) 電解 5 分鐘，正極有極少量的黃色被負極中和成綠色，有一些黃色則逐漸變淡。我們覺得，藍色會以點點狀移動，是因為沿著濾紙的纖維才會這樣。
- (五) 此實驗發現正極所產生的酸性物質擴散速度大於鹼性物質的擴散速率，且正極的酸性物質越來越淺(越來越不酸)。

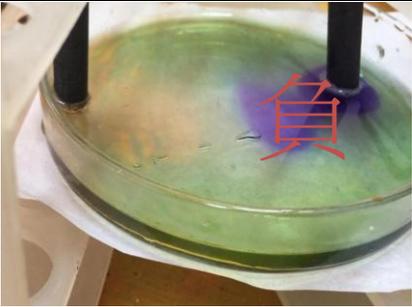
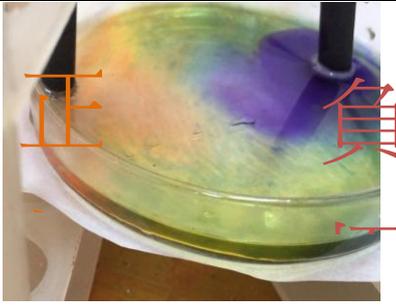
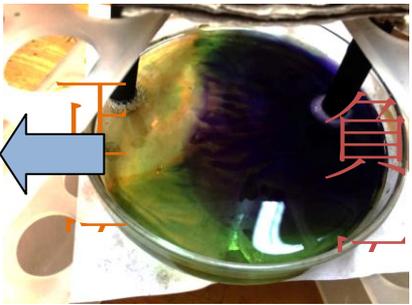
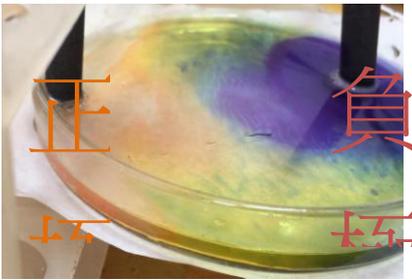
- (六) 原本以為這樣的設計可以使用 pH 計進行測量，可是 pH 計探頭無法接觸到水溶液，所以我們在培養皿上放置約 1 公分高的氯化鈉水溶液，進行下段實驗進行觀察與測量。

三、 實驗三：使用培養皿低層水溶液進行進行電解氯化鈉水溶液

液觀察

此實驗我們在培養皿上放置約 1 公分高的氯化鈉水溶液，以碳棒做為電極進行觀察與測量，其質化結果如下表 6-3 所示，pH 測量結果如表 6-4、圖 6-1、6-2 所示。

表 6-1 使用培養皿低層水溶液進行進行電解氯化鈉水溶液觀察結果

電解 1 分鐘	電解 2 分鐘
	
	

電解一分鐘，正極有淡淡的橘黃色，負極有一些藍紫色，綠色占了大多數。電解兩分鐘，正極的黃色逐漸散開，負極的紫色也逐漸散出，將周圍染成淡藍色，綠色被侵蝕、變少。電解三分鐘，負極的黃色只擴展了一點點，正極的藍色，已經擴大了許多，而周圍的綠色還有一些。電解五分鐘，正極的橘黃色已經被負極侵蝕到只剩一點，綠色只剩一點點。

根據實驗(三)測量的 pH 值，結果如下表 6-4 、圖 6-1、6-2。

表 6-4 三點測量 pH 值變化

	左邊(正極)	中間	右邊(負極)
0 分鐘	7.1		
1 分鐘	4.2	6.2	8.6
2 分鐘	2.9	7.5	9.1
3 分鐘	1.3	7.5	9.0
4 分鐘	1.6	5.0	8.2
5 分鐘	1.4	5.9	10.6
混合後	10.8		

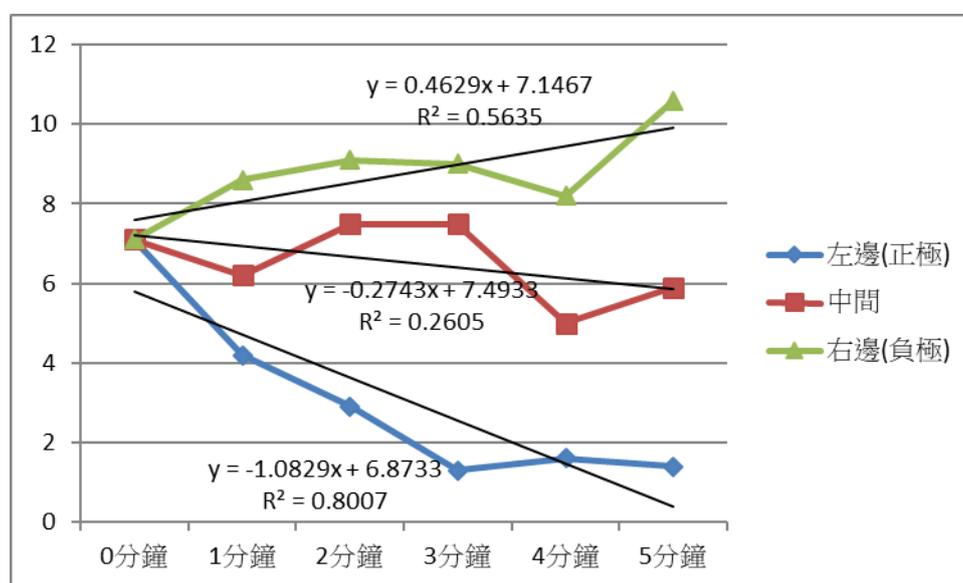


圖 6-1 五分鐘之三點測量 pH 值

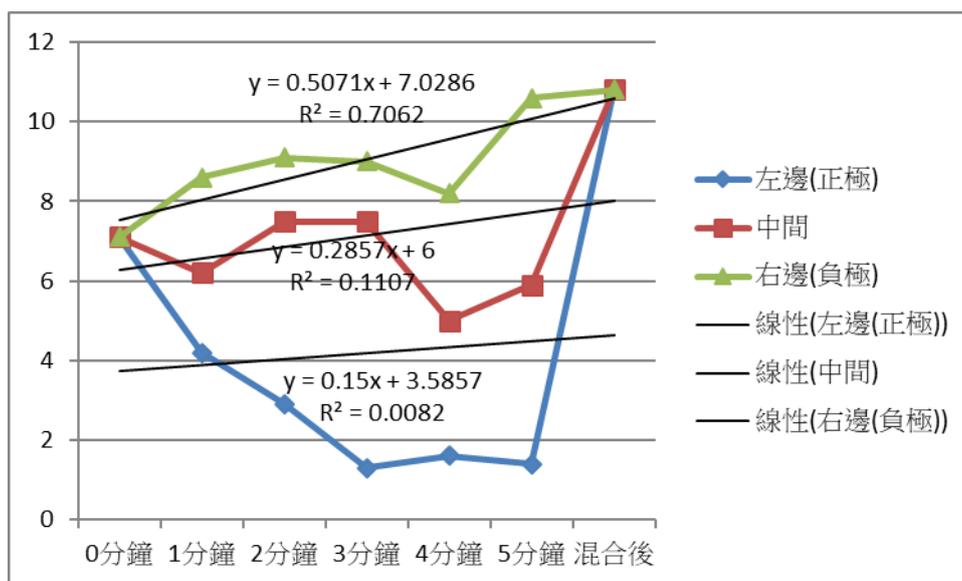


圖 6-2 電解 5 分鐘後，搖晃均勻後的 pH 值變化

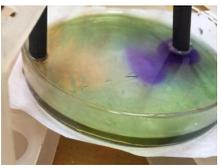
發現：

- (一) 正極的狀況隨著時間越來越酸化，五分鐘結束後 pH 值約為 1.4。
- (二) 負極的狀況隨著時間越來越鹼化，五分鐘結束後 pH 值約為 10.6。
- (三) 中間接觸的位置 pH 值維持在 7.1~5.9 間，顯示弱酸化(推測可能為酸性物質擴散速率較快所致)。
- (四) 在電解五分鐘後，取下碳棒，將溶液搖晃均勻後，其混和 pH 值為 10.8，顯示負極所產生的鹼性物質總量高過於正極所產生的酸性物質，因此混合之後的 pH 值接近於負極的 10.6。
- (五) 我們推測搖晃的過程中造成 $\text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NaOH}$ ，隨即解離出大量的 OH^- 。

柒、綜合討論

在一開始時我們使用濾紙來做實驗，但後來發現濾紙不能測 pH 值，因為我們使用的 pH 儀需要水才能使用。但後來使用水溶液發現雖然可以測得其中的酸鹼值但因水易自由度高所以中和太快無法觀察到其中的顏色變化。我們比較濾紙法和水溶液法的電解過程如下表 7-1。

表 7-1 濾紙法和水溶液法的電解過程比較

	電解一分鐘	電解兩分鐘	電解三分鐘	電解五分鐘
濾紙				
水溶液				

我們由上表發現，濾紙電解三分鐘時正極的顏色是紅色的，但電解五分鐘時正極的顏色變為黃色，我們也發現水溶液中的正極也同樣有這樣的趨勢，且下表的 pH 值也證明了我們的這個想法。我們推測有可能是因為 OH^- 由負極跑到正極所以有這種趨勢。若是我們以正負極、中間位置以及電解後混和溶液的 pH 變化(如表 7-2)，我們有以下的想法。

表 7-2 三點測量 pH 值變化

	左邊(正極)	中間	右邊(負極)
0 分鐘	7.1		
1 分鐘	4.2	6.2	8.6
2 分鐘	2.9	7.5	9.1
3 分鐘	1.3	7.5	9.0
4 分鐘	1.6	5.0	8.2
5 分鐘	1.4	5.9	10.6
混合後	10.8		

根據上表 7-2，我們發現電解後混合，正極的 pH 質電解後比混合後低，是因為 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$ $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{H}^+$ $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ，因此我們可以得知 $\text{H}^+ : \text{OH}^- = 1 : 2$ 所以會越來越鹼，推測正、負極電解時有可能會發生的半反應化學變化如下圖 7-1 所示。

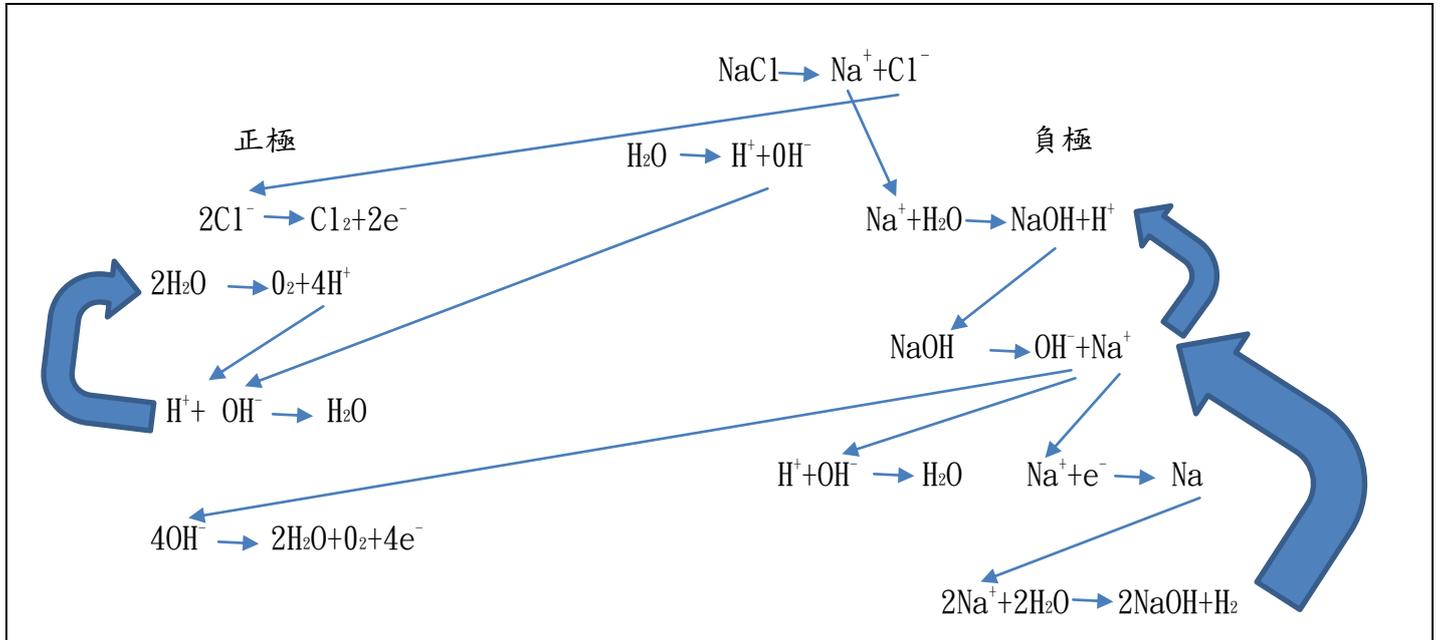


圖 7-1 電解氯化鈉水溶液可能發生之半反應

捌、結論

一、氯化鈉水溶液電解反應前、中、後的 pH 值變化為何？

我們發現：

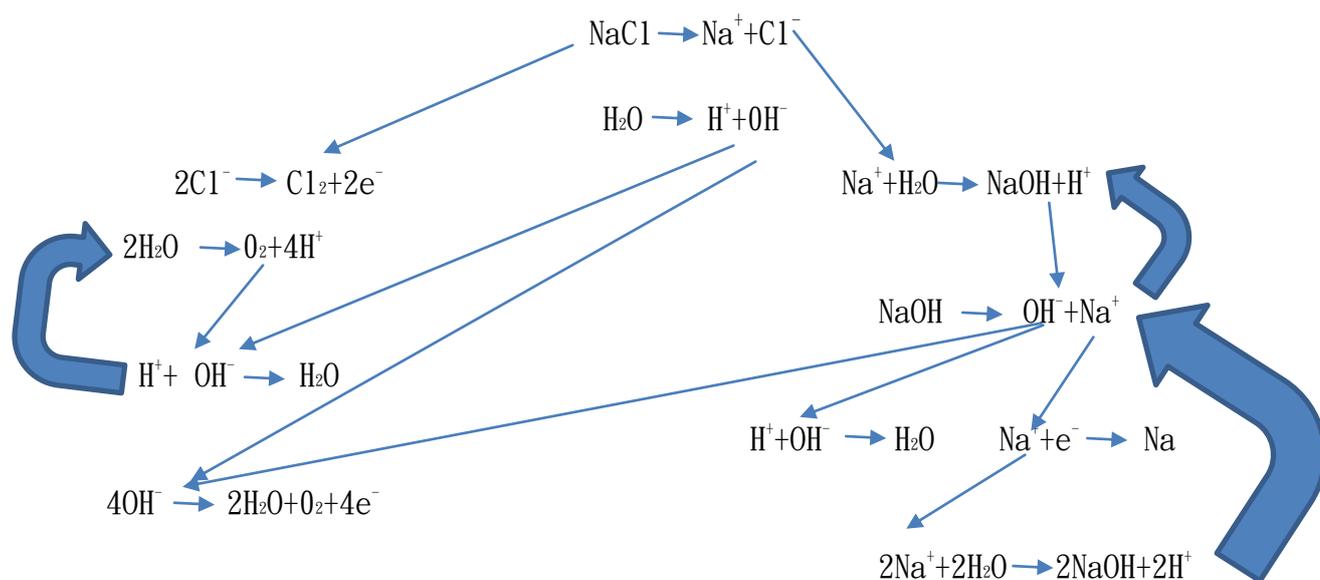
1. 電解 1 分鐘，正極的 pH 質為 4.2，中間的 pH 質為 6.2，負極的 pH 質為 8.6。
2. 電解 2 分鐘，正極的 pH 質為 2.9，中間的 pH 質為 7.5，負極的 pH 質為 9.1
3. 電解 3 分鐘，正極的 pH 質為 1.3，中極的 pH 質為 7.5，負極的 pH 質為 9.0
4. 電解 4 分鐘，正極的 pH 質為 1.6，中間的 pH 質為 5.0，負極的 pH 質為 8.2。
5. 電解 5 分鐘，正極的 pH 質為 1.4，中間的 pH 質為 5.9，負極的 pH 質為 10.6。
6. 混合後的 pH 質為 10.8。

二、氯化鈉滴入電解反應前、中、後廣用指試劑的顏色變化

依據實驗(3)的結果我們發現：

1. 電解一分鐘，正極有淡淡的橘黃色，負極有一些藍紫色，綠色占了大多數。
2. 電解兩分鐘，正極的黃色逐漸散開，負極的紫色也逐漸散出，將周圍染成淡藍色，綠色被侵蝕、變少。
3. 電解三分鐘，負極的黃色只擴展了一點點，正極的藍色，已經擴大了許多，而周圍的綠色還有一些。
4. 電解五分鐘，正極的橘黃色已經被負極侵蝕到只剩一點，綠色只剩一點點。

三、探討氯化鈉水溶液發生電解時可能發生的半反應循環過程如下所示：



4. 使用不同器材電解食鹽水的顏色變化

依據實驗(1)的結果:

1. 電解一分鐘後，負極的廣用指試劑逐漸變成紫色，正極的廣用指試劑逐漸變成黃色，中間綠色變少。
2. 電解兩分鐘，正極的黃色逐漸往下，負極的紫色也逐漸往下，中間廣用指試劑的綠色變得極少。
3. 電解三分鐘，正極的黃色已經和紫色接觸，負極的紫色已經取代綠色和黃色接觸，中間的綠色已經不見了。

依據實驗(2)的結果:

1. 電解一分鐘，正極的橘黃色逐漸往右，中間的綠色只剩一點點，負極的紫色往左。
2. 電解兩分鐘，正極的黃橘色將綠色吞蝕掉，逐漸侵略負極的藍色，中間的綠色已經不見。
3. 電解三分鐘，正極的黃色逐漸被負極的藍色以點點狀侵蝕。
4. 電解五分鐘，正極有極少量的黃色被負極中和成綠色，有一些黃色則逐漸變淡。
5. 我們覺得，藍色會以點點狀移動，是因為沿著濾紙的纖維才會這樣。

依據實驗(3)的結果:

1. 電解一分鐘，正極有淡淡的橘黃色，負極有一些藍紫色，綠色占了大多數。
2. 電解兩分鐘，正極的黃色逐漸散開，負極的紫色也逐漸散出，將周圍染成淡藍色，綠色被侵蝕、變少。
3. 電解三分鐘，負極的黃色只擴展了一點點，正極的藍色，已經擴大了許多，而周圍的綠色還有一些。
5. 電解五分鐘，正極的橘黃色已經被負極侵蝕到只剩一點，綠色只剩一點點。

玖、參考文獻

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E8%A7%A3%E8%B4%A8>

https://www.nani.com.tw/nani/jlearn/natu/ability/a1/4_a1_3_1.htm

<https://www.wikiwand.com/zh-mo/%E9%9B%BB%E8%A7%A3%E6%B0%B4>

<https://alexshr1.pixnet.net/blog/post/402297314>

<https://baike.baidu.com/item/%E6%AC%A1%E6%B0%AF%E9%85%B8%E9%92%A0>

<https://www.wikiwand.com/zh-tw/%E6%AC%A1%E6%B0%AF%E9%85%B8%E9%88%89>

<https://www.itsfun.com.tw/%E9%9B%BB%E8%A7%A3%E9%A3%9F%E9%B9%BD%E6%B0%B4/wiki-4862093-6693173>