

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030210

電解～機能水

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者： 國二 葉 嘉 國一 文心琪 國一 韓承真	指導老師： 賴月琴 曾希正
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：電解、酸性氧化水、鹼性還原水

電解~機能水

中文摘要

我們以濾紙為載體，電解「有顏色的電解質水溶液」來驗證阿累尼士的電離說；也以投影片為載體，電解「廣用試紙的色水」來了解電解水的正負極反應及酸鹼性變化；了解市售電解水機的製造法，也自製了「兩極分流電解槽來電解水、電解食鹽水」，利用控制正、負極出水流速、不同電壓大小、不同電極種類等，已成功地找出電解水兩極分流的最佳條件。

我們以自製的正極酸性氧化水來軟化回收紙，製成手抄再生紙；以自製的負極鹼性還原水代替清潔劑，清洗油膩的便當盒及模擬鹼洗中和工廠排放的二氧化碳，提供維護環境，減少二氧化碳排放的另類可行辦法。

研究報告

壹、研究動機

注重養生、愛美的老媽，最近正和阿姨熱絡的討論要買電解水機的事情，好奇的我，也不禁的跟著到賣水機的店裡，想了解概況。原來市售電解水機可製造出酸性水及鹼性水，聽他講的天花亂墜，讓我對電解水的神奇功效更好奇了，喝這些水沒問題嗎？

回家後，我立刻上網查大家對「電解水」的評價，結果是好壞參半。說不好的人，直指水源問題，電解水不可以喝；說好的人，就說可調節中和酸性體質...。除了這些用途外，難道沒有更安全、更另類的實際用途？

恰好學校正在甄選科展的學生，我以電解水為主題，提出報告、口試後，沒想到我居然錄取了。希望在老師的指導下，我與學妹們能順利的完成我們的研究。加油！

貳、研究目的

1. 濾紙為載體「電解有色的電解質水溶液」以驗證阿累尼士的電離說
2. 投影片為載體「電解廣用試紙的色水」以驗證電解水的正負極反應及酸鹼性變化
3. 設計電解水的兩極分流裝置以找出電解水兩極分流的最佳條件
4. 自製小型兩極分流電解槽電解食鹽水的兩極分流效果以模擬電解海水的可行性
5. 研究電解水的另類機能及用途

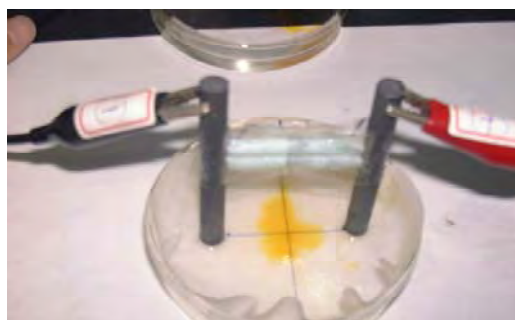
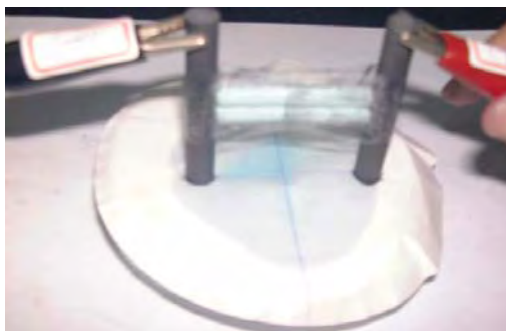
參、研究設備器材

一、研究設備及軟體

- (一)設備及器材：pH 計、電焊槍、熱熔膠及熱熔膠槍、果汁機、打洞機、電源供應器、充電電池及電池座、鐵架及定滑輪、抽氣筒、碎紙機
- (二) 所用藥品及工具：硫酸銅、二鉻酸鉀、硫酸、過氧化錳、鹽酸、碳酸鈣、鋁片、鋅片、鐵片、銅片、碳棒、鉛筆心、廣用試紙、氯化鈉、逆滲透水、自來水、圖畫紙、剪刀、鱷魚夾線、標籤紙、大頭針、量筒、碼錶、塑膠量杯、墊板、塑膠尺、吸管、保麗龍膠、塑膠盆、注射針筒、橡皮軟管、有側管錐形瓶、薊頭漏斗、絹網及框、50 元硬幣、A4 大小的壓克力夾板
- (三)自製器材：自製雙圓十字長條投影片、自製大小兩極分流電解槽、U 型管水銀壓力計
- (四)回收材料：回收布丁杯、回收塑膠容器、廢紙、塑膠繩

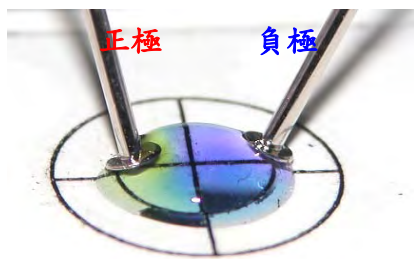
二、電解的測量裝置及設計

(一)以濾紙為載體，電解「有顏色的電解質水溶液」設計

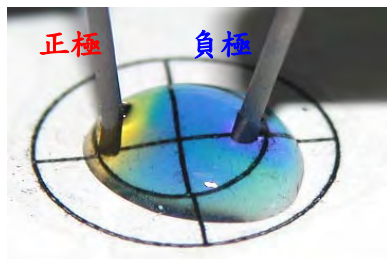


藍色的 Cu^{2+} 正離子傾向於往負極移動 橘色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 負離子傾向於往正極移動

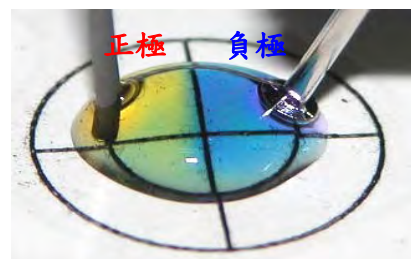
(二)以投影片為載體，電解一滴「廣用試紙的色水」設計



正、負極為大頭針
電解 180 秒時的畫面

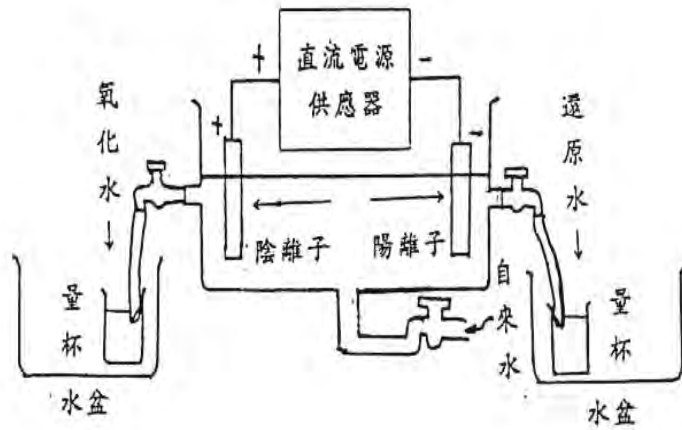


正、負極為鉛筆心
電解 180 秒時的畫面

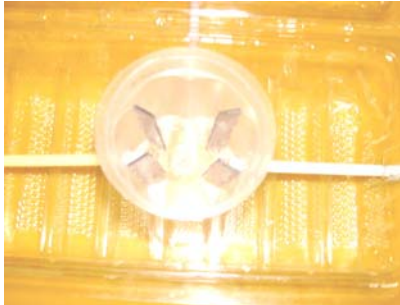


正極為碳棒、負極為大頭針
電解 180 秒時的畫面

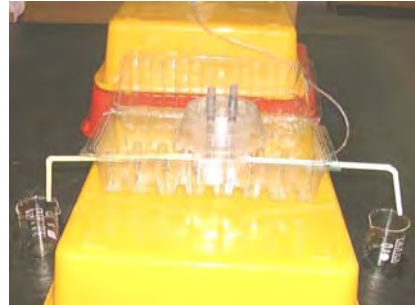
(三)兩極分流電解槽的第一種設計



(四)小型的兩極分流電解槽第二種設計

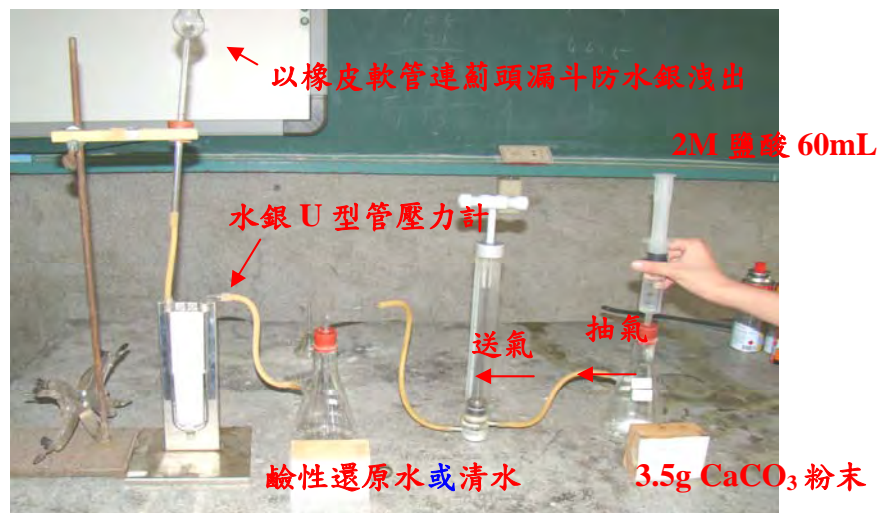


裝黏四片 1 公分寬塑膠尺為檔板
增加分流電解的效果



自製小型兩極分流電解槽完成圖

(五)以氣壓法設計比較不同酸鹼值的水中和二氧化碳的氣壓及 pH 值變化



肆、研究過程或方法

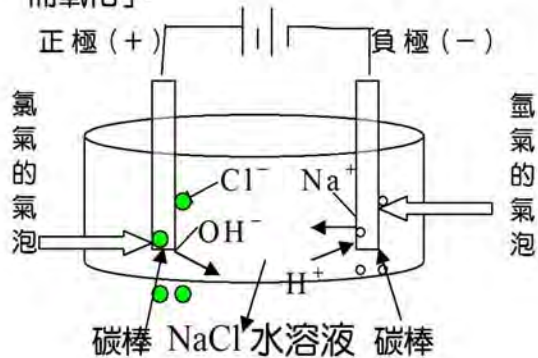
一、自製設計兩極分流電解槽的原理及反應機制

(一) 已學過的電解質定義是：電解質在水溶液中可解離成帶負電陰離子及帶正電陽離子，兩者電量相等，所以，溶液是電中性的。

例：食鹽 NaCl 分子



(二) 電解(electrolysis)：根據電離說的觀念「電解質供應直流電時，因外加電能使電解槽中正、負離子按特定方向移動；正離子移向負極得到電子而還原，而負離子移向正極失去電子而氧化」。



(三) 反應機制：

1. 電解水 $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{加幫助導電的硫酸等電解質}} 2\text{H}_2(\text{負極}) + \text{O}_2(\text{正極})$ ，其正負極的氧化還原反應如下：

(-) 極還原反應： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 還原電位 = 0V，但水溶液中大部份是水，所以

負極反應： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ 還原電位 = -0.83V。

氫離子或水分子移向負極得到電子而「還原」，若在這部分設一出水口，則所流出的水叫還原水，且應成鹼性。

(+) 極反應： $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ 氧化電位 = -0.40V，中性或酸性水溶液的 OH^- 少，

所以，正極反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 氧化電位 = -1.23V。

氫氧根離子或水分子移向正極失去電子而「氧化」，若在這部分設一出水口，則所流出的水叫氧化水，且應成酸性。

總反應 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 總電位 = -2.89V，需外加電能約 3V 以上才可進行電解水的反應。

2. 電解氯化鈉水溶液為例： $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{Cl}_2$

(-) 極還原反應： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 電位 = 0V 或 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ 電位 = -0.83V，
而 $\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$ 還原電位 = -2.71V (H^+ 產生的 H_2 還原電位比 Na^+ 生成 Na 者高，所以
 H^+ 優先還原生成 H_2)，且在這部分設一出水口，則所流出的水亦應成鹼性。

(+) 極氧化反應： $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ 電位 = -1.36V 而 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 電位 = -1.23V，
 Cl^- 產生的 Cl_2 氧化電位比 4OH^- 生成 O_2 者高，所以 Cl^- 優先氧化生成 Cl_2 ，而此
正極產生的氯氣可溶於水中呈酸性 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HClO}$ 故在這部分設一出
水口，則所流出的水亦為酸性水。

總反應 $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} \text{Cl}_2 + \text{H}_2 + 2\text{NaOH}$ 總電位 = -2.19V，其需要的外加電壓
及電能顯然比 $2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} \text{O}_2 + \text{H}_2 + 2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^-$ 總電位 = -2.89V 的低些，所
以，正極優先生成氯 Cl_2 。

研究一、濾紙為載體「電解有色的電解質水溶液」以驗證阿累尼士的電離說

實驗一、電解質水溶液中正、負離子在電解時的位移方向比較

為了清楚觀察到正、負離子的真正移動情形，所以，我們找了有顏色的溶液先以解離方程式來比較分析這些電解質在解離時正、負離子的顏色

材料離子反應式	材料顏色分析
$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	H_2SO_4 無色，所以 H^+ 及 SO_4^{2-} 也為無色。
$\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	由式知 SO_4^{2-} 為無色的，所以 CuSO_4 藍色是 Cu^{2+} 的顏色。
$\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	KCl 無色，所以 K^+ 及 Cl^- 也為無色。
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	由式知 K^+ 為無色的，所以 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 橘紅色是 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的顏色。
$\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$	由式知 K^+ 為無色的，所以 KMnO_4 紫色是 MnO_4^- 的顏色。

所以，我們就選定 CuSO_4 、 KCr_2O_7 、 KMnO_4 等有顏色的水溶液材料做以下實驗：

步驟：

1. 將圖畫紙剪成條狀，並打 2 個圓孔，使兩電極恰能穿過其中，連接直流電源正負兩極，裝置簡圖如右：
2. 加水恰可使紙片濕潤即可，同時加幾滴 H_2SO_4 以幫助溶液導電。(注意：不可使水超過紙片太多)。
3. 紙片中心點記號處滴上 CuSO_4 藍色液滴，利用紙片吸附有色離子的作用，仔細觀察有色離子往正極或負極的移動情形。
4. 重覆步驟 1~3，將步驟 3 的 CuSO_4 藍色液滴改滴入 KCr_2O_7 或 KMnO_4 液滴，觀察其正、負離子在電解時的位移方向。



研究二、投影片為載體「電解廣用試紙的色水」以驗證電解水的正負極反應及酸鹼性變化

實驗二、電解「一滴廣用試紙的色水」實驗

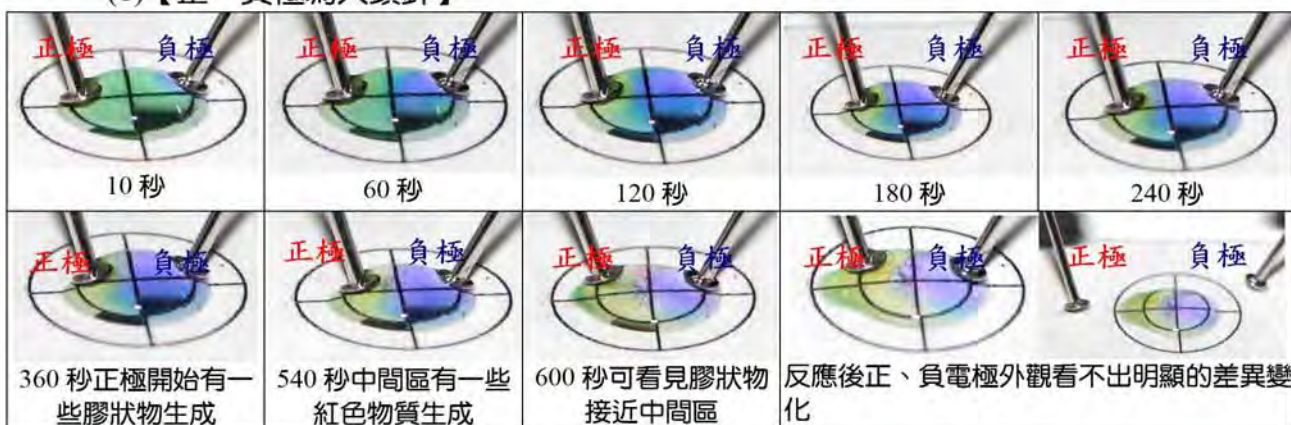
準備：1. 一片廣用指示劑加 10 滴去離子水的比例，溶出色水後的稀釋液為下列實驗的指示劑。
2. 以 Microsoft Word 繪製雙圓十字長條投影片，當做電解正負電極擺放的間距及承載液滴的接觸面。

步驟：1. 滴一滴廣用指示劑在投影片的內圓中心。

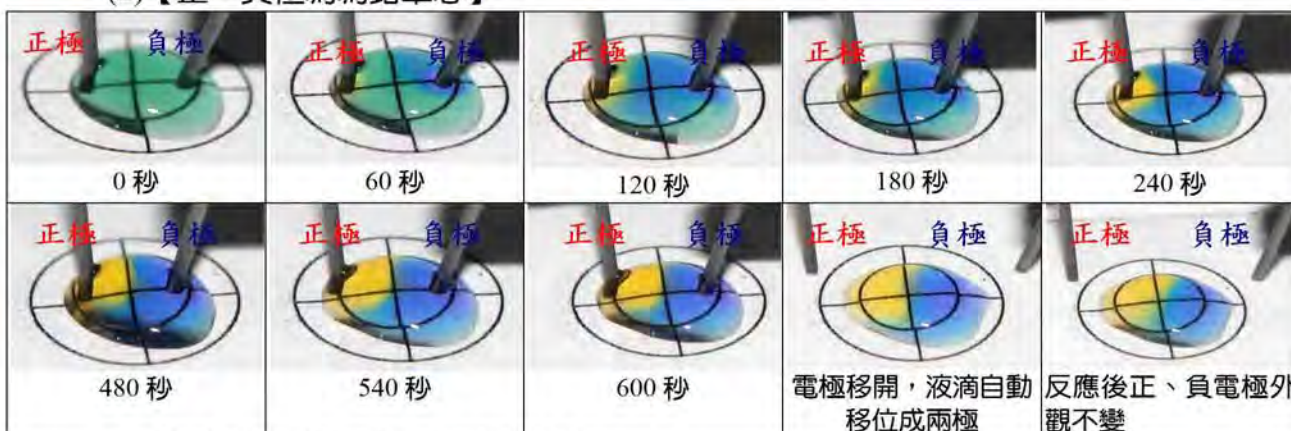
2. 以兩顆充電電池及電池座為電源，正負極均以鱷魚夾線夾住大頭針(或鉛筆心)為電極，針頭鈍端擺在內圓十字直徑的兩端。固定好電極後，開始通電。

3. 計時開始進行微形電解，拍攝的過程圖示如下：

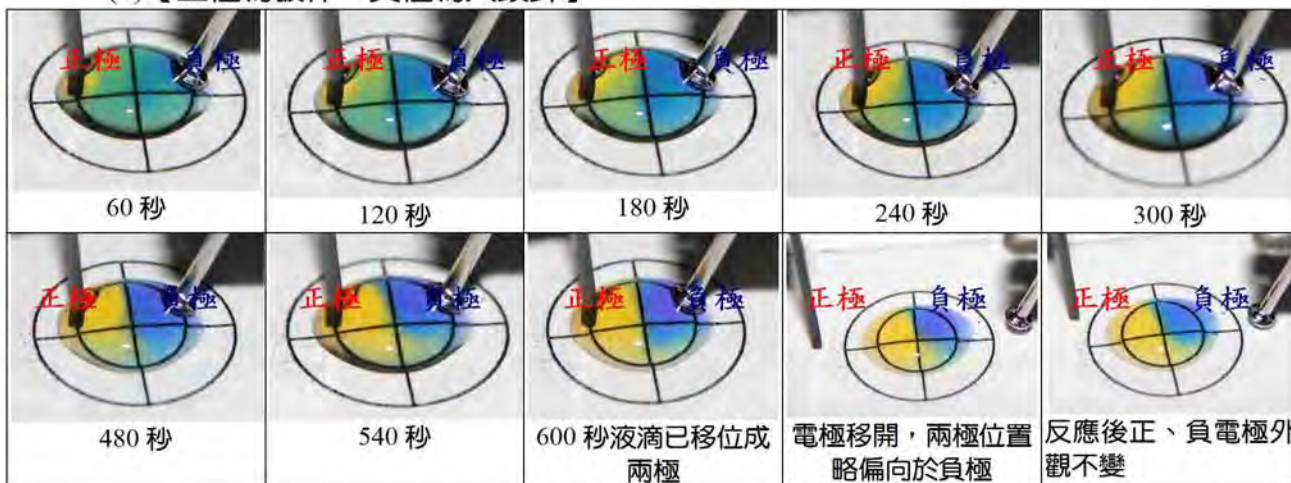
(1)【正、負極為大頭針】



(2)【正、負極為鉛筆心】



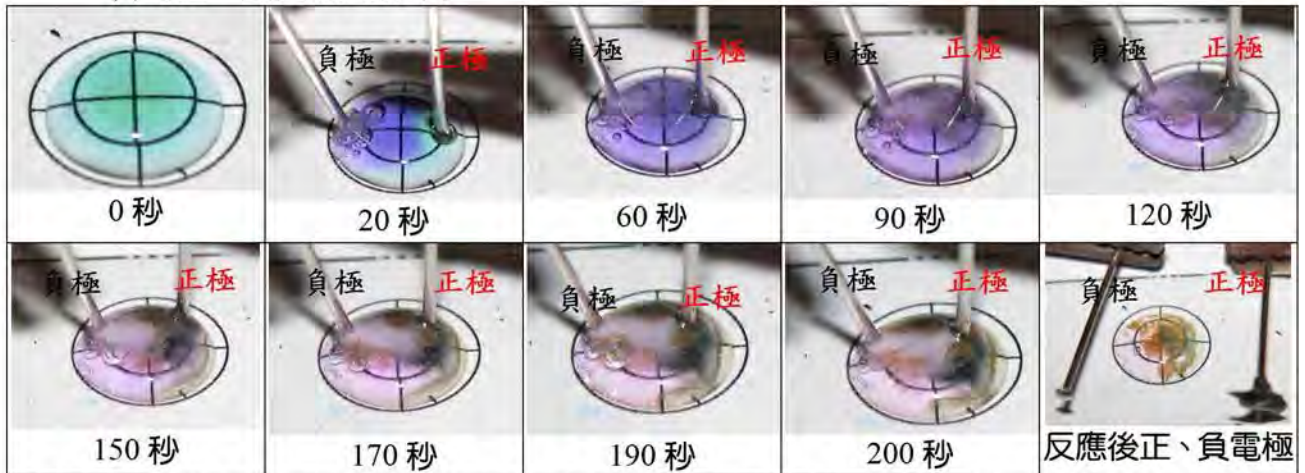
(3)【正極為碳棒、負極為大頭針】



實驗三、電解一滴 1M 食鹽水加一滴廣用指示劑的實驗

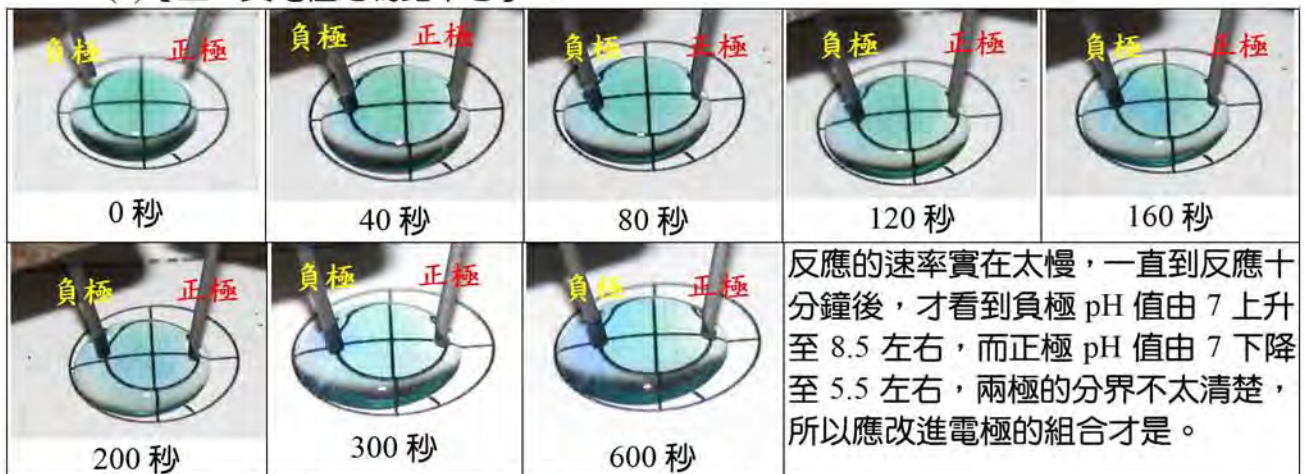
準備及實驗步驟如實驗二，只是多加一滴食鹽水，正負電極擺放在外圓十字直徑的兩端，固定好電極後，開始進行微形電解。拍攝的過程圖示如下：

(1)【正、負極為大頭針】



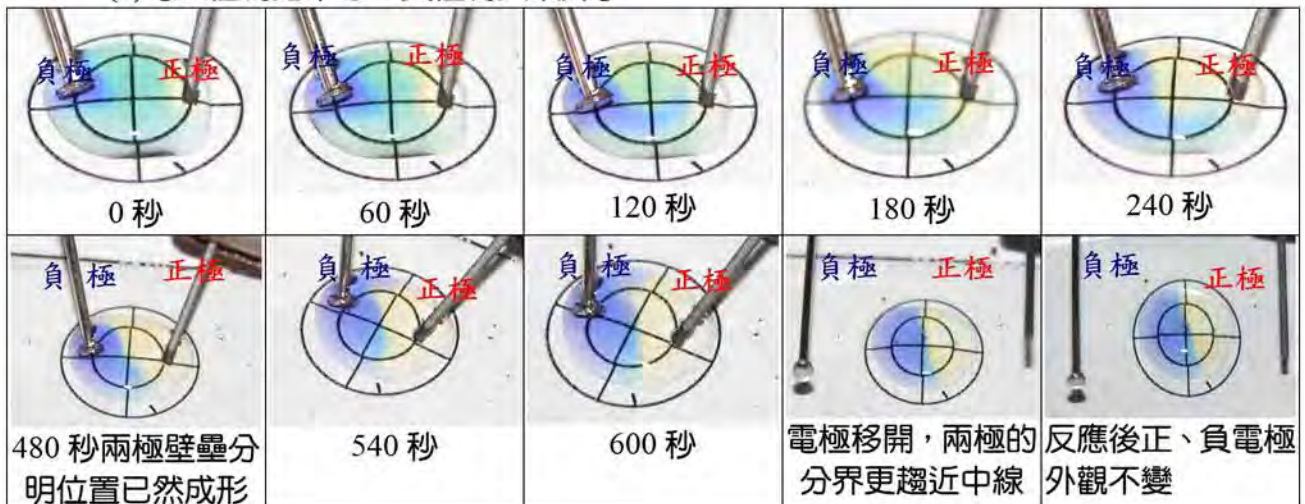
若以大頭針當正極，則鍍上鎳的鐵電極會與 Cl^- 發生競爭性的氧化反應，若此金屬優先被氧化，此時負極釋放氫氧根離子與金屬離子結合形成膠狀的沉澱物，後期氯離子被氧化產生氯而氯又溶於水形成酸及次氯酸而將色素漂白，所以後期的顏色有變淡的情形出現。

(2)【正、負電極為鉛筆心】



反應的速率實在太慢，一直到反應十分鐘後，才看到負極 pH 值由 7 上升至 8.5 左右，而正極 pH 值由 7 下降至 5.5 左右，兩極的分界不太清楚，所以應改進電極的組合才是。

(3)【正極為鉛筆心、負極為大頭針】



480 秒兩極壁壘分明位置已然成形

電極移開，兩極的分界更趨近中線
反應後正、負電極外觀不變

研究三、設計電解水的兩極分流裝置以找出電解水兩極分流的最佳條件

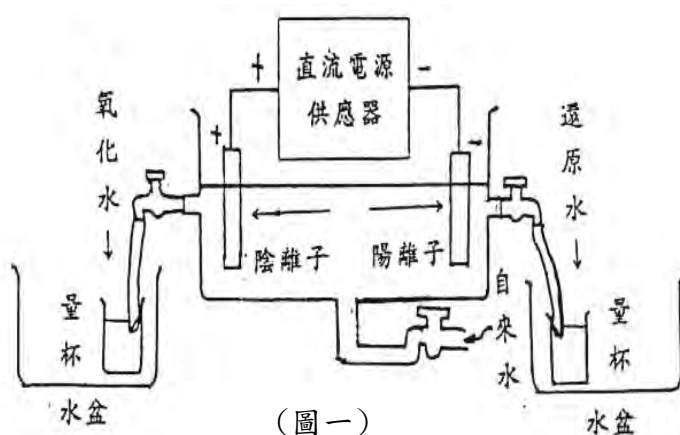
實驗四、兩極分流電解槽的設計實驗

目的：為了能分離出正、負極的氧化水及還原水，我們自製了中間進水，而分別從正負極兩側出水的兩極分流電解槽，再試圖找出兩極分流電解水的最佳條件。

器材：自製兩極分流電解槽、電源供應器、碳棒、鱷魚夾、自來水、量筒、碼錶、pH 計

步驟：1.設計裝置簡圖如下圖一。

- 2.調整電壓至 45V，打開自來水的水龍頭，水流速不要太大，電路接通後，再打開正、負極兩側水龍頭，三分鐘後再以量杯收集氧化水及還原水各 100 毫升。



自製供應中央入水槽



氧化水出口閥



還原水出口閥

實驗五 改變電極位置測定兩極分流的 pH 值大小

- 1.裝置與前圖一相同。
- 2.正、負碳棒電極間距 5cm，將電源供應器電壓調至 45V，打開自來水的水龍頭，水流速不要太大，電路接通後，再打開正、負極兩側水龍頭，三分鐘後再開始以量杯收集氧化水及還原水各 100mL。每三分鐘後再以量杯收集氧化水及還原水，用 pH 計測各 pH 值。

實驗六 加裝正負極兩側檔板測定兩極分流的 pH 值大小

- 1.裝置中在正負極兩側以墊板做成阻止水迴流的檔板。
- 2.此步驟與實驗五相同。實驗結果如表五所示。

實驗七 改變正、負電極間距測定兩極分流的 pH 值大小

1. 裝置如實驗六。
2. 正、負極碳棒電極間距 10cm 或 15cm，其餘條件與前相同，記錄如表六。

實驗八、改變正、負極出水流速測定兩極分流的 pH 值大小

1. 裝置如實驗六。
2. 正、負極碳棒電極間距 10cm，將電源供應器電壓調至 90V。
3. 每調整水量後，再 3 分鐘才開始計時，記錄如表七。

實驗九、改變電源電壓測定兩極分流的 pH 值大小

1. 裝置如實驗六。
2. 正、負極碳棒電極間距 10cm，每 100 mL 正極出水量正極約 7 分鐘、負極約 3 分 30 秒。
3. 電源電壓調至 22.5 V，1 分鐘後開始每 4 分鐘就收集兩極分流的水。
4. 改變電源電壓為 45 V、67.5 V 或 90 V，1 分鐘後開始每 4 分鐘就收集兩極分流的水，記錄如表八。

實驗十、改變電極材料測定兩極分流的 pH 值大小

1. 裝置如實驗六。
2. 正極碳棒、負極改為銅片，兩極間距 10cm，每 100 mL 出水量負極約 3 分 30 秒、正極則約 4 分鐘。
3. 每調整水量後，再 3 分鐘才開始計時，記錄如表九。
4. 負極流速保持每 100 mL 出水量約 3 分 30 秒、正極則約 7 分鐘。實驗結果記錄如表十。
5. 同步驟 4，負極改成鋅片，兩極間距 10cm，每 100 mL 出水量負極約 1 分、正極則約 5 分鐘。
6. 每調整水量後，再 3 分鐘才開始計時，記錄如表十一。
7. 再調整水量為每 100 mL 正極約 3 分鐘、負極約 2 分 30 秒，再分別用不同的電源電壓 45 V 或 90V 電解，1 分鐘後開始每 4 分鐘就收集兩極分流的水，記錄如表十二。綜合比較如表十三。

研究四、自製小型兩極分流電解槽電解食鹽水的兩極分流效果以模擬電解海水的可行性



小型分流電解槽的製備工具



分流電解槽側面以通電的電焊槍打洞



分流電解槽底部以通電的電焊槍打洞，底部打洞時略加以旋轉出適當的大小



兩側及底部打洞後插好吸管並以保麗龍膠固定



將可彎吸管再套接上去就成簡易的分流電解單槽



簡易的分流電解單槽的俯視圖



接好槽底的入口管線及兩側分流出水口



加碳棒及檔板改良後的兩極分流電解槽(俯視圖)



自製小型兩極分流電解槽完成圖

實驗十一 負極不同電極材料下，測定電解水兩極分流的 pH 值大小

步驟：1. 裝置如上圖所示，正、負極均為碳棒當電極。

2. 將電源供應器電壓調至 20V，槽中接自來水，水的流速適中即可。

3. 每三分鐘後再以量杯收集氧化水及還原水，用 pH 計測各 pH 值。

4. 再改變負極為不同電極材料鋁、鋅、鐵、銅，以上述步驟再做分流的測定，結果如表十四。

實驗十二 負極不同電極材料下，測定電解食鹽水兩極分流的 pH 值大小

步驟：1. 裝置如上圖所示，正、負極均為碳棒當電極。

2. 將電源供應器電壓調至 10V，槽中接自來水，水的流速適中即可。

3. 將氯化鈉 23.4 克加入一些水溶解後稀釋至 1L，完成運用海水資源中 0.4M 氯化鈉的濃度。

4. 每分鐘後再以量杯收集氧化水及還原水，用 pH 計測各 pH 值。

5. 再改變負極為不同電極材料鋁、鋅、鐵、銅，以上述步驟再做分流的測定，結果如表十五。

研究五、研究電解水的另類機能及用途

實驗十三、負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效(一)

目的：注射針筒法比較用自來水及電解水負極鹼性還原水中和二氧化碳的 pH 值變化。



注射針筒內裝 0.5g 碳酸鈣粉末 接另一注射針筒內裝 2M 10mL 鹽酸 CO₂ 氣體注入杯中
步驟：

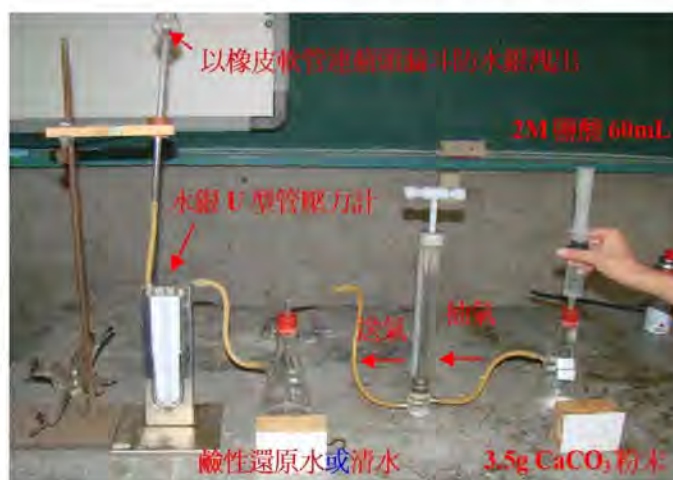
1. 塑膠注射針筒推桿先抽出，將 0.5 g 碳酸鈣粉末倒入後，以手堵住針筒口，只留一小縫，倒置針筒，慢慢將推桿推粉末到底且不使粉末逸出。
2. 另一注射針筒吸取 2M 10 mL 鹽酸後，以橡皮軟管連接兩注射針筒，筒內裝鹽酸的注射針筒推桿推到底，使鹽酸注入內裝 0.5 g 碳酸鈣粉末的注射針筒內。
3. 氣體生成後，由其中一管抽滿 60 mL 的二氧化碳氣體，藉由橡皮軟管注入鹼性還原水或清水中，每次注入的量及時間要控制相同。
4. 測各水杯前後的 pH 值變化，結果如表十六。

實驗十四、負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效(二)

目的：以氣壓法比較自來水及負極鹼性還原水中和二氧化碳的氣壓值變化及 pH 值變化。

步驟：1. 裝置如右圖所示。

2. 有側管錐形左瓶內裝 150 mL 自來水或鹼性還原水。
3. 有側管錐形右瓶內裝 3.5 g 碳酸鈣粉末，瓶子上面也注入相同的 2M 鹽酸 60 mL。
4. 以抽氣筒抽滿二氧化碳後，送氣進入有側管錐形左瓶內後立刻將送氣閥到錐形左瓶間的橡皮管夾緊，以免左瓶內的液體迴流到抽氣筒內。



5. 記錄每次 U 型管水銀壓力計的左、右側壓力值變化，並量測水樣前後的 pH 值變化，結果如表十七。

實驗十五、自製的正極酸性氧化水來「軟化回收紙」製成手抄再生紙

目的：電解正極酸性氧化水則用來軟化廢紙製成再生紙，確實達到減碳產能的目的。

步驟：1.選同材質、同一批的廢紙均勻混合打碎後達 400 g 備用。

2.混合酸性氧化水，使兩槽酸度平均約 pH5~6、pH6~7，另兩槽一為自來水、另一槽為 pH4 的鹽酸水各 1000mL，每槽均加入約 100 g 碎紙，混合均勻後，浸泡到第二天。

3.各槽以果汁機分別打碎形成紙漿，每槽再各加 1000 mL 的水均勻混合後，以利進行手抄再生紙的製造。造紙圖示如下：



酸性氧化水軟化廢紙



軟化到第二天到進果汁機中



打成紙漿



紙漿倒入塑膠槽中



組合絹網及框



以 45°角插入紙漿槽中



移開框後即為手抄紙(註)

註：再經吸水、壓紙、分離、乾燥後即可測試紙張有酸軟化或只浸水軟化的紙張粗糙度(摩擦力)試驗。

實驗十六、不同酸度氧化水軟化廢紙製成再生紙的紙質粗糙度比較

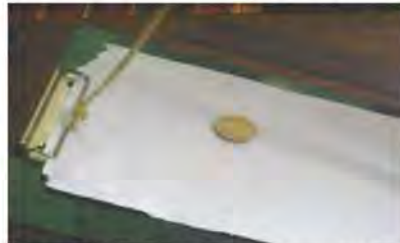
目的：以斜面測試酸性水軟化廢紙製成再生紙的紙質是否比自來水較為細緻光滑。

步驟：1.以 A4 大小的壓克力夾板當承載紙張的斜面，夾板上的夾子綁一塑膠繩，繩子的一端跨過鐵架上的定滑輪，以手拉繩的方式測試斜面上 50 元硬幣恰好滑下的高度及角度。

2.以不同酸度浸泡再製的紙質放在測試斜面上，多測試幾次 50 元硬幣恰好滑下的高度及角度，結果記錄如表十八。斜面摩擦力測試實驗圖示如下：



手抄再生紙以壓克力板夾住準備提高一邊當斜面



將已知質量的 50 元硬幣放到夾紙的壓克力板一端



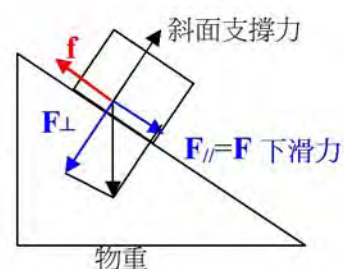
將板的一端提高至硬幣恰好滑下時，記錄斜面仰角及高度

原理：物在斜面上的下滑力恰為該斜面的摩擦力，斜面高度愈高，物的下滑力愈大，這就表示斜面愈粗糙。下滑力=物重×斜面高度/斜面長

說明：1.我們設計，實驗中相同的控制變因，例如：物重均為 50 元硬幣，壓克力板斜面長相同。因此，下滑力會與斜面高度呈正比。

2.力圖表示如右，下滑力 F 為物重在斜面的水平分力 $F_{//}$ ，物重的垂直分力 F_{\perp} 已被斜面支撐力抵消，所以，物在斜面上的重量相當於只有下滑力而已。

3.物體從斜面上往下運動，摩擦阻力 f 則恰與物體的運動相反，當物體在斜面上恰好滑下時，此即表示物體的下滑力 F 恰好=斜面的最大靜摩擦力 f ，斜面愈粗糙，最大靜摩擦力也愈大。



圖示及用斜面下滑力大小比較同材質廢紙，不同三種紙漿作法，形成不同粗糙度的比較



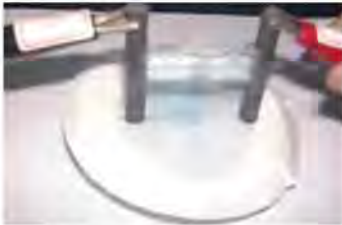
伍、研究結果

1. 研究一之實驗一、電解質水溶液中正、負離子在電解時的位移方向比較結果如下：

(1) 綜合觀察結果如下表一。

離子分類	種類	顏色	圖畫紙片上吸附有色離子的位置
正離子	Cu^{2+}	藍色	偏近負極位置
負離子	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	橘紅色	偏近正極位置
負離子	MnO_4^-	紫色	偏近正極位置

(2) 由實驗一證明，正離子的確有偏向負極移動，而負離子則偏向正極移動的事實。



藍色的 Cu^{2+} 正離子傾向於往負極移動

橘色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 負離子傾向於往正極移動

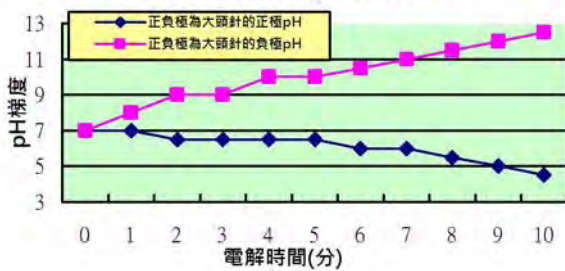
紫色的 MnO_4^- 負離子亦傾向於往正極移動

2. 研究二之實驗二、電解一滴水含廣用指示劑的實驗綜合觀察結果如下表二。

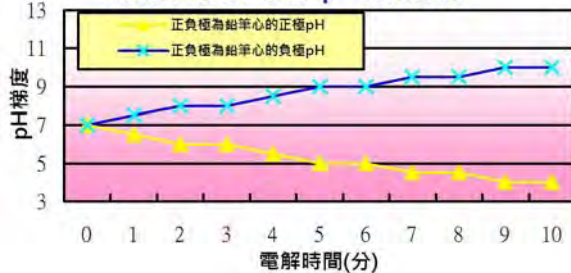
(1) 以不同電極電解一滴廣用指示劑的 pH 梯度大約變化(反覆多次對照廣用試紙標準變色表)

電解時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正負極為大頭針的正極 pH	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5
正負極為大頭針的負極 pH	7.0	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5
正負極為鉛筆心的正極 pH	7.0	6.5	6.0	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.5	4.0	4.0
正負極為鉛筆心的負極 pH	7.0	7.5	8.0	8.0	8.5	9.0	9.0	9.5	9.5	10.0	10.0
正鉛筆心負大頭針正極 pH	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.5
正鉛筆心負大頭針負極 pH	7.0	7.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	9.0	9.0	9.5	9.5

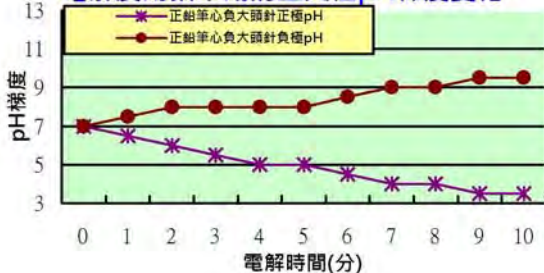
圖一、正負極皆大頭針電極電解廣用指示劑的正負極 pH 梯度變化



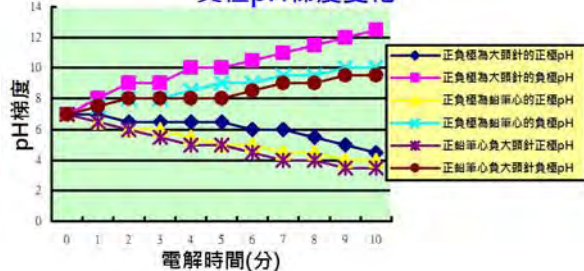
圖二、正負極皆鉛筆心當電極電解廣用指示劑的正負極 pH 梯度變化



圖三、正極鉛筆心負極大頭針當電極電解廣用指示劑的正負極 pH 梯度變化



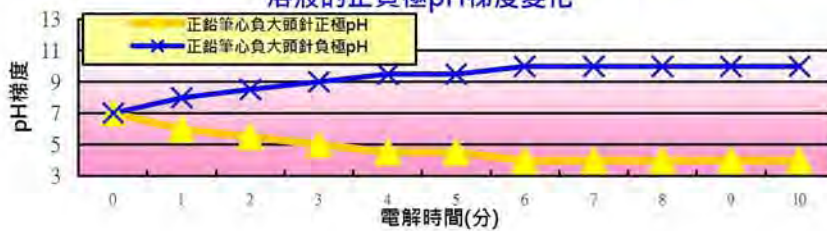
圖四、以不同電極電解廣用指示劑的正負極 pH 梯度變化



3. 研究二之實驗三、電解一滴 1M 食鹽水加一滴廣用指示劑的實驗綜合觀察結果如下表三。
 (1) 以不同電極電解一滴廣用指示劑的 pH 梯度大約變化(反覆多次對照廣用試紙標準變色表)

電解時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正負極為大頭針的正極 pH	7.0	8.0	因產生沉澱物，無法比較出正負極的 pH 值								
正負極為大頭針的負極 pH	7.0	9.0									
正負極為鉛筆心的正極 pH	7.0	反應太慢，兩極的分界不太清楚，所以應改進電極的組合才是。									5.5
正負極為鉛筆心的負極 pH	7.0										8.5
正鉛筆心負大頭針正極 pH	7.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
正鉛筆心負大頭針負極 pH	7.0	8.0	8.5	9.0	9.5	9.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

圖五、正極鉛筆心、負極大頭針當電極電解1M氯化鈉水
 溶液的正負極pH梯度變化



4. 研究三之實驗四、兩極分流電解槽的設計實驗中，在分離正、負極氧化水及還原水的結果為原水 pH 為 7.5，還原水 8.9，氧化水 6.8，由此可證明：電解還原水是鹼性水而氧化水是酸性水。

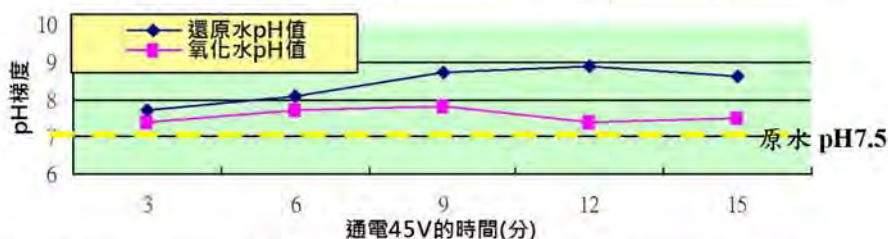
5. 研究四之(1)實驗五~改變電極位置測定兩極分流的 pH 值大小

表四、正、負碳棒電極間距 5cm，電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

通電 45V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	7.7	8.1	8.7	8.9	8.6	8.4
氧化水 pH 值	7.4	7.7	7.8	7.4	7.5	7.5
Δ pH	0.3	0.4	0.9	1.5	1.1	0.9

結果：還原水為鹼性水而氧化水則與原自來水 pH 值差不多，甚至還大於 7.5。

圖六、正、負極碳棒電距5cm，電解水分流的pH值大小



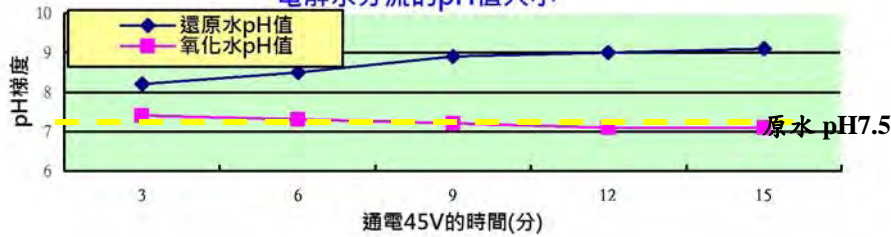
(2) 實驗六 加裝正負極兩側檔板測定兩極分流的 pH 值大小

表五、加裝正負極兩側檔板，正、負碳棒電極間距 5cm，電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

通電 45V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	8.2	8.5	8.9	9.0	9.1	8.7
氧化水 pH 值	7.4	7.3	7.2	7.1	7.1	7.2
Δ pH	0.8	1.2	1.7	1.9	2.0	1.5

結果：真如預期，正負極兩側加裝檔板可避免迴流，使氧化水略為酸性。

圖七、加裝正、負極兩側檔板，正、負碳棒電距5cm，
電解水分流的pH值大小



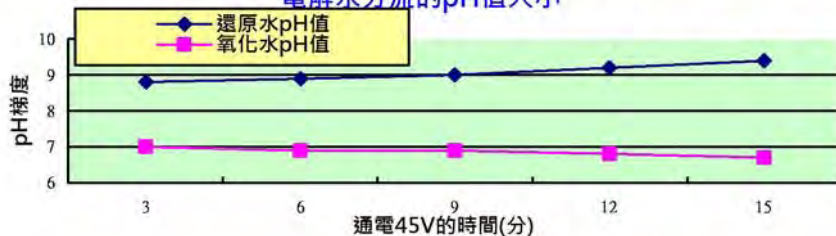
(3) 實驗七 改變正、負電極間距測定兩極分流的 pH 值大小

表六、正、負極碳棒電極間距 10cm 或 15cm，電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

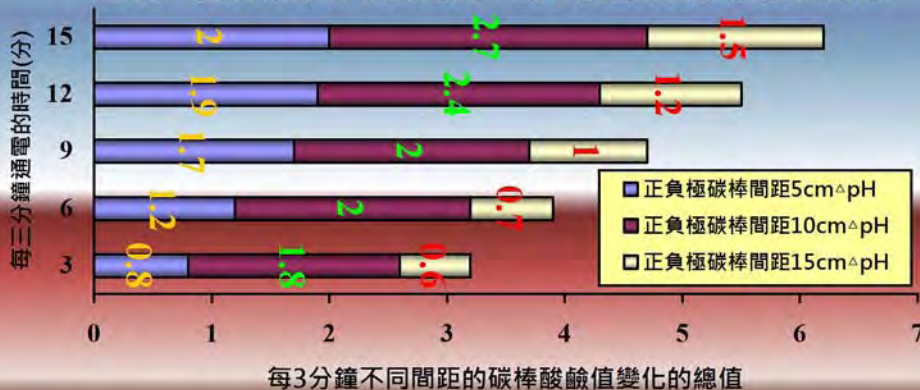
正、負碳棒電極間距 10cm						
通電 45V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	8.8	8.9	9.0	9.2	9.4	9.1
氧化水 pH 值	7.0	6.9	6.9	6.8	6.7	6.9
ΔpH	1.8	2.0	2.0	2.4	2.7	2.2
正、負極碳棒電極間距 15cm						
通電 45V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	7.9	7.9	8.1	8.3	8.4	8.1
氧化水 pH 值	7.3	7.2	7.1	7.1	6.9	7.1
ΔpH	0.6	0.7	1.0	1.2	1.5	1.0

結果：正負極碳棒間距 10cm，較 5cm 結果 ΔpH 較佳，酸鹼性亦分得更明顯。如圖八所示。但是正負極碳棒間距若增為 15cm， ΔpH 則不如 10cm 的數據，綜合分析如圖九所示。

圖八、加裝正、負極兩側檔板，正、負碳棒電距10cm，
電解水分流的pH值大小



圖九、正負極碳棒不同間距，每3分鐘的酸鹼值變化比較



(4) 實驗八、改變正、負極出水流速測定兩極分流的 pH 值大小

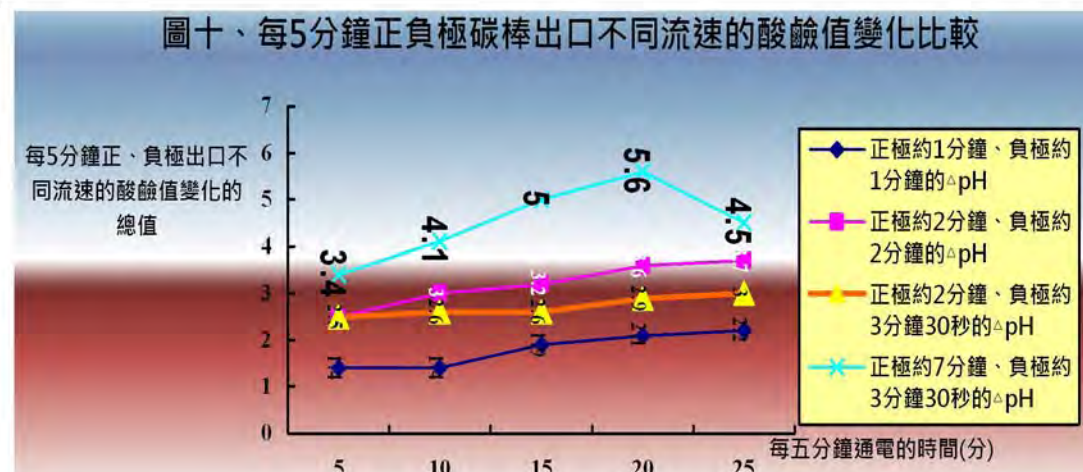
表七、電解槽正、負極不同的出水流速，電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 1 分鐘、負極約 1 分鐘						
通電時間(分)	1	2	3	4	5	平均
還原水 pH 值	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.6
氧化水 pH 值	7.0	7.1	6.7	6.5	6.5	6.8
Δ pH	1.4	1.4	1.9	2.1	2.2	1.8
電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 2 分鐘、負極約 2 分鐘						
通電時間(分)	2	4	6	8	10	平均
還原水 pH 值	8.9	9.2	9.2	9.2	9.3	9.2
氧化水 pH 值	6.4	6.2	6.0	5.6	5.6	6.0
Δ pH	2.5	3.0	3.2	3.6	3.7	3.2
電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 2 分鐘、負極約 3 分鐘 30 秒						
通電時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	9.0	9.0	8.9	9.0	9.6	9.1
氧化水 pH 值	6.5	6.4	6.3	6.1	6.6	6.4
Δ pH	2.5	2.6	2.6	2.9	3.0	2.7
電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 7 分鐘、負極約 3 分鐘 30 秒						
通電時間(分)	5	10	15	20	25	平均
還原水 pH 值	8.9	9.1	9.2	9.3	9.6	9.2
氧化水 pH 值	5.5	5.0	4.7	4.3	4.7	4.7
Δ pH	3.4	4.1	5.0	5.6	4.5	4.5

結果：由上列數據可得知：水流量流速較小，還原水與氧化水的 Δ pH 值較大且負極出水流速大於正極出水流速為佳

通電 90V 出水流速每 100 mL 正、負極所需時間

通電 90V 的時間(分)	5	10	15	20	25	平均
正極約 1 分鐘、負極約 1 分鐘的 Δ pH	1.4	1.4	1.9	2.1	2.2	1.8
正極約 2 分鐘、負極約 2 分鐘的 Δ pH	2.5	3.0	3.2	3.6	3.7	3.2
正極約 2 分鐘、負極約 3 分鐘 30 秒的 Δ pH	2.5	2.6	2.6	2.9	3.0	2.7
正極約 7 分鐘、負極約 3 分鐘 30 秒的 Δ pH	3.4	4.1	5.0	5.6	4.5	4.5



(5)實驗九、改變電源電壓測定兩極分流的 pH 值大小

表八、不同的電源電壓，電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

電源電壓 22.5 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	8.1	8.1	8.4	8.4	8.3	8.2
氧化水 pH 值	7.2	6.9	6.9	6.7	7.0	6.9
Δ pH	0.9	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3
電源電壓 45 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.0	9.2	9.4	9.5	9.4	9.3
氧化水 pH 值	6.7	6.9	6.7	6.6	6.6	6.7
Δ pH	2.1	2.3	2.7	2.9	2.8	2.6
電源電壓 67.5 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.4	9.4	9.5	9.5	9.4	9.4
氧化水 pH 值	6.2	5.8	5.6	5.5	5.1	5.6
Δ pH	3.2	3.6	3.9	4.0	4.3	3.8
電源電壓 90 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.3	9.6	9.7	9.6	9.6	9.6
氧化水 pH 值	5.1	5.0	4.8	4.4	4.2	4.7
Δ pH	4.2	4.6	4.9	5.2	5.4	4.9

結果：由上表數據可知，電源電壓愈大，電流愈強。所以，可使還原水及氧化水的 Δ pH 愈大。

(6)實驗十、改變電極材料測定兩極分流的 pH 值大小

表九、以正極碳棒、負極銅片，在不同的電源電壓下電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

電源電壓 22.5 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	7.9	8.0	8.2	8.2	8.2	8.1
氧化水 pH 值	7.3	7.3	7.1	7.3	7.2	7.2
Δ pH	0.6	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8
電源電壓 45 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	8.4	8.4	8.5	8.6	8.5	8.5
氧化水 pH 值	7.1	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0
Δ pH	1.3	1.3	1.5	1.6	1.5	1.4
電源電壓 67.5 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	8.5	8.7	9.4	9.3	9.4	9.1
氧化水 pH 值	7.1	6.8	6.7	6.4	6.3	6.7
Δ pH	1.4	1.9	2.4	2.9	3.1	2.3
電源電壓 90 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.8	9.9	10.0	10.4	10.7	10.2
氧化水 pH 值	6.2	4.0	3.9	4.6	5.9	4.9
Δ pH	3.6	5.9	6.1	5.8	4.8	5.2

表十、正極碳棒負極銅片，兩極間距 10cm，每 100 mL 出水量負極 3 分 30 秒、正極約 7 分鐘

電源電壓 90 V						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	10.6	10.4	10.2	10.3	10.3	10.4
氧化水 pH 值	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	3.7
Δ pH	6.4	6.5	6.6	6.9	7.1	6.7

表十一、以正極碳棒、負極鋅片電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

電壓 45V，電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 5 分鐘、負極約 1 分鐘						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	8.0	8.3	8.5	8.6	8.6	8.6
氧化水 pH 值	7.5	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3
Δ pH	0.5	0.9	1.2	1.2	2	1.8

因為數據不理想，所以流速調整如下：

表十二、不同的電源電壓下，以正極碳棒、負極鋅片電解水分流的 pH 值大小(原水 pH=7.5)

電壓 45V，電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 3 分鐘、負極約 2 分 30 秒						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	8.7	8.8	8.7	8.7	8.8	8.7
氧化水 pH 值	7.3	7.2	7.3	7.2	7.4	7.3
Δ pH	1.4	1.6	1.4	1.5	1.4	1.5

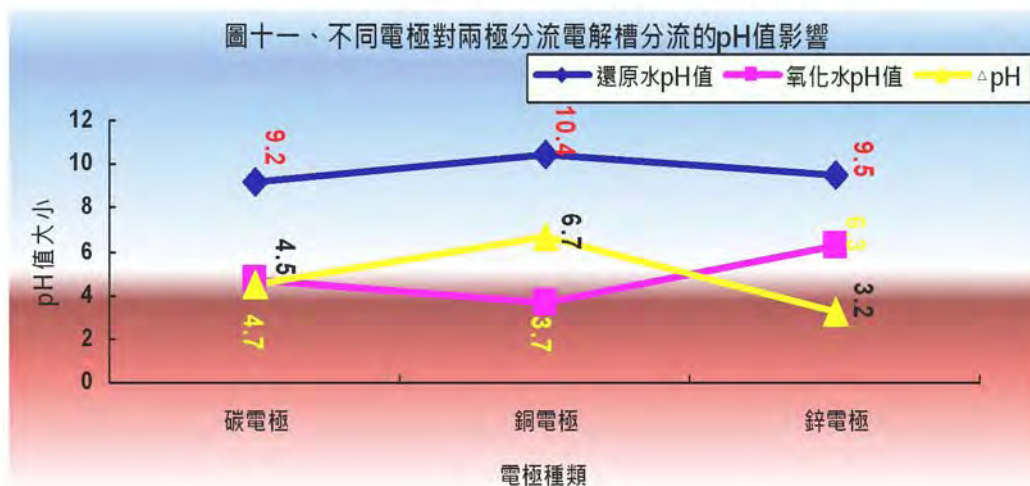
電壓 67.5V，電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 3 分鐘、負極約 2 分 30 秒						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.1	9.2	9.1	9.3	9.2	9.2
氧化水 pH 值	7.0	6.7	6.6	6.5	6.7	6.7
Δ pH	2.1	2.5	2.5	2.8	2.5	2.5

電壓 90V，電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 3 分鐘、負極約 2 分 30 秒						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.1	9.5	9.4	9.6	9.4	9.4
氧化水 pH 值	6.5	6.3	6.1	5.9	6.2	6.2
Δ pH	2.6	3.2	3.3	3.7	3.5	3.5

電壓 90V，電解槽正、負極出水流速每 100 mL 正極約 7 分鐘、負極約 3 分 30 秒						
通電時間(分)	4	8	12	16	20	平均
還原水 pH 值	9.5	9.4	9.6	9.5	9.5	9.5
氧化水 pH 值	6.3	6.5	6.4	6.2	6.0	6.3
Δ pH	3.2	2.9	3.2	3.3	3.5	3.2

參考以上所有資料，在電壓 90V 時，比較不同電極對 pH 值的影響如下表十三：

負極	碳電極	銅電極	鋅電極
還原水 pH 值	9.2	10.4	9.5
氧化水 pH 值	4.7	3.7	6.3
Δ pH	4.5	6.7	3.2



6.研究四.自製小型兩極分流電解槽電解食鹽水的兩極分流效果以模擬電解海水的可行性之

實驗十一 環保小型兩極分流電解槽以不同負極材料，測定電解水兩極分流的 pH 值大小

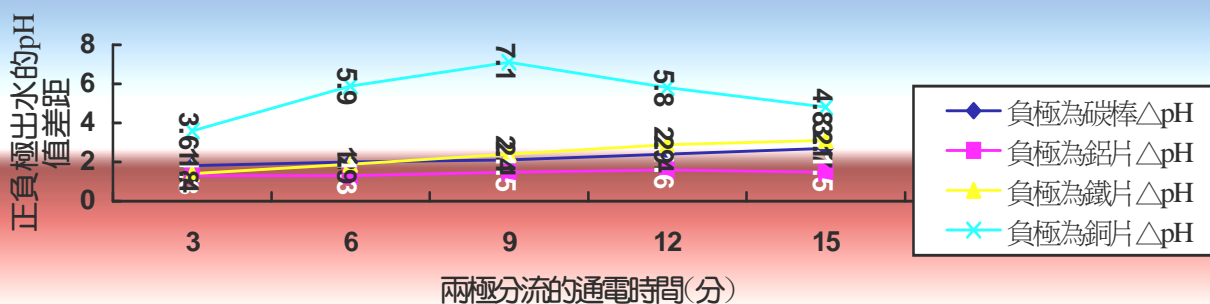
表十四、不同負極材料下，電解水分流的 pH 值比較（原水 pH=7.5，電壓 20V）

通電時間(分)	3	6	9	12	15	平均
負極為碳棒還原水 pH 值	8.8	8.9	9.0	9.2	9.4	9.1
負極為碳棒氧化水 pH 值	7.0	6.9	6.9	6.8	6.7	6.9
負極為碳棒ΔpH	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	2.2
負極為鋁片通電時間(分)	3	6	9	12	15	平均
負極為鋁片還原水 pH 值	8.4	8.4	8.5	8.6	8.5	8.5
負極為鋁片氧化水 pH 值	7.1	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0
負極為鋁片ΔpH	1.3	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5
負極為鐵片通電時間(分)	3	6	9	12	15	平均
負極為鐵片還原水 pH 值	8.9	9.1	9.3	9.4	9.5	9.2
負極為鐵片氧化水 pH 值	7.1	6.8	6.7	6.4	6.3	6.7
負極為鐵片ΔpH	1.4	1.9	2.4	2.9	3.1	2.5
負極為銅片通電時間(分)	3	6	9	12	15	平均
負極為銅片還原水 pH 值	9.8	9.9	10.9	10.4	10.7	10.3
負極為銅片氧化水 pH 值	6.2	4.0	3.9	4.6	5.9	4.9
負極為銅片ΔpH	3.6	5.9	7.1	5.8	4.8	5.4

結果：由上述數據可知調整電極（正極仍為碳棒，負極則為金屬片）的結果，

還原水與氧化水的 pH 值差距大小依序為銅 > 鐵 > 碳 > 鋁。

圖十二、小型兩極分流電解槽不同電極的pH值差距比較



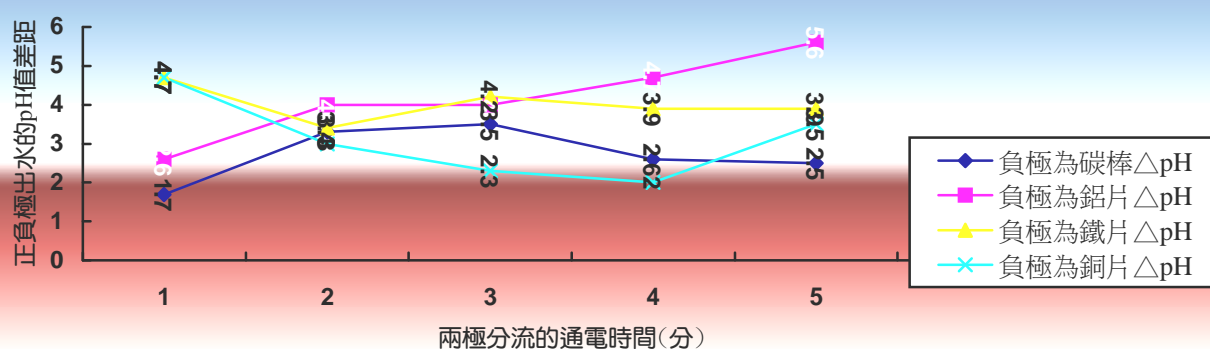
7. 研究四之

實驗十二 負極不同電極材料下，模擬海運測定電解食鹽水兩極分流的 pH 值大小

表十五、不同負極材料下，電解食鹽水分流的 pH 值比較 (原食鹽水 pH=7.7, 電壓 10V)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	平均
負極為碳棒還原水 pH 值	8.3	9.6	10.0	9.8	9.6	9.46
負極為碳棒氧化水 pH 值	6.6	6.3	6.5	7.2	7.1	6.74
負極為碳棒ΔpH	1.7	3.3	3.5	2.6	2.5	2.72
負極為鋁片通電時間(分)	1	2	3	4	5	平均
負極為鋁片還原水 pH 值	9.4	9.9	8.9	9.9	10.3	9.68
負極為鋁片氧化水 pH 值	6.8	5.9	4.9	5.2	4.7	5.50
負極為鋁片ΔpH	2.6	4.0	4.0	4.7	5.6	4.18
負極為鐵片通電時間(分)	1	2	3	4	5	平均
負極為鐵片還原水 pH 值	10.6	10.0	10.7	10.9	10.5	10.54
負極為鐵片氧化水 pH 值	5.9	6.6	6.5	7.0	6.6	6.52
負極為鐵片ΔpH	4.7	3.4	4.2	3.9	3.9	4.02
負極為銅片通電時間(分)	1	2	3	4	5	平均
負極為銅片還原水 pH 值	10.9	10.2	10.4	10.4	10.8	10.54
負極為銅片氧化水 pH 值	6.1	7.2	8.1	8.4	7.3	7.42
負極為銅片ΔpH	4.7	3.0	2.3	2.0	3.5	3.12

圖十三、不同負極材料下分流電解0.4M食鹽水的pH值差距比較



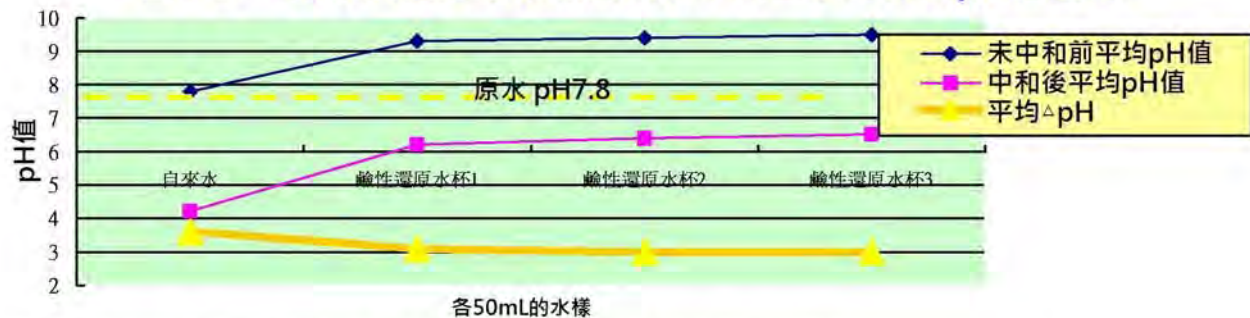
8. 研究五、電解水的另類機能及用途之

(1) 實驗十三、負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效(一)

表十六、比較鹼性還原水和自來水中和二氧化碳的酸鹼值變化

水樣各 50 mL	自來水	鹼性還原水杯 1	鹼性還原水杯 2	鹼性還原水杯 3
未中和前平均 pH 值	7.8	9.3	9.4	9.5
中和後平均 pH 值	4.2	6.2	6.4	6.5
平均 Δ pH	3.6	3.1	3.0	3.0

圖十四、比較鹼性還原水和自來水中和二氧化碳的pH值變化

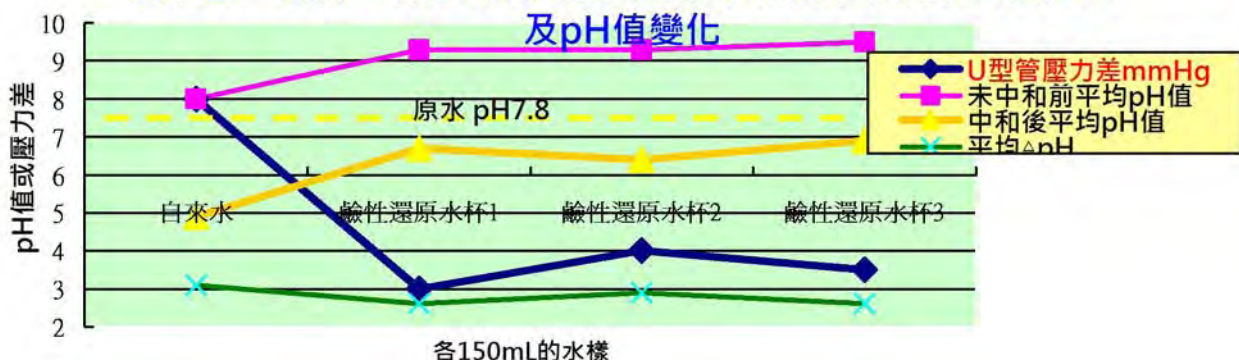


(2) 實驗十四、負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效(二)

表十七、比較二氧化碳注入鹼性還原水和自來水的氣壓變化值及 pH 變化值

水樣各 150 mL	自來水	鹼性還原水杯 1	鹼性還原水杯 2	鹼性還原水杯 3
U 型管左側壓力 mmHg	5	7.5	7.0	7.3
U 型管右側壓力 mmHg	13	10.5	11.0	10.8
U 型管壓力差 mmHg	8	3.0	4.0	3.5
未中和前平均 pH 值	8.0	9.3	9.3	9.5
中和後平均 pH 值	4.9	6.7	6.4	6.9
平均 Δ pH	3.1	2.6	2.9	2.6

圖十五、比較二氧化碳注入鹼性還原水和自來水的氣壓變化值及pH值變化

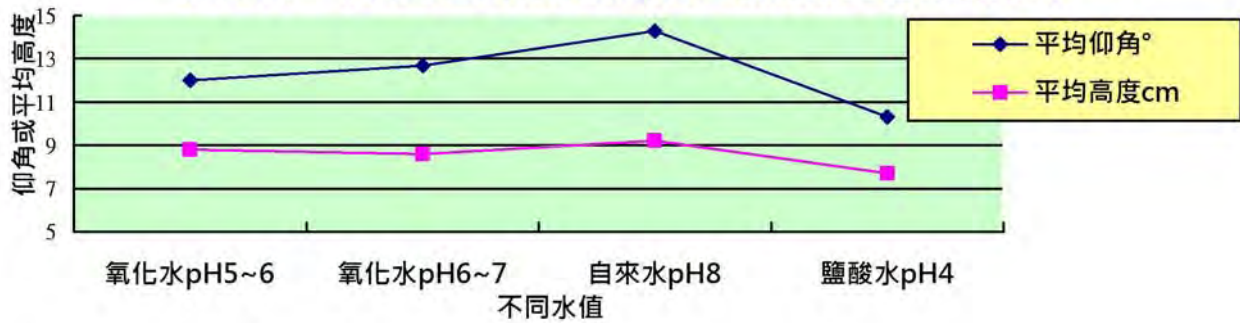


(3)實驗十五、不同酸度氧化水軟化廢紙製成再生紙的紙質粗糙度比較

表十八、不同酸度氧化水製成再生紙的紙質粗糙度比較

再生紙紙質	1 仰角 。	1 高度 cm	2 仰角°	2 高度 cm	3 仰角 。	3 高度 cm	平均仰角°及高度 cm
氧化水 pH5~6	12	8.8	13	8.5	11	8.0	12.0° , 8.8cm
氧化水 pH6~7	13	8.5	12	8.8	13	8.5	12.7° , 8.6 cm
自來水 pH8	15	9.5	15	9.5	13	8.5	14.3 , 9.2 cm
鹽酸水 pH4	10	7.5	11	8.0	10	7.5	10.3° , 7.7cm

圖十六、不同酸度氧化水製成再生紙的紙質粗糙度比較



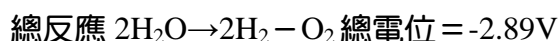
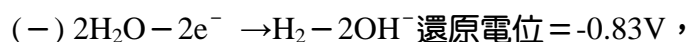
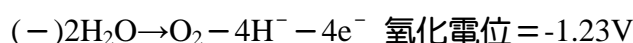
陸、討論

1. 實驗一【電解質水溶液中正、負離子在電解時的位移方向】可觀察到藍色的 Cu^{2+} 正離子的確有偏向負極移動，橘色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 負離子、紫色的 MnO_4^- 負離子則偏向正極移動的事實。

2. 實驗二【電解一滴水含廣用指示劑】中，由實際電解所拍攝的相片組及 pH 梯度分析圖可知：

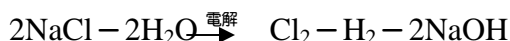
(1) 電解反應速率大小依序為**正負極均為大頭針的電極 > 正極鉛筆心而負極為大頭針的電極 > 正負極均為鉛筆心的電極**，也就是說相同的時間內，電解後正負電極 ΔpH 的變化以**正負極均為大頭針的電極**最為明顯。

(2) 由特別設計的雙圓十字記號投影片可明顯比較出，電解中性的廣用指示劑反應就類似電解中性的水一樣，正極變酸 $\text{pH} < 7$ 而負極變鹼 $\text{pH} > 7$ ，其反應為：



(3) 不過若以大頭針當正極，則鍍上鎳的鐵電極會發生氧化反應，其氧化電位較水生成氧的高： $(-) \text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+}$ (紅色) $- 2\text{e}^-$ 電位 = +0.23V 或 $(-) \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (綠色) $- 2\text{e}^-$ 電位 = +0.41V，如此一來金屬優先被氧化，所以正極釋放氫離子變酸的機會減小，負極釋放氫氧根離子變鹼的機會不變，難怪**正極以大頭針為電極**的整體的等電位值偏向鹼性，而且在此種 pH 值的環境下，接近中間區的地方金屬離子又會與負極釋放出的氫氧根離子形成膠狀物的沉澱物。

3. 實驗三【電解一滴 1M 食鹽水加一滴廣用指示劑】與電解中性的水略有不同，總反應為



(1) 若正極為惰性電極或鉛筆心電極則所產生的氯氣能溶於水中而使酸性增加，故正極變更酸 $\text{pH} < 7$ ， $(-) \text{極 } 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ 而 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl}(\text{酸性}) + \text{HClO}$ 。

(2) 若以大頭針(鍍上鎳的鐵)當正極，則此金屬會與 Cl^- 發生競爭性的氧化反應，若此金屬優先被氧化，此時負極釋放的氫氧根離子與金屬離子就可結合成膠狀的沉澱物。 $(-) \text{極 } 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ 因此正極不宜用氧化電位高的金屬當電極以避免干擾反應，例如正極氧化的 Fe^{2+} - 負極產生的 $2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ 等膠狀物。

(3) 以**正極鉛筆心、負極大頭針當電極**可從電解 6 分鐘後開始逐漸形成壁壘分明的黃藍半圓形液滴，一邊呈弱酸性、另一邊則呈弱鹼性的顏色，剎是好看！

4. 實驗四【兩極分流電解槽的設計實驗】電解水的結果為：原水 pH 為 7.5，還原水 8.9，氧化水 6.8，已可分流證明：電解還原水是鹼性水而氧化水是酸性水。

- 5.實驗五【改變電極位置測定兩極分流的 pH 值大小】沒有加裝檔板的分流效果不佳。研究討論的原因可能是原水由正負極間流入，可能水壓使原水流入電解槽時有些衝力，致水中離子流動較無界限，兩極又太接近，所以，負極產生的 OH^- 有迴流到正極的可能。
- 6.實驗六【加裝正負極兩側檔板測定兩極分流的 pH 值大小】結果真如預期，正負極兩側加裝檔板可避免迴流，使氧化水略為酸性。但分流的 ΔpH 仍不理想，所以應再研究如何提高 ΔpH 的變因。
- 7.實驗七【改變正、負電極間距測定兩極分流的 pH 值大小】結果不是兩極間距愈近愈好，因為 ΔpH 大小為：碳棒間距 $10\text{cm} > 5\text{cm} > 15\text{cm}$ 的數據。
- 8.實驗八【改變正、負極出水流速測定兩極分流的 pH 值大小】可得知：水流量流速較小，還原水與氧化水的 ΔpH 值較大且負極出水流速大於正極出水流速為佳。
- 9.實驗九【改變電源電壓測定兩極分流的 pH 值大小】可得知：電源電壓愈大，電流愈強，可使還原水及氧化水的 ΔpH 愈大。
- 10.實驗十【改變電極材料測定兩極分流的 pH 值大小】中
- (1)我們選擇實驗室現有的電極材料：鋅片及銅片，發現這兩種金屬活性恰和碳電極元素活性大小為：鋅 $>$ 碳 $>$ 銅。
 - (2).由自然第五冊電流化學效應可知，正極若接金屬片，放電子能力則會優先於溶液中的陰離子，反應例如： $(+) \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ $(+) \text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
我們顧慮溶液中的金屬正離子數會增加不是來自原水，而是得自正極金屬片，而且，查各離子的還原電位，發現活性愈大的金屬，其還原電位愈小。例：元素活性 $\text{Zn} > \text{H} > \text{Cu}$ ，而離子活性 $\text{Zn}^{2+} < \text{H}^+ < \text{Cu}^{2+}$ ，因此，負極還原優先次序是： $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ 。
 - (3)所以，溶液中極有可能是較多的 Zn^{2+} 會流向負極出口，部份 Zn^{2+} 則流向正極；而 Cu^{2+} 也不見得全部會在負極板上析出， Cu^{2+} 可能從負極出水口流出，所以，我們決定正極仍用碳棒，而負極才用金屬片。
- 11.實驗十一【環保小型兩極分流電解槽以不同負極材料，測定電解水兩極分流的 pH 值大小】中
- (1)因為學校沒有更大的銅片及鋅片，我們在比較電極時，兩極分流電解槽很大，所以，我們嚴格控制將入水口的水位降低，而正負極出水口的流速也都調整順了以後，才能開電源，這樣實在不夠方便。
 - (2)另一方面，我們希望實驗能更環保省電，所以，我們決定製作一個小型的兩極分流電解槽來試試四種不同電極材料。

12. 實驗十二【負極不同電極材料下，測定電解食鹽水兩極分流的 pH 值大小】中

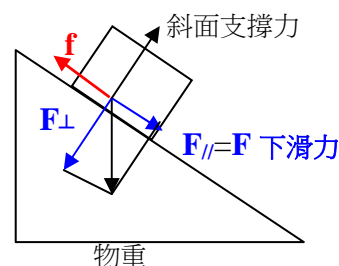
- (1) 我們也考慮海水的資源，因此，我們用食鹽調成海水的密度 1.025g/cm^3 ，約為 0.4M 的濃度，再進行兩極分流氧化水及還原水的實驗。
- (2) 實驗過程中正極處會產生氯氣的消毒水味道，為了實驗安全，我們將整個小型電解槽以透明塑膠杯套住，以可彎曲吸管將產生的氯氣再導入另一個水槽中。
- (3) 這次實驗結果與前二次不同電極測出的氧化水、還原水的 ΔpH 值規律不同，而且我們發現負極金屬片上已失去光澤而影響實驗結果，尤其是銅電極最明顯。很可惜的是，實驗室的銅電極已被我們用光了，來不及再做更精確的測定，但我們會再繼續追蹤下去。

13. 實驗十三~十四【負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效】中

- (1) 自來水可以溶解一定量的二氧化碳，但無法中和二氧化碳而形成酸性的水。
- (2) 鹼性還原水則可以溶解且中和二氧化碳的酸性而形成接近中性微酸的水。
- (3) 不管是注射針筒法還是氣壓變化法所測出鹼性還原水鹼洗二氧化碳的成效均有明顯且不錯的結果。

14. 實驗十五【不同酸度氧化水軟化廢紙製成再生紙的紙質粗糙度比較】中

- (1) 以不同酸度氧化水軟化廢紙製成的再生紙的斜面仰角及高度均比普通自來水的低，這顯示紙質的最大靜摩擦力較小。其原理為：物在斜面上的下滑力恰為該斜面的摩擦力，斜面高度愈高，物的下滑力愈大，這就表示斜面愈粗糙。下滑力 = 物重 \times 斜面高度 / 斜面長
- (2) 我們設計，實驗中相同的控制變因，例如：物重均為 50 元硬幣，壓克力板斜面長相同... 等。因此，下滑力會與斜面高度呈正比。
- (3) 由右的力圖可知，下滑力 F 為物重在斜面的水平分力 $F_{//}$ ，物重的垂直分力 F_{\perp} 已被斜面支撐力抵消，所以，物在斜面上的重量相當於只有下滑力而已。
- (4) 物體從斜面上往下運動，摩擦阻力 f 則恰與物體的運動相反，當物體在斜面上恰好滑下時，此即表示物體的下滑力 F 恰好 = 斜面的最大靜摩擦力 f ，斜面愈粗糙，最大靜摩擦力也愈大。所以，可以用此法來鑑定手抄再生紙質的粗糙度。



柒、結論

- 1.由實驗一可證明，電解質水溶液中正、負離子在電解時的位移方向不同：正離子的確有偏向負極移動，而負離子則偏向正極移動，因此，此實驗可驗證阿端尼士的電離說第 4 點理論。
- 2.由實驗二~三可證明，電解水溶液不只可驗證電離說理論，也可了解不同金屬與碳棒間氧化還原的能力及活性大小的比較，對於以後三年級的電流化學效應中電解及電鍍單元學習會更有幫助。我們用本校發展多年研究出一滴溶液的電解實驗更深刻感受實驗設計如果不良，對於環保所造成的傷害及影響。反之，大家都善用工具，用心設計製程，發揮一些巧思，那麼保護地球、減少污染的使命並不是一件難事。
- 3.由實驗四~十可證明「兩極分流電解槽的實驗設計」可以將電解水分流為負極鹼性還原水及正極酸性氧化水。而且，我們只是改變負極材料這項操縱變因不同，就可比較出電極氧化還原的反應能力愈好(正負極電位間活性差異愈大)，兩極的 ΔpH 值差愈多。
- 4.由實驗十一可證明善用回收資源，不管是誰，自製「小型兩極分流電解槽」都不是難事，兩極分流的效果用檔板、改變正負極流速、電極種類就可提高效果，未來，我們會繼續研究除了用檔板以外的其它增大分流效果的實驗，希望能有再突破的結果。
- 5.由實驗十二可證明兩極分流裝置用在電解海水一樣可行，但要考慮：
 - (1)產生氯氣問題：可建議研究將氯氣再製消毒水殺菌的再利用。
 - (2)也要突破電解海水使負極金屬片失去光澤而影響分流效果的問題。
- 6.由實驗十三~十四負極鹼性還原水中和二氧化碳氣體的成效來模擬鹼洗中和工廠排放的二氧化碳均應有明顯且不錯的結果，這對於地球整個大環境減緩溫室效應的快速衝擊而言，應該是可以大力推廣的積極作法。
- 7.由實驗十五~十六可證明兩極分流的酸性氧化水還有另一個不錯的機能，在軟化廢紙製成再生紙的紙質粗糙度比較，提高了再生紙再利用的價值，我們的樹就可以少砍了。

捌、參考資料及其他

1. NGO 對抗暖化行動資訊網海運溫室氣體減量潛力 Sunday, 27 December 2009
2. 「鮮知先贏」CSNO_x 推動綠色海運 聯合報新聞中的科學 2009/04/01
3. 國中自然第四冊第二章酸、鹼、鹽；第三章氧化還原
4. 國中自然第五冊第二章電流化學效應、電解及電鍍
5. http://blog.sina.com.cn/s/blog_4a6a464b01000b0y.html
6. 造紙同業公會網站
7. 永豐餘造紙公司網站
8. 本校歷屆科展作品

【評語】 030210

本項作品為類似市面“宣稱”商業化的電解機能水之“研究”成果。控制正負電極（大頭針、筆芯、碳棒）電壓，水流速，與不同電解質（尤其是鹽水）可以分流出不同 pH 值的所謂有機水，並分別做“再生紙”與“植栽”的研究，作工細膩，繁雜，可惜沒有理出一個頭緒來。