

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：環境科學科

作品名稱：還我無重金屬離子污染的水世界

學 校：臺中縣立豐東國民中學

作 者：何書慧

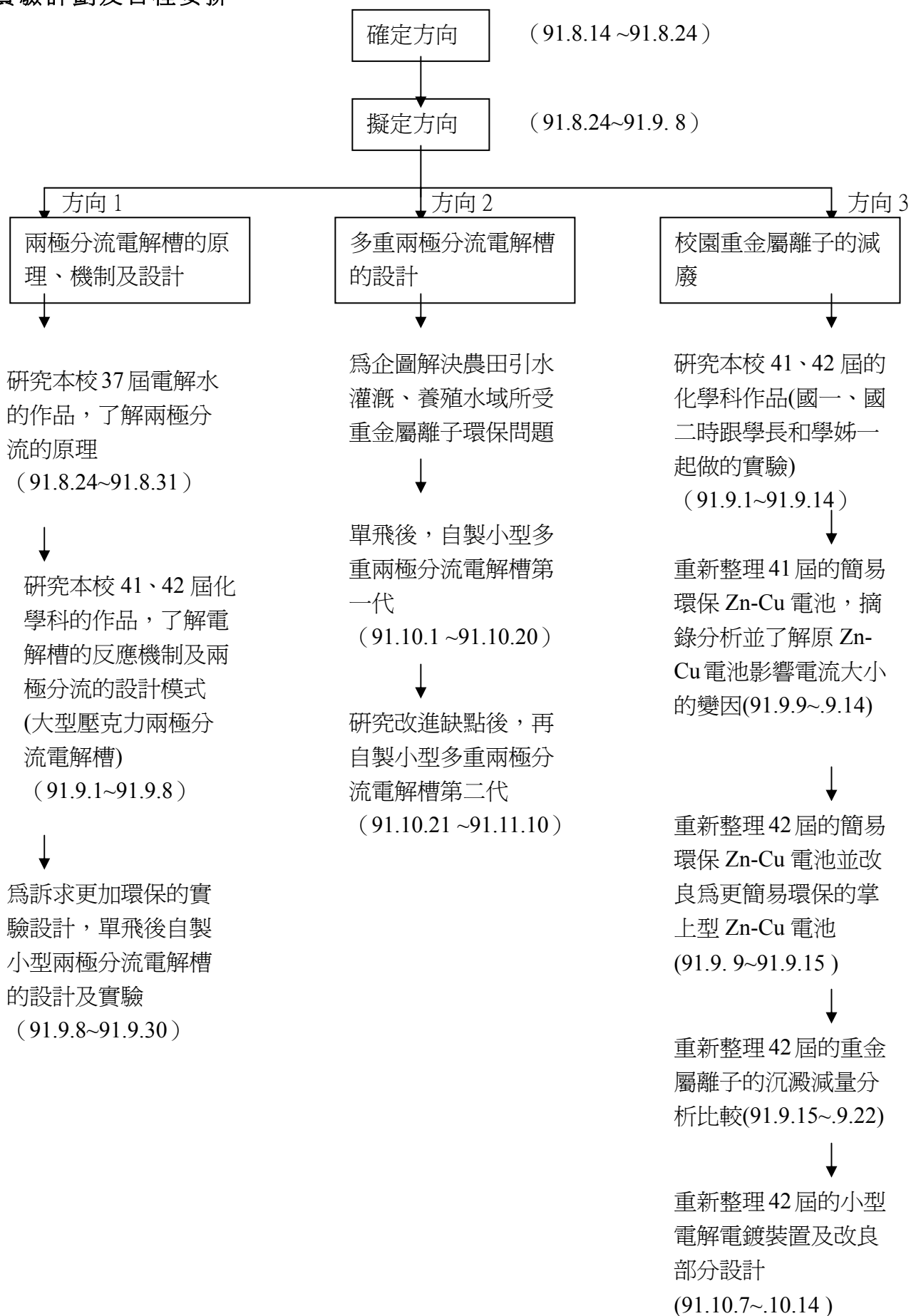
作者簡介



我出生在一個很普通的公教家庭裏，天天自己走路上學，日復一日，從不間斷。直到上了國中，在嚴肅又不失風趣的導師帶領下，一頭栽進了科學的領域之中而不可自拔！

經歷了二年科展的縣賽、全國比賽，由懵懂青澀到略有收穫，這過程讓我覺得豐富而有趣，也讓我體會了「當學生」是一件幸福的事。因此，我決定在父母的支持及鼓勵下，把握這次單飛及自我挑戰的機會！

實驗計劃及日程安排



題目：還我無重金屬離子污染的水世界

Give us back the water world without heavy metal ion pollution

摘要

台灣西海岸的河川，常飽受嚴重的水污染，其中最嚴重者莫過於重金屬離子所造成的危害了。所以，本作品即探究：從了解【電解水的氧化還原反應】到設計【小型多重兩極分流電解槽】上，希望藉此設計能給相關單位參考，以為農田引水灌溉及養殖水域做把關的工作。最後並對長期以來校內涉及電解、電鍍…等含重金屬離子的實驗做徹底的減廢設計，以排出無污染性的廢水。

Abstract

Rivers along the west coast of Taiwan have been seriously polluted for a long time, the most hazardous one of which has been caused by heavy metal ion. As such, this article aims at how to discharge a pollution-free wastewater by understanding first from the oxidation- reduction reaction of electrolytic water to design of a miniature multiple bipolarity divided-flow electrolyser. It is hoped that this design would provide related government regulatory agencies with adequate information so that they may be capable of doing a responsible pollution-prevention job in water irrigation for farming land and water for marine farming as well.

Finally, the author may further add that this design has been through constant laboratory tests involving electrolysis and electroplating of heavy metal ion in the hope that a perfect design to eradicate wastewater can be produced so as to discharge pollution-free waste water.

【前言】

一、研究動機

傳說暴君焚城錄中的尼祿大帝就是銅中毒的結果，所以，我們如果銅中毒的話，是不是會造成神經系統被破壞，性情也像尼祿大帝一樣呢？

十五年前酸洗五金作業造成二仁溪下游養殖區牡蠣嚴重受銅污染，造成『綠牡蠣』事件，讓漁民生計遭受重大損失(兩年內損失了 7000 萬美元)。而網站新聞：台灣大學海洋所林曉武教授曾接受農委會漁業署委託(1982~2001)調查台灣西部四個海域重金屬含量，結果發現，新竹香山地區的狀況最嚴重，從初期的 69~170ppm，到中期出現局部的綠牡蠣，而現在已經普遍綠化，重金屬含量逐年增加，都在 400ppm 左右，生態有全面崩場的趨勢。

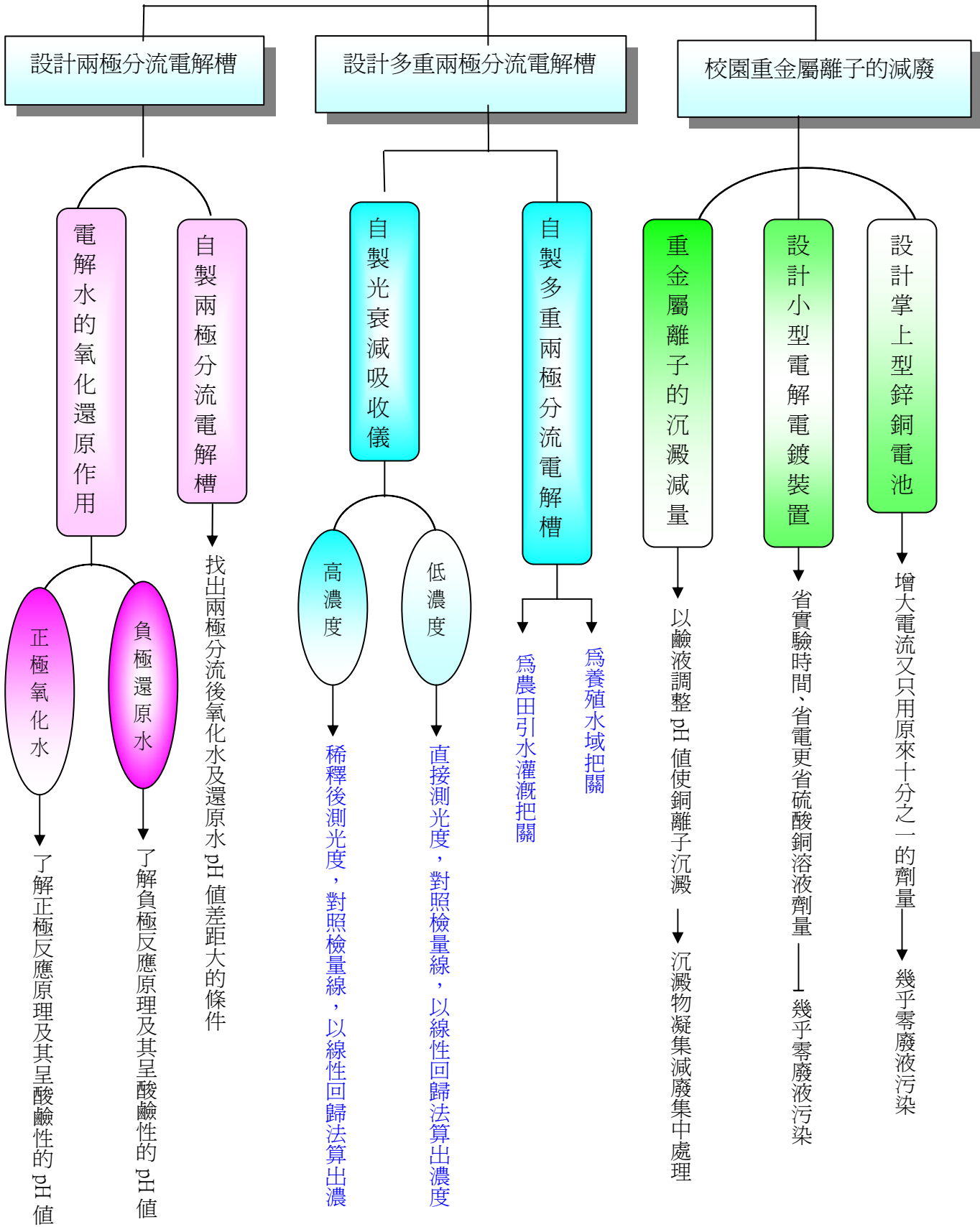
身為食物鏈的終結者，受污染的魚貝類在我們大塊朵頤之後，所造成的後遺症實在不敢想像！如今斧底抽薪之計就是大家絕不排出含重金屬離子的廢水。所以本研究即對含重金屬離子的實驗做徹底的減廢設計，希望業者及大家都能以排出無污染性的廢水為目標。

二、研究目的

1. 自製設計兩極分流電解槽的原理及反應機制
2. 設計多重兩極分流電解槽為農田引水灌溉及養殖水域把關
3. 校園重金屬離子的減廢

【研究內容】
三、大綱導引

還我無重金屬離子污染的水世界
(例如： CuSO_4 溶液中的 Cu^{2+})

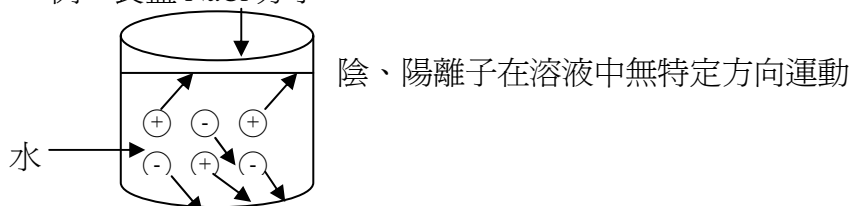


四、研究過程

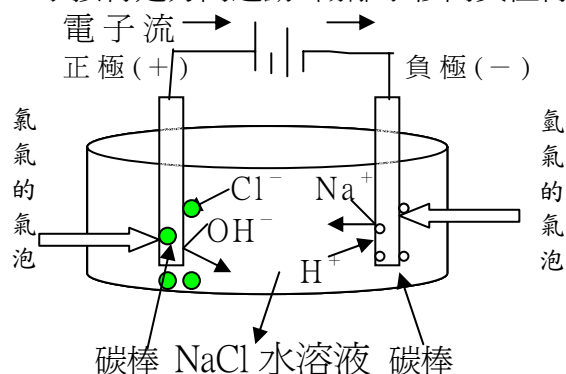
【研究目的一】自製設計兩極分流電解槽的原理及反應機制

(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)已學過的**電解的原理**是：供應直流電，外加電能使電解質在電解槽的水溶液中，陰、陽離子按特定方向運動，陽離子移向負極得到電子而還原，陰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：
負極(-)： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 或 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ 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。
正極(+)： $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ 或 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 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。
2. 電解氯化鈉水溶液 $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} 2\text{NaOH} + \text{H}_2(\text{負極}) + \text{Cl}_2(\text{正極})$ ，其正負極的氧化還原反應如下：
負極(-)： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 或 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
(還原電位比 $\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$ 還要高，故 H^+ 優先還原)
在這部分設一出水口，則所流出的水亦應成鹼性。
正極(+)： $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ (氧化電位比 $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ 或 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 還要高，故 Cl^- 優先氧化)
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。
3. 電解硫酸銅水溶液 $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2(\text{正極}) + 2\text{Cu}(\text{負極}) + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ ，其正負極的氧化還原反應如下：
負極(-)： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
(還原電位比 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 還要高，故 Cu^{2+} 優先還原)
在這部分設一出水口，則所流出的水亦應成鹼性。
正極(+)： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (SO_4^{2-} 中的硫 氧化數已達最高價，
故不可能移向正極時再失去電子，故 H_2O 中的 O^{2-} 優先氧化而生出氧氣)
硫酸銅水溶液本身即呈酸性，負極反應中並無釋放出鹼性的 OH^- 根，所以在此電極附

近流出的水仍為酸性，而在正極這部分的出水口流出的水則更呈酸性。

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
① $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	H_2SO_4 無色，所以 H^+ 及 SO_4^{2-} 也為無色。
② $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	由①式知 SO_4^{2-} 為無色的，所以 CuSO_4 藍色是 Cu^{2+} 的顏色。
③ $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	KCl 無色，所以 K^+ 及 Cl^- 也為無色。
④ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	由③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。
⑤ $\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$	由④式知 K^+ 為無色的，所以 KMnO_4 紫色是 MnO_4^- 的顏色。

所以，我就選定 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 4，再分別滴入 KCr_2O_7 或 KMnO_4 液，觀察其正、負離子在電解時的位移方向。

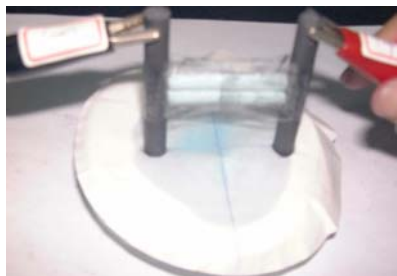


結果與討論：

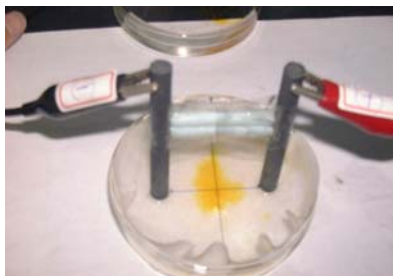
1. 綜合觀察結果如下表。

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

實驗二、兩極分流電解槽的設計實驗

所以，為了能分離出正、負極的氧化水及還原水，故自製兩極分流電解槽，並找出電解的最適條件，而進行下列實驗。

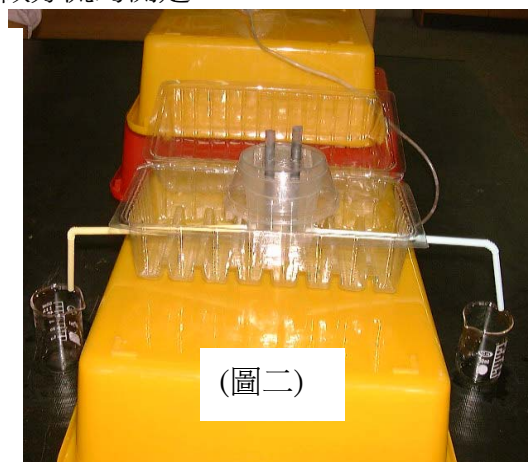
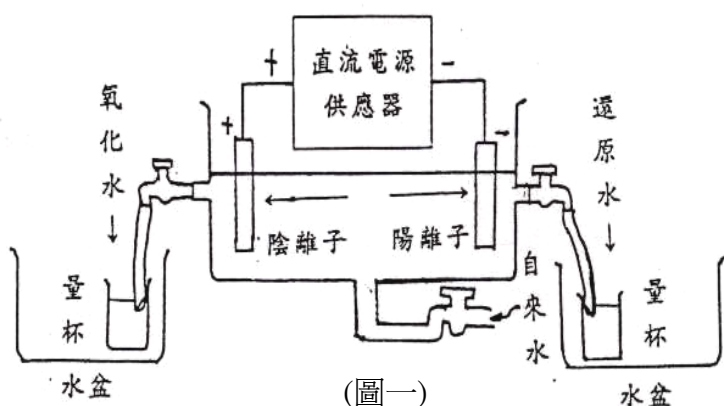
器材：自製兩極分流電解槽、電源供應器、碳棒、鱷魚夾、自來水、量筒、碼錶、pH 計

步驟：1.設計裝置簡圖如下圖一，實際實驗實物如下圖二。

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.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.再改變電源電壓為 20V 或 30V，以上述步驟再做分流的測定。



【還有多張現場資料圖】

表一、不同直流電源電壓下，電解水分流的 pH 值比較(原水 pH=7.5，正、負碳棒電極間距 2cm)

通電 10V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	7.5	7.8	8.0	8.1	8.3	7.9
氧化水 pH 值	7.4	7.7	7.6	7.4	7.5	7.5
Δ pH	0.1	0.1	0.4	0.7	0.8	0.4
通電 20V 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
通電 30V 的時間(分)	3	6	9	12	15	平均
還原水 pH 值	8.3	8.7	9.2	9.6	10.0	9.2
氧化水 pH 值	7.6	7.3	7.2	7.2	7.0	7.3
Δ pH	0.7	1.4	2.0	2.4	3.0	1.9

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。

討論：電壓愈高，還原水及氧化水的 Δ pH 變化愈大。

修正：考慮改變碳棒電極間距，結果看看 Δ pH 值是否值變大，實驗結果如下表

表二、不同碳棒間距下，電解水分流的 pH 值比較(原水 pH=7.5，電壓 20V)

碳棒間距 1cm 通電時間(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	7.6
Δ pH	0.3	0.4	0.9	1.5	1.1	0.8
碳棒間距 2cm 通電時間(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
碳棒間距 3cm 通電時間(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
Δ pH	0.6	0.7	1.0	1.2	1.5	1.0

結果：正負極碳棒電極間距 2cm，較 1cm 結果 Δ pH 值較佳，酸鹼性亦分得更明顯。

正負極碳棒電極間距 3cm， Δ pH 值不如 2cm 的數據。

討論：原自來水由正負極間流入，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^- 有迴流至正極的可能。

修正：考慮加裝正負極兩側檔板，看看結果是否如預期，實驗結果如下表

表三、加裝正負極兩側檔板，電解水分流的 pH 值比較(碳棒電極間距 2cm，電壓 20V)

加裝兩側檔板通電時間(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
Δ pH	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	2.2
沒有加裝檔板通電時間(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。

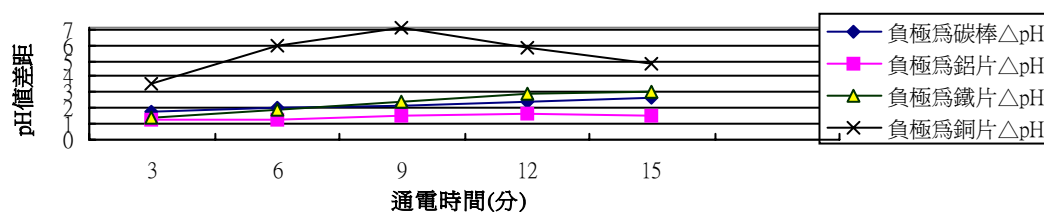
修正：考慮調整電極（正極仍為碳棒，負極則為金屬片）和 pH 值大小的關係

表四、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）負極為鋁金屬片和 pH 值大小的關係

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 Δ pH	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 Δ pH	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 Δ pH	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 Δ pH	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。

圖一、兩極分流電解槽(正極碳棒、負極碳棒、鋁片、鐵片、銅片)的正極氧化水、負極還原水 pH 差距的比較

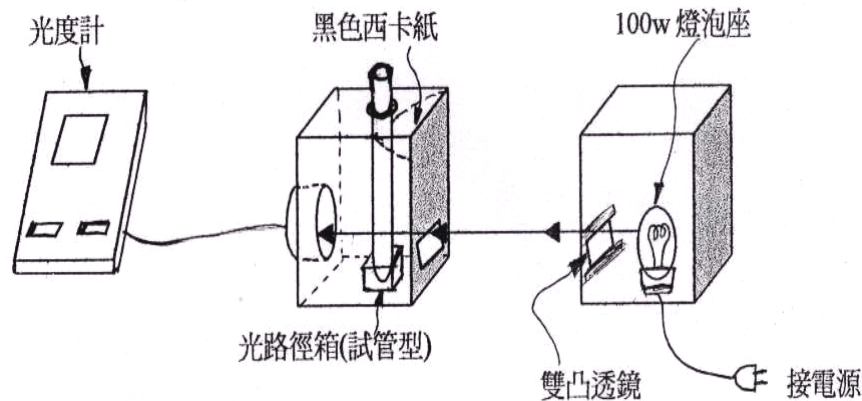


【研究目的二】設計多重兩極分流電解槽為農田引水灌溉及養殖水域把關

實驗三、利用光的衰減性質自製簡易銅離子濃度測定計

光吸收衰減儀製作的想法及過程：

- 1.目前學校並沒有測定光吸收衰減的儀器，所以我們利用學校保健室現有的光度計(測教室燈管亮度)及光學燈座，加裝適用於觀察光波在不同濃度中光被吸收及衰減的情形。
- 2.目前學校的光學燈座為 40w 的燈泡，光源再經濾光後光度值太低，所以改以 100w 的燈泡，若再不理想則換成鹵素燈等再試看看各種溶液的光吸收情形。
- 3.為設計光經過的路徑箱，我們找到了茶葉罐製成合適的光路徑箱，並在箱內壁以黑色西卡紙或黑色膠帶吸收多餘光源，經過數次思考修正後，終於做出能放在桌面測量光吸收衰減儀簡易裝置，如下圖所示。



【還有多張現場資料圖】

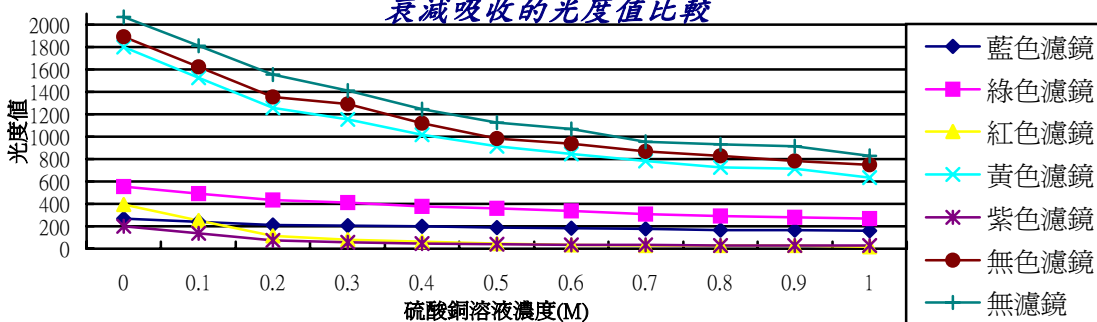
實驗四、不同濃度下的硫酸銅溶液衰減吸收的光度值變化

- 步驟：1.以吸量管吸取 1M 的硫酸銅溶液各 2ml、4ml、6ml、8ml、10ml、12ml、14ml、16ml、18ml 加入 25 ml 量筒中，再依序加入水至 20 ml 的刻度線，使濃度為 0.1M、0.2 M… 0.9 M。
- 2.將 10ml 水倒入玻璃試管中，插入預定槽的洞內，打開光源及光度計，測量光度值。
- 3.再將各 10ml 已配好的 0.1M~1.0 M 硫酸銅溶液依序插入預定槽的洞內，測量光度值，並將結果記錄於下表五、六中。

表五、藍色硫酸銅溶液在不同濃度、不同濾鏡下的衰減吸收的光度值變化

硫酸銅濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
藍色濾鏡	267	240	213	208	199	187	183	178	168	164	158
綠色濾鏡	553	494	434	412	378	358	335	311	292	282	269
紅色濾鏡	396	254	112	79	61	45	36	29	28	27	19
黃色濾鏡	1802	1530	1257	1156	1017	918	845	786	728	714	638
紫色濾鏡	199	136	72	57	46	41	37	34	31	30	28
無色濾鏡	1895	1627	1358	1295	1119	985	938	871	832	786	751
無濾鏡	2070	1813	1556	1413	1248	1128	1069	954	934	915	831

圖二、藍色硫酸銅溶液在不同濃度、不同顏色濾鏡下的衰減吸收的光度值比較

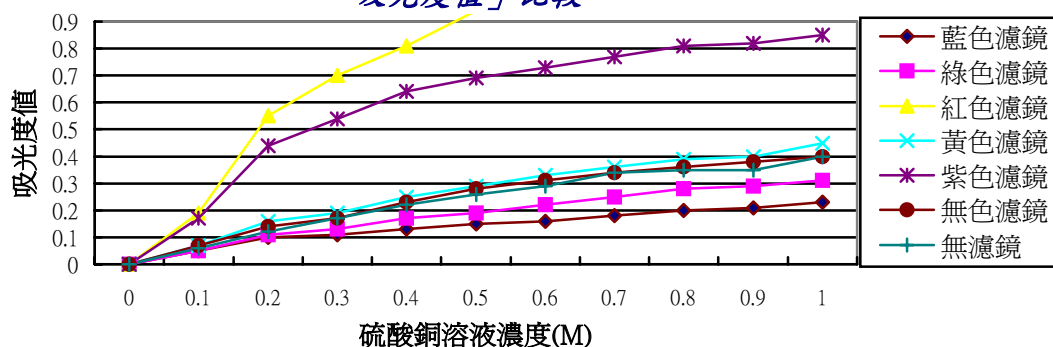


表六、藍色硫酸銅溶液在不同濃度、不同濾鏡下的吸光度值【logP₀/P】變化

硫酸銅濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
藍色濾鏡	0.00	0.05	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
綠色濾鏡	0.00	0.05	0.11	0.13	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.29	0.31
紅色濾鏡	0.00	0.19	0.55	0.70	0.81	0.94	1.04	1.14	1.15	1.17	1.32
黃色濾鏡	0.00	0.07	0.16	0.19	0.25	0.29	0.33	0.36	0.39	0.40	0.45
紫色濾鏡	0.00	0.17	0.44	0.54	0.64	0.69	0.73	0.77	0.81	0.82	0.85
無色濾鏡	0.00	0.07	0.14	0.17	0.23	0.28	0.31	0.34	0.36	0.38	0.40
無濾鏡	0.00	0.06	0.12	0.17	0.22	0.26	0.29	0.34	0.35	0.35	0.40

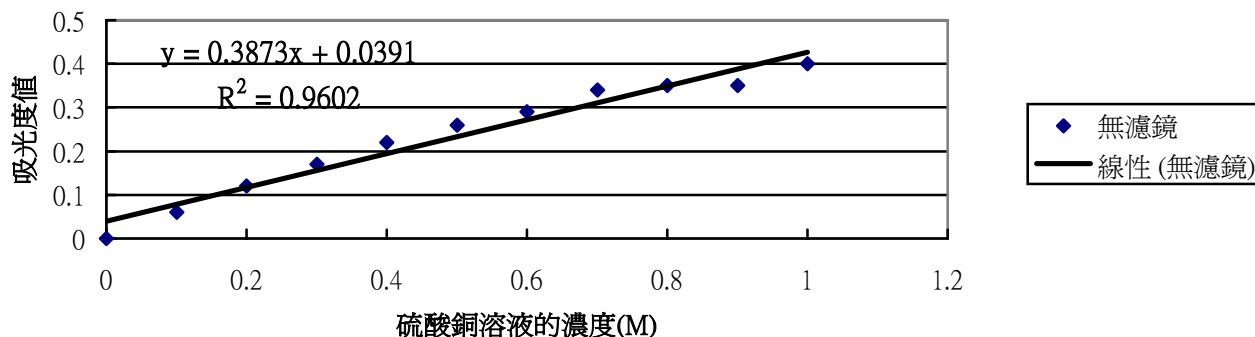
不同濾鏡發出的光線，其吸收度 $A = \log P_0/P_1$ 的換算關係， P_0 是指為濃度 0M 時的吸收度， P_1 即指不同濃度下的

圖三、硫酸銅溶液在不同濃度、不同濾鏡下的「吸光度值」比較



吸收度。

圖四、各濃度的硫酸銅溶液在無色濾鏡下的吸光度值檢量線



結果與討論：

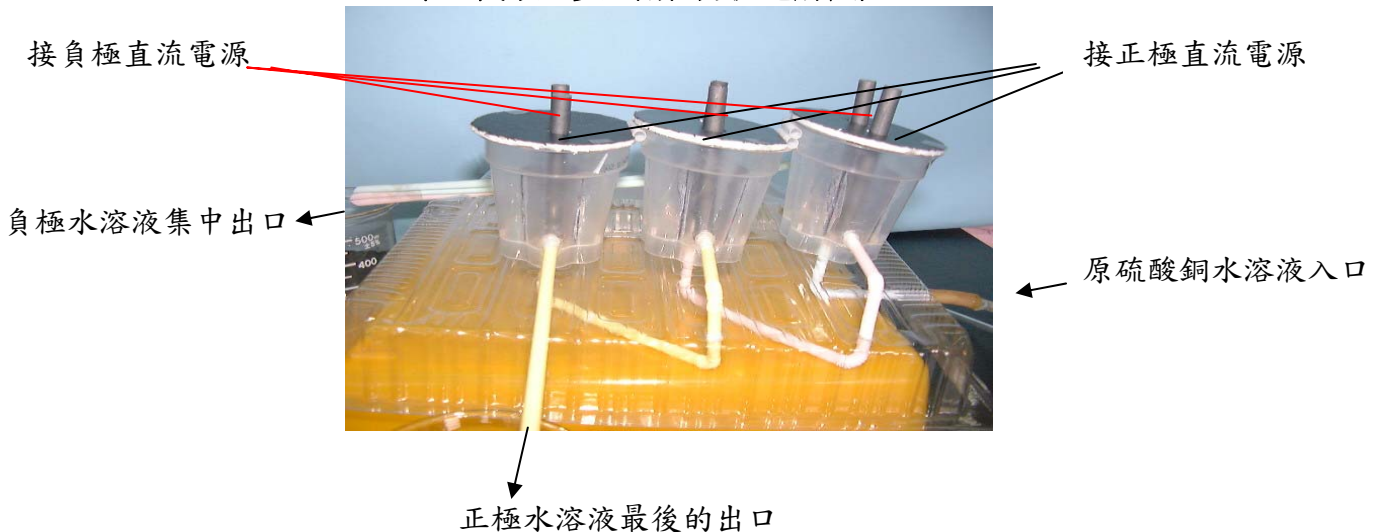
- 1.不同顏色的濾光片為光源經藍色硫酸銅溶液衰減吸收後的光度計無濾鏡的變化很明顯的與濃度呈反比的曲線。
- 2.硫酸銅溶液濃度愈高，光度值愈低，表示高濃度的光吸收情形愈明顯，亦即透光程度愈低，無濾鏡的吸收度的大小變化也很明顯的與濃度呈正比的線性關係，所以我們後面的硫酸銅濃度檢量線及未知硫酸銅濃度的定量都用此儀器來測量。

實驗五、設計多重兩極分流電解槽為農田引水灌溉及養殖水域把關

小型多重兩極分流電解槽製作的想法及過程：

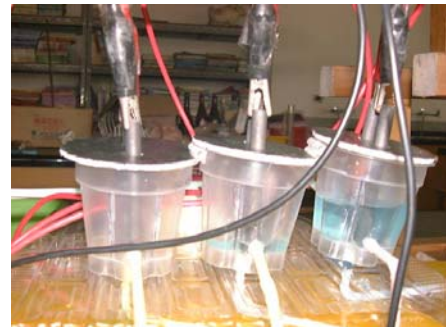
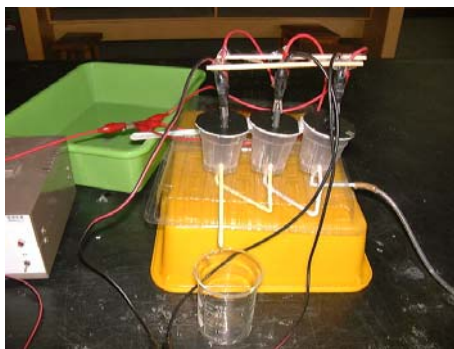
- 1.延續前面目前學校獨創的兩極分流電解槽(單槽)的設計並加以延伸成(多槽)，其實驗目的不外希望由正極流出的重金屬離子濃度達到可排放的標準。
- 2.其原理如前所述，已知由負極流出的重金屬離子濃度會比原水溶液的濃度高，而由正極流出的重金屬離子濃度則會比原水溶液的濃度低，如果連續將正極流出的水溶液予以分流，則由最後一槽流出的水溶液，其重金屬離子濃度應達最低才是，而負極流出的水溶液則可加以回收或沉澱減廢、集中處理，以達可排放的重金屬離子濃度標準。此小型的簡易裝置，如下圖所示。

第一代小型多重兩極分流電解裝置



【還有多張現場資料圖】

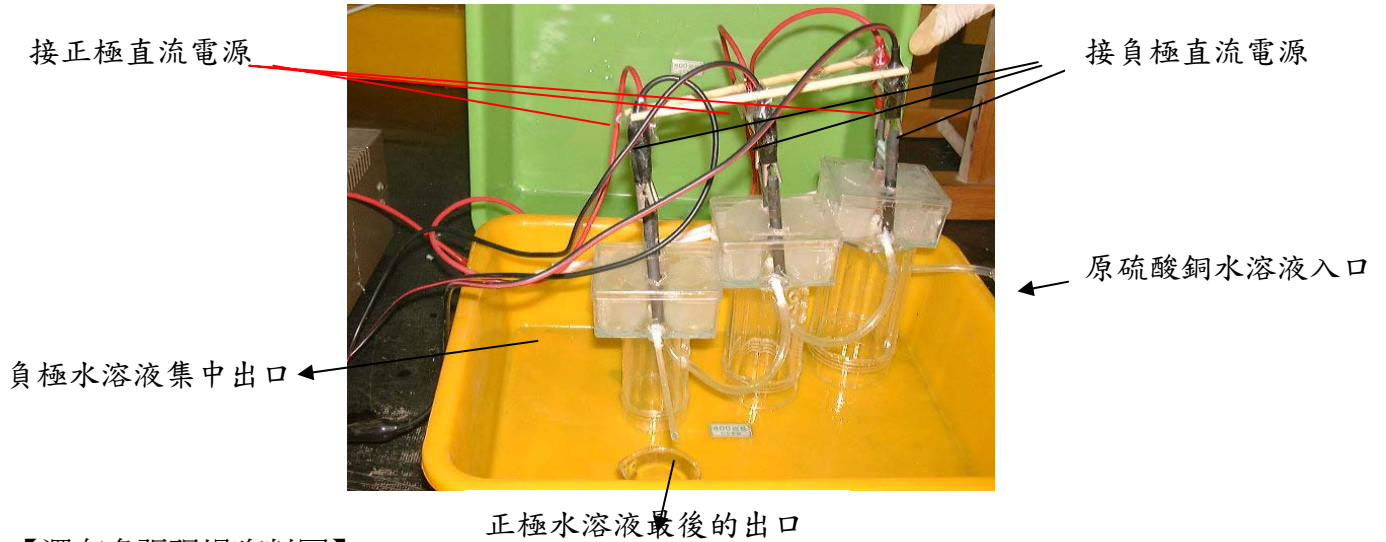
實際試驗分流效果：不管用多高的水位，用很多方式企圖改進，但也僅能分流至第二槽而已。如下圖所示。



- 所以我與老師討論後，分析原因可能是
- 1.三槽的高度差不夠。
 - 2.正極連續串接的阻力遠比負極直接流出的阻力大得多。
 - 3.塑膠可伸縮吸管須銜接較多套管，造成不少空氣柱應是主要的阻力來源。

由以上假設，我決定根據缺點再找尋適當材料，重新設計做出下一個小型多重兩極電解槽裝置。

第二代小型多重兩極分流電解裝置



【還有多張現場資料圖】

改進方法步驟：1.先塞住負極出水口。

2.將待分流的水溶液引入以排除去正極連續導流管內的空氣柱。

3.引入水溶液的開關一打開後，立即將負極出水口的塞子撤走。

4.打開直流電源供應器，調整電壓，開始電解。

實際試驗分流效果：確實排除了前面的分流瓶頸，已可順利引流至第三槽，而多重兩極分流電解的效果也在正極明顯的流出濃度更低的藍色銅離子溶液。如下圖所示：



實驗六、以自製的小型多重兩極分流電解槽模擬為農田引水或養殖水域的重金屬離子水處理

器材：自製第二代小型多重兩極分流電解槽、正極、負極碳棒、0.1M 硫酸銅溶液、電源供應器、自製光衰減儀、量杯

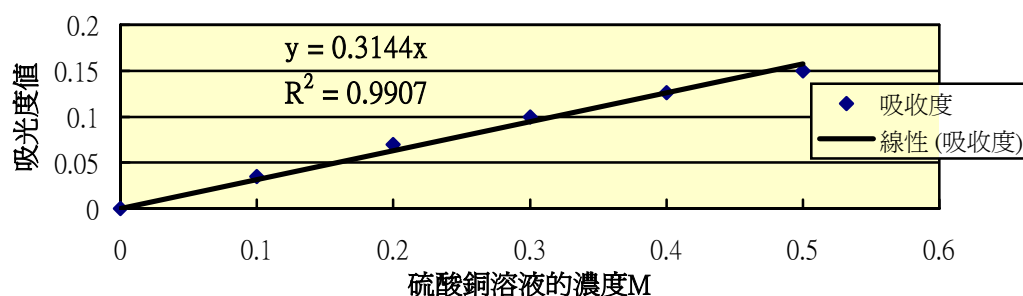
實驗步驟：

1. 多重分流電解槽的裝置弄好後，調整電源供應器的電壓為 20V，電流大小約為 0.8A，槽中引入硫酸銅的水溶液，開始收集由連續電解槽正極、全部負極的兩側管流出的溶液量。
2. 取每五分鐘後的正負極流出液 50ml，再由其中吸取約 10ml 以標示好的試管收集待測濃度。
3. 以簡易 pH 計測各正負極流出液的酸鹼值。
3. 以自製光衰減儀量測光度，配製硫酸銅標準液製作檢量線，再對照檢量線求出濃度。

表七、三重兩極分流電解槽連續分流 0.1M 硫酸銅溶液的正、負極兩側溶液的濃度變化

通電時間(分)	5	10	15	20	25	30
正極流出液的吸光度值	1179	1201	1203	1219	1235	1246
正極流出液的吸收度 $A = \log P_0/P_1$	0.025	0.017	0.0168	0.011	0.005	0.004
負極流出液的吸光度值	1150	1136	1117	1090	1086	1065
負極流出液的吸收度 $A = \log P_0/P_1$	0.036	0.042	0.049	0.059	0.061	0.070
正極流出液的濃度(M)	0.0795	0.0541	0.0477	0.0350	0.0159	0.0112
負極流出液的濃度(M)	0.1157	0.1336	0.1559	0.1877	0.1940	0.2212
兩極濃度差(M)	0.0362	0.0795	0.1082	0.1527	0.1781	0.2100
正極流出液 pH 值	6.8	7.9	8.1	9.4	9.7	10.3
負極流出液 pH 值	4.2	4.0	3.9	4.6	5.4	5.9
Δ pH	2.6	3.9	4.2	4.8	4.3	4.4
標準硫酸銅濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
光度值	1250	1152	1064	994	935	884
吸收度	0.00	0.035	0.070	0.100	0.126	0.150

圖五、硫酸銅溶液的檢量線



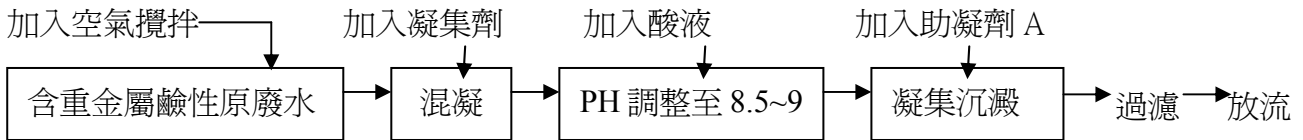
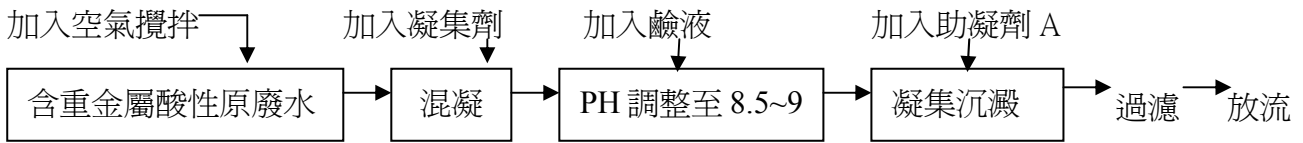
結果與討論：

1. 實驗結果可由正極流出比 0.1M 硫酸銅溶液濃度更低的銅重金屬離子水溶液，而負極流出比 0.1M 硫酸銅溶液濃度更高的銅重金屬離子水溶液，且在正極碳棒上可明顯看到氣泡而負極碳棒上可明顯看到銅金屬析出，三者銅金屬析出量為第一槽 > 第二槽 > 第三槽。三者氣體氣泡生成量亦為第一槽 > 第二槽 > 第三槽。
2. 所以，亦可比照此方式將負極流出的水溶液量連續電解多次即可在負極流出更濃的硫酸銅溶液。

【研究目的三】校園重金屬離子的減廢

(一)硫酸銅水溶液的沉澱研究

依據縣府發給學校的小型廢水處理裝置中的重金屬處理流程圖如下：



所以我們進行了本沉澱實驗，想了解課本中 13-5 的 0.05M 硫酸銅電解後廢液、13-6 的 0.5 M 硫酸銅電鍍後廢液、14-1 鋅銅電池的 0.1 M 硫酸銅電解液反應後廢液是否任何濃度皆適宜沉澱處理？

實驗七、硫酸銅溶液的沉澱實驗

【配藥】及實驗步驟：

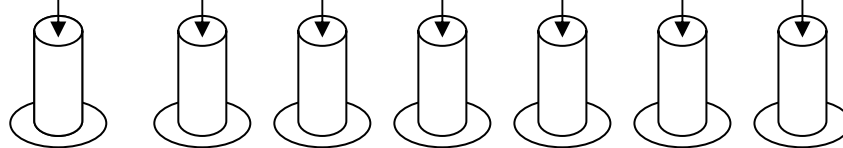
1.配 0.5M 硫酸銅溶液：稱 12.495g 的含水硫酸銅晶體，加水溶解後，再以水稀釋至 100ml。

2.稀釋 0.5M 硫酸銅溶液至低濃度的硫酸銅溶液如下：

(1)先取 40 ml 的 0.5 M 硫酸銅溶液加水稀釋至 100ml，即為 0.2M 的硫酸銅溶液。

(2)0.2M 硫酸銅 17.5ml 15.0 ml 12.5 ml 10.0 ml 7.5 ml 5.0 ml 2.5ml

全部加水稀釋
至 20 ml



稀釋後硫酸銅濃度 0.175M 0.15M 0.125M 0.10M 0.075M 0.05M 0.025M

3.配 1M 氫氧化鈉溶液：稱 28.0g 的氫氧化鈉，加水溶解後，再以水稀釋至 700ml。

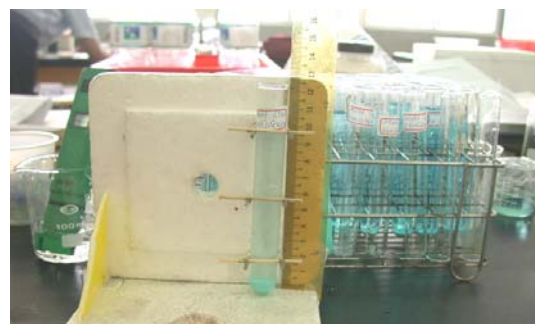
表八、各種濃度硫酸銅溶液 10 ml 與 1M 氫氧化鈉溶液混合的各項結果比較

PH 值比較									
硫酸銅濃度 M	0	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200
氫氧化鈉 0 ml	—	5.6	5.3	5.1	4.8	4.6	4.3	4.2	4.0
氫氧化鈉 0.5 ml	14.3	9.8	7.2	6.4	5.7	5.5	5.0	5.0	5.1
氫氧化鈉 1.0 ml	14.3	11.4	9.6	8.3	6.8	6.3	6.0	5.8	5.4
氫氧化鈉 1.5 ml	14.3	12.7	12.4	11.5	10.9	10.6	10.1	9.3	9.0
氫氧化鈉 2.0 ml	14.3	13.2	13.1	12.5	11.6	11.2	10.8	10.7	10.6
氫氧化鈉 5.0 ml	14.3	14.3	14.3	14.2	14.2	14.1	13.9	13.9	13.7
沉澱高度(cm)比較									
硫酸銅濃度 M	0	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200
氫氧化鈉 0 ml	無	無	無	無	無	無	無	無	無
氫氧化鈉 0.5 ml	無	微量	微量	微量	微量	0.10	0.40	0.45	0.50
氫氧化鈉 1.0 ml	無	微量	微量	微量	微量	0.25	0.50	0.65	0.90
氫氧化鈉 1.5 ml	無	微量	微量	微量	0.10	0.45	0.65	0.85	1.40
氫氧化鈉 2.0 ml	無	微量	微量	微量	0.15	0.55	0.85	1.30	1.65
氫氧化鈉 5.0 ml	無	微量	微量	0.10	0.35	0.70	3.10	3.20	2.80

沉澱物顏色比較									
硫酸銅濃度 M	0	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200
氫氧化鈉 0 ml	無	無	無	無	無	無	無	無	無
氫氧化鈉 0.5 ml	無	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白
氫氧化鈉 1.0 ml	無	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白
氫氧化鈉 1.5 ml	無	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白	藍帶白
氫氧化鈉 2.0 ml	無	藍色	藍色	藍色	藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
氫氧化鈉 5.0 ml	無	咖啡色	咖啡色	咖啡色	咖啡色	咖啡色	咖啡色	咖啡色	咖啡色
上層溶液顏色比較									
硫酸銅濃度 M	0	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200
氫氧化鈉 0 ml	無	無	無	無	無	無	無	無	無
氫氧化鈉 0.5 ml	無	淺藍色	淺藍色	淺藍色	淺藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
氫氧化鈉 1.0 ml	無	淺藍色	淺藍色	淺藍色	淺藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
氫氧化鈉 1.5 ml	無	淺藍色	淺藍色	淺藍色	淺藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
氫氧化鈉 2.0 ml	無	淺藍色	淺藍色	淺藍色	淺藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
氫氧化鈉 5.0 ml	無	無色	無色	無色	無色	無色	無色	無色	無色

結果與討論：

1. 實驗結果為硫酸銅溶液在鹼性溶液時比在酸性溶液中更容易形成沉澱，且除了沉澱物的量比較多以外，上層溶液的顏色也較接近無色，而酸性溶液的沉澱量除了較少外，上層溶液的顏色仍為藍藍的顏色。(如右圖所示)
2. 太強的鹼性溶液上層溶液的顏色很快就變澄清透明的無色，但 pH 值 12 以上容易使沉澱顏色變成深咖啡色，且愈鹼顏色愈深，而 pH 值為 7 以下的酸性溶液時，即形成粉藍色的沉澱，量看起來很多，可是等沉澱下來時，高度還是沒有同濃度硫酸銅所形成的鹼性溶液多。
3. 由此可見原來縣府發給學校的小型廢水處理裝置中的重金屬處理流程，不管含重金屬離子為酸性還是鹼性均須調整至弱至中鹼的 pH 值才能做最好的減廢處理。
4. 除非無法增濃回收減廢，否則用此種沉澱方法減廢仍需用不少材料處理善後，真是不得已而為之啊！



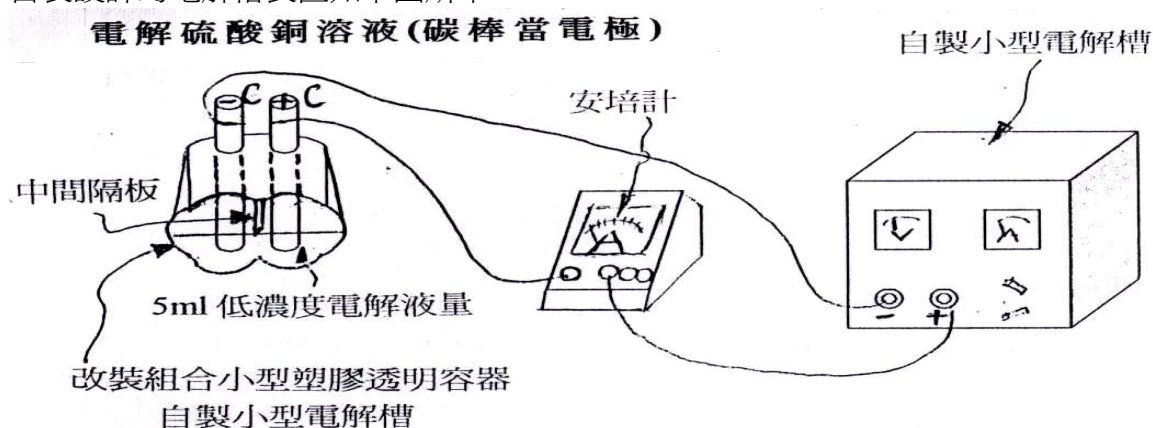
自製高度測量座測沉澱物的高度

(二)設計小型電解電鍍硫酸銅的實驗裝置

實驗八、改良的小型電解硫酸銅的實驗

準備：回收硬質透明的布丁盒塑膠容器、小塑膠片、矽膠、電焊筆、電源供應器、毫安培計、數位式電錶、鱷魚導線夾、硫酸銅、碳棒、銅箔、10ml 量筒、碼錶。

自製設計的電解槽裝置如下圖所示



【還有多張現場資料圖】

步驟：1.將 0.05M 或 0.1M 的硫酸銅 5ml 加到自製的電解槽內，插入兩支短碳棒，接上電源供應器、串聯毫安培計。

2.調整電源供應器為直流電，轉至 2.5V 或 5.0V 讀數，以碼錶開始每分鐘計錄毫安培計上的電流讀數及用數位式電錶以並聯方式測量實際的輸出電壓，並觀察電解液的變化。

表九、5ml 0.05M 藍色 CuSO_4 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 28.5°C)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	2.88	2.92	2.92	2.96	2.96	2.97	2.97	2.97
實際負載電流(mA)	9.9	10.0	10.1	10.5	11.0	11.5	12.0	12.0
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 \longrightarrow 變更淡的藍色(仍有顏色)							

表十、5ml 0.10M 藍色 CuSO_4 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 29.0°C)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	2.84	2.85	2.85	2.86	2.87	2.87	2.88	2.89
實際負載電流(mA)	12.0	12.0	12.5	13.0	13.2	13.7	14.0	14.2
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 \longrightarrow 變更淡的藍色(仍有顏色)							

表十一、5ml 0.05M 藍色 CuSO_4 溶液在 5V 直流電源下的電解情形(室溫 29.0°C)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	5.54	5.53	5.49	5.44	5.43	5.42	5.40	5.40
實際負載電流(mA)	15.0	17.0	20.0	24.0	26.0	28.0	31.0	34.0
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 \longrightarrow 變更淡的藍色(仍有顏色)							

表十二、5ml 0.025M 藍色 CuSO_4 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 25.0°C)

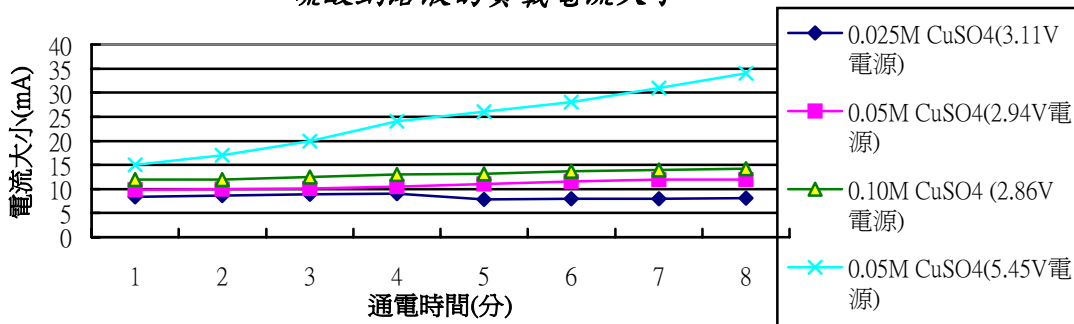
通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	3.11	3.11	3.12	3.11	3.10	3.10	3.10	3.11
實際負載電流(mA)	8.4	8.7	8.9	9.0	7.8	8.0	8.0	8.1
CuSO_4 顏色變化	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色
通電時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	16
實際負載電壓(V)	3.11	2.91	2.98	2.98	2.99	3.00	2.98	3.00
實際負載電流(mA)	8.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.2	6.3	6.4
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 \longrightarrow 無色(仍有繼續反應)							

【碳棒當正極、銅箔當負極】

表十三、5ml 0.025M 藍色 CuSO₄ 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 25.0℃)

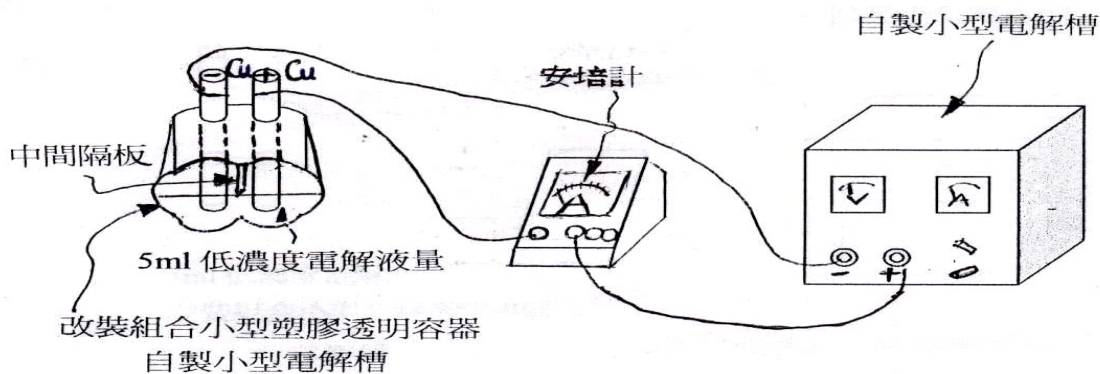
通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	2.90	2.91	2.93	2.94	2.94	2.95	29.4	2.92
實際負載電流(mA)	13.0	12.0	11.5	11.5	11.5	11.5	12.0	12.5
CuSO ₄ 顏色變化	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	無色
通電時間(分)	9	10	11	12				
實際負載電壓(V)	2.92	2.91	2.92	2.92				
實際負載電流(mA)	13.0	13.5	14.0	14.5				
CuSO ₄ 顏色變化	無色	—————>					無色(仍有繼續反應)	

圖五、碳棒當電極在不同電壓下電解不同濃度硫酸銅溶液的負載電流大小



實驗九、改良的小型電鍍硫酸銅的實驗

【電鍍銅】(即電解硫酸銅溶液銅箔當電極)



表十四、5ml 0.05M 藍色 CuSO₄ 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形 (室溫 25.0℃)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	2.89	2.89	2.89	2.90	2.89	2.89	2.89	2.89
實際負載電流(mA)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.0	12.0	12.0	12.0
CuSO ₄ 顏色變化	淡藍色	—————>					變更淡的藍色(仍有顏色)	

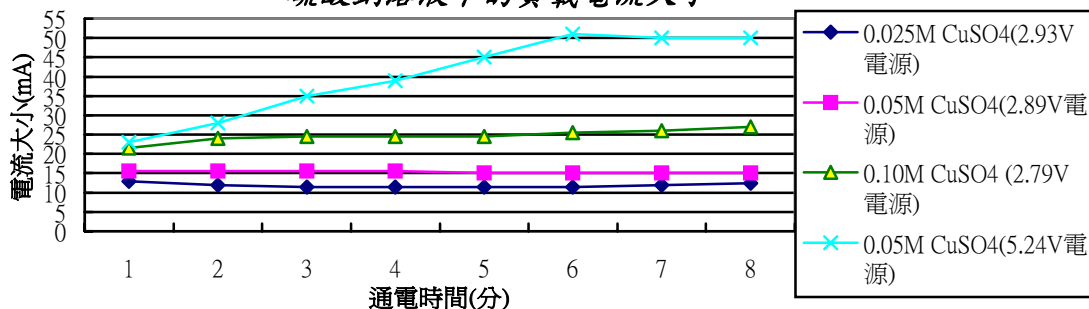
表十五、5ml 0.1M 藍色 CuSO₄ 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 25.0℃)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	2.80	2.79	2.79	2.79	2.79	2.78	2.77	2.80
實際負載電流(mA)	21.5	24.0	24.5	24.5	24.5	25.5	26.0	27.0
CuSO ₄ 顏色變化	淡藍色	—————>					變更淡的藍色(仍有顏色)	

表十六、5ml 0.05M 藍色 CuSO₄ 溶液在 5V 直流電源下的電解情形 (室溫 25.0°C)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	5.33	5.30	5.27	5.22	5.20	5.21	5.21	5.20
實際負載電流(mA)	23.0	28.0	35.0	39.0	45.0	53.0	50.0	50.0
CuSO ₄ 顏色變化	淡藍色 → 變更淡的藍色(仍有顏色)							

圖六、電鍍銅以銅箔當正極，在不同電壓、不同濃度硫酸銅溶液下的負載電流大小



表十七、課本 13-5 和 13-6 實驗和我們自製設計的電解槽裝置比較

對照單元	硫酸銅濃度、體積	直流電源供應器電壓	電流大小	通電時間
課本 13-5 電解硫酸銅實驗	0.05M 70ml 即含 CuSO ₄ 0.0035mol	6 V	調整電源使電流為 0.1A(即 100mA)	10 分
自製硫酸銅減廢電解裝置	0.025M 5ml 即含 CuSO ₄ 0.000125mol	2.5 V	電流為 10mA 以下就夠了	2 分鐘就可鍍上一層很漂亮的銅
對照單元	硫酸銅濃度、體積	直流電源供應器電壓	電流大小及通電時間	
課本 13-6 電鍍硫酸銅實驗	0.5M 200ml 即含 CuSO ₄ 0.1mol	3 V	都沒訂，應該是太高了，因為鍍物表面變成黑色的氧化銅	
自製鍍銅減廢電解裝置	0.05M 5ml 即含 CuSO ₄ 0.00025mol	2.5 V	電流為 12mA 就夠了，2 分鐘就可鍍上一層很漂亮的銅	

結果與討論：

1. 課本上說電解硫酸銅溶液藍色會變淡，事實上也是如此，但我們已經減量使用到 0.05M 5ml 的劑量來電解硫酸銅溶液了，到了八分鐘仍有藍色，這樣還不夠理想，所以我們將濃度減為更低，只用 5ml 且 0.025 M 的劑量(原來課本劑量的 1/28)就夠了，而且到最後可看到硫酸銅溶液變無色，溶液為酸性溶液，故可繼續像電解水一樣，在兩極處看到產生氣泡(如此可將 13-5 甲·電解水的實驗一起設計成同一單元，且實驗時間在 10 分鐘左右就可完成觀察及記錄了)。
2. 電解愈到最後，負載電壓上升情形不完全一致，但還算穩定，電流則大部份有上升的趨勢，我們懷疑是否電解時，除了電能供給電解的化學能以外，應也有部份轉成熱能，故使溶液中正、負離子動得更快，所以電流會變大？
3. 我們也懷疑正極碳棒處產生氧的同時，會使溶液酸性再增加？
4. 我們做了如表十二和十三的負極碳棒和銅棒的對照組，證明的確銅棒就像鍍上銅膜的負極碳棒會比原來碳棒更具有吸引正離子(銅離子)的還原力，所以藍色銅離子較快還原而溶液終呈無色。

(三)設計掌上型鋅銅電池

第一代改良式鋅銅電池—「三明治」法的鋅銅電池製作想法：利用回收塑膠容器模擬三明治的方式，將鋅片、鹽橋、銅片形成緊密結合減少電阻的鋅銅電池。【還有多張現場資料圖】

實驗十、第一代三明治法的環保鋅銅電池製作及電流強度實驗

1 準備：銅片、硫酸鋅、硫酸銅、硝酸鉀、紙巾、玻璃紙、數位式電錶、鱷魚導線夾、回收底片塑膠空罐、橡皮筋、碼錶

2 實驗步驟

(1)將鋅片及銅片以砂紙磨光並彎成和底片塑膠空罐一樣的弧度。

(2)將紙巾折成和底片塑膠空罐一樣的寬度、玻璃紙則稍大一些。

(3)底片塑膠空罐外依序放鋅兩片及雙層紙以橡皮筋網綁，加 3ml

1M 硫酸鋅在紙上，雙層玻璃紙內放兩片紙並加 2ml1M 硝酸鉀在紙上、玻璃紙外再放雙層紙，加 3ml1M 硫酸銅在紙上，放兩片銅片，最後以橡皮筋網綁。

(4)將自製步驟(3)的電池以兩條鱷魚導線夾分別夾住鋅片（負極）、銅片（正極），鱷魚導線夾另一端則接到數位式電錶上，測出如下表的電流大小。

放電時間（秒）	0	30	60	90	120
電流（毫安培）	430	390	340	310	290

結果與討論

1.與傳統的鋅銅電池比較，其優點有：

(1)減少廢液量污染。(2)高電流(比課本鋅銅電池的電流大百倍以上)的環保鋅銅電池。

2.與傳統的鋅銅電池比較，其缺點有：

(1)手仍難免與硫酸鋅、硫酸銅或硝酸鉀等溶液有接觸的機會，其腐蝕性還真不小哩！

(2)操作步驟及電池壽命上仍不夠理想。

第二代改良式鋅銅電池—串、並聯皆宜的環保簡易鋅銅電池

實驗十一、第二代環保簡易鋅銅電池製作及電流強度實驗

1 準備：回收塑膠杯、奶茶托盤、銅片等其餘同上。

2 實驗步驟

(1)將鋅片及銅片以砂紙磨光並將紙巾減成和塑膠容器一樣的面積、玻璃紙則稍大一些。

(2)在塑膠容器下方 2mm 處切割 5mm 高、與鋅片及銅片同寬的長度，洞內依序插入鋅片，再在鋅片上放兩片紙、加 2ml1M 硫酸鋅在紙上、雙層玻璃紙內放兩片紙並加 2ml1M 硝酸鉀在紙上、玻璃紙外放兩片紙、加 2ml1M 硫酸銅在紙上、銅片，最後以同規格的塑膠容器從上方壓緊。

(3)將自製步驟(2)的電池以兩條鱷魚導線夾分別夾住鋅片（負極）、銅片（正極），鱷魚導線夾另一端則接到數位式電錶上，測出如下表的電流大小。

(4)將回收的塑膠杯改為奶茶托盤(共有四凹槽)，注意聯接線路，使呈並聯或串聯的方式，同樣也測出時間與電流的大小。

回收塑膠杯（一組）					
放電時間（秒）	0	30	60	90	120
電流（毫安培）	370	360	340	320	300

奶茶托盤（雙層單凹槽一組）					
放電時間（秒）	0	30	60	90	120
電流（毫安培）	430	410	380	360	340
奶茶托盤（雙層雙凹槽一組並聯）					
放電時間（秒）	0	30	60	90	120
電流（毫安培）	840	760	700	660	610

奶茶托盤（雙層雙凹槽一組串聯）					
放電時間（秒）	0	30	60	90	120
電流（毫安培）	390	330	280	230	190

改進容器，選擇回收塑膠容器為透明易觀察及不易變形的材質

結果與討論

- 與第一代改良的鋅銅電池及傳統的鋅銅電池比較，其優點有：
 - 並聯可得更高的電流強度。同時可了解串聯增加電阻，相對的電流強度就減弱。
 - 減少廢液量污染，且手較不會與這些具腐蝕性的溶液接觸。
- 與第一代改良的鋅銅電池比較，其缺點有：
 - 看不到內容物的反應及顏色變化。
 - 材料硬度不夠，裝置容易損壞，所以仍不夠理想。

第三代改良式鋅銅電池—透明不易形變的掌上型鋅銅電池

實驗十二、第三代環保簡易鋅銅電池製作及電流強度實驗

1.準備：回收硬質的透明塑膠容器、美工刀、銅片、硫酸鋅、硫酸銅、硝酸鉀、紙巾、玻璃紙、數位式電錶、鱷魚導線夾、塑膠鑷子。

2.製作流程如下



結果與討論：

- 與第二代改良的鋅銅電池比較，其優點有：
 - 改進容器為透明易觀察及不易變形的材質，裝置重覆性使用的壽命高。
 - 可以用單手的拇指及四指上下擠壓(減少電阻、增大電流動作)時較不會容器形變與漏液。
- 由下表的分析對照比較，我們實在沒有再使用高廢液污染的必要及本錢，只用不到原來劑量的十分之一，就可以產生提高百倍以上的電流效果，而且裝置用回收的透明塑膠容器不怕像玻璃器材容易打破，也減少手部被污染的機會。

課本 14-1 實驗和第三代環保簡易的掌上型鋅銅電池比較

鋅銅電池	硫酸銅濃度、體積	硝酸鉀濃度、體積	硫酸鋅濃度、體積
課本 14-1 實驗	0.1M 200ml 即含 CuSO ₄ 0.02mol、	1M、200ml 即含 KNO ₃ 0.2mol	0.1M、200ml 即含 ZnSO ₄ 0.02mol
第三代環保掌上型的鋅銅電池	1M 2ml 即含 CuSO ₄ 0.002mol	1M、2ml 即含 KNO ₃ 0.002mol	1M、2ml 即含 ZnSO ₄ 0.002mol
鋅銅電池	負載電壓	負載電流	廢液量
課本 14-1 實驗	約 1.1V，不穩會跳動	約 2.5 毫安培	與原來差不多
第三代環保掌上型的鋅銅電池	約 1.1V，不穩會跳動	約 300 毫安培	零廢液，紙巾可分類再重覆使用

3.自製的鋅銅電池的紙巾使用後，可分類置於貼上各標籤的杯中，下次使用時再依上述流程用塑膠鑷子夾到容器中， $ZnSO_4$ 的紙巾只要加 2ml 的水就好了，其他的就依放電情況自行調整加水或加原濃度的溶液即可。

五.心得討論與建議

- 1.在研究一的實驗一「**電解質水溶液中正、負離子在電解時的位移方向比較**」中，已可以清楚的驗證正離子確有偏向負極移動，而負離子則偏向正極移動的事實。實驗二「**兩極分流電解槽的設計實驗**」亦可從中了解電解水溶液的反應機制，並找出電解的最適條件為：高電壓、適當的正負極間距、加裝正負極兩側檔板可避免迴流而效果更好、負電極的材料傾向於活性愈小者分流的效果較佳。
- 2.在研究二的實驗三「**利用光的衰減性質自製簡易銅離子濃度測定計**」及實驗四「**不同濃度下的硫酸銅溶液衰減吸收的光度值變化**」中，可由自製光吸收衰減儀測硫酸銅溶液的吸收光的情形，且顯示硫酸銅溶液濃度愈高，光度值愈低，這表示高濃度的硫酸銅溶液光吸收情形愈明顯，所以我在仔細配製幾個不同濃度的硫酸銅標準液後，由此儀測出光度值後再換算成吸光度值【 $\log P_0/P_t$ 】，其與濃度間有明顯的線性關係。最後以電腦畫出的硫酸銅濃度檢量迴歸線時，將未知硫酸銅濃度的吸光度值代入線性方程式中即可推算出濃度大小了。
- 3.在實驗五「**設計多重兩極分流電解槽為農田引水灌溉及養殖水域把關**」及實驗六「**以自製的小型多重兩極分流電解槽模擬農田引水或養殖水域的重金屬離子水處理**」的實驗中，可驗證負極流出的重金屬離子濃度會比原水溶液的濃度高，而實際試驗分流效果：**第二代小型多重兩極分流電解裝置**確實排除了前面的分流瓶頸，已可順利引流至第三槽，而多重兩極分流電解的效果也在正極明顯的流出濃度更低的藍色銅離子溶液。所以，由正極流出的重金屬離子濃度則會比原水溶液的濃度低的結果而所推想的：**連續將正極流出的水溶液予以分流，則由最後一槽流出的水溶液，其重金屬離子濃度應達最低**的想法是可行的。
- 4.在研究三的實驗七「**硫酸銅溶液的沉澱實驗**」裏，實驗結果為硫酸銅溶液在鹼性溶液時比在酸性溶液中更容易形成沉澱，且除了沉澱物的量較多外，上層溶液的顏色也較接近無色而酸性溶液仍為藍藍的顏色，由此顯示鹼性溶液較易去除重金屬離子，這結果與縣府發給學校的小型廢水處理裝置中的【**重金屬處理流程**】須調整至鹼性的處理相符。
- 5.在實驗八「**改良的小型電解硫酸銅實驗**」及「**改良的小型電鍍硫酸銅實驗**」裏，則相當成功的研究且設計出【**少量電解及電鍍硫酸銅的裝置，大大的減少廢液量的體積**】。理化課本內 13-5 的實驗只要用 5ml 且 0.025 M 的劑量(原來課本劑量的 1/28)就夠了，而 13-6 則更誇張，我們設計只須用原來課本劑量的 1/400 就可以將實驗很快的做出結果，實驗時間約在 10 分鐘左右就可完成觀察及記錄了。而實驗最為重要的證明是**根本可以用此更環保的設計來取代現行的高藥品浪費、高廢水污染量…(如果有學校不把廢水處理完就排放…)**的結果。
- 6.在實驗十~十二的「**第一代三明治法的環保鋅銅電池製作**」到成熟的「**第三代掌上型環保鋅銅電池**」已成功的設計出**低劑量、低污染、高電流、可回收**，且單手一壓，減少電阻、增大電流操作方便的小巧掌上型電池，實在有推廣的必要性啊！

六.未來展望

- 1.校內的重金屬離子減廢沉澱處理真是我們唯一的選擇？除非無法增濃回收，除非沒有更好的實驗方法，否則，還需不少材料處理善後的沉澱減廢方式應不得已而為之吧！
- 2.我很感激從一年級就開始跟著我的指導老師做了二年多的科展，在大環境如此惡劣的情形下，我從中學習到不與環境妥協及努力克服困境的勇氣，所以有志一同的環保鬥士，不管是什麼污染，大家共同努力，應該可以找出釜底抽薪能治本的方法才是！也希望最近我們所獨創的小型多重兩極分流電解槽在以後有更多時間下，再將實驗多做幾次，驗證得更仔細、更完美，而不只是第二代產品罷了。

七.參考資料

1. 報紙及網站新聞重金屬離子水污染的報導
2. 國中理化第三冊第十三章、第十四章
3. 本校第三十七屆及四十一屆、四十二屆科展作品
4. 第四十屆中小學全國科展優勝作品
5. 高中化學第二冊第八章 8-3、8-4 節電化電池
6. 電池組與能源系統 國立編譯館 張桐生譯 徐氏基金會
7. 縣府發給學校的小型廢水處理裝置使用說明書