

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030806

廢粉筆的環保變身秀

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者： 國二 許文宣 國二 賴郁欣 國二 吳宛儒	指導老師： 賴月琴
---	------------------

關鍵詞：微形電解實驗、多孔性粉筆陶珠、
重金屬離子檢測與吸附

摘要

廢粉筆，不再是一般非資源垃圾了！我們以教室的廢粉筆為設計中心，獨創出多種實驗方法及設計裝置，也可做出許多綠色化學實驗的具體成果。

硫酸鈣成份的廢粉筆，可簡易再生或與陶土混合製成多種工藝品、分子模型球；碳酸鈣成份的廢粉筆，在短粉筆上畫電解通道可快速節能的比較出 1 滴電解液的綠色化學實驗。

我們自製的多孔性粉筆陶珠及連續吸附裝置，利用其多孔性及電燒後分解的成份，可中和酸性、吸附廢氣及吸附水中有害的重金屬離子物質。最後，我們還將吸附重金屬離子的粉筆陶珠，回浸到酸液中溶出重金屬離子，由可定量的一滴電解反應檢測，其在負極可析出金屬銅證明多孔性粉筆陶珠具有水質預防性把關及水中環境監控記錄的功能。

研究報告

壹、研究動機

大家仍以為粉筆是非資源垃圾，很多學校都當一般垃圾在處理，不過，本校四年來都將其視為資源垃圾而將它分類收集再利用。我們從一年級開始，每次換粉筆時，都看著學校整理這麼多盒的短粉筆，不知道它要做什麼，後來問學姊及老師後，才了解回收的學問真不小，所以，我們決定跟隨學姊的腳步，以它為主題研究的中心，準備好好的研究它，不僅要再生利用，更要讓它有附加價值為終極目標！

我們上網仔細的查有關粉筆的所有報導及已利用粉筆進行的實驗等。分析目前兩種成份的粉筆除了再生¹；可用於學校實驗上的，有查到利用粉筆進行電解實驗(20 mL的高劑量電解液且無電解後廢棄物的廢液處理等說明)²。

我們比較學校舊存貨的傳統粉筆及現在準備逐步更換改用的環保粉筆，發現它們與除了外形做成圓柱體相同外，粉筆外形的長度相同、圓柱體直徑粗細有別，更發現粉筆灰的顆粒大小細緻度、吸水性及成份的大不同的方向上，讓我們覺得它值得深入研究以找出此廢材的應用價值。

貳、研究目的

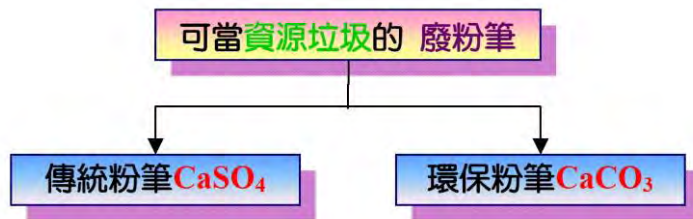
- 一、傳統硫酸鈣粉筆的廢材分析
- 二、環保碳酸鈣粉筆的廢材分析
- 三、傳統粉筆廢粉的再利用
- 四、環保粉筆的微形電解實驗
- 五、環保粉筆廢粉混合陶土製作多孔性粉陶珠的再利用研究
 - (一)多孔性陶片及陶珠的孔隙度大小觀測
 - (二)多孔性陶珠吸附水滴的速率比較
 - (三)多孔性陶珠中和調整酸性水樣的測試
 - (四)硫酸銅重金屬離子的定量檢測及多孔性陶珠吸附重金屬離子效能的實測
 - (五)以粉陶珠連續重金屬離子吸附裝置做為吸附重金屬離子的環控記錄器

參、研究設備及器材

項數	內容	項數	內容	項數	內容	項數	內容
1	廢粉筆	2	量筒	3	滴管	4	逆滲透後的水
5	吸管	6	天平	7	剪刀	8	燒杯
9	不織布	10	塑膠廢材盒	11	磁鐵	12	竹子
13	廢紙	14	抹布	15	膠帶	16	果汁機
17	絹網和絹框	18	木槌	19	護貝膠膜	20	蝶古巴特餐巾紙
21	陶土	22	保鮮膜	23	杜邦線	24	護貝機
25	尖嘴鉗	26	塑膠瓶	27	尺	28	熨斗
29	燒金爐	30	釘書針	31	三通接管	32	無水原子筆心
33	免洗筷	34	養樂多罐	35	橡皮軟管	36	自製多孔性粉筆陶珠
37	網箱廢塑膠	38	塑膠培養皿	39	鹽酸	40	碘化鉀水溶液
41	小塑膠杯	42	三角架	43	3V 電池組	44	澄清石灰水
45	放大鏡	46	廣用試紙	47	紅、黑導線夾	48	硫酸銅水溶液
49	電腦	50	控窯土	51	微量滴管	52	硝酸銀水溶液
53	智高積木	54	可攜式 Dino-Lite 顯微鏡頭		55	硫酸	
以下為自製設計及組裝器材							
56	5cm 紙尺	57	修飾破的粉筆陶珠	58	1 cm 雙圓十字投影片	59	雙吸管單鍵結及雙鍵結設計
60		61	固定粉筆的彈簧紙板座 	62	分子模型球及有機分子結構模型	63	電燒 600~1200°C 的多孔性陶珠及陶片
64	置放陶珠的鐵絲網籃 	65	承載陶珠圓柱膠膜底座 	66	顯微鏡俯視盒的支架紙盒 	67	回收紙盒及紙板製作試片分格箱 
68	夾擊廢粉筆的積木台設計 	69	三通的吸附裝置 	70	粉漿攪拌機 	71	陶珠連續吸附重金屬離子裝置的環控記錄器 

肆、研究過程與方法

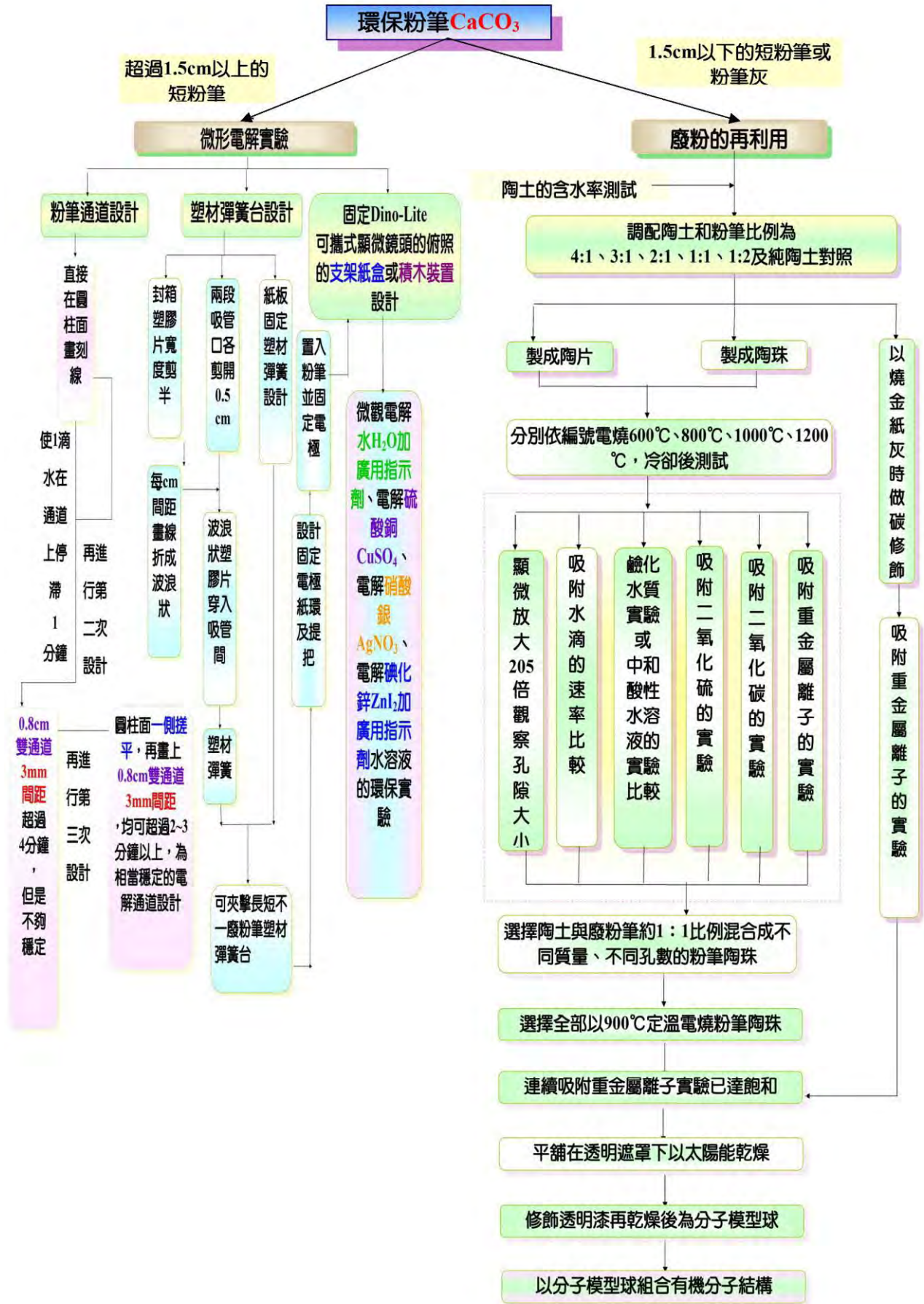
一、廢粉筆的環保變身秀的研究架構總簡圖



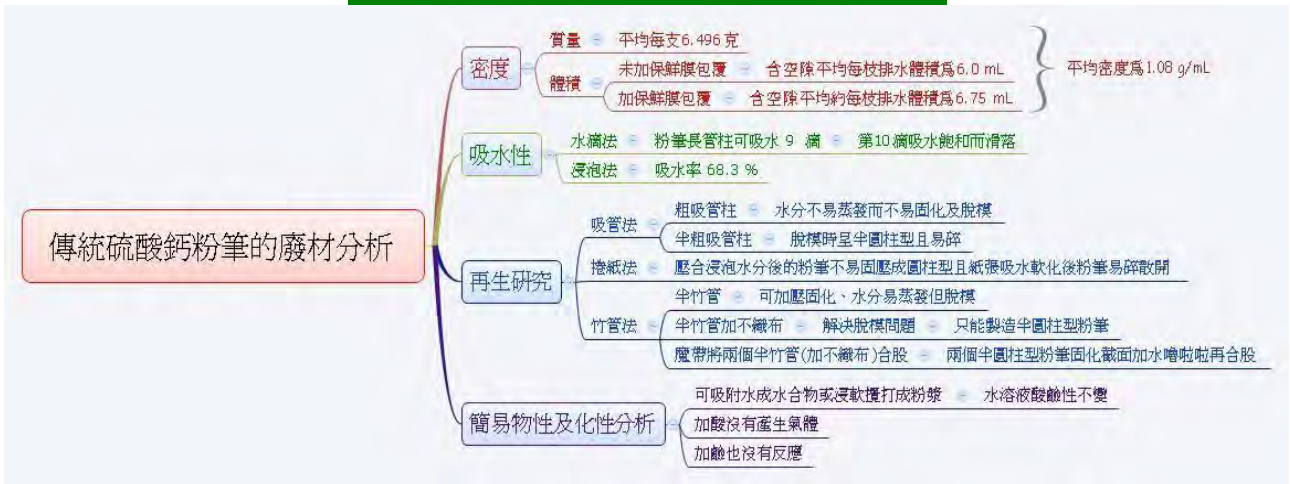
(一)傳統廢粉筆的研究架構



(二)環保粉筆的研究架構



研究一、傳統硫酸鈣粉筆的廢材分析



(一) 粉筆吸水性測試

		
將環保粉筆編號，傳統粉筆則直接滴水後，直接量測	將預先稱好質量的粉筆，以食指及姆指拿住粉筆的兩端，置於水杯上方	以塑膠滴管由上往下，對準粉筆圓柱中心處連續滴水，至粉筆已吸飽水為止
		
稱濕粉筆重，比較各粉筆的吸水量	以滴管在環保粉筆上滴水	等待水滲透進粉筆中，若已開始向下滑且滴下水滴時，表示已無法再吸水了










(二) 粉筆再生研究

1. 吸管法及半吸管法



2.竹管法

粉筆的竹管法再生製程圖示步驟

		
1 將竹子割成 2 半	2 將粉筆泡入水中使其軟化	3 將濕粉筆放入竹子中
		
4 在空隙中灑滿粉筆粉	5 滴水在粉筆粉上再次軟化	6 敲打使其更緊密
		
7 放在陽光下曬乾	準備敲模，利用慣性使再生粉筆主體與竹子分離	兩個半片成品可同時置於粉筆夾中使用

研究二、環保碳酸鈣粉筆的廢材分析



(一)以外觀分類粉筆廢材，如下圖示及說明



粉筆依顏色分類



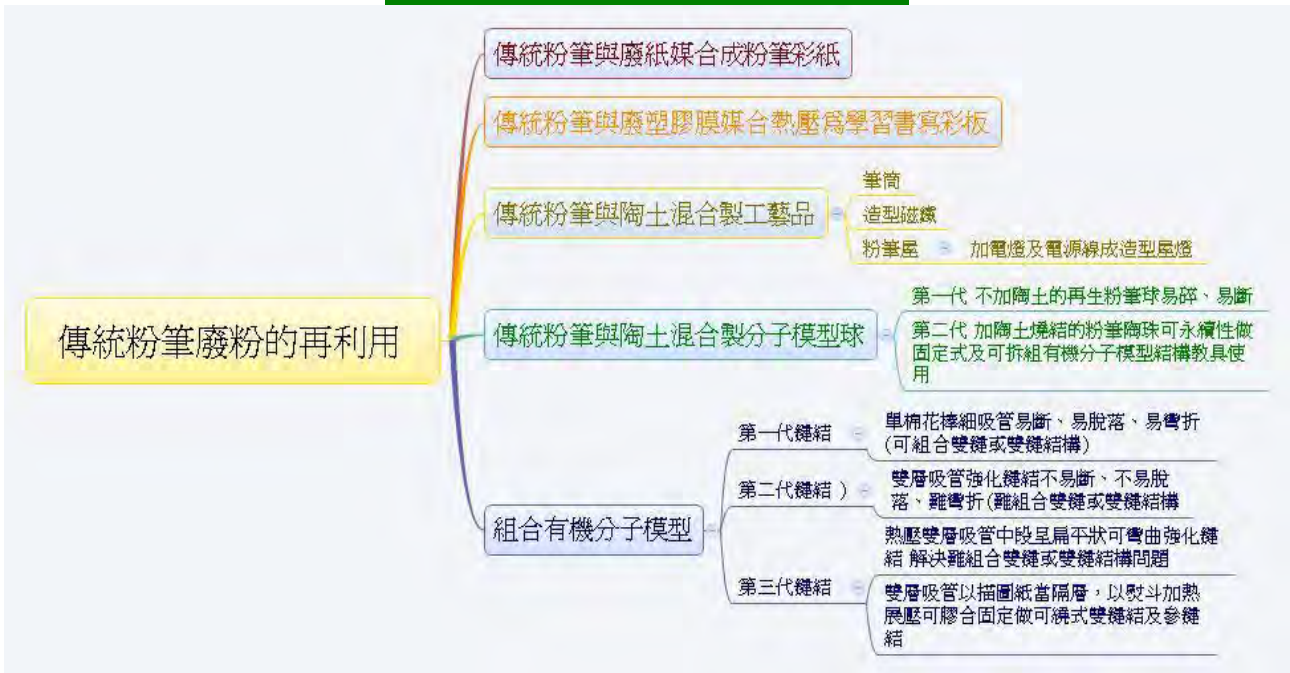
各顏色進行分裝



左邊較粗的為傳統粉筆、右邊較細的為環保粉筆







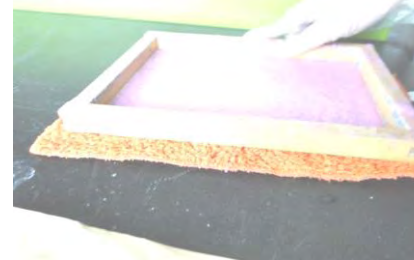

本校兩種粉筆均有，且廢粉筆的長短不一，我們決定將超過 1.5 cm 長度的傳統粉筆或環保粉筆與不到 1.5 cm 長度的粉筆也分開，較長的做再生及直接再利用使用；粉筆較短的碳酸鈣就壓碎、研磨、過 100 目的篩，準備以粉筆粉做物理性及化學性的變身研究；硫酸鈣就浸水，軟化後準備做物理性的變身研究。


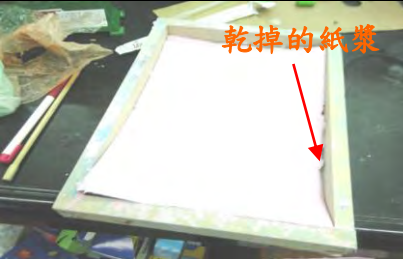
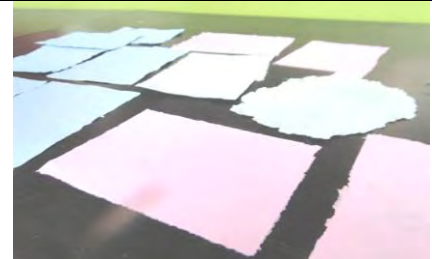
研究三、傳統粉筆廢粉的再利用



(一)傳統粉筆與廢紙媒合成粉筆彩紙

2. 傳統粉筆與廢紙媒合成粉筆彩紙，製程研究成果如下：

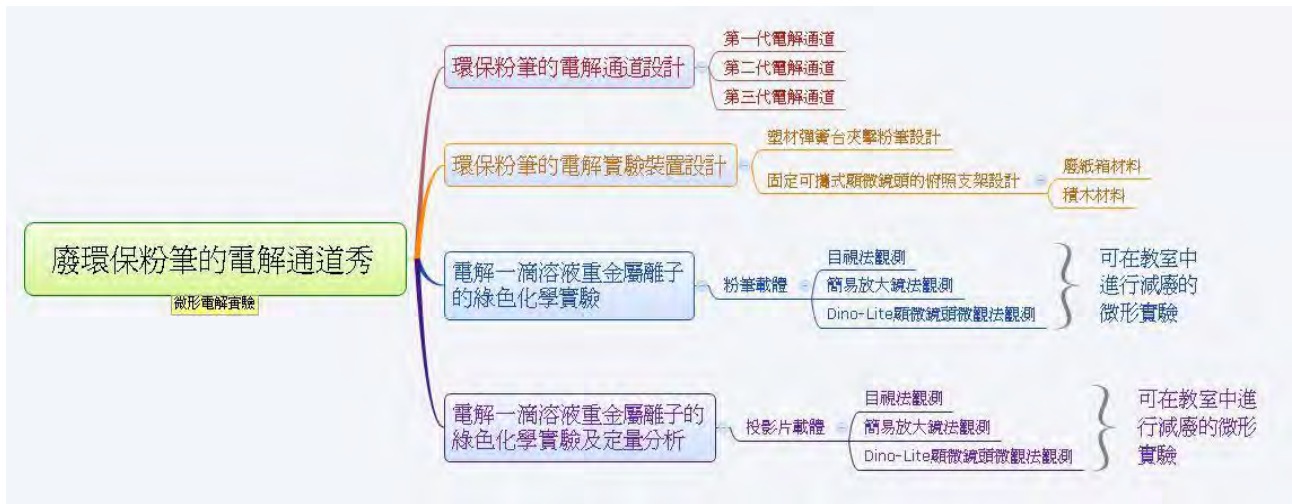
 <p style="color: red; font-weight: bold;">廢紙泡水</p>	 <p style="color: red; font-weight: bold;">粉紅色粉筆 $CaSO_4$+水+紙</p>	
1 將碎紙泡在水中一天使其軟化	2 把泡軟的碎紙混合粉筆粉打成紙漿	3 將紙漿和水倒入大盆子中
		
4 將絹網以 45°角插入紙漿中	5 在水面上攪拌無法使紙漿均勻分佈在網上	6 在水面下搖動再水平提起，可使紙漿均勻分佈在網上
		 <p style="color: red; font-weight: bold;">有許多粗糙明顯顆粒</p>
7 輕輕搖晃，將水瀝乾	8 接下來用抹布吸乾多餘水分	9 紙漿十分粗糙

		
10 拿到戶外曬太陽晾乾	11 曬乾後取下完成品	12 可做各種顏色及形狀的粉筆紙

(二)傳統粉筆與陶土混合製工藝品

		
以保鮮膜包覆塑膠盒為模具	將粉筆粉反覆搓揉進陶土中	將粉筆陶土片包覆模具
		
包覆模具，修模後，趁半乾時小心拆模並以報紙團支撐	1 將陶土包覆磁鐵，準備做造型磁鐵 2 捏出喜愛的形狀，還可在上面刻字，使其自然風乾 1~2 天後就是串珠、造型磁鐵成品了！	
		

研究四、環保粉筆的微形電解實驗



(一)環保粉筆的電解通道設計

1.第一代電解通道設計

廢粉筆上的五種電解通道圖	原子筆心以紙尺校準，在粉筆上畫出單線 0.8cm 長的電解通道然後在通道上方滴下一滴水	固定第二支粉筆(雙條 0.8cm 長、間距 3mm 的電解通道)
在通道上方滴下一滴水	固定第三支粉筆(雙條 0.8cm 長間距 2mm 的電解通道; 第五支粉筆為圓內接雙條 0.8cm	固定第四支粉筆(雙條 0.8cm 長且呈十字垂直交叉的通道長且呈十字垂直交叉的通道

2.第二代六種電解通道設計：

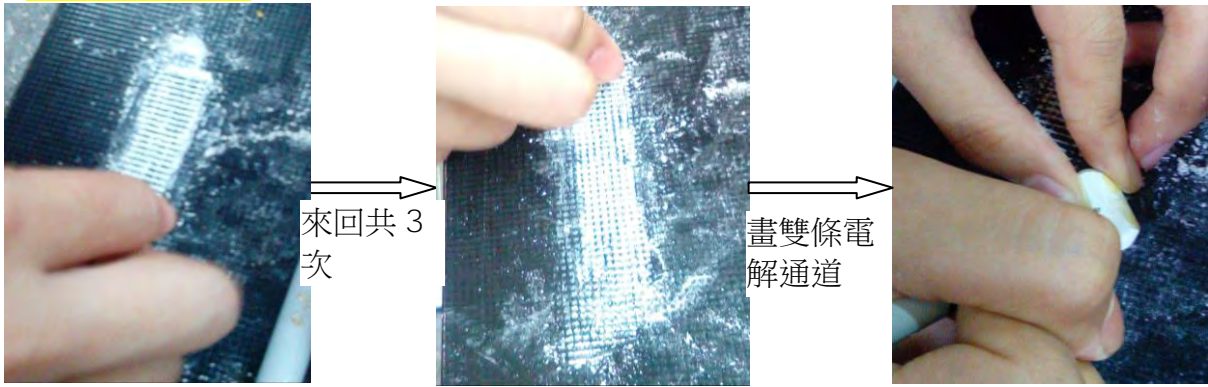
(1)第一支粉筆上只有 0.8cm 長的電解通道

- 第二支粉筆上為雙條 0.8cm 長、間距 2mm 的電解通道
- 第三支粉筆上為雙條 0.8cm 長、間距 3mm 的電解通道
- 第四支粉筆上為雙條 0.8cm 長、間距 4mm 的電解通道
- 第五支粉筆上為三條 0.8cm 長、間距 2mm 的電解通道
- 第六支粉筆上為三條 0.8cm 長、間距 3mm 的電解通道



(2)操作過程中，通道面均需垂直向上且需以兩指按住不可抖動，否則重做。有明顯差異的仍需多做幾次以免造成太大的人為誤差。

3. 第三代電解通道設計



來回共 3 次

畫雙條電
解通道

短粉筆圓柱面在桌面等距內利用摩擦力搓出平面

可以固定兩條杜邦線，就可輕易
畫出雙條間距 3mm 的電解通道

(二) 環保粉筆的電解實驗裝置設計

1. 塑膠彈簧台夾擊粉筆設計之夾擊長短不一廢粉筆的塑膠彈簧台設計操作圖示說明如下

<p>經測試寬度再剖半成 $0.55 \times 12 \text{ cm}^2$ 的塑膠帶廢材可塞入 3 cm 的粗吸管中</p>		
<p>每 1 cm 以鉗子折壓成波浪狀成 塑膠彈簧</p>	<p>塑膠彈簧插入 3~3.5 cm 一側用膠帶封口，另一側面為剪一半裂 口的吸管，廢粉筆輕壓入兩側塑膠彈簧中</p>	

2. 塑膠彈簧座的粉筆支架模型的設計

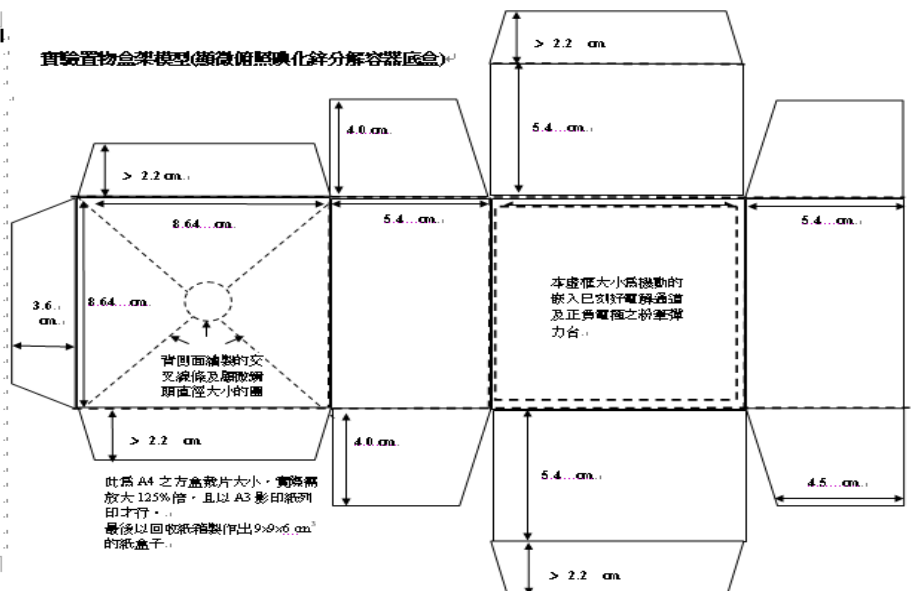
塑膠彈簧座的設計目的：為避免塑膠彈簧滾動，設計將塑膠彈簧穿入紙板中

設計步驟說明如下圖示：

<p>為避免塑膠彈簧滾動，設計將 塑膠彈簧穿入紙板中紙板裁片 設計</p>		<p>整支含粉筆的塑片彈簧穿 入紙板內固定粉筆的彈簧 座設計</p>

3. Dino-Lite 顯微鏡俯視盒的支架紙盒設計

使用時的裝置延伸設計如下圖示過程

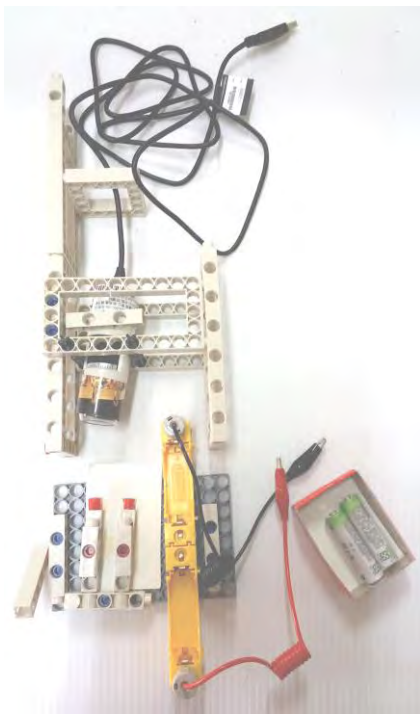
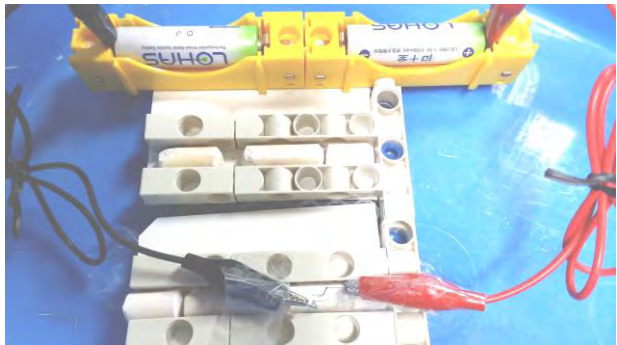


<p>固定粉筆的彈簧座紙板不易提取</p>	<p>兩電極夾需用膠帶固定使釘書針電極的針頭落在粉筆上</p>	<p>紙板底座加支撐紙面可防翹起</p>
<p>設計電極固定紙環及提把</p>	<p>電極夾穿入電極固定紙環中，紙環高度需墊高</p>	<p>以兩折波浪紙帶支撐電極夾，使電極的針頭能恰好落在粉筆上</p>
<p>電極夾夾住 L 型釘書針頭的長端，使短端轉動容易以調整俯照鏡頭全將兩電極端攝入畫面</p>	<p>的彈簧座容易置入俯照紙盒中，釘書針電極的針頭不易移位且易再定位調整提把設計讓更換好粉筆及釘書針</p>	

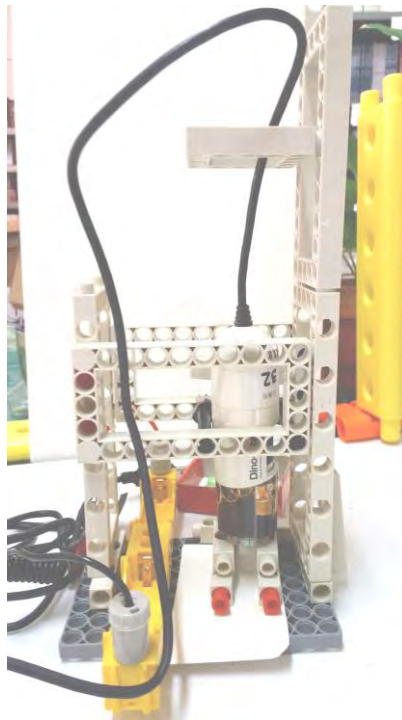
4.夾擊長短不一廢粉筆的積木台設計

設計步驟說明如下：

- (1)小灰底板裝上兩個串聯的電池座。
- (2)再以小藍固定 3 孔及 1 孔的積木條在小灰底板上，圍出可放置粉筆的間距。
- (3)在小灰底板及積木條間的小空隙，插入廢電腦卡，以接收不慎從圓柱形面滑落的電解溶液。
- (4)接上鱈魚夾線及環保電池，放上如前處理的畫通道粉筆備用。
- (5)加 Dino-Lite 鏡頭的顯微電解積木裝置如下圖



積木輔助的顯微電解裝置零件



裝置完成的側面圖



正面圖

5.以簡易放大觀或微觀測電解一滴碘化鋅水溶液實驗

實驗裝置及材料：

碘化鉀水溶液、5cm 紙尺、準備 3V 電池組及紅、黑導線夾一對及有刻度的塑膠滴管 2 支、鉗子、L 型小釘書針、顯微俯照的支架紙盒實品、塑片彈簧台、可攜式 Dino-Lite 顯微鏡頭、電腦

實驗步驟：

- (1)剪下電腦印製 5 cm 紙直尺(一張 A4 的紙張可印 60 份 5 cm 紙直尺)置放在粉筆旁，以廢原子筆心在粉筆上畫一道 0.8 cm 長的凹痕當電解液的通道，並於通道中點做滴液的記號(略以筆心刺出比通道略寬的圓點)。
- (2)以尖嘴鉗夾一支小釘書針(一次電解共需兩支當正負電極)，一端拉直成 L 型，短的一端置入通道的一側，長的一端以鱈魚夾導線夾住，調整角度，以膠帶固定之。
- (3)將放大鏡置於三角架上固定備用。
- (4)通道中心圓點處滴一滴碘化鋅溶液，接上 3V 電源，移動步驟 3 的放大鏡，就可以立刻放大目視觀察，正負極的變化。



- (5)將粉筆心從塑膠彈力台取下，換一個新的廢粉筆，同塑做好通道及滴液記號後，放入自製的顯微鏡俯視盒裝置中。
- (6)開啟 Dino-Lite 鏡頭，以鏡盒的視窗及連結的電腦(需已輸入此顯微鏡頭使用的驅動程式)對焦滴液記號及通道。
- (7)開啟盒蓋滴入一滴碘化鋅溶液後即可蓋下盒蓋，插入 Dino-Lite 鏡頭。
- (8)接上 3V 電源，就可立刻看到電腦上正負極的變化，並可錄影及定時拍攝畫面。

6.以積木輔助裝置微觀測電解一滴碘化鋅水溶液實驗

實驗裝置及材料：

材料如前、實驗步驟將顯微鏡俯視盒裝置改為積木輔助的顯微電解裝置。

7.重金屬離子水溶液的綠色化學實驗—粉筆載體

A.微觀電解硫酸銅水溶液

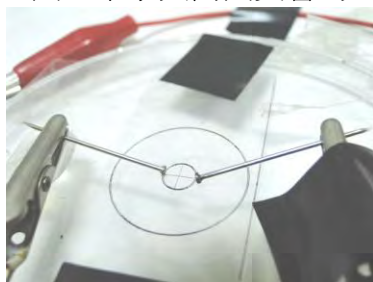
- 1.先在在圓柱面廢粉筆上畫出雙條 0.8cm 長、間距 3mm 的電解通道共 10 支。
- 2.將粉筆插入塑材彈簧座上。
- 3.以尖嘴鉗夾一支小釘書針(一次電解共需兩支當正負電極)，一端拉直成 L 型，短的一端置入通道的一側，長的一端以電極夾夾住 L 型釘書針頭的長端，使短端轉動容易以調整。
- 4.將夾有釘書針的電極夾各自穿入電極固定紙環中，調整電極的針頭的角度，使電極的針頭能恰好落在粉筆的雙條通道中心面上。
- 5.將塑材彈簧座置入俯照紙盒中，略調整釘書針電極的針頭，使電極的針頭能恰好落在粉筆的雙條通道中心面的兩端上。
- 6.蓋上俯照紙盒上蓋，插入可攜式顯微鏡頭，開啟電腦連接顯微鏡頭的畫面，在盒蓋上畫記測試校對的鏡頭的位置及調整放大倍率。
- 7.在正負電極的針頭間，小心滴入一滴硝酸銀溶液，接上 3V 電源，蓋上上蓋，插入可攜式顯微鏡頭，就可立刻看到正負極的變化。
- 8.在電腦上分別按拍照及攝影功能，將結果記錄於電腦中。

B.微觀電解硝酸銀水溶液

將 A 項硫酸銅水溶液改為 B 項硝酸銀水溶液即可。

8.重金屬離子水溶液的綠色化學實驗—投影片載體(將粉筆改為雙十字同心圓投影片即可)

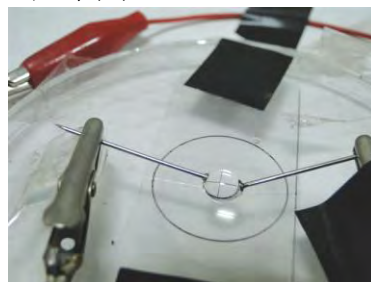
- 1.塑膠培養皿開口朝下，將電腦繪製的雙圓十字圖(內圓直徑為 1 cm 大小、外圓直徑約為顯微鏡頭的直徑)。以投影片列印出，剪下後貼在皿上的中心位置，如下圖一。
 - 2.已校正過的微量滴管先調 50 μ L，如下圖二。
- 微量滴管尖端對準十字中心點約為液滴滴落的標記點，滴下 1 滴 0.05 mL 液滴，恰好填滿內圓，十字與內圓交會的直徑處為正負電極的置放位置，如下圖三。



圖一

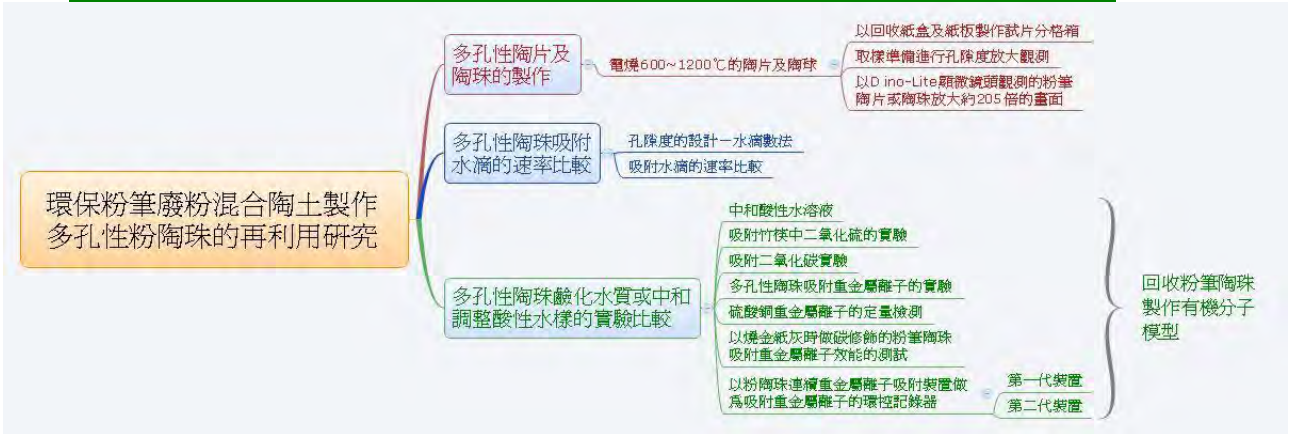


圖二



圖三

研究五、環保粉筆廢粉混合陶土製作多孔性粉陶珠的再利用研究



(一) 多孔性陶片及陶珠的製作流程如下圖示

1. 陶土：粉筆質量比 4:1~2:1	2. 混合濕土舉高甩下連續 10 拍打去空氣	3. 分土稱重
4. 濕土搓圓後以瓶蓋當壓片器	5. 部份圓球均壓成平板狀並潤平	6. 趁表面略乾時刻寫下編號
7. 分土稱重後不易搓成球狀的加水潤飾	8. 刻寫下編號的粉陶球	9. 600~1200°C 電燒後的陶片及陶球
以回收紙盒及紙板製作試片分格箱	取樣準備進行孔隙度放大觀測	

(二)顯微放大多孔性陶片及陶珠的孔隙度大小觀測步驟

1. Dino-Lite 顯微鏡頭的 USB 接線端連接電腦，開啟電腦連接顯微鏡頭的畫面。
2. 可攜式鏡頭置放在已電燒後的陶片或陶球上，對準觀測面，調整鏡頭放大倍率使畫面清晰。
3. 按編號依序由電腦拍下粉筆陶片或陶珠放大約 205 倍的畫面。

(三)多孔性陶珠吸附水滴的速率比較

孔隙度的設計—水滴數法

1. 各陶珠表面孔隙度不一，吸水達飽和時，水滴可因重力而滴下，以測量由懸空陶珠上落下至平面的第一滴水滴為記錄的水滴數當比較的依據之一。
2. 側照由陶珠上落下至平面的第一滴水滴的接觸角為記錄的依據之二。
3. 以廣用試紙一小段吸附平面上水滴來觀測試紙的顏色變化，可比較粉筆陶珠內碳酸鈣成分的分解情形，以找出較佳的電燒溫度。
4. 承載陶珠的底座設計步驟：
 - (1) 將護貝膠膜畫上格線如下圖一，紅虛線為裁剪線(熱壓後才可裁剪，可做三個圓柱膠膜)。
 - (2) 膠膜通過護貝機熱壓(熱壓後強度可增強)。
 - (3) 熱壓後的膠膜圍出比陶珠還大的圓柱直徑，如下圖二。
 - (4) 數好圓柱膠膜格線間距，釘針向內，釘上三支釘書針，如下圖三。



- (5) 釘針外貼一截膠帶補強且避免釘針脫落；以尖嘴鉗將釘針拉開形成六隻支撐桿，如下圖四；陶珠放置在圓柱膠膜的六隻支撐桿上，如下圖五；整批承載底座如下圖六。



吸附水滴的速率比較

1. 將要測試的多孔性陶珠排序為 10g (均以稱濕陶珠的質量做標示)、8 g、6 g、純陶土珠 10g、8 g 的對照組。
2. 以 3 mL 塑膠滴管吸逆滲透水 1 mL 後，由陶珠正上方，以 1 滴接 1 滴的同樣水滴流速滴下水滴，記錄由陶珠底部落下第 1 滴液體時的總滴水數。
3. 移開上有陶珠的圓柱膠膜底座，並以一小段廣用試紙測試液滴酸鹼性。

(四)多孔性陶珠鹼化水質或中和調整酸性水樣的實驗比較

1. 將定溫 900°C 高溫燒結而成的不同質量多孔性陶珠，各置放於標記編號的小塑膠杯中。
2. 將 1 滴濃硫酸滴到約 40 mL 的去離子水中，以 pH 計量測值約為 2，加水使其 pH 達 2。
3. 以稀釋法，將 pH 2 的約加 9 倍水量，以 pH 計修正達 pH3；同理，將 pH 3 的約加 9 倍水量，以 pH 計修正達 pH4，以此類推。
4. 將每種調配好的酸性水各取 20mL 加入裝有多孔性陶珠的小塑膠杯中。
5. 靜置 30 分鐘後測定每杯水的 pH 值。

(五) 吸附竹筷中二氧化硫的實驗

1. 將 10 顆的多孔性粉陶珠以去離子水 500mL 浸泡 1 小時後，測前後的 pH 值變化。
 2. 將一雙免洗筷浸泡於已經多孔性粉陶珠鹼化後去離子水，浸泡 1 小時後，測前後的 pH 值變化。
 3. 對照組即用一雙免洗筷浸泡於去離子水中，浸泡 1 小時後，測前後的 pH 值變化。
 4. 同步驟 2 及 3，增加免洗筷為 5 雙，。
- 將 10 顆的多孔性粉陶珠以去離子水 500mL 浸泡 12 小時後，測前後的 pH 值變化。
5. 將五雙免洗筷浸泡於已經多孔性粉陶珠鹼化後去離子水，浸泡 12 小時後，測前後的 pH 值變化。
 6. 對照組即用五雙免洗筷浸泡於去離子水中，浸泡 12 小時後，測前後的 pH 值變化。

(六) 吸附二氧化碳的實驗

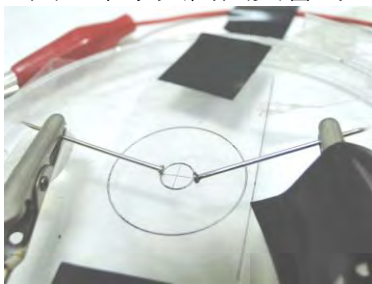
1. 以三通接管將三個注射針筒連起，一放碳酸鈣粉，另一放稀鹽酸，反應後產生的二氧化碳注入第三管，再將之注入澄清石灰水，測前後的 pH 值變化。
2. 同步驟 1，在第三管內放 5 顆陶珠，測重量後，讓其吸附一管 50 mL 二氧化碳 15 分鐘，吸附完後將氣體注入石灰水中，測前後的 pH 值變化，及陶珠吸附後重量。
3. 同步驟 2，讓陶珠吸附兩管 50 mL 二氧化碳，以此類推，增加至第 6 管。

(七) 多孔性陶珠吸附重金屬離子的實驗

1. 將定溫 900°C 高溫燒結而成的不同質量多孔性陶珠，各置放於標記編號的小塑膠杯中。
2. 將 1 滴濃硫酸滴到約 40 mL 的去離子水中，以 pH 計量測值約為 2，加水使其 pH 達 2。
3. 以稀釋法，將 pH 2 的約加 9 倍水量，以 pH 計修正達 pH3；同理，將 pH 3 的約加 9 倍水量，以 pH 計修正達 pH4，以此類推。
4. 將每種調配好的酸性水各取 20mL 加入裝有多孔性陶珠的小塑膠杯中。
5. 靜置 30 分鐘後測定每杯水的 pH 值。

(八) 硫酸銅重金屬離子的定量檢測

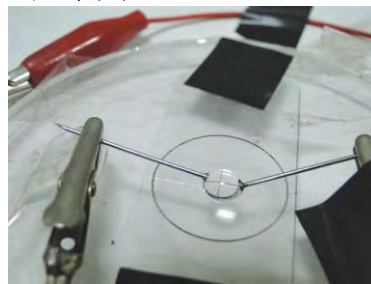
1. 塑膠培養皿開口朝下，將電腦繪製的雙圓十字圖(內圓直徑為 1 cm 大小、外圓直徑約為顯微鏡頭的直徑)。以投影片列印出，剪下後貼在皿上的中心位置，如下圖一。
2. 已校正過的微量滴管先調 50 μ L，如下圖二。
3. 微量滴管尖端對準十字中心點約為液滴滴落的標記點，滴下 1 滴 0.05 mL 液滴，恰好填滿內圓，十字與內圓交會的直徑處為正負電極的置放位置，如下圖三。



圖一



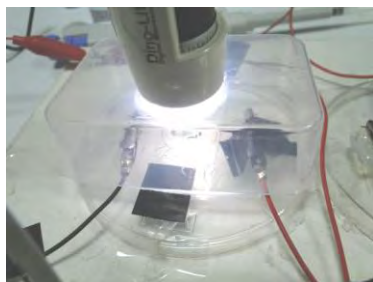
圖二



圖三

4. 以回收塑膠蓋中心切割出可讓顯微鏡頭插入固定的大小，連接筆電及 Dino-Lite 驅動程式，如下圖四。
5. 滴下 50 μ L 液滴於內圓中心後，置放顯微鏡頭並調整放大倍率約為 35 倍，如下圖五。

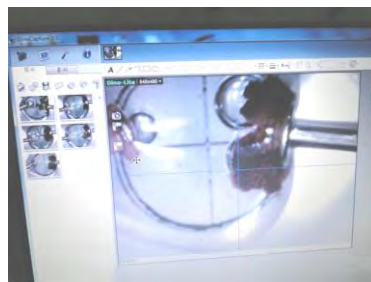
6.設定每間隔 30 秒拍攝一張相片，如下圖六。



圖四



圖五



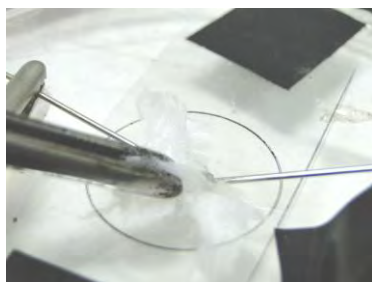
圖六

7.反應完成後的廢液量非常少，如下圖七。

8.以一小截衛生紙沾吸擦掉反應後的廢液，再滴一滴水，再用一小截衛生紙沾吸除就可以清除乾淨了，如下圖八及九。



圖七



圖八



圖九

9.以顯微放大觀測負極金屬離子還原的結束時間，通常是開始大量冒出氣泡(因為酸性重金屬溶液的競爭性關係，會先在負極還原出還原電位較大的金屬，再還原氫離子為氫氣)。因此，顯微觀察負極開始產生氣泡之時，即為不同濃度重金屬溶液氧化還原的反應時間。

(九)多孔性陶珠吸附重金屬離子效能的實測

- 1.將定溫 900°C 高溫燒結而成相同質量、不同大小及顆數的多孔性陶珠，各置放於小塑膠杯中。
- 2.依序加入相同 0.025M CuSO_4 水溶液 20mL(液面需超過陶珠頂端)於各杯中。
- 3.靜置 30 分鐘後，以 pH 計測量各杯溶液的 pH 值。
- 4.以微量滴管吸取各杯相同 0.05mL 劑量的溶液，滴在內圓十字的中心點，準備進行電解。
- 5.記錄各溶液銅離子還原的反應時間及設定每間隔 30 秒拍攝一張相片。
- 6.測量同 0.05 mL 劑量 0.100 M、0.075M、0.050 M、0.025M、0.010 M CuSO_4 水溶液的銅離子還原的反應時間，製作檢量線，以將各待測溶液的濃度定量。
- 7.將多孔性粉筆陶珠由溶液中拿出，觀察陶珠吸附溶液後的外觀顏色變化。

(十)以燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的測試

- 1.將常溫乾燥後的粉筆陶珠及純陶珠，直接丟入燃燒中的燒金爐中進行碳修飾。
- 2.在燒金爐中冷卻後的修飾陶珠，夾出後稱重。
- 3.依序加入相同 0.025M CuSO_4 水溶液 20mL(液面需超過陶珠頂端)於各杯中，如下圖一。
- 4.靜置 30 分鐘。
- 5.以 pH 計測量各杯溶液的 pH 值。
- 6.以微量滴管吸取各杯相同 0.05mL 劑量的溶液，滴在內圓十字的中心點，準備進行電解，如下圖二~五。
- 7.記錄各溶液銅離子還原的反應時間及設定每間隔 30 秒拍攝一張相片。
- 8.測量同 0.1 mL 劑量 0.25 M、0.20M、0.15 M、0.10M、0.05 M CuSO_4 水溶液的銅離子還原的反應時間，製作檢量線，以將各待測溶液的濃度定量，如下圖三。



圖一



圖二



圖三



圖四



圖五



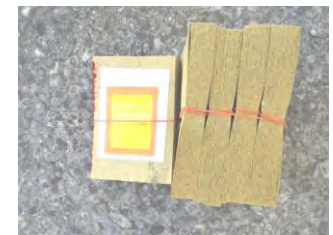
圖六 吸液滴實驗後的廢棄物

(十一)以燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的測試二

- 1.以雙條鐵絲先框鐵絲籃的骨架，再以單條鐵絲上下纏繞成網，最後再加可吊在燒金爐中的鐵鉤及鐵環後備用。
- 2.將燒結後的粉筆陶珠選 2~10g 的數顆置於自製的鐵絲籃網內，並懸掛在 1/2 高度的燒金爐中，準備進行碳修飾。
- 3.以 10 小疊的金紙，分成一半在金爐內、一半則邊燒邊丟入進行碳修飾。
- 4.鬆開鐵籃網的掛勾，讓已過火的陶珠及鐵籃一起置入餘爐中悶燒。
- 5.冷卻後，分別秤質量相近的大、小顆碳修飾陶珠各置入 20mL 相同 0.025M CuSO_4 水溶液中。
- 6.靜置 30 分鐘。
- 7.以塑膠夾夾取各杯中的陶珠，分置於各塑膠凹槽中乾燥。
- 8.以 pH 計測量各杯溶液的 pH 值。
- 9.以微量滴管吸取各杯相同 0.05mL 劑量的溶液，滴在內圓十字的中心點，準備進行電解。
- 10.記錄各溶液銅離子還原的反應時間及設定每間隔 30 秒拍攝一張相片。



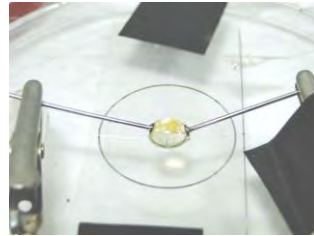
將已燒結過的 2~10g 大小的粉筆陶珠懸吊在金灰爐內進行第二次碳修飾的燒金測試



自製鐵絲網籃置放陶珠 鐵絲網籃可懸掛在金爐內 懸掛高度約為 1/2 燒金 1 大疊為 5 小疊



先鋪 5 小疊在金爐內 從上面丟燃燒中的 5 小疊 鐵絲架放下讓餘熱悶燒 呈不均勻的碳修飾

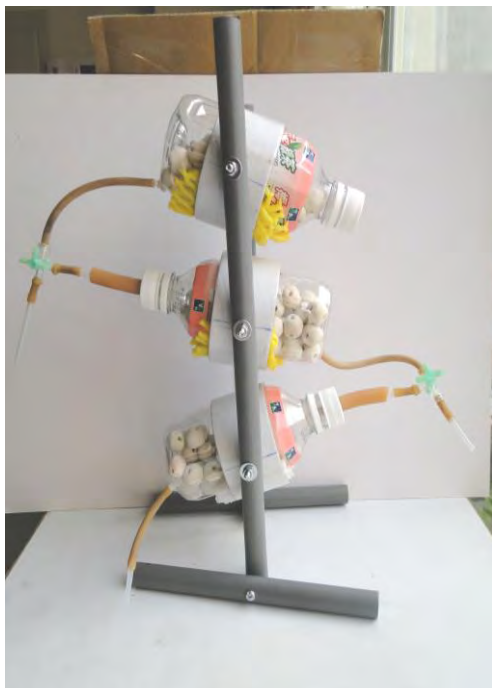


各取質量相近的大小顆碳修飾粉筆陶珠放到 20mL 0.025M CuSO_4 水溶液中浸泡 30 分鐘

取 0.05 mL 液滴量 進行電解

取出碳修飾粉筆陶珠 觀察外觀顏色變化

(十二)以粉陶珠連續重金屬離子吸附裝置做為吸附重金屬離子的環控記錄器
以粉陶珠連續重金屬離子吸附裝置做為吸附重金屬離子的環控記錄器



第一代裝置(有漏液的問題)



第二代裝置

(十三)粉筆陶珠回收粉筆陶珠製作有機分子模型

吸附雜質達飽和的廢粉筆陶珠後製出「有機分子結構模型」的設計

- 1.將各規格多孔性陶珠(有特別先打 1~5 個洞的)吸附所有濃度 CuSO_4 溶液達飽和後，置於塑膠凹槽上自然乾燥。
- 2.以透明漆噴佈各乾燥後的陶珠，再自然乾燥後，成為「分子模型球」。
- 3.規格 1 孔的小顆陶珠代表氫；2 孔規格的陶珠代表氧；4 孔規格的陶珠代表碳，每孔間以棉花棒的塑膠吸管廢材或鋁箔包最細的塑膠吸管廢材當鍵結棒，組合成各種分子模型。

伍、研究結果與討論

一、傳統粉筆與環保粉筆的廢材分析

- 市售粉筆共有 2 種：傳統粉筆為硫酸鈣成份，環保粉筆為碳酸鈣成份。
- 白色粉筆書寫效能比較一覽表(例如：書寫效能評等，較好者填 1、次好者填 2)

白色粉筆種類	板書效果一 (容易書寫)	板書效果二 (線條美觀，例如：不易斷線)	板書效果三 (堅固耐用，較不易折斷)	擦拭效果一 (黑板較不易留痕)	擦拭效果二 (粉塵較不易飛揚)	合計評分
粗硫酸鈣粉筆	1	2	1	2	2	9
細碳酸鈣粉筆	2	1	2	1	1	7

3. 傳統廢粉筆硫酸鈣的吸水性試驗結果

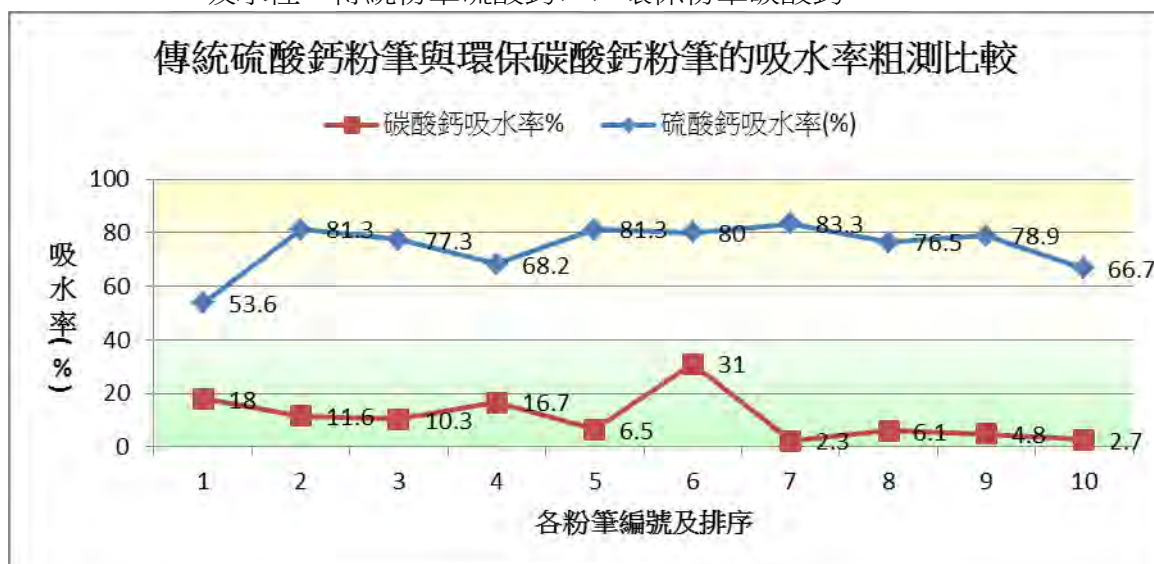
粉筆編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滴水數	27	24	27	27	24	37	27	22	26	27
滴水前重(g)	0.28	0.16	0.22	0.22	0.16	0.25	0.18	0.17	0.19	0.21
滴水後重(g)	0.43	0.29	0.39	0.37	0.29	0.45	0.33	0.30	0.34	0.35
吸水率(%)	53.6	81.3	77.3	68.2	81.3	80.0	83.3	76.5	78.9	66.7

4. 環保廢粉筆碳酸鈣的吸水性試驗結果

粉筆編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滴水數	4	4	4	9	12	3	4	7	6	7
滴水前重(g)	0.50	0.43	0.39	0.48	0.62	0.29	0.43	0.33	0.42	0.37
滴水後重(g)	0.59	0.48	0.43	0.56	0.66	0.38	0.44	0.35	0.44	0.38
吸水率(%)	18.0	11.6	10.3	16.7	6.5	31.0	2.3	6.1	4.8	2.7

有的誤差較大，原因可能是我們未將各濕粉筆外觀的水份用紙巾擦乾所致，因此，各粉筆的吸水率應都要下修，重點是，我們已經比較出

吸水性：傳統粉筆硫酸鈣 >> 環保粉筆碳酸鈣



- 傳統粉筆回收粉碎可當家政工藝的石膏成份使用，環保粉筆回收粉碎可當碳酸鈣原料使用，經以簡單雙注射針筒連橡皮管，進行所謂的「大理石遇鹽酸製二氧化碳實驗」。此粉筆材與試藥級的碳酸鈣比較，產出的二氧化碳量所差無幾！(3 g 白色粉筆 + 5 mL 1.5 M 鹽酸所產生的二氧化碳為 50 mL 而用試藥級的碳酸鈣粉末可產生的二氧化碳為 54 mL，兩者相差 7.4 %而已)。

二、環保粉筆的電解通道及實驗裝置設計

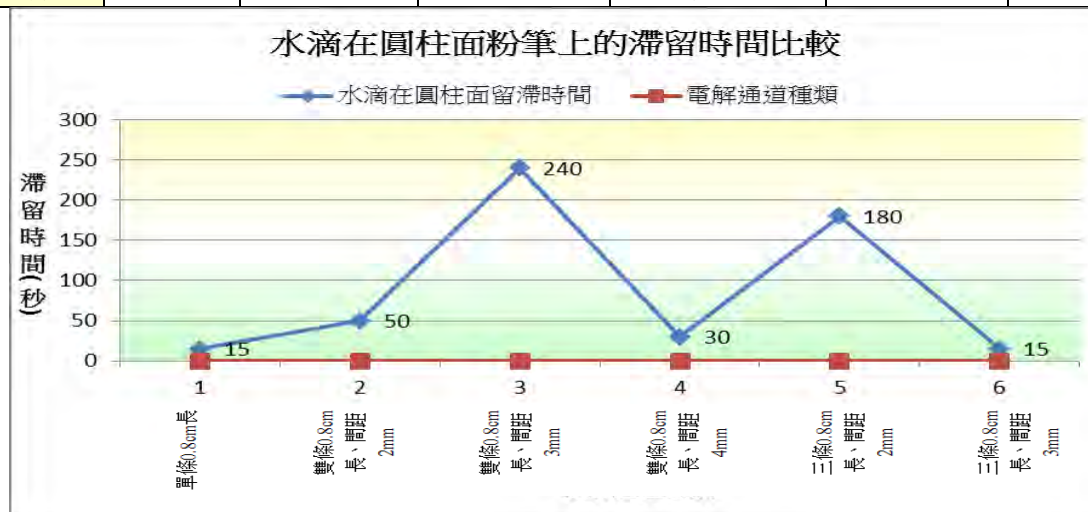
1. 第一代電解通道設計

- 水滴在粉筆圓柱面停留時間長短，依序為雙條 0.8cm 長、間距 3mm > 三條 0.8cm 長、間距 2mm > 單條 0.8cm 長 > 雙條 0.8cm 長且呈十字垂直交叉 > 圓內接雙條 0.8cm 長且呈十字垂直交叉。
- 水滴在粉筆圓柱面停留且呈拱形的形狀超過 30 秒的時間，只有雙條 0.8cm 長、間距 3mm 及三條 0.8cm 長、間距 2mm 的電解通道才能達到。

2. 第二代電解通道設計

一滴水在畫出不同各種電解通道的圓柱面廢粉筆上，記錄滑落或滲入粉筆中的時間如下表

粉筆編號	1	2	3	4	5	6
電解通道種類	單條 0.8cm 長	雙條 0.8cm 長、間距 2mm	雙條 0.8cm 長、間距 3mm	雙條 0.8cm 長、間距 4mm	三條 0.8cm 長、間距 2mm	三條 0.8cm 長、間距 3mm
水滴在圓柱面的情形	滑落	滑落	滲入	滑落	滲入	滑落
水滴在圓柱面留滯時間	約 15 秒	約 50 秒	高達 4 分鐘	30 秒，重做達 30 秒以上	達 3 分鐘	約 15 秒

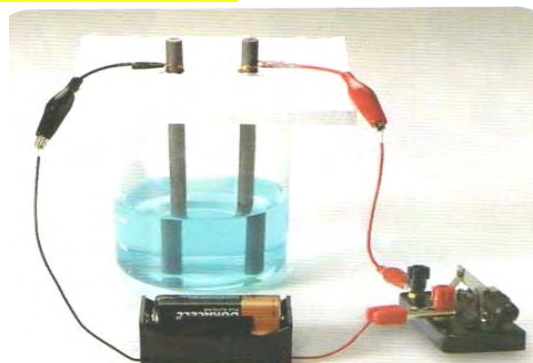


三、廢環保粉筆的微形電解實驗

(一)想法：改進課本教材相關高污染不環保的電化學學習單元



電解 350 mL 水是一滴水的 7000 倍劑量



電解 250 mL 硫酸銅是一滴硫酸銅的 5000 倍劑量

※以上圖片取材於「康軒版自然與生活科技三下課本教材 第一章 電的應用之 1-4 節電流的化學效應」【左圖為課本 p40 電解水的實驗 右圖為課本 p43 電解硫酸銅的實驗】

(二)了解電化學基本先備知識之碘化鋅離子晶體的合成與分解

1. 以能量的觀點而言，固體碘分子和鋅原子相遇時，在水的催化下，會立即化合產生碘化鋅且呈現蒸氣狀，是非常明顯的放熱反應；而碘化鋅的分解，則需通電以電解法進行碘化鋅的分解，由此可見，碘化鋅的分解是吸熱反應。
2. 碘化鋅的分解，在通以直流電的電能下，正極產生黃棕色物質，而負極析出鋅原子
正極： $2\text{I}^- + 2\text{e}^- \rightarrow \text{I}_2$ 而 $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ (黃棕色物質)
負極： $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$
3. 電解碘化鋅水溶液和電解碘化鉀水溶液，相同之處是兩者正極產物相同，都可產生黃棕色物質；兩者不同之處，在於金屬離子不同，鋅離子(Zn^{2+})和鉀離子(K^+)，若兩者同在水溶液中時，正離子的電解還原力(還原電位)是 $\text{Zn}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+$
因此，電解碘化鋅水溶液時，在負極可析出金屬鋅原子(Zn)；而電解碘化鉀水溶液時，在負極無法析出金屬鉀原子(K)，反而是氫離子優先還原產生氫氣(H_2)。

(三)電化學基本知識之電解的計量計算及氧化還原半反應

例如：電解 1 滴(0.05mL)0.1M 碘化鋅水溶液，若完全反應後，可在負極產生 5×10^{-6} 莫耳的碘分子，相當於 3×10^{18} 個碘分子；及 5×10^{-6} 莫耳的鋅原子，相當於 3.27×10^{-4} 克的鋅或 3×10^{18} 個鋅原子。

$$0.1\text{M} \times 0.05\text{mL} \times 1\text{L} / 1000\text{mL} \times 1\text{mol} / \text{M} \cdot \text{L} = 5 \times 10^{-6}\text{mol Zn I}_2 \text{ 碘化鋅分子}$$

$$5 \times 10^{-6}\text{mol Zn I}_2 \times 1\text{mol I}_2 / \text{mol Zn I}_2 = 5 \times 10^{-6}\text{mol 的 I}_2 \text{ 碘分子} = 1 \times 10^{-5}\text{mol 的 I 碘原子}$$
$$= 5 \times 10^{-6}\text{mol I}_2 \times (6 \times 10^{23}\text{個 I}_2 \text{ 分子}/1\text{mol}) = 3 \times 10^{18}\text{個 I}_2 \text{ 分子} = 6 \times 10^{18}\text{個 I 碘原子}$$

$$5 \times 10^{-6}\text{mol Zn I}_2 \times 1\text{mol Zn} / \text{mol Zn I}_2 = 5 \times 10^{-6}\text{mol 的 Zn 原子}$$
$$= 5 \times 10^{-6}\text{mol} \times (6 \times 10^{23}\text{個 Zn 原子}/1\text{mol}) = 3 \times 10^{18}\text{個 Zn 原子}$$
$$= 5 \times 10^{-6}\text{mol} \times (65.4\text{克 Zn 原子}/1\text{mol}) = 3.27 \times 10^{-4}\text{克的 Zn 原子}$$

(四)歸納電解質水溶液或水加廣用指示劑電解的正負極半反應

被電解的物質	正極反應	負極反應
硫酸銅	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
硝酸銀	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$
碘化鉀	$2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$, $\text{I}^- + \text{I}_2 \rightarrow \text{I}_3^-$	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 或 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
水加 廣用指示劑	半反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 顏色變為 <u>黃綠</u> 色，故呈 <u>酸</u> 性	半反應： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ 顏色變為 <u>紫</u> 色，故呈 <u>鹼</u> 性

(五)以投影片為 1 滴溶液的載體，電解後無法將兩極反應後的物質留下，而以粉筆為載體則在教室隨時可得，且以無水原子筆畫個通道就可以接一組乾電池立即進行電解反應，在電腦資源準備不及的情況下，這是最方便實驗及留下結果記錄的載體。



四、環保粉筆廢粉的再利用

(一)粉筆粉與陶土混合製成粉筆陶珠

陶土含水率測試：將 100 克陶土捍成平板狀，置放在通風易乾燥的地方，使陶板自然完全乾燥後秤重平均為 78.2 克，表示此批濕陶土的含水率為 21.8%。

陶土與廢粉筆粉 (成份硫酸鈣)質量比	4 : 1	3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 2
乾土：粉筆粉質量 g	78.2 : 19.55	78.2 : 26.07	78.2 : 39.1	78.2 : 78.2	78.2 : 156.4
濕土：粉筆粉質量 g	150 : 39.1	150 : 52.14	150 : 58.65	100 : 78.2	100 : 156.4

(二)多孔性陶珠吸附水滴速率比較孔隙度的設計—水滴數法

1. 多孔性陶珠比較孔隙度的吸附水滴數、接觸角及廣用試紙顏色變化比較

陶珠編號	C5	C4	C3	C2	B3	B4	常溫 C5	常溫 C2
吸附水滴數	62	49	26	18	18	16	12	12
接觸角	67.38	69.36	69.57	67.93	68.22	70.27	61.43	55.89
廣用試紙顏色變化	變藍色	變藍綠	藍綠色	綠色	綠色	綠色	綠色	綠色

2. 多孔性陶珠吸附水滴的速率比較如下表

多孔性陶珠 質量標記	10	8	6	5	對照組 10	5
吸附 水滴數	57	51	42	29	21	18
液滴圖示						
廣用試紙顏色變化	藍紫色	藍色	藍色	藍綠色	綠色	綠色

3. 吸附水滴數愈多，表示孔隙度愈大，水滴留在多孔性陶珠表面滲入呈飽和時，流下的水滴均呈鹼性；對照組原陶珠則孔隙度明顯較少，因此，能吸附的水滴數也最低，且最後集中流下的水滴無法使廣用試紙顏色明顯改變。

(三)中和酸化水質的能力及測試免洗竹筷中二氧化硫含量的可行性

1. 多孔性陶片比較內含碳酸鈣分解出氧化鈣物質，使水質鹼化的程度的比較

陶片編號	C5 系列	C4 系列	C3 系列	C2 系列	C1 系列	純陶土 B 類
浸泡 8 小時後 的水質 pH 值	C551 10.9	C451 9.2	C351 10.6	C251 10.9	C151 10.1	B21 8.1 B31 8.1 B41 8.1
	C541 11.0	C441 10.6	C341 11.9	C241 11.9	C141 11.7	
	C531 11.9	C431 11.1	C331 11.4	C231 11.0	C131 10.4	
	C521 8.7	C421 8.4	C321 8.6	C221 8.4	C121 8.4	
	未電燒的	未電燒的	未電燒的	未電燒的	未電燒的	
C511 8.6	C411 8.6	C311 8.6	C211 8.5	C111 8.5		

代號 C 為陶片內含碳酸鈣成分、數字第一碼為成份質量比例、數字第二碼為電燒溫度(5 為 1200°C、4 為 1000°C、3 為 800°C、2 為 600°C、1 為常溫)，常溫的全化開。紅色粗體字的陶片記錄是使水質鹼化程度較大的結果，所以，電燒陶珠至少需設在 600°C 以上。

2. 多孔性陶珠吸附水樣後的 pH 值及可中和不同 pH 值的水樣體積比較

多孔性陶珠質量	未燒結前製作 2 克濕粉筆陶珠，燒結後稱重平均約 1.6 克重，各加 1 粒				
水樣	去離子水 pH7.1	pH5	pH4	pH3	pH2
吸附水樣後的 pH	10.2	10.3	10.3	5.1	2.1
吸附水樣後 pOH	3.8	3.7	3.7	8.9	
換算陶珠可中和的水樣體積 (mL)	換算可中和 pH5 的水樣 316.9 mL	可再中和 pH5 水樣 399.05 mL	可再中和 pH4 水樣 39.905 mL	1 粒無法再中和 pH3 水樣	無法再中和 pH2 水樣
多孔性陶珠質量	未燒結前製作 2 克濕粉筆陶珠，燒結後共稱約 3.2 克總重，各加 2 粒				
水樣	去離子水 pH	pH5	pH4	pH3	pH2
吸附水樣後的 pH	10.7	10.9	10.8	10.1	2.3
換算陶珠可中和的水樣體積 (mL)	換算可中和 pH5 的水樣 1.002 升	可再中和 pH5 水樣 1.589L	可再中和 pH4 水樣 126.2mL	可再中和 pH3 水樣 2.518 mL	無法再中和 pH2 水樣
多孔性陶珠質量	未燒結前製作 2 克濕粉筆陶珠，燒結後共稱約 4.8 克總重，各加 3 粒				
水樣	去離子水 pH	pH5	pH4	pH3	pH2
吸附水樣後的 pH	11.0	11.0	11.0	10.9	2.6
換算陶珠可中和的水樣體積 (mL)	換算可中和 pH5 的水樣 2.0 升	可再中和 pH5 水樣 2.0 L	可再中和 pH4 水樣 200.0mL	可再中和 pH3 水樣 15.89mL	無法再中和 pH2 水樣
多孔性陶珠質量	未燒結前製作 2 克濕粉筆陶珠，燒結後共稱約 6.4 克總重，各加 4 粒				
水樣	去離子水 pH	pH5	pH4	pH3	pH2
吸附水樣後的 pH	11.1	11.2	11.2	11.2	3.7
換算陶珠可中和的水樣體積 (mL)	換算可中和 pH5 的水樣 2.518 升	可再中和 pH5 水樣 3.17 L	可再中和 pH4 水樣 316.98mL	可再中和 pH3 水樣 31.698mL	無法再中和 pH2 水樣
對照組陶珠質量	未燒結前製作 2 克濕陶珠，燒結後共放 4 粒				
水樣	去離子水 pH	pH5	pH4	pH3	pH2
吸附水樣後的 pH	7.8	5.9→6.2	4.2→4.3	3→3.0~3.1	2.0
換算陶珠可中和的水樣體積 (mL)	每過 10 分鐘檢測 pH 值不變	每過 10 分鐘檢測 pH 值緩升一些，如上欄的數字變化			無法中和 pH2 水樣

3. 測試免洗竹筷中二氧化硫的含量可行性

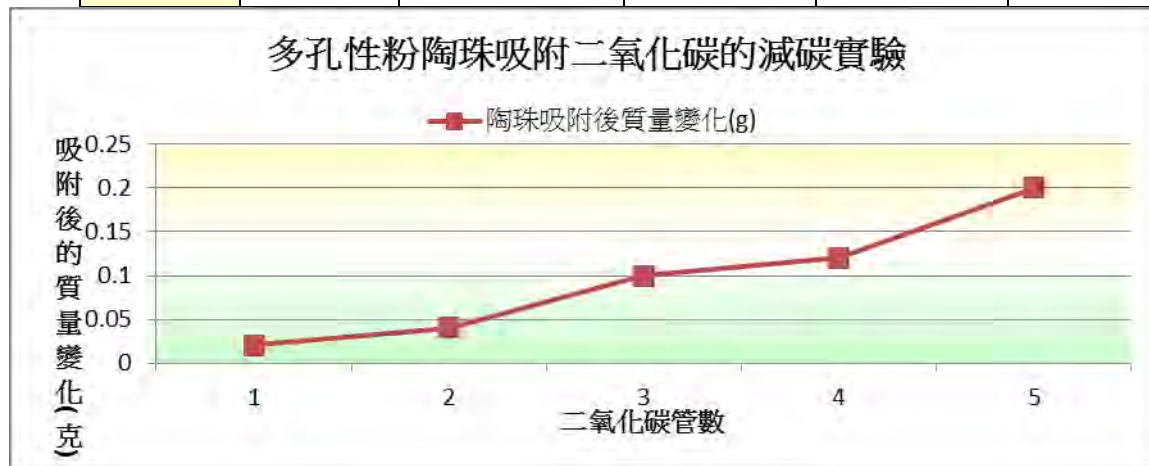
多孔性粉陶珠中和免洗筷的二氧化硫測定

溶液	pH 值 (陶珠浸水 1hr)	pH 值 (浸 1 雙免洗筷 1hr)	pH 值 (陶珠浸水 4.5hr)	pH 值 (浸 5 雙免洗筷 16hr)
去離子水	7.0	5.5	7.0	4.0
去離子水+陶珠	10.3	10.3	10.4	9.3

由實驗結果可知，陶珠可吸附竹筷在水中釋放的酸性物質。

4.以多孔性粉陶珠吸附二氧化碳的減碳實驗設計

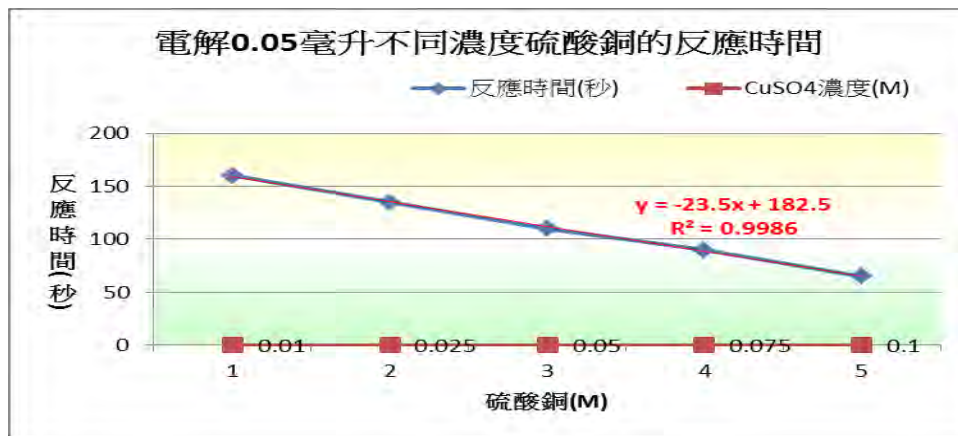
試管編號	陶珠顆數	二氧化碳管數	陶珠原重量	吸附後重量	陶珠吸附後質量變化
1	5	1	7.46	7.48	0.02
2	5	2	7.10	7.14	0.04
3	5	3	7.00	7.10	0.10
4	5	4	7.16	7.28	0.12
5	5	5	7.02	7.22	0.20



(四)硫酸銅重金屬離子的定量檢測及多孔性陶珠吸附重金屬離子效能的實測

同 0.05 mL 劑量電解硫酸銅重金屬離子的定量檢測

製作檢量線					
CuSO ₄ 濃度 (M)	0.010	0.025	0.050	0.075	0.100
溶液 pH 值	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9
Cu ²⁺ 還原的平均反應時間(秒)	160	135	110	90	65
電解 0 秒放大 35 倍圖像					
電解 30 秒放大 35 倍圖像					
電解 60 秒放大 35 倍圖像					
電解 120 秒放大 35 倍圖像					

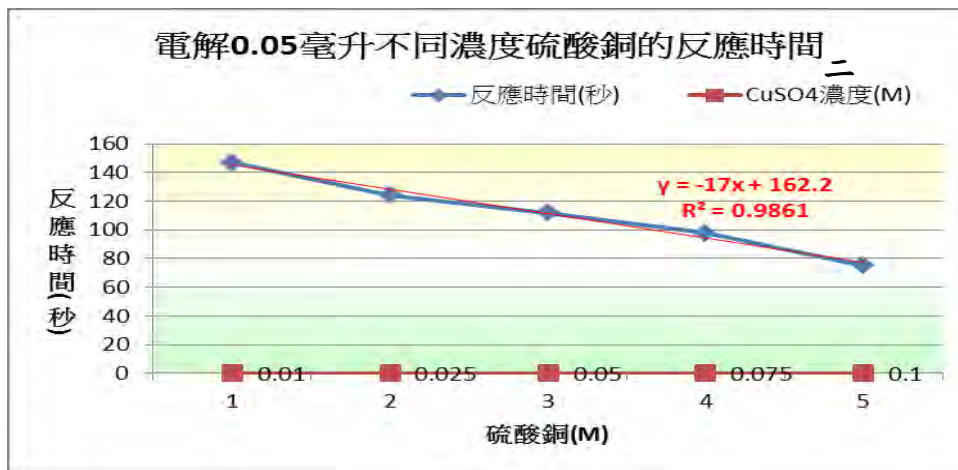


(5) 多孔性陶珠吸附重金屬離子效能的實測

多孔性陶珠吸附 0.025M CuSO₄ 重金屬離子的比較 (對照組 0.025M CuSO₄ 水溶液 pH 值 3.5)

吸附的多孔性陶珠規格	大小顆陶珠同稱總重 7.3 克，顆數不同				
	2g 陶珠共 5 顆(註)	5g 陶珠共 2 顆	8g+2 g 陶珠各 1 顆	10g 陶珠共 1 顆	10g 純陶珠 7.8g 共 1 顆
吸附後溶液 pH 值	4.8	4.8	4.85	4.85	4.1
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間(秒)	因為 Cu ²⁺ 濃度太低了，競爭不過量多的 H ⁺ ，負極均先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物，即使電解 3 分鐘後仍看不到金屬銅的析出物，推測其反應可能先在負極產生氫氣及氫氧根離子 2H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + 2OH ⁻ ，因此向負極移動的銅離子先遇 OH ⁻ 而生氫氧化銅的藍色膠狀物 Cu ²⁺ + 2OH ⁻ → Cu(OH) ₂				Cu ²⁺ 和 H ⁺ 互相競爭，不僅有金屬銅的析出物，也有氣泡及藍色膠狀物
電解 0 秒的圖像					
電解 30 秒放大 35 倍的圖像					
電解 60 秒放大 35 倍的圖像					
電解 120 秒放大 35 倍的圖像					
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	仍為原陶珠的棕色

註. 標示的 2~10g 陶珠為未燒結前所製作的濕粉筆陶珠，而非實際高溫燒結後的質量。



想法與討論：還是做了 0.01 M~0.1 M CuSO₄ 的檢量線，但是似乎用不上，因為負極產生的藍色膠狀物不易清楚判定出真正的反應時間，單純的 CuSO₄ 水溶液即使是 0.01 M 的濃度，仍可看到負極析出金屬銅，而且其 pH 值還有 3.8，這比浸泡過粉筆陶珠的 CuSO₄ 水溶液 pH 值 4.8 還要高，由此可見，浸泡過粉筆陶珠的水溶液應有其它的干擾物，才會阻止 Cu²⁺ 先還原所致。

(6) 以燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的測試

















碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的比較(對照組 0.025M CuSO₄ 水溶液 pH 值為 3.5)

碳修飾未燒結的粉筆陶珠規格	編號 C1 的 碳修飾陶珠 1 顆 8.1g	編號 C2 的 碳修飾陶珠 1 顆 8.0g	編號 C3 的 碳修飾陶珠 1 顆 7.7g	編號 C5 的 碳修飾陶珠 1 顆 8.3g	編號 B1 未燒 結的純陶珠 1 顆 7.9g
吸附後溶液 pH 值	4.9	5.4	4.9	4.9	4.2
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間(秒)	與前實驗相同的是「負極均先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物」，但電解 1 分鐘前後使可看到棕色物質析出。				無銅的析出物，但有氣泡及藍色膠狀及棕色物質析出
電解 0 秒的圖像					
電解 30 秒放大 35 倍的圖像					
電解 60 秒放大 35 倍的圖像					
電解 120 秒放大 35 倍的圖像					
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子但仍為黑色	有吸附住銅離子，但呈黑色陶珠全化開。	有吸附住銅離子但仍為黑色	有吸附住銅離子但仍為黑色	仍為原陶珠的棕色，陶珠全化開。

(7)以燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的測試二

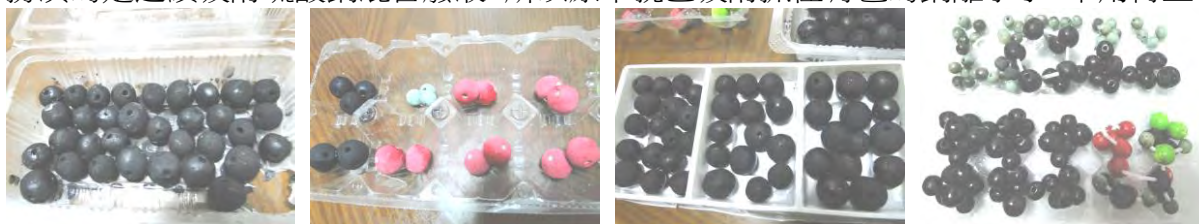
碳修飾燒結後的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能的綜合比較

(對照組 0.025M CuSO₄ 水溶液 pH 值為 3.5)

碳修飾粉筆陶珠規格	碳修飾 2 g 粉筆陶珠 5 顆	碳修飾 5 g 粉筆陶珠 2 顆	碳修飾 8 g+2 g 粉筆陶珠各 1 顆	碳修飾 10g 粉筆陶珠 1 顆
吸附後溶液	pH 值 4.9	pH 值 5.4	pH 值 4.9	pH 值 4.9
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間 (秒)	與前實驗相同的是「負極均先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物」，但電解 1 分鐘前後使可看到棕色物質析出。			
電解 0 秒的圖像				
電解 30 秒放大 35 倍的圖像				
電解 60 秒放大 35 倍的圖像				
電解 120 秒放大 35 倍的圖像				
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子而呈藍黑色	有吸附住銅離子而呈藍黑色	有吸附住銅離子而呈藍黑色	有吸附住銅離子而呈藍黑色

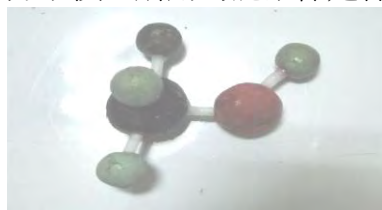
(五)粉筆陶珠再後製「分子模型球」的研究

(1)實驗後的廢陶珠可用墨汁(寫毛筆字後的廢水)上色變成黑色碳原子；2 孔陶珠上紅色變氧原子、3 孔陶珠則上鮮綠色變氮原子；1 孔 2g 陶珠(質量為標示的濕陶珠重)在實驗中，最後扮演的是連續吸附硫酸銅混合廢液，所以原本就已吸附抓住有色的銅離子了，不用再上色。



(2).組合各有機分子的圖示如下：

分子模型所用的鍵結棒是棉花棒的塑膠吸管廢材或鋁箔包最細的塑膠吸管廢材



CH₃OH 甲醇(Methanol，又稱甲基醇 methyl alcohol；俗稱木精)



CH₃OCH₃ 甲醚(methyl ether；或二甲醚 dimethyl ether，是屬於對稱醚類)



CH₃NH₂ 甲胺(Methylamine，又稱一甲胺 Monomethylamine 或氨基甲烷或 Aminomethane)

陸、結論與應用

- 一、我們同時解決**傳統硫酸鈣廢粉筆及碳酸鈣廢粉筆**，組合多種廢材**解決校園高污染化學實驗之環保行動研究成果**令人滿意。
- 二、我們以電腦繪圖設計有顯微鏡頭插孔及我們以廢紙箱、粗吸管及網箱廢塑膠帶研究出折疊波浪狀網箱廢塑膠帶及吸管，可**夾擊長短不一廢粉筆的塑材彈簧**，加上將塑膠彈簧穿入紙板中紙板裁片設計，就可成功的做出**塑材彈簧台**，紙板底座加支撐紙面可平穩塑材彈簧台，加上設計電極固定紙環、提把及支撐電極夾的兩折波浪紙帶，使電極的針頭能恰好落在粉筆上及解決紙板內**固定粉筆的彈簧座設計**不易提取的問題。
- 三、本校有成立積木為主的創新學習實驗室，所以，我們以積木輔助可以在最短時間內做出固定粉筆的底座，也可用積木做出**固定 Dino-Lite 可攜式顯微鏡頭**，做成**顯微積木裝置設計**，融入教室中進行幾乎零污染無廢液的電解實驗。
- 四、我們獨創以用完的原子筆心刻畫出 0.8 cm 長的**電解通道設計**，以碳酸鈣廢粉筆當作承載液滴的基材，研究出可支撐一滴電解溶液達 4 分鐘的雙電解通道設計，加上用**小釘書針當電極**，不僅**反應快速、節能**，也可以**達到比傳統實驗設計減量數百倍以上劑量之目的**。這與我們由操作不同材質粉筆中，比較研究出與彰化女中以硫酸鈣粉筆做電解實驗的大不同。硫酸鈣粉筆的顆粒大、間隙大，即使滴入 10 滴電解溶液，仍無法呈現液滴拱狀而滲入粉筆中，要明顯觀察電解的成果，電解液量需更多、電解時間長且反應後的廢材處理不算少。
- 五、設計有固定支撐顯微鏡頭俯照的支架紙盒設計，**顯微放大電解微量碘化鋅水溶液可在負極清晰看到樹狀的鋅還原析出**，而正極則為碘離子與氧化產生的碘分子結合為 I_3^- 錯離子，觀測**碘化鋅的分解實驗成果證明也達到減量環保的目的**。
- 六、**微觀電解一滴硫酸銅**，在顯微鏡頭下，**快速看出正極有些微氣泡而負極析出如樹狀般的金屬銅**；**微觀電解一滴硝酸銀**，都可在本作品組裝設計的顯微鏡頭下，明顯觀測出**由負極非常快速的析出巨出樹狀且密集的金屬銀**仍可明顯看出其**反應速率比電解硫酸銅快許多**。正極產生氣泡的速率也快許多，最後還可看見釘書機尖端開始氧化而呈現棕色物質。
- 七、**微觀電解水和廣用指示劑的負極呈現明顯紫色的鹼性變化和較多量的氣泡**；**正極處則為黃綠色的酸性變化且氣泡量則較少**，這與電解水的半反應結果不謀而合。
- 八、**微觀電解碘化鋅的負極產物鋅而正極為微量黃棕色 I_3^- 錯離子**，也可明顯比較出與電解碘化鉀的不同為負極無金屬物質析出。

九、減量環保的觀念需向下紮根

1. 我們都知道**活性炭具有吸附小分子雜質及除臭的功能**，但是它的**價格昂貴**。我們**自製低成本的粉筆陶珠**在準備灌溉的水源處放置**可吸附有害物質的環控記錄裝置**，應可以為水源添一項記錄及保障吧！

2. 以多孔性粉陶珠連續重金屬離子吸附裝置可做為吸附重金屬離子的環控記錄器

- (1).我們將 900°C 燒結的環保粉筆與陶土 1:1

的比例做成**多孔性粉筆陶珠吸附 0.5 M $CuSO_4$ 硫酸銅重金屬離子**後，發現此粉陶珠由外觀**米白色變成藍色**(表示已吸附了不少的 $CuSO_4$ 分子)，經分析其化學反應可能是：



$Cu(OH)_2 \text{ 藍色} - H_2O \rightarrow CuO \text{ 黑色}$ ，果真**第一代連續吸附硫酸銅重金屬離子乾燥後**，不用多久，**粉陶珠變成黑色**。



(2).環控模擬器的檢測：我們將黑色的粉陶珠浸置於濃度 20%的鹽酸、導電度 1000 以上 pH 值為 0.6 的酸液中，結果可將表面黑色物質溶出為藍色物質。

如果將此溶出物，置於一滴電解裝置中，進行電解；如果在負極可先析出紅色金屬銅則表示，此粉陶珠具有吸附及記錄有害物質例如重金屬離子的功能，多孔性粉陶珠用於環控記錄是可行的作法。



經陶珠吸附後，陶珠呈現 CuSO_4 硫酸銅之藍色 $\text{CuSO}_4 + \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ (瓶中的水) $\rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Cu}(\text{OH})_2$ 呈白色 [CaSO_4 為傳統粉筆之成份 (硫酸鈣)] \rightarrow 硫酸鈣吸水，則 $\text{CaSO}_4 + \text{Cu}(\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O} = \text{CuO}$ 呈黑色 (實驗中黑白色均有看見)

十、電解在學界、工商界都是非常重要的化學反應，由目前世界上幾近 5%的電能用於電解反應以製造我們所需的化學物質可見一斑。不過也就是這樣，重金屬離子的污染始終威脅著我們所處的大環境。我們選定學校課本不盡完善的實驗來做研究，尤其是高污染、高劑量的電化學實驗已不合時宜，廢粉筆的環保變身秀是大家可參考的綠色革命！

柒、參考文獻

- 彰化女中高三生廖湘如及王意淳短粉筆重塑回長粉筆「TOYOTA 環保高峰會一綠校園改造王」第一名 <http://tw.myblog.yahoo.com/jw!jTtMVeSRHQ4N.MT0ZfI-/article?mid=3077>
- 彰化女中化學科陳琬菁老師化學教室活動：利用粉筆進行電解實驗
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=30970> 學生講義之一
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=30987> 教師手冊
- 國中自然與生活科技第四冊第二章氧化還原反應
- 國中自然與生活科技第五冊電流化學效應
- 高二基礎化學[二]全一冊南一書局第一章物質的構造與特性 1-2 離子鍵與離子晶體 p13 趣味實驗 碘化鋅的形成與分解
- 高中化學第一冊第五章溶液
- 陶藝手冊 藝術家出版社 楊文霓編著
- 本校歷年科展作品
中華民國第 43 屆中小學科展國中組化學科「一滴溶液的化學實驗」
2005 年國際科展環境科學科 還我無水污染的顯微電解世界
2013 國際廢粉筆的離子通道秀及環保情
102 學年度臺中市應科科展吸金大法—廢粉筆環控水質之研究

【評語】 030806

1. 以廢粉筆為素材，將傳統的硫酸鈣成份的廢粉筆，以及環保的碳酸鈣成份的廢粉筆，回收處理再利用，並以此設計諸多化學與電化學相關的實驗，主題有趣，內容相當豐富。
2. 實驗完整度高。其中陶珠燒結用於吸附離子效能分析較具亮點。
3. 很詳細但目標太龐雜失去重點論述，總結結論也太細看不出主要貢獻。作品中呈現許多實驗的結果，也因結果過多，反而不易呈現其創新價值，如能集中在一二項實驗的創新，深入探討比較與前人研究之差異，較能呈顯其價值。

作品海報

摘要

廢粉筆，不再是一般非資源垃圾了！我們以教室的廢粉筆為設計中心，獨創出多種實驗方法及設計裝置，也可做出許多綠色化學實驗的具體成果。
 硫酸鈣成份的廢粉筆，可簡易再生或與陶土混合製成多種工藝品、分子模型球；碳酸鈣成份的廢粉筆，在短粉筆上畫電解通道可快速節能的比較出1滴電解液的綠色化學實驗。
 我們自製的**多孔性粉筆陶珠**及**連續吸附裝置**，利用其多孔性及電燒後分解的成份，可中和酸性、吸附廢氣及吸附水中有害的重金屬離子物質。最後，我們還將吸附重金屬離子的粉筆陶珠，回浸到酸液中溶出重金屬離子，由可定量的一滴電解反應檢測，其在負極可析出金屬銅證明**多孔性粉筆陶珠**具有水質預防性把關及水中環境監控記錄的功能。

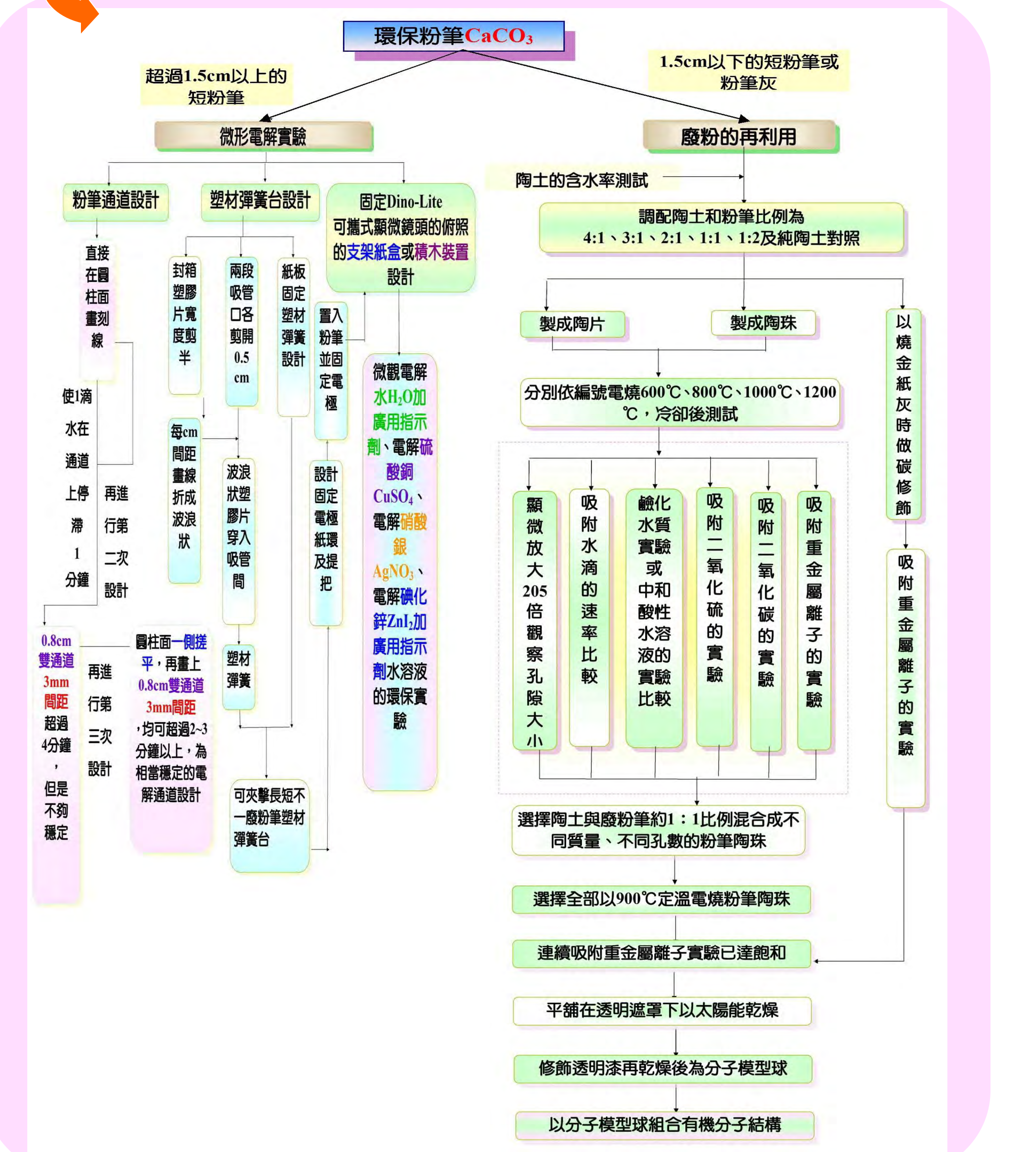
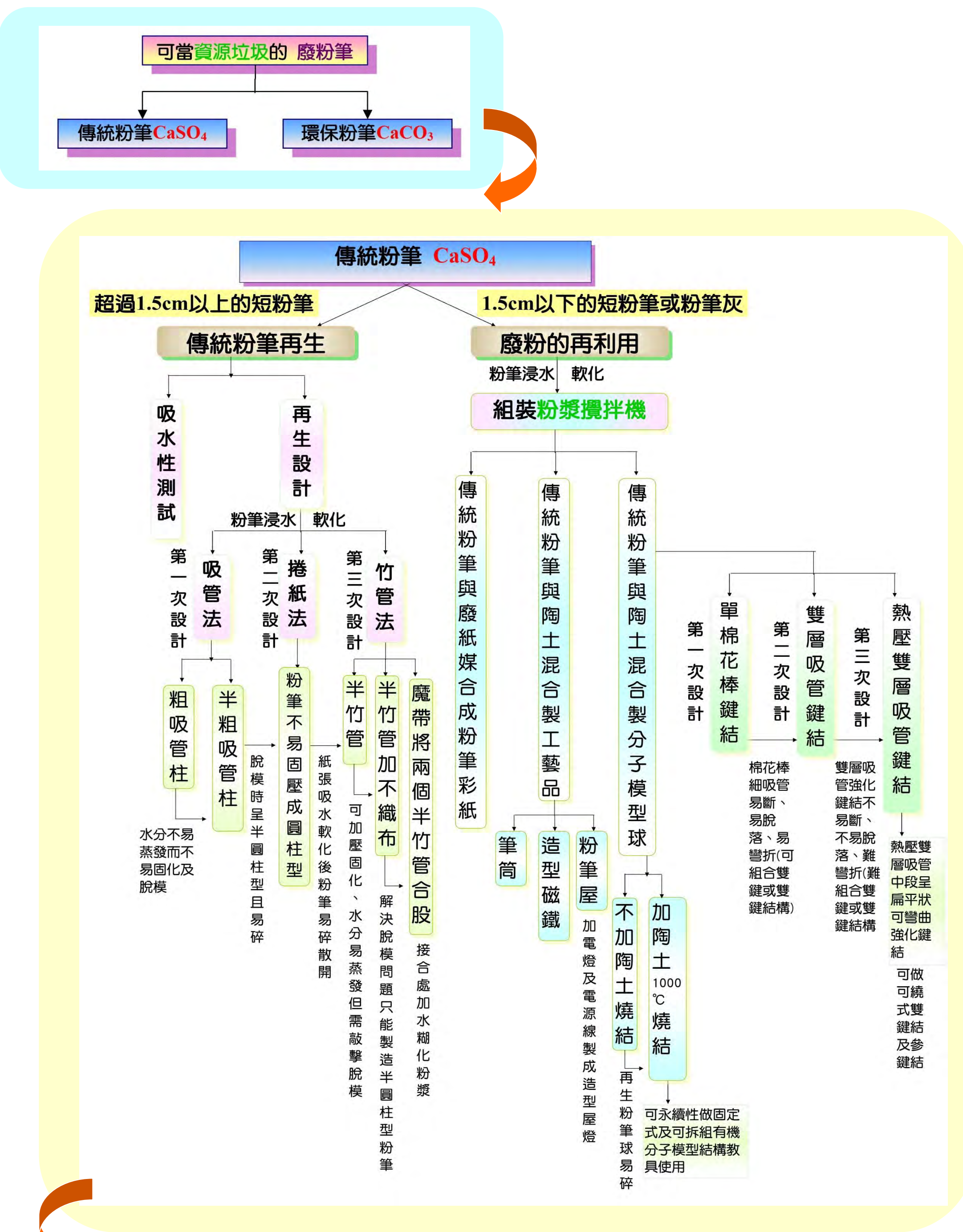
研究動機

廢粉筆大家仍以為是非資源垃圾，很多學校都當一般垃圾在處理，不過，本校四年來都將其視為**資源垃圾**而將它分類收集再利用。我們從一年級開始，每次換粉筆時，都看著學校整理這麼多盒的短粉筆，不知道它要做什麼，後來問學姊及老師後，才了解**回收的學問真不小**，所以，我們決定跟隨學姊的腳步，以它為主題研究的中心，準備好好的研究它，不僅要**再生利用**，更要讓它有**附加價值**為終極目標！
 我們上網仔細的查有關粉筆的所有報導及已利用粉筆進行的實驗等。分析目前兩種成份的粉筆除了再生；可用於學校實驗上的，有查到利用粉筆進行電解實驗(20 mL的高劑量電解液且無電解後廢棄物的廢液處理等說明)。
 我們比較學校舊存貨的**傳統粉筆**及現在準備逐步更換改用的**環保粉筆**，發現它們與除了外形做成圓柱體相同外，粉筆外形的長度相同、圓柱體直徑粗細有別，更發現粉筆灰的顆粒大小細緻度、吸水性及成份的大不同的方向上，讓我們覺得它值得深入研究以找出此廢材的應用價值。

研究目的

- 一、傳統硫酸鈣粉筆的廢材分析
- 二、環保碳酸鈣粉筆的廢材分析
- 三、傳統粉筆廢粉的再利用
- 四、環保粉筆的微型電解實驗
- 五、環保粉筆廢粉混合陶土製作多孔性粉筆陶珠的再利用研究
- (一)多孔性陶片及陶珠的孔隙度大小觀測
- (二)多孔性陶珠吸附水滴的速率比較
- (三)多孔性陶珠中和調整酸性水樣的測試
- (四)硫酸銅重金屬離子的定量檢測及多孔性陶珠吸附重金屬離子效能實測
- (五)以粉筆陶珠連續重金屬離子吸附裝置做為吸附重金屬離子的環控記錄器

研究架構



研究方法

一、傳統硫酸鈣及環保碳酸鈣粉筆的廢材分析



(一) 粉筆吸水性測試

傳統粉筆硫酸鈣的吸水性試驗

粉筆編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滴水數	27	24	27	27	24	37	27	22	26	27
滴水前重(g)	0.28	0.16	0.22	0.22	0.16	0.25	0.18	0.17	0.19	0.21
滴水後重(g)	0.43	0.29	0.39	0.37	0.29	0.45	0.33	0.30	0.34	0.35
吸水率(%)	53.6	81.3	77.3	68.2	81.3	80.0	83.3	76.5	78.9	66.7

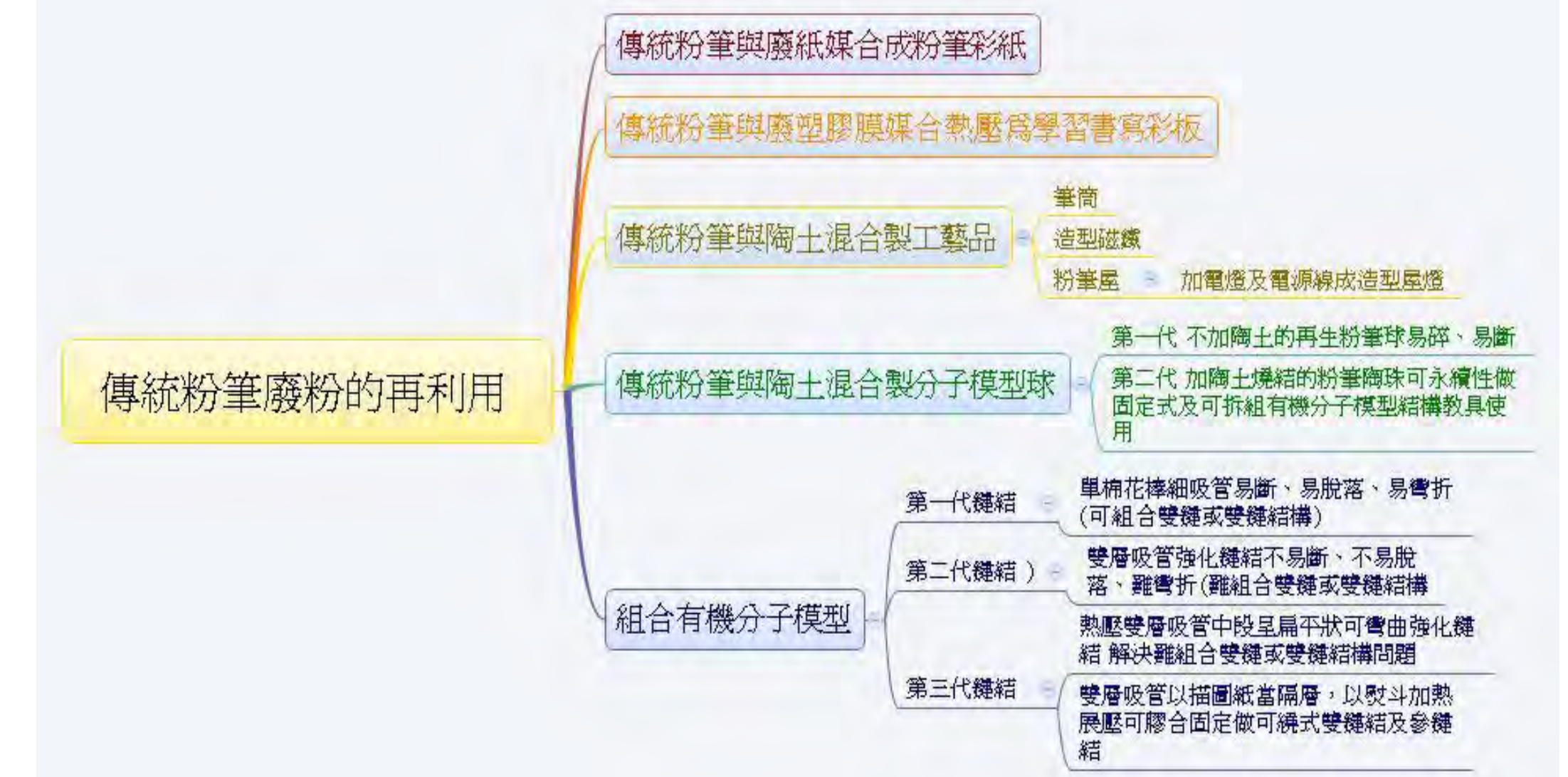
環保粉筆碳酸鈣的吸水性試驗

粉筆編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
滴水數	4	4	4	9	12	3	4	7	6	7
滴水前重(g)	0.50	0.43	0.39	0.48	0.62	0.29	0.43	0.33	0.42	0.37
滴水後重(g)	0.59	0.48	0.43	0.56	0.66	0.38	0.44	0.35	0.44	0.38
吸水率(%)	18.0	11.6	10.3	16.7	6.5	31.0	2.3	6.1	4.8	2.7

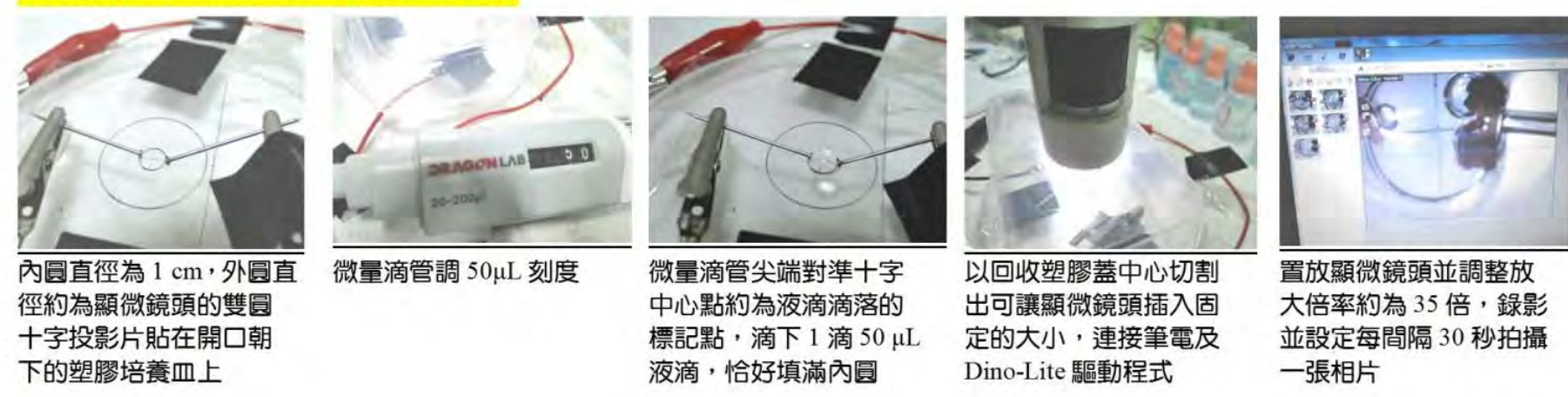
傳統粉筆與環保粉筆的吸水率測試比較



二、傳統粉筆廢粉的再利用



硫酸銅重金屬離子的定量檢測



內筒直徑為 1 cm，外筒直徑約為 1.5 cm，雙筒十字投影片貼在開口處的膠膠培養皿上

微量滴管調 50 μL 刻度

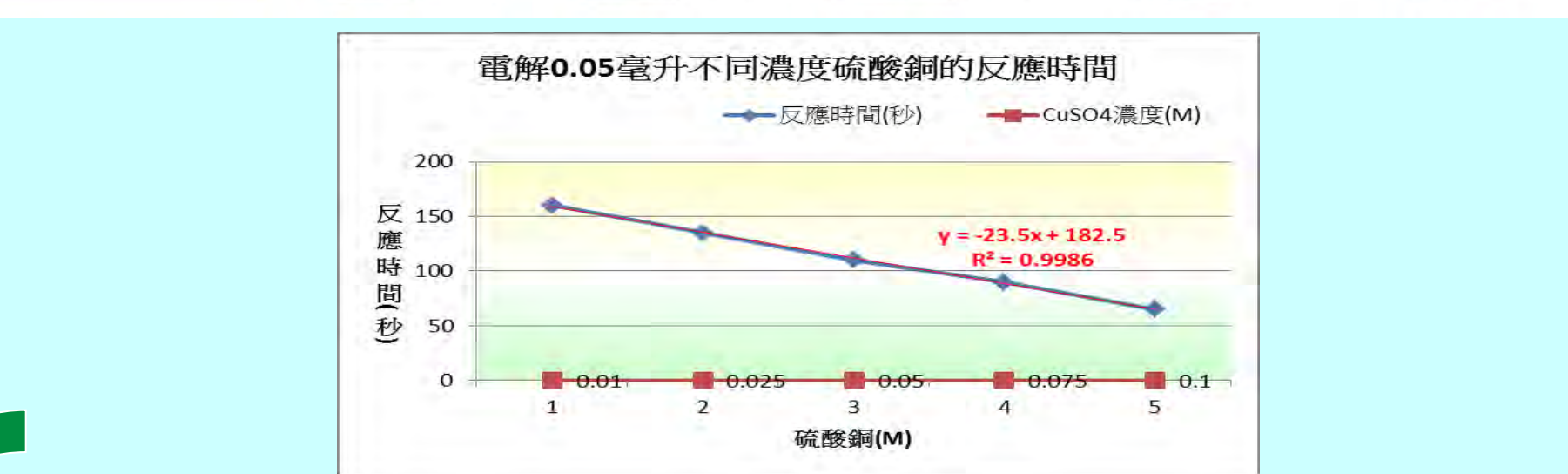
微量滴管尖端對準十字中心點約為液滴滴落的標記點，滴下 1 滴 50 μL 液滴，恰好填滿內筒

以回收膠蓋中心切割出可讓顯微鏡頭插入固定的大小，連接筆電及 DINO-LITE 驅動程式

置放顯微鏡頭並調整放大倍率約為 35 倍，錄影並設定每 30 秒拍攝一張相片

多孔性陶珠吸附硫酸銅重金屬離子及定量檢測

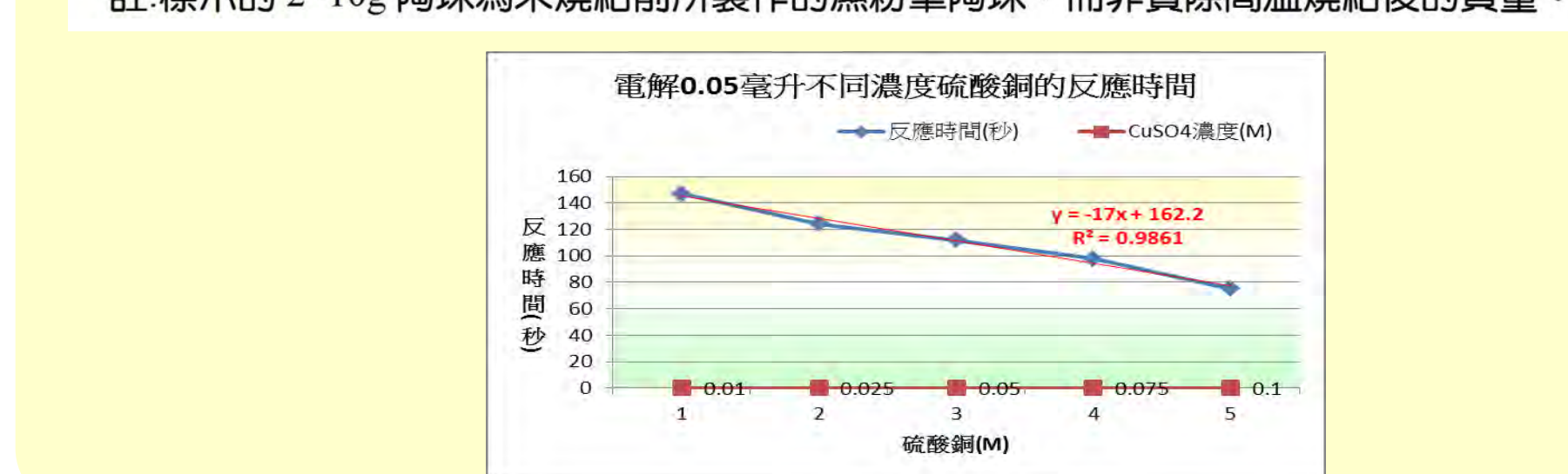
CuSO ₄ 濃度(M)	0.010	0.025	0.050	0.075	0.100
溶液 pH 值	3.8	3.5	3.2	3.1	2.9
Cu ²⁺ 還原的平均反應時間(秒)	160	135	110	90	65



多孔性陶珠吸附硫酸銅重金屬離子及定量檢測

多孔性陶珠吸附 0.025M CuSO₄ 重金屬離子的比較 (對照組 0.025M CuSO₄ 水溶液 pH 值 3.5)

吸附的多孔性陶珠規格	大小顆陶珠同稱總重 7.3 克，顆數不同			
	2g 陶珠共 5 顆 (註)	5g 陶珠共 2 顆	8g+2g 陶珠各 1 顆	10g 陶珠共 1 顆
吸附後溶液 pH 值	4.8	4.8	4.85	4.85
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間(秒)	Cu ²⁺ 濃度太低了，競爭不過過量的 H ⁺ ，負極先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物，即使電解 3 分鐘後仍看不到金屬銅的析出物，推測其反應可能先在負極產生氫氣及氫氧根離子 2H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + 2OH ⁻ ，因此向負極移動的銅離子先遇 OH ⁻ 而生氫氧化銅的藍色膠狀物 Cu ²⁺ + 2OH ⁻ → Cu(OH) ₂			
電解 0 秒的圖像				
電解 30 秒放大 35 倍的圖像				
電解 60 秒放大 35 倍的圖像				
電解 120 秒放大 35 倍的圖像				
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	仍為原陶珠的棕色



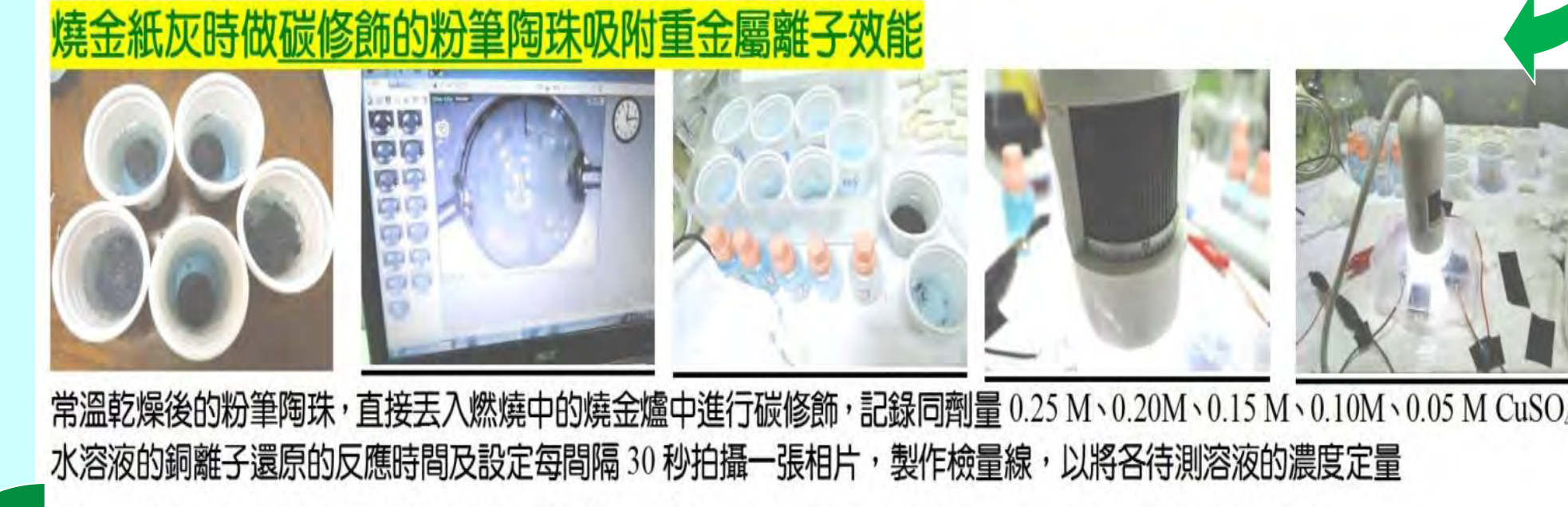
多孔性陶珠吸附 0.025M CuSO₄ 重金屬離子效能 (對照組 0.025M CuSO₄ 水溶液 pH 值 3.5)

吸附的多孔性陶珠規格	大小顆陶珠同稱總重 7.3 克，顆數不同			
	2g 陶珠共 5 顆 (註)	5g 陶珠共 2 顆	8g+2g 陶珠各 1 顆	10g 陶珠共 1 顆
吸附後溶液 pH 值	4.8	4.8	4.85	4.85
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間(秒)	若 Cu ²⁺ 濃度太低，競爭不過過量的 H ⁺ ，負極先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物，即使電解 3 分鐘後仍看不到金屬銅的析出物，推測其反應可能先在負極產生氫氣及氫氧根離子 2H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + 2OH ⁻ ，因此向負極移動的銅離子先遇 OH ⁻ 而生氫氧化銅的藍色膠狀物 Cu ²⁺ + 2OH ⁻ → Cu(OH) ₂			
電解 0 秒的圖像				
電解 30 秒放大 35 倍的圖像				
電解 60 秒放大 35 倍的圖像				
電解 120 秒放大 35 倍的圖像				
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	有吸附住銅離子而呈青藍色	仍為原陶珠的棕色

燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能二



將已燒結過的 2-10g 大小的粉筆陶珠懸吊在金灰爐內進行第二次碳修飾的燒金測試，自製鐵絲網籃置放陶珠，鐵絲網籃可懸掛在金爐內，懸掛高度約為 1/2 燒金 1 大量為 5 小壘，鐵絲架放下讓熱熱悶燒 呈不均勻的碳修飾



各取質量相近的大小顆碳修飾粉筆陶珠放到 20 mL 0.025M CuSO₄ 水溶液中浸泡 30 分鐘，取 0.05 mL 液滴進行電解，取出碳修飾粉筆陶珠觀察外觀顏色變化

燒金紙灰時做碳修飾的粉筆陶珠吸附重金屬離子效能 (對照組 0.025M CuSO₄ 溶液 pH 值為 3.5)

碳修飾未燒結粉筆陶珠規格	編號 C1 的碳修飾陶珠 1 顆 8.1g	編號 C2 的碳修飾陶珠 1 顆 8.0g	編號 C3 的碳修飾陶珠 1 顆 7.7g	編號 C5 的碳修飾陶珠 1 顆 8.3g	編號 B1 未燒結純陶珠 1 顆 7.9g
吸附後溶液 pH 值	4.9	5.4	4.9	4.9	4.2
電解 Cu ²⁺ 還原反應時間(秒)	與前實驗相同的是「負極均先產生氣泡，而後看到藍色膠狀的沉澱物」，但電解 1 分鐘後使可看到棕色物質析出。				
電解 0 秒的圖像					
電解 30 秒放大 35 倍的圖像					
電解 60 秒放大 35 倍的圖像					
電解 120 秒放大 35 倍的圖像					
陶珠吸附溶液後的外觀	有吸附住銅離子但仍為黑色	有吸附住銅離子，黑色陶珠全化開	有吸附住銅離子但仍為黑色	有吸附住銅離子但仍為黑色	仍為原陶珠的棕色，陶珠全化開

粉筆陶珠回收粉筆陶珠製作有機分子模型

實驗後的廢陶珠可用墨汁(寫毛筆字後的廢水)上色變成黑色碳原子；2 孔陶珠上紅色變氧原子、3 孔陶珠則上鮮綠色變氮原子；1 孔 2g 陶珠(質量為標示的濕粉筆陶珠)在實驗中，最後扮演的是連續吸附硫酸銅混合廢液，所以原本就已吸附抓住有色的銅離子了，不用再上色。



結論與應用

- 一、我們同時解決傳統硫酸鈣廢粉筆及碳酸鈣廢粉筆，組合多種廢材解決校園高污染化學實驗之環保行動研究成果令人滿意。
- 二、我們以電腦繪圖設計有顯微鏡頭插孔及我們以廢紙箱、粗吸管及網箱廢塑膠帶研究出折疊波浪狀網箱廢塑膠帶及吸管，可夾擊長短不一廢粉筆的塑材彈簧，加上設計電極固定紙環、提把及支撐電極夾的兩折波浪紙帶，使電極的針頭能恰好落在粉筆上及解決紙板內固定粉筆的彈簧座設計不易提取的問題。
- 三、我們以積木輔助可以在最短時間內做出固定粉筆的底座，也可用積木做出固定 DINO-LITE 可攜式顯微鏡頭，做成顯微積木裝置設計，融入教室中進行幾乎零污染無廢液的電解實驗。
- 四、我們獨創以用完的原子筆心刻畫出 0.8 cm 長的電解通道設計，以碳酸鈣廢粉筆當作承載液滴的基材，研究出可支撐一滴電解溶液達 4 分鐘的雙電解通道設計，加上用小釘書針當電極，不僅反應快速、節能，也可以達到比傳統實驗設計減量數百倍以上劑量之目的。
- 五、設計有固定支撐顯微鏡頭俯照的支架紙盒設計，顯微放大電解微量碘化鉍水溶液可在負極清晰看到樹狀的鉍還原析出，而正極則為碘離子與氧化產生的碘分子結合為 I₃⁻ 錯離子，觀測碘化鉍的分解實驗成果證明也達到減量環保的目的。
- 六、微觀電解一滴硫酸銅，在顯微鏡頭下，快速看出正極有些微氣泡而負極析出如樹狀般的金屬銅；微觀電解一滴硝酸銀，都可在本作品組裝設計的顯微鏡頭下，明顯觀測出由負極非常快速的析出巨出樹狀且密集的金屬銀仍可明顯看出其反應速率比電解硫酸銅快許多。
- 七、微觀電解水和廣用指示劑的負極呈現紫色的鹼性變化和較多量的氣泡；正極處則為黃綠色的酸性變化且氣泡量則較少。
- 八、微觀電解碘化鉍的負極產物鉍而正極為微量黃棕色 I₃⁻ 錯離子，也可明顯比較出與電解碘化鉍的不同為負極無金屬物質析出。
- 九、減量環保的觀念需向下紮根

1. 我們都知道活性炭具有吸附小分子雜質及除臭的功能，但是它的價格昂貴。我們自製低成本的粉筆陶珠在準備灌溉的水源處放置可吸附有害物質的環控記錄裝置，應可以為水源添一項記錄及保障吧！
2. 以多孔性粉陶珠連續吸附重金屬離子的環控記錄器
 - (1) 我們將 900°C 燒結的環保粉筆與陶土 1:1 的比例做成多孔性粉筆陶珠吸附 0.5 M CuSO₄ 硫酸銅重金屬離子後，發現此粉陶珠由外觀米白色變成藍色(表示已吸附了不少的 CuSO₄ 分子)，經分析其化學反應可能是：
CuSO₄ + CaO + H₂O → CaSO₄ 白色 + Cu(OH)₂ 藍色
Cu(OH)₂ 藍色 - H₂O → CuO 黑色，果真第一代連續吸附硫酸銅重金屬離子乾燥後，不用多久，粉陶珠變成黑色。
 - (2) 環控模擬器的檢測：我們將黑色的粉陶珠浸置於濃度 20% 的鹽酸、導電度 1000 以上 pH 值為 0.6 的酸液中，結果可將表面黑色物質溶出為藍色物質。如果將此溶出物，置於一滴電解裝置中，進行電解；如果在負極可先析出紅色金屬銅則表示，此粉陶珠具有吸附及記錄有害物質例如重金屬離子的功能，多孔性粉陶珠用於環控記錄是可行的作法。
- 十、電解在學界、工商界都是非常重要的化學反應，由目前世界上幾近 5% 的電能用於電解反應以製造我們所需的化學物質可見一斑。不過也就是這樣，重金屬離子的污染始終威脅著我們所處的大環境。我們選定學校課本不盡完善的實驗來做研究，尤其是高污染、高劑量的電化學實驗已不合時宜，廢粉筆的環保變身秀是大家可參考的綠色革命！

未來展望



參考資料

1. 彰化女中高三生廖湘如及王意淳短粉筆重製回長粉筆「TOYOTA 環保高峰會—綠校園改造王」第一名
<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!jJtMVeSRHQ4N.MT0ZfI-/article?mid=3077>
2. 彰化女中化學科陳琬菁老師化學教室活動：利用粉筆進行電解實驗
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3097> 學生講義之一
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3098> 教師手冊
3. 國中自然與生活科技第四冊第二章氧化還原反應
4. 國中自然與生活科技第五冊電流化學效應
5. 高二基礎化學(二)全一冊南一書局第一章物質的構造與特性 1-2 離子鍵與離子晶體 p13 趣味實驗 碘化鉍的形成與分解
6. 高中化學第一冊第五章溶液
7. 陶藝手冊 藝術家出版社 楊文寬編著
8. 本校歷年科展作品
中華民國第 43 屆中小學科展國中組化學科「一滴溶液的化學實驗」
2005 年國際科展環境科學科 還我無水污染的顯微電解世界
2013 國際廢粉筆的離子通道秀及環保情
102 學年度臺中市應科科展吸金大法—廢粉筆環控水質之研究