

『吸凍!』——保麗龍的第二個春天

【完整版】 作者：SA2-0109 鄭玉辰

一、研究動機：

保麗龍是所謂的『萬年垃圾』，對環境的污染不僅嚴重且時間久遠，因此我想有沒有方法可以讓保麗龍搖身一變成為有用的東西。在與老師討論後，得知保麗龍的成分與濾水器中陽離子交換樹脂的成分接近，再加上實驗室張阿姨對重金屬離子廢水的處理，十分頭疼，於是我希望能夠將保麗龍轉變成類似陽離子交換樹脂的東西，用來吸附水中有害的重金屬離子。

幾年前，高雄縣二仁溪曾爆發過「綠牡蠣事件」，近年來分別在 90 年 9 月屏東的銅木瓜事件與 91 年 2 月的台灣新聞報與中國時報均報導有關銅毒害與實驗室廢水難處理的問題。因此，我們以銅離子為檢測對象，但是去年利用碘滴定測定吸附能力的方法，非常繁瑣及枯燥，讓我對這個研究裹足不前，因此今年積極尋找另一個便利且有效的方法，結合電路利用相對電位的變化來檢測銅離子廢水的處理效果。

二、研究目的：

本研究分為三大部分，探討廢保麗龍製成離子交換樹脂(以下稱「保麗龍膠」)後，對銅離子吸附的最佳條件。

Part A 保麗龍膠的特性探討—

- (一) 將保麗龍磺酸化。
- (二) 以偏光顯微鏡所拍攝的顯微照片比較外觀。
- (三) 保麗龍碎粒磺酸化的印證：以 IR 測結構、以燃燒法計算保麗龍磺酸化的比例。
- (四) 保麗龍膠吸附機制類型的探討。

Part B 尋找保麗龍膠最佳的吸附條件—

- (一) 保麗龍膠顆粒大小對吸附效能的比較。
- (二) 不同濃度的銅離子廢水處理效能的比較。
- (三) 銅離子廢水的流速對廢水處理效能之比較。
- (四) 廢水的 pH 值對保麗龍膠吸附效能的影響。
- (五) 溫度對保麗龍膠吸附效能的影響。
- (六) 保麗龍膠分次吸附溶液中銅離子的測定。

Part C 保麗龍膠的再處理—

- (一) 保麗龍膠再生能力的探討。
- (二) 廢保麗龍膠做成塑土的試驗。

三、藥品與器材

【藥品】

保麗龍(電器包裝用)	丙酮	乙酸乙酯	濃硫酸	硫酸銅
碘化鉀	硫代硫酸鈉	硫氰化鉀	澱粉	

【器材】

A. 保麗龍膠的製備部分：

研磨機(台中榮聰鐵工廠)	三頸燒瓶(500ml)
磁攪拌器(含加熱板)	冷凝管
濾網(孔隙為 2×2mm 與 1×1mm)	電子秤

B. 指示器部分：

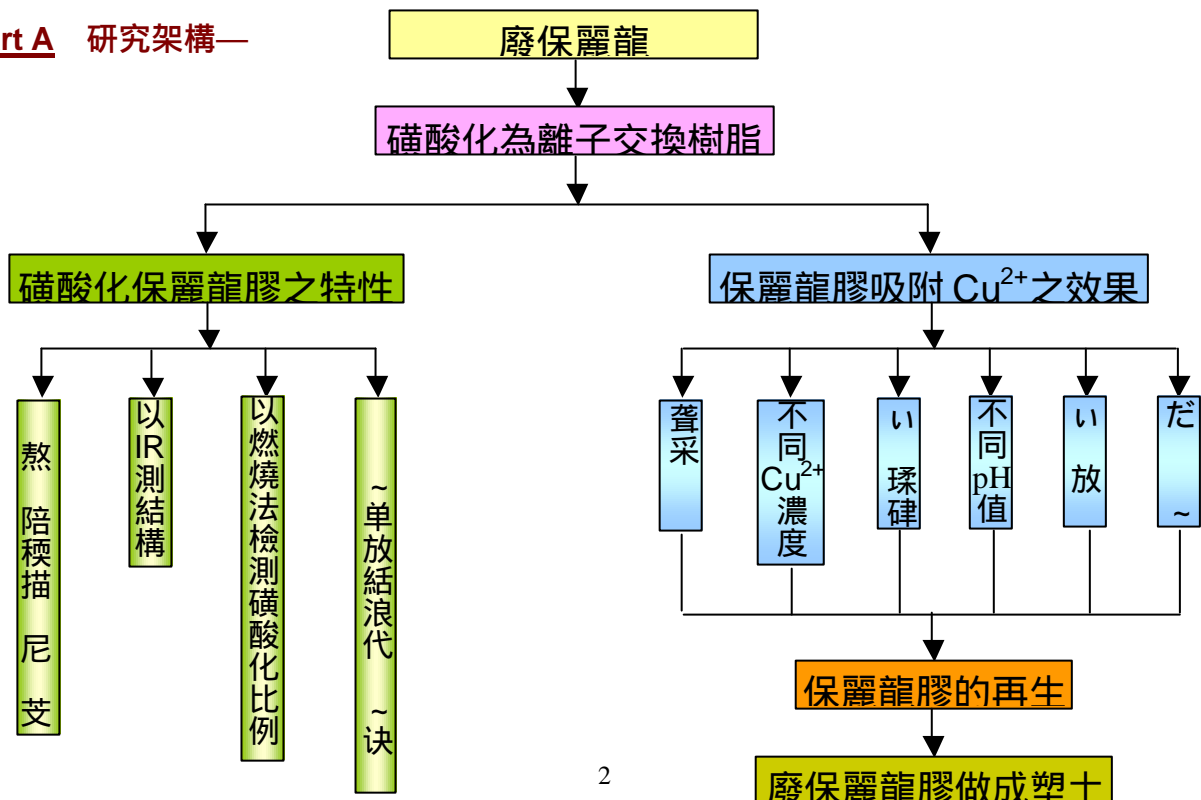
二極體	接地線	電阻(1K、 5.1K、 27K、 100K)
變壓器(12V)	IC741	可變電阻(20K、 200K)
微型電解槽(自製)	伏特計	電容器(16V 47μ、 470μ)

【其他】

IR(Spectrometer 550 , Nicolet)	偏光顯微鏡(Nikon)
pH 儀	SP-870 分光光度計

四、研究方法與步驟

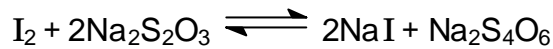
Part A 研究架構—



Part B 實驗原理—

1. 碘滴定法之原理：

在微酸性溶液中，如有過量 I^- 存在，會與 Cu^{2+} 反應： $2Cu^{2+} + 4I^- \rightarrow 2CuI + I_2$
產生的碘(I_2)用澱粉為指示劑，以 0.1M 硫代硫酸鈉($Na_2S_2O_3$)滴定：



由 $Na_2S_2O_3$ 的消耗量算出參與反應的 $Na_2S_2O_3$ 莫耳數，繼而分別求出 I_2 及 Cu^{2+} 的莫耳數。本實驗僅以硫代硫酸鈉溶液所消耗的體積來代表溶液中銅離子含量的多寡。

2. 偏光顯微鏡：

偏光顯微鏡是決定礦物光學性質的一種工具，它和普通顯微鏡不同的地方是加上了兩個偏光鏡，一個在載物台的下面，叫起偏鏡（或下偏光鏡），另一是裝置在載物台的上面，叫分析鏡（或上偏光鏡），起偏鏡產生的偏光作南北方向振動。而分析鏡只能讓東西向振動的偏光通過，起偏鏡和分析鏡均在定位，即同在 0° 或 90° 的位置則偏光成正交，光源無法透上來，於是鏡筒黑暗，叫正交偏光觀察，若起偏鏡和分析鏡的偏光方向平行，光源直透上來，於是鏡筒明亮，若不使用分析鏡，照射上來的光線作南北向振動叫作平行偏光觀察。平行偏光觀察礦物之形狀、角度、大小、厚度、粒度、解理、龜裂、透光性、多色性。正交偏光觀察礦物之干涉色、消光角、光速差。它應用於超微化石鑑定、碳酸岩分析、礦物岩石分析及岩石孔隙分析。

3. 紅外線光譜儀(IR)：

紅外線光譜學是研究某一化學物種如分子、離子、或自由基等，因吸收紅外線電磁波的能量（指紅外線吸收光譜）或在受激態時發射紅外線輻射（指紅外線發射光譜），所產生此化學物種在電子基態時純轉動、純振動或轉動-振動的能量變化。由於紅外線光譜能提供分子特性的資料，而且除了光學異構物外，幾乎沒有二個有機化合物的光譜完全一樣。因此藉助紅外線光譜的研究，我們可以決定分子的結構。

4. 保麗龍磺酸化比例之原理

磺酸化後的保麗龍— $(C_8H_8SO_3)_n$ ，經完全燃燒後，會產生 $CO_{2(g)}$ 、 $SO_{2(g)}$ 及 $H_2O_{(g)}$ 。

為確保乾燥後的保麗龍膠完全燃燒，我們在裝有乾膠的硬試管內通入純氧；為使產生的氣體能完全溶於水中，將產生的氣體導入 0.1M 的 $NaOH_{(aq)}$ 中，此溶液以校正過濃度的碘液來滴定。

碘滴定：

溶入的氣體先與過量的氫氧化鈉溶液(0.1M, 100ml)反應，剩下的 $NaOH$ 溶液再以較正過濃度的碘液滴定(以澱粉為指示劑)，直到維持淡藍紫色約 30 秒，即達到滴定終點。

其反應方程式如下：



5. 相對電位檢測法：
實驗系統

圖 1 為我今年所用的實驗系統示意圖，和去年的碘滴定法比起來有兩個特點：第一個是操作簡便；其次是藉由兩微型電解槽的相對電位降到 0，可知保麗龍膠的吸附已達飽和，必須再換入新膠。

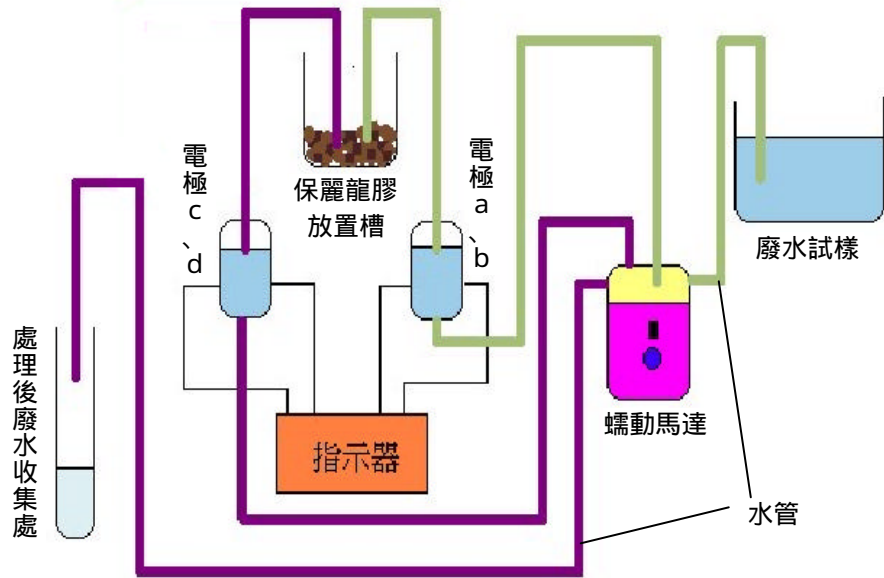
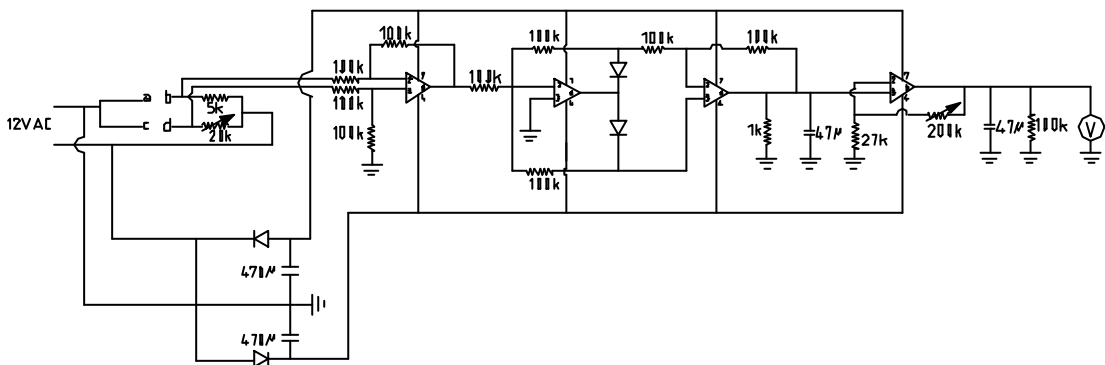


圖 1 「相對電位檢測法」系統裝置圖

我們的實驗系統可分為相對電位檢測器與濃度檢測器兩部分。

相對電位檢測器：包含一個『指示器』電路板⁽¹⁰⁾(如下圖)、兩個微型電解槽、一個保麗龍膠(吸附劑)儲存槽及一個雙向蠕動幫浦。



- ①當微型電解槽 A 中裝滿標準液時，伏特計讀數標定為 10；而當微型電解槽 A 與 B 都裝滿標準液時，伏特計讀數標定為 0(此過程我們稱為「校正」)。
- ②雙向蠕動幫浦：有 10 個刻度的轉速調整，最大流速為 10ml/分，幫浦馬達一轉動，溶液可同時一進一出。
- ③保麗龍膠(吸附劑)儲存槽：以底片盒改裝，上為廢水入口，下為吸附後廢水出口，內襯絲襪以防止保麗龍膠被抽出。

Part C 實驗步驟一

1. 保麗龍磺酸化：

於一三頸燒瓶中，先插入一溫度計及冷凝管，再倒入 150mL 的濃硫酸，加熱至約 80~90 時，倒入 20g 保麗龍碎粒，此時溫度會急速上升，維持 100 ，持續加熱三小時。待冷後，取一燒杯內裝入 50% 的硫酸溶液約 500mL，將三頸燒瓶中之產物放入，冷卻後，以蒸餾水充分洗淨並浸泡，直至產物完全分散於水中為止。

2. 以偏光顯微鏡拍攝照片比較外觀：

與一般顯微鏡操作相似，利用反光鏡調節視域至最亮（切記不可加入分析鏡），再將實驗薄片置於物台的機械台夾上，用低、中、高倍物鏡進行調焦，切換視窗至相機鏡頭，按下快門拍照。

3. 保麗龍碎粒磺酸化的印證：

以 IR 測結構

保麗龍碎粒部分：

- ①利用瑪瑙研鉢將 KBr 磨至 5 μ m 的粉末
- ②將 KBr 粉末加壓打成薄片，利用 IR 測定，繪圖(background)。
- ④將待測的 sample 顆粒和 KBr 混合(50：1)磨成 5 μ m 的粉末。
- ⑤混合粉末加壓打片，利用 IR 測定，消去 background 的圖，即得 sample 之 IR 圖形。

保麗龍膠部分：

- ①將待測的保麗龍膠烘乾
- ②取烘乾後最薄的保麗龍膠片做成薄片，利用 IR 測定，繪圖。

保麗龍磺酸化的方法

秤取完全乾燥的保麗龍膠 0.039g，置於硬試管中，通入氧氣使其完全燃燒。其裝置如右圖，圖中右側為氧發生器，中間的硬試管內裝有保麗龍乾膠，左下方錐形瓶裝有氫氧化鈉溶液，可以將燃燒所產生的氣體(有 CO₂、SO₂ 及 H₂O)導入 0.1M 的氫氧化鈉溶液 100ml 中。取此溶液，以澱粉溶液為指示劑，用已標定過的碘溶液滴定，紀錄碘液所消耗的體積。



燃燒法裝置

4. 吸附等溫線：

分別將 100ppm、200ppm、300ppm、400ppm、500ppm、1000ppm、1500ppm、2000ppm、2500ppm、3000ppm、3500ppm、4000ppm、5000ppm 的硫酸銅溶液各 100ml 置於 250ml 的燒杯中，每一燒杯均置入 10g 的保麗龍膠。將燒杯置於 30 的恆溫槽中 24 小時。以 SP-870 先校正標準液的濃度(C)，再測每一燒杯中溶液的濃度。計算保麗龍膠的吸附量(Q, mgCu²⁺/g 保麗龍膠)，求 C v.s Q 及 C v.s C/Q 的關係。

5. 尋找保麗龍膠(吸附劑)最佳吸附條件：分別以碘滴定法與相對電位檢測法作檢測。

碘滴定法—

取處理過的保麗龍膠 100 克，加入 350mL 0.08M 的硫酸銅溶液。每隔 10 分鐘，取 25mL 待測液，加入 10mL 6M 醋酸及 3g KI。取離心後之上層溶液以 0.1M 的硫代硫酸鈉溶液滴定至碘的顏色剛要消失時，加入 1.5mL 澱粉液及 2g KSCN，繼續滴定至藍色消失至少 15 秒鐘，紀錄硫代硫酸鈉的體積。紀錄數據，作圖。

【註】保麗龍膠依次操作粗、中、細不同顆粒大小與不同質量對銅離子吸附能力的比較；硫酸銅溶液濃度則分別有：0.08M、0.04M、0.02M、0.01M。

相對電位檢測法—

將指示器與廢水槽、蠕動馬達、保麗龍膠放置槽如圖 1 連接妥當，同時校正指示器。將蠕動馬達轉速轉至刻度 10 處(即流速為 10mL/分)。保麗龍膠放置槽依次置入已浸泡等量水的 10mL 粗粒、中粒及細粒的保麗龍膠，廢水槽置入濃度為 100ppm 的硫酸銅溶液，準備妥當後，打開蠕動馬達開關。當「處理後廢水收集處」一有液體滴下，開始計時，每分鐘取樣，同時加入等體積 3M 的氨水溶液，得到深藍色的溶液，以 SP-870 儀器測廢水濃度。將每分鐘所得之電壓與濃度紀錄於預先設計好的表格中，並作圖。

【註】保麗龍膠放置槽中置入細粒保麗龍膠，依次改變銅離子溶液的濃度、流速、pH 值、溫度，重複步驟操作實驗。

6. 分次吸附：

(1) 取 100 克保麗龍膠加入 350mL 硫酸銅溶液，浸泡 10 分鐘後，將膠完全取出，再取 25mL 溶液，依碘滴定法檢測。

(2) 剩餘溶液再加入 100 克新的保麗龍膠，浸泡 10 分鐘後，將膠完全取出，再取 25mL 溶液，依碘滴定法檢測；如此重複至膠完全用完為止。

7. 保麗龍膠的再生：

取 100 克已吸附過的「殘膠」共 6 份，均倒入 200mL 的濃鹽酸，分別浸泡 10 分~60 分，取出經水沖洗後，浸泡於純水中，隔天將膠取出瀝乾備用，取製好的再生膠 20 克，加入 70mL 0.0025M 的硫酸銅溶液，浸泡 10 分鐘，各採 2 個試樣依碘滴定法檢測。找出再生效果最好的再生膠後，檢測二次再生的效果如何。

8. 廢保麗龍膠作成塑土：

我們上網查到一些紙黏土的配方：石粉、紙漿、樹脂；由於保麗龍膠就是樹脂的一種，我們檢驗過市售的紙黏土呈弱酸性，所以石粉我們挑選石膏(容易在文具行買到，同時較石灰(呈強鹼性)安全)，紙漿則是將衛生紙打碎再瀝乾備用。由於保麗龍膠也呈酸性，為避免太酸，我們添加些微的石灰粉(CaO)調成弱酸性，以廣用試紙試驗呈黃色。將吸附過金屬離子的保麗龍廢膠與硫酸鈣、紙漿及些許的石灰，質量依序為 13 克、13 克、7 克、0.04 克混合，作成造型後風乾，塗上無色指甲亮光油，背面黏上磁鐵，就是一塊可愛的「造型磁鐵」啦！

五、研究結果與討論

Part A 保麗龍膠的特性探討—

保麗龍磺酸化的方法

保麗龍以丙酮溶蝕，在未硬化前先把它拉成小塊，待乾硬後，用研磨機打碎，甚至可以控制磨碎後的顆粒大小。再造後的保麗龍色澤黑褐，濃稠，味道不好聞，倒入 50% 的硫酸溶液冷卻後變成一塊，用大量水沖洗後，表面仍然呈現強酸反應，所以期間頻頻換水。浸泡過水的保麗龍膠，從一大塊又再散成一塊一塊的，顏色呈金棕色，所以我們稱它為「保麗龍膠」(圖 2 右)。將水盡量瀝乾，所得的保麗龍膠放於燒杯內作為吸附劑用。



原材料(電器護襯)



磺酸化後的「保麗龍膠」

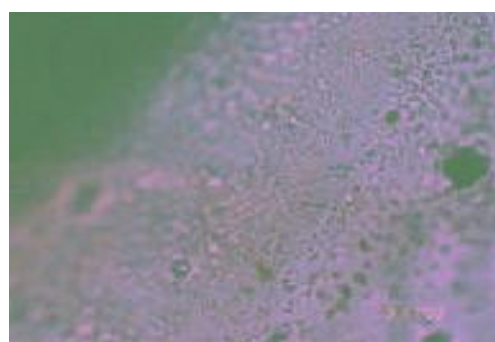
圖 2

以偏光顯微鏡拍攝外觀

由圖 3 可以看出，除了右下角吸飽水的保麗龍膠外，其餘不論磺酸化前後，保麗龍都有明顯的「隧道式」多孔結構，而吸水脹大的保麗龍膠則完全看不到，由此可知保麗龍膠的強吸水力及明顯的「膨潤」現象。由於之前，我們比較過乾膠與濕膠對銅離子的吸附效果，以濕膠較好，所以下面的實驗我們都是先將乾膠充分泡開後再進行反應。



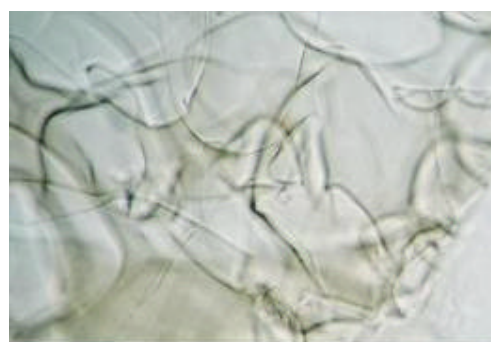
磺酸化前保麗龍碎粒(5X×10X)



磺酸化後保麗龍膠(乾燥, 5X×10X)



保麗龍膠(濕潤少水, 5X×10X)



保麗龍膠(濕潤多水, 5X×10X)

圖 3

以 IR 測結構

對照附件一中聚苯乙烯的 IR 圖譜，我們未磺酸化前的保麗龍碎粒在對應的波數 (Wavenumber, cm^{-1}) 也有類似的高峰(圖 4)，經過磺酸化以後的保麗龍膠，經由所查資料(附件二)顯示，磺酸基($-\text{SO}_3\text{H}$)在波數 $1150\sim 1250\text{cm}^{-1}$ 附近有強的吸收頻率，在 1050cm^{-1} 及 $3100\sim 3500\text{cm}^{-1}$ 附近則有中等強度的吸收頻率，另外， $600\sim 700\text{cm}^{-1}$ 之間也有吸收頻率；而我們將保麗龍膠的薄片以 IR 掃描後，在 $1000\sim 1200\text{cm}^{-1}$ 有明顯吸收(圖 5)，波形也與原先未磺酸化前不同，由此可知，依循上述磺酸化的方法，我們應該有將保麗龍改質為「磺酸化聚苯乙烯」。因此下一個步驟我們想進一步知道磺酸化的比例有多少。

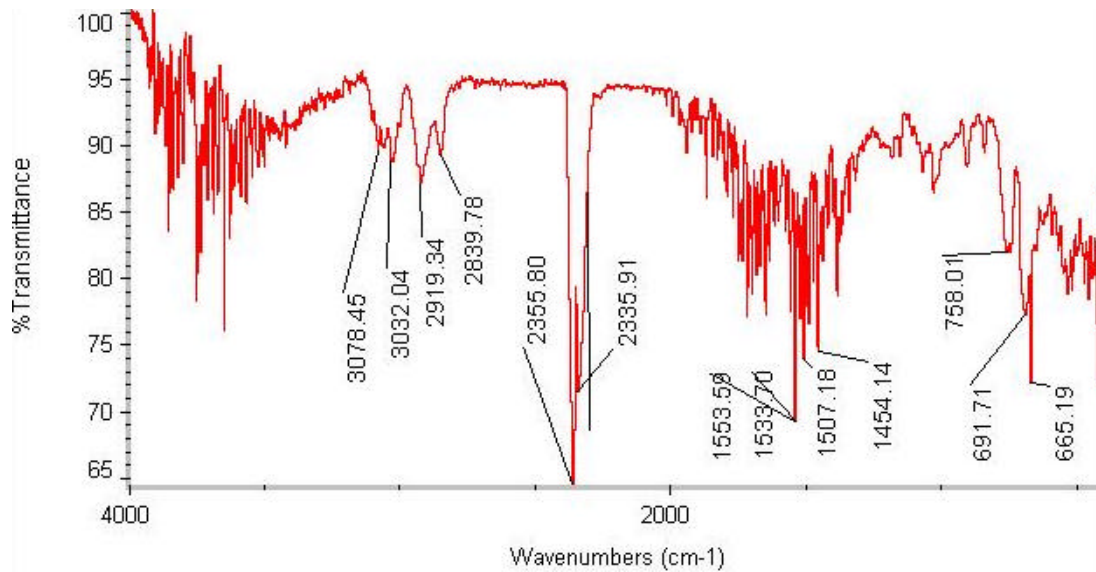


圖 4 磺酸化前保麗龍碎粒之 IR 圖

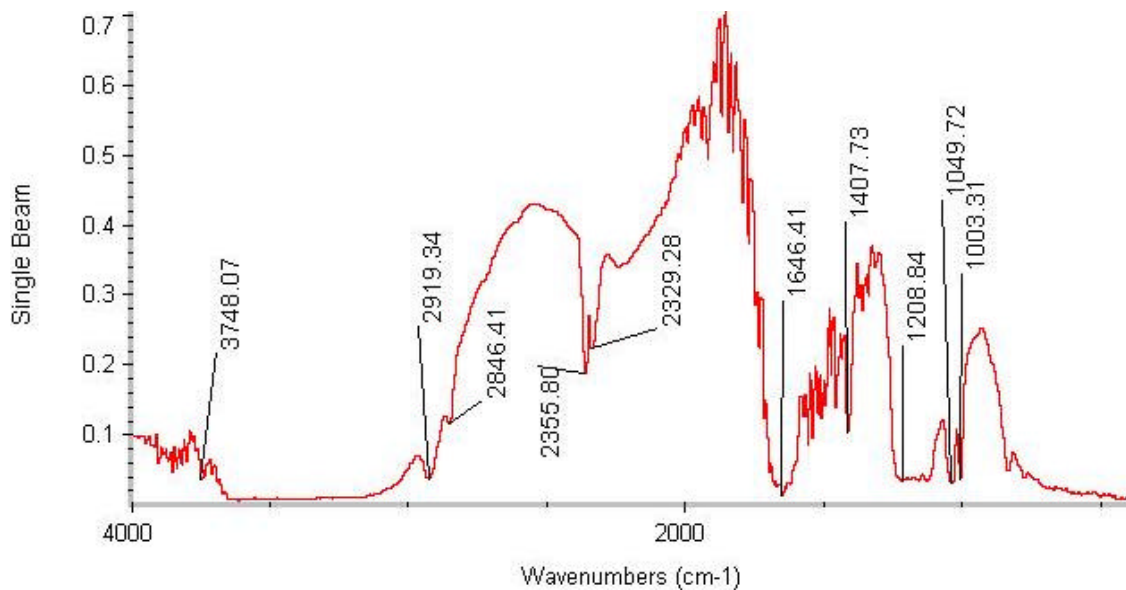


圖 5 磺酸化後保麗龍膠之 IR 圖

以燃燒法檢測保麗龍磺酸化比例

我們以「燃燒法」來進行磺酸化比例的檢測；滴定用去碘液 105.5mL，經計算保麗龍磺酸化比率為 **36.4%** (過程詳見附件三)。

以吸附等溫線檢測保麗龍膠吸附的機制

1. 由圖7可知，Langmuir等溫線的曲線相關係數非常高($R^2 = 0.99$)，而在高濃度($C > 1000\text{ppm}$)時，由圖8可知，Freundlich等溫線的曲線也有不錯的相關係數($R^2 = 0.7$)，因此我們推測保麗龍膠對銅離子的吸附應屬於多層的吸附模式，一開始是化學吸附，在高濃度下不僅有化學吸附也兼有物理吸附。

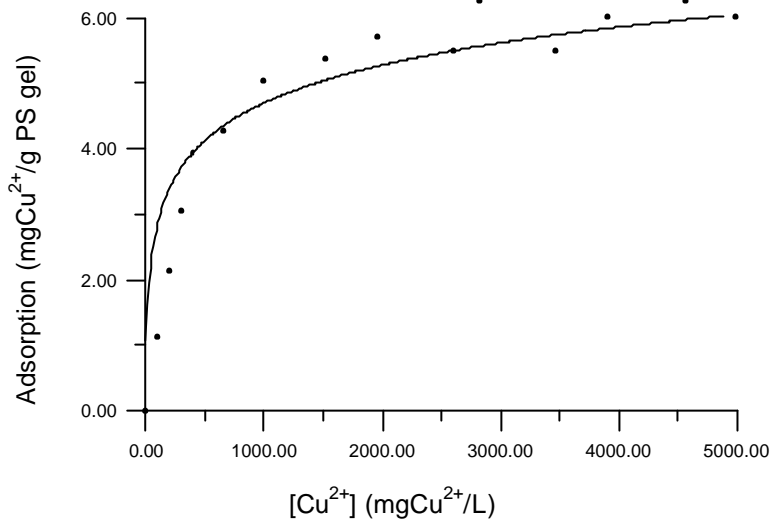


圖6 保麗龍膠吸附銅離子之吸附等溫線

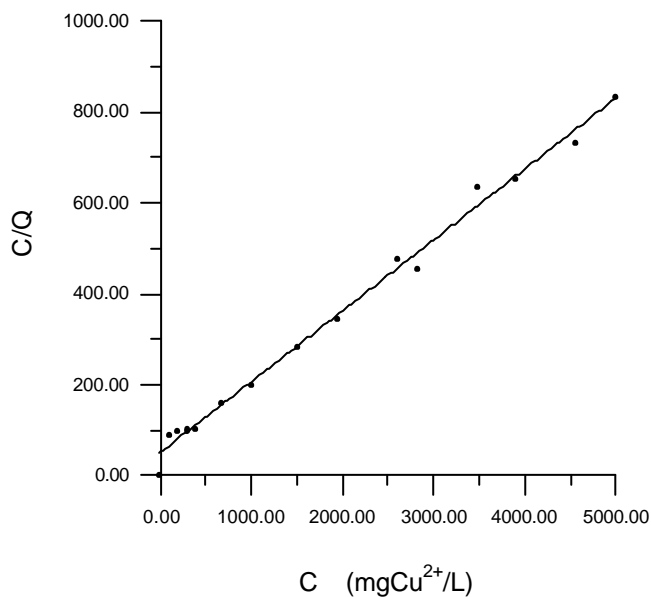


圖 7 保麗龍膠吸附銅離子之吸附等溫線，依 Langmuir 式之線性結果

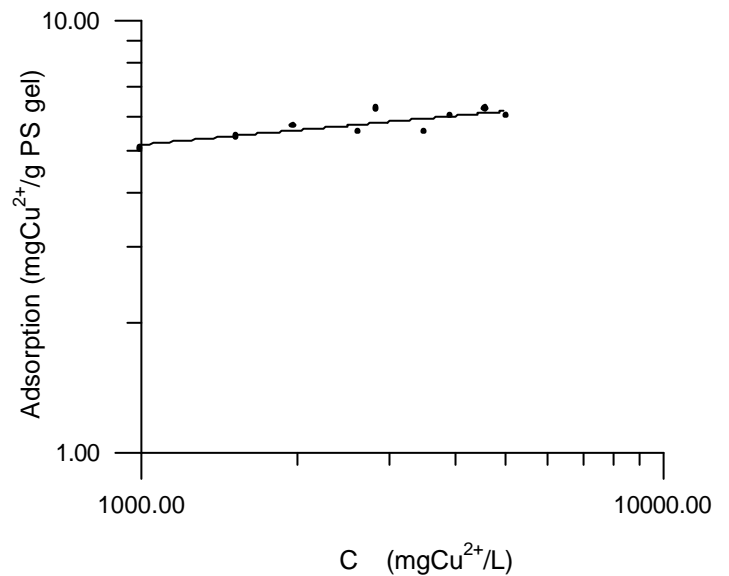


圖 8 保麗龍膠吸附銅離子之吸附等溫線，依 Freundlich 式之線性結果 (高濃度)

2. 由圖 9、圖 10，我們發現磺酸化後吸附低濃度銅離子之保麗龍膠似乎仍有孔洞且較平滑；在愈濃的硫酸銅溶液中吸附後的保麗龍膠，表面則愈皺、顏色亦愈深，甚至有銅離子被吸附的藍色痕跡。

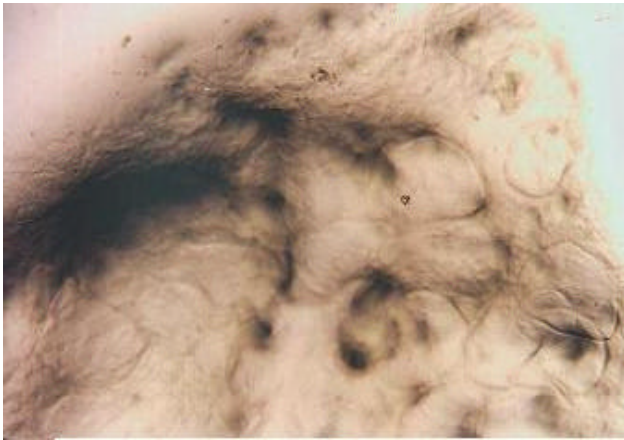


圖 9 在低濃度(200ppm)下吸附後之保麗龍膠

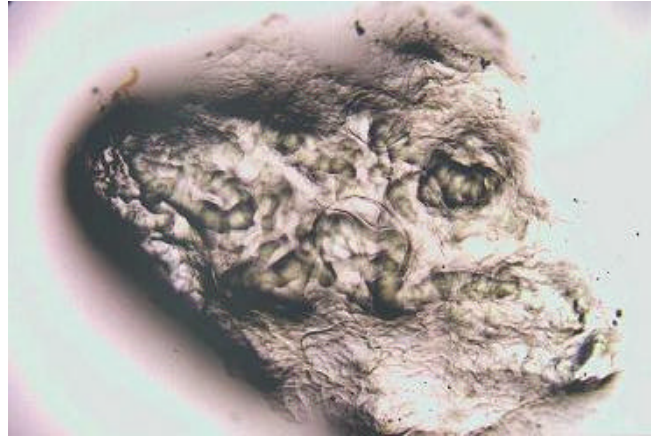


圖10 在高濃度(5000ppm)下吸附後之保麗龍膠

Part B 尋找保麗龍膠(吸附劑)最佳的吸附條件

保麗龍膠顆粒大小對吸附能力的比較

1. 在等質量的物質中，顆粒愈小接觸面積愈大，應可提供最大的吸附面積，吸附銅離子的效果應愈好，但以碘滴定法所得結果由圖 11 可知，這三者吸附銅離子的程度卻呈現粗粒 > 中粒 > 細粒，我們推測是否因為細粒的接觸面積最大，所以在相同時間裡會吸收最多的水分，為了印證這個推論，我們得到結果如圖 12，由此可知，等質量的膠中粗粒的含膠量最多，所以以後應以等質量乾膠浸泡等量水來進行實驗較客觀。

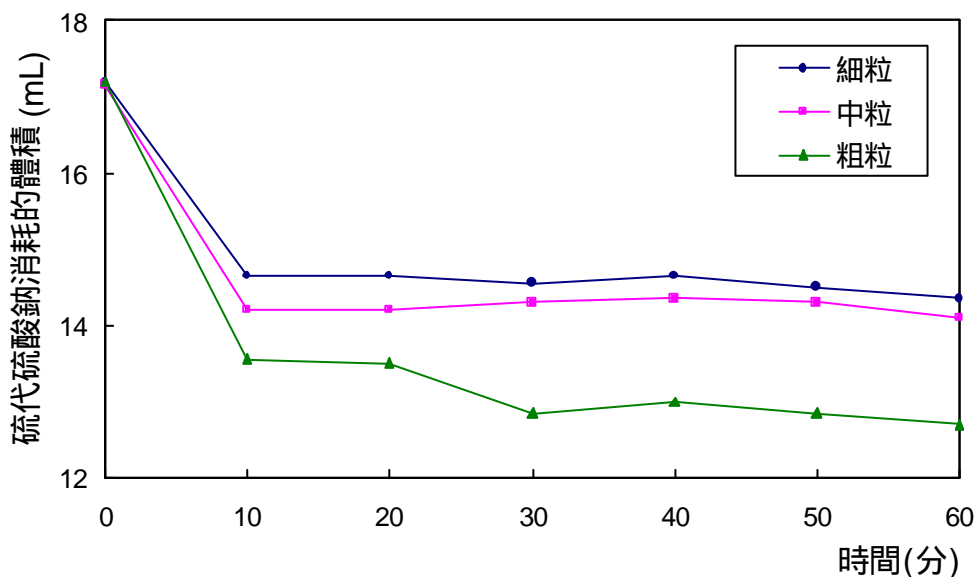


圖 11 保麗龍膠顆粒大小對銅離子吸附能力的比較

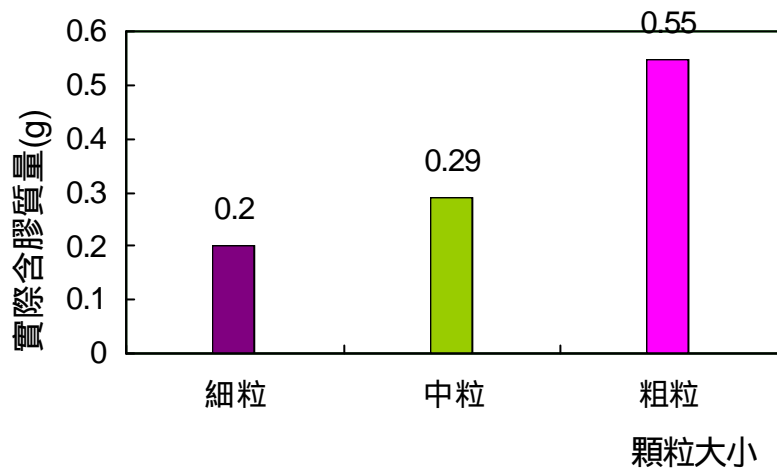


圖 12 20 克膠中實際含膠量比較

2. 如改用相對電位檢測法，保麗龍膠吸附銅離子廢水一段時間後，逐漸飽和，而漸有銅離子從出水口漏出，伏特計指針漸漸下降，當伏特計電壓降為 0 時，即表保麗龍膠的吸附已達飽和，必須再生。
3. 由圖 13 知，保麗龍膠吸附銅離子必須再生的時間，由粗粒、中粒、細粒依次為 21 分、50 分及 94 分。
4. 以粗粒為例，若以 16~24 分鐘畫一水平線，由 24 分鐘處畫一鉛垂線，剪下此一矩形(面積即代表處理的銅離子總克數)，再沿 15 分鐘及 16 分鐘的濃度曲線往下延伸畫一斜線，左側面積代表被吸附的離子克數，右側面積則代表未被吸附存留在液中的銅離子克數；由於面積較難計算(不見得為規則形狀)，所以我們改採測質量來比較吸附率；粗、中、細粒所測得數據如表 1。

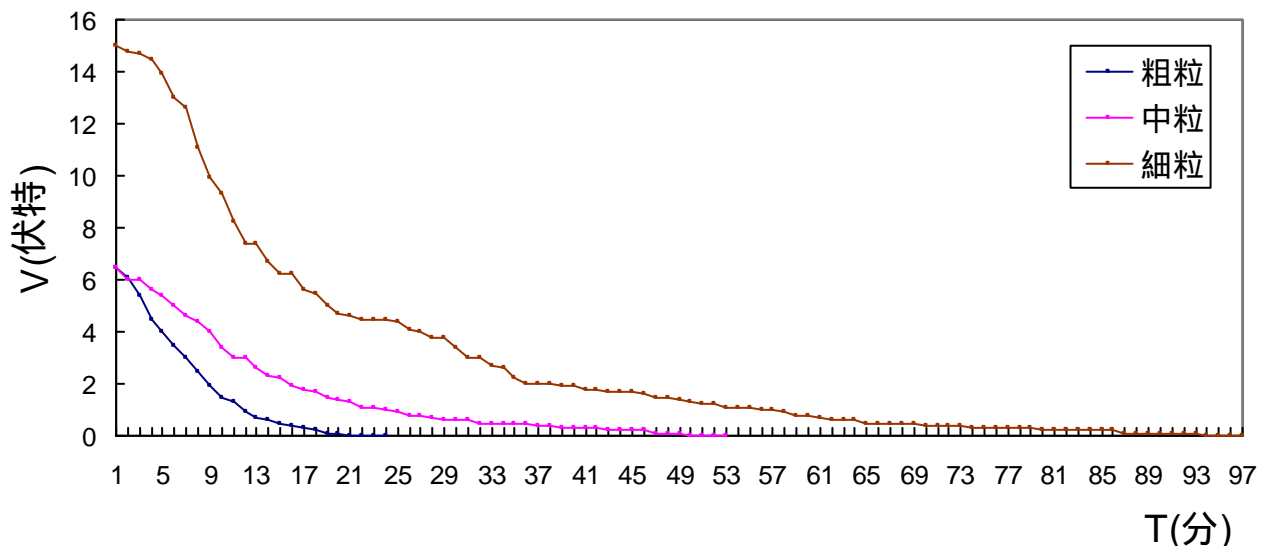


圖 13 指示器之電位大小對操作時間之關係

銅離子溶液濃度：100ppm

銅離子溶液流速：10ml/分

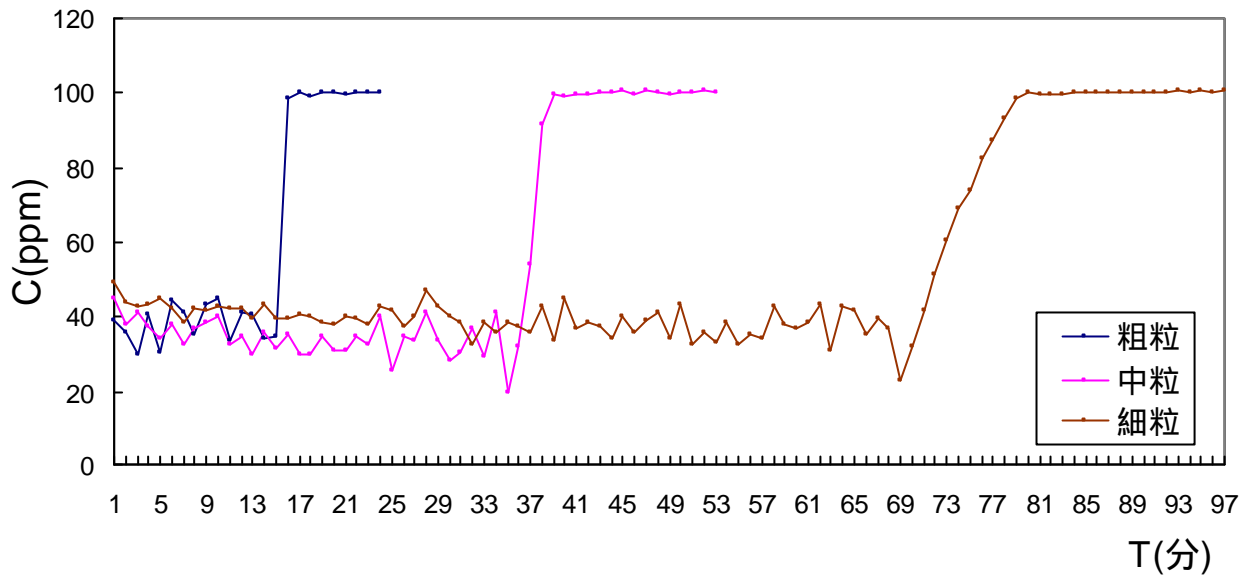


圖14 廢水濃度對操作時間之關係

銅離子溶液濃度：100ppm

銅離子溶液流速：10ml/分

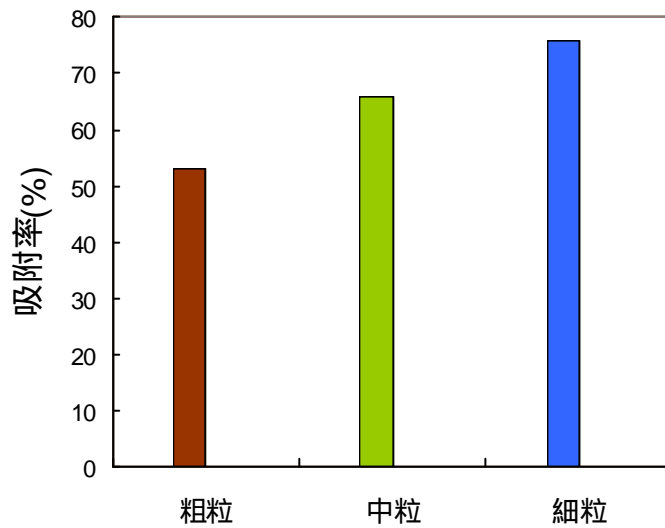
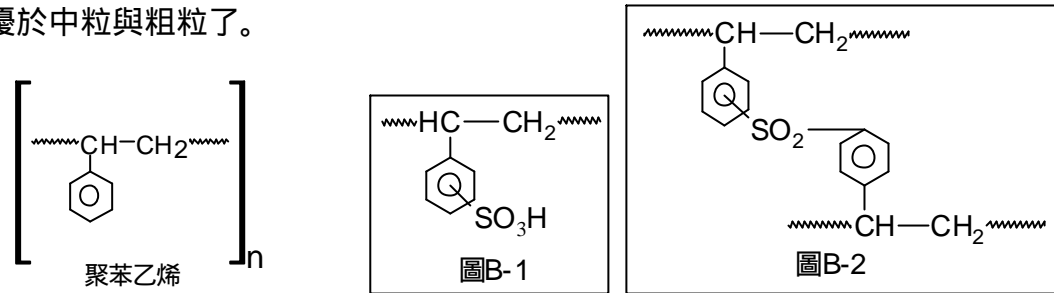


圖15 顆粒大小對吸附率的比較

表 1 保麗龍膠顆粒大小吸附率的比較

	廢水中銅離子總量(g)	被吸附量(g)	吸附率(%)
粗粒	0.094	0.05	53.19
中粒	0.188	0.124	65.96
細粒	0.333	0.252	75.68

5. 由圖 13、圖 14、表 1 及圖 15 可知，在吸附能力及吸附持久性上，細粒優於中粒，最差的是粗粒；這樣的結果與我們去年的測定結果不同，卻也與我們當時的預測相符，我們進一步尋找資料，推測以濃硫酸煮保麗龍時，會先產生如下圖 B-1 的結構，然後會與原來的聚苯乙烯產生「交架連結」作用，生成如下圖 B-2 的結構，而失去可提供離子交換的 -SO₃H 活性端，因此吸附效果便會降低；而細粒的保麗龍煮膠時因接觸面積大，所以大部分的聚苯乙烯很快便生成圖 B-1 的結構，減少產生交架連結的機會，自然吸附能力與能吸附的時間就會優於中粒與粗粒了。



6. 在圖 11 中三種顆粒大小不同的保麗龍膠，在前 10 分鐘吸附力最大，我們想到是否是銅離子的濃度太大，一下子就讓保麗龍膠的吸附達到飽和，所以下面我們考慮不同濃度的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附的影響。

不同濃度的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附能力的比較

1. 由圖 16，我們歸納出一個傾向，濃度愈稀，保麗龍膠吸附達飽和的時間就愈晚，為了一探 0.01M 的銅離子究竟會在何時吸附達飽和，結果如圖 17，在吸附達 60 分鐘後亦呈現定值。

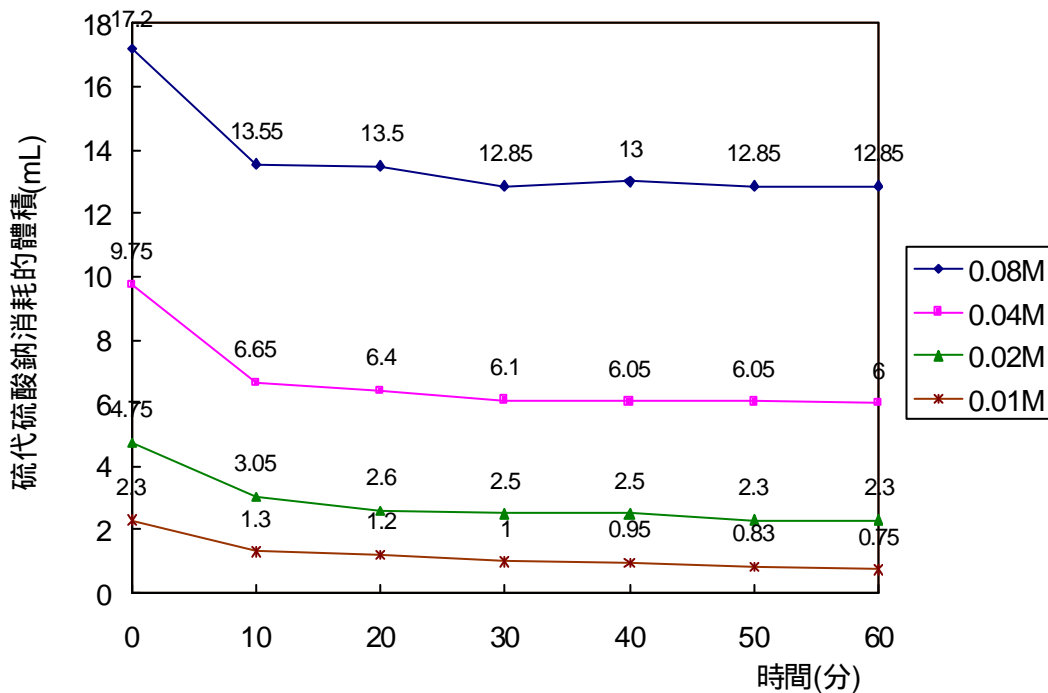


圖 16 不同濃度硫酸銅對保麗龍膠吸附銅離子的比較

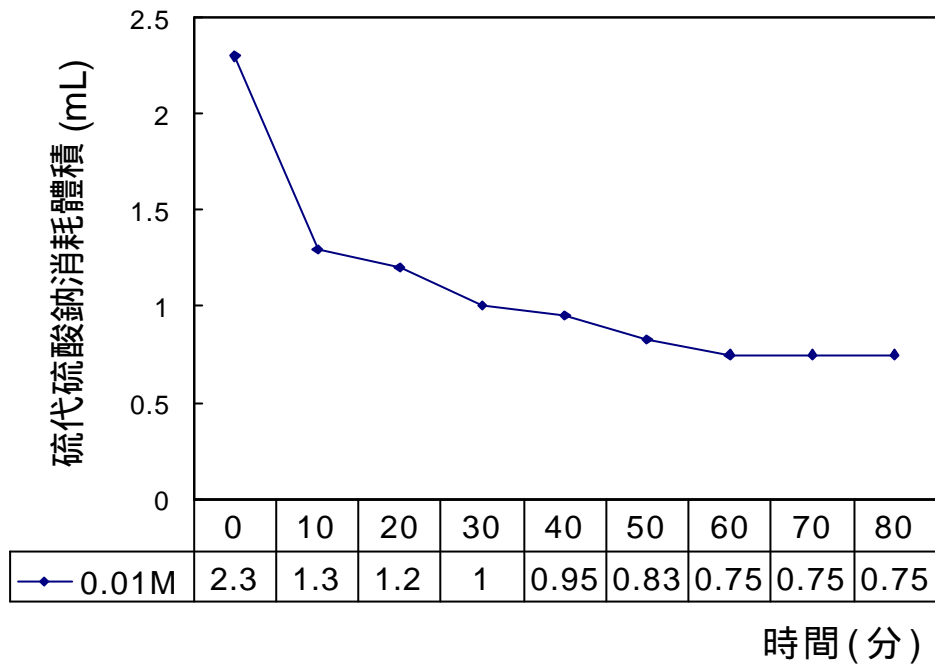


圖 17 0.01M 銅離子吸附達飽和之臨界時間

2. 如果我們取吸附力最強的前 10 分鐘，來比較各個濃度之下的吸附百分率，可得圖 18：濃度愈稀吸收率愈高。

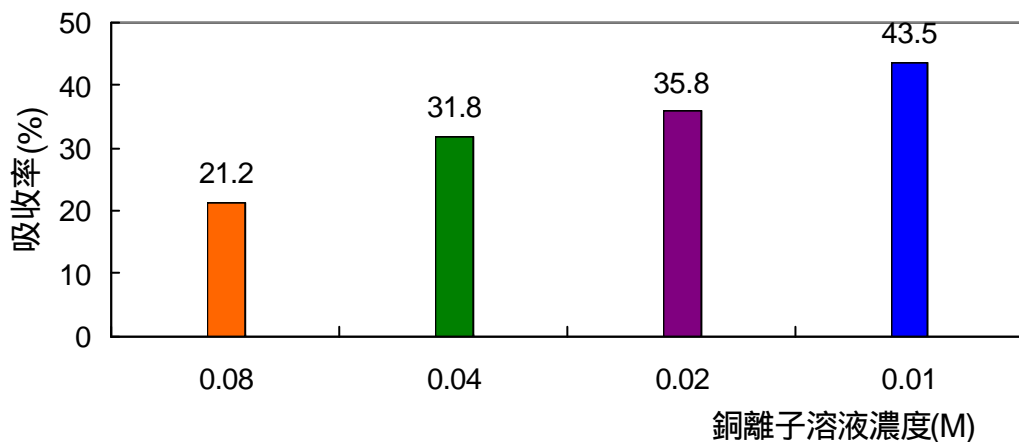


圖 18 保麗龍膠對各濃度最初 10 分鐘之吸附百分率

3. 在一般廢水中，重金屬的含量是以「ppm」(mg/L)來計算的，突顯若拿保麗龍膠來吸附廢水中的重金屬，實有其重要的意義!所以我們決定用相對電位檢測法來檢測保麗龍膠對銅離子的吸附能力。
4. 由圖 19，愈低濃度的銅離子廢水，在吸附效果上愈明顯，所以處於高電壓、低濃度的時間就愈長。
5. 用上一實驗求吸附率的方法，200ppm、100ppm、50ppm 的吸附率依次為 44.44%、44.86%、83.62%。

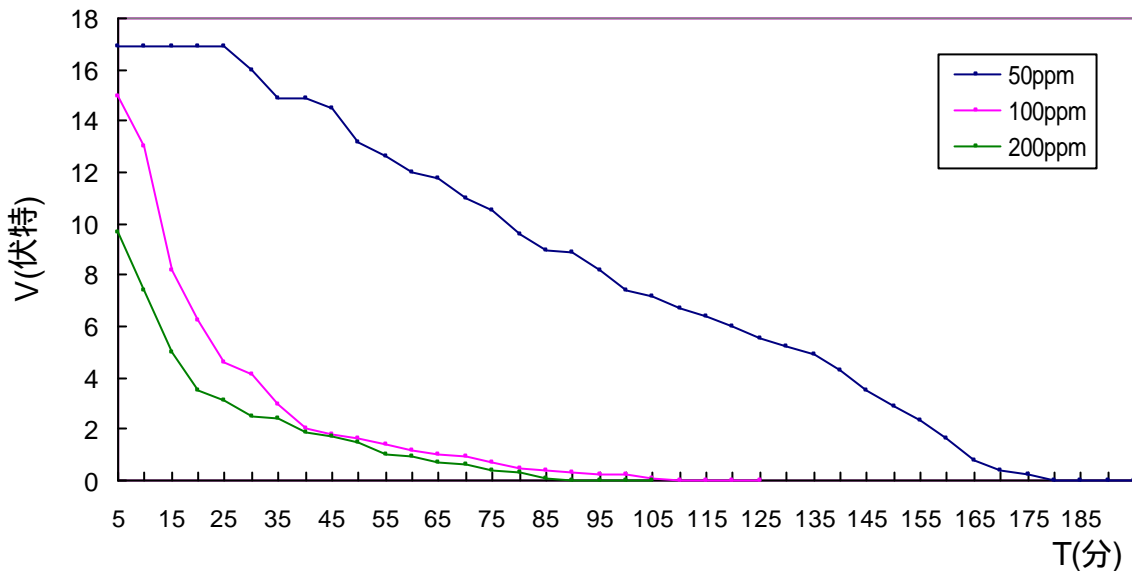


圖 19 不同濃度之電位大小對操作時間之關係

保麗龍膠顆粒：細粒

銅離子溶液流速：10ml/分

不同流速的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附能力的比較

1. 我們的蠕動馬達最快轉速為 10ml/分，轉速不大，為產生流速的明顯差異，故僅選用 5ml/分及 10ml/分兩種流速。
2. 由圖 20 明顯可知，流速較低(5ml/分)者在高電壓、低濃度維持的時間(39 分，圖中橘色點)較長，流速較高(10ml/分)者在高電壓低濃度維持的時間(24 分，圖中橘色點)較短，顯示低流速保麗龍膠有較好的吸附效能。
3. 流速 10mL/分及 5mL/分的吸附率依次為 70.00%及 74.23%。
4. 流速低者，硫酸銅溶液在保麗龍膠放置槽有較充裕的時間與膠進行離子交換，所以吸附效果較好。

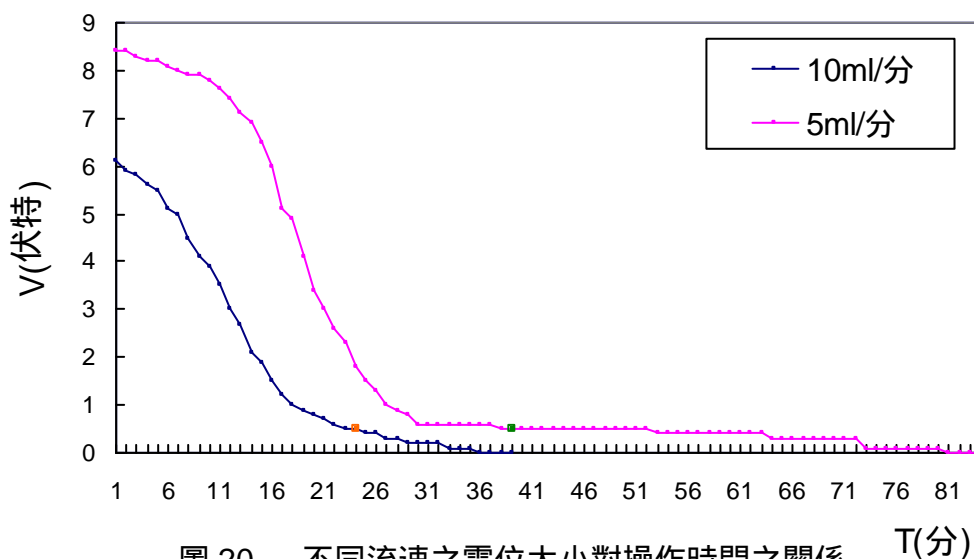


圖 20 不同流速之電位大小對操作時間之關係

保麗龍膠顆粒：細粒

銅離子溶液濃度：100ppm

不同 pH 值的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附能力的比較 (圖 21)

1. pH 值為 2.26、3.55、4.30 及 5.42 的吸附率依次為 11.32%、23.64%、48.56% 及 29.91%。
2. pH = 5.42 的溶液雖然相對電壓較晚降到 0，不過， Cu^{2+} 濃度卻較早升至高濃度；我們覺得當離子濃度高時，保麗龍膠處理廢水的效果就算不好了；而在吸附率上 pH = 4.30 也大於 pH = 5.42，因此，我們認為在 pH = 4.30 的溶液中保麗龍膠的吸附效能略優於 pH = 5.42 的溶液。
3. 我們認為保麗龍膠為「氫型」的離子交換樹脂，在 pH 值小的環境中， H^+ 濃度愈大，愈不利銅離子的交換；至於愈鹼的情形則因在鹼中銅離子易生氫氧化銅的沉澱而沒有進一步實驗。

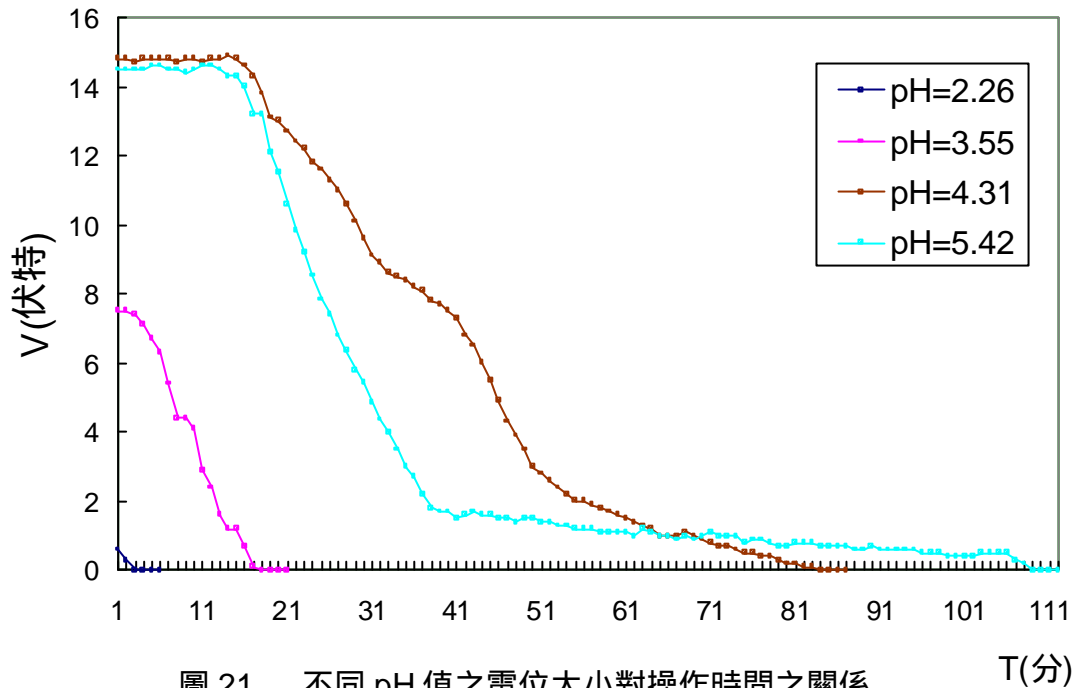


圖 21 不同 pH 值之電位大小對操作時間之關係

保麗龍膠顆粒：細粒
銅離子溶液流速：5ml/分

在不同溫度下的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附能力的比較

1. 由圖 22 發現：50 時，電壓的變化起伏不定，到 131 分時電壓與濃度的變化呈現停滯現象，直到 190 分鐘時，電壓仍然沒有降為 0 的趨勢，所以我們就停止實驗了。
2. 溫度為 10、30、50 的吸附率依次為 56.45% 及 51.66%、40.55%。
3. 綜合上面的觀察，我們認為：溫度愈高，粒子的動能愈大，受到保麗龍膠的吸引力愈小，金屬離子即使受保麗龍膠吸附，也呈現不穩定狀態，隨時可能脫離，故電壓與濃度呈現停滯現象，因為保麗龍膠吸附未達飽和，仍有交換能力，因此達飽和時間遲遲未到，相對電位差也在 2.5V 上下震盪，降不下去。
4. 為了印證我們的說法，我們取三杯裝有 100mL、100ppm 的硫酸銅溶液及 10mL 保麗龍膠的燒杯，分別置入 10、30、50 的恆溫槽中，每 5 分鐘各取 4mL 用 SP-870 檢測濃度，得圖 23。我們發現溫度愈低的情形下，保麗龍膠單位時間吸附金屬離子的能力愈強，濃度下降愈快，所以在 10 時，保麗龍膠很快就達到飽和。

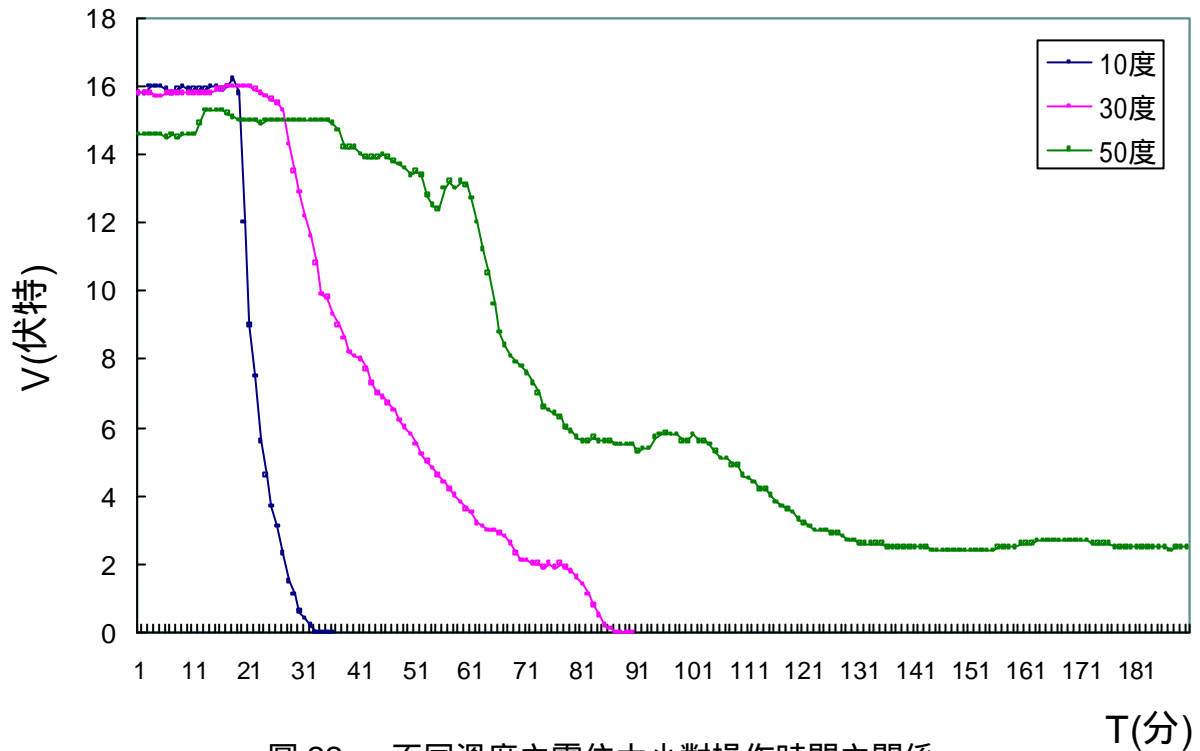


圖 22 不同溫度之電位大小對操作時間之關係
 保麗龍膠顆粒：細粒
 銅離子溶液濃度：100ppm
 銅離子溶液流速：5ml/分

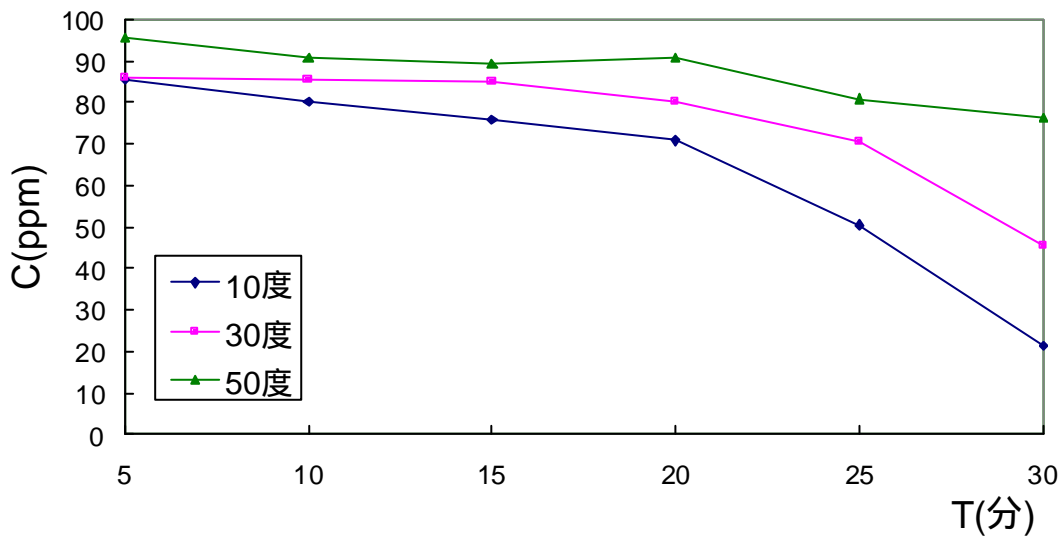


圖 23 不同溫度下浸泡時間對保麗龍膠吸附的影響
 保麗龍膠顆粒：細粒
 銅離子溶液濃度：100ppm
 銅離子溶液流速：5mL/分

保麗龍膠分次吸附溶液中銅離子的測定

將保麗龍膠放入硫酸銅溶液中，10 分鐘左右即可達很好的效果，但是繼續浸泡，效果則不明顯。若將保麗龍膠濾出，再以等量的新保麗龍膠加入原硫酸銅溶液中(已吸附過的，我們稱為「殘液」)，由圖 24 可知以每 10 分鐘換新膠來吸附殘液中之離子的吸附方式，對

於銅離子的去除效果是非常好的。我們只要再重複 4~5 次左右的操作，銅離子幾乎就可以完全被吸附出。

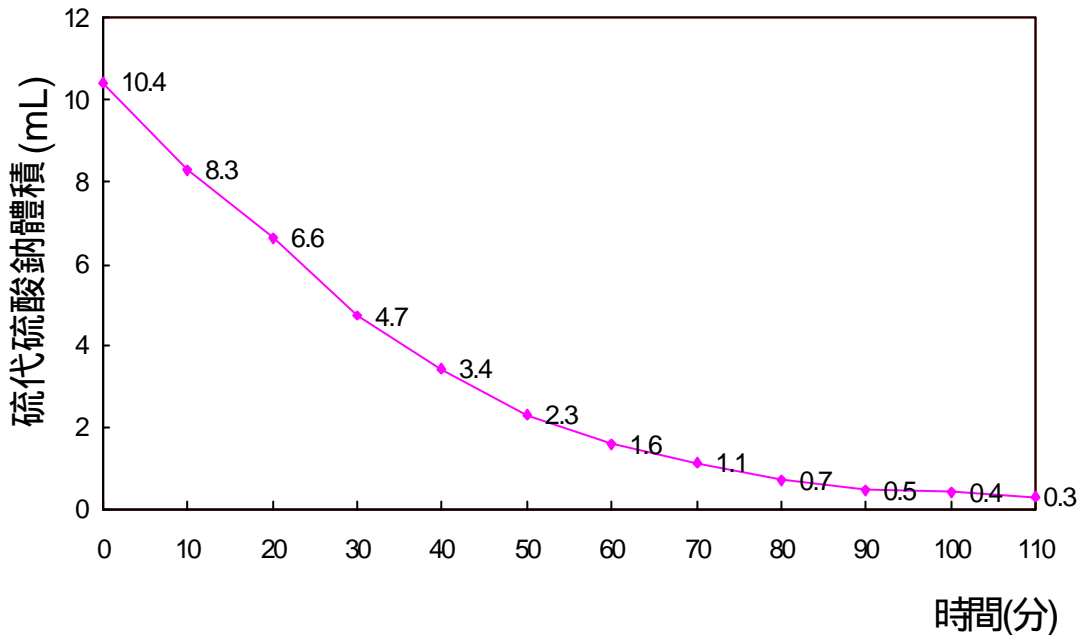


圖 24 保麗龍膠分次吸附溶液中銅離子的測定

Part C 保麗龍膠的再處理

保麗龍膠再生能力的探討

1. 由圖 25 可知，隨著浸泡濃鹽酸的時間增加，我們發現吸附力也增加，至 60 分時，吸附力已達 36%，與以新膠分次吸附的最高吸附力(第 8 次；36%)差不多。
2. 由圖 26 可知，浸泡 60 分鐘的保麗龍膠經過吸附後，二次再生膠的吸附能力居然還是與一次再生膠的一樣，可見這樣的再生過程的確可以延長保麗龍膠的使用期限，大大降低了我們處理保麗龍廢膠的困擾。
3. 若考量銅離子再釋出以及能處理更多廢保麗龍的問題，我們嘗試將吸附金屬離子之後的廢保麗龍膠做成類似紙黏土的「塑土」，做出可愛的造型，挺好玩的，以下是我們的嘗試。

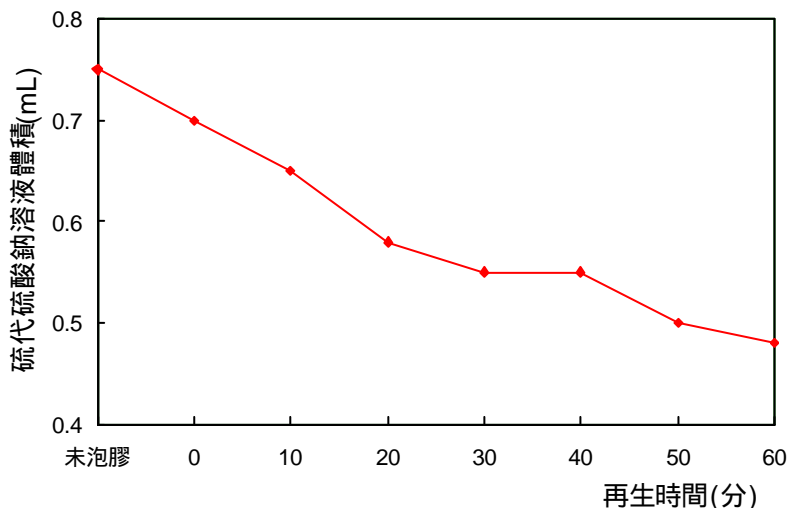


圖 25 保麗龍膠的再生

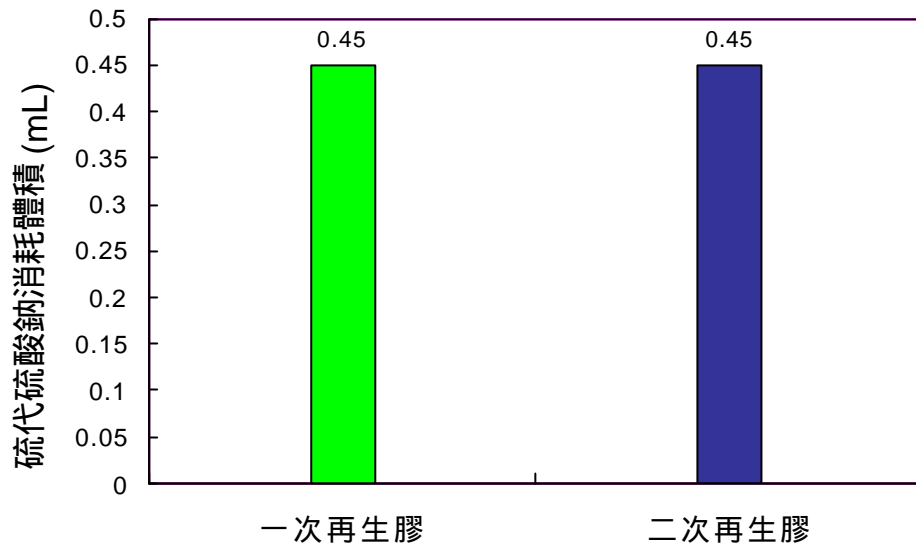


圖 26 保麗龍膠二次再生的吸附效果

廢保麗龍膠作成塑土的試驗

1. 我們上網查到一些紙黏土的配方：石粉、紙漿、樹脂；由於保麗龍膠就是樹脂的一種，石粉我們挑選石膏(容易在文具行買到，同時較石灰(呈強鹼性)安全)，紙漿則是將衛生紙打碎再瀝乾備用。
2. 由於保麗龍膠呈酸性，為避免太酸，我們添加些微的石灰粉(CaO)調成弱酸性，以廣用試紙試驗呈黃色(市售紙黏土成微酸性)。
3. 將廢保麗龍膠與硫酸鈣、紙漿及些許的石灰，質量依序為 13 克、13 克、7 克、0.04 克混合，作成造型後風乾，塗上無色指甲亮光油，背面黏上磁鐵，就是一塊可愛的「造型磁鐵」啦(見圖 27)。
4. 左圖加有紙漿總質量為 9.98 克，右圖沒有紙漿總質量 13.02 克；本來不知道紙黏土裡面為何要加紙漿，現在我們了解，可以減輕許多質量。

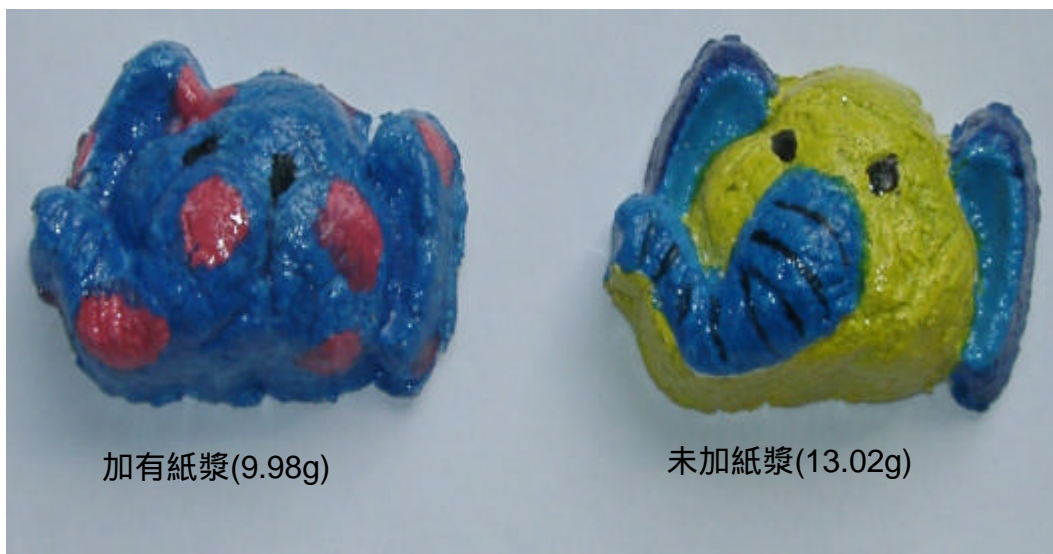


圖 27 利用廢膠自製之造型磁鐵

六、結論

1. 將保麗龍依：丙酮溶解 硬化 打碎 與濃硫酸共煮三小時 浸於 50%硫酸溶液中 沖洗 以水浸泡的流程，即可達再造的目的；經由偏光顯微鏡所攝得照片可知，保麗龍膠應為多孔性物質，濕膠的膨潤效果非常好；由 IR 所測得圖譜可知，我們所採用的再造方法有將保麗龍磺酸化為陽離子交換樹脂，再由燃燒法驗證此種再造方法，磺酸化比例約達 36.4%。
2. 保麗龍膠吸附的機制應較近似於 Langmuir 等溫線，即化學吸附，由偏光顯微鏡所拍攝照片得知，保麗龍膠的結構可能是多孔性的物質，膨潤效果十分明顯，所以吸附的機制可能不像我們想像的簡單，值得再深入研究。
3. 在檢測保麗龍膠對銅離子有否吸附能力的方法上，「碘滴定法」，能獲得客觀有用的數據，至於「相對電壓測定法」最大的好處是知道保麗龍膠何時吸附達飽和，必須再生。
4. 保麗龍膠的顆粒大小對銅離子吸附效能的比較上，最初採用的碘滴定法，出乎意料之外的是粗粒 > 中粒 > 細粒，經進一步了解，在等質量的膠中實際含膠量是：粗粒 > 中粒 > 細粒，所以要證實細粒的保麗龍膠可以達到最好的吸附效果，應該以等量乾膠浸泡等量水重新進行實驗才行。

經改良採用相對電位測量法，我們有以下心得：

- ①重金屬廢水處理指示器，可以如願地顯示 A、B 兩微型電解槽內離子濃度的相對電壓。
 - ②在保麗龍膠的洗滌、去水、水管吸入口常會被保麗龍膠堵住等方面的困擾，我們靈機一動，想到用絲襪當濾網，結果上述困擾全都迎刃而解了，效果還相當好呢。
 - ③不同顆粒大小的保麗龍膠對銅離子廢水的吸附有不同的效能，吸附率由優至劣依次是細粒(75.68%) 中粒(65.96%) 粗粒(53.19%)，這樣的結果恰與去年相反，但也應驗了去年的預測，我們想原因大概有二：(1)今年以等量乾膠浸泡等量水且可以將膠中的水分盡量甩乾；(2)粗粒的保麗龍膠產生交架連結的機會比細粒保麗龍膠要來得大，而失去離子交換的活性端。
5. 不論以碘滴定法或相對電位法檢測，硫酸銅溶液濃度愈稀，保麗龍膠吸附達飽和的時間就愈延後，吸附比例也較大，即銅離子廢水的濃度愈低，吸附效能愈顯著。
 6. 在銅離子廢水的流速比較上，廢水流速較慢廢水吸附效能較好。
 7. 保麗龍膠在不同 pH 值的銅離子溶液中，以 pH = 4.30 的銅離子溶液有最佳的吸附效能；在 pH = 2.26 時，保麗龍膠幾乎無法吸附銅離子。
 8. 保麗龍膠在不同溫度的銅離子溶液中，低溫時，保麗龍膠單位時間吸附金屬離子的能力愈強；吸附效能為 10 優於 30 ，50 的吸附效能最差，甚至無法達吸附飽和。
 9. 分次吸附以每 10 分鐘換新保麗龍膠來吸附殘液中之銅離子的吸附方式，對於銅離子的去除效果是非常好的，只要多做幾次即可將銅離子完全去除。
 10. 保麗龍膠在再生的過程中，應有將銅離子大量釋出，且二次再生的吸附能力與一次再生的吸附能力相同，因而延長了保麗龍膠的使用期限，這樣的結果，讓我們這個研究在『環保』意念上更向前邁進了一大步！意義叫人振奮。

11. 將吸附過重金屬離子的保麗龍廢膠可以與硫酸鈣、紙漿及些許的石灰，質量依序為 13 克、13 克、7 克、0.04 克混合，作成造型後風乾，背面黏上磁鐵，就是一塊可愛的「造型磁鐵」，有趣好用。有加紙漿的質量會較不加紙漿的質量輕許多。

七、參考資料

1. 中華民國第四十一屆中小學科學展覽會“你抓不住我，我抓得住你”國中組 化學科作品說明書。
2. <http://www.ptepb.gov.tw/unit91/polilone/life.htm>
3. 閻路、楊寶旺、梁家鳳編譯 MORRISON & BOYD 原著 有機化學第二冊 二版 台北 台灣東華書局 p.436~p.437 民 67。
4. 莊和達、李明哲編譯 George Odian 聚合反應原理(下) 初版 台南 復文書局 p.872~p.873 民 78。
5. 黃定加、陳慧英(1996) 吸附與離子交換 化工 第 43 卷 第 5 期 p.19~p.52
6. <http://w3.ev.ncu.edu.tw/w3backup/Accomplishment/paper/six/6.htm>
7. http://www.ev.nchu.edu.tw/L610/TLHUANG/ling_master/chap2.htm
8. 曹簡禹、黃定加 物理化學實驗學 十八版 台北 國立編譯館 p.329~p.338 民 70。
9. 高文弘、周賢孟譯著 Lloyd I. Osipow 原著 界面化學 初版 新竹市 黎明書局 p.51~p.56 民 69。
10. 楊木火(1997) 離子交換指示儀應用於銅離子廢水之測試研究 高苑學報 第六卷 第一期 p.165~p.172。
11. 陽思廉 工業定量分析 修訂版 台北 五洲出版社 p.98~p.99 民 68。
12. 吳柏青、郭曉怡(2001) 應用直接碘滴定法在金針乾製品二氧化硫殘留量快速檢測 宜蘭技術學報 第七期 p.17~p.26。
13. 染化資訊網 染色處理用-水與媒 <http://www.dfmfg.com.tw/dasp/dfaux-1/wa04-2.htm>。
14. 一般水處理方法與原理 <http://www.biocozy.com.tw/watertre.htm>。
15. 高文弘、魏玉麟合譯 儀器分析原理 初版 台北 大學圖書出版社 p.122~p.164 民 70。