

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴ 作品說明書 ∴

國中－化學科

科 別：化 學 科

組 別：國 中 組

作品名稱：實驗室處理金屬離子廢水的方法再研發——再造保麗龍的
第二個春天

關 鍵 詞：保麗龍、離子交換、吸 附

編 號：030209

學校名稱：

國立高雄師範大學附屬高級中學

作者姓名：

鄭玉辰、楊 光、荊溪瓏、鄭玉希

指導老師：

鄭龍、曾鶯芳



實驗室處理金屬離子廢水的方法再研發

——再造保麗龍的第二個春天

摘要

本實驗先尋求將廢棄保麗龍再製為陽離子交換樹脂(本實驗稱“保麗龍膠”)的方法。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。再利用「碘滴定法」(浸泡式)與「相對電壓檢測法」(流動式)，依次尋求保麗龍膠吸附金屬離子的最佳條件。其中「碘滴定法」可有效測出銅離子濃度，但手續繁瑣；「相對電壓檢測法」最大的好處是知道保麗龍膠何時吸附達飽和必須再生。

我們目前所知，要保麗龍膠達到吸附陽離子的最佳效能，其條件依次為：使用細粒的保麗龍膠；低濃度的金屬離子溶液；質量愈大的保麗龍膠；低溫下較慢的金屬廢水流速及 pH 值約為 4.30 的銅離子廢水；鈉型的保麗龍膠吸附效能優於氫型。保麗龍膠對不同金屬離子亦有吸附力，單位體積所含離子數愈少，初始的相對電壓會愈高；在相同莫耳濃度下，不同離子的吸附力依次為 $\text{Cr}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+}$ ；分次吸附確可將金屬離子完全去除；保麗龍膠可以再生也可被覆在砂粒上達到不錯的吸附效能；最後，我們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，可製成類似紙黏土，做成造型磁鐵，廢物利用十分有趣。

壹、研究動機：

在[理化第十章「常見的有機化合物」](#)中，我們認識到保麗龍是所謂的『萬年垃圾』，對環境的污染不僅嚴重且時間久遠，因此我們就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，於是我們希望能將保麗龍轉變成類似陽離子交換樹脂的東西，去吸附水中有害的陽離子。

去年，我們成功地將回收的保麗龍再製成可以吸附銅離子的保麗龍膠⁽¹⁾；無獨有偶的分別在 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^(見附件一、二、三、四)，而[健康教育第五章『公害防治』](#)及[理化 1-4『水污染』](#)，都告訴我們金屬廢水污染問題的嚴重性，讓我們興起進一步研究的念頭，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，讓我們對這個研究裹足不前，正好國三的[生活科技第三冊第一篇第 3 單元『認識電子電路的小尖兵』](#)，教到電器元件的應用，因此，我們決定學以致用，尋找另一個便利且有效的銅離子廢水處理及檢測方法。

貳、研究目的：

1. 比較陽離子交換樹脂與保麗龍成分上的差異，以確定實驗方向。
2. 保麗龍再造方法的確立。
3. 硫酸濃度對保麗龍再造的影響。
4. 保麗龍顆粒大小對保麗龍再造程度的比較。
5. 不同濃度的銅離子廢水處理效能的比較。
6. 銅離子廢水的流速對廢水處理效能之比較。
7. 溫度對保麗龍膠吸附效能的影響。
8. 廢水的 pH 值對保麗龍膠吸附效能的影響。
9. 保麗龍膠對不同價數的金屬離子吸附效能的比較。
10. 保麗龍膠能否經被覆處理，吸附廢水中的銅離子。
11. 將吸附過的保麗龍廢膠做成類似紙黏土，可做模型用。

參、藥品與器材：

【藥品】

保麗龍	丙酮	乙酸乙酯	濃硫酸	蒸餾水
硫酸銅	碘化鉀	硫代硫酸鈉	硫氰化鉀	澱粉
細砂	硝酸銀	硝酸鎂	硝酸鋁	硝酸鉻
硝酸鐵	硝酸亞鈷	硫酸亞鎳		

【器材】

A. 保麗龍膠的製備部分：

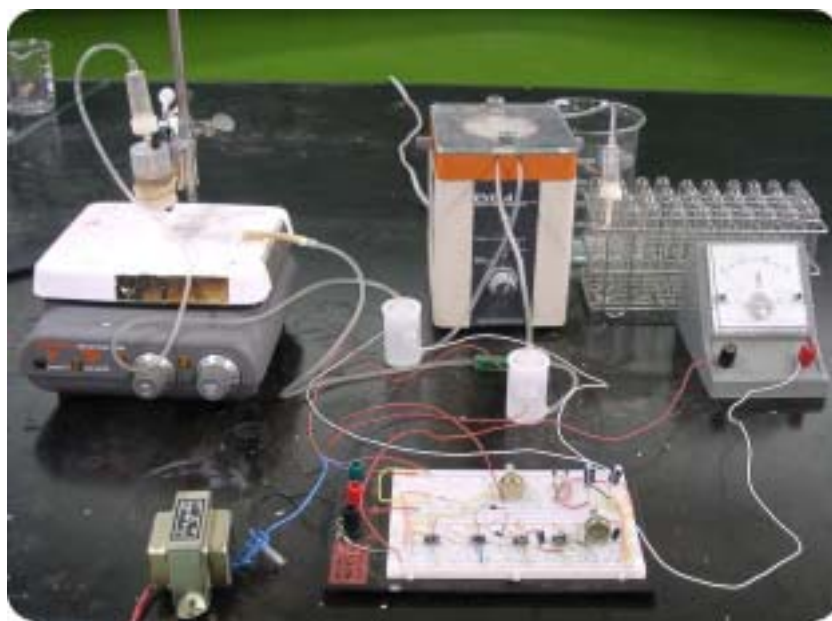
研磨機	濾網	三頸燒瓶	量瓶	濾網(孔隙大小不同, 共二個)
冷凝管	燒杯	磁攪拌器	量筒	溫度計
離心機	滴管	玻璃棒	滴定管	減壓濃縮機
電子秤	玻棒	冷凝管	錐形瓶	加熱板

B. 指示器部分：

麵包板	變壓器(12V)	二極體	電阻(1K, 5.1K, 27K, 100K)
蠕動馬達(雙向)	微型電解槽(自製)	接地線	可變電阻(20K, 200K)
點滴管線	伏特計	IC741	電容器(16V 47 μ 、470 μ)

C. 保麗龍膠吸附部分：

點滴管線	滴管	燒杯	試管	SP-870 分光光度計
滴定管柱	pH 儀	絲襪	底片塑膠盒	

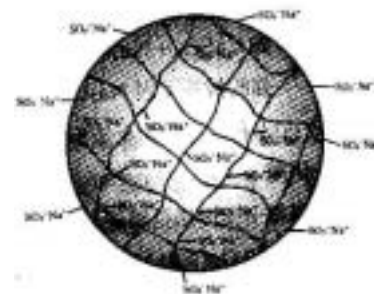


相對電位檢測法裝置

肆、步驟、方法、結果與討論：

一、比較陽離子交換樹脂與保麗龍成分上的差異，以確定實驗方向

作為陽離子交換劑的合成樹脂有很多種，其中有一種叫做「磺酸化聚苯乙烯鈉」，而保麗龍的成分是「聚苯乙烯」，所以我們試著查書找到方法能將保麗龍變成可以吸附重金屬的離子交換樹脂。



▲磺酸化聚苯乙烯鈉示意圖

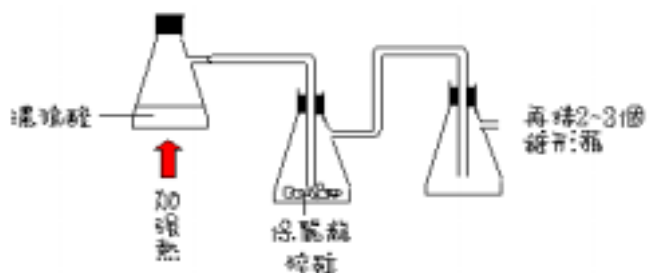
【實驗一】 保麗龍再造方法的確立：

1. 我們知道參與作用的物質顆粒愈小，接觸面積愈大，反應愈完全；所以首要之務就是要將保麗龍打碎，但我們發現直接把保麗龍弄碎不容易，且會因靜電作用而難以處理，所以必須另想辦法。
2. 因此，我們尋找可以溶解保麗龍的溶劑；再讓它自然風乾成硬塊，然後再以研磨機打碎。

A. 結果：

溶劑的選擇：

溶劑種類	溶解情形
乙醇	微溶
丙酮	極易溶成膠狀 自然風乾成硬塊



3. 再來就是要確立如何進行實驗了，我們方法的演繹如下：

方法一：裝置如右上圖，右邊第一個錐形瓶中置入保麗龍碎粒，左邊的過濾瓶中置入濃硫酸，並對濃硫酸加強熱，使之產生三氧化硫氣體，經由導管進入右邊錐形瓶中，希望可將保麗龍再造。

A. 結果：保麗龍碎粒完全沒有反應。

方法二：我們在書上找到一個方法⁽²⁾，裝置參考如右照片；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°C 時，倒入 20g 保麗龍碎粒，此時溫度會急速上升，維持 100°C，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。



煮膠裝置▲

A. 結果：保麗龍碎粒變成金棕色猶如仙草蜜般的產物，以下稱為『保麗龍膠』。

B. 討論：▶保麗龍經丙酮溶解→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。

1. 保麗龍一遇到丙酮立刻被溶蝕，體積縮小許多，起先像一團膠狀物，在未硬化前，我們就先把這膠狀物拉成小塊，待乾硬後，用研磨機便可輕易打碎了。甚至可以控制研磨的時間來操控磨碎後的顆粒大小。



保麗龍膠▲

(由左而右：粗粒、細粒、以 50% 硫酸處理)

2. 酒精並不能夠溶解保麗龍，因此我們決定用丙酮作為溶劑來處理保麗龍。
3. 方法一的再造法，對保麗龍一點作用都沒有，所以捨棄。
4. 方法二的再造法，在倒入保麗龍時，反應非常劇烈，縱使不加熱，溫度仍會急速上升，反應過程裡溫度的控制不太容易，且十分濃稠，攪動不易。
5. 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，所以我們決定用水加以浸泡二天，期間頻頻換水。
6. 浸泡過水的保麗龍膠，從一大塊又再散成小小一塊一塊的，顏色不再黑褐色，而呈金棕色。
7. 將水盡量瀝乾，所得的保麗龍膠放於燒杯內備用。

【實驗二】 尋找印證保麗龍膠可以吸附銅離子的方法

既然保麗龍再造的實驗，表面上看起來已可執行，但是如何證明再造後的保麗龍具有吸附陽離子的功用呢？我們了解陽離子交換樹脂如何處理硬水的反應後，就想到在工業廢水中含有各式各樣的重金屬離子，有時會對人類造成傷害；**高雄地區曾經因為銅離子的污染，爆發過『綠牡蠣事件』、『銅木瓜事件』**(見附件三)，**再加上銅離子呈現明顯的藍色，便於觀察**，因此我們想到利用再造後的保麗龍膠來吸附銅離子，作為檢測再造後的保麗龍膠是否可處理廢水中所含重金屬的指標。

方法一：以「比色法」檢測硫酸銅溶液中銅離子的含量

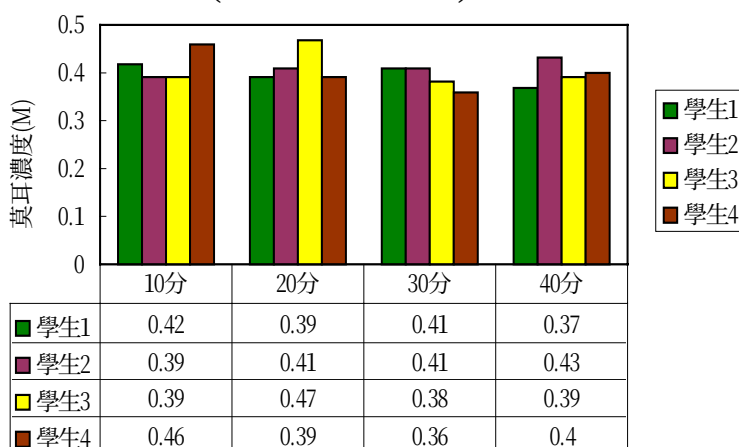
1. 取 2mL 0.5M 硫酸銅溶液二份於試管中，分別加入 2mL 濃氨水，作為標準液。
2. 燒杯中置入保麗龍膠 100g，加入 0.5M 硫酸銅溶液 100mL，每隔 10 分鐘取出 2mL 試樣 2 份於與 1.相同規格的試管中，分別加入 2mL 濃氨水，作為待測液。
3. 先取標準液與待測液各一，管外以黑紙包裹，垂直置於比色燈管上方，調整管中溶液的高度，直到二管顏色看起來相同為止。
4. 利用「標準液濃度×標準液高度＝待測液濃度×待測液高度」的公式，求出待測液的濃度。
5. 重複步驟 3、4，求出待測液濃度的平均值。



比色法試樣▲

A. 結果：

(標準液濃度 0.5M)



四位作者利用比色法所測得之待測液濃度大小

- #### B. 討論：
- ▶比色法在測量值上沒有一致性，且待測液中加入等量濃氨水時，會產生藍白色沉澱而干擾顏色的判別，故捨棄此法。

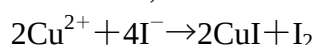
1. 0.5M 的硫酸銅溶液中加入過量濃氨水，會產生深藍色的溶液。

- 待測液中加入等量氨水時，發現會有藍白色的沉澱，干擾了顏色的判斷；根據我們的測試發現未泡保麗龍膠的硫酸銅溶液 pH 值為 3.24，泡過膠的硫酸銅溶液 pH 值則減為 2.24，而保麗龍膠本身以藍色石蕊試紙測試立即變成紅色，這樣的結果都顯示因為經過酸處理的保麗龍膠呈強酸性，硫酸銅溶液中若加入保麗龍膠，會使硫酸銅溶液變得更酸，當加入濃氨水時，會有一部分的氨水消耗在中和上，使得加入的濃氨水不足量，所以使硫酸銅溶液會產生藍白色沉澱而無法將沉澱完全溶解產生深藍色的溶液。
- 由上圖發現，每個人對顏色的判斷不一樣，造成結果有很大的差異，無法達成一致性與再現性的要求，經討論後，我們決定捨棄比色法，再嘗試用過去兩屆科展我們慣用的「滴定法」來試試。

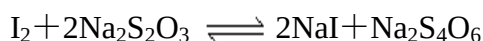
方法二：以「碘滴定法」檢測硫酸銅溶液中銅離子的含量

◎原理：

在微酸性溶液中，如有過量 I^- 存在，會與 Cu^{2+} 反應：



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：



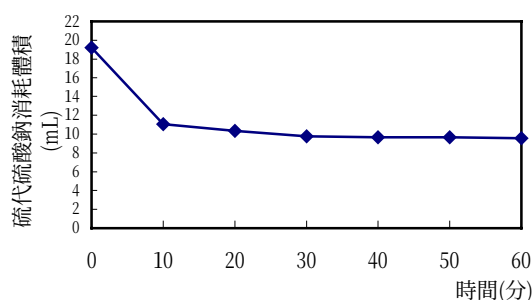
由 $Na_2S_2O_3$ 的消耗量算出參與反應的 $Na_2S_2O_3$ 莫耳數，繼而分別求出 I_2 及 Cu^{2+} 的莫耳數。

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，硫代硫酸鈉溶液所消耗的體積愈多表溶液中銅離子含量愈多。

◎步驟：

- 配置 0.08M 的硫酸銅溶液待用，此為標準液。
- 取 25mL 標準液，加入 10mL 6M 醋酸及 3g KI。
- 以離心機先將產生的沉澱與上層溶液分離。
- 取上層溶液以 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。

A. 結果：



圖一 銅離子含量檢測



滴定時▲

B. 討論：▶點滴定法可以準確檢測出溶液中銅離子的含量，且在最初的 10 分鐘保麗龍膠有最快的吸附速率。

- 用碘滴定法可以較客觀且準確的檢測出硫酸銅溶液中銅離子的含量。
- 由圖一中看出，最初的 10 分鐘吸附最快，其後吸附速率減緩，到 30 分鐘後吸附量不再增加，似乎保麗龍膠的吸附已達到飽和。

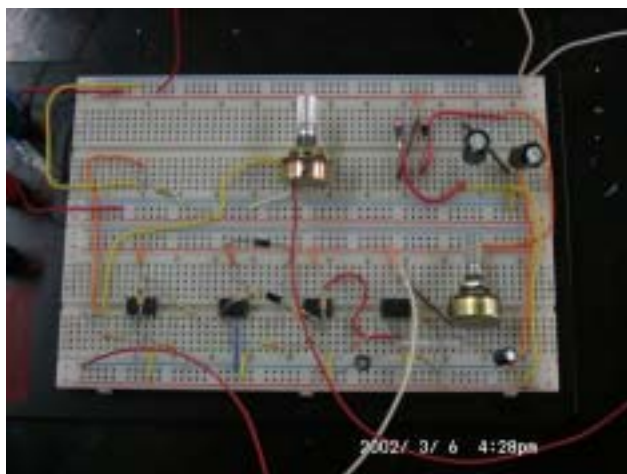
方法三：裝配可測定廢水出入口電位的電路板(以下稱為指示器)

A.金屬廢水處理指示器的製備：

1. 利用所尋找到的資料⁽²⁾，將電路裝配妥當，得一指示器，藉兩個微型電解槽，比較入水口及出水口因離子濃度的差異顯示出的相對電位差。

B.結果：

1. 得指示器裝置電路圖照片如下圖(二)。



圖二

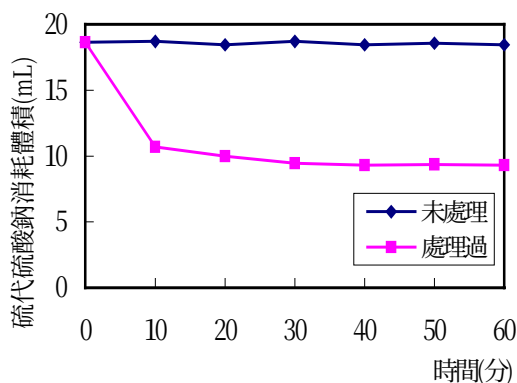
➤此指示器裝置可以達到我們的要求：當微型電解槽 A 中裝滿標準液時，伏特計讀數標定為 10；而當微型電解槽 A 與 B 都裝滿標準液時，伏特計讀數標定為 0。⇒此步驟我們稱之為『校正』。

為了更進一步了解保麗龍膠對銅離子的吸附能力，我們以方法二及三的檢測法，開始設計以下一連串的實驗。

【實驗三】 經過處理的保麗龍膠真的有吸附能力嗎？

1. 取磨碎的保麗龍碎粒 10 克與處理過的保麗龍膠 100 克，各加入 350mL 0.08M 的硫酸銅溶液，每隔 10 分鐘，以【實驗二】中的方法二相同步驟，檢測溶液中銅離子的含量。
2. 紀錄數據，作圖。

甲、**結果：**



圖三 保麗龍膠吸附能力印證

B. **討論：**➤經過煮膠過程所得金棕色的保麗龍膠會使溶液中銅離子的含量減少，而未煮過的保麗龍碎粒則不能使溶液中的銅離子含量減少。

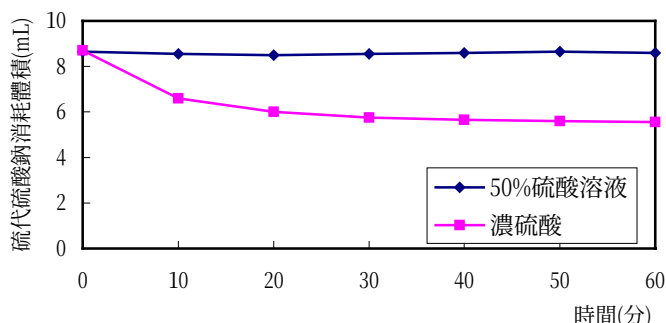
1. 保麗龍膠是取 20 克的保麗龍碎粒以濃硫酸煮成，而 100 克的保麗龍膠是其中的一部份並非全部，所以保麗龍碎粒我們就只取 10 克。
2. 經過濃硫酸煮過的保麗龍膠，雖然我們並不知道保麗龍究竟發生何種化學反應，但由圖三明顯可知，經過處理後的保麗龍膠，浸泡於硫酸銅中，會使硫酸銅溶液的銅離子含量減少，而未經處理的保麗龍碎粒則沒有這樣的能力。

【實驗四】保麗龍碎粒的處理方法對銅離子吸附效能的影響

◎第一部分：再造時硫酸濃度對保麗龍膠吸附效能的影響

1. 仍舊採取【實驗一】中的方法二處理保麗龍碎粒，但濃硫酸部分改採濃硫酸與 50%硫酸溶液分別去煮保麗龍碎粒，所得的「保麗龍膠」均取 100 克，同樣倒入 350mL 同濃度的硫酸銅溶液加以浸泡，每隔 10 分鐘採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

A. 結果：



圖四 硫酸濃度對保麗龍膠吸附能力的影響

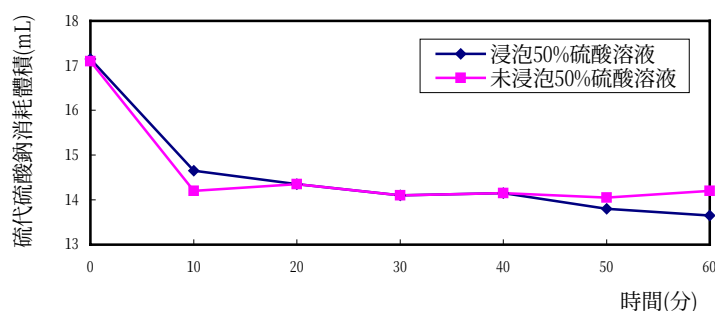
B. 討論：►保麗龍碎粒必須用濃硫酸煮過才對銅離子具有吸附能力。

1. 以 50%的硫酸溶液所煮出來的保麗龍膠，在外觀上與原來的保麗龍碎粒沒有不同，只是會結成塊狀，再以 50%的硫酸溶液及水分別浸泡，也不會有任何變化。
2. 由圖三可知，保麗龍膠要對銅離子具有吸附力，必須用濃硫酸才行，但究竟是不是只要硫酸溶液中含有水就無法製得保麗龍膠，這點我們將在未來發展中繼續去探究。

◎第二部分：是否浸於 50%硫酸溶液對保麗龍膠吸附效能的影響

1. 仍舊採取【實驗一】中方法二的步驟將保麗龍碎粒再造，等煮 3 個小時冷卻後，將產物分成兩部分，一部分浸入 50%的硫酸溶液中，冷卻後，再以蒸餾水充分洗淨並浸泡；另一部分則直接浸於蒸餾水中，期間兩者均不斷換水，兩天後取出瀝乾。
2. 所得的「保麗龍膠」均取 100 克，同樣倒入 350mL 同濃度的硫酸銅溶液加以浸泡，每隔 10 分鐘採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

A. 結果：



圖五 浸泡50%硫酸溶液對保麗龍膠吸附能力的影響



取樣▲

B. 討論：►煮好的保麗龍膠是否再浸泡於 50%的硫酸溶液中，對銅離子的吸附力影響不大，但浸泡過的較持久。

1. 由圖五可知，煮好的保麗龍膠取出後，是否浸泡於 50%的硫酸溶液中，對溶液中銅離子的吸附似乎影響不大，換言之，在經過 3 小時以濃硫酸煮過後，保麗龍就已經具有吸附銅離子的能力了，但經過酸處理的保麗龍膠，對銅離子的吸附力較持久，浸泡至 50、60 分鐘

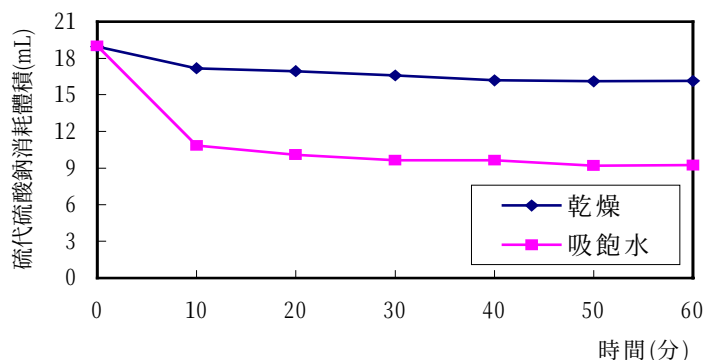
後仍可繼續吸附，但未經酸處理的保麗龍膠，在 10 分鐘後即呈現停滯現象，我們推測：在經酸處理時，可能會使保麗龍膠再造更完全，才會有這種現象產生。

2. 在處理保麗龍膠時，我們發現保麗龍膠極易吸收水分，不知道是否吸飽水分的保麗龍膠對銅離子的吸附會不會也有影響，所以我們再進行第三部分的實驗。

◎第三部分：保麗龍膠是否吸收水分對銅離子吸附效能的影響

1. 將處理完全的保麗龍膠各秤取 100 克二份，一份先經過烘箱烘乾，將一乾一濕的保麗龍膠倒入 350mL 同濃度的硫酸銅溶液加以浸泡，每隔 10 分鐘採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

甲、**結果：**



圖六 保麗龍膠是否吸水對銅離子吸附能力的影響

維彼此緊貼在一起，只能提供表面或較小的表面積來吸附銅離子，須等到吸收水分，讓纖維再膨脹起來，才可以提供較佳的吸附機會。

2. 吸飽水的保麗龍膠仍和前面幾次的檢測一樣，在前面的 10 分鐘有極強的吸附力，隨後即呈緩慢增強的現象，我們想到：利用水分子撐開保麗龍的纖維，即增加吸附的表面積，對溶液中銅離子的吸附是有利的，因此如果用不同顆粒大小的保麗龍碎粒去製取保麗龍膠，對銅離子的吸附又有何影響？

【實驗五】保麗龍膠顆粒大小對銅離子吸附效能的影響

第一部份(碘滴定法)：

1. 將保麗龍碎塊，取篩孔直徑分別為 $3 \times 1.5(\text{mm})$ 與 $1 \times 1(\text{mm})$ 的網子過濾保麗龍碎粒，通過 $1 \times 1(\text{mm})$ 篩孔的訂為「細粒」、通過 $3 \times 1.5(\text{mm})$ 通不過 $1 \times 1(\text{mm})$ 篩孔的訂為「中粒」，通不過 3×1.5 篩孔的訂為「粗粒」。
2. 分別將細粒、中粒與粗粒的保麗龍以【實驗一】之方法二製備好待用。
3. 各取 100mL 的保麗龍膠於燒杯中，分別倒入 350mL 濃度為 0.08M 的硫酸銅水溶液，每隔 10 分鐘各採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

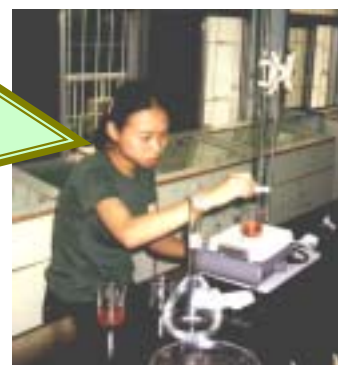
實驗過程極為繁瑣
真把我們累壞了。



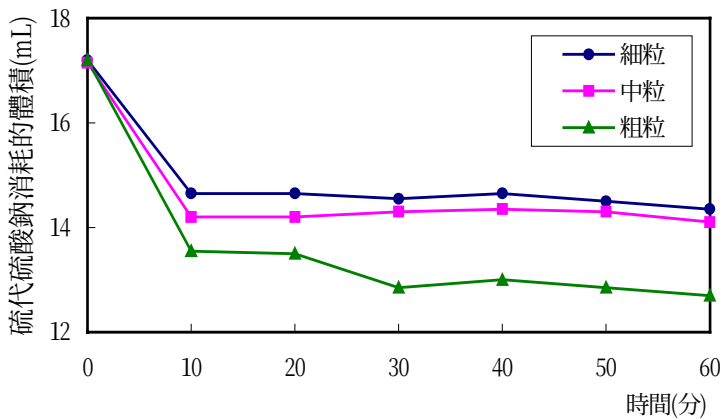
耶！成功了



不斷的滴定體力大挑戰



甲、結果：



圖七 保麗龍膠顆粒大小對銅離子吸附程度的比較

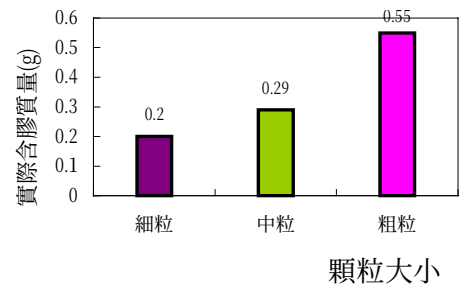
B. 討論：

➢ 吸附程度為粗粒 > 中粒 > 細粒，與預測不符。

➢ 此乃因等量的保麗龍膠中以細粒的吸水最多，實際含膠量最少。

1. 三種顆粒大小不同的保麗龍膠，其吸附趨勢仍和前面相似，在前 10 分鐘有最快的吸附力，這樣相似的情況，讓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。

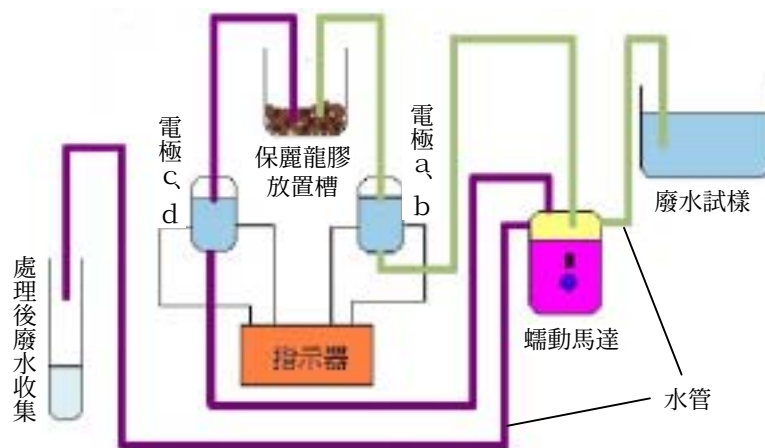
2. 在等質量的物質中，顆粒愈小接觸面積愈大，應可提供最大的吸附面積，吸附銅離子的效果應愈好，但由圖七可知，這三者吸附銅離子的程度卻呈現粗粒吸附 > 中粒吸附 > 細粒吸附，經過一番討論，我們推測是否因為細粒的接觸面積最大，所以在相同時間裡會吸收最多的水分，使得同樣 100 克的保麗龍膠中，實際上含有膠的部分最少，為了印證這個推論，我們取三個已知質量的燒杯，各放入 20 克的細、中、粗的保麗龍膠，然後置於烘箱中(相同時間)烘乾，再秤質量，得到結果如右圖八：
3. 由圖八可知，我們的推測不是沒有道理，所以如果要比較保麗龍膠顆粒大小對銅離子吸附程度的比較，則應讓三種不同顆粒的保麗龍膠吸附等量的水後，再來檢測。



圖八 20克膠中實際含膠量比較

第二部分(相對電位檢測)：

1. 將指示器與廢水槽、蠕動馬達、保麗龍膠放置槽如下圖九連接妥當，同時校正指示器。



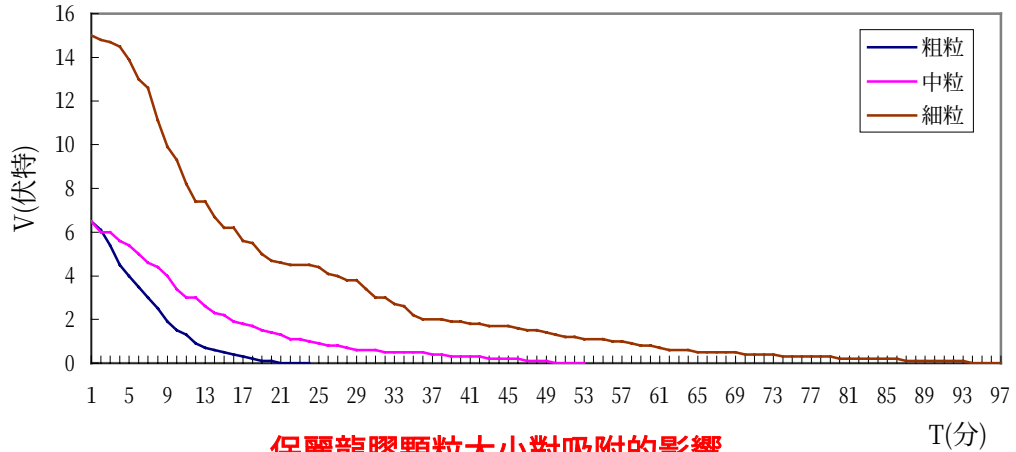
圖九

2. 將蠕動馬達轉速轉至刻度 10 處(即流速為 10mL/分)。
3. 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(以絲襪隔離，以免阻塞水管)，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。

4. 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。
5. 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。

A. **結果：**

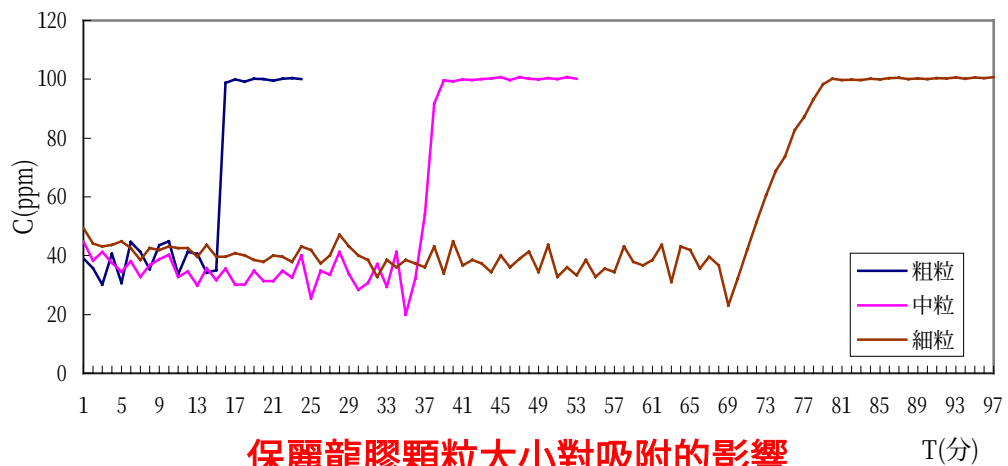


保麗龍膠顆粒大小對吸附的影響

圖十 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



保麗龍膠顆粒大小對吸附的影響

圖十一 廢水濃度對操作時間之關係

銅離子溶液濃度：100ppm

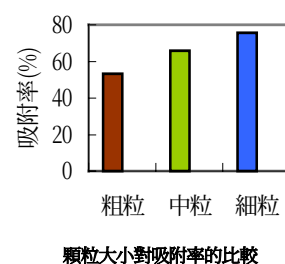
銅離子溶液流速：10ml/分

- B. **討論：**
- 相對電位檢測法可以知道保麗龍膠的吸附何時達到飽和。
 - SP-870 比色計對於銅離子濃度在 20ppm 以下因為顏色太淡，而讀不出穩定數值。
 - 在吸附力及吸附持久力上以細粒最優，其次為中粒，最差的為粗粒。
 - 此結果可能與產生交架連結的多寡有關。
1. 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，表示保麗龍膠吸附的效果完全消失，亦即保麗龍膠的吸附已達飽和，必須再生。
 2. 保麗龍膠吸附銅離子必須再生的時間，依顆粒大小由粗粒、中粒、細粒依次為 21 分、50

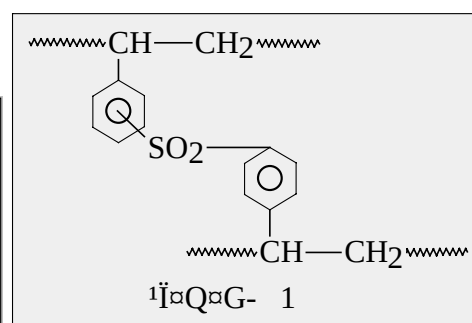
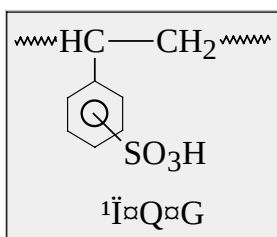
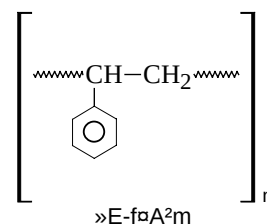
分及 94 分。

- 雖然 SP-870 比色計無法準確讀出濃度在 20ppm 以下的銅離子濃度，但由此卻讓我們可以確知：當不規則性震盪情形出現時，銅離子濃度都是相當稀薄的。
- 在濃度變化上，粗粒保麗龍膠在吸附達 15 分鐘時，濃度開始明顯上升，表示膠的吸附力在下降，到 16 分鐘時，幾乎已喪失吸附的能力了；中粒保麗龍膠在 35 分鐘時濃度明顯上升，到 39 分鐘時幾乎達飽和；細粒保麗龍膠則在 69 分鐘時濃度明顯上升，到 80 分鐘時接近飽和。
- 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 分鐘的濃度曲線網下延伸畫一斜線，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做比較；粗、中、細粒所測得數據如下：

	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



- 由圖三、圖四及上表可知，在吸附能力及吸附持久性的考量上，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，關於這一點，我們進一步尋找資料，根據書上⁽³⁾說保麗龍的成分為聚苯乙烯(如右圖)，當我們以濃硫酸煮保麗龍時，會先產生如右圖十二的結構，然後會與原來的聚苯乙烯產生「交架連結」作用，生成如右圖十二-1 的結構，我們從結構上去判斷，認為交架連結後的結構已失去可提供離子交換的—SO₃H 活性端，因此無法發揮吸附的能力，吸附效果便會降低；而細粒的保麗龍在用濃硫酸煮時，因接觸面積大，所以大部分的聚苯乙烯很快便生成圖十二的結構，減少產生交架連結的機會，加上細粒的保麗龍膠與廢水接觸面積也較大，自然吸附能力與能吸附的時間就會優於中粒與粗粒了。

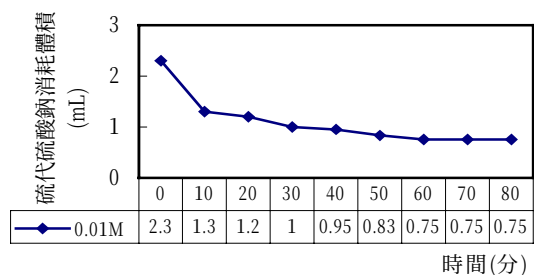
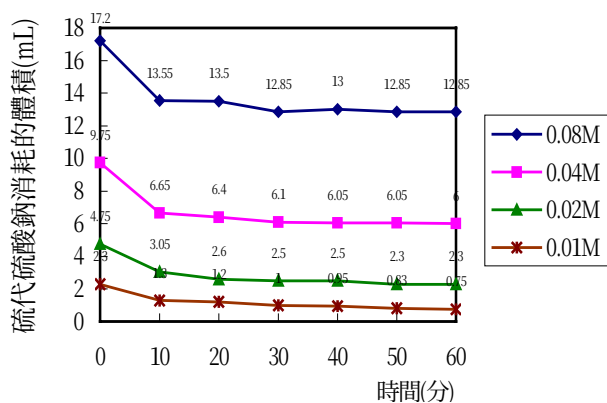


【實驗六】不同濃度的硫酸銅溶液對保麗龍膠吸附效能的影響

第一部份(碘滴定法)：

- 分別取 0.08M、0.04M、0.02M、0.01M 的硫酸銅溶液各 350mL 於四個燒杯中，每一燒杯均加入 100 克的粗粒保麗龍膠。
- 每隔 10 分鐘各採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

A. 結果：

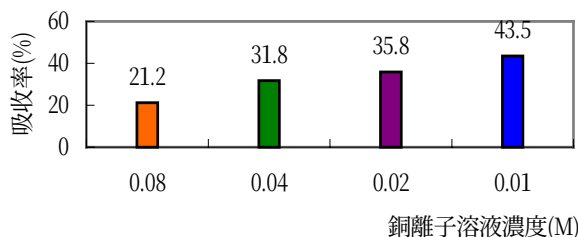


附圖 0.01M銅離子吸附達飽和之臨界時間

圖十三 不同濃度硫酸銅對保麗龍膠吸附銅離子的比較

B. 討論：銅離子濃度愈稀，保麗龍吸附達飽和的時間就愈晚，吸收率也愈高。

- 由圖十三，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，例如：銅離子在吸附呈現定值的時間依次為：0.08M 30 分鐘、0.04M 約 30~40 分鐘、0.02M 則為 40~50 分鐘，而 0.01M 達 60 分鐘時仍未呈現定值，換句話說，此時的保麗龍膠吸附未達飽和，為了一探 0.01M 的銅離子究竟會在何時吸附達飽和，我們決定針對 0.01M 的濃度繼續實驗下去，結果如上附圖，在吸附達 60 分鐘後亦呈現定值。
- 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，可得右圖：濃度愈稀吸收率愈高。
- 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【實驗二】的方法三(相對電位檢測)來檢測保麗龍膠對銅離子的吸附能力。

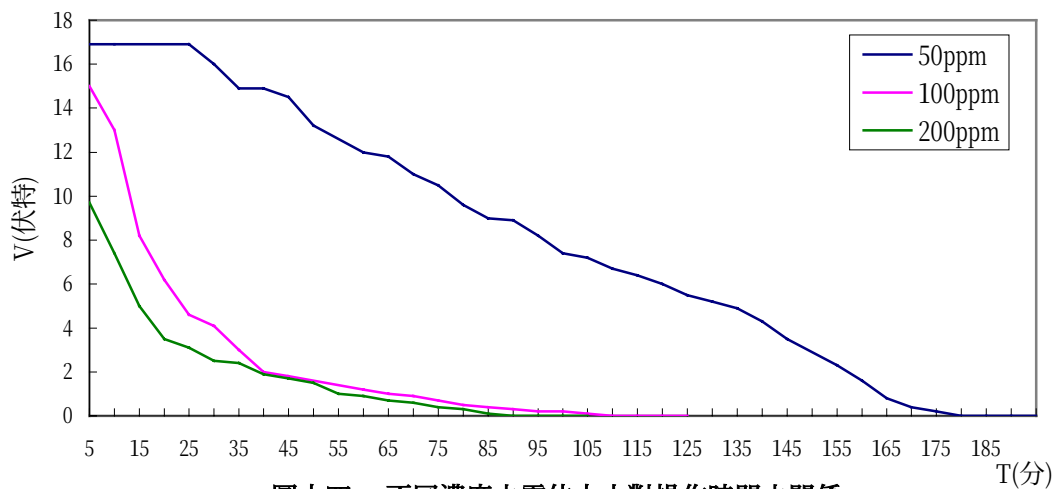


保麗龍膠對各濃度最初10分鐘之吸附百分率

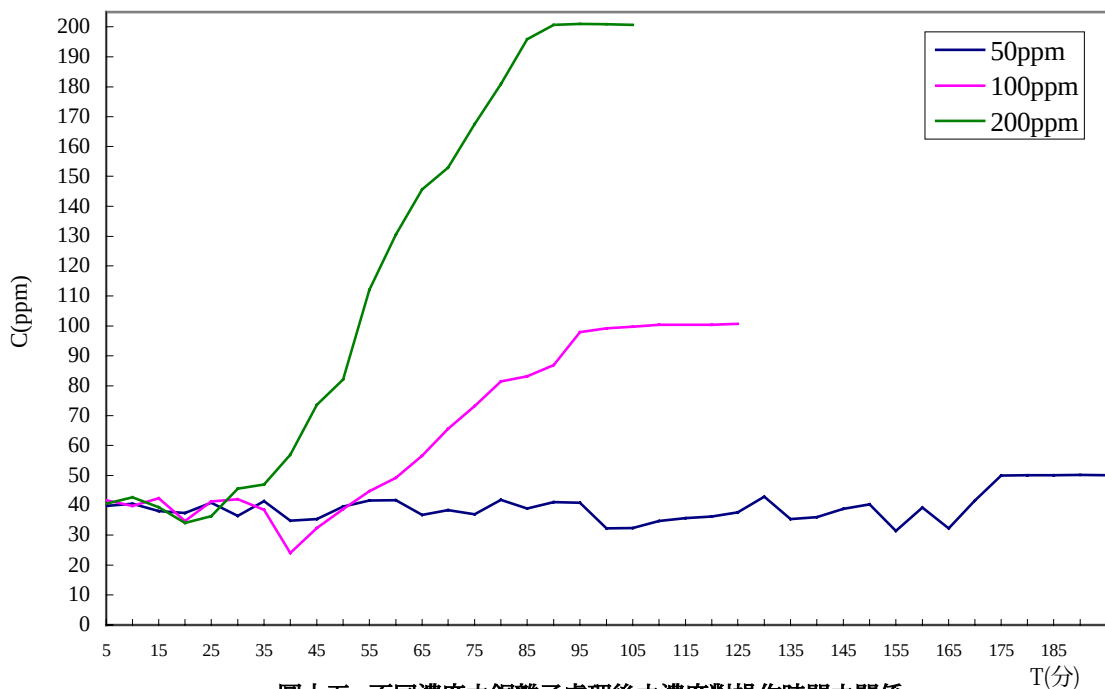
第二部分(相對電位檢測)：

- 配製濃度分別 50ppm、100ppm、200ppm 的硫酸銅溶液。
- 重複【實驗五】第二部份中步驟 1~3。
- 保麗龍膠放置槽置入 10mL 細粒的保麗龍膠(以絲襪隔離，以免阻塞水管)，準備妥當後，打開蠕動馬達開關。
- 重複【實驗五】第二部份中步驟 5~7。

A. 結果：



圖十四 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



圖十五 不同濃度之銅離子處理後之濃度對操作時間之關係
保麗龍膠顆粒：細粒
銅離子溶液流速：10ml/分

B. 討論：>銅離子濃度愈低，指示器處於高電壓、低濃度的時間愈長，即吸附效果愈明顯。

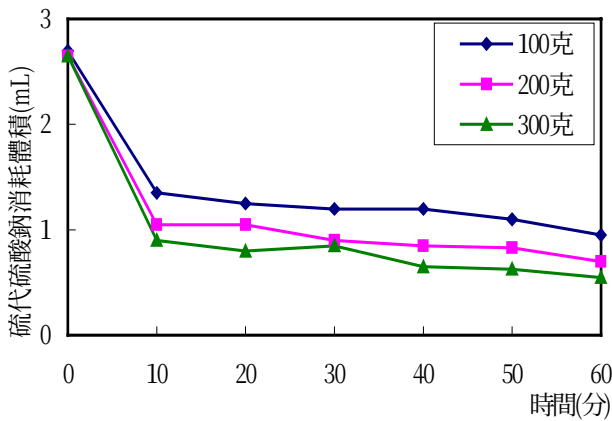
1. 由圖十四可知，保麗龍膠吸附銅離子必須再生的時間，依濃度大小由 200ppm、100ppm、50ppm 依次為 90 分、110 分及 180 分。
2. 愈低濃度的銅離子廢水，在吸附效果上愈明顯，也就是說相同時間吸附相同量的離子，但在濃度愈稀薄的溶液中，其吸附比例就愈大，所以處於高電壓、低濃度的時間就愈長。
3. 用上一實驗求吸附率的方法，200ppm、100ppm、50ppm 的吸附率依次為 44.44%、44.86%、83.62%。
4. 由以上可知，愈稀薄的銅離子廢水，通過細粒的保麗龍膠時，吸附達飽和的時間愈長，吸附力相較愈強；這樣的結果讓我們想利用這個研究來處理金屬廢水，信心更堅強了！

在得知硫酸銅溶液濃度對保麗龍膠吸附程度的影響後，我們想更進一步了解，保麗龍膠的用量是否也會影響吸附程度。

【實驗七】不同質量的保麗龍膠吸附銅離子效能的影響

1. 分別取 100g、200g、300g 的粗粒保麗龍膠，各加入 0.01M 的硫酸銅溶液 350mL
2. 每隔 10 分鐘各採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

A. 結果：



圖十六 不同質量的保麗龍膠吸附程度的比較

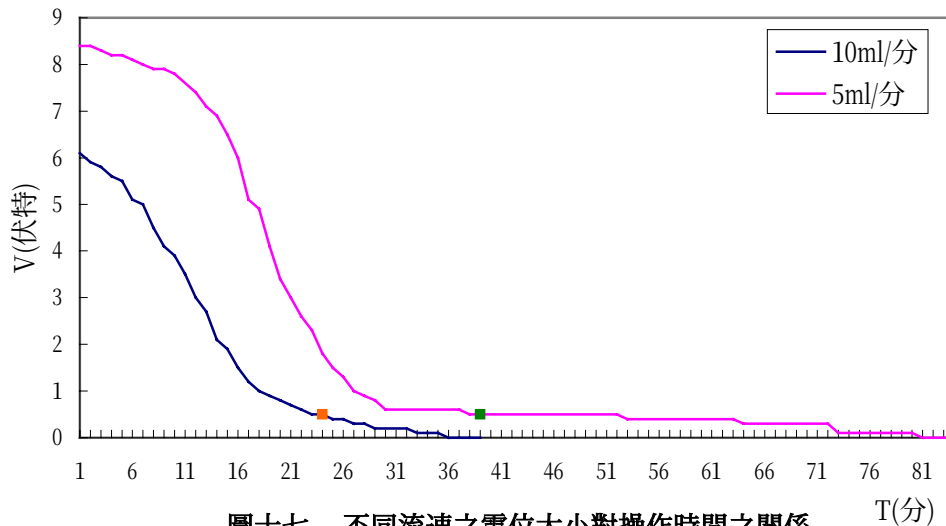
B. 討論：▶保麗龍膠的量愈多對銅離子的吸附量就愈多。

1. 由圖十六明顯知道，質量愈大的保麗龍膠其吸附程度愈明顯，但看不出有正比的傾向。
2. 在相同時間裡，保麗龍膠對銅離子的吸附程度都是 $300g > 200g > 100g$ ，顯示保麗龍膠的質量愈大，提供的表面積就愈大，能夠吸附的銅離子就愈多。接觸面積會影響吸附能力，那接觸的時間呢？會不會有影響吸附能力，於是我們進行下面實驗。

【實驗八】不同流速的銅離子溶液對保麗龍膠吸附效能的影響

1. 配製濃度為 100ppm 的硫酸銅溶液。
2. 重複【實驗五】第二部份中步驟 1~2。
3. 將蠕動馬達轉速轉至刻度 10 處(即流速為 10mL/分)。
4. 保麗龍膠放置槽置入 10mL 細粒的保麗龍膠(以絲襪隔離，以免阻塞水管)，準備妥當後，打開蠕動馬達開關。
5. 重複【實驗五】第二部份中步驟 5~7，紀錄並作圖。
6. 再將蠕動馬達轉速轉至刻度 6 處(即流速為 5mL/分)，重複步驟 4、5，紀錄並作圖。

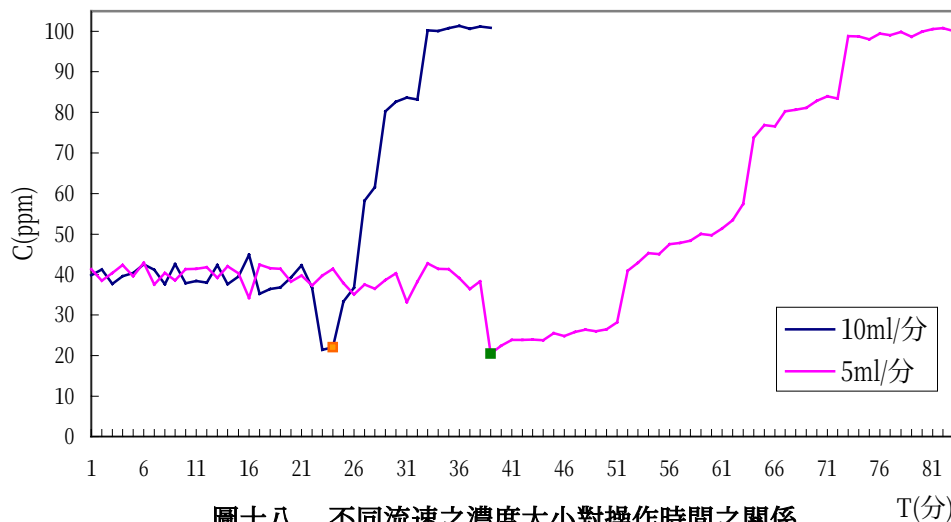
A. 結果：



圖十七 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



圖十八 不同流速之濃度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

B. 討論：►銅離子廢水流速低者保麗龍膠吸附效果較好。

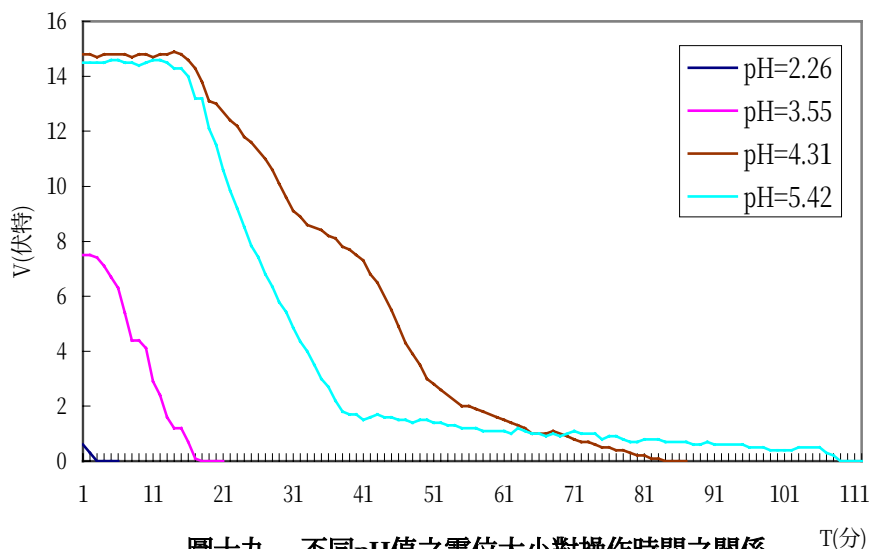
1. 我們的蠕動馬達最快轉速為 10ml/分，轉速不大，為產生流速的明顯差異，故僅選用 5ml/分及 10ml/分兩種流速。
2. 由圖十七及圖十八明顯可知，流速較低(5ml/分)者在高電壓、低濃度維持的時間(39 分，圖中綠色點)較長，流速較高(10ml/分)者在高電壓低濃度維持的時間(24 分，圖中橘色點)較短，顯示低流速者保麗龍膠有較好的吸附效能。
3. 流速 10mL/分及 5mL/分的吸附率依次為 70.00%及 74.23%。
4. 我們認為會有這樣的結果，是因為流速低者，硫酸銅溶液在保麗龍膠放置槽有較充裕的時間，與膠進行離子交換，所以吸附效果較好；流速高者，硫酸銅溶液在保麗龍膠放置槽的時間較短暫，與保麗龍膠進行離子交換比例較低。

因為低流速、低濃度的離子廢水對細粒保麗龍膠而言有較好的吸附效能，因此讓我們又想進一步了解溶液的pH 值及溫度也會影響保麗龍膠的吸附效能嗎？

【實驗九】 不同 pH 值的銅離子溶液對保麗龍膠吸附效能的影響

1. 配製濃度為 100ppm, pH 值分別為 2.26、3.55、4.31、5.42 的硫酸銅溶液。
2. 重複【實驗五】第二部份步驟 1~2；將蠕動馬達轉速調至 5mL/分。
3. 保麗龍膠放置槽置入 10mL 細粒的保麗龍膠(以絲襪隔離, 以免阻塞水管), 準備妥當後, 打開蠕動馬達開關。重複【實驗五】第二部份中步驟 5~7。

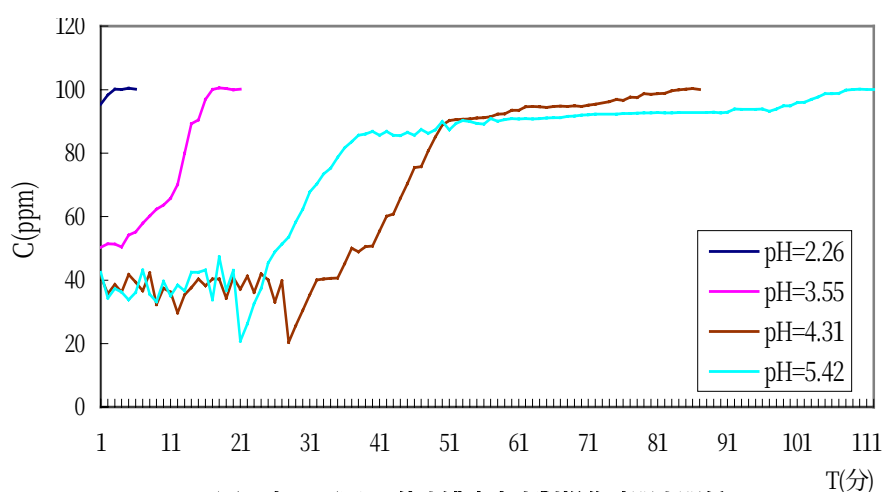
A. 結果：



圖十九 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



圖二十 不同pH值之濃度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

B. 討論：>H⁺濃度愈大愈不利銅離子的交換，適合銅離子吸附的 pH 值約為 4~5 左右。

1. 在 pH=2.26 的環境下，保麗龍膠僅維持 2 分鐘，相對電壓即降到 0，而且第 1 分鐘出水口的相對電壓及廢水濃度分別為 0.6V 及 95.51ppm，處理效果非常差。
2. 在 pH=3.55 的環境下，保麗龍膠也僅維持 18 分鐘，相對電壓即降到 0，較 pH=2.26 時情況有改善，但第 1 分鐘出水口的相對電壓及廢水濃度分別為 7.5V 及 50.34ppm，處理效果仍舊不理想；在 pH=4.30 保麗龍膠就有亮眼的效果。
3. 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%。
4. pH=5.42 的溶液雖然相對電壓較晚降到 0，不過，Cu²⁺ 濃度卻較早升至高濃度；我們覺得

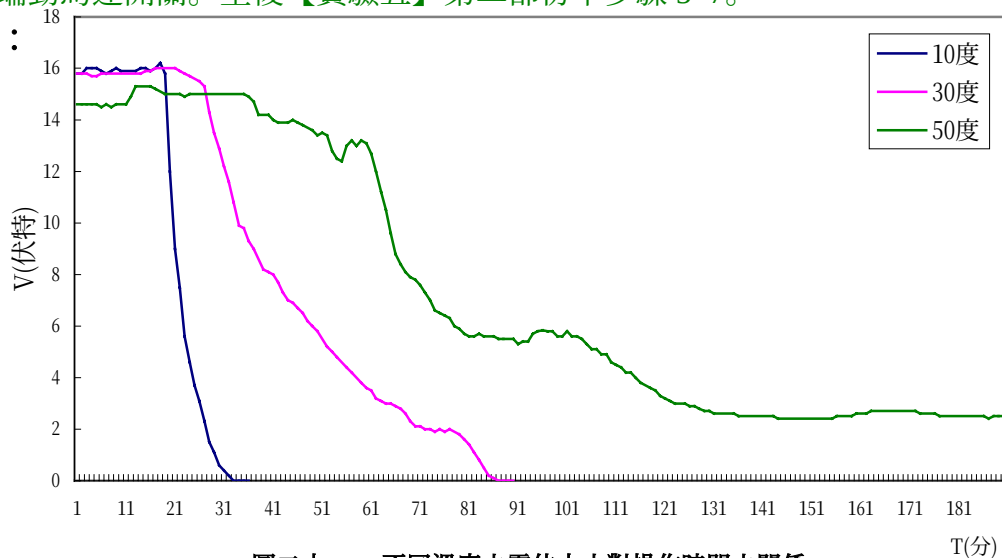
當離子濃度高時，保麗龍膠處理廢水的效果就算不好了；而在吸附率上 $\text{pH}=4.30$ 也大於 $\text{pH}=5.42$ ，，因此，我們認為在 $\text{pH}=4.30$ 的溶液中保麗龍膠吸附銅離子的效能略優於 $\text{pH}=5.42$ 的溶液。

5. 會有這樣的情形，我們認為保麗龍膠為「氫型」的離子交換樹脂，在 pH 值愈小的環境中， 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。

【實驗十】 保麗龍在不同溫度的銅離子溶液中吸附效能的影響

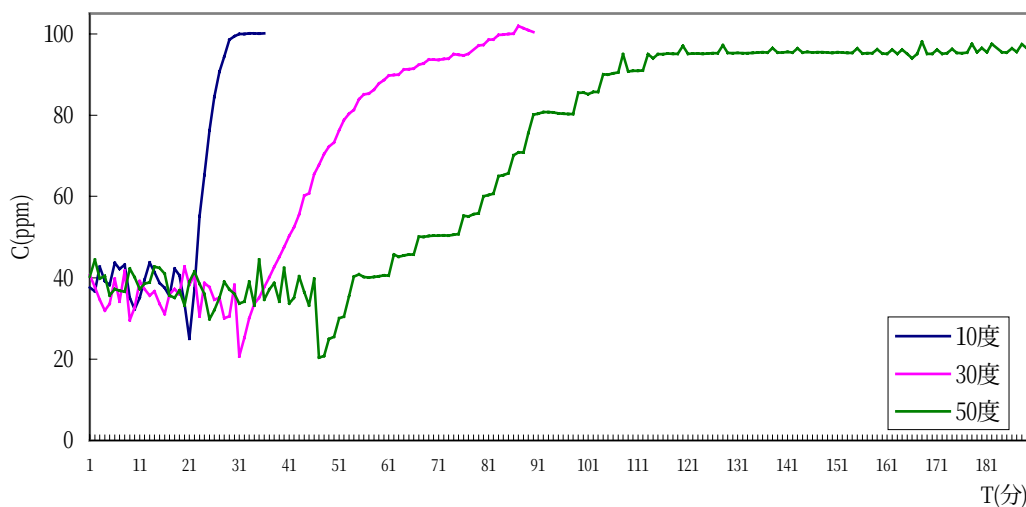
1. 配製濃度為 20ppm，溫度分別控制在 10°C 、 30°C 、 50°C 的硫酸銅溶液。
2. 重複【實驗五】第二部份步驟 1~2；將蠕動馬達轉速調至 5mL/分。。
3. 保麗龍膠放置槽置入 10mL 細粒的保麗龍膠(以絲襪隔離，以免阻塞水管)，準備妥當後，打開蠕動馬達開關。重複【實驗五】第二部份中步驟 5~7。

A. 結果：



圖二十一 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



圖二十二 不同溫度之濃度大小對操作時間之關係

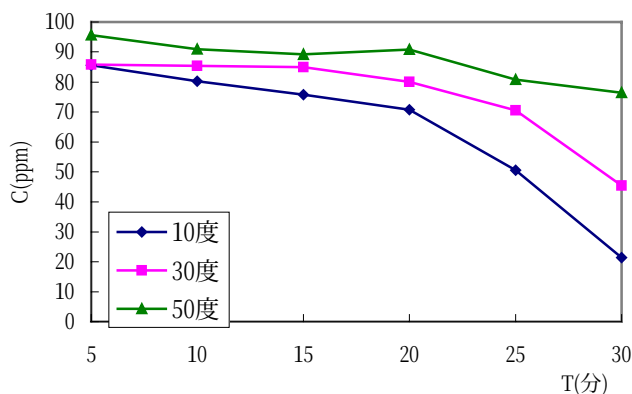
保麗龍膠顆粒：細粒
銅離子溶液濃度：100ppm
銅離子溶液流速：5ml/分

B. 討論：>溫度愈低，保麗龍膠單位時間吸附金屬離子的能力愈強，曲線也就愈陡。

1. 由圖二十一及圖二十二發現：在 10°C 時，維持在高電壓(約為16V，此時出水口廢水中 Cu^{2+}

濃度檢測為0ppm)的時間有18分鐘，隨後電壓即快速下降，至33分時保麗龍膠吸附達飽和，電壓降為0。

- 30°C時，維持在高電壓的時間有 22 分鐘，與 10°C時差不多，但隨後電壓的變化較緩，直到 87 分時保麗龍膠吸附才達飽和，電壓降為 0。
- 50°C時，維持在高電壓的時間有 36 分鐘之久，但期間前 11 分鐘出水口檢測出有帶極微量銅離子的廢水，12~36 分之間，出水口廢水濃度才降為 0；隨後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。
- 溫度為 10°C、30°C、50°C的吸附率依次為 56.45%及 51.66%、40.55%。
- 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，故出水口處出來的溶液尚有部分金屬離子，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。
- 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°C、30°C、50°C的恆溫槽中，每 5 分鐘各取 4mL 用 SP-870 檢測濃度，得右附圖：



附圖 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

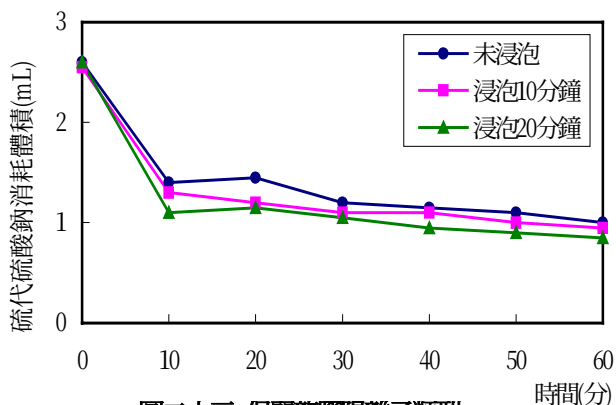
我們發現溫度愈低的情形下，保麗龍膠單位時間吸附金屬離子的能力愈強，濃度下降愈快，所以在 10°C時，保麗龍膠很快就達到飽和。

- 由此實驗我們認為：從相對電位開始下降到 0(或從濃度開始上升到與原始濃度相同)的時間愈短，亦即圖中曲線愈陡的話，對廢水的處理效果最好；若是電位緩緩下降，即曲線愈緩，時間拉得愈長，就會有一段不算短的時間在出水口出來的廢水中，夾帶有高濃度的金屬離子，因而降低了廢水處理的效能。

【實驗十一】 保麗龍膠陽離子類型對吸附銅離子效能的影響：

- 取三份 100g 的保麗龍膠，其中二份分別浸泡飽和食鹽水 10 分鐘及 20 分鐘。
- 將 1.中浸泡過的膠瀝乾後沖洗，然後再用蒸餾水充分泡開。
- 將這三份的保麗龍膠，各加入 0.01M 的硫酸銅溶液 350mL，每隔 10 分鐘各採 2 個 25mL 的試樣依【實驗二】中的方法二檢測。

A. 結果：



圖二十三 保麗龍膠陽離子類型
對吸附程度的比較

B. 討論：

➢ 保麗龍膠浸泡在飽和食鹽水中約 10 分鐘後可達轉成「鈉型」的最大比率。

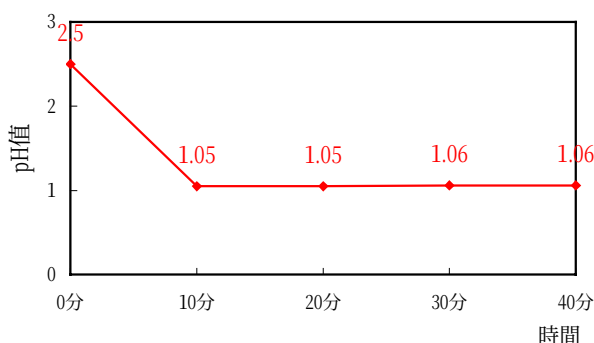
➢ 「鈉型」保麗龍膠的吸附效果較「氫型」為佳，但差別不大，有改良設計的空間。

1. 在步驟 2.中，浸泡過飽和食鹽水的保麗龍膠，需要再用蒸餾水充分泡開，因為把保麗龍膠浸泡在飽和食鹽水時有類似脫水的現象，為了防止如【實驗四】第三部份吸水的因素來干擾到實驗結果，所以必須再以水充分泡開。

2. 我們認為此時的保麗龍膠，會將再造後的氫

置換為鈉，即 $R-SO_3H \rightarrow R-SO_3Na$ ，由圖二十三中看出浸泡與未浸泡的保麗龍膠在吸附銅離子的程度上的確有不同。

3. 浸泡過飽和食鹽水的保麗龍膠，我們姑且稱為「鈉型」，不論浸泡 10 分鐘還是 20 分鐘，在吸附銅離子的程度上都比未浸泡(我們姑且稱為「氫型」)的強，但並沒有我們預期的亮眼，而且浸泡 10 分鐘與浸泡 20 分鐘的效果差不了多少，為了探討這一現象，我們設計了以下實驗：先將 100 克的保麗龍膠浸泡於 200mL 純水中(作為對照實驗)，以 pH 值測其酸鹼度，次將 75 克的食鹽加入水中(即飽和食鹽水)，每隔 10 分鐘測一次 pH 值，所得數據如右附圖，由圖中知道原來沒有放入食鹽的泡純水保麗龍膠 pH 值為 2.5，加入食鹽成飽和食鹽水後，pH 值下降，由此可推知，氫離子確實被鈉離子置換出來。另由圖上顯示，此一交換過程應在 10 分鐘左右即完成，所以浸泡 10 分鐘與浸泡 20 分鐘飽和食鹽水的吸附情形差不多。



附圖 保麗龍膠轉變為鈉型之印證

4. 在此方面，因為浸泡飽和食鹽水會有脫水的現象，所以應有研發的空間，我們預計在酸處理過的保麗龍膠，以氫氧化鈉溶液共煮，借酸鹼中和的反應，檢測是否可將保麗龍膠由氫型轉為鈉型，且效果有沒有比浸泡濃食鹽水的強。

5. 這結果，與我們知的陽離子交換樹脂中，鈉型較氫型容易置換水中鈣鎂離子的情形符合，這樣的事實讓我們覺得【實驗一】的方法二製出的保麗龍膠應確有將保麗龍廢料作成陽離子交換樹脂。

到此為止，我們都將焦點集中在銅離子廢液上，其他金屬離子也有相同的吸附效能嗎？於是我們做了下面的實驗。

【實驗十二】 保麗龍膠對不同金屬離子吸附效能的比較

1. 配製濃度均為 100ppm 的硝酸銀溶液、硝酸鎂溶液、硫酸銅溶液、硝酸鋁溶液。
2. 於室溫下重複【實驗五】第二部份步驟 1~2；並將蠕動馬達轉速調至 5mL/分。
3. 保麗龍膠放置槽置入 10mL 細粒的保麗龍膠(以絲襪隔離，以免阻塞水管)，準備妥當後，打開蠕動馬達開關。