

第三屆旺宏科學獎成果報告書

指導老師：廖淑芬老師

利用泡沫浮選法浮除水中的含鉻離子

Utilization of float-aggregation Methods for the Treatment of
Chromium Ions in Solution.

作品編號：SA3-045

蘇曼儂

中華民國九十三年

壹、研究動機

學校化學實驗室外幾個巨大的櫃子裡，存放著一桶桶平時全校實驗課後回收的含金屬離子化合物或有機的廢棄溶液。向實驗室管理員阿姨請教之後，瞭解學校所回收的廢棄溶液，都必須堆存到相當量後，才可以送到校外處理，而且學校也必須自行支付此運費。

我在《固、特、異的軟物質》(Les Objets Fragiles)這本書，得到「浮選」(Float-aggregation Method)這個概念。好奇心驅使之下，查詢了高中化學課本及一些浮選法的相關資料，得知此技術目前在工業上已廣泛被使用於分離或濃縮礦物、蛋白質、酵素、微生物和許多金屬和非金屬離子；此方法具有許多優點，相對的也具有缺點，但是整體而言，仍比傳統所使用的「沉澱法」佳。根據美國環境保護局委託學術機構，進行重金屬廢水處理，每 1000 加侖含鉛廢水，運用「泡沫浮選法」處理技術所需之設備、費用，僅為傳統「化學沉澱法」的 50% 以下。

由於學校實驗進行所產生的金屬化合物溶液，濃度均不是很高（通常約 0.1M），且廢棄液裡面含有大量的水分，這些水量儲存時也會佔用儲存櫃的許多空間，更浪費了送到校外處理的許多運費。所以本研究想將工業上的「泡沫浮選法」加以改良，做成一套方便操作且適合中學實驗室廢棄液規模的浮除裝置，將所產生的廢棄液內的含金屬離子化合物先進行濃縮再予以儲存，並使去除的水也能達到直接排放的標準。若能進一步將此設計加以推廣，不但可以節省各學校儲存廢棄液的空間，也能降低很多處理廢棄液的運費。

貳、研究目的

- 一、探討浮選含鉻離子溶液效果最佳的界面活性劑。
- 二、設計可適用於實驗的浮選器材。
- 三、改變界面活性劑與溶液的比例，找出最佳的浮選環境。
- 四、探討打氣時間對浮選效果的影響。
- 五、探討浮選管口徑對浮選效果的影響。
- 六、探討液面高度對浮選效果的影響。

參、文獻探討

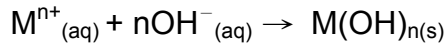
一、泡沫浮選法

泡沫浮選法的操作，主要是將空氣打入含有界面活性劑的水中，使界面活性劑因為電性而與水中的溶質結合，並因為界面活性劑可降低水的表面張力而起泡，將溶質與溶劑分離。

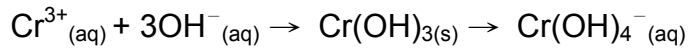
二、選擇含鉻離子為研究對象之原因

(一)溶液中的重金屬離子(以 M^{n+} 表示之)，一般大多利用加入過量強鹼溶液，使其

發生反應生成氫氧化物沈澱以去除之。其化學反應式為：

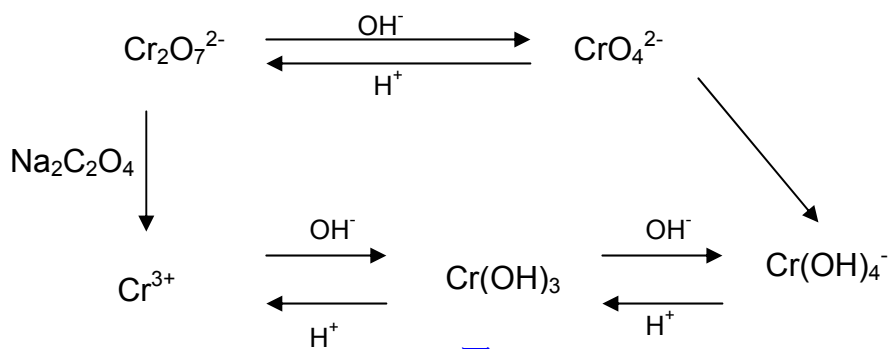


但鉻為兩性元素，在過鹼的環境下，會再繼續反應形成 $\text{Cr}(\text{OH})_4^{-}$ 錯離子，無法得到所欲形成的沈澱而去除。



因此使用傳統化學沉澱法去除溶液中的含鉻離子，必須嚴格控管 pH 值，也造成含鉻廢水在實驗室必須另外儲存。

(二)含鉻離子包含正、負離子團(如圖一)，例如：二鉻酸根離子($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，橙色，氧化態 +6)、鉻酸根離子(CrO_4^{2-} ，黃色，氧化態 +6)、鉻離子(Cr^{3+} ，綠色，氧化態 +3)、四氫氧鉻錯離子 $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^{-}$ ，綠色，氧化態 +3]。可以讓我們嘗試陰、陽離子型界面活性劑，且各種離子團都具有顏色，可進行比色等操作。



圖一

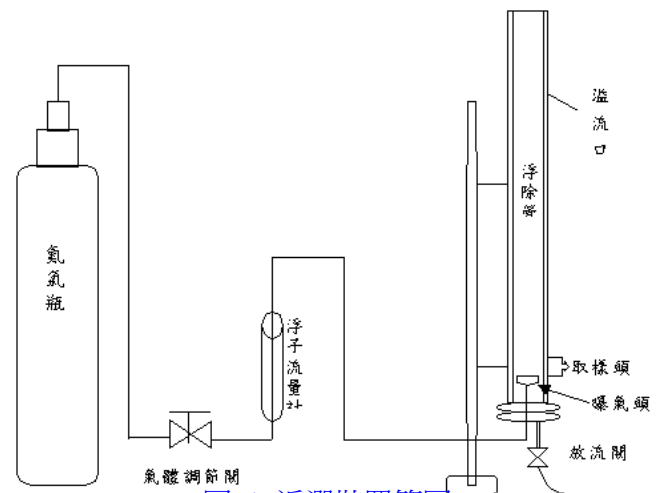
三、選擇含鉻離子為研究對象之原因

- (一)六價鉻會造成不良黏著、起泡現象，甚至降低陰極效率而不能被浮選。
- (二)市售清潔劑以陰離子型界面活性劑居多。

四、浮選裝置

工業上與大型實驗室裡皆有浮選器材(簡圖如圖二)，但皆太過於龐大且價格昂貴，所以我們希望利用實驗室裡的器材製造出一組適合實驗室使用的器材。從此圖中我們得知，一個完整的浮選裝置必須包含三個部分：

- (一)打氣裝置：將氣體打入浮選管內，使氣泡能與浮選溶液充分接觸。
- (二)浮選管：盛裝浮選液，界面活性劑所產生的氣泡在此與浮選液反應。
- (三)出水口：讓浮選後所得殘留的溶液，可自浮選管中取出，進行各項檢驗。



圖二 浮選裝置簡圖

五、比爾定律與光電比色計

(一)比爾定律(Beer's Law)

比爾定律 $A=abc$ ， A 為光的吸收值， a 為比色常數(各種溶質的比色常數不同)， b 為光穿透路徑， c 為液體濃度。

(二)光電比色計(如圖三)

光電比色計是利用可見光及紫外光之燈管(Lamp) 做為光源，通過濾光鏡調整色調，經聚焦後通過單色光分光稜鏡，再經過狹縫選擇波長，使成單一且特定波長之光線，而後射入樣品管中之水樣中，最後再射入光電管中；將光能轉換為電器訊號，藉由樣本及空白水樣間所吸收之光能量差，與標準液之能量吸收值相比較，便可推論樣本中待測物濃度值。穿透值為 100% -吸收值，每次使用光電比色計均要用溶劑歸零，將溶劑穿透值設為 100 ，則 $\text{穿透值} = \text{溶液穿透值} \div \text{溶劑穿透值} \times 100\%$ 。 Cr^{3+} 溶液的濃度主要影響波長為 610nm 。(穿透值以下皆簡稱 TRANS 值。)



圖三 光電比色計

肆、研究設備器材與藥品

一、設備

光電比色計、光電比色管、腳踏車打氣機、二氧化碳鋼瓶、水族箱打氣裝置。

二、器材

試管、橡皮塞、橡皮管、橡皮管夾、絕緣膠帶、玻璃管、壓克力管、防水泡綿墊、錐形瓶、分液漏斗、滴定管、滴定管夾、鐵架、滴管、抽濾瓶、濾紙、抽濾漏斗、石蕊試紙、馬錶。

三、藥品

各類界面活性劑(市售清潔劑)、硫酸鉻 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ 、鹽酸 HCl 、氫氧化鈉 NaOH 、碳酸鈉 Na_2CO_3 、石蕊試紙、酚酞指示劑。

伍、研究方法

一、溶液配製

(一)含 Cr^{3+} 母液 [利用硫酸鉻 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ 配製]

- 1.由文獻得知，硫酸鉻 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ 需帶有結晶水，才可溶於水。
- 2.本實驗所取的硫酸鉻為 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ 。
- 3.計算調配 200 ppm (為配合光電比色) Cr^{3+} 所需的硫酸鉻量：

$$200\text{ppm} = 200\text{mg/L}$$

$$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O克數} \times \frac{\text{Cr原子量} \times 2}{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O分子量}} = 0.2\text{g}$$

$$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O克數} = 0.2\text{g} \times \frac{52 \times 2 + 3(32 + 16 \times 4) + 18 \times 15}{52 \times 2} = 1.27\text{g}$$

計算調配 0.2 M(配合滴定操作使用) Cr^{3+} 一升所需的硫酸鉻量：

$$0.2\text{M} = 0.2\text{mol/L}$$

$$\frac{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O克數}}{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O分子量}} \times 2 = 0.2\text{mol}$$

$$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O克數} = 0.2\text{mol} \times (662\text{g/mol}) \div 2 = 33.1\text{g}$$

(二) 氫氧化鈉標準液的配製與標定

1. 配製概略濃度 1.0 M 的氫氧化鈉溶液。
2. 以鄰二酞酸氫鉀 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})(\text{COOK})$ ，KHP 標定之。

實驗序	所加 KHP 重(g)	所滴加 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 體積(mL)	[NaOH]
1	2.646	14.70	0.881
2	2.348	13.20	0.871

【結論】所配製 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 標準液的精確濃度為 0.876 M。

(三) 鹽酸標準液的配製與標定

1. 配製概略濃度 1.0 M 的鹽酸。
2. 以氫氧化鈉標準液標定之， $[\text{NaOH}] = 0.876\text{ M}$ 。

實驗序	所加 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 體積 (mL)	所滴加 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 體積 (mL)	[HCl]
1	8.00	7.20	0.788
2	8.00	7.30	0.799

【結論】所配製 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 標準液的精確濃度為 0.794 M。

二、市售清潔劑對三價鉻的浮選效果

- (一) 在數支試管中分別裝入 20 mL 的含 Cr^{3+} 溶液。
- (二) 在每支試管中，分別放入 2.0 g 的各類市售界面活性劑。
- (三) 塞上橡皮塞，各搖晃 10 下，使界面活性劑與含 Cr^{3+} 溶液充分混合並起泡。
- (四) 直接目測，觀察所得混合液體所呈現顏色的深淺。

三、設計浮選器材

(一) 第一代浮選裝置(如圖四)

1. 打氣裝置：腳踏車打氣裝置(如圖五)
2. 浮選管：600 mL 寶特瓶。

3.出水口：寶特瓶瓶蓋。

4.連接方式：將橡皮管一端連接打氣裝置出氣口，另一端連接寶特瓶下端開口處，並以絕緣膠帶封住所有接縫。寶特瓶上端另鑿孔，連接另一條橡皮管，讓泡沫可從此處流出。

5.設計原理：從寶特瓶下端打進氣體，使氣泡經過浮選液的時間較長，能夠充分與該溶液接觸。泡沫位置較水面高，上端開口讓泡沫可以溢出。



圖四 浮選裝置一



圖五 腳踏車打氣裝置

(二) 第二代浮選裝置(如圖六)

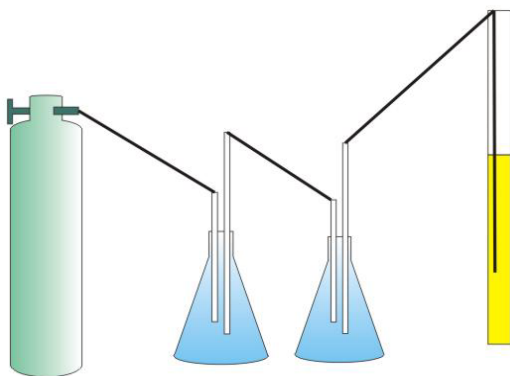
1.打氣裝置：二氧化碳鋼瓶(如圖七)。

2.浮選管：長 90 cm、直徑 2cm 玻璃管，下端以橡皮塞塞住。

3.出水口：橡皮塞。

4.連接方式：以橡皮管連接二氧化碳鋼瓶的出氣口，再連接兩個緩衝瓶，最後深入玻璃管底。

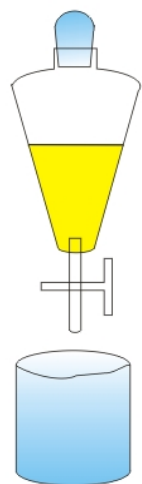
5.設計原理：所使用實驗器材，密合度較佳，不會發生漏水的現象。泡沫可以從玻璃管上方溢出，即使不溢出也會暫時留在玻璃管中；浮選後殘留的溶液，打開玻璃管下端橡皮塞即可流出。二氧化碳鋼瓶出氣壓力固定，可以避免人為誤差；所使用的緩衝瓶，可降低鋼瓶內氣體洩出的壓力。



二氧化碳鋼瓶 緩衝瓶 浮選管
圖六 浮選裝置二



圖七 二氧化碳鋼瓶



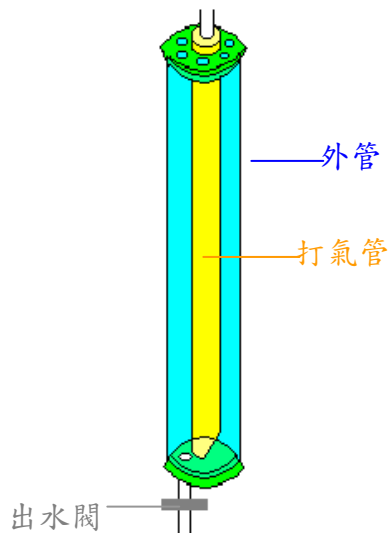
圖八 浮選裝置三

(三) 第三代浮選裝置(如圖八)

1. 打氣裝置：手搖。
2. 浮選管：分液漏斗。
3. 出水口：分液漏斗的活栓。
4. 設計原理：手搖晃，使分液漏斗中的浮選溶液與空氣充分混合，再利用分液漏斗本身裝置中的活栓，可以輕易取出浮選液，且沒有壓力控制的問題。

(四) 第四代浮選裝置(如圖九、圖十)

1. 打氣裝置：二氧化碳鋼瓶(如圖七)、水族箱打氣裝置。
2. 浮選管：直徑 9 cm、長 90 cm 的壓克力管，下端以剪裁適當的防水泡綿墊封口。
3. 出水口：浮選管底的防水泡綿墊鑽孔，插入一大小適中的玻璃管，玻璃管外側端連接橡皮短管，並以橡皮管夾作為活栓。
4. 設計原理：由打氣管打入氣體，使外管中的溶液與氣泡充分接觸，浮選過程中的泡沫會停留在外管，浮選後由下方出水閥取水。



圖九 浮選裝置四



圖十 利用浮選裝置四進行浮選操作

四、三價鉻濃度檢測法

(一) 光電比色法

1. 理論：見文獻探討五。
2. 方法
 - (1) 將光電比色計電源打開，至少熱機 20 分鐘以上。
 - (2) 將溶劑倒入空的比色管內，並放入測試座內。
 - (3) 按「100 % T/OA」鍵歸零。
 - (4) 將待測液體放入空的比色管內，並放入測試座內。
 - (5) 讀取 TRANS 值。

3.改良 1——製作檢量線

(1) 目的：希望在比色法確實可採用後，利用所測得的 TRANS 值與檢量線之關係，推論浮選後各溶液的濃度。

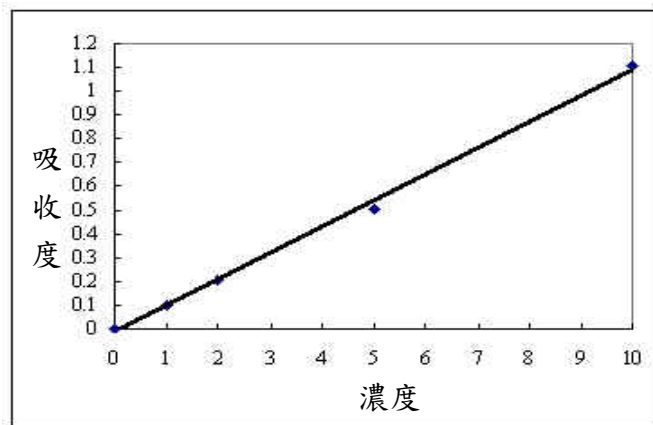
(2) 原理

A. 儀器分析前，需先配製標準溶液(Standard Solution)，以製作檢量線(Calibration Curve)。

B. 檢量線，是利用已知濃度之多個標準液，取得特定狀況下，儀器反應間之關係曲線，如吸收度與濃度關係之曲線，再利用線性迴歸以求出一條直線，此線便稱「檢量線」，如圖十一所示。

C. 測定未知濃度之樣品時，利用其吸收度(或其它參數)，在先前所求得之檢量線上找出所對應的濃度值。

D. 此法在化學分析上應用甚廣，但需注意樣品的濃度不能超過最大濃度之標準液，因為超過超出檢量線之範圍後，無法確認是否仍依循皮爾定律，因此檢測時需使樣本之濃度落於標準液之濃度範圍內，若超出範圍，則需將該樣品稀釋以達要求。



圖十一 檢量線範例。

(3) 方法

A. 配製濃度從 8 ~152 ppm，每隔 16 ppm 為單位的三價鉻溶液。

B. 比色並紀錄所測得之各溶液 TRANS 值。

C. 為求精確，避免誤差發生，應各做三組，取其平均值。

4.改良 2——充分打氣使界面活性劑儘可能反應自溶液中完全去除

(1) 取 200mL 界面活性劑飽和溶液。

(2) 測量其 TRANS 值。

(3) 置入浮選管。

(4) 充分打氣、浮選，至泡沫不再冒出。

(5) 測量剩餘液體的 TRANS 值。

5.改良 3——尋找一個可測量鉻離子濃度之波長受界面活性劑影響最小

(1) 準備 4 支比色管，分別裝入水、等比例白蘭飽和洗衣粉水與蒸餾水、等比例白蘭飽和洗衣粉水與鉻母液、等比例鉻母液與蒸餾水。

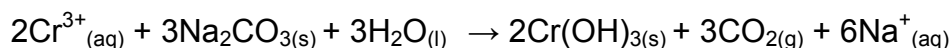
(2) 文獻上提及，三價鉻離子的最適合波長為 610 nm；故從光電比色計中

- 610 nm 所在的 3 號標示位置 482-736nm 開始，每隔 50 nm 測量一次。
- (3) 每次測量前，均先以蒸餾水校正到 TRANS 值為 100，再測量其餘 4 支比色管內溶液所對應之值。
 - (4) 尋找由效果較佳的波長範圍，進行更精細的測量。
 - (5) 嘗試從各組數據中尋找其相關性。

(二) 酸鹼滴定

1. 原理

- (1) 酸鹼中和達當量點時，酸所提供的氫離子與鹼所提供的氫氧根離子莫耳數應相等。
- (2) 在浮選後所得的溶液中加入定量碳酸鈉 Na_2CO_3 固體，使其與浮選所得溶液中的鉻離子完全反應。其化學反應式為：



- (3) 將反應所得固體濾去後，溶液中應有剩餘多量的 Na_2CO_3 存在。
- (4) 將濾液先用鹽酸標準液酸化，再以氫氧化鈉標準液滴定，恰達當量點時，溶液中的酸克當量應與鹼克當量相等。

$$\text{HCl mmol} = \text{NaOH mmol} + (\text{與鉻離子反應後剩餘的 } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ mmol} \times 2)。$$

- (5) 推論浮選後溶液中殘留的鉻離子毫莫耳數。

$$(\text{原 } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 毫莫耳數} - \text{與鉻離子反應後剩餘 } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 毫莫耳數})$$

$$= \frac{3}{2} \times \text{鉻離子毫莫耳數}。$$

2. 方法

- (1) 自浮選管中取出浮選後的溶液 10.0 mL。
- (2) 加入 0.15 克 Na_2CO_3 固體，充分攪拌
- (3) 將此溶液抽濾，將可得氫氧化鉻固體及濾液。(如圖十二)
- (4) 將所得濾液，加入 3.0 mL 鹽酸 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 酸化；可以石蕊試紙檢驗，確定該溶液已呈酸性。
- (5) 上述所得酸性溶液，滴加 2~3 滴酚酞指示劑，再以氫氧化鈉標準液滴定，至溶液呈紫紅色，即停止滴定，記錄所滴加之氫氧化鈉標準液體積。(如圖十三)
- (6) 計算浮選後溶液中所含鉻離子量。



圖十二 抽濾溶有碳酸鈉的浮選溶液



圖十三 以 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 滴定

(三) 坩堝法

1.原理

- (1) 界面活性劑為碳氫氧化合物，遇高溫時應會成為 CO_2 與 H_2O 而逸散。
- (2) Cr^{3+} 金屬離子，不會因高溫而逸散。
- (3) 將浮選後液體經過坩堝處理，再調回原本體積與 pH 值，處理前後的 Cr^{3+} 濃度應該一樣。
- (4) 處理過後的溶液組成應較單純，可以用光電比色來確認其濃度。

2.方法

- (1) 取 5 mL 浮選後液體置入坩堝中，並以本生燈加溫。
- (2) 待溶液完全蒸發以後，取下坩堝冷卻。
- (3) 冷卻後加入濃 HNO_3 溶解 Cr^{3+} 。
- (4) 以 NaOH 溶液中中和之。
- (5) 加入 H_2O 使其體積恢復到 5mL。
- (6) 置入光電比色計比色。



圖十四 浮選裝置之二氧化碳組

五、打氣方式對三價鉻的浮選效果

(一)打氣方法分三種

1.大泡泡二氧化碳組

在浮選管中插入直徑兩公分的壓克力管(圖十四右上方透明管)，上端以橡皮管連接二氧化碳鋼瓶，讓空氣進入。下端開口讓空氣能與外管的液體充分混合。

2.小泡泡二氧化碳組

二氧化碳鋼瓶與水族箱打氣管(圖十四之左方細管)連接，使出來的空氣汽泡較細，再將打氣管置入浮選管。

3.小泡泡空氣組：

使用插電式水族箱打氣裝置(圖十四之中央裝置)，將打氣管置入浮選管。

- (二)將飽和一匙靈亮彩洗衣粉溶液 100 mL 與 Cr^{3+} 母液 100mL 混合。
- (三)將混合液置入浮選管。
- (四)充分打氣使泡沫滿管並紀錄時間。
- (五)將浮選後的液體進行酸鹼滴定，各操作兩次。
- (六)換算並紀錄濃度。

六、清潔劑品牌對三價鉻的浮選效果

- (一) 將各品牌的飽和洗衣粉溶液 100 mL 與 0.02 M 的 Cr^{3+} 母液 100mL 混合。
- (二) 將混合液置入浮選管。
- (三) 充分打氣 5 分鐘。
- (四) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。

七、界面活性劑與三價鉻的比例對三價鉻的浮選效果

- (一) 將 Cr^{3+} 母液 100 mL 與蒸餾水依 100 mL 混合。
- (二) 分別加入不同量的洗衣粉。
- (三) 將混合液置入浮選管。
- (四) 充分打氣 5 分鐘。
- (五) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。

八、打氣時間對三價鉻的浮選效果

- (一) 將 Cr^{3+} 母液 100 mL 與蒸餾水 100 mL 混合。
- (二) 分別加入 1.2g 的洗衣粉。
- (三) 將混合液置入浮選管。
- (四) 充分打氣 1~8 分鐘。
- (五) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。

九、浮選管口徑對三價鉻的浮選效果

- (一) 將 Cr^{3+} 母液 100 mL 與蒸餾水 100 mL 混合。
- (二) 分別加入 1.2g 的洗衣粉。
- (三) 將混合液分別置入口徑為 4cm、6cm、9cm 的浮選管。
- (四) 充分打氣 2 分鐘。
- (五) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。

十、液面高度與打氣時間對三價鉻的浮選效果

- (一) 將 Cr^{3+} 母液與蒸餾水與洗衣粉以 100mL: 100mL:0.6g: 混合。
- (二) 取不同體積混合液，以溶液量影響液面高度。
- (三) 將混合液分別置入口徑為 6cm 的浮選管。
- (四) 充分打氣 1~5 分鐘。
- (五) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。

十一、液面高度與打氣時間對三價鉻的浮選效果

- (一) 將 Cr^{3+} 母液、蒸餾水、洗衣粉以 100mL: 100mL:0.6g: 混合。
- (二) 取不同體積混合液，將混合液分別置入口徑為 4cm、6cm、9cm 的浮選管。
- (三) 充分打氣 2 分鐘。
- (四) 取出浮選後的溶液並測量其濃度。
- (五) 測量液面高度並觀察高度與浮選效果關係。

陸、研究結果

一、市售清潔劑對三價鉻的浮選效果

大多數界面活性劑，如沐浴乳、洗髮精、牙膏等的浮選效果都不顯著，但洗衣粉特

別明顯，浮選後的溶液顏色明顯比浮選前淡許多

二、設計浮選器材

(一) 第一代浮選裝置

1. 整個裝置容易漏水。
2. 泡沫無法理想地全部溢出，常會卡在橡皮管和瓶子裡。
3. 人工使用腳踏車打氣筒，打氣力道的隨機誤差很大，使所產生的氣泡大小不能完全一致。
4. 浮選後的溶液不容易取出。

(二) 第二代浮選裝置

1. 壓力不容易控制，且玻璃管口徑太細，浮選液體容易衝出浮選管，無法達到良好的浮選效果。
2. 裝置中的橡皮塞必須緊塞，不容易取出浮選後的溶液。

(三) 第三代浮選裝置

無法避免人工誤差。

(四) 第四代浮選裝置

使用上頗為方便，因此之後實驗皆使用此裝置進行。

三、三價鉻濃度檢測法

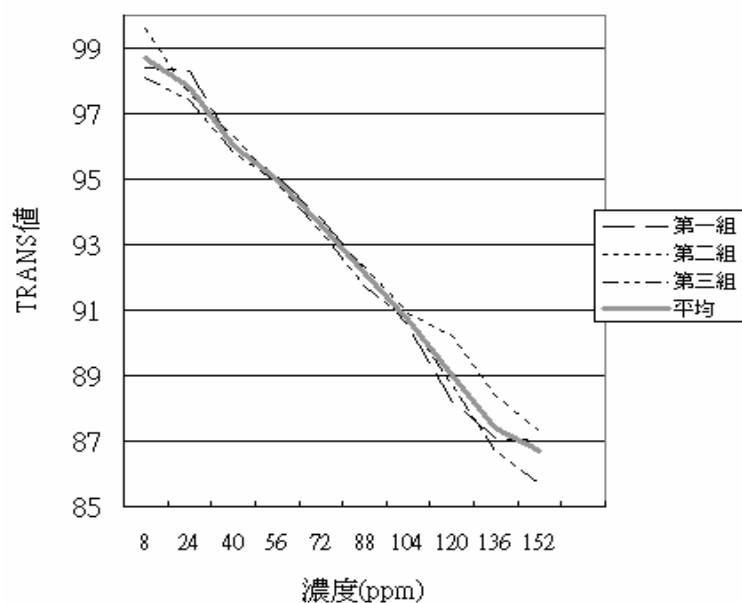
(一) 光電比色法

1. 初步使用結果

- (1) TRANS 值會忽高忽低，無法得到理想的線性函數。
- (2) 同一個樣品可能在數分鐘後的到差異很大的 TRANS 值。
- (3) 有時候樣品放入比色計以後 TRANS 值會一直跑，不穩定。

2. 改良 1——製作檢量線(表一、圖十五)

濃度 (ppm)	TRANS 值			
	第一組	第二組	第三組	平均
8	98.4	99.6	98.1	98.7
24	98.3	97.6	97.4	97.8
40	96	96.3	95.8	96
56	95.1	94.9	94.9	95
72	93.8	93.6	93.4	93.6
88	92.2	92.3	91.7	92.1
104	90.5	90.9	90.7	90.7
120	88.2	90.2	88.7	89
136	87.1	88.4	86.7	87.4
152	87	87.3	85.7	86.7



3. 改良 2——充分打氣使界面活性劑儘可能反應自溶液中完全去除
測試波長 610；
水 100、加入界面活性劑浮選前 91.3、加入界面活性劑浮選後 98.7。
4. 改良 3——尋找可測量鉻離子但受界面活性劑影響最小之波長
(表二、圖十六)

波長	水	白蘭+水	白蘭+鉻	鉻+水	B-C (註 1)	B-D (註 2)	B-E (註 3)	C-E (註 4)	E-D (註 5)
482	100	88.4	49.3	92.4	11.6	50.7	7.6	-4.0	43.1
532	100	88.7	55.2	87.8	11.3	44.8	12.2	0.9	32.6
582	100	89.8	58.4	79.6	10.2	41.6	20.4	10.2	21.2
632	100	90.7	63.8	86.2	9.3	36.2	13.8	4.5	22.4
682	100	91.0	69.0	94.3	9.0	31.0	5.7	-3.3	25.3
732	100	91.7	72.6	98.7	8.3	27.4	1.3	-7.0	26.1
562	100	91.1	57.9	81.4	8.9	42.1	18.6	9.7	23.5
564	100	91.4	58.2	81.2	8.6	41.8	18.8	10.2	23.0
572	100	90.7	58.2	80.3	9.3	41.8	19.7	10.4	22.1
577	100	91.8	59.2	79.9	8.2	40.8	20.1	11.9	20.7
582	100	91.6	59.8	79.6	8.4	40.2	20.4	12.0	19.8
592	100	91.7	60.9	80.0	8.3	39.1	20.0	11.7	19.1
610	100	90.6	61.6	81.9	9.4	38.4	18.1	8.7	20.3
572	100	91.7	59.2	80.1	8.3	40.8	19.9	11.6	20.9
582	100	91.6	59.8	79.5	8.4	40.2	20.5	12.1	19.7

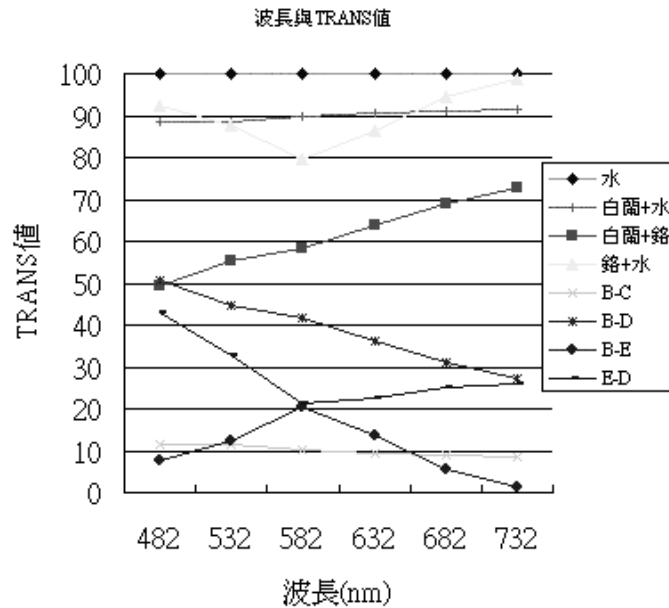
[註 1] B-C 組數據為水 TRANSD 值-(白蘭+水)TRANSD 值。

[註 2] B-D 組數據為水 TRANSD 值-(白蘭+鉻)TRANSD 值。

[註 3] B-E 組數據為水 TRANSD 值-(鉻+水)TRANSD 值。

[註 4] C-E 組數據為(白蘭+水)TRANS 值-(鉻+水)TRANS 值。

[註 5] E-D 組數據為(鉻+水)TRANS 值-(白蘭+鉻)TRANS 值。



(二) 酸鹼滴定法

1. 所加 Na_2CO_3 的克數為 0.15 克，分子量 105.99，且 Na_2CO_3 為二元鹼。

2. $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 濃度為 0.876 M；所加體積為 5.0 mL。

3. $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 濃度為 0.794 M。

4. 浮選液中含鉻離子濃度推算公式：

[V_{NaOH} 為達當量點時所滴加 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 體積；

n 為與 Cr^{3+} 反應後剩餘的 Na_2CO_3 莫耳數]

$$3.0 \times 0.794 = V_{\text{NaOH}} \times 0.876 \text{ M} + n \times 10^3 \times 2$$

$$2 \times \left[\left(\frac{0.15}{105.99} \right) - n \right] = 3 \times \text{溶液中含鉻離子的莫耳數。}$$

5. 取浮選後溶液 10.0 mL，操作後，達當量點時共加入 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 2.8 mL，則可計算出浮選溶液中含鉻離子毫莫耳數為 0.438 m mol；所配製溶液中含鉻離子的理論值為 0.40 m mol。

(三) 坩堝法

1. 當界面活性劑量少時，此方法可行。

2. 當界面活性劑量多時，加溫會使液體焦掉，導致最後比色值出問題。

四、打氣方式對三價鉻的浮選效果

(一) 觀察泡泡的形成

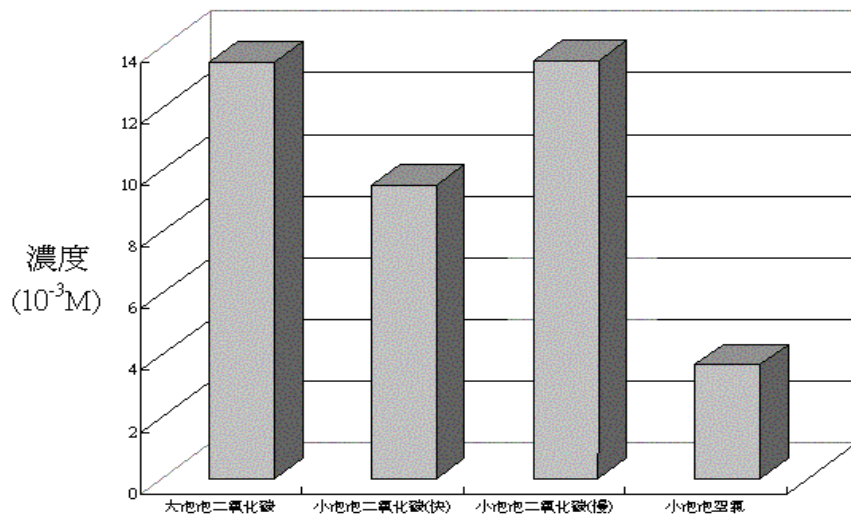
1. 大泡泡組(使用 2 cm 壓克力管打氣)：每顆泡泡皆很大，形成快速卻也快速破裂，不容易達到滿管。
2. 小泡泡組(使用水族箱打氣管)：泡泡較細密，形成速度較緩慢但形成後很穩定不會那麼快破裂。

(二) 濃度變化(表三、圖十七 此處濃度為浮選後濃度)

	打氣方式	打氣時間	酸鹼滴定			Cr ³⁺ 濃度 (M)	Cr ³⁺ 平均濃度(M)
			Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)		
1	大泡泡 CO ₂	6'11"27 (註 1)	0.1	3.00	1.45	1.29×10 ⁻²	1.35×10 ⁻²
			0.101	3.00	1.50	1.40×10 ⁻²	
2	小泡泡 CO ₂	0'17"97	0.103	3.00	1.15	9.50×10 ⁻³	9.52×10 ⁻³
			0.103	3.05	1.20	9.60×10 ⁻³	
3	小泡泡 CO ₂	0'31"81	0.104	3.00	1.35	1.27×10 ⁻²	1.32×10 ⁻²
			0.1	3.00	1.50	1.36×10 ⁻²	
4	小泡泡 空氣	5'46"99	0.101	3.00	0.80	3.70×10 ⁻³	3.70×10 ⁻³

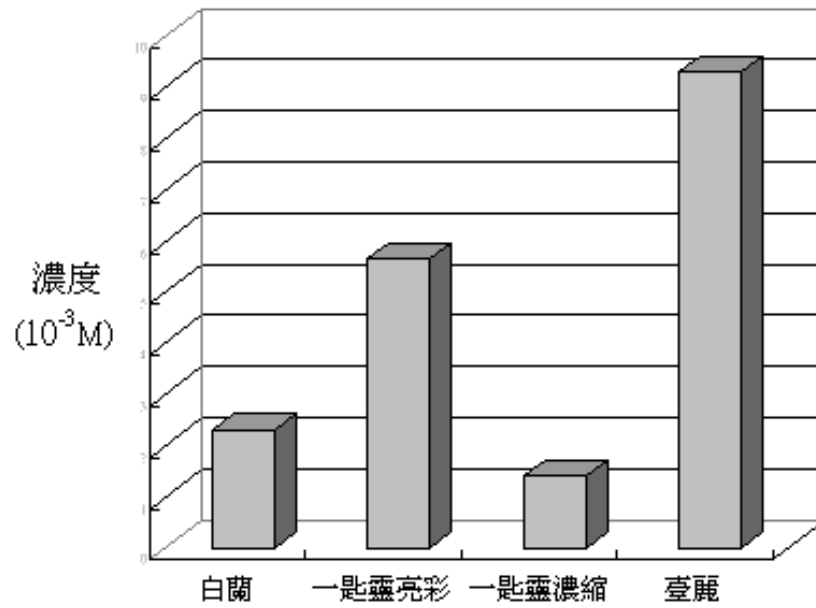
註一：由於大泡泡難以滿管，打氣時間並非泡沫滿管時間。

註二：由於大泡泡 CO₂ 明顯效果不彰，因此沒有做大泡泡空氣組。



五、清潔劑品牌對三價鉻的浮選效果(表四、圖十八 此處濃度為浮選前後濃度差)

洗衣粉品牌	浮選前濃度(M)	酸鹼滴定			浮選後濃度(M)	浮選前後濃度差(M)
		Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)		
白蘭	1.55×10 ⁻²	0.101	3.0	1.45	1.32×10 ⁻²	2.30×10 ⁻³
一匙靈 亮彩	1.75×10 ⁻²	0.113	3.0	1.20	1.34×10 ⁻²	5.65×10 ⁻³
		0.108	3.0	1.10	1.03×10 ⁻²	
一匙靈 濃縮	1.31×10 ⁻²	0.110	3.0	1.20	1.24×10 ⁻²	1.40×10 ⁻³
		0.101	3.0	1.30	1.10×10 ⁻²	
臺麗	1.47×10 ⁻²	0.105	3.0	0.80	5.00×10 ⁻³	9.30×10 ⁻³
		0.107	3.0	0.80	5.60×10 ⁻³	



圖十九 白蘭組的浮選過程 圖二十 白蘭組浮選前後(左邊較清澈者為浮選後溶液)



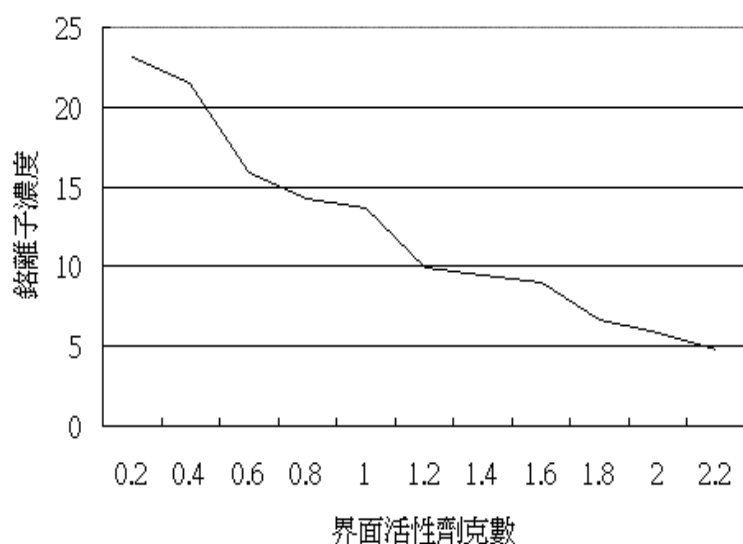
圖二十一 浮選前後的各溶液

六、界面活性劑與三價鉻的比例對三價鉻的浮選效果(表五、圖二十二、表六、圖二十三)

洗衣粉量 (g)	酸鹼滴定			浮選後 濃度(M)	平均(M)
	Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)		
0.2	0.102	3.00	2.10	2.30×10 ⁻²	2.31×10 ⁻²
	0.107	3.00	2.00	2.32×10 ⁻²	

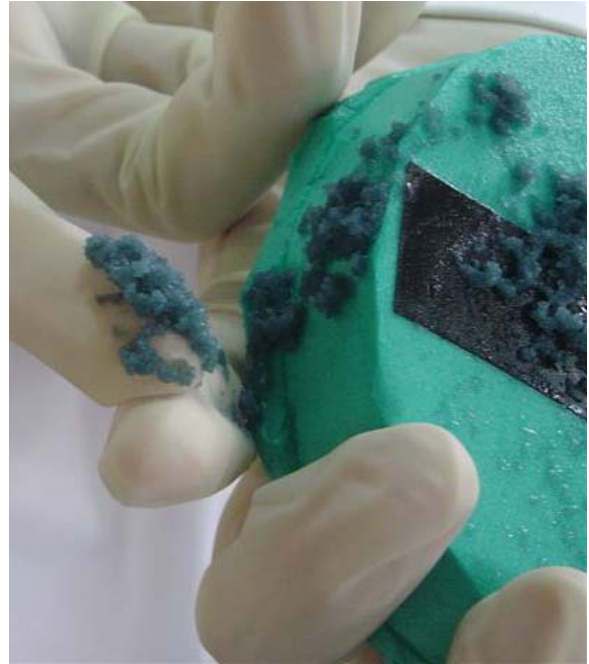
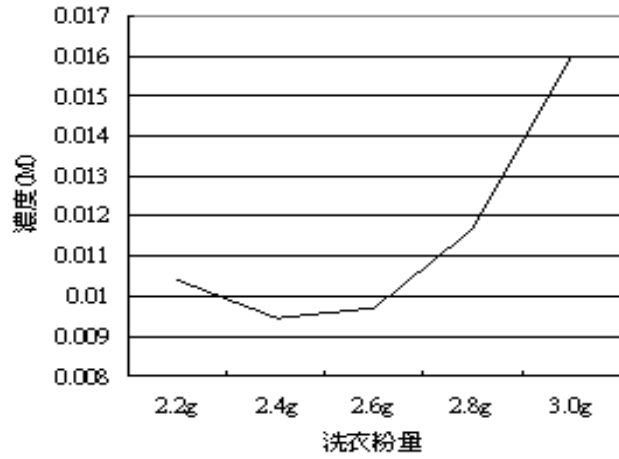
0.4	0.109	3.00	1.90	2.23×10^{-2}	2.14×10^{-2}
	0.106	3.05	1.90	2.07×10^{-2}	
0.6	0.102	3.20	1.70	1.46×10^{-2}	1.60×10^{-2}
	0.102	3.05	1.75	1.73×10^{-2}	
0.8	0.101	3.00	1.50	1.40×10^{-2}	1.36×10^{-2}
	0.103	3.00	1.40	1.31×10^{-2}	
1.0	0.103	3.00	1.35	1.24×10^{-2}	1.37×10^{-2}
	0.104	3.00	1.50	1.49×10^{-2}	
1.2	0.1	3.00	1.20	9.30×10^{-3}	9.95×10^{-3}
	0.102	3.00	1.25	1.06×10^{-2}	
1.4	0.106	3.00	1.05	8.97×10^{-3}	9.48×10^{-3}
	0.1	3.00	1.25	1.00×10^{-2}	
1.6	0.102	3.00	1.15	9.17×10^{-3}	9.01×10^{-3}
	0.101	3.00	1.15	8.85×10^{-3}	
1.8	0.106	3.00	1.00	8.24×10^{-3}	6.64×10^{-3}
	0.104	3.00	1.05	8.34×10^{-3}	
2.0	0.103	3.00	0.90	5.83×10^{-3}	5.83×10^{-3}
	0.103	3.00	0.90	5.83×10^{-3}	
2.2(註)	0.102	3.00	0.85	4.79×10^{-3}	4.79×10^{-3}
	0.102	3.00	0.85	4.79×10^{-3}	

註：實驗至加入 2.2 g 洗衣粉即停止的原因，是利用滴定法已經無法測得其濃度。



洗衣粉量(g)	酸鹼滴定			浮選後濃度 (10^{-2} M) Na_2CO_3 (g)
	Na_2CO_3 (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)	
2.200	0.100	3.00	2.200	0.100

2.400	0.100	3.00	2.400	0.100
2.600	0.103	3.00	2.600	0.103
2.800	0.103	3.00	2.800	0.103
3.000	0.104	3.00	3.000	0.104

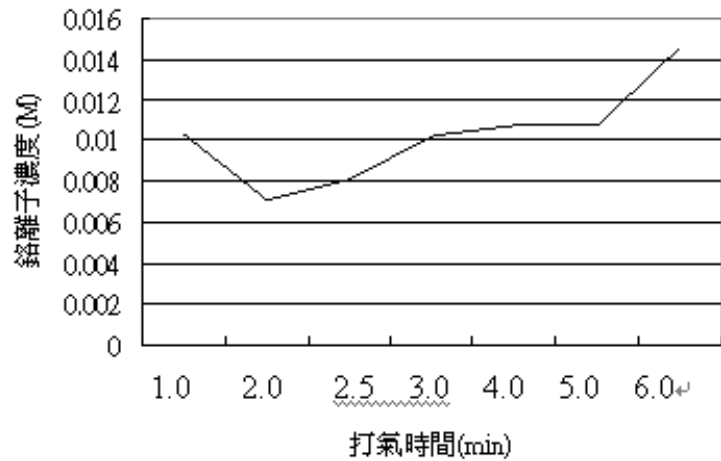


圖二十四 浮選後被泡沫帶出的含鉻化合物 圖二十五 去掉泡沫的含鉻化合物

七、打氣時間對三價鉻的浮選效果(表七、圖二十六)

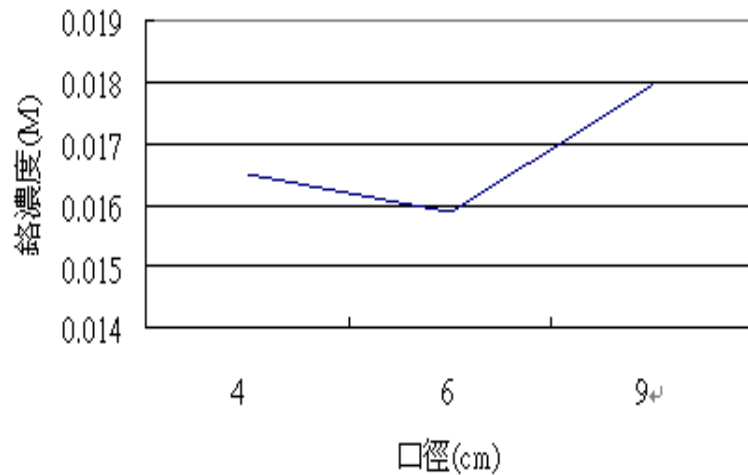
打氣時間 (min)	酸鹼滴定			浮選後濃度 ($10^{-3}M$)
	$Na_2CO_3(g)$	HCl(mL)	NaOH(mL)	
1.0	0.101	3.00	1.25	10.3
2.0	0.100	3.00	1.05	7.08
2.5	0.101	3.00	1.10	8.12
3.0	0.103	3.00	1.20	10.2
4.0	0.100	3.00	1.30	10.7
5.0	0.100	3.00	1.30	10.7

6.0	0.103	3.00	1.50	14.5
-----	-------	------	------	------



八、浮選管口徑對三價鉻的浮選效果(表八、圖二十七)

浮選管 口徑(cm)	酸鹼滴定			浮選後濃度(M)	平均濃度 (10^{-2} M)
	Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)		
4	0.101	3.00	1.65	0.016154	1.65
	0.101	3.00	1.70	0.016884	
6	0.105	3.05	1.60	0.016020	1.58
	0.102	3.00	1.60	0.015738	
9	0.106	3.05	1.75	0.018525	1.79
	0.100	3.10	1.85	0.017436	

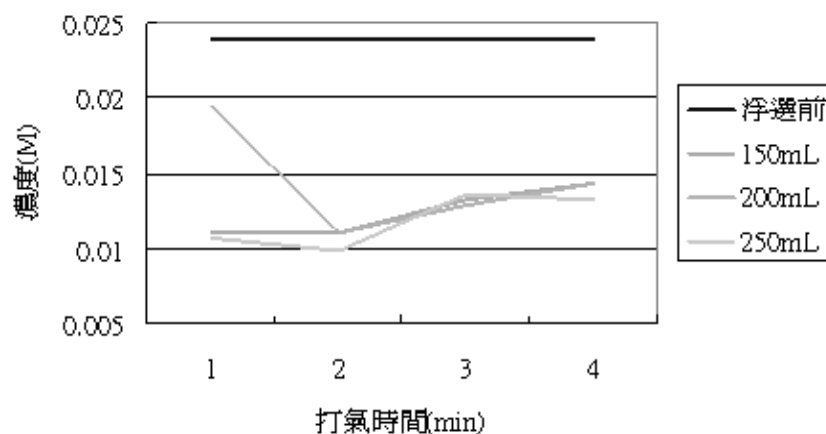


九、液面高度與打氣時間對三價鉻的浮選效果(表九、圖二十八)

溶液量 (mL)	打氣時 間(min)	酸鹼滴定			浮選後濃度 (10^{-2} M)
		Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)	
	浮選前	0.100	3.00	2.20	2.38
150	1.0	0.101	3.00	1.30	1.04

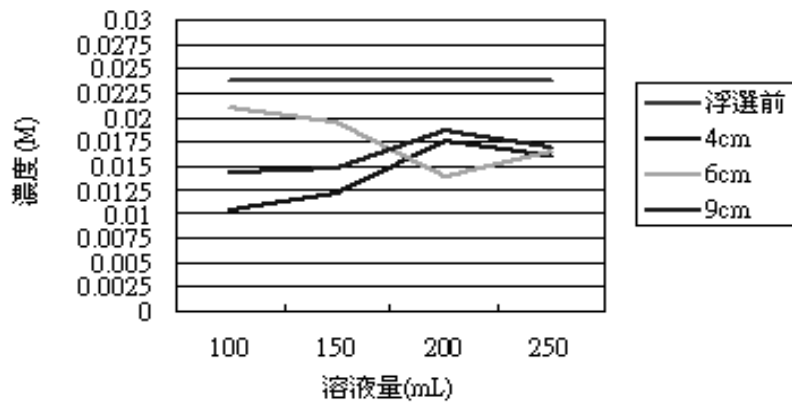
	2.0	0.101	3.00	1.30	1.10
	3.0	0.101	3.00	1.45	1.32
	*4.0	0.051	1.50	0.75	0.71
200	1.0	0.102	3.00	1.85	1.94
	2.0	0.103	3.10	1.35	1.11
	3.0	0.102	3.00	1.40	1.28
	4.0	0.102	3.00	1.50	1.43
250	1.0	0.100	3.00	1.30	1.07
	2.0	0.102	3.00	1.20	0.99
	3.0	0.102	3.00	1.45	1.35
	4.0	0.101	3.00	1.45	1.32

註：*表示浮選後溶液量少於 20mL，故僅用 10mL 進行滴定，與其他組用 20mL 不同。

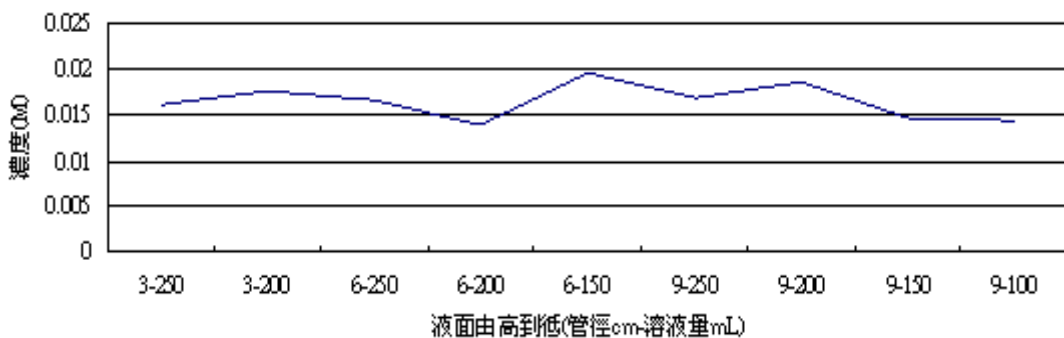


十、液面高度與口徑對三價鉻的浮選效果(表十、圖二十九、表十一、圖三十)

浮選管 口徑(cm)	酸鹼滴定			浮選後濃度(M)	平均濃度 (10^{-2} M)
	Na ₂ CO ₃ (g)	HCl(mL)	NaOH(mL)		
4	0.101	3.00	1.65	0.016154	1.65
	0.101	3.00	1.70	0.016884	
6	0.105	3.05	1.60	0.016020	1.58
	0.102	3.00	1.60	0.015738	
9	0.106	3.05	1.75	0.018525	1.79
	0.100	3.10	1.85	0.017436	



	100mL	150mL	200mL	250mL
3cm	9.70	14.30	19.00	23.00
6cm	4.50	6.50	8.70	11.00
9cm	1.90	2.10	3.90	4.60



柒、討論

一、三價鉻濃度檢測法

(一) 光電比色法不可行之原因

1. 初步使用結果

應是界面活性劑影響比色結果，因此我們希望能夠減低界面活性劑再比色時的影響。

2. 改良 2——充分打氣使界面活性劑儘可能反應自溶液中完全去除

難以定奪何時為界面活性劑反應完全，此法不可行。

3. 改良 3——尋找可測量鉻離子但受界面活性劑影響最小之波長

無法找到可測量鉻離子濃度但受界面活性劑影響最小的理想波長。因為界面活性劑的 TRANS 值隨波長增加沒有上限，而鉻卻有 610nm 的高峰值；在對界面活性劑的影響降到最低之前，已經超過測量鉻離子濃度的理想波長範圍，因此無法測量鉻的 TRANS 值。

4. 利用文獻內容討論

(1) 比爾定律中，由於鉻與界面活性劑為不同物質， a 值也將不同，因此無法從 TRANS 值直接推知混合溶液中鉻離子的濃度。

(2)比爾定律僅適用於稀薄溶液，界面活性劑濃度過高，因此不適用比爾定律。

(3)混合物可能會不斷反應，造成 TRANS 值不斷改變。

結論→此實驗無法如此簡單地使用光電比色計。

(二) 酸鹼滴定法

由於誤差值一定，此方法可用以定量溶液中含鉻離子的莫耳數。

(三) 坩堝法

1. 推測燒焦原因，可能是我們所使用的界面活性劑並不純，內含一些不適用於坩堝處理的物質，當界面活性劑量少時，那些洗衣粉添加物的影響不顯著，但量多時就會顯現出來。

2. 坩堝法只適用於界面活性劑量少時的檢測，但此範圍同時適用於處理程序較簡易的酸鹼滴定法。

二、打氣方式對三價鉻的浮選效果

(一)大泡泡效果不佳，可能原因為泡泡太大，與溶液接觸面積較小，且泡泡快速破裂，使得三價鉻離子又回到液體裡面。

(二)打入空氣效果比二氧化碳好。我們猜測主要原因不是 CO₂ 或 N₂ 的差別，而是打氣方式，因為二氧化碳鋼瓶壓力還是比水族箱打氣裝置大，泡沫較不細緻。

三、界面活性劑與三價鉻的比例對三價鉻的浮選效果

由文獻上查知，當界面活性劑濃度過高時，過多的界面活性劑會以「微胞」的形式留在溶液中，使浮選效果變差，因此當界面活性劑所加的量過多時，可能其浮選效果又將降低。

四、打氣時間對三價鉻的浮選效果

(一) 由實驗結果可得知，打氣時間在兩分鐘時效果最佳。

(二) 推測原因，可能打氣時間過久，會造成原本被界面活性劑吸附的鉻離子又溶回溶液中，因此浮選後濃度高於打氣時間較短的組別。

五、液面高度與打氣時間對三價鉻的浮選效果

(一)在 200mL 與 250mL 兩組皆以打氣 2 分鐘浮選效果最好，而在 150mL 組 1、2 分鐘的浮選效果相同，因此我們推論打氣時間兩分鐘的浮選效果最好。推測其原因，若時間短於兩分鐘，則因為界面活性劑還無法與鉻離子充分作用；若時間長於兩分鐘，則可能因為打氣時間過久會造成原本被界面活性劑吸附的鉻離子又溶回溶液中，因此浮選後濃度高於打氣時間較短的組。

(二)由於不論溶液量，各組皆以兩分鐘為浮選效果最好的時間點，因此我們推測最佳打氣時間的長短與打氣裝置(如泡沫生成速率、氣泡大小)有關，而與溶液量較無關。

六、液面高度與口徑對三價鉻的浮選效果

(一)控制不同體積的混合液，是為了使其在浮選管中造成不同高度。

(二)實驗溶液量的範圍是依據各口徑浮選管所造成的液面高度而定，例如 100mL 以下的溶液在口徑 6cm 以上的浮選管皆會因為液面過低而無法進行浮選。

(三)浮選管徑 6cm、溶液 200mL 的浮選效果最佳。

(四)由液面高度與浮選效果比較圖中，看不出明顯的相關性，因此推測浮選效果不

直接與液面高度成比例關係，需與浮選管口徑搭配。

捌、結論

一、界面活性劑種類

(一)眾多市售清潔劑中以洗衣粉對三價鉻的浮選效果最好。

(二)洗衣粉中又以台麗牌對三價鉻的浮選效果最好。

二、良好浮選裝置條件

(一)浮選管的長度要夠且不可太寬，才能讓液面夠高增長氣泡跟液體接觸時間。

(二)浮選管口徑不可太細以免液體衝出。

(三)必須具備方便的出水口、進氣口。

三、打氣條件：泡沫越細緻、起泡速率越緩和，浮選效果越好。

四、鉻離子與界面活性劑比例對浮選效果的影響

(一)在 200mL Cr^{3+} 溶液中，2.4g 洗衣粉的浮選效果最好。

(二)當界面活性劑濃度過高時，過多的界面活性劑會以微胞的形式留在溶液中，使浮選效果變差，因此當界面活性劑所加的量過多時，可能使其浮選效果又降低。

五、打氣時間對浮選效果的影響

(一)對於任何管徑與溶液量，皆以打氣時間為兩分鐘的浮選效果最好。

(二)我們推測影響最佳打氣時間點的因素為打氣裝置，而非管徑或溶液量。

六、浮選管口徑對浮選效果的影響

(一)由於浮選效果最佳的口徑依浮選的溶液量不同而相異，因此浮選時最佳的浮選口徑，取決於浮選溶液量。

(二)當溶液量為 200mL 時，6cm 的浮選效果最好。

(三)太窄的口徑會使浮選後的溶液量減少，使用上不方便。

七、液面高度對浮選效果的影響

(一)當浮選管口徑相同時，液面高度越高，浮選效果越好。

(二)當浮選管口徑不同時，浮選效果與液面高度沒有直接關係。

八、歸納我們所有實驗的結果，200mL 的三價鉻溶液、2.4g 的臺麗洗衣粉，於管徑 6cm 的浮選管中，以水族箱打氣裝置打氣進行浮選，浮選效果最佳。

玖、參考文獻及其他

一、人文出版社編委會，化學化工藥物大辭典，第一版，台中市，人文出版社，民國 66 年。

二、台北市立第一女子高級中學，高級中學數理教育叢書，第一版，台北市，教育部中等教育司，民國 85 年。

三、高思懷、呂冠霖，電聚浮除技術應用之研析，工安環保報導第 9 期。

四、黃榮茂等，化學化工百科辭典，第一版，台北市，曉園出版社，p.230.p.784，民國 76 年。

- 五、趙承琛，民 84 年，界面活性劑探索，科學月刊，第 48 期。
- 六、Pierre-Gilles de Gennes，固特異的軟物質，第一版，台北市，天下遠見，民國 88 年。
- 七、Skoog • West，儀器分析，第二版，台北市，曉園出版社，民國 79 年。
- 八、台大生物環境系統工程學系 農業環境研究室 <http://orcinus.ae.ntu.edu.tw/LabAnaly/ectest12.htm>
- 九、高雄普門中學 <http://www.pmsk.khc.edu.tw/data/SCIENCE/1/newpage1.htm>