

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 環境學科

052608

綠色化學-重金屬化合物回收

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者：  高二 高宏昌  高二 潘忠鴻  高二 賴維得	指導老師：  劉宗憲  林清基
---	-----------------------------

關鍵詞：重金屬、回收、環保

## 摘要

回收實驗或工業重金屬廢棄溶液一直是綠色化學重要的課題之一，我們研究探討幾種金屬鹽類溶液，利用不同溶劑對物質溶解度的關係，加入有機溶劑，討論金屬鹽類析出情形。

實驗發現加入各溶液會有兩種不同情形，一、晶體析出；二、溶液分層。並透過實驗了解晶體析出量與有機溶劑量對溶液濃度的關聯，找出得到晶體析出率最高效益。我們也探討部分溶液中產生分層的原因，以及上層溶液與下層溶液的差別。

我們希望藉由研究這些特性可以應用在析出工業廢水中的重金屬離子而改善工業排放廢水的環境問題、或是可以利用分層的特性，讓原本濃度較低的溶液濃縮成較高濃度的溶液較方便進行回收。

## 壹、研究動機

在化學課堂中，我們做著老師精心安排的實驗，但實驗結束後總是會有廢液需要處理，每次都直接倒在廢液桶裡面其實感覺挺浪費的。讓我們不禁思考著，該如何讓那些廢液回收再利用呢？該如何使這些廢液中的離子再萃取出來？

而在最近的新聞中，我們常常看到不肖商人恣意排放含有重金屬離子的廢水進入河川或是下水道，看著新聞的我們當然是痛罵這些不肖廠商，但在我們痛罵之餘，我們也試著想想看，如何讓這些工廠廢水中重金屬離子形成鹽類晶體析出使其濃度低於法定濃度，讓廠商可以安全地排放。雖然如今科技發達，已經有電鍍法或是調整 pH 值得方法使金屬析出或產生氫氧化物，但是我們總覺得太過於耗能而不能吸引廠商，到底有什麼方式可行呢？這時候我們想到老師以前課堂講到極性，在溶液中加入較弱的極性溶劑可以使鹽類溶解度降低，使其析出。這就是促成我們實驗的動機。

## 貳、研究目的

廢液的處理一直是綠色化學很重要的一環，我們期望使用簡單以及可以回收利用的方式去處理廢液，特別是學校實驗室以及工廠的廢液。希望可以有效的分離或減少廢液的產生。

## 參、研究設備及器材

一、實驗藥品:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{COCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OH}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{HCOOH}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ 、乙二醇、甘油

二、實驗器具: 燒杯、試管、試管架、鋁箔紙、漏斗、刮勺、濾紙、滴管、玻棒、量筒、手套、電子秤。

## 肆、研究過程或方法

一、極性與非極性：

在化學中，極性指共價鍵或共價分子中電荷分布的不均勻性。如果電荷分布得不均勻，則稱該鍵或分子為極性；如果均勻，則稱為非極性。物質的一些物理性質（如溶解性、熔沸點等）與分子的極性相關。

二、溶解性：

極性分子對物質溶解性有很大影響。極性分子易溶於極性溶劑，非極性分子易溶於非極性溶劑，也即「同類互溶」。蔗糖、氨等極性分子和氯化鈉等離子化合物易溶於水。具有長碳鏈的有機物，如油脂、石油的成分多不溶於水，而溶於非極性的有機溶劑。

三、影響溶解度之因素

(一) 溶質與溶劑之本性：同類互溶(like dissolve like)

(1) 極性分子的溶質易溶於極性分子的溶劑，非極性分子的溶質易溶於非極性分子的溶劑。

例：碘( $\text{I}_2$ ，非極性分子)難溶於水( $\text{H}_2\text{O}$ ，極性分子)，但易溶於四氯化碳 ( $\text{CCl}_4$ ，非極性分子)或酒精( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ，極性不大的分子)

(2) 溶質與溶劑可生成氫鍵者，溶解度較大例：酒精為極性分子，且可與水形成氫鍵，易溶於水四氯化碳則否

(3)有機物易溶於有機物，無機物易溶於無機物。例：石油(有機物)不溶於水(無機物)，但可溶於丁醇(有機物)

(4)溶質具有極大分子量者，由於分子間吸引力較大，較難分開溶解至溶劑中，故溶解度較小  
小例：纖維素分子量約為 600000，故難溶於水

## (二)溫度

(1)大部分固體在水中之溶解度隨溫度升高而增大吸熱者，升溫則溶解度加大，如  $\text{CH}_3\text{COONa}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  放熱者，升溫則溶解度降低。

(2)氣體溶於水中必放熱，故升溫溶解度降低

## (三)壓力

(1)壓力對固體或液體的溶解度影響甚小，但對氣體溶解度影響很大

(2)氣體溶解度

1. 亨利定律：定溫下，一定量溶劑所能溶解氣體的質量與氣體之壓力成正比

2. 公式： $m=Kp$

## (四)溶解度差異 (水/丙酮單位: g/100g)

(1)硫酸銅 (20.7/幾乎不溶) (6)氯化鈉(35.9g/0.0042g)

(2)硫酸鎳 (65g/insoluble) (7)氯化銨(37.2g/(0.001~0.01g))

(3)硫酸鐵 (29.51 / 可忽略不計) (8)硝酸銅(139g/>10g)

(4)硫酸錳 (39.3/0.001) (9)氯化銅(53g/3g)

(5)氯化鈣 (74.5/0.001) (10)氯化鐵(73g/>10g)

## (五)介電常數

就水的高介電常數和丙酮的低介電常數，來說明此一現象：

依庫倫定律：若二點電荷  $q_1$ 、 $q_2$  二者間距離  $r$ ，則  $q_1$  與  $q_2$  間之靜電力

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{在真空中}) \quad k \text{ 為庫倫常數}$$

現在於二帶電體間置入介質，則其間之靜電力將減小為

$$F' = K \frac{q_1 q_2}{\epsilon^2} \quad (\epsilon \text{ 為介質的介電常數})$$

也就是說，若二帶電體間之靜電力原為  $F$ ，則在介質中其靜電力僅為  $\frac{F}{\epsilon}$  而已。

由上述說明，可知因水具有極高之介電常數（25°C時為 78.54），

所以離子晶體在水中，其陰、陽離子間的吸引力，僅為在真空中的  $\frac{1}{78.54}$  倍

，因而極易溶於水中，現在於鹽類（以  $\text{CuSO}_4$  為例）之水溶液中，

加入介電常數小於水且可與水互溶之溶劑（如丙酮 25°C時  $\epsilon = 20.7$ ），因介電常數小，使  $\text{Mg}^{2+}$   $\text{Cu}^{2+}$  與  $\text{SO}_4^{2-}$  間的吸引力變大，故部分之  $\text{Cu}^{2+}$  與  $\text{SO}_4^{2-}$  結合而析出晶體，使得溶解度降低。

（2）就水—丙酮， $\text{Cu}^{2+}$ --水， $\text{SO}_4^{2-}$ --水之作用力討論

說明：由於水分子具有大的極性（1.85D），當  $\text{NaCl}$  晶體進入水中，水分子即以其負端接近， $\text{Cu}^{2+}$  以正端接近  $\text{SO}_4^{2-}$ ，將它包圍後脫離晶格，形成水合離子而溶解，現在加入丙酮後，由於丙酮與水間可形成強烈的氫鍵，

丙酮分子利用氫鍵將水分子拉走，使得  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  無法行有效的水合作用，因而析出晶體。

#### 四、研究步驟



圖(一)

(一)試探幾種溶劑對不同鹽類的反應，並選出最適合的溶劑最為後續實驗溶劑

1.查出此六種晶體( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )的飽和濃度，並依照其飽和濃度。

2.用熱水調出飽和溶液在降至室溫，使其飽和。

3.分別各取 10ml 的飽和溶液 4 次，分別倒入 12 支試管內。

4.各取 10ml 的有機溶劑(甲醇、乙醇、丙酮、丁酮)，加入試管內

5.觀察結果，並選出適合的溶劑

(二) 試探不同鹽類與丙酮的反應

1.查出此六種晶體( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )的飽和濃度，並依照其飽和濃度。

2.用熱水調出飽和溶液再降溫。

3.我們用滴管分別吸取溶液到試管，接著分別加入與其等體積的有機溶劑

4.蓋上鋁箔紙，以防止有機溶劑揮發，搖晃並靜置 2 小時使其可以充分反應

5.觀察其結果

(三) 研究有機溶劑體積與鹽類晶體析出量的關係

1. 事先調配好  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的飽和水溶液，然後取 10ml 飽和  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  水溶液至試管內並加入等體積的有機溶劑

2. 蓋上鋁箔紙防止有機溶劑揮發，搖晃並靜置 2 小時使其充分反應

3. 將反應完的產物全部用濾紙過濾。

4. 將其過濾後的產物(含濾紙)放置於電子秤上，測量其重量

5. 記錄其析出重量與有機溶劑的體積，並進一步改變有機溶劑體積，再回到步驟(2)，直到找到析出重量與有機溶劑體積的關係趨勢

6. 對其他鹽類也做相同的動作

7.觀察其結果

#### (四)研究溶液濃度在相同體積的有機溶劑下鹽類晶體的析出關係

- 1.將事先調配好的  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的飽和水溶液，然後取 10ml 飽和  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  水溶液至試管內並加入 10ml 的有機溶劑。
2. 蓋上鋁箔紙以防止有機溶劑的揮發，搖晃並靜置 2 小時使其可以充分反應
3. 將反應完的產物用濾紙過濾
4. 將其過濾後的產物(含濾紙)放置於電子秤上，測量重量
5. 記錄其析出重量與  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  水溶液的濃度
6. 改變  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  水溶液濃度，再回到步驟 2.，直到找到  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  溶液濃度與析出重量的關係趨勢
7. 對其他鹽類也做相同的動作
8. 觀察其結果

#### (五)混合溶液的分層關係實驗

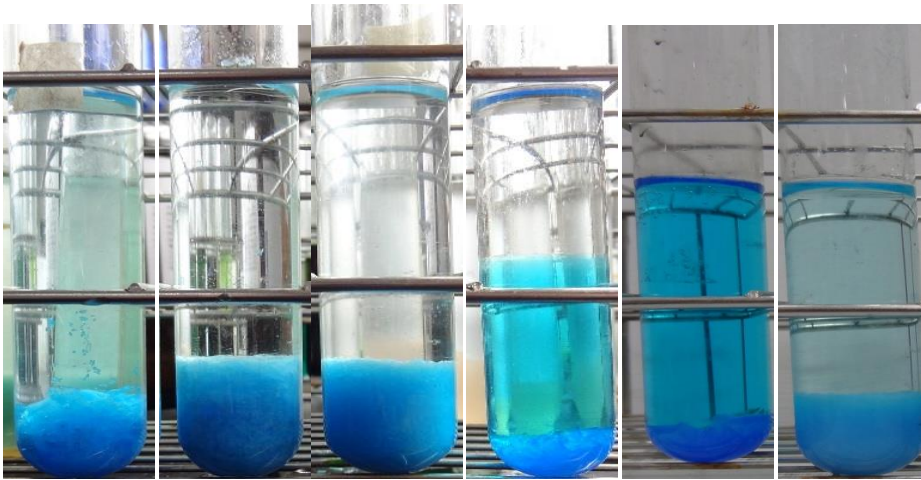
- 1.事先調配好飽和  $\text{CaCl}_2$ 水溶液
- 2.用滴管取 10ml 飽和  $\text{CaCl}_2$ 水溶液至試管，並加入等體積的有機溶劑
- 3.蓋上鋁箔紙，防止有機溶劑揮發，搖晃並靜置 2 小時使其可以充分反應，並產生分層
- 4.根據實驗(一)的結果，我們發現  $\text{CaCl}_2$ 遇到丙酮會有分層的現象，所以我們將反應後的上層液體以滴管取出，並用量筒測量此溶液的體積。
- 5.透過步驟(4)計算出產物的析出量，觀察其量值，進一步改變有機溶劑的體積，再回到步驟(二)，直到找出上下分層體積與有機溶劑量之間的關係。
- 6.觀察其結果。



## 伍、研究結果

(一)不同溶劑鹽類析出情形。

### 1. 硫酸銅



圖(二) 圖(三) 圖(四) 圖(五) 圖(六) 圖(七)

圖(二)為加入甲醇後的飽和硫酸銅水溶液，圖(三)為加入乙醇後的飽和硫酸銅水溶液，圖(四)為加入丙酮後的飽和硫酸銅水溶液，圖(五)為加入丁酮後的飽和硫酸銅水溶液。圖(六)為加入甲酸後的飽和硫酸銅水溶液，圖(七)為加入乙酸後的飽和硫酸銅水溶液

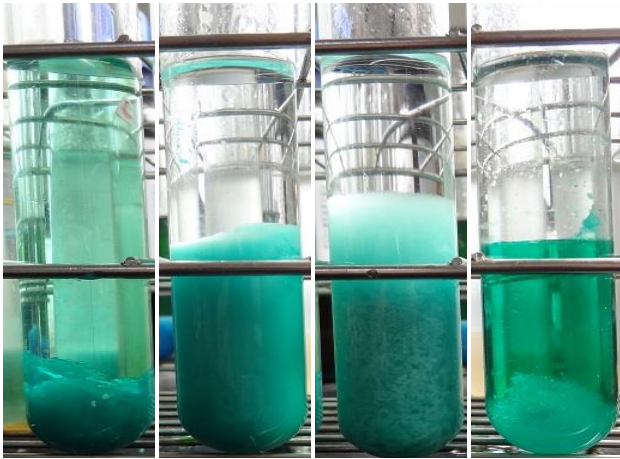
加入的有機溶劑	析出量 (g)	加入的有機溶劑	析出量 (g)
甲醇 圖(二)	1.76	甲酸 圖(六)	1.67
乙醇 圖(三)	2.01	乙酸 圖(七)	2.25
丙酮 圖(四)	2.24	甘油	無析出
丁酮 圖(五)	0.83(分層)	乙二醇	無析出

表(一) 10ml 該有機溶劑與 10ml 硫酸銅混合後析出情形

雖然看起來 加入甲醇和乙醇的析出量較多，但事實上是秤重後為丙酮析出最多 而我們也發現，圖(二)與圖(三)的沉澱比較鬆散，而圖(四)的較為緊密。

圖(五) 加入丁酮的試管中，因反應速率較慢，所以結晶比較完整。

### 2. 硫酸鎳



圖(九) 圖(十) 圖(十一) 圖(十二)

加入的有機溶劑	析出量 (g)
甲醇	1.91
乙醇	2.24
丙酮	2.54
丁酮	0.83

圖(九)為加入甲醇後的飽和硫酸鎳水溶液，圖(十)為加入乙醇後的飽和硫酸鎳水溶液，圖(十一)為加入丙酮後的飽和硫酸鎳水溶液，圖(十二)為加入丁酮後的飽和硫酸鎳水溶液。圖(九)中，此試管中因析出較慢，所以其試管內幾乎都是完整的結晶。圖(十二)加入丁酮的試管中，因反應速率較慢，所以完整的結晶析出。

而沒有做醚類、醛類的原因是:我們認為太過於危險，因此不使用者兩類物品。而酸類則是太過於刺鼻且酸性水質對環境會有很大影響，因此不考慮使用。

### 3.氯化銅



圖(十三) 圖(十四) 圖(十五) 圖(十六)

圖(十三)為加入甲醇後的飽和氯化銅水溶液，圖(十四)為加入乙醇後的飽和氯化銅水溶液，圖(十五)為加入丙酮後的飽和氯化銅水溶液，圖(十六)為加入丁酮後的飽和氯化銅水溶液。

圖(十五) 的試管中有少量析出沉澱於試管底部

圖(十六) 的試管中並未發現有沉澱

我們發現使用丙酮較其他溶劑來的好，一來因為較為安全，二來也比較容易製備，再來也很適合做為我們的實驗的溶劑。

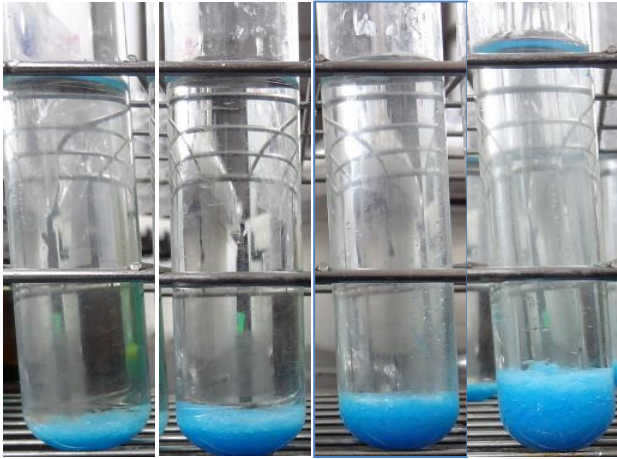
而沒有做醚類、醛類的原因是:我們認為太過於危險，因此不使用者兩類物品。而酸類則

是太過於刺鼻，因此不考慮使用。

(二)不同濃度的硫酸銅溶液加入 10 ml 丙酮之反映情形

1.析出

(1) 硫酸銅

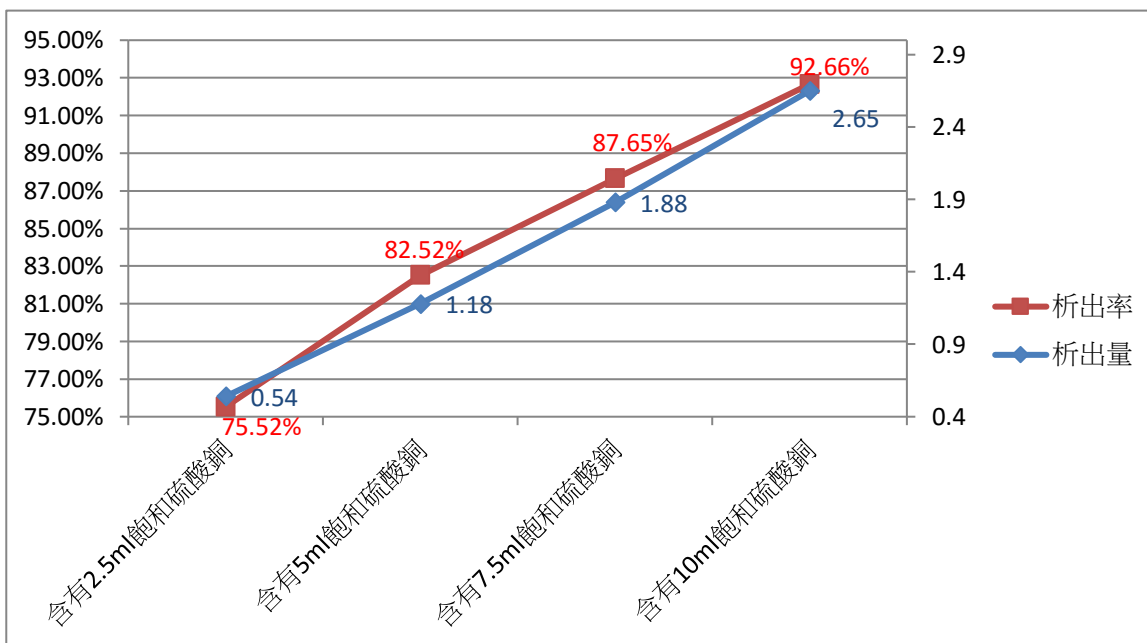


圖(十七)

圖(十八)

圖(十九)

圖(二十)



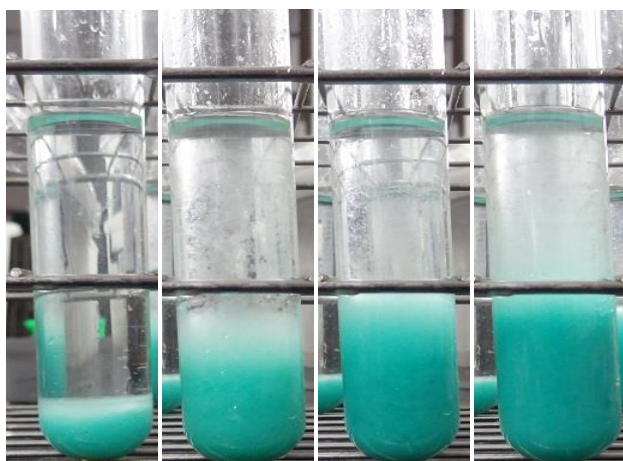
圖(二十一)

表(二)不同濃度的硫酸銅水溶液加入丙酮析出關係

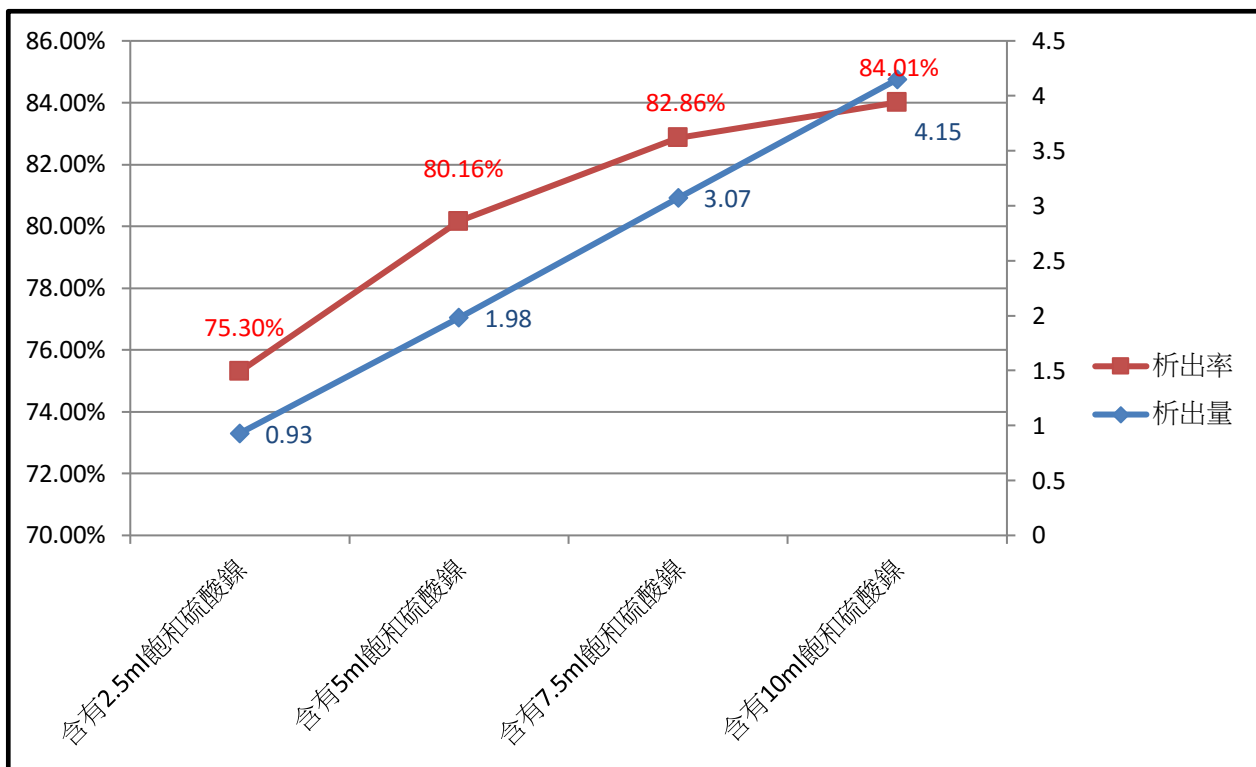
10ml 溶液含有的飽和硫酸銅溶液量(ml)	2.5	5	7.5	10
析出量(g)	0.54	1.18	1.88	2.65
析出率	75.52%	82.52%	87.65%	92.66%
重量百分比濃度	2.78%	5.56%	11.12%	22.48%
10ml 溶液中含有溶質量(g)	0.715	1.43	2.145	2.86

發現不同濃度硫酸銅水溶液在加入 10ml 丙酮的時候，皆有析出的現象，而在飽和的時候析出率最高大約可達 93%左右。

## (2) 硫酸鎳



圖(二十二) 圖(二十三) 圖(二十四) 圖(二十五)



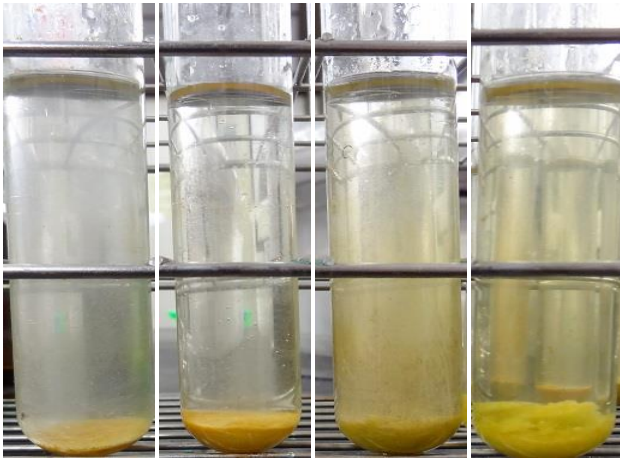
圖(二十六)

表(三)不同濃度的硫酸鎳水溶液加入丙酮析出關係

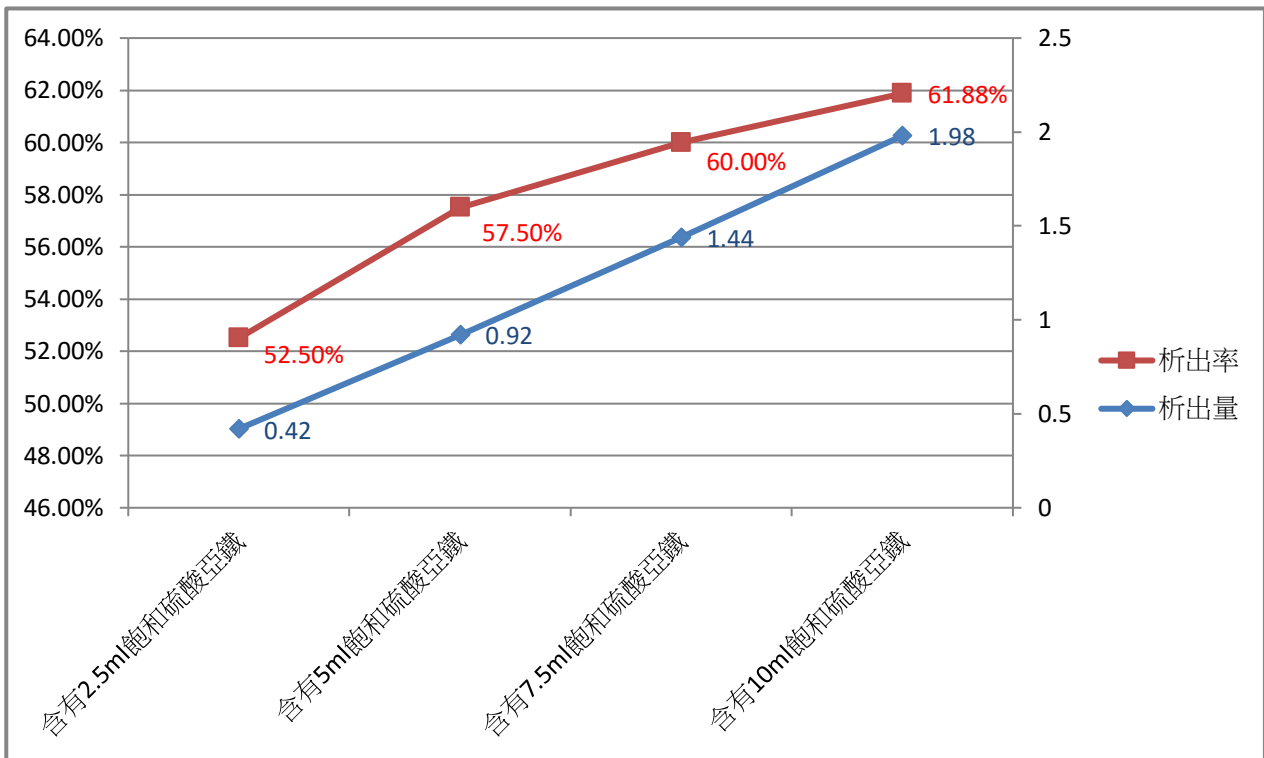
10ml 溶液含有的飽和硫酸鎳溶液量(ml)	2.5	5	7.5	10
析出量(g)	0.93	1.98	3.07	4.15
析出率	75.30%	78.14%	82.86%	84.01%
重量百分比濃度	8.27%	16.54%	24.81%	33.09%
10ml 溶液中含有溶質量(g)	1.235	2.47	3.705	4.94

發現不同濃度硫酸鎳水溶液在加入 10ml 丙酮的時候，皆有析出的現象，而在飽和的時候析出率最高大約可達 84%左右。

### (3)硫酸亞鐵



圖(二十七) 圖(二十八) 圖(二十九) 圖(三十)



圖(三十一)

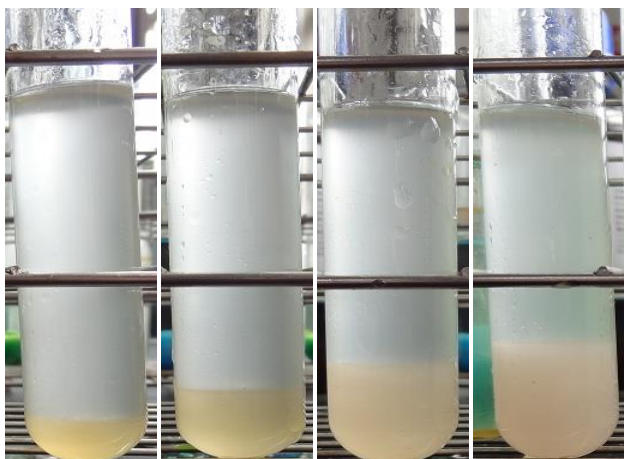
表(四)不同濃度的硫酸亞鐵水溶液加入丙酮析出關係

10ml 溶液含有的飽和硫酸亞鐵溶液量(ml)	2.5	5	7.5	10
析出量(g)	0.42	0.92	1.44	1.98
析出率	52.50%	57.50%	60.00%	61.88%
重量百分比濃度	6.91%	13.83%	20.75%	27.66%
10ml 溶液中含有溶質量(g)	0.80	1.60	2.40	3.20

發現不同濃度硫酸亞鐵水溶液在加入 10ml 丙酮的時候，皆有析出的現象，而在飽和的時候析出率最高大約可達 62%左右。

## 2. 分層

### (1) 硫酸錳

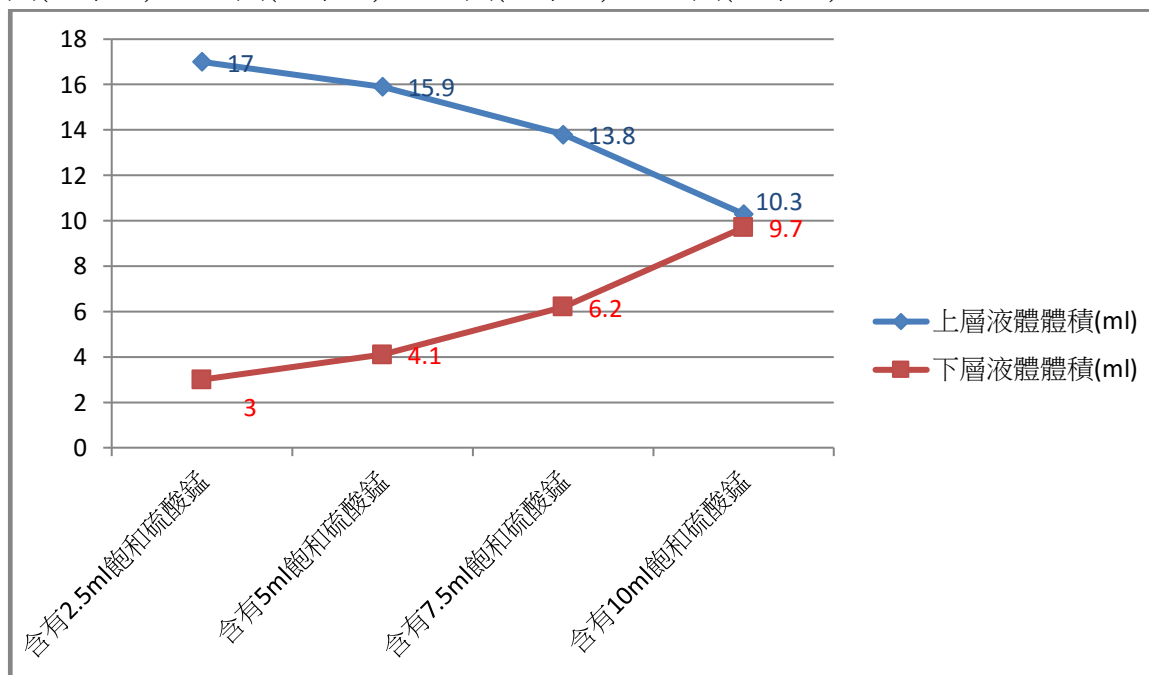


圖(三十二)

圖(三十三)

圖(三十四)

圖(三十五)



圖(三十六)

表(五)不同濃度的硫酸錳水溶液加入丙酮分層關係

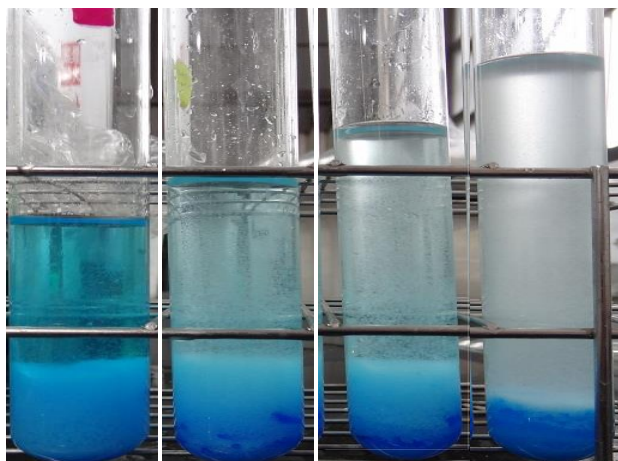
10ml 溶液含有的飽和硫酸錳溶液量(ml)	2.5	5	7.5	10
上層液體體積(ml)	17	15.9	13.8	10.3
下層液體體積(ml)	3	4.1	6.2	9.7
10ml 溶液中含有溶質量(g)	3.30	3.30	3.30	3.30

發現不同濃度硫酸錳水溶液在加入 10ml 丙酮的時候，未有析出的現象，而是有分層的現象，我們發現當加入的硫酸錳水溶液濃度越高時，下層(水層)的體積越多，上層(丙酮層)的體積越低。

### (三)10ml 等濃度溶液加入不同體積丙酮情形

#### 1. 析出

##### (1) 硫酸銅



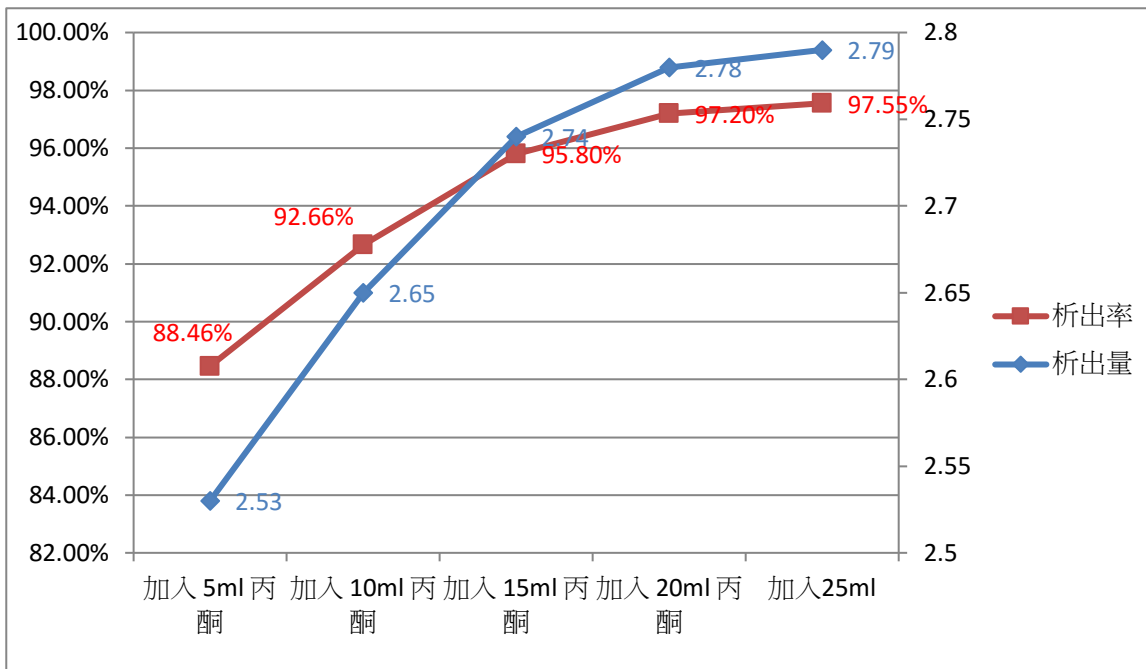
圖(三十七)

圖(三十八)

圖(三十九)

圖(四十)





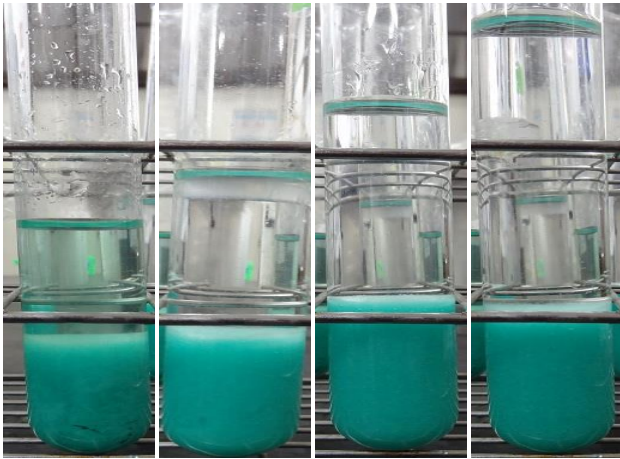
圖(四十一)

表(六)相同濃度的硫酸銅水溶液加入不同體積丙酮情形

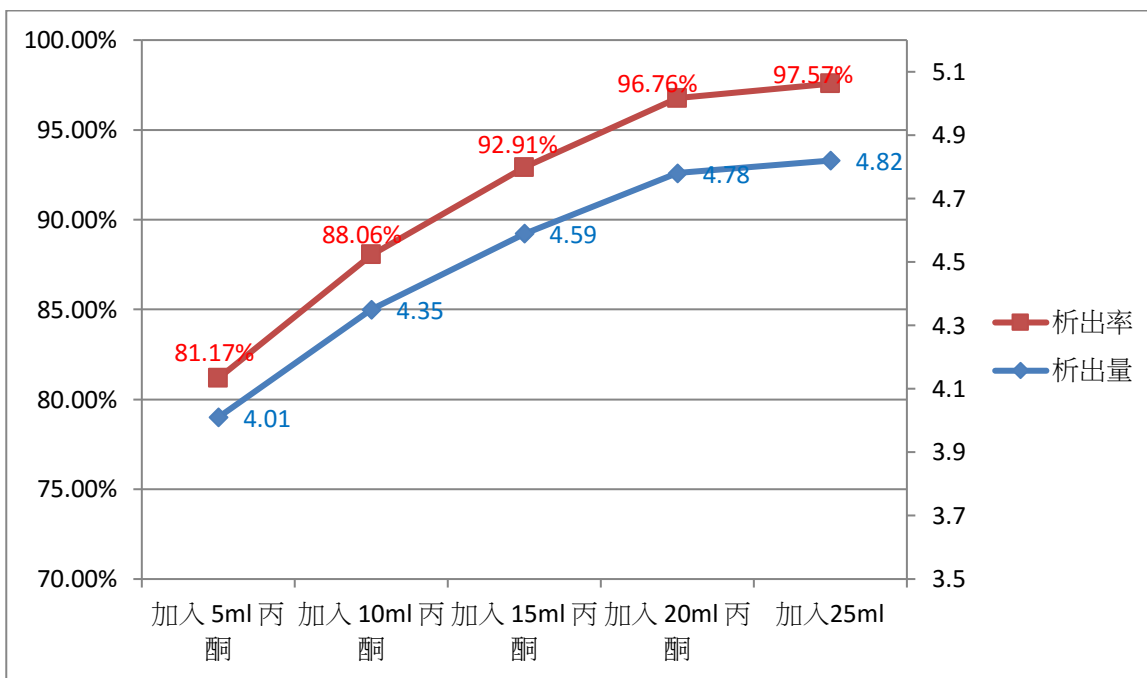
加入丙酮量	5	10	15	20	25
析出量(g)	2.53	2.65	2.74	2.78	2.79
析出率	88.46%	92.66%	95.80%	97.20%	97.55%
重量百分比 濃度	22.48%	22.48%	22.48%	22.48%	22.48%
10ml 溶液中 含有溶質量 (g)	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86

我們發現不同體積丙酮加入 10ml 飽和硫酸銅水溶液的時候，皆有析出的現象，而我們發現當加入的丙酮量越多時，析出率越高，但有漸漸趨緩的現象，我們認為會有極限值，而極限值我們推測應該發生在飽和硫酸銅與加入的丙酮比例為 10:26 或 10:27 的時候，而此時析出率大約可達 98%

## (2)硫酸鎳



圖(四十二) 圖(四十三) 圖(四十四) 圖(四十五)



圖(四十六)

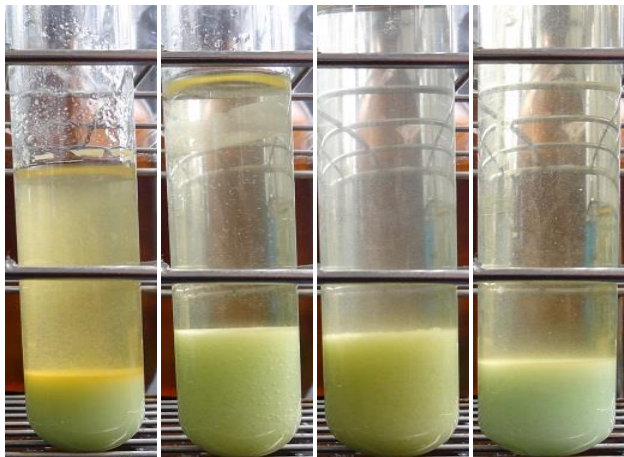
表(七)相同濃度的硫酸鎳水溶液加入不同體積丙酮情形

加入丙酮量	5	10	15	20	25
析出量(g)	4.01	4.35	4.59	4.78	4.82
析出率	81.17%	88.06%	92.91%	96.76%	97.57%
重量百分比濃度	33.09%	33.09%	33.09%	33.09%	33.09%
10ml 溶液中含有溶質量 (g)	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94

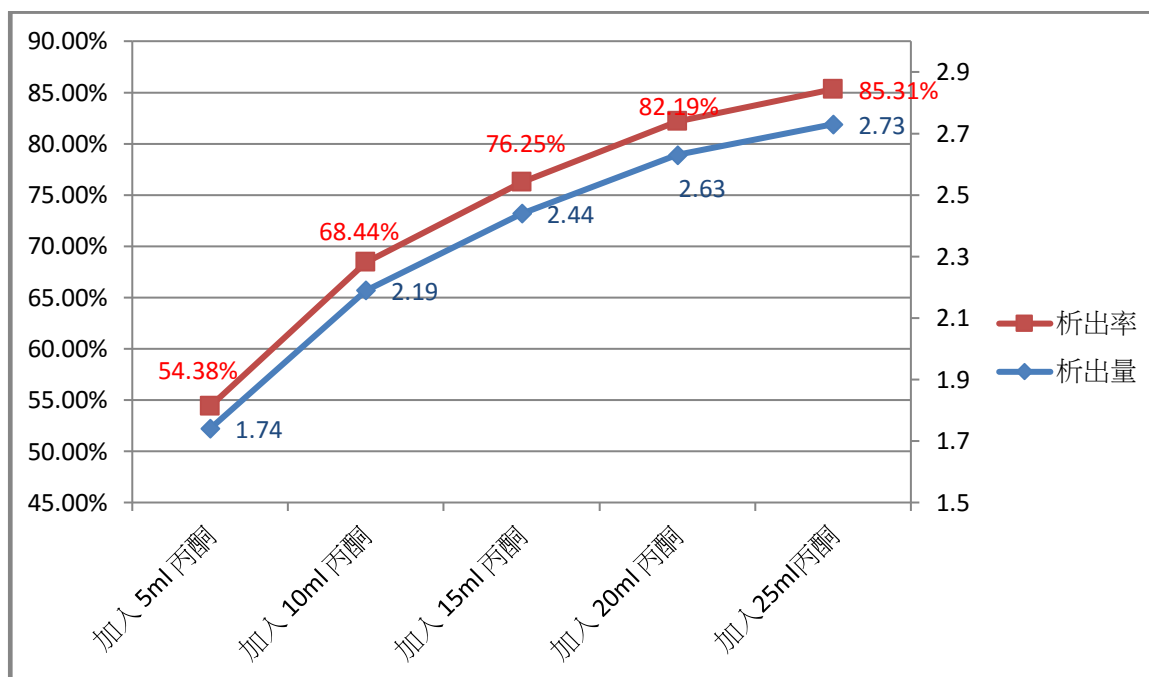
我們發現不同體積丙酮加入 10ml 飽和硫酸鎳水溶液的時候，皆有析出的現象，而我們發

現當加入的丙酮量越多時，析出率越高，但有漸漸趨緩的現象，我們認為會有極限值，而極限值我們推測應該發生在飽和硫酸銅與加入的丙酮比例為 10:28 或 10:29 的時候，而此時析出率大約可達 98%

### (3) 硫酸亞鐵



圖(四十七) 圖(四十八) 圖(四十九) 圖(五十)



圖(五十一)

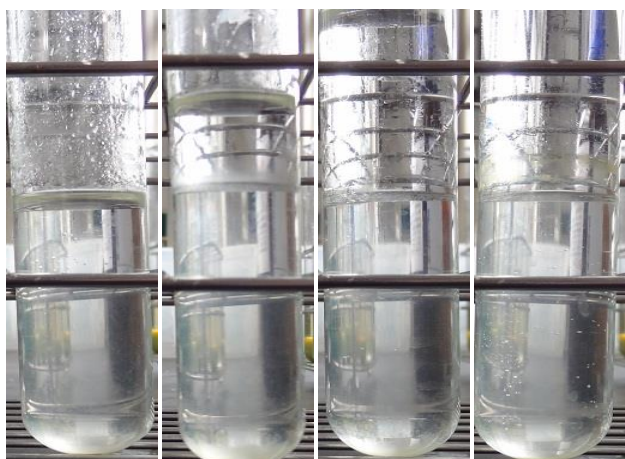
表(八)相同濃度的硫酸亞鐵水溶液加入不同體積丙酮情形

加入丙酮量	5	10	15	20	25
析出量(g)	1.74	2.19	2.44	2.63	2.73
析出率	54.38%	68.44%	76.25%	82.19%	85.31%
重量百分比 濃度	27.66%	27.66%	27.66%	27.66%	27.66%
10ml 溶液中 含有溶質量 (g)	3.20	3.20	3.20	3.20	3.2

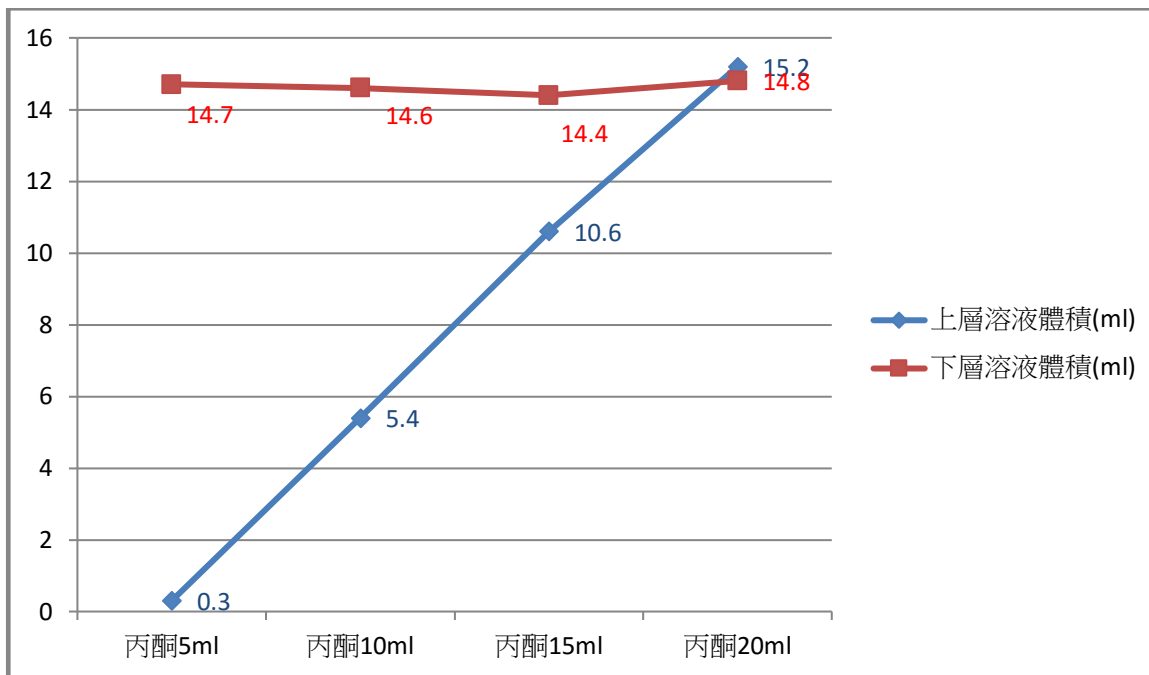
我們發現不同體積丙酮加入 10ml 飽和硫酸亞鐵水溶液的時候，皆有析出的現象，而我們發現當加入的丙酮量越多時，析出率越高，但有漸漸趨緩的現象，我們認為會有極限值，而極限值我們推測應該發生在飽和硫酸銅與加入的丙酮比例為 10:28 或 10:29 的時候，而此時析出率大約可達 87% 上下

## 2.分層

### (1)氯化鈣



圖(五十二) 圖(五十三) 圖(五十四) 圖(五十五)



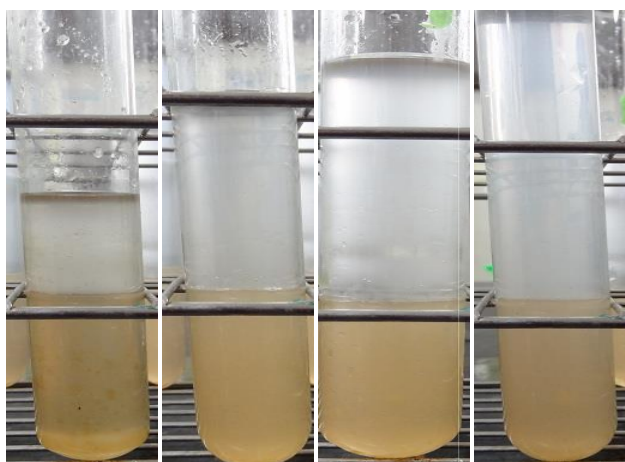
圖(五十六)

表(九)相同濃度的氯化鈣水溶液加入不同體積丙酮情形

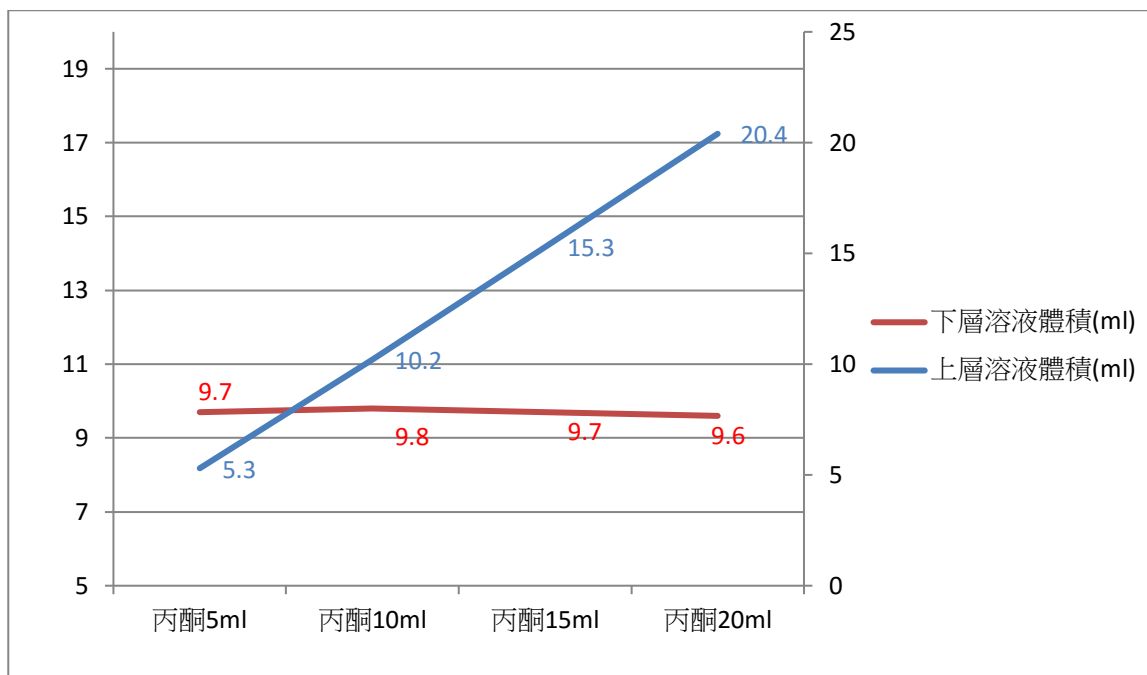
加入丙酮量	5	10	15	20
上層液體體積 (ml)	0.3	5.4	10.6	15.2
下層液體體積 (ml)	14.7	14.6	14.4	14.8

我們發現不同體積丙酮加入 10ml 飽和氯化鈣水溶液，皆有分層的現象，當加入的丙酮越多，上層(丙酮層)體積會越多，而下層體積幾乎沒有改變，濃度固定。

(2)硫酸錳



圖(五十七)圖(五十八)圖(五十九)圖(六十)



表(十)相同濃度的硫酸錳水溶液加入不同體積丙酮情形

加入丙酮量	5	10	15	20
上層液體體積 (ml)	5.3	10.2	15.3	20.4
下層液體體積 (ml)	9.7	9.8	9.7	9.6
10ml 溶液中含有溶質量(g)	3.30	3.30	3.30	3.30

我們發現不同體積丙酮加入 10ml 飽和硫酸錳水溶液，皆有分層的現象，當加入的丙酮越多，上層(丙酮層)體積會越多，而下層體積幾乎沒有改變，濃度固定。

#### (四)完全沒用的化合物水溶液

- (1)氯化銅
- (2)氯化鐵
- (3)硝酸銅
- (4)硫酸鈉
- (5)硫酸銨

上列三項之水溶液皆與丙酮互溶，無分層與析出的現象。

## 陸、討論

一、實驗發現不同的溶劑加入水溶液中會發生幾種情形:

(一)溶劑與水溶液混在一起，既沒有分層也沒有析出。

(二)溶劑與水溶液混在一起後，析出鹽類，但沒有分層。

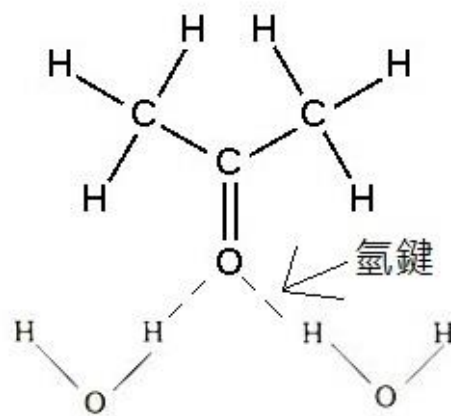
(三)溶劑與水溶液混在一起後，產生分層現象，但沒有析出。

(四)溶劑與水溶液混在一起後，既產生分層現象，也有溶質析出。

二、經過實驗得到的情形與我們查詢的溶劑資料比對可以發現到，最適用的(析出率最高)溶劑，必須符合以下條件：

- (1) 與水可以任意比例混合
- (2) 不可與水有化學反應，或與析出物產生化學反應
- (3) 極性(介電常數)要越低越好

我們認為的原因: 我們認為溶劑會和水之間產生氫鍵(如圖六十一), 進而降低水的極性, 導致可以溶解溶質的水減少, 並且溶質對於此溶劑溶解度低, 無法代替水溶解溶質, 而最後使溶質析出。如圖(六十一)



圖(六十一)

三、在 7 種選用的溶劑中，我們認為以丙酮為最佳，因為甲醇、乙醇和甘油極性較丙酮出許多，且與水的性質較為相近，因此許多溶於水的物質，在甲醇、乙醇和甘油中也可以溶解，效果較差。而丁酮的極性比丙酮低與且無法與水互溶，對溶液極性的影響較小。甲酸的極性也較丙酮高得多，因此效果也不好。乙酸雖然都符合我們所提出的條件，甚至析出量比丙酮還高一些，但其味道過於刺激，且具有腐蝕性，並不太符合綠色化學的概念。

而甲醛乙醛雖然也可以與水互溶，但其溶劑具有毒性，而我們的實驗室中沒有這種溶劑，也不符合我們的綠色化學的概念，因此並沒有做甲醛乙醛的實驗。

四、而我們發現當溶質在丙酮中的溶解度為可溶、微溶、不溶時會有以下現象：

- (1) 當溶質對丙酮溶解度為不溶以外的話，會使得溶液分層，而如果大於一定大小的話則會分層且析出 (ex:NaCl 對丙酮溶解度為 0.0042 介於微溶與不溶之間 NH<sub>4</sub>Cl 對丙酮溶解度介於 0.001g~0.01g 之間 )
- (2) 當溶質對丙酮溶解度為不溶時( <0.001g)，則會析出
- (3) 當溶質對丙酮溶解度為可溶的話，則會變成混合溶液

而我們也發現即使有些化合物不析出，但有分層的現象，加入丙酮後分為上下兩層，上層(相對丙酮量較多)稱為丙酮層，下層(相對水量較多)稱為水層。我們認為這樣還是能有濃縮的效果，根據固定濃度溶液加入不同體積丙酮的實驗中，可以發現到下層體積並不會隨加入的丙酮量增多，而有增加或減少的情形，因此我們推測水層的濃度是固定的。對於較低濃度溶液加入丙酮後，水層的濃度較原濃度高，而且體積也較少，因此我們認為即使只有分層，還是可以拿來利用。

## 柒、結論

經過這次的實驗，我們發現了確實有些重金屬化合物溶液可以經過加入不同溶劑，而使裡面的金屬化合物析出，這樣的發現，我們希望以後，可以幫助一些工廠處理重金屬廢水，而取代由電鍍法或是調整 pH 值的方法，達到更有效、更方便、更便宜的效用。或是實驗室處理廢液，可以利用極性溶液的效果，而使實驗室的廢液再利用，不必再把大量廢液都丟到廢液收集箱中，甚至可以回收再利用，也可以為實驗室省下一筆買化學藥品的困擾。檢測河川的重金屬濃度，或許也可以用極性溶液來檢測。希望在未來，可以找出比丙酮還要有效的極性溶液，使析出更容易，更環保、更有效的溶劑。

我們希望藉由研究這些特性可以應用在析出工業廢水中的重金屬離子上進而改善工業排放廢水的環境問題、或是可以利用分層的特性，讓原本濃度較低的溶液濃縮較高濃度的溶液



較方便進行回收。

## 捌、參考資料及其他

一、柯清水(2000)。新世紀化工化學大辭典。臺北市:正文書局

二、簡禎彥等。中華民國第二十七屆全國中小學科展作品集溶劑介電常數對混合物分離效果之探討

三、吳謀泰(1968)。晶體與晶體生長。臺北市:徐氏基金會 P.P.62-73

四、利用低介電常數溶劑來培養晶體。教育部數位教學資源入口網。2015年11月取自

[https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp\\_sc/project/crystal/crystal4.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp_sc/project/crystal/crystal4.htm)

五、Toxic Substances Portal--Acetone。2015年11月取自

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=4&tid=1>

六、Copper(II) sulfate。2015年11月取自 [https://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(II\)\\_sulfate](https://en.wikipedia.org/wiki/Copper(II)_sulfate)

七、溶劑(Solvent)。科技部高瞻自然教學資源平台。2015年11月取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4613>

八、介電常數。維基百科。2015年11月取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%AE%B9%E7%8E%87>

## 【評語】 052608

1. 綠色化學重金屬以有機溶劑回收，研究假設具創新性，研究設計的條件控制，基本考慮周詳，惟在起始的相關文獻回顧，仍須針對議題探討，
2. 溶劑之選用應由其物化特性決定，說明其設計原則。溶劑是否有設計回收再使用？是否造成二次污染，避免選用管制毒化物。
3. 請重新確認綠色化學的定義？
4. 實驗的品保品管，實驗結果可重複性應說明。
5. 報告內容清晰，回答反應可再與團隊及老師多討論。