

# 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

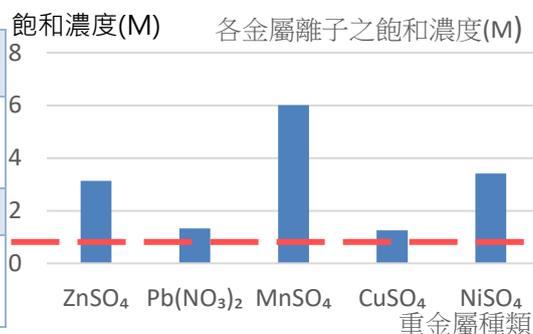
## 普高組 成果報告表單

|   |
|---|
| <b>題目名稱：消失的她?消失的重金屬</b>   |
| <b>一、摘要</b>   |
| <p>有時我們會在新聞上看到重金屬汙染事件，例如 2013 年日月光公司排放出鎳等重金屬物質，造成嚴重的損失。經過文獻查詢，我們發現可以使用沉澱法解決問題，於是我們利用隨手可得的材料(如：食鹽等)進行以下實驗，因為 <math>\text{OH}^-</math> 對於大多數金屬離子會沉澱，在查詢沉澱表以及各個重金屬的溶解度積(<math>K_{sp}</math>)後我們電解食鹽水取得 <math>\text{NaOH}</math>，並以此作為沉澱重金屬媒介。</p> <p>實驗中我們改變重金屬種類、電解食鹽水濃度及電解食鹽水電壓，藉由測量與計算沉澱前後的電導率差，探討沉澱重金屬離子的最佳化條件。最後我們發現使用硫酸銅、以飽和食鹽水電解 14V 的效果最佳，而實驗結果也大致與理論結果相符。</p>   |
| <b>二、探究題目與動機</b>  |
| <p>台灣的廢水中的金屬離子濃度高，因此我們想探討處理廢水中金屬離子之成效。由於資源有限，我們查詢文獻資料後找到最能有效運用我們所擁有的資源的方法為沉澱法。在化學課的實驗中我們曾經做過沉澱金屬離子的實驗，高一上學期的探究與實作課程裡我們也透過改變光敏染料電池的各種變因來找出其最佳化條件。為了承襲上學期的綠色化學概念，我們發想出利用沉澱來解決重金屬汙染的環境問題，希望在使用隨手可得的材料-氯化鈉電解出 <math>\text{NaOH}</math> 並符合 <b>SDGs 永續發展目標</b>的同時，為環境盡一份心力。</p>  |
| <b>三、探究目的與假設</b>  |
| <p>(一) 目的：探討處理廢水中金屬離子之成效。</p> <p>(二) 假設：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①預實驗、食鹽水濃度與電導率的關係成正比。</li><li>②實驗一、改變重金屬種類，探討最適合此沉澱法之重金屬。</li><li>③實驗二、改變電解食鹽水電壓，<b>電壓越大</b>，效果越好。</li><li>④實驗三、改變電解食鹽水濃度，<b>濃度越高</b>，效果越好。</li></ul>  |
| <b>四、探究方法與驗證步驟</b>  |
| <p>(一) 實驗器材</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 燒杯 1 個、血清瓶 10 個、玻棒一支、H 型電解管 2 個、白金絲電極+塞子 4 組、輸出線若干條、大試管 3 個、滴管兩個、量筒兩個、蒸發皿 1 個。</li><li>2. <math>\text{CuSO}_4</math>、<math>\text{Pb}(\text{NO}_3)_2</math>、<math>\text{NiSO}_4</math>、<math>\text{MnSO}_4</math>、<math>\text{ZnSO}_4</math>、<math>\text{NaCl}</math>。</li><li>3. 電導率儀、烘箱、酸鹼度劑。</li></ol> <p>(二) 實驗方法</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 配製藥品：為了固定五種不同的重金屬濃度，首先我們測量最大溶解量的密度來計</li></ol> |

算個別的飽和濃度(M)，並選擇較好調配的濃度以方便後續配製。最後我們選擇 1M 作為後續實驗之重金屬濃度。

- ① 秤取蒸發皿的重量 $W_1$ 。
- ② 配製重金屬飽和溶液，並取出 5 毫升放入蒸發皿中。
- ③ 放入烘箱中烘乾。
- ④ 將蒸乾溶液後的蒸發皿秤重 $W_2$ 。

| 重金屬種類             | ZnSO <sub>4</sub> | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | MnSO <sub>4</sub> | CuSO <sub>4</sub> | NiSO <sub>4</sub> |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 蒸發皿重<br>$W_1$ (g) | 65.58             | 72.04                             | 58.01             | 53.55             | 58.35             |
| 總重 $W_2$ (g)      | 68.11             | 74.24                             | 61.79             | 54.55             | 61.02             |
| 飽和濃度<br>(M)       | 3.14              | 1.33                              | 6.01              | 1.26              | 3.45              |



表一、各重金屬種類之整理表格

表二、各種金屬飽和濃度(M)

## 2. 實驗一~三步驟：

- ① 架設 H 管電解槽(正負極皆為白金絲電極)。
- ② 電解 2hr 後倒置取出負極電解液並測量其電導率以及 pH 值。
- ③ 已配製好的重金屬溶液加入 12ml 電解後的食鹽水直到顏色不再變化。
- ④ 測量其電導率並計算其下降量。

※電導率修正公式：

- ① 取電解後之負極食鹽水 12ml，令測量後  $\text{pH}=\text{a}$ ，電導率 $=\sigma_1$ 。
- ② 測量 1M 待測重金屬藥品電導率為 $\sigma_2$ 。
- ③ 將重金屬藥品慢慢滴入，以慢速攝影，假設沉澱不再增加時的電導率為 $\sigma_{\text{後}}$ 、滴入 0.05ml/滴 $\times n$  滴。
- ④  $\sigma_{\text{原}} = (12\sigma_1 + (0.05 \times n) \times \sigma_2) / (12 + (0.05 \times n))$ 。
- ⑤  $\Delta\sigma = \sigma_{\text{原}} - \sigma_{\text{後}}$ 。

## (四) 實驗驗證

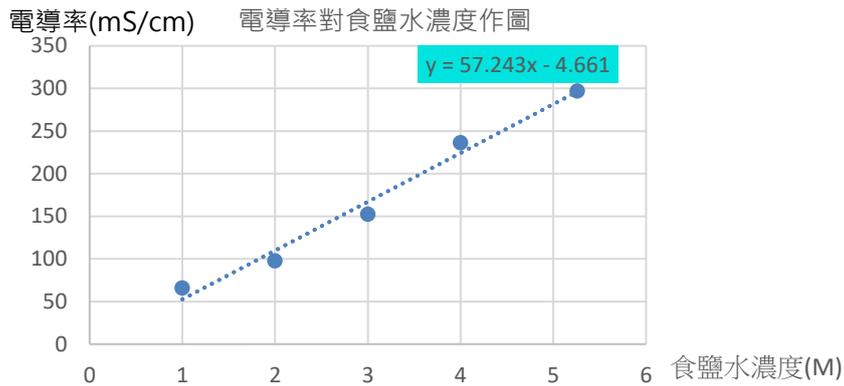
### 1. 預實驗、食鹽水濃度與電導率的關係

- ① 目的：因為食鹽水的電導率超過電導率儀的最大值，所以我們找出離子濃度與電導率的關係，先稀釋後再量測電導率，以計算出電導率值。
- ② 數據整理：

| 濃度(M)                | 1    | 2    | 3     | 4     | 5.2579(飽和) |
|----------------------|------|------|-------|-------|------------|
| 電導率 $\sigma$ (mS/cm) | 65.8 | 97.9 | 152.5 | 236.6 | 297.3      |

表三、濃度對電導率之數據

③ 作圖：



表四、電導率對食鹽水濃度作圖

④ 分析：

由以上數據得知，當離子濃度(食鹽水濃度)越高時，電導率越高。∴  $[ion] \propto \sigma$ 。

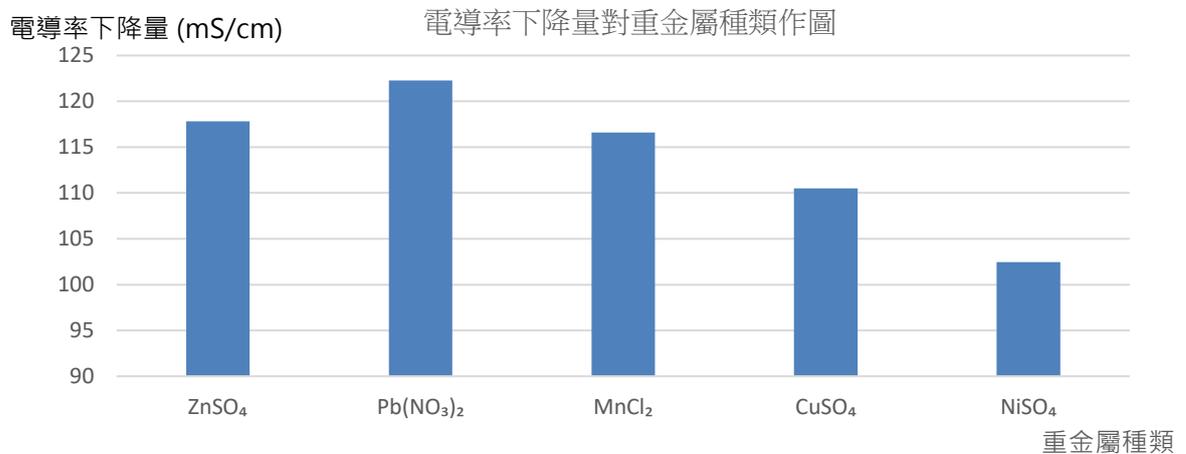
2. 實驗一、改變重金屬種類

① 數據整理：

| 重金屬種類             | ZnSO <sub>4</sub> | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | MnSO <sub>4</sub> | CuSO <sub>4</sub> | NiSO <sub>4</sub> |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 電解後食鹽水 $\sigma_1$ | 297.3             | 297.3                             | 297.3             | 297.3             | 297.3             |
| 藥品 $\sigma_2$     | 36.1              | 56.8                              | 101               | 36.9              | 36.5              |
| 共滴了 n 滴           | 7                 | 11                                | 9                 | 4                 | 2                 |
| $\sigma_{後}$      | 176.05            | 169.4                             | 176.33            | 184.95            | 193.99            |
| $\sigma_{原}$      | 293.863           | 292.36                            | 293.650           | 295.458           | 296.446           |
| $\Delta\sigma$    | 117.814           | 122.2                             | 116.59            | 110.508           | 102.456           |

表五、改變重金屬種類之實驗數據

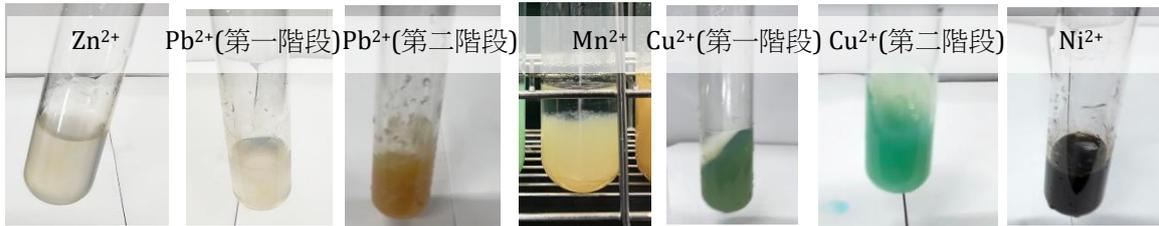
② 作圖：



表六、電導率下降量對重金屬種類作圖

③ 分析：

A. 沉澱物質



圖一、各種金屬沉澱顏色

| 重金屬種類   | ZnSO <sub>4</sub>   | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                      | MnSO <sub>4</sub>   | CuSO <sub>4</sub>  | NiSO <sub>4</sub> |
|---------|---------------------|--|---------------------|--|-------------------|
| 沉澱顏色    | 白色                  | 第一階段:白色<br>第二階段:棕色                                     | 淺黃色                 | 第一階段:墨綠色<br>第二階段:藍綠色   | 黑色                |
| 推測可能沉澱物 | Zn(OH) <sub>2</sub> | 第一階段(白色混濁):<br>Pb(OH) <sub>2</sub><br>第二階段(棕色):<br>PbO | Mn(OH) <sub>2</sub> | 第一階段(墨綠色):<br>CuCl <sub>2</sub><br>第二階段(藍綠色):<br>Cu(OH) <sub>2</sub> | NiO               |

表七、重金屬種類與可能沉澱物

B. 數據分析：

→由上圖分析，每種重金屬沉澱  $\Delta\sigma$  比較皆為：



→而  $\Delta\sigma$  的部分，加入的重金屬莫耳數愈多，所需之氫氧根也愈多， $\Delta\sigma$  也隨之增加。

→往後的實驗中，我們選擇使用 1M CuSO<sub>4</sub> 來進行接下來的實驗，因為其變色效果最明顯，較容易辨識。

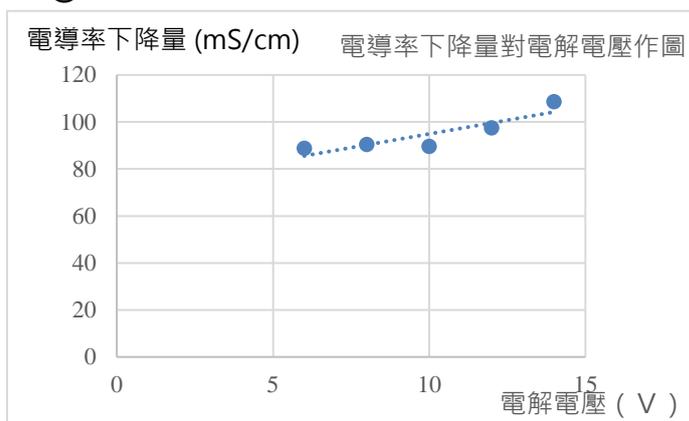
3. 實驗二、改變電解食鹽水電壓

① 數據整理：

|                     |        |        |        |        |       |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 電壓(V)               | 6      | 8      | 10     | 12     | 14    |
| 電解後食鹽水 $\sigma_1$   | 296    | 298    | 297.3  | 297    | 302   |
| 重金屬藥品 $\sigma_2$    | 36.9   | 36.9   | 36.9   | 36.9   | 36.9  |
| 共滴了 n 滴             | 1      | 2      | 4      | 5      | 6     |
| $\sigma_{\text{原}}$ | 290.72 | 291.63 | 284.95 | 294.85 | 300.9 |
| $\sigma_{\text{後}}$ | 202    | 201.3  | 195.4  | 197.4  | 192.4 |
| $\Delta\sigma$      | 88.72  | 90.332 | 89.55  | 97.45  | 108.5 |
| pH                  | 12.22  | 12.35  | 12.55  | 12.57  | 12.7  |

表八、改變電解電壓之實驗數據

② 作圖



表九、電導率下降量對電解電壓作圖

③ 分析

→首先就 pH 值來看，電壓越高，根據  $E=QV=IVt$ ，在相同時間與電流下，電壓愈高，所得之能量愈多，pH 值隨之增加，也就是  $[OH^-]$  越高

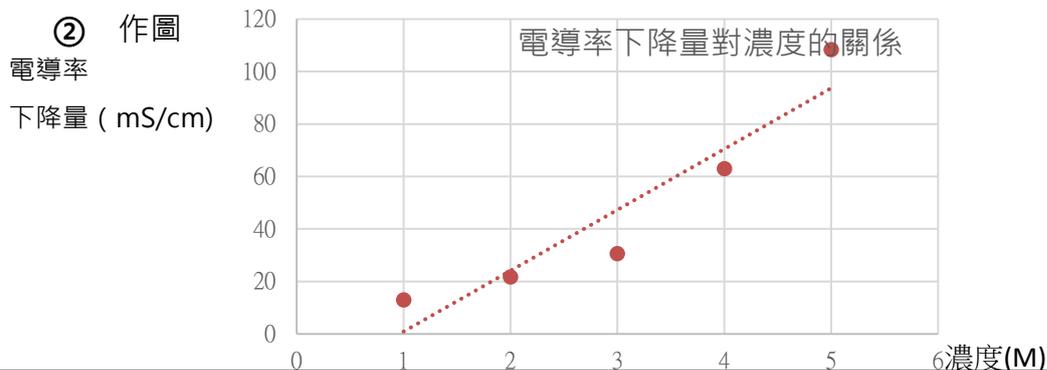
→ $[OH^-]$  越高，可沉澱之重金屬離子越多，所需體積(滴數)越多，故  $\Delta\sigma$  越大

4. 實驗三、改變電解食鹽水濃度

|                   |       |        |        |        |        |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 食鹽水濃度(M)          | 1     | 2      | 3      | 4      | 5.2579 |
| 電解後食鹽水 $\sigma_1$ | 57.17 | 109    | 169    | 230.6  | 297.3  |
| 重金屬藥品 $\sigma_2$  | 36.9  | 37.2   | 36.8   | 37     | 36.9   |
| 共滴了 n 滴           | 1     | 1      | 2      | 3      | 4      |
| $\sigma_{原}$      | 57.09 | 108.71 | 167.91 | 228.21 | 296.45 |
| $\sigma_{後}$      | 70    | 87     | 137.3  | 165.3  | 193.99 |
| $\Delta\sigma$    | 12.92 | 21.709 | 30.61  | 62.91  | 108.29 |
| pH                | 12.12 | 12.19  | 12.2   | 12.54  | 12.55  |

① 數據整理:

表十、改變電解液濃度之實驗數據



表十一、電導率下降量對電解液濃度的關係

③ 分析：

→首先就 pH 值來看，濃度越高，在相同時間與電壓內所得之 pH 值越高，也就是[OH<sup>-</sup>]越高。

→[OH<sup>-</sup>]越高，可沉澱之重金屬離子越多，所需體積(滴數)越多，故 $\Delta\sigma$ 越大。

## 五、結論與生活應用

### (一)結論

1.電導率與離子濃度成正比。

2. 雖然經過計算後此去重金屬方法對 Pb<sup>2+</sup>的效果最好，但為了方便觀察與紀錄，我們使用 Cu<sup>2+</sup>進行後續實驗。

3.由實驗資料發現，使用越大電壓(14V)電解食鹽水，電解後 pH 值增加越多，效果越好。

4.由實驗資料可知，在相同電壓下，使用濃度越大的食鹽水(飽和)，電解後 pH 值增加最多，效果最好。

### (二)生活應用

1.此電解裝置為鹼氯工業，負極產生的氯氣可以作消毒用途，負極產生之電解液(NaOH)也可用來沉澱重金屬離子使其變為固態，比較容易收集。此方法為現今重金屬處理方法中化學處理的其中之一，優點為速度快，且對特定金屬有效。

2.因為此實驗會產生有毒氣體 Cl<sub>2</sub>，所以其居家推廣性較低。但我們也在探索的過程中，學到更多有關工業消毒、重金屬處理的方法，對於沉澱原理也更加熟悉。

## 參考資料

①CASE 報科學(2017年6月19日)。電導率、弱局域化、與量子混沌(上)。

<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=28050>

②Lenntech。(檢索日期：2024年3月31日)。**Heavy Metals Introduction**。

<https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>

③Pubchem(檢索日期：2024年4月10日)。**Cupric Chloride**。

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24014>

④Pubchem(檢索日期：2024年4月10日)。**Copper dihydroxide**。

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/30154>

⑤Science Photo Library(檢索日期：2024年4月10日)。**Lead hydroxide precipitate**。

<https://www.sciencephoto.com/media/4343/view/lead-hydroxide-precipitate>

⑥Pubchem(檢索日期：2024年4月10日)。**Lead monoxide**。

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Lead-monoxide>

⑦科學 online(2009年11月17日)。**鎳(Nickel)**。

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=5059>

⑧Wikipedia(檢索日期：2024年4月8日)。**Manganese(II) hydroxide**。

[https://en.wikipedia.org/wiki/Manganese\(II\)\\_hydroxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Manganese(II)_hydroxide)