

# 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告表單

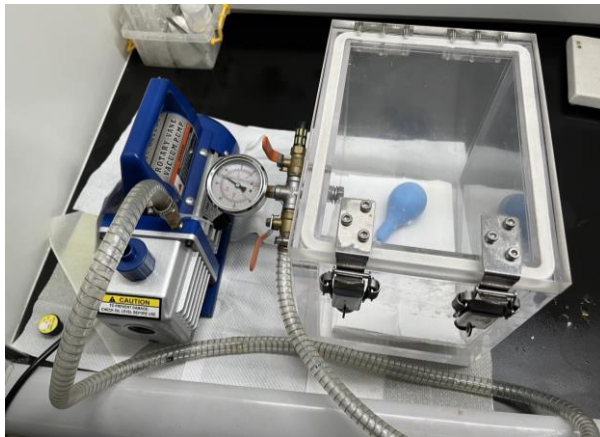
題目名稱：「皂」化弄人！—低壓條件下，可溶性非揮發性物質之低壓沸騰現象探究

### 一、摘要

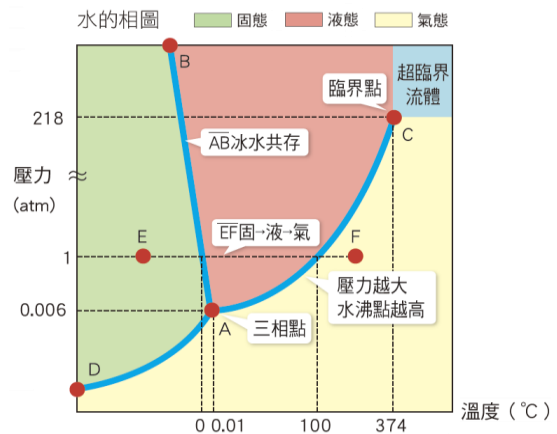
依據沸點上升度數的理論，純水中加入可溶解的非揮發性物質，在分子間作用力下，可使水溶液的沸點上升(或說加熱至沸騰時間較長)，然而當我們使用真空幫浦抽真空系統於低壓沸騰的實驗條件下，卻發現純水中加入可溶解的非揮發性物質，有部分物質的沸騰時間卻縮短，進一步討論之後發現，這樣可重複性得到的現象，可能也與低溫分子間作用力以及表面張力是否被削弱有關。

### 二、探究題目與動機

老師使用學校的油式真空幫浦抽真空系統(圖一)，在課堂上示範高一化學「溫度-壓力三相圖」(圖二)中的低壓沸騰，幫浦將真空箱抽至低大氣壓後，室溫下的水開始冒泡接著有沸騰現象，我們對這個實驗裝置非常有興趣！高二學到分子間作用力，得知物質的沸點與化學鍵及分子間作用力有關，故我們跟老師借學校的油式真空幫浦抽真空系統，開始一系列物質的低壓沸騰實驗，想透過實驗了解各式物質的沸點與分子間作用力的關係。



圖一、油式真空幫浦抽真空系統



圖二、水的相圖 註 1

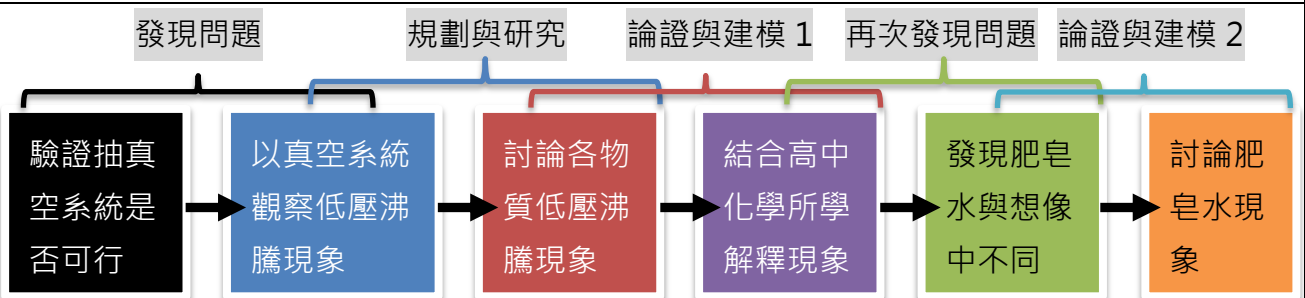
### 三、探究目的與假設

目的：物質的沸點與環境壓力有關係，我們想知道在低壓沸騰的狀態下，水溶液系統是否也能符合沸點上升或下降的原理，以及分子間作用力在低壓環境下對沸點的影響。

假設一：油式真空幫浦抽真空系統可以符合沸點上升或下降現象

假設二：純水加入可溶性非揮發性物質，水溶液的低壓沸騰時間會較久。

### 四、探究方法與驗證步驟



## 【方法】

使用油式真空幫浦抽真空系統，討論在室溫低壓環境下，純水加入可溶性非揮發性物質，水溶液的沸點變化，我們間接以沸騰時間作為觀察紀錄項目。

### (一)、三變因

- 1.操作變因：溶液種類。
- 2.控制變因：環境溫度(室溫)、溶液溫度(室溫)、塑膠杯、油式真空幫浦抽真空系統。
- 3.應變變因：到達低壓沸騰所需的時間。

### (二)、實驗材料

不同種類肥皂、研鉢、油式真空幫浦抽真空系統(油式真空幫浦、壓克力強化箱、氣壓表)、塑膠杯、玻棒、氣球(抽真空過程中觀察壓力變化用)。

### (三)、實驗步驟

- 1.溶液準備—將  $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{HCl}$  配製成 1M, 250 mL 的溶液，倒入塑膠杯中。燃燒用酒精和己烷直接取 250 mL。膠水配製成體積百分濃度 4%的水溶液。將不同品牌肥皂磨成粉，各取 1 公克、3 公克、5 公克和 250 mL 的蒸餾水倒入塑膠杯中，配製成肥皂水溶液。
- 2.去除攪拌時於溶液表面形成的泡泡。(以免影響沸騰現象判斷)
- 3.將各塑膠杯分次放入壓克力強化箱中。
- 4.打開油式真空幫浦抽氣，測量各種溶液到達室溫低壓沸騰時所需的時間。
- 5.每個條件做三重複，記錄數據後做數據處理再取平均值。

### (四)、實驗數據

表一、蒸餾水(記錄單位：秒)

	25°C	50°C	75°C
250 mL	59.77	29	15

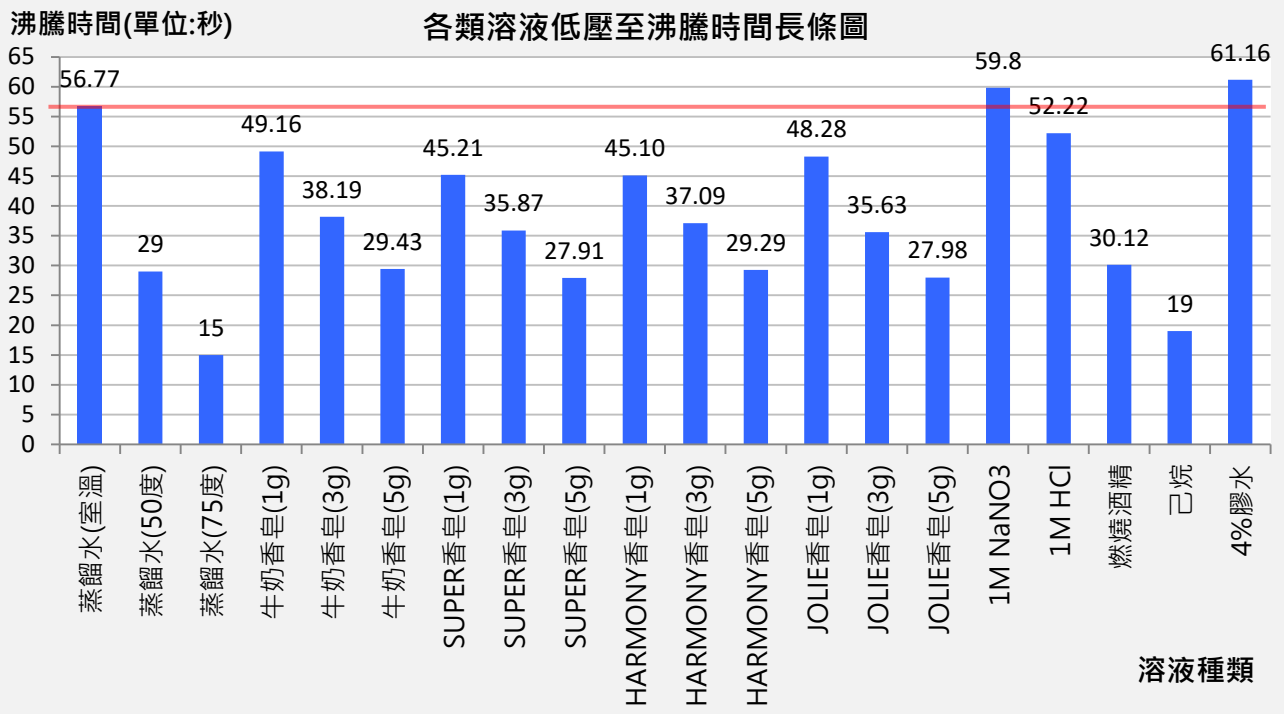
表二、不同溶液 (記錄單位：秒)

	1M $\text{NaNO}_3$	1M $\text{HCl}$	燃燒酒精	己烷	4%膠水
250 mL	59.8	52.22	30.12	19	61.16

表三、肥皂(記錄單位：秒)

	牛奶香皂	SUPER 香皂	HARMONY 香皂	JOLIE 香皂
1 公克	49.16	45.21	45.10	48.28
3 公克	38.19	35.87	37.09	35.63
5 公克	29.43	27.91	29.29	27.98

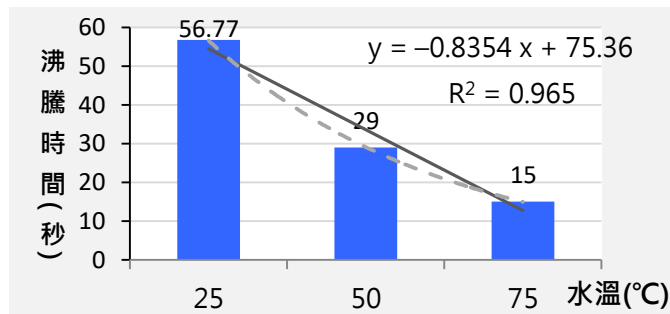
(五)、實驗圖表



圖三、各類溶液低壓至沸騰時間長條圖

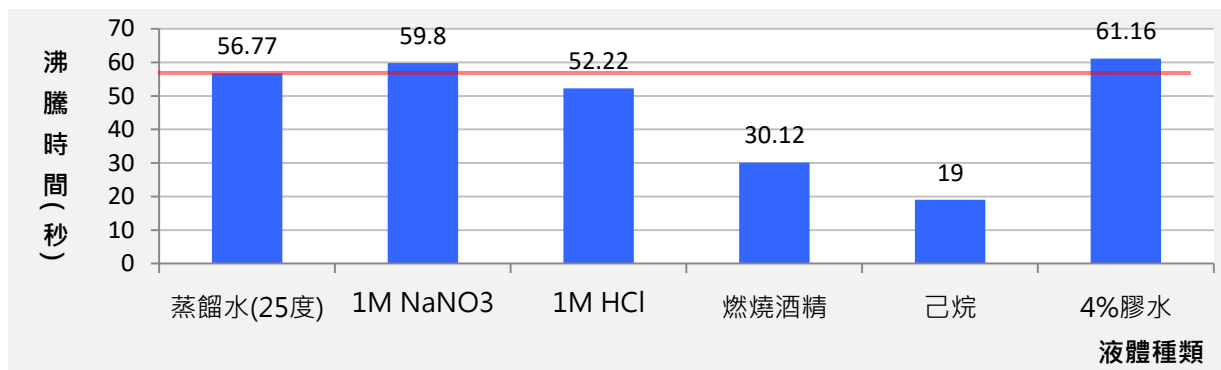
(五)、結果與討論

- 1.本組油式真空幫浦抽真空系統實驗以時間(秒)為測量數值，測量每一組條件達到低壓沸騰的時間，由於指針式壓力表轉動速度快，當發現低壓沸騰時，往往壓力表指針已超過許多，故直接記錄和讀取精確壓力不易，故我們想出問題解決的方法，改以「時間」作為測量紀錄，我們假設「若溶液在低壓下較溶液沸騰，則在逐漸低壓時，不同溶液的沸騰時間會不同」，以不同溫度的蒸餾水作實驗，實驗結果與討論如以下第 2 點。
- 2.為了檢驗這組油式真空幫浦抽真空系統是否具實驗性，與改以「時間」作為測量記錄是否可行，我們第一個實驗用了 25°C、50°C、75°C 三種不同溫度的蒸餾水進行低壓沸騰實驗，並紀錄和分析數據(圖四)，依據圖表分析的  $R^2$  值為 0.965，表示水溫與低壓沸騰時間變化有高度關係，若是以指數趨勢線分析(灰色虛線)，發現與圖二的水三相圖高度相關，表示本組「油式真空幫浦抽真空系統」具實驗參考性，且以「時間」做為紀錄具可行性。



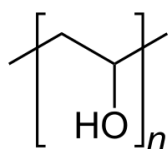
圖四、蒸餾水水溫低壓至沸騰時間長條圖

3. 確定這組抽真空系統具可信度後，我們測試了室溫下不同種類液體，包含了 1M NaNO<sub>3</sub>(中性強電解質)、1M HCl(酸性強電解質)、燃燒用酒精和己烷(揮發性物質)和膠水水溶液(多氫鍵溶質)，進行低壓沸騰實驗，並紀錄和分析數據(圖五)，由圖表可看出：

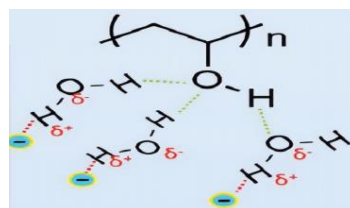


圖五、室溫下不同種類液體低壓至沸騰時間長條圖

(1) 1M NaNO<sub>3</sub>(中性強電解質)和膠水沸騰時間高於蒸餾水，NaNO<sub>3</sub> 的結果可以用來解釋加入可溶性非揮發性物質產生沸點上升現象，可能原因為硝酸根與水產生新的氫鍵效應，使得溶液整體的分子間作用力提升，造成不易低壓沸騰。膠水的結果亦可以用來解釋溶液的氫鍵效應導致沸點上升，我們用的膠水成分是聚乙烯醇(圖六)，為多羥基結構聚合物，從結構上可以推論會與水產生大量氫鍵(圖七，非交聯作用)，使得溶液整體的分子間作用力提升，而且我們僅用體積百分濃度 4%的膠水水溶液就有明顯低壓沸騰延長現象，故推論這是造成不易低壓沸騰的主因。

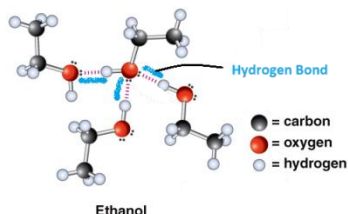


圖六、聚乙烯醇分子結構<sup>註2</sup>

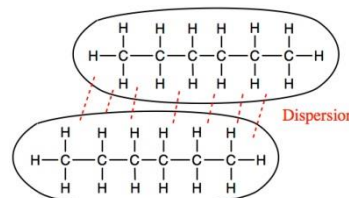


圖七、聚乙烯醇與水產生氫鍵示意圖<sup>註3</sup>

(2) 1M HCl(酸性強電解質)、燃燒酒精、己烷沸騰時間低於蒸餾水，HCl 較快低壓沸騰的原因可能與鹽酸具揮發性有關，但是在共沸理論上，氯化氫與水的混合物為負共沸物(Negative azeotropes)，故我們推測於室溫低壓的條件下，氯離子與水所形成的靜電作用力較弱所導致。燃燒酒精為甲醇與乙醇的混合物，與己烷一起做比較，由於醇類為極性分子且存在分子間氫鍵(圖八)，而已烷屬於非極性分子不具分子間氫鍵，主要分子間作用力為凡得瓦力，故在本實驗裡可以明顯觀察到己烷的低壓沸騰快於燃燒酒精。



圖八、乙醇分子氫鍵示意圖<sup>註4</sup>

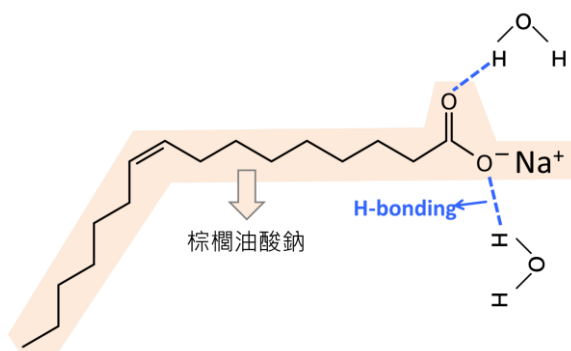


圖九、己烷分子間作用力(分散力)示意圖<sup>註5</sup>

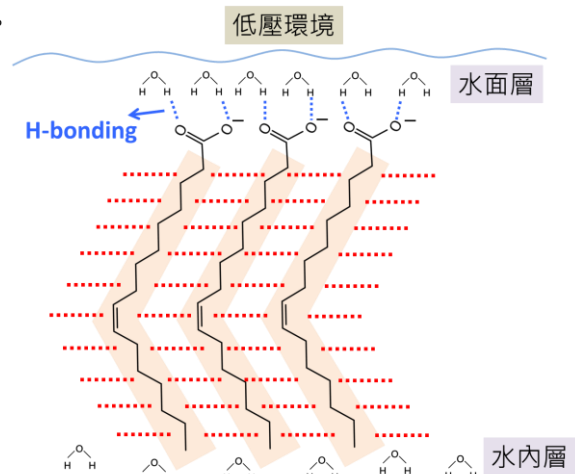
4. 在本次實驗中，最令我們感到驚訝的是室溫肥皂水溶液的低壓沸騰現象，幾乎每一組實驗的低壓沸騰時間都快於室溫蒸餾水，肥皂分子的結構中疏水端碳鏈常以 12~18 個碳原子

所組成，親水端為羧酸鹽基結構，此羧酸鹽基可以與水產生氫鍵，讓肥皂分子可以溶於水，我們使用的市售肥皂基成分為棕櫚油酸鈉(Sodium palmate,  $C_{16}H_{29}O_2Na$ )，疏水端碳數為 15 碳，於親水端能與水產生氫鍵(圖十一)，然而實驗數據顯示低壓沸騰時間較蒸餾水快，我們有以下推論：

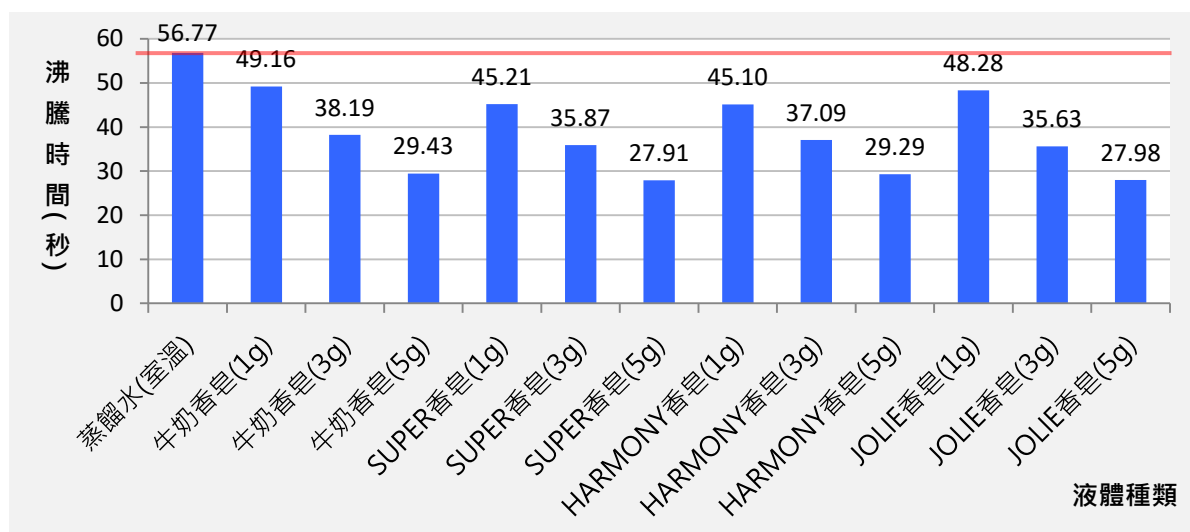
- (1)碳鏈長度的疏水性影響氫鍵效應，有機化學提到碳鏈結構裡四個碳能夠抵銷掉一個羧基氫鍵效應，棕櫚油酸鈉的碳鏈段有 15 個碳，疏水端體積效應明顯，對氫鍵的影響力大，故棕櫚油酸鈉的羧酸鹽基結構與水產生的氫鍵效應不明顯，導致低壓沸騰時間快。
- (2)碳鏈結構長使得碳鏈端分子間作用力強，15 個碳的碳鏈結構長，產生較大的接觸面積，分子間作用力明顯，使得疏水端較為團結(圖十二)，如同上述討論中的己烷一樣，此分子間作用力可能高於親水端羧酸鹽基與水產生的氫鍵效應，導致低壓沸騰時間快。
- (3)界面活性劑降低液體表面張力，像是表面張力小船實驗一樣，界面活性劑會瓦解表層水層的表面張力，即使親水端會與水產生氫鍵，但是長碳鍊的疏水端可能朝向液體內部，這樣的排列方式可能會打破表層水與內部水的氫鍵，使得表層水的表面張力下降(圖十二)，故在低壓的環境下易氣化，在本實驗中可觀察到加愈多肥皂的水溶液，低壓沸騰的時間愈短(圖十三)，可以驗證這項推論。



圖十、棕櫚油酸鈉結構與水產生氫鍵示意圖<sup>註 6</sup>



圖十一、棕櫚油酸鈉結構分子間作用力示意圖



圖十二、蒸餾水與不同肥皂水溶液於低壓至沸騰時間長條圖

## 五、結論與生活應用

### 【結論】

1. 本次實驗使用的油式真空幫浦抽真空系統可以用來觀察低溫沸騰現象，亦可以用此系統解釋溶液中分子間作用力的關係，提供一種不用加熱劇烈改變分子間能量的方式，觀察並數據化實驗記錄。
2. 結合沸點上升概念，於「室溫下不同種類的溶液」實驗中，我們以硝酸鈉和膠水(聚乙烯醇)驗證了可溶性非揮發性物質產生沸點上升現象，而在鹽酸的實驗裡，我們觀察到了在不加熱改變分子間能量的情況下，因為氫離子與水之間的作用力，產生低壓沸騰較快的現象，此現象不同於拉午耳定律的加熱沸點上升現象。
3. 於「揮發性溶液」實驗裡，觀察到燃燒酒精與己烷在低壓下沸騰明顯快於同溫的蒸餾水。
4. 本次實驗我們最感興趣的是肥皂實驗，完全與我們預想的狀況不同，原本以為肥皂水低壓沸騰時間應該會比蒸餾水還要久，實驗結果卻是時間短於蒸餾水，而且肥皂量愈多，低壓沸騰時間愈快！與我們的假設「純水加入可溶性非揮發性物質，水溶液的沸騰的時間會較久」不符，在課本中所學的肥皂去汙原理，本以為親水端與水產生的效果明顯，實驗結果卻顛覆我們的想像，疏水端的分解水面表面張力的現象於低壓沸騰實驗中明顯展現。

### 【生活應用】

1. 低壓沸騰現象可在高山煮飯時觀察到，高山上氣壓低，沸騰的水溫度卻未達  $100^{\circ}\text{C}$ ，食物不易煮熟，想要好好享受一杯  $90^{\circ}\text{C}$  熱水泡出來的咖啡，也無法保證熱水流出在冷空氣和冷咖啡粉降溫下，浸泡的水溫是否能達理想的  $90^{\circ}\text{C}$ ，透過本次實驗以及結合課本中的拉午耳定律，若是在水中加入微量可溶性非揮發性物質，例如糖，糖的羥基與水分子產生的氫鍵效應下，水溫應可再往上提升，在高山上也能泡出一杯理想水溫沖泡的咖啡！
2. 肥皂水的實驗，觀察到在室溫下含有界面活性劑的水溶液低壓沸騰較快，家庭用水與工廠排放的廢水中若是含有界面活性劑，沒有經過妥善處理進入河川或湖泊，除了造成優養化、缺氧外，透過本實驗可以推論亦會「加速水的蒸散量」，導致水量快速下減，故需要對含有清潔劑汙染的河川或湖泊進行快速清理，並加強改善排放系統以及法規措施。

### 參考資料

- 註 1(圖二)：第一單元，物質的組成，1-1.2 物質的狀態。龍騰出版社，高一化學課本 p.8。
- 註 2(圖六)：維基百科，聚乙烯醇。
- 註 3(圖七)：網站- 力学性能可调的聚乙烯醇水凝胶材料！ <https://reurl.cc/eLjN4L>
- 註 4(圖八)：網站- Ethanol 酒精(ethanol)分子的鍵長鍵角分析。 <https://reurl.cc/Qe8vk5>
- 註 5(圖九)：網站- Chapter 11 Intermolecular Forces and Liquids and Solids. <https://reurl.cc/13r5AQ>
- 註 6(圖十)：維基百科，棕櫚油酸。