

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

040202

河清難俟—奈米磁性顆粒加速明礬沈降的大發現

學校名稱：國立新竹女子高級中學

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 作者：<br><br>高二 曾宜婷<br><br>高二 謝欣婷<br><br>高二 尹文心<br><br>高二 葉怡均 | 指導老師：<br><br>戴孟倫<br><br>吳育貞 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞： 奈米磁性顆粒、明礬、淨水

## 壹. 摘要:

明礬用於自來水淨化已是行之有年的做法，其限制在於膠狀沉澱沉降的速度太慢，倘若能改善沉降速率，將對淨水程序有莫大助益。

奈米尺度大小的材料是當下最熱門的議題，它的應用也蘊藏著許多潛力，一般奈米材料利用的是表面積效應和體積效應。我們在參考資料的幫助下做出有磁性的奈米級顆粒，在  $\text{Al}(\text{OH})_3$  的膠狀沉澱內加入此磁性顆粒，可由外加磁場加速沉澱。我們的願景是希望使之加速沉降或使沉降過後的水更乾淨。改變奈米級顆粒的製作方法和使用方法，提高效率 and 降低成本，找出幫助沉降最有利之條件。

## 貳. 研究動機

因應對水的需求日益增大，我們除了節約用水還能做些什麼？台灣的自來水廠標榜誠信、創新、協調，所以我們也希望對淨水做出創新的貢獻。桃竹苗地區在颱風期間常有停水的問題，主要原因就是水源區水土保持不佳，致使原水濁度過高。若我們能針對這項問題，找出解決之道，對我們將會是一大幫助。

我們希望藉由加入磁性奈米顆粒讓明礬包覆，外加磁場，利用磁力使膠狀沉澱物沉澱速率加快。提供自來水廠更有效率的淨水方法，也希望因此縮短停水的時間。

## 參. 研究目的:

1. 探討溫度、酸鹼度對奈米磁性顆粒的影響。
2. 探討製作成份的不同對奈米磁性顆粒的影響。
3. 探討有無奈米磁性顆粒對明礬沉降速率的差異。
4. 探討鐵粉與奈米磁性顆粒的差異。
5. 探討明礬包覆奈米磁性顆粒沉降後的澄清液有無  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 。

## 肆. 實驗器材:

### 器材:

量筒(10ml.25ml)  
量瓶(25ml.100ml.250ml)  
燒杯(250ml.500ml.1000ml)  
滴管  
試管  
試管架  
試管夾  
離心管  
電子秤(Jadever)  
磁鐵(馬蹄形.環狀.圓形)  
刮勺  
秤量紙  
濾網  
電磁攪拌加熱板(Corning)  
攪拌子  
烘箱  
碼錶  
pH 儀(Lutron)  
溫度計  
高斯計  
吸量管  
安全吸球  
錫箔紙  
塑膠盒  
滴定管

### 藥品:

$\text{FeCl}_2$   
 $\text{FeCl}_3$   
 $\text{HCl}$   
 $\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{NaOH}$   
 $\text{NiCl}_2$   
 $\text{CoCl}_2$   
 $\text{NH}_3$   
 $\text{PbCl}_2$   
 $\text{NaCl}$   
 $\text{CuSO}_4$   
 $\text{CH}_3\text{COCH}_3$   
明礬  
泥沙  
鐵粉

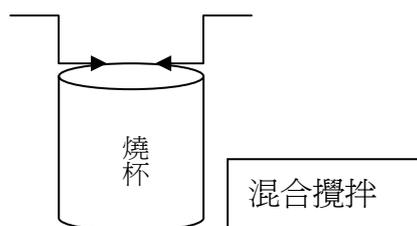
## 伍. 研究過程與方法:

### 一、製作奈米磁性顆粒

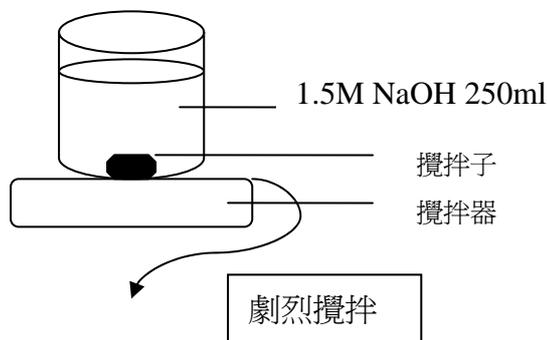
由參考資料得知，1 mol  $\text{FeCl}_2$  和 2 mol  $\text{FeCl}_3$  可製備出  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。

1. 取 0.032 mole 的  $\text{FeCl}_3$  先溶於 25ml 水中，接著加入 0.85ml 濃 HCl，最後加入 0.016 mole  $\text{FeCl}_2$  於燒杯中。以小於十奈米的尺度為一小團分散在水溶液中

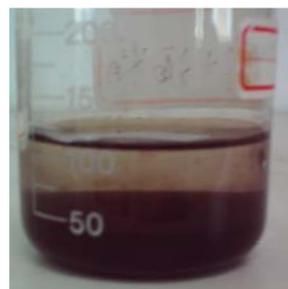
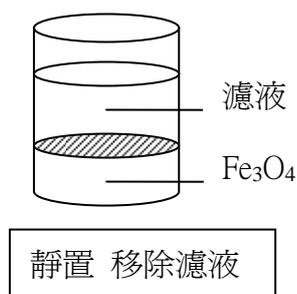
|                 |      |                      |        |
|-----------------|------|----------------------|--------|
| $\text{FeCl}_2$ | 2.0g | HCl                  | 0.85ml |
| $\text{FeCl}_3$ | 5.2g | $\text{H}_2\text{O}$ | 25ml   |



2. 將步驟 1 的混合溶液用滴管逐滴加入裝有 250ml 1.5M NaOH 且劇烈攪拌的燒杯，以防止反應太慢而形成太大的顆粒。立刻就會形成黑色的沉澱。此時已可以用磁鐵來檢查磁性。



3. 用環狀磁鐵置於下並靜置 30min, 等溶液出現明顯分層時以滴管移除濾液 100ml，再加入蒸餾水 100ml。重複此步驟以  $\text{H}_2\text{O}$  洗 1-3 次，最後再配 0.01M HCl 100ml 洗 1 次。HCl 用以中和鐵離子上的負電荷。



4. 用 HCl 和 NaOH 將 pH 值調至 7。



5. 隔水加熱至沸騰後等待半小時。這樣便可確定反應已完全完成。



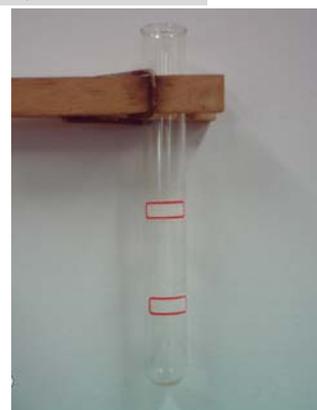
6. 完成奈米磁性顆粒的製作。

## 二、分別改變明礬和氫氧化鈉的濃度，找出能使明礬沉降速率最快的比例。

### 控制變因

- (1) 以下所述 NaOH 的濃度皆為 0.1 M、明礬為 0.02 M
- (2) 加入 NaOH 八秒後，都以相同速率攪拌五次，每次間隔兩秒。(用於所有相關實驗)

1. 取六個乾淨的試管，控制明礬和水的總體積為 8ml，其中含明礬分別為 0ml、1 ml、2 ml、3 ml、4 ml、5 ml。同時各加入 NaOH 2ml，觀察其沉降情形。
2. 取六個乾淨的試管，分別加入 0.1M 明礬 4ml，控制 NaOH 和水的總體積為 6ml，先加入水再同時加入 NaOH，其中 NaOH 分別為 0.5ml、1 ml、1.5 ml、2 ml、2.5ml、3ml，觀察其沉降情形。



備註：每個時間的第一欄是指由 10ml 高度沉降至 8ml 高度的時間，第二欄是指降至 5ml 高度的時間

### 三、加入奈米磁性顆粒並改變加入的量，找出他們三者間的最佳比例。

取六個乾淨的試管加入明礬 4ml，控制奈米磁性顆粒和水的總體積為 4ml，同時各加入 NaOH 2ml，觀察其沉降情形。

### 四、將水改成泥水

為模擬污水處理的狀況，同實驗二和三，我們將水改成自製的泥水，並比較有無添加奈米顆粒的沉降速率。

### 五、改變奈米磁性顆粒酸鹼度

重複製作奈米磁性顆粒的流程，將步驟四的 pH 值改成 10 和 4。取三個乾淨的試管加入明礬 4ml 和泥水 2ml，控制奈米磁性顆粒和水的總體積為 2ml，其中含奈米磁性顆粒為 0.1 ml。同時各加入 NaOH 2ml，觀察他們的沉降情形。

### 六、改變反應溫度

將反應環境分別改在 55°C 的熱水中和 3°C 的冷水中操作。

### 七、FeCl<sub>2</sub> 改成 CoCl<sub>2</sub> 和 NiCl<sub>2</sub>

製作奈米磁性顆粒過程中的 FeCl<sub>2</sub> 改成 CoCl<sub>2</sub> 和 NiCl<sub>2</sub>。



### 八、強鹼與弱鹼

將製作奈米磁性顆粒過程中的 NaOH 改成 NH<sub>3</sub>。

### 九、大量比較

依照比例將各項成分放大 15 倍。

### 十、外加磁場的有無

控制一個有外加磁場，一個無外加磁場。

### 十一、鐵粉與奈米磁性顆粒的比較

取二個乾淨的試管加入明礬 4ml，控制磁性顆粒和水的總體積為 4ml，其中含與鐵粉和奈米磁性顆粒為 0.1 ml。同時各加入 NaOH 2ml，觀察其沉降情形。

### 十二、奈米磁性顆粒自然陰乾和烘箱乾燥

將製作好的奈米磁性顆粒分成兩杯，將其中一杯放於實驗室陰暗角落，另一杯放入 60°C 烘箱，比較乾燥後的情形有何不同。

### 十三、檢驗是否還有殘留二價鐵離子或三價鐵離子

於明礬沉澱後，我們欲判斷上層的澄清溶液中是否留有二價鐵離子或三價鐵離子，我們以下列三種溶液加入澄清液作為判別。

- (1) 加入 KSCN 水溶液判別是否含有  $\text{Fe}^{3+}$  (左杯)
- (2) 加入  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  水溶液判斷是否含有  $\text{Fe}^{3+}$  (中杯)
- (3) 加入  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  水溶液判斷是否含有  $\text{Fe}^{2+}$  (右杯)

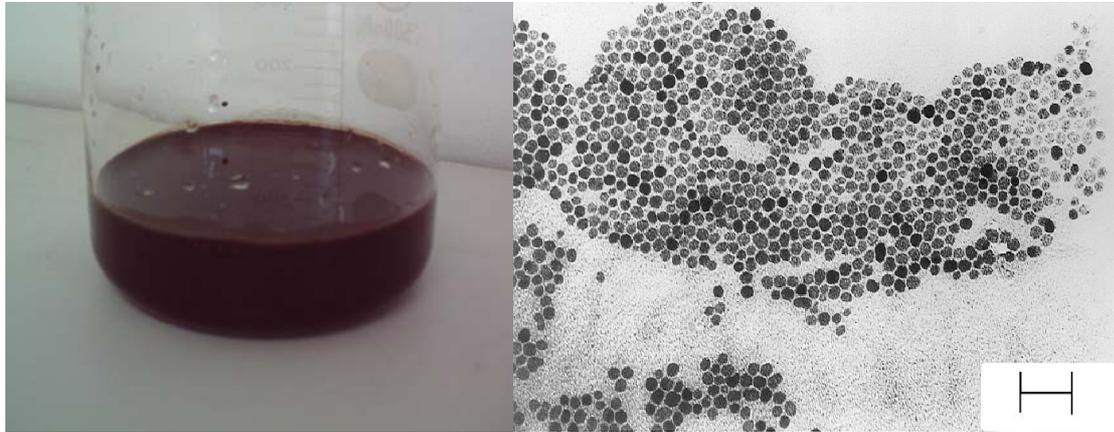


加入澄清液後如上圖所示，所有溶液均無變色，表示二價鐵離子及三價鐵離子並未於沉澱時溶入溶液中，不會造成溶液的汙染。

## 陸. 實驗結果:

### 1. 製作奈米磁性顆粒

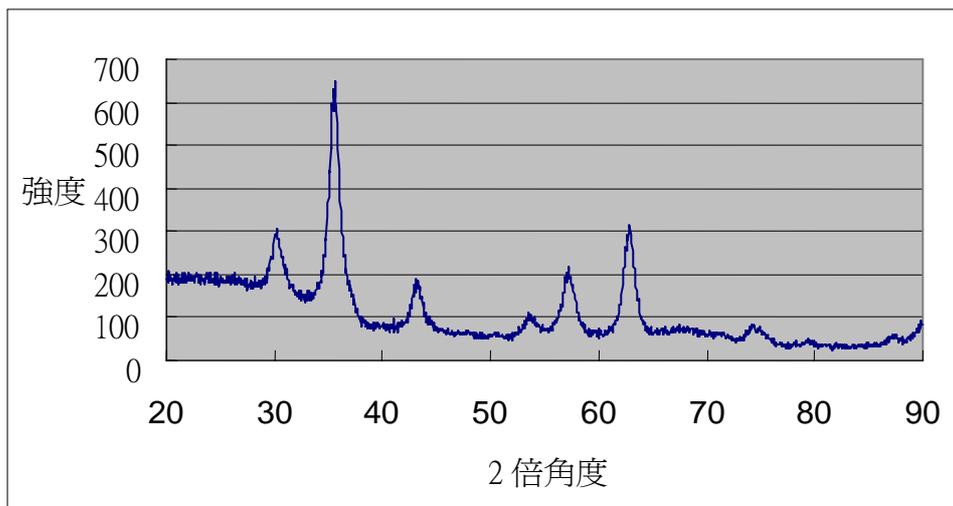
由參考資料 1，可知磁性  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  於電子顯微鏡下的呈像如下圖所示



巨觀

微觀

且經由 XRD (X 光繞射儀) 測出數據後可分析出，所合成者為含有磁性之  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，顆粒大小約為 7~8 nm 之間，數據如下圖所示:



### 2. 改變明礬的量

包覆物質相等時,明礬的量越多沉降速率越快。但含有明礬 5ml(最多)的試管每次的沉澱狀態不穩定而且常有懸浮物不會沉降，所以我們以含有明礬 4ml(次多)(最快，約 4~5 分鐘內便完成沉降)為最佳濃度。

### 3. 改變氫氧化鈉的量



溶液在沒有氫氧化鈉(試管 1)、氫氧化鈉很少量(試管 2、3)時呈透明澄清，試管 4、5、6 成白色混濁。而其中試管 4 沉降速率最快，故以試管 4(2ml)為最佳濃度。

### 4. 改變奈米磁性顆粒的量

奈米磁性顆粒太少對磁鐵的感應也會變小，但太多會使上面的澄清液呈現淡黃色。實驗結果顯示試管 2 或 3 最適合，其中試管 2 的磁性顆粒(0.1ml)可被明礬完全包覆，其餘試管雖然快但試管上段不澄清。所以我們以試管 2(0.1ml)為最佳濃度。

### 5. 改變泥沙的量

泥沙越多速率越快，但太多時明礬無法完全包覆。其中試管 3 最為乾淨，所以我們以試管 3(2ml)為最佳濃度。

### 6. 奈米磁性顆粒對泥水的量

沒有加入奈米磁性顆粒的對照組速度最慢，其他試管一到五的沉降速率非常接近，因此我們選用奈米磁性顆粒在水中的最佳濃度，即為 0.1ml。

### 7. 製作奈米磁性顆粒時 NaOH 和 NH<sub>3</sub> 的差異

在製作奈米磁性顆粒的第二個步驟：混合溶液逐滴加入裝有 250ml 之 1.5M NaOH 且劇烈攪拌，我們想知道若改成同莫耳數弱鹼 NH<sub>3</sub> 會不會造成顆粒磁性上的差異。

### 1.)在水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處       | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------|
| NaOH            | 2'15       | 2'05       | 2'07       | 2'15       | 2'10 |
| NH <sub>3</sub> | 2'10       | 2'19       | 2'01       | 2'28       | 2'15 |

| 5ml<br>高處       | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------|
| NaOH            | 3'15       | 2'53       | 2'43       | 2'41       | 2'53 |
| NH <sub>3</sub> | 2'40       | 4'03       | 2'36       | 4'08       | 3'22 |



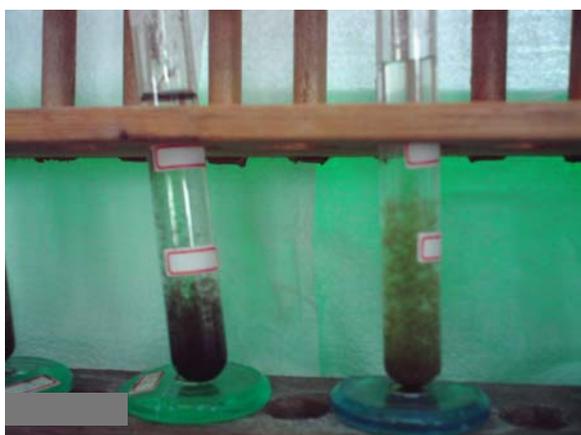
NH<sub>3</sub>在沉降至8ml高度時的時間與NaOH的時間差不多，而之後速率慢下來，我們在製作磁性顆粒時觀察到用NH<sub>3</sub>製作的奈米磁性顆粒和用NaOH製作的奈米磁性顆粒比起來沉澱凝聚性較強，因此我們推測用NH<sub>3</sub>製作的奈米磁性顆粒受重力影響較大。

### 2.)在泥水中奈米磁性的差異

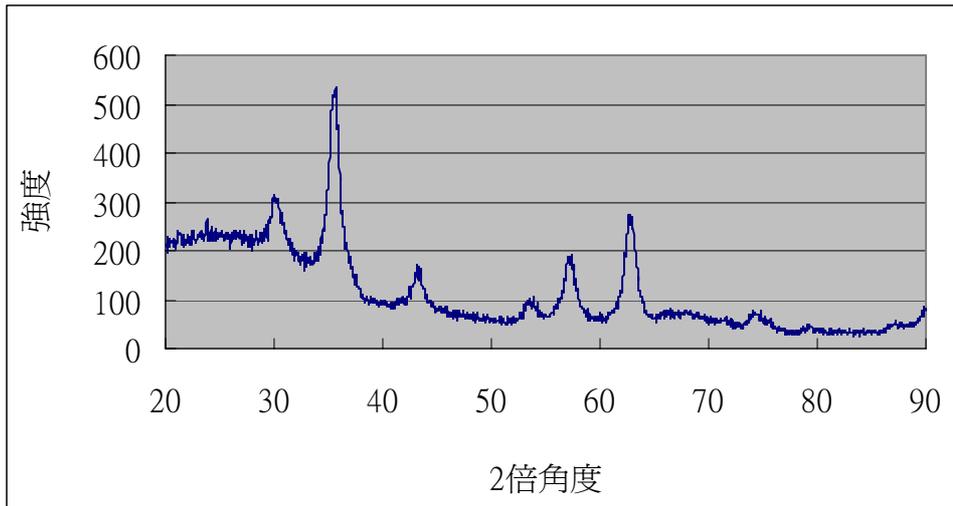
| 8ml<br>高處       | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------|
| NaOH            | 1'22       | 1'05       | 1'15       | 1'20       | 1'15 |
| NH <sub>3</sub> | 1'14       | 1'26       | 1'08       | 1'32       | 1'20 |

| 5ml<br>高處       | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------|
| NaOH            | 1'55       | 1'29       | 1'41       | 1'53       | 1'45 |
| NH <sub>3</sub> | 1'42       | 2'14       | 1'29       | 1'58       | 1'51 |

兩者都有磁性，但NaOH的速率較NH<sub>3</sub>微快。且NH<sub>3</sub>有惡臭。



且經由XRD(X光繞射儀)測出數據後可分析出，我們所合成者仍為含有磁性之 $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，顆粒大小約為7.5~8.5 nm之間，約比一般所作之氧化鐵大一些，數據如下圖所示：



### 8. 奈米磁性顆粒處在流體的酸鹼度對各溶液沉降速率的影響

我們想知道奈米磁性顆粒在不同的酸鹼度下是否會有不同的效果，我們配了三杯 pH 值分別為 10、7、4 的奈米磁性顆粒溶液，並挑了純水、泥水與鹽水(模擬海水的濃度所配置的)，來進行沉降速率的比較。

#### 1.) 純水

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 反應<br>時間 5 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| 鹼 pH10    | 1'37       | 1'52       | 1'50       | 1'47       | 1'52       | 1'48 |
| 中 pH7     | 1'43       | 1'33       | 1'43       | 1'50       | 1'39       | 1'42 |
| 酸 pH4     | 2'02       | 2'17       | 1'57       | 1'58       | 2'05       | 2'08 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 反應<br>時間<br>5 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|---------------|------|
| 鹼 pH10    | 2'31       | 2'28       | 2'24       | 2'13       | 2'25          | 2'24 |
| 中 pH7     | 2'32       | 2'00       | 2'20       | 2'06       | 1'55          | 2'11 |
| 酸 pH4     | 2'50       | 2'55       | 2'26       | 2'28       | 2'37          | 2'39 |

在水中，各酸鹼性的差異不大，但以中性最佳。

## 2.)泥水

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 鹼 pH10    | 1'35       | 1'40       | 1'48       | 1'48       | 1'42 |
| 中 pH7     | 1'48       | 1'55       | 1'28       | 1'23       | 1'38 |
| 酸 pH4     | 1'57       | 1'41       | 1'53       | 1'50       | 1'50 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 鹼 pH10    | 1'57       | 1'59       | 2'00       | 2'21       | 2'04 |
| 中 pH7     | 1'59       | 2'13       | 1'58       | 1'59       | 2'02 |
| 酸 pH4     | 2'46       | 2'10       | 2'13       | 2'12       | 2'20 |

在泥水中，各酸鹼性的差異不大，但以中性最佳。

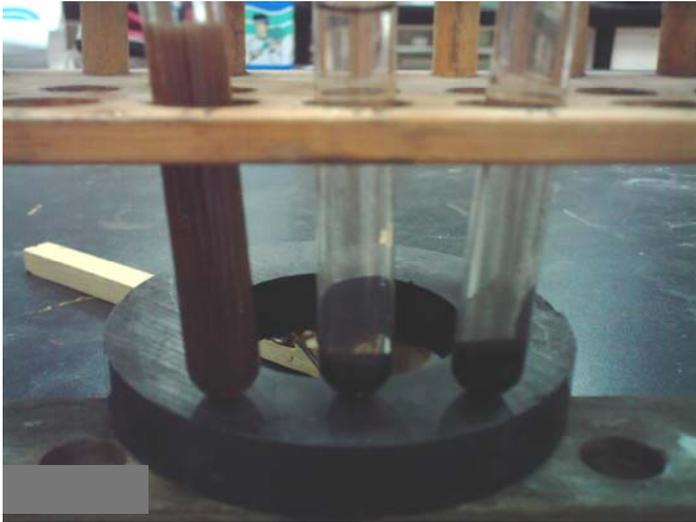
## 3.)NaCl 鹽水

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 鹼 pH10    | 3'10       | 2'56       | 2'38       | 2'25       | 2'47 |
| 中 pH7     | 2'25       | 2'33       | 1'53       | 1'53       | 2'11 |
| 酸 pH4     | 2'30       | 2'10       | 3'25       | 3'45       | 2'58 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 鹼 pH10    | 4'53       | 4'44       | 3'19       | 3'20       | 3'55 |
| 中 pH7     | 3'11       | 3'13       | 2'41       | 2'59       | 3'01 |
| 酸 pH4     | 3'30       | 4'14       | 4'19       | 4'30       | 4'08 |

在鹽水中，差異較大，仍然以中性最佳。

我們將不同酸鹼值之試管狀況如下照片所示



pH4

pH 7

pH10

### 9. 奈米磁性顆粒的效用

為了確認奈米磁性顆粒使明礬的沉降速率明顯加快，磁力的影響和重力的影響何者較大，我們比較有無磁鐵的差異。

#### 1) 在水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------|
| 磁鐵        | 1'56       | 2'02       | 2'02       | 2'00 |
| 沒磁鐵       | 6'25       | 11'28      | 8'26       | 8'46 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均    |
|-----------|------------|------------|------------|-------|
| 磁鐵        | 2'39       | 2'42       | 2'47       | 2'07  |
| 沒磁鐵       | 15'52      | 16'52      | 18'01      | 16'56 |



#### 2) 在泥水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------|
| 磁鐵        | 1'24       | 1'32       | 1'24       | 1'27 |
| 沒磁鐵       | 2'49       | 1'38       | 2'49       | 2'25 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------|
| 磁鐵        | 1'46       | 2'22       | 1'49       | 1'59 |
| 沒磁鐵       | 4'32       | 2'22       | 3'56       | 3'37 |

有磁鐵的試管明顯的速率較快，因此我們得知奈米磁性顆粒對明礬的沉降確實是有幫助的。

### 10. 鐵粉和奈米磁性顆粒



為了確定奈米磁性顆粒是否只因磁性而加速沉降，我們拿了同樣有磁性但顆粒較大的鐵粉做相同的實驗。因鐵粉顆粒太大又太重，無法溶於水中而直接沉在水底，也因此無法被明礬包覆。

### 11. VIII B 同族中 Fe、Co、Ni 用來作磁性顆粒的差異

週期表中的 Fe、Co、Ni 同列為 VIII B 族的元素，化學性質相似，我們想知道若將  $\text{Fe}^{2+}$  改成  $\text{Co}^{2+}$  或  $\text{Ni}^{2+}$  會不會有相同的效果。

三者皆有磁性，但由  $\text{Ni}^{2+}$  所製成的奈米磁性顆粒磁性幾乎無法察知，將磁鐵靠近只能吸附少量的顆粒。 $\text{Co}^{2+}$  所製成的奈米磁性顆粒的磁性比  $\text{Fe}^{2+}$  製成的明顯較弱，也同樣將其顆粒乾燥後以 XRD 加以測量結構。



Fe Co Ni

#### 1) 在水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處                       | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| $\text{FeCl}_2 + \text{FeCl}_3$ | 1'38       | 1'39       | 1'42       | 1'46       | 1'41 |
| $\text{CoCl}_2 + \text{FeCl}_3$ | 4'16       | 4'17       | 4'05       | 4'04       | 4'10 |
| $\text{NiCl}_2 + \text{FeCl}_3$ | 太混濁，不沉降    |            |            |            |      |

| 5ml<br>高處                             | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| FeCl <sub>2</sub> +FeCl <sub>3</sub>  | 2'32       | 2'11       | 2'34       | 2'39       | 2'29 |
| CoCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 5'54       | 5'55       | 5'40       | 5'41       | 5'47 |
| NiCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 太混濁，不沉降    |            |            |            |      |

## 2)在泥水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處                             | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| FeCl <sub>2</sub> +FeCl <sub>3</sub>  | 1'23       | 1'39       | 1'30       | 1'30       | 1'30 |
| CoCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 4'18       | 4'05       | 4'38       | 4'36       | 4'24 |
| NiCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 太混濁，不沉降    |            |            |            |      |

| 5ml<br>高處                             | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|
| FeCl <sub>2</sub> +FeCl <sub>3</sub>  | 1'57       | 2'50       | 2'03       | 2'08       | 2'15 |
| CoCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 4'42       | 5'21       | 5'33       | 5'53       | 5'22 |
| NiCl <sub>2</sub> + FeCl <sub>3</sub> | 太混濁，不沉降    |            |            |            |      |

含 Fe<sup>2+</sup> 的磁性顆粒沉降速率最快，其次是含 Co<sup>2+</sup> 顆粒。

將 Fe<sup>2+</sup> 改成 Ni<sup>2+</sup> 所製成的奈米磁性溶液不呈顆粒形式，全部溶於水中，因此不沉降。而在泥水中，因沉降所需包覆的物質增加，沉降速率較水中來的快。

## 12. 改變奈米磁性顆粒的溫度

為了知道奈米磁性顆粒在不同溫度下是否會有不同的效果，我們將實驗分別改在 55°C 的熱水中和 3°C 的冷水中操作。

### 1) 在水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 冷 3°C     | 3'08       | 4'05       | 3'30       | 3'09       | 3'28 |
| 室溫        | 2'15       | 2'05       | 2'07       | 2'15       | 2'10 |
| 熱 55°C    | 對流且迅速的上下分層 |            |            |            |      |



| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 冷 3°C     | 5'18       | 5'41       | 6'02       | 5'22       | 5'36 |
| 室溫        | 3'15       | 2'53       | 2'43       | 2'41       | 2'53 |
| 熱 55°C    | 對流且迅速的上下分層 |            |            |            |      |



在熱水中的沉降



在冷水中的沉降

## 2) 在泥水中奈米磁性的差異

| 8ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 冷 3°C     | 2'54       | 1'40       | 2'55       | 2'08       | 2'24 |
| 室溫        | 1'22       | 1'05       | 1'15       | 1'20       | 1'15 |
| 熱 55°C    | 0'52       | 1'40       | 0'51       | 1'02       | 1'06 |

| 5ml<br>高處 | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 反應<br>時間 4 | 平均   |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------|
| 冷 3°C     | 3'42       | 2'09       | 3'49       | 2'49       | 3'07 |
| 室溫        | 1'55       | 1'29       | 1'41       | 1'53       | 1'45 |
| 熱 55°C    | 1'18       | 1'56       | 1'18       | 1'40       | 1'33 |

由此實驗可知，反應時的溫度越高，沉降的速度越快；反應時的溫度越低，沉降的速度越慢。

另外，在高溫環境下，試管一呈現上下分層，而無法讓所有被包覆的粒子沉降。但在泥水中，因泥沙顆粒多，重量重而使明礬沉降，不會產生上下分層的情形。



### 13.大量比較

在做完前面各項實驗後，我們想知道奈米磁性顆粒在大容積裡是否會跟在小試管中效果一樣好，因此我們將分別將水、泥水、水加奈米磁性顆粒、泥水加奈米磁性顆粒四項沉降實驗的各項比例放大 15 倍。

| 8ml<br>大量     | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   | 8ml<br>小量     | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   |
|---------------|------------|------------|------------|------|---------------|------------|------------|------------|------|
| 水             | 1'22       | 1'14       | 1'26       | 1'21 | 水             | 太慢         |            |            |      |
| 泥水            | 0'54       | 0'51       | 0'49       | 0'51 | 泥水            | 2'23       | 2'50       | 2'07       | 2'26 |
| 水+奈米<br>磁性顆粒  | 0'57       | 0'54       | 0'54       | 0'55 | 水+奈米磁<br>性顆粒  | 2'15       | 2'05       | 2'07       | 2'09 |
| 泥水+奈米<br>磁性顆粒 | 0'56       | 0'52       | 0'59       | 0'56 | 泥水+奈米<br>磁性顆粒 | 2'00       | 1'39       | 1'56       | 1'51 |
| 5ml<br>大量     | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   | 5ml<br>小量     | 反應<br>時間 1 | 反應<br>時間 2 | 反應<br>時間 3 | 平均   |
| 水             | 2'43       | 2'12       | 2'45       | 2'33 | 水             | 太慢         |            |            |      |
| 泥水            | 1'26       | 1'13       | 1'07       | 1'19 | 泥水            | 2'33       | 3'26       | 2'33       | 2'50 |
| 水+奈米磁<br>性顆粒  | 1'21       | 1'20       | 1'21       | 1'21 | 水+奈米磁<br>性顆粒  | 3'15       | 2'53       | 2'43       | 2'41 |
| 泥水+奈米<br>磁性顆粒 | 1'26       | 1'14       | 1'26       | 1'22 | 泥水+奈米<br>磁性顆粒 | 2'12       | 2'07       | 2'39       | 2'19 |

大容量的速率較小容量的速率快，推測可能原因為明礬比較多凝聚在一起重量較大因此較易沉降。另外，反應的試管口較大，攪拌時可以攪拌的較劇烈可能也讓明礬更容易包覆水中的粒子。



## 柒. 討論

一. 我們所製備出之奈米磁性顆粒，是由參考資料 1 的方法製備而成。製備完成後原希望可與參考資料相同觀察其 TEM(電子顯微鏡)之微觀現象，但是，與老師商量後發現磁性顆粒對其儀器影響甚鉅而不宜，故改測其 XRD(X 光繞射儀)之數據來支持我們的微觀推論。

### 1) X 光繞射原理

1913 年 W.L.Bragg 父子在從事晶體結構分析實驗中，從散射 X 光的分佈情形，他們認為可以將繞射現象視為入射光被晶面反射。此種反射如同鏡面反射，入射角等於反射角。在某些散射角下，從相鄰晶面散射之波彼此相位相同，光程差為波長的整數倍，因而產生建設性干涉。滿足此條件便可產生繞射，稱為**布拉格定律**。

$$2d_{hkl} \sin \theta = n \lambda$$

2) 任何結晶材料其性質與內部晶粒大小有密切的關係，因此決定材料的晶粒大小是一相當重要的課題。大體而言，決定材料晶粒度的方法有兩類：**顯微鏡法**(包括光學顯微鏡和電子顯微鏡等)及**X 光繞射法**。一般 X 光繞射中，繞射峰的強度、波型會受晶粒數目和晶粒大小的影響，通常晶粒在  $0.1 \mu m$  以上，晶粒大小的變化對峰形輪廓的影響並不顯著。但是晶粒小到  $0.1 \mu m$  以下時，繞射峰會有顯著的寬化(Peak Broaden)效應。晶粒越小、繞射峰越寬。因此繞射峰的寬廣與否，便決定於晶體內繞射單元之數目，亦即晶體大小。晶粒小者，繞射單元數目少，故峰形較寬，尤其晶粒平均大小在  $200 \text{Å}$  以下，寬化效應相當顯著。此時利用 X 光繞射來定晶粒大小比電子顯微鏡更為有效，因為電子顯微鏡對於言種尺寸之晶粒變化較不敏感。

3) 我們此次為證實我們的微觀推論，將我們製備之奈米磁性顆粒、將 NaOH 換為  $\text{NH}_3$  之磁性顆粒及將二價鐵離子換成二價鈷離子之磁性顆粒三種樣品，離心過濾後，以丙酮清洗後於烘箱中以  $90^\circ\text{C}$  烘乾二小時加以乾燥為粉末，在交由清大化學系之實驗室幫我們測出 XRD 之圖譜數據。

## 二. 將 VIII B 族的 $\text{Fe}^{2+}$ 改為 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 測試其磁性變化

我們試著把二氯化亞鐵換成同莫耳數的二氯化鈷和二氯化鎳，其他的步驟維持固定。因為 Fe、Co、Ni 同為 VIII B 族化學性質相似，其他的步驟維持固定，我們觀察到鈷溶於水時呈紫紅色而滴入步驟 2 時呈現藍黑色，鎳溶於水時呈綠色而滴入步驟 2 時呈現磚紅色。發現兩項實驗作出的結果都有磁性，鎳的磁性幾乎無法察覺，而鈷有磁性較弱，與鐵的效果差不多。

加入  $\text{Co}^{2+}$  後雖存在微弱之磁性，但無法確定其微觀結構，故進行 X 光繞射儀測試觀察其數據後發現加入後，結構完全改變且波峰訊號十分尖銳，表示微觀顆粒增大不少，已非  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  之結構。

### 三. 以各種方式測磁性顆粒之磁性大小

- (1) 奈米磁性顆粒的磁性大小無法以肉眼準確辨識，我們用學校的高斯計來測量，但因奈米顆粒間的排列是雜亂的，磁力互相抵消的結果導致高斯計無法測出磁性。
- (2) 接著試著用滴管快速噴射奈米磁性顆粒溶液過線圈，但相接毫安培計的指針絲毫沒有移動，推測是因所產生的電流太小，無法以磁生電的方式來測量。
- (3) 另一個測磁性的方法，就是把固定量的奈米顆粒放入滴定管並加水到管口。等到沉澱後，用磁鐵從旁邊把顆粒吸起並向上拉。藉由拉到的高度大小比較磁性強弱。但是吸起來的奈米顆粒線每一次的粗細和厚度都無法控制，因此無法做精細的測量。



←奈米磁性顆粒將磁鐵吸起

### 四. 將磁性奈米顆粒乾燥後測其乾燥粉末特性

- (1) 為了使保存容易且定量，我們讓它自然乾燥。過了一星期，奈米級顆粒變成泥狀，我們取出少許把它加入試管中和水稀釋，依然有磁性。
- (2) 過了兩星期，上半部結成粉狀並有結晶，下半部則依然泥狀，但不好分辨。取出一些放入水中，部分有磁性，但有少部分沉在水底不受影響。已溶解的部份呈可透光的紅棕色，即使放再久都不會沉澱，應已形成懸浮液。
- (3) 另外拿了一部份剛做好的奈米級顆粒放入烘箱烘，過了約 12 小時，水分已全乾。此時卻已無法再溶於水，看不出有磁性的跡象。



### 五. 久置保存後性質觀察

隔一星期奈米級顆粒幫助  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉降速度變慢，沉降出的水也不比之前的澄清。尋找原因後發現這差異是由奈米級顆粒造成的，再重作一次奈米級顆粒並於三小時內使用便不復出現此問題了。放了 3 個月的密封奈米級顆粒更是已毫無磁性。

### 六. 加入明礬與 $\text{NaOH}$ 之原因探討

- (1) 明礬和雜質本來就會沉降但速度緩慢。我們的實驗是在試管中少量地操作，為了加快實驗速度和便於觀察，我們加入等量  $\text{NaOH}$  以增加反應速率。
- (2) 我們也試了不加  $\text{NaOH}$  的情況。但等了 20 分中依然完全看不出一點分層或沉降。可見  $\text{NaOH}$  在加速沉降上有很好的效果。
- (3) 明礬的主要成分是  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 。鋁是兩性物質， $\text{Al}(\text{OH})_3$  能溶於強酸強鹼當中，因此在氫氧化鈉很少量或氫氧化鈉很多時， $\text{Al}(\text{OH})_3$  溶於氫氧化鈉中，沉降速率都很緩慢。

### 七. 加入鐵粉和奈米磁性顆粒相互比較

由於鐵粉方便取得且尺寸等級也很小，並同樣可被磁鐵吸引，於是以相同的步驟作相互比較。我們發現鐵粉無法和水進行長時間的均勻混合，加入水中便立即沉澱。我們認為是因為鐵粉太重，一加入水中就沉到底部，來不及被明礬包覆。

### 八. 是否存在磁鐵和奈米磁性顆粒之相互影響

因為奈米磁性顆粒具有磁性，所以當沒有運用磁鐵時的效果淺顯易見，有磁鐵的速率遠大於沒磁鐵的。

### 九. 酸鹼度影響

- (1) 將奈米磁性顆粒酸鹼度從 pH 值約 12 調降時，每次加入的鹽酸要定量才不會影響濃度。
- (2) 參考資料中製備奈米磁性顆粒時是將 pH 值調到 3.5。還未調酸鹼度的原液 pH 值大約在 12 左右。
- (3) 我們調中性奈米磁性顆粒時 pH 值都控制在 6.5 到 7.5 之間。受外加磁場分為兩層後，只測上層的溶液發現 pH 值只有 3 到 4。推測奈米磁性顆粒本身就帶鹼性。

### 十. 沉降後對澄清液乾淨的定義

- (1) 即使在有些實驗中做出的沉降時間比較快，但不一定表示比較乾淨。我們最後認定的最佳沉降條件無法單靠數據上的沉降時間得到。
- (2) 我們也詢問自來水公司一般飲用水的乾淨程度，但因我們和自來水公司的淨水目標(污水)不同，所以無法使用它們的標準。

## 捌. 結論

- 一. 在清水中的最佳濃度是 4ml 明礬 (0.02M)、2ml 氫氧化鈉 (0.1M)、3.9ml 水、0.1ml 奈米磁性顆粒。
- 二. 在泥水中的最佳濃度是 4ml 明礬 (0.02M)、2ml 氫氧化鈉 (0.1M)、1.9ml 水、2ml 泥水、0.1ml 奈米磁性顆粒。
- 三. 用  $\text{NH}_3$  為溶劑製成的奈米磁性顆粒效果比不上一般用  $\text{NaOH}$  為溶劑製成的。
- 四. 使用不同酸鹼性的奈米磁性顆粒在各種條件下都以中性的效果最好。
- 五. 有外加磁場的奈米磁性顆粒協助明礬沉降的速率較沒有外加磁場的快。
- 六. 鐵粉無法用來幫助淨水，奈米級的磁性顆粒可被明礬包覆幫助沉降。
- 七. 用二價  $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  製成的奈米磁性顆粒協助明礬沉降的速率比較為  $\text{Fe}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$ 。
- 八. 在一定溫度範圍內，反應的溫度越高，沉降的速度越快；反應的溫度越低，沉降的速度越慢。
- 九. 大容量的速率較小容量的速率快。

## 玖. 未來展望

- 一. 找出製作磁性奈米顆粒更快速簡便的方法。
- 二. 拿實際的家庭廢水或海水做實驗。
- 三. 如何量產使之可以實際運用於自來水廠。
- 四. 將使用過後的磁性奈米顆粒回收。保水質的乾淨和降低重新製作磁性奈米顆粒的成本。
- 五. 尋找其他除了利用明礬沉降速率測磁性的方法外，其他測磁性可行的方法。
- 六. 當找到能夠準確測磁力的方法時，試著改變磁場的強度，進一步提高沉降效率。
- 七. 寫出明礬包覆奈米磁性顆粒在各種環境下的沉降速率定律式。
- 八. 能夠真正應用於自來水場。

## 拾. 參考資料

1. **Chem. Mater.** 1996, 8. 2209-2211  
**Young Soo Kang, Subhash Risbud  
John F. Rabolt, and Pieter Stroeve**
2. 高一基礎化學 南一版
3. [http://www.water.gov.tw/05know/news\\_e\\_all.asp](http://www.water.gov.tw/05know/news_e_all.asp)  
台灣自來水廠提供台灣各地的平均水質
4. <http://www.niea.gov.tw/>行政院環境保護署環境檢驗所
5. 工業材料 86 期・83 年 2 月，P. 100~109

**【評語】** 040202

本作品合成了奈米  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，此部分是重覆已有的程序，將磁性  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  用在沉降清潔水，頗有巧思，不過實用性及定量部分可再精進。