

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

030213

鐵磁流體之製備與研究

學校名稱：臺中縣立神岡國民中學

作者： 國二 姜甜香 國二 吳怡臻 國二 蔡筱萱	指導老師： 張漢生 游佳柔
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鐵磁流體、四氧化三鐵、磁性

鐵磁流體之製備及研究

摘要：

使用國中實驗室設備，利用化學反應製造出四氧化三鐵（ Fe_3O_4 ），以檸檬酸為表面活性劑將四氧化三鐵溶解成流體狀態，透過不斷的實驗，尋找製備磁流體的最佳製程，製備出磁流體，並進一步研究磁流體的磁性表現。

壹、研究動機：

在尋找科展的題目過程中，我們透過搜尋網路及各屆科展資料後，發現一篇「神奇的鐵磁流體」的科展作品說明書，作者為高雄市立中正高工的三位同學，說明書內一張張神奇的磁流體照片深深吸引我們，心理想著，從小到大從沒見過流體能被磁鐵吸引，覺得非常有趣也非常好奇，和老師討論後，評估學校的設備應該可以製備出磁流體，於是為了滿足我們的好奇心，也為了想親眼看看鐵磁流體，希望能做出一個與眾不同的作品，因此選定磁流體為我們科展研究方向。

貳、研究目的

- 1、了解鐵磁流體之理論及製程
- 2、製備鐵磁流體
- 3、觀察鐵磁流體之性質
- 4、探討鐵磁流體之磁性研究

參、研究器材及設備

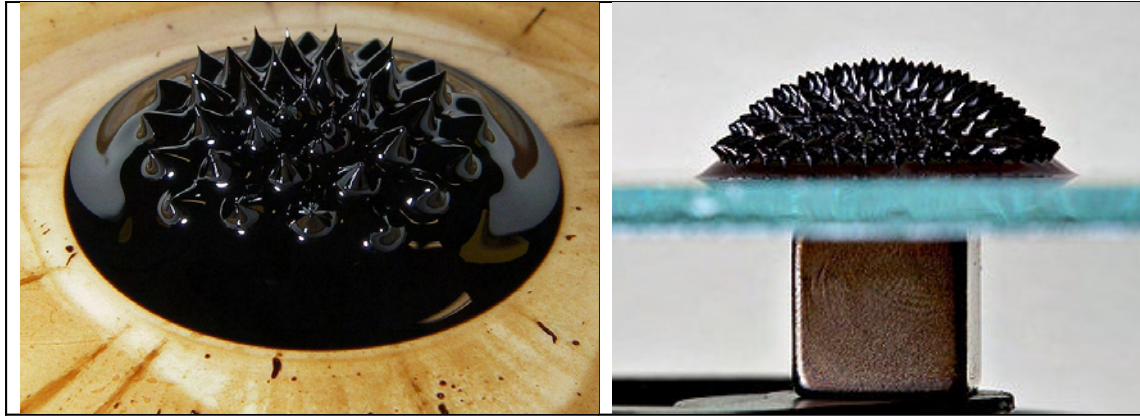
編號	名稱	規格	數量	備註
1	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	藥品級	1 瓶	
2	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	藥品級	1 瓶	
3	NH_4OH	藥品級	1 瓶	15M
4	HCl	藥品級	1 瓶	12M
5	檸檬酸	藥品級	1 瓶	
6	乙醇	藥品級	1 瓶	99.5%
7	煤油		適量	
8	電磁攪拌器		一台	
9	滴定管	50ml	一支	

10	燒杯	250ml	6 個	
11	刮杓		數支	
12	錶玻璃		一個	
13	量筒	10ml	3 支	
14	量筒	50ml	1 支	
15	滴管		數支	
16	試管	25ml	數支	
17	鈹鐵硼強力磁鐵		數個	
18	電源供應器		兩台	附安培計及伏特計
19	線圈	1500 匝	兩個	
20	電線		4 條	
21	溫度計	酒精	2 支	
22	磁針		1 個	
23	鐵架		3 個	
24	固定架	各式	數個	

肆、研究過程及討論

1、理論介紹：【摘錄自引註資料】

1. 鐵磁流體是一種在磁場存在時強烈極化的液體。鐵磁流體由懸浮於載流體當中奈米數量級的鐵磁微粒組成；其載流體通常為有機溶液或水。鐵磁微粒由表面活性劑包裹，以防止其因范德華力和磁力作用而發生凝聚成固態，因而失去流動性。儘管被稱為鐵磁流體，但它們本身並不表現鐵磁性。這是因為在外部磁場不存在的情況下，鐵磁流體無法保持磁性。
2. 磁性流體組包含奈米級鐵磁性粒子(氧化鐵粒子)、表面活性劑(surfactant)與載基流體 (base fluid，通常為水或礦物油)。
3. 事實上，鐵磁流體表現順磁性，並且由於它們的高磁化率，通常被認為具有「超順磁性」。產生鐵磁流體在實際當中很難，一般要求高溫及電磁浮置等條件。
4. 真正的鐵磁流體是穩定的，這意味著固體微粒即使在極強的磁場當中也不發生凝聚或者分相。
5. 當一種順磁性流體處於一段足夠強的垂直磁場中時，其表面自然形成一種褶皺構型，褶皺只有在磁場強度高於臨界磁場時才會形成，鐵磁流體具有異常高的磁化係數，一塊小條形磁鐵即可達到其臨界磁場並使其產生褶皺，理想成品如下圖：【摘錄自維基百科】



6. 四氧化三鐵是一種鐵酸鹽，在 (Fe_3O_4) 裏，鐵顯兩種價態，一個鐵原子顯+2價，兩個鐵原子顯+3價，所以說四氧化三鐵可看成是由 (FeO) 與 (Fe_2O_3) 組成的化合物，可表示為 $(FeO \cdot Fe_2O_3)$ ，而不能說是 (FeO) 與 (Fe_2O_3) 組成的混合物，它屬於純物質。鐵磁流體中通常包含的表面活性劑如下（但不僅限於此）：

- (1) 油酸
- (2) 氫氧化四甲基銨
- (3) 檸檬酸
- (4) 大豆卵磷脂

經過評估後，考量藥取得難易度後，決定使用檸檬酸為表面活性劑，將 (Fe_3O_4) 溶解成流體狀態。

7. 經查詢高雄市立中正高工科展說明書後，得知下列方程式可製得四氧化三鐵



8. 檸檬酸：表面活性劑（用來改善磁流體絮凝團聚現象）
 檸檬酸是一種酸，廣泛分布於植物如檸檬、菠蘿、醋栗、覆盆子和葡萄汁中。水合物：100°C時溶解，密度1.542g/cm³（18°C）；無水物：無色晶體或粉末，熔點153°C，有強酸味。溶於水、乙醇和乙醚。也可從植物原料中提取，也可由糖進行檸檬酸發酵制得。用於製造藥物、汽水、糖果等，也可用於金屬清潔劑、媒染劑等。

2、.研究過程

1. 前置作業：

經查詢後得知以下藥品配製資料。

(1) 將 12M HCl(濃鹽酸)稀釋成 2M HCl(稀鹽酸) 200mL

$$M_1V_1 = M_2V_2 \rightarrow 2 \times 200 = 12[\text{濃 HCl(aq)}] \times V_2 \quad \therefore V_2 = 33.33 \text{ mL}$$

取 33.33 mL 的濃 HCl(aq) ,加去離子水"至" 200 mL

(2) 配製 1M FeCl₃(氯化鐵) in 2M HCl(稀鹽酸) 160 mL

藥品為 FeCl₃ · 6H₂O = 270.30

$$1 = W/270.30 \times 1000/160 \quad \therefore W = 43.25 \text{ g}$$

取 43.25g 的 FeCl₃ · 6H₂O , 加 2M HCl(稀鹽酸) "至" 160 mL(aq)

(3) 配製 1M NH₄OH[氨水 NH₄(aq)] 1000 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2 \rightarrow 1 \times 1000 = 15 \times V_2 \quad \therefore V_2 = 66.67$$

取 6.67 mL 的濃氨水 , 加去離子水 "至" 1000 mL

(4) 配製 2M FeCl₂(氯化亞鐵)in 2M HCl(稀鹽酸)40 mL---必須新鮮配置

藥品為 FeCl₂ · 4H₂O = 199

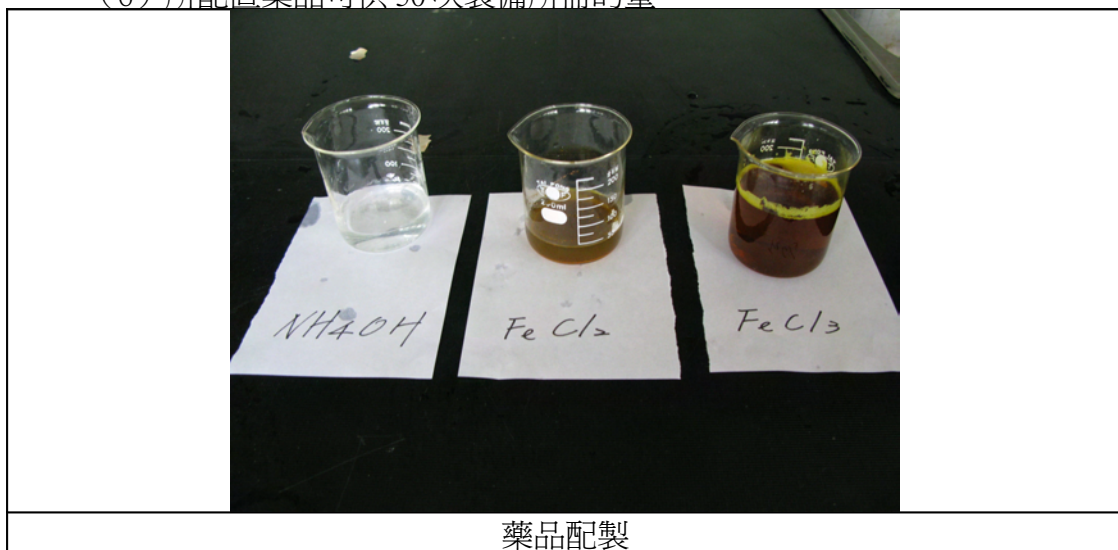
$$2 = W/199 \times 1000/40 \quad \therefore W = 15.92 \text{ g}$$

取 15.92g 的 FeCl₂ · 4H₂O , 加 2M HCl(稀鹽酸)"至" 40 mL(aq)

(5) 配製 55%的檸檬酸溶液(飽和溶液)

取 55g 的檸檬酸加 45 mL 的水

(6) 所配置藥品可供 50 次製備所需的量

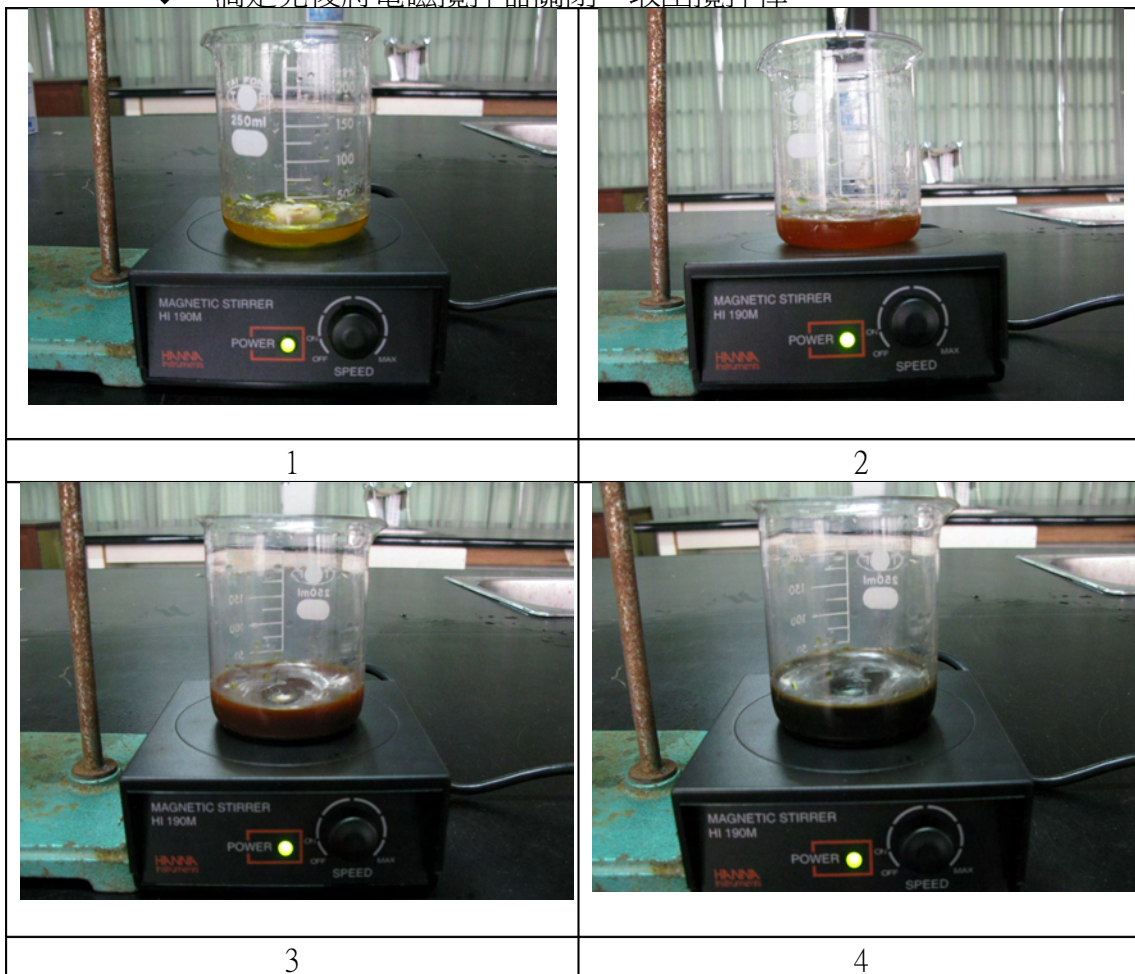


2. 製備過程：



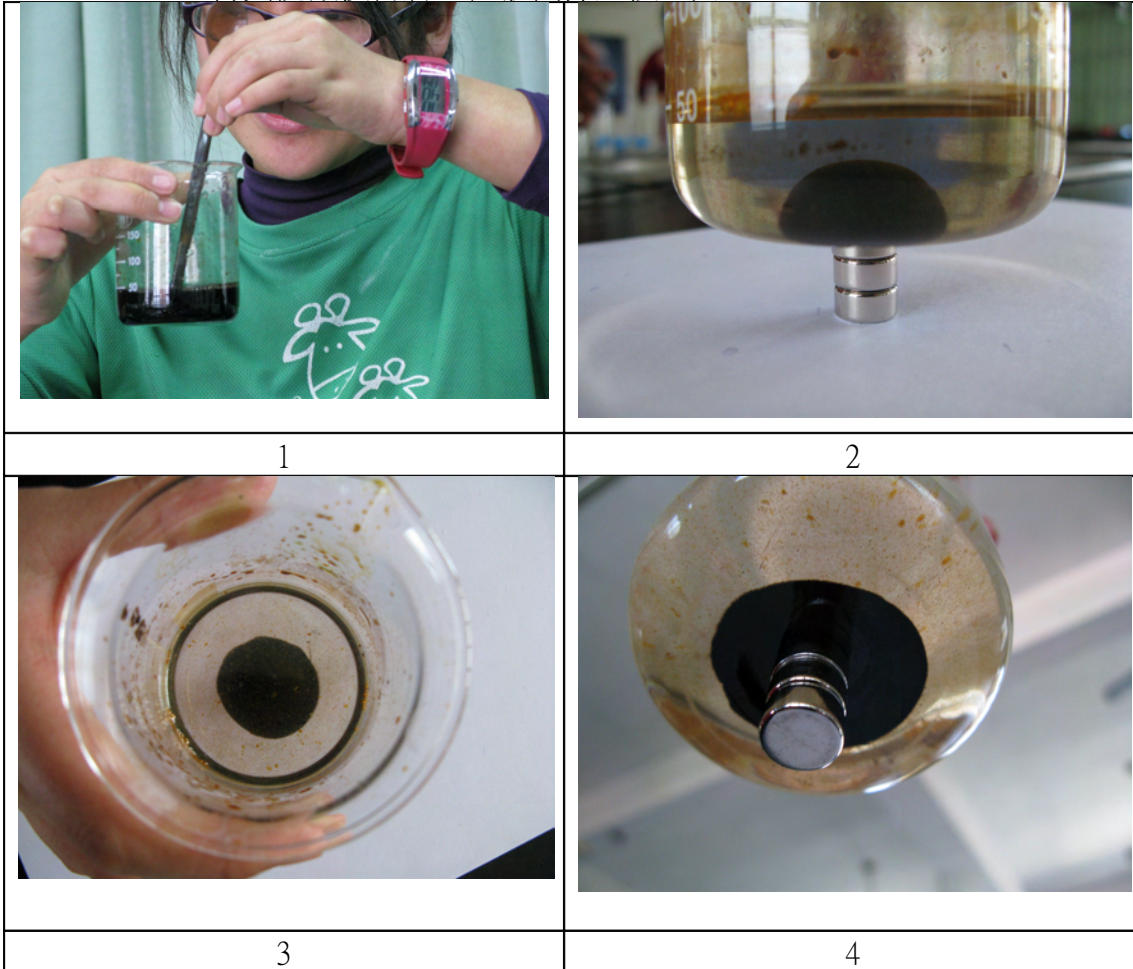
(1) 滴定

- ◆ 將 4.0 ml of 1M FeCl_3 及 1.0 mL of 2M FeCl_2 的溶液加入 250 mL 的燒杯中,放置於電磁攪拌器上攪拌。
- ◆ 將 50 mL 1.0M 的 NH_4OH 溶液用滴定管於五分鐘內(經由計算約每秒三滴共 0.15 mL)緩緩加入水中。
- ◆ 滴定完後將電磁攪拌器關閉,取出攪拌棒。



(2) 萃取：以鈹鐵硼強力磁鐵吸附鐵磁流體

- ◆ 以鈹鐵硼強力磁鐵吸附 (Fe_3O_4)，待其沉澱後將上澄液倒掉，留下固體的沉澱物 (Fe_3O_4)。
- ◆ 以 50 ml 逆滲透水洗滌固態的沉澱物，以強力磁鐵吸附鐵磁流體，待其沉澱後再將上澄液倒掉重複 2 次



(3) 溶解：

- ◆ 將 (Fe_3O_4) 裝入試管加入 2 ml 的檸檬酸，攪拌均勻，以鈹鐵硼強力磁鐵吸附 (Fe_3O_4)，用吸管吸出上方澄液。
- ◆ 加入 2 ml 的乙醇。
- ◆ 滴入 5 滴煤油。

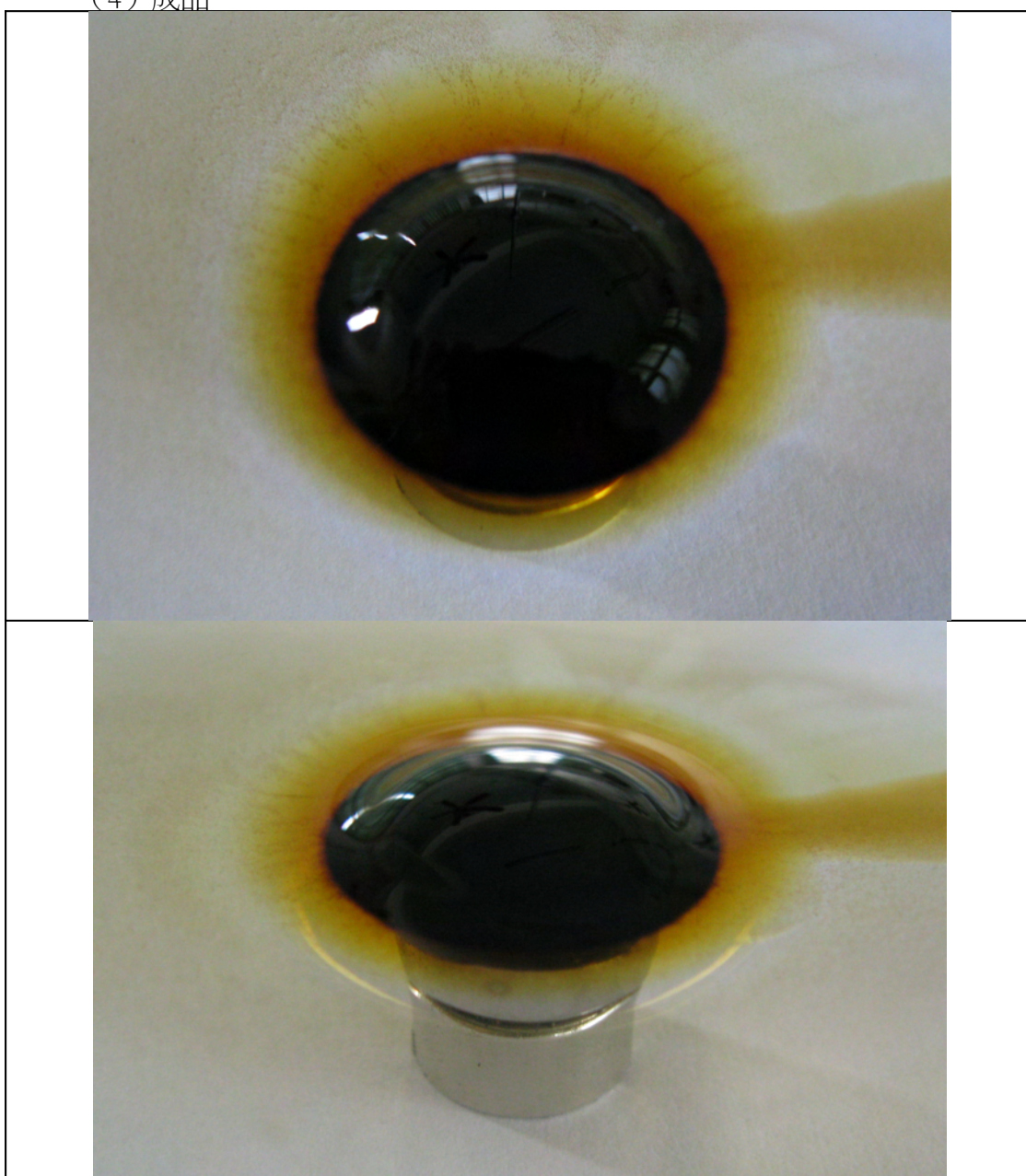


1



2

(4) 成品



(5) 製備過程中注意事項：

◆ 藥品配製：

1. 氨水會因揮發而使濃度降低，因此如果當天未能完成所有實驗，隔天實驗時，氨水必須重新配置。
2. FeCl_2 溶液如放置時間過長(約一天)，所製得 (Fe_3O_4) 量少，且磁力甚弱，經討論後，推測原因可能是+2 價鐵因和溶於溶液中的氧氣作用，進一步被氧化成+3 價鐵，而無法透過反應製出 (Fe_3O_4)，所以 FeCl_2 溶液必須新鮮配置。

◆ 滴定過程：

1. 電磁攪拌器的轉速越高，(Fe_3O_4) 的粒子越小，流動性越佳。
2. 滴定速度越慢，(Fe_3O_4) 的粒子越小，流動性越佳。
3. $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 無法完全溶解於鹽酸中，因此每次取用 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶液時，必須完全攪拌溶液。

◆ 萃取過程：

1. 以磁鐵吸附 (Fe_3O_4) 時，應保持靜置，所得 (Fe_3O_4) 的粒子較小，流動性越佳。

◆ 溶解：

1. 依每次萃取出的 (Fe_3O_4) 量，適量調整乙醇及煤油的量。

3. 磁流體的觀察

I. 良好磁流體的指標：

- ◆ 磁性強度
- ◆ 流動性
- ◆ (Fe_3O_4) 的粒子大小

II. 電磁攪拌器的轉速過低，甚至不攪拌時，或萃取過程以鈹鐵硼強力磁鐵吸附 (Fe_3O_4) 時移動磁鐵，製得 (Fe_3O_4) 的粒子明顯較大，凝聚現象明顯，磁流體狀況不佳。

III. 只以檸檬酸為表面活性劑，會有以下情況發生

- ◆ 將磁流體久置，試管底部會發生沉澱，(Fe_3O_4) 轉變成灰色粉末，經討論後研判：+2 價鐵因和溶液中的氧氣作用，進一步被氧化成+3 價鐵，(Fe_3O_4) 完全轉變成 (Fe_2O_3) 所致，目前我們無法證明此一論點。
- ◆ 而且隨置放時間增加，灰色粉末會發生溶解情況，上層溶液呈黑色，透明度甚差，經過約一星期後，幾乎完全溶解成黑色溶液，順磁性幾乎完全消失，我們利用加熱蒸發掉一些水份，希望濃度提高後能獲得較大磁力，結果不如預期，磁力完全未增加，我們目前也尚未找出此黑色溶液的組成。

- ◆ 我們陷入兩難，檸檬酸太少，磁流體流動性不佳；檸檬酸太多，磁流體發生溶解，為解決此一問題，我們再一次研讀參考資料，經由討論，我們發現良好的磁流體會利用載基流體增加流動性，而載基流體通常為水或礦物油，為避免+2價鐵氧化成+3價鐵，加上實驗室中恰好有煤油，我們決定使用礦物油（煤油），希望礦物油（煤油）能包圍磁流體而隔絕氧氣，為了解檸檬酸、水、礦物油（煤油），再利用乙醇當溶劑，結果非常令人滿意。

IV. 經多次修正製備過程後，發現良好的磁流體可觀察到下列情形：

- ◆ (Fe_3O_4) 為黑色
- ◆ (Fe_3O_4) 沉澱速度較慢，沉澱後上層溶液呈淡黃色，透明度較佳，如下圖。



- ◆ 表面活性劑和載基流體越多，流動性越佳，但用磁鐵吸附時磁力卻越弱，流動性及磁力必須有所取捨。
- ◆ 將氨水濃度調高一倍，其餘藥品濃度不變，用量加倍，所得磁流體仍相當良好，可節省一半時間。

4. 磁流體的磁性研究

(1) 未經磁化前是否帶有磁場：

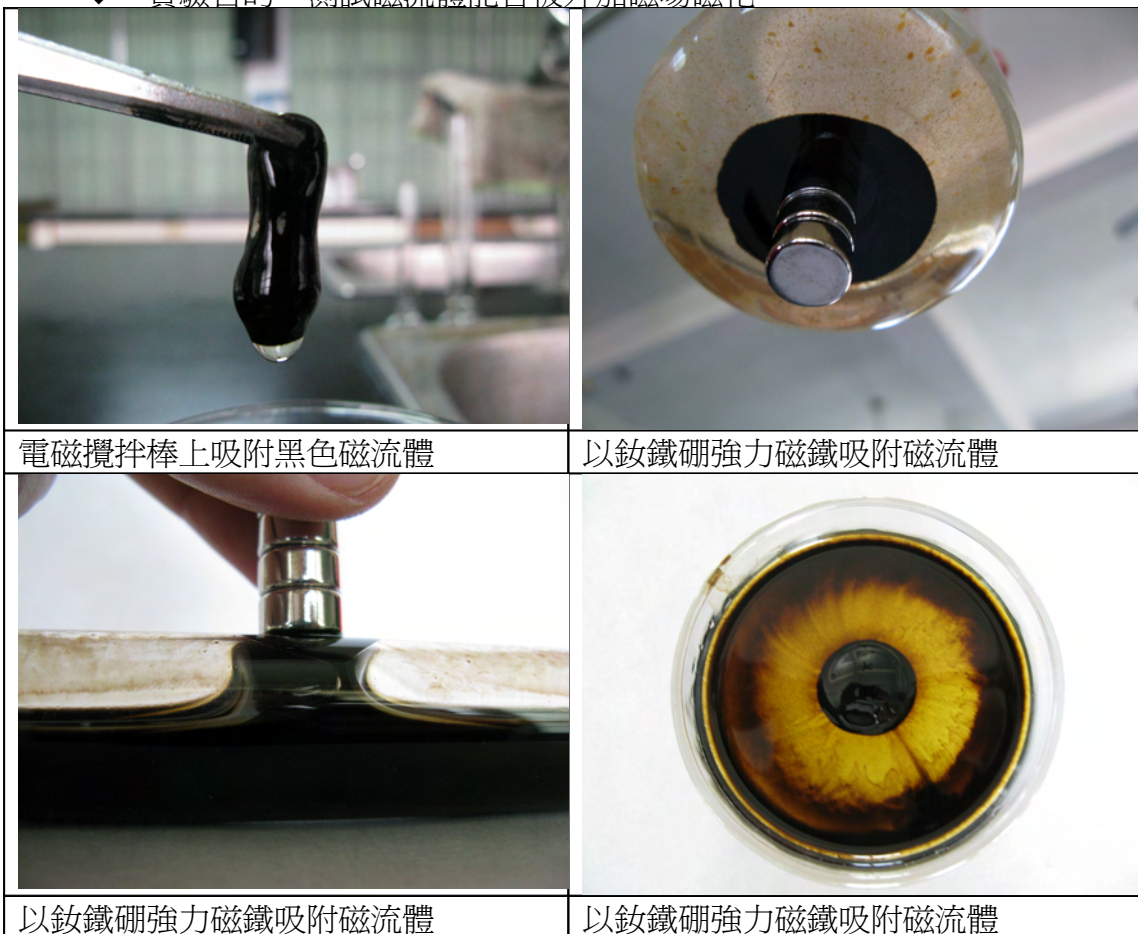
- ◆ 實驗目的：研究磁流體本身未經磁化前是否帶有磁場



- ◆ 實驗結果分析：
將磁流體置於磁針旁，可發現磁針完全不受影響，仍指向南北方向，顯示直接生成之磁流體未經磁化前本身並不帶有任何磁場。

(2) 磁化：

- ◆ 實驗目的：測試磁流體能否被外加磁場磁化。



- ◆ 實驗結果分析：

1. 將鈹鐵硼強力磁鐵靠近磁流體可發現立刻產生吸引力，顯示磁流體可以被磁化，並呈現出流動性，確實表現出磁流體該有的二項非常重要的性質。

(3) 磁性保留能力：

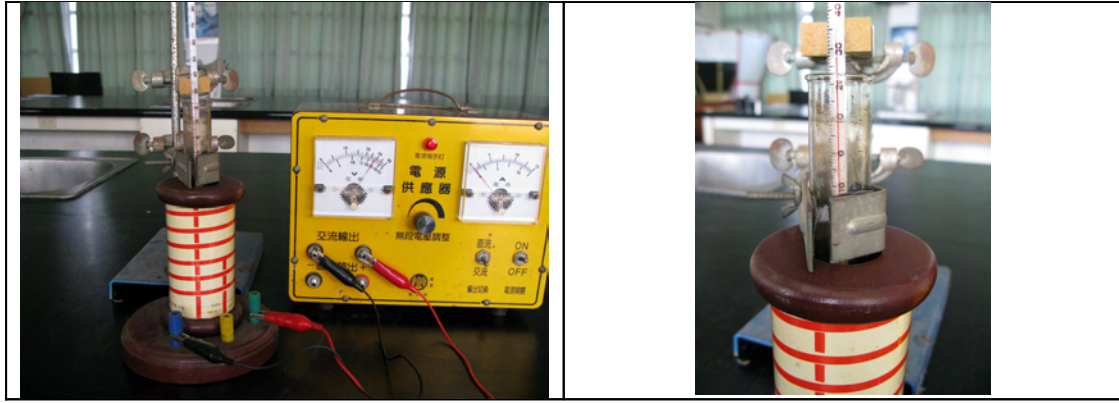


◆ 實驗結果分析：

1. 磁流體完全無法保留磁性，一旦外加磁場消失，磁性立刻消失。
2. 此項性質和一般鐵製物品有很大的差別。

(4) 將磁流體置於交流磁場中：

- ◆ 實驗目的：磁流體分子是否交流磁場作用產生振盪，而使溫度上升。
- ◆ 電壓 30V
- ◆ 線圈 1500 圈
- ◆ 電流：電流太小，電源供應器安培計無法讀取有效測量值。
- ◆ 時間：60 分鐘
- ◆ 起始溫度：30.1°C

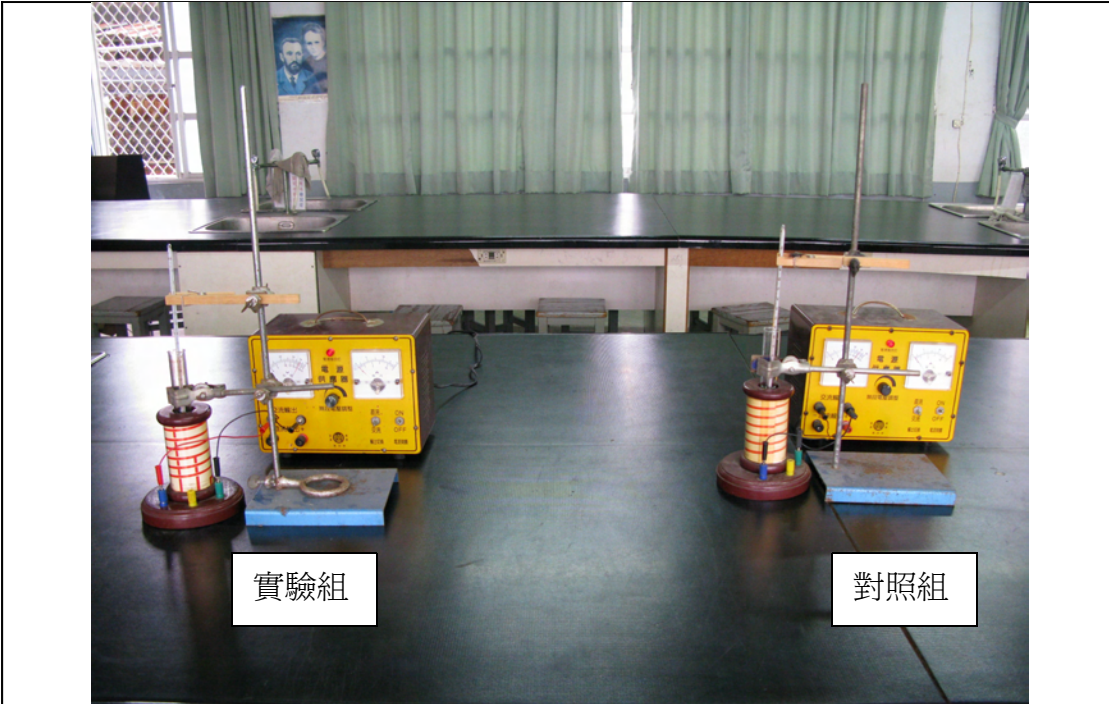


◆ 實驗結果結果：

1. 經過 60 分鐘後，磁流體溫度上升至 47.0°C ，我們判斷磁流體在交流磁場中，分子不斷變換磁極方向過程中，分子間互相碰撞發熱使溫度上升。
2. 但經過仔細討論觀察，發現在實驗過程中線圈溫度明顯升高，線圈熱量可能傳至磁流體而導致溫度上升，為排除此項因素，因此我們決定設計一組對照實驗。

(5) 將磁流體置於交流磁場的對照實驗：

- ◆ 實驗目的：觀察交流線圈對磁流體溫度上升的影響
- ◆ 電壓 30V
- ◆ 線圈 1500 圈
- ◆ 電流：電流太小，電源供應器安培計無法讀取有效測量值。
- ◆ 時間：100 分鐘



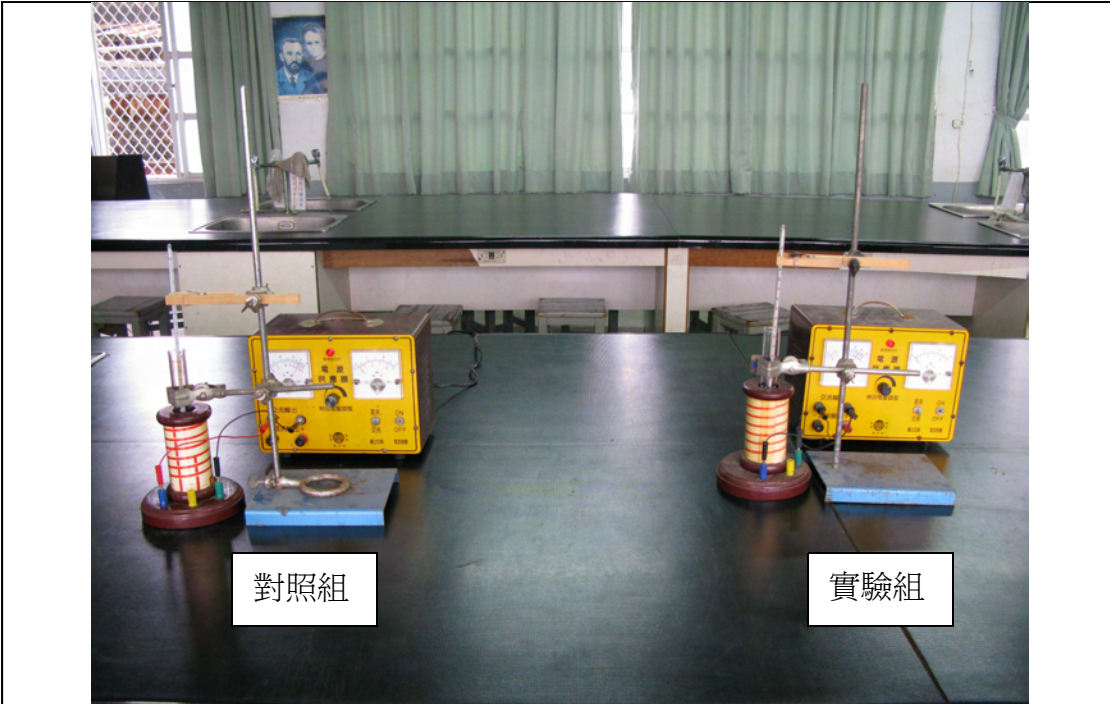
	成份	初溫	末溫	溫差
實驗組	Fe ₃ O ₄	25.0 °C	50.5 °C	25.5 °C
對照組	水	23.4 °C	54.0 °C	31.0 °C

◆ 實驗結果分析：

1. 這個結果是令人意外的，磁流體上升的溫度竟然比對照組的水低，這個結果和實驗前的預測完全相反。
2. 經過討論研究，我們認為兩組交流線圈應該是問題癥結，即使外觀、線圈圈數、電壓皆相同，線圈可能還是有差異存在，為釐清這個問題，必須再進行交插實驗。

(6) 將磁流體置於交流磁場的交插實驗：

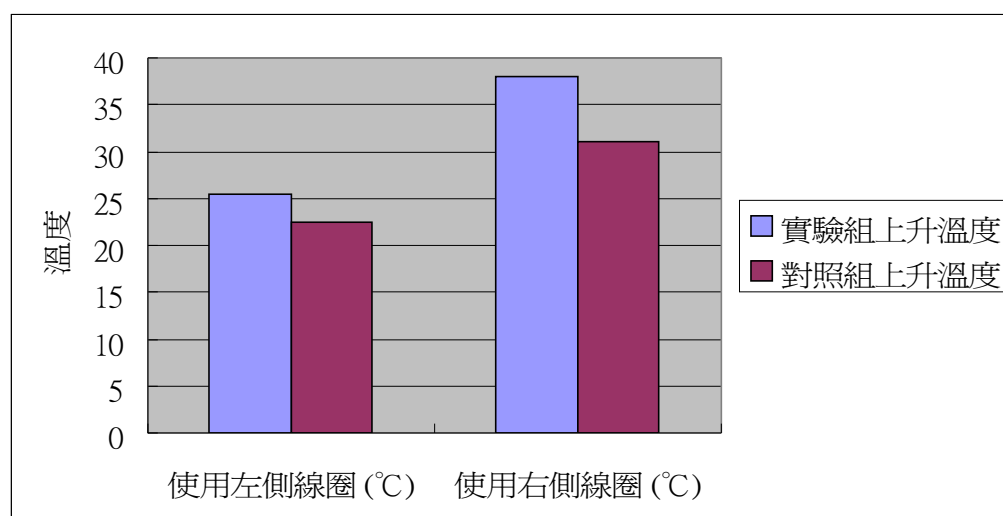
- ◆ 實驗目的：觀察交流線圈對磁流體溫度上升的影響，交流磁場固定，將實驗組及對照組對調。
- ◆ 電壓 30V
- ◆ 線圈 1500 圈
- ◆ 電流：電流太小，電源供應器安培計無法讀取有效測量值。
- ◆ 時間：100 分鐘



	成份	初溫	末溫	溫差
實驗組	Fe ₃ O ₄	25.0 °C	63.0 °C	38 °C
對照組	水	23.0 °C	45.5 °C	22.5 °C

◆ 實驗結果分析：交插實驗結果如下：

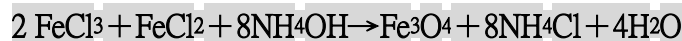
	實驗組上升溫度	對照組上升溫度
使用左側線圈	25.5 °C	22.5 °C
使用右側線圈	38 °C	31.0 °C



1. 顯示線圈確實存在差異。
2. 經由三組實驗結果顯示：**磁流體在交流磁場中，分子確實可經由不斷變換磁極方向過程中，分子間互相碰撞發熱而使溫度上升。**
3. 經查詢相關資料得知，科學界認為可利用磁流體在腫瘤中運動產生摩擦熱，在 45~47°C 的溫度下殺死腫瘤細胞。
4. 經由對照實驗及交插實驗更能了解科學實事求是的精神所在。

伍、結論

- 1、利用此化學反應方程式：



以檸檬酸為表面活性劑確實能製得磁流體。

- 2、以乙醇加礦物油【煤油】為載基流體可增加流動性，並可避免發生 (Fe₃O₄) 溶解情況，結果非常另人滿意
- 3、將鈦鐵硼強力磁鐵靠近磁流體可發現立刻產生吸引力，並呈現出流動性，確實表現出磁流體該有的二項非常重要的性質。
- 4、磁流體未經磁化前本身並不帶有任何磁場，將磁流體置於磁針旁，可發現磁針完全不受影響。
- 5、磁流體完全無法保留磁性，一旦外加磁場消失，磁性立刻消失，和一般鐵製物品有很大的差別。
- 6、磁流體在交流磁場中溫度上升，經由對照組及交差比對，證明確實可用交流磁場使磁流體分子不斷變換磁極方向，利用分子間互相碰撞發熱而使溫度上升。

陸、磁流體的應用

磁流體為目前新興的材料科技之一，已被廣泛應用於各種領域，雖然大部分都是我們目前無法深入了解的，但我們還是一些列出目前磁性流體的應用以供參考：【摘錄自維基百科】

- 1、真空設備

磁性流體被應用在真空設備，一個磁性流體密封圈通常可以承受 0.2 的大氣壓，而整個軸承所能承受的總氣壓維各密封圈承受力的總合。

特點

- 完整密封
- 使用壽命長
- 高可靠度
- 不受污染
- 高速性能
- 最理想的扭力輸出
- 無洩漏衰退
- 滑順的運轉

2、國防

美國空軍引入一種同時由鐵磁流體和非磁性物質製成的雷達吸波材料（RAM）作為塗料。這種材料通過減少電磁波的反射從而減少了飛行器的雷達截面。

3、航空

美國國家航空航天局（NASA）利用處於封閉環中的鐵磁流體作為太空船的姿態控制系統的實驗基礎。將磁場應用於環中的鐵磁流體從而改變角動量並影響太空船的旋轉。

4、光學

QED 技術已經發展出一種基於磁流變流體的光學拋光方法。這種方法已被證明具有高度的精確性。QED 拋光方法曾被用於製造哈勃太空望遠鏡的矯正透鏡。

5、測量

基於其折射屬性，鐵磁流體具有諸多光學應用；亦即，每一個磁小體均可對光反射。這些應用包括測量置於偏光器與分析器之間並於氦氖雷射器照射下的流體增比黏度。

6、醫學

在醫學領域，一種相容性鐵磁流體可被用於癌症檢測。同時有許多實驗利用鐵磁流體摘除腫瘤。鐵磁流體可以被注入腫瘤體並被置於快速變化的磁場當中，由此鐵磁流體在腫瘤中運動產生摩擦熱從而破壞腫瘤。

7、熱傳導

若外加在鐵磁流體上的磁場有不同磁化係數（比如在不同溫度下，磁化係數會不同），會產生不均一的磁體力，進而產生熱量傳導，通常叫做磁熱對流。這種熱量傳導可以做為普通熱傳導方式的補充，應用於處於微重力下的微型儀器。

鐵磁流體通常應用於揚聲器中，以吸收音圈以及磁體之間所產生的熱量，並同時可以被動地減弱揚聲器圓錐的運動。鐵磁流體通常位於音圈之間的空氣空隙中，並由揚聲器中的磁體固定。鐵磁流體具有順磁性的特性，因而滿足居裏定律：在溫度升高時磁性降低。由於揚聲器磁體在工作時產生

熱量導致周圍被加熱的鐵磁流體此行降低，周圍被加熱的鐵磁流體會被週邊的冷鐵磁流體所取代。這是一種有效的無需外界提供能量的散熱辦法。

柒、後續研究方向：

1、四氧化三鐵（ Fe_3O_4 ）的確認：因為沒有研究設備，所以我們無法確認所製得的黑色物質是（ Fe_3O_4 ）。

2、四氧化三鐵（ Fe_3O_4 ）的凝聚現象：良好的磁流體顆粒應該是奈米級粉末，相對於我們自製的磁流體，單從試管外面觀察，便可發現（ Fe_3O_4 ）顆粒甚大，凝聚現象明顯。這可能是我們無法看到褶皺的原因，經查詢相關資料發現，和檸檬酸相比較，以【氫氧化四甲基銨】為表面活性劑效果更佳，應有助於改善凝聚現象，但【氫氧化四甲基銨】具有毒性，操作請小心；也可朝製程改善方向著手。

3、磁流體的沉澱：我們所製得磁流體經過數小時後，會明顯沉澱，（ Fe_3O_4 ）和載基流體明顯分離。凝聚現象如能改善，應有助於改善沉澱現象。

4、進一步的磁性研究：礙於設備及相關知識的不足，我們只能對磁流體進行非常簡單的磁性研究，有興趣者及設備者應可對磁流體進行更廣泛及深入的研究。

5、在查詢資料中，我們發現磁流體的研究在國內相當少，但對岸卻已將磁流體廣泛應用於軸承及揚聲器的製造。

捌、心得

從選定題目到製備出令我們滿意的磁流體，我們經歷了無數討論和修正，從從配置藥品開始，第一次體會到氨水的刺激性氣味，第一次看到了 NH_3 和 HCl 在空氣中產生的神奇煙霧，第一次看到磁流體出現在面前的喜悅，以及後來磁流體令人失望的發生溶解，不斷的發生問題，卻也不斷的解決問題，過程是辛苦的，但努力是值得的。

最終我們還是沒看到磁流體的褶皺結構，但我們真的努力過了，感謝一路指導我們的老師，感謝您們。

玖、引註資料

- 1、 蔡僑迪、謝季遠、李育松。科展：神奇的鐵磁流體。高雄市立中正高工。
- 2、 傅昭銘（民92）。物理雙月刊
- 3、 科技年鑑奈米網：<http://nano.nsc.gov.tw/>
- 4、 圖說萬千氣象：<http://www.tianya.cn/publicforum/content/no04/1/761546.shtml>
- 5、 維基百科：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%93%81%E7%A3%81%E6%B5%81%E4%BD%93>

【評語】 030213

學生的表達能力佳，能參閱文獻製作鐵磁流體，可惜無法達到預期效果；有努力修正的實驗部分，具科學精神，可惜未呈現於說明書中。