

趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成

黃蕙君*、邱姿蓉

國立大甲高級中學

*m97242016@mail.ncue.edu.tw

■ 影片觀賞

本文介紹神奇的磁性流體 (ferrofluid) 兩種玩具，分別購買於東京科學技術館和台北誠品書局，適用於年齡 12 歲以上的對象，本影片提供兩項玩具演示的趣味過程，並在文章中介紹奈米鐵磁流體的成分、合成方法及其背後的科學原理。



影片網址：鐵磁流體的合成 (Synthesis of ferrofluid)，

<http://youtu.be/Fa2-MDPusc>。

■ 簡介

神奇的奈米磁性流體是由奈米磁顆粒、界面活性劑以及承載溶劑所組成的，1960 年代中期，美國航空太空總署 (NASA) 科學家 Papell 經由長時間的研磨磁鐵礦，形成超微粒子，混合超微粒子與界面活性劑，使界面活性劑吸附於顆粒表面，並讓磁性微粒分散於溶媒中，而研發出磁性流體。磁性超微粒子的研發，解決了在零重力狀態下，火箭液態燃料輸送控制、太空衣可動部位的真空閉密材料等問題 (見參考資料 1)。當外加磁場時，磁性流體會隨著磁力的大小，產生高低不等的突出峰，近年來各大博物館都會展出結合音樂旋律、燈光效果的磁性流體的

科學小劇場，最有名的是於 2009 高雄科學工藝博物館推出，由日本藝術家兒玉幸子打造的「Morphotower 變形尖塔」裝置藝術，參觀過的人莫不鼓掌、讚嘆。

近年來，更有業者應用磁性流體原理，投入益智玩具市場，這些玩具操作簡易，除新鮮、驚奇之餘，且富含科學知識。本文除介紹兩種磁性流體玩具外，也介紹合成鐵磁流體的合成方法，並相互比較其中的差異性。

■ 藥品與器材

一、磁性流體玩具：圖 1 為兩種磁性流體玩具，圖左的鐵磁粒子溶於有機溶劑中，



圖 1：兩種磁性流體的外觀

溶液成棕黑色，購買於東京科學技術館；圖右的鐵磁粒子置於蒸餾水的封閉玻璃罐中，購買於台北誠品書局。

- 二、合成材料包括：0.25 M 的氯化鐵 (Iron(III) chloride, ferric chloride)、0.25 M 的硫酸亞鐵 (Iron(II) sulfate, ferrous sulfate)、0.5 M 的氨水、25% 的氫氧四甲銨 (Tetramethylammonium hydroxide, TMAH or TMAOH)、油酸 (Oleic acid)、乙酸乙酯 (Ethyl acetate)、蒸餾水、強力磁鐵、滴定管、磁攪拌器、攪拌磁石。

■ 實驗步驟

一、神奇磁性流體玩具的操作

1. 打開玩具 (圖 1 左圖) 包裝盒，拿出吸管，於裝有磁性流體的離心管內吸取少量的黑色液體，注入培養皿中，接著放置強力磁鐵至於培養皿下，觀察液面上的變化。隨即移走磁鐵遠離培養皿，觀察磁性流體的變化。相關變化如圖 2 所示。

2. 玩具 (圖 1 右圖) 的磁性流體放置在

裝有蒸餾水的玻璃罐中，可藉由磁鐵吸引，將液體狀的磁性流體吸附到玻璃罐壁上，觀察磁性流體的變化。接著取出兩個強力磁鐵，在罐體兩側不同距離吸引磁性流體，觀察磁性流體拔河、相互牽引的效果。隨即將磁鐵移開玻璃管壁，觀察磁性



圖 2：磁性流體的突出峰效應明顯，具有良好的流動性。

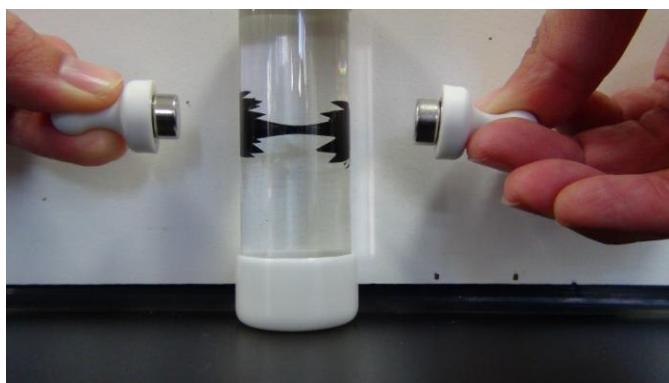


圖 3：在兩側強力磁鐵的吸引下，水中的磁性流體呈現拉鋸狀態。

流體的
狀態。
相關觀
察結果
如圖 3
所示。



圖 4：滴入氨水前溶液的顏色(左)，滴入氨水後溶液中有黑色生成物(右)。

二、鐵磁流體的合成

1. 取 8 毫升的 0.25 M 硫酸亞鐵溶液和 16 毫升的 0.25 M 氯化鐵溶液，倒入錐形瓶中(或燒杯中)，緩慢地滴入 50 毫升的 0.5 M 氨水，並以磁攪拌子均勻攪拌，同時觀察溶液顏色的變化。滴定過程溶液顏色的變化如圖 4 所示。
2. 當溶液逐漸由黃褐色轉為深褐色，並有黑色沉澱物產生，持續滴入氨水直至溶液變黑色。
3. 滴入氨水結束後，以長磁棒先吸出攪拌子，靜置一段時間，使產物(Fe_3O_4)與水層分離。相關實驗過程如圖 5 所示。
4. 分離完全後，小心地吸出上方水層，再倒入少量蒸餾水清洗細微的磁性顆粒。

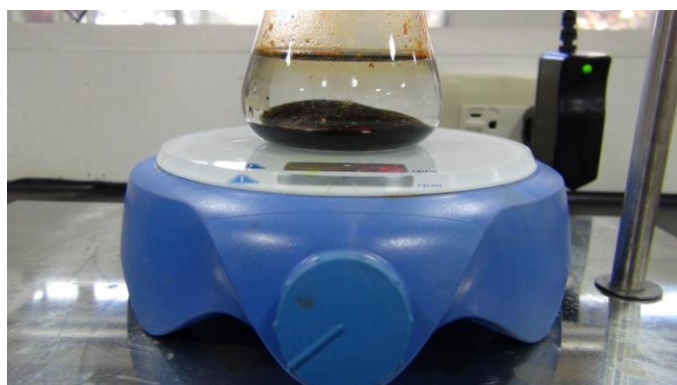


圖 5：黑色的磁性顆粒沉降至錐形瓶底部

〔註〕：若放置強力磁鐵在錐形瓶的下方，則具有超順磁性的奈米顆粒 Fe_3O_4 會很快地被磁鐵吸引，與水層分離，節省時間。

5. 重複步驟 3、4 數次，盡量將多餘的氨水溶液吸出，以免影響界面活性劑的吸附作用。
6. 最後一次水洗後，盡量吸出蒸餾水。先傾斜錐形瓶，再以強力磁鐵將磁性顆粒吸引至高處，讓水分往下流再吸出。亦可將磁性顆粒移至小燒杯中，方便後續的實驗操作。
7. 除去水後，在錐形瓶中倒入約 2 毫升的油酸，以細玻璃棒均勻攪拌，讓油酸可充分包覆在磁性顆粒上，避免凝聚結塊的發生。

〔註〕：此時殘存的多餘的水分會析出，務必傾析乾淨，否則影響結果甚鉅。

8. 加入約 4 毫升的乙酸乙酯，使被油酸包覆的磁性顆粒分散在其中，而形成鐵磁流體。
9. 將適量的鐵磁流體移至表玻璃上，下方放置強力磁鐵，前後左右地移動磁鐵，並觀察鐵磁流體的變化。若無尖型的突波

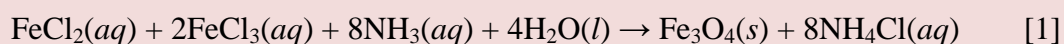
產生，代表流體黏滯性太高，可再加入 1~2 毫升的乙酸乙酯當載體，攪拌均勻後，即可觀察到相關結果。鐵磁流體的成品如圖 6 所示。

〔註〕：若欲合成水性的鐵磁流體，可改用離子形的界面活性劑，如氫氧四甲銨 (TMAH)。操作步驟與步驟 1~6 相同，但在步驟 7 中在移去多餘水分後，原來添加的油酸改換成 2 毫升 25% 的氫氧四甲銨，充分均勻攪拌。然後，放置強力磁鐵在表玻璃下方，前後左右移動磁鐵，亦可得到效果良好的磁性流體。

■ 原理與概念

一、磁流體的合成

本實驗是利用共沉澱法，將氯化亞鐵(或硫酸亞鐵)與氯化鐵依 1:2 的比例混合後，加入過量的氨水，製備奈米級的四氧化三鐵顆粒。藉著油酸界面活性劑的吸附、包覆，形成穩定的膠體粒子，相關的合成的反應式如式[1]所示。



惟本實驗合成的產物，雖可產生突出峰，演示效果與市售產品仍有一段不小的差距，推測應該是界面活性劑的吸附效率，以及分散載體的選擇有關。如何改善製程，提昇奈米磁性顆粒的合成品質，留待以後繼續努力。

二、什麼是磁性流體？

所謂的磁性流體是指由具超順磁性

(superparamagnetism)，約 10 奈米大小的磁性顆粒、界面活性劑及溶劑載體所組成的一種懸浮液體；磁顆粒不會因為重力而沉澱，



圖 6：鐵磁流體在強力磁鐵的作用下產生的突出峰。

也不會因磁力吸引凝聚、結塊的現象。當外加磁鐵時，超順磁性的磁流體會被磁場吸引，並沿著磁力線方向，產生各種突出峰，磁場越強，突出峰越明顯。當磁力消失時，磁流體會恢復成一般流體。

奈米磁性顆粒以鐵基性為主，如四氧化三鐵；當奈米磁顆粒加入水中時，它們會因凡得瓦力的吸引，凝聚成較大、較重的團塊體，因而無法藉由布朗運動而懸浮在水中，此時界面活性劑會發揮作用，包覆磁性顆粒(日冕效應)，抵弱凡得瓦力，進而穩定粒子，避免凝聚效應發生。

一般適用界面活性劑通常可分成兩大類，一是具親水端、親油端型的，如油酸；另一種是具陰、陽離子型的，如氫氧化四甲銨。油酸會利用親水端向內包圍奈米磁顆粒，長鏈狀的親油端向外，形成油膩狀的包

覆層，油膩狀的包覆層會拉開奈米顆粒間的距離，避免凝聚現象的發生；氫氧化四甲銨是四甲基銨離子（陽離子）和氫氧根（陰離子）所組成，氫氧根離子先接近磁性顆粒，而四甲銨離子會因電性相吸，包覆在最外圍，成為帶正電的膠體，膠體間因庫倫排斥力而穩定懸浮在水中。氫氧化四甲銨與四氧化三鐵的作用示意圖如圖 7 所示。

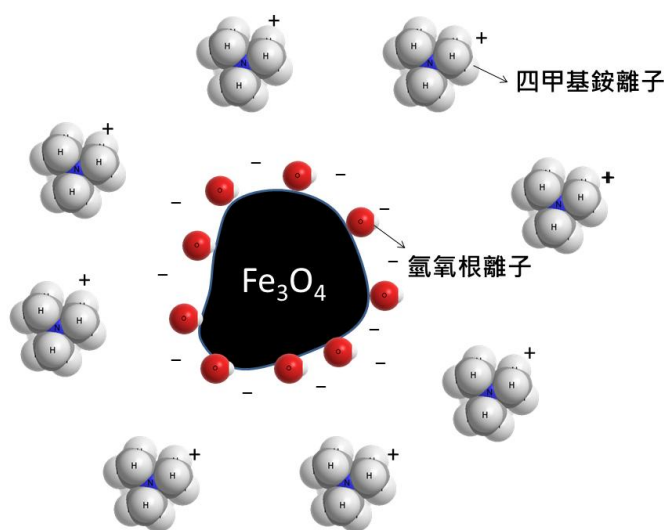


圖 7：四甲銨離子的包覆作用，穩定了磁顆粒，形成水性的磁流體。

三、磁流體的應用

主要使用於電子業、機械業等精密儀器上，如馬達的旋轉軸承的真空軸封。磁流體對旋轉軸不產生機械性的摩擦，具有低磨損、無碎屑汙染、高速低滯等優點，廣泛地應用在自動化機械手臂製造上。

在醫學領域上，鐵磁流體可被用於癌症檢測以及抗癌的臨床實驗上。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，由於鐵磁流體在腫瘤中運動，會產生摩

擦熱，從而破壞腫瘤。

■ 安全注意及廢棄物處理

- 氨水有刺激臭，實驗操作需在通風櫃中進行，過程中要戴手套。
- 氫氧化四甲基銨，實驗過程中須戴上手套及護目鏡，避免危險。(參閱參考資料 7 和 8)
- 奈米磁顆粒相當細微，盡量避免沾到衣物，以免留下難以清洗的汙跡；更不可誤食，造成未知的風險。
- 乙酸乙酯揮發性高，合成的磁流體須保存在密閉的容器中，以防蒸發。

■ 參考資料

1. 科學工藝博物館網站，
<http://goo.gl/IQqOCC>。
2. 陳慶耀，磁性流體液滴界面之操控，

<http://web.it.nctu.edu.tw/~chingyao/NSC.pdf>。

3. 鍾志輝、陳光榮、戴嘉亨，奈米磁顆粒製備與簡易應用實作，民 98，
<http://goo.gl/NRQHP7>。
4. Anne Marie Helmenstine. How To Make Liquid Magnets,
<http://chemistry.about.com/od/demonstrations/experiments/ss/liquidmagnet.htm>.
5. Doris Chun, Steven Karlen, Chris Kolodziej, Bob Jost, Shabnam Virji, Michelle Weinberger. (2005). Synthesis of aqueous ferrofluid, <http://goo.gl/mW27Kb>.
6. Ferrofluid, Wikipedia,

<http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>.

7. Tetramethylammonium hydroxide, Wikipedia,
http://en.wikipedia.org/wiki/Tetramethylammonium_hydroxide.
8. Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH) 氫氧化四甲銨 ·
http://www.taimax.com.tw/images/propdf/51/MSDS_TMAH.pdf °