

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

第三名

032813

熱與磁的雙重試煉:探討不同鐵磁流體的導熱效果

學校名稱：康橋學校財團法人新竹市康橋國民中小學

作者： 國二 胡衣宸	指導老師： 王雲生
-------------------	------------------

關鍵詞：鐵磁流體、熱傳導、表面活性劑

摘要

本探究從遊戲電影與日常生活中得到許多的啟發。最主要在探討製作出導熱與散熱效果最好的鐵磁流體，我分別應用不同的材料做出差異。首先找出最適合的鐵粉來製作，做出第一代鐵磁流體，再調整比例，接者挑選基載液體，再嘗試放入表面活性劑，最後是洗潔鐵磁流體的液體。經實驗發現以鐵粉為四氧化三鐵，表面活性劑為大豆卵磷脂，基載液體為煤油，以及洗潔鐵磁流體的液體為酒精所做的流動效果為最佳。我自製了一台簡易測量裝置，以此更加便利於測量鐵磁流體的最高長度和影響鐵磁流體的最高距離。而後為確認最終各項鐵磁流體的傳導效果，我製作了簡便小裝置計算冰塊融化的時間，以此分辨出最佳的鐵磁流體。最後的成果也證明出了鐵磁流體獨特的性質。

壹、前言

一、研究動機

起初是我在 youtube 上看到有人在玩一團黑色像黏土的東西，只要將磁鐵移到一邊，鐵磁流體也會移動過去，也有用鐵磁流體放進音響裡，隨著音樂的頻率而移動。也在我玩的電玩遊戲《重返未來：1999》中看到獨特的角色設定，還有在《猛毒》這部電影中看到注意到主角的技能與鐵磁流體有幾分神似。由此吸引我濃厚的興趣。於是我去網路上找了更多有關鐵磁流體的內容，越看越發現這個小東西原來蘊藏著如此深奧的道理及原理，搜尋了鐵磁流體的價格後也是倍感驚訝，為了看到真的鐵磁流體趕緊去搜尋了製作方法，挑戰看看，卻不曾想越看越混亂，步驟繁多，所需的材料以及能否理解這個步驟的用意都令我暈頭轉向，也在影片中學到了四氧化三鐵的製作方式，只是我選擇的不是自製四氧化三鐵，而是直接採購，或許能減少所需的開銷與花費的時間。經歷了一番搜索的我因此想說做出這個東西，以挑戰自我。

我也在製作鐵磁流體的過程中思考著除了玩樂以外，它能否創造出更好的價值。也正是在此時間，我發覺到自家的電腦設備因為玩電腦遊戲而越來越熱，難以負荷我所玩的遊戲。我並想出能否將鐵磁流體加到熱傳導中，以此來優化電腦過熱的狀態。因此我進行了我的研究。

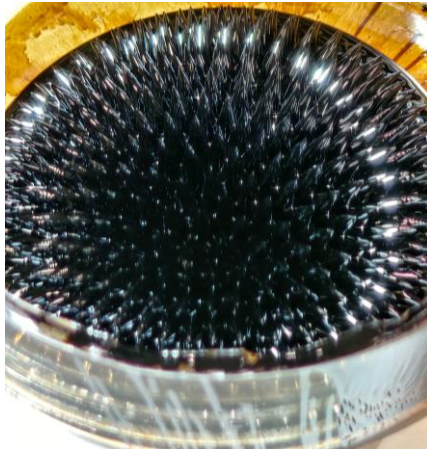


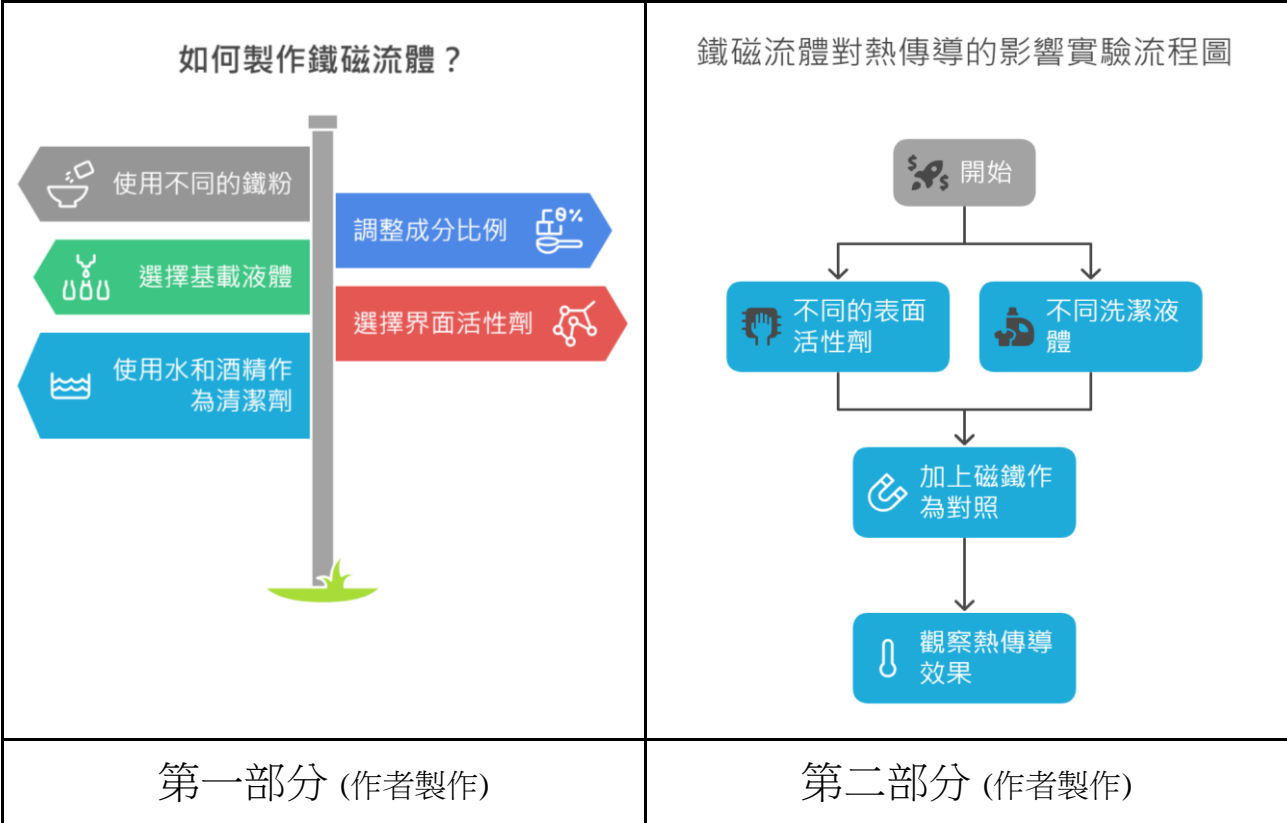
圖1 鐵磁流體的尖刺狀 (作者自己拍攝)

二、研究目的

本探究的目的主要圍著兩點展開，首先就是因為興趣而產生疑問的鐵磁流體，我想要解決的問題亦是如何做出流動力最佳的鐵磁流體，並探究為何會是這項材料所做出的鐵磁流體效能最好，再來是因電腦而產生的疑惑，能否把鐵磁流體加入到散熱系統中？而後就是解答鐵磁流體對熱傳導有什麼影響。

1. 探討鐵磁流體的特性，以及分析材料用意
2. 探討不同材料下的鐵磁流體有何影響
3. 探究最適合做出流動效果最佳的鐵磁流體
4. 研究材料的不同是否會影響到鐵磁流體流動的長度？
5. 自製一個成本低廉，創作簡易的小型裝置測量出各項材料下的傳導效果
6. 探討有無磁性對熱傳導的影響
7. 了解影響距離對於熱傳導的影響
8. 思考如何運用鐵磁流體熱傳導的效應應用在生活中

三、研究架構



貳、研究設備及器材

一、實驗耗材 (底下所有圖片都是作者自己拍攝)





<p style="text-align: center;">鐵粉 (作者拍攝)</p>	<p style="text-align: center;">四氧化三鐵粉 (作者拍攝)</p>	<p style="text-align: center;">三氧化二鐵 (作者拍攝)</p>	<p style="text-align: center;">碳粉 (作者拍攝)</p>


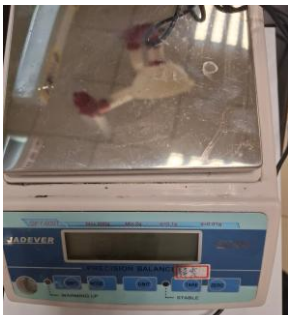


			
煤油(作者拍攝)	汽油5w30(作者拍攝)	去離子水(作者拍攝)	冰塊(作者拍攝)

			
大豆卵磷脂 (作者拍攝)	檸檬酸(作者拍攝)	酒精(作者拍攝)	


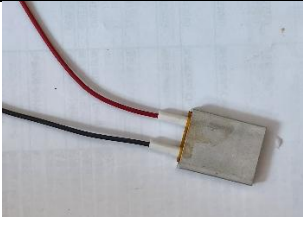


二、其他 (底下所有圖片都是作者自己拍攝)

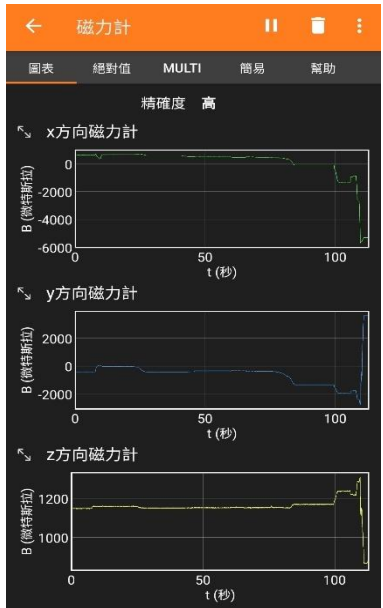
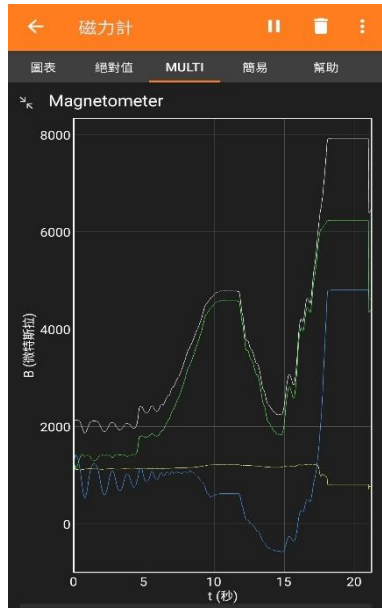
			
剪刀(作者拍攝)	小罐裝瓶(作者拍攝)	滴管(作者拍攝)	尺(作者拍攝)

			
電工膠布(作者拍攝)	一次性筷子(作者拍攝)	棉線(作者拍攝)	電磁攪拌器(作者拍攝)

			
試管(作者拍攝)	電子秤(作者拍攝)	玻璃棒(作者拍攝)	燒杯(作者拍攝)

			
小馬達(作者拍攝)	電池/電池盒(作者拍攝)	銅線(作者拍攝)	剝線鉗(作者拍攝)

			
N35或 N52釹鐵硼磁鐵 (註：N35: 3500高斯 N52: 5800高斯) (作者拍攝)	PTC 發熱片 (12V , 60℃) (作者拍攝)	ESP32+主機板+ DHT22(作者拍攝)	電源供應器(12V) (作者拍攝)

	
<p>N52磁鐵緩緩往手機（直放）的左上方移動(作者自己手機截圖拍攝)</p>	<p>N52磁鐵環繞手機一圈的強度（註：單位為微特斯拉）(作者自己手機截圖拍攝)</p>

參、研究過程或方法

一、文獻探討

(一)鐵磁流體

1.鐵磁流體的定義

鐵磁流體是一種約10奈米大小的磁性超微粒子，若加入水或油之類的液體等成分而成的膠態溶液。且雖然稱為鐵，但因為在外部磁場不存在的情況下它本身無法表現出**鐵磁性**，這是由於它們的**高磁化率**，通常認為具有**超順磁性**。(來源:chloeyachun.blogspot)

2.鐵磁流體的產生方式

首先，通過化學方法（如共沉澱法）或物理方法（如激光蒸發法）合成鐵磁性顆粒，並且將顆粒的尺寸控制在奈米級，接著用**表面活性劑**或聚合物來包覆顆粒，防止其聚集並保持穩定分散。(來源:chemed.chemistry)

3.鐵磁流體和熱傳導在生活中的應用

根據鐵磁流體的**磁性與流動特性**，它可用在磁性密封（在不接觸的情況下提供有效的密封，防止液體或氣體洩漏，並減少摩擦與磨損。）和冷卻系統中（根據熱傳導的性質:磁場可控的特性，讓流體能夠在高效轉移熱量的同時，還能防止設備因溫度過高而過早損壞。）

(來源:rafago)

（二）熱傳導

熱傳導(Conduction)是指介質本身具有**溫度差異**，熱能由高溫向低溫部分傳遞，透過分子傳遞振動能的現象。熱傳介質可能是固體或是穩定不動的流體，不同的介質的熱傳特性不同，一般來說固體>流體，固體之中又以金屬的熱傳性能最好。(來源:cooling house)

（三）表面活性劑

表面素(表面活性劑)又可稱為界面活性劑，因其卓越的表面活性能力而廣為人知，可以顯著降低表面張力，使其在乳化、清潔和起泡方面非常有效。此外，表面素(表面活性劑)還表現出強大的抗微生物、抗病毒和抗發炎特性，使其成為醫藥、環境管理和動物飼料添加劑等多個領域中的多功能化合物。由於其兩親性——具有親水和疏水區域，表面素(表面活性劑)能夠與脂質膜相互作用並破壞它們，這是其生物效能的關鍵。(來源:liferainbow)

（四）表面張力

表面張力（Surface Tension）是液體表面的一種物理現象，主要是因為**液體分子之間的內聚力導致的**。液體表面的分子受到內部分子的吸引，但因為表面上方沒有更多的液體分子可以拉住它們，導致這些表面分子產生了一種「縮小表面積」的趨勢，形成一層類似彈性薄膜的效果。(來源:twsf.ntsec.gov)

（五）磁場與磁性

磁場與磁性是物理學中密切相關的概念，描述了物質間的磁力作用及其產生的空間效應。磁鐵會在周圍的空間建立磁場，並藉由磁場對其他的磁性物質產生磁感應。磁性是物質在不均勻磁場中會受到磁力作用的一種屬性。物質的磁性決定於自身原子磁矩的大小及排列方向。(來源:phyworld)

(六)極性溶劑與非極性

- 1.極性分子的熔點及沸點比非極性分子大。
- 2.在常溫下，極性分子為液態、固態，而非極性分子大多為氣體。
- 3.極性分子易溶於水（或極性溶劑）中，而非極性分子則不易溶於水，而易溶於非極性溶劑中。(來源:三民輔考)

(七)磁熱效應

磁熱效應（Magnetocaloric Effect, MCE）是指磁性材料在磁場變化時，因其內部磁矩有序度的變化而引起的溫度變化現象。當磁性材料被磁化時，磁矩有序度增加，磁熵減小，材料會釋放熱量，溫度升高；相反，當磁場減弱或移除時，磁矩有序度降低，磁熵增加，材料會吸收熱量，溫度降低。(來源:bilibili)

二、研究過程

實驗壹：製作流動性最佳的鐵磁流體

提出問題	假說	實驗
利用哪個鐵粉所製作出的鐵磁流體的效果最好。	根據網路上的資料，我認為四氧化三鐵的成果最好。	實驗一:設定不同的鐵粉，並觀察其顆粒的排列與流動性
油的比例多寡會不會影響鐵磁流體的磁性？四氧化三鐵的比例會怎麼影響流動的效果？最後最佳的流動比例又是多少？	我認為最佳比例為四氧化三鐵5g、檸檬酸0.5g、機油90ml 為最佳的流動力。	實驗二:調整各樣材料的比例，找出何種比例可以有最佳的流動力
何種基載液體的流動效果最佳？	根據所搜尋的資料顯示，大部分人都用煤油，所以我想煤油所呈現的效果為最佳。	實驗三：研究何種基載液體流動效果最佳
固體與液體的表面活性劑對於四氧化三鐵加煤油的融合有甚麼差異？	我認為大豆卵磷脂，雖然檸檬酸在抗氧化上 useful，但作為表面活性劑，乳化作用可能不及大豆卵磷脂。	實驗四：研究最適合的表面活性劑
洗潔液體清洗時是怎麼使鐵磁流體的尖刺狀更加尖銳與光滑？不同洗潔液體在相同洗潔次數下是否有不同之處？	我認為是水，因為水的黏度較酒精小，水的年度為0.890 mPa·s (cP)，酒精的黏度則為1.200 mPa·s (cP)，由此可知水的流動性較高。	實驗五：找出合適的洗潔液體

實驗貳：找出導熱性最佳的鐵磁流體

提出問題	假說	實驗
哪一種洗潔液體下的導熱效果最好？	我認為是不一定，因為水雖然比熱大但是酒精蒸發快，但酒精說不定能夠更快揮發，且酒精比熱較小。	實驗1 八種鐵磁流體的熱傳導速度
哪一種表面活性劑下的導熱效果最好？	我認為檸檬酸的導熱效果會最好	實驗1-2 八種鐵磁流體的熱傳導速度
加上磁鐵會不會使導熱效果更好？	我認為不一定，因為磁鐵顆粒的排列不一定是穩固的，有極大的變動性。再加上磁場以及熱傳導本身具有一定的方向。	實驗2 探討加上磁鐵會不會影響傳導速度

三、鐵磁流體的製作

製作鐵磁流體的每項實驗步驟:

1. 調配表面活性劑與鐵粉，調整比例
2. 將此放到電磁攪拌器上，緩緩加入機油90ml
3. 將力度開到3，用手機計時15分鐘
4. 在下方放置磁鐵，等待磁力較強的鐵粉沉澱
5. 倒掉上方留下來的清液，反覆用水清洗此鐵磁流體3次
6. 放到試管中觀察

實驗1 研究何種鐵粉更適合做成鐵磁流體

研究思路和提出問題

我想要製作出像是電影與動畫中那樣光滑的鐵磁流體，於是打算從最基層一鐵粉的部分開始做思考。利用哪個鐵粉所製作出的鐵磁流體的效果最好。

主要所需材料:

操縱變因：**鐵粉，三氧化二鐵，四氧化三鐵，皆為5g。突發奇想:加入打印機碳粉**

控制變因:檸檬酸0.5g(當作表面活性劑)、機油90ml(作為基載液體)、酒精(作為洗潔液體)

各項材料品質相同，時間皆在同一天，在同一個環境下

調整步驟：**1.調配表面活性劑與鐵粉**

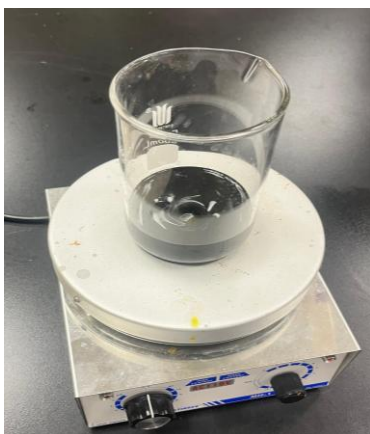


圖3-1加入四氧化三鐵 (作者拍攝)

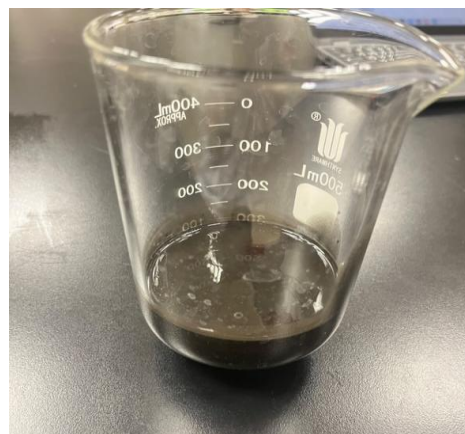


圖3-2加入打印機碳粉 (作者拍攝)



圖3-3加入鐵粉 (作者拍攝)

實驗2 調整各項的比例，找出何種比例可以有最佳的流動力

研究思路和提出問題

在做完鐵粉的實驗以後，我想到油的比例多寡會不會影響鐵磁流體的磁性？四氧化三鐵的比例會怎麼影響流動的效果？最後最佳的流動比例又是多少？

主要所需材料：

操縱變因：**四氧化三鐵、檸檬酸(當作表面活性劑)、機油(作為基載液體)**

控制變因:酒精(作為洗潔液體)，各項材料品質相同，時間皆在同一天，在同一個環境下

調整步驟：**1.調配檸檬酸與四氧化三鐵，調整不同比例**

表3-1 三組的比例:

項目	四氧化三鐵	檸檬酸	機油
第一組	5g	0.5g	90ml
第二組	20g	0.5g	90ml
第三組	5g	0.5g	150ml
第四組	10g	0.5g	90ml
第五組	5g	0.5g	100ml

實驗3 研究何種基載液體流動效果最佳

研究思路和提出問題

不同的基載液體在摩擦力、表面張力等等的物理性質上有很多的差異性，那麼何種基載液體的流動效果最佳？

主要所需材料：

操縱變因：**機油90ml、水90ml、煤油90ml**

控制變因：檸檬酸0.5g、酒精(作為洗潔液體)、四氧化三鐵20g、各項材料品質相同，時間皆在同一天，在同一個環境下

調整步驟：2.將此放到電磁攪拌器上，緩緩加入各項**基載液體**

實驗4 研究最適合的表面活性劑

研究思路和提出問題

固體與液體的表面活性劑對於四氧化三鐵加煤油的融合有甚麼差異？

主要所需材料：

操縱變因：**檸檬酸0.5g、大豆卵磷脂0.5g**

控制變因：機油90ml、酒精(作為洗潔液體)、四氧化三鐵20g、各項材料品質相同，時間皆在同一天，在同一個環境下

調整步驟：1. 調配**表面活性劑**與四氧化三鐵

實驗5 找出合適的洗潔液體

研究思路和提出問題

洗潔液體清洗時是怎麼使鐵磁流體的尖刺狀更加尖銳與光滑？不同洗潔液體在相同洗潔次數下是否有不同之處？

主要所需材料：

操縱變因：**酒精、水**

控制變因：機油90ml、檸檬酸0.5g、四氧化三鐵20g、各項材料品質相同，時間皆在同一天，在同一個環境下

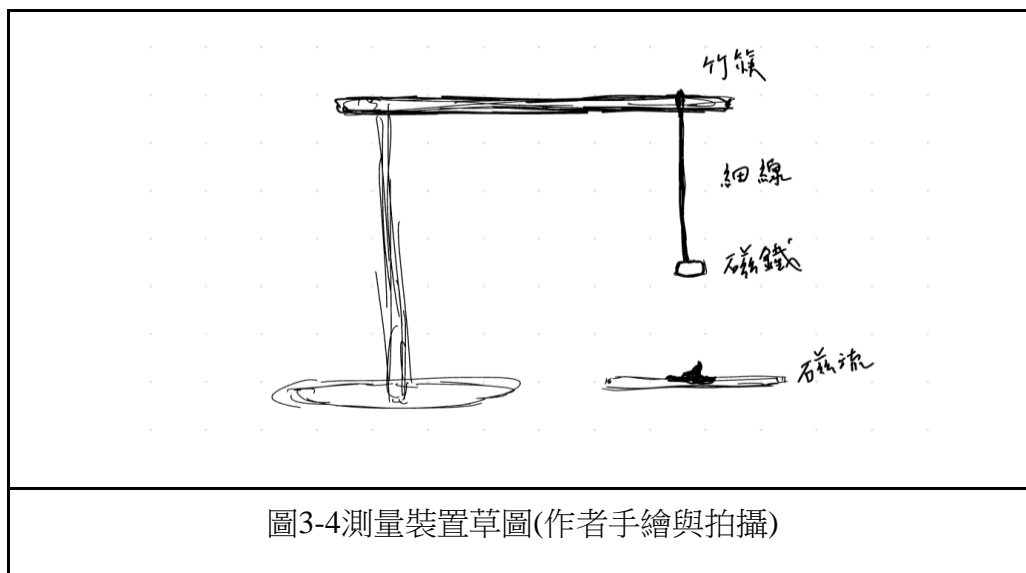
調整步驟：5. 倒掉上方留下來的清液，反覆用**不同洗潔液體清洗**此鐵磁流體

四、簡易測量長度和距離的裝置

主要所需材料：

一次性筷子4個、電工膠布、棉線、磁鐵

草圖：



步驟：

1. 將三根筷子以三角狀連接在一起，並用膠布將其連接在一起
2. 裝上一根筷子，並確保其偏向左邊
3. 將棉線與磁鐵利用膠布黏在一起
4. 裝上已經黏好的棉線與磁鐵，確保其保持平衡

困難點：

要使三根筷子能夠直直站立，並要保證放上去的棉線與磁鐵不會偏向哪一邊。



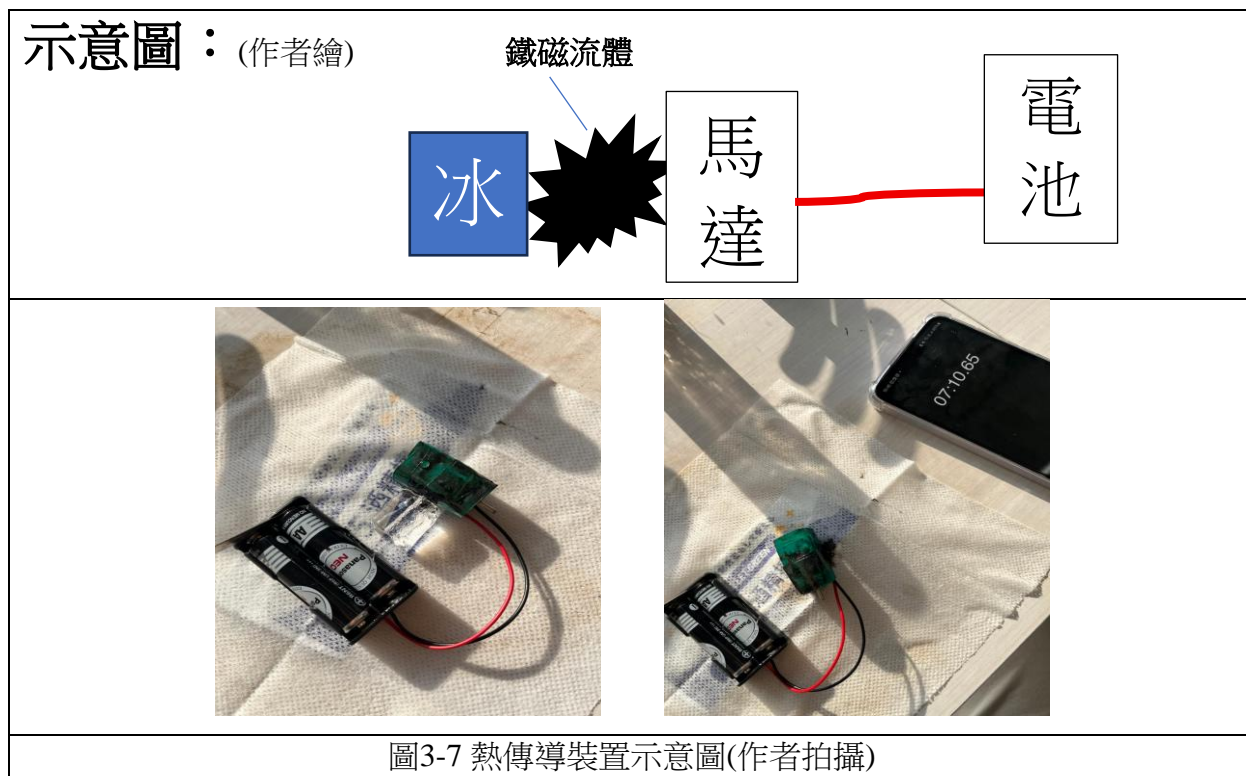
圖3-5使三根筷子能夠獨自站立(作者拍攝)



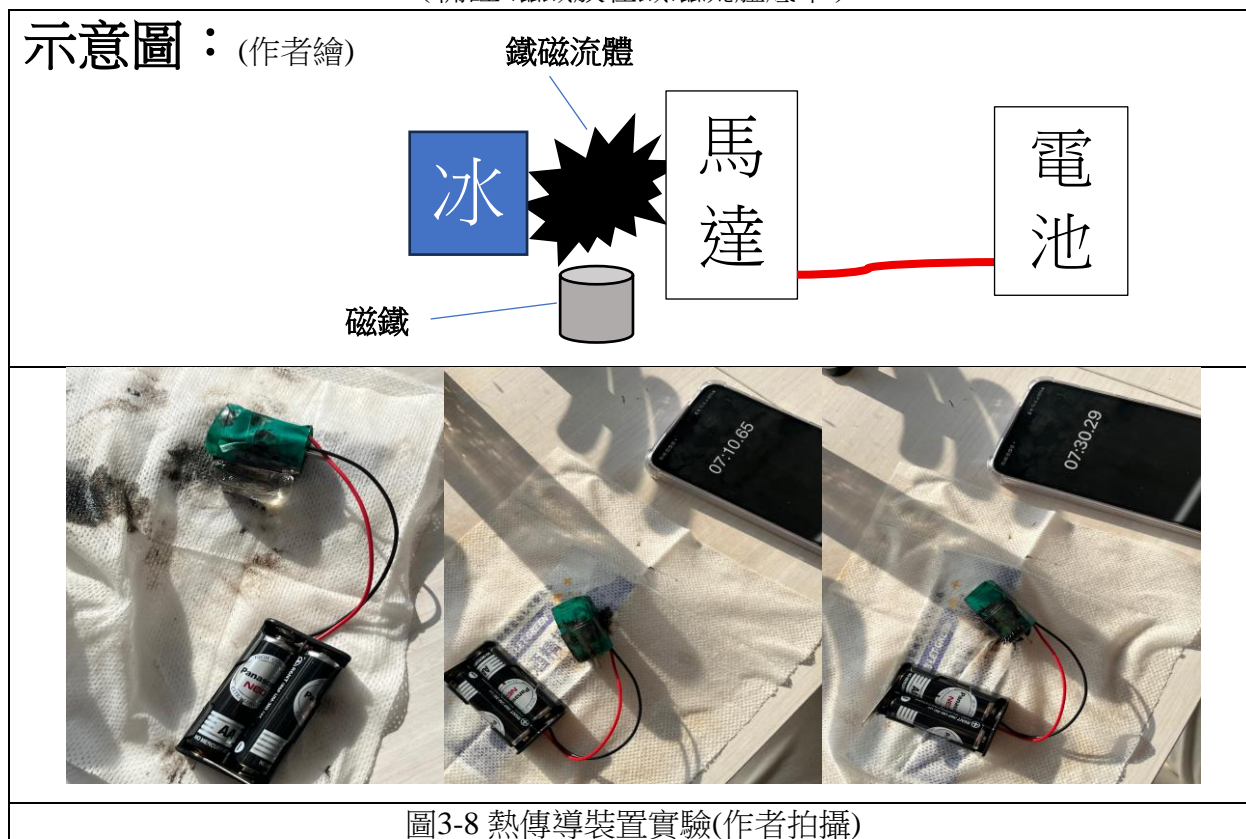
圖3-6測量裝置的成品(作者拍攝)

五、小型測量熱傳導裝置的製作

實驗1 鐵磁流體的熱傳導速度



實驗 2 探討加上磁鐵會不會影響熱傳導速度 (備註:磁鐵放在鐵磁流體底下)



研究思路和提出問題

為了要找出能夠傳導熱最快的鐵磁流體而設計了這個實驗，不知道哪一種表面活性劑與洗滌液體的組合最好？另外加上磁鐵會有所改變嗎？

說明：

將大豆卵磷脂水有無磁鐵、大豆卵磷脂酒精有無磁鐵、檸檬酸水有無磁鐵與檸檬酸酒精有無磁鐵融化時間做比較。

不可控因素：**室內溫度與濕度、馬達自身的溫度以及上升速率、鐵磁流體自身的流動、無法準確掌握其目前溫度。**

步驟：

1. 先行測量冰塊的溶化時間
2. 裝備好馬達與電池，用銅線連接
3. 將馬達用防水電工膠布包起來
4. 將不同材料所致的鐵磁流體倒置上方
5. 開啟馬達等待3-4分鐘(溫度約30度)
6. 放入冰塊至馬達旁邊，與此開始測量冰塊融化時

六、改良版測量熱傳導裝置的製作

研究思路和提出問題

考慮到有許多不可控因素是我無法控制的，於是我做了一項**全面的改良**，分別有：

1. 溫度感測，利用 ESP32加上 DHT22，每3秒測量一次，自動在電腦上記錄數據。
2. 放到紙箱中，減少室內溫度與濕度的影響。
3. 將馬達更改為發熱片，使其溫度能夠穩定
4. 運用鋁箔紙與鋁片將鐵磁流體包裝好，使其不會亂動，且增加傳導效果
5. 加入變因並改變方向（橫放或著直放）

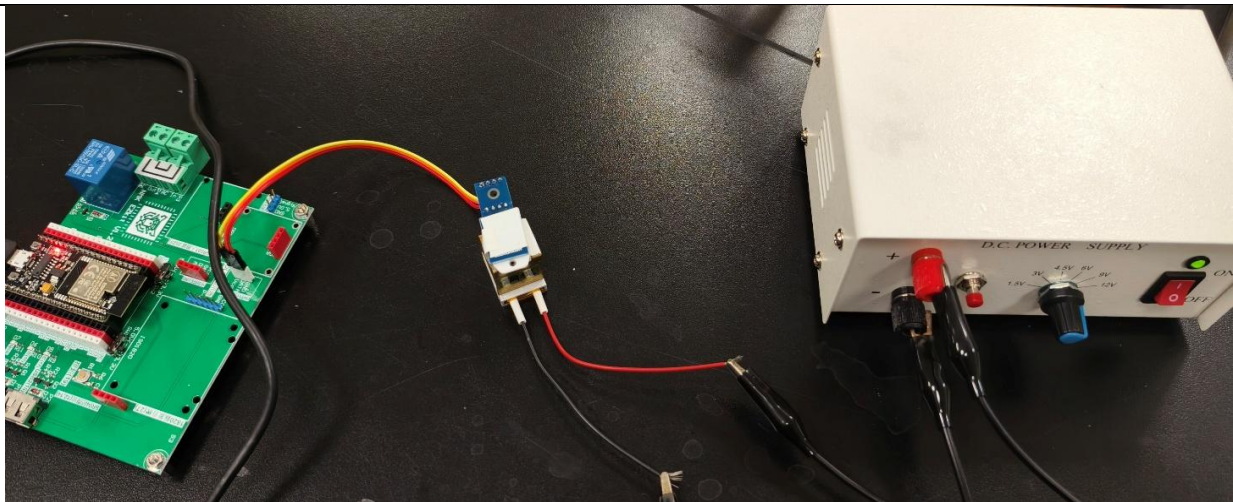


圖3-9 改良版熱傳導實驗裝置(作者拍攝)



圖3-10熱傳導局部圖(作者拍攝)



圖3-11熱傳導裝置俯視圖(作者拍攝)

說明：實驗時，將銅塊放在發熱片與鐵磁流體之間作為導體，在銅塊上方放置感測器以監測溫度，每三秒感測一次，設定程式自動記錄在電腦。鐵磁流體此時已包裝在鋁箔和鋁片中。在這大實驗中有三項小實驗，三項小實驗的操作變因皆相同，但是起始溫度以及觀察目的並不相同。

操作變因：

1. 有無鐵磁流體
2. 有無磁鐵
3. N35或 N52釹鐵硼磁鐵
4. 磁鐵擺放位置

。

實驗一 加熱20分鐘後停止加熱

研究思路和提出問題

為了找出在哪一種組合的情況下鐵磁流體的導熱是最快的，此實驗從多個面向著手，首先就是作為對照組的沒放鐵磁流體，以及僅有鐵磁流體。接著是鐵磁流體底下有沒有放上磁鐵，而我認為磁鐵的磁力也會影響到整體的導熱，最後就是磁鐵的擺放方式。

- ◆ 有放磁鐵跟沒放磁鐵哪一種會使熱傳導速度較快？
- ◆ N35磁鐵是磁力比較小的磁鐵，而 N52是磁力較大的磁鐵，磁力是否能影響到鐵磁體的導熱效果？
- ◆ 磁鐵本身是有一定的磁力圈，從 N 出發再回到 S，那麼擺放的位置會不會因而影響到熱傳導傳輸的方向？

控制變因: 初溫30°C，加熱20分鐘，停止加熱，周圍溫度(用紙箱密閉空間)，相同的鐵磁流體，相同的加熱裝置。

無法控制的因素：每一次經過20分鐘各項銅塊達到的最高溫都不同

實驗二 都加熱到39°C時停止加熱

研究思路和提出問題

經過上一個實驗可以發現每一個開始降溫的基準值是不同的，於是這個實驗利用了相同的基準值開始降溫，選39°C的原因是因為一般散熱機器在運作時都會在40度時開始降溫，所以想嘗試在40度以前就開始降溫的結果如何。

控制變因: 加熱到39°C，停止加熱，周圍溫度(用紙箱密閉空間)，相同的鐵磁流體，相同的加熱裝置。

實驗三 持續加熱30分鐘

研究思路和提出問題

這個實驗的目的主要是在於散熱系統中的重要一步，防止升溫。事先防止其升溫，或者是使其升溫更加緩慢。

控制變因: 持續加熱30分鐘，周圍溫度(用紙箱密閉空間)，相同的鐵磁流體，相同的加熱裝置。

肆、研究結果

(一)鐵磁流體製作結果

實驗1 研究何種鐵粉更適合做成鐵磁流體

最後呈現效果：

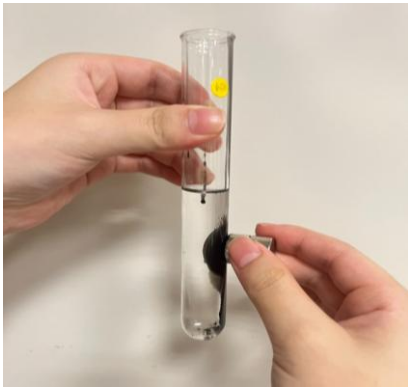


圖4-1用磁鐵吸起的效果(作者拍攝)



圖4-2倒置試管中(作者拍攝)

加入鐵粉：

- 顏色與我熟知的黑色鐵磁流體並不相像，偏灰色
- 顆粒感過於飽滿，用磁鐵吸出來的幾乎都是**粉狀，不成流體**
- 可被磁鐵吸起整塊粉狀物

加入三氧化二鐵：

- **能夠變成流體，被磁鐵吸起**
- 流動性與顆粒大小較鐵粉大
- 顏色偏紅

加入四氧化三鐵：

- 吸引力強度比前幾個都大
- 顏色更加偏向市面上所販賣的鐵磁流體
- **顆粒更加細小，完整地融入基載液體**

加入打印機碳粉：

最開始其實是想讓鐵粉的顏色更加像是市面上所販賣的鐵磁流體，所以將它加入做好的鐵粉中，結果意外發現碳粉居然自帶磁性，試了其他碳粉似乎無法被磁鐵吸起，但打印機的碳粉

為了雷射效果，所以內含磁性，而後將其額外做一個實驗。

- 顏色十分相近市面上所販售的鐵磁流體
- 有一些殘留的顆粒
- 磁力效果並不怎麼強

延伸思考

此項結果也讓我思考為什麼網上皆是用四氧化三鐵而非鐵粉呢？鐵粉與氧化鐵的差距又在哪？為什麼鐵粉不能融入基載液體而氧化鐵卻可以？以及三氧化二鐵與四氧化三鐵的差距。

總結：

四氧化三鐵>打印機碳粉>三氧化二鐵>鐵粉

分析各項材料原因：

針對鐵粉與四氧化三鐵我想出了以下原因：

1.化學穩定性

四氧化三鐵早已經氧化，所以較鐵粉穩定。而鐵粉在氧化中的這個過程是不可控的，顆粒大小會不平均，難以控制到奈米級，導致最終流體不穩定。再者，鐵粉是鐵磁性的，可能會有剩磁，所以會產生團聚。

2.表面顆粒大小

鐵粉通常是微米級(μm)，顆粒較大，且表面缺乏親水或親油性，難以均勻分散在基載液體(如油或水)中。四氧化三鐵顆粒的比表面積大，容易修飾水或油。

針對四氧化三鐵與三氧化二鐵我想出了以下原因：

1. 三氧化二鐵的特性

三氧化二鐵($\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3^{2-}$)主要是反鐵磁性，意思就是如果磁性離子與磁性方向相反就會與之互相抵銷。

2. 四氧化三鐵的特性

四氧化三鐵($\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4^{2-}$)主要是超順磁性，在外加磁場時，表現出與鐵磁材料類似的強磁性，顆粒會被磁場吸引、排列整齊。但是一旦移開磁場就不會有任何剩磁。產生這種特性主要與顆粒大小有關。

此時顆粒會變成單磁疇。

3. Fe_3O_4 可以更容易與表面活性劑結合，使它能夠更穩定地分散在液體中。

表4-1 分辨多磁疇和單磁疇

特性	多磁疇(其他鐵粉)	單磁疇(Fe_3O_4)
顆粒的尺寸	>100 nm	<20 nm
磁場結構	有多個磁疇，方向不同	整個顆粒的磁矩統一
剩磁	較大	剩磁為零(超順磁性下)
鐵磁流體的能量	透過多磁疇降低磁能	只有單一磁方向，磁能較高

實驗2 調整各項的比例，找出何種比例可以有最佳的流動力

項目	四氧化三鐵	檸檬酸	機油
第一組	5g	0.5g	90ml
第二組	20g	0.5g	90ml
第三組	5g	0.5g	150ml
第四組	10g	0.5g	90ml
第五組	5g	0.5g	100ml

綜合平均呈現的結果是：

項目	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組
0.5s	1.2	1.8	2	1.4	1.3
1.0s	2.7	2.9	3.3	3.0	2.7
1.5s	3.3	4.2	3.8	3.6	3.5
2.0s	3.8	4.2	3.8	4.0	3.7

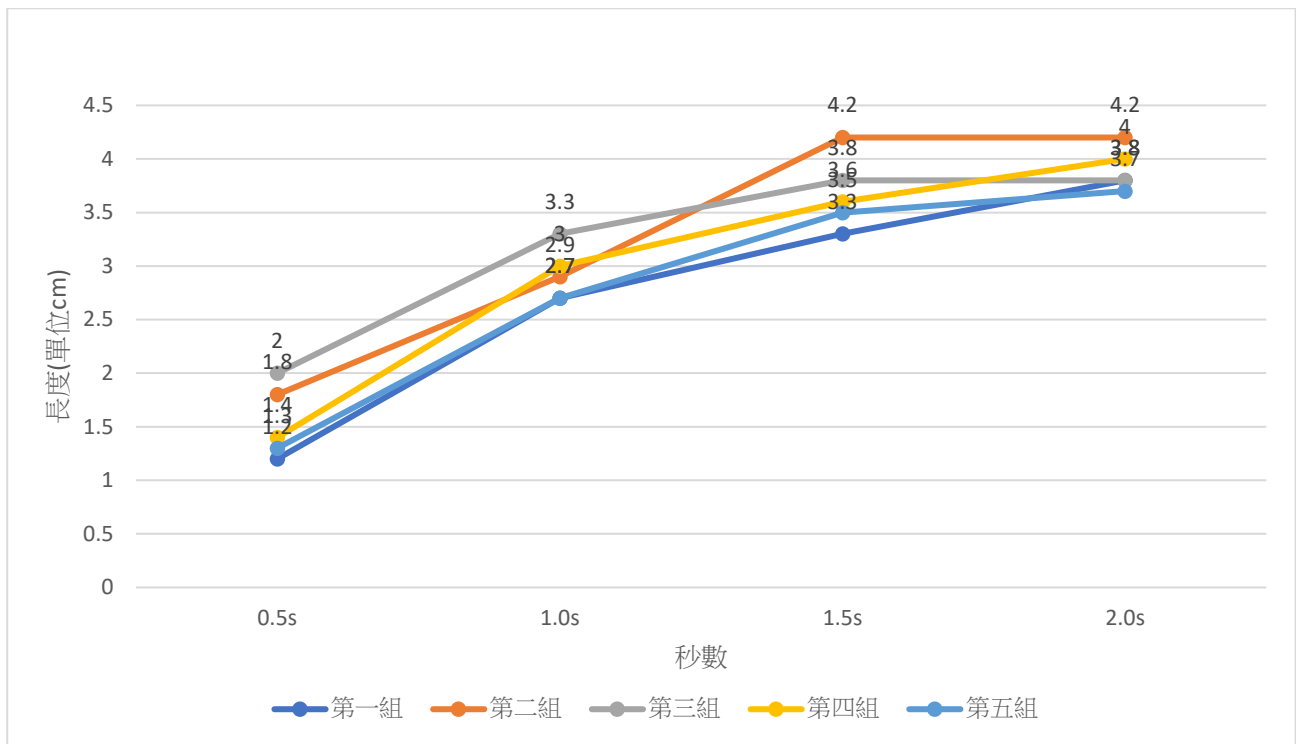


圖4-3 三組的不同長度與時間 (作者製作)

不同比例的差異性：

第一組：按照上一個實驗的比例

第二組：增加四氧化三鐵的量至20g

第三組：增加更多的油量至150ml

判斷原因：第五組加上些許油量並沒有多少差別

第四組：增加四氧化三鐵的量至10g

第五組：增加機油的量至100ml

判斷原因：第四組與原對照組並沒有過多差別

結果分析:

- 150ml 過於稀釋，流動效果不錯，但沒有鐵磁感，吸力不夠大
- 100ml 的油與90ml 差不多，以90ml 為原型更容易對比之後的實驗
- 第一組跟第五組綜合來看數據十分相像
- 增加5g 的四氧化三鐵差別並沒有很大

於是依據上述資訊給出排名

1. 第二組:高磁性顆粒濃度 (20g/90mL) 使其最終平衡高度最高 (4.2 cm)，表示磁性驅動效果最強。
2. 第三組:雖然在初期反應上表現突出，但最終數值較低 (3.8 cm)，可能因為加入更多

機油稀釋後磁性效果減弱。

3. 第一組:磁性顆粒濃度低 (5g/90mL)，無論在初期還是最終表現都落後於第二組和第三組。

思想歷程：

第四組與第五組則因為是並沒有過多的差別，所以最後並沒有放在這幾個排名中，這項實驗讓我知道流動時的磁性吸力也是一個至關重要的重點。

也就是說可以得出顆粒濃度越高能夠流動的長度越長，但相對來講移動時間更加的慢。因為黏度加上摩擦力的關係，使得移動的時間會受到影響。

實驗3 研究何種基載液體流動效果最佳

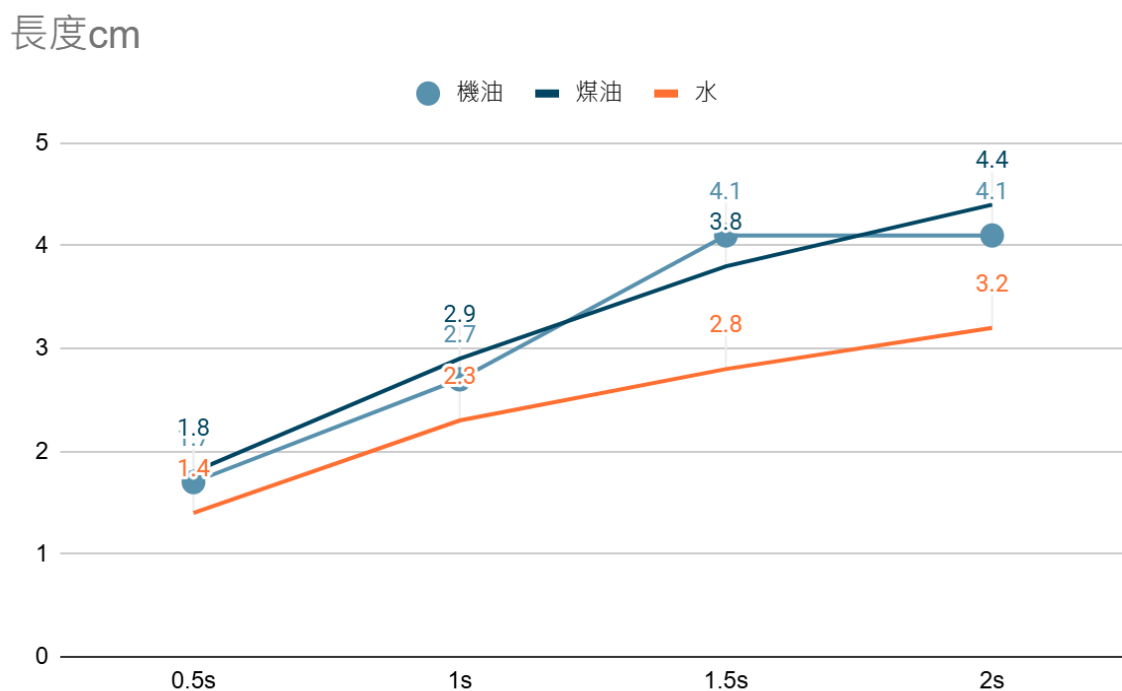


圖4-4 基載液體的鐵磁流體流動的不同長度與時間 (作者製作)

需要基載液體的目的：

黏度與流動阻力：

1. 基載液體的物理性質（如黏度、表面張力和密度）會影響磁場下流體的推動效果。
2. 煤油可能具有較低的黏度和合適的表面張力，使磁場能更有效地驅動流體，從而在2秒時達到最大位移。
3. 機油的鐵磁流體則在初期可能受到較大內部摩擦或黏性阻力影響，導致在1.5秒達到

較高位移後平衡。

4. 水基的鐵磁流體可能因表面效應或顆粒分散狀況不如油性基載液那樣理想，使得磁場作用下推動力較弱，最終移動距離也最小。

於是根據上述的結果給出排名

1. 煤油基：流動推進效果最佳，持續增長到2秒。
2. 機油基：在1.5秒時已達到高位並穩定。
3. 水基：整體較弱，移動距離最小。

實驗 4 與實驗 5 探究適合的表面活性劑和找出合適的洗潔液體

表面活性劑：

表面活性劑我採用方便取得的大豆卵磷脂與檸檬酸，主要目的在於防止顆粒與顆粒之間的聚集，以及提高分散性防止顆粒沉澱。

這兩者的差異在於檸檬酸是固體粉狀，而大豆卵磷脂本身也是一個流體，由此能夠對比出固體與液體的表面活性劑對於鐵磁流體有差異性。

洗潔液體：

洗潔液體是使鐵磁流體能夠產生尖刺狀的主要原因，我使用了酒精與水這兩種較輕易取得的物品。可以洗潔液體為酒精中的鐵磁流體會降低鐵磁流體的磁性。根據網路上的訊息可知**煤油是一種非極性載液，而水與酒精都屬於極性溶劑**。會影響表面活性劑的作用，無法有效將鐵磁流體的顆粒聚集，使產生不穩定性，也影響到其保存效果。再者，由於極性的不同，酒精十分有可能將對鐵磁流體裡的煤油與本體分離，難以長久保存。

至於水的作用會發現水與油相遇時會出現分層，密度大的水在下方，密度大的煤油則在上方。

結合實驗：

先讓不同的表面活性劑所做出的鐵磁流體放到不同的洗潔液體做觀察。接著運用不同的距離去做對比，以此看出哪種的表面活性劑配上洗潔液體的效果最好。

檢測標準：**固定的磁鐵作用下，最遠能夠影響到鐵磁流體的距離。**

最後呈現的效果是：

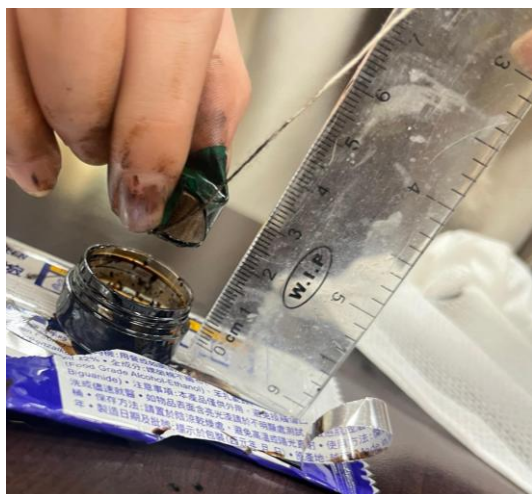


圖4-5 實驗模樣 檸檬酸+酒精 3.1cm
(作者拍攝)

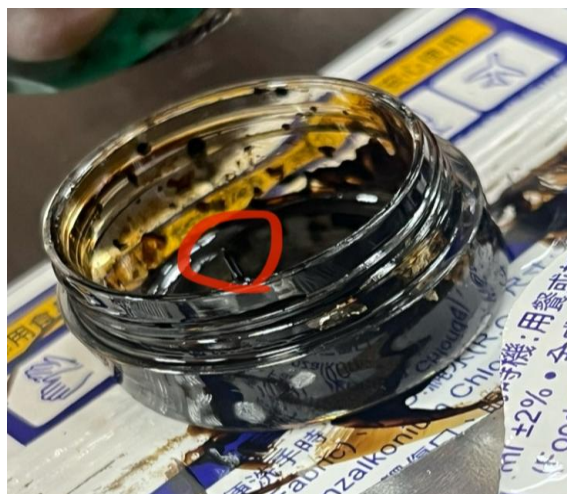


圖4-6 檸檬酸+酒精的尖刺狀
(作者拍攝)

表4-3

項目	大豆卵磷脂	檸檬酸
水	4.7cm	4.4cm
酒精	3.6cm	3.1cm

由此可推斷在表面活性劑的部分差別並不太大

另外，洗潔液體的部分黏度越低，磁性顆粒更容易流動，磁鐵影響的距離更長。酒精與水的黏度皆低，但酒精比水略高，所以酒精能影響的最高距離較水少。

(二)小型測量熱傳導裝置的製作

實驗（一）與實驗（二）的綜合比較：根據以上的實驗，可以看出加上磁鐵後會導致冰塊融化的速度變慢，也就是說，在沒有磁鐵的情況下，鐵磁流體的熱傳導速度會加快。

檸檬酸酒精沒磁鐵（融化時間06:28:34）< 檸檬酸酒精有磁鐵（融化時間07:10:65）

檸檬酸水沒磁鐵（融化時間06:30:55）< 檸檬酸水有磁鐵（融化時間07:20:44）

大豆卵磷脂酒精沒磁鐵（融化時間06:10:37）< 大豆卵磷脂酒精有磁鐵（融化時間07:20:45）

大豆卵磷脂水沒磁鐵（融化時間06:45:65）< 大豆卵磷脂水有磁鐵（融化時間07:30:29）

可以看出表面活性劑對於阻隔熱傳導沒什麼影響，反而是基載液體產生影響這點讓我有點吃驚。後來我去探討了酒精與水的熱傳導有何影響，我的猜想是比熱的關係。水的比熱較大所以難升難降，而酒精的比熱較小所以易升易降，這也導致水所吸收的熱量會更多，酒精就相對較少了。

延伸思考

這項實驗結果讓我想到為什麼加了磁鐵以後能夠阻隔的熱越大了？

因為在鐵磁流體的環境中，磁場可能會影響對流，使熱量的傳輸變慢。

我認為是結構的問題，鐵磁流體會因不同的材料而產生不同的結構。結構愈穩定能提高熱傳導效果，由這點我也得出冰塊融化時間越少的結構更加穩定。以及方向上的問題，磁場不同即有可能影響熱傳導，就好比磁場的方向是縱向，而熱傳導方向是橫向，這極有可能影響到熱傳導的效果。

表4-3 沒磁鐵版:冰塊融化時間

項目\時間	水	酒精
檸檬酸	06:30.55	06:28.34
大豆卵磷脂	06:45.65	06:10.37

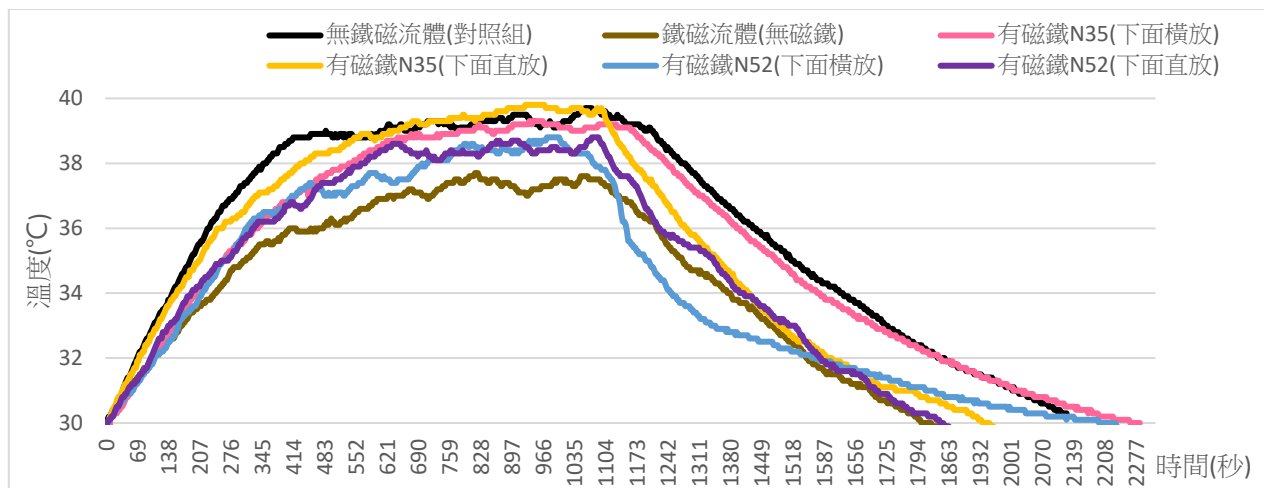
表4-4 有磁鐵版: 冰塊融化時間

項目\時間	水	酒精
檸檬酸	07:20.44	07:10.65
大豆卵磷脂	07:30.29	07:20.45

(三) 改良版測量熱傳導裝置的製作

實驗一 加熱20分鐘後停止加熱

最後所呈現的結果：



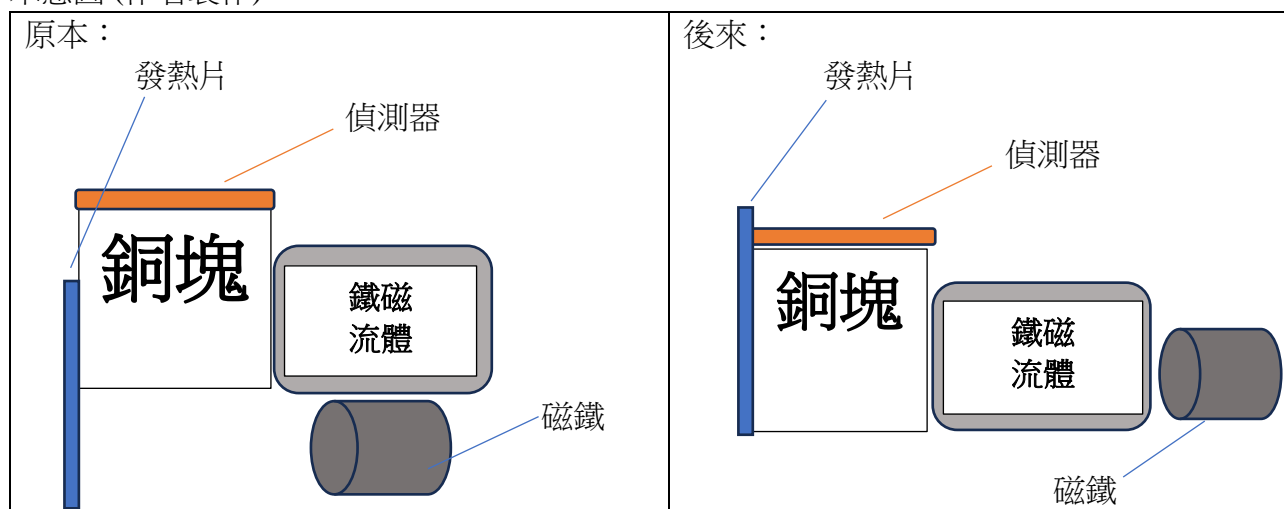
可以發現到有鐵磁流體，比較快降溫，另外就是 **N52 的磁力更強，因而導致降溫速度更好**。這是因為磁鐵的吸力帶動了鐵磁流體整體的流動效果，也就促使越強力的磁鐵能夠有更好的傳導效果。

除此之外也可以發現一個有趣的點，直放與橫放在不同型號的磁鐵居然有不同的成效。可以看到在 **N35** 之中橫放的效果反而比直放差，可在 **N52** 之中橫放的效果筆直放好，這是否說明了可以依據磁鐵的強力性而改放其位置。

另外在這項實驗也是有些不足之處，於是有了實驗二。

實驗二 都加熱到 39°C 時停止加熱

示意圖 (作者製作)



在此實驗中將整個裝置放到紙箱中，盡量控制周圍空氣溫度，改善橫放位置，放到鐵磁流體旁邊，目的是為了讓磁力平行。

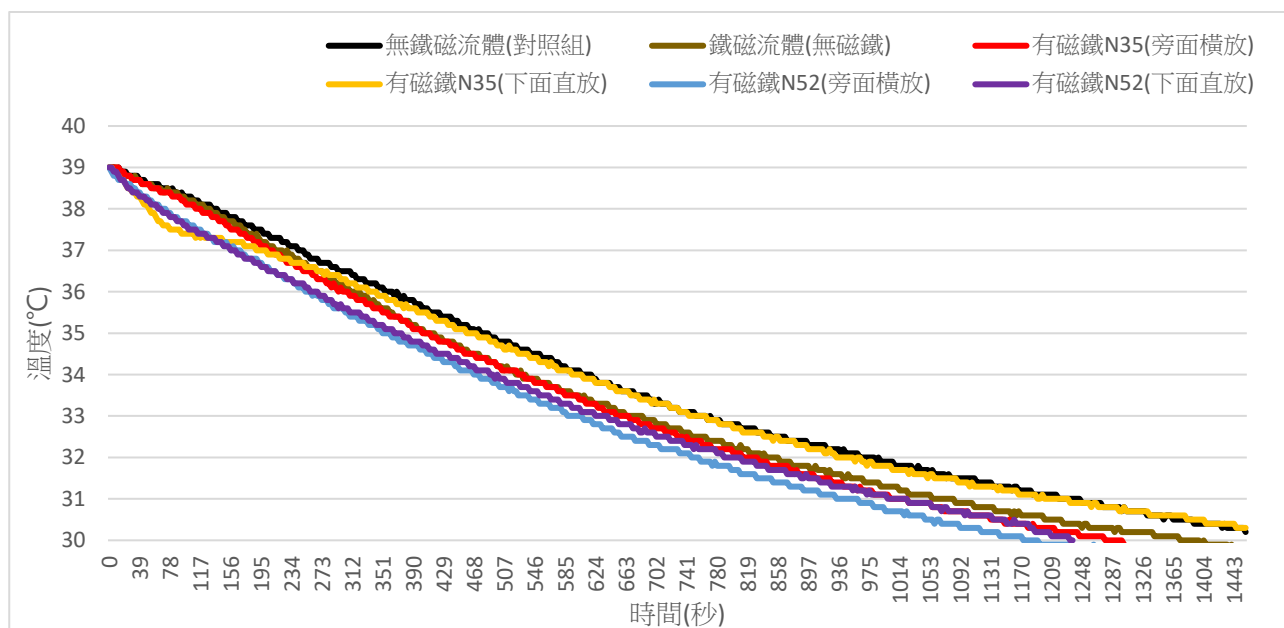


圖4-8 加熱到39°C時停止加熱，不同條件下鐵磁流體的熱傳導 (作者製作)

總結：降溫速度: **N52(橫) > N52(直) > N35(橫) > 無磁鐵 > N52(直) > 無鐵磁流體(對照組)**

由此可以得知橫向的磁鐵會使鐵磁流體的熱傳導效果最佳，反之直向的擺亦可使鐵磁流體的熱傳導效果難以通過。而在這也可看出因 **N52**磁力較大所以阻擋的傳導更多，也就導致它是除了無鐵磁流體以外，最慢降溫的一組。

實驗三 持續加熱30分鐘

在過程中，前面10分鐘升溫快速，15分鐘後溫度逐漸不再上升。最後的末溫分別是：

無鐵磁流體(對照組)	鐵磁流體(無磁鐵)	有磁鐵 N52(旁面橫放)
44.6	44.5	43.8

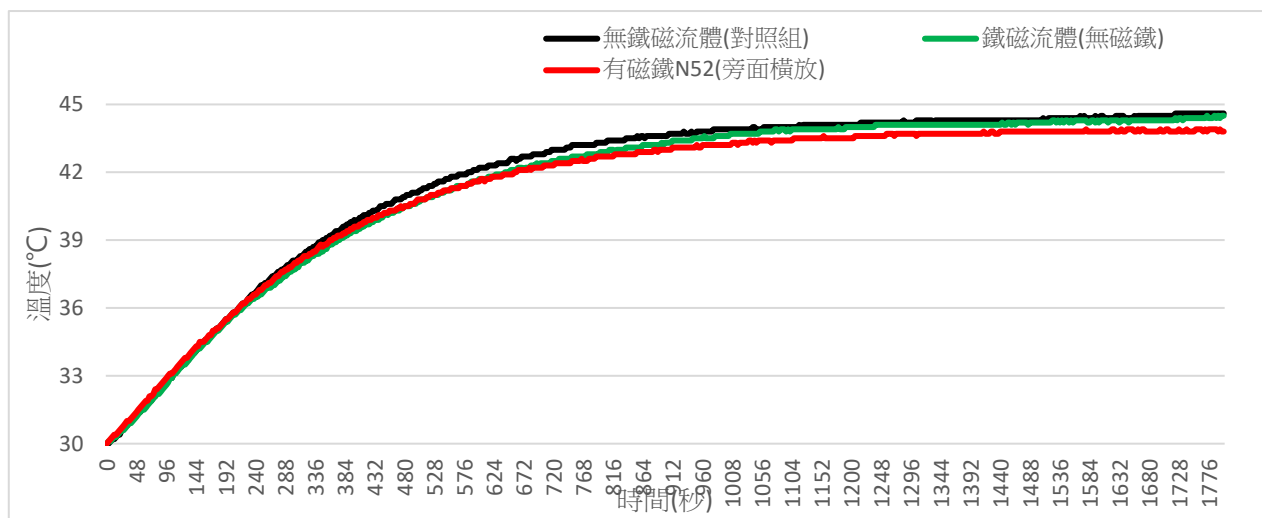


圖4-9 持續加熱30分鐘，不同條件下鐵磁流體的熱傳導 (作者製作)

從這一組數據中可以看出鐵磁流體在防範溫度上升這一點含有待加強，但也可以看出加了鐵磁流體，並放上磁鐵以後確實能夠稍稍使熱難以上升，或許是是因為使用的鐵磁流體並不多，所以難以看出特別明顯的差距。

伍、討論

一、為什麼網上皆是用四氧化三鐵而非鐵粉呢？鐵粉與氧化鐵的差距又在哪？為什麼鐵粉不能融入基載液體而氧化鐵卻可以？以及三氧化二鐵與四氧化三鐵的差距？

從這次實驗，我發現針對四氧化三鐵與鐵粉的差距主要有兩個：**化學穩定性與表面顆粒大小**，它們會影響流體的表面性以及親油性或親水性。再者，三氧化二鐵較不穩固，並沒有完全氧化，整體而言的變化因素過多，因此我才選用四氧化三鐵。

二、為什麼加了磁鐵以後，反而熱傳導效果變差了？

因為在鐵磁流體的環境中，磁場可能會影響對流，使熱量的傳輸變慢，或者是磁場會改變電子的運動軌跡，產生磁熱效應，這種效應會改變材料的熱傳導特性，進一步影響熱傳導。此外，還有磁場方向的問題，縱向與橫向皆可能改變其傳導方式，這部分之後會想繼續研究。

三、以後可以怎麼應用至生活中？

我認為未來**可以往朝散熱系統的方向去發展**，鐵磁流體最大的優點在於「**可控性**」，如今市面上常見的散熱系統有兩種：一是利用空氣對流的方式進行散熱；二則是水冷系統。在一般電腦中，系統過熱的溫度**大約落在60至70°C左右**，一般來講在40°C就會開始降溫。另外，水冷液常見到的問題就是管線容易漏水、水冷液不足，**運轉的幫浦發生故障**等。

由查找到的資料可知，水的導熱係數在0.613 W/m·K，而鐵的導熱係數在80.2 W/m·K，鐵磁流體最高目前所發現可達至0.84 W/m·K 增加至1.80 W/m·K。由此可知，鐵磁流體可以做到代替水。因此，我產生了一個想法。

假設有一個產生熱量的裝置，外層為導管，導管中含有鐵磁流體，這個導管需符合以下要求

- 是否會與鐵磁流體（含水或含油成分）產生化學反應或腐蝕
- 材料是否會被磁場影響（非磁性材料）
- 成本與機械性質（例如抗壓性、加工性等）

我認為可以採用鋁作為材料，且透過氧化鋁層可以防止內層氧化。

此外，在兩端不同溫度的導管可加裝電磁鐵，以達到可控的效果。另外，在供給電的時間段我認為可應用全自動化，譬如透過一個感測器。選用 ESP32做主機板，加上 DHT22作為感應器，再根據溫度條件供電，連接電磁線圈，控制鐵磁流體的方向。示意圖如下：

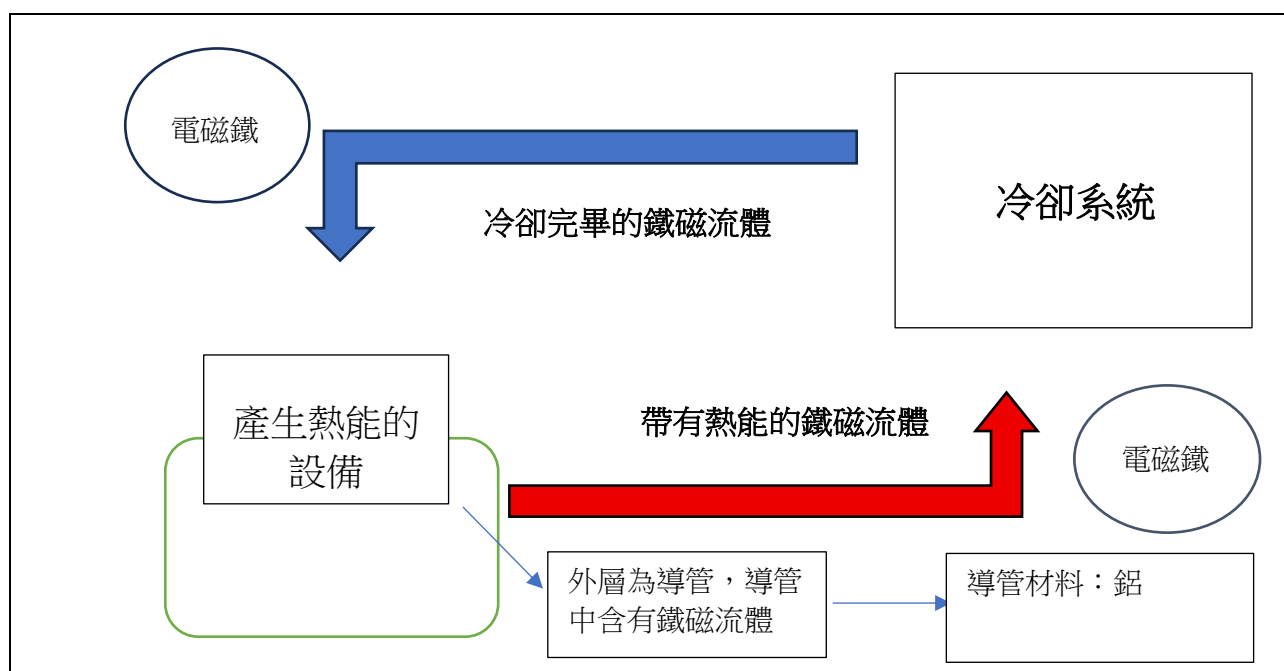


圖5-1 散熱系統示意圖 (作者製作)

心得

在這次的鐵磁流體研究中，我成功地做出了屬於自己的鐵磁流體、自製小型的測量裝置以及研究出熱傳導與鐵磁流體的關係。中途也遇上了些許的困境與挑戰，幸虧能夠在有限的時間內找到修改的方法。就好比如說一開始的我，對於很多專有名詞都不夠熟悉，很難在一開始查找資料的時候明白整個段落是甚麼意思，也會有實驗因此有許多需要改良的問題。直到後來，我自己動手做的時候才會明白資料上文字的涵義。這也讓我學到比起反覆地做著充足的準備，倒不如自己嘗試著動手去做，證實了百聞不如一見的道理。

改善:

我認為下次可以嘗試挑戰製作四氧化三鐵，再去結合原本做的鐵磁流體，希望鐵磁流體能透過四氧化三鐵呈現出更明顯的尖刺狀以及更穩定的磁性。

另外還有幾處可以做改良，像是利用**酒精燈加熱至居里溫度達到消磁的效果**，使得沒有磁性的鐵磁流體可以對照組。再來就是還有很多變因可以去實驗，例如時間上的變因、會不會有長度、影響距離以及導熱速度的變化。再者就是**不同體積的鐵磁流體在熱傳導之間是否有差別，以此找出最小就能熱傳導的體積，達到濃縮化**。在未來若能應用到生活中，也可由此知道如何最好的**節省成本**，並能達到一個好成效。

陸、結論

鐵磁流體除了觀賞作用外也是能夠為這個社會呈現不同的多樣化技術。就比如我在這次的實驗中發現了熱傳導與鐵磁流體中間產生的相互作用，也觀察到了在不同的變因之下會有的新奇影響。

- 一、最適合做鐵磁流體的粉狀物為四氧化三鐵，因為鐵的活性較大，導致後來成為氧化物後可以成安定狀，若用鐵粉，無法控制其氧化的速度與時間，且因鐵粉的密度與體積，導致無法溶於基載液體。
- 二、最佳的表面活性劑為大豆卵磷脂，檸檬酸因需要溶解，無法將整個鐵磁流體包覆，且大豆卵磷脂能使流體的行動更加活躍。
- 三、流動力最好的比例為四氧化三鐵20g、檸檬酸0.5g、機油90ml。
- 四、煤油基底為最好的基載液體，能夠使摩擦力減緩。
- 五、流動性最佳的洗潔液體為酒精。
- 六、洗潔液體會影響熱傳導的效果，像是水的比熱較大，酒精的比熱較小。
- 七、表面活性劑對熱傳導的影響不大。
- 八、磁鐵對於鐵磁流體在熱傳導的影響：排列形狀、顆粒大小、溫度影響。
- 九、影響的最小距離和熱傳導呈現一同成長的趨勢，只要磁鐵對鐵磁流體的最小影響距離上升，熱傳導效果也會跟著遞增。
- 十、N52的磁力更強，所以降溫速度更好
- 十一、橫向放磁鐵比直向放對熱傳導的成效會更好。

未來展望：我希望讓鐵磁流體成為不僅是觀賞用的小玩具，鐵磁流體是一個不容小覷的新材料，若能夠運用在更多的新設施上想必能夠製造出更多的價值。也能為運用自身特殊導熱的特性，從小到大，一步步幫助世界。像是使它成為一個熱傳導設備，從一開始的電腦主機，到之後的重型機器，甚至於說可以為未來探索太空有能助一臂之力。成功為世界上各項散熱系統做更好的散熱。

柒、參考文獻資料

一、許良榮 (2019)。《玩出創意2：48個酷炫科學魔術(2版)》。五南圖書。

單元41「電磁的科學魔術」液態磁鐵

二、神奇鐵磁流體的玩法與合成。2014年12月13日。

查詢網址：<https://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118>

三、【化學小教室】界面活性劑是什麼？2021年07月23日。

查詢網址：<https://www.rafago.com.tw/blog/posts/blog-007>

四、表面素(界面活性劑)是什麼？一篇文章搞懂其作用機制和好處。2024年9月2日

查詢網址：<https://www.liferainbow.com.tw/zh-tw/blog/detail/51>

五、熱傳導 cooling house。

查詢網址：<https://coolinghouse.com/thermal-knowledge/thermal-conductivity/?lang=zh-hant>

六、鐵磁流體之製備與研究

查詢網址：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030213.pdf>

七、電流與磁場(一)。查詢網址：

https://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun_3/B6_CH2/B6_2-1_POINT.pdf?utm_source

八、維基百科極性

查詢網址：https://zh.wikipedia.org/zh-hant/%E6%9E%81%E6%80%A7?utm_source

九、什麼是磁制冷？磁制冷與它的原理

查詢網址：https://www.bilibili.com/read/cv186971/?utm_source

十、熱傳導率與熱傳導係數

查詢網址：<https://www.tglobalcorp.com/tw/faqs/basic-thermal-engineering-knowledge/what-is-thermal-conductivity-heat-transfer-coefficient/>

十一、Experimental Study on Thermal Conductivity and Magnetization Behaviors of Kerosene-Based Ferrofluid Loaded with Multiwalled Carbon Nanotubes

查詢網址：https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c00964?utm_source=chatgpt.com

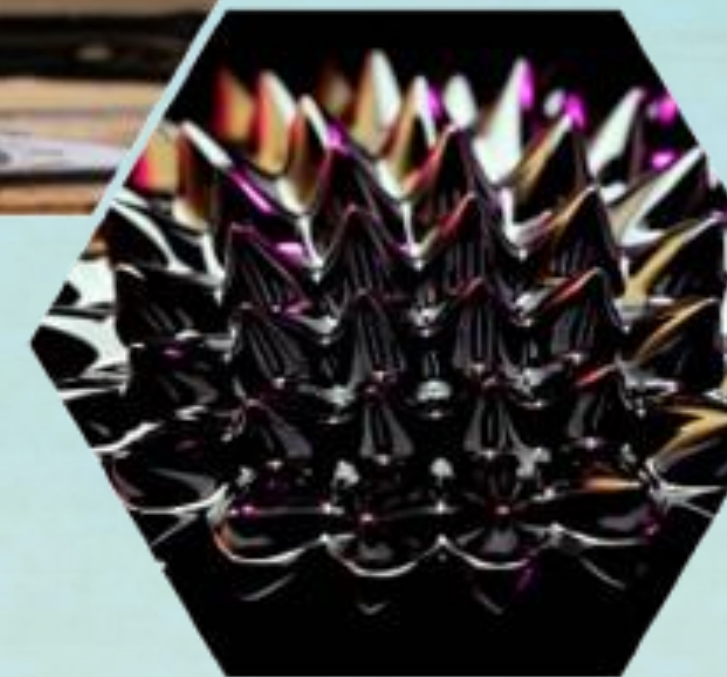
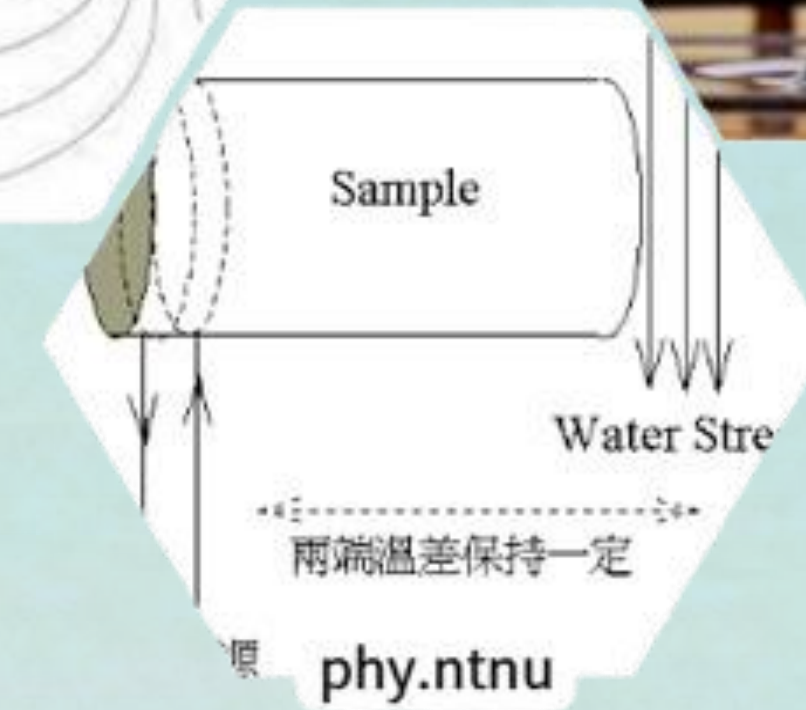
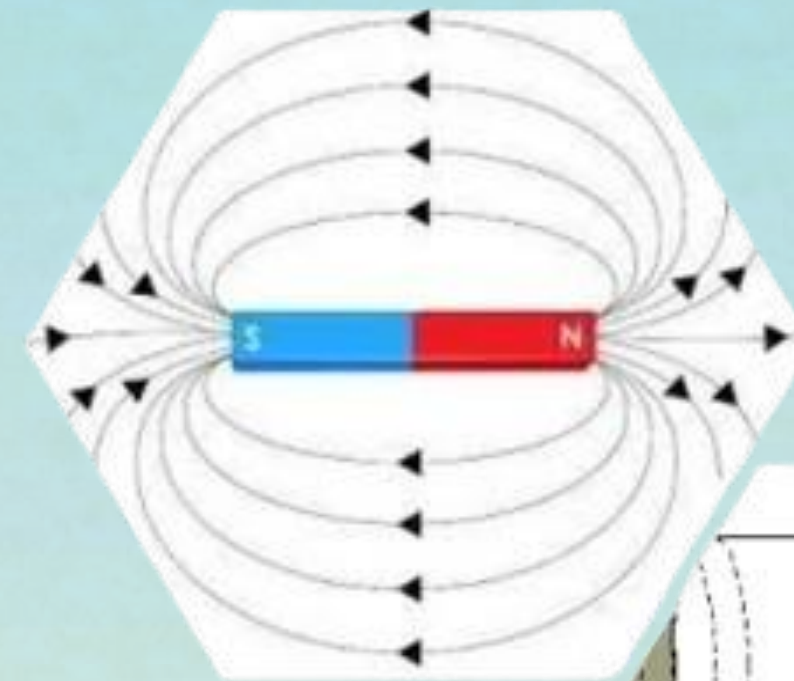
【評語】 032813

本鐵磁流體研究展現了優秀的實驗精神與科學探索過程，找出合適配方組合，並自製測量裝置評估磁流體性能，展現動手實作探索能力。對磁場影響熱傳導的推論具有創見，建議未來研究可以強化理論基礎，適當引用相關學術文獻來支持研究的創新推論，找出結構與物理性質關係以更有系統的物理量測分析佐證，這將大幅提升研究的說服力。另外可以發展新的散熱構想用於高發熱元件。

作品海報

熱與磁的雙重試煉：

探討不同鐵磁流體的導熱效果



摘要

本探究從遊戲電影與日常生活中得到許多的啟發。主要在探討製作出**導熱與散熱效果最好的鐵磁流體**，分別應用不同的材料做出差異。首先找出最適合的**鐵粉**來製作，做出第一代鐵磁流體，**調整比例**，**基載液體**，**表面活性劑**，**洗潔鐵磁流體的液體為不同的變因**。經實驗發現以鐵粉為四氧化三鐵，表面活性劑為大豆卵磷脂，基載液體為煤油，以及洗潔鐵磁流體的液體為酒精所做的流動效果為最佳。我自製了一台測量裝置，以此更加便利於測量磁流體的最高長度和影響鐵磁流體的最高距離。而後為確認最終各項鐵磁流體的傳導效果，我製作了簡便小裝置計算冰塊融化的時間，以此分辨出最佳的鐵磁流體。**最後的成果也證明出了鐵磁流體獨特的性質**。

壹、前言

一、研究動機

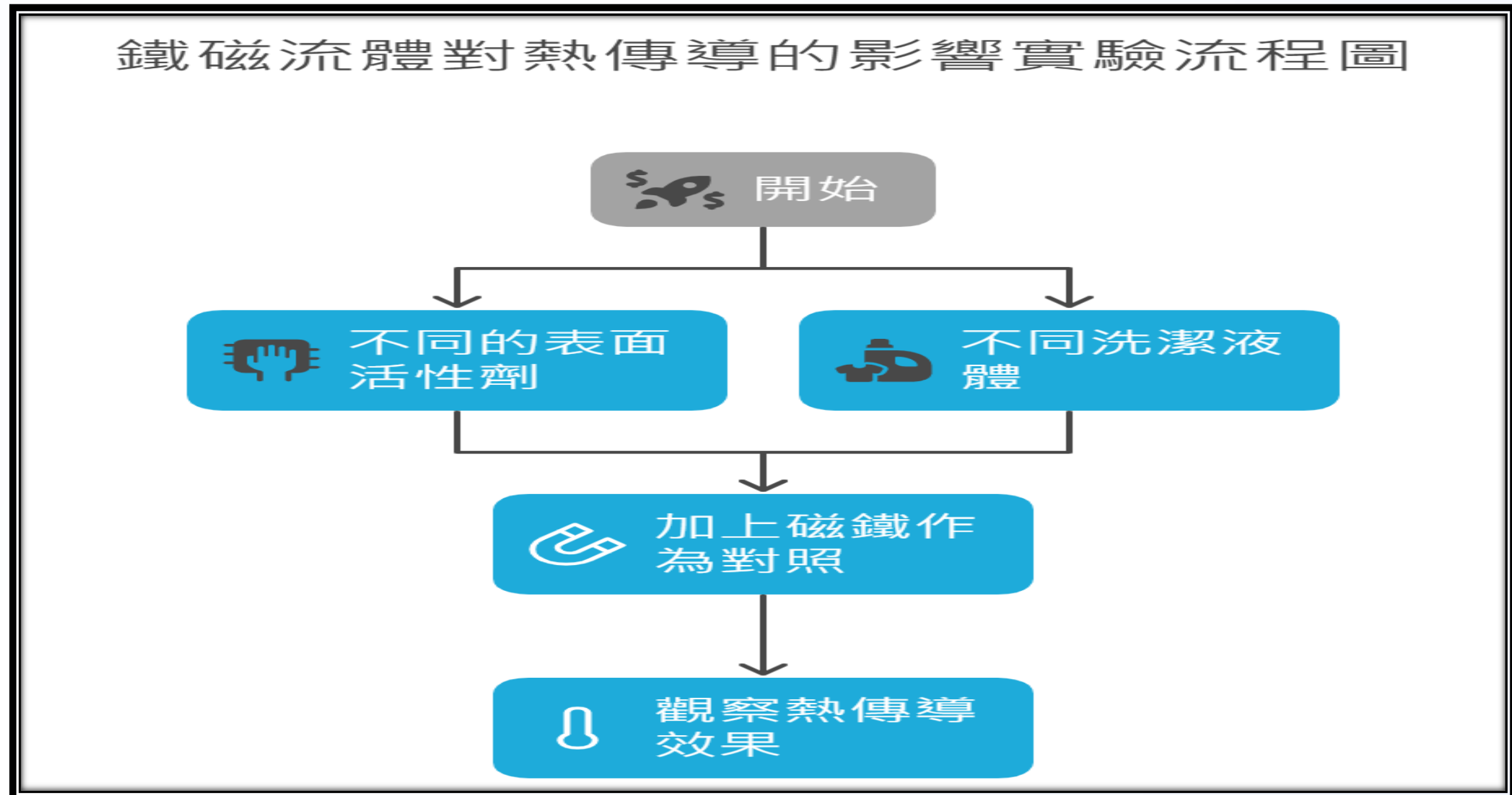
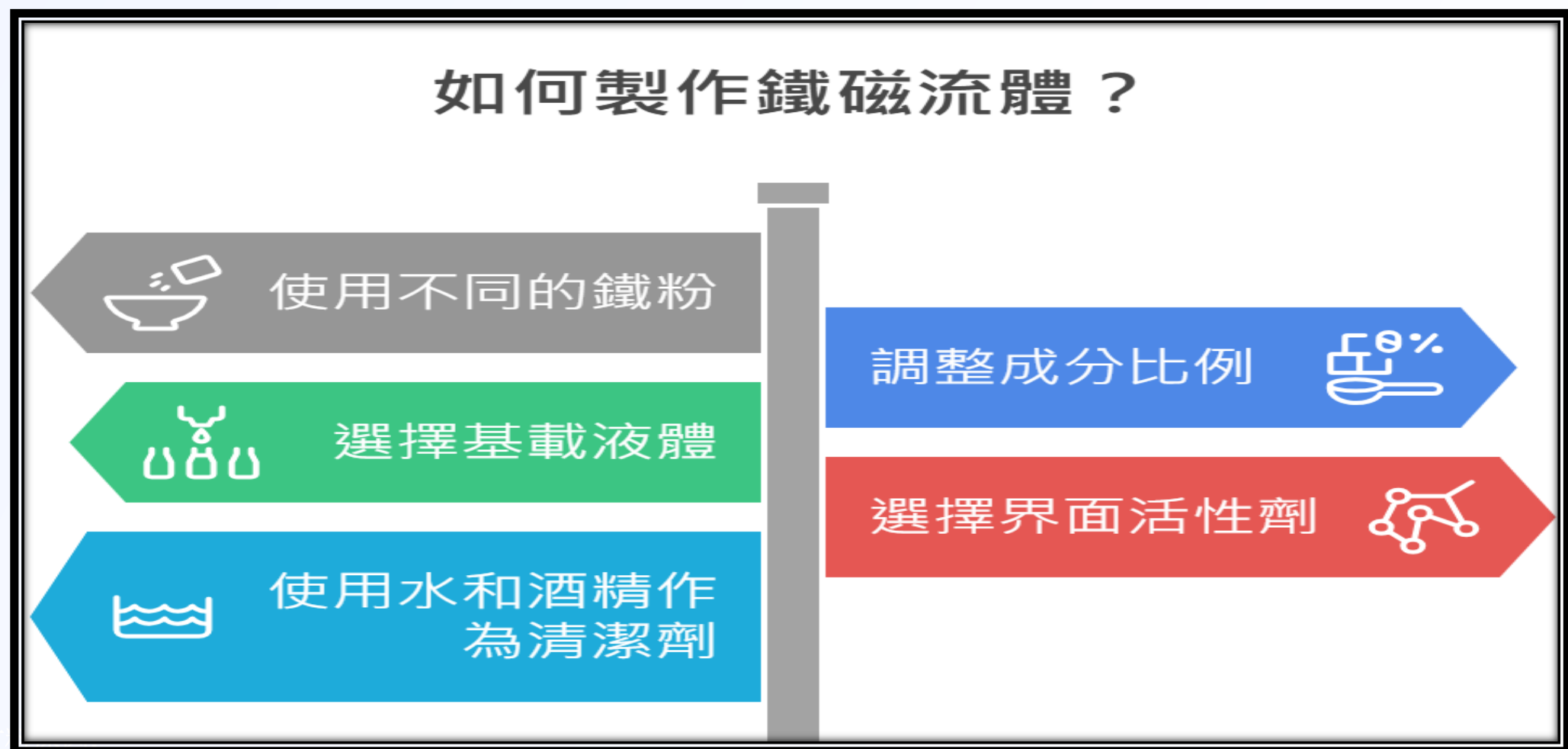
起初是我在 youtube 上看到有人在玩一團黑色像黏土的東西, 只要將磁鐵移到一邊, 鐵磁流體也會移動過去, 很有趣。也在我玩的電玩遊戲《重返未來:1999》中看到獨特的角色設定, 還有在《猛毒》這部電影中看到注意到主角的技能與鐵磁流體有幾分神似。由此吸引我濃厚的興趣。另外我發覺到自家的電腦設備因為玩電腦遊戲而越來越熱, 難以負荷我所玩的遊戲。我並想出能否將鐵磁流體加到熱傳導中, 以此來優化電腦過熱的狀態。

二、研究目的

1. 探討鐵磁流體的**特性**, 以及分析材料用意
2. 探討**不同材料**下的鐵磁流體有何影響
3. 探究最適合做出**流動效果最佳**的鐵磁流體
4. 研究材料的不同是否會**影響到鐵磁流體流動的長度?**
5. 自製一個成本低廉, 創作簡易的小型裝置測量出各項材料下的傳導效果
6. 探討**有無磁性對熱傳導的影響**
7. 了解影響距離對於熱傳導的影響
8. 思考如何**運用鐵磁流體熱傳導的效應應用在生活中**

本探究的目的主要圍著兩點展開, 首先就是因為興趣而產生疑問的鐵磁流體, 我想要解決的問題亦是**如何做流動力最佳的鐵磁流體**, 並探究為何會是這項材料所做出的鐵磁流體效能最好, **再來是因電腦而產生的疑惑, 能否把鐵磁流體加入到散熱系統中?**而後就是解答鐵磁流體對熱傳導有什麼影響。

三、研究架構



貳、研究器材與設備

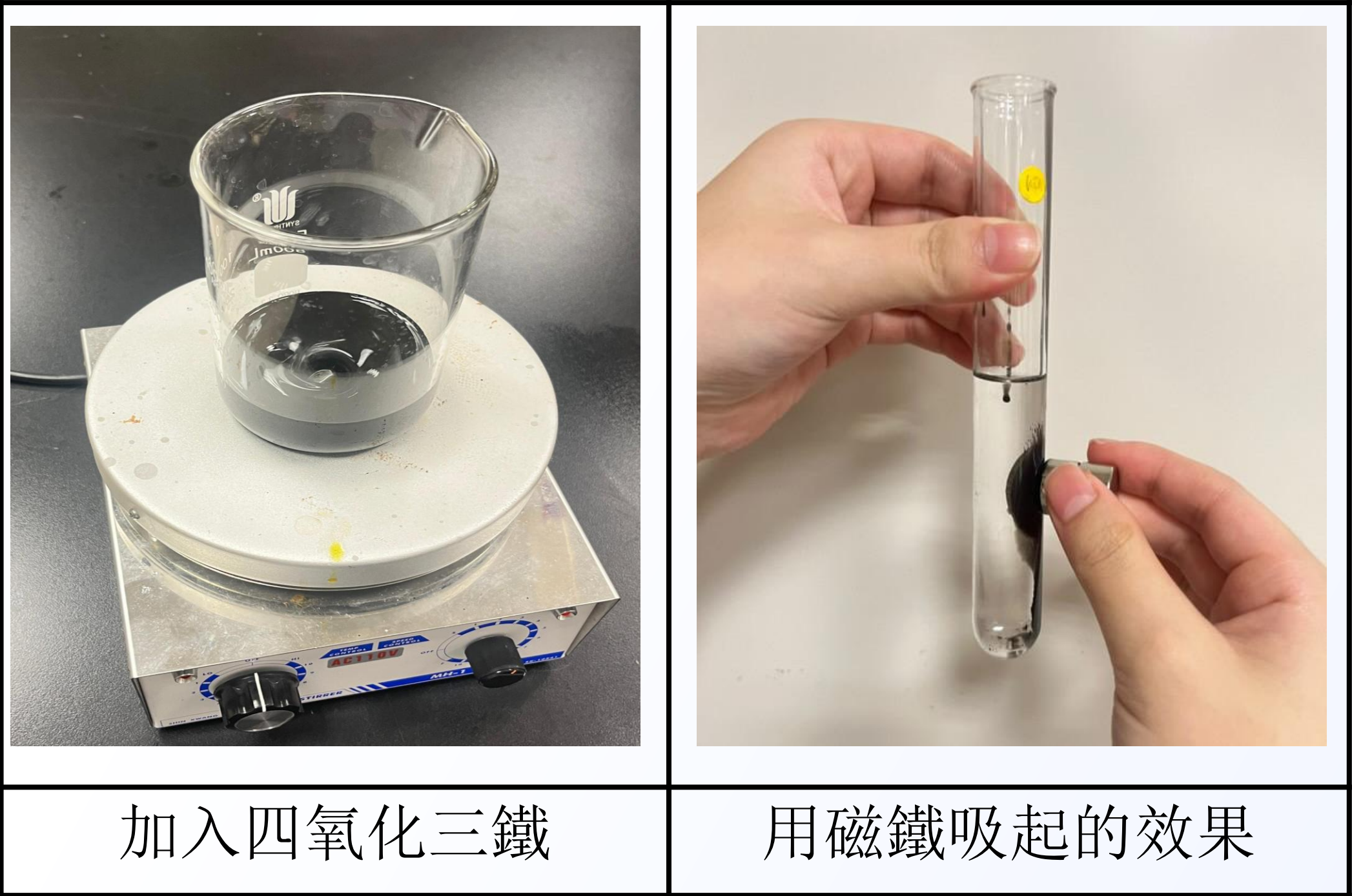
鐵磁流體材料	鐵粉、三氧化二鐵、四氧化三鐵、碳粉、檸檬酸、大豆卵磷脂、去離子水、機油、酒精、煤油
實驗（一）器材	電子秤、試管、玻璃棒、燒杯、電磁攪拌器、小罐裝瓶、滴管
實驗（二）器材	冰塊、馬達、電池、電池盒、銅線
設計簡易實驗觀察器材	免洗筷、電工膠布、尺、棉線、磁鐵、剪刀、剝線鉗
改良實驗器材	N35&N52鉍鐵硼磁鐵、PTC 發熱片、ESP32+主機板+DHT22、電源供應器(12V)

參、研究過程或方法 & 肆、研究結果

(一)製作鐵磁流體

製作鐵磁流體實驗步驟：

1. 調配**表面活性劑與鐵粉**, 調整**比例**
2. 將此放到電磁攪拌器上, 緩緩加入**基載液體90ml**
3. 將力度開到3, 用手機計時15分鐘
4. 在下方放置磁鐵, 等待磁力較強的鐵粉沉澱
5. 倒掉上方留下來的清液, 反覆用**洗潔液體清洗**此鐵磁流體3次
6. 放到試管中觀察



加入四氧化三鐵

用磁鐵吸起的效果

實驗1 研究何種鐵粉更適合做成鐵磁流體

研究思路和提出問題

我想要製作出像是電影與動畫中那樣光滑的鐵磁流體, 於是打算從最基層—鐵粉的部分開始做思考。**利用哪個鐵粉所製作出的鐵磁流體的效果最好。**

操縱變因：**鐵粉, 三氧化二鐵, 四氧化三鐵**, 皆為5g。

突發奇想: 加入印刷機碳粉

調整步驟：1. 調配表面活性劑與鐵粉

總結：

四氧化三鐵>印刷機碳粉>三氧化二鐵>鐵粉

分析各項材料原因：

針對鐵粉與四氧化三鐵我想出了以下原因：

1. 化學穩定性
 - 四氧化三鐵**早已經氧化**, 所以較鐵粉穩定。
 - 而鐵粉在氧化中的這個過程是不可控的, 難以控制到奈米級。
 - 鐵粉是鐵磁性的, 可能會有剩磁, 所以會產生團聚。
2. 表面顆粒大小
 - 鐵粉通常是微米級(μm), 表面**缺乏親水性或親油性**。
 - 四氧化三鐵顆粒的比表面積大, 能修飾水或油。

實驗2 找出何種比例可以有最佳的流動力

研究思路和提出問題

我想到油的比例多寡會不會影響鐵磁流體的磁性？四氧化三鐵的比例會**怎麼影響流動的效果**？**最後最佳的流動比例又是多少**？

項目	四氧化三鐵	檸檬酸	機油
第一組	5g	0.5g	90 ml
第二組	20g	0.5g	90 ml
第三組	5g	0.5g	150ml
第四組	10g	0.5g	90 ml
第五組	5g	0.5g	100ml

項目	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組
0.5s	1.2	1.8	2.0	1.4	1.3
1.0s	2.7	2.9	3.3	3.0	2.7
1.5s	3.3	4.2	3.8	3.6	3.5
2.0s	3.8	4.2	3.8	4.0	3.7

操縱變因：四氧化三鐵、檸檬酸(當作表面活性劑)、機油(作為基載液體)

控制變因:酒精(作為洗潔液體)

調整步驟：1. 調配檸檬酸與四氧化三鐵，調整不同比例。

結果分析：

排名

- 第二組:高磁性顆粒濃度（20g/90mL）最終平衡高度最高（4.2 cm），表示磁性驅動效果最強。
- 第三組:雖然在初期反應上表現突出，但最終數值較低（3.8 cm），可能因為加入更多機油稀釋後磁性效果減弱。
- 第一組:磁性顆粒濃度低（5g/90mL），無論在初期還是最終表現都落後於第二組和第三組。

也就是說可以得出**顆粒濃度越高能夠流動的長度越長**，但相對來講**移動時間更加的慢**。因為黏度加上摩擦力的關係，使得移動的時間會受到影響。

思想歷程：

第四組與第五組則因為是並沒有過多的差別，所以最後並沒有放在這幾個排名中，這項實驗讓我知道流動時的磁性吸力也是一個至關重要的重點。

實驗3 研究何種基載液體流動效果最佳

研究思路和提出問題

不同的基載液體在**摩擦力、表面張力**等等的物理性質上有很多的差異性，那麼何種基載液體的流動效果最佳？

煤油：

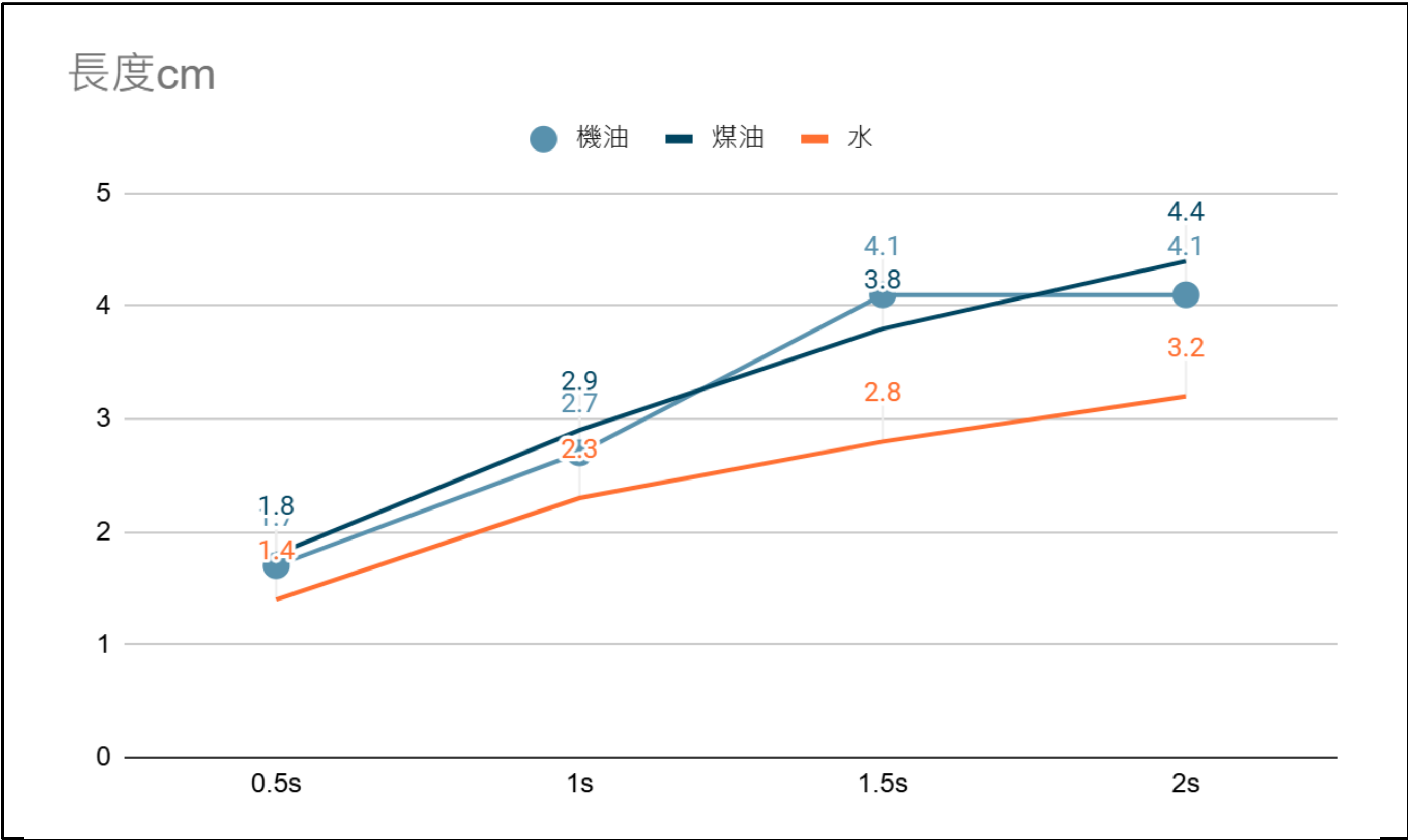
- 較低的黏度
- 合適的表面張力

機油：

- 受到**較大內部摩擦或黏性阻力**

水基：

- 顆粒分散狀況不如油性基載液那樣理想
- 磁場作用下推動力較弱



實驗4 研究最適合的表面活性劑

研究思路和提出問題

固體與液體的表面活性劑對於四氧化三鐵加煤油的融合有甚麼差異？

操縱變因：檸檬酸0.5g、大豆卵磷脂0.5g

調整步驟：1. 調配**表面活性劑**與四氧化三鐵

結合實驗4 & 實驗5

實驗步驟：

- 將三根筷子以三角狀連接在一起，並用膠布將其連接在一起
- 裝上一根筷子，並確保其偏向左邊
- 將棉線與磁鐵利用膠布黏在一起
- 裝上已經黏好的棉線與磁鐵，確保其保持平衡

項目	大豆卵磷脂	檸檬酸
水	4.7cm	4.4cm
酒精	3.6cm	3.1cm

實驗5 找出合適的洗潔液體

研究思路和提出問題

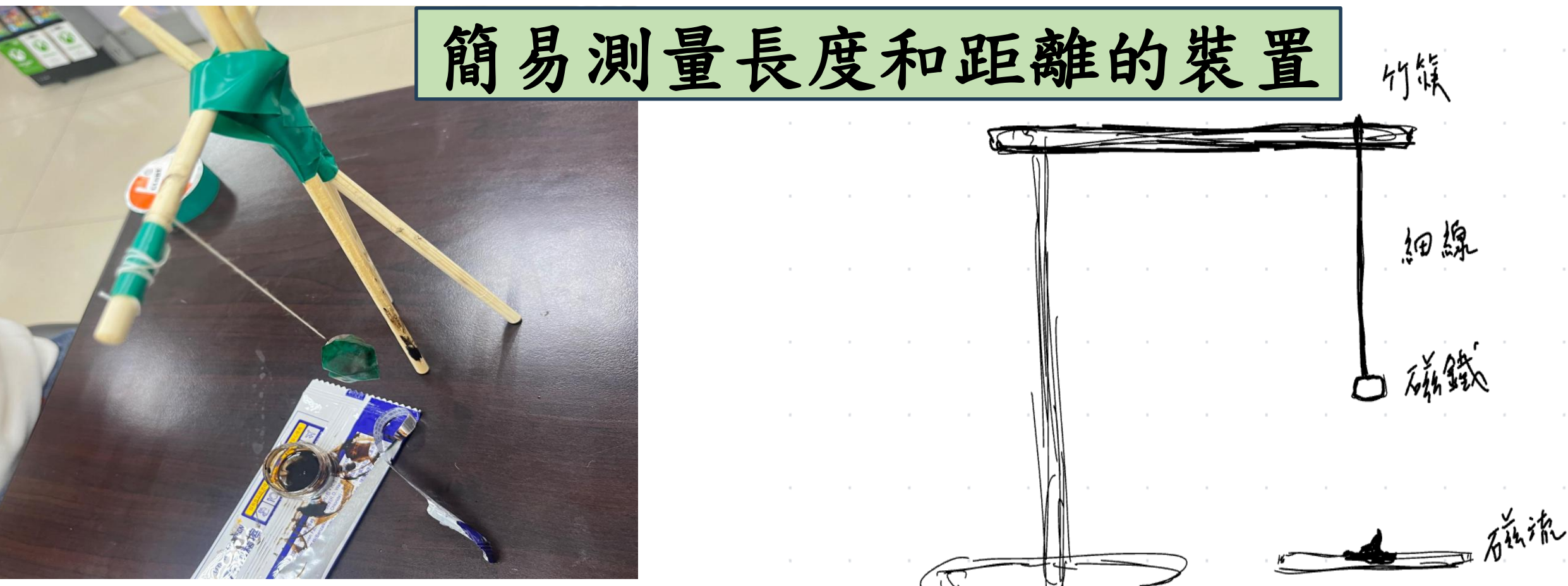
洗潔液體清洗時是怎麼使鐵磁流體的尖刺狀更加尖銳與光滑？不同洗潔液體在相同洗潔次數下是否有不同之處？

操縱變因：酒精、水

調整步驟：5. 反覆用不同**洗潔液體**清洗此鐵磁流體

由此可推斷在表面活性劑的部分差別並不太大。

另外，洗潔液體的部分**黏度越低，磁性顆粒更容易流動，磁鐵影響的距離更長**。酒精與水的黏度皆低，但酒精比水略高，所以酒精能影響的最高距離較水少。



（二）小型測量熱傳導裝置的製作

研究思路和提出問題

為了要找出能夠傳導熱最快的鐵磁流體而設計了這個實驗，不知道哪一種表面活性劑與洗潔液體的組合最好？另外加上磁鐵會有所改變嗎？

說明：

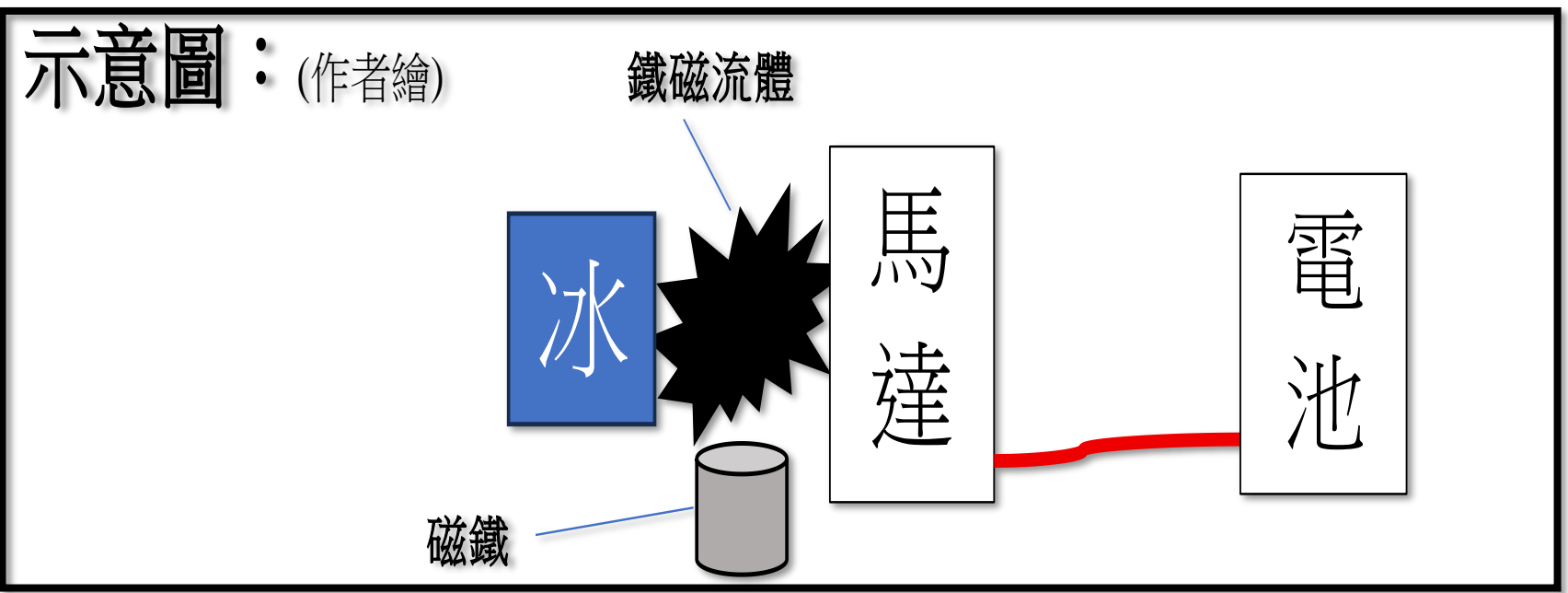
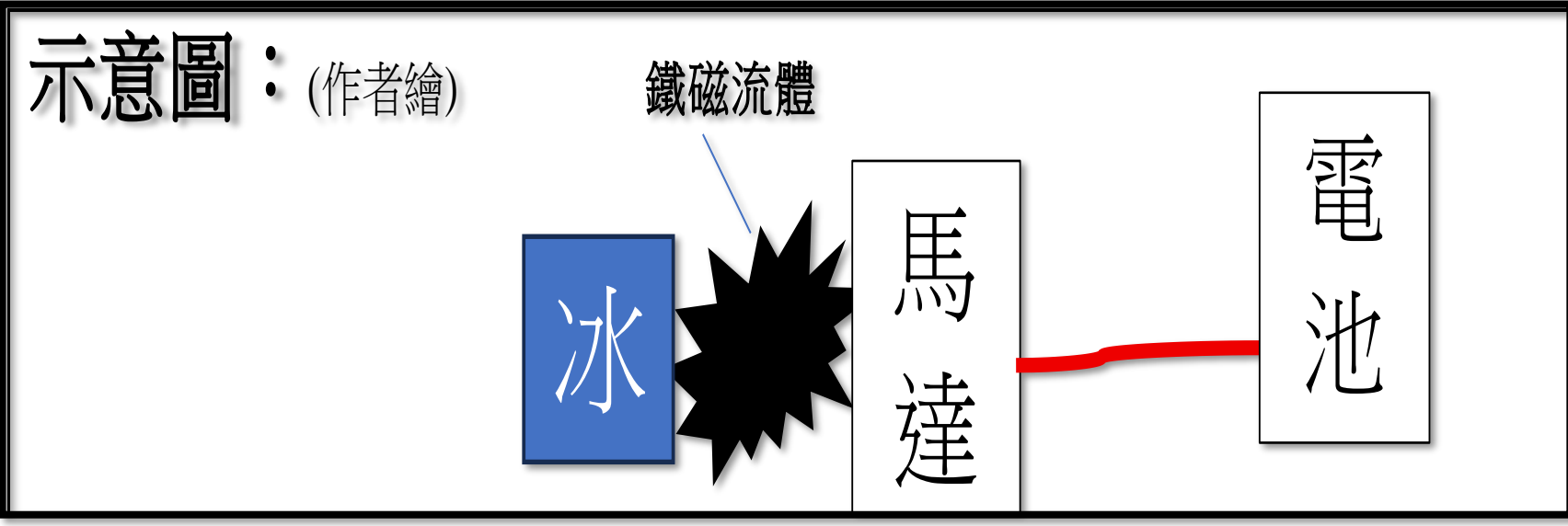
將大豆卵磷脂水有無磁鐵、大豆卵磷脂酒精有無磁鐵、檸檬酸水有無磁鐵與檸檬酸酒精有無磁鐵融化時間做比較。

不可控因素：**室內溫度與濕度、馬達自身的溫度以及上升速率、鐵磁流體自身的流動、無法準確掌握其目前溫度。**

無磁鐵		
項目\時間	水	酒精
檸檬酸	06分30秒55	06分28秒34
大豆卵磷脂	06分45秒65	06分10秒37

有磁鐵		
項目\時間	水	酒精
檸檬酸	07分20秒44	07分10秒65
大豆卵磷脂	07分30秒29	07分20秒45

- 表面活性劑對於阻隔熱傳導沒什麼影響**
- 水的比熱較大所以難升難降，水所吸收的熱量會更多。
- 酒精的比熱較小所以易升易降，酒精就相對較少了。

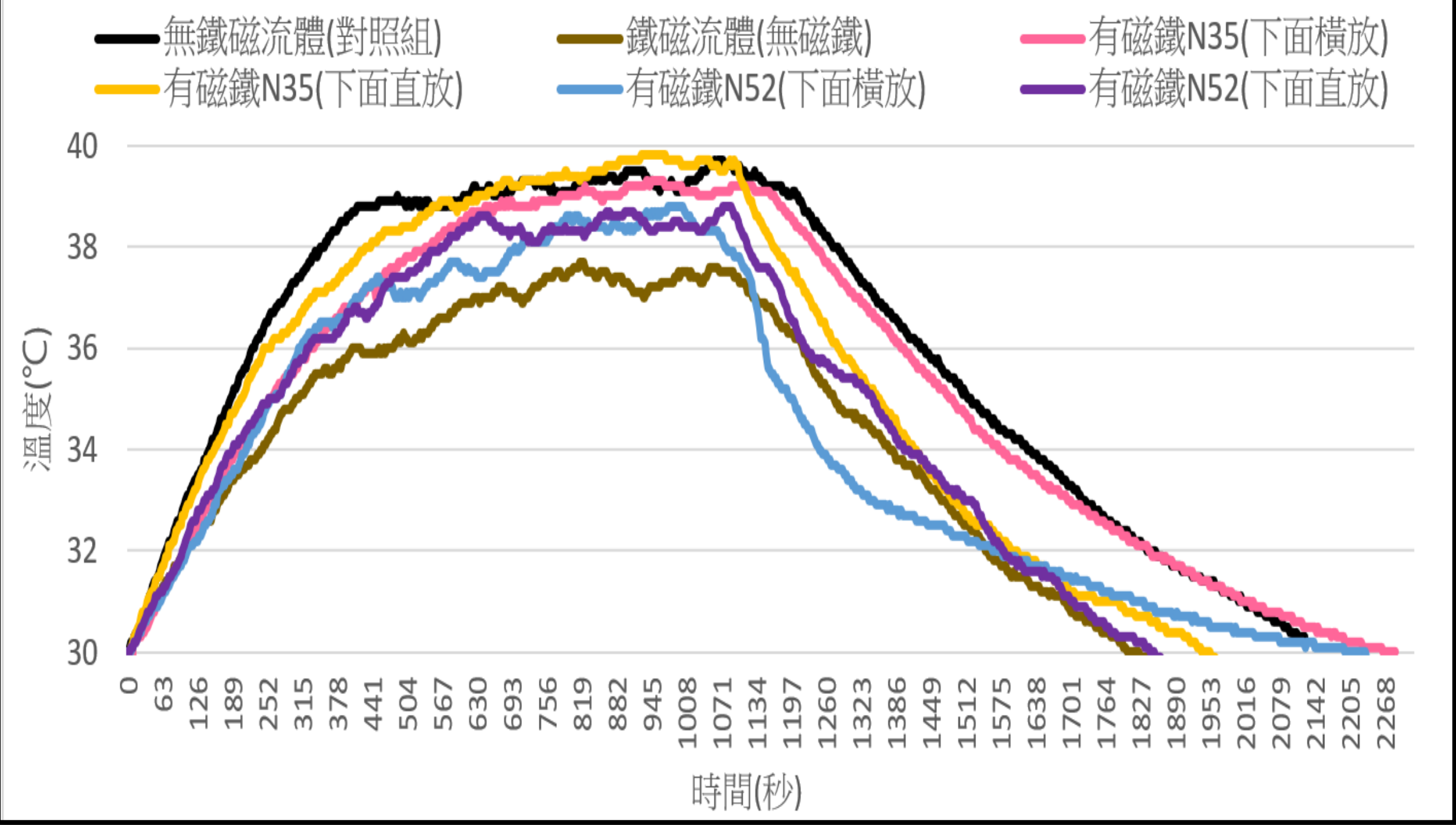
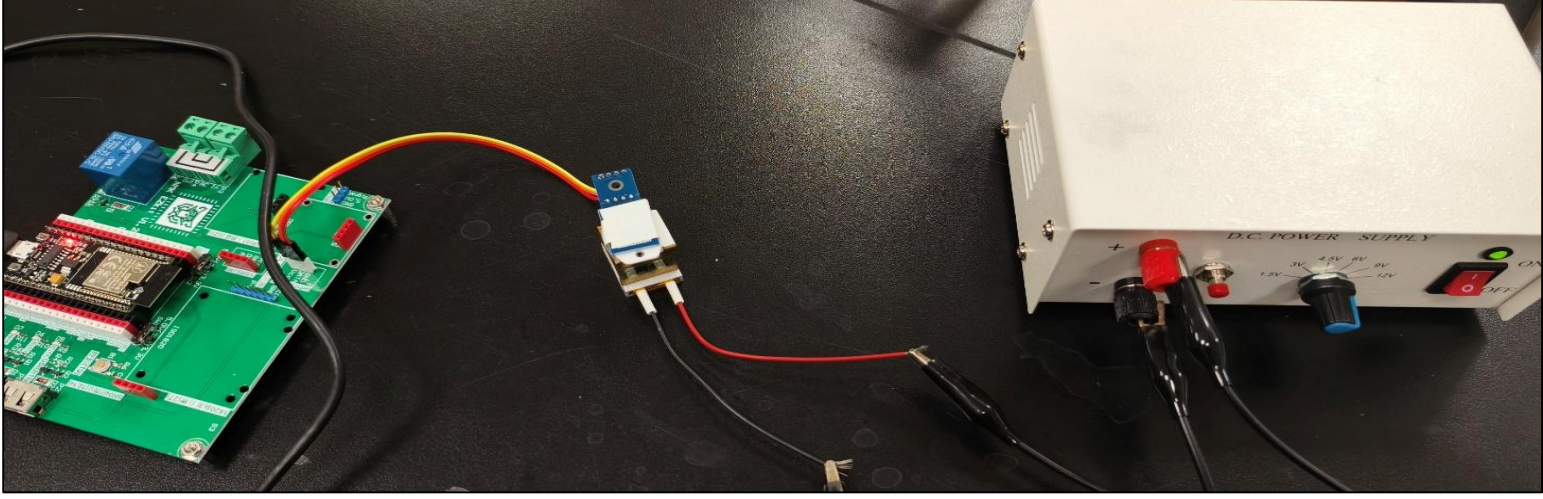
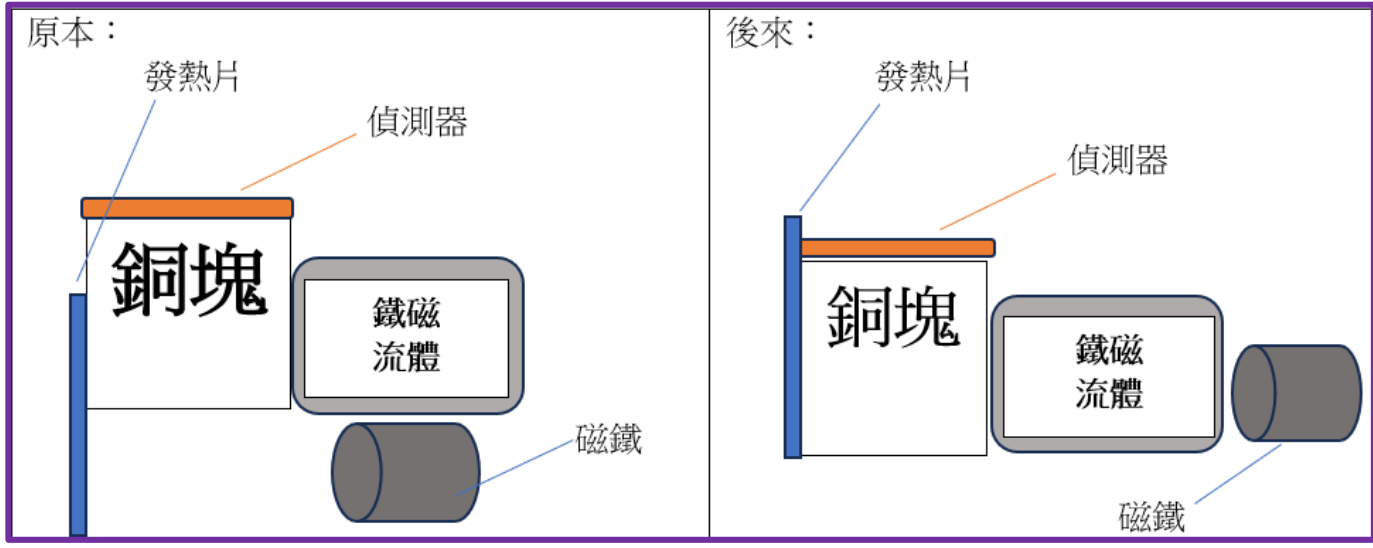


(三) 改良版測量熱傳導裝置的製作

實驗一 加熱20分鐘後停止加熱
提出問題

- ◆ **有放磁鐵跟沒放磁鐵**哪一種會使熱傳導速度較快？
- ◆ N35磁鐵是磁力比較小的磁鐵，而N52是磁力較大的磁鐵，**磁力是否能影響到鐵磁體的導熱效果？**
- ◆ 磁鐵本身是有一定的磁力圈，從N出發再回到S，那麼**擺放的位置**會不會因而影響到熱傳導傳輸的方向？

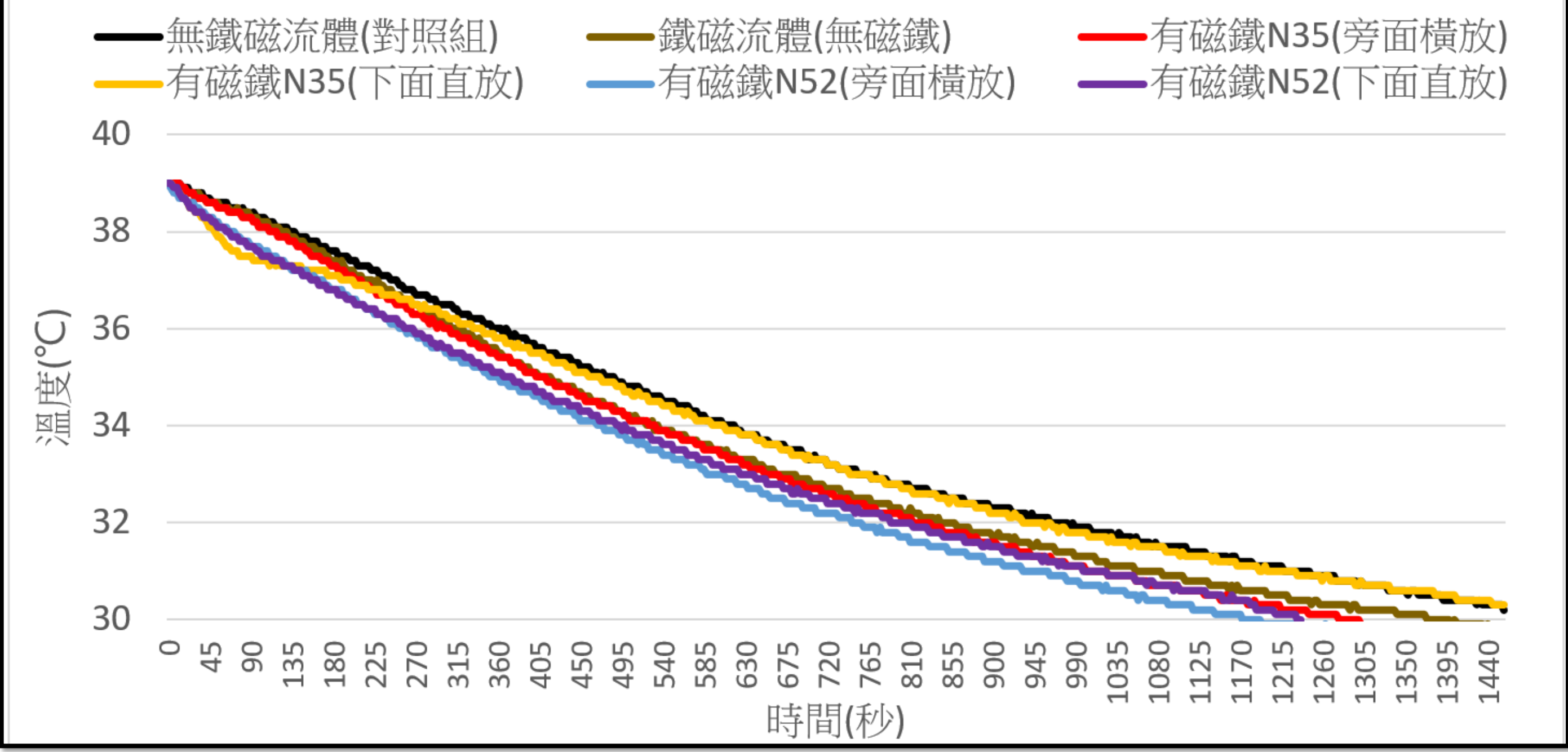
無法控制的因素：每一次經過20分鐘各項銅塊達到的最高溫都不同（改良實驗二）



實驗二 都加熱到39℃時停止加熱

經過上一個實驗可以發現每一個開始降溫的基準值是不同的，**於是這個實驗利用了相同的基準值開始降溫**，選39℃的原因是因為一般散熱機器在運作時都會在40度時開始降溫，所以想嘗試**在40度以前就開始降溫的結果如何。**

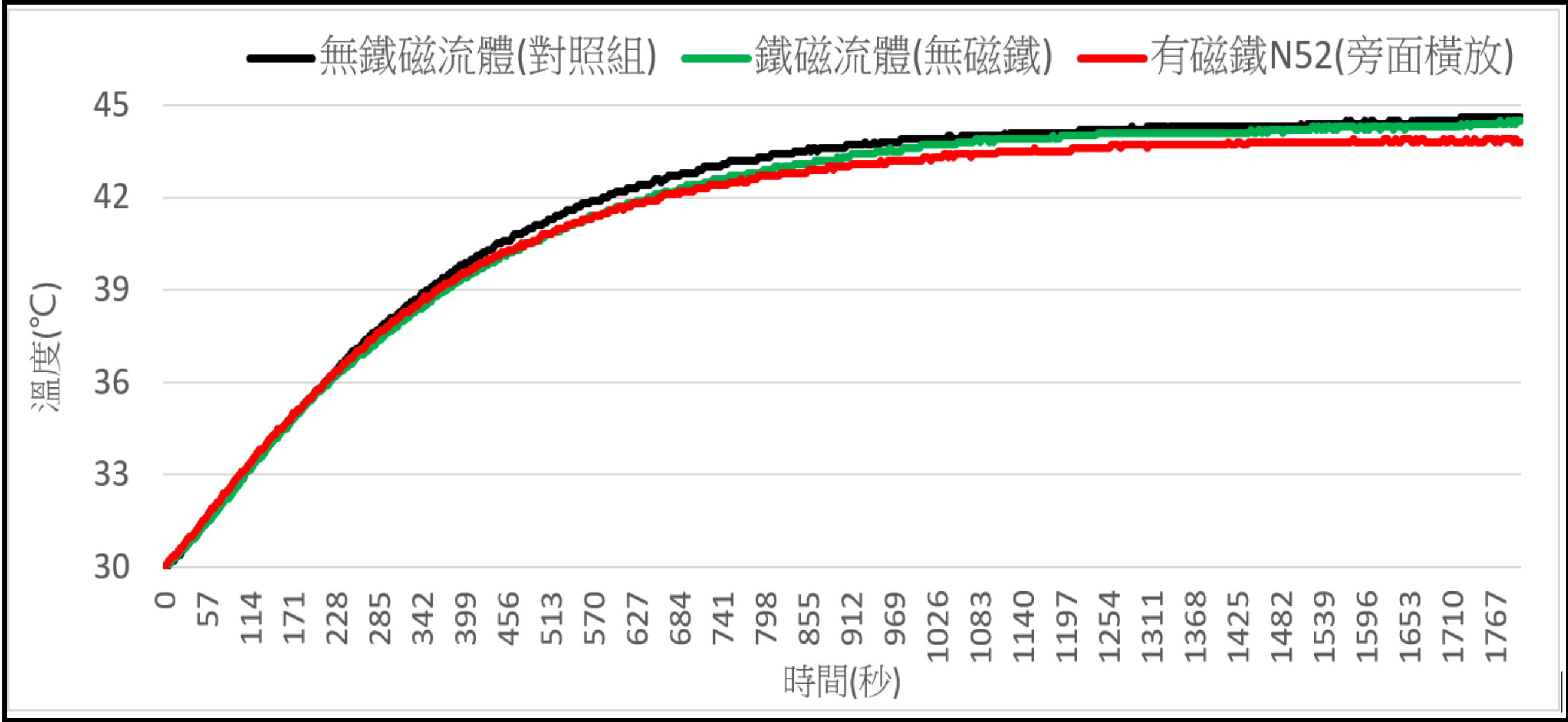
總結：降溫速度：N52(橫)>N52(直)>N35(橫)>無磁鐵>N35(直)>無鐵磁流體(對照組)



實驗三 持續加熱30分鐘研究思路和提出問題

這個實驗的目的主要是在於散熱系統中的重要一步，防止升溫。事先防止其升溫，或者是使其升溫更加緩慢。

- ▲ **N52的磁力更強，因而導致降溫速度更好。**
這是因為磁鐵的吸力帶動了鐵磁流體整體的流動效果。
- ▲ 在N35之中橫放的效果反而比直放；
在N52之中橫放的效果比直放好。



伍、討論

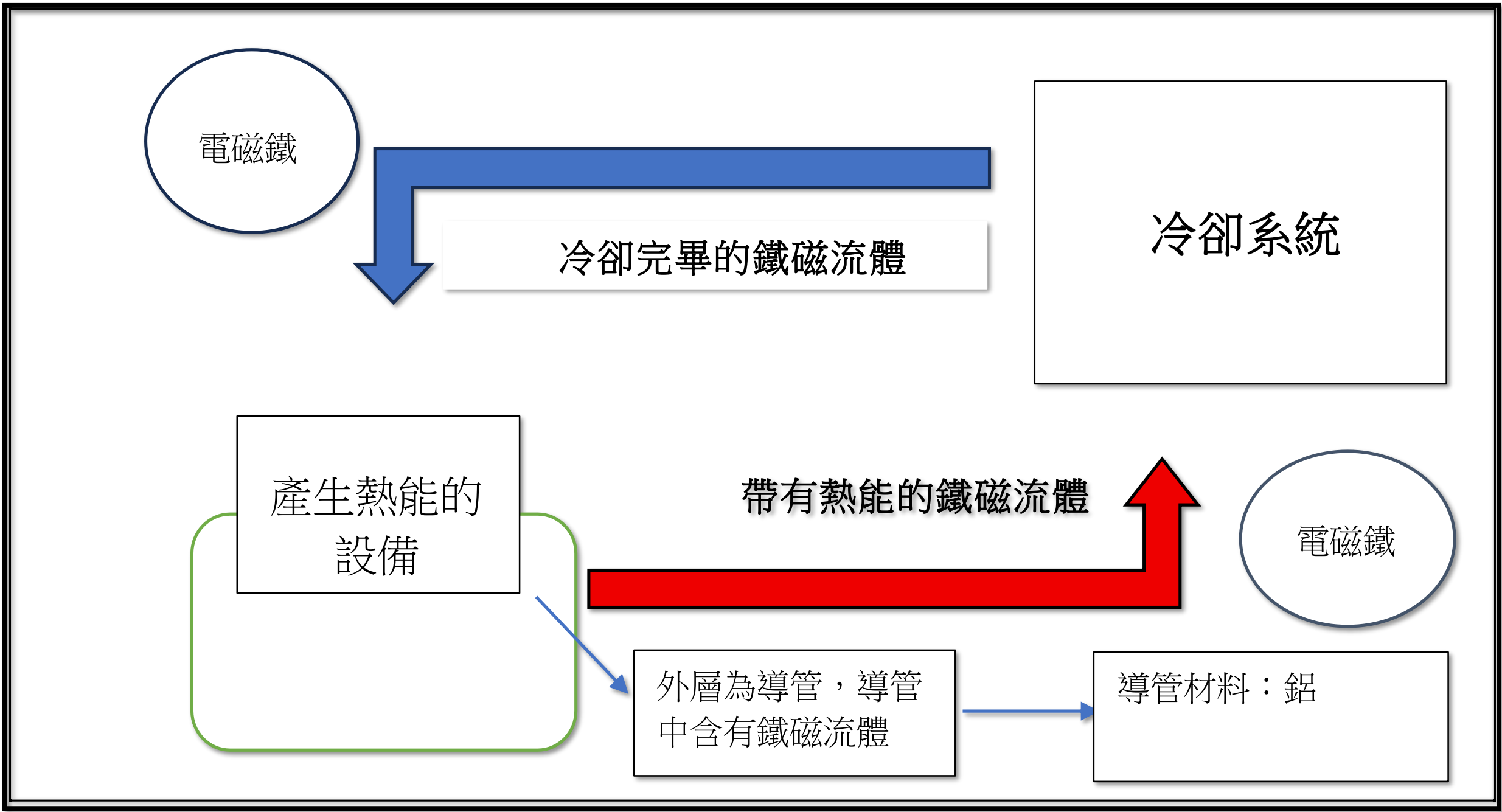
- 一、**為什麼加了磁鐵以後，反而熱傳導效果變差了？**
磁場會影響對流，（改良實驗中可證）使熱量的傳輸變慢，此外，還有磁場方向的問題，縱向與橫向皆可能改變其傳導方式
- 二、**以後可以怎麼應用至生活中？**
我認為未來**可以往朝散熱系統的方向去發展**，**鐵磁流體最大的優點在於「可控性」**，在一般電腦中，系統過熱的溫度**大約落在60至70℃左右**，一般來講在40℃就會開始降溫。另外，水冷液常見到的問題就是管線容易漏水、水冷液不足，**運轉的幫浦發生故障**等。假設有一個產生熱量的裝置，外層為導管，導管中含有鐵磁流體，這個導管需符合以下要求
 - 是否會與鐵磁流體（含水或含油成分）產生化學反應或腐蝕
 - 材料是否會被磁場影響（非磁性材料）
 - 成本與機械性質（例如抗壓性、加工性等）

陸、結論

- 一**最適合做鐵磁流體的粉狀物為四氧化三鐵。**
- 二**最佳的表面活性劑為大豆卵磷脂。**
- 三**流動力最好的比例為四氧化三鐵20g、檸檬酸0.5g、機油90ml。**
- 四**煤油基底為最好的基載液體**，能夠使摩擦力減緩。
- 五**流動性最佳的洗潔液體為酒精。**
- 六**影響的最小距離和熱傳導呈現一同成長的趨勢**，**只要磁鐵對鐵磁流體的最小影響距離上升，熱傳導效果也會跟著遞增。**
- 七**N52的磁力更強**，所以**降溫速度更好。**
- 八**橫向放磁鐵比直向放，對熱傳導的成效會更好。**

柒、參考文獻資料

- 一、許良榮 (2019)。《玩出創意2：48個酷炫科學魔術(2版)》。五南圖書。單元41「電磁的科學魔術」液態磁鐵
- 二、神奇鐵磁流體的玩法與合成。2014年12月13日。查詢網址：<https://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118>



改善

- 我認為下次可以嘗試挑戰製作四氧化三鐵，再去結合原本做的鐵磁流體，透過四氧化三鐵呈現出更明顯的尖刺狀以及更穩定的磁性。
- 另外還有利用**酒精燈加熱至居里溫度達到消磁的效果**，時間上的變因、會不會有長度、影響距離以及導熱速度的變化。再者就是**不同體積的鐵磁流體在熱傳導之間是否有差別，以此找出最小就能熱傳導的體積，達到濃縮化。**

未來展望

- 我希望讓鐵磁流體成為不僅是觀賞用的小玩具，而能發揮更大的實用價值。鐵磁流體**具備獨特的導熱與可控性特性**，這些特性讓它具備成為新一代高效熱傳導材料的潛力。
- 未來，可以製作成為一個**高效的熱傳導設備**，像是應用在電腦主機的散熱裝置、重型機械的熱控系統，甚至延伸到太空科技領域，成為太空設備中的關鍵散熱元件。而提升熱管理的效率，可為世界創造更穩定的永續發展。