

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031601

磁力的緩衝作用

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 國二 蕭季威	指導老師： 惠沁宜 林准儂
---------------	---------------------

關鍵詞： 磁力、緩衝作用、流量控制

作品名稱： 磁力的緩衝作用

摘要

這個研究的目的是藉著磁力來控制液體的流動，達到力量的緩衝減振的作用。磁力是超距力，因此鐵粉不論是在空氣或水中，都會依磁力線排列。在水管中按磁力線排列的鐵粉會阻礙水流，減少流量，因此可以藉由控制磁力，達到控制水流量，產生緩衝效果。本研究經過實驗，分析了不同的磁鐵位置和磁力大小對水流量的影響。

然而鐵粉在水中會有生鏽、沉澱、沖刷的問題，因此本研究使用油取代水，讓鐵粉在油中隔絕了空氣和水分；至於鐵粉在油中會產生鐵粉沉澱的問題，本研究找出方法，用油脂包裹鐵粉再混合在油中，這樣不但隔絕鐵粉和空氣，而且油和油脂可以互溶，就不會有沉澱和生鏽的問題。

本研究並設計了測試設備，實驗測試了不同的鐵粉油液的流動性，找出磁力和管徑對於緩衝效果的影響，並且將這些影響關係整理成公式，用電腦程式來顯示不同磁力、管徑、施力可得到的緩衝效果；最後我設計製作了一個實際的緩衝裝置，呈現磁力的緩衝作用。

壹、研究動機

課本中提到把鐵粉灑在玻璃上，下面放磁鐵，鐵粉就照著磁力線排列。如果鐵粉在液體中，是否還會照著磁力線排列呢？

我初步實驗發現鐵粉在水中會受磁力影響，並阻礙水流，減少水的流動速度；如果有重物推動活塞，是否可以藉由控制磁力來減緩水流，達到重物緩衝的目的呢？我看過一種玩具搖籃，利用磁力互斥給予反向力來減緩搖籃的速度。這讓我想到磁力其實是可以做為一種很好的緩衝力。所以我開始思考如何將磁力應用在減緩流量，達到緩衝的目的。

而在緩衝實驗完成後，爲了讓研究結果可以更普遍應用到各種管徑、磁力、和施力，因此我將研究結果整理成電腦模擬程式，這樣不但讓各種變數對緩衝效果的影響一目瞭然，對於應用在國中磁力課程的教學上我想也是很有幫助的。

從我小四時，爸爸便開始逐步教我圖控程式，並應用在每年的科學研究和競賽上，經過三年多科展、全國科展、台灣國際科展、發明展、機器人比賽等過程的學習，我對圖控程式的邏輯和撰寫都很純熟。因此當我在想如何將研究結果比較具體的表示出來讓大家瞭解時，我就想到用電腦模擬以及實體展示兩種方式來表現。

下表是我的研究和學校教材的相關性。

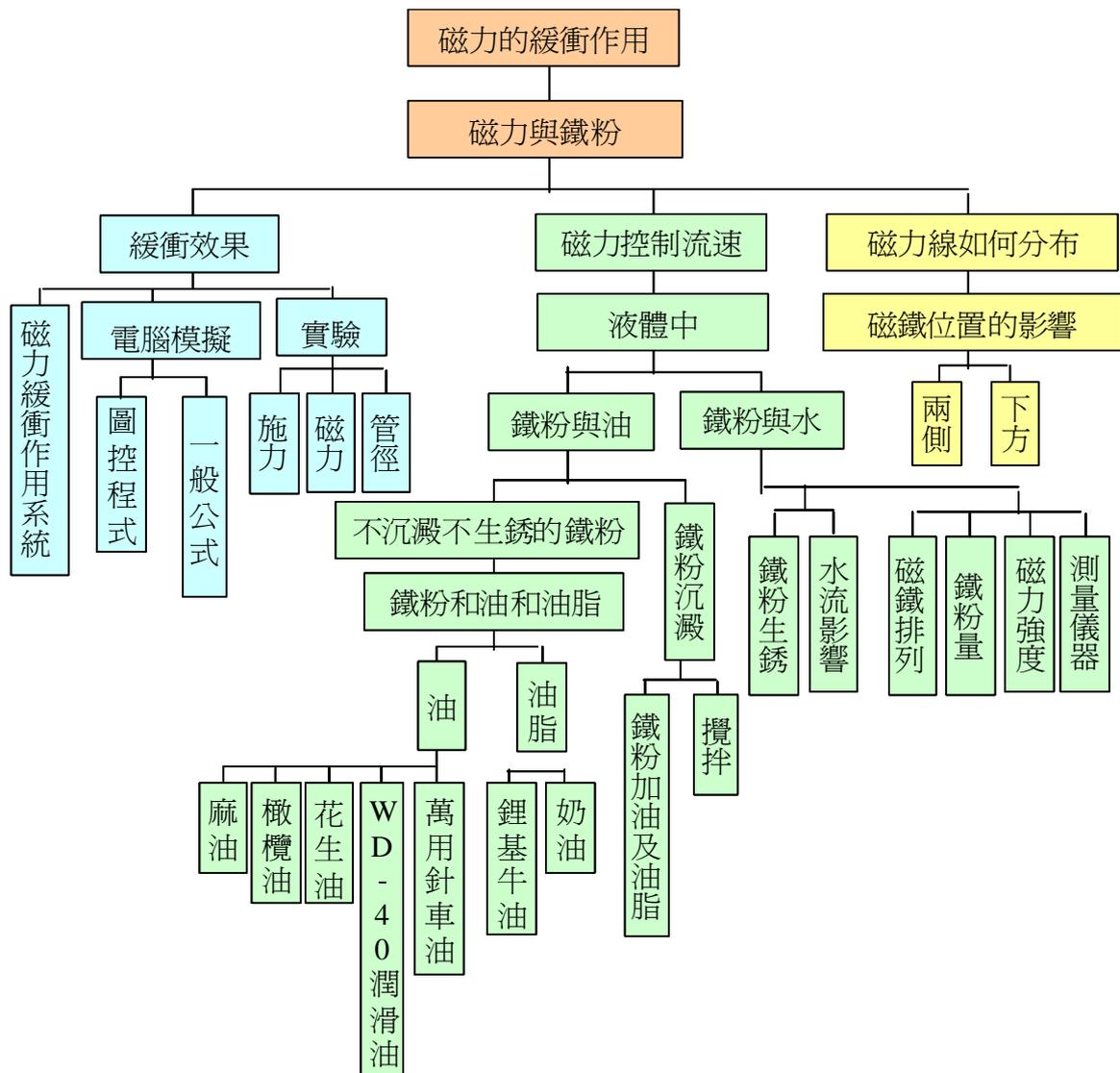
應用課程教材內容：

課程教材	章節	單元名稱	內容相關性
國小自然與生活科技(一)	2	磁力玩具	鐵粉會受磁力線影響，沿磁力線排列
國小自然與生活科技(七)	4	電磁作用	磁力與電磁鐵
國中自然與生活科技(三)	2-1	物質的世界 認識物質	鐵製的物質皆可被磁鐵吸引
國中自然與生活科技(三)	5-3	溫度與熱 熱對物質的 影響	固體的粒子排列規則，而液體與氣體粒子排列不規則
國中自然與生活科技(三)	7-1	建造家園 舒適安全便 利窩	大樓減振緩衝系統
國中數理資優班課程		電流與磁現 象	磁場與磁力線、電磁鐵的原理與應用

貳、研究目的

我的研究目的在瞭解鐵粉在液體中被磁力影響的情形，以及如何製作出鐵粉油液，再利用調整磁場大小來控制液體流量，而對力量產生緩衝作用。

對這個研究，我先從課本教材瞭解磁力對鐵粉的影響，並請教老師，再尋找相關的歷屆科展作品和網站資料後，經過許多次的討論，才對解決這個問題有了較完整的想法。我的各項研究目的和流程列在下面圖表。



研究探討分項工作如下：

研究目的		研究項目
研究一	鐵粉在液體中，受磁力線的影響情形；	(一) 鐵粉在空氣中受下方磁鐵的影響 (二) 鐵粉在空氣中受兩側磁鐵的影響 (三) 鐵粉在水中受兩側磁鐵的影響
研究二	如何控制磁力，來控制水的流量；	(一) 實驗設備建立 (二) 磁力強度與水流量的關係 (三) 鐵粉量與水流量的關係 (四) 磁鐵放置方式與水流量的關係
研究三	如何讓鐵粉在液體中不沉澱不生銹；	(一) 鐵粉的生銹問題 (二) 鐵粉的沉澱問題
研究四	油和油脂的種類；	(一) 花生油、橄欖油、麻油、針車油、WD-40 潤滑油 (二) 奶油、鋰基牛油
研究五	磁力對不同鐵粉油液的流動性影響；	(一) 磁力對不同鐵粉油液流量的影響
研究六	磁力和管徑對緩衝作用的影響	(一) 磁力大小的影響 (二) 管徑大小的影響
研究七	磁力緩衝作用的公式和電腦模擬	(一) 緩衝時間一般公式的建立 (二) 緩衝效果圖控程式的建立
研究八	磁力緩衝作用系統	(一) 緩衝系統之製作

參、研究設備及器材

研究項目	研究設備與器材	研究設備與器材內容
鐵粉與流量	原料	鐵粉(島久藥品株式會社，一級鐵粉試藥)、強力磁鐵(4700 高斯)
	器材	開關球閥、塑膠管(直徑 10 mm)、碼表、量筒
鐵粉油液	油原料	花生油、橄欖油、麻油、萬用針車油、WD-40 潤滑油
	油脂原料	奶油、鋰基牛油
	器材	透明有蓋塑膠瓶(40ml)、試管、電磁鐵、顯微鏡、目鏡測微器
對流動性影響	器材	10 ml 針筒、砝碼、滑輪、碼表、量筒
	原料	鐵粉、油、油脂
對緩衝作用的影響	器材	10 ml 針筒、橡膠管(外徑 5.6mm, 7.8mm, 11.6mm, 管厚 1mm)、管束、帶柄砂輪、塑膠板、強力磁鐵、24V 電磁鐵
	原料	鐵粉油液
緩衝作用電腦模擬	器材	KaleidaGraph 3.5、NI LabVIEW 7.1
緩衝裝置	器材	10 ml 針筒、透明壓克力圓筒(外徑 70mm, 內徑 64mm)

肆、研究過程及方法

研究一、鐵粉在液體中，受磁鐵的影響情形

(一) 鐵粉在空氣中受下方磁鐵的影響

由實驗瞭解鐵粉如何受到磁力線的影響。

1. 研究過程

- (1).使用一般鐵粉，鐵粉半徑以顯微鏡和目鏡測微器觀察，約為 0.1mm；
- (2).玻璃平板上均勻的灑上鐵粉，下方放置長條形磁鐵；
- (3).觀察磁力線如何影響鐵粉。

2. 研究結果

實驗結果如圖 1.1，可看出鐵粉會沿著磁力線分布。



圖 1.1 磁鐵上方的磁力線排列

(二) 鐵粉在空氣中受兩側磁鐵的影響

磁鐵如果放在鐵粉的兩側，鐵粉如何受到磁力線的影響？

1. 研究過程

- (1).在內徑 14mm 之玻璃試管中放置鐵粉 0.3g；
- (2).玻璃試管外側放置上下 2 塊或四周 4 塊磁鐵，觀察磁力線如何影響鐵粉。

2. 研究結果

實驗結果如圖 1.2~1.3。圖 1.2 為上下兩側放置磁鐵，兩端磁極分別為 N 和 S 極，磁力線將由上側的磁鐵連接到下側的磁鐵，則可看出鐵粉在試管內沿著磁力線，連成上下一條線，鐵粉會佔掉試管內的空間。

圖 1.3 為外側放置 4 塊磁鐵，4 個端點分別為 N-S-N-S 極，這種磁力線分布的型式為 **quadrupole magnet magnetic field** (Wikipedia, 2008)，可以作出由圓心向外逐漸增強的磁力線，因此鐵粉沿著磁力線分布，形成外圈有鐵粉，而中間中空的鐵粉分布狀況。

但此種方法會讓圓心的磁場強度幾乎為零，無法阻擋水流，因此我設計了圖 1.4 的磁鐵

放置方法，4 個端點分別為 N-S-S-S 極。結果發現鐵粉佔了試管內部更大空間。這 3 種磁鐵放置方法形成的磁力線我畫在圖 1.5，可以看出 N-S-S-S 極的方式其磁力線可分布在試管內大部分區域。

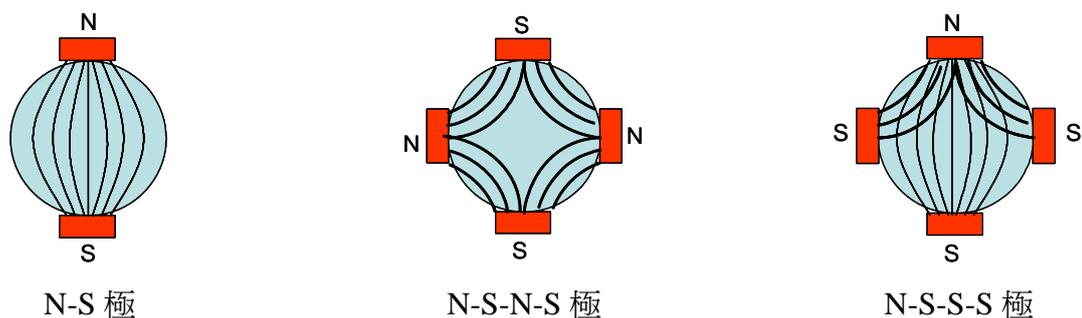
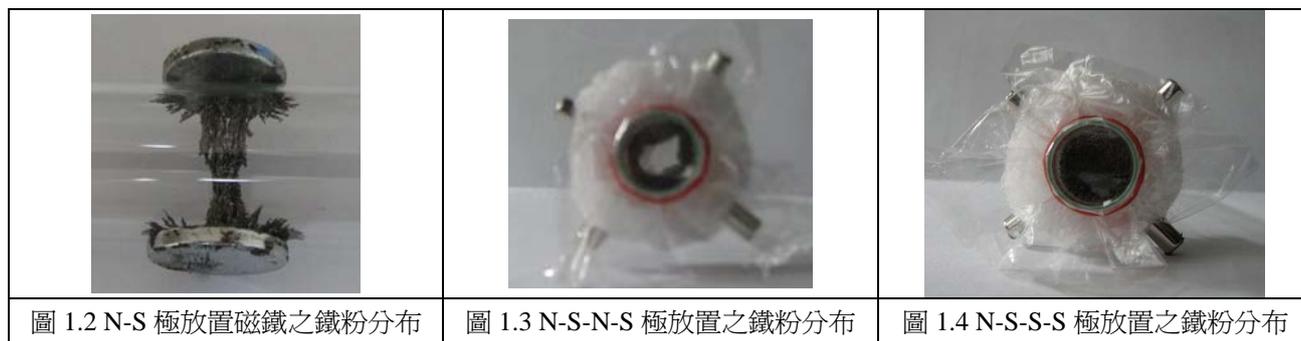


圖 1.5 各種磁鐵放置方法所形成的磁力線

(三) 鐵粉在水中受兩側磁鐵的影響

1. 研究過程

- (1).在內徑 14mm 之玻璃試管中裝水，並放入鐵粉 0.3g；
- (2).玻璃試管外側放置 2 塊、4 塊磁鐵，觀察磁力線如何影響鐵粉。

2. 研究結果

實驗的結果如圖 1.6，與圖 1.2 結果相同，因為磁力是超距力，在水中同樣形成磁力線，讓鐵粉仍然可以被磁場影響到。



圖 1.6 在水中兩磁鐵 N 極和 S 極也同樣形成磁力線，使鐵粉連接起來

研究一結論

1. 鐵粉在空氣或水中，都同樣會受到磁力影響，不會因為介質是空氣或水而有顯著的改變。

2. 但不同的介質是否會對磁力產生微小的變化，必須要有更深入的實驗才能證明。
3. 不同的磁鐵放置方式會影響磁力線的方向和形式，所以藉著不同磁鐵放置方式和磁力大小，就可以影響試管內鐵粉佔據的空間。

研究二、如何控制磁力，來控制水的流量

由研究一知道不同磁鐵放置方式和磁力大小，會影響試管內鐵粉佔據的空間，但如何影響水流量？在研究二中，要做下列兩項工作。

- (一) 實驗設備建立
- (二) 鐵粉量、磁力強度、磁鐵放置方式與水流量的關係

(一) 實驗設備建立

1. 研究過程

要建立一個在不同的磁場下，能測出鐵粉佔據試管內部空間的設備，要考慮的因素有：

- (1) 如何量測鐵粉佔據的空間？因為鐵粉在磁場中的排列形狀不規則，很難直接量測，所以我用鐵粉減少水的流量這個指標來間接量測。
- (2) 如何讓水管前端的壓力保持一定，讓流量固定？我想到兩種方法：
 - (a) 像針筒一樣，把重物放在活塞上，再推動水前進；
 - (b) 模仿公寓的水塔，在水管前端連接一個大水槽，因為水槽的體積大，水流入水管造成的水位下降很小，所以水的壓力就視為不變。

因為第二種方法較方便設計，而且容易控制變因，所以我採用第二種方法。我釘了一個木架，高 30cm，頂端放一個長 28 cm 寬 18cm 高 16cm，容量 8064cc 的水槽，下面接一個球形閥，再接 60cm 透明水管，連接第二個球形閥，再接第二段 10cm 透明水管，如圖 2.1。

2. 研究結果

完成了磁力水流量測量系統。初步測試後，確定它可以用來測試磁場作用下的水流量。

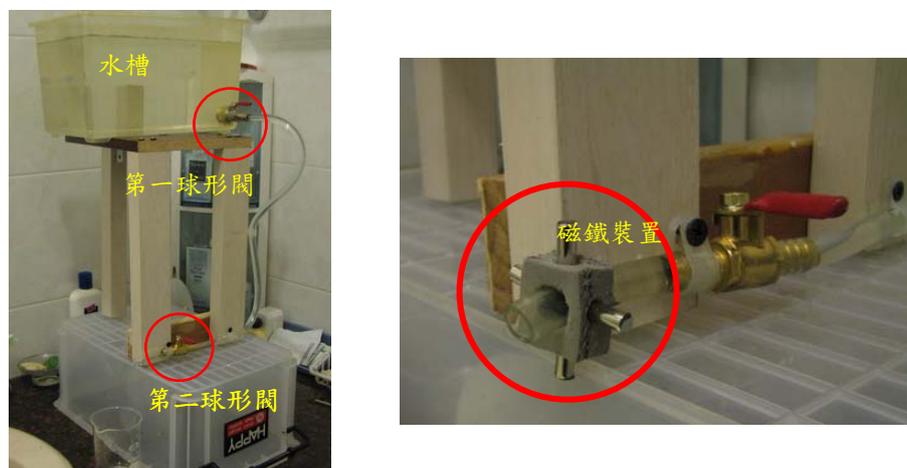


圖 2.1 水流量受磁場影響的測量系統

(二) 鐵粉量、磁力強度、磁鐵放置方式與水流量的關係

影響磁力控制水流量的變因有鐵粉量、磁力強度、磁鐵放置方式。

1. 研究過程

- (1) 先分別找出這三個變數的測試範圍，經過分析後，全部變數和變數的範圍如表 2.1。
- (2) 每次只改變一個變數，來分析對水流的影響，總共要做 $5 \times 2 \times 2 = 20$ 次實驗。但 N-S-N-S 方式因為空間不夠，不容易測試每側雙磁鐵的情況，因此只有 15 次實驗。
- (3) 實驗過程中第一個球形閥都維持全開。每次實驗時，再把第二個球形閥緩慢打開到全開，等待水流出 3 秒鐘後，再開始用量杯接住流出的水，共 10 秒鐘。

表 2.1 影響水流量的變因

	變因		
	鐵粉量	磁力強度	磁鐵放置方式
改變量	0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g	單磁鐵 雙磁鐵	上下排列 N-S 四周排列 N-S-N-S

2. 研究結果

開始實驗前，我經過幾次的小測試，先找出正確的測試方法。我找到幾個要注意的事：

- (1). 第一次實驗前，管內沒有水，如果把兩個球形閥打開，強大的水流會把鐵粉沖走一部分；所以第一次實驗前要先讓水管充滿水，再開始實驗。
- (2). 若只開第一個球形閥，因為水管內的空氣為一大氣壓，所以水槽的水無法流入水管。必須兩個球形閥都微開，緩慢的先讓第一段水管充滿水後，關閉球形閥，再開始實驗。
- (3). 每次實驗時，第二球形閥要慢慢的打開，才不會沖走鐵粉。
- (4). 水開始流出後，起先水流小，再突然變大，水流量也穩定下來；所以不可以閥打開後馬上測量水流量，約等 3 秒再開始量測。
- (5). 水的流量很難量測，所以我用 10 秒內流出來的水的總量來比較。

研究的結果如表 2.2 和圖 2.2，我的分析結果如下：

- (1). 磁鐵使用 N-S 方式時，鐵粉會呈柱狀；鐵粉量增加時，鐵粉柱就愈粗，佔掉水管內愈多空間，因此通過的水流量愈少。但到 0.4g 以後，水流量就沒有很大改變，代表鐵粉再增多時其阻擋水流的效果增加有限。
- (2). 磁鐵使用 N-S-N-S 時，鐵粉增多則水流量減少；但鐵粉 0.4g 時，水流量反而增加。推測是因為較多鐵粉聚集在圓心附近，使同極性磁力線互斥的力量增強，把磁力線都往圓周方向推，所以讓圓心附近的通道變大，因此通過的水流量反而增多。所以 0.3g 鐵粉有最少的水流量。

表 2.2 各種不同磁鐵放置方式之水流出量

		鐵粉重量 (g)				
水流量 cc/10sec		0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g
磁鐵位 置及數 量	上下，單磁鐵	440	360	290	215	200
	上下，雙磁鐵	410	350	250	160	145
	四周(N-S-N-S)，單磁鐵	425	210	92	120	200
	四周(N-S-S-S)，單磁鐵	---	---	---	---	50

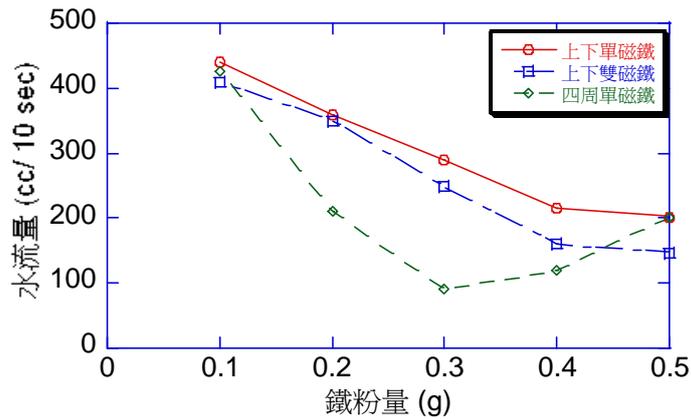


圖 2.2 各種不同磁鐵放置方式之水流出量

根據 N-S 方式的單磁鐵和雙磁鐵中 0.1g 到 0.4g 的實驗結果，可以整理出水流量、鐵粉量及磁鐵數的關係為：

$$y = -745 \cdot x - 32 \cdot (n - 1) + 512$$

其中 y 為 10 秒內的水流量(cc)， x 為鐵粉量(g，範圍 0.1~0.4g)， n 為磁鐵數($n = 1$ 或 2)。

3. 研究二結論

- (1). 磁鐵使用 N-S 方式時，水流量隨鐵粉量增加而減少，證明可以透過磁場來控制水流量。
- (2). 磁鐵使用 N-S 方式時，雙磁鐵都比單磁鐵有較小流量，證明可透過磁場強度控制水流量。
- (3). 磁鐵使用 N-S-N-S 方式時，圓心部分磁力很弱，而形成一個水流通道。當鐵粉少時，通道較寬，所以水流量大；鐵粉增多到 0.3g 時，通道變窄，因此水流量變小；但是鐵粉再增加時，反而因為同極性磁力線互斥，使通道變寬，因此水流量又變大。
- (4). 如果我改用 N-S-S-S 的磁鐵放置方式(如圖 1.5)，同時作 0.5g 的水流量測試。結果發現，水流量降到 50cc/sec，是 N-S 單磁鐵的 1/4，N-S 雙磁鐵的 1/3，效果非常好。
- (5). 有了整理出來的公式，就可以預測不同的鐵粉量及磁鐵數對水流量的影響。

研究三、如何讓鐵粉在液體中不沉澱不生鏽

研究二的實驗中，鐵粉會在水中生鏽，所以設計緩衝裝置時不適合使用鐵粉和水。因為其它金屬導磁性差，無法取代鐵粉，因此只能找其它液體來取代水。

我看到許多人保養鐵製工具(如老虎鉗、鑽頭、腳踏車)時，都會抹上油；由書裡也知道軍隊在封存軍事裝備時，也是塗上一層厚厚的油脂。因此推論鐵粉放在油中，可以防止生鏽。

另外鐵粉密度高，沒有磁場時會沉澱在底部，因此必須讓鐵粉儘量不沉澱。

1. 研究過程

- (1) 把鐵粉放在油中觀察，經過一星期後，鐵粉並不會生鏽，因此決定用油取代水。
- (2) 但是鐵粉在油中仍然會沉澱，該怎麼解決呢？因為鐵粉密度比油大很多，鐵粉容易和油分離(圖 3.1)。解決的方法是把鐵粉放在較濃的油脂中。但我發現油太濃時，液體的流動性非常差，幾乎沒有辦法流動。

2. 研究結果

對於鐵粉沉澱的問題，我的解決方法是先把鐵粉包在較濃的油脂中，再放進油中，因為油脂不容易和油分離，就可以解決沉澱的問題；因為鐵粉包在油脂中，就解決生鏽的問題(圖 3.2)。

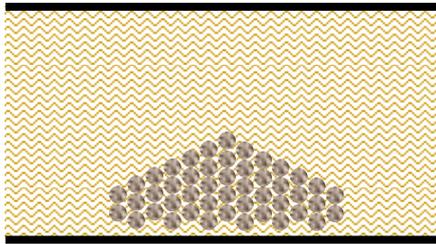


圖 3.1 鐵粉在油中會沉澱

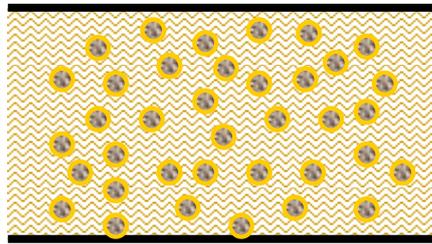


圖 3.2 鐵粉包在油脂中，可以在油中懸浮

3. 研究三結論

- (1). 鐵粉放在油中可以防止生鏽。
- (2). 鐵粉在油中仍然會沉澱，鐵粉放在較濃的油中便不容易沉澱。
- (3). 把鐵粉包在較濃的油脂中，再放進油中，就可以同時解決生鏽和沉澱的問題。

研究四、油和油脂的種類

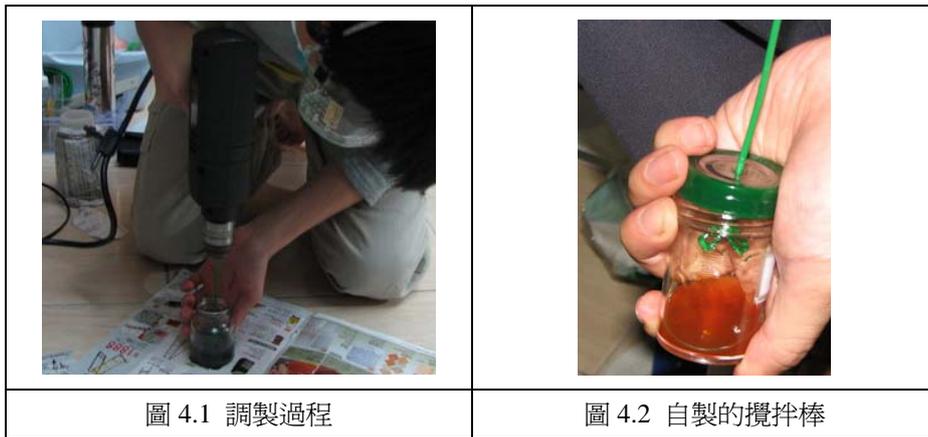
什麼樣的油和油脂流動性佳且不容易讓鐵粉沉澱呢？我使用花生油、橄欖油、麻油、針車油、WD-40 潤滑油，油脂則測試了奶油和鋰基牛油。

1. 研究過程

- (1) 因為油脂很濃，所以量要少，我使用鐵粉:油:油脂=30 : 11 : 1=16.00g : 7.35g : 0.65g;
- (2) 先把油和油脂均勻混合，再把鐵粉慢慢加入均勻混合 (圖 4.1)。
- (3) 我製作了一支攪拌棒裝在小電鑽上使用，增加攪拌效果(圖 4.2)。

2. 研究結果

- (1). 自製的攪拌棒有很好的均勻混合效果。
- (2). 各種鐵粉、油、和油脂混合成的鐵粉油液靜置 7 天後的觀察結果如圖 4.3。
- (3). 各種觀察實驗的結果描述在表 4.1，並在表 4.2 列出結果的比較。



靜置 7 天	花生油	橄欖油	麻油	針車油	WD-40 潤滑油
奶油	(效果不佳, 所以沒加鐵粉)	 Fig. 4.3.1	(效果不佳, 所以沒加鐵粉)	 Fig. 4.3.2	(效果不佳, 所以沒加鐵粉)
鋰基牛油	 Fig. 4.3.3	 Fig. 4.3.4	 Fig. 4.3.5	 Fig. 4.3.6	 Fig. 4.3.7

圖 4.3 各種鐵粉油液靜置 7 天後之結果

表 4.1 各種鐵粉油液的觀察結果

	花生油	橄欖油	麻油	針車油	WD-40 潤滑油
奶油	因已試過橄欖油和針車油，但都效果不佳，所以沒加鐵粉	奶油太稀，不易包覆鐵粉，所以易分離、沉澱(圖 4.3.1)。	同花生油	同橄欖油(圖 4.3.2)	同花生油
鋰基牛油	效果好，鐵粉不易分離、沉澱，用磁鐵吸附時變得無法流動(圖 4.3.3)	同花生油(圖 4.3.4)	同花生油(圖 4.3.5)	同花生油(圖 4.3.6)	雖有效果，但 WD-40 易揮發(圖 4.3.7)

表 4.2 各種鐵粉油液的觀察比較

不同的油和油脂 組合之比較		有機油			無機油	
		花生油	橄欖油	麻油	針車油	WD-40 潤滑油
奶油	包覆鐵粉	X	X	X	X	X
	鐵粉不易沉澱	X	X	X	X	X
	長期穩定性	X	X	X	O	X
鋰基牛油	包覆鐵粉	O	O	O	O	O
	鐵粉不易沉澱	O	O	O	O	O
	長期穩定性	X	X	X	O	X
O：好； V：普通； X：差						

3. 研究四結論

- (1) 奶油當油脂時，無法與油互溶，仍使鐵粉和油分離而沉澱。
- (2) 鋰基牛油當油脂時，可以和油互溶而使鐵粉懸浮在油中，讓鐵粉不會沉澱

研究五、磁力對不同鐵粉油液的流動性影響

1. 研究目的：

要作為緩衝裝置的鐵粉油液最好具有下列特性，才能用磁力來控制鐵粉油液的流動性，達到磁力的緩衝作用：

- (1) 沒有磁場時液體很稀，流動性要很好；
- (2) 加上磁場後，要變濃，流動性差；
- (3) 不容易變質；

2. 研究過程：

- (1) 我設計了一個測試台(如圖 5.1)，針筒內裝了不同的鐵粉油液，針筒前端放置兩個磁鐵；
- (2) 再不斷加上砝碼看何時力量夠克服磁場造成的阻力，讓鐵粉油液流出；
- (3) 以砝碼重量代表各種鐵粉油液的流動性。

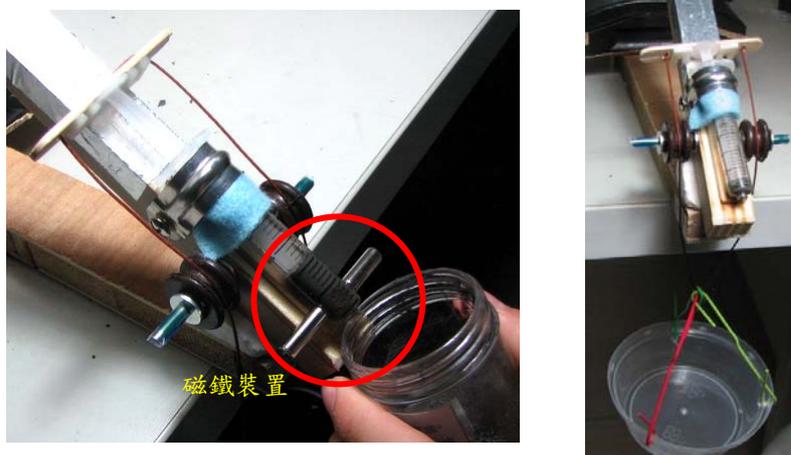


圖 5.1 測量各種鐵粉油液流動性的實驗裝置

3. 研究結果

- (1) 初步結果如圖 5.2、5.3，加入磁場後，鐵粉油液馬上變硬，證明可用磁力控制鐵粉油液的流動性。
- (2) 實驗的結果如表 5.1 和圖 5.4，並在表 5.2 列出結果的比較。



圖 5.2 鐵粉油液未加磁場



圖 5.3 加入磁場，鐵粉油液馬上變硬

表 5.1 各種鐵粉油液的流動性

	橄欖油+ 奶油 +鐵粉	針車油 +奶油 +鐵粉	花生油+ 鋰基牛油 +鐵粉	橄欖油+ 鋰基牛油 +鐵粉	麻油+ 鋰基牛油 +鐵粉	針車油+ 鋰基牛油 +鐵粉
所需砝碼重 (上下，單磁鐵)	鐵粉無法 懸浮	鐵粉無法 懸浮	90g	105g	100g	110g

**：鐵粉油液:1.5ml，載物台: 10g，基本重量: 11g

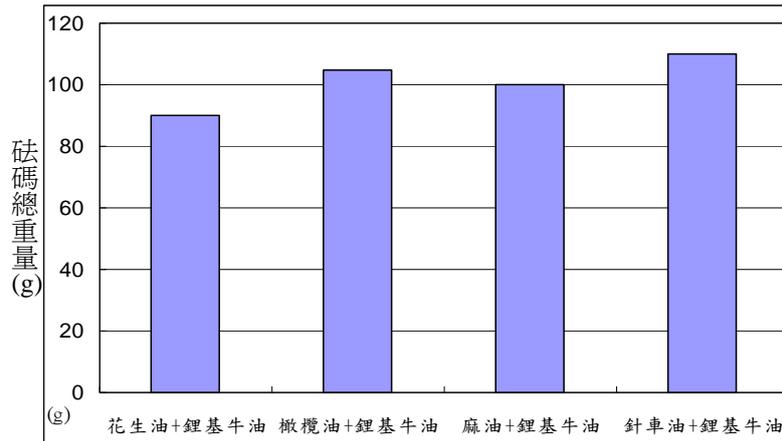


圖 5.4 不同鐵粉油液的流動性實驗

表 5.2 各種鐵粉油液的觀察比較

不同的油和油脂 組合之比較		有機油			無機油	
		花生油	橄欖油	麻油	針車油	WD-40 潤滑油
奶油	無磁力時高流動性	V	O	V	O	O
	有磁力時低流動性	X	V	X	V	V
	長期穩定性	X	X	X	O	X
鋰基牛油	無磁力時高流動性	V	O	V	O	O
	有磁力時低流動性	X	O	V	O	O
	長期穩定性	X	X	X	O	X

O : 好 ; V : 普通 ; X : 差

(3) 對上面四種鐵粉油液的流動性比較為：

未加磁場前流動性：針車油>橄欖油>花生油>麻油

加入磁場後流動性：針車油<橄欖油<麻油<花生油

3. 研究五結論

由表 5.2 可知，最好的鐵粉油液為針車油和橄欖油；但橄欖油為有機油容易變質，因此針車油最適合作為鐵粉油液的油。

