

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

團隊合作

030120

人造水龍捲-探討非磁鐵攪拌子運用於電磁攪拌
器穩定運轉之研究

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國三 洪子涵 國一 洪子順 國三 周聖詠	指導老師： 蔡名峯 陳炳彰
---	-----------------------------

關鍵詞：磁鐵、鐵磁性、非鐵磁性物質攪拌子

摘要

實驗課，使用攪拌器的攪拌子都是磁鐵，鐵磁性及非鐵磁性物質不能使用嗎？本組自製攪拌子，比較前兩者與磁鐵當攪拌子之優劣。研究過程中，非鐵磁性攪拌子由於磁吸力太小，無法運轉，故排除。唯有鐵磁性物質可行，在長度、直徑、重量與磁鐵攪拌子都相近下，觀察兩者在各條件的攪拌效果，顯示：攪拌時液面無漩渦則失速轉速與攪拌子到轉盤的間距呈線性關係。在相同條件下，磁鐵攪拌子的失速轉速永遠大於鐵磁性物質。磁性攪拌子的優點是可作業 75% 濃度之甘油，符合實驗室大部分所需條件且失速時不會懸浮、彈跳，相對安全，更具優勢的是內芯成本 1 顆不到 0.4 元，非常便宜。磁鐵攪拌子的優點是高濃度甘油(100%) 作業無可取代，使用功能佳，不易失速。

壹、研究動機

每當上理化實驗課，如果有兩種以上不同材質需做混合溶解時，除了用玻璃棒攪拌外，還有一種方法就是使用電磁攪拌機來攪拌，後者的效率極高，但攪拌子(磁鐵製)因體積小很容易丟失，所以老師會在學生使用前，耳提面命、再三叮嚀。然而丟失的情形還是層出不窮，著實傷腦筋。本組組員當時想，小小的一個被聚四氟乙烯材質包著的磁鐵，不見了再買就好，不用每次都大費周章地尋找。想當然爾，組員的認知與事實是不符的，磁鐵攪拌子從 80 到 130 元不等，特殊形狀的轉子甚至高達兩、三百塊錢一個。如果常常遺失，對學校而言也是一筆不容小覷的支出。被打臉的組員於是萌生是否有什麼東西可以替代如此昂貴的攪拌子呢？因此，本組展開替代磁鐵攪拌子尋寶之旅，在網路上找了許久都是有磁性的，眾里尋它千百度。驀然回首，那物卻在，你我周遭處。替代品就是——「含鐵合金」，「鐵磁性攪拌子」就此誕生。當然，鐵磁性攪拌子不是本組說能用就行，是需要一連串嚴格的驗證，才能斷定「它」是否可替代現有的磁鐵攪拌子。然而攪拌子是否能轉動主要因素為它是否可以被攪拌器轉軸上的磁鐵吸住，自然課本(三下 2-1 磁鐵與磁場)中有提到能被磁鐵吸引的金屬除了自己還有軟鐵；磁吸力的量測則可利用槓桿原理(三上 3-3 槓桿原理與靜力平衡、3-4 簡單機械)來取得數據；本組實驗治具則是利用自然課本(二下 7-2 加工處理)所學加工成型，使其實驗可以順利進行。

貳、研究目的

本組為了實現鐵磁性物質代替磁鐵，所以攪拌子的長度、直徑、重量以上三個數值都要相近於磁性攪拌子，來做比較才客觀。然而，含鐵合金的密度是高於磁鐵，若要三個控制變因相同，則需要手工製作，用長度與直徑較小的合金棒套入塑膠吸管中再用熱溶膠封口，盡可能使其長度、直徑、重量與磁鐵攪拌子相近。本組共製作 5 組鐵製攪拌子供作實驗分析比較。

一、利用槓桿原理測量攪拌子與攪拌器轉軸上磁鐵之磁吸力

(一)、探討磁吸力使用拉力計 or 定滑輪組之最佳選擇

(二)、探討攪拌子與攪拌器磁鐵間距大小，測量磁吸力

二、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速

(一)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子磁吸力大小 vs 失速時的轉速

(二)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在相同實驗下 vs 失速時的轉速關係

(三)、探討甘油濃度 vs 失速轉速關係

(四)、探討攪拌產生漩渦時與失速轉速之關係暨攪拌子長度與失速轉速之關係

三、探討攪拌子適用條件及使用範圍

四、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子製造成本

五、探討使用鐵磁性攪拌子與磁鐵攪拌子優缺點

參、研究設備及器材

一、實驗材料及設備

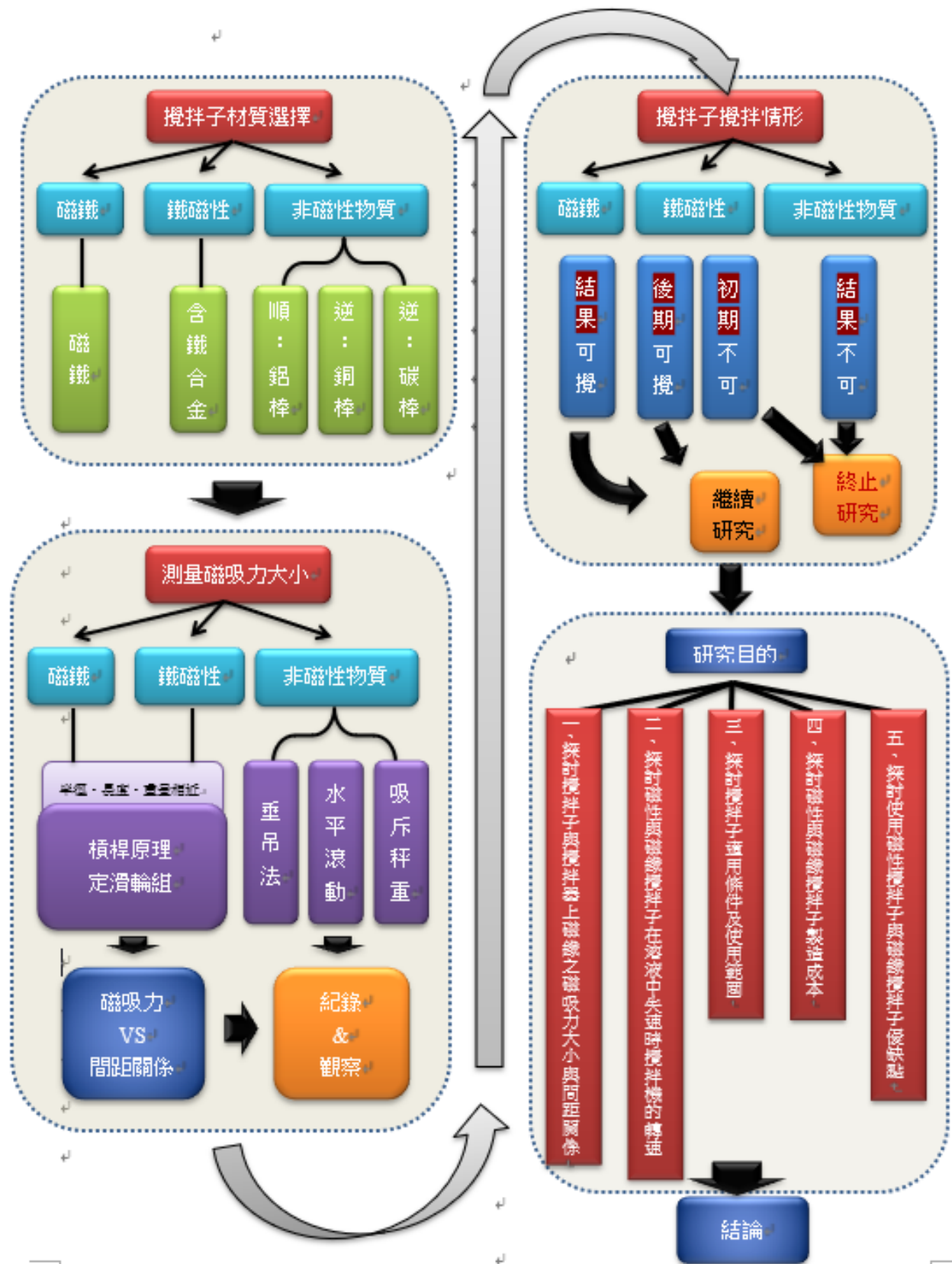


圖 1 實驗材料圖

- 本組實驗器材分為：
- 1.量測攪拌子失速時，攪拌器轉軸上磁鐵轉速。(圖 1-1~11、19、20)
 - 2.量測攪拌子與攪伴器轉軸上磁鐵不同間距的磁吸力。(圖 1-12~20)

肆、研究過程或方法

一、研究流程：



二、實驗器材製作：

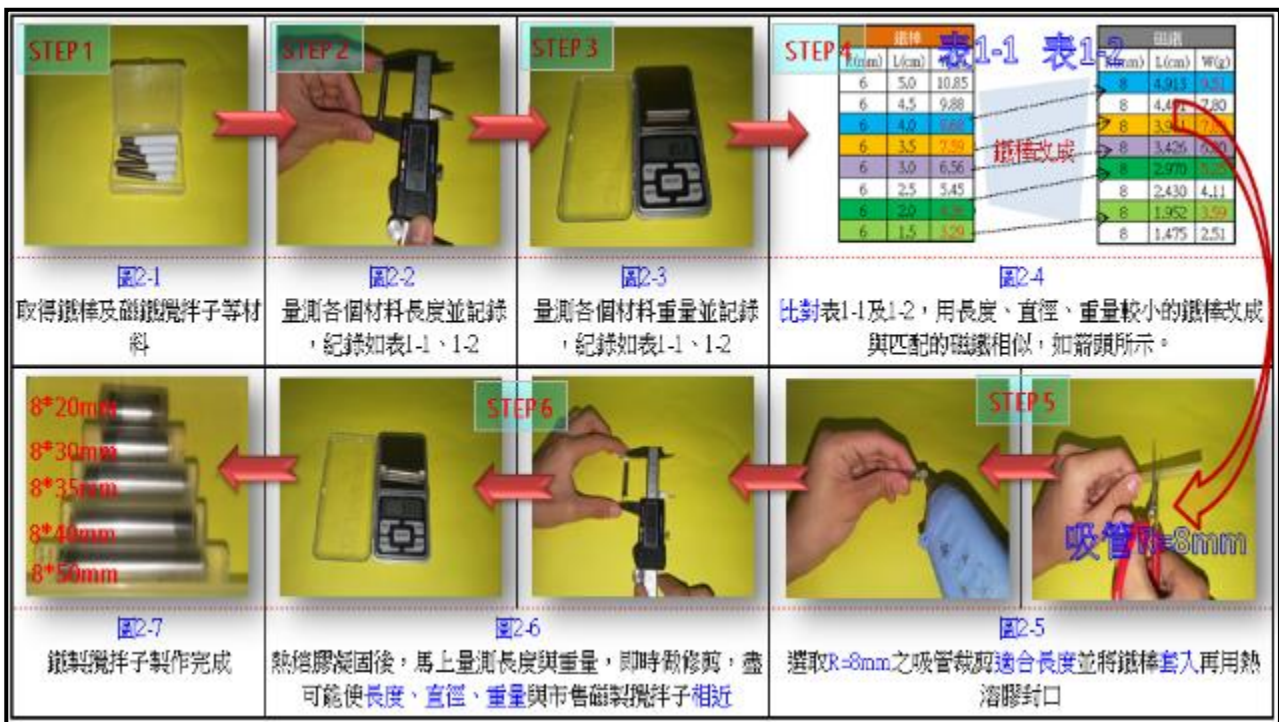
(一) 鐵磁性攪拌子製作：

1、目的：

鐵磁性攪拌子的長度、直徑、重量三個數值 \approx 磁鐵攪拌子，做比較才客觀。

2、測量步驟與製作手法：

如下圖 2，STEP1~3 為測量含鐵合金棒和磁鐵攪拌子的長度與重量之步驟，將測量結果紀錄(如下表 1-1&1-2)並分析比對找出可以匹配之材料(STEP4)，逐一加工到所需長度與重量(STEP5~6)。



R(mm)	L(cm)	W(g)
6	5.0	10.85
6	4.5	9.88
6	4.0	8.68
6	3.5	7.59
6	3.0	6.56
6	2.5	5.45
6	2.0	4.36
6	1.5	3.29

R(mm)	L(cm)	W(g)
8	4.913	9.51
8	4.491	7.80
8	3.961	7.89
8	3.426	6.80
8	2.970	5.25
8	2.430	4.11
8	1.952	3.59
8	1.475	2.51

3、合金棒加工後測量記錄並與磁鐵攪拌子比較：兩者數值長度與重量相差甚小

表 1-3 加工後合金棒量測數據與磁鐵攪拌子比較表

種類	套入吸管之鐵棒		磁鐵攪拌子		兩者差值	
	R(mm)	L(cm)	L(cm)	W(g)	L(cm)	W(g)
8	5.018	8.68	4.913	9.51	0.11	-0.83
8	3.998	7.59	3.961	7.89	0.04	-0.30
8	3.529	6.56	3.426	6.80	0.10	-0.24
8	3.098	4.36	2.970	5.25	0.13	-0.89
8	2.042	3.59	1.952	3.59	0.09	0.00

(二) 桿秤座及定滑輪座之改裝

1、目的：

圓磁鐵片會吸住原支撐桿，影響量測數據，故用木棍代替。(如下圖 4-1、4-2 所示)



圖 4-1 圓磁鐵會吸住支撐桿(定滑輪組)

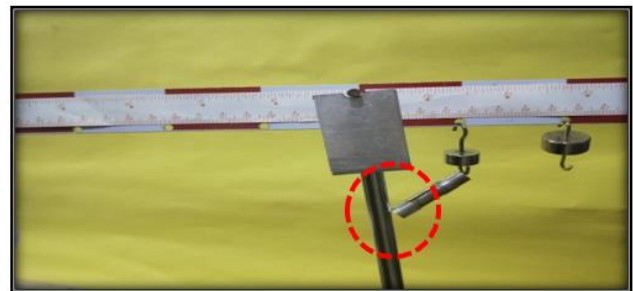


圖 4-2 圓磁鐵會吸住支撐桿(槓桿組)

(三) 磁鐵攪拌器之改裝

1、目的：

原攪拌器無顯示轉速功能，改裝以利測量。

						
圖5-1	圖5-2	圖5-3	圖5-4	圖5-5	圖5-6	圖5-7
平台製作：取得板材 (75.8*14.4*1.4cm)及角材 (24*4.4*1.8cm)	用尺量24cm，畫於長方形木板	畫於長方形木板兩條對角線，交叉點作圓心，畫R=7cm的圓	使用鋸鋸切割成圓孔	用鑽孔機鑽孔鎖上螺絲	將定用攪拌器拆解，四邊鎖上整列用鐵片	將木製平台置於拆解之攪拌器上，完成安裝

三、實驗步驟：

(一) 測量磁吸力步驟：(如下圖 6 所示)

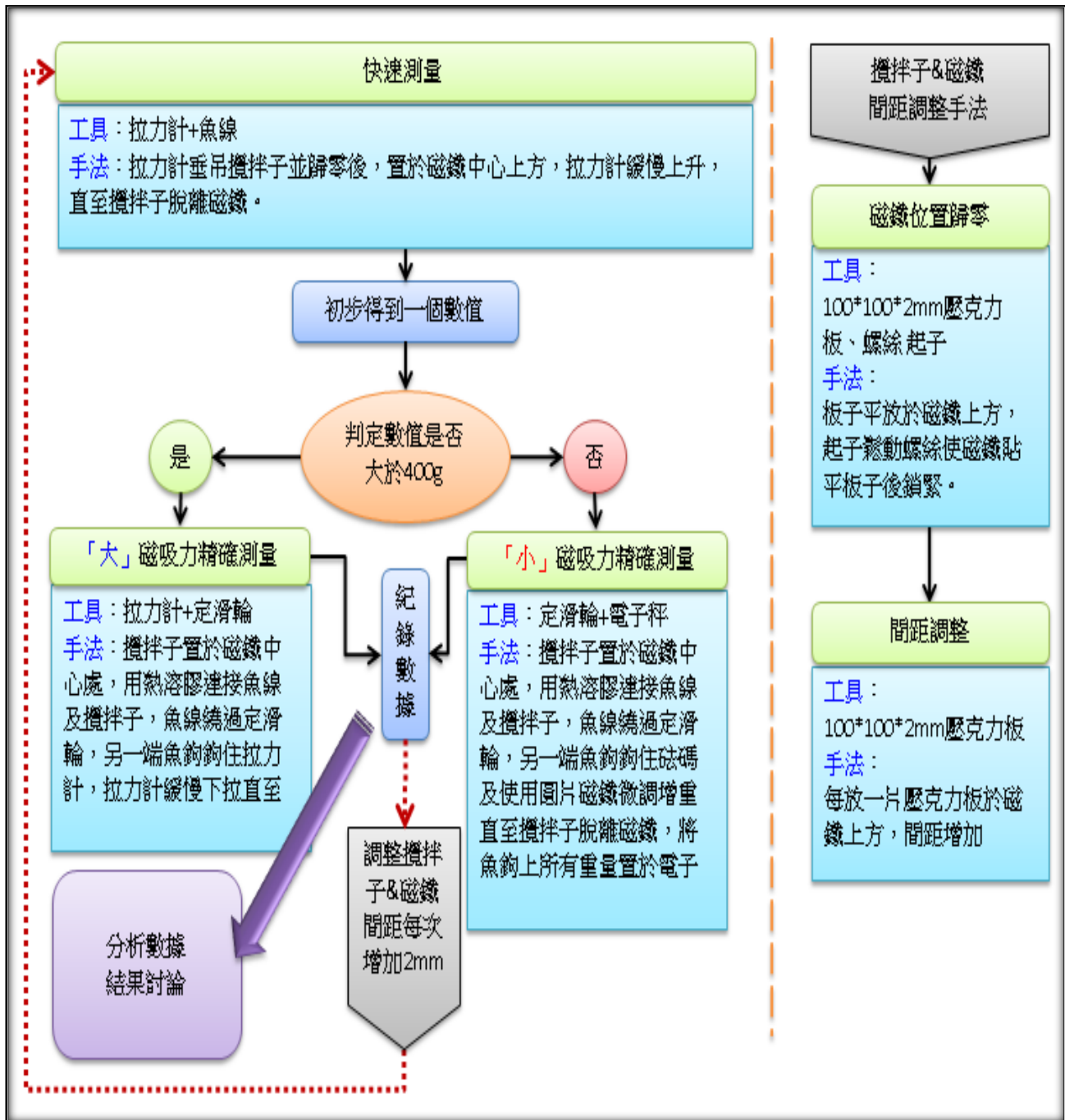


圖 6 測量磁吸力步驟流程圖

(二)測量攪拌器轉速前之前置作業流程：

1、攪拌子與磁鐵轉盤間距調校步驟：(如圖 7)

調整燒杯底部與磁鐵間距為 4mm {2.67+1.33=4}

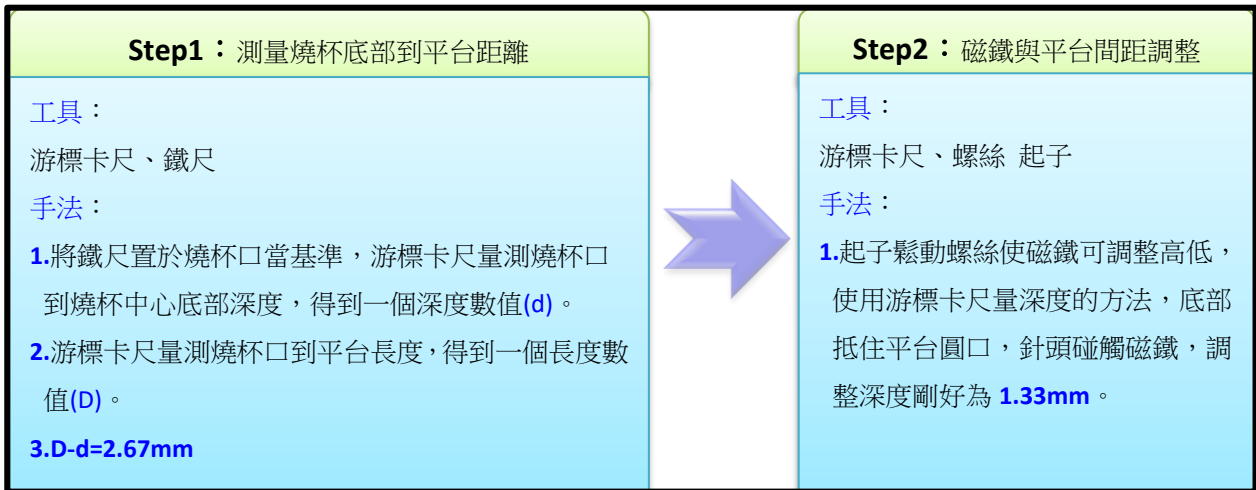


圖 7 攪拌子與磁鐵間距調校圖

2、轉速計安裝步驟：(如圖 8 所示)

調整轉速計位置使之紅雷射可以準確照到反光貼紙



圖 8 轉速計安裝流程圖



(三) 攪拌子失速時攪拌器磁鐵轉盤的轉速測量之研究流程：

1、操作變因參數示意圖：(如圖 9 所示)

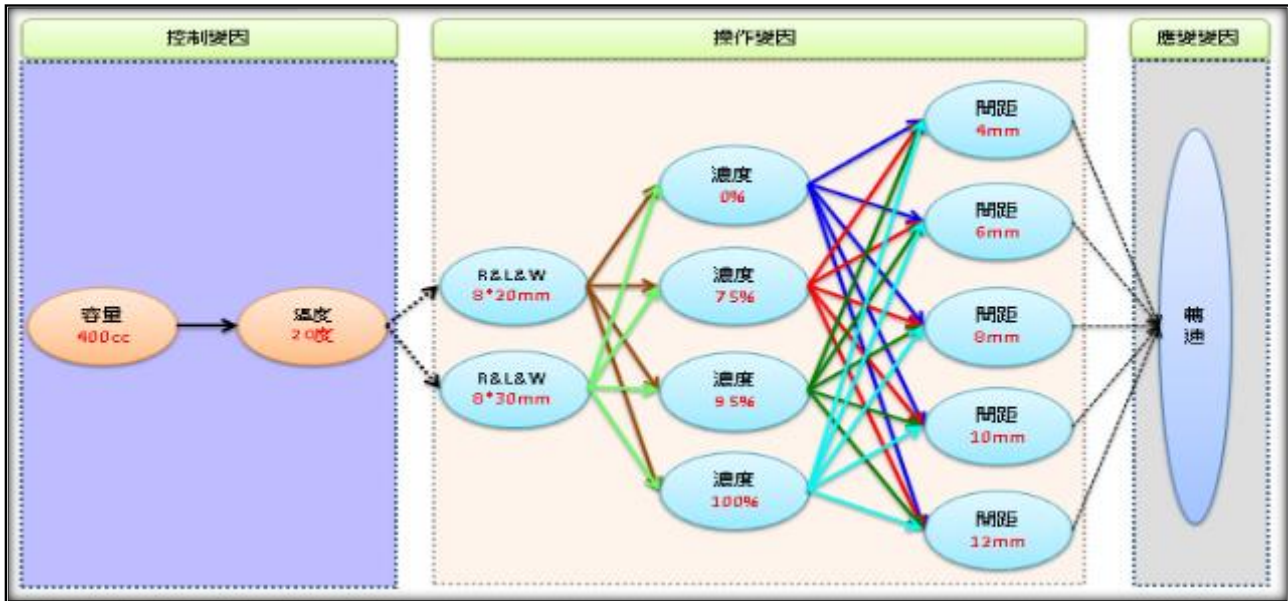


圖 9 操作變因參數示意圖

2、測量攪拌器磁鐵轉盤之實驗儀器操作步驟：(如圖 10 所示)

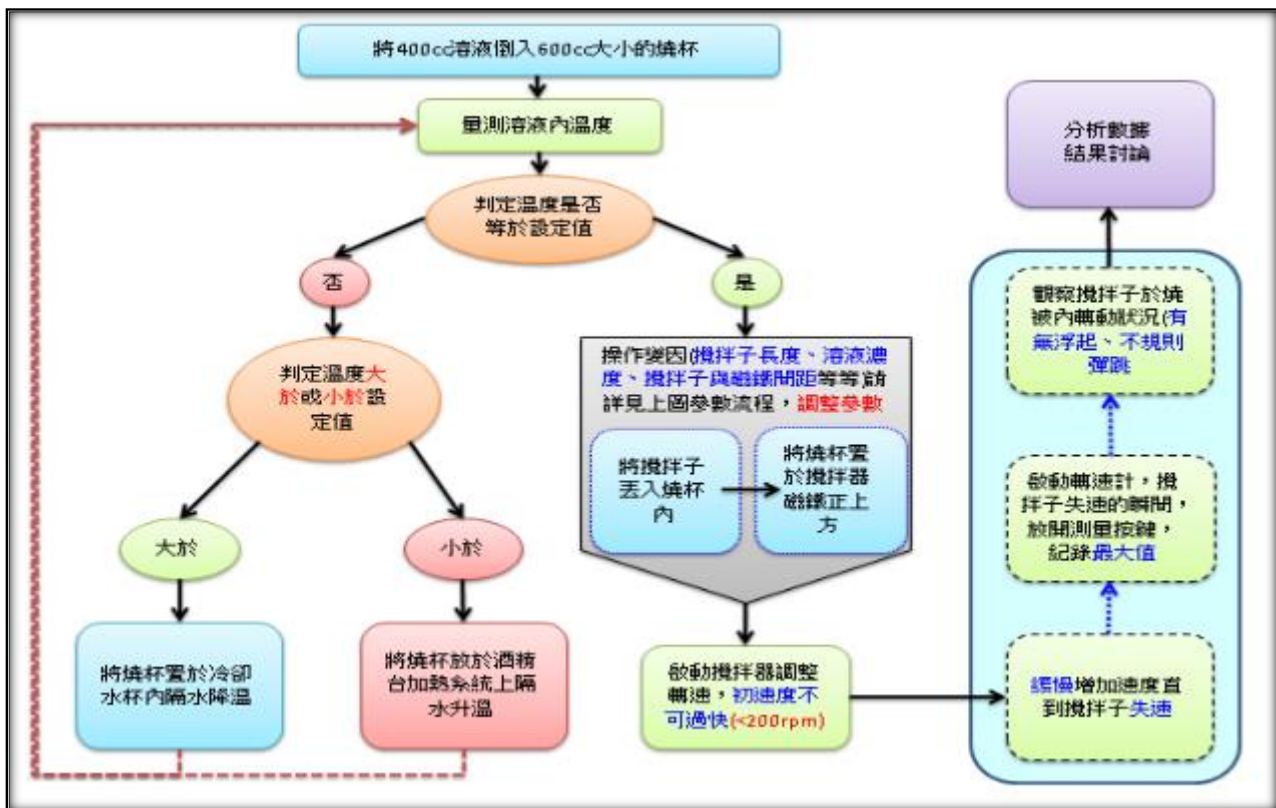


圖 10 實驗儀器操作步驟圖

四、原理說明：

(一) 定滑輪

中心軸位置固定不移動的滑輪，稱為定滑輪。如果將滑輪沿直徑(2r)想像撐一個支點在中間的槓桿當施力 F 產生的力矩和物重(抗力 W)產生的力矩達到平衡時，可得下列結果(圖 11)

$$F \cdot r = W \cdot r, \text{即 } F = W$$

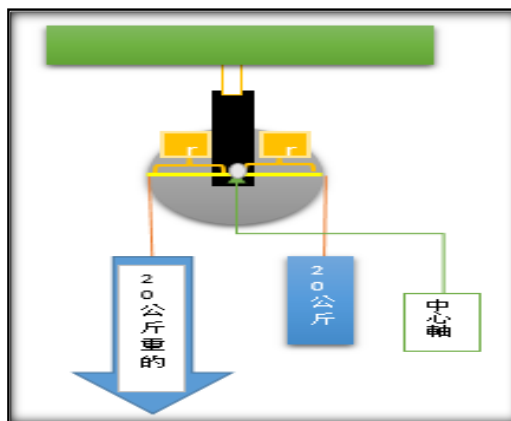


圖 11 定滑輪原理解說圖

(二) 槓桿原理

如圖 12，當槓桿達平衡時，施力產生的力矩為施力*施力臂，抗力產生的力矩為抗力*抗力臂，兩者剛好相等，即**施力*施力臂=抗力*抗力臂**，稱為**槓桿原理**。

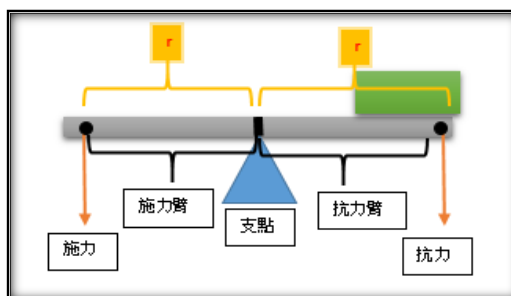


圖 12 槓桿原理解說圖

(三) 磁化

磁鐵接觸鐵釘時，接觸磁鐵的一端會感應生成相反的磁極(異名極)；而在另一端生成相同的磁極(同名極)，此時鐵釘被磁鐵磁化而帶有磁性。

因此利用磁鐵可以吸起一長串的铁釘，被磁鐵吸引住而磁化的鐵釘就像小磁鐵一樣，彼此互相吸引。如果以兩指捏住最上端的鐵釘，然後移開磁鐵，此時鐵釘暫時具有磁性，稍後鐵釘的磁性減弱其他的鐵釘會受重力作用而掉落。向鐵釘這樣的物質，當磁鐵移除後變無法長期具有磁性，稱為**暫時磁鐵**；而有些物質如鋼釘，被磁化後仍可長期保有磁性，稱為**永久磁鐵**。

五、研究方法

(一)、利用槓桿原理測量攪拌子與攪拌器磁鐵之磁吸力

1、探討磁吸力使用拉力計 or 定滑輪組 or 槓桿組之最佳選擇

(1) 使用拉力計組量測手法：



(1-1) 使用拉力計組優缺點：

優點：測量效率高、可測量大拉力

缺點：測量精度單位太大(0.01kg)，小拉力(<10g)無法測量。

(2) 使用定滑輪組量測手法：



(2-1) 使用定滑輪組優缺點：

優點：測量效率適中、適合測量低拉力、精度適中。

缺點：無法測量大拉力(>200g)，因為 20g 砝碼要掛 10 個以上，且不好掛。

(3) 最佳選擇：

大拉力使用：拉力計組(測量快，最小單位 10g，在大拉力值下，可以忽略)。

小拉力使用：定滑輪組(測量效率適中，可量小拉力，又不失其精準)。

2、探討攪拌子與攪拌器磁鐵間距大小，測量磁吸力測量數據如下表：

表 2 攪拌子與攪拌器磁鐵轉盤在不同間距下測量磁吸力數據紀錄表

攪拌子 長度	鐵 2.0cm	磁 2.0cm	鐵 3.0cm	磁 3.0cm	鐵 3.5cm	磁 3.5cm	鐵 4.0cm	磁 4.0cm	鐵 5.0cm	磁 5.0cm
間距 (mm)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)	磁吸力 (gw)
0	62.12	120.14	214.88	87.96	482.85	144	601.62	126.35	780.40	152.4
2	20.69	71.42	47.03	54.4	102.74	96.11	152.79	103.3	212.09	107.35
4	16.65	52.48	28.70	41.55	61.86	77.41	92.47	81.66	119.66	88.16
6	13.46	43.44	20.62	36.24	43.20	65.37	56.52	67.96	82.95	74.05
8	9.76	37.23	15.24	31.07	30.72	55.69	42.40	60.05	58.71	62.05
10	5.31	33.82	10.37	27.03	22.68	47.67	28.73	52.47	44.45	51.95
12	4.27	27.01	8.45	23.8	15.94	40.73	20.69	44.02	30.43	43.97
14	4.03	24.62	6.84	21.85	13.57	34.68	15.73	36.7	20.56	36.91
16	3.23	20.36	4.35	18.93	10.17	30.36	11.68	30.22	14.52	31.33
18	2.71	16.88	3.82	15.31	6.92	25.67	9.20	25.27	10.30	25.44
20	2.51	14.54	3.04	13.48	4.33	20.72	7.22	21.46	8.70	20.59

以下關係圖由上表數據產生。

(1) 鐵磁性攪拌子和磁鐵轉盤之間距與磁吸力關係：

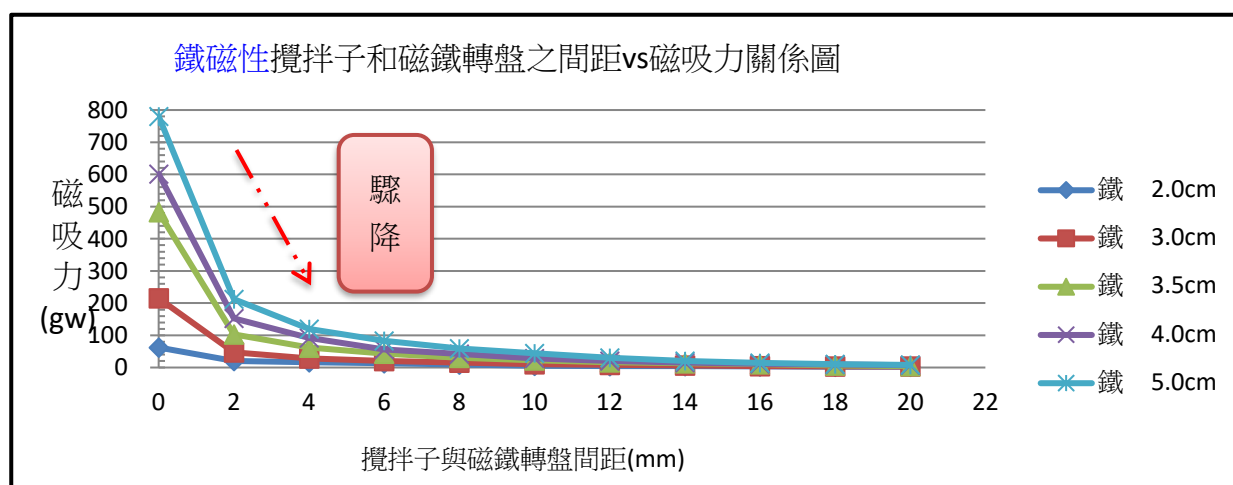


圖 16 鐵磁性攪拌子與磁鐵轉盤----間距 vs 磁吸力關係圖

由上圖可知隨著攪拌子越長&間距越小其磁吸力越強，間距越小彼此差值越大。

(2) 磁鐵攪拌子和磁鐵轉盤之間距與磁吸力關係

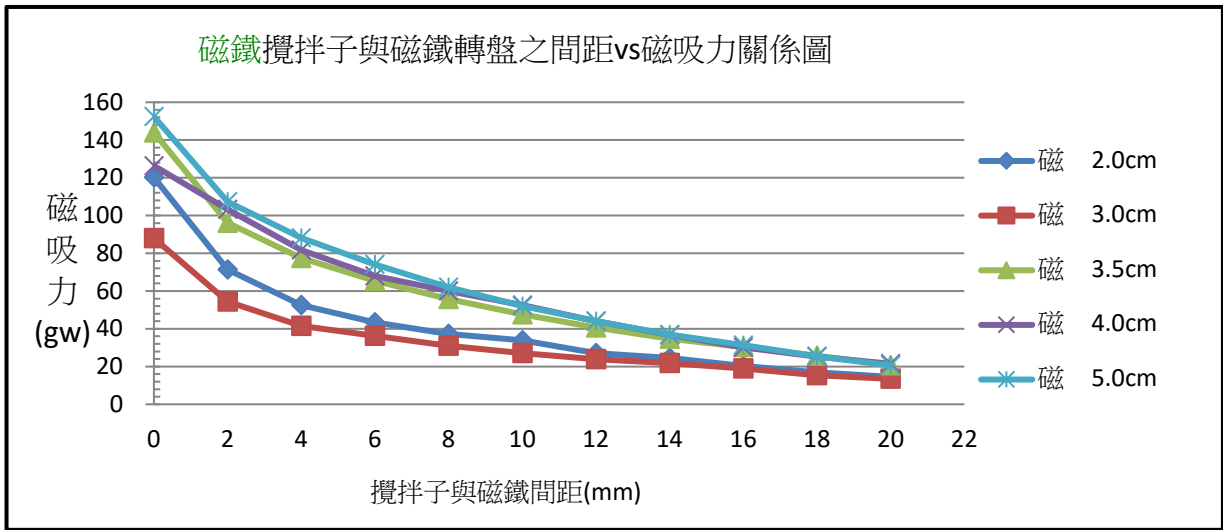


圖 17 磁鐵攪拌子與磁鐵轉盤----間距 vs 磁吸力關係圖

由上圖可知大部分的攪拌子越長&間距越小有磁吸力越強之趨勢，但 3cm 的攪拌子磁吸力卻比 2cm 還要低，組員可能買到品質不佳之產品；4cm 的攪拌子在間距為 0 時，磁吸力比 3.5cm 還要低，組員當時未發現異常，故沒有及時重測，此點須找時間再測，以釐清真相。

(3) 鐵磁性和磁鐵攪拌子---間距 vs 磁吸力之關係比較

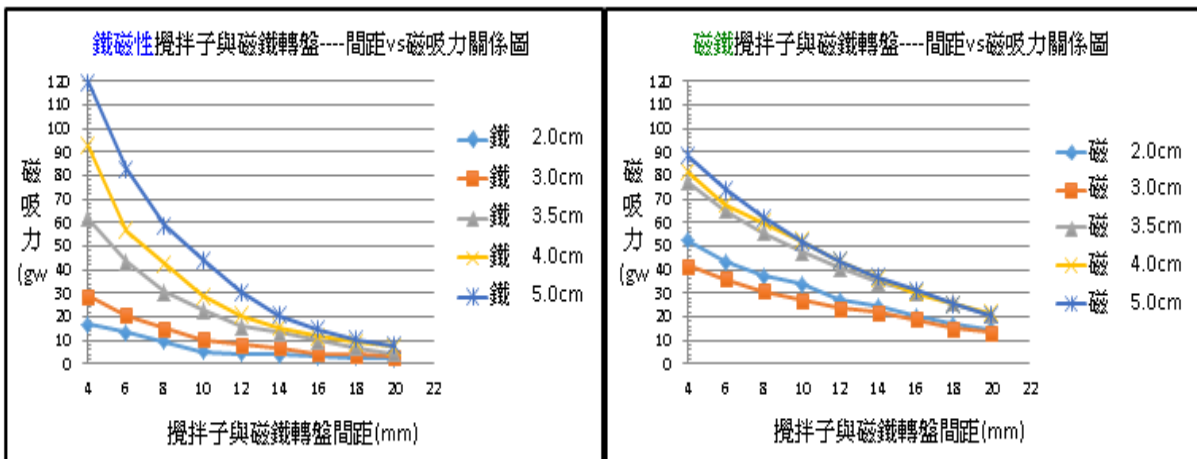


圖 18 鐵磁性和磁鐵攪拌子與磁鐵轉盤之---間距 vs 磁吸力之關係比較圖

實際上攪拌子是放在燒杯內然後置於攪拌器上轉動，其最小間距為 4mm(燒杯壁厚+攪拌器內的磁鐵與燒杯外底距離)。由上圖 18-1 可知鐵磁性攪拌子之磁吸力下降曲線較陡峭；磁鐵攪拌子磁吸力下降曲線較平緩(如圖 18-2)。當間距來到 20mm 時，所有鐵磁性攪拌子的磁吸力都小於 10gw，磁鐵攪拌子磁吸力則還有 10~20gw。

(4) 相同長度&直徑&重量之磁性與磁鐵攪拌子之---相同間距下磁吸力之關係比較

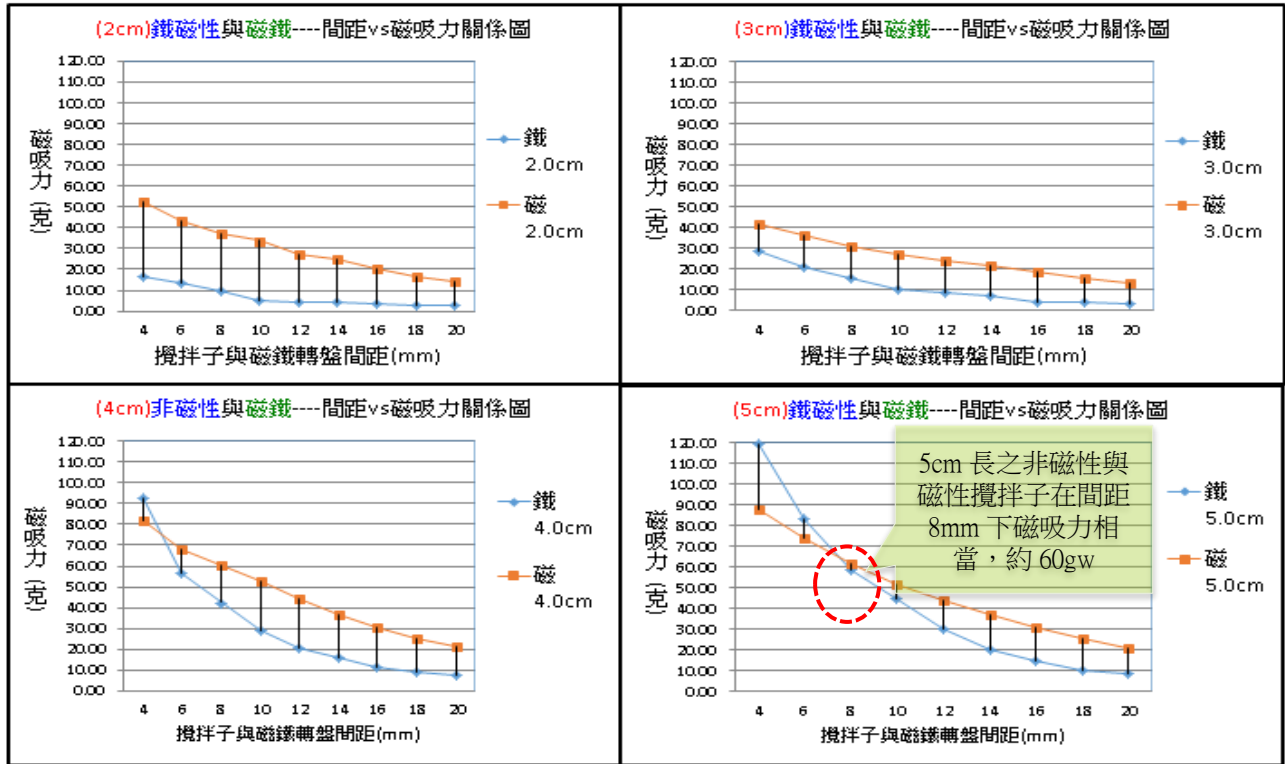


圖 19 相同長度&直徑&重量之磁性與磁鐵攪拌子---間距 vs 磁吸力之關係比較圖

由上四張圖，可知 2cm&3cm 鐵磁性攪拌子在燒杯溶液實驗操作下，磁吸力都無法大於磁鐵攪拌子。4cm&5cm 鐵磁性攪拌子則有機會超越，其中 5cm 鐵磁性攪拌子在間距 8mm 下磁吸力與磁鐵攪拌子相當。【可以用來比較所有製程參數都相同下(包含磁吸力及間距)，磁性與磁鐵攪拌子失速轉速關係】

(二)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速

測量數據如下表：以下關係圖有此表產出

表 3 鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速數據表

材質	攪拌子長度	2cm	2cm	2cm	2cm	3cm	3cm	3cm	3cm
	甘油濃度	0%	75%	95%	100%	0%	75%	95%	100%
鐵磁性攪拌子	間距04	2932	1075	242	0	2746	725	283	0
	間距06	2770	894	0	0	2056	609	0	0
	間距08	2654	766	0	0	1636	463	0	0
	間距10	2158	537	0	0	1458	363	0	0
	間距12	991	477	0	0	1143	310	0	0
磁鐵攪拌子	間距04	3356	3288	3194	2614	3329	3187	1208	807
	間距06	3359	3288	3194	2404	3332	3166	1096	705
	間距08	3352	3286	3021	2207	3335	2663	1031	647
	間距10	3356	3288	2804	1994	3333	2454	931	514
	間距12	3354	3287	2555	1770	3325	2259	806	428

1、 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子磁吸力大小 vs 失速時的轉速

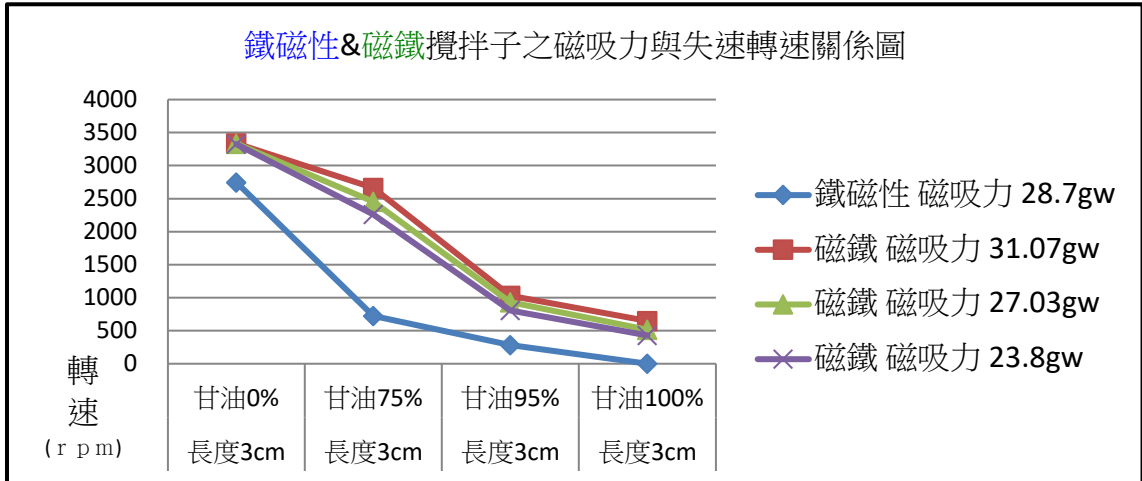


圖 20 相同長度&直徑&重量之鐵磁性與磁鐵攪拌子---磁吸力 vs 失速轉速之關係圖

由上圖，可知鐵磁性磁吸力就算大於磁鐵，其失速轉速(最下面一條曲線)依舊無法超越磁鐵(上面三條曲線)。因此，含鐵合金棒被磁化的磁力無法與磁鐵間互相吸引力相提並論。

2、 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在相同實驗條件下 vs 失速時的轉速

(1)探討 2cm 長攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係

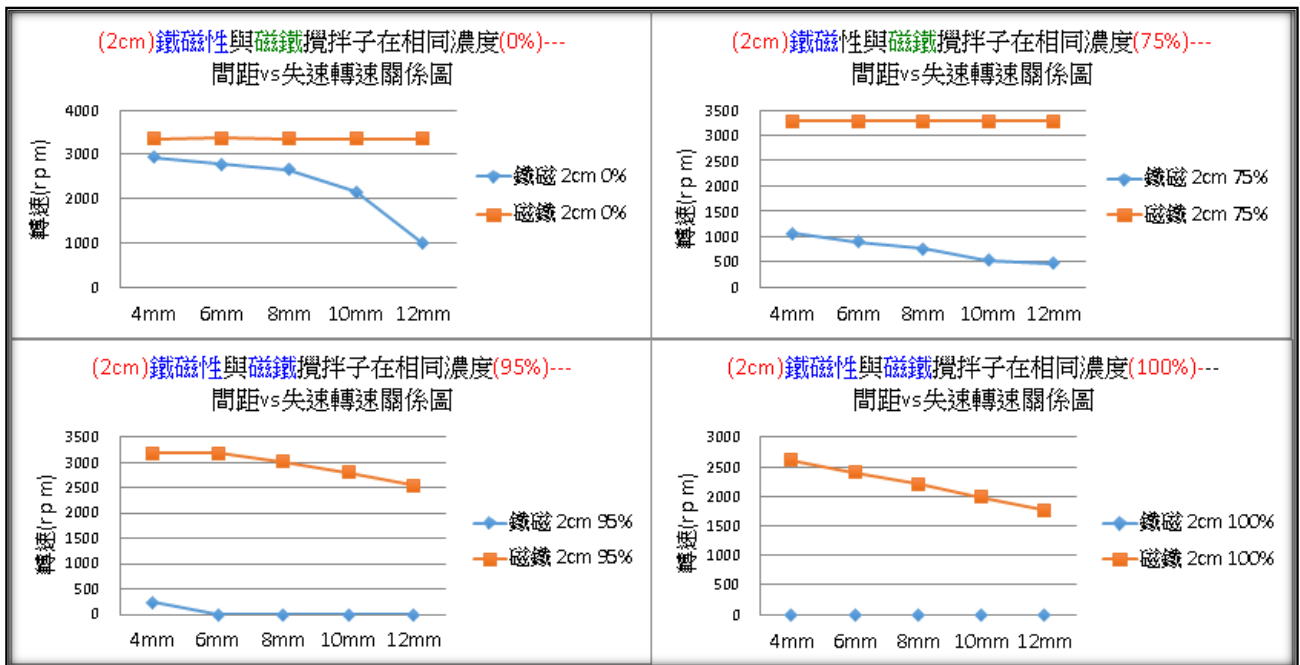


圖 21 2cm 長非磁性與磁性攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係圖

由上圖可知，在相同實驗條件下 2cm 長磁鐵攪拌子失速轉速全都大於鐵磁性攪拌子。

(2) 探討 3cm 長攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係

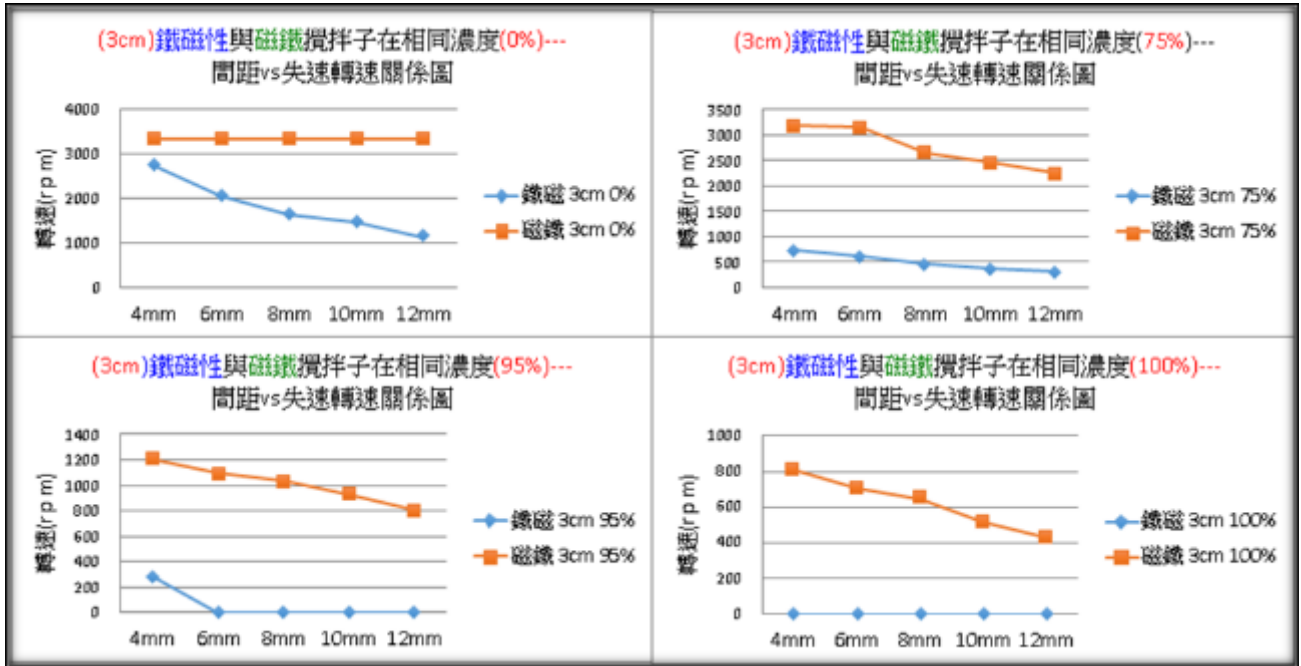


圖 22 3cm 長鐵磁性與磁鐵攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係圖

由上圖可知，在相同實驗條件下 3cm 長磁鐵攪拌子失速轉速全都大於鐵磁性攪拌子。

3、探討濃度 vs 失速轉速關係

(1) 鐵磁性攪拌子分析

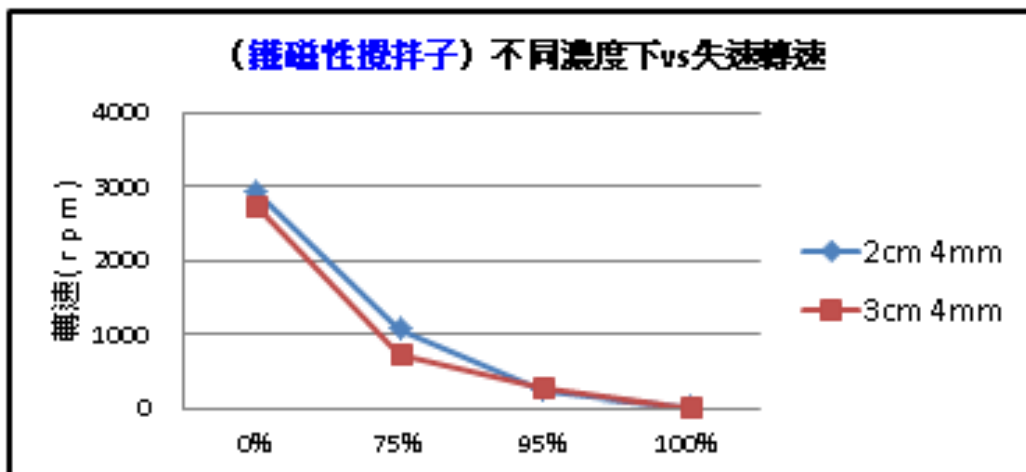


圖 23 (鐵磁性攪拌子)不同濃度 vs 失速轉速關係圖

由上圖，可知鐵磁性攪拌子隨著濃度增加，失速轉速越低。另外，2cm 和 3cm 攪拌子其失速轉速在各濃度中較集中，表示鐵磁性攪拌子長度影響失速轉速較小

(2) 磁鐵攪拌子分析

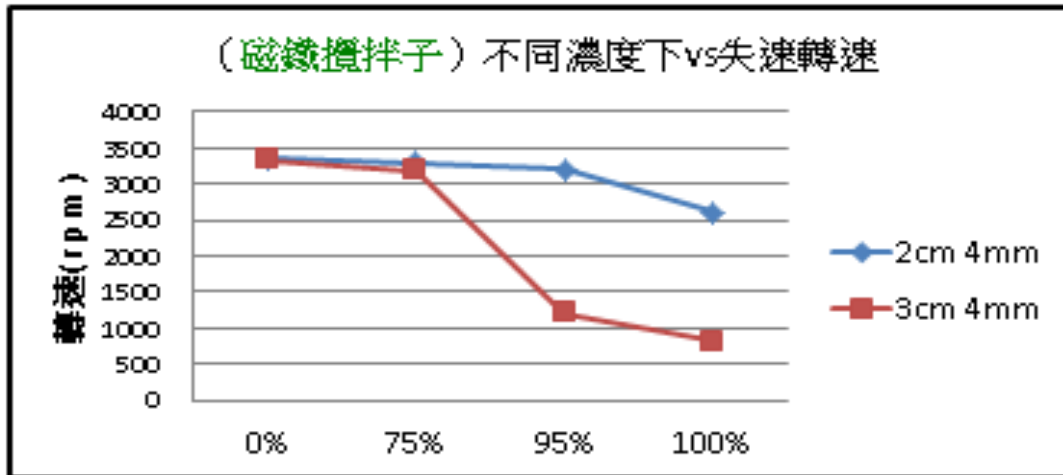


圖 24 (磁鐵攪拌子)不同濃度 vs 失速轉速關係圖

由上圖，可知磁鐵攪拌子隨著濃度增加，失速轉速越低。另外，2cm 和 3cm 攪拌子其失速轉速在濃度 95%以上差異變化極大，表示磁鐵攪拌子長度影響失速轉速較大。

4、探討攪拌產生漩渦時與失速轉速之關係暨攪拌子長度與失速轉速之關係

(1) 鐵磁性攪拌子是否產生漩渦狀況一(0%)

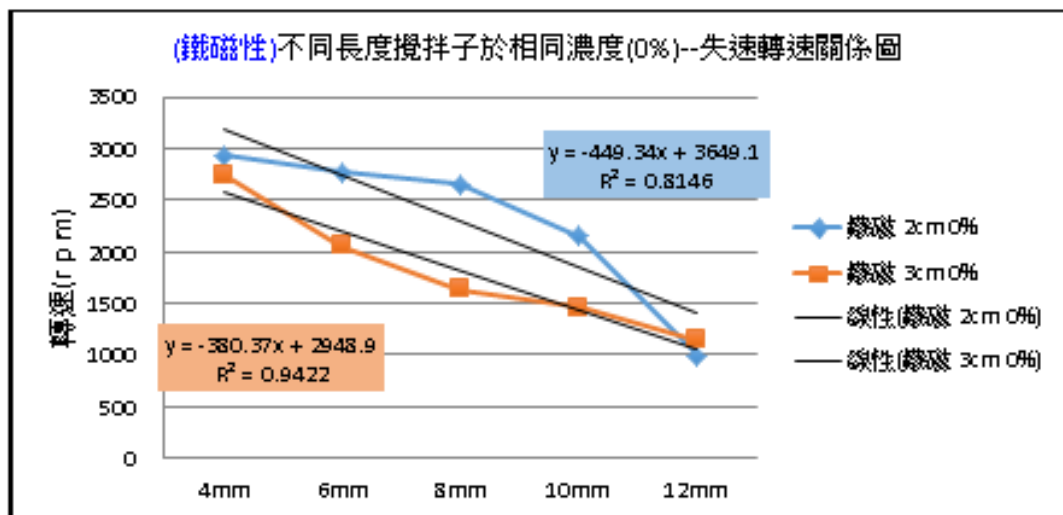


圖 25 (鐵磁性)不同長度攪拌子於相同濃度(0%)--失速轉速關係圖

由上圖，2 cm 0%及 3cm 0%這兩條曲線隨著間距改變，變化差異大。觀察發現主要因為攪拌子攪拌時產生了大漩渦且水花四濺，進而影響其失速轉速的穩定性。(R²<0.98)

(2) 鐵磁性攪拌子是否產生漩渦狀況二(75%)

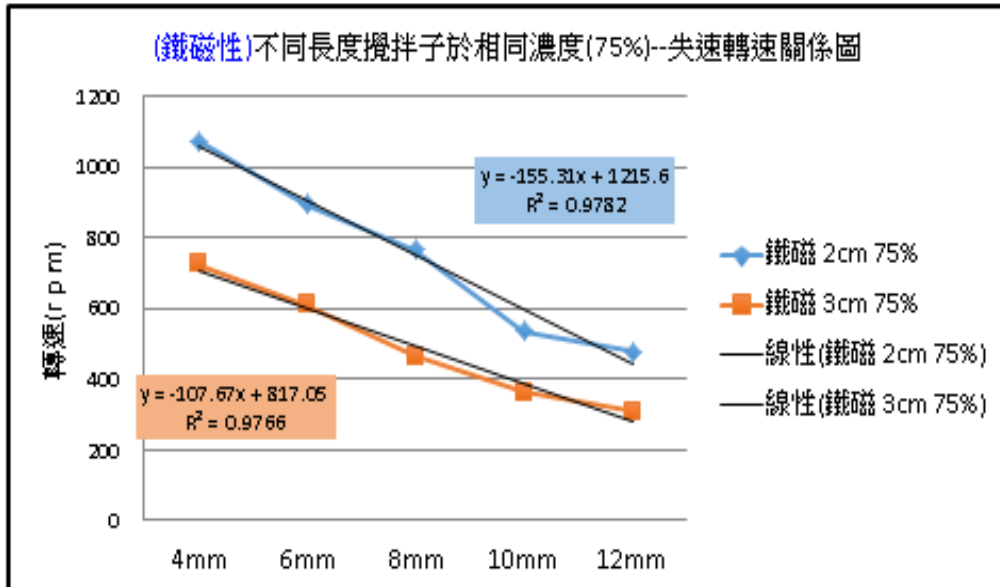


圖 26 (鐵磁性)不同長度攪拌子於相同濃度(75%)--失速轉速關係圖

由上圖，2cm 75%及 3cm 75%這兩條曲線隨著間距改變波動雖然較小，但是液面上還是有小漩渦產生，導致無線性趨勢。(R²<0.98)

(3) 磁鐵攪拌子是否產生漩渦狀況一(75%)

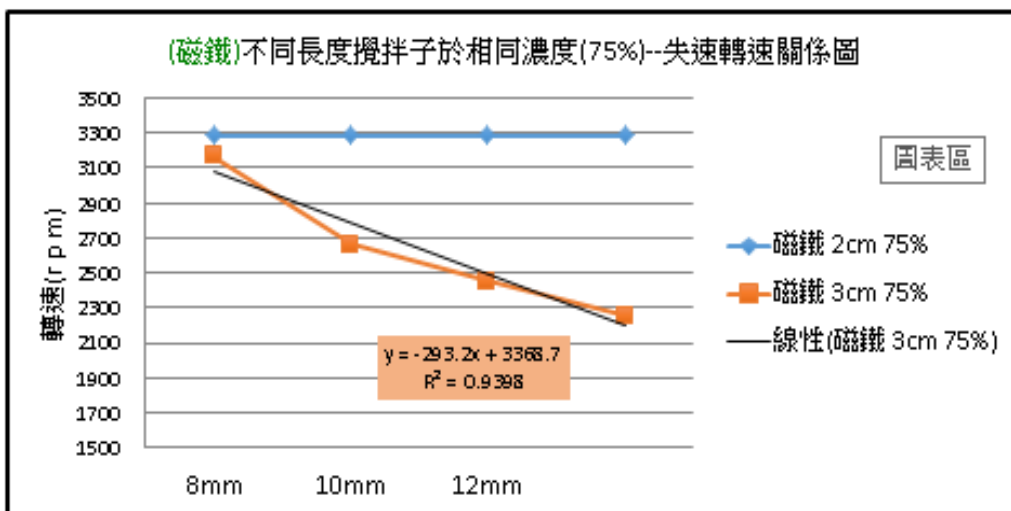


圖 27 (磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(75%)--失速轉速關係圖

由上圖，3cm 75%，此條件操作下有漩渦產生還有水花微噴，故波動大 (R²<0.98)。2 cm 75%，此條件操作下已達機台極限仍未失速。

(4) 磁鐵攪拌子是否產生漩渦狀況二(95%)

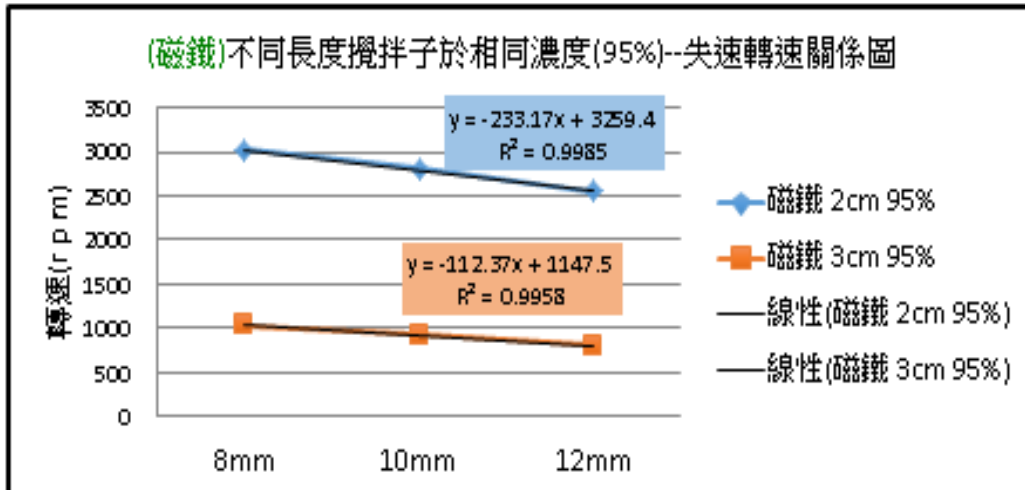


圖 28 (磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(95%)--失速轉速關係圖

由上圖，2cm 95% & 3 cm 95%這兩個條件下，其液面無任何波紋，故隨著間距增加，曲線呈現線性趨勢 ($R^2 > 0.98$)。2 cm 75%，此條件操作下已達機台極限仍未失速。

(5) 磁性攪拌子是否產生漩渦狀況三(100%)

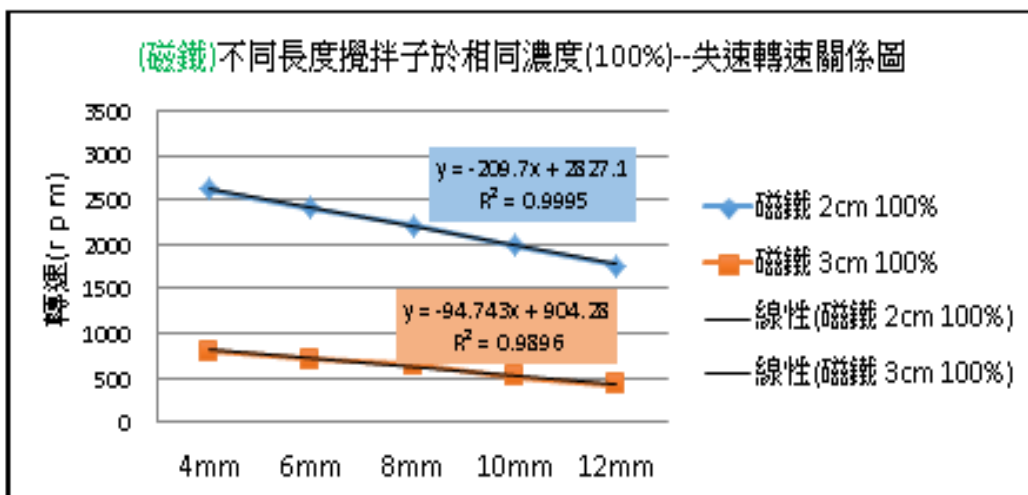


圖 29 (磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(100%)--失速轉速關係圖

由上圖，2cm 100% & 3 cm 100%這兩個條件下，其液面無任何波紋，故隨著間距增加，曲線呈現線性趨勢 ($R^2 > 0.98$)。2 cm 75%，此條件操作下已達機台極限仍未失速。

根據以上這些關係圖，可以明顯發現攪拌子越長，失速轉速值越低，越容易失速。

(三)、探討攪拌子適用條件及使用範圍

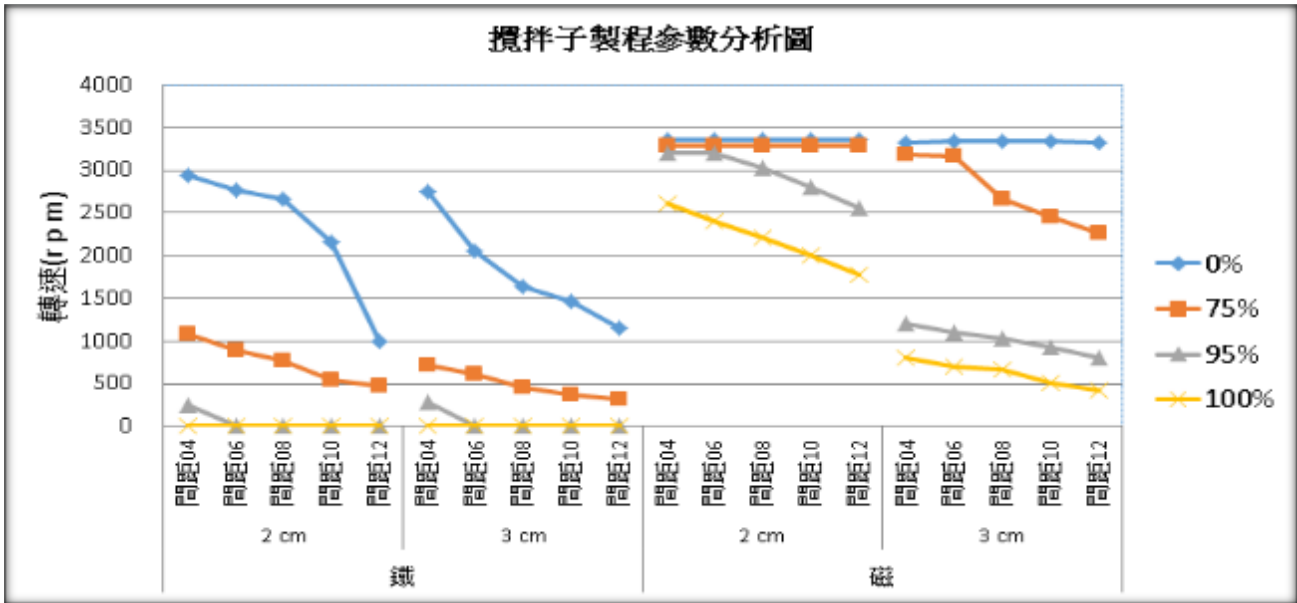


圖 30 攪拌子製程參數分析圖

由上圖，攪拌器轉速達 400rpm 則可以穩定攪拌。3360rpm 以上為機台作業極限，轉速在兩者之間即可 work。可以透過此圖，來判斷攪拌子是否適用。

2cm 和 3cm 長的鐵磁性攪拌子，可使用於水溶液，攪拌子與攪伴器內磁鐵間距達 12mm 時仍可作業，間距達 14mm 或者 16mm 推斷應該沒有問題。用於甘油 75% 溶液時，間距極限為 12mm，可作業。2cm 和 3cm 長的磁鐵攪拌子，甘油濃度從 0%~100%，間距 12mm 以下都可作業。(以上可作業為溶液溫度 20°C，溶液體積 400cc 裝於 600cc 燒杯內)

(四)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子製造成本

本組使用的鐵磁性攪拌子為含鐵合金，其市售價為 1 公斤 40 元，攪拌子重小於 10gw 左右，所以 1 個材料成本不到 0.4 元，實在相當便宜。而市售磁鐵攪拌子從 80~130 元不等。兩者價格差異頗大，實在可以驗證後，大力推廣。

(五)、探討使用鐵磁性與磁鐵攪拌子優缺點

1、鐵磁性攪拌子優點

- (1) 成本低廉。
- (2) 可使用於與甘油濃度 75% 以下(20°C)之黏度液體攪拌。
- (3) 攪拌子與攪拌器磁鐵間距可達 12mm，符合一般作業條件。

- (4) 攪拌子攪拌失速時，不會懸浮、不會彈跳，相對安全。
- (5) 因不具磁性，故收納時較容易排放整齊。
- (6) 失速轉速較不易受攪拌子長度改變而劇烈變化。

2、鐵磁性攪拌子缺點

- (1) 攪拌子放於燒杯時不會自動吸附到磁鐵中心，需調整。
- (2) 高濃度液體無法作業(>75%甘油)。
- (3) 高間距無法作業(75%，間距>12mm)。
- (4) 攪拌子長度無法過長，3 cm 長剛好可接受，超過會導致攪拌能力不足。
- (5) 攪拌器初始轉速不宜過快(<200rpm)，否則易失速導致無法攪拌。

3、磁鐵攪拌子優點

- (1) 適用於高濃度(高黏度)液體，甘油 100%，20°C可作業。
- (2) 在 75%濃度下作業，間距可超過 12mm。
- (3) 可用比較長之攪拌子。(75%以下可以超過 3cm)
- (4) 攪拌子放於燒杯時會自動吸附到磁鐵中心，不需調整。
- (5) 攪拌器初始轉速若過快(>200rpm)，不易失速。

4、磁鐵攪拌子缺點

- (1) 價格較貴。
- (2) 攪拌子攪拌失速時，會懸浮、會彈跳，相對不安全。
- (3) 因具磁性，故收納時較易排翹起，不易排放。
- (4) 失速轉速易受攪拌子長度改變而劇烈變化。(>75%)

伍、研究結果與討論

一、利用槓桿原理測量攪拌子與攪拌器磁鐵之磁吸力

(一)、探討磁吸力使用拉力計 or 定滑輪組 or 槓桿組之最佳選擇

1、使用拉力計組優缺點：

優點：測量效率高、可測量大拉力

缺點：測量精度單位太大(0.01kg)，小拉力(<10g)無法測量。

2、使用定滑輪組優缺點：

優點：測量效率適中、適合測量低拉力、精度適中。

缺點：無法測量大拉力(>200g)，因為 20g 砝碼要掛 10 個以上，且不好掛。

3、最佳選擇：

大拉力使用：拉力計組(測量快，最小單位 10g，在大拉力值下，可以忽略)。

小拉力使用：定滑輪組(測量效率適中，可量小拉力，又不失其精準)。

(二)、探討攪拌子與攪拌器磁鐵間距大小，測量磁吸力

1、鐵磁性攪拌子磁吸力與攪拌器磁鐵轉盤間距關係：

攪拌子越長&間距越小其磁吸力越強，間距越小彼此差值越大

2、磁鐵攪拌子磁吸力與攪拌器磁鐵轉盤間距關係：

攪拌子越長&間距越小有磁吸力越強之趨勢。

3、鐵磁性磁性與磁鐵攪拌子---間距 vs 磁吸力之關係比較：

鐵磁性攪拌子隨間距變化，磁吸力下降曲線陡峭；磁鐵攪拌子則下降曲線平緩。

4、相同長度&直徑&重量之鐵磁性與磁鐵攪拌子之---相同間距下磁吸力之關係比較

2 cm & 3 cm 磁性攪拌子在燒杯溶液實驗操作下，磁吸力都無法大於磁鐵攪拌子。4 cm& 5 cm 鐵磁性攪拌子則有機會超越。

二、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速

(一)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子磁吸力大小 vs 失速時的轉速

含鐵合金棒(鐵磁性物)被磁化的磁力無法與磁鐵間互相吸引相提並論，就算磁吸力較大，失速轉速依舊小於磁鐵攪拌子。

(二)、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在相同實驗下 VS 失速時的轉速關係

1、探討 2 cm 長攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係

相同實驗條件下 2 cm 長磁鐵攪拌子失速轉速全都大於鐵磁性攪拌子。

2、探討 3 cm 長攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係

相同實驗條件下 3 cm 長磁鐵攪拌子失速轉速全都大於鐵磁性攪拌子。

(三)、探討濃度 vs 失速轉速關係

1、鐵磁性攪拌子分析

鐵磁性攪拌子隨著濃度增加，失速轉速越低。另外，2cm 和 3cm 攪拌子其失速轉速在各濃度中較集中，表示鐵磁性攪拌子長度影響失速轉速較小。

2、磁鐵攪拌子分析

磁鐵攪拌子隨著濃度增加，失速轉速越低。另外，2cm 和 3cm 攪拌子其失速轉速在濃度 95%以上差異變化極大，表示磁鐵攪拌子長度影響失速轉速較大。

(四)、探討攪拌產生漩渦時與失速轉速之關係暨攪拌子長度與失速轉速之關係

1、鐵磁性攪拌子是否產生漩渦狀況

濃度 0%及 75%使用 2 cm 和 3 cm 長攪拌子攪拌都造成漩渦，導致失速轉速曲線無法呈線性趨勢，唯有往更高濃度做測試，或許可以發現。

2、磁鐵攪拌子是否產生漩渦狀況

(1) 3 cm ， 75%，此條件操作下有漩渦產生還有水花微噴，故波動大 ($R^2 < 0.98$)。

(2) 2 cm ， 95% & 3 cm 95%這兩個條件下，其液面無任何波紋，故隨著間距增加，曲線呈現線性趨勢 ($R^2 > 0.98$)。

(3) 2cm 100% & 3 cm 100%這兩個條件下，其液面無任何波紋，故隨著間距增加，曲線呈現線性趨勢 ($R^2 > 0.98$)。

3、不管是鐵磁性或者磁鐵攪拌子只要越長，其失速轉速值越低，越容易失速。

三、探討攪拌子適用條件及使用範圍

(一)、鐵磁性攪拌子使用條件：甘油濃度 75%以下；攪拌子 3cm 以下；間距 12mm 以下

(二)、磁鐵攪拌子使用條件：甘油濃度 100%以下；攪拌子 3cm 以下；間距 12mm 以下

四、探討鐵磁性與磁鐵攪拌子製造成本

磁鐵性攪拌子為含鐵合金，1 顆攪拌子材料成本不到 0.4 元。而市售磁性攪拌子從 80~130 元不等。兩者價格差異頗大，實在可以驗證後，大力推廣。

五、探討使用鐵磁性攪拌子與磁鐵攪拌子優缺點

(一)、鐵磁性攪拌子優點

- 1、成本低廉。
- 2、可使用於與甘油濃度 75%以下(20°C)之黏度液體攪拌。
- 3、攪拌子與攪拌器磁鐵間距可達 12mm，符合一般作業條件。
- 4、攪拌子攪拌失速時，不會懸浮、不會彈跳，相對安全。
- 5、因不具磁性，故收納時較容易排放整齊。
- 6、失速轉速較不易受攪拌子長度改變而劇烈變化。

(二)、鐵磁性攪拌子缺點

- 1、攪拌子放於燒杯時不會自動吸附到磁鐵中心，需調整。
- 2、高濃度液體無法作業(>75%甘油)。
- 3、高間距無法作業(75%，間距>12mm)。
- 4、攪拌子長度無法過長，3 cm 長剛好可接受，超過會導致攪拌能力不足。
- 5、攪拌器初始轉速不宜過快(<200rpm)，否則易失速導致無法攪拌。

(三)、磁鐵攪拌子優點

- 1、適用於高濃度(高黏度)液體，甘油 100%，20°C 可作業。
- 2、在 75%濃度下作業，間距可超過 12mm。
- 3、可用比較長之攪拌子。(75%以下可以超過 3cm)
- 4、攪拌子放於燒杯時會自動吸附到磁鐵中心，不需調整。
- 5、攪拌器初始轉速若過快(>200rpm)，不易失速。

(四)、磁鐵攪拌子缺點

- 1、價格較貴。
- 2、攪拌子攪拌失速時，會懸浮、會彈跳，相對不安全。

3、因具磁性，故收納時較易排翹起，不易排放。

4、失速轉速易受攪拌子長度改變而劇烈變化。(>75%)

六、探討後續實驗完備方針

(一)、增加操作變因

1、攪拌子長度驗證：目前只驗證 2cm 及 3cm 尚有 4cm 及 5cm 未測試。

2、攪拌子直徑驗證：目前只驗證 $\Phi 8$ ，可測試 $\Phi 6$ 和 $\Phi 10$ 等等。

3、燒杯直徑大小驗證：目前只驗證 600cc，可測試 800cc、1000cc 等不同杯口口徑。

4、溶液液面高度驗證：目前只驗證 5cm，可測試 10cm、15cm

5、不同濃度驗證：目前只驗證 0%、75%、95%、100%，可測試 80%、85%、90%。

(二)、攪拌子材質改變

目前僅驗證鐵磁性物質(含鐵合金)，會受磁力影響的尚有順磁性與逆磁性物質可驗證，本組組員於是，安排順磁性及逆磁性物質實驗，驗證是否可充當攪拌子。

1、材料選擇

(1) 順磁性物質：鋁線。

(2) 逆磁性物質：2B 鉛筆筆芯(含碳)、銅線。

2、磁性大小判斷

(1) 垂吊法：取一段 2B 鉛筆筆芯(含碳)、銅線、鋁線，用熱熔槍於中心位置處黏上熱熔膠，並固定於槓桿上，拉絲，絲越細越好(較易擺動)。手持強力磁鐵，緩慢靠近，直到測試物質發生偏轉，磁性大的偏轉效果強。如圖 31 所示。

(偏轉效果：筆芯>鋁線>銅線)

(2) 滾動法：取一段 2B 鉛筆筆芯(含碳)、



圖 31 三種物質之垂吊法實驗圖

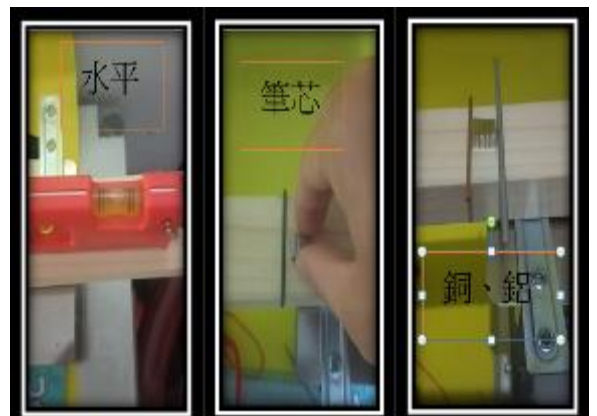


圖 32 三種物質之滾動法實驗圖

銅線、鋁線，置於一個水平平台上，手持強力磁鐵，緩慢靠近，直到測試物質發生滾動。如圖 32 所示。(滾動效果：只有筆芯滾動)

(3) 吸引秤重法：

將強力磁鐵至於電子秤上並歸零，將測試物質緩慢靠近秤上的磁鐵，觀察電子秤數質變化，可知其磁性大小。如圖 33 所示。

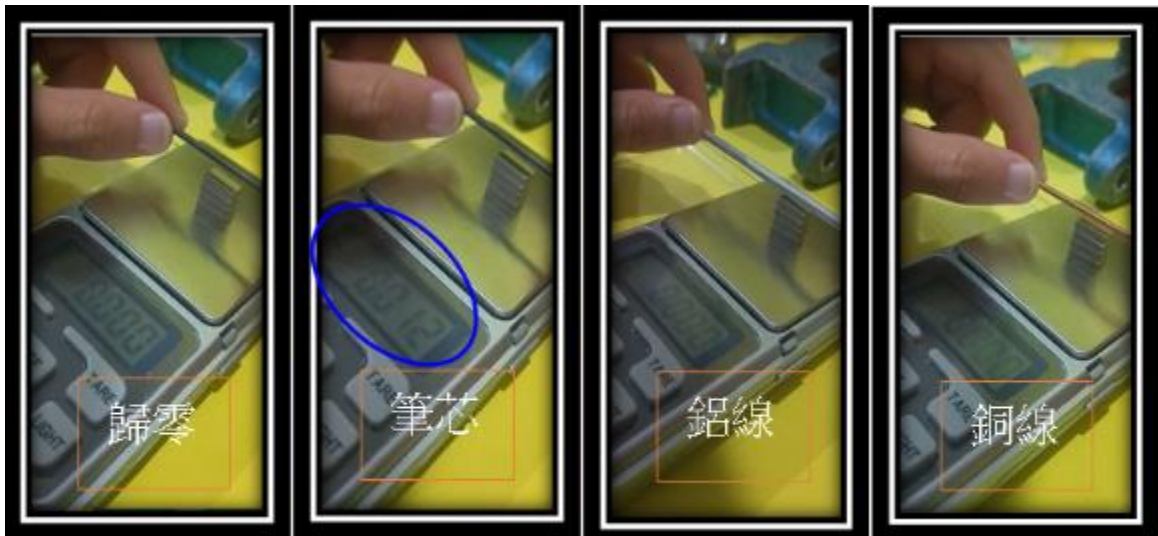


圖 33 三種物質之吸引秤重法實驗圖

只有筆芯有顯示數值(0.012g)，如果用鐵磁性物質做實驗則強力磁鐵直接被吸上來離開秤盤。

(4)磁化係數大小判斷法：

含鐵合金>>鋁>銅，使用網路尋找物質的磁化係數，如表 5 所示。磁化係數在絕對值下，數值越大，其磁性越大。

表 5 物質之磁化係數表

介質	磁化係數(χ_m)
含鐵合金	700
鋁	2.22×10^{-5}
銅	-9.2×10^{-6}
碳	未找到數據

3、測試物質當攪拌子使用狀況(測試條件為 20 度 50cc 水溶液置於 600cc 燒杯內)

(1) 攪拌子沈於杯底：三者都轉不動。如圖 34 所示。

(2) 攪拌子浮於水面：用吸管將測試物質套住並用熱熔膠封口，緩慢放於水面上。

因為浮於水面摩擦力變小許多且水阻力不大，所以可以觀察到測試物質緩慢轉動。如圖 34 所示。

(3) 攪拌效果：無法攪拌。

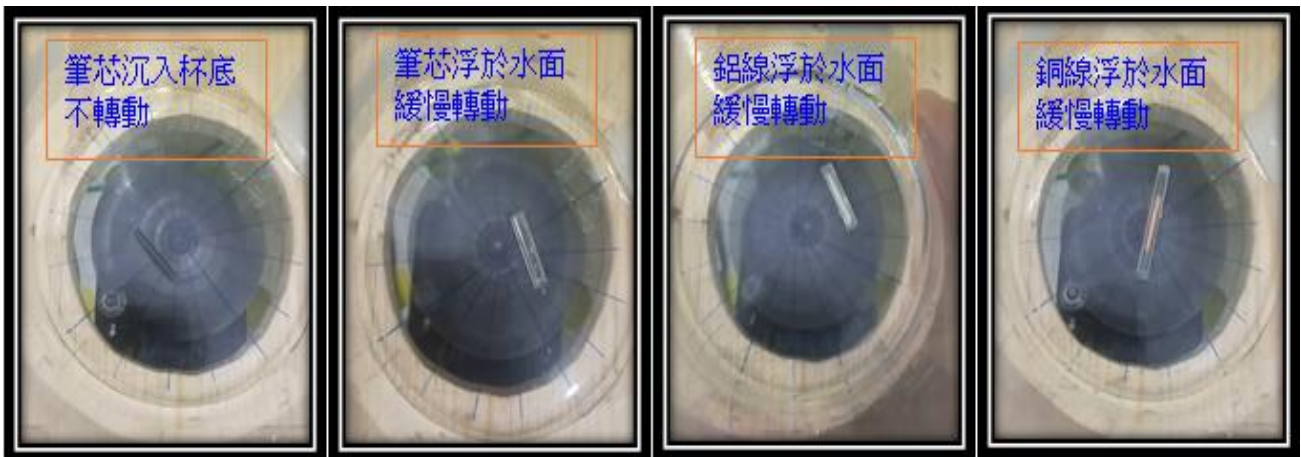


圖 34 三種物質置於燒杯內攪拌實驗圖

筆芯、鋁線、銅線密度都比水大，故沉入水中，以左圖 1 為代表，當攪拌器啟動時，這三種物質都不會轉動。用吸管套增加體積，使這三種物質浮於水面，減少摩擦力，左圖 2、3、4 分別為筆芯、鋁線、銅線加工後浮於水面，轉動速度：鋁線>筆芯>銅線。分析其原因為：鋁密度最小，筆芯次之，銅最大。為了讓銅線浮起來吸管長度較其他兩者長，攪拌子長度越長轉速越慢。再者磁性也是銅最小，故銅物質轉最慢。筆芯雖然磁性比鋁佳，但比較重，吃水面積多，所受阻力跟著大，轉速自然比鋁線慢一些。

陸、結論

一、利用槓桿原理測量攪拌子與磁鐵之磁吸力，拉力計組測大拉力；定滑輪組測小拉力。

二、鐵磁性攪拌子磁吸力與間距關係：

攪拌子越長&間距越小其磁吸力越強，間距越小彼此差值越大；隨間距變化，磁吸力下降曲線陡峭。

三、磁鐵攪拌子磁吸力與間距關係：

攪拌子越長&間距越小有磁吸力越強之趨勢。隨間距變化，磁吸力下降曲線平緩。

四、鐵磁性與磁鐵（長度&直徑&重量都相近）在相同間距下磁吸力之關係比較：

（一）、2 cm 和 3 cm 長之攪拌子在任何間距下，磁吸力：磁鐵>鐵磁性。

（二）、4 cm 長之攪拌子在 5mm 以外，磁吸力：磁鐵>鐵磁性。

（三）、5 cm 長之攪拌子在 8mm 以外，磁吸力：磁鐵>鐵磁性。

五、在相同的實驗件下，失速時的轉速值：**磁鐵**>**鐵磁性**。

六、**鐵磁性**與**磁鐵**攪拌子攪拌時的共同物理現象

(一)、間距越**大**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性更明顯)

(二)、濃度越**高**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性濃度 100%無法轉動)

(三)、攪拌子越**長**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性表現較磁性不明顯)

七、在攪拌時液面**無波紋(漩渦)**產生則失速轉速隨**間距變化**呈現**線性趨勢**。(R²>0.98)

八、**鐵磁性**攪拌子製程參數：400cc 裝於 600cc 燒杯內，75%以下濃度之甘油，溫度 20 度，攪拌子 3 cm 以下，間距在 12mm 以下，初始轉速<200 rpm。

九、**磁鐵**攪拌子製程參數：400cc 裝於 600cc 燒杯內，100%以下濃度之甘油，溫度 20 度，攪拌子 3 cm 以下，間距在 12mm 以下。

十、**鐵磁性**攪拌子一顆材料成本約 0.4 元，值得推廣。

十一、**鐵磁性**攪拌子之優勢：可作業於 75%濃度之甘油，符合大部分實驗室所需條件，失速時，不會懸浮、不會彈跳，相對安全。

十二、**磁鐵**攪拌子之優勢：高濃度(100%)作業無可取代，使用功能佳，好操作，不易失速。

十三、**磁性&非磁性**物質當攪拌子探討：**(鐵磁性、順磁性、逆磁性)**

(一)、磁化性：**含鐵合金(鐵磁性)**>>**碳(逆磁性)**>**鋁(順磁性)**>**銅(逆磁性)**

(二)、攪拌子轉動速度：

1、沈於杯底時：**含鐵合金(鐵磁性)**物質轉動**極快**達機台極限，其餘三者皆轉不動。

2、浮於水面時：**鋁**>**碳**>**銅**

(三)、攪拌效果：**鐵磁性物質**尚可，**順磁性**及**逆磁性**物質**無法攪拌**。

十四、攪拌子材質選擇：

要當攪拌子**必須**是**鐵磁性物質棒**或是**磁鐵棒**，**順磁性**及**逆磁性**物質**皆不適合**。

(一)、**鐵磁性物質棒**當攪拌子的優點：材料**成本低**、失速時**不彈跳**較安全。

缺點：**低黏度**溶液下才可使用。

(二)、**磁鐵棒**當攪拌子的優點：**高濃度**溶液可使用、操作性佳。

缺點：購入**成本高**，失速時**彈跳嚴重**，有**敲破**燒杯疑慮。

柒、參考資料

- 一、尤丁玫、吳美玲、吳家鶴等 16 位(2020)。國中自然與生活科技第五冊。台北。康軒文教事業股份有限公司。
- 二、尤丁玫、吳美玲、吳家鶴等 16 位(2020)。國中自然與生活科技第六冊。台北。康軒文教事業股份有限公司。
- 三、吳宗祐等(2020)。神奇超巨力攪拌器-探討各項影響電磁攪拌器穩定運轉的變因。第 60 屆全國中小學科學展國小組---生活與應用(二)科。國立台灣科學教育館。

【評語】 030120

本作品以尋找較為便宜且安全的磁鐵攪拌子的替代品出發，
尋找可行的材料。並實際設計一系列的實驗去驗證材料的可用
性。是一個實用的研究。

作品簡報

人造水龍捲

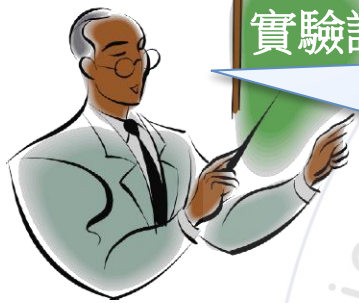
探討非磁鐵攪拌子運用於
電磁攪拌器穩定運轉之研究

科別：物理
組別：國中組



研究動機與問題

實驗課



磁鐵攪拌子
很小，易不
見，同學在
操作時請小
心使用。

有沒有甚麼
材料可以代
替昂貴的磁
鐵攪拌子
呢？



為何攪拌
子一定要
用磁鐵呢？
鐵棒不行
嗎？

攪拌器無
轉速計如
何得知轉
軸轉速？

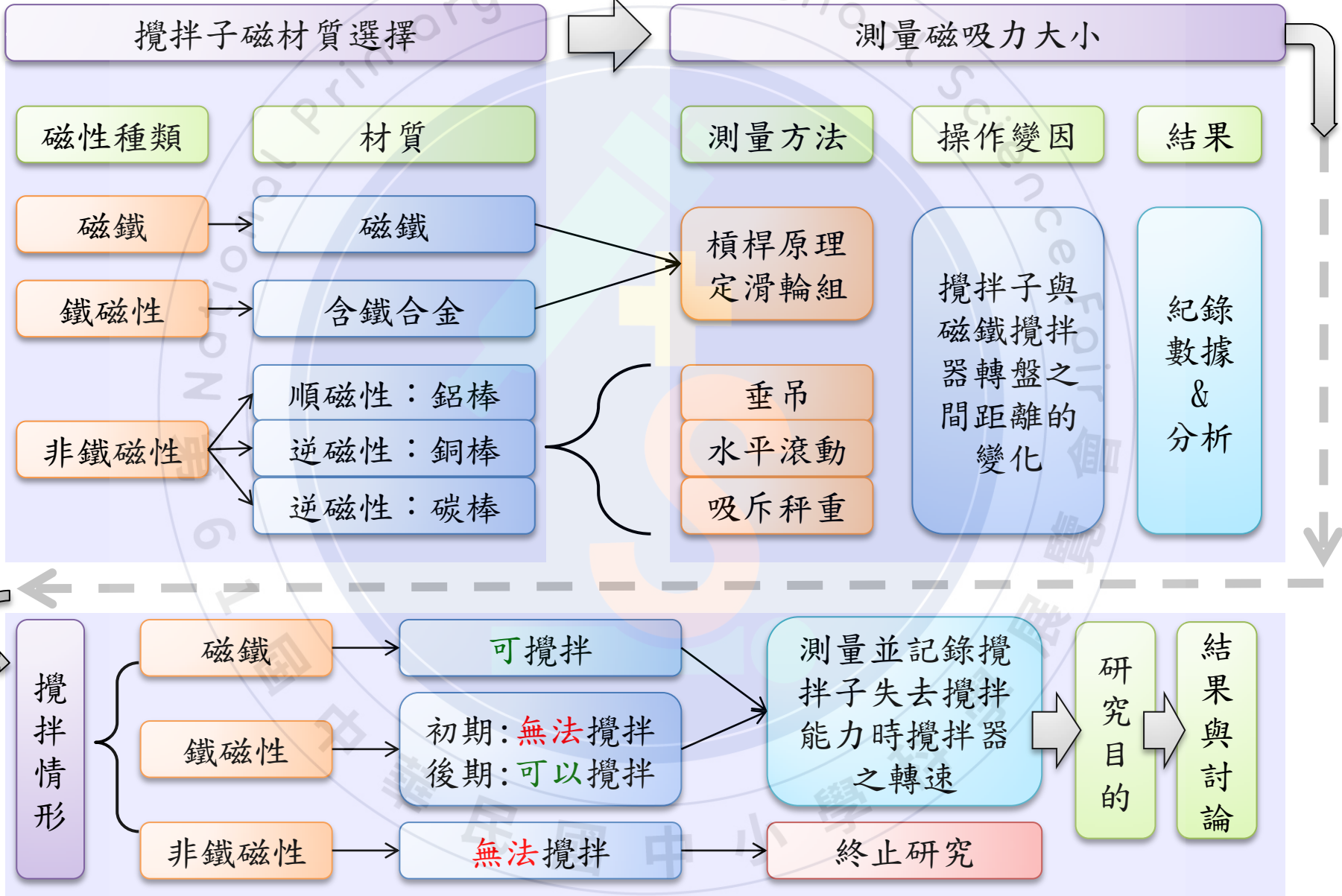
在攪拌情
況下攪拌
子與攪拌
器之間作
用力為何？

攪拌子與
磁鐵攪拌
器間磁吸
力大小如
何量測？





研究流程

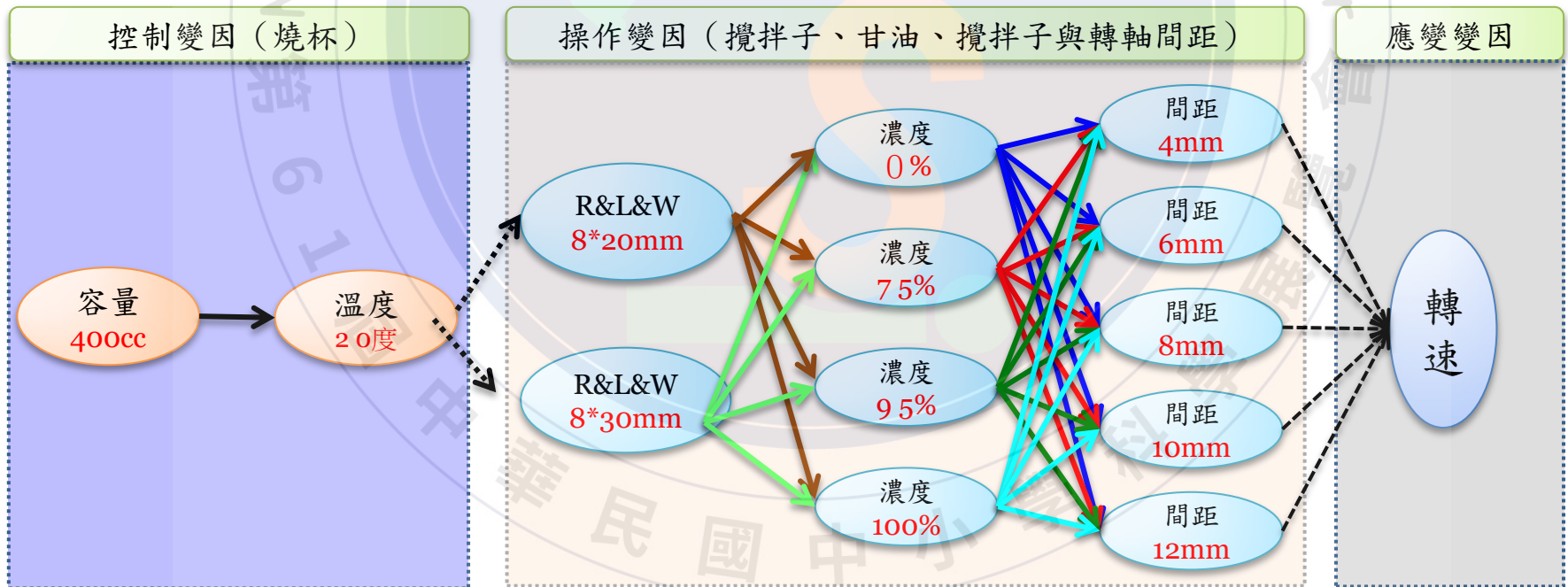




研究目的 & 實驗操作變因項目

- ◎ 探討攪拌子與攪拌器轉軸磁鐵之磁吸力大小與間距關係
- ◎ 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速
- ◎ 探討非磁鐵和磁鐵攪拌子的適用條件及使用範圍
- ◎ 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子製造成本
- ◎ 探討使用鐵磁性與磁鐵攪拌子優缺點

◎ 實驗操作變因項目：藉由改變操作變因，得以探討研究目的



實驗數據結果與討論 (一)

◎ 探討攪拌子與攪拌器轉軸磁鐵之磁吸力大小與間距關係

* 鐵磁性攪拌子和轉盤之間距與磁吸力關係：

* 磁鐵攪拌子和磁鐵轉盤之間距與磁吸力關係：

鐵磁性攪拌子與轉盤之間距平方倒數與磁吸力關係圖

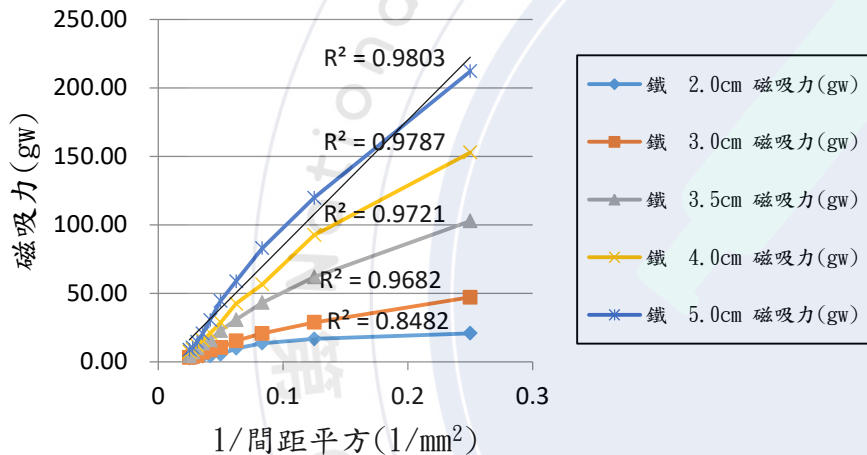


圖1 鐵磁性攪拌子與轉盤-間距平方倒數vs磁吸力關係圖

磁鐵攪拌子與轉盤之間距平方倒數與磁吸力關係圖

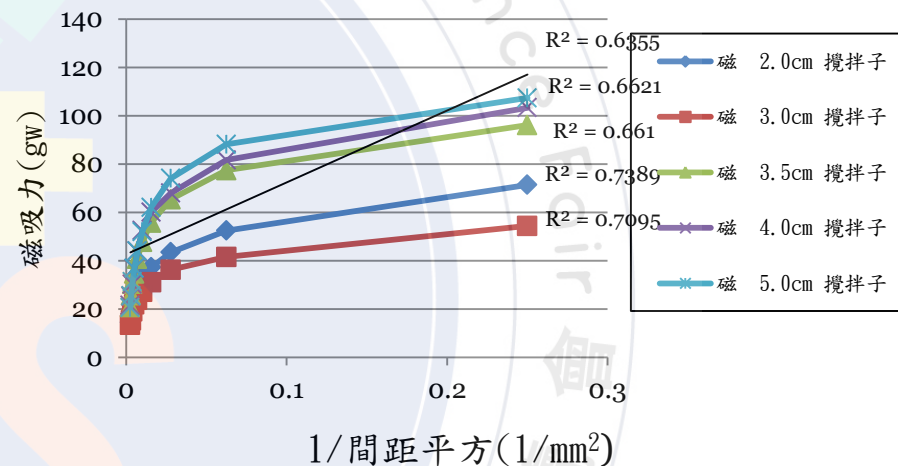


圖2 磁鐵攪拌子與轉盤-間距平方倒數vs磁吸力關係圖

由上圖可知，鐵磁性攪拌子與磁鐵轉盤間之磁吸力較據有線性關係

由上圖可知，磁鐵攪拌子與磁鐵轉盤間之磁吸力無線性關係

兩者差異：鐵磁性攪拌子受磁鐵轉盤磁化引響，與間距平方倒數呈線性關係，磁鐵攪拌子則無此現象。

實驗數據結果與討論 (一)

* 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子磁吸力大小vs失速時的轉速

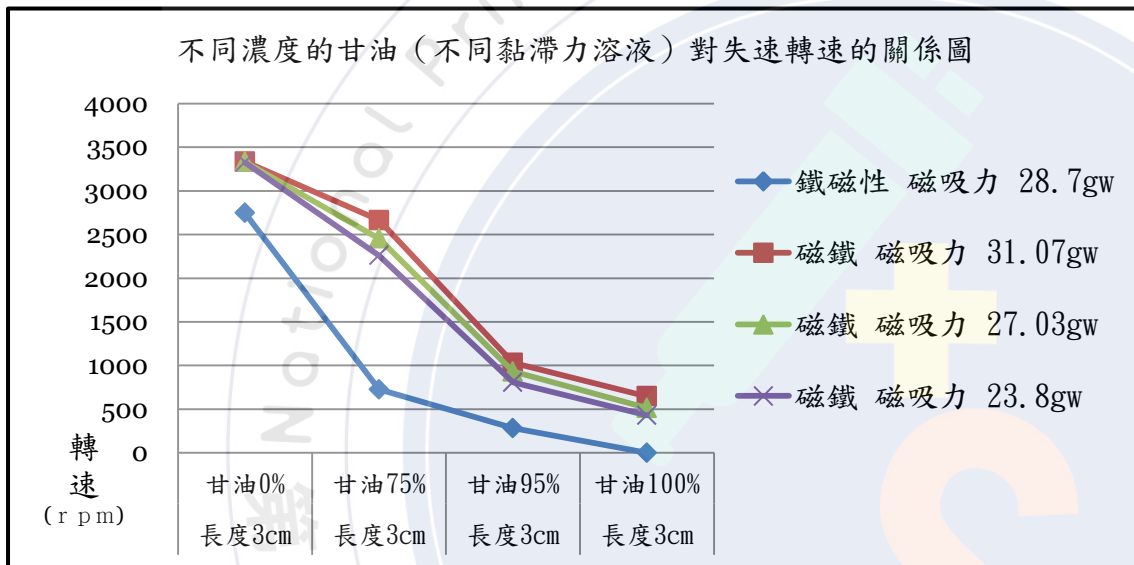
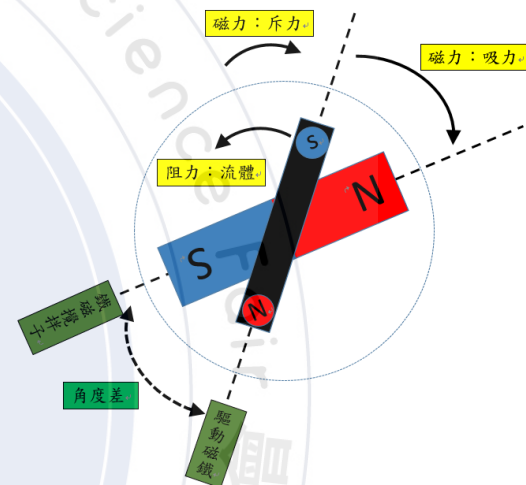


圖3 不同濃度的甘油 (不同黏滯力溶液) 對失速轉速的關係圖
(相同長度&直徑&重量之鐵磁性與磁鐵攪拌子)

由上圖可知：

- 1、甘油濃度越高，失速轉速越低
- 2、在長度、直徑、重量一樣情況下之磁鐵攪拌子磁吸力越高，失速轉速越高
- 3、在長度、直徑、重量相近情況下，鐵磁性攪拌子磁吸力就算大於磁鐵，其失速轉速依舊無法超越磁鐵(上面三條曲線)。



實驗數據結果與討論 (二)

◎ 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在溶液中失速時攪拌機的轉速

* 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子在相同實驗條件下 vs 失速時的轉速

★ 探討2cm長攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係

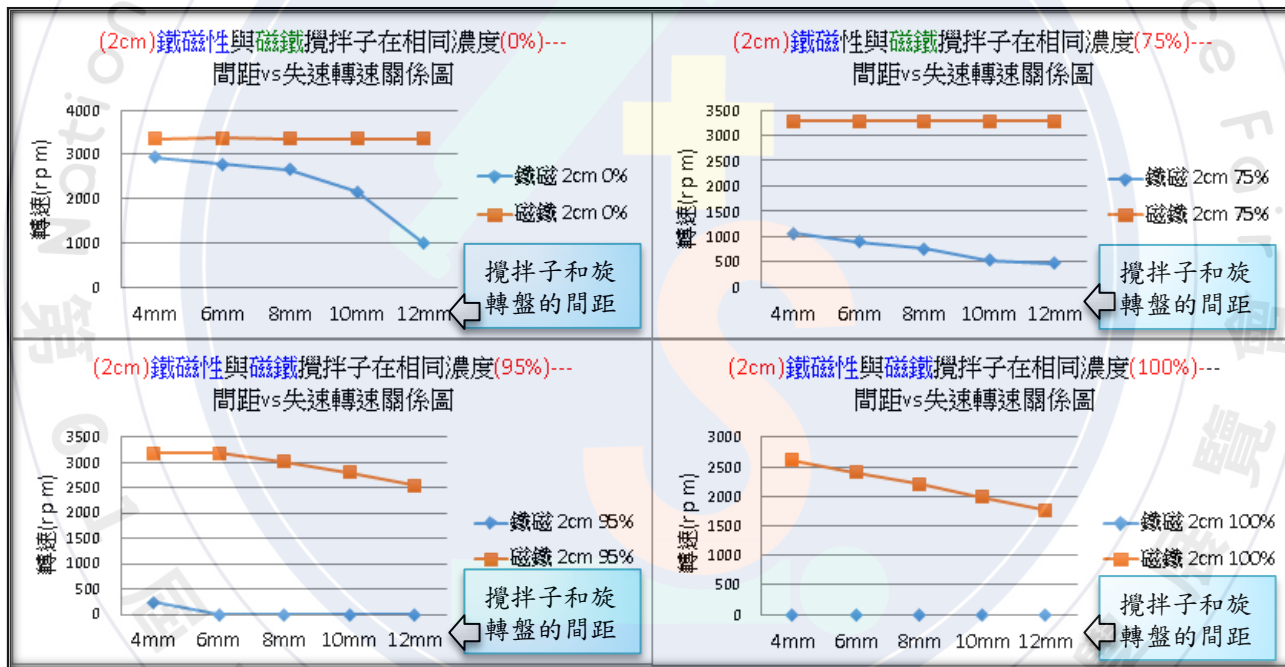


圖4 2cm長非磁性與磁性攪拌子在各個濃度下之失速轉速關係圖

由上圖可知，在相同實驗條件下2cm長磁鐵攪拌子失速轉速全部大於鐵磁性攪拌子。3cm長攪拌子實驗結果亦相同。

實驗數據結果與討論 (二)

* 探討攪拌產生漩渦時與失速轉速之關係

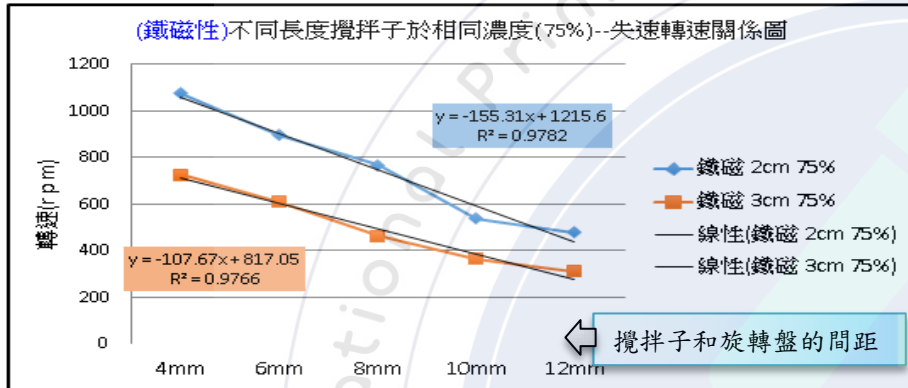


圖5(鐵磁性)不同長度攪拌子於相同濃度(75%)--失速轉速關係圖

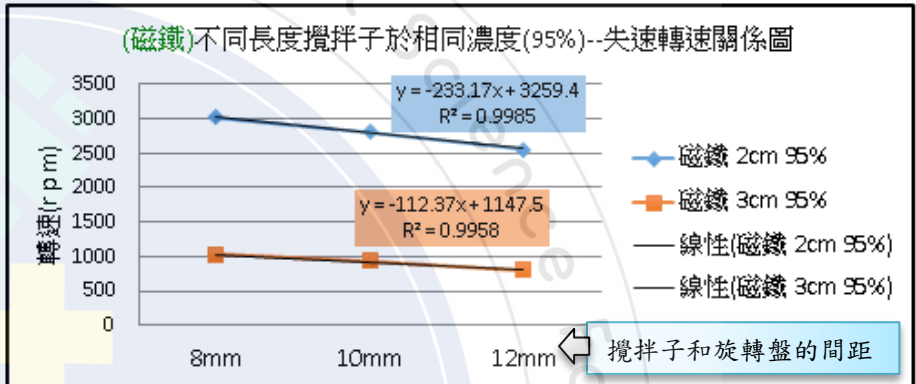


圖7(磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(95%)失速轉速關係圖

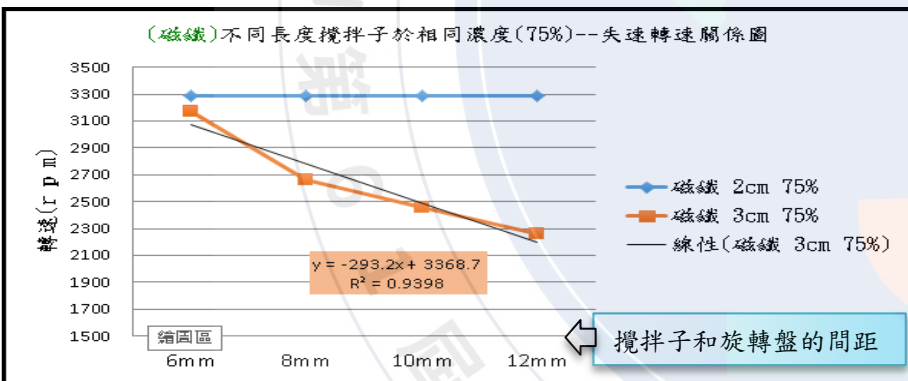


圖6 (磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(75%)--失速轉速關係圖

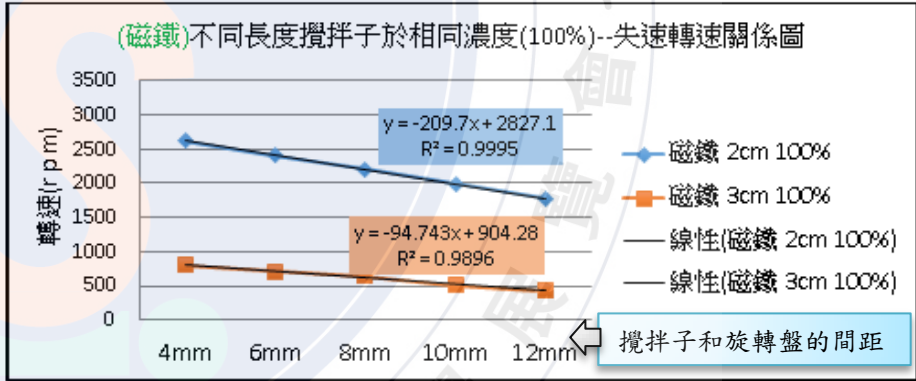


圖8(磁鐵)不同長度攪拌子於相同濃度(100%)失速轉速關係圖

由上二圖可知，失速轉速與間距無線性關係 ($R^2 < 0.98$)，原因為攪拌子攪拌時產生了漩渦，進而影響失速轉速的穩定性。

由上二圖可知，失速轉速與間距呈線性關係 ($R^2 > 0.98$)。原因為攪拌子攪拌時無漩渦產生，失速轉速的穩定性佳。



實驗數據結果與討論 (三)

◎探討非磁鐵和磁鐵攪拌子的適用條件及使用範圍

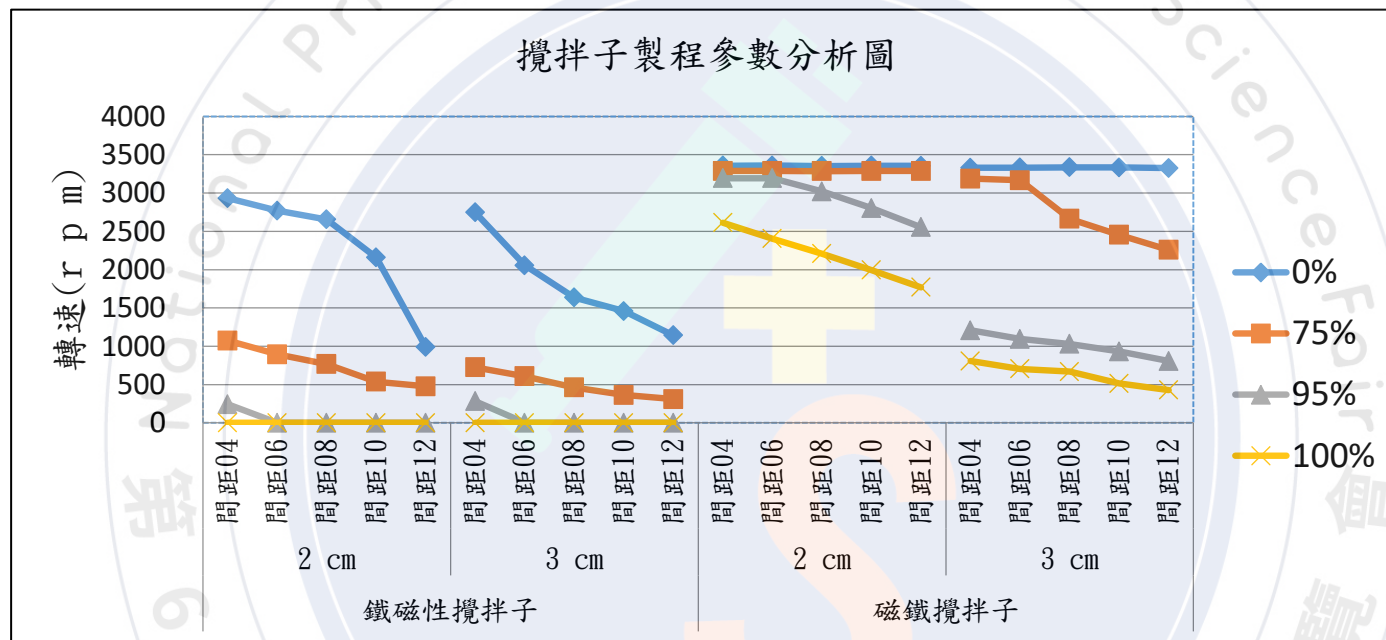


圖9 攪拌子製程參數分析圖

由上圖，攪拌器轉速達400rpm則可以穩定攪拌。3360rpm以上為機台作業極限，轉速在兩者之間即可work。可以透過此圖，來判斷攪拌子是否適用。2cm和3cm長的鐵磁性攪拌子，可使用於水溶液，攪拌子與攪拌器內磁鐵間距達12mm時仍可作業，間距達14mm或者16mm推斷應該沒有問題。用於甘油75%溶液時，間距極限為12mm，可作業。當濃度達95%時，間距4mm時雖可攪拌，但失速轉速為200rpm上下，為攪拌器最小轉速值，已無操作空間，建議不使用。2cm和3cm長的磁鐵攪拌子，甘油濃度從0%~100%，間距12mm以下都可作業。(以上可作業為溶液溫度20°C，溶液體積400cc裝於600cc燒杯內)



實驗數據結果與討論 (三)

◎ 探討**非鐵磁性**攪拌子磁吸力量測及攪拌狀況

★磁性大小判斷分別為：1. 垂吊法 2. 滾動法 3. 吸引秤重法



圖10 三種物質之**垂吊法**實驗圖

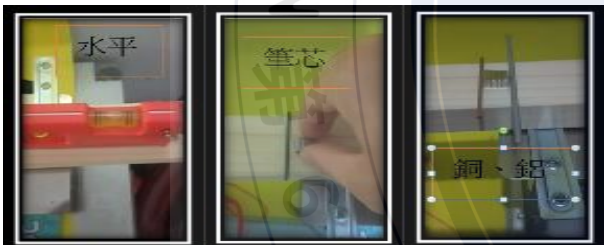


圖11 三種物質之**滾動法**實驗圖



圖12 三種物質之**吸引秤重法**實驗圖

偏轉效果：
筆芯>鋁線>銅線

滾動效果：
僅筆芯滾動

秤重結
果：僅筆
芯有數值
(0.012g)

★非鐵磁性攪拌子攪拌狀況：

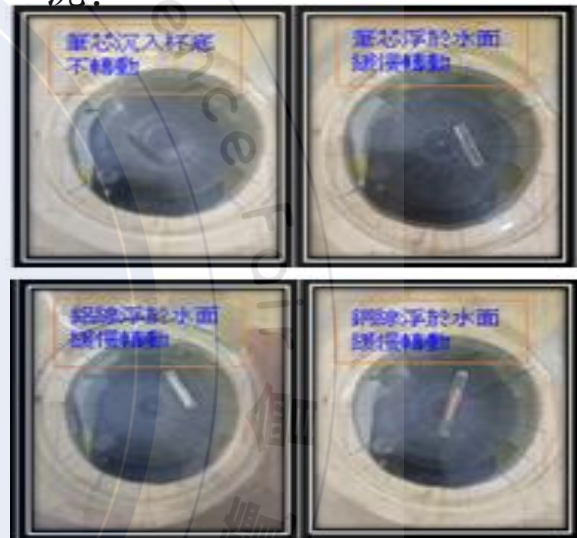


圖13 三種物質置於燒杯內攪拌實驗圖

筆芯、鋁線、銅線密度都比水大，故沉入水中，以左上圖為代表，當攪拌器啟動時，這三種物質都**不會轉動**，其餘三張圖為套吸管，使其浮於水面，**可旋轉**，**不可攪拌**。



實驗數據結果與討論 (四)

◎ 探討鐵磁性與磁鐵攪拌子製造成本

本組使用的鐵磁性攪拌子為含鐵合金，其市售價為1公斤40元，攪拌子重小於10gw左右，所以1個材料成本不到0.4元，實在相當便宜。而市售磁鐵攪拌子從80~130元不等。兩者價格差異頗大，實在可以驗證後，大力推廣。

◎ 探討使用鐵磁性攪拌子與磁鐵攪拌子優缺點

表1 攪拌子比較表

比較項目	鐵磁性攪拌子	磁鐵攪拌子
製造成本	低★	高
甘油濃度攪拌條件	≤75%	≤100%★
間距條件	≤12cm(75%)	≤12(100%)★
失速時狀態	不懸浮、不彈跳★	懸浮、彈跳
收納性	佳★	不佳
攪拌子長度影響失速轉速變化	小★	大
攪拌器初始轉速	<200rpm	>200rpm★
攪拌子長度	≤3cm(75%)	>3cm(100%)★



結論

- 一、在相同的實驗件下，失速時的轉速值：磁鐵>鐵磁性。
- 二、鐵磁性與磁鐵攪拌子攪拌時的共同物理現象
 - (一)、間距越**大**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性更明顯)
 - (二)、濃度越**高**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性濃度100%無法轉動)
 - (三)、攪拌子越**長**，失速時的轉速值越**小**。(鐵磁性表現較磁性不明顯)
- 三、在攪拌時液面**無波紋(漩渦)**產生則失速轉速隨間距變化呈現線性趨勢。 $(R^2 > 0.98)$
- 四、鐵磁性攪拌子一顆材料**成本約0.4元**，值得推廣。
- 五、鐵磁性&非鐵磁性物質當攪拌子探討：(鐵磁性、順磁性、逆磁性)
 - (一)、磁化性：含鐵合金(鐵磁性)>>碳(逆磁性)>鋁(順磁性)>銅(逆磁性)
 - (二)、攪拌子轉動速度：
 - 1、沈於杯底時：含鐵合金(鐵磁性)物質轉動極快達機台極限，其餘三者皆轉不動。
 - 2、浮於水面時：鋁>碳>銅
 - (三)、攪拌效果：鐵磁性物質尚可，順磁性及逆磁性物質無法攪拌。
- 六、攪拌子材質選擇：

要當攪拌子**必須**是鐵磁性物質棒或是磁鐵棒，順磁性及逆磁性物質皆**不適合**。

 - (一)、鐵磁性物質棒當攪拌子的優點：材料**成本低**、失速時**不彈跳**較安全。

缺點：低黏度溶液下才可使用。
 - (二)、磁鐵棒當攪拌子的優點：高濃度溶液可使用、操作性佳。

缺點：購入**成本高**，失速時**彈跳嚴重**，有**敲破燒杯**疑慮。

柒、參考資料

- 一、尤丁玫、吳美玲、吳家鶴等16位(2020)。國中自然與生活科技第五冊。台北。康軒文教事業股份有限公司。
- 二、尤丁玫、吳美玲、吳家鶴等16位(2020)。國中自然與生活科技第六冊。台北。康軒文教事業股份有限公司。
- 三、吳宗祐等(2020)。神奇超巨力攪拌器。第60屆全國中小學科學展國小組-生活與應用(二)科。國立台灣科教館。