

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030112

電磁線圈與磁鐵的愛恨情仇

學校名稱：新竹市立培英國民中學

作者： 國一 林芷韻	指導老師： 楊易倫 黎心穎
---------------	---------------------

關鍵詞：電磁線圈、永久磁鐵、相斥力

摘要

通電線圈與永久磁鐵均有NS極，憑此相同磁極的推力可將線圈與磁鐵當成電磁砲。在研究中，我找到一種可以立即得到磁力大小資訊的探索方法——利用推拉力計與量錶測量出線圈內部力量與距離的曲線，得知線圈內部磁力大小的分布。實驗一將永久磁鐵由線圈的單端進入，發現推力與位置關係呈現鐘形，過特定位置後推力降為零。實驗二的永久磁鐵起始放置位置與發射距離關係也印證此結果，放置位置的推力與距離所圍出的面積(代表做功)越大，則發射的距離也越遠。這又引導我增加繞線單位密度，經實驗證實，短線圈確實能產生更大推力。最後在線圈中加入軟磁鐵棒，產生奇特的雙推力高峰現象，也確認能產生更大的推力與距離面積，也就能發射得更遠。

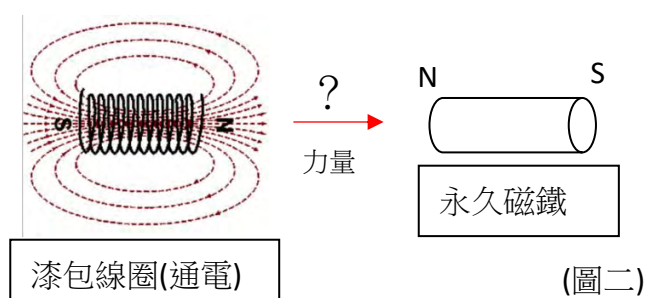
壹、研究動機

在小學的時候，自然課曾經做過簡易式的電磁鐵實驗，發現線圈可以產生磁力，與永久磁鐵產生相斥或相吸的力量。

我也曾經看過利用漆包線與永久磁鐵模擬發射砲彈的影片，十分有趣，因此覺得很好奇，想試著做做看(圖一)。但嘗試過後，發現起始放置位置與發射長度的關係跟想像的大不相同，於是，我就開始設計一套實驗(圖二)。



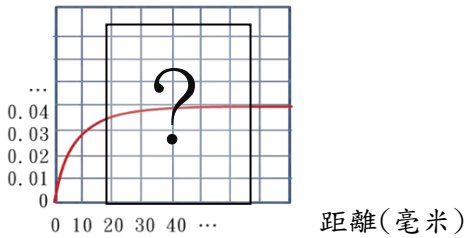
(圖一)利用電磁鐵模擬砲彈的影片



貳、研究目的

- 一、永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係。(預計以曲線圖呈現→圖三)
- 二、永久磁鐵砲彈的起始放置位置與發射長度的影響。
- 三、在相同繞漆包線圈數與相同電流下，如何使永久磁鐵砲彈發射得最遠。
- 四、在加入軟磁鐵棒下，對永久磁鐵砲彈推力與距離的影響。

力量(牛頓)




(圖三)實驗呈現示意圖

參、研究設備及器材

一、

主要器材：漆包線、永久磁鐵、管徑與永久磁鐵配合之鐵氟龍管(材質較滑可以減少摩擦力)、滑軌、20cm 附螺絲孔軟磁鐵棒、與永久磁鐵等長之不鏽鋼棒 (圖四)

其他：60*30 木板、飛機木(12*915*80mm x2)、布尺、泡棉膠、膠帶、剪刀、鋁板(固定在推拉力計上，用以推動量錶的偵測棒)、冰棒棍

			
漆包線(0.8mm)	永久磁鐵 (直徑、寬度 5mm*5)(直徑 14mm、長5mm*1)	管徑與強力磁鐵 配合之鐵氟龍管	滑軌
			
鋁板	布尺	木板 (60*30cm) 飛機木(91.5*8cm)	20cm 附螺絲孔鐵棒 與永久磁鐵等長之 不鏽鋼棒

(圖四)

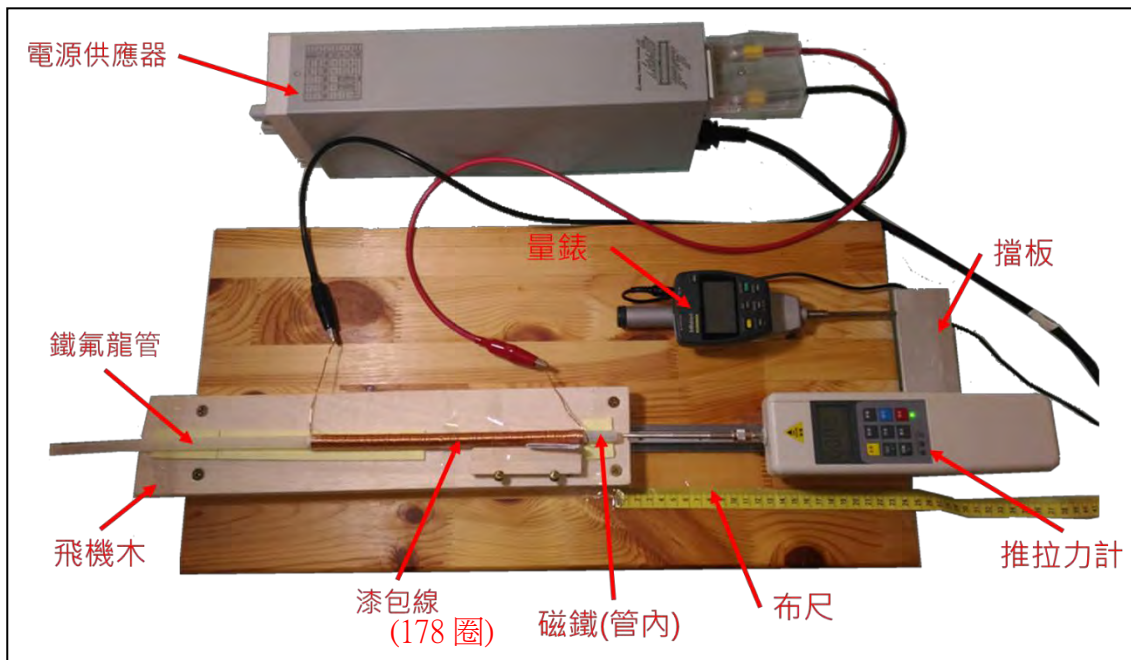
二、儀器：

推拉力計(偵測力量) 、量錶(偵測距離)、直流電源供應器(圖五)

			直流電源供應器設定： 固定電流 7.5A 最大電壓 5V (實際輸出小於 5V)
推拉力計	量錶	直流電源供應器	

(圖五)

三、儀器器材設置完成圖(圖六):



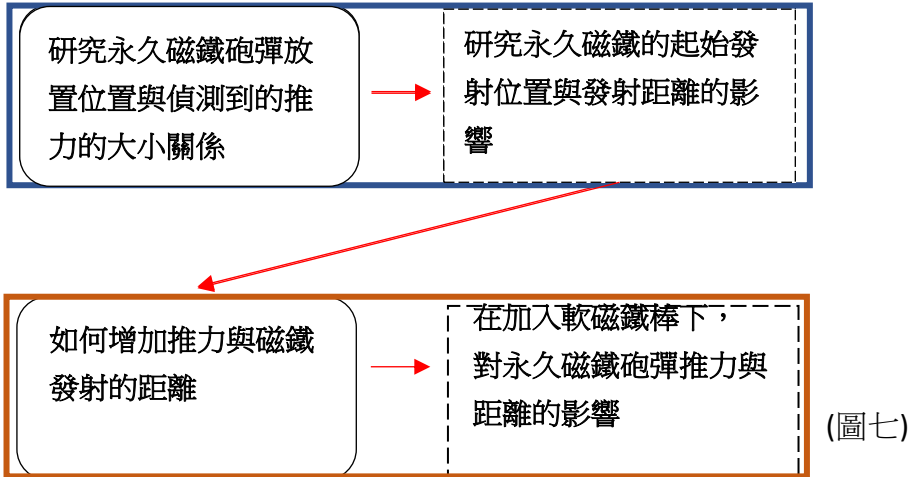
(圖六) 實驗平台

四、步驟：打開電流供應器並設置完成後，當推拉力計的偵測棒推動永久磁鐵向前(左方)前進時，固定在推拉力計上的擋板會推動量錶的偵測棒，使距離(毫米)的數據增加，在永久磁鐵移動的同時，推拉力計會依據偵測到的推力多寡，顯示推力的大小(牛頓)。

肆、研究過程或方法

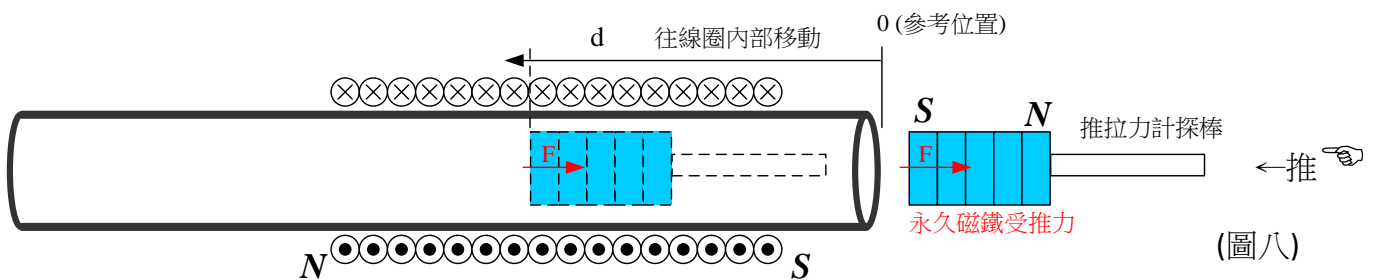
一、研究架構

本研究主要分成兩大部份(圖七)：

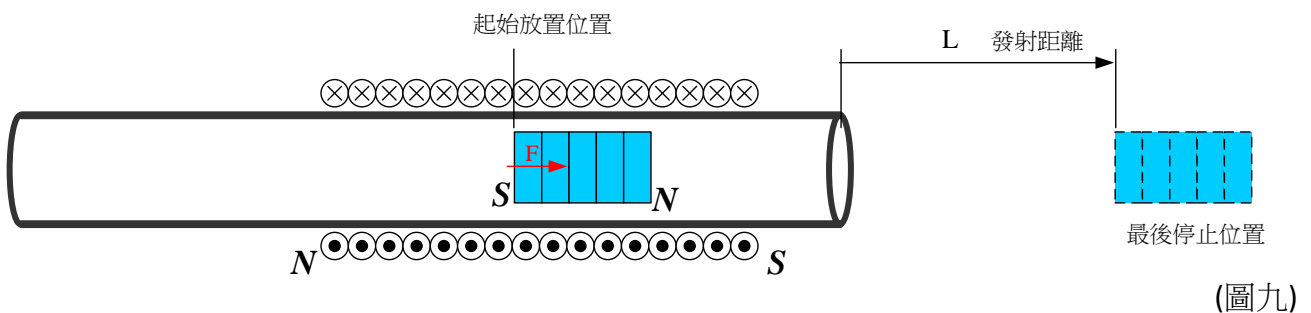


二、實驗方法：

(一) 利用推拉力計與量表，將永久磁鐵從入口處往線圈內部緩步推入，同時取得位置與推力資料(圖八)



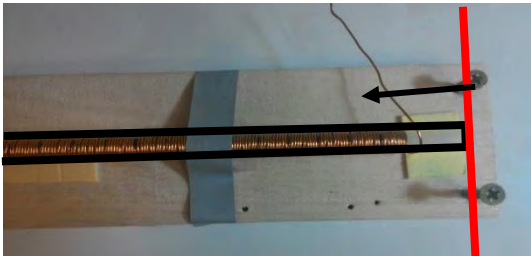
(二) 利用通電流下的線圈產生磁力，與永久磁鐵相斥，推動磁鐵發射。(圖九)



三、實驗設置

(一)量錶起始距離設置:

鐵氟龍管前端為 0 (紅色線部分)，當擋板由右向左推動量錶的偵測棒時，量錶顯示的距離會增加。(圖十)



(圖十)

四、實驗步驟

(一)實驗一 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係(圖十一)

實驗三 在相同繞漆包線圈數與相同電流下，如何使永久磁鐵砲彈發射得最遠(圖十一)

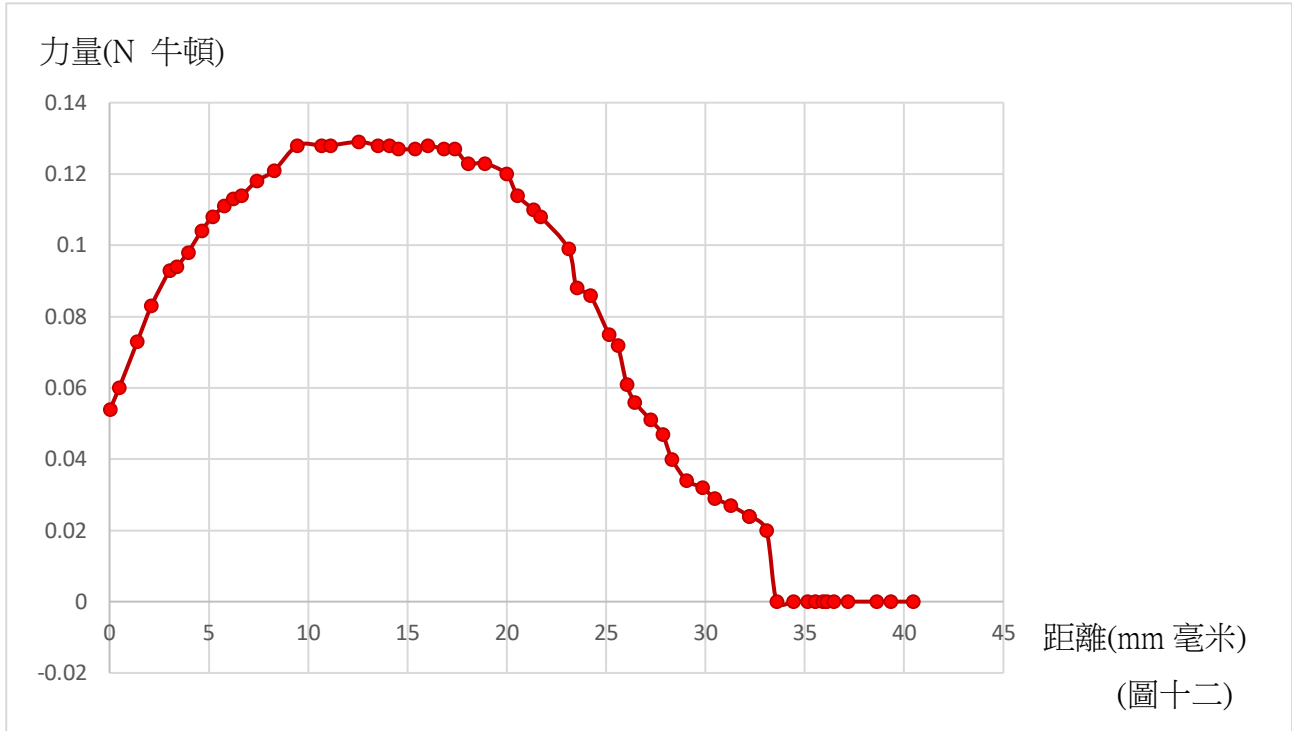
<p>1. 在空鐵氟龍管裡推動推拉力計，偵測是否會碰觸管壁。若有偵測到推力，立即調整鐵氟龍管，使推拉力計推動時，顯示的數值為零。若無偵測到推力，即在管內放置磁鐵</p>	<p>2. 設定電源供應器</p>	<p>3. 按下電源供應器的「Output」按鈕，使其供應電流</p>
<p>4. 用手推動推拉力計，使磁鐵向管內移動、量錶顯示距離增加</p>	<p>5. 到隨機的距離位置 (如: 0、0.13、0.28、0.45... ..) 停兩秒時，拍攝推拉力計上顯示的推力數值</p>	<p>6. 重複3~4步驟，直到4公分</p>
<p>7. 將蒐集到的資料製作成圖表(xy曲線圖)</p>		

(圖十一)

伍、研究結果

一、實驗一 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力的大小關係

實驗 1-1 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係(圖十二)

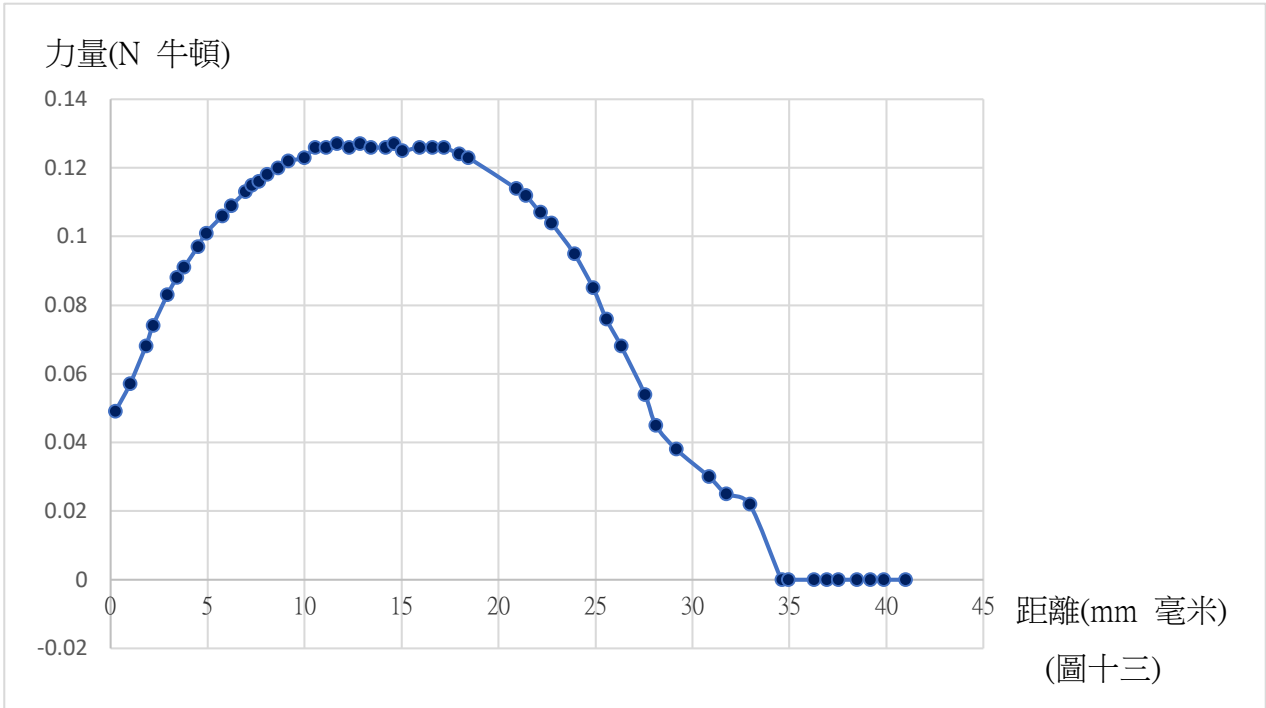


距離(毫米)	0.021	0.486	1.4	2.108	3.041	3.379	3.949	4.63
推力(牛頓)	0.054	0.06	0.073	0.083	0.093	0.094	0.098	0.104
距離(毫米)	5.178	5.773	6.217	6.652	7.41	8.292	9.459	10.659
推力(牛頓)	0.108	0.111	0.113	0.114	0.118	0.121	0.128	0.128
距離(毫米)	11.121	12.538	13.519	14.072	14.521	15.361	16.009	16.834
推力(牛頓)	0.128	0.129	0.128	0.128	0.127	0.127	0.128	0.127
距離(毫米)	17.372	18.043	18.873	19.971	20.539	21.341	21.704	23.097
推力(牛頓)	0.127	0.123	0.123	0.12	0.114	0.11	0.108	0.099
距離(毫米)	23.516	24.195	25.145	25.581	26.034	26.448	27.23	27.835
推力(牛頓)	0.088	0.086	0.075	0.072	0.061	0.056	0.051	0.047
距離(毫米)	28.314	29.056	29.85	30.464	31.282	32.19	32.206	33.065
推力(牛頓)	0.04	0.034	0.032	0.029	0.027	0.024	0.024	0.02
距離(毫米)	33.587	34.43	35.15	35.536	35.925	36.09	36.462	37.159
推力(牛頓)	0	0	0	0	0	0	0	0
距離(毫米)	38.625	39.334	40.469					
推力(牛頓)	0	0	0					

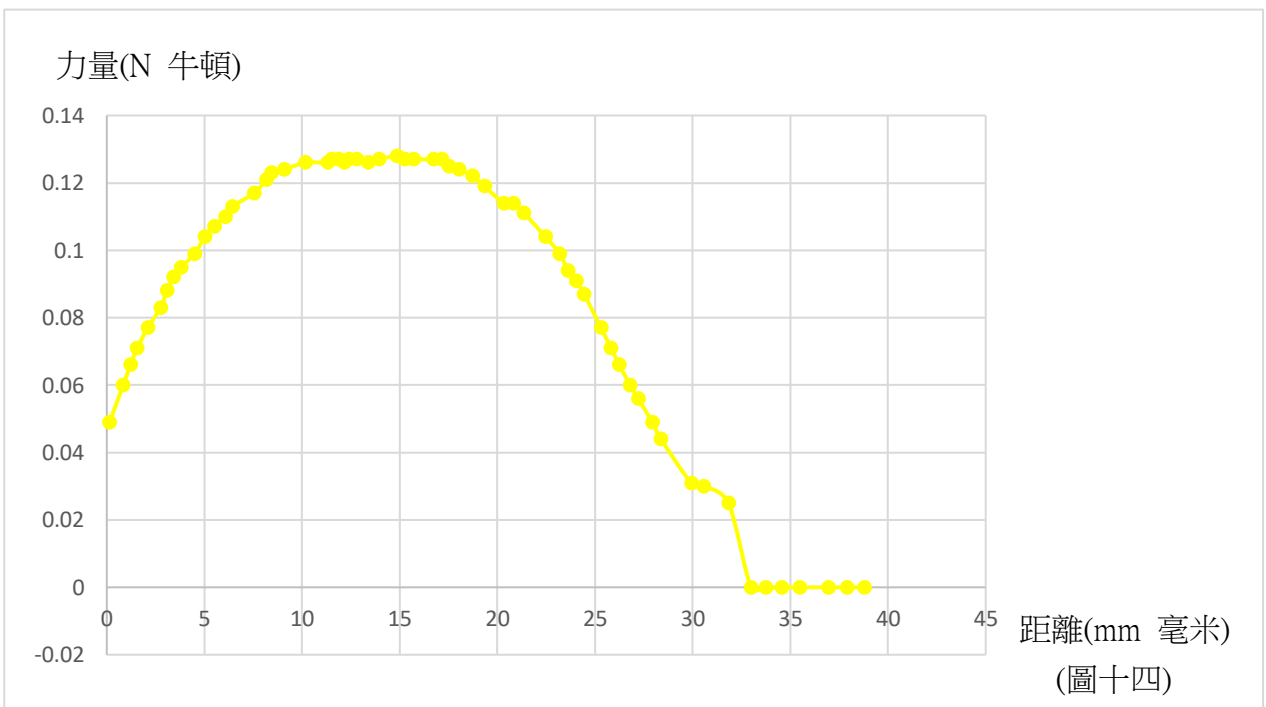
(圖十二)

(為節省頁面空間，之後各實驗原始細部數據將省略而僅以圖表呈現)

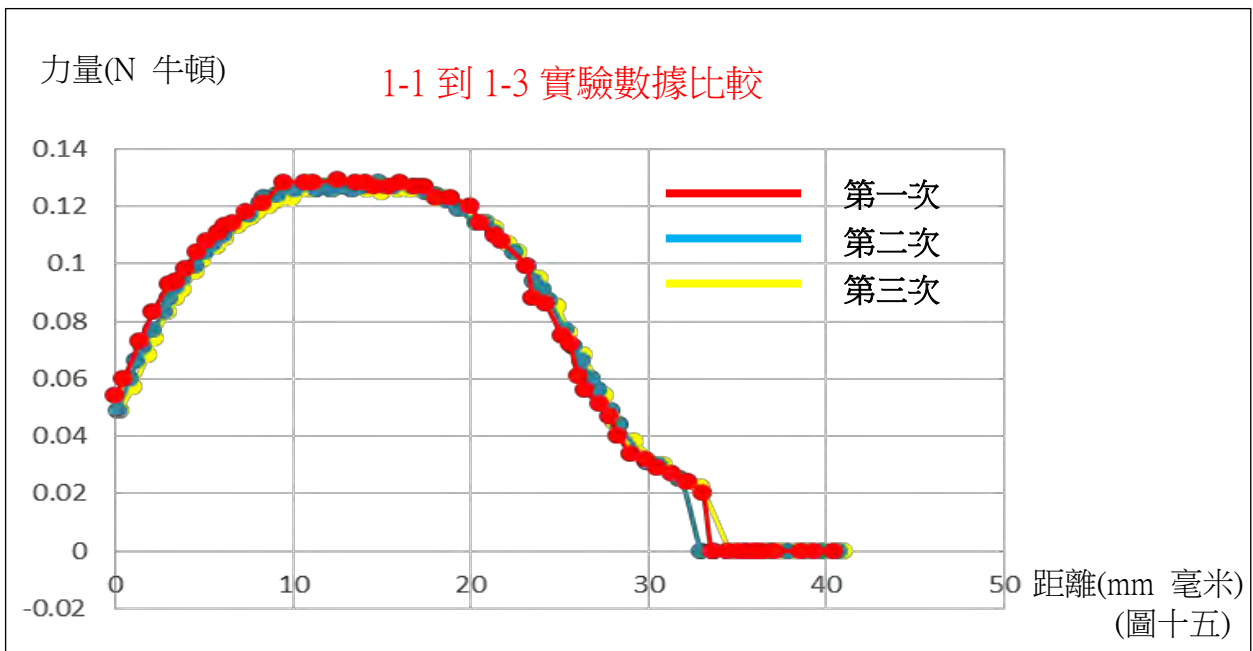
實驗 1-2 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係(圖十三)



實驗 1-3 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係(圖十四)

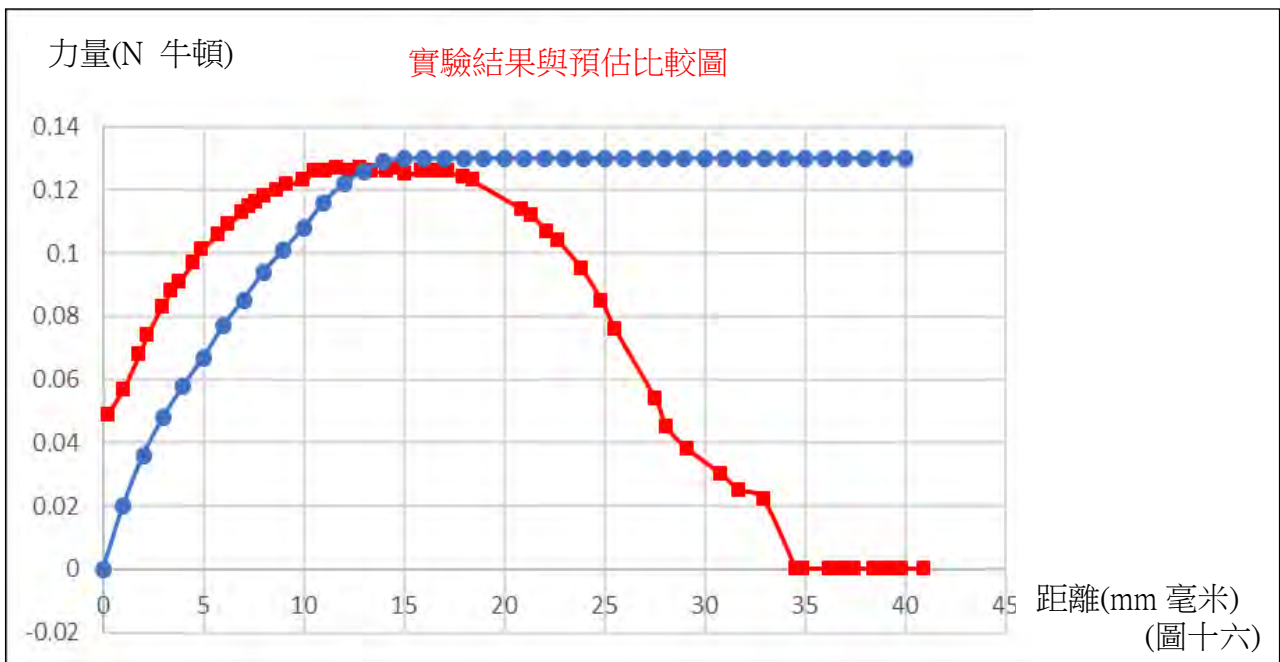


1-1 至 1-3 實驗數據比較(圖十五):



此圖表顯示三次實驗數據—永久磁鐵距離與推力關係相似度很高、重複性很好，推得在線圈單端永久磁鐵距離與推力關係呈現鐘形。

實驗結果與原本預估的比較圖(圖十六)：

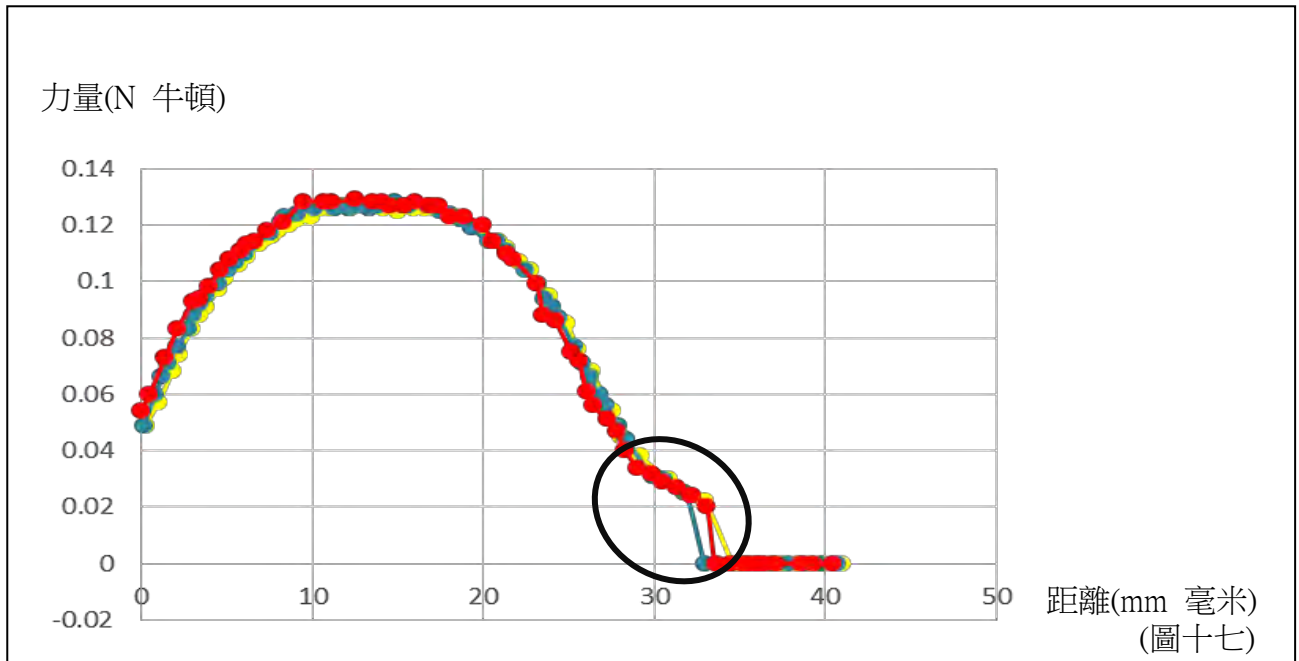


藍色曲線：原本預估

紅色曲線：實驗結果

此張圖表顯示實驗結果與預估大不相同

二、實驗二 永久磁鐵起始放置位置與發射長度關係



小結(圖十七):

由實驗一可推得最佳的發射位置為**中後段**，在前段位置時雖然力量足夠，但加速距離(或時間)過短；在中後段位置時有較長距離(或時間)能持續加速，可使永久磁鐵發射出去的距離最遠；在後段位置時，起始力量已經為零則根本無法發射前進。

實驗數據(開始位置、發射距離單位均為 mm，重複量測三次並計算平均值)(圖十八)：

起始位置	發射距離	平均
1	6.3	6.3
	6.4	
	6.2	
10	215.1	214.8
	214.6	
	214.7	
20	181.8	181.7
	181.4	
	181.9	
30	227	229
	228.5	
	231.5	
40	0	0
	0	
	0	

前段

中前段

中段

中後段

後段

(圖十八)

實驗數據實際位置示意圖：



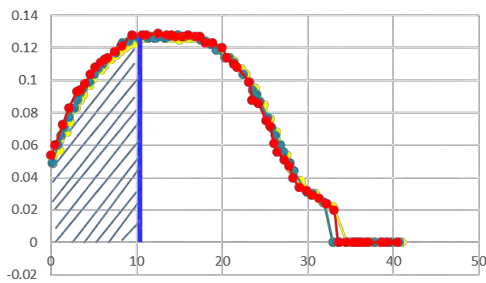
(圖十九)

大約將永久磁鐵推到紅線處(30 毫米)(不含永久磁鐵長度)，能發射的最遠

大約在藍線處(10 毫米) (不含永久磁鐵長度)，偵測到的推力最強

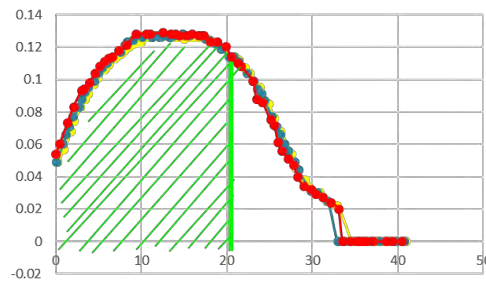
意外發現(圖二十):

力量(N 牛頓)



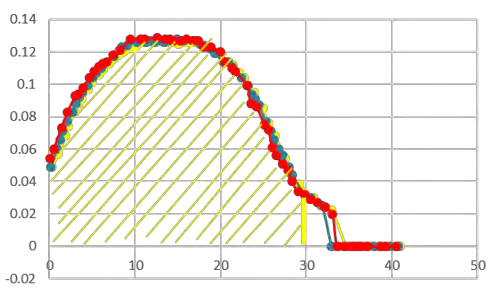
距離(mm 毫米)

力量(N 牛頓)



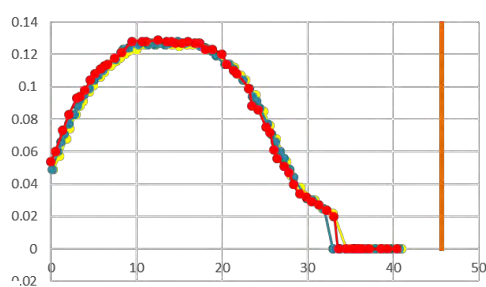
距離(mm 毫米)

力量(N 牛頓)



距離(mm 毫米)

力量(N 牛頓)



距離(mm 毫米) (圖二十)

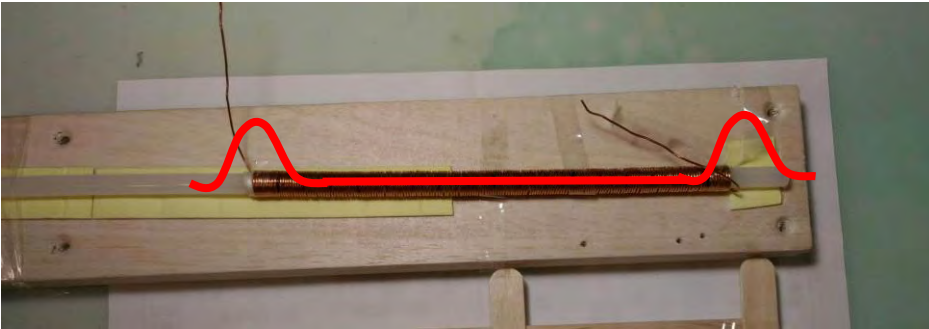
此四張圖表顯示力量與距離圍出的面積越大，則發射的距離越遠。但若起始發射的力量為 0，發射距離為 0 (根本無法發射)。

→物理說法:「作功」

三、實驗三 在相同繞漆包線圈數與相同電流下，如何使永久磁鐵砲彈發射得最遠。

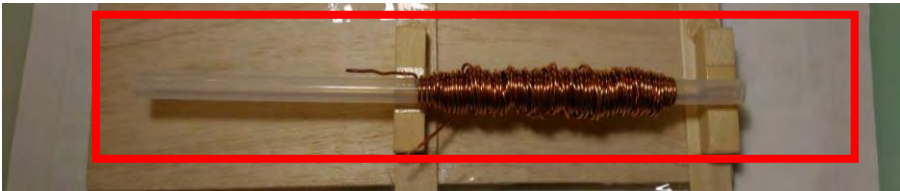
修改繞線設計

線圈的推力大小分布(圖二十一):

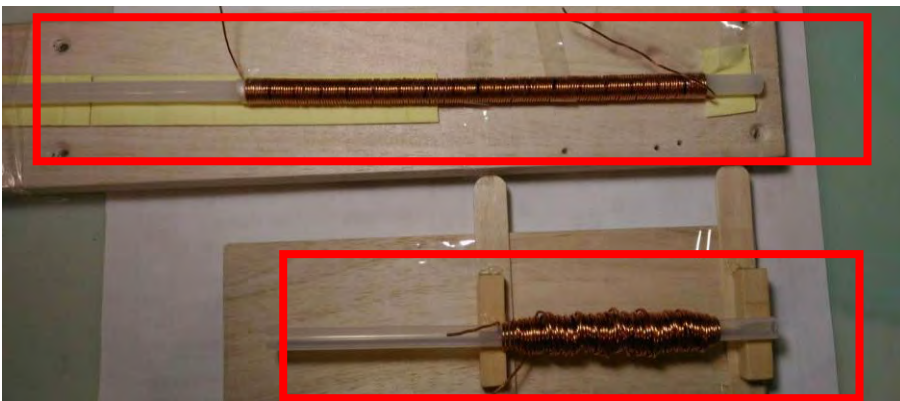


(圖二十一)

以上只是一個初步的小實驗，從初步實驗看來，線圈只有大約 1/4 會使用到，也就是剩下的線圈是多餘的，因此製作了相同圈數但長度不同的較短線圈。(圖二十二、二十三)



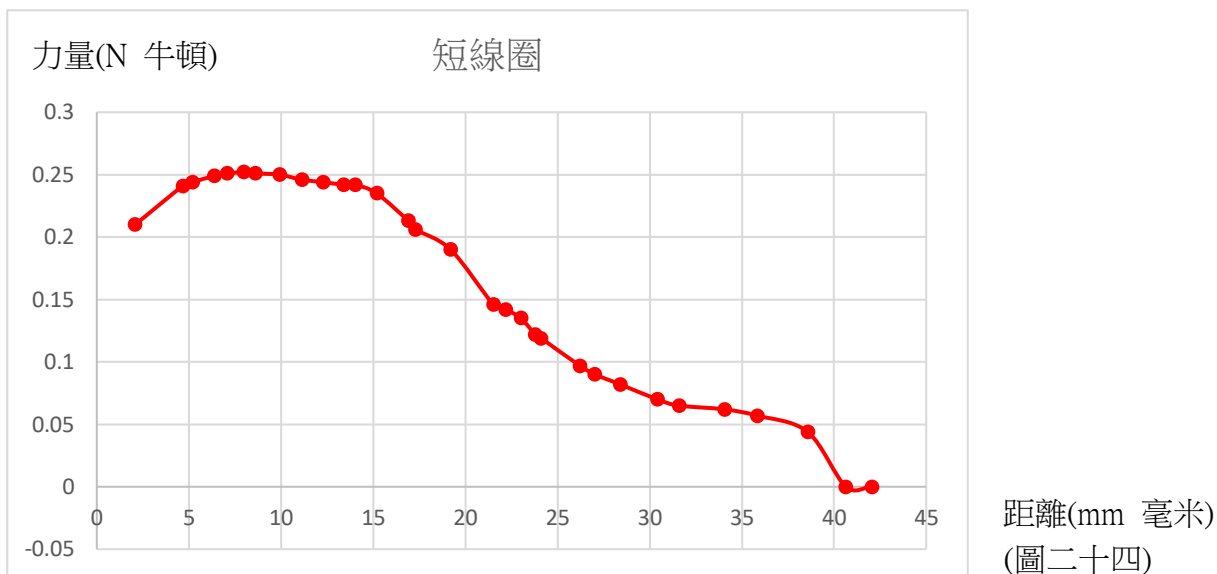
(圖二十二)較短線圈



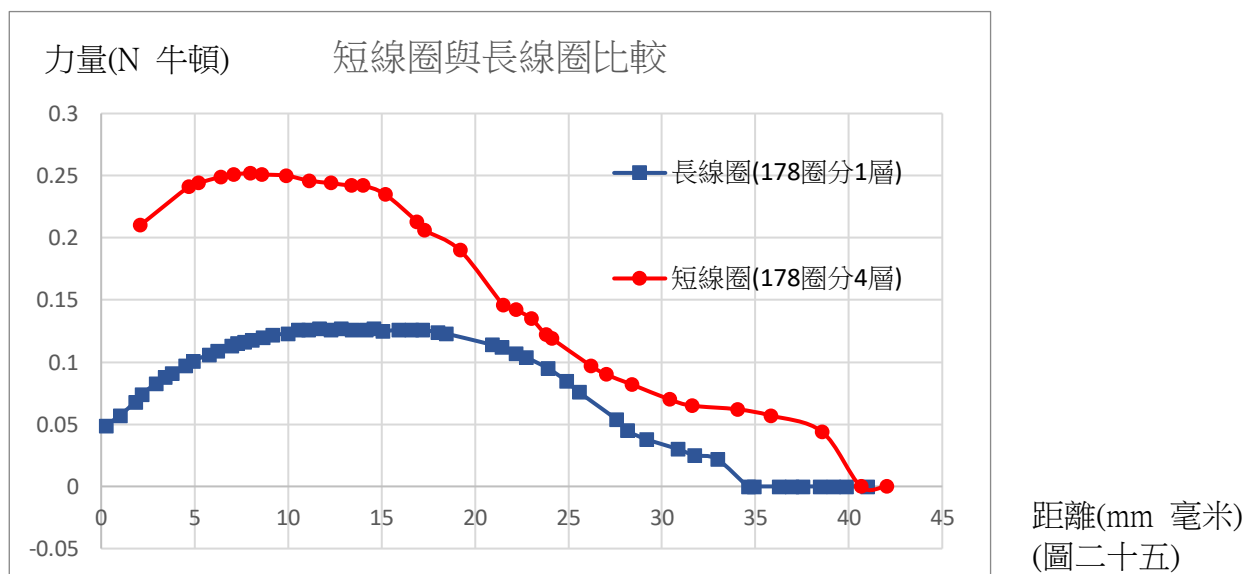
(圖二十三)長線圈與短線圈

同樣是 178 圈，長線圈只繞了一層，而短線圈繞了四層(因為是手工繞線，因此無法十分平整)。

實驗數據(圖二十四):



此圖表顯示短線圈所測量到的永久磁鐵距離與推力大小的關係和長線圈一樣呈現鐘形。

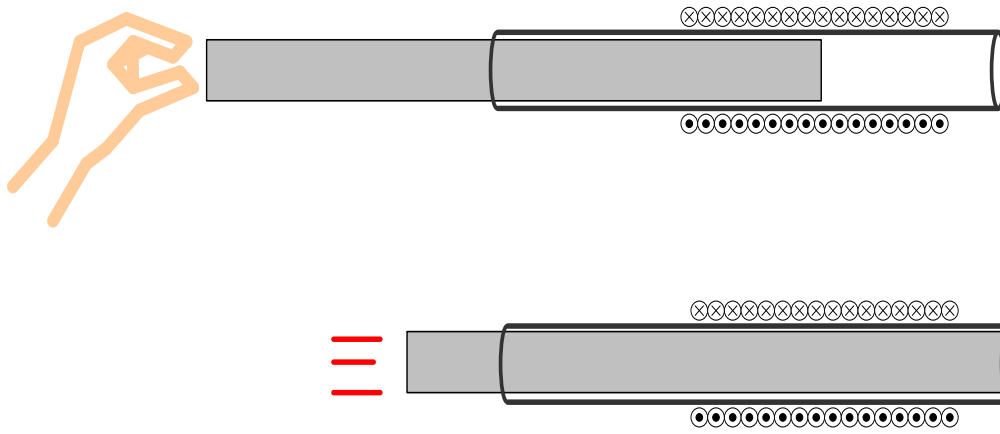


由此張圖表可以看出短線圈所測量出的推力明顯大於長線圈(圖二十五)

四、實驗四 在加入軟磁鐵棒下，對永久磁鐵砲彈推力與距離的影響

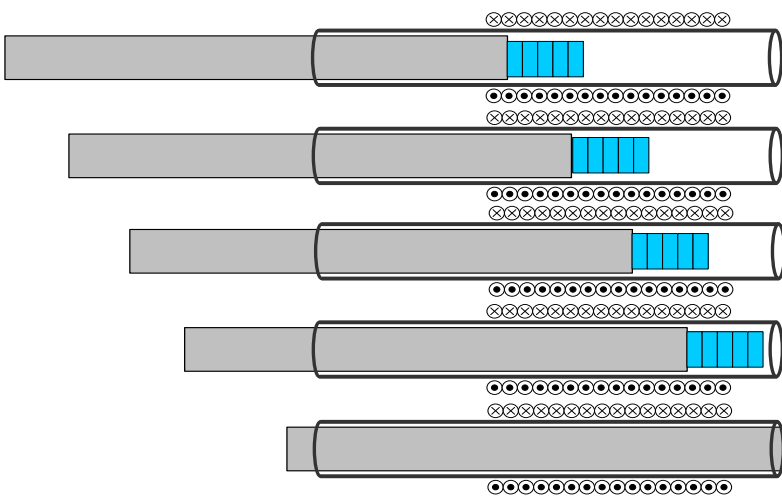
由查詢網站得知，電磁鐵(線圈+鐵芯)所產生的磁場強度與直流電大小、線圈圈數及中心的導磁物質有關，而實驗三已作了線圈圈數的研究，於是在實驗四中加入了中心的導磁物質——軟磁鐵棒。

在鐵氟龍管中放入軟磁鐵棒，線圈通電時，先用手固定住軟磁鐵棒，再放開後，會發現軟磁鐵棒向管內的一端移動，但稍微超出管內後，又停了下來。(圖二十六)



(圖二十六)

確認了這個現象後，初步猜想若將永久磁鐵與軟磁鐵棒結合置入線圈中，在初期靠近入口位置時，軟磁鐵棒會幫助永久磁鐵移動(若無軟磁鐵棒下，永久磁鐵本來是不會移動甚至向後方入口方向彈出)，而後期靠近出口位置情況下，永久磁鐵應該會因為軟磁鐵棒增強線圈磁力而被發射更遠。(圖二十七)

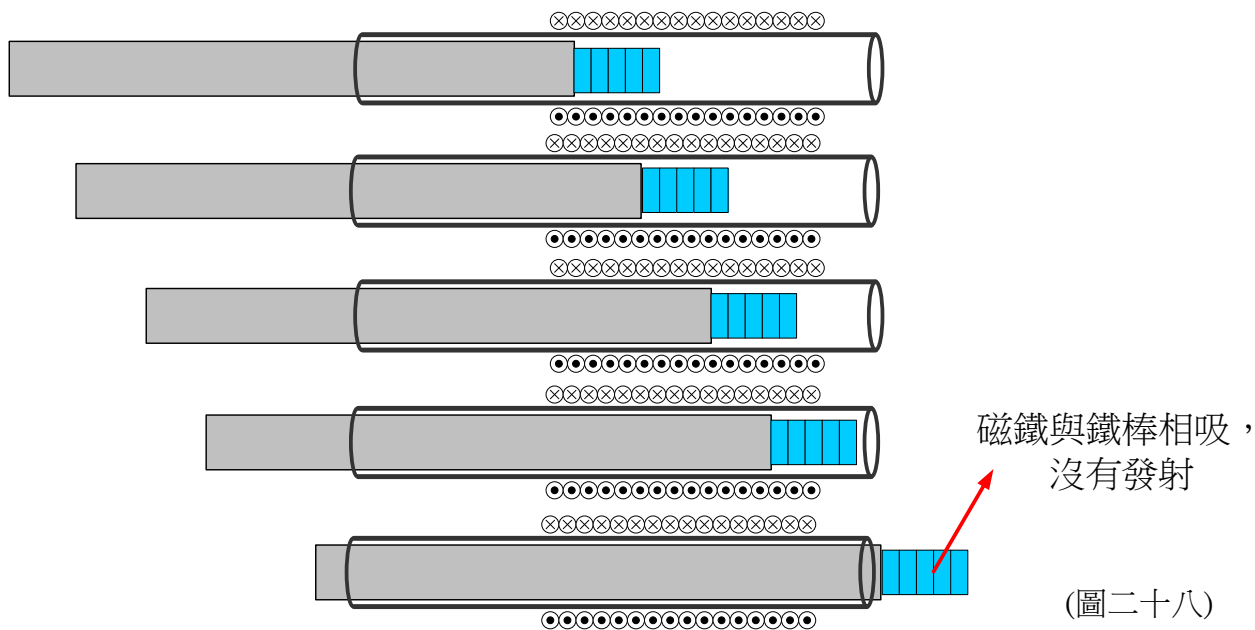


永久磁鐵所處的位置推力為0，但藉著鐵棒往管外的移動的力，也跟著向管外前進

這時，鐵棒已停止移動，磁鐵發射

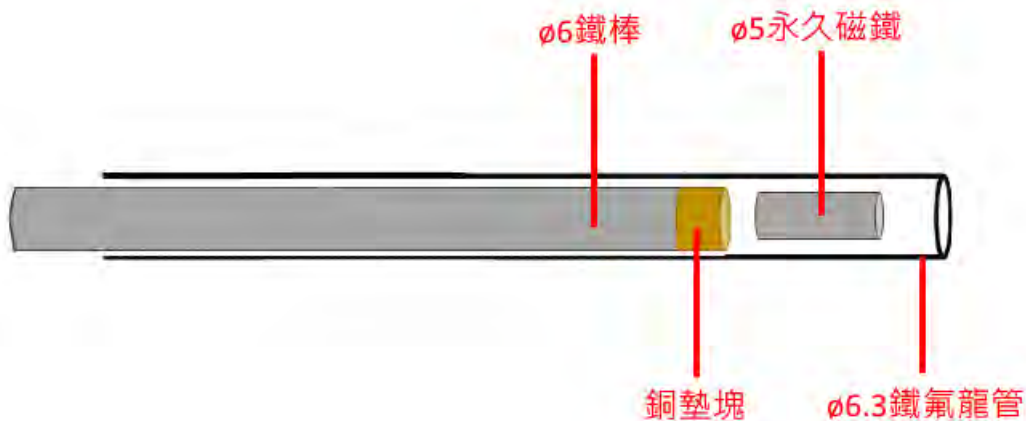
(圖二十七)

在以實際實驗驗證猜想後，卻得到了以下結果(圖二十八)

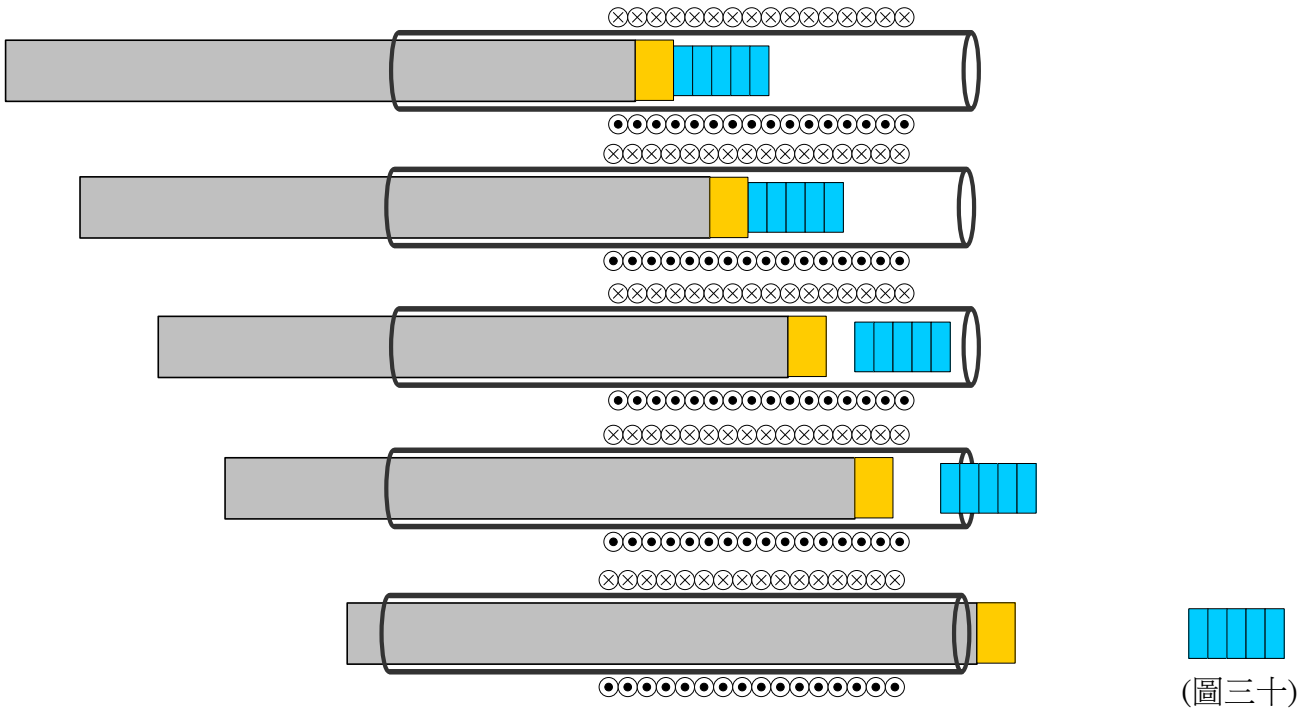


(圖二十八)

為了不讓後期永久磁鐵因為無法脫離軟磁鐵棒的吸附而無法發射，特別在軟磁鐵棒前端加入一不導磁墊塊(銅塊)。(圖二十九)重複上述實驗，確認永久磁鐵在軟磁鐵棒前端加入銅墊塊時，能脫離軟磁鐵棒而發射出去。(圖三十)

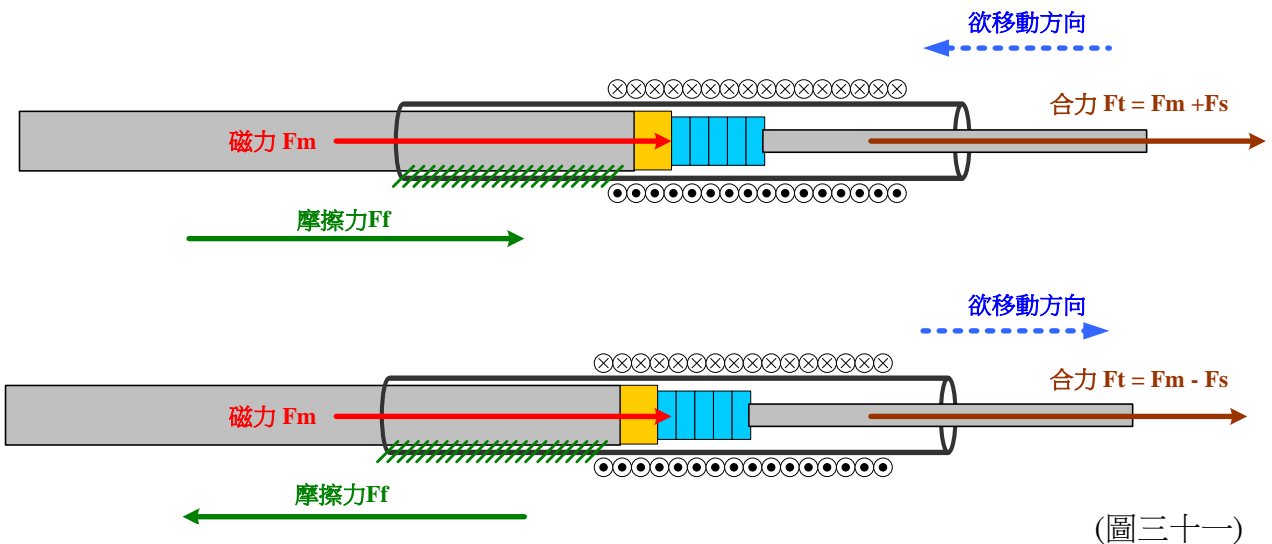


(圖二十九)

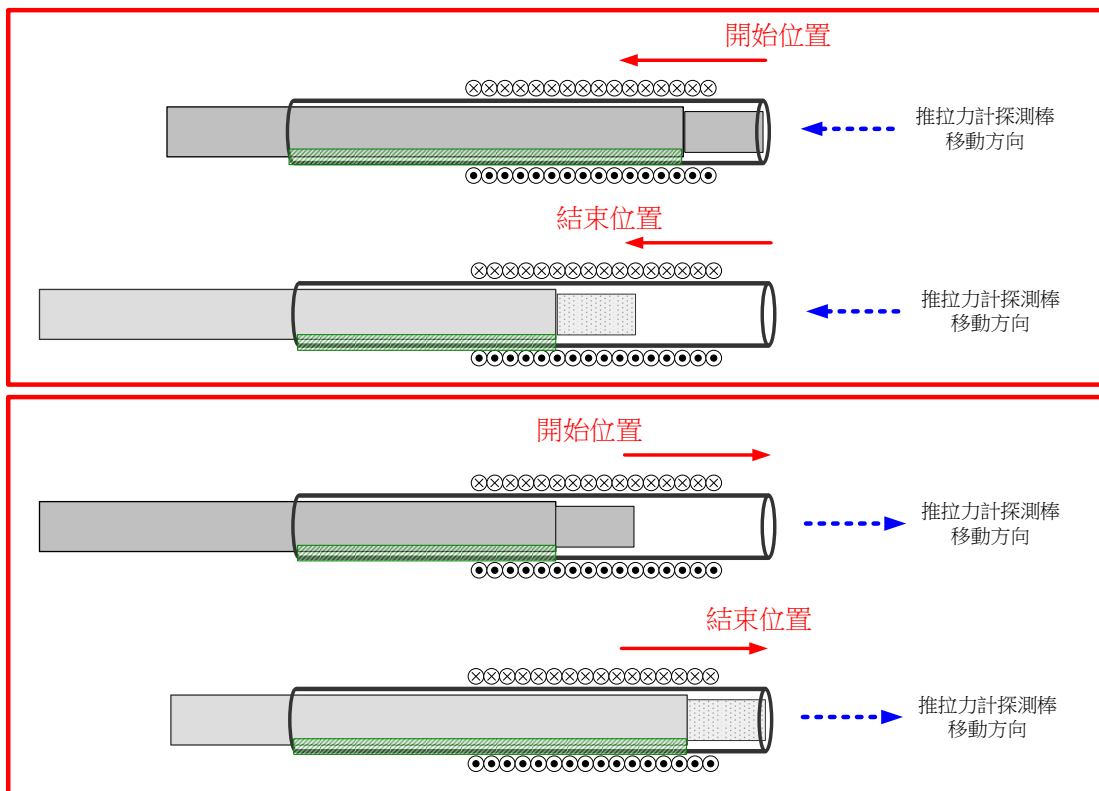


重複實驗一的方法欲量得推力與位置關係，卻發現在同個位置，由於手動施的力無法完全精確控制推拉力計，無法得到穩定量測值。推估是軟磁鐵棒摩擦力所影響，而且在愈靠近出口位置(軟磁鐵棒大部分都在鐵氟龍管)因接觸面積愈大，摩擦力的效應更該也愈大。

概念如下圖(圖三十一):

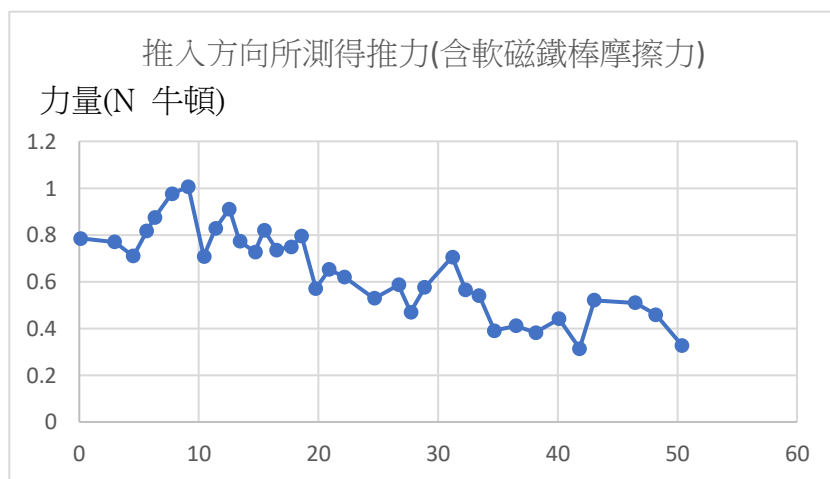


為了驗證此猜想並將永久磁鐵的效應摒除，因此使用與永久磁鐵相同大小的不鏽鋼棒(不感磁)，模擬軟磁鐵棒移動時，摩擦力的影響。(圖三十二)

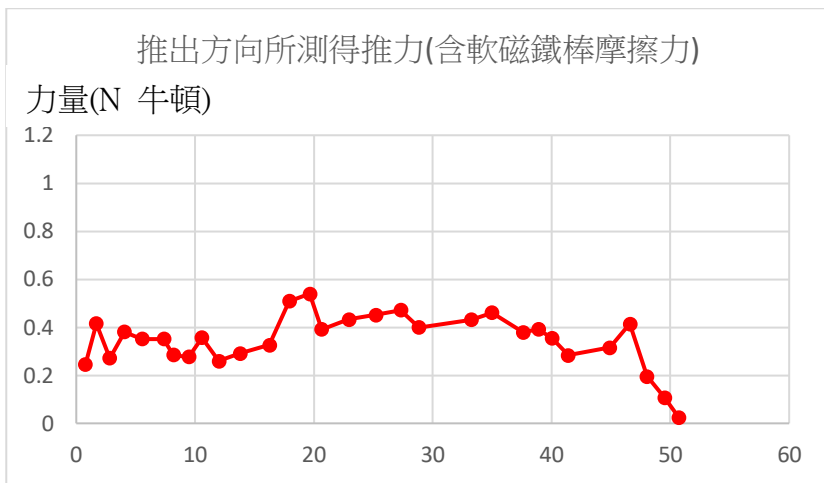


(圖三十二)

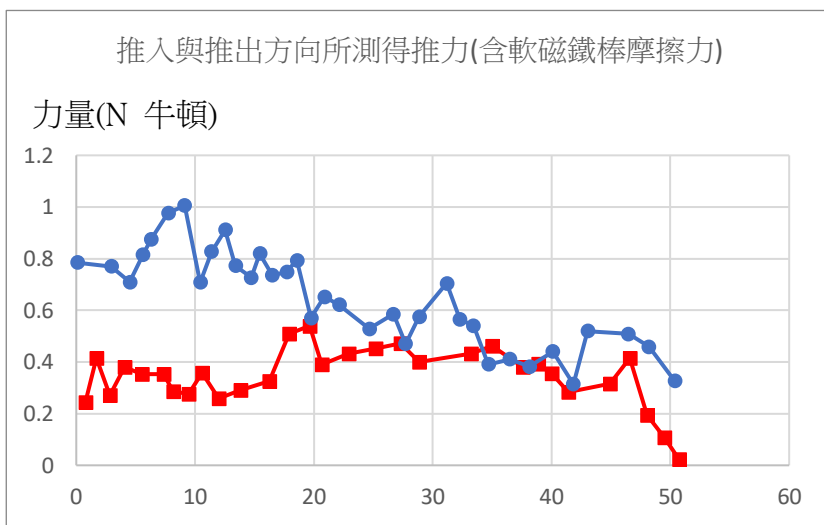
測量數據(圖三十三~三十五):



距離(mm 毫米)
(圖三十三)



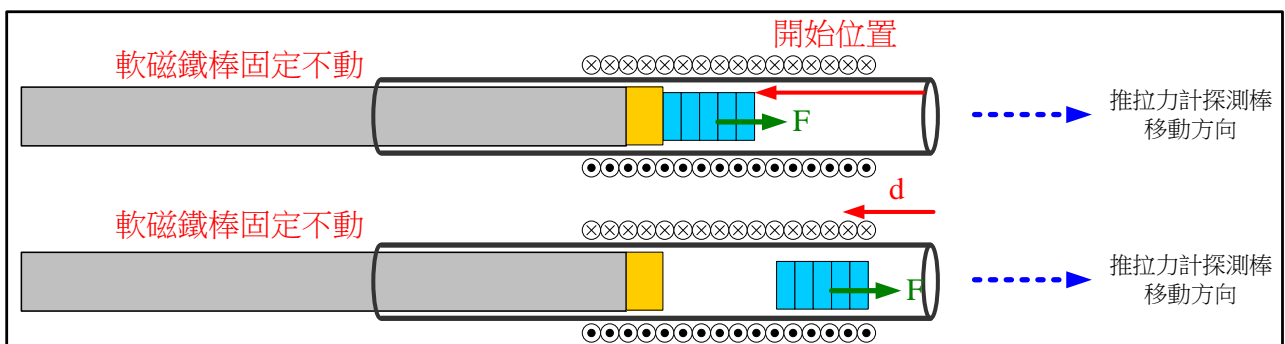
(圖三十四)



(圖三十五)

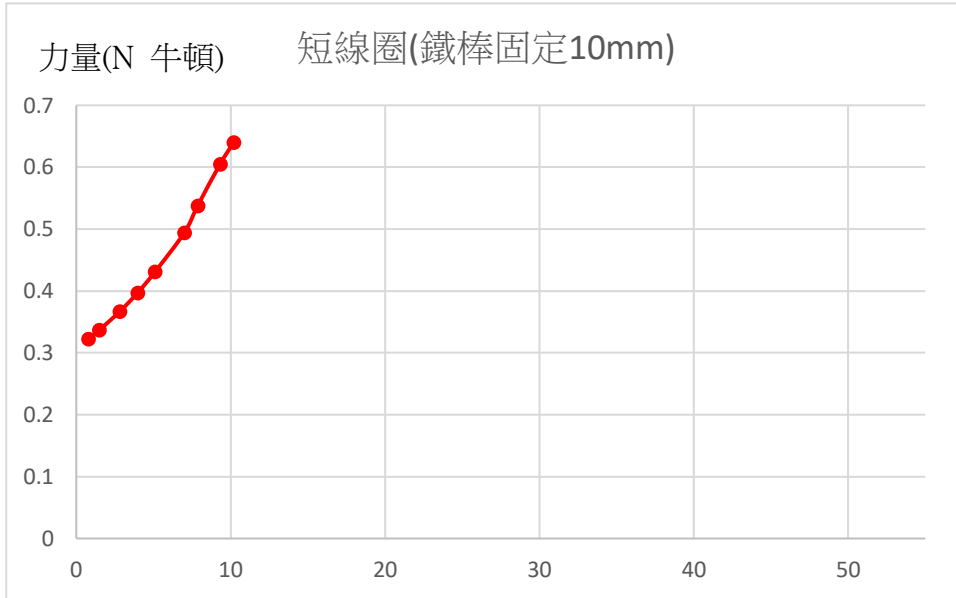
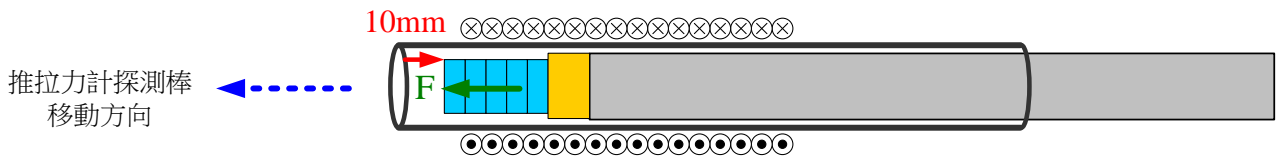
由以上三個圖表發現軟磁鐵棒移動所產生的摩擦力影響推力的量測值甚大。

在無法克服軟磁鐵棒摩擦力干擾量測的限制條件下，修改實驗為在不同距離下固定軟磁鐵棒，測量永久磁鐵在不同位置所受到的推力，示意圖如下(圖三十六)。

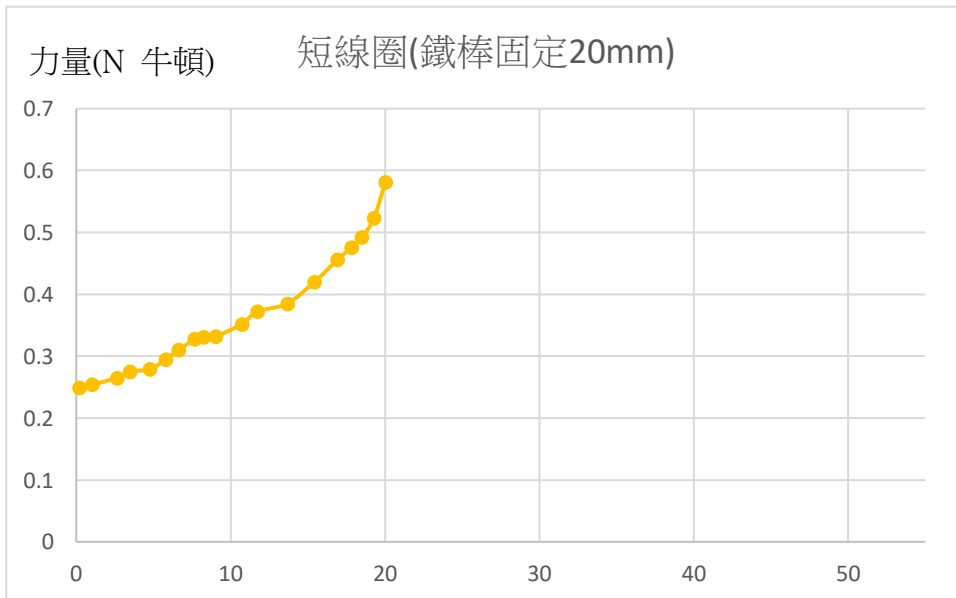
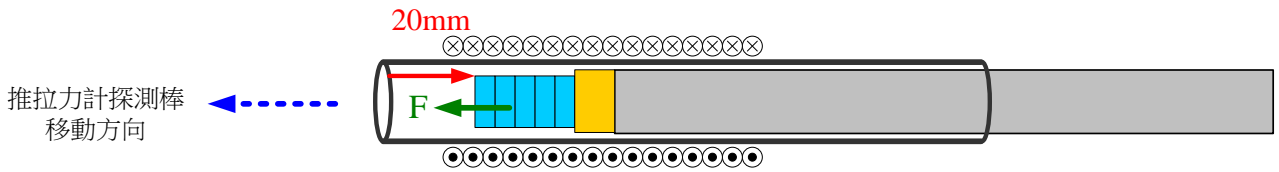


(圖三十六)

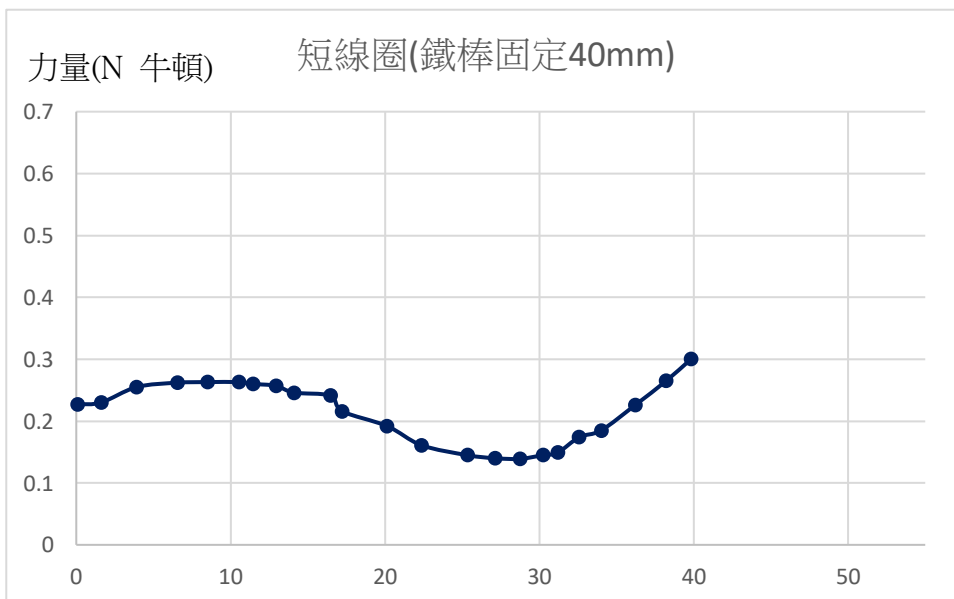
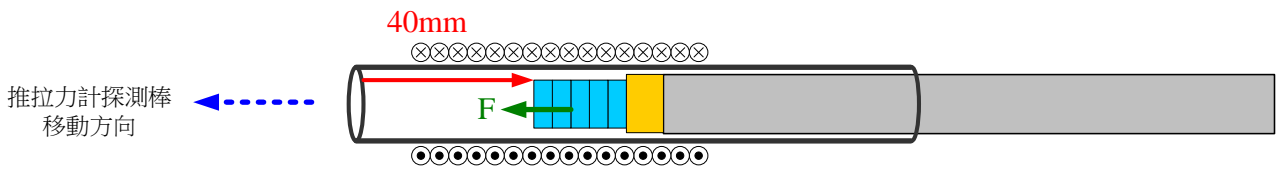
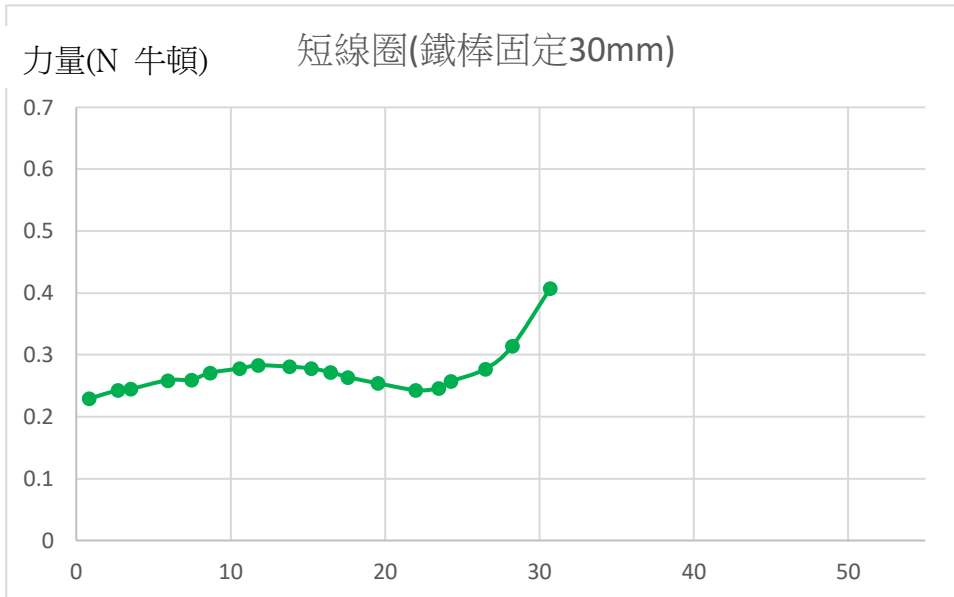
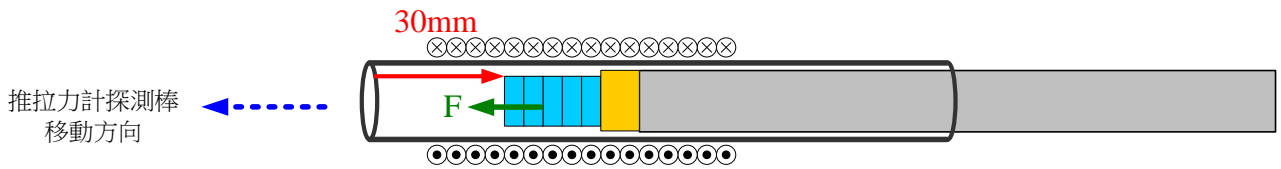
為方便與資料圖表對應，將上述說明圖鏡射顯示如下(圖三十七~四十一)

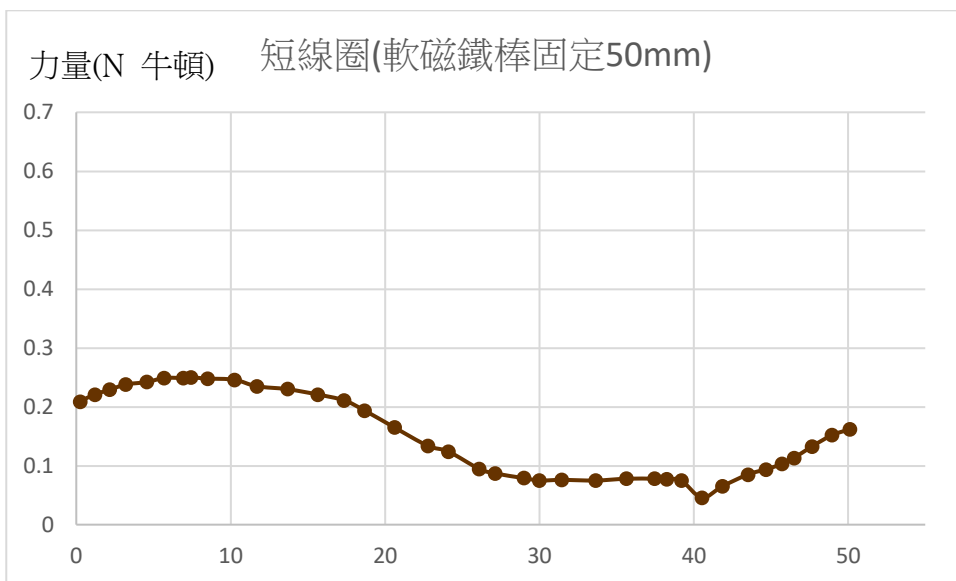
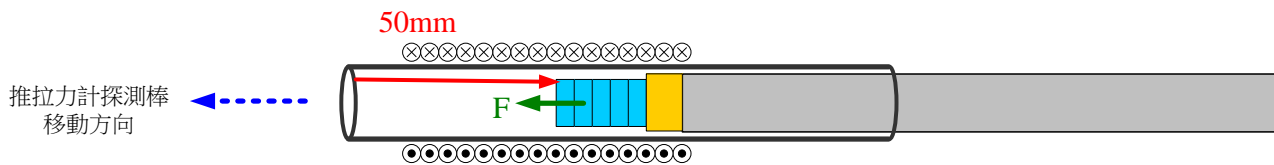


距離(mm 毫米) (圖三十七)

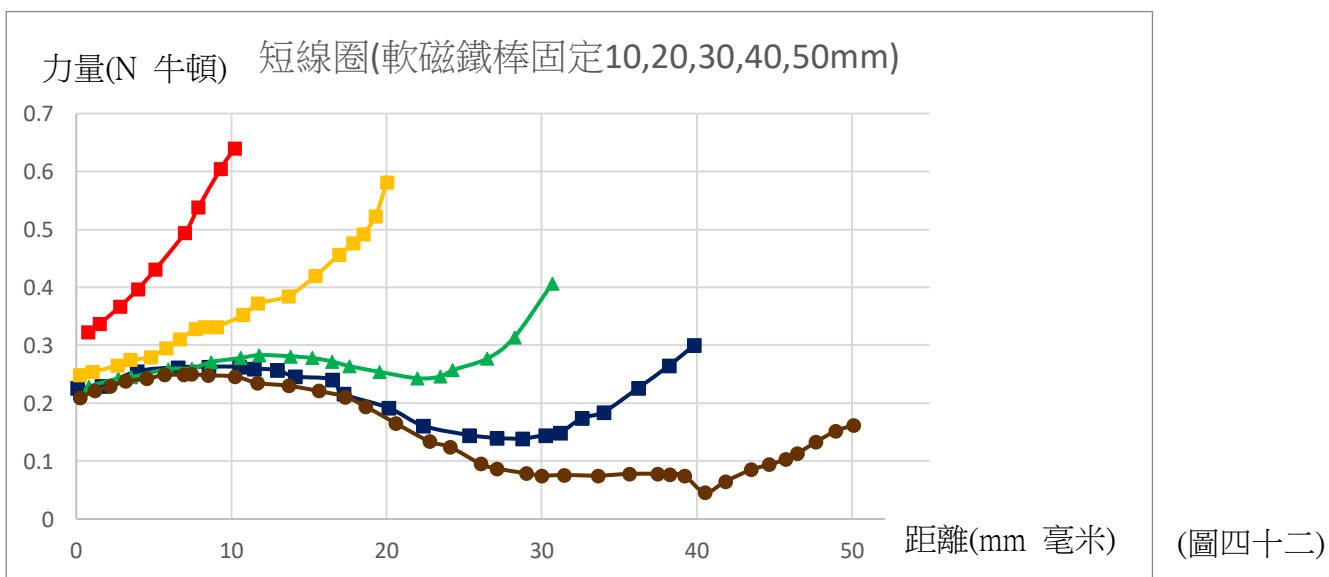


距離(mm 毫米) (圖三十八)

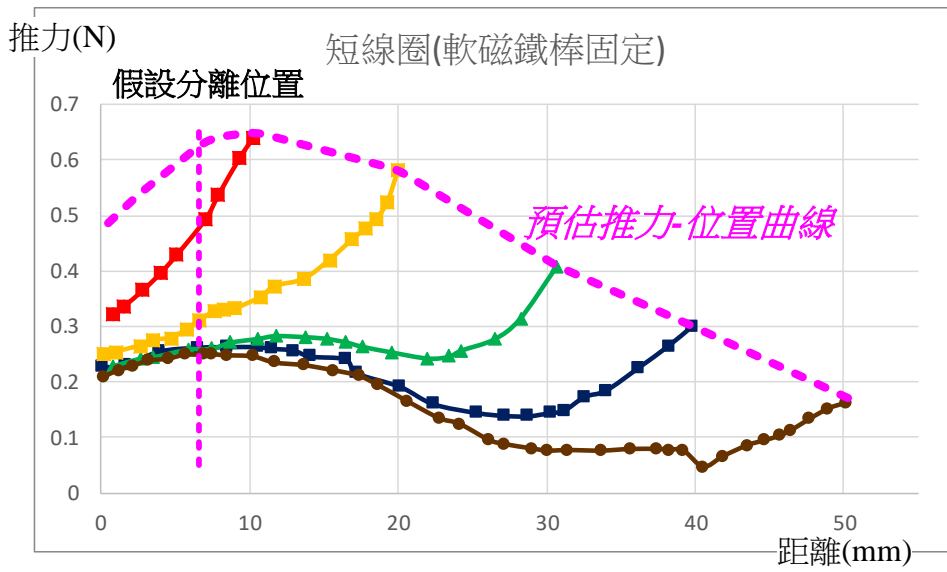




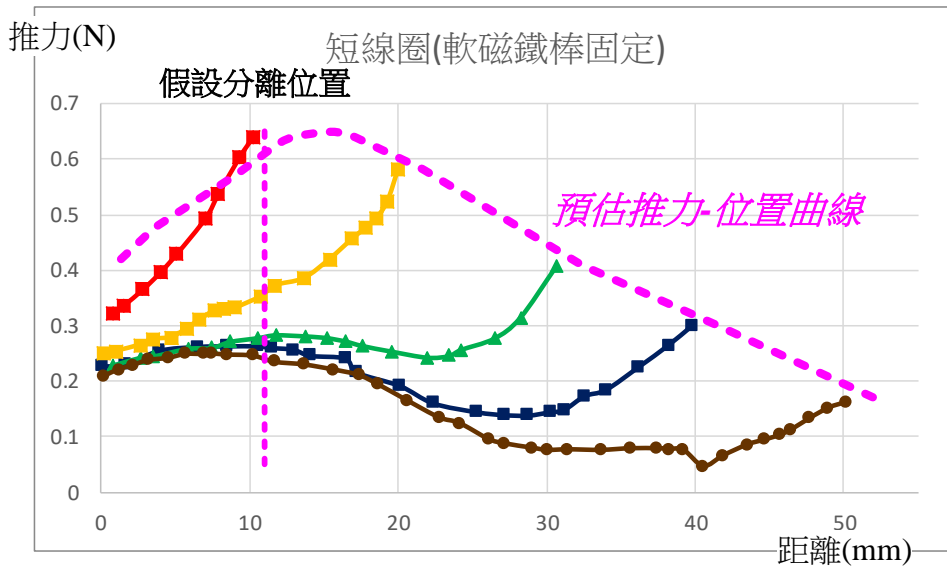
短線圈(軟磁鐵棒固定 10,20,30,40,50mm)數據比較：(圖四十二)



預估推力與位置曲線(圖四十三、四十四)



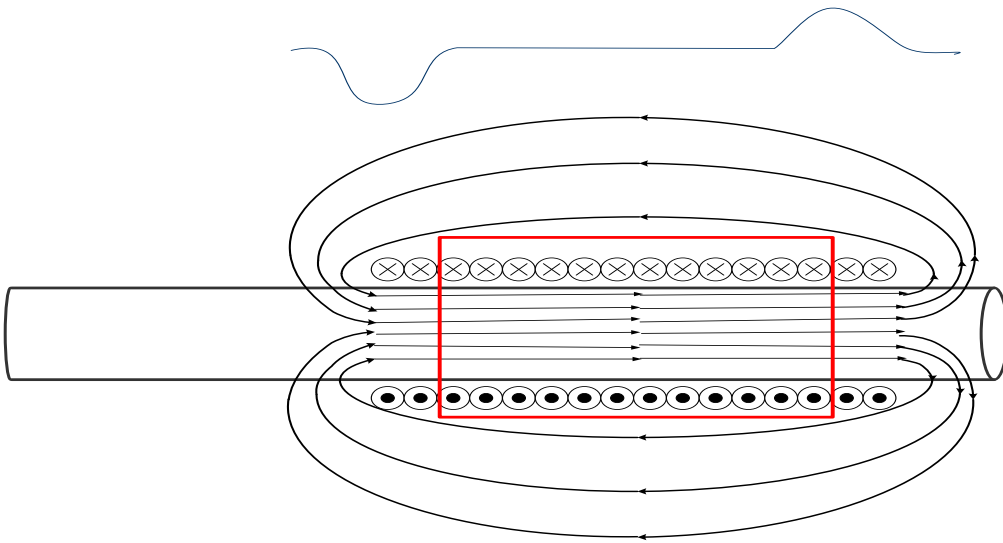
(圖四十三)



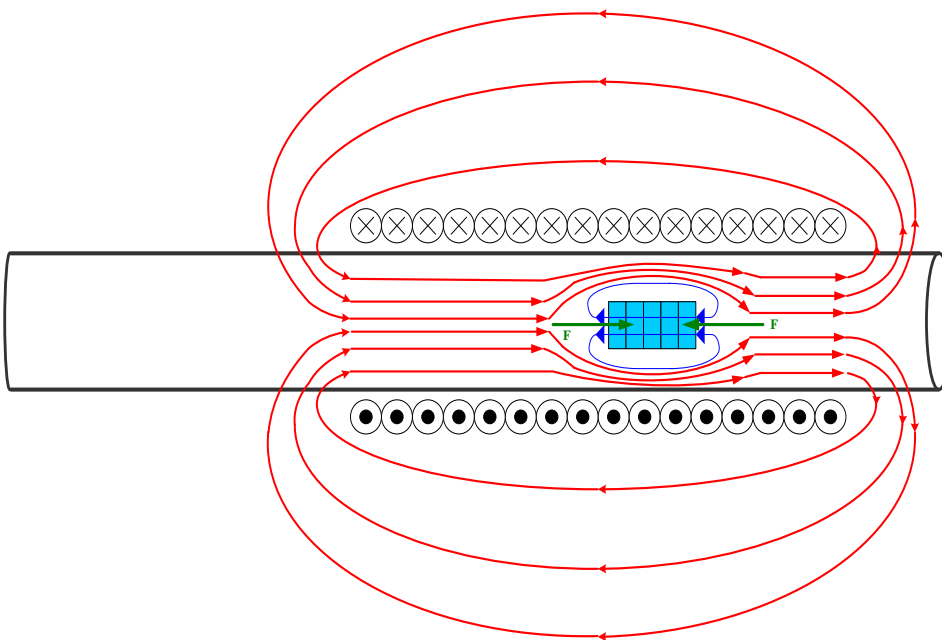
(圖四十四)

陸、討論

一、由實驗中發現，永久磁鐵放置位置與推力的大小關係在線圈前端呈現鐘形(在後端亦類似，但受力方向相反)，在到達一定位置後，永久磁鐵不再受推力。推測是因為線圈接近中央的區域(圖四十五)是均勻一致的磁場，在永久磁鐵完整進入此區域時，永久磁鐵兩端都會與線圈磁場相斥(永久磁鐵磁力線流出方向箭頭正對電磁線圈磁力線，永久磁鐵磁力線流入方向箭頭背對電磁線圈磁力線)永久磁鐵兩端所受到斥力大小相同且方向相反，所以合力為零，因此推拉力計測得數值接近零，但此項推測有待進一步的驗證。(圖四十六)

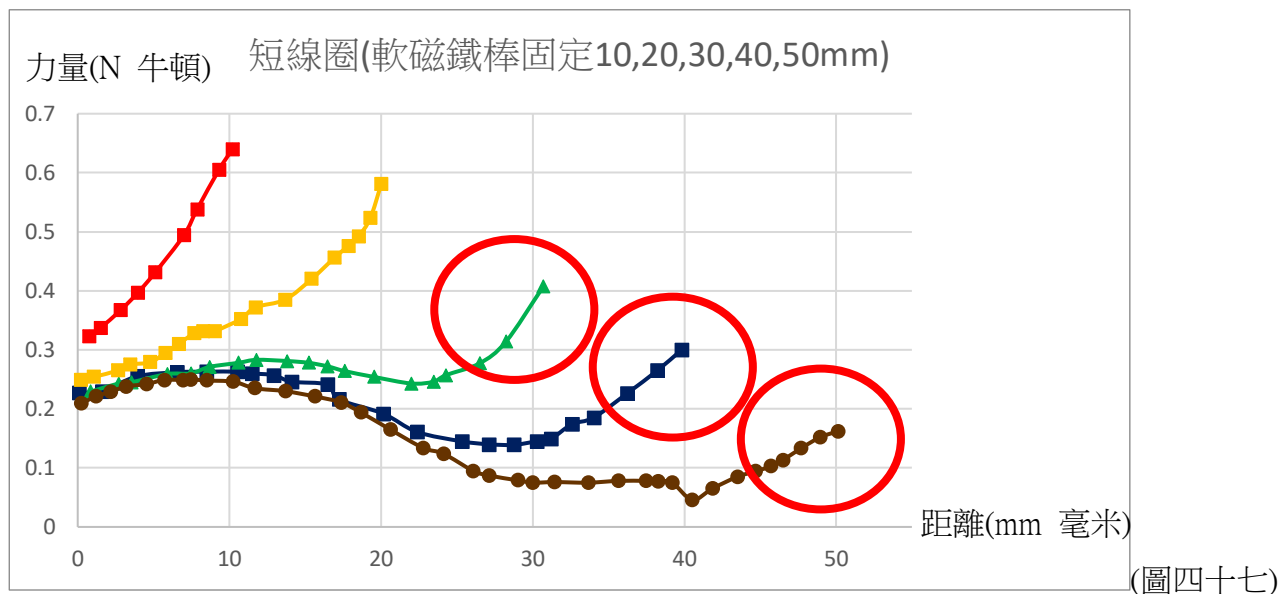


(圖四十五)

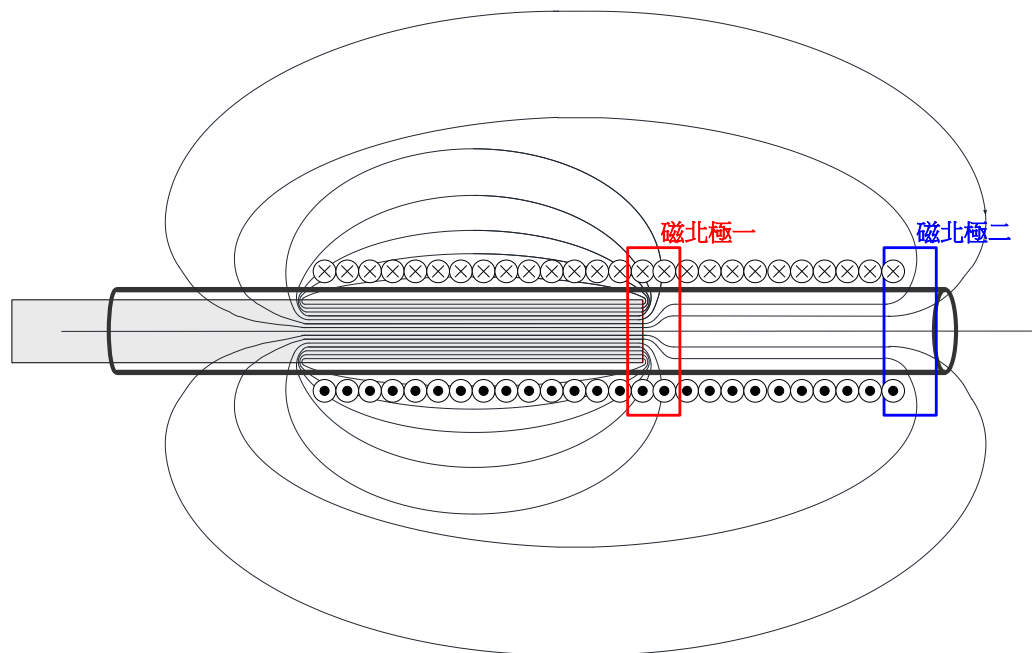


(圖四十六)

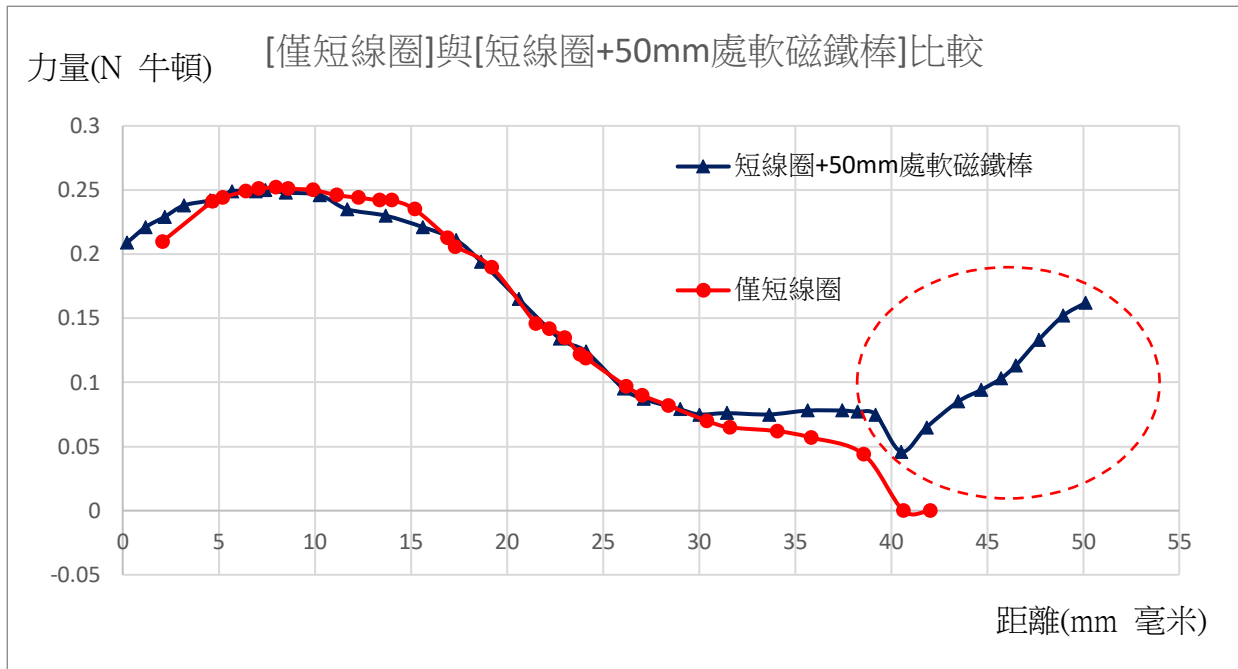
二、觀察在不同距離(10, 20, 30, 40, 50mm)下軟磁鐵棒固定時，所測量到的推力如下圖，在較靠近出口時(10, 20mm)，永久磁鐵愈靠近軟磁鐵棒時推力愈大，符合含軟磁鐵棒的電磁線圈磁鐵磁性較強的概念。在離出口較遠時(30, 40, 50mm)，永久磁鐵進入電磁線圈後推力上升再逐步下降，但在靠近軟磁鐵棒時又再上升，甚至超出前一波最大值。(圖四十七)



依此數據推測，離出口較遠時(30, 40, 50mm)，除出口處線圈形成一個磁極外，軟磁鐵棒在管內形成了一個磁極，示意圖如(圖四十八)，但此項推測有待進一步的驗證。



特別是在與原先空心線圈的測量數據比較下，軟磁鐵棒呈現的磁極非常明顯(圖四十九)



(圖四十九)

三、線圈型磁力砲一般分為永久磁鐵砲彈型、軟磁砲彈型，本研究的實驗四，結合了此兩種類型而成混和型——軟磁鐵棒一開始時助推永久磁鐵向前移動(若在這位置只有永久磁鐵則無法發射甚至是向後發射)，在末段時接合電磁線圈形成更大的磁場以相異磁極相斥力加速推出永久磁鐵砲彈。因此不論是電流控制的簡易度、推力的行程長度以及電磁線圈所產生的磁場都是較佳的選擇，比較說明圖表如下(圖五十)。

型態圖			
類型	永久磁鐵砲彈	軟磁砲彈	混和型(軟磁鐵棒助推，永久磁鐵發射)
砲彈起始放置位置	偏出口位置	入口位置之外	偏入口位置
電流控制	不須精確控制電流OFF時間	須精確控制電流OFF時間(中間必須切斷電流，否則推力為負值)	不須精確控制電流OFF時間
有推行程	短(只有線圈出口前端)	中(中間切斷電流，推力為0)	長
線圈產生的磁場	弱(空氣線圈)	中	強(因為有軟磁鐵芯幫助)

(圖五十)

柒、結論

- 一、永久磁鐵放置位置與推力的大小關係在線圈前後端呈現鐘形，到達內部一定位置後不再產生推力。
- 二、永久磁鐵放置在线圈入口處中後段位置能使其發射得最遠。
- 三、若永久磁鐵放啟始放置位置所偵測到的推力為零，則根本無法發射。
- 四、若起始發射位置的推力不為零，則力量與距離圍出的面積越大，則發射的距離越遠。
- 五、縮短磁力線的路徑、增加線圈的單位密度，能使偵測到的推力變大，永久磁鐵發射更遠。
- 六、在线圈配合軟磁鐵棒前方有不導磁物質的情況下，能使永久磁鐵發射更遠。

捌、參考資料及其他

https://www.youtube.com/watch?v=02m7w_ohvWI

<https://www.youtube.com/watch?v=TWkJsaCiGQ0>

<https://www.youtube.com/watch?v=4todblgEPBY>

https://wiki.microduino.cn/index.php?title=Microduino_%E7%94%B5%E7%A3%81%E7%82%AE/zh&variant=zh-hk

<http://w3.sljhs.ylc.edu.tw/bandit/AmpRule.htm>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E7%A3%81%E9%90%B5>

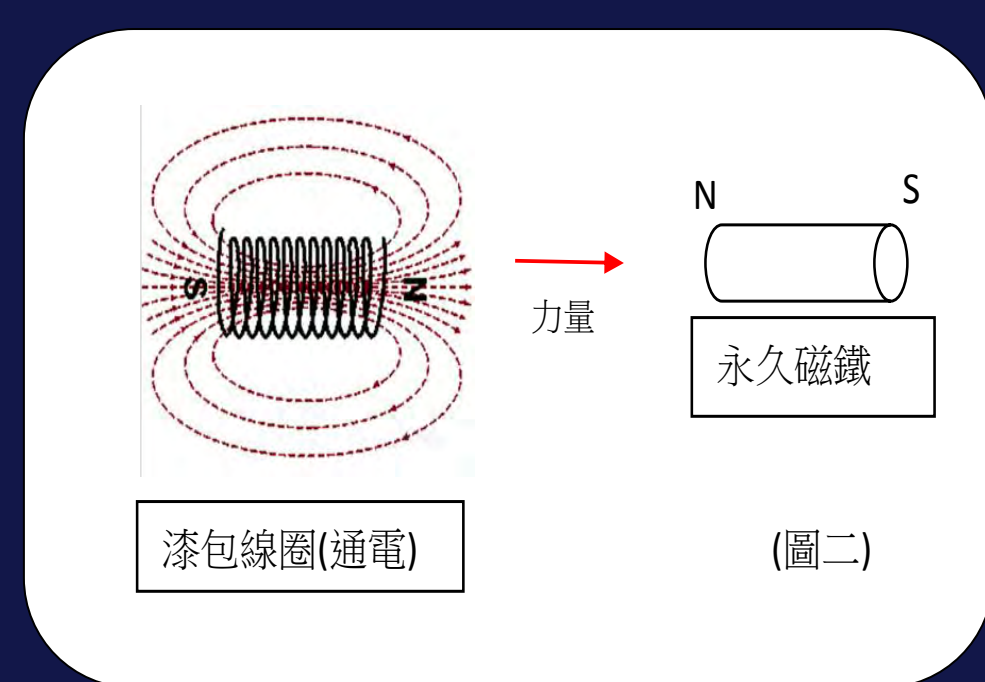
【評語】 030112

實驗的操作精熟，口語的表達清楚。實驗過程可利用影片展示，線圈每公分匝數可數量化且線圈第二層、第三層更精準的話，磁力可更加強。對於實驗用途可做建議，以提高研究的價值。

作品海報

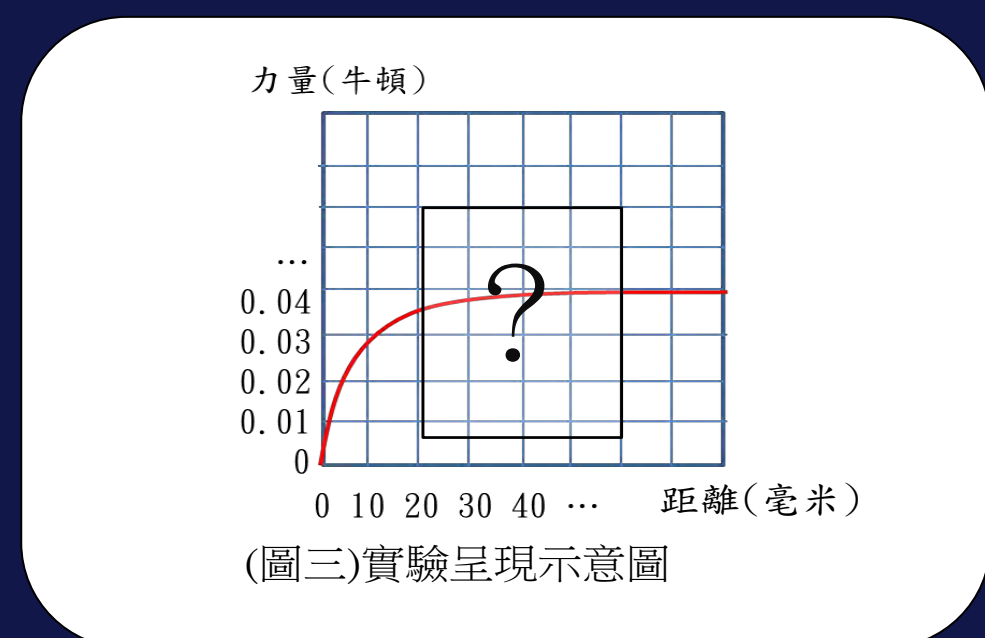
壹、研究動機

在小學的時候，自然課曾經做過簡易式的電磁鐵實驗，發現線圈可以產生磁力，與永久磁鐵產生相斥或相吸的力量。我也曾經看過利用漆包線與磁鐵模擬發射砲彈的影片，十分有趣，因此覺得很好奇，想試著做做看。但嘗試過後，發現起始放置位置與發射長度的關係跟想像的大不相同，於是，我就開始設計一套實驗(圖二)。



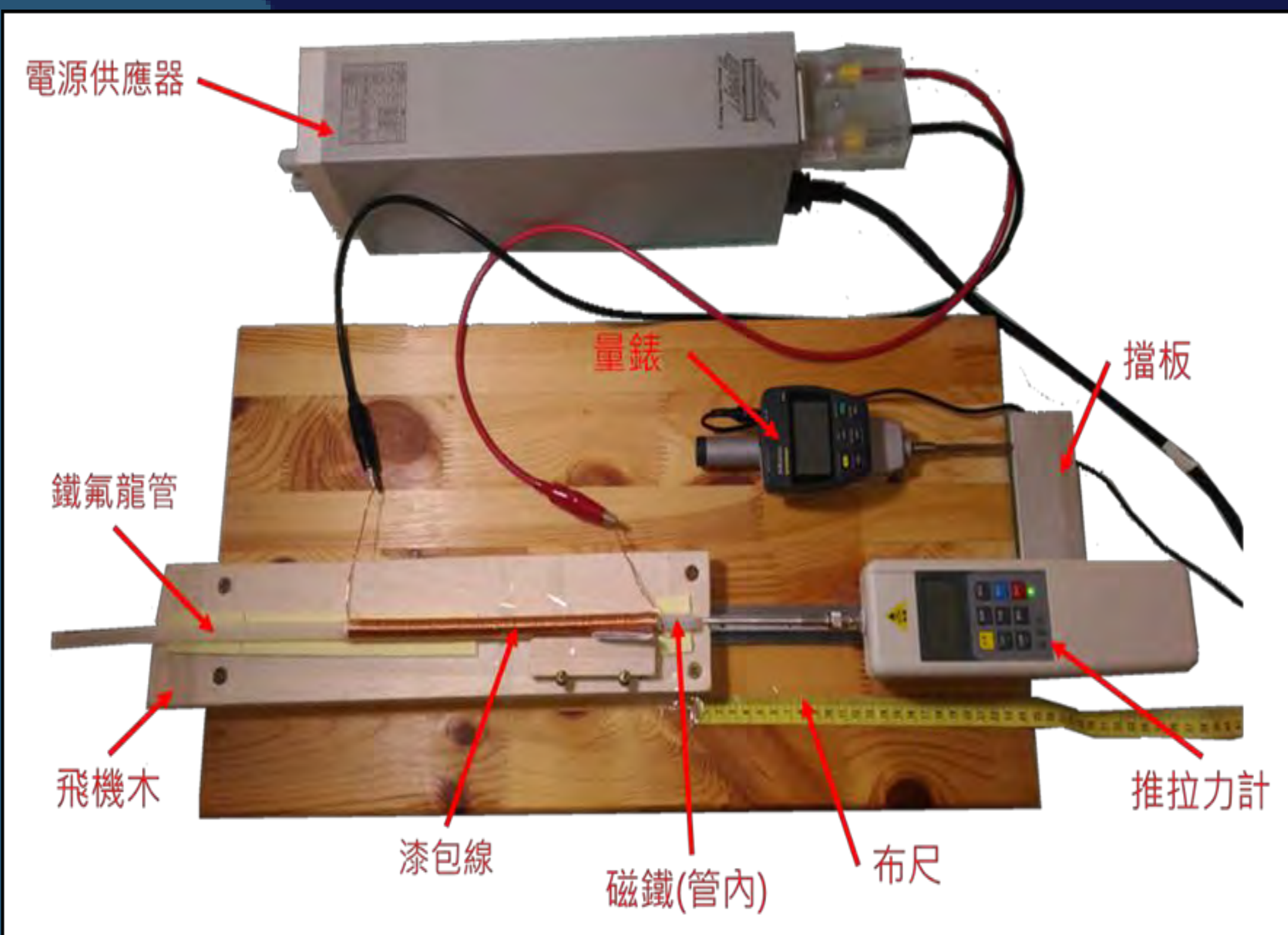
貳、研究目的

- 一、永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係。(預計以曲線圖呈現→圖三)
- 二、永久磁鐵砲彈的起始放置位置與發射長度的影響。
- 三、在相同繞漆包線圈數與相同電流下，如何使永久磁鐵砲彈發射得最遠。
- 四、在加入軟磁鐵棒下，對永久磁鐵砲彈推力與距離的影響。



參、研究設備及器材

- 一、主要器材：漆包線、強力磁鐵、管徑與強力磁鐵配合之鐵氟龍管(材質較滑可以減少摩擦力)、滑軌
其他：60*30木板、飛機木(12*915*80mm ×2)、布尺、泡棉膠、膠帶、剪刀、鋁板(固定在推拉力計上，用來推動量錶的偵測棒)、冰棒棍
- 二、儀器：推拉力計(偵測力量)、量錶(偵測距離)、直流電源供應器
- 三、儀器器材設置完成圖：

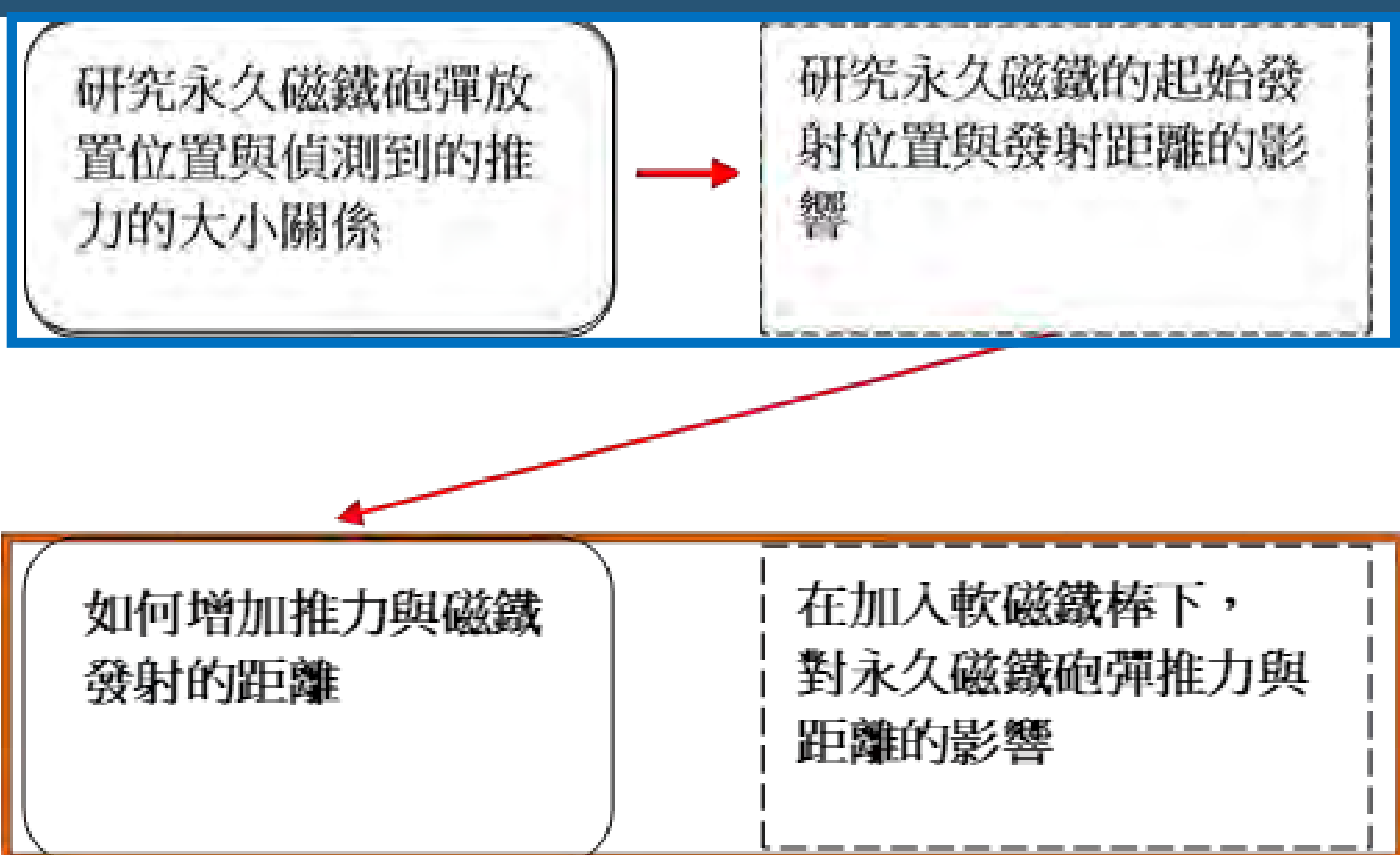


打開電流供應器並設置完成後，當推拉力計的偵測棒推動永久磁鐵向前(左方)前進時，固定在推拉力計上的擋板會推動量錶的偵測棒，使距離(毫米)的數據增加，在永久磁鐵移動的同時，推拉力計會依據偵測到的推力多寡，顯示推力的大小(牛頓)。

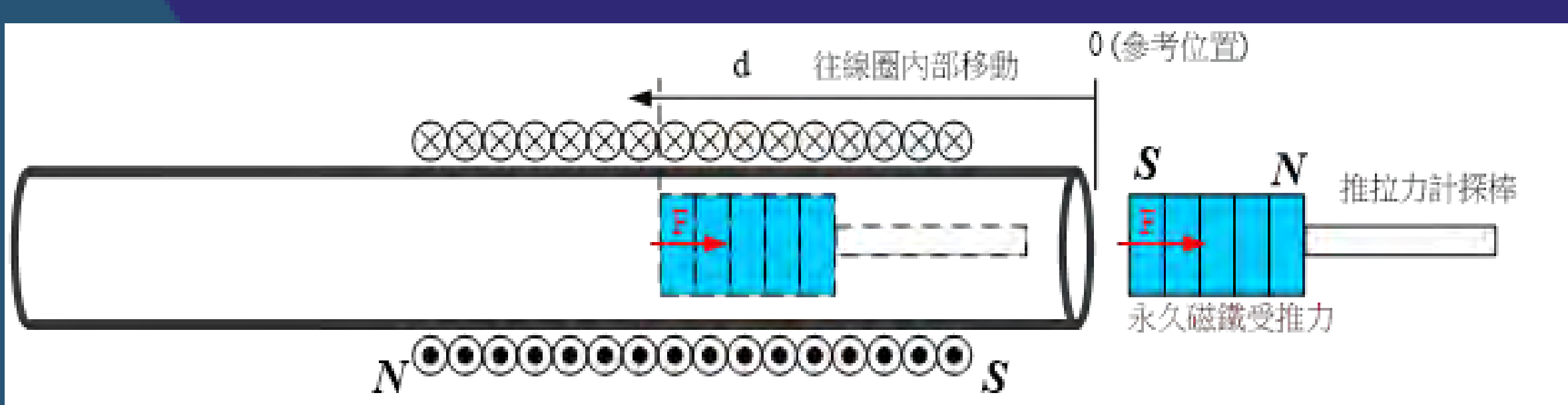


肆、研究過程或方法

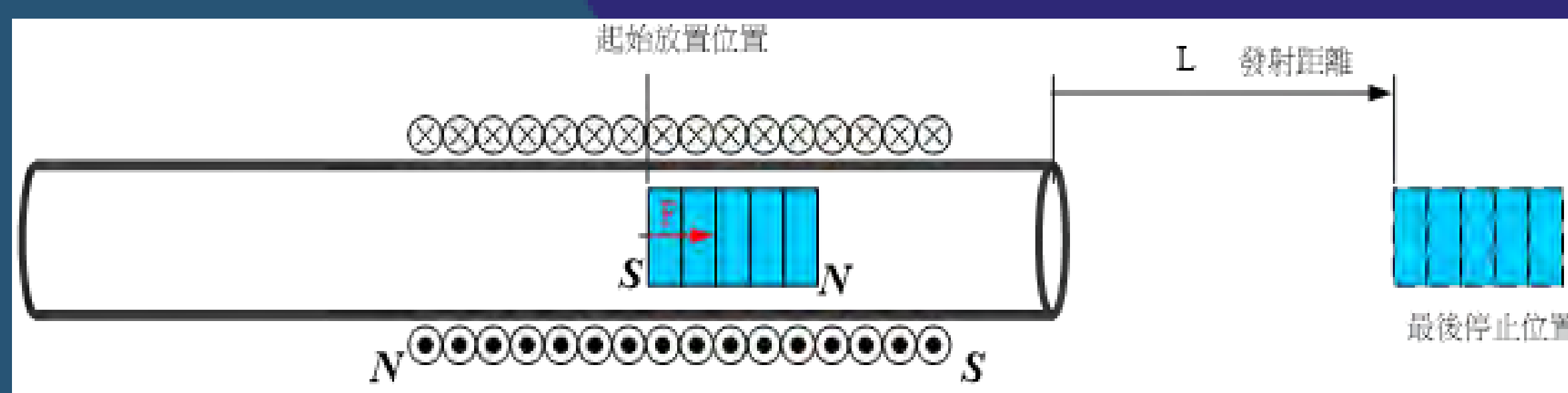
- 一、研究架構
本研究主要分成兩大部份：



- 二、實驗方法：
(一) 利用推拉力計與量表，將永久磁鐵從入口處往線圈內部緩步推入，同時取得位置與推力資料。

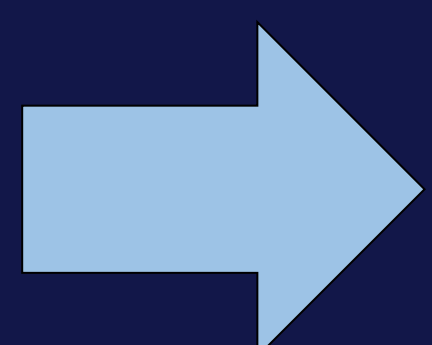
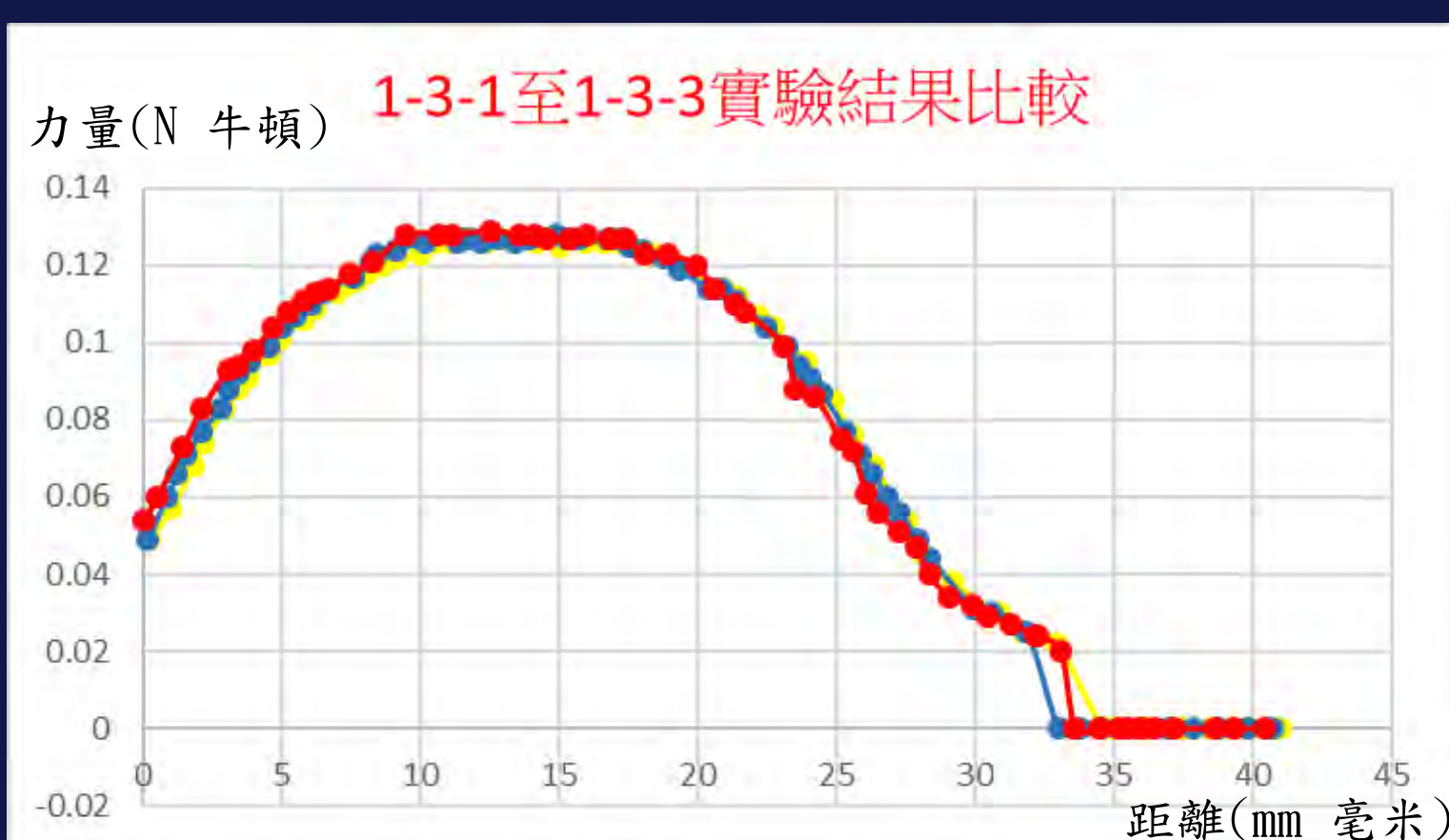


- (二) 利用通電流下的線圈產生磁力，與永久磁鐵相斥，推動磁鐵發射。

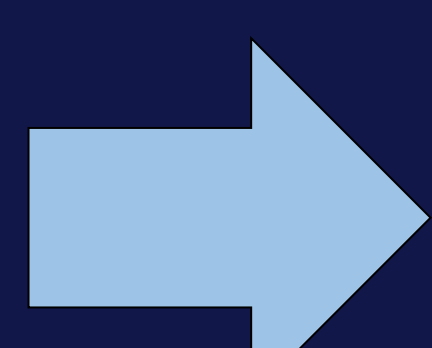
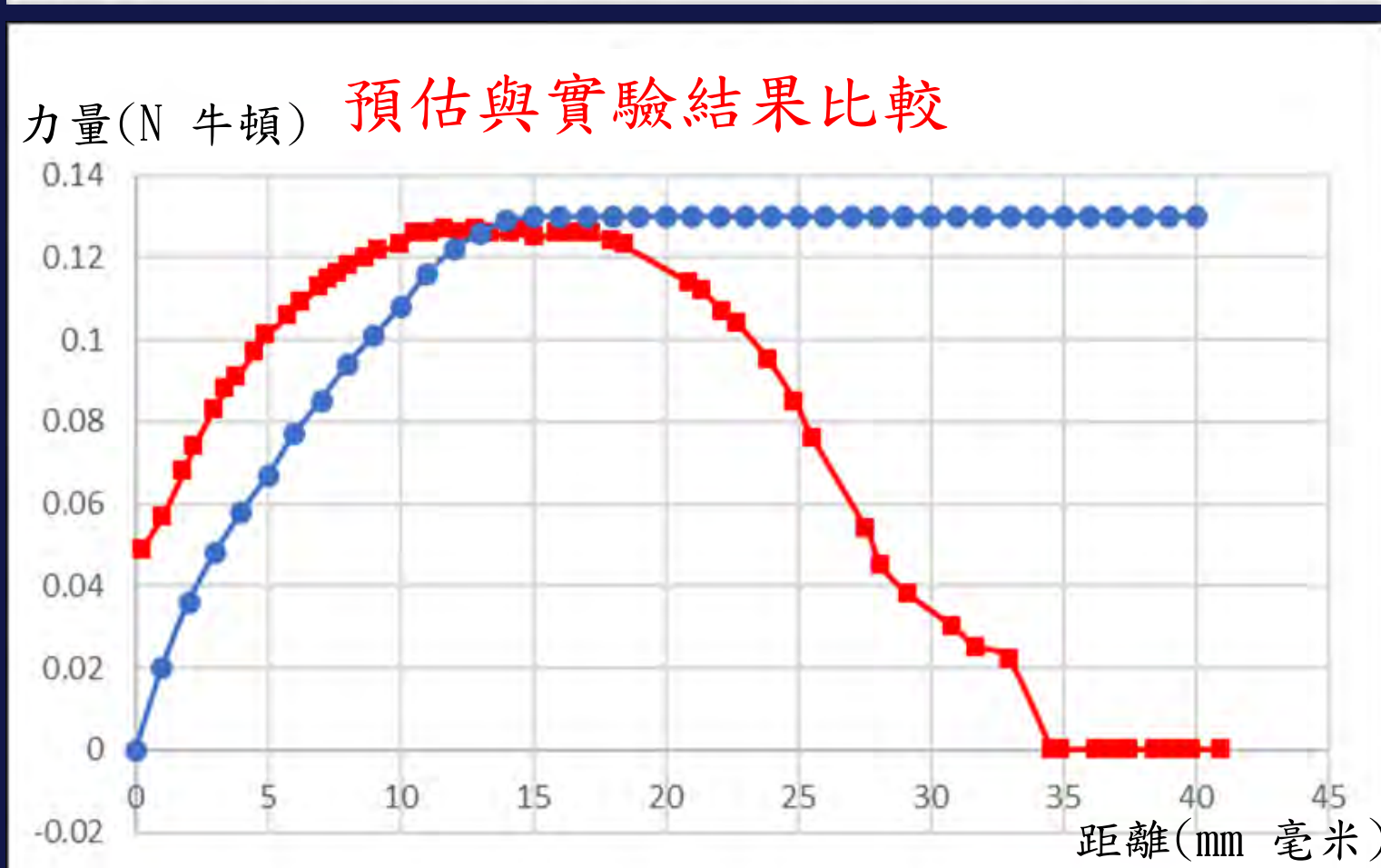


伍、研究結果

實驗一 永久磁鐵砲彈放置位置與偵測到的推力之間大小關係

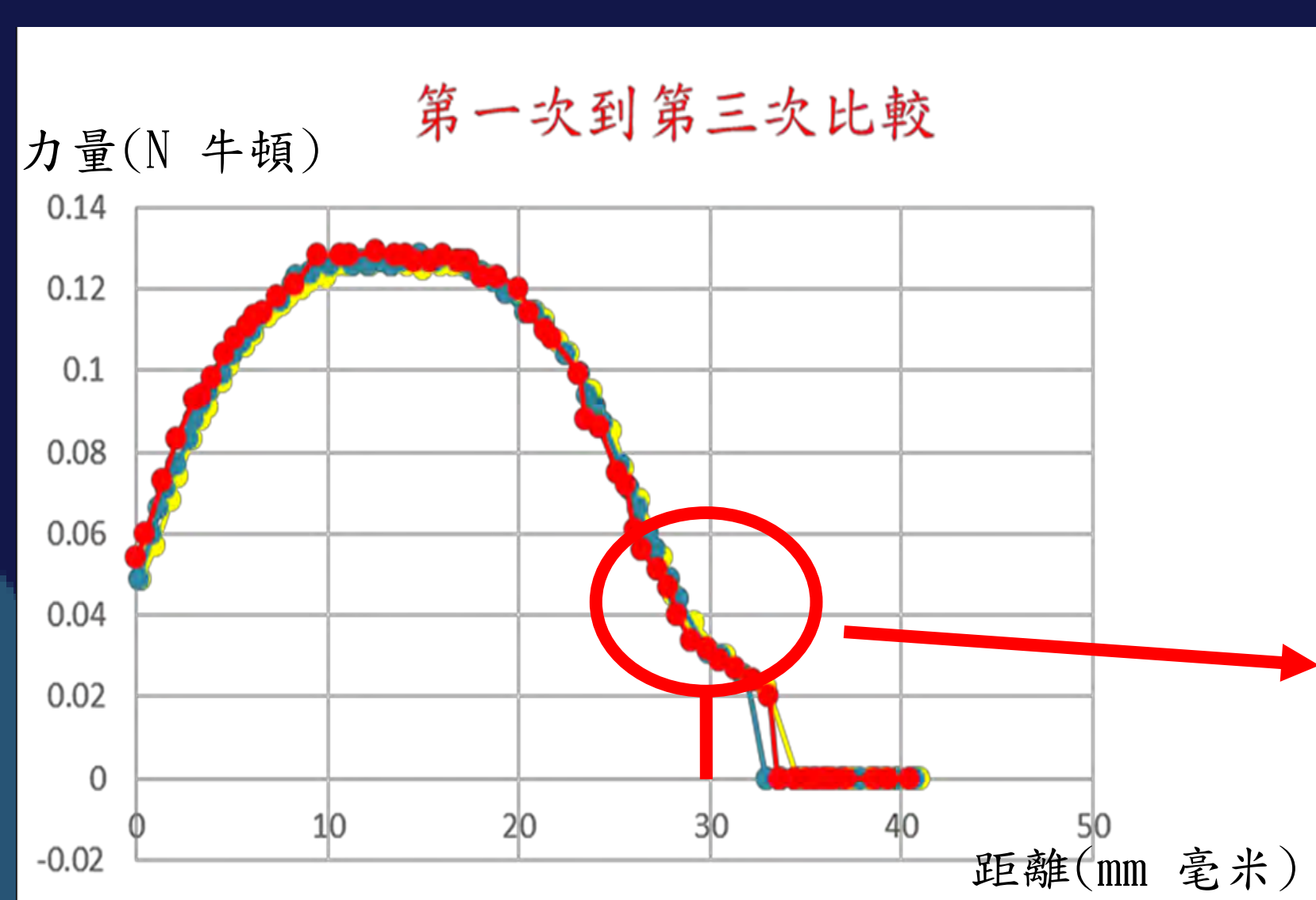


顯示三次實驗數據—磁鐵距離與推力關係相似度很高、重複性很好，推得在線圈單端磁鐵距離與推力關係呈現鐘形。



藍色曲線：原本預估
紅色曲線：實驗結果
此張圖表顯示實驗結果與預估大不相同

實驗二 磁鐵起始放置位置與發射長度關係



起始位置	發射距離	平均
1	15.6	15.4
	15.3	
	15.4	
10	110.3	110.6
	110.6	
	110.8	
20	270.6	270.5
	270.3	
	270.5	
30	330.3	330.1
	330	
	330.1	
40	0	0
	0	
	0	

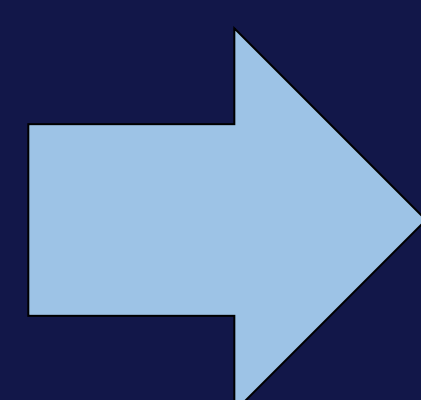
前段

中前段

中段

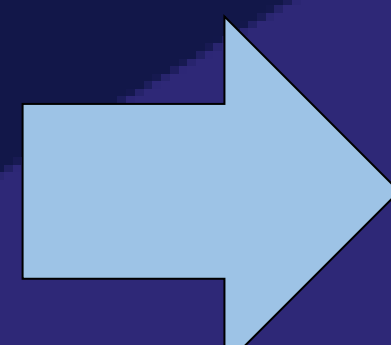
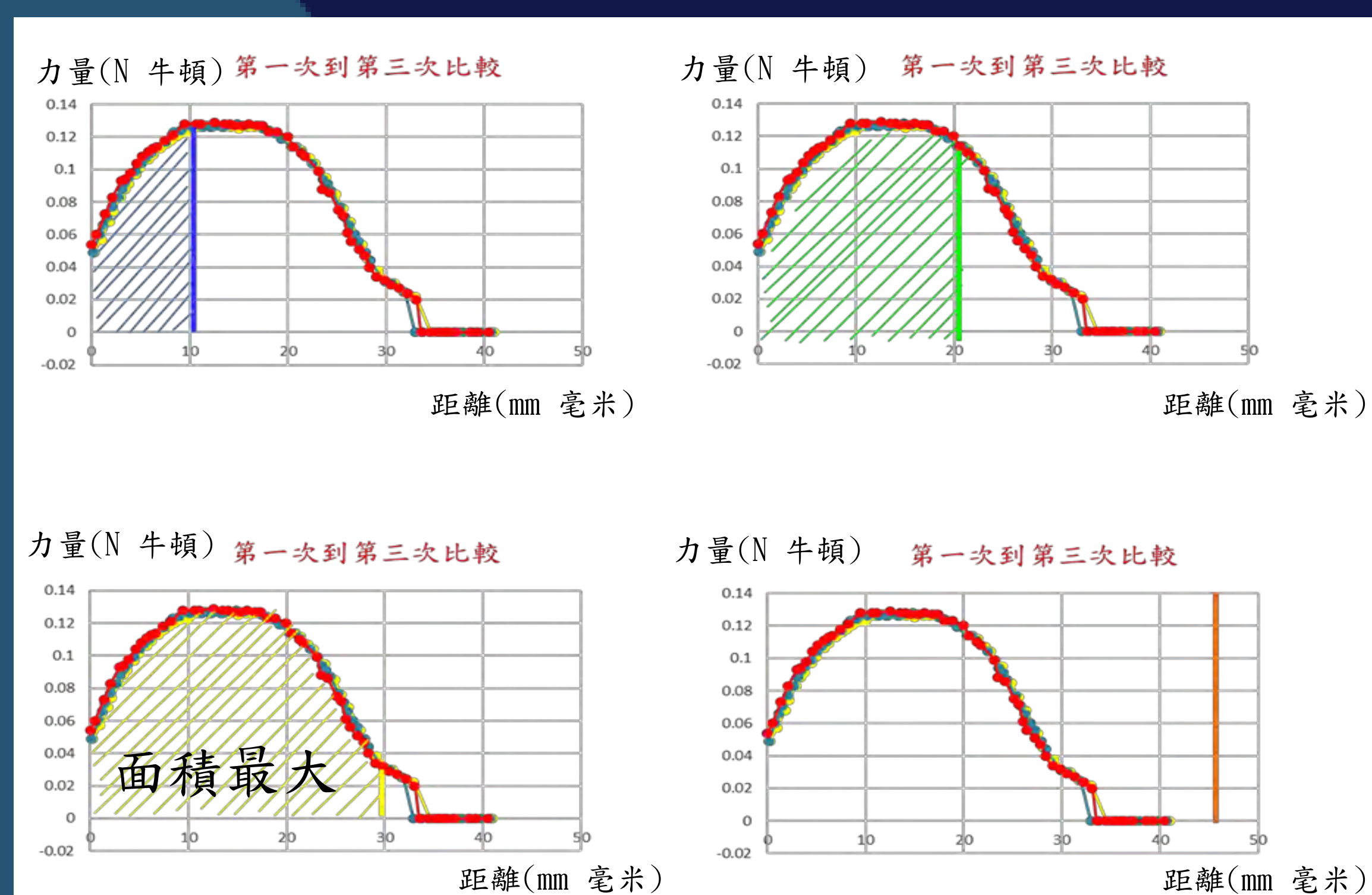
中後段

後段



由實驗一可推得最佳的發射位置為中後段，前段雖然力量足夠，但加速時間過短，中後段能持續加速，使發射出的磁鐵距離最遠，後段力量為0，無法前進。

觀察發現：

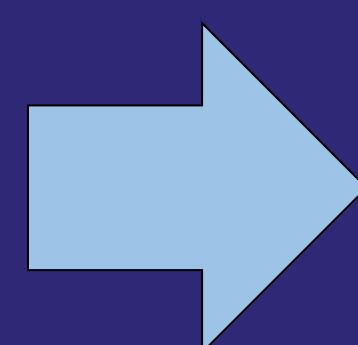
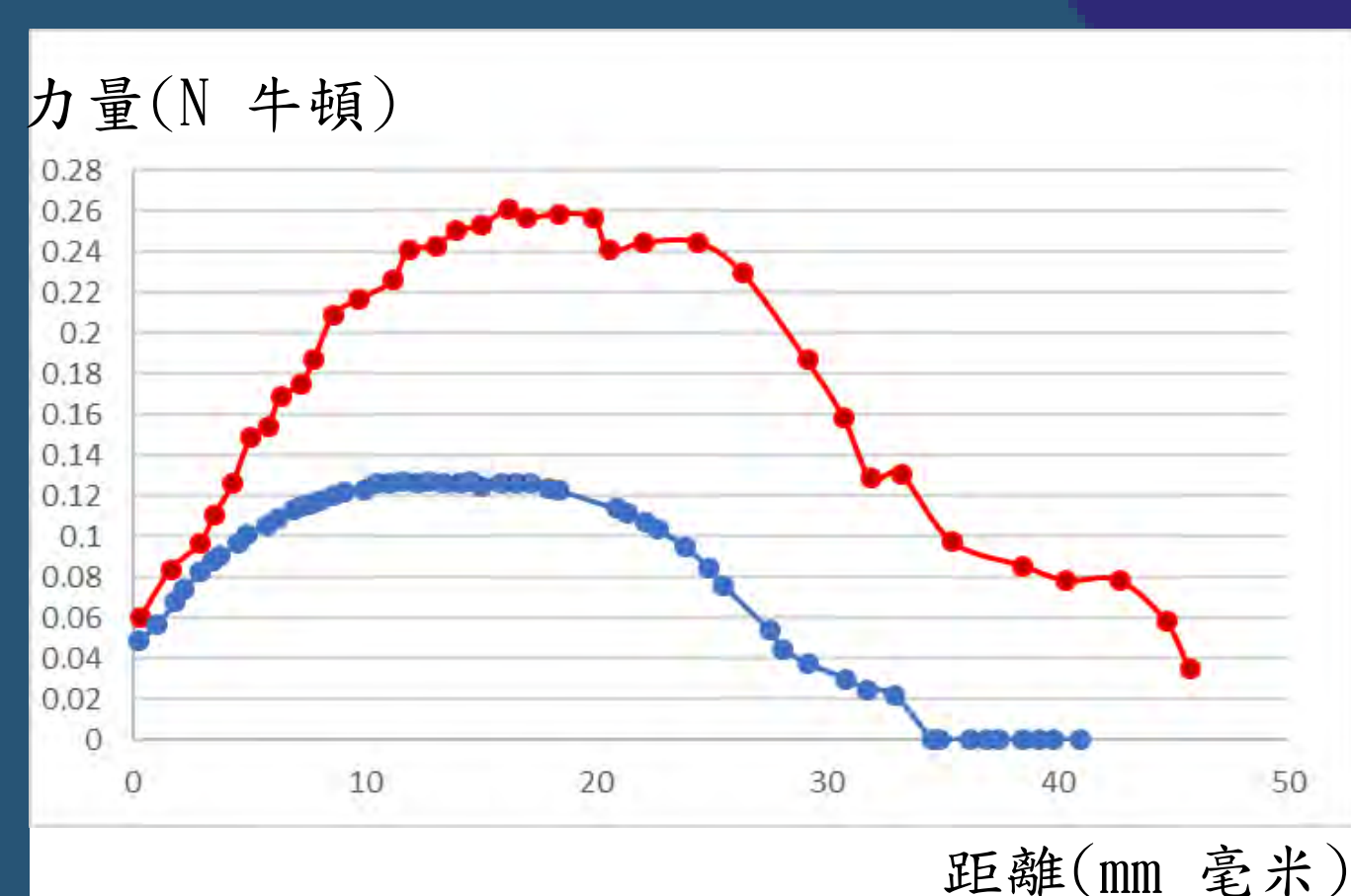
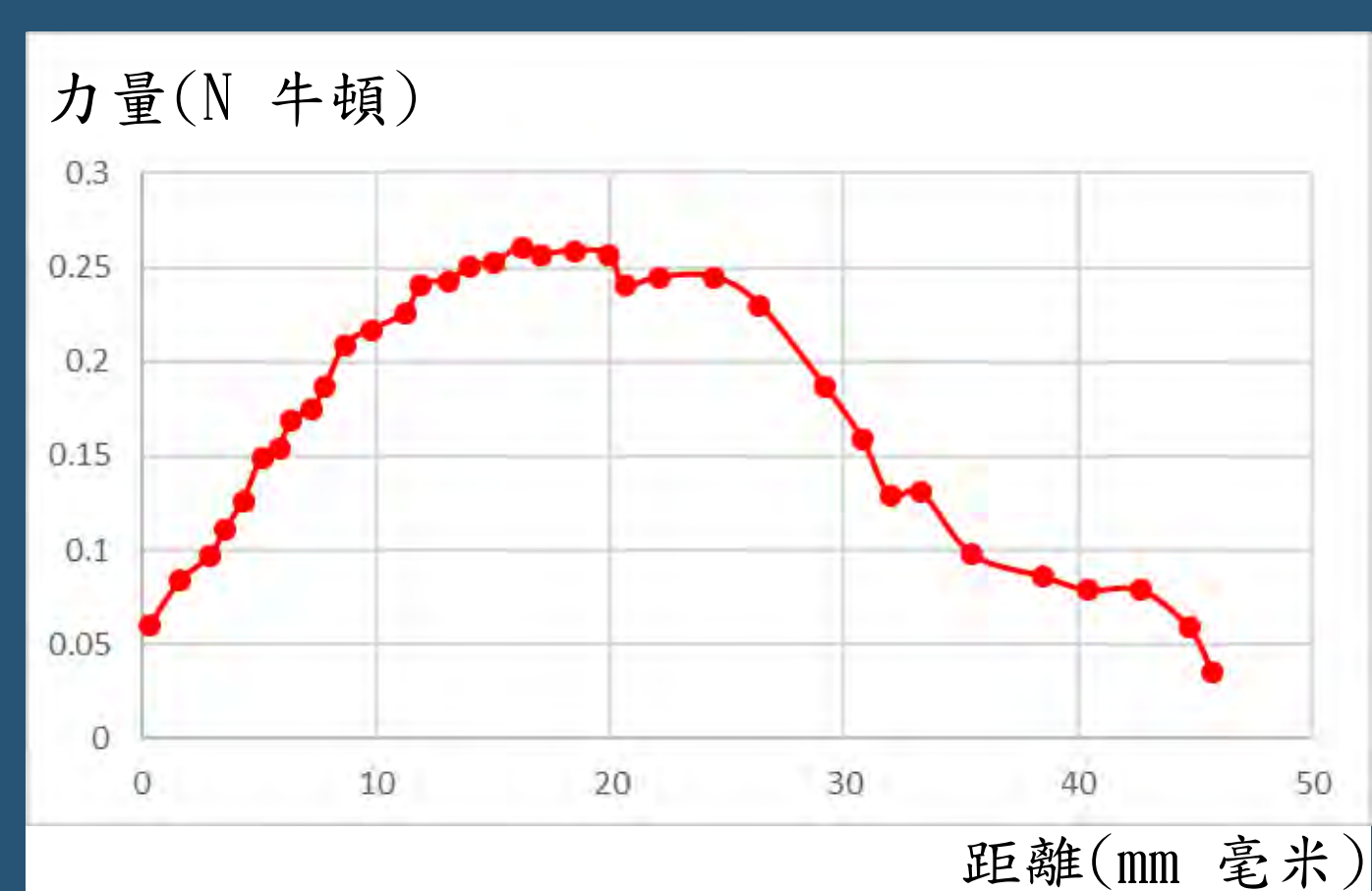
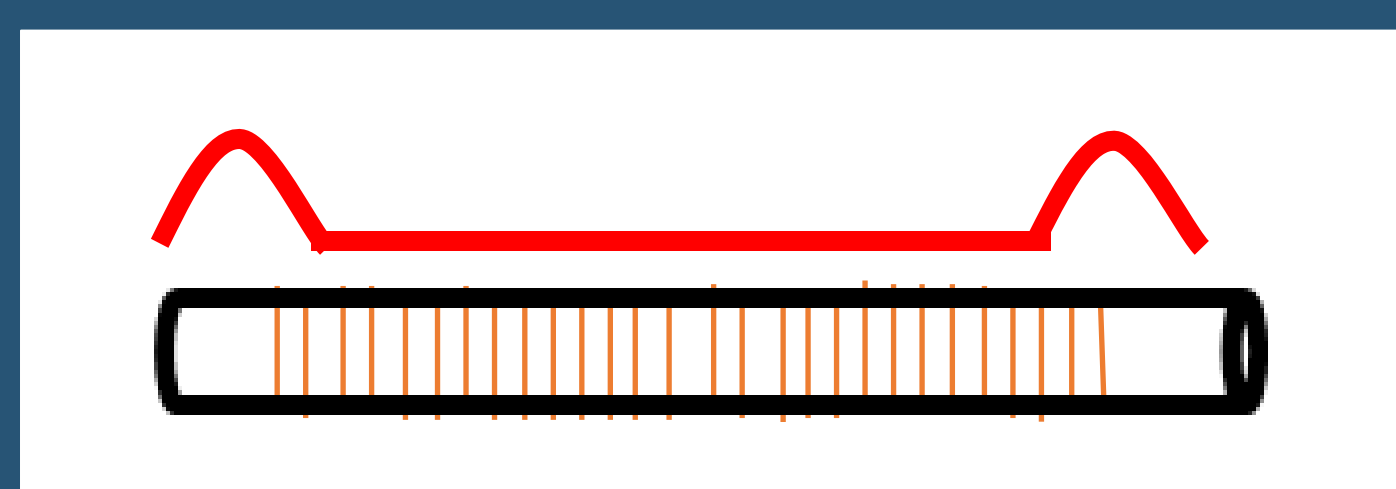


此四張圖表顯示力量與距離圍出的面積越大，則發射的距離越遠。但若起始發射的力量為0，發射距離為0（根本無法發射）。
→物理說法：「作功」

實驗三 在相同繞漆包線圈數與相同電流下，如何使永久磁鐵砲彈發射得最遠。

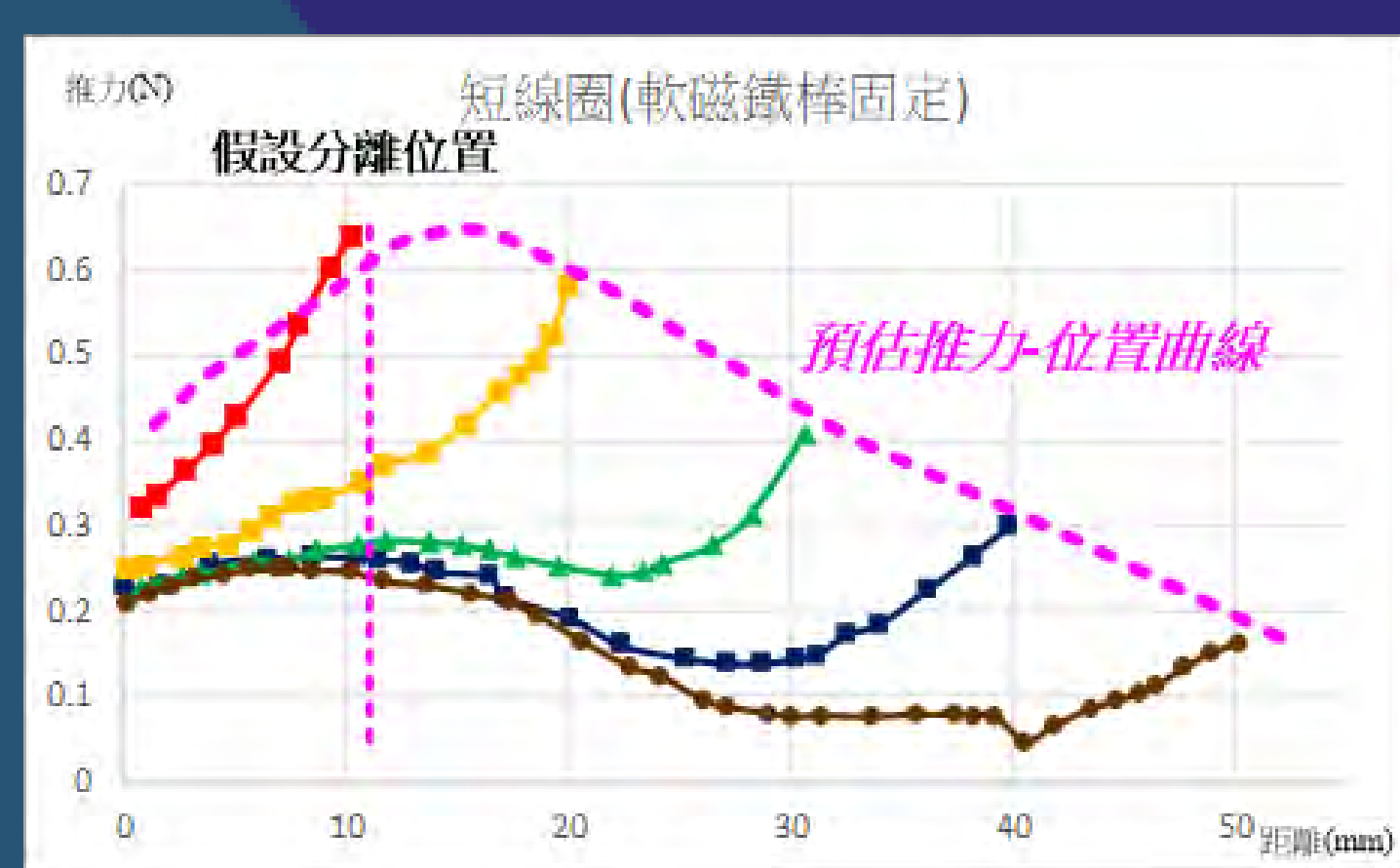
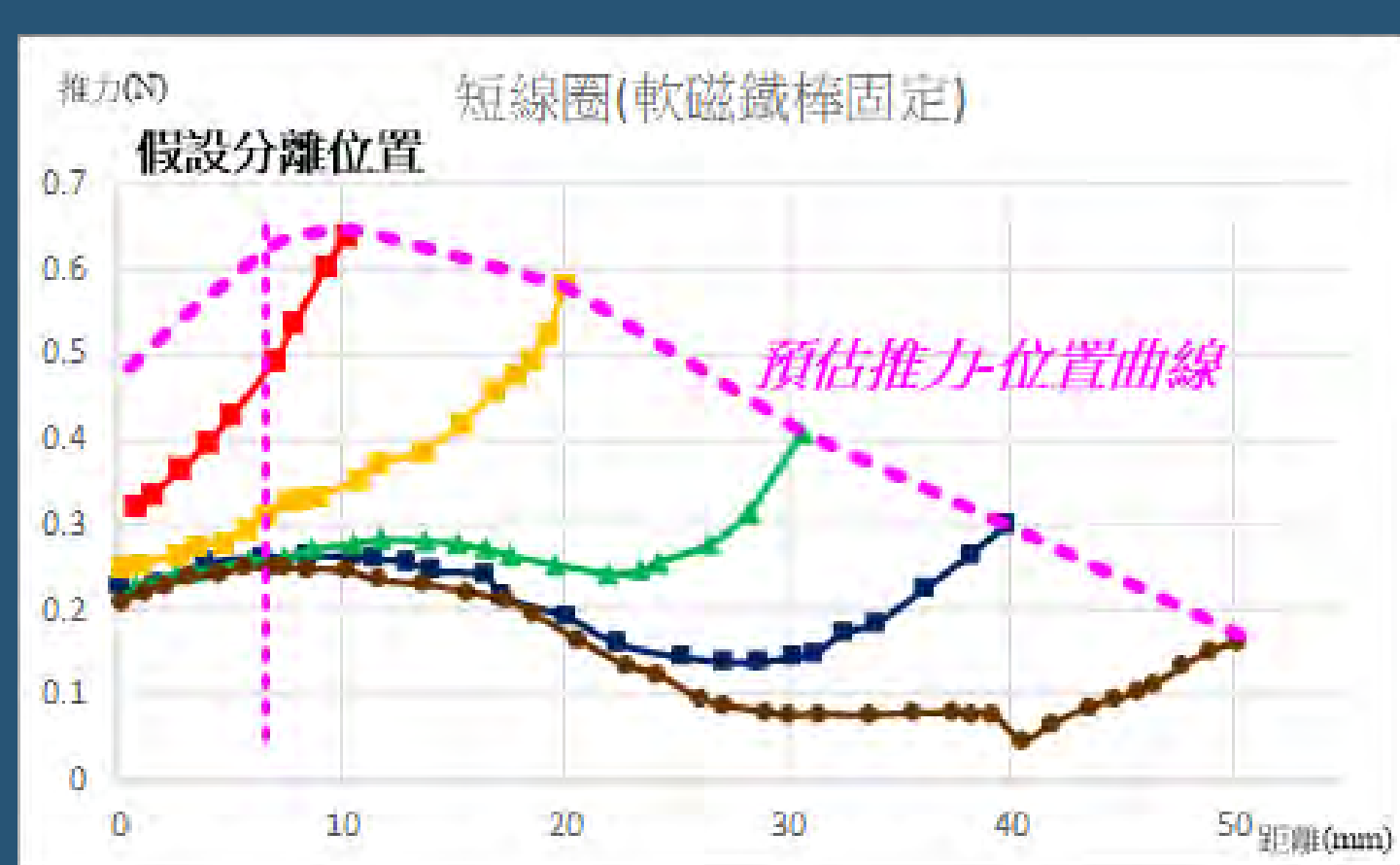
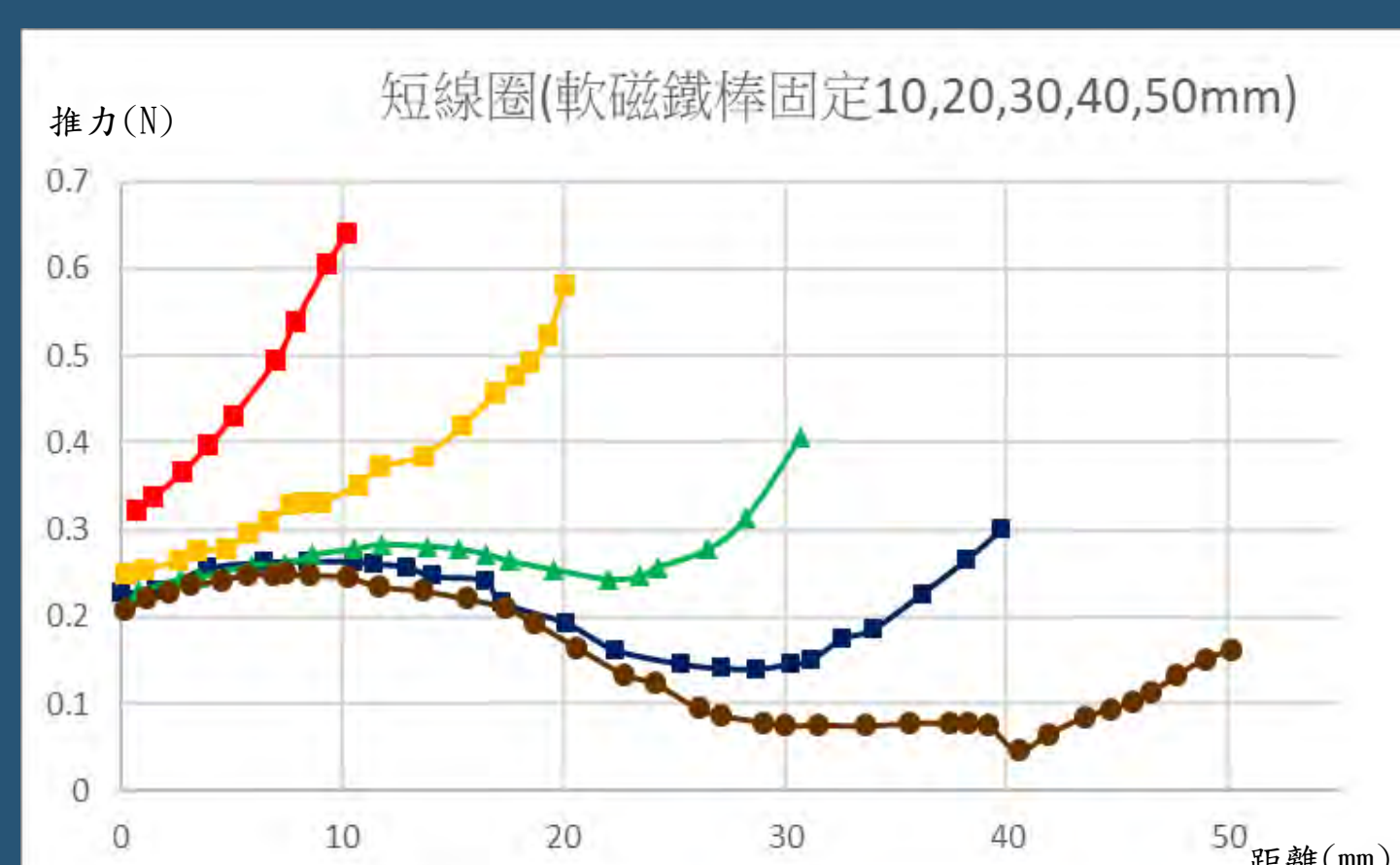
修改繞線設計

線圈的推力大小分布：

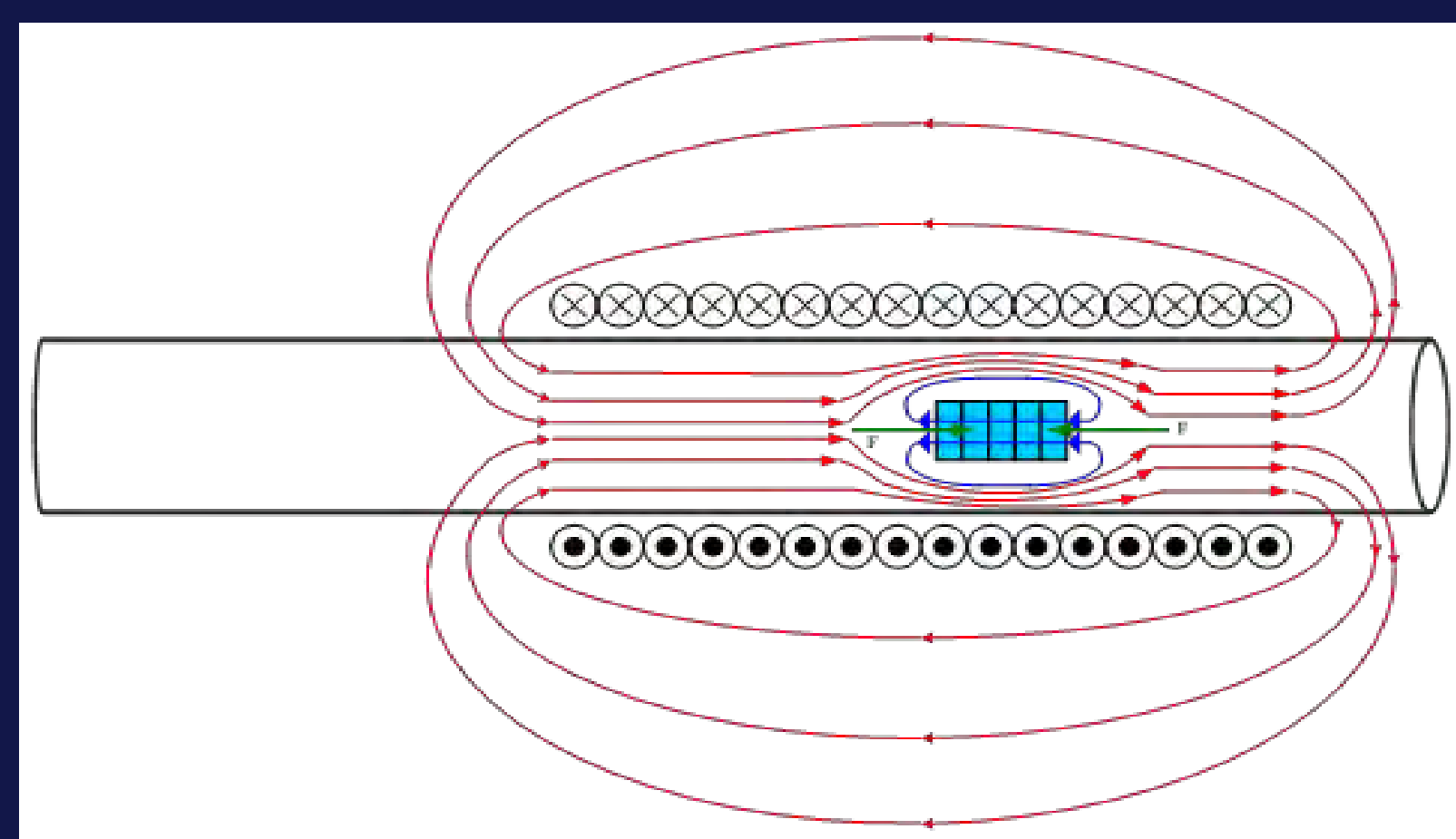
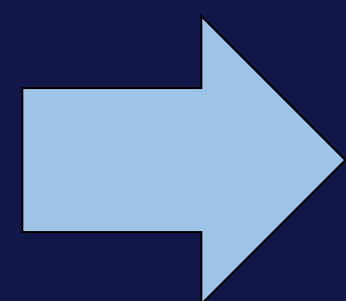
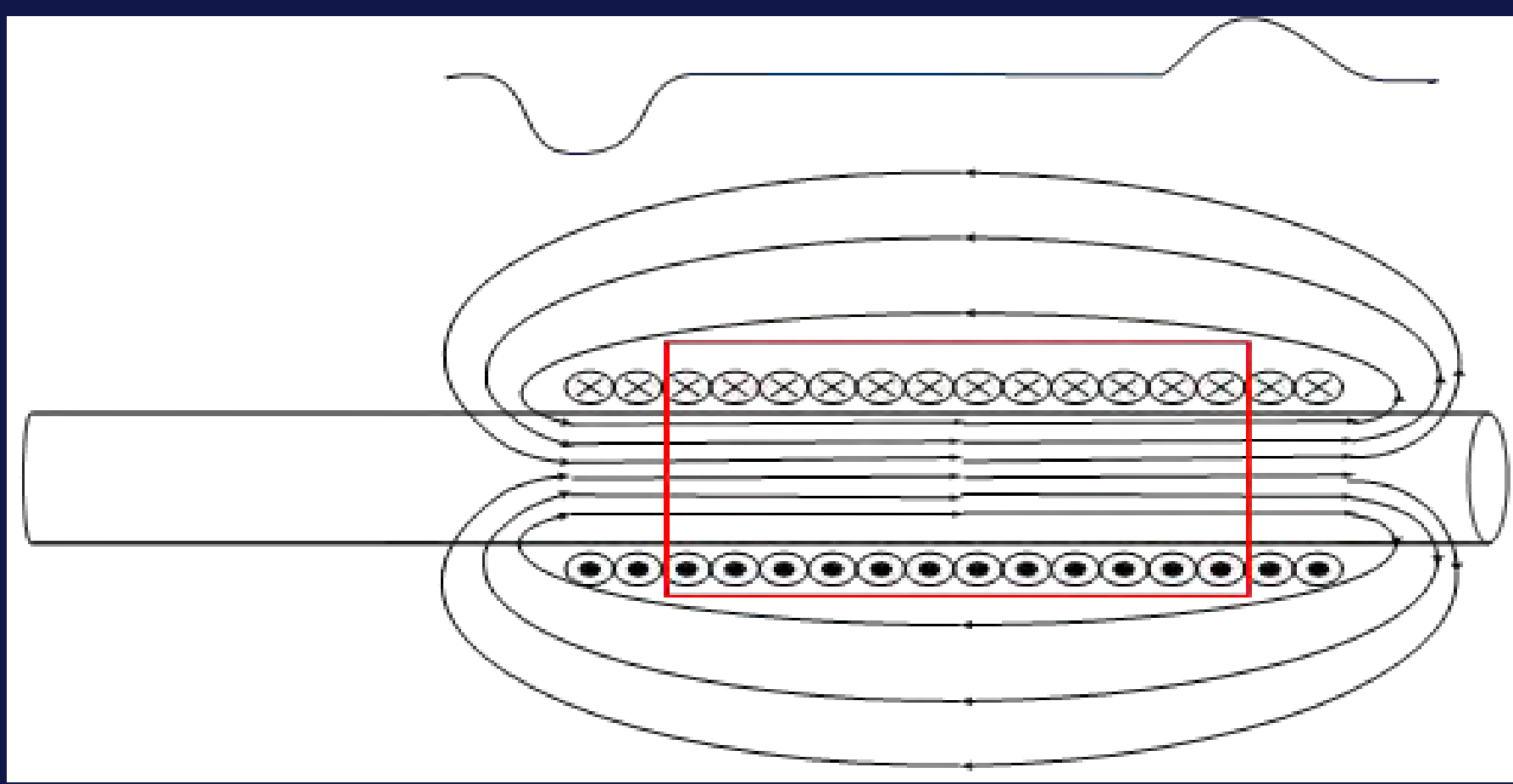


顯示短線圈所測量到的磁鐵距離與推力大小的關係和長線圈一樣呈現鐘形，並且短線圈所測量出的推力明顯大於長線圈。

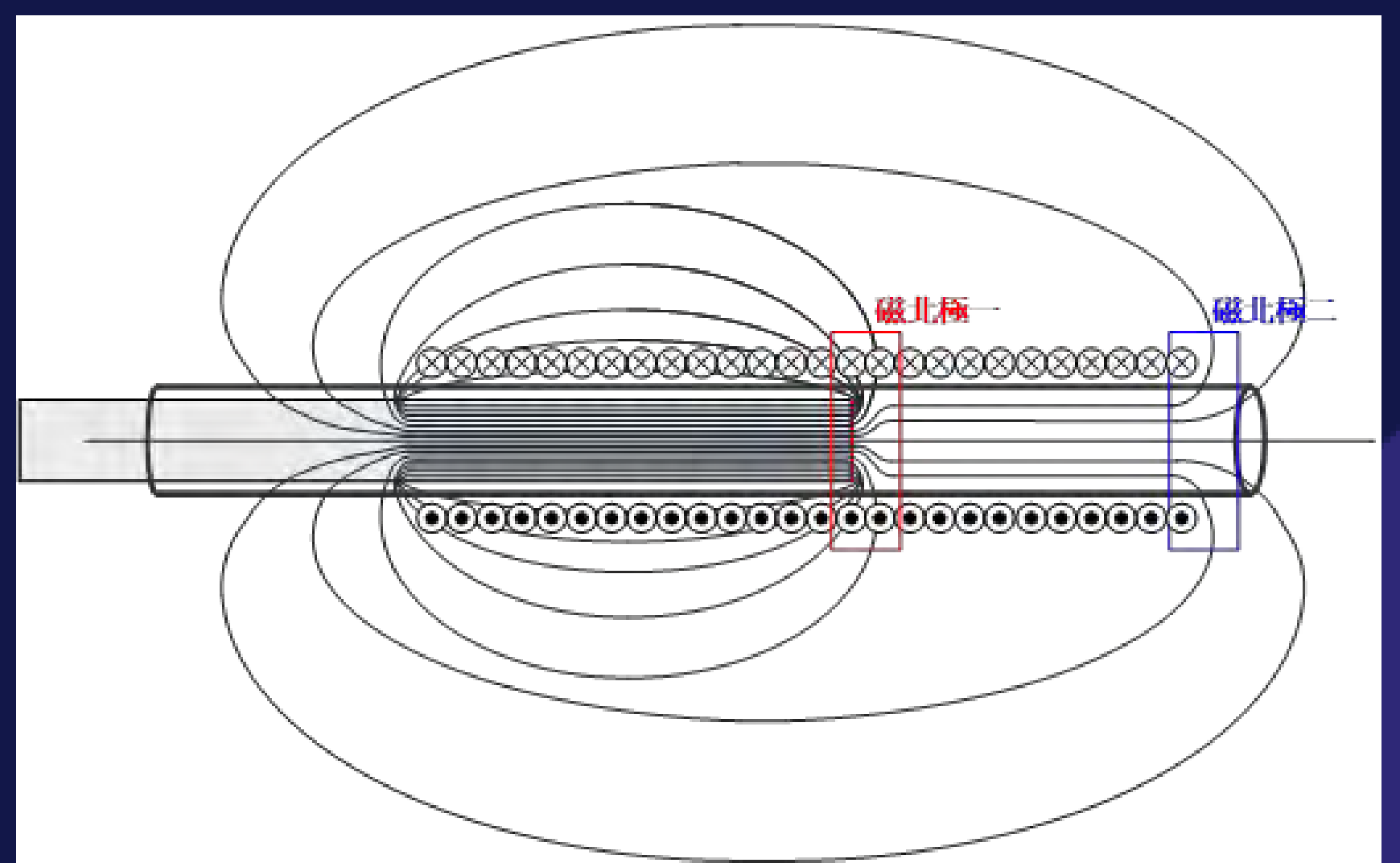
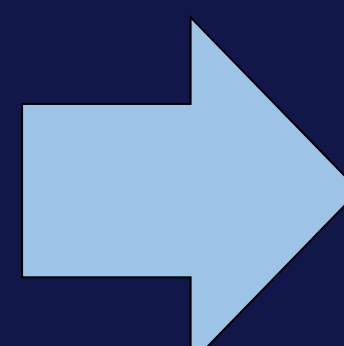
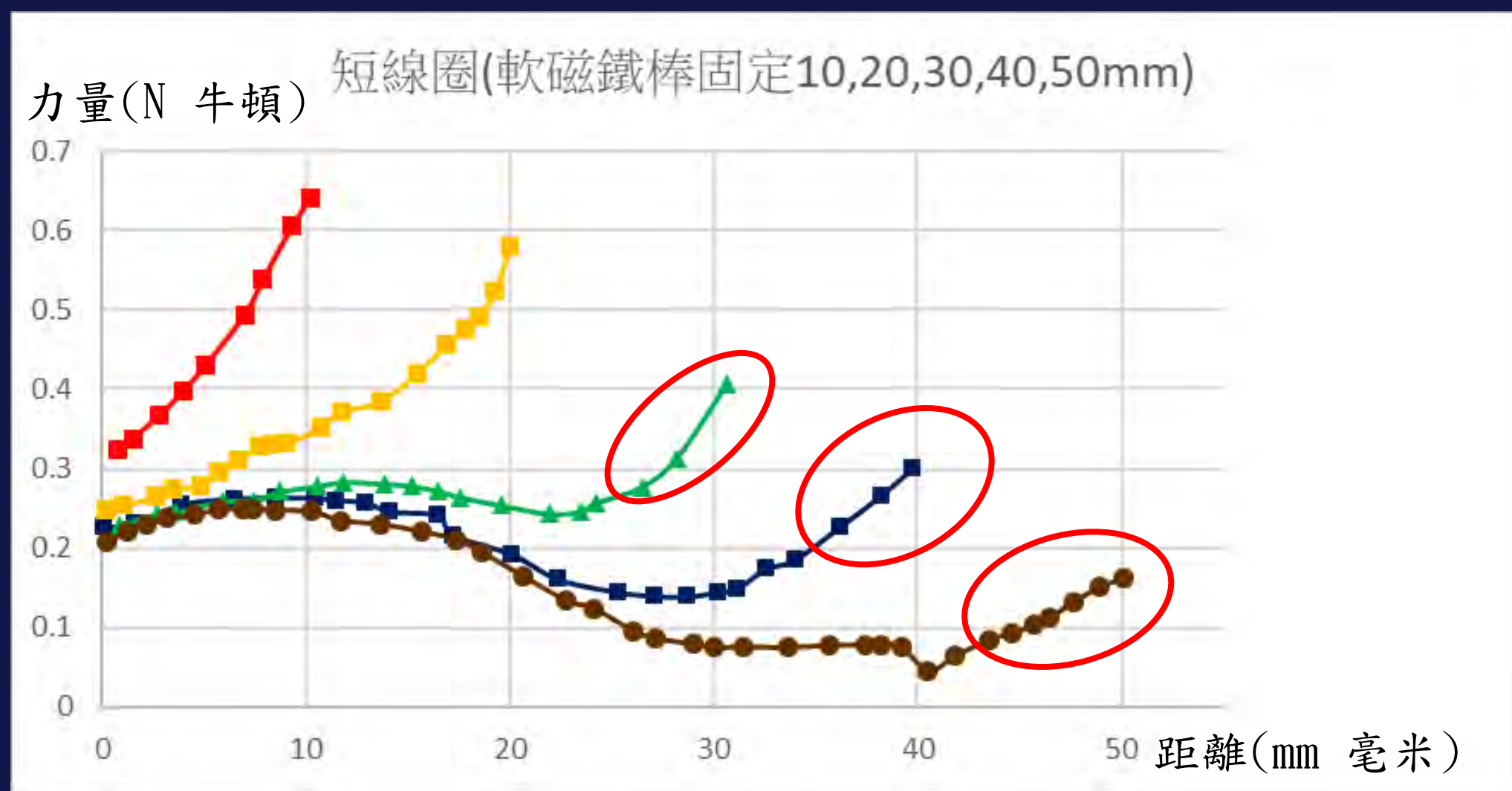
實驗四 在加入軟磁鐵棒下，對永久磁鐵砲彈推力與距離的影響



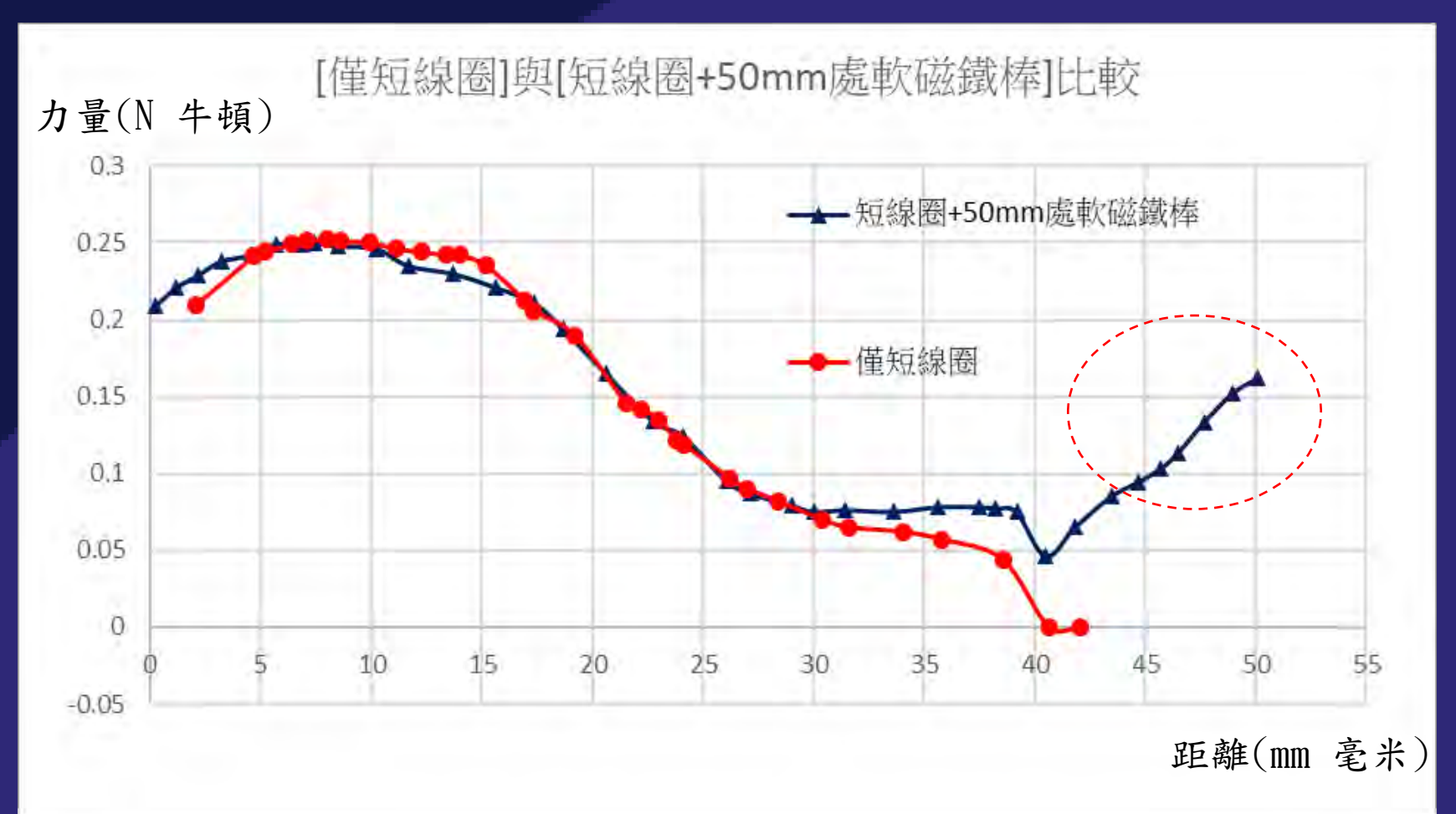
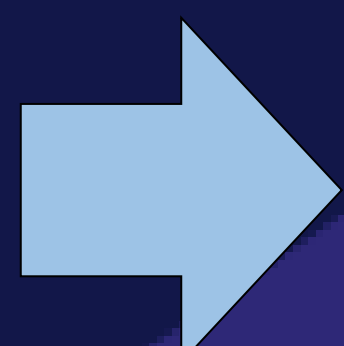
陸、討論



一、由實驗中發現，永久磁鐵放置位置與推力的大小關係在線圈前端呈現鐘形(在後端亦類似，但受力方向相反)，在到達一定位置後，永久磁鐵不再受推力。推測是因為線圈接近中央的區域是均勻一致的磁場，在永久磁鐵完整進入此區域時，永久磁鐵兩端都會與線圈磁場相斥(永久磁鐵磁力線流出方向箭頭正對電磁線圈磁力線，永久磁鐵磁力線流入方向箭頭背對電磁線圈磁力線)永久磁鐵兩端所受到斥力大小相同且方向相反，所以合力為零，因此推拉力計測得數值接近零，但此項推測有待進一步的驗證。



二、觀察在不同距離(10, 20, 30, 40, 50mm)下軟磁鐵棒固定時，所測量到的推力如上圖，在較靠近出口時(10, 20mm)，永久磁鐵愈靠近軟磁鐵棒時推力愈大，符合含軟磁鐵棒的電磁線圈磁鐵磁性較強的概念。在離出口較遠時(30, 40, 50mm)，永久磁鐵進入電磁線圈後推力上升再逐步下降，但在靠近軟磁鐵棒時又再上升，甚至超出前一波最大值。依此數據推測，離出口較遠時(30, 40, 50mm)，除出口處線圈形成一個磁極外，軟磁鐵棒在管內形成了一個磁極，但此項推測有待進一步的驗證。



型態圖			
類型	永久磁鐵砲彈	軟磁砲彈	混和型(軟磁鐵棒助推，永久磁鐵發射)
砲彈起始放置位置	偏出口位置	入口位置之外	偏入口位置
電流控制	不須精確控制電流OFF時間	須精確控制電流OFF時間(中間必須切斷電流，否則推力為負值)	不須精確控制電流OFF時間
有推力行程	短(只有線圈出口前端)	中(中間切斷電流，推力為0)	長
線圈產生的磁場	弱(空氣線圈)	中	強(因為有軟磁鐵芯幫助)

三、線圈型磁力砲一般分為永久磁鐵砲彈型、軟磁砲彈型，本研究的實驗四，結合了此兩種類型而成混和型。軟磁鐵棒一開始時助推永久磁鐵向前移動(若在這位置只有永久磁鐵則無法發射甚至是向後發射)，在末段時接合電磁線圈形成更大的磁場以相異磁極相斥力加速推出永久磁鐵砲彈。因此不論是電流控制的簡易度、推力的行程長度以及電磁線圈所產生的磁場都是較佳的選擇，比較說明圖表如左。

柒、結論

- 一、永久磁鐵放置位置與推力的關係在線圈前後端呈現鐘形，到達內部一定位置後不再產生推力。
- 二、永久磁鐵放置在線圈入口處中後段位置能使其發射得最遠。
- 三、若永久磁鐵放啟始放置位置所偵測到的推力為零，則根本無法發射。
- 四、若起始發射位置的推力不為零，則力量與距離圍出的面積越大，則發射的距離越遠。
- 五、縮短磁力線的路徑、增加線圈的單位密度，能使偵測到的推力變大，永久磁鐵發射更遠。
- 六、在線圈配合軟磁鐵棒前方有不導磁物質的情況下，能使永久磁鐵發射更遠。

捌、參考資料及其他

- <http://science.nchc.org.tw/science/science2005/notes/note6.pdf>
- <https://www.youtube.com/watch?v=TWeJsaCiGQ0>
- <https://www.youtube.com/watch?v=4todblgEPBY>
- https://wiki.microduino.cn/index.php?title=Microduino_%E7%94%B5%E7%A3%81%E7%82%AE/zh&variant=zh-hk
- <http://w3.sljhs.ylc.edu.tw/bandit/AmpRule.htm>