

嘉義縣國民中小學 科學展覽會作品說明書

屆 別：64

科 別：物理

組 別：國小組

作品名稱：神奇的阿拉丁魔毯—磁浮平台的探討

關 鍵 詞：強力磁鐵 磁力線 磁浮列車

編 號：A104

嘉義縣第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：神奇的阿拉丁魔毯—磁浮平台的探討

關 鍵 詞：強力磁鐵、磁力線、磁浮列車

編 號：

目 錄

一、摘要.....	02
二、研究動機.....	02
三、文獻探討.....	03
四、研究目的.....	05
五、研究項目.....	06
六、研究設備及器材.....	07
七、研究過程及方法.....	08
八、研究結果及討論.....	14
(一)實驗一：磁鐵的不同排列間隔對於承載力之影響.....	14
(二)實驗二：上下磁鐵的不對稱排列對於承載力之影響.....	16
(三)實驗三：改變磁鐵的行數對於承載力之影響.....	18
(四)實驗四：磁鐵交錯排列對於承載力之影響.....	20
(五)實驗五：磁鐵數量對於平衡能力之影響.....	22
(六)實驗六：磁浮平台與輪車受不同拉力之比較.....	24
(七)實驗七：磁軌組間距對於磁浮輪車運載效能之影響.....	26
(八)實驗八：上下磁鐵間距對於磁浮輪車運載效能之影響.....	28
九、結論與建議.....	30
十、參考資料.....	31

一、摘要

磁浮列車是一種未來高科技的交通工具，有著高速、舒適的特性，因此我們想用簡單的強力磁鐵來製作可以磁浮的平台，減小移動時造成的能力損耗，並進一步運用於非磁浮的軌道車上，我們的研究有以下的發現：(1)磁浮平台的上下方磁鐵密度愈高、排列密度呈現不對稱、行數相同時且一邊正對一邊交錯時，承載力最佳；(2)磁浮平台的磁鐵數量愈多，平台的平衡能力就愈佳；(3)相同重量的磁浮平台運載效益優於一般輪車；(4)磁軌組間距為特定距離時，能發揮較佳之承載力，且節省放置空間；(5) 上下磁軌間距愈小，能產生較佳的承載力，但過小則會造成車身受力不平衡。

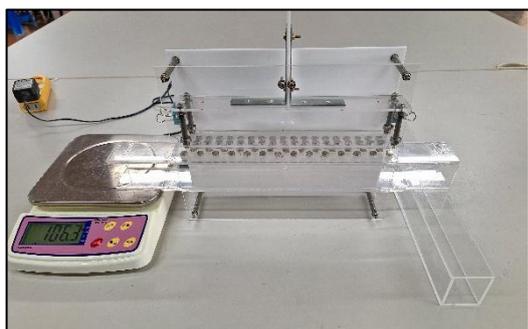


圖 1-1 本研究發展的磁浮平台及底座

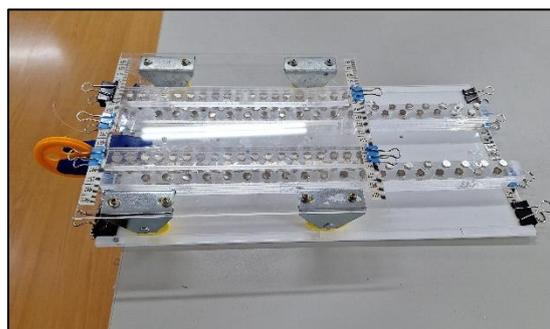


圖 1-2 本研究結合磁浮原理於軌道輪車

二、研究動機

參加學校的假日科學營時，我們製作了多種與磁力有關的科學玩具，包括了磁力小蛇與磁浮風車，同學們都感覺到非常的神奇且有趣，於是我們突發奇想，如果能讓物體也藉由磁力而漂浮起來，就能幫我們節省很多搬運的力氣，達到節能減碳的目的，因此我們想要動手開始研究以發展出節能的磁浮平台，為節省能源盡一份心力。

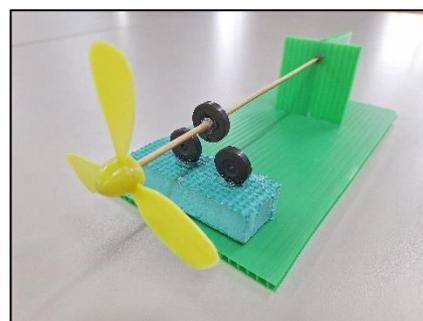


圖 2-1 只靠一個支點就能懸浮轉動的磁浮風車

三、文獻探討

在我們的研究中，為了能獲得所需的磁力，我們採用圓形的強力磁鐵做為磁力的來源，並且為了能正確分析所觀察到的現象，我們要先認識磁鐵的磁力線分佈情形，並且從磁浮列車的原理來啟發新的想法，因此在進行實驗前，需要針對這三個主題進行探討，以利我們擬定研究的方向及進行實驗的推論，其中包含(一)強力磁鐵、(二)磁力線及(三)磁浮列車。

(一) 強力磁鐵

強力磁鐵是指一種可以產生非常強烈磁場的磁鐵，能夠吸引其他含有磁性的物體。這些磁鐵通常是用一些特殊的金屬或合金製成[5]，其中最常見的有兩種：

釹磁鐵(NdFeB)：這種磁鐵是現在應用最廣泛的一種。它由釹(一種稀土金屬)、鐵和硼等元素組成。釹磁鐵的特點是能夠在體積相對小的情況下產生非常強的磁場，所以被廣泛應用在各種地方。

鈷磁鐵(SmCo)：這是另一種常見的強力磁鐵，它包含鈷、鐵和一些其他元素。雖然相對於釹磁鐵它的性能稍微差一些，但它有較好的耐高溫性能，所以在一些需要承受高溫的地方也被廣泛使用。

這些強力磁鐵有幾個共同的特點，就是具有很強的磁力，能夠強烈地吸引其他磁性物體；體積相對小，即使體積小，也能發揮強大的效果；對溫度和環境穩定，在不同的溫度和環境下仍能保持穩定的性能。因此在本研究中，我們為了在磁浮平台上獲得更大的磁力，且易於實驗操作及固定，所以我們採用8mm*2.8mm的圓形釹磁鐵(如圖3-1)。



圖 3-1 實驗使用之釹磁鐵

(二) 磁力線

磁力線是一種用來描述磁場的想像線，沿著磁場的方向延伸，讓我們能夠理解磁場的性質和行為[1]。以下是磁力線的特點：(1)方向指示：磁力線的方向指示了磁場的方向。這意味著它們從磁場的北極出發，沿著磁場的方向延伸到南極。(2)密度與強度：磁力線的密度反映了該區域的磁場強度。當密度增加時，表示該區域的磁場更強烈。(3)形狀與分佈：磁力線的形狀反映了磁場的分佈。例如，磁場中存在磁鐵或電流產生的特定形狀，這會影響磁力線的形狀。(4)不交叉：磁力線不會相互交叉，這意味著在空間中的任何一點，磁場只有一個確定的方向。(5)閉合迴路：磁力線形成閉合迴路，從北極繞過磁體，再回到南極。這表示磁場是一個連續的系統[4]。

磁力線有助於我們更容易地理解磁場如何在空間中分佈[2]，通過觀察和分析磁力線，我們能夠更深入理解磁場的性質並應用這些知識，在本研究中，我們將鐵粉放置於磁力線觀察盒中，可以呈現上下方磁鐵相互影響的狀態(如圖3-2)。

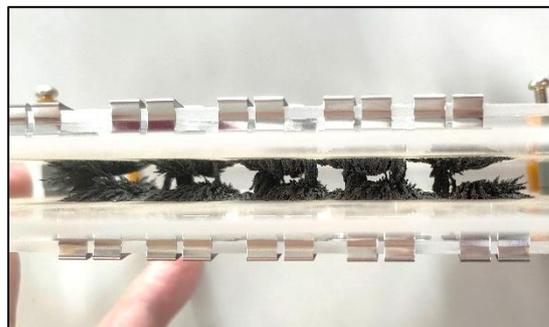


圖 3-2 磁力線觀察盒中鐵粉描繪出磁力線狀態

(三) 磁浮列車

磁浮列車是一種利用磁懸浮技術實現懸浮和運動的高速列車[3]。其原理主要有三項：

(1)懸浮力：磁浮列車的車體下方搭載有一系列軌道上的電磁鐵，而車體底部則裝有磁性材料。通常，軌道上的電磁鐵會通電，產生一個強大的磁場。當這個磁場和車體底部的磁性材料相互作用時，會產生一個向上的懸浮力，使列車浮在軌道上。

(2)定位力：在列車運動時，系統通常配有一些控制裝置，以保持列車在軌道上的正確位置。這些裝置通常使用感應器和控制系統，根據列車的位置來調整電磁鐵的通電情況，以確保列車保持在中央位置。

(3)推進力：為了使列車前進，可以在列車前方的軌道上安裝一組可以改變磁場的電磁鐵，這樣可以在列車前部產生一個推進力，使列車沿著軌道運動。

磁浮列車主要優勢包括較低的摩擦、較高的運行速度和較少的噪音。但是這種技術需要高昂成本和技術挑戰，因此在本研究中，我們想用簡便的強力磁鐵來達成類似的效果，以降低移動物品所耗的能量。

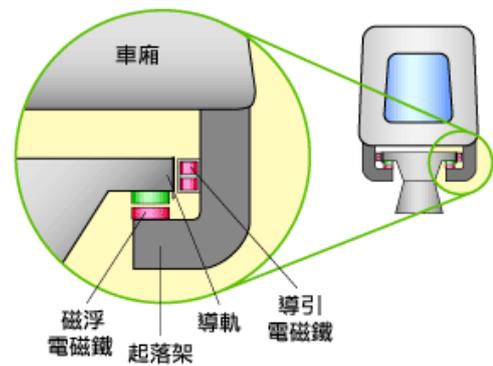


圖 3-3 磁浮系統的原理

引自 <http://web.kshs.kh.edu.tw/lifetech/>

四、研究目的

本研究的目的有四項：

其一是探討不同的磁鐵排列對於磁浮平台承載力的影響

其二是探討不同的磁軌長度對於平衡能力之影響

其三是比較磁浮平台與輪車之運載效能。

其四是將磁浮原理運用於軌道輪車上，以提升運載效能。

五、研究項目

接著我們將本研究分為四個主要項目，共計八項子實驗，條列如下：

項目一：探討不同的磁鐵排列對於磁浮平台承載力的影響

實驗一：磁鐵的不同排列間隔對於承載力之影響

實驗二：上下磁鐵的不對稱排列對於承載力之影響

實驗三：改變磁鐵的行數對於承載力之影響

實驗四：磁鐵交錯排列對於承載力之影響

項目二：探討不同的磁鐵數量對於平衡能力之影響

實驗五：磁鐵數量對於平衡能力之影響

項目三：比較磁浮平台與輪車之運載效能

實驗六：磁浮平台與輪車受不同拉力之比較

項目四：將磁浮原理運用於軌道輪車上，以提升運載效能

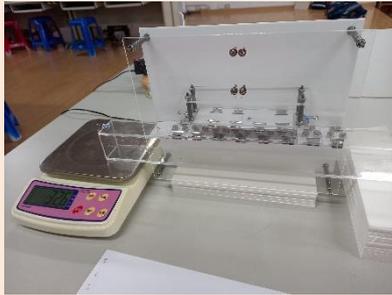
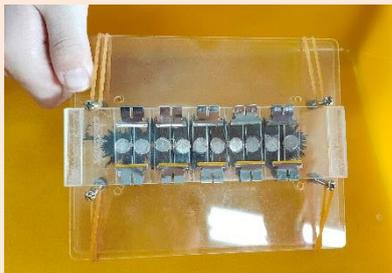
實驗七：磁軌組間距對於軌道輪車運載效能之影響

實驗八：上下磁軌間距對於軌道輪車運載效能之影響

六、研究設備及器材

下表條列出本研究的器材主體，以及使用的材料與工具

表 6-1 實驗設備所需工具及材料

器材名稱	種類	項目	圖片
磁浮平台 實驗模組	材料	強力磁鐵、壓克力板、氣仿、螺絲、螺帽、墊片、電子秤、L型鐵片、手推式釘裝機、塑膠圈、長尾夾、熱融膠、電子秤、軸承	
	工具	雷射切割機、Adobe Illustrator2016	
磁力線 觀察盒	材料	粗鐵粉、強力磁鐵、壓克力板、螺絲、螺帽、墊片、手推式釘裝機、塑膠圈、橡皮筋	
	工具	雷射切割機、Adobe Illustrator2016、剪刀、螺絲起子	
拉力實驗 模組	材料	定滑輪、正黃輪、夾子、捲尺、橡皮筋、強力磁鐵、壓克力板、螺絲、螺帽、墊片、熱融膠、砝碼	
	工具	剪刀、螺絲起子	
磁浮軌道 輪車	材料	定滑輪、正黃輪、夾子、捲尺、橡皮筋、強力磁鐵、壓克力板、螺絲、螺帽、墊片、熱融膠、砝碼	
	工具	剪刀、螺絲起子	

七、研究過程及方法

(一) 研究架構



圖 7-1 研究架構圖

(二) 研究設計

研究的主要實驗設備有 4 項，分別為磁浮平台實驗模組、磁力線觀察盒及拉力實驗模組及磁浮軌道輪車，以下詳述製作過程。

1. 磁浮平台實驗模組：為了能精確的觀察磁浮力，我們設計一個由前後側板所限制的橫向夾層，放入一個磁浮平台及磁浮底座，而磁浮平台與磁浮底座二者在實驗時呈現相斥懸浮的狀態，且因電子秤只承擔一半的重量，所以電子秤呈現的數值之 2 倍便是磁浮平台施於底座的斥力。

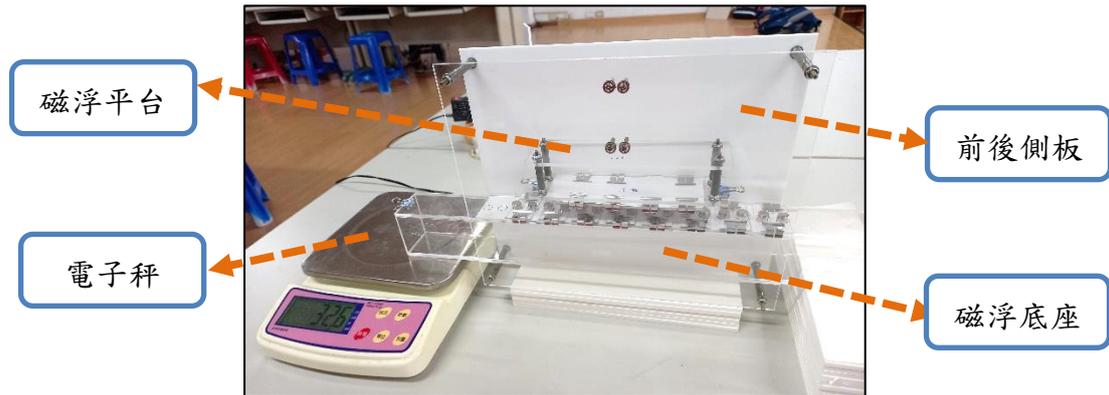


圖 7-2 磁浮平台實驗模組

- (1) 前後側板：我們先規劃好磁浮平台實驗模組之大略尺寸，請廠商協助切好一片白色及透明之壓克力板，以便觀察，中間由螺絲、螺帽及塑膠管來固定結構及間距。
- (2) 磁浮平台：為了方便進行實驗觀察，我們使用透明的壓克力板來製作磁浮平台，首先確認磁浮平台的尺寸，使用雷射切割機切出二片相同尺寸之壓克力板，利用螺絲、螺帽及塑膠管來固定磁浮平台(如圖 7-3)。
- (3) 磁浮底座：我們使用與磁浮平台相同寬度之壓克力板來製作一個方形柱體，以便承載磁浮平台，一端可以放置於電子秤上，另一端則放置於與電子秤相同水平高度的物品上。
- (4) 製作磁鐵片：使用雷射切割機切出多片 1 公分*4 公分見方之壓克力片(如圖 7-4)，然後用熱融膠將磁鐵固定在壓克力片之中央。
- (5) 固定磁鐵：使用夾子將已製作好的磁鐵片依照磁鐵位置圖來準確固定在磁浮平台及磁浮底座上(如圖 7-5)，最後將各個物件放置妥當，便可進行實驗。

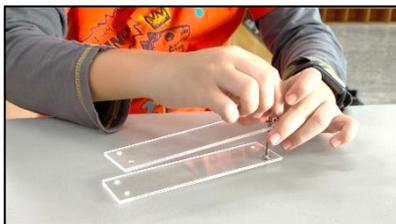


圖 7-3
利用螺絲、螺帽及塑膠管來
固定磁浮平台

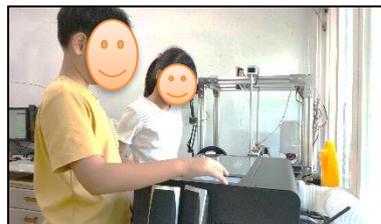


圖 7-4
使用雷射切割機切出所需
之壓克力板



圖 7-5
使用夾子將磁鐵片固定
在磁浮平台上

2. 磁力線觀察盒：我們想要透過磁力線來展現磁浮平台與底座之磁鐵相互作用之狀態，所以我們設計了磁力線觀察盒，將上下二層的磁鐵固定在磁力線觀察盒的上下方，並且能在間隙中放入粗鐵粉，便可以從鐵粉的樣態了解磁力的分佈情形。

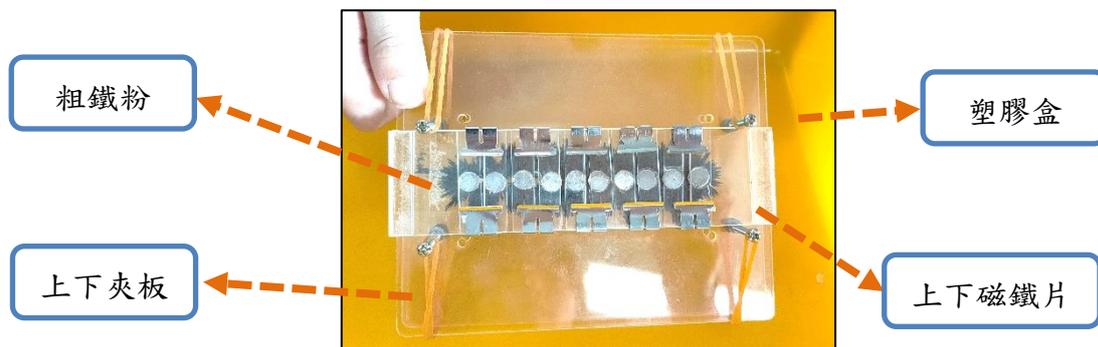


圖 7-6 磁力線觀察盒

- (1) 上下夾板：為了讓鐵粉能有效與磁鐵區隔，我們在模組中間夾入二層較為寬大的壓克力板，並使用螺絲、螺帽及塑膠管來固定間隔。
- (2) 上下磁鐵片：使用夾子將已製作好的之小磁鐵片固定在上下磁鐵片上(如圖 7-7)，並用橡皮筋來固定在夾板外，使磁鐵片仍可左右滑動(如圖 7-8)。
- (3) 加入粗鐵粉：在上下夾板中放入適量之粗鐵粉，此時適時的滑動磁鐵片，讓鐵粉可以較為均勻分散在每個磁鐵之間以便展現磁力線的分佈情形(如圖 7-9)。



圖 7-7
將小磁鐵片固定在
上下磁鐵片上

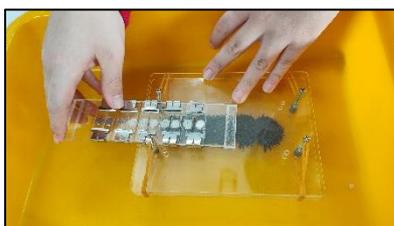


圖 7-8
將上下磁鐵片放置於上下
夾板外，並左右滑動

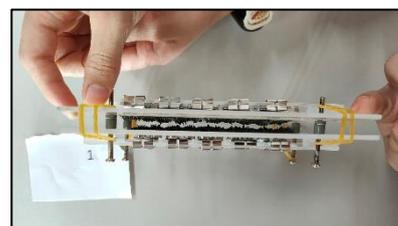


圖 7-9
中間的鐵粉展現出磁力
線分佈情形

3. 拉力實驗模組：我們想要比較磁浮平台與一般輪車在運載效能上的差異，因此製作與磁浮平台實驗模組類似的設備，使其可以測量磁浮平台或一般輪車受到固定的拉力時，滑行相同距離所用的時間。

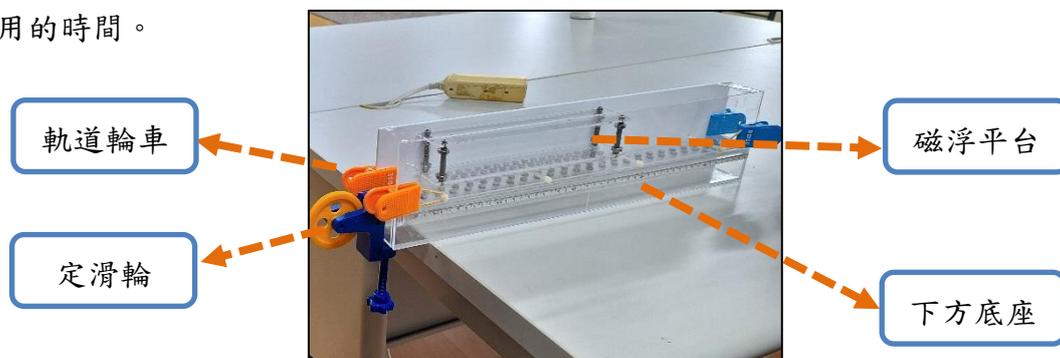


圖 7-10 拉力實驗模組

- (1) 將磁浮平台標記位置，並使用熱融膠，將正黃輪固定在平台的上方(如圖 7-11)。
- (2) 將磁軌固定於平台下方及底座上方。
- (3) 底座放入模組的前後側板中，接著將磁浮平台放置於底座上，並在二側夾上夾子，使磁浮平台可以穩定磁浮於底座上方(如圖 7-12)。
- (4) 將定滑輪固定於模組左側，並取一段尼龍繩，一端固定於磁浮平台，另一端則跨過定滑輪並吊掛上所需砝碼，使平台能受到拉力向前滑行(如圖 7-13)。

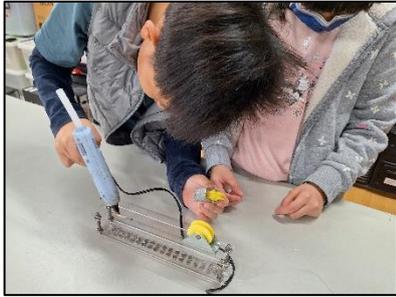


圖 7-11
使用熱融膠將正黃輪固定於平台上方

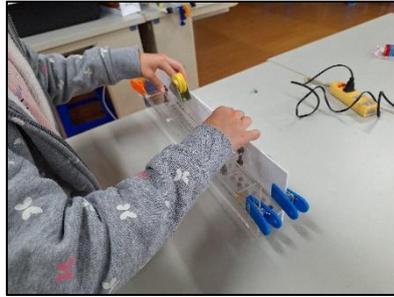


圖 7-12
將磁浮平台穩定磁浮於底座上方



圖 7-13
將砝碼吊掛於尼龍繩上，以拉動磁浮平台

4. 磁浮軌道輪車：為了擴展磁浮的應用價值，我們想要將磁浮原理運用於輪車上，使輪車不需要真正磁浮，卻能因磁浮的效應而增加運載的效能，因此我們將磁軌固定於輪車下方，並在軌道上固定對應的磁軌，探討不同的磁軌狀態，在相同的拉力下，能獲得最佳的速度。

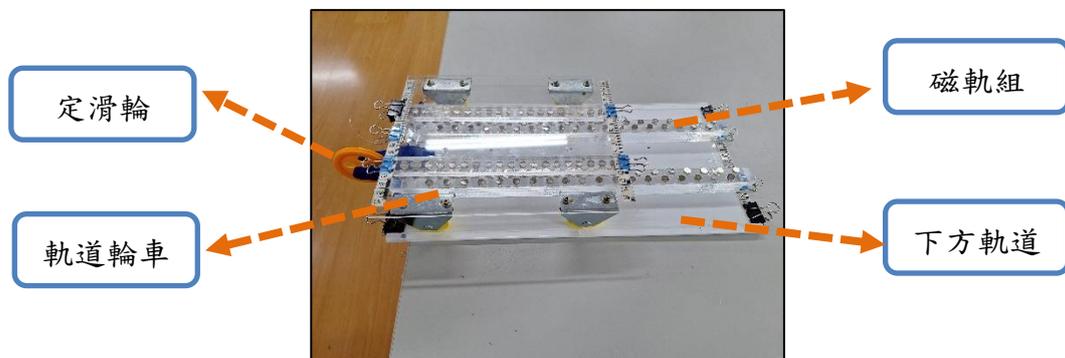


圖 7-14 磁浮軌道輪車

- (1) 取適當尺寸的壓克力板做為輪車平面及下方軌道，並在上面貼上捲尺，以利實驗操作。
- (2) 使用螺絲及螺帽將正黃輪固定於輪車平面下方，使其能順暢前進(如圖 7-15)。
- (3) 將下方軌道兩側貼上護欄，使其寬度與輪車的左右輪距相同。
- (4) 使用熱融膠將磁軌固定於輪車平面下方及軌道上方(如圖 7-16)，並確保上下對稱。
- (5) 將定滑輪固定於車前前方，並取一段尼龍繩，一端固定於輪車前方，另一端則跨過定滑輪並吊掛上所需砝碼，使輪車能受到拉力向前滑行(如圖 7-17)。

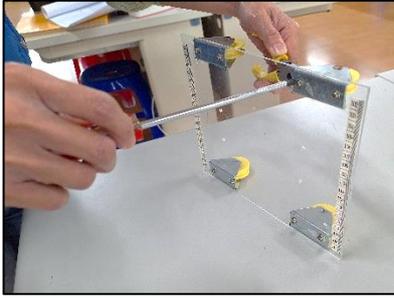


圖 7-15
將正黃輪固定於輪車下方

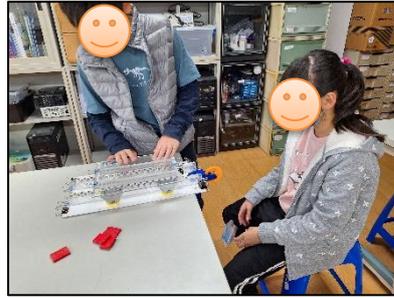


圖 7-16
將磁軌固定在軌道上方



圖 7-17
使用砝碼拉動輪車向前

(三)實驗方法：

為了清楚的探討磁浮平台在磁浮底座上所能產生的承載力，讓實驗結果更加精確，我們在實驗前進行一系列的檢查(扣除該實驗之操作變因)，以及妥善的實驗流程。

1. 實驗一~五：

- (1)依據實驗項目固定磁鐵片於磁浮平台與磁浮底座。
- (2)將前後側板及磁浮底座水平放置妥當。
- (3)實驗前將電子秤進行歸零。
- (4)使用 T 型架垂直施力(如圖 7-18)，務必放慢動作。
- (5)每次實驗於上方磁鐵受壓而觸碰到下方磁鐵便停止。
- (6)將電子秤的數值錄影下來，從中找出最大數值。
- (7)每個實驗進行 5 次，將數值進行平均。



圖 7-18 使用 T 型架向下施力於磁浮平台

2. 實驗六：

- (1)依據實驗項目放置砝碼於定滑輪下方的夾鏈袋中。
- (2)確認磁浮平台妥善磁浮於磁浮底座上方，使其能順暢滑動。
- (3)將磁浮平台拉到起點，實驗開始時輕輕放開平台(如圖 7-19)，讓平台受拉力向前滑行。
- (4)將實驗過程錄影下，並從影片中確認滑行所用時間。
- (5)每個實驗進行 5 次，將數值進行平均。
- (6)輪車的實驗步驟與磁浮平台相同。

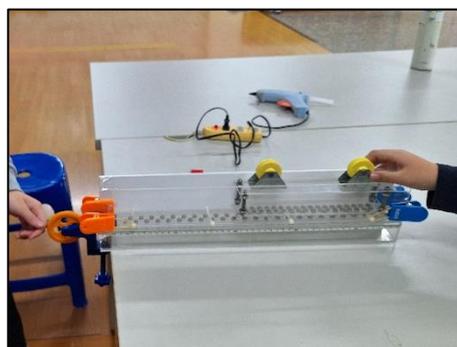


圖 7-19 將磁浮平台向後拉到起點，準備進行實驗

3. 實驗七~八：

- (1)依據實驗項目調整磁軌組間距(實驗七)或者上下磁軌間距(實驗八)，並確認上下磁軌位置是否對應(如圖 7-20)。
- (2)確認輪車妥善放置於軌道上方，並能順暢移動。
- (3)將輪車向後拉到起點，實驗開始時輕輕放開平台。
- (4)將實驗過程錄影下，並從影片中確認滑行所用時間。
- (5)每個實驗進行 5 次，將數值進行平均。



圖 7-20 確認上下磁軌位置對應

八、研究結果及討論

(一)實驗一：磁鐵的不同排列間隔對於承載力之影響

為了能了解磁浮平台及磁浮底座的磁鐵間隔對於承載力的影響，我們將磁鐵依據 0.8 公分~0.2 公分等 7 種間隔固定於平台及底座上，接著施以垂直向下的力量，藉由觀察電子秤來獲得平台的承載力，實驗結果如下：



圖 8-1 將磁浮平台放入前後側板中，進行承載力測量

表 8-1 實驗一實驗結果

磁鐵間隔	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
可磁浮	否	否	可	可	可	可	可
承載力 (公克重)	61.54	61.92	77.08	115.64	220.28	280.72	345.84

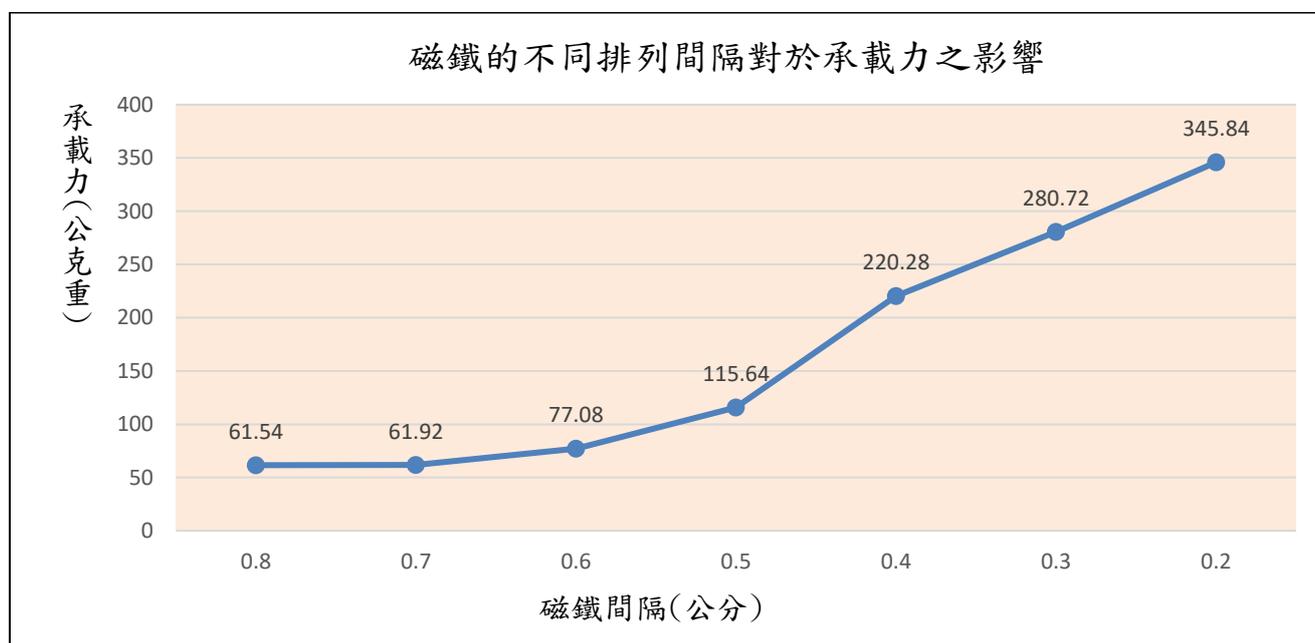


圖 8-2 實驗一實驗結果折線圖

討論：

從結果中，我們可以發現在間隔為 0.8 公分及 0.7 公分時，因承載過小，無法使平台能穩定浮起，因此我們將平台緩慢向下放置，觀察所能測量出的最大承載力。另外，在間隔為 0.8 公分時，承載力為 61.54 公克重，而間隔變小時，則承載力也隨之便開始增加，當間隔到達 0.2 公分時，承載力到達 345.84 公克重，我們可以歸納出間隔愈小，則承載力便愈大的規律。

我們從實驗操作過程可以了解到，當磁鐵排列較寬鬆時，磁浮平台開始向下接近底座時，會因為磁鐵同性相斥而產生磁斥力，但是磁浮平台再往下靠近時，磁斥力會隨之增加，此時平台可能會因為強大的斥力以及間隙的吸力而產生橫移(如圖 8-3)，在磁吸力及重力共同作用下，磁浮平台會迅速與下方底座吸在一起，需要耗費相當大的力量才能將平台與底座分離。

若磁鐵的排列密度更加密集，則磁鐵間隙變的更狹窄，使上方平台在對準下方磁鐵間隙時，上方的磁鐵仍然會受磁斥力的作用，而維持漂浮狀態(如圖 8-4)，但是承載更重的物體時，一樣會使上下的磁鐵吸在一起。我們從磁力線觀察盒中也可看到排列密集時(如圖 8-5)，鐵粉幾乎沒有上下相連的現象，反之，排列疏鬆時，鐵粉上下相連明顯(如圖 8-6)。

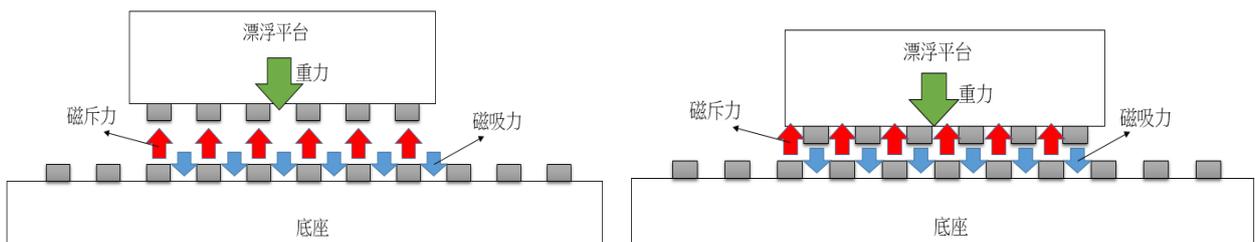


圖 8-3 磁鐵排列較寬鬆

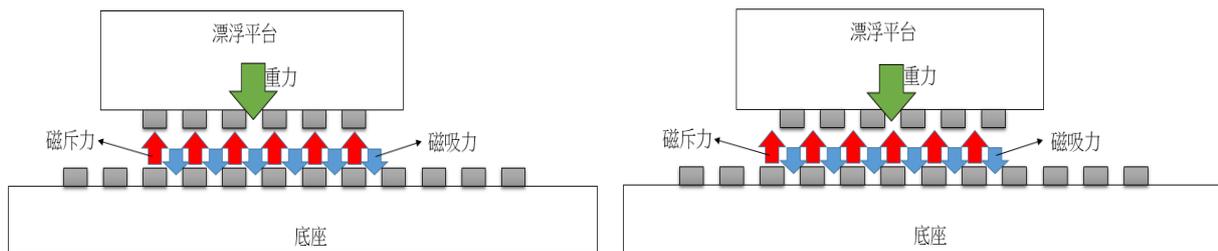


圖 8-4 磁鐵排列較密集

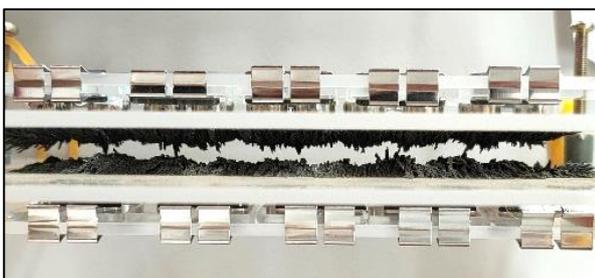


圖 8-5 上下間隙皆為 0.2 公分之鐵粉狀態



圖 8-6 上下間隙皆為 0.8 公分之鐵粉狀態

(二)實驗二：上下磁鐵的不對稱排列對於承载力之影響

在實驗一中，我們發現即使磁鐵排列的很緊密時，在較重的力量壓迫下，磁浮平台仍有可能受間隙吸力而與底座吸在一起，於是我們假設如果可以讓上下方的磁鐵處於不對稱的排列時，是否可以改良承載過重就會吸在一起的問題，因此將下方磁鐵的間隙固定為 1 公分，並將上方磁鐵的排列做了調整，讓上方磁鐵與下方磁鐵的密度比例 1:1、2:1、3:2、4:3、5:4，讓上下方磁鐵可以產生不同的相吸相斥狀態，實驗結果如下：

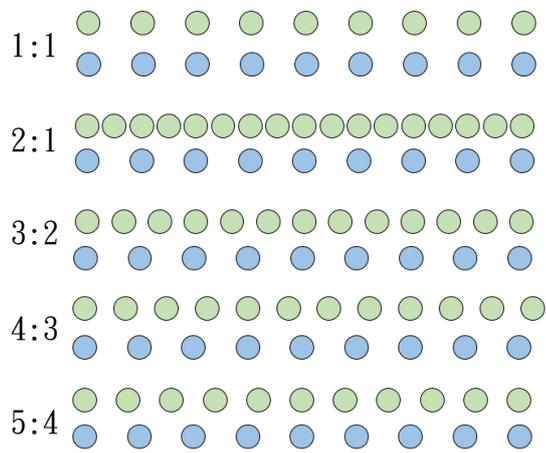


圖 8-7 上下方磁鐵不對稱排列

表 8-2 實驗二實驗結果

磁鐵密度比例	1:1	2:1	3:2	4:3	5:4
承载力 (公克重)	50.64	373.52	518.28	411	230.72
可磁浮	不可	可	可	可	可
可自動回復	不可	不可	可	可	不可

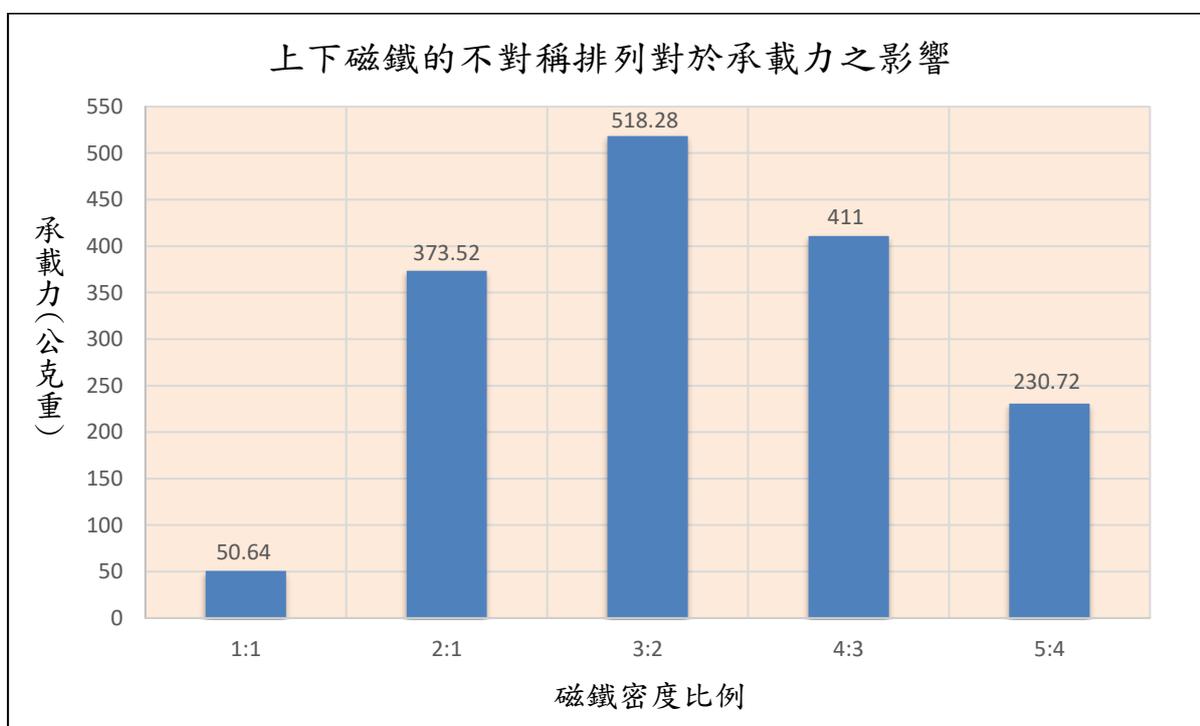


圖 8-8 實驗二實驗結果長條圖

討論：

我們從實驗結果可以發現，如果是採用 1:1 的排列時，就會如同實驗一的結果，承載力只有 25.54 公克重，且無法使平台漂浮起來；然而改採用 2:1、3:2、4:3 及 5:4 的排列時，承載力就大幅提升至 373.52、518.28、411 及 230.72 公克重。

從這個結果中，的確呼應了我們原本的假設，就是不對稱排列的狀態，可以有效的防止實驗一中，下方磁鐵的間隙對於上方磁鐵的吸引，而密度改變為 2:1 時，雖然磁鐵密度高，但是上方的磁鐵可以對應到下方磁鐵間隙的數量相當多，所以受到過大重力時，仍會出現上下方磁鐵吸在一起的現象(如圖 8-9)。

當密度比例為 3:2 時，因為上方的磁鐵對應到下方磁鐵間隙的數量變少，且有較多的磁鐵仍受到磁斥力的作用，且磁鐵密度仍相當高，所以承載力最佳，且當受到高壓而使上下磁鐵觸碰在一起時，只要手一鬆開，就能回復原本磁浮的狀態(如圖 8-10)。而密度比例為 4:3 及 5:4 時，因為磁鐵密度下降，所以承載力也隨之下降，但 4:3 的密度比例，仍具備回復能力，5:4 的密度則無法回復。

我們從磁力線觀察盒中也可看到磁鐵密度比例 1:1 時，鐵粉會呈現上下相連接的樣態(如圖 8-11)，而磁鐵密度比例 3:2 時，磁鐵無法正對下方間隙時，因為鐵粉沒有明顯的上下相連樣態(如圖 8-12)。

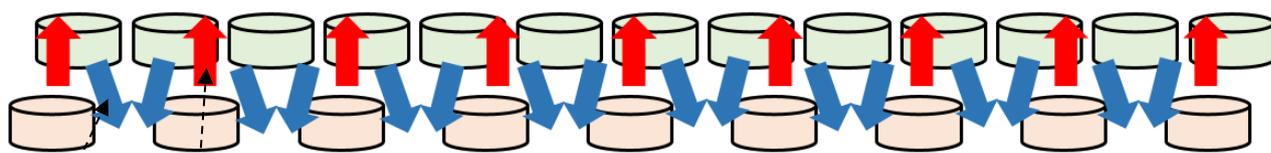


圖 8-9 上下方磁鐵密度 2:1 排列

吸力 斥力

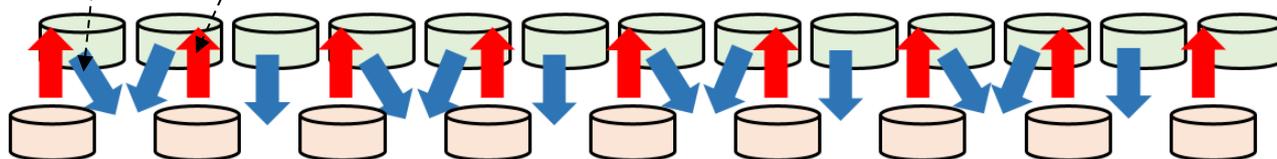


圖 8-10 上下方磁鐵密度 3:2 排列

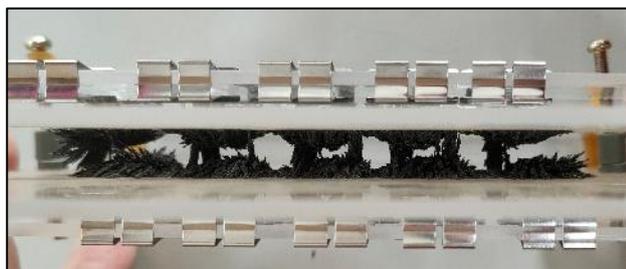


圖 8-11 磁鐵密度比例 1:1 之鐵粉狀態

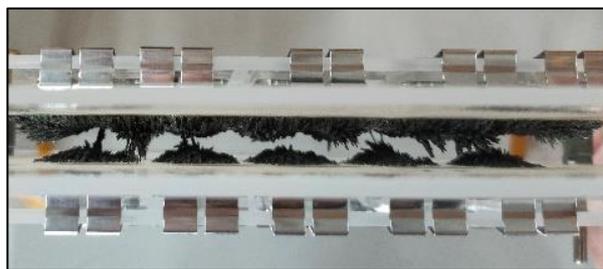


圖 8-12 磁鐵密度比例 3:2 之鐵粉狀態

(三) 實驗三：改變磁鐵的行數對於承載力之影響

在實驗一及實驗二中，上方磁浮平台及下方磁浮底座的磁鐵皆只使用單行磁鐵，於是我們相當好奇如果增加磁鐵的行數是否能提升承載力，因此將上下磁鐵的行數調整為 1-1、1-2、1-3、1-4、2-2、2-3、2-4、3-3、3-4、4-4，然後測量其承載力，實驗結果如下表。

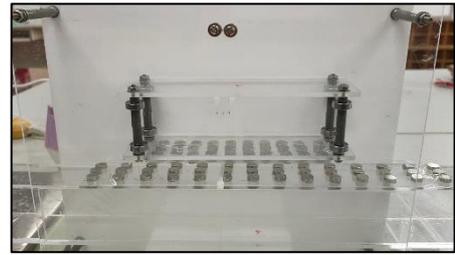


圖 8-13 上下磁鐵行數 3-4 之實驗

表 8-3 實驗三實驗結果

上下磁鐵行數	1-1	1-2	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	3-3	3-4	4-4
承載力 (公克重)	347.76	x	x	x	422.72	x	x	302.76	x	x

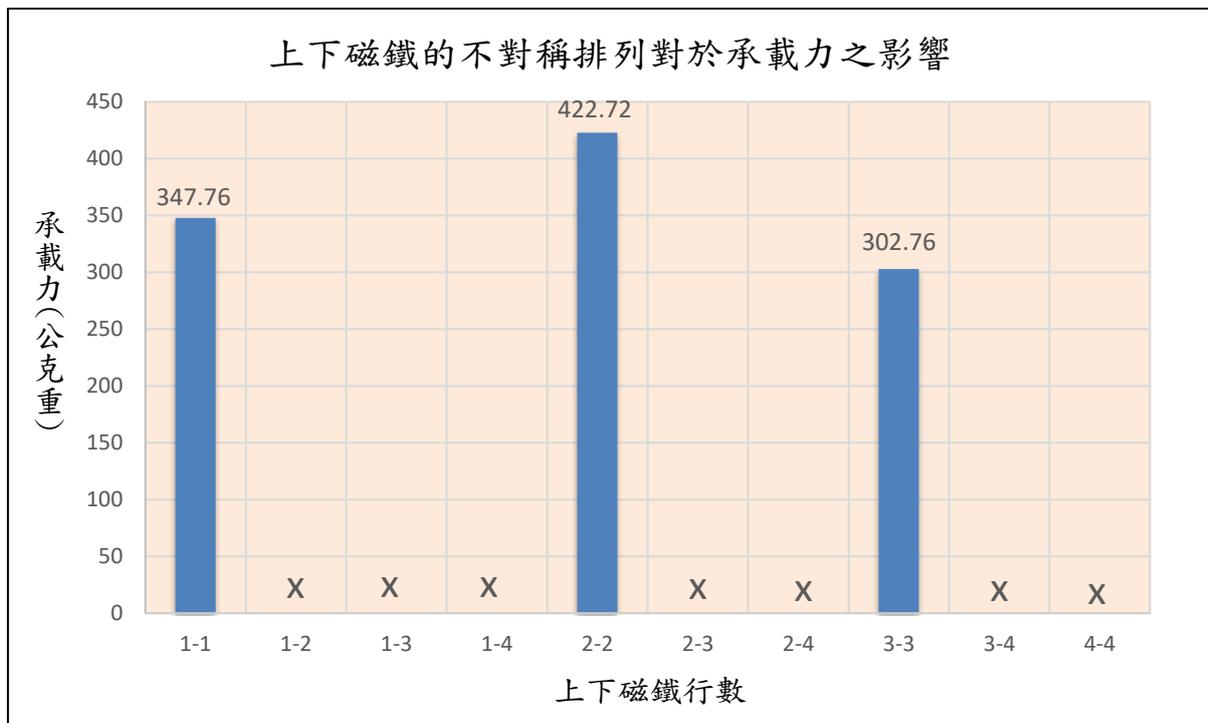


圖 8-14 實驗三實驗結果長條圖

討論：

從實驗結果中，我們發現上下皆為 2 行時(2-2)，承載力最大，為 422.72 公克重，而只有 1 行時(1-1)略小為 347.76 公克重，而皆為 3 行時(3-3)，承載力降至 302.76 公克重，其餘組合皆無法自然的磁浮，此結果與我們原本的預期有很大的落差。

我們發現，磁鐵上下行數不同時，皆無法達到磁浮，可能的原因是磁鐵的相斥力是集中的正上方及正下方，所以下方磁鐵如果沒有正對著上方磁鐵時，皆無法有效產生斥力，反而會形成吸力，因此不論上方有多少行的磁鐵皆會因為下方有更多行的磁鐵而造成吸力過大，無法有效磁浮(如圖 8-15)。

另外，上下排數相同時，雖然能避免磁鐵沒有正對的問題，但是我們也發現當行數較多時，只有靠邊緣的磁鐵能發揮較大的磁力，內側的磁鐵因距離太近，而使磁力線無法形成封閉迴路而使磁力大為減弱(如圖 8-16)，例如使用 2 行磁鐵時，個別磁鐵之磁力雖然減弱，但是磁鐵數量變多，整體磁力仍有上升；但是使用 4 行磁鐵時，磁力減弱的更多，導致承載力反而下降。

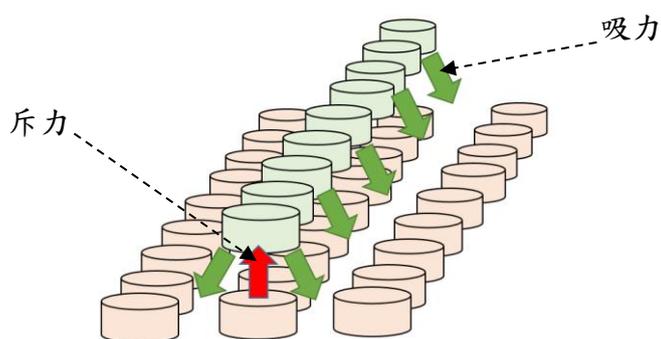


圖 8-15 上下磁鐵行數不相等時，呈現吸力大於斥力的情形

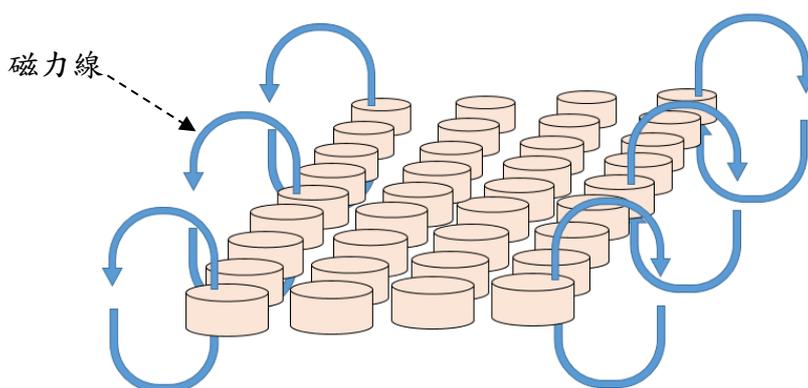


圖 8-16 當多行磁鐵密集排列時，內部的磁鐵之磁力線會減弱

(四)實驗四：磁鐵交錯排列對於承載力之影響

在實驗三中，我們發現上下磁鐵皆為 2 行時，平台的承載力最佳，於是我們想探討將 2 行磁鐵交錯排列是否能更加提升承載力，於是在本實驗我們將上方及下方磁鐵做了以下四種組合測試，分別是正對-正對、正對-交錯、交錯-正對、交錯-交錯，然後測量磁浮平台的承載力。

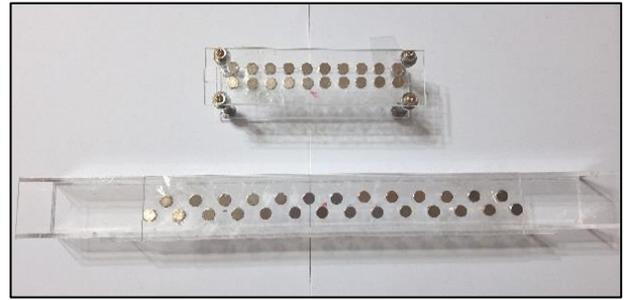


圖 8-17 上方磁鐵正對，而下方磁鐵交錯之排列

表 8-4 實驗四實驗結果

上方磁鐵 下方磁鐵	正對-正對	正對-交錯	交錯-正對	交錯-交錯
承載力 (公克重)	289.12	431.28	427.96	393.2

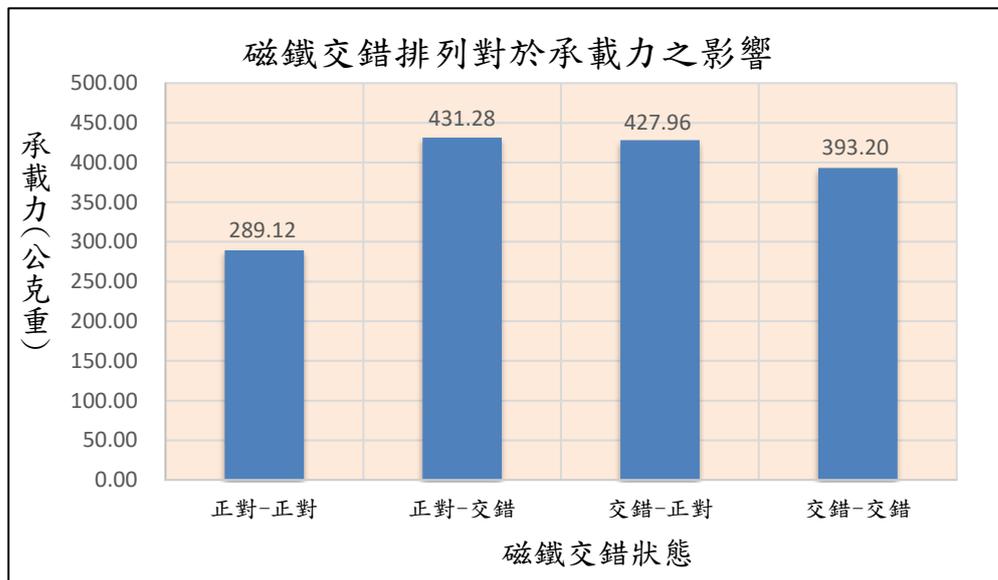


圖 8-18 實驗四實驗結果長條圖

討論：

從實驗的結果中，我們可以清楚的看到上下磁鐵其中一方為交錯，另一方為正對的組合最佳，如實驗的「正對-交錯」、「交錯-正對」二個組合，承載力分別為 431.28 及 427.96 公克重，而「交錯-交錯」組合略低為 393.2 公克，「正對-正對」則表現最差為 289.12 公克。

這個結果可以歸納出磁鐵一方為正對，則另一方使用交錯，將可獲得最大承載力，原因與實驗二發現相似，我們以「正對-交錯」為例說明，當上方其中一行磁鐵排列與下方的磁鐵處於相對位置時，會產生最強斥力，此時另一行則會剛好處於間隙略多的位置，但仍會有次強的斥力，因此可以增強平台滑行時承載力之穩定性(如圖 8-19)，而「交錯-正對」原理相同。

而「交錯-交錯」組合因其排列在其邊緣處容易出現 2 行斥力皆互補效果較差的情形，但其他位置仍有強大斥力的情形，實驗時容易出現傾斜情形(如圖 20)，因此不利其承載力的表現；另外，「正對-正對」組合與「交錯-交錯」組合相同，在滑動過程中容易產生斥力更為不足的情形(如圖 21)，承載力更差。

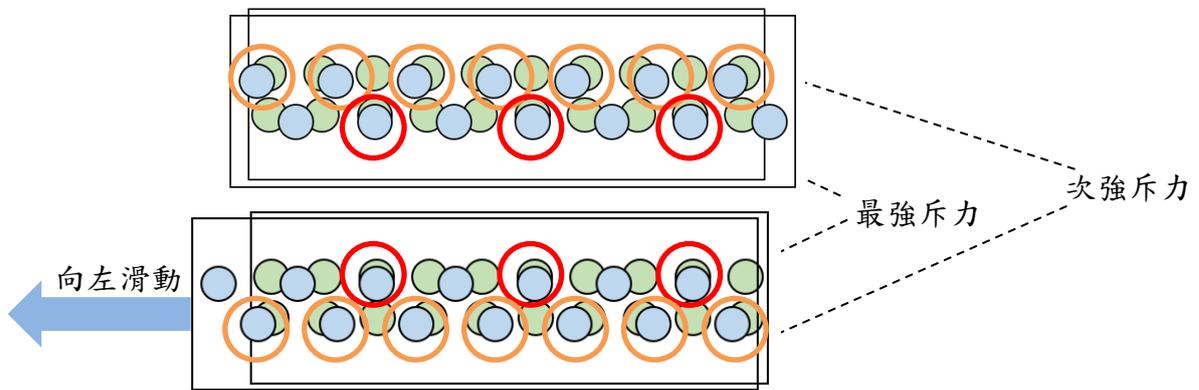


圖 8-19 「正對-交錯」組合在滑動情況下能保持穩定斥力

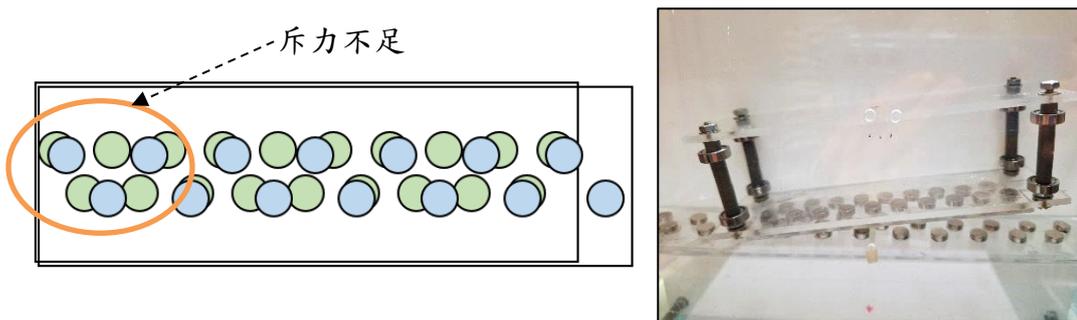


圖 8-20 「交錯-交錯」組合在滑動時容易在邊緣產生斥力不足現象而造成傾斜

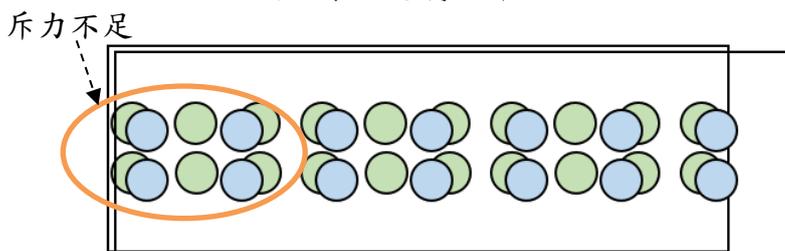


圖 8-21 「正對-正對」組合容易產生斥力不佳的情形

(五) 實驗五：磁鐵數量對於平衡能力之影響

在前面的實驗中，我們已探索出最佳的磁鐵排列方法，但是仍感覺平台在滑行偶爾會出現傾斜下沉的現象，因此我們討論後認為也許增加上方磁鐵的數量可以解決這個問題，於是我們將平台改變為 25 公分長，並將上方磁鐵擴充為 20、24、28、32、36 顆，並在離中心位置 0、2、4、6、8、10、12 公分處施力，以了解其平衡能力。



圖 8-22 使用直尺於平台不同處施壓測量其平衡能力

表 8-5 實驗五實驗結果

承載力 (公克重)		磁鐵數量				
		10 顆	12 顆	14 顆	16 顆	18 顆
施力 位置 與中 央的 距離	0 公分	291.24	350.36	356.00	444.04	692.24
	2 公分	216.20	348.08	324.72	417.88	567.80
	4 公分	214.40	307.12	277.28	351.16	471.76
	6 公分	179.80	242.04	266.04	321.52	423.00
	8 公分	182.12	244.72	250.12	297.32	381.08
	10 公分	165.28	208.64	226.68	259.52	331.76
	12 公分	155.36	176.04	173.32	242.56	297.00

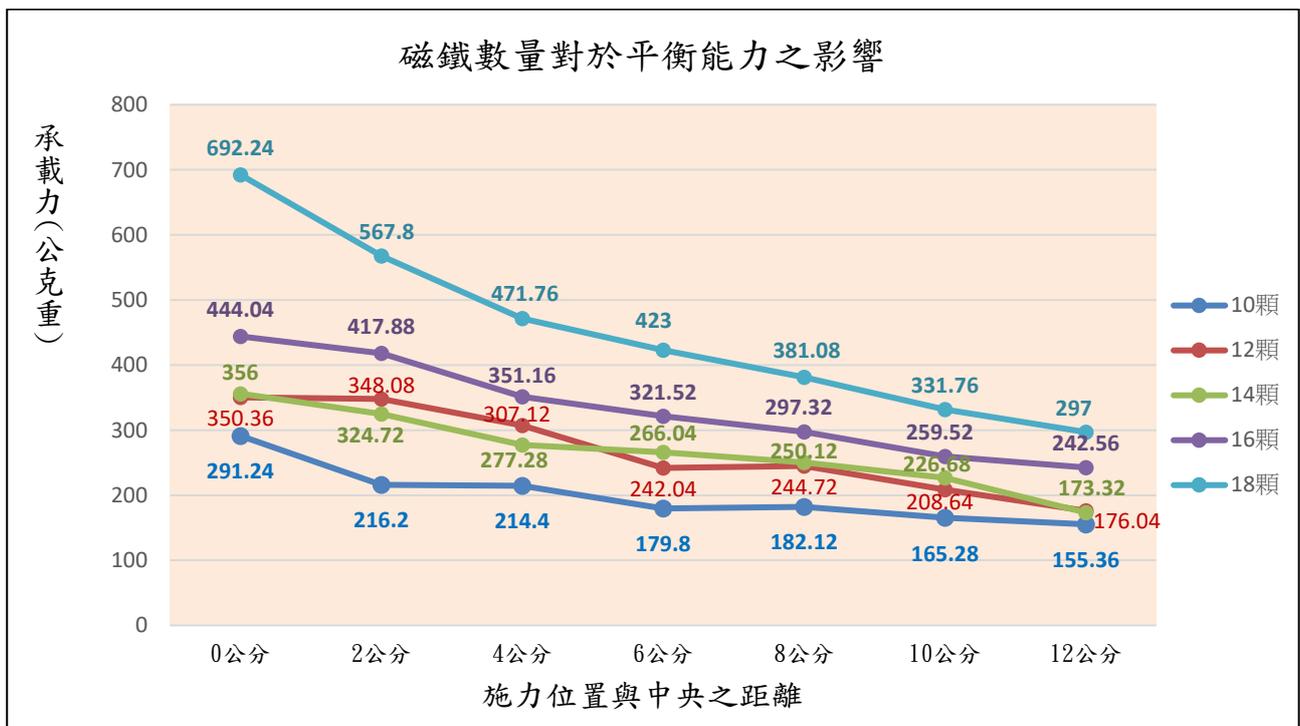


圖 8-23 實驗五實驗結果折線圖

討論：

從實驗的結果中，我們大概可以得到以下二個結果：

1. 磁鐵數量愈多，能產生愈多的斥力，也就是愈多的承載力，代表磁鐵數量與承載力呈正向關係。
2. 施力點距離中心愈遠，可以維持磁浮的能力愈差，平台容易產生傾斜現象(如圖 8-24)，也代表承載力愈差，因此承載的物體應往平台的中央集中較佳。

針對此二個實驗結果，我們認為與先前的實驗相呼應，也代表當我們需要更高的承載力時，可依據本實驗的磁鐵排列方式來增加磁鐵的數量。並且，平台的二側常是承載力較弱的位置，而施力於二側更容易造成平台二側受力不平衡，平台中心點如同軸心，而施力位置離中心愈遠，力臂就愈大，而形成較大的轉動力矩(如圖 8-25)，使平台傾斜的角度愈大，愈不利平台維持磁浮狀態。

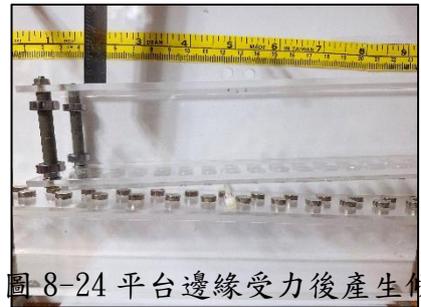


圖 8-24 平台邊緣受力後產生傾斜

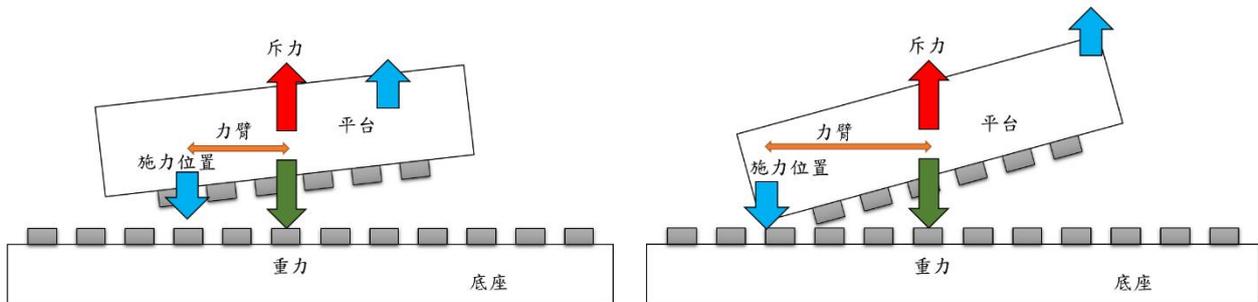


圖 8-25 施力位置愈邊緣，轉動力矩愈大，
傾斜角度就愈大

(六) 實驗六：磁浮平台與輪車受不同拉力之比較

在本實驗中，為了驗證磁浮平台在運載物品時是否具備節能價值，我們使用磁浮平台及輪車來進行實驗(如圖 8-26)，並利用定滑輪吊掛砝碼來固定拉力，然後比較兩個不同形式的載物工具在 5、10、15、20、25 及 30 公克重的拉力下，滑行 20 公分所用的時間。

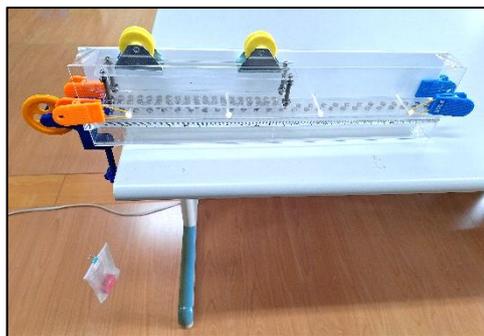


圖 8-26 磁浮平台上下翻轉便可當成相同重量之輪車

表 8-6 實驗六實驗結果

所受拉力 (公克重)	5	10	15	20	25	30
磁浮平台 所用時間(秒)	2.138	1.378	1.09	0.936	0.83	0.786
輪車 所用時間(秒)	0.00	4.576	1.786	1.258	0.978	0.918

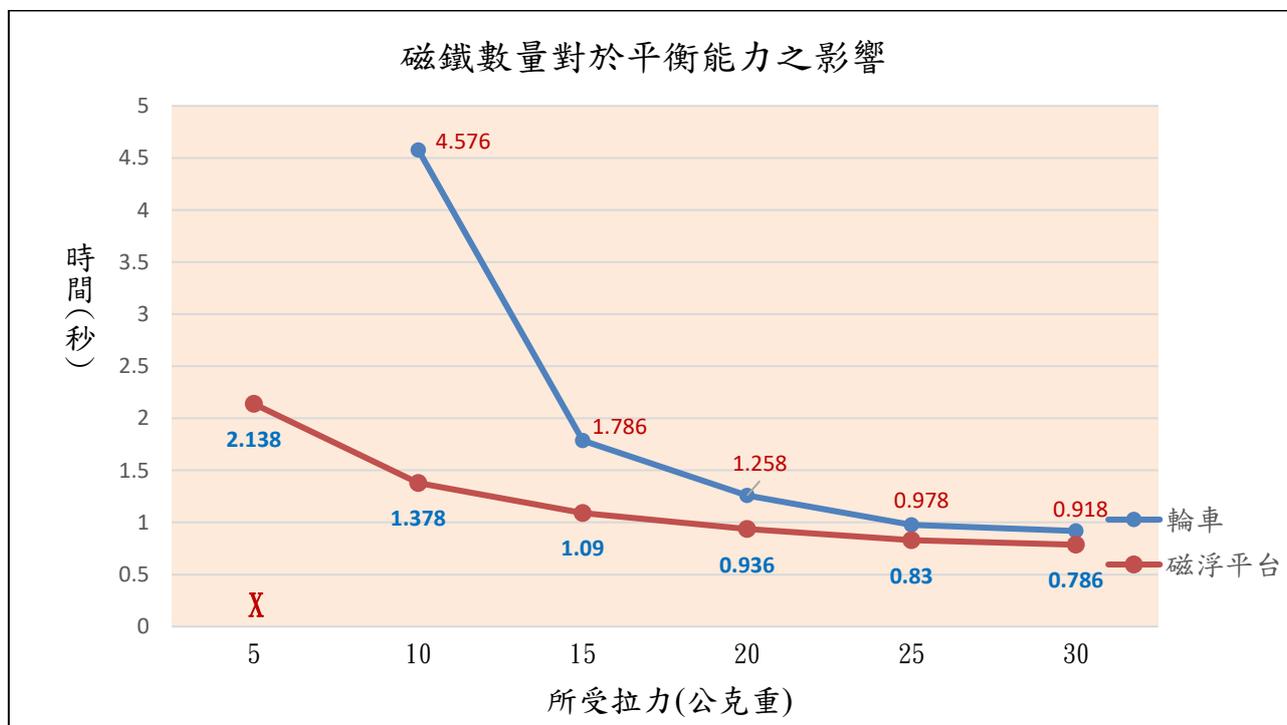


圖 8-27 實驗六實驗結果折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現了，磁浮平台在 5 公克重的微小拉力下，仍可以在 2.138(秒) 到達底座邊緣，並且在受更大拉力時，所需時間持續縮短。而輪車在 5 公克重的微小拉力下，並無法克服其靜摩擦力，所以維持靜止，但在更大拉力下，則所用時間縮短幅度與磁浮平台相似。

我們可以了解到磁浮平台所受的摩擦力相當微小，只有兩側固定方向的輪子會與側板產生微小摩擦力，但因為沒有與底座接觸，所以與下方底座的摩擦力為零(如圖 8-28)，而輪車則會因為車子本身的重量而與底座產生向後的摩擦力(如圖 8-29)，使部份拉力與方向相反的摩擦力抵銷而減少向前的速度。

更進一步推論，磁浮平台若能具備更強的磁浮能力，將可承載更重的物體，並發揮降低摩擦力的功效，大大減小運載物體所要耗費的力量。

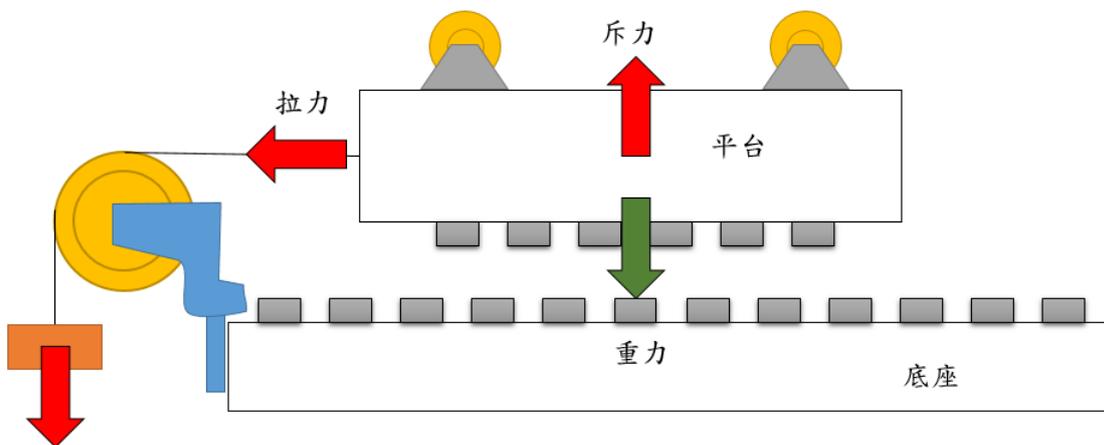


圖 8-28 磁浮平台因未與底座接觸所以無下方摩擦力

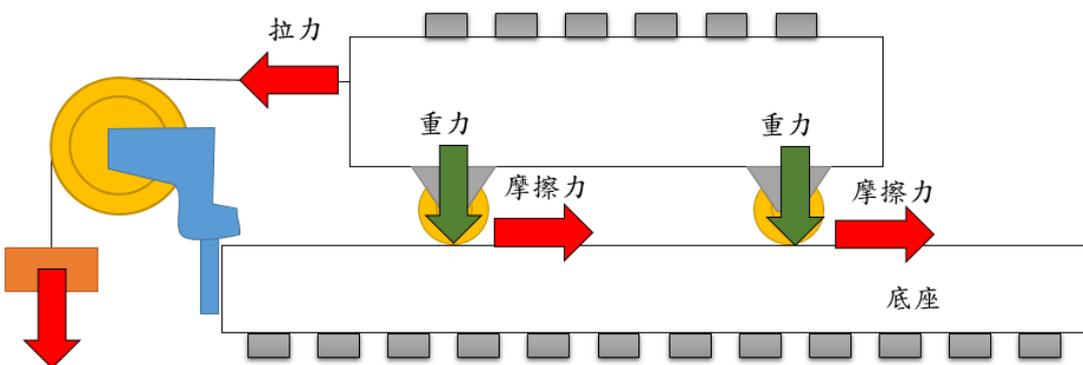


圖 8-29 輪車的輪子與底座產生摩擦力，而抵銷部份拉力

(七) 實驗七：磁軌組間距對於軌道輪車運載效能之影響

在本實驗一~六中，我們探討了有效的磁浮平台，但是皆需要以磁浮的狀態運作，所以無法承載過重的物品，為了提升其運用性，我們決定將磁浮的磁軌運用於輪車上，以減輕其摩擦力，並藉此實驗來探究多磁軌的可能性，因此我們使用 2 組將實驗七的雙行磁軌，並調整此二組磁軌的間距為 0、0.5、1、1.5、2 及 2.5 公分，並使用 30 公克重的拉力來拉動，測量輪車到達邊緣所用時間，找出最佳且省空間的磁軌組間距。

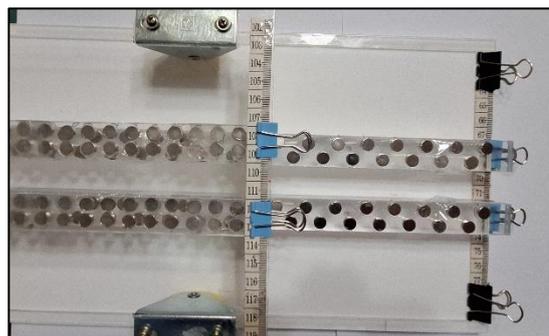


圖 8-30 磁軌組間距為 2 公分之軌道輪車

表 8-7 實驗七實驗結果

磁軌組間距 (公分)	無磁軌	0	0.5	1	1.5	2	2.5
所用時間 (秒)	1.79	1.58	1.43	1.35	1.23	1.22	1.25

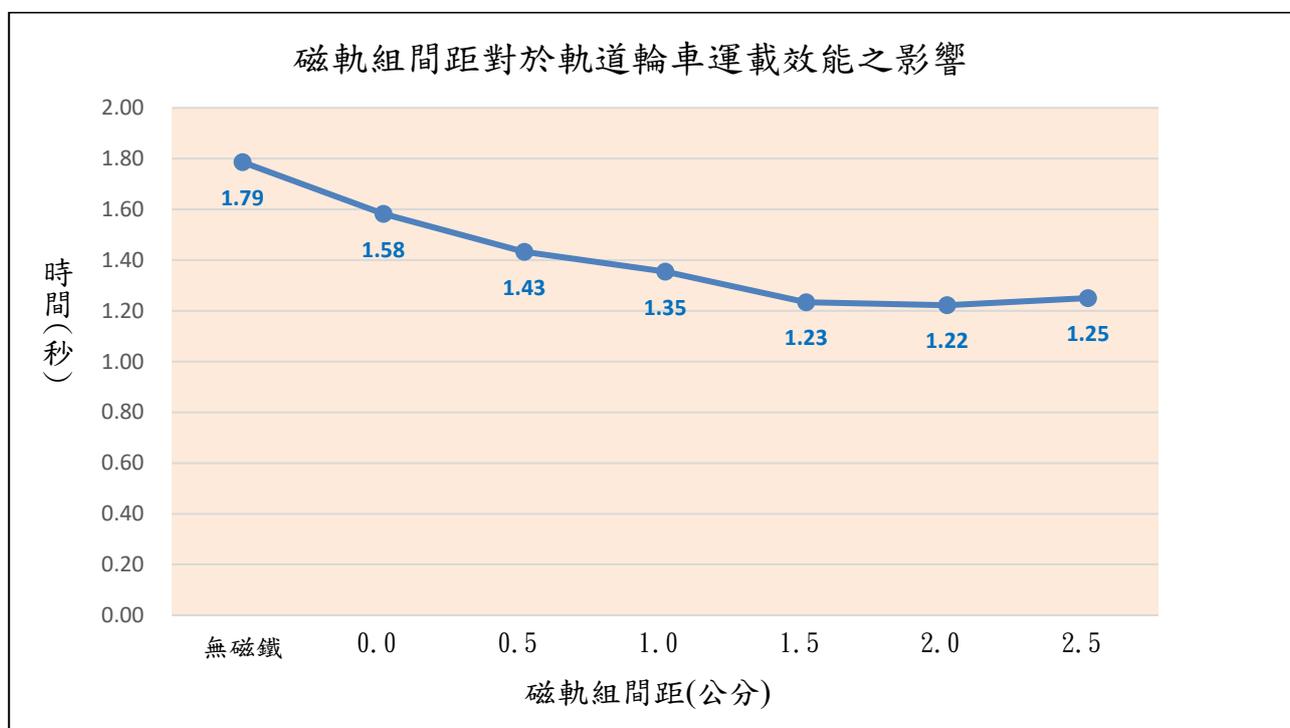


圖 8-31 實驗七實驗結果折線圖

討論：

從實驗結果，我們發現沒有使用磁軌的輪車到達邊緣所用時間為 1.79 秒，而使用間距 0 公分的磁軌，則所用時間減少至 1.58 秒，隨著間距加大，則所用時間持續減少，當間距為 2.0 公分時，時間縮短至 1.22 秒，但是間距擴大間距至 2.5 公分時，所用時間沒有再縮短。

本實驗之結果可以與實驗三(改變磁鐵的行數對於承載力之影響)相互呼應，當我們的二個磁軌組緊靠時，內側區域磁力較弱(如圖 8-32)，因此磁軌組有適當的間距時，可以減小內部區域間隙磁力減弱的問題(如圖 8-33)。

但是，再當間隙再擴大時，則輪車的磁浮能力不會再增加(如圖 8-34)，反而會浪費放置的空間，因此我們認為，從本實驗可以找到最佳的磁軌組間距，在有限的輪車下方平面及底座上方放置更多組對應的磁軌，可以增加磁浮輪車的運載效能。

從磁力線的分佈情形，我們可以看到 2 組磁軌緊靠時，因磁力減弱，所以中間區域的鐵粉量較為稀少；而在間距 2.0 公分時，中間的鐵粉分為二個較密集的區域，而 2.5 公分時，中間的鐵粉量沒有變多，只是間距變大而已。

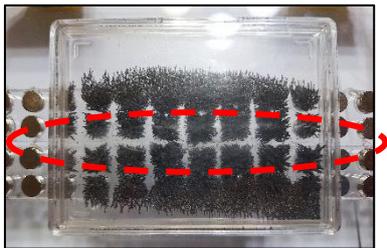


圖 8-32 間距 0 公分的
磁力線狀態

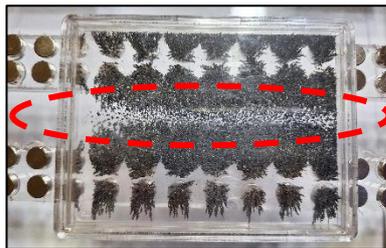


圖 8-33 間距 2.0 公分的
磁力線狀態

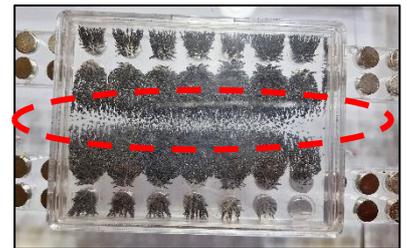


圖 8-34 間距 2.5 公分的
磁力線狀態

實驗八：上下磁軌間距對於軌道輪車運載效能之影響

延續實驗七，確認了較佳的磁軌組之間距，我們想更進一步探討上下磁軌的間距是否也會對運載效能有影響，因此我們藉由改變上下磁軌的墊片數量，將二個磁軌的間距調整為 3.9、3.5、3.1、2.7、2.3、1.9、1.5 及 1.1 公分，並使用 15 公克重的拉力，測量輪車到達邊緣所用的時間，找出最佳上下磁軌間距，以提升磁浮輪車的應用性。



圖 8-35 使用八片墊片的輪車磁軌

表 8-8 實驗八實驗結果

上下磁軌間距 (公分)	無磁軌	3.9	3.5	3.1	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1
所用時間 (秒)	1.90	1.74	1.74	1.48	1.35	1.37	1.47	1.52	X

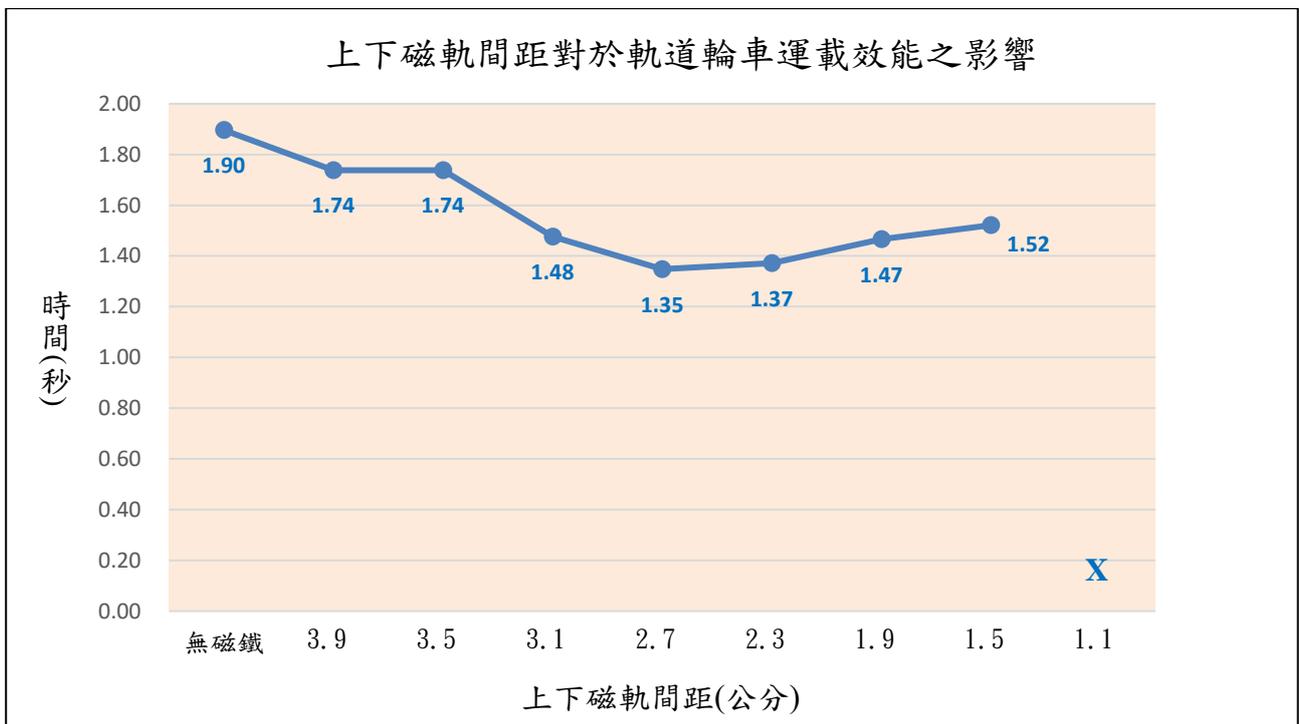


圖 8-36 實驗八實驗結果折線圖

討論：

從實驗結果，我們發現了沒有使用磁軌的輪車到達邊緣所用時間為 1.90 秒，而上下磁軌間距 3.9 公分，則時間縮短至 1.74 秒，隨著間距變小，則所用時間會開始縮短，當間距為 2.7 公分時，所用時間縮短至 1.35 秒，而再縮小間距時，則時間不降反升，甚至於間距 1.1 公分時，磁浮輪車無法前進。

我們發現使用磁軌對於提升輪車前進速度是有助益的，因為上下磁軌彼此的斥力，而減小輪車本身重力所產生的摩擦力(如圖 8-37)，進而使速度上升，這也呼應了實驗六(磁浮平車與輪車受不同拉力之比較)的結論。

然而，我們也得到一個意外的發現，就是間距小於 2.7 公分時，輪車速度便開始下降，例如間距 1.5 公分時，所用時間增加至 1.52 秒，甚至當間距為 1.1 公分時，輪車無法在 15 公克重的拉力下前進，我們認為這是因為當斥力過大時，輪車本身產生受力不平衡的現象，而使車體向側邊位移，也就造成輪子與側邊的護欄緊靠，因而產生巨大的摩擦力(如圖 8-38)，這也是使用磁軌時要特別避免的現象。

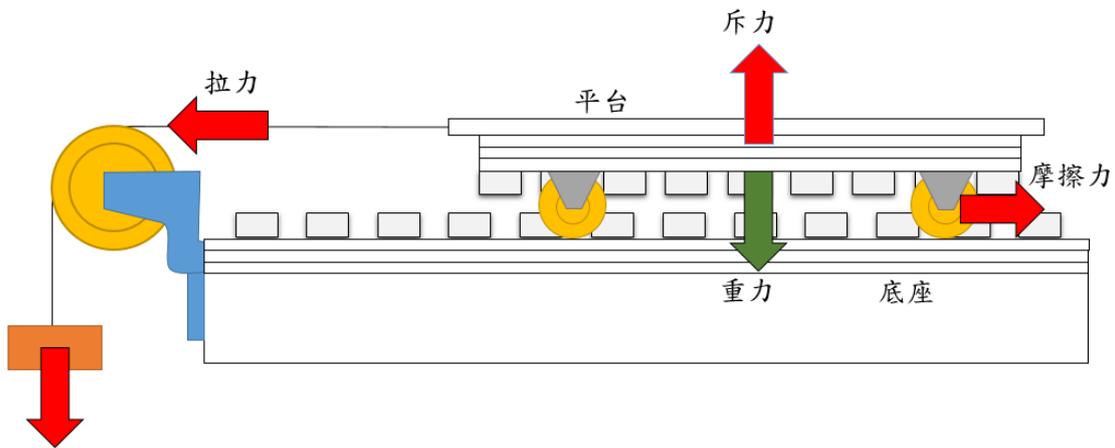


圖 8-37 輪車因磁浮斥力，與部份重力抵銷，使摩擦力變小

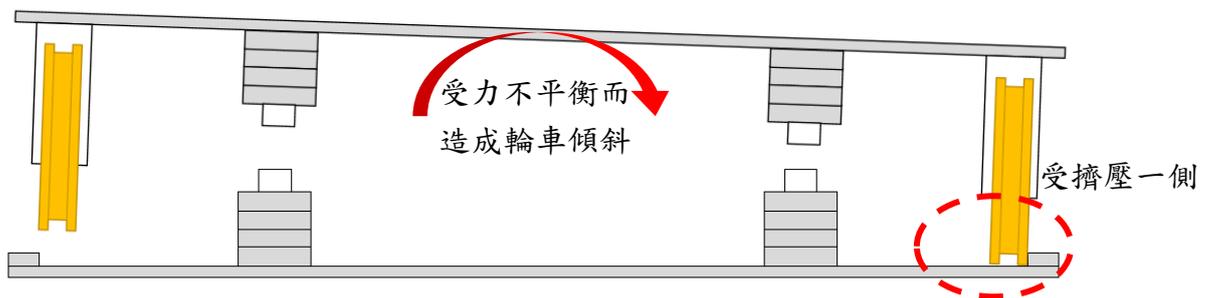


圖 8-38 輪車受不平衡，使一側輪子受擠壓，而產生巨大摩擦力

九、結論與建議

綜合本研究四個目的的八個實驗所獲得之結果及討論，我們總結出下列結論、作品貢獻及建議，以下依序說明。

(一)結論：

1. 磁浮平台的上下方磁鐵密度愈高、排列密度呈現不對稱、行數相同時且一邊正對一邊交錯時，承載力最佳。
2. 磁浮平台的磁鐵數量愈多，平台的平衡能力就愈佳。
3. 相同重量的磁浮平台運載效益優於一般輪車。
4. 磁軌組間距為特定距離時，能發揮較佳之承載力，且節省放置空間。
5. 上下磁軌間距愈小，能產生較佳的承載力，但過小則會造成車身受力不平衡。

(二)作品貢獻：

根據以上結論，本作品之貢獻如下

1. 本研究探討強力磁鐵間交互作用的狀態與規律。
2. 本研究明確歸納出強力磁鐵的排列方式對於承載力及平衡能力的影響。
3. 本研究發展出可行的磁浮平台模型，有利提升運載物品的效益。

本研究將磁浮原理延伸運用於一般軌道輪車。

(三)對未來研究的建議：

1. 本研究使用易取得之圓形強力磁鐵，盼未來研究者可採用不同種類磁鐵，以取得最佳的應用成果。
2. 本研究使用簡易的方式固定磁鐵及平台，難免產生位置及角度的偏差，以致影響實驗結果，盼未來研究可使用更良好之器材來製作設備。

十、參考資料

1. Harris Benson (民 92 年)。普通物理學 下冊。台北縣。學銘圖書。
2. 磁場。維基百科 (民 112 年 11 月 23 日)。檢自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/磁場>
3. 磁浮列車。維基百科 (民 112 年 11 月 9 日)。檢自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/磁浮列車>
4. 磁場。Slideshare (民 112 年 11 月 23 日)。檢自 <https://www.slideshare.net/chausamn/chapter-20-38797151>
5. 強力磁鐵。長虹磁鐵知識+ (民 112 年 11 月 23 日)。檢自 <https://www.magruba.com.tw/>
磁鐵知識