

中華民國第 53 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

030810

雙磁阻逃生“升降”梯

學校名稱：苗栗縣立苑裡高級中學(附設國中)

作者： 國一 張庭瑜 國一 鄭靜筠 國一 王宣方	指導老師： 鄭憲聰 郭家豪
---	-----------------------------

關鍵詞：冷次定律、渦電流、磁煞車

摘要

從磁煞車現象觀察發現，原來磁鐵能吸引的金屬物質並不是全部，且磁鐵對於不能吸引的銅、鋁、銀等金屬，在運動的情況下（磁場產生變化），會產生渦電流。這現象會有熱能及煞車情況發生，因此我們想從比較簡單的煞車磁現象出發，研究有沒有更貼近生活物理的工具或設備去設計一個可行的研究。

本次的研究我們利用自製鋁軌逃生梯，以類似電梯垂直升降的方式，在不需電源動力的情況下，探討配置不同數目磁鐵的壓克力逃生乘坐箱其末端加速度和終端速度的大小。進而探討配置最佳磁鐵數量下乘載不同的重量所產生的終端速度。並嘗試以阿特伍德機雙磁阻的設計，建立一個適合運用於現實生活裡的逃生梯設備。

壹、研究動機

最近常看到社會新聞上常常有大樓火警，在高樓燒死了許多沒有逃生設備或不會使用逃生設備的民眾，進而到學校觀察學校的高樓逃生吊繩，我們發現這吊繩真的要學過才會使用，它要垂直升降有點恐怖，而且很難裝置並且有年限的問題，如果有一個溜滑梯能讓我們一溜就下來（但不能太快會摔死）這樣不是很好嗎？又不用學太複雜的操作方式。

在一次自然課的課堂上，老師補充了很多電與磁之間的有趣現象。我們得知原來磁鐵能吸引的金屬物質並不是全部，且磁鐵對於不能吸引的銅、鋁、銀等金屬，在運動的情況下（磁場產生變化），會產生渦電流。這現象會有熱能及煞車情況發生，因此我們想從比較簡單的煞車磁現象出發，研究有沒有更貼近生活物理的工具或設備去設計一個可行的研究。因此我們將磁煞車的現象，運用在大樓的逃生梯，這樣不僅可以方便逃生人使用，也不會在急忙中失足摔落。

貳、研究目的

- 一、自製可負載不同數量磁鐵的壓克力逃生乘坐箱，並能通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯。
- 二、探討磁阻現象在鋁軌逃生梯落下時的運動方式。
- 三、利用打點計時器觀察及計算逃生梯落下時的加速度及終端速度。
- 四、探討不同磁鐵數量的作用下產生磁阻效果的差異。
- 五、探討磁阻作用大小，與磁鐵本身磁場強弱和接觸金屬間的速度關係。
- 六、探討最佳磁鐵數量下乘載不同的重量所產生的終端速度。
- 七、利用阿特伍德機原理自製雙磁阻逃生梯，並以單邊有磁鐵及雙邊都有磁鐵時進行磁阻效果測試。
- 八、計算單磁阻逃生梯最佳磁鐵數量下乘載不同的重量所產生的終端速度。
- 九、計算雙磁阻逃生梯最佳磁鐵數量下乘載不同的重量所產生的終端速度。
- 十、探討雙磁阻逃生梯實際應用於現實生活上的可行性。

參、研究設備及器材

一、1.8 米長鋁製軌道	12 個	二、強力磁鐵 (6.8g, 磁強 0.3T)	32 個
三、打點計時器 (頻率 50Hz)	1 個	四、打點計時器紙帶	數卷
五、壓克力箱含螺絲 (264 克)	2 個	六、上皿天平	1 個
七、定滑輪	2 個	八、各質量砝碼	數個

肆、研究原理

一、電磁感應

英國科學家法拉第，在西元 1831 年發現：原先沒有電流的封閉線圈，會因為線圈內的磁場發生變化而產生電流，這種因磁場發生變化而產生電流的現象稱為電磁感應，而產生的電流稱為感應電流。磁鐵進出線圈的速率越快，會使線圈內磁場變化速率越快，線圈內產生的感應電流越大。而增加線圈的圈數，亦可使線圈內感應電流加大。

若磁鐵靜止不動，改由線圈靠近或遠離磁鐵，線圈內的磁場也會發生變化，線圈也一樣會有感應電流產生。利用電流與磁場之間的相互作用，法拉第製造了人類史上的第一部發電機。繼而變壓器、電磁爐的發明造福了好多人。

二、冷次定律

1833 年由俄國人冷次提出感應電流方向的決定。冷次定律：一線圈中所生感應電流的方向，乃欲使其所生的磁場能夠反抗線圈中原來磁通量的變化，如圖 4-1 所示。

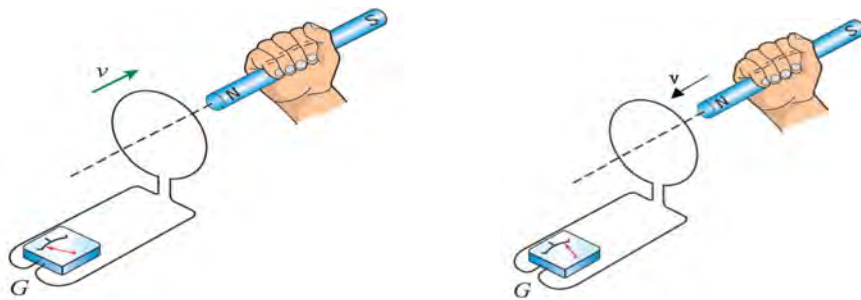


圖 4-1

當磁場靠近原來沒有帶電的線圈時，線圈內會產生一個磁場用以抵抗原磁場的靠近（此時已有煞車現象），產生感應電流，即當線圈 A 以開關 S 接通和切斷電流 I_A 的瞬間，在其下方的另一線圈 B 會產生感應電流 I_B ，但兩電流的方向相反。所以當同一磁場要靠近及離開時此線圈時，線圈內會產生一個磁場用以抵抗原磁場的離開（此時續有煞車現象），產生感應電流。此時產生電流磁阻作用。如圖 4-2 所示

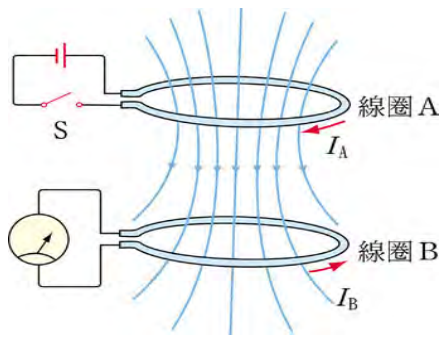


圖 4-2

導體上的磁通量發生變化時，會產生感應電流。把線圈改成導板時，在導體板上所產生的感應電流通常為環形且呈漩渦狀，稱為渦電流。當磁棒 N 極接近導體版時，導體版上產生一逆時針方向的渦電流，如圖 4-3 所示。當磁鐵棒平行於導體方向板移動時，磁棒前後方的磁通量變化恰相反，因此產生反方向的渦電流，如圖 4-4 所示。

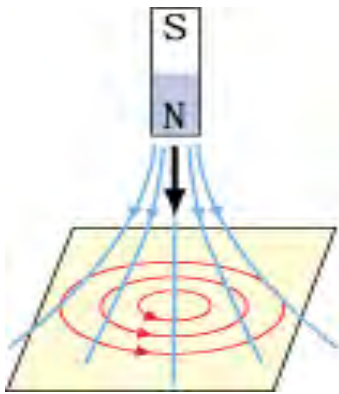


圖 4-3

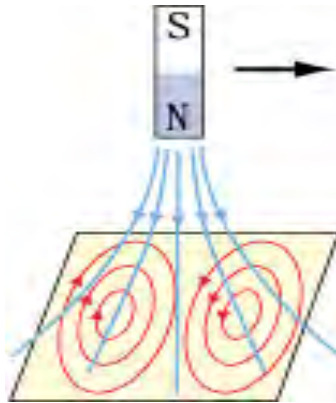


圖 4-4

三、渦電流的應用

金屬圓盤在磁場中轉動時，所產生的渦電流受到原來磁場的磁力作用，將產生一反方向的力矩，使得圓盤轉速變慢，因此渦電流可以用來煞住一轉動中的圓盤。如圖 4-5 所示



圖 4-5

磁鐵能吸引的金屬物質並不是全部，只能吸引鐵、鈷、鎳等金屬及其合金，但磁鐵對於不能吸引的銅、鋁、銀等金屬，在運動的情況下（磁場產生變化），會產生渦電流。這現象會有熱能及煞車情況發生，熱能部分最常用在電磁爐等電器，而煞車可用在垃圾選別器及磁浮列車的煞車上。

四、阿特伍德機

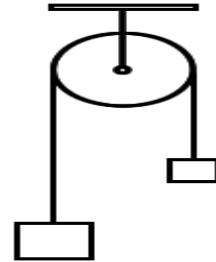
阿特伍德機 (Atwood machine)，是由英國牧師、數學家兼物理學家的喬治·阿特伍德在 1784 年發表的《關於物體的直線運動和轉動》一文中提出的，用於測量加速度及驗證運動定律的機械。此機械現在經常出現於學校教學中，用來解釋物理學的原理，尤其是力學。

一個理想的阿特伍德機包含兩個物體質量 m_1 和 m_2 ，及由無重量、無彈性的繩子連結並包覆理想且無重量的滑輪。

當 $m_1 = m_2$ ，機器處於力平衡的狀態。

當 $m_2 > m_1$ ，兩物體皆受到相同等加速度。

$$a = g \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}$$



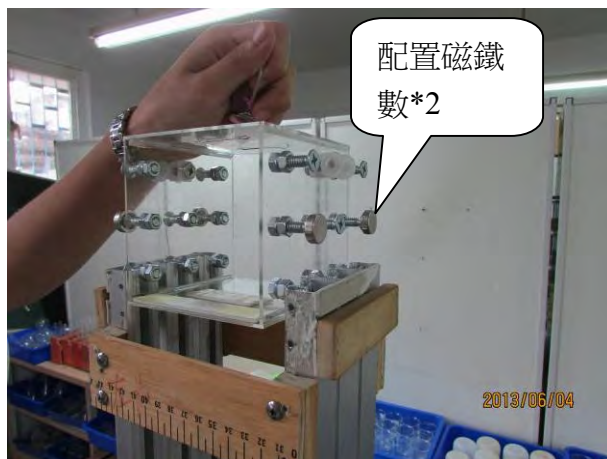
伍、研究過程或方法

我們想要藉由 1.8 米長自製鋁軌逃生梯，讓磁鐵和鋁製軌道產生的渦電流磁阻煞車效果，探討不同數目磁鐵乘載同一重量的效果。進而探討在最佳磁鐵數量下乘載不同的重量所產生的減速極限。並嘗試以阿特伍德機雙磁阻的方式，計算落下速度，來瞭解本次實驗是否如我們所想可建立一個適合運用於現實生活裡的逃生梯設備。

本實驗研究方法有三：

<研究一>不同數目磁鐵乘載同一重量的磁阻煞車效果

- 【步驟】
1. 利用訂製的 1.8 米長鋁製軌道與可配置不同數量磁鐵的壓克力箱製成軌道範圍 1.5 米的逃生梯。
 2. 讓壓克力箱分別配置 1 至 8（本設計配置極限）對強力磁鐵，以通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯。（如圖 5-1 所示）
 3. 透過強力磁鐵與自製鋁軌逃生梯產生渦電流磁阻作用，觀察原本自由落體的壓克力逃生乘坐箱受到不同數量的磁鐵產生磁阻現象後能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。
 4. 利用頻率 50Hz 的打點計時器記錄每一次的運動過程。
 5. 觀察並計算末端加速度和終端速度的大小，以探討不同磁鐵數量的作用下產生磁阻效果是否有差異。



左右各配置2個磁鐵



左右各配置6個磁鐵



左右各配置8個磁鐵



實驗過程

圖5-1：壓克力箱磁鐵配重情形

<研究二>最佳磁鐵數量下（左右各八個）負載不同的重量所產生的減速極限

- 【步驟】1. 將壓克力逃生乘坐箱，配置左右各八個（最佳磁鐵數量）磁鐵（總重約 370 公克）。
2. 讓壓克力逃生乘坐箱分別負載有 10 公克至 100 公克砝碼時，通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯，觀察原本穩定等速的壓克力逃生乘坐箱在負載不同重量的砝碼後磁鐵產生磁阻現象能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。（如圖 5-2 所示）
3. 利用頻率 50Hz 的打點計時器記錄每一次的運動過程。
4. 觀察並計算末端加速度和終端速度的大小，以探討負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱所產生的減速極限。

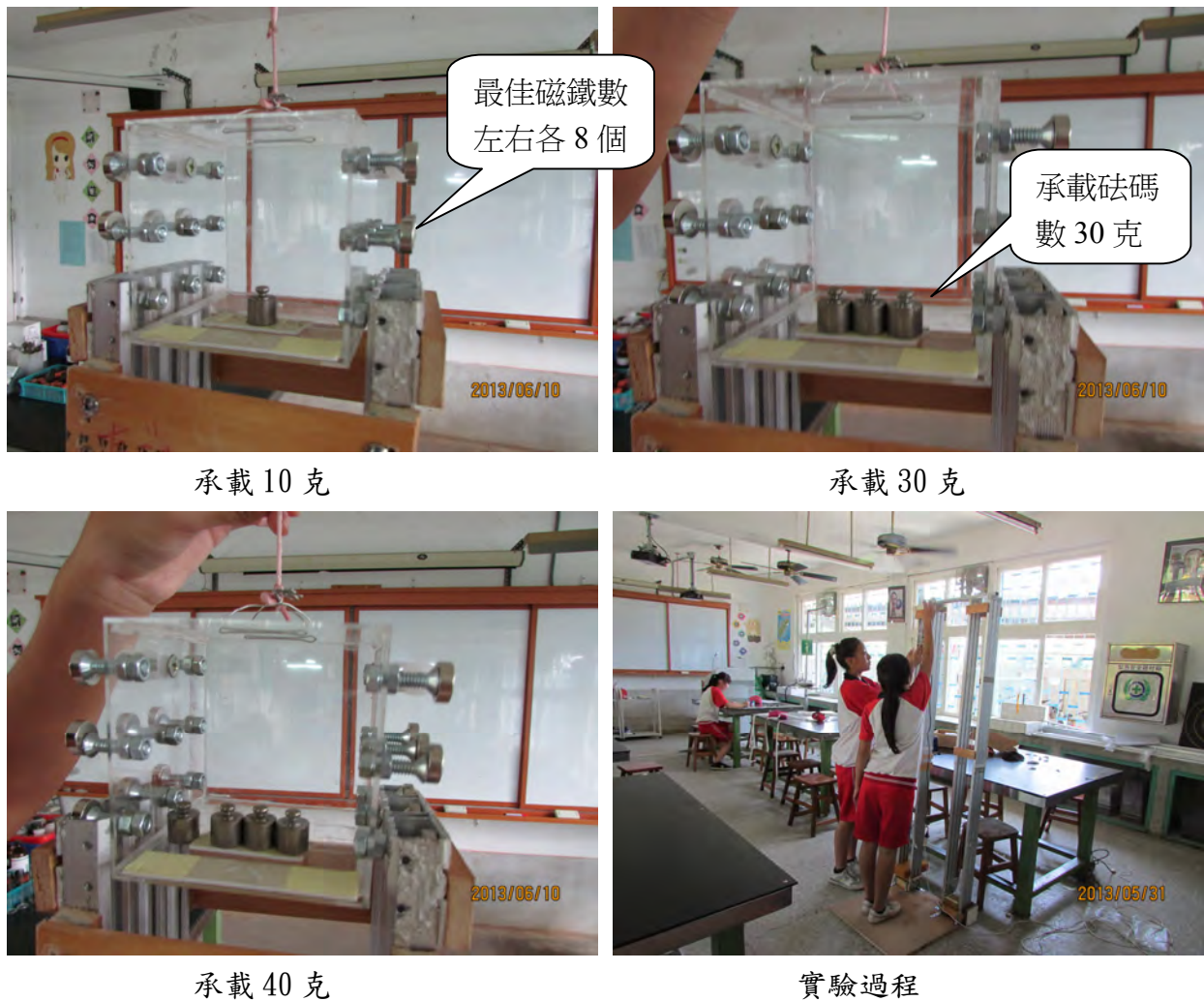


圖 5-2：最佳磁鐵數量下負載不同的重量所產生減速的極限

<研究三> 透過阿特伍德機雙磁阻的設計，計算終端速度，以推論將其運用於現實生活裡的逃生梯設備的可行性

- 【步驟】
1. 利用阿特伍德機原理，自製一雙軌的鋁製逃生乘坐梯。
 2. 讓單邊有磁鐵的壓克力逃生乘坐箱，分別負載 100 公克至 900 公克砝碼時，通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯，觀察原本穩定等速的壓克力逃生乘坐箱在負載不同重量的砝碼後磁鐵產生磁阻現象能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。（如圖 5-3 所示）
 3. 將單邊有磁鐵的壓克力逃生箱替換成雙邊都有磁鐵，重覆以上步驟。觀察原本穩定等速的壓克力乘坐箱在負載不同重量的砝碼後磁鐵產生磁阻現象能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。
 4. 利用頻率 50Hz 的打點計時器記錄每一次的運動過程。
 5. 觀察並計算末端加速度和終端速度的大小，以探討負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱所產生的減速極限。



承載 200 克



承載 400 克



實驗過程



承載 800 克

圖 5-3：雙磁阻逃生梯，並以單邊有一磁鐵及雙邊都有磁鐵時進行測試

陸、研究結果

<研究一>不同數目磁鐵乘載同一重量的磁阻煞車效果

利用自製鋁軌逃生梯，與可負載不同數量磁鐵的壓克力逃生乘坐箱，讓壓克力逃生箱分別裝有多個磁鐵狀況時，通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯，過程中分別以每邊 1 至 8（本設計極限）個強力磁鐵，讓強力磁鐵與自製鋁軌逃生梯產生渦電流磁阻作用，觀察原本自由落體的壓克力乘坐箱，受到不同數量的磁鐵產生磁阻現象後能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。我們利用頻率 50Hz 的打點計時器記錄每一次的運動過程。觀察並計算末端加速度和終端速度的大小，以探討不同磁鐵數量的作用下產生磁阻效果是否有差異。實驗結果如下圖 6-1 及表 6-1:



左右各配置 1 個磁鐵

左右各配置 4 個磁鐵

左右各配置 8 個磁鐵

圖 6-1 壓克力乘坐箱受到不同數量磁鐵產生磁阻的打點圖

表 6-1 壓克力乘坐箱受到不同數量磁鐵產生磁阻，在 150 公分軌道末端的運動狀態

磁鐵數	0	1	2	3	4	5	6	7	8
運動狀態	全程 加速度	全程 加速度	全程 加速度	全程 加速度	全程 加速度	全程 加速度	加速後 等速	加速後 等速	加速後 等速
落地前加速 度 (m/s ²)	6.5	3.3	2.4	1.5	1.2	1	加速小餘 1，後達終端等速 大 → → → → 小		
速度 m/s	8.0	3.4	2.0	1.75	1.4	1.2	0.84	0.77	0.66

<研究二>最佳磁鐵數量下（左右各八個）負載不同的重量所產生的減速極限

利用自製鋁軌逃生梯，與配置左右各八個（最佳磁鐵數量）磁鐵的壓克力逃生乘坐箱（約370公克），讓壓克力逃生箱每次分別增加載有10公克砝碼時，通過1.8米長自製鋁軌逃生梯，讓負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的強力磁鐵，與自製鋁軌逃生梯產生渦電流磁阻作用，觀察原本穩定等速的壓克力乘坐箱在負載不同重量的砝碼後，磁鐵產生磁阻現象能否在150公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。我們利用頻率50Hz的打點計時器記錄每一次的運動過程。觀察並計算末端加速度或終端速度的大小，以探討負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱所產生的減速極限。實驗結果如下圖6-2及表6-2:

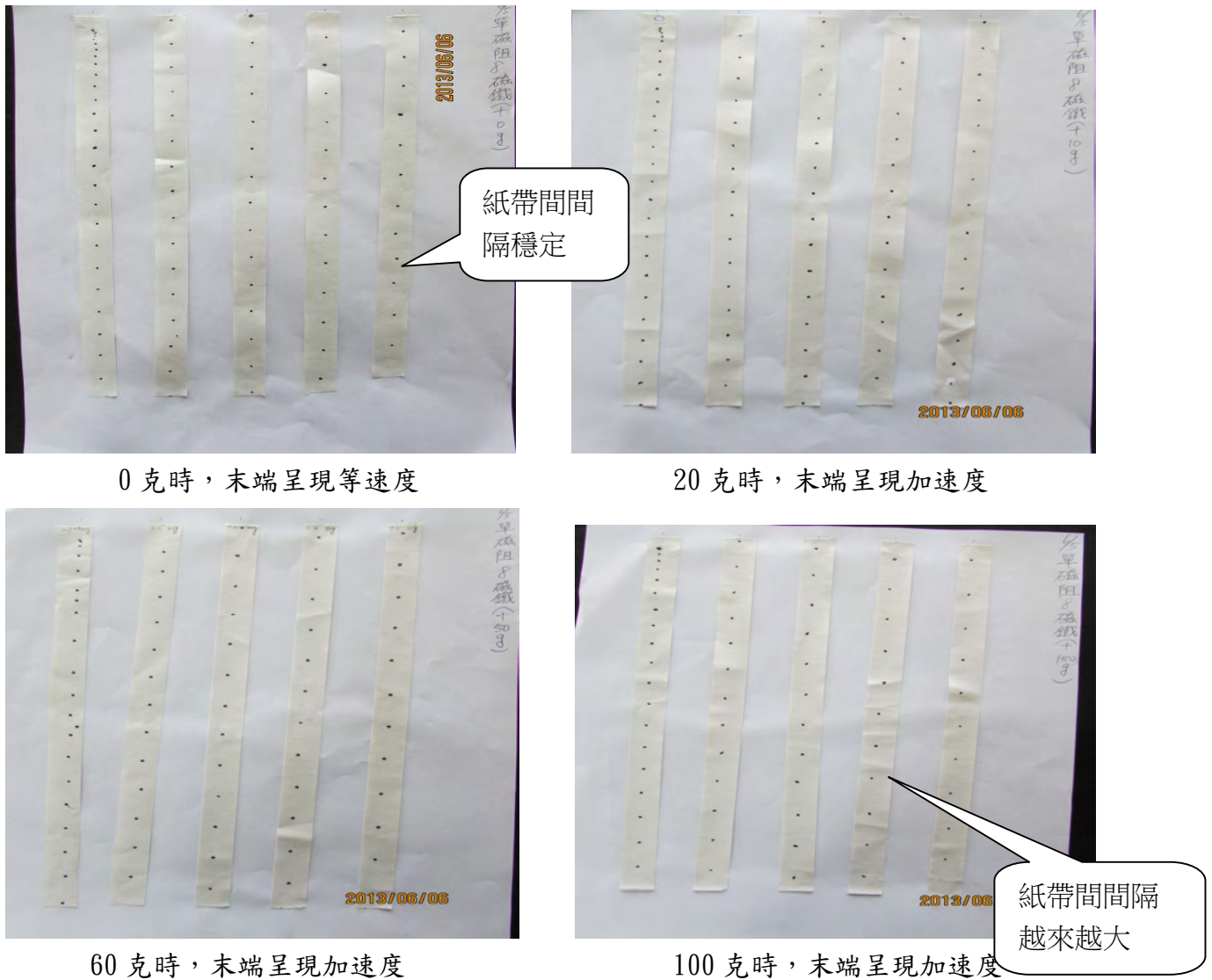


圖 6-2 負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的打點圖

表 6-2 壓克力乘坐箱在 8 個磁鐵數磁阻時，不同載重在 150 公分軌道末端的運動狀態

載重(公克)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
末端運動狀態	加速	加速	加速	加速	加速	加速	加速	加速	加速	加速
末端速度	1.00	1.15	1.18	1.20	1.24	1.27	1.30	1.35	1.37	1.40

<研究三> 透過阿特伍德機雙磁阻的設計，計算終端速度，以推論將其運用於現實生活裡的逃生梯設備的可行性

利用阿特伍德機原理，平衡兩邊壓克力逃生乘坐箱的重量。並分別以單邊有磁鐵及雙邊都有磁鐵時，讓壓克力逃生箱分別載有 100 公克至 900 公克砝碼時，通過 1.8 米長自製鋁軌逃生梯，讓負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的強力磁鐵與自製鋁軌逃生梯產生渦電流磁阻作用，觀察原本穩定等速的壓克力乘坐箱在負載不同重量的砝碼後磁鐵產生磁阻現象能否在 150 公分的軌道範圍內達到穩定平衡現象。我們利用頻率 50Hz 的打點計時器觀察每一次的運動過程。觀察並計算末端加速度或等速度的大小，以探討負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的作用下產生磁阻效果是否有差異。

1. 阿特伍德機單邊裝磁鐵測試，結果在單邊裝置 200 公克砝碼以前皆呈現靜力平衡現象，顯示最大靜摩擦力約為 200 公克，在測試 300 至 900 公克的承重實驗時，磁阻透過阿特伍德機產生的效應，效果較單邊使用為佳，在 150 公分的範圍內 400 公克以內（大約是多一個還是壓克力逃生乘坐箱），還呈現等速度的現象，但 500 公克以後則呈現緩慢的加速度現象，如圖 6-3，及表 6-3 所示：

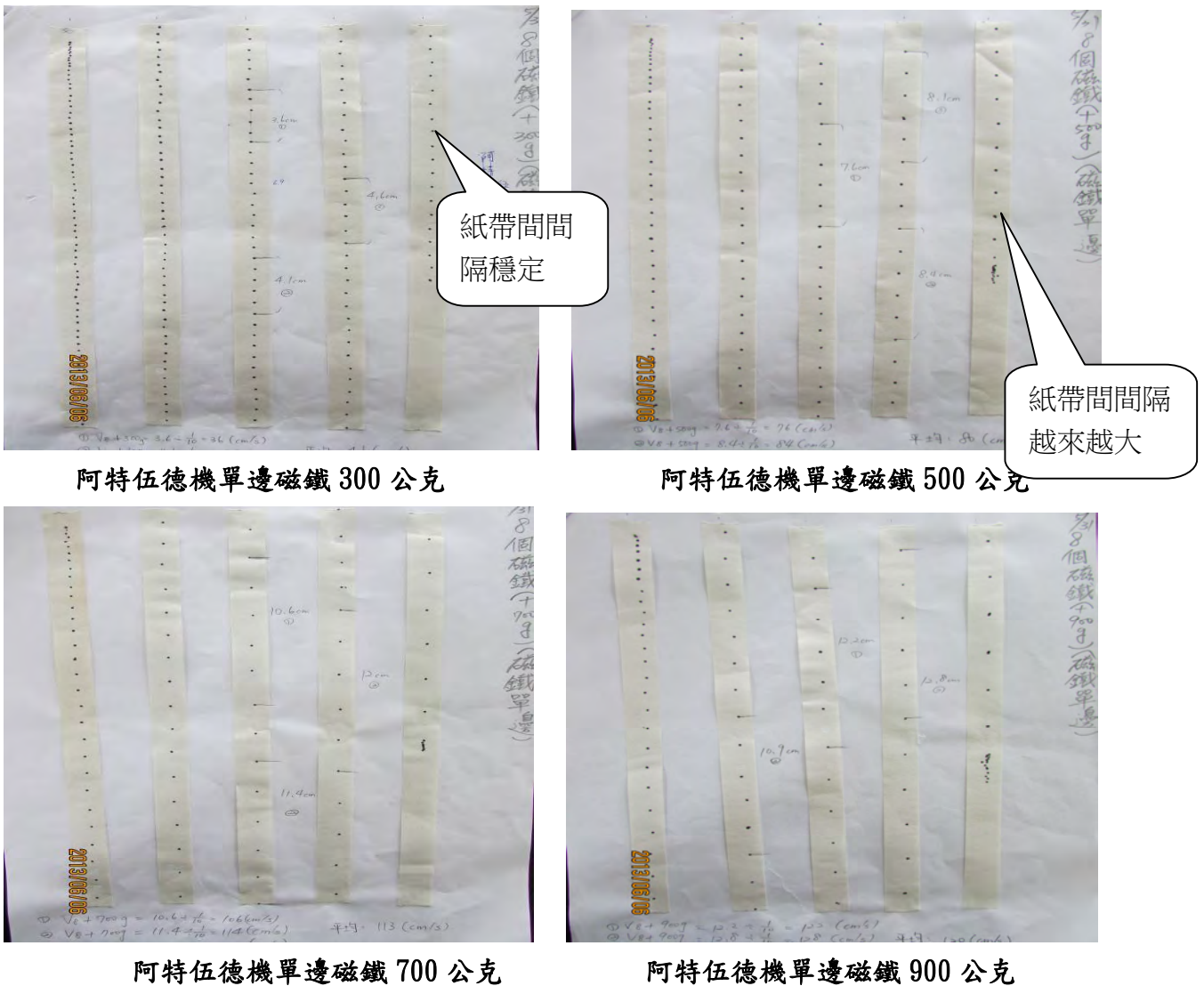


圖 6-3 阿特伍德機單磁阻裝置負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的打點圖

表 3 阿特伍德機單磁阻測試在 150 公分的範圍內的運動狀態

載重公克重	200	300	400	500	600	700	800	900
運動狀況	靜止	加速後 等速	加速後 等速	加速	加速	加速	加速	加速
終端速度 m/s	0	0.50	0.55	0.82	1.10	1.26	1.30	1.42

2. 以阿特伍德機雙邊裝磁鐵測試，結果在單邊裝置 200 公克砝碼以前仍呈現靜力平衡現象，顯示最大靜摩擦力約為 200 公克，但在測試 300 至 900 公克的承重實驗時，雙磁阻透過阿特伍德機產生的效應，效果較單邊使用效果奇佳，在 150 公分的範圍，300 至 900 公克以內，皆可呈現等速度的現象，但等速度多少降落？為人體可接受安全範圍，仍可商榷。如圖 6-4，及表 6-4 所示：

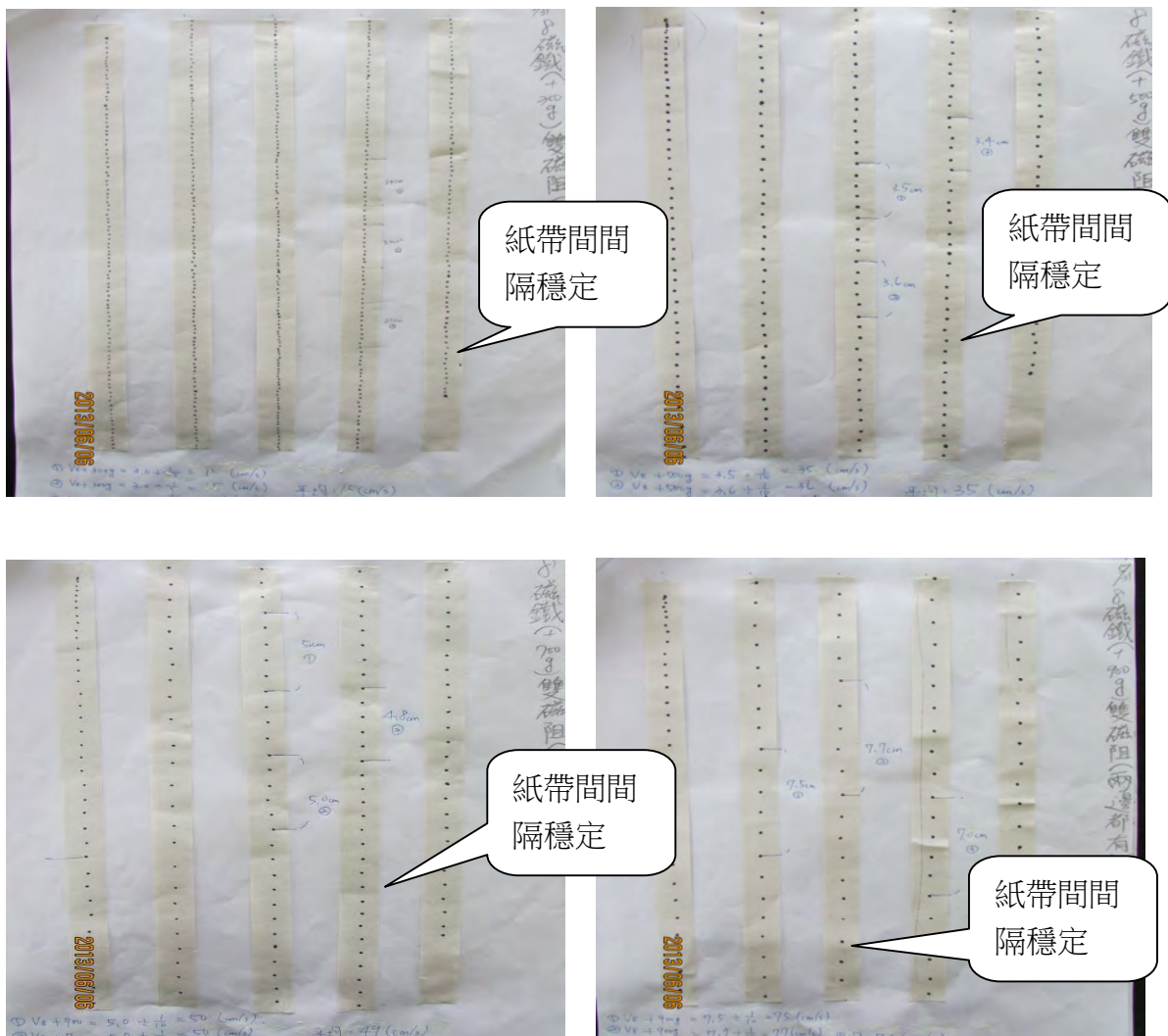


圖 6-4 阿特伍德機雙磁阻裝置負載不同重量的壓克力逃生乘坐箱的打點圖

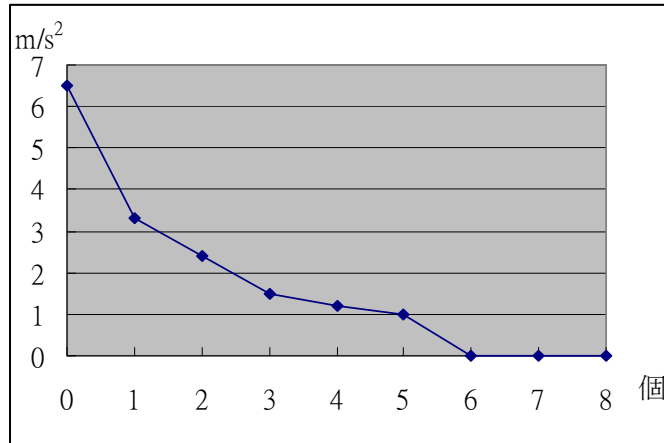
表 6-4 阿特伍德機雙磁阻測試在 150 公分的範圍內的運動狀態

載重公克	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
運動狀態	等速	等速	等速	等速	等速	等速	等速	等速	等速
速度 m/s	0	0.15	0.24	0.35	0.41	0.49	0.60	0.74	0.86

柒、討論

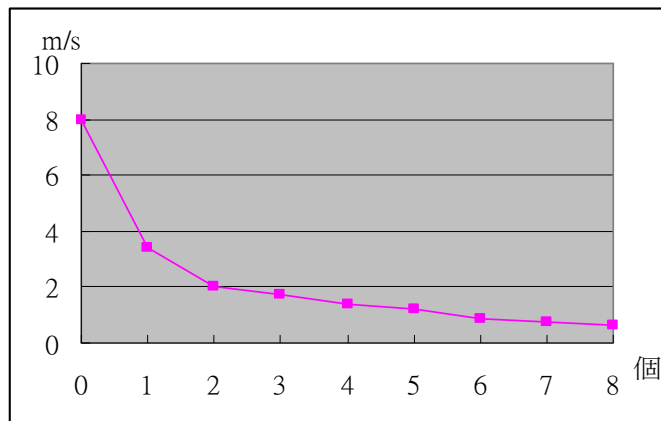
<研究一>不同數目磁鐵乘載同一重量的磁阻煞車效果

1. 我們從壓克力逃生乘坐箱配置磁鐵以自由落體方式降落，產生渦電流磁阻的效應中，發現了磁鐵數目，在每邊各配置 5 個之前，在 150 公分的軌道範圍內，都還呈現有加速度的情形，但加速度有隨磁鐵配置增加而漸小的狀況。顯示增加配置的磁鐵數目，雖有效的提升下落的磁阻效果，但軌道長度尚不足使其加速度為零。如能再設計更長的軌道長度，應能使其達到終端的等速狀態。如圖表 7-1



圖表 7-1 落地前加速度與磁鐵數對應

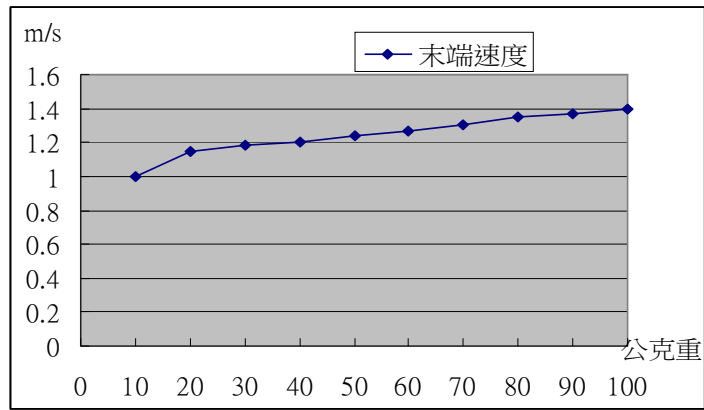
2. 在每邊各配置 6 個磁鐵之後，整個壓克力逃生乘坐箱有達終端速度的等速度情況，而且配置磁鐵數目愈多，產生磁阻愈強，因此越快達到平衡而呈現等速度，而且終端速度有隨磁鐵配置增加而漸小的狀況。但均尚未達到經濟部標準檢驗局所頒布「個人住宅用升降機標準」：住家電梯額定速度於 12 m/min (0.2 m/s) 以下。如圖表 7-2



圖表 7-2 落地前速度與磁鐵數對應表

<研究二>最佳磁鐵數量下（左右各八個）負載不同的重量所產生的減速極限

1. 我們從打點計時器的紙帶中觀察計算，當左右各配置八個磁鐵的壓克力逃生乘坐箱（約 370 公克），磁阻現象使其快速的達到平衡的終端速度 0.66m/s，可是當我們開始加重負載 10 至 100 公克的砝碼時，發現在 150 公分軌道的範圍內皆呈現加速的情況。如圖表 7-3



圖表 7-3 載重與終端速度

2. 因此我們推論，本設計最大每邊 8 個磁鐵數的配置，產生的磁阻剛好在 150 公分軌道的範圍內可達平衡，不能再負載其餘重物。所以我們必須設計更好的方式增加此裝置的磁阻以負載更多的重物。

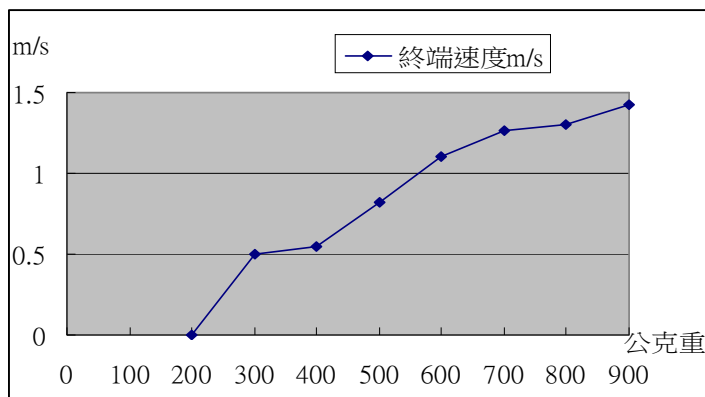
<研究三> 透過阿特伍德機雙磁阻的設計，計算終端速度，以推論將其運用於現實生活裡的逃生梯設備的可行性

1. 根據研究一、二的結果發現，本實驗雖使鋁軌逃生梯產生磁阻現象，但並未使終端速度達「經濟部標準檢驗局」住家電梯額定速度於 12 m/min (0.2 m/s) 以下的規定，且壓克力逃生乘坐箱也無法再安全負重。所以我們希望透過阿特伍德機的原理設計更好的裝置以解決問題，並能藉著兩邊的輪流昇降重複使用，在不需動力的情況下也能安全、快速的完成運輸。

2. 阿特伍德機單邊配置磁鐵裝置：

- (1) 實驗結果顯示在載重不超過 200 公克砝碼時呈現靜力平衡現象(靜止)，可粗估最大靜摩擦力約為 200 公克。
- (2) 在測試 300 至 900 公克的載重實驗時，磁阻透過阿特伍德機產生的減速情形，效果比單邊鋁軌逃生梯載重改善許多。
- (3) 我們發現載重約 400 公克以內 (壓克力逃生乘坐箱每邊配置 8 個磁鐵數時重約 370 公克)，在 150 公分的軌道範圍內，能呈現達終端速度的等速度情況。但到載重 500 公克以上則還呈現有加速度的現象。

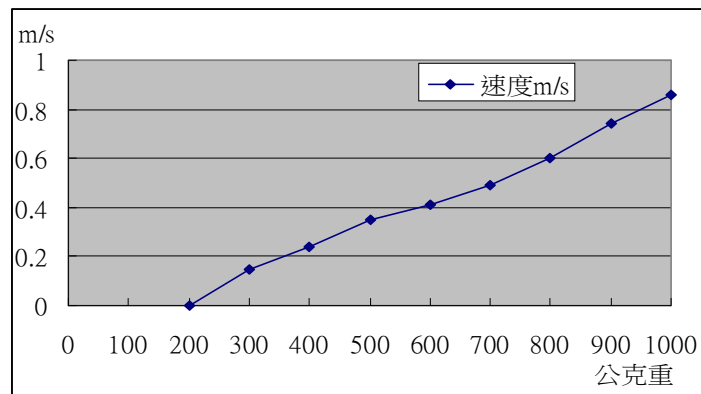
如圖表 7-4



圖表 7-4 阿特伍德機單磁阻載重與終端速度關係圖

3. 阿特伍德機雙邊配置磁鐵裝置：

- (1) 實驗結果顯示在載重不超過 200 公克砝碼時呈現靜力平衡現象(靜止)，可粗估最大靜摩擦力約為 200 公克。
- (2) 在測試 300 至 900 公克的載重實驗時，透過阿特伍德機產生的雙磁阻效應，產生的減速效果十分顯著，而且在 150 公分的軌道範圍內，皆可達終端速度的等速度現象。如圖表 7-5 所示
- (3) 我們發現載重約 300 至 400 公克以內，在 150 公分的軌道範圍內，能使終端速度達「經濟部標準檢驗局」住家電梯額定速度於 12 m/min (0.2 m/s) 以下的規定，正好約等於壓克力逃生乘坐箱每邊配置 8 個磁鐵數時的總重(約 370 公克)。



圖表 7-5 阿特伍德機雙磁阻效應載重與速度關係圖

捌、結論

我們從此次的實驗，得到以下結論：

- 一、配置的磁鐵數目愈多(磁場愈強)，整個壓克力逃生乘坐箱愈快達終端速度的等速度情況，而且終端速度也愈小。表示一樣磁阻力的產生可以由磁場強度與終端速度來決定，當磁場越強，很快就達到終端速度且終端速度就很小。但當磁場強度越弱時，整個壓克力逃生乘坐箱就必須一直加速，以達到終端速度與磁場強度建立的磁阻力。
- 二、透過阿特伍德機的原理設計的雙邊磁鐵裝置，可增加逃生乘坐箱的負載，當一邊往上升高同時一邊往下降落的同時，磁阻產生雙倍的阻力且逃生乘坐箱本身重量可以被平衡而不影響載重。本實驗當負載約等於逃生乘坐箱總重時，可使終端速度低於住家電梯額定速度於 12 m/min (0.2 m/s) 以下。
- 三、在缺乏電力或節能及安全性、便利性的考量下，以阿特伍德機原理設計的雙邊磁鐵裝置，將磁鐵渦電流產生的煞車效應運用於現實生活裡的逃生梯設備是可行的方法。
本實驗也提供一些方向，供未來的研究者參考：
 - 一、磁鐵在下滑的過程中是否緊貼於軌道面，對產生的渦電流效應有很大的影響。
 - 二、磁鐵產生渦電流的阻力可以承載重量的極限值有待探討。
 - 三、磁煞車應用於電梯失速時的輔助可行性探討。
 - 四、運用阿特伍德機原理設計的雙邊磁鐵逃生升降梯，實際應用於載人的測試與研究。

玖、參考資料及其他

一、<http://sciedu.cc.nctu.edu.tw/practice/threehair/homepage.htm>

二、康軒版國中自然與生活科技（六）第二章 電與磁。

三、<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/index.jsp>

經濟部標準檢驗局 88 年 8 月 27 日修訂頒布「個人住宅用昇降機標準」：住家電梯額定速度於 12 m/min (0.2 m/s) 以下。

【評語】 030810

以渦電流剎車效應為基礎，嘗試設計雙磁阻逃生升降設備，所獲結果可供未來研究者之參考。若能強化考量逃生時遭遇的實際狀況，並加以解決，將更有價值。