

中華民國第四十七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

第一名

最佳團隊合作獎

030802

絕妙好「磁」－磁浮現象在緩降機之應用

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國三 張賀翔	陳宗慶
國三 黃冠境	吳清雄
國三 王佑仁	

關鍵詞：冷次定律 渦電流 疊加原理

摘要

德國磁浮列車以磁的排斥力來反抗重力使行駛時速高達 500 公里，如果將磁的排斥力用於逃生緩降機上，更可確保逃生的安全。根據楞次定律當磁鐵靠近金屬導體，產生排斥力阻止磁鐵進入，於是選擇導電佳的非磁性鋁銅管來測試。

直徑 16mm、長 30mm 磁場強度 4000 高斯 50 公克的磁鐵在管中運動，使用超音波測距儀發現磁鐵先加速運動，受到渦電流影響呈等速度。在 3mm 的銅管負載到 1100 克，仍維持在 1.4m/s 的安全速度。利用疊加原理在雙層及雙夾層銅管，最大負載更提高到 1.35 及 4 公斤重。分割為相斥的磁鐵在夾層鋁管中，得到相同 4kg 的負載，取代銅管大幅降低固定式磁緩降機的成本。在夾層銅管中更高達 8kg 的最大負載，此結果設計成移動式磁緩降機，對逃生安全及便利性是項很大的突破。

壹、研究動機

有次參加科工館所舉辦的高溫超導展覽會研習，其中一項活動是將強力磁鐵投入鋁管中，發現結果使速度變得十分緩慢，令我們感到新奇，不知是否和三下課本 1-4 電磁感應原理相同。之後查了歷屆科展中也有相關的作品，我們懷疑在整段運動過程中真的都為等速度或等加速度運動嗎？如果將此一磁現象用於逃生緩降機是否有其他方法可讓磁鐵下降更慢？是否可以實際承載人的重量？於是我們展開這方面的研究。

貳、研究目的

- 一、使用簡單的攝影法探討物體的垂直運動速度變化。
- 二、線圈中的感應磁場對運動中磁鐵速度的影響。
- 三、以超音波測距儀及數據機探討強力磁鐵在鋁管中運動速度變化。
- 四、不同磁場強度和高度的磁鐵在非磁性金屬管中對最大負載及運動速度的探討。
- 五、磁鐵在不同材質和厚度的非磁性金屬管中最大負載及運動速度的探討。
- 六、磁鐵在非磁性金屬管中屏蔽作用的探討。
- 七、疊加原理對磁鐵在雙層非磁性金屬管中最大載重及速度變化的影響。
- 八、疊加原理對磁鐵在夾層非磁性金屬管間最大載重及速度變化的影響。
- 九、探討相吸及相斥的分割磁鐵對固定式磁緩降機中最大載重及速度變化的影響。
- 十、磁浮緩衝系統在運動結束前之應用。
- 十一、利用實驗結果設計一套移動式磁緩降機。

參、研究設備與器材

筆記型電腦 數位攝影機

運動探測器 (Motion Detector Vernier MD-BTD 和 LabPro)

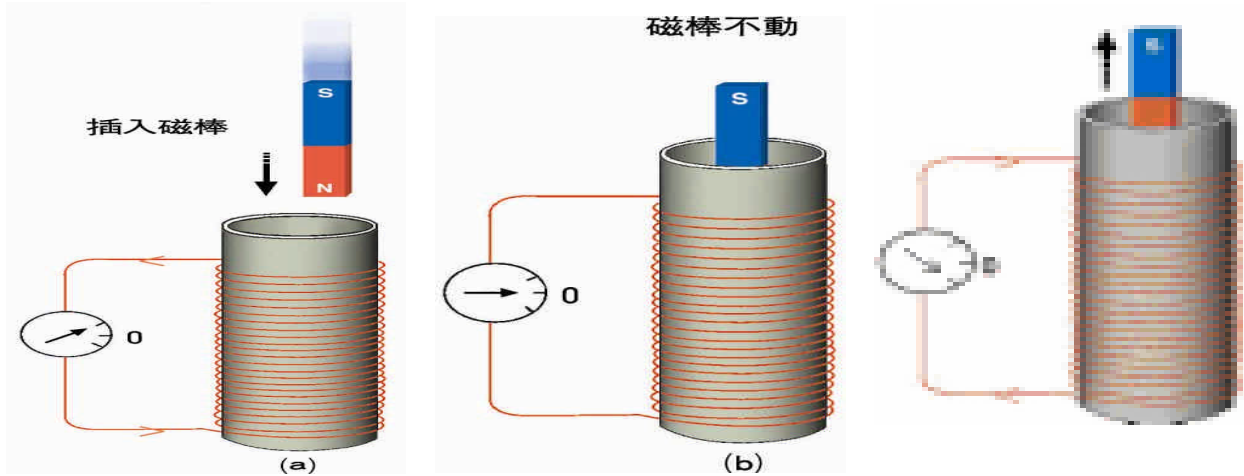
高斯計 (Syspris test & measurement model 5060) 三用電表 (Light-tech KT830L)

強力磁鐵、環形磁鐵 (不同規格、不同強度數枚)

塑膠管、銅管、鋁管 (不同規格數隻)

肆、研究原理

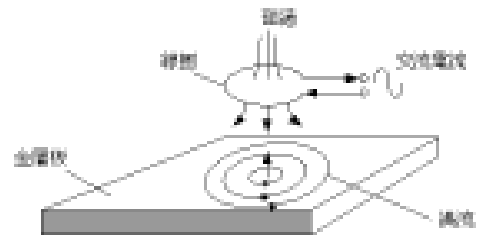
- 一、**電磁感應**：英國物理學家法拉第，發現一種新的電和磁之間的交互作用現象：若一封閉線圈中的磁力線數有變化時，導線上就會產生電流，這稱為電磁感應，所生的電流稱為感應電流。



二、楞次定律

1. 線圈內磁場增強時，感應電流產生的新磁場與原磁場方向相反。
2. 減弱時，方向相同。

- 三、**渦電流**：將導體板置於隨時間改變的磁場中，通過導體板的磁通量會因此改變，由楞次定律可知導體板會產生類似漩渦狀感應電流來抵抗磁通量改變，稱渦電流。



四、法拉第定律

1. 內容：電路中所生感應電動勢 ε 大小等於通過電路內磁通量時的變率，感應電動勢之方向乃在抵抗磁通量變化。
2. 數學表示法：
$$\varepsilon = - \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$$
3. 感應電流的大小和線圈內磁場的變化速率成正比。

五、疊加原理

電磁波若有兩列以上同類波在空間相遇，在共存的空間內合成波是各個分波的向量和(即相加時不僅考慮振幅還考慮相位)，而各個分波相互並不影響，分開後仍然保持各自的性質稱疊加原理。

伍、研究過程

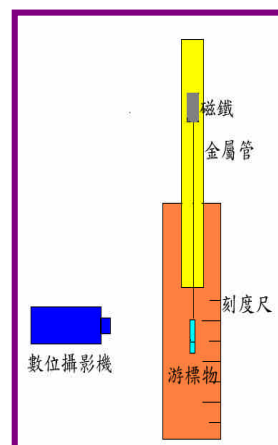
<研究一> 利用磁浮現象可否使運動中物體速度減緩？

探討 1、多功能實驗測量架的製作。

【目的】製作一組不受磁力影響且容易改變測量方法的實驗測量架。



- 【步驟】1、利用水管及連接管組裝容易、不會被磁鐵吸引及容易變化再利用的特性。
2、組裝成長 41cm×寬 41cm×高 250cm 的多功能實驗測量架。
【結果】如右圖。



探討 2、如何測量物體落下時的加速度。

- 【目的】使用簡單的攝影方法求得物體加速度。
【步驟】1、利用吸管内加入小砝碼作成體積小、阻力小的游標物。
2、使用數位攝影機拍攝直徑 16mm、厚度 30mm 的磁鐵進入外徑 20mm、長 120cm 水管時游標物移動的全程。
3、利用 Windows Movie Maker 軟體讀取所經過的時間，並以位置求出加速度。

				
游標物	數位攝影機	貼上刻度尺	拍攝全程運動過程	Windows Movie Maker 軟體

【結果】

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間	0.533	0.533	0.467	0.533	0.533	0.467	0.467	0.467	0.467	0.467	0.493

加速度值為 9.874 m/s^2

- 【討論】1、磁鐵通過的平均時間約 0.493 秒，其平均加速度約 9.874 m/s^2 ，竟大於重力加速度 9.8 m/s^2 ，不合常理，原因可能是 Windows Movie Maker 軟體每三格畫面為 0.2 秒，故在時間的讀取上造成誤差。



探討 3、是否能利用冷次定律來產生阻力？

- 【目的】使磁鐵通過線圈產生感應磁場來達到阻力的效果。
【步驟】1、外徑 20mm 塑膠水管外側以 0.5mm 漆包線繞成長 10cm 線圈。
2、磁鐵通過未接通及接通的線圈，測量其通過時間。

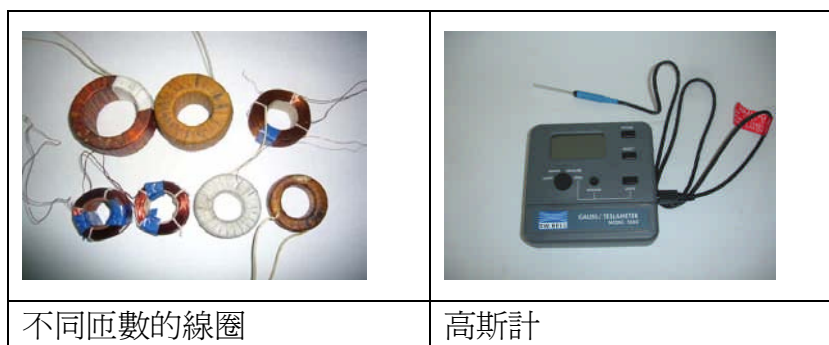
【結果】加速度約為 9.600 m/s^2

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
時間	0.533	0.533	0.467	0.533	0.533	0.467	0.533	0.467	0.467	0.467	0.500

- 【討論】1、塑膠管外側纏繞線圈後，比沒繞線圈時多了 0.007 秒。
2、纏繞線圈後加速度值些微變小，但阻力的效果不理想。

探討 4、線圈匝數及漆包線粗細是否會影響其感應磁場？

- 【目的】分別使用不同匝數及粗細漆包線的線圈，探討其對感應磁場的影響。



不同匝數的線圈

高斯計

【步驟】1、以高斯計測量磁鐵的強度。

2、分別使用直徑為 0.3mm、0.5mm 及 0.75mm 漆包線纏繞成內徑 30mm、長 20mm、500 匝的線圈，固定於塑膠管外側，測量磁鐵通過塑膠管時的加速度。

3、重複步驟 1，分別纏繞 1000 匝、2000 匝、4000 匝，測量直徑 16mm、厚度 30mm 的強力磁鐵通過塑膠管時的時間並計算其加速度。

【結果】1、磁鐵強度約為 4957 高斯。

2、

匝數	500 匝			1000 匝			2000 匝			4000 匝		
直徑 mm	0.3	0.5	0.75	0.3	0.5	0.75	0.3	0.5	0.75	0.3	0.5	0.75
時間	0.502	0.503	0.507	0.504	0.506	0.509	0.509	0.511	0.515	0.513	0.518	0.523
加速度	9.521	9.461	9.328	9.432	9.368	9.246	9.254	9.167	9.042	9.108	8.934	8.743

【討論】1、以 0.75mm 的漆包線繞 4000 匝時，厚度約為 11cm，但仍只能將加速度減為 8.743m/s^2 ，效果並不理想。

探討 5、不同強度的磁鐵是否會影響其感應磁場？

【目的】分別使用普通及強力磁鐵，探討其對感應磁場的影響。

【步驟】1、使用不同高斯的磁鐵通過纏繞 2000 匝線圈的塑膠管，測量磁鐵通過塑膠管時的加速度。

【結果】

強度	600	850	4026	4957	5764
時間	0.496	0.497	0.509	0.515	0.524
加速度	9.751	9.705	9.263	9.042	8.716



【討論】1、即使是強力磁鐵在塑膠管內也無法有效降低加速度，因此，我們嘗試磁鐵在非磁性金屬管的變化。

<研究二> 強力磁鐵在非磁性金屬管中的運動情形

探討 1、以攝影法觀察強力磁鐵在鋁管中運動。

【目的】強力磁鐵在鋁管會受感應而產生環流運動對磁鐵運動的影響。

【步驟】1、將直徑 16mm、厚度 30mm 的強力磁鐵(4026 高斯)放入外徑 25.4mm、厚 1.2mm 的鋁管中。

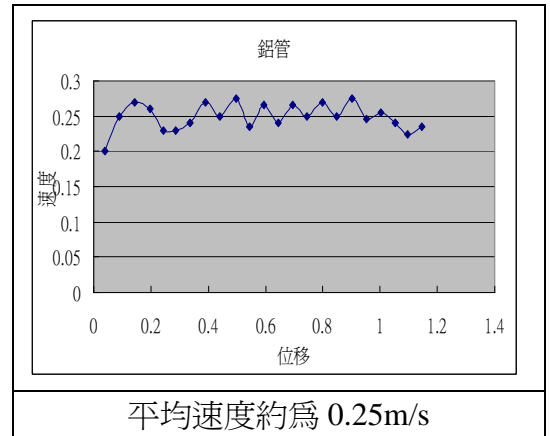
2、以攝影法測量其運動速度。

【結果】

時間(s)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
位移(m)	0.040	0.090	0.144	0.196	0.242	0.288	0.336
速度(m/s)	0.200	0.250	0.270	0.260	0.230	0.230	0.240

1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
0.390	0.440	0.496	0.543	0.595	0.643	0.695	0.745
0.270	0.250	0.275	0.235	0.265	0.240	0.265	0.250

3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6
0.799	0.849	0.904	0.953	1.004	1.052	1.091	1.144
0.270	0.250	0.275	0.245	0.255	0.240	0.225	0.235



【討論】1、磁鐵在鋁管內並不以加速度運動，以 2.5m/s 等速度落下，通過 1.2m 鋁管耗時 4.4 秒，在塑膠管內約 0.5 秒就落下，得知渦電流造成影響之鉅。

2、由於 Windows Movie Maker 軟體每讀取三格等於 0.2 秒，且刻度上數值讀取不易，使圖形誤差過大，但仍可看出運動過程並非等加速度，此一發現讓我們信心大增。

3、為了解磁鐵全程運動，在科學儀器網站上發現超音波測距儀，如果接上學校的數據機，可以精確地測得物體運動時速度變化。

探討 2、以超音波測距儀及數據機觀察強力磁鐵在鋁管中運動

【目的】更準確測量強力磁鐵在鋁管會受渦電流所產生的阻尼作用。

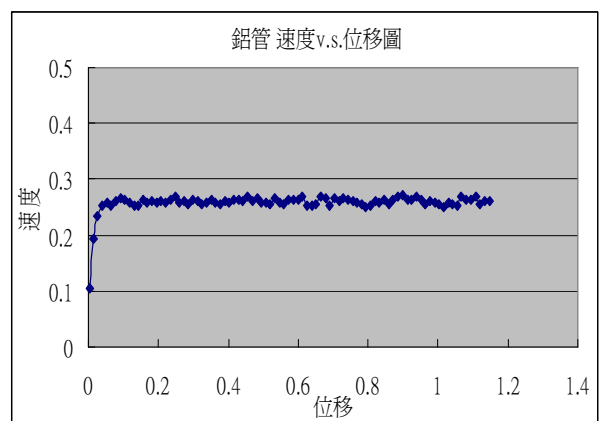
【步驟】1、將一強力磁鐵(4026 高斯)放入外徑 25.4mm、厚 1.2mm 圓形鋁管中。

2、以超音波測距儀及 VERNIER 數據機測量其運動速度。

測距儀測量位置	以數據機讀取數據	連接電腦軟體接收	測量情形	示意圖

【結果】如右表

時間(s)	位移(m)	速度(m/s)	0.40	0.0911	0.267
0.05	0.0052	0.104	0.45	0.1043	0.263
0.10	0.0149	0.194	0.50	0.1172	0.258
0.15	0.0266	0.233	0.55	0.1299	0.254
0.20	0.0392	0.252	0.60	0.1425	0.253
0.25	0.0521	0.258	0.65	0.1557	0.264
0.30	0.0647	0.253	0.70	0.1687	0.259
0.35	0.0778	0.261	費時	4.45 秒	



- 【討論】1、欲測得自由落體兩點間速度變化，需使用光閘，但要測得全部過程，則需多個光閘才能準確，因此所需經費龐大。於是我們使用價格較為經濟且能精確了解運動全程變化的超音波測距儀。
- 2、使用超音波測距儀可以增加將數據採集時間縮小為 0.05 秒，更能精準地測得物體的位置。圖形很明顯較為平緩，表示此方法獲得的數據的確比較準確。
- 3、令人振奮的結果是，由數據得到磁鐵於管內運動時，剛開始為加速度運動，但速度很迅速的降到 0.26m/s，在位移 0.0778m 之後便形成等速度運動。
- 4、速度減少的原因是因為當通過金屬導體的磁通量發生改變，則導體板會產生類似漩渦狀的感應電流(渦電流)來抵抗磁通量改變，使速度減緩。
- 5、而速度劇減的原因更因速度增加時，其渦電流也增加以便產生相反的磁場來抵消或反抗原來的磁場，當兩者在達平衡時，速度及渦電流不再改變，此時磁鐵即達等速度運動。
- 6、由此證明磁鐵在管內運動為非等加速度運動，推翻歷屆作品的全程視為等加速度或等速運動。

探討 3、強力磁鐵的磁場強度不同對運動情形的影響

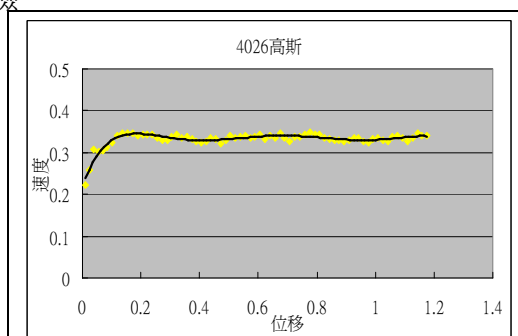
【目的】研究磁場強度對渦電流大小的影響

【步驟】使用三種規格相同（直徑 16mm、厚度 30mm），磁場強度不同的強力磁鐵（4026 高斯、4957 高斯、5764 高斯）在直徑 25.4mm、厚 1.2mm 鋁管中實驗。

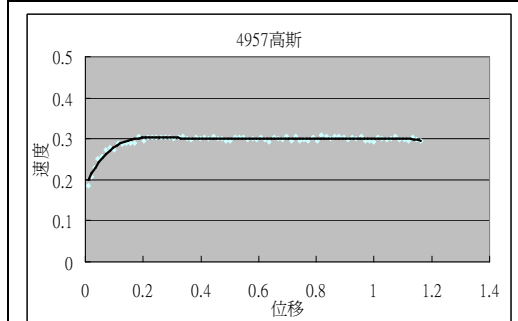


【結果】

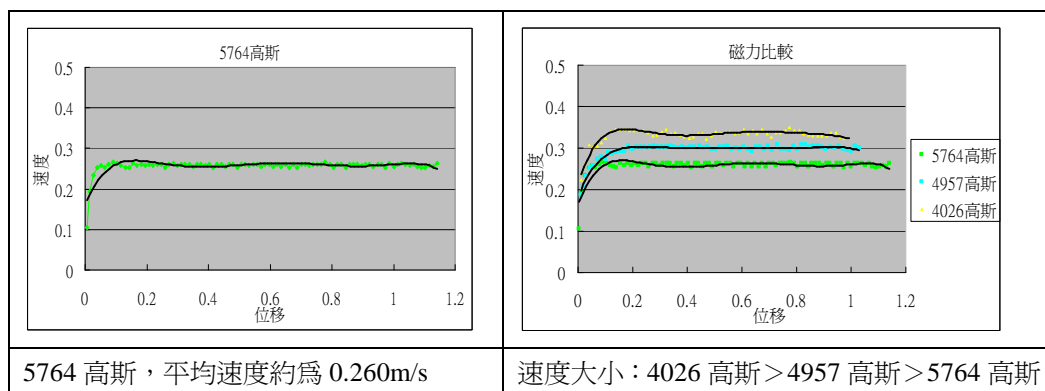
強度	4026 高斯		4957 高斯		5764 高斯	
時間 (s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)
0.05	0.0111	0.223	0.0083	0.166	0.0052	0.104
0.10	0.0241	0.25	0.0184	0.202	0.0149	0.194
0.15	0.0395	0.307	0.0302	0.252	0.0266	0.233
0.20	0.0546	0.303	0.0437	0.270	0.0392	0.252
0.25	0.0699	0.306	0.0538	0.295	0.0521	0.258
0.30	0.0856	0.312	0.0650	0.298	0.0647	0.253
0.35	0.1018	0.323	0.0798	0.300	0.0778	0.261
0.40	0.1188	0.340	0.0947	0.306	0.0911	0.267
0.45	0.1361	0.345	0.1097	0.305	0.1043	0.263
0.50	0.1533	0.345	0.1250	0.298	0.1172	0.258
0.55	0.1706	0.345	0.1403	0.306	0.1299	0.254
0.60	0.1877	0.341	0.1553	0.305	0.1425	0.253
費時	3.5 秒		3.95 秒		4.45 秒	



4026 高斯，平均速度約為 0.342m/s



4957 高斯，平均速度約為 0.301m/s



【討論】1、不同強度的磁鐵其平均速度及開始等速的位移

強度(高斯)	4026	4957	5764
位移(m)	0.1188	0.0538	0.0392
速度(m/s)	0.342	0.301	0.260

2、結果發現磁力越強的磁鐵，渦電流也愈大，達到等速所需的時間越短，位移也較小。

3、根據內政部消防署緩降機認可基準，下降速度應在 16cm/s 以上、150cm/s 以下之範圍內時，磁鐵愈強速度愈小愈適合緩降機使用。

探討 4、強力磁鐵的長度對運動情形的影響

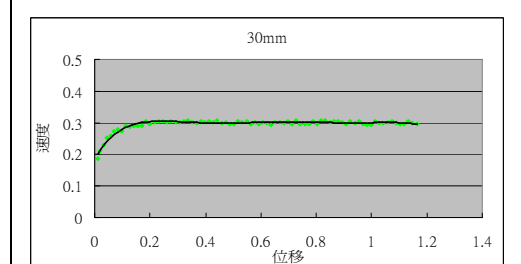
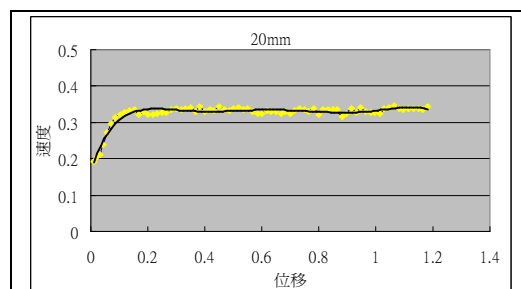
【目的】研究磁鐵長度對渦電流的影響

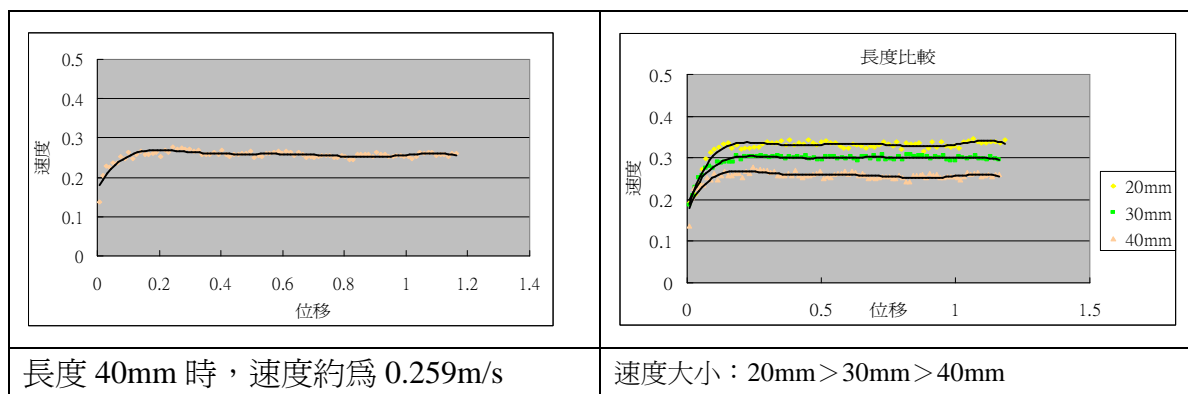
【步驟】使用三種直徑相同(16mm)、磁場強度相同(約 5000 高斯)，長度分別為 20mm、30mm、40mm 的強力磁鐵，在直徑 25.4mm、厚 1.2mm 鋁管中實驗。

【結果】(1)數據分析



厚度	20mm		30mm		40mm	
時間(s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)
0.05	0.0096	0.192	0.0083	0.166	0.0068	0.136
0.10	0.0209	0.225	0.0184	0.202	0.0171	0.205
0.15	0.0294	0.249	0.0302	0.252	0.0284	0.227
0.20	0.0423	0.257	0.0437	0.270	0.0397	0.226
0.25	0.0559	0.271	0.0538	0.295	0.0515	0.245
0.30	0.0708	0.296	0.0650	0.298	0.0633	0.245
0.35	0.0864	0.312	0.0798	0.300	0.0760	0.252
0.40	0.1024	0.320	0.0947	0.306	0.0883	0.246
0.45	0.1187	0.325	0.1097	0.305	0.1015	0.263
0.50	0.1354	0.333	0.1250	0.298	0.1138	0.246
0.55	0.1521	0.334	0.1403	0.306	0.1267	0.257
費時	3.70 秒		3.95 秒		4.60 秒	





【討論】1、不同長度的磁鐵其平均速度及其開始等速的位移

長度(mm)	20	30	40
位移(m)	0.0864	0.0538	0.0515
速度(m/s)	0.328	0.301	0.259

2、長度越長的強力磁鐵在金屬管中下降速度越慢，可知磁鐵的長度亦影響產生渦電流的大小。

探討 5、改變鋁管厚度是否會造成影響？

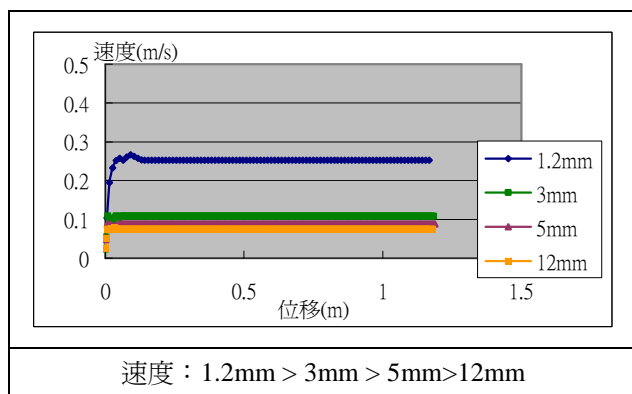
【目的】將鋁管的厚度增厚，觀察產生的阻力是否會改變

【步驟】1、將直徑 16mm、厚度 30mm 的強力磁鐵(5764 高斯)分別放入內徑相同(19.5mm)，厚度為 1.2mm、3.4mm、5mm、12mm 的鋁管圓形鋁管中。
2、以超音波測距儀測量其運動速度。



【結果】

厚度	1.2mm		3mm		5mm		12mm	
時間 (s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)
0.05	0.0052	0.104	0.0011	0.023	0.0024	0.048	0.0018	0.026
0.10	0.0149	0.194	0.0039	0.054	0.0068	0.087	0.0044	0.052
0.15	0.0266	0.233	0.0094	0.109	0.0112	0.087	0.0081	0.075
0.20	0.0392	0.252	0.0140	0.093	0.0154	0.084	0.0118	0.074
0.25	0.0521	0.258	0.0190	0.098	0.0198	0.087	0.0156	0.075
0.30	0.0647	0.253	0.0236	0.093	0.0239	0.082	0.0193	0.075
0.35	0.0778	0.261	0.0286	0.098	0.0280	0.080	0.0232	0.077
0.40	0.0911	0.267	0.0338	0.104	0.0320	0.080	0.0269	0.075
0.45	0.1043	0.263	0.0393	0.109	0.0362	0.083	0.0306	0.073
0.50	0.1172	0.258	0.0445	0.104	0.0404	0.084	0.0345	0.078
0.55	0.1299	0.254	0.0497	0.104	0.0446	0.085	0.0383	0.076
0.60	0.1425	0.253	0.0552	0.108	0.0491	0.088	0.0420	0.075
費時	4.45 秒		11.50 秒		14.25 秒		15.85 秒	



【討論】1、不同鋁管的平均速度及其開始等速的位移

厚度(mm)	1.2	3	5	12
位移(m)	0.0392	0.0338	0.0068	0.0067
速度(m/s)	0.252	0.104	0.087	0.075

2、由實驗結果得到驚人的發現，強力磁鐵投入鋁管中幾乎在 0.2 秒內就開始以等速度運動前進，而且隨著厚度增加，移動速度更加緩慢。

3、鋁管從 1.2mm 增加至 3mm 時，發現速度減緩為原本的 1/4，但是增為 5mm 後，速度只減少 0.02m/s，增厚為 12mm 時只減少 0.01m/s，減少效果並不多。

探討 6、金屬管材質對於渦電流大小有何影響？

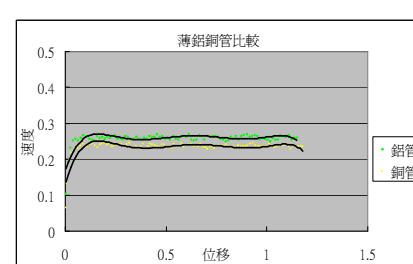
【目的】探討強力磁鐵在不同材質的金屬管中會有何運動情形

【步驟】1、將一直徑 16mm、厚度 30mm 的強力磁鐵(4026 高斯)放入外徑 25.4mm、厚 1.2mm 圓形鋁管中。

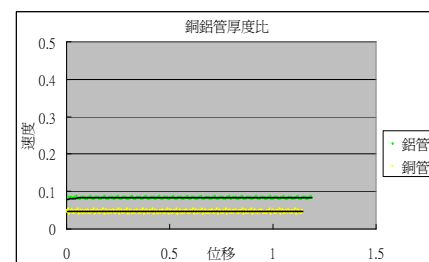
2、以超音波測距儀測其運動速度。

【結果】

種類	鋁管				銅管			
厚度	1.2mm		3mm		1.2mm		3mm	
時間 (s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)	位移 (m)	速度 (m/s)
0.05	0.0050	0.100	0.0024	0.048	0.0032	0.064	0.0024	0.049
0.10	0.0150	0.200	0.0068	0.087	0.0099	0.134	0.0046	0.043
0.15	0.0265	0.230	0.0112	0.087	0.0196	0.195	0.0071	0.049
0.20	0.0392	0.252	0.0154	0.084	0.0305	0.228	0.0104	0.065
0.25	0.0520	0.258	0.0198	0.087	0.0417	0.234	0.0126	0.043
0.30	0.0646	0.253	0.0239	0.082	0.0533	0.232	0.0145	0.039
0.35	0.0777	0.261	0.0280	0.080	0.0649	0.231	0.0167	0.042
0.40	0.0910	0.267	0.0320	0.080	0.0768	0.238	0.019	0.046
0.45	0.1042	0.263	0.0362	0.083	0.0889	0.243	0.0215	0.049
0.50	0.1171	0.258	0.0404	0.084	0.1006	0.234	0.0241	0.052
費時	4.45 秒		14.25 秒		5.05 秒		24.50 秒	



厚度為 1.2mm 時，速度：鋁 > 銅



厚度為 3mm 時，速度：鋁 > 銅

【討論】1、鋁管和銅管的平均速度及開始等速時的位移

種類	鋁管		銅管	
厚度(mm)	1.2	3	1.2	3
位移(m)	0.0392	0.0068	0.0305	0.0024
速度(m/s)	0.252	0.085	0.238	0.045

- 2、在厚度 1.2mm 或 3mm 的金屬管中，銅管的導電性比鋁管佳，產生較強的渦電流，速度更為減緩。
- 3、在 3mm 的管子後，速度就將近減為一半，再次說明厚度對渦電流的產生有極大的影響，也能使緩降機在安全的速度範圍內等速運動(小於 1.4m/s)。
- 4、相同厚度的銅鋁管，速度相差不大，但其在安全的速度下，最大載重是否有所差別？

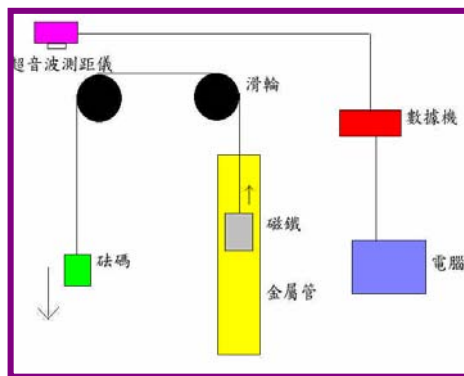
<研究三>強力磁鐵在非磁性金屬管中的載重情形

探討 1、強力磁鐵在鋁管中的最大載重

【目的】測量磁鐵在安全速度範圍內於鋁管中的最大載重。

【步驟】1、實驗裝置如下圖

- 2、在測量架裝置兩個滑輪，將測距儀置於左上方，左邊滑輪掛上砝碼，使右方的磁鐵通過管子向上移動。
- 3、使用直徑 16mm、厚度 30mm、4026 高斯的磁鐵與外徑 25.4mm、厚度 3mm 鋁管，以不同的砝碼，求速度與外力的關係，並找出最大載重。



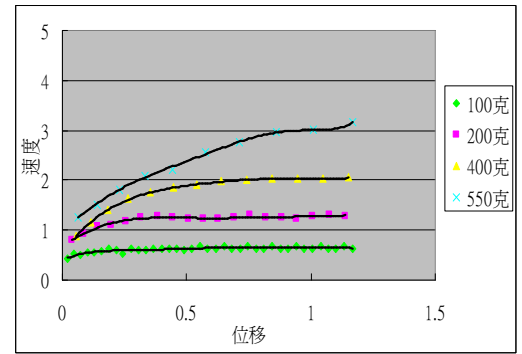
【結果】

時間(s)	掛重 100 克		掛重 200 克		掛重 400 克		掛重 550 克		掛重超過 550 克時，速度呈加速度運動
	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	位移(m)	速度(m/s)	
0.05	0.0208	0.417	0.0400	0.801	0.0562	0.889	0.0628	1.256	
0.1	0.0474	0.532	0.0864	0.927	0.1144	1.163	0.1388	1.520	
0.15	0.0729	0.510	0.1399	1.070	0.1846	1.404	0.2293	1.811	
0.2	0.1003	0.548	0.1956	1.114	0.2661	1.629	0.3342	2.096	
0.25	0.1281	0.554	0.2551	1.190	0.3537	1.750	0.4453	2.222	
0.3	0.1566	0.570	0.3174	1.245	0.4469	1.865	0.5734	2.562	
0.35	0.1885	0.636	0.3814	1.278	0.5419	1.898	0.7112	2.754	
0.4	0.2184	0.598	0.4439	1.251	0.6407	1.975	0.8591	2.958	
0.45	0.2450	0.532	0.5055	1.230	0.7414	2.014	1.0095	3.007	
0.5	0.2760	0.620	0.5665	1.220	0.8432	2.036	1.1675	3.161	
0.55	0.3056	0.592	0.6281	1.231	0.9444	2.025			
0.6	0.3364	0.614	0.6909	1.256	1.0468	2.046			
0.65	0.3676	0.625	0.7556	1.295	1.1492	2.048			
費時	1.85 秒	0.95 秒	0.65 秒	0.5 秒					

【討論】1、緩降安全速度小於 1.4m/s 時的載重即為系統的最大負載。

2、掛重不同時，其平均速度及開始等速度位置

載重	100	200	400	550
位移(m)	0.0474	0.2551	0.6407	
速度(m/s)	0.615	1.256	2.014	未達等速



3、當掛重達 200 克時，速度為 1.256m/s，小於安全速度 1.4m/s。我們就將 200 克稱為 4026 高斯磁鐵置於外徑 25.4mm、厚度 3mm 鋁管的最大載重。

探討 2、不同磁場強度磁鐵在鋁管中的最大載重

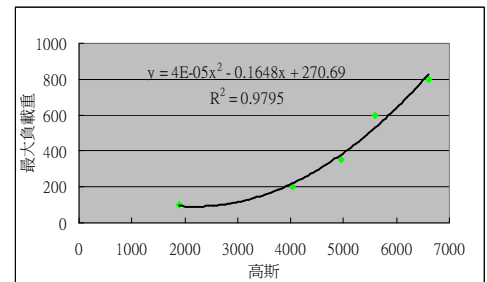
【目的】磁場強度對於最大載重有什麼影響

【步驟】1、將直徑 16mm、厚度 30mm，700、4026、4957、5600、6600 高斯五種不同強度的磁鐵投入外徑 25.4mm、厚度 3mm 的鋁管中。

2、求其安全速度及最大負載量。

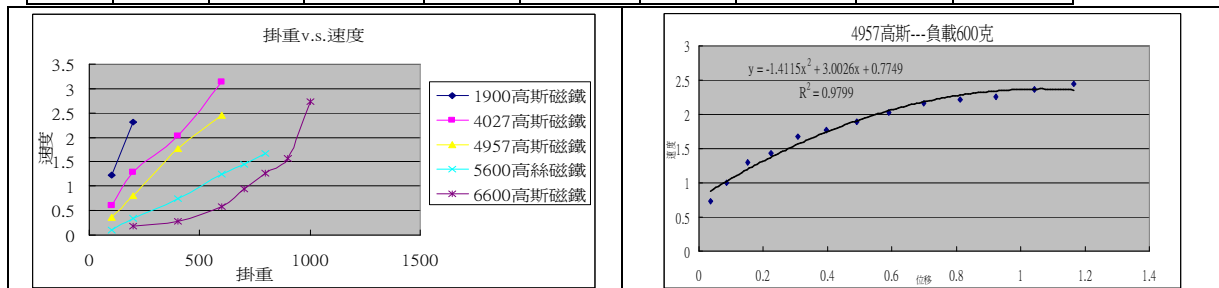
【結果】1、磁場強度不同時，安全速度時最大負重其平均速度值及開始等速度位置

磁場(高斯)	700	1900	4026	4957	5764	6600
掛重(克)	X	100	200	350	600	800
位移(m)	X	0.3597	0.2551	0.2342	0.2041	0.1284
速度(m/s)	X	1.223	1.256	1.328	1.284	1.247



2、磁場強度不同，掛重對速度影響比較

1900 高斯		4026 高斯		4957 高斯		5764 高斯		6600 高斯	
掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)
100	1.224	100	0.615	100	0.372	100	0.105	100	0.081
200	2.314	200	1.282	200	0.812	200	0.334	200	0.290
		400	2.047	350	1.328	400	0.754	400	0.576
		600	3.148	400	1.764	600	1.254	600	0.940
				600	2.46	700	1.445	800	1.274
								900	1.573
								1000	2.740



- 【討論】1、磁場的強度越強，渦電流越強，下降速度就更緩慢。
- 2、結果得到令人意外的發現，磁鐵的強度對於最大載重影響竟然如此的巨大。在安全的緩降速度下 4026 高斯 50 公克的磁鐵只能載重 200 克，但在 4957 高斯竟增加到 350 克重，5764 高斯甚至到 600 克重，現有最強 6600 高斯 50 公克的磁鐵可以到達 800 克重。
- 3、有些磁力極強的磁鐵即使達到最大載重($v < 1.4\text{m/s}$)，再增加它的載重仍然可以維持等速度運動。像是 6600 高斯的磁鐵，掛重到 900 克時，速度雖然已增加到 1.573m/s ，但仍然保持著等速度運動。慣性定律告訴我們，物體合力為 0 才能維持等速度運動，由此我們可以得到渦電流所產生的吸引力竟可以到達 900 克，真的是很強！

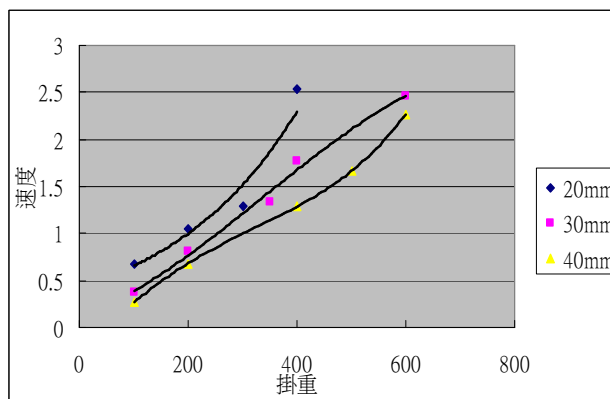
探討 3、不同長度強度磁鐵在鋁管中的最大載重

【目的】磁鐵的長度會影響渦電流的範圍，對最大載重又會有什麼樣的影響？

【步驟】1、使用三種直徑相同(16mm)、磁場強度相同(約 5000 高斯)，長度分別為 20mm、30mm、40mm 的強力磁鐵投入外徑 25.4mm、厚 3mm 的鋁管中實驗。

【結果】1、磁場強度不同，掛重對速度影響比較

20mm		30mm		40mm	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
100	0.673	100	0.372	100	0.267
200	1.047	200	0.812	200	0.682
300	1.288	350	1.286	400	1.284
400	2.531	400	1.764	500	1.664
		600	2.460	600	2.271



2、磁鐵長度不同時，最大負重其平均速度值及開始等速度位置

長度(mm)	20	30	40
掛重(克)	300	350	400
位移(m)	0.3671	0.2342	0.1749
速度(m/s)	1.288	1.286	1.284

- 【討論】1、磁鐵長度愈大所產生的渦電流會愈大，使下降的速度減緩，但速度的差距不會很大，40mm 與 20mm 達等速度時速度大約為 1.28m/s 。但最大負載重就增為 1.33 倍。
- 2、磁力強度相近的磁鐵每增加 10mm 約可增加 50 克的最大負載重。

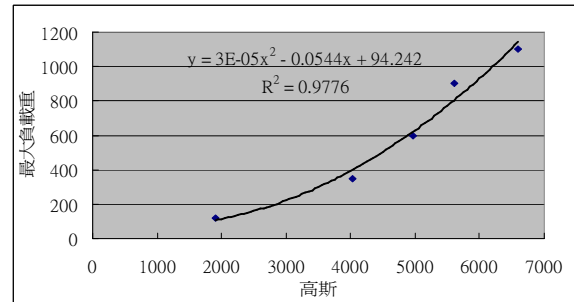
探討 4、強力磁鐵在不同材質金屬管中的最大載重

【目的】銅管產生渦電流的效果比鋁管佳，是否也會影響最大載重？

- 【步驟】1、將直徑 16mm、厚度 30mm，700、4026、4957、5600、6600 高斯五種不同強度的磁鐵投入外徑 25.4mm、厚度 3mm 的銅管中。
- 2、外加不同重量的砝碼，找出速度與掛重的關係，求出其安全速度的最大負載量。

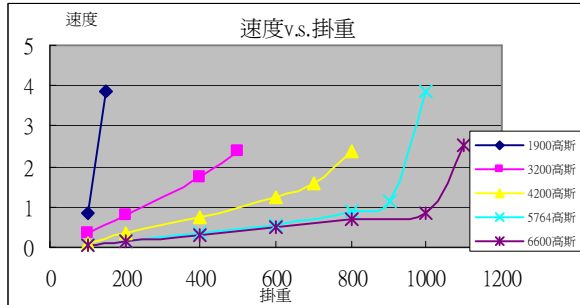
【結果】1、磁場強度不同時，安全運動最大負重其平均速度值及開始等速度位置

磁場	1900	4026	4957	5764	6600
掛重(克)	120	350	600	900	1100
位移(m)	0.3872	0.3194	0.2545	0.2447	0.1843
速度(m/s)	1.284	1.238	1.252	1.124	1.247



2、磁場強度不同，掛重對速度影響比較

1900 高斯		4026 高斯		4957 高斯		5764 高斯		6600 高斯	
掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)	掛重(克)	速度(m/s)
100	0.85	100	0.362	100	0.105	100	0.054	100	0.043
120	1.284	200	0.785	200	0.343	200	0.153	200	0.126
150	3.843	400	1.734	400	0.764	400	0.345	400	0.301
		500	2.379	600	1.248	600	0.554	600	0.49
				700	1.608	800	0.873	800	0.68
				800	2.375	900	1.158	1000	0.86
						1000	3.877	1100	1.247
								1200	3.845



3、各種磁力強度的磁鐵在銅管與鋁管間的比較

磁場(G)	1900		4026		4957		5764		6600	
材質	鋁	銅	鋁	銅	鋁	銅	鋁	銅	鋁	銅
掛重(克)	100	120	200	350	350	600	600	900	800	1100
位移(m)	0.3597	0.3872	0.2551	0.3194	0.2342	0.2545	0.2041	0.2447	0.1284	0.1843
速度(m/s)	1.223	1.284	1.256	1.238	1.328	1.252	1.284	1.124	1.247	1.247

【討論】1、外徑 25.4mm、厚度 3mm 的銅管中磁鐵強度愈大，最大負載重量愈大，其關係為 $y = 0.00003x^2 - 0.0544x + 94.242$ (y：最大負載重量 x：磁鐵強度)，

2、由上表可以發現，相同厚度的鋁管和銅管雖達等速度，但銅管速度較小，不過相差不大，但最大負載重卻有很大的差距，而且強度越大的磁鐵其最大負載相差越大。以 5764 高斯的磁鐵為例，最大負載就差了 300 克；比 4026 高斯的磁鐵時，最大負載就差了 150 克多出一倍。

- 3、6600 高斯 50 公克的磁鐵在 3mm 厚的銅管只在 0.1843m 距離內就能將 1.1 公斤的物重，在 1.247m/s 的安全速度範圍保持等速度運動，在實際緩降機的負載更能達到預期效果。

<研究四> 疊加原理對強力磁鐵在雙層非磁性金屬管中載重的影響

探討 1、感應電流是否受金屬管屏蔽影響

【目的】研究外加線圈的感應電流是否會受金屬管影響

【步驟】1、分別在塑膠管、鋁管及銅管外套上線圈 0.5mm，左端使用不同負載掛重使 6600 高斯強力磁鐵管內時產生不同的速度。

2、使用三用電表測量顯圈所產生感應電流的最大值。

		
感應線圈	三用數位電表	測量磁鐵在管內通過線圈時的感應電流

【結果】

1、塑膠管

速度(m/s)	0.531	1.148	1.384	1.683	2.031	2.536	2.933
電流(mA)	10.58	13.53	14.32	14.42	14.58	14.72	14.83

2、鋁管

速度(m/s)	0.153	0.349	0.631	0.922	1.142	1.326	1.587
電流(mA)	12.58	12.73	13.19	13.42	13.47	13.52	13.61

3、銅管

速度(m/s)	0.123	0.362	0.735	0.892	1.023	1.146	1.367
電流(mA)	12.40	12.38	12.66	12.73	12.99	13.07	13.16

【討論】1、在安全速度 1.1m/s 時在塑膠管、鋁管及銅管的實驗結果中，三者的感應電流分別為 13.53、13.47 及 13.07mA，可見金屬的屏蔽作用很小，不會響管外線圈的感應電流。



探討 2、金屬管外套上感應線圈是否會影響載重？

【目的】於金屬管外套上線圈，觀察其減速情形

【步驟】1、分別在鋁管外套上感應線圈，施予不同的負載使 6600 高斯的磁鐵通過，測量其速度值。

2、與線圈未接通時做比較。

3、將鋁管更改為銅管，重複步驟 1。

	
鋁管外套上感應線圈	銅管外套上感應線圈

【結果】

1、鋁管

掛重(克)	100	200	400	600	800	900
未加線圈速度	0.081	0.290	0.576	0.940	1.087	1.573
加線圈速度	0.067	0.264	0.543	0.894	1.042	1.536

2、銅管

掛重(克)	100	200	400	600	800	1000
未加線圈速度	0.043	0.126	0.301	0.490	0.680	0.860
加線圈速度	0.038	0.109	0.283	0.464	0.649	0.827

- 【討論】1、加入線圈後，利用楞次定律使線圈產生感應電流來抵抗磁鐵所產生的磁場變化，使移動速度變慢。根據探討 2 的結果，得到磁鐵移動速度越快會產生越大的感應電流，進而產生更大的感應磁場，同時也發現，當負載增加時，減速效果並不明顯，以鋁管為例都保持在 0.04m/s 左右。歸咎其原因，應該是感應磁場的斥力太弱，負載增加遠大於排斥力時，對系統的影響就顯的微不足道。
- 2、實驗結果得到外加線圈並不能有效地增加最大負載，於是朝向是否可以增加渦電流強度的方向嘗試。

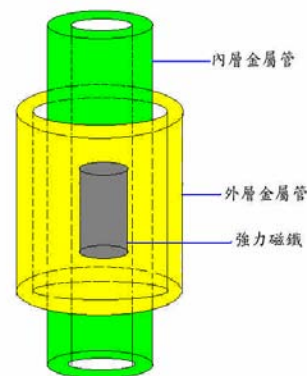
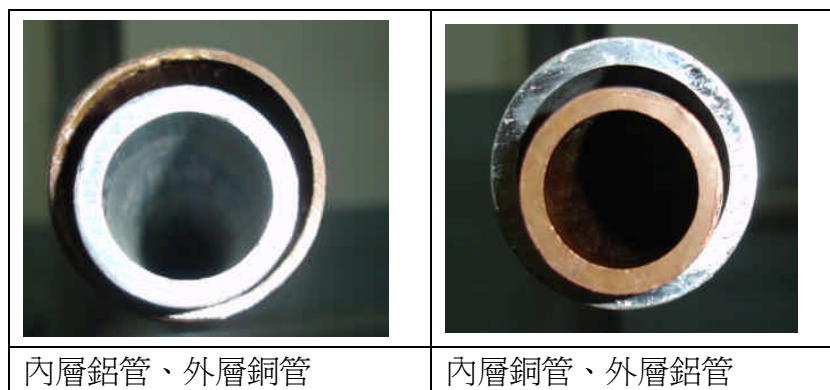
探討 3、不同材質雙層非磁性金屬管對最大負載的影響

【目的】將磁鐵投入分別為鋁管和銅管的雙層金屬管中，測量最大負載是否會變化

【步驟】1、將外徑 25.4mm、厚度 3mm 的鋁管當作內管，外徑 34mm、厚度 1.5mm 的銅管當作外管，套成雙層金屬管。

2、將直徑 16mm、厚度 30mm、6600 高斯的強力磁鐵通過內管，測量其速度及最大負載重。

3、將外徑 25.4mm、厚度 3mm 的銅管當作內管，外徑 36mm、厚度 mm 的鋁管當作外管，套成雙層金屬管，重複步驟 2。

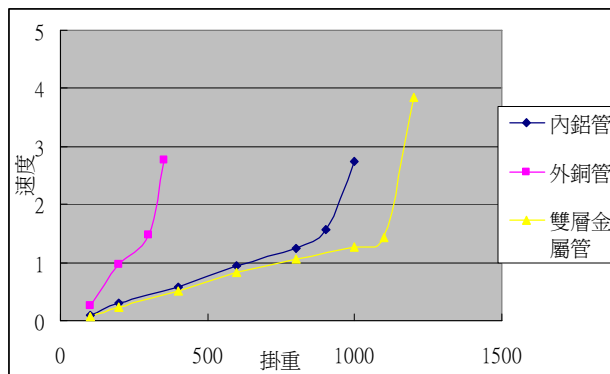


【結果】

1、內層鋁管、外層銅管

(1) 負載重量對速度影響比較

內層鋁管		外層銅管		內鋁外銅雙層金屬管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
100	0.081	100	0.258	100	0.062
200	0.290	200	0.9643	200	0.231
400	0.576	300	1.486	400	0.518
600	0.940	350	2.764	600	0.824
800	1.247			800	1.052
900	1.573			1000	1.277
1000	2.740			1100	1.428
				1200	2.868



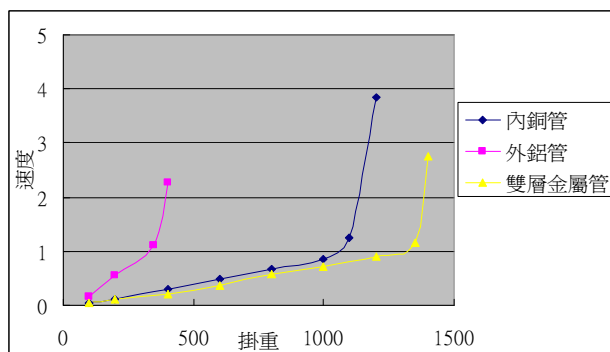
(2) 單一金屬管及雙層金屬管的最大載重及開始等速的位移

	內層鋁管	外層銅管	雙層金屬管
最大載重(克)	800	300	1000
位移(m)	0.1284	0.4608	0.4338
速度(m/s)	1.247	1.486	1.428

2、內層銅管、外層鋁管

(1) 負載重量對速度影響比較

內層銅管		外層鋁管		內銅外鋁雙層金屬管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
100	0.043	100	0.164	100	0.041
200	0.126	200	0.565	200	0.117
400	0.301	350	1.119	400	0.208
600	0.490	400	2.265	600	0.372
800	0.680			800	0.580
1000	0.860			1000	0.726
1100	1.247			1200	0.894
1200	3.845			1300	1.152
				1400	2.766



(2) 單一金屬管及雙層不同金屬管的最大載重及開始等速的位移

	內層銅管	外層鋁管	內同外鋁雙層金屬管
最大載重(克)	1100	300	1300
位移(m)	0.1843	0.4608	0.2842
速度(m/s)	1.247	1.486	1.152

【討論】1、將磁鐵投入雙層金屬管的內管，發現磁鐵移動的速度比投入鋁管或銅管時還要緩慢許多。掛重 100 克時，投入外徑 25.4cm 的鋁管時速度是 0.081m/s，但投入雙層鋁管後，竟減少到 0.062m/s。在掛重 800 克時，速度也減少 15.2%。這個意外的發現讓人十分興奮，最大負載量也可再度增加，實驗的結果肯定了這項推測。

2、內鋁管原本的最大負載在 800 克，外銅管的最大負載則在 300 克，但組合成雙層金屬管後，最大負載竟然增加到 1000 克左右。

3、查閱資料才發現磁力有**疊加原理**，磁鐵的磁力線同時對內外管產生感應磁場，相加起來的結果使得最大負載量增加。

4、使用內層銅管及外層鋁管時，再度發現速度也變得更慢，最大負載也再次增加！掛重 100 克時，速度由 0.043m/s 降到 0.041m/s，幾乎沒什麼改變；但是掛重到 1000 克，速度竟由 0.86m/s 下降到 0.726m/s，少了 0.134m/s，減少 15.6%。

5、使用材質不同的金屬管就可以達到這樣的效果，不禁讓人好奇使用同材質的金屬管是否會有更好的效果？

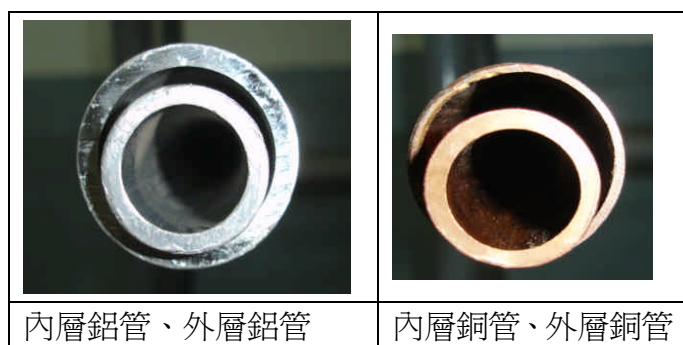
探討 4、相同材質雙層非磁性金屬管對最大負載的影響

【目的】將磁鐵投入雙層鋁管中，測量最大負載是否會變化

【步驟】1、將外徑 25.4mm、厚度 3mm 的鋁管當作內管，外徑 25.4mm、厚度 3mm 的鋁管當作外管，套成雙層金屬管。

2、將直徑 16mm、厚度 30mm、6600 高斯的強力磁鐵通過內管，測量其速度及最大負載重。

3、將外徑 25.4mm、厚度 3mm 的銅管當作內管，外徑 34mm、厚度 1.5mm 的銅管當作外管，套成雙層金屬管，重複步驟 2。

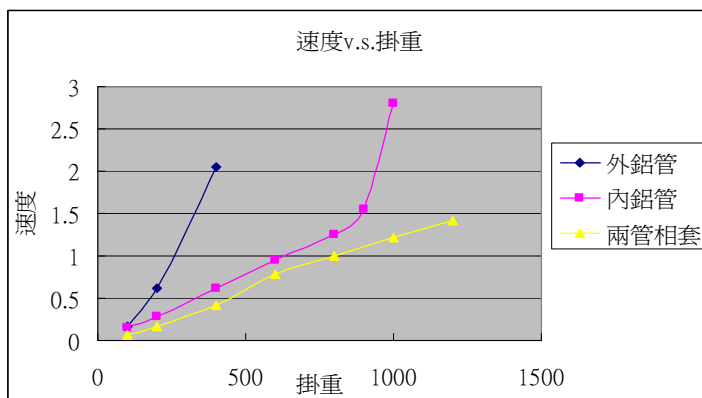


【結果】

1、內層鋁管、外層鋁管

(1) 負載重量對速度影響比較

內管鋁管		外管鋁管		內外雙層鋁管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
100	0.081	100	0.164	100	0.063
200	0.290	200	0.565	200	0.175
400	0.576	350	1.119	400	0.411
600	0.940	400	2.265	600	0.762
800	1.247			800	1.070
900	1.573			1000	1.212
1000	2.740			1200	1.462
				1300	2.672



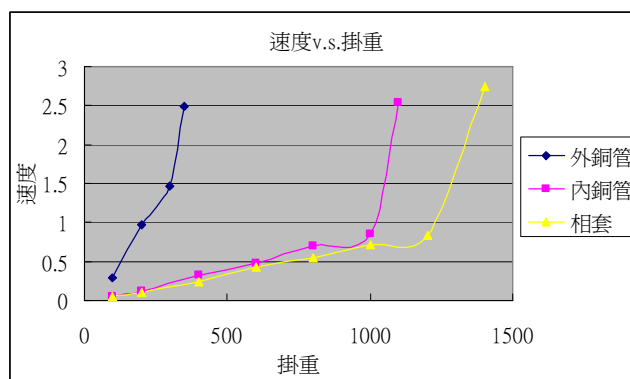
(2) 單一金屬管及雙層鋁管的最大載重及開始等速的位移

	內管鋁管	外管鋁管	內外雙層鋁管
最大載重(克)	800	350	1100
位移(m)	0.1284	0.2447	0.1537
速度(m/s)	1.247	1.119	1.462

2、內層銅管、外層銅管

(1) 負載重量對速度影響比較

內管銅管		外管銅管		內外雙層銅管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
100	0.043	100	0.258	100	0.040
200	0.126	200	0.9643	200	0.112
400	0.301	300	1.486	400	0.245
600	0.490	350	2.764	600	0.439
800	0.680			800	0.569
1000	0.860			1000	0.724
1100	1.247			1200	0.864
1200	3.845			1350	1.378
				1400	4.135



(2) 單一金屬管及雙層銅管的最大載重及其開始等速運動的位移

	內管銅管	外管銅管	內外雙層銅管
最大載重(克)	1100	300	1350
位移(m)	0.1843	0.4608	0.2652
速度(m/s)	1.247	1.486	1.378

【討論】1、各種雙層金屬管之比較

材質	雙層鋁管	雙層銅管	內銅外鋁	內鋁外銅
最大負載(克)	1100	1350	1300	1000
減速效果	13.6%	15.8%	15.6%	15.2%

結果發現

最大負載：雙層銅管 > 內銅外鋁 > 雙層鋁管 > 內鋁外銅

減速效果：雙層銅管 > 內銅外鋁 > 內鋁外銅 > 雙層鋁管

- 2、結果發現掛重 100 克時，單純投入外徑 25.4cm 的鋁管時速度是 0.081m/s，已經算是很慢的速度，但投入雙層鋁管的內管後，竟再減少到 0.063m/s。負載越多減少越明顯，掛重 800 克時，速度竟然相差將近 0.17m/s，減少了 13.6%。
- 3、內管原本的最大負載 800 克，外管的最大負載則在 350 克，但組合成雙層鋁管後，最大負載竟然增加到 1100 克，只比內、外管的最大負載重相加還少一些。
- 4、會產生這個現象的原因是強力磁鐵的磁場同時對內外管感應，兩管皆生出渦電流，產生作用力的加乘效果。
- 5、但為什麼會比兩者相加還小一些原因為內管先被磁鐵感應產生出磁場，此磁場作用於外管的方向與磁鐵對外管感應的方向相反，根據磁場的疊加原理，使得外管所感應出的渦電流會比原本單一外管時還弱些，產生的作用力也會較弱。
- 6、實驗的結果發現，雙層銅管同樣可以使速度再次減緩。掛重 100 克時，速度由 0.043ms 降至 0.040m/s，並不是很明顯，但是掛重到 1000 克時速度竟由 0.86m/s 降至 0.724m/s，少了近 0.14m/s，減少了 15.8%。
- 7、在使用雙層金屬管時發現了磁力會疊加的效果，對最大負載已經有一定的增加，但仍受限在外管的最大負載，若將外管距離靠近，最大負載應該可以會大幅提升。

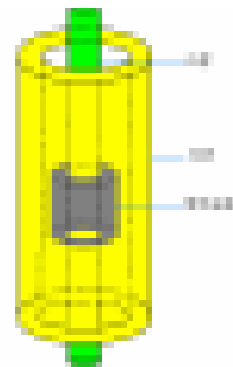
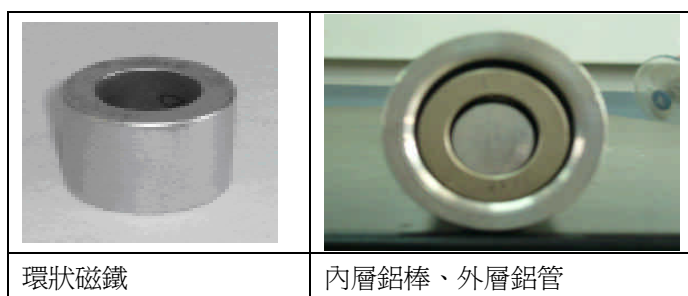
<研究五>疊加原理對強力磁鐵在兩層非磁性金屬管間載重的影響

探討 1、環形磁鐵在雙夾層鋁管中的最大載重

【目的】將環形磁鐵投入內外夾層鋁管中，測量最大負載是否變化。

【步驟】1、將外徑 16mm 的鋁棒當作內管，外徑 44mm、內徑 32mm 厚度 6mm 的鋁管當作外管，套成夾層。

- 2、將內徑 18mm、外徑 30mm、長度 30mm、5500 高斯的環形強力磁鐵通過夾層中，測量速度及最大負載重。



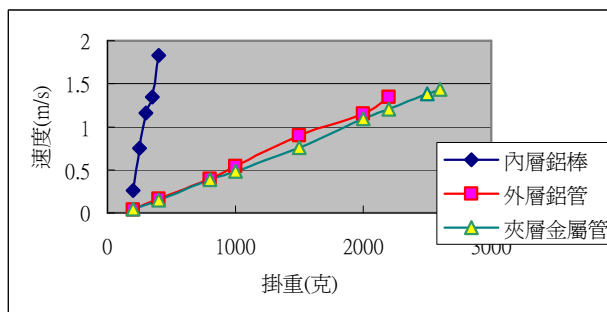
【結果】

1、負載重量對速度影響比較

內層鋁棒		外層鋁管		內鋁外鋁雙層金屬管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
200	0.358	200	0.036	200	0.042
250	0.754	400	0.165	400	0.152
300	1.162	800	0.394	800	0.384
350	1.344	1000	0.542	1000	0.483
400	1.827	1500	0.901	1500	0.762
		2000	1.154	2000	1.092
		2200	1.345	2200	1.208
				2500	1.380
				2600	1.435

2、單一金屬管及夾層金屬管的最大載重及其開始等速運動的位移

	內層鋁棒	外層鋁管	雙層金屬管
最大載重(克)	350	2200	2500
位移(m)	0.337	0.201	0.328
速度(m/s)	1.344	1.345	1.380



【討論】1、利用中空環形磁鐵，讓磁鐵在雙層金屬管中間運動，如此一來外層金屬管與磁鐵間的距離就縮短，作用力及最大負載皆是大幅提升。

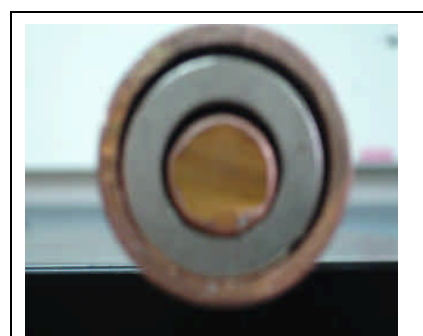
2、原本內層鋁棒的最大負載是 350 克，外層鋁管的最大負載是 2200 克，使用內鋁外鋁夾層金屬管後，果然遵守疊加原理最大負載變為 2500 克。比內鋁外鋁雙層管的 1100 克多了 1400 克，這對緩降機的最大載重是很大的突破。

探討 2、環形磁鐵在雙夾層銅管中的最大載重

【目的】換成導電性較佳的銅管，測其最大負載的改變量

【步驟】1、將外徑 16mm 的銅棒當作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管當作外管，套成內外夾層金屬管。

2、將內徑 18mm、外徑 30mm、長度 30mm、5500 高斯的環形強力磁鐵通過夾層中，測量其速度及最大負載重。

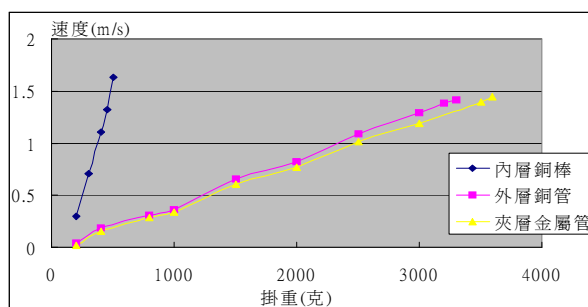


內層銅棒、外層銅管

【結果】

1、單一金屬管及雙層金屬管的最大載重及其開始等速運動的位移

	內層銅棒	外層銅管	雙層金屬管
最大載重(克)	450	3200	3500
位移(m)	0.327	0.272	0.224
速度(m/s)	1.322	1.388	1.397



2、負載重量對速度影響比較

內層銅棒		外層銅管		內銅外銅雙層金屬管	
掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)	掛重 (克)	速度 (m/s)
200	0.297	200	0.037	200	0.024
300	0.709	400	0.182	400	0.153
400	1.105	800	0.308	800	0.287
450	1.322	1000	0.358	1000	0.337
500	1.625	1500	0.659	1500	0.602
		2000	0.823	2000	0.772
		2500	1.089	2500	1.015
		3000	1.293	3000	1.185
		3200	1.388	3500	1.397
		3300	1.417	3600	1.448

【討論】1、原本內層銅棒的最大負載是 450 克，外層銅管的最大負載是 3200 克，使用內銅外銅夾層金屬管後，最大負載變為 3500 克。比內銅外銅雙層管的 2000 克多了 1500 克。

2、銅的導電性優於鋁，由實驗結果可發現使用厚度 3mm 的銅管可達到 3500 的最大負載，厚度 6mm 的鋁管效果只能到 2500 克，相差了 1000 克。

探討 3、不同磁場強度的環形磁鐵在夾層金屬管中對最大負載的影響

【目的】將不同強度的環形磁鐵投入雙鋁金屬管夾層中，測量最大負載是否會變化

【步驟】1、將外徑 16mm 的鋁棒當作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的鋁管當作外管，套成內外夾層金屬管。

2、使用外徑 30mm、內徑 18mm、長度 30mm，磁力強度分別為 4200、4900、5500、6100、6700 高斯的環狀磁鐵，分別投入雙夾層鋁管中，測量其最大負載。

3、將外徑 16mm 的銅棒當作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管當作外管，套成內外夾層金屬管。重複步驟 2。



由左而右為 4200、4900、5500、6100、6700 高斯

【結果】

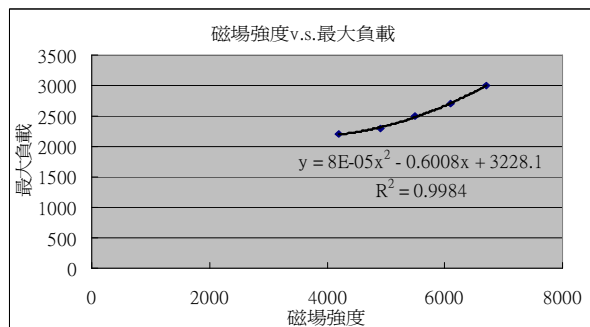
1、在鋁管中，磁場強度不同時，安全運動最大負重其平均速度值及開始等速度位置

磁場(高斯)	4200	4900	5500	6100	6700
掛重(克)	2200	2300	2500	2700	3000
位移(m)	0.424	0.361	0.328	0.294	0.238
速度(m/s)	1.375	1.344	1.380	1.366	1.357

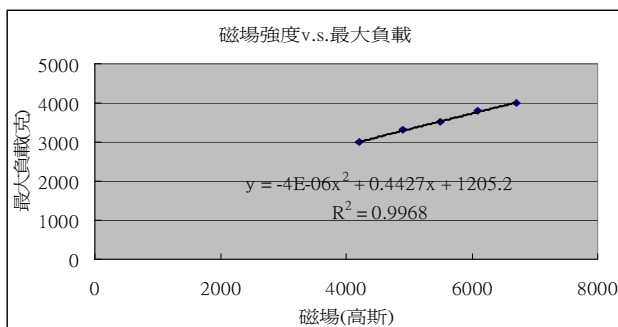
2、在銅管中，磁場強度不同時，安全運動最大負重其平均速度值及開始等速度位置

磁場(高斯)	4200	4900	5500	6100	6700
掛重(克)	3000	3300	3500	3800	4000
位移(m)	0.315	0.268	0.224	0.208	0.151
速度(m/s)	1.376	1.372	1.397	1.375	1.362

3、鋁管之磁場強度對最大負載比較圖



4、銅管之磁場強度對最大負載比較圖



【討論】

- 1、由實驗結果發現，磁場強度越強，磁鐵所能承受的最大負載也跟著越大。
- 2、在鋁管中，4200 高斯可以負載 2200 克，4900 高斯可以負載 2300 克，只有增加 100 克的負載。到 5600 高斯負載到 2500 克，6100 高斯可負載 2700 克，現有最強的 6700 高斯磁鐵則可負載到 3000 克的掛重，增加了 300 克的最大負載。可知磁場強度增加，所增加的最大負載也增大。
- 3、在銅管中，4200 高斯可以負載 3000 克，4900 高斯可以負載 3300 克，5600 高斯負載到 3500 克，6100 高斯可負載 3800 克，現有最強的 6700 高斯磁鐵則可負載到 4000 克的掛重。比在鋁管中多了 1000 克的負載，這在緩降上是很大的增益。
- 4、將磁場強度與最大負載作圖，得到其方程式在鋁管中為 $y = 8 \times 10^{-5}x^2 - 0.6008x + 3228.1$ 在銅管中為 $y = 4 \times 10^{-6}x^2 - 0.4427x + 1205.2$ 〔y：最大負載，x：磁場強度〕。

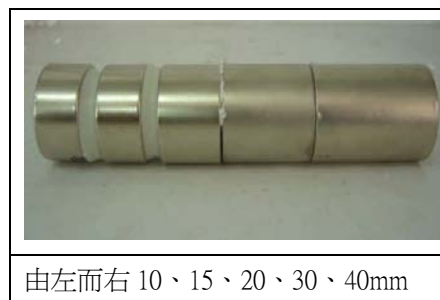
探討 4、不同長度的環形磁鐵在夾層金屬管中最大載重的影響

【目的】探討環形磁鐵的長度對最大負載重的影響

【步驟】1、將外徑 16mm 的鋁棒作內管，外徑 44mm、內徑 32mm 厚度 6mm 的鋁管作外管，套成內外夾層金屬管。

2、使用外徑 30mm、內徑 18mm、磁力強度為 6100 高斯，長度分別為 10、15、20、30、40mm 的環形磁鐵，分別投入雙鋁夾層管中，測量其最大負載。

3、將外徑 16mm 的銅棒作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管作外管，套成內外夾層金屬管。重複步驟 2。



【結果】

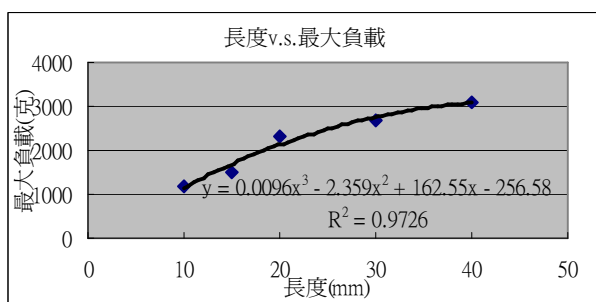
1、在鋁管中，磁鐵長度不同時，安全運動最大負重其平均速度值及開始等速度位置

長度(mm)	10	15	20	30	40
掛重(克)	1200	1500	2300	2700	3100
位移(m)	0.428	0.382	0.318	0.294	0.272
速度(m/s)	1.382	1.354	1.352	1.366	1.355

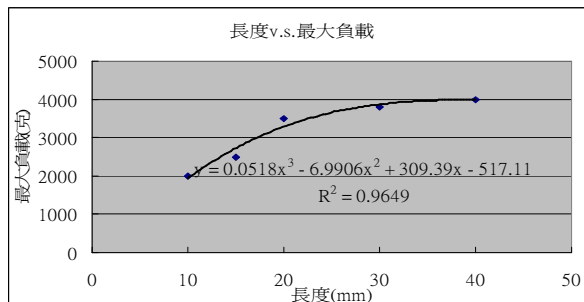
2、在銅管中，磁鐵長度不同時，安全運動最大負重其平均速度值及開始等速度位置

長度(mm)	10	15	20	30	40
掛重(克)	2000	2500	3500	3800	4100
位移(m)	0.330	0.281	0.254	0.208	0.154
速度(m/s)	1.363	1.334	1.356	1.375	1.389

3、鋁管之長度對最大負載比較圖



4、鋁管之長度對最大負載比較圖



【討論】1、在鋁管中，10mm 的磁鐵可負載 1200 克的掛重，到 15mm 可負載 1500 克，加長 5mm 即可增加 300 克的掛重。令人吃驚的是 20mm 時更變為 2300 克，又再增加 800 克的負載！不過再加長至 30、40mm 時，並未有同樣的效果，加長 10mm 僅能增加 400 克的負載，變為 2700 及 3100 克。

2、在銅管中，10mm 的磁鐵可負載 2000 克的掛重，到 15mm 可負載 2500 克，加長 5mm 即可增加 500 克的掛重。令人吃驚的是 20mm 時更變為 3500 克，又再增加 1000 克的負載！不過再加長至 30、40mm 時，並未有同樣的效果，只再增加 300 克的負載，變為 3800 及 4100 克。

3、6100 高斯磁鐵長度與最大負載關係式在鋁管為

$y = 0.0096x^3 - 2.359x^2 + 162.55x - 256.58$ ，在銅管為 $y = 0.0518x^3 - 6.9906x^2 + 309.39x - 517.11$
〔y：最大負載，x：磁鐵長度〕。

4、同樣由於受到生產技術上的限制，環狀磁鐵長度無法超過 50mm，而且磁鐵越長，充磁效果越不好使得強度越弱，因此實驗所採用的皆為 6100 高斯磁鐵。

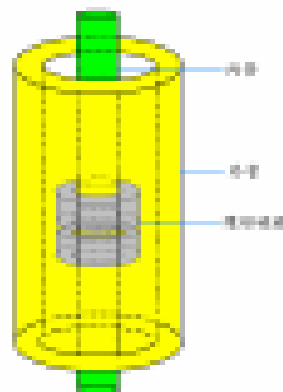
5、雖然環狀磁鐵在銅管中已能負載到 4000 克的掛重，較之前的柱狀磁鐵增加 3 倍之多，但由於現今銅的市價不斐，同樣規格銅管比鋁管貴了 8 倍以上。於是往改良磁鐵下去著手，若將磁鐵切割成數塊，是否能在降低成本的前題下增加最大負載。

<研究六>相吸及相斥分割磁鐵在固定式磁緩降機載重的影響

探討 1、相吸的磁鐵在夾層金屬管中的運動情形

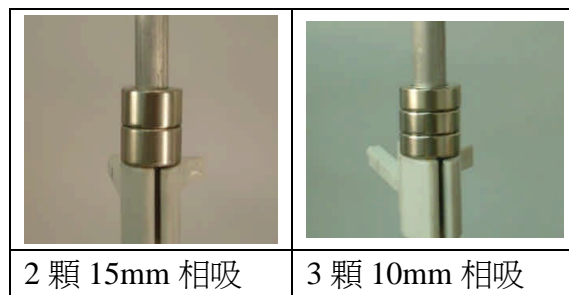
【目的】探討環狀磁鐵分割成二或三等分後相吸在夾層金屬管內對掛重的影響

- 【步驟】
- 1、將外徑 16mm 的鋁棒作內管，外徑 44mm、內徑 32mm 厚度 6mm 的鋁管作外管，套成內外夾層金屬管。
 - 2、使用外徑 30mm、內徑 18mm、磁力強度為 6100 高斯，長度為 30mm 的環形磁鐵，分割成 2 顆厚度 15mm 的磁鐵相吸及 3 顆 10mm 的磁鐵相吸，投入雙鋁夾層管中，測量其最大負載。
 - 3、將外徑 16mm 的銅棒作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管作外管，套成內外夾層金屬管。重複步驟 2。

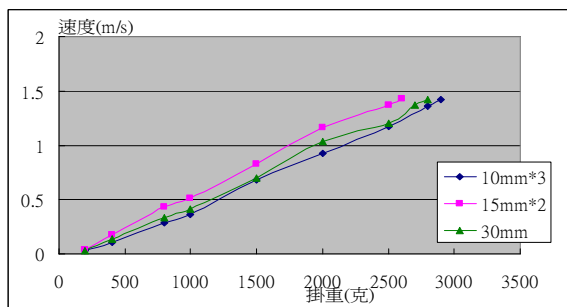


【結果】1、相吸磁鐵在銅鋁管中比較

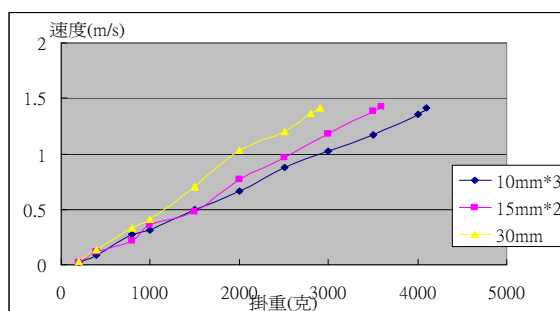
金屬管	鋁管			銅管		
種類	2 個 15mm	1 個 30mm	3 個 10mm	2 個 15mm	1 個 30mm	3 個 10mm
掛重(克)	2500	2700	2800	3500	3800	4000
速度(m/s)	1.370	1.366	1.362	1.364	1.375	1.336



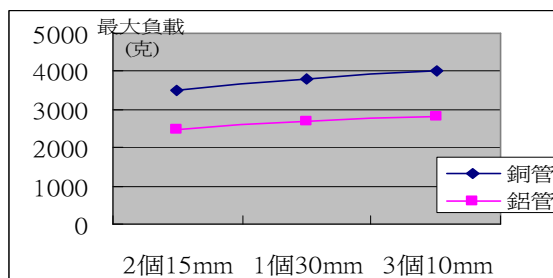
2、鋁管中，掛重對速度圖



3、銅管中，掛重對速度圖



3、相吸磁鐵於銅、鋁管中最大負載比較圖



【討論】1、雖然銅管在感應磁場的產生較鋁管好，但由於市面上銅管的價格不斐，因此以鋁管代替，並將環狀磁鐵配上相吸的作用，並將總長度控制一樣。

2、結果發現，在鋁管中將 3 個 10mm 磁鐵相吸，最大負載由原本的 1200 克增加至 2800 克；把 2 個 15mm 的磁鐵相吸，最大負載也由 1500 克增加至 2500 克，與 1

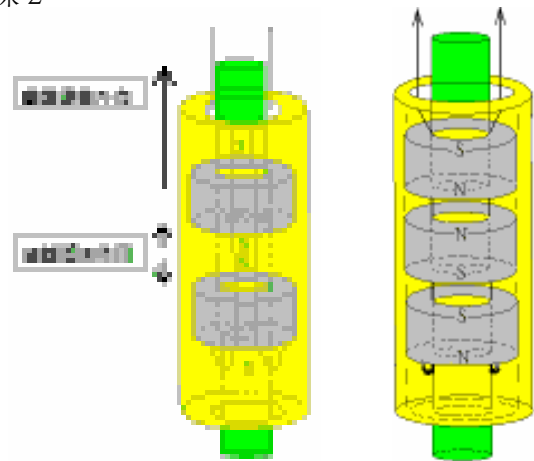
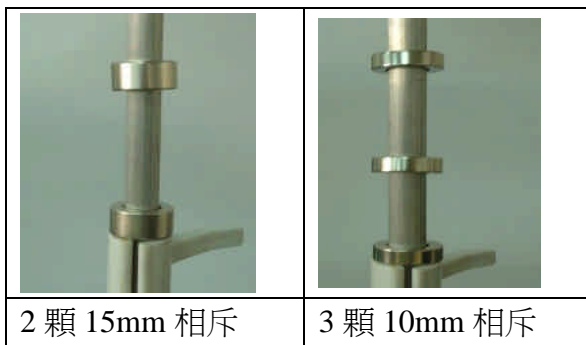
顆 30mm 磁鐵的最大負載相近。

- 3、在銅管中，將 3 個 10mm 磁鐵相吸，最大負載由原本的 2000 克增加至 4000 克；把 2 個 15mm 的磁鐵相吸，最大負載也由 2500 克增加至 3500 克。
- 4、將 3 顆 10mm 磁鐵相吸可達到與 1 顆 30mm 磁鐵相近的效果，若吸引更多磁鐵增加其總長度，勢必能再提升其最大負載。

探討 2、相斥的磁鐵在夾層金屬管中的運動情形

【目的】探討環狀磁鐵分割成二或三等分的分割後相斥在夾層鋁管內對掛重的影響

- 【步驟】
- 1、將外徑 16mm 的鋁棒作內管，外徑 44mm、內徑 32mm 厚度 6mm 的鋁管作外管，套成內外夾層金屬管。
 - 2、用外徑 30mm、內徑 18mm、磁力強度 6100 高斯，長度為 30mm 的環形磁鐵，分成 2 顆厚度 15mm 的磁鐵及 3 顆 10mm 的磁鐵，投入雙鋁夾層管，測其最大負載。
 - 3、將外徑 16mm 的銅棒當作內管，外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管當作外管，套成內外夾層金屬管。重複步驟 2。

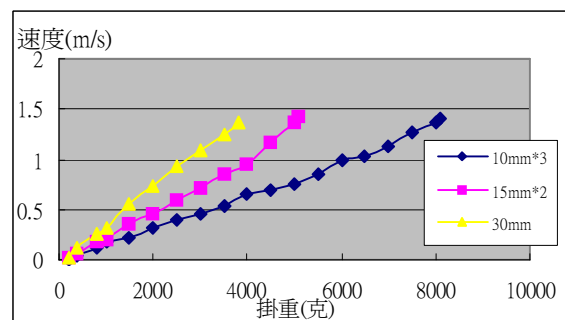


【結果】

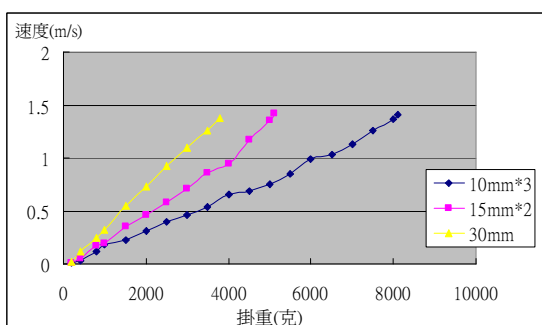
1、相斥磁鐵在銅鋁管中比較

種類	鋁管			銅管		
	1 個 30mm	2 個 15mm	3 個 10mm	1 個 30mm	2 個 15mm	3 個 10mm
掛重 (克)	2700	3500	4000	3800	5000	8000
速度 (m/s)	1.366	1.390	1.354	1.375	1.357	1.370

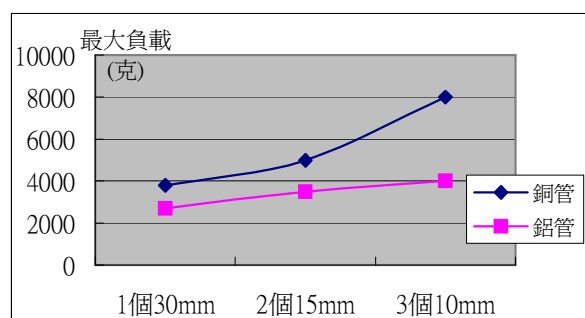
2、鋁管中，掛重對速度圖



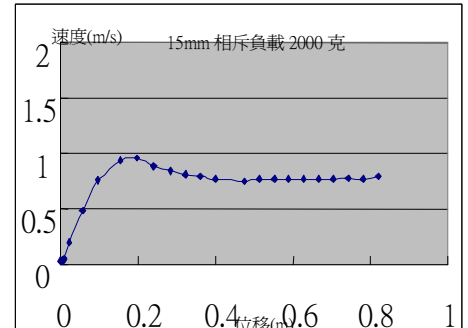
3、銅管中，掛重對速度圖



4、相斥磁鐵於銅、鋁管中最大負載比較圖



- 【討論】1、將磁鐵的總長度固定為 30mm，以同性相斥的方式進行運動，得到令人驚訝的結果。在夾層鋁管中，2 顆 15mm 磁鐵相斥後，最大負載變為 3500 克。換成 3 顆 10mm 磁鐵相斥，最大負載增加為 4000 克。
- 2、在夾層銅管中，2 顆 15mm 磁鐵相斥後，最大負載變為 5000 克，比相吸時的 3500 克又再增加 1500 克。換成 3 顆 10mm 磁鐵相斥，負載增加為 8000 克，比相吸再增加了 4000 克。
- 3、觀察其速度及位移圖，可以發現一個特殊現象，就是磁鐵會先加速再減速，最後仍呈等速運動。探討其原因為剛開始只拉動最下層磁鐵使其向上，接著磁鐵間距變小，斥力變大，抵抗下方磁鐵，而上方磁鐵亦會產生渦電流減速，才，也使最大負載大幅增加。
- 4、三顆 10mm、6100 高斯的磁鐵相斥在鋁管中產生 4000 克的最大負載，其效果與一顆 30mm、6700 高斯的磁鐵在銅管效果相同。如果此技術應用到固定式磁緩降機，使用與樓層等高的鋁管即能達到極佳效果，且成本比使用銅管降低 8~10 倍以上。
- 5、使用三顆 10mm、6100 高斯小磁鐵在銅管中更可以高達 8000 克的最大負載，若相斥更多的磁鐵，實際運用在大樓的逃生緩降機負載一個人的重量不再是空談。

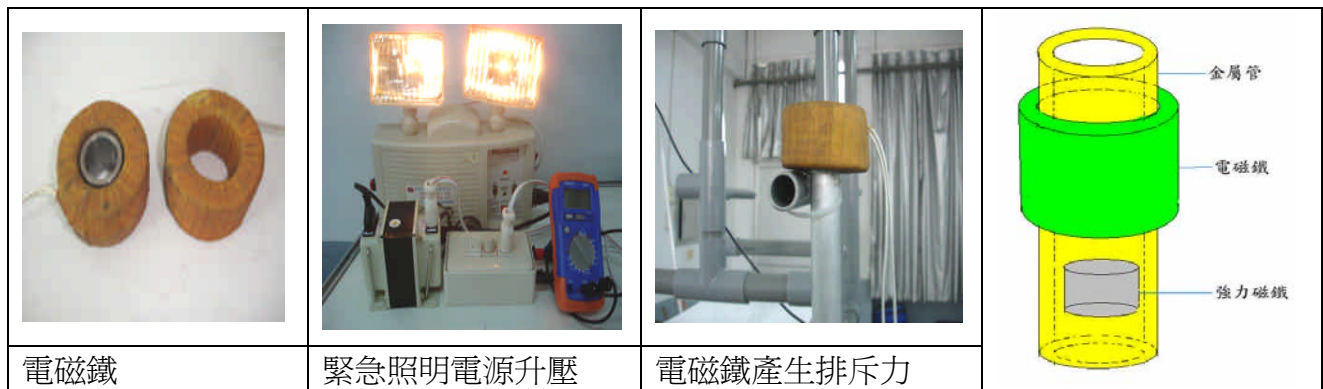


<研究七>磁浮緩衝系統在運動結束前之應用

【目的】物體著地前利用磁浮系統使物體產生懸浮狀態而達到安全降落的目的

【步驟】1、利用磁鐵相斥原理，設計一組電磁鐵於管口，使磁鐵在接近時減速至懸浮煞停。

2、將 1 個 30mm、2 個 15mm、3 個 10mm、內徑 18mm 磁場強度 6100 高斯的強力磁鐵分別附加掛重，在鋁管及銅管中測量其速度及是否會懸浮煞停。



【結果】

強力磁鐵在鋁、銅管中的呈磁浮時的最大負載

	磁鐵強度	1 個 30mm		2 個 15mm		3 個 10mm	
		掛重	速度	掛重	速度	掛重	速度
一個電磁鐵	鋁管	1000	0.414	1300	0.442	1500	0.497
	銅管	1200	0.359	1400	0.326	1600	0.224
二個電磁鐵	鋁管	1500	0.698	2000	0.767	2500	0.874
	銅管	1800	0.672	2500	0.586	2800	0.447

【討論】1、這套裝置能有效地將磁鐵在離開管口時即可磁浮。

2、在鋁管使用二電磁鐵時可以讓**負載 2500 克**的 6100 高斯環狀磁鐵成懸浮狀態，在銅管中甚至可以到 **2800 克**。

3、這對緩降機的安全又多了一大保障。

<研究八>移動式緩降機之設計

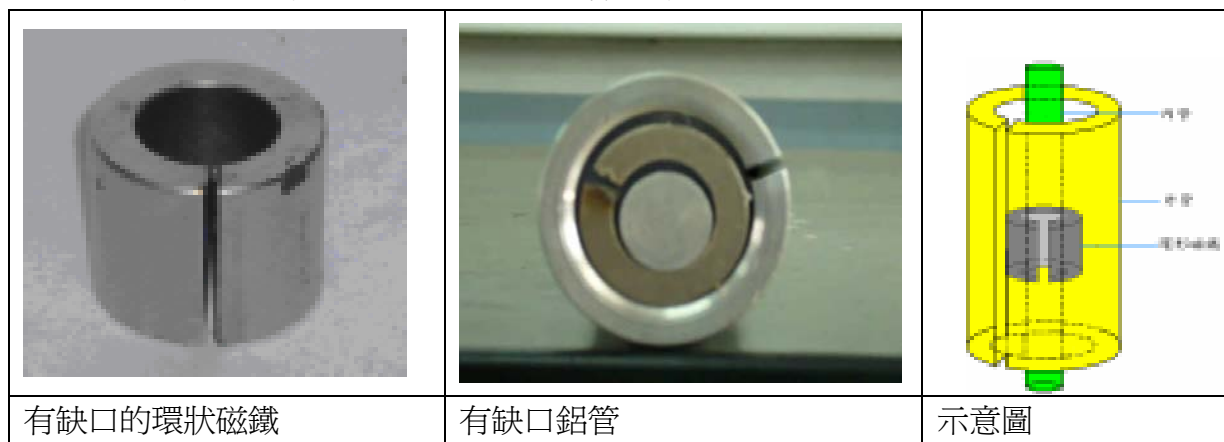
探討 1、有切口磁鐵與有切口金屬管是否會影響整體系統？

【目的】探究應用切口磁鐵及切口金屬管與原系統之差異

【步驟】1、將外徑 16mm 的鋁棒當作內管，外徑 44mm、內徑 32mm 厚度 6mm 但有缺口的鋁管當作外管，套成內外夾層金屬管。

2、將內徑 18mm、外徑 30mm、長 30mm、6700 高斯的環形磁鐵，於此磁鐵上切一寬為 2mm 的缺口，投入上述夾層金屬管中。

3、將實驗結果與完整的磁鐵及金屬管比較。



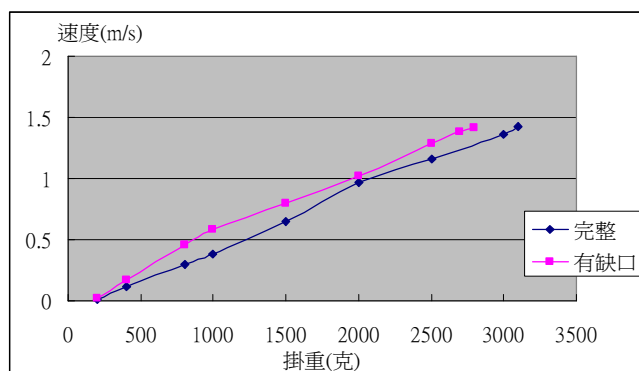
【結果】

1、掛重對速度影響比較

6700G、30mm 磁鐵		6700G、30mm 切口磁鐵	
6mm 鋁管		6mm 切口鋁管	
掛重(g)	速度(m/s)	掛重(g)	速度(m/s)
200	0.011	200	0.026
400	0.112	400	0.172
800	0.299	800	0.461
1000	0.384	1000	0.582
1500	0.646	1500	0.793
2000	0.964	2000	1.025
2500	1.155	2500	1.287
3000	1.357	2700	1.382
3100	1.424	2800	1.418

2、最大負載重量及速度分析

種類	完整	有缺口
掛重(克)	3000	2700
速度(m/s)	1.357	1.382



- 【討論】1、由實驗結果可看出有缺口的系統較完整的系統最大負載並不會相差很多，可知渦電流的強度並未減弱很多。
- 2、因此可利用有缺口的磁鐵和金屬管設計一套移動式逃生緩降機。

探討 2、移動式磁緩降逃生機的設計

【目的】利用所獲得結果設計一套移動式磁緩降系統使物體達到安全降落之目的

【設計流程】

1. 內外夾層銅管系統

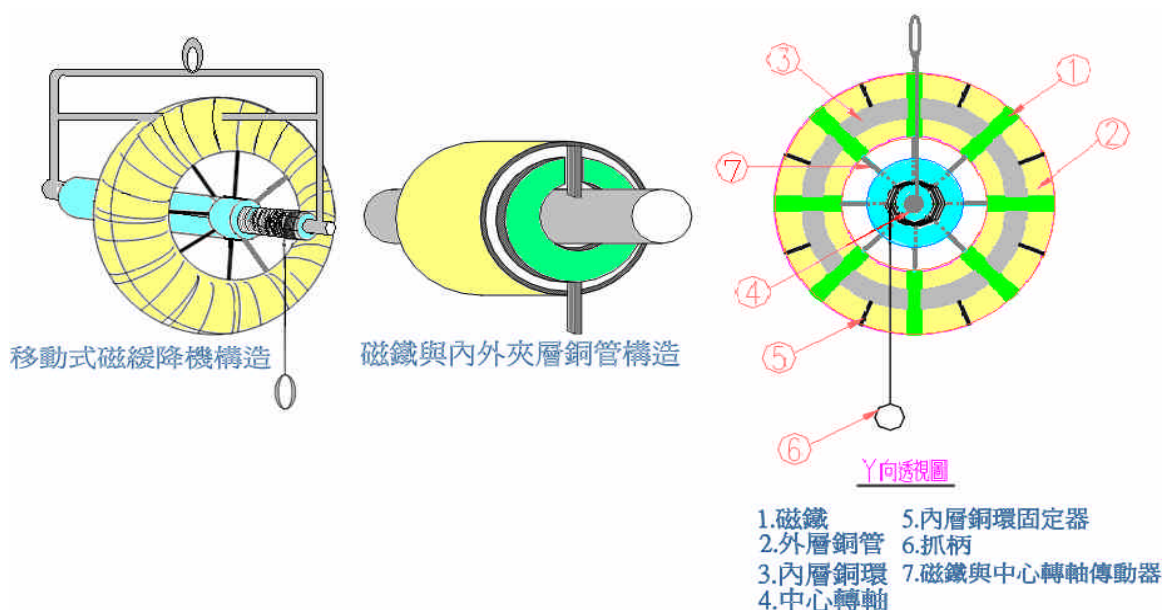
- (1)外層空心銅管：將長 1.2m、外徑 38mm、內徑 32mm 厚度 3mm 的銅管當作外管。
- (2)內層實心銅管：將長 1.2m、外徑 16mm 的銅棒當作內管。
- (3)將內外層銅管彎成直徑約 40cm 之圓形金屬管，並套成內外夾層之銅管。
- (4)將外層空心銅管切出一 2mm 細縫，以便磁鐵轉軸支架通過(如下圖)。
- (5)以固定器將內層實心銅管與外層空心銅管固定。
- (6)將內外夾層銅管系統固定於轉動軸承內部金屬支架上。

2. 強力磁鐵系統

- (1)將數個外徑 30mm、內徑 18mm、約 1cm 的環狀弧形磁鐵切出一 2mm 細縫，便於通過內層銅管的固定器。
- (2)利用相斥模式將磁鐵分散環繞固定於夾層銅管中(如平面圖)。
- (3)並將強力磁鐵系統固定於轉動軸承外部支架上。

3. 傳動系統

- (1)使各磁鐵支架連接至傳動裝置。
- (2)傳動系統與內外夾層銅管所形成阻力系統構成省力 8~10 倍的輪軸簡單機械(如構造圖)。



- 【討論】
1. 移動式磁緩降逃生機，只需裝設固定架，使用時才懸掛到固定架上。
 2. 利用圓形內外夾層銅管及磁鐵在管內循環轉動，取代固定式緩降機與樓層同高的銅管，成本將大幅降低。
 3. 利用排斥型環狀磁鐵及內外夾層銅管可大幅增加其最大載重。
 4. 3 個長 10mm 環狀磁鐵即可在安全速度下最大負載達 8kgw，若在直徑 40cm 內均勻置入磁鐵將可大幅增加其最大負載。
 5. 傳動系統與內外夾層銅管為省力輪軸裝置，可依半徑比增加其最大負載。
 6. 銅管厚度及磁鐵磁力與長度可依最大負載需求而調整。
 7. 此一移動式磁緩降逃生機的設計，將可在缺乏電力下，達到經濟、安全逃生目的。

陸、結論

- 1、以數位攝影機及軟體讀取數據，發現過程幾乎都是以等速度行進；以超音波測距儀測量後發現磁鐵開始運動後，磁鐵開始以加速度前進，受到渦電流產生感應磁場的影響，**加速度逐漸減少**，達兩力平衡後，即保持**等速度運動**行進，終於揭開磁鐵在非磁性金屬管內減速運動的神秘面紗。
- 2、將同一磁鐵分別投入規格相同的鋁管及銅管中，發現在銅管中下降速度較緩慢，所能承受的最大負載也比鋁重，外徑同是 25.4mm、厚度 3mm 的銅管最大負載可到 1100 克，但鋁管卻只有 800 克，可以得知**金屬的導電性影響渦電流的強度**。
- 3、在不同厚度的鋁管中實驗，結果發現越厚的鋁管緩降越好。在厚度 1.2mm 的鋁管自由落下速度為 0.252m/s，增厚到 3mm 後，速度驟降至 0.104m/s，少了 59% 的速度，相當驚人。再增厚到 5mm，速度卻只降到 0.087m/s，只少了 16%，但在 12mm 時沒有明顯減少。
- 4、**磁鐵的磁場強度愈大，最大負載也愈大**，以 6600 高斯、50 公克的磁鐵投入外徑 25.4mm、厚度 3mm 的鋁管和銅管中，銅管以 1100 公克、1.243m/s 安全範圍內的等速運動遠超過鋁管的 800 公克。
- 5、磁鐵的長度增加則磁場通過的面積增加，渦電流及感應磁場均增加，使 5000 高斯直徑 16mm 磁鐵中長度 20mm 與 40mm 速度由 0.328m/s 降為 0.259m/s，速度減少 22%，且在負載上**每增加 1 公分的長度更可以增加 50 公克的最大負重**，在緩降機速度及實際負載重量上扮演不可或缺的角色。
- 6、利用停電時緊急照明的電源，升壓使 250 歐姆線圈所得的電磁鐵，將使 2800 公克、等速度 0.4m/s 的負載物體形成懸浮狀態，在**磁浮緩衝系統運用能夠有效的將運動速度降低，使得物體落地更加安全**。
- 7、磁鐵通過套上感應線圈的塑膠管、銅管和鋁管，由感應電流得知速度 1.1m/s 時三者的感應電流分別為 13.53、13.07 及 13.47mA，可見**銅和鋁的屏蔽作用很小**，更加證明磁鐵在雙層金屬管中運動的可行性。
- 8、內外雙層銅管就可以將只有內管時負載 1100 克增加至 1350 克，增加 23% 負載量，**大幅提高負載重量**。但由於外管與磁鐵距離較遠，產生的渦電流相對的會比較小，外管負載量的提升也相對更為重要。

- 9、運用內外雙夾層金屬管及環形磁鐵的技巧，可以有效解決雙層金屬管中外管的問題。在雙鋁管夾層中，果然**遵守疊加原理**最大負載變為 2500 克，同時受到內外兩管的減速效果，更大的收穫是運動速度竟變得十分緩慢。且在雙銅管夾層中運動，負載到 4000 克仍能在 1.4m/s 的安全速度以下運動，大大提升了緩降機所能承載的重量。
- 10、環形**磁鐵的磁場強度與磁鐵長度**對於**最大負載**扮演關鍵性的角色，根據環形磁鐵在夾層銅管中：最大負載量與磁場強度的關係式為， $y=4*10^{-6}x^2-0.4427x+1205.2$ 〔y：最大負載，x：磁場強度〕；磁鐵長度與最大負載關係式 $y=0.0096x^3-2.359x^2+162.55x-256.58$ 〔y：最大負載，x：磁鐵長度〕。
- 11、銅管架設於大樓成固定式緩降機時所費不貲，於是運用磁鐵分割的技巧，將 30mm 的磁鐵分成 3 顆 10mm，在金屬管中以同極相斥的方式運動，在厚度 6mm 的**鋁管**中亦能達到 4000 克的最大負載，其**效果與一顆 30mm 在厚度 3mm 的銅管中相同**，**使用鋁管取代銅管能將成本降低 8~10 倍**，用於固定式磁緩降機上**可到經濟實用效果**。
- 12、利用一塊內徑 18mm、外徑 32mm、厚度 30mm、重量 50 公克的 6600 高斯分割成**三小塊厚度 10mm 的小小環狀磁鐵**在夾層銅管中就能夠**最大負載 8 公斤的重量**，並且在消防署規定的 1.5m/s 安全範圍內保持 1.370m/s 等速度運動。如果以仿間製成大樓緩降機 0.9m/s 的標準而言，也能負載至 6.5 公斤的重量。小兵立大功，小小一塊磁鐵能有這麼巨大的負載，這對實際緩降機負載及安全性技術更往前邁進一大步。
- 13、**內外夾層銅管及多顆環狀分割磁鐵相斥排列方式**的利用，加上**簡單機械輪軸省力原理的配合**，將所得到的高負載量的結果，設計成一架**可移動式磁緩降機**，應用在高樓緩降逃生，不論是經濟性、安全性及便利性均是重大的突破。

柒、未來展望

如能利用高溫超導體的強力磁場，產生磁浮作用必定遠超過強力磁鐵，在感應磁場、反磁及鎖磁的特殊的性質的利用，相信對的緩降逃生技術會有更大的助益。

捌、參考資料

- 1、南一書局主編(民 95)。自然與生活科技第六冊。電磁感應(28-35 頁)。台北：南一書局。
- 2、<http://www.nfa.gov.tw/index.aspx>
內政部消防署，逃生緩降梯安全速度範圍 0.16m/s~1.5m/s
- 3、<http://www.elevator.org.tw/serv01.htm>
中華民國電梯協會
- 4、<http://library.mit.edu.tw/>
中國大百科智慧藏，電磁波的相關知識
- 5、<http://www.cdfp.com/tw>
市售逃生緩降機的速度範圍約在 0.8~1m/s
- 6、<http://www.materialsnet.com.tw> 工業材料雜誌，91年6月186期 (131-138頁)
鋁鎂合金渦電流深度為6.1mm。

【評 語】 030802 絕妙好「磁」－磁浮現象在緩降機之應用

本作品利用磁與磁互斥之特性，減緩物體運動（自由落體）的速度，來設計緩降機，具有很高實用性。作者利用精密儀器（超音波測距儀）測量距離與速度，並直接連上電腦，利用電腦軟體，即時將所做之實驗線圖顯示於螢幕上，整體實驗設計非常完整。進行講解與現場實驗操作時，作者們分工精確，流程順暢，充分表現團隊合作之精神。整體而言，本件為一項非常優異之作品。