

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：阻尼作用對搖擺系統的影響

學 校：嘉義市立北興國民中學

作 者：林育丞

作者簡介



我是林育丞，出生在有山有水的嘉義市，國小就讀大同國小，現正就讀北興國中。從小受到父親的薰陶，對自然科學非常有興趣，常跟父親上山下海認識些東西，也常讀些有關科學報章雜誌。希望將來能為這個社會盡一份心力。

阻尼作用對搖擺系統之影響

中文簡介

地震波會以橫波和縱波的方式傳遞能量，學校的教學大樓中地下具有蓄水池者搖晃的持續性感覺比較短暫，於是利用彈簧波模擬地震波測試不同質量的台車接收到的能量會較空車為多。並利用自製模型測試不同容器形狀和水量的阻尼作用，結果發現搖擺時，時間球形 > 錐形台 = 方形台；球形台裝有不同水量時擺動時間裝滿裝滿時 > 未裝水 > 裝 1500mL 時；平行移動時則是球形台裝水 2000mL 後鉛錘移動距離最短。

整個實驗過程中由於未裝滿水的模型內部重心改變不規律，而且模型內所裝的水量因為不規則擾動經吸收的能量轉換成水溫上升的熱能，因此導致擺動能量的消耗造成擺動時間縮短，如果新式大樓興建時考慮消防蓄水池和水塔的造型和裝水容量，應可以減少地震時的搖晃時間，降低心理的緊張和物體因震動而產生的移動傷害。

Abstract

Seismic wave can transmit energy with transverse and longitudinal wave. The shaking of these buildings with reservoirs underground in our school for a shorter time, so we use spring wave to simulate seismic wave, and test the proportion of transmissible energy received from different mass of objects. The energy gets from wave motion passing on is bigger when cars carrying capacity than empty cars. And we use homemade models to test damped effect of different forms and water. At last we discover the time is Sphere > Taper \approx Square while they swing with different amounts of water, the time it cost is Full > Non > 1500 mL. When they move horizontally, the plummet moved shortest, when the water of the sphere is 2000 mL.

During the whole experiment, the center of gravity in the models, which are not full of water changes irregularly, and the water in the models can absorb heat energy from energy disturbing, so the swing of energy consuming makes the time of the swing shorter. If the fire controls reservoirs, the shapes and dress up water volume of the water towers, are taken into consideration, the duration of the shaking of earthquake will be shortened so that our fear and nervousness will be lessened, and the damage causer from the shaking will be reduced.

壹、前言

學校新建大樓地下室蓋有一個很大型的蓄水池，經歷了幾次地震後發現內部的擺設並沒有太多的變化，但是教室內的擺設卻有明顯的移動和凌亂現象，而且根據大樓內上課的同學表示並未感覺太久的搖晃，不像其他教室內的同學“搖擺不定”。針對這些現象我進行底下的一些實驗探討：

- 一、不同質量物體由波動所接收的能量比率
- 二、等容量不同型式的地基所造成的阻尼作用
- 三、同型式地基填充不等量水所產生的阻尼作用
- 四、搖擺過程中水的擾動現象與水的溫度變化
- 五、鉛錘在擺動系統中移動情形

貳、實驗方法

實驗器材：

自製地基模型(錐形台、長方體台、球形台) 水平搖晃基座
定點搖擺基座 量筒 馬錶 60cm 量角器 紅光筆 直尺 熱偶計(小數點底下二位) 彈簧(直徑 10.0 公分，長 13.0 公分) 小型台車 10 元大小的螺絲墊片

實驗步驟：

一、製作模型

1. 地基模型：用木板和黏土製成地基模型的模子，並在模子上塗一層地板臘。接著鋪上玻璃纖維，沾上不飽和樹脂加硬化劑，使其硬化成形。然後在一塊已裁好的木板（33.7cm x33.7cm）中央做一個落水眼，接著在上面鋪上玻璃纖維並塗上樹脂，把已硬化的模型黏在上面，樹脂硬化後，並在四個頂點處鑽四個孔。
2. 搖擺基座模型：用一塊木板，大小跟地基模型的木板一樣大，在中間固定一支圓木條（40.5cm），旁邊用木條加以固定。拿一根水管（32cm），在底部切 10 公分，折成 L 形，用螺絲鎖在木板上，並在距頂端 4 公分處鎖兩顆螺絲，在頂端處置一隻紅光筆，用橡皮筋套在螺絲上固定紅光筆，接著在圓木條兩端套上軸承，在四頂點處鑽孔，使能與地基模型鎖在一起。
3. 底座用木板（40cmx42cm），兩旁用木板裁成梯形（上底 13cm、下底 40cm、高 24cm）豎立起來黏合後，再用 L 形鐵片加以固定，接著在兩塊梯形木板的上面黏合長 13cm 的粗木條，並在中間做凹槽，使軸承不會脫落，然後在其中一個木條上，鎖上一個量角器。
4. 水平移動基座模型：用一塊三夾板（37.5cmx63.5cm）做底板，下面再用兩根粗木條（63.5cm）墊著並固定，上面再四頂點上立四根粗木條（25.5cm），然後在四周釘上木條用來固定。在較短的兩邊，各鎖上兩個勾形螺絲，並套上彈簧。
5. 用一塊三夾板（34cmx34cm）作為底板，在上面四個頂點上立四根粗木條（32cm），並在頂端的兩邊黏上木板（5cmx34.3cm），然後在下面用螺絲鎖上四個輪子，接著在另外兩邊鎖上勾形螺絲(見照片一)。



照片一、自製地基和基座模型；圖左為水平移動模型；圖前為地基模型；圖右後為擺動模型（實驗一）：

一、不同質量物體由縱波波動中獲得的能量

1. 取一條直徑 10 公分全長 13 公分共 164 環的扁彈簧，拉長至 192.5 公分時將兩端固定，離測試者遠端(B)第 10 環處固定一隻推竿，利用兩隻彈簧秤平均拉住扁彈簧近端(A)第 41 環處使彈簧此端壓縮在一起長度由原本 46.1 公分壓縮成 3.6 公分，記錄所需拉力並換算成所儲存的彈力位能($E = F \times L$)，(見照片二)。

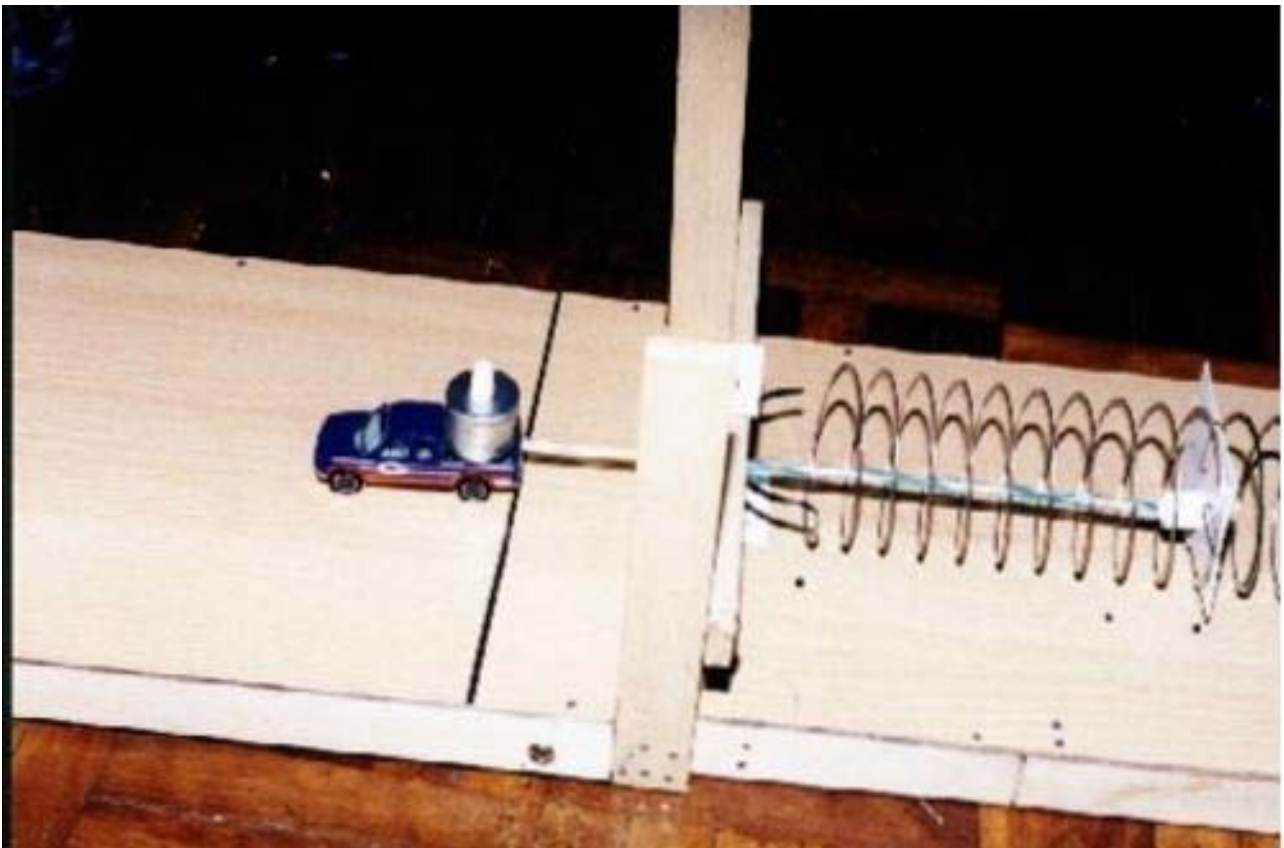


照片二、利用彈簧秤的拉力壓縮扁彈簧

2. 推竿旁放置質量公克的小台車，另一端的壓縮彈簧，鬆手後利用產生的縱波推動滑車，記錄台車前進 60 公分所需的時間，並換算成所獲得的動能($E = 1/2 \times M \times V^2$)，(見照片三、四)。
3. 滑車內每次放入 1 個 10 元大小的螺絲墊片，直到放置 10 個為止，其餘同步驟 2。



照片三、產生的縱波

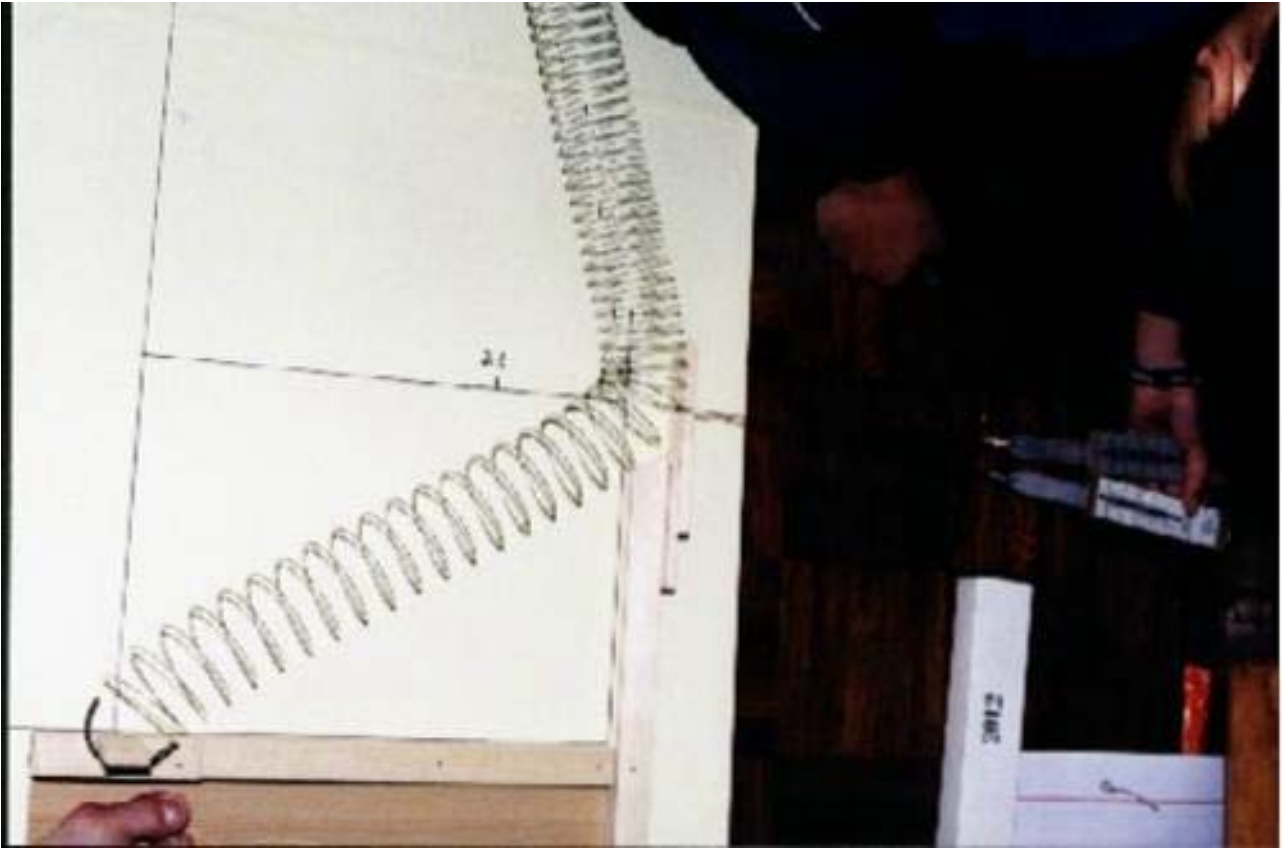


照片四、推竿推動台車

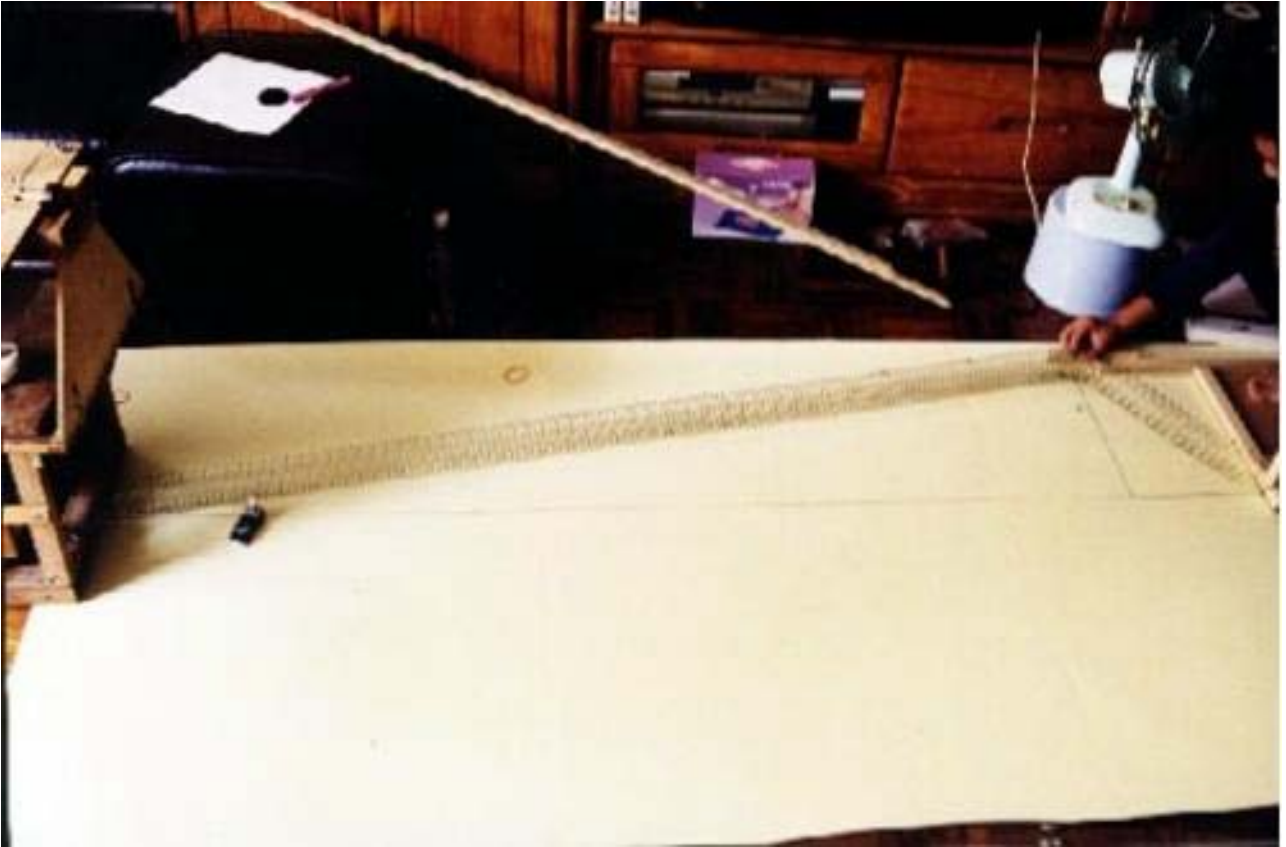
二、不同質量物體由橫波波動中獲得的能量

1.取一條直徑 10 公分全長 13 公分共 164 環的扁彈簧，拉長至 192.5 公分時將兩端固

- 定。
2. 近端距固定點 25 公分處以彈簧秤向右側拉長 35 公分作為擺動振幅，記錄所需的力，(見照片五 ab)。
 4. 距遠端 25 公分處放置質量 47.1 公克的小台車，每次加放 5 個螺絲墊片，利用產生的橫波撞擊滑車，記錄滑車前進 60 公分所需的時間，並換算成所獲得的動能，(見照片六)。

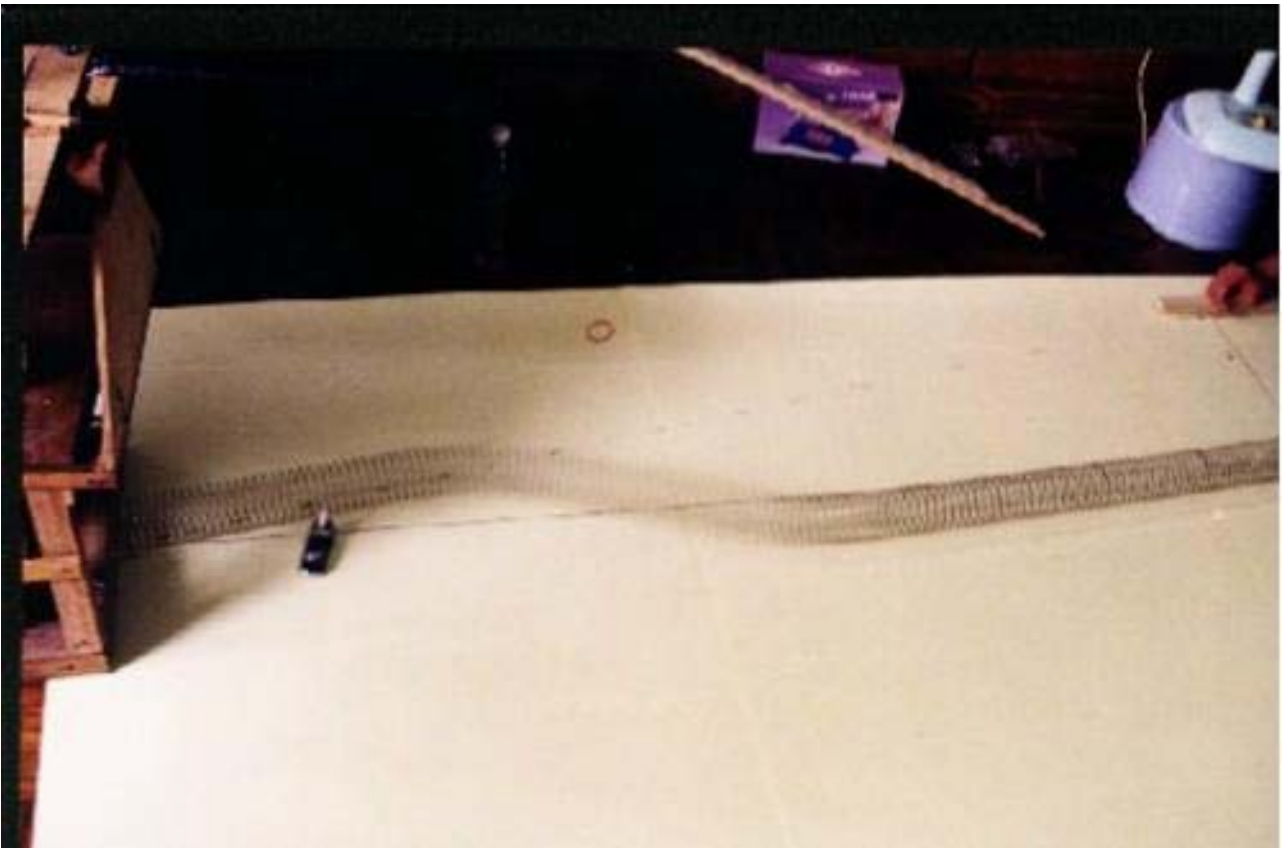


a



b

照片五、a 為彈簧的拉力測量；b 為橫波固定的振幅



照片六、產生的橫波推動

(實驗二)：

一、不同地基模型的擺動情形

- 1.將相同容積空的錐形臺、矩形、圓球形等自製地基模型，分別裝在搖擺器上。
- 2.打開紅光筆，使地基傾斜角度偏離中心點 5 度和 10 度，觀察擺動情形，並記錄測量出的擺動角最大度數及來回次數(見照片七)。



照片七、球行台地基擺動裝置

二、盛裝不同水量時擺動情形

1. 在不同的地基模型，每次加水 500mL，直到加滿 5500mL 為止，打開紅光筆，使地基傾斜角度偏離中心點 5 度和 10 度，觀察擺動情形並記錄測量出的擺動角最大度數及來回次數，(見照片八)。



照片八、球形台地基擺動情形

(實驗三)：

一、不同地基模型的水平平移情形

1. 先將平移台裝上彈簧，並將空的錐形、矩形、球形等自製的地基模型裝在水平擺動模型上，(見照片九)。
2. 將地基模型上的彈簧壓縮距中心點 5cm 和 10cm，觀察移動的情形，並測量記錄移動距離和來回次數，(見照片十、十一)。



照片九、球形地基進行水平擺動模型



照片十、平移擺動基座台彈簧壓縮的刻度



照片十一、平移擺動情形

二、模型中裝不同水量時水平平移的運動情形

1. 依序換上不同的地基，每次加水 500mL，直到加滿 5500mL 為止。
2. 將地基模型上的彈簧壓縮距中心點 5cm 和 10cm，觀察移動的情形，並測量記錄移動距離和來回次數。

(實驗四)：

一、定點搖擺時水的擾動能測量

1. 使用空的球形地基，並且把電熱偶計的探針放入地基內，將它裝在搖擺模型上，記錄初溫。
2. 搖擺 500 下後，記錄末溫。
3. 每次加 1/4 地基水量 (1622mL)，直到全滿 (4/4)，同步驟 1~2。

二、左右移動時水的擾動能測量

1. 使用同樣的球形地基，並裝在平移模型上。
2. 記錄初溫，移動 500 次後，記錄末溫。
3. 每次加 1/4 地基水量 (1622mL)，直到全滿 (4/4)，同步驟 1~2，(見照片十二)。



照片十二、平移擺動水溫的測量

(實驗五)：

- 一、鉛錘在定點搖擺系統中移動情形
 2. 使用球形地基，並將它裝在搖擺模型上。
 3. 將鉛錘組放置於搖擺模型上，並使鉛錘位在漆包線中點上。
 4. 使模型偏中心點 10 度，觀察並記錄鉛錘移動情形。
 5. 每次加水 1/4 地基水量 (1622mL)，直到全滿 (4/4)，同步驟 1~3，(見照片十三、十四)。



照片十三、鉛錘移動測量



照片十四、鉛錘移動的對照刻度

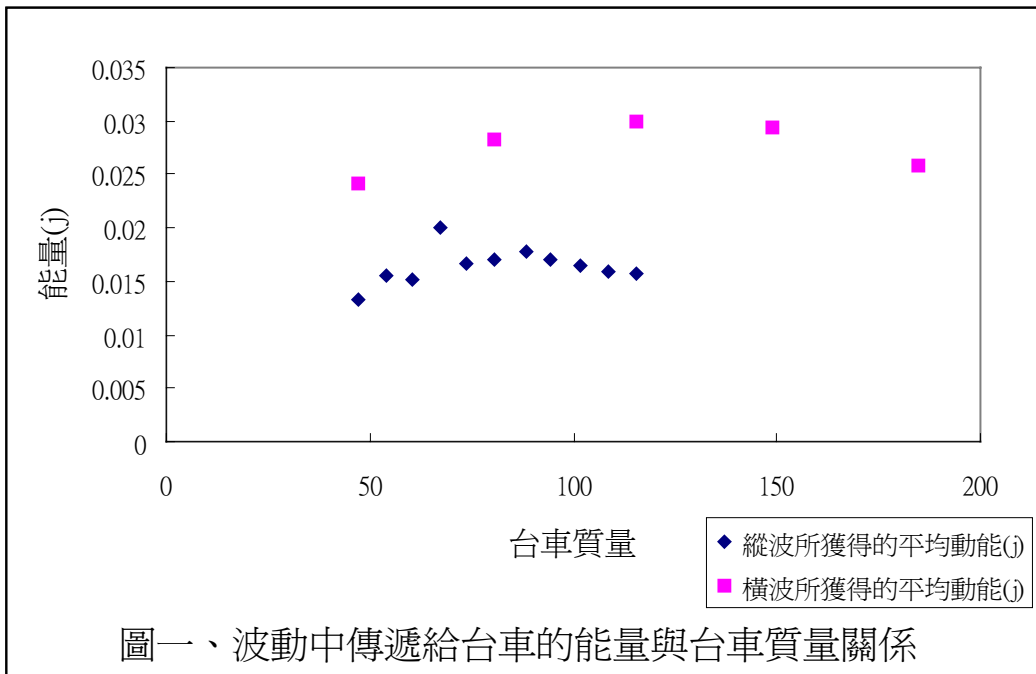
二、鉛錘在左右移動系統中移動情形

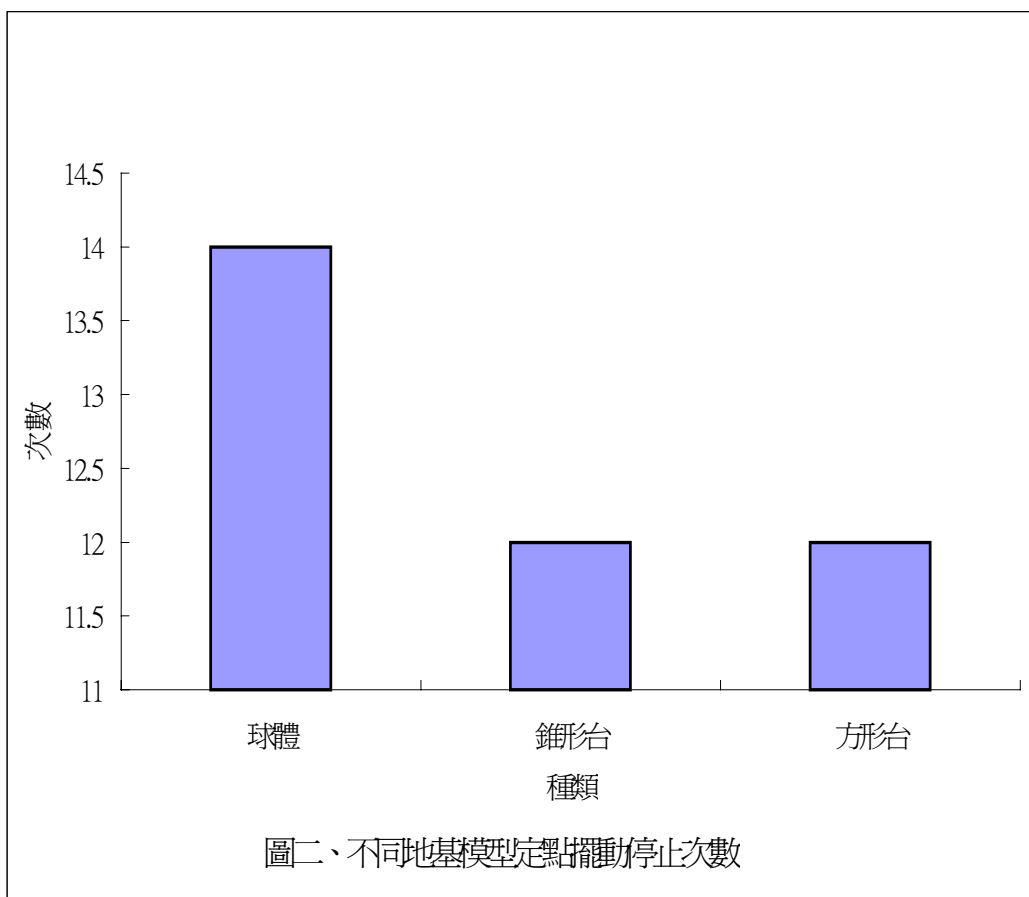
1. 同樣使用球形地基，並裝在平移模型上。

2. 將鉛錘組放置在平移模型上，並使鉛錘位在漆包線中點上。
3. 使模型偏中心點 10cm，觀察鉛錘移動情形並記錄。
4. 每次加水 1/4 地基水量（1622mL），直到全滿（4/4），同步驟 1~3。

參、實驗結果與討論

- 一、由波動傳遞的能量來推動不同質量的台車，整個運動過程中台車除了獲得動能外，和接觸面間也會產生動摩擦力，縱波傳遞的平均動能當質量 > 94.5g 時動能就不再明顯的增加(見圖一)，但是動摩擦力所消耗的能量卻與台車重量成正比，所以台車質量越重由波動中所獲得的能量就越多。橫波能量傳遞也是質量大的台車(< 115.5g)所獲得動能較多。
- 二、底盤地基模型的形狀在擺動過程由於空氣阻力影響，使得擺動能量的消耗，導致整個擺動停止。實驗結果顯示擺動過程中來回直到停止擺動的次數：球形 > 錐形台 = 長方形台，球形地基具有圓弧造型比方形地基更小的擺動阻力，所以從擺動開始到停止的擺動次數也比較多（見圖二）。



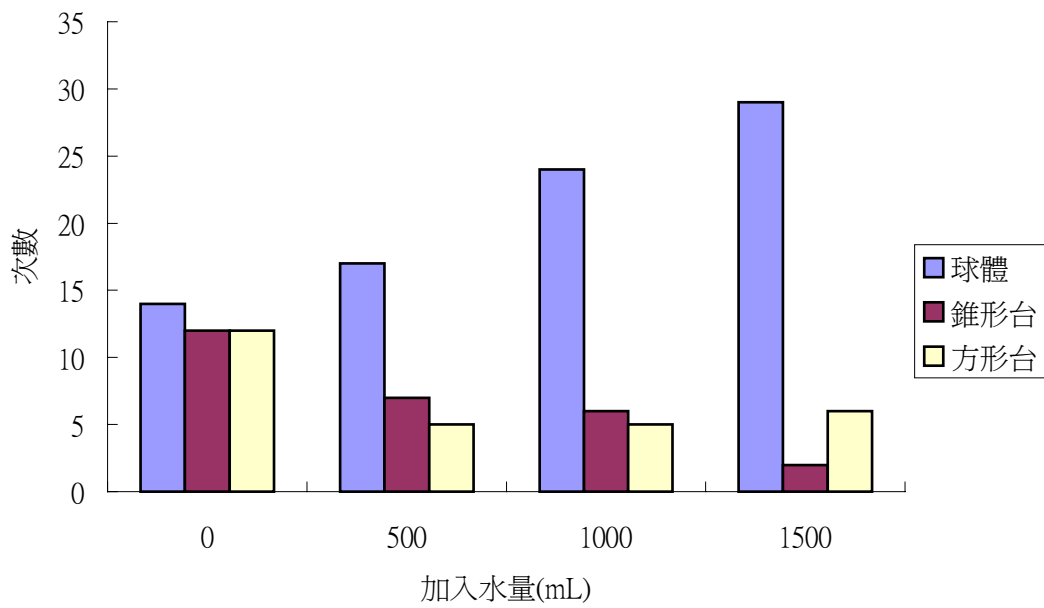


三、當模型填充流動的水後，整個擺動就成了多變因的擾動，產生一些有趣的現象。

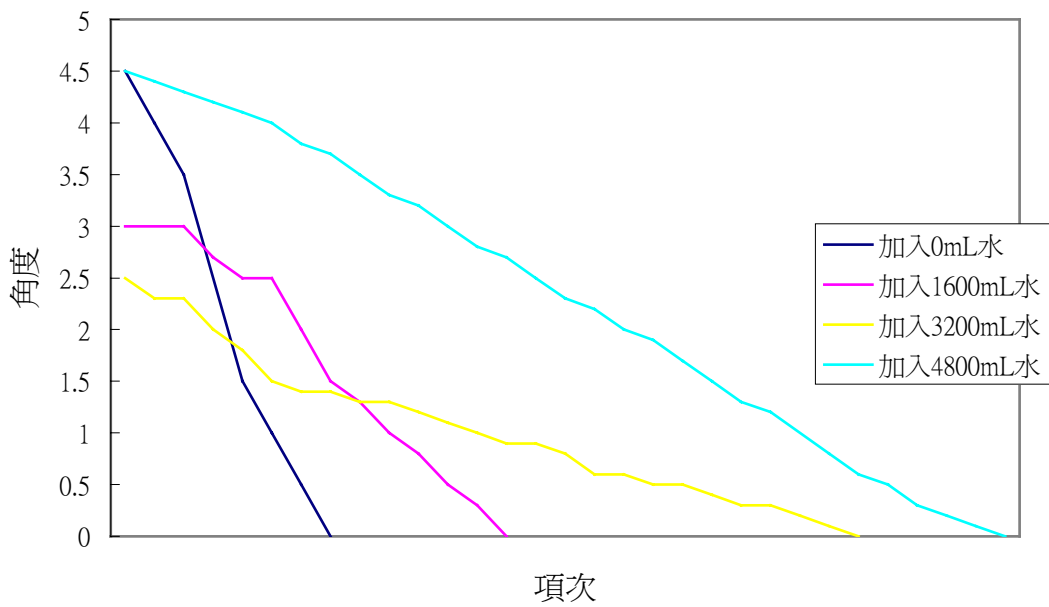
1、由於擾動過程中水在容器流動會產生水分子間碰撞造成彼此間摩擦產生散亂而抵消掉運動系統中的搖擺能量，導致擺動能量損失變大，造成擺動至停止的次數減少（見圖三 abc）。以錐形台為例：

(1)、當加入水量 1500mL 時，錐形台下寬上窄，擺動時運動路徑有跳動現象，也可以聽到水流撞擊聲，利用熱偶測量水的初溫和運動後水的末溫均有些微差異，水越多差異越小，根據熱量公式：熱能 = 質量(M克) × 溫度變化(Δ T) × 4.18(焦耳) 地基模型中水(< 1500mL)所釋放的熱量是來自運動過程中所產生的擾動能量轉換而來的，擾動能量越多擺動至停止次數明顯減少（見圖三 abc、圖四）。

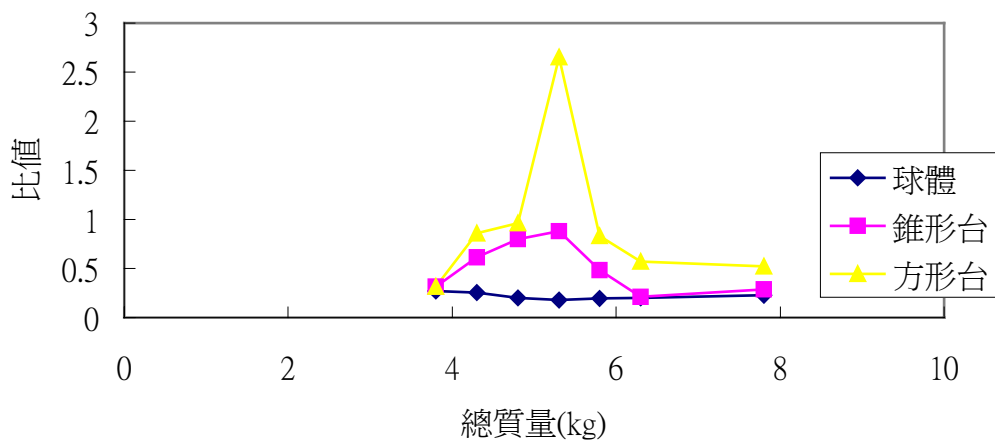
(2)、當水量 > 1500mL 時，錐形台底部夾角所造成水流擾動干擾變小，熱偶計的讀數並未隨水量上升，擺動至停止的次數不但沒有下降反而逐漸上升（見圖四、圖五 ab）。



圖三a、加入水量少於1500mL時不同地基模型的擺動次數變化



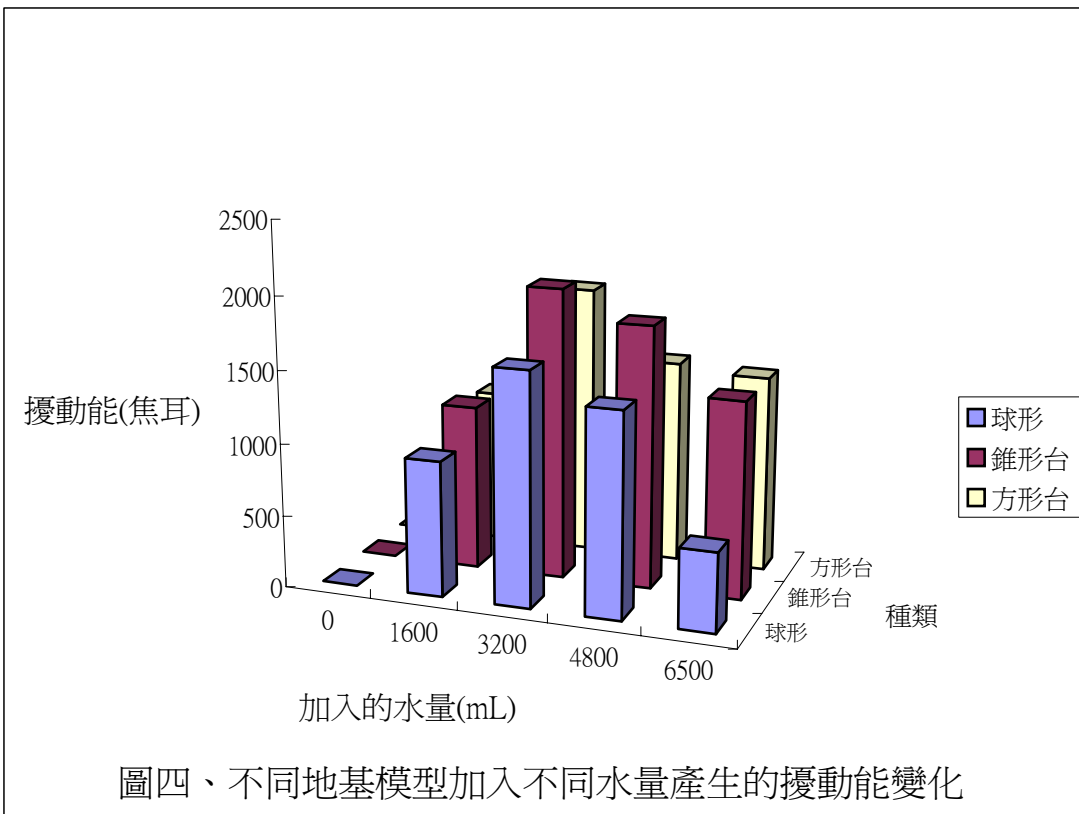
圖三b、加入不同水量擺動角度變化



圖三c、固定擺角時，以質量與擺動次數比值來比較平均阻力的能量

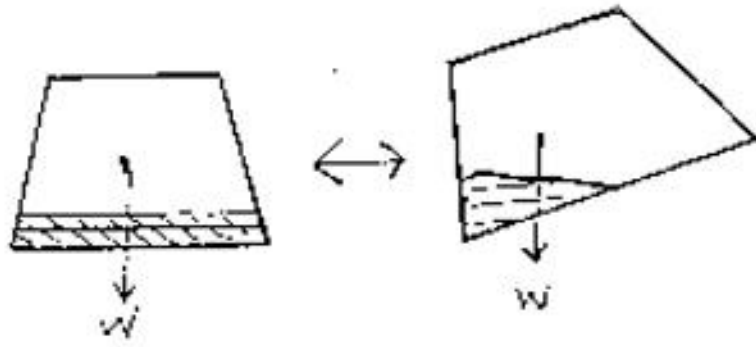
(3)、球形台就沒有錐形台和長方形台夾角的問題，搖動次數隨著水量增加而增加，能量的損失也沒有明顯的差異。

- 2、擺動時重心的轉換也是影響擺動次數的變因之一，圖三 a 中為何水量在 > 1500mL 後擺動次數隨著水量增加而增加，因為整個搖擺裝置在空容器時有重心，位置在搖擺支點的附近，加水之後重心位置會逐漸下移，直到接近地基模型的重心位置附近，使整個搖擺的穩定性增加，這也是為什麼水量 $\leq 1500\text{mL}$ 時，隨著水量的增加，擺動至停止的次數會減少，除了水的擾動能量消耗外，重心不穩也是主因之一。
- 3、由於擺角固定，所以一開始的重力位能和總重量成正比，每次擺動所消耗的平均阻力能量(重力位能/擺動次數)，就可直接以總重量與擺動次數的比值來探討。

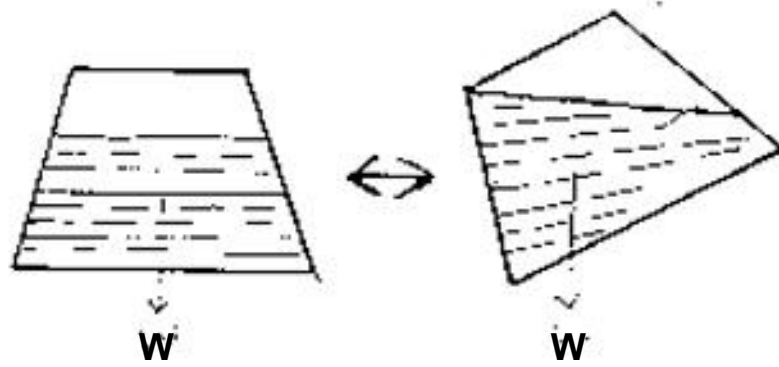


(二)、不同搖擺過程中平台上鉛錘得移動變化

- 1、平台上的鉛錘如同我們家擺設物品，在地震搖晃時會延著地震波的方向產生位移。
 - a、水量少時，來回搖晃造成流水四方濺射，擾動劇烈。
 - b、水量多時來回搖晃夾角作用小。



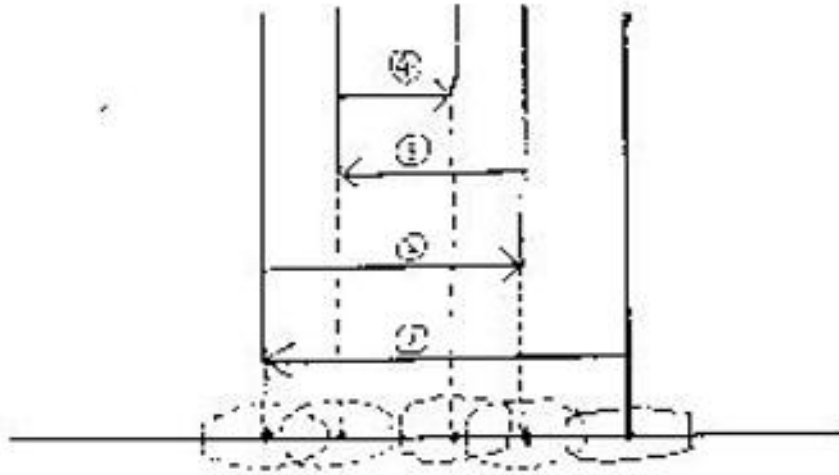
a



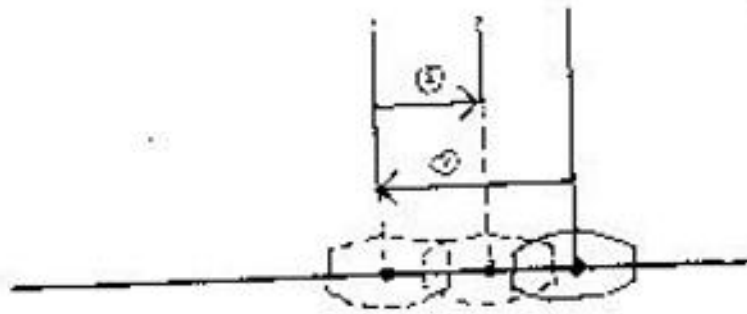
b

圖五、錐形台夾角對水流影響

2、單一鉛錘時水平搖晃較搖擺時移動劇烈，這和慣性定律及物體和地面間的摩擦力有關。水平來回晃動時在運動方向轉換的瞬間往往會產生慣性作用（見圖七），所以最後停止時水平搖晃的鉛錘位移的距離較大（見圖六）。



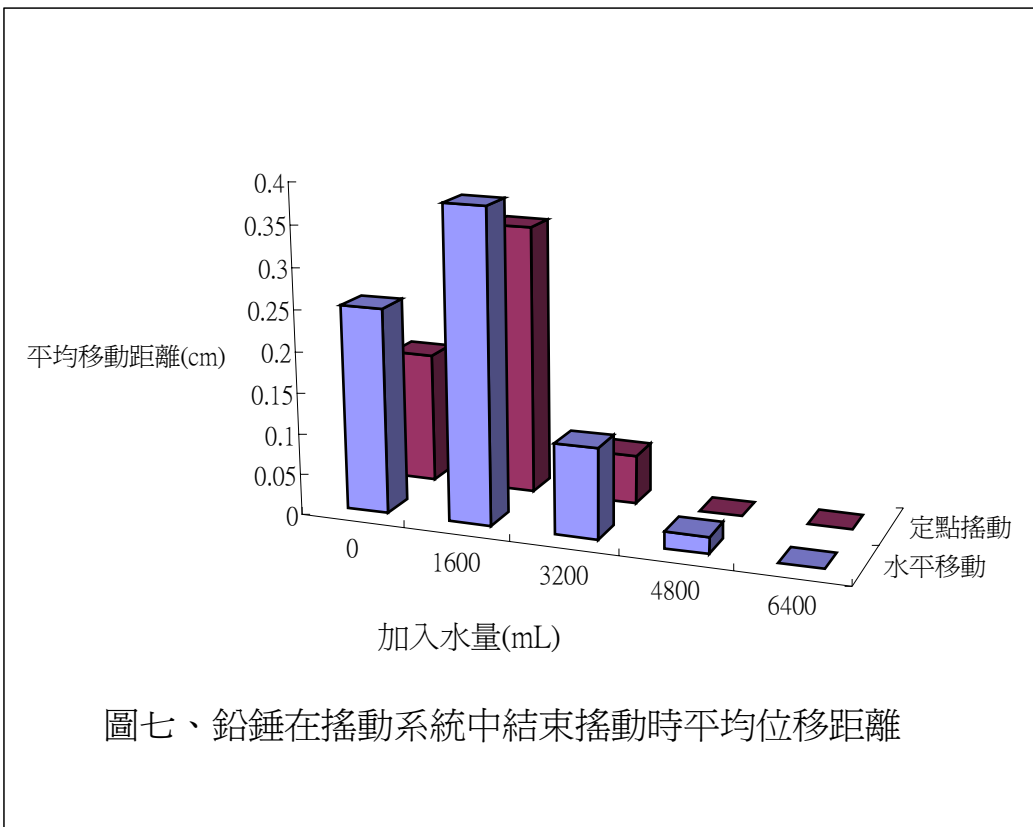
a



b

圖六、水平搖晃與擺動搖晃時單一鉛錘的運動路徑，(a) 水平搖擺時由於慣性作用位移的距離變化大，但也由於能量消耗，位移逐漸變小。(b) 擺動搖晃時位移變化較小

五、使用填充水 2000mL 的地基平台則球體平台位移最小，錐形台和長方體台上的鉛錘位置距出發點也比較遠，主要因為擺動時球體平台空氣阻力較小，擺放的物體能隨著系統進行慣性擺動。



圖七、鉛錘在搖動系統中結束搖動時平均位移距離

肆、實驗結論與應用

- (一)、質量較重的台車由波動中所獲得的能量會比空台車較多。
- (二)、地基模型因表面形狀會影響搖擺製停止的次數，圓弧形地基在擺動時空氣阻力最小，擺動時物體較不會因為慣性作用而四處移動。
- (三)、模型容器填加水後，會造成重心轉移及水的擾動能量產生，使產生擺動次數產生差異，水越多時所受的空氣阻力越大，擺動次數減少，完全裝滿水時反而擺動次數減少。
- (四)、水平搖晃容易使物體產生慣性移動，球形模型填加水後較不易移動，產生的阻尼作用大有助於防止地震時所造成的擺設物體移動所造成的破壞。
- (五)、如果新式大樓在興建時可以考慮消防蓄水池和水塔的造型和裝水容量，台灣地震頻繁當遇到地震時，應可以減少地震的搖晃時間，並且降低心理的緊張和物體因震動而產生的移動傷害。

伍、參考文獻

- (一)、國立編譯館，民 90，國中理化第四冊。
- (二)、國立編譯館，民 90，國中理化第一冊。
- (三)、國立編譯館，民 90，國中地球科學。
- (四)、建榮公程有限公司網站，2002.5.2 <http://www.kinwing.com.hk>
- (五)、隔震消能股份有限公司網站，2002.5.2
<http://home.kimo.com.tw/bsieas/index.html>
- (六)、中國土木水利工程學會網站
<http://www.ciche.org.tw./index.asp>

附件

附件一、不同質量台車由縱波中所獲得的能量

開始時彈簧的彈力位能 0.9996 焦耳

所放螺絲墊片個數	總值量(g)	平均時間(t)	平均速率(cm/s)	平均動能(j)
0	47.1	0.8	75.28	0.0132
1	53.9	0.83	72.46	0.0155
2	60.3	0.85	70.67	0.0151
3	67.2	0.87	68.65	0.02
4	73.9	0.89	67.34	0.0167
5	80.6	0.82	64.94	0.017
6	88.5	0.95	63.16	0.0177
7	94.5	1	60.12	0.017
8	101.5	1.05	56.98	0.0165
9	108.5	1.1	54.35	0.016
10	115.5	1.15	52.36	0.158

附件二、不同質量台車由橫波中所獲得的能量

開始時彈簧的彈力位能 0.5831 焦耳

所放硬幣個數	總值量(g)	平均時間(t)	平均速率(cm/s)	平均動能(j)
0	47.1	0.563	101.18	0.0241
5	80.6	0.718	83.565	0.0283
10	115.5	0.819	72.26	0.03
15	149.2	0.956	62.766	0.0294
20	185.3	1.134	52.91	0.0259

附件三、不同地基模型的擺角 10 度時擺動次數

	定點擺動停止次數
球體	14
錐形台	12
方形台	12

附件四、不同地基模型加入不同水量擺角 10 度時擺動次數

加入的水量	球體	錐形台	方形台
0	14	12	12
500	17	7	5
1000	24	6	5
1500	29	2	6

附件五、加入不同水量擺角 10 度時球形地基模型平均擺動角度

加入 0mL 水	加入 1600mL 水	加入 3200mL 水	加入 4800mL 水
4.5	3	2.5	4.5
4	3	2.3	4.4
3.5	3	2.3	4.3
2.5	2.7	2	4.2
1.5	2.5	1.8	4.1
1	2.5	1.5	4
0.5	2	1.4	3.8
0	1.5	1.4	3.7
	1.3	1.3	3.5
	1	1.3	3.3
	0.8	1.2	3.2
	0.5	1.1	3
	0.3	1	2.8
	0	0.9	2.7
		0.9	2.5
		0.8	2.3
		0.6	2.2
		0.6	2
		0.5	1.9
		0.5	1.7
		0.4	1.5
		0.3	1.3
		0.3	1.2
		0.2	1
		0.1	0.8
		0	0.6
			0.5
			0.3
			0.2
			0.1
			0

附件六、不同水量的地基模型產生的水擾動能(J)

	球形	錐形台	方形台
0	0	0	0
1600	936.32	1136.96	1070.08
3200	1605.12	2006.4	1872.64
4800	1404.48	1805.76	1404.48

6500	543.4	1358.5	1358.5
------	-------	--------	--------

附件七、不同地基模型水量不同時，以質量與擺動次數比值比較產生的平均阻力能量大小

總質量(kg)	球體	錐形台	方形台
3.8	0.271	0.317	0.317
4.3	0.253	0.614	0.86
4.8	0.2	0.8	0.96
5.3	0.18	0.883	2.65
5.8	0.193	0.483	0.829
6.3	0.203	0.21	0.572
7.8	0.229	0.289	0.52

附件八、鉛錘擺動過程中位移情形

加水 0mL						
(6 次)	-1	0.5	-1.5	0	0	0
(6 次)	-0.5	1.5	-2	-1.5	0	0
(6 次)	-0.5	1.5	-2	-2	0	0
加水 1622mL						
(6 次)	-0.7	0	-0.5	0	0	0
(6 次)	-0.5	-1	0	0	0	0
(6 次)	-0.5	-0.7	0	0	0	0
加水 3244mL						
(5 次)	-0.1	0	0	0	0	0
(5 次)	0	0.1	0	0	0	0
(5 次)	-0.1	0	-0.2	0	0	0
加水 4866mL						
(4 次)	0	0.1	0	0		
(4 次)	0	0	0	0		
(4 次)	-0.1	0	0	0		
加水 6488mL						
(3 次)	0	0	0			
(3 次)	0	0	0			
(3 次)	0	0	0			