中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　地球科學科

第一名
最佳創意獎

030504

纜纜升起 震震有辭－地震與纜車的邂逅

學校名稱：苗栗縣立公館國民中學

作者：	指導老師：
國二 謝馥伊	胡安蕙
國二 黃奕馨	何盈潔
國二 陳韻如	

關鍵詞：地震、纜車、抗震

得獎感言

那年夏天，我們一起走過的科展之路

韻如：

回憶起這一年多來，和夥伴們、老師們走過的各種滋味。

還記得，夜半三更還在趕報告的滋味，有點苦又有點甜。雖然如此，因為有夥伴們甜甜的陪伴，讓覺得快支持不下去的時候，有一股力量支撐著我，不讓我倒下。有時候，跟夥伴意見不合，互相鬥嘴、吵架；有時候，惹老師生氣，惹得青筋滿天飛，而那一種滋味，有點辣。因為做科展的時間變多，陪家人和朋友的時間相對少了，竟讓他們醋罈子打翻了。幸好，他們依然很貼心、很溫情的鼓勵著我。過程中，從原本一竅不通的事到熟能生巧、從遇到問題到解決問題，讓我有很大的成就感，而且，能跟夥伴們一起解決問題，真的是一件很幸福的事。這段時光中，有好多好多令人難以忘懷的回憶。謝謝一直陪伴、鼓勵著我的夥伴、老師、家人和朋友們，因為有了你們的陪伴，讓我這段人生中的路走得很快樂；我相信這段不同凡響的旅途一定會成為，我心中最重要的回憶。

奕馨：

回想起這過去的一年多，其實不太敢相信，我們真的走過了這段路程……

剛開始的縣賽，我覺得是最痛苦的時候，因為科展的關係，導致睡眠極為不足，又沒時間補眠，我們只好互相鼓勵，努力撐下去。回到家都是先為科展而拚；發現成績在退步時，有種自暴自棄的想法，甚至，家人還「鼓勵」我退出。幸好我還有我的同伴，一起撐到最後。說真的，我們三個就像姊妹一樣，走到哪就可以笑到哪。當然，也有吵架的時候，只是我們過沒多久又和好了。最後能得獎，很感謝有這兩位可愛的同伴，也很慶幸有兩位願意付出時間、辛苦指導我們的老師，讓我從一開始的懵懵懂懂，到後來，能夠發現問題，解決問題，得到能解決問題的成就感！真的很開心能遇到妳們！現在，我只想說：一切辛苦都值得了！謝謝妳們！

馥伊：

或許因為自幼就接觸了不少科學的相關事務，像是到科博館、科工館玩上一整天，像是參加科學夏令營，漸漸燃起了我對科學熱情如火的心。從準備參加全縣科展的那一天起，科展，成了我生命的全部。科展之路，一路走來學習良多。其實，得獎了固然開心，然而，過程對我來說也已經足夠了！在這個過程中，我學會了與隊友交換意見、接納意見，同時也體會到了許多別人不會有的經驗。謝謝妳們陪我一路走來，我們的精神永遠同在！每一個在電腦桌前睡著的夜晚，每一頓在實驗室裡吃的午餐，每一個在實驗室的週末，乃是一生不朽的回憶。當然，最要感謝的是指導我們的老師~謝謝老師，真的為科展犧牲了許許多多！

實驗過程之靜待纜車停止

第 54 屆全國中小學科學展覽競賽次日下午 公開展覽

國中組 地球科學科第一名 頒獎典禮

摘要

本研究主要探討纜車在地震時的晃動情形，並嘗試設計抗震裝置。研究結果如下：一、纜車車廂**重量較輕者，位置越近塔柱晃動時間越短**，但是**晃動幅度**較**大**；**重量較重者，位置越靠近塔柱晃動時間越長**，**晃動幅度**較**小**。二、纜車**個數**越**多**時，從晃動開始到結束時**晃動時間**有縮**短**趨勢。三、**纜繩上揚角度**須維持**適當**，以減少纜車於地震時晃動時間。四、塔柱高度過高或過矮，晃動時間較長。五、**纜車重量不同，在水平震動和垂直震動時，晃動時間皆有峰值出現。六、抗震設計**的部分目前認為**於纜車加裝吸震彈簧**是較為可行的方案，也是未來值得我們繼續研究的部分。

壹、 研究動機

曾經在電視上看到地震使纜車停駛，遊客受困高空多時的事件，讓我們想到自己搭乘纜車時，微微地晃動令人感覺舒適；但若遇到地震，車廂的劇烈晃動恐怕會讓人驚慌失措吧！纜車在發生地震時除了斷電停駛外，還有其他可減緩車廂晃動的措施嗎？如何使地震時纜車晃動時間減少呢？又想到，理化課上到關於波和能量傳遞的內容；老師也曾經提過地震；地震時產生能量並傳遞到纜車車廂，到底兩者間有何關聯呢？問題如泉湧般出現在我們的腦海中，因此，我們展開了這次的研究。

貳、研究目的

一、藉由文獻了解纜車的基本結構及運作情形、地震的基本概念，設計自製的實驗用模擬器。

二、探討以下變因對纜車**晃動時間**的影響:

(一)纜車的：

1.位置(掛在纜繩上不同點)

2.個數

3.重量

(二)纜車系統的：

1.塔柱高度(以下簡稱柱高)

2.纜繩上揚角度

(三)地震震動方向

三、探討加裝各式抗震措施，對纜車在地震時晃動情形的影響。

參、研究設備及器材

一、實驗場地：**門窗密閉**之實驗室。

二、自製地震模擬器：長型木板、彈簧、木片、小馬達、電池盒、1.5V 電池。

三、自製纜車系統：直筒狀飲料罐、50g 砝碼、橡皮繩、鋼絲(0.5mm)、白色西卡紙、18 號鐵線、12 號鐵線、20 號鐵線、黏土、長尾夾、金屬棒、鉗子、竹筷子、魔鬼氈、玩具迴力車、圖釘。

四、記錄工具：攝影機(附自製相機架)、電腦。

五、測量工具: 轉速計、ipad、**”iShindo-Seismic-Intensity”(iOS 系統軟體)**、尺。

六、其他：剪刀、電子天平、熱熔膠組、泡棉膠、膠帶。

肆、研究過程及方法

一、由文獻探討，設計、自製地震模擬器與纜車系統

(一)文獻探討

從第五十屆全國科展國小組物理科「曲直分明--為何纜車的握臂是彎的？」這篇作品中得知纜車個數、重量與纜車臂形式皆會影響纜車晃動情形。**當纜車為直臂時，因受單擺運動有規律晃動而晃動時間較長，纜車曲臂則是非單擺運動，故無規律晃動而晃動時間較短。**為了貼近纜車實際情形，**我們設計之纜車臂為曲臂。**

在第四十七屆全國科展國中組地球科學科「十震九穩－建築物抗震之研究」這件作品中可知，不同形狀、重心、材質的阻尼器，還有不同形狀、架構方式、底面角度的建築物會影響建築物的穩定度；**以晃動時間表達實驗結果，以解決晃動幅度過小難以辨識的缺點**，我們也予以採用。

在「空中纜車系統介紹及概要說明」(孫文山，2000)中，介紹各種纜車系統之運作和行駛方式，參考纜車行駛速率，大約是 5m/sec。

(二)地震模擬器的設計與製作

1.設計構想：

本想以撞擊方式產生震動，但測試後發覺所產生的震動方式並不穩定。後來，我們聯想到進行駐波實驗時，是在**小馬達軸心接上熱熔膠條後達到震動效果**，決定以此方式產生震動、模擬地震，以達震動較穩定、明顯的效果，利於觀察纜車在地震時的晃動情形。

圖4-1第一代地震模擬器。長約50公分，使用彈簧支撐。經測試後，發現震動過小，導致實驗變化量不明顯。

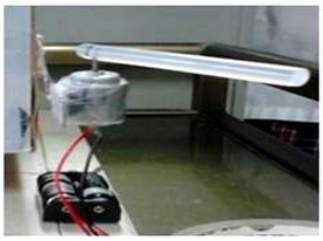


圖4-2震源。熱熔膠條長約8cm，電壓9V。

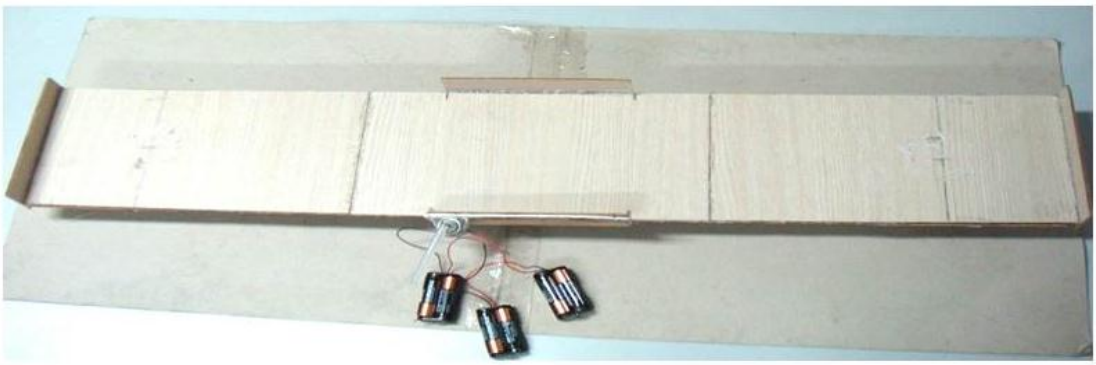


圖4-3第二代地震模擬器。以木片製作，長約96公分，使用八個彈簧支撐，馬達 (震源)固定於模擬器平台中央處。

2.馬達轉速測量

(1)利用市售的轉速計測量，重複測量五次並記錄，結果如表 4-1。

(2)UP 為轉速計測到最大值，dn 為最小值。

表 4-1 馬達轉速測量(單位:RPM)

項目 次數	UP	dn	平均
第一次	1544	1528	1536
第二次	1536	1515	1525.5
第三次	1523	1505	1514
第四次	1513	1495	1504
第五次	1501	1485	1493
平均	1523.4	1505.6	1514.5

3.地震模擬器震度與規模測定

(1)測定工具：ipad、攝影機

(2)測定方法：利用震度測定軟體”iShindo-Seismic-Intensity”(iOS 系統軟體)，測量震動 10 秒時的地震級數與規模。

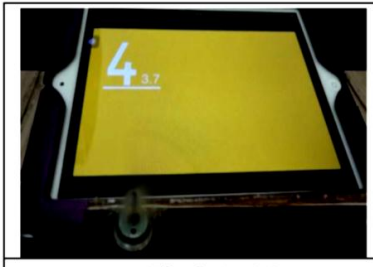
(3)測試步驟：將 ipad 置於模擬器正中央，待震度歸零後，再同時開啟馬達與錄影機，使震源震動 10 秒，並攝影記錄。在第 10 秒時用攝影機抓拍功能，記錄下第 10 秒時的震度與規模。

(4)震度改變:以馬達接上不同的電壓改變馬達轉速，進而影響地震震度。測試結果如下表 4-2、4-3。

表4-2 不同電壓下的震度

電池數目	1顆	2顆	3顆	4顆	5顆	6顆
電壓　單位：V	1.5	3	4.5	6	7.5	9
震度　單位：級	4	5	5	6	6	6

表 4-3 震度測試結果實照(震度為較大的數字)

		
電壓 1.5V (平均轉速:833.8 RPM)	電壓 3V (平均轉速:1055.0 RPM)	電壓 4.5V (平均轉速:1278.5 RPM)
電壓 6V (平均轉速:1327.0 RPM)	電壓 7.5V (平均轉速:1492.5 RPM)	電壓 9V (平均轉速:1514.5 RPM)

(三)纜車系統及模型之設計與製作

1.第一代纜車系統及模型

配合第一代地震模擬器尺寸，我們設計出第一代纜車系統。並且我們聯想到使用容易塑型和控制質量的黏土做為纜車模型(如圖 4-4、4-5)。然而，我們發現以黏土製作纜車形狀不易控制容易變形，與真實纜車外型相差甚遠。

圖4-4 第一代纜車系統。纜繩固定於左端柱子鐵尺上，繞過右端線軸，並懸掛50公克砝碼控制張力。

圖4-5黏土球纜車。重2.00公克。

2.第二代纜車模型及系統

配合第二代地震模擬器，我們將纜車系統擴大(如圖 4-6、4-7)。**纜車模型**改用卡紙製作。為使每個纜車模型盡量相同，使用**電腦套印**後再切割。中空紙模型中填入黏土，控制質量，最後黏上纜車臂(黏膠量為熱熔膠條 0.5cm)；所設計之纜車模型是**正六邊型**(邊長 2cm)，使模型較貼近實際的模樣。**纜繩在**研究之初是使用實驗變化量較大的紅色橡皮繩，後來也考量到實際上纜索為鋼索，於是也使用細鋼絲做為實驗的第二種纜繩材質。

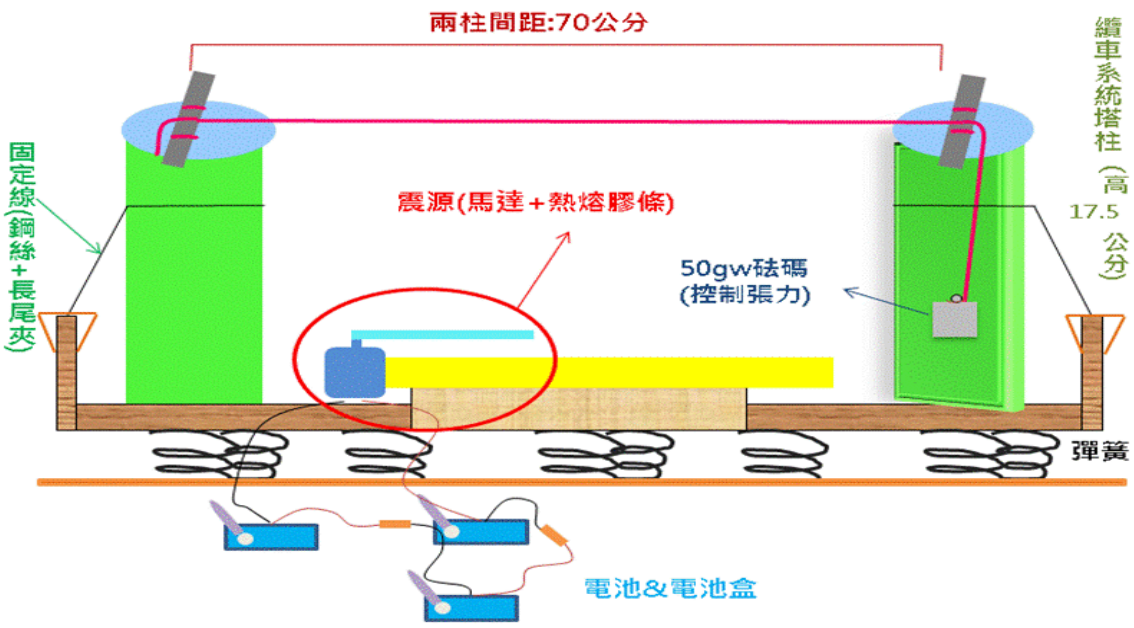


圖4-6 第二代纜車系統與地震模擬器

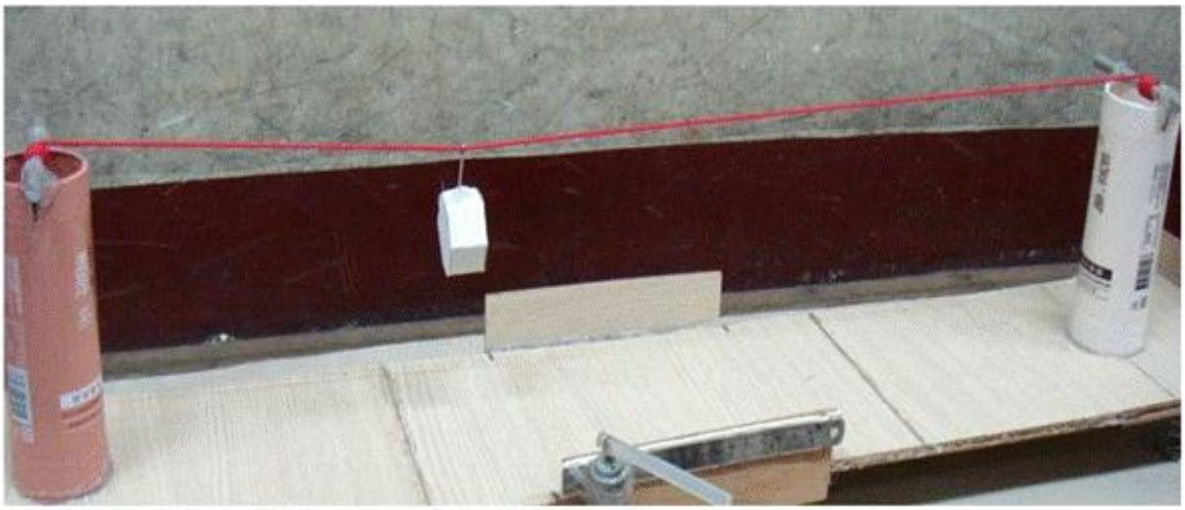


圖4-7 第二代纜車系統實體

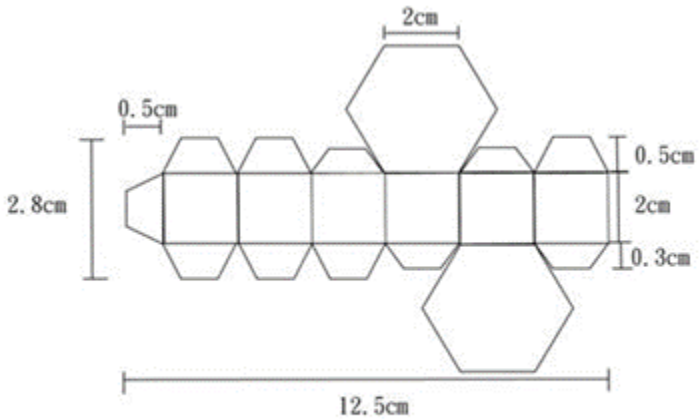


圖4-8 纜車模型電腦套印圖

圖4-9第二代纜車模型

(四)實驗記錄方法

1.參考第四十七屆全國科展國中組生物及地球科學科「十震九穩－建築物抗震之研究」中曾使用的表達方式，記錄**纜車晃動時間**。

2.承上，該作品是以肉眼觀察，碼表計時，我們則**採攝影方式記錄**，提高判斷準確度，並固定拍攝角度。

圖4-10 實驗影片觀看圖

3.在纜車車廂上畫十字，幫助判讀影片。影片以播放軟體 Kmplayer 播放。**為了利於辨別纜車晃動情形，固定將影片播放速率調整至 135%，觀察纜車從地震稍歇後，其晃動至停止的時間**(如圖 4-10)。

二、地震時，不同變因對纜車晃動時間的影響

(一)探討纜車個數對晃動時間的影響

1.取長度相同，二端各掛 50 公克砝碼的鋼絲與橡皮繩各一條，先將橡皮繩掛上纜車系統。

2.取一個纜車模型，掛在兩柱間距上，以纜車為中心，到左右兩柱繩長等長(35 公分)。

3.待纜車完全靜止後，倒數 3.2.1 同時啟動地震模擬器和攝影器材(為避免攝影器材晃動影響結果判讀，將其放在架子上固定)利用攝影器材之計時功能，計時 10 秒後將地震模擬器的電源關閉，模擬地震稍停並持續錄影，並觀察纜車晃動情形直至纜車停止晃動。重複十次。

4.將影片以播放軟體 Kmplayer 將播放速率調整至 135%並以螢幕尺 jruler 輔助，觀察纜車從地震稍停至其晃動停止的秒數。

5.增加纜繩上的纜車模型個數，並調整間距，使纜車、柱子間隔等距，重複步驟 2、3。依此類推，直至個數 1~5 個纜車模型實驗完畢。

6.<u>將橡皮繩換成鋼絲，重複上述步驟 2 到 5。</u>

(二)探討不同纜車位置 VS 重量對晃動時間的影響

1.取兩條長度相同，二端各掛 50 公克砝碼的鋼絲與橡皮繩，先將橡皮繩掛上纜車系統。

2.準備 5 公克、10 公克、15 公克、20 公克、25 公克的纜車模型各一個。

3.將 5 公克纜車模型掛上，以纜車模型為中心，到左右柱長度為 1:1 的長度，利用左右的比例控制纜車位置。

4.重複實驗(一)步驟 3、4。

5.依此類推，重新調整纜繩左右比例依序為 1:2、1:3、1:4、1:5 進行實驗。

6.將 5 公克纜車模型取下，掛上其他重量的纜車模型，重複上述 3、4、5 步驟。依此類推，直至所有重量纜車皆實驗完畢。

7.<u>將橡皮繩換成鋼絲，重複上述步驟 2 到 6。</u>

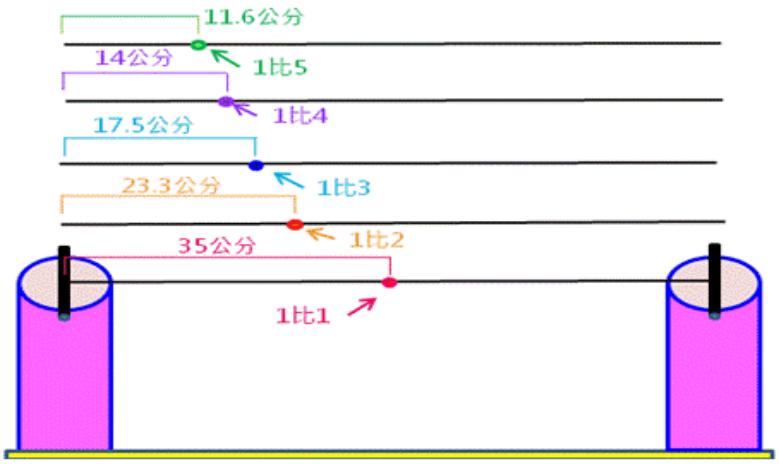


圖4-11 纜車位置示意圖

(三)探討不同纜車柱高對晃動時間的影響

1.以市面上所售之直筒狀飲料瓶為單位，一個瓶身稱為 1 層，分別為 1 層、1.5 層、2 層。首先將 1 層柱高固定於地震模擬器上。

2.重複實驗(一)步驟 1 到 4。

3.拆下柱高、取下纜繩，更換不同柱高，將所有柱高實驗完畢。

表 4-4 各柱高及柱高差組合(註:含黏著時熱熔膠厚度，故未成倍數。)

1 層	1.5 層	2 層
約 15.00 公分	約 24.50 公分	約 33.00 公分

(四)探討纜繩上仰角度對晃動時間的影響

1.以市面上所售之直筒狀飲料瓶為單位，一個瓶身為 1 層，分別為 1 層、1.5 層、2 層。利用柱高的高度差距來控制纜繩上揚角度。柱高組合如表 4-5。

2.在每一種組合中重複實驗(一)步驟 1 到 4。

3.將橡皮繩換成鋼絲，重複上述步驟 2。

圖4-12 纜車系統塔柱模型。直筒狀飲料瓶做為柱子，一個瓶身高為一層柱高。

表 4-5 各柱高及柱高差組合

柱高組合	1 層&1 層	1 層&1.5 層	1 層&2 層
纜繩上揚角度	約 0 度	約 7 度	約 14 度

(五)探討不同方向性的地震震動 VS 纜車重量對晃動時間的影響

1.將地震模擬器上的馬達由水平旋轉改成垂直旋轉，馬達位置和轉動方向和原來相同，皆為順時針(如圖 4-13、4-14)。

2.依序重複實驗(二)步驟 2~4。

3.重複上述步驟 2，實驗完所有重量的纜車。

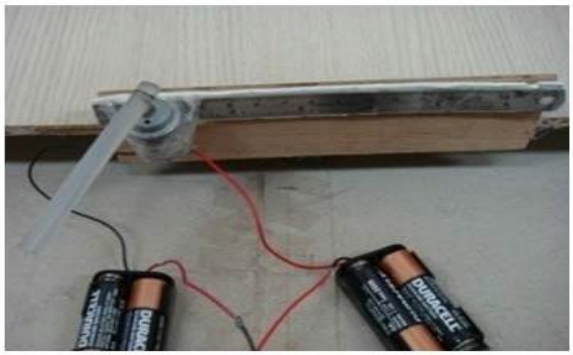


圖4-13 水平旋轉

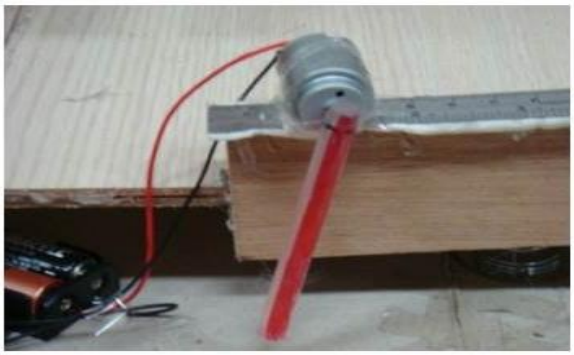


圖4-14 垂直旋轉

(六)行駛中的纜車實驗

實驗(一)到(五)主要是模擬纜車自動斷電後，地震持續發生至停止，纜車的晃動情形。然而，我們想更進一步探討纜車從行駛至地震開始、系統自動斷電、纜車停止晃動的情形與時間。利用網路搜尋後，發現曾有科學活動 DIY 製作纜車系統，其使用迴力車做為動力，使黏著於車輪上的竹筷子帶動纜繩移動、模擬纜車行駛(如圖 4-15)。我們參考其原理，設計出屬於我們的纜車系統(如圖 4-16)。

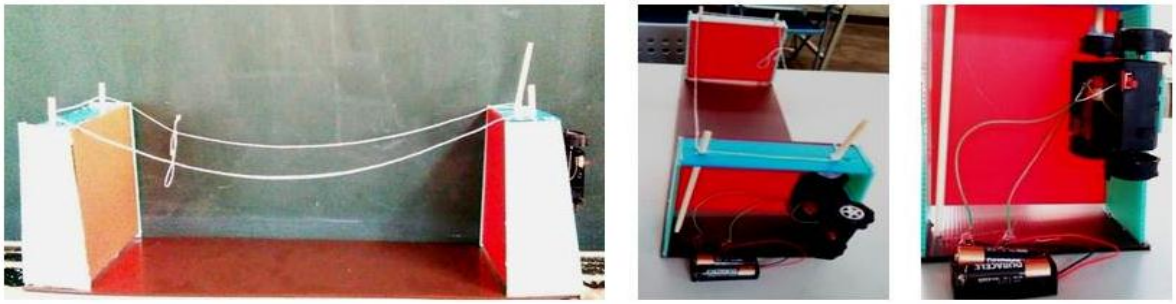


圖4-15 網路科學DIY纜車模型

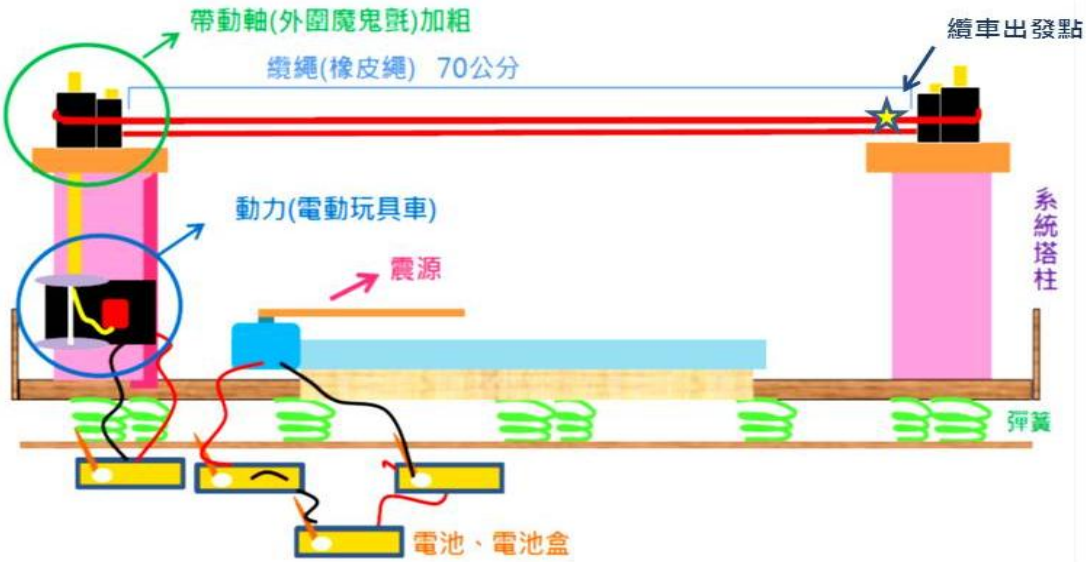


圖4-16 會移動的纜車設計圖

此系統是模擬單線對駛式纜車，更貼近纜車系統的實際狀況。依據設計圖，歷經多次改良，我們做出了會移動的纜車系統模型。因為繩子須達到一定的張力才能被帶動，

我們暫時以綁緊繩子的方式初步測試系統。結果發現繩子與柱子(竹筷子)的摩擦力不夠大，無法帶動纜繩。因此思考在竹筷子上黏貼不同材質，改變柱子的摩擦力。我們分別測試了砂紙、不織布、魔鬼氈三種材質對纜繩移動速率的影響，最後選擇了魔鬼氈的平滑面作為帶動軸與纜繩間的接觸面材質。(如表 4-6)。

表 4-6 不同柱子材質下纜繩移動速度

材料	距離(cm)	時間	速率(cm/s)
砂紙	未移動		
魔鬼氈的粗糙面	未移動		
不織布	70	2”17	0.51
魔鬼氈的平滑面	70	1”25	0.82

「空中纜車系統介紹及概要說明」一文中說明，實際的纜車行駛速率最快可達每秒 7 公尺，一般纜車行駛速率則是達到每秒 5 公尺。因此我們加粗帶動軸，使每次被帶動的纜繩長度增加，也將行駛速率提高至平均每秒約 6 公分，纜車由柱子一端至另一端的時間為 12 秒。

圖4-17會移動的纜車系統模型

圖4-18纜繩帶動軸

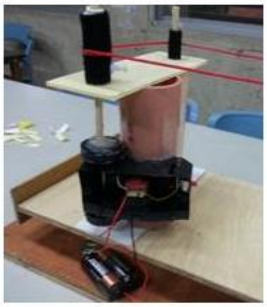


圖4-19 迴力車(動力)

實驗步驟：

1.準備 5 公克、10 公克、15 公克、20 公克、25 公克的正六邊形纜車模型各一個。取一個 5 公克纜車模型，將其掛上纜繩，使其由帶動軸對面的柱子一端出發(參考圖 4-16 纜車出發點)。

2.待纜車完全靜止後，倒數 3.2.1 同時啟動纜車系統、地震模擬器和攝影器材(為避免攝影器材晃動影響結果判讀，將其放在架子上固定。)利用攝影器材之計時功能，計時 10 秒後將纜車系統、地震模擬器之電源關閉，模擬纜車系統自動斷電停駛、地震稍停。持續錄影，並觀察纜車晃動情形直至纜車完全停止晃動。重複五次。

3.將影片以播放軟體 Kmplayer 播放。為利於辨別纜車模型狀態，故將影片播放速率調整至 135%，以固定速率播放，觀察纜車從地震稍停後，其晃動至停止的秒數。

4.將 10 公克、15 公克、20 公克、25 公克纜車模型掛上，並以纜車模型為中心，使其由柱子一端出發，接著重複上述步驟 2、3。

三、探討加裝各式抗震措施，對纜車在地震時晃動情形的影響。

(一)纜車抗震裝置的設計及製作

本研究的目的之一是要利用各式各樣避震措施，縮短纜車於地震時的晃動時間。為方便抗震措施加裝於纜車中，我們將纜車和纜車系統放大。

1.放大版纜車模型

把原本邊長 2 公分的正六邊形纜車放大，成為邊長 10 公分的正六邊型纜車，纜車臂也配合放大為全長 25 公分。並且**在纜車上設計透明窗口**，以便觀察各種抗震措施在纜車內部的運作情形。

表 4-7 大纜車尺寸一覽表(單位：公分)

纜車車廂高度	$\sqrt{300}$
纜車車廂寬度	10
纜車車廂長度	20

圖4-20 放大版纜車模型圖。因過大無法使用印表機套印，故以電腦列印幾何圖形，排列後描繪在卡紙上，再剪貼製作。

圖4-21 放大版纜車模型完成品

圖4-22 放大版纜車臂

2.放大版纜車系統及地震模擬器

配合放大版纜車，也將地震模擬器、纜車系統放大。我們直接以實驗桌桌角為纜車系統的塔柱；選擇童軍繩(總長 314.80 公分)為纜繩；將震源直接安裝於纜繩一端。我們使用市集上的趕蠅器為震源，使綁在上面的拍子敲擊纜繩產生震動。拍子左側加裝一片隔板，目的是為了使其只敲擊纜繩的一邊，避免兩方向的力相抵。(如圖 4-23)

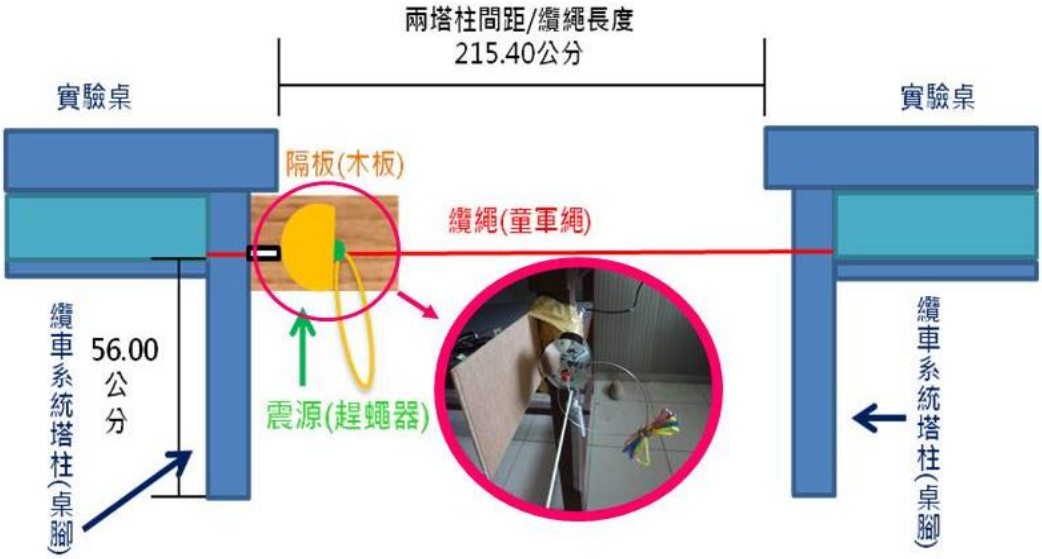


圖4-23 放大版纜車系統示意圖

3.球型阻尼器:

參考建築物的抗震設計，我們想使用阻尼器減少纜車的晃動。目前加裝於纜車車廂內部車頂。我們將乒乓球剖半後，用黏土將裡面空心的部分補滿密合，增加重量。乒乓球外面以紗網包覆，並於紗網開口處以細鋼絲束緊開口，方便懸掛。球體質量為 56 公克。

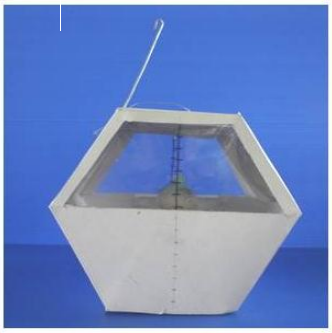


圖4-24 纜車車廂外觀。

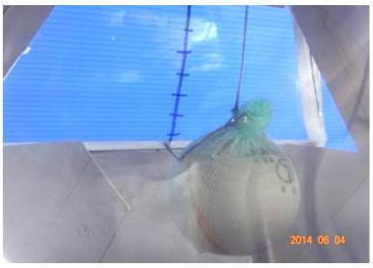


圖4-25纜車車廂內部(阻尼器)。

圖4-26 球型阻尼器。

4.吸震彈簧

彈簧是一種可吸震之物，故嘗試加裝彈簧於纜車車頂吸震，使震動在傳遞到車廂底部前被吸收。安裝方式如下：

(1)橫向安裝-與纜車車廂水平(簡稱:橫向 x)

將 4 個直徑 2.5 公分的小彈簧以泡棉膠連接，再左右固定於車廂內壁頂端。

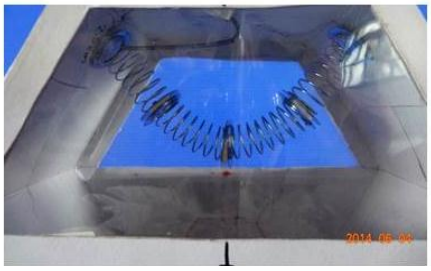


圖4-27 橫向彈簧-x。

(2)橫向安裝-與纜車車廂垂直(簡稱:橫向 y)

彈簧數目及連接方式同橫向-x，前後固定於車廂內壁頂端。

圖4-28橫向彈簧-y

(3)直向安裝

先在車廂內部車頂處畫出兩條對角線，取 4 個小彈簧，分別黏著於兩對角線的 1/4 處。

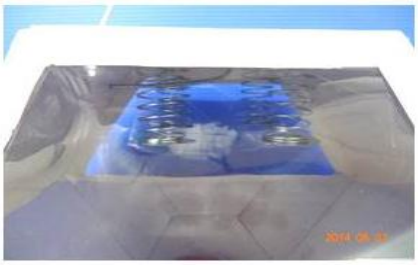


圖4-29直向彈簧

實驗步驟:

1.取童軍繩一條，繫於間距為 125.40 公分、高度為 56.00 公分的兩實驗桌桌角。

2.取一個加大版纜車模型，掛在纜繩上中心位置。

3.待纜車完全靜止後，倒數 3.2.1 同時啟動地震模擬器和攝影器材(為避免攝影器材晃動影響結果判讀，將其放在架子上固定)利用攝影器材之計時功能，計時 10 秒後將地震模擬器的電源關閉，模擬地震稍停並持續錄影，並觀察纜車晃動情形直至纜車停止晃動。重複三次。

4.將影片以播放軟體 Kmplayer 將播放速率調整至 135%並以螢幕尺 jruler 輔助，觀察纜車從地震稍停至其晃動停止的秒數。

5.更換其餘不同抗震設計的纜車模型，重複上述步驟 2、3，直至所有抗震設計皆實驗完畢。

四、研究變因一覽表

表 4-8

線材	1.橡皮繩	2.鋼絲	
	操縱變因	控制變因	應變變因
研究一	**纜車位置:** 1比1 1比2 1比3 1比4 1比5	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車系統塔柱高度 4.纜車模型個數 5.纜車模型重量	晃動時間
研究二	**纜車個數:** 1個 2個 3個 4個 5個	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車系統柱高 4.纜車模型位置 5.纜車模型重量	晃動時間
研究三	**纜車重量:** 5公克 10公克 15公克 20公克 25公克	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車系統塔柱高度 4.纜車模型位置 5.纜車模型個數	晃動時間
研究四	**纜車系統塔柱高度(等高):** 1層 1.5層 2層	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車模型位置 4.纜車模型個數 5.纜車模型重量	晃動時間
研究五	**纜繩上揚角度** 約0度(1層&1層) 約7度(1層&1.5層) 約14度(1層VS2層)	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車模型位置 4.纜車模型個數 5.纜車模型重量	晃動時間
研究六	**地震模擬震動方向:** 水平 垂直	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車模型位置 4.纜車模型個數 5.纜車模型重量 6.纜車系統塔柱高度	晃動時間
研究七	**模擬纜車行駛中遇到地震**	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車模型位置 4.纜車模型個數 5.纜車模型重量 6.纜車系統塔柱高度	晃動時間
研究八	**球型阻尼器** 安裝於纜車內部車頂	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車系統塔柱高度 4.纜車模型位置 5.纜車模型個數 6.纜車模型重量 7.纜繩材質與粗細	1.纜車車廂晃動時間 2.阻尼器晃動時間
研究九	**吸震彈簧** 1.橫向安裝 (1)與纜車車廂水平 (2)與纜車車廂垂直 2.直向安裝	1. 實驗的地點 2.地震震動時間 3.纜車系統柱高 4.纜車模型位置 5.纜車模型個數 6.纜車模型重量 7.纜繩材質與粗細 8.彈簧種類與數目	纜車車廂晃動時間

伍、研究結果

一、橡皮繩

(一)纜車位置對晃動時間的影響

1.由表 5-1 可知纜車位置為 1 比 1，平均晃動時間最長(70.2 秒)；位置為 1 比 5，平均晃動時間最短(35.0 秒)。

2.由圖 5-1 可知，纜車從位置 1 比 1 到位置 1 比 5 平均晃動時間有遞減的趨勢。

表5-1 纜車位置不同晃動時間表(單位:秒)

位置 / 次數	1比1	1比2	1比3	1比4	1比5
1	75.0	65.0	40.0	41.0	33.0
2	71.0	62.0	40.0	37.0	39.0
3	65.0	60.0	50.0	34.0	33.0
4	70.0	62.0	43.0	37.3	35.0
5	70.0	61.0	51.0	37.3	35.0
平均	70.2	62.0	44.8	37.3	35.0

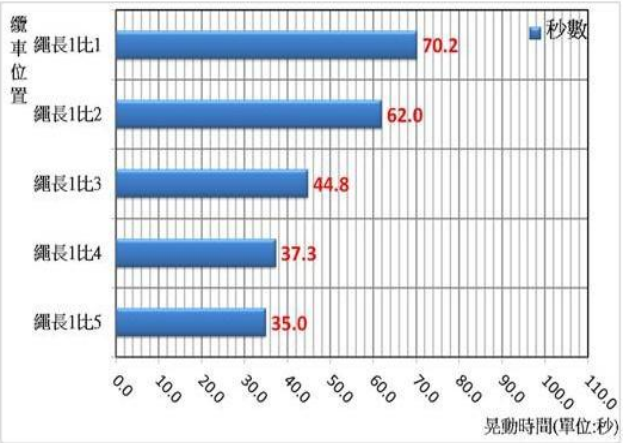


圖5-1 纜車位置對晃動時間影響圖

(二)纜車個數對晃動時間的影響

1.從表 5-2 可以發現，纜車個數為 1 個，其平均晃動時間最長(70.2 秒)；纜車個數為 4 個，其平均晃動時間最短(28.4 秒)。

2.由圖 5-2 可知，當纜車個數 1 個至 4 個時，其平均晃動時間有漸短的趨勢，惟纜車個數 5 個時平均晃動時間較 4 個時長。

表5-2 纜車個數不同晃動時間表(單位:秒)

個數 / 次數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
1	75.0	63.0	50.0	31.0	32.0
2	71.0	58.0	48.0	28.0	35.0
3	65.0	72.0	45.0	27.0	35.0
4	70.0	62.0	50.0	28.0	36.0
5	70.0	63.0	51.0	28.0	38.0
平均	70.2	63.6	48.8	28.4	35.2

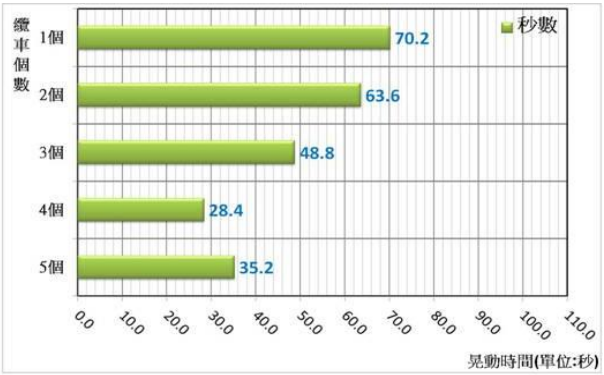


圖5-2纜車個數對晃動時間影響圖

(三)纜車重量對晃動時間的影響

1.由表 5-3 可知，纜車重量為 10 公克，平均晃動時間最長(70.2 秒)；纜車重量為 5 公克，平均晃動時間最短(23.2 秒)。

2.由圖 5-3 可知，**隨纜車重量增加，纜車晃動時間由短至長，再由長至短，以 10 公克時平均晃動時間最長。**

表5-3 纜車重量不同晃動時間表(單位:秒)

重量 / 次數	2 公克	5 公克	10 公克	15 公克	20 公克	25 公克
1	25.0	23.0	75.0	25.0	27.0	35.0
2	24.0	24.0	71.0	26.0	26.0	31.0
3	26.0	24.0	65.0	25.0	26.0	34.0
4	25.0	22.0	70.0	26.0	28.0	39.0
5	25.0	23.0	70.0	25.0	26.0	34.0
平均	25.0	23.2	70.2	25.4	26.6	34.6

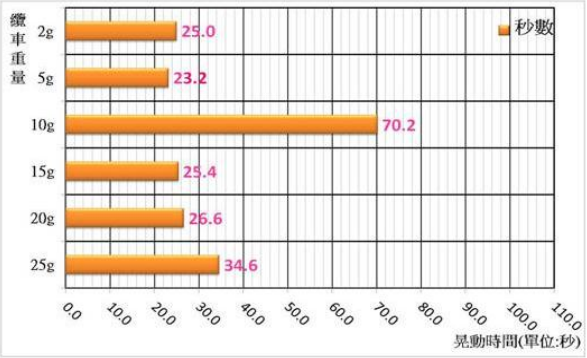


圖5-3 纜車重量對晃動時間影響圖

(四)纜車系統柱高對晃動時間的影響

柱高為 1 層，平均晃動時間最長(70.2 秒)；柱高 1.5 層，平均晃動時間最短(25.6 秒)。(圖、表 5-4)

表5-4柱高不同晃動時間表(單位:秒)

柱高 / 次數	1 層	1.5 層	2 層
1	75.0	24.0	48.0
2	71.0	23.0	49.0
3	65.0	33.0	49.0
4	70.0	23.0	46.0
5	70.0	25.0	46.0
平均	70.2	25.6	47.6

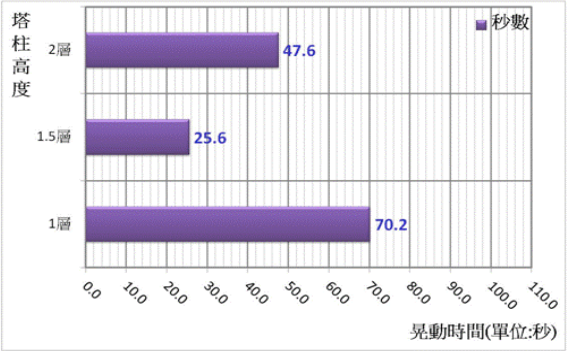


圖5-4塔柱高度對晃動時間影響圖

(五)纜繩上揚角度對晃動時間的影響

由圖、表 5-5 可知，**上揚角度為 0 度，平均晃動時間最長(70.2 秒)；上揚角度為 7 度，平均晃動時間最短(18.8 秒)。**

表5-5纜繩上揚角度不同晃動時間表(單位:秒)

角度 / 次數	0 度	7 度	14 度
1	75.0	19.0	30.0
2	71.0	18.0	29.0
3	65.0	20.0	30.0
4	70.0	18.0	31.0
5	70.0	19.0	30.0
平均	70.2	18.8	30.0

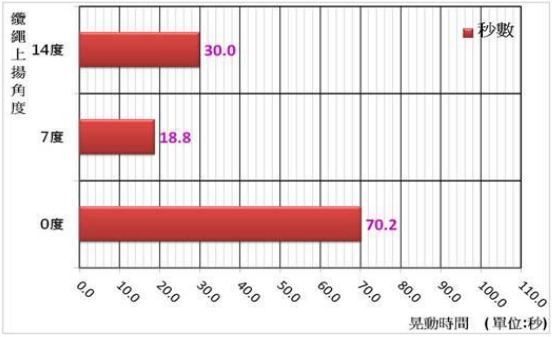


圖5-5纜繩上揚角度對晃動時間影響圖

(六)纜車重量 VS 位置對晃動時間的影響

1.由圖 5-6 可知，纜車重量 5 公克，不論纜車位置為何，皆是不同重量間平均晃動時間最短者。

2.從表 5-6 可知纜車位置為 1 比 1、1 比 2 時，以重量 10 公克平均晃動時間最長；位置為 1 比 3、1 比 4、1 比 5 時，以重量 25 公克平均晃動時間最長。

3.由圖 5-6 可知纜車重量相同時，不同纜車位置間大致呈現越靠近柱高平均晃動時間越短的趨勢。

表5-6 纜車重量VS位置的晃動時間表(單位:秒)

纜車重量 \ 纜車位置	次數	1 比 1	1 比 2	1 比 3	1 比 4	1 比 5
5 公克	1	23.0	18.0	15.0	15.0	17.0
	2	24.0	16.0	16.0	17.0	15.0
	3	24.0	18.0	16.0	15.0	16.0
	4	22.0	16.0	15.0	14.0	17.0
	5	23.0	17.0	17.0	17.0	15.0
	平均	23.2	17.0	15.8	15.6	16.0
10 公克	1	75.0	65.0	40.0	41.0	33.0
	2	71.0	62.0	40.0	37.0	39.0
	3	65.0	60.0	50.0	34.0	33.0
	4	70.0	62.0	43.0	37.0	35.0
	5	70.0	61.0	51.0	37.0	35.0
	平均	70.2	62.0	45.0	37.3	35.0
15 公克	1	25.0	35.0	27.0	20.0	21.0
	2	26.0	31.0	28.0	22.0	20.0
	3	25.0	34.0	30.0	23.0	22.0
	4	26.0	33.0	27.0	24.0	21.0
	5	25.0	34.0	27.0	26.0	22.0
	平均	25.4	33.4	27.8	23.0	21.2
20 公克	1	27.0	33.0	43.0	34.0	26.0
	2	26.0	34.0	45.0	31.0	30.0
	3	26.0	32.0	42.0	33.0	28.0
	4	28.0	31.0	44.0	34.0	27.0
	5	26.0	33.0	42.0	34.0	27.0
	平均	26.6	32.6	43.2	33.2	27.6
25 公克	1	35.0	54.0	51.0	37.0	40.0
	2	31.0	54.0	49.0	41.0	36.0
	3	34.0	55.0	47.0	40.0	33.0
	4	39.0	53.0	50.0	40.0	36.0
	5	34.0	55.0	48.0	40.0	39.0
	平均	34.6	54.2	49.0	39.6	36.8

圖5-6 纜車重量與纜車位置對晃動時間影響圖

(七)地震水平/垂直震動 VS 纜車重量

1.重量相同時，除了 10 公克外，水平震動時的平均晃動時間皆小於垂直震動的時間。

2.不同重量之間，無論是水平震動或是垂直震動，在不同重量間皆有峰值出現的情形。水平震動時峰值出現於 10 公克，垂直震動時峰值延後出現於 20 公克。(如圖、表 5-7)

表5-7地震震動方向、纜車重量對晃動時間比較表(單位:秒)

震動方向＼重量	次數	5 公克	10 公克	15 公克	20 公克	25 公克
水平震動	1	23.0	75.0	25.0	27.0	35.0
	2	24.0	71.0	26.0	26.0	31.0
	3	24.0	65.0	25.0	26.0	34.0
	4	22.0	70.0	26.0	28.0	39.0
	5	23.0	70.0	25.0	26.0	34.0
	平均	23.2	70.2	25.4	26.6	34.6
垂直震動	1	31.0	59.0	67.0	105.0	95.0
	2	28.0	55.0	68.0	108.0	91.0
	3	29.0	57.0	67.0	107.0	93.0
	4	30.0	59.0	66.0	106.0	92.0
	5	30.0	56.0	66.0	107.0	93.0
	平均	29.6	57.2	66.8	106.6	92.8

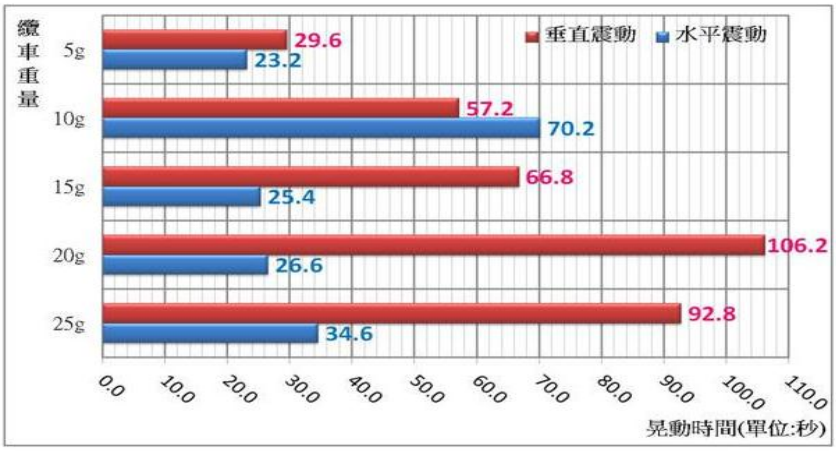


圖5-7地震震動方向、纜車重量之晃動時間關係圖

(八)纜車行駛------重量

1.不同重量間以 20 公克纜車平均晃動時間最短，10 公克纜車平均晃動時間最長。(如圖、表 5-8)

2.此為初步測試，未來將持續研究。

表5-8 纜車重量對晃動時間比較表
(單位:秒)

重量 / 次數	5g	10g	20g
1	15.0	32.0	14.0
2	16.0	33.0	12.0
3	14.0	35.0	13.0
4	14.0	32.0	14.0
5	14.0	33.0	12.0
平均	14.6	33.0	13.0

圖5-8 纜車行駛時纜車重量不同晃動時間比較圖

二、鋼絲

(一)纜車位置對晃動時間的影響

1.纜車於位置 1 比 3(纜繩 1/4 處)時平均晃動時間最短(93.6 秒)；位置為 1 比 1 時(1/2 處)，平均晃動時間最長(550.8 秒)。(如圖、表 5-9)。

2.纜車位置愈靠近塔柱，平均晃動時間由長至短，再由短至長。

圖5-9 纜車位置不同晃動時間表(單位:秒)

位置 / 次數	1比1	1比2	1比3	1比4	1比5
1	489.0	334.0	81.0	198.0	286.0
2	564.0	327.0	81.0	171.0	407.0
3	502.0	404.0	86.0	187.0	311.0
4	580.0	264.0	98.0	264.0	309.0
5	578.0	366.0	98.0	165.0	321.0
6	580.0	425.0	92.0	282.0	329.0
7	577.0	359.0	82.0	169.0	276.0
8	580.0	313.0	99.0	278.0	273.0
9	550.0	308.0	101.0	246.0	300.0
10	508.0	141.0	118.0	190.0	305.0
平均	550.8	324.1	93.6	215.0	311.7

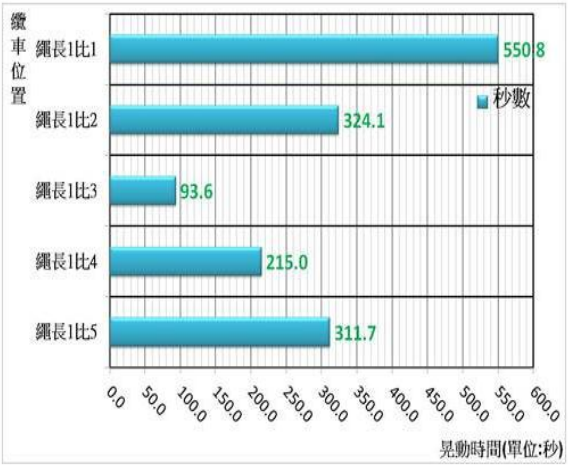


圖5-9 纜車位置對晃動時間影響圖

(二)纜車個數對晃動時間的影響

1.由圖 5-10 中可知，纜車個數 1 個，平均晃動時間最長(550.8 秒)；纜車個數 3 個，平均晃動時間最短(252.8 秒)。

2.纜車個數越多，平均晃動時間有縮短的趨勢(如圖 5-10)。

表5-10 纜車個數不同晃動時間表(單位:秒)

個數 / 次數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
1	489.0	401.0	390.0	303.0	267.0
2	564.0	446.0	229.0	414.0	274.0
3	502.0	492.0	191.0	329.0	300.0
4	580.0	434.0	231.0	298.0	312.0
5	578.0	521.0	239.0	299.0	286.0
6	580.0	434.0	225.0	284.0	285.0
7	577.0	431.0	259.0	343.0	345.0
8	580.0	430.0	232.0	315.0	344.0
9	550.0	490.0	253.0	381.0	336.0
10	508.0	414.0	279.0	340.0	266.0
平均	550.8	449.3	252.8	330.6	301.5

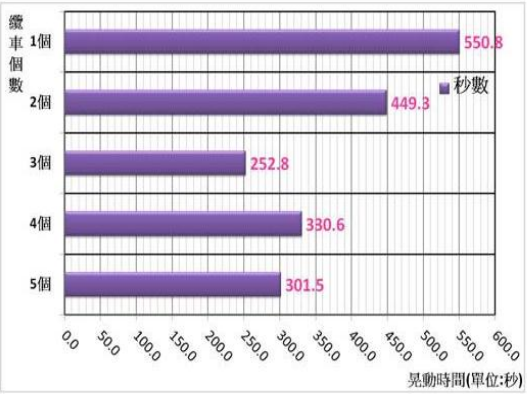


圖5-10 纜車個數對晃動時間影響圖

(三)纜車重量對晃動時間的影響

1.纜車重量 10 公克，平均晃動時間最長(550.8 秒)；纜車重量 15 公克，平均晃動時間最短(208.2 秒)(如表 5-11)。

2.纜車重量愈重，晃動時間呈現由短到長，長到短，短到長，再到短的情形(如圖 5-11)。

圖5-11 纜車重量不同晃動時間表(單位:秒)

重量 / 次數	5g	10g	15g	20g	25g
1	248.0	489.0	141.0	407.0	227.0
2	350.0	564.0	248.0	421.0	282.0
3	171.0	502.0	254.0	464.0	226.0
4	178.0	580.0	220.0	458.0	379.0
5	252.0	578.0	188.0	413.0	371.0
6	232.0	580.0	258.0	447.0	306.0
7	205.0	577.0	178.0	429.0	294.0
8	221.0	580.0	196.0	406.0	340.0
9	304.0	550.0	182.0	485.0	413.0
10	273.0	508.0	217.0	374.0	233.0
平均	243.4	550.8	208.2	430.4	307.1

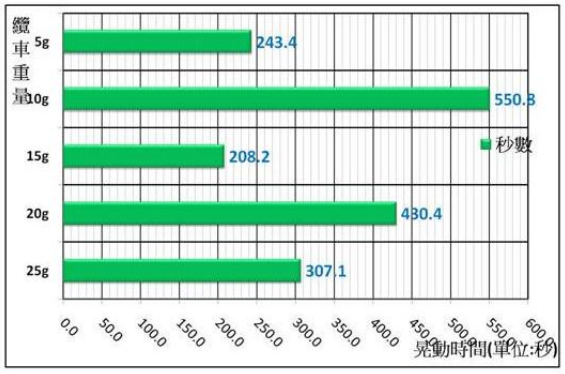


圖5-11 纜車重量對晃動時間影響圖

三、抗震設計

1.加裝彈簧-橫向 X 的纜車平均晃動時間最短，加裝球型阻尼器的纜車平均晃動時間最長。

2.加裝球型阻尼器和加裝彈簧-直向的纜車平均晃動時間比無抗震設計的平均晃動時間長。

5-12抗震設計對纜車晃動時間的影響

抗震設計種類/次數	1	2	3	平均
無抗震設計	900.0	760.0	900.0	853.3
球形阻尼器-纜車	898.0	894.0	891.0	894.3
彈簧(直向)	824.0	890.0	899.0	871.0
彈簧(橫向-x)	390.0	787.0	586.0	587.7
彈簧(橫向-y)	900.0	594.0	900.0	798.0

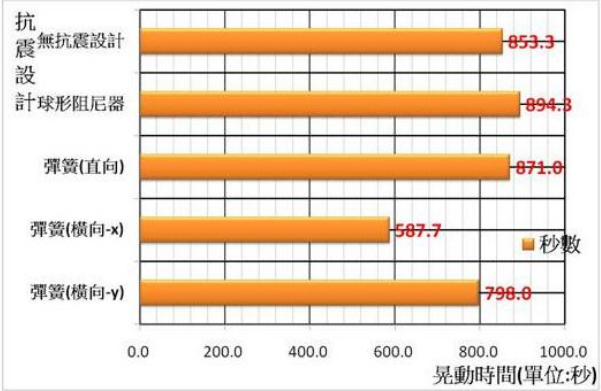


圖5-12 抗震設計對晃動時間影響圖

陸、討論

一、橡皮繩

(一)不同纜車位置對晃動時間的影響

由圖、表 5-1 可知，纜車位置距離塔柱越遠，晃動時間越長；距離塔柱越近，晃動時間越短。且在實驗過程中肉眼可清楚辨別，纜車越靠近塔柱晃動幅度越大。因此推測，能量傳遞時依序傳遞至塔柱、纜繩、纜車，故**距離柱子越近，能量耗損越少，導致纜車晃動幅度較大；纜車晃動幅度較大，每次晃動耗損的能量較多，當能量不再提供時，車廂晃動時間就會愈短**。

(二)不同纜車個數對晃動時間的影響

依據圖、表 5-2，纜車個數越多時，纜車晃動時間大致呈現趨短情形。推測是因當纜車個數越多時，總重量越重，慣性質量較大，使晃動時間縮短。但當個數為 5 個時，卻有晃動時間稍微加長的情形，推測可能是實驗誤差或纜車總重量過重，導致纜繩並未呈現水平直線的狀態，使晃動時間增加；又或者是纜車個數 5 個時，纜車間出現共振現象，導致晃動時間加長。

(三)不同纜車重量對晃動時間的影響

根據圖、表 5-3，**隨纜車重量增加，纜車晃動時間由短至長，再由長至短**，纜車重量 10 公克時晃動時間最長。纜車重量 2、5 公克部分，除了實驗數據呈現晃動時間較短外，實驗過程由肉眼觀察發現，其晃動幅度相較於其他重量的纜車明顯大出許多，可能是因為重量較輕，受空氣阻力較小，導致晃動時間縮短；晃動幅度大會導致能量在傳遞至纜車後消耗較快，所以晃動時間短。重量 15~25 公克的纜車呈現晃動時間漸長，根據慣性定律，重量較輕，慣性質量較小，越容易受到外力的改變，造成纜車晃動，消耗地震傳來的能量，減少晃動時間；也可能是因為重量較重，空氣阻力較大，晃動時間較長。至於重量 10 公克的部分，推測可能是因為頻率剛好和塔柱、纜繩產生共振導致其晃動時間最長，為臨界值。

(四)纜車塔柱高度對晃動時間的影響

由圖、表 5-4 可知，**柱高為 1 層，晃動時間最長；柱高為 1.5 層，晃動時間最短。**推測影響的因素為重心和能量所傳遞的距離。柱高為 1 層時，雖然重心較低可能導致較穩定，但是因能量傳遞到纜車距離較短之故，所以傳到纜車的能量消耗較少，使纜車晃動時間較長；柱高為 2 層時雖然能量消耗較多，可能使晃動時間縮短，但是又因重心較高，使纜車晃動時間變長。在重心和能量所傳遞的距離相互作用下，導致最後的晃動時間最短為 1.5 層。

(五)纜繩上揚角度對晃動時間的影響

由圖、表 5-5 可知，**上揚角度為 0 度，晃動時間最長；上揚角度為 7 度，晃動時間最短**。我們推測，上揚角度愈大，纜繩於兩柱間的長度愈長(畢氏定理中的斜邊)，能

量在傳遞時耗損較多，因此上揚角度 0 度的晃動時間較上揚角度 7 度來的長。又因為重心之故，上揚角度 14 度時重心較高，雖有能量耗損，但是受重心影響，使晃動時間較上揚角度 7 度長。

(六)纜車重量 VS 纜車位置對晃動時間的影響

根據圖、表 5-6，「**纜車重量為 5 公克時，不論纜車位置為何，其晃動時間皆為最短**」，纜車重量 5 公克，雖晃動時間較短，但是其晃動幅度由肉眼觀察發現，相較於其他重量的纜車明顯大出許多，導致能量在傳遞至纜車後消耗較快。另外，纜車重量較輕，受風阻力影響較小，可能使晃動時間縮短。

根據實驗結果「**重量較輕者，越近塔柱平均晃動時間越短；重量較重者，靠近塔柱平均晃動時間越長**」推測纜車重量較輕時晃動時間較短，但近塔柱時又有晃動幅度大、時間短的特色，兩者相互作用後，導致晃動幅度加大，晃動時間減短。

(七)地震震動方向對纜車晃動時間的影響

由圖、表 5-7 可知，「重量相同時，**除了 10 公克外，垂直震動時晃動時間皆大於水平震動**。」推測是因為垂直震動時，能量的垂直分量較大(例如:纜車系統塔柱)，導致能量可較完全的傳遞到纜車；水平震動時則反之。

根據實驗結果(圖、表 5-7)「**不同重量間，無論是水平震動或是垂直震動，在不同重量間晃動時間皆有峰值出現的情形。水平震動時峰值出現於 10 公克，垂直震動時峰值則出現於 20 公克。**」推測是因不同方向震動使傳至纜車的能量不同，趨勢延後出現。這也證明了研究三纜車重量對晃動時間的影響之實驗結果有峰值出現是合理現象。

(八)纜車行駛中

由圖、表 5-8 可知，只要是跟重量有關的實驗數據，幾乎都以 10 公克的纜車晃動時間最長，由此可見，10 公克的纜車為一臨界值。此實驗中，纜車重量 20 公克平均晃動時間最短，由此推論，當纜車在纜繩能承受的情況下，重量較重能有效縮短纜車晃動時間。

二、鋼絲

(一)纜車位置對晃動時間的影響

由圖、表 5-9 可知，纜車於位置 1 比 1，晃動時間最長；位置 1 比 3，晃動時間最短。並且由肉眼觀察發現，纜車在不同位置並不曾出現特大幅度的晃動。我們推測可能是因為纜車位置位於 1 比 1 時，纜繩左右兩側的水平分力為互相抵消，呈現較穩定的上下、左右晃動，使得晃動時間增加；纜車位置於 1 比 3 時則反之。這個部分在全國科展作品「曲直分明--為何纜車的握臂是彎的。第 50 屆中小學科學展覽會，國小組，物理科。」中也曾有類似情況：當纜車晃動穩定時晃動時間較長，反之則較短。

(二)纜車個數對晃動時間的影響

由圖、表 5-10 可知，纜車個數為 1 個時，晃動時間最長；個數為 3 個，晃動時間最短，大致上是個數越多晃動時間越短的趨勢。推測是個數越多，總重量越重，慣性

質量越大，使晃動時間縮短。但當個數為 3 個時，晃動時間減少，推測是因為拍攝時放大倍率不同，導致產生影片判讀上的誤差。

(三)纜車重量對於晃動時間的影響

由圖、表 5-11 可知，纜車重量為 10 公克，晃動時間最長；重量為 15 公克，晃動時間最短。我們發現這組數據中不同重量間晃動時間並沒有一個很規律的晃動，有可能因為拍攝時放大倍率不同、使用不同台相機畫素不同，導致觀看影片數據時，判讀有誤差。

三、橡皮繩與鋼絲結果之異同

(一)相同：纜車個數對晃動時間的影響。

(二)相異：纜車位置、重量對晃動時間的影響。

推測是因為兩者纜繩材質所造成的差異，我們在實驗時也發現，在進行各項變因的探討，纜車懸掛於橡皮繩上的晃動時間約為３０～１１０秒，懸掛於鋼絲時則是 5~10 分鐘，甚至超過 10 分鐘。或許是因為橡皮會吸收一些能量，而金屬較不易吸收能量。

四、抗震設計

由實驗結果可知，在纜車上加裝彈簧橫向-x 時，平均晃動時間最短，推測是因彈簧具彈性，可將傳來之能量轉換成彈力位能，位能與動能之間互相轉換時，能量消耗，以致於傳遞到纜車車廂的能量較少，使晃動時間縮短。而加裝阻尼器時不僅無抗震的效用，還使晃動時間加長，推測可能是阻尼器的擺錘不夠長，導致無法有效阻尼，讓阻尼器跟著纜車晃動，使晃動時間較長。另外，此部分的實驗數據誤差較大，可能是因為震源(趕蠅器) 敲擊纜繩的頻率非完全均值，導致其供給能量也非完全均值。未來我們會持續研究、設計出能更有效抗震方案。

柒、結論

一、纜車重量較輕者，越近塔柱平均晃動時間越短，但是晃動幅度較大；重量較重者，靠近塔柱平均晃動時間越長，晃動幅度較小。

二、纜車個數越多時，晃動時間有縮短趨勢。建議**在纜繩可負荷範圍及安全距離內縮短纜車間距，以利地震時達到減緩晃動的效果**。

三、纜車重量越輕時，晃動時間短，其晃動幅度較大，故不建議纜車車廂過輕。

四、纜繩須維持適當角度，以減少纜車於地震時晃動時間。

五、**塔柱較高，晃動時間較長**。建議現實生活中的纜車架設高度不宜過高。

六、**抗震設計中我們認為加裝吸震彈簧較為可行，所占空間較小，且能夠有效抗震。**

七、**不同重量間在水平震動和垂直震動時，晃動時間皆有峰值出現。**

捌、未來展望

一、夢未圓------纜車抗震設計

1.未來研究方向：

繼續探討並設計出各種纜車抗震設計，如:加裝球形阻尼器、彈簧(x 向和 y 向)，我們也想參考電梯的抗震設計，將它加諸於纜車上，測試其效果，最後找出最適合的方案。

2.目前問題：

我們是利用趕蠅器敲擊纜繩進而產生震動，且趕蠅器在接觸到物體後會反彈至另一方向繼續運作。但在初步實驗過程中，趕蠅器卻出現拍擊多次後才反彈至另一方向的情形，這可能導致實驗誤差。

3.問題解決：

限定敲擊次數以達提供能量相同。

二、夢未圓------行駛中的纜車

繼續探討各種不同因素對於行駛中纜車遇到地震時的影響。

玖、參考資料及其他

一、曲直分明--為何纜車的握臂是彎的。第 50 屆中小學科學展覽會，國小組，物理科。

二、十震九穩－建築物抗震之研究。第四十七屆中小學科學展覽會，國中組，生物及地球科學科。

三、孫文山(2000)空中纜車系統介紹及概要說明。中華技術期刊，第 51 期。

四、自己動手做好玩的貓空纜車模型(2013)https://www.youtube.com/watch?v=Bmm8Y0uTtq4

五、康軒版文教主編(2014)。自然與生活科技課本第三冊，第三章波。新北市：康軒。

六、康軒版文教主編(2014)。自然與生活科技課本第五冊，第二章慣性。新北市：康軒。

七、康軒版文教主編(2014)。自然與生活科技課本第六冊，第四章地震。新北市：康軒。

八、高瞻自然科學教學資源平台(2014) http://highscope.ch.ntu.edu.tw/

【評語】030504

優點：

生活化的主題相當引人入勝，同時將避震減災的觀念帶入工程設計，實驗設計可量化量測。研究過程符合科學方法。

缺點：

實驗的控制變因過多，部分說明不足。

建議改進事項：

(1) 震度的定義各國雖不盡相同，但量化均依據地表加速度值而定，應釐清觀念。

(2) 振動源產生的搖晃大小宜改由可記錄加速度「值」的 APP 取代。

(3) 空氣阻力與纜車重量無關。

(4) 纜繩如何「消耗」塔柱傳來的振動？應考慮纜繩+纜車重量的慣性作用。

(5) 如果纜車結構近似剛體，內部不會變形，內接的彈簧無法吸震，只是增加重量而已。

(6)所謂搖晃穩定則搖晃時間變長應是共振現象,這與系統結構(例底座大小、塔柱高低、纜車重量和纜繩長短)有關，共振頻率亦屬可量測現象。