

摘要

我們的研究主要是探討張拉整體的應用，一般張拉整體結構會讓人們覺得它似乎懸浮在空中，但其實是利用拉力與張力反向施力而達到力平衡的狀態。張拉整體能夠運用在家具上，如桌子、椅子等等，甚至可以運用在建築物上，如橋梁或是裝置藝術上面。本次實驗研究所探討的是關於張拉整體結構可否運用在建築物結構和抗震的應用方面，從初步的實驗發現當此結構乘載的重量達到最大極限時，結構體會因拉繩受力拉長使得原本的力平衡變得不穩定，致使結構體傾斜甚至斷裂坍塌，所以我們嘗試設計不同的結構改良方法，改善如何能讓此結構體達到更加穩固的強化設計。然而張拉整體是一種懸吊起來的結構裝置，因此也讓我們聯想到可運用於類懸浮隔震結構的防震技術，在初步設計上我們將拉繩結合彈簧並發現可以達到類似阻尼器的制震效果，為了使其能更加地抗震，因此我們設計了一套結合物聯網技術的監測及自適應調節震度的減震儀器裝置，加強當地震來臨時減緩震度的調節機制，實驗中發現能有效穩定減緩震度，並且思考未來能將其運用在建築物的防震技術上。

壹、前言

一、研究動機

台灣是多地震的海島型國家，在經歷了 0206 大地震後，看到嚴重的災害、許多房屋已及人命的損失，讓我們體會到了地震的恐怖性，為了解決地震的問題，我們決定參加科展來實現，而在偶然的情況下，我們在 youtube 上看到了一個張拉整體的裝置，這個看似懸浮的神奇裝置，實際上是以線與線之間達到力平衡，且兩構件之間不直接接觸，因此我們想到了運用張拉結構拉進行抗震，雖然現在有許多的抗震結構，但我們的裝置主要不同於此結構是以線的懸吊來作為支撐，與地面不直接的接觸，且此結構也會因為線的長短而影響它的穩定性，因此我們認為此裝置可以達到比其他抗震結構更抗震的效果，進而發想出各種實驗。

二、研究目的

我們研究這個裝置最主要是希望此原理能夠運用在生活上，如建築或家具，因此我們想了解此裝置的缺點並設法去改善。

- (一) 了解此結構的原理。
- (二) 加強張拉結構的穩固性。
- (三) 找出最適合抗震的拉繩。
- (四) 製作出最適合抗震的結構並結合物聯網來調控。
- (五) 完成第一代的張拉結構抗震裝置。

三、文獻回顧

(一) 什麼是張拉整體

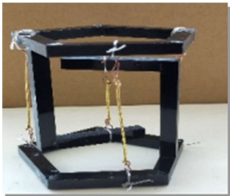
張拉整體是由美國哲學家理查·巴克敏斯特·富勒於 1948 年提出，張拉整體運用了力的平衡去穩定整個結構，根據他的說法，此系統是通過對抗力量而形成，「以自然的機構為基礎，能運用最少的元素，形成堅固的結構」。

蘇薇晨(2013) 指出 1940 年美國結構工程師巴克明斯特·富勒，曾定義張拉整體結構：「在連續張拉 (Tensile)作用下形成的統一整體(Integrity)及連續張拉+統一整體=拉張整體(Tensile+ Integrity=Tensegrity)」。

張拉整體屬於靜力平衡，也就是物質點所受的合力和合力矩為零，當缸體處於力學平衡中，其線加速度為零，角加速度亦為零。

(二) 相關研究文獻的整理列表如下

表一、研究文獻彙整表

比賽項目	題目名稱	研究結論	作品圖片
中華民國第 61 屆中小學科學展覽會	「形」之互動， 隱「力」再 「線」	1.中心軸線綁在底座重心點較穩 2.越多線穩定性載重越好 3.正多邊形穩定載重性佳	

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會	破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重力	<p>1. $360^\circ \div \text{正多邊形邊長數} = \text{等腰三角形的頂角} = \text{正多邊形重心角}$。</p> <p>2. 等腰三角形之頂角 = 正多邊形上架/下架的圓心角</p>	
中華民國第 61 屆中小學科學展覽會	自動機電控制拉張結構平衡桌	1. 型一拉張結構的弦與桿的比例、繫繩與水平面的夾角，對該結構的承重力有顯著影響。	
小論文工程技術類	漂浮桌-張拉整體原理應用	1. 在放置重物時若沒有放在桌子的重心上，每條平衡繩索所受的力就會不一樣，導致桌面傾斜不平。	
小論文物理類	三角關係之恐怖平衡——張拉整體的應用	<p>1. 四周向下的力 + 中間巷上的力 = 0</p> <p>2. 合力為零，屬於靜力平衡中的穩定平衡</p>	
新竹市第三十九屆中小學科學展覽會	一「臂」之力有「懸」技	<p>1. 結構的對稱性和懸臂的位置必須讓力矩抵消，才能穩定。</p> <p>2. 短繩的懸吊位置以及載重物品的放置位置影響其載重量。</p>	

(三) 總結

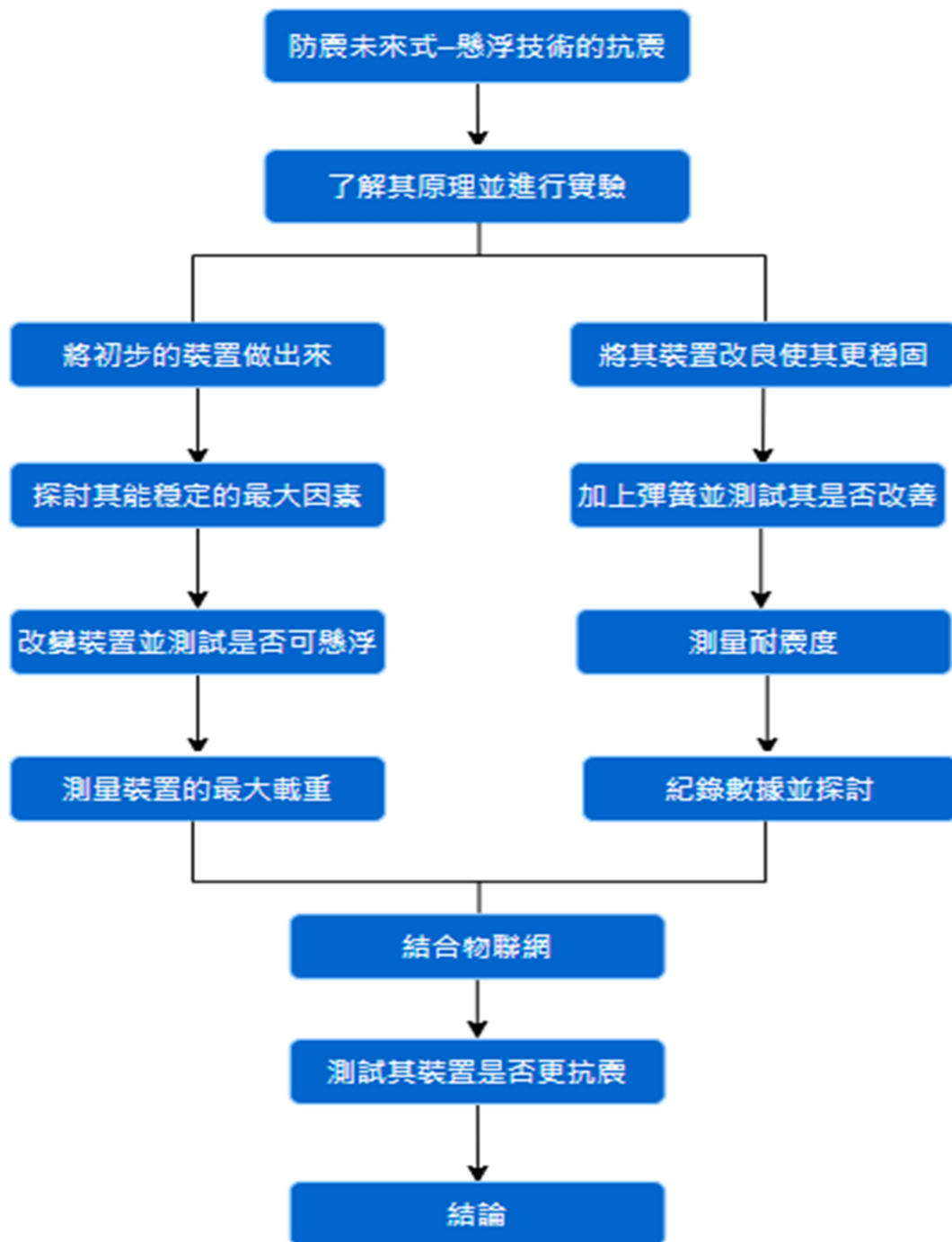
1. 張拉整體是利用所謂 向下的拉力 + 向上的張力 = 0，來達到平衡。
2. 張拉整體合力為 0 牛頓、力矩也為 0 牛頓，此時屬於靜力平衡和穩定平衡。
3. 物品放在重心上、線越多、越緊繃、越接近正多邊形、線的材質越堅硬，能載重的量越大
4. 中心軸綁在重心上、線越緊繃、4 邊線與中間線均等距、中間線越短線，裝置越穩定

貳、研究設備及器材

表二、研究設備及器材表

品 項 名 稱	用 途	數 量
木條（松木）	製作張拉整體結構	數根
釣魚線	拉繩實驗組線材	1 捆
棉線（粗）	拉繩對照組線材	1 捆
小彈簧	作為拉繩的緩衝	數個
木工膠	黏木頭	1 瓶
熱融槍	固定線材	1 組
砝碼（夾式）	用以量測結構的乘載量	數個
砝碼（吊式）	用以量測彈簧的彈性疲乏程度	數個
厚紙板	使物體能平均分佈乘載重量	1 片
光環版	製作 IOT 裝置的開發板	2 個
吊飾扣環	用來勾扣安裝彈簧	數個
鑽孔機	鑽木頭孔洞	1 台
線鋸機	裁切木頭材料	1 台
砂磨機	砂磨木頭材料	1 台
電子秤	量測結構體重量	1 台
地震模擬器	模擬地震時的晃動動作	1 台

參、研究架構



肆、研究方法與過程

一、實驗一 (將裝置做出來並調整綿線的長短)

(一) 實驗發想：通過我們的文獻探討，我們發現到每個裝置所用線的長短皆有所不同，因此我們認為線的長短可能是影響其裝置穩定的重要因素。

(二) 裝置(材料): 冰棒棍、棉線、熱熔槍

1. 實驗步驟：

- (1) 把鴨舌棒黏成兩個正三角形
- (2) 把鴨舌棒取適當長度裁切並黏在正三角形上面
- (3) 將上下兩組鴨舌棒用針打洞並將縫紉線穿過洞口
- (4) 完成裝置並探討線常對於穩定性的影響

2. 實驗數據：

	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	實驗 6
繩長 (長)	8 cm	9 cm	10 cm	11 cm	12 cm	13cm
繩長 (短)	6 cm	5 cm	4 cm	3 cm	2 cm	1cm
是否可懸浮	是	是	是	是	是	是

(三) 實驗發現：

張拉整體這個裝置在任何情況下，只要周圍的線長都>中線的線長，且都成緊繃狀態，就符合向下的張力+向上的拉力=0，也就是能夠維持平衡。

(四) 裝置圖片



圖一、張拉整體結構原理

二、實驗二(張拉整體製作)

(一) 重現張拉整體

1.所需材料：木棒 N 根、木工膠、縫紉線

2.實驗步驟：

- (1)用木棒黏成 15x15cm 的方形底 x2
- (2)裁切木棒並黏成 L 字型的木棒
- (3)把 L 型的木棒黏在 15x15 正方形木頭的其中一邊
- (4)在上下方形木頭的四邊及上下 L 型的短邊尾端鑽孔
- (5)將綿線穿過洞孔並綁在木頭上
- (6)完成裝置並探討其原理

(二) 張拉整體原理

1.力的平衡

⑤	向下張力	支撐上方平台
①② ③④	向上拉力	拉住平台
⑤+①②③④=0，向上張力+向下拉力=0		

2.關鍵於中間那條繩子：

- (1)因為繩子無法壓縮只能提供緊繃的拉力
- (2)所以拉緊中間那條繫繩
- (3)使得上方的平台向上抬升，從而拉緊四周的繩子



圖二、張拉整體完成圖

三、實驗三 (依據實驗二的裝置測量其承載重量並記錄)

(一) 實驗發想：在測試其三邊形裝置的承載重量時，我們發現其裝置會倒塌，導致無法。

測出其裝置的最大載重，因此我們換了不同版本的張拉整體裝置，改成了四邊形版本的來測試其最大承載。

四邊形版本的優點：

1. 不管施壓於各點上皆不會倒塌。

2. 平台上可放置重物的面積變大。

(二) 實驗器材：木棒、棉線、木工膠、砝碼

(三) 實驗步驟：

1. 將其裝置上方覆蓋與底座差不多大小的皮革。

2. 將砝碼放置裝置上方並記錄數據。

(四) 實驗數據：

中線線長	7.5cm	量測結果 靜載重：164.6g 活載重：860.5g
左 1 線長	18.5cm	
左 2 線長	18.5cm	
右 1 線長	18.5cm	
右 2 線長	18.5cm	

(五) 實驗結果：

1. 當砝碼放中間時，可乘載 860.5g 的重量。

2. 當砝碼放在裝置的木棒上，甚至可以乘載 1000g。

(六) 實驗發現：

裝置必須讓四個角都承受相同力道的力才能夠穩定的保持平衡放一個角 會使此裝置不穩固 然而在同一個點持續加重 最終會使此裝置無法維持力的平衡 然而 此裝置要乘載重量的多寡取決於線的鬆緊度 線如果太鬆 會影響實驗結果 導致乘載的重量有所改變（變小） 反之當線越緊 能夠支撐的重量就越重。在測試此裝置的最大承載重量時，我們發現雖然此裝置並不會垮下來，但線會因為其點上承載重量過重而使得該施力點上的線鬆掉，導致其對稱的線比原本承受得更加緊繃。

四、實驗四(比較形狀對穩定性的影響)

(一) 實驗發想：我們想知道改變此結構的形狀對其載重量的影響

(二) 實驗方法：

用砝碼測試在各個不同的點施力對其穩定性影響

(三) 三邊型裝置的測試

1. 實驗數據：

表四、三邊形裝置的穩定實驗數據

	砝碼 100g	砝碼 150g	砝碼 200g	砝碼 300g
施力點 1	可懸浮	可懸浮	倒塌	倒塌
施力點 2	可懸浮	可懸浮	可懸浮	可懸浮
施力點 3	可懸浮	可懸浮	倒塌	倒塌



圖五、正常的三邊形裝置



圖六、三邊形裝置失衡倒塌

(四) 測試結果：

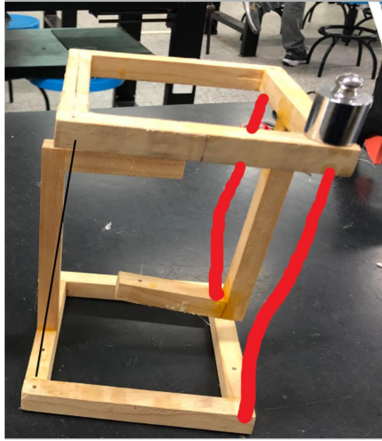
(1) 我們得知了 4 條線會倒塌，但在某些特定的施力點上卻不會倒塌

(2) 我們發現裝置在特定施力範圍內可載重，但載重量並不大

(3) 我們發現與上一裝置一樣，在受壓過重時，中間 L 型的木條會斷裂

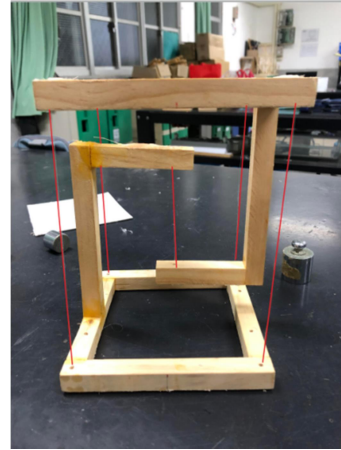
(五) 四邊型裝置的測試

1. 測試方法：我們測試了在各個不同的點上放置砝碼，觀察此裝置是否會倒塌。



圖三、四邊形
線受力彎曲
正常的四邊形

2.測試結果：



裝置
圖四、
裝置

(1)我們得知其 5 條線的裝置不會倒塌，但若此裝置平台上方無平均受力，則會因為 4 個角的線受力不均而使受力較大的釣魚線因鬆掉而產生歪斜，由於釣魚線未達最緊繃的程度，因此此裝置會因為釣魚線仍有伸縮空間而導致裝置歪斜。

(2)雖然其棉線並不會斷掉，但我們發現中間的棉線(繃緊)會將受到的力施壓於中間 L 型的木條，因此在施壓時，會因為中間 L 型木條承受了力量太大而導致斷裂。

(六) 比較前兩者裝置並探討

- 1.因為正方形的裝置在四個頂點上都有一條線支撐，使得其裝置不管施壓時平台上任何一點時，其裝置皆不會倒塌。
- 2.因為三邊形裝置只有在三個頂點上有連接上線，所以在施壓於斜邊上時，會因為其裝置無法承受壓力而倒塌

(當三邊形的裝置承受到了某些特定地方的壓力時，即會因為不平衡而倒塌)

(七) 實驗結論

透過實驗，我們得知了四邊形的裝置不管接受任何施力點皆不會倒塌，但三邊形的裝置在某些施力點上卻會倒塌，因此我們得知四邊形的裝置會比三邊形的裝置來的更穩固，基於應用在建築及抗震上的考量，我們在後續皆以四邊形來做實驗

五、實驗五(改變線的材質)

(一) 實驗發想：

我們透過文獻探討發現各種線都可以讓此裝置平衡，因此我們想改變線的材質並比較其載重量的影響

(二) 實驗材料：四邊形張拉整體裝置、釣魚線

(三) 實驗步驟：

- (1)將棉線全部剪斷並改綁釣魚線
- (2)量測線的長度並固定
- (3)利用綁釣鉤的方式綁線
- (4)完成裝置

(四)實驗發現：

- 1.釣魚線的彈力比棉線小。
- 2.釣魚線受拉撐的力量大於棉線。
- 3.釣魚線韌性較強，因此不易弄斷。
- 4.張拉整體裝置改成釣魚線穩定性比較好。

(五)實驗結果

統合實驗發現，改成釣魚線的優點如下：

- (1)此釣魚線的綁法可將其釣魚線調整線長及其鬆緊度因此較方便調控。
- (2)其釣魚線的緊度較棉線緊因此該裝置比較不易搖晃。

六、實驗六(桁架改良版)

(一) 實驗發想：我們在前面的實驗中發現中間 L 字型的木頭會因為線受重力下壓而導致木斷裂或歪斜，所以我們聯想到七年級教的桁架結構，便運用桁架的支撐來減少斷裂或歪斜的現象，加強張拉結構的穩固性。

(二)桁架定義：由三根構件連接組成三角形的結構，無論從任何方向施力皆不易變形，是最穩定且簡單的結構。

(三)實驗器材：改良張拉整體

(四)實驗步驟：

- (1)製作新張拉整體結構並加上桁架結構。
- (2)比較前面張拉整體的載重量。

(五)實驗發現：

- 1.桁架能夠減少 L 字型木頭斷裂和彎曲
- 2.因為線可以更加緊繃，所以此改良後裝置可更有效的讓整體承載更重的重量



圖五、加上桁架的改良版張拉整體結構

七、實驗七 (加上彈簧)

(一) 實驗發想：

經過上一個實驗的結果，我們發現線會因為較沒有彈性(活動性)而導致裝置與線的接口經常被線所拉扯，久了便會損壞因此我們將繩子綁上彈簧是為了實驗加上彈簧是否可以改善其裝置為了知道我們的想法是否正確。

(二) 實驗材料：改良四邊形裝置、彈簧

(三) 實驗步驟：

- (1) 把釣魚線正中間剪斷並裝上彈簧
- (2) 計算線的長短並調整使其繃緊

(四)加上 彈簧的優點：

- (1) 彈簧的彈性很大，在拉撐後可以再用彈力將其繃緊
- (2) 一般的線會因為受力過大而斷掉，而彈簧可以在受力後還有伸長的空間
- (3) 我們發現線的繃緊度可能因為拉撐過久而變鬆，所以就改成可以伸縮的彈簧

(五) 實驗結論：

當彈簧無受外力拉撐時的長度為 1.7cm，而當每條線都加裝彈簧後，在裝置承載重

量時，中線彈簧會先變化，而當中間彈簧拉撐到 2.3cm 後，四周的彈簧才會開始變化，而由中間彈簧由 2.4~2.8，四邊的彈簧也會跟著變化，而當中間彈簧長度達到 2.8cm 時，四周的彈簧都會分別拉撐 0.1cm，由此可證明中間向上的張力+四周向下的拉力=0。



圖六、加上彈簧的裝置

八、實驗八(晃動幅度測試)

(一) 發想：我們發現此裝置在經過搖晃後依舊不會倒塌，所以測量其裝置的防震效果。

(二) 實驗器材：四邊形裝置、改良後桁架裝置(釣魚線)、地震模擬器、光環版

(三) 實驗步驟：

(1)將光環版固定在皮革板上

光環版本身是一個開發版，具有連網功能的 ESP32 晶片，可作為物聯網裝置設計，在此實驗中我們把它當作水平儀。

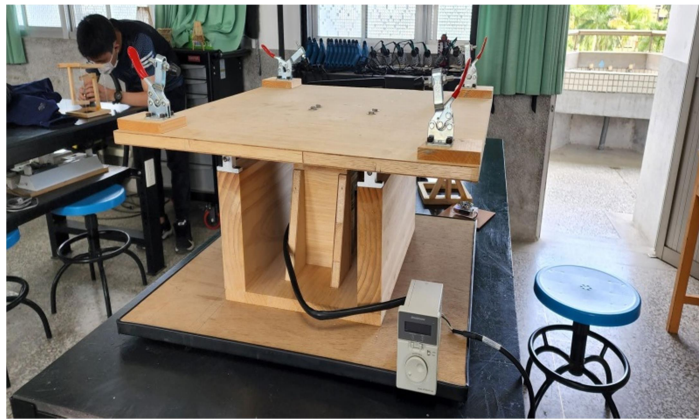
(2)設計測量水平的程式並燒進光環版(分為前後晃動以及左右晃動)

(3)將此裝置放在地震模擬器上並比較其晃動幅度

(我們測量 200 和 400 的馬達轉速並比較晃動幅度)

(4)將數據傳至電腦並彙整成圖表

(四)研究圖片：



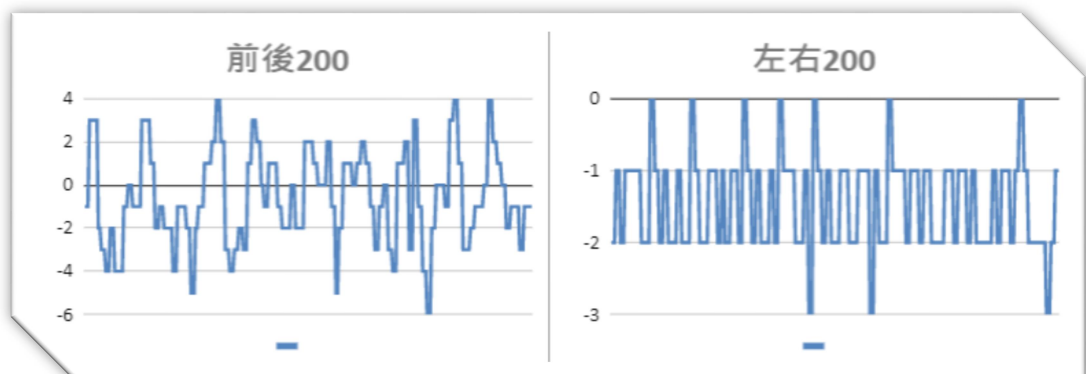
圖七、模擬地震的裝置



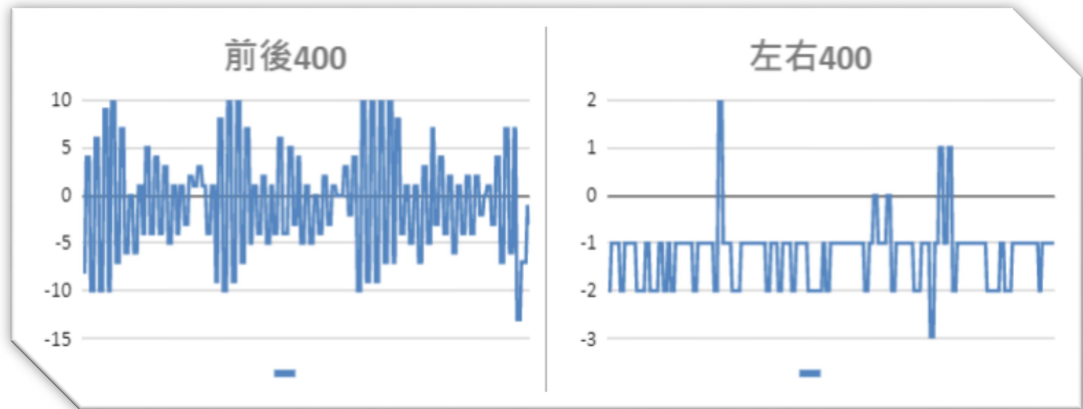
圖八、釣魚線裝置

(五)實驗數據：

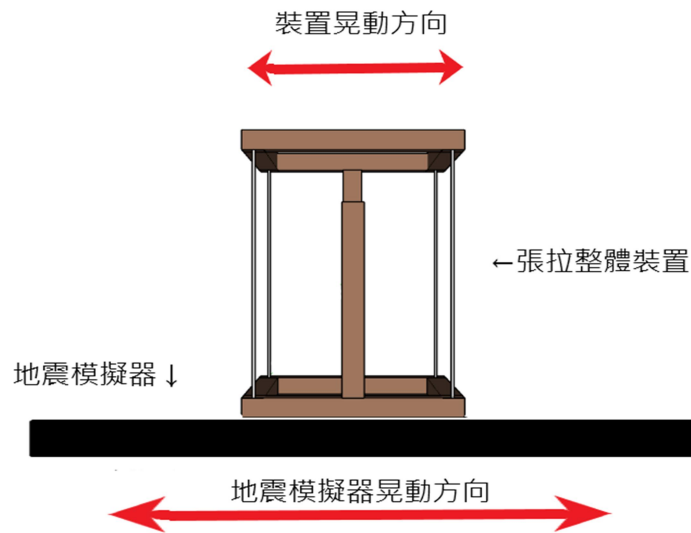
※我們設定每 0.01 秒去偵測他的晃動頻率



圖九、震幅 200 時的晃動數據(釣魚線)



圖十、震幅 400 時的晃動數據(釣魚線)

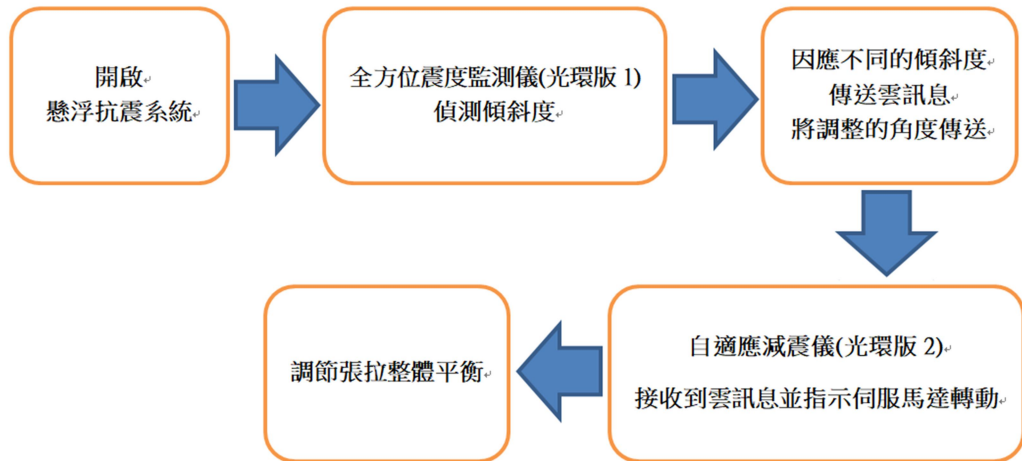


圖十一、震動示意圖

九、實驗九(設計結合物聯網的裝置)

一、實驗發想

我們的設計概念是運用光環板設計震度監測裝置，透過聯網傳遞雲訊息，再透過另一個光環板接收雲訊息，然後自動指示伺服馬達調控線的鬆緊來達到抗震的效果，我們稱此系統為「懸浮抗震系統」，系統執行流程如下圖。



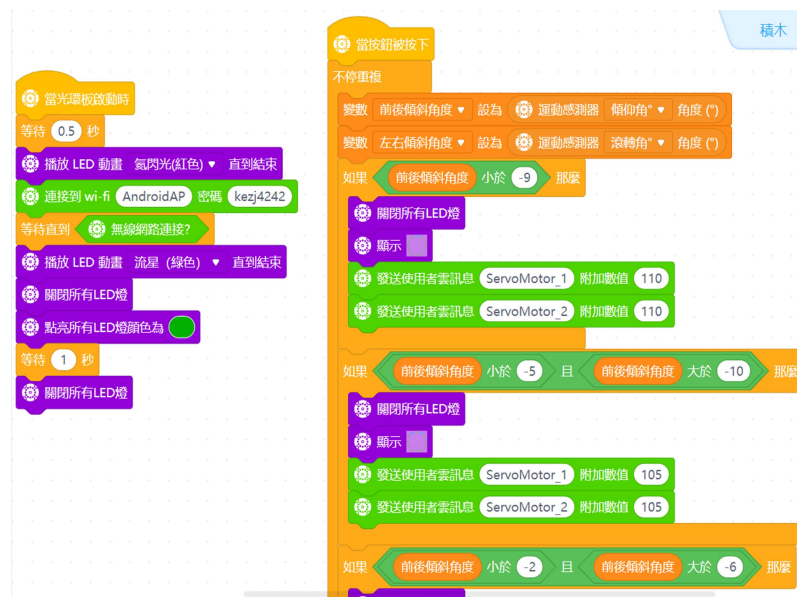
圖十二、啟動懸浮抗震系統的流程

說明：

我們懸浮抗震系統包含兩個硬體部分：一是「全方位震度監測儀」，其二是「自適應減震儀」，根據懸浮抗震系統的光環板軟體程式亦可分為兩個部分，如下說明。

第一部分：全方位震度監測儀(光環版 1)

光環版中有一個運動感應器，因此可以利用此功能來檢測傾斜度，再將我們所設計好的 mBlack 程式燒入光環板，再透過雲訊息便可傳送應該調整的角度給另一光環板。



圖十三、全方位震度監測儀的部分程式碼

第二部分：自適應減震儀(光環版 2)

利用光環板之間可以傳遞訊息的功能，我們將(光環版 1)所監測到的數據傳遞給(光環版 2)，則其(光環版 2)便會因應接收到的不同傾斜度而調整線的鬆緊，使其達到張拉整體平衡。

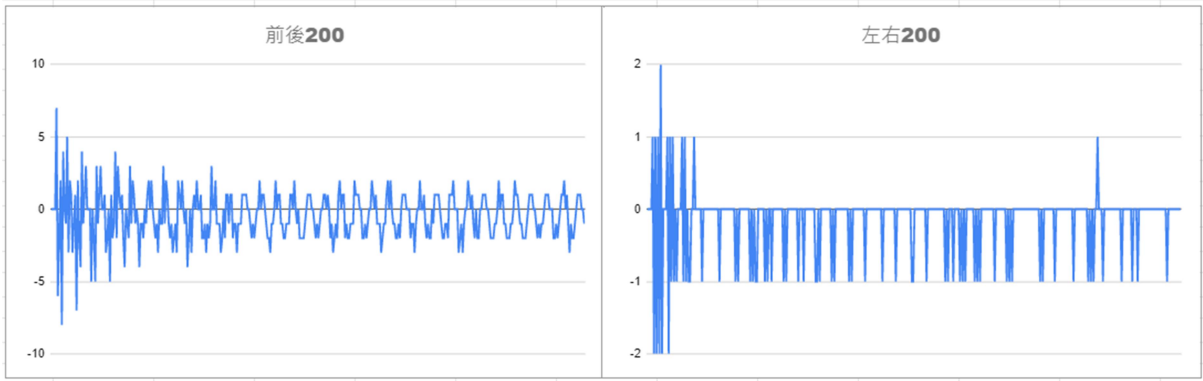
圖十四、自適應減震儀的部分程式碼

將此裝置做出並測試其協調線的長短是否成功達到抗震說明：

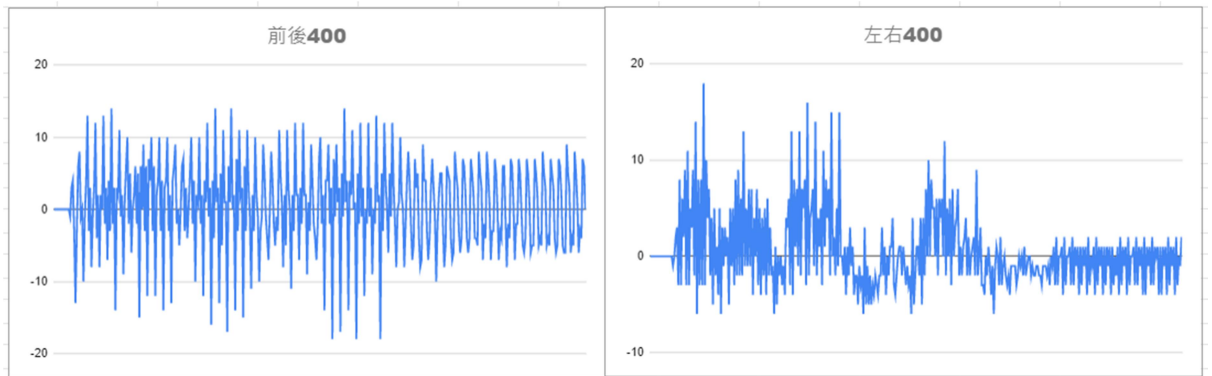
我們比較了有無開啟懸浮抗震系統對於抗震的程度

我們認為加上了懸浮抗震系統可以減少地震對於張拉整體裝置的影響

一、實驗數據(無開啟懸浮減震系統):



圖十五、震幅 200 時的晃動數據(彈簧)



圖十六、震幅 400 時的晃動數據(彈簧)

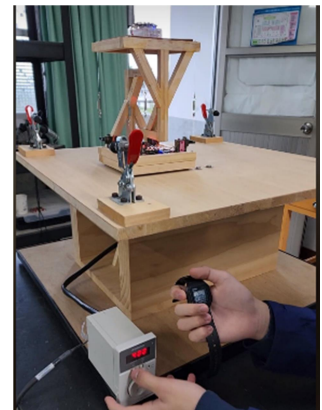
(三)實驗影片：

200 震幅影片(彈簧)：

https://www.facebook.com/messenger_media/?thread_id=4314076452026399&attachment_id=671685383920219&message_id=mid.%24gAA9ToTJ0-B-GcoFWC2AQTP4dud3L

400 震幅影片(彈簧)：

https://www.facebook.com/messenger_media/?thread_id=4314076452026399&attachment_id=305169468402272&message_id=mid.%24gAA9ToTJ0-B-GcoKX8GAQTP4jOd3L



二、實驗結論

(一)實驗數據

根據我們得到的實驗數據我們可以發現到不管是晃度 200 或晃度 400，在前半會因為剛接收到地震而不適應，導致前面的晃動幅度大且沒有規律，但到後來可以發現晃動幅度明顯的減少了許多，且也可以發現在晃度 200 和 400 的情況下，晃度 200 時其裝置較快的進到了規律晃動的狀態，且規律晃動時的最大晃動幅度也比一開始來得小，而晃度 400 時較晚進到此狀態。

因此可以得知：地震儀的晃度越小，其張拉整體裝置較快的進入規律晃動，也可以較快控制住晃動幅度。

(二)實驗影片

根據實驗的影片我們可以得知其搖動幅度一開始皆是呈現亂晃的狀態，但到後面明顯的晃動幅度減緩了許多，也可以看到裝置上的彈簧會因為受到慣性的影響被不斷拉伸，且我們發現到其裝置會降低晃度的主要原因是因為加上了彈簧後，使其裝置有晃動以及緩衝的空間，再加上了此裝置是以懸吊支撐、上方平台有不少質量，以及實驗的數據，我們推論其裝置達到了類似阻尼器的效果。

十、實驗十(比較有無懸浮抗震系統)

一、實驗

(一)發想：我們為了測試我們的「懸浮抗震系統」裝置是否有效達到抗震的效果，因此我們打算比較有無開啟懸浮抗震系統裝置對於抗震效能的比較。

(二)實驗器材：實驗九的桁架裝置、地震模擬器、懸浮抗震系統、碼表

(三)實驗步驟

1. 將裝置放置到地震儀上面
2. 用晃度 400 的搖晃，經過 5 秒後關上
3. 運用光環版測量其晃度
4. 當光環版顯示其水平達到平衡實紀錄秒數
5. 紀錄數據並探討

(四)實驗數據

	震度 200	震度 400
無開啟 IOT	約 1 分 40 秒	約 1 分 55 秒
有開啟 IOT	約 35 秒	約 50 秒

(五)實驗影片：

200 震幅影片(有開啟 IOT)：

<video-1650533710.mp4>

400 震幅影片(有開啟 IOT)：

<video-1650533729.mp4>

二、實驗結論

在剛開始測量時，程式所設定的是當上方光環版偵測到不平衡時，傳送到伺服馬達所調整的角度為 10~20 度，調整角度太大，所以只要一調整就會影響

裝置的平衡，導致一直重複偵測並調整，所以我們改成當偵測到不平衡時改變 5~10 度來觀察調整情形，而調整後我們也發現這樣相較 10~20 度可以更快的達到靜止狀態，所以根據我們測量的實驗數據我們可以知道，有開啟 IOT 的話，相較無開啟 IOT 可以更有效的減少震動時間，可以減少差不多 1 分鐘的震動時間。

肆、研究結果

實驗一結果：線的長度不會影響其裝置穩定性

實驗二結果：張拉整體的合力為 0，屬於靜力平衡

實驗三結果：必須將物體放置於裝置上方底部的重心才能有效增加裝置的載重。

實驗四結果：越多邊形的張拉整體裝置，其穩定性和載重量越好。

實驗五結果：釣魚線相較棉線來的堅固，因內部彈力小，因此不易拉伸。

實驗六結果：加上桁架結構能夠增加張拉整體裝置的穩定性和載重量。

實驗七結果：彈簧可做為變的緩衝，當有重物一瞬間施壓時能避免拉繩斷掉。

實驗八結果：張拉整體裝置會因為重心的關係而影響其晃動度，而左右的晃動幅度比上下的晃動幅度來的小。

實驗九結果：當開啟懸浮抗震系統後能夠有效減少晃動幅度。

實驗十結果：當開啟懸浮抗震系統後能夠有效減少晃動時間。

伍、研究討論

討論一、如何加強張拉結構的穩固性。

我們發現張拉整體 L 字型的木頭會因為線的拉扯而彎曲甚至斷裂，所以我們加上了桁架，加上桁架的主要功能是因為我們想利用三角形不變形的性質，來支撐 L 字型木頭減少斷裂，在實驗的過程中我們也發現加了桁架能夠額外增加載重量並有阻尼起的效果。

討論二、依我的裝置我如何找出最適合抗震的拉繩。

我們比較了幾種線的載重量，分別有棉線和釣魚線，而在實驗得過程中我們發現釣魚線的彈性比棉線來的小，所以比較能夠維持繃緊狀態，而釣魚線因為內部構造較紮實，所以也相較棉線來的能夠承載更重的重量，因此用釣魚線比較適合。

討論三、依我的裝置製作出甚麼樣最適合抗震的結構並結合物聯網來調控。

我們在實驗中發現線會因為載重過重而導致斷裂，所以我們變裝上彈簧做為緩衝，我們用光環板來測量結構的水平，並用伺服馬達來做調整，改變成彈簧相較其他的線來的有伸長空間，但彈簧的缺點是因為彈力過大，會導致裝置晃動的幅度變大且彈簧也會因拉撐過久而彈性疲乏，減少鬆緊度。

討論四、我最後如何改變結構而完成第一代的張拉結構抗震裝置。

我們設計程式並燒進光環版，再利用光環版「當此裝置不平衡時」再傳送訊息讓伺服馬達去微拉緊線的鬆緊度使裝置減少晃動幅度，最後我們也發現這個裝置可以歸納在建築方面的制震，期望當把此構件設計在建築底下，地震來時能及時調整來達到平衡，且讓前後左右的水平都為 0。

陸、研究結論

一、針對目的 (一) 的結論

- 1.張拉整體的原理是利用張力+拉力=0，也就是合力為零。
- 2.張拉整體屬於靜力平衡，合力矩和合力都為零，且受外力後不影響結構平衡性。
- 3.張拉整體在受外力影響後，會因線鬆緊度不夠而晃動甚至失去向上拉力而倒塌
- 4.張拉整體這個裝置必須在上方底座的正中心放置重物，相較放在四邊能更有效的增加承載重量

二、針對目的 (二) 的結論

- 1.加上桁架能支撐 L 字型的木頭避免斷裂和彎曲。
- 2.越多邊形，線綁的位置越多，上表面所能承載的力量可以被分散，所以穩定性和載重量也越好。
- 3.釣魚線比棉線更堅固，內部彈力較小，使得線拉撐後不改變現的長度

三、針對目的 (三) 的結論

- 1.彈簧在特定的情況下也比釣魚線來的好，彈簧能做為緩衝，當有重物由上往下一瞬間施壓時，能減緩線因施壓而斷裂的情況。
- 2.彈簧因為可以自由伸縮，調整線的鬆緊度，所以很適合作為防震結構所使用的線。

四、針對目的 (四) 的結論

- 1.裝上懸浮抗震系統測水平並傳送訊息給伺服馬達能夠調整線使的線越緊繃，進而更快調整達到靜止狀態
- 2.有開啟懸浮抗震系統功能相較沒開啟懸浮抗震系統功能的時間來的快約 1 分鐘。

五、針對目的 (五) 的結論

- 1.我們最終做出的裝置能有效達到減振的效果，有類似阻尼器兼制震的效果
- 2.我們在實驗的過程中發現當懸浮抗震系統在調整時會因調整角度過大不平衡導致須重新調整，我們希望未來能將其運用在生活上並把懸浮抗震系統更加具體化，能更精確偵測並調整。

柒、參考文獻資料

- 一、 圖一，擷錄自網址 <https://www.bilibili.com/s/video/BV1wA411B7aQ>
- 二、 蘇薇晨（2013）。基於張拉整體結構探討動態性結構。國立交通大學建築研究所：碩士論文。
- 三、 「形」之互動，隱「力」再「線」，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 四、 破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 五、 自動機電控制拉張結構平衡桌，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 六、 漂浮桌-張拉整體原理應用作者: 詹逸翔，國立土庫商工，建築科三。
- 七、 三角關係之恐怖平衡——張拉整體的應用，小論文物理類。
- 八、 一「臂」之力有「懸」技，新竹市第三十九屆中小學科學展覽會。
- 九、 張拉整體- 維基百科，自由的百科全書。
- 十、 物理類篇名：三角關係之恐怖平衡——張拉整體的應用作者。
- 十一、 「反重力懸浮術」——張拉整體結構(Tensegrity)之探討與實作作者。

附註、其他研究相關照片如下

