

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

佳作

032807

防震未來式—懸浮技術的抗震

學校名稱：花蓮縣立國風國民中學

作者： 國二 陳奕穎 國二 陳奕帆	指導老師： 李漢昌 戴淑萍
-------------------------	---------------------

關鍵詞：張拉整體、物聯網應用、懸浮抗震

摘要

本實驗研究探討關於張拉整體結構運用在建築物結構的抗震應用，初步探究發現結構乘載過重時，結構體會因繩長變化，使得力平衡不穩定，導致結構體傾斜甚至斷裂坍塌，我們嘗試改善結構，讓此結構體達到更加穩固。張拉整體是一種懸吊平衡的結構裝置，因此也讓我們聯想其可運用在類似懸浮隔震結構的防震技術上，在初步設計上將拉繩結合彈簧，發現可以達到類似阻尼器的制震效果，因此我們進一步設計了一套懸浮抗震系統，系統結合物聯網技術，一邊能主動監測地震晃度，透過無線網路傳遞晃度訊息，一邊讓自主調控裝置依據晃度大小調整張拉整體平台使其回復到平衡狀態，經過地震模擬實驗發現能有效減緩晃度，思考未來可將其運用在建築物的防震技術上。

壹、前言

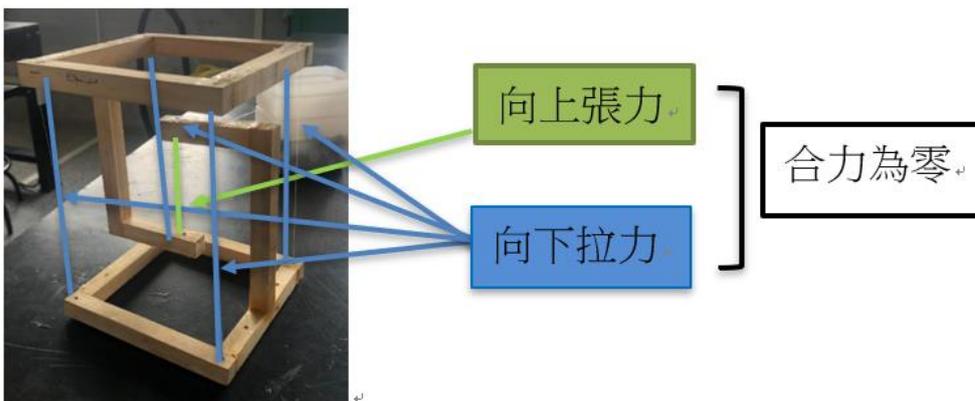
一、研究動機

台灣是多地震的海島型國家，在經歷了花蓮 0206 大地震，甚至是高雄美濃大地震後，看到因災害所造成許多房屋以及人命的損失，讓我們體會到地震的恐怖，為了解決地震災害造成房屋結構破壞倒塌的問題，我們決定參與科學探究社團課的科探研究，而偶然的情況下，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，實際上是利用線與線之間的相互作用力來達到力的平衡，而分開的構件之間並不直接的接觸，在七年級生活科技課中也曾聽老師上課上到有關於房屋建築使用隔震技術作為抗震使用的內容，因此我們發想是否能利用張拉整體與地面不接觸類似隔震的特質，來進行房屋建築抗震的探究，此裝置與其他抗震結構主要不同在於此結構是以線繩的懸吊來作為支撐整體，與地面不直接的接觸，且此結構也會因為線繩的長短而影響它的穩定性，因此我們試想也許此張拉結構裝置可以達到比其他隔震結構更為抗震的效果，為了探討關於張拉整體隔震的可行性，我們設計了一系列的實驗。另外，伴隨著 IOT 物聯網技術的日益成熟，我們想嘗試透過機電整合與 5G 網路世代的運用思維，設計出具有物聯網功能，能兼具主動監測及調控張拉整體結構平衡的裝置，來探究未來將其運用於建築體地震防護的可行性研究，實現探索關於懸浮技術抗震的「創新」研究。

二、研究目的

我們研究張拉整體結構最主要是希望將此運用在生活上，依照我們的研究動機，我們期望張拉整體運用在建築物的緩震技術上，因此我們想了解張拉整體結構的缺點並設法去改善它，我們的研究目的如下：

- (一) 探究「張拉整體」結構原理？
- (二) 研究可如何更強化其原有結構強度？
- (三) 比較各種拉繩對於減震的效能？
- (四) 探究晃動問題並試圖解決？
- (五) 透過地震模擬儀器，測試「張拉整體」懸浮技術可以如何隔震與緩震？



圖一、張拉整體結構圖

三、文獻回顧

(一) 什麼是張拉整體

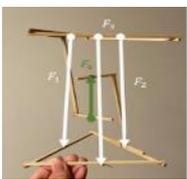
張拉整體是由美國哲學家理查·巴克敏斯特·富勒於 1948 年提出，張拉整體運用了力的平衡去穩定整個結構，根據他的說法，此系統是通過對抗力量而形成，「以自然的機構為基礎，能運用最少的元素，形成堅固的結構」。

蘇微晨 (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) 即為拉張整體 (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，當鋼體處於力學平衡中，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

文獻出處	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. 越多正邊形穩定載重性佳。	
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	1. $360^\circ \div \text{正多邊形邊長數} = \text{等腰三角}$ 形的頂角 = 正多邊形重心角。 2. 等腰三角形之頂角 = 正多邊形上 架 \div 下架的圓心角。	
小論文工程技 術類	漂浮桌-張拉整 體原理應用	1. 放上重物後會受張力拉伸而鬆脫。 2. 放置物體必須放在重心上。	
小論文物理類	三角關係之恐怖 平衡—張拉整體 的應用	1. 四周向下的力+中間向上的力=0。 2. 合力集合力矩為零，屬於靜力平衡 中的穩定平衡。	
新竹市第三十 九屆中小學科 學展覽會	一「臂」之力有 「懸」技	1. 結構的對稱性和懸臂的位置必須讓 力矩抵消，才能穩定。 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。	

(三) 從上述文獻資料可得知以下幾項要點：

1. 張拉整體是當所有向下的拉力與所有向上的張力相抵為 0 (牛頓) 時，得以維持其平衡。
2. 而當張拉整體合力為 0 (牛頓) 且合力矩也為 0 (牛頓·公尺) 時，此時達到該靜力平衡的穩定平衡狀態。
3. 當物品平放於重心上，拉繩越多越緊繃，而整體結構越接近正多邊形，且當拉繩的材質越強韌，則載重的重量就越大。
4. 當中心繫於中心軸支點，拉繩越緊繃，四邊拉繩與中間拉繩等距，且中間拉繩越短，其裝置也將越穩定。

(四) 張拉整體原理

1. 合力為零。

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{F1} + \vec{F2} + \vec{F3} + \vec{F4} + \vec{F5} = 0$$

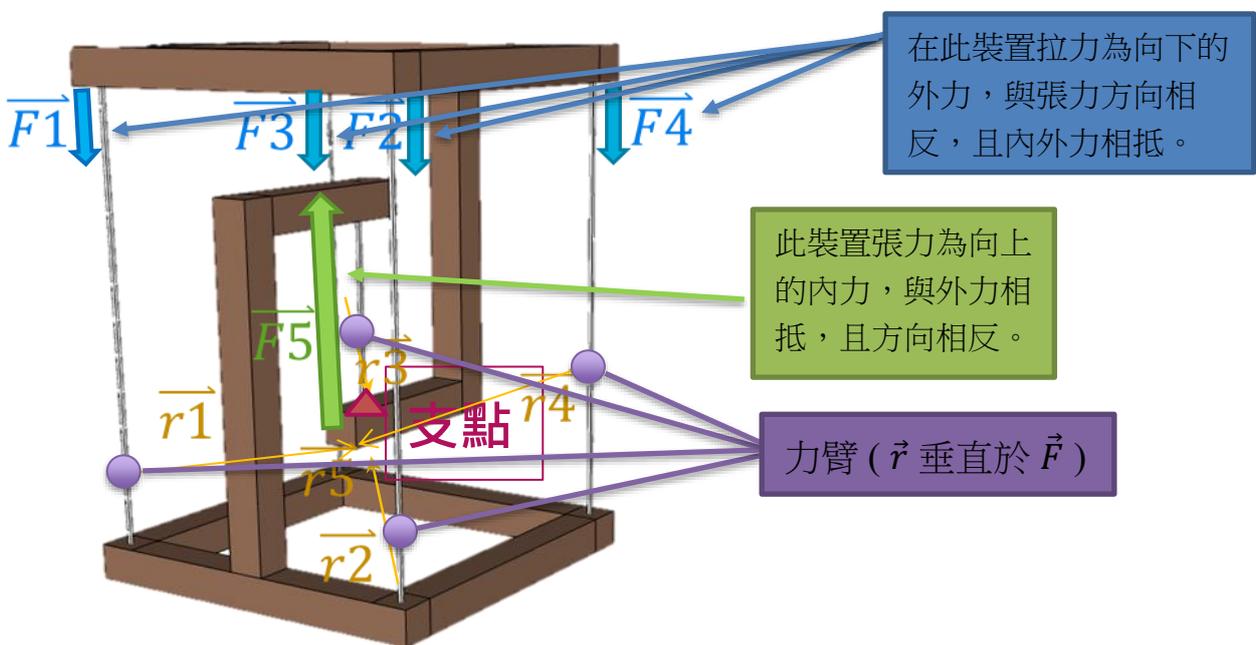
2. 合力矩為零。

$$\begin{aligned} \sum \vec{\tau} = 0 &\Rightarrow \vec{\tau1} + \vec{\tau2} + \vec{\tau3} + \vec{\tau4} + \vec{\tau5} = 0 \\ &\Rightarrow \vec{r1} \times \vec{F1} + \vec{r2} \times \vec{F2} + \vec{r3} \times \vec{F3} + \vec{r4} \times \vec{F4} + \vec{r5} \times \vec{F5} = 0 \end{aligned}$$

力學代號	中文名稱	定義
\vec{F}	作用力	兩物體間通過不同的形式發生相互作用如吸引、相對運動、形變等而產生的力。
$\vec{\tau}$	力矩	作用力促使物體繞著轉動軸或支點轉動的趨向。
\vec{r}	徑向向量	一種特殊向量。以原點 O 為起點，以點 M (x, y, z) 為終點的向量。

表二、原理名詞定義

3. 張拉整體合力為零(不轉動)、合力矩為零(不移動)，屬於靜力平衡。
4. 平台重量 + 向下拉力 (外力) = 向上張力 (內力)。
5. 重心位於中間桿件，在平台上放置物體需放在重心上。
6. 在連續張拉 (Tensile) 作用下形成的統一整體 (Integrity)，故名詞被結合成一張拉整體，連續張拉 + 統一整體 = 拉張整體 (Tensile + Integrity = Tensegrity)。
7. 而越多正邊形則其內角和越大，外力能夠分散的點越多越平均，故會較為穩定。



圖二、張拉整體原理圖

貳、研究設備及器材

表三、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	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
熱熔槍	固定線材	1 組
砝碼（夾式）	用以量測結構的載重量	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
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	裁切木頭器材	1 台
砂磨機	砂磨木頭器材	1 台
電子秤	量測結構體重量	1 台
地震震度模擬器	模擬地震時的晃動動作	1 台
伺服馬達	用以調控拉繩的長短	4 個
Halocode 開發板	用來設計製作 IOT 裝置系統	3 個
筆記型電腦	編輯 mBlock 程式再燒錄至 Halocode 開發板	1 台

參、研究綱要

一、探究張拉整體結構原理及其幾何結構的穩定性。

提出改善四邊形結構張拉整體的設計改良。

(一) 木製框體結構的改良 → 松木材質，結合「桁架」增加結構強度。

設計「負重測試實驗」

(二) 拉繩結構的改良 → 釣魚線材質，結合「彈簧」增加緩衝拉力。

設計「拉力測試實驗」

二、探究張拉整體的晃動問題。

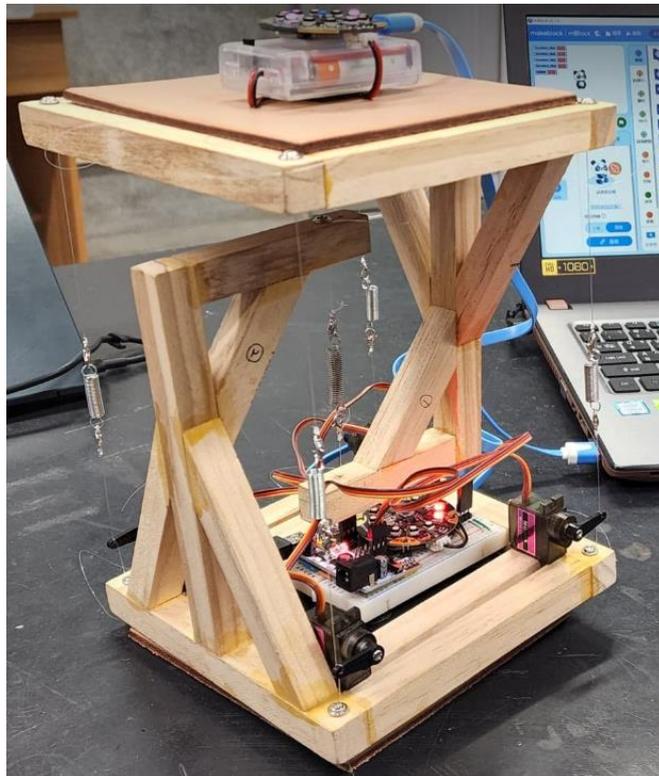
設計「晃度偵測實驗」 → 自行設計出「晃度監測儀」裝置。

三、提出改善整體結構晃度的設計改良。

設計「晃度調控實驗」 → 自行設計出「自適應緩震儀」裝置。

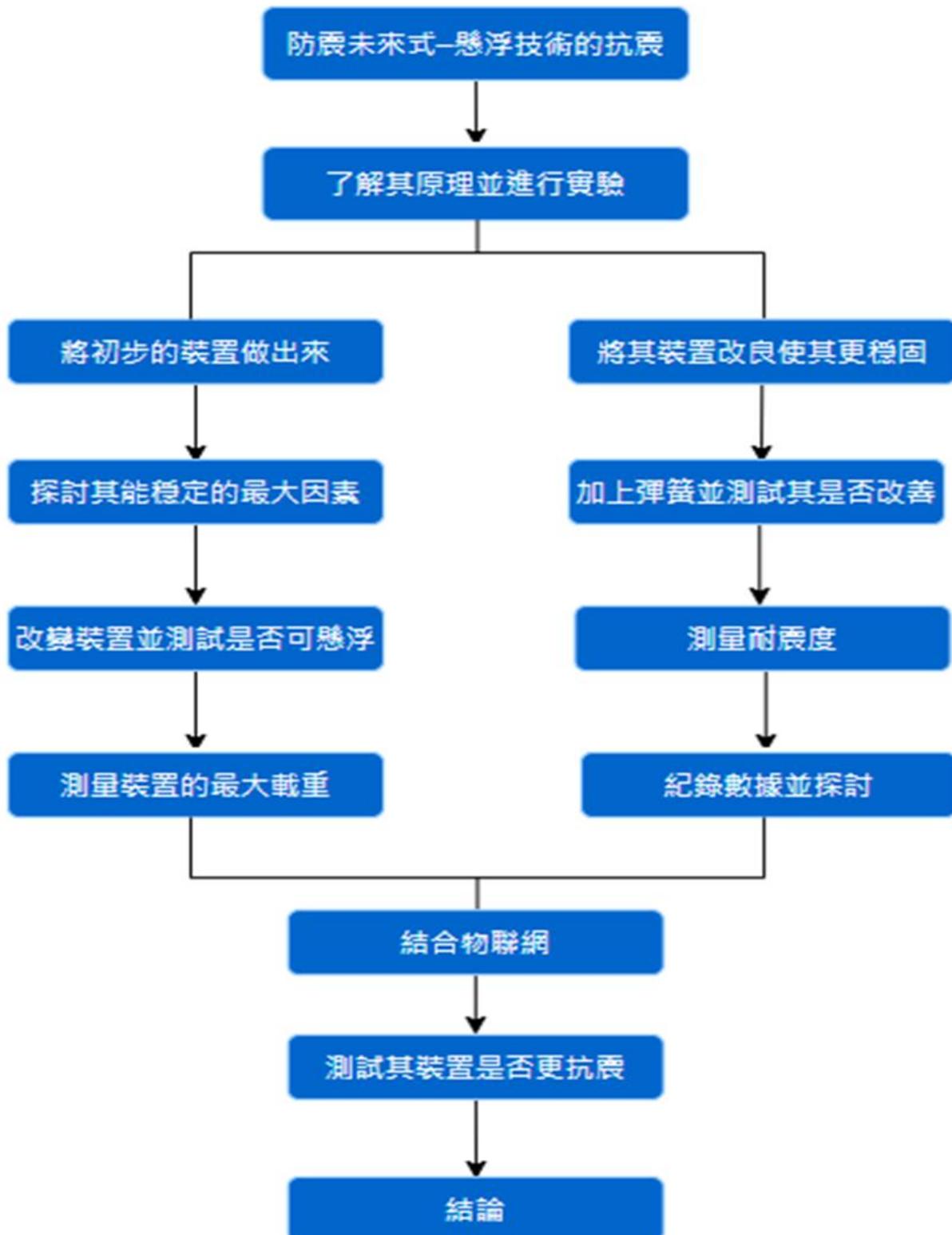
四、將兩個裝置結合 IOT 物聯網傳訊技術，將其組合成為「懸浮抗震系統」。

實測「懸浮抗震系統」防震效能 → 可同時兼具「隔震」及「緩震」效果。



圖三、我們設計的張拉緩震裝置 (懸浮抗震系統)

肆、研究架構



伍、研究方法與過程

一、實驗一(張拉整體製作)

(一)實驗發想：在網路曾看過各種不同的張拉整體，有三邊形、四邊形甚至是五邊形以上的各種板本，此實驗我們製作出了三邊形以及四邊形的張拉整體裝置，並進行載重量的比較。

(二)實驗步驟：

1.重現張拉整體(三邊形)

(1)所需器材：木棒 N 根、木工膠、棉線。

(2)製作方式：

- a.用木棒黏成 15x15cm 的三角形底 x2。
- b.裁切木棒並黏成 L 字型的木棒(高 15 公分)。
- c.把 L 型的木棒黏在 15x15 三角形木頭的其中一邊。
- d.在上下方形木頭的三邊及上下 L 型的短邊尾端鑽孔。
- e.將綿線穿過洞孔並綁在木頭上。
- f.完成裝置。

2.重現張拉整體(四邊形)

(1)所需器材：木棒 N 根、木工膠、棉線。

(2)製作方式：

- a. 用木棒黏成 15x15cm 的方形底 x2。
- b. 裁切木棒並黏成 L 字型的木棒。
- c. 把 L 型的木棒黏在 15x15 方形木頭的其中一邊。
- d. 5 正方形木頭的其中一邊。
- e. 在上下方形木頭的四邊及上下 L 型的短邊尾端鑽孔。
- f. 將綿線穿過洞孔並綁在木頭上，中間線長 15 公分，四角線長 18.5 公分。
- g. 完成裝置並探討其原理。

3.測量三邊形與四邊形張拉整體裝置基本性質。

4.將兩裝置上方覆蓋與上方平台相同大小的皮革。

5.將砝碼放置裝置上方並記錄載重情形。

6.觀察裝置載重後的變化。

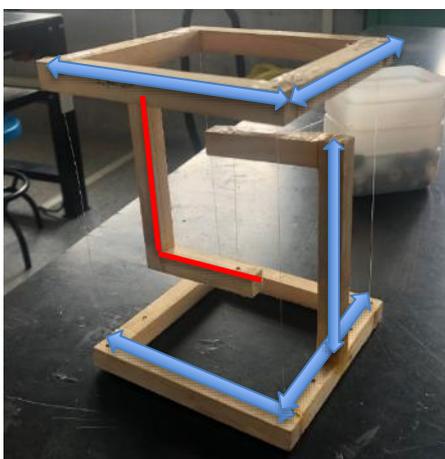
(三)實驗結果：

1.三邊形張拉整體裝置 (如圖四，利用皮革將重量平均分散於三邊測量結果如下)：

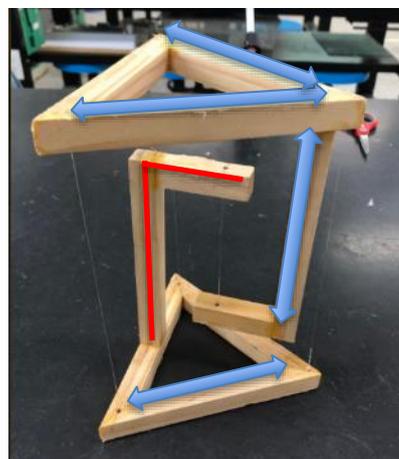
- (1)裝置重量：123.8g。
- (2)當砝碼放中間時，可承載的重量 300.3g。
- (3)當砝碼放在裝置的木棒上，甚至可以承載超過 480.0g。

2.四邊形張拉整體裝置 (如圖五)：

- (1)裝置重量：164.6g。
- (2)當砝碼放中間時，可承載 860.5g 的重量。
- (3)當砝碼放在裝置的木棒上，甚至可以承載 1261.4g。
- (4)裝置照片(↔ 為 15 公分長)(—L 形桿件)：



圖四、四邊形張拉整體裝置



圖五、三邊形張拉整體裝置

表四、裝置平均載重量比較

重量 邊形 數值	裝置基本重量	放中間時 載重量比較	放木棒時 載重量比較
三邊形	123.8g	300.3g	480g
四邊形	161.4g	860.5g	1261.4g

二、實驗二 (比較形狀對穩定性的影響)

(一)實驗發想：我們想知道改變三邊、四邊形張拉整體結構的形狀在施壓在不同點上對於其載重量的影響。

(二)實驗步驟：

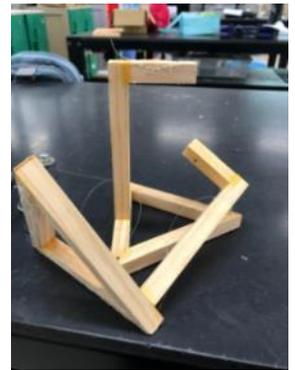
測試方法：我們測試了兩種結構在各個不同的點上放置砝碼，觀察是否會倒塌。

(三)實驗結果：

實驗數據 (當載重過重倒塌，如圖六)：

表五、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



圖六、三邊形裝置失衡倒塌

(四)四邊型裝置的測試



圖七、正常四邊形裝置



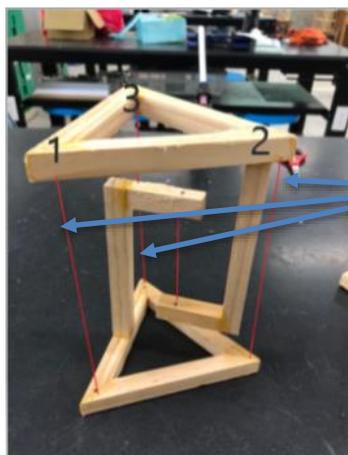
圖八、平台傾斜的四邊形裝置

(五) 實驗發現：

- 1.裝置必須讓四個角都承受相同力道的力，才能夠穩定的保持水平
- 2.放一個角會使此裝置平台歪斜，同一個點持續加重，最終會使此裝置崩壞
- 3.張拉裝置要承載重量的多寡取決於線的鬆緊度
- 4.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。
- 5.釣魚線未達到最緊繃程度，因此張拉裝置因釣魚線仍有伸縮空間導致裝置歪斜。
- 6.施壓時，會因為中間 L 型木條承受力量太大而導致斷裂。

7.四邊形能承載的重量較大。

(六) 實驗討論：



因為上方平台的重心偏於施力點 2 上，因此線 1 和線 3 相較線 2 需要較大的拉力來支撐整個平台。
當重物放在施力點 2 時，因受拉力較大的線 1 和線 3 支撐，因此相較施力點 1 和施力點 3 能承載更重的重量。



拉力大小：線 1 = 線 3 > 線 2

圖九、正常的三邊形裝置

- 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。
(當三邊形裝置承受到了施力點 1 和 3 的壓力時，即會因為不平衡而倒塌)

三、實驗三 (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) 實驗器材：冰棒棍、棉線、熱熔槍。

(三) 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。

(四) 實驗結果：

實驗數據，如下頁表六所示。

表六、三邊形裝置懸浮數據

	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	實驗 6	實驗 7	實驗 8	實驗 9
長繩	8 cm	9cm	10 cm	11cm	12 cm	13cm	14cm	5cm	6cm
短繩	6 cm	5cm	4cm	3cm	2 cm	1cm	5cm	9cm	6cm
可否懸浮	是	是	是	是	是	是	否	否	否

(五) 實驗發現：

在鴨舌棒的張拉整體中，其懸浮的條件須符合長繩 + 短繩 = 14，且長繩和短繩 > 0；而鴨舌棒張拉整體當中線的長度範圍長繩為 $7 < \text{長繩} < 14$ 、短繩為 $0 < \text{短繩} < 7$ ，若長繩或短繩超過這個範圍，其裝置不意平衡。

(六) 裝置圖片：



圖十、張拉整體結構原理

四、實驗四 (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) 實驗器材：四邊形張拉整體裝置、釣魚線、棉線。

(三) 實驗步驟：

1. 將棉線剪斷並改綁釣魚線。
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。

(五)實驗發現：

- 1.釣魚線的彈性比棉線小。
- 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、實驗五 (加入桁架結構)

(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，加強張拉結構的堅固性。

補充：桁架是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。

(二)實驗器材：原來的張拉整體、松木棒 (增加桁架結構使用)。

(三)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。

(四)實驗結果：

載重比的實驗數據，如下表七所示。



圖十一、加上桁架的改良版張拉整體結構

表七、改良前後的載重比較

載重比 是否結合桁架	裝置平台重量	裝置最大承受重量
結合桁架前	82.3g	860.5g
結合桁架後	101.3g	1461.7g

(五)實驗發現：

- 1.桁架能夠減少 L 字型木頭斷裂和彎曲。
- 2.裝置的結構更加穩固，經改良後裝置可更有效的讓整體受承載的重量增加。

六、實驗六 (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，因此我們將拉繩綁彈簧是為了實驗比較加上彈簧是否可以改善其線的彈性，為了知道我們的想法是否正確。

(二)實驗器材：改良後的張拉整體、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)實驗結果：

先說明增加採用彈簧的主要原因：

- 1.因彈簧的彈性很大，在拉撐後可以再用彈力將其繃緊。
- 2.一般的拉繩會因受力過大而斷掉，而彈簧可以在受力後還有伸長的空間。
- 3.得知釣魚線拉繩的繃緊度會因為拉撐過久而變鬆，所以就改成可以伸縮的彈簧。

(五)實驗發現：

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，當中間彈簧拉撐到 2.3cm 後，四周的彈簧才會開始變化，由中間彈簧由 2.4cm~2.8cm，四邊的彈簧也會跟著變化，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與四周向下的拉力成一定的比例變化。



圖十二、比較有無加裝上彈簧的拉繩設計

七、實驗七 (晃動幅度測試)

(一)實驗發想：我們發現張拉裝置在經搖晃後也不會倒塌，所以欲量測其裝置的晃度。

(二)實驗器材：四邊形裝置、改良桁架裝置(釣魚線)、地震模擬器、Halocode 開發板。

(三)實驗步驟：

(1)將 Halocode 開發板固定在皮革板上。

補充：Halocode 開發板本身有含 3 軸加速度感測器，且具有連網功能的 ESP32 晶片，可作為物聯網裝置設計使用，在此實驗中我們把它設計成水平儀用來偵測傾斜角度。

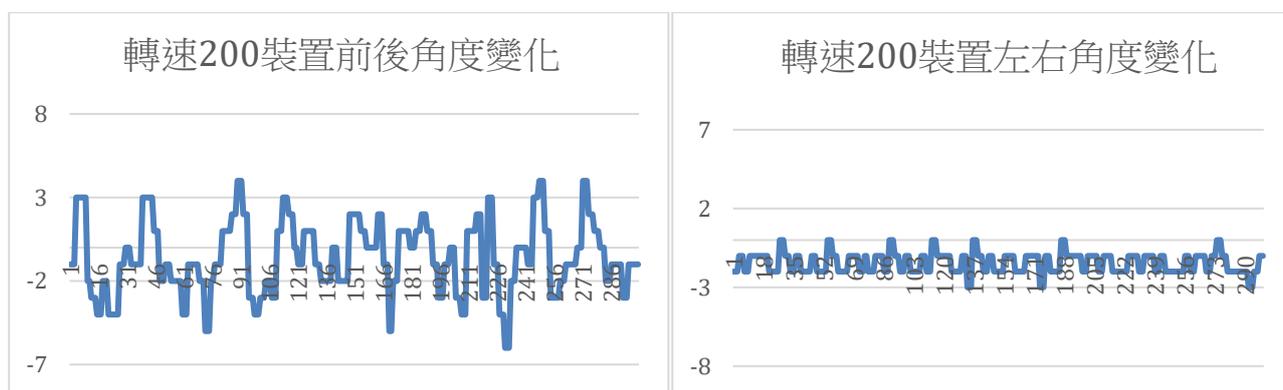
(2)設計測量水平傾斜度的電子水平偵測儀的程式，如圖二十二所示為部份程式碼，並燒進 Halocode 開發板 (可分別偵測前後晃動以及左右晃動)。

(3)將此裝置加裝至張拉整體上，並放在地震模擬器上測量其晃動時的傾斜度。(我們測量 200 和 400 的馬達轉速並比較晃動幅度)。

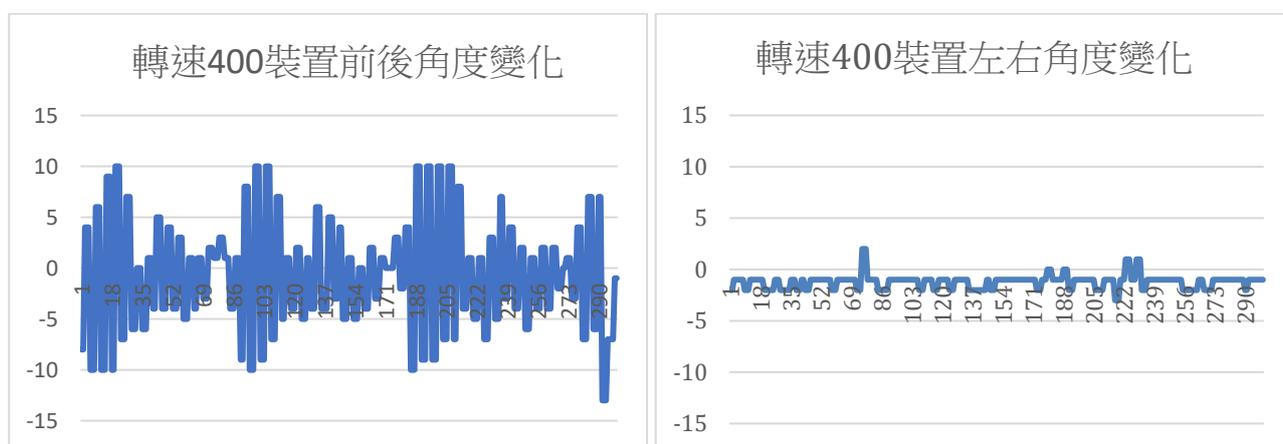
(4)將數據傳至電腦並匯總成晃度監測的圖表。

(四)實驗結果：

1.實驗數據 (我們設定每 0.2 秒去偵測他的晃動角度的變化) 如下。



圖十三、震幅 200 時的晃動數據 (釣魚線)



圖十四、震幅 400 時的晃動數據 (釣魚線)

2.得知震度震幅的晃動傾斜角度範圍落在 ± 10 度的範圍內。

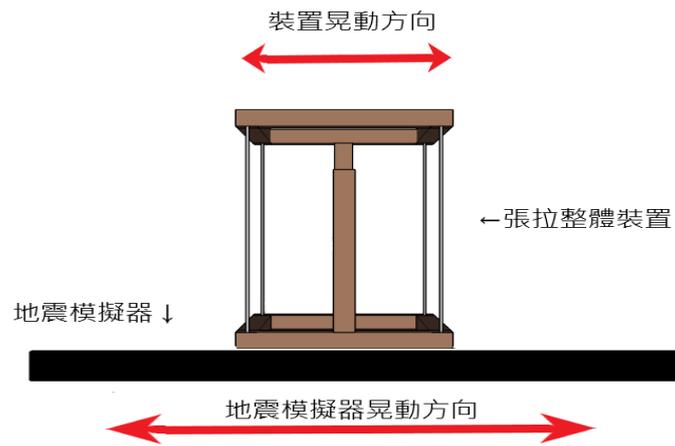
(五)實驗裝置：我們使用的地震模擬器裝置，如下頁圖十五、圖十六所示。



圖十五、模擬地震的震度儀器裝置



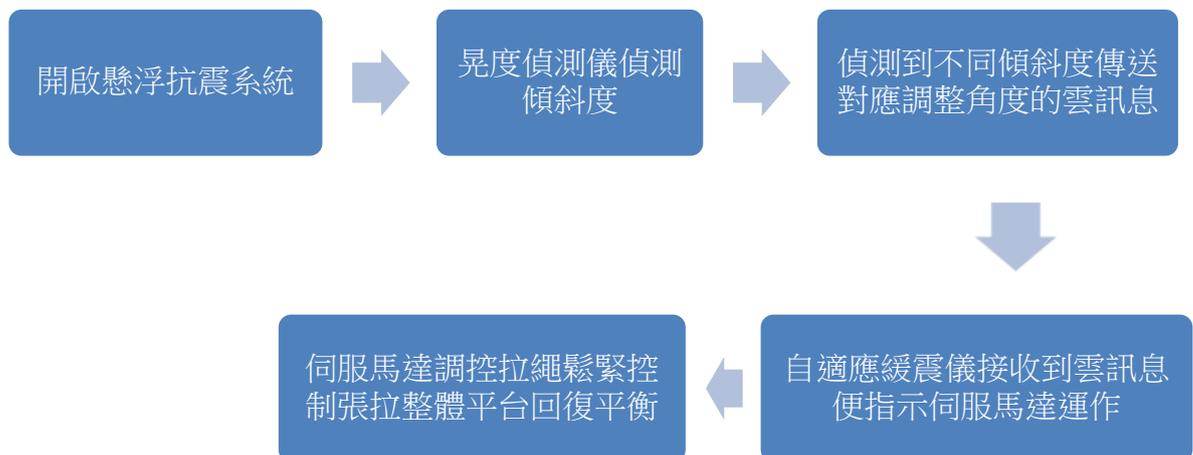
圖十六、調控裝置轉速的旋鈕



圖十七、地震模擬器震動示意圖

八、實驗八 (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 Halocode 開發板設計震度監測裝置，透過聯網傳遞雲訊息，再透過另一個 Halocode 開發板接收雲訊息，然後自動指示伺服馬達調控線的鬆緊來達到緩震的效果，我們將我們設計的系統稱為「懸浮抗震系統」，系統執行流程如圖十八表示。



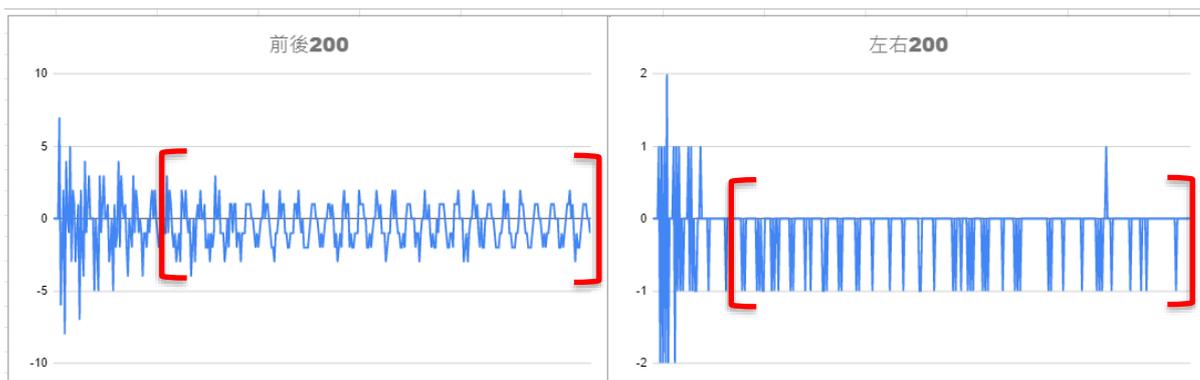
圖十八、啟動懸浮抗震系統的運作流程圖

(二)實驗結果 (無開啟懸浮抗震系統)：

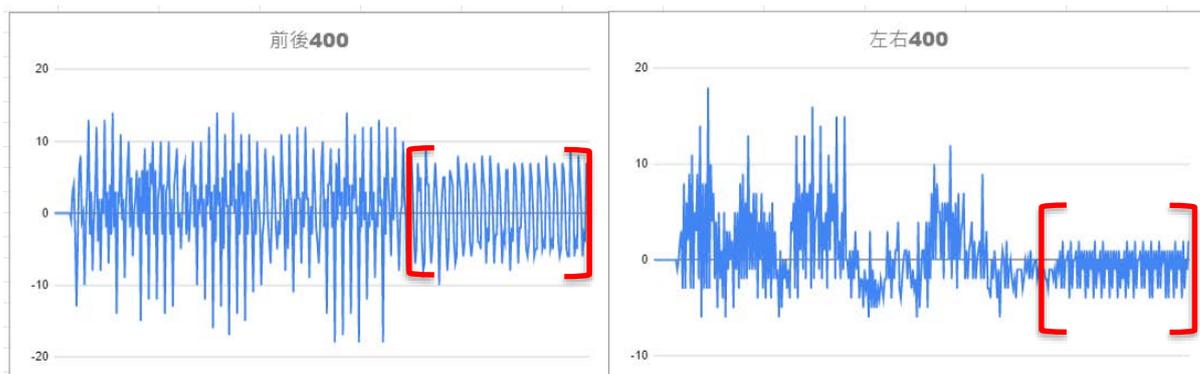
實驗數據：

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。



圖十九、震幅轉速 200 時的晃動數據 (具彈簧)



圖二十、震幅轉速 400 時的晃動數據 (具彈簧)

(三)實驗說明：

我們「懸浮抗震系統」包含兩個部分：一是「晃度監測儀」，其二是「自適應緩震儀」，懸浮抗震系統的 Halocode 開發板軟體程式亦將其分為兩個部分，如下說明。

第一部分：晃度監測儀

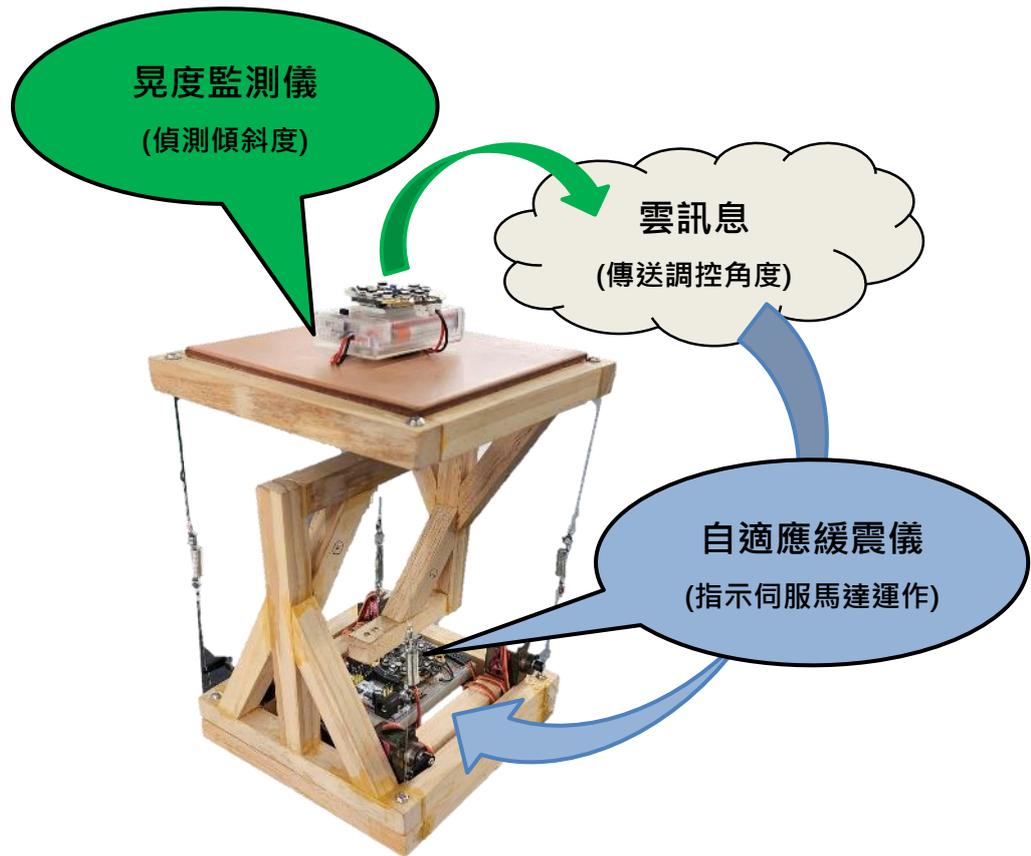
Halocode 開發板中有一個運動感應器，因此可以利用此功能來檢測傾斜度，再將我們所設計好的 mBlack 程式燒入 Halocode 開發板，再透過雲訊息便可傳送應該調整的角度給另一開發板。



圖二十一、「晃度監測儀」的部分程式碼



圖二十二、「自適應緩震儀」的部分程式碼



圖二十三、我們設計的「懸浮抗震系統」運作示意圖

第二部分：自適應緩震儀

利用 Halocode 開發板之間可以傳遞訊息的功能，我們將晃度偵測儀所監測到的傾斜角度數據傳遞給自適應緩震儀，則其自適應緩震儀便會因應接收到的不同傾斜角度而調整拉繩的鬆緊，使其張拉整體的平台恢復至平衡狀態。測試調控拉繩的長短是否可以成功達到緩震。我們比較了有無開啟懸浮抗震系統對於緩震的效果，我們的懸浮抗震系統可以減少地震對於張拉整體裝置的晃度影響。



圖二十四、對加裝了「懸浮抗震系統」的張拉整體裝置進行緩震測試

(四)實驗討論：

根據實驗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。

九、實驗九 (比較有無懸浮抗震系統)

(一)實驗發想：我們為了測試我們「懸浮抗震系統」裝置是否達到緩震的效果，因此我們打算比較有無開啟懸浮抗震系統裝置對緩震效能的比較。

(二)實驗器材：加裝上懸浮抗震系統的張拉整體裝置、地震模擬器、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 Halocode 開發板測量其晃度。
- 4.當 Halocode 開發板顯示其水平達到平衡時紀錄秒數。

(四)實驗結果：

實驗數據，如表八所示。

表八、懸浮震度數據

震度 rpm	震度 200	震度 400
有無系統		
無開啟 懸浮抗震系統	約 1 分 40 秒	約 1 分 55 秒
有開啟 懸浮抗震系統	約 35 秒	約 50 秒

(五)實驗結論

在剛開始測量時，程式設定的是當上方 Halocode 開發板偵測到不平衡時，傳送伺服馬達所調整的角度為 10~20 度，調整角度太大，因此只要一調整就會影響裝置平衡，導致重複偵測並調整，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，有開啟系統的話，相較無開啟系統可以更有效的減少震動時間，可以減少約 1 分鐘的震動時間。

十、實驗十 (比較有無開啟懸浮抗震系統的緩震效能)

(一)實驗發想：在上一個實驗中我們得知了有開啟懸浮抗震系統能夠有效地減緩搖晃時間，因此我們打算進行兩者的震度比較並進行分析。

(二)實驗器材：有加上懸浮抗震系統的四邊形張拉整體裝置、地震模擬儀、Halocode 開發板(測震度並蒐集數值)、電腦(紀錄數值)，如下頁圖二十五所示。



圖二十五、進行測試「懸浮抗震系統」緩震效能的實驗

(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 10 秒後關上。
- 3.運用 Halocode 開發板測量其晃度。
- 4.將 Halocode 開發板所記錄到的震度數值記錄下來。
- 5.紀錄數據並探討。

(四)地震模擬儀參數設置介紹

震度分級	3 級	4 級	5 級弱	5 級強	6 級弱	6 級強	7 級
gal 值	8.0~25	25~80	80~140	140~250	250~440	440~800	800 以上
rpm 值	109~192	192~343	343~454	454~607	607~805	805~1086	1086 以上

表九、地震模擬器震度平台轉換表

換算數值 rpm 值	gal 值	震度階級	備註
200 rpm	$\approx 28(cm/sec^2)$	相當於 4 級震度	一、4 級震度時 gal 值介於 25~80(cm/sec^2)。 二、5 弱震度時 gal 值介於 80~140(cm/sec^2)。
400 rpm	$\approx 110(cm/sec^2)$	相當於 5 弱震度	

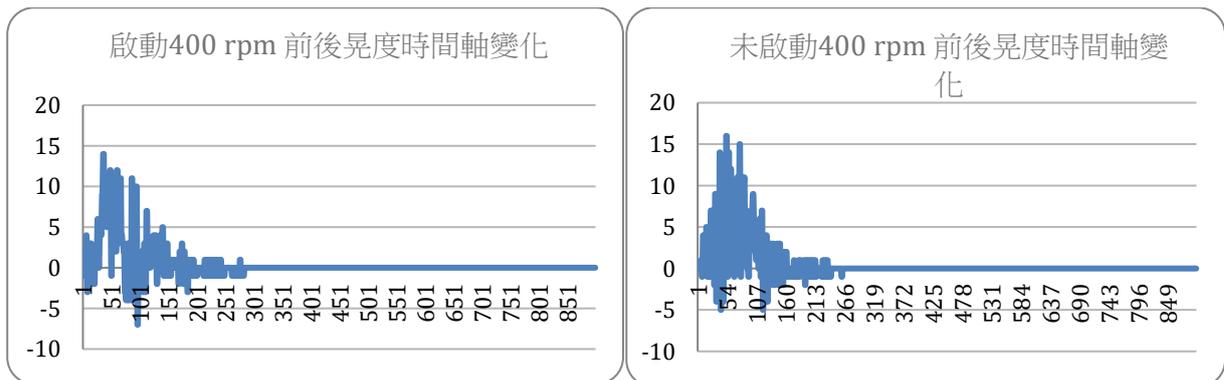
表十、地震模擬儀的裝置馬達轉速介紹

(五)名詞解釋：

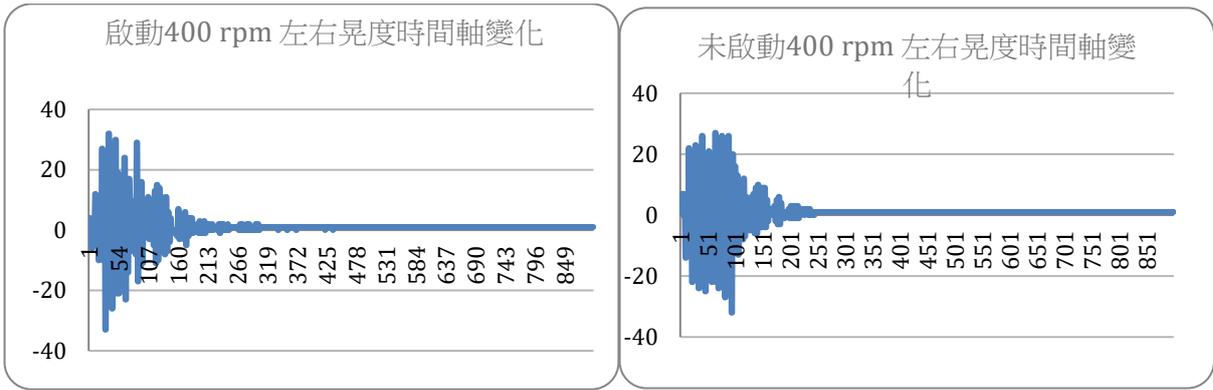
- 1.gal 值：每秒移動 1 公分的加速度值(cm/sec^2)
- 2.rpm 值：一個物體在一分鐘內的旋轉圈數，此亦指馬達轉速($2\pi rad / min$)

(六)實驗數據：如下。

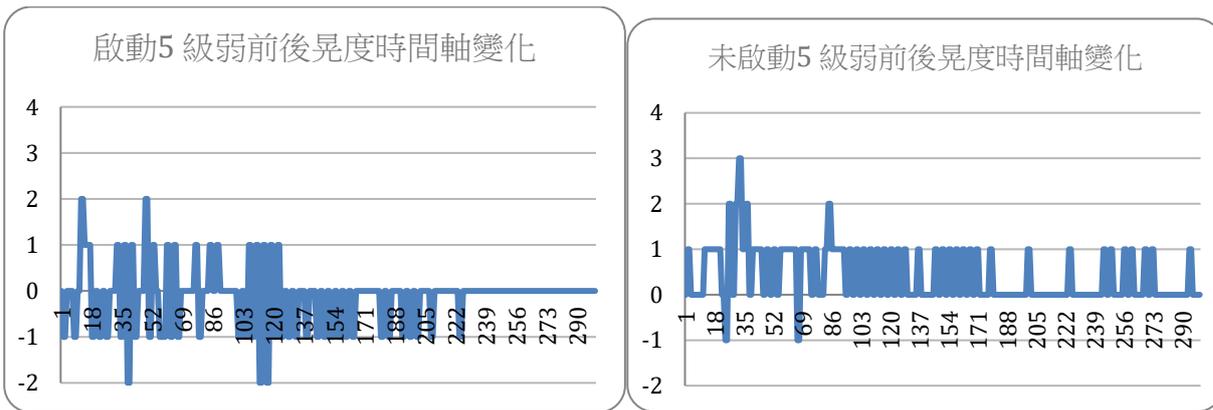
- 1.比較有無開啟懸浮抗震系統的 400 rpm 前後晃度。



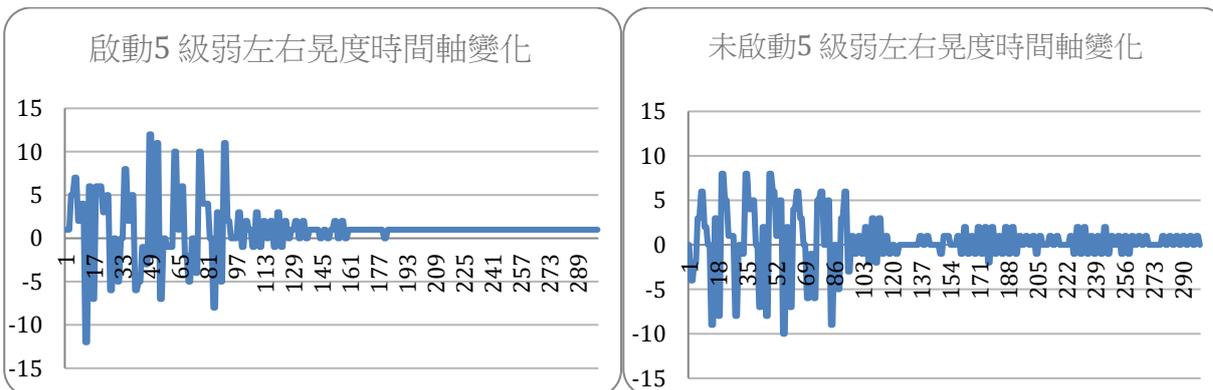
2.比較有無開啟懸浮抗震系統的 400 rpm 左右晃度。



3.比較有無開啟懸浮抗震系統的 343 rpm 前後晃度。



4.比較有無開啟懸浮抗震系統的 343 rpm 左右晃度。



(七)實驗結果：

從數據中我們可以發現到加入懸浮抗震系統的張拉整體抗震裝置能有效減緩震度，我們觀察的是依據觀測其平台達到水平(0,0)的時間來判斷，而由數據 1~4 可知啟動後相較啟動前明顯較快達到水平，此裝置可用於未來防震的技術上。

陸、研究討論

討論一、比較三、四邊形裝置的載重和穩定性比較

在實驗二中我們發現三邊形張拉整體裝置較四邊形更容易倒塌，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較好。(詳細敘述請參考實驗內容)，再來我們在測試四邊形張拉整體結構時發現：線越緊其裝置可以承載的砝碼重量會相對比較大

討論二、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，因為我們想利用三角形不變形的性質所以加上桁架，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。

討論三、依我的裝置我如何找出最適合緩震的拉繩。

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。

討論四、依我的裝置製作出甚麼樣最適合緩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，我們用開發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。

討論五、我最後如何改變結構而完成第一代的張拉結構緩震裝置。

我們設計程式並燒進 Halocode 開發板，再利用 Halocode 開發板「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緩震。

討論六、懸浮抗震裝置對於張拉整體的緩震效能如何。

在實驗十中我們發現到開啟懸浮抗震系統能夠有效的減少地震晃動時搖晃的時間，但在實驗十一中的傾斜度比較卻顯示無開啟懸浮緩震系統較快將震動所搖晃的時間縮短，從數據以及觀察我們發現因為伺服馬達的精密度不夠而導致無法調整太微小

的鬆緊度，導致裝置一直調控線長使得裝置很難平衡，但是我們認為在增加裝置調控的精密度後可以有效減少晃動時間。

柒、研究結論

一、針對探究「張拉整體」結構原理的結論

- (一)張拉整體的原理是利用張力+拉力=0，也就是合力為零。
- (二)張拉整體為靜力平衡，合力矩和合力都為零，且受外力後不影響結構平衡性。
- (三)張拉整體受外力影響後，會因線鬆緊度不夠而晃動甚至失去向上拉力而倒塌。
- (四)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、針對不同邊形張拉整體裝置穩定性的比較

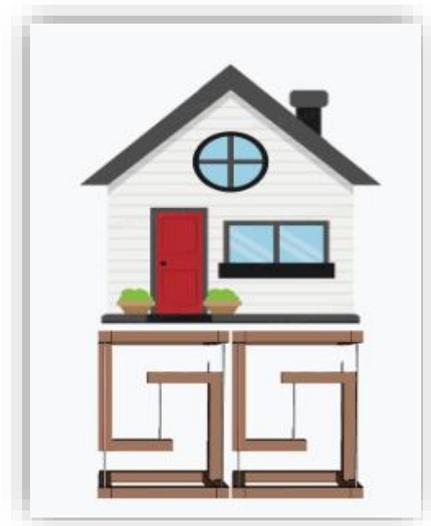
- (一)四邊形裝置較三邊形裝置更穩而不易倒塌，越多邊形，線綁的位置越多，上表面所能承載的力量可以被分散，所以穩定性和載重量也越好。
- (二)四邊形裝置的載重量會因為線鬆緊度不同所影響，因此線越緊繃可以承載的重量越重。

三、針對研究可如何更強化其原有結構強度的結論

- (一)加上桁架能支撐 L 字型的木頭避免斷裂和彎曲。
- (二)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。

四、針對探究其「張拉整體」結構平台晃動問題的結論

- (一)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。



圖二十六、未來「懸浮抗震系統」裝置與房屋結合的示意圖

- (二)彈簧因可自由伸縮，調整線的鬆緊度，所以很適合作為防震結構所使用的線。

五、針對解決裝置結構搖晃情形，嘗試調控其恢復平衡的結論

- (一)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。
- (二)有開啟懸浮抗震系統功能較沒開啟懸浮抗震系統功能的時間來的快約 1 分鐘。

六、針對透過地震模擬儀器，測試「張拉整體」懸浮技術可以如何隔震與緩震的結論

(一)我們最終做出的裝置能有效達到減震的效果，有類似阻尼器的制震效果。

(二)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需重新調整，我們希望未來能將其調控的更為精準，將其概念設計運用在未來建築房屋抗震上，並把懸浮抗震系統具體化實現，加以應用在地震的防護，減少地震的災害。

捌、未來展望

因為此為第一代裝置，因此未來可再進行改善：

一、器材的精密度：改用步進馬達使線長調控更加精確。

二、裝置數量增加：在建築物底下可加裝更多的裝置調控達到緩震(如圖二十六)。

三、在裝置上放上建築模型測試其緩震效能(如圖二十六)。

四、減少 Halocode 開發板間傳送訊息時造成的延遲，使裝置間可以更即時的進行調控。

玖、參考文獻資料

一、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，未出版，新竹市。

二、李冠廷等人（2021）。《「形」之互動，隱「力」再「線」》，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。

三、高滕悅等人（2021）。《破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重力》，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。

四、詹逸翔等人（2021）。《漂浮桌-張拉整體原理應用》。國立土庫商工，雲林縣。

五、楊宜縉（2020）。《三角關係之恐怖平衡——張拉整體的應用》。國立彰化女子高級中學，彰化縣。

六、楊宜縉（2021）。《一「臂」之力有「懸」技》。第 39 屆新竹市中小學科學展覽，新竹市。

七、國立臺灣科學教育館。臺灣的新地震震度分級制度。檢自：<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?cat=6841&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=16214>

【評語】 032807

1. 本作品探討張拉整體之懸浮結構於抗震方面的應用，作者分析不同的張拉整體結構形狀、彈簧阻尼等變因對抗震效果的影響，作品具有實用價值。
2. 文獻顯示張拉整體的研究在歷屆科展已有多件提出。主要原理是靜力平衡使合力與合力矩為零。本研究加入了一些創意：
 - (1) 在拉繩上加上彈簧
 - (2) 連結互聯網以即時改變拉繩張力
3. 可以加 false alarm 分析。也就是失敗案例分析。
4. 鋼體應改為剛體。這句話"張拉整體合力為零(不轉動)、合力矩為零(不移動)，屬於靜力平衡"也寫反了，合力為零不移動，合力矩為零不轉動。靜力平衡有時是穩定平衡，也有時是不穩定平衡，作品要達到抗震，就是要做到穩定平衡，也就是我們看到的是受到外界擾動後，依舊會回到現在平衡點的狀態；如果是不穩定平衡那就是會在擾動之後跑到另外一個新的狀態(例如解體)。
5. 計算控制拉繩張力的長短，以達穩定平衡參數很多需要大量計算，需要時間與正確度評估。

作品簡報



「防震」未來式 懸浮技術的抗震

懸浮抗震裝置



組別：國中組

科別：生活與應用科學(一)



研究動機

探究「張拉整體」結構的應用

1 Youtube上發現看似**懸浮**的張拉裝置



2 台灣為多地震海島國家



為甚麼研究這個？



張拉整體

3 想研發出新型**抗震**的方法



4 想結合**物聯網**設計抗震裝置



實現關於懸浮技術抗震的創新研究

研究目的

- ◎ 探討張拉整體結構**原理**
- ◎ 強化張拉結構**強度**
- ◎ 探討影響懸浮平衡的**因素**
- ◎ 運用**物聯網**設計緩震系統
- ◎ 測試最終裝置的**抗震效能**

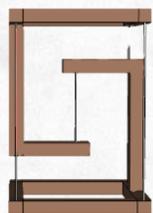


將「張拉整體」結構運用於生活中

透過地震模擬儀器測試

研究報告綱要

張拉整體
結構改良



木製框體



結合桁架



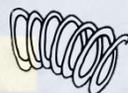
「負重測試」實驗



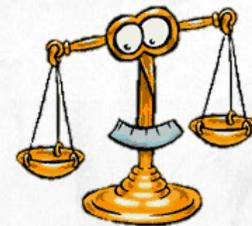
拉繩



結合彈簧



「拉力測試」實驗



懸浮晃動
抗震設計



晃動問題



「晃度偵測」實驗

設計晃度監測儀

減緩晃動



「晃度調控」實驗

設計自適應緩震儀



懸浮
抗震
系統

一、張拉整體結構原理

1. 張拉整體 **合力** 為零 (不移動)、**合力矩** 也為零 (不轉動)，屬於 **靜力平衡**。

(1) 合力矩為零：

$$\begin{aligned}\sum \vec{\tau} = 0 &\Rightarrow \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \vec{\tau}_4 + \vec{\tau}_5 = 0 \\ &\Rightarrow \vec{r}_1 \times \vec{F}_1 + \vec{r}_2 \times \vec{F}_2 + \vec{r}_3 \times \vec{F}_3 + \vec{r}_4 \times \vec{F}_4 + \vec{r}_5 \times \vec{F}_5 = 0\end{aligned}$$

(2) 合力為零：

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 = 0$$

2. 在連續張拉 (Tensile) 作用下形成的統一整體 (Integrity)，故名詞被結合成一張拉整體，連續張拉 + 統一整體 = 張拉整體 (Tensile + Integrity = Tensegrity)。

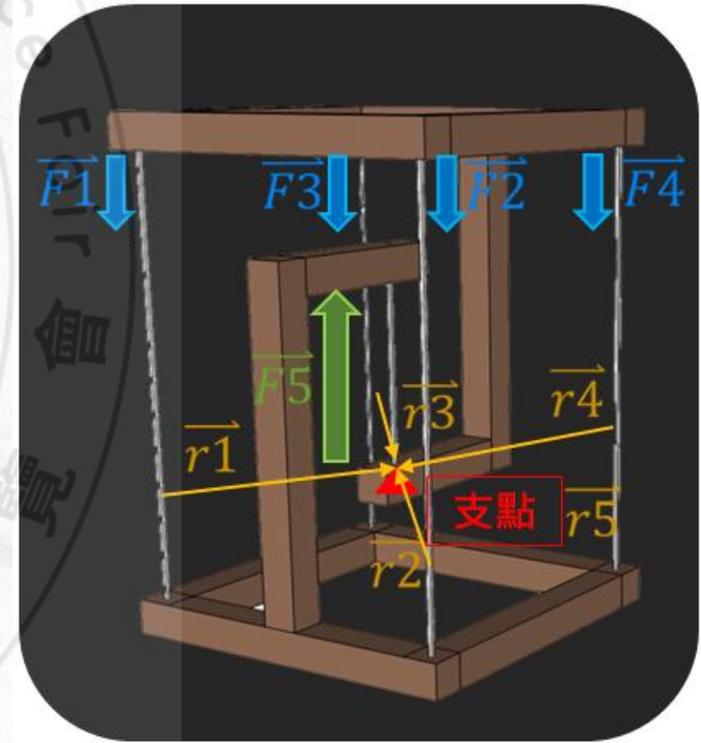


圖1、結構原理示意圖

二、探究張拉整體幾何結構的穩定性

問題：該做哪種樣式的張拉整體？

解決：設計**負重測試實驗**測試裝置的載重量。

(利用砝碼在各個施力點上施壓)

越多邊形的張拉結構載重時的分力越多，每個施力點上能承載更大的重量。
(每個頂點皆須「點下連線」)

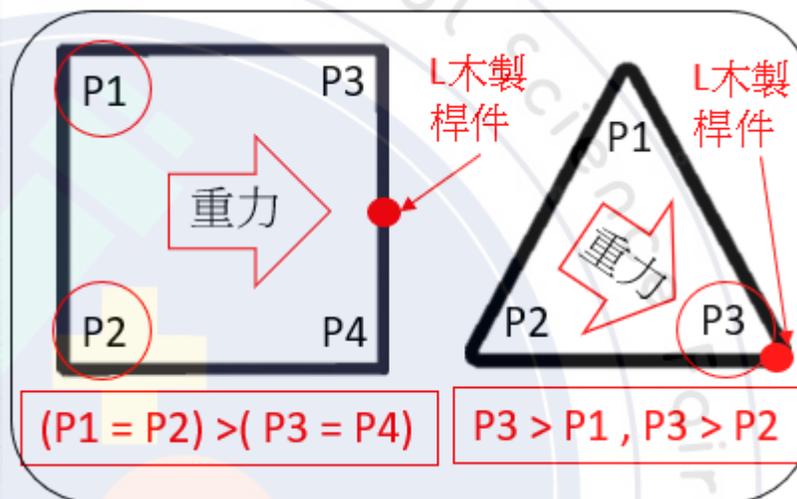


圖2、施力點比較圖



圖3、3條線的張拉整體

四邊形/三邊形		✓ 懸浮 ✗ 倒塌					
項目	1	2	3	4	△1	△2	△3
重量	●	●	●	●	▲	▲	▲
砝碼100gw	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
砝碼200gw	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
砝碼300gw	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
砝碼400gw	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
砝碼500gw	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

表1、負重測試實驗

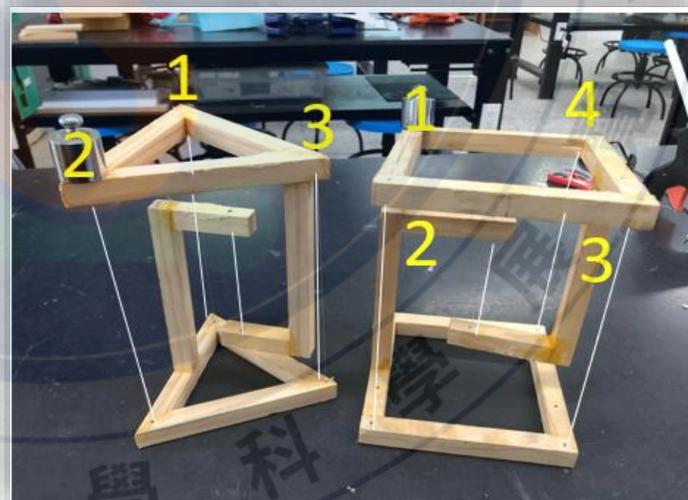


圖4、施力點位置圖



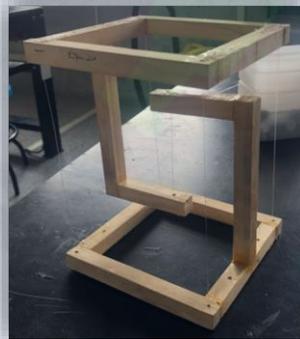
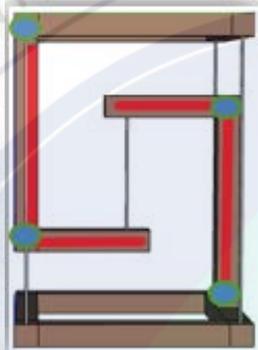
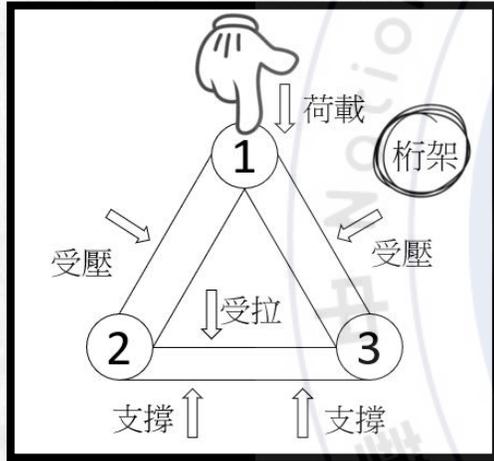
圖5、三邊形倒塌圖

三、改善四邊形結構張拉整體的設計改良之1

問題：載重量過大L桿件斷裂。
 解決：於L桿件部分增加**桁架**。

(脆弱點●如右圖)

圖五、桁架示意圖



改良前



改良後

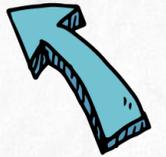
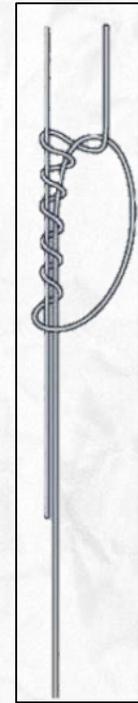
問題：線會因為載重過重而斷裂。
 解決：設計**拉力測試實驗**。
 (拉繩性能比較)



改良前



改良後



單結

研究結果：

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. 張拉整體裝置使用**釣魚線**穩定性比較好。

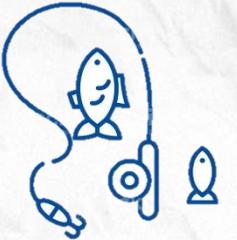


表2、結構改良後的負重測試比較

比較 改變	裝置 重量	承載 重量
改良前	164.6gw	860.5gw
改良後	202.6gw	1461.7gw

三、改善四邊形結構張拉整體的設計改良之2

振動平台震度轉換表

震度	對應rpm	gal值	gal值	對應rpm
3級	109	8gal	8gal	109
4級	192	25gal	25gal	192
5弱	343	80gal	80gal	343
5強	454	140gal	250gal	607
6弱	607	250gal	400gal	768
6強	805	440gal	500 gal	859
7級	1086	800gal	600 gal	941

前半

- 因初期震動較大，導致前半晃動較不穩定。

後半

- 晃動幅度逐漸減小且進入規律狀態，裝置晃動也較趨於穩定。

分析

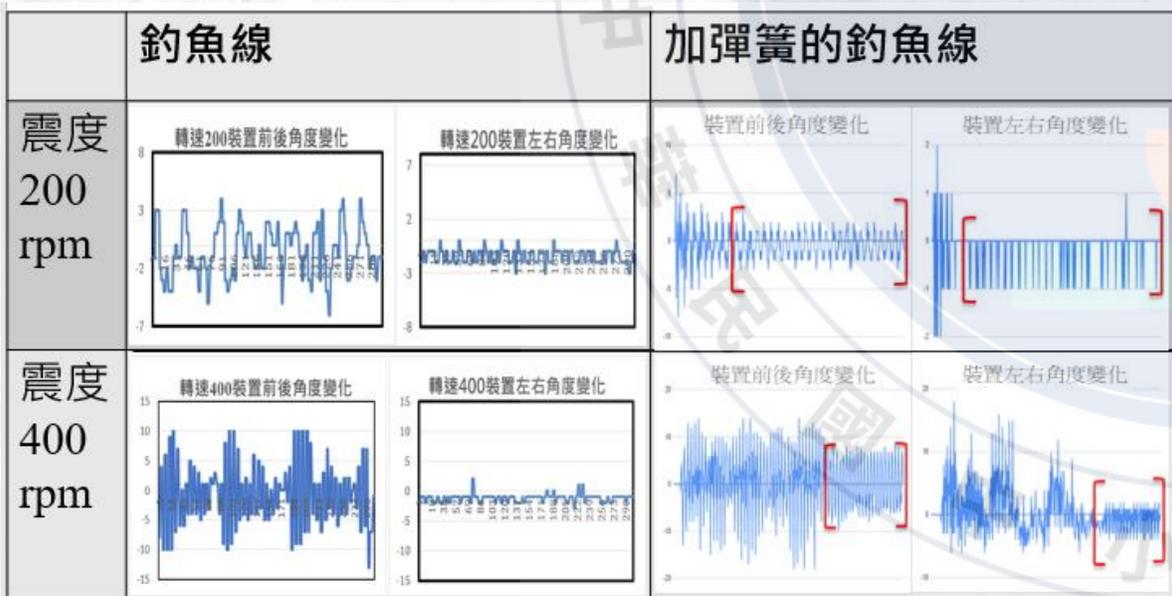
- 彈簧對線增加緩衝減少可晃動因素，且逐漸進入規律狀態，振幅和振度逐漸穩定。

結果

研究結果	釣魚線	加上彈簧的釣魚線
兩者比較	無法減緩振度。 晃動無固定頻率。	晃度會隨時間逐漸減緩 振度且穩定。 振度越小裝置越快緩震。 (越快進入規律狀態)

釣魚線

加彈簧的釣魚線

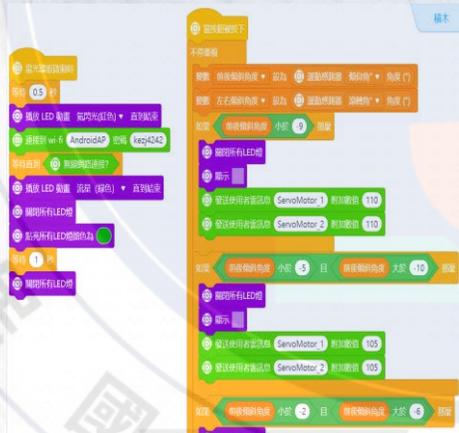
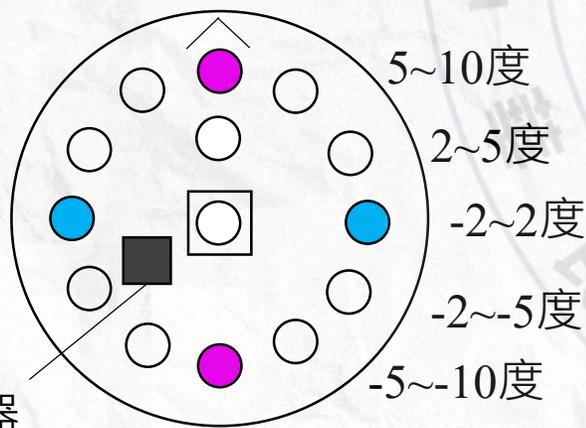


在線之間加入彈簧亦可增加線的緩衝拉力

四、晃動問題

Halocode光環板介紹

1. 內部具運動傳感器可紀錄下前後左右四個方向的傾斜度。(左右 ● 前後 ●)
2. 相較傳統水珠式水平儀能更精準紀錄數值並列入清單中。(每隔0.2秒紀錄1次)
3. 兩個光環板能透過物聯網(WiFi)傳送雲信息變數。



mBlock程式碼片段

晃度監測儀
單次運作流程

問題：張拉整體平台晃動。
解決：設計**晃度監測儀**。
(利用Halocode光環板設計)



(檢測光環板的運動，包括加速度、傾斜、震動、旋轉角度)

五、減緩晃動

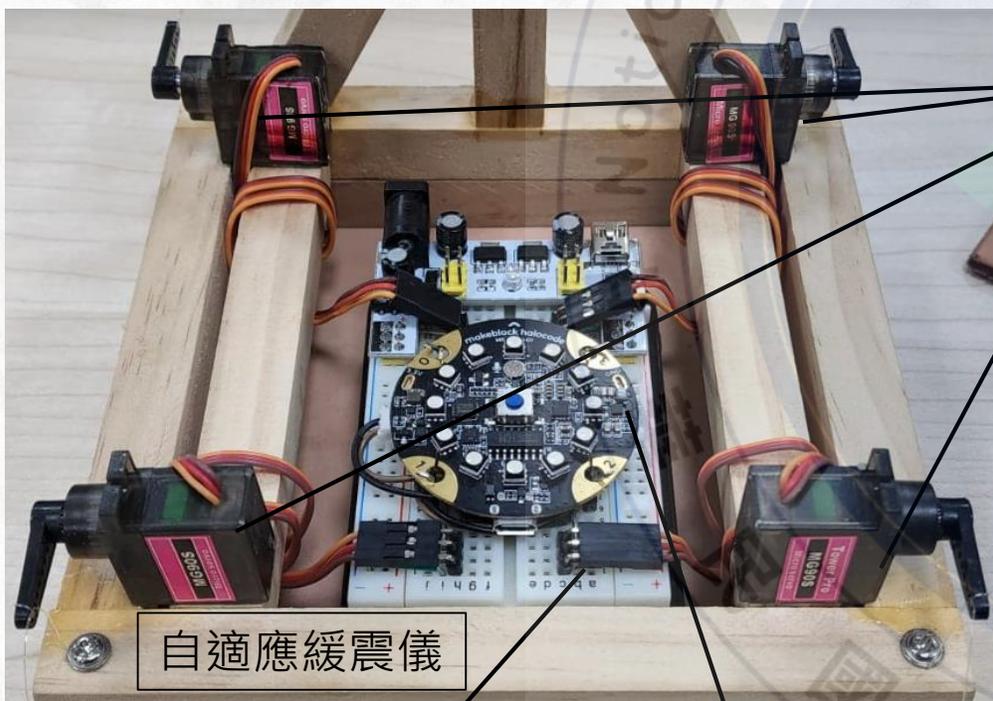
問題：張拉裝置會因為線的鬆緊度影響平衡。

解決：結合伺服馬達設計「**自適應緩震儀**」。

自適應緩震儀
接收雲訊息

指示伺服馬達
應調整角度

四邊伺服馬達
調控至水平



伺服馬達



晃度監測儀



mBlock程式碼片段

裝置說明：

1. 兩個Halocode光環板可利用連接相同網路達到互相傳遞訊息的功能。
2. 用麵包板及線路連接光環板，使光環板可以指示伺服馬達。

麵包板

Halocode光環板

六、組合裝置成為「懸浮抗震系統」

我們將「晃度偵測儀」和「自適應緩震儀」兩個裝置結合 IOT 物聯網技術，組合成為「**懸浮抗震系統**」。

利用5G網路傳送應調控角度

「懸浮抗震系統」運作流程如下(單次)：

開啟懸浮抗震系統

晃度監測儀
偵測傾斜度

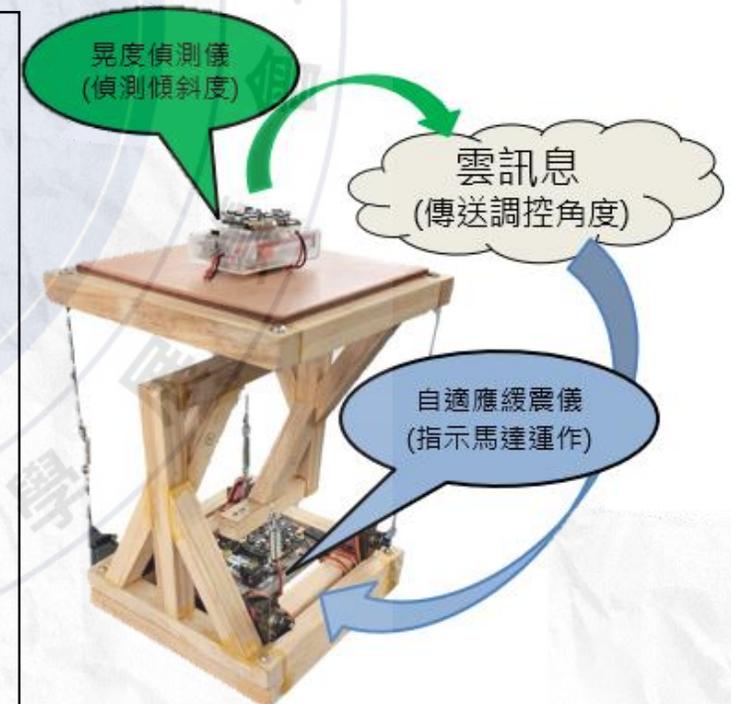
傳送應調整角度

自適應緩震儀
收到訊息指示
伺服馬達調控

使張拉整體
平衡

裝置說明：

- 1.兩個Halocode開發板可利用連接相同網路達到互相傳遞雲信息的功能。
- 2.用麵包板及線路連接光環板，使光環板可以指示伺服馬達。
- 3.利用伺服馬達可精準調控線鬆緊。
- 4.利用無線網絡達到光環板間即時傳遞訊息並調控。
- 5.自適應緩震儀接收到晃度監測儀所傳送的角度，並指示伺服馬達調整的角度，藉此將張拉裝置水平校正其平衡。



七、實測「懸浮抗震系統」的防震效能

問題：要如何得知抗震效能？

解決：比較晃動時間(利用地震模擬器)。

問題：開啟後能否減少晃動幅度？

解決：設計晃度偵測實驗。

初始

調整角度範圍
設正負20(過大)

平台搖晃加劇
(擾亂平衡)

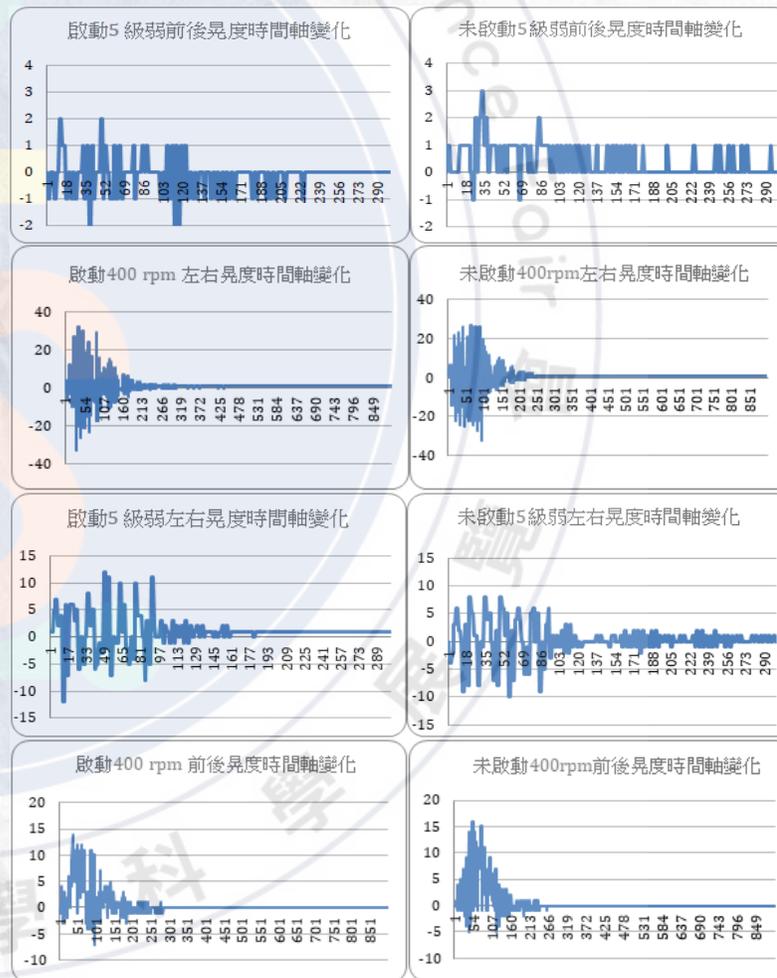
改善

調整角度範圍
降為正負10度

可使裝置達到
緩震效果

實驗數據	震度200	震度400
	無開啟	約1分40秒
有開啟	約35秒	約50秒

相差約
1分鐘



啟動後的
晃動幅度
相較啟動
前來的少

八、實驗結果

1. 「張拉整體」屬於靜力平衡。
2. 越多邊形穩定性越高。
3. 桁架能有效增加結構強度。
4. 彈簧能有效增加線的緩衝拉力。
5. 「懸浮抗震系統」可有效減緩震度。

未 器材精密度

來 增加數量

展 實測抗震效能

望 降低傳送延遲



九、參考文獻

- 一、楊宜縉 (2020)。《三角關係之恐怖平衡——張拉整體的應用》。國立彰化女子高級中學，彰化縣。
- 二、李冠廷等人 (2021)。《「形」之互動，隱「力」再「線」》，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 三、詹逸翔等人 (2021)。《漂浮桌-張拉整體原理應用》。國立土庫商工，雲林縣。
- 四、國立臺灣科學教育館。臺灣的新地震震度分級制度。檢自：<https://www.ntsec.edu.tw/>