

附件五之一

彰化縣 **113** 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選
作品說明書（封面）

作品編號：（由承辦單位編列）

組別：
☒ 國小組
☐ 國中組
☐ 數學類
☒ 自然、科技類
☐ 人文社會類

作品名稱： 張弛有度大比拚 - 線材對張拉結構負重之影響

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予收件。

彰化縣 113 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

第一階段 研究訓練階段（教師撰寫）

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

本校自三年級起提供資優學生相關課程服務，主要切分為兩大部分：研究技能訓練與獨立研究實踐。

課程目標：（一）能體驗發現及解決問題的過程。

（二）能熟練某領域的知識。

（三）能學會研究所需技能。

（四）能依個人興趣拓展相關知識。

（五）能培養正確與積極的研究態度。

（六）能學會與人分工合作的正確態度。

課程大綱如下圖：



二、學校如何提供該生獨立研究訓練

學校在安排獨立研究課程時，按照學生年級切分為三年級、四年級，以及高年級三層次，說明如下：

- (一) 三年級：針對三年級的資優生，會設計與學科相關的課程以拓展其知識基礎，每週安排兩節主題探索課程，主要在研究技巧的訓練方面，讓學生學習文書處理、資料蒐集與整理方法、圖書館運用、觀察與做筆記的能力、晤談方法。在資源教室的充實活動中，提供一般探索機會，搭配如數位相機、顯微鏡、簡單科學實驗技術等的操作練習。每年安排參訪多場展覽，讓學生能找出研究興趣與觀摩優秀作品，並隨時記錄有興趣的主題。
- (二) 四年級：在學科加深加廣方面與三年級相同，但進入此階段，學生已開始針對有興趣的主題進行研究，而非單純只蒐集資料。每週兩節課的獨立研究課程，四年級資優生主要擔任研究協助者，配合學長姐的引導，協助研究觀察與記錄工作，對於了解實際研究歷程與重點事項，是很重要的訓練。
- (三) 高年級：每週進行兩節課的獨立研究課程，實際進行研究，在教師協助下，完成「訂定主題」、「擬定工作進度與分配」、「擬定研究問題」、「蒐集資料與整理」、「尋求資源」、「實際研究與記錄」、「研究討論與發現」、「撰寫書面報告與分享」之流程。在此階段，教師的角色會依據學生能力，慢慢減少干預，擔任引導討論與技術指導之工作，掌握學生計畫安排與實際進度是否得宜，並在學生完成報告時協助修改。

第二階段 獨立研究階段（由學生撰寫）

一、研究動機

G：當初我們在選主題時，花了好一陣時間，一直找不到合適的主題。有一天看到一部影片，作者以張拉結構的原理做了一張平衡椅。我覺得很有趣，於是在課堂上與老師同學們分享，大家都覺得很神奇、很感興趣，所以我們決定以「張拉結構」為主題，並開始實驗。

B：我們要尋找研究主題，首先去不同屆的得獎名單觀摩優秀作品，挑選出我們感興趣的主題並寫下來，接著和同學討論，選出一個我們都感興趣、想要嘗試研究的主題來研究，因為覺得「張拉結構」很有挑戰性，想要自己動手試試看，開始我們的研究。

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

（一）正式計畫



（二）研究問題

1. 如何製作張拉結構
2. 探討張拉結構線的材質對於承重量的影響
3. 探討張拉結構線的粗細對於承重量的影響
4. 探討張拉結構張力線的長度對於承重量的影響
5. 探討張拉結構支撐線的數量對於承重量的影響

(三) 工作進度表

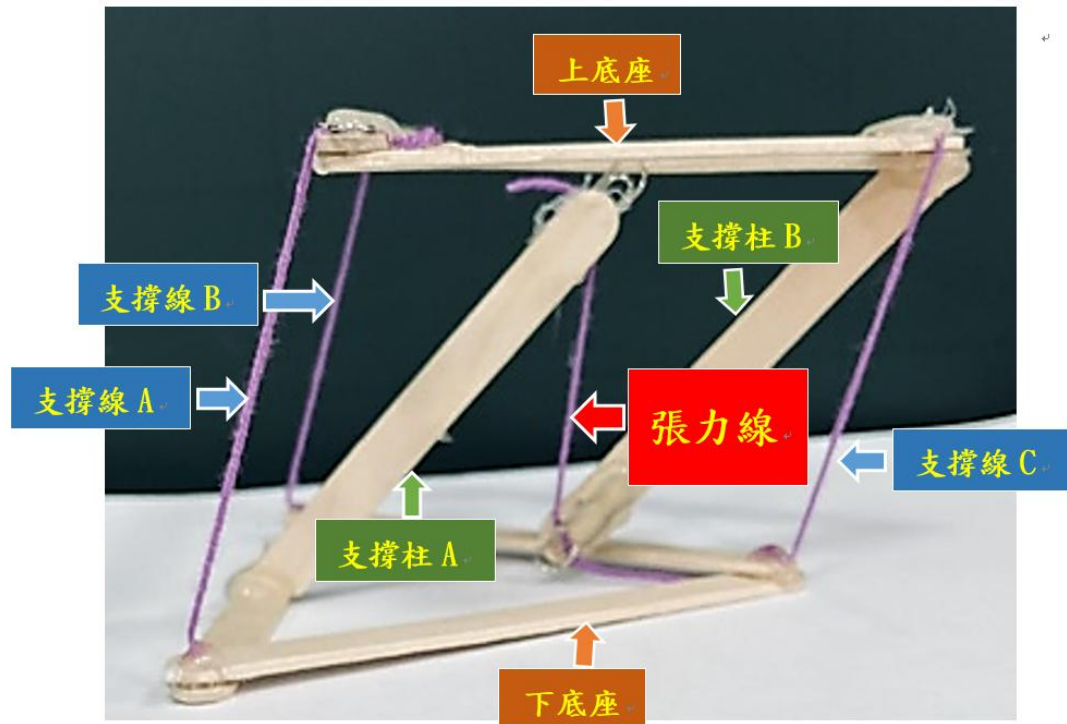
期程 工作項目	3 月	4 月	5 月	6 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1. 尋找主題	V							
2. 確認主題		V						
3. 討論研究方向		V						
4. 蒐集資料			V					
5. 準備材料			V					
6. 製作張拉結構				V				
7. 開始進行實驗					V	V		
8. 討論實驗結果						V		
9. 整理資料、撰寫報告							V	V

三、彙整相關文獻

(一) 張拉結構

張拉結構又稱張拉整體，於 1948 年被美國哲學家理查·巴克敏斯特·富勒提出。張拉整體是運用繩線的張力所形成的拉力。在多個拉力間彼此互相平衡的作用下，形成支撐力，將兩個結構透過數條繩子連結構撐起。

(二) 名詞定義：為了在報告中方便說明，我們將結構命名如下：



1. 張力線：中間短繩。
2. 支撐線 A、B、C：連接上下底座，在三角形頂點的三條線依順時針方向稱為 A、B、C。
3. 支撐柱 A、B：一個黏在下底座三角形一邊(冰棒棍)的中間，另一個黏在上底座的頂點，兩者的功能是固定張力線。
4. 底座：連接三條支撐線、一條張力線及兩根支撐柱的上下兩個正三角形。

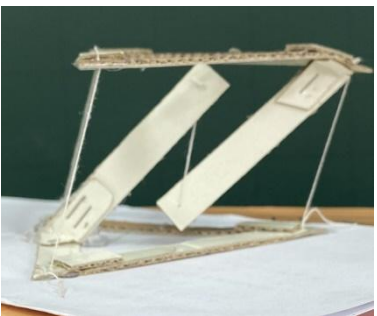
(三) 文獻探討

報告名稱	破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重力	一「臂」之力有「懸」技	三線式張拉共構體穩定性研究
學校名稱	桃園市快樂國小	新竹市龍山國小	花蓮縣中華國小
研究目的	實驗一:試做。 實驗二:最少需要幾條外側平衡線猜可達到平衡? 實驗三:其他形狀的裝置是否也可以用 2 條外側平衡線達到裝置平衡? 實驗四:中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度是否會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡? 實驗五:利用 2 條外側平衡線與中心軸線延長線點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形可以達到正多邊形裝置平衡,此三角形是否有固定規律?	實驗一:如何做出反重力懸浮結構? 實驗二:、反重力懸浮結構能否載重?最佳的載重? 實驗三:改變結構的高度,對於反重力懸浮結構的載重量會不會有影響? 實驗四:反重力懸浮結構的形狀設計不同,對於載重量有何影響? 實驗五:不同數量的懸臂結構,對於載重量有何影響? 實驗六:不同角度的懸臂結構,對載重量有何影響? 實驗七:檢測懸臂吊繩位置偏移重心不同距離時,是否影響整體的平衡? 實驗八:懸臂之間不同材質的繩子鋼性結構,對於結構	實驗一:三條線的張拉共體真的做不出來嗎? 實驗二、使用彈簧去替代釣魚線用來測定這條繩子的拉力。 實驗三、張拉共構體的上結構外加了重物是否每一個位置所需的重量都一樣重? 實驗四、張拉共構體的上結構外加了重物是否符合槓桿原理? 實驗五、前桿重物重量對晃動幅度穩定度的影響 實驗六:晃動極限測試

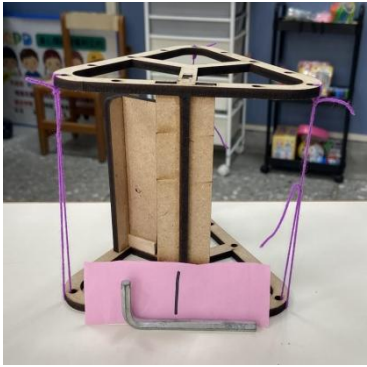
		的載重量有何影響？	
研究結論	一、外側平衡線的點與中心軸線必須形成一個三角形。 二、最少要 2 條外側平衡線與中心軸線形成一個三角形的面。 三、與上架中心軸同側的 2 條外側平衡線形成的三角形，裝置無法平衡。 四、裝置平衡時，中心軸線延長點一定在上架/下架的重心。 五、裝置中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不影響裝置平衡 六、正多邊形的裝置平衡規則：等腰三角形頂角 = $360^\circ \div \text{正多邊形邊長數}$ = 正多邊形圓心角。	一、將做好的主體分別吊起來，而連結懸臂的吊繩，必須穿過「重心」的線上，便能做出懸浮結構。 二、懸浮結構可載重，最佳載重點是在重心之上。 三、改變結構高度或者構件邊長，對載重量的影響很小。 四、六邊形的載重量勝過其他，完全對稱型的載重量也都超越星型對稱型 五、懸浮結構在單臂與雙臂下載重的表現，載重計量達兩倍之多。 六、主體結構夾角變大，載重越大。 七、距離重心越近，結構明顯越穩定。 八、懸臂間吊繩的線越粗，剛性越強，載重量越大。	一、三條線的張拉共構體會不斷倒下我們想到能在前桿上加重，代替第四條線，就能平衡。 二、但彈簧不像線一樣會晃、倒下，因此放棄。 三、發現每次懸掛的重物重量都不一樣，懸掛越前端，所需的重物重量就越輕，懸掛點越靠近第三條線，所需的重物重量就越重。第三條線位置越靠近後面晃動幅度的極限就越小、越靠近前面晃動幅度就越大，因此第三條線的位置放在第一格是最堅固的。

四、資料分析

(一) 試做：我們從網路上收集資料，觀看 youtube 相關影片，決定自己動手做做看。

成品相片	使用工具與材料	狀況與問題
	冰棒棍、熱熔膠、棉線。	1. 60 度角的冰棒棍不好固定，無法精準的確定角度。有時會左右傾斜，有時會角度跑掉，即使調好了角度，因為受張力拉扯，60 度角持久性也不長，容易歪斜。 2. 一開始我們只想到以打死結的方法固定線的長度，但實際打完結後，剩餘繩長與預期的差太多，所以使結構無法支撐。
	紙片、熱熔膠、縫衣線、訂書針	1. 考量到 60 度角很難精準立起來，我們根據紙片容易凹折的特性，做了兩個直角的紙片在 60 度角的左右兩側，並用訂書針將此與三角形結構固定，把 60 度角夾起來，固定住 60 度角

		的位置。 2. 紙板不夠硬，時間久了紙板會出現摺痕、歪掉，整體結構會不穩，傾向某一邊，結果不理想。
	吸管、鐵絲、針、縫衣線	1. 我們用鐵絲做結構，鐵絲很好折，所以我們很輕鬆的就能做出 60 度。 2. 我們在吸管上打洞，固定繩子，解決了熱熔槍黏繩子不好固定的問題。 3. 因為鐵絲加吸管整體重量太輕，風一吹整體結構就被吹走，頗受影響。
	迴紋針、冰棒棍、毛線、熱熔膠	1. 因為線的長度對整個結構的承重來說很重要，所以我們決定用迴紋針把線夾起來，就可以方便調整長度。 2. 使用迴紋針調整線長時，因為有些線太細，摩擦力太小，所以導致繩子長度會一直跑掉。

	雷射木板、毛線、定位珠	1. 以雷射的方式製作張拉結構，讓整體結構變得更穩固。 2. 運用雷射製作張拉結構時，在設計結構時，將上下底座打洞，解決了無法固定繩子的問題。 3. 我們以活結與定位珠的方法將線長調到最適合各變因的長度。
---	--------------------	--

(二) 實驗一：探討張拉結構線的材質對於承重量的影響

1. 控制變因：以三根冰棒棍黏合，製作成正三角形形狀的兩個底座，支撐柱的角度固定為 60 度，在上底座的三個頂點黏接相同的橢圓形迴紋針，固定三條支撐線與一條張力線。
2. 操作變因：使用麻繩、塑膠繩、縫衣線、釣魚線、毛線製作張拉結構。



3. 應變變因：使用花片來測試承重量。

4. 實驗過程：

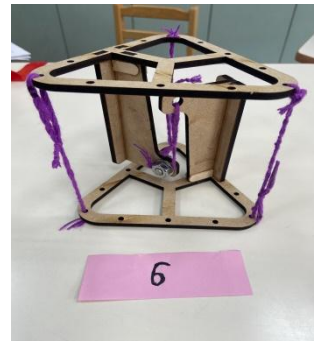
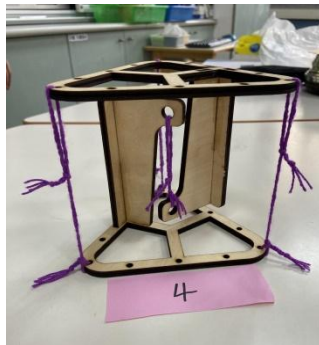
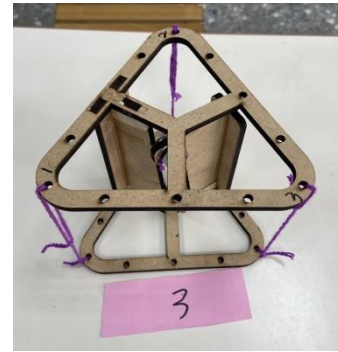
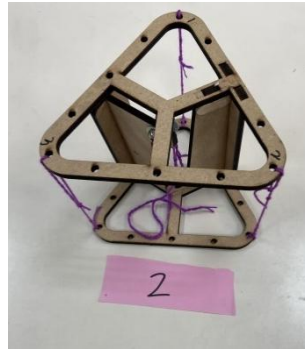
- (1) 取 6 根冰棒棍用熱溶膠黏貼成兩個正三角形底座。
- (2) 在一個底座的任一邊（冰棒棍）中間黏上一根尾端切成 60 度的冰棒棍，形成一個張力柱，另一個底座則在頂點（兩根冰棒棍重疊處）黏上另一根尾端切成 60 度的冰棒棍，形成第二個張力柱。
- (3) 取一個三角形底座在三個頂點及兩個張力柱上黏上迴紋針，迴紋針不可完全重疊於冰棒棍上，必須要露出約 $1/2$ 或 $1/3$ 的迴紋針來固定纏繞線。
- (4) 在支撐柱上固定張力線的兩端。
- (5) 在沒黏迴紋針的底座，用熱溶膠先黏上支撐線，而線的另一端則纏繞在有黏迴紋針的三角形底座上，調整到三邊平衡且能立住，即完成張拉結構。

5. 實驗記錄：使用 A4 影印紙摺一個紙盒來放花片，依序放入花片教具，在張拉結構倒下後拿走一片花片，將剩下的花片拿去秤重。每一個操作變因進行 5 次測量，將 5 次中所得之最高與最低數值刪除，用剩餘 3 個數值算出平均值當作此變因之承重重量。

（三）實驗二：探討張拉結構線的粗細對於承重量的影響

1. 控制變因：以同一組雷雕所製之張拉結構，固定張力線繩長為 6 公分、支撐線繩長為 12 公分，綁繩的位置固定底座的三個頂點。

2. 操作變因：繩子的粗細，以編織的方法，分別完成 1 股辮、2 股辮、3 股辮、4 股辮、6 股辮。



3. 應變變因：使用光碟片測試結構承重量。

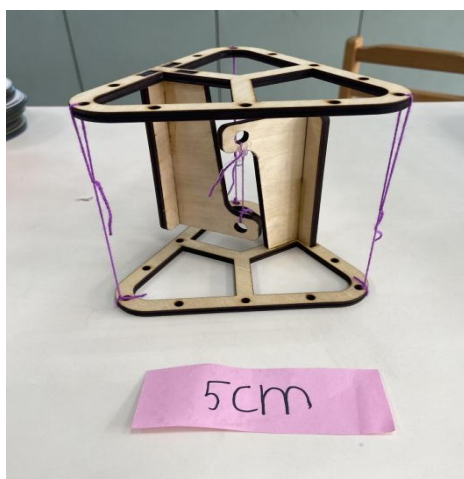
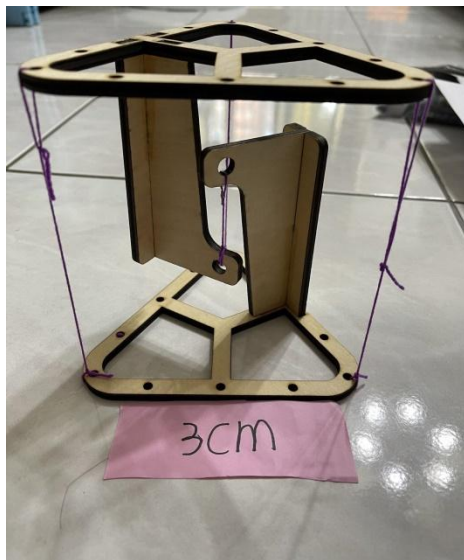
4. 實驗過程：

- (1) 將雷雕零件組合（6 片零件）、黏貼成上下兩個結構。
- (2) 編織不同粗細的線，分別為 1 股辮、2 股辮、3 股辮、4 股辮、6 股辮。
- (3) 把 6 公分的張力線固定於支撐柱，一端綁死結，另一端以螺絲與螺帽固定。
- (4) 固定支撐線(先以死結的方法固定於下底座，上底座則以活結的方式固定)，長約 12 公分。
- (5) 將支撐線調整到三邊平衡且立住，即完成張拉結構。

5. 實驗記錄：以光碟片測試結構承重，將光碟片一片片堆疊，當結構倒下後，拿出最後一片光碟片，使用電子秤進行測量其餘光碟的重量。每一個操作變因進行5次測量，將5次中所得之最高與最低數值刪除，用剩餘3個數值算出平均數，當作此變因之承重重量。

(四)實驗三：探討張拉結構張力線的長度對於承重量的影響

1. 控制變因：以同一組雷雕的張拉結構，固定綁繩的位置為底座的三個頂點，統一使用紫色毛線和 3mm 的定位珠。
2. 操作變因：張力線的長度分別為 3、4、5、6 公分。



3. 應變變因：使用光碟片測試結構承重量。

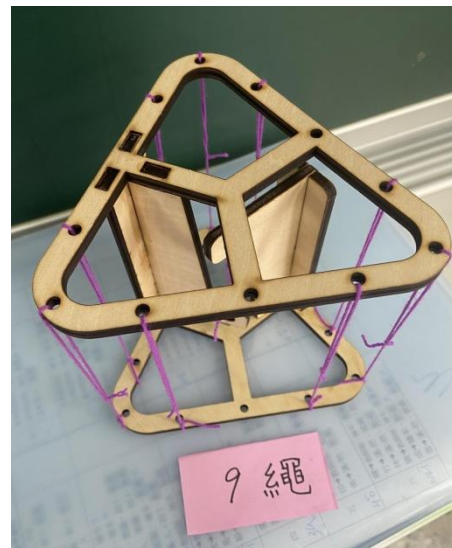
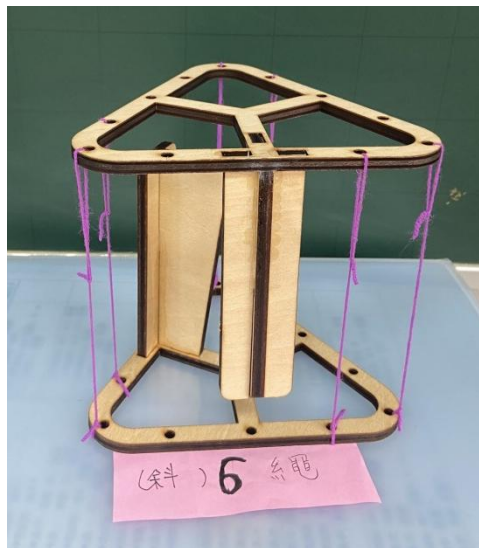
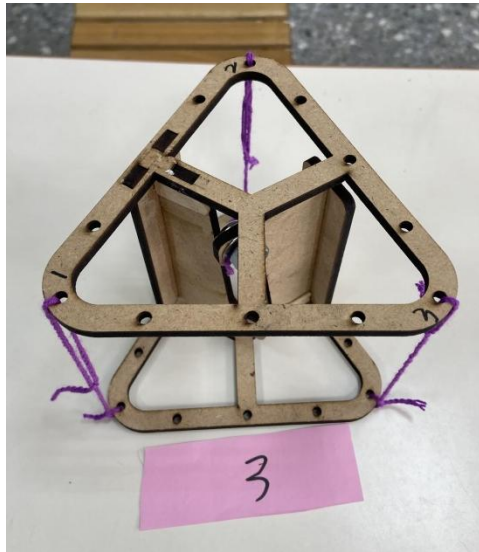
4. 實驗過程：

- (1) 裁剪大於操作變因的(3~6cm)的張力線。
 - (2) 裁剪三條長度約 20cm 左右的支撐線。
 - (3) 固定張力線：先將張力線一端以死結的方法綁死於下方支撐柱，另一端將繩子繞過支撐住的洞，並以定位珠的方式固定張力線長度（3 公分、4 公分、5 公分、6 公分）。
 - (4) 固定支撐線：同樣一端以死結的方法固定，另一端以活結的方式固定。
 - (5) 依操作變因中張力線長度之不同，將支撐線的長度調整到三邊平衡且立住，即完成張拉結構。
5. 實驗記錄：以光碟片測試結構承重，將光碟片一片片堆疊，當結構倒下後，拿出最後一片光碟片，將其餘光碟片使用電子秤進行秤重。每一個操作變因進行 5 次測量，將 5 次中所得之最高與最低數值刪除，用剩餘 3 個數值算出平均當作此變因之承重重量。

(五)實驗四：探討張拉結構支撐線的數量對於承重量的影響

1. 控制變因：以同一組雷雕的張拉結構，以 3mm 的定位珠固定張力線繩長度為 5 公分，支撐線繩長約 12.5 公分(以手指彈線必須有繃緊的感覺)。

2. 操作變因：改變支撐線的數量和位置，分別為頂點 3 條、左右 6 條、斜一邊 6 條、9 條。



3. 應變變因：使用光碟片測試結構承重量。

4. 實驗過程：

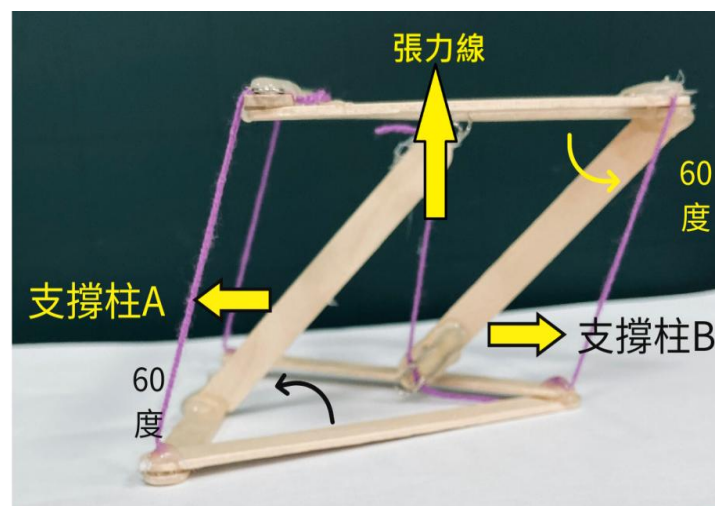
- (1) 將不同數量的拉力線依操作變因綁死在下方結構，上方以可調整長度之活結固定。

- (2) 再次確認張力線長度後（5 公分），將定位珠夾扁以確定每次操作時張力線之長度。
- (3) 將周圍圍的支撐線調整之繃緊狀態，其長度約為 12.5 公分。
5. 實驗記錄：以光碟片測試結構承重，將光碟片一片片堆疊，當結構倒下後，拿出最後一片光碟片，將其餘光碟片使用電子秤進行秤重。每一個操作變因進行 5 次測量，將 5 次中所得之最高與最低數值刪除，用剩餘 3 個數值算出平均當作此變因之承重重量。

五、研究結果與討論

（一）動手做張拉結構：在製作過程中，我們了解到兩邊支撐柱的重性如下：

1. 將兩旁的支撐柱角度固定至 60 度。
2. 兩根支撐柱必須前後落在同一個平面上，這樣才能讓黏接在支撐柱的張力線不會歪斜。
3. 確保張力線垂直於水平底座，如此張力線才能形成張力，與支撐線達到平衡，結構才能撐住立起。



(二) 實驗一：探討張拉結構線的材質對於承重量的影響

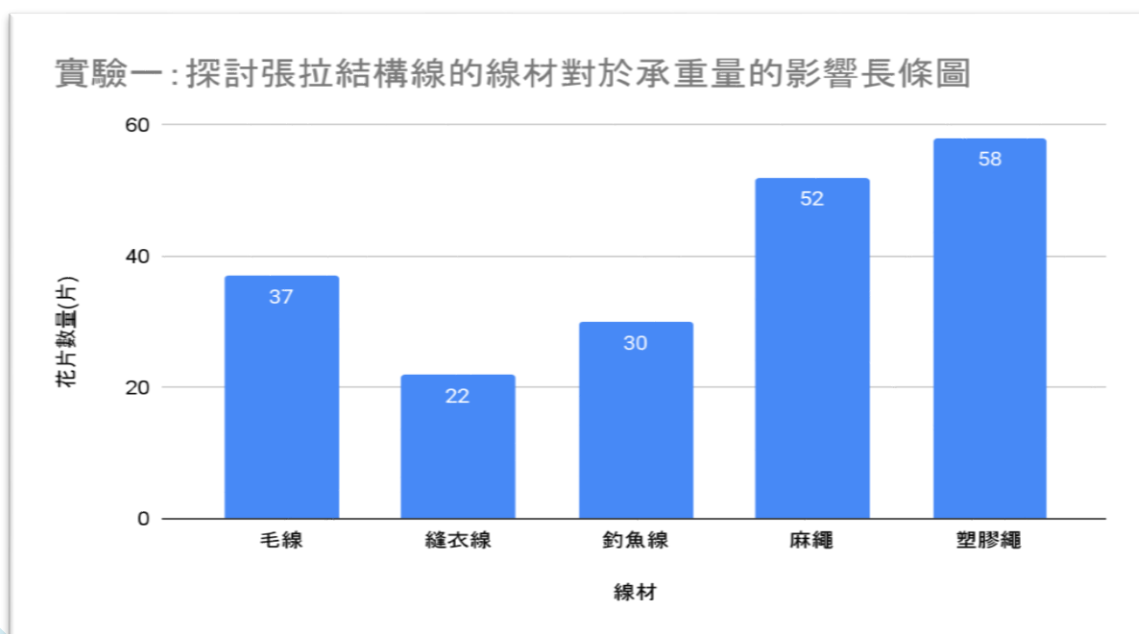
1. 以下為使用不同線材進行承重的紀錄統計圖表：

表 5-2-1、張拉結構線的材質對於承重量（花片數量）影響紀錄表

次數 線材	一	二	三	四	五	平均
毛線	34	30	41	63	36	37
縫衣線	27	22	23	19	21	22
釣魚線	11	37	13	57	40	30
麻繩	55	69	43	44	36	52
塑膠繩	59	42	56	77	59	58

承重量—花片數量；單位一片

圖 5-2-1 張拉結構線的材質對於承重量影響長條圖



2. 觀察與發現：

(1) 承重比較：

(A) 塑膠繩可承重 58 片花片約 30 公克。

(B) 麻繩可承重 52 片花片約 25 公克。

(C) 毛線可承重 37 片花片約 20 公克。

(D) 釣魚線可負重 30 片花片約 15 公克。

(E) 縫衣線可負重 22 片花片約 10 公克。

縫衣線 (約 10 公克)	釣魚線 (約 15 公克)	毛線 (約 20 公克)	麻繩 (約 25 公克)	塑膠繩 (約 30 公克)
輕				重



(2) 操作過程中，我們發現各線材操作情況如下：

(A) 麻繩和釣魚線很難纏繞，而且釣魚線韌性較高，很難固定、容易跑掉。

(B) 塑膠繩因為很扁，容易纏繞但也容易鬆脫。

(C) 縫衣線好纏繞但是太細容易掉落。

(3) 所以我們決定之後的實驗使用毛線，因為它的承重值剛好介於中間，而且方便綁繩操作。

(三) 實驗二：探討張拉結構線的粗細對於承重量的影響

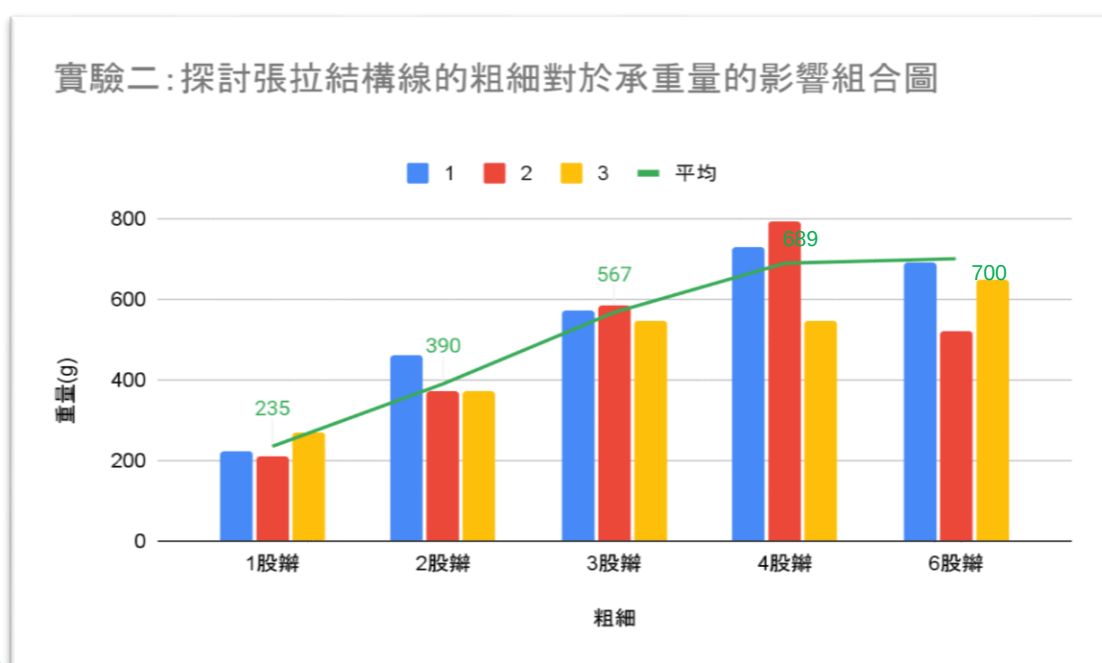
1. 以下為線的粗細所能承重的紀錄統計圖表：

表 5-3-1 張拉結構線的粗細對於承重量影響紀錄表

次數 繩子 粗細	一	二	三	四	五	平均
1 股鞭	225	210	270	120	300	235
2 股鞭	359	459	370	371	550	400
3 股鞭	572	586	508	1019	545	567
4 股鞭	883	730	791	482	545	689
6 股鞭	1050	690	520	510	650	700

承重量—CD 片；單位—公克(g)

圖 5-3-1 張拉結構線的粗細對於承重量影響組合圖



2. 觀察與發現：

- (1) 我們發現隨著繩加粗，承重量也會隨著增加，其中承重量最輕的是一股辮，平均可承重 235 公克；承重量最重的是六股辮，平均可承重 700 公克。
- (2) 從一股鞭到四股鞭的承重量都有顯著增加，繩子每增加一股的粗度，承重量都增加超過 100 公克，分別是增加 155、177、122 公克，增加幅度由次大、最大、到最小。
- (3) 四股辮與六股辮的承重量只差了 11 公克，我們推論此結構承重的極限大約落在 690、700 公克左右，即使再加粗繩子粗細，也不會使結構的承重量大幅增加。

(四) 實驗三：探討張拉結構張力線的長度對於承重量的影響

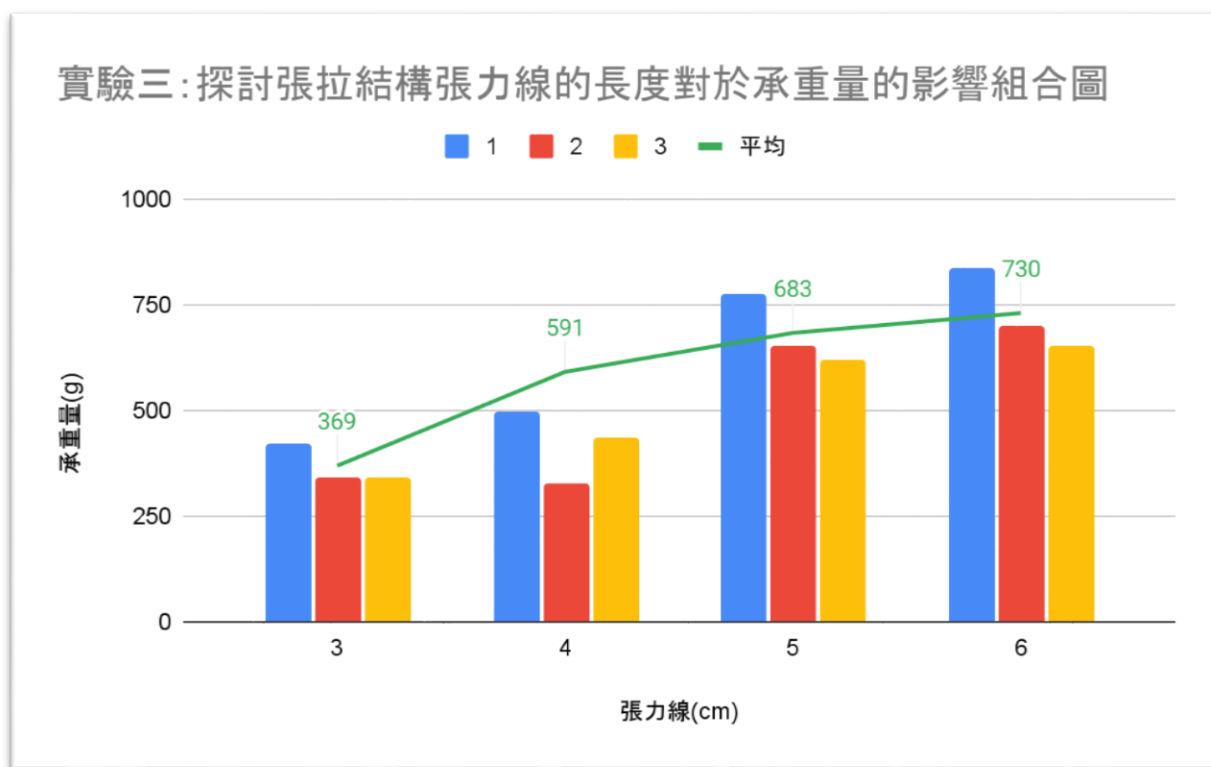
1. 以下是調整張力線長度後承重重量的紀錄統計圖表：

表 5-4-1 張拉結構張力線的長度對於承重量(CD 片)影響紀錄表

次數 張力線 長度(cm)	一	二	三	四	五	平均
3	422	449	342	342	343	369
4	203	327	437	498	715	591
5	495	652	621	871	777	683
6	838	931	653	699	479	730

承重量—CD 片；單位—公克(g)

圖 5-4-1 張拉結構張力線的長度對於承重影響組合圖



2. 觀察與發現：

- (1) 隨著張力線的長度增加，承重量也會隨著增加；其中最長 6 公分張力線的結構承重最重，平均可承重 730 公克，承重最輕的是 3 公分張力線的結構，平均可承重 369 公克。
- (2) 我們發現 6 公分張力線的結構承重量 730 公克幾乎是 3 公分張力線的結構承重量 369 公克的 2 倍。
- (3) 我們觀察發現 4 公分張力線的結構承重量(591 公克)相較於 3 公分張力線的結構承重量(369 公克)增加 222 公克，5 公分張力線的結構承重量(683 公克)相較於 4 公分張力線的結構承重量(591 公克)增加 92 公克，6 公分張力線的結構承重量(730 公克)相較於 5 公分張力線的結構承重量(683 公克)增加 47 公克，每次的承重增加幅度隨之越來越小。

(4) 根據以上現象，我們推論這可能有兩個原因：

(A) 應力分佈：在張拉結構中，張力線的長度影響應力的分佈。當張力線變長時，整個結構能夠更均勻地分佈應力，從而提高承重能力。然而，隨著張力線逐漸加長，應力分佈的改善效果會逐漸減小，導致承重能力的增幅減小。

(B) 材料極限：隨著承重增加，結構中的材料會接近其極限強度。當張力線增加到一定長度後，材料的強度限制開始顯現，增加的承重量變得越來越小。

(五)實驗四：探討張拉結構線支撐線的數量對於承重量的影響

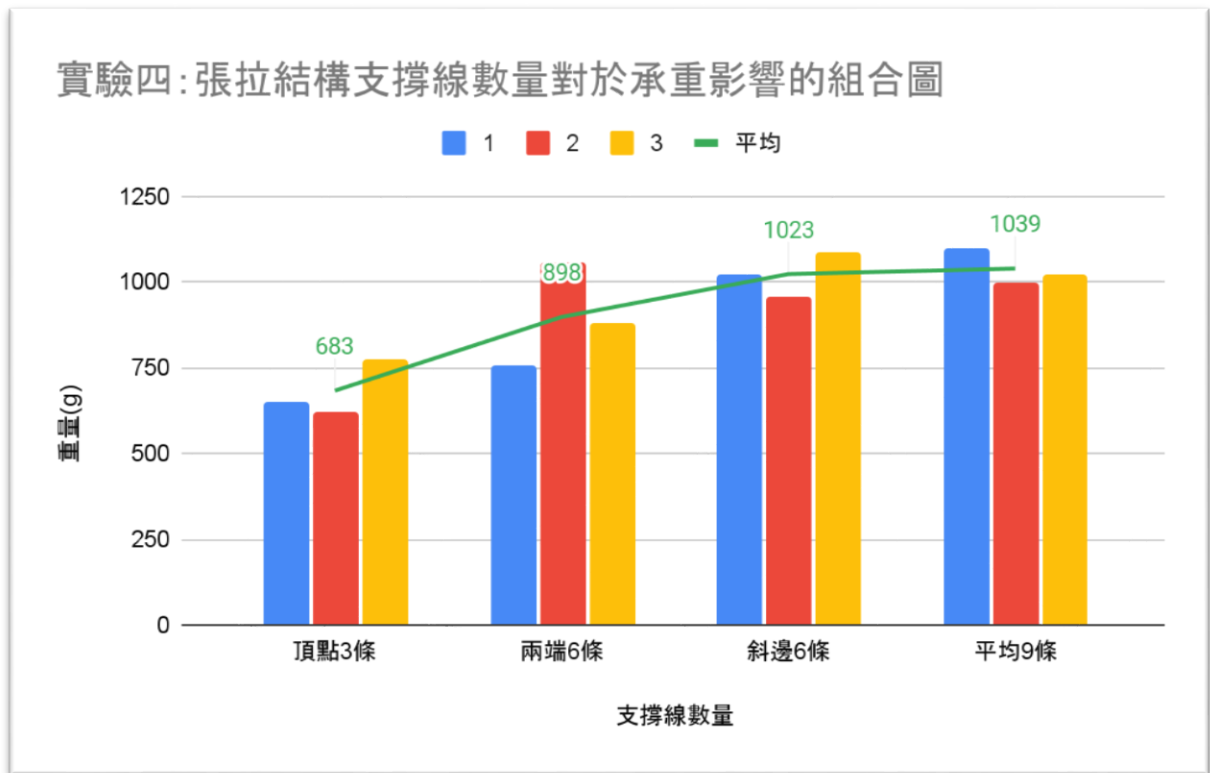
1. 下面為支撐線數量與位置對承重的紀錄統計圖表：

表 5-5-1 張拉結構線支撐線的數量對於承重影響紀錄表

次數 支撐線 數量	一	二	三	四	五	平均
頂點 3 條	495	652	621	871	777	683
兩端 6 條	744	759	1055 (斷)	1224 (斷)	882	898
側邊 6 條	1023	959 (斷)	1087g (斷)	1117 (斷)	511 (斷)	1023
平均 9 條	1165	1101	996	1020 (斷)	666	1039

承重量—CD 片；單位—公克(g)； 符號說明：斷是指繩子斷裂

圖 5-5-1 張拉結構線支撐線的數量對於承重影響組合圖



2. 觀察與發現：

- (1) 我們發現隨著支撐線數量增加，承重量也會隨著增加，其中承重量最輕的是 3 條支撐線的結構，平均可承重 683 公克；承重量最重的是 9 條支撐線的結構，平均可承重 1039 公克。
- (2) 根據實驗結果，我們發現斜邊 6 條與平均 9 條的承重量頗為接近，兩者的平均數值只相差 16 公克，依此推論支撐點越多，受力越平均，所以承重值越接近極限值，此種張拉結構(雷雕和毛線)的承重極限值約為 1000 公克左右。
- (3) 根據實驗結果，我們發現斜邊 6 條的承重較兩端 6 條的承重多了 125 公克，我們推論因為斜邊 6 條所圍成之面積大於兩端 6 條所圍成之承重面積，這樣會讓結構受力更為平均，而在操作過程中也有發現這樣的情況，當實際操作斜邊 6 條放置光碟片

的承受過程時，結構晃動的情況較為兩端 6 條的穩定，所以可以使承重的張力線達其承重極限值。

（六）結論：

1. 製作：以冰棒棍製作張拉結構的過程中，發現支撐柱非常重要，必須精準達到前後落在同一平面，左右距離剛好，讓上下等距垂直，使得張力線垂直於水平底座，再調整旁邊的支撐線，使得結構的張力、拉力達到平衡，整體結構方能穩定立起，達到懸浮之感。
2. 材質：觀察實驗一，依據線材外觀大致粗分為三類：
 - （1）第一類是塑膠繩和麻繩，它們的外觀是扁而寬、且粗，是五種繩子材料中最粗的一類，果然承重量也是最高的，都多於 50 片花片，約 25~30 公克左右。
 - （2）第二類是毛線，它的直徑約是 1 毫米(mm)，是五種材質中的中間值，承重量也是如此，承重大約 35 片花片，約 20 公克左右。
 - （3）釣魚線、縫衣線外觀是最細，所以承重也是最輕的，只有 22~30 片花片，約為 10~15 公克，可見繩子外觀粗細與承重呈現正相關。
3. 粗細：從實驗二，我們再次驗證繩子粗細，的確與承重量相關，繩子越粗，承重量也會隨著增加。但當此結構的承重到達極限，即使再將繩子加粗也不會使其承重量有大幅的增加。
4. 張力線長度：我們發現隨著中間張力線的長度增加，承重量也會隨著增加，其中最長 6 公分張力線的結構承重最重，平均可承重

730 公克，承重最輕的是 3 公分張力線的結構，平均可承重 369 公克。而且每次的承重增加幅度隨之越來越小，我們推論這可能有兩個原因，其一是應力分佈：張拉結構中，張力線的長度影響應力分佈。當張力線變長時，整個結構能更均勻的分佈應力，提高承重能力，其二是材料極限：當張力線增加到一定長度後，材料的強度限制顯現，增加的承重量變得越來越小。

5. 支撐線數量：從實驗四我們發現當支撐線數量增加時，承重量也會隨著增加，支撐點越多、受力面積越大時，受力會越平均，而承重值就會越接近材料的極限值。

(七)應用與展望：

針對「張拉結構」這一連串的研究，我們產生一些想法，藉由 AI 生圖，將我們的創意構想，分享如下：

1. 行星著陸器：我們覺得可以利用張拉結構的緩衝特性，製作宇宙探索用的著陸器。



2. 雙鍵盤鋼琴：利用張拉結構，做出腳和手可以同時彈的鋼琴，上面一個手彈的鍵盤，下面一個腳彈的鍵盤，中間用透明的線，做出懸浮的效果。



六、評鑑與檢討：(上述每一階段的省思與收穫)

- (一) 尋找主題：我們去科展群傑廳找尋自己喜歡的主題並寫下來，在眾多感興趣的主題當中，我們檢視了自己的時間與設備，部分是要種植的主題，有點擔心時間無法掌控；還有部分主題，我們缺少所需的設備，考量種種因素，覺得「張拉結構」是蠻有挑戰性的，就決定嘗試研究。
- (二) 蒐集資料：確定主題後，我們就去 youtube 找尋相關影片，了解如何製作張拉結構，以及更進一步認識各種型態的裝置；之後也去各種網站搜尋相關文字資料，幫助我們了解張拉結構的原理，以及可以探討研究的方向。
- (三) 製作張拉結構：
 1. 結構的角度：在製作張拉結構時，遭遇到的第一個問題就是 60 度角的冰棒棍不好固定，無法精準的確定角度，有時會左右傾斜，有時會角度跑掉，即使調好了角度，因為受張力拉扯，60 度角持久性也不長，容易歪斜，於是我們決定用熱溶膠固定支撐柱使其不要搖晃，黏貼過程中，運用老師製作的 60 度角橡皮擦輔助器，協助固定，免除我們要一直扶著不能放手的麻煩
 2. 調整或固定支撐線與張力線長：我們原先以打死結的方法固定線的長度，但是確定線的長度後的結構卻無法支撐站立，我們需要解決線既要固定又可調整長度的問題，一開始老師教我們使用迴紋針把線夾起來，就可以達到既穩固繩子又方便調整長度的目標；而在之後的實驗中，為了能靈活的調整、固定支撐線與張力線，我們在老師的協助與討論下，使用活結與定位珠來調整線長度，使得更好的操作實驗中的變因。

3. 結構穩定性：因為運用冰棒棍所製作的結構不夠穩固，支撐柱極易受各種拉力影響而歪斜，導致無法穩定進行承重試驗，必須不斷黏貼扶正等待等等，幾乎所有的時間都花費在黏貼調整支撐柱，非常浪費時間，心情沮喪，正在一籌莫展之際，好在有林振釗學長的幫忙，學長以電腦繪圖的方式，畫出設計圖，標示出雷雕尺寸，老師幫忙尋找廠商、社會資源(彰安國中自造教育及科技中心)輸出，讓我們有雷雕零件可以組裝，做出穩固的結構。在之後我們只需專注於線材的編織、打結、調整，節省許多時間，終於可以較為順利地進行承重測試。

(四) 進行實驗：在製作結構與實驗過程中，張拉結構從一開始使用冰棒棍到後來的木製雷雕；固定線長的方式從熱融膠、迴紋針、結繩、定位珠，這過程中有時會覺得是在練習手部動作，還是在進行實驗。有時也會因無法精確綁到要求的線長或者線材斷裂的時候，當要重新來過時，真的會非常的氣餒，甚至出現想要放棄的念頭，但還好有老師、學長的協助與鼓勵，終於完成了所有的實驗。

(五) 結果與討論：討論實驗結果的過程，也是十分艱難，看著這些實驗數值，一開始其實不太知道有什麼關聯性，但仔細比較每個實驗中的紀錄，找出最大值、最小值，比較數值差距等，終於發現一些趨勢與關聯性，做出小小的推論。

七、參考資料(未附者不予審查)

1. 【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)

<https://reurl.cc/L5AV5e>

2. 【TRY 科學】20211027 - 懸空神技 張拉整體, 張拉共構體

<https://reurl.cc/5D1VKM>

3. How to make Anti-gravity Structure | science project

<https://reurl.cc/964xDj>

4. 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書/防震未來式—懸浮技術的抗震

<https://reurl.cc/6j59qM>

5. 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書/破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重力

<https://reurl.cc/041Qa1>

6. 花蓮縣第 64 屆國民中小學科學展覽會/三線式張拉共構體穩定性研究

<https://reurl.cc/eGDnpW>

7. 新竹市第三十九屆中小學科學展覽會作品說明書/：一「臂」之力有「懸」技

<https://reurl.cc/6j59qM>