

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080112

綁手綁「角」！飛石索發射角度與纏繞之探究～

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者：  小五 蕭妤軒  小四 林潔兒  小五 鍾宜潔  小四 王琨叡	指導老師：  戴郁奇  劉原旭
---	-----------------------------

關鍵詞：初速度分量、慣性、圓周運動

## 摘要

本研究討論「飛石索」在空中如何利用兩端重物把繩子拉開，繩子在接觸到目標物後，可以順利纏繞。研究內容有飛石索發射器設計，兩端重物飛出時的向前初速度計算，還有讓繩子張開的向左和向右速度分量討論，發射攻擊角度和纏繞到目標物的落點、圈數，研究結果如下：

- 一、利用彈力橡皮管會伸縮形變來當發射動力，掛架採用四條懸掛式，飛石索可以順利被發射出去。又因掛架角度設計成張開模式，所以兩端重物會往不同方向飛出，進而把繩子拉開。
- 二、目標物距離不同會有不同的攻角配合，例如距離目標物 600 公分時，飛石索繩長設定在 70 公分，兩端重物各 20 公克重，調整攻角角度在 15 度，飛石索會有最佳的平均纏繞圈數 3.4 圈。

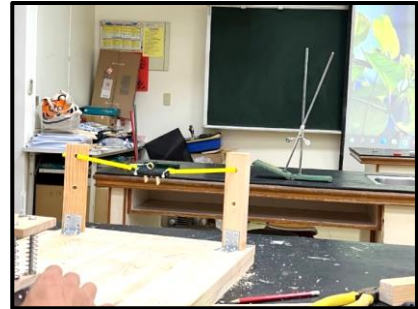


圖 1：飛石索纏繞住目標物

## 壹、研究動機

「飛石索」是古代常用的一種狩獵用具，曾經在影片裡看過有些人會用它來捕捉獵物。飛石索的操作方式是讓它在空中先旋轉起來，對準要捕捉的獵物再把它丟擲出去，張開的繩子接觸到獵物後，便會纏繞在獵物的身上，讓獵物無法順利跑動而被絆倒。丟擲出去的繩子為什麼會張開？而張開的繩子碰到目標物後，為什麼會有纏繞的現象？要怎麼樣才能穩穩的捆住目標物？這些有趣的現象引發了我們的好奇心，所以會纏繞的飛石索就成為我們這次研究的主題。新聞報導有一隻從動物園逃脫的動物，因為被獵槍打傷而死亡。如果當時使用我們製作的飛石索，是不是就可以順利捕捉到牠，而又不會傷害到牠的生命呢？

## 貳、研究目的

【研究一】設計並製作可以順利發射飛石索的測量機器。

第 1 代：四條乘載式飛石索發射器

第 2 代：兩條懸掛式飛石索發射器

**第 3 代：四條懸掛式飛石索發射器**

【研究二】不同材質繩子對目標物纏繞的效果比較。

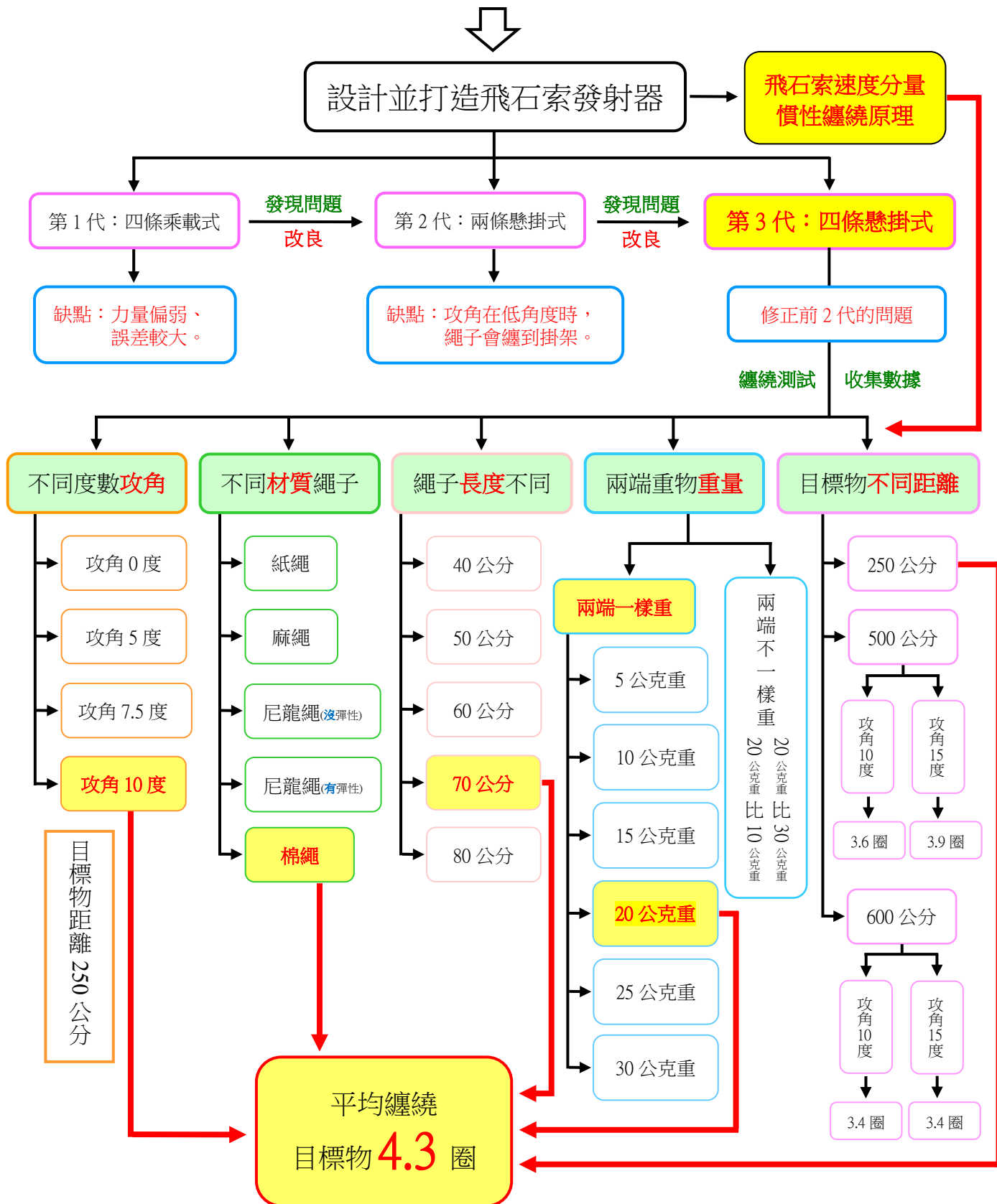
【研究三】繩子不同長度對目標物纏繞的效果比較。

【研究四】兩端重物重量對目標物纏繞的效果比較。

【研究五】不同距離對目標物纏繞的效果比較。

# 參、實驗流程架構圖

## 飛石索要如何有效纏繞住目標物



## 肆、飛石索的理論基礎

### (一)飛石索向前初速度分量和向左向右速度分量討論

1. 如果想順利纏繞到目標物，首先被彈射出去的飛石索要能在空中張開。掛架上的兩端重物受力後，發射底座上的掛架角度設計，會讓飛出兩端重物產生向左和向右的速度分量。

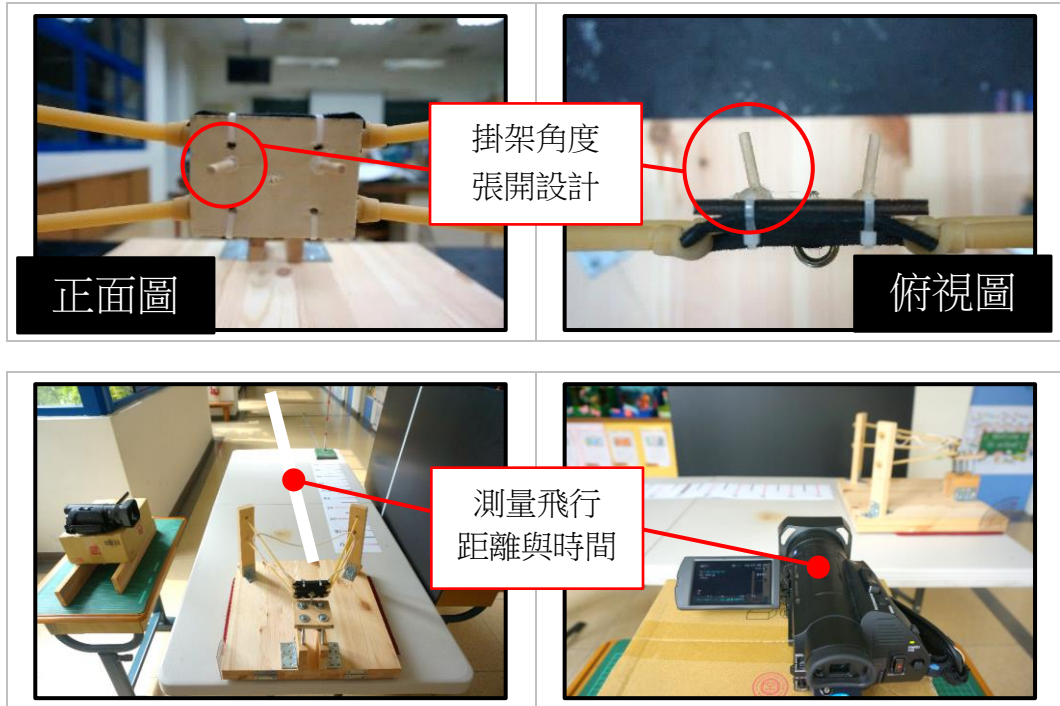


圖 2：掛架張開角度和飛行距離測試

2. 設計掛架上 5 種不同張開的角度，分別是垂直 0 度、張開 10 度、張開 20 度、張開 30 度和張開 40 度。用 FDR-AX700 高畫質數位攝影機的高速攝影功能，影片錄影 1 秒鐘有 960 張照片，可以將影片放慢 40 倍。利用威力導演軟體分析，記錄每一次飛石索從掛架脫離到飛行 30 公分時間和落地的距離，一共有 5 次數據，算出各張開角度的平均初速度和距離。在已知初速度情況，利用三角函數  $\cos \theta$  和畢氏定理，算出飛石索在各種張開角度向左和向右的速度分量，藉此證明就是因為有向左和向右的速度分量，所以才能讓繩子在空中張開。



圖 3：掛架上不同張開角度

以掛架角度張開 20 度為例，計算向前初速度分量和向左速度分量，向右速度分量以此類推。

垂直 0 度：向前初速度平均  $150 \text{ cm} \div 1.15 \text{ s} = 130.43 \text{ cm/s}$

所有計算數值都取到小數點後兩位再四捨五入

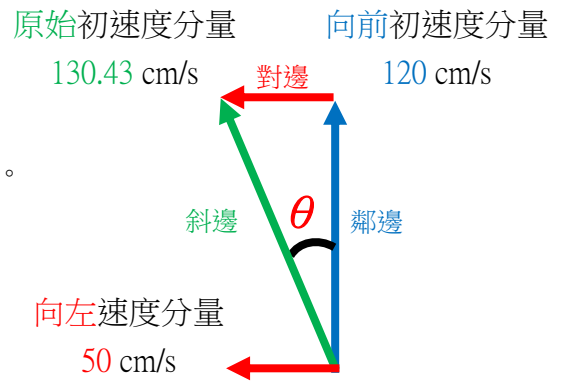
垂直 20 度：向前初速度平均  $150 \text{ cm} \div 1.25 \text{ s} = 120 \text{ cm/s}$

1. 用三角函數  $\cos \theta$  算出兩速度分量夾角度數：

$$120 \text{ (鄰邊)} \div 130.43 \text{ (斜邊)} = 0.92$$

$$= \cos 23^\circ$$

對照網路上三角函數值表，可知  $\theta$  角接近 23 度。




2. 畢氏定理公式：

$$\text{斜邊平方} - \text{鄰邊平方} = \text{對邊平方}$$


$$130^2 - 120^2 = 50^2$$

3. 飛石索懸掛在角度張開 20 度掛架上，兩端重物飛出時會有向左和向右的速度分量，把繩子往兩個不同的方向拉開，而且算出**向左和向右速度分量是 50 cm/s**


圖 4：飛石索向左向右速度分量計算方式



脫離掛架



空中飛行



通過 30cm 處

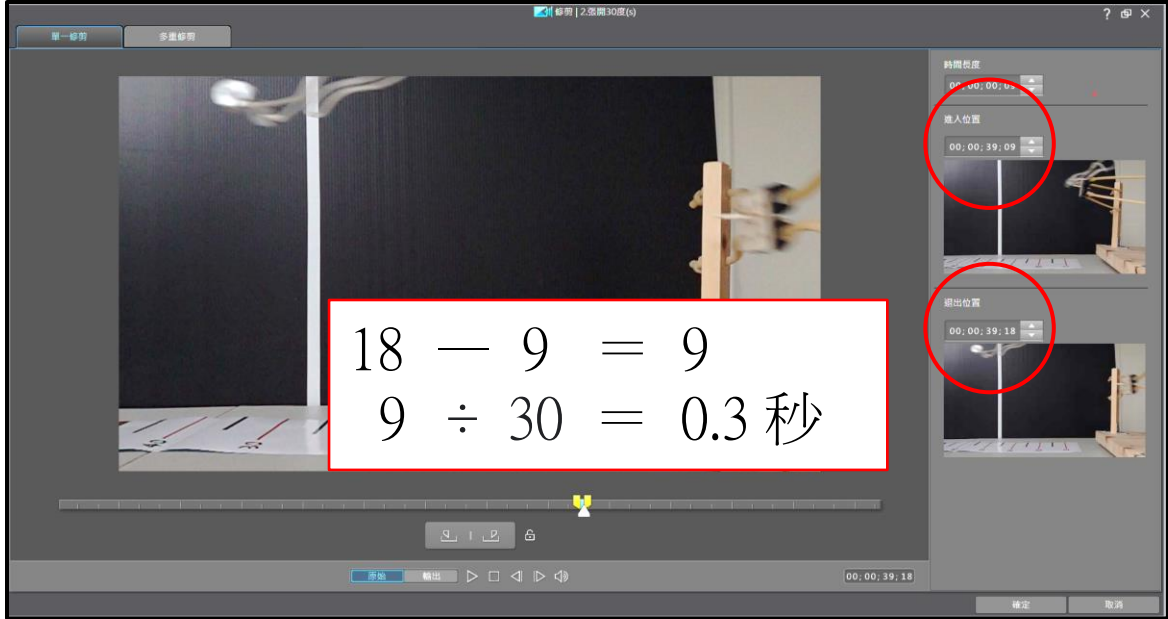


圖 5：威力導演軟體分析計算每次飛行 30cm 時間

掛架 <b>垂直</b> 於底座	掛架各自 <b>張開 10 度</b>	掛架各自 <b>張開 20 度</b>
<p>0 度 <b>俯視圖</b></p>	<p>10 度 <b>俯視圖</b></p>	<p>20 度 <b>俯視圖</b></p>
<p>向前初速度：<b>130.43</b> cm/s 繩子 <b>沒有</b> 張開</p>	<p>向前初速度：<b>128.21</b> cm/s 繩子 <b>稍有</b> 張開</p>	<p>向前初速度：<b>120.00</b> cm/s 繩子 <b>有</b> 張開</p>
<p>理論上兩端重物往兩側的速度分量各是 <b>0</b> cm/s</p>	<p>計算出兩端重物往兩側的速度分量各是 <b>23.96</b> cm/s</p>	<p>計算出兩端重物往兩側的速度分量各是 <b>51.11</b> cm/s</p>
<p>向前初速度 <b>130.43</b> cm/s 平均距離 <b>813</b> cm 沒有向左速度分量 沒有向右速度分量</p>	<p>向前初速度 <b>128.21</b> cm/s 平均距離 <b>769</b> cm 計算出 <b>10°40'</b> 向左速度分量 <b>23.96</b> cm/s 向右速度分量 <b>23.96</b> cm/s</p>	<p>向前初速度 <b>120.00</b> cm/s 平均距離 <b>720</b> cm 計算出 <b>23°</b> 向左速度分量 <b>51.11</b> cm/s 向右速度分量 <b>51.11</b> cm/s</p>
<p>掛架各自<b>張開 30 度</b></p>	<p>掛架各自<b>張開 40 度</b></p>	
<p>30 度 <b>俯視圖</b></p>	<p>40 度 <b>俯視圖</b></p>	
<p>向前初速度：<b>108.70</b> cm/s 繩子 <b>有</b> 張開</p>	<p>向前初速度：<b>98.04</b> cm/s 繩子 <b>有</b> 張開</p>	
<p>計算出兩端重物往兩側的速度分量各是 <b>72.08</b> cm/s</p>	<p>計算出兩端重物往兩側的速度分量各是 <b>86.02</b> cm/s</p>	
<p>向前初速度 <b>108.70</b> cm/s 平均距離 <b>684</b> cm 計算出 <b>33°30'</b> 向左速度分量 <b>72.08</b> cm/s 向右速度分量 <b>72.08</b> cm/s</p>	<p>向前初速度 <b>98.04</b> cm/s 平均距離 <b>641</b> cm 計算出 <b>41°20'</b> 向左速度分量 <b>86.02</b> cm/s 向右速度分量 <b>86.02</b> cm/s</p>	

圖 6：分析飛石索速度分量原理(垂直 0 度、張開 10 度、張開 20 度、張開 30 度、張開 40 度)

### 3. 掛架角度設計從垂直 0 度到張開 40 度的分析圖

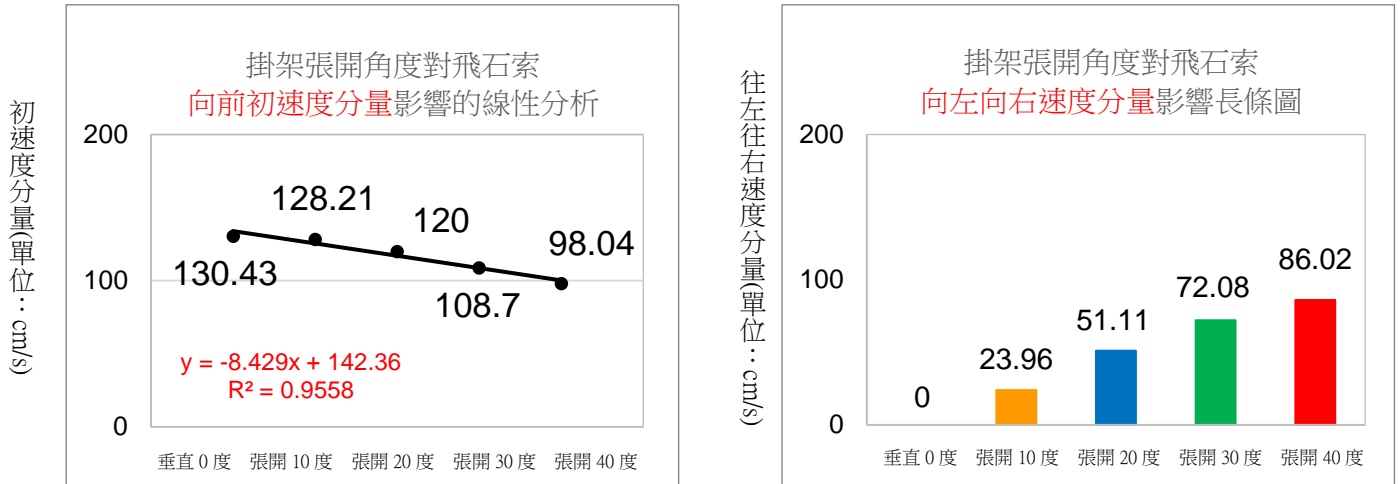


圖 7：分析飛石索向前初速度分量和向左向右速度分量說明圖表

#### (二) 牛頓第一運動定律(慣性)纏繞和圓周運動

使用自製發射器把飛石索發射出去，當繩子接觸到目標物的瞬間，繩子會受到目標物的阻擋，但是兩端重物還是有往前的動能。兩端重物受到牛頓第一運動定律的作用，會帶著繩子往相反方向，以目標物當中心軸繞圈圈。而且兩端重物在纏繞目標物時，可以觀察到繩子對目標物纏繞的模式是圓形軌跡，所以也說明了繩子正在對目標物進行著圓周運動。

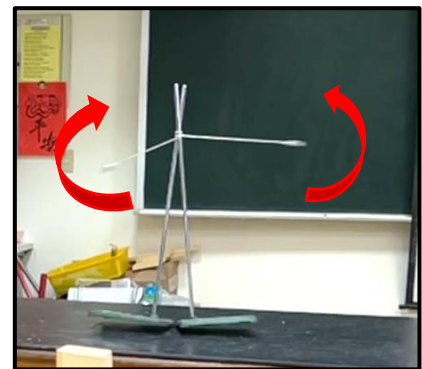


圖 8：慣性纏繞的圓周運動

#### (三) 飛石索原型的操作方法與運動模式

如果投擲者是右手握著繩子的末端(A)，要先使飛石索逆時針旋轉起來，轉動到一定的速度時，需要精準的投擲角度，對準目標物然後鬆手，這時石球便會帶著繩子在空中以逆時針方向旋轉飛行。繩子在接觸到目標物後，因為牛頓第一運動定律的作用，便把目標物纏繞起來。



圖 9：飛石索原型

## 伍、研究設備、工具及器材

### 一、設備器材

				
華司(兩端重物)	橡皮管(彈弓繩)	雷射切割發射底座	棉繩	麻繩
				
紙繩	尼龍繩(沒彈性)	尼龍繩(有彈性)	測量距離捲尺	數位相機
				
慢動作錄影機	高速攝影機	電子秤	安全護目鏡	實驗鐵架(目標物)

圖 10：各式實驗和測量器材

## 陸、研究過程、方法與討論

### 實驗測量前安全注意事項：

- 一、在操作機器發射飛石索時，所有人都要在發射器的後方位置，不可以進入飛石索的飛行路徑，以免被飛石索擊中而發生危險。並且參與實驗測試人員都必須配戴安全護目鏡以確保安全。因為飛石索兩端重物是金屬做的華司，還有發射器是用強力彈弓繩來當作發射動力，所以飛石索彈射出去的力量強大，我們打造出來的發射裝置，有相當程度的危險性，所以操作飛石索發射測試時，一定要注意整體的安全性。



圖 11：有危險性的發射測試



二、進行實驗測試時，把自然教室裡的門窗緊閉，不開空調和風扇，確保氣流不會影響飛石索飛行狀態，利用飛石索發射器、捲尺和錄影設備來測量纏繞的圈數和落點。

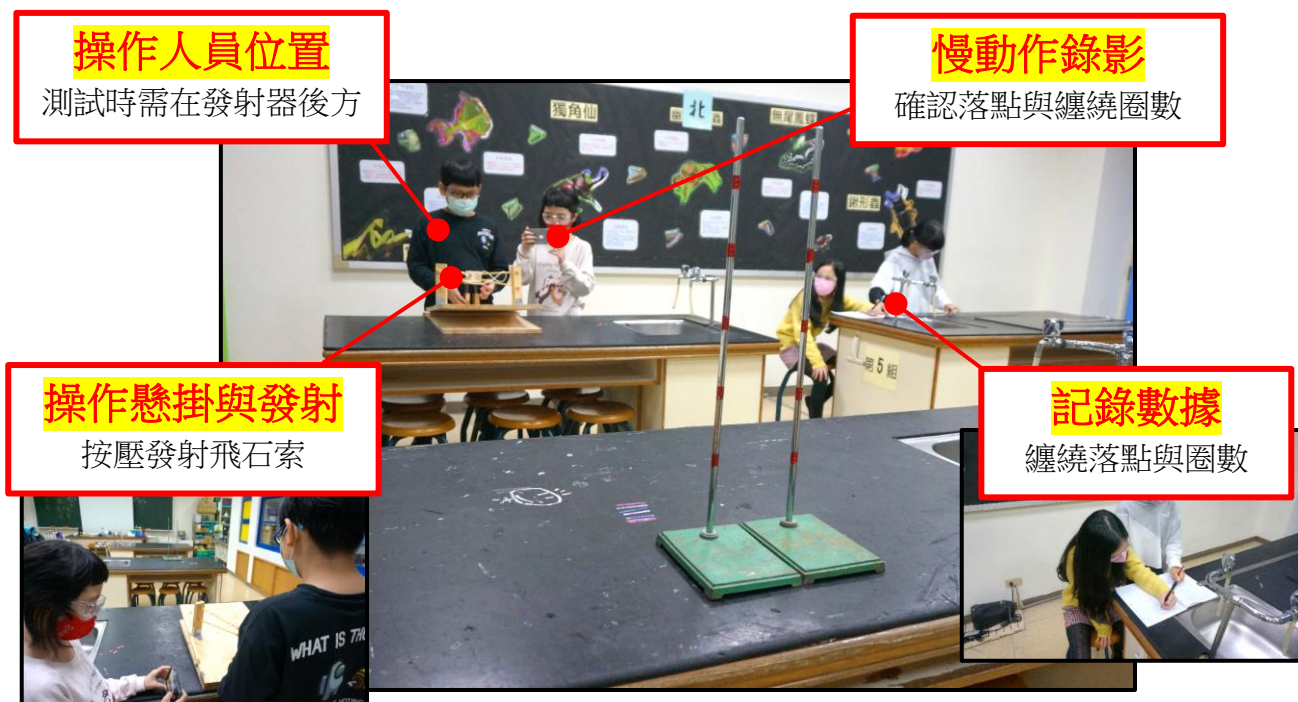


圖 12：發射測試位置分配和解說

三、完成準備發射動作，操作按壓脫鉤式發射裝置，讓飛石索順利被彈射出去，並記錄成功纏繞目標物 10 次的數據並加以平均，算出的數字四捨五入到小數點後第 1 位，以下所有飛行纏繞實驗都以這樣的標準來測試。

## 研究一：設計並製作可以順利發射飛石索的測量機器。

### 一、「飛石索發射器」的設計概念

#### (一)發射器的設計理論

1. 為了測量飛石索的各項實驗數據，首先要找到**有彈性且適合當發射動力**的東西，利用有彈力的特徵來發射出飛石索，**彈弓的彈力繩**就符合我們所需要的條件。
2. 實際用手持彈弓來測試，飛石索雖然可以被發射出去，但是繩子的兩端重物並沒有分開，以同一個點的方向飛出，因為兩端重物並沒有讓繩子順利張開，當然也就無法纏繞住目標物。
3. 但是可以確認彈力繩是可以發射出飛石索的，所以接下來**如何設計飛石索在飛出後，能利用兩端重物讓繩子順利張開**，並能有效纏繞住目標物，就是設計這台機器的一個重要關鍵點。



圖 13：手持彈弓發射飛石索

## (二)設計飛石索發射器

依照手持彈弓發射實驗，設計並做出一台飛石索發射器，修正並調整發射器在每次彈射出飛石索後，繩子可以順利張開。再利用慢動作錄影觀察，確認繩子纏繞到目標物的哪一個落點區域，記錄繩子對目標物的纏繞圈數。讓每一次飛石索對目標物纏繞的圈數和落點，能夠有一致性的評斷規則和標準。

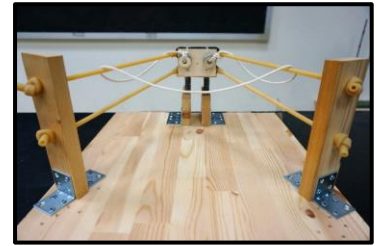


圖 14：第 3 代飛石索發射器

## (三)設計能讓飛石索纏繞住的目標物

想要測量對物體纏繞的落點、圈數和距離，目標物是利用兩支實驗用鐵架，高度是 60 公分。從鐵架底部往上數，每 10 公分區分成一個落點區域，由下而上分別是 A、B、C、D、E、F 共六個落點區間。

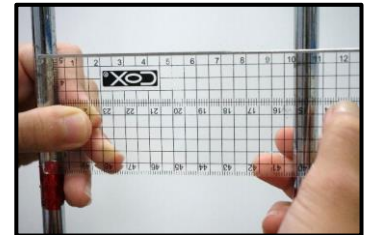
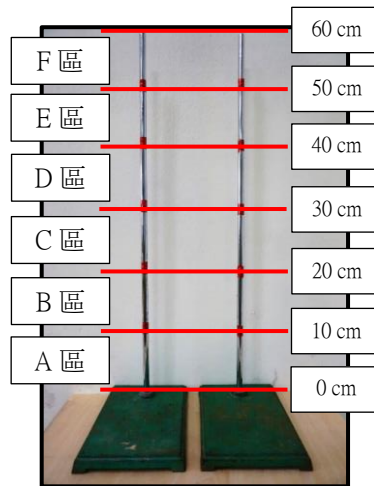


圖 15：  
被飛石索纏繞的目標物，  
間距設定在 10 公分。

## 二、第 1 代、第 2 代、第 3 代「飛石索發射器」的設計與改進

### (一)第 1 代「四條乘載式」發射器

#### 1.第 1 代四條乘載式發射器各部位構造解說

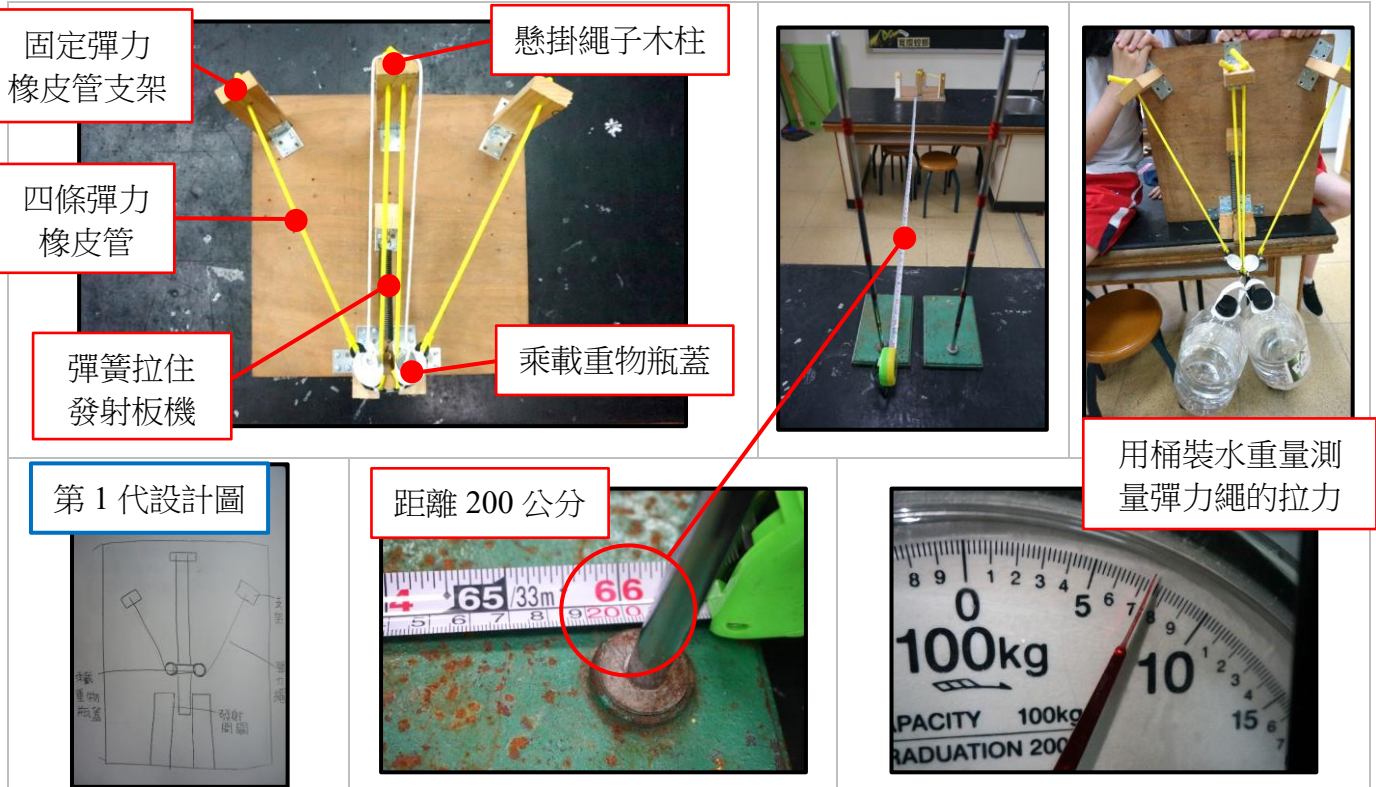


圖 16：第 1 代設計手稿和實物發射器

2. 中間兩條彈力繩拉長 35 公分，兩側彈力繩拉長 38 公分，用桶裝水的重量測量出第 1 代發射器的拉力是 7.4 公斤重。
3. 第 1 代發射器測試實驗步驟和數據紀錄
  - (1) 目標物的間距設定在 10 公分，發射器距離目標物有 150 公分和 200 公分兩種，繩子兩端重物的重量都是 20 公克重(4 個華司)。
  - (2) 繩長設定在 70 公分，飛石索至少要這個長度，才可平鋪在懸掛木柱上端。
  - (3) 記錄 10 次成功纏繞圈數和落點，將纏繞成功的圈數全部加起來，總和除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

表 1：距離目標物 【150 公分】

項目 \ 次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
圈數	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.5
落點	B	A	B	A	B	B	C	C	C	A	

表 2：距離目標物 【200 公分】

項目 \ 次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
圈數	1.5	0.5	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.2
落點	C	A	C	A	B	A	A	A	C	B	

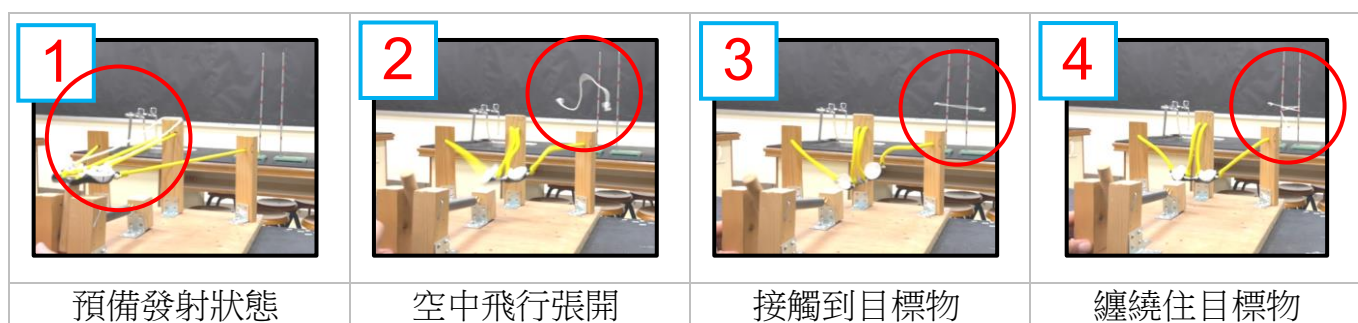


圖 17：飛石索纏繞目標物慢動作連續圖



圖 18：4 個華司秤重 20 公克重

平均纏繞圈數(單位：圈)

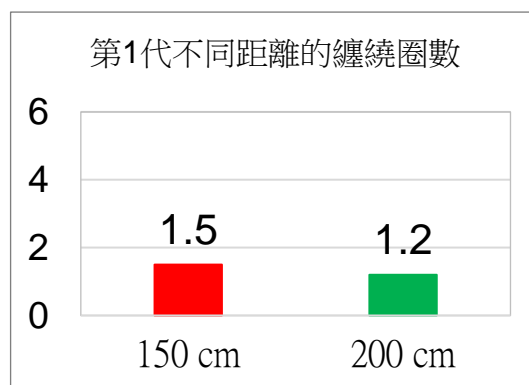


圖 19：第 1 代不同距離的纏繞圈數長條圖

#### 4.研究一實驗討論(第 1 代)：

(1)測試距離目標物 150 公分，落點在 B~C 區，平均纏繞圈數是 1.5 圈。

(2)測試距離目標物 200 公分，落點在 A~C 區，平均纏繞圈數是 1.2 圈。

(3)第 1 代發射器的飛石索並不是水平發射出去，利用三角函數公式，算出  $8 \div 35 = 0.22857143$ ，在網路上查到三角函數  $\tan \theta$  對照表，第 1 代發射器的攻角大約是 13 度。

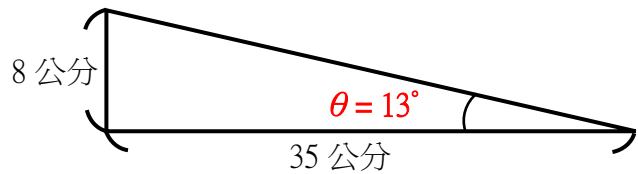


圖 20：第 1 代發射器攻角計算

(4)設計第 1 代發射器時，要考慮到兩端重物必須往不同方向發射出去，所以發射器設計成雙股四條彈力繩，讓兩端重物放在塑膠蓋內，並且利用強力彈簧拉住發射板機。

(5)測試過程中，飛石索在被彈射出去後，一如預期兩端重物往不同方向飛出去，拉動繩子在空中呈現張開狀態，有時可以纏繞住目標物。

(6)缺點討論：

a.發射力道有點偏弱，而且纏繞目標物的最遠距離只能到 200 公分。

b.發射板機裝置卡榫不夠精準，每次發射可能會影響實驗數據，差異較大。

c.懸掛繩子木柱有時會勾到飛石索，導致彈射失敗。

#### (二)第 2 代「兩條懸掛式」發射器

##### 1.第 2 代兩條懸掛式發射器各部位構造

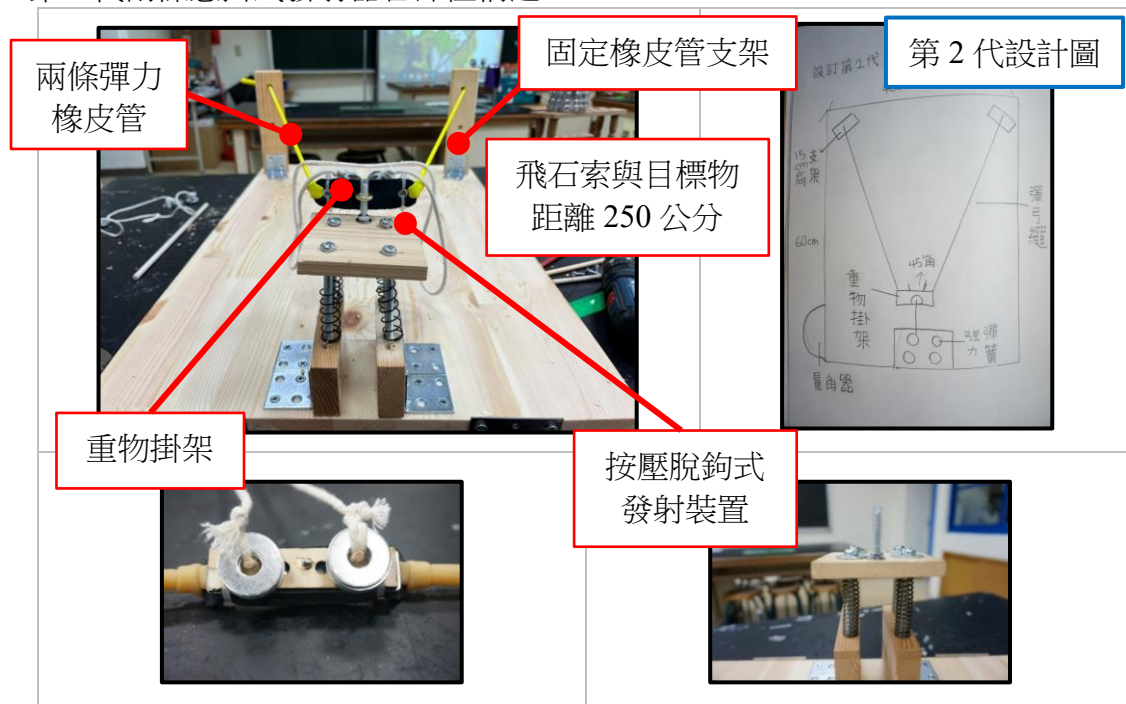


圖 21：第 2 代設計手稿和實物發射器

2. 兩側彈力繩各拉長到 50 公分，桶裝水重量測量出第 2 代發射器拉力，數據是 11.5 公斤重。



圖 22：利用桶裝水的重量測量第 2 代發射器的拉力

3. 在兩片底座板子之間，利用墊木條來調整攻角角度。

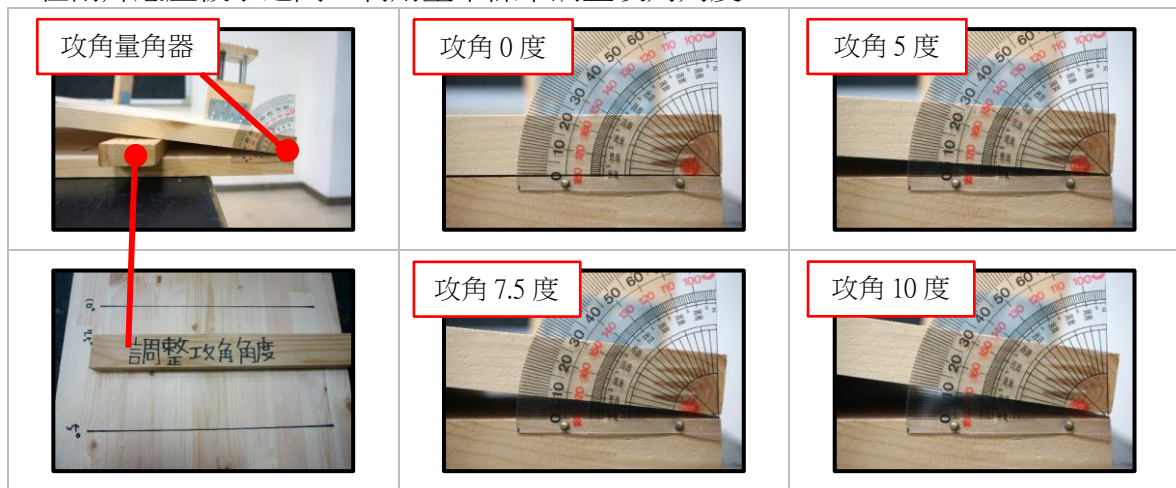


圖 23：各種不同度數的攻角

4. 第 2 代發射器在不同攻角的實驗數據

(1) 記錄 10 次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞成功的圈數全部加起來，總和去除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

表 3：第 2 代發射器在不同攻角對目標物的平均纏繞圈數和落點

次數 \ 度數	攻角 0 度		攻角 5 度		攻角 7.5 度		攻角 10 度	
	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1	0.5	A	2.0	B	3.5	D	4.0	D
2	1.5	B	1.5	B	2.5	C	3.0	C
3	1.0	A	1.5	A	4.5	D	2.5	C
4	0.5	A	1.0	A	3.0	D	4.5	E
5	0.5	A	1.5	B	2.0	B	3.5	D
6	1.5	A	1.0	A	3.5	D	4.0	D
7	1.0	A	1.5	A	2.5	C	3.5	E
8	0.5	A	2.0	B	2.5	C	2.5	C
9	1.0	A	1.5	B	2.5	C	4.0	E
10	0.5	A	1.5	B	4.0	D	3.0	D
總圈數(圈)	8.5		15.0		30.5		34.5	
10 次平均(圈)	0.9		1.5		3.1		3.5	

(2)第 2 代從發射到纏繞目標物連續圖

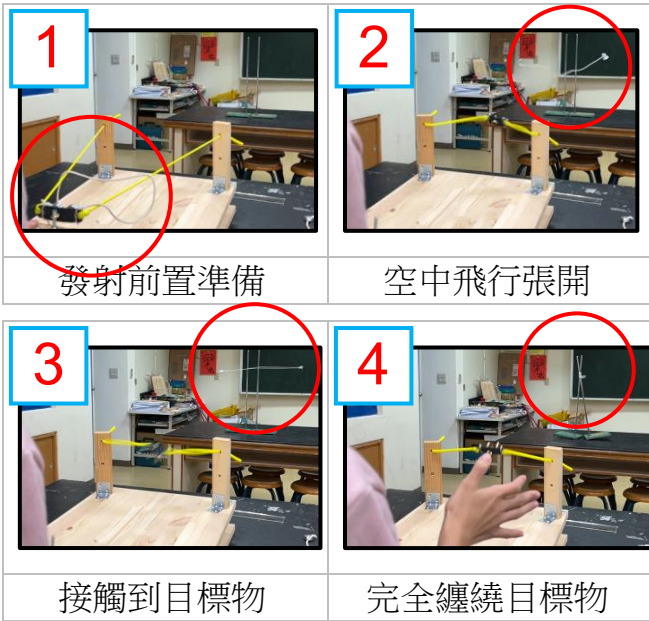


圖 24：第 2 代從發射到纏繞目標物連續圖

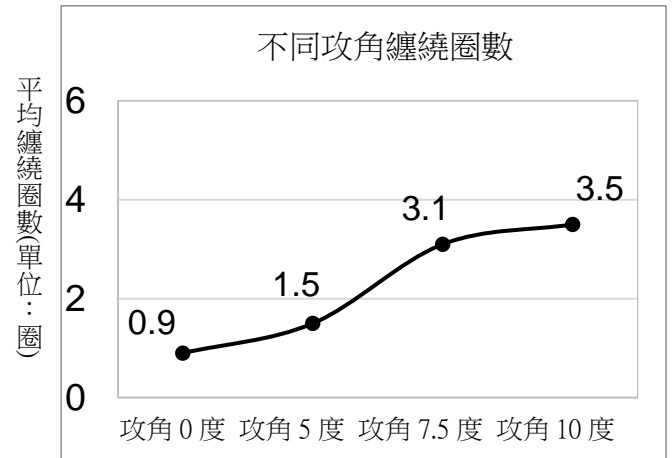


圖 25：不同攻角的纏繞圈數折線圖

5.飛石索和重物掛架在同一水平狀態(攻角 0 度和 5 度)，所以彈力繩先出去後快速拉回，然後和才要剛飛出的飛石索勾在一起，無法順利發射出去。



圖 26：第 2 代飛石索和重物掛架勾在一起的情形

6.研究一實驗討論(第 2 代)：

- (1)第 1 代發射器的缺點是飛石索有時被懸掛繩索木柱勾到，彈射力量太弱，發射卡榫不夠精準等問題。所以第 2 代發射器便去掉中柱設計成開放式，發射裝置改成按壓脫鉤式，並把發射器設計成可以調整發射攻角的裝置。
- (2)飛石索在攻角 0 度和 5 度，很容易被懸掛重物支架勾住，有時無法順利發射出去，攻角 0 度的有效平均纏繞圈數 0.9 圈，攻角 5 度有效平均纏繞圈數是 1.5 圈。
- (3)飛石索在攻角 7.5 度和 10 度，平均纏繞圈數數據便有顯著的提升。攻角 7.5 度的有效平均纏繞圈數是 3.1 圈，攻角 10 度有效平均纏繞圈數可達到 3.5 圈。

(4)缺點討論：

- a. 整體來說，目標物在距離 250 公分的條件下，第 2 代纏繞目標物的纏繞圈數數據不是很好，主要是在低攻角的發射角度常常出現勾住的問題。經過慢動作錄影分析，發現了一個很大的問題，在攻角 0 度和 5 度時，就是飛石索在被發射出去後會先脫鉤，而且彈力繩又會比飛石索先出去再快速拉回，而且這時的重物掛架會往前翻轉，所以兩者接近在同一水平狀態，飛石索便容易被重物掛架給勾住，無法順利發射出去。
- b. 可是如果攻角調整到 7.5 度和 10 度時，雖然彈力繩比飛石索先出去再拉回，但兩者並不在同一水平面上，飛石索飛出去的位置較高，彈力繩拉回的位置較低，所以飛石索被重物掛架勾住的情形就會大大降低，但是偶爾還是會有勾到的狀況發生。

(三)第 3 代「四條懸掛式」發射器

1.第 3 代四條懸掛式發射器各部位構造

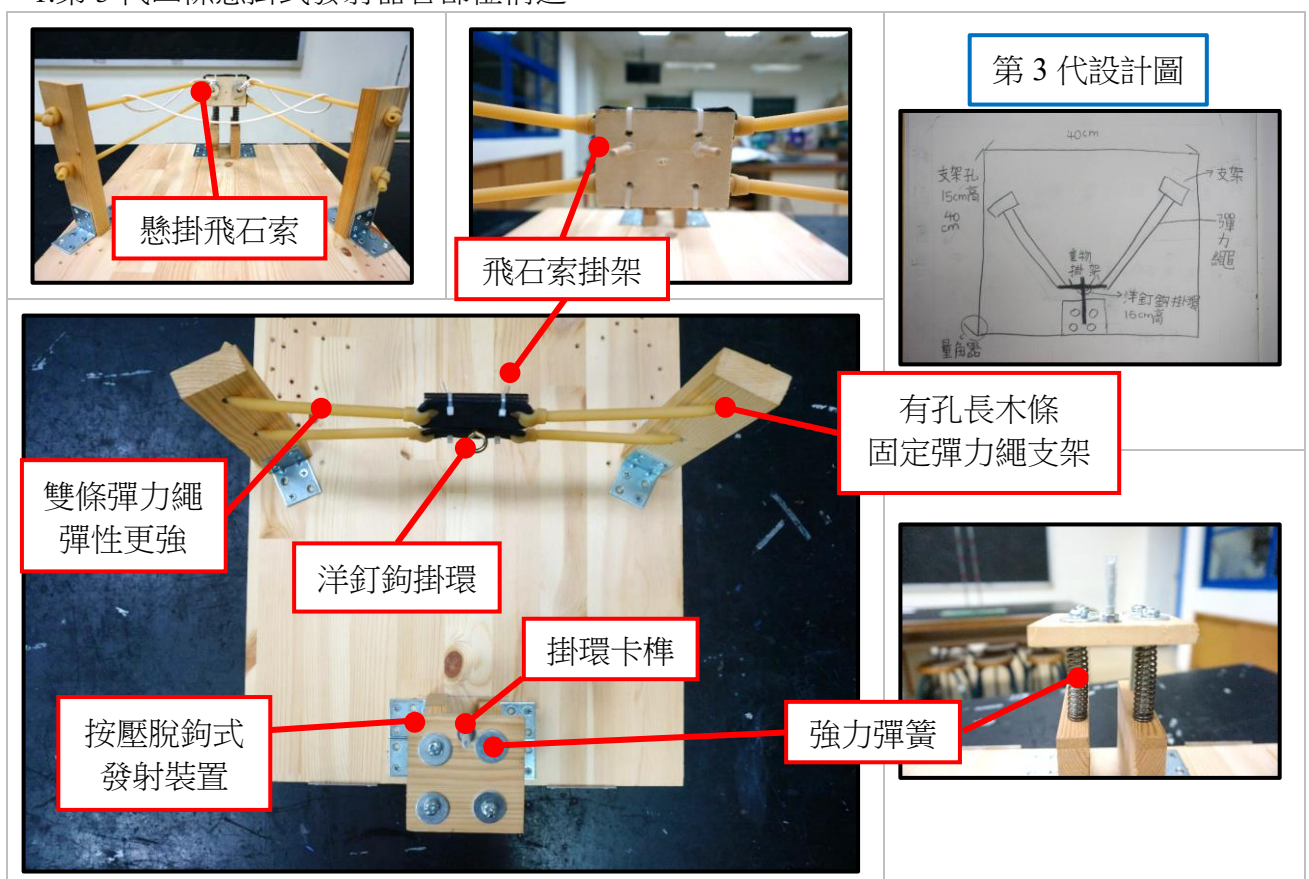


圖 27：第 3 代設計手稿和實物發射器

2.兩側彈力繩拉長 31 公分，用桶裝水的重量測量第 3 代的拉力是 16.5 公斤重。



圖 28：利用桶裝水的重量測量第 3 代發射器的拉力

3.第 3 代發射器在不同攻角的實驗數據

(1)記錄 10 次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞圈數全部加起來，總和去除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

表 4：第 3 代發射器在不同攻角對目標物的平均纏繞圈數和落點

次數 \ 度數	攻角 0 度		攻角 5 度		攻角 7.5 度		攻角 10 度	
	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1	1.5	B	1.0	A	3.5	D	4.0	E
2	1.0	A	2.5	C	3.0	D	3.5	D
3	2.0	B	1.5	B	4.0	E	4.5	E
4	1.0	B	2.0	B	3.5	D	3.5	D
5	0.5	A	3.0	C	2.5	C	6.0	F
6	1.5	A	1.5	A	4.0	E	4.0	D
7	0.5	A	1.5	A	3.5	D	4.0	D
8	1.5	B	2.0	B	3	C	2.5	C
9	1.0	A	2.0	B	3.5	D	4.5	E
10	1.0	A	2.5	C	2.5	C	6.0	E
總圈數(圈)	11.5		19.5		33.0		42.5	
10 次平均(圈)	1.2		2.0		3.3		4.3	

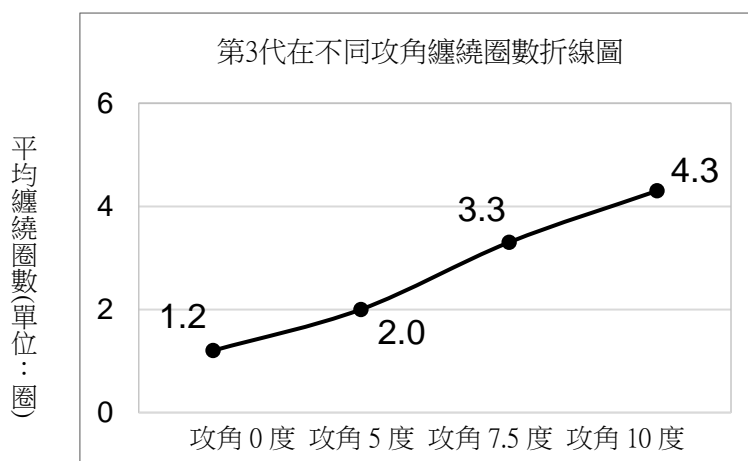


圖 29：在不同攻角纏繞圈數折線圖



(2)第 3 代發射器：飛石索從發射到纏繞目標物連續圖



圖 30：第 3 代在 10 度攻角的纏繞情形

#### 4.不同掛架角度設計的實驗數據

(1)記錄 10 次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞圈數全部加起來，總和去除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

表 5：掛架角度設計從張開 10 度、20 度、30 度和 40 度的纏繞圈數和落點。

次數	度數	張開 10 度		張開 20 度		張開 30 度		張開 40 度	
		圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1		1.5	D	4.0	E	3.5	D	2.5	D
2		0.5	C	3.5	D	4.0	E	2.5	D
3		2.0	E	4.5	E	3.0	D	4.0	E
4		1.0	B	3.5	D	2.5	C	3.0	D
5		1.5	C	6.0	F	4.5	E	2.0	C
6		0.5	C	4.0	D	4.0	E	4.0	E
7		0.5	D	4.0	D	3.0	C	3.5	D
8		1.0	D	2.5	C	3.5	D	3.0	C
9		1.0	D	4.5	E	4.5	E	4.0	E
10		1.5	E	6.0	E	3.0	D	3.0	E
總圈數(圈)		11.0		42.5		35.5		31.5	
10 次平均(圈)		1.1		4.3		3.6		3.2	

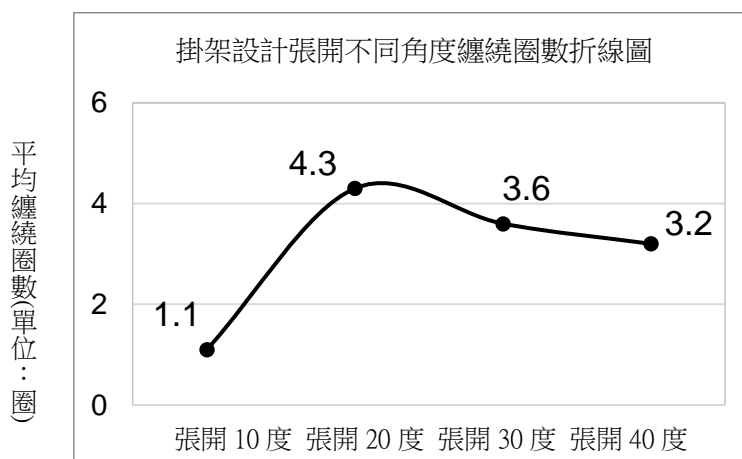


圖 31：不同掛架角度纏繞圈數折線圖

## 5.研究一實驗討論(第3代)：

- (1)第2代發射器因為出現飛石索和重物掛架會勾在一起的問題，造成飛石索沒有辦法順利發射出去。所以第3代重物掛架設計成四條彈力繩，平均分配了重物掛架的拉力，解決了它在發射出去會翻轉的現象，並會勾住飛石索的最大問題，所以之後都是以第3代發射器來當研究測試機器。
- (2)經過實驗測試後，第3代發射器攻角設定在0度、5度、7.5度和10度，距離目標物250公分，飛石索纏繞圈數分別是1.2圈、2.0圈、3.3圈和4.3圈。
- (3)第1、2、3代都是以繩長70公分，兩端重物四個華司，重量20公克重來測試，距離目標物200公分(第1代)和250公分(第2、3代)。但是因為第3代增加到四條彈力繩，所以彈力變強很多，而飛石索的有效射程可以達到600公分長。
- (4)掛架角度設計以張開20度為最佳，平均纏繞圈數是4.3圈，張開10度的失敗率比較高，而張開30度和40度的掛架，平均纏繞圈數有3.6圈和3.2圈。

## 研究二：不同材質繩子對目標物纏繞的效果比較。

### (一)研究方法：

市面上的繩子種類很多，我們找了常見的麻繩、紙繩、尼龍繩(沒彈性)、尼龍繩(有彈性)和棉繩來做實驗。而飛石索長度和重量規格：繩長固定在70公分，繩子兩端重量都是20公克(4個華司)。利用飛石索發射器來當實驗機器，測試飛石索纏繞目標物的狀況。

### (二)實驗過程：

1. 把兩端重物懸掛在重物掛架上，繩子對稱平鋪在彈力繩上，利用第3代發射器彈射出飛石索。
2. 用不同材質繩子來測試，有紙繩、麻繩、沒彈性尼龍繩、有彈性尼龍繩和棉繩。
3. 攻角設定在10度，距離目標物250公分。
4. 紀錄成功纏繞的次數，將纏繞圈數全部加起來，把總和去除以成功的次數，取到小數點後第1位再四捨五入。



圖 32：材質不同的繩子

5. 紙繩、麻繩、尼龍繩(沒彈性)、尼龍繩(有彈性)和棉繩的測試實驗數據。

(1)記錄10次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞成功圈數全部加起來，總和去除以10次，取到小數點後第1位再四捨五入。

表 6：不同材質繩子對目標物的平均纏繞圈數和落點

次數 \ 度數	紙繩		麻繩		尼龍繩(沒彈性)		尼龍繩(有彈性)		棉繩	
	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1	3.5	D	4.0	E	3.5	D	2.0	C	5.0	E
2	4.5	E	3.0	D	4.5	F	2.5	D	4.5	D
3	4.0	E	3.0	D	5.0	F	2.5	D	4.5	E
4	3.0	C	2.5	C	4.5	E	3.0	F	3.5	D
5	5.0	F	3.5	D	2.5	C	3.5	E	5.0	F
6	3.5	D	2.5	C	4.5	F	3.5	F	4.0	D
7	4.0	E	3.0	C	5.0	E	3.5	E	4.0	D
8	4.5	F	3.5	E	3.5	D	2.0	D	2.5	C
9	3.0	D	3.5	D	4.0	E	2.5	E	4.5	E
10	3.5	D	3.0	D	4.0	E	2.0	D	5.0	E
總圈數(圈)	38.5		31.5		41.0		27.0		42.5	
平均(圈)	3.9		3.2		4.1		2.7		4.3	

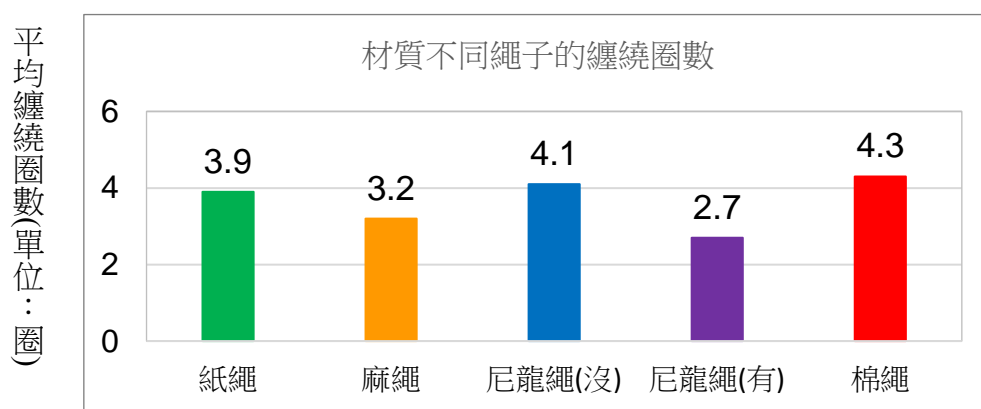


圖 33：材質不同繩子的纏繞圈數長條圖

(三)研究二實驗討論：

1. 材質不同的五種繩子，每一種繩子的長度都設定在 70 公分，兩端重物各 20 公克重，平均纏繞圈數分別是紙繩 3.9 圈、麻繩 3.2 圈、沒彈性尼龍繩 4.1 圈、有彈性尼龍繩 2.7 圈和棉繩 4.3 圈。但是麻繩的材質不夠堅韌，完成 10 次成功實驗測試過程中，麻繩在綁華司的地方便斷了 3 次。而有彈性的尼龍繩因為伸縮彈性比較好，所以平均纏繞圈數會比其他四種還少。
2. 各種繩子的材質雖然不太一樣，但是在被彈射飛出後，除了有彈性的尼龍繩，其他四種繩子纏繞目標物的平均圈數並沒有太大的差別，說明了只要是能被我們發射器順利發射出去的飛石索，都可以纏繞到目標物，但需要注意的就是繩子夠不夠堅韌，不容易斷掉。

### 研究三：繩子不同長度對目標物纏繞的效果比較。

在研究一第 1 代發射器設計裡，因為懸掛木柱的位置在最前端，所以飛石索的繩長必須要調整到 70 公分，繩子才可以放在懸掛木柱上端，確保發射出去之後繩子才比較不會被中柱勾住。之後的第 2、3 代發射器去掉中柱設計，那麼繩子的長度是否會對纏繞圈數有影響呢？所以研究三便針對繩子長度的變因來設計實驗。

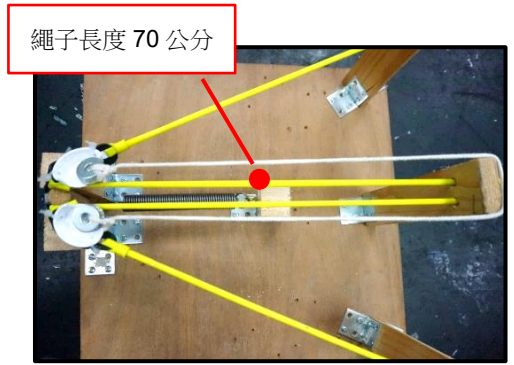


圖 34：為了配合彈力繩最大拉力，第 1 代發射器飛石索的長度是設定 70 公分。

#### (一)研究方法：

測試飛石索纏繞過程，把目標物間距設定在 10 公分，繩長設計成 40、50、60、70、80 公分的飛石索。繩子兩端各掛重 4 個華司，重量都是 20 公克重。

#### (二)實驗過程：

1. 把兩端重物懸掛在重物掛架上，繩子對稱平鋪在彈力繩上，利用第 3 代發射器彈射出飛石索。
2. 利用棉繩和華司做出長度分別是 40、50、60、70、80 公分的飛石索來測試。
3. 測試長度不同的飛石索實驗數據紀錄：
  - (1)記錄 10 次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞成功的圈數全部加起來，總和去除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

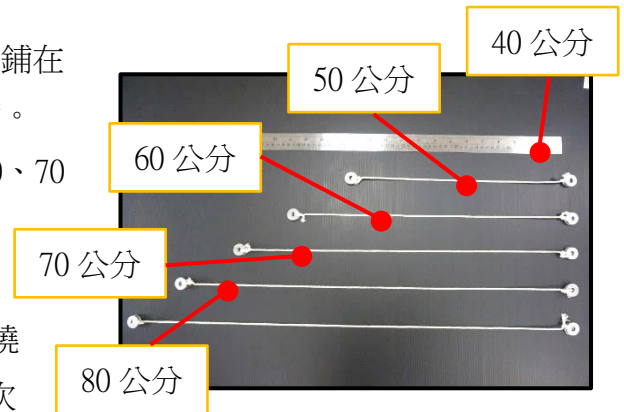


圖 35：繩子不同長度飛石索

表 7：繩子不同長度對目標物的平均纏繞圈數和落點

次數	度數	40 cm		50 cm		60cm		70cm		80cm	
		圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1		1.5	E	1.5	D	3.5	E	5.0	E	4.0	E
2		1.0	D	1.0	D	3.5	E	4.5	D	2.5	D
3		2.0	F	2.5	E	3.0	D	4.5	E	3.5	E
4		0.5	D	2.0	E	3.5	D	3.5	D	3.5	E
5		0.5	D	1.5	D	4.5	F	5.0	F	2.0	D
6		1.5	E	2.5	F	4.0	E	4.0	D	3.5	D
7		1.5	E	3.0	F	3.0	D	4.0	D	4.5	E
8		2.0	F	1.5	D	4.0	F	2.5	C	3.0	D
9		0.5	D	2.5	E	3.5	E	4.5	E	3.0	D
10		1.0	D	1.0	D	3.0	D	5.0	E	4.0	E
總圈數(圈)		11.5		19.0		35.5		42.5		33.5	
平均(圈)		1.2		1.9		3.6		4.3		3.4	

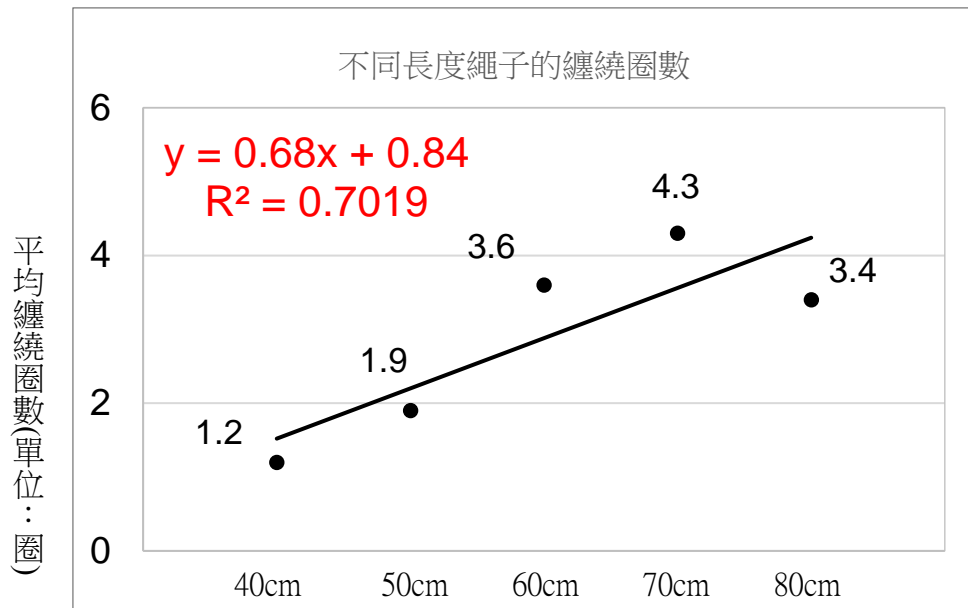


圖 36：不同長度繩子纏繞圈數線性分析

(三)研究三實驗討論：

1. 實驗測試後數據結果，繩長 40 公分平均纏繞 1.2 圈，繩長 50 公分平均纏繞 1.9 圈，繩長 60 公分平均纏繞 3.6 圈，繩長 70 公分平均可以纏繞到 4.3 圈，繩長 80 公分平均纏繞 3.4 圈。從繩長 80 公分開始，纏繞圈數就會往下降。
2. 繩長每次增加 10 公分，從 40 公分增長到 70 公分，繩子的長度如果越長，就會纏得越多圈，但是繩長 80 公分的纏繞圈數卻比 70 公分來得少，我們推論這是因為長度 80 公分的繩子過長，彈力繩的力量無法完全傳遞給繩子。原則上如果彈力繩彈力可以提供飛石索最強的動力，例如超過 16.5 公斤重的力，雖然繩子長度增長，但還是可以纏繞得越多圈。

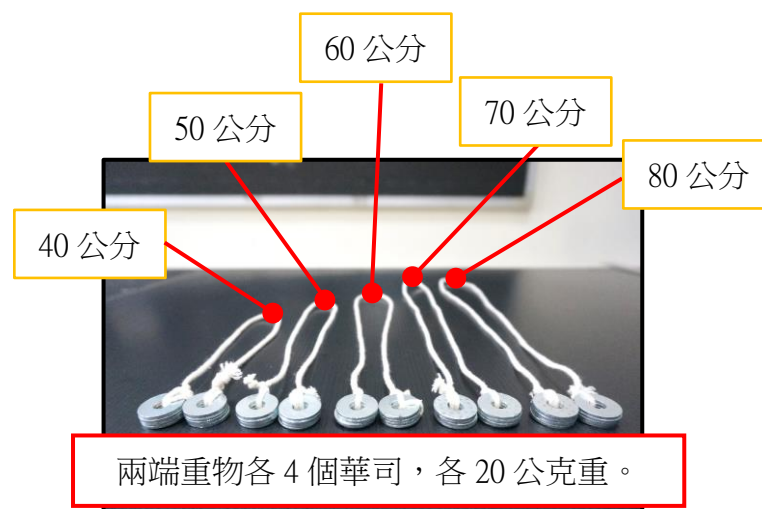


圖 37：不同長度繩子但兩端重量一樣

## 研究四：兩端重物重量對目標物纏繞的效果比較。

兩端重物的主要目的是為了讓繩子在空中飛行時張開，所以飛石索在被彈射出去時，兩端重物重量的這個因素，是否會影響到繩子纏繞目標物的圈數呢？

### (一)研究方法：

1. 繩長都是 70 公分，兩端重物是一樣的重量，5 公克重(各 1 個華司)、10 公克重(各 2 個華司)、15 公克重(各 3 個華司)、20 公克重(各 4 個華司)、25 公克重(各 5 個華司)、30 公克重(各 6 個華司)。
2. 繩長都是 70 公分，兩端重物不一樣重的條件，設計成相差 2 個華司(10 公克重)，分別是 20 公克重：10 公克重和 20 公克重：30 公克重兩種飛石索。
3. 目標物的間距設定在 10 公分，飛石索距離目標物 250 公分。

### (二)實驗過程：

1. 把兩端重物掛在重物掛架，繩子對稱平鋪在彈力繩上，用第 3 代發射器彈射出飛石索，攻角設定在 10 度。
2. 兩端一樣重的飛石索，分別有 5 公克重、10 公克、15 公克重、20 公克重、25 公克重和 30 公克重。
3. 記錄成功纏繞次數，將纏繞圈數全部加起來總數去除以成功次數，取到小點後第 1 位再四捨五入。



圖 38：兩端一樣重量的飛石索

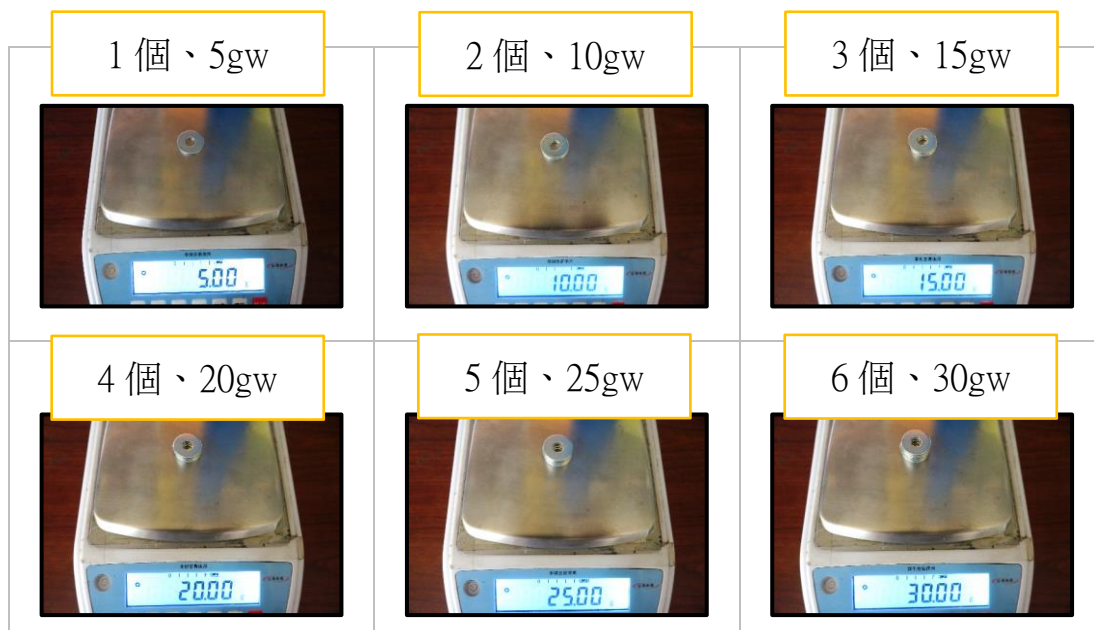


圖 39：兩端重物的重量一樣

#### 4.測試兩端重量相同的飛石索實驗數據

(1)記錄 10 次成功的落點與纏繞圈數，將纏繞成功的圈數全部加起來，總和去除以 10 次，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

表 8：兩端一樣重的飛石索對目標物平均纏繞圈數和落點

次數	度數	5 公克重		10 公克重		15 公克重		20 公克重		25 公克重		30 公克重	
		圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1		1.0	C	2.5	D	4.5	E	5.0	E	3.5	D	1.5	B
2		1.5	D	2.5	E	3.0	D	4.5	D	3.5	D	2.5	C
3		0.5	C	2.0	D	5.0	F	4.5	E	3.5	C	4.0	E
4		1.5	D	2.0	D	2.5	D	3.5	D	4.0	E	3.0	D
5		2.0	D	2.5	D	3.0	D	5.0	F	4.0	D	3.0	C
6		2.0	E	1.5	C	4.5	F	4.0	D	4.5	F	2.5	C
7		1.0	C	2.0	D	3.5	E	4.0	D	4.0	E	1.5	B
8		0.5	C	3.0	E	3.0	D	2.5	C	3.0	C	3.5	D
9		1.5	D	2.0	C	4.0	E	4.5	E	3.0	D	3.5	D
10		1.0	C	1.5	C	2.0	D	5.0	E	4.5	E	2.0	C
總圈數(圈)		12.5		21.5		35.0		42.5		37.5		27.0	
平均(圈)		1.3		2.2		3.5		4.3		3.8		2.7	

5.飛石索在兩端重量分別是各 5、10、15、20、25、30 公克重的平均纏繞圈數。

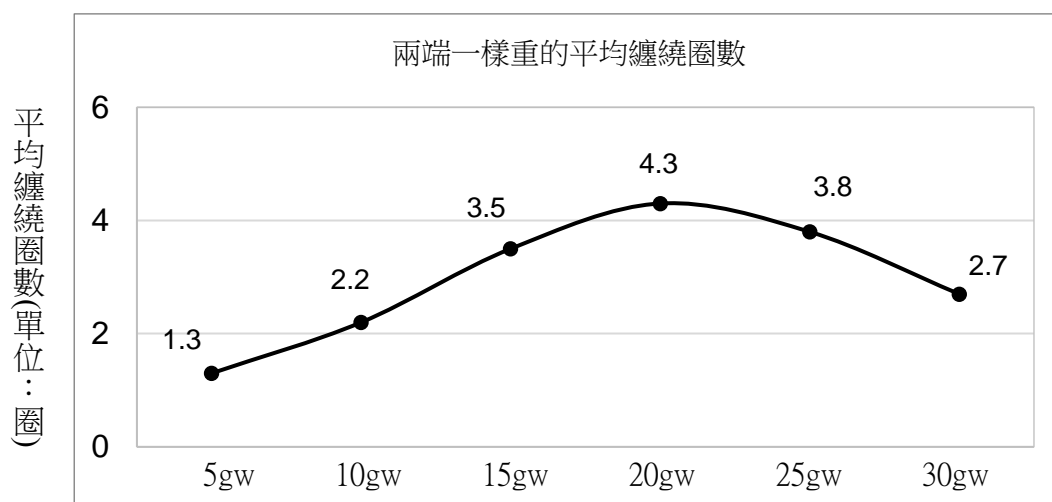


圖 40：兩端重物重量相同的纏繞圈數折線圖

6. 測試兩端不一樣重的飛石索，分別是相差 2 個華司的 20 公克重：10 公克重和 20 公克重：30 公克重。

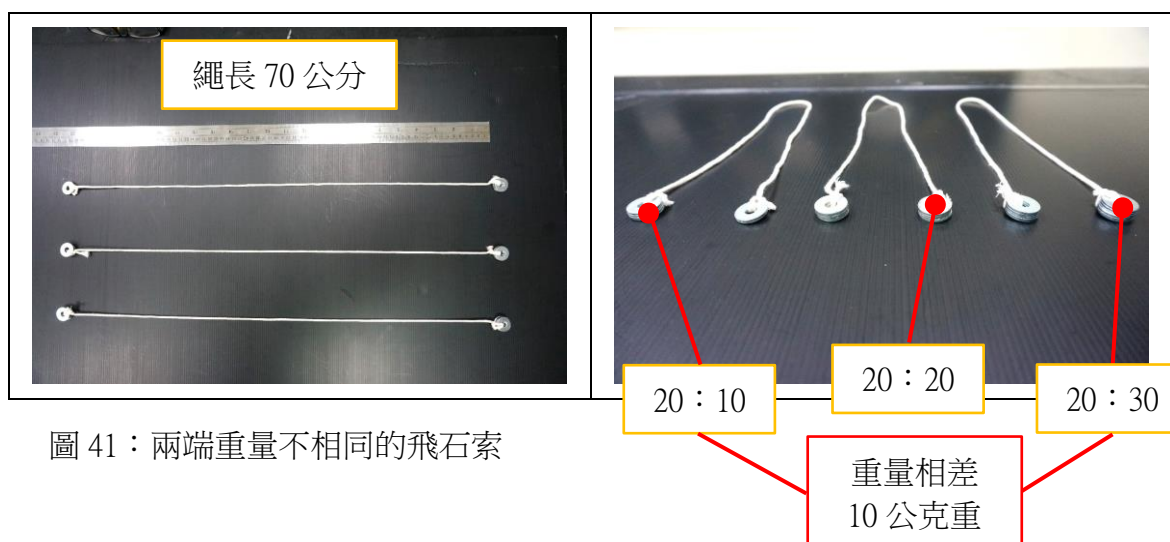


圖 41：兩端重量不相同的飛石索

7. 記錄成功纏繞的次數，將纏繞圈數全部加起來的總數，去除以成功的次數，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

8. 測試兩端重量不相同的飛石索實驗數據：

表 9：兩端不一樣重的飛石索對目標物平均纏繞圈數和落點

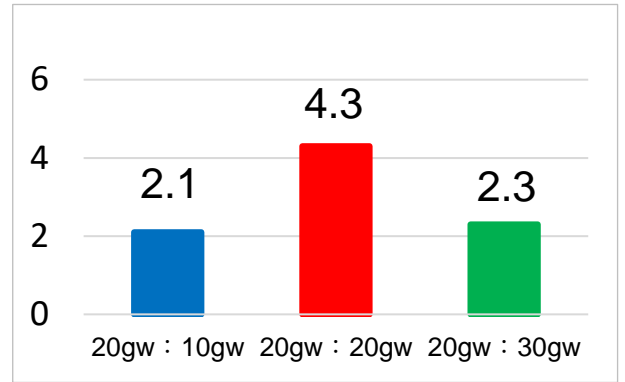
次數	度數	20gw : 10gw		20gw : 20gw		20gw : 30gw	
		圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1		2.5	D	5.0	E	2.0	B
2		2.0	D	4.5	D	2.0	B
3		2.5	E	4.5	E	1.5	A
4		1.5	C	3.5	D	1.0	A
5		3.0	E	5.0	F	3.5	D
6		2.0	D	4.0	D	3.0	C
7		2.0	D	4.0	D	2.0	B
8		2.5	E	2.5	C	2.5	B
9		1.0	C	4.5	E	2.5	C
10		2.0	D	5.0	E	2.5	B
總圈數(圈)		21.0		42.5		22.5	
平均(圈)		2.1		4.3		2.3	



(三)實驗討論：

1. 實驗測試後的數據，兩端重物 20 公克重：10 公克重和 20 公克重：30 公克重的飛石索，分別只能纏繞 2.1 圈和 2.3 圈，跟兩端重物一樣重的 20 公克重：20 公克重飛石索比起來，比例不均衡的飛石索纏繞的圈數會少了將近一半。

平均纏繞圈數(單位：圈)



2. 飛石索是 20 公克重：30 公克重發射出去後，因為重量不一樣，所以較重的 30 公克

圖 42：兩端重物重量不同的纏繞圈數

重的華司會帶著較輕的 20 公克重的華司往前飛出，也因為比例不均衡，比較無法順利讓繩子張開，所以纏繞目標物的效果也就不太好。

## 研究五：不同距離對目標物纏繞的落點和圈數比較。

因為第 2 代和第 3 代的彈力變強，所以飛石索飛行並纏繞目標物的距離應該會更遠，所以我們把測試距離加長，測試距離越遠的話，繩子纏繞到目標物的圈數會有什麼變化？

(一)研究方法：

1. 利用繩長 70 公分，兩端重物各 4 個，20 公克重的飛石索來測試。
2. 目標物間距設定在 10 公分，測試距離分別是 250 公分、500 公分和 600 公分。

(二)實驗過程：

1. 把兩端華司重物懸掛在重物掛架上，繩子對稱平鋪在彈力繩上，利用第 3 代發射器彈射出飛石索。
2. 發射器攻角設定在 10 和 15 度，測試距離設定在 500 公分和 600 公分。
3. 紀錄成功纏繞的次數，將纏繞圈數全部加起來的總數，去除以成功的次數，取到小數點後第 1 位再四捨五入。

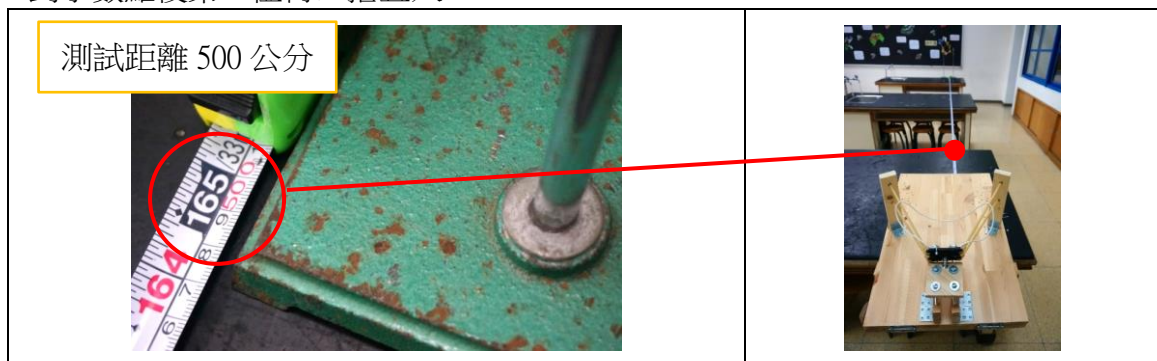


圖 43：兩端重量都相同的飛石索

8 4. 測試不同攻角和距離飛石索實驗數據：

表 10：不同距離的飛石索對目標物平均纏繞圈數和落點

次數 \ 度數	250cm、10 度		500cm、10 度		600cm、10 度		500cm、15 度		600cm、15 度	
	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點	圈數	落點
1	5.0	E	2.5	C	3.0	C	5.0	F	3.0	D
2	4.5	D	3.5	D	4.0	D	3.5	D	4.5	F
3	4.5	E	3.0	C	3.5	C	4.0	E	4.0	E
4	3.5	D	4.0	D	2.5	B	3.0	D	2.5	C
5	5.0	F	4.5	E	4.5	E	5.5	F	3.5	D
6	4.0	D	4.5	E	4.0	D	2.5	C	4.0	E
7	4.0	D	4.0	D	3.0	C	2.5	C	3.0	D
8	2.5	C	2.5	C	2.0	B	4.5	E	3.0	D
9	4.5	E	4.0	D	4.5	D	4.0	E	3.5	D
10	5.0	E	3.5	C	3.0	C	4.0	E	2.5	C
總圈數(圈)	42.5		35.5		34.0		38.5		33.5	
平均(圈)	4.3		3.6		3.4		3.9		3.4	

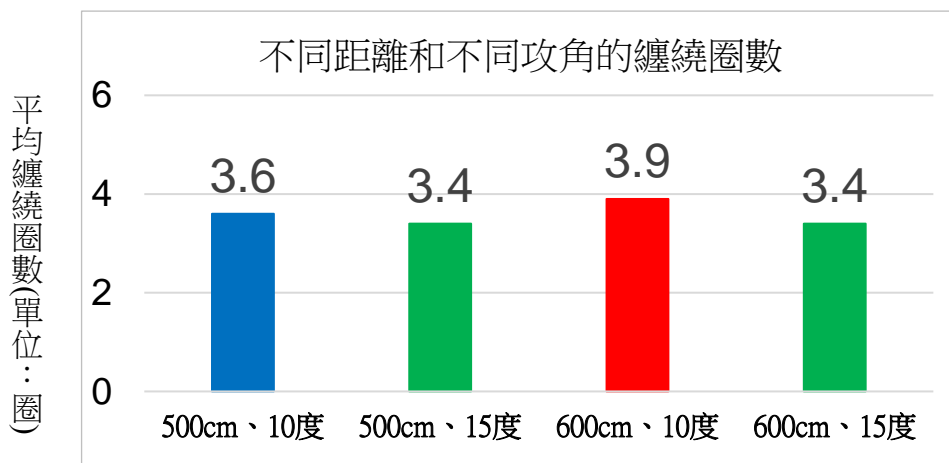


圖 44：不同攻角和距離的纏繞圈數長條圖

(三)實驗討論：

- 1.如果把測試的距離拉長到 500 公分和 600 公分，500 公分的 10 度攻角平均可以纏繞 3.6 圈，500 公分的 15 度攻角平均可以纏繞 3.9 圈，600 公分的 10 度攻角和 15 度攻角平均都可以纏繞到 3.4 圈。
- 2.四種不同條件下，目標物的距離拉長到 500 公分和 600 公分，平均纏繞圈數都有 3.4 圈以上，透過慢動作影片分析，我們觀察到飛石索在飛行的軌跡裡有拋物線的現象。

## 柒、實驗結論

一、找到彈弓繩彈力來當發射動力，自製發射器能順利把飛石索彈射出去。透過慢動作影片發現，飛石索一離開重物掛架，兩端重物便順勢將繩子張開，再接觸到目標物後，又因為牛頓第一運動定律慣性作用，做起圓周運動而纏繞目標物，它的原理是利用位能轉換成動能提供飛石索動力。掛架的設計有垂直 0 度、張開 10 度、張開 20 度、張開 30 度、張開 40 度。【P.3】

1. 高速攝影機錄影飛石索飛行 30 公分的時間，計算出向前的初速度。
2. 利用  $\cos \theta$  和畢氏定理可以算出夾角度數跟實際掛架張開角度很接近。
3. 以垂直 0 度(130.43cm/s)當作基準，算出張開 10 度(128.21cm/s)的向左向右速度分量是 23.96cm/s，張開 20 度(120cm/s) 的向左向右速度分量是 51.11cm/s，張開 30 度(108.70cm/s)的向左向右速度分量是 72.08cm/s，張開 40 度(98.04cm/s)的向左向右速度分量是 86.02cm/s。【P.5】

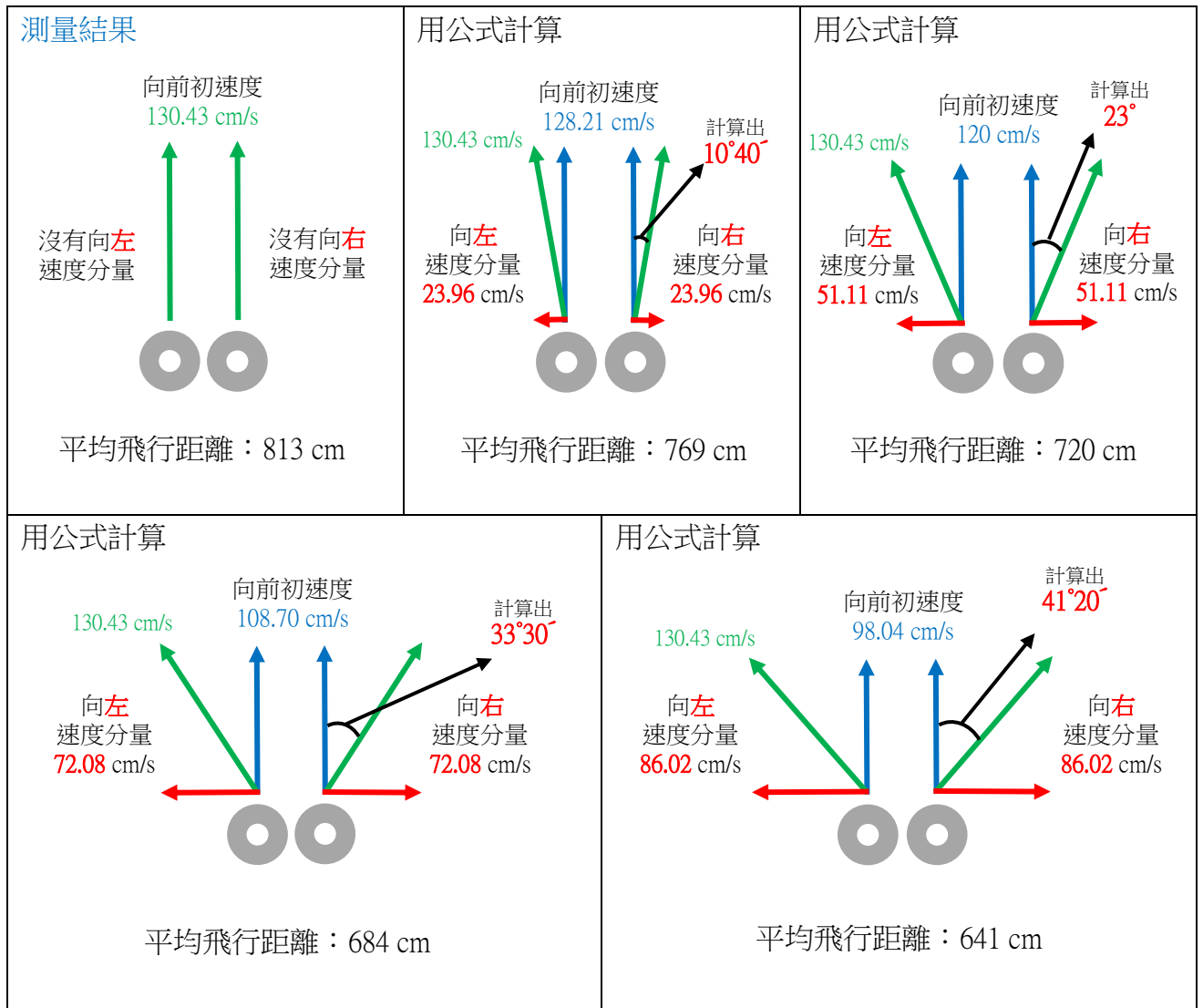


圖 45：分析飛石索向前初速度和向左向右速度分量原理

#### 4.飛石索向前初速度分量和向左向右速度分量圖形分析

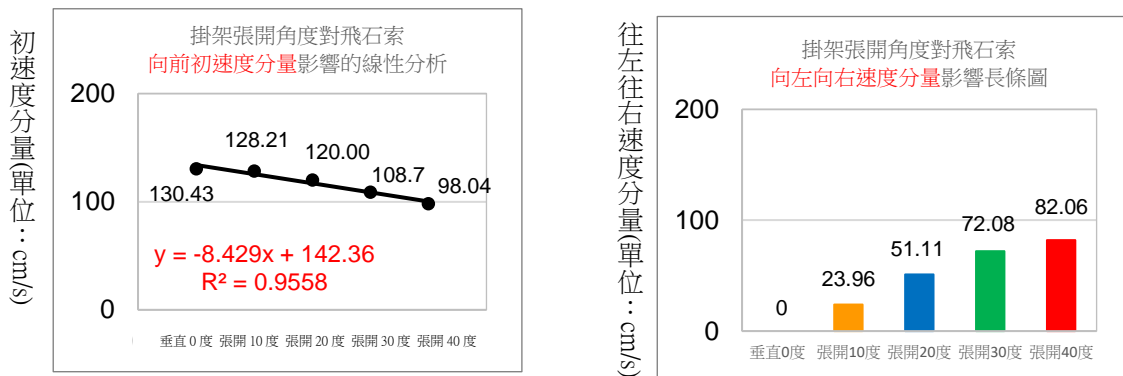
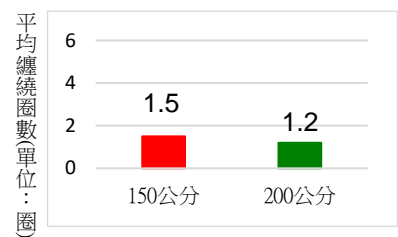
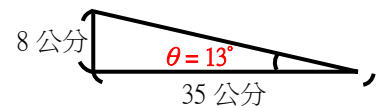


圖 46：分析飛石索向前初速度分量和向左向右速度分量說明圖表

#### 二、第 1、2、3 代飛石索發射器的修正改良

1. 第 1 代發射器確定彈力繩可以提供飛石索被彈射出去的力量，之後第 2、3 代發射器依據這個原型發展。

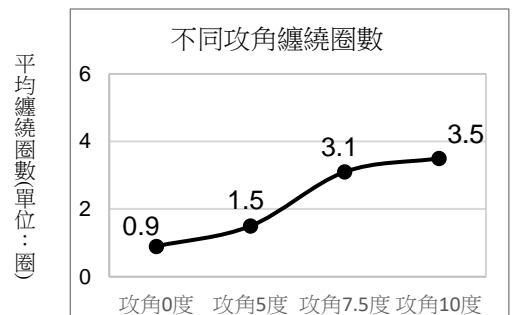
網路上三角函數對照表，對照出  $\tan 13^\circ$  符合第 1 代攻角角度，這也讓我們往後第 2、3 代的設計加了攻角的這個變因。實驗測試距離 150 公分，平均可以纏繞 1.7 圈，距離 200 公分平均可以纏繞 1.4 圈，但第 1 代有著力量弱、誤差大問題。【P.10】



第 1 代不同距離纏繞圈數長條圖

2. 第 2 代發射器的彈力增加，發射裝置改成按壓脫鉤式，而且增加飛石索攻角設計，可以調整攻角角度，在比較高的攻角角度 (7.5 度和 10 度)，飛石索纏繞目標物的方式很成功，但是在低角度攻角 (0 度和 5 度)，卻有勾住飛石索而無法順利發射的缺點。

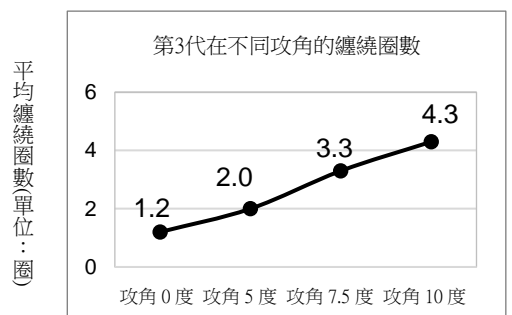
在攻角 0 度和 5 度時，就是飛石索在被發射出去後會先脫鉤，而且彈力繩又會比飛石索先出去再快速拉回，而且這時的重物掛架會往前翻轉，所以兩者接近在同一水平狀態，飛石索便容易被重物掛架給勾住，無法順利發射出去。【P.12】



第 2 代不同距離纏繞圈數長條圖

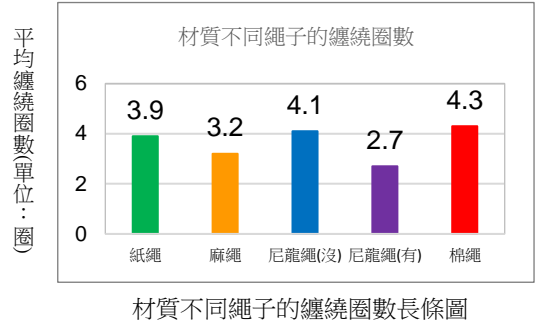
3. 再修正改良發射器，解決 1、2 代的發射問題，往後研究實驗便以第 3 代當測量數據工具。測試實驗數據呈現，第 3 代發射器在攻角 10 度對目標物會有最好的纏繞效果，平均纏繞圈數可以達到 4.3 圈。

【P.15】

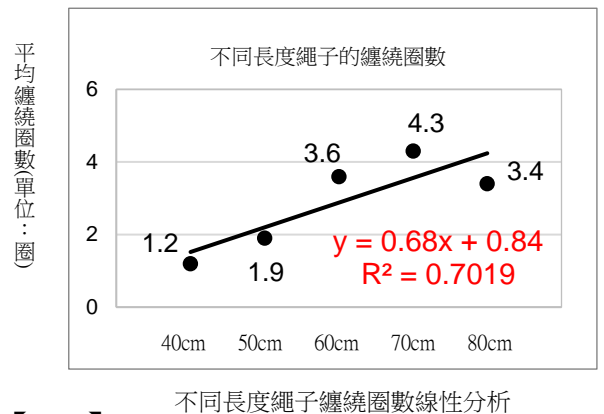


第 3 代在不同攻角的纏繞圈數折線圖

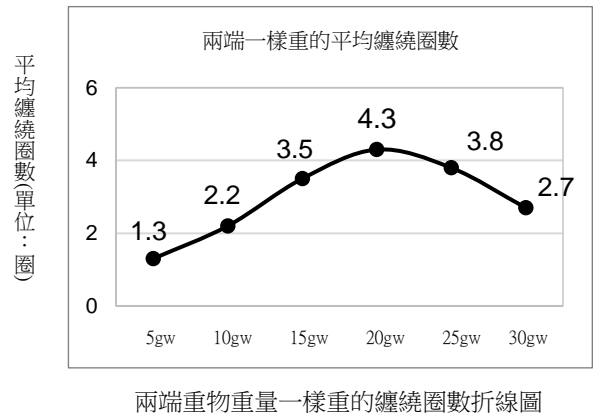
三、針對繩子材質對纏繞目標物的效果，我們找了紙繩、麻繩、尼龍繩(有彈性)、尼龍繩(沒彈性)和棉繩來做測試。實驗測試結果呈現，繩子要選擇較沒有彈性的，而且只要繩子足夠堅韌，**不管繩子是什麼材質**，用**我們自己做出的飛石索發射器**，**都可以有效的纏繞住目標物**。【P.17】



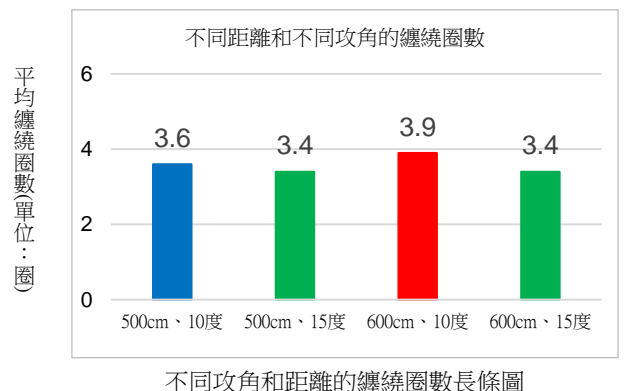
四、因為受限於第 1 代發射器彈力繩最大拉力的長度，所以把飛石索設定在 70 公分的長度。研究三是針對不同長度繩子對目標物纏繞圈數來做比較，原則上如果發射器的彈力夠強，那麼一定是越長的繩子纏繞的圈數會最多，但以第 3 代的彈力來說，70 公分的繩長便是纏繞圈數的佳最值。如果有辦法再增加彈力，相信 80 公分以上飛石索會有更好纏繞效果。【P.19】



五、研究四的實驗裡，兩端配重一樣重和不一樣重來測試。**配重還是要有一定的比例**，並不是越重越好，從兩端各一個是兩端應該要均衡一樣重，才會比較有好的纏繞效果，配重各 4 個平均纏繞可以達到 4.3 圈。可是**如果配重差 2 個**，10 公克重的華司，比較重的那邊速度會比較快，帶著比較輕的一前一後飛出去，所以纏繞目標物的效果就不好。



六、因為第 3 代彈性動力增強很多，所以測試距離可以達到 600 公分，在攻角 10 度和 15 度，目標物距離 500 公分和 600 公分的條件下，測試飛石索對目標物的纏繞效果，結果飛石索纏繞效果還有 3.4 圈以上。所以在增加距離的情況下，**只要彈射動力足夠**，**搭配著不同攻角角度**，發射器還是可以有效地纏繞住目標物。



## 捌、未來展望

- 一、未來我們想把發射器改裝成手持式發射，方便攜帶也要想辦法改良成可以簡單操作。因為近年來地球暖化和溫室效應影響，氣候環境急遽變遷，時有強降雨發生，山區、海邊或河岸沙洲偶有民眾受困事件，此時緊急救難隊必須備齊救援用具前往救援。希望往後我們改進的手持式飛石索發射器，能為緊急救援任務盡一分心力。

## 玖、參考文獻及其他資料

- 一、自然與生活科技五上 - 第四單元：力與運動。
- 二、網路資料：
  - 1、三角函數值表 <http://www.mathland.idv.tw/scene/tables/trigonometrictables.pdf>
  - 2、「繩奇摩力」科展作品－第 58 屆全國科展國小組物理科(科教館 科展群傑廳)  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080104.pdf>
  - 3、圓周運動 國立臺灣大學普通物理實驗室  
<https://web.phys.ntu.edu.tw/gphyslab/modules/smartsection/item0964.html?itemid=10>
- 三、歷屆科展相關研究：歷屆科展沒有與本作品直接相關的實驗研究。

屆數科別	作品名稱	研究內容	作品分析
第 58 屆 國小組物理科	繩奇摩力	各種繩索對物體纏繞後，產生的摩擦力大小。	不同繩索造成的摩擦力不一樣 棉繩 > 麻繩 > 尼龍繩

## 【評語】 080112

本作品設計並製作多款飛石索發射器與測量儀。探究發射張角、繩材、長短、石重與飛行距離對纏繞效果的影響。飛石實驗的力學分析，以及數據處理過程的擬合，或是數據點連線的方式有待商榷，部分平均圈數有將近 50% 的統計誤差。可能因為所引用的數學分析與物理原理，對小學生過於艱澀，以至於難以從多樣的實驗數據，分析歸納出一個最佳的綜合結論。

## 作品海報



# 摘要

本研究討論「飛石索」在空中如何利用兩端重物把繩子拉開，繩子在接觸到目標物後，可以順利纏繞。研究內容有飛石索發射器設計，兩端重物飛出時的**向前初速度**計算，還有讓繩子張開的**向左和向右速度分量**討論，發射攻擊角度和纏繞到目標物的落點、圈數，研究結果如下：

- 一、利用彈力橡皮管會伸縮形變來當發射動力，掛架採四條懸掛式，飛石索可以順利被發射出去。又**因掛架角度設計成張開模式**，所以兩端重物會往不同方向飛出，進而把繩子拉開。
- 二、目標物距離不同會有不同的**攻角配合**，例如距離目標物600公分，飛石索繩長設定在70公分，兩端重物各20gw，調整攻角角度在15度，飛石索會有最佳的平均纏繞圈數3.4圈。

# 壹、研究動機

「飛石索」是古代常用的一種狩獵用具，曾經在影片裡看過有些人會用它來捕捉獵物。飛石索的操作方式是讓它在空中先旋轉起來，對準要捕捉的獵物再把它丟擲出去，張開的繩子接觸到獵物後，便會纏繞在獵物的身上，讓獵物無法順利跑動而被絆倒。丟擲出去的繩子為什麼會張開？而張開的繩子碰到目標物後，為什麼會有纏繞的現象？要怎麼樣才能穩穩的捆住目標物？這些有趣的現象引發了我們的好奇心，所以會纏繞的飛石索就成為我們這次研究的主题。新聞報導有一隻從動物園逃脫的動物，因為被獵槍打傷而死亡。如果當時使用我們製作的飛石索，是不是就可以順利捕捉到牠，而又不傷害到牠的生命呢？

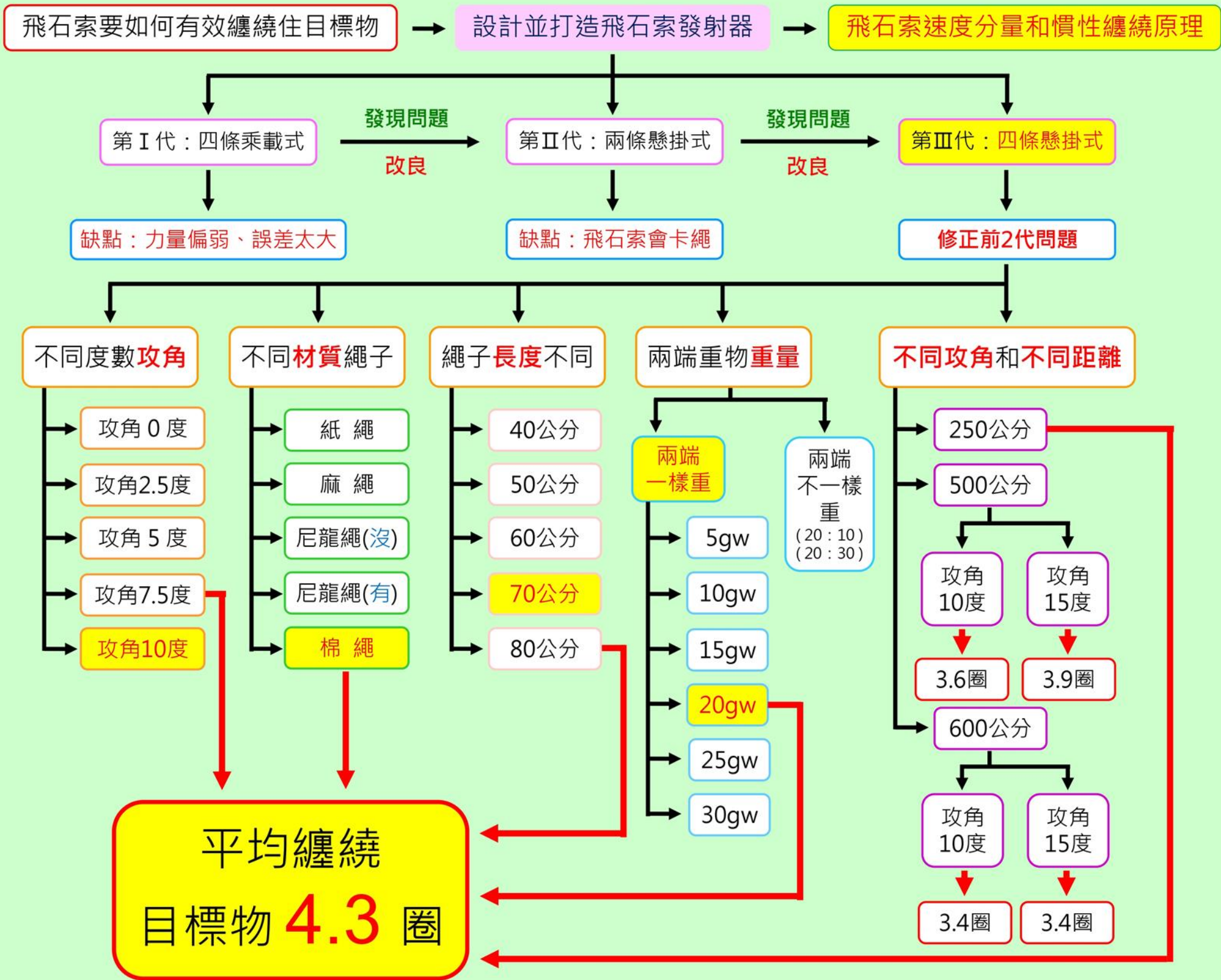
# 貳、研究目的

- 【研究一】設計並製作可以**順利發射飛石索**的測量機器  
第I代：四條乘載式飛石索發射器  
第II代：兩條懸掛式飛石索發射器  
第III代：**四條懸掛式**飛石索發射器
- 【研究二】**不同材質繩子**對目標物纏繞的效果比較。
- 【研究三】**繩子不同長度**對目標物纏繞的效果比較。
- 【研究四】**兩端重物重量**對目標物纏繞的效果比較。
- 【研究五】**不同距離**對目標物纏繞的效果比較。

# 參、研究設備、工具及器材

不同材質繩子、不同長度繩子、兩端重量相同、兩端重量不同、測量距離捲尺、安全護目鏡、電子秤、慢動作錄影機、數位相機、FDR-AX700高畫質數位攝影機、彈弓繩、實驗用鐵架、EXCEL文書處理、威力導演軟體。

# 肆、實驗流程架構圖



# 伍、研究方法、過程與討論

掛架角度以張開20度為例

利用畢氏定理計算向前初速度分量和向左速度分量，而向右速度分量理論會和向左相同，其他張開角度以此類推。

飛石索向前初速度分量和向左向右速度分量計算

脫離掛架

計算向前初速度分量

18 - 9 = 9 分秒  
9 ÷ 30 = 0.3 秒

00 ; 00 ; 39 ; 09

通過30cm處

00 ; 00 ; 39 ; 18

垂直 0度：向前初速度平均  $150 \text{ cm} \div 1.15 \text{ s} = 130.43 \text{ cm/s}$   
垂直20度：向前初速度平均  $150 \text{ cm} \div 1.25 \text{ s} = 120.00 \text{ cm/s}$

1. 用三角函數  $\cos\theta$  算出兩速度分量夾角度數：所有計算數值都取到小數點後兩位再四捨五入

$$120.00 \text{ (鄰邊)} \div 130.43 \text{ (斜邊)} = 0.92 = \cos 23^\circ$$

對照網路上三角函數值表資料，我們可知道 $\theta$ 角會接近23度。

2. 畢氏定理公式：

$$\text{斜邊平方} - \text{鄰邊平方} = \text{對邊平方}$$

$$130.43^2 - 120.00^2 = 51.11^2$$

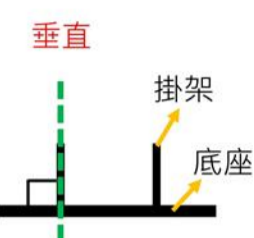
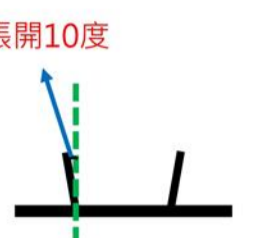
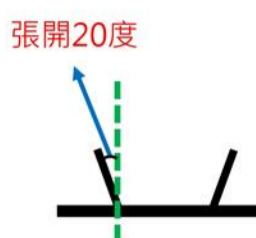
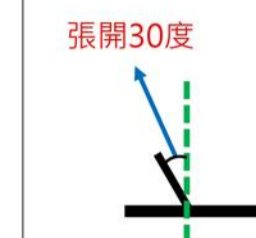
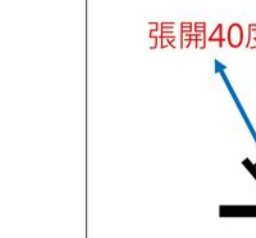
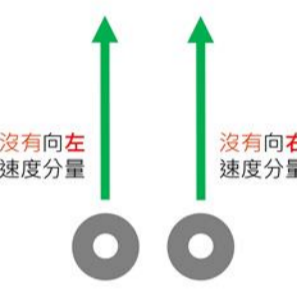
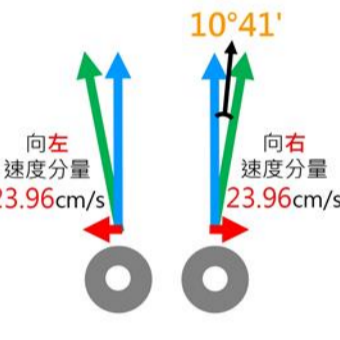
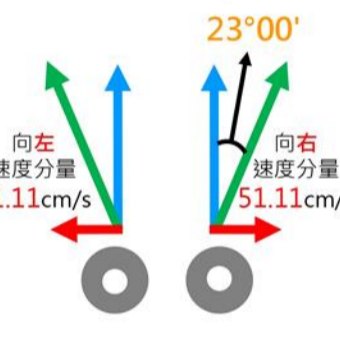
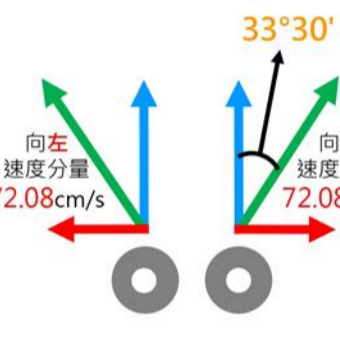
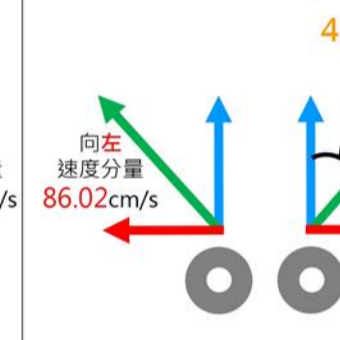
3. 飛石索懸掛在角度張開20度的掛架上，兩端重物飛出時會同時產生向左和向右的速度分量，把繩子往兩個不同的方向拉開，而且算出向左和向右速度分量是51.11 cm/s。



# 向前初速度分量與向左、向右速度分量和圓周運動慣性纏繞理論分析

## 向前初速度分量與向左、向右速度分量理論

我們設計了5種不同張開角度的掛架，分別是垂直0度、張開10度、張開20度、張開30度和張開40度，利用第3代發射器來做實驗，用高速攝影和威力導演軟體紀錄飛行30cm的時間，計算出各種掛架角度向前初速度、纏繞圈數和飛行距離。

掛架 垂直 於底座	掛架各自 張開 10 度	掛架各自 張開 20 度	掛架各自 張開 30 度	掛架各自 張開 40 度
				
平均飛行距離 <b>813</b> 公分 繩子 <b>沒有</b> 張開	平均飛行距離 <b>769</b> 公分 繩子 <b>稍微</b> 張開	平均飛行距離 <b>720</b> 公分 繩子 <b>有</b> 張開	平均飛行距離 <b>684</b> 公分 繩子 <b>有</b> 張開	平均飛行距離 <b>641</b> 公分 繩子 <b>有</b> 張開
理論上 向左和向右的 速度分量是 <b>0</b> cm/s	計算出 向左和向右的 速度分量是 <b>23.96</b> cm/s	計算出 向左和向右的 速度分量是 <b>51.11</b> cm/s	計算出 向左和向右的 速度分量是 <b>72.08</b> cm/s	計算出 向左和向右的 速度分量是 <b>86.02</b> cm/s
向前初速度分量 <b>130.43</b> cm/s	向前初速度分量 <b>128.21</b> cm/s	向前初速度分量 <b>120.00</b> cm/s	向前初速度分量 <b>108.70</b> cm/s	向前初速度分量 <b>98.04</b> cm/s
				

## 研究一：設計並製作可以順利發射飛石索的測量機器。

以彈弓彈力繩  
來當發射動力

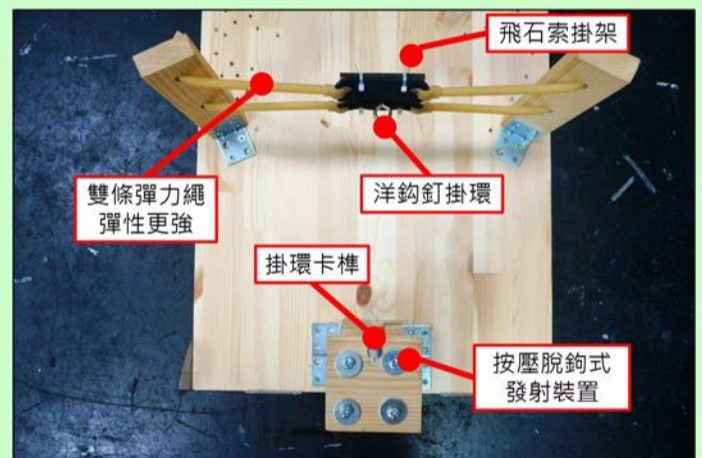
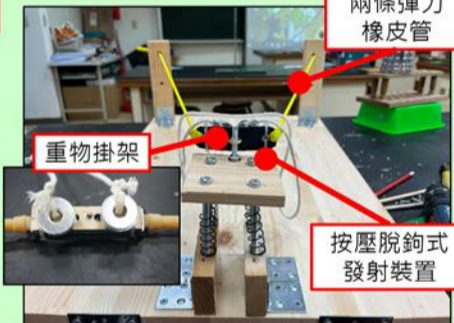
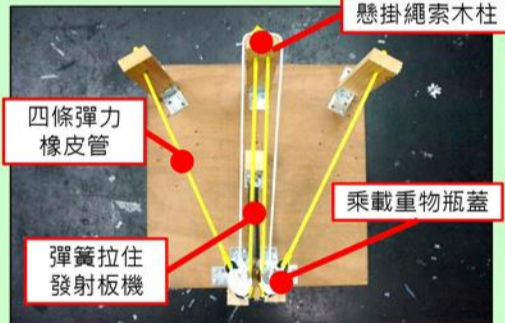
第 I 代發射器  
四條乘載式

第 II 代發射器  
兩條懸掛式

第 III 代發射器-四條懸掛式



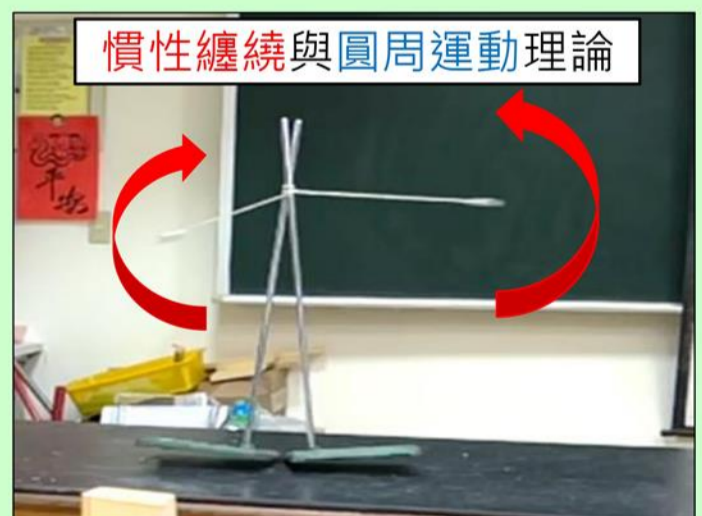
彈弓的彈力是可以發射出飛石索，如何讓繩子在空中張開，就是一個很重要的關鍵點。



研究一實驗討論：

- 第 I 代：1、設計第 I 代發射器時，要考慮到兩端重物必須往不同方向發射出去，所以發射器設計成雙股四條彈力繩，讓飛石索乘載在塑膠蓋內，並且利用強力彈簧彈力將發射板機拉住。  
2、實驗過程中，飛石索一如預期在被彈射出去後，繩子在空中就會呈現張開狀態，可以順利被發射出去，有時會纏繞住目標物。  
3、缺點討論：  
(1)發射力道有點偏弱，而纏繞目標物的最遠距離只有200公分。  
(2)發射裝置卡榫不夠精密，每次發射可能會影響實驗數據，不夠精準。
- 第 II 代：1、發射器在攻角0度和2.5度和5度，飛石索很容易被懸掛重物支架勾住，無法順利發射出去。  
2、發射器在攻角7.5度和10度，飛石索成功纏繞率大大提高，有效平均纏繞圈數3.1圈和3.5圈。  
3、缺點討論：  
(1)整體來說，目標物在距離250公分，低角度攻角的發射角度容易出現勾住的問題。  
(2)經過慢動作錄影分析，我們發現在於問題，在攻角0度、2.5度和5度時，就是飛石索在被發射出去後會先脫鉤，而且彈力繩又會比飛石索先出去，然後再快速拉回，而且這時重物掛架會翻轉，讓兩者在同一水平狀態，飛石索便容易被重物掛架勾住，無法順利發射出去。
- 第 III 代：1、第 III 代重物掛架設計成四條彈力繩，解決在發射出去會翻轉現象，並纏到飛石索的最大問題，所以之後都是以第 III 代發射器來當研究測試機器。  
2、經過實驗測試，第 III 代發射器在攻角0度、2.5度、5度、7.5度和10度，距離目標物250公分時，纏繞圈數分別1.2圈、1.4圈、2.0圈、3.3圈和4.3圈。  
3、第 I、II、III代都是以繩長70公分，兩端重物四個華司，重量20公克重的飛石索來測試，距離目標物200公分(第 I 代)和250公分(第 II、III代)當測量距離，但因為增加到四條彈力繩，所以彈力變強很多，飛石索的有效射程可以增加到600公分。  
4、實驗測試目標物距離可以達到600公分，如果再把彈力繩彈力加強，相信飛石索可以飛行更遠，還有我們觀察到被發射出去後的飛石索，是以拋物線的軌跡在飛行。

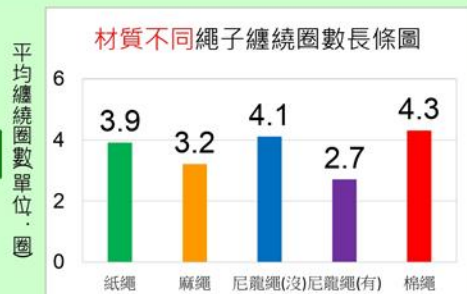
## 慣性纏繞與圓周運動理論



當繩子接觸到目標物的瞬間，因為受到慣性定律的作用，繩子會以目標物當中心軸做圓周運動繞圈，而且繩子的兩端重物在纏繞目標物時的運動軌跡是圓形，可以說明繩子正在對目標物進行著圓周運動。



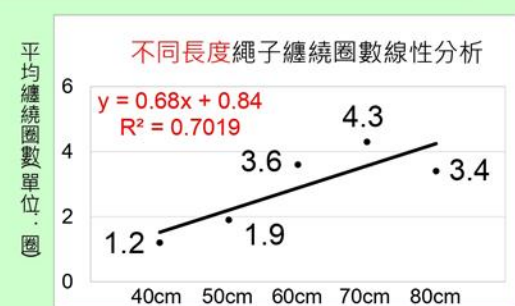
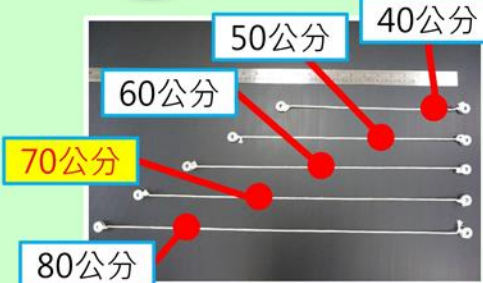
## 研究二：不同材質繩子對目標物纏繞的效果比較。



### 研究二實驗討論：

1. 材質不同的五種繩子，每一種繩子的長度都設定在70公分，兩端重物各20公克重，平均纏繞圈數分別是紙繩3.9圈、麻繩3.2圈、沒彈性尼龍繩4.1圈、有彈性尼龍繩2.7圈和棉繩4.3圈。但是麻繩的材質不夠堅韌，完成10次成功實驗測試過程中，麻繩在綁華司的地方斷了3次。而有彈性的尼龍繩因為伸縮彈性比較好，所以平均纏繞圈數會比其他四種還少。
2. 各種繩子的材質雖然不太一樣，但是在被彈射飛出後，除有彈性的尼龍繩，其他四種繩子纏繞目標物的平均圈數並沒有太大的差別，說明了只要是能被我們發射器順利發射出去的飛石索，都可以纏繞到目標物，但需注意的是繩子要夠堅韌，不容易斷掉。

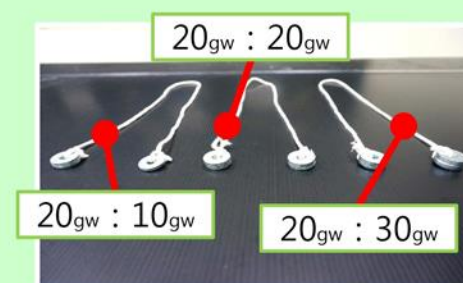
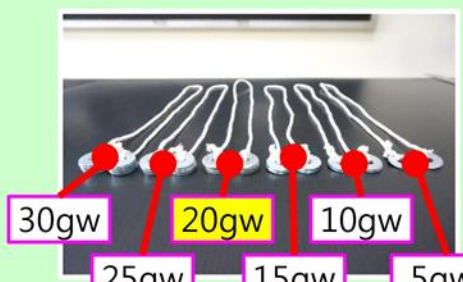
## 研究三：繩索不同長度對目標物纏繞的效果比較。



### 研究三實驗討論：

1. 實驗測試數據繩長40公分平均纏繞1.2圈，繩長50公分平均纏繞1.9圈，繩長60公分平均纏繞3.6圈，繩長70公分平均可以纏繞到4.3圈，繩長80公分平均纏繞3.4圈。我們發現繩長從80公分開始，纏繞圈數就會下降。
2. 繩長如果每次增加10公分，從40公分增長到70公分，理論上繩子的長度如果越長，那麼就會纏繞得越多圈，但是繩長80公分的纏繞圈數卻比70公分來得少，我們推論這是因為長度80公分的繩子過長，彈力繩的力量無法完全傳遞給繩子。原則上如果彈力繩彈力可以提供飛石索最強的動力，例如超過16.5公斤重的力來發射，雖然繩子長度增長，但還是可以纏繞得越多圈。

## 研究四：兩端重物重量對目標物纏繞的效果比較。



### 研究四實驗討論：

1. 測試後數據兩端重物20公克重：10公克重和20公克重：30公克重的飛石索，分別只能纏繞2.1圈和2.3圈，相較20公克重：20公克重的兩端重物一樣重，比例不均衡的飛石索纏繞的圈數會少了將近一半。
2. 飛石索是20公克重：30公克重發射出去後，因為重量不一樣，所以較重的30公克重的華司會帶著較輕的20公克重的華司往前飛出，也因為比例不均衡，比較無法順利讓繩子張開，所以纏繞目標物的效果也就不太好。

## 陸、研究結論

- 一、找到彈弓繩彈力來當發射動力，自製發射器能順利把飛石索彈射出去。透過慢動作影片發現，飛石索一離開重物掛架，兩端重物便順勢將繩子張開，在接觸到目標物後，又因牛頓第一運動定律慣性作用，兩端重物會帶著繩子對目標物做圓周運動而纏繞，位能轉換成動能提供飛石索動力。掛架設計有垂直0度、張開10度、張開20度、張開30度、張開40度。

1. 高速攝影機錄影飛石索飛行30公分的時間，計算出向前的初速度。
2. 利用cosθ和畢氏定理可以算出夾角度數跟實際掛架張開角度很接近。
3. 以垂直0度(130.43cm/s)當基準，算出張開10度(128.21cm/s)向左向右速度分量是23.96cm/s，張開20度(120.00cm/s)向左向右速度分量是51.11cm/s，張開30度(108.70cm/s)的向左向右速度分量是72.08cm/s，張開40度(98.04cm/s)的向左向右速度分量是86.02cm/s。

### 二、第 I、II、III代飛石索發射器的修正改良

1. 第 I 代發射器確定彈力繩可以提供飛石索被彈射出去力量，之後第 II、III代發射器依據這個原型發展。利用網路上的三角函數對照表，對照出tan13°符合第 I 代攻角角度，也讓我們往後在第 II、III代的設計加了攻角的這個變因。測試距離150公分平均可以纏繞1.5圈，距離200公分平均可以纏繞1.2圈，但是第 I 代有力量弱、誤差大問題。
2. 第 II 代發射器力道加大，發射裝置改成按壓脫鉤式，而且增加飛石索攻角設計，可以調整攻角高低，在比較高攻角角度(7.5度和10度)，飛石索纏繞目標物的方式很成功，但是在低角度攻角(0度、2.5度和5度)，卻有勾住飛石索而無法順利發射的缺點。
3. 測試後發現第 I、II代問題缺點，所以再修正發射器並改良，解決第 I 代和第 II 代出現的發射問題，往後研究實驗測試便以第 III 代當測量數據工具。測試實驗數據呈現，第 III 代發射器在攻角10度對目標物會有最好的纏繞效果，平均纏繞圈數可以達4.3圈。

- 三、針對繩子材質對纏繞目標物的效果，我們找了紙繩、麻繩、尼龍繩(有彈性)、尼龍繩(沒彈性)和棉繩來做測試。實驗測試結果呈現，繩子要選擇比較沒有彈性的，而且只要繩子足夠堅韌，不管繩子是什麼材質，用我們自己做出的飛石索發射器，都可以有效的纏繞住目標物。

- 四、因為受限於第 I 代發射器彈力繩最大拉力的長度，所以把飛石索設定在70公分長。研究三是針對不同長度繩子對目標物纏繞圈數來做比較，原則上如果發射器的彈力夠強，那麼一定是越長的繩子纏繞的圈數會最多，但以第 III 代的彈力來說，70公分的繩長便是纏繞圈數的最佳值。如果有辦法再增強彈力，相信80公分以上飛石索會有更好的纏繞效果。

- 五、研究四的實驗裡，兩端配重一樣重和不一樣重來做測試比較。實驗後結論，兩端配重20公克重：20公克重平均纏繞可以達到4.3圈。可是如果配重是20公克重：10公克重，或20公克重：30公克重，比較重的那邊速度會先飛出去，再帶著比較輕的一前一後飛出去，所以纏繞目標物的效果就不是很好，平均纏繞圈數是2.1和2.3圈。所以配重還是要有一定的比例，並不是越重就會越好，兩端應該要均衡一樣重，才會比較有好的纏繞效果。

- 六、因為第 III 代彈性動力增強很多，所以測試距離可以達到600公分，在攻角10度和15度，目標物距離500公分和600公分的條件下，測試飛石索對目標物的纏繞效果，結果飛石索纏繞效果還有3.4圈以上。所以在增加距離的情況下，只要彈射動力足夠，搭配著不同攻角角度，發射器還是可以有效地纏繞住目標物。

## 研究五：不同距離對目標物纏繞的落點圈數比較。



### 研究五實驗討論：

1. 如果把測試距離拉長到500公分和600公分，500公分、攻角10度可以纏繞3.6圈，500公分、攻角15度可纏繞3.9圈，600公分、攻角10度和15度攻角平均都可以纏繞到3.4圈。
2. 四種不同條件下，目標物的距離拉長到500公分和600公分，平均纏繞圈數都有3.4圈以上，透過慢動作影片分析，我們觀察到飛石索在飛行的軌跡裡有拋物線的現象。

## 柒、未來展望

- 一、未來我們想把發射器改裝成手持式發射，方便攜帶也要想辦法改良成可以簡單操作。因為近年來地球暖化和溫室效應影響，氣候環境急遽變遷，時有強降雨發生，山區、海邊或河岸沙洲偶有民眾受困事件，此時緊急救難隊必須備齊救援用具前往救援。希望往後我們改進的手持式飛石索發射器，能為緊急救援任務盡一分心力。
- 二、在今年三月的東非狒狒事件，因為捕捉器具的使用不當，造成動物失去了牠的生命，讓我們覺得有些難過。如果我們飛石索能改造成手持式發射，有效射程也能更遠的話，那麼是不是可以順利捉到那隻狒狒，而且也不會傷害到牠的生命呢？曾有同學的阿嬤在山上果園放養雞群，每次捕捉都要耗費體力和時間，用我們手持式發射器一定會更有效率地捕捉到雞群，讓阿嬤不用那麼辛苦的追著雞跑了。

