

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080101

人人善射-自製發射器探究影響飛鏢飛行的因素

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(小學部)

作者：  小六 洪以捷  小六 朱柏蓁  小六 韓以潔  小六 蔡聿甯	指導老師：  蔡垂其  王晶瑩
---	-----------------------------

關鍵詞：飛鏢、飛行路徑、水平速度

## 摘要

看似簡單的遊戲射氣球與專業的射飛鏢競賽有什麼差異？「射飛鏢」有什麼科學原理？又應該掌握哪些技巧才能提高命中目標的機率？利用自行設計製作的「飛鏢發射裝置」和「類風洞實驗裝置」對射飛鏢不同的變因進行實驗分析，結果發現：相同射出角度且作用力愈大、放鏢位置較早的情況下，飛鏢飛行高度較高；射出角度小且作用力大、放鏢位置較晚、拿鏢位置在重心、鏢翼較小、較短或數量較少等情況下，可以得到較大的水平速度。鏢翼因回復力矩作用具有使飛鏢保持鏢頭穩定向前的飛行姿態，而太大或太寬長的鏢翼因飛行中回復力矩過大，使飛鏢擺盪幅度較大，較不易控制飛鏢落點。依據研究結果，最後找出如何調整相關的變因和步驟，順利準確的命中靶心。

## 壹、前言

### 研究動機

人們喜歡到夜市，除了各式各樣的經典小吃與美食之外，另外也會有一些簡單又好玩的遊戲，其中「射飛鏢」總是特別的吸引我，無論是射小氣球、大氣球或是水球，想要獲得命中氣球爆破的喜悅感與成就感，總讓人欲罷不能的一鏢又一鏢的接著射，當射歪時，心裏總會想著如何調整下一鏢的力道與方向，好讓下一鏢能確實命中，但常常事與願違，很難命中目標，看似簡單的遊戲「射飛鏢」，到底有什麼樣的科學原理？又應該掌握哪些技巧才能提高命中目標的機率呢？

我們利用課堂學過的知識和技能：南一版三上第三單元「看不見的空氣」，流動的空氣可以形成風，風力是接觸力，有強弱之分；翰林版六下第一單元「力與運動」，物體受力的作用後，會產生移動、轉動或變形等現象；翰林版六下第二單元「簡單機械」的槓桿原理中，得知作用力與作用力的位置及力臂長度的關係，且力與力臂的乘積，稱為力矩。

### 研究目的

- 一、射鏢與拿鏢對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
  - (一)不同發射作用力大小對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
  - (二)不同放鏢位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
  - (三)不同夾取位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
  - (四)不同夾取角度對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
- 二、飛鏢構造對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。
  - (一)不同鏢翼大小對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(二)不同鏢翼形狀對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(三)不同鏢翼數量對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(四)不同鏢身長度的飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

三、飛鏢鏢翼受氣流的回復作用分析。

(一)不同初始偏轉角度的氣流回復作用分析(相同鏢翼)。

(二)不同鏢翼大小的氣流回復作用分析(相同初始偏轉角度)。

四、如何調整能使飛鏢射中靶心。

### 文獻回顧

飛鏢運動的歷史，最早追溯到羅馬帝國時代。帝國軍團駐守不列顛島時，當地多雨的天氣限制了士兵們的戶外活動，於是有人發明了一種遊戲，在室內用手將箭投向用柞樹橫切面製成的靶子，形成了飛鏢運動最早的雛型。

19 世紀末期，英國人貝利恩·甘林發明了現代飛鏢運動的計分系統。1970 年代初期，飛鏢運動傳遍整個歐洲大陸，並成立了世界飛鏢聯合會。

國際比賽規定飛鏢的總體長度不得超過 30.5 公分，硬式飛鏢重量不得超過 50 公克，軟式飛鏢重量不得超過 25 公克。鏢靶應懸掛在牆上，紅心中心距離地面高度為 173 公分，投擲線為距離鏢靶平面 237 公分處。軟靶規則高度一樣，但投擲線距離為 244 公分。

飛鏢是由鏢頭、鏢身、鏢桿、鏢翼四個部分所構成，如下圖所示：

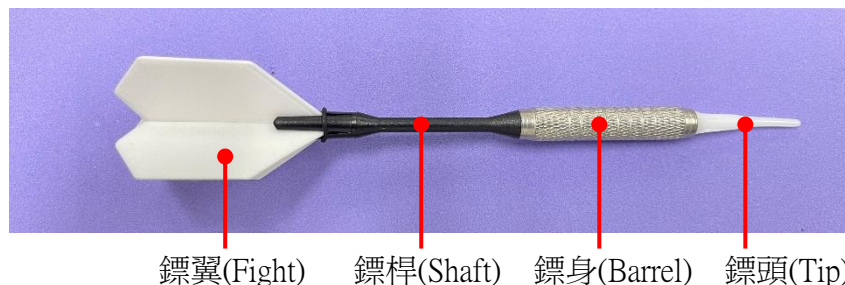


圖 1-1 飛鏢的構造與名稱

**鏢頭**：是飛鏢最前端，硬式飛鏢為鋼針，軟式飛鏢為塑膠針。

**鏢身**：多由黃銅或鎢合金製成。黃銅鏢屬重心偏前、形體較粗且重量較輕的款式，適合手較大或習慣丟拋物線的人；反之，許多高端玩家偏愛的鎢合金鏢，就比較精實、細重，方便瞄準窄區，也較不會在命中同一區域時被上面的鏢彈開。

**鏢桿**：藉由不同的長度、重量、材質來調整飛鏢整體的平衡。

**鏢翼**：主要功能為修正飛行路徑，穩定飛行的狀況，因此鏢翼的面積與形狀，就關係著飛鏢飛行的穩定度。

飛鏢可分為公鏢和專業飛鏢，公鏢是鏢翼、鏢桿一體成型，重量較輕，丟鏢時的力道掌握相對不容易，飛起來也沒辦法像專業飛鏢一個樣平穩，夜市射氣球通常使用公鏢；專業飛

鏢是可根據個人的動作習慣與生理條件，在鏢頭、鏢身、鏢桿與鏢翼中選擇適當的組件。

為了確認夜市裡射氣球的飛鏢種類、氣球擺放的距離有多遠，氣球的大小尺寸、氣球間的距離，中獎的條件、費用等因素，我們實際到夜市去射氣球，然後再跟老闆商量，同意我們進行相關的測量與記錄，以利進行我們後續研究的參考條件。



圖 1-2 士林夜市測量一



圖 1-3 士林夜市測量二



圖 1-4 逢甲夜市射氣球

射飛鏢是屬於拋體運動中的斜向拋射或水平拋射，斜向拋射時，在飛鏢射出後水平方向理想狀態是等速度運動(慣性定律)，鉛直方向是鉛直上拋受重力的等加速度運動(運動定律)；水平拋射時，水平方向同樣不受力是等速度運動，鉛直方向是自由落體受重力的等加速度運動，一般射飛鏢是屬於斜向拋射，而當鏢靶低於放鏢位置時才可能發生水平拋射。

飛鏢的飛行與弓箭原理相似，在「科學小玩意的弓與箭」內容亦可應用於飛鏢，重心在前則方向不容易偏，飛行較穩定。如果鏢身打偏的情況下， $| \text{鏢尾力矩} | > | \text{鏢頭力矩} |$ ，合力矩使鏢身往鏢尾方向旋轉修正，直到風與鏢身平行，合力矩為零。

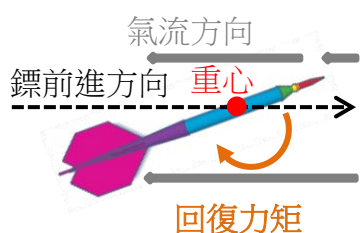


圖 1-5 重心在前

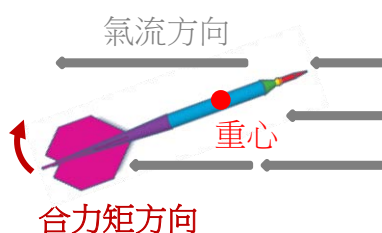


圖 1-6 合力矩修正方向

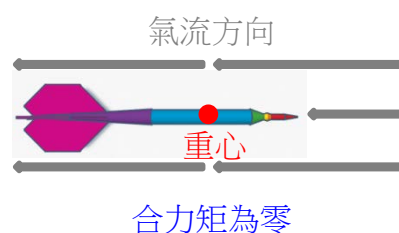




圖 1-7 合力矩修正為零

以「飛鏢」為關鍵字，找不到與我們相關或類似的研究，考量與射飛鏢較相似的運動為射箭，因此改以「弓箭」為關鍵字，找到「~波后尼、內嚕~原住民傳統弓箭的製作與研究」，其研究是自行設計「弓箭發射架」，探討不同的因素對「射程」的影響，拉力大、弓短、箭短、仰角 35 度射程較遠，再用高速攝影的照片分析箭的行進路線，另外用測速槍得知拉力大和箭短則箭速快。

因此以上述研究為參考，我們設計「飛鏢發射裝置」以 Tracker 影像分析軟體，探究不同因素對飛鏢的飛行路徑與水平速度有何影響，另外我們更以「類風洞實驗裝置」，探究飛鏢飛行時，受到風力作用產生的擺盪與回復的情況。

## 貳、研究設備及器材

### 一、研究器材：

1. 3D 列印機 × 1 臺	2. 桌上小型立銑床 × 1 臺	3. 桌上型 9 吋帶鋸機 × 1 臺	
			
4. 數位相機 × 1 臺	5. 震動電鑽 × 1 臺	6. 拉壓計 × 1 臺	7. 風速計 × 1 臺
8. 行動載具(手機) × 1 臺	9. 彈簧 × 24 個	10. 密集板 × 4 片	11. 綿線 × 2 捲
12. 相機腳架 × 1 支	13. 海棉 × 3 塊	14. 電子秤 × 1 臺	15. 照明燈 × 1 盞
16. 木條(12mm) × 4 條	17. 吸管 × 400 支	18. 循環扇 × 1 臺	19. 鏢靶 × 1 個
20. 高密度泡棉 × 1 片	21. 黑色布幕 × 2 片	22. 木板 × 1 片	23. 鐵棒 × 2 根
24. 透明塑膠板 × 3 片	25. 螺絲 × 30 根	26. 尖嘴鉗 × 1 支	27. 飛鏢 × 10 支

### 二、研究設備：

#### (一)飛鏢發射裝置

為了避免實驗過程中人為射鏢無法控制發射作用力大小與放鏢位置而產生的偏差，因此我們設計並製作了「飛鏢發射裝置」，如圖 2-1 所示。透過彈簧的數量與發射器後拉的角度來控制發射的作用力，並以放鏢控制棒與放鏢控制彈簧來決定放鏢的位置，如此一來可減少人為誤差的產生，以利後續發射飛鏢相關實驗的進行。

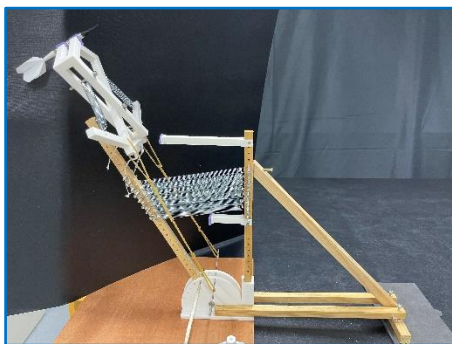


圖 2-1 飛鏢發射裝置



圖 2-2 射飛鏢實驗記錄環境

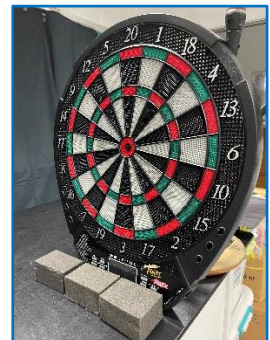


圖 2-3 飛鏢鏢靶

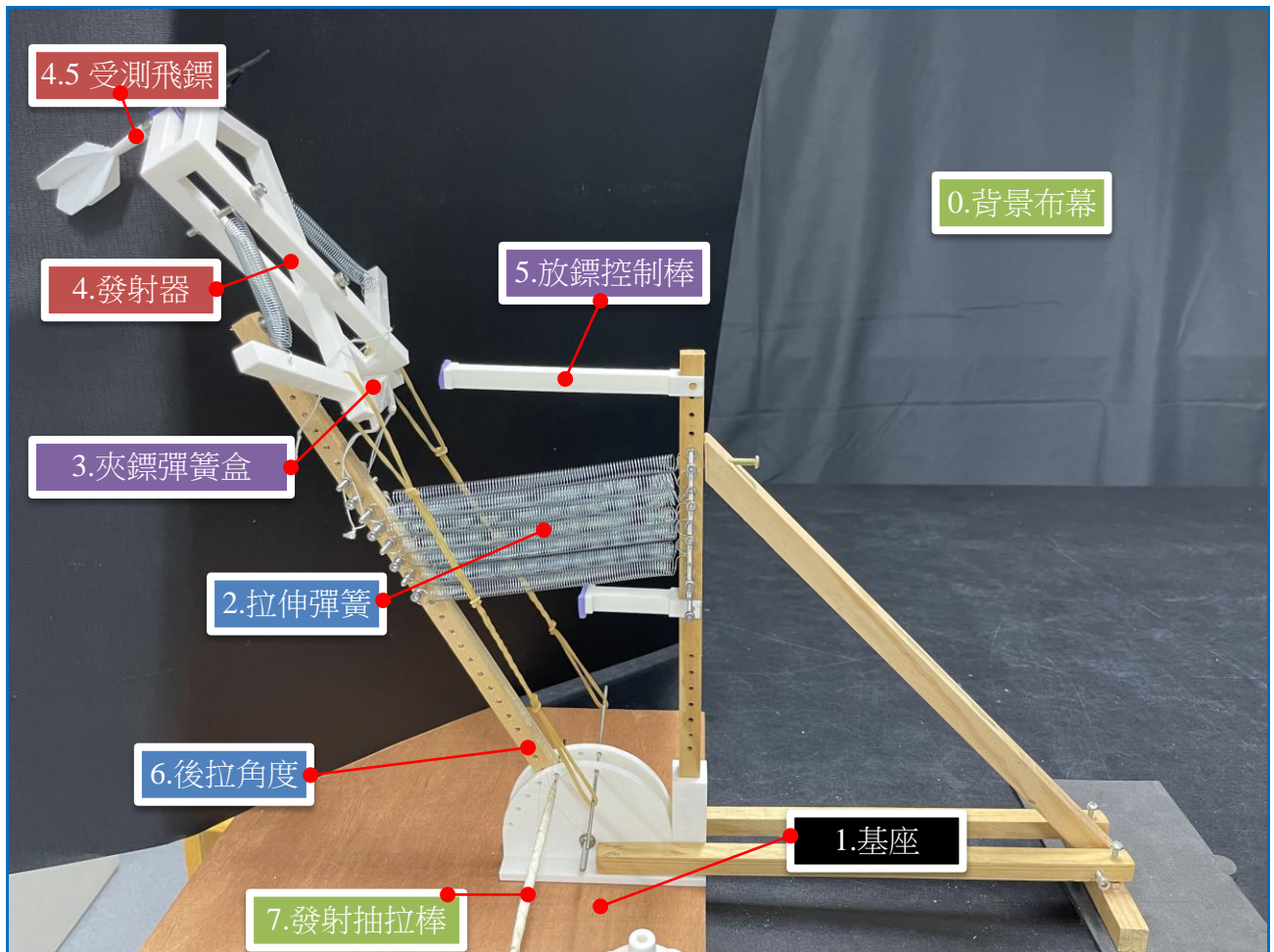


圖 2-4 飛鏢發射裝置部位名稱

飛鏢發射裝置實驗的操作步驟如下：

- 1.將基座固定於桌面上。
- 2.依實驗設定的作用力，將對應數量的拉伸彈簧懸掛於對應的位置。
- 3.裝上夾鏢彈簧盒，將發射器變為夾取飛鏢狀態。
- 4.用手的拇指和食指將發射器夾取飛鏢的位置撐開，另一手將受測飛鏢放到夾取位置，完成受測飛鏢的夾取動作。
- 5.依實驗設定的放鏢位置，選用對應的放鏢控制棒，一手將發射器向後拉，另一手將放鏢控制棒放置固定在可以順利撞擊夾鏢彈簧盒的位置。
- 6.再將發射器向後拉至設定的角度位置，以發射抽拉棒固定在發射的角度。
- 7.打開慢動作錄影裝置進行錄影，將發射抽拉棒快速抽出，讓飛鏢發射出去，錄下飛鏢飛行的路徑與姿態。
- 8.相同變因，重覆上述實驗，各進行十次相同的實驗，並進行錄影，以利後續計算平均數與標準差。
- 9.將所錄下之影片，利用影像追蹤分析軟體 Tracker，進行飛鏢飛行路徑與狀況的影像分析。

## (二)類風洞實驗裝置

為了了解飛鏢在飛行時，鏢翼受氣流作用，產生回復力矩造成調整飛行姿態的狀況，原本想連繫借用中研院物理所的風洞，但事與願違該單位已無風洞裝置，因此我們利用塑膠套與 400 根紅色吸管進行氣流整流，設計並製作了類風洞實驗裝置，進行飛鏢不同初始偏轉角度與不同鏢翼大小在單一水平方向受氣流作用回復情形的實驗。利用風速計，測量循環扇三種風力經類風洞後的風速大小，風速分別為 2.0m/s、2.8m/s、3.8m/s。

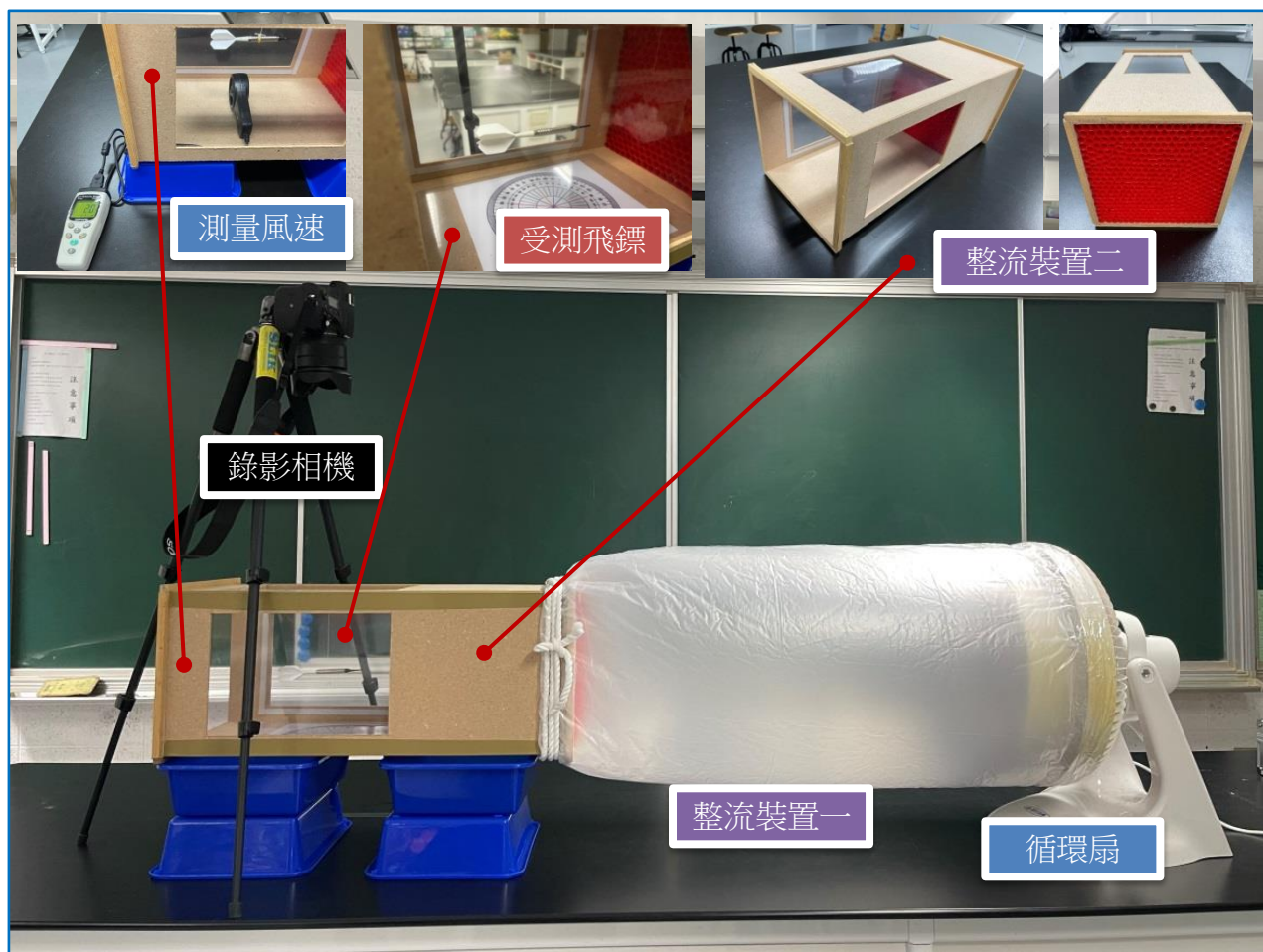


圖 2-5 類風洞實驗裝置

類風洞實驗裝置操作步驟如下：

- 1.利用細棉線一端綁住受測的飛鏢重心位置，使飛鏢能保持水平的狀態。
- 2.將棉線另一端綁在類風洞內部上方的木條中間，使受測飛鏢位於類風洞內部的正中間。
- 3.打開循環扇的電源開關切換至所設定的風力大小。
- 4.調整類風洞內底部的角度紙卡、木條上的棉線位置與錄影設備的位置，使錄影設備、受測飛鏢，角度紙卡，能在錄影設備的螢幕視窗裡置中對齊。
- 5.利用調整角度的細鐵棒，將受測飛鏢調整到設備的角度位置。
- 6.按下錄影設備的錄影按鍵開始進行錄影。
- 7.快速移開調整角度的細鐵棒，錄下受測飛鏢在類風洞中的狀況。
- 8.錄影至飛鏢穩定飛行或失控劇烈擺動時，結束錄影，然後關閉循環扇。
- 9.利用影像追蹤分析軟體 Tracker，進行飛鏢受回復力矩鏢頭擺盪狀況的影像分析。

# 參、研究過程或方法

※研究流程：

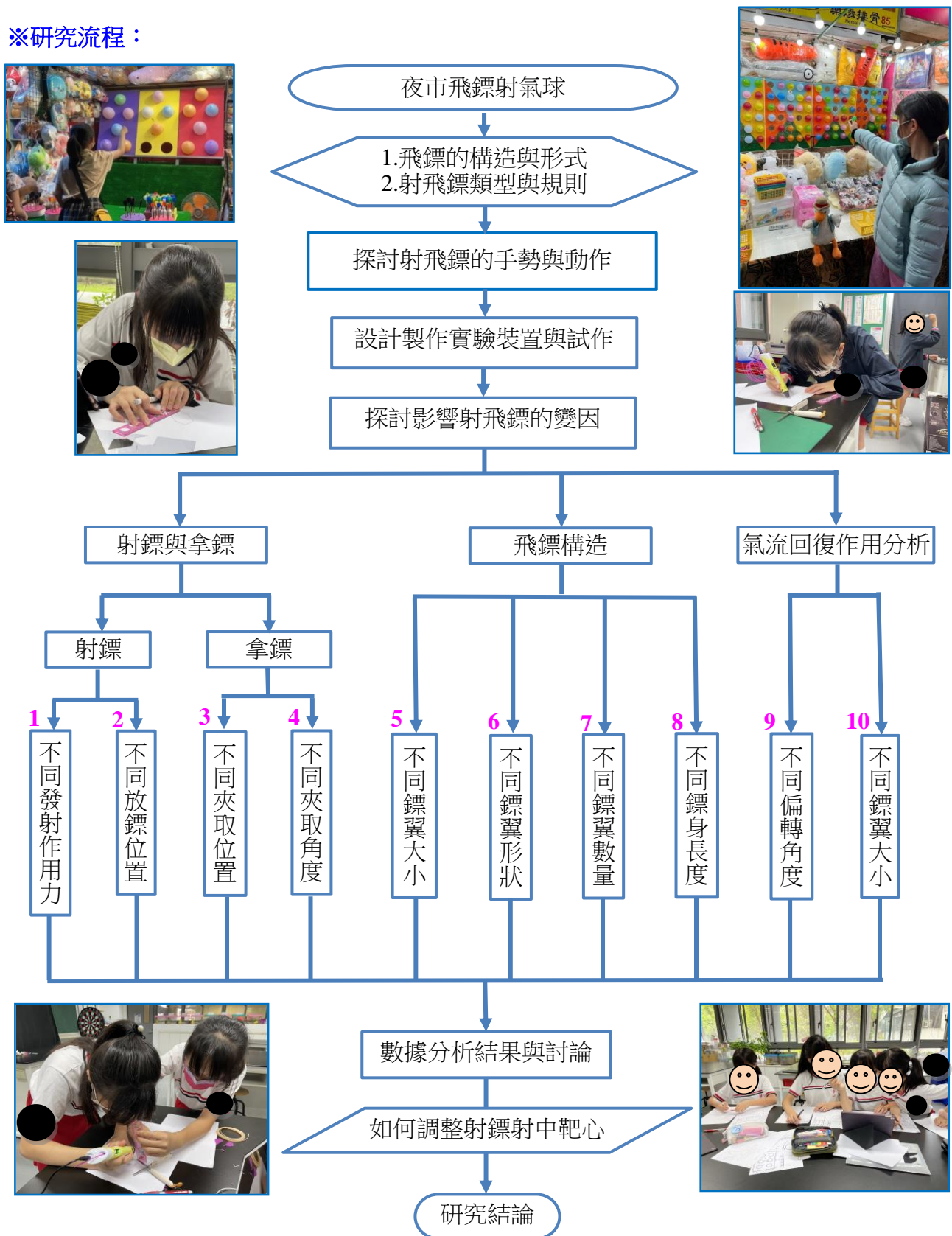


圖 3-1 研究流程圖

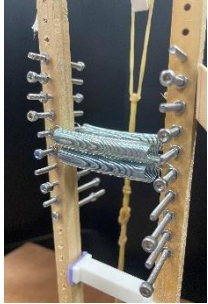






一、射鏢與拿鏢對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(一)不同發射作用力大小對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 1)

一般射飛鏢首先要考慮的就是鏢靶距離有多遠，再決定施加多大的作用力，在相同條件下，不同大小的作用力，會產生什麼樣的差異呢？利用拉伸彈簧的數量與發射器後拉的角度可以決定發射的作用力，使用下列不同的彈簧數量，如表 3-1 所示。飛鏢重量為 16.4gw(圖 3-2)，水平放置由發射器夾取飛鏢鏢身(圖 3-3)，放鏢位置是長度為 13 公分的放鏢控制棒(圖 3-4)，發射器後拉至 60 度的位置(圖 3-8)，飛鏢以離水平 21.3 度的角度射出(圖 3-9)。

表 3-1 不同發射作用力

彈簧數量(條)	4	8	12	16	20
圖片					
十次平均作用力(gw)	204.5	460.9	704	1001.9	1299.7
標準差(gw)	9.70	7.24	10.42	9.66	6.94
力矩(gw-cm)	8793.5	19818.7	30272	43081.7	55887.1

力矩 = 作用力 × 力臂 此處力臂為 43cm(發射器軸心到受測飛鏢的距離)



圖 3-2 飛鏢重

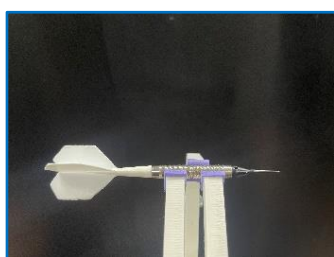


圖 3-3 水平夾取鏢身



圖 3-4 放鏢控制棒

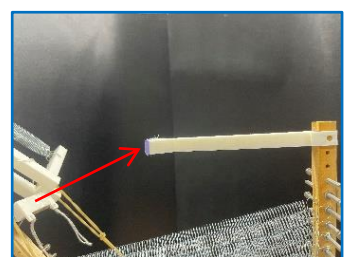


圖 3-5 放鏢位置

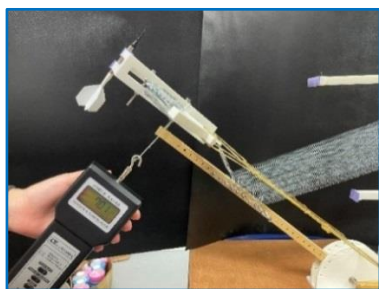


圖 3-7 測量發射作用力

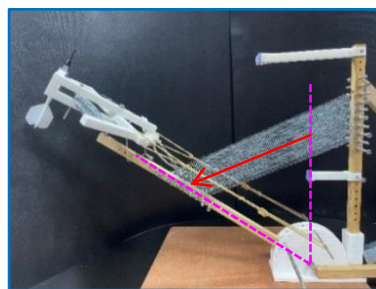


圖 3-8 後拉至 60 度

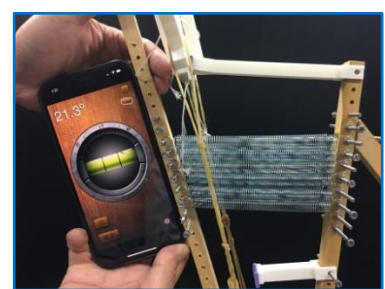


圖 3-9 飛鏢射出時的的角度

## (二)不同放鏢位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 2)

依鏢靶距離決定射飛鏢施加的作用力，在飛鏢射出的連續動作中，什麼時候要將拿飛鏢的手指放開讓飛鏢射出呢？拿鏢的手指太早放開或太晚放開會產生什麼樣的結果呢？在飛鏢發射器中，我們設計以放鏢控制棒撞擊夾鏢彈簧盒來決定放鏢的時刻，因夾鏢彈簧盒被撞擊移動後，會讓飛鏢夾取器原來拉長的彈簧，快速縮回原狀，而產生放鏢的情形。

隨著放鏢控制棒的長短不同，則會產生不同的放鏢位置，而不同的放鏢位置，也會使原本水平夾取的飛鏢有不同的發射角度。我們設計了五種不同長度的放鏢控制棒，如表 3-2 所示，想了解不同的放鏢位置對飛鏢的飛行會有什麼影響。將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中的放鏢控制棒的長度改為操縱變因進行實驗。

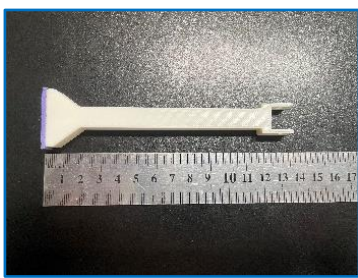


圖 3-10 放鏢控制棒



圖 3-11 夾鏢彈簧盒

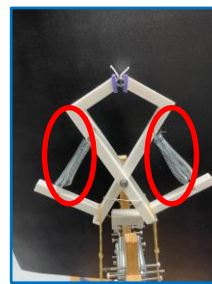


圖 3-12 拉長的彈簧

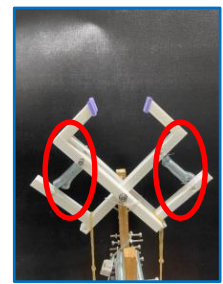


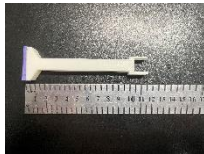


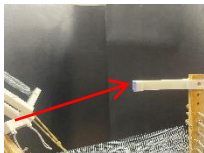
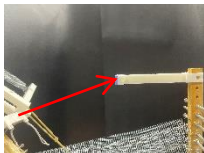
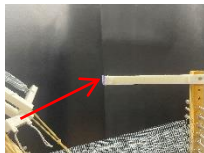
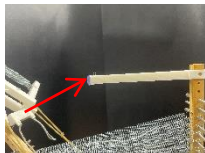
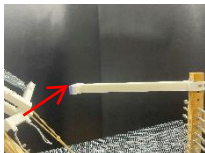

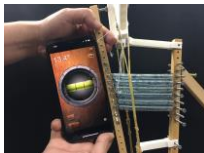
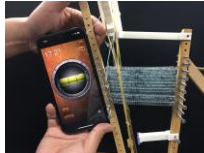
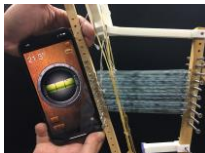
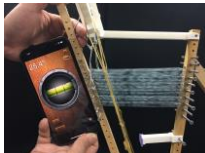


圖 3-13 彈簧回復原狀

表 3-2 不同放鏢位置

控制棒 長度(cm)	7 (放鏢晚)	9	11	13	15 (放鏢早)
控制棒 圖片					
放鏢 位置					
發射 角度					
發射角度 (度)	9.4	13.4	17.2	21.3	25.4

發射角度：同樣的水平夾取飛鏢，不同的放鏢控制棒長度，會產生不同的飛鏢發射角度。

### (三)不同拿鏢位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 3)

一般網路射飛鏢教學，會告知學習者，用一根食指可測量出飛鏢的重心，再以此重心位置作為拿鏢的位置，如此射出的飛鏢可以較穩定向前飛行。為了較準確測量重心的位置，我們利用厚度為 3mm 的高密度 EVA 泡棉測量飛鏢的重心位置，再計算出至鏢頭尖端的距離，作為夾取位置的依據。

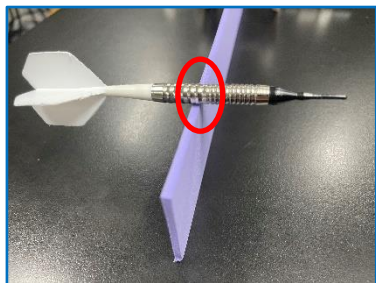


圖 3-14 軟式飛鏢重心

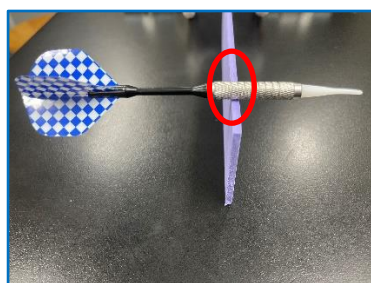


圖 3-15 專業飛鏢的重心

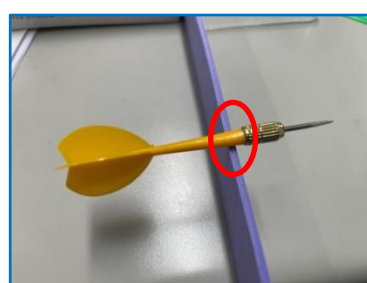


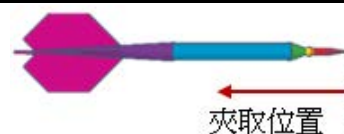
圖 3-16 公鏢的重心

一般三指拿取飛鏢時，則以拇指壓住重心位置，食指和中指分別按壓於重心前後，飛鏢夾取器的夾取位置轉換為單爪中心至鏢頭尖端的距離。若不是拿在重心位置，較靠近鏢頭或較靠近鏢翼，又會有什麼樣的結果呢？配合飛鏢可夾取的位置，我們設定的五個不同的夾取位置，如表 3-3 所示，想了解不同夾取位置對飛鏢飛行會有什麼影響。將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取飛鏢的位置改為操縱變因進行實驗。

表 3-3 不同夾取位置

夾取位置(cm)	3.4	3.8	4.6	5.6(重心位置)	6.5
圖片					

夾取位置：距離鏢頭尖端(cm)



### (四)不同夾取角度對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 4)

一般網路射飛鏢教學，告知拿鏢要拿重心位置，射出飛鏢時，要讓飛鏢鏢身呈現水平向前，如此可以減少飛鏢在飛行中的擺盪幅度，但於平面運動理論中，若單純水平射出飛鏢，飛鏢會向前，而高度只會下降，如此只能用在鏢靶低於飛鏢發射位置的情況，若鏢靶高於飛鏢發射位置，此時拿鏢會將鏢身由水平變傾斜，讓飛鏢射出時產生跟自己想像的飛行弧度一致，而當拿取鏢身不同角度射出飛鏢時，對飛鏢的飛行過程，會產生什麼影響呢？我們設定了六種不同夾取角度進行實驗，如表 3-4 所示。

夾取角度的測量方式是利用行動載具測量角度的 APP，調整飛鏢在夾取器上為實驗設定的角度。此處飛鏢發射時與水平的夾角，應為量測到的角度，再加上放鏢位置控制棒 13cm 所產生的 21.3 度。將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取鏢身的角度改為操縱變因進行實驗。

表 3-4 不同夾取角度

夾取 角度(度)	0	10	20	30	40	50
夾取 圖片						
測量 圖片						
發射 角度(度)	21.3	31.3	41.3	51.3	61.3	71.3

發射角度(度)=夾取角度+21.3 度

(因為使用放鏢控制棒 13cm, 故發射角度會增加 21.3 度)

二、飛鏢構造對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

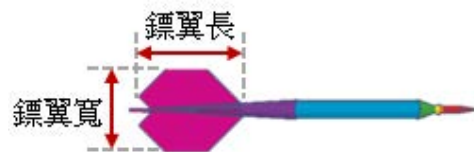


(一)不同鏢翼大小對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 5)

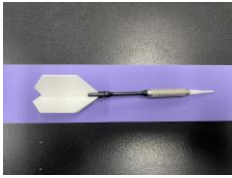
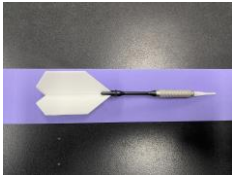
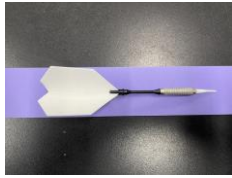
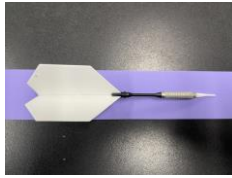
相同飛鏢以不同的作用力、放鏢位置、夾取位置與夾取角度可能會產生不同的飛行狀態，而不同的飛鏢特徵又會對飛鏢的飛行狀態有什麼影響呢？

鏢翼是飛鏢是否能穩定向前飛行的重要構造，首先我們考慮鏢翼的尺寸大小，愈大的鏢翼是否能夠使飛鏢飛行更穩定？愈小的鏢翼，又會對飛鏢的飛行產生什麼影響？我們設定七種不同尺寸和一種沒有鏢翼的情況，如表 3-5 所示，利用 3D 列印機列印出不同大小的鏢翼，將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取飛鏢的位置設為夾取重心的位置，且將同一支飛鏢改成不同大小鏢翼的飛鏢為操縱變因進行實驗。

表 3-5 不同鏢翼大小



鏢翼長 x 寬(cm)	無	2x1.5	3x2.25	4x3
圖片				
長度(cm)	10.9	11.8	12.8	13.8
重量(gw)	9.5	9.8	10.2	10.7
重心位置(cm)	4.4	4.7	5.1	5.5

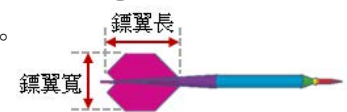
鏢翼長 x 寬(cm)	5x3.75	6x4.5	7x5.25	8x6
圖片				
長度(cm)	14.8	15.8	16.8	17.8
重量(gw)	11.5	12.4	13.3	14.5
重心位置(cm)	6	6.7(已落在鏢桿上)	7.2(已落在鏢桿上, 不適合拿取)	7.9(已落在鏢桿上, 不適合拿取)




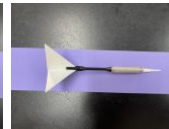

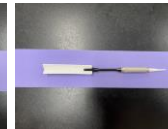
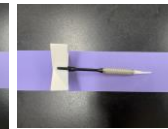
### (二)不同鏢翼形狀對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 6)

不同大小的鏢翼，可能會對飛鏢飛行的穩定度產生影響，而市面上也會出現許多不同色彩、不同圖案的鏢翼，但形狀變化卻沒有很大，是因為形狀也會影響飛行的穩定度嗎？所以不能變化太大嗎？哪些形狀可能使飛鏢飛行不穩定？我們設計了同面積不同形狀的六種鏢翼和一種常見的鏢翼，如表 3-6 所示，利用 3D 列印機列印出鏢翼，將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取飛鏢的位置設為夾取重心的位置，且將同一支飛鏢改成不同鏢翼形狀的飛鏢為操縱變因進行實驗。

鏢翼形狀不同，總面積相同大小的鏢翼，重量仍會相同，都是 10.8gw，而飛鏢長、鏢翼長、鏢翼寬則會有所不同，但重心位置也都相同是 5.4cm。

表 3-6 不同鏢翼形狀



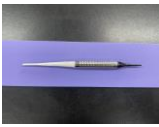
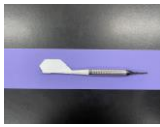
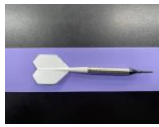

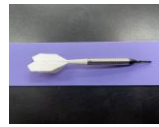

形狀	一般形狀	正方形	圓形	三角形	菱形	細長形	寬長形
圖片							
飛鏢長(cm)	13.6	12.8	13.2	12.7	13.9	15.9	11.2
鏢翼長(cm)	4	3	3.4	3	4.2	6	1.5
鏢翼寬(cm)	3	3	3.4	6	4.2	1.5	6

### (三)不同鏢翼數量對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 7)

一般常見的飛鏢鏢翼數量都是 4 片，一定要 4 片才能使飛鏢穩定飛行嗎？之前到夜市射飛鏢時，發現有一支飛鏢缺少一片鏢翼，只剩 3 片，要跟老闆換一支飛鏢，老闆說少一片沒有關係的。少了一片鏢翼真的沒有關係嗎？不會影響飛鏢的飛行狀態嗎？我們依飛鏢可能缺少的鏢翼的數量，設定了六種可能的鏢翼數量情況，其中若只剩 2 片鏢

翼可能為夾角 180 度或夾角 90 度的情形，如表 3-7 所示，將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取飛鏢的位置設為夾取重心的位置，且將同一支飛鏢改成不同數量鏢翼的飛鏢為操縱變因進行實驗。

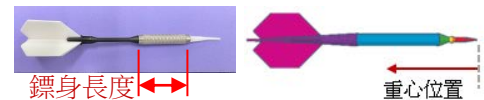
表 3-7 不同鏢翼數量







鏢翼數量	0	1	2 (夾 180 度)	2 (夾 90 度)	3	4
圖片						
重量 (gw)	15.1	15.4	15.7	15.7	16	16.3
重心位置 (cm)	5	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4

(四)不同鏢身長度對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 8)

在探討射飛鏢的作用力大小、拿取方式與鏢翼的變化等，對飛鏢飛行狀態的影響後，我們想了解當鏢身變長時，整支飛鏢的長度也會變長，而重量也隨之變重，此時對飛鏢的飛行狀態會有什麼變化？我們設定了六種不同的鏢身長度，如表 3-8 所示，將實驗 1 的操縱變因彈簧數量改為控制變因，並設定為 12 條彈簧，並且將控制變因中夾取飛鏢的位置設為夾取重心的位置，且將同一支飛鏢改成不同鏢身長度的飛鏢為操縱變因進行實驗。

表 3-8 不同鏢身長度



鏢身長度 (cm)	3.8(原長)	5.8	7.8	9.8	11.8	13.8
圖片						
飛鏢長度 (cm)	13.8	15.8	17.9	19.8	21.8	23.8
重心位置 (cm)	5.5	6	7	7.7	8.8	9.5

隨著鏢身長度的增加，飛鏢長度也增加，重心位置也改變，重心位置是離鏢頭尖端的距離。

三、飛鏢鏢翼受氣流的回復作用分析。

對射飛鏢的各項因素探究後，關於鏢翼受回復力矩而會使飛鏢穩定向前飛行，我們也想了解、觀測並分析此現象，我們選定飛鏢在不同偏轉角度(表 3-9)與不同大小鏢翼(表

3-10)的回復情況分析，利用類風洞實驗裝置，進行實驗分析。



圖 3-17 類風洞實驗前的測試

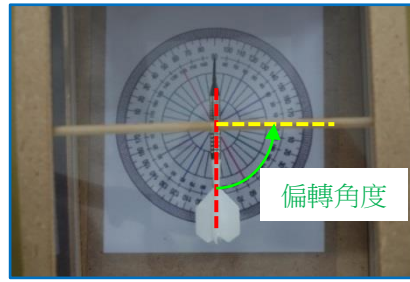


圖 3-18 飛鏢在類風洞中的鳥瞰圖

(一)不同初始偏轉角度的氣流回復作用分析(相同鏢翼) (實驗 9)

偏轉角度較大時，飛鏢受氣流回復力矩作用後，擺盪的情況就會比較明顯嗎？飛鏢回復穩定向前飛行的時間就需要比較長嗎？將循環扇風力切換至強風，風速計測量風速為 3.8m/s，以同一支軟式飛鏢利用細鐵棒分別調整至下列設定的初始偏轉角度，進行飛鏢的類風洞實驗。

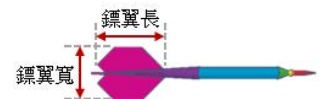
表 3-9 不同偏轉角度的類風洞實驗

初始偏轉 角度(度)	30	60	90	120	150	180
圖片						

(二)不同鏢翼大小的氣流回復作用分析(相同初始偏轉角度) (實驗 10)

鏢翼會受氣流作用產生回復力矩，調整飛鏢的飛行姿態，不同鏢翼大小會產生不同的回復力矩，對飛鏢的飛行會有什麼影響？愈大的鏢翼回復力矩愈大，愈能使飛鏢快速回復穩定的飛行姿態嗎？使用實驗 5 中不同鏢翼大小的飛鏢，將初始偏轉角度調整為 90 度，循環扇風力切換至強風，進行飛鏢的類風洞實驗。

表 3-10 不同鏢翼大小的類風洞實驗



長 x 寬 (cm)	無	2x1.5	3x2.25	4x3	5x3.75	6x4.5	7x5.25	8x6
不同鏢 翼大小								
鏢翼偏 轉 90 度								

四、如何調整能使飛鏢射中靶心

完成影響飛鏢飛行因素的探究後，我們希望從研究結果找出如何命中靶心的方法和步驟，可以提供相關知識和技巧給剛開始接觸射飛鏢的生手或喜愛射飛鏢的高手。

首先測量鏢靶距離飛鏢發射器的水平距離與靶心距離飛鏢發射器夾取飛鏢的高度差，然後依量測的結果，從前面不同因素的實驗結果，找尋較接近飛行的距離與高度的實驗參數，再依實際的射飛鏢中靶的結果，選擇調整適當的變因參數，直到最後達到命中靶心的目標。

## 肆、研究結果

利用影像追蹤分析軟體 Tracker，追蹤鏢翼的運動軌跡，進行飛鏢飛行路徑的影像分析，如圖 4-1 所示。另外在類風洞實驗中的影片，則追蹤鏢頭的擺盪狀況，如圖 4-2 所示。

因影像追蹤分析的數據量相當多，受篇幅頁數限制，無法於此一一列出，故存於電腦檔案中備查，此處以轉換後的平均數與標準差的統計圖進行結果分析與說明。

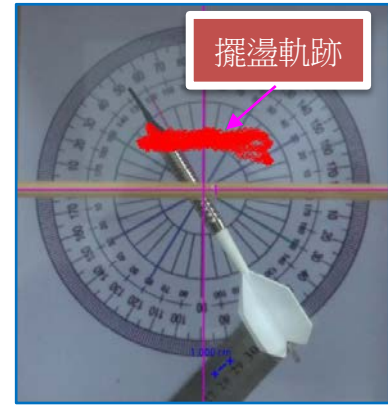
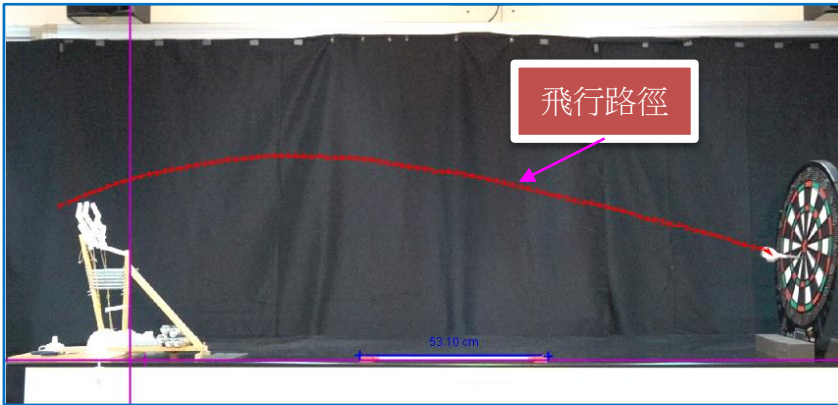


圖 4-1 影像追蹤分析軟體 Tracker 飛行路徑分析畫面

圖 4-2 Tracker 鏢頭擺盪分析畫面

飛鏢飛行路徑影像分析後的數據，轉到試算表 Excel 中進行統計圖的製作，其中 Y-T 圖橫軸是時間 T，縱軸是高度 Y，由 Y-T 圖可以看出隨著時間的增加，飛鏢高度的變化，也就是飛鏢飛行的路徑；X-T 圖橫軸是時間 T，縱軸是水平距離 X，由 X-T 圖可以看出隨著時間的增加，飛鏢在水平方向移動距離的變化，依據所有數據點得到趨勢線及線性方程式，其中線性方程式的斜率為水平距離÷時間，也就是飛鏢的平均水平速度。

### 一、射鏢與拿鏢對飛鏢飛行路徑與速度的影響

#### (一)不同發射作用力大小對飛鏢飛行路徑與速度的影響(實驗 1)

時間(10 點)	T <sub>0</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>30</sub>	T <sub>40</sub>	T <sub>50</sub>	T <sub>60</sub>	T <sub>70</sub>	T <sub>80</sub>	T <sub>90</sub>	以作用力 <b>1001.9gw</b> 為例，共有 91 個數據點，T <sub>0</sub> 、T <sub>1</sub> 至 T <sub>90</sub> ，Y <sub>0</sub> 、Y <sub>1</sub> 至 Y <sub>90</sub> 其中 10 點如左表所示。
時間(秒)	0	0.042	0.083	0.125	0.167	0.208	0.25	0.292	0.333	0.375	
高度(10 點)	Y <sub>0</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>20</sub>	Y <sub>30</sub>	Y <sub>40</sub>	Y <sub>50</sub>	Y <sub>60</sub>	Y <sub>70</sub>	Y <sub>80</sub>	Y <sub>90</sub>	
十次平均(cm)	41.59	55.78	63.25	67.69	71.36	72.50	70.09	64.52	60.21	56.41	
標準差(cm)	0.11	0.15	0.22	0.31	0.38	0.50	0.57	0.64	0.72	0.80	

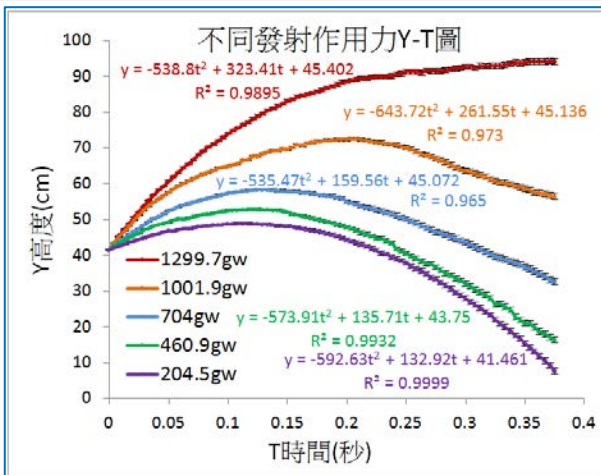


圖 4-3 不同發射作用力的 Y-T 圖

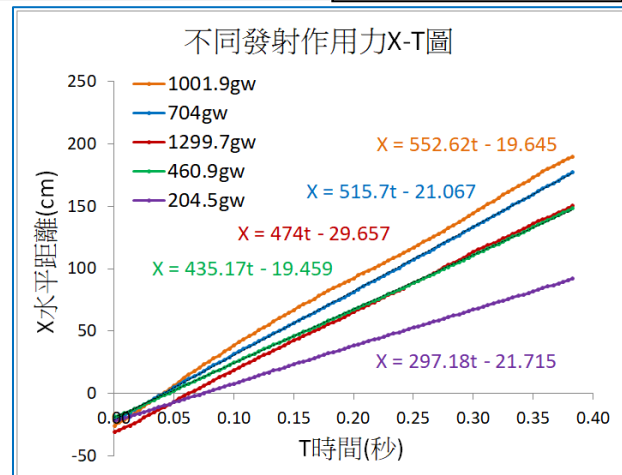


圖 4-4 不同發射作用力的 X-T 圖



## 結果分析：

從不同發射作用力的 Y-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢飛行高度最低的路徑是作用力最小 204.5gw 所產生的結果。
2. 飛鏢飛行高度最高的路徑是作用力最大 1299.7gw 所產生的結果。

從不同發射作用力的 X-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢水平速度最慢為 297.18cm/s，是作用力最小的 204.5gw 所產生的結果。
2. 飛鏢水平速度最快為 552.62cm/s，是作用力大小為 1001.9gw 所產生的結果。
3. 作用力最大的 1299.7gw 所產生的飛鏢水平速度為 474.0cm/s，不是最快的水平速度。

## 結果發現：

1. 相同條件下，發射作用力愈大，飛鏢會飛得愈高。
2. 發射作用力愈大，飛鏢飛得愈高，在空中停留的時間愈久，但水平距離不一定愈遠，必須考慮飛鏢水平速度的快慢。
3. 相同條件下，發射作用力愈大，飛鏢的水平的速度不一定愈快，必須考量飛鏢射出時的角度大小。
4. 從 Tracker 軟體中取用水平速度  $V_x$  與時間  $T$  製成  $V_x$ - $T$  圖，也可看出飛鏢在飛行過程中，水平速度並不是等速，這是因為飛鏢在飛行過程中姿態不同受空氣阻力作用也不同。

## (二)不同放鏢位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 2)

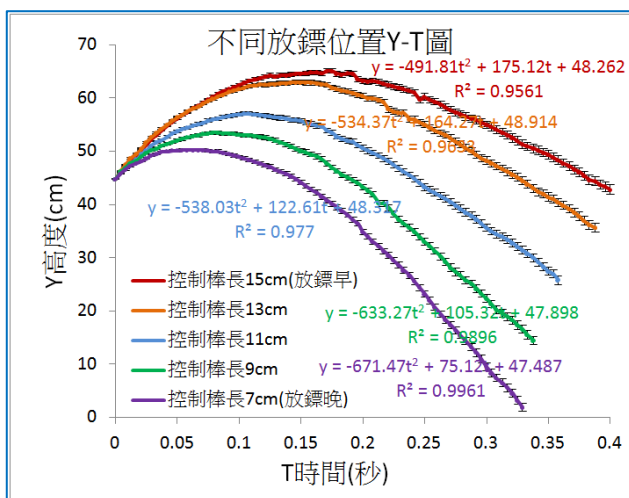


圖 4-5 不同放鏢位置 Y-T 圖

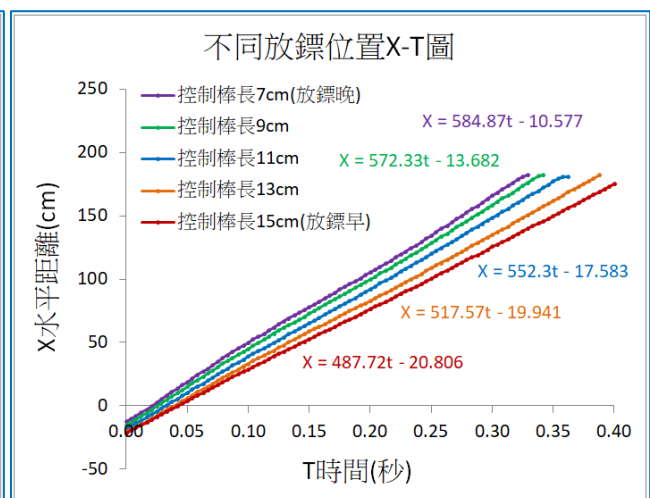


圖 4-6 不同放鏢位置 X-T 圖

## 結果分析：

從不同放鏢位置的 Y-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢飛行高度最低的路徑是最短控制棒長度為 7cm 所產生的結果。
2. 飛鏢飛行高度最高的路徑是最長控制棒長度為 15cm 所產生的結果。

從不同放鏢位置的 X-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢水平速度最慢為 487.72cm/s，是最長控制棒長度為 15cm 所產生的結果。
2. 飛鏢水平速度最快為 584.87cm/s，是最短控制棒長度為 7cm 所產生的結果，另外在飛行過程中，水平速度的變化也較大。

### 結果發現：

- 1.相同條件下，控制棒長度愈長，愈快放鏢，發射角度愈大，飛鏢會飛得愈高。
- 2.相同條件下，控制棒長度愈長，愈快放鏢，發射角度愈大，飛鏢的水平初速就愈小。
- 3.相同條件下，控制棒長度愈短，愈慢放鏢，發射角度愈小，飛鏢的水平初速就愈大。

### (三)不同夾取位置對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 3)

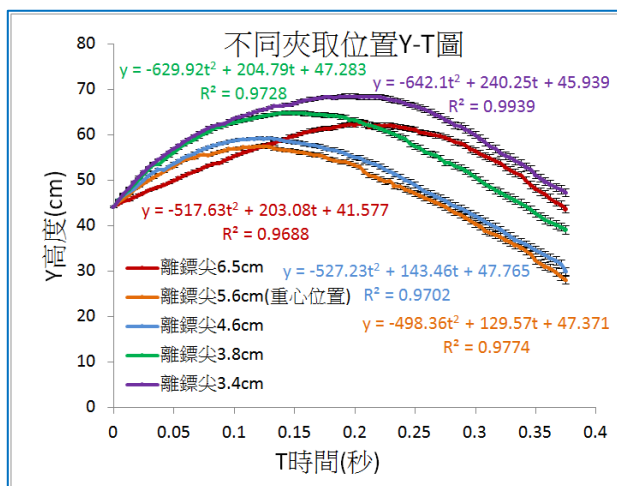


圖 4-7 不同夾取位置 Y-T 圖

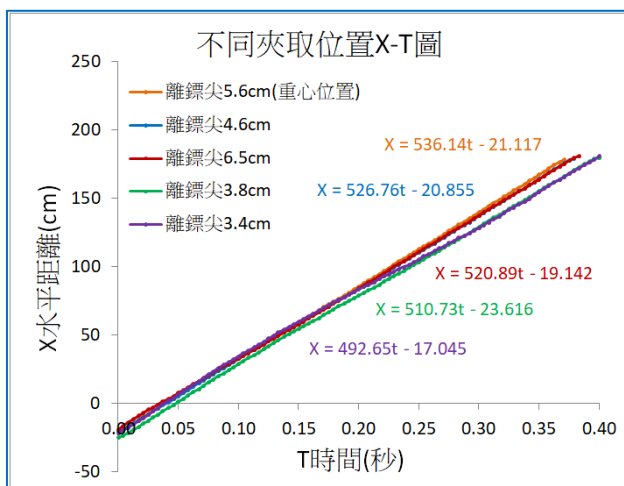


圖 4-8 不同夾取位置 X-T 圖

### 結果分析：

從不同夾取位置的 Y-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢飛行高度最低的路徑是夾取重心位置所產生的結果。
- 2.飛鏢飛行高度最高的路徑是夾取靠近鏢頭所產生的結果。
- 3.夾取飛鏢靠近鏢尾產生與其他夾取位置較不同的飛行路徑。

從不同夾取位置的 X-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢水平速度最慢為 492.65cm/s，是夾取靠近鏢頭所產生的結果，同時在飛行過程中，水平速度變化較大。
- 2.飛鏢水平速度最快為 536.14cm/s，是夾取重心位置所產生的結果。

### 結果發現：

- 1.相同條件下，夾取重心至鏢頭區域，愈靠近鏢頭，飛鏢會飛得愈高。
- 2.相同條件下，夾取重心至鏢頭區域，愈靠近鏢頭，飛鏢的水平速度就愈慢。
- 3.相同條件下，夾取重心位置，飛鏢的水平速度為最快。
- 4.夾取重心位置射鏢時，可以減少飛鏢射出後，在飛行過程的搖擺程度，讓鏢頭可以較筆直的射向目標，相反的，若拿取的位置離重心太遠，則會讓射出的飛鏢，搖擺程度較大，甚至造成鏢頭不夠筆直無法插在鏢靶上。
- 5.夾重心至鏢尾的區域位置時，射出飛鏢時，鏢翼有先逆時針平移飛出，造成偏轉角度變大，由 35 度偏移至 50 度，受回復力矩後才轉為順時針使偏轉角度變小，有別於其他射出時，是直接順時針方向平移。如圖 4-9 所示。

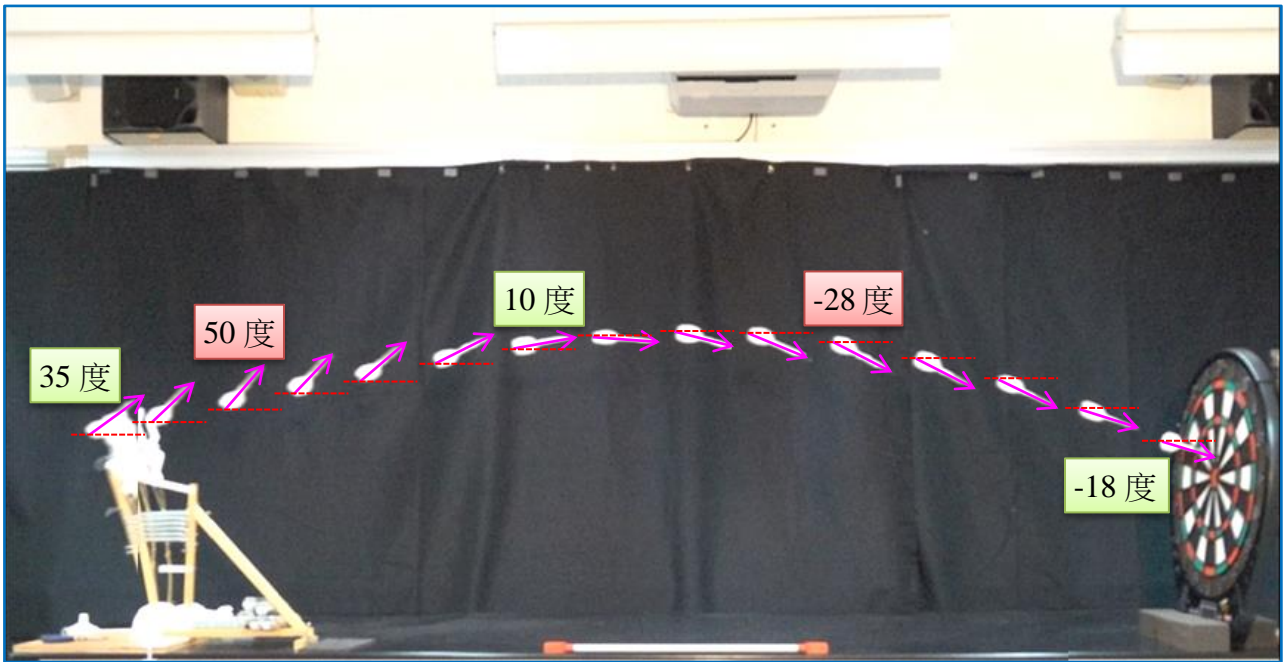


圖 4-9 夾取位置為重心到鏢尾區域的飛行路徑與飛行姿態

(四)不同夾取角度對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 4)

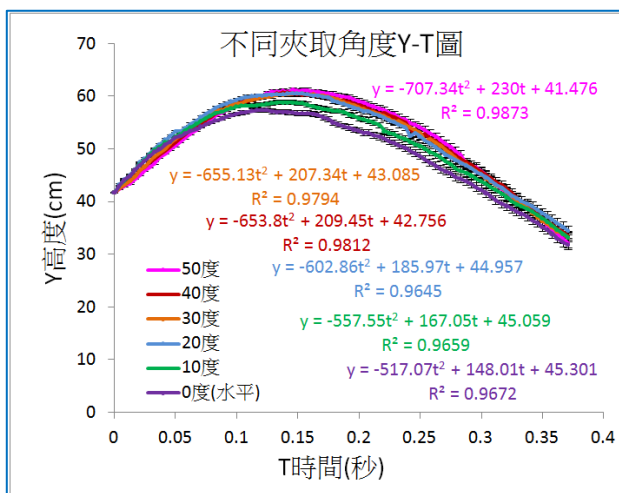


圖 4-10 不同夾取角度 Y-T 圖

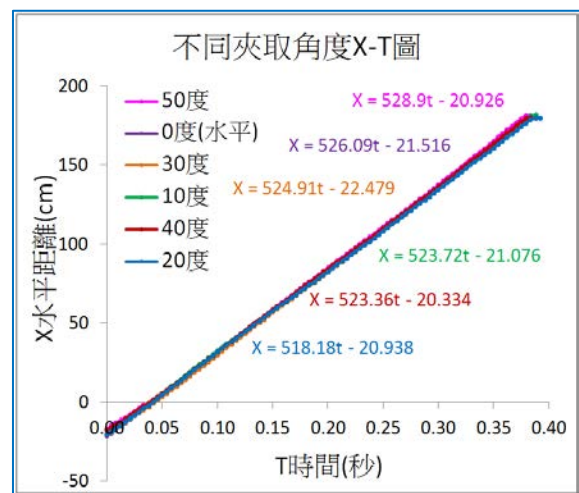


圖 4-11 不同夾取角度 X-T 圖

結果分析：

從不同夾取角度的 Y-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢飛行高度較低的路徑是夾取角度 0 度所產生的結果。
2. 飛鏢飛行高度較高的路徑是夾取角度 50 度所產生的結果。

從不同夾取角度的 X-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢水平速度最慢為 518.18cm/s，是夾取角度為 20 度時所產生的結果。
2. 飛鏢水平速度最快為 528.9cm/s，是夾取角度為 50 度時所產生的結果。
3. 不同夾取角度，水平速度變化介於 10.72cm/s，變化量約為 2%。

## 結果發現：

- 1.相同條件下，不同夾取角度，夾取角度愈大，飛行高度有愈高的趨勢，但落點位置仍會隨水平距離的不同而產生高低的不同。
- 2.相同條件下，雖然是不同的夾取角度，卻是同一支飛鏢且夾取的位置都是在重心的位置，因此對水平速度不會產生太大的差異。

## 二、飛鏢構造對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響

### (一)不同鏢翼大小對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 5)

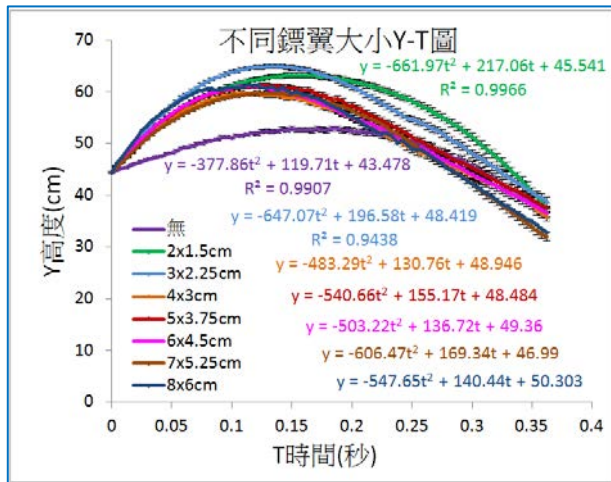


圖 4-12 不同鏢翼大小 Y-T 圖

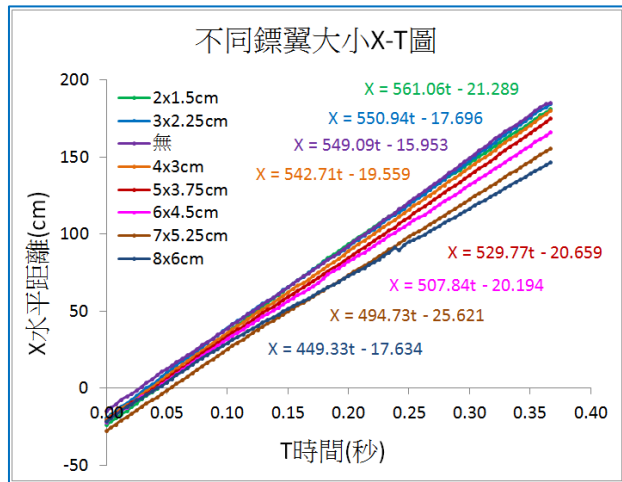


圖 4-13 不同鏢翼大小 X-T 圖

## 結果分析：

從不同鏢翼大小的 Y-T 圖中可以發現：

- 1.沒有鏢翼時，受到風力影響較小，飛鏢飛行的曲率為最小。
- 2.相同條件下，鏢翼較小時，會產生曲率較小的飛行路徑，如鏢翼為 2cm x 1.5cm。
- 3.相同條件下，鏢翼較大時，產生曲率較大的飛行路徑，如鏢翼 8cm x 6cm。

從不同鏢翼大小的 X-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢水平速度最慢為 449.33cm/s，是最大鏢翼為 8cm x 6cm 所產生的結果。
- 2.飛鏢水平速度最快為 561.06cm/s，是最小鏢翼為 2cm x 1.5cm 所產生的結果。

## 結果發現：

- 1.相同條件下，隨著鏢翼大小的增加，水平速度有愈慢的趨勢，因為鏢翼變大時，除了飛鏢的重量增加，另外因面積增加，鏢翼在空中受到阻力也會增加。
- 2.鏢翼較小時，受到回復力矩較小，重量也較輕，可以得到較快的速度。
- 3.無鏢翼，缺少足夠的回復力矩，在 200cm 距離的空中產生旋轉超過 180 度，風阻變大使速度變慢，略低於鏢翼為 2x1.5 的速度。如圖 4-14 所示。

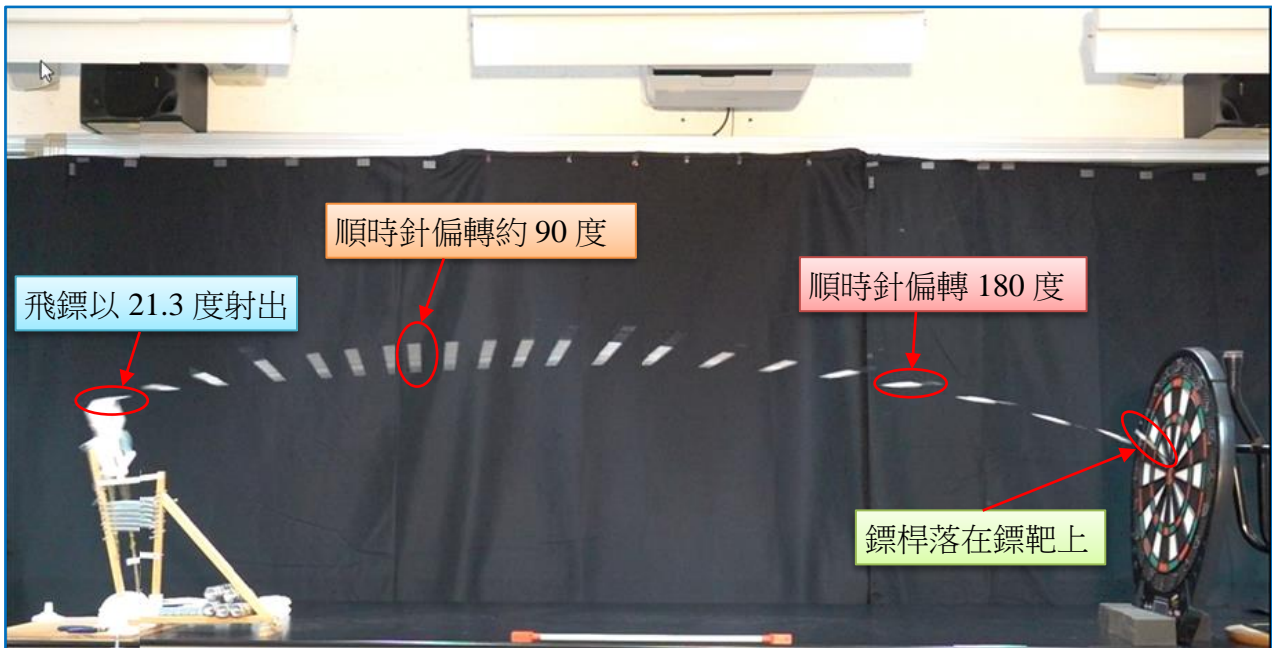


圖 4-14 無鏢翼飛鏢的飛行路徑與飛行姿態

(二)不同鏢翼形狀對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 6)

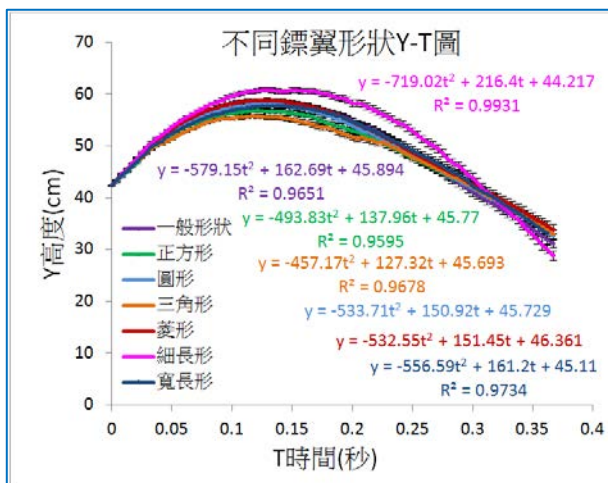


圖 4-15 不同鏢翼形狀 Y-T 圖

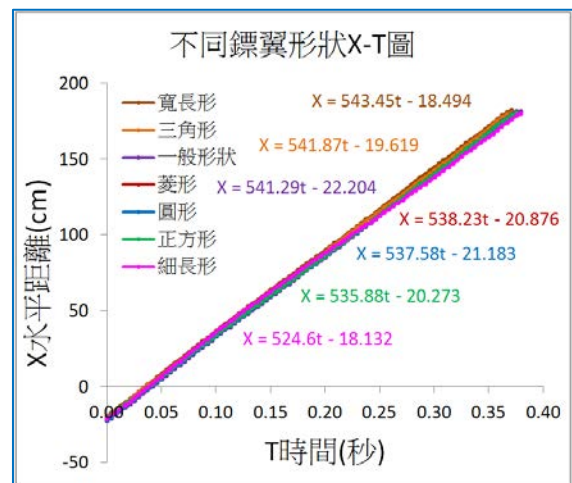


圖 4-16 不同鏢翼形狀 X-T 圖

結果分析：

從不同鏢翼形狀的 Y-T 圖中可以發現：

1. 細長形的鏢翼造成飛鏢變長，受到的回復力矩較小，0.3 秒前的飛行路徑較高。
2. 除細長形外，其他同面積大小不同形狀的鏢翼，飛行路徑大致相似。

從不同鏢翼形狀的 X-T 圖中可以發現：

1. 飛鏢水平速度最慢為 524.6cm/s，是鏢翼形狀細長形所得結果，飛行過程速度變化較大。
2. 飛鏢水平速度最快為 543.45cm/s，是鏢翼形狀寬長形所產生的結果。

結果發現：

1. 相同的面積不同鏢翼形狀，若長與寬沒有太大的比例上差異，飛行的路徑和速度也不會產

生太大的變化。

2.當鏢翼的長與寬的比例差異較大，且鏢翼變寬變短時，雖然飛鏢變短，得到較快的速度，但此時鏢翼的回復力矩較大，若飛鏢飛行過程中，偏轉角度過大，可能造成飛鏢的擺盪也變大。如圖 4-17 所示。



圖 4-17 飛鏢鏢翼為寬長形的飛行路徑與飛行姿態

(三)不同鏢翼數量對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 7)

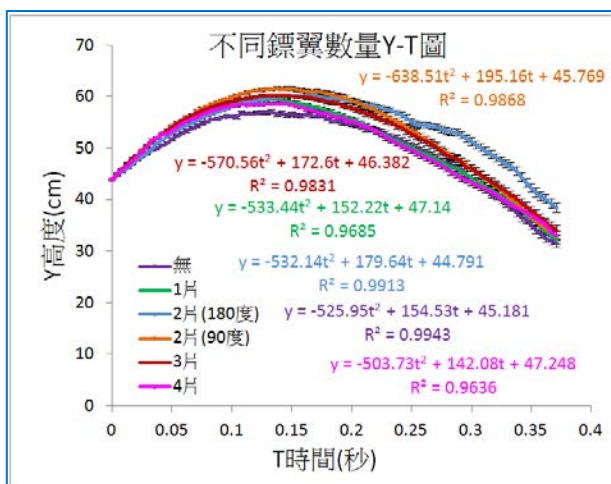


圖 4-18 不同鏢翼數量 Y-T 圖

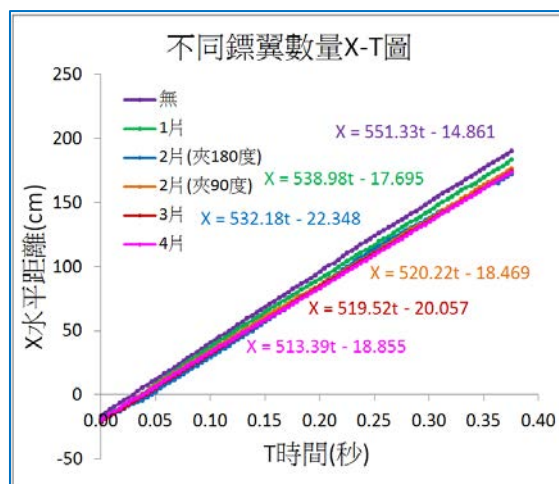


圖 4-19 不同鏢翼數量 X-T 圖

結果分析：

從不同鏢翼數量的 Y-T 圖中可以發現：

- 1.鏢翼數量 2 片且為 180 度時，在中後半段的飛行路徑中產生較明顯的變異。

從不同鏢翼數量的 X-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢水平速度最慢為 513.39cm/s，是有 4 片鏢翼時所產生的結果。
- 2.有鏢翼的情形下，飛鏢水平速度最快為 551.33cm/s，是只有 1 片鏢翼時所產生的結果。

## 結果發現：

- 1.若鏢翼數量不能保有向前飛行時姿態的受風對稱性，則飛行過程中飛鏢可能會產生自身旋轉與偏移擺盪而使飛行路徑不平順。
- 2.鏢翼數量 2 片且為 180 度時，飛行過程中若鏢翼轉動的角度無法受風力產生回復力矩時，會發生鏢身偏轉超過 90 度的情形，如圖 4-20 所示。

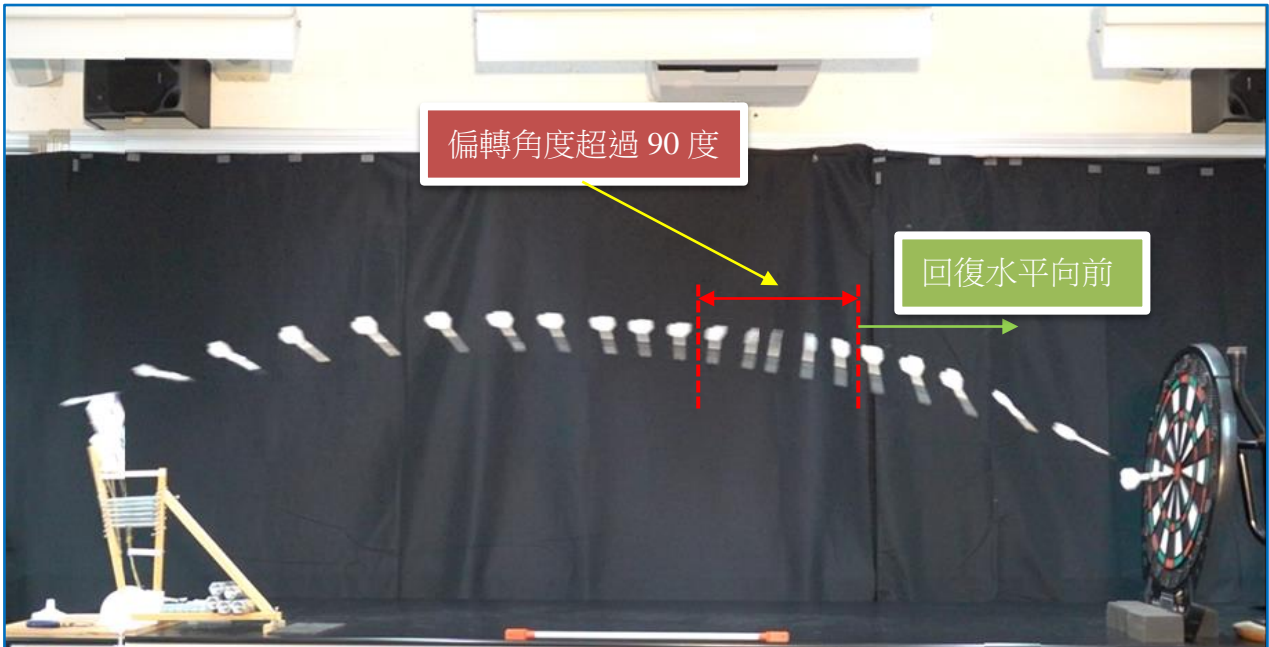


圖 4-20 飛鏢鏢翼數量為 2 片夾 180 度的飛行路徑與飛行姿態

## (四)不同鏢身長度對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響(實驗 8)

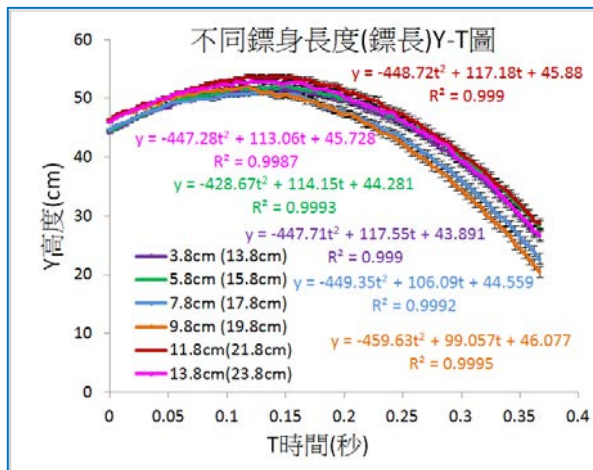


圖 4-21 不同鏢身長度 Y-T 圖

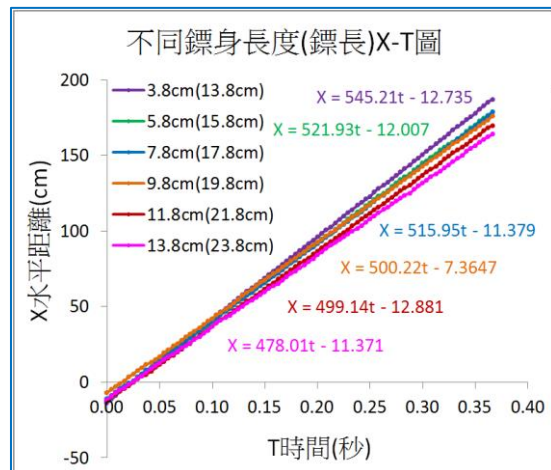


圖 4-22 不同鏢身長度 X-T 圖

## 結果分析：

從不同鏢身長度的 Y-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢鏢身長度為原長增加 6cm 時，飛行路徑相對比較低。

從不同鏢身長度的 X-T 圖中可以發現：

- 1.飛鏢水平速度最慢為 478.01cm/s，是飛鏢鏢身增長 10cm 時所產生的結果。
- 2.飛鏢水平速度最快為 545.21cm/s，是原來飛鏢鏢身 3.8cm 未增加長度時所產生的結果。

## 結果發現：

1. 隨著飛鏢鏢身長度的增加，重量也會增加若鏢翼產生的回復力矩不夠大，飛鏢在飛行過程中偏轉角度變大無法保持水平向前，甚至會轉變為垂直向下，如圖所示。
2. 飛鏢鏢身長度增加，重量也隨之增加，飛鏢水平速度就變慢。

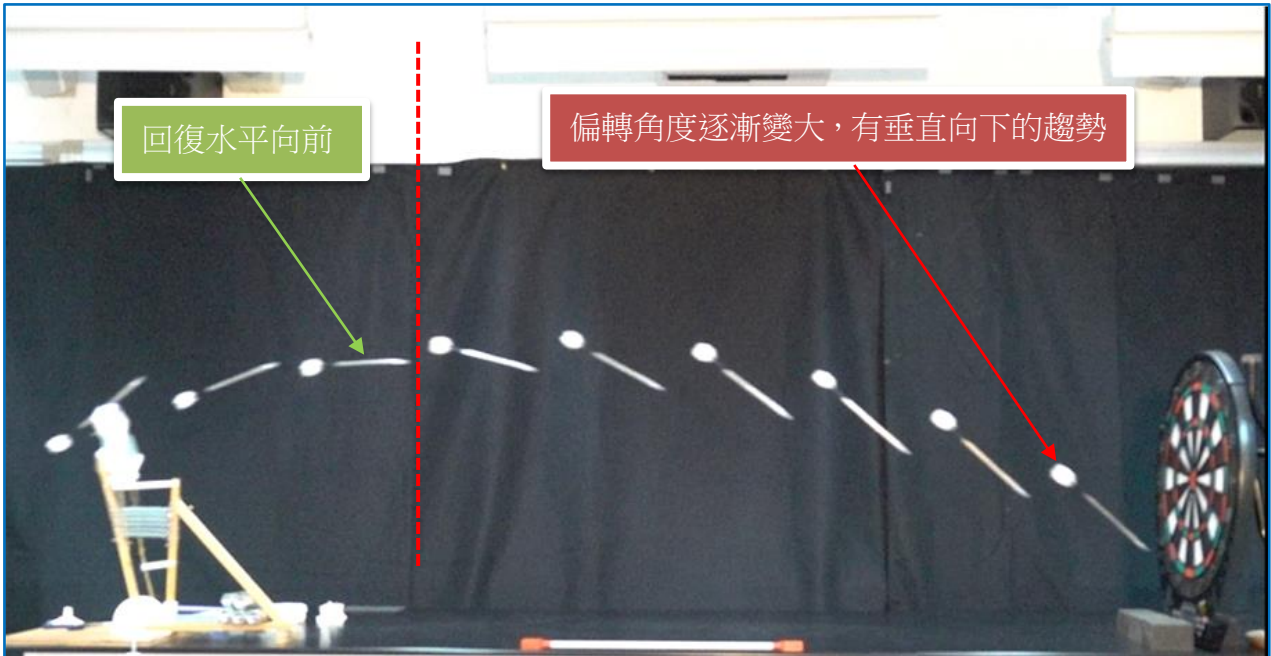


圖 4-23 飛鏢鏢身為 13.8cm(鏢長 23.8cm)的飛行路徑與飛行姿態

### 三、飛鏢鏢翼受氣流的回復作用分析

飛鏢在類風洞中鏢頭的擺盪影像分析後的數據，轉到試算表 Excel 中進行統計圖的製作，其中橫軸是時間 T，縱軸是鏢頭左右擺盪的距離，隨著時間的增加，可以看出鏢頭左右擺盪的幅度是增加或減少。

#### (一)不同初始偏轉角度的氣流回復作用分析(相同鏢翼) (實驗 9)

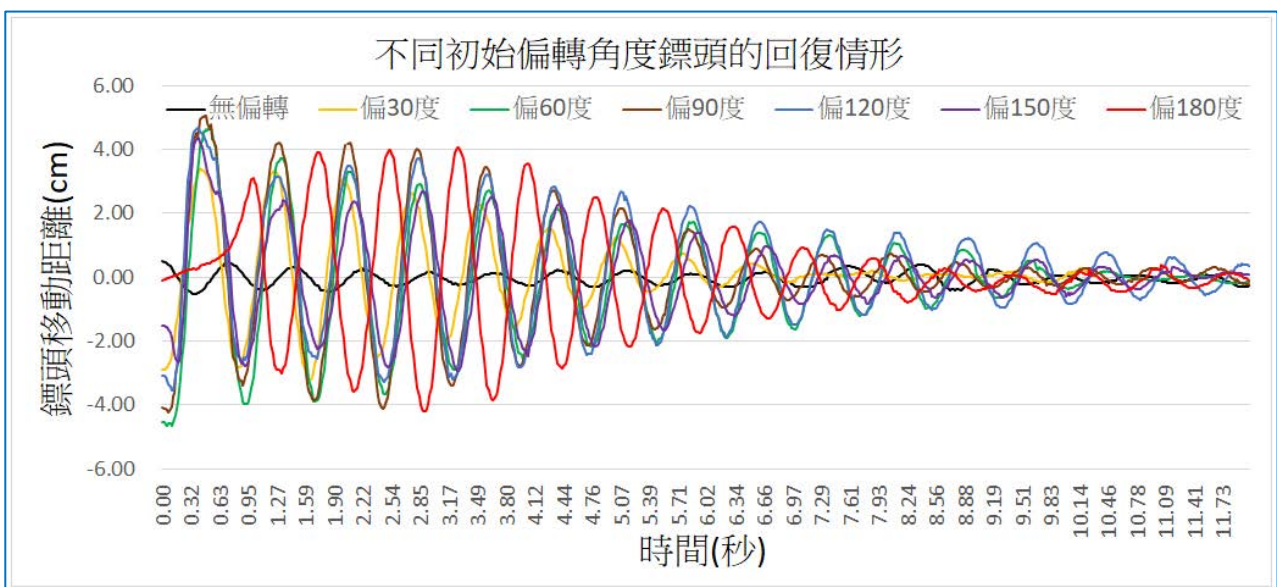


圖 4-24 不同偏轉角度鏢頭的回復情形



### 結果分析：

- 1.無偏轉角度的飛鏢在類風洞中，鏢頭的擺盪距離介於 1.01cm 之間。
- 2.有偏轉角度的飛鏢在類風洞中，鏢頭的擺盪最大距離為 9.32cm 的是偏 60 度所造成的結果，其次是 9.27cm 為偏轉 90 度所造成的鏢頭擺盪距離。
- 3.最大偏轉角度 180 度，所造成的鏢頭擺盪距離為 8.25cm，不是最大的擺盪距離。
- 4.偏轉 120 度的擺盪距離不是最大，也不是最小，但回復穩定向前的速度最慢。

### 結果發現：

- 1.飛鏢鏢頭擺盪愈大，要回復穩定向前姿態的時間要愈久。
- 2.無論飛鏢偏轉角度多大，受風力作用，產生回復力矩，最後會朝向合力矩為零，使飛鏢鏢頭向前水平飛行。

### (二)不同鏢翼大小的氣流回復作用分析(相同初始偏轉角度) (實驗 10)

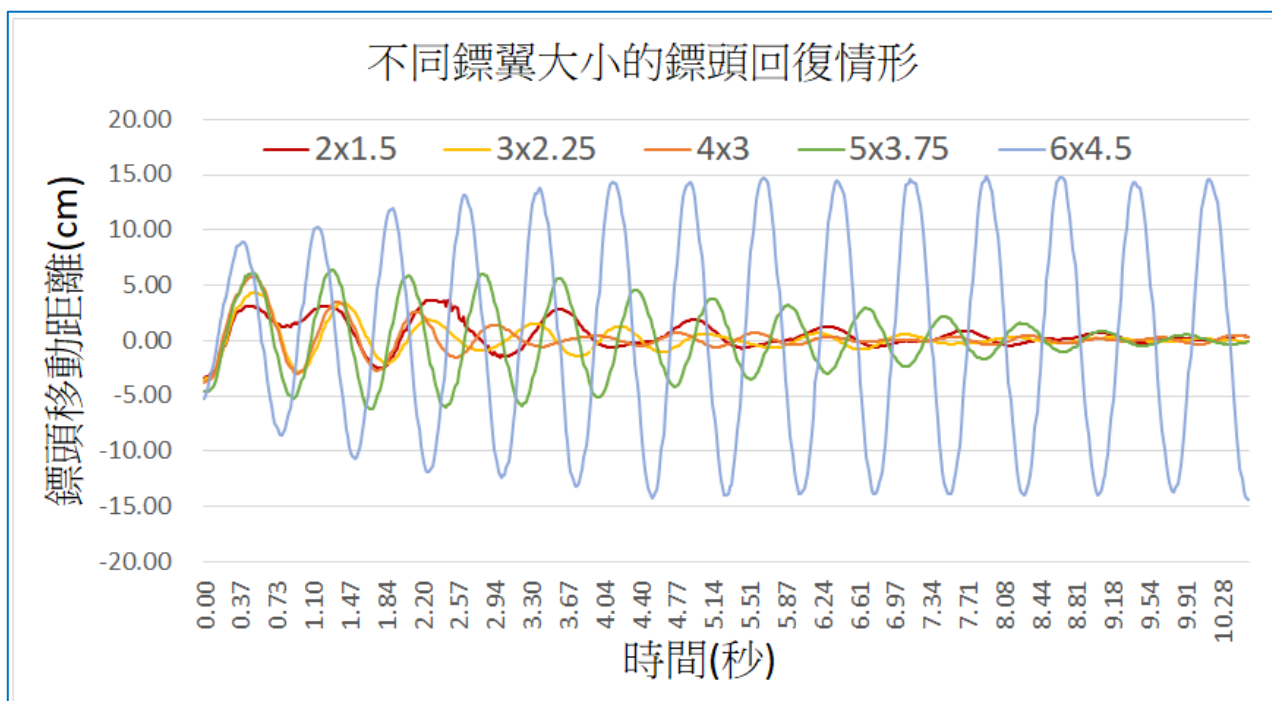


圖 4-25 不同鏢翼大小的鏢頭回復情形

### 結果分析：

- 1.無鏢翼時，飛鏢會失去保持向前的穩定性，而造成以重心為中心持續旋轉的情形產生。
- 2.有鏢翼且不同大小時，可回復穩定向前的鏢頭擺盪最大距離為 12.59cm 的是是鏢翼 5cm x 3.75cm 所造成的結果。
- 3.當有鏢翼且鏢翼小於 5cm x 3.75cm 的情形下，鏢翼愈小，鏢頭擺盪的距離也愈小。
- 4.當有鏢翼且鏢翼大於 6cm x 4.5cm 的情形下，鏢頭擺盪會逐漸增大，無法回復至穩定的向前飛行。

## 結果發現：

- 1.飛鏢鏢翼太小時，鏢頭擺盪幅度較小，擺盪的速度也較慢。
- 2.飛鏢鏢翼太大時，鏢頭擺盪會因回復力矩過大，使飛鏢無法穩定向前，產生較大的擺盪。

## 四、如何調整能使飛鏢射中靶心。

經過上述研究，了解影響飛鏢飛行的各個因素後，我們將研究的結果作為依據，用來調整飛鏢飛行的路徑，讓飛鏢可以射中鏢靶靶心的位置，這也是驗證研究的結果。首先，測量目標鏢靶與飛鏢發射器的距離，距離為 200 公分，靶心高度低於飛鏢發射位置 15 公分，依此條件，

選擇**實驗 1** 不同作用力大小中彈簧數量為 12 條，後拉的角度為 60 度，拉力值為 704 公克，放鏢位置為長 13cm 的桿子，作為第一次測試實驗的參數。

表 4-1 第一輪射飛鏢射靶心的調整

	第一次	第二次	第三次	第四次
調整方式	 飛鏢夾重心且水平	希望飛鏢落點位置向上偏移， <b>依據實驗 3</b> 所得結果，夾取的位置由重心移向較靠近鏢頭。	希望飛鏢落點位置再向上偏移， <b>依據實驗 4</b> 所得結果，夾取的角度由水平增加為 10 度。	希望飛鏢落點位置再向上偏移， <b>依據實驗 1</b> 所得結果，增加 2 條彈簧，拉力調整為 812 公克。
圖片				
中靶圖片				
結果說明	測試結果飛鏢落點位置是中間偏下。	如預期，飛鏢落點位置稍向上移動，但仍不足夠。	如預期，飛鏢落點位置稍向上移動，但仍不足夠。	飛鏢落點變高，且因飛鏢擺盪幅度較大，鏢頭無法順利插入靶中。

## 調整說明：

- 1.第二次測試實驗時，夾取位置愈靠近鏢頭，上靶高度會變較高，但已夾到最接近鏢頭的

位置，無法再夾取更前端，因此無法透過夾取位置再增加上靶的高度。

- 2.第三次測試實驗時，改用夾取鏢身傾斜 10 度，可以增加上靶高度，有明顯上升，但仍無法擊中靶心，再增加鏢身傾斜角度，無法增加上靶高度
- 3.第四次測試實驗時，作用力增加，夾取的位置在重心前方，造成出鏢後，飛鏢偏轉角度較大，擺盪也較大，飛鏢無法上靶。
- 4.使用**實驗 1** 所得結果，改用增加拉力的方式，來提高飛鏢上靶的高度位置，也可以考慮應用**實驗 2** 所得結果，加長控制棒，放鏢位置提早，也可以提高飛鏢上靶的高度，而此處使用實驗 1 的結果。
- 5.更改夾取的位置，可以調整飛行的高度，與飛鏢中靶的位置
- 6.夾取的位置愈靠近鏢頭，飛行路徑會上移，飛鏢可以較高較遠的飛行路徑。

表 4-2 第二輪射飛鏢射靶心的調整

	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次
調整方式	希望飛鏢落點向下偏移，且飛鏢能上靶，夾取位置調整為重心且角度為水平。	希望飛鏢落點向上偏移，依據 <b>實驗 3</b> 所得結果，夾取的位置由重心移向較靠近鏢頭。	希望飛鏢落點向下偏移，依據 <b>實驗 3</b> 所得結果，夾取的位置由靠近鏢頭移向較靠近重心。	希望飛鏢落點略向上偏移，依據 <b>實驗 3</b> 所得結果，夾取的位置介於第六次和第七次中間。	希望飛鏢落點略向右偏移，調整底座角度，順時針轉動。
調整圖片					
中靶圖片					
結果說明	如預期，飛鏢能上靶但落點高度偏低且偏左。	落點偏高偏左，夾取位置向鏢頭移動太多，造成落點偏高。	如預期，落點高度下降，但略為偏低且偏左。	如預期，落點高度與靶心同高，但仍偏左。	落點中靶心，達成目標。飛行路徑如下圖所示。

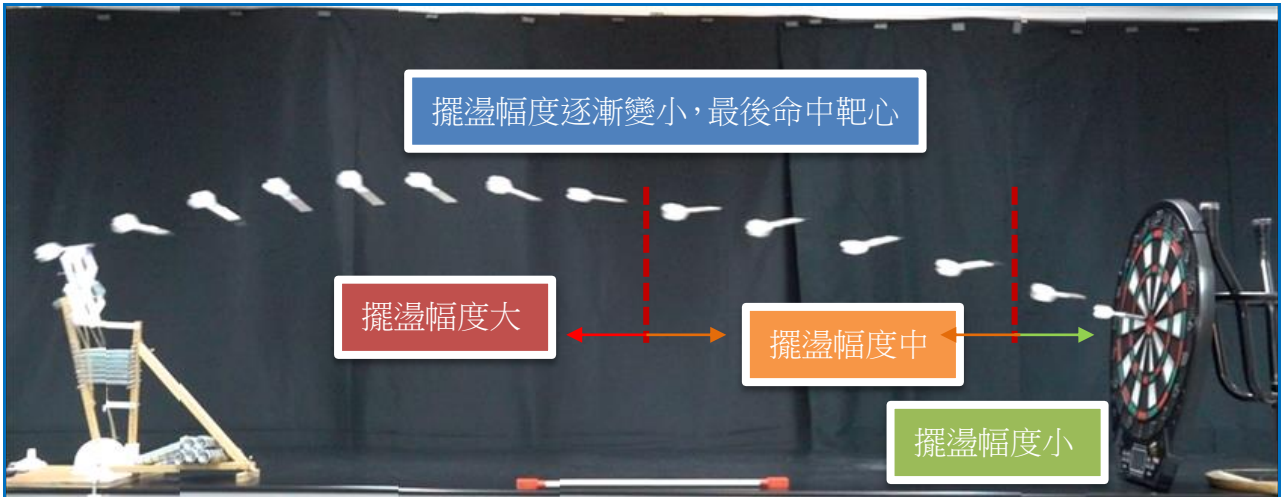


圖 4-26 飛鏢射中靶心的飛行路徑與飛行姿態

## 伍、討論

- 一、飛鏢發射器在相同彈簧數量(12 條)情況下，隨著後拉角度的增加，拉力並沒有等比例的增加，而有逐漸減緩的情形，後拉超過 75 度後，反而拉力轉變為減少的狀況，如圖 5-1 所示。推估與彈簧受拉的角度，作用力分力產生相抵消的情況，因此實驗中選擇控制彈簧數量來決定作用力的大小。
- 二、射飛鏢是屬於拋體運動中的斜向拋射或水平拋射，但因飛鏢的外形為偏長條形且有鏢頭、鏢身、鏢桿與鏢翼的構造，以油土製作一個與飛鏢等重量的圓球，同樣以飛鏢發射器發射，比較圓球和飛鏢的飛行路徑，發現圓球飛行路徑較為平順，而飛鏢因形狀與飛行過程中的不同姿態，受氣流作用產生擺盪，高度略高且有晃動的情形，如圖 5-2 所示。

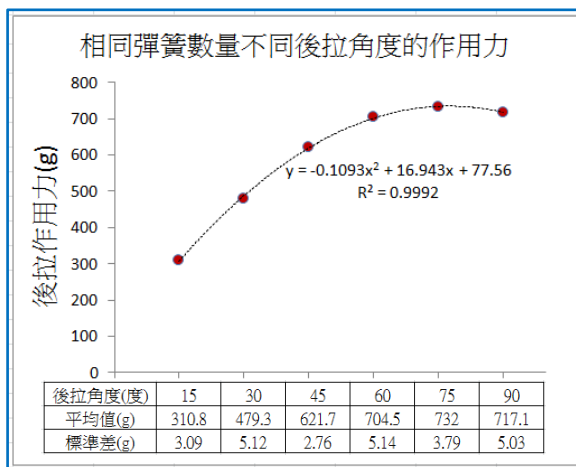


圖 5-1 彈簧後拉角度的作用力大小

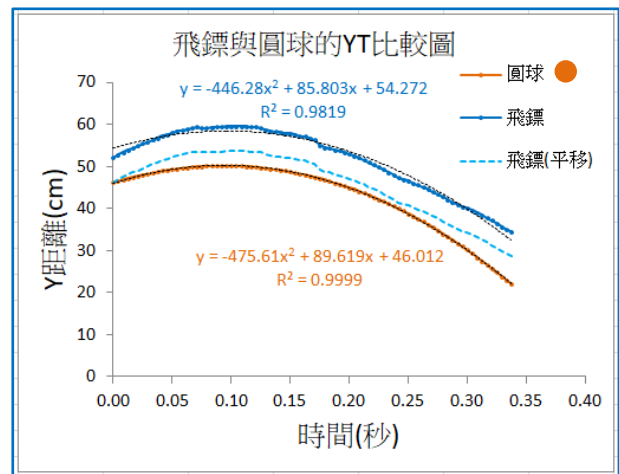


圖 5-2 飛鏢與圓球的飛行路徑比較

三、實驗 6 相同面積不同鏢翼形狀的比較中，發現相同條件下，細長形鏢翼飛行高度較高，而寬長形的鏢翼獲得較快的速度，進一步在類風洞裝置中測試比較，發現細長形鏢翼的鏢頭可以回復穩定向前的飛行狀態，而寬長形鏢翼的鏢頭則會產生較大且不穩定的擺盪狀態，如圖 5-3 所示，是因為寬長形的鏢翼使飛鏢長度變短且又因產生較大的回復力矩，而造成飛鏢不穩定的擺盪的情形。

四、因應循環扇的三種風力大小，測試不同風力大小情況下，飛鏢偏轉 90 度時飛行與回復的情況，如圖 5-4 所示，因為當飛鏢的水平速度愈快時，相對地，有如風的速度變快，當風力強時，鏢頭的擺盪較大，擺盪的頻率也較多，而當風力小時，鏢頭的擺盪較小，擺盪的頻率也較少，但較快回復到擺盪較小的穩定狀態，是風力弱時。

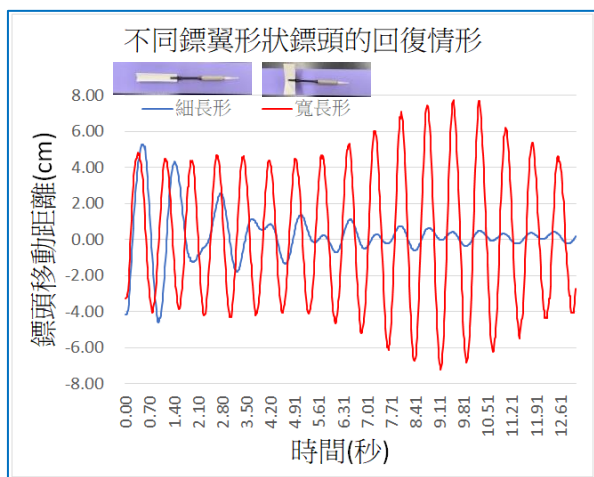


圖 5-3 細長形與寬長形鏢翼鏢頭回復情形

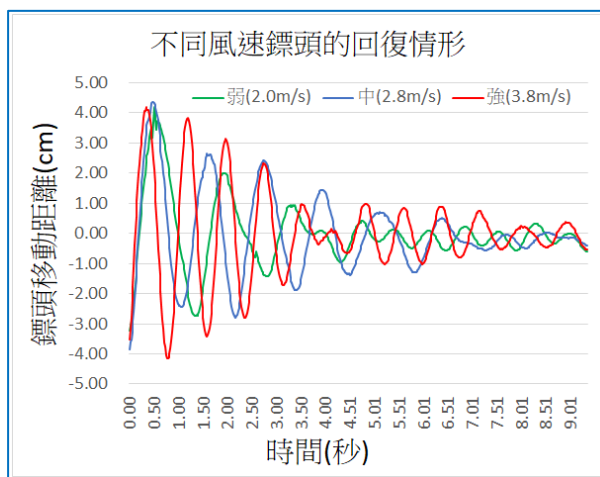


圖 5-4 三種不同風速鏢頭回復情形

五、夜市射飛鏢遊戲大部份使用的是公鏢，是鏢翼、鏢桿一體成型，相對於專業飛鏢，重量較輕(5.9gw)，飛鏢長度較短(11.1cm)，從研究結果中發現，相同條件下 長度較短，飛鏢速度會較快，風速也相對較快，產生的回復力矩也較大，加上飛鏢重量也較輕，故會使飛鏢擺盪的幅度也變大，因此飛行較不穩定，較不容易控制射中的目標。

六、飛鏢射出時的角度，會由拿鏢時的角度與放鏢時的位置所決定，一開始拿鏢，鏢身為水平，若是放鏢的位置較快，飛鏢射出角度會較大，飛行路徑曲率也較大，而若是放鏢的位置較慢，飛鏢射出角度會較小，飛行路徑曲率也較小，想要再進一步調整飛鏢射出的角度，可調整拿鏢時鏢身與水平的夾角。

## 陸、結論

一、射鏢與拿鏢對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(一)在相同條件，不同發射作用力大小的情況下，**作用力愈大**，飛鏢飛行路徑會飛得愈高，而飛鏢的水平的速度不一定愈快，必須**考量飛鏢射出時的角度大小**。

(二)在相同條件，不同放鏢位置的情況下，**愈快放鏢**，發射角度愈大，飛行路徑較高，**水平**

初速較小；且飛鏢在飛行過程中，因姿態不同受空氣阻力也不同，水平速度不是等速。

(三)在相同條件，不同夾取位置的情況下，夾取的位置介於重心與鏢頭之間且較靠近鏢頭時，飛鏢飛行高度較高，拿鏢位置在重心時，可以得到最大的水平速度。

(四)在相同條件，不同夾取角度的情況下，夾取角度愈大，飛行高度有愈高的趨勢，而在水平速度沒有太大的差異產生。

## 二、飛鏢構造對飛鏢飛行路徑與水平速度的影響。

(一)在相同條件，不同鏢翼大小的情況下，鏢翼較大，受風力作用較大，飛行路徑高度較低，曲率較大，水平速度也較慢。

(二)在相同條件，相同面積不同鏢翼形狀的情況下，若鏢翼長與寬沒有太大的比例上差異，飛行的路徑和速度也不會產生太大的變化。

(三)在相同條件，不同鏢翼數量的情況下，若鏢翼數量不能保有向前飛行時姿態的受風對稱性，則飛行過程中飛鏢可能會產生自身旋轉與偏移擺盪而使飛行路徑不平順，而隨著鏢翼數量的增加，水平速度會變慢。

(四)在相同條件，不同鏢身長度的情況下，隨著飛鏢鏢身長度的增加，重量也增加，若鏢翼產生的回復力矩不夠大，飛鏢在飛行過程無法保持水平向前，甚至會轉變為垂直向下，而飛鏢水平速度也因鏢身變長變重就變慢。

## 三、飛鏢鏢翼的氣流分析。

(一)相同條件，不同初始偏轉角度的情況下，偏轉 60 度與 90 度的擺盪距離較大，偏轉 120 度的回復速度最慢，但無論偏轉角度多大，最後會朝向合力矩為零，使飛鏢鏢頭向前水平飛行。

(二)相同條件，不同鏢翼大小的情況下，鏢翼較小時，鏢頭擺盪幅度較小，擺盪的速度也較慢，鏢翼太大時，鏢頭擺盪會因回復力矩過大，使飛鏢無法穩定向前，產生較大的擺盪情形。

## 四、如何調整能使飛鏢射中靶心。

1.粗調階段：首先依射鏢位置距離靶心的水平距離和垂直高度，決定作用力的大小與放鏢位置，水平夾取飛鏢重心減少擺盪，讓飛鏢落點能在靶心或接近靶心。

落點右偏移，將發射器逆時鐘轉；落點左偏移，將發射器順時鐘轉。

2.細調階段：落點要低：減少彈簧數，減小作用力；落點要高：增加彈簧數，增加作用力。落點右偏移，將發射器逆時鐘轉；落點左偏移，將發射器順時鐘轉。

3.微調階段：落點要高：夾取位置往鏢頭方向移動或增加夾取角度。

落點右偏移，將發射器逆時鐘轉；落點左偏移，將發射器順時鐘轉。

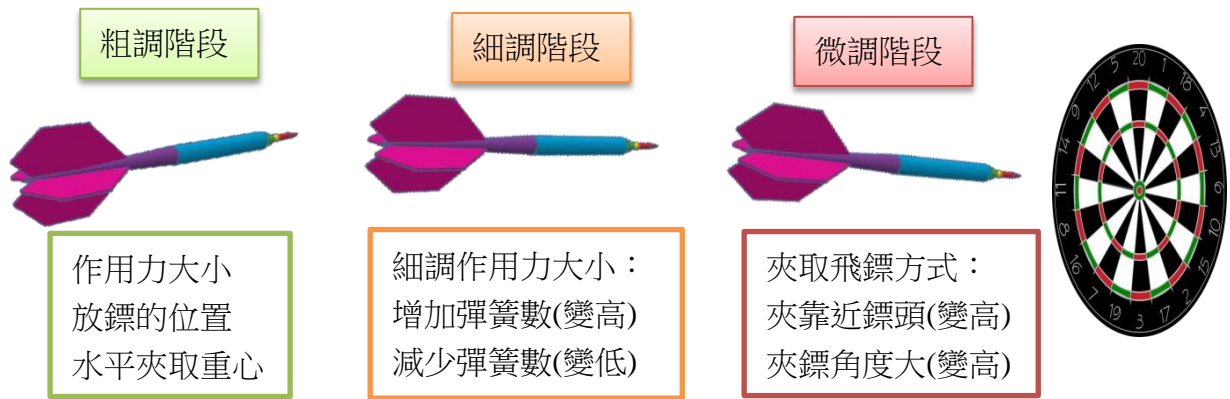


圖 6-1 調整飛鏢射中靶心的方式

## 柒、參考文獻資料

### 一、參考書籍

1. 國小自然科學第二冊，單元二空氣和水(2021)。台南市：南一書局。
2. 國小自然科學第八冊，單元一力與運動(2022)。台南市：翰林出版。第四版。
3. 國小自然科學第八冊，單元二簡單機械(2022)。台南市：翰林出版。第四版。
4. 郭棋安、林澤賢、賴淳璿、江郁翔、鐘心好、陳錯灝(2016)·~波后尼、波內嚕~原住民傳統弓箭的製作與研究。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品，國小組生活與應用科學科。

### 二、網路資源

1. 維基百科-飛鏢。取自  
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%A3%9B%E9%8F%A2>
2. 夜市遊戲經典場景：射氣球。文：郭家銘（科學月刊編輯）。取自  
<https://www.thenewslens.com/article/160367>
3. 弓與箭(2) 箭為何有羽？簡易風洞實驗。取自  
<http://n.sfs.tw/content/index/11996>
4. 弓與箭(3) 箭為何追風？箭與風向計。取自  
<http://n.sfs.tw/content/index/11998>
5. 科學小玩意-弓與箭(10) 箭簇與重心。取自  
<http://n.sfs.tw/content/index/12012>
6. 飛鏢專賣網 - 花鳥風月(新手提供購買飛鏢的完全指南)。取自  
<https://www.darts.com.tw/beginner/buy/>
7. 平面運動-拋體運動。取自  
<https://sites.google.com/site/pingmianyundong/throw>

## 【評語】 080101

本作品自製飛鏢發射裝置、類風洞實驗裝置，運用 Tracker 記錄飛行路徑，分析  $x-t$ ,  $y-t$ 、飛行姿態(角度)、不同初始偏轉角度與不同鏢翼大小的氣流回復作用。雖然系統複雜，實驗數據的呈現上較難有定量或是定性上的通用結論，但是能夠自制量測系統，並且有條理地調整變因進行探究，已經具體實踐研究精神與方法。



## 作品簡報

The background features a large, light blue circular logo for the National Primary & High School Science Fair. The logo contains a stylized figure of a person with arms raised, and the text 'National Primary & High School Science Fair' is written around the top inner edge, and '中小學科學展覽會' is written around the bottom inner edge.

# 人人善射-自製發射器 探究影響飛鏢飛行的因素

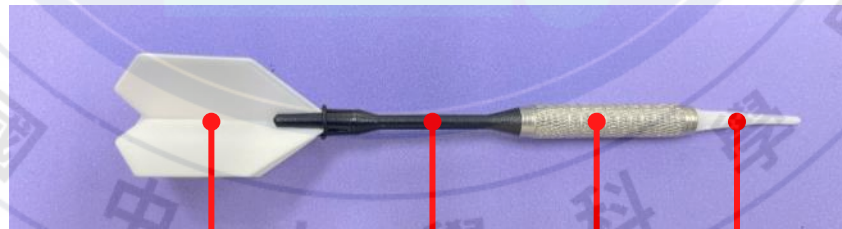
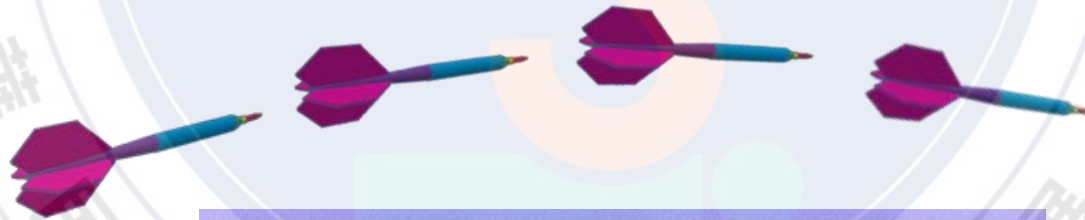
---

組別：國小組

科別：物理科

## 研究問題

- ◆ 不同的射鏢與拿鏢條件對飛鏢飛行有何影響？
- ◆ 不同飛鏢構造條件對飛鏢飛行有何影響？
- ◆ 飛鏢受氣流作用的擺盪情形為何？
- ◆ 如何調整變因控制飛鏢飛行路徑射中靶心？

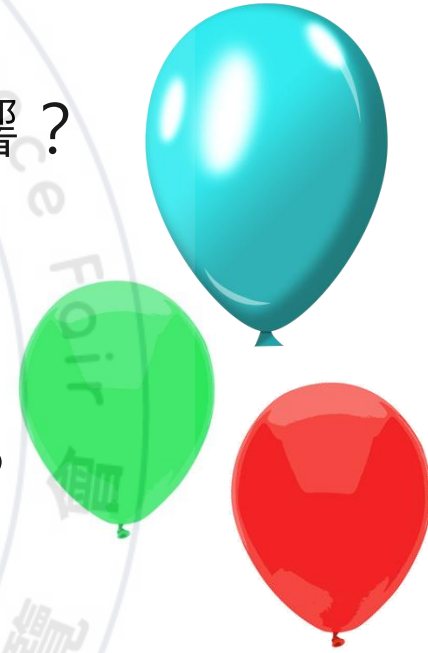


鏢翼

鏢桿

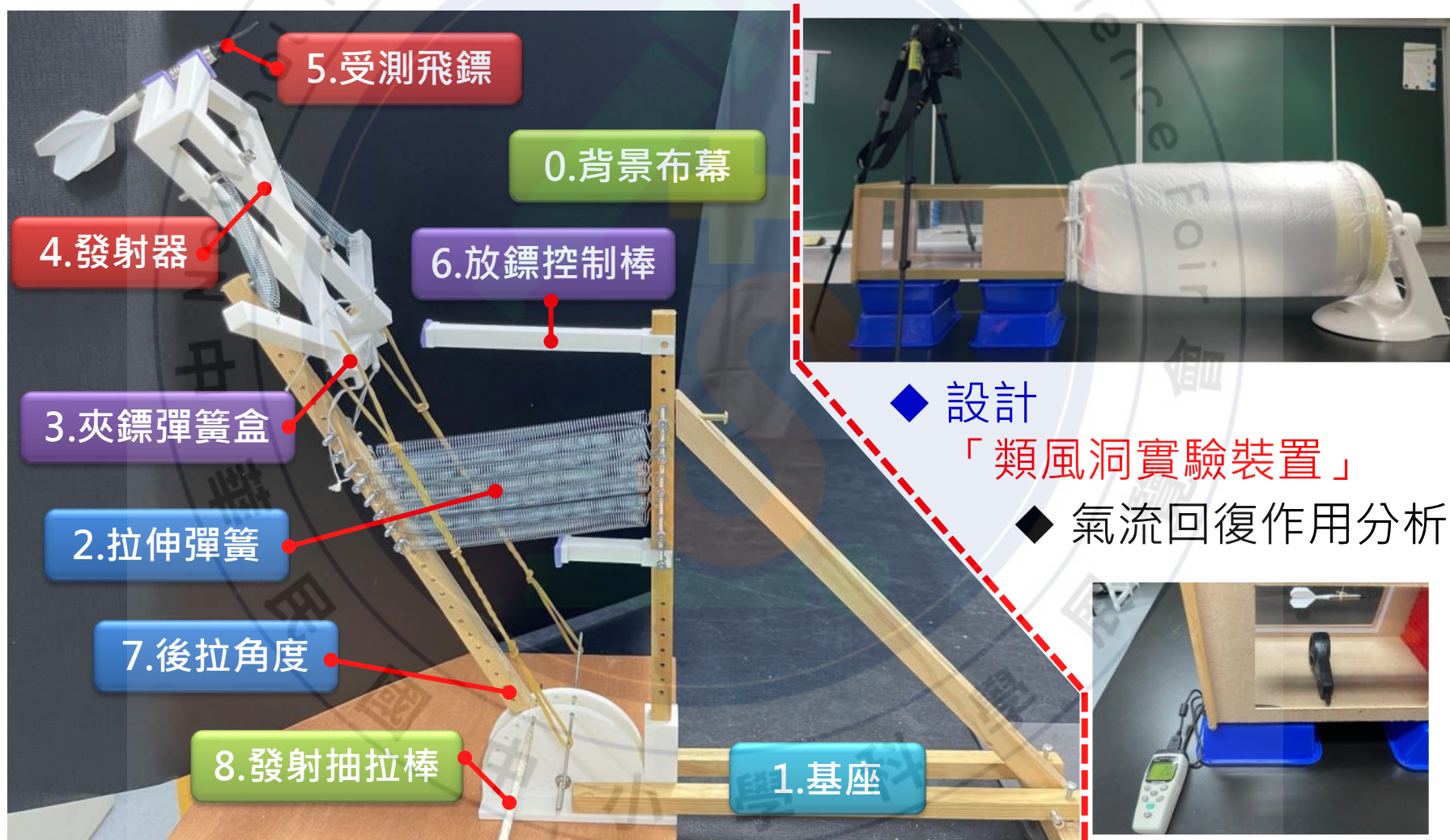
鏢身

鏢頭



## 研究設備及器材

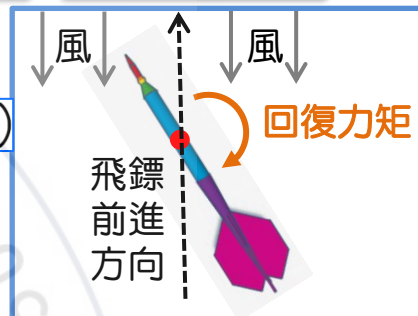
- ◆ 設計「飛鏢發射裝置」
- ◆ 避免人為作用力、角度、放鏢時間的不同



- ◆ 設計「類風洞實驗裝置」
- ◆ 氣流回復作用分析

## 數據取得與研究方法

$$\text{力矩}(L) = \text{作用力}(F) \times \text{力臂}(d)$$

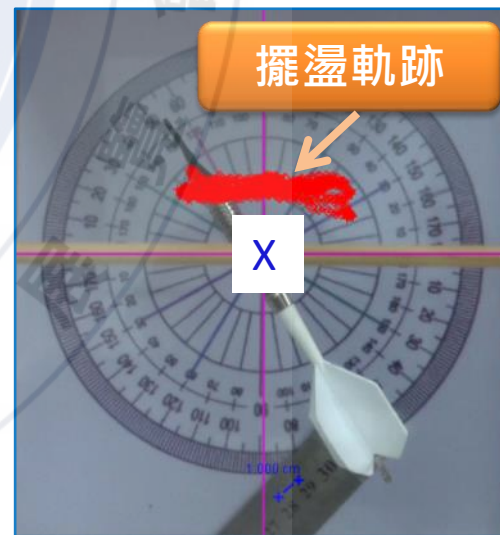
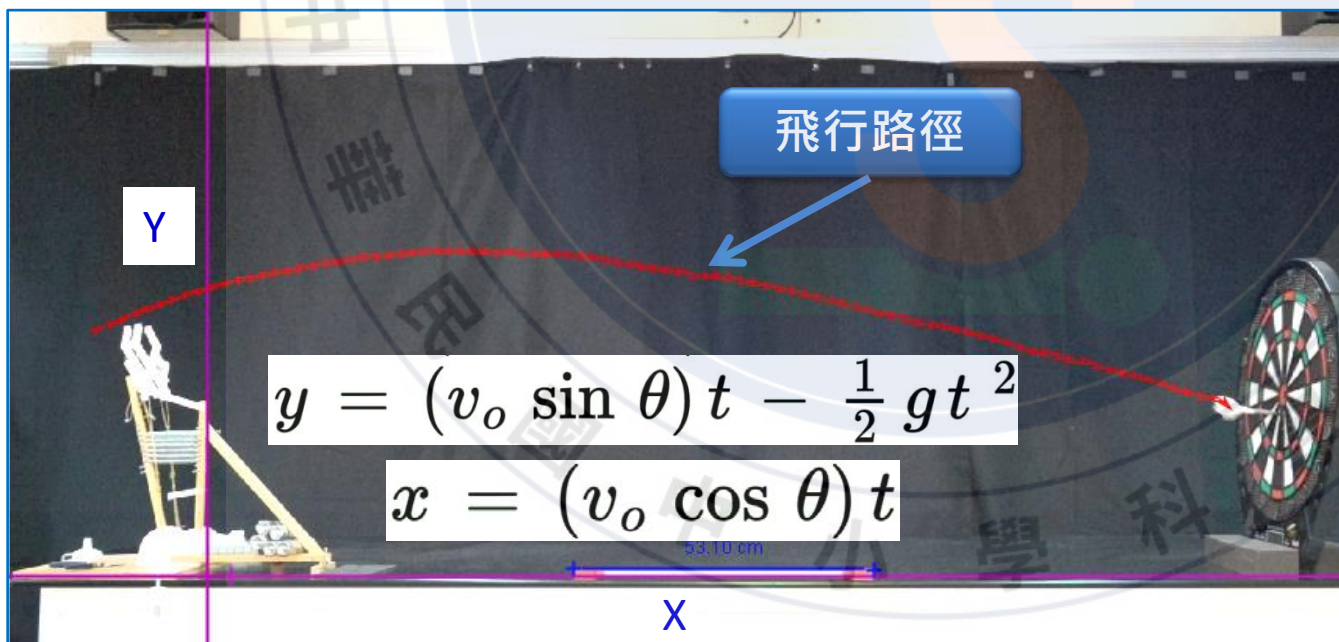


1. 利用影像追蹤分析軟體 **Tracker**，追蹤鏢翼的飛行路徑。

取得時間(T)、高度(Y)、水平距離(X)等數據，並轉換成Y-T圖與X-T圖。

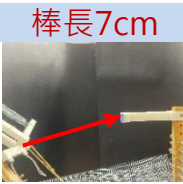
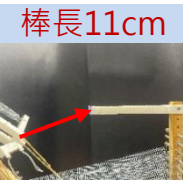
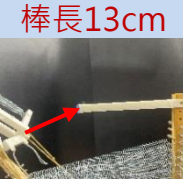
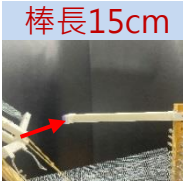
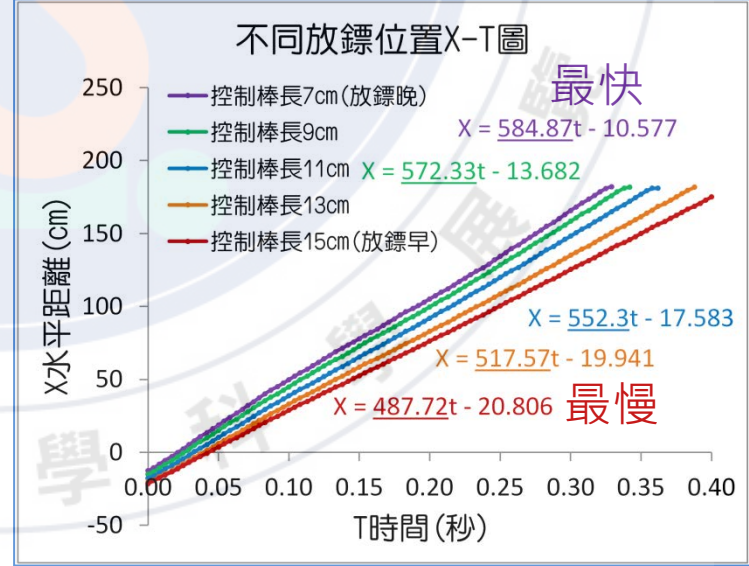
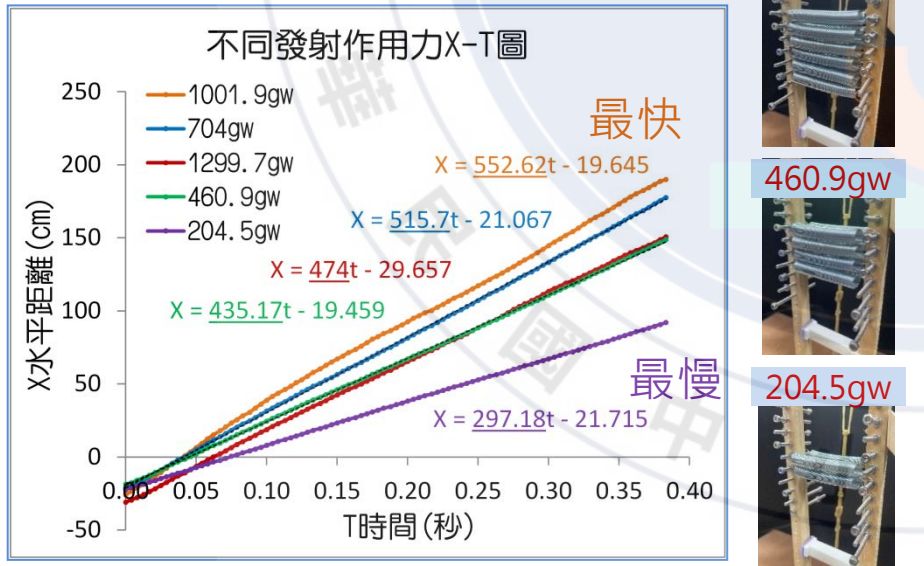
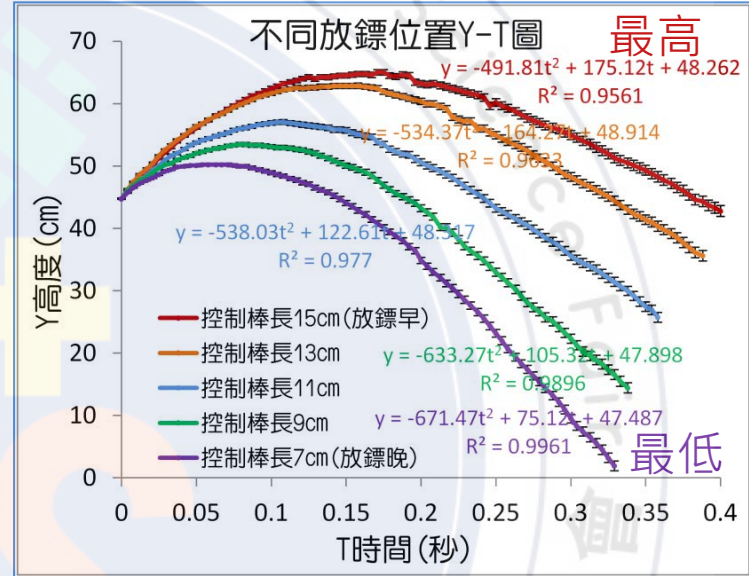
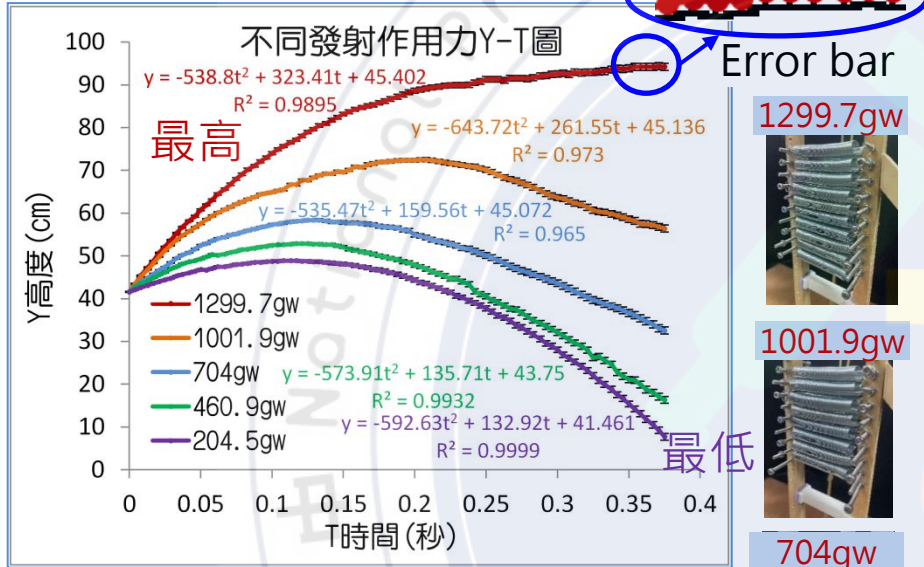
2. 利用類風洞實驗裝置，追蹤鏢頭的擺盪軌跡。

取得時間(T)、擺盪距離(X)等數據，並轉換成飛鏢擺盪回復情形圖。

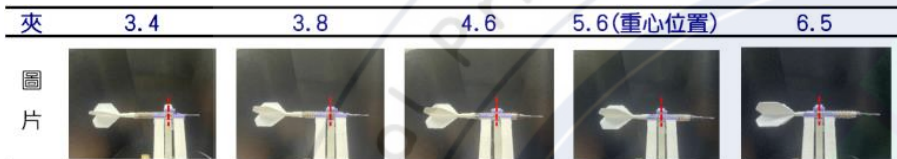
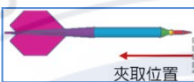


# 不同發射作用力(不同發射初速)

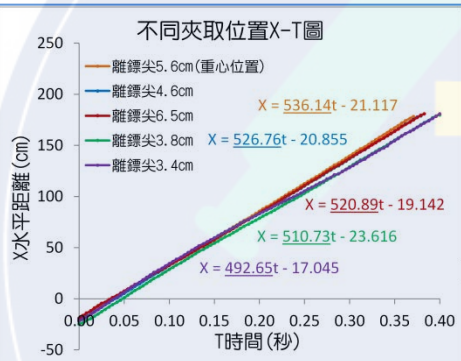
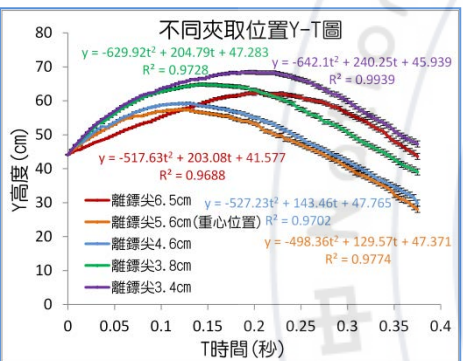
# 不同放鏢位置(不同發射仰角)



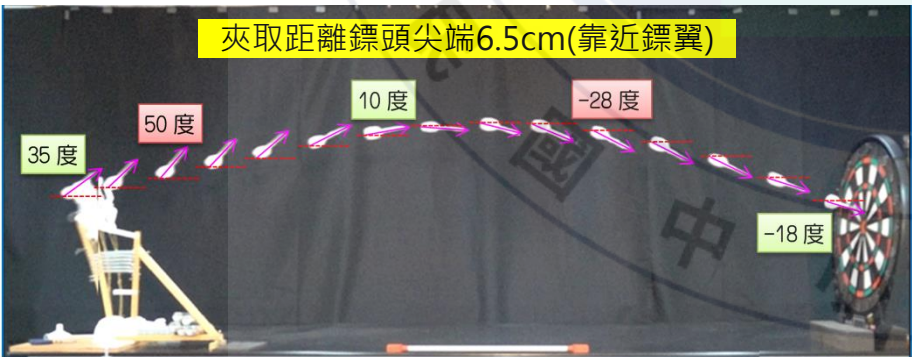
# 不同夾取位置(拿鏢位置)



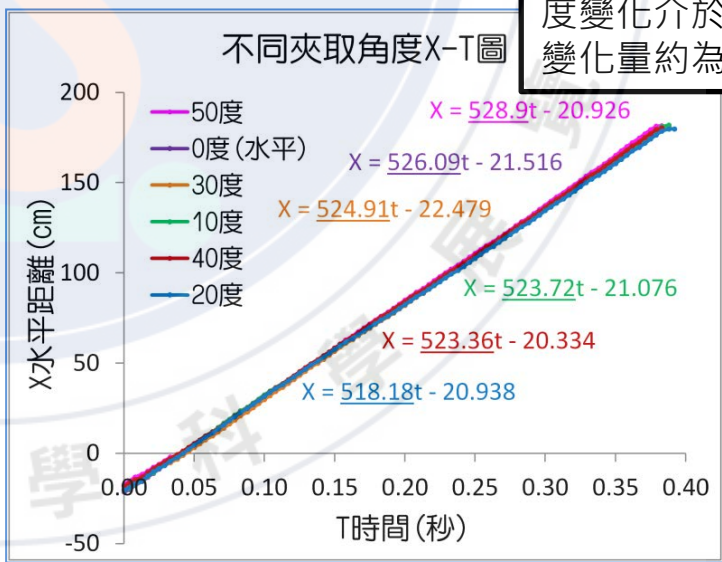
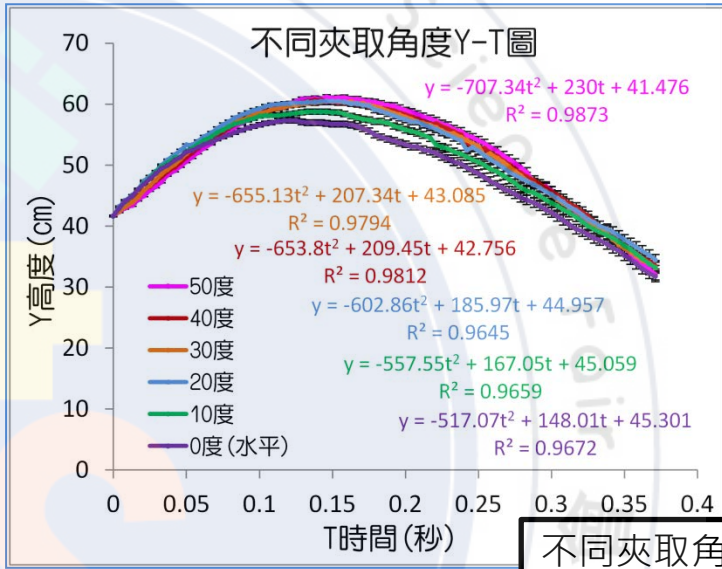
夾：距離鏢頭尖端 (cm)



- ◆ 夾取的位置介於重心與鏢頭之間且較靠近鏢頭時，飛鏢飛行高度較高。
- ◆ 拿鏢位置在重心，可以得到最大的水平速度。



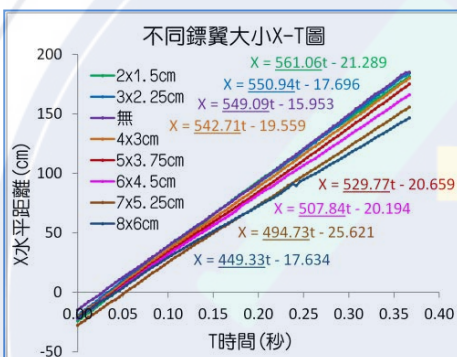
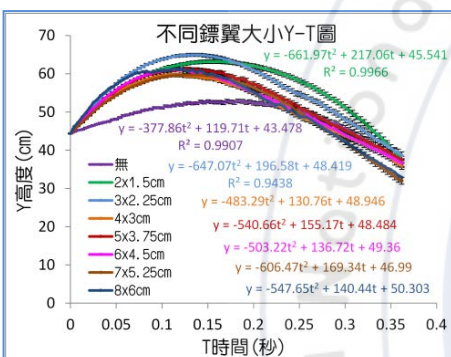
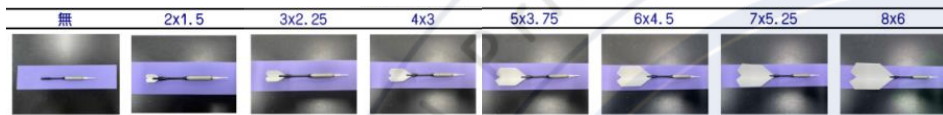
# 不同夾取角度(拿鏢角度)



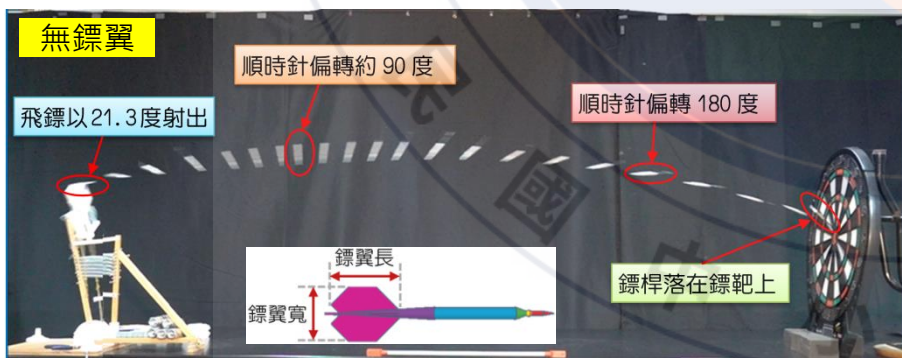
不同夾取角度，水平速度變化介於10.72cm/s，變化量約為2%。



## 不同鏢翼大小(相同鏢翼形狀)



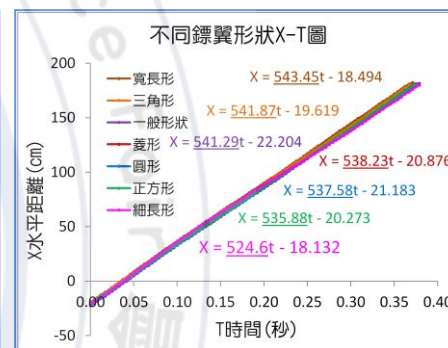
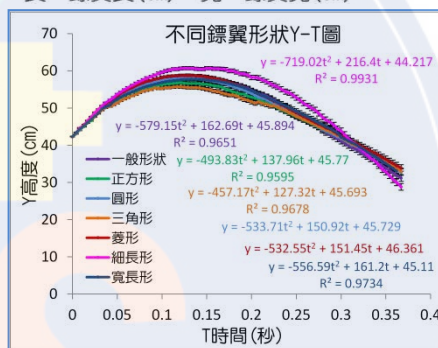
- 鏢翼較大，受風力作用較大，飛行路徑高度較低，水平速度也較慢。
- 無鏢翼，缺少回復力矩，在空中產生旋轉超過180度，風阻變大使速度略低於鏢翼為2x1.5cm的速度。



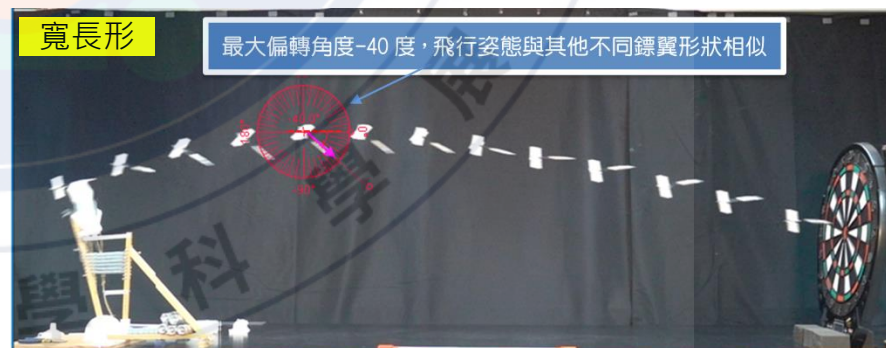
## 不同鏢翼形狀(相同鏢翼面積)

	一般	正方形	圓形	三角形	菱形	細長形	寬長形
圖片							
長	4	3	3.4	3	4.2	6	1.5
寬	3	3	3.4	6	4.2	1.5	6

長：鏢翼長 (cm)。寬：鏢翼寬 (cm)。



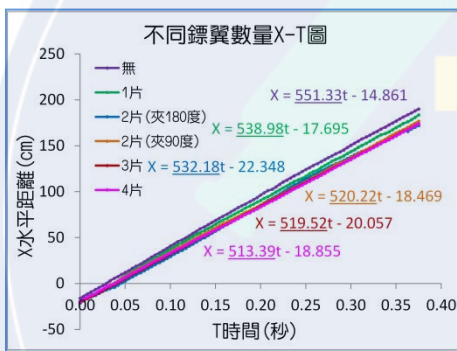
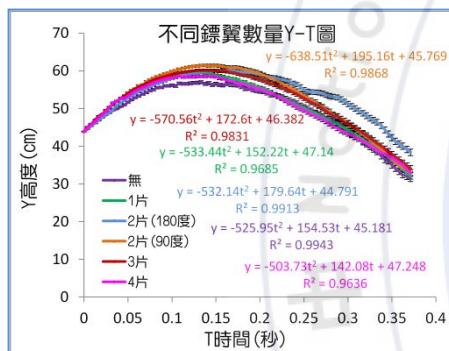
- 鏢翼長與寬沒有太大的比例上差異，飛行的路徑和速度也不會產生太大的變化。
- 當鏢翼的長與寬的比例差異較大，回復力矩較大，可能造成飛鏢的擺盪也變大。



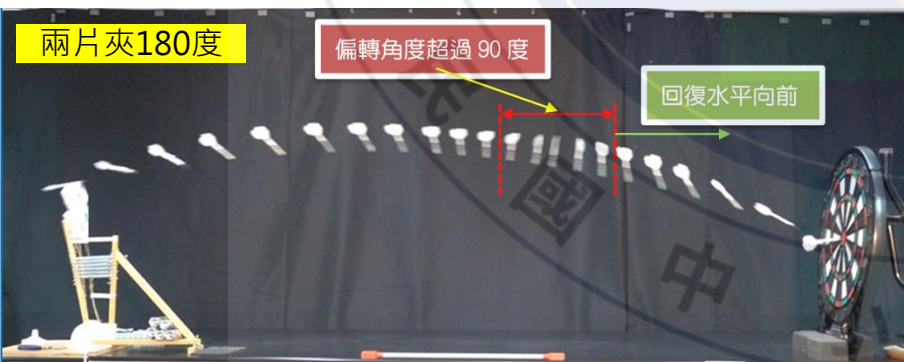


## 不同鏢翼數量(相同飛鏢大小)

鏢翼數量	0	1	2 (夾 180度)	2 (夾 90度)	3	4
圖片						
重量 (g)	15.1	15.4	15.7	15.7	16	16.3

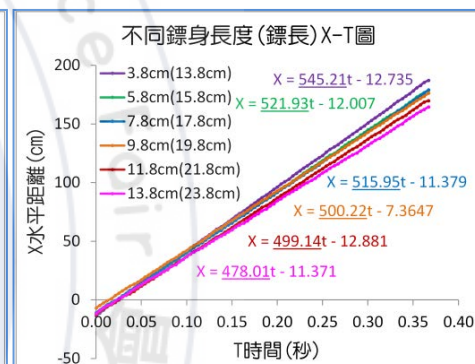
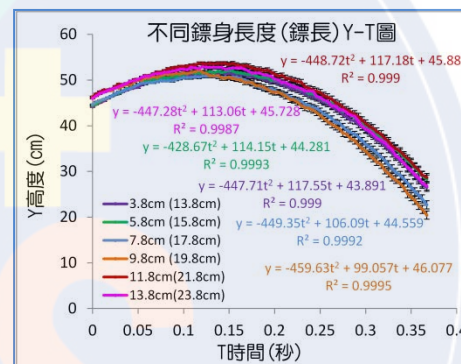


- 鏢翼數量2片且為180度時，在中後半段的飛行路徑中產生較明顯的變異，若鏢翼轉動的角度無法受風力產生回復力矩時，會發生鏢身偏轉超過90度。

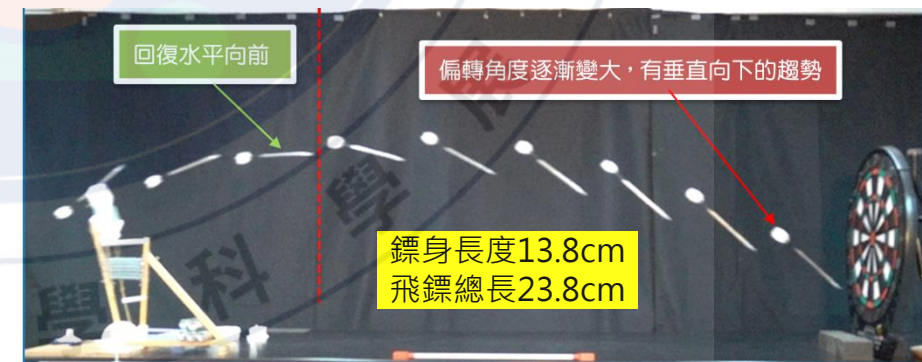


## 不同鏢身長度(相同鏢翼大小形狀)

鏢身	3.8(原長)	5.8	7.8	9.8	11.8	13.8
圖片						
長度	13.8	15.8	17.9	19.8	21.8	23.8



- 鏢身長度增加，重量也增加，水平速度就變慢。
- 隨著飛鏢鏢身長度的增加，重量也會增加若鏢翼產生的回復力矩不夠大，甚至會轉變為垂直向下。



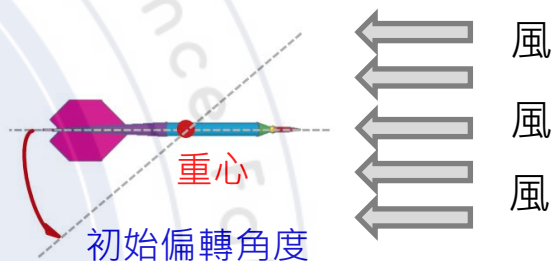
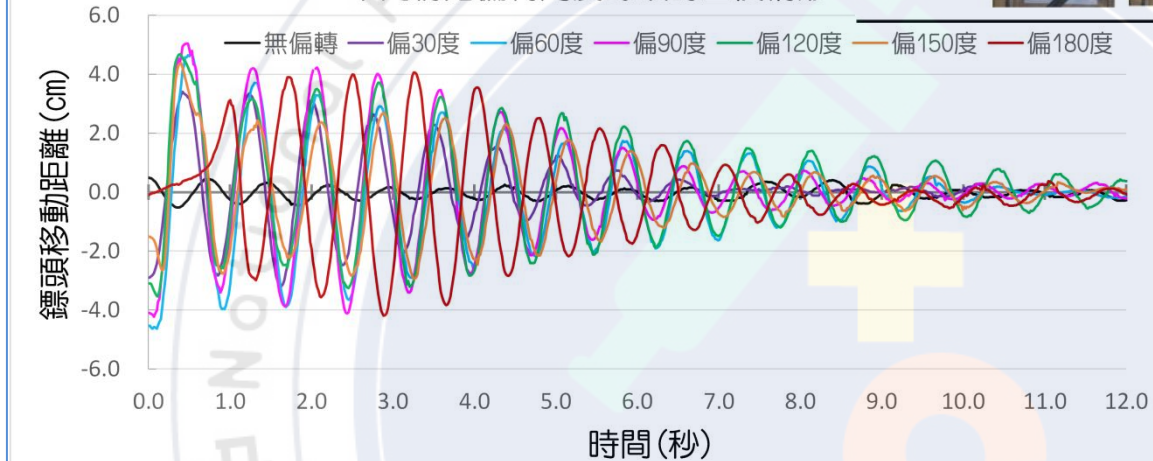
## 不同初始偏轉角度(同一支飛鏢)

初始偏轉角度(度)	30	60	90	120	150	180
-----------	----	----	----	-----	-----	-----

圖片



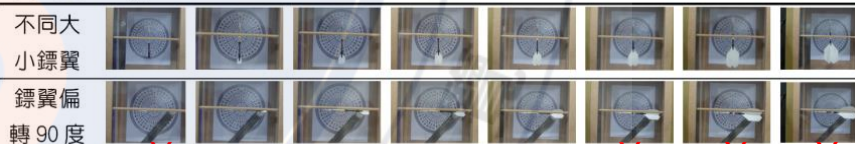
不同初始偏轉角度鏢頭的回復情形



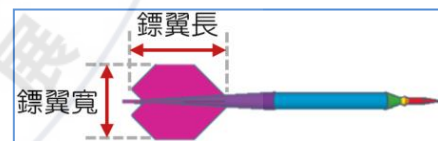
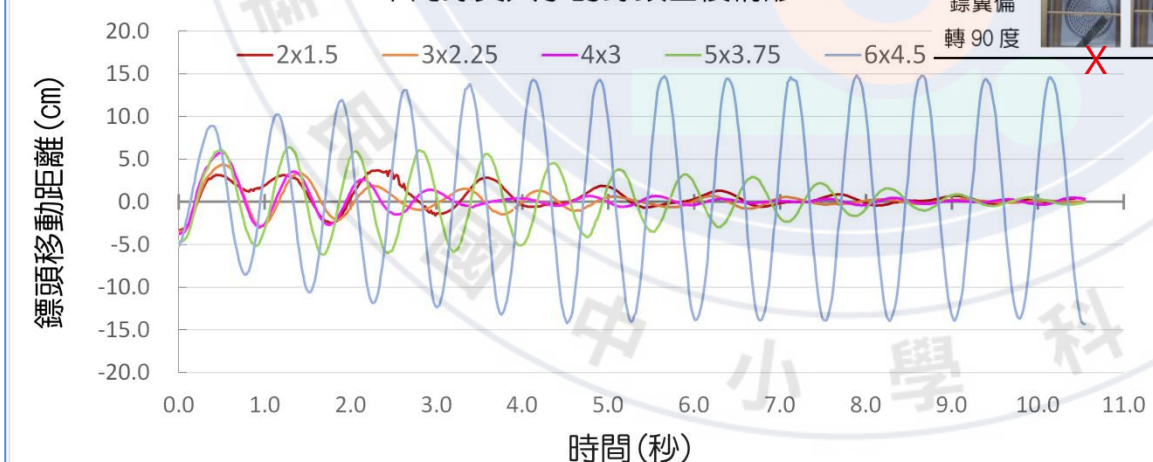
- ◆ 鏢頭擺盪愈大，要回復穩定向前姿態的時間要愈久。

## 不同鏢翼大小(初始偏轉90度)

長 x 寬	無	2x1.5	3x2.25	4x3	5x3.75	6x4.5	7x5.25	8x6
-------	---	-------	--------	-----	--------	-------	--------	-----



不同鏢翼大小的鏢頭回復情形

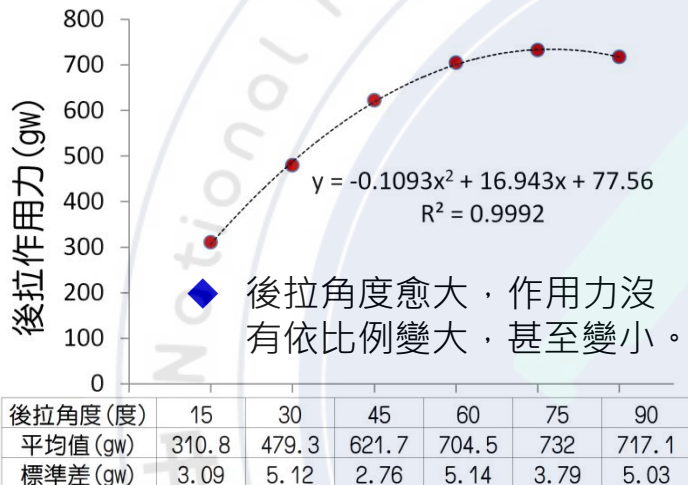


- ◆ 鏢翼太小時，鏢頭擺盪幅度較小，擺盪的速度也較慢。
- ◆ 鏢翼太大時，鏢頭擺盪會因回復力矩過大，使飛鏢無法穩定向前，產生較大的擺盪。

## 研究討論一

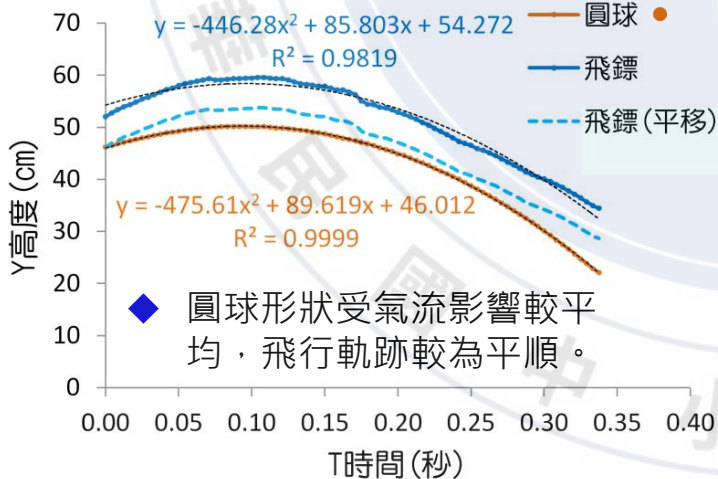
## 後拉角度作用力

相同彈簧數量不同後拉角度的作用力



## 飛鏢與圓球

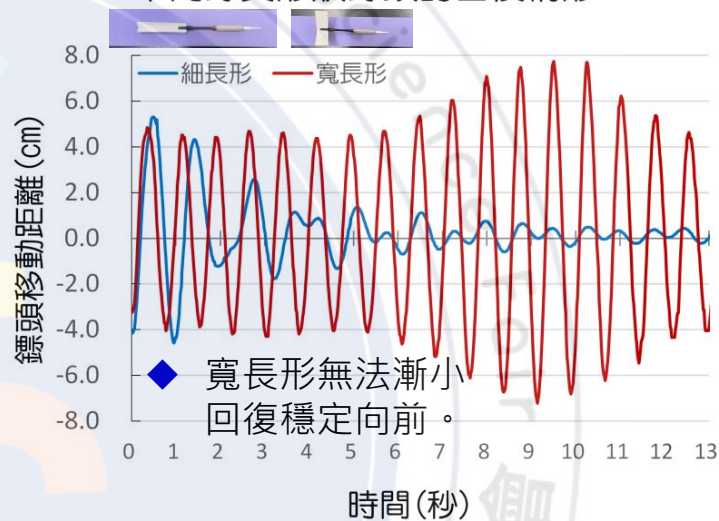
飛鏢與圓球的Y-T比較圖



## 研究討論二

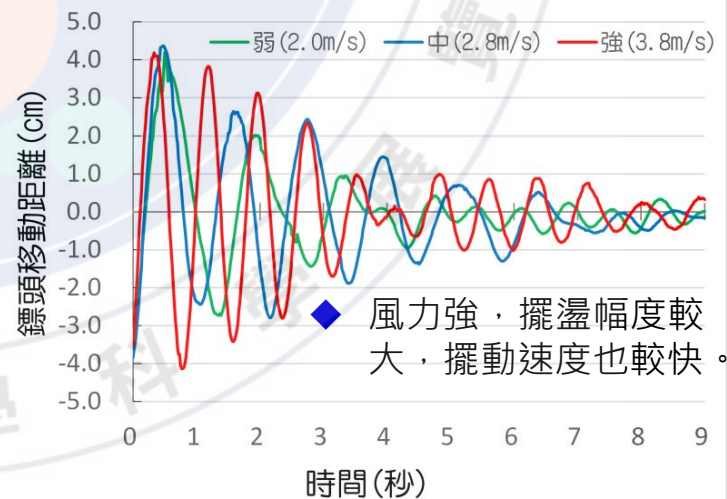
## 不同鏢翼形狀

不同鏢翼形狀鏢頭的回復情形



## 不同風速

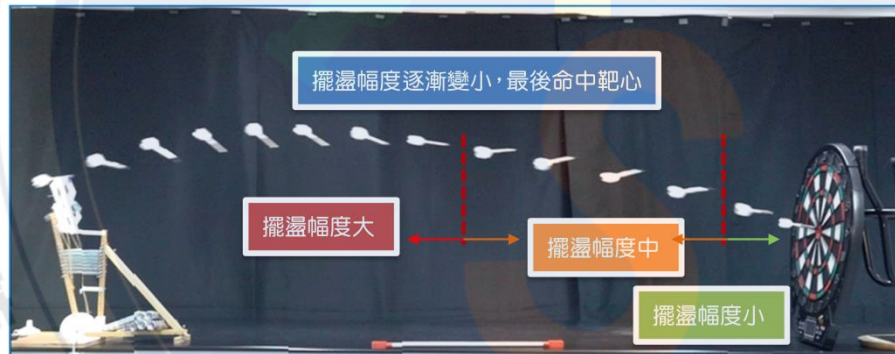
不同風速鏢頭的回復情形



## 結論

- ◆ 相同角度且作用力愈大、放鏢位置較早的情況下，飛鏢飛行高度較高。
- ◆ 射出角度小且作用力大、放鏢位置較晚、拿鏢位置在重心、鏢翼較小、較短或數量較少等情況下，可以得到較大的水平速度。
- ◆ 鏢翼因回復力矩作用具有使飛鏢保持鏢頭穩定向前的飛行姿態。

## 應用



粗調階段

細調階段

微調階段



作用力大小  
放鏢的位置  
水平夾取重心



細調作用力大小：  
增加彈簧數(變高)  
減少彈簧數(變低)



夾取飛鏢方式：  
夾靠近鏢頭(變高)  
夾鏢角度大(變高)



研究問題

研究方法

射鏢因素  
拿鏢因素

飛鏢構造

氣流作用  
擺盪情形

討論.結論  
應用

## 未來展望

- ◆ 以本研究所找出影響射飛鏢的因素為基礎，進而更全面對**各式各樣的飛鏢**進行相關的探究，以了解不同飛鏢種類的特性。
- ◆ 設計與製作可精密調整各項變因參數的**超神準飛鏢發射器**。

## 參考文獻資料

- ◆ 弓與箭(3) 箭為何追風？箭與風向計。取自：  
<http://n.sfs.tw/content/index/11998>  
回復力矩與合力矩
- ◆ 郭棋安、林澤賢、賴淳璿、江郁翔、鐘心妤、陳鍇灝(2016)•~波后尼、波內嚙~原住民傳統弓箭的製作與研究。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品，國小組生活與應用科學科。  
飛行軌跡
- ◆ 弓與箭(2) 箭為何有羽？簡易風洞實驗。取自：  
<http://n.sfs.tw/content/index/11996>  
簡易風洞實驗