

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第一名

030102

奮發向上的毛毛蟲

學校名稱：新北市立海山高級中學

作者： 國二 柯宇謙	指導老師： 陳雲鵬 施聰欣
---------------	---------------------

關鍵詞：升力、水平推力、爬升速率

得獎感言



科展比賽雖然是我熟悉的舞台，自己也有三次國展第一名的經驗，但這一次卻顯得意義重大，因為這一次是自己單打獨鬥，獨立完成一件作品，格外具有挑戰性。

這件作品研究主題其實是我小學資優班獨立研究作品的延伸，升上國中後，我利用課餘時間，改良精進研究設備，更深入、更嚴謹、更精準的探討組合翼片迎風伸縮爬升的現象，仔細分析爬升速率與風速變化的關係，做出的毛毛蟲翼片爬升更敏捷有力，也更有節奏感，因此能獲得評審的肯定。研究的過程雖然艱辛，製作的時間雖然漫長，但這一趟科學探索之旅，我學習了很多，也成長了不少，感謝一路上指導我的師長和支持鼓勵我的父母。

奮發向上的毛毛蟲

壹、摘要：

本研究利用塑膠投影片、吸管、黏膠等材料，以自製的簡易風洞測試單片翼的升力與水平推力，進而探討不同變因對雙滑管、連結雙支架之翼片爬升力量的影響，成功使用三滑管連結兩組雙支架製成一個能伸展與收縮、有節奏向上爬升的 M 型毛毛蟲翼片。我們又改變 M 型毛毛蟲的大小比例，在不同的風速下分別測試其爬升速率，發現毛毛蟲越大隻，其爬升平均速率受風速變化的影響越明顯（爬升速率變化趨勢線斜率越大）。最後我們嘗試增加背腹翼的寬度，以增大翼片面積提高升力，成功做成一隻能伸縮爬升的雙 M 型(三節式)毛毛蟲。

貳、研究動機：

暑假我和家人到翡翠灣遊玩，看到滿天飛翔的風箏，其中有一隻組合式的大型風箏在空中飄浮的樣子特別吸引我的目光。它是由許多不同的翼片組成，波浪式的飄動模樣像極了一隻舞動的毛毛蟲，心想如果我能利用幾片簡單的薄片排列組合起來，或許也能利用風力做出一隻會爬升的毛毛蟲，一趟有趣的科學探索就此展開。

參、研究目的：

- 一、探討單片翼攻角角度、翼面面積不同對升力與水平推力的影響。
- 二、探討滑管長度、滑管與支架活動鈕軸距離、支架長度、翼片黏貼位置不同對雙滑管、連結雙支架之翼片爬升力量的影響。
- 三、探討黏貼腹翼之雙滑管、雙支架翼片的爬升。
- 四、探討三滑管、連結兩組雙支架之 M 型毛毛蟲翼片的爬升。
- 五、探討不同大小之 M 型毛毛蟲翼片的爬升速率。
- 六、探討雙 M 型(三節式)毛毛蟲翼片的爬升。

肆、研究器材、設備：

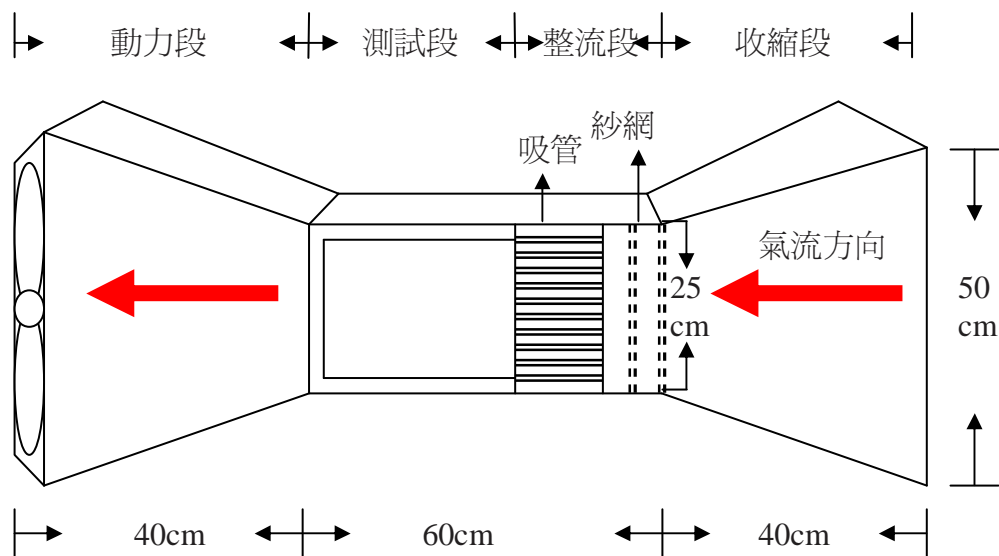
塑膠投影片、吸管、抽風扇、高低立式吹風扇、紗網、自製風洞（塑膠瓦楞片、壓克力片）、風速計、熱熔膠(槍)、塑膠接著劑、量角器、電子秤、砝碼、2 mm鋼條、1m 爬升競速架、滑輪、迴紋針、鉸槍、大頭針、攝影機、電腦、會聲會影 12 軟體、SigmaPlot10.0 軟體、CorelDRAW12 軟體。

伍、研究方法與過程：

一、簡易穩定風洞的製作與測試

利用塑膠瓦楞板製作一個氣流穩定的風洞，分為動力段、測試段、整流段、收縮段。

- 1.動力段：使用抽風扇來產生空氣流動，作為翼片浮升的動力。
- 2.整流段：以吸管堆積成的「蜂巢管」和二層紗網排成的「整流紗網」，使紊亂氣流趨於穩定。
- 3.收縮段：收縮段兩端的開口面積比為4：1(50cm×50cm：25cm×25cm)，氣流流動的截面積縮小，可提高氣流在風洞中的加速效果。
- 4.測試段：觀測口用透明的壓克力製作成測試段，以方便觀察。

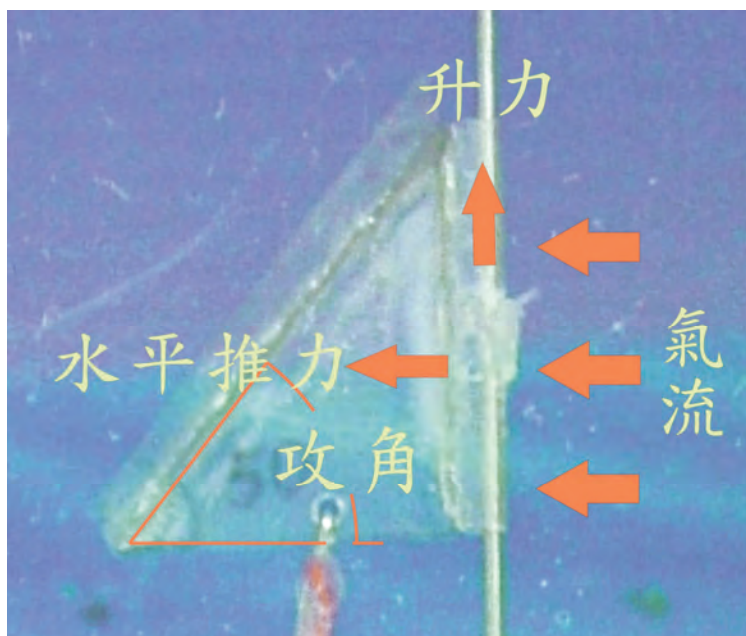


簡易穩定風洞構造圖

二、單片翼浮升的研究

名詞定義：

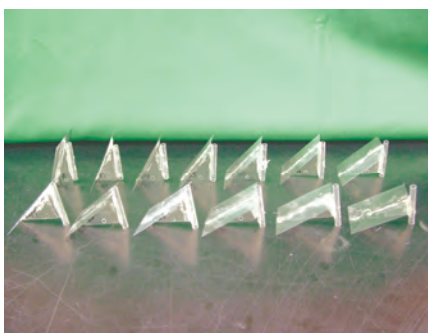
1. **攻角**：翼面和氣流流動方向(水平線)所夾的角度。
2. **升力**：為翼片迎風浮升時垂直向上的拉力。
3. **水平推力**：為翼片迎風浮升時受氣流順向水平推動的力，水平推力使滑管摩擦爬桿，為翼片浮升時的阻力。
4. **升推比值**：為翼片浮升時，升力和水平推力的比值（升力/水平推力）。升推比值為翼片浮升效能的指標，升推比值 >1 ，且比值越大，表示翼片浮升能力越佳。



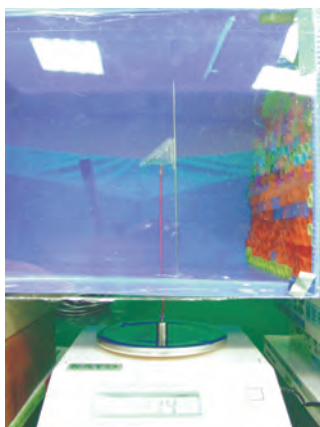
(一)、單片翼攻角角度不同對升力與水平推力的影響

方法：

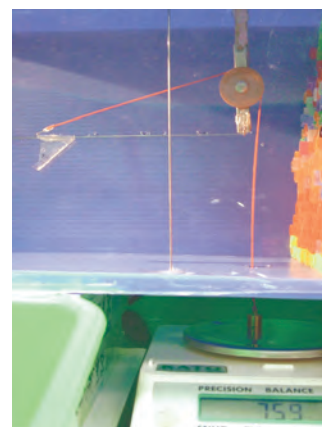
- 1.將 3 cm × 4 cm 的長方形透明塑膠片黏貼在 3 cm 的吸管上，使塑膠片與水平線的夾角不同，製成不同攻角角度的單片翼。
- 2.將不同攻角單片翼穿在風洞中的細鋼條垂直爬桿中，翼片下方垂掛細棉線，棉線末端黏上 10 克砝碼，將砝碼穿過風洞底部垂放在下方的電子秤上，測量風扇打開前後電子秤讀數的重量差，其差值即為翼片迎風垂直向上的拉力(升力)，測量 3 次求平均值。
- 3.在風洞中固定一水平細鋼條，將不同攻角單片翼穿在鋼條上，並將黏上 10 克砝碼的棉線繞過滑輪，再將棉線掛勾勾住翼片滑管末端，將砝碼穿過風洞底部垂放在下方的電子秤上，測量風扇打開前後電子秤讀數的重量差，其差值即為翼片迎風時的水平推力，測量 3 次求平均值。



不同攻角單片翼



升力測試

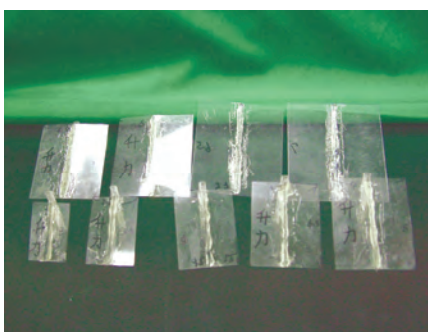


水平推力測試

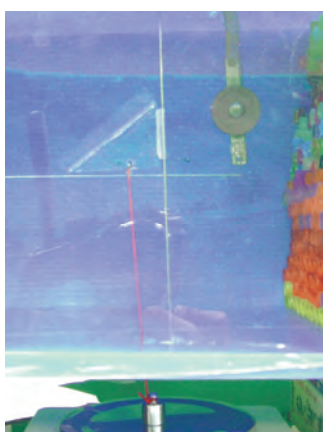
(二)、單片翼翼面面積不同對升力與水平推力的影響

方法：

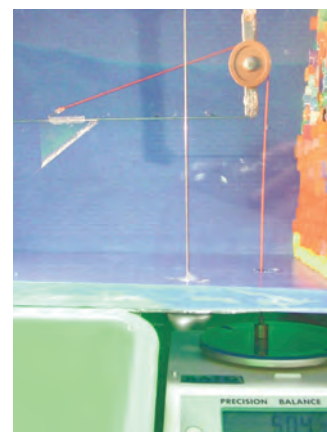
- 1.將不同面積大小的長方形透明塑膠片黏貼在 3 cm 的吸管上，使翼面攻角都是 35 度。
- 2.同(一)方法(大面積翼片測試時棉線末端黏上 20 克砝碼)，測量翼片的升力與水平推力，測量 3 次求平均值。



不同面積單片翼



升力測試



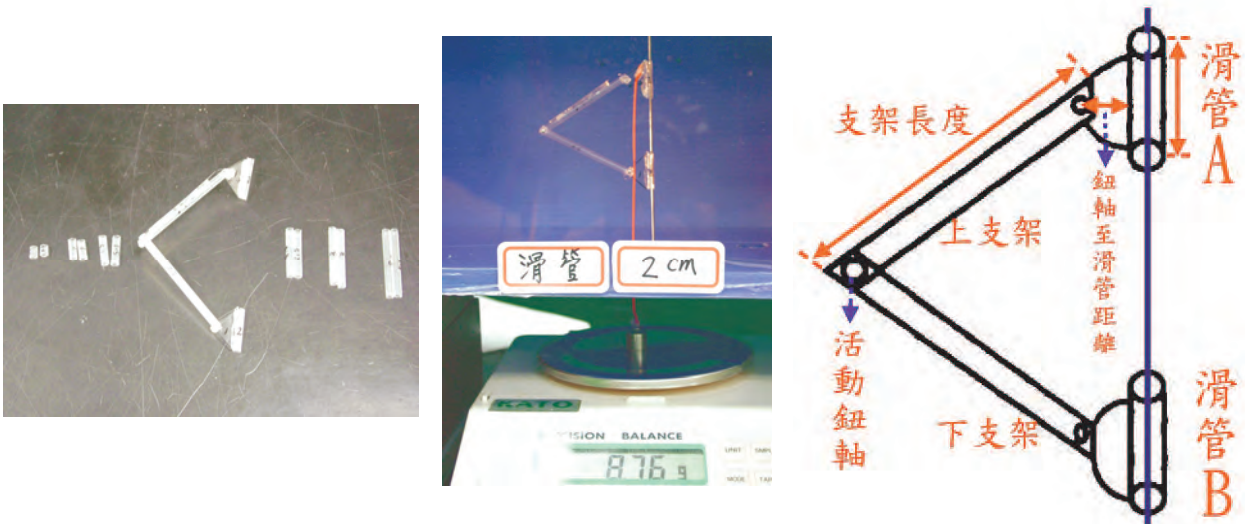
水平推力測試

三、雙滑管、連結雙支架之翼片爬升研究

(一)、滑管長度不同對滑管爬升力量的影響

方法：

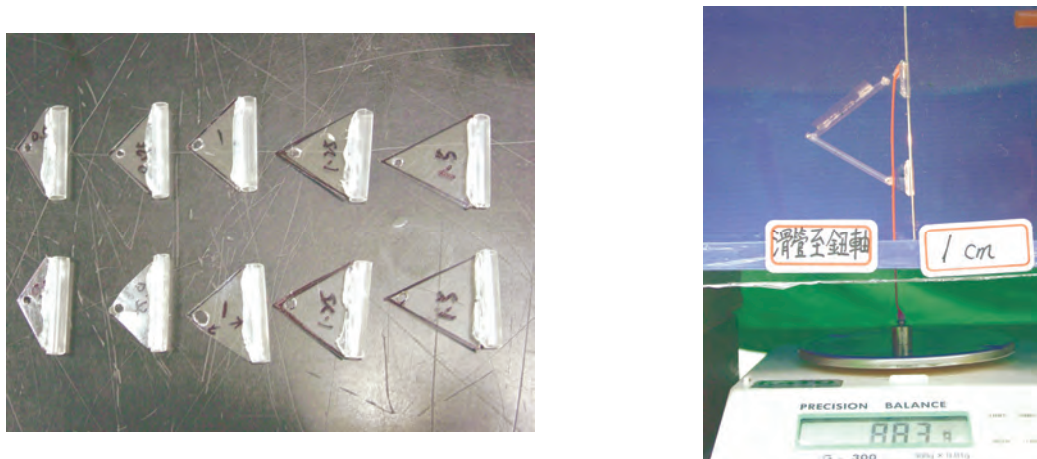
- 1.用 2 支吸管、大頭針、熱熔膠等材料製作一組活動式雙滑管的連結雙支架，滑管與支架活動鈕軸距離固定為 1 cm，支架長 5.5 cm。
- 2.將 3 cm×4 cm 的翼片中心點黏貼在上支架中央，分別改變滑管長度，在風洞中將連接砝碼的棉線掛鉤吊在滑管 A 上方，啟動風扇（風速 5.2m/s）測量不同滑管長度的連結雙支架之滑管升力變化，測量 3 次求平均值。



(二) 滑管與支架活動鈕軸距離不同對滑管爬升力量的影響

方法：

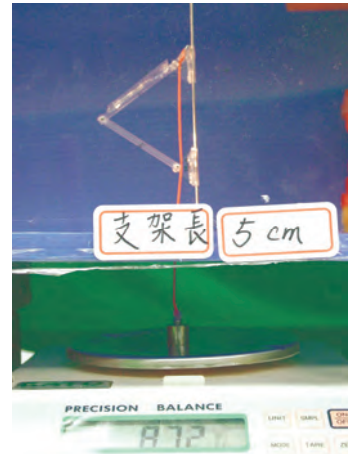
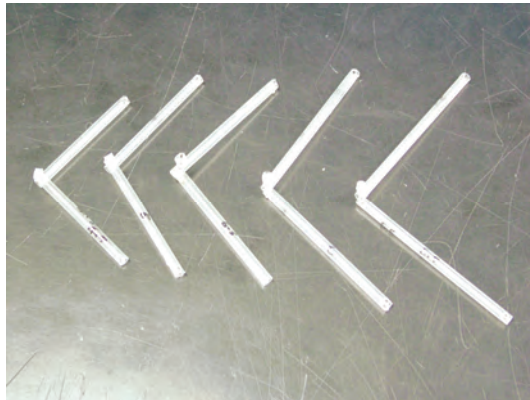
- 1.改變滑管與支架活動鈕軸距離(0.5、0.75、1、1.25、1.5 cm)，支架長 5.5 cm，滑管 2 cm，翼片 3 cm×4 cm。
- 2.在風洞中（風速 5.2m/s）測量滑管與支架活動鈕軸距離不同的連結雙支架之滑管升力變化，測量 3 次求平均值。



(三) 支架長度不同對滑管爬升力量的影響

方法：

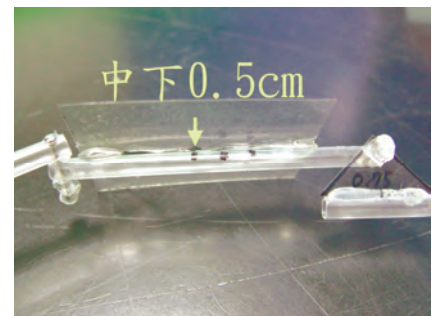
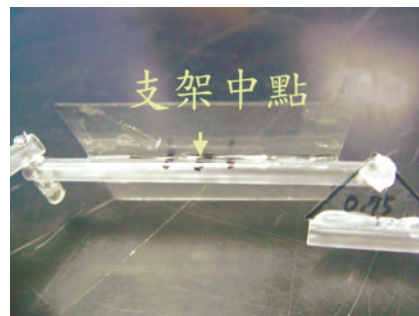
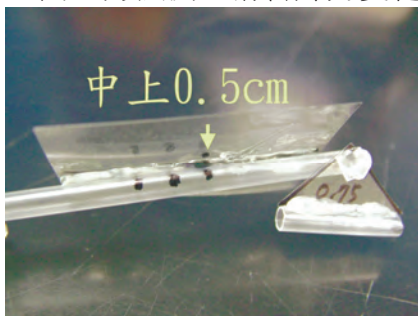
1. 改變支架長度(4.5、5、5.5、6、6.5 cm)，滑管 2 cm，翼片 3 cm×4 cm，滑管與支架活動鈕軸距離固定為 0.75 cm。
2. 同上方法測量滑管升力變化。



(四) 翼片黏貼上支架不同位置對滑管爬升力量的影響

方法：

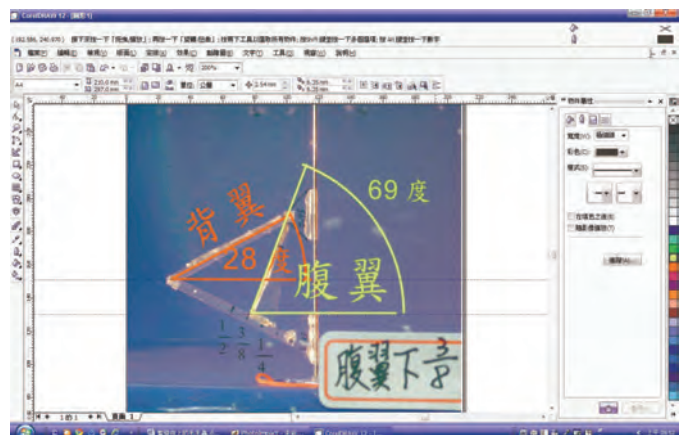
1. 改變翼片中心點黏貼上支架不同的位置(中點、中點上移 0.5 cm、中點下移 0.5 cm)，支架長 5.5 cm，滑管 2 cm，翼片 3 cm×4 cm，滑管與支架活動鈕軸距離固定為 0.75 cm。
2. 同上方法測量滑管升力變化。



四、黏貼腹翼之雙滑管、雙支架翼片爬升研究

方法：

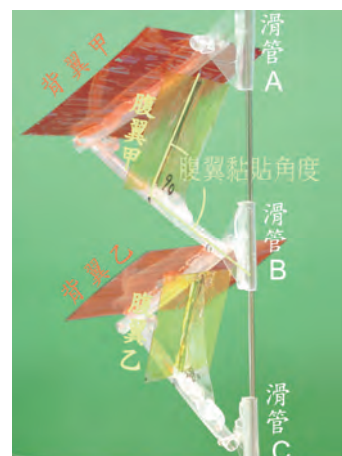
1. 支架長度 5.5 cm，滑管 2 cm，滑管與支架活動鈕軸距離固定為 0.75 cm，翼片中心點黏貼上支架中點上移 0.5 cm 處。
2. 將不同大小翼片垂直黏貼於下支架之不同位置處，作為腹翼以拉動滑管 B 上移，改變背翼、腹翼的面積組合，測量迎風時滑管 B 升力，測量 3 次求平均值，並拍攝影像以 CorelDRAW 軟體中的度量工具測量翼片攻角的變化，並觀察兩支架是否有伸縮的爬升動作。



五、三滑管、連結兩組雙支架之 M 型毛毛蟲翼片爬升研究

方法：

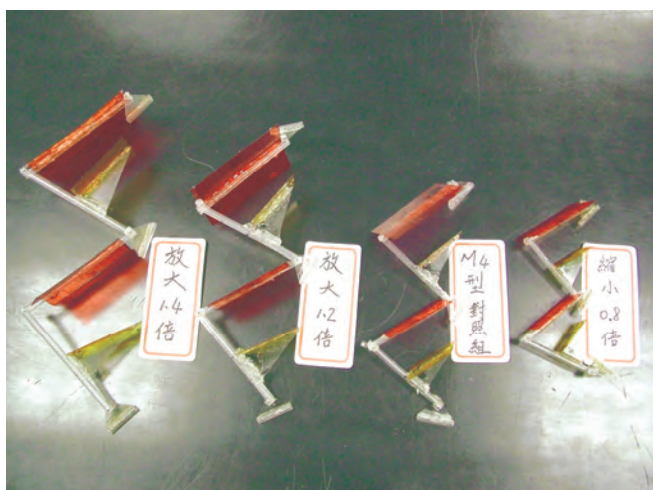
- 1.將研究四中爬升最好的組合方式（V9 型），連結兩組雙支架，作成一隻 M 型的三滑管毛毛蟲翼片。
- 2.分別改變背翼乙面積及腹翼與下支架之黏貼角度，找出能讓滑管 ABC 如毛毛蟲般有節奏向上伸縮爬升的組合條件。
- 3.以攝影機拍攝，再用「會聲會影」軟體，以慢速定格播放擷取影像，再以 CorelDRAW 軟體中的度量工具，測量毛毛蟲爬升時背翼、腹翼攻角的度數，分析爬升失敗或成功的原因。



六、M 型毛毛蟲翼片競速爬升研究

方法：

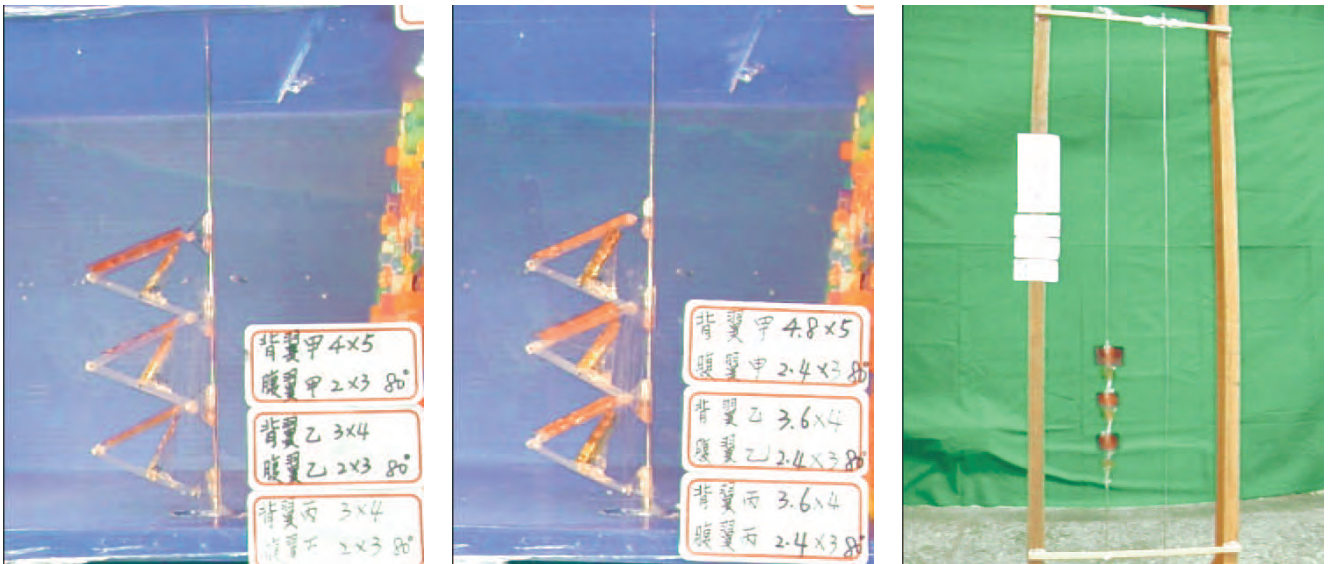
- 1.將 M4 型毛毛蟲的支架、背腹翼片、滑管長度等比例放大縮小，做成不同大小的毛毛蟲。
- 2.將毛毛蟲穿在 1m 長的爬升競速架，前方以高低扇排列(如圖)，啟動不同檔速的風扇並調整風扇距離，以風速計檢測，使競速架由下至上均維持一定的風速。
- 3.以會聲會影軟體播放拍攝影像：登頂顯示的時間－開始爬升時的時間＝爬升 1m 所費時間，可測量不同大小毛毛蟲在不同風速下的爬升速率（1m/爬升時間）。



七、雙 M 型(三節式)毛毛蟲翼片爬升研究

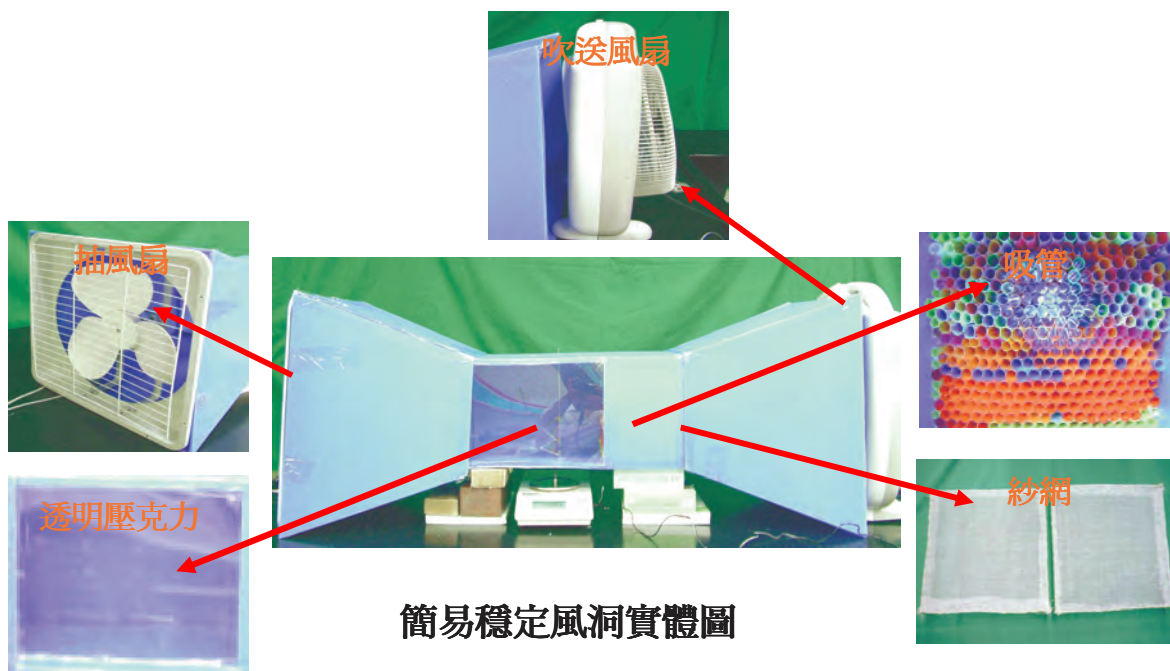
方法：

- 1.將 M4 型再連接一組雙滑管雙支架翼片,做成雙 M 型(三節式)毛毛蟲,穿在風洞(風速 5.2m/s)爬桿上,測試能否伸縮爬升。
- 2.增加背腹翼的寬度(避免影響攻角,長度則維持不變),以增大翼片面積提高升力,測試伸縮爬升情形。
- 3.將毛毛蟲穿在 1m 長的爬升測試架上,風速維持 6.8m/s,觀察雙 M 型毛毛蟲的爬升。



陸、研究結果：

一、簡易穩定風洞的製作與測試



1. 爲使翼片能順利浮升，增加風洞中氣流的流速，在收縮段右側開口再以吹風扇強力吹風。
2. 自製的簡易風洞，以風速計檢測風洞中不同的位置，發現風速都相同，且氣流持續流動時的風力非常穩定，風速均爲 5.2m/s。



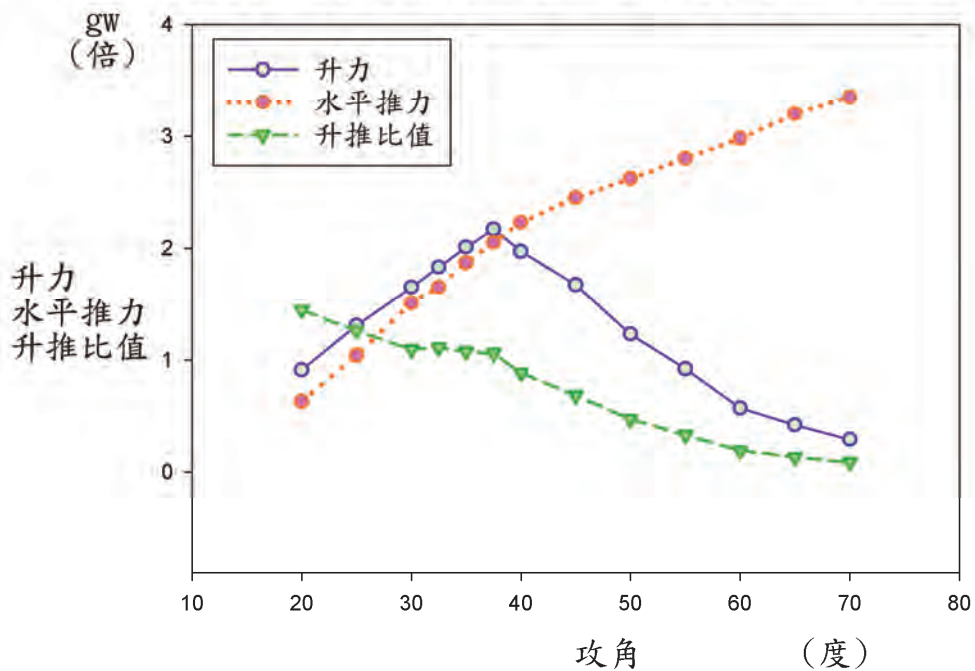
二、單片翼浮升的研究

(一)、單片翼攻角角度不同對升力與水平推力的影響

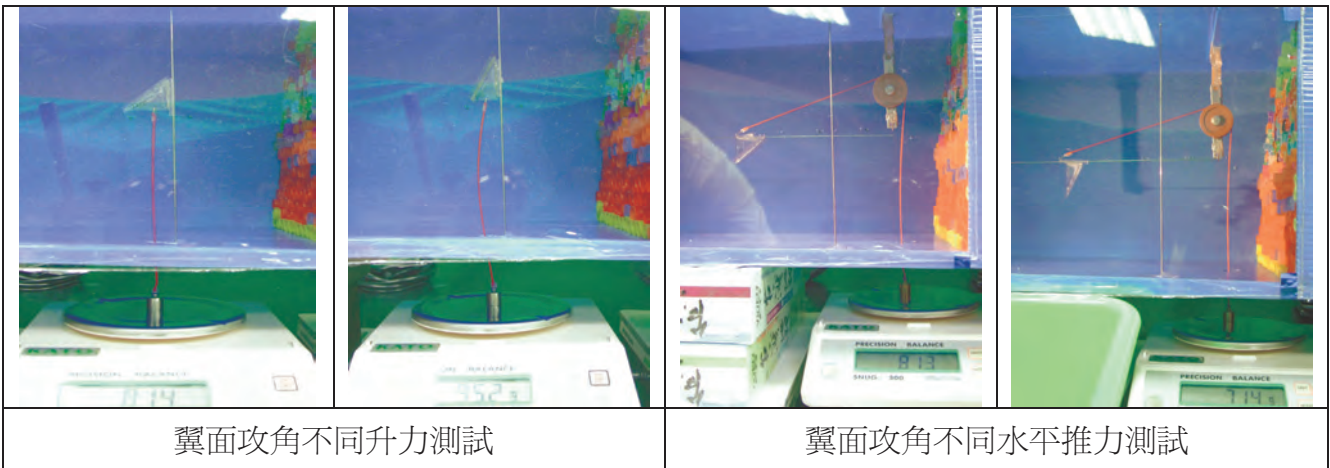
風速：5.2m/s

攻 角	升 力 (gw)	水 平 推 力 (gw)	升 推 比 值
20	0.91	0.63	1.4444
25	1.31	1.04	1.2596
30	1.65	1.51	1.0927
32.5	1.83	1.65	1.1091
35	2.01	1.87	1.0749
37.5	2.17	2.05	1.0585
40	1.97	2.23	0.8834
45	1.67	2.45	0.6816
50	1.23	2.62	0.4695
55	0.92	2.80	0.3286
60	0.57	2.98	0.1913
65	0.42	3.20	0.1313
70	0.29	3.35	0.0866

單片翼攻角不同之升力、水平推力與升推比值變化圖



1. 翼面攻角 **37.5 度**的單片翼**升力最大**，超過 37.5 度後翼片升力往下降。而翼面攻角越大，迎風產生的水平推力也越大。
2. 翼面**攻角小於 37.5 度**，產生的水平推力較小，且有較大的升力，**升推比值 > 1**，有利於翼片的浮升；翼面**攻角大於 37.5 度**升力下降，而水平推力持續增大，增加吸管與爬桿的摩擦力，**升推比值 < 1**，不利於翼片的浮升，且攻角越大升推比值越小。

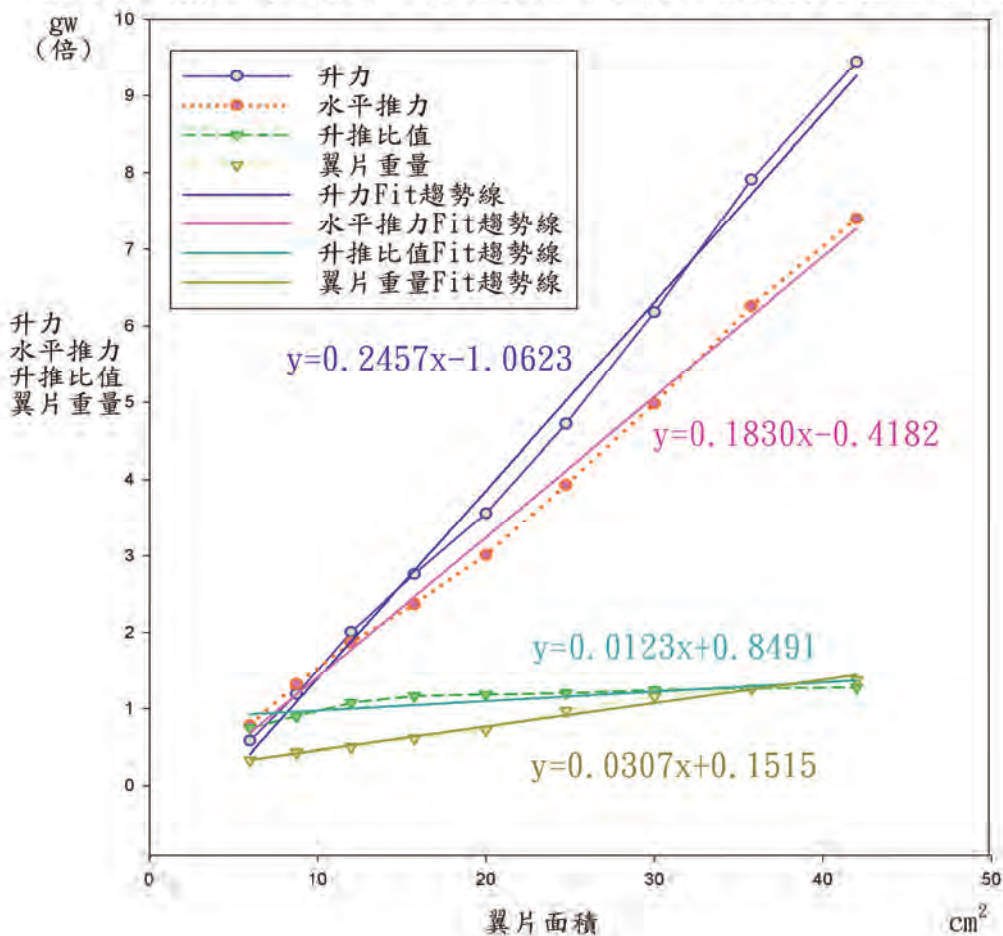


(二)、單片翼翼面面積不同對升力與水平推力的影響

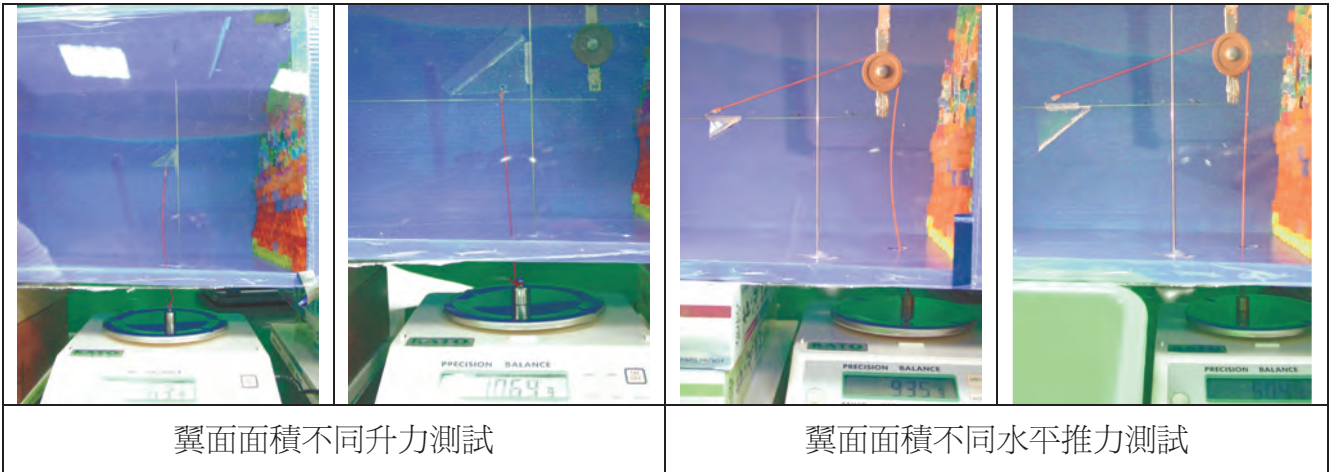
風速：5.2m/s

翼片面積 cm ²	升力 (gw)	水平推力 (gw)	升推比值	翼片重量 (gw)
2 cm×3 cm (6 cm ²)	0.58	0.78	0.7436	0.33
2.5 cm×3.5 cm (8.75 cm ²)	1.19	1.32	0.9015	0.43
3 cm×4 cm (12 cm ²)	2.01	1.87	1.0749	0.50
3.5 cm×4.5 cm (15.75 cm ²)	2.76	2.37	1.1646	0.61
4 cm×5 cm (20 cm ²)	3.56	3.01	1.1827	0.72
4.5 cm×5.5 cm (24.75 cm ²)	4.72	3.93	1.2010	0.97
5 cm×6 cm (30 cm ²)	6.18	4.98	1.2410	1.16
5.5 cm×6.5 cm (35.75 cm ²)	7.91	6.26	1.2635	1.26
6 cm×7 cm (42 cm ²)	9.44	7.40	1.2756	1.37

單片翼翼面面積不同之升力、水平推力、升推比值與翼片重量變化圖



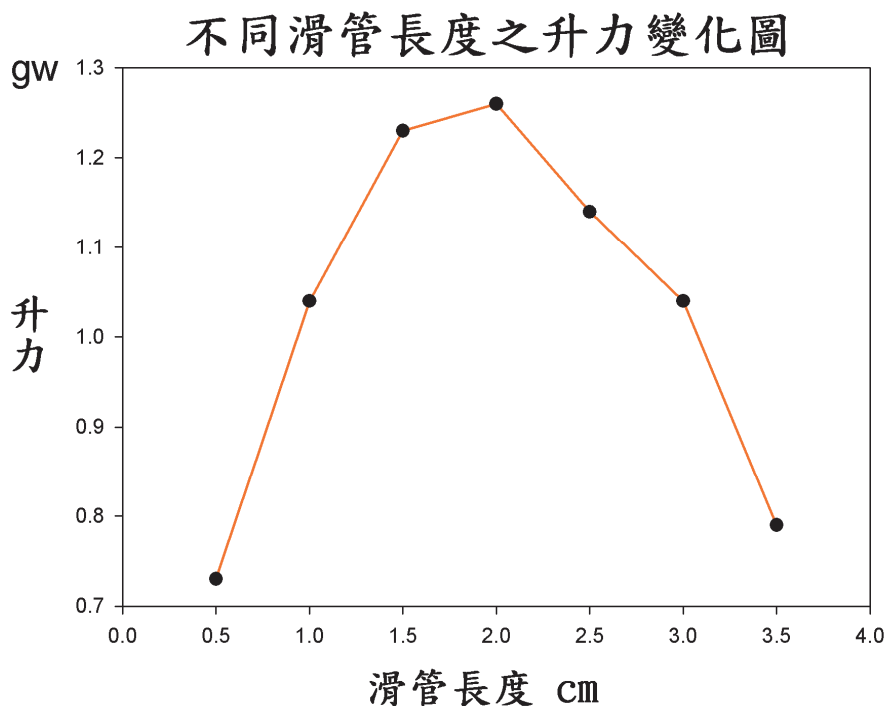
1. 在本實驗的風力條件下，**翼片面積增大**，迎風產生的**升力、水平推力都增大**。但因升力趨勢線的斜率(0.2457) > 水平推力趨勢線的斜率(0.1830)，因此**升推比值也隨翼片面積增大而穩定緩慢上升**。
2. **增大翼片面積**，重量也會輕微增加，但**增大的升力可以克服本身增加的重量**，有效增加浮升的拉力，**升力趨勢線的斜率(0.2457) > 翼片重量趨勢線的斜率(0.0307)**，因此不受翼片重量增加的影響，反而浮升更有力。
3. 實驗中發現面積過大的翼片浮升時比較不平穩易晃動。

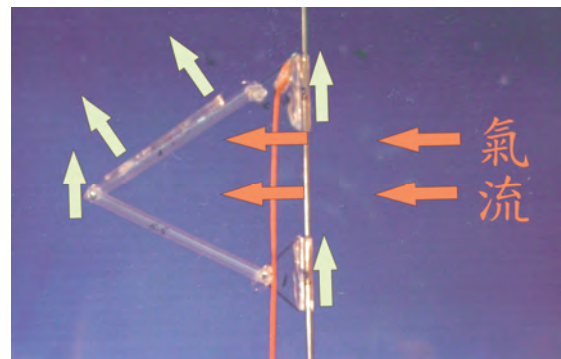
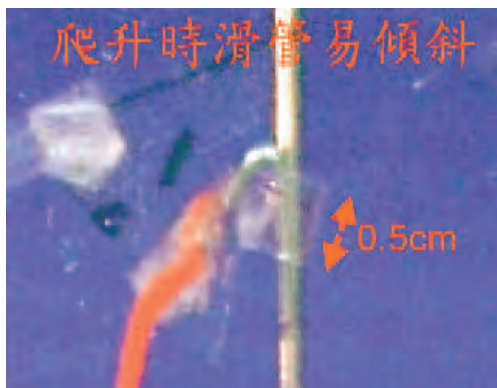
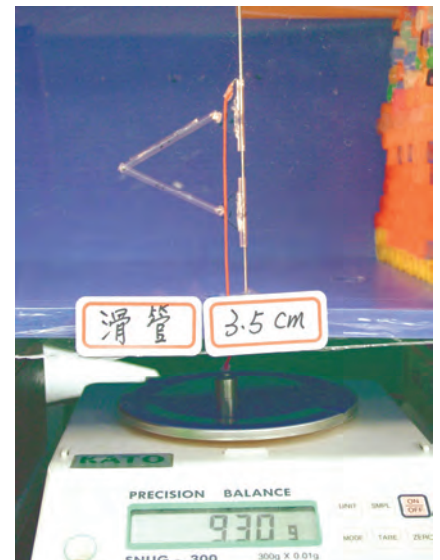
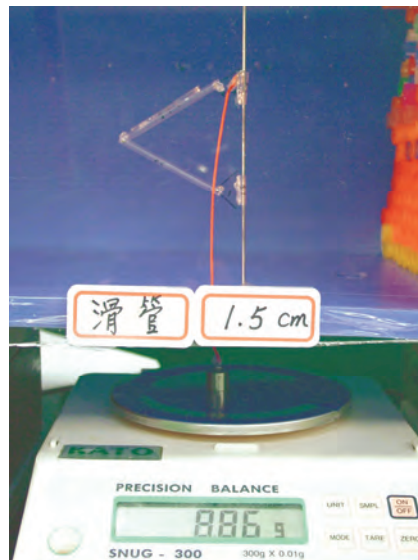
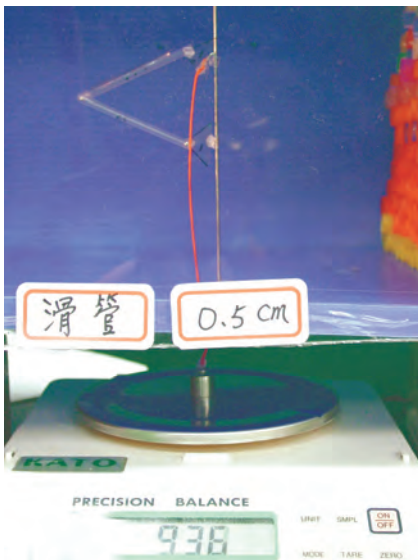


三、雙滑管、連結雙支架之翼片爬升研究

(一)、滑管長度不同對滑管爬升力量的影響

滑管長度 cm	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
滑管 A 升力 gw	0.73	1.04	1.23	1.26	1.14	1.04	0.79



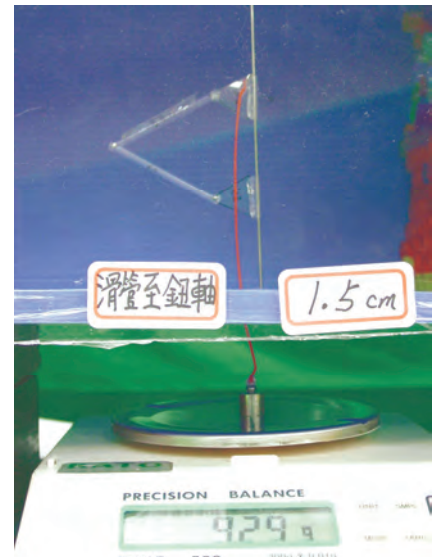
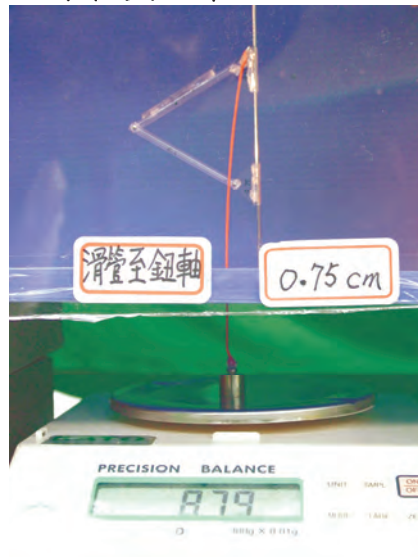
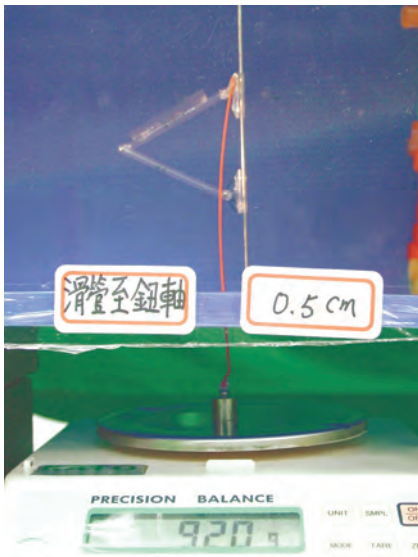
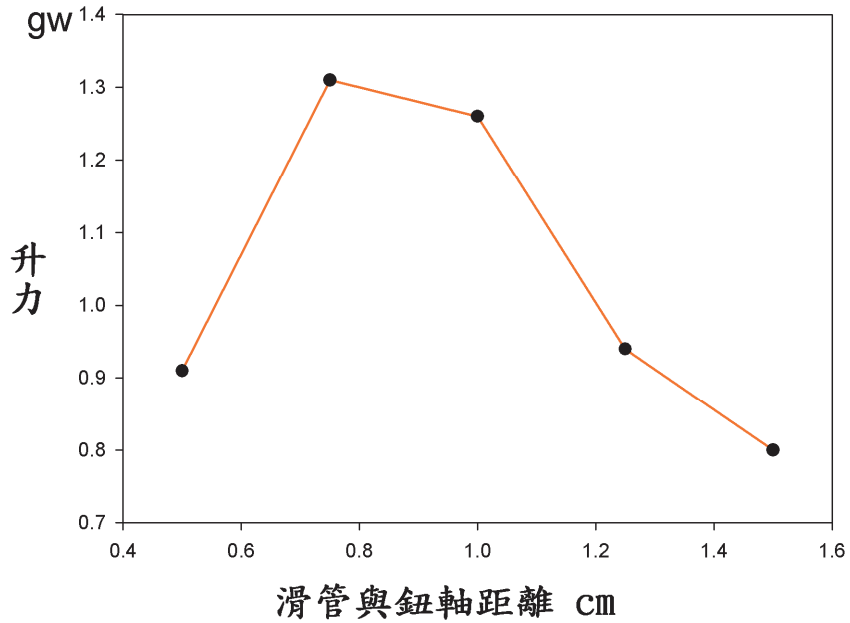


- 1.滑管長，與活動鈕軸形成的抗力力矩較大，也與管壁的摩擦範圍較大；滑管太短，支架上抬提起滑管時，滑管傾斜，管壁易摩擦爬桿，兩者都會影響滑管爬升時的升力，**滑管長度以 2 cm 的最好。**
- 2.雙滑管之翼片迎風時斜上的拉力帶動上支架的兩端，使得下支架跟隨浮升，拉動滑管 A、B 同時上升，無伸縮爬行的動作。
- 3.滑管 0.5cm 時，支架迎風時易擺動搖晃。

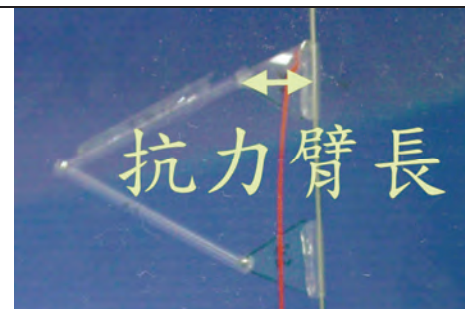
(二) 滑管與支架活動鈕軸距離不同對滑管爬升力量的影響

滑管與鈕軸距離 cm	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
滑管 A 升力 gw	0.91	1.30	1.26	0.94	0.80

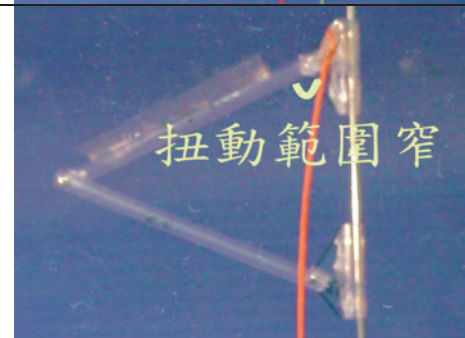
滑管與活動鈕軸距離不同之升力變化圖



1.滑管與鈕軸距離過長(1.5 cm)，抗力臂增長，浮升時的抗力力矩過大，滑管爬升時的升力下降。



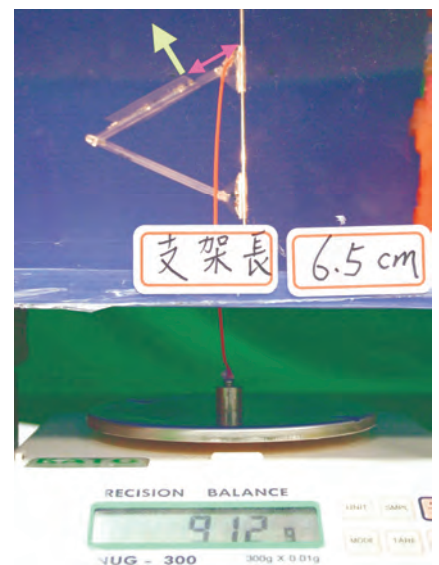
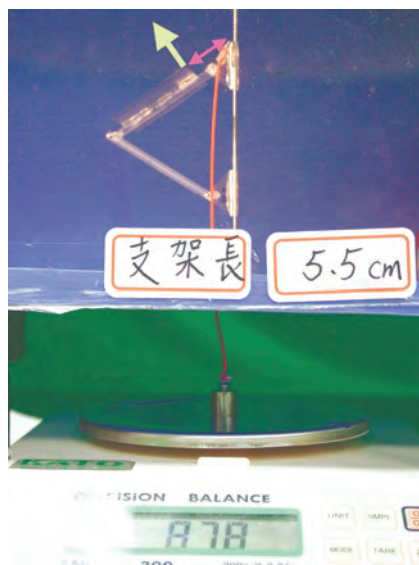
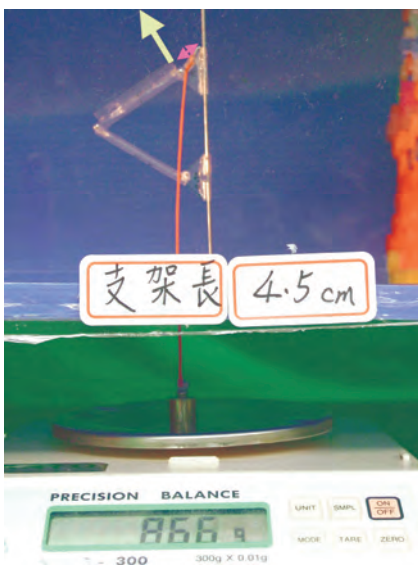
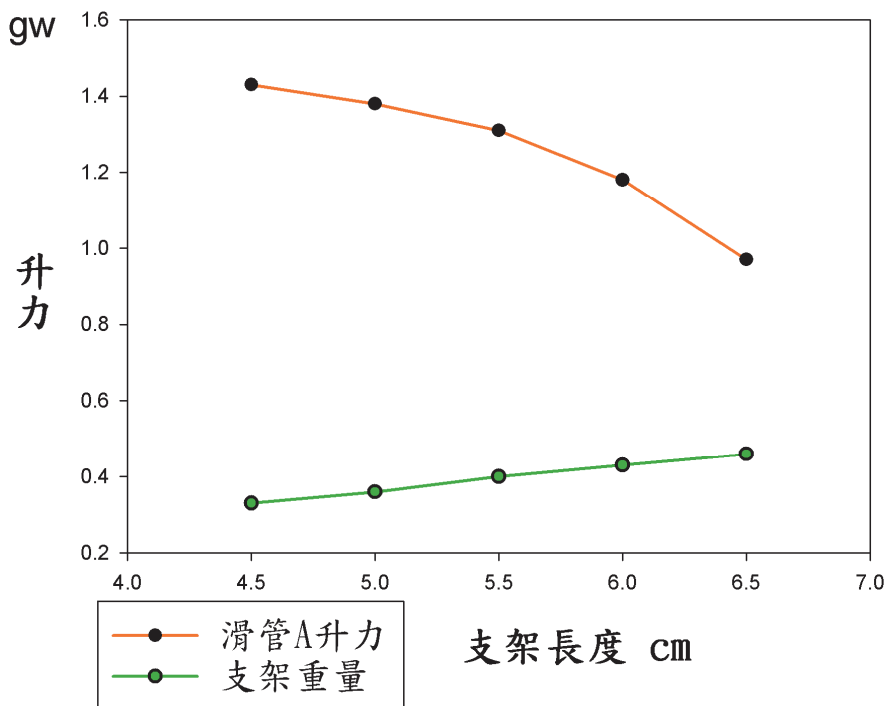
2.滑管與鈕軸距離太短(0.5 cm)，支架施力於滑管時扭動的範圍過窄，滑管壁易摩擦爬桿，不利爬升，**最佳滑管與鈕軸距離為 0.75 cm。**



(三) 支架長度不同對滑管爬升力量的影響

支架長度 cm	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
支架重量 gw	0.33	0.36	0.40	0.43	0.46
滑管 A 升力 gw	1.43	1.38	1.31	1.18	0.97
備註	重量輕 穩定懸浮	重量輕 穩定懸浮	穩定懸浮	支架長 搖晃抖動	支架長 搖晃抖動

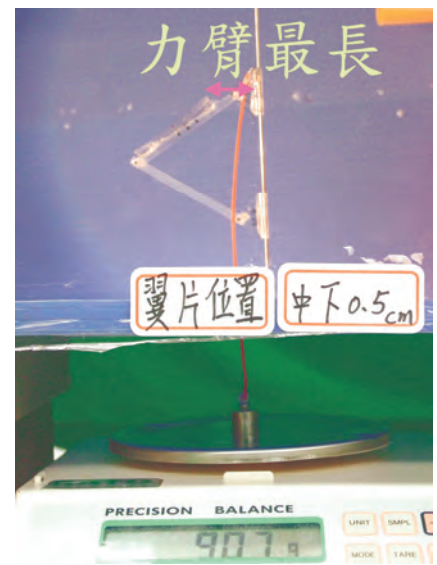
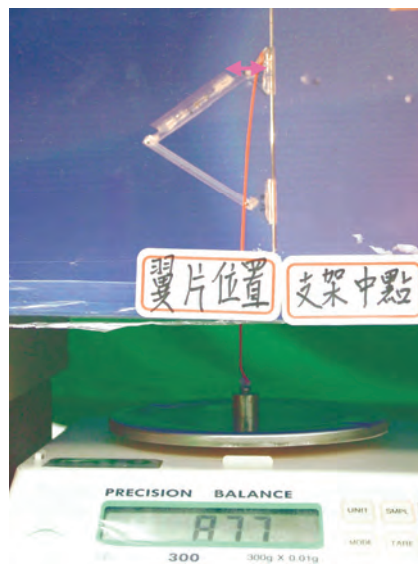
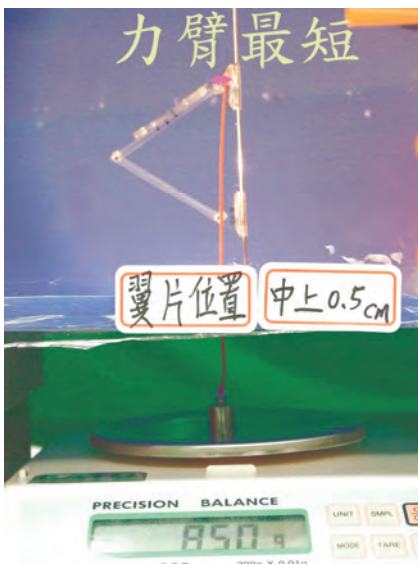
支架長度不同之升力變化圖



1. **短支架**重量輕巧，黏貼相同面積翼片的條件下，**翼片帶動支架作用於滑管的力臂較短**，拉動滑管時越省力，因此測得**滑管之升力值越大**。
2. **長支架**重量重，**翼片帶動支架作用於滑管的力臂較長**，拉動滑管時越費力，因此測得**滑管之升力值越小**，且迎風時易搖晃抖動。

(四) 翼片黏貼上支架不同位置對滑管爬升力量的影響

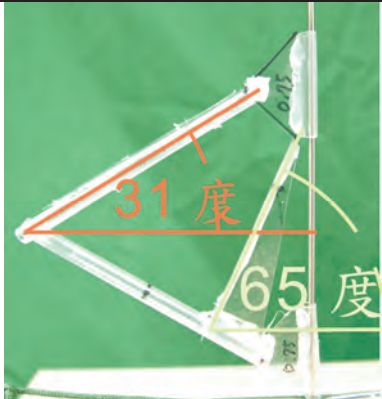
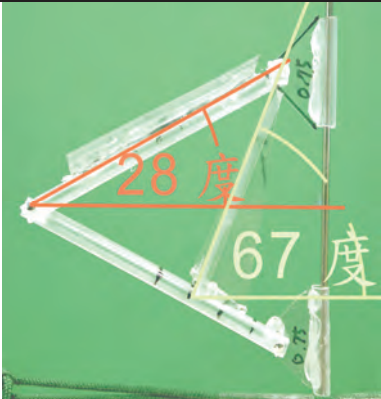
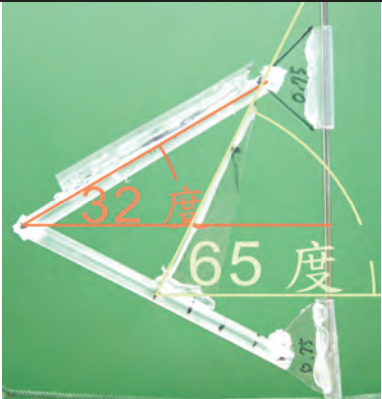
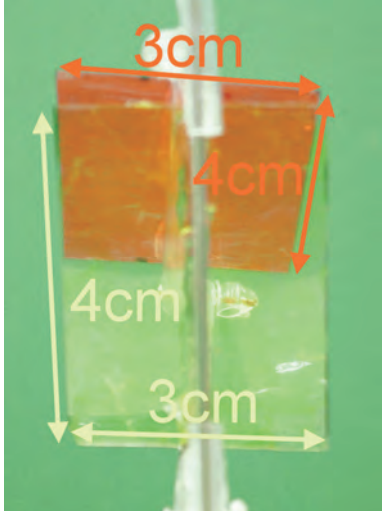
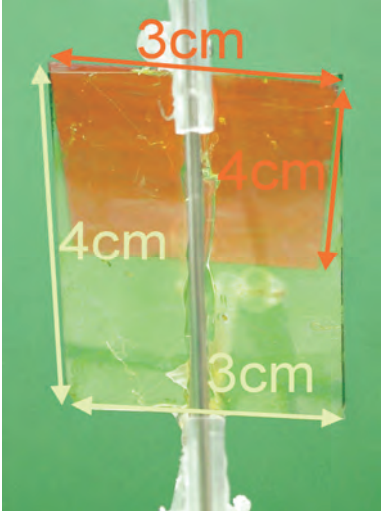
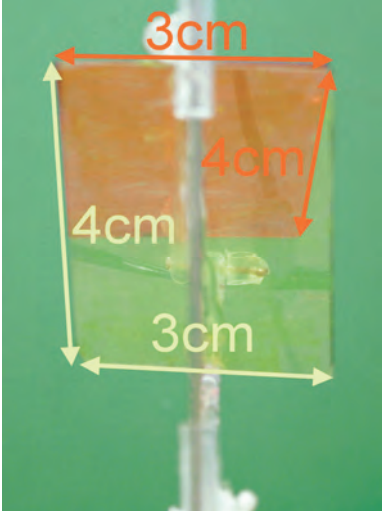
翼片黏貼支架位置	中上 0.5 cm	中點	中下 0.5 cm
滑管 A 升力 gw	1.59	1.32	1.02

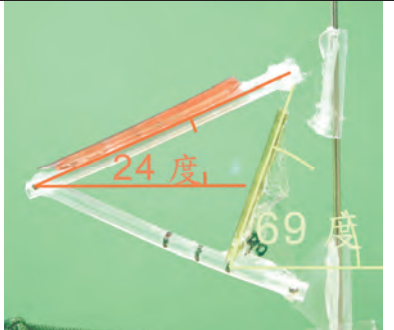


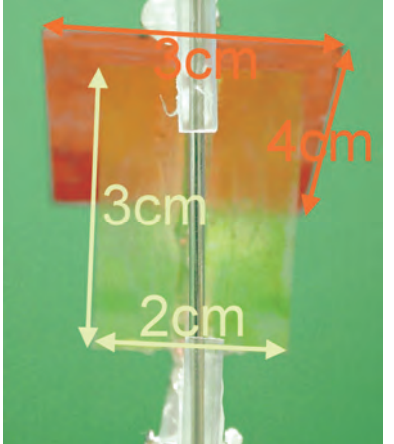
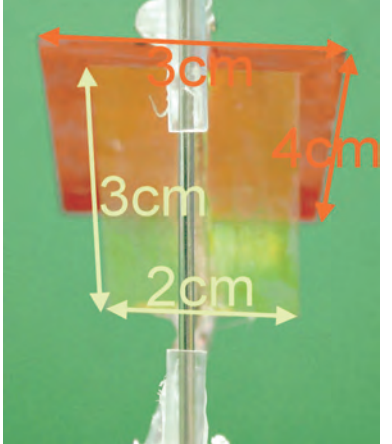
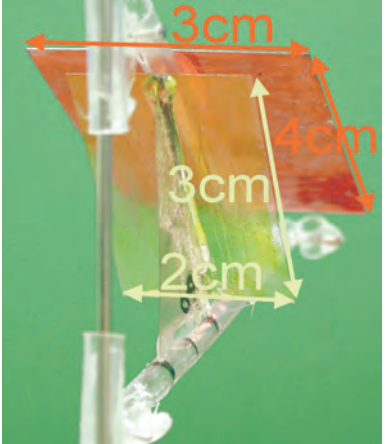


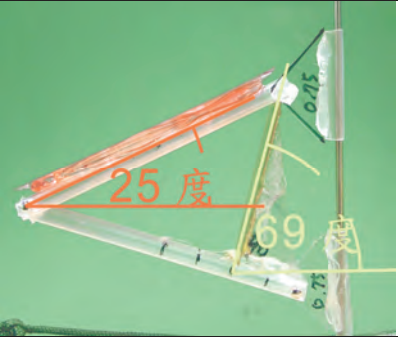
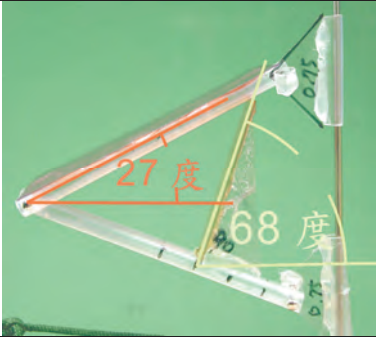
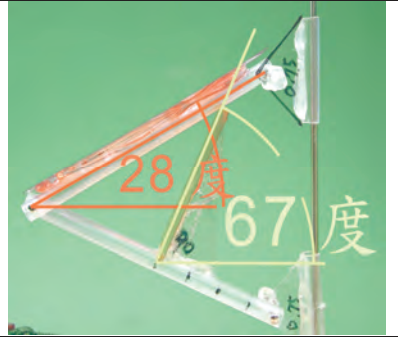
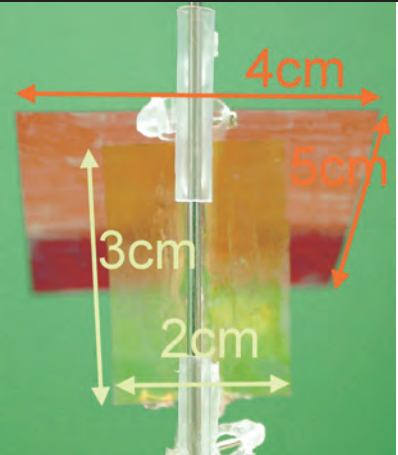
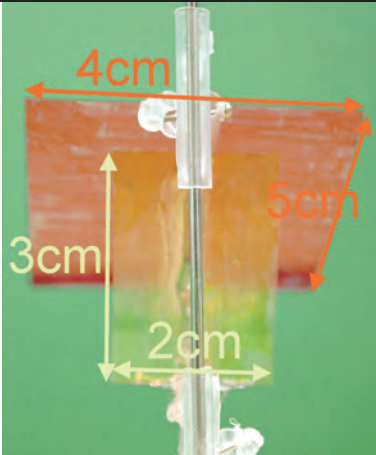
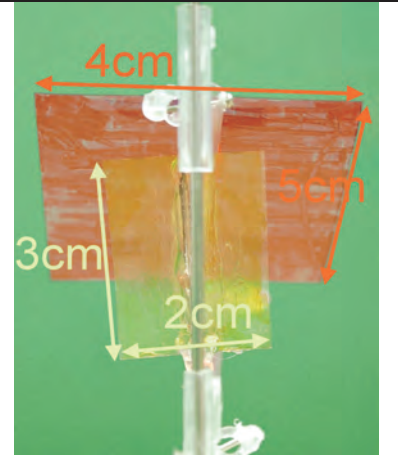
1. **翼片黏貼支架偏上方越靠近 A 鈕軸**，迎風浮升作用於滑管的力臂較短，拉動滑管時越省力，因此**測得滑管之升力值越大**。
2. 翼片黏貼支架偏下方越遠離 A 鈕軸，迎風浮升作用於滑管的力臂較長，拉動滑管時越費力，因此測得滑管之升力值越小。

四、黏貼腹翼之雙滑管、雙支架翼片爬升研究

(一) 翼片攻角與相互遮擋情形分析

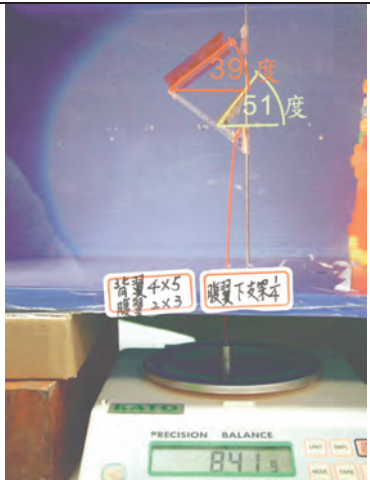
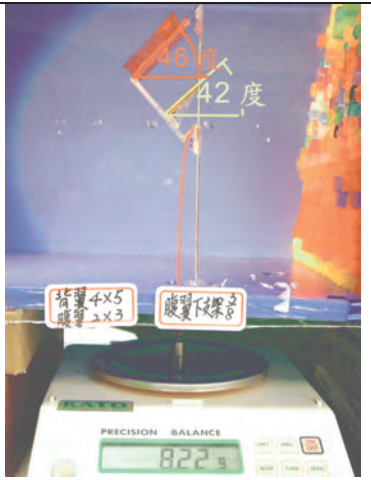
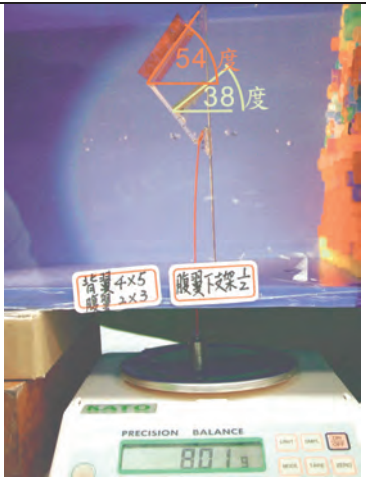
背翼面積	3 cm × 4 cm			
腹翼面積	3 cm × 4 cm			
腹翼位置	1/4(V1 型)	3/8(V2 型)	1/2(V3 型)	
攻角圖	迎風側面			
	翼面遮擋情形			
背翼能否爬升	無法爬升	無法爬升	無法爬升	

背翼面積	3 cm × 4 cm			
腹翼面積	2 cm × 3 cm			
腹翼位置	1/4(V4 型)	3/8(V5 型)	1/2(V6 型)	
攻角圖	迎風側面			
	翼面遮擋情形			
背翼能否爬升	無法爬升	無法爬升	無法爬升	

背翼面積	4 cm × 5 cm			
腹翼面積	2 cm × 3 cm			
腹翼位置	1/4(V7 型)	3/8(V8 型)	1/2(V9 型)	
攻角圖	迎風側面			
	翼面遮擋情形			
背翼能否爬升	成功爬升	成功爬升	成功爬升	

1. 背翼、腹翼面積相等或相差太少，即使背翼攻角都在升推比值 > 1 的較佳迎風角度，但因腹翼擋住吹向背翼的氣流，背翼迎風面積減少，且腹翼攻角太大都在升推比值 < 1 的較差迎風角度，雙滑管翼片無法爬升。
2. 背翼 4 cm × 5 cm、腹翼 2 cm × 3 cm 面積相差大，背翼迎風面積不被遮擋的部分較多，有足夠升力使滑管 A 上移。

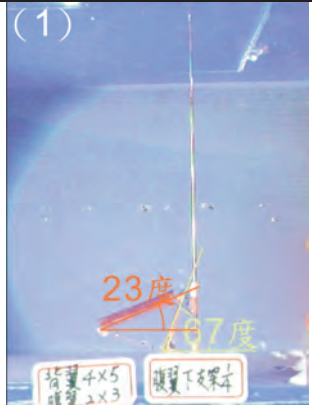
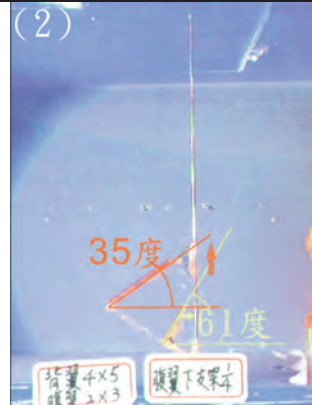
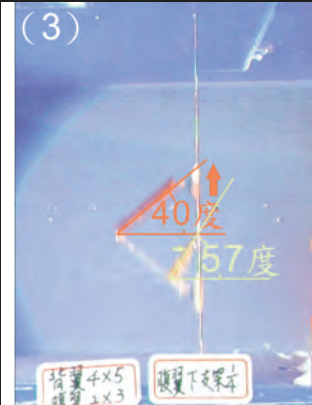
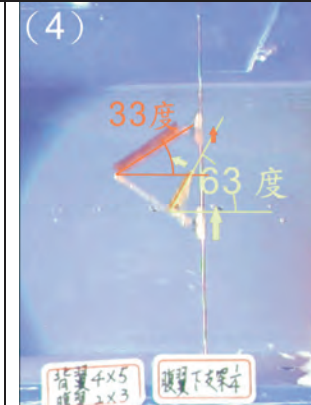
(二).腹翼黏貼位置不同，迎風時腹翼可前傾角度與滑管 B 升力分析

背翼面積	4 cm × 5 cm		
腹翼面積	2 cm × 3 cm		
腹翼位置	1/4(V7 型)	3/8(V8 型)	1/2(V9 型)
迎風攻角圖			
滑管 B 升力	1.68	1.86	2.08
腹翼可前傾角度	69 - 51 = 18	68 - 42 = 26	67 - 38 = 29
※腹翼可前傾角度 = V7~V9 型迎風前腹翼攻角 - V7~V9 型迎風時腹翼攻角			

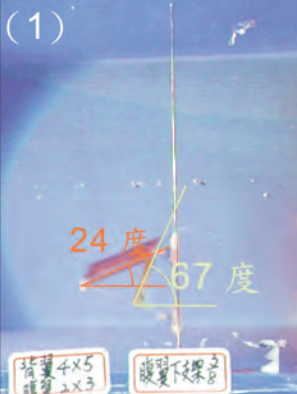
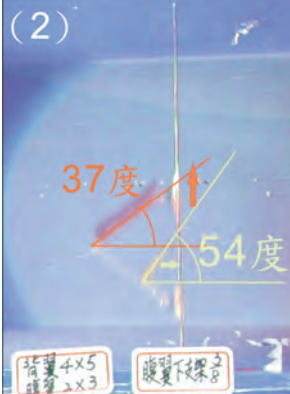
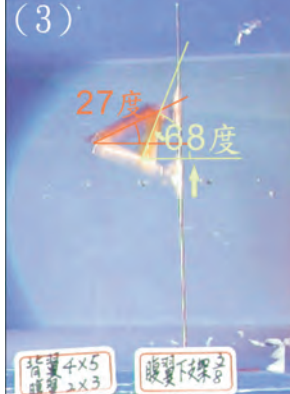
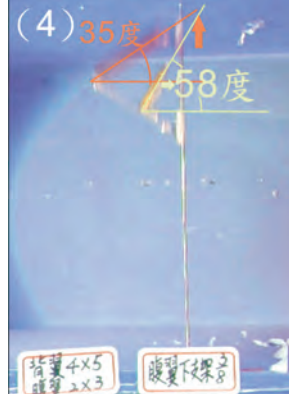
- V7~V9 型的背翼拉升滑管 A 上移，腹翼前傾攻角變小，帶動滑管 B 上移。
- 腹翼黏貼在下支架 1/2 處(V9 型)，滑管 A 上移時，腹翼可前傾的角度範圍最大，成最佳迎風攻角 38 度，帶動滑管 B 上移的升力最大；腹翼前傾時背翼迎風面積被遮擋的部分變少，升力增加，可向上伸展的角度增大。

(三).腹翼黏貼位置不同爬升動作分析

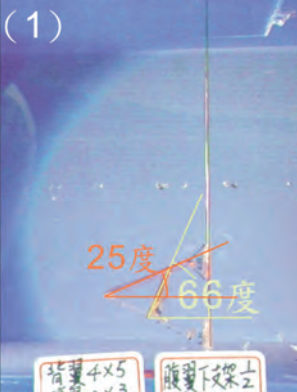
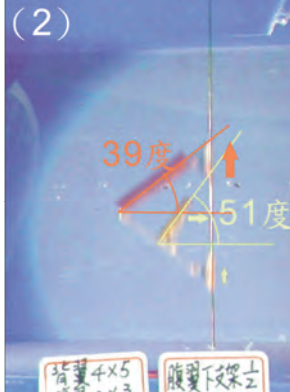
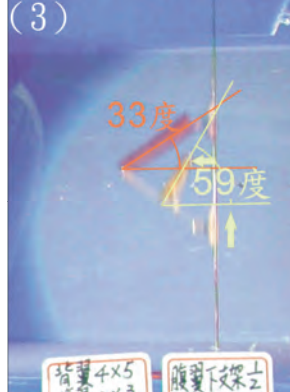
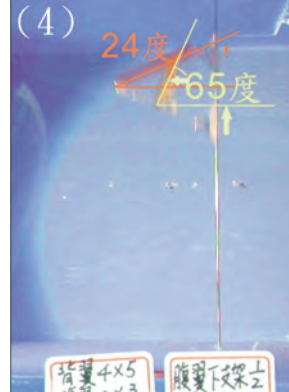
(1) 【V7 型】

(1)	(2)	(3)	(4)
			
迎風前狀態	背翼向上伸展，腹翼前傾範圍小。	滑管 A 續上移，腹翼碰觸爬桿。	滑管 B 上移，下支架向上微縮，腹翼後仰拉回。
腹翼前傾最大角度		67 - 57 = 10	

(2) 【V8型】

 <p>(1)</p>	 <p>(2)</p>	 <p>(3)</p>	 <p>(4)</p>
<p>迎風前狀態</p>	<p>背翼向上伸展，腹翼可前傾範圍增加。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼後仰拉回，下支架向上收縮。(一次伸縮未到頂)</p>	<p>滑管 A 續上移，腹翼前傾。</p>
<p>腹翼前傾最大角度</p>	<p>$67 - 54 = 13$</p>		

(3) 【V9型】

 <p>(1)</p>	 <p>(2)</p>	 <p>(3)</p>	 <p>(4)</p>
<p>迎風前狀態</p>	<p>腹翼前傾範圍最大(攻角最小)，增大背翼向上伸展的角度。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼後仰拉回，下支架向上收縮。</p>	<p>滑管 A、B 續上移，下支架向上收縮。(一次伸縮就到頂)</p>
<p>腹翼前傾最大角度</p>	<p>$66 - 51 = 15$</p>		

1. V7 型腹翼太接近爬桿，因此前傾最大角度最小(碰觸爬桿)，伸縮爬升的動作較不明顯，V9 型腹翼前傾角度最大(成較有利之迎風攻角)，單一伸縮爬升的動作最大，單一爬升的距離最遠。
2. 雙滑管翼片重量輕巧，因此 V7~V9 型幾乎都在向上滑升中同時表現出伸縮爬升的現象。

五、三滑管、連結兩組雙支架之 M 型毛毛蟲翼片爬升研究

(一). 【M1 型】：由兩組 V9 型連結而成。

<p>M1 型結構圖 (兩背翼都是 4x5 cm)</p>	<p>滑管 A 上移，腹翼甲微前傾，背翼乙面積(4x5)夠大，兩者相加的升力立即使滑管 B 上移，同時也拉升滑管 C，因此無伸縮動作，幾乎呈滑升狀態。</p>		

(二). 【M2 型】：爲了等待滑管 A 上移後，滑管 B 再收縮上移，因此本型減少背翼乙面積，降低滑管 B 的升力。

<p>M2 型結構圖 (背翼乙縮小爲 3x4 cm)</p>	<p>迎風前狀態</p>	<p>背翼甲上升，腹翼甲前傾 $68 - 54 = 14$ 度，滑管 B 升力增加。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼乙前傾 $65 - 49 = 16$ 度，滑管 C 升力增加。</p>
<p>滑管 C 收縮上移，完成第一次伸縮爬升。背翼甲迎風角度佳。</p>	<p>滑管 A 上移，腹翼甲前傾 $64 - 56 = 8$ 度，滑管 B 升力增加。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼乙前傾 $63 - 41 = 22$ 度，滑管 C 升力增加。</p>	<p>滑管 C 收縮上移，完成第二次伸縮爬升動作。</p>

M2 型毛毛蟲已經有伸縮的爬升動作，但因**腹翼甲、乙前傾的幅度太小**（前傾後的迎風攻角仍大），因此爬升的力道較弱，**每伸縮一次的爬升距離較短**，需兩次伸縮動作才能爬升到頂。

(三). 【M3 型】：為改進 M2 型缺點，本型減低腹翼的黏貼角度，增加腹翼的迎風升力，看是否伸縮更敏捷有力。

<p>M3 型結構圖 (腹翼與支架夾角 70°)</p>	<p>(1)</p>	<p>(2)</p>	<p>(3)</p>
	<p>迎風前狀態</p>	<p>背翼甲上升，腹翼甲前傾頂觸爬桿，摩擦力大，迎風攻角小。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼甲乙前傾頂觸爬桿且攻角太小，而背翼甲乙則攻角太大，無法伸縮爬升，停留原處。</p>

(四). 【M4 型】：本型腹翼的黏貼角度介於 M2 與 M3 型之間的 80 度。

<p>M4 型結構圖 (腹翼與支架夾角 80°)</p>	<p>(1)</p>	<p>(2)</p>	<p>(3)</p>
<p>迎風前狀態</p>	<p>滑管 A 上移，腹翼甲前傾 52-35=17 度，成較佳迎風攻角。</p>	<p>滑管 B 上移，腹翼乙前傾 61-37=24 度，滑管 C 升力增加。</p>	
<p>(4)</p>	<p>(5)</p>	<p>(6)</p>	<p>(7)</p>
<p>滑管 B 續上移，背翼甲攻角佳，腹翼乙前傾 61-32=29 度，成較佳迎風攻角。</p>	<p>滑管 BC 上移，腹翼甲乙後仰拉回。</p>	<p>滑管 B 加速上移，腹翼甲快速後仰拉回。</p>	<p>滑管 C 收縮上移，完成第一次伸縮爬升動作就能到頂。</p>

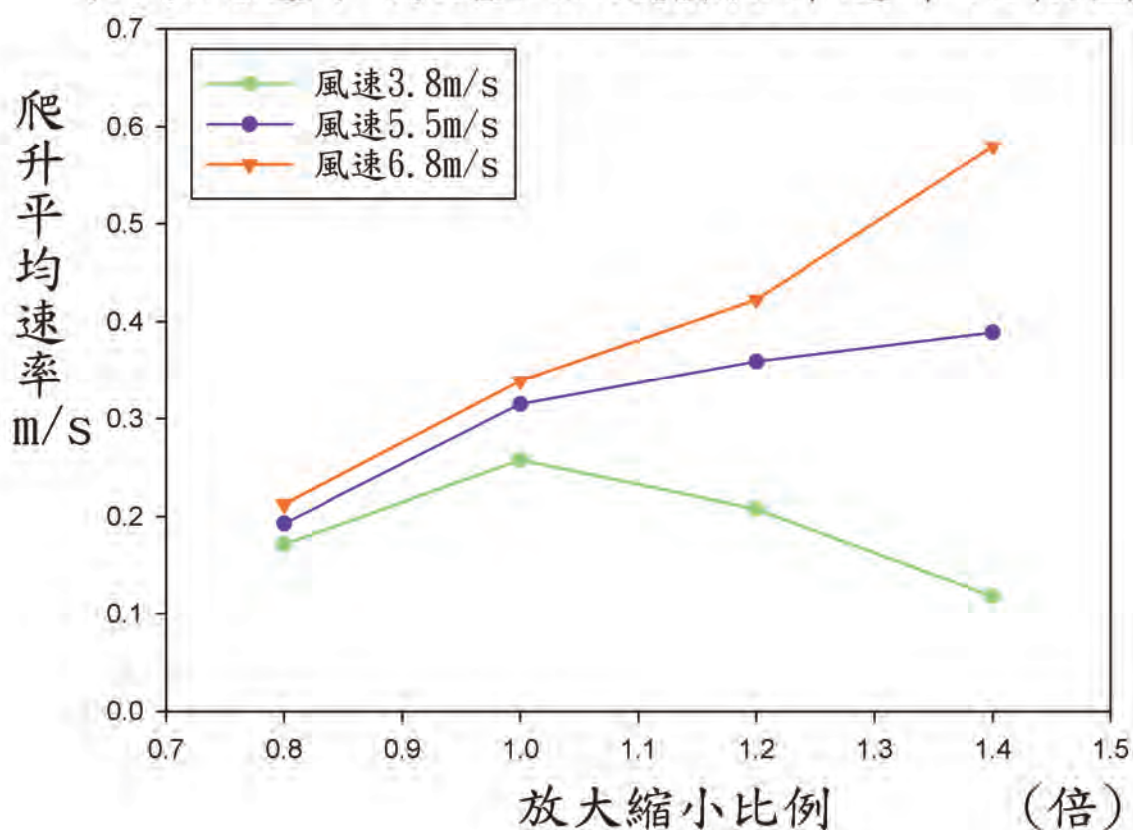
M4 型三滑管毛毛蟲的伸縮爬升動作敏捷有力，腹翼甲、乙前傾的幅度夠大且前傾後都在 30 多度的最佳迎風攻角，因此爬升的力道強，**每伸縮一次的爬升距離較長，只需一次伸縮動作就能爬升到頂。**

六、M 型毛毛蟲翼片競速爬升研究

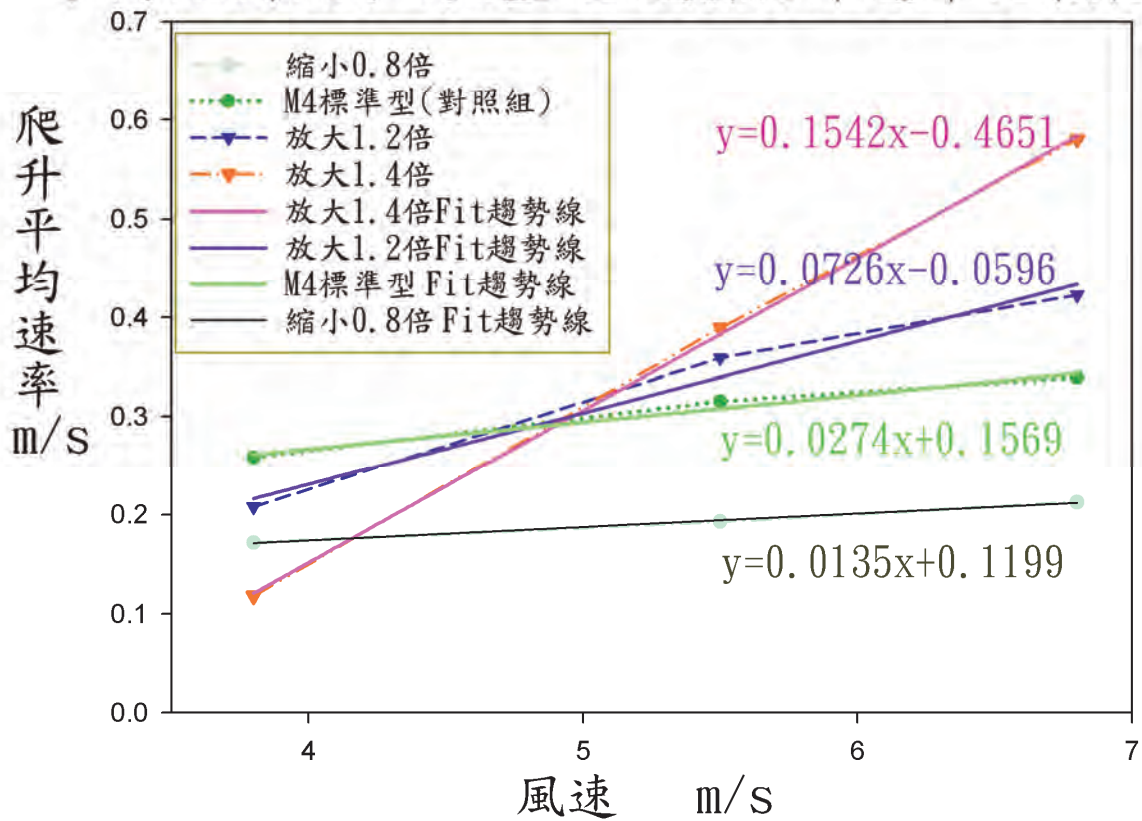
爬升距離：1m 爬升時間：測量 5 次的平均值

放大縮小比例		縮小 0.8 倍	M4 型 (對照組)	放大 1.2 倍	放大 1.4 倍
風速 3.8m/s	爬升 1m 時間(秒)	5.820	3.876	4.812	8.462
	爬升平均速率 m/s	0.1718	0.2579	0.2078	0.1182
風速 5.5m/s	爬升 1m 時間(秒)	5.184	3.172	2.784	2.568
	爬升平均速率 m/s	0.1929	0.3152	0.3592	0.3894
風速 6.8m/s	爬升 1m 時間(秒)	4.706	2.948	2.364	1.724
	爬升平均速率 m/s	0.2125	0.3392	0.4230	0.5800

不同風速下的M型毛毛蟲爬升速率比較圖



不同比例大小的M型毛毛蟲爬升速率比較圖



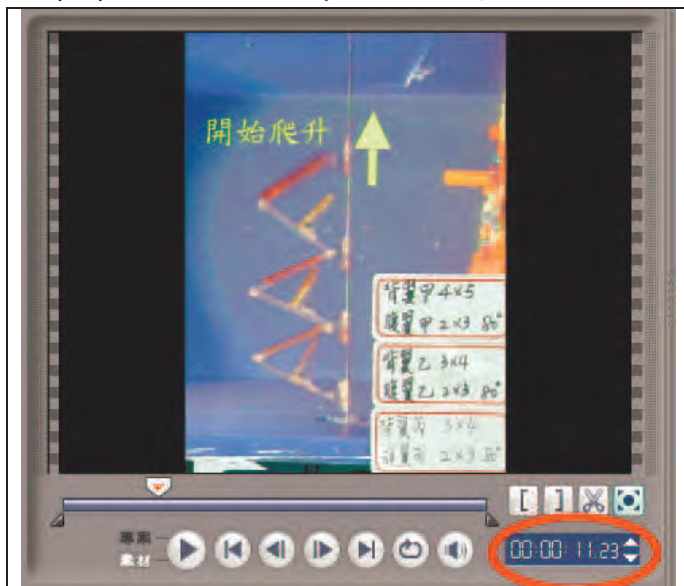
1. 風速增強、毛毛蟲依比例放大可加速其爬升速率；但風速較弱(3.8m/s)時，放大的毛毛蟲因重量增加，爬升速率反而呈現下滑趨勢。
2. 風速 3.8m/s 時，M4 型(對照組)的爬升速率最快，風速增強為 6.8m/s 時，放大 1.4 倍的毛毛蟲爬升速率最快。整體而言，毛毛蟲越大隻其爬升平均速率受風速變化的影響越明顯，爬升速率變化趨勢線斜率為：放大 1.4 倍(斜率 0.1542) > 放大 1.2 倍(斜率 0.0726) > M4 標準型(斜率 0.0274) > 縮小 0.8 倍(斜率 0.0135)。



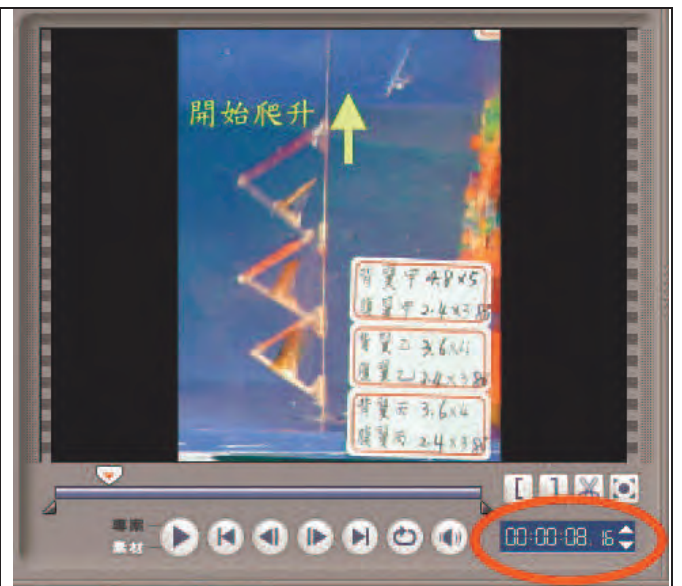


七、雙M型(三節式)毛毛蟲翼片爬升研究

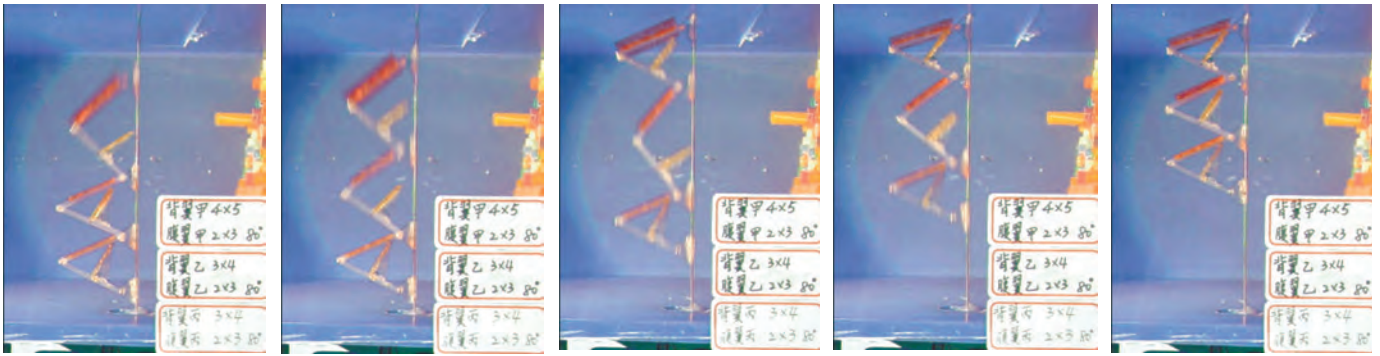
(一)、風洞測試 (風速 5.2m/s)



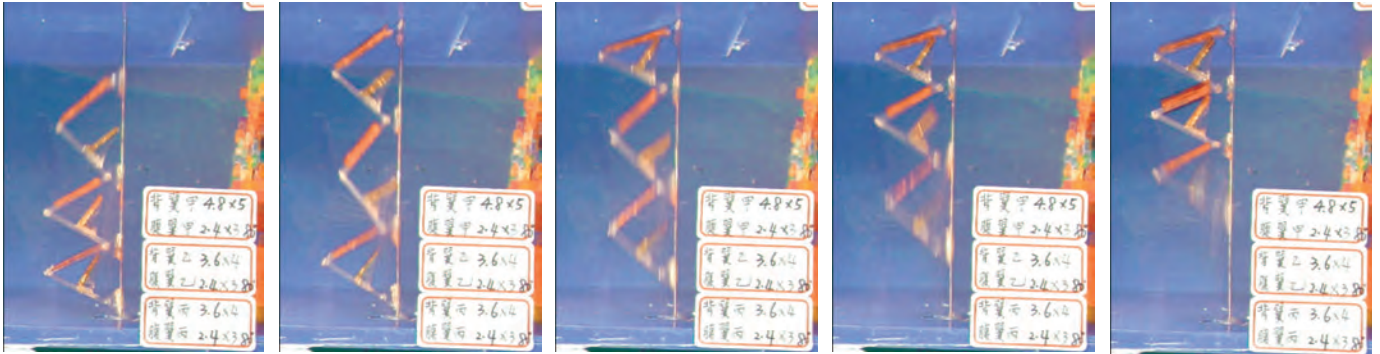
風扇啓動後 11.23 秒滑管 A 開始啓動向上爬升



風扇啓動後 8.16 秒滑管 A 開始啓動向上爬升

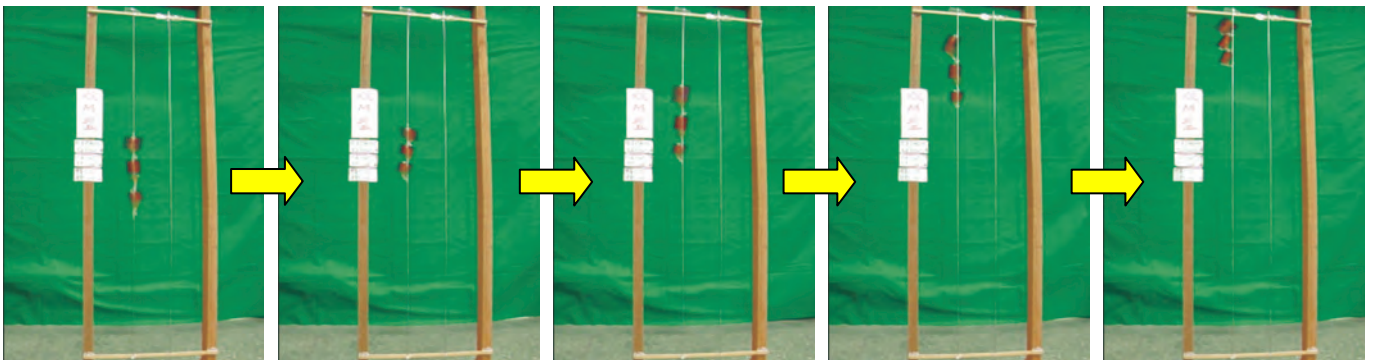
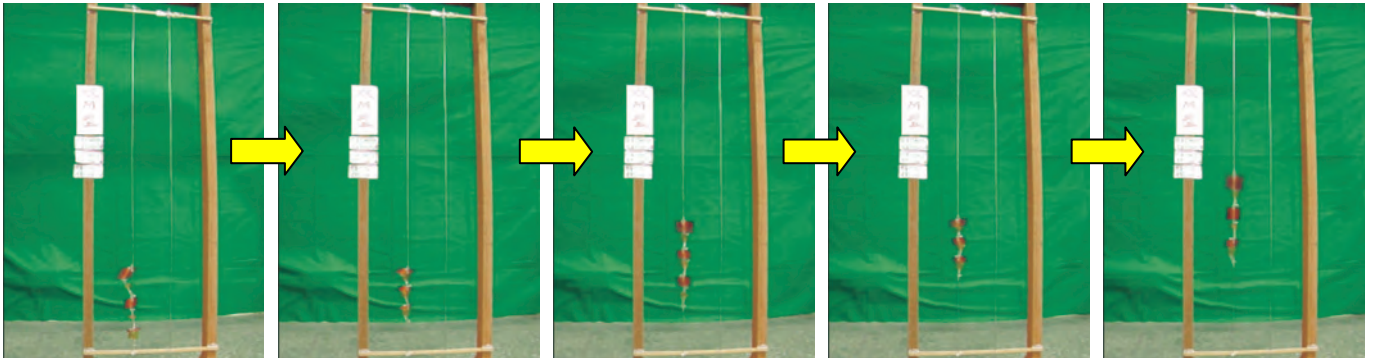


維持原比例的雙 M 型爬升較無力、緩慢，但仍可完成爬升動作。(詳如視訊檔)



增大背腹翼寬度，可提高升力，爬升更敏捷。(詳如視訊檔)

(二)、1m 長的爬升架測試 (風速 6.8m/s)



增大背腹翼寬度的雙 M 型(三節式)毛毛蟲，順利伸縮爬升、登頂成功。

- 1.原比例的雙 M 型(三節式)毛毛蟲，穿在風洞中測試，能完成爬升動作，但因長度增長，重量較為沉重，與 M4 型相比較，在相同風速下爬升較緩慢。
- 2.將背腹翼的寬度增大，長度不變(避免影響攻角)，風扇啟動後開始向上爬升的時間更快更早，伸縮的動作更敏捷，爬升速度更快。但也因翼片寬度增加而使毛毛蟲迎風時較易左右輕微擺動。

柒、討論：

一、自製簡易風洞：收縮段兩端的開口面積比為 4：1，氣流流動的截面積縮小，可提高氣流在風洞中的加速效果。動力段、收縮段外端分別使用抽風扇及吹風扇產生空氣流動，氣流經過整流後風速穩定，翼片可平穩浮升。

二、單片翼浮升的研究

- (一).單片翼攻角 37.5 度升力最大，翼面攻角越大，迎風產生的水平推力也越大。翼面攻角小於 37.5 度，升推比值 >1 ，有利於翼片的浮升；翼面攻角大於 37.5 度升力下降、水平推力增大，升推比值 <1 ，不利於翼片的浮升，且攻角越大升推比值越小。
- (二).單片翼翼片面積增大，迎風產生的升力、水平推力都增大。但因升力趨勢線的斜率(0.2457) $>$ 水平推力趨勢線的斜率(0.1830)，因此升推比值也隨翼片面積增大而穩定緩慢上升。增大翼片面積，可有效增加浮升的拉力，克服本身增加的重量【升力趨勢線的斜率(0.2457) $>$ 翼片重量趨勢線的斜率(0.0307)】。

三、雙滑管、連結雙支架之翼片爬升研究

- (一).滑管長度以 2 cm 的最好。滑管太長，與活動鈕軸形成的抗力力矩較大；滑管太短，支架上抬提起滑管時，滑管易傾斜，兩者都會降低滑管爬升時的升力。
- (二).滑管與鈕軸最佳距離為 0.75 cm。滑管與鈕軸距離過長，浮升時的抗力力矩過大，滑管升力下降。滑管與鈕軸距離太短，支架施力於滑管時扭動的範圍過窄，不利爬升。
- (三).黏貼相同面積翼片的條件下，**支架越長，滑管升力越小**。短支架的翼片作用於滑管的力臂較短，拉動滑管時越省力，滑管之升力值越大。長支架的翼片作用於滑管的力臂較長，拉動滑管時越費力，滑管之升力值越小。
- (四).翼片黏貼支架偏上方越靠近鈕軸，作用於滑管的力臂較短，拉動滑管時越省力，測得滑管之升力值越大。翼片黏貼支架越遠離鈕軸，作用於滑管的力臂較長，拉動滑管時越費力，測得滑管之升力值越小。

四、黏貼腹翼之雙滑管、雙支架翼片爬升研究

- (一).背翼、腹翼面積相等或相差太少，雙滑管翼片無法爬升。背翼 4 cm \times 5 cm、腹翼 2 cm \times 3 cm 面積相差大，背翼迎風面積不被遮擋的部分較多，有足夠升力使滑管 A 上移。
- (二).V7~V9 型的背翼拉升滑管 A 上移，腹翼前傾攻角變小，帶動滑管 B 上移。其中腹翼黏貼在下支架 1/2 處的 V9 型，滑管 A 上移時，腹翼可前傾的角度範圍最大，成最佳迎風攻角 38 度，帶動滑管 B 上移的升力最大。
- (三).V7 型腹翼太接近爬桿，因此前傾最大角度最小(碰觸爬桿)，伸縮爬升的動作較不明顯，V9 型腹翼前傾角度最大(成較有利之迎風攻角)，單一伸縮爬升的動作最大，單一爬升的距離最遠。

五、三滑管、連結兩組雙支架之 M 型毛毛蟲翼片爬升研究

- (一).M1 型由兩組 V9 型連結而成，無伸縮動作，幾乎呈滑升狀態。
- (二).減少背翼乙面積(3 cm \times 4 cm)，降低滑管 B 升力的 M2 型，有伸縮的爬升動作，但因腹翼甲、乙前傾後的迎風攻角仍大，因此爬升的力道較弱，需兩次伸縮動作才能爬升到頂。
- (三).為改進 M2 型缺點，減低腹翼黏貼角度(70 度)的 M3 型，迎風時腹翼甲乙前傾頂觸爬桿且攻角太小，無法伸縮爬升，停留原處。
- (四).腹翼黏貼角度介於 M2 與 M3 型之間(80 度)的 M4 型，伸縮爬升動作敏捷有力，腹翼甲、乙前傾的幅度夠大且前傾後都在 30 多度的最佳迎風攻角，每伸縮一次的爬升距離較長，只需一次伸縮動作就能爬升到頂。

六、M 型毛毛蟲翼片競速爬升研究

- (一).風速增強、毛毛蟲依比例放大可加速其爬升速率；但風速較弱時，放大的毛毛蟲因重量增加，爬升速率反而呈現下滑趨勢。
- (二).毛毛蟲放大比例越大其爬升平均速率受風速變化的影響越明顯，爬升速率變化趨勢線斜率為：放大 1.4 倍(斜率 0.1542) $>$ 放大 1.2 倍(斜率 0.0726) $>$ M4 標準型(斜率 0.0274) $>$ 縮

小 0.8 倍(斜率 0.0135)。

七、雙 M 型(三節式)毛毛蟲翼片爬升研究

- (一).原比例的**雙 M 型(三節式)**毛毛蟲，在風洞中能完成爬升動作，但與 **M4** 型相比較，在相同風速下爬升較緩慢。
- (二).將背腹翼的寬度增大，**雙 M** 型毛毛蟲，在風洞與 1m 爬升測試架中，風扇啓動後開始向上爬升的時間更快更早，伸縮的動作更敏捷，爬升速度更快。

捌、結論：

- 一、本研究以自製的簡易風洞測試用塑膠透明片、吸管做成的單片翼之升力與水平推力，發現翼面浮升之最佳攻角須小於 37.5 度(升推比值 > 1)；增大翼片面積，升力趨勢線的斜率 > 水平推力趨勢線的斜率，有利於浮升。
- 二、我們嘗試以吸管做毛毛蟲的骨架，並以大頭針穿入成活動鈕軸連接滑管，使毛毛蟲在伸展與收縮時能活動自如。經實驗測試滑管爬升時的升力，發現滑管長度 2 cm、滑管與鈕軸距離 0.75 cm、翼片黏貼支架偏上方靠近鈕軸處，所得之升力值最大。
- 三、爲了使支架有伸縮的動作，我們進行背、腹翼面積與黏貼位置的測試，並將兩組背翼 4 cm × 5 cm、腹翼 2 cm × 3 cm、腹翼黏貼在下支架 1/2 處的 V9 型，連結成一隻 M 型毛毛蟲，反覆改正缺點後做成能伸展與收縮、有節奏向上爬升、動作敏捷有力的 M4 標準型毛毛蟲(支架長 5.5 cm、背翼甲 4 cm × 5 cm、腹翼甲 2 cm × 3 cm、背翼乙 3 cm × 4 cm、腹翼乙 2 cm × 3 cm、腹翼黏貼下支架 1/2 處、黏貼角度 80 度)。
- 四、改變 M 型毛毛蟲的大小比例，在不同的風速下分別測試其爬升速率，發現毛毛蟲越大隻，其爬升平均速率受風速變化的影響越明顯(爬升速率變化趨勢線斜率越大)。
- 五、將 M4 標準型毛毛蟲再連接兩支架成雙 M 型(三節式)毛毛蟲，增加背腹翼的寬度，可增大翼片面積提高升力，伸縮的動作更敏捷，爬升速度更快。最佳雙 M 型毛毛蟲架構爲：支架長 5.5 cm、背翼甲 4.8 cm × 5 cm、腹翼甲 2.4 cm × 3 cm、背翼乙 3.6 cm × 4 cm、腹翼乙 2.4 cm × 3 cm、背翼丙 3.6 cm × 4 cm、腹翼丙 2.4 cm × 3 cm、腹翼黏貼下支架 1/2 處、黏貼角度 80 度。

玖、參考資料：

- 一、國民中學自然與生活科技第四冊 民國 99 年 8 月 康軒文教出版 6-1 力與平衡
- 二、國民中學自然與生活科技第五冊 民國 99 年 8 月 康軒文教出版 1-3 速率與速度 3-4 力矩和轉動 3-5 槓桿原理和靜力平衡 3-6 簡單機械
- 三、福島肇著 奇妙的物理入門 國際村文庫書店 2001 年 1 月出版 p97-102
- 四、<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316/031602.pdf>
- 五、<http://baike.baidu.com/view/48523.htm>
- 六、<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=5995&forum=4>

【評語】 030102

1. 利用攻角、升力的飛翔原理，探討自製”毛毛蟲”的向上運動模擬實驗，作者自製各項器材，用心、堅持的態度令人感動，科學精神值得嘉許。
2. 學生表達能力佳，對於問題的探究與解析思緒流暢