

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 自然科

**第一名**

081517

翩翩起舞--氣流對翼片浮升的研究

學校名稱：臺北縣板橋市埔墘國民小學

作者：  小五 柯宇謙 小五 李家瑋 小五 陳均豪	指導老師：  柯文賢 林慶生
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞： 升力、水平推力、蠕動爬升

# 翩翩起舞---氣流對翼片浮升的研究

## 壹、摘要：

本研究利用塑膠投影片、吸管、黏膠等簡易材料，自製許多不同的翼片，以自製的浮升高度測試架測量雙片翼浮升的高度。發現要使雙片翼能夠穩定螺旋轉動浮升，以翼長 12 cm、翼寬 3 cm、雙翼夾角成水平 180 度、底部高度 2 cm 為最佳。以側吹氣流使單片翼浮升的研究中發現：翼面水平夾角 35 度且翼片面積越大，迎風產生的上升浮力越大。接著利用三個單片翼成功組成一個能穩定旋轉浮升、永不掉落的三片翼。最後用四個單片翼組成一個能伸展與收縮、有節奏向上爬升的毛毛蟲。

## 貳、研究動機：

暑假時參加了學校的科學夏令營，老師指導我們做了一隻會旋轉掉落的紙蜻蜓，要比比比看誰的旋轉最好最慢掉落？但因由上往下掉落不易控制會亂轉亂飄，因此我們就異想天開改變氣流方向，由下往上吹來比較浮升高度和旋轉情形。後來我們又想到風都是從水平側面吹來，於是繼續嘗試側吹氣流對單片翼、三片翼的浮升研究，一探其中的奧秘。

## 參、研究目的：

- 一、探討上吹氣流對雙片翼浮升高度和旋轉情形的影響。
- 二、探討側吹氣流對單片翼浮升力量與水平推力的影響。
- 三、探討側吹氣流對三片翼浮升力量的影響。
- 四、探討如何利用單片翼組裝一隻會爬升的毛毛蟲。

## 肆、研究器材、設備：

透明投影片、吸管、風扇、尼龍釣線、捲尺、浮升高度測試架、熱熔膠(槍)、塑膠接著劑、量角器、厚紙板、天平、碼錶、水平推力測試台、木架、吹風機、滑輪、迴紋針、鉚槍、大頭針、攝影機、電腦、會聲會影 10 軟體、CorelDRAW 軟體。

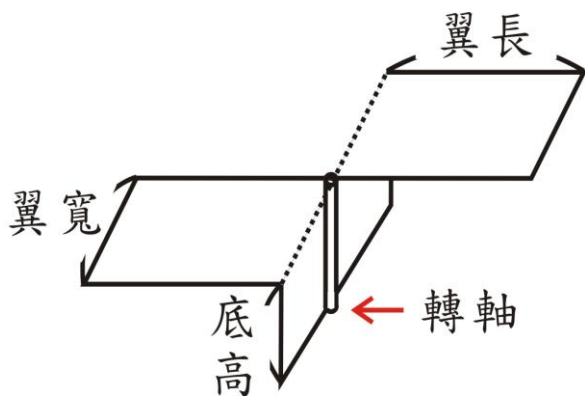
## 伍、研究方法與過程：

### 一、上吹氣流對雙片翼浮升的研究

#### (一) 雙片翼螺旋轉動浮升的原理。

方法：

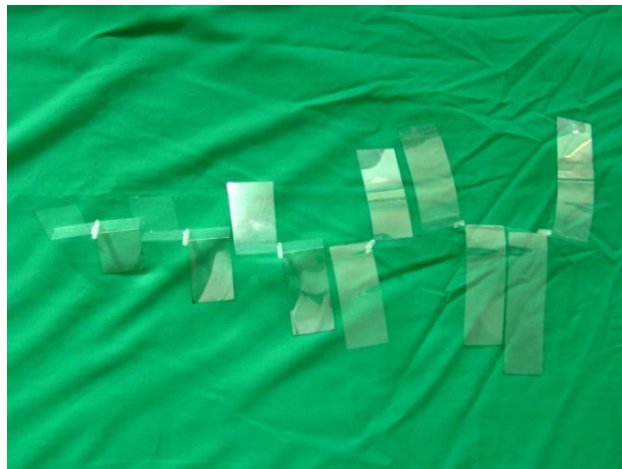
1. 將透明片做成如下圖般的雙片翼，並黏貼 2 cm 的吸管作為轉軸。
2. 將風扇固定在自製的浮升高度測試架下方，風扇中央綁一條尼龍釣線，將雙片翼的吸管轉軸穿入細線中，啟動風扇觀察雙片翼浮升的情形。



## (二) 翼長不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

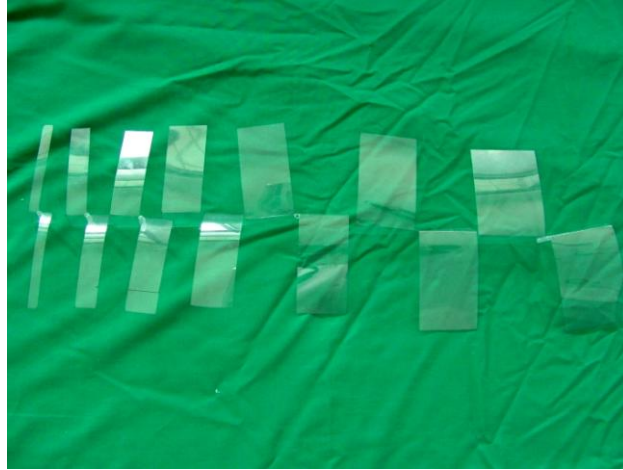
- 1.將透明片剪成翼寬都是 4 cm而長短不同的雙片翼，分別穿在測試架出風口上方的尼龍釣線中。
- 2.啓動風扇（固定相同的轉速）測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，實驗中須保持室內無風干擾。
- 3.每次測量後，關閉風扇再重新啓動，每種翼長測量五次求平均值【詳如視訊檔】。



## (三) 翼寬不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

- 1.將透明片剪成翼長都是 10 cm而翼寬不同的雙片翼，分別穿在測試架出風口上方的尼龍細線上。
- 2.同（二）方法測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，每種測量五次求平均值【詳如視訊檔】。



#### (四) 雙翼展開的夾角不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

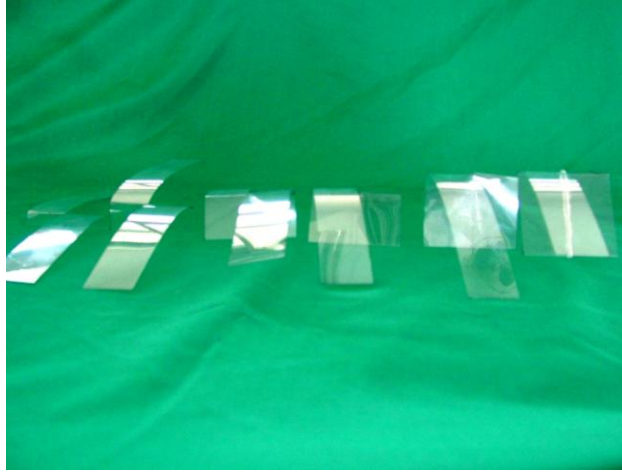
- 1.將透明片剪成翼長 10 cm，翼寬 4 cm 的雙片翼，而雙翼用剪好角度的透明片和熱熔膠固定，使展開的夾角不同，分別穿在測試架出風口上方的尼龍細線上。
- 2.同（二）方法測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，每種測量五次求平均值【詳如視訊檔】。



#### (五) 底部高度不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

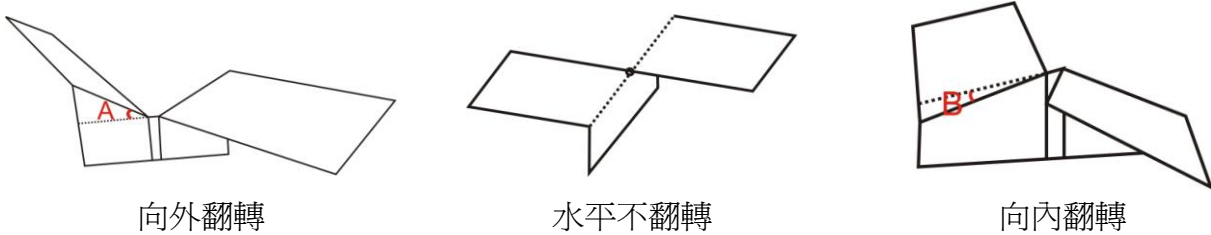
- 1.將透明片剪成翼長 12 cm、翼寬 3 cm、雙翼夾角 180 度，而底部高度不同的雙片翼，分別穿在測試架出風口上方的尼龍細線上。
- 2.同（二）方法測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，每種測量五次求平均值【詳如視訊檔】。



### (六) 翼面內外翻轉的角度不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

- 1.將透明片剪成翼長 12 cm、翼寬 3 cm、底高 2 cm，而翼面內外翻轉角度不同的雙片翼（如下圖），A 為翼面向外翻轉的角度（15、30、45、60 度），B 為翼面向內翻轉的角度（15、30、45、60 度）。
- 2.同（二）方法測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，每種測量五次求平均值【詳如視訊檔】。



### (七) 隔板貼近出風口，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

方法：

- 1.將雙片翼(翼長 10 cm、翼寬 3 cm、底高 2 cm)穿在測試架出風口上方的尼龍細線上。
- 2.以不同長度的紙板由側面貼近出風口，或將紙板由上往下貼近出風口，測量 1 分鐘內底部浮升的最高高度，每種測量五次求平均值【詳如視訊檔】。

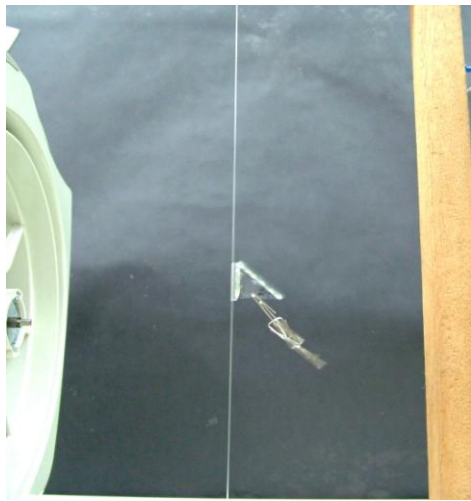
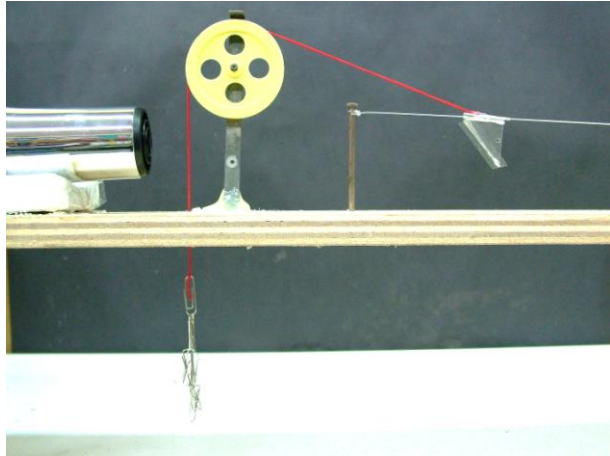


## 二、側吹氣流對翼片浮升的研究

### (一)、單片翼浮升的研究

#### 實驗一：翼面傾斜角度不同對浮升力量與水平推力的影響

方法：

- 1.將 3 cm × 4 cm 的長方形透明片黏貼在 3 cm 的吸管上，使透明片與水平線的夾角不同，製成不同傾斜夾角的單片翼。
- 2.將單片翼穿在細尼龍線中，以風扇固定相同的風力與距離由側面吹風，測量所能浮起的迴紋針最大值，再用天平秤重，測量 5 次求平均值。
- 3.將單片翼穿在自製的水平推力測試台上，用吹風機以相同風力吹送，滑輪下方吊掛迴紋針，測試不同傾斜程度的單片翼所能拉起的迴紋針最大重量，測量 5 次求平均值。

	
浮升力量測試	水平推力測試
	
用天平測重	不同傾斜夾角的單片翼

#### 實驗二：翼面面積不同對浮升力量的影響

方法：

- 1.將不同面積大小的長方形透明片黏貼在 3 cm 的吸管上，使翼面和水平夾角都是 35 度。
- 2.同實驗一方法，測量浮升力量，測量 5 次求平均值。



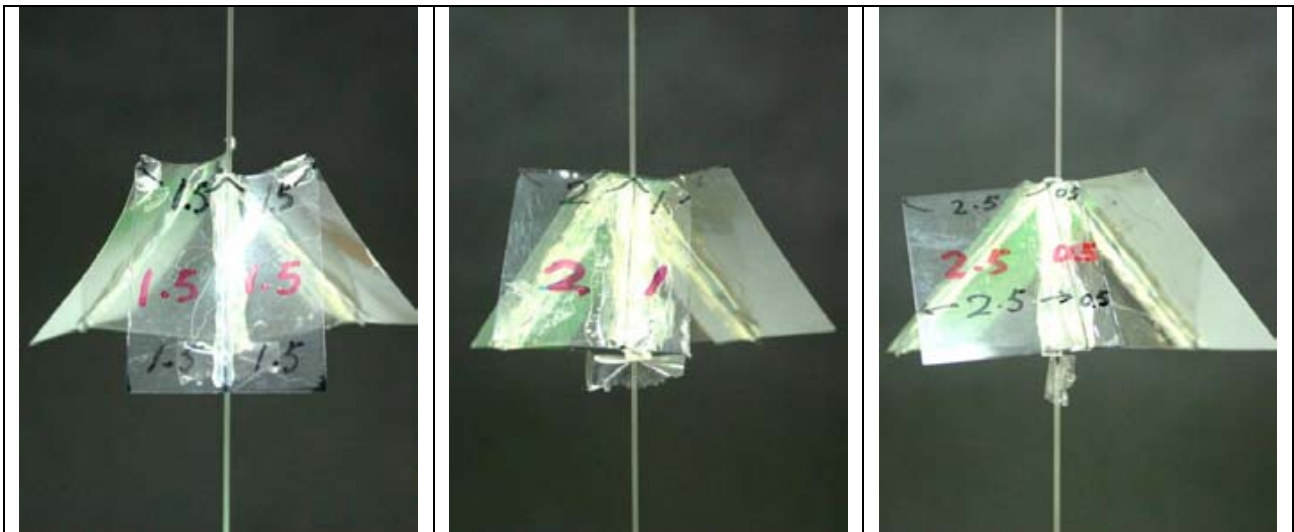
不同翼面面積的單片翼

## (二) 三片翼旋轉浮升的研究

### 實驗三：第一代三片翼旋轉浮升測試

方法：

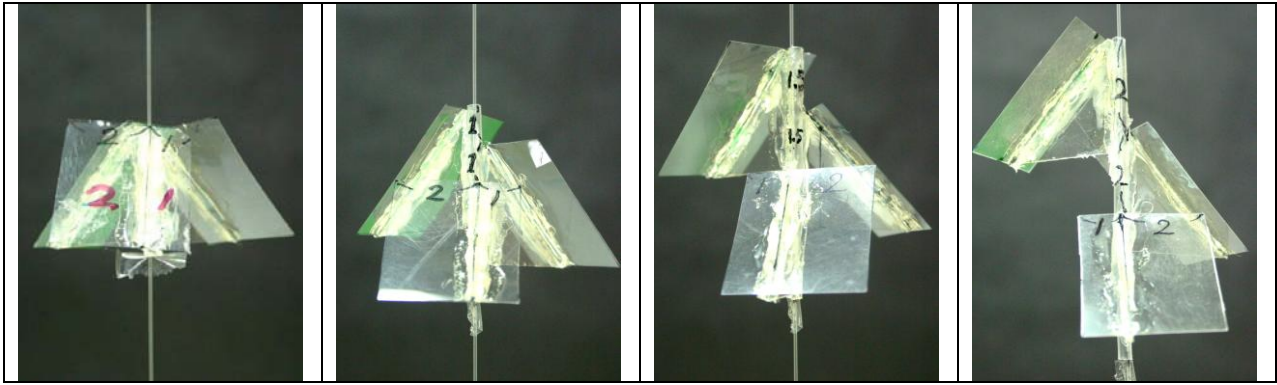
1. 將翼面和水平夾角 45 度的單片翼 3 片，平均黏貼在吸管轉軸上（夾角各 120 度）。
2. 將此三片翼穿在細釣線距底部 25 cm 高的位置，啟動風扇(2 檔、距離 40 cm)測試是否能旋轉浮升。
3. 改變翼面偏離支撐翼片的距離（如下圖），使左右寬度比不同，做成的三片翼，同 2 方法測試是否能旋轉浮升，並測量懸浮時間，測量 5 次求平均值【詳如視訊檔】。



### 實驗四：第二代三片翼旋轉浮升測試

方法：

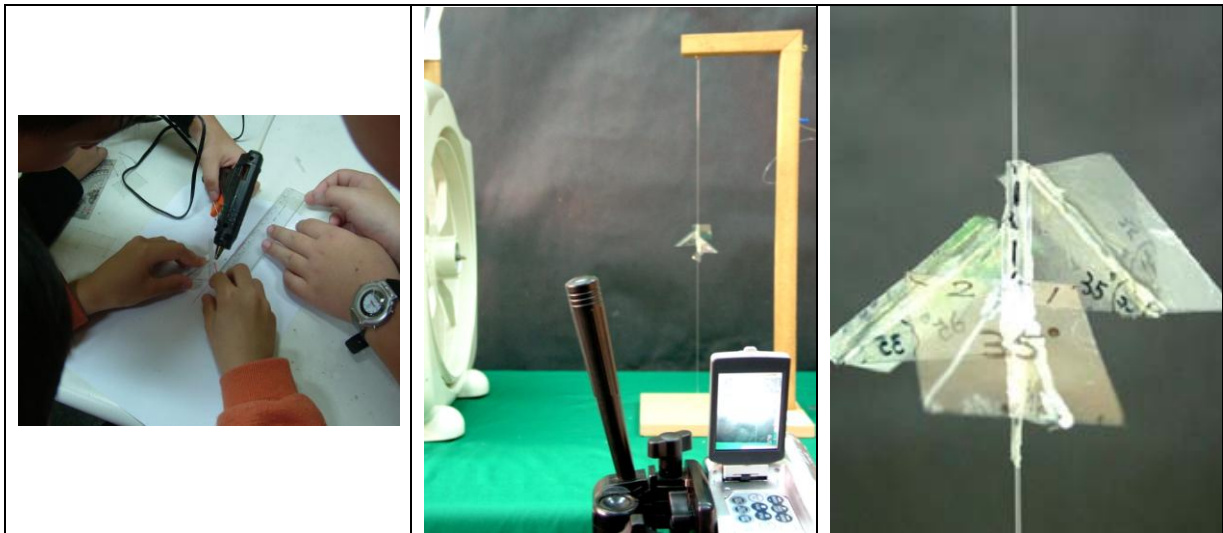
1. 將實驗三中能旋轉的三片翼（翼面偏離 0.5 cm、左右寬度比 2:1），改變各翼片黏貼在中心轉軸上下不同的間距位置（0 cm、1 cm、1.5 cm、2 cm），如下圖。
2. 同實驗三方法測試是否能旋轉浮升，並測量懸浮時間【詳如視訊檔】。



### 實驗五：第三代三片翼旋轉浮升測試

方法：

- 1.將實驗四中能旋轉且懸浮最久的三片翼（翼面偏離 0.5 cm左右寬度比 2:1、上下間距 1 cm），改變各翼片的水平夾角均為 35 度。
- 2.同實驗三方法測試是否能旋轉浮升，並測量懸浮時間【詳如視訊檔】。



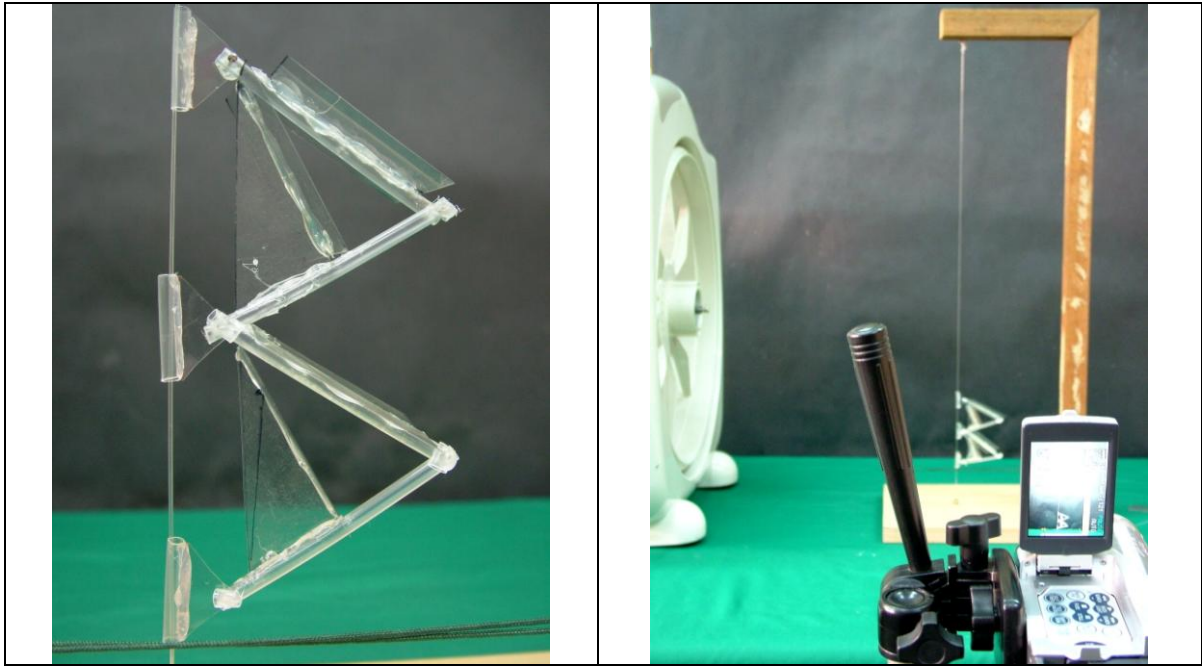
### 三、毛毛蟲蠕動法之翼片爬升研究

#### (一) 第一代毛毛蟲【中中中中 90 型】蠕動法爬升試驗

方法：

- 1.用吸管、透明片、熱熔膠、大頭針等材料，黏製一個像毛毛蟲的組合翼片。
- 2.各支架與支架、支架與滑管間用大頭針穿連，做成活動式接點，使毛毛蟲的收縮與伸展能活動自如。
- 3.第一代毛毛蟲的主翼、腹翼長寬都相同（3 cm × 4 cm），腹翼與支架成 90 度。
- 4.啟動風扇（固定相同的轉速、距離 40 cm），觀察毛毛蟲的爬升【詳如視訊檔】。
- 5.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，測量毛毛蟲爬升時主翼、腹翼翼面和水平線夾角的度數，分析爬升失敗或成功的原因。

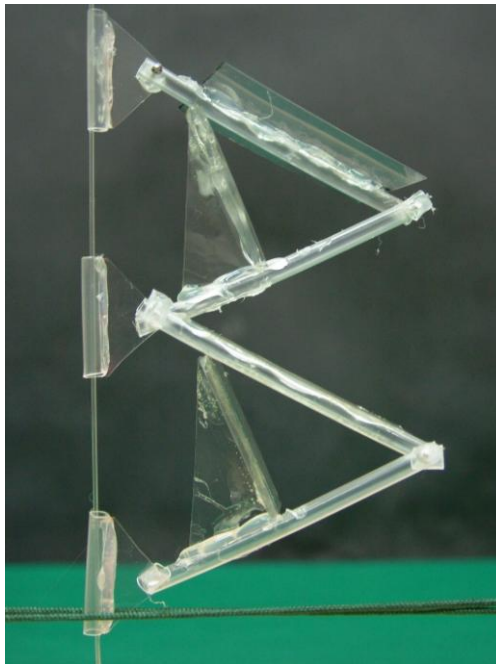




## (二) 第二代毛毛蟲【中小中小 90 型】蠕動法爬升試驗

方法：

1. 第二代毛毛蟲的主翼 (3 cm × 4 cm)、腹翼 (2 cm × 3 cm)，腹翼與支架成 90 度。

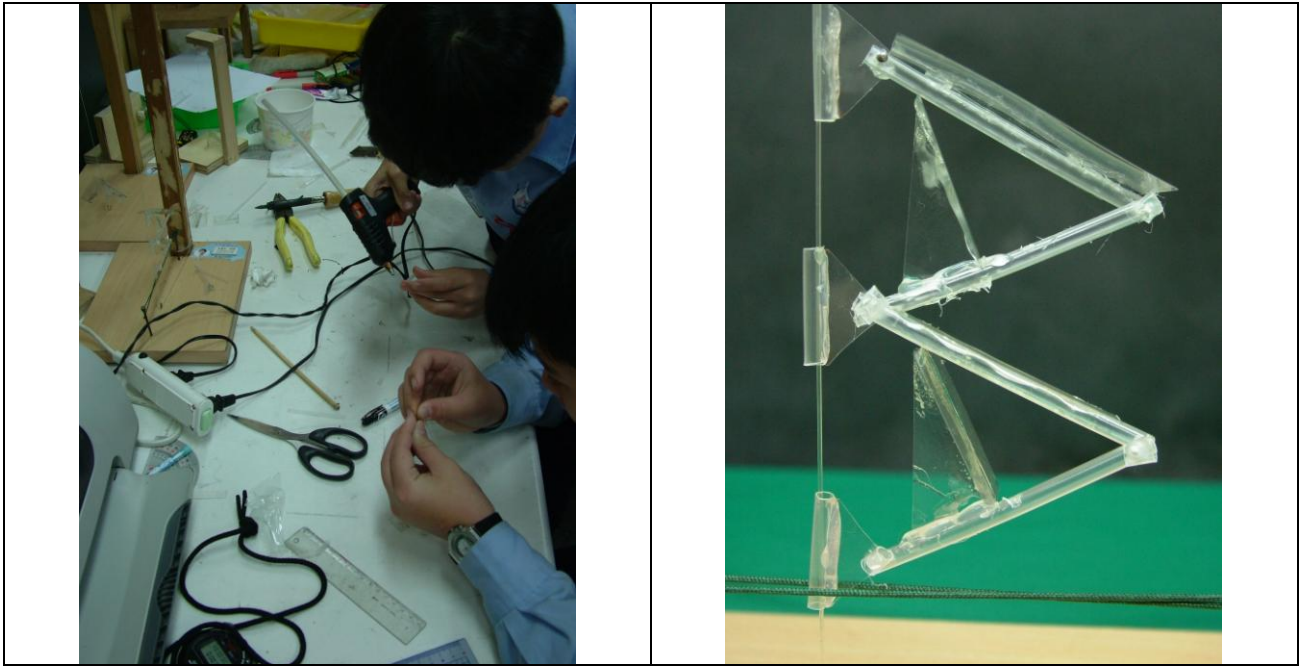


2. 同第一代試驗方法，分析爬升失敗或成功的原因。

## (三) 第三代毛毛蟲【大小中小 90 型】蠕動法爬升試驗

方法：

1. 第三代毛毛蟲的主翼甲 (4 cm × 5 cm)、腹翼乙 (2 cm × 3 cm)、主翼丙 (3 cm × 4 cm)、腹翼丁 (2 cm × 3 cm)，腹翼與支架成 90 度。



2.同第一代試驗方法，分析爬升失敗或成功的原因。

#### (四) 第四代毛毛蟲【大小中小 80 型】蠕動法爬升試驗

方法：

1.第四代毛毛蟲的主翼甲（4 cm × 5 cm）、腹翼乙（2 cm × 3 cm）、主翼丙（3 cm × 4 cm）、腹翼丁（2 cm × 3 cm），腹翼與支架成 80 度。

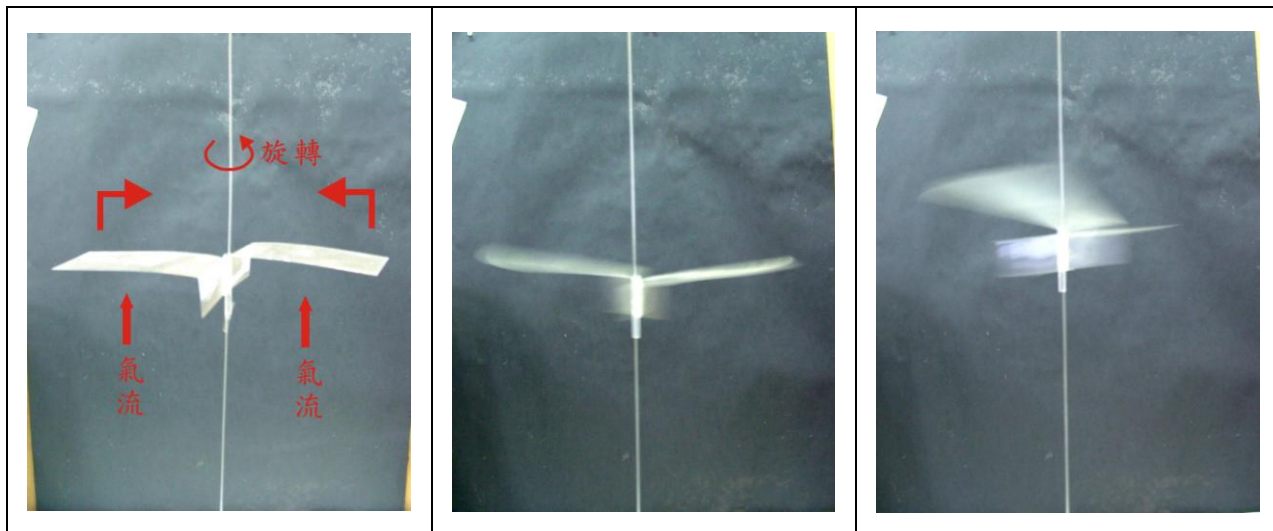


2.同第一代試驗方法，分析爬升失敗或成功的原因。

## 陸、研究結果：

### 一、上吹氣流對雙片翼浮升的研究

#### (一) 雙片翼螺旋轉動浮升的原理。

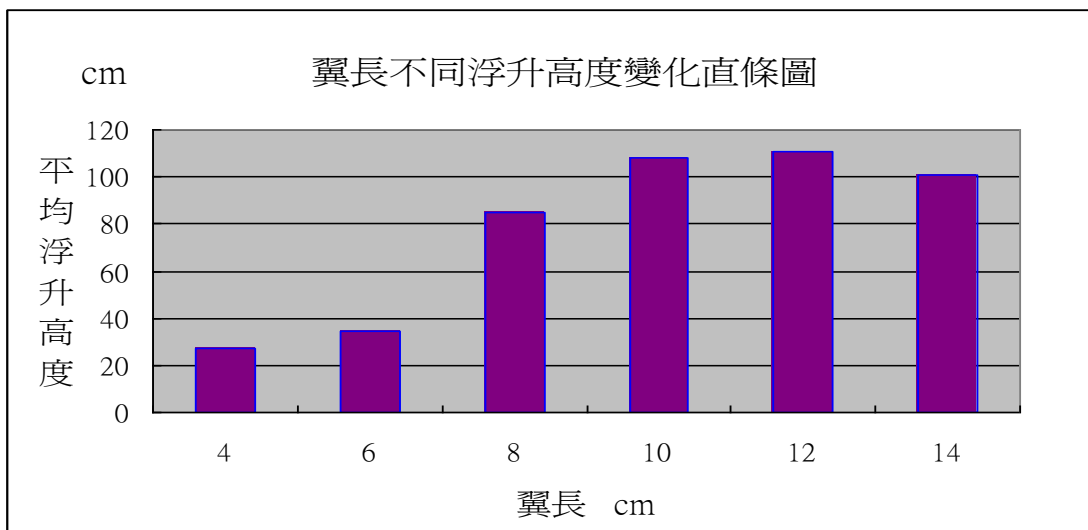


原理說明：

上升氣流推動雙翼，使得雙翼產生向上推力並向左右方向翻轉，由於兩作用力方向相反，且不在同一直線上【作用在吸管轉軸的兩側】，因此雙片翼螺旋轉動向上浮升。

#### (二) 翼長不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

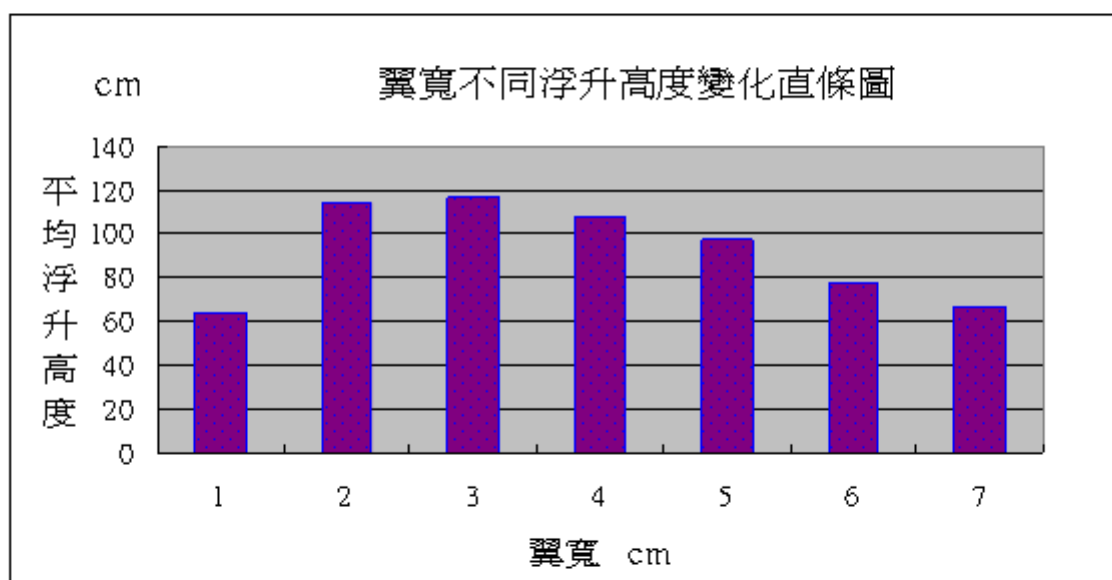
翼長 cm	4	6	8	10	12	14
平均浮升高度 cm	27	34.4	85	108.2	110.6	101
旋轉情形	轉速最快	轉速快	轉速中等	轉速中等	轉速慢	轉速最慢



- 1.翼長太短，受風面積小浮力較小，浮升高度較低。但因重量輕，所以轉速較快。
- 2.翼長增長，受風面積增大，浮力隨之增加，翼長 12 cm 浮升高度最高。但翼長太長，因重量太重，所以轉速變慢，浮升高度也下降。





(三) 翼寬不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

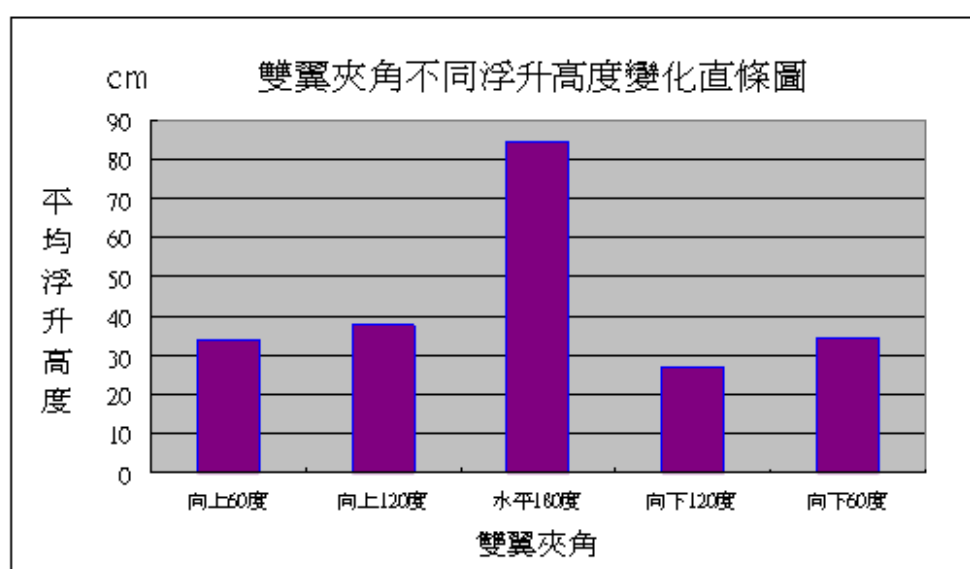
翼寬 cm	1	2	3	4	5	6	7
平均浮升高度 cm	63.4	114	117.2	108	97.6	78	66.8
旋轉情形	剛啟動轉速最快，升高後轉速減慢。	轉速快	轉速快	轉速中等	轉速慢	轉速慢	轉速最慢



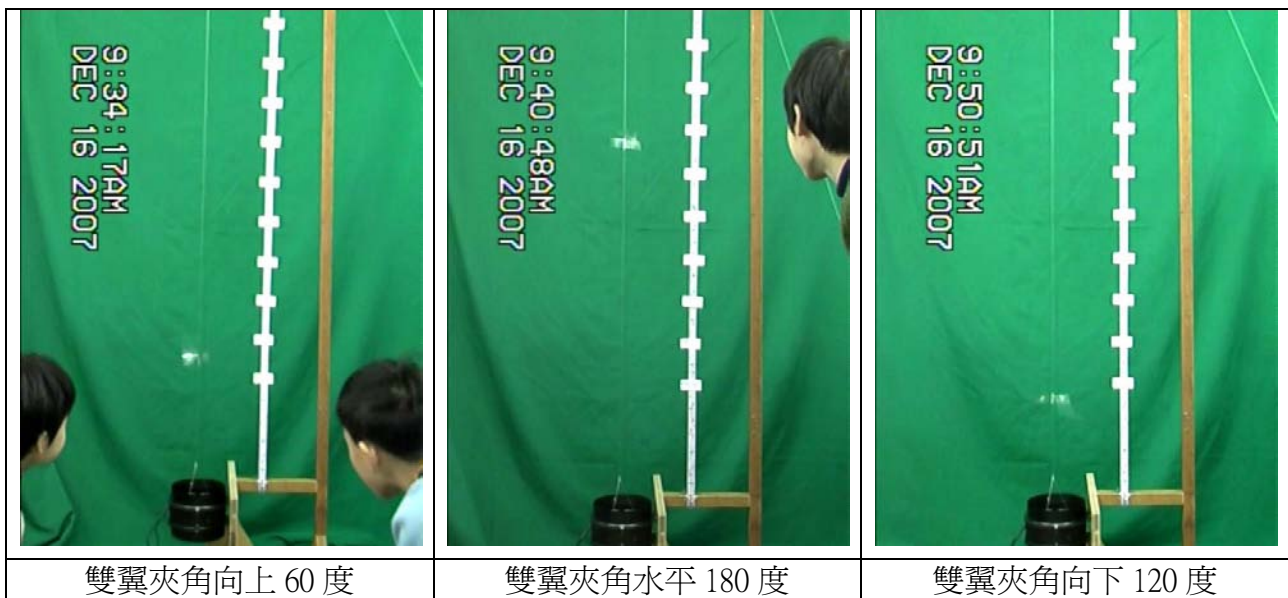
- 1.翼寬太窄 (1 cm)，受風面積小浮力小，浮升高度最低。但因重量輕，所以剛啟動時轉速最快，但爬升後浮力更小，轉速明顯減慢。
- 2.翼寬 2~4 cm，浮升高度可達 100 cm 以上，尤其翼寬 3 cm 的雙片翼，浮升高度最高且轉速又快。
- 3.翼寬太長，因重量太重，所以轉速變慢，浮升高度也下降。

#### (四) 雙翼展開的夾角不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

雙翼夾角					
平均浮升高度 cm	34.2	37.6	84.4	27	34.4
旋轉情形	轉速最快	轉速快	轉速中等	呈懸浮狀 旋轉緩慢 或不旋轉	接近出風口時 快轉，浮升後 轉速變慢。

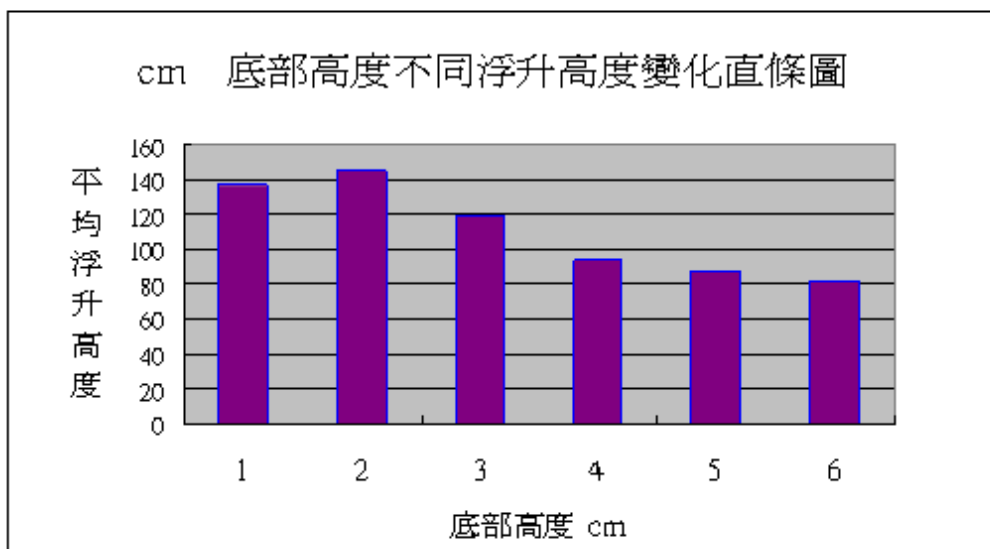


1. 雙翼夾角以呈水平 180 度的浮升高度最高，雙翼向下或向上浮升都不理想。
2. 雙翼向上的轉速很快，好像滑冰舞者收縮身體和雙臂原地快轉一般，而雙翼向下 60 度則開始啟動時快轉，但浮升後轉速變慢。至於向下 120 度則大都呈懸浮狀態不太旋轉，姿態像降落傘。
3. 本實驗因固定角度的熱熔膠增加重量，故浮升較低。

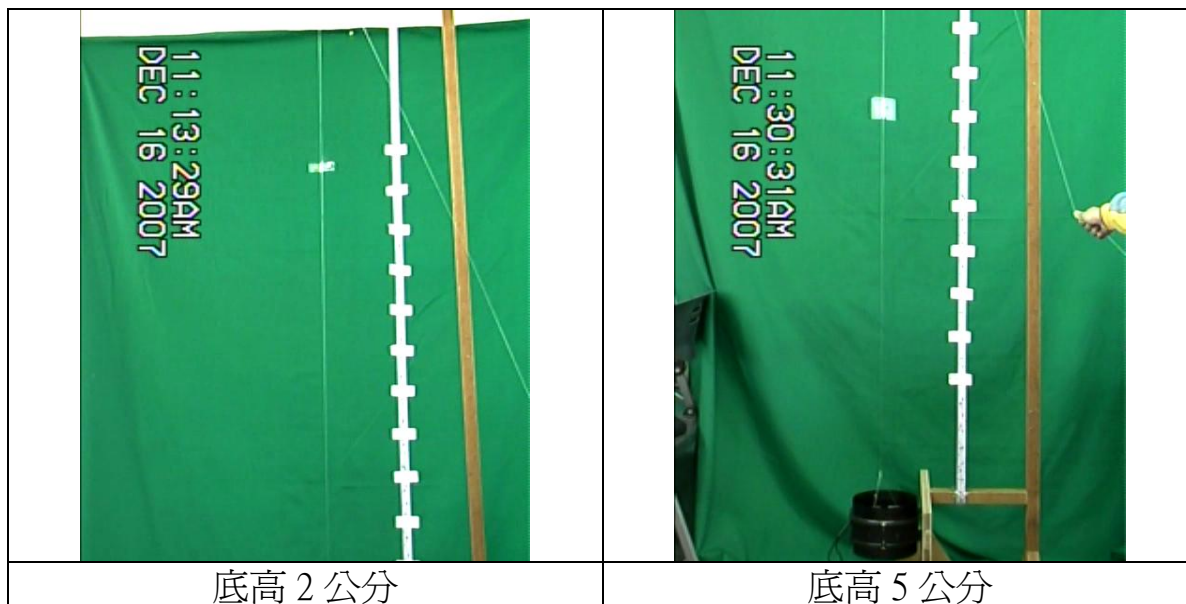


(五) 底部高度不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

底部高度 cm	1	2	3	4	5	6
平均浮升 高度 cm	137	145.6	118.4	94	87.2	82.4
旋轉情形	轉速快 但不平穩	轉速快 平穩	轉速中等 不平穩	轉速中等 不平穩	轉速慢 不平穩	轉速慢 不平穩

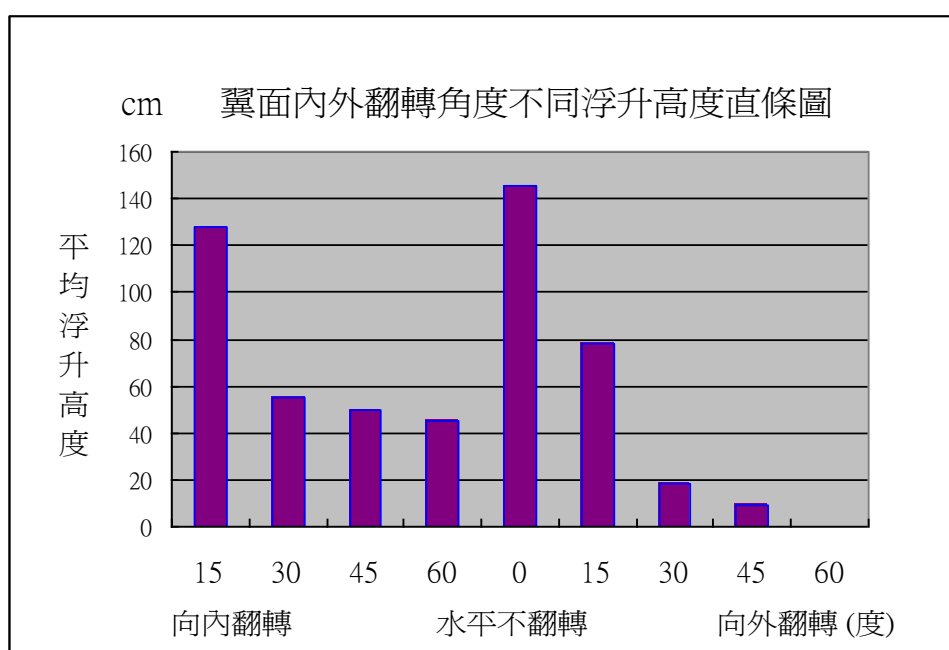


- 雙片翼的底部高度以 2 cm 最佳，浮升高度最高，轉速快又平穩，搭配最佳的翼長 12 cm 和最佳的翼寬 3 cm，成功創造浮升的最高紀錄。
- 底部高度 1 cm 可減低旋轉時的風阻，故轉速快，加上重量輕，所以浮升也很高，但也因底高太短，造成旋轉時的不穩。
- 底部高度 3 cm 以上，造成旋轉時的風阻越大，加上重量增加，使得轉速變慢且不穩，浮升高度降低。

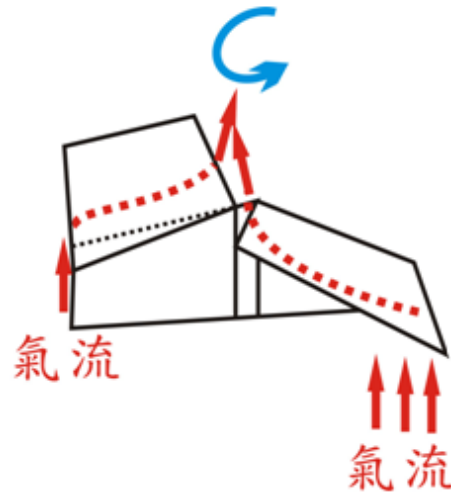


(六) 翼面內外翻轉的角度不同，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

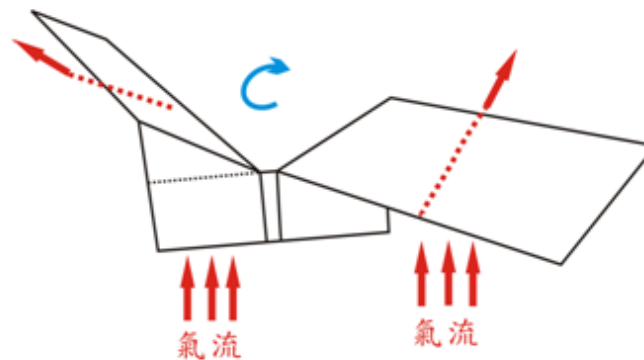
翼面內外 翻轉角度	向內翻轉				水 平 不翻轉	向外翻轉			
	15	30	45	60		0	15	30	45
平均浮升 高度 cm	128.2	55.6	49.4	45	145.4	78	182	9	0
旋轉情形	轉 平 速 穩 很 快	轉 平 速 穩 很 快	轉 不 速 平 快 穩	轉 速 中 等	轉 平 速 穩 快	轉 速 中 等	轉 不 速 平 慢 穩	轉 不 速 平 慢 穩	轉 不 速 平 慢 穩



- 1.翼面翻轉傾斜，氣流容易從翼面滑過，向上的推力變小，因此浮升高度都比水平不翻轉的雙片翼低。且翻轉角度越大，浮升高度越低。
- 2.向內翻轉 30 度以內的雙片翼，氣流由靠軸心的一側向上集中流動，推動轉軸的力臂更短、力量更大，轉速比水平不翻轉的雙片翼明顯更快，且向逆時針方向旋轉。至於翻轉角度過大，氣流直接滑出，轉速變慢。

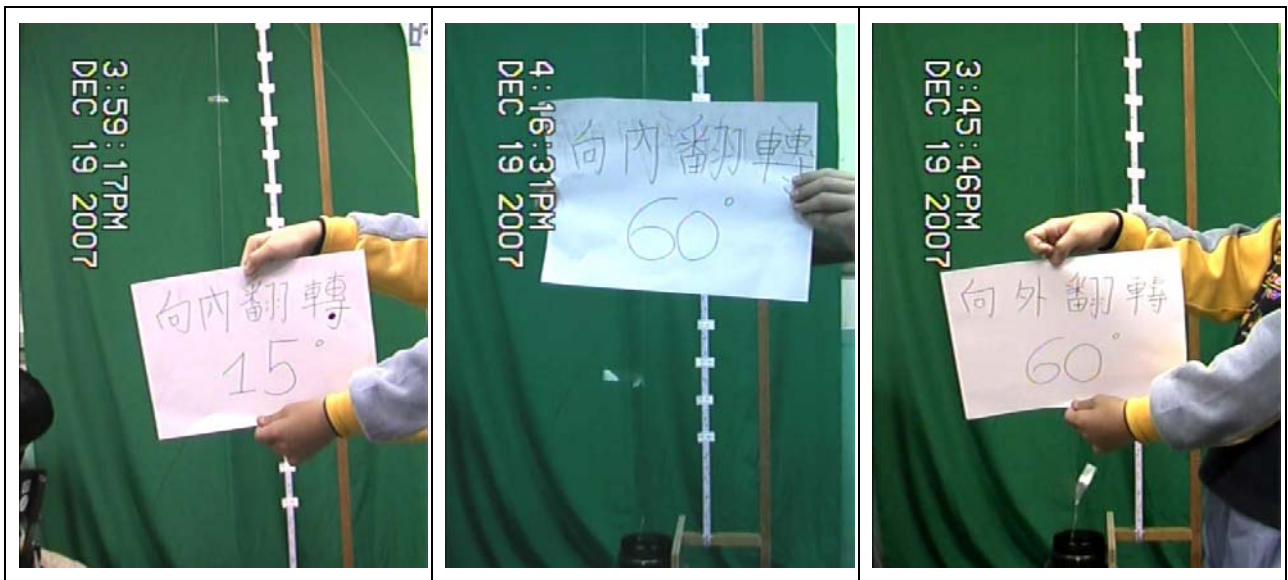


- 3.向外翻轉的雙片翼，氣流由靠雙翼外側向側上方分散滑出，推動轉軸的力臂較長、力量變小，轉速明顯變慢，且向順時針方向旋轉。



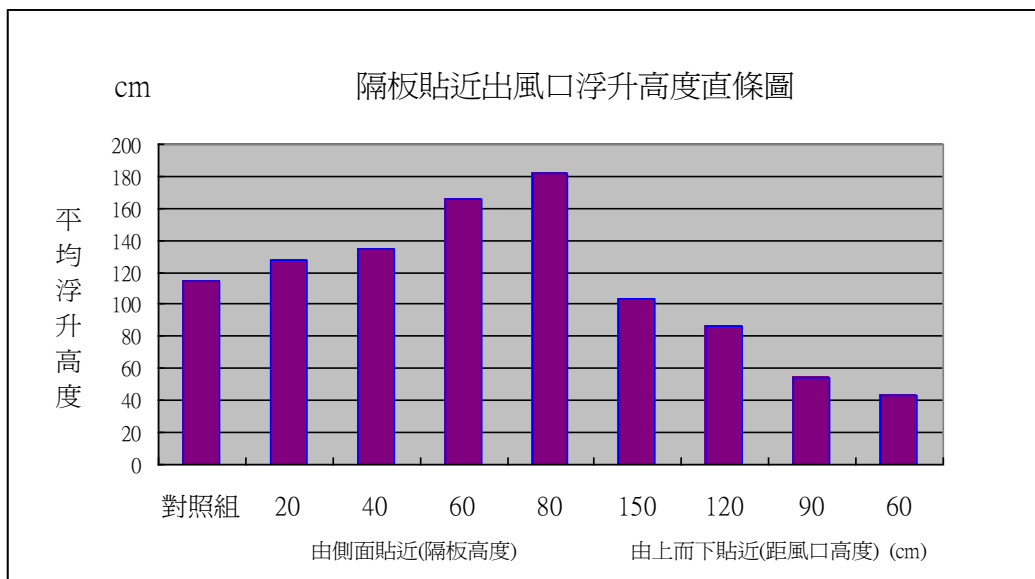
- 4.水平不翻轉的雙片翼浮升高度最高，但轉速比向內翻轉的翼片慢，旋轉方向與風扇啓動時的旋轉方向相同。



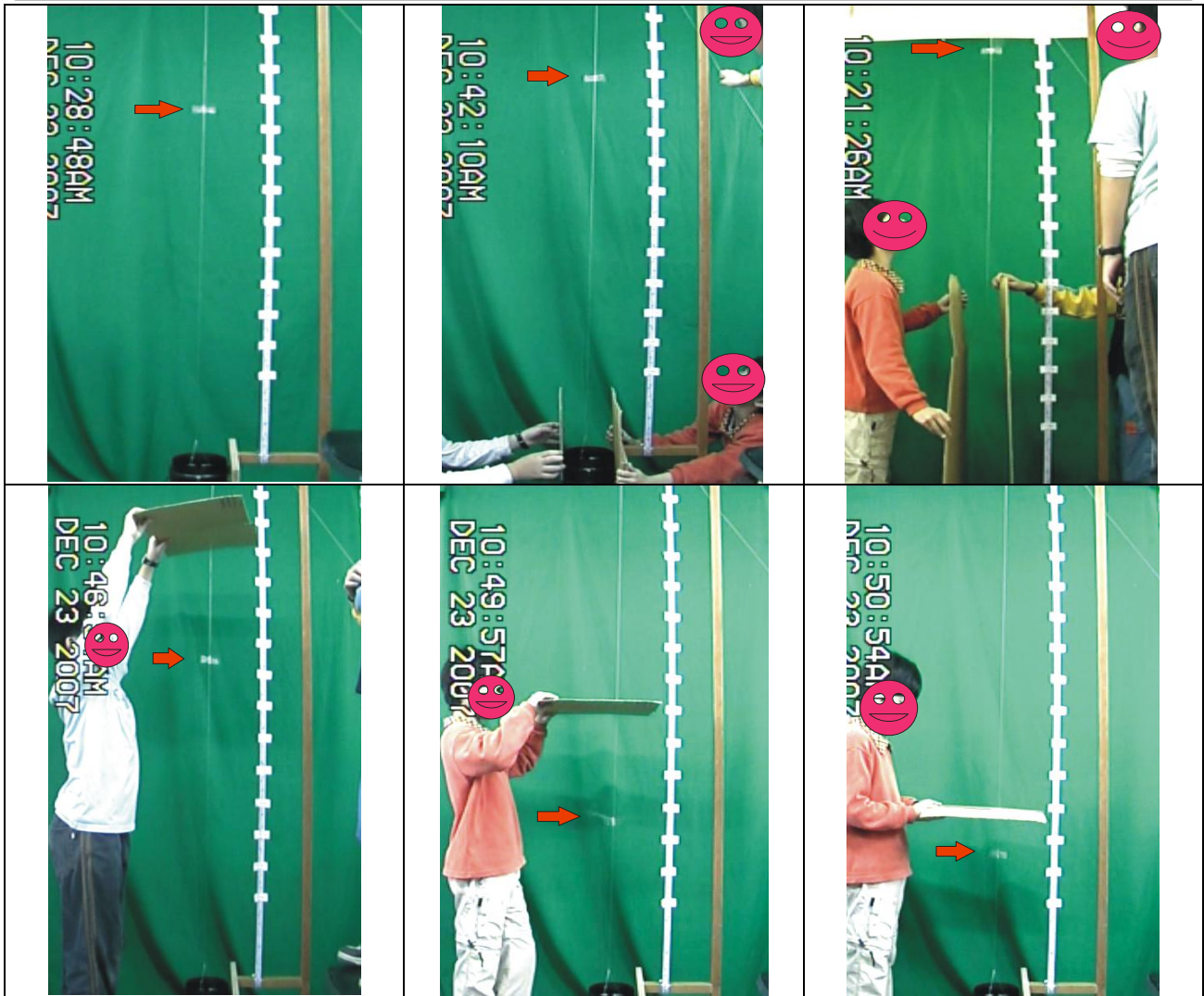


(七) 隔板貼近出風口，對雙片翼的旋轉與浮升是否有影響？

隔板位置	對照組	隔板由側面貼近出風口				隔板由上而下貼近出風口			
隔板長度 <sub>cm</sub>	無	20	40	60	80				
隔板與出風口距離 <sub>cm</sub>	無					150	120	90	60
平均浮升高度 <sub>cm</sub>	117.4	127.6	135	166.2	181.6	104	86.4	54.8	43
旋轉情形	轉速快	轉速快	轉速快	轉速很快	轉速最快	轉速快	轉速中等	轉速中等	轉速中等



1. 隔板由側面貼近，可使氣流集中，推力更大，雙片翼浮升高度更高，轉速也會更快。
2. 隔板由上向下貼近，因氣流碰到隔板後向下反壓，雙片翼浮升高度因此降低，轉速也會變慢。
3. 隔板由上向下距出風口越近，雙片翼浮升高度越低，上下移動隔板，可以自由控制雙片翼的浮沉，非常有趣。

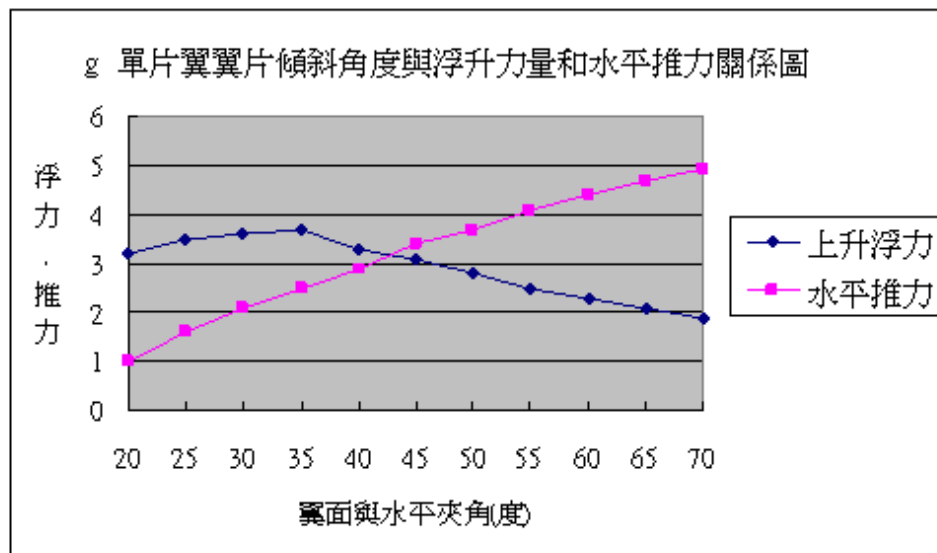


## 二、側吹氣流對翼片浮升的研究

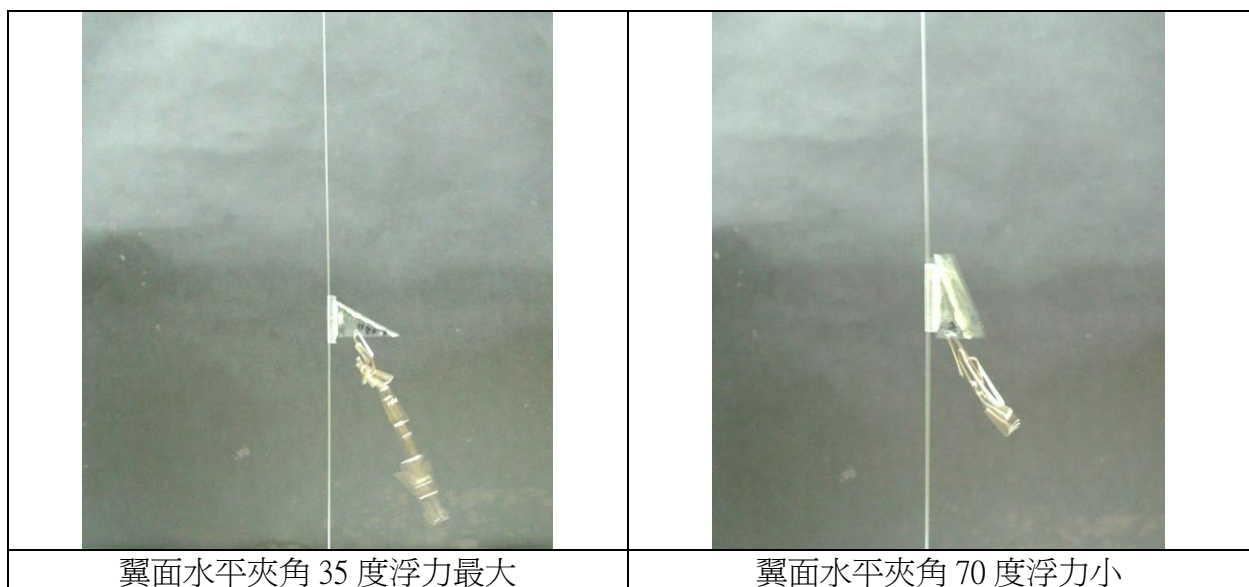
### (一) 單片翼浮升的研究

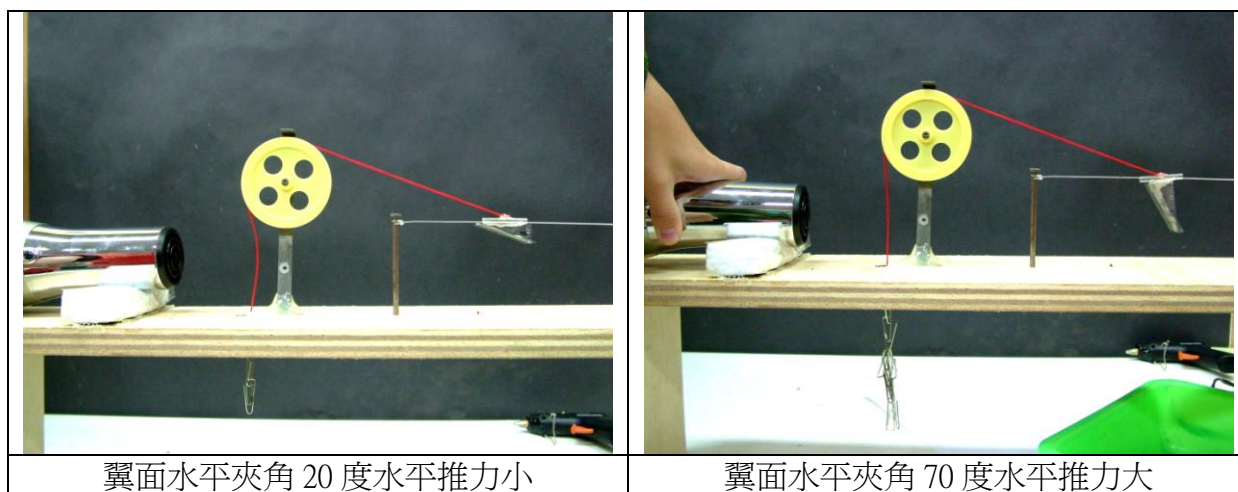
#### 實驗一：翼面傾斜角度不同對浮升力量與水平推力的影響

傾斜角度	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
浮升力量 (g)	3.2	3.5	3.6	3.7	3.3	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	1.9
水平推力 (g)	1	1.6	2.1	2.5	2.9	3.4	3.7	4.1	4.4	4.7	4.9



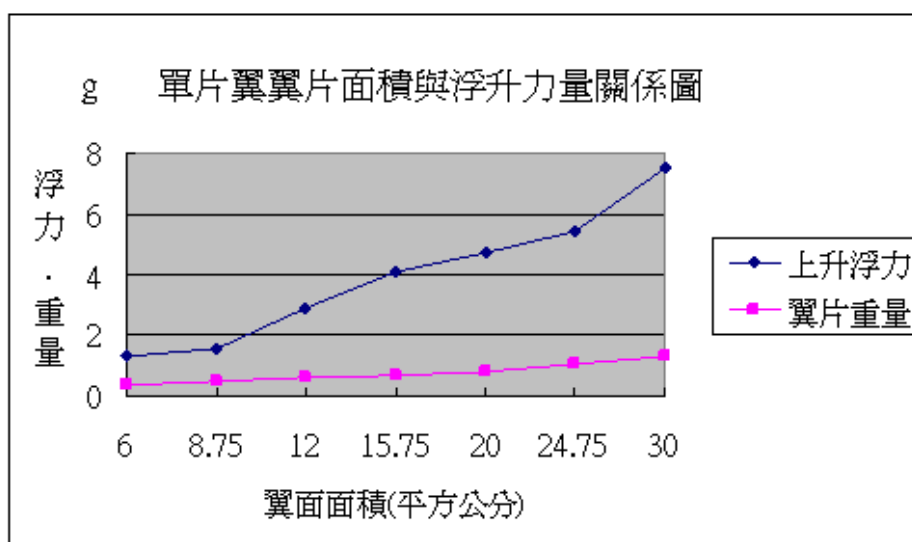
1. 翼面水平夾角 35 度的單片翼上升浮力最大，而翼面水平夾角越大，迎風產生的水平推力也越大。
2. 翼面水平夾角小於 45 度，產生的水平推力較小，有較大的上升浮力；大於 45 度會因水平推力增大而增加吸管與線的磨擦力，削弱上升的浮力。





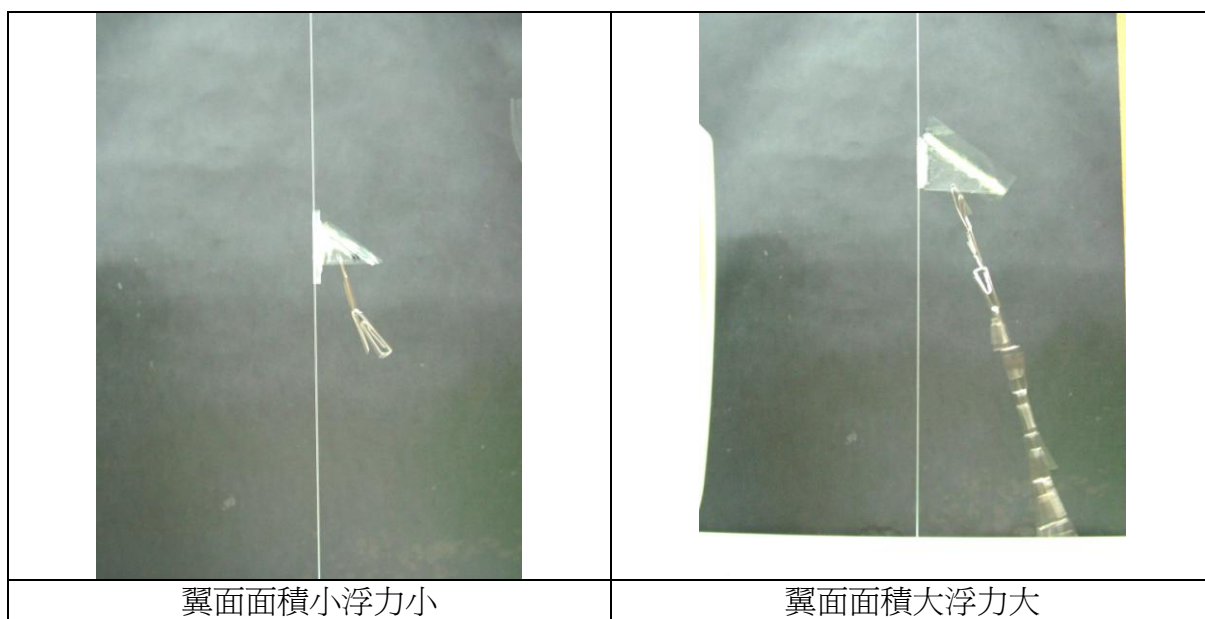
### 實驗二：翼面面積不同對浮升力量的影響

翼面面積 $\text{cm}^2$	$2\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ( $6\text{ cm}^2$ )	$2.5\text{ cm} \times 3.5\text{ cm}$ ( $8.75\text{ cm}^2$ )	$3\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ ( $12\text{ cm}^2$ )	$3.5\text{ cm} \times 4.5\text{ cm}$ ( $15.75\text{ cm}^2$ )	$4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ( $20\text{ cm}^2$ )	$4.5\text{ cm} \times 5.5\text{ cm}$ ( $24.75\text{ cm}^2$ )	$5\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ( $30\text{ cm}^2$ )
浮升力量 (g)	1.3	1.6	2.9	4.1	4.7	5.4	7.5
翼片重量 (g)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.3





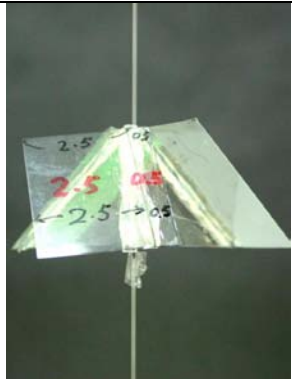
翼片面積越大，迎風產生的上升浮力越大，重量也會輕微增加，由曲線圖得知：上升浮力增加的斜度 > 重量增加的斜度，因此增大受風面積雖然使得重量增加，但增大的上升浮力可以克服本身增加的重量，有效增加浮升拉起的迴紋針重量。

## 實驗二：翼面面積不同對浮升力量的影響

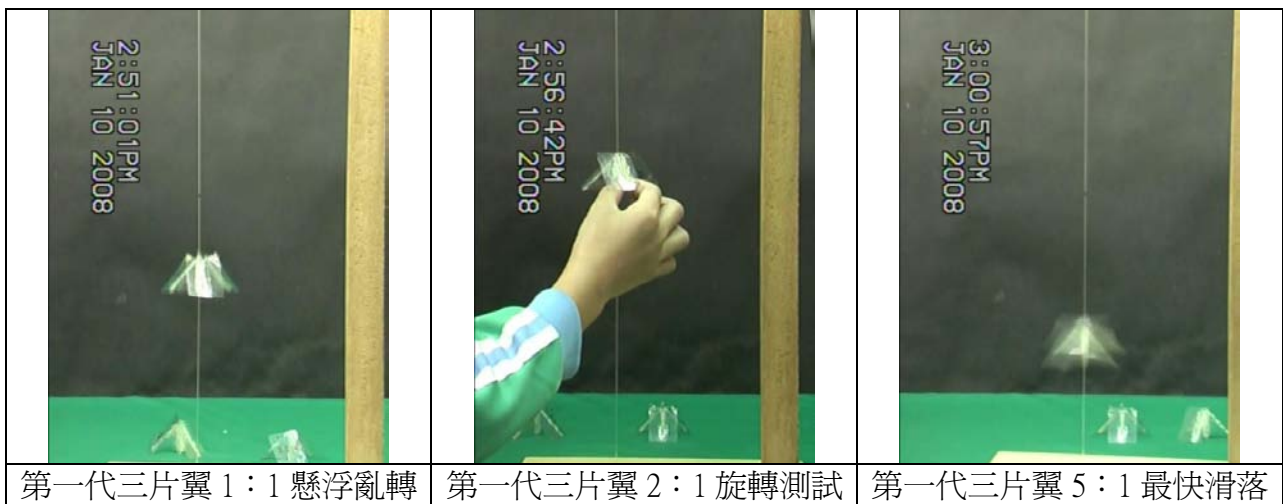


### (二) 三片翼旋轉浮升的研究

#### 實驗三：第一代三片翼旋轉浮升測試

翼面左右寬度比	1 : 1	2 : 1	5 : 1
翼面水平夾角	45 度	45 度	45 度
圖例			
可否旋轉	×	○	○
可否浮升	×	×	×
懸浮時間	7.82 秒	8.19 秒	2.62 秒
備 註	不穩定、左右亂轉或不轉	穩定旋轉、不能浮升很快往下旋轉滑落	旋轉最快、不能浮升最快往下旋轉滑落

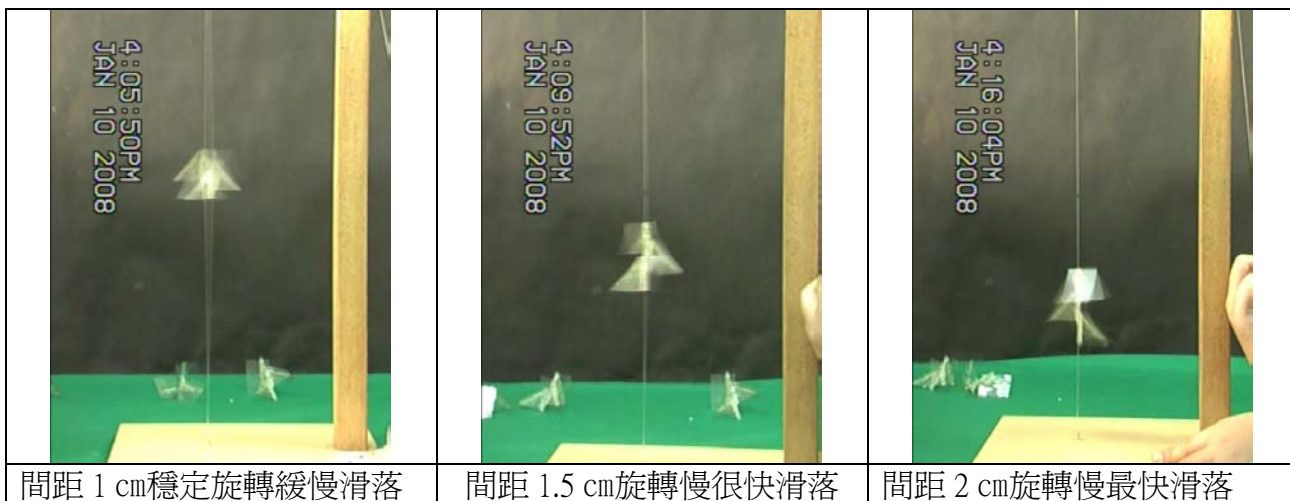
1. 三片翼的翼面偏離支撐翼片造成受風面積大小不同，氣流由較寬的一邊往較窄的一邊推動，造成穩定旋轉；但翼面置中不偏移則氣流無法順利推動翼面，造成左右亂轉或不轉。
2. 第一代三片翼都無法浮升，懸浮時間短暫，放手後很快就會往下滑落，可能與重量太重、翼面水平夾角過大、受風面積不足等有關。
3. 翼面左右寬度比 2 : 1 旋轉時最穩定，懸浮時間較長；翼面左右寬度比 5 : 1 旋轉時最快速，但懸浮時間短，應是大部分氣流都作用在旋轉上，使浮升的力量反而減弱。



#### 實驗四：第二代三片翼旋轉浮升測試

翼片上下間距	0 cm (對照組)	1 cm	1.5 cm	2 cm
翼面水平夾角	45 度	45 度	45 度	45 度
圖例				
可否旋轉	○	○	○	○
可否浮升	×	×	×	×
懸浮時間	8.19 秒	39.89 秒	7.6 秒	7.08 秒
備 註	穩定旋轉 不能浮升 很快往下滑落	穩定旋轉 不能浮升 緩慢往下滑落	旋轉較慢 不能浮升 很快往下滑落	旋轉較慢 不能浮升 很快往下滑落

1. 移動翼片上下黏貼間距，可以增加翼面的迎風面積，減少相互遮擋，增加上升浮力。
2. 翼片上下間距以 1 cm 最適合，懸浮時間最長，最慢滑落，雖比第一代好，但仍無法浮升。
3. 翼片上下間距過大，則推動旋轉的力量分散，轉速較慢，加上重量增加，因此很快往下滑落。




間距 1 cm 穩定旋轉緩慢滑落

間距 1.5 cm 旋轉慢很快滑落

間距 2 cm 旋轉慢最快滑落

### 實驗五：第三代三片翼旋轉浮升測試

圖 例	翼面水平夾角	翼面左右寬度比	翼片上下間距	可否旋轉	可否浮升	懸浮時間
	35 度	2 : 1	1 cm	○	○	永不掉落

爲了克服三片翼重量的增加，將第二代的翼面改爲上升浮力最大的水平夾角 35 度，果然成功了！第三代三片翼不但穩定旋轉，且能慢慢浮升、永不掉落。



### 三、毛毛蟲蠕動法之翼片爬升研究

#### (一) 第一代毛毛蟲【中中中中 90 型】蠕動法爬升試驗

<p>(1) 第一代毛毛蟲結構圖</p>	<p>(2) 腹翼迎風角度大，擋住吹向主翼的氣流（吹風前狀態）</p>	<p>(3) 腹翼水平夾角大，水平推力大，緩慢浮升無伸縮動作。</p>
<p>(4) 腹翼水平夾角大，水平推力大，緩慢浮升無伸縮動作。</p>	<p>(5) 腹翼水平夾角大，水平推力大，緩慢浮升無伸縮動作。</p>	<p>(6) 浮升最高點，無伸縮動作。</p>

1. 第一代毛毛蟲可以緩慢浮升，但浮升過程始終保持相似的角度姿勢，沒有毛毛蟲收縮與伸展的動作。
2. 第一代毛毛蟲蠕動爬升失敗是因為：主翼雖然迎風角度佳，但腹翼和主翼大小相同，擋住吹向主翼的氣流，使主翼甲無力向上伸展，腹翼無法前傾成較佳迎風角度。而腹翼受風後的水平夾角大（65 度左右），產生很大的水平推力，與線的磨擦力增加，加上重量較單片翼重，因此浮升時非常緩慢，但可浮升很高。【詳如視訊檔】



(二) 第二代毛毛蟲【中小中小 90 型】蠕動法爬升試驗

<p>(1) 第二代毛毛蟲結構圖</p>	<p>(2) 腹翼迎風角度大，擋住吹向主翼的氣流（吹風前狀態）</p>	<p>(3) 腹翼水平夾角大，水平推力大，緩慢浮升無伸縮動作。</p>
<p>(4) 腹翼水平夾角大，水平推力大，緩慢浮升，無伸縮動作。</p>	<p>(5) 浮升最高點很低，無伸縮動作。</p>	

1. 第二代毛毛蟲仍然沒有收縮與伸展的動作，而且浮升的高度更低，不如第一代是因為主翼面積不大，腹翼又比第一代的腹翼小，浮升力量更弱，加上受風後的腹翼水平夾角大(66-72度左右)，水平推力造成與繩的磨擦力很大，無力浮升【詳如視訊檔】。
2. 第二代毛毛蟲蠕動爬升失敗仍是主翼甲無力快速向上浮升，支架就無法伸展，腹翼乙也就無法前傾。雖然縮小腹翼面積，減少對主翼甲的阻擋，但浮升力量仍不足，因此加大主翼甲的面積，可能是解決問題的方法。

(三) 第三代毛毛蟲【大小中小 90 型】蠕動法爬升試驗

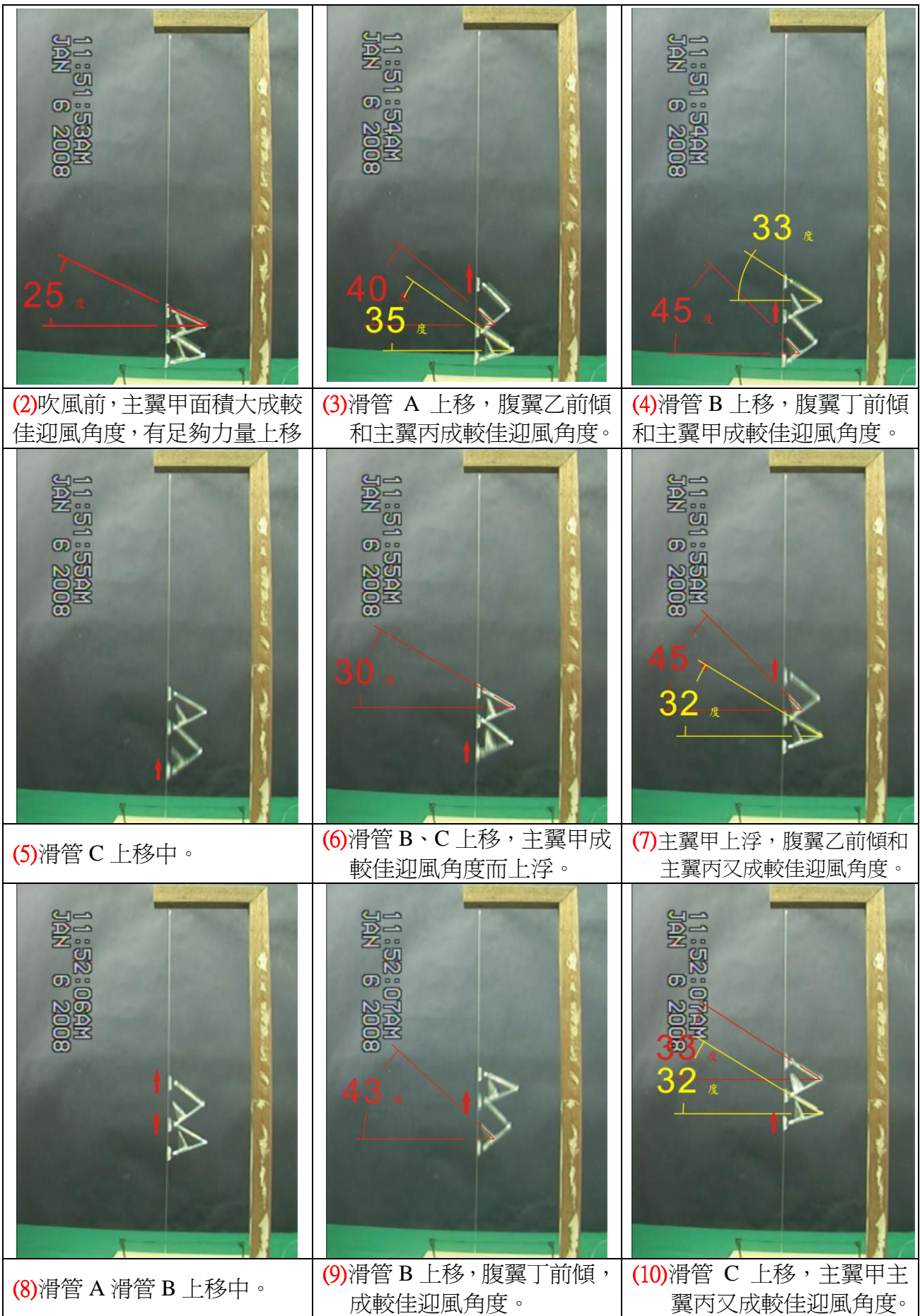
<p>(1) 第三代毛毛蟲結構圖</p>	<p>(2) 主翼甲面積增大，受風面積增加。(吹風前狀態)</p>	<p>(3) 滑管 A 上移，主翼甲向上伸展，腹翼乙微前傾。</p>
<p>(4) 滑管 A、B 上移，腹翼丁微前傾。</p>	<p>(5) 腹翼丁受風上浮，滑管 C 上移，主翼甲丙成較佳迎風角度</p>	<p>(6) 主翼甲微量向上伸展，滑管 A、B 緩慢上移。</p>

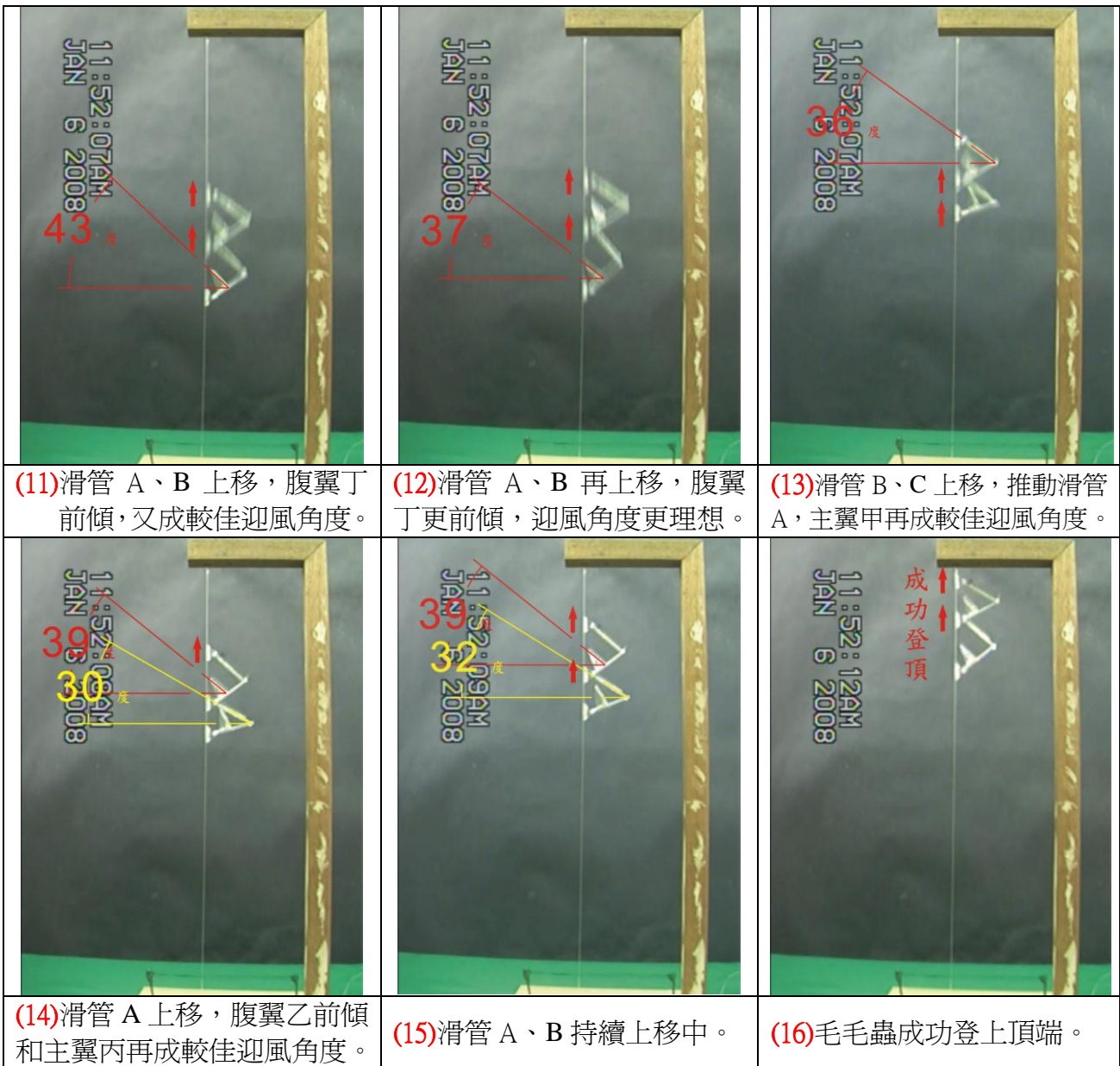
(7)滑管 A、B 緩慢上移中。	(8)滑管 A、B 上移中，腹翼丁微前傾。	(9)滑管 C 上移，浮升最高點比第二代高。

1. 第三代毛毛蟲已經出現收縮與伸展的動作，雖比第二代進步，但爬升時仍不夠順暢，節奏不太明顯，爬升力量仍顯不足【詳如視訊檔】。
2. 主翼甲、丙向上伸展，腹翼乙、丁前傾幅度不大，受風後的腹翼水平夾角約 55 度左右，浮升力量稍嫌不足，因此縮小腹翼與吸管支架黏貼的角度，或許可減少風阻，同時前傾後的水平夾角也會降低成較佳迎風角度，就能增加毛毛蟲爬升的力量。

#### (四) 第四代毛毛蟲【大小中小 80 型】蠕動法爬升試驗

(1)第四代毛毛蟲架構圖	
--------------	--





1. 縮小腹翼與吸管支架黏貼的角度( $90 - 10 = 80$  度)時，可有效減少風阻，主翼甲浮升的力量更大，受風後滑管 A 快速上移。同時前傾後的腹翼水平夾角也都在 45 度 ( $55 - 10 = 45$ ) 以內的較佳迎風角度，使滑管 B、C 能有力的上移，爬升很順暢，節奏明顯【詳如視訊檔】。
2. 第四代毛毛蟲能成功爬升的關鍵是：主翼甲面積要大，產生足夠浮力向上伸展，使得支架甲乙張開角度增大，腹翼乙向前傾斜（水平夾角 45 度以內）與主翼丙同時成較佳迎風角度，使滑管 B 上移，支架丙丁張開角度增大，使腹翼丁向前傾斜（水平夾角 45 度以內），最後滑管 C 上移，完成伸展與收縮的動作。整個爬升過程就像毛毛蟲的蠕動，非常有趣。

## 柒、討論：

### 一.上吹氣流對雙片翼浮升的研究：

- (一)雙片翼能夠螺旋轉動浮升是因為上升氣流推動雙翼，使得雙翼產生向上推力並向左右方向翻轉，由於兩作用力方向相反，且不在同一直線上，因此雙片翼能螺旋轉動向上浮升。
- (二)雙片翼的翼長越短則浮升高度越低、轉速較快。翼長增長，浮力隨之增加，浮升高度增高。但翼長太長，因重量太重，所以轉速變慢，浮升高度也下降。
- (三)雙片翼的翼寬 1 cm，浮升高度最低。剛啟動時轉速最快，爬升後浮力更小，轉速明顯減慢。翼寬 3 cm 的雙片翼，浮升高度最高且轉速又快。翼寬太長轉速變慢，浮升高度也下降。
- (四)雙翼夾角以水平 180 度的浮升高度最高，雙翼向下或向上浮升都不理想。雙翼向上的轉速很快，而雙翼向下 60 度則開始啟動時快轉，但浮升後轉速變慢。向下 120 度則大都呈懸浮狀態不太旋轉。
- (五)1.雙片翼的底部高度以 2 cm 最佳，浮升高度最高，轉速快又平穩，搭配最佳的翼長 12 cm、翼寬 3 cm，成功創造浮升的最高紀錄。  
2.底部高度 1 cm 重量輕，旋轉時的風阻小，所以轉速快浮升高，但旋轉時不穩定。底部高度 3 cm 以上，風阻越大重量重，轉速變慢且不穩，浮升高度降低。
- (六)1.翼面翻轉傾斜，氣流容易從翼面滑過，向上的推力變小，翻轉角度越大，浮升高度越低、轉速變慢。  
2.向內翻轉 30 度以內的雙片翼，氣流由靠軸心的一側向上集中，推動轉軸的力量更大，轉速更快，且向逆時針方向旋轉。  
3.向外翻轉的雙片翼，氣流由靠雙翼外側向側上方分散流動，推動轉軸的力量變小，轉速變慢，且向順時針方向旋轉。
- (七)隔板由側面貼近，可使氣流集中，推力更大，雙片翼浮升高度更高，轉速也會更快。隔板由上向下貼近，氣流向反壓產生下壓力量，浮升高度降低，上下移動隔板，可以自由控制雙片翼的浮沉。

### 二.側吹氣流對單片翼浮升的研究

- (一)翼面水平夾角小於 45 度，產生的水平推力較小，有較大的上升浮力；大於 45 度會因水平推力增大而削弱上升的浮力。翼面水平夾角以 35 度的單片翼上升浮力最大。
- (二)翼片面積越大，迎風產生的上升浮力越大，曲線圖中上升浮力增加的斜度 > 重量增加的斜度，因此增大受風面積可以有效增加浮升力量。

### 三.側吹氣流對三片翼浮升的研究

- (一)第一代三片翼都無法浮升，懸浮時間短暫。翼面左右寬度比 1：1 無法旋轉，翼面左右寬度比 2：1 旋轉時最穩定，懸浮時間較長；翼面左右寬度比 5：1 旋轉時最快速，但懸浮時間短。
- (二)第二代三片翼是改變翼片上下黏貼間距，可以增加翼面的迎風面積，增加上升浮力。翼片上下間距以 1 cm 最適合，懸浮時間最長，但仍無法浮升。
- (三)第三代三片翼的翼面改為水平夾角 35 度，上升浮力更大，果然成功了！能穩定旋轉浮升、永不掉落。

### 四.毛毛蟲蠕動法之翼片爬升研究

- (一)第一代毛毛蟲【中中中中 90 型】可以緩慢浮升，但沒有毛毛蟲收縮與伸展的動作。爬升失敗是因為：腹翼和主翼大小相同，擋住氣流使主翼甲無力向上伸展，腹翼無法前傾成最佳迎風角度，水平推力大，浮升時非常緩慢，但可浮升很高。
- (二)第二代毛毛蟲【中小中小 90 型】仍然沒有收縮與伸展的動作，而且浮升的高度更低，主因仍是主翼甲面積不大，腹翼又比第一代的腹翼小，浮升力量更弱，雖然縮小腹翼對氣流的阻擋，主翼仍然無法向上伸展。
- (三)第三代毛毛蟲【大小中小 90 型】已經出現收縮與伸展的動作，爬升時主翼甲面積大能向

上伸展，但腹翼乙、丁前傾幅度不大，無法成較佳迎風角度，因此爬升不夠順暢，節奏不太明顯，爬升力量仍顯不足。

(四)第四代毛毛蟲【大小中小 80 型】縮小腹翼與吸管支架黏貼的角度成 80 度時，可有效減少風阻，主翼甲浮升的力量更大，受風後滑管 A 快速上移。同時前傾後的腹翼水平夾角也都在 45 度以內的較佳迎風角度，使滑管 B、C 能有力的上移，爬升很順暢，節奏明顯。第四代毛毛蟲能成功爬升的關鍵在主翼甲面積大，腹翼乙、丁前傾後的水平夾角在 45 度以內成較佳迎風角度。

(五)如果將第四代毛毛蟲的腹翼與支架夾角再縮小成爲 70 度、60 度，則當滑管 A 上移時，腹翼乙丁會前傾頂住細繩，爬升時顯得很困難。改善的方法是把腹翼乙丁往支架的後方黏貼，但如此一來使得腹翼乙、丁與滑管 B、C 的距離加大，力臂更長，雖然能夠爬升，但因此帶動滑管 B、C 上浮的拉力要更大，風力要更強，爬升時顯得很吃力，還是以【大小中小 80 型】爲最佳。

## 捌、結論：

- 一.要使雙片翼能夠穩定螺旋轉動浮升，以翼長 12 cm、翼寬 3 cm、雙翼夾角成水平 180 度、底部高度 2 cm 爲最佳。再由側面貼近隔板，可使氣流集中，推力更大，雙片翼浮升高度更高，成功創造浮升的最高紀錄。若上下移動隔板，可以自由控制雙片翼的浮沉。
- 二.以側吹氣流使單片翼浮升的研究中發現：翼面水平夾角以 35 度的上升浮力最大，而翼片面積越大，迎風產生的上升浮力越大，可以克服因增大面積所增加的重量，有效增加浮升力量。
- 三.要使三片翼能夠穩定螺旋轉動浮升，則以翼面左右寬度比 2：1、翼片黏貼在轉軸上的間距 1 cm、翼面水平夾角 35 度的三片翼爲最佳，能穩定旋轉浮升、永不掉落。
- 四.經過我們不斷的努力改良，用四個單片翼和吸管支架組成的毛毛蟲【大小中小 80 型】，能有節奏的向上爬升，非常有趣。第四代毛毛蟲成功爬升的步驟是：主翼甲受風後產生足夠浮力向上伸展，使得滑管 A 上移，支架甲乙張開角度增大，腹翼乙向前傾斜（水平夾角 45 度以內）與主翼丙同時成最佳迎風角度，使滑管 B 上移，支架丙丁張開角度增大，使腹翼丁向前傾斜（水平夾角 45 度以內），最後滑管 C 上移，完成伸展與收縮的動作。整個爬升過程就像毛毛蟲的蠕動，非常好玩。

## 玖、參考資料：

- 一、新編光復科學圖鑑 光復書局 1995 年 3 月再版 p48—49，52—55
- 二、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
- 三、<http://baike.baidu.com/view/48523.htm>
- 四、<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=5995&forum=4>

**【評語】** 081517

- (1)很仔細的觀察，並能延伸結論，開發出有趣的作品。
- (2)完整性高。
- (3)有創意，自己動手製作，逐步克服困難。
- (4)演練過程順暢流利，並能舉例說明難能可貴。