

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 物理科

佳作

040108

是蛇「飛」蛇-飛蛇滑翔的力學分析

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高二 楊孟哲 高二 黃冠澤 高一 江選文	指導老師： 莊文治 吳曙序
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：後曳力、空氣升力

# 摘要

本實驗探討飛蛇在滑翔的過程中，因為身體截面積改變及體態的 S 形彎曲，在流體動力學上的表現，對滑翔穩定性、持久性的影響。

透過飛蛇截面模型在鉛直集風箱與水平集風箱中以不同角度量測到的鉛直後曳力、升力及後曳力，推測飛蛇張開肋骨、腹部內凹的行為，有利於其滑翔。

最特別的是飛蛇滑翔時的寬長比。一般無翅膀的動物(如飛蛇、飛鼠、飛蛙)會張開四肢及薄膜以增大其寬長比，但飛蛇沒有四肢，反而加大其體態的 S 形彎曲來增加寬長比，由體態 S 形立體模型的實驗情況，當其寬長比在 1:1 ~ 1:2 之間時，會穩定的滑翔，且水平滑翔距離較長。

而飛蛇滑翔的過程中不斷擺動身體及轉動尾巴，推斷是有助於其滑翔的穩定性及定向性，實驗不易，暫留待續。

## 壹、動機

在某次看到電視新聞上報導著世界上一種非常奇怪的蛇類，金花蛇屬，世界上只有五種，俗稱飛蛇。飛蛇可從 20 公尺的高空落下時往前滑行 100 公尺。更令人嘖嘖稱奇的是，牠還能在過程中 90 度轉彎，引起我們想要研究的熱忱，並萌生想對這個題目更加深入了解的想法，便在到校後找老師進行討論，開始我們的研究。

這個題目最大的困難點在於蛇在滑翔時是以 S 形擺動，並且還有些微上下波動，非常難以模型模擬出來。於是本研究先從飛蛇截面的形狀及 S 形身軀帶來的穩定度來進行討論，之後更進一步的研究就是要能夠模擬出飛蛇的動態模型，並分析出飛蛇在滑翔的過程中，各個瞬間的力學表現。

## 貳、目的

- 一、觀察影片，探討飛蛇在滑翔中身體的截面形狀及運動方式。
- 二、探討飛蛇不同身體截面形狀在垂直墜落時的後曳力差異。
- 三、探討飛蛇不同身體截面形狀以不同角度在滑翔時的升力差異。
- 四、以飛蛇水平移動時的空氣流向探討其升力的原理。
- 五、探討飛蛇身體不同寬長比對滑翔穩定性的影響。

## 參、基本資料

### 一、飛蛇的基本資料

(一)分類：動物界；脊索動物門；爬蟲綱；游蛇科；金花蛇屬(5種)

(二)構造：

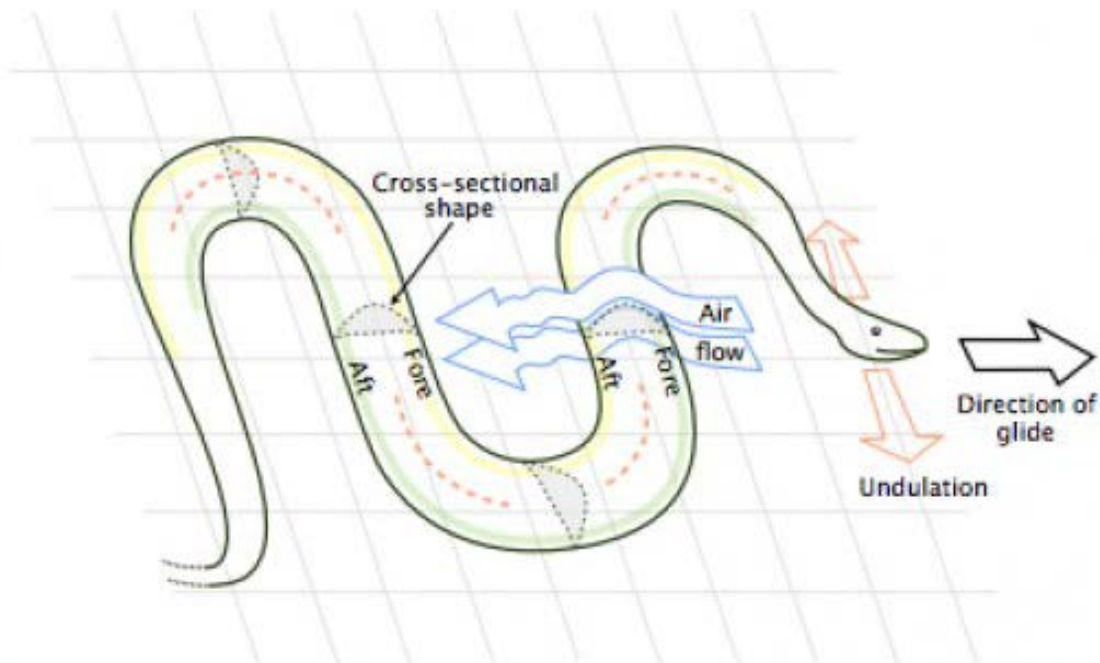
1. 脊椎骨分成很多節段，可以使身體靈活擺動。
2. 肋骨以韌帶和腹鱗相連，於滑翔時可透過脊柱的左右彎曲和皮下肌的作用使肋骨張開。



圖(一)

(三)滑翔時的特點

1. 滑翔過程中，頭部和氣流始終保持 25 度仰角，可保持平穩
2. 身軀呈現 S 形擺動，並帶有上下波動
3. 因為身體的 S 形擺動，飛蛇身體朝向大部分垂直風向。



圖(二)飛蛇滑翔時的狀態

## 肆、研究設備與器材

### 一、主要器材



圖(三) 風速計



圖(四) CPU風扇組



圖(五) 送風器



圖(六) 電子秤



圖(七) 直流電源供應器



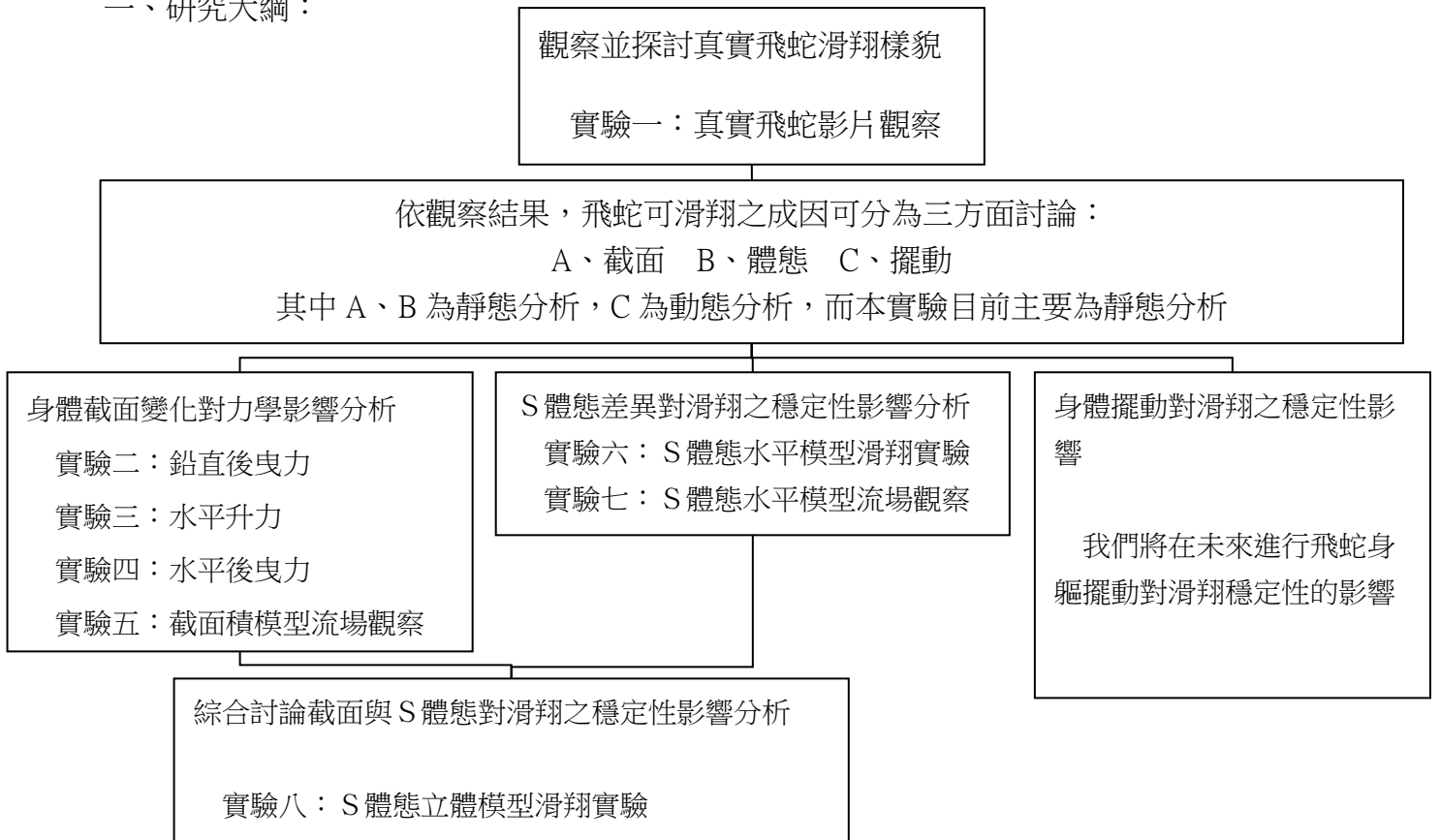
圖(八) 攝影機

### 二、其餘器材

雙面膠、彩色膠帶、透明膠帶、黑色膠布、熱熔膠、美工刀、筆刀、尖嘴鉗、鹵素燈、吸管、筆記型電腦、小鋼珠、90cm尺、酒精燈、鐵絲、鈹鐵硼磁鐵、電磁鐵、鐵架、香、珍珠板、白紙、鋁箔紙、電池座

# 伍、研究過程與方法

## 一、研究大綱：



## 二、實驗一：分析飛蛇滑翔過程中的特徵與滑翔軌跡

### (一)實驗步驟：

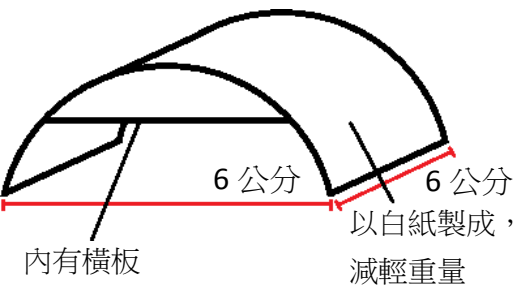
- 1.於網路上找尋不同角度拍攝的飛蛇滑翔影片，並觀察分析
- 2.觀察截圖中，飛蛇的姿勢、身體特徵及軌跡

## 三、實驗二：探討飛蛇不同身體截面積形狀模型在鉛直落下時的鉛直後曳力差異

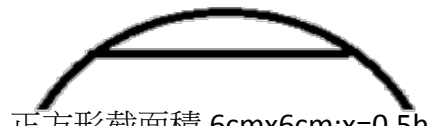
### (一)截面積模型設計



圖(九)飛蛇截面模



圖(十)截面積模型設



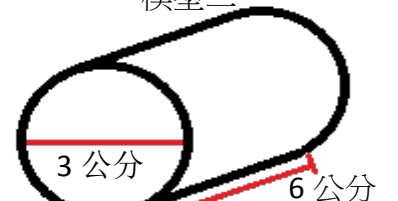
模型一



模型二



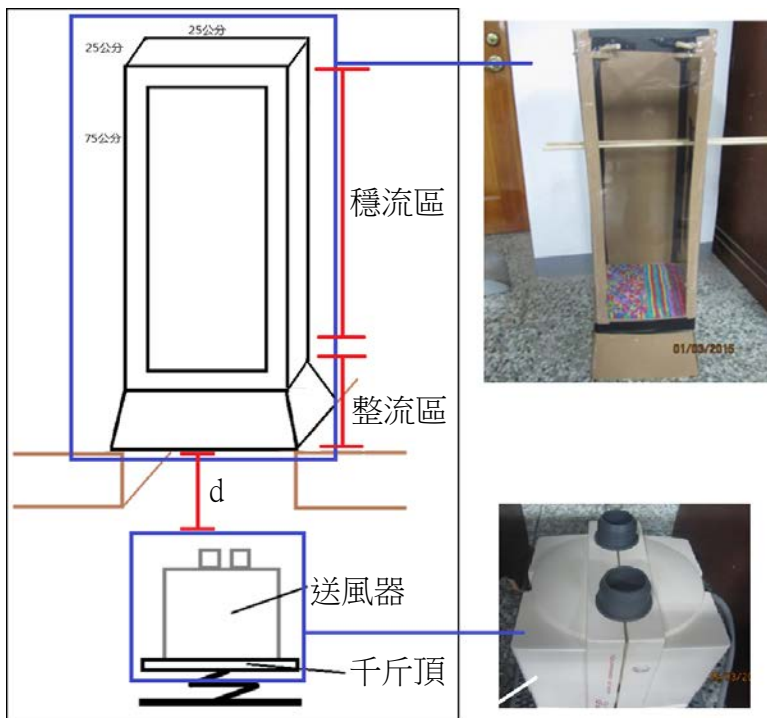
模型三



模型四

圖(十一)截面積模型種類

(二)實驗架設：



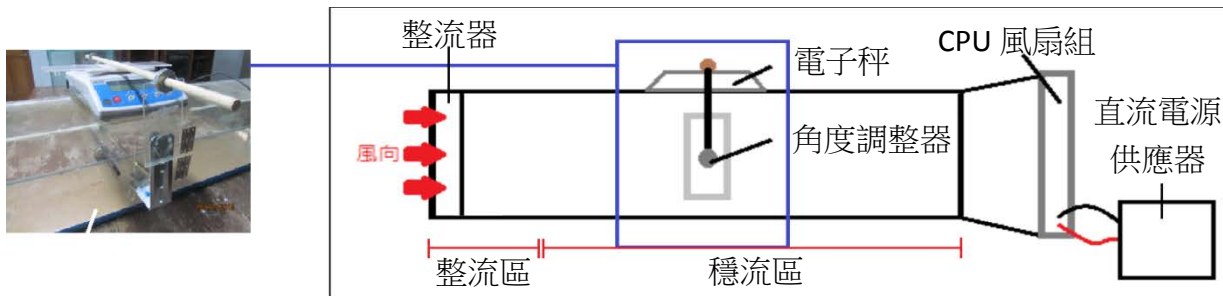
圖(十二)實驗二器材架設

(三)實驗步驟：

- 1.利用風速計測量風速大小及風場的穩定均勻性
- 2.將不同截面形狀的截面積模型，放置其中，以小鋼球增加模型重量
- 3.當截面積模型恰下落時，重量等於鉛直後曳力，記錄此時數據
- 4.利用千斤頂調整長度d，改變風速，重複步驟1~3
- 5.更換模型，重複步驟1~4

四、實驗三：探討飛蛇不同身體截面形狀以不同傾角滑翔時的升力差異

(一)實驗架設：



圖(十三)實驗三器材架設

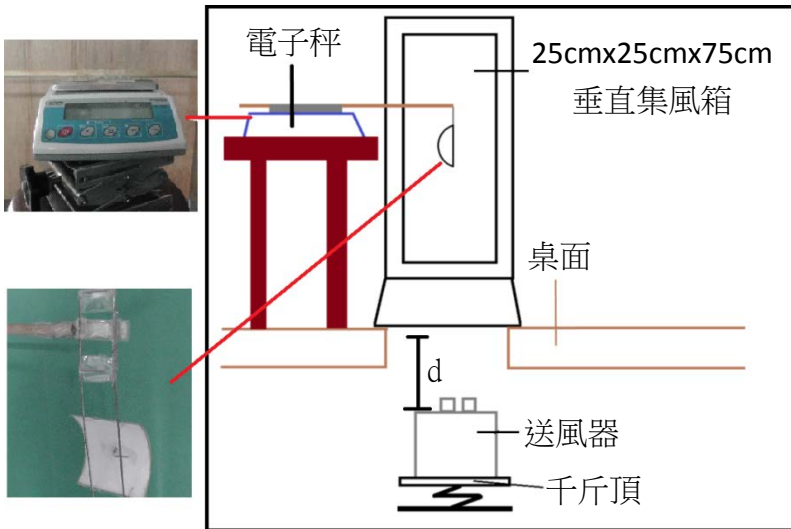
(二)實驗步驟：

- 1.將截面積模型，放置於角度調整器
- 2.記錄此時風速與升力
- 3.利用電壓更變風速，並重複步驟1~2
- 4.逐一更換模型，並重複步驟1~3
- 5.逐一更變模型傾角  $\alpha$ ，並重複步驟1~4



五、實驗四：探討飛蛇不同身體截面形狀以不同角度滑翔時的後曳力差異

(一)實驗架設：



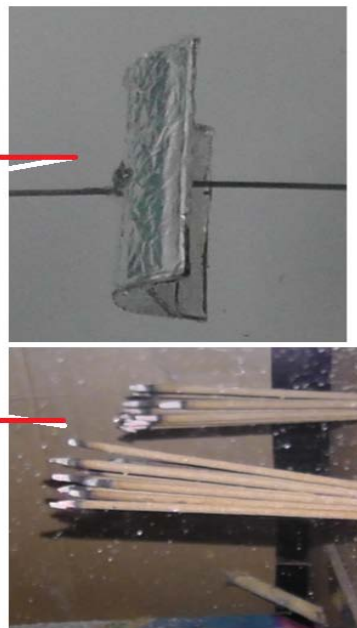
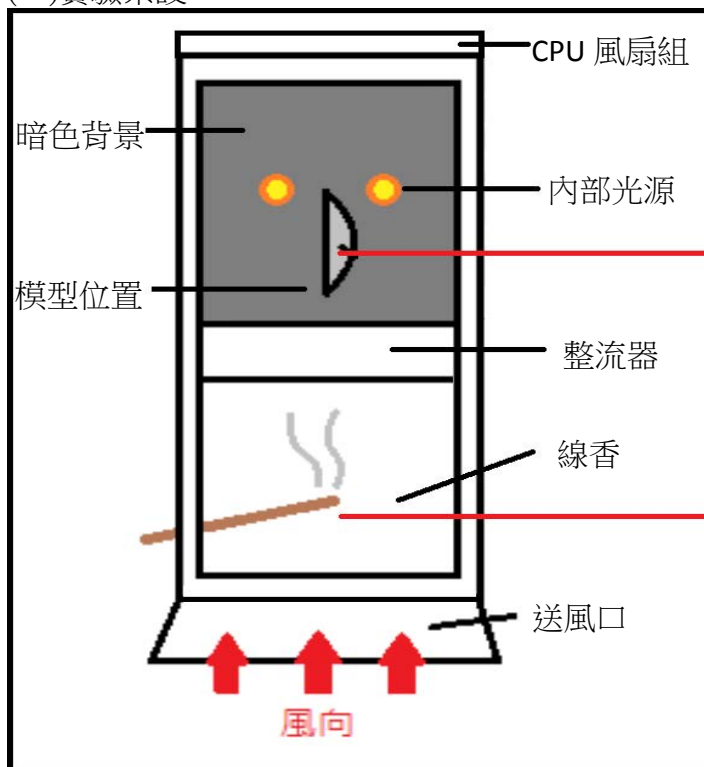
圖(十四)實驗四器材架設

(二)實驗步驟：

1. 利用風速計測量風速大小及風場的穩定均勻性
2. 將截面積模型固定於鐵絲，並調整模型使其垂直地面
3. 觀測電子秤讀數，紀錄數據
4. 利用千斤頂調整長度d，改變風速，重複步驟1~3
5. 改變鐵絲與鉛直線之傾角 $\alpha$ ，依序為15、20、25、30度，重複步驟1~4
6. 更換模型，重複步驟1~5

六、實驗五：以飛蛇水平移動時的空氣流向探討其升力的原理

(一)實驗架設：



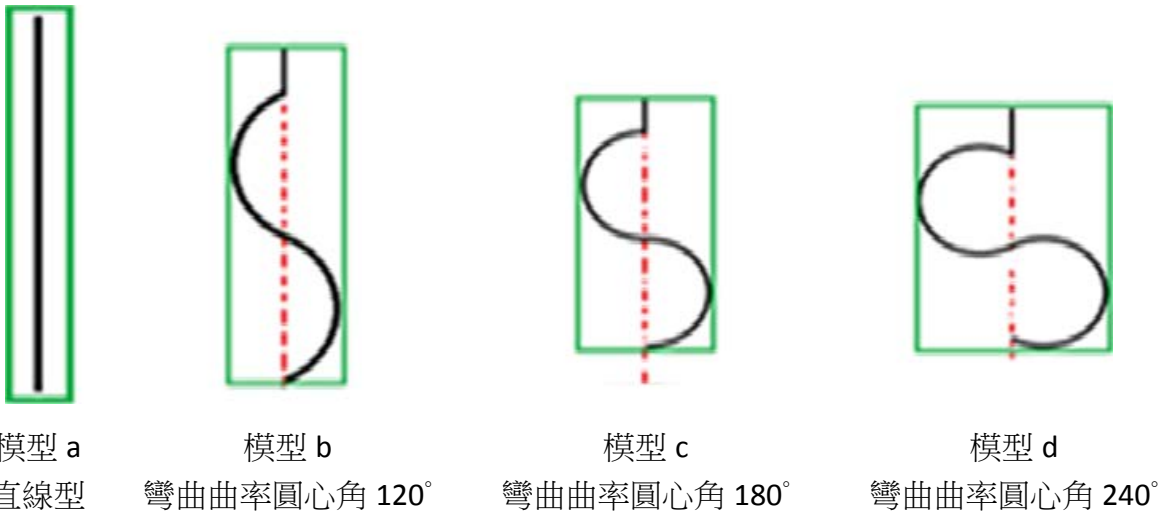
圖(十五)實驗五器材架設

(二)實驗步驟：

1. 在流場觀測箱內部放置被觀測之截面積模型
2. 開啟流場觀測箱內部燈源，點燃線香並置於風向觀測器下方
3. 開啟流場觀測箱上方的CPU風扇風源，觀察煙所顯示的風場

七、實驗六：探討飛蛇身體不同彎曲程度及彎曲次數對滑翔穩定性的影響

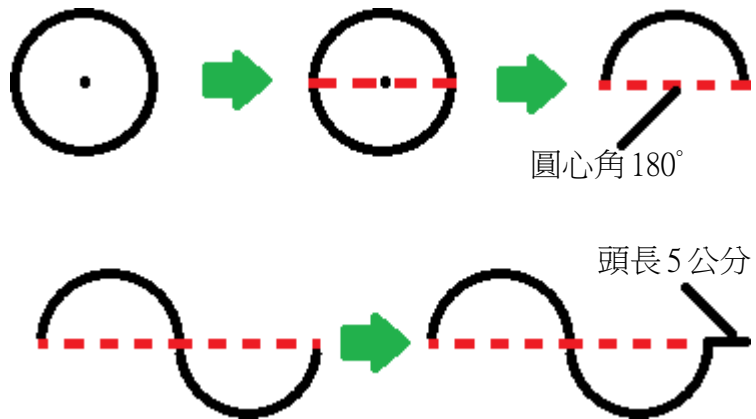
(一) S 體態平面模型設計



圖(十六) S 體態平面模型設計



圖(十七) S 體態平面模型實照

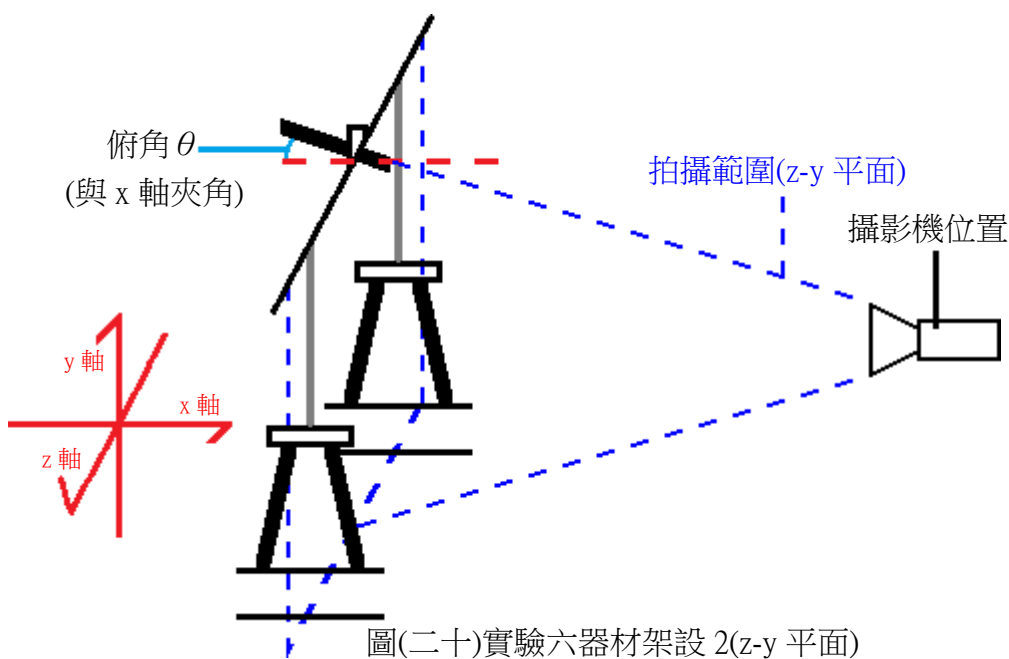
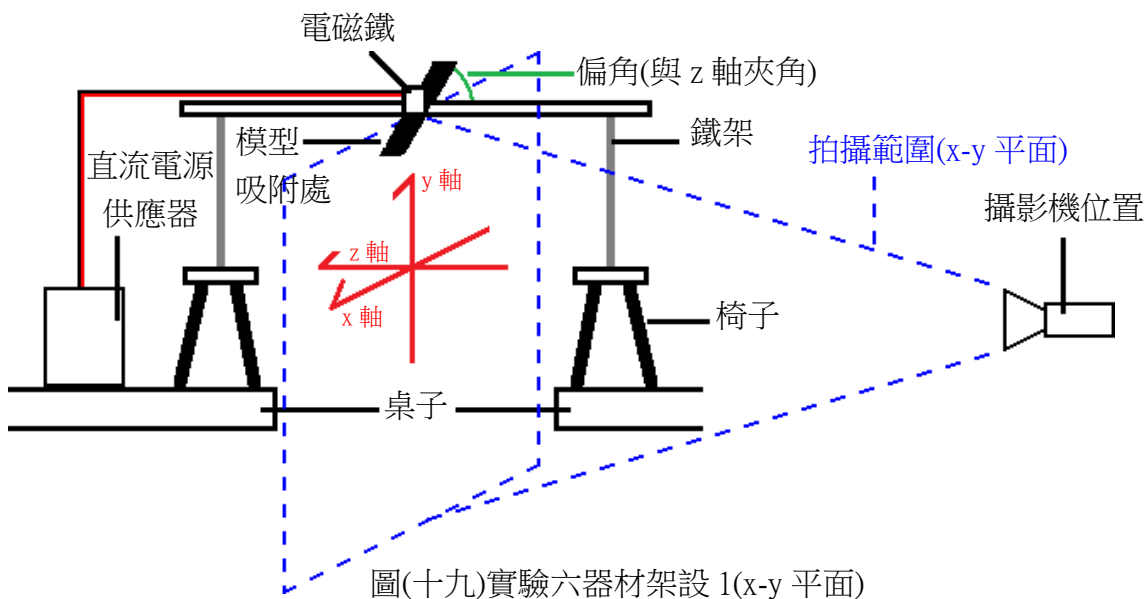


圖(十八) S 體態平面模型製作流程 (以模型 b 為例)

1. 模型總長為60公分，寬2公分，由頭部及蛇身構成
2. 頭部：預留5公分線段作為頭部
3. 蛇身：蛇身由相同的兩個長27.5公分圓弧拼接製成，模型對中線(即蛇頭所在直線)上一點呈中心對稱(模型採用120度、180度、240度角圓弧及0度直線段)
4. 於珍珠版上作出頭部及蛇身後，由線段向兩側擴展1公分
5. 用美工刀裁剪出飛蛇模型，並用砂紙除去粗糙處



(二)實驗架設：



(三)實驗步驟：

- 1.打開電源供應器電流使電磁鐵吸附 S 體態平面模型於平台上
- 2.切斷電源供應器電流使電磁鐵消磁，令 S 體態平面模型墜落
- 3.觀察並錄影掉落情形
- 4.更換模型，並重複步驟1~3
- 5.改變更換放置平台前後俯角  $\theta$  及左右偏角，並重複步驟1~4

八、實驗七：觀察飛蛇滑翔時的空氣流向探討其升力的原理

(一)實驗架設：

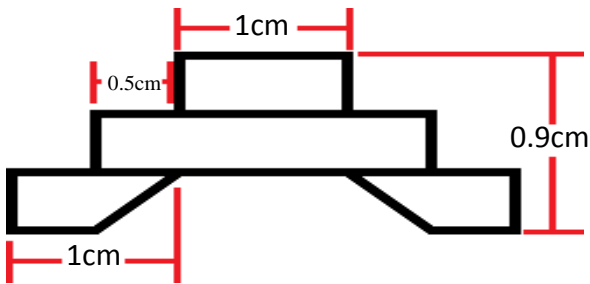
同實驗五之架設，並將其中截面積模型替換為分段之 S 體態平面模型

(二)實驗步驟：

- 1.在流場觀測箱內部放置被觀測之 S 體態平面模型
- 2.開啟流場觀測箱內部燈源，點燃線香並置於風向觀測器下方
- 3.開啟流場觀測箱上方的CPU風扇組風源，觀察煙所顯示的風場

九、實驗八：綜合討論截面積與 S 體態對滑翔穩定性的影響

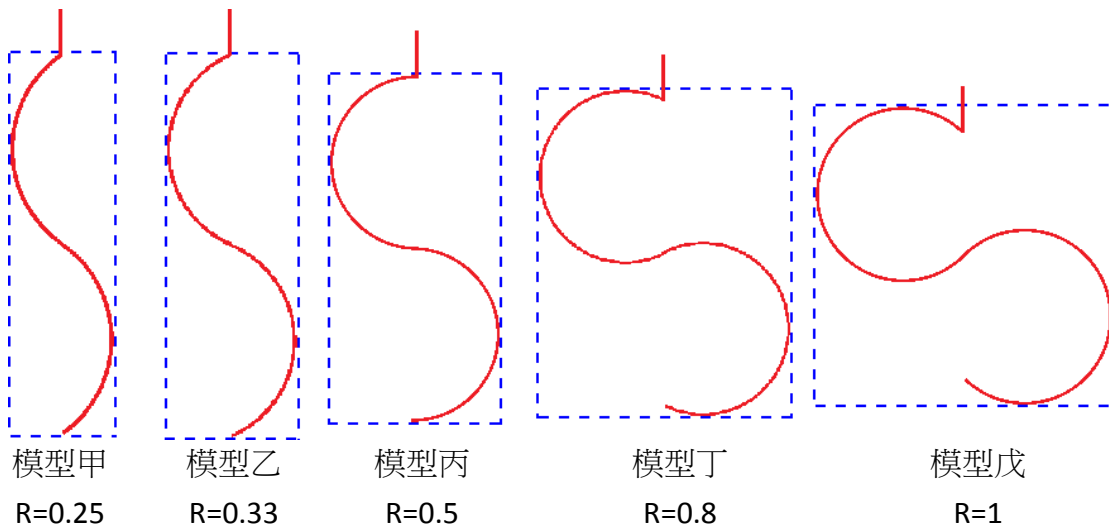
(一) S 體態立體模型設計



圖(二十一) S 體態立體模型截面圖



圖(二十二) S 體態立體模型示意圖



圖(二十三) S 體態立體平面模型設計

- 1.模型總長為60公分，由上至下分別為寬1公分、2公分、寬3公分之 S 體態平面模型粘合而成
- 2.模型之蛇身部分採用 108°、135°、180°、240°、270°圓弧製成(其蛇身寬長比值 R 分別為 0.25、0.33、0.5、0.8、1)

(二)實驗架設與實驗步驟：

同實驗六

## 陸、研究結果

### 一、結果一

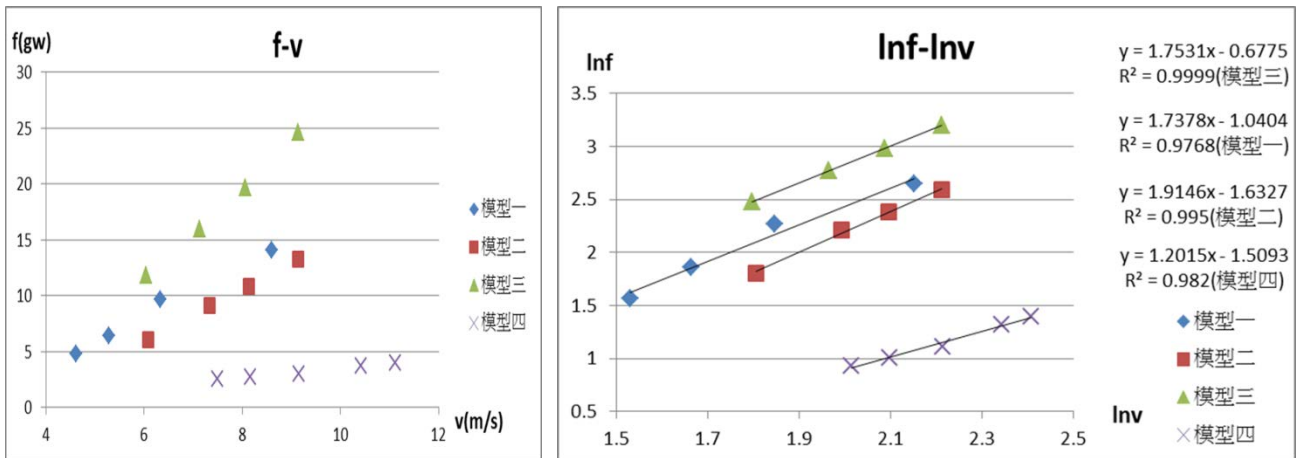
<p>飛蛇不同滑翔階段的樣貌</p> 	<p><b>1.急墜期</b></p> <p>在飛蛇剛躍起時，會有一段急墜期，此時飛蛇接近自由落體。因此以實驗一討論飛蛇不同身體截面形狀在垂直墜落時的後曳力表現。</p>
<p>圖(二十四) 急墜期</p>	<p><b>2.滑翔期</b></p> <p>急墜期後，飛蛇會開始穩定滑翔，幾乎是水平運動，稱為滑翔期，因飛蛇有 s 形擺動，造成身體傾斜角度差異，故實驗二探討飛蛇不同身體截面形狀以不同角度在滑翔時的升力差異。</p>
	
<p>圖(二十五) 滑翔期</p>	<p><b>3.降落期</b></p> <p>在飛蛇運動的最後階段，會保持頭部傾角，減小降落時傷害，稱為降落期。</p>
	
<p>圖(二十六) 降落期</p>	

#### (一)影片分析結果

1. 飛蛇滑翔時身體寬可達身體厚度的兩倍長。(以截面模型二最為接近此樣貌)
2. 飛蛇滑翔時與陸地蛇類爬行時身體同樣會彎曲，但飛蛇在滑翔時的身體彎曲程度較大。(以體態 S 形平面及立體模型模擬)
3. 飛蛇在滑翔時會將身體成類似模型二的截面形狀。
4. 飛蛇在滑翔期近似水平運動，但身體會因為擺動與水平面產生 15~30 度的傾斜角。
5. 飛蛇滑翔時頭部與尾部不在一水平面上，頭部較高而尾部較低。
6. 飛蛇滑翔時轉彎的方向和身體傾斜的方向相同。
7. 飛蛇滑翔時身體彎曲的個數在 2~3 個之間變動。

二、結果二—在不同風速下不同模型所受到的鉛直後曳力數據

(一) 實驗二不同模型的數據圖



圖(二十七)

(二) 根據實驗結果，發現截面模型越接近鏤空半圓，所具後曳力較大

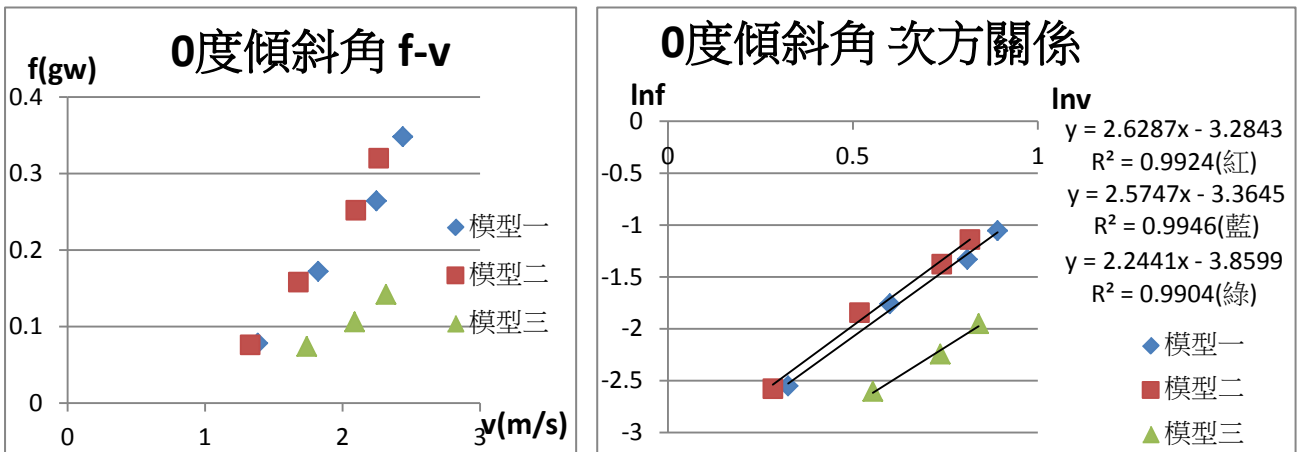
(三) 觀察實驗數據圖後發現

1. 若模型呈現扁平弓形後曳力與墜落速度約為平方關係。
2. 若模型為圓柱模型後曳力與墜落速度約為一次方關係。

三、結果三—在不同風速下不同傾斜角的模型所受到的水升力數據

(一) 不同傾斜角數據圖

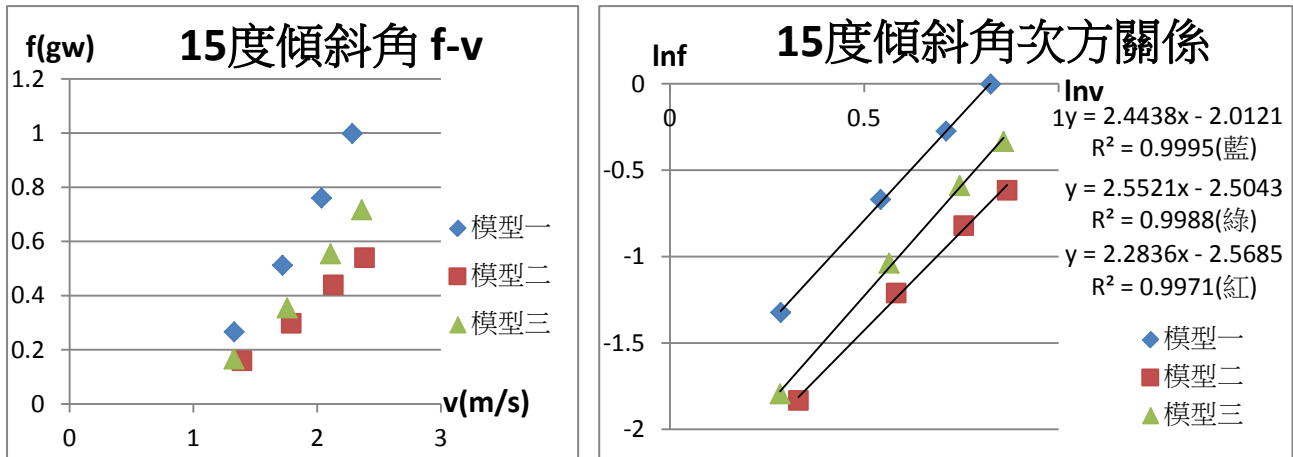
1. 0度



圖(二十八)

- (1) 在此情況下，模型二的升力最大，模型三的升力最小。
- (2) 在此情況下，升力與風速約為 2.5 次方關係。

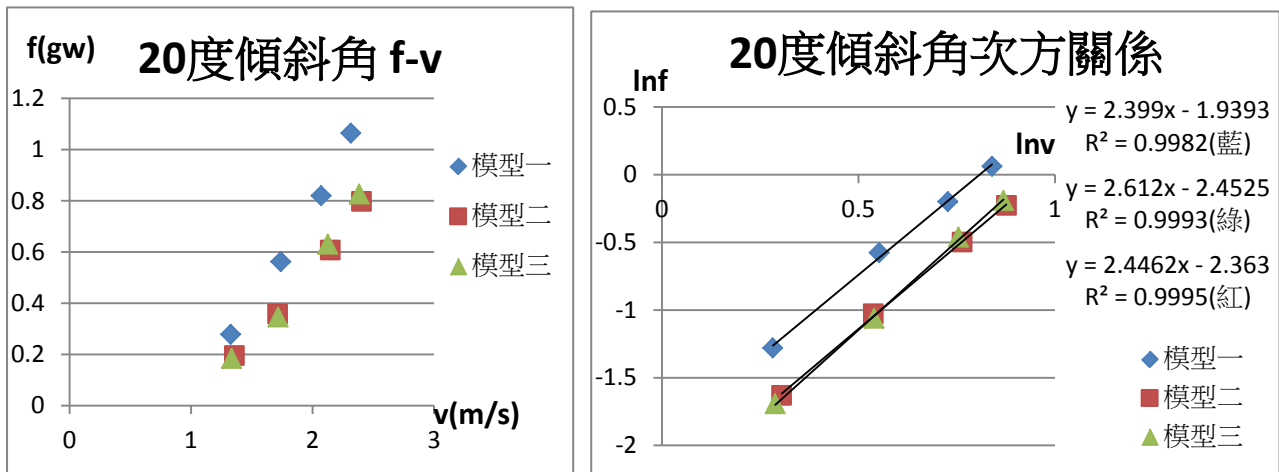
## 2. 15 度



圖(二十九)

- (1) 在此情況下，模型一的升力最大，模型二的升力最小。
- (2) 在此情況下，升力與風速約為 2.3 次方關係。

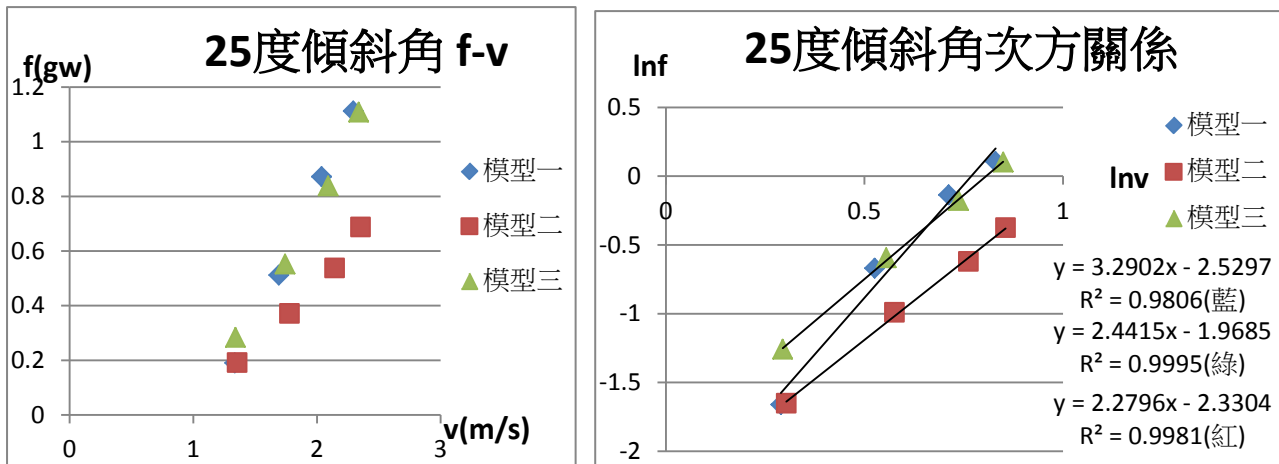
## 3. 20 度



圖(三十)

- (1) 在此情況下，模型一的升力最大，模型二和三的升力次之。
- (2) 在此情況下，升力與風速約為 2.4 次方關係。

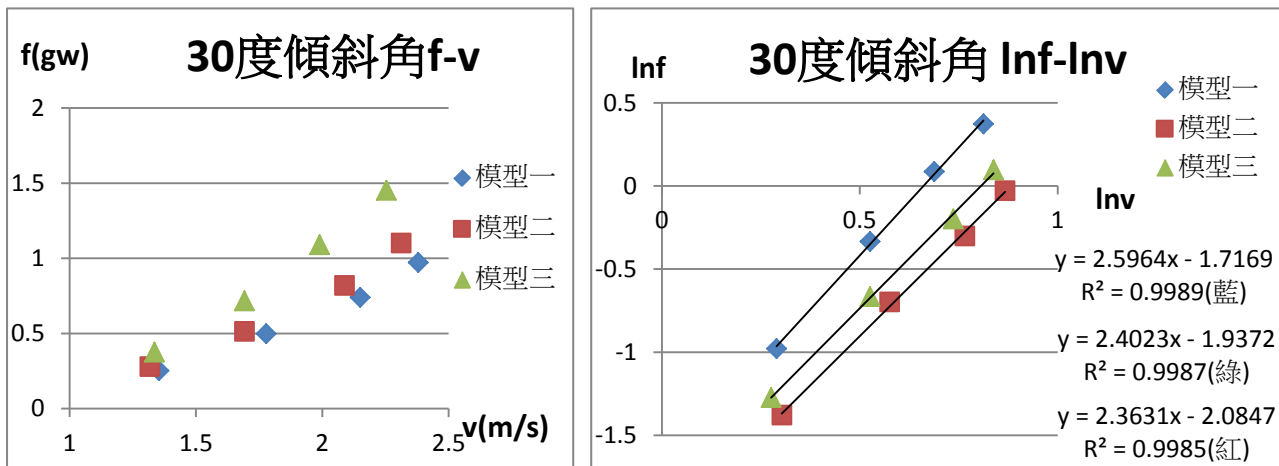
#### 4. 25 度



圖(三十一)

- (1) 在此情況下，模型一和二升力最大，模型三升力最小。
- (2) 在此情況下，升力與風速約為 2.9 次方關係。

#### 5. 30 度

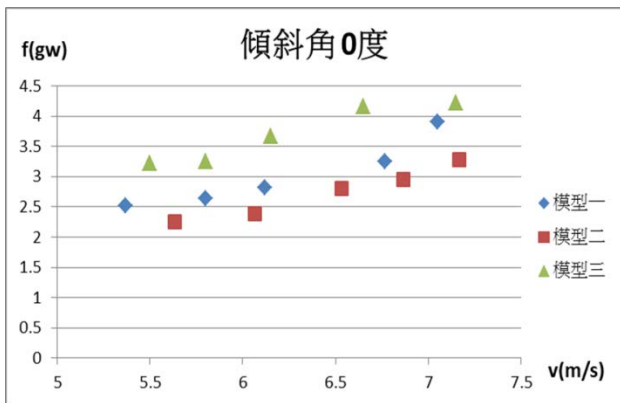


圖(三十二)

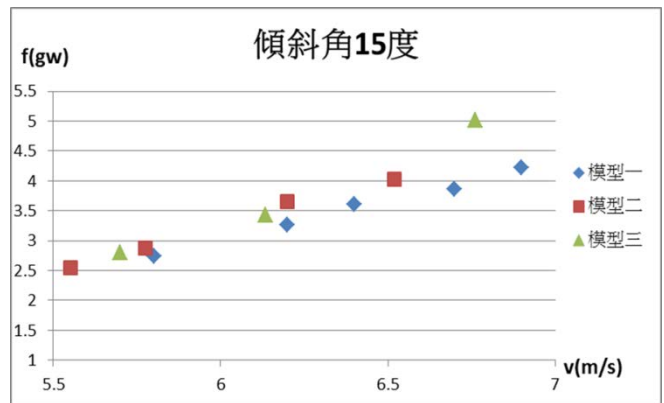
- (1) 在此情況下，模型三升力最大，模型二升力最小。
  - (2) 在此情況下，升力與風速約為 2.5 次方關係。
- (二) 發現升力與水平速度的次方關係約在 2.4 次方。
- (三) 圓柱模型因為截面形狀完全對稱，所以沒有升力。



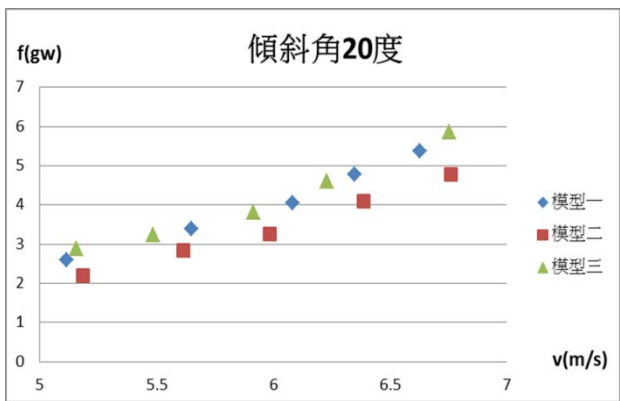
四、結果四—在不同風速下不同傾斜角的模型所受到的水平後曳力數據



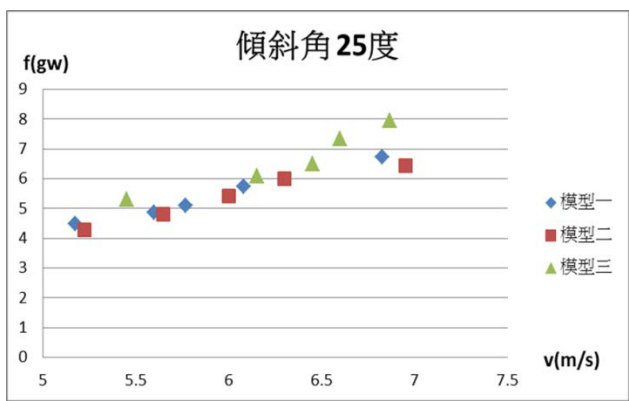
圖(三十三)



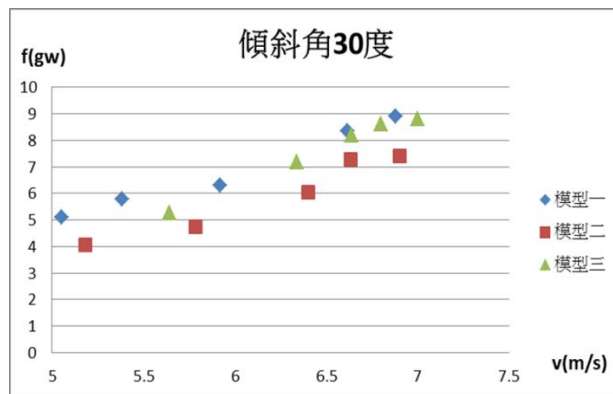
圖(三十四)



圖(三十五)


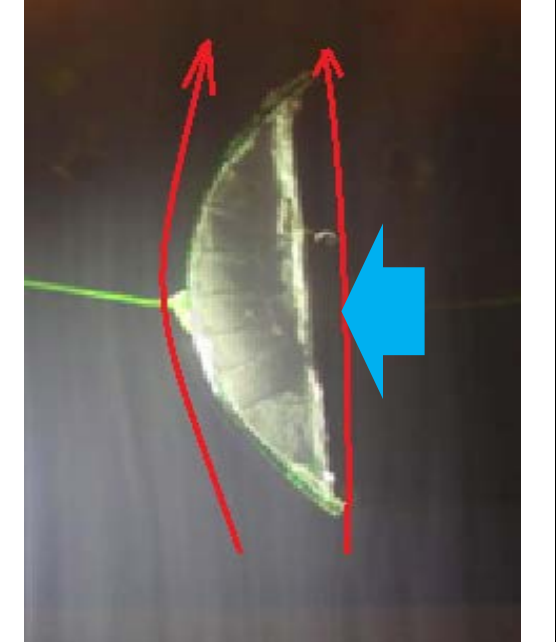




圖(三十六)



圖(三十七)

五、結果五—不同飛蛇模型周圍的流場樣貌(紅色箭頭為風向；藍色箭頭為作用力)

	
<p>圖(三十八) 模型一</p>	<p>圖(三十九) 模型二</p>
<p>據照片中的流場，左邊風速較右邊風速快，因此據白努立定律產生向左作用力。</p>	<p>據照片中的流場，左邊風速較右邊風速快，因此據白努立定律產生向左作用力。</p>
	
<p>圖(四十) 模型三</p>	<p>圖(四十一) 模型四</p>
<p>據照片中的流場，左邊風速較右邊風速快，因此據白努立定律產生向左作用力。</p>	<p>據照片中的風場，左邊風速與右邊風速相近，因此沒有產生作用力。</p>

## 六、結果六—不同體態 S 形平面模型在空中飄盪軌跡

### (一)定義：

#### 1. 穩定—

(1) 飄盪—模型與水平面的傾角小於 90 度

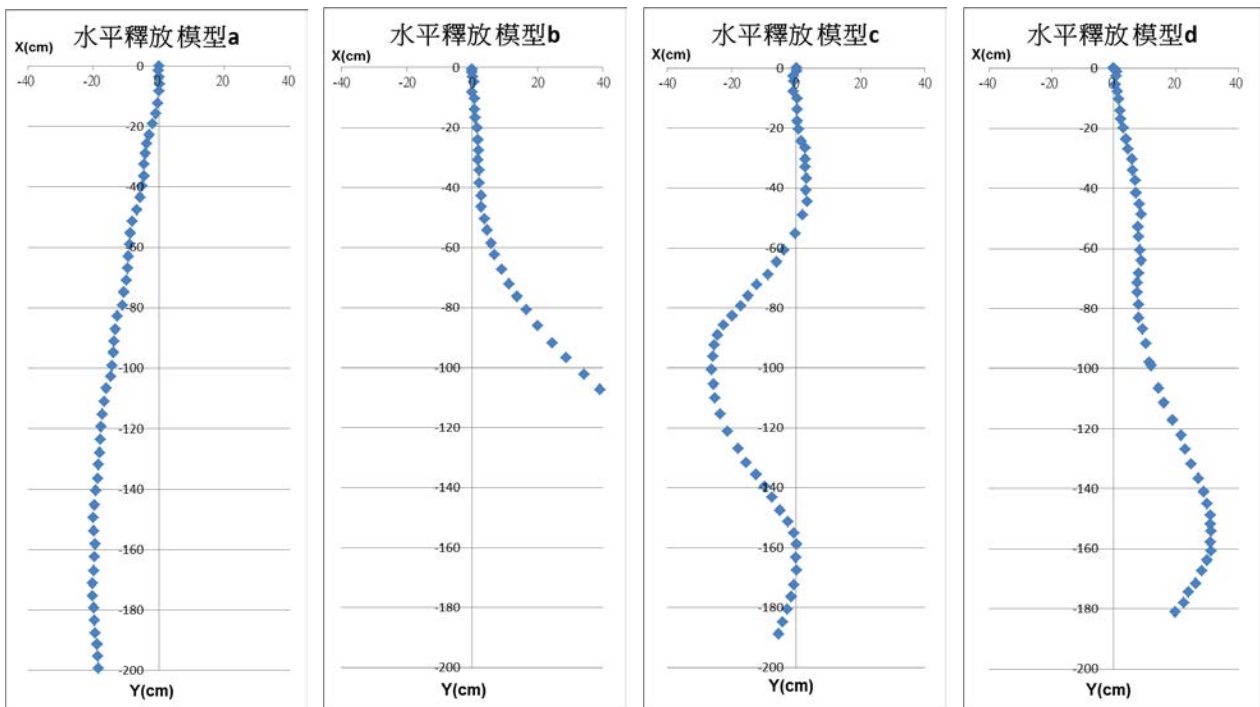
#### 2. 不穩定—

(1) 翻覆—模型與水平面的傾角大於 90 度

(2) 翻滾—模型持續在空中 360 度旋轉

### (二)不同模型在空中的滑翔軌跡

#### 1. 水平釋放



圖(四十二)

#### (1) 模型 a：

在落下後模型有小範圍的晃動上的軌跡可看出)整體的穩定度高但是落下時間較模型 d 快，而且就生物學的角度來看，飛蛇不太可能以此姿勢滑翔，因為身體肌肉無法運動。

#### (2) 模型 b：

在落下後明顯偏向某一方滑翔，並且在藍色箭頭處就已翻覆，滑翔時機短暫，此模型的身體彎曲程度類似於地面爬行的蛇，因此說明此彎度不適合滑翔。

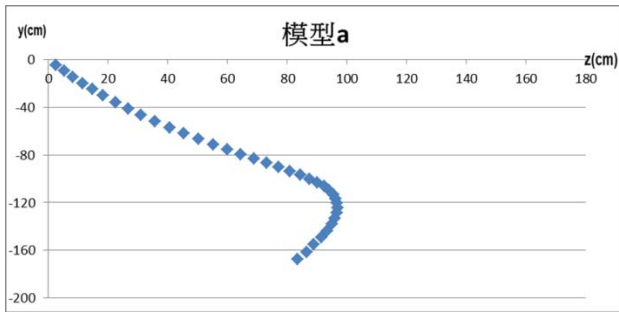
#### (3) 模型 c：

在落下後模型開始左右飄盪，在實驗中的高度下不會翻覆，穩定高。

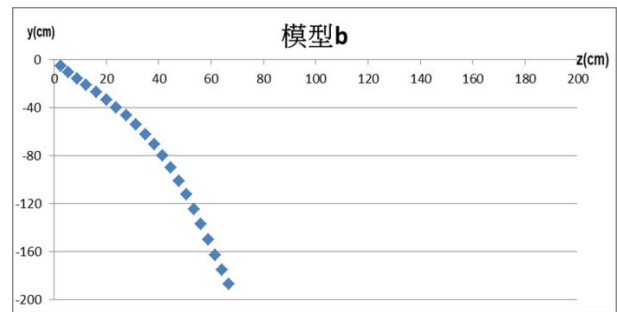
#### (4) 模型 d：

在落下後模型開始左右飄盪，在實驗中的高度下不會翻覆，而且晃動幅度較模型 c 的晃動幅度小，穩定度最高，此模型的身體彎曲程度類似於飛蛇滑翔時的樣貌，可看出其穩定性有助於滑翔。

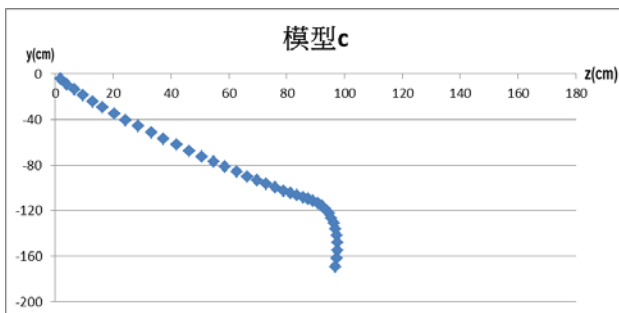
## 2. 傾斜角 25 度(側拍)



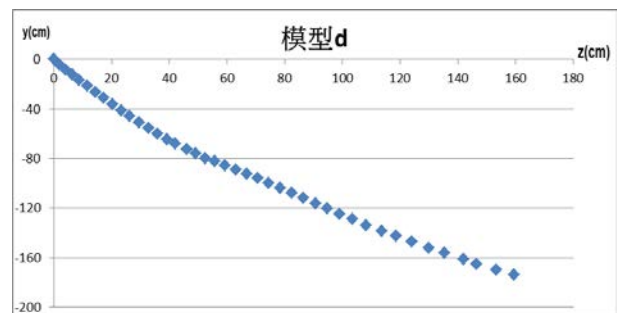
圖(四十三)模型 a



圖(四十四)模型 b



圖(四十五)模型 c



圖(四十六)模型 d

### (1) 模型 a :

向前飄落一段距離後，會往回飄一段距離，之後落地。雖然飄落過程穩定，但是向前飄落的距離短。若飛蛇以此方式滑翔，不但滑翔距離短，也無法有效利用身體肌肉運動。

### (2) 模型 b :

在藍色箭頭處已翻覆，並且快速落下，因此模型向前飛行距離短，此彎曲程度為飛蛇在地面爬行時的彎曲程度，因此若飛蛇要在空中穩定滑翔，不能維持在地面爬行時的姿勢。

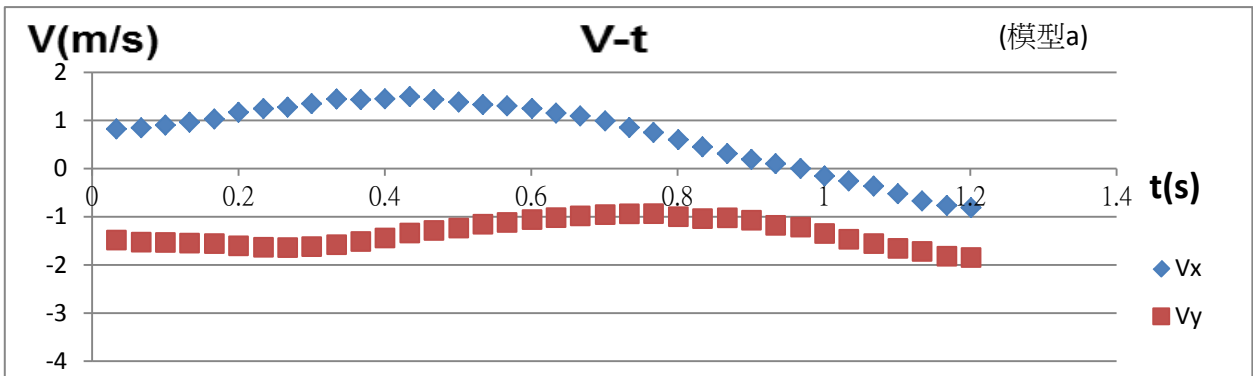
### (3) 模型 c :

雖然滑翔時穩定，但是滑翔距離有限。

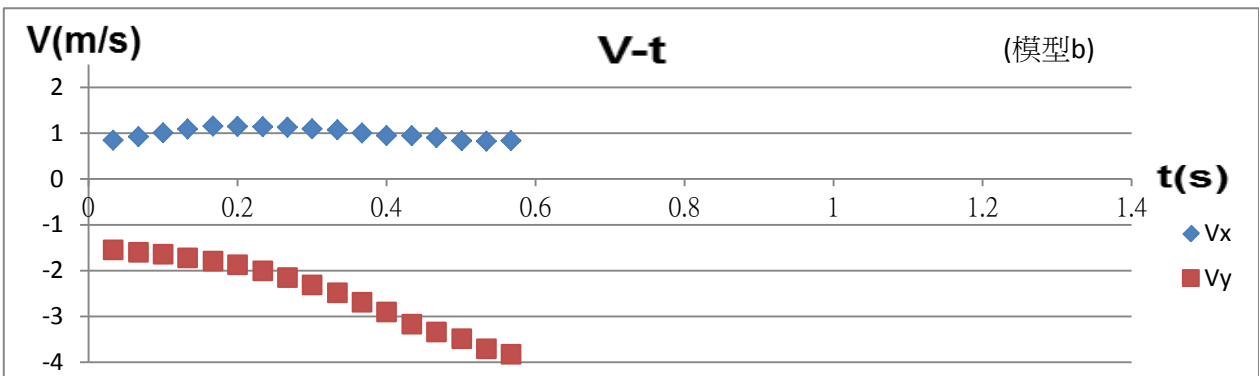
### (4) 模型 d :

飄落後向前穩定滑翔，在 25 度俯角的條件下，滑翔距離最遠，此模型最接近真實飛蛇滑翔時的姿勢。飛蛇以此姿勢滑翔，不但滑翔過程穩定，也可以有效利用身體肌肉運動。

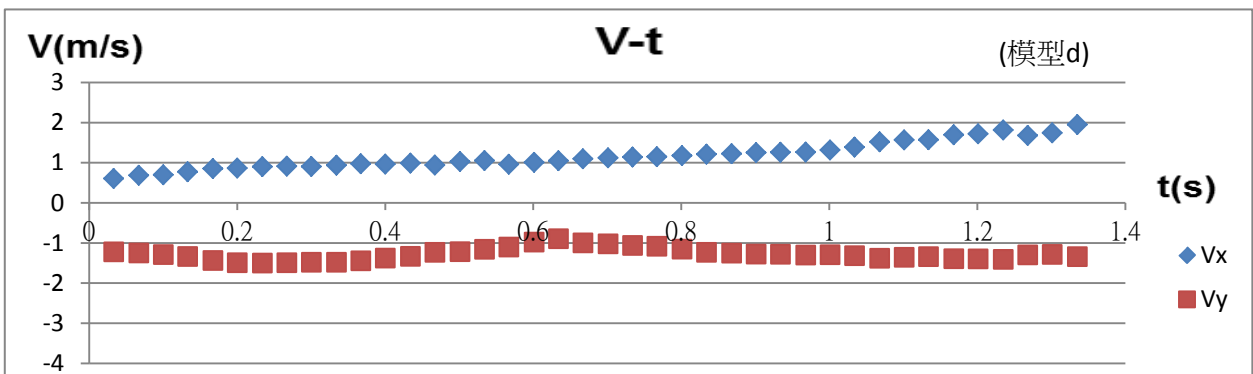
七、結果七--不同體態 S 形平面模型在空中飄盪的水平速度  $V_x$  及鉛直速度  $V_y$



圖(四十七)模型 a



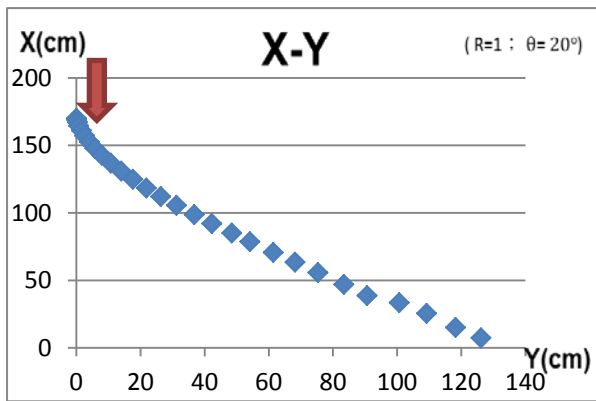
圖(四十八)模型 b



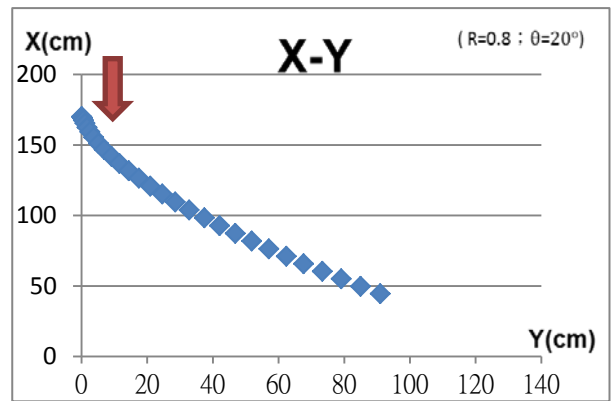
圖(四十九)模型 c

- (一) 模型 a 釋放後速度趨近穩定，不會有明顯的變化。
- (二) 模型 b 釋放後， $V_x$  在約 0.3 秒時開始減速， $V_y$  開始加速，代表已翻覆大幅度斜向飄落。
- (三) 模型 c 釋放後速度穩定，代表垂直升力、水平後曳力與重力處於平衡狀態。

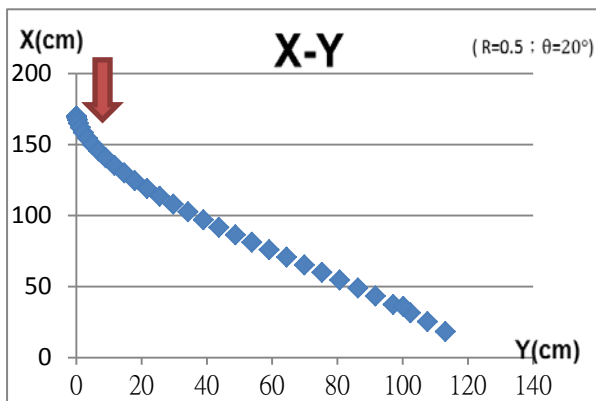
八、結果八一不同體態 S 形立體模型在空中飄盪軌跡 ( $\theta = 20^\circ$ )



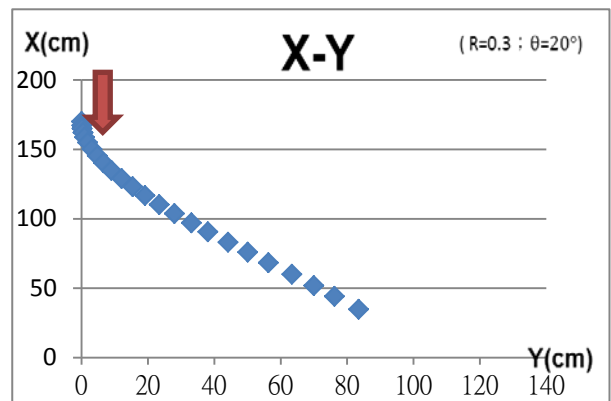
圖(五十)模型甲



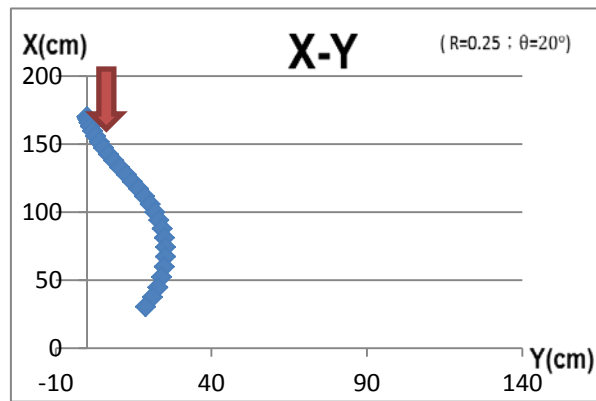
圖(五十一)模型乙



圖(五十二)模型丙



圖(五十三)模型丁

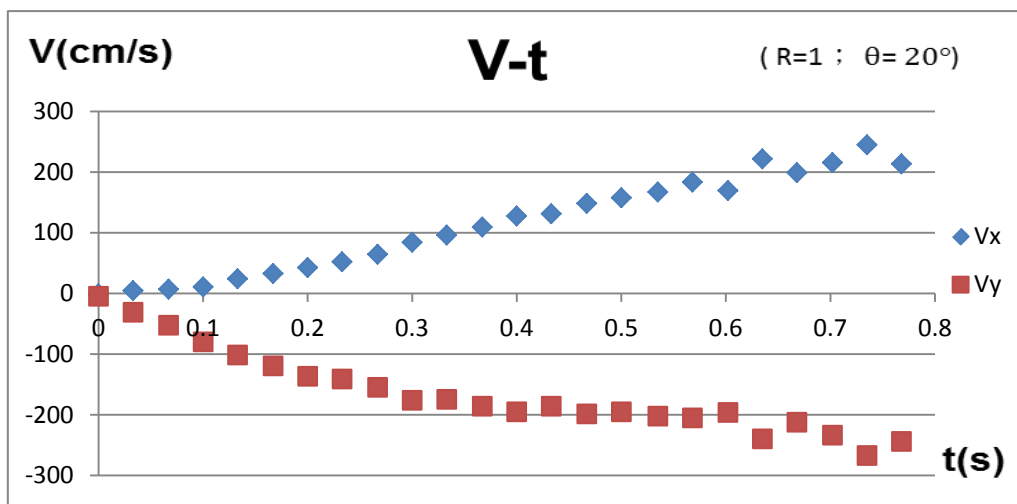


圖(五十四)模型戊

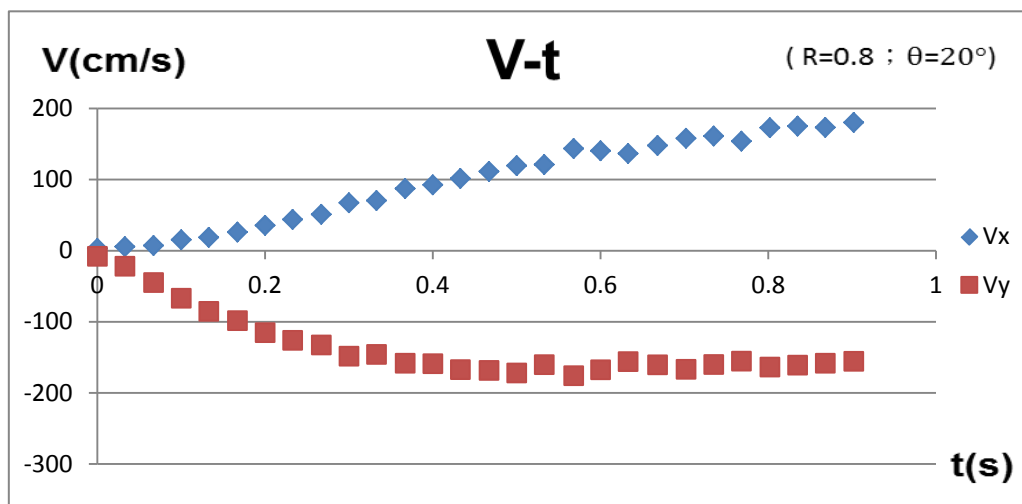
- (一)在模型剛落下時，滑翔軌跡相同。(如紅色箭頭所指)
- (二)模型甲、乙、丙向前滑翔 30cm 後，滑翔軌跡的斜率約略固定。
- (三)模型丁在向前滑翔 30cm 後，軌跡斜率略有變動，不呈現定值。
- (四)模型戊在向前滑翔 20cm 後，開始大幅度向下墜落，在約 30cm 處往回滑翔。



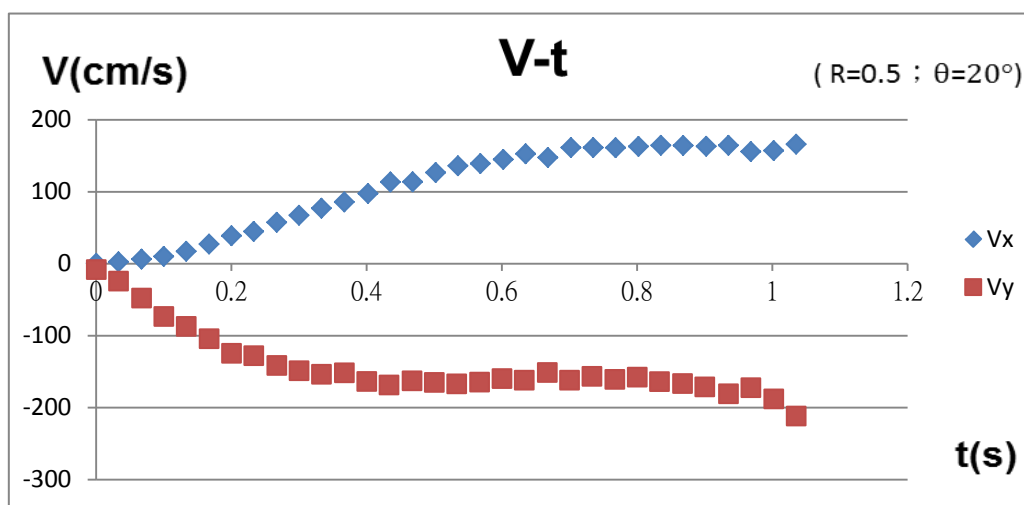
九、結果九--不同體態 S 形立體模型在空中飄盪的水平速度  $V_x$  及鉛直速度  $V_y$  ( $\theta = 20^\circ$ )



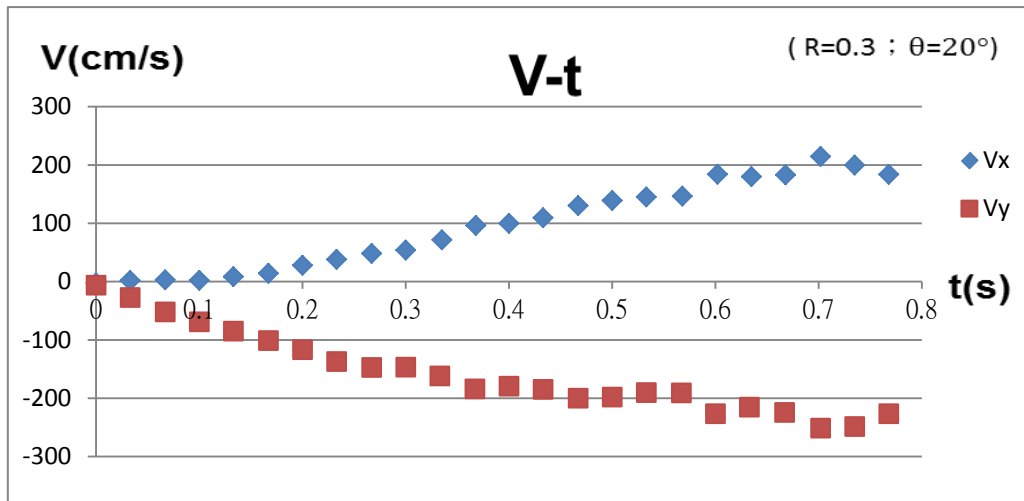
圖(五十五)模型甲



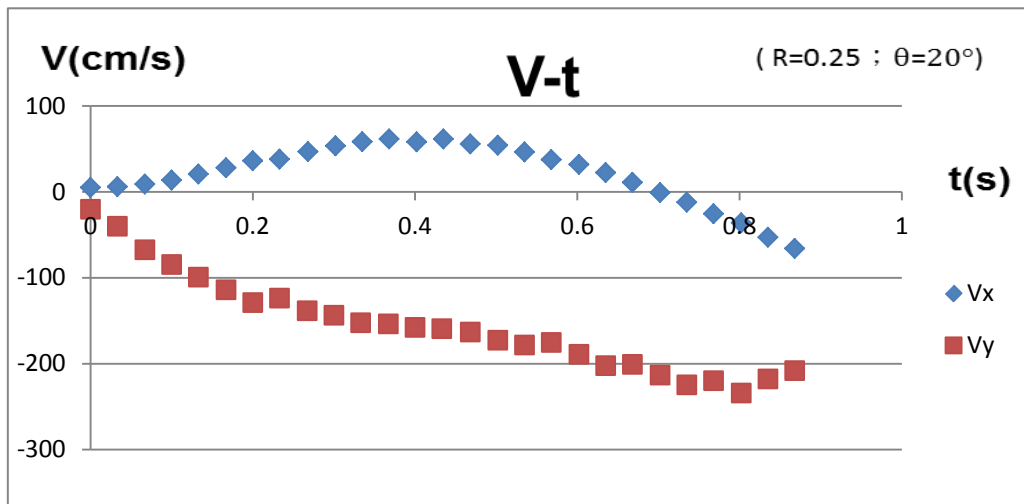
圖(五十六)模型乙



圖(五十七)模型丙



圖(五十八)模型丁



圖(五十九)模型戊

(一)水平速度  $V_x$  的變化

- 1.模型甲、乙的  $V_x$  在 0.2 秒後約略呈現等加速度運動。
- 2.模型丙的  $V_x$  在 0.2~0.6 秒時為等加速度運動，在 0.6 秒後其  $V_x$  趨近於定值。
- 3.模型丁的  $V_x$  呈現變加速度運動。
- 4.模型戊的速率在 0.4 秒以前持續增加，在 0.4 秒以後開始下降。

(二)鉛直速度  $V_y$  的變化

- 1.模型甲、模型乙、模型丙的  $V_y$  在約 0.3 秒時趨近於定值，為終端速度。且 R 值越大，達到終端速度的時間越早。
- 2.模型丙的  $V_y$  在 1 秒時開始再度加速。
- 3.模型丁、模型戊的鉛直速率持續增加。

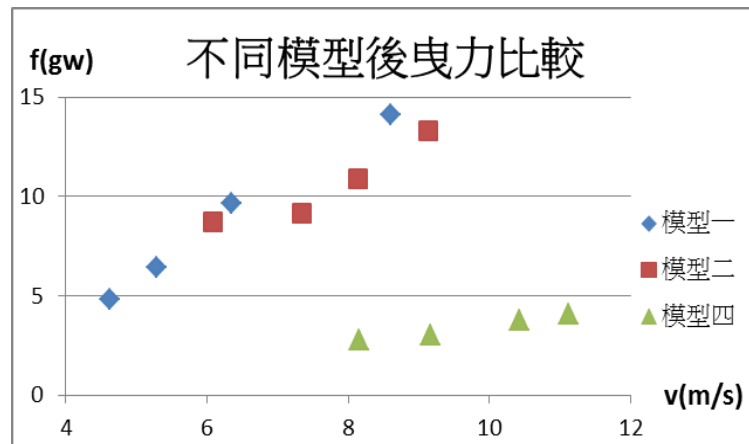
## 柒、討論

### 一、討論一

- (一) 飛蛇滑翔時尾部的旋轉擺動和滑翔的方向與穩定度有關。
- (二) 飛蛇的彎曲曲率與其滑翔穩定度有關。

### 二、討論二

1. 據圖(六十)，與圓形截面形狀相比，內凹扁平的截面形狀能給飛蛇更大的後曳力，所以模型一有最大後曳力。因此在急墜期時，飛蛇開始將肋骨張開、身體內凹，以減緩下降加速度。但是資料顯示，飛蛇形成類似模型二的截面形狀，並沒有更加內凹成完全鏤空，是否有特別原因，將在討論三進行討論。

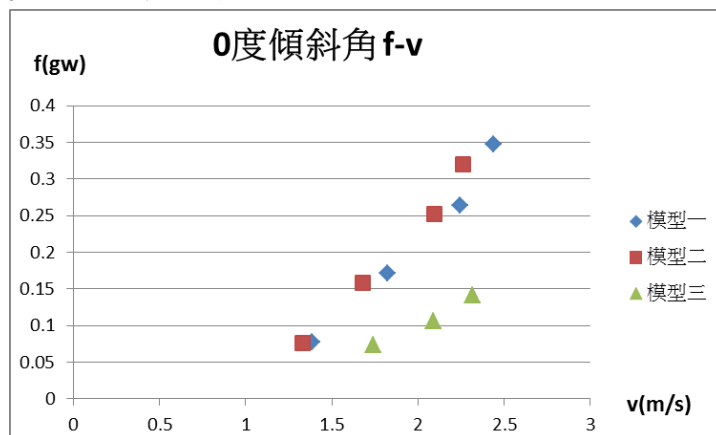


圖(六十) 不同模型後曳力比較

2. 若以 120cm，100gw 的飛蛇為例，落下速度在約 6m/s 的條件下，每 6cm 蛇長可以造成約 6gw 的升力，約為蛇身重的 83%。

### 三、討論三

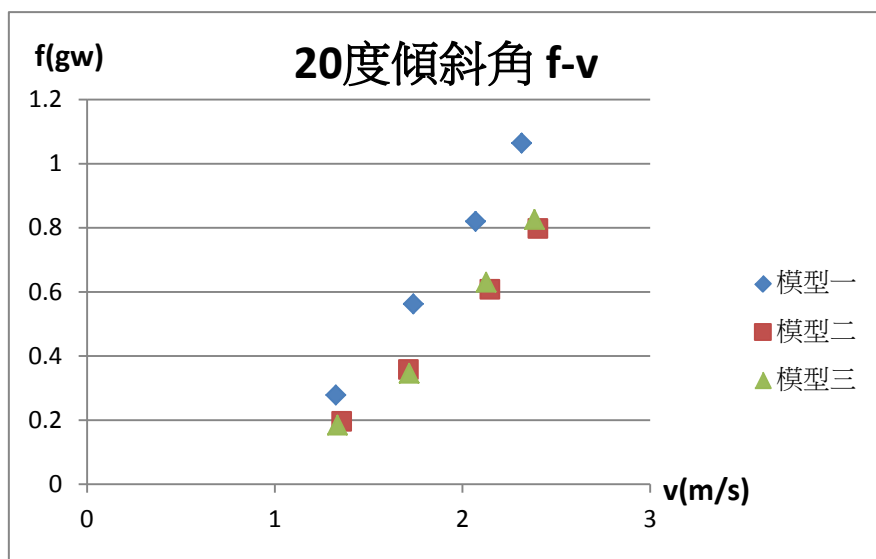
1. 以實驗三結果作圖分析後發現，模型水平時，模型二會受到最大升力，而此模型最接近真實飛蛇的截面樣貌，因此說明飛蛇在進行水平滑翔時，不需要將身體向內凹過多就可具最大升力。



圖(六十一) 傾斜角 0 度

2. 以圖(六十二)分析後發現，模型開始具有傾斜角後，模型一升力變為最大，而模

型二升力只比模型三稍小，因此真實的飛蛇並不需要將身體完全縮成全鏤空弓形也可以具有相近的升力。



圖(六十二) 傾斜角 20 度

3. 若以 120cm，100gw 的飛蛇為例，風速在約 2.4m/s 的條件下，每 6cm 模型二長可以造成約 1gw 的升力，約為蛇身重的 20%。

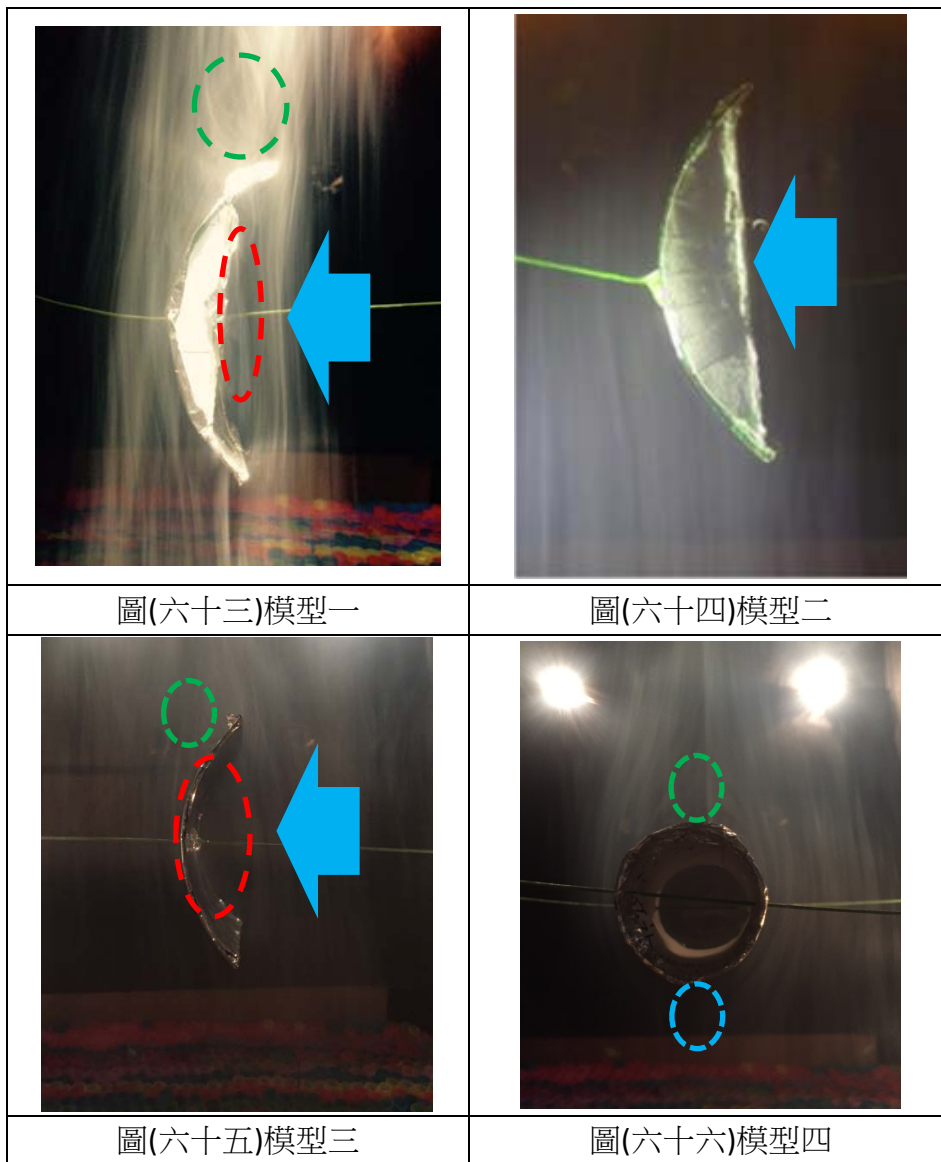
#### 四、討論四

1. 不論任何傾斜角放置，模型三所受到的水平後曳力最大，模型一次之，模型二再次之，模型四最小。
2. 雖然飛蛇身體截面為圓形時所受到的水平後曳力最小，但是同樣的，其鉛直後曳力及水平升力都為所有模型的最小值，因此飛蛇不會維持原本的身體形狀來進行滑翔。
3. 模型二所受到的水平後曳力最小，又其在水平時受到的水平升力為所有模型的最大值，因此飛蛇在滑翔時身軀不需要內凹太多，就可以有良好的滑翔能力。

## 五、討論五

### 1. 四種模型的流場

1. 紅色圈為內部亂流；綠色圈為末端亂流；藍色圈為層流剝離；藍色箭頭為升力方向

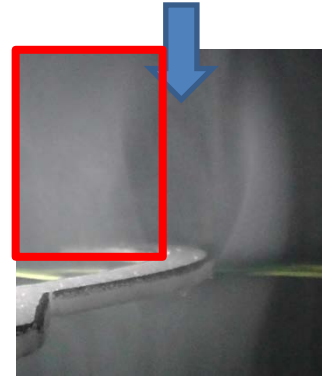


### 2. 與實驗三數據的相關性

1. 在四種模型的流場表現中，模型二的內部亂流最小，模型一次之，模型三最大。而在實驗三水平放置的數據中，模型二的升力最大，模型一次之，模型三最大，因此推斷內部亂流變大會使其壓力減小，造成壓力差也減小，所以升力變小，因此沒有出現內部亂流的模型二會有最大升力。
2. 在模型四的流場中，左右流場樣貌相同，因此沒有壓力差，所以不會產生升力。

## 六、討論六

- 1.當風流過模型後，在模型後方形成 U 字狀的亂流區(圖(六十七)藍色箭頭)。
- 2.在模型彎曲內部形成區域性內縮風柱，風速較快(圖(六十七)紅色方塊)
- 3.若模型彎曲程度越接近 360 度，風柱就越接近圓形，滑翔過程 也就越穩定，反之，越不對稱，會造成壓力差，使模型不穩定。

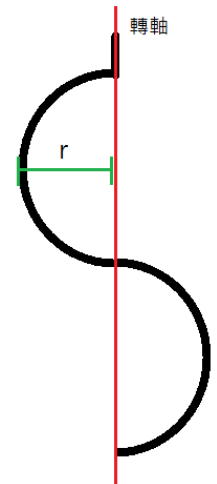


圖(六十七)

## 七、討論七—影響飛蛇滑翔穩定性及距離的因素

### 1. 轉動慣量

飛蛇的寬長比值越大，圖(六十八)中的  $r$  對轉軸的長度就越長，其對此轉軸的轉動慣量就越大。由 X-Y 圖可看出，在滑翔的過程中，轉動慣量越大，穩定性就越高，越能維持滑翔過程的平衡，因此模型甲、乙、丙的滑翔距離較模型丁、戊遠，造成其合力為穩定的狀態，因此  $V_x$  能呈現等加速度運動， $V_y$  能越快達到終端速度。(如結果八的 V-t 圖)



圖(六十

### 2. S 形彎曲內部的風柱

飛蛇身體的彎曲程度越接近 360 度，彎曲內側的風柱越接近對稱圓形，能夠穩定飛蛇在空中的滑翔，若不對稱，就會使飛蛇身體左右壓力不平衡，擾亂其滑翔穩定性。

### 3. 寬長比值(圖(六十八)的 $r$ )

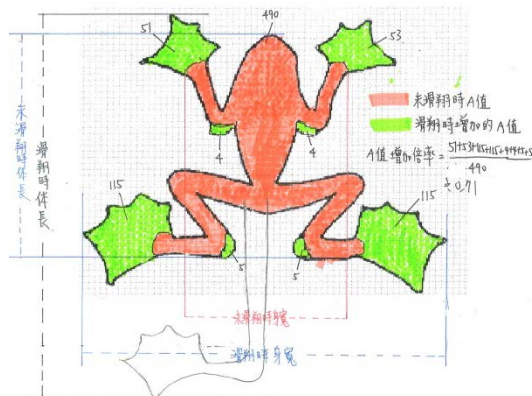
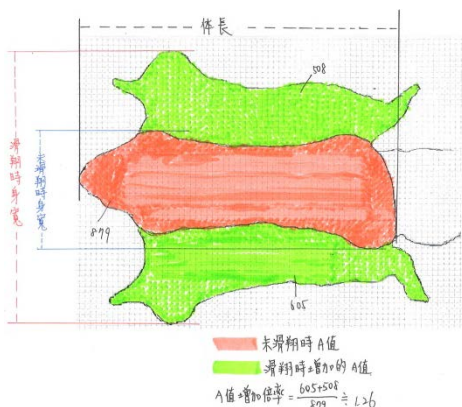
由升力實驗可看出，寬長比值  $R$  越大，所受到的升力也就越大，可以使其越早達到終端速度，呈現穩定的滑翔。

### 4. 統整

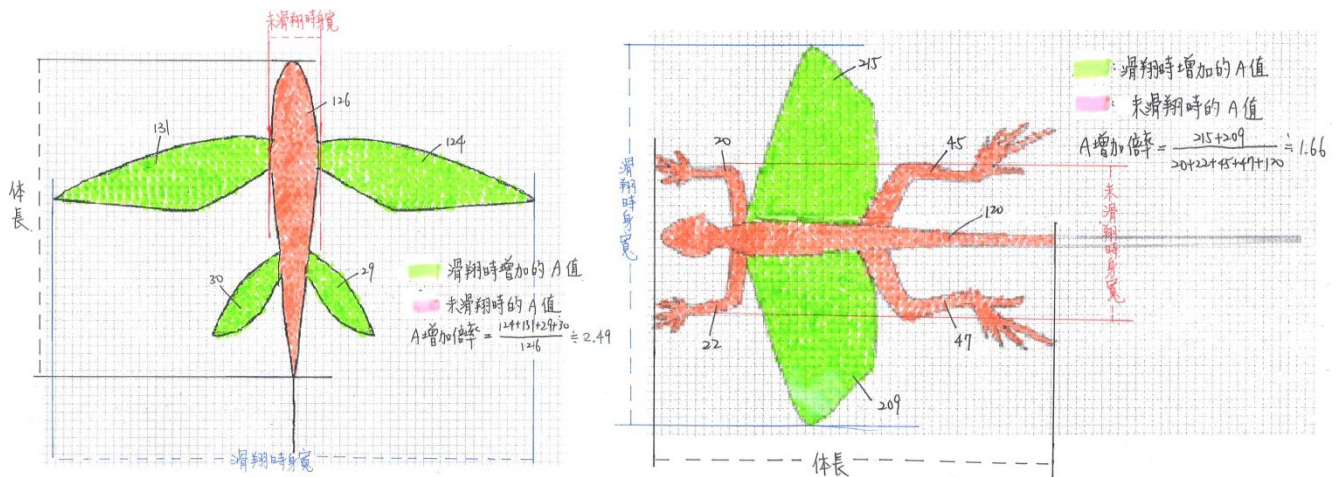
根據以上三點可以得知寬長比值越大，越能夠穩定飛蛇的滑翔，因此飛蛇在空中滑翔時會盡力彎曲其身體呈現寬長比值大的 S 形姿勢。

## 八、討論八

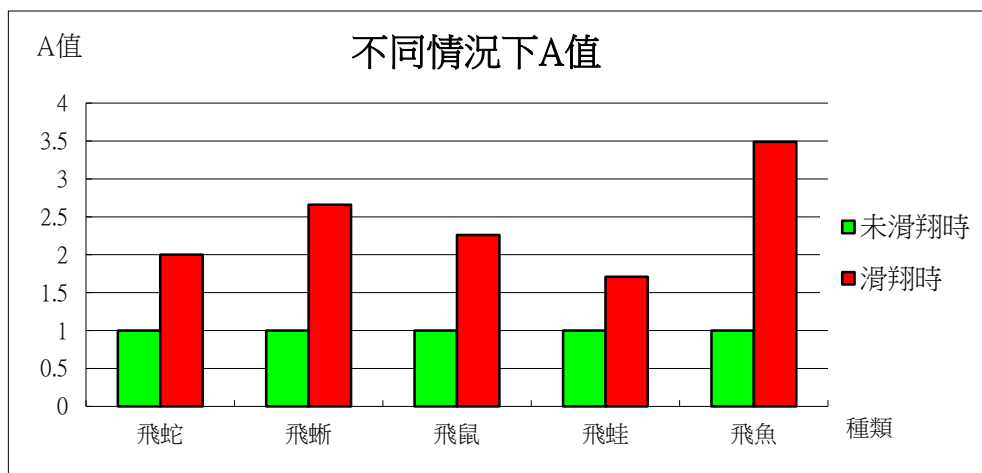
1. 為探討無動力滑翔的動物與飛蛇滑翔時的異同，因此選擇飛鼠、飛蜥、飛蛙、飛魚等四種不同動物來探討，並對 A 值(截面積)與 R 值(寬長比值)進行比較。





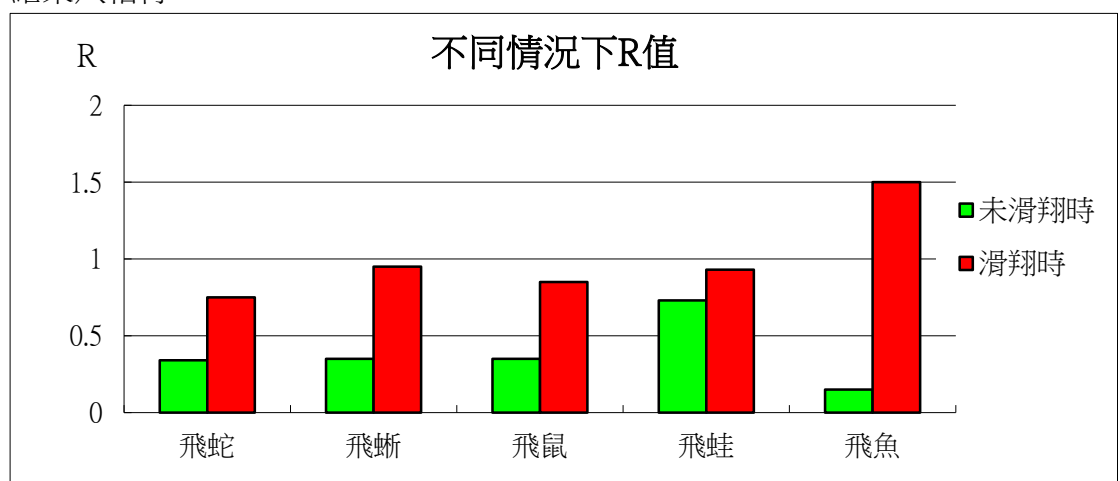


2. A 值越大，滑翔時具有的鉛直後曳力越大，越快進入終端速度，能滑翔的距離越遠，故五種動物均在滑翔時增加 A 值。



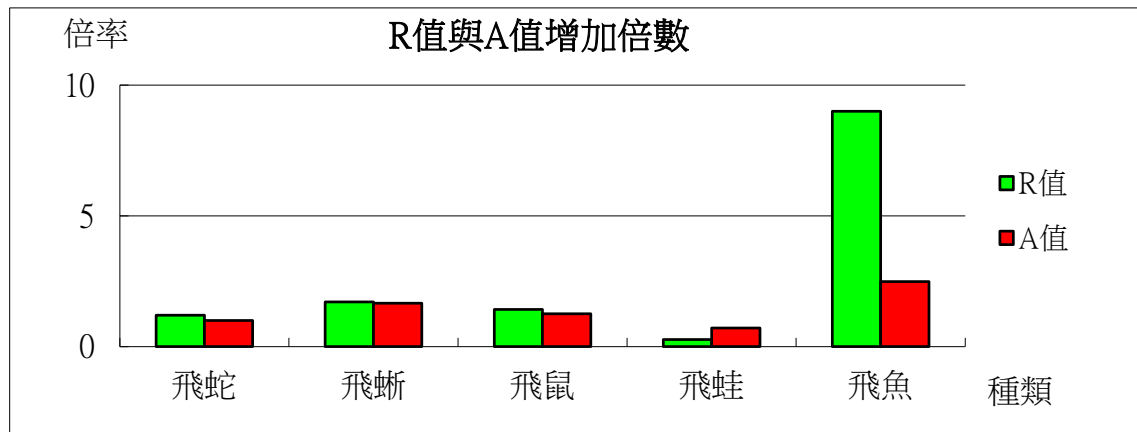
附註:由於無法得知真實體型，故分別以原 A 值為 1 進行相對比較後作圖

3. R 值越大，滑翔時的穩定性越佳，五種滑翔動物在滑翔時的 R 值均大於 0.5，與結果八相符



4. 五種動物中僅飛魚在水中生活，水的黏滯係數遠大於空氣，故飛魚在水中 R 值小，才能快速的游泳；但為使在空中滑翔時更穩定，便張開胸鰭大幅增加 R 值與 A 值，故

滑翔的距離最遠且最穩定。



5. 飛蛇、飛鼠和飛蜥滑翔時都有尾部擺動協助穩定，飛蛇身體也有 S 形波動；而飛蛙無尾部進行擺動，穩定性最差，可知尾部擺動可穩定滑翔。其中飛蜥重量最輕，加上 R 值最大，故滑翔最穩定。
6. 因飛蛇 R 值過小且無皮膜可伸展，因此在滑翔時將肋骨張開使身體呈弓形以增加 A 值並呈大 S 形的體態使 R 值增加至 0.5 到 1 之間，才能更穩定。

## 捌、 結論

- 一、模型越接近鏤空弓形，所具後曳力越大。因此飛蛇會在急墜期就把肋骨張開，使蛇皮內縮、貼近肋骨，讓截面接近三分之一圓弧。並且發現後曳力與墜落速度的次方關係約為 1.7 次方。
- 二、飛蛇在進行水平滑翔時，不需要將身體向內凹過多就可具最大升力。飛蛇身體開始具有傾斜角後，不需要將身體完全縮成弓形也可以具有與完全鏤空的飛蛇身體相近的升力。並且發現升力與水平速度的次方關係約為 2.4 次方。
- 三、在有內凹模型中，內凹處會有內部亂流產生，而在模型末端也會有小範圍的末端亂流。發現若模型內凹程度越大，內部亂流就越大，反之，內部亂流區就越小且越靠模型末端。
- 四、真實飛蛇的身體彎曲曲率大，滑翔過程中，晃動幅度小，不易翻覆且平穩。
- 五、寬長比值越大，越能夠穩定飛蛇的滑翔，因此飛蛇在空中滑翔時會盡力彎曲其身體呈現寬長比值大的 S 形姿勢。

## 玖、 未來展望

- 一、設計出動態的飛蛇模型
- 二、改變風向搭配動態飛蛇模型分析出飛蛇滑翔時不同瞬間的受力情形
- 三、探討飛蛇水平向的身體波動對其滑翔造成的影響
- 四、探討飛蛇頭部呈仰角 25 度的原因
- 五、探討飛蛇 90 度轉彎時的受力情形

## 壹拾、 參考資料

- 一、維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
- 二、Gliding Flight in Chrysopelea: Turning a Snake into a Wing  
Integrative and Comparative Biology, volume 51, number 6, pp. 969–982  
doi:10.1093/icb/icr092
- 三、影片
  1. <https://www.youtube.com/watch?v=GtlpfTwzziY>
  2. <https://www.youtube.com/watch?v=VKSKxQcyYdE>
  3. <https://www.youtube.com/watch?v=HMs8Cu8PNKM>
- 四、Flying Snake Home Page : <http://www.flyingsnake.org/>

## 【評語】 040108

本項作品探討飛蛇在滑翔的過程中，身體截面積改變及體態的S形彎曲，對滑翔穩定性、持久性的影響。作者注意到這個自然現象並加以研究，值得嘉許。

在這項研究裡，作者態度認真，並設計實驗控制不同變因，進行進一步的物理模型討論，是一項很好的科學訓練。本項研究的動機可取，過程有組織，結果合理，唯較缺新意。另外，在所設計實驗中，假如能更擬真地考慮起始的橫向速度，應有助於對這現象的更完整理解。