

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 物理科

最佳(鄉土)教材獎

030109

平步蜻雲

學校名稱：新北市立新泰國民中學

作者：  國三 彭勇誠  國三 林昱勳  國三 謝竣宇	指導老師：  張順堯  紀金賢
---	-----------------------------

關鍵詞：竹蜻蜓、螺旋、上升

## 摘要

本研究以改善竹蜻蜓翼面為目的，藉由不同翼面變因，我們發現竹蜻蜓翼面長度與桿軸長成1：1比例較佳，轉軸寬與葉面長呈1：10較佳。而且竹蜻蜓翼面寬度要寬、傾斜角度要小、翼型要頭尾皆窄。我們發現改良後之竹蜻蜓比起原本的對照組，能飛地更高、更久、更穩定。對於白努力原理的意義，我們了解得更深入了。

## 壹、研究動機

直升機為人類帶來了新里程碑。相較於一般飛機的俯衝、上升、飛翔，直升機卻是在強大氣流的支撐下，於「停留」的時刻，為救難行動添助力。這令我們好奇，在那薄薄翼扇的迅速轉動下，究竟是為什麼，能造成如此強大的氣流，得以支撐如此重的直升機機身？

我們希望能藉由一連串對竹蜻蜓翼面的改造計畫，研究如何旋出最大的氣流，做出完美的竹蜻蜓。

## 貳、研究目的

- (一) 在固定的軸長，轉軸寬及角度下，探討長度(吃風面)對飛行時間的影響。
- (二) 藉翼長和桿長的比例，討論其對上升及穩定飛行的影響。
- (三) 藉由不同翼面傾斜角度，討論竹蜻蜓吃風產生的氣流走向。
- (四) 藉由不同翼面寬度，討論其對飛行造成的影響。
- (五) 探討轉軸寬度相關的各種變因對飛行的影響。
- (六) 探討不同翼型對升力的影響。
- (七) 藉由翼尾的阻礙，討論竹蜻蜓上升及原處平飛。
- (八) 藉由實驗過程，學習竹蜻蜓的結構、重心、飛行原理，並活用白努力定理。

## 參、研究設備及器材

### 一、竹蜻蜓製作材料：

木條	竹筷
	

### 二、竹蜻蜓發射器材料及計時工具：

PVC 水管、尼龍繩	計時器、手錶〈最小單位：0.01 秒〉
	 <p style="text-align: right; color: yellow;">2012/2/9</p>

### 三、其他工具

鋸子、剪刀	量角器、30cm 直尺、15cm 直尺
 <p style="text-align: right; color: yellow;">2012/1/8</p>	 <p style="text-align: right; color: yellow;">2012/1/8</p>
美工刀、捲尺、砂紙	電鑽
	 <p style="text-align: right; color: yellow;">2012/1/8</p>

## 肆、研究過程與方法

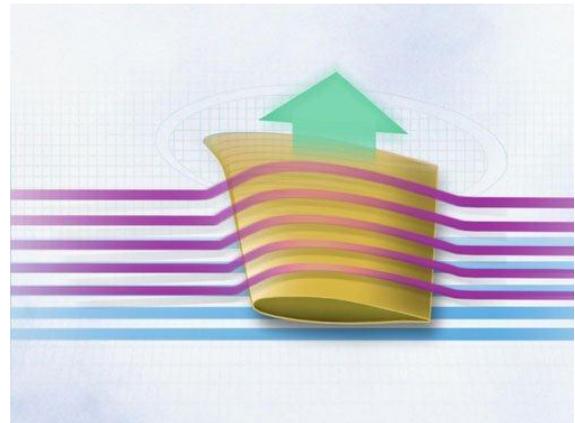
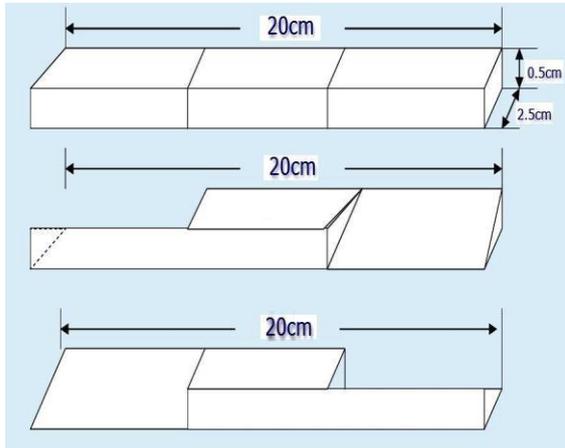
### 一、材料製作

#### 竹蜻蜓製作方法說明：

根據我們所查資料顯示，竹蜻蜓飛行的原理，是其翼面傾斜所造成的「阻擋氣流效應」：當快速氣流流經翼面時，產生一股向下氣流並利用其阻擋後所得之反作用力，抗衡重量並向上飛行（斜面、切面原理）。依照此原理，我們把竹蜻蜓翼面做了造型。

（圖一）竹蜻蜓下翼面標準基本型（對照組）

（圖二）竹蜻蜓上翼面標準基本型（對照組）



根據白努力原理得知「速度越快，壓力越小」，故我們將竹蜻蜓之翼面削製成一面弧形（上翼面）、一面平面（下翼面）。實際做法如下：

- 1、將木條以鋸子鋸出所需長度（基本型為 20cm），並在中點鑽孔。
- 2、用美工刀削出傾斜之下翼面和弧形之上翼面。

#### 竹蜻蜓發射器製作方法：

為了減少用手發射時力道不均造成的誤差，我們以較易控制力道大小的「拉線式簡易發射器」發射竹蜻蜓。

（圖三）發射器

（圖四）竹蜻蜓側面圖



「拉線式簡易發射器」實際做法如下：

- 1、把 PVC 水管鋸成適當長度，用電鑽鑽出一小洞，並以鋸子鋸出一條拉繩軌道。
- 2、將 PVC 水管底部以 PVC 塞頭封住。
- 3、把尼龍繩逆時鐘纏繞住竹蜻蜓，就完成了。

## 二、實驗步驟

**(實驗一)：討論竹蜻蜓葉片長度對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要)：

角度：約 10 度	寬度：2.5cm	轉軸寬：1cm	桿長：20cm
-----------	----------	---------	---------

(2) 操作變因：

長度 (1)：16cm	
長度 (2)：18cm	
長度 (3)：20cm (對照組)	
長度 (4)：22cm	
長度 (5)：24cm	

(3) 實驗步驟：

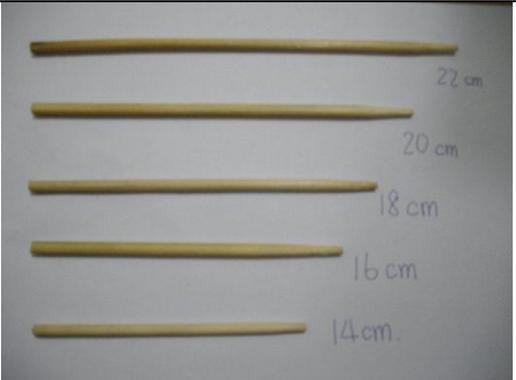
1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (5) 號不同長度的竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間，並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗二) 討論竹蜻蜓桿長對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要)：

角度：約 10 度	寬度：2.5cm	轉軸寬：1cm	翼長：20cm
-----------	----------	---------	---------

(2) 操作變因：

筷子長度 (1)：22cm	
筷子長度 (2)：20cm (對照組)	
筷子長度 (3)：18cm	
筷子長度 (4)：16cm	
筷子長度 (5)：14cm	

(3) 實驗步驟：

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (5) 號不同桿長之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間，並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗三) 討論竹蜻蜓被發射的角度對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長 : 20cm	寬度 : 2.5cm	轉軸寬 : 1cm	桿長 : 20cm
-----------	------------	-----------	-----------

(2) 操作變因 :

角度 (1) : 0 度	
角度 (2) : 約 10 度	
角度 (3) : 約 20 度	
角度 (4) : 約 30 度	
角度 (5) : 約 40 度	

(3) 實驗步驟 :

1. 用竹蜻蜓發射器調整 (1) 到 (5) 號不同發射的角度。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間, 並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗四) 討論竹蜻蜓寬度對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長 : 20cm	角度 : 約 10 度	轉軸寬 : 1cm	桿長 : 20cm
-----------	-------------	-----------	-----------

(2) 操作變因 :

寬度 (1) : 2.5cm (對照組)	
寬度 (2) : 2cm	
寬度 (3) : 1.5cm	

(3) 實驗步驟 :

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (3) 號不同寬度之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間, 並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗五) 討論竹蜻蜓中心轉軸寬對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長 : 20cm	角度 : 約 10 度	寬度 : 2.5cm	桿長 : 20cm
-----------	-------------	------------	-----------

(2) 操作變因 :

轉軸寬度 (1) : 0.5cm	
轉軸寬度 (2) : 1cm (對照組)	
轉軸寬度 (3) : 1.5cm	
轉軸寬度 (4) : 2cm	

(3) 實驗步驟 :

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (4) 號不同轉軸寬之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間, 並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗六) 討論竹蜻蜓中心轉軸的轉折處平滑對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長 : 20cm	角度 : 約 20 度	寬度 : 2.5cm	桿長 : 20cm	轉軸寬 : 1cm
-----------	-------------	------------	-----------	-----------

(2) 操作變因 :

(1) 無轉軸轉折處平滑 (對照組)	
(2) 有轉軸轉折處平滑	

(3) 實驗步驟 :

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (2) 號不同轉折平滑度之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間, 並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗七) 討論竹蜻蜓的翼形對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長：20cm	角度：約 10 度	寬度：2.5cm	桿長：20cm	轉軸寬：1cm
---------	-----------	----------	---------	---------

(2) 操作變因：(此處頭為靠近轉軸處、尾為翼面末端)

葉形 (1)：頭尾皆寬 (對照組)	
葉形 (2)：頭窄尾寬	
葉形 (3)：頭寬尾窄	
葉形 (4)：頭尾皆窄	

(3) 實驗步驟：

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (4) 號不同翼型之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間，並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗八) 討論竹蜻蜓的轉軸邊緣的葉面平滑度對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長：20cm	角度：約 10 度	寬度：2.5cm	桿長：20cm	轉軸寬：1cm
---------	-----------	----------	---------	---------

(2) 操作變因：

(1) 無軸邊緣葉面平滑	
(2) 有軸邊緣葉面平滑	

(3) 實驗步驟：

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (2) 號不同轉軸邊緣之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間，並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

**(實驗九) 討論竹蜻蜓葉末留距對飛行時間的影響。**

(1) 控制變因 (主要) :

翼長：20cm	角度：約 10 度	寬度：2.5cm	桿長：20cm	轉軸寬：1cm
---------	-----------	----------	---------	---------

(2) 操作變因 :

葉末留距 (1) : 0cm (對照組)	
葉末留距 (2) : 0.5cm	
葉末留距 (3) : 1cm	
葉末留距 (4) : 1.5cm	
葉末留距 (5) : 2cm	

(3) 實驗步驟 :

1. 用竹蜻蜓發射器發射 (1) 到 (5) 號不同尾翼狀況之竹蜻蜓。
2. 以手錶測量其停留於空中的時間，並觀察其飛行的穩定度及上升的速度。
3. 將時間記錄於紀錄表中。

實驗照片 :

拉線式簡易發射器發射圖	升空
長度實驗	重心偏移而直直墜下

## 伍、研究結果

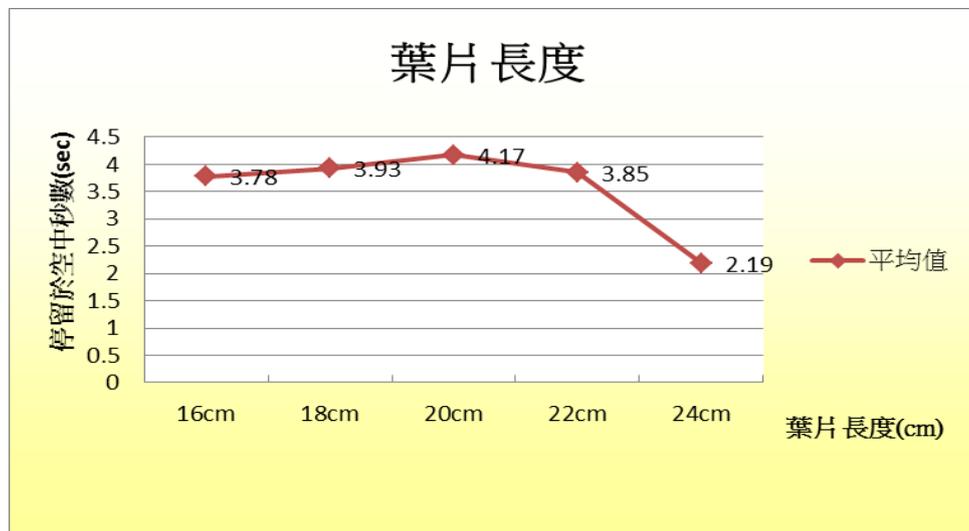
### (實驗一) 討論竹蜻蜓葉片長度對飛行時間的影響。

實驗結果整理於下方的表(一)與圖(一)。由圖(一)，我們觀察到，當葉片長度為 20cm 以下時(即桿長 > 翼長)，竹蜻蜓上升時可保持平穩，但上升之衝力較小；反之，當葉片長度為 20cm 以上時(即桿長 < 翼長)，竹蜻蜓向上衝力較大，到達最高點時，甚至會出現重心偏移的情形而直直下墜(非平穩旋轉向下)。

表(一)：葉片長度與飛行時間

葉片長度	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
16cm	3.72	3.78	3.74	3.77	3.63	3.73
18cm	3.96	3.80	4.09	3.99	3.85	3.94
20cm	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
22cm	3.82	3.90	3.92	3.79	3.85	3.86
24cm	2.30	2.18	2.11	2.23	2.17	2.20

圖(一)：葉片長度與飛行時間



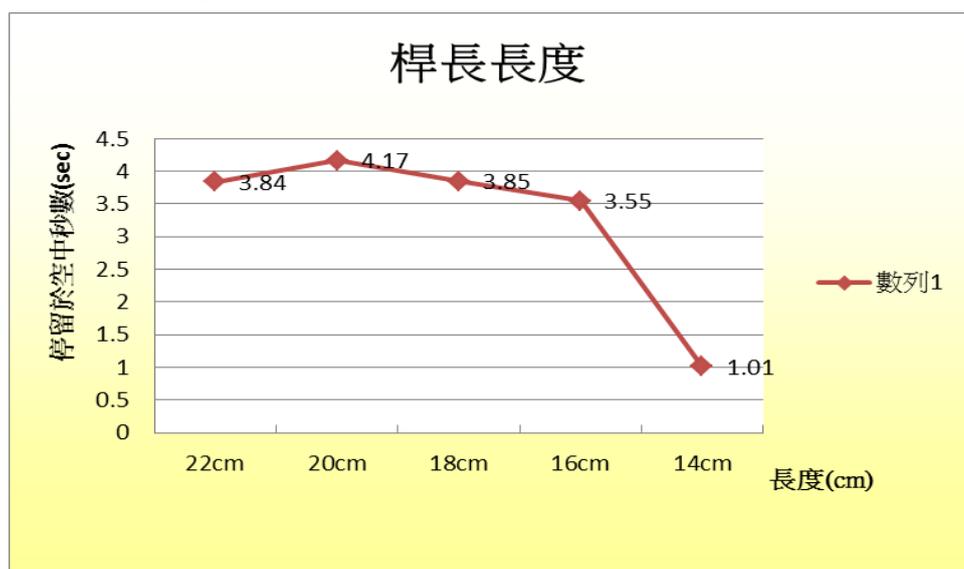
### (實驗二) 討論竹蜻蜓桿長對飛行時間的影響。

實驗結果整理於下方的表(二)與圖(二)。由圖(二)，我們觀察到，當桿長為 20cm 以上時(即桿長 > 翼長)，竹蜻蜓上升時可保持平穩，但上升之衝力較小；反之，當長度為 20cm 以下(即桿長 < 翼長)，竹蜻蜓向上衝力較大，到達最高點時，甚至會出現重心偏移的情形而直直下墜(非平穩旋轉向下)。

表（二）：桿長長度與飛行時間

桿長長度	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
22cm	3.81	3.96	3.75	3.83	3.88	3.85
20cm	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
18cm	3.89	3.82	3.84	3.87	3.86	3.86
16cm	3.52	3.61	3.49	3.58	3.55	3.55
14cm	0.96	1.09	0.93	1.08	1.02	1.02

圖（二）：桿長長度與飛行時間



### 實驗（一）（二）綜合結果討論及延伸

總結以上實驗所得結論：

- 一、葉片長度越長（及翼面吃封面愈大）其竹蜻蜓向上升力愈大，衝得愈快，但當長度超越過某個**臨界點**（實驗中為 20cm）時，容易失去重心，甚至會直接下墜。而葉片長度較短（即**桿長 > 翼長**）較可保持穩定。
- 二、桿長愈長，越不易上升，但較可保持穩定；桿長愈短，其上升迅速，但卻容易失去平衡。

以上結論相似處皆為：

- 一、當**桿長 > 翼面長**，其上升較穩定但較不易上升。
- 二、當**桿長 < 翼面長**，其上升較不穩定當上升容易。

因此我們推論，當**桿長與翼面長**比例為 1：1 是最佳比例。

### （實驗二之 2）再次討論竹蜻蜓**桿長對飛行時間的影響**。

為了驗證我們的推論。我們再設計了與實驗二相似的實驗，並將翼面長改為 24cm，桿長改為 28 cm、26 cm、24 cm、22 cm、20cm。實驗結果整理於下方的表（二之 2）與圖(二之 2)。由圖(二之 2)，我們發現失去重心的臨界點，還是當**桿長與翼面長**比例為 1：1 時，也就是我們設定的 24cm。

表（二之 2）桿長長度與飛行時間

桿長長度(補充)	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
28cm	3.91	3.96	3.90	4.02	4.00	3.96
26cm	4.05	4.05	4.10	4.16	4.19	4.11
24cm	4.06	4.16	4.37	4.27	4.35	4.24
22cm	3.84	3.79	3.87	3.86	3.89	3.85
20cm	2.46	2.68	2.97	2.54	2.64	2.66

圖（二之 2）桿長長度與飛行時間



（實驗三）討論竹蜻蜓被發射的**角度對飛行時間的影響**。

實驗結果整理於下方的表（三）與圖(三)。由圖(三)，我們觀察到，發現當被發射的**角度愈大**時（約 40 度），其竹蜻蜓較**不易上升**，**下降也愈迅速**（會有**缺乏動力**之情形）；反之，當**角度愈小**（約 10 度），其竹蜻蜓**上升速度愈快**，**下降也愈緩慢**（可至落地前都有**旋轉動力**），而當**角度為 0 度**時，我們觀察到其竹蜻蜓並不會上升而只是停留於原位置便落下。

表（三）：竹蜻蜓被發射的**角度與飛行時間**

被發射的角度	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
0 度	1.69	1.84	1.33	1.56	1.74	1.63
約 10 度	3.95	3.98	3.89	3.91	3.90	3.93
約 20 度	3.85	3.80	3.84	3.79	3.82	3.82
約 30 度	3.71	3.70	3.64	2.81	3.80	3.53
約 40 度	2.99	3.26	3.55	3.28	3.19	3.25

圖（三）：竹蜻蜓被發射的**角度與飛行時間**



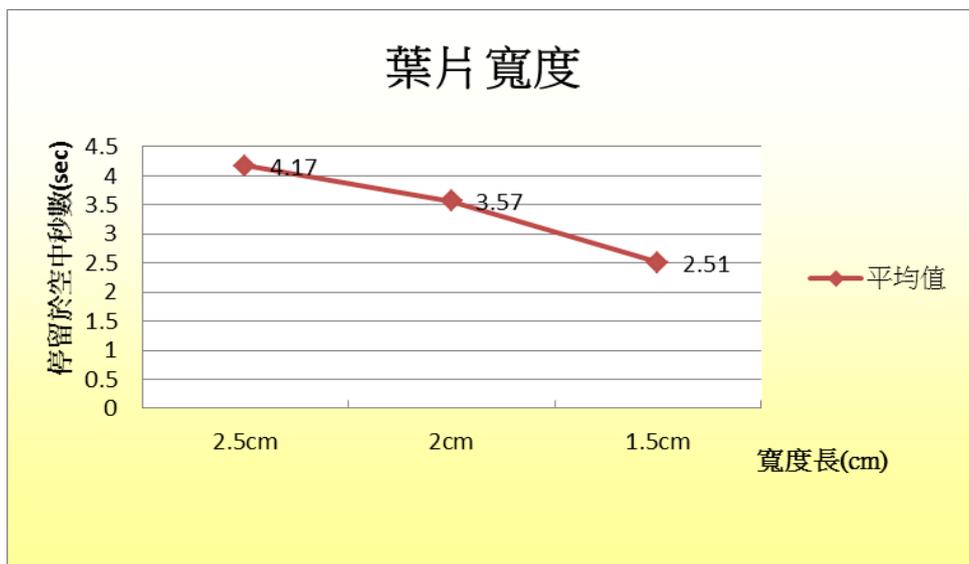
**(實驗四) 討論竹蜻蜓寬度對飛行時間的影響。**

實驗結果整理於下方的**表（四）**與圖(四)。由圖(四)，我們觀察到，當**寬度愈寬**，**上升較快**，至落地時也能保有旋轉動力，其上升於空中時較為**平穩也停留較多時間**；反之，**寬度較短**之翼面，其**上升緩慢**，且當其飛之空中（最高點時）常常失去其旋轉之動力，其上升於空中時**不穩且較為容易直直下墜**。

表（四）：竹蜻蜓**寬度與飛行時間**

葉片寬度	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
2.5cm	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
2.0cm	3.53	3.64	3.54	3.58	3.60	3.58
1.5cm	2.46	2.39	2.43	2.41	2.87	2.51

圖（四）：竹蜻蜓**寬度與飛行時間**



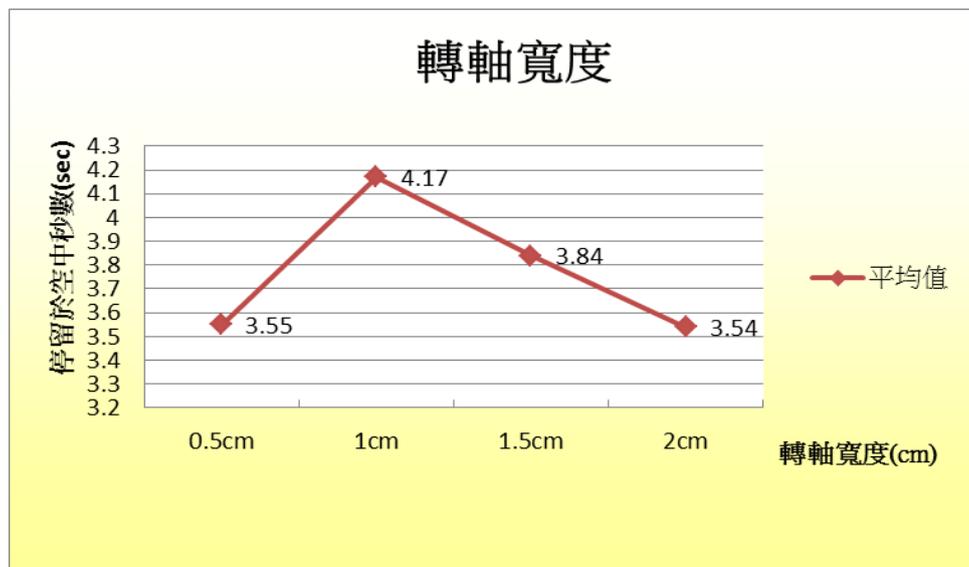
**(實驗五) 討論竹蜻蜓中心轉軸寬對飛行時間的影響。**

實驗結果整理於下方的表(五)與圖(五)。由圖(五)，我們觀察到，當竹蜻蜓中心轉軸寬為 0.5cm (<1cm) 時，其上升極為不穩定，但其上升速度卻較其他寬度更佳；而當轉軸寬度為 1.5 至 2.0cm 時 (>1cm) 時，其可以平穩但緩慢的上升，但旋轉的動力很快就殆盡(容易到空中最高點便停止旋轉直直墜下)。

**表(五)：竹蜻蜓中心轉軸寬與飛行時間**

轉軸寬度	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
0.5cm	3.60	3.32	3.77	3.54	3.56	3.56
1cm	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
1.5cm	3.84	3.92	3.72	3.84	3.88	3.84
2cm	3.44	3.56	3.61	3.57	3.54	3.54

**圖(五)：竹蜻蜓中心轉軸寬與飛行時間**



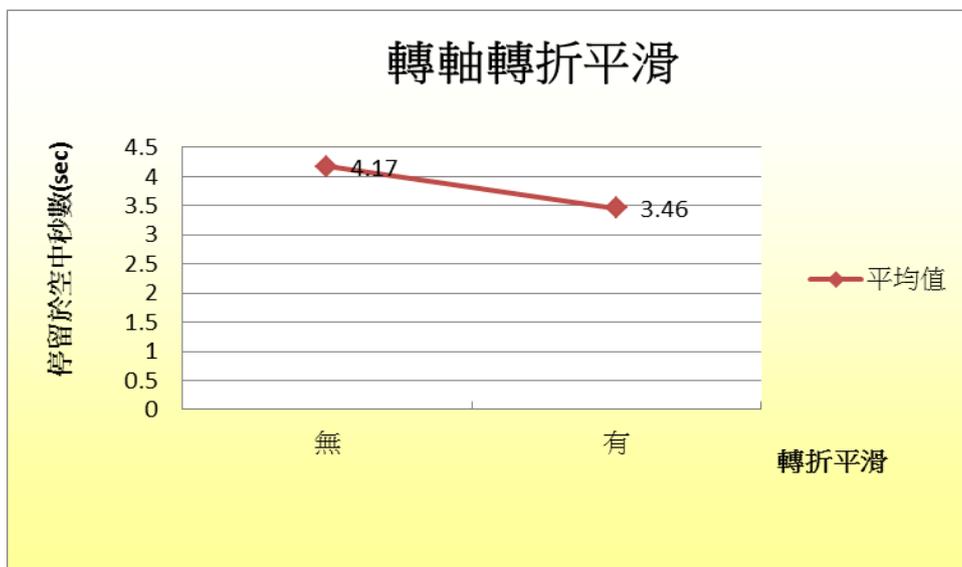
**(實驗六) 討論竹蜻蜓中心轉軸的轉折處平滑對飛行時間的影響。**

實驗結果整理於下方的表(六)與圖(六)。由圖(六)，我們觀察到，在竹蜻蜓中心轉軸的轉折處平滑之竹蜻蜓，其飛行情況較不穩定，而對照組，較能平穩地上升。有無轉折處平滑的情況下，竹蜻蜓上升速度並無顯著差異。

**表(六)：竹蜻蜓中心轉軸的轉折處平滑與飛行時間**

轉軸轉折平滑	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
無	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
有	3.47	3.61	3.31	3.57	3.38	3.47

圖（六）：竹蜻蜓中心轉軸的轉折處平滑與飛行時間



（實驗七）討論竹蜻蜓的翼形對飛行時間的影響。

實驗結果整理於下方的表（七）與圖(七)。由圖(七)，我們觀察到，頭窄尾寬或頭尾皆窄之竹蜻蜓（皆為頭窄），可保有持續的上升動力，較久才會失去動力致無法轉動下墜，而尾窄頭寬或頭尾皆窄的竹蜻蜓翼面（皆為尾窄），下降時可較緩慢下降。

表（七）：竹蜻蜓的翼形與飛行時間

葉形差異	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
頭尾皆寬	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
頭窄尾寬	4.25	4.27	4.44	4.36	4.42	4.35
頭寬尾窄	4.29	4.26	4.32	4.38	4.30	4.31
頭尾皆窄	4.36	4.31	4.47	4.38	4.39	4.38

圖（七）：竹蜻蜓的翼形與飛行時間



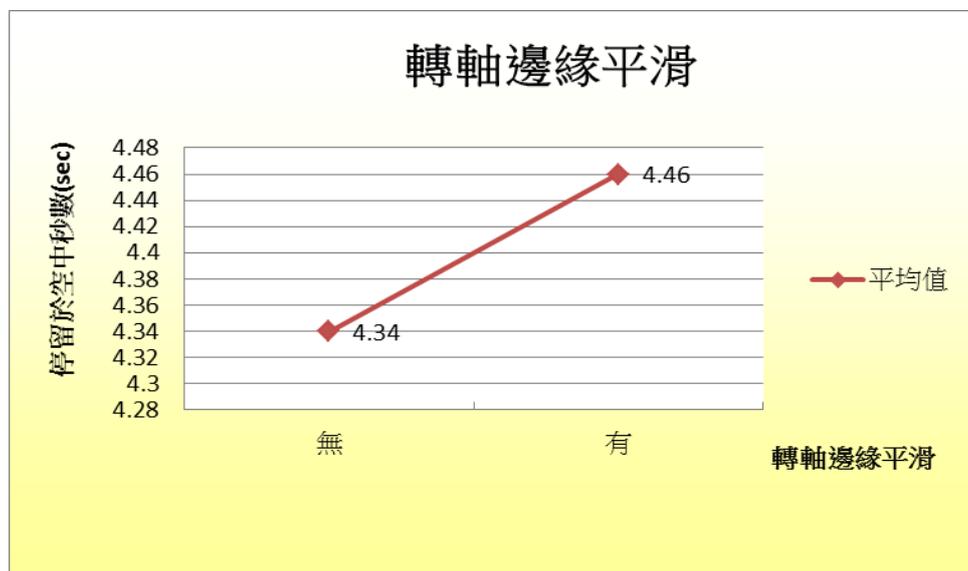
(實驗八) 討論竹蜻蜓的轉軸邊緣葉面平滑度對飛行時間的影響。

實驗結果整理於下方的表(八)與圖(八)。由圖(八)，我們觀察到，竹蜻蜓的轉軸邊緣葉面平滑之竹蜻蜓較易上升，且上升速度較快，且可至落地前皆保留其旋轉之動力；反之，則上升較緩慢，且較容易失去其旋轉之動力。

表(八)：竹蜻蜓的轉軸邊緣葉面是否平滑與飛行時間

轉軸邊緣平滑	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
無	4.25	4.27	4.44	4.36	4.42	4.35
有	4.40	4.41	4.45	4.56	4.48	4.46

圖(八)：竹蜻蜓的轉軸邊緣葉面是否平滑與飛行時間



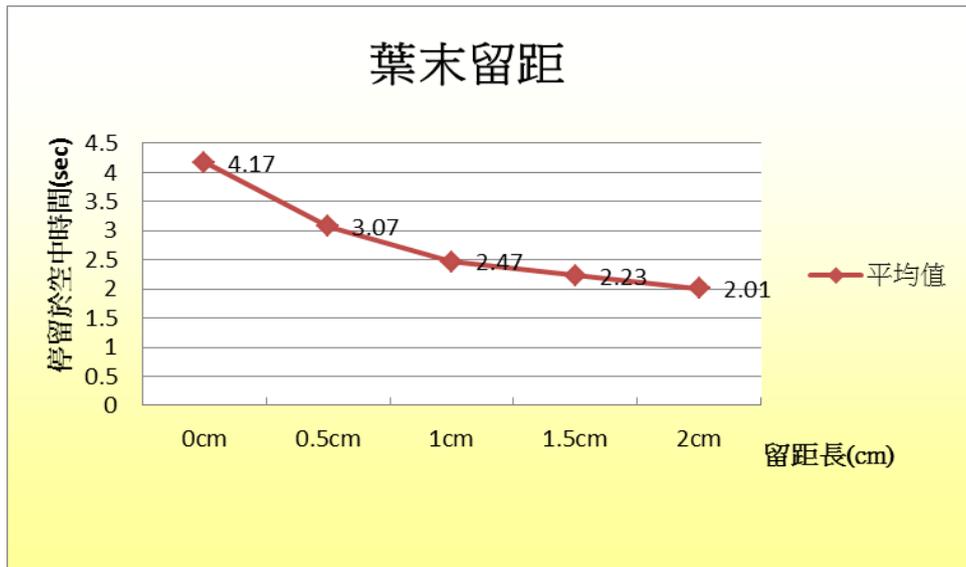
(實驗九) 討論竹蜻蜓葉末留距對飛行時間的影響。

實驗結果整理於下方的表(九)與圖(九)。由圖(九)，我們觀察到，當翼尾出現有厚度之矩形，竹蜻蜓發射後只能停留於原地，不久即向下墜落。而留距愈寬的竹蜻蜓愈無法保持在空中。

表(九)：竹蜻蜓葉末留距與飛行時間

葉末留距	飛行時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
0cm	4.20	4.15	4.22	4.18	4.12	4.17
0.5cm	3.08	2.99	3.07	3.10	3.15	3.08
1cm	2.44	2.44	2.56	2.41	2.50	2.47
1.5cm	2.26	2.33	2.22	2.18	2.19	2.24
2cm	1.96	1.98	2.06	2.08	1.98	2.01

圖（九）：竹蜻蜓葉末留距與飛行時間

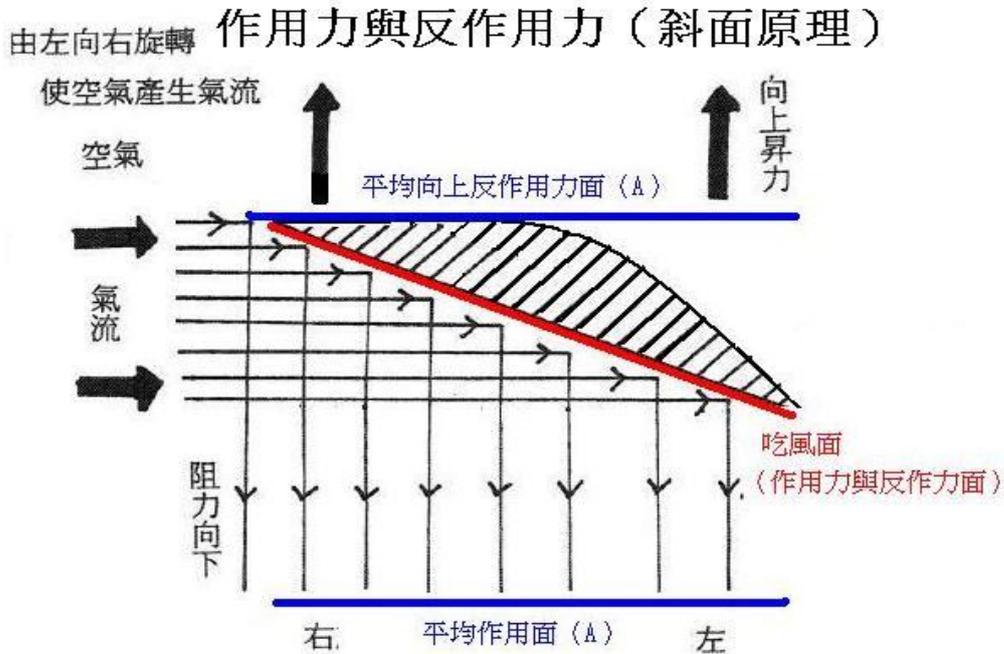


## 陸、討論

與我們的竹蜻蜓實驗相關的物理原理，主要有兩個。詳述如下。

- 【1】作用力與反作用力。當葉面快速轉動時，氣流也跟著快速流動，而氣流順著上下葉面流動時，有一股氣流撞向下葉面產生的反作用力，將整個葉面抬升，如圖(十)。

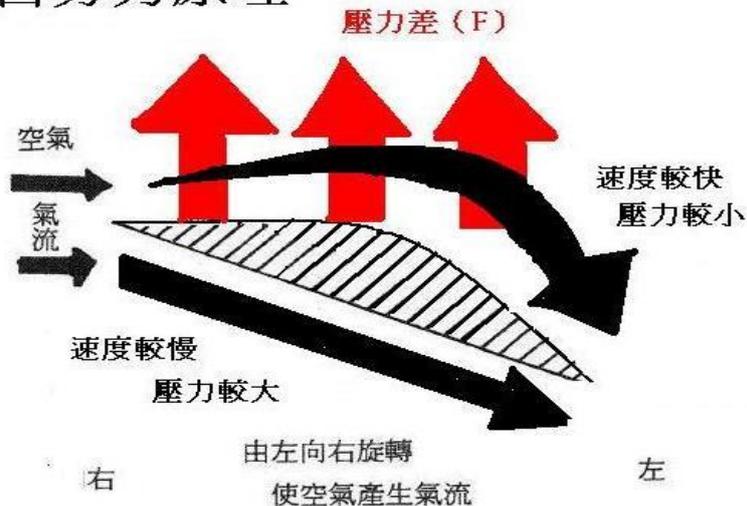
圖(十)



- 【2】白努力原理。這個原理是說：「氣體移動的速度越快所受的壓力越小，反之，速度越慢壓力越大」。當空氣的被翼切成兩部份：氣流一部份通過翼的上方，另一部份則通過翼的下方。上方的氣流比下方的氣流在相同的時間裡走較遠的路徑，亦即通過上方的氣流比通過下方的氣流有較快的速度，故可得向上之壓力差。所以我們設計的竹蜻蜓上翼面為弧形，下翼面為水平。白努力原理及氣流關係如圖(十一)。

圖(十一)

## 白努力原理



底下為我們的實驗和其他物理原理的延伸討論。

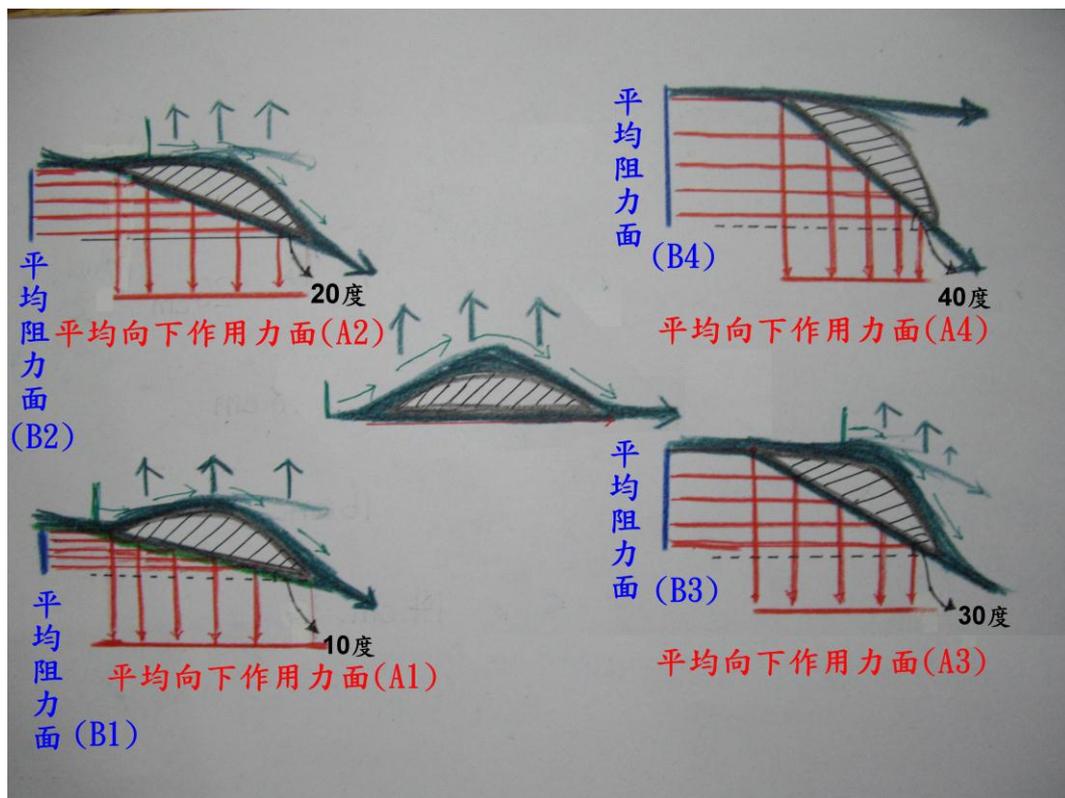
**(實驗一) 討論竹蜻蜓葉片長度對飛行時間的影響與(實驗二) 討論竹蜻蜓桿長對飛行時間的影響。**

- 1、根據白努力原理，翼的長度愈長，整體運動時，其吃風面長度也相對變長(即吃風面越大)，故翼面愈長，竹蜻蜓愈容易上升。
- 2、當竹蜻蜓快速旋轉並上升時，其翼面之重心(約位於翼長的中間，即旋轉軸上)和桿軸之重心(約位於全桿長之中間位置)中間，可依翼面重及桿子重的比例，算出整體重心(即整隻竹蜻蜓在飛行之總重心)。故當翼面越長(亦翼重越重)和桿長越短(亦桿重越輕)，其總重心越貼近翼面，容易重心不穩；反之，當翼長越短(亦翼重越輕)和桿長越長(亦桿重越重)，其總重心離翼面的距離較遠，故其可以穩定的飛行。
- 3、為了平衡上升速度及穩定性，也就是力矩平衡，翼面長和桿長必需成一比例關係，才能在兩者間找到最佳停留時間。經過我們的實驗數據顯示，翼面長和桿長約為1:1時，最能平穩上升又保持穩定。

**(實驗三) 討論竹蜻蜓被發射的角度對飛行時間的影響。**

- 1、葉面快速轉動時，氣流也快速流動，順著角度差異，形成一股向下氣流，當角度變小，其偏橫向面則越寬廣，平均吃風面越寬廣，形成的向上升力截面積也越大(平均作用力面)，故較易上升；反之，當角度越大，其吃風面則漸漸偏向縱向橫切，平均吃風面較小，生成的升力截面積也相對較小，故較不易上升。(如圖十二所示， $A1 > A2 > A3 > A4$ )
- 2、角度較小者因為平均向下氣流面積較大，故飛行也會較為平穩；而角度大者，向下氣流截面積較小，故飛行時則較為不穩。
- 3、角度越小，其縱向阻力面積越小(平均阻力面)，因為單位面積所接受之風量相同，故當其平均阻力面越小，其所受阻力亦越小，越能保持其旋轉(橫向)之動力；反之，當其角度越大，其縱向面積亦越大(平均阻力面)，故其所受阻力亦越大，旋轉受到較大之阻力阻礙，容易旋到空中就失去其旋轉(橫向)之力量而直直墜下。
- 4、角度越大，其分風面之弧形越不明顯，故其所造成之速度差越小，壓力差亦越小；反之，當其角度越小，其上翼面之弧形也越明顯，故造成之速度差越大，其所得壓力差亦越大，角度實驗可得知：0度之翼面其白努力壓力差最大，而40度之翼面其白努力壓力差越小。
- 5、翼面角度成0度時，因其沒有傾斜，故沒有得到斜面(切面)原理之向上反作用力，雖其所得之白努力壓力差最大，但也僅能提供其位於原空中停留，不能給予其一個向上之衝力，故角度並非越大或越小越好，切面反作用力與白努力壓力差的總和結果，以約10度最佳。圖(十二)顯示平均阻力面與傾斜角度的關係，角度越大則平均阻力面越大( $B1 < B2 < B3 < B4$ )。

圖 (十二)



(實驗四) 討論竹蜻蜓**寬度對飛行時間的影響**。

- 1、實驗數據中，寬度控制為 0.5cm，所以有 2.5、2.0、1.5cm 等寬度，利用勾股定理可以求出其翼面（吃風面）的寬度，其分別為： $2.5\text{cm} \div 2.54\text{cm}$   $2.0\text{cm} \div 2.06\text{cm}$   $1.5\text{cm} \div 1.58\text{cm}$  →（原寬度 $\div$ 吃風面寬度）。由數據可知，當**寬度越寬其平均吃風面亦越大**，**上升較佳也較穩**，反之若寬度越窄，其平均吃風面也相對愈小，上升較無升力也較不穩。
- 2、由於寬度影響平均吃風面，跟傾斜角度類似，都是影響**向下作用力**。

(實驗五) 討論竹蜻蜓中心**轉軸寬對飛行時間的影響**。

- 1、從實驗數據及觀察可以得知，當中心**轉軸寬度越寬**，**其轉動時轉軸較穩**；中央轉軸**較窄時**，**飛行較不穩**。又因竹蜻蜓之翼面是由中央軸心帶動轉動，其中央軸心**越大**，**轉動越不易**；其中央軸心**越小**，**轉動越易**，所以中央軸心太窄或太寬皆不佳，必須略和翼面**成比例**。由實驗數據中我們得知，轉軸寬度與翼面長度約以 1：10 最佳。

(實驗六) 討論竹蜻蜓中心**轉軸處的轉折平滑對飛行時間的影響**。

- 1、竹蜻蜓中心轉軸的轉折為了平滑，須將其稜角及其轉折面削去，因此**破壞了轉軸中央本身的幾何對稱**，所以轉動時有明顯的偏轉現象，故轉軸的平面，以保留其原本的對稱正方形為最佳。

### (實驗七) 討論竹蜻蜓的翼形對飛行時間的影響。

- 1、轉軸帶著翼面旋轉時，越厚重則越耗力，故中央轉軸周圍以薄、窄為考慮因素，由實驗結果得知，當頭窄尾寬或頭尾皆窄時（兩種頭皆是窄），可以保留其發射時的旋轉力量，旋轉較久直至停轉才墜下。這可能是因為橫向白努力原理形成的匯集氣流在經過窄的旋轉軸時較不會受到阻擋，而保留較多的反向反作用力。故轉軸的周圍翼型較薄、較窄，將有助於保留反作用力，向上衝高。
- 2、而當頭寬尾窄或頭尾皆窄時（兩種皆為尾窄），竹蜻蜓要下降時，會呈現緩緩下降的趨勢（翼較輕，轉軸重心較低），故尾窄將有助於和緩下降。
- 3、綜合 1、2 結論，最佳翼形應為頭尾皆窄為最佳。

### (實驗八) 討論竹蜻蜓的轉軸邊緣葉面平滑度對飛行時間的影響。

- 1、橫向白努力原理形成的匯集氣流，有可能因為轉軸邊緣葉面的稜角，在流動時受阻礙而產生一個抵抗的反向反作用力，我們的實驗數據顯示，轉軸邊緣葉面削去稜角後較易上升，故轉軸邊緣葉面平滑有利於氣流流過。

### (實驗九) 討論竹蜻蜓葉末留距對飛行時間的影響。

- 1、葉末留距之竹蜻蜓（即葉末有矩形阻礙），會讓整體重心上升，飛行不穩。而矩形尾翼阻擋氣流通過，上下壓力差不足，因此發射後只能於原地停留，不久即向下墜落。

## 柒、結論

### (一) 竹蜻蜓之重心

1. 竹蜻蜓在飛行時之總重心，是由翼面重心及旋轉桿重心兩者為主要影響因素。
2. 竹蜻蜓轉動時需桿重以維持重心與力矩平衡（竹蜻蜓在飛行時之總重心不能太接近翼長），故翼面須以桿長呈一個比例，讓重心維持在最好的位置（即可兼顧上升速度及竹蜻蜓穩定）。我們的實驗結果顯示，翼面長與桿長成 1：1 比例最佳。
3. 竹蜻蜓之翼面是由中央軸心帶動轉動，而中央軸心越大，轉動越不易，重量也越重（重心太高，貼近翼面，將導致不穩）。我們的實驗結果顯示轉軸寬度與翼長以 1：10 為最佳。
4. 轉軸為竹蜻蜓保持翼面重心的所在，故改變其轉軸對稱性、將破壞轉軸平衡，使飛行不穩與匯集氣流散射，我們的實驗結果顯示保持轉軸轉折處原來的平衡結構為佳。

## (二) 竹蜻蜓之翼面

1. 竹蜻蜓之翼面以**弧形的上翼面**和**平滑的下翼面**為佳。依據白努力原理，這將有利於形成上下氣流造成的壓力差，抬升竹蜻蜓。
2. 翼面傾斜**角度與寬度**，都是影響阻風面及向下作用力面之大小，而上翼面之弧度差，**我們的實驗結果顯示傾斜角度約以 10 度最佳，而寬度則越寬越好。**
3. 轉軸附近之葉面又薄又窄，有助於保留一開始的旋轉力量，幫助竹蜻蜓上升，而尾部又薄又窄，有助於和緩的下降。**我們的實驗結果顯示最理想的翼面形狀為頭尾皆窄，且靠近轉軸處要越輕越好。**
4. 為使氣流順利流通，翼面以**平滑為最理想**，可幫助氣流順暢流動。
5. 轉軸的轉折平滑會影響氣流散射，故翼面的轉軸應以正常的為佳。
6. 葉末留距（即葉末有阻礙）會影響竹蜻蜓上升，使竹蜻蜓於原地停留，故竹蜻蜓翼面應以**不要有阻礙**為佳，越輕薄越好。

## 捌、參考資料

- 【1】資優生科學百科。閣林國際圖書。
- 【2】竹蜻蜓的再進化 - 影響雙翼反轉飛行器飛行時間的因素探論：  
<http://www2.tpes.tp.edu.tw/t0110/%E7%AB%B9%E8%9C%BB%E8%9C%93%E7%9A%84%E5%86%8D%E9%80%B2%E5%8C%96-fin.pdf>
- 【3】直升機的飛行原理與操作：<http://kai0913.myweb.hinet.net/theorem.html>
- 【4】96 年台北市科學創意競賽實施計劃 台北市科教館主辦
- 【5】直升機的運轉原理是什麼? - Yahoo 奇摩知識+：  
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1406010913348>
- 【6】直升機的原理? - Yahoo 奇摩知識+：  
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005022601372>
- 【7】國中自然課本康軒版 第 5 冊。
- 【8】新世紀 - 科學百科全書。貓頭鷹出版社。

## 【評語】 030109

1. 本作品製作不同形狀的竹蜻蜓翼面，研究翼面對竹蜻蜓飛行的影響，並以定量的方式進一步的分析，是件很好的作品。