

翼的平面幾何形對飛行的影響並以電腦模擬 其飛行軌跡

高中組應用科學科第一名

台北市立大安高級工業職業學校

作者：林建宏、黃慶文
林健總

指導教師：侯士東、李幸昭

一、研究動機

由於機翼不同，是否可影響飛機之飛行速率及航程呢？因而引起探討之原動力。

二、研究目的

由三個工作來探討原有動機。

工作一、探討各種翼面幾何形對飛行速率影響。

工作二、以矩形翼的展弦比，測出續航力和飛行速率。

工作三、利用電腦模擬繪出軌道，進而比較出好壞。

三、研究設備器材

器材：(1)木材(2)航空輕木(3)橡皮筋(4)天平(5)塑膠(6)鉛片(7)膠水

設備：(1)碼錶(2)電腦

四、研究過程

1. 發射台：以一般木片鋸開再以鐵釘釘成有鈎槽中空的三層夾板。主要以要求度數 15 度代替機身的攻角。
2. 機身：因顧及木紋的方向和強度，所以我們機身和垂尾分開製作，機身厚 4mm，長 250mm，寬 10mm，而垂尾是梯，製成後再膠接完成機身。
3. 機翼：用 4mm 厚的巴爾沙木做成剖面為克拉克 Y 形的形狀，其中的交點是最高點，仍保持 4mm 厚，A 組實驗是用兩頭 $\frac{1}{4}$ 連線來磨，B 組也是如此。
A 組：矩形翼、正梯翼、逆梯翼、後緣前進翼、前緣後退翼、後掠翼、

前掠翼。

B組：展弦比翼設計：

$$1:1 \Rightarrow 11.2 \times 11.2 = 125.44 (+0.44) \quad 1:2 \Rightarrow 8 \times 15 = 125.6 (+0.6)$$

$$1:3 \Rightarrow 6.5 \times 19.3 = 125.45 (+0.45) \quad 1:4 \Rightarrow 5.6 \times 22.4 = 125.44 (+0.44)$$

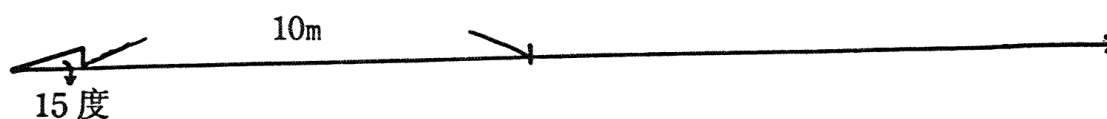
$$1:5 \Rightarrow 5 \times 25 = 125 (+0) \quad 1:6 \Rightarrow 4.6 \times 27.3 = 125.58 (+0.58)$$

$$1:7 \Rightarrow 4.3 \times 29.4 = 126.42 (+1.42) \quad 1:8 \Rightarrow 4 \times 31.4 = 126.4 (+1.4)$$

$$1:9 \Rightarrow 3.6 \times 33.8 = 125.06 (+0.06) \quad 1:10 \Rightarrow 3.5 \times 36 = 126 (+1)$$

4. 研究方式：

我們在一室內球場實驗，故可設定為無風狀態



5. 程式製作：

①從書中和成功大學航太所中的回信可知公式有四：

$$T - D - W_{\sin \gamma} = 0$$

$$L - W_{\cos \gamma} = 0$$

$$dx/dt = V_{\cos \gamma} \quad x \text{ 向速度}$$

$$dh/dt = V_{\sin \gamma} \quad y \text{ 向速度}$$

可是本實驗中有初速度，可是無推力，所以 $T=0$ ，且滑翔角小，則 \cos

γ 近似於 1， $\sin \gamma \approx \gamma$ ，則方程式變成

$$D - W_{\gamma} = 0 \quad L = W$$

$$dx/dt = V$$

$$dh/dt = V_{\gamma}$$

$$D - W_{\gamma} = 0 \quad \text{可知 } \gamma = D/W = D/L \Rightarrow \text{升力/阻力之倒數}$$

$$L = W$$

$$dx/dt = V \quad dx/dh = 1/\gamma = L/D \quad \text{升力/阻力比}$$

$$dh/dt \quad dh/dt = dv/W \quad \text{下降速率}$$

$$= (L/D) \times V$$

上面式中可知最重要的參數是 (L/D) 此參數大則飛得遠飛得久。

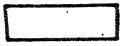

②配合所給公式，模擬出飛機所行徑的軌道

(1)依照所給的公式，算出不同的時間，不同的速度、距離，在電腦螢幕上繪出路線。

(2)依照所繪出的軌道，調整比例，直到配合螢幕大小。使軌道長寬比實際上之軌道。

五、實驗結果

【實驗一】翼的平面幾何實驗

機翼 編號	機翼 種類	圖形	定矩 (米)	平均時間 (取100次)	平均 速率	全 程 飛 行		
						距離 (米)	時間 (秒)	速率 (米/秒)
A	矩形翼		10	2.04	4.90	22.1	3.01	7.34
B	正梯翼		10	2.59	3.86	24.3	4.59	5.29
C	逆梯翼		10	2.77	3.67	27.2	3.59	7.58
D	前掠翼		10	2.31	4.33	25.6	4.49	5.70
E	後掠翼		10	2.66	3.76	21.9	4.21	5.20
F	前緣後 退 翼		10	2.18	4.59	27.9	4.36	6.40
G	後緣前 進 翼		10	2.70	3.70	29.0	4.14	7.00

【實驗二】展弦比實驗（即面積為控制變因，展弦為操縱變因）

展 弦 比種類	長：寬	定矩 (米)	時間(秒) 100次平均	平均速率 (米/秒)	飛行總距離 (米)	飛行總時間 (秒)	平均速率 (米/秒)
A	1:1	10	2.71	3.69	24.1	3.06	7.88
B	2:1	10	2.51	3.98	26.3	3.98	6.61
C	3:1	10	2.61	3.83	26.0	4.08	6.37
D	4:1	10	2.40	4.17	28.4	4.46	6.37
E	5:1	10	2.38	4.20	28.6	4.87	5.87
F	6:1	10	2.26	4.24	29.1	4.99	5.83
G	7:1	10	2.58	3.88	30.9	5.57	5.55
H	8:1	10	2.48	4.03	30.2	6.72	4.49
I	9:1	10	2.56	3.91	31.8	6.98	4.56
J	10:1	10	2.49	4.02	32.9	7.21	4.56

六、討論

由實驗(一)結果推知：

(1)何種翼的速率最快？

在定距離測試中，速率快慢以： $(F > D > A > B > E > G > C)$

前緣後退翼 > 前掠翼 > 矩形翼 > 後緣前進翼 > 逆梯形翼

(2)何種翼的滯空時間最久？

以飛行時間長短次序排列： $(A > B > D > E > F > G > C)$

正梯形翼 > 前掠翼 > 前緣後退翼 > 後掠翼 > 後緣前進翼 > 逆梯形翼 > 矩形翼

(3)各種翼的癖性：

A 矩形翼：速率最快，而滯空時間最短，飛行平穩。

B 正梯形翼：速率中等，而滯空時間最長，飛行稍不穩定。

C 逆梯形翼：速率最慢，而滯空時間也短，惟飛行很平穩。

D 前掠翼：速率快，滯空時間長，飛行平穩。

E 後掠翼：速率稍慢，滯空時間長，飛行極不穩定。

F 前緣後退翼：速率快，滯空時間長，飛行時機體微抖。

G 後緣前進翼：速率慢，而滯空時間也短，飛行平穩。

綜合比較：在這實驗中，以前掠翼及前緣後退翼總體表現較佳，而兩者之飛行表現，以前掠翼滯空力較好、平穩度較佳，而前緣後退翼速度較快。（以上是在室內活動中心實驗所得資料）

由實驗(二)結果推知：

(1)何種展弦的速率最快： $(A > B > C > D > E > F > G > H > I > J)$

$1:1 > 1:2 > 1:3 > 1:4 > 1:5 > 1:6 > 1:7 > 1:8 > 1:9 > 1:10$

(2)何種展弦的滯空時間最久： $(J > I > H > G > F > E > D > C > B > A)$

$10:1 > 9:1 > 8:1 > 7:1 > 6:1 > 5:1 > 4:1 > 3:1 > 2:1 > 1:1$

(3)各種展弦的特性？

看過數據之後，可發現展弦比愈大，滯空時間越久，展弦比愈小，速率越快。

(4)綜合比較使用：

(A)如果要增加航程，則要將展弦比加大，但加大展弦比，則橫斷面積加大，而張線阻力增加、速度較慢。

(B)如果要增加速率、減少阻力，則要加大展弦比，但展弦比太大時，如 1:1 及 2:1 會有偏搖擺動的產生。故展弦爲了適應各種飛行要求，應將展弦適當調整。

(以上以低速狀態)

由工作一實際實驗和工作二的電腦理論模擬可將實際和理論合一，且經由模擬可得其軌跡，但於工作一的低速和工作二的中速實驗下所產生結果難免有一段距離，且在空氣密度我們設為一大氣壓 20 度時 0.002378 的數值。

①飛機所受之力有(限平面運動)

$$\text{昇力} \Rightarrow L = C_l \times \frac{1}{2} \cdot \rho \times S \times v^2$$

$$\text{阻力} \Rightarrow D = C_d \times \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^2$$

$$\text{重力} = W = m \times 9.8$$

推力 \Rightarrow 由於是以橡皮筋彈射，推力 = 0，但有初速度

②將①之各力化成 x, y 軸之分力，以向量計算

如 $L_x = +(-) L \cos \gamma$ $+(-)$ 為相對於 x 軸之方向

$$L_y = +(-) L \sin \gamma$$

再將各分力相加減，成 $F_x F_y$ 兩個力

③以一個小的時間做單位(如 0.01 秒) tt

計算當時之 xy 軸速度(V_x, V_y)

$$V_x = V_{x_1} + (F_x/m) \times tt$$

$$V_y = V_{y_1} + (F_y/m) \times tt$$

④計算 S_x, S_y (xy 軸位移)

$$S_x = S_x + V_x \cdot tt$$

$$S_y = S_y + V_y \cdot tt$$

⑤以 S_x 為 x 軸， S_y 為 Y 軸畫點

⑥重覆②③④⑤，所抽出之點即為其飛行軌跡

七、結論

(A)經由實驗可以了解，當我們需要一架“速度最快”的飛機，就可以用矩形翼再配上 1:1 的展弦，但因為滯空的能力不強，所以無法載重和長程飛行。

如果又想要滯空時間最久的飛機，可用正梯形翼配上 10:1 的展弦，但相對的阻力增加，速度受限。所以每架飛機的用途不同，使用的翼就不同。

(B)這構想是由兩個實驗連鎖而成，藉以了解主翼平面形的改變飛機飛行的影響，我們曾就實驗準確與否的問題多次寫信去請教成功大學航太研究所，回信中答道我們是做低速度的實驗，所以只能以低速狀態實際飛行論，且實驗(二)中之所以要選擇矩形翼來作，是因為計算容易、誤差值小、製作方便予以選用。

(c)在兩個實驗完成後，我利用電腦模擬畫出飛機飛行的軌跡，並以公式推出未實驗，據成大航太所的回信中可知，飛機的轉動和移動各由三個聯立方程式所組成，實驗中並無轉動，而且移動也限 x ， y 兩軸，所以模擬公式是用飛機的平衡概念和 x ， y 軸方向的移動方程式來組成。

八、參考資料

- 一、飛機總論 P31—P104 書中答訴我們一些飛機之飛行基本原理及翼的平面形種類。
- 二、現代戰鬥機雜誌 37 期 P38—P50 介紹前掠翼及後掠翼之特性。
- 三、流體力學——徐氏基金會 P383—P388 告訴我們升力和機翼的揚力的關係。
- 四、有關於製作滑翔機之一些書籍（實際用來設計機體及製作飛機）。
- 五、感謝成功大學航空太空研究所指導。

評語

優點：

1. 利用實驗及電腦模擬機翼的主要變因，去研究滑翔翼的滑行速度、滯空時間及軌跡，具有創意。
2. 著者對變因的實驗，諸如展弦比、初速條件、發射角度等參數做有系統的資料收集，並借助電腦模擬去做理論值的預估。
3. 著者對主題的掌握、電腦技術的運用、熟練的操作與說明，表現優良。
4. 具備一般運動力學與電腦模擬技術的教學效果。

缺點：

1. 對於實驗值與理論值的分析、誤差的演繹，略為薄弱。
2. 參數（常數值）的引用，尚未加予注意。