中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第二名

031602
如鷹展翅上騰－重新得“力”

高雄市立陽明國民中學

作者姓名：
國二 黃柏涵 國二 陳佳瑜 國二 蕭雅馨
國一 陳頌潔

指導老師：
陳宗慶 柯瑞龍

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

作品說明書

科　　別：理化科

組　　別：國中組

作品名稱：如鷹展翅上騰-重新得'力'

關鍵詞：高展弦比　弧形薄翼　升阻比

編號：

如鷹展翅上騰~重新得”力”

壹、摘要

傳統的薄翼迷你偵察機爲了要在有限的空間裡，兼顧質量輕及升力大，因此其薄型機翼大部分都使用低展弦比（大面積）的機翼，但低展弦比的偵察機因爲旋轉力矩較小且不能裝尾翼，所以飛行時較不穩定。於是我們利用自行改良製作的簡易風洞，改良出高展弦比（小面積）的機翼，也能獲到較大的升力，同時其升力係數比低展弦比（較大面積）的機翼更高，飛行也更穩定。

實驗中，我們固定翼展長度和迷你偵察機相同，但降低機翼的寬度，我們發現不同機翼形狀具有不同升力，其中漸縮比 0.5 具有較大升力及升阻力係數，但升力仍比低展弦比機翼小，於是改變**機翼弧度**及**弧翼高度**，結果我們發現高展弦比的**弧形機翼及 1/15 的弧翼高度**，居然也能獲得比低展弦比機翼更高升力及更大升力係數，大幅提昇薄翼迷你偵察機的升力以及更穩定的飛行。而且高展弦比的機型也更易僞裝成類似老鷹之類的動物，能像老鷹一般展翅上騰獲得更大升力，如此，不僅可以使軍事偵察更加隱蔽，更可用於警方攻堅時對於人質情報的收集、山區搜救，或是自然景觀的調查等等，將來更可以應用於輕航機的機翼，使輕航機的飛行更具穩定性與安全性。

貳、 研究動機

記得在一次台北的航太展中，我們看到了一個非常奇怪的機型，和我們平常看到的飛機完全不一樣，從解說中得是這是一架微型薄翼偵察機（重量 200gw 翼展寬 22cm），而在自然與生活科技課本航空運輸篇中，雖然也有提到飛機機翼對飛行升阻力的影響，但此薄翼飛機與課本所提傳統克拉克機翼產生升力的原理完全不同，心裡產生一個的疑問，這樣的飛機與傳統機翼不同真的飛得好嗎？如果飛不好，那人家爲什麼要這樣子設計？因此使我們產生進一步研究的動機，希望可以找出這種飛機的優缺，並進一步改良。

參、 研究目的

一、自製簡易風速計。
二、簡易風洞的製作及測試。
三、測試不同展弦比的機翼對升阻比、升力和失速攻角的影響。
四、測試不同形狀(漸縮比)的機翼對升阻比、升力和失速攻角的影響。
五、測試不同翼弧線最高點位置的機翼對升阻比、升力和失速攻角的影響。
六、測試不同翼弧最大高度的機翼對升阻比、升力和失速攻角的影響。
七、測試改良機翼和傳統機翼(克拉克翼)對升阻比、升力和失速攻角的影響。
八、測試改良機翼和偵察機機翼對升阻比、升力和失速攻角的影響。
九、觀察戶外紙飛機實測的情形。

肆、研究設備及器材

一、自製簡易風洞一套：(一) 自製風速計：1 個　　(二) 掌上型電子秤：2 架
(三) 自製測試架：1 個　　(四) 工業用風扇：1 架
(五) 可變電阻器：1 個

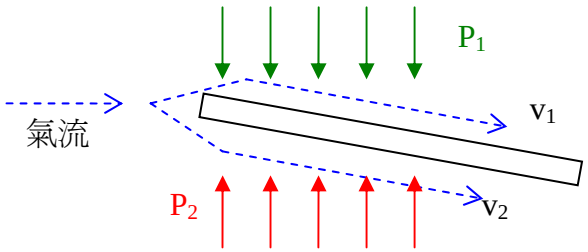
二、鋁製機翼：

平板翼：共 22 組	弧形翼：共 16 組	克拉克翼：共 2 組	改良翼：共 2 組

伍、 研究原理及相關名詞

一、升力的原理：

伯努利定律的主要公式如下：$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g y_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g y_2$

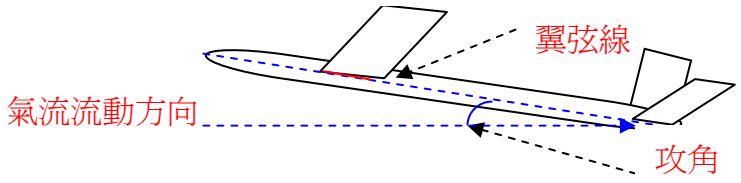


y_1、y_2爲高度差所造成的壓力，因爲機翼高度差距甚小，所以幾乎無影響

P：上方氣壓；P：下方氣壓；v：上方氣流速度；v：下方氣流速度；ρ：氣體密度

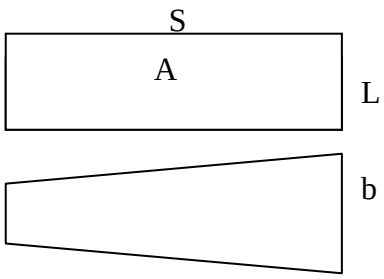
二、相關名詞：

(一) **攻角**：主翼的翼弦線和氣流流動方向所夾的角度，如下圖所示



(二) **展弦比**：翼展(S)與平均弦長(L)之比，因爲大部分的機翼都不是矩形翼，平均弦長難求，因此以S^2/A（A爲主翼面積）來表示展弦比，其推導如下：

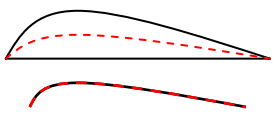
$$\frac{S}{L}=\frac{S\times S}{L\times S}=\frac{S^2}{A}$$ 故得證



(三) **漸縮比**：梯形翼之上底(a)與下底(b)之比（a / b）

(四) **升阻比**：飛機飛行時，其升力(Lift)和阻力(Drag)的比($\frac{L}{D}$)，而升阻比即爲飛機飛行效能的指標，升阻比越大，表示飛機的飛行能力越佳。

(五) **中弧線**：機翼的上表面及下表面中點的連線，若爲薄翼則



中弧線直接爲其機翼本身，如右圖，紅色虛線部分即爲翼弧線

(六) 失速攻角：飛機升力由上升轉至下降的角度(升力最大的角度)

(七) 升力係數：$C_L = \frac{2L}{\rho v^2 S}$（L：升力 ；v：風速 ；$\rho$:空氣密度 ；S：機翼面積）

陸、研究過程、結果及討論

研究一、學校大型風速計如何改良爲小型風速計置入風洞內？

【目的】製作簡易的小型風速計，以取代學校大型的風向風速計來測量風洞中的風速。

【步驟】

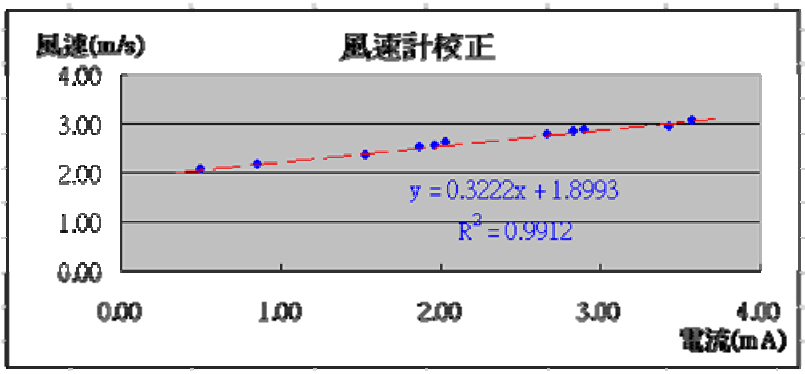
1. 在風扇裝上一個可變電阻，使其風速可以微調	2. 利用學校大型風向風速計測得標準風速。	3. 用電腦風扇及數位式三用電表做成一個簡易的風速計，測量在不同風速下的電流，並與步驟 2 中標準風速製成標準檢量線。

【結果】

(一) 數據分析

風扇刻度	1-9	1-8	1-7	2-9	2-8	2-7	2-6	3-9	3-8	3-7	3-6	3-5
風程(m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
時間(sec)	32.68	35.09	39.06	30.03	30.67	33.00	39.22	28.17	29.07	29.76	32.79	37.74
風速(m/s)	3.06	2.85	2.56	3.33	3.26	3.03	2.55	3.55	3.44	3.36	3.05	2.65
電流(mA)	1.97	1.54	0.50	2.83	2.67	1.87	0.50	3.57	3.44	2.91	2.04	0.85

(二) 作圖



求得換算公式：V = 0.3222 I + 1.8993　　V：風速(m/s) ； I：電流(mA)

求得風速量表如下：

風速(m/s)	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
電流(mA)	0.31	0.62	0.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.49	2.80	3.11	3.42

誤差：±0.15 mA

【討論】1. 利用自製的風速計，從簡易且便宜的電腦風扇，利用電磁感應原理從轉動時測得其感應電流，代入標準檢量線中可以精確的測量到風速，唯其測量的範圍不可低於 2.0m/s，否則扇葉將無法轉動。

2. 雖然在量測風速時，風速計會有±0.15 mA 的跳動，但依照上面的風速量表，仍可知道其範圍，並測得其風速。

3. 從此一便宜易得自製的風速計將可取代學校大型風速計置入風洞中，並可準確的測量出風洞中的風速。

研究二、如何製作一個簡易而穩定的風洞？

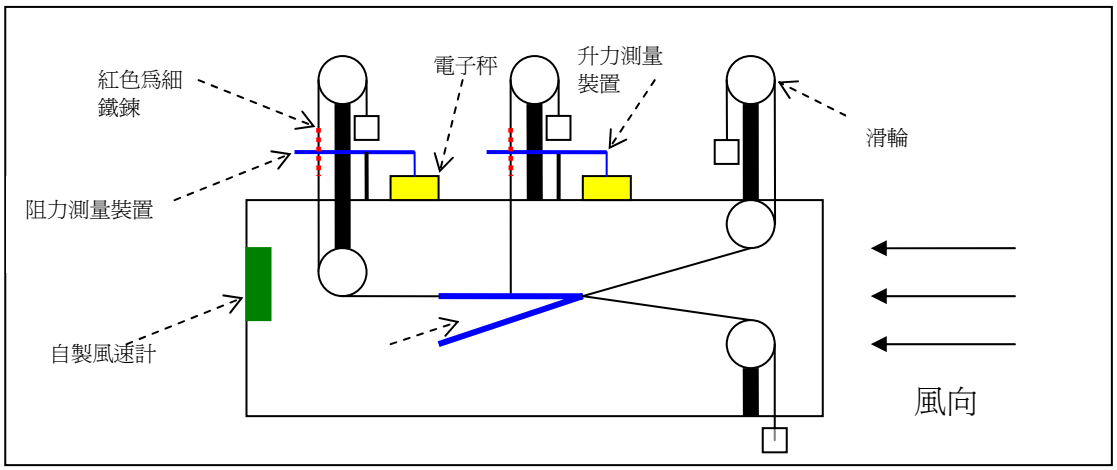
探討 1、簡易風洞製作

【目的】製作一個氣流穩定的風洞

【步驟】

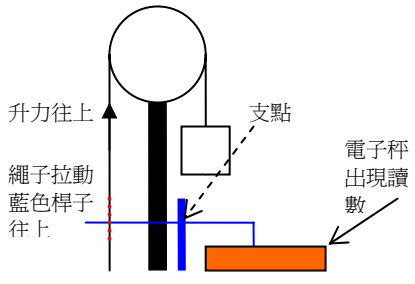
(一) 利用塑膠瓦楞板製作，分爲動力段、整流段、收縮段、測試段

1. 動力段：用工業電扇採吹入式的動力
2. 整流段：用水電用 PVC 塑膠水管組合成整個結構，在外層裝上塑膠瓦楞板，裡面塞吸管，第一段用粗吸管，第二段用細吸管，最後加一層細網
3. 收縮段：將氣流流動截面積縮小，以提高氣流在風洞中的速度
4. 測試段：運用透明的壓克力，製作成測試段，構造如下



升、阻力裝置分析

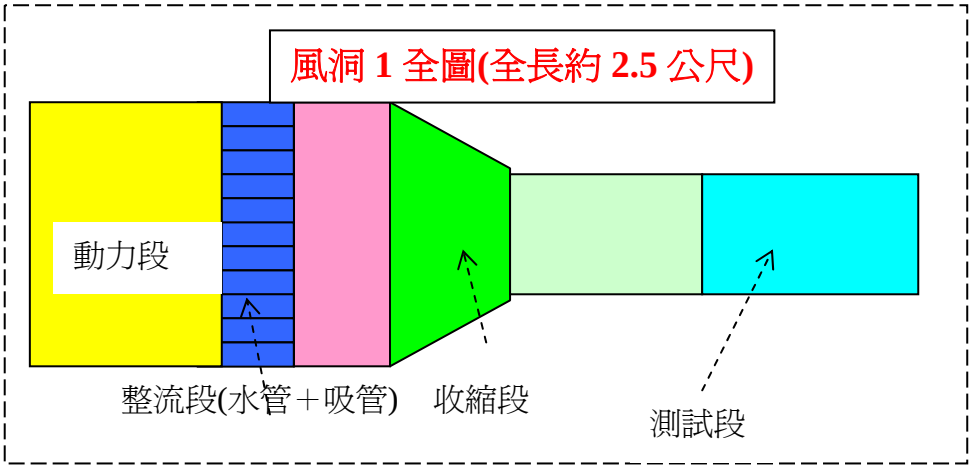
實物



圖解

【結果】　　風洞的分段圖如下

動力段	整流段	收縮段	測試段



【討論】1. 上圖爲吹入式的風洞，在設計上可能有氣流平穩與不平穩的顧慮，因此還需要作進一步的測試

2. 升阻力測量裝置的繩子，一開始我們是使用釣魚線，但因爲使用久後容易變形，所以最後改爲縫衣服用的棉線

探討 2、風扇區以吹入式測試

【目的】測試吹入式風洞的氣流

【步驟】將乾冰加水放在入風口前，觀察氣流在測試段流動的情形

【結果】吹入式的風洞，其氣流連續四次拍攝結果，如下圖所示

風扇啓動	漸強	漸強	最強

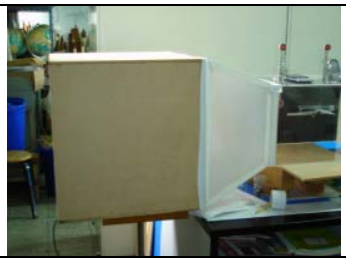
【討論】1. 吹入式的風洞氣流不平穩，容易產生亂流，對於飛機的測試又多了一個不確定因素，因此必須要設法改善

2. 吹入式的風洞入風口即造成一個很大的亂流，且空氣吹入不平均，因此我們將它改成吸入式測試

探討 3、風扇區以吸入式測試

【目的】測試吸入式風洞

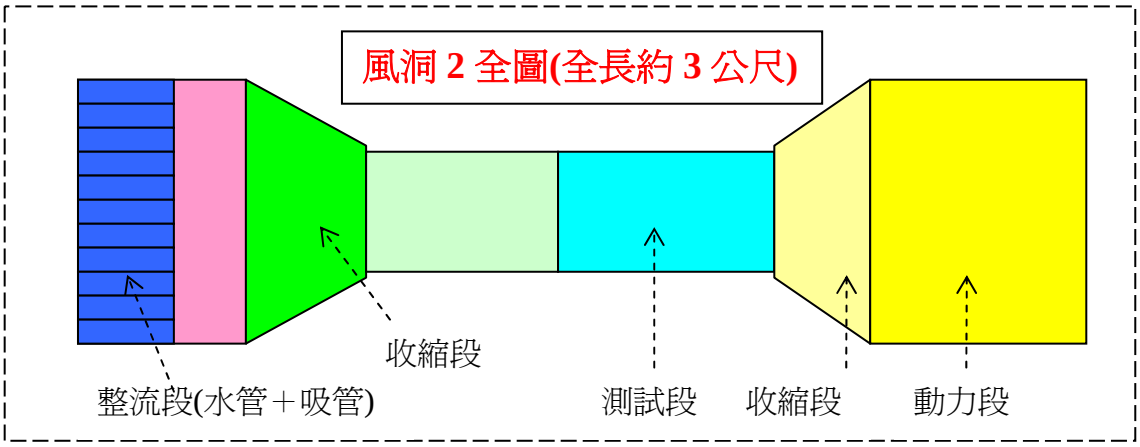
【步驟】1. 將動力段的風扇改至測試段後(如下頁圖)，並在測試段和動力段間加一收縮段



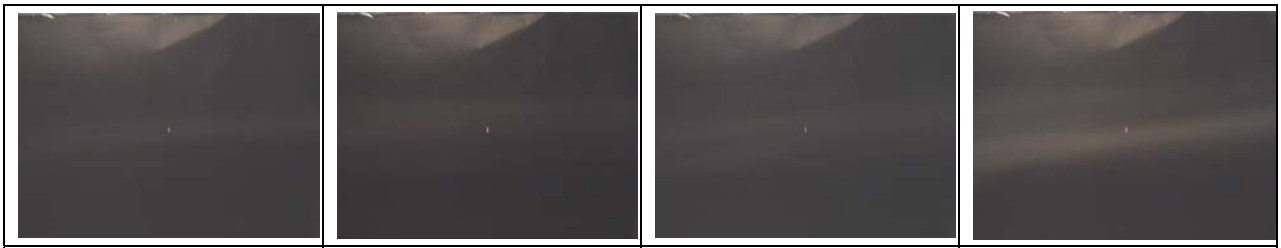
動力段架在最後

內部的風扇

2. 將乾冰加水放在入風口前，觀察氣流在測試段流動的情形



【結果】吸入式的風洞，其氣流連續四次拍攝結果，如下圖所示



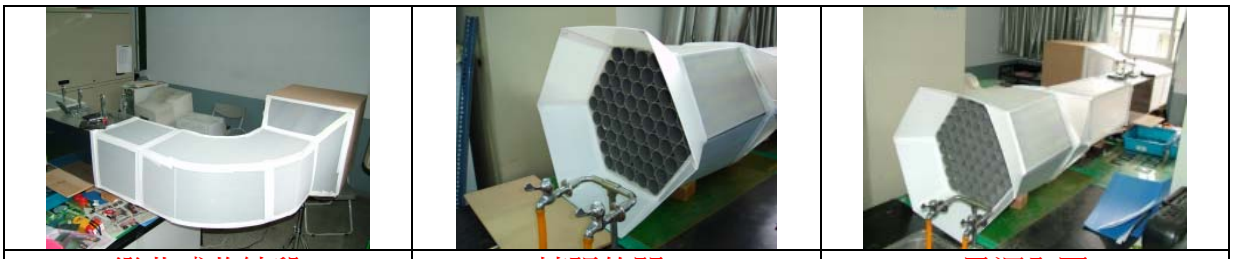
風扇啓動 | 漸強 | 漸強 | 最強

【討論】1. 改爲吸入式的風洞果然有很明顯的改善，也獲得更平穩的氣流

探討 4、風扇區加以彎曲式收縮段

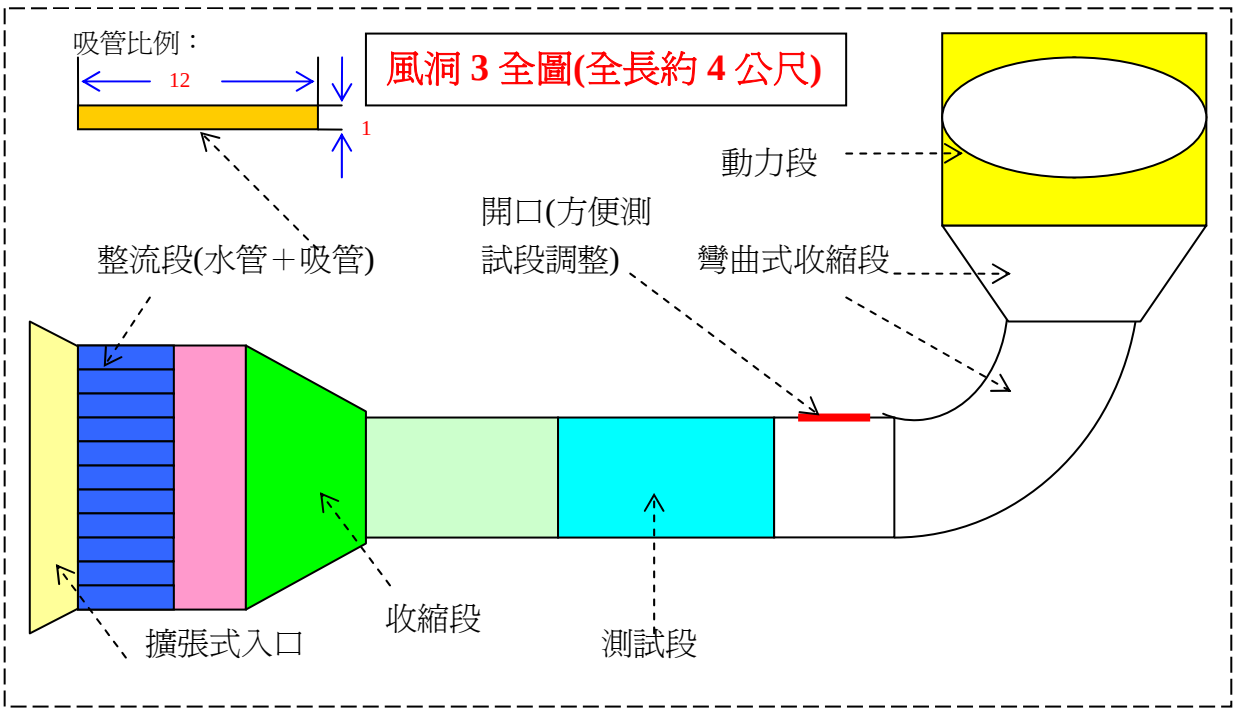
【目的】測試吸入式風洞

【步驟】 1.將動力段的風扇加一個彎曲式收縮段，並在入風口加一往外擴張的開口(如下圖)



彎曲式收縮段 | 擴張的開口 | 風洞全圖

2.將乾冰加水放在入風口前，觀察氣流在測試段流動的情形



【結果】

風扇啓動	漸強	漸強	最強

【討論】1. 動力段至測試段前加一個彎曲的收縮段，使氣流更加的穩定，整流效果也更好

探討 5、測試段裝置對升、阻力的影響

【目的】測試測試段裝置對升、阻力的影響

【步驟】1. 分別改變尺的角度(只有尺沒有架飛機)爲-10、-8、-6、…28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力

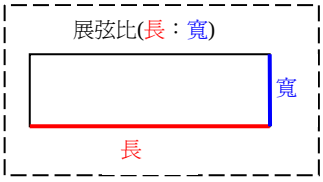
【結果】 單位：gw

角度	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
升力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
阻力	0.48	0.46	0.46	0.38	0.40	0.42	0.58	0.58	0.50	0.44	0.54
角度	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
升力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
阻力	0.48	0.52	0.52	0.44	0.40	0.50	0.54	0.52	0.56	0.60	

【討論】1. 測試段的裝置對於升力方面沒有影響，但在阻力方面，不同角度會有不一樣的大小

2. 爲了減少測試段裝置製造的阻力，因此原始數據還需要扣掉上述的阻力大小，以減少誤差

研究三、如果改變原偵察機的展弦比對升阻比及失速攻角會有影響嗎？



【目的】比較高展弦比（翼展/翼寬）與原偵察機低展弦比的優缺

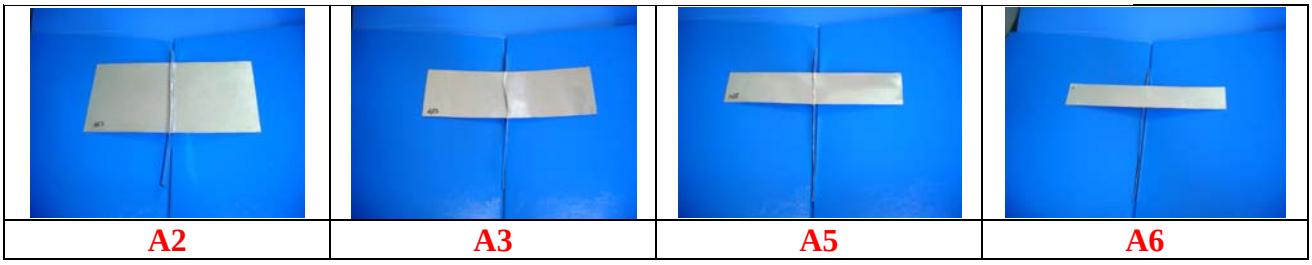
【步驟】1. 利用鋁片，參考原本偵察機大小，固定翼展，做成矩形平板翼，取高低展弦比各兩種比較

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力

【結果】

(一) 機翼格式

編號	A2（原偵察機）	A3	A5	A6
展弦比（翼展/翼寬）	2	3	5	6
翼展(cm)	22.00	22.00	22.00	22.00
翼寬(cm)	11.00	7.33	4.40	3.67
面積(cm^2)	242.00	161.33	96.80	80.67

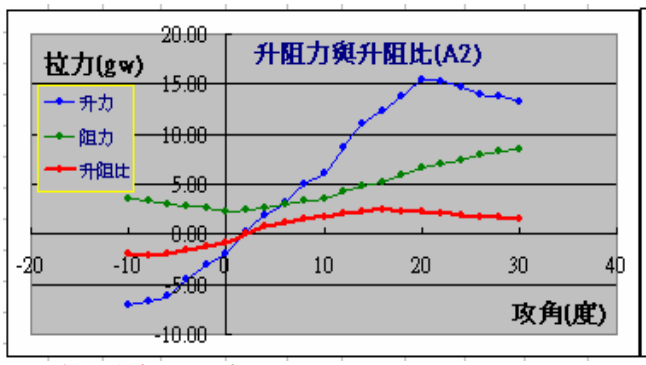


A2	A3	A5	A6

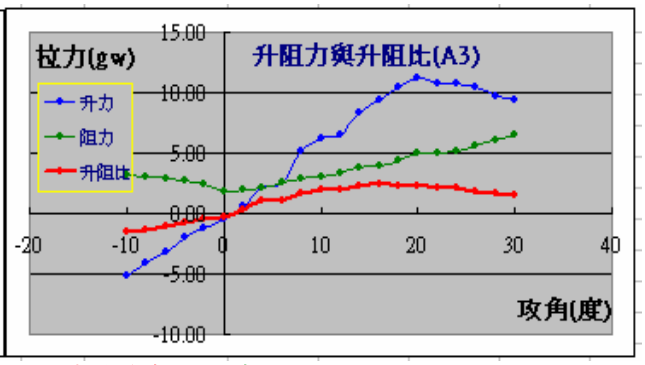
(二) 升、阻力＆升阻比

編號 / 攻角(度)	A2			A3			A5			A6		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-7.14	3.56	-2.006	-5.08	3.24	-1.568	-2.92	1.94	-1.505	-1.56	1.56	-1.000
-8	-6.76	3.28	-2.061	-4.06	3.08	-1.318	-2.34	1.80	-1.300	-1.44	1.38	-1.043
-6	-6.08	3.06	-1.987	-3.24	2.88	-1.125	-1.98	1.52	-1.303	-1.24	1.18	-1.051
-4	-4.50	2.88	-1.563	-2.04	2.76	-0.739	-1.22	1.28	-0.953	-0.76	1.06	-0.717
-2	-3.12	2.62	-1.191	-1.16	2.38	-0.487	-0.56	1.06	-0.528	-0.36	0.82	-0.439
0	-1.86	2.34	-0.795	-0.46	1.84	-0.250	0.24	0.84	0.286	-0.06	0.50	-0.120
2	0.22	2.38	0.092	0.66	2.02	0.327	1.10	0.88	1.250	0.24	0.60	0.400
4	1.86	2.64	0.705	2.18	2.16	1.009	2.26	0.94	2.404	0.62	0.68	0.912
6	3.24	2.98	1.087	2.56	2.56	1.000	2.58	1.06	2.434	0.96	0.84	1.143
8	4.94	3.36	1.470	5.08	2.94	1.728	2.98	1.34	2.224	1.54	1.06	1.453
10	6.08	3.50	1.737	6.28	3.08	2.039	3.18	1.62	1.963	2.06	1.12	1.839
12	8.58	4.20	2.043	6.54	3.28	1.994	3.92	1.98	1.980	2.88	1.34	2.149
14	11.10	4.82	2.303	8.36	3.72	2.247	5.08	2.30	2.209	3.84	1.52	2.526
16	12.38	5.26	2.354	9.46	3.96	2.389	5.48	2.44	2.246	4.06	1.62	2.506
18	13.76	5.94	2.316	10.38	4.44	2.338	6.14	2.62	2.344	4.16	1.82	2.286
20	15.38	6.72	2.289	11.18	4.94	2.263	6.86	2.82	2.433	4.44	2.12	2.094
22	15.22	7.08	2.150	10.76	4.96	2.169	7.26	3.04	2.388	4.82	2.36	2.042
24	14.66	7.44	1.970	10.70	5.12	2.090	7.22	3.32	2.175	5.26	2.60	2.023
26	14.04	7.92	1.773	10.38	5.60	1.854	7.16	3.52	2.034	5.14	3.12	1.647
28	13.80	8.30	1.663	9.74	6.10	1.597	6.74	3.58	1.883	5.12	3.50	1.463
30	13.28	8.56	1.551	9.44	6.54	1.443	6.18	3.84	1.609	5.04	3.94	1.279

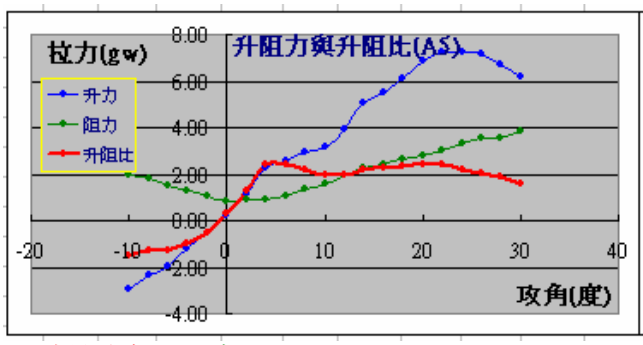
(一) 作圖分析



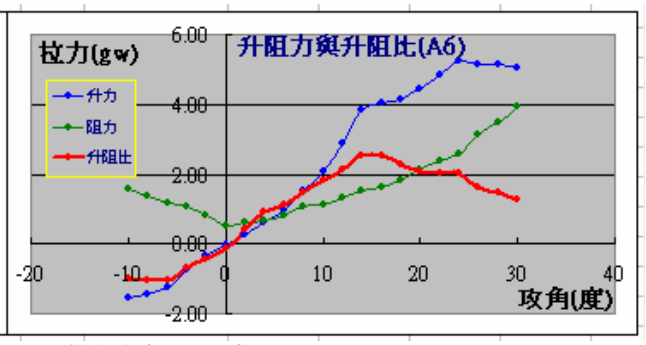
失速攻角：20 度
最大升阻比：2.354
最大升力：15.38gw



失速攻角：20 度
最大升阻比：2.389
最大升力：10.76gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.434
最大升力：7.26gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：2.526
最大升力：5.26gw

(四) 升阻比及失速攻角分析(最好者用紅色標記)

編號	A2	A3	A5	A6
失速攻角(度)	20	20	22	**24**
升阻比	2.354	2.389	2.434	**2.526**
升力(gw)	**15.38**	10.76	7.26	5.26
升力係數 × (XY)	30.76	32.28	**36.30**	31.56

【註】：升力係數在此用簡易的比較方式

$\because C_L = \dfrac{2L}{\rho v^2 S}$　$\therefore$ 令 $\dfrac{\rho v^2}{2} = X$ 爲一定值

由以上轉換可以得到簡易的比較方式：$C_L = \dfrac{\text{升力}}{XS}$

在面積方面：以展弦比 1 的面積爲基準

令 S = 22 cm × 22cm = Y

面積 A2 = $\frac{1}{2}Y$ 、A3 = $\frac{1}{3}Y$ 、A4 = $\frac{1}{4}Y$ 、A5 = $\frac{1}{5}Y$

【討論】1. 由以上的結果可知，A2、A3 的機翼在失速攻角或升阻比方面比不上 A5、A6，但高展弦比在升力方面低展弦比卻遠遠高於兩者。

2. 原偵察機低展弦比的設計，就在加大其機翼面積，以便獲得最大升力。但高展弦比 A5、A6 的機翼因爲面積遠不及 A2、A3，所以升力遠不如他們，

3. 但升力係數方面則是高展弦比 A5（較接近傳統機翼）較佳，如果能改良其升力，再加上其操控比原偵察機低展弦比優良的特性，必是一架飛行性能優異的偵察機。

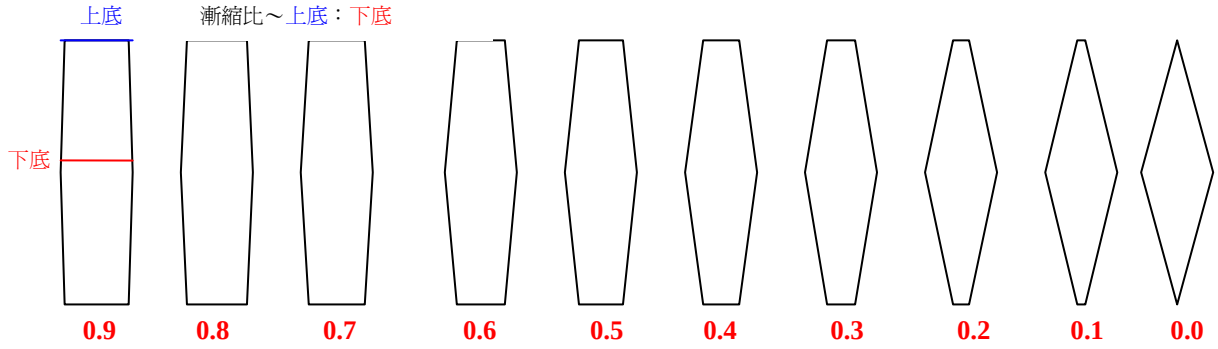
研究四、如何增加高展弦比的升阻比及失速攻角？

探討 1、高展弦比改變其機翼形狀的漸縮比會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試不同漸縮比的優缺（註：漸縮比：梯形翼之上底與下底之比，同原理）

【步驟】1. 利用鋁片做成不同的梯形翼，翼展爲 22cm，展弦比爲 5、6，漸縮比爲 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5、0.4、0.3、0.2、0.1、0.0 共 20 組

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…、28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力



【結果】

(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	上底翼寬(cm)	下底翼寬(cm)	漸縮比
B5	5	96.80	22.00	4.17	4.63	0.9
C5	5	96.80	22.00	3.91	4.89	0.8
D5	5	96.80	22.00	3.62	5.18	0.7
E5	5	96.80	22.00	3.30	5.50	0.6
F5	5	96.80	22.00	2.93	5.87	0.5
G5	5	96.80	22.00	2.51	6.29	0.4
H5	5	96.80	22.00	2.03	6.77	0.3
I5	5	96.80	22.00	1.47	7.33	0.2
J5	5	96.80	22.00	0.80	8.00	0.1
K5	5	96.80	22.00	0.00	8.80	0
B6	6	80.67	22.00	3.47	3.86	0.9
C6	6	80.67	22.00	3.26	4.07	0.8
D6	6	80.67	22.00	3.02	4.31	0.7
E6	6	80.67	22.00	2.75	4.58	0.6
F6	6	80.67	22.00	2.44	4.89	0.5
G6	6	80.67	22.00	2.10	5.24	0.4
H6	6	80.67	22.00	1.69	5.64	0.3
I6	6	80.67	22.00	1.22	6.11	0.2
J6	6	80.67	22.00	0.67	6.67	0.1
K6	6	80.67	22.00	0.00	7.33	0

(二) 升、阻力&升阻比

編號 / 攻角(度)	B5			C5			D5			E5		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比

-10	-3.20	1.86	-1.720	-3.30	1.80	-1.833	-3.54	1.48	-2.392	-4.04	1.48	-2.730
-8	-2.54	1.74	-1.460	-2.66	1.62	-1.642	-3.34	1.40	-2.386	-3.74	1.40	-2.671
-6	-2.20	1.54	-1.429	-2.34	1.50	-1.560	-2.96	1.20	-2.467	-3.20	1.20	-2.667
-4	-1.24	1.32	-0.939	-1.38	1.40	-0.986	-2.44	1.16	-2.103	-2.24	1.16	-1.931
-2	-0.64	1.12	-0.571	-0.74	1.18	-0.627	-1.46	1.12	-1.304	-1.26	1.12	-1.125
0	0.14	0.86	0.163	0.08	0.88	0.091	0.02	0.82	0.024	0.50	0.82	0.610
2	1.18	0.92	1.283	1.34	0.90	1.489	1.84	0.88	2.091	1.98	0.88	2.250
4	2.38	1.08	2.204	2.64	1.06	2.491	2.88	1.18	2.441	2.96	1.18	2.508
6	2.76	1.26	2.190	2.86	1.22	2.344	3.26	1.64	1.988	4.04	1.64	2.463
8	3.10	1.46	2.123	3.24	1.44	2.250	3.72	2.06	1.806	4.62	2.06	2.243
10	3.30	1.68	1.964	3.56	1.64	2.171	4.28	2.34	1.829	5.36	2.34	2.291
12	4.12	2.00	2.060	4.32	2.06	2.097	5.04	2.62	1.924	5.54	2.62	2.115
14	5.26	2.40	2.192	5.46	2.44	2.238	5.84	2.74	2.131	5.94	2.74	2.168
16	5.64	2.50	2.256	5.94	2.44	2.434	6.42	2.76	2.326	6.84	2.76	2.478
18	6.26	2.66	2.353	6.26	2.72	2.301	6.78	2.98	2.275	7.06	2.98	2.369
20	7.06	2.90	2.434	7.06	2.84	2.486	7.26	2.96	2.453	7.48	2.96	2.527
22	7.08	3.02	2.344	7.08	3.04	2.329	7.44	3.14	2.369	8.08	3.14	2.573
24	7.04	3.38	2.083	7.04	3.42	2.058	7.32	3.24	2.259	7.96	3.24	2.457
26	6.94	3.58	1.939	6.94	3.54	1.960	6.96	3.44	2.023	7.48	3.44	2.174
28	6.78	3.64	1.863	6.78	3.70	1.832	6.74	3.50	1.926	7.36	3.50	2.103
30	6.52	3.74	1.743	6.52	3.72	1.753	6.56	3.56	1.843	7.24	3.56	2.034

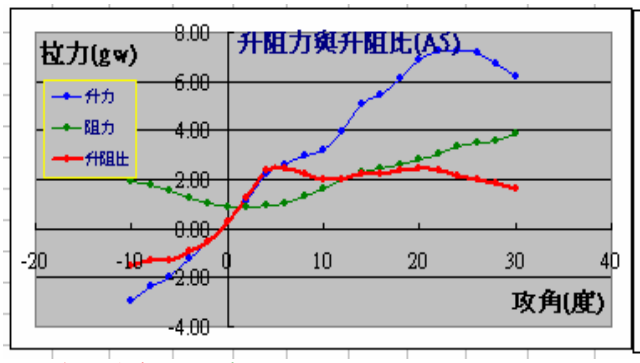
編號	**F5**			**G5**			**H5**			**I5**		
攻角(度)	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比
-10	-4.36	1.56	-2.795	-3.76	1.56	-2.410	-3.64	1.38	-2.638	-3.66	1.48	-2.473
-8	-4.04	1.50	-2.693	-3.48	1.50	-2.320	-3.34	1.30	-2.569	-3.54	1.40	-2.529
-6	-3.34	1.40	-2.386	-3.26	1.40	-2.329	-3.14	1.20	-2.617	-3.34	1.30	-2.569
-4	-2.54	1.24	-2.048	-2.54	1.36	-1.868	-2.58	1.16	-2.224	-2.68	1.26	-2.127
-2	-1.56	1.16	-1.345	-1.54	1.22	-1.262	-1.34	0.92	-1.457	-1.44	1.06	-1.358
0	0.64	0.88	0.727	-0.50	0.94	-0.532	-0.34	0.86	-0.395	-0.44	0.94	-0.468
2	2.28	0.98	2.327	0.16	0.94	0.170	0.26	0.88	0.295	0.36	0.84	0.429
4	3.26	1.18	2.763	1.06	1.16	0.914	0.86	1.06	0.811	0.96	0.96	1.000
6	4.36	1.76	2.472	2.26	1.48	1.527	1.86	1.36	1.368	2.10	1.24	1.694
8	4.96	2.22	2.234	3.12	1.80	1.733	2.48	1.70	1.459	2.84	1.52	1.868
10	5.62	2.58	2.178	4.04	2.08	1.942	3.34	1.82	1.835	3.54	1.60	2.213
12	6.16	2.76	2.232	5.14	2.40	2.142	4.44	2.16	2.056	4.66	1.76	2.648
14	6.92	2.92	2.370	5.56	2.56	2.172	5.24	2.46	2.130	5.36	2.14	2.505
16	7.16	2.94	2.435	5.86	2.66	2.203	5.48	2.54	2.157	5.66	2.24	2.527
18	7.36	3.08	2.390	6.04	2.80	2.157	5.76	2.70	2.133	6.06	2.44	2.484
20	7.76	3.18	2.440	6.46	2.92	2.212	6.10	2.82	2.163	6.12	2.58	2.372
22	8.06	3.34	2.413	6.86	2.96	2.318	6.04	2.84	2.127	6.24	2.66	2.346
24	8.20	3.56	2.303	6.78	3.20	2.119	5.96	2.90	2.055	6.04	2.72	2.221
26	8.08	3.72	2.172	6.56	3.34	1.964	5.84	3.12	1.872	5.86	2.82	2.078
28	8.06	3.76	2.144	6.24	3.48	1.793	5.66	3.28	1.726	5.56	2.86	1.944
30	7.36	3.76	1.957	5.92	3.58	1.654	5.36	3.46	1.549	5.46	2.88	1.896

編號 / 攻角(度)	J5			K5			B6			C6		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-3.74	1.38	-2.710	-3.56	1.28	-2.781	-1.60	1.52	-1.053	-1.72	1.56	-1.103
-8	-3.64	1.30	-2.800	-3.44	1.18	-2.915	-1.56	1.42	-1.099	-1.64	1.40	-1.171
-6	-3.44	1.20	-2.867	-3.34	1.10	-3.036	-1.26	1.26	-1.000	-1.28	1.28	-1.000
-4	-2.84	1.18	-2.407	-2.96	1.14	-2.596	-0.86	0.96	-0.896	-0.92	1.06	-0.868
-2	-1.56	1.14	-1.368	-1.64	0.88	-1.864	-0.44	0.88	-0.500	-0.38	0.96	-0.396
0	-0.54	1.02	-0.529	-0.66	0.84	-0.786	-0.02	0.60	-0.033	0.04	0.70	0.057
2	0.34	0.96	0.354	0.24	0.88	0.273	0.46	0.68	0.676	0.68	0.86	0.791
4	1.04	1.00	1.040	0.96	0.96	1.000	0.66	0.72	0.917	0.96	0.88	1.091
6	1.78	1.26	1.413	1.46	1.26	1.159	1.02	1.04	0.981	1.34	1.08	1.241
8	2.54	1.50	1.693	2.20	1.40	1.571	1.76	1.16	1.517	2.04	1.40	1.457
10	3.64	1.50	2.427	3.10	1.60	1.938	2.32	1.22	1.902	2.66	1.50	1.773
12	4.46	1.76	2.534	3.96	1.86	2.129	3.26	1.46	2.233	3.70	1.78	2.079
14	5.14	1.94	2.649	4.76	2.02	2.356	3.90	1.66	2.349	4.34	1.94	2.237
16	5.44	2.12	2.566	5.14	2.22	2.315	4.08	1.76	2.318	4.86	2.12	2.292
18	5.88	2.40	2.450	5.46	2.50	2.184	4.44	1.92	2.313	5.16	2.22	2.324
20	6.00	2.56	2.344	5.84	2.62	2.229	4.84	2.34	2.068	5.42	2.46	2.203
22	6.14	2.56	2.398	6.04	2.62	2.305	5.26	2.54	2.071	6.06	2.54	2.386
24	5.94	2.58	2.302	6.12	2.62	2.336	5.20	2.72	1.912	5.72	2.82	2.028
26	5.86	2.70	2.170	5.96	2.72	2.191	5.04	3.16	1.595	5.54	2.96	1.872
28	5.74	2.78	2.065	5.84	2.78	2.101	4.84	3.28	1.476	5.14	3.08	1.669
30	5.44	2.92	1.863	5.64	2.88	1.958	4.76	3.44	1.384	5.04	3.26	1.546

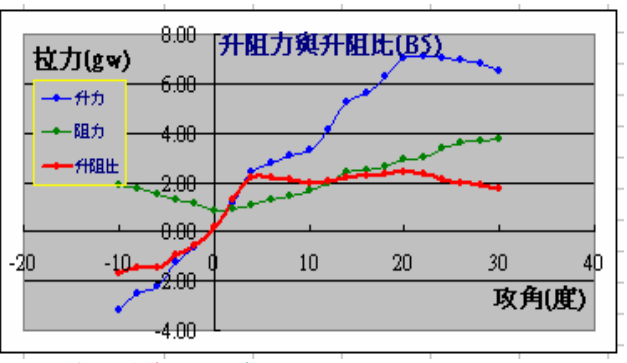
編號 / 攻角(度)	D6			E6			F6			G6		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-1.78	1.56	-1.141	-1.82	1.54	-1.182	-1.86	1.48	-1.257	-2.04	1.66	-1.229
-8	-1.66	1.38	-1.203	-1.70	1.42	-1.197	-1.74	1.38	-1.261	-1.84	1.58	-1.165
-6	-1.34	1.32	-1.015	-1.32	1.30	-1.015	-1.38	1.28	-1.078	-1.64	1.48	-1.108
-4	-0.94	1.08	-0.870	-0.98	1.08	-0.907	-1.04	1.04	-1.000	-0.96	1.28	-0.750
-2	-0.36	0.94	-0.383	-0.34	0.94	-0.362	-0.36	0.86	-0.419	-0.44	0.94	-0.468
0	0.20	0.64	0.313	0.36	0.60	0.600	0.54	0.62	0.871	0.14	0.62	0.226
2	0.86	0.68	1.265	1.06	0.64	1.656	1.44	0.58	2.483	0.86	0.78	1.103
4	1.36	0.78	1.744	2.04	0.74	2.757	2.26	0.78	2.897	1.84	0.98	1.878
6	1.96	1.14	1.719	2.88	1.14	2.526	3.16	1.14	2.772	2.56	1.24	2.065
8	2.84	1.40	2.029	3.84	1.54	2.494	4.26	1.60	2.663	2.78	1.40	1.986
10	3.66	1.70	2.153	4.26	1.80	2.367	5.30	2.02	2.624	3.32	1.60	2.075
12	4.24	1.86	2.280	4.78	1.98	2.414	5.74	2.18	2.633	4.76	1.78	2.674
14	5.06	2.04	2.480	5.78	2.22	2.604	6.10	2.22	2.748	5.36	2.04	2.627
16	5.30	2.14	2.477	5.88	2.30	2.557	6.26	2.34	2.675	5.88	2.36	2.492
18	5.60	2.36	2.373	6.56	2.50	2.624	6.76	2.50	2.704	6.16	2.60	2.369
20	6.08	2.56	2.375	6.76	2.64	2.561	6.90	2.82	2.447	6.34	2.74	2.314
22	6.24	2.64	2.364	6.76	2.72	2.485	7.04	2.86	2.462	6.16	2.76	2.232
24	6.36	2.64	2.409	6.56	2.80	2.343	7.06	3.02	2.338	6.04	2.92	2.068
26	6.16	2.74	2.248	6.26	3.00	2.087	6.54	3.14	2.083	5.86	2.94	1.993
28	5.94	2.96	2.007	6.06	3.04	1.993	6.34	3.20	1.981	5.54	2.98	1.859
30	5.64	3.24	1.741	5.84	3.12	1.872	6.08	3.26	1.865	5.36	3.04	1.763

編號 / 攻角(度)	H6			I6			J6			K6		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-2.16	1.58	-1.367	-2.24	1.78	-1.258	-2.10	1.60	-1.313	-2.22	1.56	-1.423
-8	-1.96	1.42	-1.380	-2.06	1.64	-1.256	-1.94	1.40	-1.386	-2.10	1.50	-1.400
-6	-1.84	1.18	-1.559	-1.96	1.40	-1.400	-1.78	1.30	-1.369	-1.84	1.40	-1.314
-4	-1.24	1.08	-1.148	-1.42	1.38	-1.029	-1.66	1.20	-1.383	-1.62	1.34	-1.209
-2	-0.64	0.92	-0.696	-0.72	1.02	-0.706	-0.86	1.16	-0.741	-0.74	1.06	-0.698
0	0.04	0.50	0.080	-0.02	0.68	-0.029	-0.20	0.74	-0.270	-0.08	0.60	-0.133
2	0.56	0.78	0.718	0.46	0.90	0.511	0.34	0.96	0.354	0.26	1.04	0.250
4	1.62	0.98	1.653	1.46	1.10	1.327	1.08	1.20	0.900	0.80	1.36	0.588
6	2.22	1.34	1.657	1.82	1.38	1.319	1.60	1.52	1.053	1.18	1.60	0.738
8	3.50	1.62	2.160	2.54	1.72	1.477	2.70	1.90	1.421	1.66	1.80	0.922
10	3.86	1.72	2.244	3.30	1.80	1.833	3.19	2.00	1.593	3.12	1.96	1.592
12	4.18	1.86	2.247	3.80	2.06	1.845	3.48	2.12	1.642	4.08	2.04	2.000
14	4.94	1.94	2.546	4.04	2.14	1.888	4.14	2.20	1.882	4.22	2.02	2.089
16	5.32	2.08	2.558	4.32	2.38	1.815	4.24	2.26	1.876	4.64	2.10	2.210
18	5.56	2.32	2.397	5.24	2.52	2.079	5.24	2.54	2.063	5.50	2.24	2.455
20	6.12	2.48	2.468	5.84	2.64	2.212	5.64	2.62	2.153	5.86	2.44	2.402
22	5.80	2.54	2.283	5.78	2.66	2.173	5.84	2.60	2.246	6.14	2.48	2.476
24	5.56	2.54	2.189	5.74	2.76	2.080	5.74	2.62	2.191	6.30	2.58	2.442
26	5.32	2.64	2.015	5.54	2.94	1.884	5.52	2.72	2.029	5.78	2.64	2.189
28	5.22	2.66	1.962	5.36	2.98	1.799	5.44	2.80	1.943	5.52	2.68	2.060
30	5.08	2.80	1.814	4.94	3.06	1.614	5.40	2.94	1.837	5.32	2.84	1.873

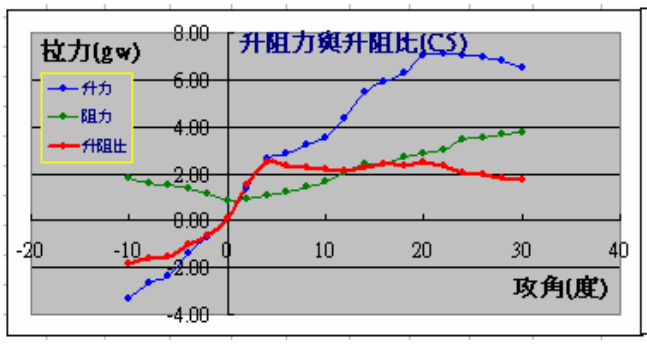
(一) 作圖分析

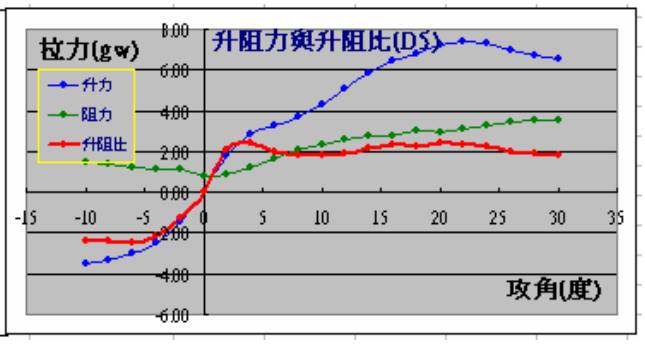


失速攻角：**22** 度
最大升阻比：**2.434**
最大升力：**7.26gw**

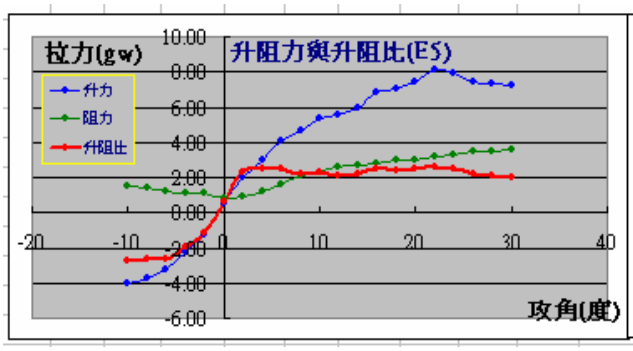


失速攻角：**22** 度
最大升阻比：**2.434**
最大升力：**7.08gw**

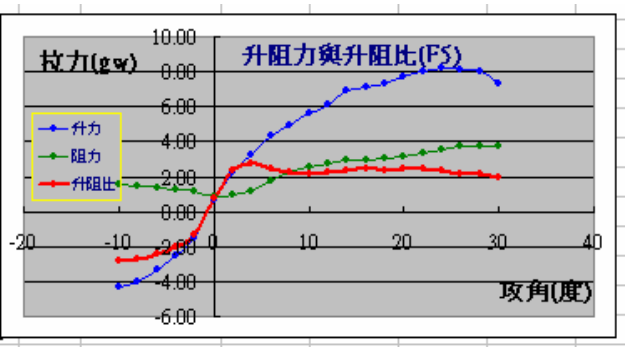




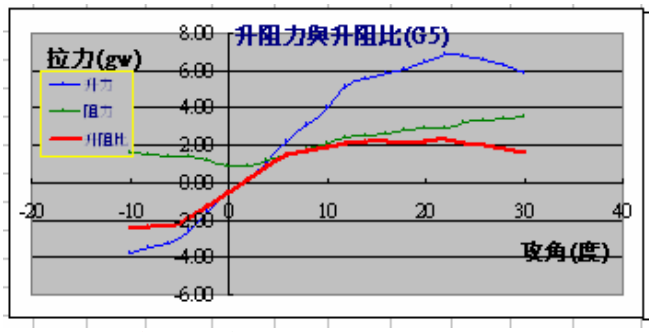
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.491
最大升力：7.08gw



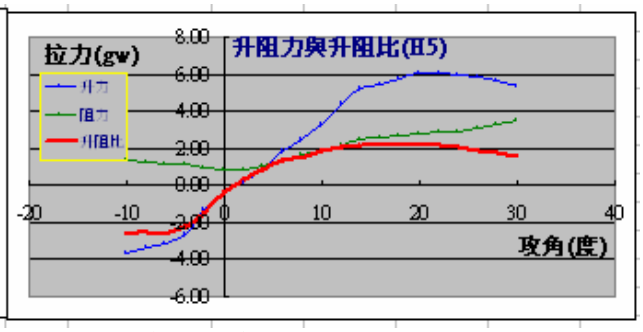
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.453
最大升力：7.44gw



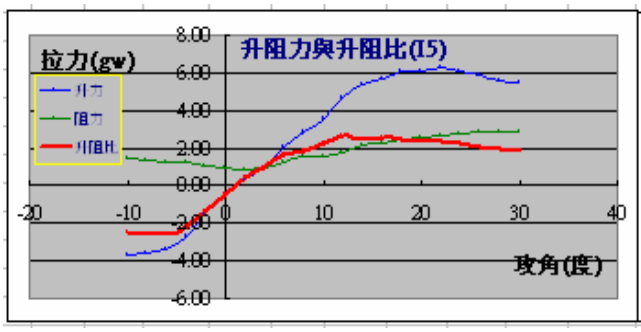
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.573
最大升力：8.08gw



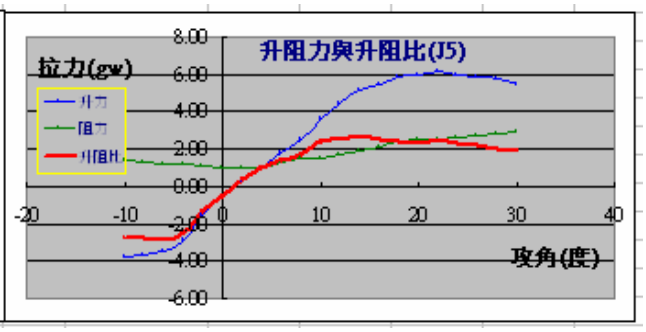
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.763
最大升力：8.20gw



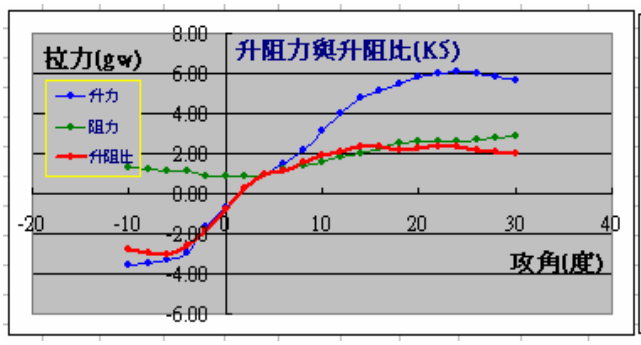
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.318
最大升力：6.86gw



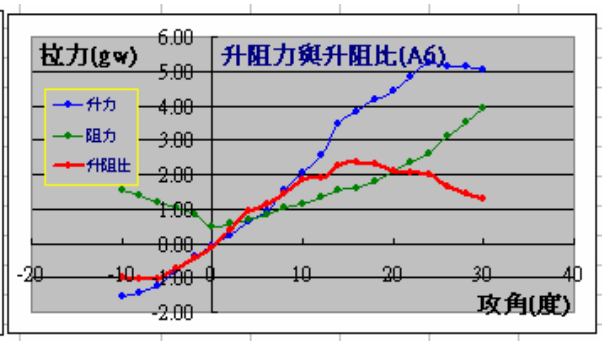
失速攻角：20 度
最大升阻比：2.163
最大升力：6.10gw



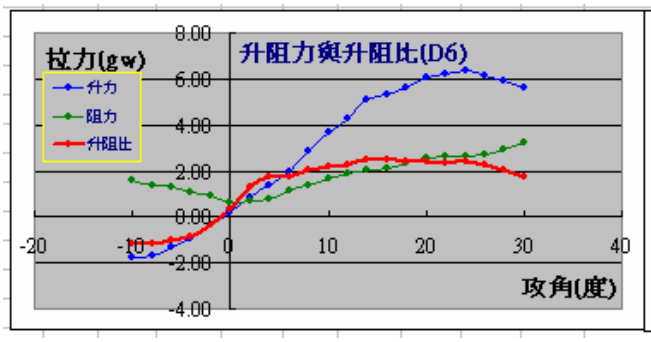
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.648
最大升力：6.24gw



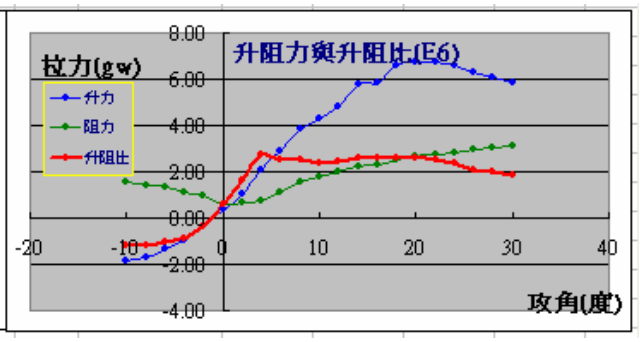
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.649
最大升力：6.14gw



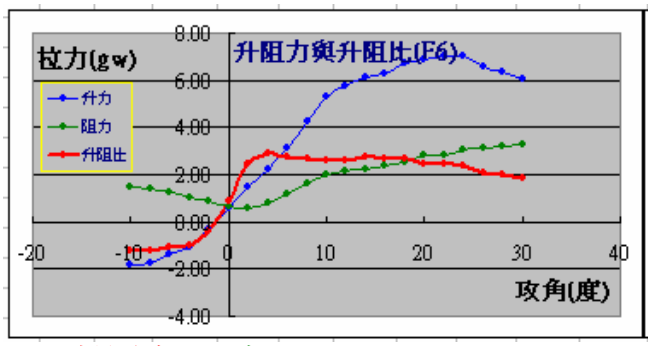
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.351
最大升力：6.12gw



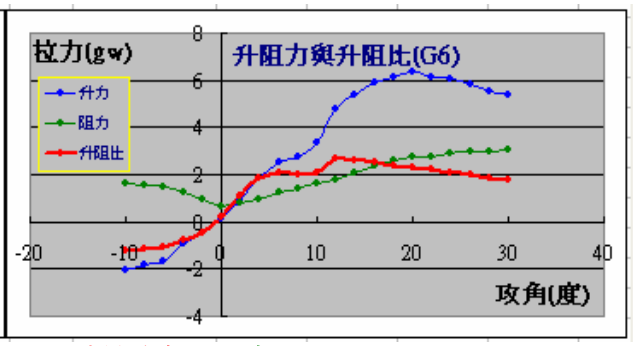
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.286
最大升力：5.26gw



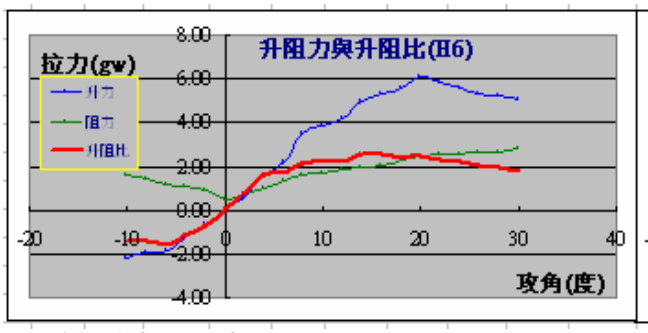
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.480
最大升力：6.36gw



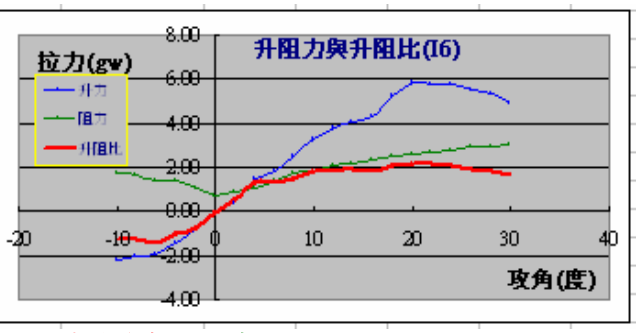
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.757
最大升力：6.76gw



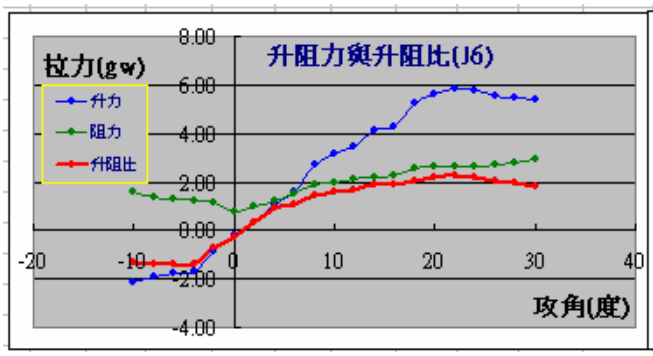
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.897
最大升力：7.06gw



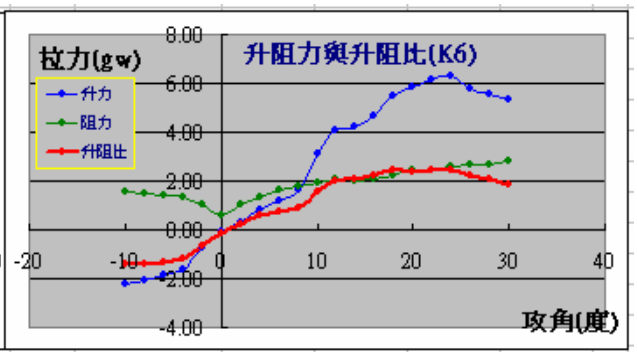
失速攻角：20 度
最大升阻比：2.674
最大升力：6.34gw



失速攻角：20 度
最大升阻比：2.558
最大升力：6.12gw



失速攻角：20 度
最大升阻比：2.212
最大升力：5.84gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.246
最大升力：5.84gw

失速攻角：24 度
最大升阻比：2.476
最大升力：6.30gw

(二) 升阻比及失速攻角分析(展弦比 5、6 分開比較)

編號	A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5	H5	I5	J5	K5
失速攻角(度)	22	22	22	22	22	24	22	20	22	22	24
升阻比	2.434	2.434	2.491	2.453	2.573	2.763	2.318	2.163	2.648	2.649	2.356
升力(gw)	7.26	7.08	7.08	7.44	8.08	8.20	6.86	6.10	6.24	6.14	6.12
升力係數 × (XY)	36.30	35.40	35.40	37.20	40.40	41.00	34.30	30.50	31.20	30.70	30.60

編號	A6	B6	C6	D6	E6	F6	G6	H6	I6	J6	K6
失速攻角(度)	22	22	22	24	22	24	20	20	20	22	24
升阻比	2.286	2.349	2.386	2.480	2.757	2.897	2.674	2.558	2.212	2.246	2.476
升力(gw)	5.26	5.26	6.06	6.36	6.76	7.06	6.34	6.12	5.84	5.84	6.30
升力係數 × (XY)	31.56	31.56	36.36	38.16	40.56	42.36	38.04	36.72	35.04	35.04	37.80

【討論】 1. 從升力來看，原矩形 A5 的機翼，將其形狀改爲漸縮比爲 0.5 升力由 7.26gw 提升到 8.20gw；同樣矩形 A6 的機翼，升力由 5.26 提升到 7.06。
2. 由上述結果比較可以知道，由矩形翼改爲漸縮比爲 0.5 的 F5 和 F6 梯形機翼，在失速攻角、升阻比、升力方面都有較好的效能。
3. 改變機翼形狀的漸縮比後，雖然梯形機翼的性能果然提升不少，但在相同攻角（24 度）時，改良後的梯形高展弦比機翼的升力（8.20）遠小於大面積的低展弦比機翼（14.66）。

探討 2、高展弦比機翼形狀改爲弧形翼會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試不同弧形翼的優缺

【步驟】1. 利用鋁片做成不同的弧形翼，分別使用展弦比 5、6，並改變翼弧線最高點的位置爲 1/4、2/4、/3/4 後三處，固定其比例 b/a（a：機翼前後緣的距離；b：最高點高度）1/10
2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…、28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力

【結果】

(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(翼寬)(cm)	b(弧高)(cm)	b/a	最高點位置
A51	5	96.80	22.00	4.40	0.44	1/10	1/4
A52	5	96.80	22.00	4.40	0.44	1/10	2/4
A53	5	96.80	22.00	4.40	0.44	1/10	3/4
A61	6	80.37	22.00	3.67	0.37	1/10	1/4
A62	6	80.67	22.00	3.67	0.37	1/10	2/4
A63	6	80.67	22.00	3.67	0.37	1/10	3/4

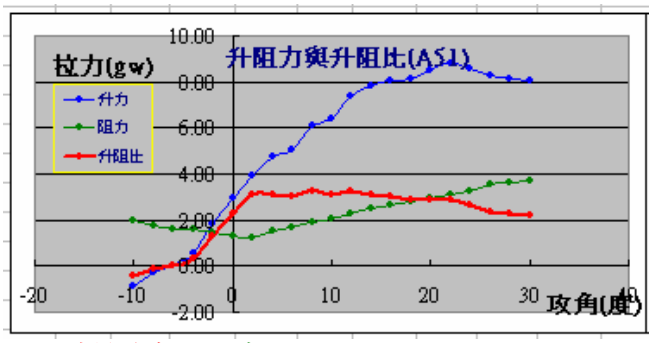
(二) 升、阻力＆升阻比(升阻力單位：gw)

編號 / 攻角(度)	A51			A52			A53		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比
-10	-0.84	1.96	-0.429	-1.02	2.08	-0.490	-1.56	2.14	-0.729
-8	-0.26	1.78	-0.146	-0.54	1.86	-0.290	-1.06	2.00	-0.530
-6	0.04	1.58	0.025	-0.18	1.70	-0.106	-0.58	1.76	-0.330
-4	0.56	1.58	0.354	-0.04	1.66	-0.024	-0.34	1.76	-0.193
-2	1.80	1.42	1.268	0.46	1.60	0.288	0.08	1.66	0.048
0	2.96	1.32	2.242	1.14	1.44	0.792	0.50	1.54	0.325
2	3.94	1.26	3.127	1.64	1.32	1.242	1.16	1.46	0.795
4	4.76	1.52	3.132	2.54	1.58	1.608	1.96	1.60	1.225
6	5.04	1.68	3.000	3.56	1.72	2.070	3.22	1.86	1.731
8	6.10	1.88	3.245	5.32	1.80	2.956	5.08	1.98	2.566
10	6.40	2.04	3.137	5.86	2.06	2.845	5.84	2.00	2.920
12	7.34	2.28	3.219	6.20	2.36	2.627	6.12	2.28	2.684
14	7.84	2.50	3.136	6.24	2.54	2.457	6.36	2.58	2.465
16	8.04	2.64	3.045	7.16	2.72	2.632	6.84	2.74	2.496
18	8.16	2.82	2.894	7.56	3.04	2.487	7.20	3.12	2.308
20	8.52	2.96	2.878	7.86	3.18	2.472	7.84	3.30	2.376
22	8.78	3.08	2.851	8.12	3.20	2.538	7.94	3.40	2.335
24	8.56	3.26	2.626	7.84	3.32	2.361	7.74	3.50	2.211
26	8.28	3.52	2.352	7.54	3.50	2.154	7.56	3.64	2.077
28	8.14	3.60	2.261	7.36	3.54	2.079	7.20	3.70	1.946
30	8.04	3.70	2.173	7.16	3.58	2.000	6.92	3.76	1.840

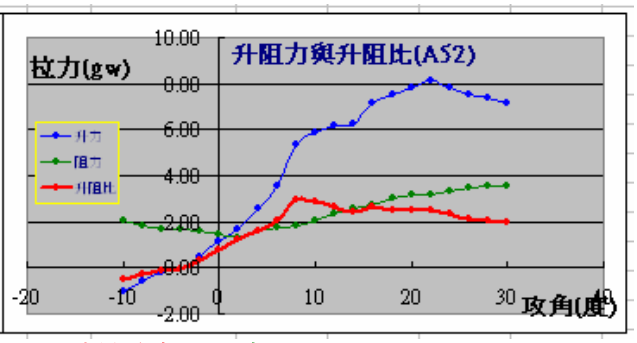
編號 / 攻角(度)	A61			A62			A63		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比
-10	-0.86	1.96	-0.439	-1.12	2.04	-0.549	-1.24	2.18	-0.569
-8	-0.18	1.82	-0.099	-0.44	1.88	-0.234	-0.78	2.08	-0.375
-6	0.08	1.60	0.050	-0.22	1.78	-0.124	-0.26	1.94	-0.134
-4	0.56	1.54	0.364	0.06	1.74	0.034	-0.08	1.86	-0.043
-2	1.62	1.46	1.110	1.20	1.56	0.769	0.56	1.72	0.326
0	2.28	1.12	2.036	1.88	1.30	1.446	1.32	1.32	1.000
2	3.44	1.16	2.966	3.04	1.26	2.413	2.66	1.36	1.956
4	4.18	1.20	3.483	3.94	1.26	3.127	3.56	1.46	2.438
6	4.72	1.44	3.278	4.16	1.50	2.773	3.88	1.62	2.395
8	5.32	1.68	3.167	4.54	1.64	2.768	4.28	1.76	2.432
10	5.76	1.86	3.097	5.18	1.76	2.943	4.36	1.80	2.422
12	5.96	2.16	2.759	5.56	2.18	2.550	4.60	1.96	2.347
14	6.24	2.24	2.786	6.02	2.34	2.573	5.84	2.04	2.863
16	7.16	2.40	2.983	6.56	2.42	2.711	6.26	2.14	2.925
18	7.38	2.70	2.733	6.86	2.66	2.579	6.50	2.40	2.708

20	7.68	2.86	2.685	7.32	3.00	2.440	6.84	2.86	2.392
22	7.76	2.96	2.622	7.46	3.04	2.454	7.06	3.00	2.353
24	7.42	3.12	2.378	7.12	3.08	2.312	6.86	3.22	2.130
26	7.06	3.58	1.972	6.86	3.24	2.117	6.52	3.30	1.976
28	6.96	3.64	1.912	6.56	3.28	2.000	6.28	3.50	1.794
30	6.92	3.74	1.850	6.26	3.36	1.863	6.04	3.56	1.697

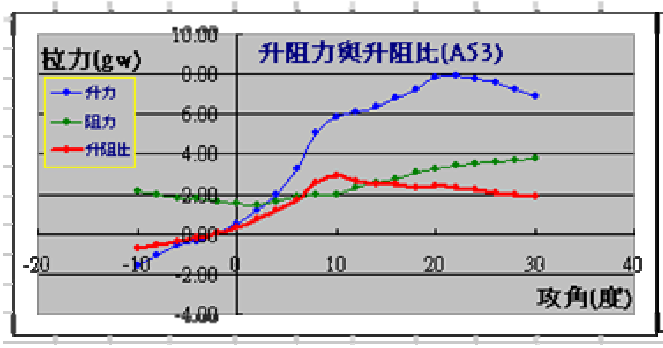
(三) 作圖分析



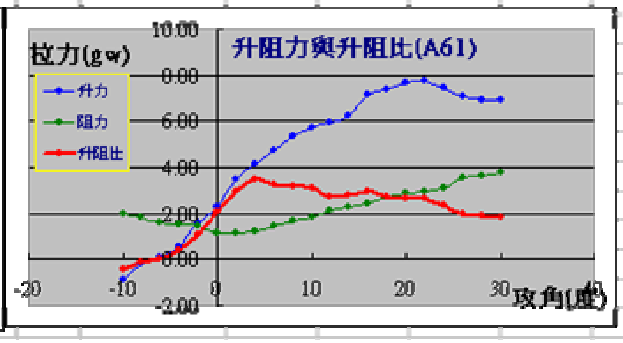
失速攻角：22 度
最大升阻比：3.219
最大升力：8.78gw



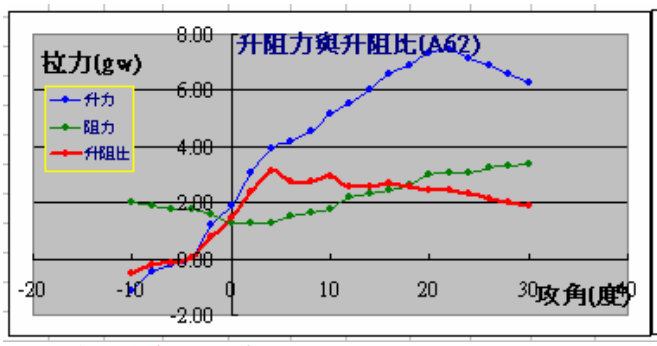
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.956
最大升力：8.12gw



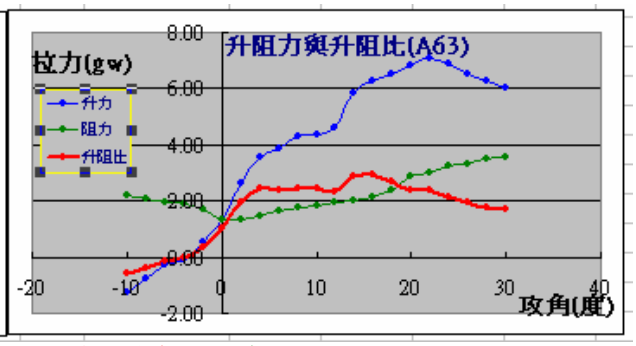
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.920
最大升力：7.94gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：3.483
最大升力：7.76gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：3.127
最大升力：7.46gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.925
最大升力：7.06gw

(四) 升阻比及失速攻角分析(展弦比 5、6 分開比)

編號	A5	A51	A52	A53	A6	A61	A62	A63
失速攻角(度)	22	22	22	22	22	22	22	22
升阻比	2.434	3.219	2.956	2.920	2.286	3.483	3.127	2.925
升力(gw)	7.26	8.78	8.12	7.94	5.26	7.76	7.46	7.06
升力係數 × (XY)	36.30	43.90	40.60	39.70	31.56	46.56	44.76	42.36

【討論】1. 從上列的數據可以比較出，將機翼形狀改變爲有彎弧度的機翼，會比沒有彎弧度的機翼升力更好。

2. 而且翼弧線最高點位置也會影響升力，翼弧線最高點在前的升力最好，最高點在中間的次之，最高點在後的升力最差。

3. 上列的測試得到升力比較好的弧形機翼分別是 A51 與 A61，升力和原本沒有弧度的 A5(7.26gw)、A6(5.26gw)平板機翼相比，也有很大的提升，在升力係數方面也有顯著的增加，顯示弧形機翼是影響升力的一個重大變因，但在相同攻角時，改良後的弧形高展弦比機翼的升力仍不及大面積的低展弦比機翼。

探討 3、高展弦比弧形機翼改變不同翼弧線高度會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試不同弧形翼的優缺

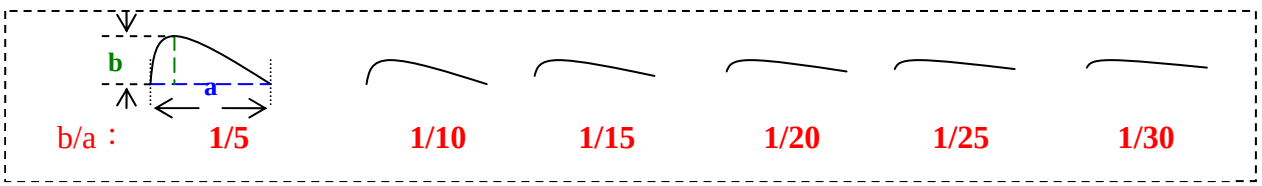
【步驟】1. 利用鋁片做成不同的弧形翼，固定弧度最高點的位置爲前，並以不同的比例 b/a 爲 1/5、1/10、1/15、1/20、1/25、1/30，共 12 組

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…、28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力。

【結果】

(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(翼寬)(cm)	b(弧高)(cm)	b/a	最高點
A511	5	96.80	22.00	4.40	0.88	1/5	前
A512	5	96.80	22.00	4.40	0.44	1/10	前
A513	5	96.80	22.00	4.40	0.29	1/15	前
A514	5	96.80	22.00	4.40	0.22	1/20	前
A515	5	96.80	22.00	4.40	0.17	1/25	前
A516	5	96.80	22.00	4.40	0.15	1/30	前
A611	6	80.67	22.00	3.67	0.73	1/5	前
A612	6	80.67	22.00	3.67	0.37	1/10	前
A613	6	80.67	22.00	3.67	0.24	1/15	前
A614	6	80.67	22.00	3.67	0.18	1/20	前
A615	6	80.67	22.00	3.67	0.15	1/25	前
A616	6	80.67	22.00	3.67	0.12	1/30	前



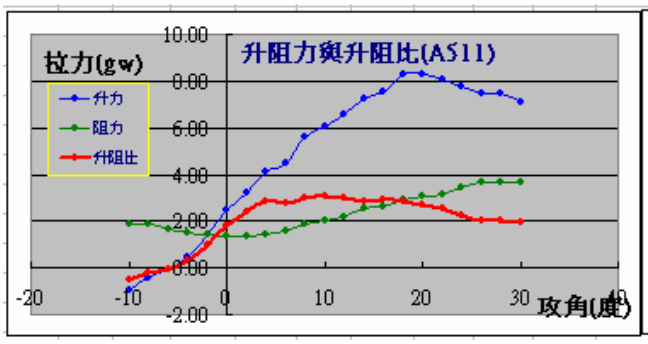
(二) 升、阻力＆升阻比(升阻力單位：gw)

編號 / 攻角(度)	A511			A512			A513			A514		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-0.94	1.90	-0.495	-0.84	1.96	-0.429	-0.64	1.88	-0.340	-0.56	1.84	-0.304
-8	-0.46	1.90	-0.242	-0.26	1.78	-0.146	-0.06	1.70	-0.035	-0.14	1.68	-0.083
-6	-0.06	1.66	-0.036	0.04	1.58	0.025	0.64	1.56	0.410	0.18	1.52	0.118
-4	0.44	1.48	0.297	0.56	1.58	0.354	1.36	1.54	0.883	1.28	1.50	0.853
-2	1.44	1.44	1.000	1.80	1.42	1.268	2.20	1.40	1.571	2.04	1.34	1.522
0	2.46	1.36	1.809	2.96	1.32	2.242	3.32	1.12	2.964	2.76	1.08	2.556
2	3.21	1.34	2.393	3.94	1.26	3.127	4.28	1.26	3.397	3.08	1.08	2.852
4	4.12	1.46	2.822	4.76	1.52	3.132	5.12	1.34	3.821	4.54	1.26	3.603
6	4.46	1.60	2.788	5.04	1.68	3.000	5.62	1.54	3.649	5.26	1.42	3.704
8	5.62	1.90	2.958	6.10	1.88	3.245	6.44	1.80	3.578	6.26	1.70	3.682
10	6.08	2.00	3.040	6.40	2.04	3.137	6.68	2.00	3.340	6.46	1.80	3.589
12	6.54	2.18	3.000	7.34	2.28	3.219	7.64	2.22	3.441	7.30	2.06	3.544
14	7.24	2.52	2.873	7.84	2.50	3.136	8.24	2.38	3.462	7.92	2.24	3.536
16	7.52	2.60	2.892	8.04	2.64	3.045	8.48	2.44	3.475	8.14	2.32	3.509
18	8.28	2.92	2.836	8.16	2.82	2.894	8.88	2.70	3.289	8.06	2.64	3.053
20	8.26	3.04	2.717	8.52	2.96	2.878	9.54	2.82	3.383	8.54	2.72	3.140
22	8.08	3.16	2.557	8.78	3.08	2.851	10.34	3.06	3.379	8.90	2.72	3.272
24	7.78	3.42	2.275	8.56	3.26	2.626	9.86	3.34	2.952	9.16	2.92	3.137
26	7.50	3.64	2.060	8.28	3.52	2.352	9.66	3.60	2.683	9.04	3.12	2.897
28	7.44	3.70	2.011	8.14	3.60	2.261	9.48	3.76	2.521	8.82	3.20	2.756
30	7.08	3.70	1.914	8.04	3.70	2.173	9.10	3.92	2.321	8.38	3.32	2.524

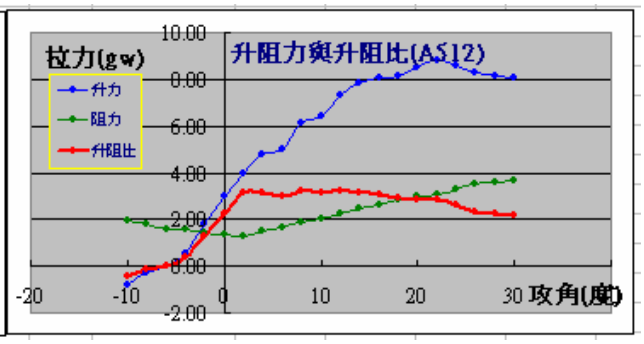
編號 / 攻角(度)	A515			A516			A611			A612		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-0.52	1.76	-0.295	-0.60	1.58	-0.380	-1.24	2.08	-0.596	-0.86	1.96	-0.439
-8	-0.26	1.70	-0.153	-0.46	1.56	-0.295	-0.50	1.94	-0.258	-0.18	1.82	-0.099
-6	0.00	1.60	0.000	-0.14	1.48	-0.095	-0.24	1.80	-0.133	0.08	1.60	0.050
-4	1.12	1.58	0.709	0.26	1.46	0.178	0.26	1.72	0.151	0.56	1.54	0.364
-2	1.80	1.36	1.324	1.16	1.36	0.853	0.48	1.56	0.308	1.62	1.46	1.110
0	1.94	1.04	1.865	1.54	1.12	1.375	1.12	1.42	0.789	2.28	1.12	2.036
2	2.52	1.00	2.520	2.16	1.04	2.077	2.36	1.38	1.710	3.44	1.16	2.966
4	3.22	1.16	2.776	2.86	1.08	2.648	3.52	1.44	2.444	4.18	1.20	3.483
6	4.26	1.30	3.277	3.26	1.26	2.587	4.46	1.56	2.859	4.72	1.44	3.278
8	5.56	1.60	3.475	3.48	1.40	2.486	5.38	1.76	3.057	5.32	1.68	3.167
10	5.70	1.62	3.519	4.14	1.50	2.760	5.40	2.00	2.700	5.76	1.86	3.097
12	6.18	1.76	3.511	5.30	1.66	3.193	5.84	2.10	2.781	5.96	2.16	2.759
14	7.12	2.02	3.525	6.12	1.74	3.517	6.54	2.26	2.894	6.24	2.24	2.786
16	7.60	2.12	3.585	6.86	1.94	3.536	6.92	2.50	2.768	7.16	2.40	2.983
18	7.76	2.42	3.207	7.16	2.20	3.255	7.14	2.80	2.550	7.38	2.70	2.733
20	7.94	2.66	2.985	7.56	2.44	3.098	7.04	3.04	2.316	7.68	2.86	2.685
22	8.24	2.66	3.098	8.10	2.58	3.140	6.90	3.04	2.270	7.76	2.96	2.622
24	8.52	2.72	3.132	8.26	2.52	3.278	6.74	3.20	2.106	7.42	3.12	2.378
26	8.52	2.92	2.918	8.40	2.72	3.088	6.36	3.62	1.757	7.06	3.58	1.972
28	8.36	3.00	2.787	8.26	2.90	2.848	6.24	3.70	1.686	6.96	3.64	1.912
30	8.14	3.04	2.678	7.78	2.94	2.646	6.20	3.80	1.632	6.92	3.74	1.850

編號 / 攻角(度)	A613			A614			A615			A616		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-0.58	1.78	-0.326	-0.74	1.68	-0.440	-0.78	1.60	-0.488	-0.88	1.54	-0.571
-8	0.08	1.60	0.050	-0.04	1.54	-0.026	-0.26	1.42	-0.183	-0.52	1.40	-0.371
-6	0.84	1.48	0.568	0.44	1.44	0.306	0.04	1.34	0.030	-0.10	1.30	-0.077
-4	1.66	1.46	1.137	1.24	1.40	0.886	0.94	1.38	0.681	0.06	1.32	0.045
-2	2.44	1.32	1.848	1.90	1.36	1.397	1.74	1.30	1.338	0.80	1.34	0.597
0	3.06	1.02	3.000	2.64	0.94	2.809	2.18	1.08	2.019	1.62	1.04	1.558
2	4.02	1.08	3.722	3.30	0.96	3.438	2.92	0.92	3.174	2.34	0.84	2.786
4	4.58	1.18	3.881	4.10	1.16	3.534	3.48	1.08	3.222	2.82	1.00	2.820
6	5.08	1.46	3.479	4.82	1.34	3.597	3.86	1.26	3.063	3.60	1.18	3.051
8	5.46	1.62	3.370	5.36	1.62	3.309	5.06	1.50	3.373	4.54	1.42	3.197
10	6.84	1.92	3.563	6.56	1.83	3.589	5.94	1.70	3.494	4.92	1.60	3.075
12	7.12	2.08	3.423	6.86	1.96	3.500	6.84	1.92	3.563	5.56	1.86	2.989
14	7.72	2.24	3.446	7.28	2.04	3.569	6.96	2.02	3.446	6.12	1.94	3.155
16	7.88	2.36	3.339	7.46	2.26	3.301	7.34	2.10	3.495	6.56	2.06	3.184
18	8.16	2.60	3.138	7.86	2.52	3.119	7.56	2.44	3.098	7.12	2.32	3.069
20	8.46	2.72	3.110	8.14	2.64	3.083	7.84	2.56	3.063	7.24	2.52	2.873
22	8.46	2.86	2.958	8.16	2.66	3.068	8.04	2.52	3.190	7.52	2.56	2.938
24	8.64	3.20	2.700	8.32	2.84	2.930	8.16	2.70	3.022	7.74	2.62	2.954
26	8.38	3.50	2.394	8.28	3.20	2.588	8.24	2.96	2.784	8.18	2.86	2.860
28	8.30	3.66	2.268	8.08	3.50	2.309	7.94	3.20	2.481	7.90	3.10	2.548
30	8.12	3.84	2.115	7.94	3.62	2.193	7.68	3.44	2.233	7.44	3.32	2.241

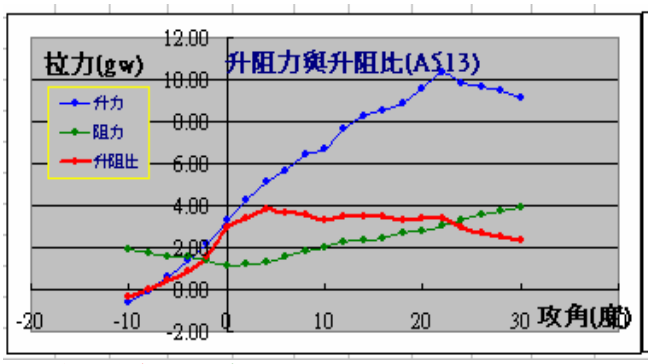
(三) 作圖分析



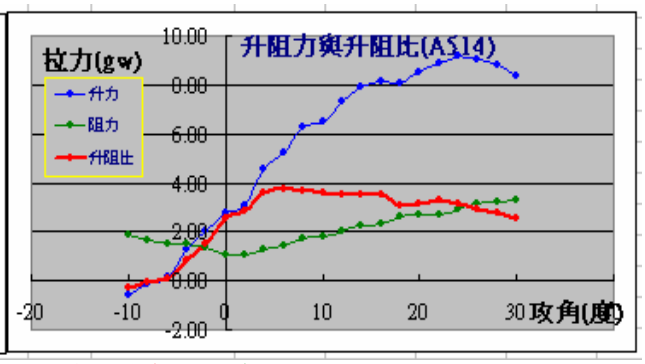
失速攻角：18 度
最大升阻比：3.040
最大升力：8.28gw



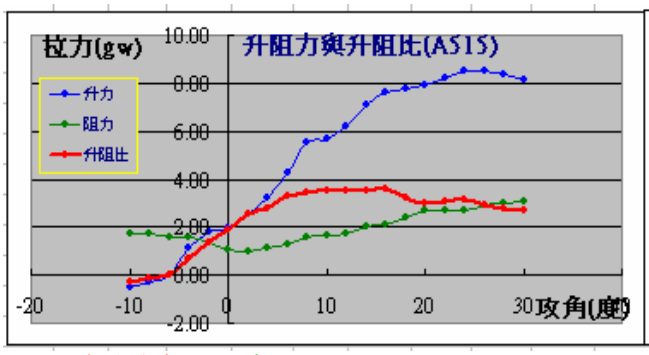
失速攻角：22 度
最大升阻比：3.219
最大升力：8.78gw



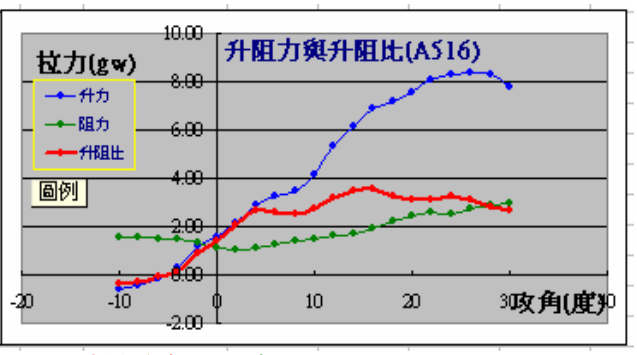
失速攻角：22 度
最大升阻比：3.821
最大升力：10.34gw



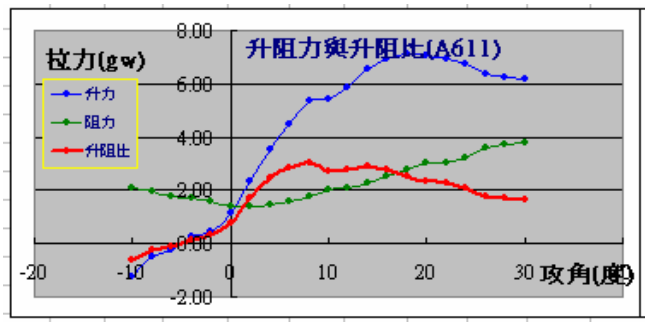
失速攻角：24 度
最大升阻比：3.704
最大升力：9.16gw



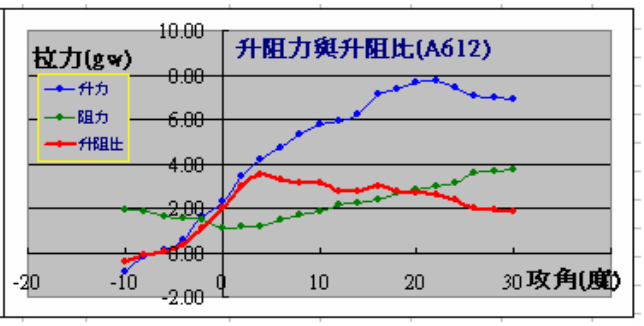
失速攻角：26 度
最大升阻比：3.585
最大升力：8.52gw



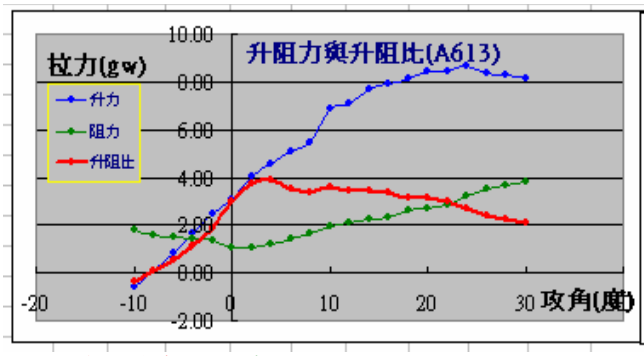
失速攻角：26 度
最大升阻比：3.536
最大升力：8.40gw



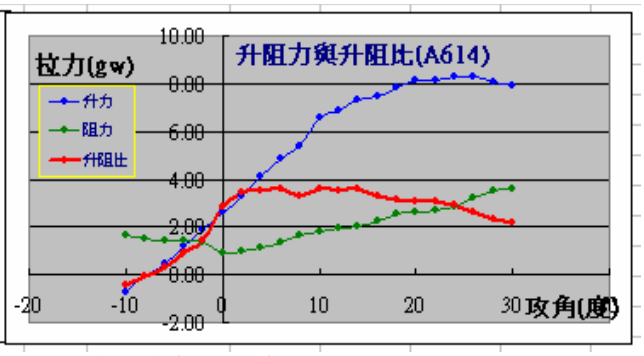
失速攻角：18 度
最大升阻比：3.057
最大升力：7.14gw



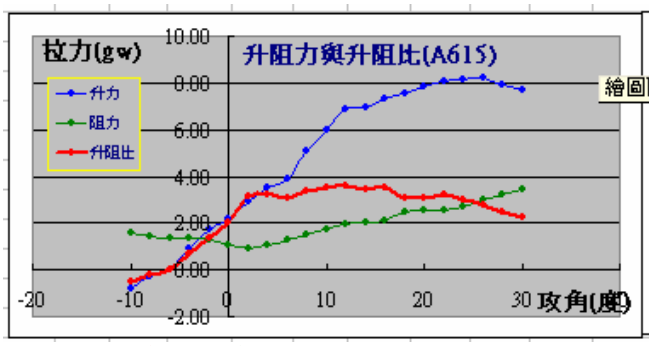
失速攻角：22 度
最大升阻比：3.483
最大升力：7.76gw



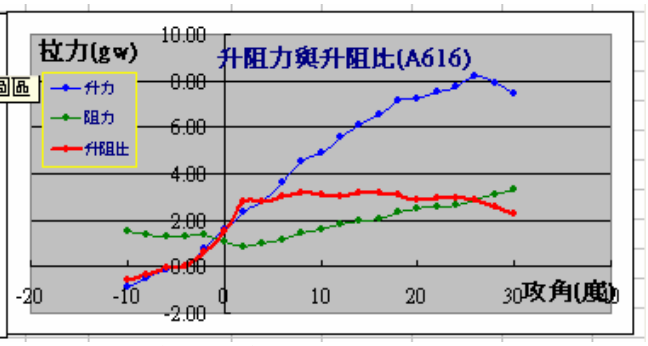
失速攻角：24 度
最大升阻比：3.881
最大升力：8.64gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.597
最大升力：8.32gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.563
最大升力：8.24gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.197
最大升力：8.18gw

(四) 升阻比及失速攻角分析(展弦比 5、6 分開比)

編號	A511	A512	A513	A514	A515	A516
失速攻角(度)	18	22	22	24	26	26
升阻比	3.040	3.219	3.821	3.704	3.585	3.536
升力(gw)	8.28	8.78	10.34	9.16	8.52	8.40
升力係數 × (XY)	41.40	43.90	51.70	45.80	42.60	42.00
編號	A611	A612	A613	A614	A615	A616
失速攻角(度)	18	22	24	24	26	26
升阻比	3.057	3.483	3.881	3.597	3.563	3.197
升力(gw)	7.14	7.76	8.64	8.32	8.24	8.18
升力係數 × (XY)	42.84	46.50	51.84	49.92	49.44	49.08

【討論】1. 由上列的結果可以知道，弧度的大小會影響機翼的效能。

2. 由上列的結果分析，A513 及 A613(有弧度的機翼)機翼都具有高升阻比和高升力的優點，只有失速攻角差了一點，但整體來說，效能也提高了很多，因此可以知道，弧度大約在 1/15 的時候爲最好。
3. 上列的測試得到升力比較好的機翼分別是 A513(10.34gw)與 A613(8.64gw)，升力和 A5(7.26gw)、A6(5.26gw)平板機翼相比，得到更大的提升，也更接近偵察機的升力，而在升力係數方面則早已遠遠超越他們。
4. 而展弦比 5 的升力係數在此則是低於展弦比 6。
5. 從此一結果得知，經改良後的高展弦比弧形機翼其升力已能趕上大面積低展弦比的偵察機，且由於升力係數的優勢值，在穩定性能上，更是低展弦比的偵察機所無法凌駕的。

研究五、改變弧形機翼的漸縮比會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試最好弧形翼加最佳漸縮比 0.5 組合的機翼

【步驟】1. 利用鋁片做出測試的弧形翼

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…、28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力並比較其優缺

【結果】

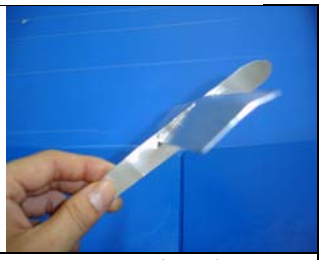
(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(最大翼寬)(cm)	b(最大弧高)(cm)	b/a	最高點
F513	5	96.80	22.00	5.87	0.39	1/15	前
F613	6	80.67	22.00	4.58	0.31	1/15	前

F513(正面)

F513(側面)

F613(正面)

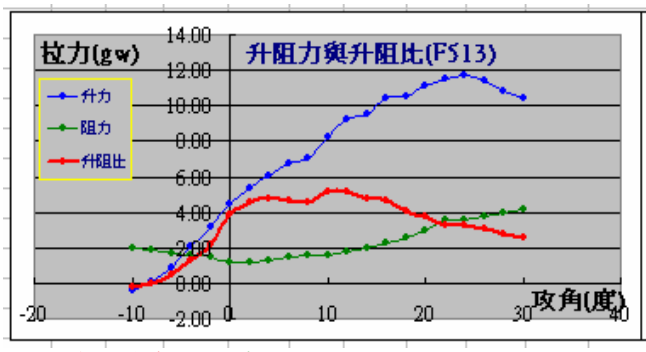


F613(側面)

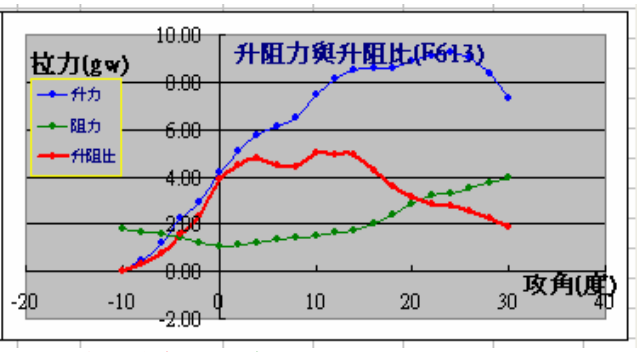
(二) 升、阻力&升阻比

編號 / 攻角(度)	F513			F613		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比
-10	-0.44	1.98	-0.222	-0.02	1.78	-0.011
-8	0.06	1.84	0.033	0.46	1.66	0.277
-6	0.88	1.66	0.530	1.18	1.56	0.756
-4	2.06	1.60	1.288	2.26	1.42	1.592
-2	3.12	1.44	2.167	2.90	1.24	2.339
0	4.42	1.14	3.877	4.16	1.06	3.925
2	5.36	1.18	4.542	5.06	1.12	4.518
4	6.04	1.26	4.794	5.78	1.20	4.817
6	6.72	1.44	4.667	6.12	1.36	4.500
8	7.02	1.54	4.558	6.46	1.46	4.425
10	8.24	1.60	5.150	7.48	1.50	4.987
12	9.24	1.78	5.191	8.16	1.66	4.916
14	9.56	2.02	4.733	8.48	1.72	4.930
16	10.40	2.24	4.643	8.56	2.02	4.238
18	10.54	2.58	4.085	8.62	2.40	3.592
20	11.12	2.96	3.757	8.86	2.82	3.142
22	11.52	3.54	3.254	9.10	3.22	2.826
24	11.74	3.56	3.298	9.24	3.32	2.783
26	11.44	3.72	3.075	9.06	3.52	2.574
28	10.80	3.92	2.755	8.36	3.72	2.247
30	10.42	4.12	2.529	7.32	3.96	1.848

(三) 作圖分析



失速攻角：**24** 度
最大升阻比：**5.191**
最大升力：**11.74gw**



失速攻角：**24** 度
最大升阻比：**4.987**
最大升力：**9.24gw**

(四) 升阻比及失速攻角分析

編號	A513（未改變漸縮比前）	A613（未改變漸縮比前）	F513（改變漸縮比後）	F613（改變漸縮比後）
失速攻角(度)	22	24	24	24
升阻比	3.821	3.881	5.191	4.987
升力(gw)	10.34	8.64	11.74	9.24
升力係數 × (XY)	51.70	51.84	**58.70**	55.44

【討論】1. 未改變漸縮比爲 0.5 前的弧形機翼 A513 已經具有良好的升力及升力係數，再加上

漸縮比爲 0.5 的改變後，升力更提升爲 11.74gw，升力係數更提升爲 58.70。

2. 從升阻比、失速攻角方面，都有很明顯的提升，而展弦比 5 的升力係數則是再度超越展弦比 6。
3. 由上述組合結果得知，改變漸縮比的梯形機翼再加上弧形機翼的組合，使展弦比 5 的機翼，更具優良的升力及穩定的操控性能。

研究六、弧形機翼與傳統機翼對升阻比及失速攻角的影響？

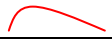
【目的】測試弧形翼與傳統克拉克翼的優缺

【步驟】1. 利用鋁片做出一個中空的克拉克翼

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…、28、30 度，記錄其不同攻角的升、阻力，並和研究五中，最好的弧形翼比較

【結果】

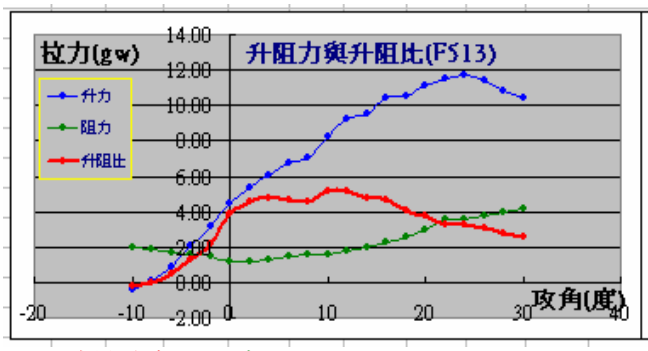
(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(翼寬)(cm)	b(弧高)(cm)	b/a	最高點	形狀
A513	5	96.80	22.00	4.40	0.29	1/15	前	
A613	6	.80.67	22.00	3.67	0.24	1/15	前	
克拉克5	5	96.80	22.00	4.40	0.29	1/15	前	
克拉克6	6	80.67	22.00	3.67	0.24	1/15	前	

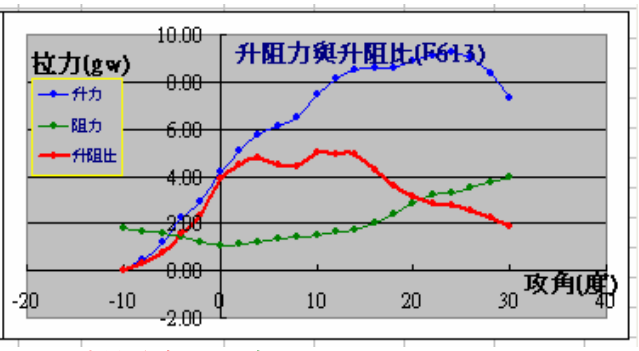
(二) 升、阻力&升阻比

編號 / 攻角(度)	A513			A613			克拉克 5			克拉克 6		
	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	升力	阻力	升阻比	阻力	升力	升阻比
-10	-0.64	1.88	-0.340	-0.58	1.78	-0.326	-0.70	1.86	-0.376	-0.16	1.68	-0.095
-8	-0.06	1.70	-0.035	0.08	1.60	0.050	-0.26	1.80	-0.144	0.24	1.60	0.150
-6	0.64	1.56	0.410	0.84	1.48	0.568	0.22	1.58	0.139	0.78	1.44	0.542
-4	1.36	1.54	0.883	1.66	1.46	1.137	0.78	1.58	0.494	0.98	1.40	0.700
-2	2.20	1.40	1.571	2.44	1.32	1.848	1.16	1.40	0.829	1.76	1.32	1.333
0	3.32	1.12	2.964	3.06	1.02	3.000	2.52	1.24	2.032	2.34	1.24	1.887
2	4.28	1.26	3.397	4.02	1.08	3.722	3.56	1.14	3.123	3.08	1.26	2.444
4	5.12	1.34	3.821	4.58	1.18	3.881	4.00	1.24	3.226	3.46	1.22	2.836
6	5.62	1.54	3.649	5.08	1.46	3.479	5.40	1.34	4.030	4.66	1.40	3.329
8	6.44	1.80	3.578	5.46	1.62	3.370	5.64	1.44	3.917	5.14	1.54	3.338
10	6.68	2.00	3.340	6.84	1.92	3.563	6.46	1.62	3.988	6.34	1.58	4.013
12	7.64	2.22	3.441	7.12	2.08	3.423	7.24	1.76	4.114	6.82	1.74	3.920
14	8.24	2.38	3.462	7.72	2.24	3.446	7.66	1.94	3.948	7.06	1.76	4.011
16	8.48	2.44	3.475	7.88	2.36	3.339	7.96	1.98	4.020	7.38	1.94	3.804
18	8.88	2.70	3.289	8.16	2.60	3.138	8.18	2.22	3.685	7.86	2.20	3.573
20	9.54	2.82	3.383	8.46	2.72	3.110	8.64	2.62	3.298	8.16	2.70	3.022
22	10.34	3.06	3.379	8.46	2.86	2.958	8.76	2.78	3.151	8.20	2.96	2.770
24	9.86	3.34	2.952	8.64	3.20	2.700	8.70	3.02	2.881	8.08	3.12	2.590
26	9.66	3.60	2.683	8.38	3.50	2.394	8.48	3.36	2.524	7.76	3.34	2.323
28	9.48	3.76	2.521	8.30	3.66	2.268	8.18	3.58	2.285	7.54	3.58	2.106
30	9.10	3.92	2.321	8.12	3.84	2.115	7.76	3.78	2.053	7.38	3.66	2.016

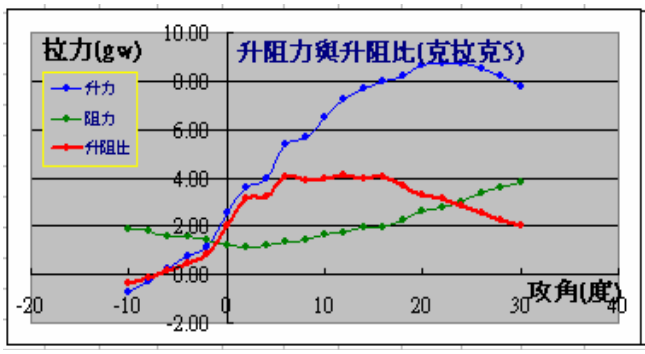
(三) 分析比較



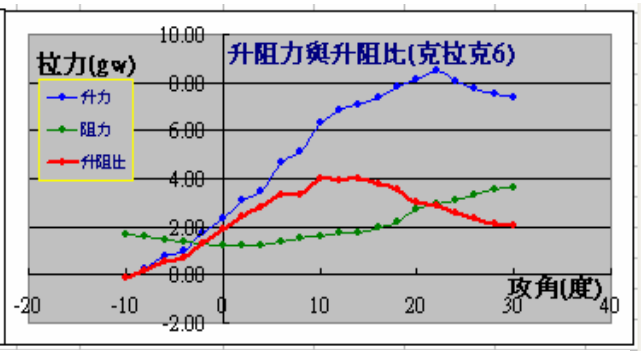
失速攻角：24 度
最大升阻比：5.191
最大升力：11.74gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：4.987
最大升力：9.24gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：4.114
最大升力：8.76gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：4.011
最大升力：8.20gw

(四) 升阻比及失速攻角分析

編號	F513	F613	克拉克 5	克拉克 6
失速攻角(度)	24	24	22	22
升阻比	5.191	4.987	4.114	4.011
升力(gw)	11.74	9.24	8.76	8.20
升力係數 × (XY)	58.70	55.44	43.80	49.20

【討論】1. 弧形機翼和傳統的克拉克翼比較，升阻比、失速攻角、升力及升力係數方面我們得知，自行改良的 F513 弧形機翼仍優於克拉克翼，尤其是升力及升力係數提升更多，顯示改良的 F513 弧形機翼具有更佳穩定性。

2. F513 及 F613 是屬於薄型的機翼，質量比克拉克翼(厚翼)更輕，更適合於通常質量只有 100~300gw 的偵察機的機翼。

研究七、弧形翼的高展弦比與偵察機低展弦比對升阻比及失速攻角的影響？

【目的】比較偵察機和改良機翼的優缺

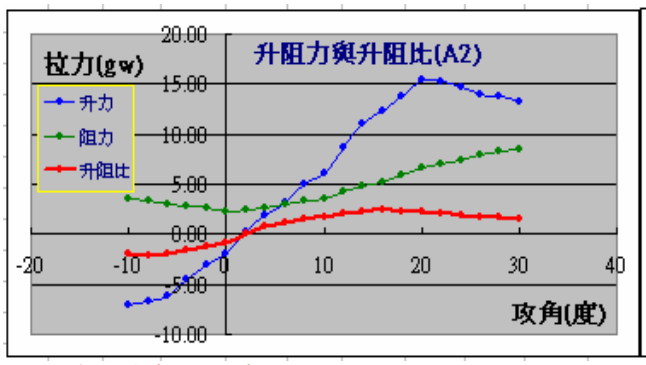
【步驟】1. 整理之前的數據將偵察機以及改良的機翼做比較

【結果】

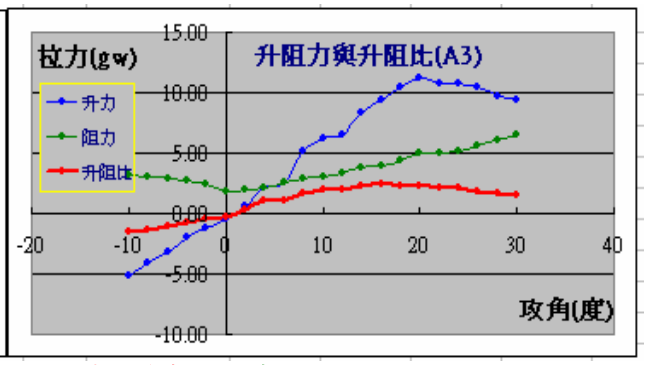
(一) 機翼型號：A2、A3、F513、F613

(二) 升、阻力＆升阻比(見前面數據)

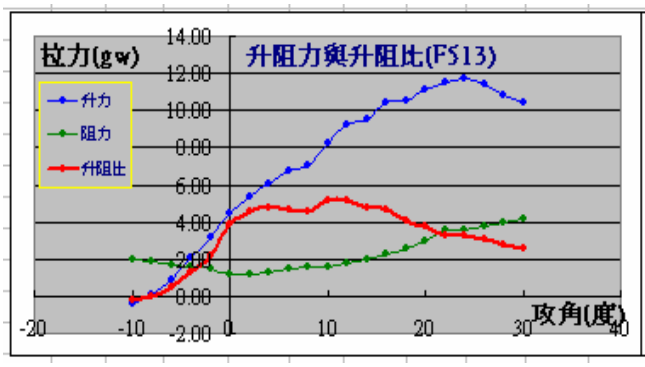
(三) 分析比較



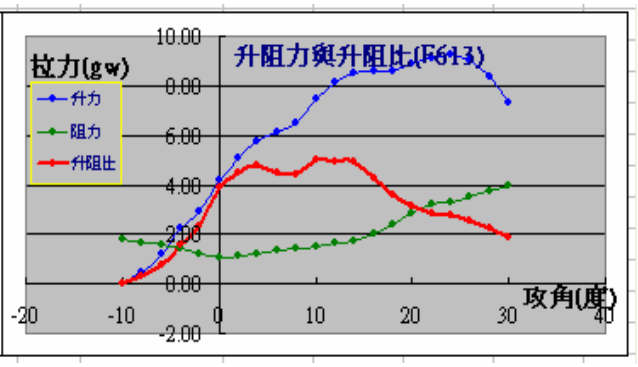
失速攻角：20 度
最大升阻比：2.354
最大升力：15.38gw



失速攻角：20 度
最大升阻比：2.389
最大升力：10.76gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：5.191
最大升力：11.74gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：4.987
最大升力：9.24gw

(四) 升阻比及失速攻角分析

編號	A2（原偵察機機翼）	A3（原偵察機機翼）	F513（改良後弧形機翼）	F613（改良後弧形機翼）
失速攻角(度)	20	20	24	24
升阻比	2.354	2.389	5.191	4.987
升力(gw)	15.38	10.76	11.74	9.24
升力係數 × (XY)	30.76	32.28	58.70	55.44

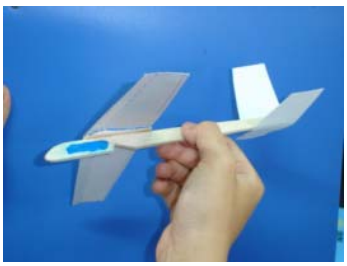
【討論】1. 改良後的機翼不僅在失速攻角比 A2、A3 組提升，在升阻比方面也是其兩倍多，而 F513 機翼的升力更是超越了 A3，在升力係數方面更是遠大於 A2 及 A3。

2.由上述結果得知，F513 機翼展弦比 5、翼弧高度在前及最大翼弧寬高比爲 1/15 時改變其漸縮比爲 0.5，升力又再次逼近原偵察機，失速攻角也比原偵察機大，尤其是升阻比及升力係數均增加爲原偵察機的 2 倍，顯示此一改良機翼其飛行及穩定性均能優於原偵察機。

研究八、製作手擲紙飛機實測與上述結果比較？

【目的】測試手擲機的滯空時間

【步驟】

		
1. 利用厚紙板、木片，以及之前的機翼格式，並裝上裝上尾翼，做成手擲機	2. 製作一個簡易的彈射器	3. 將飛機以 0、30、60、90 度彈射，用碼表測試其滯空時間

【結果】

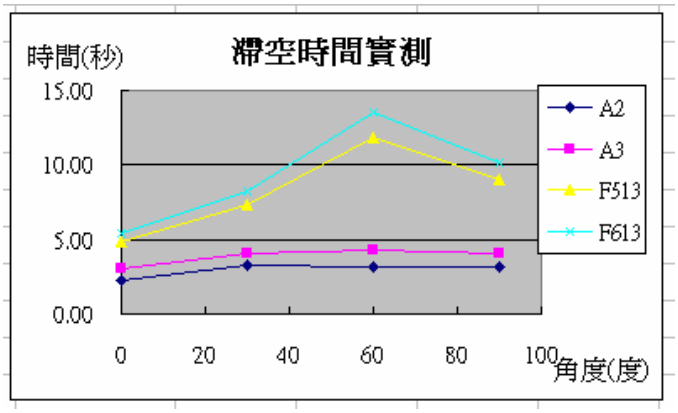
(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	最大翼寬：a(cm)	最大弧高：b(cm)	尾翼有無
A2	2	242.00	22.00	11.00	0.00	無
A3	3	161.33	22.00	7.33	0.00	無
F513	5	96.80	22.00	5.87	0.39	有
F613	6	80.67	22.00	4.58	0.31	有

(二) 滯空時間

編號 / 攻角(度)	A2	A3	F513	F613
	時間(秒)	時間(秒)	時間(秒)	時間(秒)
0	2.24	3.05	4.80	5.39
30	3.30	4.04	7.34	8.29
60	3.20	4.31	11.80	13.51
90	3.19	4.04	9.05	10.12

(三) 作圖分析



【討論】

1. 利用自製手擲機到戶外實測，可以由滯空的時間明顯的看出高展弦比的機翼效能比低展弦比機翼更好
2. 從飛行的狀況來看，高展弦比的飛機飛行比較穩定，但低展弦比的飛機卻會搖擺不定，或是產生向上翻轉而失速的情況，這是因爲沒有尾翼所造成的結果

柒、結論

1. 從自製簡易小型風速計中，我們利用電磁感應原理，使用便宜易得的電腦風扇測得電流，以標準檢量線 V = 0.3222 I + 1.8993 換算，仍可測得穩定的風速。
2. 在簡易風洞的製作中，用水電用 PVC 塑膠水管、粗細吸管組合成整流段，並從吹入式氣流改爲吸入式氣流及增加彎曲整流段，使測試區獲得一更穩定的氣流。
3. 在測試區方面，我們利用掌上型電子秤，配合槓桿原理，和滑輪裝置，可以簡易的測出升阻力，而攻角的改變，則是利用一年級數學課用的折疊尺，也可以簡易的改變飛機的攻角。
4. 現在的微型偵察機，質量只有 100~300gw，爲了減輕重量均採用薄翼取代傳統克拉克翼，且在寬只有 22cm 翼展加大其翼展面積成爲低展弦比的機翼，確實可以獲得很大升力（14~15gw），但也相對降低升力係數（30~32）及升阻比（2~2.5），因此會有穩定性不佳，以及飛行效果差的缺點產生。
5. 我們利用自製的高展弦比機翼，在一開始的時候，因爲面積比低展弦比機翼小，所以最大升力 7.26gw 遠遠不如低展弦比的機翼，且最大升力係數 36 及升阻比 2.5 均無法適度提昇，所以這乃是薄翼微型偵察機使用大面積低展弦比但操控性不佳的原因。
6. 實驗中我們發現，不同形狀機翼會對升力造成不一樣的影響，因此測試出升力最大的梯形翼，大約是在漸縮比等於 0.5 的時候，最大升力已提昇爲 8.20gw，最大升力係數 41 及升阻比 2.7 已提昇不少，且失速攻角也增加爲 24 度。
7. 後來我們又發現，如果把機翼彎曲後似乎會比改變形狀產生更大的升力，因此我們將平板翼改爲弧形翼及改變翼弧線最高點的位置，由結果得知最高點在 1/4 的弧形機翼最大升力再提昇爲 8.70gw，最大升力係數 43.9 及升阻比 3.2.也再向上提昇。
8. 接著我們又改變翼弧線最高點的高度和翼弦線寬的比例也會影響升力，由我們測試的範圍裡，最好的高/寬比例爲 1/15，由結果得知，最大升力大幅提昇爲 10.34gw，能逼近大面積機翼，最大升力係數 51.7 及升阻比 3.9.也均大幅向上提昇，使高展弦比飛行性能更超越低展弦比機翼。
9. 當我們結合最佳漸縮比和最佳的弧形及最佳弧翼高時，最大升力大幅提昇爲 11.74 gw，已非常接近大面積機翼升力，而最大升力係數 58.7 及升阻比 5.19.也使我們製作的薄翼高展弦比機翼效能更高高的凌駕原本的低展弦比機翼。
10. 綜合以上的結論，我們的研究不但可以改變原本設計爲大面積低展弦比機翼升力係數不好及升阻比太低的缺點，而且因爲我們的是高展弦比機翼，慣性力矩較低展弦比機翼大，而且有足夠的空間裝尾翼，可改進低展弦比機翼操控性及穩定性不佳的缺點。
11. 在同樣的空間裡，可以產生相類似的升力，此一改良後的偵察機，相對於低展弦比機翼高展弦比機翼更善於僞裝如老鷹之類，飛行時更能像鷹一般展翅上騰時，獲得更大的升力，如此一來，不僅可以使軍事偵察更加隱蔽，而且更可以用於警方攻堅時對於人質情報的收集、山區搜救，或是自然景觀的調查能有更大收穫。

捌、未來展望

在民間的輕航機或滑翔機大部分也都是採用薄型的機翼，若配合飛行的理論將我們的研究應用於輕航機機翼或滑翔機機翼的製作，一定可以製造出更好更安全的飛機。

玖、附錄

一、參考資料

1. 南一書局主編(民 93)。自然與生活科技第五冊。航空運輸(163-169 頁)。台北：南一書局。
2. 康軒文教事業(民 93)。自然與生活科技第六冊。動力與運輸(151-153 頁。)台北：康軒文教事業。
3. 蕭志強譯(民 93)。萊特兄弟與飛行。世茂出版集團。
4. 王政友譯(民 93)。圖解飛機的構造與原理。世茂出版集團。
5. 林洋慈譯(民 86)。紙飛機 DIY。台北：國家出版社
6. 林啓佑(民 93)。低雷諾數低展弦比機翼氣動力特性之研究。國立成功大學航太工程研究所碩士論文
7. 張嘉原(民 93)。有限翼展在低雷諾數下之氣動力研究。國立成功大學航太工程研究所碩士論文

.

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會

評　　語

國中組 理化科

第二名

031602

如鷹展翅上騰－重新得“力”

高雄市立陽明國民中學

評語：

1. 實設計新穎有創意，風洞設計，風速量測及穩流設計極具巧思。
2. 數據整理詳細，團隊合作及默契佳。
3. 臨場表現優異，使用數位攝影機及電腦的能力很強，值得鼓勵。
4. 實驗得到的機翼形狀變化與升阻比…等最佳數值沒有和相對參考的實驗或設計去比較。
5. 請更正研究一，(一)數據分析中的數據。