中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　理化科

第三名
最佳創意獎

031610

翹首振翼－再次得力

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國二 尹浚翰 國二 李季勳 國二 黃振宇 國二 黃致豪	柯瑞龍 陳宗慶

關鍵詞： 拍撲翼、升阻比、雙翼

摘要

傳統的薄翼迷你偵察機爲了兼顧質量輕及升力大，因此薄型機翼都使用低展弦比機翼，但此偵察機因旋轉力矩小，飛行時不穩定。第一代的風洞，我們改良出了小面積、高展弦比且升力大的機翼，雖升阻比逼近但升力仍無法超越原先偵察機，因此進行第二代改良。

第二代採改良式的風洞，獲得更穩定氣流，改良式測試架，可測出拍動式單組及雙組機翼。骨架及形狀對於升、阻力有很大影響，漸縮比 0.5 的機翼有較好的升、阻力。由測試中發現上反角變大，雖升力下降，但阻力也大幅減小。然後加入振動機翼，並使用兩副機翼，結果升力大幅提昇，且遠遠超越第一代機翼，若改良成雙翅振動的偵察機，將擁有更卓越的機密性，對於軍事的搜索或人質的救援，必定有更佳的效果。

壹、 研究動機

過去所研究的第一代機翼，利用了形狀及弧度的搭配，製作出了弧形機翼，成功地逼近了傳統的偵察機機翼的升力，可惜升力效果仍比不上傳統偵察機。爲了能真正超越傳統的偵察機，因此我們進行了第二代的研究，不僅要改良實驗方法，更要研究出超越第一代的機翼，所以就開始了我們的研究。

貳、 研究目的

一、改良改良第一代小型風速計使其更靈敏。
二、改良第一代風洞使其氣流更加穩定。
三、改良第一代鋁片式機翼。
四、提高骨架式機翼高展弦比的升阻比及失速攻角。
五、將最好的形狀的機翼及弧度融合以增加升阻比及失速攻角。
六、測試雙片機翼升、阻力及失速攻角的影響。
七、測試機翼拍動對其升、阻力及失速攻角的影響。
八、測試不同型號的機翼拍動對其升、阻力及失速攻角的影響。
九、測試雙翼拍動對其升、阻力及失速攻角的影響。
十、測試改良的機翼改成振翅機的效果。

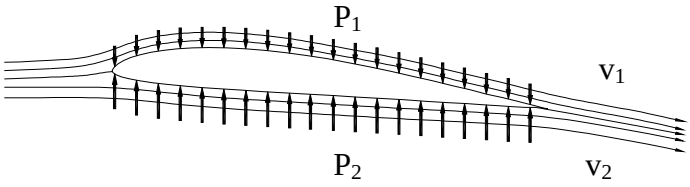
參、 研究設備及器材

一、自製簡易風洞一套：(一) 自製風速計：1 個　(二) 自製測試架：1 個
(三) 工業用風扇：1 架　(四) 電源供應器：2 架
(五) 可變電阻器：1 個　(六) Vernier 數據機：1 架(LabPro.)
(七) Vernier 力度計：2 架(Dual-Range Force Sensor　型號：NZDFSO1)
(八) 筆記型電腦：1 台(分析數據)
二、測試用機翼：(一) 長方形機翼 × 6　(二) 梯形機翼 × 20　(三) 三角形機翼 × 2

肆、 研究原理及相關名詞

一、升力原理：

伯努利定律：$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g y_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g y_2$



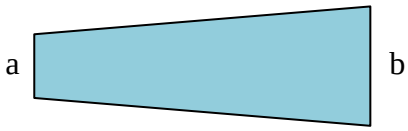
P_1：上方氣壓；P_2：下方氣壓；v_1：上方氣流速度；v_2：下方氣流速度；ρ：氣體密度

二、相關名詞：

(一) **拍撲翼**：翅膀能像鳥類一樣上下拍動的機翼稱之

(二) **展弦比**：翼展(S)與平均弦長(L)之比，因爲平均弦長難求，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) **上反角**：機翼之平面和水平面的夾角稱爲上反角，如圖

(六) **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）

【註】：升力係數在此用簡易的比較方式

$\because C_L=\frac{2L}{\rho v^2 S}$ $\therefore$ 令 $\frac{\rho v^2}{2}=X$ 爲一定值由以上轉換可以得到簡易的比較方式：

$C_L=\frac{升力}{XS}$ 在面積方面：以展弦比 1 的面積爲基準

令 S = 20 cm × 20cm = Y

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

(七) **攻角**：主翼的翼弦線和氣流流動方向所夾的角度

(八) **失速攻角**：升力由上升轉至下降的角度(升力最大的角度)

伍、研究過程、結果及討論

研究一、如何改良第一代小型風速計使其更靈敏？

【目的】改良第一代的小型風速計，以取代學校大型的風向風速計來測量風洞中的風速。

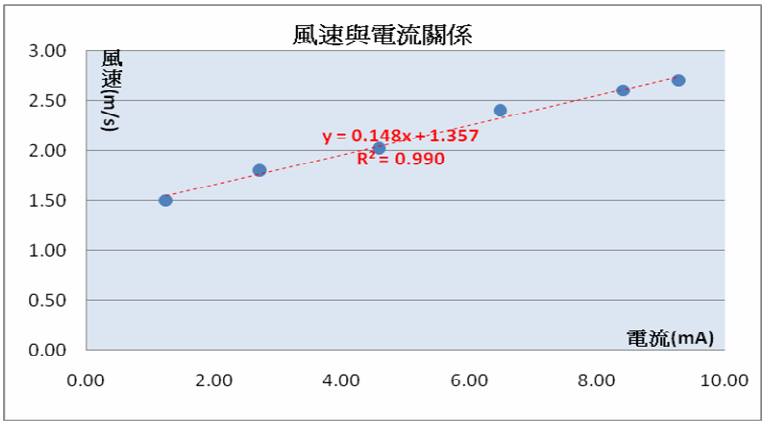
【步驟】使用 AC 磁浮式風扇代替傳統風扇

1. 製作一可變電阻開關,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 第二代改良的風速計

【結果】(一) 數據分析

風扇刻度	1	2	3	4	5	6
風程(m)	100	100	100	100	100	100
時間(sec)	66.67	55.56	49.62	41.67	38.46	37.04
風速(m/s)	1.50	1.80	2.02	2.40	2.60	2.70
電流(mA)	1.25	2.72	4.59	6.68	8.41	9.28

(二) 作圖



風速量表

風速(m/s)	電流(mA)
1.6	1.64
1.8	2.99
2	4.34
2.2	5.70
2.4	7.05
2.6	8.40
2.8	9.75

求得換算公式：V = 0.148 I + 1.357　　V：風速(m/s) ； I：電流(mA)

【討論】1.第一代自製的風速計，使用了電腦風扇，利用其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. 第二代自製風速計採用了更靈敏的磁浮式風扇，使其測量的最小值由原本的2.0m/s 降低至了 1.5m/s，大大地降低風速的測量最小值，也提升了測量的準確性。

研究二、如何改良第一代風洞使其氣流更加穩定？

探討 1、風洞之原理

【目的】瞭解風洞的原理

【步驟】利用塑膠瓦楞板製作，分為動力段、整流段、收縮段、測試段

【結果】1. 動力段：用工業電扇採吸入式的動力

2. 整流段：使用 PVC 塑膠水管組合，最後形成成六角形結構，在外層裝上塑膠瓦

楞板，裡面塞粗、細兩層吸管，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：測試段使用透明的壓克力以方便觀察

【討論】1. 第一代的風洞，在後半有彎曲段的設計，可能有氣流平穩與不平穩的顧慮，因此還需要作進一步的改良

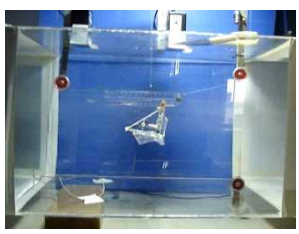
2. 第一代風洞的測試段是利用電子秤來擷取數據，但是無法觀察細微的數據變化，對於飛行穩定與否，缺乏完整的參考圖形

探討 2、第一代風洞氣流測試圖

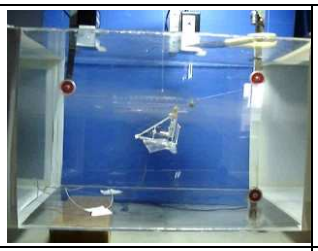
【目的】測試第一代風洞的氣流

【步驟】將二氧化錳加雙氧水放在入風口前，觀察氣流在測試段流動的情形

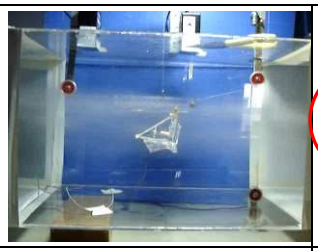
【結果】第一代的風洞，其氣流連續四次拍攝結果，如下圖所示



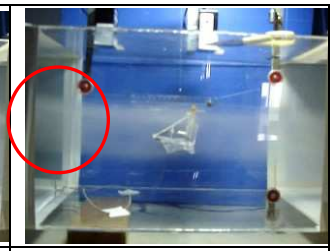
風扇啓動



漸強



漸強



最強

【討論】1. 利用二氧化錳加雙氧水可以在瞬間產生強大的煙霧進行測試，又不會污染空氣

2. 第一代風洞的前半部風洞之氣流十分穩定，但由照片可知，後半段的氣流因爲彎曲段設計之問題，紅色圈圈處氣流上揚，產生了一些奇怪的亂流，影響實驗結果

3. 爲了改善這樣的缺點，因此改良出了第二代的風洞

探討 3、第二代風洞測試段之改良

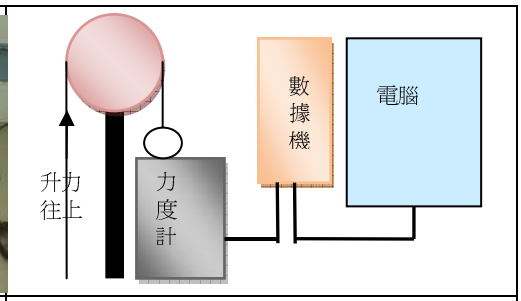
【目的】改良第一代風洞測試段之缺點

【步驟】1. 將第一代風洞之升阻力裝置改成力度計，並接上數據機及電腦分析，如下圖

力度計

數據機

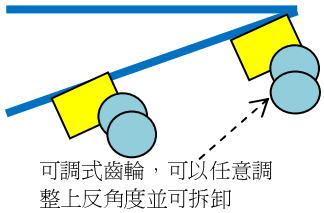
接上電腦分析



圖解

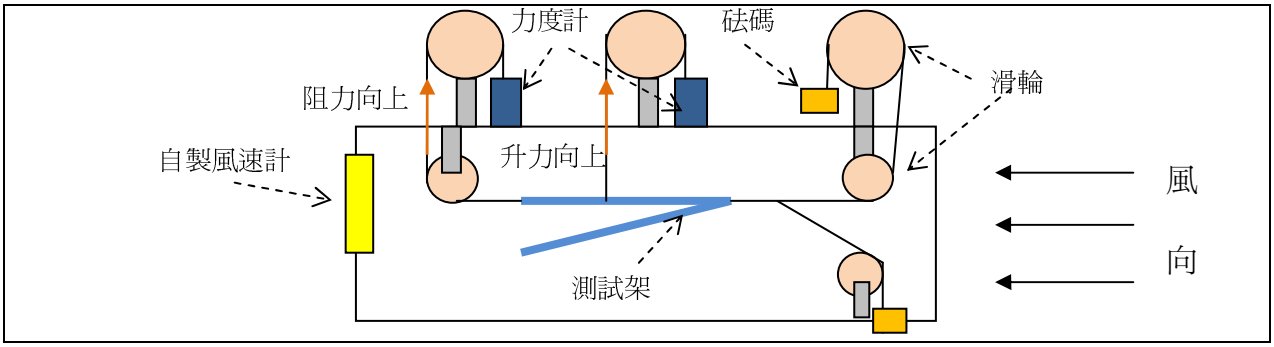
2. 將第一代的機翼測試架改良，使其可以任意改變機翼上揚之角度及攻角

實物



圖解

測試段圖解



【討論】1. 經過改良後的升、阻力裝置除了可以更精確的測試出數據，更可以將升、阻力變化之過程圖形化，大大地提升了測試的精確度及參考價值

2. 透過可調式齒輪架，可以任意改變上反角，增加更多的數據參考值

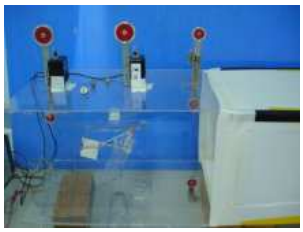
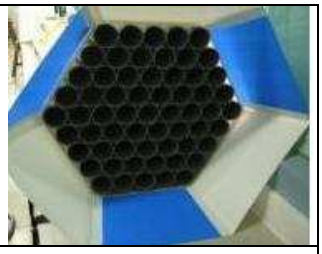
探討 4、第二代風洞的測試

【目的】測試第二代風洞

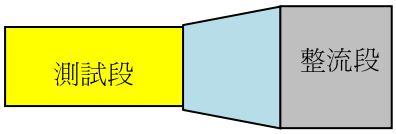
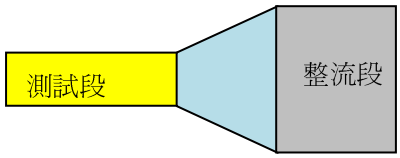
【步驟】1. 將動力段的風扇改至測試段後(如下頁圖)，並在測試段和動力段間加一收縮段

第一代的彎曲段	第二代的延長段

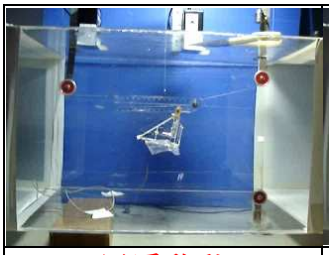
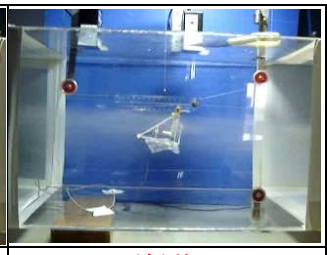
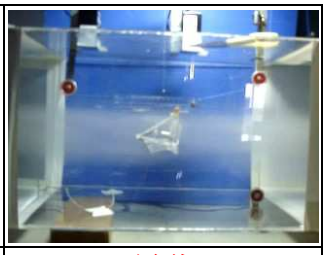
2. 將二氧化錳加雙氧水放在入風口前，觀察氣流在測試段流動的情形

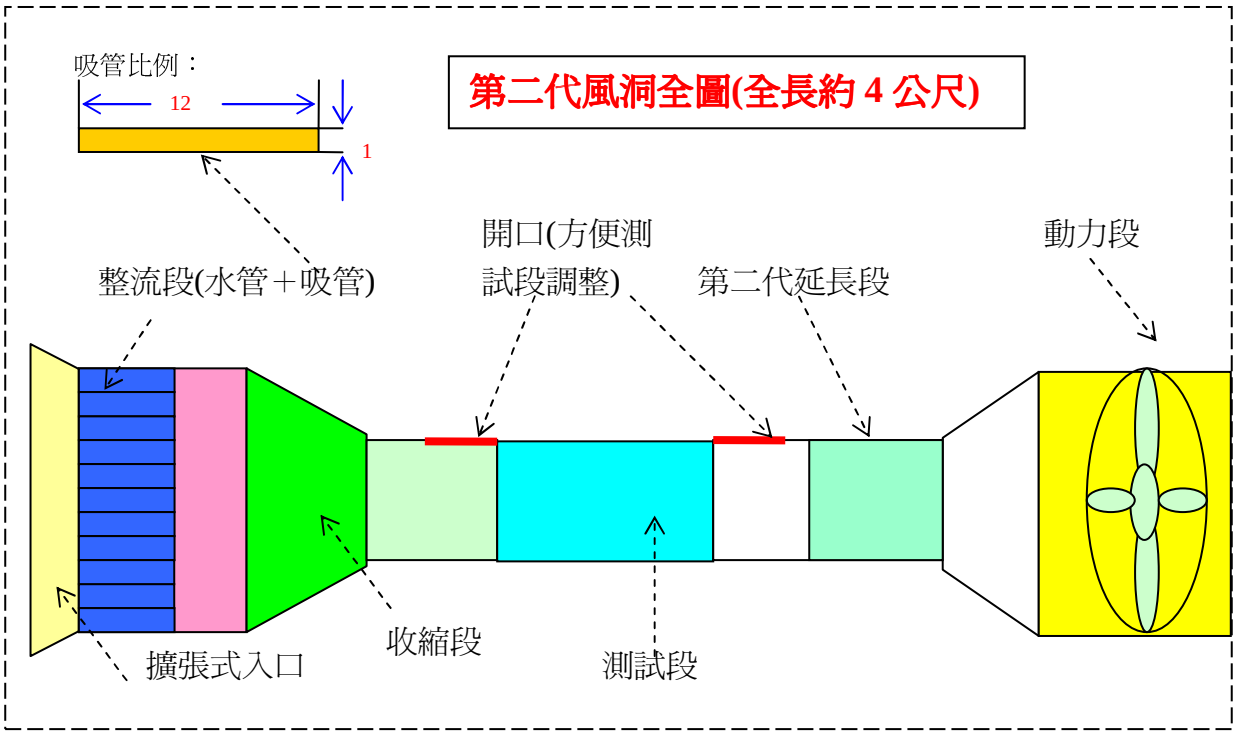
			
動力段	測試段	收縮段	整流段

3. 擴大的的整流段(改變測試段與整流段的截面積比例)

過去的比例（1：2）	現在的比例（1：3）
	

【結果】第二代的風洞，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. 第二代的風洞果然有很明顯的改善，不僅前半段的氣流更平穩，流後半段的氣流也不受影響，大大地提升了實驗結果的準確性

2. 第二代的風洞改變了整流段與測試段的比例，不僅提高了風速，也改善了氣流的穩定度

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、…38、40 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	12	14
升力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
阻力	0.59	0.85	0.55	0.67	0.72	0.50	0.95	0.54	0.44	0.20	0.31	0.48	1.04
角度	**16**	**18**	**20**	**22**	**24**	**26**	**28**	**30**	**32**	**34**	**36**	**38**	**40**
升力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
阻力	1.05	0.55	0.67	0.81	0.83	0.69	0.76	0.64	0.48	0.73	0.76	0.31	0.51

【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

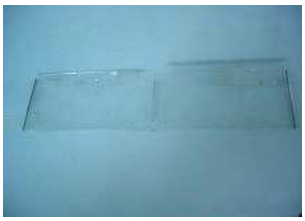
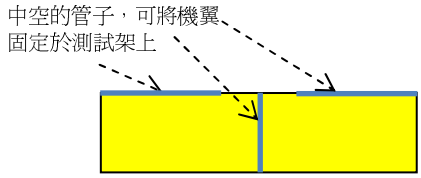
研究三、如何改良第一代鋁片式機翼

探討 1、第二代機翼的製作

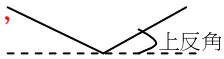
【目的】改良第一代鋁片式機翼

【步驟】1. 利用塑膠資料袋作爲機翼，並在前端加上中空塑膠管，以便於機翼之架設

【結果】機翼完成圖

	
實物	圖解

【討論】1. 第二代機翼使用了比第一代鋁片式更薄、更輕的材質，而且可塑性高，可輕鬆改變成想要的形狀及彎曲度



2. 第二代之機翼除了有第一代的優點，更可以任意改變其上反角，使整個機翼的操控更加靈活
3. 第二代的機翼過於柔軟，容易因爲氣流的影響而變形，所以必須增加骨架，使其形狀固定，以免出現不必要的誤差

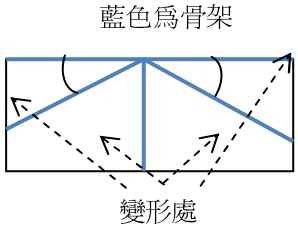
探討 2、骨架式機翼之測試

【目的】改良第二代機翼

【步驟】1. 將第二代的機翼加入不同的骨架，並放入風洞測試
2. 比較不同骨架在攻角 20 度時，升、阻力及機翼形狀的變化

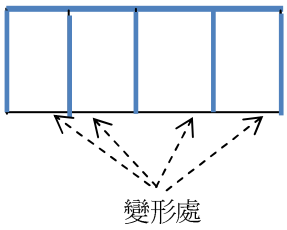
【結果】骨架的測試如下圖

(一) 斜骨架(如右圖)測試結果



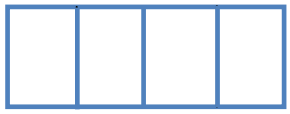
機翼	原來	斜骨架
升力(gw)	2.72	3.08
阻力(gw)	1.67	1.75
外型改變	無骨架處嚴重變形	無骨架處有些微變形

(二) 直骨架測試結果



機翼	原來	直骨架
升力(gw)	2.72	3.89
阻力(gw)	1.67	1.82
外型改變	無骨架處嚴重變形	無骨架處有些微變形

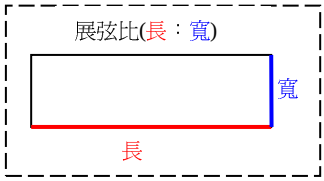
(三) 全骨架測試結果



機翼	原來	全骨架
升力(gw)	2.72	4.05
阻力(gw)	1.67	1.89
外型改變	無骨架處嚴重變形	幾乎沒有變形

【討論】1. 斜骨架及直骨架的升力均有提升的情形，變形的情況也有改善，但仍有些微變形
2. 全骨架機翼不僅升力提升，而且機翼也沒有變形的問題

研究四、展弦比對骨架式機翼的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）與傳統式偵察機低展弦比的優缺

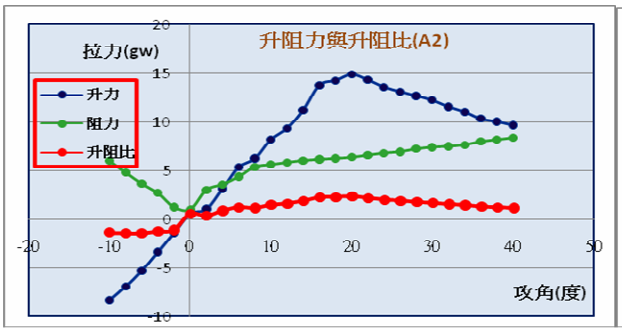
【步驟】1. 利用利用塑膠資料袋，參考傳統式偵察機大小，固定翼展，做成矩形平板翼，取高低展弦比各兩種比較
2. 分別改變其攻角爲-10、-8、-6、…38、40 度，記錄其不同攻角的升、阻力

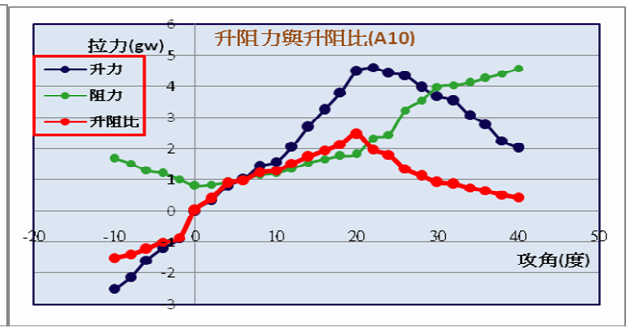
【結果】(一) 機翼格式

編號	A2（傳統式偵察機）	A10
展弦比（翼展/翼寬）	2	5
翼展(cm)	20.00	20.00
翼寬(cm)	10.00	4.00
面積(cm^2)	200.00	80.00

A2	**A10**

(二) 作圖分析





失速攻角：20 度
最大升阻比：2.34
最大升力：14.87gw

失速攻角：22 度
最大升阻比：2.46
最大升力：4.61gw

(三) 最佳升阻比及失速攻角之分析(最好者用紅色標記)

編號	A2(傳統偵察機)	A10
失速攻角(度)	20	**22**
升阻比	2.34	**2.46**
升力(gw)	**14.87**	4.61
升力係數 × (XY)	29.74	23.05

【討論】1. 由以上的結果可知，A2 的機翼在失速攻角或升阻比方面比不上 A10，但在升力方面低展弦比卻遠遠超越 A10。

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 A10 的機翼因爲面積遠不及 A2，所以升力遠不如 A10

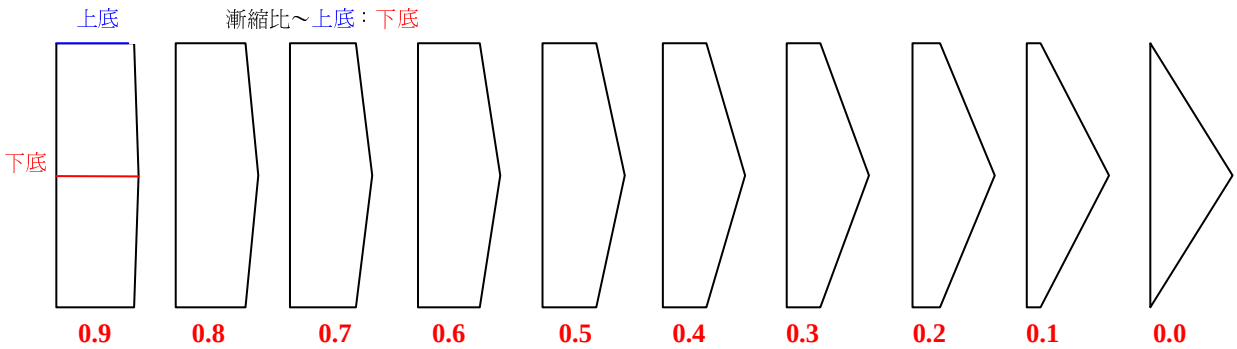
3. 但升力係數方面高展弦比 A10 也比不上 A2，如果能改良其升力，提升機翼的效率，再加上其操控優良的特性，必是一架飛行性能優異的偵察機。

研究四、如何提高骨架式機翼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. 利用塑膠資料袋做成不同的梯形翼，翼展爲 20cm，展弦比爲 5，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 10 組

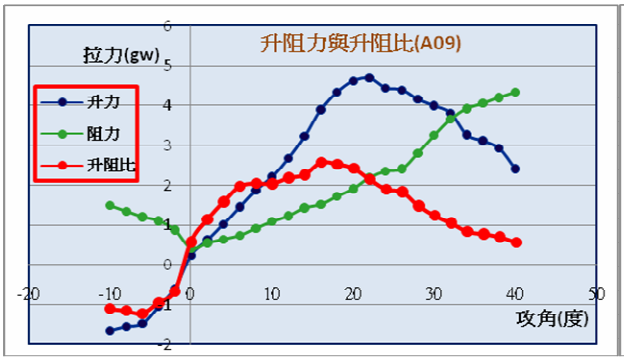


2. 分別改變其攻角爲-10、-8、…、38、40 度，記錄其不同攻角的升、阻力

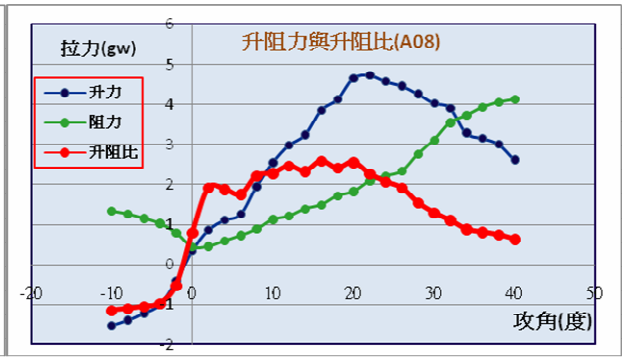
【結果】(一) 機翼格式

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
A09	5	80.00	20.00	3.79	4.21	0.9
A08	5	80.00	20.00	3.76	4.44	0.8
A07	5	80.00	20.00	3.29	4.71	0.7
A06	5	80.00	20.00	3.00	5.00	0.6
A05	5	80.00	20.00	2.67	5.33	0.5
A04	5	80.00	20.00	2.29	5.71	0.4
A03	5	80.00	20.00	1.85	6.15	0.3
A02	5	80.00	20.00	1.33	6.67	0.2
A01	5	80.00	20.00	0.73	7.27	0.1
A00	5	80.00	20.00	0.00	8.00	0

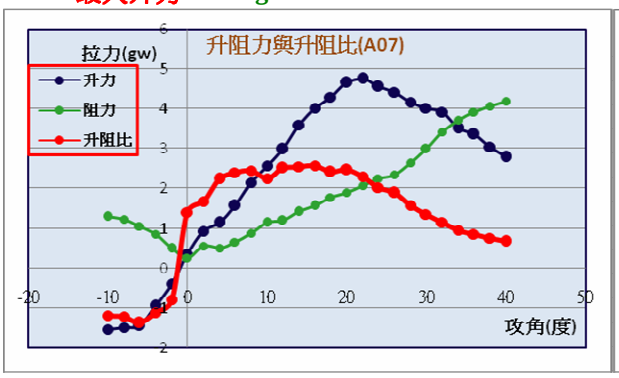
(二)作圖分析



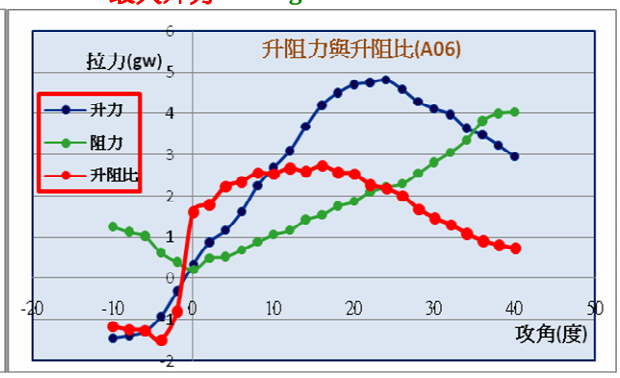
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.56
最最大升力：4.68gw



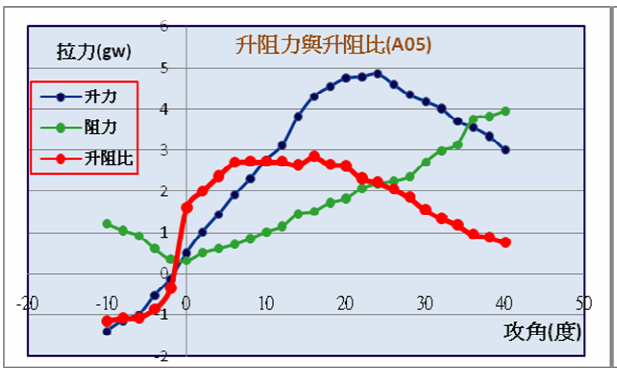
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.58
最大升力：4.72gw



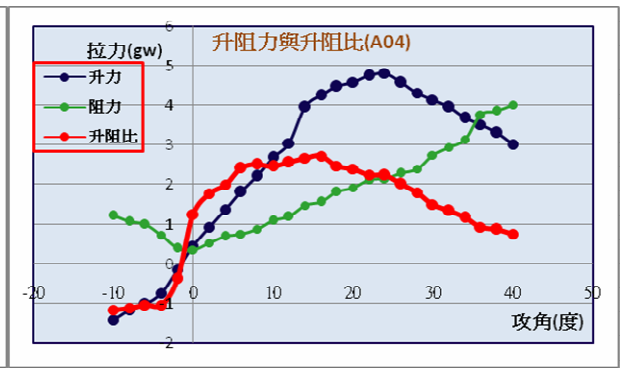
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.58
最大升力：4.75gw



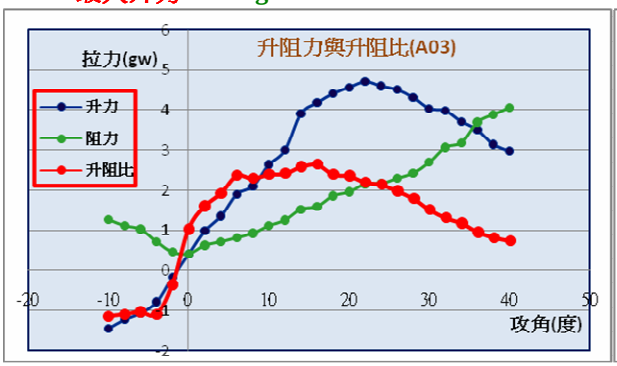
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.73
最大升力：4.82gw



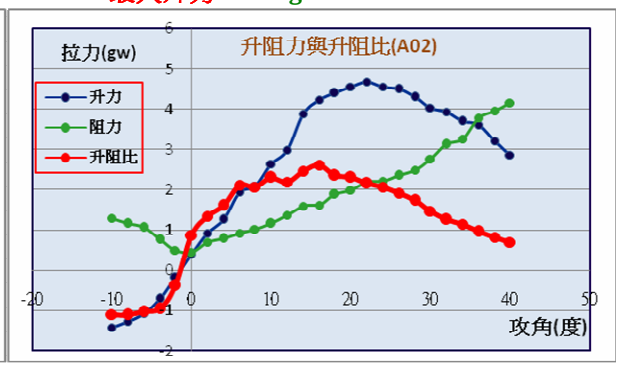
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.84
最大升力：4.85gw



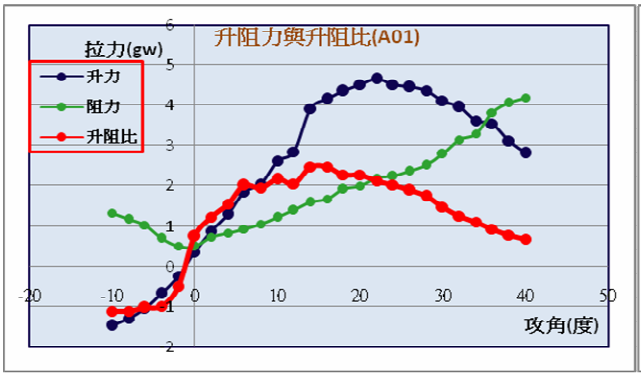
失速攻角：24 度
最大升阻比：2.72
最大升力：4.81gw



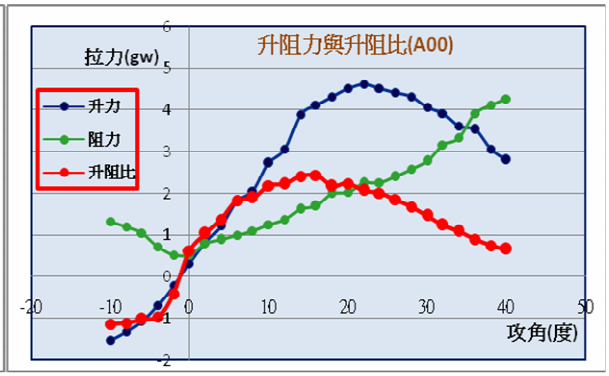
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.64
最大升力：4.72gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.60
最大升力：4.68gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.47
最大升力：4.65gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.41
最大升力：4.62gw

(二) 升阻比及失速攻角分析

編號	A10	A09	A08	A07	A06	A05	A04	A03	A02	A01	A00
失速攻角(度)	22	22	22	22	24	24	24	22	22	22	22
升阻比	2.46	2.56	2.58	2.58	2.73	2.84	2.72	2.64	2.60	2.47	2.41
升力(gw)	4.61	4.68	4.72	4.75	4.82	4.85	4.81	4.72	4.68	4.65	4.62
升力係數 × (XY)	23.05	23.4	23.6	23.75	24.1	24.25	24.05	23.6	23.4	23.25	23.1

【討論】 1. 原矩形 A10 的升力，將其形狀改爲漸縮比爲 0.5 時，升力由 4.61gw 提升到 4.85gw
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 A05 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，但改良後的梯形高展弦比機翼的升力（4.85）還是遠小於大面積的低展弦比機翼（14.87）。

探討 2、高展弦比機翼改變不同上反角會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試不同上反角的優缺

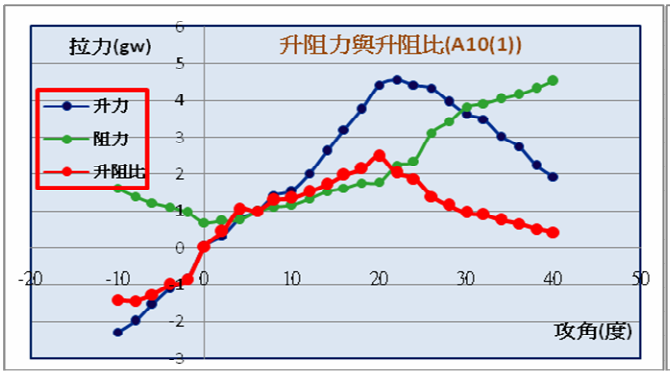
【步驟】1.利用塑膠資料袋做成機翼，使用 A10 這一組機翼，並改變其上反角爲 10、20、30、40、-10、-20、-30、-40 度

2. 分別改變其攻角爲-10、-8、…、38、40 度，記錄其不同攻角的升、阻力。

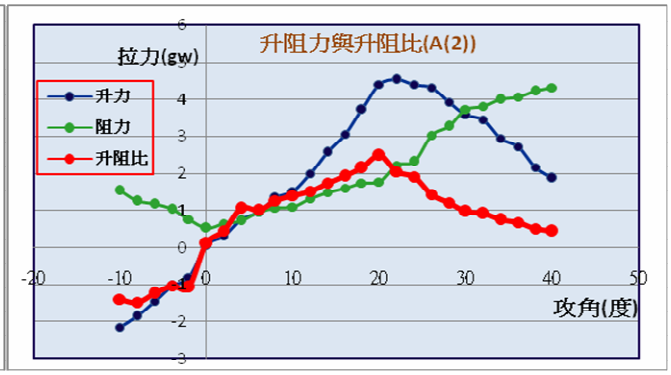
【結果】(一) 機翼格式

編號	展弦比	翼寬(cm)	翼展(cm)	面積(cm^2)	上反角(度)
A10(1)	5	4.00	20.00	80.00	10
A10(2)	5	4.00	20.00	80.00	20
A10(3)	5	4.00	20.00	80.00	30
A10(4)	5	4.00	20.00	80.00	40
A10	5	4.00	20.00	80.00	0
A10(-1)	5	4.00	20.00	80.00	-10
A10(-2)	5	4.00	20.00	80.00	-20
A10(-3)	5	4.00	20.00	80.00	-30
A10(-4)	5	4.00	20.00	80.00	-40

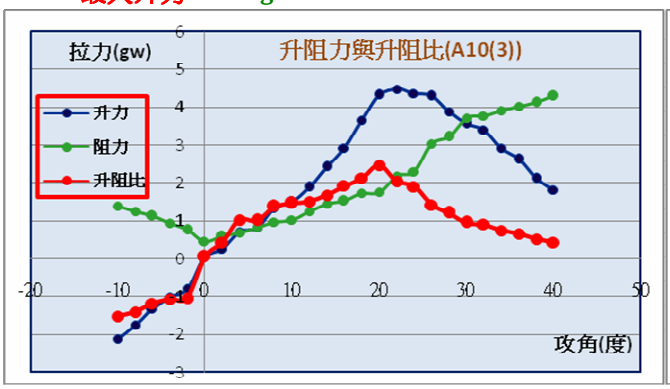
(二) 作圖分析



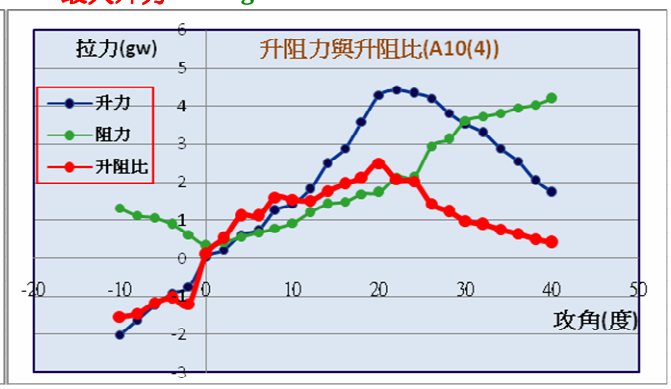
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.48
最大升力：4.55gw



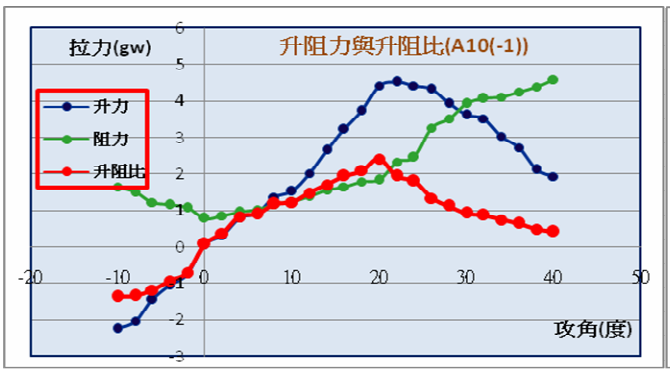
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.48
最大升力：4.52gw



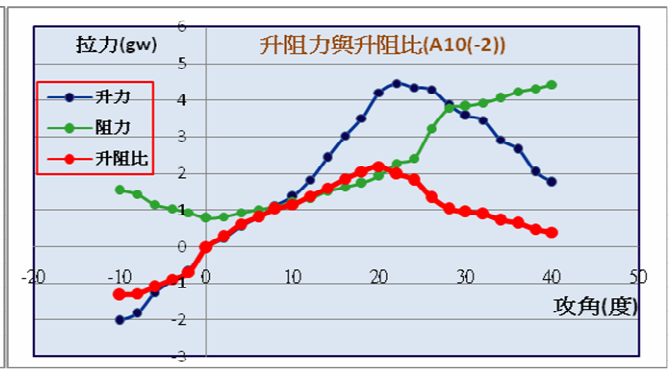
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.47
最大升力：4.48gw



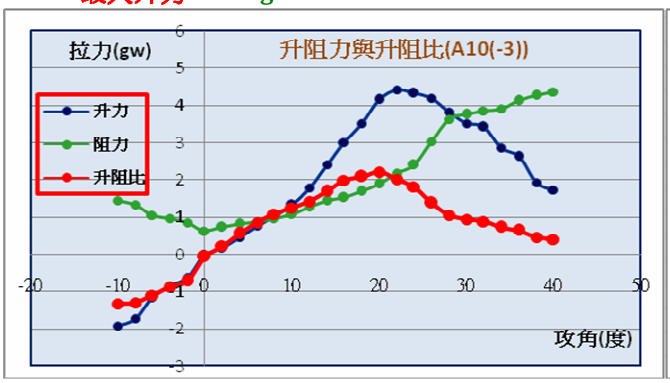
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.46
最大升力：4.42gw



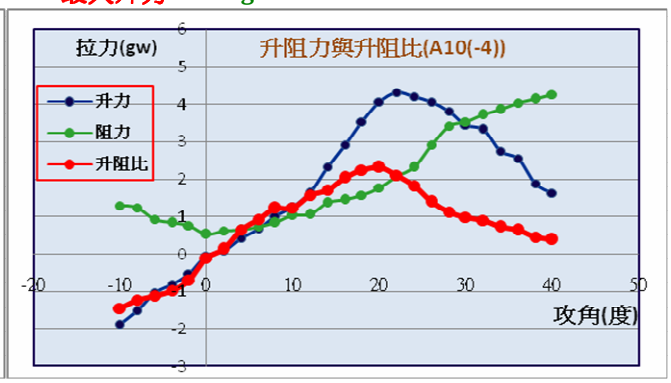
失速攻角：22 度
最大升阻比：2.42
最大升力：4.51gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.46
最大升力：4.61gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.21
最大升力：4.41gw



失速攻角：22 度
最大升阻比：2.31
最大升力：4.32gw

(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	A10(1)	A10(2)	A10(3)	A10(4)
失速攻角(度)	22	22	22	22
升阻比	2.48	2.48	2.47	2.46
升力(gw)	4.55	4.52	4.48	4.42
升力係數 × (XY)	22.75	22.6	22.4	22.1
編號	**A10(-1)**	**A10(-2)**	**A10(-3)**	**A10(-4)**
失速攻角(度)	22	22	22	22
升阻比	2.42	2.46	2.21	2.31
升力(gw)	4.51	4.61	4.41	4.32

【討論】1. 由上列的結果可以知道，上反角的大小會影響機翼的效能。
2. 由上列的結果分析，上反角的角度越大時，升力就變得越小，但是阻力也相對變小
3. 上反角對於升阻比也有些微的影響

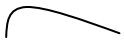
探討 3、高展弦比機翼加上弧度會增加升阻比及失速攻角嗎？

【目的】測試不同弧度位置的機翼

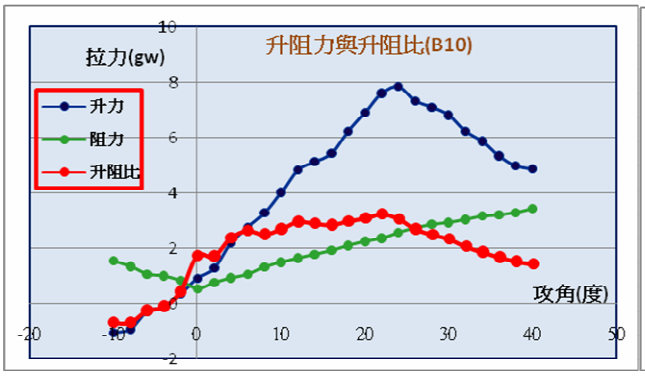
【步驟】1. 將 A10 的機翼貼上鋼條以改變弧度
2. 使其弧度的位置爲前、中、後
3. 分別改變其攻角爲-10、-8、…、38、40 度，記錄其不同攻角的升、阻力

【結果】

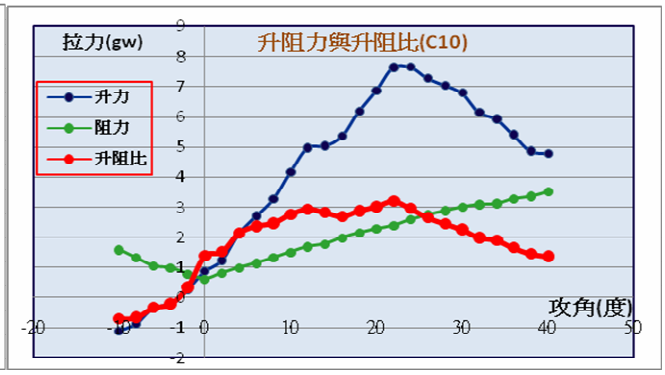
(一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(翼寬)(cm)	位置	圖示
B10	5	80.00	20.00	4.00	前	
C10	5	80.00	20.00	4.00	中	
D10	5	80.00	20.00	4.00	後	

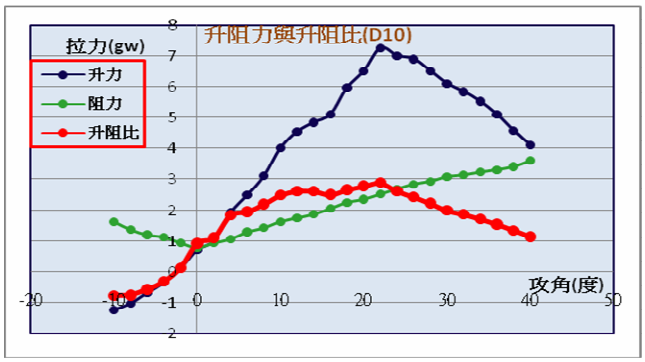
(二) 作圖分析



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.24
最大升力：7.85gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.19
最大升力：7.63gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：2.88
最大升力：7.02gw

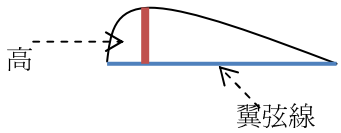
(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	A2	B10	C10	D10
失速攻角(度)	20	24	24	24
升阻比	2.34	3.24	3.19	2.88
升力(gw)	**14.87**	7.85	7.63	7.02
升力係數 × (XY)	29.74	39.25	38.15	35.1

【討論】1. 由上列的結果可以知道，弧形的機翼比平板的機翼效果好，且弧度的位置會影響機翼的效能。

2. 當我們把機翼改成弧形翼時，升力與升阻比果然達到了提升，而且弧度最高點在前面的的效果最好，升力由 4.85gw 提升至了 7.85gw，升力係數部分也大大地提升至 39.25，但是在升力的部分仍然比不上原偵察機的 14.87gw，因此需要再做進一步的改良

探討 4、高展弦比機翼形狀改變弧度會增加升阻比及失速攻角嗎？



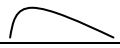
【目的】測試不同骨架的優缺

【步驟】1. 將 A10 的機翼貼上鋼條以改變弧度

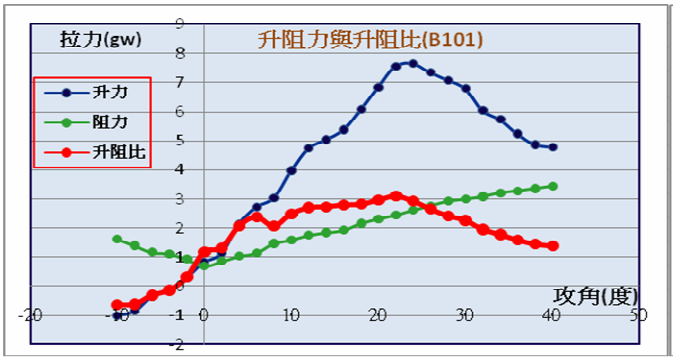
2. 使其弧度最高點之高和翼弦線的比值為$\frac{1}{2}$、$\frac{1}{3}$、$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{5}$

3. 分別改變其攻角為-10、-8、…、38、40 度，記錄其不同攻角的升、阻力

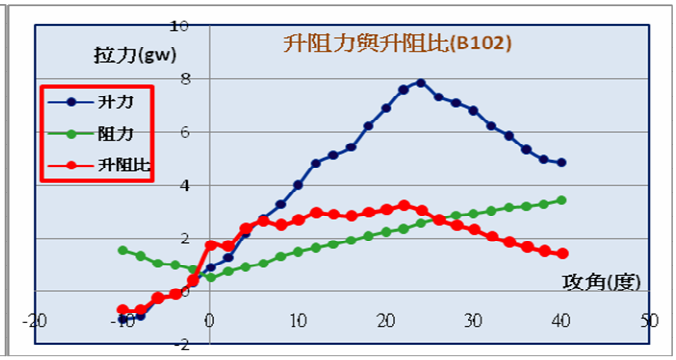
【結果】 (一) 機翼格式

編號	展弦比	面積(cm^2)	翼展(cm)	a(翼寬)(cm)	比值	圖示
B101	5	80.00	20.00	4.00	1/2	
B102	5	80.00	20.00	4.00	1/3	
B103	5	80.00	20.00	4.00	1/4	
B104	5	80.00	20.00	4.00	1/5	

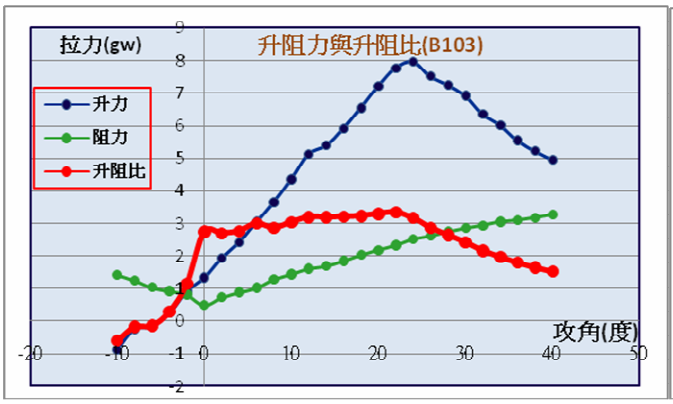
(二) 作圖分析



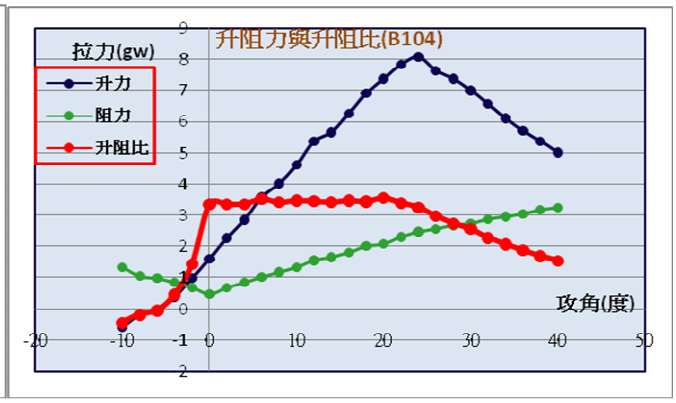
失速攻角：24 度
最大升阻比：3.09
最大升力：7.63gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.24
最大升力：7.85gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.33
最大升力：7.96gw



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.55
最大升力：8.09gw

(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	A2	B101	B102	B103	B104
失速攻角(度)	20	24	24	24	24
升阻比	2.34	3.09	3.24	3.33	3.55
升力(gw)	14.87	7.63	7.85	7.96	8.09
升力係數 × (XY)	29.74	38.15	39.25	39.8	40.45

【討論】 1. 從上列的數據可以比較出，弧度最高點之高和翼弦線的比值會影響升力的效果，

其中以比值$\frac{1}{5}$的效果最好

2. 當機翼的弧形比值改變時，升力與升阻比果然又再度地提升，而且升力由 7.85gw 又提升至了 8.09gw，升力係數部分也地提升至 40.45，但是在升力的部分仍然比不上原偵察機的 14.87gw，因此需要再做進一步的改良

研究五、將最好的形狀的機翼及弧度融合會增加升阻比及失速攻角嗎？

探討 1、機翼外縮的形狀與弧度的影響

【目的】測試不同形狀的機翼與骨架的組合

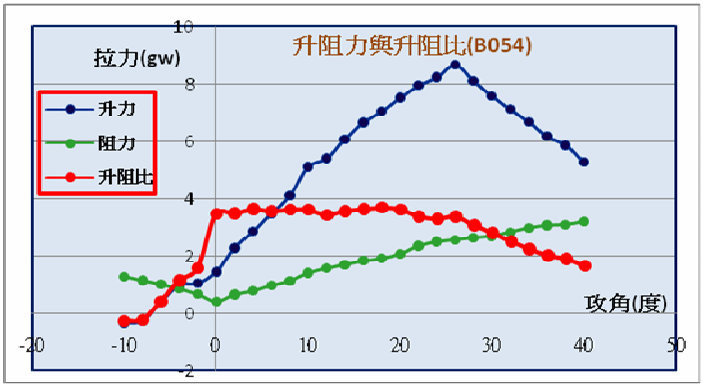
【步驟】1. 利用塑膠資料袋做出測試的機翼翼

2. 分別改變其攻角爲-10、-5、0、…、35、40 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)	漸縮比	比值	圖形
B054	5	80.00	20.00	0.5	1/5	

(二) 作圖分析



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.67
最大升力：8.67gw

(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	A2(傳統式)	B054
失速攻角(度)	20	**26**
升阻比	2.34	**3.67**
升力(gw)	**14.87**	8.67
升力係數 × (XY)	29.74	**43.35**

【討論】1. 將最好的形狀和弧度兩者合而爲一時，果然升力又得到大幅的提升

2. 當我們做了這樣的融合時，升力又由 8.09gw 提升至了 8.67gw，升力係數更大幅提昇提升至 43.35，但是在升力的部分仍然比不上傳統偵察機的 14.87gw

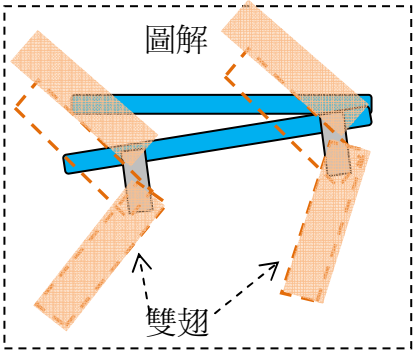
研究六、改成雙片機翼會影響其升、阻力及失速攻角嗎？

探討 1、最佳的機翼與不同形狀機翼的搭配？

【目的】測試雙片機翼搭配的升、阻力

【步驟】1. 將原本第一片最佳機翼固定好，然後在後面接上第二架機翼並和前面的機翼平行

2. 測試測試不同型號機翼搭配的升、阻力

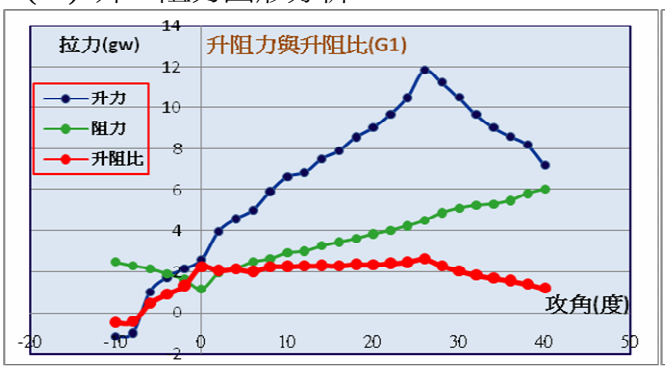


【結果】

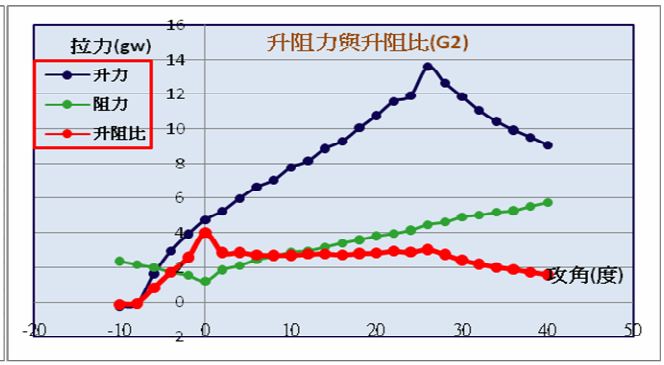
(一) 機翼搭配

主機翼	第二機翼	編號
B054	A05	G1
B054	B10	G2
B054	B104	G3
B054	B054	G4

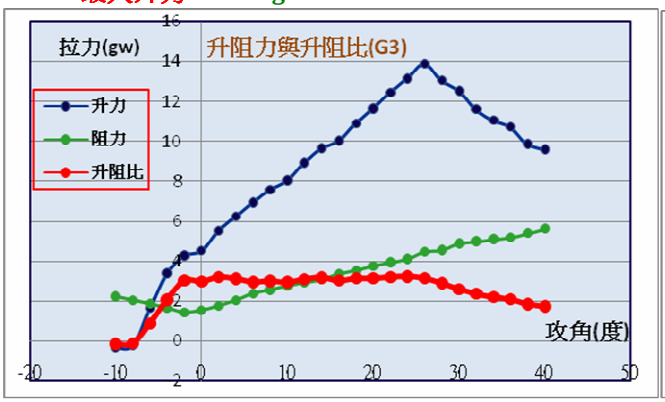
(二) 升、阻力圖形分析



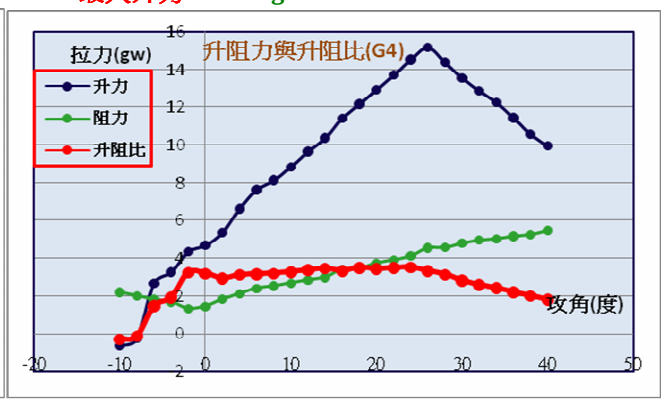
失速攻角：26 度
最大升阻比：2.41
最最大升力：11.85gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：2.63
最大升力：13.58gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：2.72
最大升力：13.85gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.04
最大升力：15.14gw

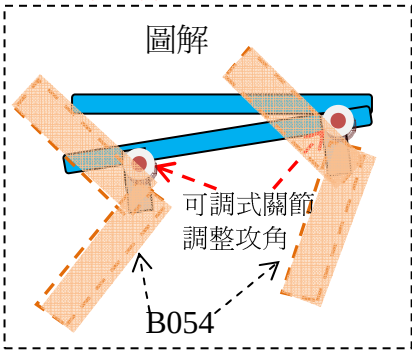
(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	**A2**	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**
失速攻角(度)	20	26	26	26	**26**
升阻比	2.34	2.63	2.93	3.21	**3.52**
升力(gw)	14.87	11.85	13.58	13.85	**15.14**
升力係數 × (XY)	29.74	29.63	33.95	34.63	**37.85**

【討論】1. 由以上數據可知，不同的機翼搭配也會有不同的升、阻力效果，但卻不是兩者同角度相加的結果，顯示出後面的機翼會受前面機翼的氣流影響，因而影響到它的升、阻力效果

2. 雙翼的 G4 搭配，得到令人振奮的消息。不僅失速攻角高達 26 度，而且在升力方

面，大大地提高到了 15.14gw，已經超越了 A2 的 14.87gw，而升力係數上面爲 37.85，顯示我們的機翼已經超過了傳統偵察機



探討 2、改變後面機翼攻角的影響？

【目的】測試第二片機翼的最佳搭配攻角

【步驟】1. 將原本 B054 機翼固定好，使其攻角爲 26 度，然後在後面接上第二架 B054 機翼

2. 利用第二代的測試架，改變第二片機翼的攻角，並測試其升、阻力

【結果】(一) 升力、阻力比較

型號	B054	B054	升力	阻力	升阻比
角度搭配	26°	34°	13.25	4.91	2.29
	26°	32°	13.86	4.78	2.48
	26°	30°	14.21	4.69	2.60
	26°	28°	14.56	4.62	2.72
	26°	26°	15.14	4.54	2.89
	26°	24°	14.72	4.41	2.88
	26°	22°	14.14	4.32	2.81
	26°	20°	13.79	4.26	2.77
	26°	18°	13.45	4.06	2.82

(二)升力、升阻比分析

編號	**A2**	**G4(26°-26°)**
升阻比	2.34	**3.52**
升力(gw)	14.87	**15.14**
升力係數 × (XY)	29.74	**37.85**

【討論】1. 由以上的測試得知，前後角度都是 26°時可以達到 15.14gw 最好效果

研究七、如果機翼拍動會改變其升、阻力及失速攻角嗎？

探討 1、機翼拍動會增加升阻比及失速攻角嗎？

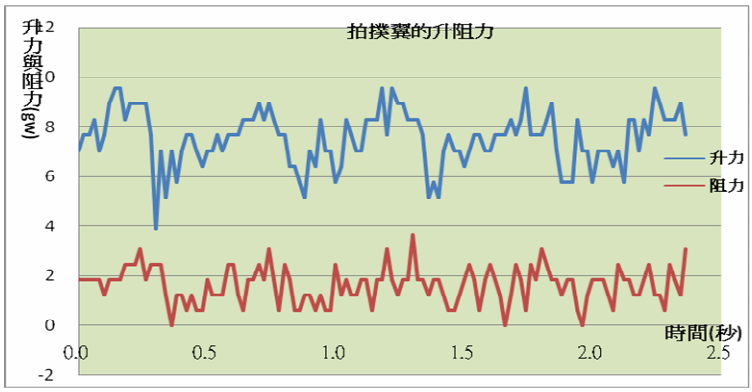
【目的】測試拍動機翼的優缺

【步驟】1. 將測試架接上電源器，使機翼具有拍動的功能

2. 將攻角訂在 20 度，電壓爲 0.5V，測試平板機翼 A10 拍動後的影響

【結果】

(一)拍動機翼的升、阻力關係



(二)數據分析

編號	靜止	拍動
攻角(度)	20	20
升力(gw)	4.48	**6.71**
升力係數 × (XY)	22.40	**33.55**

【討論】1. 機翼拍動的時候，升阻力會上下不停地跳動，表示飛行的時候，其升、阻力並不是一個定值

2. 最後的平均升力爲 6.71gw，表示拍動的時候，對於升力很大的提升效果

探討 2、改變不同的電壓對其升阻比及失速攻角的影響嗎？

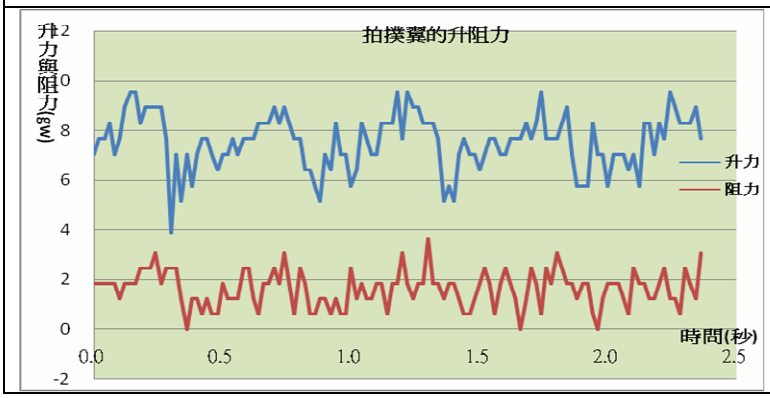
【目的】測試拍動機翼的優缺

【步驟】1. 改變電壓爲 0.5V、1.0V、1.5V、2.0V、2.5V，測試其升、阻力和電壓的關係

【結果】

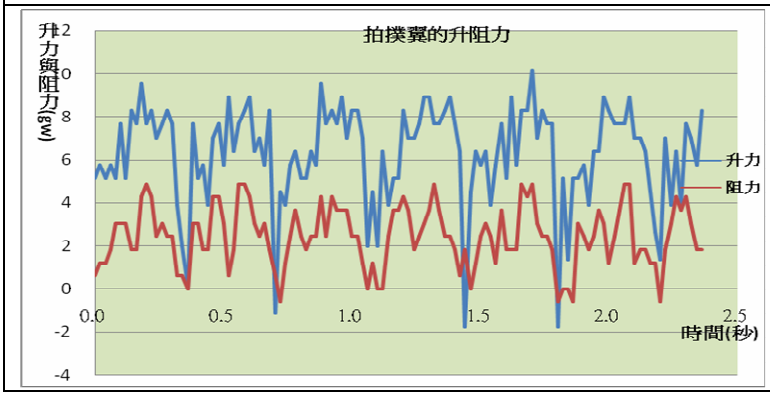
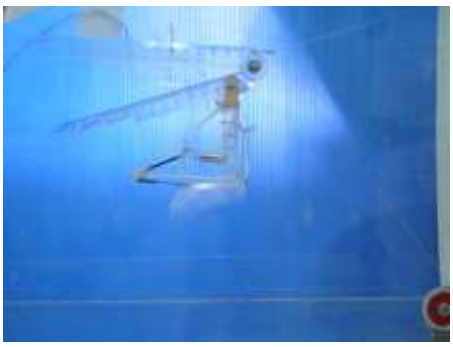
(一)作圖分析

1. 電壓 0.5V；攻角 20 度

升、阻力分析圖	飛行照片
	

平均升力：6.71gw　　飛行情況：些微晃動

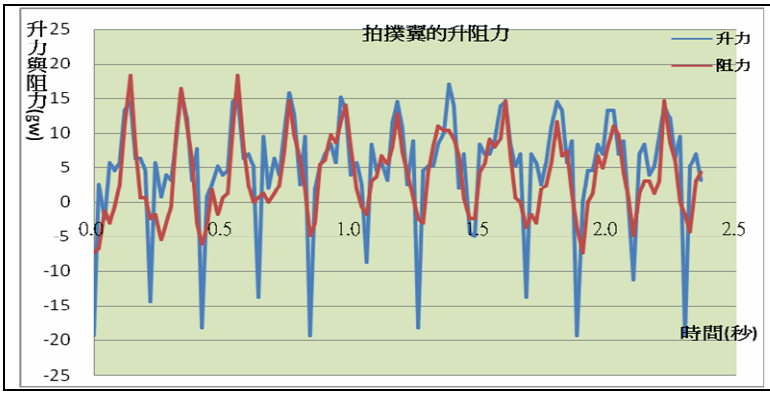
2. 電壓 1.0V；攻角 20 度

升、阻力分析圖	飛行照片
	

平均升力：7.34. gw　　飛行情況：些微晃動

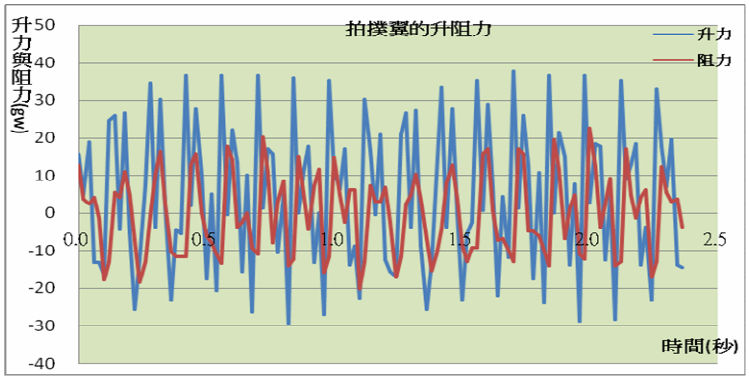
3. 電壓 1.5V；攻角 20 度

升、阻力分析圖	飛行照片



平均升力：7.97 gw　　飛行情況：晃動稍大

4. 電壓 2.0V；攻角 20 度

升、阻力分析圖	飛行照片
	

平均升力：7.34. gw　　飛行情況：晃動劇烈

【討論】1. 拍撲翼的平均升力並沒有因爲電壓的升高就一直升高，而是大約在 1.5V 的時候有比較大的值

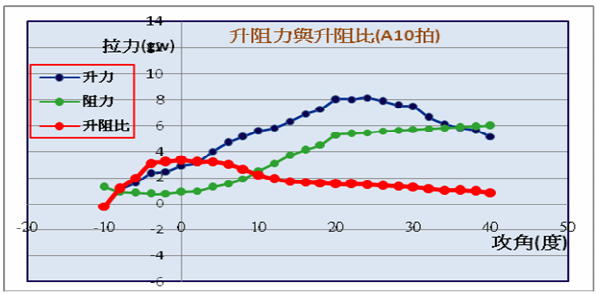
2. 由拍翅的狀況判斷，電壓升至 2.0V 時，因爲機身晃動過於劇烈，所以無法有效的提供升力，且有多處爲負值，不利於滑翔拍翅飛行

探討 3、改變不同的攻角對其升阻比及失速攻角的影響？

【目的】測試不同攻角拍動機翼的優缺

【步驟】1. 利用 A10 改變不同的攻角，測試其升、阻力關係

【結果】(一)作圖分析



失速攻角：24 度
最大升阻比：3.32
最大升力：8.13gw

(二)升阻比及失速攻角分析(A10)

狀態	靜止	拍動
失速攻角(度)	22	**24**
最大升阻比	2.46	**3.32**
升力(gw)	4.61	**8.13**
升力係數 × (XY)	23.05	**30.65**

【討論】1. 從數據的結果可知，機翼拍動的時候，機翼的升力提升至 8.13gw，失速攻角也增爲 24 度，升阻比則增爲 3.32，顯示出振翅時對升力的影響性

研究八、不同型號的機翼拍動會改變其升、阻力及失速攻角嗎？

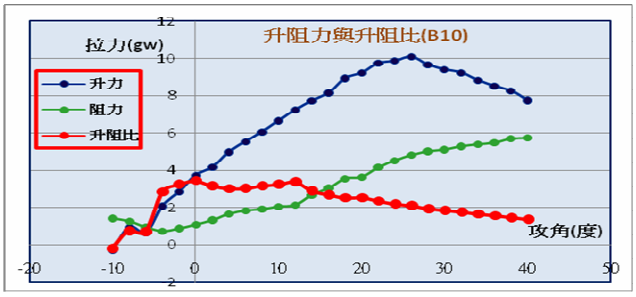
探討 1、平板翼與弧形翼的影響？

【目的】測試弧形機翼拍動的情形

【步驟】1. 將弧形機翼 B10 裝上測試架

2. 將電壓調至 1.5V，改變其攻角爲-10、-8…、38、40 度，測試其升、阻力的關係

【結果】(一)作圖分析



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.43
最大升力：10.11gw

(二)升阻比及失速攻角分析(B10)

狀態	靜止	拍動
失速攻角(度)	24	26
升阻比	3.24	3.43
升力(gw)	7.85	10.11
升力係數 × (XY)	39.25	50.55

【討論】1. 改成弧形的機翼，果然在升力上提升至了 10.11gw，升阻比則提升至爲 3.43，顯示其飛行效果更佳

探討 2、弧形翼最高點位置的影響？

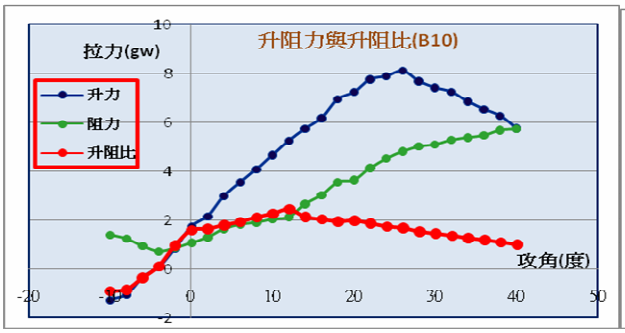
【目的】測試不同弧形機翼的優缺

【步驟】1. 將弧形機翼 C10 裝上測試架

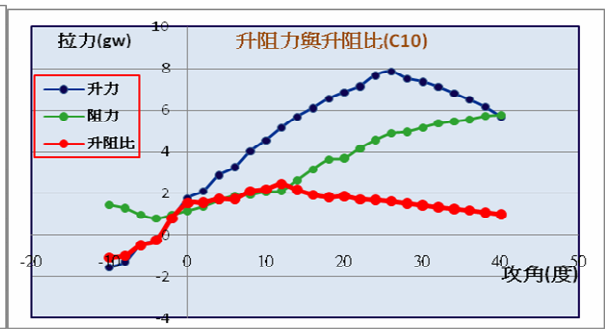
2. 將電壓調至 1.5V，改變其攻角爲-10、-8…、38、40 度，測試其升、阻力的關係

3. 將機翼改成 D3 重複上述步驟

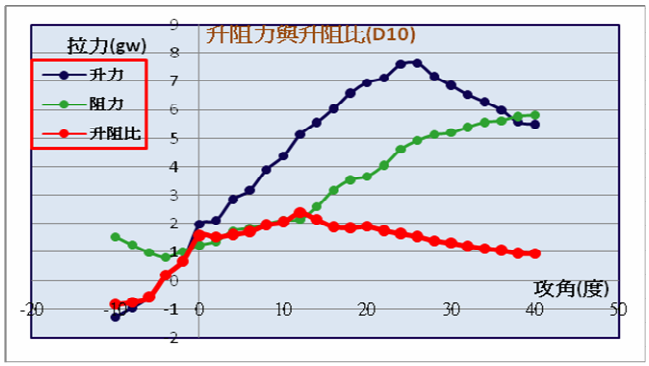
【結果】(一)作圖分析



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.43
最大升力：10.11gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.39
最大升力：9.85gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.41
最大升力：9.62gw

(二)升阻比及失速攻角分析

型號	B10	C10	D10
失速攻角(度)	26	26	26
升阻比	3.43	3.39	3.41
升力(gw)	10.11	9.85	9.62
升力係數 × (XY)	50.55	49.25	48.10

【討論】1. 比較三種不同的弧形翼，結果發現，弧度最高點在前的 B10 有比較良好的效果，升力也提升至 10.11gw

探討 3、弧形翼高與翼弦比值的影響？

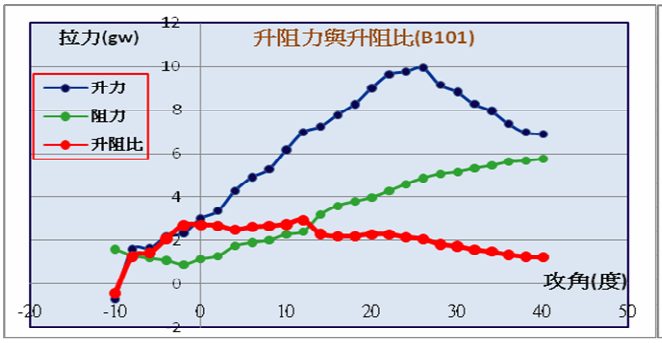
【目的】測試不同比值弧形機翼的優缺

【步驟】1. 將弧形機翼 B101 裝上測試架

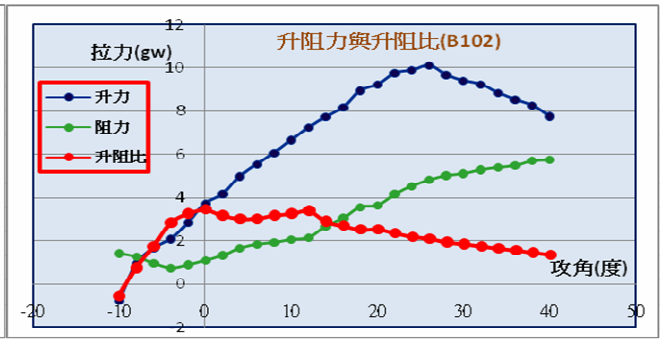
2. 將電壓調至 1.5V，改變其攻角爲-10、-8…、38、40 度，測試其升、阻力的關係

3. 將機翼改成 B102、B103、B104，並重複上述步驟

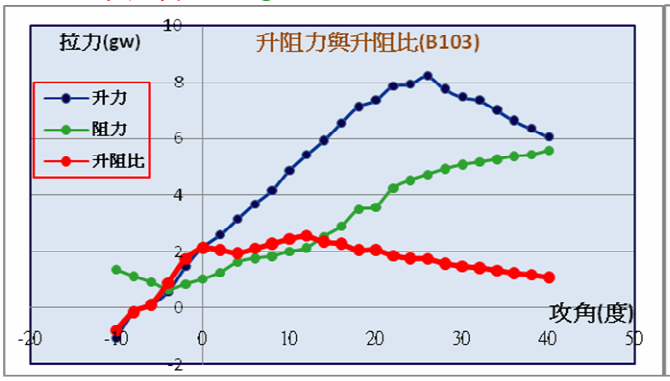
【結果】(一)作圖分析



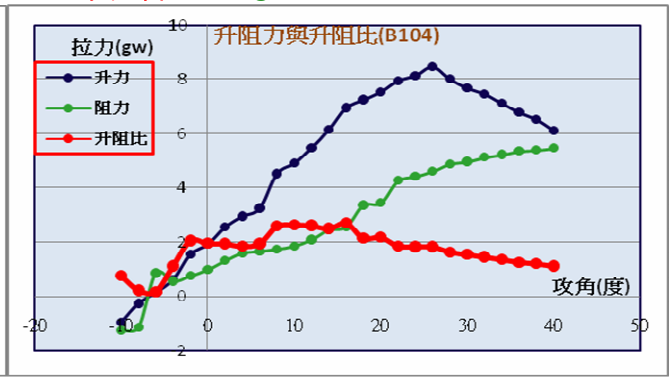
失速攻角：26 度
最大升阻比：2.91
最大升力：9.92gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.43
最大升力：10.11gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.74
最大升力：10.21gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.95
最大升力：10.46gw

(二)升阻比及失速攻角分析(A10)

型號	B101	B102	B103	B104
失速攻角(度)	26	26	26	26
升阻比	2.91	3.43	3.74	3.95
升力(gw)	9.92	10.11	10.21	10.46
升力係數 × (XY)	49.60	50.11	51.05	52.30

【討論】1. 弧度的比例也會影響拍撲翼的升力

2. 經過這次的改良，升力向上提升至了 10.46gw

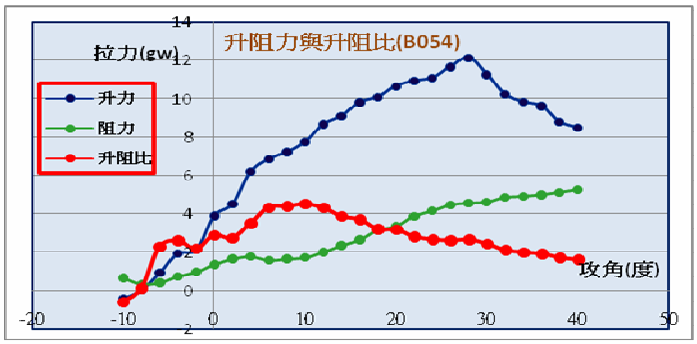
探討 4、弧形翼與形狀的影響？

【目的】測試 B054 拍動的結果

【步驟】1. 將弧形機翼 B054 裝上測試架

2. 將電壓調至 1.5V，改變其攻角爲-10、-8…、38、40 度，測試其升、阻力的關係

【結果】(一)作圖分析



失速攻角：28 度
最大升阻比：2.90
最大升力：9.15gw

(二)升阻比及失速攻角分析(A10)

型號	A2	B054
失速攻角(度)	20	**28**
升阻比	2.34	**4.52**
升力(gw)	**14.87**	12.15
升力係數 × (XY)	29.74	**60.75**

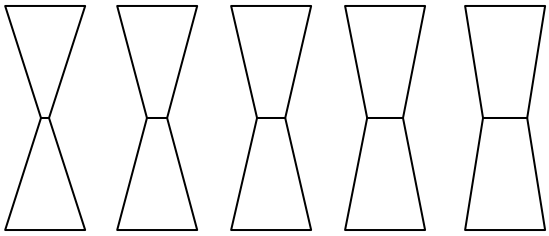
【討論】1. 由以上的結果可知，形狀也會影響升力，經過改變後，升力又提升至了 12.15gw，已經超越了第一代無法達到的升力

2. 若是形狀會影響，觀察自然界的昆蟲的翅膀似乎爲內縮的形狀，這樣對於拍撲翼是否有更好的效果，爲了解答，我們又做了以下的測試

探討 5、弧形翼內縮與外縮的影響？

【目的】測試弧形內縮機翼

【步驟】1. 製作漸縮比(內縮)爲 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 之機翼，如下圖



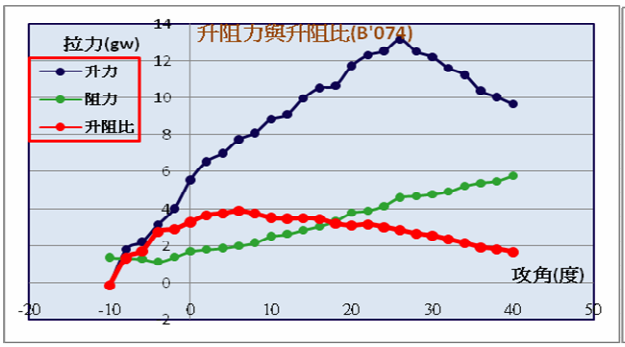
漸縮比 **0.3** **0.4** **0.5** **0.6** **0.7**

2. 將電壓調至 1.5V，改變其攻角爲-10、-8…、38、40 度，測試其升、阻力的關係

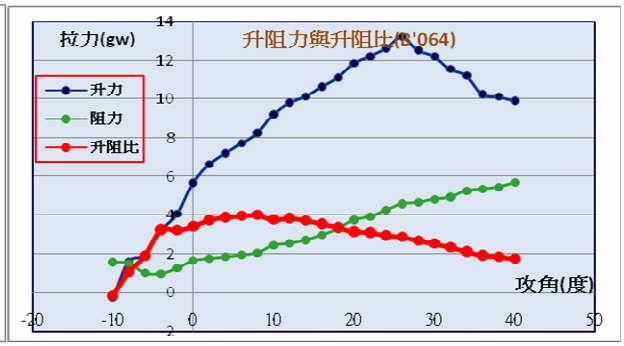
【結果】(一)機翼格式

編號	展弦比	翼展(cm)	上底翼寬(cm)	下底翼寬(cm)	漸縮比
B’074	5	20.00	4.71	3.29	0.7
B’064	5	20.00	5.00	3.00	0.6
B’054	5	20.00	5.33	2.67	0.5
B’044	5	20.00	5.71	2.29	0.4
B’034	5	20.00	6.15	1.85	0.3

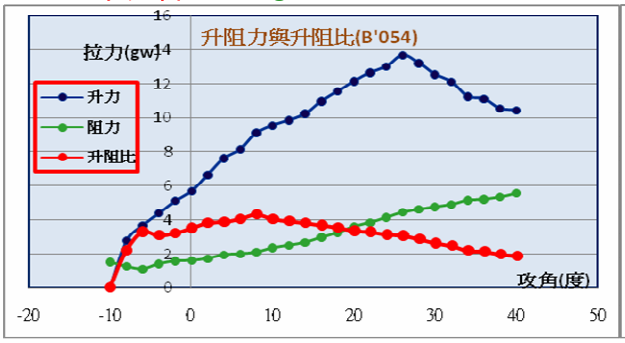
(二)作圖分析



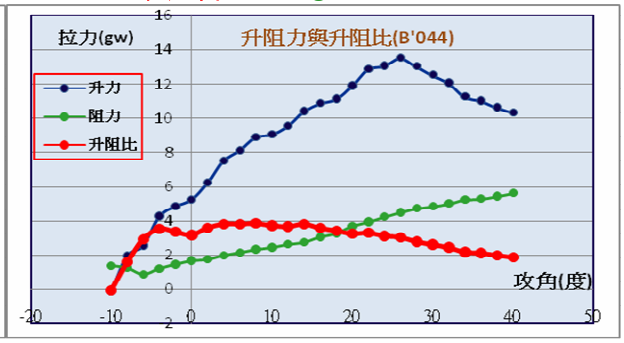
失速攻角：26 度
最大升阻比：3.89
最大升力：13.16gw



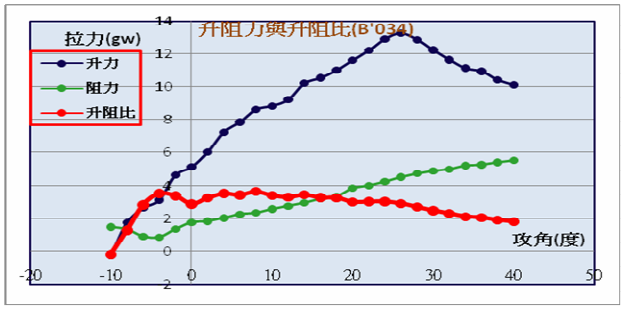
失速攻角：26 度
最大升阻比：4.01
最大升力：13.23gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：4.32
最大升力：13.68gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.83
最大升力：13.51gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.65
最大升力：13.26gw

(三)升阻比及失速攻角分析

型號	B’074	B’064	B’054	B’044	B’034
失速攻角(度)	26	26	**26**	26	26
升阻比	3.89	4.01	**4.32**	3.83	3.65
升力(gw)	13.16	13.23	**13.68**	13.51	13.26
升力係數 × (XY)	65.80	66.15	**68.40**	68.05	66.30

【討論】1. 經過 B’054 的改變，升力又再度往上提升至 13.68gw

2. 由上列的數值我們得到一個結論，內縮的機翼更適於拍撲翼，因此大自然的昆蟲的翅膀才會都採內縮式，以利於拍撲翼的作用

研究九、雙翼拍動會改變其升、阻力及失速攻角嗎？

探討 1、前後拍動翼形狀搭配的影響？

【目的】測試雙翅拍動的後翅搭配

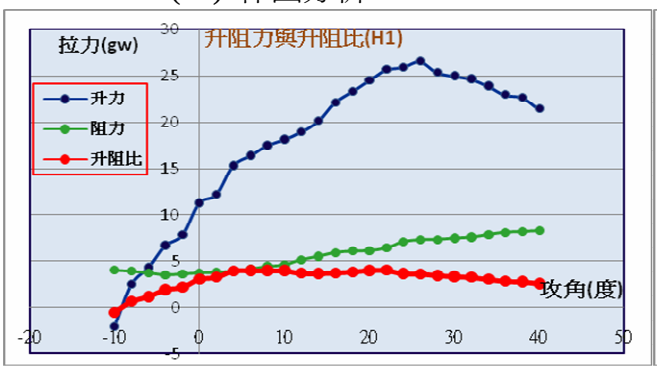
【步驟】1. 將原本第一片最佳機翼固定好，使其攻角爲 28 度，然後在後面接上第二架機翼

2. 利用第二代的測試架，改變第二片機翼的攻角，並測試其升、阻力

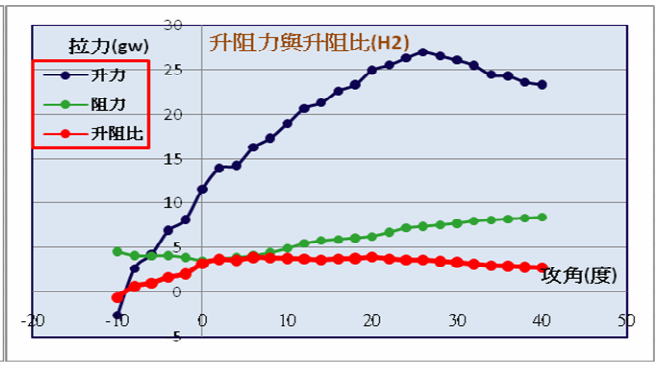
【結果】(一) 機翼搭配

主機翼	第二機翼	搭配序號
B054	B054	H1
B054	B’054	H2
B’054	B054	H3
B’054	B’054	H4

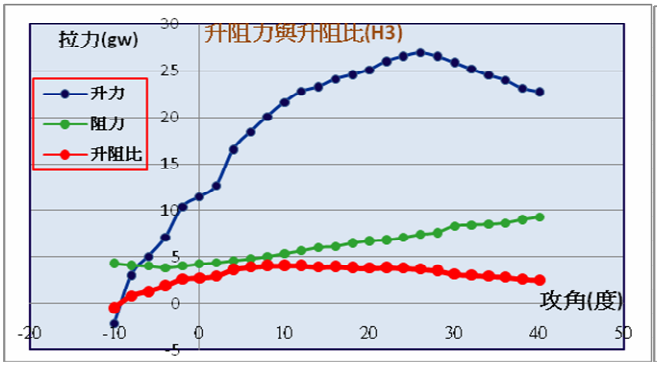
(二) 作圖分析



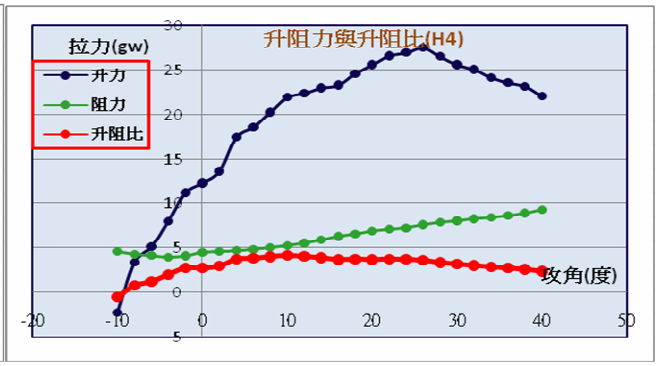
失速攻角：26 度
最大升阻比：3.98
最大升力：26.52gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：3.92
最大升力：26.91gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：4.06
最大升力：26.92gw



失速攻角：26 度
最大升阻比：4.16
最大升力：27.47gw

(三) 升阻比及失速攻角分析

編號	**A2**	**H1**	**H2**	**H3**	**H4**
失速攻角(度)	20	26	26	26	**26**
升阻比	2.34	3.98	3.92	4.06	**4.16**
升力(gw)	14.87	26.52	26.91	26.92	**27.47**
升力係數 × (XY)	29.74	66.30	67.28	67.30	**68.68**

【討論】1. 經過搭配後，我們找到最好的一組 H4，升力可以達到 27.47gw，已經遠遠地超越了原偵察機的 14.87gw，升力係數 68.68 及升阻比 4.16，也比 A2 超出許多，此一性能優異的微型偵察機也已遠遠超越了第一代的瓶頸，達到新的升力(27.47gw)

探討 2、最佳拍動翅與第二拍動翅攻角的搭配？

【目的】測試拍動機翼的優缺

【步驟】1. 將原本 B054 機翼固定好，使其攻角爲 28 度，然後在後面接上第二架 B054 機翼
2. 利用第二代的測試架，改變第二片機翼的攻角，並測試其升、阻力
3. 將搭配改成(B054；B054)、(B’054；B054)、(B’054；B’054)，並重複上述步驟

【結果】(一) 升力、阻力

型號	B054	B054	升力	阻力	升阻比
角度搭配	26°	34°	25.67	6.56	3.91
	26°	32°	25.88	6.78	3.82
	26°	30°	26.28	6.92	3.80
	26°	28°	26.44	7.05	3.75
	26°	26°	26.52	7.32	3.62
	26°	24°	26.24	7.15	3.67
	26°	22°	25.99	7.03	3.70
	26°	20°	25.39	6.92	3.67
	26°	18°	24.91	6.74	3.70
型號	B054	B’054	升力	阻力	升阻比
角度搭配	26°	34°	25.66	7.99	3.21
	26°	32°	25.84	7.84	3.30
	26°	30°	26.15	7.66	3.41
	26°	28°	26.54	7.54	3.52
	26°	26°	26.91	7.42	3.63
	26°	24°	26.25	7.36	3.57
	26°	22°	25.99	7.21	3.60
	26°	20°	25.59	7.02	3.65
	26°	18°	25.11	6.81	3.69
型號	B’054	B054	升力	阻力	升阻比
角度搭配	26°	34°	25.88	7.85	3.30
	26°	32°	25.92	7.77	3.34
	26°	30°	26.59	7.59	3.50
	26°	28°	26.75	7.45	3.59
	26°	26°	26.92	7.35	3.66
	26°	24°	26.35	7.25	3.63
	26°	22°	26.12	7.13	3.66
	26°	20°	25.92	7.02	3.69
	26°	18°	25.74	6.92	3.72

型號	B’054	B’054	升力	阻力	升阻比
角度搭配	26°	34°	26.43	8.15	3.24
	26°	32°	26.58	7.92	3.36
	26°	30°	26.92	7.85	3.43
	26°	28°	27.25	7.67	3.55
	26°	26°	27.74	7.58	3.66
	26°	24°	27.35	7.34	3.73
	26°	22°	26.84	7.05	3.81
	26°	20°	26.51	6.97	3.80
	26°	18°	26.03	6.86	3.79

(二)升力、升阻比分析

編號	**A2**	**H1**(26°-26°)	**H2**(26°-26°)	**H3**(26°-26°)	**H4**(26°-26°)
升阻比	2.34	**3.91**	3.69	3.72	3.81
升力(gw)	14.87	26.52	26.91	26.92	**27.47**

【討論】1. 由上列的數值，我們找出了最佳的 H4，得到了遠遠超越偵察機的升力 27.47gw

2. 翅膀拍動時，我們發現前後的速度不太一樣，因此我們將前後調到速度一樣，並做了相位的測試

探討 3、最佳拍動翅與第二拍動翅相位的搭配？

【目的】測試前後相位不同之拍動機翼

【步驟】1. 利用兩台電源供應器找出前後振動頻率相同的電壓

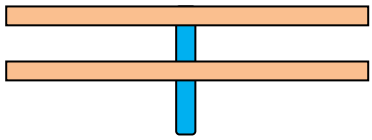
2. 固定前後機翼的攻角爲 26°

3. 改變前後機翼的相位差爲 0、1/2、1/4、1/8，並比較之間的影響

【結果】 **(一)**作圖分析

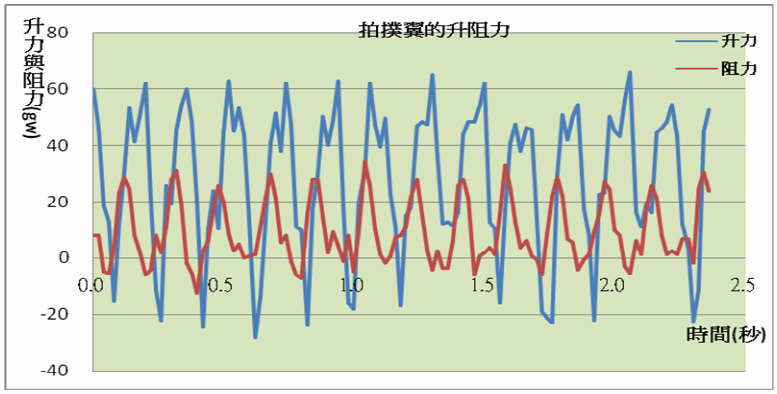
1. 相位差：0

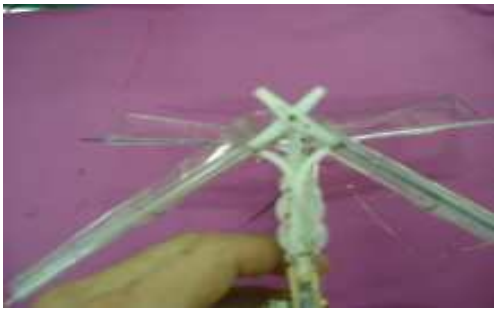
實物(從前面觀察)



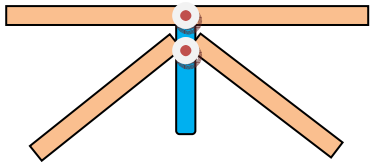
圖解(從上方觀察)

2. 相位差：1/2

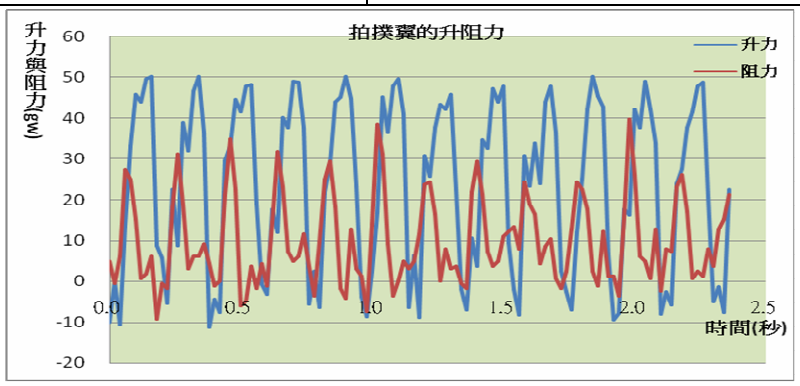




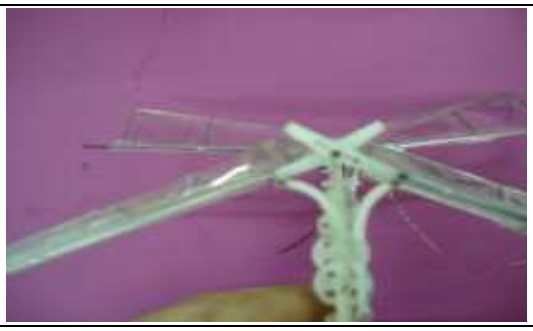
前翼與後翼張開最大角度



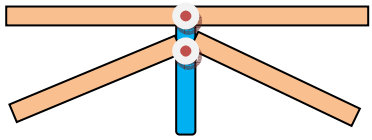
實物(從前面觀察)　　圖解(從上方觀察)



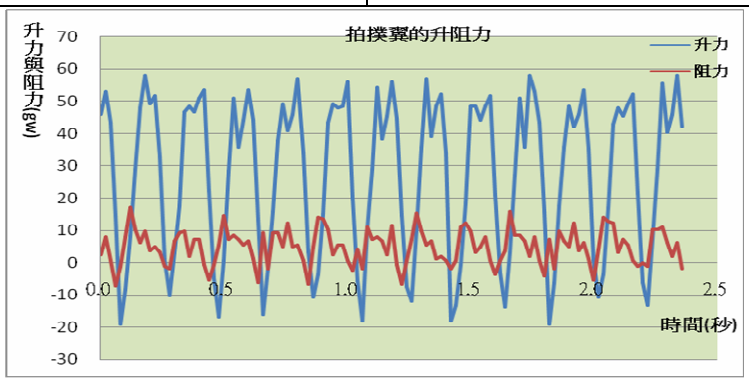
3. 相位差：1/4



前翼與後翼張開最大角度的 1/2

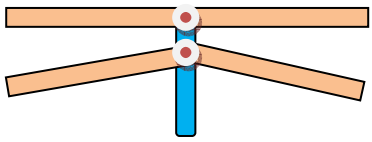


實物(從前面觀察)　　圖解(從上方觀察)

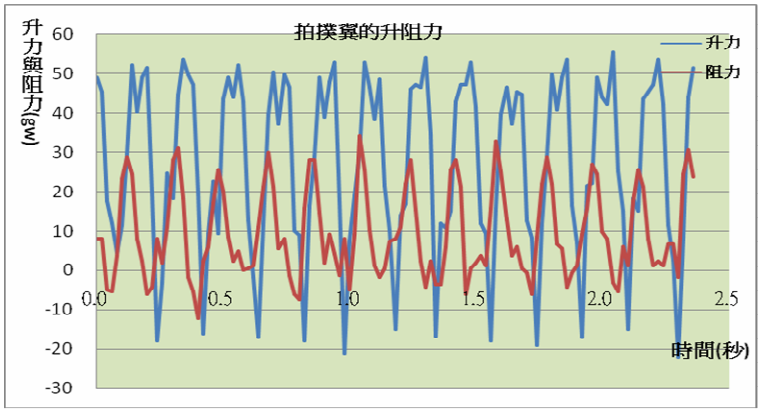


4. 相位差：1/8

前翼與後翼張開最大角度的 1/4



實物(從前面觀察)　　圖解(從上方觀察)



(二)升、阻力分析

相位差	0	1/8	1/4	1/2	未調整
升力(gw)	27.12	27.26	29.35	24.17	27.47

【討論】1. 機翼相位的調整後升力又再度提升至 29.35gw

2. 由上面的圖分析，同相位的升力變動大(約-22gw~62gw)飛行不太穩定，相位相差 1/8 的升力變化稍小(約-22gw~55gw)，相位相差 1/4 的升力變化爲-19gw~59gw，整體的升力最大，可利用於加速用，而相位相差 1/2 的升力最集中(-10gw~50gw)，飛行時較穩定，可用於盤旋的狀態。

研究十、研究的機翼裝改成振翅機的效果？

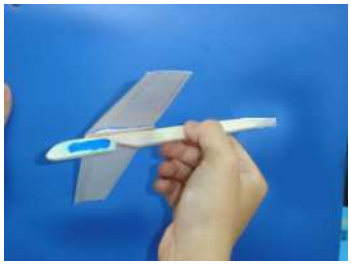
探討 1、單片機翼振翅可以增加滑翔效果？

【目的】測試單翅拍動的實際效果

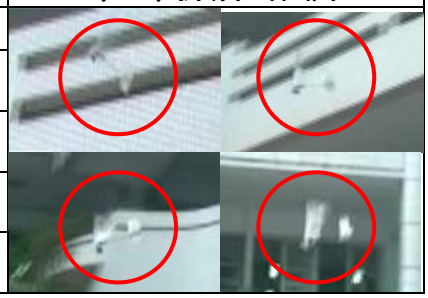
【步驟】1. 將研究的機翼 B’054 改良成單翼的振翅機

2. 取第一代的傳統偵察機、改良的手擲機和第二代單翼振翅機從二樓進行滑翔測試

【結果】(一)成品

		
傳統偵察機	第一代手擲機	第二代單翼振翅機

(二)飛行成果

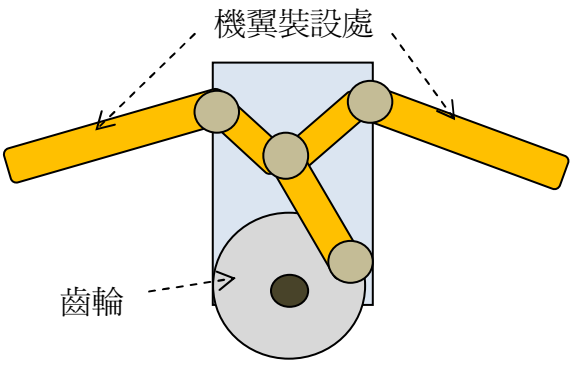
型號 / 攻角(度)	偵察機 時間(秒)	第一代 時間(秒)	第二代 時間(秒)	第二代飛行的圖片
0	2.24	4.80	9.12	
30	8.20	19.80	27.25	
60	6.30	12.34	16.24	
90	3.19	6.05	7.02	

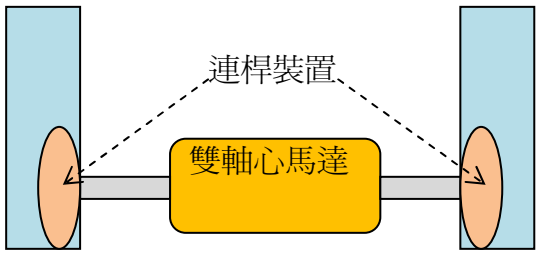
【討論】1. 自製的飛行器兼具滑翔及拍翅功能，於滑行的同時還可拍翅增加升力，且從二樓丟擲更能顯現出其優良的性能，滯空時間最長達到 25 秒左右

探討 2、改良式雙片機翼的設計

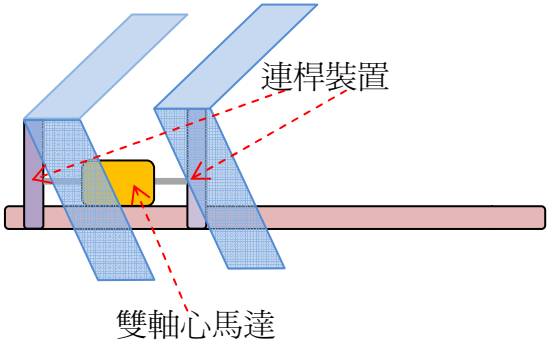
【目的】利用測試的結果，設計一組雙翅振動的偵察機

【步驟】連桿設計裝置(如下頁圖)





【結果】設計圖如下



【討論】1. 雙翅振動的機型有良好的升力效果，且比傳統滑翔機飛行起來更接近自然

2. 需要升力的時候進行拍翅，想要達到穩定的飛行效果則進行滑翔，是一部兼具高升力與高穩定性的優秀偵察機

陸、結論

1. 利用電磁感應原理，使用更加靈敏的 AC 磁浮電腦風扇改良出了第二代風速計，測量的最小值從第一代的 2.0m/s 降到了 1.5m/s，並求得標準檢量線 V = 0.148 I + 1.357 換算風速。
2. 第二代的風洞，使用 PVC 塑膠水管、粗細吸管組合成整流段，並擴大整流段的面積比，後半段也將彎曲段改良成延長段，使測試區獲得更穩定且更強大的氣流。
3. 測試區方面，利用自製的滑輪裝置並向學校借用過去留下來的力度計，以便接上數據機進行電腦分析，如此不僅可以簡易的測出升、阻力，更可以由圖形觀察動態的升力變化。而攻角的改變，則是利用第一代使用過的折疊尺加以改良，變成不僅可以改變攻角，也可以同時測兩架，更可分別改變兩架的攻角及上反角的多功能測試架。
4. 掌上型微型偵察機，質量只有 100~300gw，但為了在有限的面積得到較大的升力，因此必須降低展弦比，如此確實可以獲得很大升力（14~15gw），但也相對降低升力係數（29~32）及升阻比（2~2.5），因此產生了穩定性不佳，以及飛行效果差的缺點產生，且最大升力係數 29.74 及升阻比 2.34 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。
5. 我們利用自製的高展弦比機翼，面積比低展弦比機翼小。在一開始的時候，因為骨架的分佈不佳，所以機翼容易變形，造成升力效果大打折扣，最後採用了全骨架加上輔助骨架升力才得以提升，但最大升力仍然只有 4.61gw，遠遠不如低展弦比的機翼。
6. 在形狀的實驗中發現，不同形狀的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，其形狀接近橢圓，因此最大升力提昇為 4.85gw，最大升力係數 24.25 及升阻比 2.84，失速攻角也增加為 24 度，但比起偵察機，還是遠遠不如。
7. 接著改變機翼的上反角並得知，上反角越大，反而得到越小的升力，但是阻力也跟著變小。

8. 爲了得到更好的升力，我們將原本的 A10 改成弧形薄翼，果然得到明顯的升力提升(7.85gw)，接著又測試最高點位置在前、中、後三種機翼，結果最高點在前面的效果最好，最後再改變弧度的比例，果然升力已經大幅提昇至 8.09gw，又向目標向前跨一大步。
9. 接著進行了形狀和弧度的融合，改良出弧形的梯形翼 B054，其升力(8.67gw)、升力係數(43.35)失速攻角(26 度)及最大升阻比(3.67)都再度獲得提升，但仍比不上偵察機的升力，這也是第一代測試所遇到的瓶頸。
10. 如果將單翼改爲雙翼，第二架機翼會受到前面機翼的氣流影響，因此升力無法直接得到加成的效果，所以進行了不同的機翼搭配測試，最後得到令人雀躍不已的結果，其升力提升到了 15.14gw，不僅超越了第一代的瓶頸，更超越了傳統偵察機的升力。
11. 爲了讓升力更加突破，我們接上了電源器，使機翼有振動的效果，其中發現拍撲翼的周圍之氣流不像固定翼如此固定，因此產生了升力上下震盪的效果。爲了瞭解升力的足夠與否，我們取其一段時間後的平均升力來衡量升力的效果。
12. 接下來，進行弧形翼振動的測試，結果發現 B054 的升力已大大提升到了 12.15gw，幾乎就要達到傳統偵察機的升力(14.87gw)，也超越了第一代的最大值(11.74gw)。
13. 爲了得到更佳的升力，我們將原本的外縮弧形翼改成內縮弧形翼測試，結果發現振動的時候，內縮翼(B’054)自然有扭轉翼面的情形，製造周圍空氣形成轉動環流效果，該環流對升力有幫助，因此比外縮翼(B054)產生更好的升力效果(13.68gw)
14. 最後進行雙翼拍動測試，利用 B054 及 B’054 進行四組交叉搭配，得到升力效果最好的一組(B’054&B’054)爲 27.47gw，其升力遠遠超越了偵察機 14.87gw 的將近兩倍之多，實在是十分令人振奮的結果。
15.這種雙翼的類蜻蜓機，後面一對拍翼有承接前一對拍翼所產生環流的效用；環流貼附越久，升力越好，兩對拍翼的相位差，決定是否前後承接環流妥善。因此進行相位測試，測試中發現同相位時，升力的變動最大，相位差爲 1/2 時升力變動最小但平均升力也最小，而以相位相差 1/4 時可以得到最佳的平均升力 29.35gw。
16.最後進行戶外實測，果然自製的振翅機得到最好的滯空效果。
17.利用雙翅振動的機型，更容易化身爲鳥類或其他動物，具有高度的隱密性，加上優越的升力效果已超過傳統偵察機，不僅可拍翅，亦可滑翔前進，因此比偵察機有更優越的穩定性及操縱效果，對於野外的人質搜救及情報偵察，都有十分出色的效用。

柒、未來展望

目前的偵察機都是利用薄翼的形式來減輕重量，若能將我們的研究推廣，改良成雙翼振翅的模式，一定可以有更優越的飛行效果。

捌、附錄

一、參考資料

1.南一書局主編(民 96)。自然與生活科技第五冊。航空運輸(170-176 頁)。台北：南一書局。
2.康軒文教事業(民 96)。自然與生活科技第六冊。動力與運輸(182-185 頁)台北：康軒文教事業。
3. 王政友譯(民 93)。圖解飛機的構造與原理。世茂出版集團。
4. 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
5. 劉豐齊(民 93)。單自由度拍撲翼構造之創新設計。崑山科技大學機械工程系碩士論文.

【評語】031610

優點：1.以簡單之機械裝置研究拍翅現象。

2.模擬昆蟲翅型及拍翅現象，大幅改善升力及升阻力比。

缺點：變因控制可以再精進，翅膀設計及製作需更精密。