

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：工程學科

作品名稱：最佳振翅翼飛具--半活動翅骨翼之設計與測試

得獎獎項：工程學科第二名

學 校：國立板橋高級中學

作 者：梁軒豪

作者簡介



我是梁軒豪，目前就讀於國立板橋高級中學三年級，父母親均從事教職工作，有一位姊姊也即將進入教育界從事教書生涯。

從小我就喜歡機械的玩具如工程車、飛機等，也因此漸漸對科學的東西感到興趣，國中時參加了好幾次的火箭研習，高中一二年級參加了成功大學辦理的航太營及台中漢翔公司辦的飛行營活動。

科學展覽，國中我參加了兩次，高中參加了一次全國展及北區展；2003 年參加國際科學展覽競賽獲得佳作，現在 2004 年我已是高三學生功課忙得不得了，但我還是抽空進行科學研究，高中畢業希望能進入理想的大學繼續進行我的研究工作。

目次

摘要.....	1
一、研究動機.....	2
二、研究目的.....	2
三、研究方法、過程.....	2
(一) 研究構想.....	2
(二) 裝置設計.....	2
(三) 界定研究問題.....	5
(四) 實驗流程.....	6
四、實驗規劃.....	6
(一) 實驗器材.....	6
(二) 實驗變因.....	6
(三) 實驗方法.....	6
五、數值分析研究與比較.....	7
(一) 原始升力數值暨折線圖.....	7
(二) 升力最大值、最小值、平均值之數值及折線圖.....	9
六、討論.....	27
(一) 攻角效應.....	27
(二) 翅骨曲度效應.....	27
(三) 翅骨長度效應.....	28
(四) 半活動翅骨效應.....	29
七、結論與建議.....	29
參考資料.....	29

研究報告

作品名稱：最佳振翅翼飛具一半活動翅骨翼之設計測試

摘要：

中文

本研究的目的是在於設計出一機械裝置，使振翅翼的升力比傳統的設計能更有效率的提升，並經由實驗證實此種機械裝置理論的正確性。在觀察有關鳥類飛行過程的錄影帶及尋找鳥類相關的資料且界定欲實驗的種類和現有的能力及資源後，本研究中設計出三種可行的振翅翼機械裝置，並進行在相同風速、相同振翅頻率(每分鐘振翅翼拍動 144 下)的條件下，測試在不同振翅翼機械設計條件下的升力系數，在實驗中發現既有而廣泛的應用於玩具上的振翅翼設計與固定面振翅翼的設計，二者在拍打的過程中各有優缺點，而第三種的半活動面振翅翼設計，在拍打時能排除前者的缺失而同時擁有前兩種的優點。此種半活動面振翅翼機械裝置大大的提升了振翅翼的升力，且在設計上與現有的形式差異不大，若能更進一步的在機構上做更精密的改良設計，則將可大大提昇現有振翅機的性能。

Abstract

The study on the flapping wings with various angle of attack and different wing designs have been done. Three types of wing have been examined in a home-build wind tunnel . One is a membrane wing with fixed leading-edge support, the second is a membrane wing with both fixed leading-edge and fixed-web support , the third wing is a membrane wing with fixed leading-edge support and half-free-joint web support , with various web length and web curvature under different angle of attacks , the wind tunnel testing results show that the half-free-joint web support membrane wing with fixed leading-edge can offer a much higher lift coefficient . It is suggested that the third type wing is the best choice for designing the future flapping wing vehicle.

一、研究動機

自古以來，人類一直都在探索飛行的奧祕，從中國的風箏到喬治卡萊的載人滑翔機，再到今日的波音 747 客機，而我們對飛行的夢想似乎已經實現，但能像鳥兒一樣鼓拍著翅翼隨意敏捷飛行的人類飛行科學技術，對於現有飛行史來說，我們人類都還停留在萊特兄弟的時代。

兩年前當我在公園運動時，發現了一群小孩在玩市售的機械鳥，轉緊發條(橡皮筋)向前一丟，趴搭趴搭的飛了十多公尺就掉了下來，雖然那群小孩玩得不亦樂乎，但我卻好奇的思索著—它有沒有辦法使它飛的更高更遠?所以開始思考了相關的研究工作。

二、研究目的

- (一)計設出一與機翼有關的機構，經由此機構可將目前已有的振翅翼升力性能提升。
- (二)此一機構能利用普通的機械原理來改善機翼的空氣動力效率因而增加升力，它不僅能使振翅翼機飛行時更安定且飛行得更自然。

三、研究方法、過程

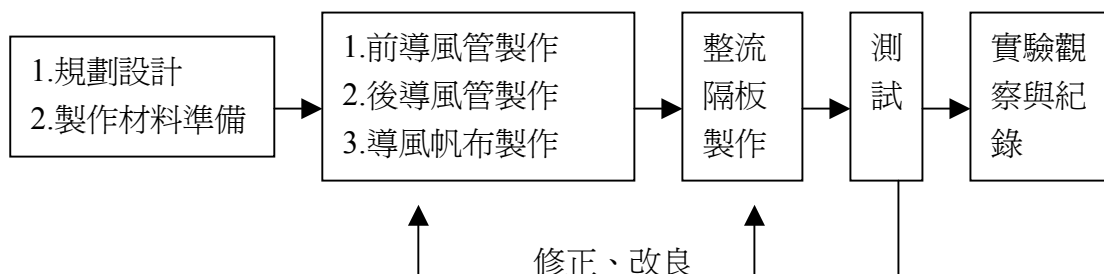
(一)研究構想

- 1. 設計一個簡易風洞，以控制風速和提供穩定氣流作為實驗的場所。
- 2. 以三種不同型式的振翅翼在相同風速、相對穩定氣流的條件下進行實驗並比較。
- 3. 由實測實驗並經比較以證實傳統振翅翼、固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼中，半活動翅骨振翅翼這一組其機構設計之優越性。

(二)、裝置設計

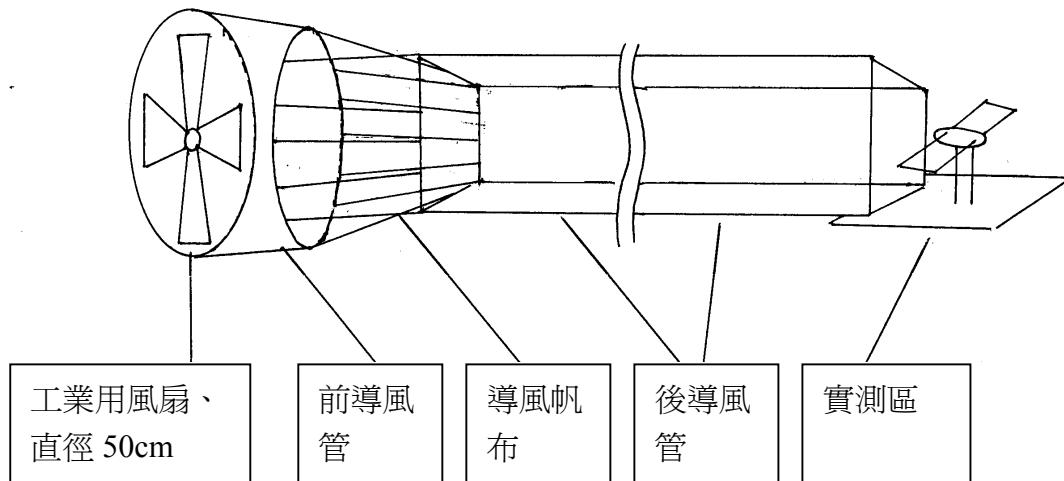
- 1. 設計製作簡易型風洞：

利用工業用風扇作為風源之提供，而為了製造出穩定風流，利用隔板製作整流器修正風向，其製作流程如下：

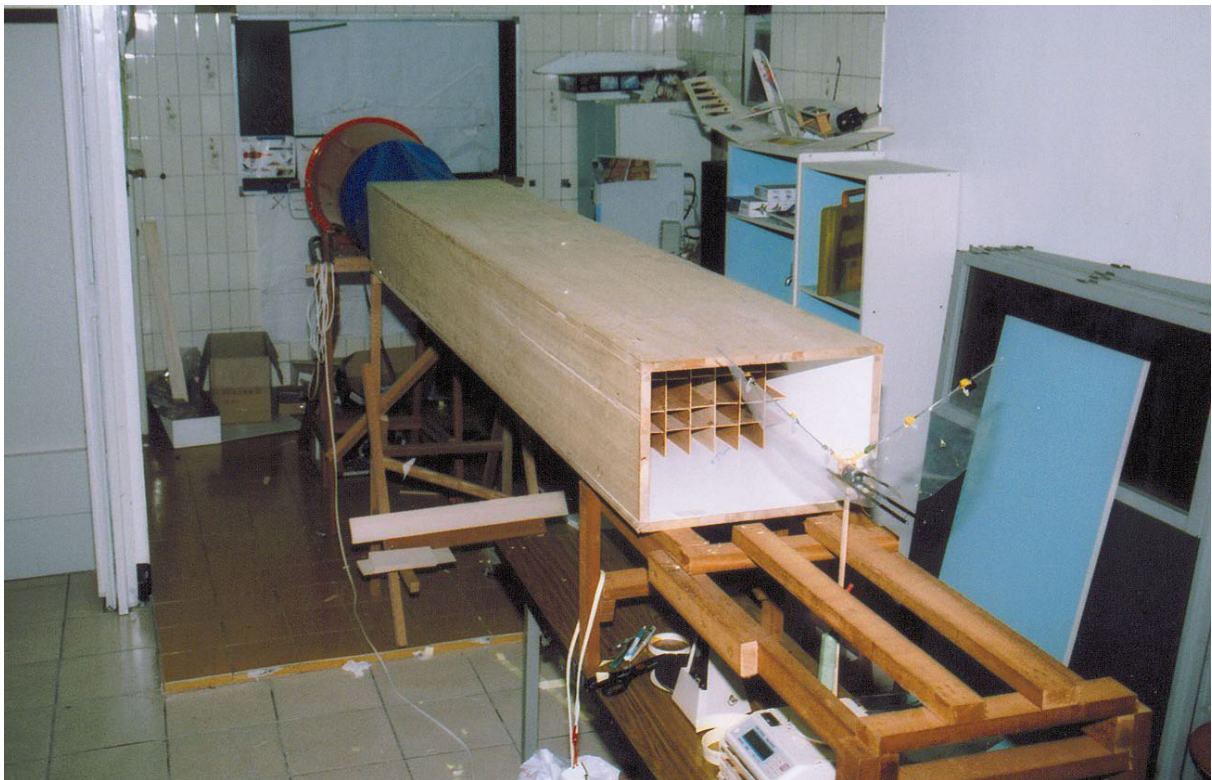


- 2. 風由風扇吹出後，利用隔板第一次整流修正風向。
- 3. 利用帆布將風導入風管中。
- 4. 風管內有三組隔板，分三次三段整流修正風向。
- 5. 實驗段：即進行實驗測試之區域。

圖：

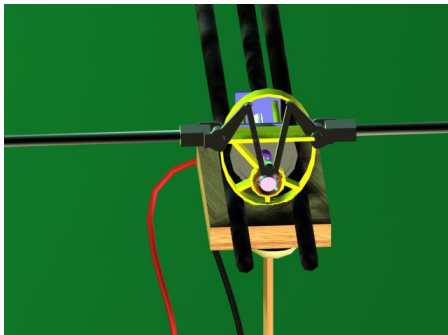


照片：



1. 設計振翅翼機座：

圖：



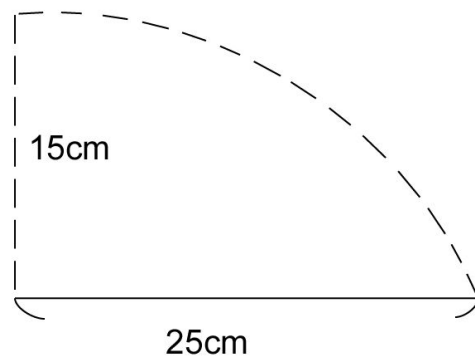
照片：



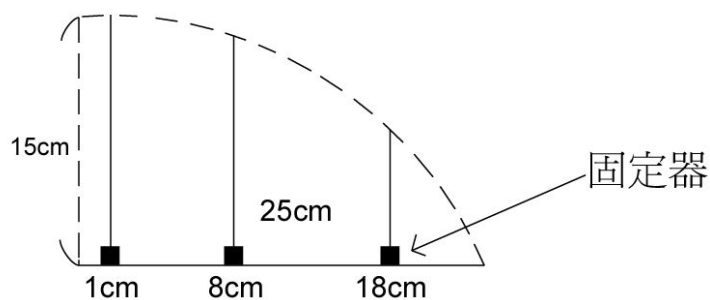
2. 設計振翅翼：

材料：碳纖維棒、雙面膠、opp 高級塑膠袋

(1)無翅骨振翅翼



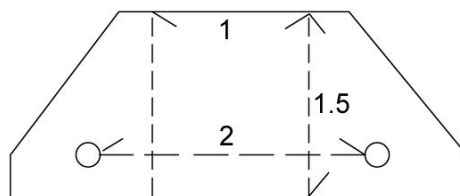
(2)固定翅骨振翅翼



(3)半活動翅骨振翅翼

a.半活動翅骨機械設計(定翼器)：

(a)定翼器平面圖



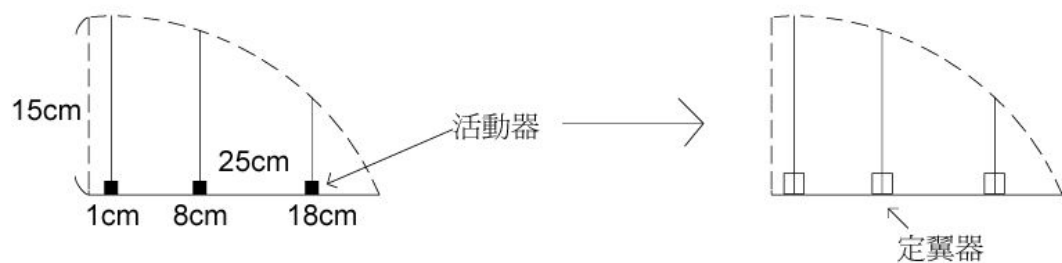
(b)材料：鋁薄片

*依設計平面圖剪下鋁薄片

*打格、劃線、穿孔、凹折

*定翼器成型後膠黏固定於翅翼上

b.半活動翅骨振翅翼

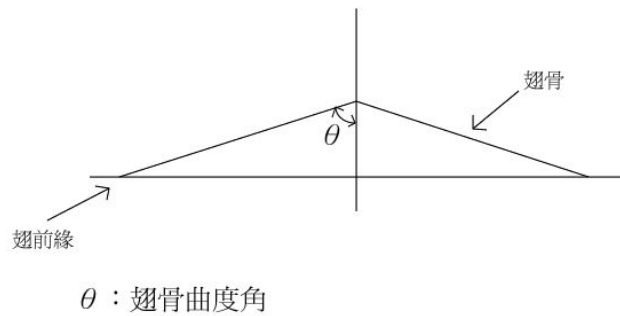


(4)設計振翅翼翅骨

A.翅骨材料為碳纖棒

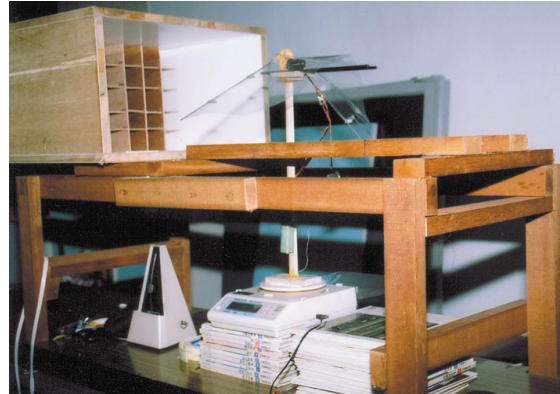
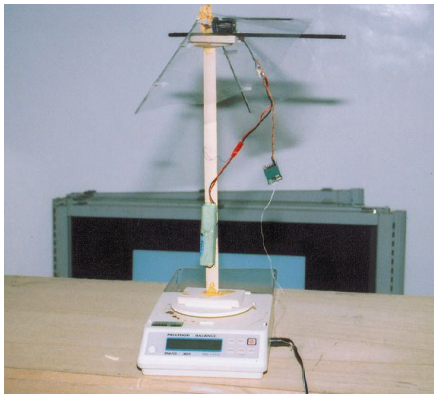
B.設計五種翅骨曲度角（分別為 75° 、 78.5° 、 82.5° 、 86° 、 90° ）之曲度翅骨

C.翅骨曲度角之定義



3. 製作實驗及觀測儀器：

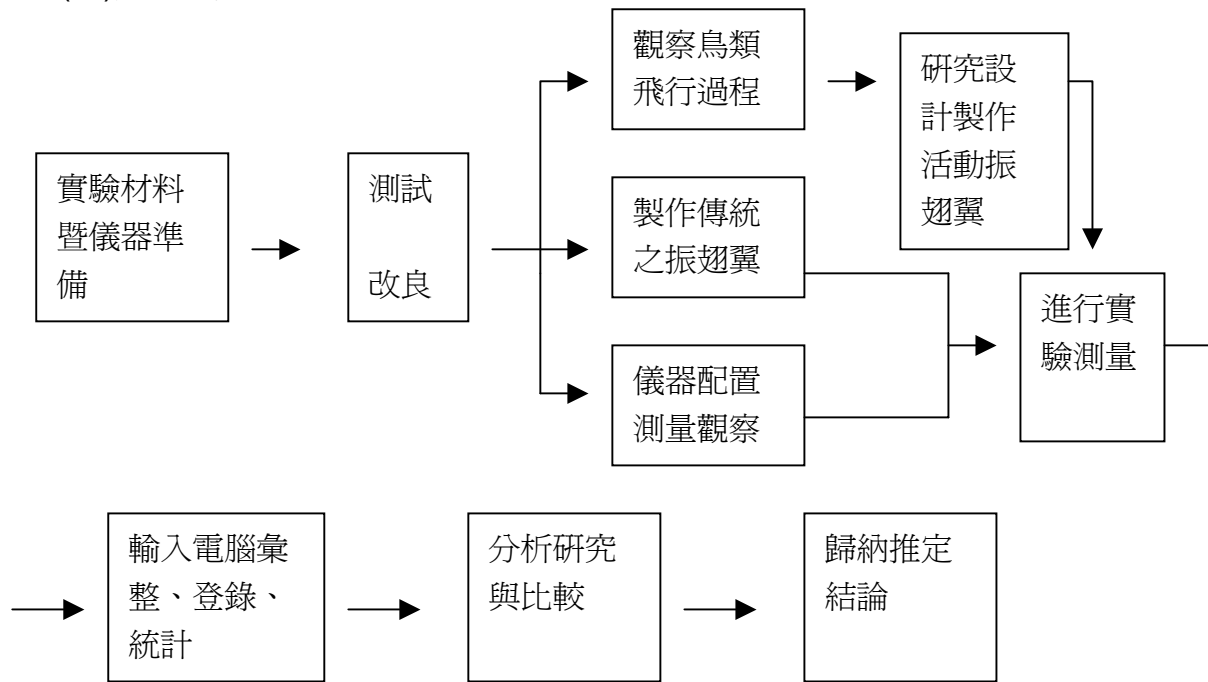
照片：



(三)界定研究問題的研究參數：

1. 本次實驗中，因為只探討升力，所以在實驗中不包括阻力、推力的測量。
2. 本研究之參數分別訂為，攻角 α 、翼面曲度 θ 、翅骨長度，以及振翅機構中之固定翅骨與半活動翅骨。

(四)實驗流程：



四、實驗規劃

(一)實驗裝置及器材：風洞、固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼、傳統振翅翼、電子秤、風速計、攝影機、伺服器、遙控器、空白錄影帶。

(二)實驗變因表

實測變因項目	振翅翼類別	翼面曲度角	翅骨長度	攻 角
變因內容	固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼	75°、78.5° 82.5°、86°、 90°	3 cm、6 cm、9 cm、 12 cm、15 cm	0°、5°、10° 15°、20°
變因數目	2	5	5	5
實測次數	2×5×5×5=250 次			
	傳統振翅翼(無固定、活動之別)	無	無	0°、5°、10° 15°、20°
變因數目	1			5
實測次數	1×5=5 次			
實測總數	250+5=255 次			

(三)實驗方法

1. 實測一次之變因：【固定振翅翼】+【75°】+【15 cm】+【0°】。

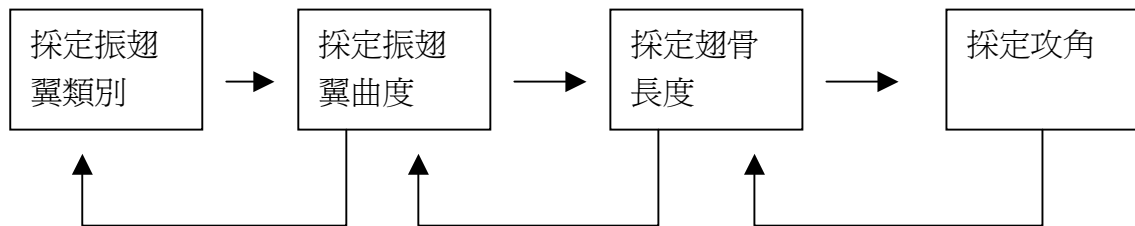
(1)以固定振翅翼，其翅骨曲度角為 75°，翅骨長度 15 cm，攻角是 0°組合成一實測體。

(2)將實測體安置於實測實驗平台且測量其淨重。

(3)調整風速為每秒 2 公尺，振翅翼拍擊每分鐘 144 次。

(4)攝影機攝錄 1 分鐘此實測體在實測實驗平台上的升力變化值。

2. 實測流程



3. 實驗總次數： $2 \times 5 \times 5 \times 5 + 1 \times 5$ 計 255 次數。

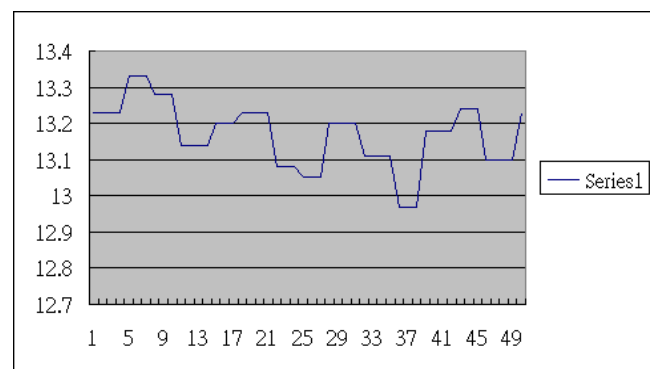
(四)實測數值處理方法

1. 攝錄 255 次，計 255 分鐘的錄影帶轉錄拷貝為光碟以便電腦顯示數值。
2. 每一次實驗 1 分鐘的紀錄時間，擇取中段(約 25 秒開始)的 9 秒鐘加以紀錄。
3. 每 1 秒鐘計有 30 個紀錄數值，列表一一予以登錄，得到每一次實測實驗有 256 個數值，總計有 65280 個數值以作為研究分析與比較。
4. 數值彙整、分類、排列並製成表格。
 - (1)原始升力數值：傳統振翅翼、固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼(如附件一)。
 - (2)原始升力最小值、最大值、平均值。(如附件二)
 - (3)矯正原始升力最小值、最大值、平均值之數值暨折線圖。(如附件三)
 - (4)升力數值： \times 升力系數所得到。

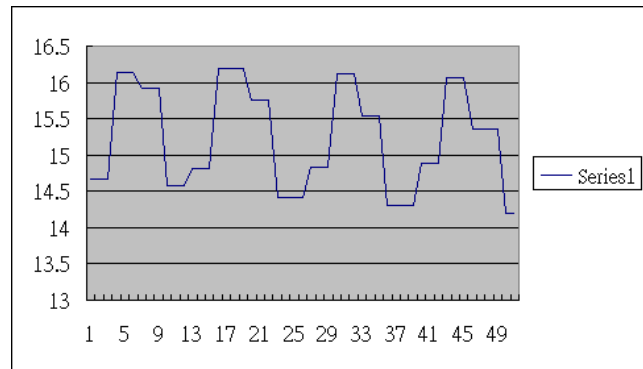
五、數值分析研究與比較

(一)選列傳統振翅翼、固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼之原始測得升力數值及折線圖：

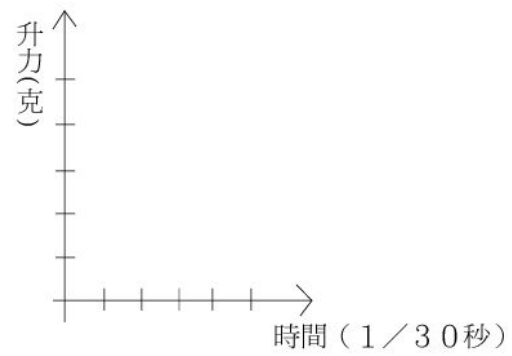
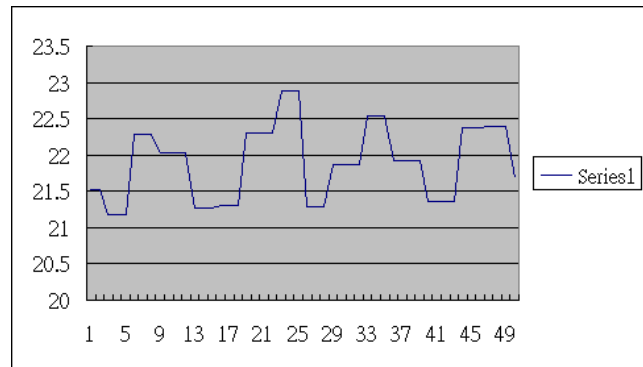
典型之傳統振翅翼 攻角 20 度



曲度角 **86 度** 固定翅骨 翅骨 **15 公分** 攻角 **20 度**



曲度角 **75 度** 半活動翅骨 翅骨 **9 公分** 攻角 **20 度**

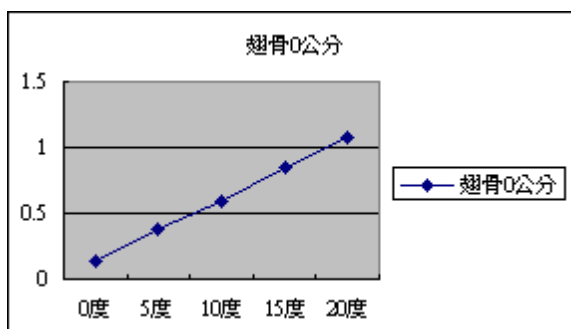


(二)傳統振翅翼、固定翅骨振翅翼、半活動翅骨振翅翼之升力系數最大值、最小值、平均值及折線圖：

典型之傳統振翅翼最小、最大、平均值及折線圖

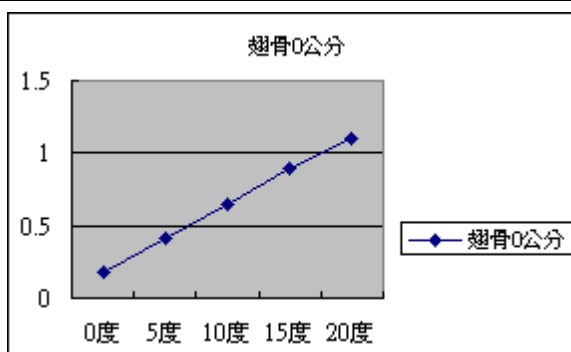
無曲度升力系數最小值之比較

攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
翅骨 0 公分	0.140227472	0.376699259	0.594647686	0.847971702	1.068320959



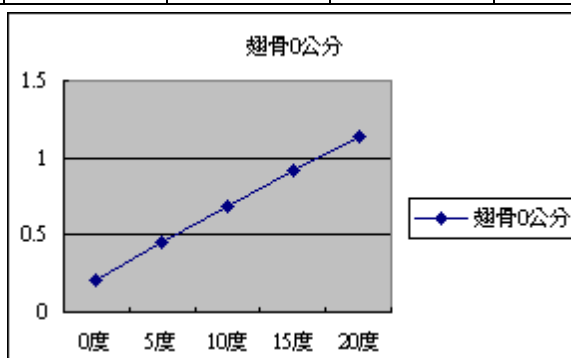
無曲度升力系數平均值之比較

攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
翅骨 0 公分	0.176877834	0.412689634	0.64238131	0.890040337	1.103931658



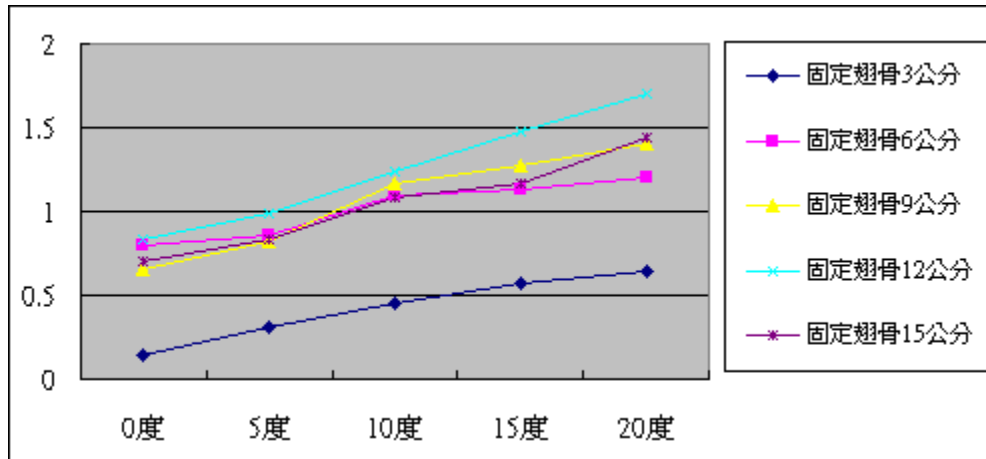
無曲度升力系數最大值之比較

攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
翅骨 0 公分	0.20078	0.453479	0.683643	0.912312	1.141238

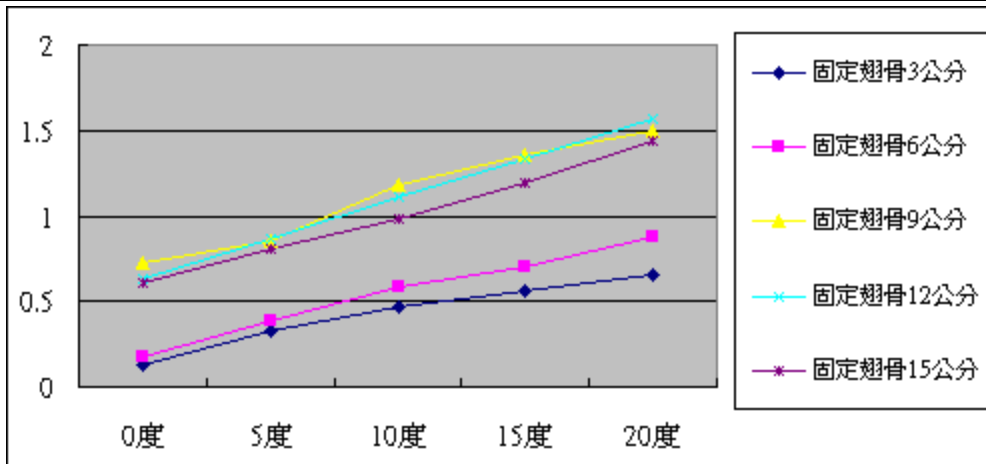


A(一).固定翅骨各曲度的升力系數最小值表及折線圖

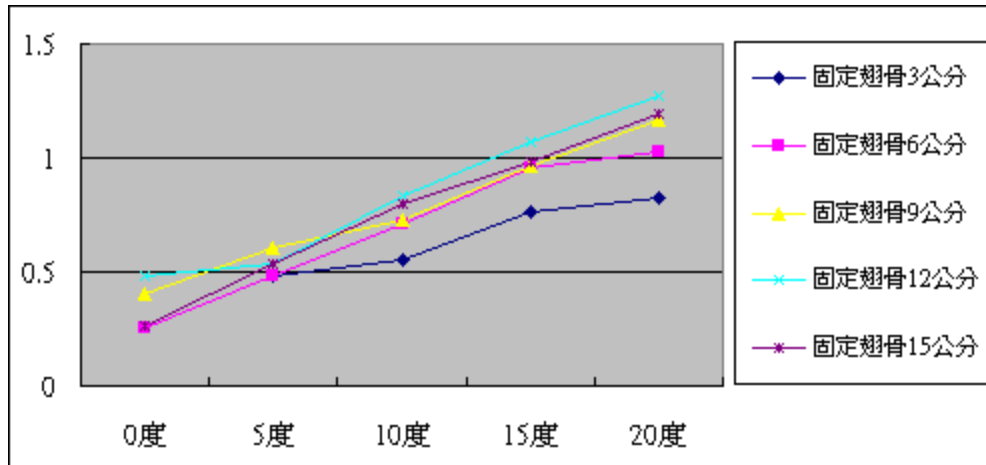
曲度角 75° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.1473982	0.3047185	0.4514468	0.5658644	0.6477756
固定翅骨 6 公分	0.7927633	0.8613696	1.09221	1.1267795	1.2073723
固定翅骨 9 公分	0.6557228	0.8237797	1.1714964	1.2686581	1.3989917
固定翅骨 12 公分	0.8381778	0.9917348	1.2426923	1.4814759	1.7025305
固定翅骨 15 公分	0.6987471	0.8277786	1.0857377	1.169673	1.4422333



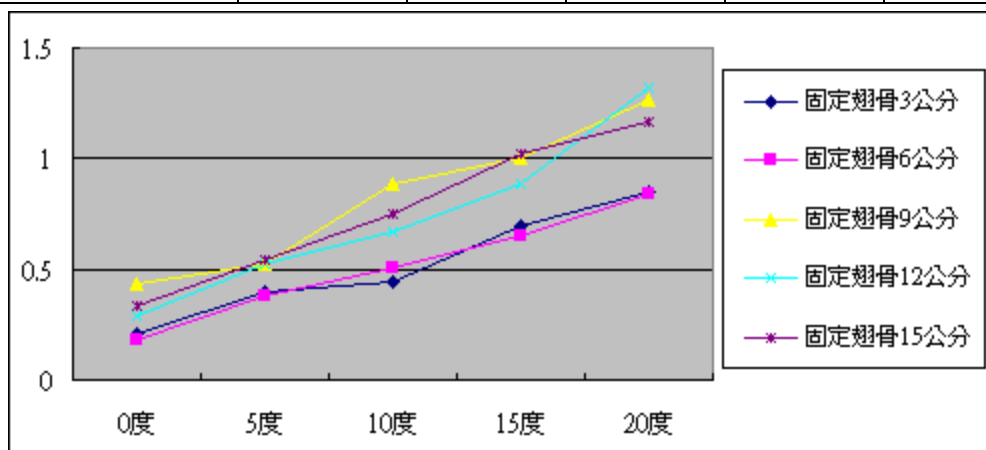
曲度角 78.5° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.1298698	0.332711	0.4676277	0.5633898	0.6537107
固定翅骨 6 公分	0.1697071	0.3838973	0.5865572	0.7011439	0.8826366
固定翅骨 9 公分	0.7218528	0.8501726	1.1771597	1.3511456	1.4922578
固定翅骨 12 公分	0.6294301	0.8685677	1.1075819	1.3296988	1.5711101
固定翅骨 15 公分	0.6087147	0.8093835	0.98218	1.196069	1.4405375



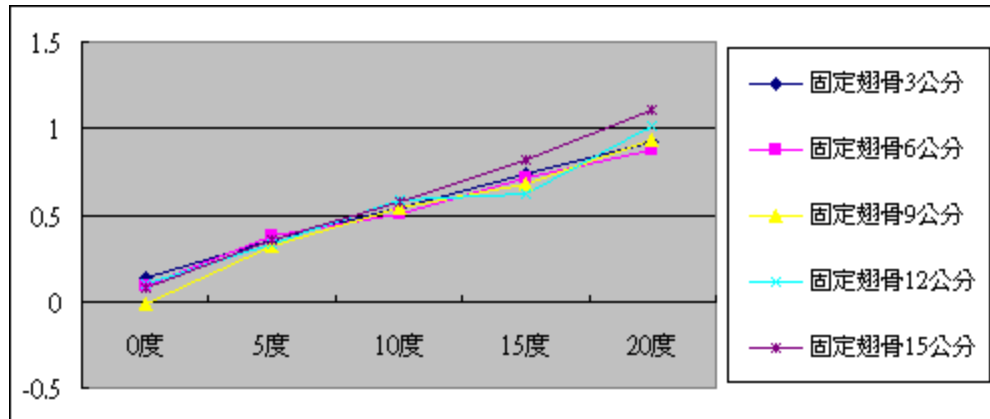
曲度角 82.5° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分		0.4814712	0.5501502	0.7638344	0.8207418
固定翅骨 6 公分	0.2525688	0.4846704	0.7127682	0.9552055	1.0259273
固定翅骨 9 公分	0.4047475	0.6014392	0.7257129	0.9626294	1.1624349
固定翅骨 12 公分	0.4836254	0.5390558	0.8292706	1.0731626	1.2701149
固定翅骨 15 公分	0.26452	0.5390558	0.8017631	0.9807766	1.1938063



曲度角 86° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.2055607	0.3990933	0.4457835	0.69372	0.8453302
固定翅骨 6 公分	0.1768778	0.3782988	0.5105071	0.6516514	0.8444823
固定翅骨 9 公分	0.4342271	0.5230601	0.8859037	0.9997487	1.2667234
固定翅骨 12 公分	0.2852354	0.5278588	0.6682707	0.8883906	1.3192916
固定翅骨 15 公分	0.3354305	0.5398556	0.7475571	1.0228452	1.1675222

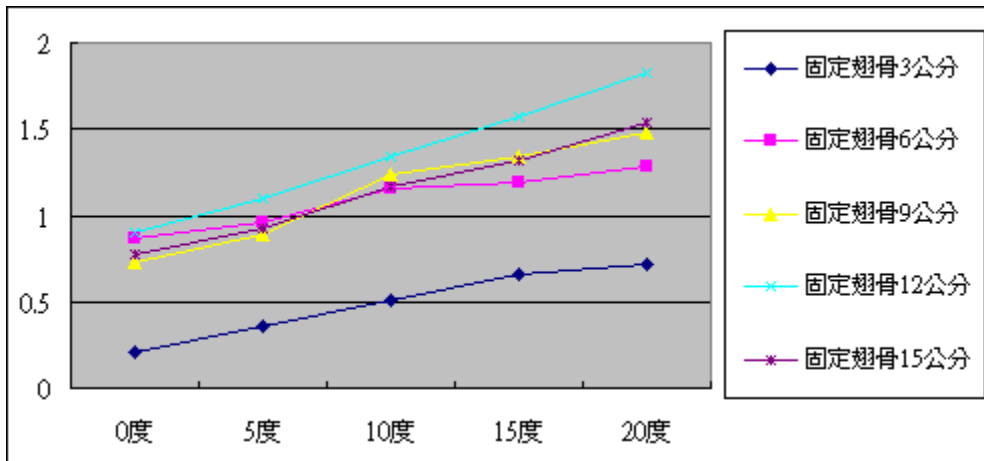


曲度角 90° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.1370405	0.3575044	0.5396327	0.7357887	0.9275737
固定翅骨 6 公分	0.0892357	0.3838973	0.5056528	0.7192912	0.8767014
固定翅骨 9 公分	-0.0191219	0.3167153	0.5436779	0.6829966	0.9309654
固定翅骨 12 公分	0.1051706	0.3303116	0.583321	0.6186564	1.0157528
固定翅骨 15 公分	0.0772845	0.3559048	0.5752306	0.8191013	1.1047797

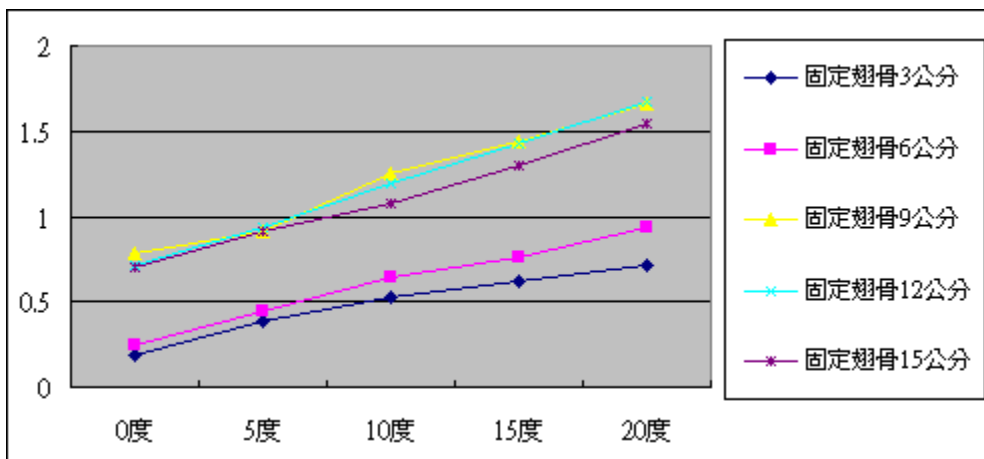


A(二).固定翅骨各曲度的升力系數平均值表及折線圖

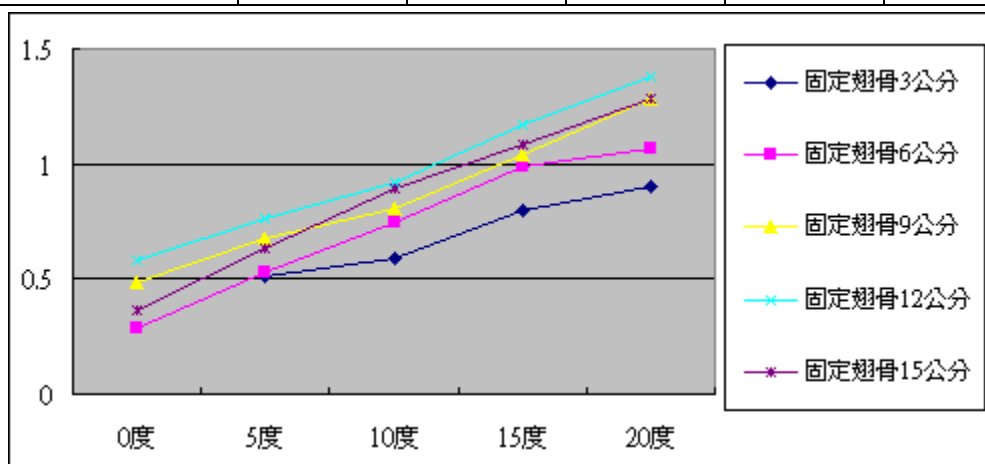
曲度角 75° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.211138	0.359104	0.508889	0.6549509	0.7173012
固定翅骨 6 公分	0.8684542	0.9565442	1.1553155	1.196069	1.2802894
固定翅骨 9 公分	0.7290235	0.8909617	1.237029	1.3387724	1.4829312
固定翅骨 12 公分	0.9074948	1.0965068	1.345441	1.5697375	1.8212329
固定翅骨 15 公分	0.7736413	0.9277519	1.1682602	1.3222749	1.5422824



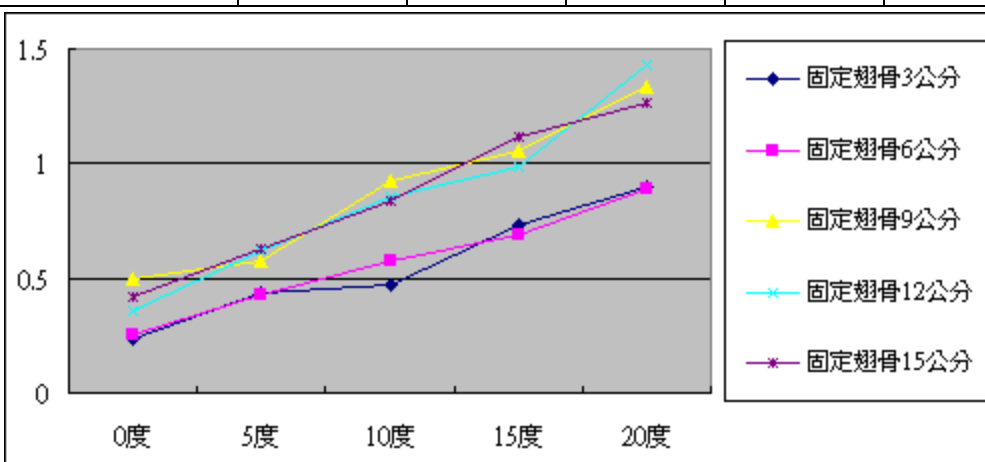
曲度角 78.5° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.192016	0.3894958	0.528306	0.621131	0.7181491
固定翅骨 6 公分	0.2414143	0.4438813	0.6399542	0.7654842	0.9352048
固定翅骨 9 公分	0.7847958	0.9141555	1.254828	1.4402321	1.6575932
固定翅骨 12 公分	0.7162756	0.9389489	1.1884863	1.4286838	1.672855
固定翅骨 15 公分	0.7075113	0.908557	1.0784563	1.2950541	1.5490654



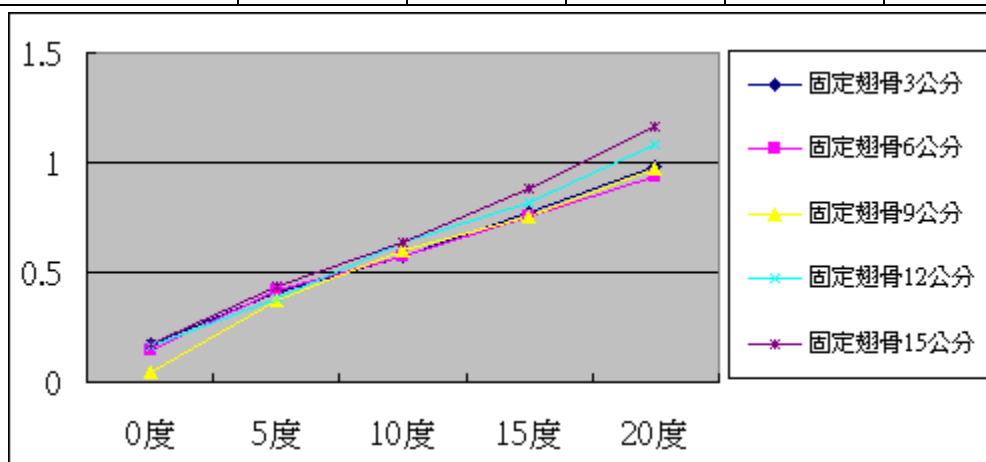
曲度角 82.5° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分		0.5078642	0.5897934	0.7968294	0.9038334
固定翅骨 6 公分	0.2900159	0.531058	0.7475571	0.9882005	1.0632337
固定翅骨 9 公分	0.4812352	0.6742197	0.8041902	1.0385179	1.2802894
固定翅骨 12 公分	0.5816253	0.7613964	0.9166474	1.1680233	1.3794906
固定翅骨 15 公分	0.3617231	0.6342304	0.8964213	1.0830611	1.2862245



曲度角 86° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.2318534	0.4366832	0.4749091	0.7349638	0.8987462
固定翅骨 6 公分	0.2509753	0.4230869	0.5728035	0.6846464	0.893659
固定翅骨 9 公分	0.4963734	0.5766458	0.9263559	1.0558403	1.3337055
固定翅骨 12 公分	0.3569427	0.6174349	0.8519238	0.9873756	1.4337546
固定翅骨 15 公分	0.4190889	0.6286319	0.8414063	1.1160561	1.2633319

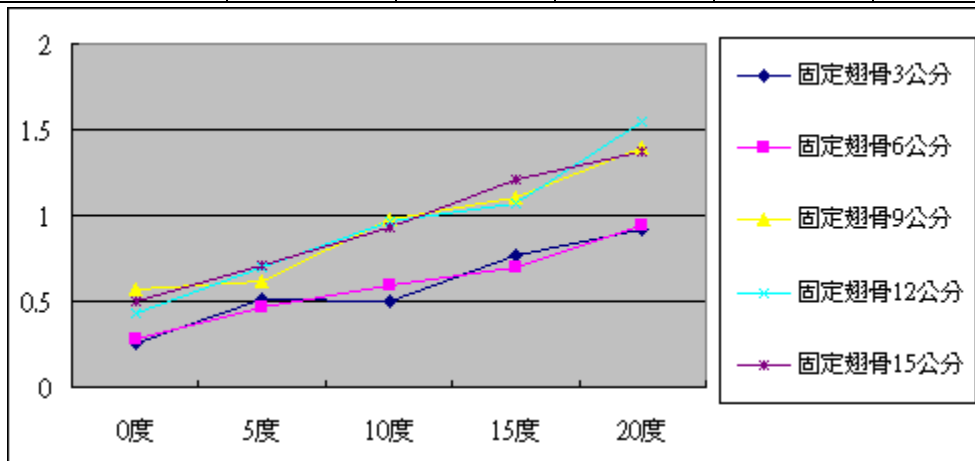


曲度角 90° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.1689104	0.4110901	0.5728035	0.7745578	0.9792942
固定翅骨 6 公分	0.1410242	0.4166886	0.5687583	0.7572354	0.9394441
固定翅骨 9 公分	0.0454146	0.3711008	0.6043562	0.7555857	0.9708155
固定翅骨 12 公分	0.1641299	0.3806982	0.636718	0.8166264	1.0835827
固定翅骨 15 公分	0.1689104	0.4382828	0.6391451	0.8809667	1.1624349

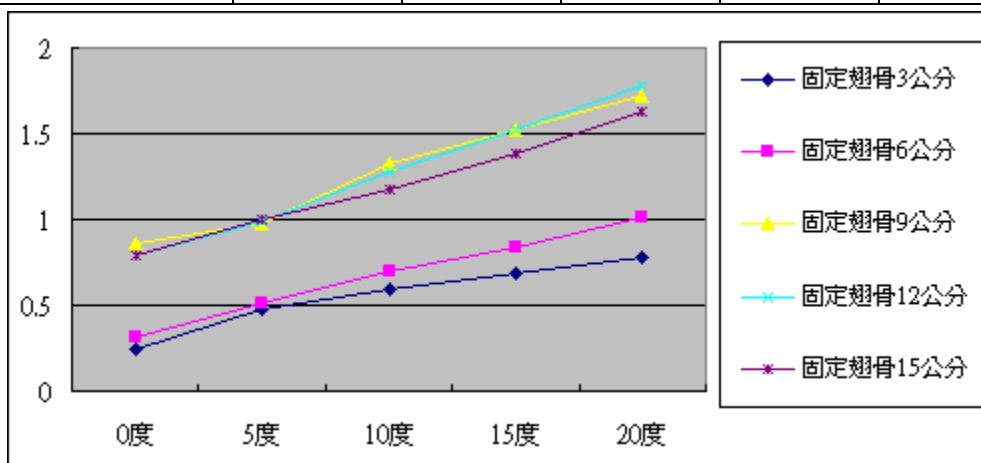


A(三)固定翅骨各曲度的升力系數最大值表及折線圖

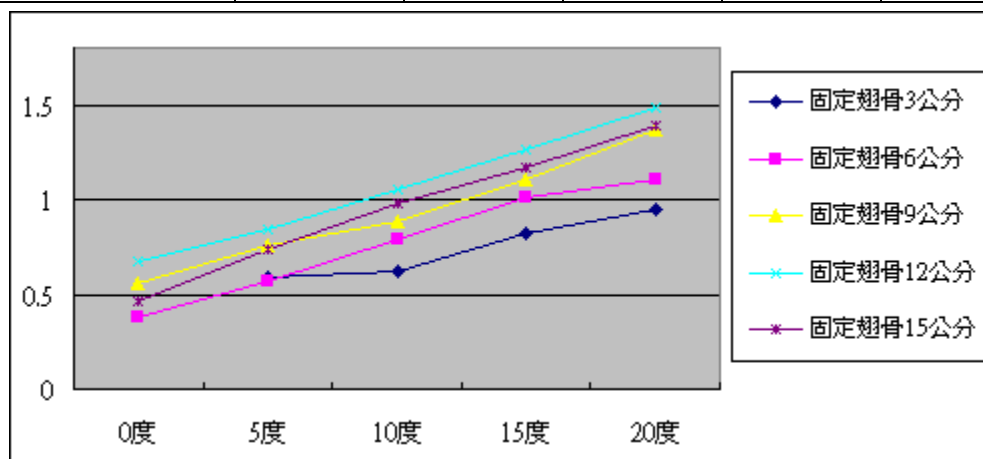
曲度角 75° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.2573493	0.5078642	0.5040347	0.7654842	0.9241824
固定翅骨 6 公分	0.2820484	0.4670751	0.5978839	0.6986693	0.9462271
固定翅骨 9 公分	0.5656904	0.6134359	0.9716624	1.1069825	1.3981439
固定翅骨 12 公分	0.4246662	0.703012	0.9708534	1.0739875	1.5414345
固定翅骨 15 公分	0.4963734	0.7134092	0.9352554	1.2076173	1.3735555



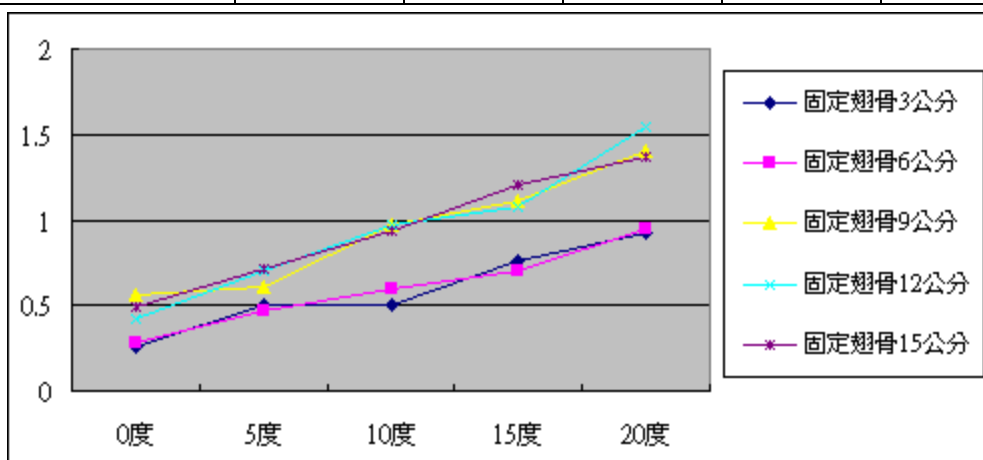
曲度角 78.5° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.2453981	0.471074	0.5881753	0.687121	0.7775003
固定翅骨 6 公分	0.3099346	0.5142625	0.6982054	0.8339488	1.0123613
固定翅骨 9 公分	0.8620803	0.9765388	1.3308782	1.520245	1.7254231
固定翅骨 12 公分	0.7951535	0.9941341	1.2823355	1.5210699	1.7762956
固定翅骨 15 公分	0.7959503	1.0037316	1.1698783	1.3866152	1.6270698



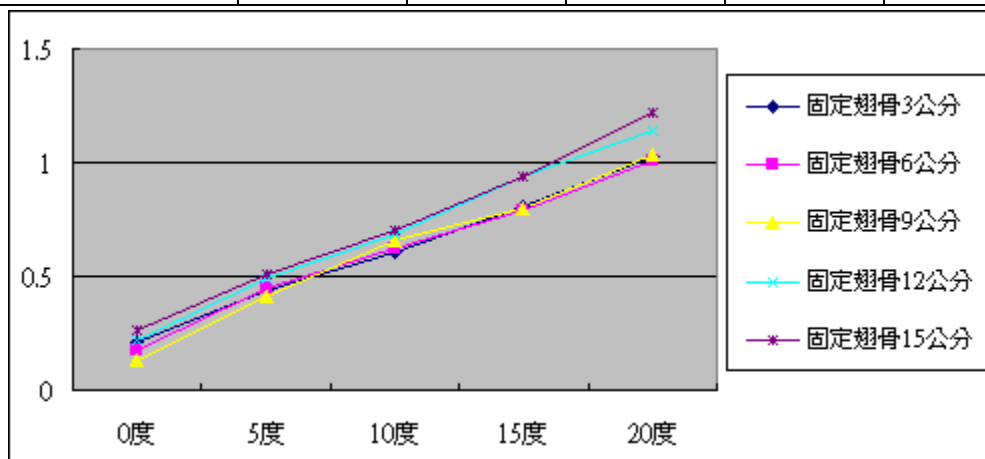
曲度角 82.5° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分		0.5926415	0.6221552	0.8257001	0.9445314
固定翅骨 6 公分	0.3784548	0.5726469	0.7847731	1.0145965	1.1022359
固定翅骨 9 公分	0.5529424	0.7533985	0.8883308	1.103683	1.370164
固定翅骨 12 公分	0.6692675	0.8461737	1.0501397	1.2653586	1.4803876
固定翅骨 15 公分	0.4581295	0.7318043	0.9781348	1.1721477	1.3879694



曲度角 86° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.2573493	0.5078642	0.5040347	0.7654842	0.9241824
固定翅骨 6 公分	0.2820484	0.4670751	0.5978839	0.6986693	0.9462271
固定翅骨 9 公分	0.5656904	0.6134359	0.9716624	1.1069825	1.3981439
固定翅骨 12 公分	0.4246662	0.703012	0.9708534	1.0739875	1.5414345
固定翅骨 15 公分	0.4963734	0.7134092	0.9352554	1.2076173	1.3735555

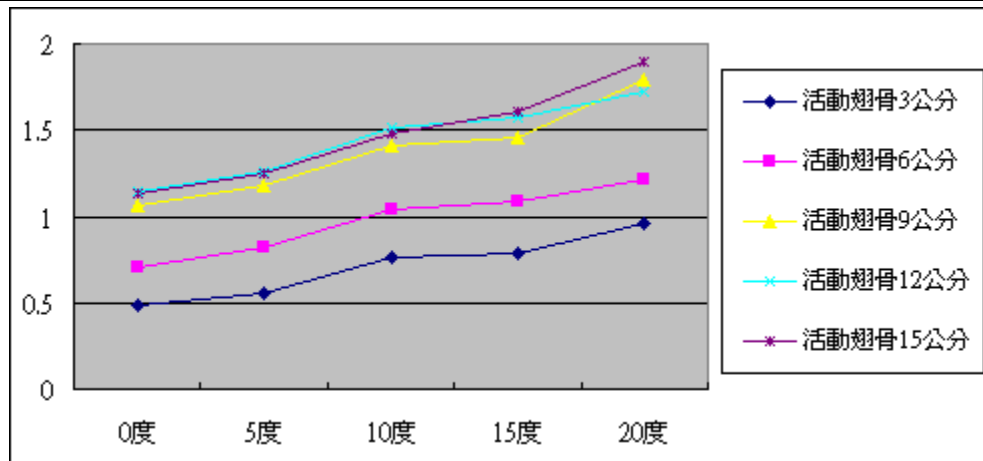


曲度角 90° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
固定翅骨 3 公分	0.207951	0.4382828	0.6019291	0.8108523	1.0250794
固定翅骨 6 公分	0.1713006	0.4446811	0.6229642	0.7877558	1.0089698
固定翅骨 9 公分	0.135447	0.4158888	0.6537079	0.8001289	1.0369496
固定翅骨 12 公分	0.2183087	0.4894691	0.6860697	0.9362333	1.1437817
固定翅骨 15 公分	0.2629265	0.5126629	0.7054868	0.9354085	1.215851

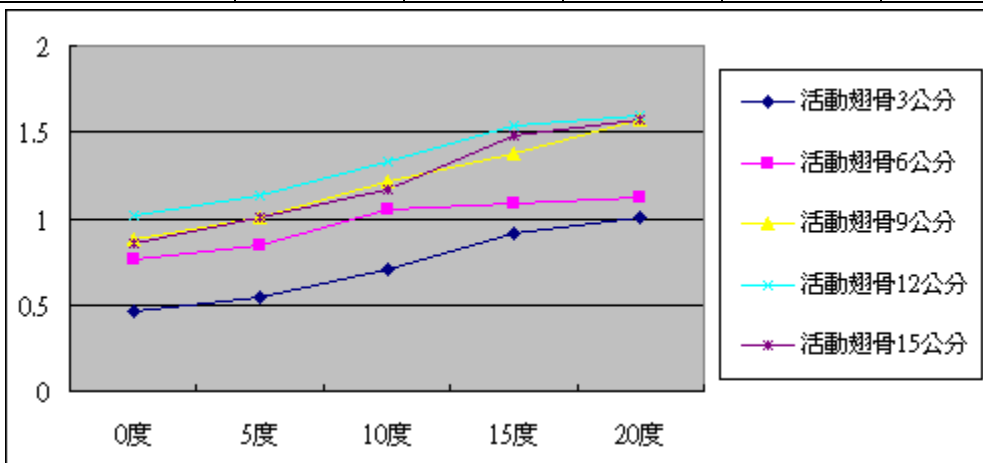


B(一).半活動翅骨各曲度的升力系數最小值表及折線圖

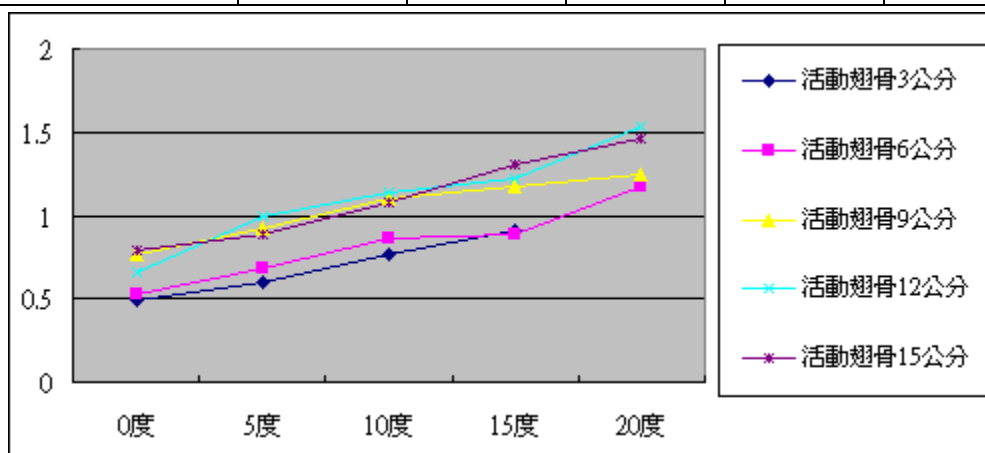
曲度角 75° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.4899994	0.5574509	0.7629289	0.7902304	0.9589452
活動翅骨 6 公分	0.7083081	0.8229799	1.0436674	1.0896601	1.2150031
活動翅骨 9 公分	1.0604703	1.1780849	1.4142097	1.4550798	1.7949488
活動翅骨 12 公分	1.1457222	1.2644618	1.509677	1.5738619	1.7228795
活動翅骨 15 公分	1.1281938	1.2468665	1.4805514	1.6035574	1.900933



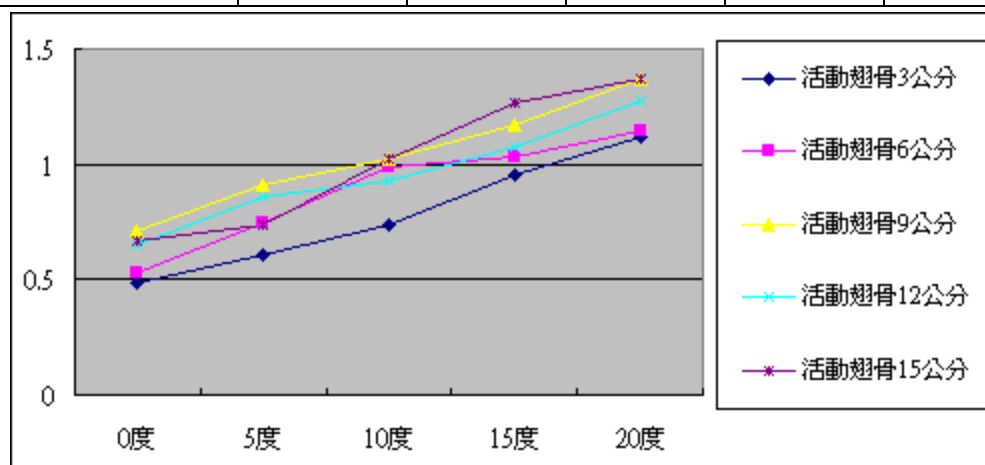
曲度角 78.5° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.4605198	0.5430548	0.7014416	0.9081876	1.0055783
活動翅骨 6 公分	0.7632836	0.8429746	1.054994	1.0896601	1.1242806
活動翅骨 9 公分	0.8796087	1.0069307	1.2151848	1.3791913	1.5677186
活動翅骨 12 公分	1.0214297	1.1308976	1.3300691	1.5392171	1.5965463
活動翅骨 15 公分	0.8549095	1.0045314	1.163406	1.4757017	1.5745016



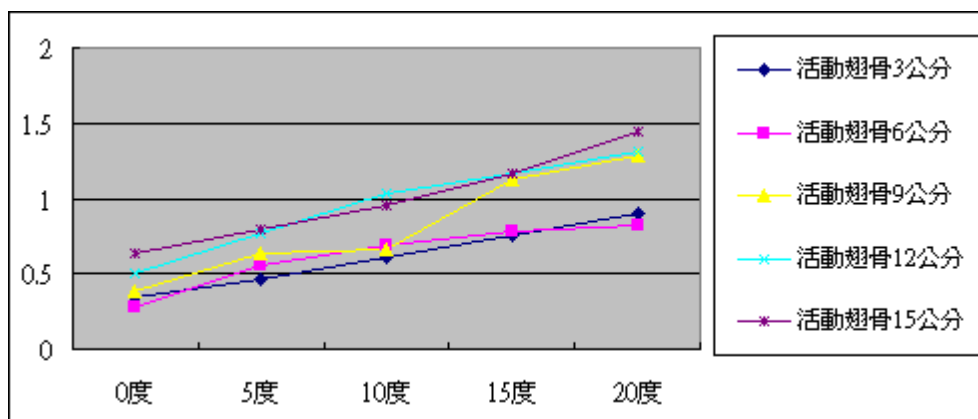
曲度角 82.5° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.4892027	0.6014392	0.7653561	0.9139617	
活動翅骨 6 公分	0.522666	0.6822176	0.8583962	0.885916	1.1700658
活動翅骨 9 公分	0.7688609	0.9261523	1.0994914	1.1713228	1.2506138
活動翅骨 12 公分	0.6573163	0.9933344	1.1383256	1.2175158	1.538043
活動翅骨 15 公分	0.7927633	0.8901619	1.0744111	1.3000033	1.4591908



曲度角 86° 升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.4884059	0.609437	0.7402757	0.9568552	1.1174976
活動翅骨 6 公分	0.5306335	0.7485998	0.9918885	1.0327437	1.1437817
活動翅骨 9 公分	0.7075113	0.9101566	1.0218232	1.1737974	1.3718598
活動翅骨 12 公分	0.651739	0.8557711	0.9239288	1.0789368	1.2709628
活動翅骨 15 公分	0.6716577	0.7406019	1.0202051	1.2670083	1.370164

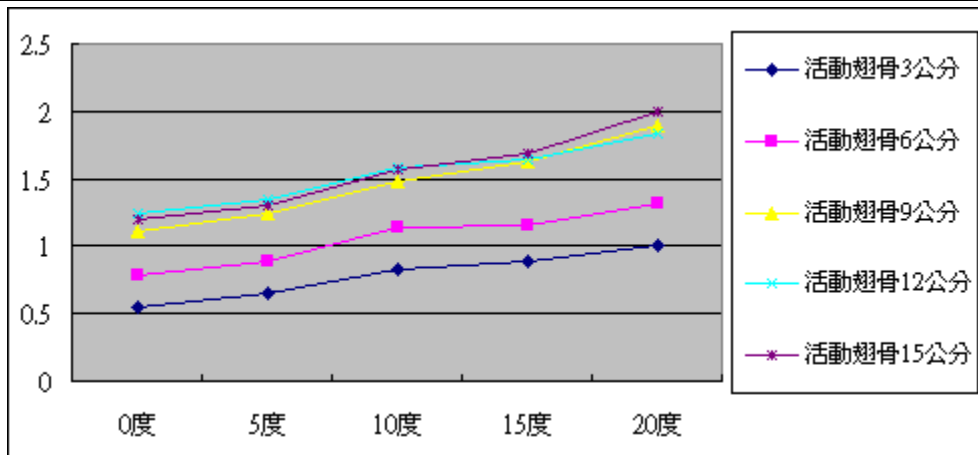


曲度角 90°升力系數最小值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.3481784	0.4582774	0.6054381	0.7514613	0.9029856
活動翅骨 6 公分	0.2820484	0.5606501	0.6868788	0.7753827	0.8156546
活動翅骨 9 公分	0.3896093	0.631831	0.6682707	1.1193556	1.2913118
活動翅骨 12 公分	0.4971701	0.762996	1.036386	1.1605994	1.3057256
活動翅骨 15 公分	0.6310236	0.7989863	0.9482001	1.1671984	1.4447769

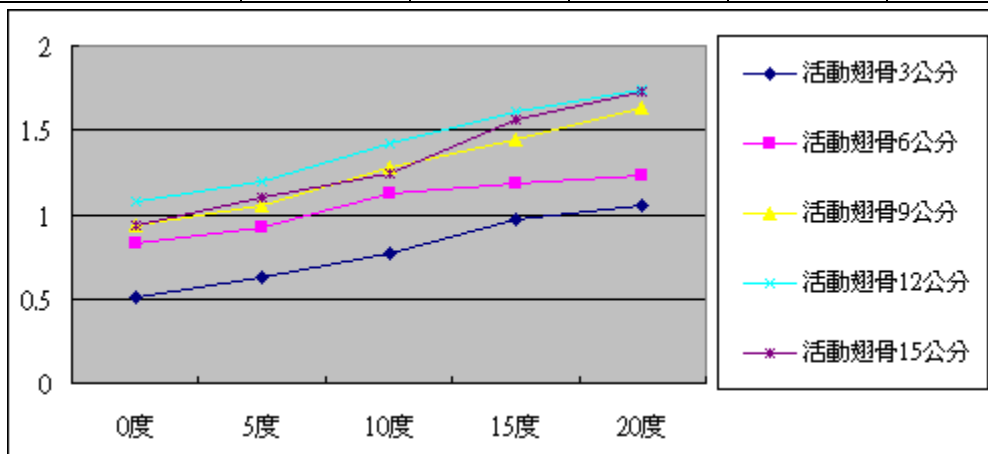


B(二).半活動翅骨各曲度的升力系數平均值表及折線圖

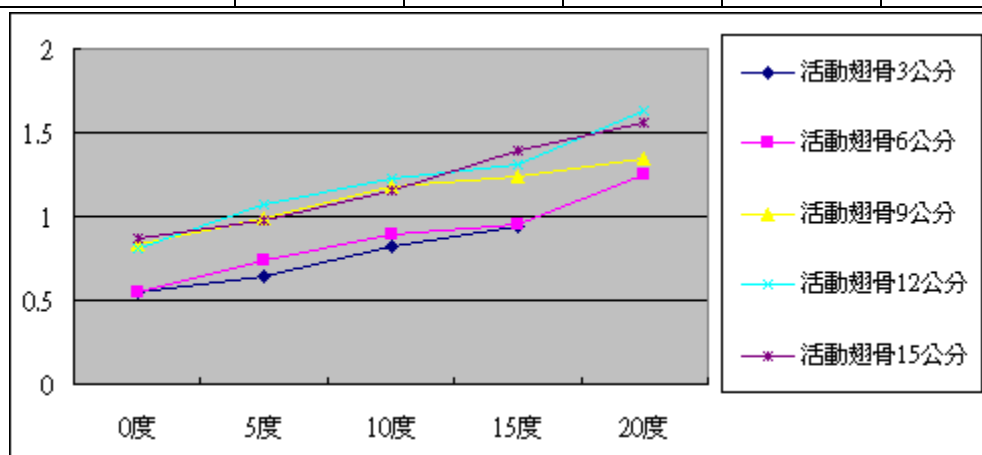
曲度角 75° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5513489	0.6510259	0.8316977	0.885916	1.0115134
活動翅骨 6 公分	0.7847958	0.8933611	1.1342803	1.156475	1.3192916
活動翅骨 9 公分	1.1146491	1.2404683	1.4845966	1.6208798	1.8958458
活動翅骨 12 公分	1.2357546	1.3404415	1.582491	1.6464509	1.827168
活動翅骨 15 公分	1.1959172	1.3084501	1.5671191	1.6794459	1.9941991



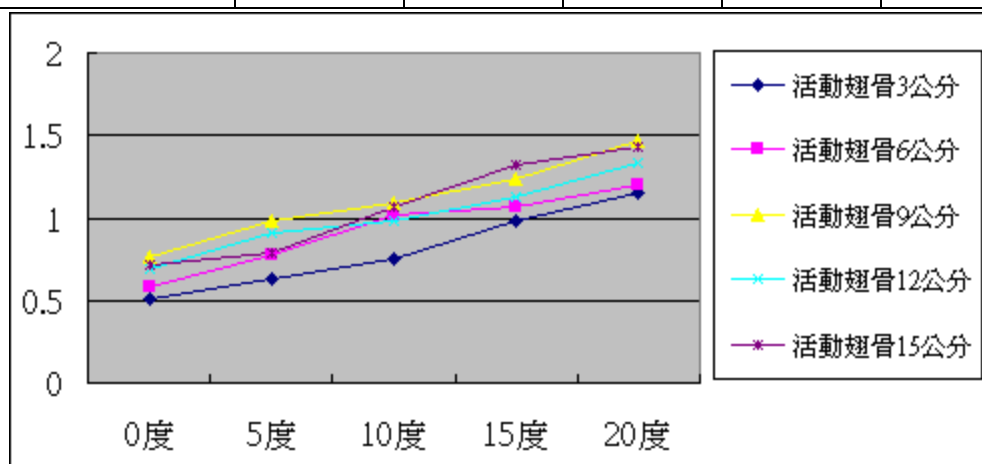
曲度角 78.5° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5115116	0.6286319	0.7694013	0.9741776	1.0564507
活動翅骨 6 公分	0.8254299	0.919754	1.1189085	1.1820462	1.2336563
活動翅骨 9 公分	0.9329907	1.0565175	1.272627	1.4402321	1.6372443
活動翅骨 12 公分	1.0779987	1.19648	1.4214911	1.6134559	1.7355976
活動翅骨 15 公分	0.9337875	1.1053044	1.2386471	1.559839	1.7245753



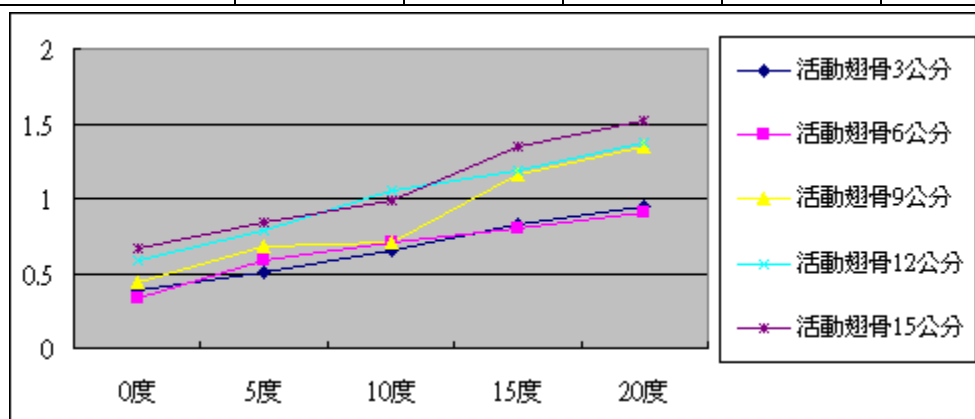
曲度角 82.5° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5505522	0.6398289	0.8195621	0.9444821	
活動翅骨 6 公分	0.5521457	0.7430013	0.8939941	0.9535557	1.2497659
活動翅骨 9 公分	0.8294136	0.9893354	1.1763507	1.2381377	1.3481193
活動翅骨 12 公分	0.8047145	1.0749125	1.2313657	1.3057774	1.6313091
活動翅骨 15 公分	0.8676575	0.9765388	1.1601698	1.3907396	1.5566963



曲度角 86° 升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5035441	0.6270323	0.7572656	0.9857259	1.1505647
活動翅骨 6 公分	0.5816253	0.7765923	1.0218232	1.070688	1.2039808
活動翅骨 9 公分	0.7664706	0.9765388	1.0873558	1.2331884	1.4608865
活動翅骨 12 公分	0.6899829	0.9093568	0.9789438	1.1309039	1.3345533
活動翅骨 15 公分	0.7114951	0.7917883	1.0622754	1.3222749	1.4261237

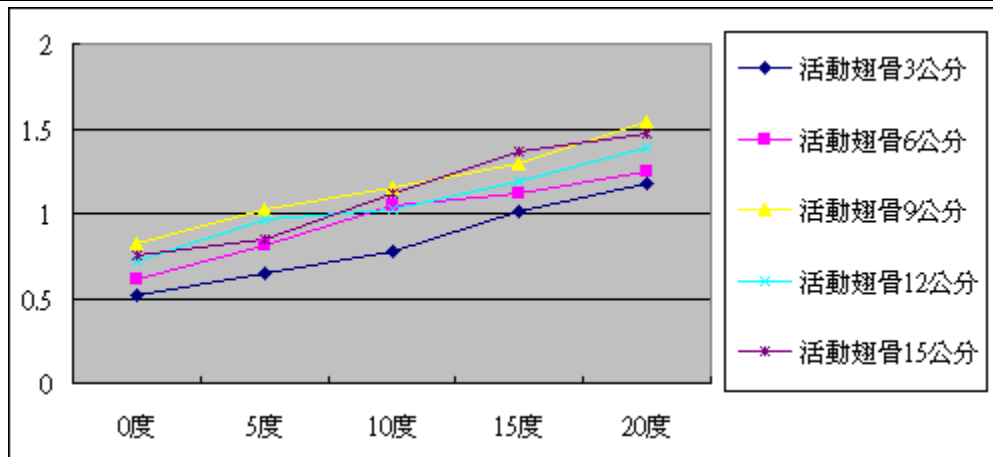


曲度角 90°升力系數平均值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.3808451	0.5070644	0.6488537	0.8224006	0.9428356
活動翅骨 6 公分	0.3298533	0.5806447	0.710341	0.8001289	0.9063771
活動翅骨 9 公分	0.4366174	0.680618	0.7127682	1.163074	1.3506629
活動翅骨 12 公分	0.5832188	0.7805912	1.0598483	1.1803964	1.3744034
活動翅骨 15 公分	0.6692675	0.8333771	0.9837981	1.3486709	1.5134547

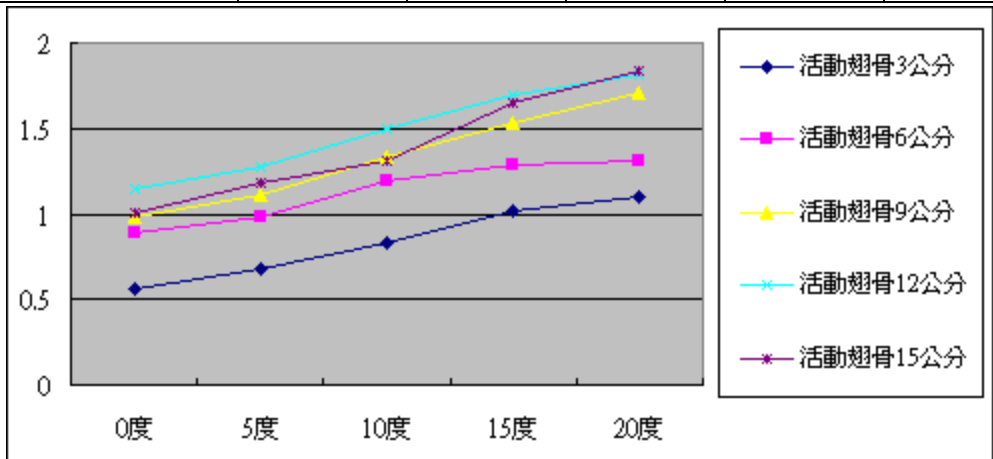


B(三).半活動翅骨各曲度的升力系數最大值表及折線圖

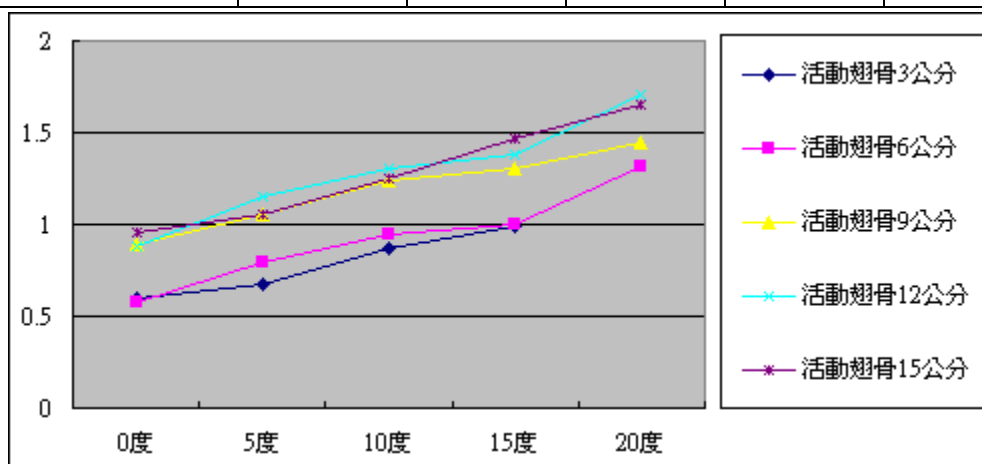
曲度角 75° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5234628	0.6438278	0.7750646	1.0170711	1.1810882
活動翅骨 6 公分	0.6158854	0.8069842	1.0485216	1.1135815	1.2514617
活動翅骨 9 公分	0.8190559	1.0293247	1.1480341	1.2958789	1.5354994
活動翅骨 12 公分	0.7234463	0.9597433	1.0266774	1.1861705	1.3828821
活動翅骨 15 公分	0.7585031	0.8509724	1.1140542	1.3676431	1.4719089



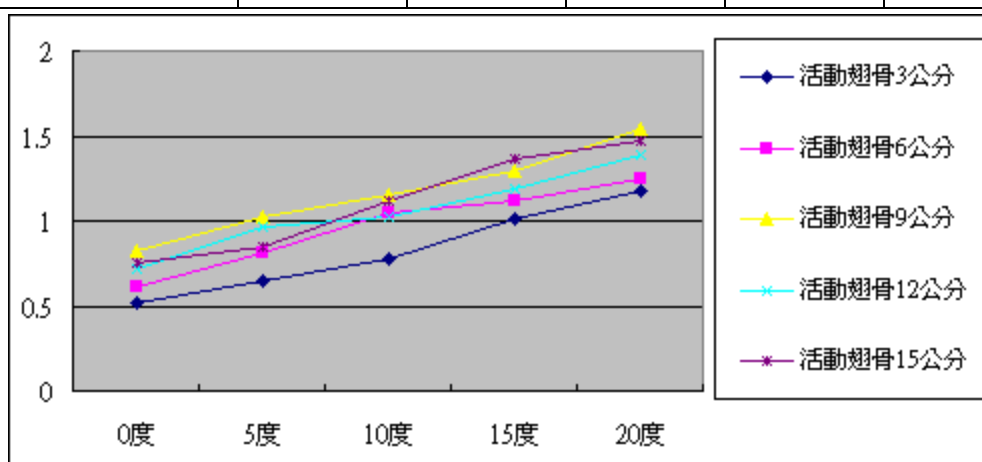
曲度角 78.5° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5577229	0.6790184	0.8292706	1.0228452	1.1039317
活動翅骨 6 公分	0.8835924	0.9773386	1.1892954	1.2818561	1.3082692
活動翅骨 9 公分	0.9768118	1.1053044	1.327642	1.5284937	1.7076178
活動翅骨 12 公分	1.1409417	1.2732595	1.491878	1.6934688	1.8186893
活動翅骨 15 公分	1.001511	1.1836834	1.3114611	1.6472758	1.8314074



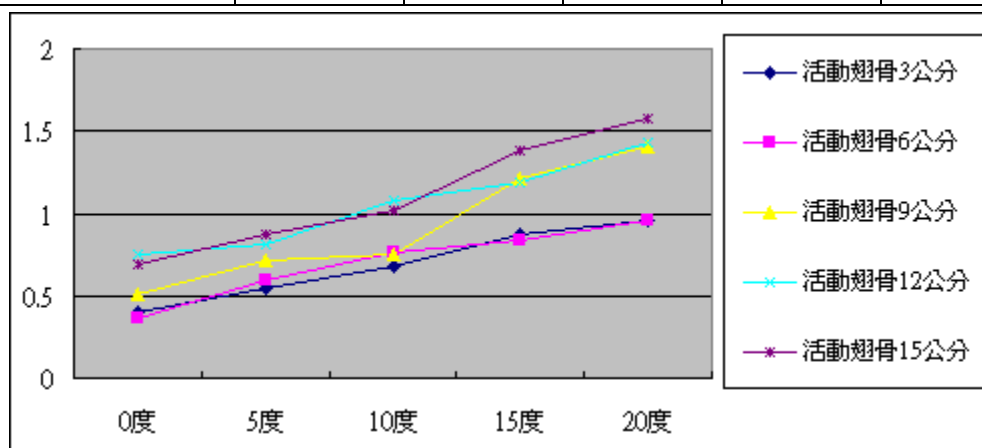
曲度角 82.5° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.6023407	0.6742197	0.8697228	0.9857259	
活動翅骨 6 公分	0.5736578	0.7933878	0.945773	0.9964492	1.316748
活動翅骨 9 公分	0.8875762	1.0573172	1.2402652	1.3057774	1.4447769
活動翅骨 12 公分	0.8780152	1.1468933	1.3001345	1.3775416	1.7067699
活動翅骨 15 公分	0.9529094	1.0525185	1.2451194	1.4666281	1.6516581



曲度角 86° 升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.5234628	0.6438278	0.7750646	1.0170711	1.1810882
活動翅骨 6 公分	0.6158854	0.8069842	1.0485216	1.1135815	1.2514617
活動翅骨 9 公分	0.8190559	1.0293247	1.1480341	1.2958789	1.5354994
活動翅骨 12 公分	0.7234463	0.9597433	1.0266774	1.1861705	1.3828821
活動翅骨 15 公分	0.7585031	0.8509724	1.1140542	1.3676431	1.4719089



曲度角 90°升力系數最大值之比較					
攻角	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
活動翅骨 3 公分	0.4039507	0.5478535	0.6795974	0.8784921	0.9623367
活動翅骨 6 公分	0.3688939	0.5934413	0.764547	0.839723	0.9547059
活動翅骨 9 公分	0.5091213	0.7174081	0.7516023	1.209267	1.4057747
活動翅骨 12 公分	0.7537227	0.8173814	1.0776472	1.1927695	1.4252758
活動翅骨 15 公分	0.6963569	0.8669681	1.0153508	1.3833157	1.5812846



六、討論

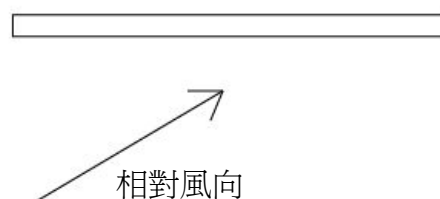
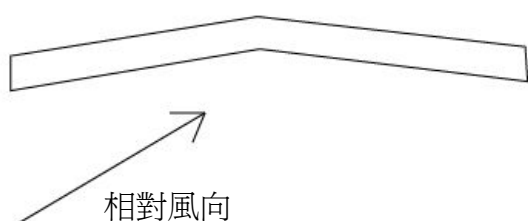
(一)攻角效應

在 0°~ 20°之間，無論那一種振翅翼，與固定翼相似，升力系數均隨著攻角的增加而增大。

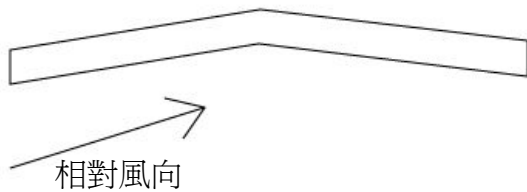
(二)翅骨曲度效應

1. 在實驗中翅骨曲度角分為 75°、78.5°、82.5°、86°、90°，由實驗數據之數值分析表中之平均升力系數值的比較可知對於固定翅骨若曲度角愈小(亦即曲度愈大)，當翅骨長度 6 公分以上時(亦即大於 1/3 弦長)，則升力系數數值愈大；就固定翅骨翼面言，當曲度角為 90°時(亦即平板翼)，所有不同長度的固定骨翅的升力系數值幾乎完全重合，亦即翅骨長度效應幾乎完全不存在。但半活動翅骨翼中，翅骨的長度效應仍相當明顯。
2. 若就翼面之最大升力系數和最小升力系數來討論，固定翅骨翼面有類似的表現，固定翅骨翼面在最大升力系數圖中，其曲度角愈大(亦即曲度愈小)其最大升力系數則愈小，而其最小升力系數圖中也有曲度角愈大(亦即曲度愈小)最小升力系數愈小的趨勢，其可能原因和圖所示：

(1)最大升力(約為翅翼向下拍打期間)



(2)最小升力(約為翅翼向上拍打期間)

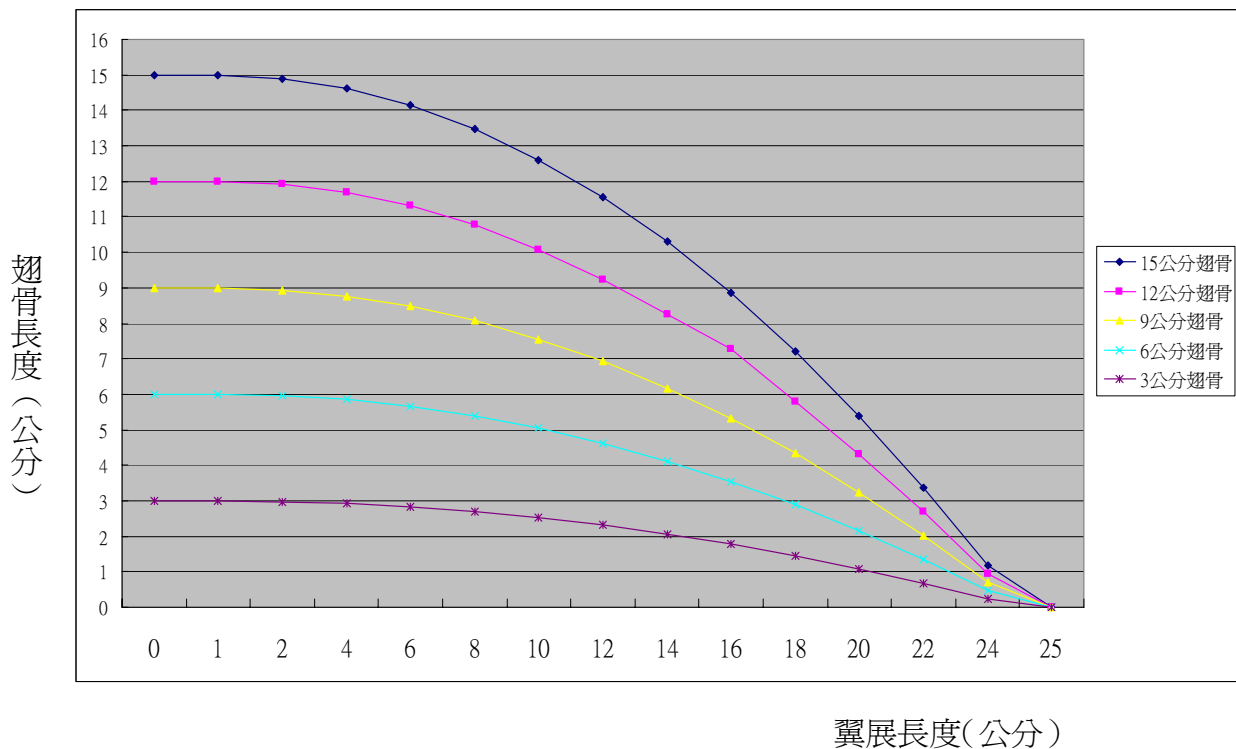


(三)翅骨長度效應

在固定翅骨中長度分別為 3 cm、6 cm、9 cm、12 cm、15 cm 的翅骨，實驗結果升力系數圖中顯示翅骨長度愈長，升力系數有愈大的趨勢，其可能原因與翅骨所真正影響的翼面積(有效面積)有關，用此實驗用的翼面材質來說，在 3 cm、6 cm 翅骨所拉動的有效面積不夠大，所以升力系數相對比較小，9 cm 翅骨的有效拉動面積小於 12 cm 翅骨的有效拉動面積，所以 12 cm 翅骨的升力系數大於 9 cm 骨翅的升力系數，雖然 15 cm 骨翅的長度大於 12 cm 骨翅，但有效拉動面積卻差不多。

圖：

	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	翼面積
15 公分翅骨	15	15	14.9	14.6	14.1	13.5	12.6	11.5	10.3	8.86	7.22	5.4	3.38	1.18	0	250cm
12 公分翅骨	12	12	11.9	11.7	11.3	10.8	10.1	9.24	8.24	7.28	5.78	4.32	2.71	0.94	0	200cm
9 公分翅骨	9	8.99	8.94	8.77	8.48	8.08	7.56	6.93	6.18	5.31	4.33	3.24	2.03	0.71	0	150cm
6 公分翅骨	6	5.99	5.96	5.85	5.65	5.39	5.04	4.62	4.12	3.54	2.89	2.16	1.35	0.47	0	100cm
3 公分翅骨	3	2.99	2.98	2.92	2.83	2.69	2.52	2.31	2.06	1.77	1.44	1.08	0.68	0.24	0	50cm



(四)半活動翅骨效應

在進行分析探討半活動翅骨時，需把之前的攻角、曲度、翅骨長度等綜合效應一起列入考慮中。

半活動翅骨在升力系數的表現方面，在攻角、曲度、翅骨長度等效應均有與固定翅骨擁有相似的趨勢，但有幾個不同點如下：

1. 攻角效應方面—與固定翅骨相同，攻角愈大升力系數愈大，而不同的是攻角愈大，固定翅骨的升力系數增加的量隨攻角的增大而愈來愈少(圖中的斜率愈來愈小)，而半活動翅骨的升力系數卻隨攻角的增加而愈來愈增加愈多(圖中的斜率愈來愈大)。
2. 曲度方面—以固定翅骨來分析，曲度角愈大(亦即曲度愈小)，各不同翅骨長度所造成的升力系數之變化愈不明顯，當曲度角為 90° 時(平板翼面)幾乎完全沒有差異，雖然半活動翅骨其翅骨曲度效應不是非常顯著，但與固定翅骨翼比較則有明顯的變化，當曲度角達 90° (平板翼面)時，其升力系數隨翅骨長度的變化則有顯著的變化。
3. 翅骨長度效應方面—固定翅骨與半活動翅骨二者之翼面其升力系數在翅骨長度的效應方面均有相同的變化趨勢。

本實驗之結果顯示折線圖中半活動翅骨振翅翼翼面的升力系數在同一條件下皆大於固定翅骨振翅翼翼面的升力，從以上 1、2、3 點的差異進一步分析其可能的原因說明如下：當固定翅骨上下拍動時，向下拍的動作相對攻角增大因而升力系數增大，向上拍的動作相對攻角減少因而升力系數減少；但半活動翅骨在上下拍動時，向下拍的動作中因翅骨固定因而相對攻角增大使升力系數增大，向上拍的動作中則因活動翅骨的關係，相對攻角並未減小因而升力系數減少量相對比較小，因此半活翅骨翼的升力系數比固定翅骨翼的值大。

七、結論與建議

綜合以上之結果分析可得知，未來的振翅翼飛具應以半活動翅骨翼的設計為最佳選擇，因它具有優秀的升力性能；其次在翅骨的長度選擇方面，實驗結果顯示至少要大於 $1/3$ 弦長才能拉動足夠的翼面積來產生增加升力效果，翅骨長為 $2/3$ 到 $4/5$ 弦長的效果均良好；在翅骨曲度方面，本實驗顯示曲度角愈小(曲度愈大)升力系數則愈大，文中結果顯示 75° 曲度角是良好的選擇。

參考資料

Kindler Verlag GmbH. Munchen Bird flight New York United States Van Nostrand Reinhold Company,1977

評語及建議事項

利用簡單方便可得的儀器探討振翼的聲利是一具創意的作品。作著對研究的執著認真也呈現其科學精神的一面。內容的完整性及學術及應用價值則有待加強。整體上是一件好的作品。