

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080101

「機」來運轉

學校名稱：高雄市三民區獅湖國民小學

作者： 小四 莊旻澄 小四 吳承澤 小四 柯卓希	指導老師： 蔡玫吟 莊智揚
---	-----------------------------

關鍵詞：機翼、康達效應、風力發電

摘要

為瞭解機翼與風車運轉間的關係，展開一連串的探索之旅，整個研究包含三個部份。首先，為了找出最佳的機翼外形，我們自製風洞並且觀察風洞風速的特性，再從傳統到現代的機翼找尋靈感，從距離出風口遠近、機翼攻角角度、機翼寬度、機翼漸縮比與機翼後掠角度來探討運轉效能，發現機翼漸縮比 6:2 後掠 20 度角機翼運轉圈數最多。

接著，研究修改機翼結構提昇運轉效率，模擬下降襟翼角度的方式來提高升力。一開始並不順利，經過修改襟翼擺放位置、增加機翼內斜角、用塑膠板遮住空隙增強「康達效應」使機翼運轉圈數再提昇。

最後，我們發現發電效能受運轉圈數多寡影響，而且相同圈數下三機翼比二機翼效能高。此外，在運轉的過程中噪音會隨著攻角增加而增加。

壹、研究動機

每次和搭飛機回外婆家度假的時候，坐在飛機上除了可以欣賞大地的美麗景色之外，天空中的飛機也會隨著機翼的擺動改變飛行的高度和方向帶著乘客到想到的地方。

老師也說風力發電機的葉片構造有運用到飛機升力概念來製造，但是在澎湖看到的風力發電機葉片長得和機翼不大一樣，如果真的使用機翼來運轉到底是怎麼的一個情形呢？這就樣開始了我們一連串探索的歷程。


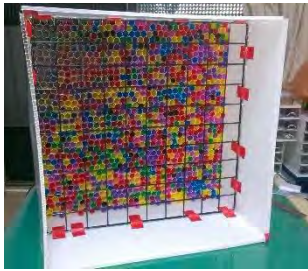









貳、名詞解釋

- 一、機翼：是為固定翼航空器提供升力的主要部件，模仿鳥類的翅膀，維持其在空中的穩定飛行以及提供必要的操縱力。
- 二、攻角：為機翼之翼弦與自由流（或是相對風流的方向）之夾角；如為飛機攻角，定義則為機軸對相對風流之夾角。當機翼向上為正攻角，向下則為負攻角。
- 三、康達效應：亦稱附壁作用或柯恩達效應（Coanda Effect），流體由離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動的傾向。
- 四、噪音：是不想聽到或讓人感到不舒適的聲音，音量單位以 A 加權之分貝 Decibel(dBA)來表示，一般人的耳朵能聽見的範圍在 0 -140 (dB A) 之間。

參、研究問題或目的



肆、研究設備器材

<p>自製風洞</p>			
			
<p>自製運轉效能測量儀 及能量測量器</p>			
<p>自製機翼</p>			
<p>風速儀</p>	<p>第一代攻角調整器</p>	<p>第二代攻角調整器</p>	
			

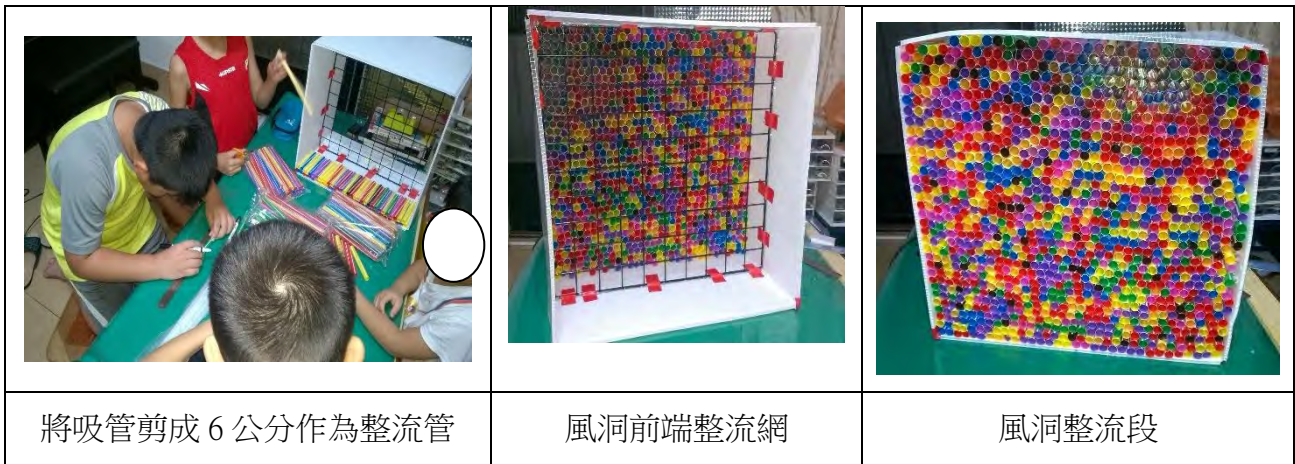
伍、研究過程與討論

一、探討各種機翼的運轉特性

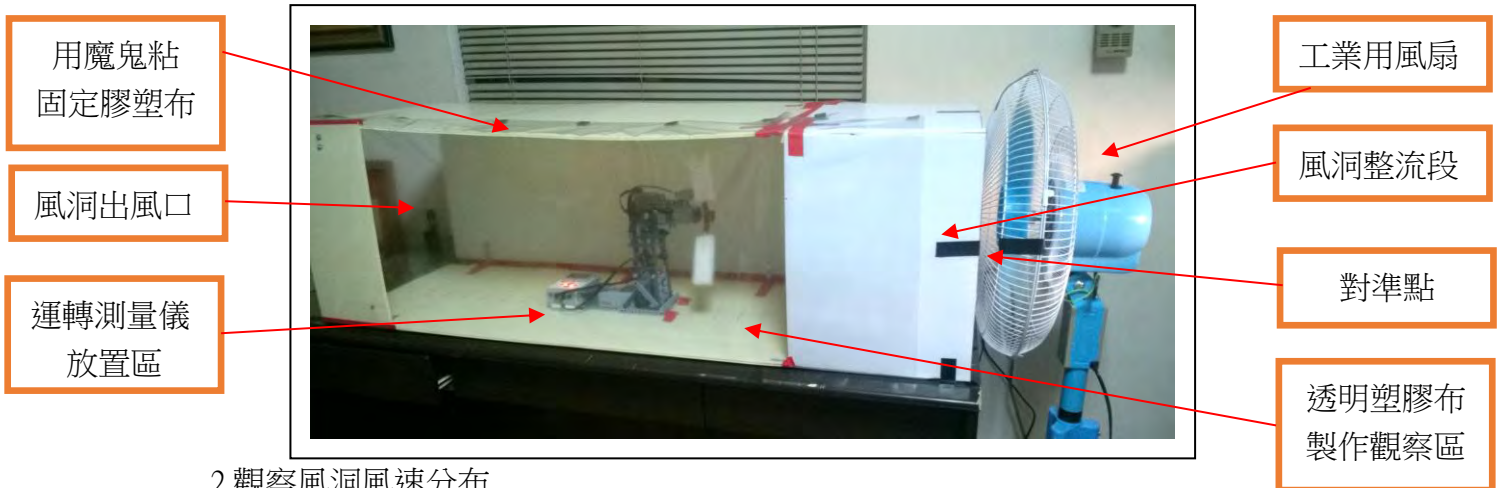
(一) 觀察風洞風速分布

1. 自製風洞

為了觀察機翼的運轉情形，我們使用鐵格架、雕塑板、吸管及透明塑膠布製作了一個長 130 公分、寬 42 公分、高 42 公分的風洞，並使用工業用風扇作為風力的來源。

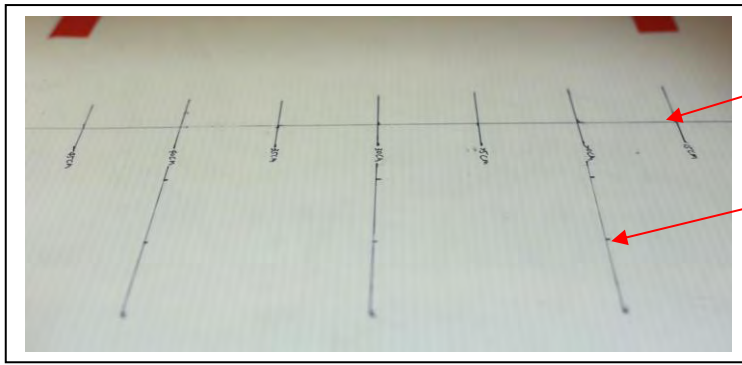


自製風洞說明



2. 觀察風洞風速分布

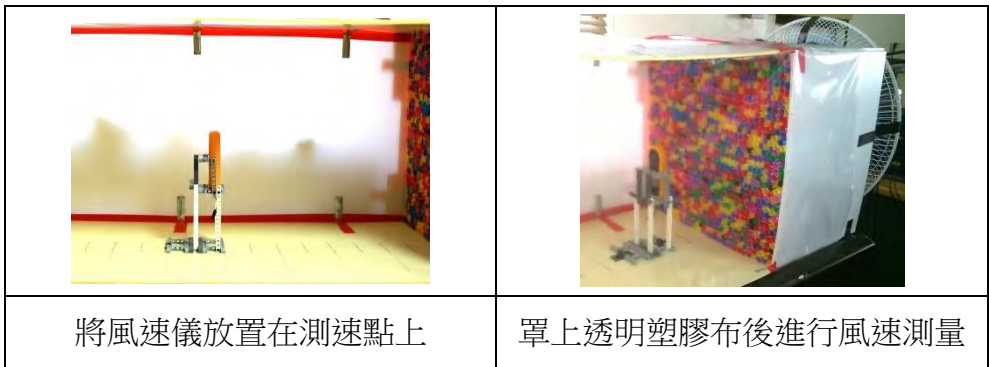
製作好風洞後，我們想要知道當風由風扇吹過整流段後進入觀察區時風速情形，所以在預定要放置測量儀的位置上，以中心軸線為基準，距離出風口每 10 公分劃上標示，因為想到未來測試機翼運轉時機翼的翼展不會只有在中心軸線上，所以在每個中心軸線標示點往垂直方向每 5 公分作上標示作為風速的測量點。



中心軸線

沿中心軸線垂直方向每 5 公分標示測速點

畫好測速點後，我們就把風速儀放到風洞中，每個測速點測量一分鐘觀察風速儀的平均風速後紀錄在紀錄表中。



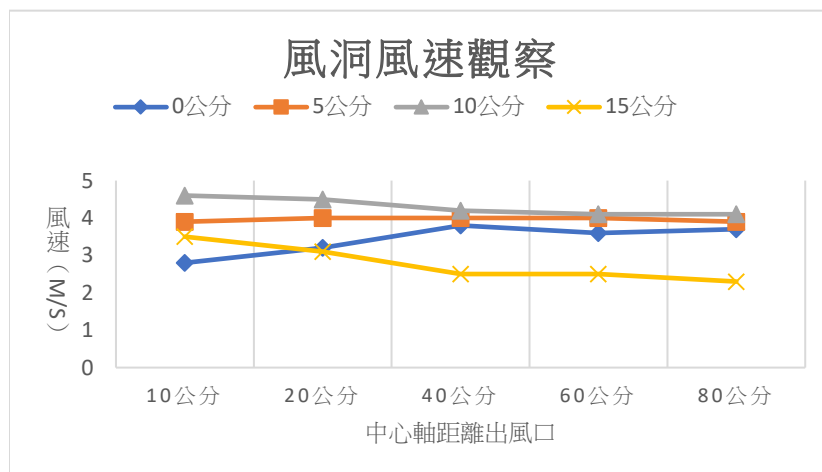
將風速儀放置在測速點上

罩上透明塑膠布後進行風速測量

表一-1 風洞風速測量紀錄

風速 (m/s)	距離中心軸垂直距離			
	0 公分	5 公分	10 公分	15 公分
中心軸間距				
10 公分	2.8	3.9	4.6	3.5
20 公分	3.2	4.0	4.5	3.1
40 公分	3.8	4.0	4.2	2.5
60 公分	3.6	4.0	4.1	2.5
80 公分	3.7	3.9	4.1	2.3

圖一-1 風洞風速圖



3.觀察結果討論

由觀察的結果，我們發現在風洞中風速比較強的位置分布在距離中心軸線垂直方向 5~10 公分的位置。中心軸線上測到的風速在出風口風速較低，原因可能是因為我們使用工業風扇作為風力的來源，風扇的中心沒有葉片，所以轉動的過程中無法提供穩定的風力來源，而最外側距離中心軸 15 公分的位置風速下降的幅度最大。

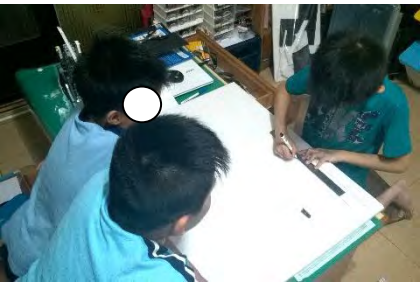
從距離出風口的位置來看，風洞風速自距離出風口 40 公分的位置以後開始比較穩定，這些資料對於我們製作機翼長度和測量運轉效能都有非常重要的幫助。

機翼製作

為了了解機翼的運轉情形，我們到文具店買了 1 公分厚的珍珠板，在珍珠板上畫出想要的機翼外形，把機翼外形大致裁切後再用砂紙細磨出想要的形狀。在風洞風速觀察的結果中，我們知道中央軸線的風速比較不穩定，所以我們在機翼上加了

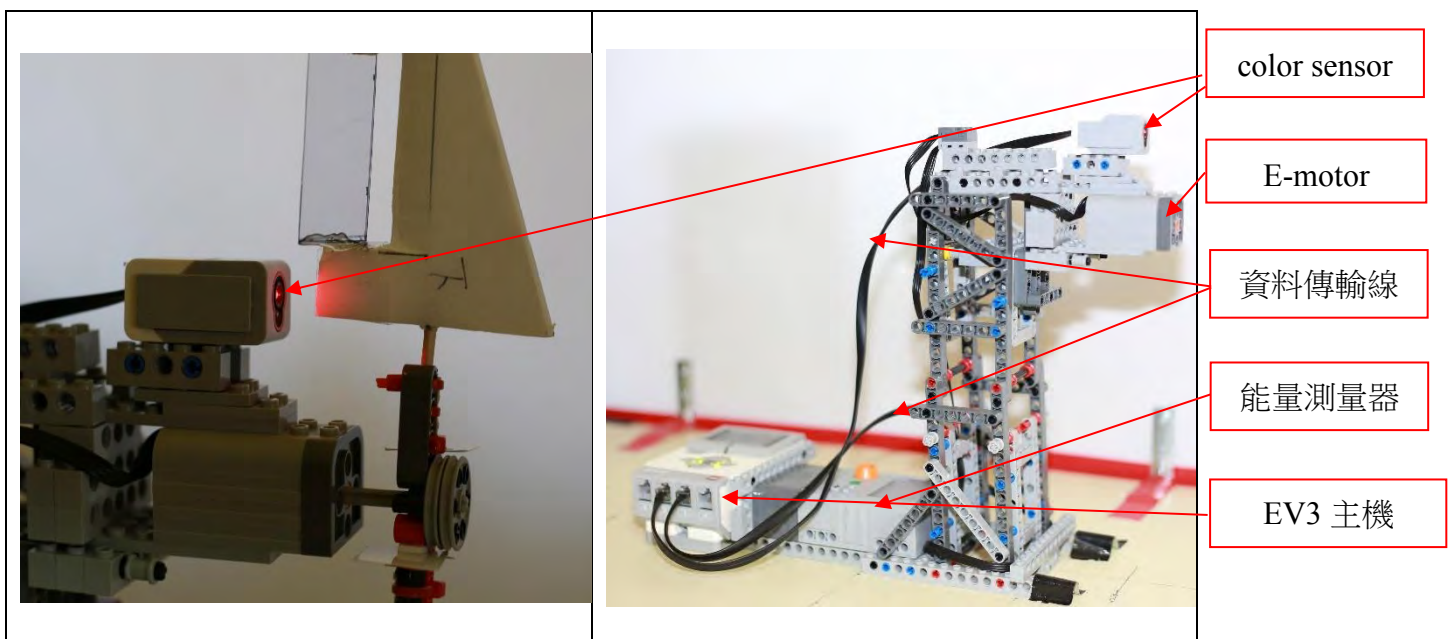


3 公分長的木棒作為與樂高積木的連接桿之外，也希望在實驗時機翼可以在比較穩定的氣流中運轉。為了避免機翼在運轉的過程中產生滑動，我們在連接桿及積木貼上砂紙增加接觸面的磨擦力，利用攻角調整器確定攻角，再用束帶把機翼固定後安裝的運轉測量儀上。

		
使用珍珠板作為機翼的材質	使用砂紙研磨機翼外型	以木棒作為機翼連接桿
		
使用束帶將機翼與樂高積木接合	測量儀對準中心軸線	測量機翼中心軸離出風口距離

自製運轉測量儀

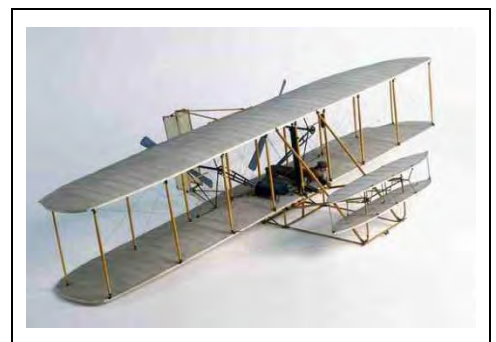
因為需要準確的計算運轉的次數，我們使用 LEGO Mindstorms EV3 機器人組裝成運轉測量儀，利用 LEGO 45506 color sensor 偵測光線反射的量傳到 EV3 主機來計算次數，color sensor 感應速度為每秒 1000 次，並且設定在一分鐘後由螢幕顯示次數後停止計數。運轉測量儀馬達使用 LEGO 9670 E-motor，測量運轉圈數時不啟用發電負載，當需要測量機翼運轉發電效能時才打開發電負載，E-motor 發電產生能源傳遞到能源測量器。再利用電腦來監看能源產生的情形，能量測量器測量的範圍：輸入電壓 0.0~9.9 伏特；輸入電流 0.0~0.2 安培；累計能量最大為 100 焦耳。

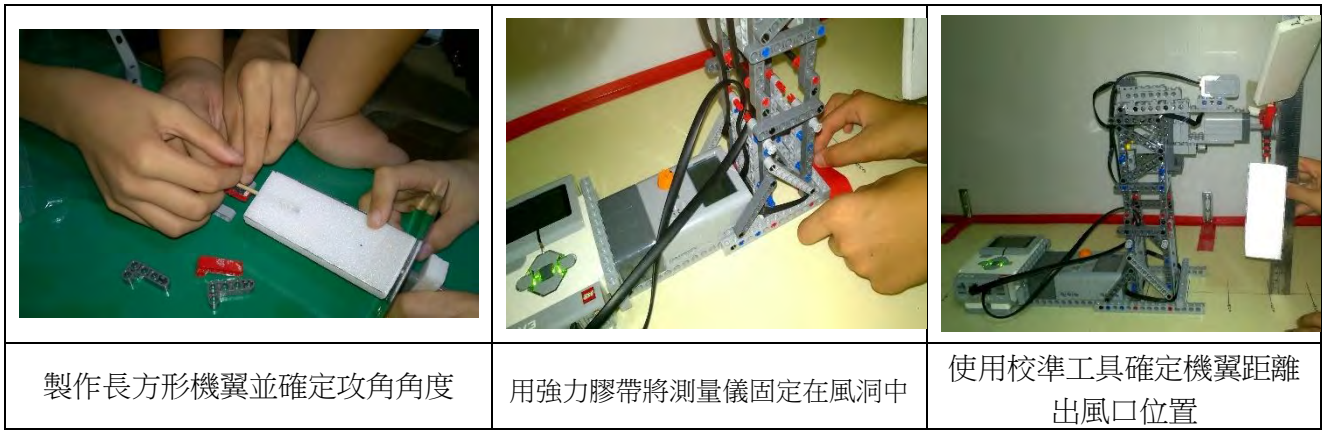


(二) 了解長方形機翼離出風口遠近的運轉特性

1. 觀察過程

在風洞製作完後，我們對風洞內的風速情形作了觀察，作為製作機翼時的參考。從閱讀資料中知道萊特兄弟的飛機外形接近長方形，我們製作了長度都為 10 公分但寬度分別為 2 公分、4 公分、6 公分三種長方形的機翼，依出風口距離 10、20、40、60、80 公分為測量點，將機翼調整在攻角 15 度和 30 度再安裝在運轉測量儀上，每個測量點測量三次每次測量 1 分鐘，將三次測量到的運轉圈數平均。





製作長方形機翼並確定攻角角度

用強力膠帶將測量儀固定在風洞中

使用校準工具確定機翼距離出風口位置

2.觀察結果與討論

表一-2 攻角 15 度機翼運轉紀錄表

機翼寬度	2 公分	4 公分	6 公分
距離出風口	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)
10 公分	0.0	80.7	28.0
20 公分	0.0	78.0	24.3
40 公分	0.0	73.7	24.0
60 公分	0.0	69.3	12.3
80 公分	0.0	67.3	12.0

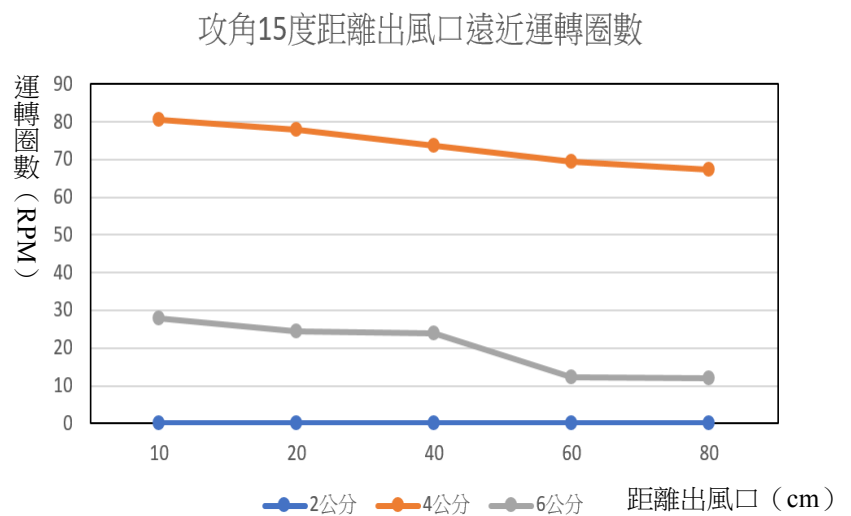
(圈數為三次平均值)

表一-3 攻角 30 度機翼運轉紀錄表

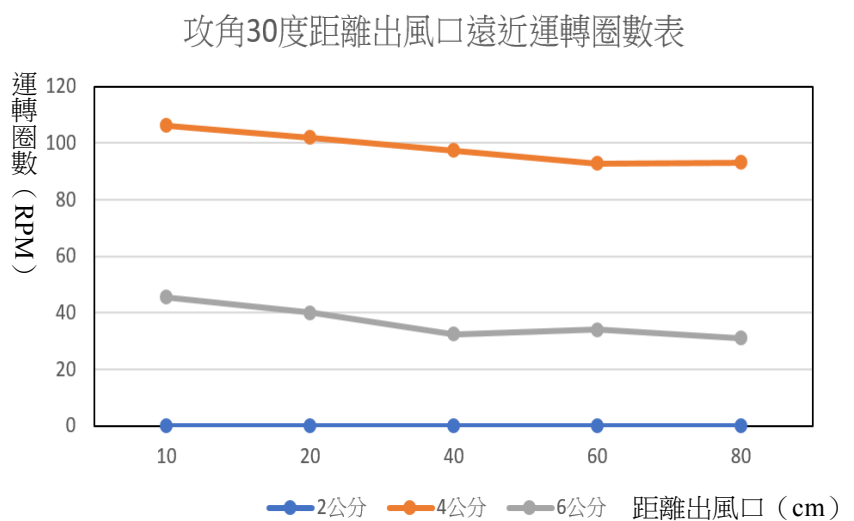
機翼寬度	2 公分	4 公分	6 公分
距離出風口	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)
10 公分	0.0	106.3	45.3
20 公分	0.0	102.0	40.0
40 公分	0.0	97.3	32.3
60 公分	0.0	92.7	34.0
80 公分	0.0	93.0	31.0

(圈數為三次平均值)

圖一-2 攻角 15 度機翼運轉圖



圖一-3 攻角 30 度機翼運轉圖



根據測量的結果，我們發現除了翼寬 2 公分的機翼因為不轉動而無法測量運轉的圈數之外，翼寬 4 公分、6 公分的機翼的運轉情形不管攻角是 15 度還是 30 度，都是愈靠近出風口運轉的圈數愈多，和觀察風洞風速時距離中心軸垂直距離 5 公分、10 公分、15 公分的測風點的風速分佈情形大多相同。

不同距離因為受風速大小不同，而影響機翼運轉的情形，不同攻角似乎也有差異，因此我們再深入了解。

(三) 了解長方形機翼不同攻角的運轉特性

1. 觀察過程

為了了解不同攻角時機翼的運轉情形，我們採用在風洞中固定距離的方式進行實驗觀察。在風洞風速的觀察中我們發現距離出風口 40 公分以後的位置的風速是相對比較穩定的，在風洞中 40 公分位於較好的觀察位置，所以就把測量的距離固定在離出風口 40 公分。

我們用珍珠板製作長 10 公分，寬度分別為 2 公分、4 公分、6 公分的三種不同尺寸的長方形機翼，每次測試時使用 3 支機翼依照攻角 15 度、30 度、45 度、60 度、75 度作運轉的測試，每次測量一分鐘，測量三次後得到平均運轉圈數。

		
三種不同尺寸的機翼	調整機翼的攻角	安裝在測量儀上作測試

2. 觀察結果與討論

表一-4 長方形機翼不同攻角運轉圈數表

機翼寬度	2公分	4公分	6公分
攻角	一分鐘	一分鐘	一分鐘
角度	平均圈數 (圈)	平均圈數 (圈)	平均圈數 (圈)
15	0.0	73.7	24.0
30	0.0	97.3	32.3
45	0.0	101.3	44.3
60	14.3	143.3	145.0
75	61.7	241.3	173.7

(圈數為三次平均值)

從表一-4 的結果我們發現寬度 2 公分的機翼到了攻角 60 度時才開始轉動，可見必需產生足夠的力量才能推動機翼旋轉，運轉圈數最少都是在攻角 15 度的時候，最多圈數是在攻角 75 度的時候，從 15 度到 75 度的運轉圈數是隨著角度愈大而愈多。

(四) 了解長方形機翼不同寬度的運轉特性

從表一-4、圖一-4 我們也發現不同寬度的機翼旋轉的情形並不相同，三種寬度中 2 公分寬最不容易轉動，即使轉動了在同一時間裡圈數也是最少的。令我們感到特別是，原先認為相同風速下迎風面積愈大所產生的升力就愈大，運轉的圈數就會愈多，但是觀察這三種寬度機翼的運轉情形，結果是以寬度 4 公分的機翼運轉的圈數最多，只有在攻角 60 度的時候和 6 公分寬的機翼運轉圈數相近。

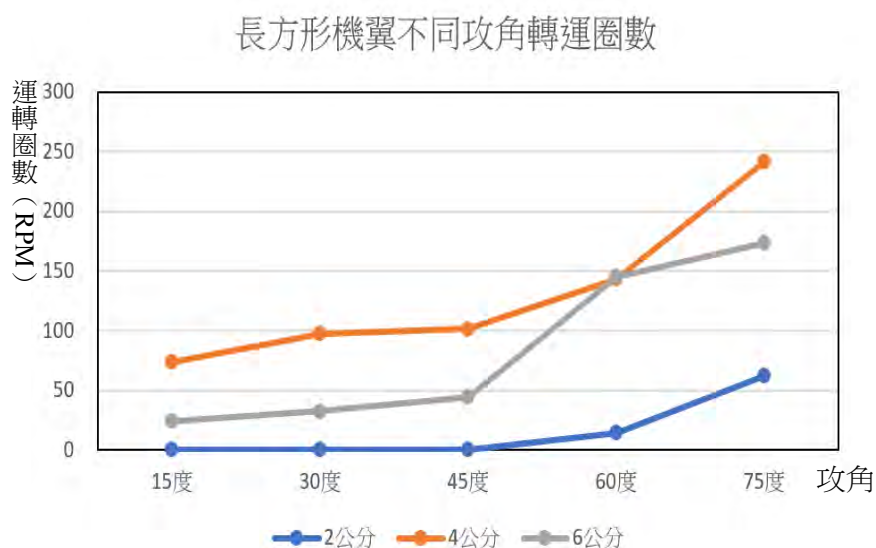
由此可知影響機翼升力的因素不是只單單迎風面積一項，應該還有機翼比例上的因素包含在內，於是接下來我們想了解不同機翼比例的運轉情形。

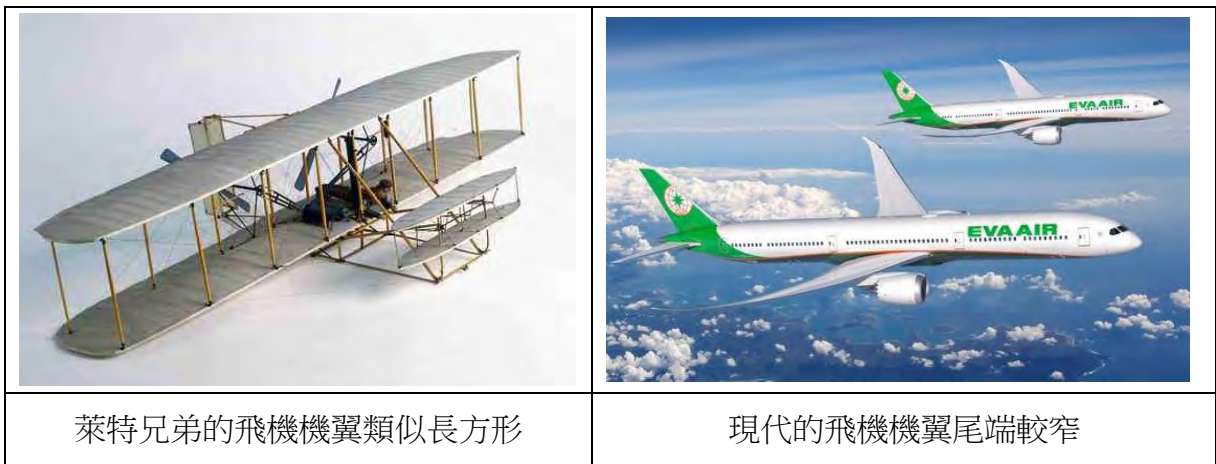
(五) 了解不同機翼漸縮比的運轉特性

1. 觀察過程

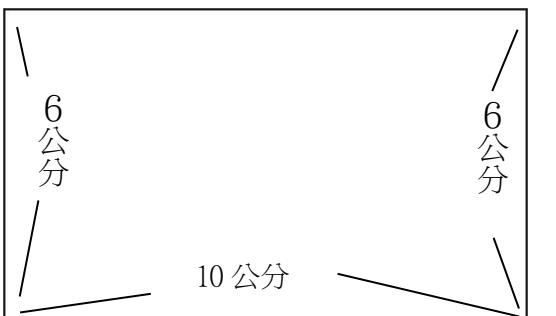
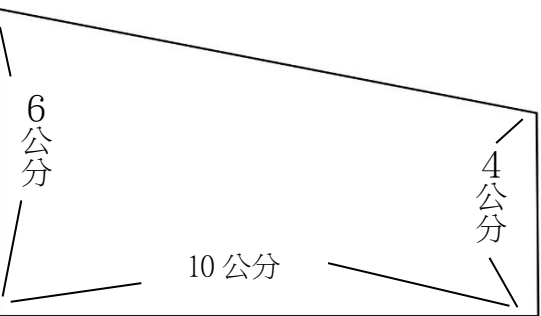
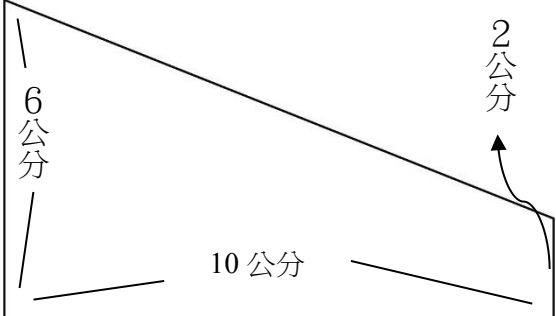
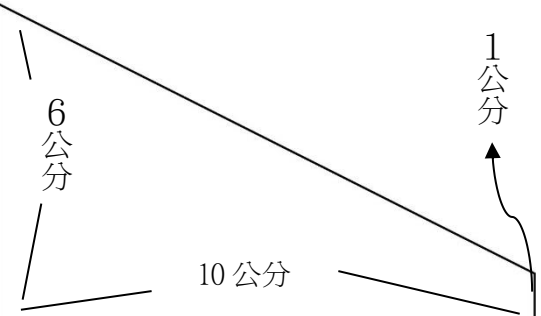


萊特兄弟的飛機機翼是接近長方形的，但是現在每次搭飛機的時候，往窗外看到飛機的機翼寬度會從機身向外慢慢的變小，我們想知道當飛機機翼兩側寬度不同時在運轉的情形上有什麼樣的變化。

圖一-4 長方形機翼不同攻角運轉圈數圖





為了了解不同機翼漸縮比的運轉情形，我們使用珍珠板作為機翼的材料，固定機翼長度為 10 公分，並製作了 6:6、6:4、6:2、6:1 四種不同漸縮比的機翼，每次使用 3 個機翼安裝的運轉測量儀上，機翼的軸心距離出風口 40 公分的位置，機翼攻角固定 75 度，每次測量 1 分鐘，將三次測量的運轉圈數平均為平均運轉圈數。

		<p>機翼漸縮比示意圖</p>
<p>漸縮比 6:6 機翼</p>	<p>漸縮比 6:4 機翼</p>	
		
<p>漸縮比 6:2 機翼</p>	<p>漸縮比 6:1 機翼</p>	
		
<p>繪製機翼</p>	<p>固定機翼攻角角度</p>	

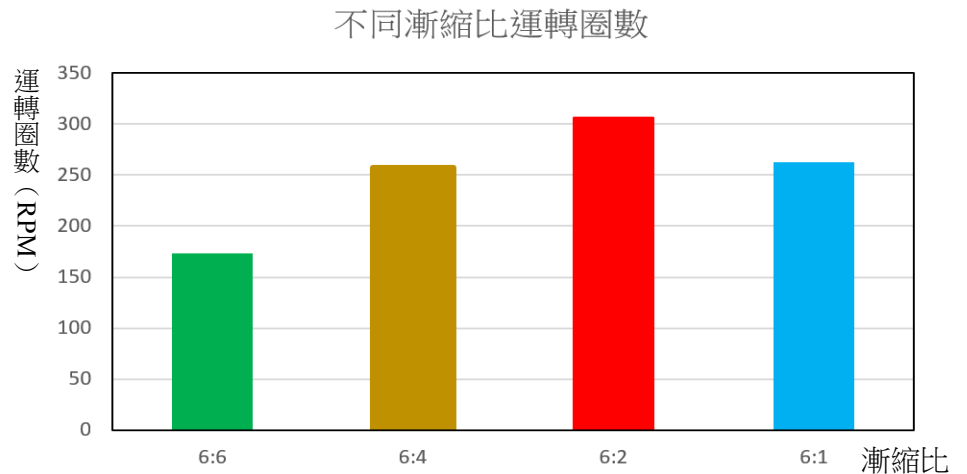
2. 觀察結果與討論

表一-5 不同漸縮比運轉圈數表

漸縮比	一分鐘 平均圈數 (圈)
6:6	173.7
6:4	257.7
6:2	306.3
6:1	263.0

(圈數為三次平均值)

圖一-5 不同漸縮比運轉圈數圖

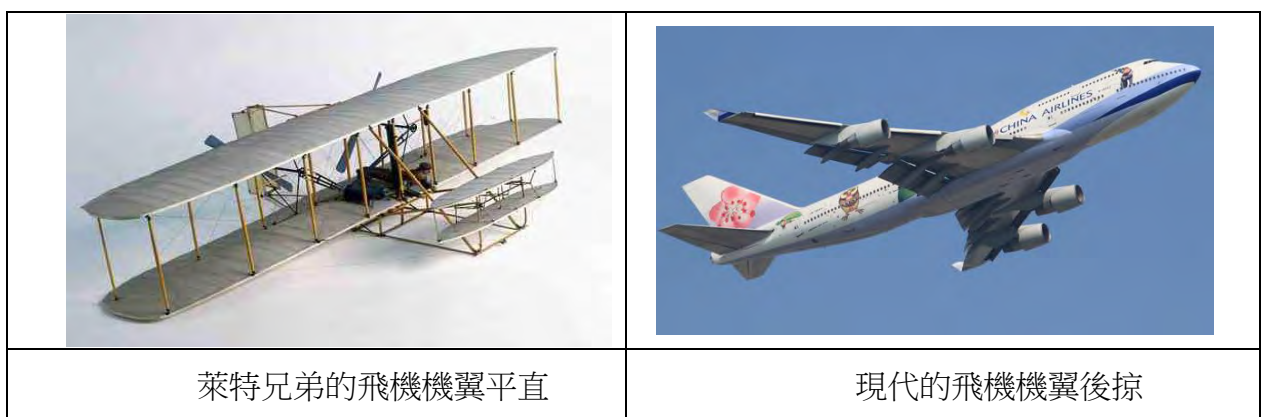


由測量到的結果，我們知道四種機翼漸縮比中，以原本長方形的機翼也就是漸縮比 6:6 的機旋轉圈數最少，可見當機翼尾端寬度縮小時可以有效的提高運轉的效能，但是也不能縮的太小，四種漸縮比例中以漸縮比 6:2 的機翼運轉效能最高，也就是當機翼寬度一邊為 6 公分另一邊為 2 公分時機翼的運轉效能好。

(六) 了解不同後掠角度機翼的運轉特性

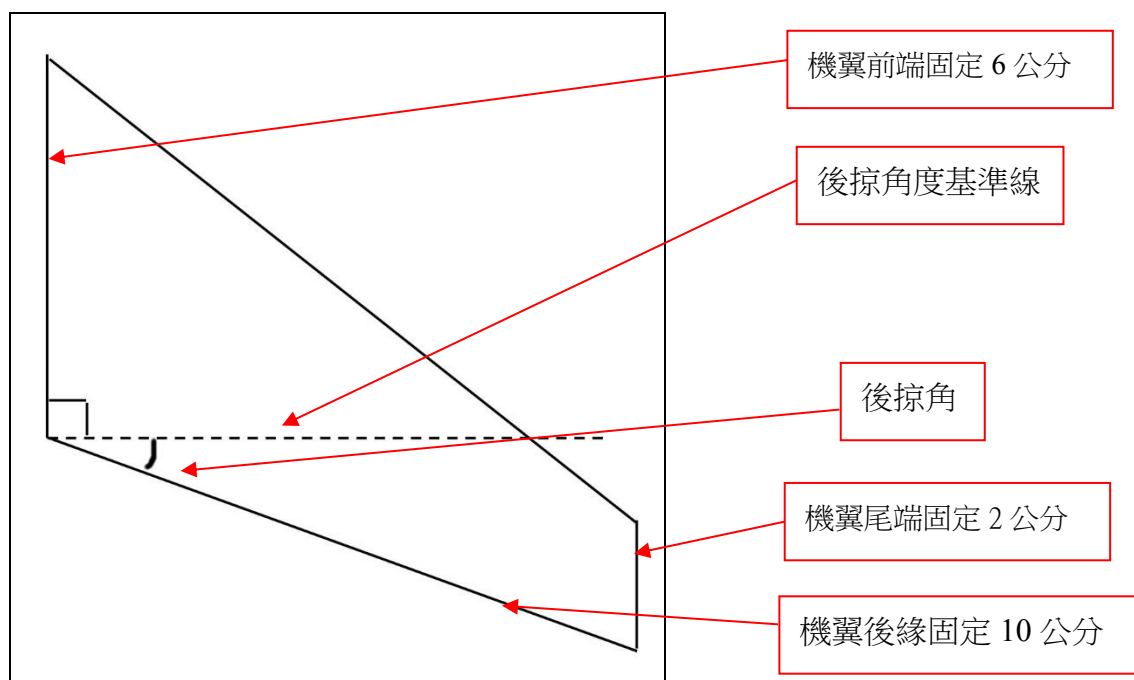
1. 觀察過程

我們觀察到現代的飛機的機翼除了尾端較窄外，機翼也會後掠。為了了解機翼後掠的角度對運轉情形的影響，我們進行這部份的實驗觀察。



我們使用 6:2 漸縮比的機翼作為後掠 0 度，機翼後緣保持 10 公分的長度，再依所需要的角度向後調整角度，製作了後掠 20 度、40 度、60 度的機翼，再將三個相同後掠角度的機翼安裝在運轉測量儀上攻角固定 75 度，機翼接合中心軸距離出風口 40 公分，每次測量 1 分鐘後紀錄運轉圈數，測量三次平均為平均運轉圈數。

後掠示意圖



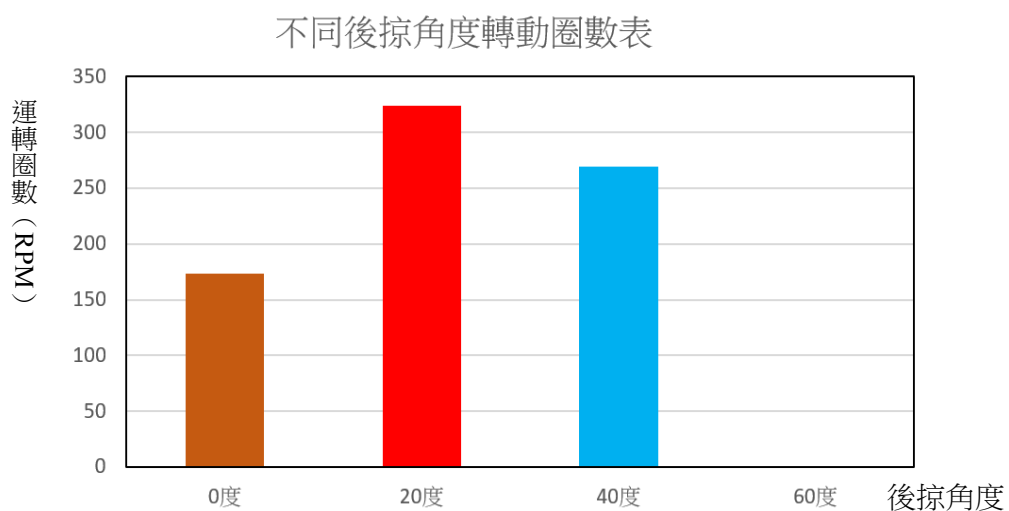
2. 觀察結果與討論

表一-6 不同漸縮比運轉圈數表

後掠角度	一分鐘 平均圈數 (圈)
0	173.7
20	323.7
40	269.7
60	0.0

(圈數為三次平均值)

圖一-6 不同後掠角度運轉圈數圖



依據實驗觀察的結果，我們發現後掠 60 度的機翼沒有發生運轉的情形，我們推論是因為後掠 60 度的機翼翼面過小，在風洞所產生的風力無法在機翼上產生足夠的力來推動機翼運轉，而後掠 20 度及 40 度的機翼運轉圈數都比後掠 0 度的機翼多，其中以後掠 20 度的機翼運轉圈數最多。

由實驗的結果我們知道將機翼的角度後掠可以讓運轉的效能更好，但是也不是後掠角度愈大才是最好，在實驗中以後掠角度 20 度為最佳角度。

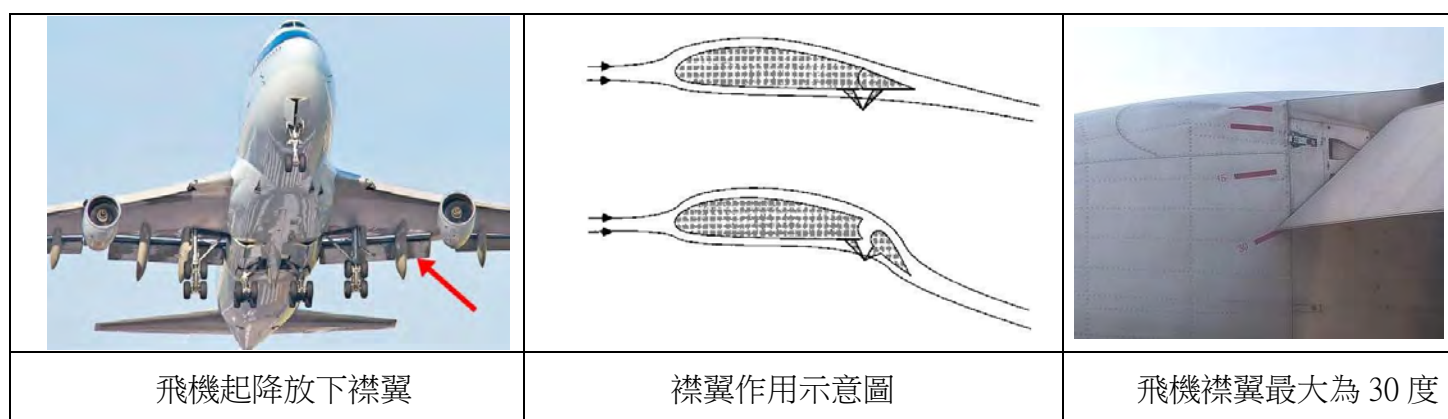
二、研究如何修改機翼結構提昇運轉效率

在實驗的第一部份我們探討了各種外形機翼的運轉特性，嘗試著找出運轉效能較好的機翼外型，從實驗觀察中我們發現機翼尾端縮小、適度把機翼後掠可以提昇運轉的效能。接下來我們想對機翼的結構作改變，看看是不是可以再進一步提昇運轉的效果。

(一) 增加襟翼下降角度提昇運轉效率

1. 觀察過程

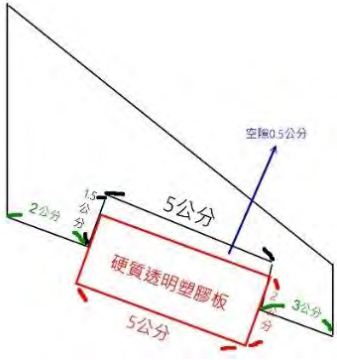
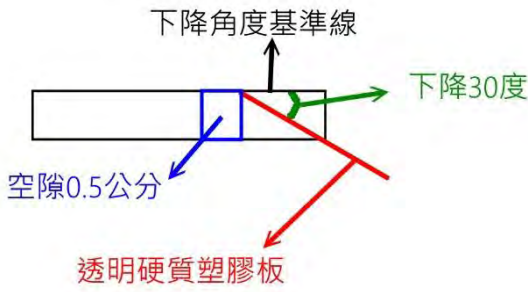
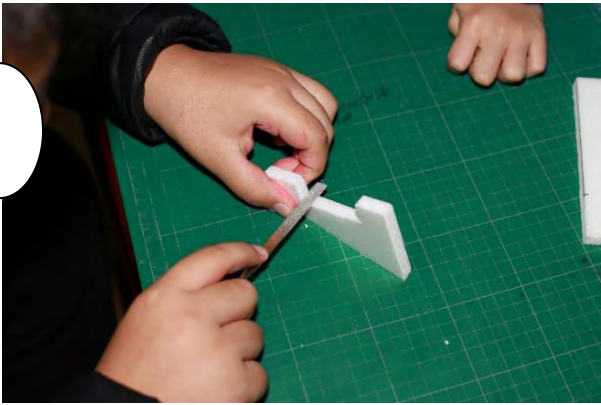

當飛機起飛的時候都會把襟翼放下，希望能提供更大的升力讓飛機更快起飛，我們也觀察到一般飛機的襟翼下擺最大是 30 度，所以決定用 30 度作為測試角度。



我們選擇了漸縮比 6:2、後掠 20 度的機翼作為修改的對象，在機翼後緣切開一個長 5 公分寬 1.5 公分的空間，以機翼上緣為角度基準線測量出 30 度後貼上一片長 5 公分寬 2 公分的透明硬質塑膠片，並在透明塑膠片與機翼之間空出 0.5 公分空隙，模擬襟翼下降的機翼情形。

每次使用 3 個機翼安裝在運轉測量儀，機翼接合中心軸距離出風口 40 公分，每次

測量 1 分鐘，測量三次後計算平均運轉圈數，因為我們改變了機翼的結構，所以決定再測攻角 15 度、30 度、40 度、60 度、75 度的運轉情形。

	
<p>下降襟翼 30 度俯視示意圖</p>	<p>下降襟翼 30 度剖面示意圖</p>
	
<p>對機翼切出缺口後用挫刀磨平</p>	<p>以機翼上緣為基準模擬下降襟翼 30 度</p>

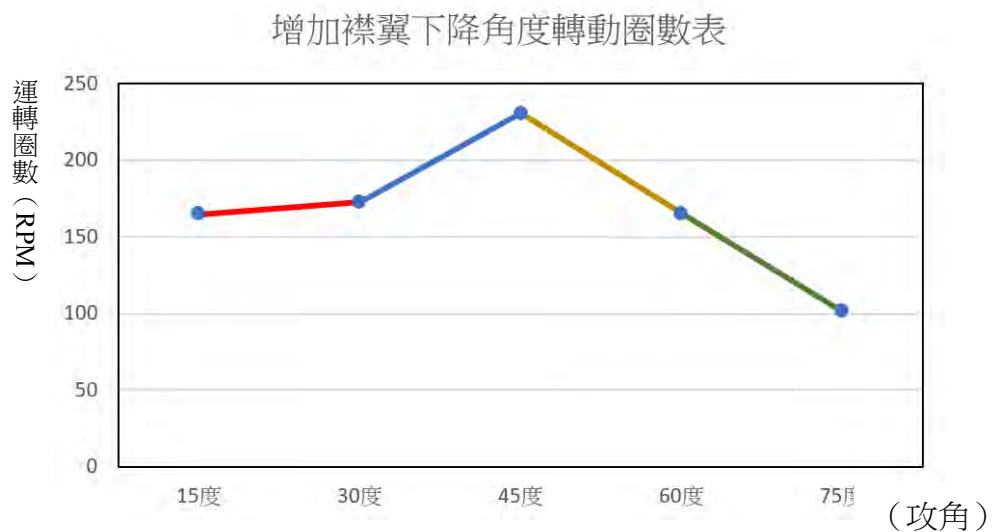
2. 觀察結果與討論

表二-1 襟翼下降 30 度運轉圈數表

攻角角度	一分鐘 平均圈數 (圈)
15	164.7
30	172.7
45	230.7
60	165.0
75	101.3

(圈數為三次平均值)

圖二-1 襟翼下降 30 度運轉圈數圖

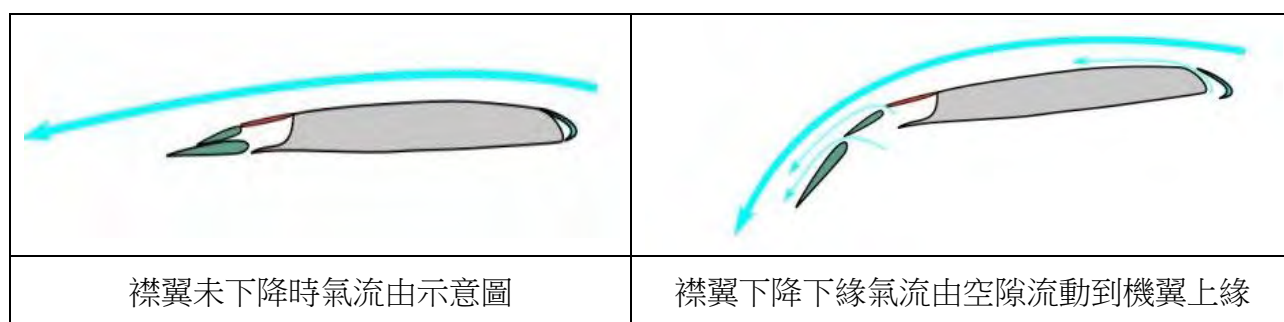


測量的結果我們發現，當修改了機翼的結構後機翼運轉的情形也會隨著改變，機翼運轉最大圈數出現在攻角 45 度的時候，運轉圈數最少反而是出現在攻角 75 度的位置，但是測量到的圈數並沒有達到提昇運轉效能的目標。

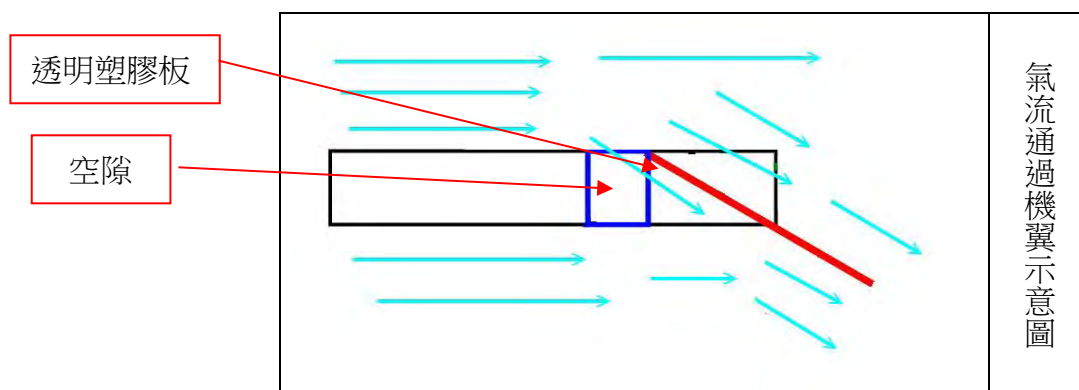
(二) 運用康達效應提昇運轉效率

1. 觀察過程

根據襟翼下降角度實驗結果，開始討論並找尋無法提昇運轉圈數的原因，我們發現飛機下降襟翼角度提高升力這件事，並不是只單單把襟翼下降這麼簡單。其中還包含空氣動力學的知識，現代的飛機機翼剖面都是淚滴形狀，當飛機把襟翼下降時除了增加機翼下方的角度和曲度外，當氣流經過機翼下緣時也會受機翼的外形的引導產生「康達效應」，部份的氣流會從襟翼與機翼間的空隙流到機翼上緣而提高機翼的升力。



我們重新檢查先前的設計，發現原先的機翼是屬於平板式無法提供如現代飛機機翼一樣引導氣流向上的功能，而且模擬襟翼的塑膠板黏貼的位置切齊機翼上緣，位置太高減少了下緣氣流流到上緣的機會，反而可能會有上緣氣流流到下緣的情形。



為了解決這個問題，我們決定把透明塑膠板的位置向下調整到厚度一半 0.5 公分處，襟翼下降的角度還是固定 30 度，然後在機翼下緣距離空隙 1 公分處磨出 30 度的斜角，希望能利用斜角引導下緣氣流產生康達效應，引導氣流流動到襟翼上緣增加升

力。

我們測量了上次實驗用的漸縮比 6:2 後掠 20 度的機翼，如果加上 1 公分的斜角已經快接近機翼下方的前緣了，為了避免測量時機翼破損，我先選用了漸縮比 6:2 的機翼進行修改。

下降襟翼 30 度俯視示意圖	下降襟翼 30 度剖面示意圖
下降襟翼黏貼位置	距離空隙 1 公分處製作 30 度斜角

修改完成後，我們每次使用 3 個機翼安裝於運轉測量儀上，機翼翼中心軸距離出風口 40 公分，每次測量 1 分鐘，測量三次後計算平均運轉圈數，同樣測量攻角 15 度、30 度、45 度、60 度、75 度的運轉圈數。

2. 觀察結果與討論

根據表二-2、圖二-2 資料來看，修改後的機翼運轉圈數有所提昇，但是還不是很非常明顯。於是再一次對機翼的結構進行討論，我們覺得降低襟翼的位置和增加下緣的斜角應該可以增加機翼下緣氣流向上的機會，不過氣流上昇了，卻不一定會沿著襟翼的上緣流動達到提高升力的效果。為了更強化康達效應，我們決定原來機翼上緣空隙處貼上透明塑膠板，希望當下方氣流受引導時能順利而且更集中的沿襟翼上緣流動。

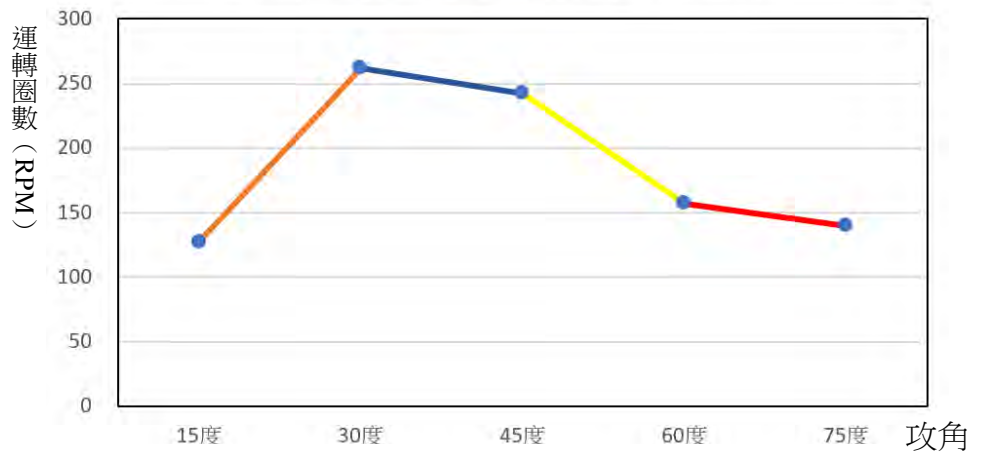
表二-2 調整襟翼位置及斜角運轉圈數表

攻角角度	一分鐘 平均圈數 (圈)
15	127.3
30	262.0
45	242.3
60	157.0
75	139.7

(圈數為三次平均值)

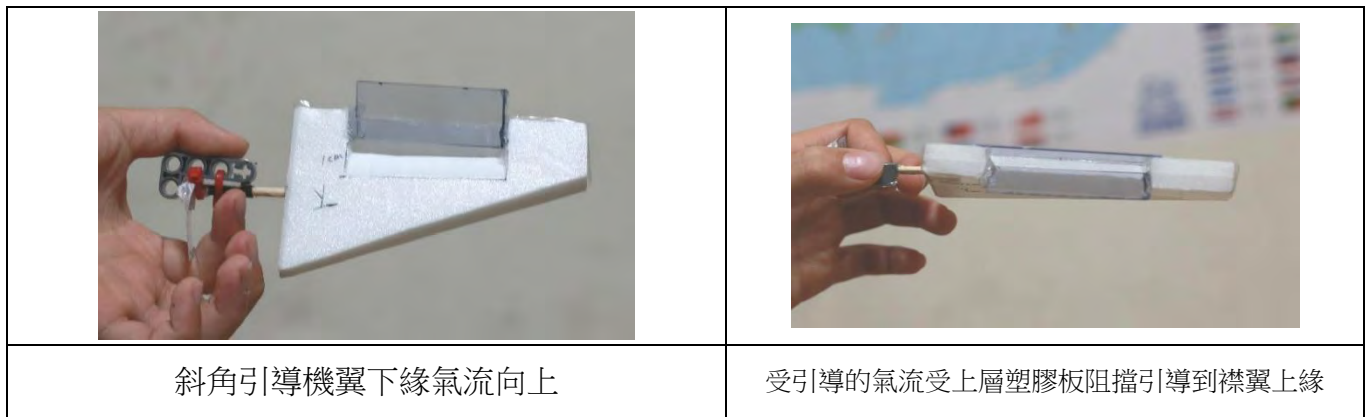
圖二-2 調整襟翼位置及斜角運轉圈數

調整襟翼位置及增加斜角運轉圈數



增加塑膠板遮住空隙強化康達效應示意圖

<p>使用膠帶把塑膠板黏在機翼上緣遮住空隙</p>	<p>完成後外觀</p>



斜角引導機翼下緣氣流向上

受引導的氣流受上層塑膠板阻擋引導到襟翼上緣

修改完成後每次使用 3 個機翼安裝於運轉測量儀上，機翼接合中心軸距離出風口 40 公分，每次測量 1 分鐘，測量三次後計算平均運轉圈數，同樣測量攻角 15 度、30 度、45 度、60 度、75 度的運轉圈數。

3.修改後的觀察結果與討論

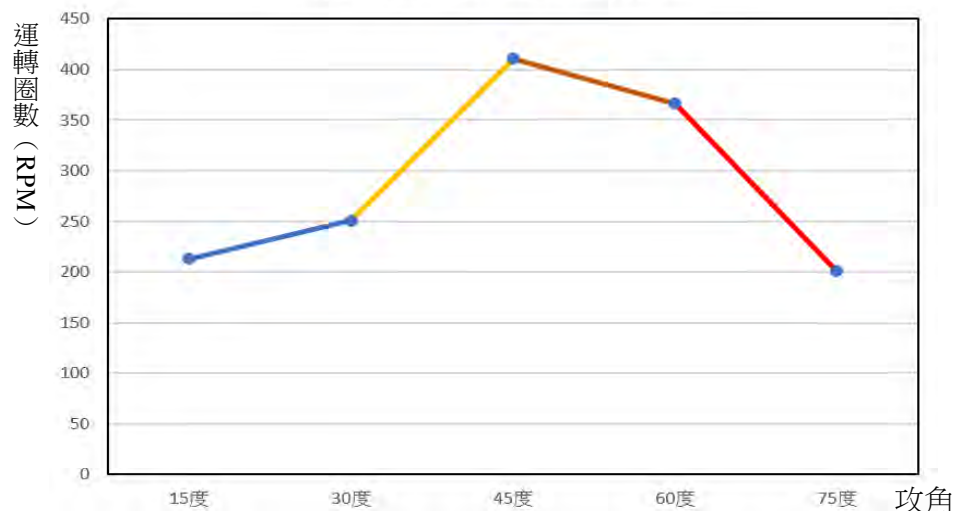
表二-3 塑膠板封住上緣空隙運轉圈數表

攻角角度	一分鐘平均圈數 (圈)
15	213.0
30	251.0
45	411.0
60	360.0
75	200.3

(圈數為三次平均值)

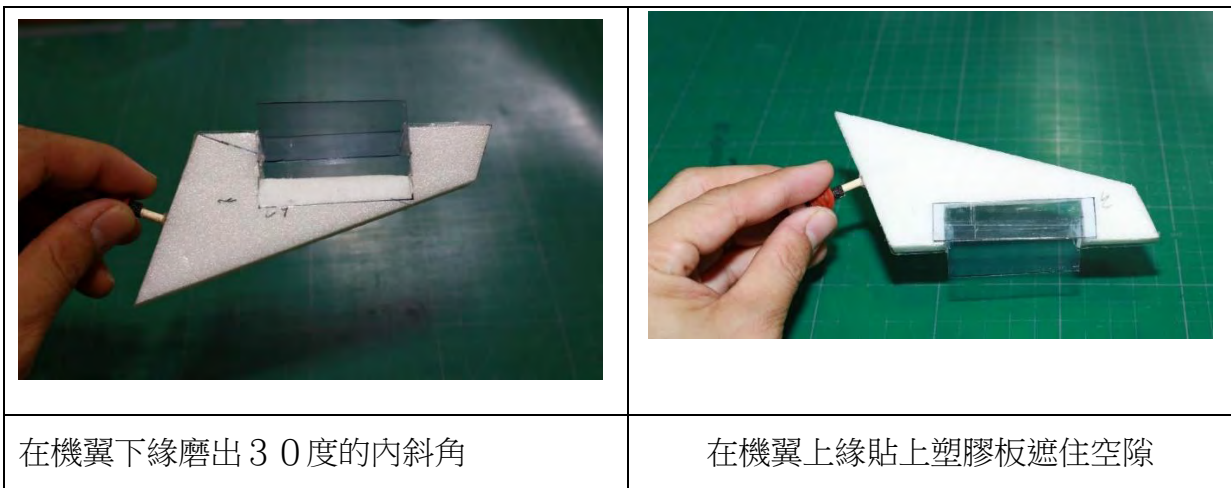
圖二-3 塑膠板封住上緣空隙運轉圈數

漸縮比6:2加裝塑膠片運轉圈數



測量的結果，加裝了透明塑膠板遮住上緣空隙，機翼運轉圈數大幅提昇尤其是在攻角 45 度時超過了 400 圈。證明了先前的推論：加裝透明塑膠板遮住空隙後，更加能引導機翼下方的氣流進入襟翼上緣提高升力。

為了滿足好奇心，我們又找了原先不敢試的漸縮比 6:2 後掠 20 度的機翼，小心翼翼的磨出機翼下方的內斜 30 度角，一樣在機翼上緣加裝了透明塑膠板遮住上緣空隙，重覆一樣的實驗步驟，想了解是不是和漸縮比 6:2 機翼運轉情形相同。



在機翼下緣磨出30度的內斜角

在機翼上緣貼上塑膠板遮住空隙

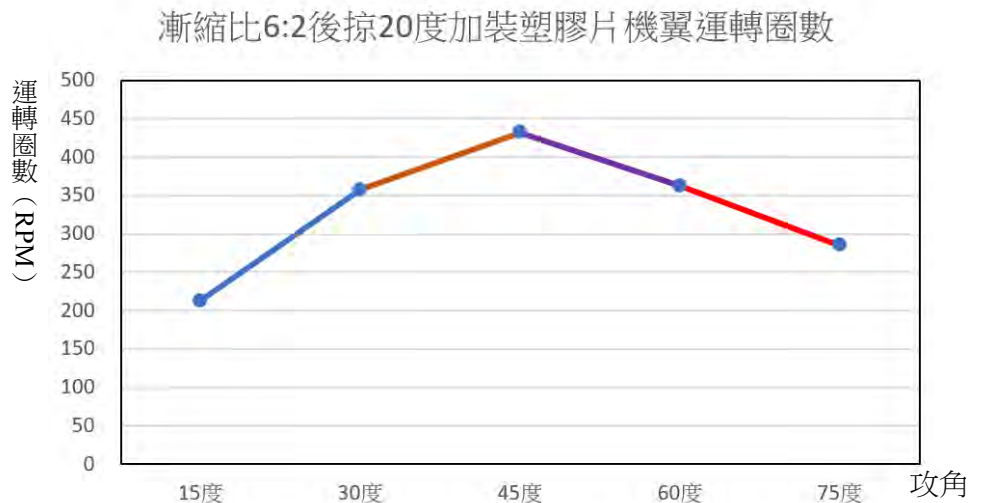
4.修改漸縮比 6:2 後掠 20 度機翼觀察結果與討論

表二-4 漸縮比 6:2 後掠 20 度機翼
加裝塑膠板封住上緣空隙運轉圈數表

攻角角度	一分鐘 平均圈數 (圈)
15	212.3
30	358.0
45	445.0
60	362.3
75	285.0

(圈數為三次平均值)

圖二-4 漸縮比 6:2 後掠 20 度機翼
加裝塑膠板封住上緣空隙運轉圈數



由實驗的結果們發現漸縮比 6:2 後掠 20 度機翼加裝塑膠板封住上緣空隙後，運轉圈數得到很大的提升，其中圈數最多的發生在攻角 45 度的時候平均圈數 445 圈，這是我們作實驗以來得到的最大值，更讓我們確定機翼作這樣的修改後可以提升運轉效能。

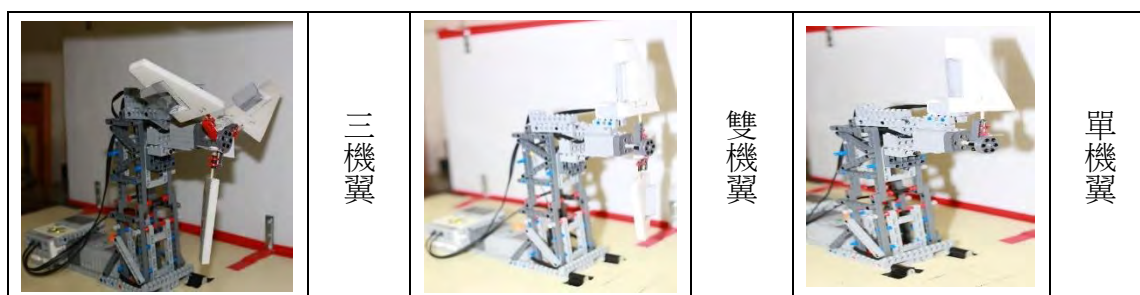
這時我們想到，如果安裝在運轉測量儀的機翼數量不同時，運轉的圈數會有什麼樣的變化呢？

(三) 觀察不同機翼數量運轉效率

1. 觀察過程

經由改變機翼結構找出了運轉效能最佳的機翼，接著我們要知道的是當改變機翼的數量時運轉的情形。

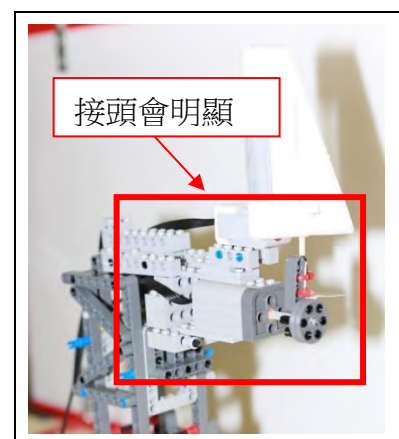
我們使用漸縮比 6:2 和漸縮比 6:2 後掠 20 度兩種機翼來作測試，在運轉測量儀上分別安裝三機翼、雙機翼、單機翼，組合好了的機翼距離出風口 40 公分，每次測量 1 分鐘測量 3 次後得到平均運轉圈數。



2. 觀察結果與討論

由觀察的結果我們發現二種型式的機翼，變換不同數量的機翼安裝在運轉測量儀上測量運轉圈數，三機翼和雙機翼運轉圈數只有在漸縮比 6:2 的機翼攻角 75 度時的圈數差異較大，其他的攻角角度運轉情形相差不是很多，甚至在攻角 45 度時雙機翼的運轉圈數比三機翼稍多

但是單機翼的運轉圈數則明顯比三機翼和雙機翼少，到了攻角 45 度、60 度運轉圈數明顯差異明顯增大。我們觀察到當單機翼在測試時運轉測量儀與機翼連結的前頭部位會有明顯晃動的情形，而這種現象在三機和雙機翼的測試過程中並沒有看見，我們推測這樣的現象會抵消單機翼運轉的力量而影響運轉的圈數。如果要改善這種現象，在進行單機翼的測試時可能要在機翼的另一邊增加重量來抵消運轉時所產生的晃動。

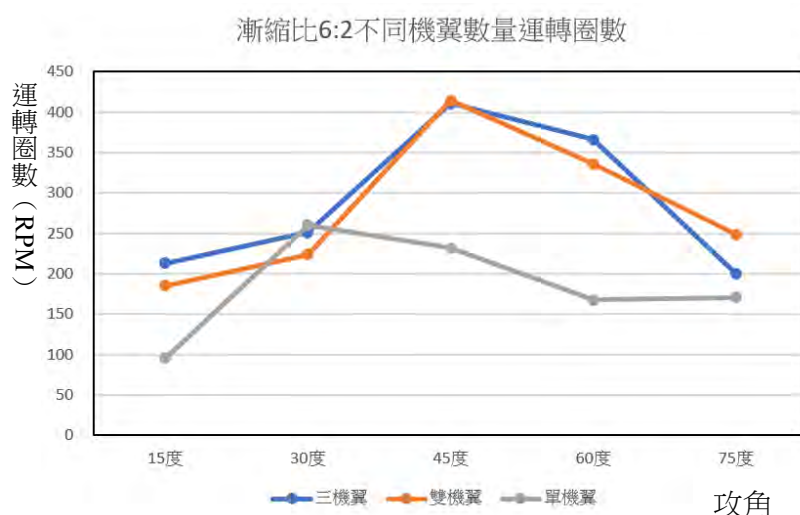


表二-5 漸縮比 6:2 不同機翼數量運轉圈數表

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度	一分鐘平均圈數 (圈)	一分鐘平均圈數 (圈)	一分鐘平均圈數 (圈)
15	96	185.0	213.0
30	260	224.0	251.0
45	232	414.5	411.0
60	168	336.0	366.0
75	171	249.0	200.3

(圈數為三次平均值)

圖二-5 漸縮比 6:2 不同機翼數量運轉圈數



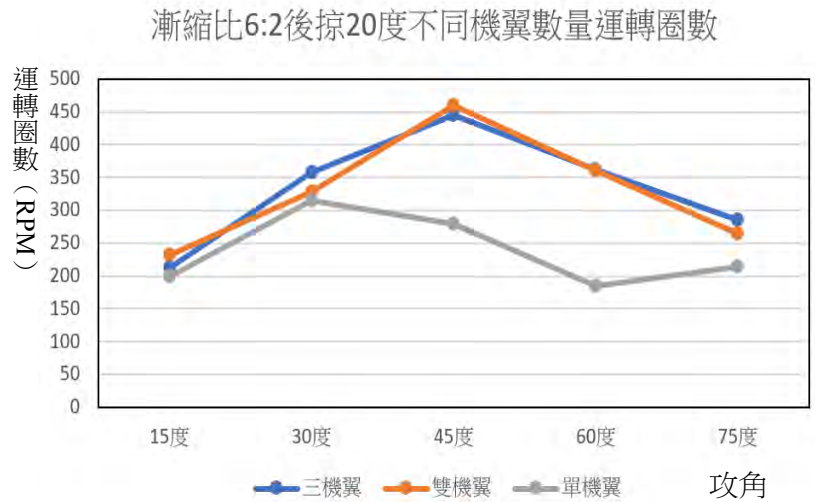
表二-6 漸縮比 6:2 後掠 20 度不同

機翼數量運轉圈數表

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)
15	200.0	231.5	212.3
30	315.0	328.0	358.0
45	279.0	459.5	445.0
60	185.0	360.5	362.3
75	214.0	265.0	285.0

(圈數為三次平均值)

圖二-6 漸縮比 6:2 後掠 20 度不同機翼數量運轉圈數圖



三、發電效能與噪音探討

從前面二個部份的研究，我們找出了最佳的機翼外形，也發現了提升機翼運轉的方法，接著我想知道機翼運轉和發電效能之間的關係以及機翼運轉時的負面因素-噪音的產生。

為了讓攻角的定位更加快速、準確及增加機翼的穩定性，我們利用 3D 列印的方式重新製作攻角調整器，機翼製作好後直接黏在攻角調整器不再需要木棒和束帶來固定，新式攻角調整器比較方便，但重量比原來的重。

第二代攻角調整器			
			
第一代：5.65克		第二代：8.25克	

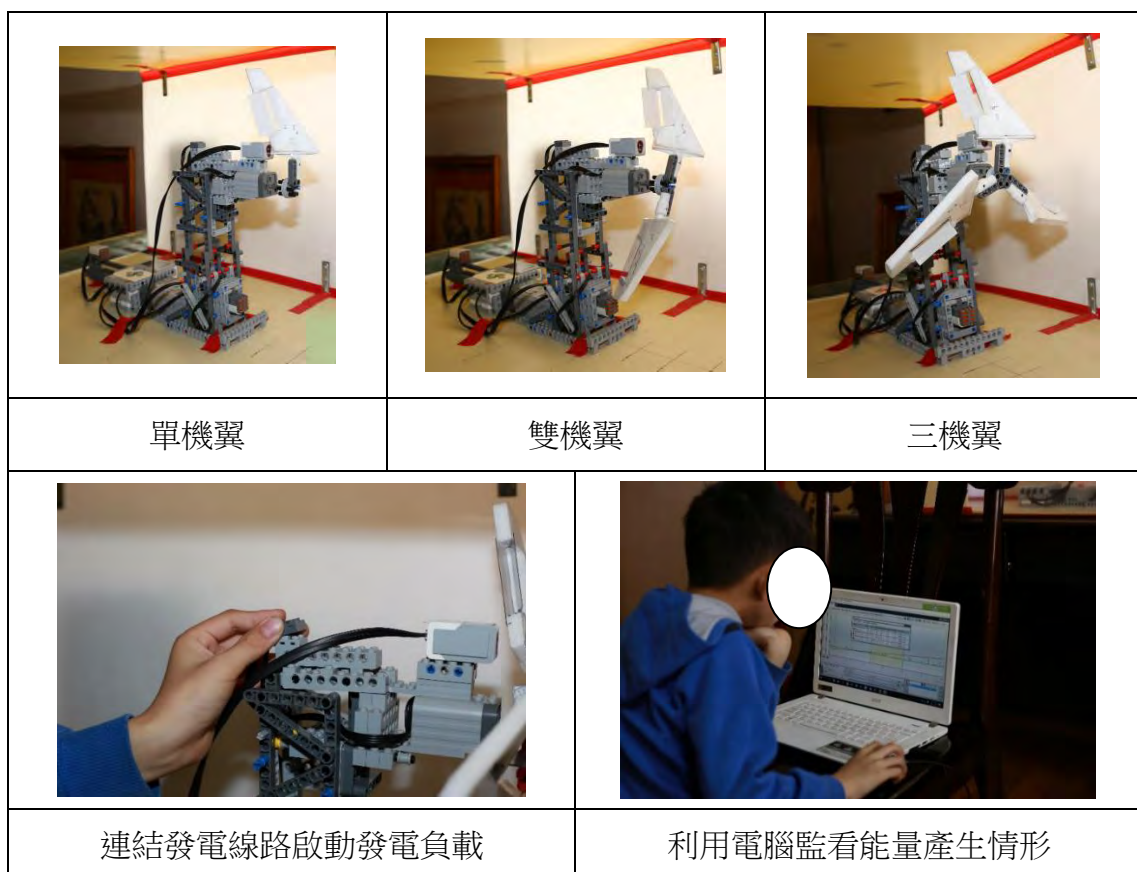
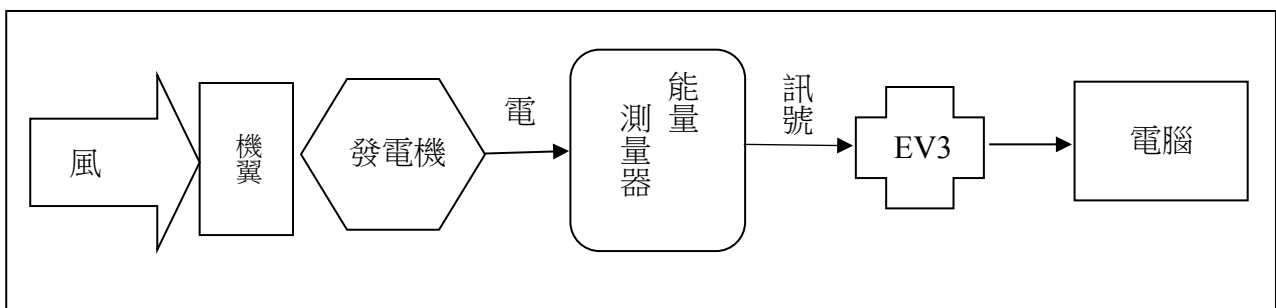
(一) 了解不同機翼數量發電效能

1. 觀察過程

為了知道漸縮比 6:2 後掠 20 度的機翼運轉可以產生多少能量，我們使用 LEGO 9670 E-motor 作為發電機透過機翼運轉帶動發電機發電，發電過程每秒測量 1 次電壓和電流，同時利用 EV3 主機把發電的情形傳送到電腦螢幕來監看，測量 60 秒後計算出平均值，再將電壓乘上電流得到瓦特再轉換為毫瓦。

因為攻角調整器重新設計所以重測攻角 15、30、45、60、75 度的運轉圈數，每次測量 1 分鐘，測量三次後得到平均運轉圈數並和發電效能的結果作對照。

測量發電效能流程圖



2. 觀察結果與討論

表三-1 未起動發電負載圈數

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)	一分鐘 平均圈數 (圈)
15	0.0	70.0	92.3
30	137.0	171.5	199.3
45	199.0	285.5	307.3
60	194.0	407.0	407.0
75	0.0	297.0	267.3

(圈數為三次平均值)

圖三-1 未啟動發電負載運轉圈數圖

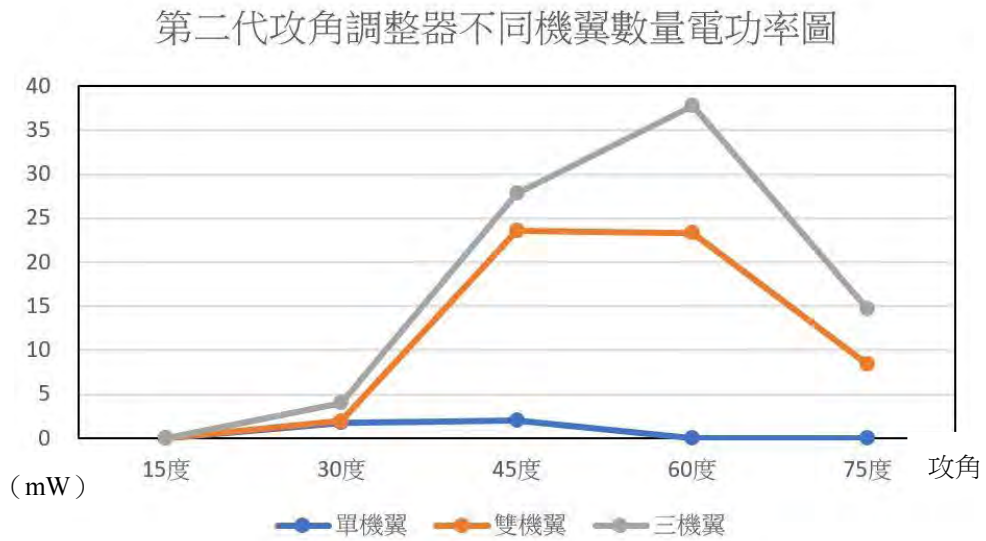


表三-2 不同機翼數量發電效能表

機翼數量	單機翼			雙機翼			三機翼		
	電壓 (V)	電流 (A)	電功率 (mW)	電壓 (V)	電流 (A)	電功率 (mW)	電壓 (V)	電流 (A)	電功率 (mW)
攻角角度									
15	0.00	0.000	0.00	0.85	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00
30	1.92	0.001	1.92	1.95	0.001	1.95	2.02	0.002	4.04
45	2.01	0.001	2.01	2.14	0.011	23.54	2.14	0.013	27.82
60	1.96	0.000	0.00	2.12	0.011	23.32	2.22	0.017	37.74
75	0.00	0.000	0.00	2.11	0.004	8.44	2.10	0.007	14.70

在實驗的程中，我們觀察到當啟動發電負載時因為需要推動 E-motor 發電，所以機翼運轉速度有變慢的情形。由表三-1 及圖三-1 的紀錄我們發現最高轉速的攻角和使用第一代攻角調整器時不同，運轉圈數最高出現在攻角 60 度。不過相同的是雙機翼和三機翼運轉圈數還是差異不大。從發電的效能來看，單機翼發電效能偏低，另一個令我們覺得特別的是雙機翼和三機翼在未啟動發電負載時的運轉圈數差異不大，但是啟動發電負載後三機翼的發電效能比雙機翼效能佳，尤其是在攻角 60 度時最為明顯。由此可知影響發電效能的因素除了機翼的運轉圈數之外，機翼的數量也是關鍵的因素。

圖三-2 不同機翼數量電功率圖

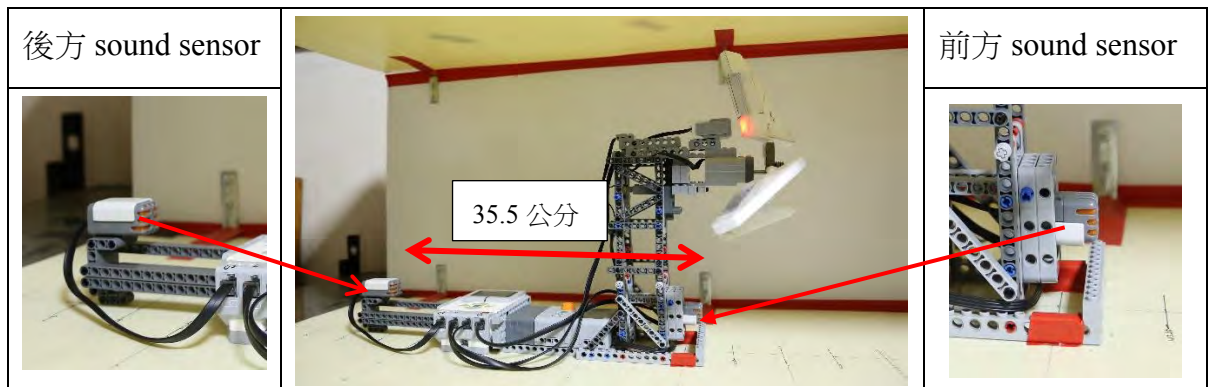


(二) 了解不同機翼數量運轉時所發出的噪音

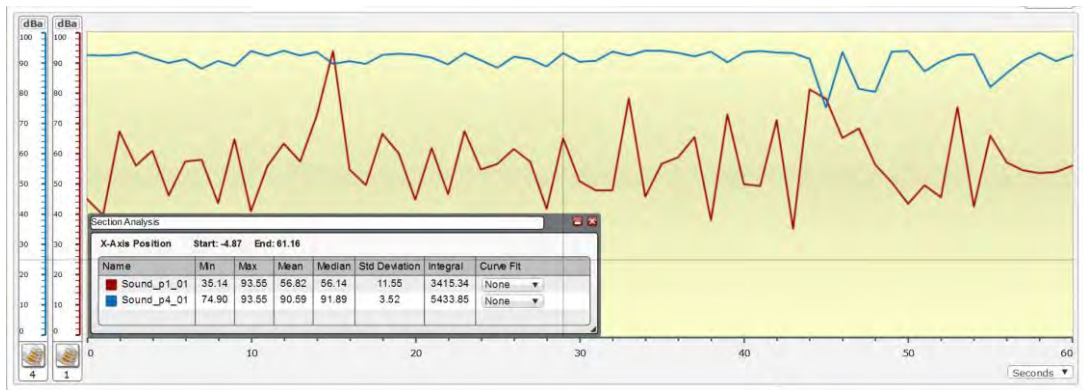
風力發電帶來了乾淨的再生能源，相對的發電的過程所產生的噪音也對生活環境帶來不良的影響，我們也想了解當使用機翼運轉產生的噪音情形。

1. 觀察過程

我們使用二個 Lego sound sensor 來測量發電過程中所產生的噪音，一個安裝在 E-motor 下方；再參考 IEC61400-11 風力發電機噪音測量規範，依照風機大小計算測量距離為 35.5 公分並安裝另一個 sound sensor。測量時選用模擬人類可聽聲音的 A 加權之分貝 Deci-Bel(dBA)作為測量單位，每秒測量 1 次並將資料傳到電腦監看，測量 1 分鐘取平均值。測量前，先不安裝機翼量測背景分貝值，接著裝上機翼後量測運轉時的音量分貝值，將量測到的音量分貝值減去背景分貝值得到噪音分貝值。



圖三-3 前、後方背景值測量圖



2. 實驗結果

表三-3 不同機翼數量運轉圈數及噪音分貝值表

背景分貝值：前方 90.59 (dBA)；後方 56.82 (dBA)

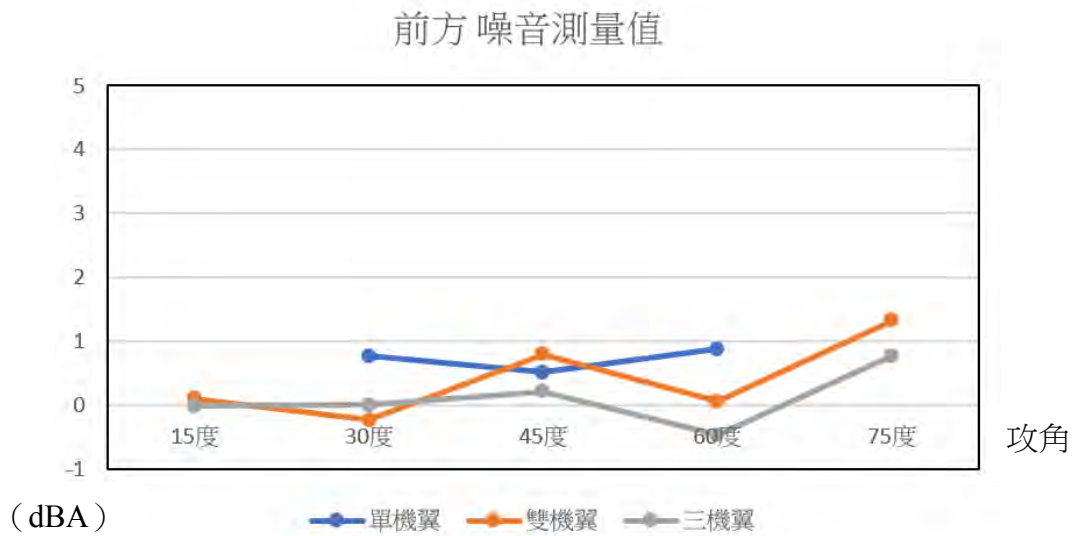
機翼數量	單機翼			雙機翼			三機翼		
	運轉圈數 (RPM)	前 (dBA)	後 (dBA)	運轉圈數 (RPM)	前 (dBA)	後 (dBA)	運轉圈數 (RPM)	前 (dBA)	後 (dBA)
15	0.0	無	無	70.0	0.10	0.59	92.3	-0.02	-1.01
30	137.0	0.76	1.91	171.5	-0.24	-0.67	199.3	0.00	7.03
45	199.0	0.51	3.87	285.5	0.79	9.89	307.3	0.21	11.55
60	194.0	0.87	6.33	407.0	0.05	19.87	407.0	-0.48	16.57
75	0.0	無	無	297.0	1.32	25.9	267.3	0.76	30.95

進行噪音觀察，不論是測量背景值或是裝上機翼測量噪音，前方所測量的數值比都後方的高，而且音量的起伏比較穩定。我們推論因為前方的 sound sensor 直接面臨出風口而且距離風扇較近；後方的 sound sensor 因為前方有障礙物，聲音受到障礙物影響容易產生擾動而有起伏，而且距離出風口較遠所以測量到的聲壓值較小。

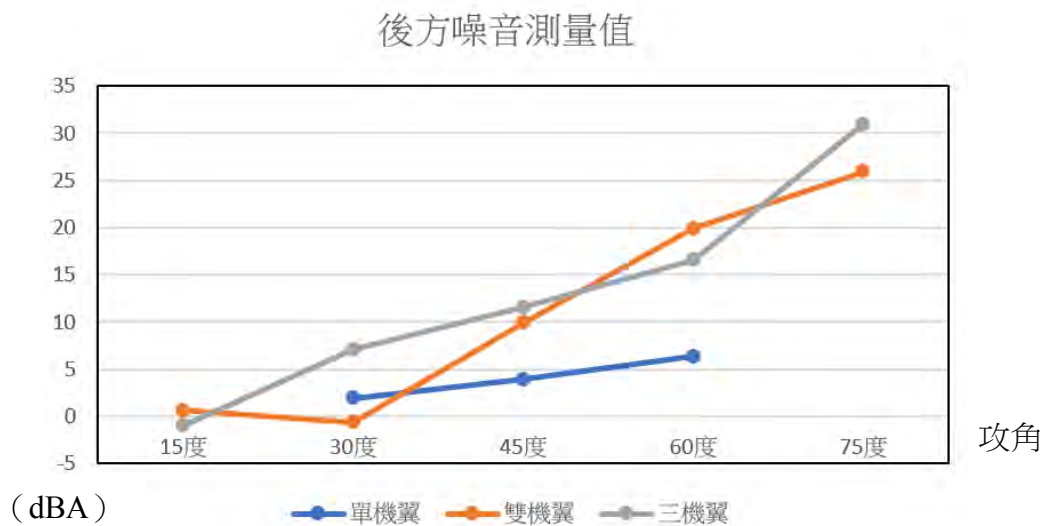
我們量測機翼測量攻角 15 度到 75 度噪音值，結果前方的 sound sensor 測量到的噪音值增加幅度不大（圖三-4），後方所測量的噪音值在雙機翼和三機翼時，從會隨著攻角角度增加而增加（圖三-5）。根據實驗的結果，我們查尋相關研究的資料，其中提到當葉片攻角過大會產生氣流分離現象。如果情況更加嚴重，混亂的氣流會產生更大

噪音，這和我們的研究結果是相同的，而前方的 sound sensor 因為前方沒有葉片轉動所以噪音值的變化不大，更可說明在機翼運轉的過程中噪音的產生和攻角角度有密切的關係。

圖三-4 不同機翼數量前方噪音測量值圖



圖三-5 不同機翼數量前方噪音測量值圖



陸、研究結論

經過一連串的實驗研究，我們得到以下幾點結論。

一、探討各種機翼的運轉特性

(一) 觀察風洞風速分布

風洞中風速比較強的分布在距離中心軸線垂直方向 5~10 公分的位置，距離中心軸 15 公分的位置風速下降的幅度最大，中心軸線位置受風扇結構影響較不穩定。

(二) 了解長方形機翼離出風口遠近的運轉特性

除了翼寬 2 公分的機翼因為不轉動而無法測量運轉的圈數之外，翼寬 4 公分、6 公分的機翼的運轉情形不管攻角是 15 度還是 30 度，都是愈靠近出風口運轉的圈數愈多，與風洞風速分布情形相同。

(三) 了解長方形機翼不同攻角的運轉特性

必需產生足夠的力才能推動機翼旋轉，運轉圈數最少都是在攻角 15 度的時候，最多圈數是在攻角 75 度的時候。

(四) 了解長方形機翼不同寬度的運轉特性

三種寬度機翼的運轉情形，以寬度 4 公分的機翼運轉的圈數最多，可見影響機翼升力的因素不是只單單迎風面積一項，應該還有機翼比例上的因素。

(五) 了解不同機翼漸縮比的運轉特性

四種漸縮比例中以漸縮比 6:2 的機翼運轉效能最高，也就是當機翼寬度一邊為 6 公分另一邊為 2 公分時機翼的運轉效能好。

(六) 了解不同後掠角度機翼的運轉特性

將機翼的角度後掠可以讓運轉的效能更好，但是也不是後掠角度愈大才是最好，在實驗中以後掠角度 20 度為最佳角度。

二、研究如何修改機翼結構提昇運轉效率

(一) 增加襟翼下降角度提昇運轉效率

當修改了機翼的結構後機翼運轉的情形也會隨著改變，機翼運轉圈數最大出現在攻角 45 度，但結果沒有達到當初想提昇運轉圈數的目標。

(二) 運用康達效應提昇運轉效率

我們把漸縮比 6:2 機翼的透明塑膠板的位置向下調整到 0.5 公分處，在機翼下緣距離磨出 30 度的斜角進行測試圈數稍微有提昇，但還是不明顯。為了引導更多氣流沿著襟翼上緣流動，我們在機翼上緣空隙處貼上透明塑膠板，實驗結果運轉超過 400 圈，再接著用漸縮比 6:2 後掠 20 度的機翼重覆同樣的實驗步驟，運轉圈數又提到高 445 圈，可以確認我們的推論是有效的。

(三) 觀察不同機翼數量運轉效率

三機翼和雙機翼運轉圈數只有在漸縮比 6:2 的機翼攻角 75 度時的圈數差異較大，其他的角度運轉情形相差不多，單機翼運轉時出現接頭晃動的情形抵消運轉的力量而圈數偏低。

三、發電效能與噪音探討

(一) 了解不同機翼數量發電效能

啟用發電功能後阻力增加，機翼運轉速度下降，單機翼發電效能偏低，三機翼發電效能比雙機翼高，發電效能除了受運轉圈數影響之外，機翼數量也是關鍵因素。

(二) 了解不同機翼數量運轉時所發出的噪音

機翼運轉會造成空氣擾動產生噪音，機翼攻角愈大，容易產生氣流分離現象，造成機翼後方氣流更加混亂而產生更多的噪音。

柒、參考資料

李金鴻 (2009)。軸流扇偶數葉片轉子之探討。國立台北科技大學：台北市。

李明穎 (譯) (2013)。流體力學：透過人類智慧-巧妙掌控氣體與液體 (原作者：小峯龍男)。新北市：大放譯彩翻譯社。

李漢庭 (譯) (2011)。圖解風力發電入門 (原作者：牛山泉)。新北市：世茂出版有限公司。

維基百科。康達效應。取自 [https://zh.wikipedia.org/zh-](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BA%B7%E8%BE%BE%E6%95%88%E5%BA%94)

[tw/%E5%BA%B7%E8%BE%BE%E6%95%88%E5%BA%94](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BA%B7%E8%BE%BE%E6%95%88%E5%BA%94)。

郭淑芬、盧奕銘、崔廣義、涂聰賢、劉育翔 (2007)。不同風速下風力發電機噪音分布之研究。中華民國音響學會年會暨第二十屆論文發表會：台北。

【評語】 080101

1. 能利用現代化科技，例如，採用電動樂高及感測器，使得實驗結果能更精確。
2. 能改變多項變因，探究風車葉片之轉動效能。
3. 這個題目是個非線性行為而且有許多相關的變因機制。要完全定量的制定一個最佳值是一個不容易的工作。但，以國小的年紀就可以相當廣泛地藉由實驗來觀測可能相關因素的影響。的確也是不容易的事情。

作品海報

壹、研究動機



每次搭飛機，坐在飛機上除了可以欣賞大地的美麗景色之外，天空中的飛機也會隨著機翼的擺動改變飛行的高度和方向帶著乘客到想到的地方。老師也說風力發電機的葉片構造有運用到飛機升力概念來製造，但是在澎湖看到的風力發電機葉片長得和機翼不大一樣，如果真的使用機翼來運轉到底是怎麼的一個情形呢？就這樣開始了我們一連串探索的歷程。

貳、名詞解釋



- 一、機翼：是為固定翼航空器提供升力的主要部件，模仿鳥類的翅膀，維持其在空中的穩定飛行以及提供必要的操縱力。
- 二、攻角：為機翼之翼弦與自由流（或是相對風流的方向）之夾角；如為飛機攻角，定義則為機軸對相對風流之夾角。當機翼向上為正攻角，向下則為負攻角。
- 三、康達效應：亦稱附壁作用或柯恩達效應 (Coanda Effect)，流體有離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動的傾向。
- 四、噪音：是不想聽到或讓人感到不舒適的聲音，音量單位以A加權之分貝 Deci-Bel (dBA) 來表示，一般人的耳朵能聽見的範圍在0-140 (dBA) 之間。

參、研究問題或目的



一、探討各種機翼的運轉特性

- (一) 觀察風洞風速分布。
- (二) 了解長方形機翼離出風口遠近的運轉特性。
- (三) 了解長方形機翼不同攻角的運轉特性。
- (四) 了解長方形機翼不同寬度的運轉特性。
- (五) 了解不同機翼漸縮比的運轉特性。
- (六) 了解不同後掠角度機翼的運轉特性。

二、研究如何修改機翼結構提昇運轉效率

- (一) 增加襟翼下擺角度提昇運轉效率。
- (二) 運用康達效應提昇運轉效率。
- (三) 觀察不同機翼數量運轉效率。

三、發電效能與噪音探討

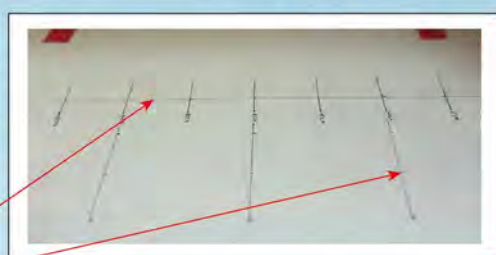
- (一) 了解不同機翼數量發電效能。
- (二) 了解不同機翼數量運轉時所發出的噪音。

自製風洞說明



2. 觀察風洞風速分布

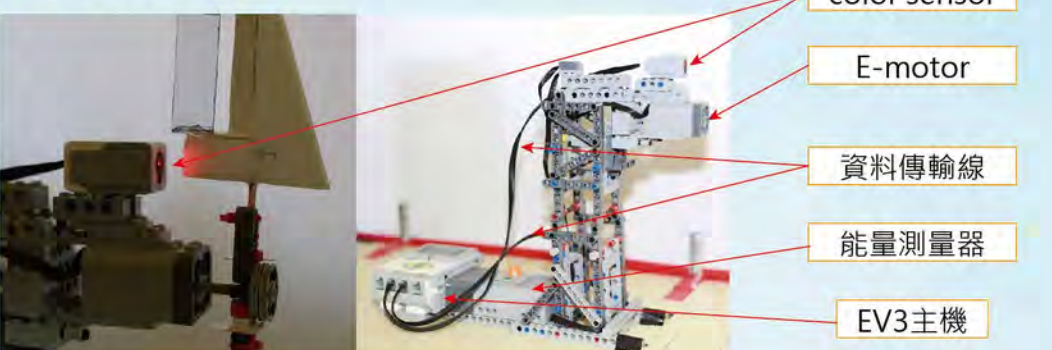
以中心軸線為基準，距離出風口每10公分劃上標示，在每個中心軸線標示點往垂直方向每5公分作上標示作為風速的測量點。



圖一-1風洞風速圖



自製運轉測量儀



(二) 了解長方形機翼離出風口遠近的運轉特性

1. 觀察過程

我們製作長度10公分但寬度分別為2公分、4公分、6公分三種長方形的機翼，依出風口距離10、20、40、60、80公分為測量點，將機翼調整在攻角15度和30度再安裝在運轉測量儀上，每個測量點測量三次每次測量1分鐘，將三次測量到的運轉圈數平均。



萊特兄弟的飛機的機翼是長方形



2. 觀察結果與討論

表一-2 攻角15度機翼運轉紀錄表

機翼寬度	2公分	4公分	6公分
距離出風口	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
10公分	0.0	80.7	28.0
20公分	0.0	78.0	24.3
40公分	0.0	73.7	24.0
60公分	0.0	69.3	12.3
80公分	0.0	67.3	12.0

(圖數為三次平均值)

圖一-2攻角15度機翼運轉圖

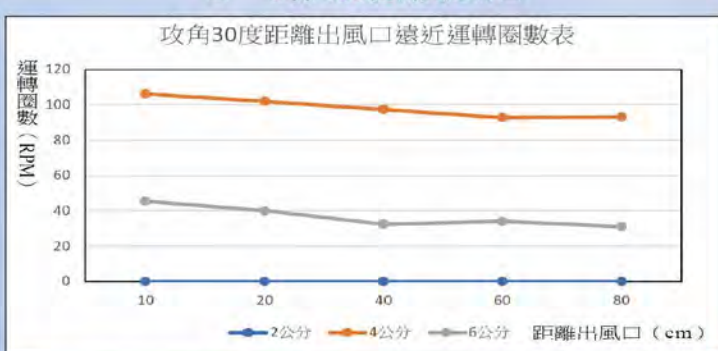


表一-3 攻角30度機翼運轉紀錄表

機翼寬度	2公分	4公分	6公分
距離出風口	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
10公分	0.0	106.3	45.3
20公分	0.0	102.0	40.0
40公分	0.0	97.3	32.3
60公分	0.0	92.7	34.0
80公分	0.0	93.0	31.0

(圖數為三次平均值)

圖一-3攻角30度機翼運轉圖



(三) 了解長方形機翼不同攻角的運轉特性

1. 觀察過程

我們用寬度分別為2公分、4公分、6公分長方形機翼，每次使用3支機翼依照攻角15度、30度、45度、60度、75度作運轉的測試，每次測量一分鐘，測量三次後得到平均運轉圈數。



2. 觀察結果與討論

表一-4長方形機翼不同攻角運轉圈數表

機翼寬度	2公分	4公分	6公分
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
15	0.0	73.7	24.0
30	0.0	97.3	32.3
45	0.0	101.3	44.3
60	14.3	143.3	145.0
75	61.7	241.3	173.7

(圖數為三次平均值)

圖一-4長方形機翼不同攻角運轉圈數圖



肆、研究設備器材



自製風洞

自製運轉效能測量儀及能量測量器

自製機翼

風速儀

第一代攻角調整器

第二代攻角調整器

伍、研究過程與討論

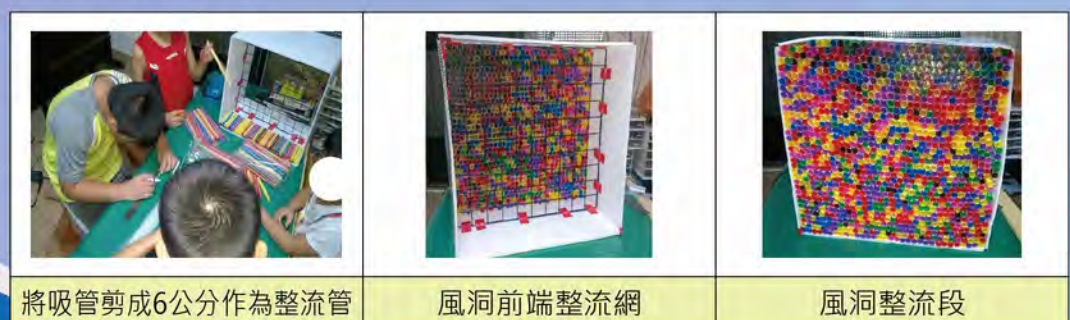


一、探討各種機翼的運轉特性

(一) 觀察風洞風速分布

1. 自製風洞

為了觀察機翼的運轉情形，我們使用鐵格架、雕塑板、吸管及透明塑膠布製作了一個長130公分、寬42公分、高42公分的風洞，並使用工業用風扇作為風力的來源。



將吸管剪成6公分作為整流管

風洞前端整流網

風洞整流段



(四) 了解長方形機翼不同寬度的運轉特性

從表一-4、圖一-4中我們發現不同寬度的機翼旋轉的情形並不相同，三種寬度中2公分寬最不容易轉動，三種寬度機翼的運轉情形，以寬度4公分的機翼運轉的圈數最多。

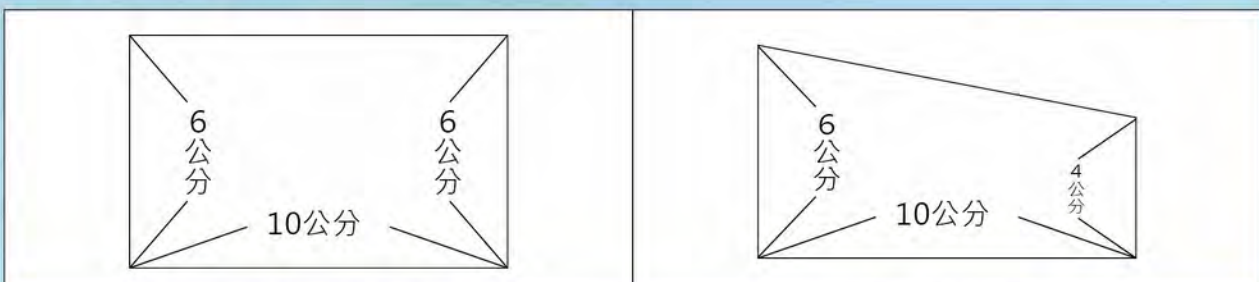


現代的飛機機翼尾端較窄

(五) 了解不同機翼漸縮比的運轉特性

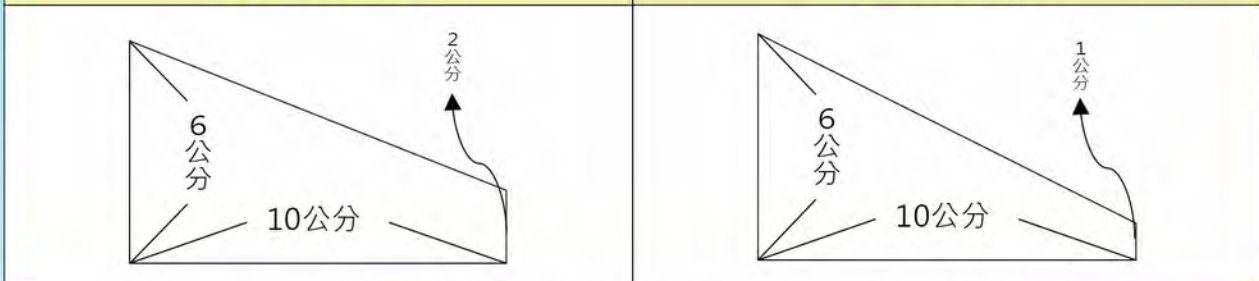
1. 觀察過程

我們使用珍珠板作為機翼的材料，並製作了6:6、6:4、6:2、6:1四種不同漸縮比的機翼進行實驗。



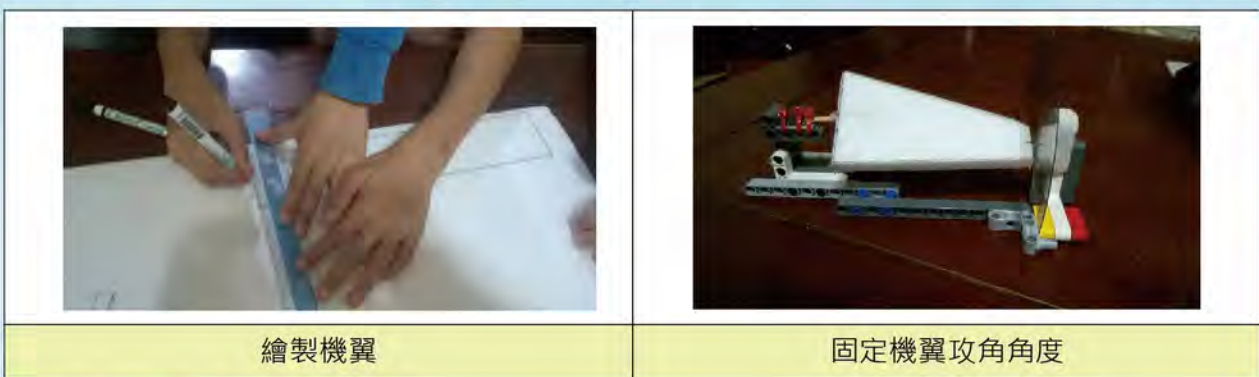
漸縮比6:6機翼

漸縮比6:4機翼



漸縮比6:2機翼

漸縮比6:1機翼



繪製機翼

固定機翼攻角角度

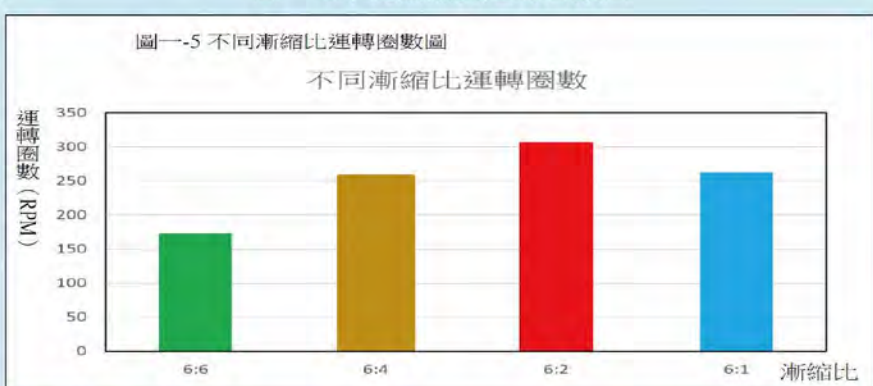
2. 觀察結果與討論

表一-5不同漸縮比運轉圈數表

漸縮比	平均圈數 (RPM)
6:6	173.7
6:4	257.7
6:2	306.3
6:1	263.0

(圈數為三次平均值)

圖一-5不同漸縮比運轉圈數圖

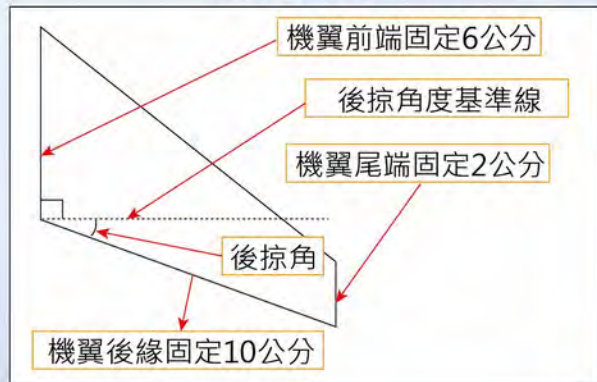


(六) 了解不同後掠角度機翼的運轉特性

1. 觀察過程

我們使用6:2漸縮比的機翼作為後掠20度，製作了後掠20度、40度、60度的機翼，攻角固定75度距離出風口40公分，每次測量1分鐘後紀錄運轉圈數，測量三次平均為平均運轉圈數。

機翼後掠示意圖



現代的飛機機翼尾端會後掠



在珍珠板上繪製後掠機翼

不同後掠角度機翼

三機翼組裝在一起

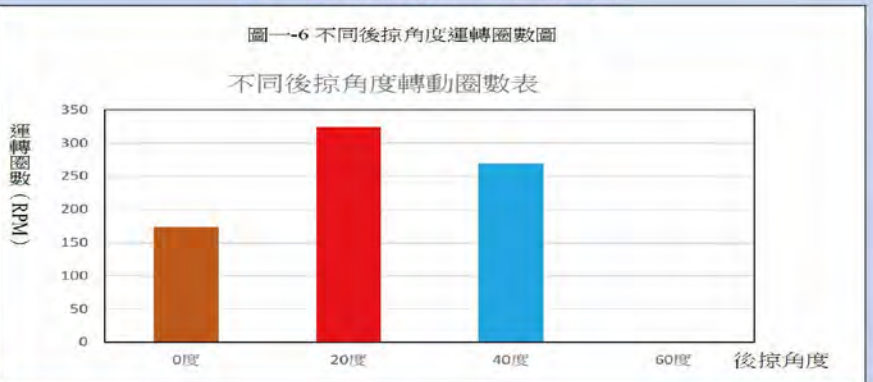
2. 觀察結果與討論

表一-6不同漸縮比運轉圈數表

後掠角度 (度)	平均圈數 (RPM)
0	173.7
20	323.7
40	269.7
60	0.0

(圈數為三次平均值)

圖一-6不同後掠角度運轉圈數圖

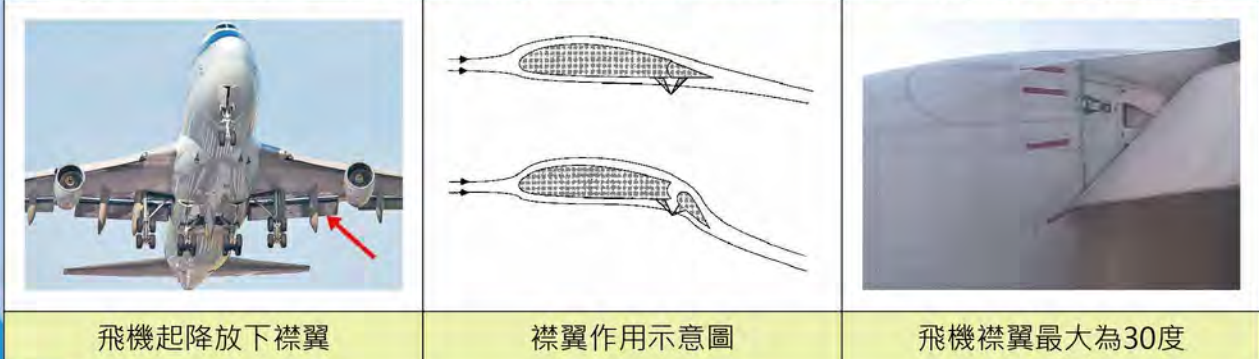


二、研究如何修改機翼結構提昇運轉效率

(一) 增加襟翼下降角度提昇運轉效率

1. 觀察過程

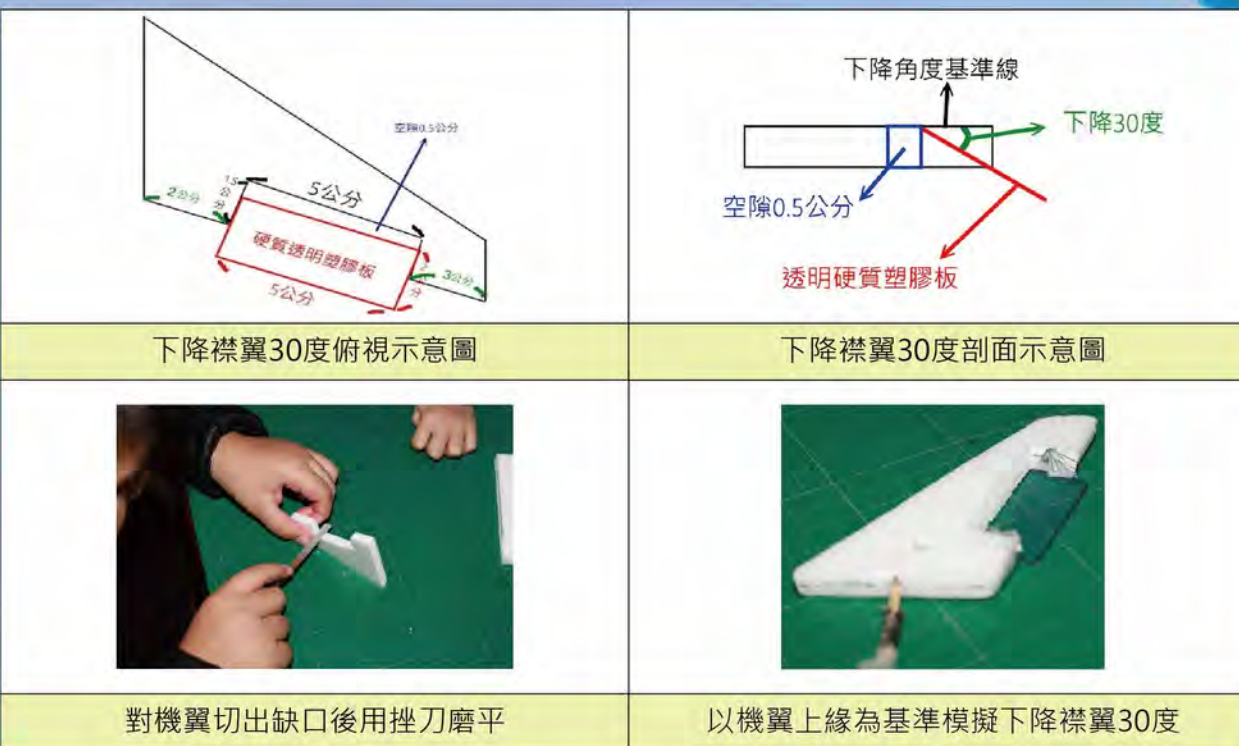
每次使用3個機翼安裝在運轉測量儀，機翼接合中心軸距離出風口40公分，測量攻角15度、30度、40度、60度、75度的運轉情形，每次測量1分鐘，測量三次後計算平均運轉圈數。



飛機起降放下襟翼

襟翼作用示意圖

飛機襟翼最大為30度



下降襟翼30度俯視示意圖

下降襟翼30度剖面示意圖



對機翼切出缺口後用挫刀磨平



以機翼上緣為基準模擬下降襟翼30度

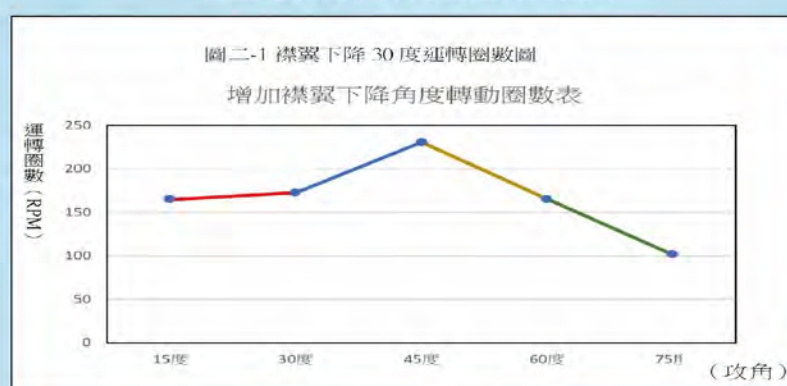
2. 觀察結果與討論

表二-1襟翼下降30度運轉圈數表

攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)
15	164.7
30	172.7
45	230.7
60	165.0
75	101.3

(圈數為三次平均值)

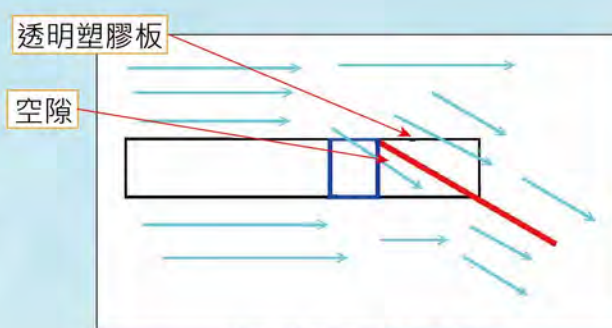
圖二-1襟翼下降30度運轉圈數圖



(二) 運用康達效應提昇運轉效率

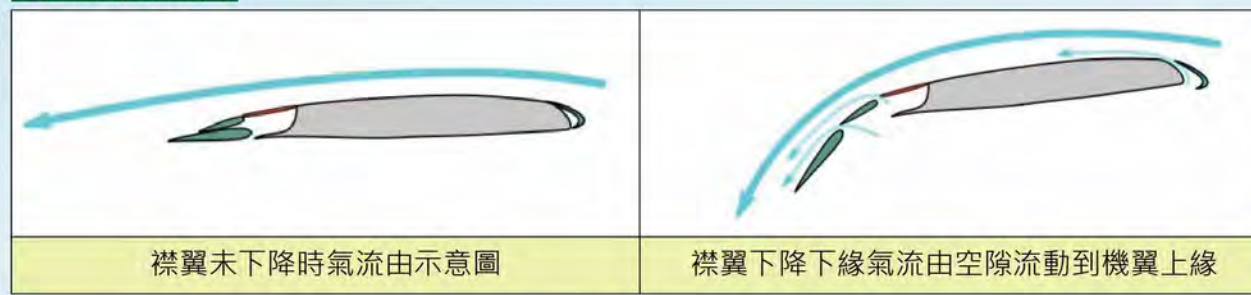
1. 觀察過程

我們決定把透明塑膠板的位置向下調整到厚度一半0.5公分處，襟翼下降的角度還是固定30度，然後在機翼下緣距離空隙1公分處磨出30度的斜角，希望能利用斜角引導下緣氣流產生康達效應，引導氣流流動到襟翼上緣增加升力。



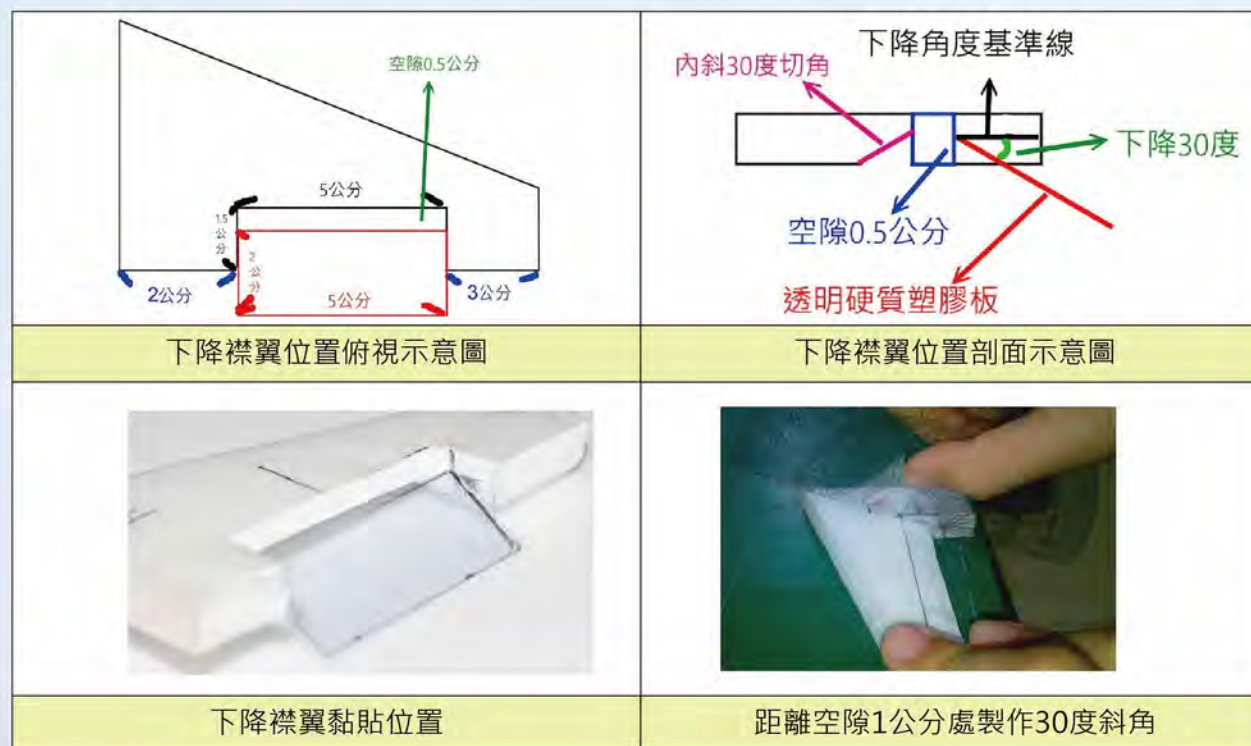
氣流通過機翼示意圖

現代飛機機翼圖



襟翼未下降時氣流由示意圖

襟翼下降下緣氣流由空隙流動到機翼上緣



下降襟翼位置俯視示意圖

下降襟翼位置剖面示意圖



下降襟翼黏貼位置



距離空隙1公分處製作30度斜角

2. 觀察結果與討論

表二-2調整襟翼位置及斜角運轉圈數表

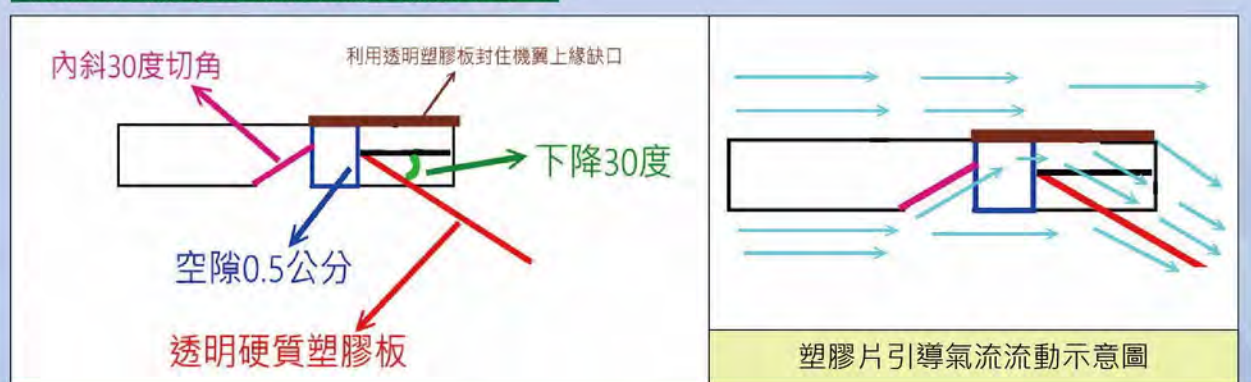
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)
15	127.3
30	262.0
45	242.3
60	157.0
75	139.7

(圈數為三次平均值)

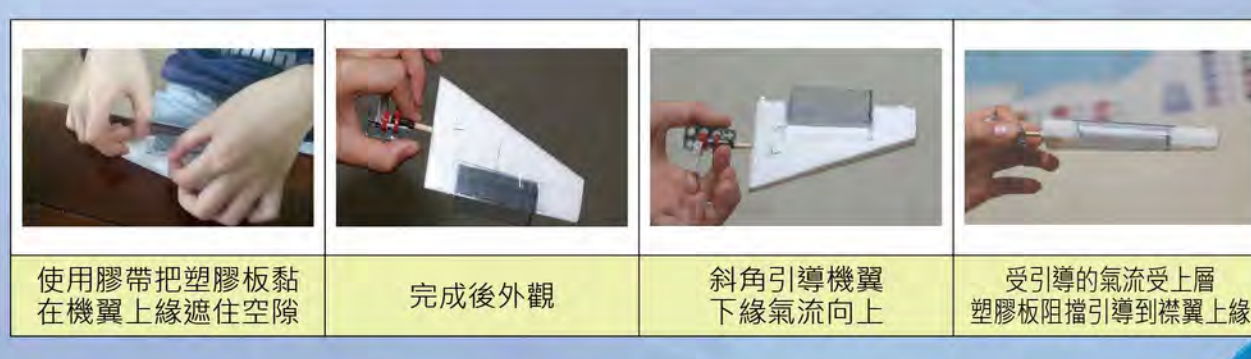
圖二-2調整襟翼位置及斜角運轉圈數圖



增加塑膠板遮住空隙強化康達效應示意圖



塑膠片引導氣流流動示意圖



使用膠帶把塑膠板黏在機翼上緣遮住空隙

完成後外觀

斜角引導機翼下緣氣流向上

受引導的氣流受上層塑膠板阻擋引導到襟翼上緣

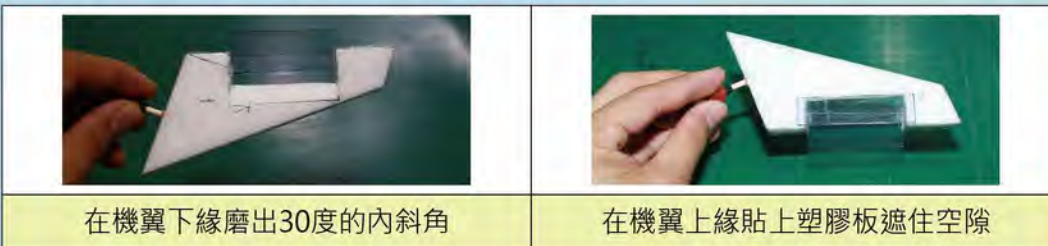
3. 修改後的觀察結果與討論

表二-3 漸縮比6:2機翼加裝塑膠片運轉圈數表

攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)
15	213.0
30	251.0
45	411.0
60	360.0
75	200.3

(圈數為三次平均值)

為了滿足好奇心，我們修改原先不敢試的漸縮比6:2後掠20度的機翼，想了解是不是和漸縮比6:2機翼運轉情形相同。



在機翼下緣磨出30度的內斜角

在機翼上緣貼上塑膠板遮住空隙

4. 修改漸縮比6:2後掠20度機翼觀察結果與討論

表二-4 漸縮比6:2後掠20度加裝塑膠片機翼運轉圈數表

攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)
15	212.3
30	358.0
45	445.0
60	362.3
75	285.0

(圈數為三次平均值)

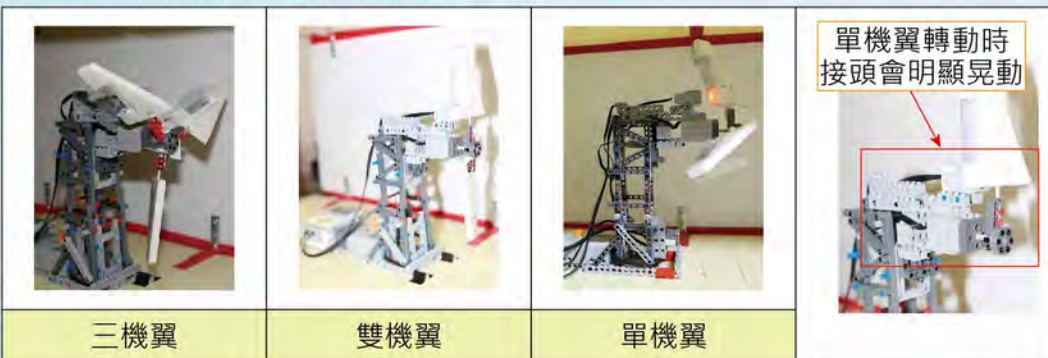
圖二-4 漸縮比6:2後掠20度加裝塑膠片機翼運轉圈數



(三) 觀察不同機翼數量運轉效率

1. 觀察過程

我們使用漸縮比6:2和漸縮比6:2後掠20度兩種機翼來作測試，分別安裝三機翼、雙機翼、單機翼，距離出風口40公分，每次測量1分鐘測量3次後得到平均運轉圈數。



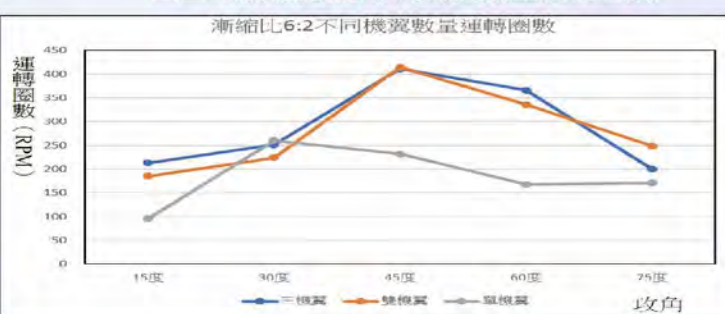
2. 觀察結果與討論

表二-5 漸縮比6:2不同機翼數量運轉圈數表

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
15	96	185.0	213.0
30	260	224.0	251.0
45	232	414.5	411.0
60	168	336.0	366.0
75	171	249.0	200.3

(圈數為三次平均值)

圖二-5 漸縮比6:2不同機翼數量運轉圈數

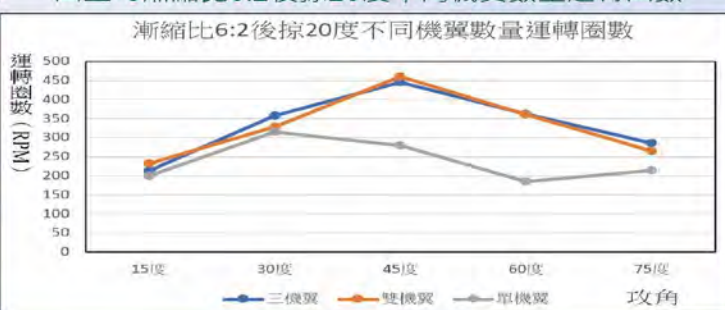


表二-6 漸縮比6:2後掠20度不同機翼數量運轉圈數表

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
15	200.0	231.5	212.3
30	315.0	328.0	358.0
45	279.0	459.5	445.0
60	185.0	360.5	362.3
75	214.0	265.0	285.0

(圈數為三次平均值)

圖二-6 漸縮比6:2後掠20度不同機翼數量運轉圈數



三、發電效能與噪音探討

為了讓攻角的定位更加快速、準確及增加機翼的穩定性，我們利用3D列印的方式重新製作攻角調整器，新式攻角調整器比較方便，但重量比原來的重。



第二代攻角調整器

第一代攻角調整器

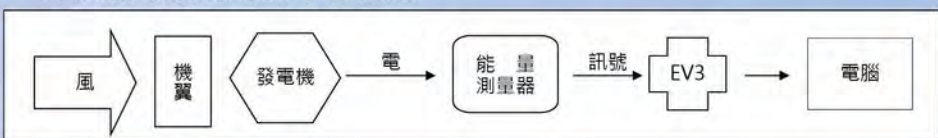
單機翼重量：5.65g

單機翼重量：8.25g

(一) 了解不同機翼數量發電效能

1. 觀察過程

我們使用 LEGO 9670 E-motor作為發電機透過機翼運轉帶動發電機發電，利用EV3主機把發電的情形傳送到電腦螢幕來監看，因為攻角調整器重新設計所以重測攻角15、30、45、60、75度的運轉圈數，再和發電效能的結果作對照。



2. 觀察結果與討論

表三-1 未啟動發電負載運轉圈數

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
15	0.0	70.0	92.3
30	137.0	171.5	199.3
45	199.0	285.5	307.3
60	194.0	407.0	407.0
75	0.0	297.0	267.3

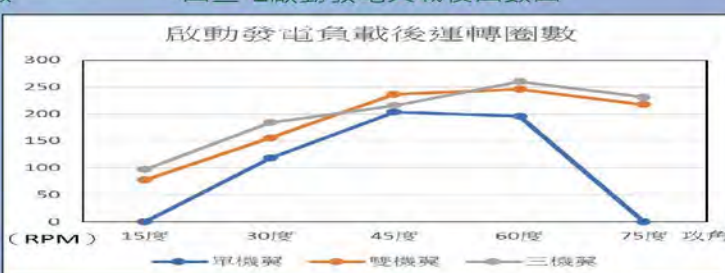
圖三-1 未啟動發電負載運轉圈數



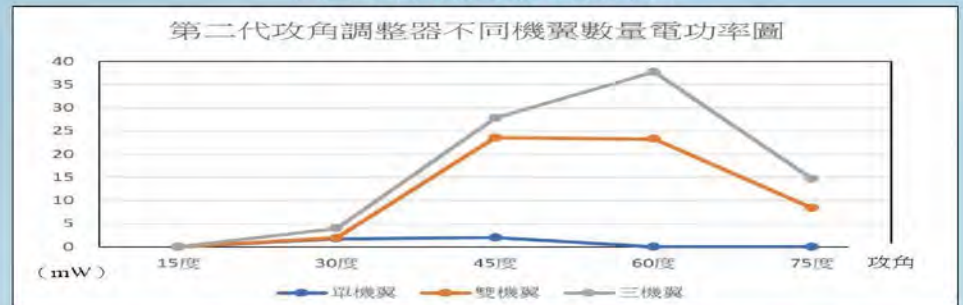
表三-2 啟動發電負載後圈數

機翼數量	單機翼	雙機翼	三機翼
攻角角度 (度)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)	平均圈數 (RPM)
15	0.0	77.5	96.7
30	118.0	155.5	184.0
45	204.0	236.5	215.7
60	196.0	245.5	260.0
75	0.0	217.5	231.3

圖三-2 啟動發電負載後圈數



圖三-3 不同機翼數量電功率圖



表三-4 三機翼下降圈數及電功率

攻角角度 (度)	下降圈數 (RPM)	電功率 (mW)
15	-4.4	0.00
30	15.3	4.04
45	91.6	27.82
60	147.0	37.74
75	36.0	14.70

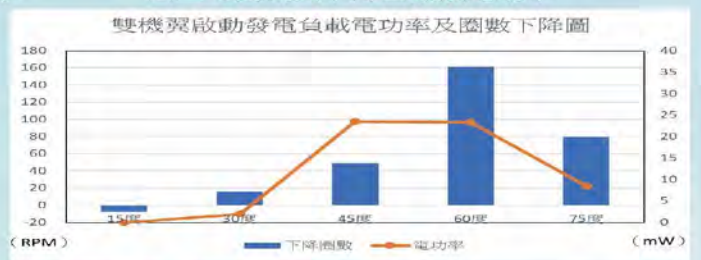
圖三-4 三機翼下降圈數及電功率



表三-5 雙機翼下降圈數及電功率

攻角角度 (度)	下降圈數 (RPM)	電功率 (mW)
15	-7.5	0.00
30	16.0	1.95
45	49.0	23.54
60	161.5	23.32
75	79.5	8.44

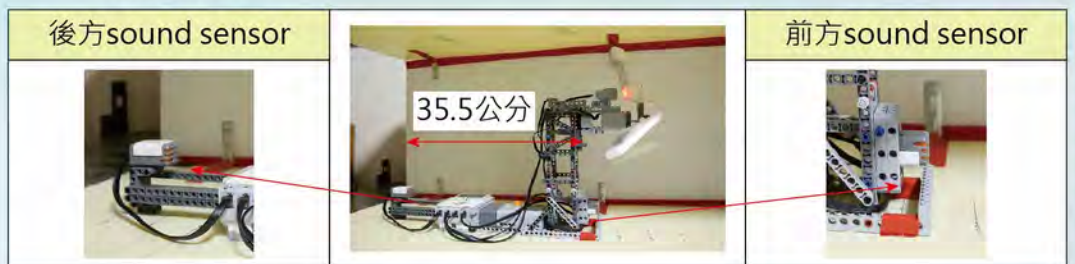
圖三-5 雙機翼下降圈數及電功率



(二) 了解不同機翼數量運轉時所發出的噪音

1. 觀察過程

我們使用二個Lego sound sensor來測量，一個安裝在E-motor下方；再參考IEC61400-11風力發電機噪音測量規範，安裝另一個sound sensor，測量時選用模擬人類可聽聲音的A加權分貝Deci-Bel (dBA)作為測量單位。

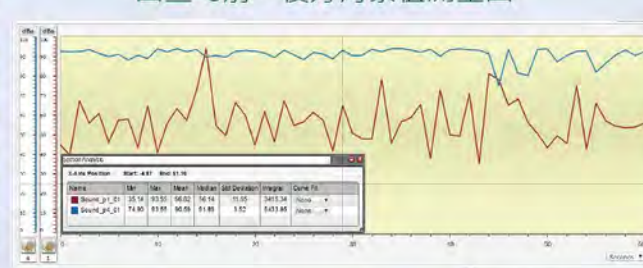


2. 實驗結果

表二-6 不同機翼數量運轉圈數及噪音分貝值表

機翼數量	攻角角度 (度)	單機翼		雙機翼		三機翼			
		前 (dBA)	後 (dBA)	前 (dBA)	後 (dBA)	前 (dBA)	後 (dBA)		
15	0.0	無	無	70.0	0.10	92.3	-0.02	-1.01	
30	137.0	0.76	1.91	171.5	-0.24	-0.67	199.3	0.00	7.03
45	199.0	0.51	3.87	285.5	0.79	9.89	307.3	0.21	11.55
60	194.0	0.87	6.33	407.0	0.05	19.87	407.0	-0.48	16.57
75	0.0	無	無	297.0	1.32	25.90	267.3	0.76	30.95

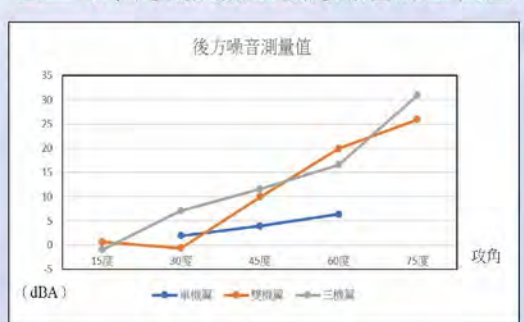
圖三-6 前、後方背景值測量圖



圖三-7 不同機翼數量前方噪音測量值圖



圖三-8 不同機翼數量後方噪音測量值圖



陸、研究結論



一、探討各種機翼的運轉特性

(一) 觀察風洞流速分布

風洞中風速比較強的分布在距離中心軸線垂直方向5~10公分的位置，距離中心軸15公分的位置風速下降的幅度最大，中心軸線位置受風扇結構影響較不穩定。

(二) 了解長方形機翼離出風口遠近的運轉特性

除了翼寬2公分的機翼因為不轉動而無法測量運轉的圈數之外，翼寬4公分、6公分的機翼都是愈靠近出風口運轉的圈數愈多，與風洞風速分布情形相同。

(三) 了解長方形機翼不同攻角的運轉特性

機翼必須產生足夠的力才能推動機翼旋轉，運轉圈數最少都是在攻角15度的時候，最多圈數是在攻角75度的時候。

(四) 了解長方形機翼不同寬度的運轉特性

三種寬度機翼的運轉情形，以寬度4公分的機翼運轉的圈數最多，可見影響機翼升力的因素不是只單單迎風面積一項，應該還有機翼比例上的因素。

(五) 了解不同機翼漸縮比的運轉特性

四種漸縮比例中以漸縮比6:2的機翼運轉效能最高，也就是當機翼寬度一邊為6公分另一邊為2公分時機翼的運轉效能好。

(六) 了解不同後掠角度機翼的運轉特性

將機翼的角度後掠可以讓運轉的效能更好，但是也不是後掠角度愈大才是最好，在實驗中以後掠角度20度為最佳角度。

二、研究如何修改機翼結構提升運轉效率

(一) 增加襟翼下降角度提升運轉效率

當修改了機翼的結構後機翼運轉的情形也會隨著改變，機翼運轉圈數最大出現在攻角45度，但結果沒有達到當初想提升運轉圈數的目標。

(二) 運用康達效應提升運轉效率

我們把透明塑膠板的位置向下調整到0.5公分處，在機翼下緣距離磨出30度的斜角圈數稍微有提升，但還是不明顯。我們在機翼上緣貼上塑膠片引導更多氣流沿著機翼上緣流動，漸縮比6:2後掠20度的機翼運轉圈數到達445圈，確認我們的推論是有效的。

(三) 觀察不同機翼數量運轉效率

三機翼和雙機翼運轉圈數只有在漸縮比6:2的機翼攻角75度時的圈數差異較大，其他的角度運轉情形相差不多，單機翼運轉時出現接頭晃動的情形抵消運轉的力量而圈數偏低。

三、發電效能與噪音探討

(一) 了解不同機翼數量發電效能

啟用發電功能後機翼運轉速度下降，單機翼發電效能偏低，三機翼發電效能比雙機翼高，發電效能除了受運轉圈數影響之外，機翼數量也是關鍵因素。

(二) 了解不同機翼數量運轉時所發出的噪音

機翼運轉會造成空氣擾動產生噪音，機翼攻角愈大，容易產生氣流分離現象，造成機翼後方氣流更加混亂而產生更多的噪音。

柒、參考資料



李金鴻 (2009)。軸流扇偶數葉片轉子之探討。國立台北科技大學：台北市。
 李明穎 (譯) (2013)。流體力學：透過人類智慧，巧妙掌控氣體與液體 (原作者：小峯龍男)。新北市：大放譯彩翻譯社。
 李漢庭 (譯) (2011)。圖解風力發電入門 (原作者：牛山泉)。新北市：世茂出版有限公司。
 維基百科。康達效應。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BA%B7%E8%BE%BE%E6%95%88%E5%BA%94>
 郭淑芬、盧奕銘、崔廣義、涂聰賢、劉育翔 (2007)。不同風速下風力發電機噪音分布之研究。中華民國音響學會年會暨第二十屆論文發表：台北。