

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第三名

030811

風生水起一流體動能利用系統

學校名稱：基隆市立建德國民中學

作者： 國二 呂茜潔 國二 郭思涵 國二 李姿瑩	指導老師： 魏志鴻 許繼哲
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：風力發電、動能、轉速

風生水起 - 流體動能利用系統

摘要

本次科展主要是要研發一組三層式葉扇的風力發電裝置，設計三層式葉扇的目的，是希望能以互轉式系統來達到較高的發電效率。我們針對各種不同設計的葉扇，以不同的角度分別控制電風扇及裝置之間的距離以 0.5m/s~5.0m/s 的風速下，測量出三層葉扇最佳的轉速。在發電裝置部份，我們對於法拉第電磁感應定律 $\epsilon = NBA \omega \sin \omega t$ 中的 N、B、A 都加強，進而自製了發電裝置並且結合了三層式葉扇以及自製的發電裝置，來達到發電最高的效率。

第一層葉扇是以第四組 (27 : 32 : 22) 的 10° 轉速最佳，在第四組葉扇後面是以第二組 (34.5 : 32 : 18.5) 的 40° 轉速最佳，而在第二組葉扇後面又以第六組 (22 : 32 : 27) 的 30° 為最佳，因此以這三組葉扇作為我們第三代的三層式葉扇。未來可推廣到各個家庭使用。

壹、研究動機

在住家附近有一間高中，高中校門口架設了一座風力發電機，看到機器不斷的在轉動，讓我們很好奇它的內部構造是如何？而它又是如何發電的？因此我們便開始去查詢相關資料，發現風力發電機的型態、樣式非常的多元，我們希望能應用自然課所學的課程觀念（力矩、能量轉換、電磁感應、摩擦力、發電機），藉此研發出一台可利用風能發電的儀器，並研究出最佳的發電數據，希望未來能夠廣泛被應用，相信可以為台灣創造更多的綠色能源。


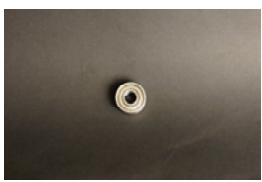
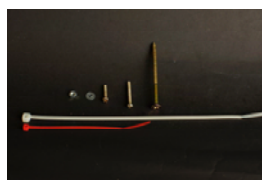




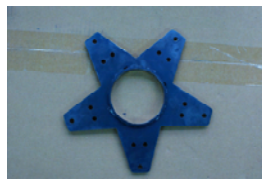
貳、研究目的

本次的科展我們主要研發風力發電裝置，為了能充分的利用—「風」這項自然的綠色資源，我們首先研究受風葉片的幾何形狀，受風角度，不同材質的葉扇，尋找出最佳的單位轉速，並研究設計新式的發電機核心及除去定子與轉子的既有觀念，設計互轉式雙軸心，可增加轉動單位的磁場變化，以提升發電效率，再將風力發電裝置不斷創新、改良，進而研發出第三代的三層式雙軸心發電機，並研究其發電的效率。

參、研究設備及器材

小螺絲、大螺絲、螺母、墊片、十字起子、一字起子、木板(單位:cm)、美工刀、鋸子、塑膠圓錐、木塊、電鑽、木棍、長尺、拔釘器、小漆包線、大漆包線、鐵釘、銅條、圓切鑽、風速計、轉速計、游標卡尺、氧化鋁滾珠軸承、束線帶、塑膠水管、長木筷、鈹鐵硼磁鐵、自製發電機、葉片底座(前、中、後)、軸心延長桿、發電線圈、矽鋼片、安培計、伏特計

表 1 研究設備及器材圖

			
游標卡尺	氧化鋁滾珠軸承	螺絲、螺母、墊片、束線帶	發電線圈
			
風速計	塑膠水管	長木筷	軸心用木塊
			
鈹鐵硼磁鐵	粗漆包線	轉速計	矽鋼片
			
自製發電機	葉片底座(前)	葉片底座(中)	葉片底座(後)
			
軸心延長桿			

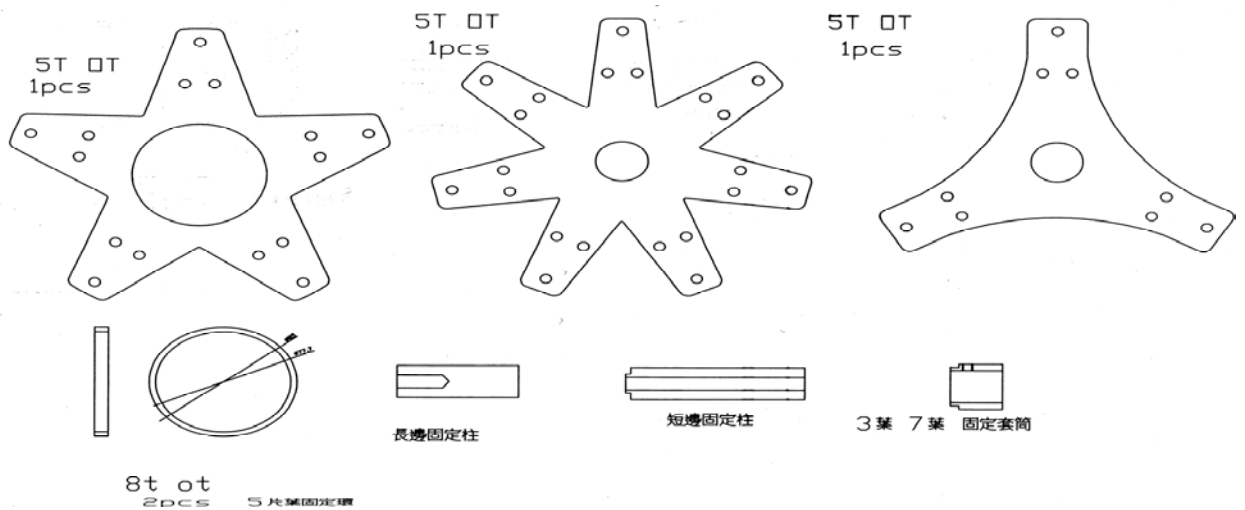


圖 1 第三代葉扇底座設計圖

表 2 各組葉扇比例

第一組葉扇及其比例圖(37 : 32 : 18.5)		第二組葉扇及其比例圖(34.5 : 32 : 18.5)	
第三組葉扇及其比例圖(30.5 : 32 : 20)		第四組葉扇及其比例圖(27 : 32 : 22)	
第五組葉扇及其比例圖(24.5 : 32 : 24.5)		第六組葉扇及其比例圖(22 : 32 : 27)	
第七組葉扇及其比例圖(20.5 : 32 : 30)		第八組葉扇及其比例圖(19 : 32 : 33.5)	
第九組葉扇及其比例圖(18.5 : 32 : 37.5)			

肆、研究流程

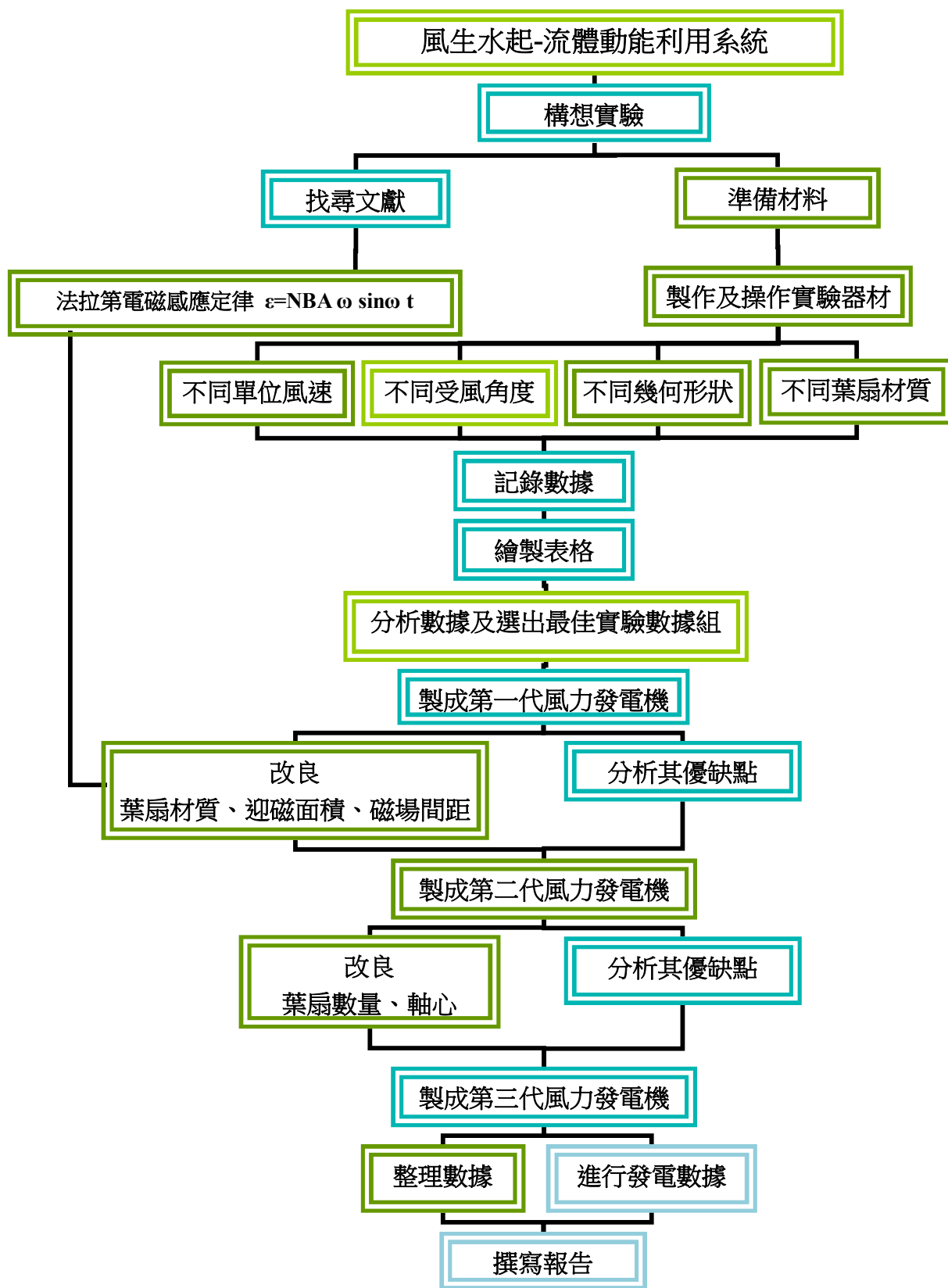


圖 2 實驗流程圖

我們根據第一~三代的設計圖自製了實驗器具(圖 3~5)，做了研究二到研究四的實驗

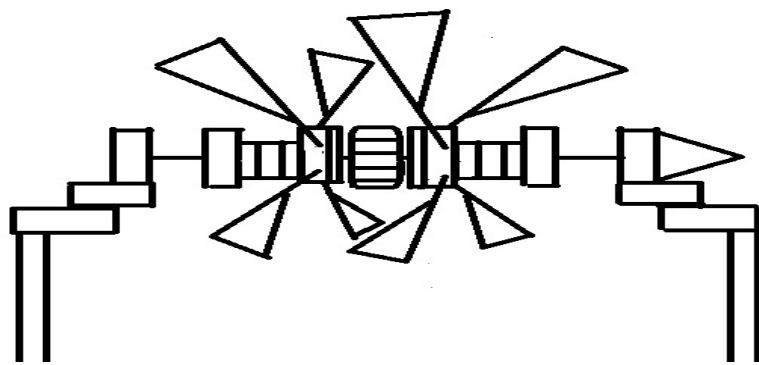


圖 3 第一代設計圖

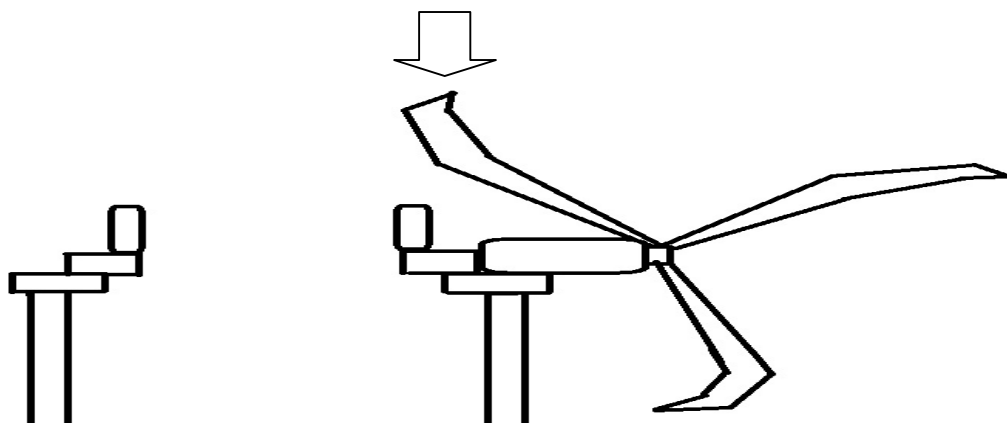


圖 4 第二代設計圖

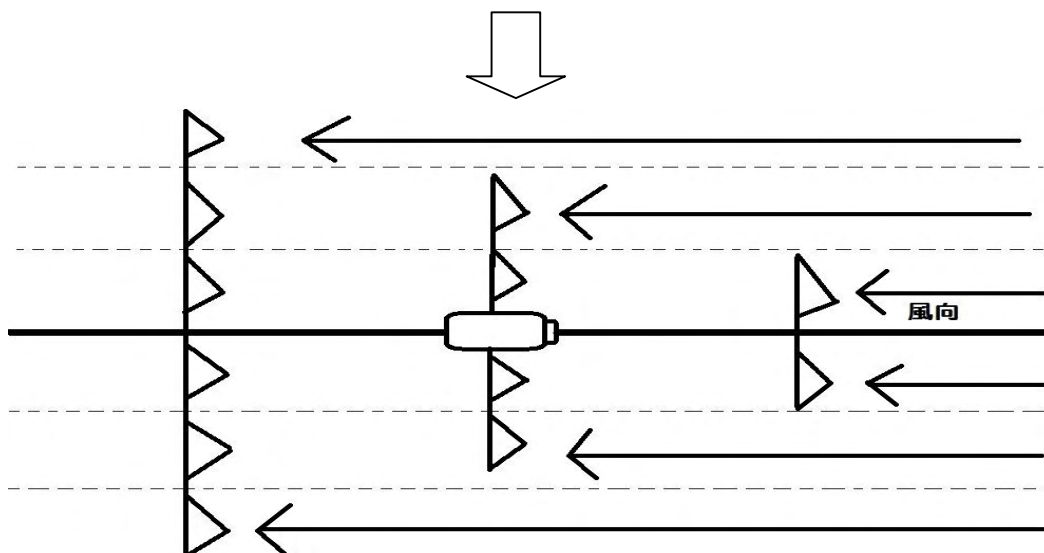


圖 5 第三代設計圖



圖 6 實驗操作過程

伍、研究結果

研究一、蒐集文獻資料

(一)、發電機原理

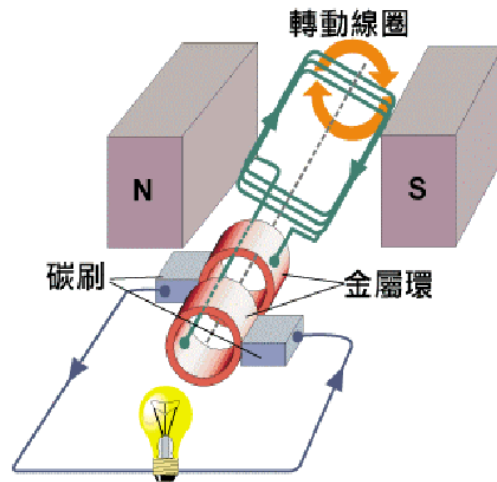


圖 7 發電機原理圖

發電機：是將動能轉為電能的裝置，構造如圖 7 所示。

構造：

- 1.電刷：與集電環微微接觸，當感應電流產生此電流可經電刷輸出。
- 2.電樞：至於磁鐵中間，能自由轉動的多匝線圈。
- 3.集電環：連接線圈的兩個金屬環。
- 4.場磁鐵：產生磁場的磁鐵。

發電原理：

以外力使置於磁場中的線圈轉動，使線圈內磁通量發生變化，產生感應電流。

(二)風力發電原理

利用風力帶動風車葉片旋轉，透過增速機將旋轉的速度提升，來促使發電機發電。風葉輪的作用是将風能轉換為機械能，它是由氣體流動性能良好的葉片裝在輪軸上所組成，低速轉動的風葉輪通過傳動系統經由加速齒輪箱來增速，將動力傳導給發電機。

(三) 台灣北部地區海岸與內陸均風速分布圖

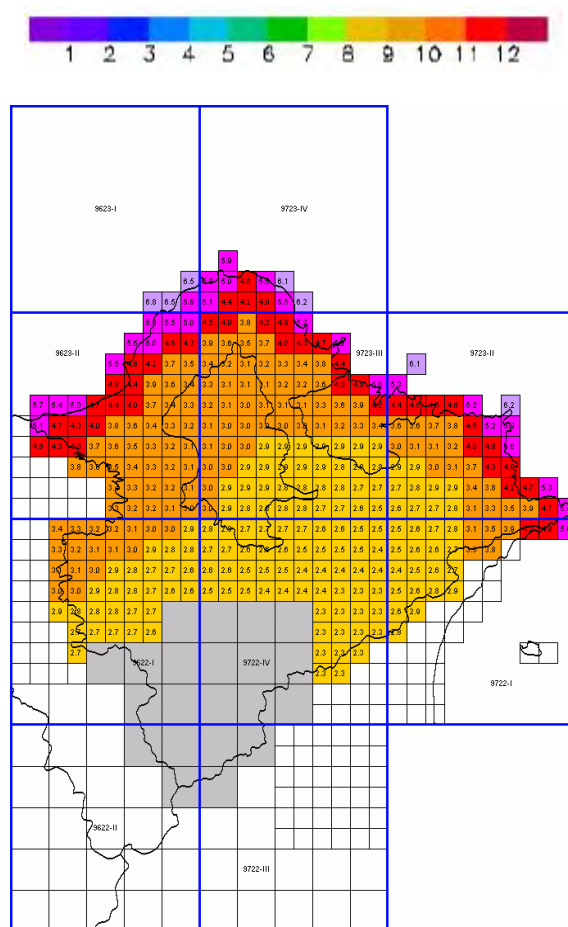


圖 8 台灣北部地區海岸與內陸均風速分布圖(圖片引用自經濟部能源局)

研究二、第一代各組葉扇及受用角度所影響的轉速

(一)、在弱風速(3.9m/s)的轉速

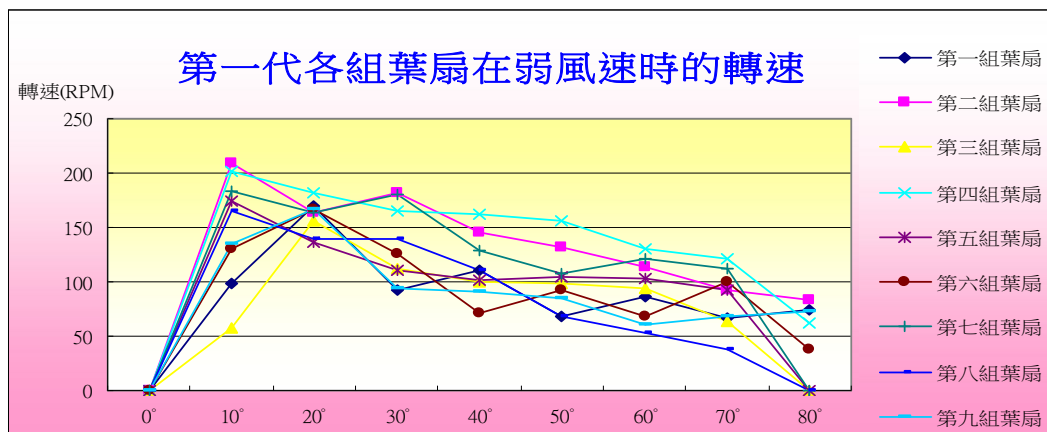


圖 9 第一代各組葉扇在弱風時的轉速比較圖

(二)、在中風速(4.7m/s)的轉速

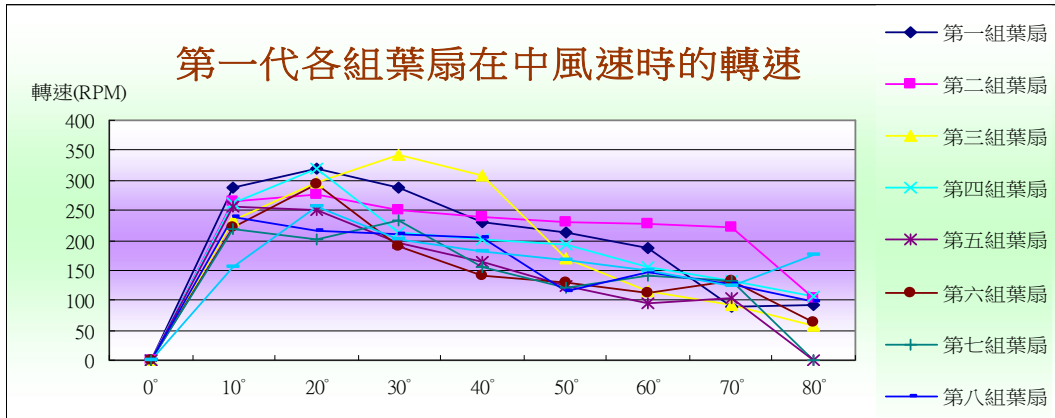


圖 10 第一代各組葉扇在中風時的轉速比較圖

(三)、在強風速(6.5m/s)的轉速

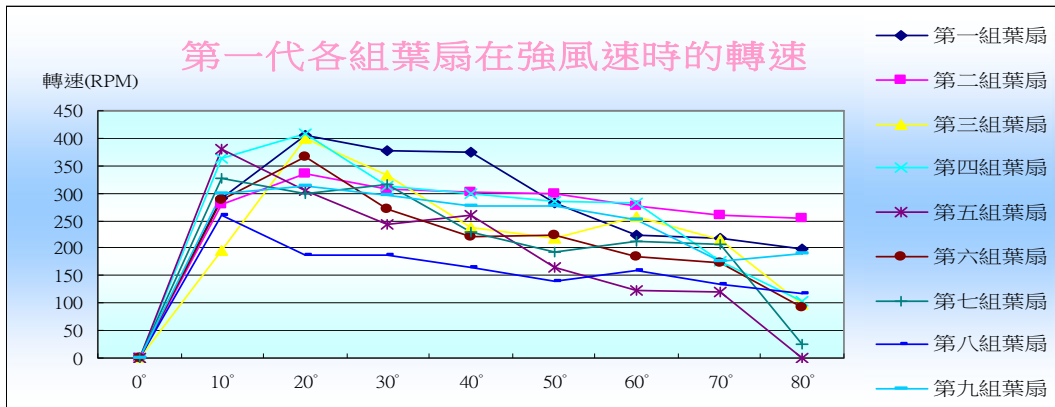


圖 11 第一代各組葉扇在強風時的轉速比較圖

研究三、第三代各組葉扇及受用角度所影響的轉速(第一層+第二層)

(一)、在風速 0.5m/s 的轉速

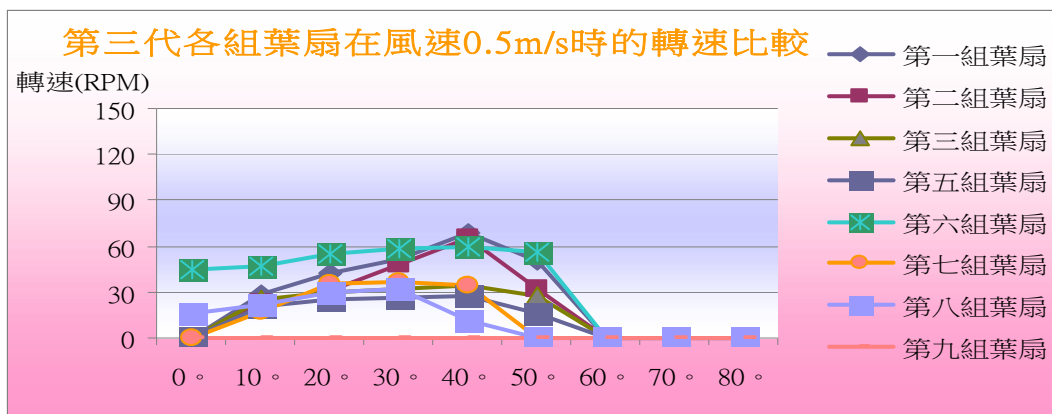


圖 12 第三代各組葉扇在風速 0.5m/s 時的轉速比較圖

(二)、在風速 1.0m/s 的轉速

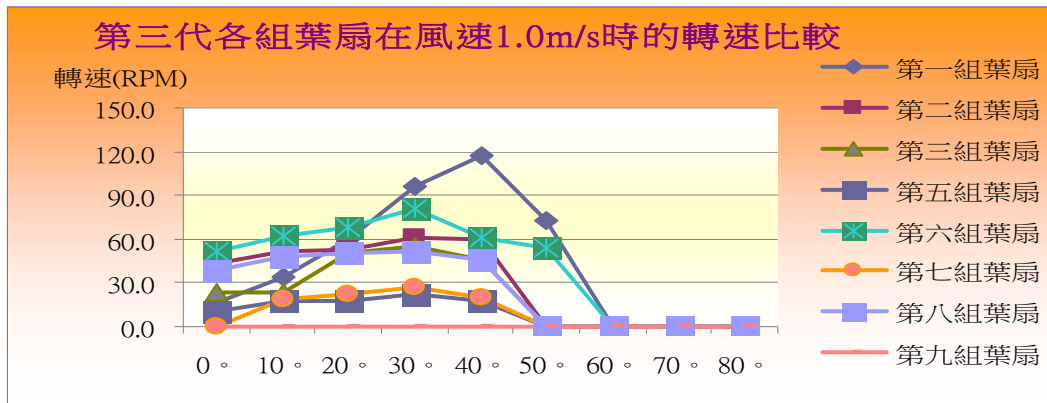


圖 13 第三代各組葉扇在風速 1.0m/s 時的轉速比較圖

(三)、在風速 1.5m/s 的轉速

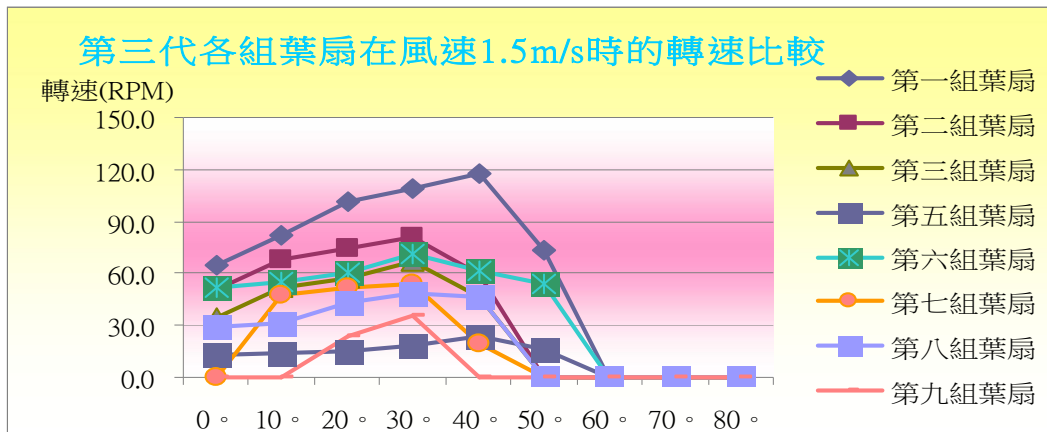


圖 14 第三代各組葉扇在風速 1.5m/s 時的轉速比較圖

(四)、在風速 2.0m/s 的轉速

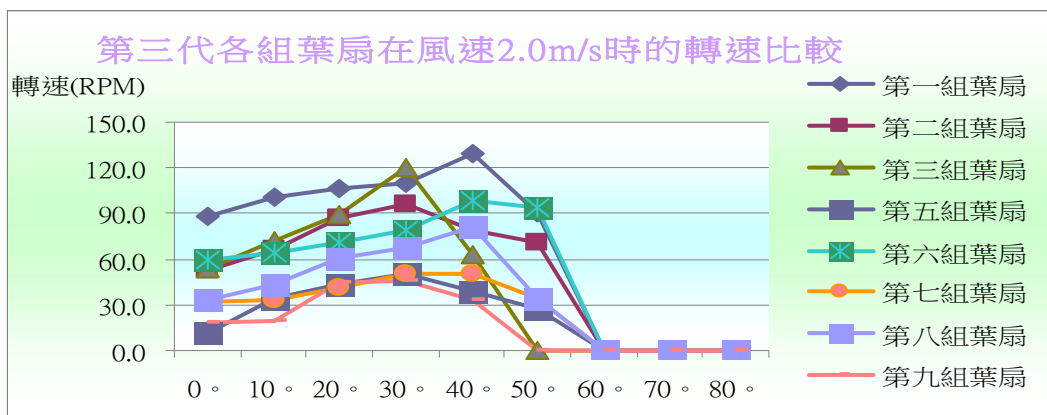


圖 15 第三代各組葉扇在風速 2.0m/s 時的轉速比較圖

(五)、在風速 2.5m/s 的轉速

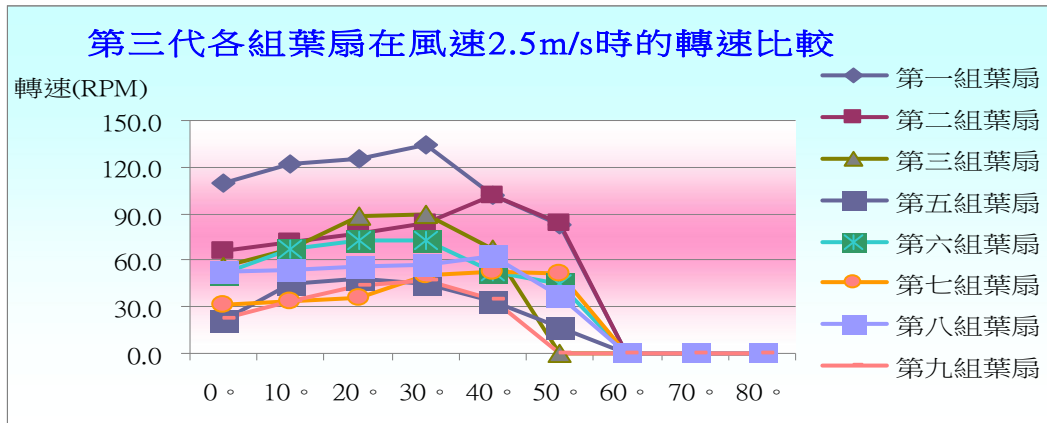


圖 16 第三代各組葉扇在風速 2.5m/s 時的轉速比較圖

(六)、在風速 3.0m/s 的轉速

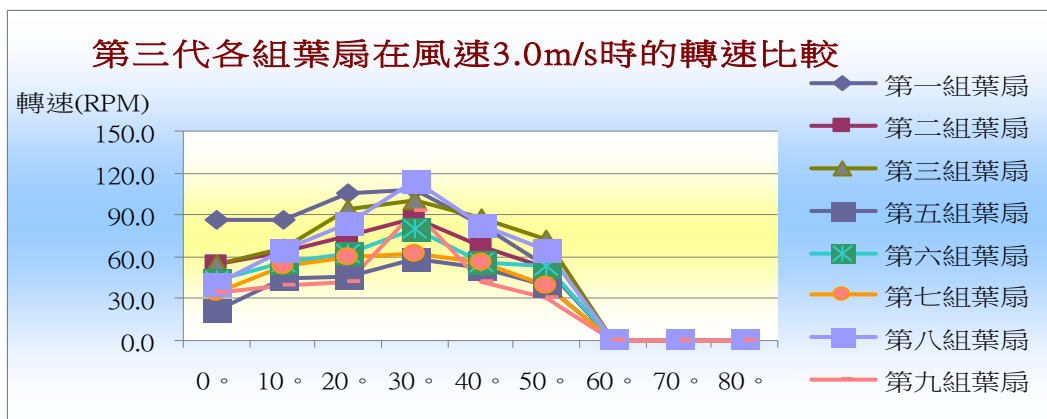


圖 17 第三代各組葉扇在風速 3.0m/s 時的轉速比較圖

(七)、在風速 3.5m/s 的轉速

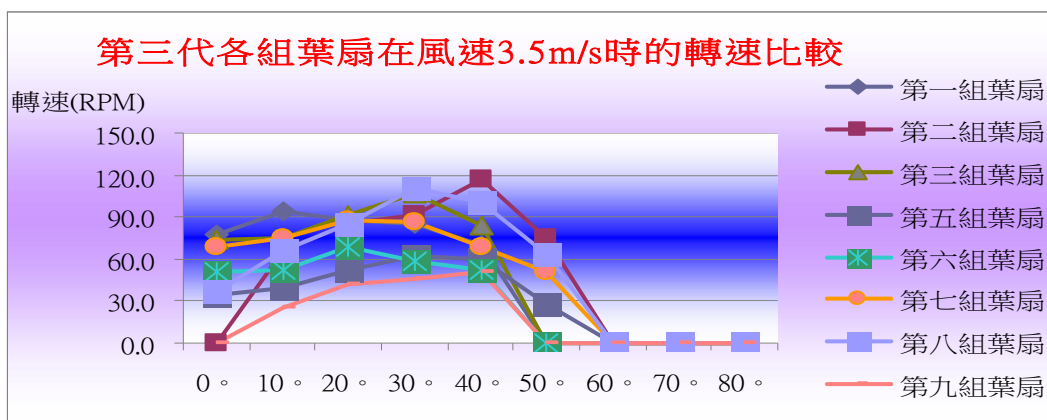


圖 18 第三代各組葉扇在風速 3.5m/s 時的轉速比較圖

(八)、在風速 4.0m/s 的轉速

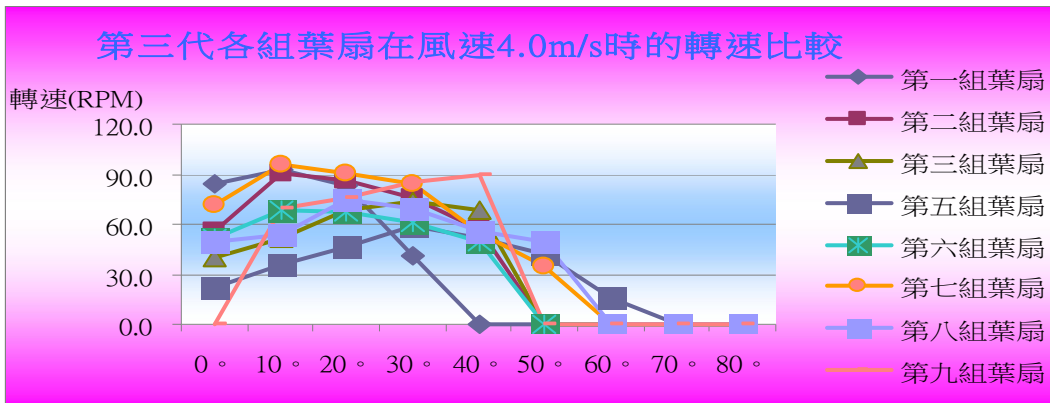


圖 19 第三代各組葉扇在風速 4.0m/s 時的轉速比較圖

(九)、在風速 4.5m/s 的轉速

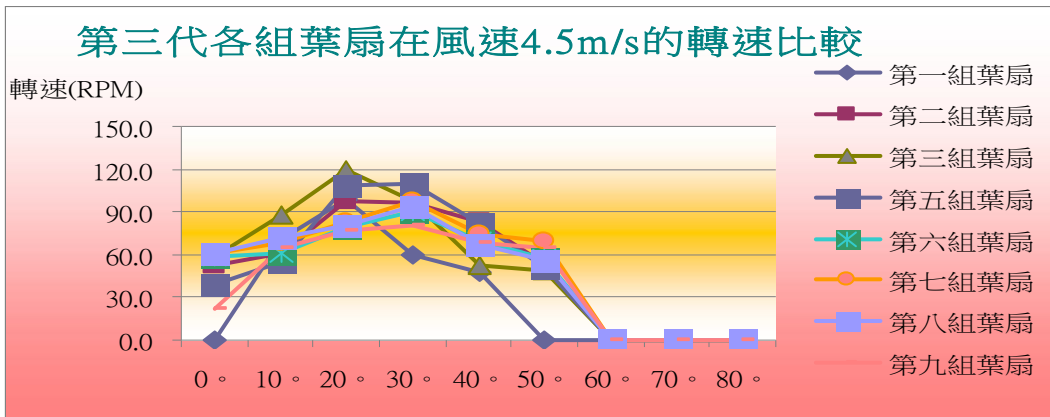


圖 20 第三代各組葉扇在風速 4.5m/s 時的轉速比較圖

(十)、在風速 5.0m/s 的轉速

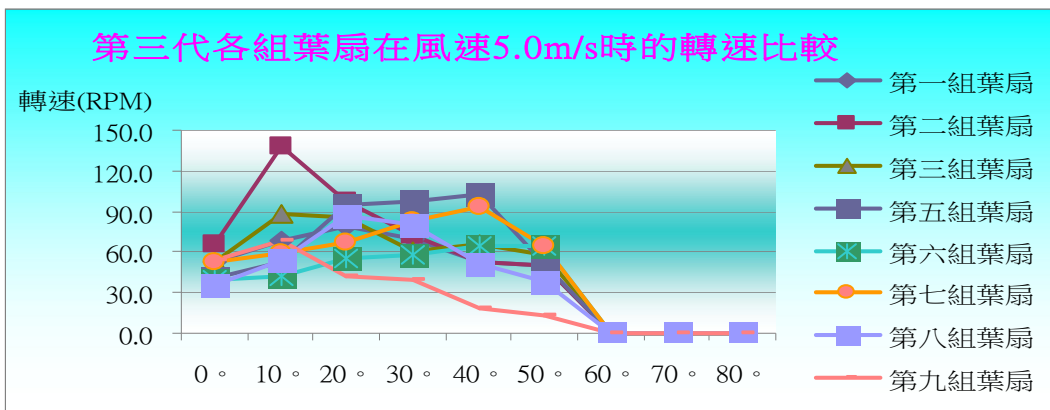


圖 21 第三代各組葉扇在風速 5.0m/s 時的轉速比較圖

研究四、三層式葉扇轉速(第二層+第三層)

(一)、在風速 1.0m/s 的轉速

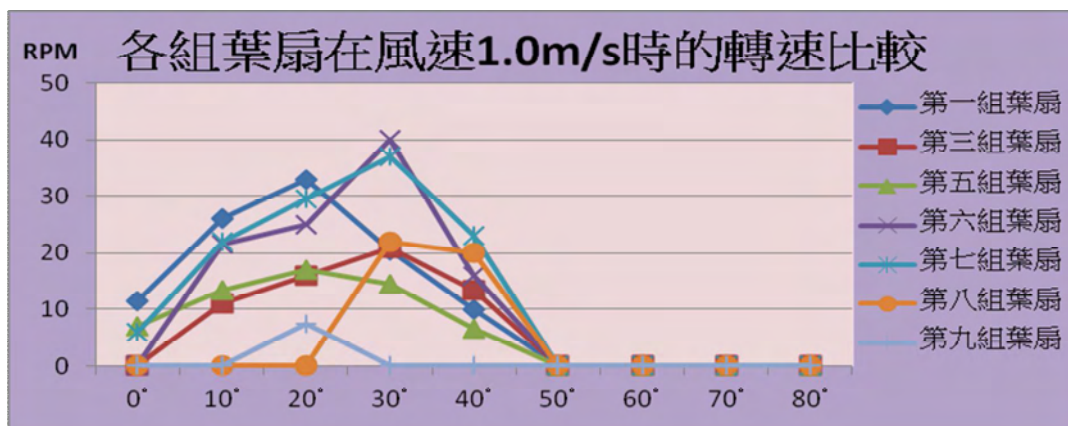


圖 22 各組葉扇在風速 1.0m/s 時的轉速比較圖

(二)、在風速 2.0m/s 的轉速

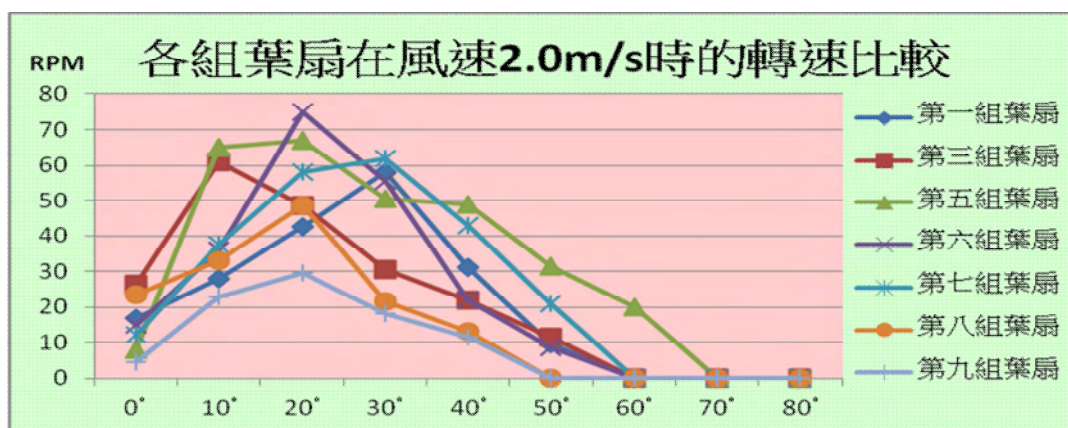


圖 23 各組葉扇在風速 2.0m/s 時的轉速比較圖

(三)、在風速 3.0m/s 的轉速

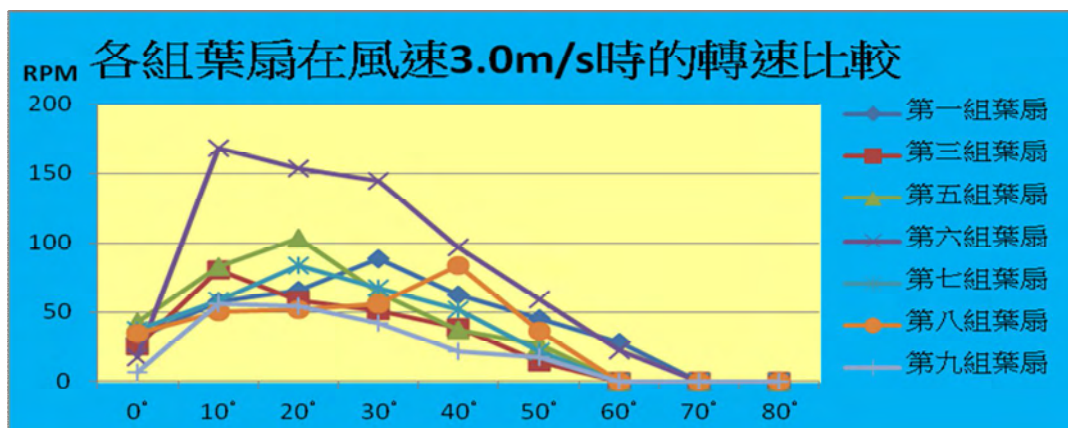


圖 24 各組葉扇在風速 3.0m/s 時的轉速比較圖

陸、討論

- 一、葉扇材質原本一開始是希望採用輕量材質，但是使用過瓦楞紙版、塑膠板等製作後，發現支撐不了多久便損壞了，導致之前的實驗數據無法採用。最後我們決定採用木板，雖然比較笨重，可是木板容易取得且較堅固，价格便宜、耐用，又可以隨意切割它的形狀，所以決定採用木板來實驗。為了不讓扇葉的質量差異影響實驗結果，因此我們實驗中採用的木板之質量是固定的，以增加實驗數據的可靠性。
- 二、為了不讓室外的風影響實驗的數據，因此所有實驗都在無風的室內操作，避免實驗誤差，增加實驗數據的精確度。每次實驗為了避免誤差都進行了 10 次的實驗後再取平均值，希望增加數據的正確性。
- 三、在第一代及第三代實驗中，我們使用固定的電風扇來製造穩定的風場，在每次進行實驗之前，都用風速計確認為實驗所需要的固定風速，第一代我們測量出電風扇的弱風時所提供的風速為 3.9m/s、中風風速 4.7 m/s、強風風速 6.5m/s；第三代中我們不再定義弱中強速風，而是以風速 0.5m/s 為單位間距逐次增加，測試在 10 個不同風速時的轉速。
- 四、本次的實驗中使用的是粗漆包線，而不是用細的，主要是為了避免實驗中轉速太快而使漆包線斷裂。在纏漆包線時不使用膠帶固定，是為了避免實驗時轉速太快導致溫度過高而使膠帶熔化。
- 五、為了避免在實驗時葉扇相撞及減輕木頭重量，我們想出在圓木軸心上鑽八個洞而只使用四個洞插入葉扇，發現軸心的重量減輕，也沒有葉扇碰撞問題，一次解決兩項困擾。
- 六、原本想設計更多種類的葉扇，但是進行實驗時發現相近的葉扇實驗差距差異不大，所以我們採用 10°為角度變化的間距，只設計以 0°~80°共九種葉扇來進行實驗，放棄更細微的變化，希望每組葉扇所測出來的數據有更明確的比較性。
- 七、我們在培林座上面噴漆，預防培林座的細微木屑，因轉動而掉入培林中而增加摩擦力，降低了風扇轉動效能。
- 八、我們會選擇使用釹鐵硼磁鐵，是因為釹鐵硼磁鐵的磁力比其他種類磁鐵的磁力還來的強。
- 九、第一代的主軸與第三代主軸相比，可發現第三代主軸比第一代主軸來的短，是因為第一代的主軸重量過重，因此縮短鐵條長度，以減輕重量。
- 十、在第一代單一扇葉檢測情況分析：
 - (一) 圖 6 中可以發現在弱速風時，第四組葉扇在 10°時的轉速為最佳，我們推論第四組葉扇是 9 組葉扇中，能在最低風速啟動的。
 - (二) 圖 7 中可以發現在中速風時第三組葉扇及第一組葉扇在 30°時的轉速最佳，但是第一組葉扇在 10°~60°呈現弧形，而第三組葉扇只有在 20°~40°呈現弧形，我們推論第一組葉扇在中速風時的轉速較為平均。
 - (三) 圖 8 中可以發現在強速風時第三組葉扇在 0°~30°的轉速持續上升，在 30°時的轉速呈現最佳的狀態，我們推論在強風時 30°最有利於第三組葉扇的

轉速。

十一、第一層葉扇及第二層葉扇的分析:

- (一)在風速 0.5m/s 時，第一、二、三、五組葉扇均可在 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 被啟動，在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 則呈現了不錯的數據，第九組葉扇則是完全啟動，其中以第六組葉扇與第四組葉扇為最佳搭配。
- (二)在風速 1.0m/s 時，大部分的葉扇(2~5 組)均在 $0^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 被啟動，而轉速呈現較佳的是第一組及第六組，均在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 時被啟動，第九組葉扇依然無法被啟動。
- (三)在風速 1.5m/s 時，第一、五、六組皆可被轉動，各組葉扇均以 30° 、 40° 為最佳轉速，其中以第一組葉扇之轉速為最佳，而第九組葉扇依然呈現最差的轉速。
- (四)在風速 2.0m/s 時，各組葉扇在 $0^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 皆可轉動，在 50° 的時候，只有第三、九組無法被啟動。
- (五)在風速 2.5m/s 時，各組葉扇皆可在 $0^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 轉動，而其中又以第三組及第九組無法被啟動。因此我們將這兩組剔除，以便後續的實驗。
- (六)在風速 3.0m/s 時，各組葉扇均在 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 時被轉動，呈現規律的起伏。
- (七)第三組葉扇在風速 2.0m/s 時， 30° 為第四組葉扇的最佳搭配，但到了 50° 卻又呈現垂直下降的變化。由此可見，第三代葉扇在風速 2.0m/s 時的轉速不夠穩定。
- (八)第一組葉扇在風速 2.5m/s 時， $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 均為第四組葉扇的最佳搭配葉扇。
- (九)第三代風速 3.0m/s、 30° 時第九組葉扇在呈現突兀的極值，其他組葉扇在 $0^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 均呈現規律的起伏。
- (十)各組葉扇在風速 3.5m/s 時，各組葉扇在角度 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 時呈現各最佳轉速。
- (十一)各組葉扇在風速 4.0m/s 時幾乎都呈現規則的弧形，但是第一組葉扇在 20° 時逐漸下降，到了 40° 時轉速驟降為 0RPM，我們推論第一組葉扇在風速 4.0m/s 不適用。
- (十二)各組葉扇在風速 4.5m/s 時的轉速上升及下降的幅度都很規律，但是第一組葉扇的上升及下降的幅度明顯較大。
- (十三)各組葉扇在風速 5.0m/s 時均在角度 40° 時到達最高值之後驟降，而第二組葉扇也在角度 10° 時到達最高值之後驟降，其他各組葉扇呈現的弧形較規律，我們推論第二組葉扇在風速 5.0m/s 時只有在角度 10° 時的轉速最佳。

十二、在研究二中，第三代發電裝置前片為第四組 10° ，而在研究三中，我們經過討論後，我們將第二組的 40° 放置於中片提高整組的發電效率。

十三、在研究四第二層與第三層葉扇間：

- (一)第六組的 30° 置於後片發電效率為最佳。因此彙整研究二到四的實驗數據，將第四組 10° 置於前片、第二組 40° 置於中片、第六組 30° 置於後片。
- (二)在風速 1.0m/s 時，可以發現各組葉扇在角度 50° 均無法轉動而 30° 為第六組葉扇之極值。

(三)在風速 2.0m/s 時，各組葉扇在角度 20°時大都呈現不錯的數值。

(四)在風速 3.0m/s 時，可以明顯的看到，此風速最利於第六組葉扇轉動。

十 四、我們結合了第一代的互轉式系統以及第二代的發電系統，進而研發了第三代機組。在第三代機組，我們從之前所測試過的前後層葉扇中，挑選出效能最佳的葉扇組合。

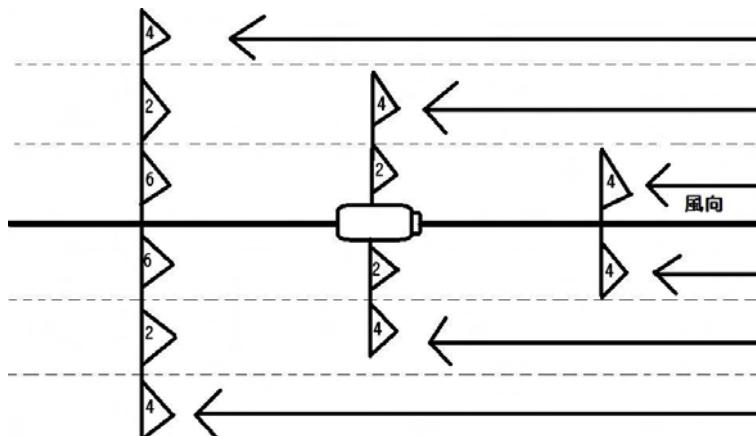


圖 25 第三代設計圖

十 五、由研究二我們測得第四組葉扇的 10°的轉速為最佳角度，因此我們所設計的所有迎風的第一層葉扇都是第四組葉扇。圖 25 所示，為了取得大受風面積，我們設計的是三層風扇，第一層使用一段風扇，第二層使用二段風扇，而第三層使用三段風扇，希望能夠取得最佳的數據。

(一) 由研究二我們測得第四組葉扇的 10°的轉速為最佳，因此我們的第一層葉扇為第四組葉扇。在前兩代的實驗中，我們發現雖然雙風扇可以更有效的利用風能，可是在通過第一層葉扇後，其風力便會減弱，因此，為了有效的利用剩餘的風力，我們設計了二、三層葉扇的實驗進行研究。

(二) 我們測量第四組葉扇後面殘餘的風之風速大約為 1.0m/s~2.5m/s 之間，研究中根據圖 13~16，在風速平均為 1.5m/s 時第二組葉扇的 40°轉速為最佳，因此我們設計的第二層葉扇為第二組葉扇。

(三) 我們測量第二組葉扇後面殘餘的風之風速大約為 1.0m/s，研究四中根據圖 22，在風速 1.0m/s 時第六組葉扇的 30°為最佳，因此我們設計的第三層葉扇為第六組葉扇。

綜合以上的扇葉規格，我們設計的第三代扇葉如圖 25 所示。其中第一層及第三層風扇式同方向轉動，第二層是反方向轉動。

十 六、在完成我們研發的第一代風力發電機後，我們分析其優缺點：

(一)第一代發電裝置的優點：

- 1.互轉式系統使磁場交換次數增加以增加感應電流。
- 2.第四組葉扇在風速 3.9m/s 可以啟動。
- 3.木製葉扇方便取得。
- 4.主機前方的塑膠圓錐可使風能更集中。

(二)第一代發電裝置的缺點：

- 1.木製葉扇笨重。

- 2.發電裝置笨重。
- 3.發電線圈裝置的磁場間距太大。
- 4.發電線圈的迎磁面積太小。
- 5.發電的數據太小且不穩定。

十七、由於第一代發電裝置的迎磁面積太小，而且葉扇材質較笨重，我們改進了這些缺點，進而研發了第二代發電裝置。而第二代的優缺點如下：

(一)第二代發電裝置的優點：

- 1.葉扇的尾端參照飛機的機尾小翼，以增加轉動時的穩定性。
- 2.發電線圈裝置的迎磁面積大。
- 3.發電線圈裝置的磁場間距離 1mm。
- 4.葉扇的材質堅固耐用。
- 5.轉速 400 RPM 時所測得的最高發電數據為 70 伏特。

(二)第二代發電裝置的缺點：

- 1.葉扇的數量太少。
- 2.葉扇雖然堅固但是過於笨重。

十八、由於第一代及第二代各有優缺點，因此我們結合兩代，構思新的設計將缺點改善，並保留其優點。第三代之優缺點：

(一)第三代發電裝置的優點：

- 1.三層式葉扇，發電效率提高。
- 2.受風面積增加。
- 3.發電裝置內部更加精細。
- 4.加裝變壓儲電裝置、電力輸出裝置、蓄電瓶。
- 5.製作材質更輕、更堅固的扇葉。

(二)第三代發電裝置的缺點：

- 1.葉扇多，雖然受風面積增加，但重量過重。
- 2.缺少追風裝置的設計。

十九、第一代葉扇最低啟動風速為 0.3m/s，第三代葉扇最低啟動風速為 0.5m/s。

二十、第三代葉扇個數為 3、5、7，是因為市面上葉扇多為 3 片，所以我們以 3 片為一組作前葉扇，之後以 2 片葉扇做為差距，分別為：5 片一組的中葉扇，以及 7 片一組的後葉扇。

柒、結論

- 一、在第一代的發電裝置中，各組葉扇在弱風時以第四組葉扇的轉速為最佳。
- 二、在第一代的發電裝置中，各組葉扇在中風及強風時以第三組葉扇的轉速為最佳。
- 三、第二代的發電裝置最高發電量可達 14 伏特。
- 四、在第三代的發電裝置中，中片在風速 $0.5\text{m/s} \sim 5.0\text{m/s}$ 時平均以第二組葉扇的 40° 的轉速為最佳。
- 五、在第三代的發電裝置中，後片在風速 $1.0\text{m/s} \sim 3.0\text{m/s}$ 時平均以第六組葉扇的 30° 的轉速為最佳。
- 六、第三代的發電裝置最高發電量可達 30 伏特。

捌、未來展望

在未來展望部份我們希望葉扇能使用玻璃纖維製成，使得葉扇的質地更堅固耐用且輕巧，並且加裝追風裝置，使機器可以更有效的利用風能，希望能達到最佳的風能利用及發電效率，並且能夠推廣到一般家庭，減少對非再生能源的依賴。

玖、參考文獻

- 小暮裕明(2011)。電學，精簡圖解很好懂。三月文化出版社。
- 工業技術研究院(2002)。風力示範推廣計畫，經濟部能源科技研究報告—91年度執行報告。
- 江榮城(2004)。台灣地區風力發電發展現況調查。中華民國第25屆電力研討會。
- 李永炤(1982)。小型風力發電機的葉片數、疏密度和尖端速度比的選擇。工業技術研究院能源研究所。
- 林昆瑩(2009)。小型風力發電機葉片設計及製作。國立成功大學，航空太空工程研究所碩士論文。
- 南一出版社(2011)。發電機原理。南一出版社，國中課本第六冊第一章。
- 徐瑞峰、陳建富(2008)。電力電子學-電腦輔助分析與設計。新文京出版社。
- 徐彬堯(2005)。風車葉片運動模擬與動態分析。國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。
- 郭信佑(2006)。環保可攜式風力發電機的製作與研究。中華民國第46屆中小學科學展覽會。
- 郭俊賢(2008)。小型風力充電系統之開發。大同大學機械工程研究所碩士論文。
- 張玉田(1993)。水力發電學。徐氏文教出版社。
- 張耀文(2007)。教育用低風速小型風車之開發。大同大學機械工程研究所碩士論文。
- 陳國忠(2005)。葉片旋轉角對水平是風力機性能影響之數值研究。國立台灣科技大學碩士論文。
- 程金、黃清池、郭松村、王永山(2010)。電力系統。志光出版社。
- 葉雨涵(2010)。小型風力發電機設計與分析。馬達科技數位學習網，第368期。
- 蔡逸峰(2007)。小型風力發電機葉片設計。馬達科技數位學習網，第229期。
- 謝飛虎(2000)。電力電子學-重要問題寶典。新文京出版社。
- 風力發電—<http://www.solar-i.com/wi.htm>
- 經濟部能源局:台灣北部地區海岸與內陸平均風速分布圖
—http://teachers.ksu.edu.tw/pdc2006/03_col/web/92/01/windw.htm

附錄

研究二、第一代各組葉扇在各風速中的轉速比較

一、弱風速(3.9m/s)

第一代各組葉扇及角度在弱風速(3.9m/s)的轉速									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	0.0	99.0	169.0	92.0	111.0	68.0	87.0	67.0	75.0
第二組葉扇	0.0	209.5	164.0	182.0	145.0	132.0	114.0	93.0	84.0
第三組葉扇	0.0	57.5	155.5	112.5	100.0	98.0	94.0	63.0	0.0
第四組葉扇	0.0	201.5	182.0	165.0	162.0	156.0	130.0	121.0	62.0
第五組葉扇	0.0	175.0	136.0	111.0	101.0	105.0	103.0	92.0	0.0
第六組葉扇	0.0	130.0	166.0	126.0	71.0	92.0	68.0	100.0	38.0
第七組葉扇	0.0	184.0	164.0	180.0	129.0	107.0	121.0	112.0	0.0
第八組葉扇	0.0	165.0	140.0	139.0	110.0	68.0	53.0	38.0	0.0
第九組葉扇	0.0	135.0	166.0	94.0	91.0	85.0	61.0	68.0	72.0

二、中風速(4.7m/s)

第一代各組葉扇及角度在中風速(4.7m/s)的轉速									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	0.0	287.0	318.0	288.0	231.0	212.0	186.5	88.5	92.0
第二組葉扇	0.0	266.0	275.0	249.0	238.0	231.0	228.0	223.0	104.5
第三組葉扇	0.0	232.0	297.5	342.0	307.0	169.0	114.0	91.0	56.5
第四組葉扇	0.0	263.0	318.0	214.0	202.0	194.0	155.0	131.0	106.0
第五組葉扇	0.0	257.5	251.0	195.5	165.0	124.0	96.0	103.0	0.0
第六組葉扇	0.0	221.0	294.0	189.0	140.0	129.0	112.0	133.0	63.0
第七組葉扇	0.0	220.0	202.0	233.0	156.0	122.0	140.0	132.0	0.0
第八組葉扇	0.0	239.0	216.0	211.0	204.0	115.0	146.0	127.0	99.0
第九組葉扇	0.0	154.0	257.0	202.0	181.0	168.0	149.0	125.0	176.0

三、強風速(6.5m/s)

第一代各組葉扇及角度在強風速(6.5m/s)的轉速									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	0.0	290.0	406.0	378.0	374.0	282.0	224.0	217.0	198.0
第二組葉扇	0.0	280.5	335.5	307.0	302.0	299.0	278.0	260.0	254.0
第三組葉扇	0.0	196.0	399.0	331.5	236.5	218.0	258.5	215.5	97.5
第四組葉扇	0.0	364.0	407.5	314.0	298.0	285.0	281.0	177.0	104.0
第五組葉扇	0.0	381.0	305.0	243.0	261.0	166.0	122.0	120.0	0.0
第六組葉扇	0.0	288.0	367.0	271.0	220.0	225.0	184.0	174.0	92.0
第七組葉扇	0.0	326.0	298.0	316.0	228.0	194.0	213.0	208.0	25.0
第八組葉扇	0.0	260.0	188.0	186.0	164.0	141.0	159.0	135.0	116.0
第九組葉扇	0.0	299.0	313.0	296.0	278.0	276.0	252.0	176.0	191.0

研究三、第三代各組葉扇在各風速中的轉速比較

一、風速 0.5m/s

第三代各組葉扇在風速 0.5m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	0.0	29.0	42.5	52.0	68.5	50.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	0.0	22.5	30.5	48.5	65.5	32.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	0.0	25.5	29.5	32.0	34.5	27.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	0.0	21.0	25.0	26.0	27.5	16.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	45.0	47.5	55.0	58.0	60.0	56.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	0.0	17.0	35.0	37.0	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	16.0	22.0	29.5	32.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

二、風速 1.0m/s

第三代各組葉扇在風速 1.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	16.0	34.5	60.0	96.0	117.5	73.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	43.5	51.0	53.0	61.0	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	23.5	24.0	50.5	55.0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	10.5	17.0	17.5	22.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	51.5	62.5	67.5	81.0	61.5	54.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	0.0	19.0	22.0	26.5	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	39.0	47.5	50.0	51.0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

三、風速 1.5m/s

第三代各組葉扇在風速 1.5m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	65.0	81.5	101.0	109.0	117.5	73.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	51.0	67.5	74.5	81.0	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	34.0	52.0	57.5	66.5	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	13.0	14.0	15.5	18.0	24.0	16.5	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	52.0	55.0	60.5	71.5	61.5	54.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	0.0	48.0	52.0	54.0	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	29.0	31.5	43.0	48.5	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	0.0	23.5	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

四、風速 2.0m/s

第三代各組葉扇在風速 2.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	88.0	100.5	106.5	110.0	129.0	90.5	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	53.0	66.0	87.5	96.0	78.5	71.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	54.0	72.5	89.5	120.5	63.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	12.0	34.0	43.5	50.0	39.5	27.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	59.0	64.0	71.0	78.5	98.0	93.5	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	31.5	33.0	41.5	50.0	50.5	34.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	33.0	43.0	60.5	68.0	81.5	34.5	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	18.0	20.0	45.0	45.5	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0

五、風速 2.5m/s

第三代各組葉扇在風速 2.5m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	109.5	122.0	125.0	134.0	102.0	83.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	66.5	71.5	77.5	83.5	102.0	83.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	56.0	67.0	88.0	89.0	67.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	21.5	44.5	48.0	44.5	34.0	17.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	51.0	67.0	72.5	73.0	53.0	45.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	31.0	34.0	35.5	50.0	53.0	51.5	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	53.0	54.0	55.5	57.0	63.0	37.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	22.5	33.5	44.0	47.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0

六、風速 3.0m/s

第三代各組葉扇在風速 3.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	86.0	87.0	106.0	108.0	82.0	53.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	54.5	63.5	75.5	87.5	67.5	52.0	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	55.0	65.5	94.0	100.5	87.5	72.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	21.5	44.5	45.5	59.0	52.0	39.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	43.5	56.0	62.0	80.5	56.5	53.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	34.0	54.0	59.5	62.0	55.5	39.5	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	41.0	65.0	83.5	114.0	83.0	65.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	34.0	39.0	42.0	92.5	42.0	31.0	0.0	0.0	0.0

七、風速 3.5m/s

第三代各組葉扇在風速 3.5m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	78.0	93.5	87.5	85.0	70.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	0.0	66.0	85.5	92.0	117.5	75.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	74.0	75.5	91.0	106.5	83.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	34.0	40.0	52.5	62.5	60.0	28.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	50.5	52.0	68.5	58.0	52.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	68.5	75.5	87.5	87.0	68.5	50.5	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	37.0	66.0	85.5	110.0	101.0	63.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	26.0	42.0	46.0	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0

八、風速 4.0m/s

第三代各組葉扇在風速 4.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	84.0	93.0	83.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	55.5	90.5	86.5	76.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	40.0	52.0	68.0	74.0	68.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	22.5	36.0	46.0	58.5	51.5	42.5	16.0	0.0	0.0
第六組葉扇	52.0	68.5	67.5	61.0	49.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	72.0	96.0	91.0	84.0	55.0	35.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	49.5	54.0	75.0	70.0	56.0	50.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	70.0	75.5	85.5	89.5	0.0	0.0	0.0	0.0

九、風速 4.5m/s

第三代各組葉扇在風速 4.5m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	0.0	71.0	99.0	59.5	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	52.5	60.5	97.0	96.0	82.5	53.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	58.0	87.5	120.0	98.0	53.0	48.5	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	39.0	54.5	108.0	109.5	82.0	51.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	59.0	60.5	79.5	90.5	69.5	57.5	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	61.0	68.0	83.5	97.0	74.5	69.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	60.5	72.0	80.5	94.5	67.5	55.5	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	22.0	65.0	76.5	80.5	68.5	65.0	0.0	0.0	0.0

十、風速 5.0m/s

第三代各組葉扇在風速 5.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	52.5	68.0	79.5	70.0	53.0	50.5	0.0	0.0	0.0
第二組葉扇	66.0	138.0	98.0	72.5	52.5	50.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	52.0	88.5	85.0	61.0	66.0	57.5	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	41.0	52.5	95.0	98.0	102.0	51.5	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	40.0	42.5	55.0	58.0	64.5	64.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	52.5	59.0	66.5	83.5	94.0	64.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	36.0	53.5	87.0	80.0	51.5	38.5	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	54.5	69.0	42.0	40.0	18.5	13.0	0.0	0.0	0.0

研究四、三層式葉扇轉速

一、風速 1.0m/s

第三代各組葉扇在風速 1.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	11.5	26.0	33.0	20.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	0.0	11.0	16.0	21.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	7.0	13.5	17.0	14.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	0.0	21.5	25.0	40.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	6.0	22.0	29.5	37.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	0.0	0.0	0.0	22.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

二、風速 2.0m/s

/第三代各組葉扇在風速 2.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	17.0	28.0	42.5	58.0	31.0	9.5	0.0	0.0	0.0
第三組葉扇	26.5	61.0	48.5	30.5	22.0	11.5	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	8.0	65.0	67.0	50.5	49.0	31.5	20.0	0.0	0.0
第六組葉扇	15.0	36.0	75.0	55.5	22.0	8.5	0.0	0.0	0.0
第七組葉扇	12.0	37.5	58.0	62.0	43.0	21.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	23.5	33.0	48.5	21.5	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	4.5	23.0	29.5	18.0	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0

三、風速 3.0m/s

第三代各組葉扇在風速 3.0m/s 時的轉速比較									
角度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
第一組葉扇	31.0	57.0	65.5	89.0	62.0	45.0	28.0	0.0	0.0
第三組葉扇	25.5	80.0	58.0	50.5	38.5	14.0	0.0	0.0	0.0
第五組葉扇	43.0	82.5	103.5	64.0	36.5	26.0	0.0	0.0	0.0
第六組葉扇	17.0	168.0	153.5	144.5	97.0	59.0	22.5	0.0	0.0
第七組葉扇	37.0	58.0	83.5	67.5	52.0	21.0	0.0	0.0	0.0
第八組葉扇	34.5	50.0	52.0	55.5	84.0	36.0	0.0	0.0	0.0
第九組葉扇	6.5	56.0	54.5	41.5	21.5	17.0	0.0	0.0	0.0

【評語】 030811

本作品研發一組三層式葉片之風力發電裝置，利用雙軸之正反轉速差，增加相對轉速以提升發電效能。本作品頗具有前瞻效能考慮之設計，但雙軸正反轉速差之設計，在國外已有發表。本作品能在三層式葉片上之改良設計，則具有創新改良之概念，實體製作亦頗用心，值得鼓勵。