

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100009
參展科別 工程學
作品名稱 全向型風力發電機設計研究
得獎獎項 大會獎 三等獎
美國 ISEF 正選代表

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學
指導教師 簡麗賢
作者姓名 陳亭儒

關鍵詞 全向性風力扇葉、導流板、風力發電機

作者簡介



我是陳亭儒，目前就讀數理資優班三年級。就讀國小時因新聞報導核四議題而開始接觸風力發電的實驗，期望可以在地狹人稠的都市對微弱風力做最好的運用，很幸運地國中高中都可以繼續這項研究，雖然比想像中困難，過程也很複雜、要學的知識還有很多，但是每次這樣做下來，可以看到一點進步都非常令人高興，非常感謝老師的教導和父母的支持！

Abstract

In this study, we designed ten experiments to investigate the wind power generator parts for better efficiency. We study how to design a Vertical Axle Wind Turbine, VAWT, and how the VAWT can co-work with an outer guide-vane (GV) set to utilize omni-direction wind power for higher electricity generation efficiency. For the VAWT, we investigate how to transform wind power from all directions to yield positive torque. In addition, we proposed to quip the VAWT blades with aileron to better utilize the air flow power. For the GV set, we integrated both vertical and horizontal GV set to re-direct omni-directional wind to boost the VAWT propelling. The proposed VAWT and GV set can work seamlessly to provide a small-scale power generator for the urban areas of Taiwan, It can help to achieve the target of breaking up the whole power generation into parts, which is very suitable for Taiwan with narrow and crowded buildings and limited power in urban areas.

摘要

本研究設計十個實驗討論風力發電部件的效率，首先探討垂直型風力發電扇葉(Vertical Axle Wind Turbine, VAWT)結構如何搭配外部全向型導風罩充分利用風能。我們研究全方位來風皆能產生正向力矩的 VAWT，並設計出只要有風就可以正轉的 VAWT，此外並設計扇葉副翼增強發電效能。並探討如何搭配外部導流板(Guide Vane, GV)裝置加強扇葉轉動以獲致最佳發電效能，我們整合水平和垂直型兩種導風裝置，可以將全向來風(Omni-Directional Wind)皆有效引導至推動 VWAT 之正向力矩，與用於發電。我們製作的風力發電機體積小效率高能利用各方來風，可將風力發電化整為零達成自主發電的目標，非常適合臺灣都會區風力有限以及建築物密集的環境。

一、前言

(一) 動機

再生能源一直是全球電力供給的追求的目標。相較於核能、火力、太陽能等電力供給方式，風力發電是相對環保的選項。臺灣本島地狹人稠寸土寸金，很適合將大型風力發電機化整為零，以多個隨處可架設之小型風力發電機來整合供給都會區的用電。基於過去研究設計風力發電機的經驗，發現在風力扇葉和外罩導風板的設計上有許多值得進一步運用流體理論去探討與改進的地方。希望本研究可以在相同的風力條件下，提高風力發電的效率，並期望此風力發電的研究成果可以應用到都會區的家庭用電所需。科學與知識應用在讓人類生活可以更好的方向是本研究的最高原則。

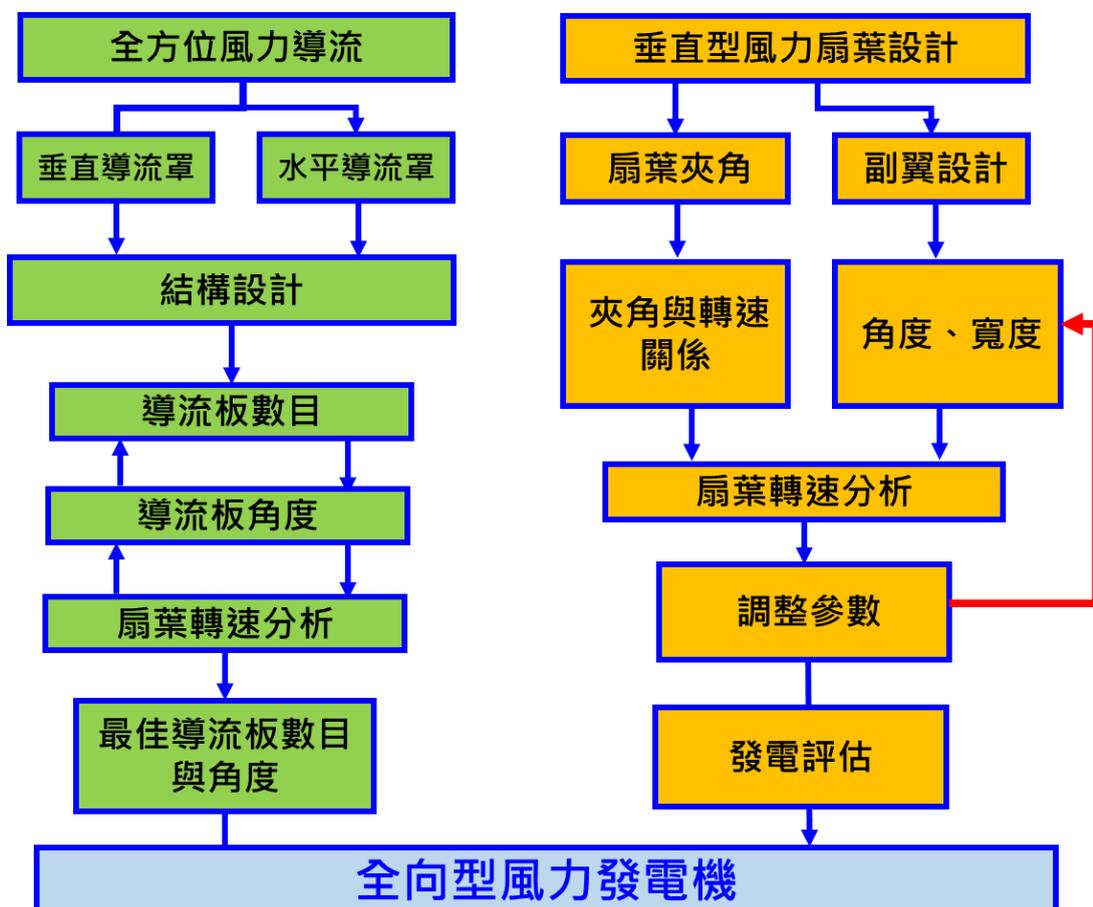
(二) 目的

1. 探討垂直型風力發電機扇葉角度以及扇葉數量整體對轉速的影響。
2. 研究如何運用導流罩，充分導引氣流以利用各方吹來的風。
3. 了解垂直型和水平型導流罩的設計原則。
4. 找出可全方位利用來風的導風罩和風力扇葉的最佳組合。
5. 製作可以在都會區應用的小型環保風力發電機。

二、研究方法或過程

(一) 研究流程

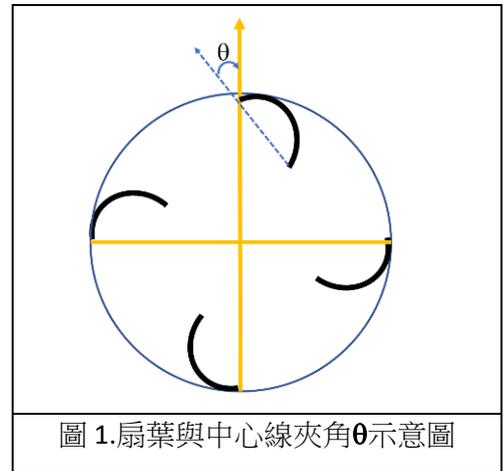
本研究為延伸型研究，針對風力發電機的扇葉規格、外部導風罩的設計、發電效率的探討等。主要分為導風罩和垂直型風力扇葉的設計深入及優化，深入探討後再採用創新的作法。流程架構顯示如下：



三、研究結果與討論

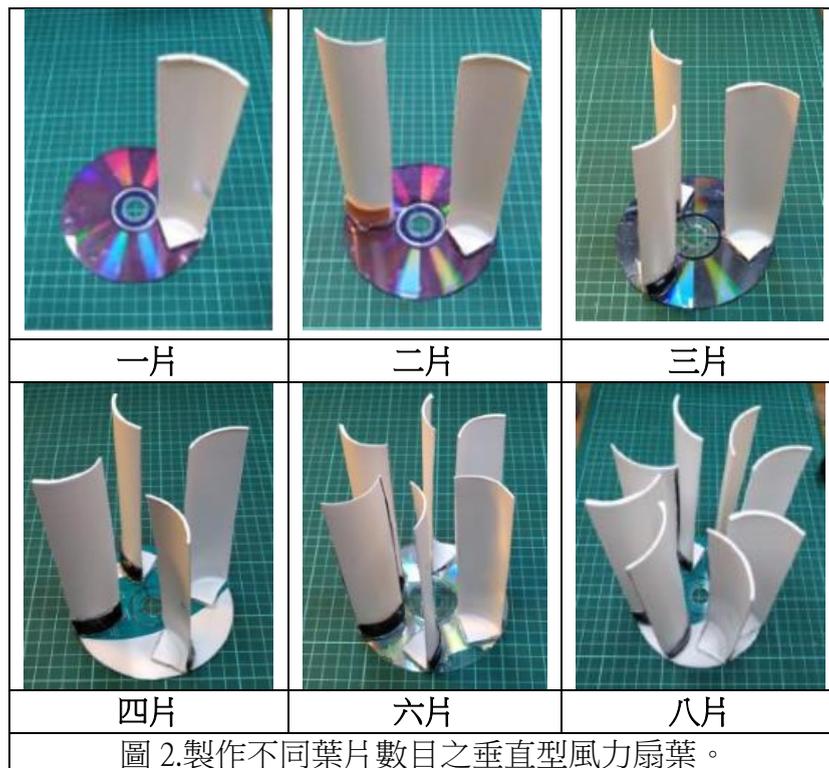
(一) 前置作業

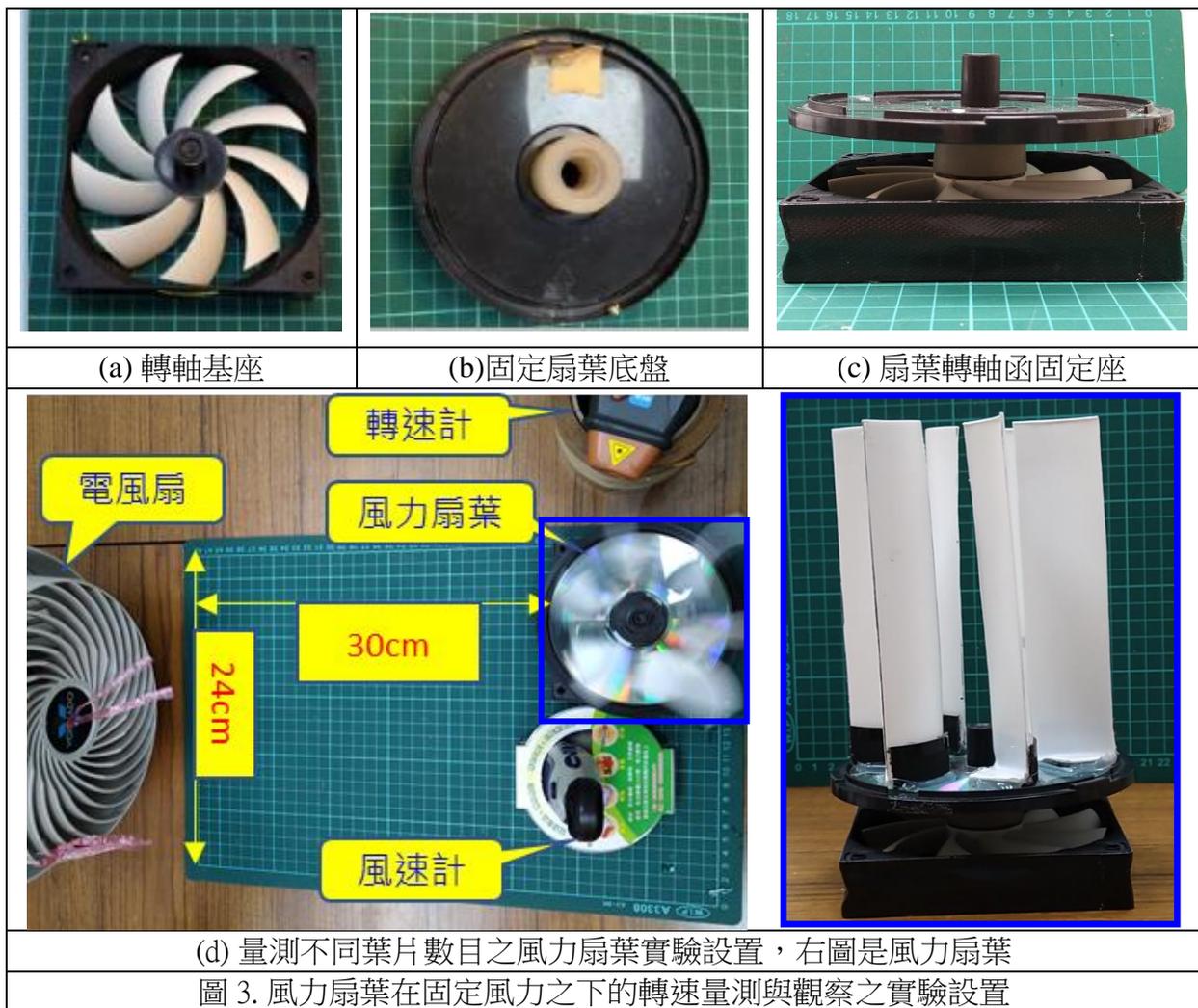
過去我們簡化風力扇葉的設計，扇葉與中心線線的夾角 θ 設定為零，如圖 1 所顯示。沒有做為控制變因。然而實驗中發現夾角對於風的氣流與扇葉的互動有很大的影響。為了深入了解氣流碰撞垂直型風力扇葉後的流動，我們製作不同扇葉數目的風力扇葉，以觀察扇葉與風力交互作用。



1. 實驗步驟

- (1) 切割一個咖啡罐為四片做為曲型風力扇葉之葉片。
- (2) 葉片黏貼到固定到光碟片上，分別做一、二、三、四、六、以及八片扇葉，如圖 2 所顯示。
- (3) 用電腦風扇當作轉軸基座，將風力扇葉套上，做為扇葉轉動效率實驗平台。如圖 3. (a)(b)(c)所示。
- (4) 整個量測風力扇葉轉速的實驗設置如圖 3. (d)所顯示。





2. 實驗討論

- (1) 本實驗為前置作業，將做為後續幾個實驗的基本平台。
- (2) 相關的量測數據將於不同實驗中紀錄與分析。
- (3) 本實驗的設計與分析，是依照所要觀察的風力扇葉與氣流特性間的交互作用來設計實驗樣本模型，因為是手做無法做到高精準度的標準規格。所以在實驗過程中所需要的定性和定量分析，盡量透過重複大量的實驗數據做為定量分析的依據，主要的目的是要做為定性的分析。

(二) 風力扇葉轉動效率

為了初步評估風力扇葉不同數目和角度利用圓筒型咖啡塑膠瓶做為風力扇葉日常可得的材料製作風力扇葉轉動機座，以便後續實驗可以操作實驗的變因，改變風力扇葉數目、型態、以及配合導流罩進行的實驗控制。

1. 實驗步驟

- (1) 實驗設置如圖 3，將 VAWT 至於風扇中心的左邊，也就是風扇只吹半面。
- (2) 對每一種 VAWT，風扇開至低速、中速、和高速，分別量測 VAWT 轉速。
- (3) 每次讀取十筆資料取平均，紀錄於表 1。
- (4) 將 VAWT 置於電風扇正中央，並將電扇包覆厚紙以作為集中風力的風洞，如圖 4 所顯示。
- (5) 分別置換一、二、三、四、六、和八片的 VAWT 到轉軸座上，量測轉速。



圖 4. 置 VAWT 於電扇中央與風洞實驗。

2. 實驗結果

- (1) 將 VAWT 置於風扇的左半邊，量測的數據如表 1。
- (2) 將數據畫為曲線圖來分析，如圖 5。
- (3) 置 VAWT 於風扇正中央的轉速，全部為零。

表 1.不同葉片數目的風力扇葉在不同風速之下所量測到的轉速(rpm)

葉片數目 風速(m/s)	一片	二片	三片	四片	六片	八片
低 2.3m/s	0	70	103	149	172	282
中 3.3m/s	94	132	217	247	513	487
高 4.5m/s	172	257	380	347	685	640

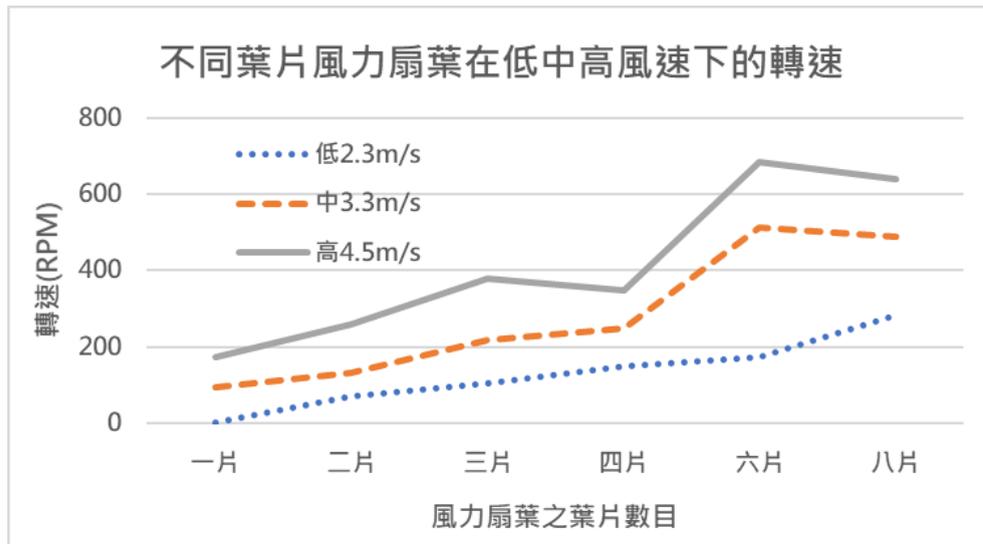


圖 5. 不同葉片數目下風力扇葉轉速資料圖示分析

3. 實驗討論

(1) VAWT 葉片多轉速也高，但目前簡易 VAWT 裸機在吹半邊時效率比較高，也就是來風只能利用一半的風力。這個問題在二千多年前應用風力磨穀物的平台(Sistan Iran 右圖)上已經根據地面風向築起遮風土牆，而達成利用風力的目標。



取自 wiki, Sistan Iran

(2) 本實驗設計是探討風力扇葉裸機在風力作用下的設計參數和效率的關係。因為是裸機實驗(無導風裝置)，所以 VAWT 方在風扇的左前方而不是正前方。當葉片數目是奇數 3 時可以自行轉動，偶數葉片之 VAWT 則大都需要手動克服轉軸的靜摩擦力才可以開始轉動。

(3) 圖 5 資料顯示，葉片數目增加因為受風力面積也增加，根據風能計算公式

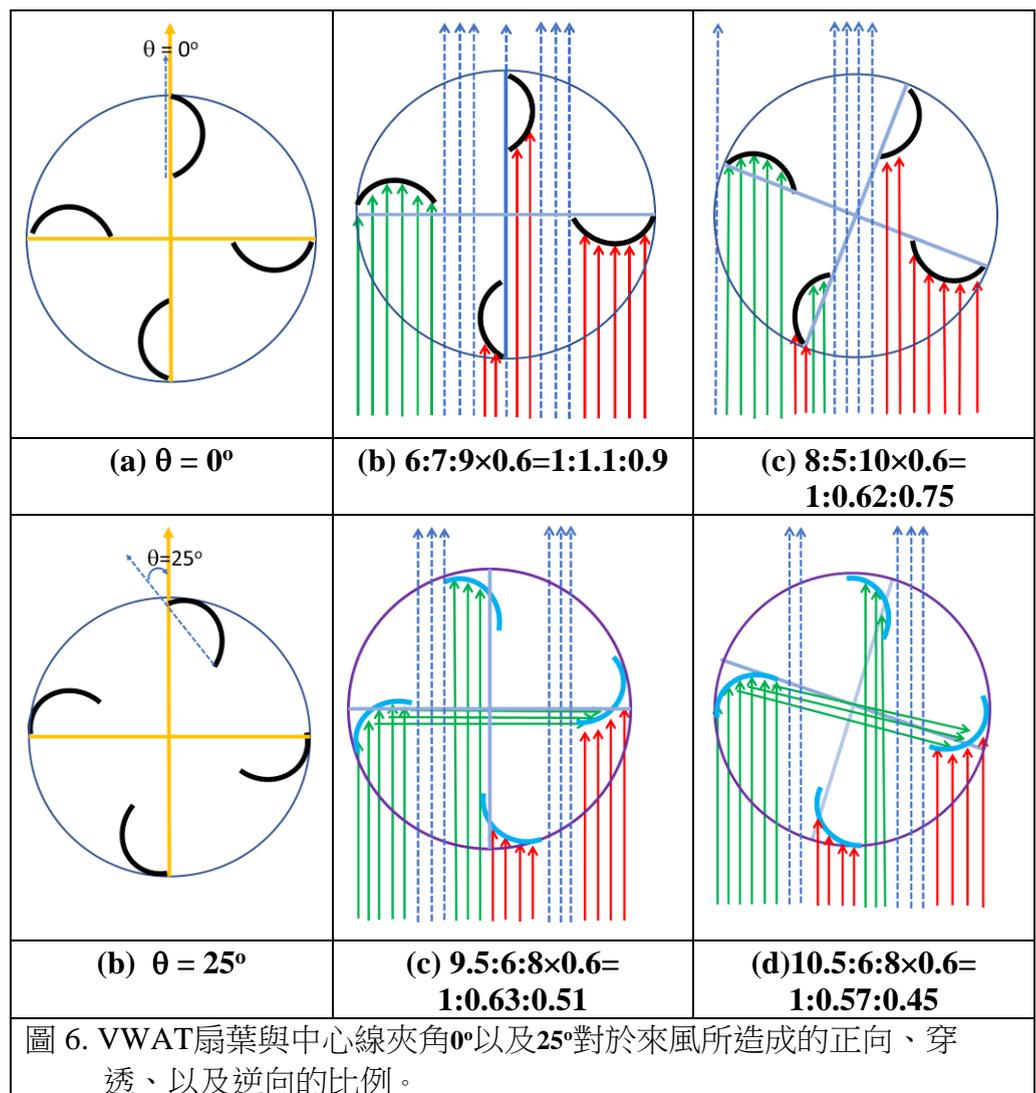
$$P = \mu \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (1)$$

其中 μ 、 C_p 、和 ρ 分別是轉換效率系數、功率因素、和氣體密度，可是為常數，可見風能和風速三次方 v^3 和受風面積 S 成正比，因此增加扇葉數目接收的風能 P 也增加，轉速變快。

(4) 葉片數目達六片時，因為光碟片直徑 $D=12\text{cm}$ ，葉片的寬度 $W=4\text{cm}$ ，受風面積已達飽和，而 VAWT 中包含正向和反向作功的葉片，數目多時反向作負功的葉片也增加，因此當葉片在增加到八片時，所能吸收的風能幾乎已經飽和，甚至有過飽和而轉速下降的現象。

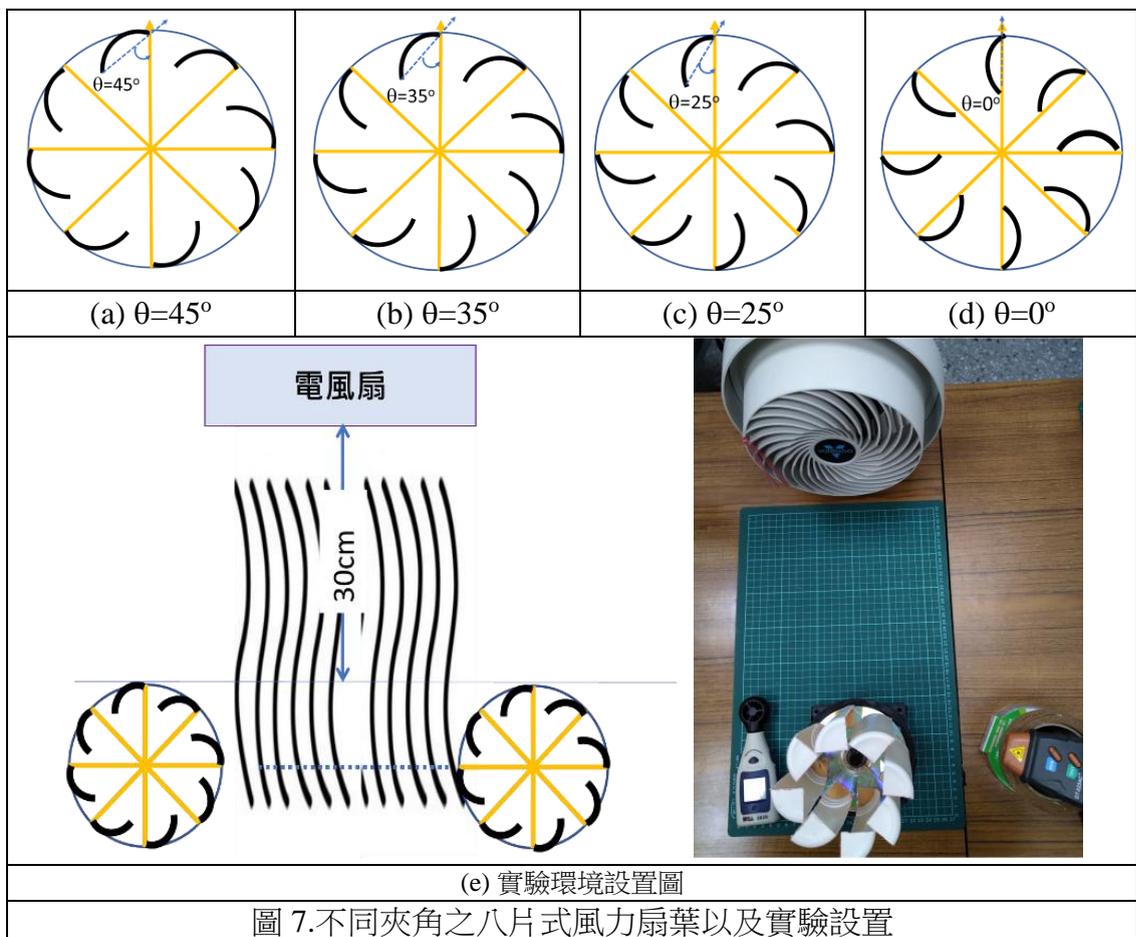
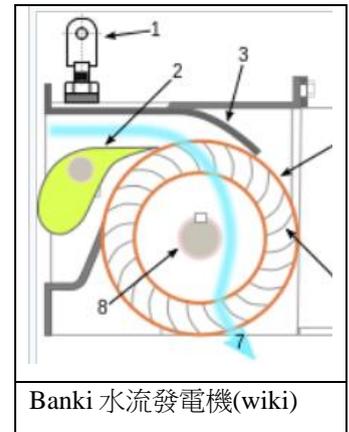
(5) 本實驗中，經由觀察 VAWT 裸機的運作，從風力方向來看扇葉的受力情況，我們用一個四葉片的 VAWT 的觀察來說明，以圖 6 輔助說明。圖 6(a)就是本實驗

扇葉夾角 $\theta=0$ 的設置方法，當風由下方向上吹進 VAWT，綠色是正向作功，紅色是反向作功，虛線是穿過 VAWT 縫隙沒有利用的風力。因為扇葉是弧形，吹向扇葉內凹和外凸的作功因為反射的關係力道不同，假設吹向內凹和外凸的作功力道比例為 1:0.6，則可以計算 VAWT 正向和反向作功的比例。以圖 6(b)(c)來顯示說明，反向作用力比例為分別為 0.9 和 0.75。在葉片夾角 $\theta=0^\circ$ 情況下，穿透的風力比例分別為 1.1-和 0.62 因為沒有利用而浪費掉了。若將葉片與中心線的夾角改為 $\theta=25^\circ$ 來分析，風力在第一次正向推動葉片反射後會第二次正向推動後面葉片，假設反射力道系數為 0.5，經簡易估算後反向作功力道比例為 0.51 和 0.48。因此改變葉片夾角可以將來風導向做正功的比例提高，而達到提高 VAWT 轉速的目標。



(三) VAWT 葉片夾角實驗

在實驗(二)中發現 VAWT 葉片與中心線夾角 $\theta=0^\circ$ 時，**VAWT($\theta=0^\circ$)**，來風只作用在前面葉片且穿越扇葉的風無法利用。我們從水流發電機得到靈感，如右圖的 **Banki turbine** 所顯示，因為水流通過上部葉片後受重力作用再次對下部葉片做第二次正向推動。換成風力扇葉來說雖然空氣流動沒有重力下引的現象，但是若可以適當的調整扇葉夾角，風力經過第一階段碰撞扇葉反射之後，有機會在第二次碰撞葉片時對 VAWT 做正向力距。我們發現改變 θ 的大小，則來風可以對 VAWT 前面和後面的葉片直接或者間接都產生正向力距。以四葉片扇葉簡化的分析發現，不管外面來風怎樣吹 VAWT 內部的葉片可以有效的利用來風產生較多的正向力距。當然空氣在 VAWT 流動與葉片的交互作用之機制並非如此簡單，且當葉片數目增多時更加複雜。本實驗我們改變葉片夾角，來觀察夾角對 VAWT 轉動效率的實際影響。



1. 實驗步驟

- (1) 將一個塑膠咖啡罐切成四等分，每一等分都是圓柱罐四分之一大小。
- (2) 將八個葉片黏貼固定在光碟片上，葉片與圓心線夾角為 $\theta=0^\circ$ 。圖 7(d)。
- (3) 把八葉片扇葉套上旋轉基座，電風扇調整為低速，中央風速為 2.4m/s。
- (4) 將 VAWT 放在電扇中心點左邊 15cm, 每次向右移動 1cm，至右邊 15cm 止。
- (5) 在每個位置量測 VWAT 的轉速，每次紀錄十筆資料取平均。
- (6) 將葉片與圓心線夾角改為 $\theta=25^\circ$ ， $\theta=35^\circ$ 及 $\theta=45^\circ$ ，如圖 7(a)(b)(c)所顯示。
- (7) 重複步驟(3)-(5)，紀錄轉速資料。

2. 實驗結果

- (1) 針對某一葉片夾角 θ 的 VAWT，在每個位置分別量測風速、轉速紀錄 10 筆，取平均值紀錄如下表。
- (2) 將所需實驗資料紀錄完成後，利用工具將資料以二維曲線圖顯示，如圖 8。

表 2.不同夾角 θ 的VAWT在不同位置之下所量測到的來風風速(m/s)和轉速(rmp)

位置	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
風速	0.5	1	1	1.5	1.8	2	2.4	2.1	2.2	2.4	2.5	2.4	2.3	2.3	2.25	2.4	2.3	1.8	1.8	1.3	1	0.7	0	0	0	0
$\theta=0^\circ$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101	129	166	158	152	138	127	70	0	0	0
$\theta=25^\circ$	0	0	0	39	76	110	148	172	179	180	176	173	178	163	172	186	190	188	198	196	193	185	162	143	98	73
$\theta=35^\circ$	0	0	77	124	165	187	213	222	231	239	230	232	224	228	229	230	242	249	245	242	239	223	192	160	128	48
$\theta=45^\circ$	0	0	98	129	160	183	196	202	200	197	191	186	181	198	208	216	219	221	214	205	190	156	111	33	0	0

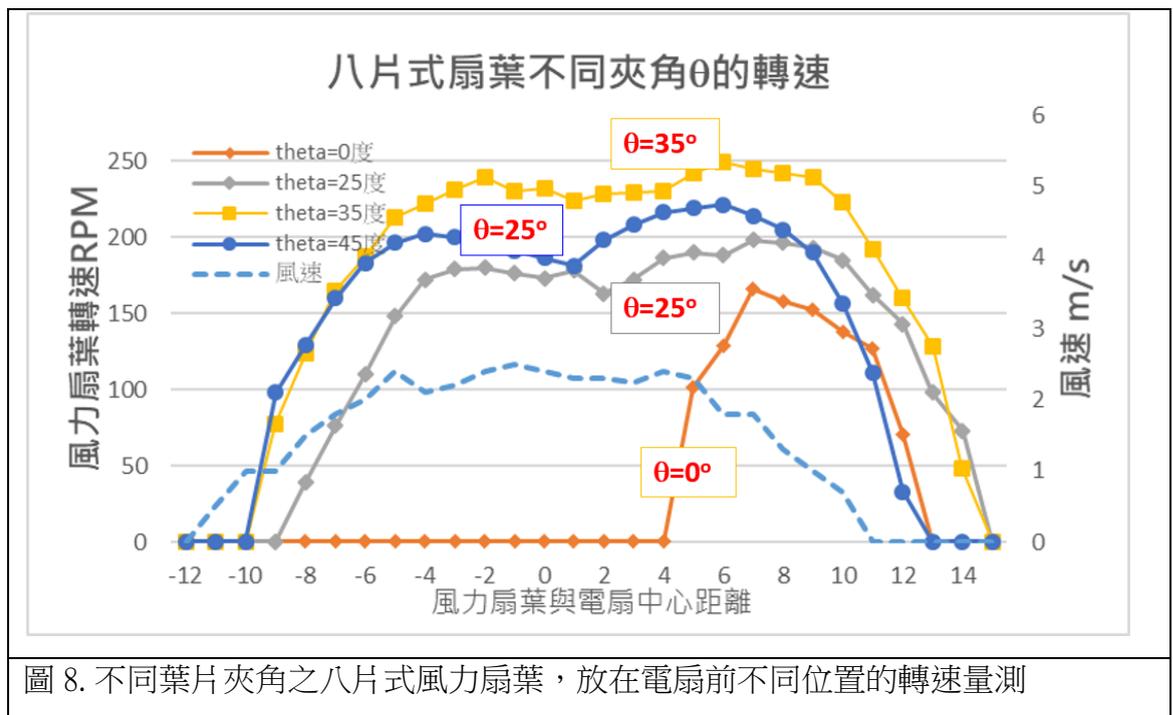
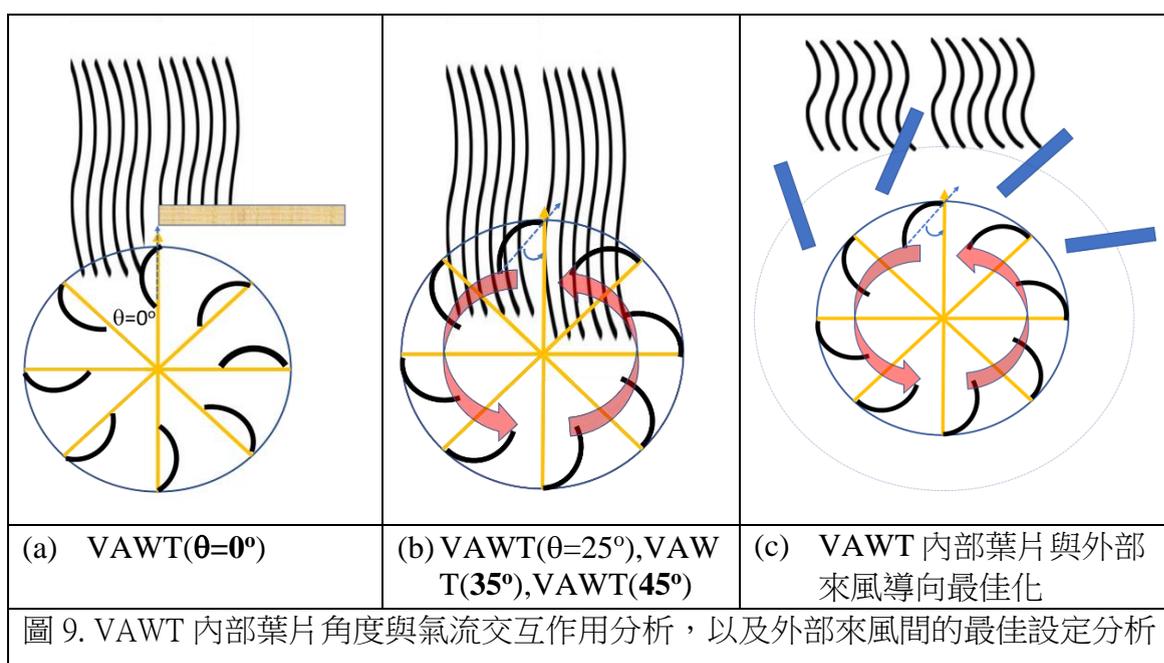


圖 8. 不同葉片夾角之八片式風力扇葉，放在電扇前不同位置的轉速量測

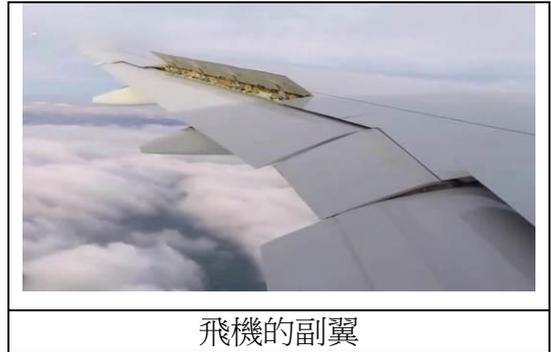
3. 實驗討論

- (1) 圖 8 虛線顯示 VAWT 所在場域的來風風速，因為使用循環扇風力比較不會發散，可看出位置在(-5cm, +5cm)間的風速都很穩定在 2.3~2.4(m/s)之間。
- (2) VAWT 是設計為逆向旋轉，在 $\theta=0^\circ$ 時以 VAWT($\theta=0^\circ$)表示，在固定風力環境下可以運作的範圍為 4cm-12cm，只有 8cm 寬可運作，如圖 8 當 $\theta=0^\circ$ 的轉速圖。也就是 VAWT($\theta=0^\circ$)的右半邊必須屏蔽阻擋來風才可以運作。此結論與世界第一個探討 VAWT 風力機研磨穀物的運作原理相同。
- (3) VAWT($\theta=25^\circ$), VAWT($\theta=35^\circ$), VAWT($\theta=45^\circ$)的可運作範圍大致相同，最重要的特點是不需屏蔽阻擋會造成逆向力矩部分的來風，只要有來風 VAWT 就會轉動且只會逆時鐘方向旋轉。
- (4) 在 $\theta=0^\circ$ 到 $\theta=45^\circ$ 之間，共實驗四個角度(0° , 25° , 35° , 45°)，因為八葉片之間因為 θ 不同的氣流互動過於複雜難以分析，另一方面模擬風力作用的環境過於理想，因此我們以實際實驗的 VAWT 效能來評估最好的 θ 設定。從實驗結果中我們發現 VAWT($\theta=35^\circ$)在相同風力場域之下有最高的轉速和最大的運作範圍(-10, +14)，其可運作範圍為 VAWT($\theta=0^\circ$)的三倍，且最高轉速為 1.21 倍。
- (5) 因為來風是一陣陣，其形式就像圖 8 中的虛線分佈。而本實驗分析 VAWT 面對來風時，應該採用哪一種設定參數才可以最佳化其內部扇葉間的氣流互動與做功。本實驗也顯示 VAWT 內部扇葉和外部來風之間存在一個最佳化的操作範圍。例如圖 8 顯示針對 VAWT($\theta=35^\circ$)的最佳來風範圍在位置(+5, +10)之間，對應實際的 VAWT 尺寸來看，若可以在外部透過導流板將氣流倒向左半邊還是最好的做法。如圖 9(c)。



(四) VAWT 加副翼

這個想法是我在坐飛機的時候，從窗戶看到飛機機翼的後方襟翼在起降的時候會改變彎度。物體課中有教導伯努力定理，壓力隨著氣流速度快而下降。後來研究飛機機翼在飛行時的氣流浮力作用，因為機翼上下方的空氣已經分流，與伯努力定理應用在同一流體的實驗不相同。進一步找資料發現此氣流浮力作用稱為康達效應(coanda effect)，一般也稱為附壁效應。如圖 10(a)附壁效應的專利圖顯示：當氣流通過狹窄出氣口會沿著曲面流動，因為物體曲面對氣流施向下力使其下彎，根據反作用力原理氣流也對機翼施以向上的拉力。因為這個現象透過機翼弧度和相對角度的設計，氣流因施加反作用力可拉動機翼上昇，如圖 10(b)。基於這樣的動機，我們想說是否可以針對風力扇葉設計副翼，在扇葉的外圍尾端加上一個氣流導板，作出類似圖 10(a)的作用。構想如圖 10(c)。



飛機的副翼

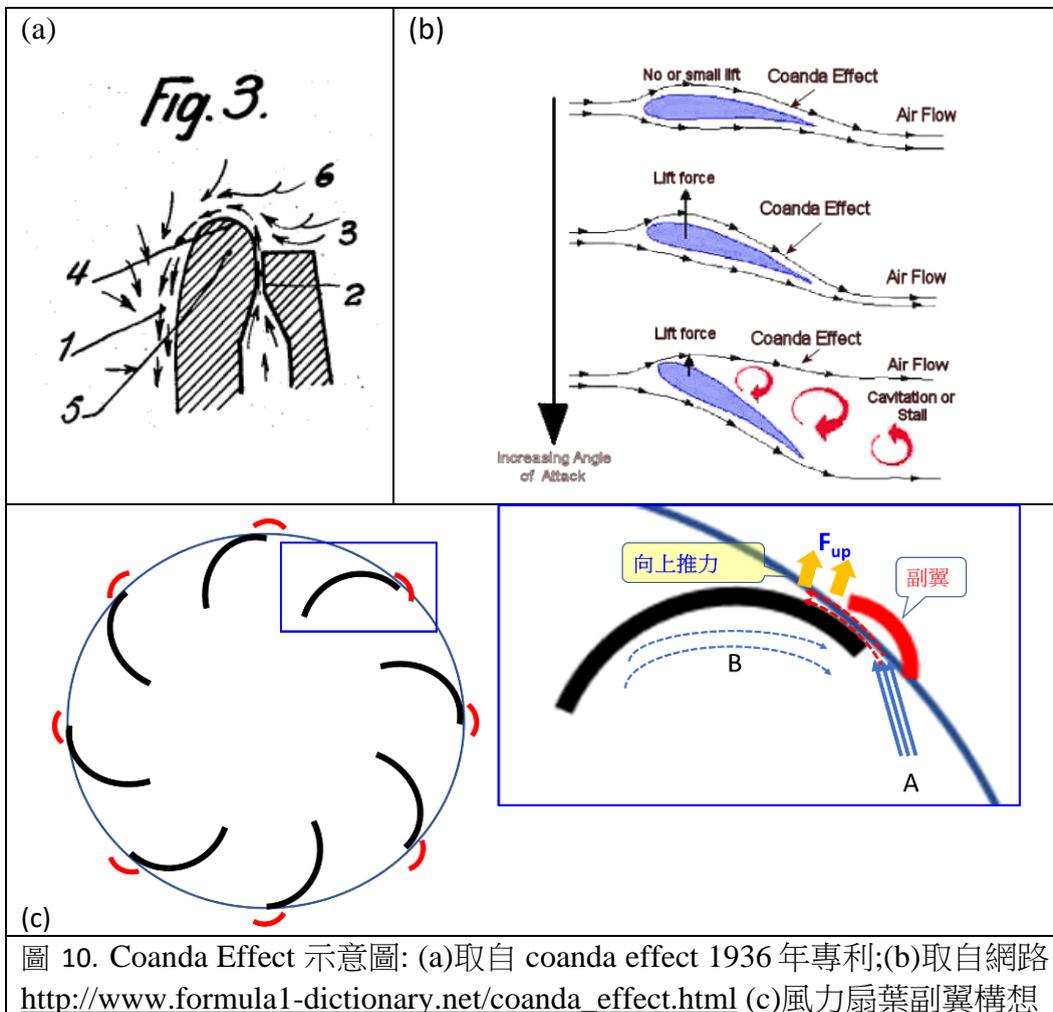
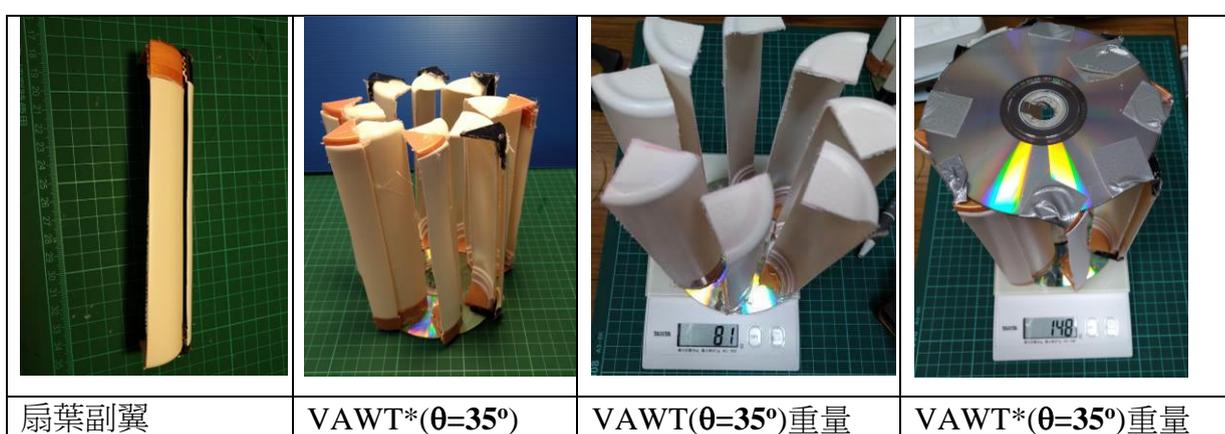


圖 10. Coanda Effect 示意圖: (a)取自 coanda effect 1936 年專利;(b)取自網路 http://www.formula1-dictionary.net/coanda_effect.html (c)風力扇葉副翼構想

圖 10(c)的氣流 A 是外風直接吹到扇葉的風，除了推動扇葉的風，尾端會進入副翼和扇葉的空隙，氣流 B 是因為扇葉旋轉，在其他扇葉沒有正面風力 A 的情況下，氣流會因為離心力的作用沿著扇葉內凹面前進形成氣流 B，吹向副翼而從窄口進到扇葉後端。如此可以將本來用不到的風作用在扇葉尾端，利用康達效應而產生正向作功的推力 F_{up} 。

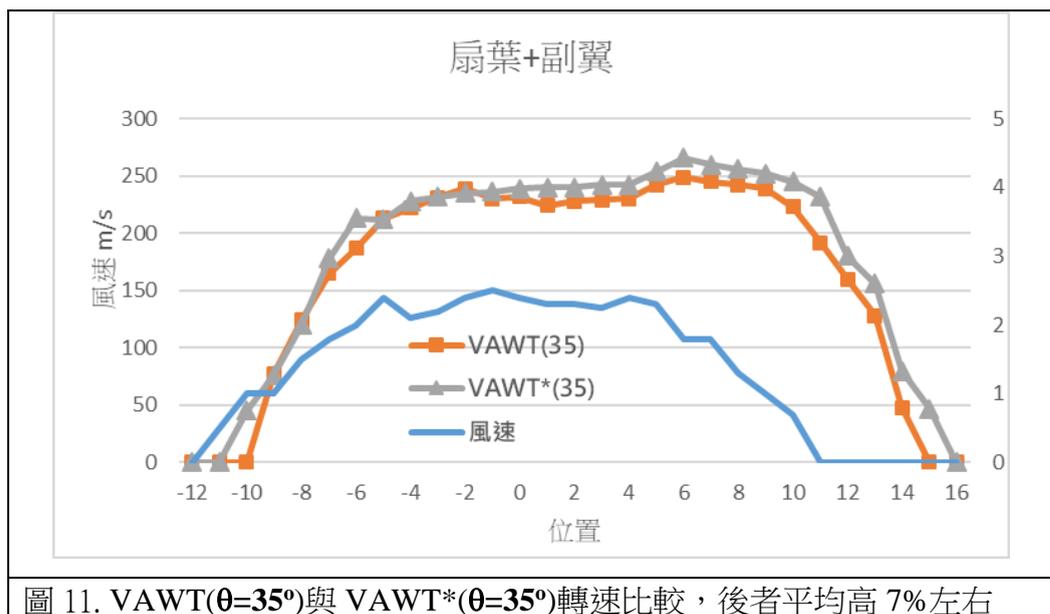
1. 實驗步驟

- (1) 實驗設置和實驗(三)一樣，以 VAWT($\theta=35^\circ$)扇葉來加裝副翼
- (2) 單葉如下圖左，整個加裝副翼的 VAWT($\theta=35^\circ$)，簡寫為 VAWT*($\theta=35^\circ$)。
- (3) 量測 VAWT($\theta=35^\circ$)，以及 VAWT*($\theta=35^\circ$)重量。
- (4) 將 VAWT*($\theta=35^\circ$)從左邊移至右邊，每公分紀錄轉速。



2. 實驗結果

- (1) VAWT($\theta=35^\circ$)及 VAWT*($\theta=35^\circ$)重量分別為 81g 和 148g。
- (2) 將所量得之 VWAT 轉速資料取十筆平均紀錄。
- (3) 以曲線顯示轉速資料如圖 11。

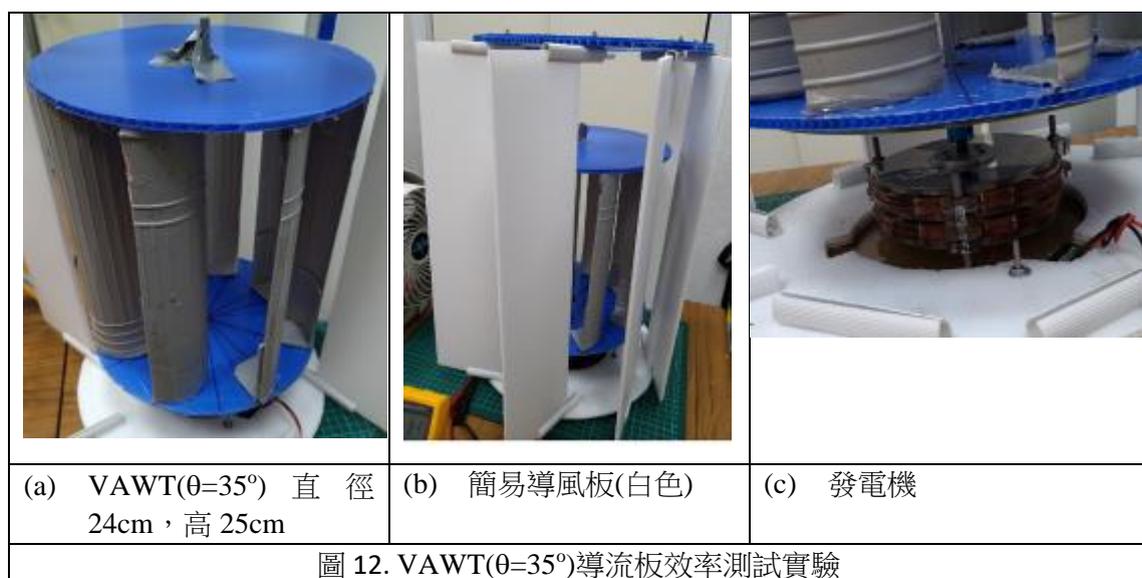


3. 實驗討論

- (1) VAWT($\theta=35^\circ$)與 VAWT*($\theta=35^\circ$)的重量分別為 81g 和 148g，後者因為多加固定膠帶和光碟片，重量較重。
- (2) 圖 11 顯示加副翼可以讓轉速提高約 7%。
- (3) 因為加副翼實際受風面積加大，但是風阻力也會加大，但是在相同風力環境下，確實可以提高轉速。
- (4) 副翼的角度和曲度控制屬於較精密的設計製造，本實驗手做扇葉加副翼，只驗證副翼的效用。可進一步研究副翼與扇葉角度和副翼曲度之定量定性分析。

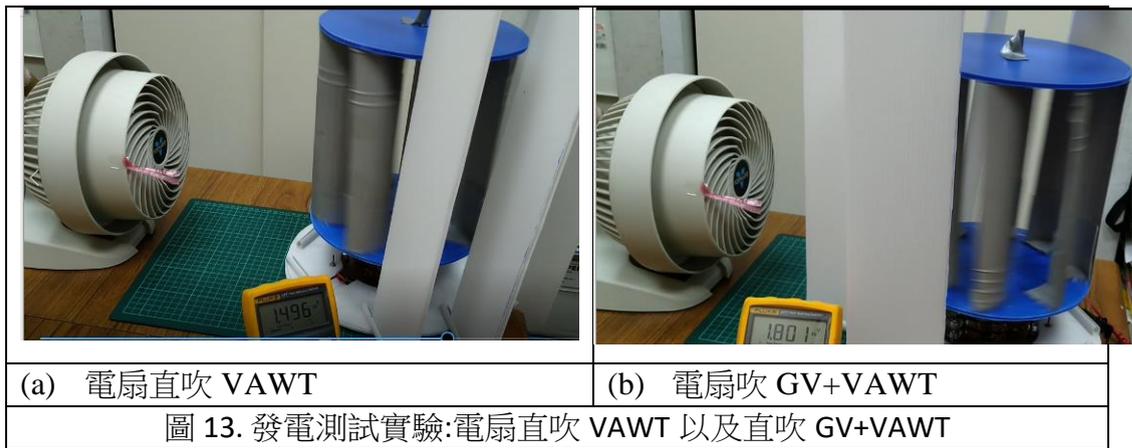
(五) 垂直型導流板測試(GVH)

為了測試風力發電的效率，把實驗(三)中所得最好的 VAWT($\theta=35^\circ$)尺寸放大，並架在發電機上來做效率研究。雖然 VAWT($\theta=35^\circ$)只要有風就會轉，但是如果可以把來風導向可作用在正向力矩的區域，也可以進一步提高發電效率。我們用塑膠海報桶半徑 8cm 鋸開做為扇葉，然後用厚塑膠紙(5mm)加上資料夾裁切做出導流板，驗證 VAWT($\theta=35^\circ$)裸機和導流板加強的效果。如圖 12 所示。



1. 實驗方法

- (1) 將電扇放在正前方 22cm 處。如圖 13 所示。
- (2) 電扇開到最低速，量測當前的風速和 VAWT($\theta=35^\circ$)轉速。
- (3) 電扇開到中速和高速，重複步驟(2)的運算。
- (4) 把導流板放在 VAWT($\theta=35^\circ$)前，重複步驟(1)(2)(3)。



2. 實驗結果

- (1) 實驗數據分為 VAWT($\theta=35^\circ$)裸機和裸機加導流板(GuideVane, GV)
- (2) 數據紀錄如下表:

風速 (m/s)	輸出電壓 (volt)		Improvement
	VAWT($\theta=35^\circ$)	VAWT($\theta=35^\circ$)+GV	
2.3	0.85	1.26	48%
3.2	1.52	1.8	18%
4.1	1.95	2.4	23%
			30%(平均值)

3. 實驗討論

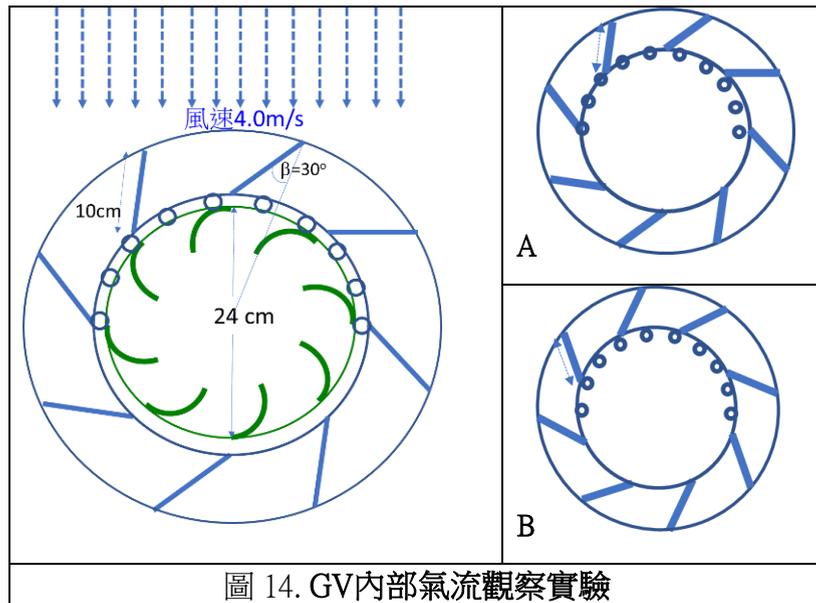
- (1) 本實驗主要是了解在相同的風場環境之下，VAWT 可以透過加裝 GV 獲得多少電壓的提升。
- (2) 結果顯示 VAWT+GV 相較於 VAWT 可以提高發電電壓約 30%。
- (3) 接下來將分析導流板的氣流與效率。

(六) 導流量測分析

為了解導流板的作用，本實驗設計在導流板內部量測氣流速度和方向，以進一步了解作用和改進方法。

1. 實驗方法

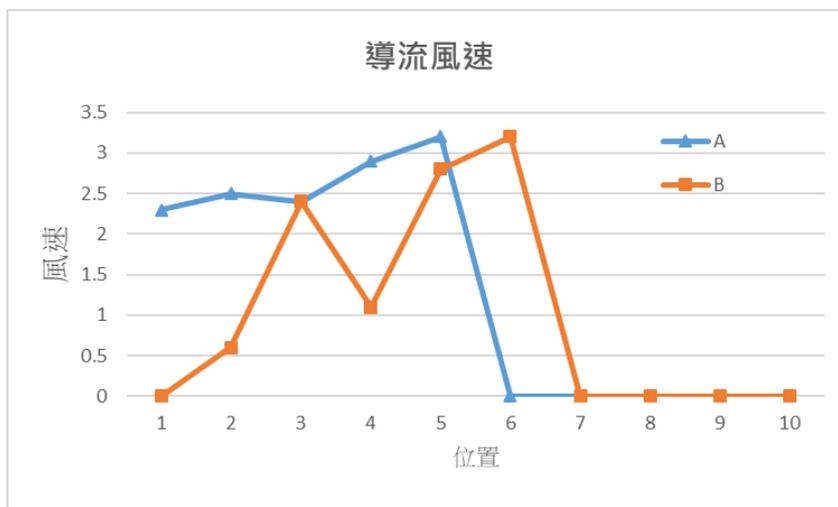
- (1) VAWT 保持靜止不動。
- (2) GV 後方面風力的半球面每 20° 取一個觀測點，共 10 個點，用風速計量測風速。
- (3) 每個位置取 10 筆平均紀錄風速。



2. 實驗結果

(4) GV 前量測到的風速是 4.0m/s

(5) 在圖 14 中 A 和 B 兩種情況所量測到 10 個位置點的風速以下圖顯示。



3. 實驗討論

(1) 風速是變動的，且 VWAT 轉動時內部風速會改變，整個氣流不好分析。用理想的電腦程式分析跟實際的狀況應該會有很大出入。

(2) 實驗結果所顯示的風速顯示 GV 可以把風導向 VAWT 的正力矩方向，亦即位置 1-6。逆力矩的風力則可以屏蔽，如位置 7-10。

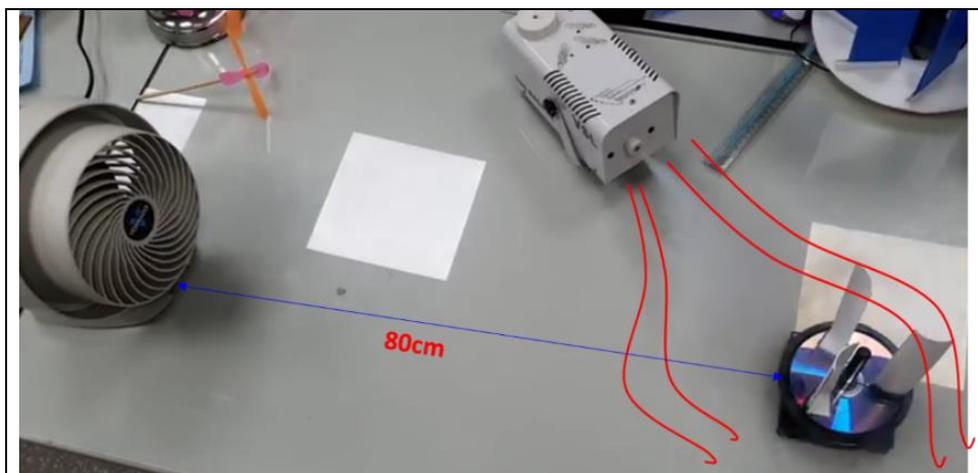
(3) 風速在 GV 葉片的邊緣經量測是比較小的，因為空氣與葉片有摩擦造成擾流，GV 葉片間的空間量測到的風速比較大。也就是 A 中的 2, 4, 5 和 B 中的 3, 6 位置。因此 GV 葉片也不可太密集。

(七) 導流板雲霧實驗

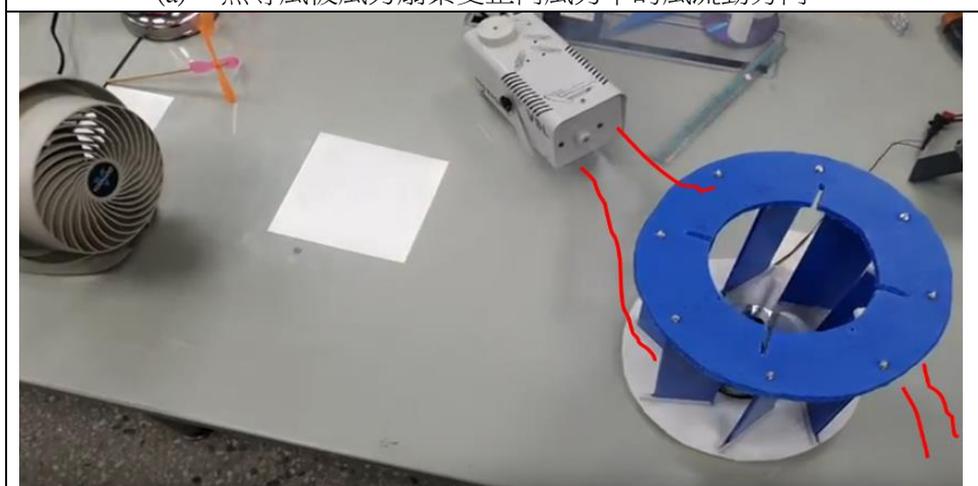
前面的垂直型風力扇葉轉速實驗，我們用轉速計量測有或無導風板時風力扇葉的轉速。在這個實驗我們用起霧器搭配電扇，來觀察風經過導風板會怎樣加快扇葉轉速。

1. 實驗步驟

- (1) 將風扇放在三片式風力扇葉前方 80cm。電扇風速開強檔。
- (2) 等到風力扇葉轉速穩定的時候，用搖控器控制起霧器產生煙霧。
- (3) 用慢速攝影拍下風經過扇葉時的流動方向。實驗配置圖如圖 15 所顯示。



(a) 無導風板風力扇葉受正向風力下的風流動方向。



(b) 加上導風板的風力扇葉之風流雲霧測試觀察

圖 15、風力扇葉加上導風板前後的煙霧氣流分析

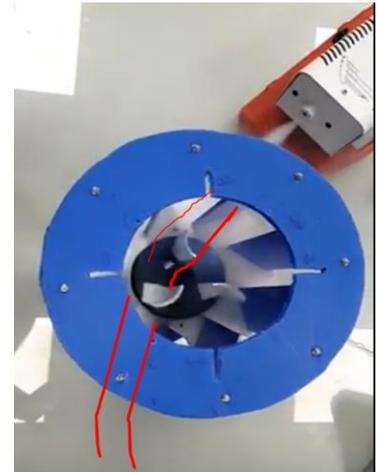
2. 實驗結果

- (1) 從慢速攝影影片中觀察，風扇正面吹向三片式風力扇葉時，扇葉沒有轉動，而且煙霧在扇葉周圍發散成一大團。
- (2) 加上導流罩之後，在導流罩周圍的氣流比較會沿著原來的方向流向後方。如圖 15 的實驗攝影截圖所顯示。

3. 實驗討論

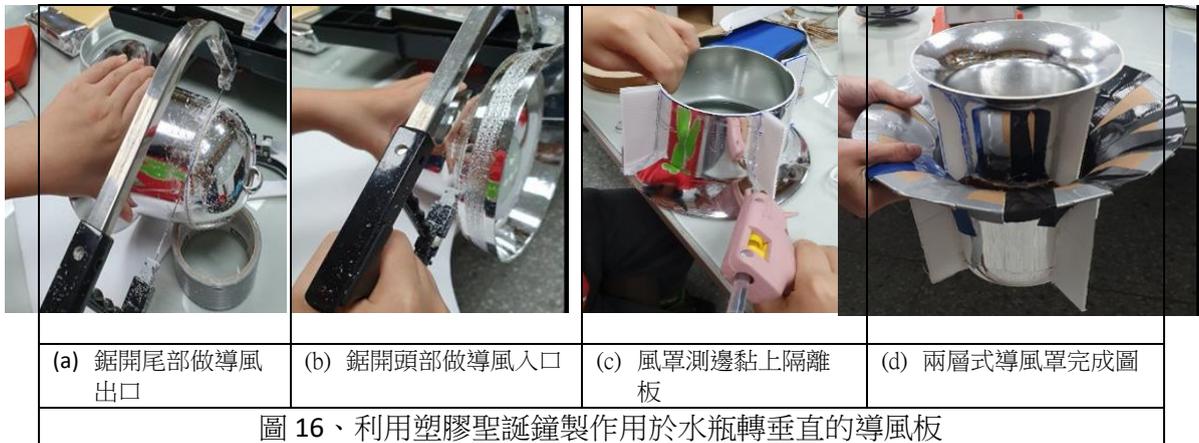
(1) 煙霧顯示風吹向扇葉時因為扇葉沒有轉動，風被扇葉片反射回來與原先行進的風互相干擾，造成整個風力流向干擾發散，以致於煙霧在風力扇葉周圍產生很大的一圈，沒有辦法去推動扇葉轉動。

(2) 風吹向外加導流罩的扇葉，導流罩導流作用讓扇葉轉動，所以氣流沒有反彈，隨著葉轉動流過，煙霧顯示氣流沒有分散擴散的現象，大部分吹過導風罩和扇葉後流向後方。如右圖紅色線所顯示的風流向。



(八) 運用導風板於水平式風力扇葉

我們想要設計能將四面八方吹來的風都充分利用，但因主要發電的裝置是 VAWT，所以必須配合 VAWT 與其 GV 組的結構來設計將風從上導到下方的 GV 組。



1. 實驗步驟

(1) 用兩種大小的塑膠聖誕鐘，鋸掉前後做為導風板的入口和出口。如圖 16(a) 去掉塑膠聖誕鐘頭部做導風出口，圖 16 (b) 去除尾部做為導風入口，圖 16 (d) 是完成圖。

(2) 這個導風罩是希望引導水平來風吹向下方，因此在鐘型罩的外圍，做為氣流向下的隔間板，讓水平吹來的風導向下方吹。如圖 16(c) 所顯示。而這個導風罩的作用如圖 22 所顯示。

(3) 將導風罩放在水平型風力扇葉的上方。調整電扇讓風只吹向導風罩不吹向風力扇葉。

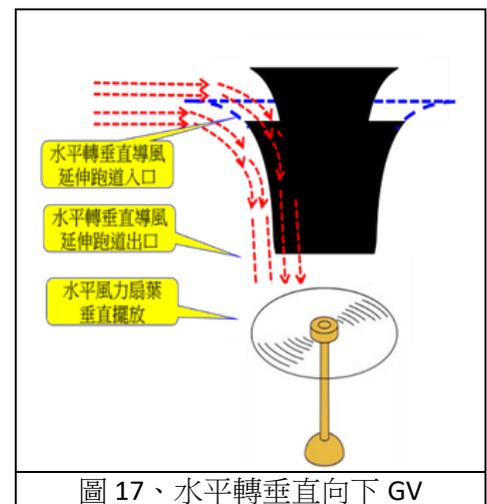
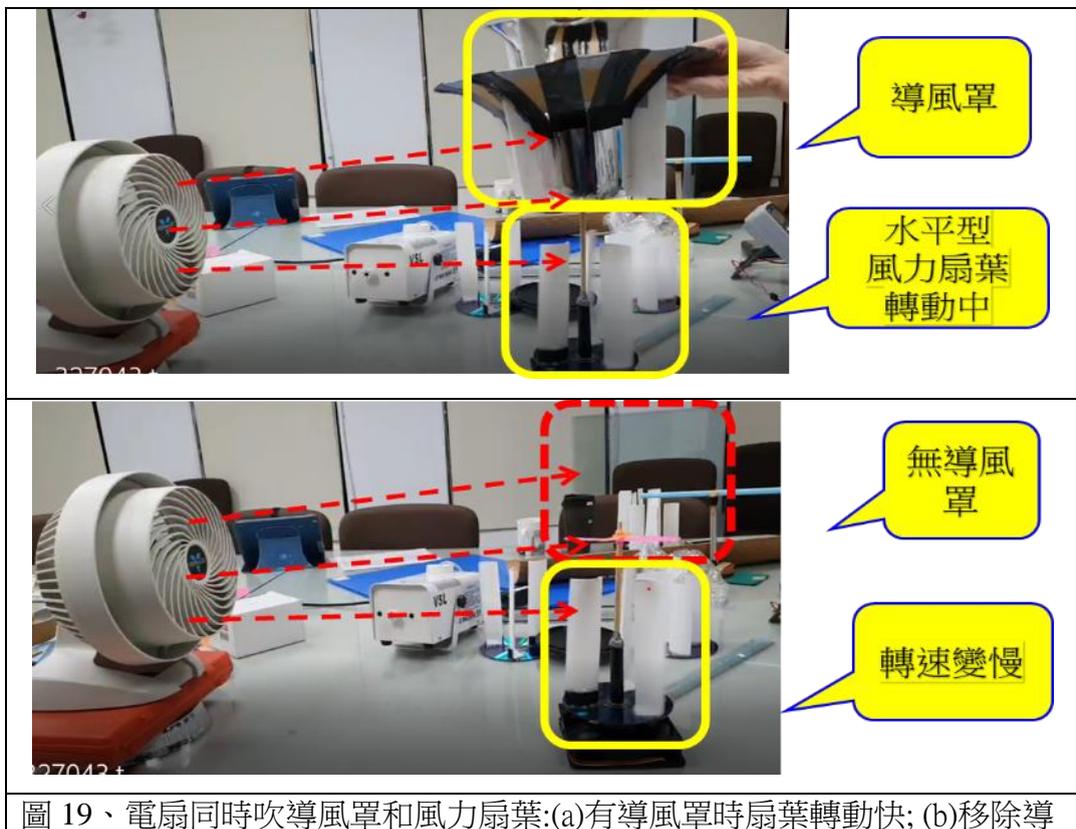
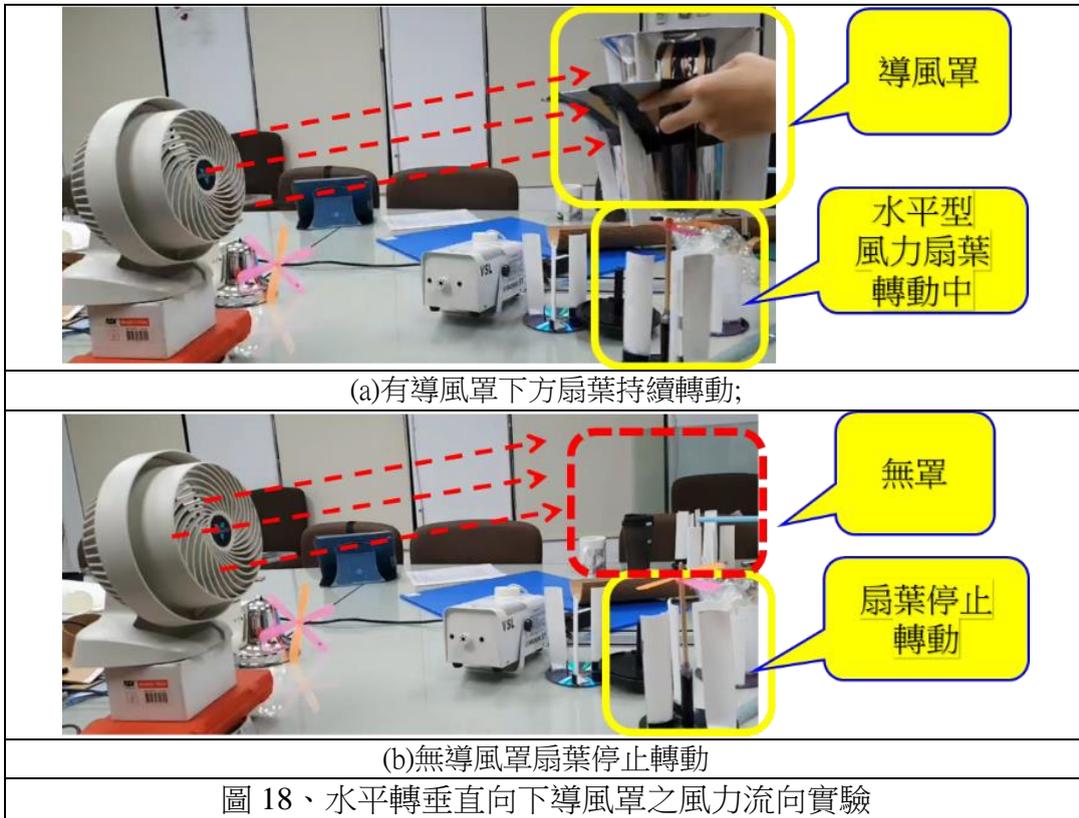


圖 17、水平轉垂直向下 GV

(4) 等風力扇葉穩定轉動之後，將導風罩移開，觀察扇葉轉動情況，將過程錄影下來觀察。如圖 8 所顯示。

(5) 調整電風扇角度，讓吹出來的風同時吹向導風罩和風力扇葉。等風力扇葉穩定轉動之後，將導風罩移開，觀察扇葉轉動情況，將過程錄影下來觀察。



2. 實驗結果

- (1) 當電扇只吹導風罩不吹風力扇葉時，單靠導風可以讓風力扇葉轉動。但是移走導風罩之後風力扇葉就不會轉動了。如圖 23 所顯示。
- (2) 當電扇同時吹到導風罩和風力扇葉時，等到風力扇葉轉動穩定後，移去導風罩發現風力扇葉轉動的速度會變慢。如圖 19 所顯示。

3. 實驗討論

- (1) 當電扇只吹向導風罩時，導風罩可以將風導向水平扇葉轉動的方向。所以移走風罩之後風力扇葉就不轉了。
- (2) 當風同時吹向導風罩和風力扇葉時，會讓風力扇葉轉動，同時導風罩導向下的風也會幫助扇葉加快轉動。因此移走導風罩之後扇葉轉動速度變慢。
- (3) 導風罩導向下面的風，如果沒有調整好位置，會與吹向扇葉轉動的風衝突，因此必須要調整好導風罩的位置，才可以發揮相互加強的作用。

(九) 全向來風轉垂直向下導風罩

從煙霧實驗的影片中反覆觀察，發現水平氣流經過導向垂直向下之後，會沿著風罩的表面行進，如圖 20(a)紅色的風流方向。這樣的氣流需要調整到適當流向才可以有效推動扇葉轉動。我們推想圓形導風罩之間可以另外置入導風片，將風力轉成徑向去推進扇葉，如圖 20 (b)的藍色線條所表示以及藍色導風片至入方式。或者更進一步把導風片以斜角置入，如圖 20 (c)下圖的導風片置入方式，可以額外產生推扇葉向前的推力。

1. 實驗步驟

- (1) 在導風罩外圍加上分隔板，如圖 21(a)中白色卡紙，圖 21 (b)是側視圖。
- (2) 在導風罩底部加上導風片，如圖 21 (e)中藍色的塑膠卡紙，圖 21(d)是上視圖。

製作水平風力扇葉測試基座(圖 22(a))，以手動方式將導風罩置於基座上方(圖 22(b))，打開電扇測試扇葉轉速。

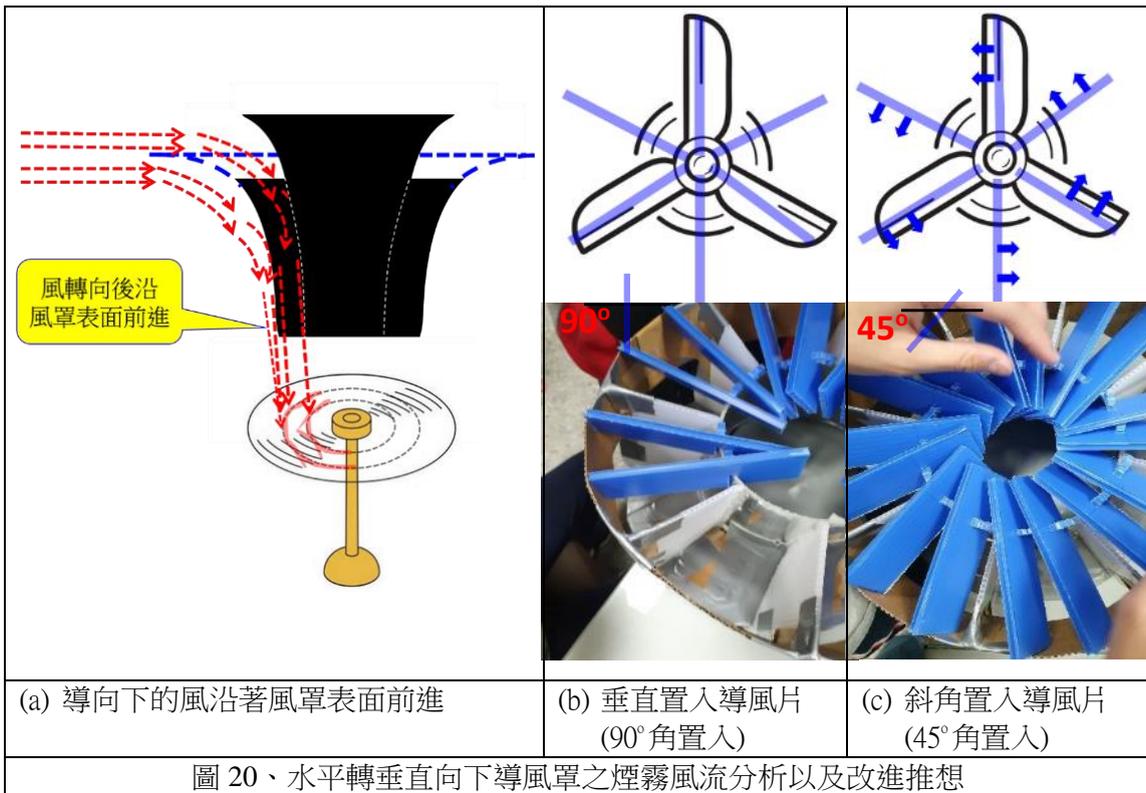


圖 20、水平轉垂直向下導風罩之煙霧風流分析以及改進推想

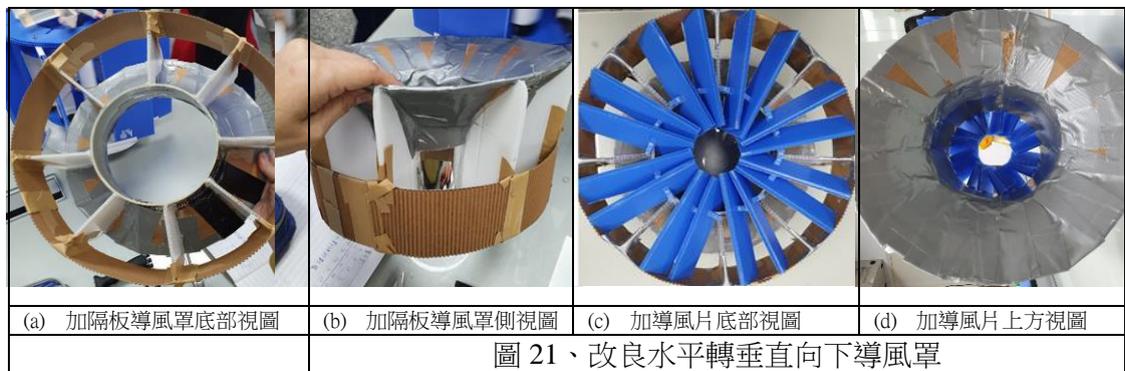


圖 21、改良水平轉垂直向下導風罩

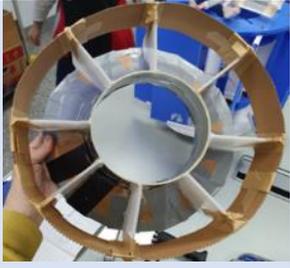


圖 22、垂直轉水平導風罩效率測試

2. 實驗結果

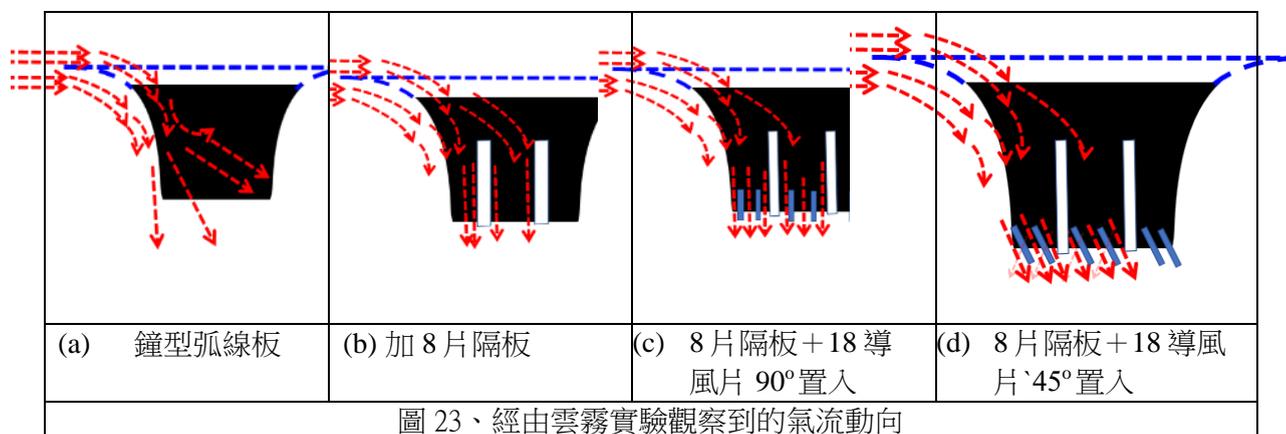
(1) 將電扇置於距離風力扇葉 60cm 遠，開關轉到高段風速。

(2) 量測扇葉的轉速，記錄如下表：

			
	加 8 片隔板	8 片隔板 + 18 導風片 90° 置入	8 片隔板 + 18 導風片 45° 置入
轉速 (rpm)	89.3	110.5	118.2

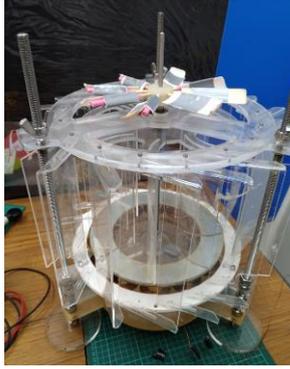
3. 實驗討論

- (1) 我們觀察到不加隔板，吹來的風會沿著鐘型表面的弧線任意流動(圖 23(a))，加上 8 片隔板後，風力會一致的到向下方，但是仍集中在隔板表面。(圖 23(b))
- (2) 加上導風片，流動向下的風力更均勻，轉速有很大提升(圖 23(c))。
- (3) 導風片以斜角置入，會形成推動扇葉向前的風力，轉速可進一步提升(圖 23(d))。



(十) 精準全向風力機模型建構

前九個實驗是獨立設計與進行分析，其目的是採用定性分析去驗證單一項目之物理特性，實驗品屬於簡易型式準確度待改進。目前本研究正整合所有個別驗證過的功能於單一整體機構，期望將改進的部件整合建構初規格精準與機體穩定的風力機模型，以便做進一步定性和定量的分析探討。目前機體建構茲圖示如下：

			
(a) 簡易模型戶外 實測 2.2Volt	(b) 改良VAWT	(c) 整機建構進度 (1)	(d) 整機建構進 度(2)
圖 24、現況說明與完整機型建構進度			

四、結論與應用

(一) 垂直型風力扇葉研究

1. **實驗一及實驗二**設計垂直型風力發電扇葉，葉片到達一定數目時效率就飽和。但是葉片與中心線的夾角可影像扇葉轉動效率。
2. **實驗三**改變風力扇葉與中心線的夾角，發現在風速2.4m/s情況下，夾角為 $\theta=35^\circ$ 有最大的運作空間範圍和最高的轉動效率。
3. **實驗四**為葉片加裝類似飛機的副翼，以提升葉片的推力。實驗結果顯示加裝副翼可以提升轉速平均約7%或更高。

(二) 垂直型導流分析

4. **實驗五**在實驗三的風力扇葉外加導流罩，在相同風力場域之下，轉速可以提高30%。
5. **實驗六**檢視導流罩內部的氣流速度，發現在正吹的情況下，氣流在導流板之間空隙比在導流板表面的風速大。因此導流板數目不可無限制增加。
6. **實驗七**運用起霧器觀察導流罩和風力扇葉間氣流交互作用，導流罩會引導來風進入扇葉並從後方流出，無導流罩則風力會被扇葉反彈造成浪費。

(三) 整合型導流罩

7. **實驗八**設計可將水平來風轉向下的導風罩，也可直接利用吹向下的風力。實驗驗證導流板具有引導風力向下的功能。
8. **實驗九**整合兩種水平和垂直導風罩的實機，經實際戶外測試在一般風力之下發電電壓約2.3伏特，發電功率約0.3W。
9. **實驗十**為整合前面九個實驗的整機建構說明。目前正在建構規格精確的發電機模

型，以作為整合定性定量的量測分析之用。

(四) 總結

1. 本研究所設計之實驗以印證氣流的物理特性為目標，偏向定性分析。雖然在精準度方面因為器材的簡易以及實驗器材精準度不高而有所影響，但是實驗結果皆能印證利用物理現象於改進風力發電的假設，本研究後續可以改進實驗器材的精準度，進一步作定性定量的分析。
2. 一個系統的效能好壞來自於各組件的功能提升，然整合各子項目組件也有互相抵觸的地方。
3. 以無污染的再生能源來達到化整為零的都會區小型發電之願景，是目前國內地狹人稠的最佳能源方案。期望本研究可以協助邁向這個目標一步。

五、參考文獻

- (一) 陳亭儒、林紋蕙、黃翊，2018，風力罩得住酷旋發電機，臺灣國際科展
- (二) Banki turbine, https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine
- (三) Tian Wenlong, Song Baowei and Mao Zhaoyong, 2014, “A Numerical Study on the Improvement of the Performance of a Banki Wind Turbine,” *Wind Engineering* 38(1):109-116.
- (四) Ioan Larion, Hirpa G. Lemu, 2014, “Study of Coanda effect applied to vertical wind turbine blades,” *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Vol. 46521.

【評語】 100009

此作品延續過去科展之研究精神，實驗設計以扇葉轉動研究、導流分析以及導風罩之整合建立水平與垂直導風罩之實機，將過去創意概念更加發想提升，透過 12 組實驗設計探討垂直型風力發電機發電效能。將全向來風有效引導至推動 VWAT 之正向力矩，與用於發電全方位來風皆能產生正向力矩的 VAWT，並設計出只要有風就可以正轉的 VAWT，此外並設計扇葉副翼增強發電效能。實驗中亦搭配磁浮培林利於後續發電效能提升。建議可考慮多組機組同時進行時，風場導流與發電效能之影響。本作品不僅具創意，可應用於都會場域之風能發電。