

## 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

### 題目名稱：你「風」了嗎？探究風力發電機扇葉螺距角與轉速的關係

#### 一、摘要

在全球暖化的趨勢下，各國政府為達到 2050 年淨零碳排，綠能產業蓬勃發展，而風能發電是臺灣全力投入的目標。響應國家能源發展政策，本組想透過風力發電機模型，試圖探究一架風力發電機，從設計、製作，到供電，尤其是扇葉螺距角與轉速的關係等一系列的過程。

#### 二、探究題目與動機

在全球暖化的趨勢下，各國政府為達到 2050 年淨零碳排，綠能產業蓬勃發展，而風能發電是臺灣全力投入的目標。響應國家能源發展政策，本組想透過風力發電機模型，試圖探究一架風力發電機，從設計、製作，到供電，尤其是扇葉螺距角與轉速的關係等一系列的過程。

#### 三、探究目的與假設

我們原先依照書商出版的自然探究與實作「自製風力發電機模型」單元，製作了許多不同扇葉數目的寶特瓶渦輪發電機，原以為寶特瓶製成的渦輪能順利轉動，可順利進行後續的探究。可是，無論是三葉、四葉或六葉；葉片長度為 8 公分、10 公分或 12 公分的風機模型，在正面迎風的狀況下均難以轉動，渦輪停滯，在風速較強的情況下，風機甚至直接被吹倒了。我們查了關於風力發電機的書籍及網路資料，也看了臺灣離岸風機影片，懷疑寶特瓶渦輪機難以轉動的原因，可能與渦輪的葉片缺乏角度有關。我們想製作出一台能轉順的風機。



我們研究了風力發電機的功率  $Power = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot u^3$

$C_p$ : 功率係數，理想值最大為 0.59

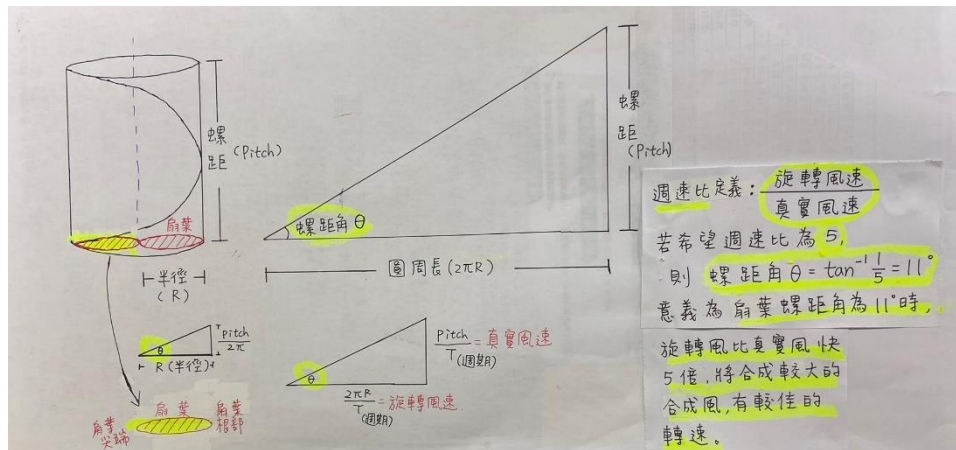
$\rho$ : 空氣密度

$A$ : 渦輪機掃過的面積

$u$ : 風速

由貝茲定律(Betz' s Law)得知，在理想狀況下，風能轉換成動能，最大比率為 59%。在  $C_p$ 、 $\rho$ 、 $A$  不變的狀況下，渦輪機所擷取的功率與風速的三次方成正比。所以，當風速變為兩倍，所產生的功率將會變為八倍。渦輪扇葉的轉速，為發電量的核心因素。

渦輪扇葉旋轉時，受到來自大自然的真實風，及葉面旋轉產生的旋轉風，兩股風向的合成風作用。當真實風速相同時，我們希望旋轉風速可以提高。



運用物理上螺旋、斜面與數學上三角函數的計算，若希望旋轉風速是真實風速的五倍，我們設計出扇葉的螺距角為 11 度時，扇葉的轉速會較佳。我們想用接下來的實驗證明我們的假設。

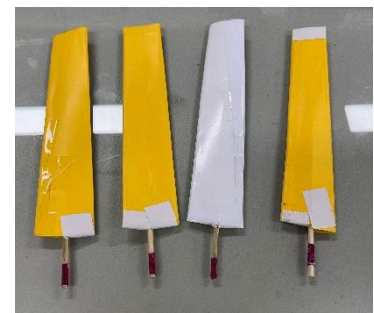
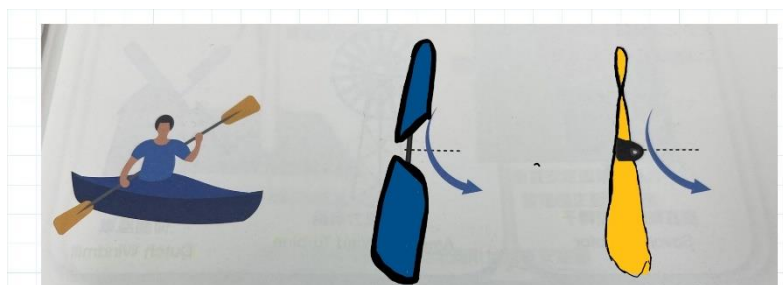
我們想探究的問題為：

1. 風機的渦輪扇葉，以螺旋方式設計，在相同的真實風速下，轉速是否較扇葉以平面設計來得快？
2. 在相同扇葉的設計及相同的真實風速下，扇葉尖端的角度是否以 11 度的設計，會產生最大的轉速？

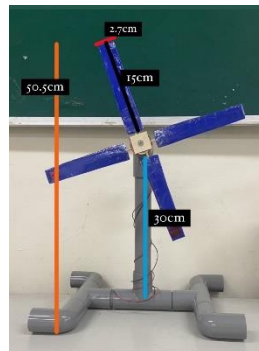
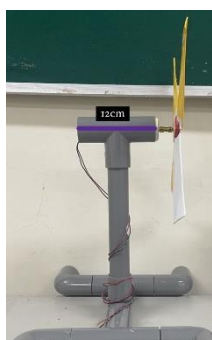
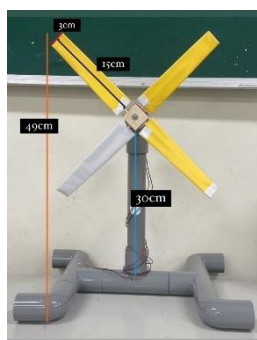
#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 風機模型製作

我們參考吳明德老師《風力發電真好玩》一書，使用 700c.c.大紙杯、塑膠水管、卡點西德貼紙、長軸發電機...等，重新製作兩架風機模型。這兩架風機的差別在於第一架風機的渦輪扇葉使用旋轉的角度設計，類似飛機的螺旋槳；另一架的渦輪扇葉僅為平面，類似划船使用的船槳。

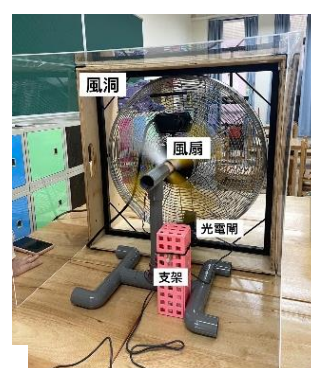


風機模型成果：黃色為扇葉是螺旋設計(類似螺旋槳)，藍色為扇葉是平面設計(類似船槳)。



### 實驗步驟

1. 首先測量風洞 9 個點，風速值皆在誤差範圍內，作為風源，始可測量。



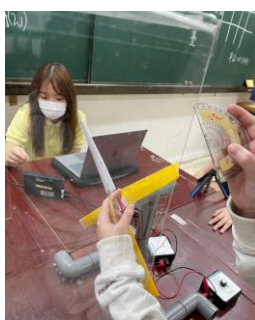
可變電阻

資料採集平台

2. 渦輪扇葉以  $4^\circ$ 、 $6^\circ$ 、 $8^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $12^\circ$ 、 $14^\circ$ 、 $16^\circ$ ，將兩架風機模型分別置於風洞前相同位置，風洞以「吸風」的方式，開啟後分別採集 30 秒，記錄風機模型輸出的轉速、平均功率及平均電能。

採集時同時錄影，紀錄風機模型之轉動狀況，以利後續討論。

\* 我們使用的儀器及軟體如下：



(1)Vernier 電能感應器 (可同時量測電流、電壓)

(2)LabQuest2 資料分析平台 (顯示功率、電能)

(3)Go Direct Photogate 光電閘 (測量轉速)

(4)Vernier Video Analysis 錄像分析軟體 (分析扇葉旋轉時的軌跡及角速度)

(5)Chat GPT 3.5 (發問工具。如：一台手機充飽電需要多少電?)

## 五、結論與生活應用

經過五次以上的測量結果，我們發現有以下發現：

1. 螺旋設計的渦輪扇葉之平均轉速及平均功率，皆比平面的扇葉設計之平均轉速及平均功率大，驗證了我們的第一個假設。
2. 無論是有螺旋扇葉設計的渦輪，或是平面扇葉設計的渦輪，最大的轉速及功率皆落在 10 度至 12 度之間，驗證了我們數學上的計算及假設。
3. 在經過大量的實驗之後，原本平面設計的扇葉形狀，被吹成有螺旋的形狀，紙杯製成的平面扇葉最後會在長期的強風中，調整適應成螺旋狀角度的扇葉(如右圖)，再次驗證了我們的第一個實驗假設。



我們的實驗數據如下：

扇葉有螺距角之葉片角度	4			6			8			10			12			14			16		
	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能
風速一	10.477	0.06	1.059	10.3	0.027	0.274	9.124	0.09	2.358	9.144	4.105	65.896	11.089	2.245	29.897	9.044	2.317	35.523	8.358	0.272	4.09
風速二	10.04	0.079	0.828	11.23	1.883	42.88	10.41	2.689	29.721	10.728	3.846	57.81	9.993	0.226	4.04	10.775	4.787	71.592	9.468	2.493	34.991
風速三	9.049	0.142	1.71	10.95	5.485	119.1	12.61	1.954	27.305	12.58	4.706	66.747	12.763	0.961	15.987	12.69	0.119	1.792	12.129	3.835	5.179

扇葉無螺距角之葉片角度	4			6			8			10			12			14			16		
	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能	轉速	功率	電能
風速一	7.561	0.053	1.311	9.833	1.191	16.81	8.845	1.146	24.566	11.173	0.395	4.84	9.149	3.568	48.786	8.009	1.729	27.825	7.307	0.448	6.631
風速二	9.012	0.06	1.346	9.229	1.451	18.8	9.612	0.638	7.75	10.094	1.284	23.057	10.707	4.68	86.271	10.268	3.255	75.571	9.588	0.361	5.765
風速三	10.785	0.299	8.015	10.21	2.811	38.42	11.66	0.175	3.404	11.094	1.457	34.337	12.165	1.454	34.038	12.822	3.242	58.86	12.063	0.296	4.537

功率單位：千瓦(MW)。定義為能量轉換的速率，每單位時間產生多少焦耳的電能。

電能單位：焦耳(J)。電能等於有功功率對時間的積分。

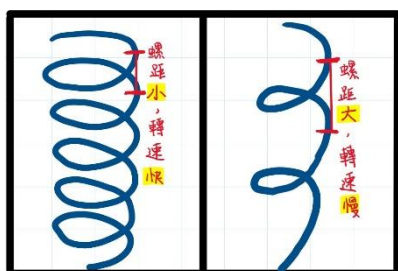
扇葉有螺距角之葉片角度	4	6	8	10	12	14	16	平均值
各風速下平均轉速	9.86	10.83	10.71	10.82	11.28	10.84	9.99	10.62
各風速下平均發電功率	0.09	2.47	1.58	4.22	1.14	2.41	2.20	2.02

扇葉無螺距角之 葉片角度	4	6	8	10	12	14	16	平均值
各風速下平均轉 速	9.12	9.76	10.04	10.79	10.67	10.37	9.65	10.06
各風速下平均發 電功率	0.14	1.82	0.65	1.05	3.23	2.74	0.37	1.43

### 延伸學習

詢問 Chat GPT，充飽一台 I phone12 pro 需要 18.435 瓦時的電能，若我們能在校園空曠處，設置一排自製風力發電機，不僅能讓大家使用率能充手機，還可以讓學校的同學一起學習，充滿著教育的意義。

風能發電是是台灣重要的綠色能源，若我們能好好使用，全民一起學習，相信能讓更多學生及社會大眾知道，能一起為世界的自然環境盡一份心力。



### 參考資料

1. 《風力發電真好玩》吳明德 老師 小五南圖書出版
2. 自然探究與實作手冊 全華出版
3. Chat GPT 3.5