

## 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

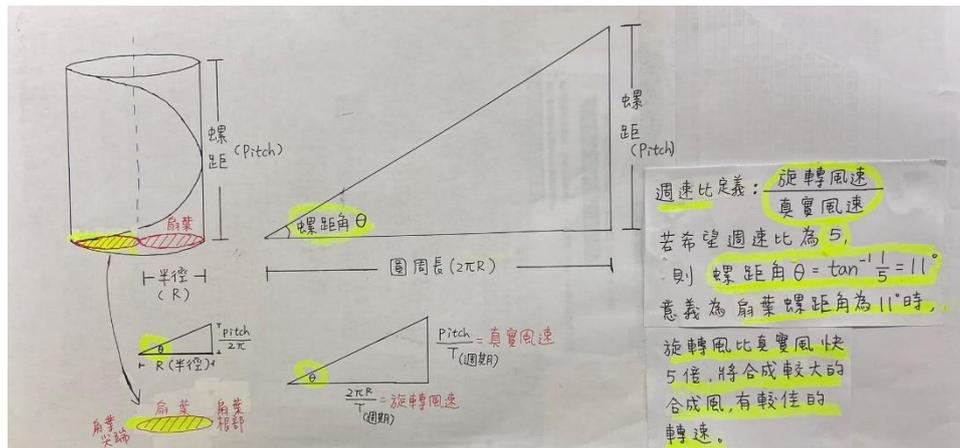
$\rho$ : 空氣密度

$A$ : 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。

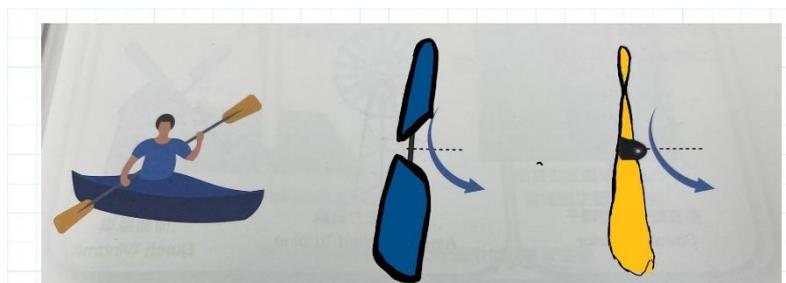
我們想探究的問題為：

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？

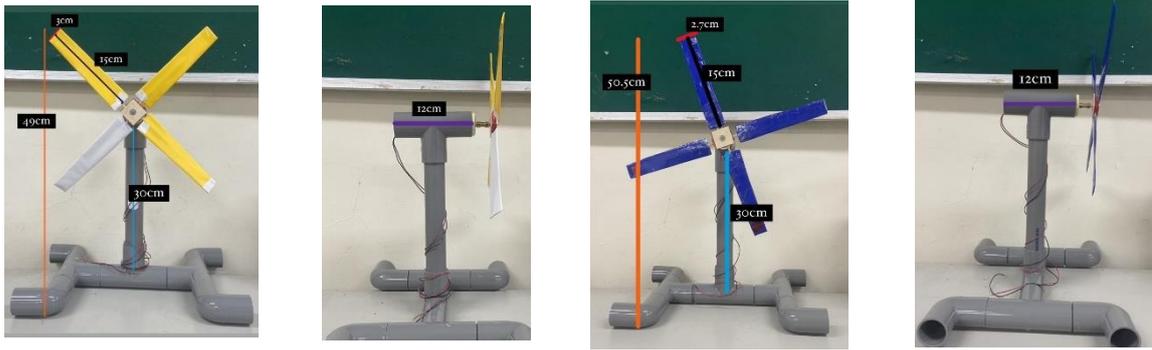
#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 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。

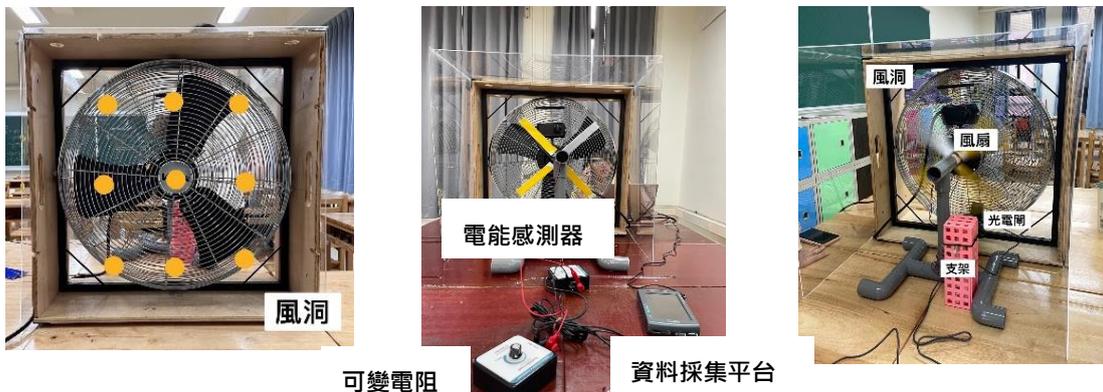


風機模型成果：黃色為扇葉是螺旋設計(類似螺旋槳)，藍色為扇葉是平面設計(類似船槳)。



### 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。



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。

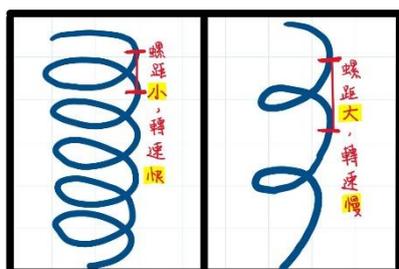
| 扇葉有螺距角之葉片角度 | 4    | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16   | 平均值   |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 各風速下平均轉速    | 9.86 | 10.83 | 10.71 | 10.82 | 11.28 | 10.84 | 9.99 | 10.62 |
| 各風速下平均發電功率  | 0.09 | 2.47  | 1.58  | 4.22  | 1.14  | 2.41  | 2.20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

|                 |      |      |       |       |       |       |      |       |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 扇葉無螺距角之<br>葉片角度 | 4    | 6    | 8     | 10    | 12    | 14    | 16   | 平均值   |
| 各風速下平均轉<br>速    | 9.12 | 9.76 | 10.04 | 10.79 | 10.67 | 10.37 | 9.65 | 10.06 |
| 各風速下平均發<br>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