

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 物理與天文學科

佳作

051809

以螺為師~螺形變化在渦輪機的設計

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者：  高二 李咏璇  高二 葉書宇	指導老師：  高清華  蔡明致
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：等角螺線、仿生學、旁通比

## 摘要

再生能源、仿生學是近年來主要的發展目標。為了研究高效率的發電裝置，我們希望能結合適應潮汐水流的常見鳳螺螺殼構型，設計適合水圳發電的水輪裝置。首先分析螺殼外型的結構參數，提供 3D 列印製渦輪機模型。再將模型置入不同直徑的集風管中，探討不同風速、流通比及渦輪機，對渦輪機發電效率的影響。研究結果在小流通比、強風速時，會得到較大的轉速；長螺形渦輪機(渦輪機 3)的轉換效率比短螺形渦輪機(渦輪機 1)高。另外，在不同管徑的集風管中，適當的旁通比以及等比例長螺水輪設計，才能提供較高轉換效率。本研究希望提供最佳的水輪螺紋變化的配置參數，提供應用於水圳的小型水力發電機組。

## 壹、研究動機

目前台灣的綠能產業正在開發水圳發電，因此我們想要利用仿生學探討螺形變化在渦輪機設計上會帶來甚麼效果。於是，我們研究最常見的鳳螺，以它的螺形結構來改善渦輪機，希望可以藉由仿生學製作出更有效率的發電機。



圖 1-1-1: 鳳螺剖面

## 貳、研究目的

- (一)分析鳳螺殼外型的結構(如圖 1-1-1)，並依其外型、螺線之變化製作三個渦輪機模型
- (二)探討不同風速對渦輪機發電效率的影響
- (三)探討流通比對渦輪機發電效率的影響

註：流通比。係指在渦輪機外面罩一個圓管(導流管)，流通比即為（圓管截面積－渦輪機截面積）和圓管截面積的比值。

(四) 探討不同螺形(角度)對渦輪機發電效率的影響

## 參、研究設備及器材

電腦、照相機、直徑 9 公分及 12 公分之壓克力圓管、壓克力支架、集風罩、工業用風扇、渦輪機模型、發電機、軸承(培林)。

## 肆、研究方法及結果

### 實驗一、分析螺殼外形、螺線以及建立螺線方程式(弧度-距離)

- (一) 實驗目的：分析螺殼外形、螺線，以螺線方程式作為應用渦輪設計的基礎。分析螺殼的徑短( $r$ )、 $z$  軸、 $\theta$  角，取平均值，統計各點誤差值，畫趨勢線，建立相關係數，最後並以方程式表示其間的變化關係。
- (二) 使用器材及軟體:電腦、照相機、GeoGebra Classic
- (三) 實驗步驟：
  1. 以照相機拍攝每 $\pi$ 的螺形側面圖
  2. 將其放上 GeoGebra 分析 (如圖 4-1 所示)
  3. 利用 Excel 計算其和等角螺線的契合度及方程式

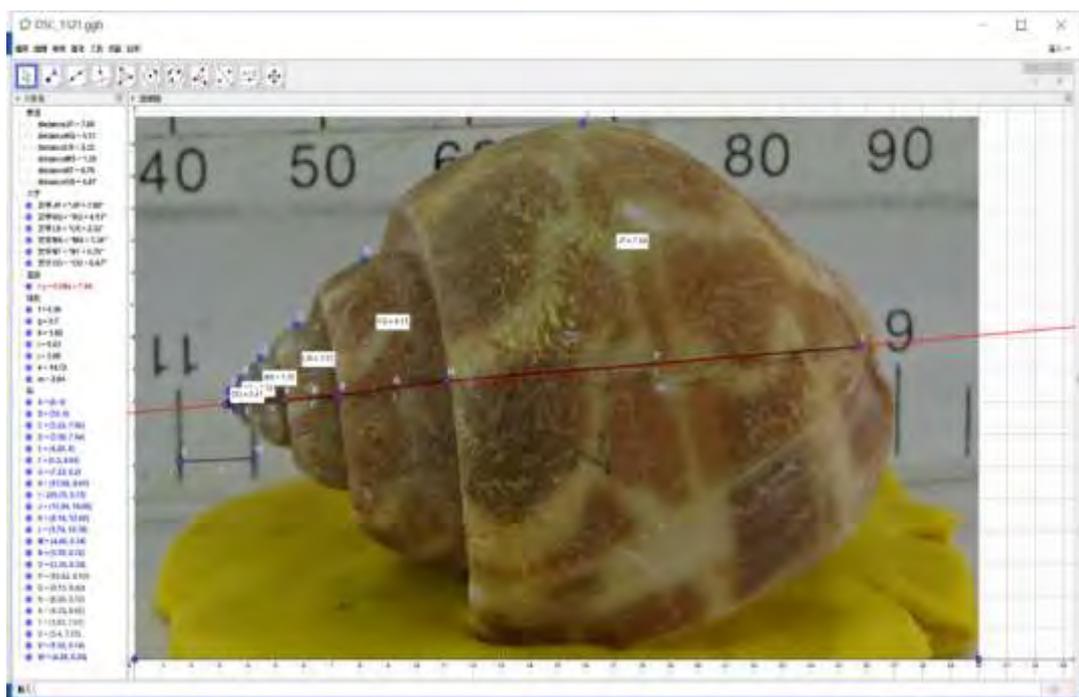


圖 4-1: 分析螺殼結構的過程

**實驗結果：**

1.求出的數據以極座標方程式(等角螺線公式):  $r = ae^{b\theta}$  表示

2.求出的數據如下: $y = 0.3793e^{0.0935\theta}$  相關性的參考值為 0.9909，顯示回歸得到的方程式實驗數據相當吻合，實驗結果顯示如表 4-1-1 以及圖 4-1-1。

表 4-1-1 鳳螺的半徑與旋轉角(弧度)的量測數據

弧度	1.57	7.85	10.99	14.13	17.27
短徑	0.47	0.76	1.083	1.36	1.856

弧度	20.41	23.55	26.69	29.83	32.97
短徑	2.32	3.828	4.13	7.294	7.88

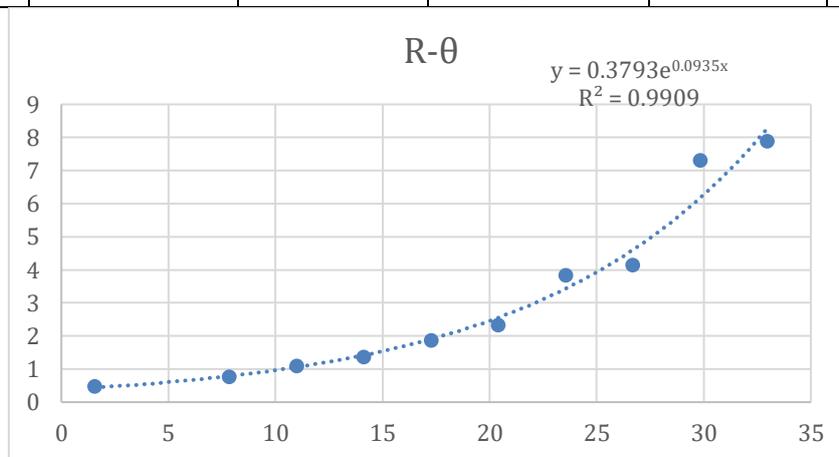


圖 4-1-1: 鳳螺的半徑與旋轉角(弧度)量測數據的回歸曲線。

以上距離的數據為相對距離(與 GeoGebra 的一單位短)

我們以上的方程式，以模擬的方式畫出螺殼的正面俯視圖，與原螺殼十分相似。

我們也用了同樣的方法研究另一個螺殼乙，

求出的數據如下: $y = 0.066e^{0.0984\theta}$  相關性的參考值為 0.983

表 4-1-2:鳳螺乙的半徑與旋轉角(弧度)的量測數據

弧度	1.57	4.71	7.85	10.99	14.13
短徑	0.094	0.08	0.156	0.19	0.281

弧度	17.27	20.41	23.55	26.69	29.83
短徑	0.33	0.488	0.65	0.935	1.3

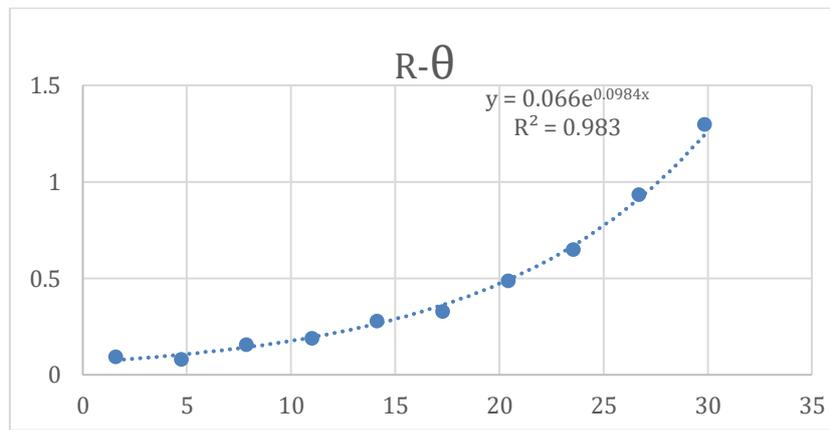


圖 4-1-2: 鳳螺乙的半徑與旋轉角(弧度)量測數據的回歸曲線。

第三個螺殼丙，其相關性參考值為 0.9945，數據如表 4-1-3，實驗數據回歸之結果如圖 4-1-3:

表 4-1-3: 鳳螺丙的半徑與旋轉角(弧度)的量測數據

弧度	1.57	4.71	7.85	10.99	14.13
短徑	0.05	0.067	0.09	0.167	0.18

弧度	17.27	20.41	23.55	26.69	29.83
短徑	0.28	0.35	0.513	0.68	1.04

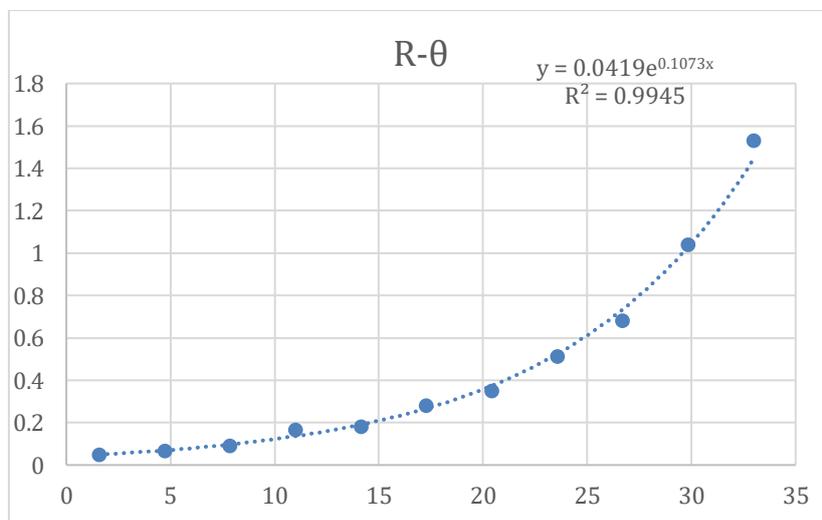


圖 4-1-3: 鳳螺丙的半徑與旋轉角(弧度)量測數據的回歸曲線。

研究結果顯示甲螺為短螺形，乙及丙螺屬於長螺形。不論短螺及長螺都可以得到顯著相關的螺線方程式，因此，觀測鳳螺螺殼結構可以獲得適當的螺線方程式提供水輪設計參用。

**實驗二、分析螺殼外形、螺線，並建立螺線方程式(距離-Z 軸)**

- (一) 實驗目的：分析螺殼外形、螺線，以螺線方程式作為應用渦輪設計的基礎。
- (二) 使用器材及軟體:電腦、照相機、GeoGebra Classic
- (三) 實驗步驟：同實驗一

製作完成的 3 個渦輪機模型，其特徵如表 4-2-1 與圖 4-2 所示:

	渦輪機①	渦輪機②	渦輪機③
螺線圈數	$4\pi$ (兩圈)	$2\pi$ (一圈)	$2\pi$ (一圈)
葉片構型	厚度、高度從頭到尾均一樣高	厚度、高度隨著 z 軸增大	厚度、高度從頭到尾均一樣高

表 4-2-1: 各渦輪機模型的特徵。



圖 4-2: 由左而右分別是 渦輪機模型 ①、②、③的照片。

**研究結果：**

我們進一步將半徑與 z 軸的關係量測出來如表 4-2-1，並將數據迴歸分析得到接近二次函數的關係，如(4)式:

$$y = 0.2944x^2 + 0.6014x + 0.1036 \text{-----(4)}$$

表 4-2-1 鳳螺的半徑與 z 軸的量測數據

徑短	0.08	0.19	0.33	0.65	1.3
Z 軸	0.08	0.22	0.46	1.07	3.59

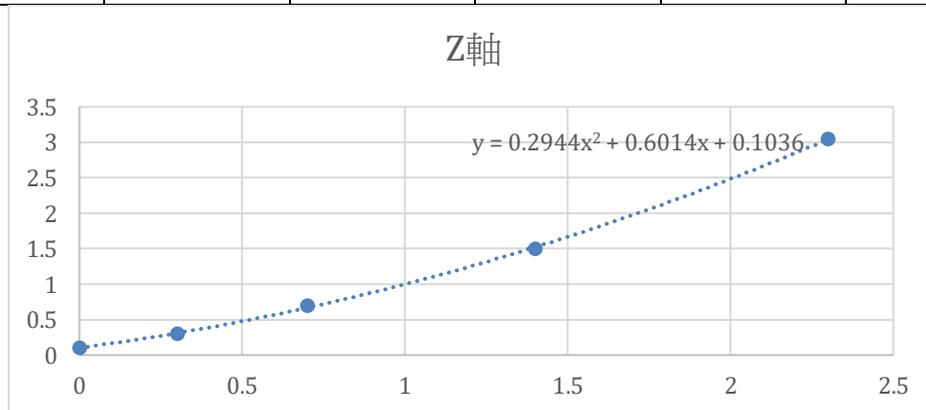


圖 4-2-1: 鳳螺的半徑與與 z 軸的量測數據的回歸曲線。

我們用以上圖表的數據來設計渦輪機的外型以及螺線的變化。

以多層的葉片，每扇葉片和前一葉片固定夾一個  $\theta$  角，且後一葉片會較前一葉片大，使風流可以依照螺線方程式一般。

以實驗求出的數據， $r-\theta$ 、 $r-z$  的關係，轉換為  $z-\theta$  的關係。因一層渦輪有六個葉片，故每個葉片最多可以轉  $\frac{\pi}{3}$  套入風流的走向，故需要自己找出最適合的  $z$  與  $\theta$  做搭配，也需要探討我們需要幾層葉片。 $z-\theta$  數據和畫出的 excel 圖表如下。

表 4-2-2: 鳳螺的半徑與  $z$  軸的量測數據

弧度	1.57	7.85	10.99	14.13	17.27
Z 軸	0.47	0.76	1.083	1.36	1.856

弧度	20.41	23.55	26.69	29.83	32.97
Z 軸	2.32	3.828	4.13	7.294	7.88

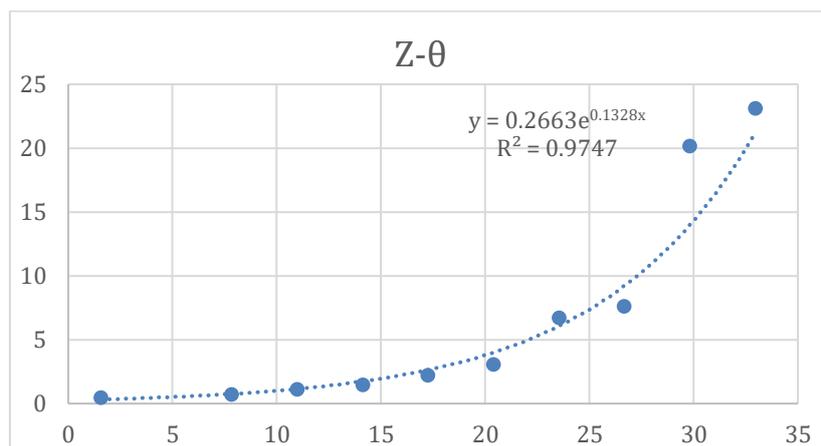


圖 4-2-2: 鳳螺的半徑與與  $z$  軸的量測數據的回歸曲線。

我們設定的方程式如下： $r(\theta, z) = b(\theta_0 \times n)e^{\theta(1+z/L)}$  ( $L$  為自第一層至最終層的距離， $n$  為層數)。但若用以上的螺線方程式去計算，單一層威爾斯渦輪葉片短度不盡相同，導致無法平衡，阻力會變很大，因此我們需要轉變公式，使其在每一平面上的葉片等短。

故我們把公式轉變如下： $r = be^{\theta+z/L\Delta\theta}$  ( $b$  為常數)，如此，每一層的葉片就不會不一樣短，而使其轉動不平衡。以下為  $z-\theta$  的指數趨勢圖。我們取  $\theta = 5 \sim 10$  處，對照的  $z$  約為 10 單位短。

但  $\frac{5}{2\pi} = \frac{5}{6.28} \approx 0.7962 > \frac{1}{6}$ ，故我們需要調整數值。我們將  $z$  設為 1 單位，如此， $\frac{0.5}{2\pi} = \frac{0.5}{6.28} \approx 0.0796 \approx 0.08$ ， $0.08 \times 360^\circ = 28.8$ 。

註(1 單位名詞解釋):在第三圈到第四圈，為 20.081 單位。

我們運用上面的數據求出三個螺殼數據的平均值，求出在相似大小的螺殼中的共通公式，設計出渦輪機，下兩圖為以模擬的方式畫出風道(風在渦輪機中行進的方向)之立體剖面圖:

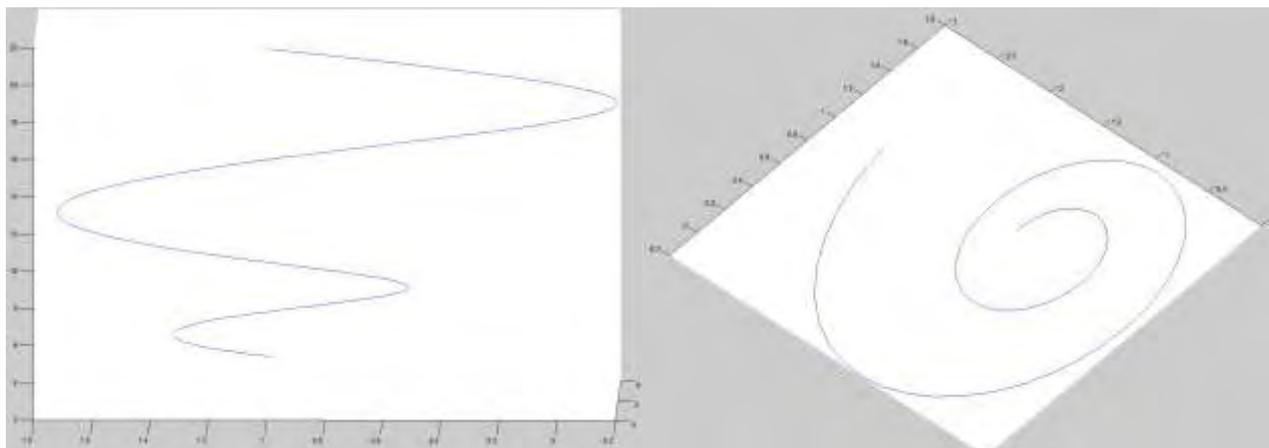


圖 4-2-3:利用半徑與 z 軸的變化，畫出鳳螺螺線的各視圖。左:側視圖，右:上視圖。

利用結果，設計出一個六個葉片緊密貼合的構型，葉片每一層均要旋轉一個  $\theta$  角，使風道的形狀符合我們螺殼的結構參數。

設計出的葉片結構，如下圖:

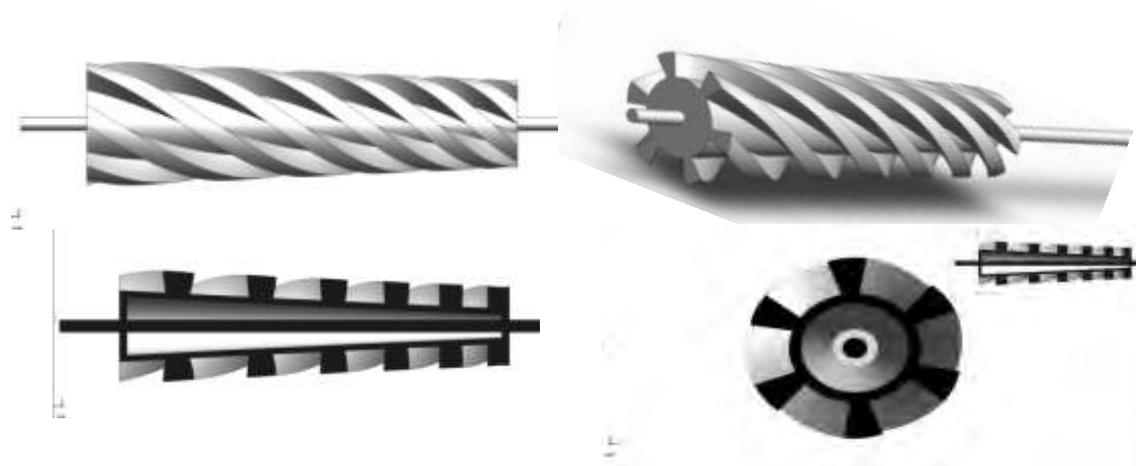


圖 4-2-4: 利用 solidwork 軟體繪製的各渦輪機模型的視圖。

我們將以上畫出的立體圖，轉成 stl 檔，再以 3D 列印出所設計的模型，以作為實驗之用。另外，為了減少重量，渦輪機中間是空心的。

原本印製出來的模型有中軸，因為我們的渦輪機需要很短的軸來裝接發電機及軸承等零件，而 3D 印表機無法印出短度如此短的模式，因此我們最後選擇把中軸的部分鏤空，只印出主體。至於中軸的部分則使用不鏽鋼吸管作為替代，以增加其剛性，避免因為承受渦輪機模型之重量而產生變形。

### 實驗三、探討風速對渦輪機轉速的影響

(一) 實驗目的：把設計好的渦輪機，放進不同直徑的風管裡，以入流風速作為變因，計算渦輪機發電效率。

(二) 使用器材及軟體: 不同直徑的風管、各渦輪機模型。

整個實驗系統架構與安排如圖四所示，小型發電機、轉接頭以及固定座如圖 4-3-2 所示。

#### 【方法一】

實驗系統中各元件介紹:

- A. 壓克力圓管: 作為風管，或導(整)流管，口徑(直徑)分別為 9 公分及 12 公分。
- B. 壓克力支架: 支撐起整個實驗裝置的重量。
- C. 集風罩: 功用係將入流風量集中，使得渦輪機上游速度分布接近均勻流場。
- D. 工業用風扇: 作為實驗的風力來源，風速可以調整強、中、弱三等級。
- E. 渦輪機模型: 分為短螺型渦輪機(1 號渦輪機)，及長螺型(3 號渦輪機)。
- F. 發電機: 可輸出電壓變化，固定電流 15 毫安培。
- G. 軸承(培林): 讓裝置的轉動更加平順(無摩擦)。

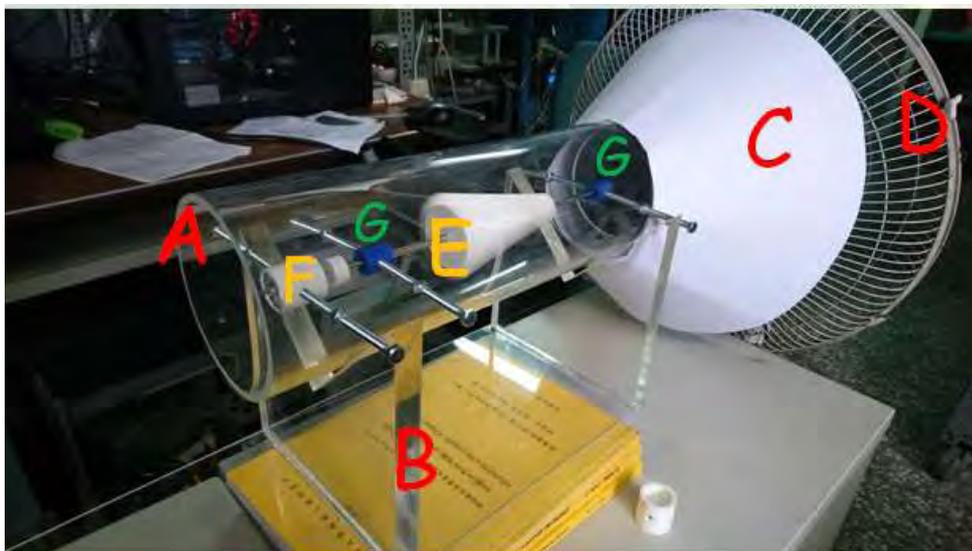


圖 4-3-1: 實驗系統架構與安排



圖 4-3-2: 小型發電機、轉接頭以及其固定座。

(一) 實驗設計:操作變因:風速。

(二) 實驗過程: 先測量在沒有模型時大、小風管中的風速，量測位置如圖 4-3-3 所示。

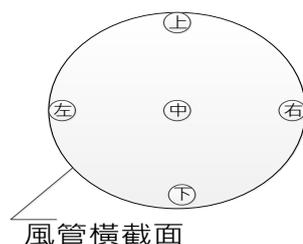


圖 4-3-3: 風管橫截面與速度量測位置示意圖。

當模型還未置入風管時(沒有渦輪機模型時)，入流速度量測結果如下(表 4-3-1):

管徑	風速等級	平均風速
大管徑	工業風扇-弱	5.98 公尺/秒
	工業風扇-中	6.66 公尺/秒
	工業風扇-強	7.24 公尺/秒
小管徑	工業風扇-弱	6.44 公尺/秒
	工業風扇-中	7.34 公尺/秒
	工業風扇-強	8.24 公尺/秒

表 4-3-1: 當模型還未置入風管時(沒有渦輪機模型時)，入流速度量測結果的平均值。

以上風速的量測位置分別位於風管的中、右、左、上、下等五個位置之平均值；各位置上的速度量測值原始數據如附錄一所示。

### 【方法二】

實驗系統中各元件介紹:

H：出風管 I：示波器



圖 4-3-4: 實驗系統架構與安排

(一) 實驗設計: 操作變因:風速 ( 11 m/s、10 m/s、9 m/s、8 m/s、7 m/s )。

(二) 實驗過程: 移動出風管，調整集風罩與出風管的距離，產生不同風速。

### 實驗結果：

風速越強，則渦輪機轉速越大。

以下三圖顯示 模型 1 在小風管(直徑 9 公分)中，不同風速所呈現的輸出電壓的波形圖。

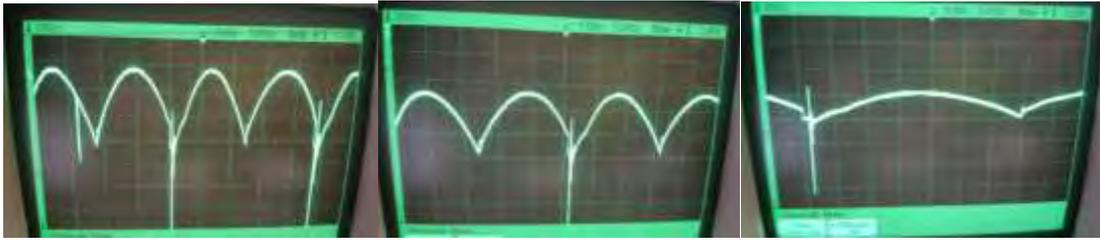
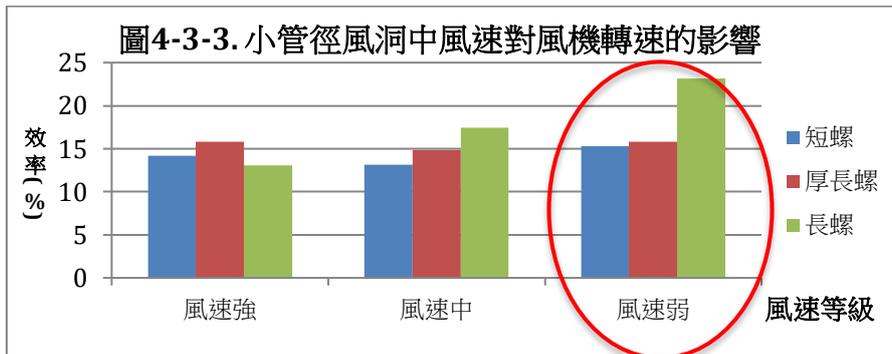


圖 4-3-1:當風速為 8.24 m/s 7.34 m/s 6.44 m/s 時，輸出電壓的波型(風速等級:強中弱)。



以下三圖顯示 模型 3 在大風管 (直徑 12 公分)中，不同風速所呈現的輸出電壓的波形圖。

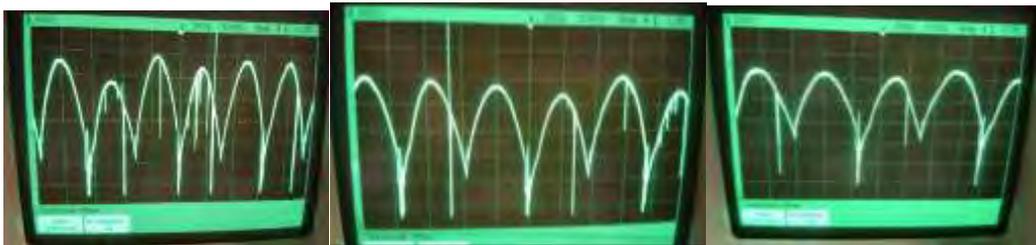
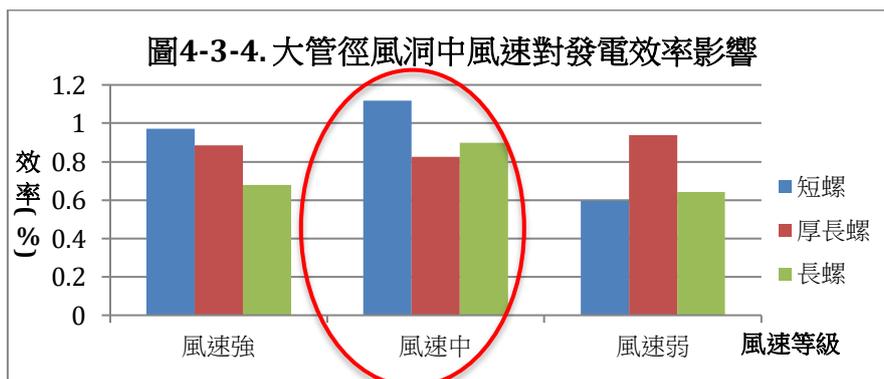


圖 4-3-2:當風速為 7.24 m/s 6.66 m/s 5.98 m/s 時，輸出電壓的波型(風速等級:強中弱)。



由以上兩組三種波形圖可知:入流風速越快，在相同時間內產生的波數越多，亦即頻率越高，且振幅也越大。

因此，由實驗結果推知：螺形水輪適合低風速的小管徑低壓流體的水圳，發電效能較高(圖 4-3-3)；在大管徑的水輪則須提高流體壓力(中等風速)才能獲得較高發電效能，而且發電效能低於小管徑的 5%(圖 4-3-4)

#### 實驗四、探討旁通比對渦輪機轉速的影響

- (一) 實驗目的: 將渦輪機罩上不同管徑的圓管 (9 公分、12 公分) 或風管時，計算渦輪機的發電效率。
- (二) 使用器材及軟體: 風道、渦輪機模型、風流量計
- (三) 實驗設計: 操作變因為流通比(風管的不同內徑)
- (四) 實驗過程: 同實驗三，先測量沒有模型時的風速

#### 效率計算：

輸出、輸入功率可以下列各式(式 1, 2)分別計算之，並據以計算發電效率(式 3)

$$\text{輸出功率} = V(\text{電壓振幅}) * I(\text{固定電流}) \text{-----}(1)$$

$$\text{輸入功率} = \dot{m} V^2 / 2 \text{-----}(2)$$

$$\text{發電效率} = \text{輸出功率} / \text{輸入功率} \text{-----}(3)$$

當我們直接用表 4-3-1 的數據計算時，效率非常低，其原因是:表 4-3-1 的風速是沒有渦輪機模型阻擋時的速度，但是實際做實驗時，風會被渦輪機及馬達阻擋，因此實際的風速並沒有那麼大，故計算效率時，應代「有裝設模型時之風速」。因此我們利用進出口質流量  $\dot{m}$  不減定律，如(4)式，作了以下修正，其結果如表 4-4-1~4-4-6 所示:

$$\text{出管速度} * \text{出管時截面積}(\text{圓管面積} - \text{渦輪機截面積}) = \text{入管速度} * \text{入管時截面積} \text{---}(4)$$

例: 小管徑半徑 4.5cm，長螺尾端半徑 3.56cm；入管速度=[1-(3.56/4.5)\*(3.56/4.5)]\*出管速度

大風管短螺(內徑 12 公分)(加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	5.05 公尺/秒  入管速度:3.07 公尺/秒
	右	4.74 公尺/秒	
	左	5.02 公尺/秒	
	上	5.37 公尺/秒	
	下	5.06 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	5.73 公尺/秒  入管速度:3.49 公尺/秒
	右	5.39 公尺/秒	
	左	5.84 公尺/秒	
	上	6.14 公尺/秒	

	下	5.56 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.51 公尺/秒  入管速度:3.96 公尺/秒
	右	6.55 公尺/秒	
	左	6.73 公尺/秒	
	上	6.85 公尺/秒	
	下	5.92 公尺/秒	

註:中間位置因為被渦輪機擋住，故無風速

表 4-4-1:有模型①時，在大風管出口截面上各點所量測的風速。

其餘裝置的原始數據(表 4-4-2~表 4-4-6)如附錄二所示

再依表 4-4-1~4-4-6 的入管速度當作是以下計算的數據，計算於不同流通比(風管)下，渦輪機的功率。

#### 研究結果：

在相同的風速等級下，風管徑越小，風速較快，渦輪機的轉速也會比較快。

其中，**旁通比**=[圓管截面積-渦輪機截面積(尾端)]/ 圓管截面積。

以渦輪機③為例:

渦輪機底部之半徑=3.56 公分，底部截面積為  $3.56*3.56*\pi \approx 39.795$  平方公分。

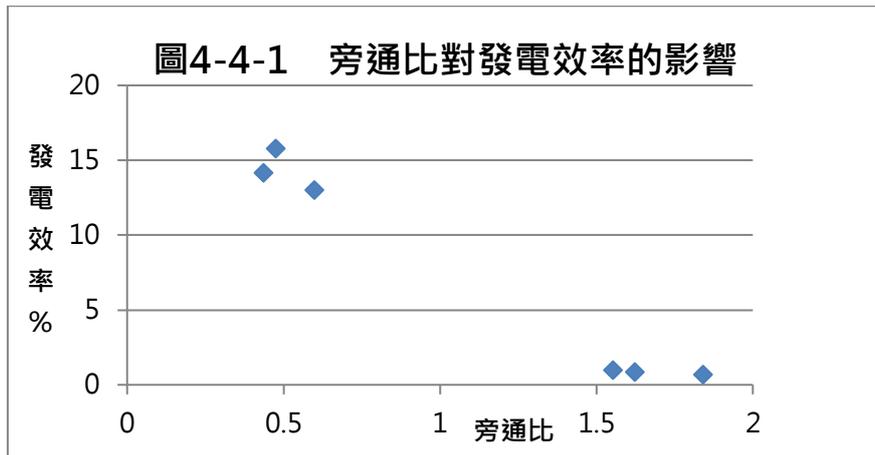
圓管半徑=6 截面積為  $6*6*\pi \approx 113.04$  平方公分。

圓管截面積-渦輪機截面積  $113.04-39.795=73.245$  平方公分。

因此尾端的旁通比= $73.245/113.04=0.648$ 。

表 4-4-1: 各模型置入大小風管中之旁通比計算結果

旁通比	渦輪機半徑	渦輪機面積	9cm area	9 - RPB	12cm area	12 - RPB
短螺	3.755	44.27408	63.585	0.304	113.04	0.610
厚長螺	3.705	43.10286	63.585	0.322	113.04	0.619
長螺	3.56	39.7951	63.585	0.374	113.04	0.648



以下二圖顯示 模型 1 在大、小風管中，強風速所呈現的輸出電壓的波形圖。

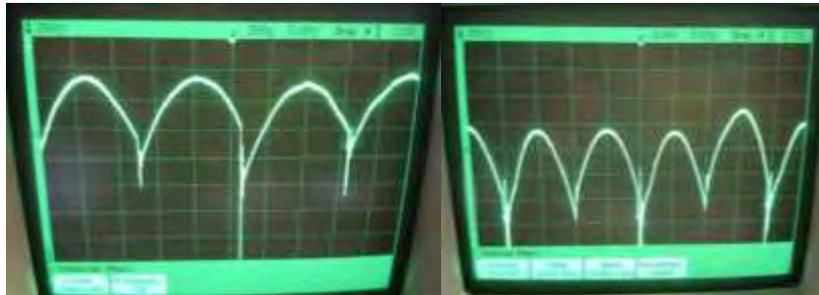


圖 4-4-2:當風速為 6.31m/s 6.56m/s 時(大風管)，輸出電壓的波型(風速等級:強)。

以下二圖顯示 模型 3 在大、小風管中，強風速所呈現的輸出電壓的波形圖。

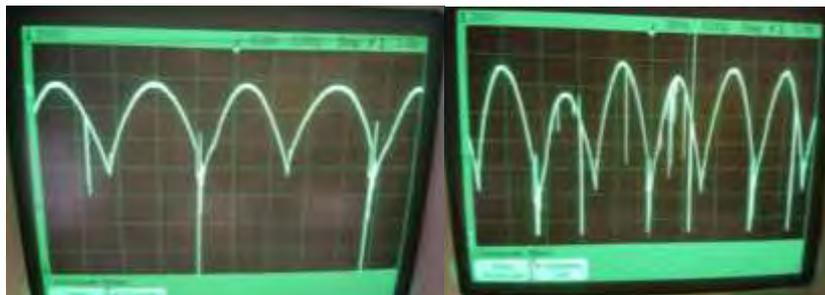


圖 4-4-3:當風速為 6.85 m/s 6.30 m/s 時(大風管)，輸出電壓的波型(風速等級:強)。

以下二圖顯示 模型 2 在大、小風管中，強風速時所呈現的輸出電壓的波形圖。

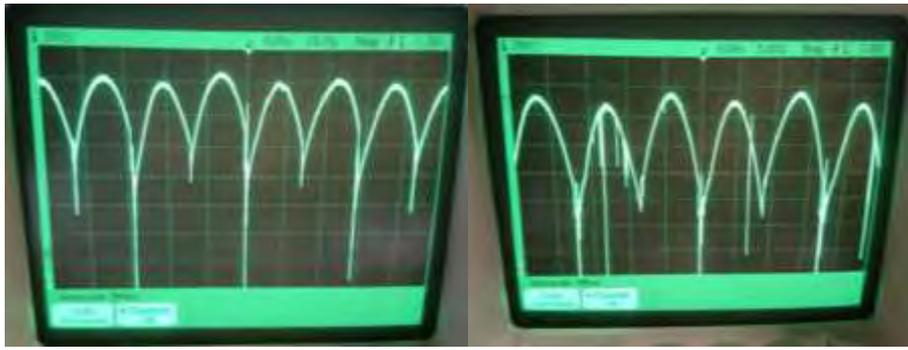


圖 4-4-4:當風速為 3.38 m/s 1.82 m/s 時(大風管)，輸出電壓的波型(風速等級:強)。

算效率的方法:

$$\text{輸入功率} = \frac{1}{2} m v^2 \text{-----}(5)$$

$$\text{輸出功率} = VI \text{-----}(6)$$

例: 在風速為 5 公尺/秒，直徑(圓管)為 9 公分，輸出電壓 1.5 伏特，輸出電流 15 毫安培時:

$$P(\text{in}) = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho \bar{v} A \bar{v}^2 = \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 = 0.5 * 1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi * 0.09 * 0.09 * \text{m}^2}{4} * 5^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 0.489 \text{ N-m/s} = 0.489 \text{ Watt}$$

$$\text{輸出功率} = VI = 1.5\text{V} * 15\text{mA} = 0.00225 \text{ Watt}$$

$$\text{發電效率} = 0.00225 / 0.489 = 4.6\%$$

表 4-4-3: 模型 1 在大風管中，不同入流風速的發電效率

風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)	
大風管:直徑 12 公分	大	1.35	0.954224	
		1.5		
		1.35		
短螺(模型 1)	中	1.1	1.1	1.246507
旁通比:0.610	小	0.8	0.4	0.819831
		0.9		
		0.7		

註: 一格振幅為 200 毫伏特。

表 4-4-4: 模型 3 在大風管中，不同入流風速的發電效率

風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)
大	1.35	1.374	0.677851

大風管:直徑 12 公分 長螺(模型 3) 旁通比:0.648		1.4		
		1.4		
		1.35		
	中	1.2	1.225	0.897378
		1.25		
		1.25		
	小	1.2	0.55	0.643407
0.55				

表 4-4-5: 模型 2 在大風管中，不同入流風速的發電效率

	風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)
大風管:直徑 12 公分 厚長螺(模型 2) 旁通比:0.619	大	1.25	1.2875	0.883502
		1.35		
		1.3		
		1.25		
	中	0.95	1.0335	0.824462
		1		
		1.05		
1				
1.1				
小	1.1	0.8375	0.938838	
	0.8			
	0.95			
	0.8			

表 4-4-6: 模型 1 在小風管中，不同入流風速的發電效率。

	風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)
小風管:直徑 9 公分 短螺(模型 1) 旁通比:0.304	大	1.5	1.525	24.369965
		1.55		
		1.6		
		1.45		
	中	0.95	1	32.596720
		1.05		
		1		
小	0.5	0.6	43.221655	
	0.7			

。

表 4-4-7: 模型 3 在小風管中，不同入流風速的發電效率

	風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)
小風管:直徑 9 公分 長螺(模型 3) 旁通比:0.374	大	2.2	2.225	12.8194094
		1.9		
		2.4		
		2.1		
		2.4		
		2.35		
	中	1.9	1.84	12.54051048
		1.85		
		1.65		
		2.05		
		1.75		
	小	1.6	1.6125	13.13063546
		1.6		
		1.55		
		1.7		

表 4-4-8: 模型 2 在小風管中，不同入流風速的發電效率

	風速等級	振幅(格)	平均(格)	效率(%)
小風管:直徑 9 公分 厚長螺(模型 2) 旁通比:0.322	大	1.7	1.75	14.260979
		1.6		
		1.35		
		1.75		
		1.85		
	中	1.5	1.39	16.629584
		1.4		
		1.4		
		1.25		
		1.4		
	小	1.25	1.2375	24.440784
		1.2		
		1.2		
		1.3		

### 實驗五、探討不同螺形(角度)的影響

結果如以上實驗四之表格所示。

以下為三個渦輪機模型的頭端及尾端半徑大小圖

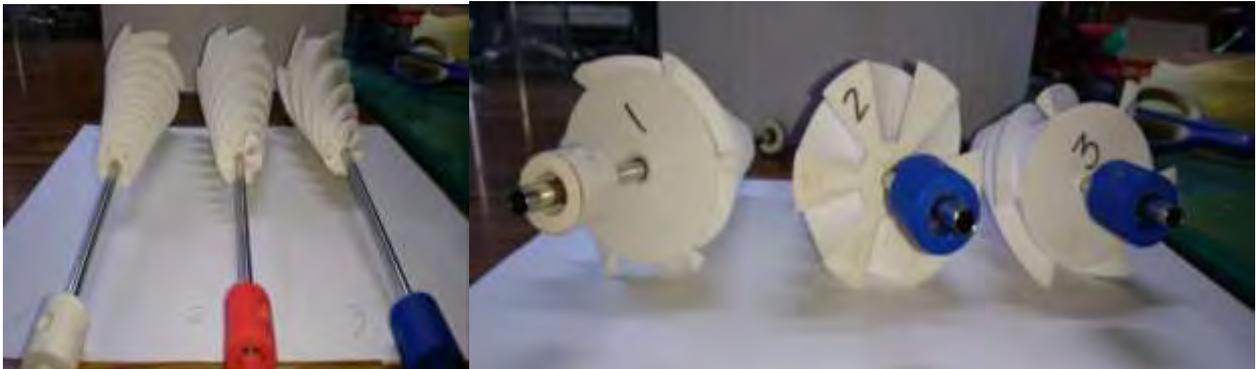
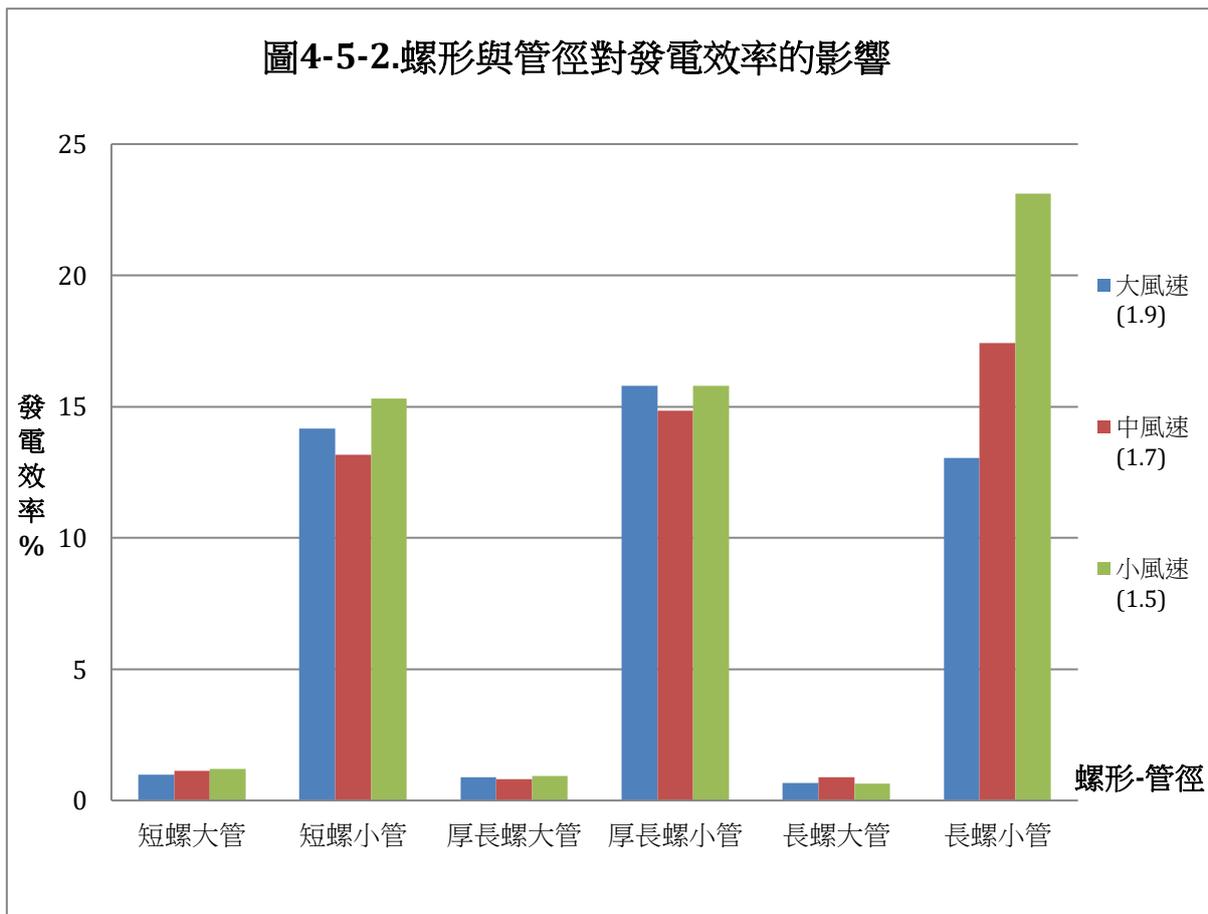


圖 4-5-1: 各渦輪機模型之頭端(左圖)及尾端(右圖)

由上兩圖可看出扇葉與渦輪機截面的關係：因為渦輪機模型轉的圈數不同( $2\pi$ 、 $4\pi$ )，扇葉與渦輪機截面的夾角也不一樣，改變入流風推動渦輪機的力量，進一步影響模型的效率。



## 伍、討論

- 一、本研究根據螺殼外型變化設計出的渦輪發電機，不論短螺及長螺都可以得到顯著相關的螺線方程式，因此，觀測鳳螺螺殼結構可以獲得適當的螺線方程式提供水輪設計參用，可以改良渦輪機的結構、進一步運用於水圳發電，使其效率更加提升。
- 二、實驗結果顯示: 在相同的人流速度時，直徑越小的風管(即流通比越小)，風量較集中、風速較大，推動渦輪機的力也較大，渦輪機可以有效的運用風能，因此渦輪機轉速較快，轉換效率高。
- 三、當旁通比越小時，在渦輪機模型尾端的流速大增，單位時間內衝擊在尾端葉片上的衝量(或作用在葉片上的力量)越大，加上尾端的半徑較大，因此，提供較大的轉動力矩，使得渦輪機易於被推動，因此渦輪機模型之轉速會增加。
- 四、三個模型中，當螺線旋轉角度較大時(相同短度，螺線轉 2 圈時)，入流速度在葉片垂直方向的分量較小，因此推動渦輪機葉片的力量與力矩均較小，因此，渦輪機模型的轉速也將變慢。風進入短螺形渦輪機時，風與受風葉面的角度幾乎呈垂直，因此風進入並沿著渦輪機流道的風量比較小，並且產生迴風；相對地，風進入長螺形渦輪機時，風沿著渦輪機流道的角度比較平緩，因此風量會較多，轉速也會較快。因此長螺形渦輪機的轉換效率就比較高。(如圖 5-5-1 所示)

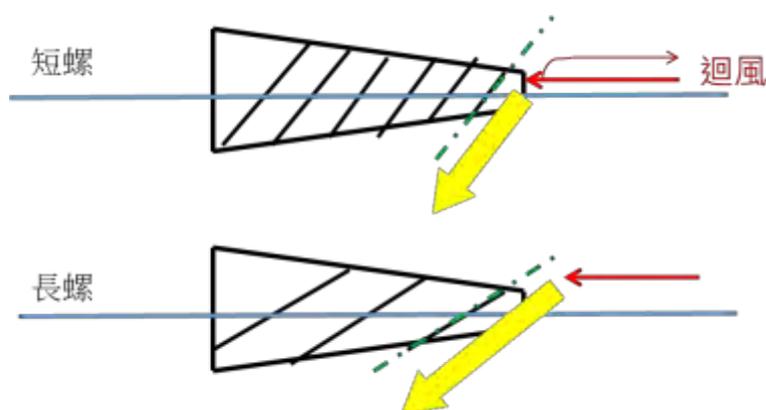
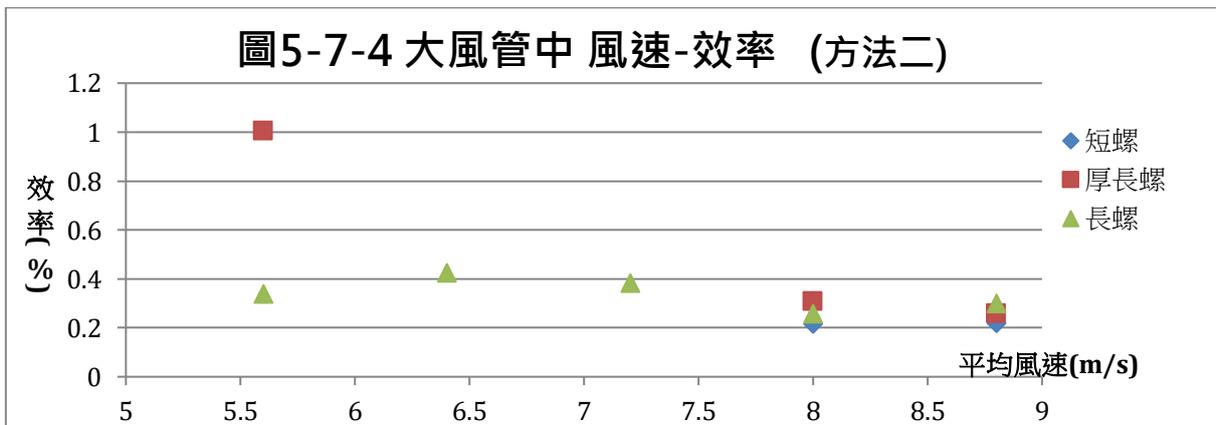
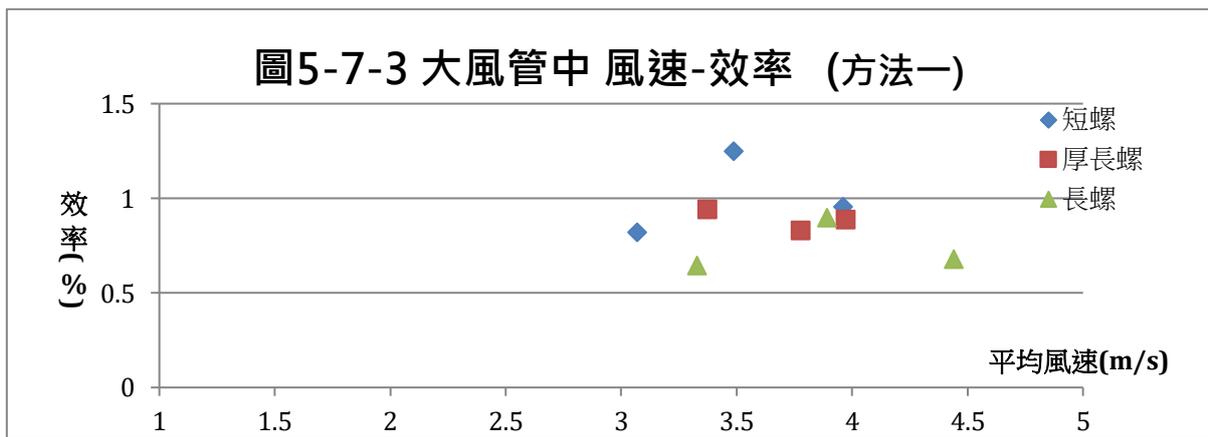
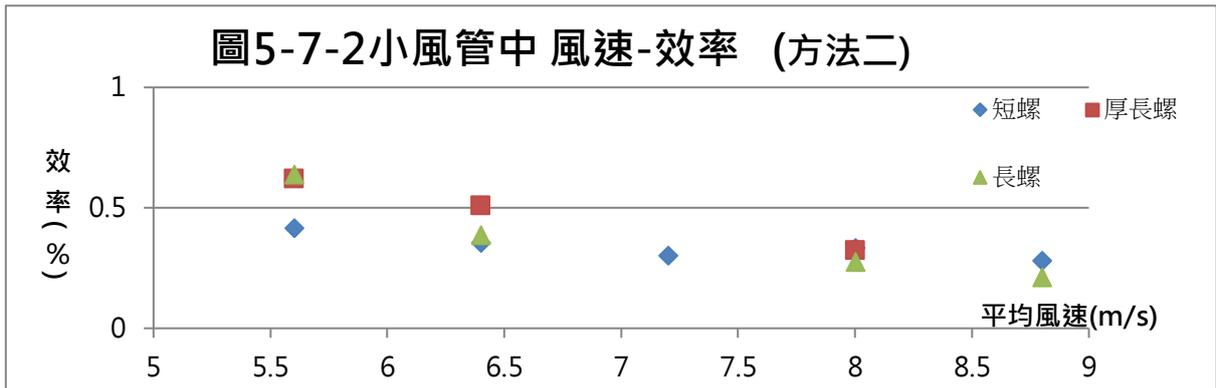
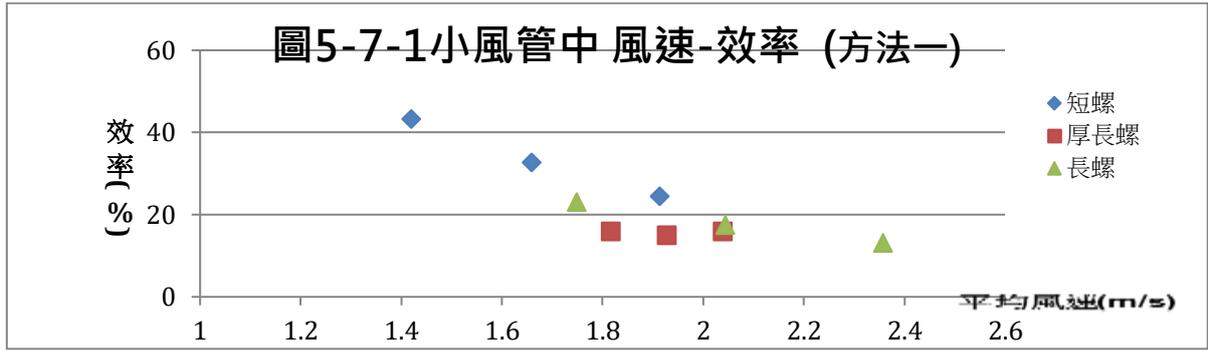


圖 5-4-1 迴風的形成

- 五、厚長螺(渦輪機 2)實驗的信號較穩定，雜訊較少，可能是因為模型的葉片重量較重，轉動慣量較大，轉速較為穩定。在同樣的輸入能量時，模型若具有較大的慣性，轉速會較慢，發電機的伏特振幅較小。因為電壓小，而電流固定，所得到發電量或輸出能量會較小，因此效率比起前幾個較輕模型者較小。
- 六、短螺(渦輪機 1)於 [方法二]，在高風速(7、8、9m/s)時因轉動慣量過小，渦輪機本身雖然可以轉得很快，但一旦接上發電機，就會停滯。因此我們今後設計渦輪機時還須考慮到是否會因轉動慣量過小而無法發電等問題。

七、以下是我們分別以[方法一]、[方法二]做出來的風速-效率圖表:



## 陸、結論

- 一、以實驗方式利用螺殼結構參數求出各參數的平均值，進而推導出一個通式，並將其應用於渦輪機模型之製作。研究結果顯示: 與大型的水平軸或垂直軸風力發電機比較，螺形水平渦輪前方小螺可以提供導流及利用渦流提供適當的轉動慣量，並且在產生適當的旁通比條件之下，其發電效率也相對比較高。

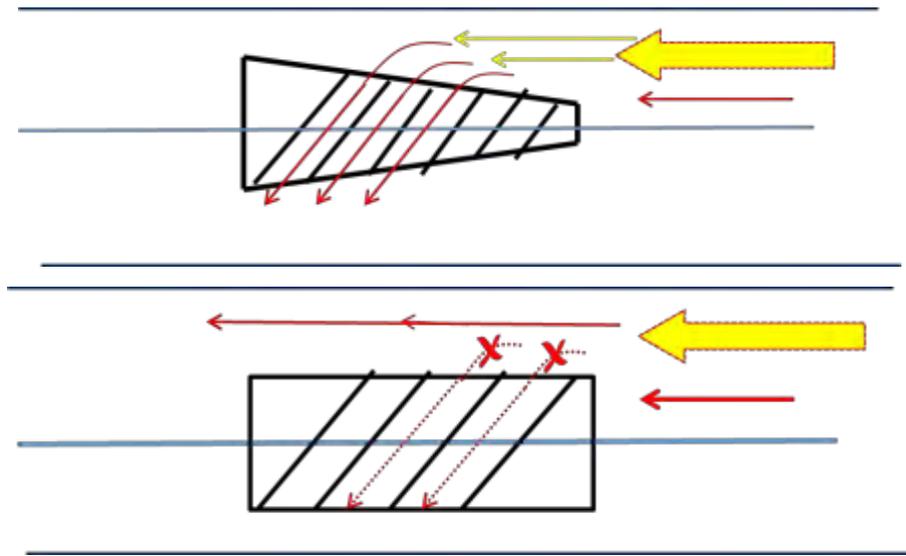


圖 6-1-1 螺形對旁通比的影響

- 二、長螺葉片斜面雖然與風進入的角度較短螺大，造成渦輪機推動的分力較大，不過吹進來的風直接打到管壁上，後端無法產生渦流擾動扇葉，造成效率較低(如圖 6-3-1)。短螺斜面與風進入的角度較小，進入的風可在後端產生渦流擾動葉片，並帶動發電機，效率較高。
- 三、不管是用[方法一]或是[方法二]，我們都得出以下趨勢:
  - (1) 風速越大效率越低。
  - (2) 旁通比較大，效率越高。

我們發現，[方法二]的效率明顯比[方法一]的效率低上許多，我們推測風速-效率的關係可能呈現二次曲線，風速越大，效率越差。

另外，當風速非常高時(8m/s、9m/s)，風壓很大，風被迫直線前進而無法進入更深層的渦旋，因而不能產生渦流來推動葉片。(如圖 6-3-1 所示)

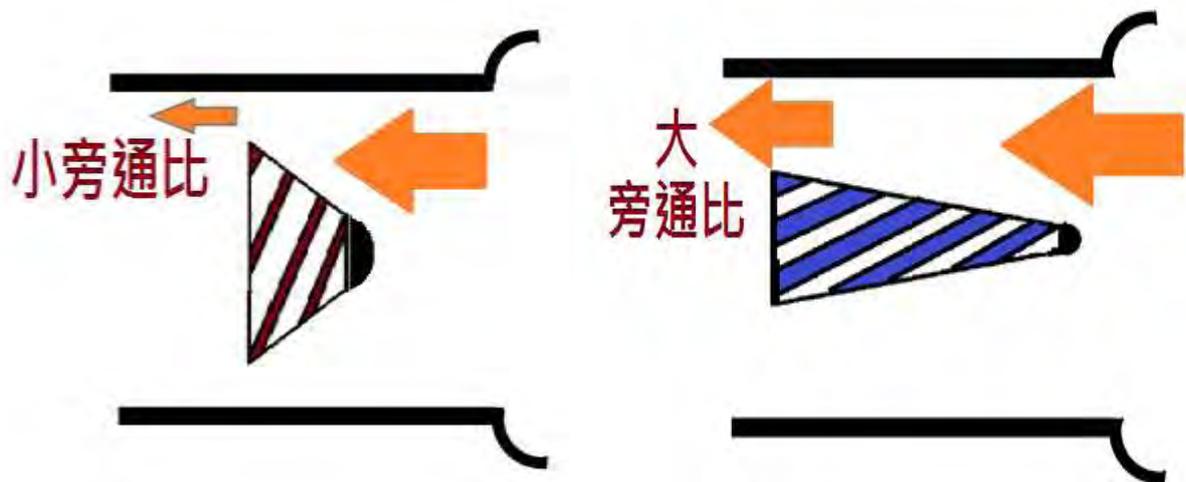


圖 6-3-1 風壓與旁通比的比較

四、 承二、三兩點所述，我們發現【方法二】中，模型前端的長螺形螺紋應是導流效果，後段的短螺形螺紋水輪才是推動渦輪機的主力轉動慣量區，因此我們設想將長螺與短螺結合，長螺當作前端的導流螺旋；而短螺當做渦輪機主力轉動慣量區。(如圖 6-4-1)

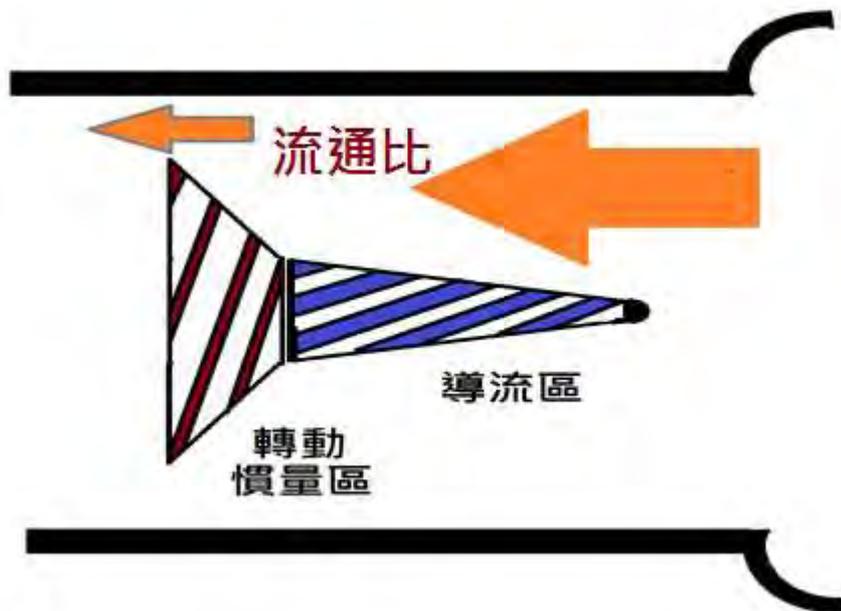


圖 6-4-1 結合兩種螺形水輪的渦輪機設計

五、 整理實驗數據發現幾項可能影響功率之因素:

- (一) 風速：風道末端的風速大小
- (二) 重量：重量越大，慣性會越大(令同半徑時)。重量越大，轉速會因質量大而較慢，輸出功率會較小。

- (三) 渦輪機總長：實驗中使用的渦輪機的總長提供適當地旁通比，因此渦輪機的長度與功率的關係往後必須加以計算。
- (四) 風管直徑大小：出管風速較低，代表消耗的動能較多，小管徑的功率會較大。
- (五) 風進入渦輪機螺線旋轉流道的角度：當風輸入與渦輪機葉片夾的角度越大時，推動葉片的分量越小，故功率會較差。

六、現今的風力發電機(轉換效率理論值為 59%，垂直型風機的效率約為 10%~30%，水平式風機效率約為 30%~45%)，本研究的渦輪機屬於高功率的水輪，由於易於製造、裝置小、價格便宜，可以運用在社區內灌溉水圳或汗水水道，如同現今於居家使用的太陽能熱水器等，不失為未來再生能源的一個新出路。

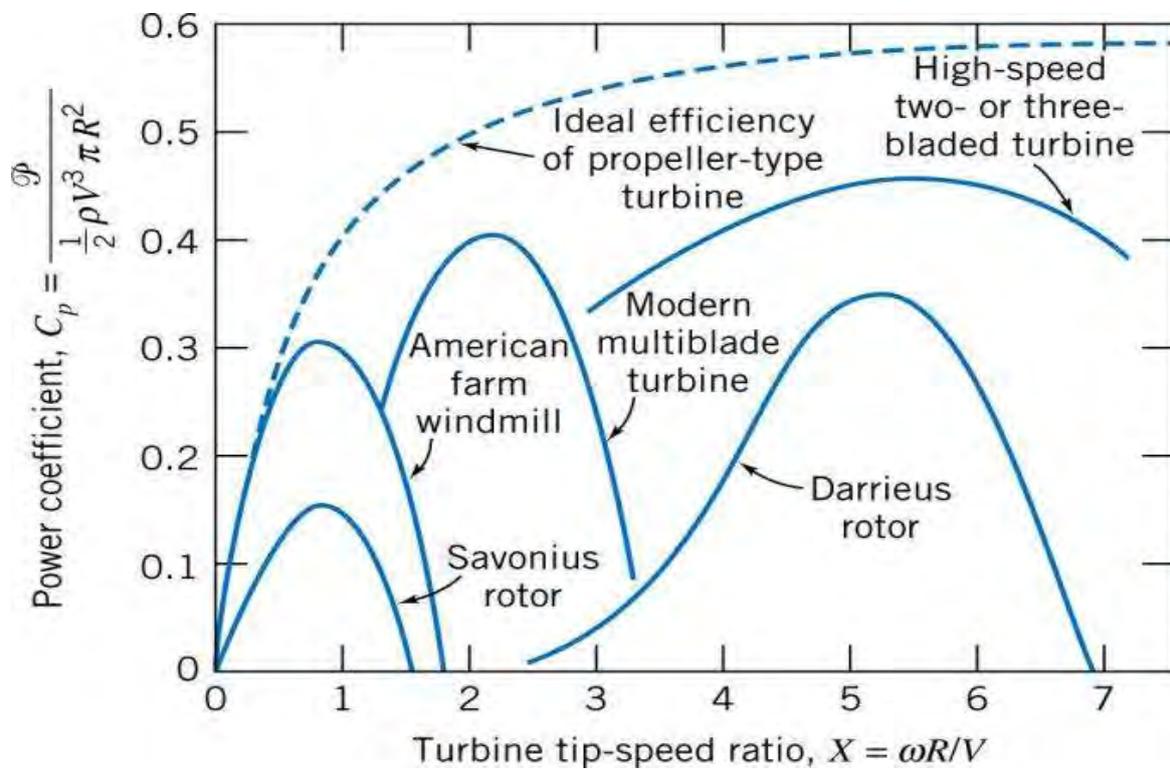


圖 7-3-1 不同渦輪機的功率

七、未來希望設計以下的渦輪機，繼續提供轉換效率更高的渦輪機:

- (一) 不同長度組合水輪的渦輪機
- (二) 不同旋轉角組合水輪的渦輪機
- (三) 不同旁通比的導流管

## 柒、參考文獻及其他

- 一、船舶推進基本原理，MAN Diesel & Turbo - MAN 集團成員公司。
- 二、李咏璇、鄭亦芩、鄭亦珊(2016)蝸牛殼的秘密-特奧多魯斯螺旋的應用。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會作品說明書。2018.03.03 節錄自：  
<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030411.pdf>
- 三、象牙鳳螺的種苗生產 - 水產試驗所，水產試驗所技術手冊。2017.02.07 節錄自：  
[www.tfrin.gov.tw/dl.asp?fileName=6122713404471.pdf](http://www.tfrin.gov.tw/dl.asp?fileName=6122713404471.pdf)
- 四、姚杰邑、張詩篇、林敬旻、朱唯與(2016)旋轉吧！貝殼！---貝殼製造漩渦原理與變因之研究。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品集。2017.02.17.節錄自：  
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080110.pdf>
- 五、渦旋與螺線  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B8%A6%E6%97%8B>  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=39449>
- 六、陳政宏、李志揚(2000)淺談流體中生物的推進方法與仿生推進  
<http://myweb.ncku.edu.tw/~chenjh/science/biomimetic-prop/bio-prop.html>
- 七、展弦比 羅豐州(2011)飛行力學，國立台南大學。2017.02.17.節錄自：  
<http://web.nutn.edu.tw/gac370/newweb/sir/luofly.htm>
- 八、黃柏涵、陳佳瑜、蕭雅馨、陳頌潔(2015)如鷹展翅上騰 - 重新得“力”，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品集。2017.02.17.節錄自：  
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316/031602.pdf>
- 九、升力國家教育研究院。2017.02.17.節錄自：<http://terms.naer.edu.tw/detail/1328434/>
- 十、流阻力 李明峯、吳僑鳴、陳鎧文、黃材成(2012)海流發電載具之流阻力及慣性力係數測定，第 34 屆海洋工程研討會論文集。2017.02.17.節錄自：  
<http://www.tsoe.org.tw/downloads/thesis/2012B6.pdf>
- 十一、螺的環境習性  
賴劭筠、金孟潔、劉致君、徐浚祐(2005)橫渡河海的勇士---探討蜆螺的生存策略，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品集。2017.02.17.節錄自：  
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0317/031702.pdf>

附錄一

大風管(內徑 12 公分) (沒有模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	5.9 公尺/秒	5.98 公尺/秒
	右	5.9 公尺/秒	
	左	6.1 公尺/秒	
	上	6.1 公尺/秒	
	下	5.9 公尺/秒	
工業風扇-中	中	6.8 公尺/秒	6.66 公尺/秒
	右	6.6 公尺/秒	
	左	6.8 公尺/秒	
	上	6.6 公尺/秒	
	下	6.5 公尺/秒	
工業風扇-強	中	7.4 公尺/秒	7.24 公尺/秒
	右	7.1 公尺/秒	
	左	7.4 公尺/秒	
	上	7.3 公尺/秒	
	下	7.0 公尺/秒	

小風管(內徑 9 公分) (沒有模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	6.2 公尺/秒	6.44 公尺/秒
	右	6.4 公尺/秒	
	左	6.4 公尺/秒	
	上	7.1 公尺/秒	
	下	6.1 公尺/秒	
工業風扇-中	中	7.1 公尺/秒	7.34 公尺/秒
	右	7.4 公尺/秒	
	左	7.3 公尺/秒	
	上	8 公尺/秒	
	下	6.9 公尺/秒	
工業風扇-強	中	8 公尺/秒	8.24 公尺/秒
	右	8.5 公尺/秒	
	左	8.1 公尺/秒	
	上	9 公尺/秒	
	下	7.6 公尺/秒	

附錄二

大風管長螺(內徑 12 公分) (加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	5.14 公尺/秒  入管速度:3.33 公尺/秒
	右	4.76 公尺/秒	
	左	5.34 公尺/秒	
	上	4.86 公尺/秒	
	下	5.59 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	6.01 公尺/秒  入管速度:3.89 公尺/秒
	右	5.85 公尺/秒	
	左	6.42 公尺/秒	
	上	5.73 公尺/秒	
	下	6.02 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.85 公尺/秒  入管速度:4.44 公尺/秒
	右	6.26 公尺/秒	
	左	7.35 公尺/秒	
	上	6.52 公尺/秒	
	下	7.28 公尺/秒	

表 4-4-2:有模型③時，在大風管出口截面上各點所量測的風速。

大風管厚長螺(內徑 12 公分) (加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	5.46 公尺/秒  入管速度:3.38 公尺/秒
	上	6.23 公尺/秒	
	右	5.44 公尺/秒	
	左	5.29 公尺/秒	
	下	4.87 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	6.11 公尺/秒  入管速度:3.78 公尺/秒
	上	7.08 公尺/秒	
	右	6.43 公尺/秒	
	左	5.77 公尺/秒	

	下	5.17 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.43 公尺/秒  入管速度:3.98 公尺/秒
	上	7.33 公尺/秒	
	右	6.76 公尺/秒	
	左	5.98 公尺/秒	
	下	5.64 公尺/秒	

表 4-4-3:有模型②時，在大風管出口截面上各點所量測的風速。

小風管長螺(內徑 9 公分) (加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	4.68 公尺/秒  入管速度:1.42 公尺/秒
	上	5.09 公尺/秒	
	右	4.77 公尺/秒	
	左	4.08 公尺/秒	
	下	4.76 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	5.46 公尺/秒  入管速度:1.66 公尺/秒
	上	5.97 公尺/秒	
	右	5.65 公尺/秒	
	左	4.80 公尺/秒	
	下	5.43 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.30 公尺/秒  入管速度:1.91 公尺/秒
	上	6.77 公尺/秒	
	右	6.62 公尺/秒	
	左	5.64 公尺/秒	
	下	6.17 公尺/秒	

表 4-4-4:有模型①時，在小風管出口截面上各點所量測的風速

小風管長螺(內徑 9 公分) (加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	5.65 公尺/秒  入管速度:2.11 公尺/秒
	上	6.21 公尺/秒	
	右	5.69 公尺/秒	

	左	5.92 公尺/秒	
	下	4.76 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	5.99 公尺/秒 入管速度:2.24 公尺/秒
	上	6.58 公尺/秒	
	右	6.26 公尺/秒	
	左	5.88 公尺/秒	
	下	5.24 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.34 公尺/秒 入管速度:2.37 公尺/秒
	上	6.91 公尺/秒	
	右	6.59 公尺/秒	
	左	6.16 公尺/秒	
	下	5.68 公尺/秒	

表 4-4-5:有模型③時，在小風管出口截面上各點所量測的風速。

小風管厚長螺(內徑 9 公分) (加入模型時)			
風速等級	位置	風速	平均風速
工業風扇-弱	中	無	4.88 公尺/秒 入管速度:1.57 公尺/秒
	右	5.42 公尺/秒	
	左	4.41 公尺/秒	
	上	5.06 公尺/秒	
	下	4.63 公尺/秒	
工業風扇-中	中	無	5.77 公尺/秒 入管速度:1.86 公尺/秒
	右	6.58 公尺/秒	
	左	5.28 公尺/秒	
	上	5.81 公尺/秒	
	下	5.40 公尺/秒	
工業風扇-強	中	無	6.56 公尺/秒 入管速度:2.11 公尺/秒
	右	7.22 公尺/秒	
	左	5.81 公尺/秒	
	上	7.10 公尺/秒	
	下	6.09 公尺/秒	

表 4-4-6:有模型②時，在小風管出口截面上各點所量測的風速。

## 【評語】 051809

本實驗以仿生學的角度，以鳳螺的螺旋結構為型，探討導流效率，嘗試研究高效率的發電裝置，典型實驗，較少新穎思維。比較像實驗課程，依照仿生結構量測，內容主要在呈現所紀錄的導流量，較少創新分析。主要結論的風速越大效率越低，及旁通比較大效率越高，並無新穎意涵。實驗以測量歸納（嘗試錯誤）為主，是工程式的實驗，應可增加科學性探討。

# 一、研究動機



圖1-1.鳳螺殼剖面

目前台灣的綠能產業正在開發水圳發電，因此我們想要利用仿生學探討螺形變化在渦輪機設計上會帶來甚麼效果。於是，我們研究最常見的鳳螺，以它的螺形結構來改善渦輪機，希望可以藉由**仿生學**製作出更有效率的發電機。

# 二、研究目的

- (一) 分析鳳螺殼的結構參數，並推導螺線方程式
- (二) 探討風速對螺形渦輪機發電效率的影響
- (三) 探討旁通比對螺形渦輪機發電效率的影響
- (四) 探討不同螺形(角度)對螺形渦輪機發電效率的影響

# 三、研究方法

## 研究架構



## 研究器材

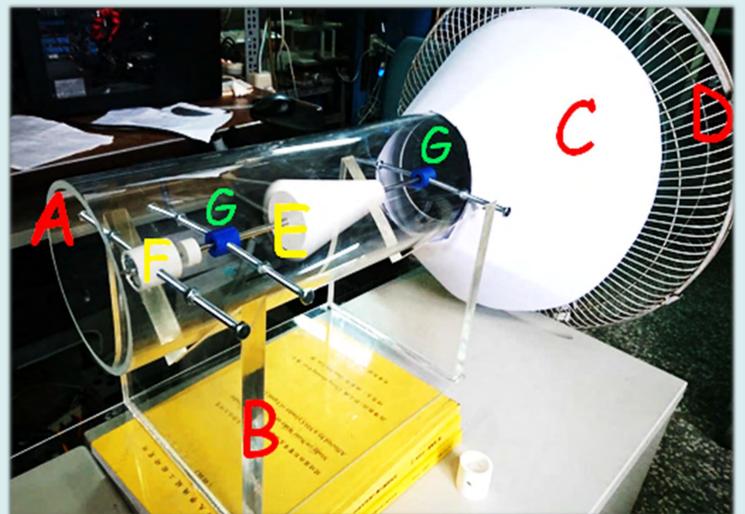
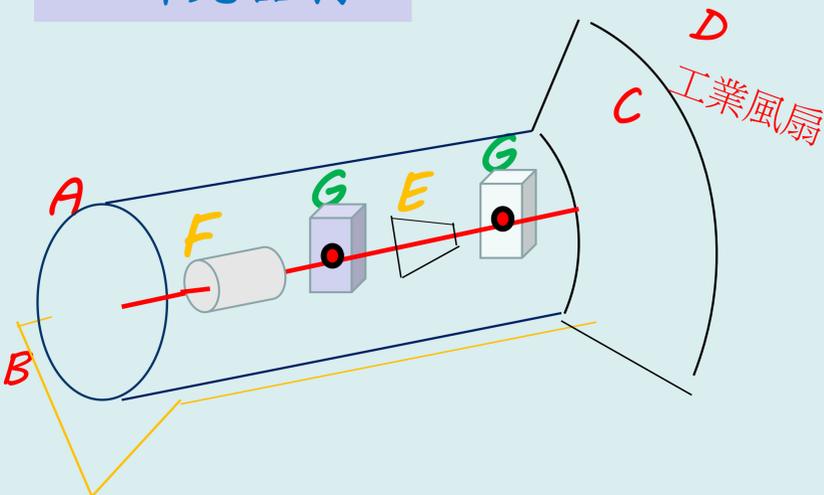


圖3-1.[方法一]裝置零件線圖(左)及實圖(右)

- |         |         |       |      |
|---------|---------|-------|------|
| A:玻璃圓管  | C:集風罩   | E:渦輪機 | G:軸承 |
| B:壓克力支架 | D:工業用風扇 | F:發電機 |      |



- |       |
|-------|
| I:示波器 |
| H:出風管 |

圖3-2.[方法二]裝置零件實圖

## 定義

計算效率的方法: ( v:風速 P:功率 V:電壓 I:電流 ρ:空氣密度 A:面積 )

$$\text{The input power} = \frac{1}{2} m v^2 = P(\text{in})$$

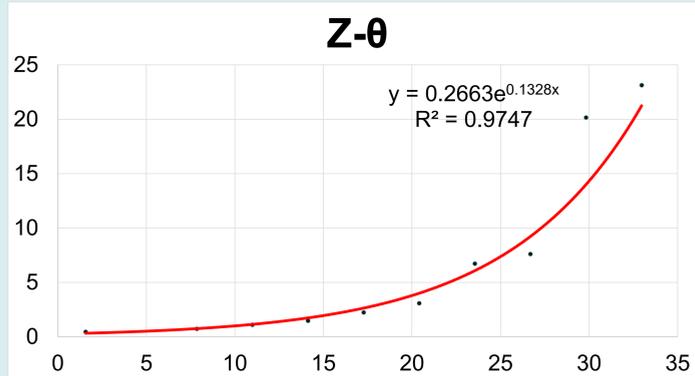
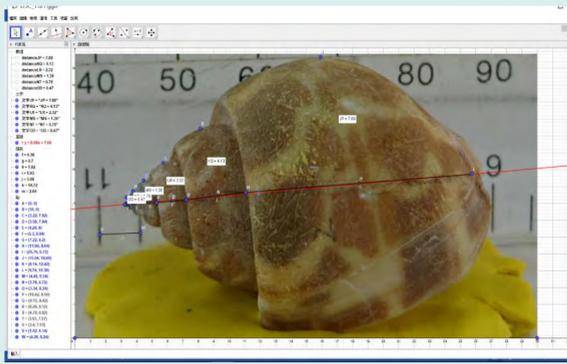
$$\text{The output power} = V * I$$

**效率** : output power / input power

**旁通比**: (導流管截面積-渦輪機截面積) / 導流管截面積

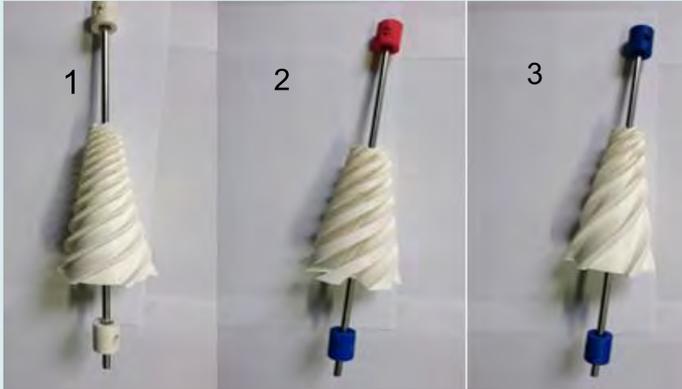
## 四、研究結果與討論

### 一、分析螺殼結構及推導螺線方程式：(弧度-距離) (距離-Z軸)



利用上述結果，設計一個六扇葉片緊密貼合的結構，葉片每一層均要旋轉一個 $\theta$ 角，使風道的形狀符合鳳螺螺殼的結構參數。

圖4-1.平均螺殼參數對角度作圖



#### 設計理念

模型一：短螺形。葉片輕，螺距小，風進入的角度大。  
 模型二：加厚長螺形。葉片較重，質量大，信號穩定。  
 模型三：長螺形。螺距大，矮胖形，風進入的角度小。

圖4-2.渦輪機的側視圖

### 二、探討風速對渦輪機發電效率的影響

圖4-3小風管中 風速-效率 (方法一)



圖4-4小風管中 風速-效率 (方法二)

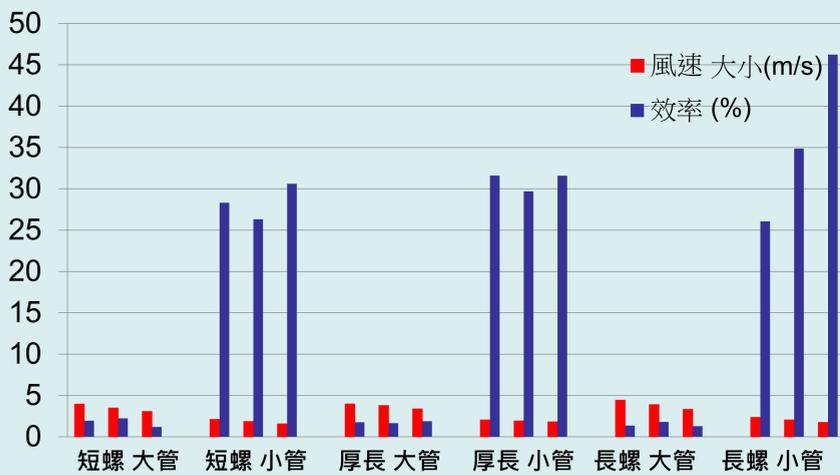
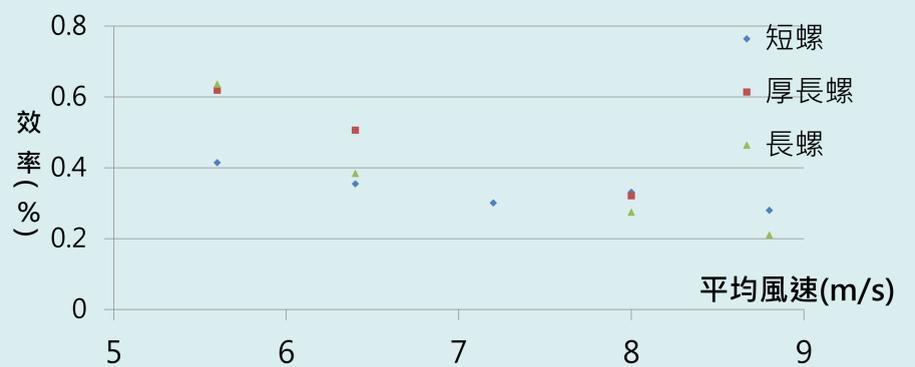


圖4-5.不同風速下渦輪機發電效率高低的比較

一般來說，風速越快，轉速越大，渦輪機的輸入功率較高，但因為葉片所能運用的能量不大，因此發電效率不甚高。

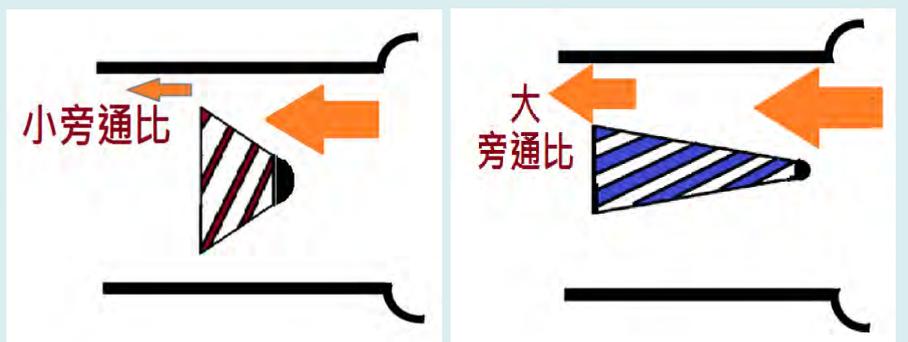
由左圖可看出效率的趨勢。除了風速的因素，效率也會因螺形不同而有所影響，無法只依單一的風速變因來判別它的效率高低。基本上，螺形渦輪機的發電效率以長螺型水輪在低風速的發電效能較高。

### 三、探討旁通比對渦輪機發電效率的影響：

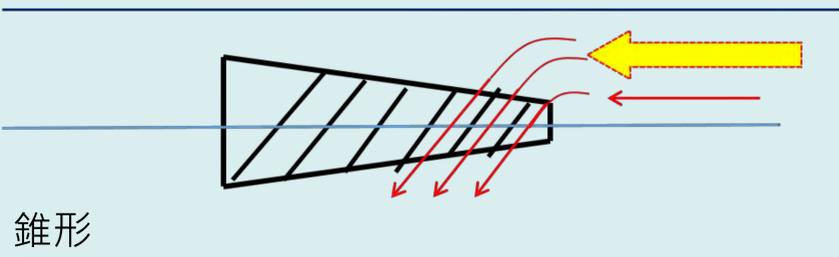


圖4-6.不同旁通比下渦輪機發電效率高低的比較

旁通比越小，通過空隙部分的風很少，幾乎所有的風能都用來推動渦輪機，利用效能最佳。9公分管徑的導流管旁通比較小，三種渦輪機的發電效率皆比在12公分管徑導流管來的高。

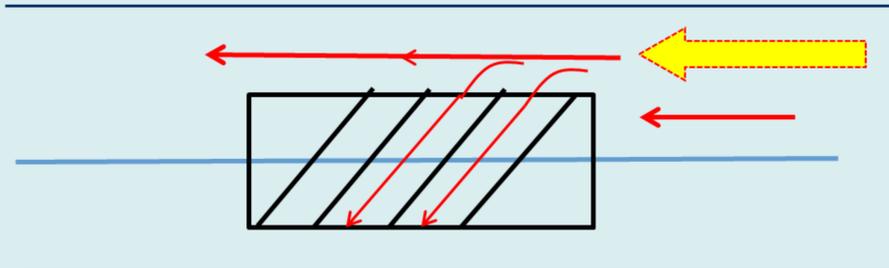


## 四、探討不同螺形(角度)對渦輪機發電效率的影響：



錐形

流場一致性較佳 → 效能高。



圓柱形

流場一致性較差 → 效能低。

圖4-7.流場一致性的影響

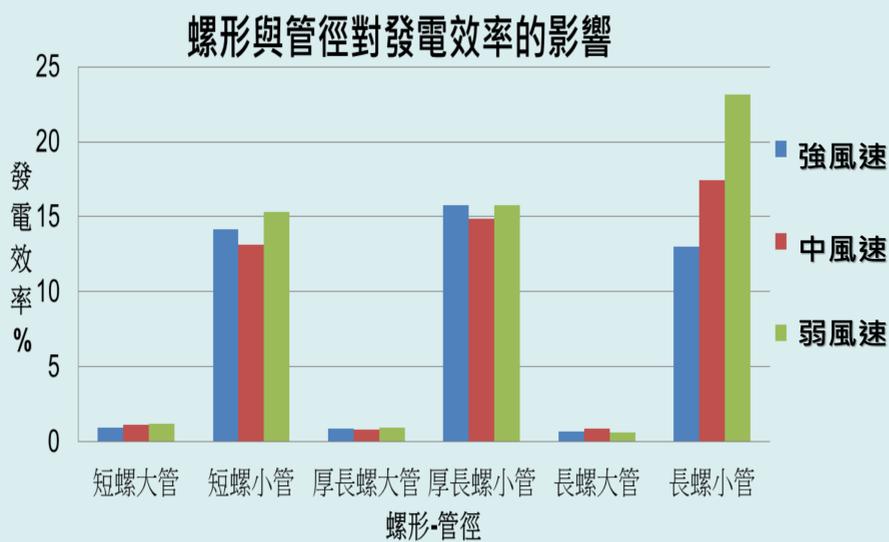


圖4-8.不同螺形角度對螺形渦輪機發電效率的比較

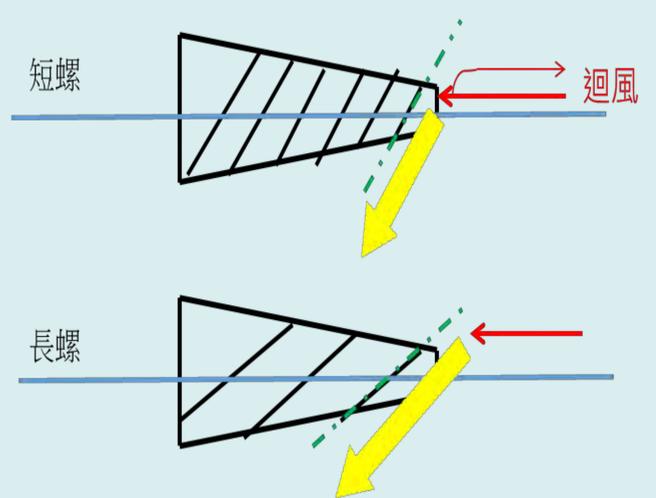
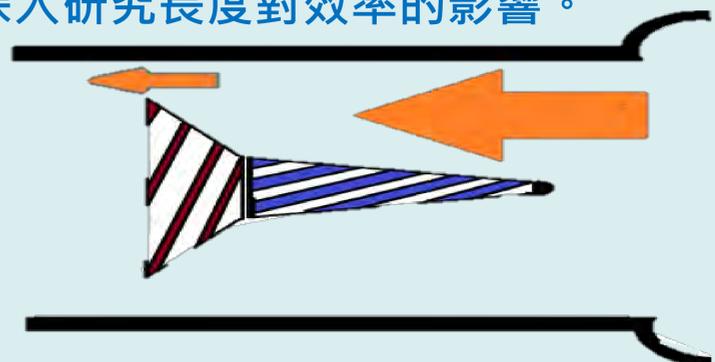


圖4-9.迴風的生成

## 五、結論與應用

- **螺殼結構參數** 符合 **等角螺線** 方程式。
- 厚長螺(渦輪機2)實驗的信號較穩定，是因為模型的葉片較厚，重量較重，慣性大，因此轉速較為穩定。
- 不論以[方法一]或[方法二]計算發電效能，都可得出**螺形渦輪機**的發電趨勢：
  - 風速較小，效率較高。
  - 旁通比較小，效率越高。
- 我們歸納出五點可能影響渦輪機輸出功率(與電壓有關)的變因，轉換效率有可能被旁通比等因素影響：
  - 入管風速：進入風道端的速度小，效率較高。
  - 旁通比：通過小直徑風管的風速會較快，小管徑的功率會較大。
  - 螺旋角度：當風輸入與渦輪機葉片夾的螺旋角度越大時，推動葉片的分量越小，故輸出功率會較小。
  - 水輪葉片重量：重量越大，慣性越大，轉動速度稍小，功率會較小。
  - 渦輪機總長：約略相等，未來可深入研究長度對效率的影響。
- 未來設計的渦輪機模型：
  - 前端長螺形作為導流區，
  - 後端短螺形作為轉動慣量區。



## 參考資料

1. 船舶推進基本原理，MAN Diesel & Turbo - MAN 集團成員公司。
2. 象牙鳳螺的種苗生產 - 水產試驗所，水產試驗所技術手冊。2017.02.07節錄自：  
[www.tfrin.gov.tw/dl.asp?fileName=6122713404471.pdf](http://www.tfrin.gov.tw/dl.asp?fileName=6122713404471.pdf)
3. 旋轉吧！貝殼！---貝殼製造漩渦原理與變因之研究。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品集。2017.02.17.節錄自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080110.pdf>