

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 生活與應用科學科

第三名

040806

轉轉波能

學校名稱：臺中市私立致用高級中學

作者： 高三 許凱能 高三 蔣士朋 高一 李丞祥	指導老師： 葉宏毅 鄭凱仁
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：威爾斯渦輪、波浪發電、再生能源

## 摘 要

利用自製的威爾斯渦輪研究扇葉、通氣量、葉片數等不同的設計研究葉扇轉速效能。進行一系列的研究後，在吸入氣流推動扇葉轉動的實驗裡發現了 50% 的最佳通氣量設計，葉片與空隙的面積各為一半，是葉片設計上的重要鎖定條件。以此結果進而計算出最佳的葉片數設計的公式，並設計出新型的威爾斯渦輪葉扇進行效能測試。

# 壹、研究動機

2007 年臺中火力發電廠以全球二氧化碳單一結構排放量最高上了國際新聞，至此之後在靠近火電廠附近的海邊豎起了一支支的風力發電機。再生能源的時候早該來臨，我們老師幫我們準備了兩節關於全球再生能源的開發狀況，而他特別將內容放在海洋發電上。

水柱式威爾斯渦輪發電機是利用在一個倒蓋在海面上的箱子，海浪在箱內上下起伏壓縮或抽入箱內的空氣造成氣流推動威爾斯渦輪而發電。我們利用了兩節課的時間以小組為單位製作了老師所研發的威爾斯渦輪紙模型，並且馬上比較了每一組在轉動上的效能。老師說因為大家製作的模型都一樣，轉動效率的高低取決於黏貼紙模型的手法。

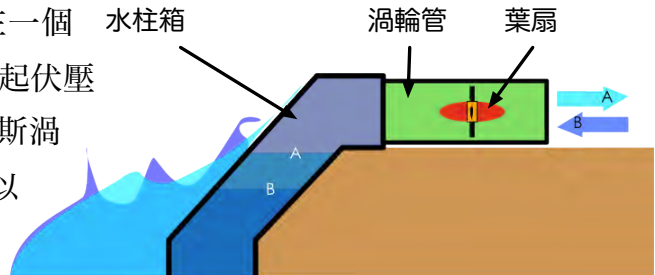


圖 1. 海浪週期起伏成為渦輪機發的穩定來源

根據文獻資料，威爾斯渦輪的扇葉剖面形狀其前端阻力部分與後端推力部分比例為 1:4，由於葉片兩側對稱，所以葉片轉動不因風向而轉向。

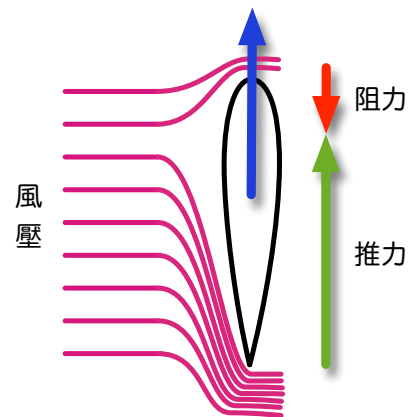


圖 2. 前後端推力比 1 : 4

這引起了我們很大的興趣，老師給的模型是六片扇葉，如果是多一點，或少一點，會不會改變其轉動的效能？於是我們向老師請教模型的製作方式，想在扇葉上下手改變，研究扇葉與轉動效能的關係。

# 貳、研究目的

## 一、改變威爾斯渦輪葉片數了解轉動效能與其之關聯

- (一) 設計出各為二、三、四、五、六片扇葉的威爾斯渦輪葉片，以不同的風壓，不同的風向，探討通氣量與葉扇轉動的效能與其關聯。
- (二) 設計出全新的威爾斯渦輪葉扇，並探討其效能與可利用的情況。

## 二、在實際上的應用

利用一所得到的結果說明水柱式威爾斯渦輪發電的設計上有何需要注意的地方。

## 參、研究設計

本實驗從 2011 年 5 月開始進行至今，由於許多研究機構與模型不斷損耗重製，故本實驗的期程依實驗器材組的不同分成兩期實驗。

### 一、第一期實驗

時間：2011 年 5 月 ~ 2012 年 1 月

以老師製作出的紙模型設計延伸出具葉片數量的葉扇，以可吹吸的吸塵器製造出數種風壓，研究葉扇的轉動效能。

葉扇上的葉片分為 2、3、4、5、6 片等 5 種，葉片寬度皆為 20 mm，長 18 mm，渦輪管內徑為 80 mm，以 200 磅西卡紙疊合製作。

吸塵器為家中使用的「小鋼炮」吸塵器，可製作出相當大的風壓，但於 2012 年 2 月損壞了。

### 二、第二期實驗

時間：自 2012 年 1 月之後

以桌上型美容用鼓風扇為風壓來源，其有「強」、「弱」兩檔風速，鼓風扇有明確的出風口與進風口，利用出風口為吹出的風壓，進風口為吸入的風壓。

為了手能伸入渦輪管製作方便，我們將渦輪管改成內徑為 90 mm，葉扇的設計也改成內/外徑為 44.8 / 85 mm，並且與本校機械科合作，以 CNC 車床切削壓克力製作葉扇，以求得良好的曲面與更準確的質心，並以 CNC 車床製作軸承。

### 三、第三期實驗

時間：自 2012 年 6 月之後

指導老師利用我們的實驗結果設計出新型的葉扇，並在老師的指導下利用簡單的畢氏定理及 Inkscape 的繪圖功能將其由 3D 座標值轉成 2D 繪製，印在 200 磅的西卡紙上切下黏貼。葉扇內/外徑為 30/85 mm。

## 肆、研究設備及器材

### 一、設計威爾斯渦輪葉片的原型

#### (一) 威爾斯渦輪扇葉的空氣動力

威爾斯渦輪葉扇的特殊處在於其迎風兩面對稱的曲線，這個曲線由我們指導老師的巧思將葉片以數學中微分的概念，利用西卡紙厚度為微分的單位，將葉片曲面以不同寬度加以堆疊 (積分) 後可產生出曲線弧形的效果，如果紙的厚度愈薄堆疊出相當漂亮的曲線 (圖 3)。

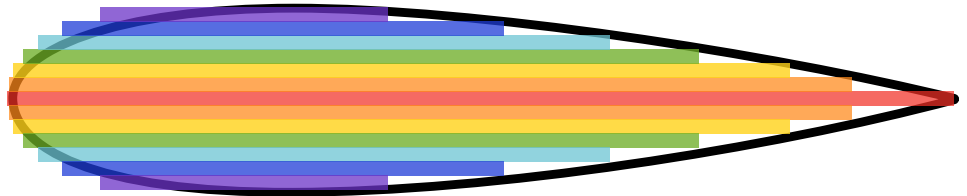


圖 3. 將威爾斯渦輪葉片剖面以紙的厚度以數學微分的概念將葉片剖面分成數個西卡紙的厚度

在我們的實驗中，我們讓紙張的寬度是超出曲線的範圍，在黏貼完後以快乾膠固化再加以挫刀與砂紙打磨到階梯鋸齒不見為止。

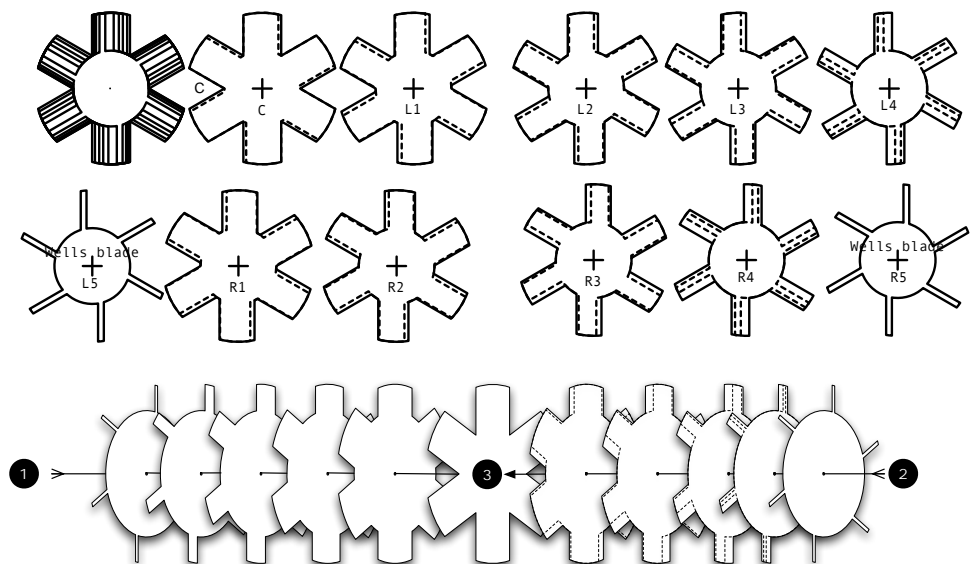


圖 4. 將葉片以對稱方式疊合即可完成

#### (二) 電腦與軟體 Inkscape

Inkscape 是免費的向量繪圖軟體，易學易用且功能強大，應該多多推動這樣的軟體讓大家認識。

### 二、紙製葉片製作與組裝

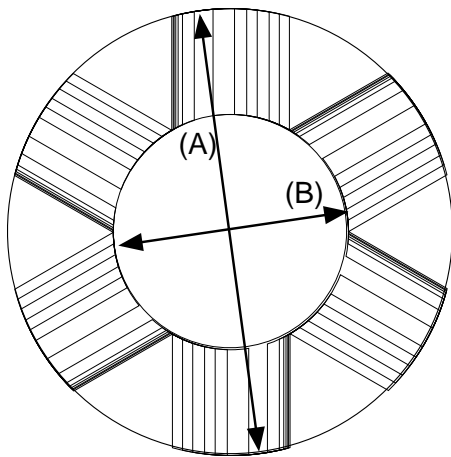
### (一) B4 西卡紙 0.24mm 200 磅



圖 5. 葉片列印於西卡紙上再一片片切下來黏合

### (二) 扇葉的構造名稱

扇葉內徑為 40 mm，外徑為 76 mm，由 13 片 0.24 mm 紙片組成，葉片的寬度為 20 mm，厚度為 4 mm。



(A) 外徑：葉片末端的直徑

(B) 內徑：扇葉盤的直徑

(C) 通氣面積：渦輪管面積減去扇葉盤面積再減去葉片面積，外徑與渦輪管的間隙也需考量。

圖 6. 葉片組裝完成的示意圖

### (三) 扇葉的轉軸

我們想到了螺蛇儀所使用的軸心方式，並且廢物利用。我們向同學募取 0.38 mm 的筆心，這種筆很容易因為掉落或書寫過度用力而斷水，沒想到一號召馬上就收得十幾支，改造成圖 7 的轉軸。



圖 7. 由斷水的 0.38 mm 原子筆蕊製成的轉軸

至於承載的部分，我們利用隨手可得的金屬片(硬幣)，用電鑽鑽出淺淺的凹槽，可以頂入轉軸的尖端即可。

#### (四) 紙製扇葉質心的調整

扇葉在黏貼的過程中以及鑽洞組裝上轉軸時在質心上都會偏離原先設計的中心點，我們利用挖掉部份扇葉盤的方式調整質心，我們自製了一個質心調整台，葉片裝置在質心調整台上慢慢轉動，觀察再最後停下前是否產生擺動的現象，若有則切去垂下的部分(圖 8)。



圖 8. (左) 質心調整台；(右) 切去部份扇葉盤的重量調整質心

#### (五) 二、三、四、五、六片葉片的威爾斯渦輪扇葉

##### 1. 第一期葉扇

最後將扇葉塗成黑色並留下少部分白空是因為要在高速攝影機下計算轉速而需要的記號。

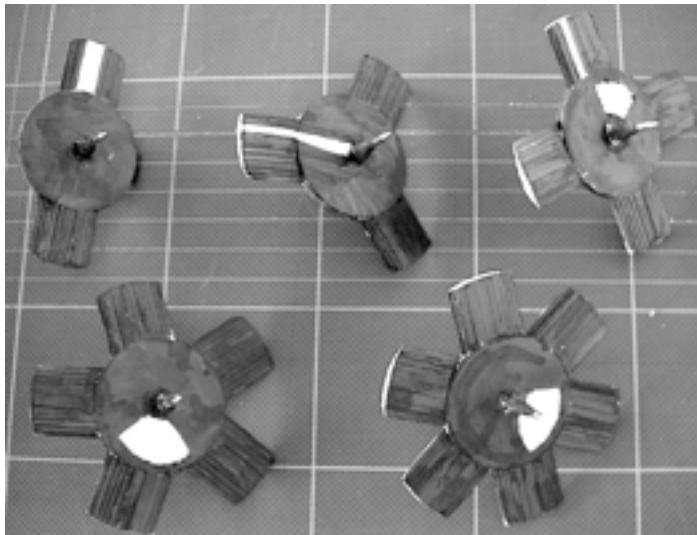


圖 9. 完成的五種紙葉扇，塗顏色以利轉速

表一. 第一期紙製五種扇葉的數據資料，通氣面積的計算方式

葉片數	2	3	4	5	6
內直徑 mm	40	40	40	40	40
外直徑 mm	76	76	76	76	76
扇葉盤面積 mm <sup>2</sup>	1256.6	1256.6	1256.6	1256.6	1256.6
葉片面積 mm <sup>2</sup>	720	1242	1656	2070	2484
通氣百分比	80.901	67.055	56.073	45.092	34.11

## 2. 第二期的葉扇與機械科合作利用 CNC 製作壓克力葉扇

在研究的過程中，我們發現紙做的葉扇在調整質心上有相當的困難度，因此轉而與本校的機械科合作，將葉扇兩對稱邊剖為兩半，利用 CNC 切二片 3mm 厚的壓克力片再加以組合，除葉扇的曲線較為平滑外，質心的問題也比較小 (圖 10)。



圖 10. 完成的五種紙葉扇，塗顏色以利轉速

表二. 壓克力製五種扇葉的數據資料，通氣面積的計算方式

葉片數	2	3	4	5	6
內直徑 mm	45	45	45	45	45
外直徑 mm	88	88	88	88	88
扇葉盤面積 mm <sup>2</sup>	1590.4	1590.4	1590.4	1590.4	1590.4



葉片數	2	3	4	5	6
葉片面積 mm <sup>2</sup>	963.2	1444.8	1926.4	2408	2889.6
通氣百分比	79.813	69.719	59.625	49.532	39.438

#### 四、第三期葉扇

第三期的葉扇由指導老師利用我們在第一期的實驗結果加以重新設計，並教導我們由 3D 曲面轉成 2D 繪圖的數學計算，這個葉片的繪圖設計難度很高，但在製作的時候比疊合的葉扇簡單，重點是無論葉片的數量與內外徑的變化，葉扇與空隙的比值都是 1 : 1，也就是通氣量為 50%。

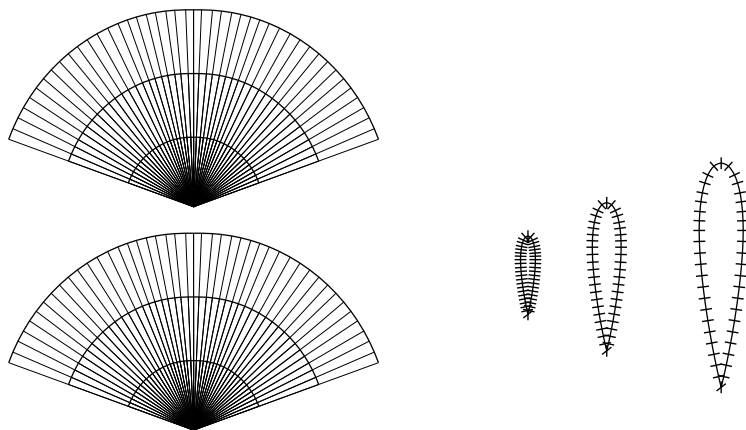


圖 11. 完成的四種紙葉扇，下圖為三片的開展扇形。

## 五、渦輪管的組裝

### (一) 第一期

#### 1. 使用的軸承

將鑽有淺槽的金屬片以泡綿膠黏在十字型的 1mm 厚紙板正中央。

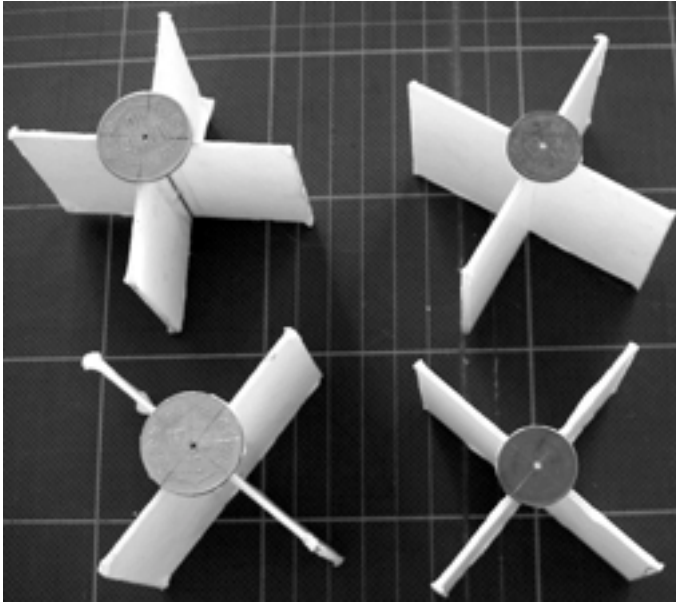


圖 12. 十字型的軸片與硬幣軸承

#### 2. 管身

扇葉安裝管身中央，並於其兩邊等距 ( $\pm 3\text{cm}$ ) 處鑽洞準備接上壓力計。選用透明壓克力管的原因是易觀察，但其缺點是易受熱膨脹使軸心位移 (圖 13)。

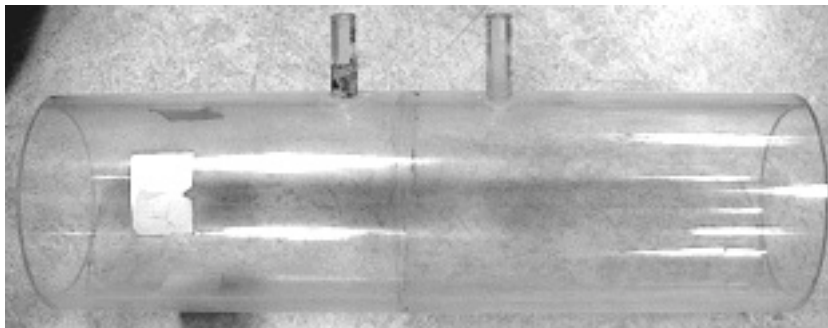


圖 13. 內徑為 80 mm 的透明壓克力管

#### 3. 渦輪管組裝完成

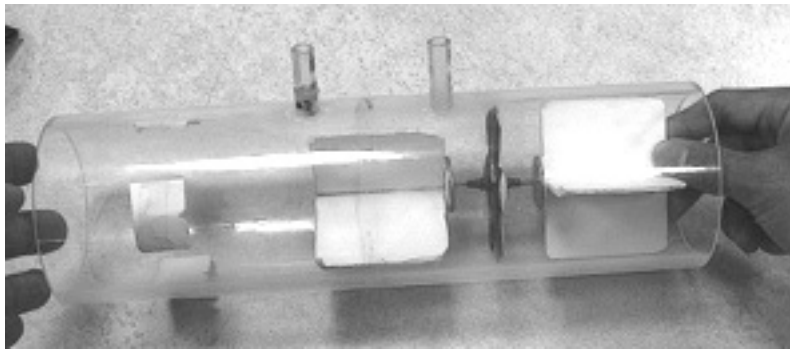


圖 14. 將十字軸承與扇葉推擠入壓克力管中，渦輪管組裝完成

## (二) 第二、三期渦輪管組裝

利用 CNC 切削鋁柱製作出軸承，中心以十字螺絲頭上十字中心的錐度與 0.38 mm 的筆尖形成良好的針碗構造，葉扇前後各  $\pm 20$  mm 處加入壓力測量點。

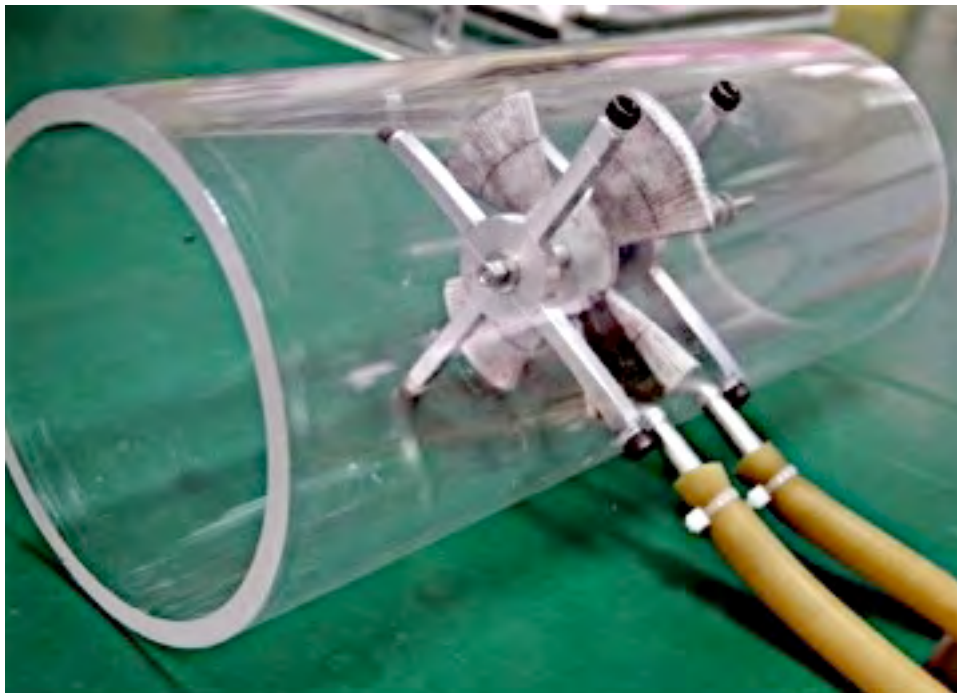


圖 15. 完成的五種紙葉扇，塗顏色以利轉速

## 六、風壓計

利用連通管原理，在兩支有刻度的塑膠試管底部接上橡皮管，其中二支試管接以橡皮管接上壓克力渦輪管。風壓計安裝在塑膠瓦楞紙上讓風壓計可以站立桌面。

實驗中的風壓是以兩管子兩邊的液面高度差為計量方式。

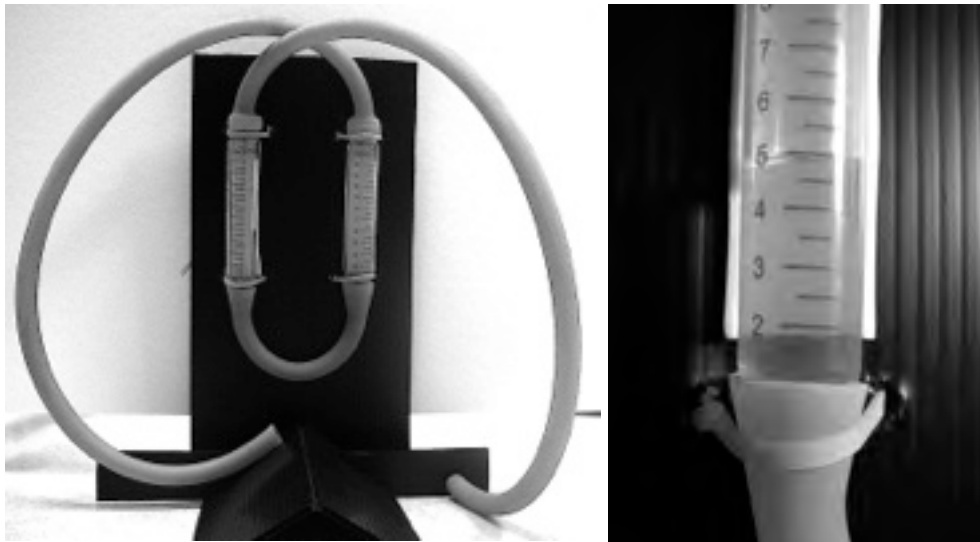


圖 16. 利用連通管原理製作的風壓計

## 七、高速攝影機

我們使用了老師的 Sanyo HD2000 數位攝影機，其有可拍攝每秒 600 張的功能，在將速度放慢約 20 倍可讓我們計算扇葉轉的速率。

## 八、實驗機構整合

利用家用可吸及吹式的吸塵器為風壓來源，風壓可由吸塵器靠近渦輪管的遠近來調整，再高速攝影機與鎢絲燈連續性光源拍攝扇葉轉動的效率。



圖 17. 實驗機構

## 伍、研究過程或方法

### 一、實驗流程

無論是那一期的實驗，其流程如下：

選擇風向 → 調整風壓 → 拍攝扇葉轉動 → 計算轉速

### 二、實驗組別

組別	期別	葉扇	渦輪管
1	一	紙製葉扇，內/外徑為 40 mm / 76 mm	內徑 80 mm
2	二	壓克力葉扇，內/外徑為 45 / 88 mm	內徑 90 mm
3	三	紙製葉扇，內/外徑為 30 mm / 87 mm	內徑 90 mm

## 陸、研究結果

### 一、第一期實驗

#### (一) 吸入氣流

表三. 傳統紙製葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之實驗結果

風壓 葉片數 轉速	- 6.5 mm	-13 mm	-19.5 mm	-26 mm
2	6923.1	10000.0	11250.0	12857.1
3	5142.9	6792.5	8372.1	9729.7
4	5294.1	6666.7	8181.8	9000.0
5	4337.3	5217.4	6428.6	8000.0
6	2903.2	3789.5	5373.1	6000.0

#### 1. 風壓與轉速的回歸曲線

隨著葉片的增加，可通風面積愈來愈小，因此我們認為當通風面積為零時葉片並不會轉動，這讓圖形看起來類似 3 次幕多項式的函數，故以 3 幕次多項式回歸並顯示回歸相關係數，結果如圖 18。

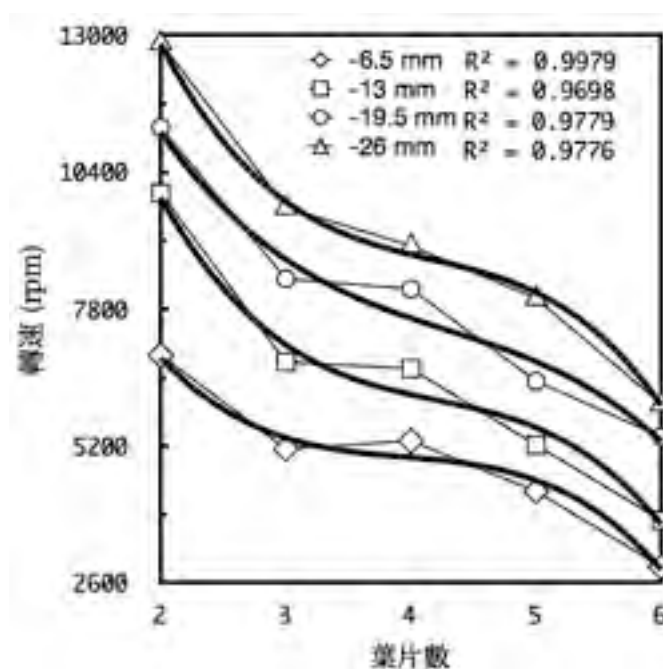


圖 18. 傳統紙製葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖



## 2. 等效功率修正

我們認為葉片愈多，能產生的力矩就愈大，在真正有馬達負載時發電的效力會比較好，將轉速乘以葉片數，因此我們作了圖 19。

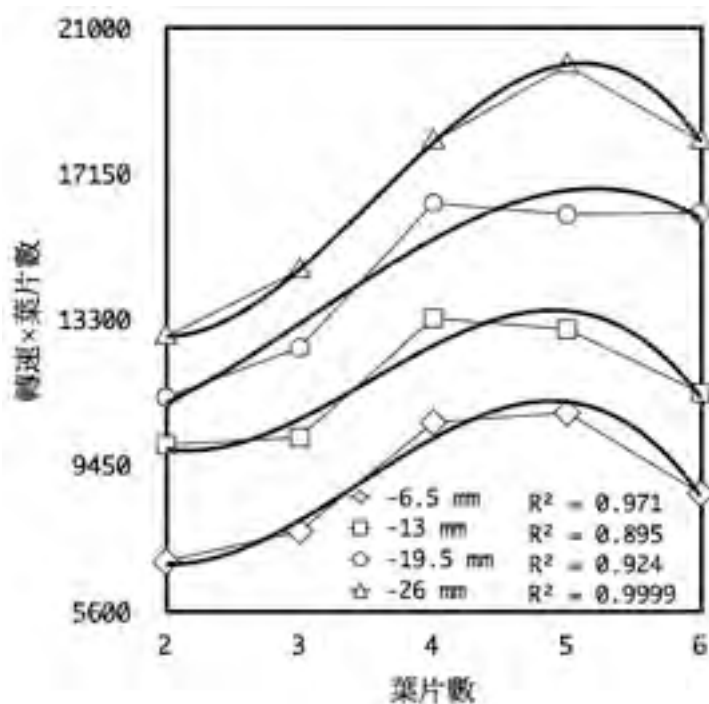


圖 19. 將表三中的轉速資料乘以葉片數所獲得之圖形，並以 3 幕次多項式回歸 (傳統紙製葉扇)

## (二) 吹入氣流

表四. 傳統紙製葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之實驗結果

風壓	6.5 mm	13 mm	19.5 mm	26 mm
葉片數 轉速				
2	7659.6	12413.8	17142.9	太快無法計算
3	7578.9	9900.0	11250.0	13935.5
4	7058.8	8129.0	9209.3	9692.3
5	5538.5	6792.5	7826.1	8571.4
6	4931.5	5901.6	7346.9	8571.4

### 1. 風壓與轉速的回歸曲線

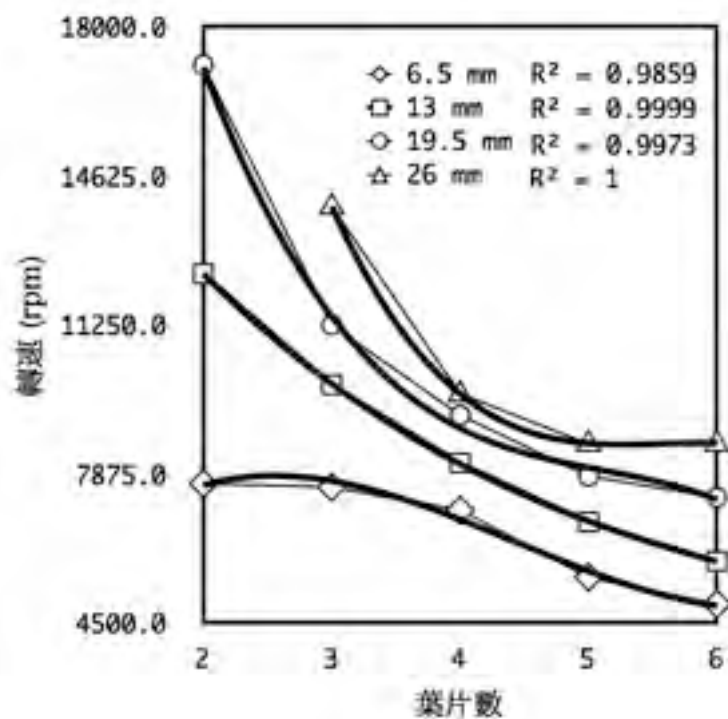


圖 20. 傳統紙製葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖，經 3 幕次多項式回歸並顯示回歸相關係數

## 2. 等效功率修正

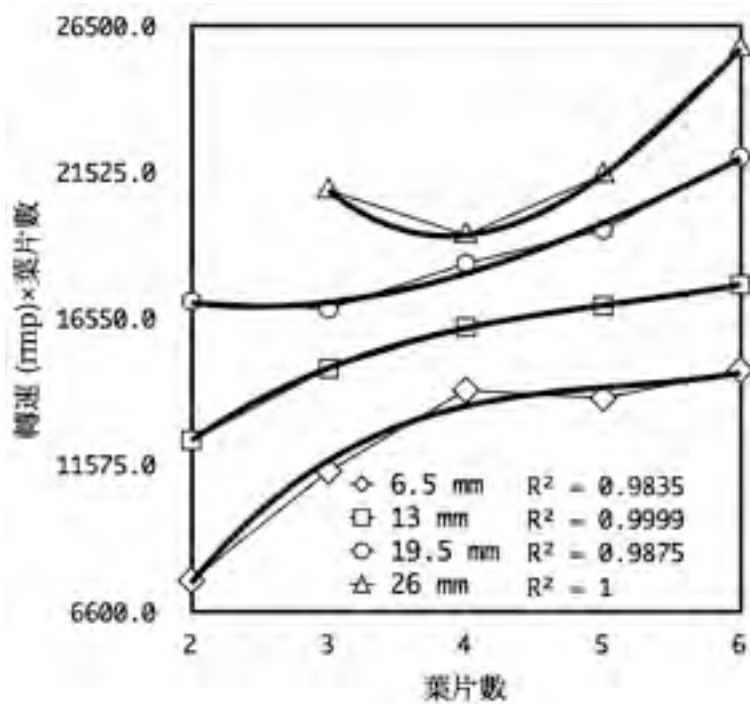


圖 21. 不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖，經 3 幕次多項式回歸並顯示回歸相關係數 (傳統紙製葉扇)



## 二、第二期實驗壓克力 CNC 切削葉扇

### (一) 吸入實驗組

#### 1. 風速與轉速的關係

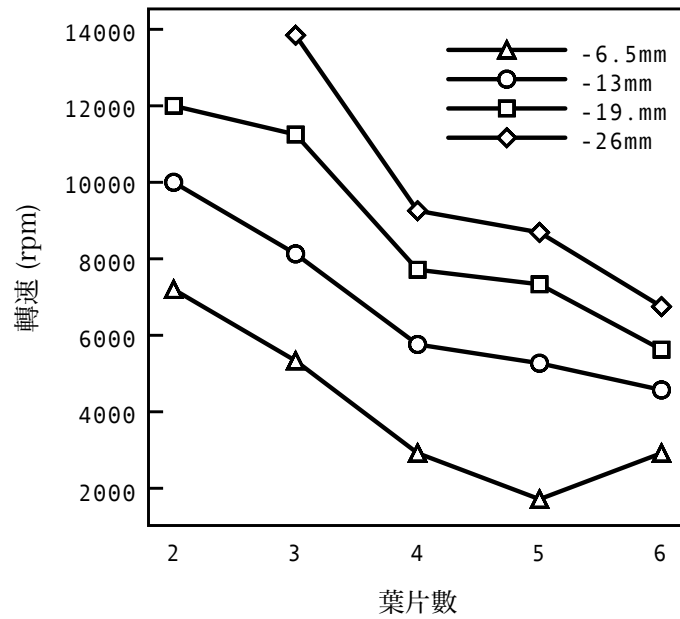


圖 22. 傳統壓克力葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖，其中兩片的葉扇無法達到 26mm 的壓力

#### 2. 等效功率修正

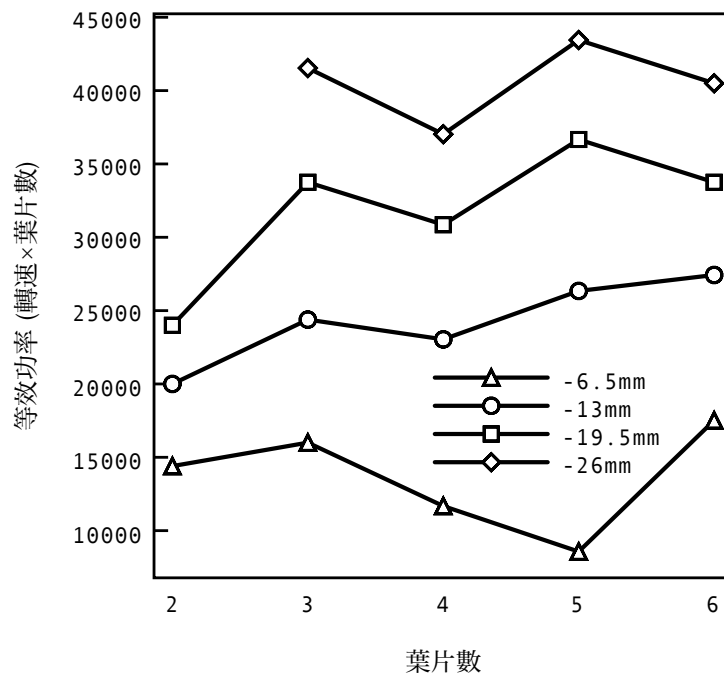


圖 23. 壓克力葉扇吸入不同風壓之等效功率圖

## (二) 吹入實驗組

### 1. 風速與轉速的關係

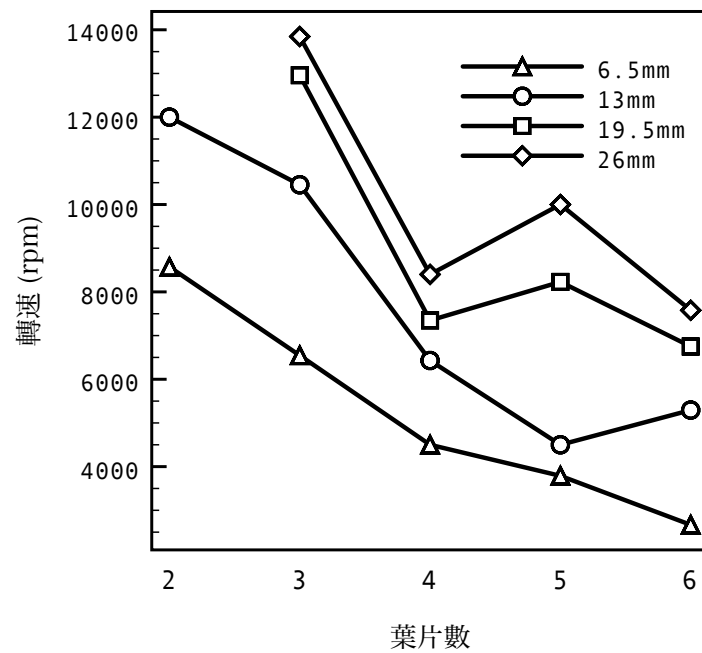


圖 24. 傳統壓克力葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖，其中兩片的葉扇無法達到 26mm 的壓力

### 2. 等效功率修正

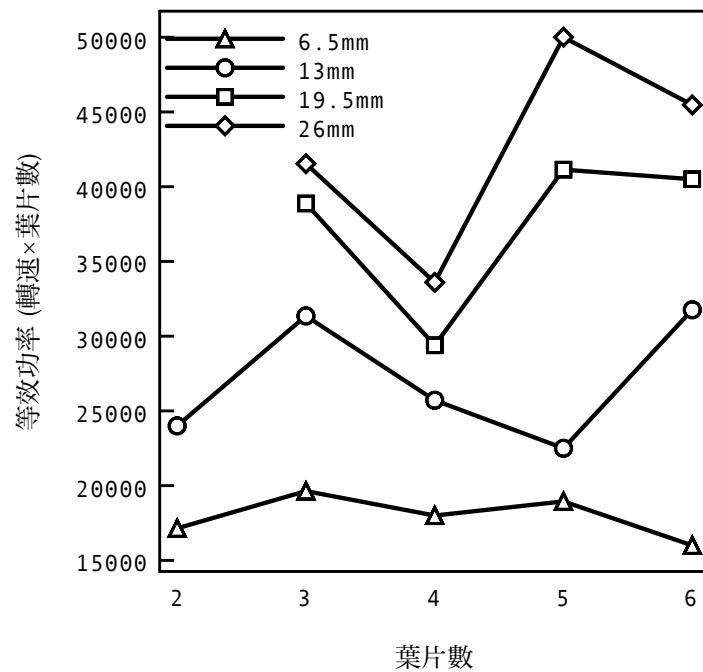


圖 25. 壓克力葉扇吹入不同風壓之等效功率圖，其中兩片的葉扇無法達到 26mm 的壓力

### 三、第三期實驗，新設計的葉扇

#### (一) 吸入實驗，風速與轉速的關係

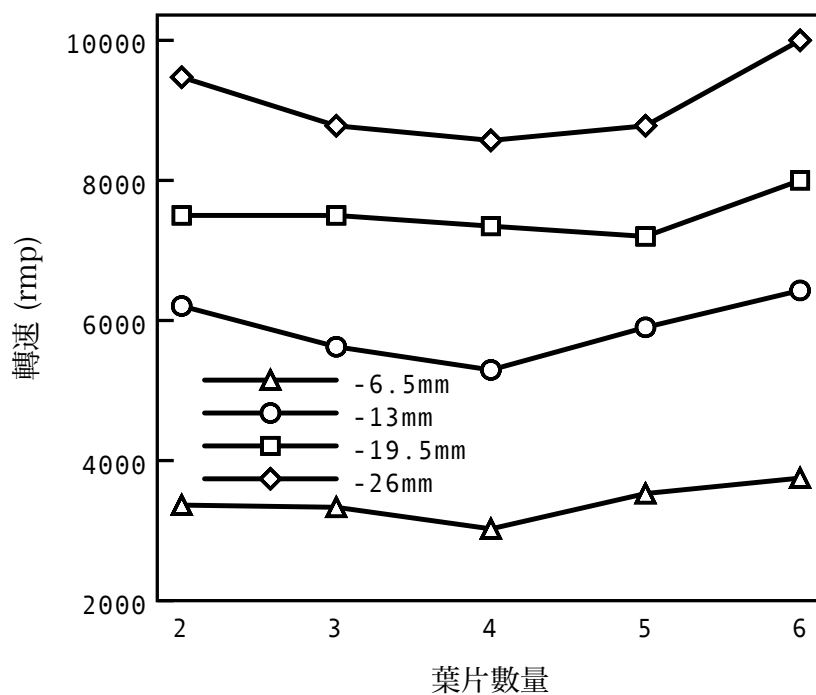


圖 26. 新型葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖

#### (二) 吹入實驗，風速與轉速的關係

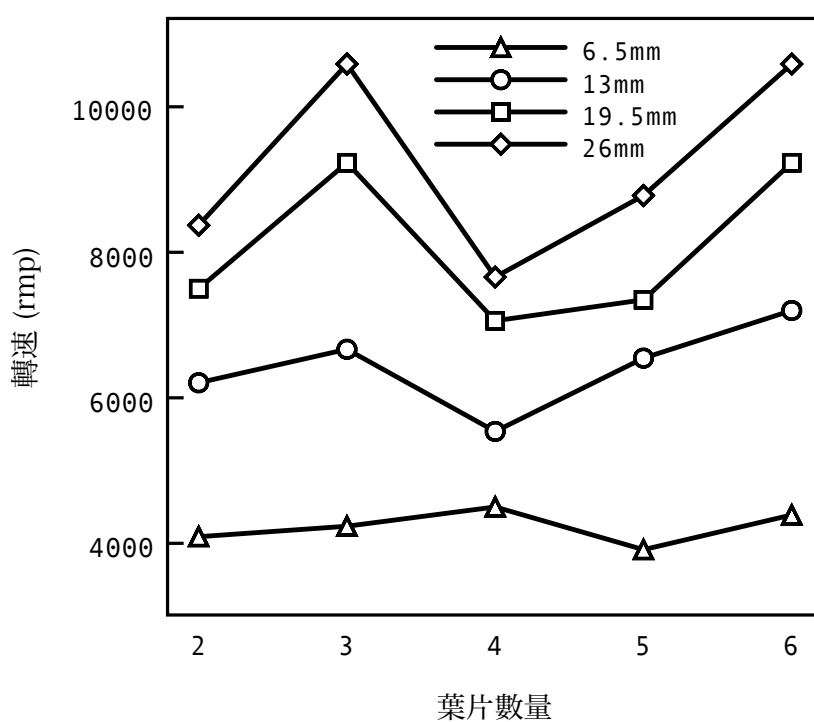


圖 27. 新型葉扇於不同吸入風壓及葉片數與轉速之關係圖

# 柒、討 論

## 一、通風量與轉速的關聯性

在傳統威爾斯渦輪葉扇的實驗中不管是幾片葉片的扇葉每一個葉片的形狀都是相同，因此葉片數愈多能夠與風作用的面積就愈大，能產生的總力矩也愈大。但葉片愈多，通風的面積就愈小，在水柱式發電實際的應用上風是雙向進出的，壓力來自於上湧與下伏的海浪，最有效率的發電方式應該是在海浪上湧到最頂端時也剛好將空氣排完，水柱箱內的空氣回到一大氣壓的狀態，吸入也是，同時也可以揣測壓力最大時是在海浪週期為 0 與 1/2 時。

新設計的威爾斯渦輪葉扇通氣量為 50%，葉片數愈多其葉片扇形開展角度愈小，且由於是扇形，與扇葉盤基部連結之處較小，對強度是一大考驗，為什麼要設計出新形的葉扇，在之後會與導流管一同討論。

### (一) 吸入氣流實驗

#### 1. 傳統威爾斯渦輪葉扇

吸入氣流時，扇葉前的壓力差會在靠近扇葉時驟減，待通過扇葉後風速會變得比通過扇葉時還快，壓力來自於扇葉後艙的吸力，前艙的壓力較後艙小。

本實驗以固定的風壓進行轉速的研究，與實際情況相當不同。由吸入氣流的實驗可得知，在轉速上由二片到三片以及五片到六片的轉速驟降，吸入的總力矩效能約在 5 片時達到飽合 (圖19)，通氣量約為 49% (表一)，再高則因通風量的瓶頸造成雖然在扇葉前後壓力差很大卻無法反應在葉片的轉動上，若在實際的水柱式發電時會造成海浪已到最低點 (3/4 週期) 水柱箱內的空氣仍低於一大氣壓，接下來上湧的浪必先將箱內氣壓壓回到一大氣壓後再往上加壓，此現象必造成效能的浪費。葉片總面積與通氣總面積比約為 1:1 (通氣量 50%) 為吸入時的最佳設計。

老師所設計的傳統威爾斯扇葉通氣量為 39% (表一)，我們的實驗找到了讓轉動效率更佳的通氣量，也能提供老師將其紙模型再加修改。

此結果可延伸出另一個實驗，更動葉片的寬度、數量及內徑的大小，讓通氣量控制在 50% 再進行效能的研究。而指導老師用這個結果設計了另一款新的葉扇。

雖然壓克力葉扇也可得到 50% 為最佳葉片設計 (圖 23)，但由於壓克力葉扇因為質量較高，原本以為 CNC 車床後可以不用調整質心，沒想到反而質心更難調整 (壓克力施工不易)，使得我們設計的頂針轉軸一直磨耗

(不適用於質量高的葉扇)，嚴重影響到實驗數據，在找到強壯且潤滑度高的軸承前，我們的實驗再行修正。

## 2. 新設計的葉扇

相同通氣量比下的轉速果然變化不大 (圖 26)。新設計的葉扇無論葉片數，通氣量都是 50%，在吸入的實驗中我們發現到無論是高壓或低壓，隨著葉片數的增加，轉速有小幅度上的趨勢，推論可能是因為葉片數愈多時，每一個葉片開展的扇型愈小，徑向截面積也愈小，在徑向的風阻下降是一大優勢，在六片之後我們能製作的八片葉片的新型葉扇 (七片在  $2\pi$  中無法整除不好繪圖製作)，不過零件實在太小，強度不易提高，且細小的零件製作精度不容易掌握。

### (二)吹入氣流實驗

#### 1. 傳統威爾斯渦輪葉扇

氣流吹入渦輪管與吸入時不同，氣流速度在扇葉前艙速度快，進扇葉時驟減，壓力集中在前艙，雖然我們發現跟吸入氣流實驗一樣的是在轉速會因為葉片的數多寡受到影響，也會因為通氣量愈來愈低而造成轉速的下降。不同的是在此試驗中葉片數與轉速的乘積卻有葉片數愈多而愈大的趨勢，在本實驗設計中無明顯的最佳值。其因可能是集中在前艙的壓力主動壓迫扇葉轉動，因此在高壓下不易見到轉速因通風量下降而急速降低的狀況。

在壓克力葉扇如前所述，雖有第一期紙製葉扇的轉速或等效功率的趨勢 (圖 25，五片 50% 的通氣比為最佳設計)，但要改進的空間還很多，首要是質心的調整，再者要找到一個適用的小型低磨擦力的培林，讓軸承可以承受高速運轉 (3,000 ~ 15,000 rpm) 時壓克力葉扇的質量所帶來的損耗。

#### 2. 新設計的葉扇

在將風壓吹入渦輪管中的新型葉扇實驗結果發現，在三片時出現第一次的最大轉速，四片時下降，之後五、六片開始上升，而多於六片的狀況呢？由於是小模型，八片的紙模型每個零件都太過細小，除了強度不足外，製作的精度也無法提高。目前 CNC 前置的工程繪圖還有很多技術要克服。

### 三、本實驗與實戰海洋水柱式威爾斯渦輪發電的關聯

#### (一) 傳統葉扇的設計參考公式

威爾斯渦輪葉片的設計便傾向於吸入時通氣量的最佳效能限制 (50%)，則可得到下列的葉片設計：

$$w = \frac{(\text{壓克力管半徑}^2 - \text{扇葉盤半徑}^2) \pi}{2n (\text{扇葉外徑} - \text{扇葉盤半徑})} \quad (\text{式 1})$$

$w$  : 葉片寬度 ( $2 \times \text{扇葉盤半徑} \times \sin(\pi/n) \leq w \leq 2 \times \text{扇葉盤半徑}$ ) ;  $n$  : 葉片數  $\geq 2$

葉片的數量不能無限制得多，當葉片最寬就是每一個葉片與扇葉盤基部連接處都相接觸，此時  $w = 2 \times \text{扇葉盤半徑} \times \sin(\pi/n)$ 。所以可以得到葉片數量的最佳設計為：

$$\frac{(\text{壓克力管半徑}^2 - \text{扇葉盤半徑}^2) \pi}{2n (\text{扇葉外徑} - \text{扇葉盤半徑})} \geq 2 \times \text{扇葉盤半徑} \times \sin \frac{\pi}{n} \quad (\text{式 2})$$

在 Andrews 的書中<sup>[1]</sup>有提到葉片的寬度設計大約是寬度的 1/5，因此葉片在不能太薄影響到葉片強度的情況下寬度也會受限。

## (二) 扇葉盤與基礎通氣量

我們定義完全沒有葉片只有扇葉盤時的通氣量為基礎通氣量，扇葉盤的大小會影響到基礎通氣量的多寡 — 扇葉盤愈大，基礎通氣量小，因此葉片多、短、窄、薄，基礎通氣量大則葉片少、寬、長、厚。

基礎通氣量的設計在於海浪在水柱箱中起伏的高低，在起伏量大的地方可選用基礎通氣量大的設計，才能在海浪的最高與最低時順利的將水柱箱中的壓力排空；海洋起伏小的地方或許不適合安置威爾斯渦輪，但可考慮以增加扇葉盤半徑的方式，讓進出的空氣通過小很的環形區域，可增加渦輪管內的壓力讓扇葉轉動。

## 三、導流裝置的必要性

為了更換葉片方便，本實驗中無設計導流裝置。在老師所設計的渦輪管中有導流的裝置，讓吸入或吹入的空氣能被導流裝置向管壁排開集中在葉片上而不會打在扇葉盤上，如此在管中較不會有亂流產生，以增加轉動的效率。

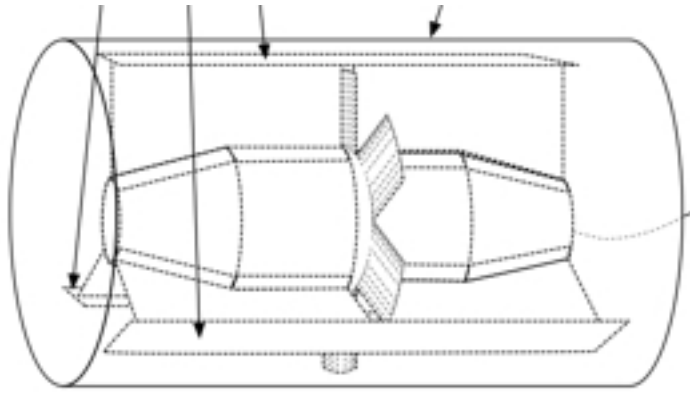


圖 28. 老師所設計的紙模型中有導流裝置，讓風壓作用在葉片上更有效率

#### 四、新型葉扇的後續研究 - 可變導流管徑的應用

我們問老師為什麼要開發新的葉扇？老師說：「因為海浪不穩，如果我們可以讓渦輪管內的風壓盡量維持一定，除了可以保護葉扇與發電機外，也能讓海浪高差比較小時，也有提供發電的可能。重點就在於導流管管徑的可變性。」

老師只說到這裡，要我們回去思考。浪高差可以在水柱箱中產生壓力，而渦輪管中的導流管徑大小可以加以調節最後壓在葉扇上的風壓大小，浪高差大時水柱箱中被壓縮的空氣較多，此時若將導流管徑縮小，總通氣量增加，讓壓力得以釋放完全；相反的，浪高差小時則放大導流管徑，使空氣從渦輪管壁與導流管所形成的環形細隙通過，風壓變高，風速變快。問題就在於傳統威爾斯葉扇葉片寬度的一致性使得導流管徑增大後雖然氣通氣比下降（空隙面積比葉片面積大），如果要讓通氣比一直維持在 50%，扇形開展的新型葉扇便是重點，雖然還有一些物理或工學的條件要克服，如扇尾的面積大於中心，力矩也較大，葉片容易斷裂等等，要不然導流管徑不論怎麼改變，新型葉扇的通氣比永遠都是最佳的 50%，這樣的應用應有其前景可開發。

#### 五、水柱式威爾斯渦輪發電機在臺灣海域的可應用性

目前世界各國使用水柱式威爾斯渦輪發電機的狀況並不多見，英國 LIMPET 為第一個使用威爾斯渦輪發電並與全國電力系統接軌的發電機構，西班牙西北外海的小島、加拿大與日本等地都有沿岸式的威爾斯發電機。

波浪能來自於風的吹拂。根據《淺談我國海洋能源之開發前景》<sup>[2]</sup> 一文中分析臺灣附近海域所能提供的波浪能，以臺灣東北海域及澎湖西北海域較有開發的可能，但離岸多為十公里以上，要將水柱式威爾斯渦輪發電機離岸放到海面上的變數很大，每年好幾次的颱風便是最大的威脅。雖然臺灣或許不易發展水柱式威

爾斯渦輪發電，我們還是很高興認識了這樣一個再生能源的裝置，也親手製作並了解其中的奧秘。



## 捌、結 論

1. 無論是吸入或吹入氣流，在扇葉的葉片數量增加時轉速都會降低。
2. 吸入氣流的實驗中獲得葉片與通氣量的比值為 1:1 為最佳效率。
3. 在吹入氣流的實驗中轉速仍因通氣量降低而下降，但葉片與轉速的乘積中並無明顯的最大值。表示扇葉的葉片數可在增加，通氣量可再下修。
4. 若應用在有吹入與吸入的水柱式威爾斯發電時，吸入通氣量必須設計在 50%，吹入(壓出)時則考慮葉片數可達到最佳效果，在葉片設計上可參考下列公式：

$$w = \frac{(\text{壓克力管半徑}^2 - \text{扇葉盤半徑}^2) \pi}{2n (\text{扇葉外徑} - \text{扇葉盤半徑})} \quad (\text{式 1})$$

且其中葉片數最佳值  $n$  ( $n$  為大於 2 的自然數)

$$\frac{(\text{壓克力管半徑}^2 - \text{扇葉盤半徑}^2) \pi}{2n (\text{扇葉外徑} - \text{扇葉盤半徑})} \leq 2 \times \text{扇葉盤半徑} \times \sin \frac{\pi}{n} \quad (\text{式 2})$$

5. 扇葉盤的大小決定基礎通氣量的多寡，在浪高差大的地方可選用扇葉盤小通氣量大的設計，反之則增加扇葉盤的面積。
6. 新型威爾斯渦輪葉扇的可行性極高，加上目前還在開發中的可變式導流管，可因應不同波浪高差的穩定發電。

## 玖、參考資料及其他

1. John Andrews, Nicholas Alfred Jelley (2007) *Energy science: principles, technologies, and impacts*. Oxford Univ. Press  
([http://www.oup.com/uk/orc/bin/9780199281121/andrews\\_ch04f.pdf](http://www.oup.com/uk/orc/bin/9780199281121/andrews_ch04f.pdf))
2. 徐泊樺、顏志偉 (2007)。淺談我國海洋能源之開發前景。物理雙月刊 29 卷 3 期
3. 陳建宏 (2012)。海洋再生能源。科學發展 471 卷
4. 董東璟、蔡政翰 (2012)。波浪與海流發電。科學發展 471 卷
5. 林鎮洲 (2012)。滔滔白浪放光明。科學發展 471 卷
6. 臧效義 (2012)。海洋能測試中心。科學發展 471 卷

## 【評語】 040806

本作品設計並製作水滴剖面外型葉片，以用於水柱式威爾斯渦輪發電機，並測試其改善發電效率的運轉狀況。經過實驗結果調整葉片數及葉扇設計，以達成高效能的發電；本作品有不錯的應用價值。